การประยุกต์ใช้ดุลยภาพของแนชสำหรับการควบคุมสัญญาณไฟจราจร กรณีศึกษา : แยกถนนศรีจันทร์ตัดถนนหน้าเมือง จังหวัดขอนแก่น

An Application of Nash Equilibrium for Traffic Light Control Case study : An intersection of Sri Chan Road and Na-Muang Road in Khon Kaen province

สุภาวดี แสงเพชร [1] วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล [2] นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์ [2] อานนท์ ศิริไทย[3]

บทคัดย่อ

ปัญหาการจราจรติดขัดนับเป็นปัญหาสำคัญระดับชาติที่นับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น และได้ขยายจากพื้นที่ในเขตเมืองไปยังพื้นที่อื่นๆ ในภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศ จากเหตุดังกล่าวจึงเป็นแนวคิดสำคัญในการพัฒนาระบบจำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรขึ้นอย่างมากมาย ในบทความนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบสัญญาณไฟจราจรโดยดุลยภาพของแนช โดยใช้ข้อมูลจากเหตุการณ์จริงจากการสำรวจยานพาหนะบนโครงข่ายถนนในพื้นที่เขตผังเมืองจังหวัดขอนแก่น ซึ่งกำหนดการจราจรเป็นแบบเข้าก่อนออกก่อน โดยถนนแต่ละเส้นต้องการควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจรให้มีปริมาณรถติดคงเหลือน้อยที่สุดในหนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจร ดังนั้นจึงได้พัฒนาอัลกอริทึมขึ้นมาใช้ในการหาช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวและช่วงเวลาสัญญาณไฟแดงของถนนแต่ละเส้นเพื่อหาจุดสมดุลของระบบโดยใช้ทฤษฎีของแนช เปรียบเทียบกับการควบคุมสัญญาณไฟจาราจรแบบเวลาคงที่ ผลการวิจัยเพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบพบว่าการจราจรในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเช้า (07.00 – 10.00 น.) บนถนนศรีจันทร์ตัดกับถนนหน้าเมือง ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ดุลยภาพของแนชสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ไขสัญญาณไฟจราจรมากถึง 35.44 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมสัญญาณไฟแบบเวลาคงที่ เหมาะสมสำหรับการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรเพื่อทำให้การจราจรมีความคล่องตัวมากขึ้น

คำสำคัญ: การควบคุมสัญญาณไฟจราจร จุดสมดุล ถนนศรีจันทร์ตัดกับถนนหน้าเมือง อัลกอริทึม

Abstract

The traffic congestion is considered a severe national problem. Not only is the difficulty in the Metropolitan area itself, but it has expanded across the nation. The simulation is based on the traffic information entered into the system. This paper proposes the application of the model traffic light system, which uses data from a survey of vehicles on the real road network in Khon Kaen province. The scheduled traffic is first in-first out (FIFO queue). The developed algorithm is used to find a green light time and a red light time for each line of the road to find the balance point of the system by using the theory of Nash Equilibrium. The results showed that traffic during the morning rush hour (07.00 - 10.00 am.) an intersection of Sri Chan road Na-Muang road in Khon Kaen province, Nash equilibrium have efficiency of the 35.44% more efficient in releasing vehicles compared with the fixed-time traffic signal light control

[1] นิสิตหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[3] อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

system. The outcome of the system can be adapted and applied to a real traffic situation to help alleviate traffic congestion problems.

Keywords: Traffic Light Control, Nash Equilibrium, Intersection of Sri Chan road Na-Muang road, Algorithm

ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและสังคมมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ เช่นเดียวกับการเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมยานยนต์ ผู้คนเลือกใช้รถยนต์ส่วนตัวเป็นยานพาหนะในการเดินทางเป็นจำนวนมากขึ้นถึงแม้ราคาน้ำมันในตลาดโลกจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆแต่จำนวนรถยนต์บนท้องถนนก็ไม่ได้มีจำนวนลดลง แสดงให้เห็นถึงความต้องการในการใช้รถยนต์ในสังคมที่สูงขึ้น ส่งผลให้พื้นที่บนท้องถนนไม่เพียงพอต่อจำนวนรถยนต์ที่ต้องการเดินทางไปในที่ต่างๆ นอกจากจะทำให้การจราจรมีความคับคั่งสร้างความไม่สะดวกในการเดินทางแล้วยังเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆ ตามมาในสังคม อาทิ การสูญเสียทรัพยากรน้ำมันโดยสูญเปล่า การก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ และการเกิดปัญหาสภาวะทางจิตใจของบุคคลที่ใช้รถใช้ถนนอีกด้วย (เจษฎา พจน์ชพรกุล, อานันตยา วุฒิธนากุล, 2553)

สัญญาณไฟจราจร หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมการไหลของกระแสการจราจร โดยการเปลี่ยนสีของหลอดไฟเพื่อให้เกิดความสะดวกในการเคลื่อนที่ยานพาหนะในกระแสจราจรสายต่างๆ เพื่อควบคุมการขัดแย้งระหว่างพาหนะด้วยกัน สัญญาณไฟจราจรแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. การควบคุมแบบคงที่ (Fixed-Time) (พลเทพ เลิศวรวนิช, 2553) จังหวะสัญญาณไฟจะถูกเลือกจากรูปแบบของจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่ได้ออกแบบไว้ล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูลที่เก็บมาก่อนในอดีต ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการจราจร การควบคุมแบบคงที่จะไม่สามารถปรับให้เหมาะสมกับสภาพการจราจร

