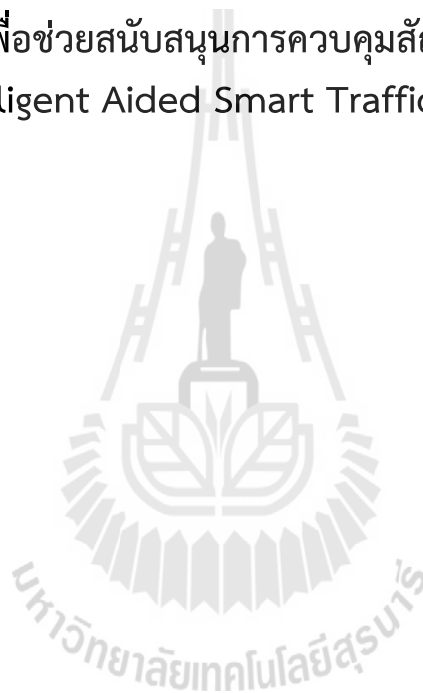




รายงานการวิจัย

การใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อช่วยสนับสนุนการควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัจฉริยะ
(Artificial Intelligent Aided Smart Traffic Light Control)



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อช่วยสนับสนุนการควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัจฉริยะ
(Artificial Intelligent Aided Smart Traffic Light Control)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ ทองทา

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นายปัญญา หันตุลา

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557-2558

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มิถุนายน 2559

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในการสนับสนุนงบประมาณวิจัย ปีงบประมาณ 2557-2558 และขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มทส ในการช่วยเหลือในการติดตั้งตัวตรวจจับยานพาหนะ (Loop Detector) รูปทรงกลมและอุปกรณ์บันทึกข้อมูลการจราจร บัดนี้งานวิจัยได้สำเร็จลุล่วงแล้ว คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัย
มิถุนายน 2559



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีทำนายอัตราการไหลของการจราจร (Traffic Flow) โดยใช้วิธีปัญญาประดิษฐ์รูปแบบเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากสภาพการจราจรจริงภายในตัวเมืองนครราชสีมา มาใช้สำหรับฝึกสอนและวัดผลการทำนาย แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบมีอยู่ 3 แบบ คือ แบบ 1 วันโดยนำเอาข้อมูลจาก 1 วันของหลายๆ สัปดาห์มาใช้ฝึกสอน แบบ 5 วันโดยอาศัยข้อมูลที่แยกแยะความแตกต่างของแต่ละวันตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์ และแบบไม่แยกวันโดยจะรวมเอาข้อมูลของวันจันทร์ถึงวันศุกร์เรียงต่อกันไปเป็นข้อมูลชุดเดียวกัน ผลจากการทดสอบพบว่าแบบจำลองจากข้อมูลจากหลายวันทั้งแบบแยกแยะวันและแบบหลายวันเรียงต่อกันให้ผลการทำนายที่แม่นยำกว่า เมื่อนำไปทดสอบกับข้อมูลจริง งานวิจัยนี้ยังได้คำนวณหาค่ารอบเวลาสัญญาณไฟจราจร (Cycle Time) ที่เหมาะสมจากอัตราการไหลของการจราจรที่ได้จากแบบจำลองไป และเมื่อทดลองปรับเปลี่ยนระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรจากค่าที่เหมาะสมไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ส่งผลให้ค่าความล่าช้าของเวลาเฉลี่ย (Average Delay Time) ของทั้งระบบมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของการจราจรที่ถูกต้องจากแบบจำลอง ส่งผลต่อการออกแบบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร ทั้งนี้เพื่อให้ยานพาหนะสามารถผ่านแยกนั้นๆ ไปด้วยระยะเวลาที่น้อยที่สุด



Abstract

This research presents traffic flow prediction by using artificial neural network. The real data from Nakhon Ratchasima province are used for training and evaluating. There are 3 different neural network models. The first model uses only 1 day data from several weeks for training. The second model uses data from Monday to Friday with identification of days. The third model uses all data from Monday to Friday without day's identifications. The results show that using data from many days has better performance than using data from only one day. This research also shows that the optimum cycle time is very importance. Either increase or decrease the cycle time from the optimum will result in increasing the average delay. This confirms that the accurate traffic flow is vital for minimizing traffic delay.