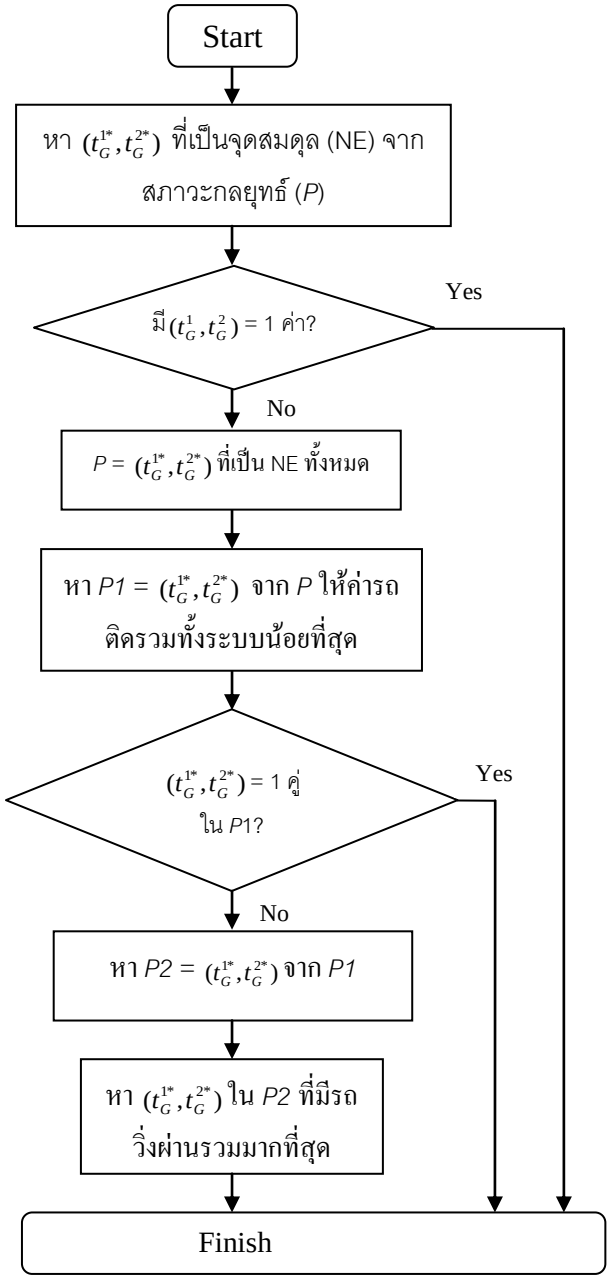
2. การควบคุมเวลาแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ (Adaptive Control) (พลเทพ เลิศวรวนิช, 2553) ใช้การเชื่อมโยงระหว่างเครื่องตรวจนับปริมาณการจราจรและจังหวะสัญญาณไฟจราจร โดยจังหวะจะแปลเปลี่ยนไปตามสภาพการจราจรที่วัดจากเครื่องตรวจนับปริมาณการจราจรจากนั้นคำนวณหาจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่มีความเหมาะสมที่สุด มีหลายประเทศที่ได้พัฒนาระบบการแก้ปัญหาการจราจรแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติซึ่งก็ต่างกันออกไป เช่น 1) ประเทศญี่ปุ่นใช้การแก้ปัญหาโดยระบบ MODERATO (พลเทพ เลิศวรวนิช, 2553) เป็นการคำนวณจากจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบเวลาจริง ใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณจราจรต่ออัตราการไหลอิ่มตัว โดยคำนวณทั้งปริมาณจราจรและความยาวของแถวคอยของกลุ่มช่องจราจรไปพร้อมกัน 2) ประเทศอังกฤษใช้การแก้ปัญหาโดยระบบ SCOOT (พลเทพ เลิศวรวนิช, 2553) เป็นการคำนวณจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบออนไลน์ ซึ่งจะค่อยๆเพิ่มหรือลดค่าพารามิเตอร์ จะทดลองเปรียบค่าขึ้นหรือลงเพียงเล็กน้อยของทุกกลุ่มช่องจราจรแล้วหาว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงทำให้ความล่าช้าในการเดินทางของทั้งระบบดีขึ้น 3) ประเทศออสเตรเลียใช้การแก้ปัญหาโดยระบบ SCATS (พลเทพ เลิศวรวนิช, 2553) ใช้หลักการของระดับความอิ่มตัว(Degree of saturation) ในการควบคุมโครงข่ายจราจร คำนวณหาค่ารอบเวลาและสัดส่วนของเฟส โดยจะทำการวัดระดับความอิ่มตัวของ

แต่ละกลุ่มช่องจราจร จากนั้นจะพยายามทำให้ระดับความอิ่มตัวของแต่ละกลุ่มช่องจราจรมีค่าเท่ากัน และทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทุกรอบของจังหวะสัญญาณไฟจราจร

ทฤษฎีเกมคือการตัดสินใจในสถานการณ์ที่มีการแข่งขันตั้งแต่สองฝ่ายขึ้นไป เป็นกระบวนการหาทางเลือกที่เหมาะสมเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเสมือนสถานการณ์การจำลองทางแยกสัญญาณไฟจราจรโดยถนนแต่ละเส้นจะเลือกกลยุทธ์ที่ดีที่สุดเพื่อให้มีปริมาณรถติดคงเหลือทั้งระบบน้อยที่สุด จึงเกิดการจำลองแบบไม่มีการร่วมมือกัน (Non-cooperative game) ขึ้น ซึ่งจุดที่จะทำให้ระบบเกิดสมดุลคือ จุดดุลยภาพ หรือเรียกว่า “จุดดุลยภาพของแนช (Nash Equilibrium)” คือ ดุลยภาพที่เกิดจากการเลือกใช้กลยุทธ์ทางที่ดีที่สุดของผู้เล่นแต่ละฝ่าย เมื่อต่างฝ่ายต่างมองการตัดสินใจของอีกฝ่าย ในการจำลองอาจจะมีดุลยภาพมากกว่า 1 แห่ง หรืออาจจะไม่มีดุลภาพก็ได้ จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบจำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ทฤษฎีดุลยภาพของแนช เพื่อแก้ไขสภาพการจราจรที่ติดขัดให้มีความคล่องตัวมากขึ้น และใช้คอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการตัดสินใจหาช่วงเวลาการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเพื่อลดปริมาณรถติดคงเหลือทั้งระบบให้เหลือน้อยที่สุด

ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อานนท์ ศิริไทย (2554) ได้นำเสนอการประยุกต์อัลกอริทึมโดยใช้ทฤษฎีเกมร่วมกับดุลยภาพของแนช ในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระบบการตัดสินใจเลือกเวลาสัญญาณไฟจราจร (อานนท์ ศิริไทย, 2554)

ซึ่งการจำลองการจราจรเป็นแบบเรียงแถวเข้าก่อนออกก่อน (FIFO Queue) โดยสัญญาณไฟจราจรจะเป็นเสมือน Non-cooperative game และใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซอง (Poisson distribution) เป็นการสมมุติการสุ่มจากค่าเฉลี่ยของ

ปริมาณรถที่วิ่งเข้าและปริมาณรถที่วิ่งออกจากสัญญาณไฟจราจรที่กำหนด โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ดุลยภาพของแนชเปรียบเทียบกับแบบเวลาคงที่ เพื่อหาเวลาสัญญาณไฟเขียวและไฟแดงที่ทำให้มีปริมาณรถติดคงเหลือทั้งระบบน้อยที่สุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจร ผลการทดลองพบว่าการควบคุมสัญญาณไฟจาราจรแบบดุลยภาพของแนช มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบเวลาคงที่ 20 %

Alvarez, Poznyak, and Malo (2008) ได้นำเสนอการควบคุมปัญหาการจราจรในเขตเมืองโดยใช้ทฤษฎีเกมร่วมกับแบบจำลองของวิธีมาร์คอฟ-เชน (Markov chain model) และดุลยภาพของแนช เพื่อใช้แก้ปัญหาการควบคุมสัญญาณไฟจราจร เปรียบเทียบกับกระบวนการแก้ปัญหาแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติอย่างง่าย การควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจรแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ และหลักการจำลองของมาร์คอฟ-เชน ศึกษาพฤติกรรมจากเวลาหนึ่งไปอีกเวลาหนึ่ง เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาจุดสมดุลของระบบโดยใช้ดุลยภาพของแนช พบว่าสามารถลดจำนวนรถติดได้ร้อยละ 26.45 เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติอย่างง่าย โดยประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยเกมการไหลของการจราจร (Flow average traffic game)

Yu and Faldini (2004) นำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับระบบการจราจรแบบเครือข่าย (Traffic network) ที่มีความสลับซับซ้อนของระบบ นำมาประยุกต์ใช้ในทฤษฎีเกมโดยเปรียบเทียบถนนแต่ละเส้นทางเหมือนมีผู้เล่นหลาย ๆ คน (Multi-Agents Systems : MAS) โดยใช้วิธีการหาดุลยภาพของแนช และการวัดประสิทธิภาพของพาเรโต (Pareto efficiency) เพื่อหาจุดสมดุลของระบบ การจำลองระบบการจราจรแบบเครือข่ายนี้เปรียบเสมือนมีการแข่งขันของถนนหลายๆ เส้นทางที่เชื่อมถึงกัน โดยใช้การจำลองแบบไม่มีการร่วมมือกัน (Non-Cooperative) เป็นการประยุกต์จำนวนถนนแต่ละเส้นทางเหมือนมีผู้เล่นหลายๆ พบว่าใช้วิธีดุลยภาพของแนชร่วมกับการวัดประสิทธิภาพของพาเรโต เป็นการแก้ปัญหาที่ดีกว่าวิธีอื่นๆ และเหมาะที่จะนำมาจำลองเพื่อนำไปการประยุกต์ใช้งานจริงต่อไป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพื้นที่ ณ สี่แยกถนนศรีจันทร์ตัดกับถนนหน้าเมืองซึ่งเป็นบริเวณที่กำลังประสบกับปัญหาการจราจรติดขัดขั้นวิกฤต พื้นที่ดังกล่าวเป็นเสมือนจุดศูนย์กลางของจังหวัดขอนแก่นมีเส้นทางเชื่อมต่อไปยังสถานที่สำคัญหลายแห่ง อีกทั้งมีผลกระทบจากการเปิดให้บริการของห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ เกิดการเติบโตทางเศรษฐกิจและที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัดอย่างกว้างขวางในบริเวณใกล้เคียง ทำให้เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีปัญหาการจราจรติดขัดของจังหวัดขอนแก่นอย่างมาก ดังนั้นจึงควรมีการวิเคราะห์เพื่อประเมินทางเลือกในการแก้ปัญหาจราจร เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินทาง การจัดการระบบการจราจร และการเพิ่มขึ้นของปริมาณจราจรในอนาคตอย่างเร่งด่วน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวคิดสำคัญในการพัฒนาระบบจำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ดุลยภาพของแนช เพื่อแก้ปัญหาระบบสัญญาณไฟจราจรบริเวณสี่แยกถนนศรีจันทร์ตัดกับถนนหน้าเมือง โดยนำแบบจำลองระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้งานกับสภาพการจราจรจริง โดยระบบจำลองที่สร้างขึ้นเป็นระบบการควบคุมสภาพการจราจรบนถนนวิ่งทางเดียว การทำงานของระบบจะเป็นการนำข้อมูลเข้าสู่ระบบการจำลอง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้จากการสำรวจข้อมูลจากสภาพการจราจรจริงเพื่อให้

เสมือนสถานการณ์จริงมากที่สุด จากนั้นจะทำการประมวลผลเพื่อหาช่วงเวลาการควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้มีปริมาณรถติดคงเหลือรวมทั้งระบบน้อยที่สุดตามความเหมาะสมกับสภาพการจราจรนั้นๆ และทำการทดสอบประสิทธิภาพระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ดุลยภาพของแนชที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบเวลาคงที่ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ลดการเกิดปัญหาการจราจรและแก้ไขสภาพการจราจรที่ติดขัดให้มีความคล่องตัวมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบจำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ทฤษฎีดุลยภาพของแนชแก้ไขสภาพการจราจรที่ติดขัดให้มีความคล่องตัวมากขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับสภาพการจราจรจริงต่อไปได้

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบจำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยทฤษฎีดุลยภาพของแนชกับการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบเวลาคงที่

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การจำลองระบบสัญญาณไฟจราจร

การสร้างแบบจำลองระบบสัญญาณไฟจราจร ณ สี่แยกถนนศรีจันทร์ตัดกับถนนหน้าเมือง ใช้ข้อมูลจากเหตุการณ์จริงจากการสำรวจข้อมูลปริมาณยานพาหนะบนโครงข่ายถนนในพื้นที่เขตผังเมืองจังหวัดขอนแก่น ในช่วงเวลาชั่วโมงเร่งด่วนตอนเช้า (07.00 - 10.00 น.) ในวันราชการ (จันทร์-ศุกร์) ให้คนขับรถทดสอบสามารถขับแซงรถคันอื่นในกระแสจราจรและรถคันอื่นสามารถขับแซงรถทดสอบได้ด้วย เพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของโครงข่ายถนน ทำการจดบันทึกปริมาณจราจรทุกๆ 15 นาที และสำรวจซ้ำอย่างน้อย 2 รอบ/สัปดาห์ (พนกฤษณ คลังบุญครอง/และคณะ, 2551) จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ดุลภาพของแนชเปรียบเทียบกับการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบเวลาคงที่ โดยวัดจาก การคำนวณจำนวนรถติดรวมทั้งหมดในสี่แยกสัญญาณไฟแดงในแต่ละรอบของสัญญาณไฟจราจร

จากการศึกษาสภาพจราจรมีรถยนต์หลายประเภท เช่น รถจักรยานยนต์, รถยนต์ส่วนบุคคล, รถบรรทุกขนาดเล็ก, รถบัส, รถบรรทุกขนาดใหญ่ เป็นต้น ในการศึกษานี้ได้แปลงยานพาหนะทุกประเภท ให้เป็นหน่วย Passenger Car Unit (PCU) ซึ่งเป็นค่าสภาพความคล่องตัวของรถแต่ละประเภทเทียบกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปตามสภาพถนน และสภาพภูมิประเทศ ดังตารางที่ 1

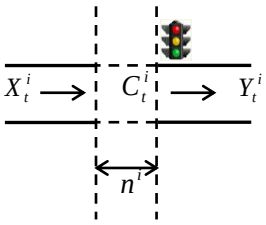
ตารางที่ 1 หน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล

ประเภทของยานพาหนะ	PCU
รถจักรยานยนต์	0.33
รถยนต์ส่วนบุคคล	1.00
รถบรรทุกกลางถึงขนาดใหญ่	1.75
รถประจำทาง	2.25

(ที่มา: พนกฤษณ คลังบุญครอง/และคณะ, 2551)

รูปแบบการเคลื่อนที่ของจำนวนยานพาหนะตามระบบสัญญาณไฟจราจร สามารถจำแนกรูปแบบของการปล่อยยานพาหนะได้หลายรูปแบบ ในงานวิจัยนี้จะใช้รูปแบบการปล่อยแบบทีละแยก จะไม่นำการเลี้ยวซ้ายมาพิจารณา ซึ่งเหมาะสำหรับสี่แยกที่มีการจราจรติดขัด เนื่องจากปริมาณยานพาหนะมีความหนาแน่นในทุกเส้นทางการจราจร จึงทำให้จำเป็นต้องมี

การปล่อยแบบทีละแยก เพื่อเป็นการระบายยานพาหนะให้ได้มากที่สุด และกำหนดให้การควบคุมไฟจราจรมีสัญญาณไฟ 2 สี คือ สัญญาณไฟสีเขียว และสัญญาณไฟสีแดง โดยให้จำนวนรถที่วิ่งเข้า-ออก จากสัญญาณไฟจราจร มีลักษณะการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเป็นแบบการเข้าก่อนจะต้องออกก่อน (First In – First Out Queue, FIFO) (พลเทพ เลิศวรวนิช, 2553) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 2 การเคลื่อนที่ของรถตามระบบสัญญาณไฟจราจร(อานนท์ ศิริไทย, 2554)