สารบัญ

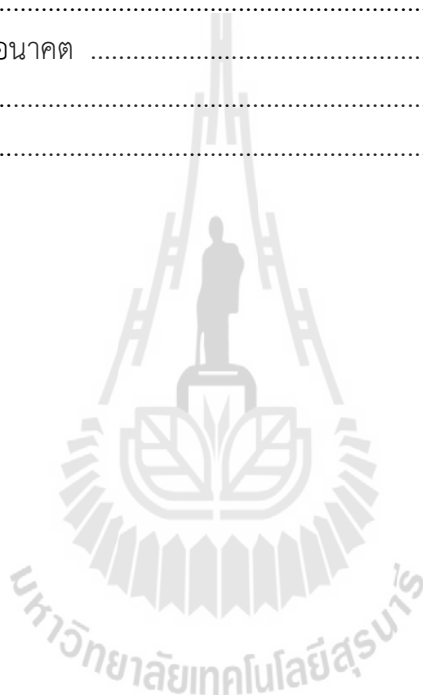
	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น	2
1.5 วิธีการดำเนินงาน	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและปริทัศน์วรรณกรรม.....	4
2.1 บทนำ	4
2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	5
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสัญญาณไฟจราจร	6
2.3.1 การควบคุมสัญญาณไฟ	8
2.3.2 คุณลักษณะของผู้ใช้รถใช้ถนน	9
2.3.3 คุณลักษณะของยานพาหนะ	12
2.4 ทฤษฎีการวิเคราะห์การออกแบบสัญญาณไฟจราจร	18
2.4.1 ทิศทางการเคลื่อนที่ (Movement)	18
2.4.2 จังหวะสัญญาณไฟ (Signal Phase)	18
2.4.3 เวลาแสดงไฟเขียว (Displayed Green Time)	19
2.4.4 ระยะเวลาไฟเขียว (Inter green Time)	19
2.4.5 เวลาเปลี่ยนเฟส (Phase Change Times)	19
2.4.6 รอบเวลาสัญญาณไฟ (Signal Cycle)	19
2.4.7 ลักษณะของการเคลื่อนที่ (Movement Characteristics)	20
2.4.8 เวลาสูญเสียเปล่าของทางแยก (Intersection Lost Time)	24
2.4.9 อัตราการไหลอิ่มตัวของจราจรและรอบเวลาสัญญาณไฟ	24
ที่เหมาะสม (Saturation Flow and Optimum Cycle Time)	
2.4.10 ความล่าช้า (Delay)	25
2.4.11 ระดับการให้บริการ	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.12 ความยาวของแถวคอย (Queue)	26
2.5 ระบบตัวตรวจวัด (Detectors)	26
2.5.1 ค่าความไวในการตรวจวัดยานพาหนะ	26
2.5.2 วงจรการทำงาน	28
2.6 เครือข่ายประสาทเทียม (Neural network)	28
บทที่ 3 การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการสร้างแบบจำลองโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม	31
3.1 บทนำ	31
3.2 การวัดปริมาณและการจัดเก็บข้อมูลการจราจร	32
3.2.1 ลักษณะทางกายภาพของแยกการจราจรที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง	33
3.2.2 ลักษณะทิศทางการจราจรและสัญญาณไฟจราจร	33
3.2.3 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะสำหรับการวัดปริมาณการจราจร	35
3.2.4 รูปแบบของข้อมูลที่นำมาพิจารณาในการสร้างแบบจำลอง	52
3.3 การจัดรูปแบบข้อมูลและพารามิเตอร์ของการจราจรให้มีความเหมาะสม	53
กับการสร้างแบบจำลอง	
3.3.1 พารามิเตอร์สำหรับการสร้างแบบจำลองจราจร	54
3.4 การออกแบบเครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network)	57
3.5 รูปแบบของการเรียนรู้สำหรับการสร้างและการทดสอบแบบจำลอง	59
3.5.1 ข้อมูลสำหรับการเรียนรู้และการทดสอบผลของเครือข่ายประสาทเทียม	59
3.5.2 การทดสอบผลและค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง	59
3.5.3 รูปแบบการสร้างแบบจำลอง	61
บทที่ 4 การสร้างแบบจำลองการจราจรและการทดสอบผล	66
4.1 บทนำ	66
4.2 การสร้างแบบจำลองการจราจรด้วยเครือข่ายประสาทเทียม	66
4.2.1 การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการ 1 Week Data Training	67
4.2.2 การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการฝึกสอนแบบ Day of Week Data	74
4.2.3 การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการ All Data	83
4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบแบบจำลอง	89
4.3.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม	89
4.3.2 วิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)	96
4.4 การประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง	104
4.4.1 การประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง 1 Week Data	104
เพื่อออกแบบสัญญาณไฟจราจร	
4.4.2 การประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง Day of Week Data.....	105
เพื่อออกแบบสัญญาณไฟจราจร	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.3 การประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง All Data.....	105
เพื่อออกแบบสัญญาณไฟจราจร	
4.5 การออกแบบสัญญาณไฟจราจรด้วยโปรแกรม SIDRA INTERSECTION	105
4.5.1 ขั้นตอนการออกแบบสัญญาณไฟจราจร	106
4.5.2 ผลการคำนวณระยะเวลารอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม	111
4.5.3 ผลกระทบของสัญญาณไฟที่ส่งผลต่อสภาพการจราจร.....	114
บทที่ 5 บทสรุป.....	122
5.1 สรุปผลงานวิจัย	122
5.2 แนวทางวิจัยต่อไปในอนาคต	124
รายการอ้างอิง	125
ประวัติผู้เขียน	127



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ขนาดของยานพาหนะมาตรฐานที่ใช้สำหรับออกแบบ โดย AASHTO.....	13
ตารางที่ 2.2 อัตราการเร่งยานพาหนะแต่ละประเภท	14
ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการลื่นไถลที่ใช้ในการออกแบบ	16
ตารางที่ 2.4 ระบบการจัดจังหวะสัญญาณไฟในแต่ละทิศทาง การเคลื่อนที่	19
(Phase Movement Matrix)	
ตารางที่ 3.1 การกำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอนของแต่ละ Layer	20
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแบบจำลอง 1 Week Data ในทิศทาง IN TOWN.....	71
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบแบบจำลอง 1 Week Data ในทิศทาง OUT TOWN.....	71
ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ย RMSE ของการทดสอบวันจันทร์ถึงวันศุกร์ของแบบจำลอง 1 Week Data ..	72
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data ในทิศทาง IN TOWN.....	78
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data ในทิศทาง OUT TOWN	78
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย RMSE ของการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data	79
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data สำหรับข้อมูลของวันที่ไม่ได้อยู่.....	81
ในการฝึกสอนในทิศทาง IN TOWN	
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data สำหรับข้อมูลของวันที่ไม่ได้อยู่.....	82
ในการฝึกสอนในทิศทาง OUT TOWN	
ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ย RMSE ของการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data สำหรับข้อมูล	82
ของวันที่ไม่ได้อยู่ในการฝึกสอน	
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบแบบจำลอง All Data ในทิศทาง IN TOWN	87
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบแบบจำลอง All Data ในทิศทาง OUT TOWN	87
ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ย RMSE ของแบบจำลอง All Data	87
ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RMSE สำหรับ 3 แบบจำลอง (IN TOWN).....	95
ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RMSE สำหรับ 3 แบบจำลอง (OUT TOWN).....	95
ตารางที่ 4.15 ค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง 1 Week Data	98
ตารางที่ 4.16 ค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง Day of Week Data	100
ตารางที่ 4.17 ค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง All Data.....	102
ตารางที่ 4.18 ระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรในแต่ละเฟส	112
ตารางที่ 4.19 ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรม SIDRA INTERSECTION	112
ในทิศทางเข้าตัวเมืองนครราชสีมา (IN TOWN)	
ตารางที่ 4.20 ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรม SIDRA INTERSECTION	112
ในทิศทางออกนอกตัวเมืองนครราชสีมา (OUT TOWN)	
ตารางที่ 4.21 เปรียบเทียบระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรก่อนและหลังการคำนวณ.....	113
ตารางที่ 4.22 ประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรที่ออกแบบเมื่อทดสอบกับข้อมูลการจราจรจริง.....	113
ตารางที่ 4.23 ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของแยกการจราจรก่อนและหลังการปรับปรุงสัญญาณไฟ	113