จากภาพที่ 2 กำหนดให้มีจำนวนรถวิ่งเข้าถนนเส้นที่ i ณ เวลา t (X_t^i), จำนวนรถวิ่งออกถนนเส้นที่ i ณ เวลา t (Y_t^i), ปริมาณรถติดสะสมบนถนนเส้น i ณ เวลา t (C_t^i) และกำหนดให้ในแต่ละรอบมีปริมาณรถสะสมสูงสุดบนถนนเส้น i (n^i) มีค่าตามที่กำหนด ถ้าปริมาณรถติดสะสม (C_t^i) มีมากกว่าปริมาณรถสะสมสูงสุด (n^i) ที่กำหนดให้ปริมาณรถติดสะสม (C_t^i) มีค่าเท่ากับปริมาณรถสะสมสูงสุดเสมอ โดย

n^i คือ ปริมาณรถสะสมสูงสุดบนถนนเส้นที่ i

C_t^i คือ ปริมาณรถของถนนเส้นที่ i ณ เวลา t

X_t^i คือ อัตรารถที่วิ่งเข้าในหนึ่งรอบสัญญาณไฟของถนนเส้นที่ i ณ เวลา t

Y_t^i คือ อัตรารถที่วิ่งออกในหนึ่งรอบสัญญาณไฟของถนนเส้นที่ i ณ เวลา t

$C_{(t,G)}^i$ คือ ปริมาณรถหลังสัญญาณไฟเขียวของถนนเส้นที่ i ณ เวลา t

$C_{(t,R)}^i$ คือ ปริมาณรถหลังเกิดสัญญาณไฟแดงของถนนเส้นที่ i ณ เวลา t

S_t^i คือ ปริมาณรถวิ่งผ่านไฟเขียวถนนเส้นที่ i ณ เวลา t

t คือ เวลาการของการเกิดสัญญาณไฟจราจร โดยกำหนดให้ $t \in Z^+, t \geq 0$ ดังนั้น

การจำลองจังหวะสัญญาณไฟจราจรทางแยกแบบสัญญาณไฟจราจรบนสี่แยกทั่วไป โดยจำนวนรถบนถนนเส้นที่ i ณ เวลา t สามารถคำนวณได้จาก (อานนท์ ศิริไทย, 2554)

1. ปริมาณรถหลังเกิดสัญญาณไฟสีเขียวแบบทั่วไป คือ

$$C_{(t+1,G)}^i = \begin{cases} n^i & : \ X_{(t,G)}^i + C_t^i - Y_{(t,G)}^i > n^i \\ X_{(t,G)}^i + C_t^i - Y_{(t,G)}^i & : \ 0 < X_{(t,G)}^i + C_t^i - Y_{(t,G)}^i \leq n^i \end{cases} \quad \ldots.1$$

จากสมการที่ 1 ปริมาณรถหลังเกิดสัญญาณไฟเขียว $(C_{(t+1,G)}^i)$ หาได้จากปริมาณรถที่วิ่งเข้าสู่สัญญาณไฟเขียวบนถนนเส้นที่ i $(X_{(t,G)}^i)$ รวมกับปริมาณรถติดคงเหลือก่อนเกิดสัญญาณไฟเขียวบนถนนเส้นที่ i (C_t^i) ลบด้วยปริมาณรถที่วิ่งออกหลังเกิดสัญญาณไฟเขียวบนถนนเส้นที่ i $(Y_{(t,G)}^i)$ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณรถสะสมสูงสุดบนถนนเส้นที่ i (n^i) ; $[(X_{(t,G)}^i + C_t^i - Y_{(t,G)}^i) \leq n^i]$

2. ปริมาณรถหลังเกิดสัญญาณไฟสีแดงแบบทั่วไป คือ

$$C_{(t+1,R)}^i = \begin{cases} n^i & : \ X_{(t,R)}^i + C_t^i > n^i \\ X_{(t,R)}^i + C_t^i & : \ 0 < X_{(t,R)}^i + C_t^i \leq n^i \end{cases} \quad \ldots. 2$$

จากสมการที่ 2 ปริมาณรถหลังเกิดสัญญาณไฟสีแดง $(C^i_{(t+1,R)})$ หาได้จากปริมาณรถที่วิ่งเข้าสู่สัญญาณไฟแดงบนถนนเส้นที่ i $(X^i_{(t,R)})$รวมกับปริมาณรถติดคงเหลือก่อนเกิดสัญญาณไฟแดงบนถนนเส้นที่ i $(C^i_{(R,t-1)})$ โดยขณะเกิดสัญญาณไฟแดงไม่มีรถวิ่งออกจากสัญญาณไฟจราจร $(Y^i = 0)$ และมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณรถสูงสุดบนถนนเส้นทางที่ i (n^i) $[(X^i_{(t,R)} + C^i_t) \le n^i]$

3. ปริมาณรถติดรวมบนถนนเส้นที่ i ณ เวลา t+1

- กรณีถนนเริ่มจากสัญญาณไฟแดง

$$C^i_{(t+1)} = C^i_{(t+1,G)} \quad \text{....3}$$

- กรณีถนนเริ่มจากสัญญาณไฟเขียว

$$C^i_{(t+1)} = C^i_{(t+1,R)} \quad \text{....4}$$

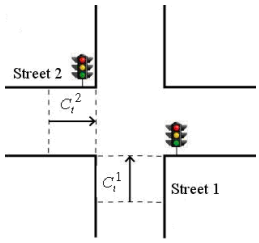
4. ปริมาณรถวิ่งผ่านไฟเขียวบนถนนเส้นที่ i ณ เวลา t

$$S^i_t = Y^i_{(t,G)} \quad \text{....5}$$

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบสัญญาณไฟจราจรบนสี่แยกถนนวิ่งทางเดียว(One-Way) อย่างง่ายเพื่อใช้ในการพัฒนาการศึกษาระบบสัญญาณไฟจราจรแบบสามทางแยก, แบบสี่แยกวิ่งสวนทางกัน และแบบสี่แยกที่ปล่อยรถทีละด้านต่อไป

2. ระบบสัญญาณไฟจราจรบนสี่แยกถนนวิ่งทางเดียว (One-way)

ระบบสัญญาณไฟจราจรบนสี่แยกถนนวิ่งทางเดียวเป็นระบบสัญญาณไฟจราจรอย่างง่าย โดยที่ถนนแต่ละเส้นต้องการให้มีปริมาณรถติดคงเหลือน้อยสุด (C^i_t) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 3 ระบบสัญญาณไฟจราจรในสี่แยกถนนวิ่งทางเดียว (อานนท์ ศิริไทย, 2554)

เนื่องจากถนนแต่ละเส้นต้องเลือกกลยุทธ์ในการกำหนดเวลาสัญญาณไฟเขียว (t^i_G) และเวลาสัญญาณไฟแดง (t^i_R) กำหนดให้

T = เวลาในหนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจร

t^i_R = เวลาของสัญญาณไฟแดงบนถนนเส้นที่ i

t^i_G = เวลาของสัญญาณไฟเขียวบนถนนเส้นที่ i

โดยที่ เวลาในหนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจร จะได้

$$T = t^i_R + t^i_G \quad \text{....6}$$

3. การประยุกต์ใช้ดุลยภาพของแนชสำหรับการควบคุมสัญญาณไฟจราจร

3.1 วัตถุประสงค์สมการเป้าหมาย(Objective function) และความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในการหาปริมาณรถติดสะสมของถนนเส้นที่ 1 (ทางหลัก) และถนนเส้นที่ 2 (ทางรอง)

3.1.1 ปริมาณรถสะสมของเส้นที่ 1 (ทางหลัก) ณ เวลา t (C^1_t)

$$C^1_t = [X^1_G + C^1_{(G,t-1)} - Y^1] + [X^1_R + C^1_R] \quad \text{.... 7}$$

เมื่อ ปริมาณรถสะสมของเส้นทางหลัก (C^1_t) คือ ผลรวมของปริมาณรถขณะเกิดไฟเขียว $[X^1_G + C^1_{(G,t-1)} - Y^1]$ และปริมาณรถขณะเกิดไฟแดง $[X^1_R + C^1_R]$ โดย

3.1.1.1 ปริมาณรถขณะเกิดสัญญาณไฟเขียว คือ ปริมาณรถที่วิ่งเข้าสู่สัญญาณไฟเขียว (X^1_G) รวมกับปริมาณรถที่คงเหลือก่อนเกิดสัญญาณไฟเขียว $(C^1_{(G,t-1)})$ ลบด้วยปริมาณรถที่วิ่งออกหลังเกิดสัญญาณไฟเขียว (Y^1)

3.1.1.2 ปริมาณรถขณะเกิดสัญญาณไฟแดง คือ ปริมาณรถที่วิ่งเข้าสู่สัญญาณไฟแดง (X_R^1) รวมกับปริมาณรถที่คงเหลือหลังเกิดสัญญาณไฟแดง (C_R^1) โดยขณะเกิดสัญญาณไฟแดงไม่มีรถวิ่งออกจากสัญญาณไฟจราจร $(Y^1 = 0)$

3.1.2 ปริมาณรถสะสมของเส้นที่ 2 (ทางรอง) ณ เวลา t (C_t^2) ระบบสัญญาณไฟจราจรถนนเส้นทางรองมีลักษณะคล้ายกับระบบสัญญาณไฟจราจรถนนเส้นทางหลัก จะได้

$$C_t^2 = [X_G^2 + C_{(G,t-1)}^2 - Y^2] + [X_R^2 + C_R^2] \quad \text{..... 8}$$

เมื่อ ปริมาณรถสะสมของเส้นทางรอง (C_t^2) คือ ผลรวมของปริมาณรถขณะเกิดไฟเขียว $[X_G^2 + C_{(G,t-1)}^2 - Y^2]$ และปริมาณรถขณะเกิดไฟแดง $[X_R^2 + C_R^2]$ โดย

3.1.2.1 ปริมาณรถขณะเกิดสัญญาณไฟเขียว คือ ปริมาณรถที่วิ่งเข้าสู่สัญญาณไฟเขียว (X_G^2) รวมกับปริมาณรถที่คงเหลือก่อนเกิดสัญญาณไฟ เขียว $(C_{(G,t-1)}^2)$ ลบด้วยปริมาณรถที่วิ่งออกหลังเกิดสัญญาณไฟเขียว (Y^2)

3.1.2.2 ปริมาณรถขณะเกิดสัญญาณไฟแดง คือ ปริมาณรถที่วิ่งเข้าสู่สัญญาณไฟแดง (X_R^2) รวมกับปริมาณรถที่คงเหลือหลังเกิดสัญญาณไฟแดง (C_R^2) โดยขณะเกิดสัญญาณไฟแดงไม่มีรถวิ่งออกจากสัญญาณไฟจราจร $(Y^2 = 0)$

3.1.3 ทำการหาปริมาณรถคงเหลือทั้งระบบบนถนนเส้นทางหลักรวมกับถนนเส้นทางรองให้มีปริมาณรถติดคงเหลือน้อยที่สุดโดยการหา $\underset{t_G^i}{Min}\ C_t$ ในแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจร โดยที่

$$(C_t = C_t^1 + C_t^2) \quad \text{.... 9}$$

ปริมาณรถติดคงเหลือรวมทั้งระบบในหนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจร (C_t) เท่ากับผลรวมของปริมาณรถสะสมของเส้นทางหลัก (C_t^1) และปริมาณรถสะสมของเส้นทางรอง (C_t^2) โดยถนนแต่ละเส้นต้องการให้มีปริมาณรถติดคงเหลือน้อยที่สุดหลังจากเกิดสัญญาณไฟเขียว ดังสมการที่ 9

ในการประยุกต์ใช้ระบบจุดดุลยภาพของแนช เพื่อทำการหาเวลาสัญญาณไฟจราจรในแต่ละรอบ ที่ทำให้มีจำนวนรถติดคงเหลือรวมน้อยที่สุด $\underset{t_G^i}{Min}\ C_t$ ในแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจร จากผลรวมของปริมาณรถสะสมบนถนนเส้นทางหลัก (C_t^1) และ ปริมาณรถสะสมบนถนนเส้นทางรอง (C_t^2) ในรอบสัญญาณไฟจราจรบนสี่แยกถนนวิ่งทางเดี่ยว จะได้สมการ

$$\underset{t_G^i}{Min}\ C_t = C_t^1 + C_t^2 \quad \text{....10}$$

3.2 เงื่อนไข (Constraints) ของกลยุทธ์ (*P*) ปริมาณรถสะสมบนถนนเส้นทางหลักและถนนเส้นทางรอง

3.2.1 ปริมาณรถที่วิ่งเข้าสู่สัญญาณไฟเขียว (X_G^1) รวมกับปริมาณรถที่คงเหลือก่อนเกิดสัญญาณไฟเขียว $(C_{(G,t-1)}^1)$ ลบด้วยปริมาณรถที่วิ่งออกหลังเกิดสัญญาณไฟเขียว (Y^1) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณรถสูงสุด (n^1) บนถนนเส้นทางหลัก $([X_G^1 + C_{(G,t-1)}^1 - Y^1] \le n^1)$

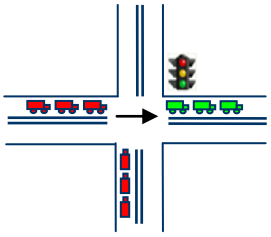
3.2.2 ปริมาณรถที่วิ่งเข้าสู่สัญญาณไฟแดง (X_R^1) รวมกับปริมาณรถที่คงเหลือก่อนเกิดสัญญาณไฟแดง $(C_{(R,t-1)}^1)$ โดยขณะเกิดสัญญาณไฟแดงไม่มีรถวิ่งออกจากสัญญาณไฟจราจร $(Y^1 = 0)$ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณรถสูงสุดบนถนนเส้นทางหลัก (n^1) ; $[(X_R^1 + C_{(R,t-1)}^1) \le n^1]$

3.2.3 เมื่อเส้นทางหลักเกิดสัญญาณไฟเขียว, เส้นทางรองต้องเกิดสัญญาณไฟแดง

3.2.4 กำหนดให้ระบบสัญญาณไฟจราจรเป็นแบบสี่แยกถนนวิ่งทางเดียว (one-way) โดยไม่มีรถสวนทางกัน