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่4.24 ผลการทดสอบผลกระทบของสัญญาณไฟเขียวในทิศทาง IN TOWN	115
ตารางที่4.25 ผลการทดสอบผลกระทบของสัญญาณไฟเขียวในทิศทาง IN TOWN (ต่อ).....	116
ตารางที่4.26 ผลการทดสอบผลกระทบของสัญญาณไฟเขียวในทิศทาง OUT TOWN.....	117
ตารางที่4.27 ผลการทดสอบผลกระทบของสัญญาณไฟเขียวในทิศทาง OUT TOWN (ต่อ)	118



สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1	ขอบเขตการมองเห็น 12
รูปที่ 2.2	ตัวอย่างการจัดจ้งหวะสัญญาณไฟและทิศทางการเคลื่อนที่ 18
รูปที่ 2.3	แผนภาพแสดงรอบเวลาสัญญาณไฟ 20
รูปที่ 2.4	แบบจำลองปริมาณการจราจรอิมตัวและไฟเขียวประสิทธิผลของ Akcelik 22
รูปที่ 2.5	แบบจำลองปริมาณการจราจรอิมตัวและไฟเขียวประสิทธิผลของ Webster 22
รูปที่ 2.6	แผนภาพเวลาสัญญาณไฟ (Signal Timing Diagram) 23
รูปที่ 2.7	แสดงลำดับความสูงที่เหมาะสมในการตรวจวัด 27
รูปที่ 2.8	แสดงผลการกระทำระหว่างยานพาหนะกับขดลวดเหนี่ยวนำ 27
รูปที่ 2.9	ลักษณะวงจรพื้นฐานของส่วนเครื่องตรวจจับยานพาหนะแบบรูปเหนี่ยวนำ 28
รูปที่ 2.10	เครือข่ายประสาทเทียมแบบไปข้างหน้า 30
รูปที่ 3.1	โครงสร้างของระบบการสร้างแบบจำลองการจราจรโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม ... 32
รูปที่ 3.2	ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงลักษณะทางกายภาพของแยกสำโรงจันทร์ 33
รูปที่ 3.3	แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะทั้งหมด 34
รูปที่ 3.4	สัญญาณไฟเขียวสำหรับทิศทางเข้าตัวเมืองจังหวัดนครราชสีมา (IN TOWN) 34
รูปที่ 3.5	สัญญาณไฟเขียวสำหรับทิศทางออกนอกตัวเมืองจังหวัดนครราชสีมา (OUT TOWN) 35
รูปที่ 3.6	ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะ 36
รูปที่ 3.7	แสดงการกำหนดตำแหน่งที่จัด Loop Detector ที่แยกสำโรงจันทร์ (1) 37
รูปที่ 3.8	แสดงการกำหนดตำแหน่งที่จัด Loop Detector ที่แยกสำโรงจันทร์ (2) 37
รูปที่ 3.9	แสดงการกำหนดตำแหน่งที่จัด Loop Detector ที่แยกสำโรงจันทร์ (3) 38
รูปที่ 3.10	แสดงการกำหนดตำแหน่งที่จัด Loop Detector ที่แยกสำโรงจันทร์ (4) 38
รูปที่ 3.11	เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นเส้นตรง (1) 39
รูปที่ 3.12	เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นเส้นตรง (2) 39
รูปที่ 3.13	เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นเส้นตรง (3) 40
รูปที่ 3.14	เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นเส้นตรง (4) 40
รูปที่ 3.15	เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นวงกลม (1)..... 41
รูปที่ 3.16	เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นวงกลม (2)..... 41
รูปที่ 3.17	เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นวงกลม (3)..... 42
รูปที่ 3.18	เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นวงกลม (4)..... 42
รูปที่ 3.19	การวางสายไฟและคั้นสภาพพื้นผิวถนน (1) 43
รูปที่ 3.20	การวางสายไฟและคั้นสภาพพื้นผิวถนน (2) 43
รูปที่ 3.21	การวางสายไฟและคั้นสภาพพื้นผิวถนน (3) 44
รูปที่ 3.22	การวางสายไฟและคั้นสภาพพื้นผิวถนน (4) 44
รูปที่ 3.23	การวางสายไฟและคั้นสภาพพื้นผิวถนน (5) 45
รูปที่ 3.24	การวางสายไฟและคั้นสภาพพื้นผิวถนน (6) 45