3.2.5 กำหนดให้ปริมาณรถวิ่งเข้าสู่สัญญาณไฟเขียวบนถนนเส้นทางหลักเท่ากับปริมาณรถวิ่งเข้าสู่สัญญาณไฟแดงบนถนนเส้นทางหลัก $(X_G^1 = X_R^1)$

3.2.6 แปลงหน่วยรถยนต์ทุกประเภทเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (PCU) และปล่อยสัญญาณไฟเขียวให้รถวิ่งออกทีละด้าน ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเคลื่อนที่ของรถหลังปล่อยสัญญาณไฟเขียวให้รถวิ่งออกทีละด้าน

3.2.7 ในการควบคุมสัญญาณไฟเขียวและสัญญาณไฟแดงเท่ากับ 80 วินาที ต่อ 1 รอบเวลาสัญญาณไฟจราจร

3.2.8 เวลาขั้นต่ำของการเกิดสัญญาณไฟเขียวในแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจรบนถนนเส้นทางหลักและเส้นทางรองจะต้องไม่น้อยกว่า 10 วินาที (เพื่อให้รถมีเวลาในการเคลื่อนตัวออกจากสัญญาณไฟจราจรรอบนั้น ๆ ได้สะดวก)

3.3 เงื่อนไขในการหาเวลาสัญญาณไฟจราจรโดยการหาจุดสมดุลของแนช

3.3.1 ในการหาค่า $\underset{t_G^i}{Min}\ C_t$ ถ้าผลต่างของปริมาณรถติดคงเหลือบนถนนเส้นทางหลักกับถนนเส้นทางรอง มีค่าผลต่างกันน้อยที่สุดหรือมีค่าผลต่างเท่ากับศูนย์ $(C_t^1 = C_t^2)$ จะทำให้ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

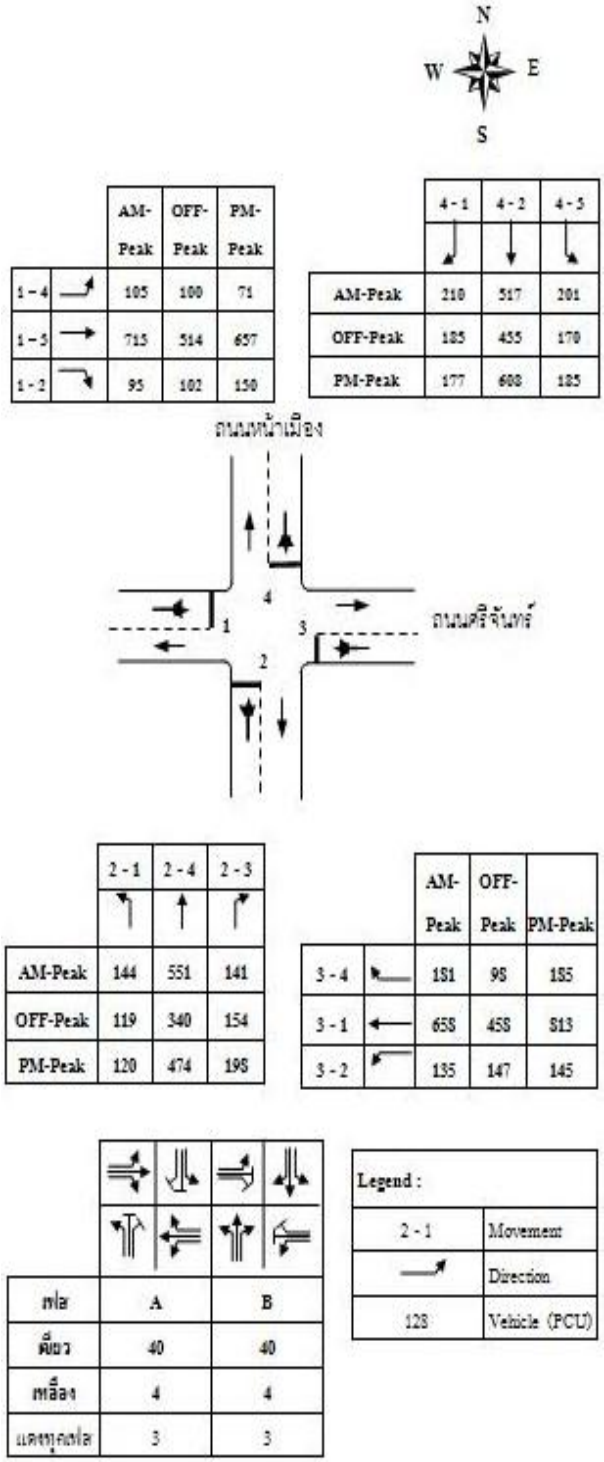
4. ระบบการตัดสินใจเลือกเวลาสัญญาณไฟจราจร

นำหลักการและแนวคิดของวิธีการหาจุดดุลยภาพของแนชมาใช้ในการออกแบบระบบสัญญาณไฟจราจรบนสี่แยกถนนวิ่งทางเดียว โดยให้มีรถติดคงเหลือน้อยที่สุดในหนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจร โดยมีขั้นตอนการออกแบบระบบ ให้สภาวการณ์ของกลยุทธ์ (*P*) เป็นเซตคำตอบ $\{t_G^1, t_G^2\}$ ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ดังภาพที่ 1

ตัวอย่างระบบการตัดสินใจเลือกเวลาสัญญาณไฟจราจรจากภาพที่ 1 กำหนดให้หนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจรเท่ากับ 80 วินาที ถ้าถนนเส้นที่ 1 และถนนเส้นที่ 2 มีปริมาณรถจำนวน 30 และ 50 คัน ตามลำดับ ระบบดุลยภาพของแนช จะทำการคำนวณหาค่าเวลาสัญญาณไฟเขียวบนถนนเส้นที่ 1 และถนนเส้นที่ 2 (t_G^1, t_G^2) จะได้ t_G^1 = 35 วินาที , t_G^2 = 45 วินาที เพื่อให้มีจำนวนรถติดคงเหลือรวมทั้งระบบของถนนเส้นที่ 1 และถนนเส้นที่ 2 เหลือน้อยที่สุดและมีการปรับเปลี่ยนเวลาสัญญาณไฟจราจรตามปริมาณรถที่วิ่งเข้ารวมกับปริมาณรถคงเหลือเพื่อคำนวณหาค่าเวลาสัญญาณไฟเขียวในรอบสัญญาณไฟจราจรนั้น ๆ ต่อไป

5. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาตามแนวสี่แยกถนนศรีจันทร์ตัดกับถนนหน้าเมือง เป็นเสมือนจุดศูนย์กลางของเมือง มีเส้นทางเชื่อมต่อไปยังสถานที่สำคัญหลายแห่งทำให้เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีปัญหาการจราจรติดขัดขั้นวิกฤตของจังหวัดขอนแก่นในปัจจุบัน ทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูลปริมาณยานพาหนะในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเช้า เวลา 07.00-10.00 น. โดยทำการสำรวจในวันราชการ (จันทร์-ศุกร์) โดยการจดบันทึกทุกๆ 15 นาที และสำรวจซ้ำอย่างน้อย 2 รอบ/สัปดาห์