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.25	การเดินสายไฟเข้าสู่ตู้ควบคุมระบบไฟจราจร (1)..... 46
รูปที่ 3.26	การเดินสายไฟเข้าสู่ตู้ควบคุมระบบไฟจราจร (2)..... 46
รูปที่ 3.27	การเดินสายไฟเข้าสู่ตู้ควบคุมระบบไฟจราจร (3)..... 47
รูปที่ 3.28	การเดินสายไฟเข้าสู่ตู้ควบคุมระบบไฟจราจร (4)..... 47
รูปที่ 3.29	การเดินสายไฟเข้าสู่ตู้ควบคุมระบบไฟจราจร (5)..... 48
รูปที่ 3.30	การเดินสายไฟเข้าสู่ตู้ควบคุมระบบไฟจราจร (6)..... 48
รูปที่ 3.31	การติดตั้งตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติ (1)..... 49
รูปที่ 3.32	การติดตั้งตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติ (2)..... 49
รูปที่ 3.33	การติดตั้งตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติ (3)..... 50
รูปที่ 3.34	การติดตั้งตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติ (4)..... 50
รูปที่ 3.35	ลักษณะการทำงานของระบบสัญญาณไฟจราจรและการเก็บข้อมูล 51
รูปที่ 3.36	รูปแบบการเก็บข้อมูล 53
รูปที่ 3.37	ชุดตัวอย่างสำหรับกรเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียม 55
รูปที่ 3.38	โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการสร้างแบบจำลองการจราจร 57
รูปที่ 3.39	กราฟแสดงค่า Performance การเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียม 58
รูปที่ 3.40	แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการจราจรจริง 60
รูปที่ 3.41	ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง 60
รูปที่ 3.42	ข้อมูลสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมใน 1 วันสำหรับวิธี 1 Week Data . 62
รูปที่ 3.43	รูปแบบชุดข้อมูลการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการ 1 Week Data 63
รูปที่ 3.44	รูปแบบชุดข้อมูลการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการ 64
	Day of Week Data Training ก่อนการแยกชุดข้อมูล
รูปที่ 3.45	รูปแบบชุดข้อมูลการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการ 64
	Day of Week Data Training หลังการแยกชุดข้อมูล
รูปที่ 3.46	รูปแบบชุดข้อมูลการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการ All Data 65
รูปที่ 4.1	ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วยเครือข่ายประสาทเทียม 67
รูปที่ 4.2	รูปแบบและข้อมูลสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม 68
	ของแบบจำลอง 1 Week Data
รูปที่ 4.3	กราฟค่า Performance การฝึกสอนของเครือข่ายประสาทเทียม 68
	ของแบบจำลอง 1 Week Data
รูปที่ 4.4	กราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริงของ..... 69
	แบบจำลอง 1 Week Data (IN TOWN)
รูปที่ 4.5	ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง 1 Week Data (IN TOWN)..... 70
รูปที่ 4.6	กราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริงของ..... 71
	แบบจำลอง 1 Week Data (OUT TOWN)

สารบัญภาพ (ต่อ)

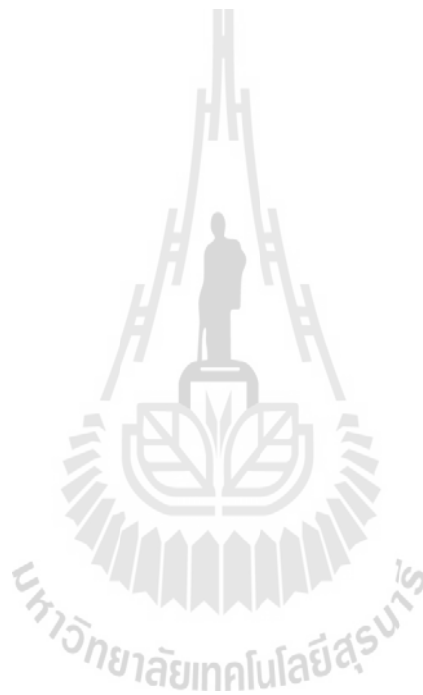
	หน้า
รูปที่ 4.7	ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง 1 Week Data (OUT TOWN)..... 71
รูปที่ 4.8	ค่า RMSE ของการทดสอบแบบจำลอง 1 Week Data (IN TOWN)..... 72
รูปที่ 4.9	ค่า RMSE ของการทดสอบแบบจำลอง 1 Week Data (OUT TOWN) 73
รูปที่ 4.10	ค่าเฉลี่ย RMSE ของแต่ละวันในสัปดาห์ของแบบจำลอง 1 Week Data 73
รูปที่ 4.11	รูปแบบและข้อมูลสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม ด้วยวิธีการ Day of Week Data Training 74
รูปที่ 4.12	กราฟค่า Performance ของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม ด้วยวิธีการ Day of Week Data Training 75
รูปที่ 4.13	กราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริงของ..... 76 แบบจำลอง Day of Week Data ของวันจันทร์ (IN TOWN)
รูปที่ 4.14	ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง Day of Week Data ของวันจันทร์ (IN TOWN).... 76
รูปที่ 4.15	กราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริงของ..... 77 แบบจำลอง Day of Week Data ของวันจันทร์ (OUT TOWN)
รูปที่ 4.16	ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง Day of Week Data ของวันจันทร์ 77 (OUT TOWN)
รูปที่ 4.17	แสดงค่า RMSE ของผลการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data 79 (IN TOWN)
รูปที่ 4.18	แสดงค่า RMSE ของผลการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data..... 80 (OUT TOWN)
รูปที่ 4.19	ค่าเฉลี่ยของ RMSE ของแบบจำลอง Day of Week Data 80
รูปที่ 4.20	รูปแบบและข้อมูลสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม..... 84 ด้วยวิธีการ All Data Training
รูปที่ 4.21	กราฟค่า Performance การฝึกสอนของเครือข่ายประสาทเทียมของ 84 แบบจำลอง All Data Training
รูปที่ 4.22	กราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริงของ..... 85 แบบจำลอง All Data (IN TOWN)
รูปที่ 4.23	ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง All Data (IN TOWN)..... 85
รูปที่ 4.24	กราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริง 86 ของแบบจำลอง All Data (OUT TOWN)
รูปที่ 4.25	ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง All Data (OUT TOWN) 86
รูปที่ 4.26	แสดงค่า RMSE ของผลการทดสอบแบบจำลอง All Data (IN TOWN)..... 88
รูปที่ 4.27	แสดงค่า RMSE ของผลการทดสอบแบบจำลอง All Data (OUT TOWN)..... 88
รูปที่ 4.28	ค่าเฉลี่ยของ RMSE ของแบบจำลอง All Data 89
รูปที่ 4.29	เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันจันทร์ (IN TOWN) 90

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.30	เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันจันทร์ (OUT TOWN)..... 90
รูปที่ 4.31	เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันอังคาร (IN TOWN) 91
รูปที่ 4.32	เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันอังคาร (OUT TOWN)..... 91
รูปที่ 4.33	เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันพุธ (IN TOWN)..... 92
รูปที่ 4.34	เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันพุธ (OUT TOWN) 92
รูปที่ 4.35	เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันพฤหัสบดี (IN TOWN)..... 93
รูปที่ 4.36	เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันพฤหัสบดี (OUT TOWN) 93
รูปที่ 4.37	เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันศุกร์ (IN TOWN)..... 94
รูปที่ 4.38	เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันศุกร์ (OUT TOWN)..... 94
รูปที่ 4.39	แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RMSE ของ 3 แบบจำลอง 95
รูปที่ 4.40	กราฟค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง 1 Week Data (IN TOWN) 97
รูปที่ 4.41	กราฟค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง 1 Week Data (OUT TOWN) 97
รูปที่ 4.42	ค่า Regression ของแบบจำลอง 1 Week Data..... 99
รูปที่ 4.43	กราฟค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง Day of Week Data 99 (IN TOWN)
รูปที่ 4.44	กราฟค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง Day of Week Data..... 100 (OUT TOWN)
รูปที่ 4.45	เปรียบเทียบค่า Regression ของแบบจำลอง Day of Week Data 101
รูปที่ 4.46	กราฟค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง All Data (IN TOWN)..... 101
รูปที่ 4.47	กราฟค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง All Data (OUT TOWN)..... 102
รูปที่ 4.48	ค่า Regression ของแบบจำลอง All Data..... 103
รูปที่ 4.49	เปรียบเทียบค่าความถดถอย (Regression) ของทั้ง 3 แบบจำลอง 103
รูปที่ 4.50	หน้าต่างโปรแกรม SIDRA INTERSECTION ที่ใช้ในการออกแบบ 106
รูปที่ 4.51	แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของการจราจรสำหรับแยกสี่ทางจราจร 106
รูปที่ 4.52	ลักษณะทางกายภาพของแยกการจราจรสำหรับการออกแบบสัญญาณไฟจราจร 107 ด้วยโปรแกรม SIDRA INTERSECTION
รูปที่ 4.53	แสดงการกำหนดปริมาณการจราจรในแต่ละทิศทาง 108
รูปที่ 4.54	แสดงความเร็วของยานพาหนะและความยาวของถนนของแยกการจราจร..... 108
รูปที่ 4.55	แสดงการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะโดยไม่ทำให้เกิด 109 ความขัดแย้ง
รูปที่ 4.56	แสดงการกำหนดสัญญาณไฟเขียว 109
รูปที่ 4.57	กำหนดระยะเวลาสูงสุดของสัญญาณไฟเขียว 110
รูปที่ 4.58	แสดงระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ได้จากโปรแกรม SIDRA INTERSECTION 110
รูปที่ 4.59	แสดงค่าประสิทธิภาพของการคำนวณสัญญาณไฟจราจร 111

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.60 แสดงผลค่า Average Delay เมื่อทำการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจร.....	119
รูปที่ 4.61 แสดงผลค่า Queue เมื่อทำการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจร	119
รูปที่ 4.62 แสดงผลค่า Stop Rate เมื่อทำการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจร.....	120



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

d_p	=	ระยะทางการรับรู้และการตอบสนอง (เมตร)
v	=	ความเร็วของยานพาหนะขณะนั้น (กม. / ชม.)
t	=	ระยะเวลาการรับรู้และตอบสนอง หรือค่าเวลา PIEV (วินาที)
d_a	=	ระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ไปขณะที่เร่งความเร็ว (เมตร)
a	=	อัตราเร่งความเร็ว (กม./ชม./วินาที)
d_b	=	ระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ไประหว่างการชะลอความเร็ว (เมตร)
u	=	ความเร็วสุดท้ายหลังจากชะลอความเร็ว (กม. / ชม.)
f	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการลื่นไถล (Coefficient of skidding friction)
C	=	รอบเวลาสัญญาณไฟ (วินาที)
I	=	เวลาระหว่างไฟเขียว (วินาที)
G	=	เวลาแสดงไฟเขียว (วินาที)
g	=	เวลาไฟเขียวประสิทธิภาพ (วินาที)
ff'	=	เวลาเกี่ยวพันของไฟเหลือง (วินาที)
ee'	=	เวลาที่สูญเสียบจากการออกรถ (วินาที)
l	=	เวลาสูญเสียของการเคลื่อนที่ (วินาที)
b	=	เวลาล่าช้าของการสิ้นสุด (วินาที)
L	=	เวลาสูญเสียเปล่าของทางแยก
x_i	=	ความจุอิมิตัวของเฟส i
UD	=	ความล่าช้าเฉลี่ยสม่ำเสมอต่อคัน (วินาที/คัน)
x	=	ความจุความอิมิตัว
c	=	ความจุของทางแยก (คัน/ชั่วโมง)
i	=	ตำแหน่งของ Sample Data
n	=	จำนวนของ Sample Data ทั้งหมด