	AM-Peak	OFF-Peak	PM-Peak
1 - 4	105	100	71
1 - 3	715	514	657
1 - 2	95	102	150

	4 - 1	4 - 2	4 - 3
AM-Peak	210	517	201
OFF-Peak	185	455	170
PM-Peak	177	608	185

	2 - 1	2 - 4	2 - 3
AM-Peak	144	551	141
OFF-Peak	119	340	154
PM-Peak	120	474	198

	AM-Peak	OFF-Peak	PM-Peak
3 - 4	181	98	185
3 - 1	658	458	813
3 - 2	135	147	145

ภาพที่ 5 แบบจำลองสี่แยกถนนศรีจันทร์ตัดกับถนนหน้าเมือง (พนกฤษณ คลังบุญครอง/และคณะ,2551)

หมายเหตุ :

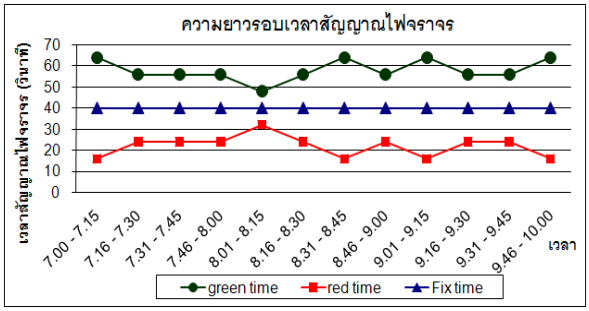
ระบบสัญญาณไฟ : ประเภทกำหนดเวลาคงที่ (Fixed Time Signal) เวลาที่เปิดใช้ : 06:00 - 22:00 น. (ช่วงเวลาอื่นเปิดใช้สัญญาณไฟกระพริบ) ควบคุมระบบโดยเจ้าหน้าที่ตำรวจ : มี (ช่วงเช้า 07:00 - 08:00 น. ช่วงกลางวัน ไม่มี ช่วงเย็น 15:00 - 17:00 น.) ในการทดลอง กำหนดให้การควบคุมสัญญาณไฟจราจรมีสัญญาณไฟ จราจร 2 สี คือ สัญญาณไฟสีเขียว และสัญญาณไฟสีแดง

ผลการวิจัย

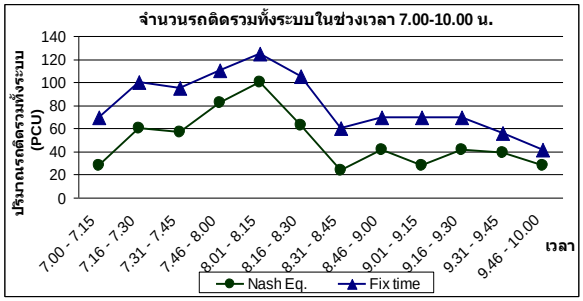
การทดลองระบบสัญญาณไฟจราจรโดยการประยุกต์ใช้อัลกอริทึม Nash Equilibrium เปรียบเทียบกับระบบเวลาคงที่ในระบบสัญญาณไฟจราจรบนสี่แยกถนนวิ่งทางเดี่ยว กำหนดให้ 1. การควบคุมเวลาสัญญาณไฟจราจรแบบดุลภาพของแนช และ 2. การควบคุมเวลาสัญญาณไฟจราจรแบบเวลาคงที่(Fix Time) โดยมีเวลาในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรใน 1 รอบ เท่ากับ 80 วินาที เท่ากัน

จากภาพที่ 5 ผลการสำรวจข้อมูลปริมาณยานพาหนะบนถนนศรีจันทร์ตัดกับถนนหน้าเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น ทำการจดบันทึกปริมาณจราจรทุกๆ 15 นาที โดยเริ่มต้นกำหนดให้ปริมาณรถทั้งสองฝั่งเป็นฝั่งละศูนย์คัน และมีค่าเฉลี่ยของอัตรารถที่วิ่งเข้าในหนึ่งรอบสัญญาณไฟบนถนนเส้นที่ 1 ณ เวลา t (x_t^1) เท่ากับ 217 คัน, อัตรารถที่วิ่งออกในหนึ่งรอบสัญญาณไฟบนถนนเส้นที่ 1 ณ เวลา t (y_t^1) เท่ากับ 911 คัน, อัตรารถที่วิ่งเข้าในหนึ่งรอบสัญญาณไฟบนถนนเส้นที่ 2 ณ เวลา t (x_t^2) เท่ากับ 168 คัน และอัตรารถที่วิ่งออกในหนึ่งรอบสัญญาณไฟบนถนนเส้นที่ 2 ณ เวลา t (y_t^2) เท่ากับ 836 คัน (พนกฤษณ คลังบุญครอง/และคณะ, 2551) จากข้อมูลข้างต้นเป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ในช่วง

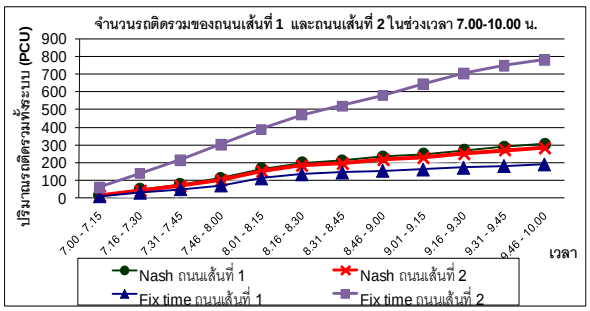
ชั่วโมงเร่งด่วนตอนเช้า โดยแปลงยานพาหนะทุกประเภท ให้เป็นหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car Unit, PCU) (พนกฤษณ คลังบุญครอง/และคณะ, 2551) ซึ่งใช้เป็นข้อมูลปริมาณรถวิ่งเข้าและปริมาณรถวิ่งออกจากสี่แยกสัญญาณไฟจราจร ได้ผลการทดลองเป็นกราฟความยาวรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรและกราฟปริมาณรถติดรวม ดังภาพที่ 6, 7 และภาพที่ 8 ตามลำดับ ดังนี้



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบความยาวรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรแบบ Nash Equilibrium กับแบบเวลาคงที่



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบปริมาณรถติดรวมทั้งระบบแบบ Nash Equilibrium กับแบบเวลาคงที่ช่วงเวลา 7.00-10.00 น.



ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบจำนวนรถติดบนถนนเส้นที่ 1 และถนนเส้นที่ 2 แบบ Nash Equilibrium กับแบบเวลาคงที่

อภิปรายผล

จากผลการทดลองเปรียบเทียบความยาวรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรในปริมาณรถที่วิ่งเข้าเท่ากันทั้ง 2 ระบบ จากภาพที่ 6 พบว่า 1. การทดลองเปรียบเทียบเวลาของสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ระบบดุลยภาพของแนช ปรับเปลี่ยนเวลาสัญญาณไฟเขียวแปรผันตรงตามปริมาณรถติดคงเหลือทั้งระบบตามความเหมาะสมในทุกๆ รอบสัญญาณไฟจราจร และ 2. การควบคุมแบบเวลาคงที่ มีเวลาสัญญาณไฟเขียวเท่ากับเวลาสัญญาณไฟแดง คือ ฝั่งละ 40 วินาที

จากภาพที่ 7 เปรียบเทียบปริมาณรถติดรวมทั้งระบบ ระหว่างการใช้ทฤษฎีดุลยภาพของแนชกับแบบเวลาคงที่ ในช่วงเวลา 7.00-10.00 น. พบว่าการควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ดุลยภาพของแนชสามารถควบคุมปริมาณรถทั้งระบบให้มีปริมาณรถติดคงเหลือในแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจรน้อยกว่าแบบเวลาคงที่ ซึ่งไม่มีการแปรผันหรือเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของรถหรือตัวแปรใดๆ และค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณรถติดรวมทั้งระบบ การควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยใช้แบบดุลยภาพของแนช มีค่าเฉลี่ยผลต่างน้อยกว่าแบบเวลาคงที่ประมาณร้อยละ 35.44 หรือการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบดุลยภาพของแนชมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบเวลาคงที่ 35.44%

และจากภาพที่ 8 เห็นได้ว่าการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบดุลยภาพของแนชบนถนนเส้นที่ 1 และถนนเส้นที่ 2 มีปริมาณรถติดคงเหลือของแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจรต่างกันน้อยมาก จึงส่งผลให้ระบบสัญญาณไฟจราจรมีประสิทธิภาพมากเช่นกัน ส่วนการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบเวลาคงที่บน

ถนนเส้นที่ 1 มีปริมาณรถติดคงเหลือแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจรน้อยมาก แต่ในถนนเส้นที่ 2 มีปริมาณรถติดคงเหลือแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจรสูงมาก จึงทำให้เกิดปัญหาการรอสัญญาณไฟเขียวบนถนนเส้นที่ 2 เป็นเวลานาน และยังเสียเวลาการเดินทางด้วย

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาระบบสัญญาณไฟจราจรและการประยุกต์ใช้ดุลภาพของแนช ในการแก้ไขปัญหาระบบสัญญาณไฟจราจรบริเวณสี่แยกถนนศรีจันทร์ตัดกับถนนหน้าเมือง โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบดุลยภาพของแนชกับแบบเวลาคงที่ เพื่อหาเวลาในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้มีปริมาณรถติดคงเหลือรวมทั้งระบบในแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจรน้อยที่สุด ซึ่งทดลองใช้กับสัญญาณไฟจราจรบนสี่แยกถนนวิ่งทางเดียวบนโครงข่ายถนนในพื้นที่เขตผังเมืองจังหวัดขอนแก่น ในช่วงเวลา 7.00-10.00 น. จากการศึกษาสภาพจราจรมีรถยนต์หลายประเภทจึงทำการแปลงหน่วยรถยนต์ประเภทต่างๆ เป็นหน่วยเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car Equivalent unit, PCU) และจดบันทึกปริมาณจราจรทุกๆ 15 นาที (พนกฤษณ คลังบุญครอง/และคณะ, 2551) กำหนดให้เวลาสัญญาณไฟจราจรรวมเท่ากับ 80 วินาทีต่อหนึ่งรอบเวลาสัญญาณไฟจราจร โดยเลือกเวลาสัญญาณไฟจราจรจากปริมาณรถติดคงเหลือในแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจร และปริมาณรถวิ่งออกจากสัญญาณไฟจราจรในแต่ละรอบของการคำนวณ พบว่า

1. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบดุลยภาพของแนช มีการปรับเปลี่ยนเวลาสัญญาณไฟเขียวแปรผันตรงตามปริมาณรถติดคงเหลือของระบบตามความเหมาะสม ในทุก ๆ รอบสัญญาณไฟจราจร และปริมาณรถติดคงเหลือบนถนนเส้นที่ 1 และถนนเส้นที่ 2 ของแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจรต่างกันน้อยมาก จึงมีผลให้ระบบสัญญาณไฟจราจรมีประสิทธิภาพมากเช่นกัน

2. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบเวลาคงที่ไม่มีการแปรผันหรือเปลี่ยนแปลงเวลาสัญญาณไฟจราจรต่อปริมาณของรถ หรือตัวแปรใดๆ ในการควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจร พร้อมทั้งบนถนนเส้นที่ 1 และถนนเส้นที่ 2 มีปริมาณรถติดคงเหลือในแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจรต่างกันมาก จึงมีผลให้เสียเวลาการรอสัญญาณไฟเขียวนาน และยังเกิดปัญหามลภาวะทางอากาศตามมาด้วย

ดังนั้นการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบ Nash Equilibrium สามารถควบคุมปริมาณรถติดทั้งระบบให้มีปริมาณคงเหลือในแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจรน้อยกว่าแบบเวลาคงที่เสมอ และค่าเฉลี่ยผลต่างปริมาณรถติดรวมทั้งระบบแบบ Nash Equilibrium มีค่าน้อยกว่าแบบเวลาคงที่ประมาณร้อยละ 35.44

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ยังไม่ได้ทำการเปรียบเทียบกับการควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ทฤษฎีอัลกอริทึมแบบอื่น ๆ หากมีผู้สนใจสามารถนำไปพัฒนาต่อและศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่นได้ เช่น ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม(Genetic Algorithms) การค้นหาแบบต้องห้าม(Tabu Search Algorithms) แบบฝูงมด(Ant Colony Optimization Algorithms) แบบรังผึ้ง(Bees Algorithms) เป็นต้น อีกทั้งในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการจำลองระบบสัญญาณไฟจราจรในสี่แยกถนนวิ่งทางเดียวเท่านั้น เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพและมีความคล่องตัวมากขึ้น ควรมีการทดลองกับระบบ

สัญญาณไฟจราจรของทางแยกแบบต่าง ๆ เช่น สามทางแยกแบบวิ่งทางเดียว สี่แยกแบบวิ่งสวนทางกัน เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

เจษฎา พจน์ชพรกุล, อานันตยา วุฒิธนากุล. (2553). **แบบจำลองระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัจฉริยะ**. สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พนกฤษณ คลังบุญครอง และคณะ. (2551). **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแผนแม่บทและศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรม เศรษฐกิจ และผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นเพื่อก่อสร้างระบบขนส่งมวลชนเมืองขอนแก่น**. เทศบาลนครขอนแก่น องค์การบริการส่วนจังหวัดขอนแก่นร่วมกับศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พลเทพ เลิศวรวนิช. (2553). **การออกแบบจังหวะสัญญาณไฟจราจรบนทางหลวง.วพ**. สำนักวิจัยและพัฒนางานทางกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. 2553(283): 1-40. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2547. โครงการศึกษาการจัดทำแผนแม่บทด้านการจราจรและขนส่ง

อานนท์ ศิริไทย. (2554). **การควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ทฤษฎีเกม**. วิศวกรรมศาสตร

I. Alvarez, A. Poznyak and A. Malo. (2007). **Urban Traffic Control Problem Via a Game Theory Application**. Proceedings of the 46th IEEE Conference on Decision and Control New Orleans, LA, U.S.A.. 2007: 2957 - 2961.

Yu, J., Faldini, E. (2004). **A Game Theoretic Approach to Traffic Flow Control (Multi-Agent Systems: Paper Project)**. Master in Artificial Intelligence, Katholieke Universiteit Leuven, Facilteit Toegepaste Wetemschappen, Specialized advance studies, May 2004.