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันการจราจรได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงเป็นปัญหาที่สำคัญสำหรับชุมชนเมืองทั่วโลกซึ่งก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆ ตามมาอย่างมากมาย เช่น ความแออัดของการจราจรก่อให้เกิดความล่าช้าในการเดินทาง เกิดมลพิษทางอากาศ ปัญหาคุณภาพชีวิตลดลง เป็นต้น การแก้ไขปัญหามาตรการจราจรอย่างง่ายที่สุด คือ การเพิ่มช่องของการจราจรให้มากขึ้น แต่ก็ไม่สามารถที่จะทำได้เสมอไปเนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่ในชุมชนเมือง ในปัจจุบันจึงมีการจัดการจราจรอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะการควบคุมสัญญาณไฟจราจรจากแยกต่างๆ ดังนั้นการควบคุมสัญญาณไฟจราจรจึงมีความสำคัญอย่างมากในการแก้ไขปัญหามาตรการจราจร ระบบการควบคุมสัญญาณไฟแบบตั้งเวลาคงที่ (Fixed Time Control) คือ ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ถูกกำหนดระยะเวลาของสัญญาณไฟในแต่ละทิศทางเอาไว้แน่นอน ข้อดีระบบนี้ คือ เป็นระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ใช้งานได้ง่ายจึงมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แต่ข้อเสียของระบบดังกล่าว คือ ไม่สามารถที่จะปรับสัญญาณไฟจราจรให้มีความสอดคล้องกับสภาพการจราจรที่เปลี่ยนแปลงไปหรือหากต้องการที่จะปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรเพื่อให้ความสอดคล้องกับสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นในปัจจุบันจำเป็นจะต้องทำการเก็บข้อมูลการจราจรใหม่ เพื่อนำมาพิจารณาในการปรับปรุงสัญญาณไฟจราจร จึงทำให้ขั้นตอนในการออกแบบและปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรมีความซับซ้อน

จากปัญหาของออกแบบและปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรแบบตั้งเวลาคงที่ที่ได้กล่าวข้างต้นในงานวิจัยนี้จะพัฒนาอัลกอริทึมในการสร้างแบบจำลองการจราจรเพื่อที่สามารถพยากรณ์ปริมาณการจราจรที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ โดยจุดประสงค์หลักเพื่อลดขั้นตอนการปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรที่ไม่จำเป็นต้องทำการเก็บข้อมูลการจราจรใหม่และสามารถนำแบบจำลองการจราจรที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรรูปแบบอื่นๆ เช่น ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ปรับเปลี่ยนตามสภาพการจราจรที่เกิดขึ้น (Adaptive Control) เป็นต้น การสร้างแบบจำลองการจราจรจะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สำหรับสร้างแบบจำลองการจราจรแยกการจราจรแบบเดี่ยว (Isolation Traffic) โดยแบบจำลองจะสามารถพยากรณ์สภาพการจราจรในช่วงระยะเวลาต่างๆ ของแต่ละวันได้

เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) หรือเอไอ (AI) คือ ความฉลาดเทียมที่สร้างขึ้นให้กับสิ่งที่ไม่มีชีวิตเพื่อเรียนรู้เกี่ยวกับกระบวนการการคิด การกระทำ การให้เหตุผล การปรับตัวหรืออนุมานการทำงานของสมอง ซึ่งการเรียนรู้ด้วยเครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เป็นรูปแบบของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่จะนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองการจราจร เครือข่ายประสาทเทียมมีความสามารถคล้ายคลึงกับระบบประสาทของสมองสิ่งมีชีวิตในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะเรื่องการเรียนรู้ในเครือข่ายซึ่งใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่ตอบสนองเชิงปรับตัวได้กับอินพุตของระบบตามกฎการเรียนรู้ของเครือนั้นๆ เครือข่ายสามารถเรียนรู้และปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้เหมือนกับระบบประสาทของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีเหมาะสมสำหรับการเรียนรู้สภาพการจราจรที่เกิดขึ้นของทุกวันและสามารถที่จะพยากรณ์สภาพการจราจรที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

การออกแบบสัญญาณไฟจราจรในงานวิจัยนี้จะอ้างอิงจากค่าการพยากรณ์ของแบบจำลองเพื่อคำนวณระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม โดยคำนวณค่าระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจร และค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องจากโปรแกรม SIDRA INTERSECTION ค่าพารามิเตอร์ที่นำมาพิจารณาในการวัดประสิทธิภาพของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร คือ ความล่าช้าเฉลี่ย (Average Delay) ค่าความยาวแถวคอย (Queue) และอัตราการหยุดสัญญาณไฟจราจร (Stop Rate) ซึ่งประสิทธิภาพของการจราจรที่ดีจะต้องมีค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 มีค่าน้อยที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษา คิดค้น และพัฒนาอัลกอริทึมในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ (Adaptive Control) เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบตั้งเวลาคงที่ โดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ในการออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมทำให้ระบบมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นจริง เพื่อช่วยลดปัญหาการจราจรคับคั่งของชุมชนเมืองได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาโครงสร้าง รูปแบบการทำงานและเก็บข้อมูลสภาพการจราจรเพื่อนำมาเป็นข้อมูลอ้างอิงของงานวิจัย

1.3.2 พัฒนาอัลกอริทึมในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร โดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

1.3.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากอัลกอริทึมที่พัฒนากับระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบเดิม

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 เก็บข้อมูลการจราจรของแยกการจราจรเดียวภายในจังหวัดนครราชสีมา

1.4.2 ใช้ข้อมูลการจราจรจริงสร้างแบบจำลองการจราจร โดยใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์

1.4.3 พัฒนาอัลกอริทึมในการสร้างแบบจำลองการจราจรโดยใช้โปรแกรม MATLAB

1.5 วิธีการดำเนินงาน

1.5.1 แนวทางการดำเนินงาน

1.5.1.1 ศึกษาโครงสร้าง การทำงานและเก็บข้อมูลการจราจร

- ดำเนินการสืบค้นผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบต่างๆ ที่ปรากฏมาก่อนแล้วจากฐานข้อมูลต่างๆ เช่น IEEE เป็นต้น
- ศึกษาการทำงานของระบบสัญญาณไฟและปริมาณการจราจรของช่วงเวลาต่างๆ ของแยกการจราจรเดียว
- เก็บข้อมูลการจราจรที่แยกการจราจรที่พิจารณา
- วิเคราะห์ และคัดกรองข้อมูลการจราจร เพื่อสร้างแบบจำลองการจราจรเดียว

1.5.1.2 นำระบบเครือข่ายประสาทเทียมเข้ามาประยุกต์ใช้

- ศึกษาโครงสร้างการทำงานของระบบเครือข่ายประสาทเทียมและหาแนวทางในการนำมาประยุกต์ใช้
- ดำเนินการสืบค้นผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองการจราจรโดยประยุกต์ใช้ระบบเครือข่ายประสาทเทียม ที่ปรากฏมาก่อนแล้วจากฐานข้อมูลต่างๆ เช่น IEEE เป็นต้น
- สร้างแบบจำลองโดยการประยุกต์ใช้งานระบบเครือข่ายประสาทเทียมด้วยโปรแกรม MATLAB
- เปรียบเทียบข้อมูลการจราจรที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริง หาค่าความผิดพลาด วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

1.5.2 ระเบียบวิธีการดำเนินงาน

- ใช้โปรแกรม MATLAB ในการสร้างอัลกอริทึมสำหรับการสร้างแบบจำลองของการจราจรโดยใช้วิธีระบบเครือข่ายประสาทเทียม

1.5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทำงาน

- อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพการจราจร
- โปรแกรม MATLAB
- คอมพิวเตอร์

1.5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดปริมาณการจราจรไว้ที่แยกสำโรงจันทร์และทำการเก็บบันทึกข้อมูล วัน เวลา ปริมาณการจราจร
- วิเคราะห์และคัดกรองข้อมูลการจราจรเพื่อสร้างแบบจำลองการจราจร

1.5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

- วิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคเฉพาะทางวิศวกรรม

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อให้ได้อัลกอริทึม แบบจำลองและรูปแบบการทำงานของระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบอัตโนมัติเพื่อช่วยแก้ไขปัญหาของสภาพการจราจร นอกจากนี้ยังได้องค์ความรู้ของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเพื่อที่จะถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับนักศึกษาและบุคคลภายนอกที่สนใจ นำไปใช้งานและการวิจัยและพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและปรัทัศน์วรรณกรรม

2.1 บทนำ

ในปัจจุบันสัญญาณไฟจราจรที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปนั้นจะเป็นแบบตั้งเวลาคงที่ (Fix time control) ซึ่งการออกแบบจะต้องมีการเก็บข้อมูลการจราจรเพื่อสามารถนำข้อมูลที่ได้มาออกแบบสัญญาณจราจรได้อย่างเหมาะสม ซึ่งข้อจำกัดของการใช้งานสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่คือ เมื่อสภาพการจราจรมีการเปลี่ยนแปลงและจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรให้มีความเหมาะสม โดยจะต้องมีการเก็บข้อมูลของแยกการจราจรอีกครั้งเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และออกแบบสัญญาณไฟจราจรใหม่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้คิดที่จะนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มาทำการสร้างแบบจำลองการจราจรของแยกการจราจรเดี่ยว เพื่อที่จะสามารถพยากรณ์ปริมาณการจราจรในอนาคตและสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์จะนำมาออกแบบสัญญาณไฟให้มีความเหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาได้

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงปรัทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบและออกแบบแบบจำลองการจราจร โดยการประยุกต์ใช้งานระบบเครือข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้ข้อมูลการจราจรที่เกิดขึ้นจริงเพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถพยากรณ์ปริมาณการจราจรในอนาคตต่อไปได้

2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยในการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์นั้นพบว่า มีการศึกษาค้นคว้ากันอย่างมากเพื่อแก้ปัญหาสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นในปัจจุบันการจากศึกษาค้นคว้าพบว่าการควบคุมสัญญาณไฟจราจรได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบตั้งเวลาคงที่ (Fix Time Control) 2) การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ (Actuate Control) โดยทั่วไปส่วนใหญ่การควบคุมสัญญาณไฟจราจรจะเป็นแบบตั้งเวลาคงที่เพราะเป็นวิธีการที่ง่าย ไม่มีความซับซ้อน และไม่มีค่าใช้จ่ายสิ้นเปลืองเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ แต่ข้อเสียของระบบตั้งเวลาคงที่คือไม่สามารถที่จะปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสมกับสภาพการจราจรที่เกิดขึ้น แต่จะมีความเหมาะสมสำหรับสภาพการจราจรที่ไม่มีความซับซ้อน ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบตั้งเวลาคงที่ (Fix Time Control) จะมีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นจะต้องอ้างอิงข้อมูลการจราจรที่เกิดขึ้นจริงเพื่อนำค่าปริมาณการจราจรที่ได้มาออกแบบหาค่าระยะเวลาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง แต่ถ้าต้องการที่จะปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรให้มีความเหมาะสมจำเป็นจะต้องทำการเก็บข้อมูลใหม่อีกครั้ง เพื่อนำมาวิเคราะห์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นการสร้างแบบจำลองการจราจร เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมาใช้วิเคราะห์และออกแบบสัญญาณไฟจราจรต่อไป ซึ่งผู้วิจัยได้สืบค้นวรรณกรรมในฐานข้อมูลงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองการจราจรโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมเพื่อนำมาอ้างอิงและประยุกต์ให้มีความเหมาะสมกับงานวิจัยนี้

ชฎานนท์ มินเสน (2548) ได้นำเสนอวิธีการพัฒนาเครื่องควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจรแบบตรวจจับยานพาหนะบนท้องถนนเพื่อตัดสินใจในการกำหนดสัญญาณไฟที่เหมาะสมที่ทางแยกเดี่ยว โดยในงานวิจัยดังกล่าวจะนำการควบคุมสัญญาณไฟจราจรมาประยุกต์ใช้งานร่วมกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ โดยสามารถปรับเปลี่ยนระบบสัญญาณไฟได้ 3 ระบบ คือ ประเภทกำหนดเวลาคงที่ (Fix time) ประเภทการควบคุมแบบมีการกระตุ้น (Sami Actuate) และประเภทกำหนดเวลาเปลี่ยนแปลงตามปริมาณจราจร (Full Actuate) ระบบการควบคุมของสัญญาณไฟจราจรจะมีการแบ่งการควบคุมตามเวลาต่างๆ ของวันตามสภาพความเหมาะสมของสภาพการจราจร จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการลดจำนวนยานพาหนะที่มารอสัญญาณไฟจราจรได้ถึง 45% เมื่อเทียบกับระบบกำหนดเวลาคงที่

Nattapon Klakhaeng (2011) นำเสนอการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ความหนาแน่นการจราจรในกรุงเทพมหานคร ซึ่งจะทำการพยากรณ์สภาพการจราจรที่จะเกิดขึ้นในอีก 30 นาที ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ คือ วันของสัปดาห์ (Day of week) ชั่วโมง (Hours of the day) นาที (Minute of the hour) หน่วยเวลาในช่วง 5 นาทีเมื่อเริ่มต้นนับจากเที่ยงคืน (Time units of five minutes start from 12:00 am) ความหนาแน่นการจราจรปัจจุบัน (Current congestion condition) ความหนาแน่นการจราจรปัจจุบันในทิศทางเข้า (Current congestion condition of the inbound road) และความหนาแน่นการจราจรปัจจุบันในทิศทางออก (Current congestion condition of the outbound road). จากผลการทดสอบแบบจำลองพบที่มีความถูกต้อง 92.1 % โดยทำการทดสอบทั้งหมด 10 แยกการจราจร จากงานวิจัยนี้สามารถนำค่าพารามิเตอร์มาประยุกต์สำหรับการสร้างแบบจำลองของผู้วิจัย ซึ่งค่าพารามิเตอร์และรูปแบบการสร้างแบบจำลองใกล้เคียงกัน

Feng Jin (2008) ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการพยากรณ์ค่าการไหลของการจราจร (Traffic Flow) ซึ่งใช้เทคนิค Multi Task Learning (MTL) ในการสร้างแบบจำลอง โดยอยู่บนพื้นฐานของเครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ที่มีการฝึกสอนแบบแพร่กลับ (Back propagation) การฝึกสอนของเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับงานวิจัยดังกล่าวจะให้ค่า Traffic Flow Rate ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาก่อนหน้า คือ $t(n-1)$ ถึง $t(n-5)$ เพื่อมาเป็นอินพุตสำหรับเครือข่ายประสาทเทียม แบบจำลองดังกล่าวจะพยากรณ์ค่า Traffic Flow Rate ที่จะเกิดขึ้น ณ เวลาปัจจุบัน $t(n)$ และเวลาในอนาคต $t(n+1)$ ข้อมูลสำหรับการฝึกสอนมีทั้งหมด 22 วันและข้อมูลสำหรับการทดสอบ 3 วัน ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่แยกออกจากกัน และนอกจากนั้นยังคำนวณค่า Root Mean Square Error (RMSE) ในการหาประสิทธิภาพของแบบจำลอง

Xiaojun Shen (2009) นำเสนอการพยากรณ์ความหนาแน่นการจราจรด้วยเครือข่ายประสาทเทียมด้วยเทคนิคการฝึกสอนแบบ LVQ Learning จากการสืบค้นงานวิจัยพบว่าในงานวิจัยดังกล่าวจะใช้ค่าพารามิเตอร์สำหรับฝึกสอน คือ ปริมาณการจราจร (Volume) ความเร็ว (Speed) และการครอบครองถนน (Occupancy)

Zhang Min (2010) นำเสนอการพยากรณ์การไหลการจราจร (Traffic Flow) ของการจราจร โดยการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายประสาทเทียมในรูปแบบเครือข่ายแบบไปข้างหน้า (Feed forward Network) ซึ่งจะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ ค่าการไหลการจราจร (Traffic Flow) และเวลาที่เกิดการไหลการจราจร อินพุตสำหรับการฝึกสอนจะมีพารามิเตอร์ Traffic Flow ที่เกิดขึ้นปัจจุบัน Traffic Flow ที่เกิดขึ้นก่อนหน้า ผลต่างของค่า Traffic Flow ปัจจุบันกับค่าก่อนหน้า และเวลาที่ใช้เก็บข้อมูล เพื่อที่จะพยากรณ์ค่า Traffic Flow ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จากงานวิจัยจะเห็นว่า ค่าเวลามีผลต่อค่าที่

จะเกิดขึ้น ข้อมูลสำหรับการทดสอบจะเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 5 นาที รวมทั้งหมด 288 ชุด ผลการทดสอบการพยากรณ์ค่า Traffic Flow มีความถูกต้องสูง

นายศิวกิจ เสรีรัตนสกุล (2007) ได้มีการศึกษาระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในจังหวัดนครราชสีมา เพื่อหาประสิทธิภาพของการจราจร จากผลการวิจัยพบว่าการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในรูปแบบเดิมยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการจราจรและปัญหามลพิษตามมา ดังนั้นในงานวิจัยดังกล่าวจึงได้ศึกษาและปรับปรุงแก้ไขสัญญาณไฟจราจรโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อคำนวณระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรของแต่ละแยกให้มีความเหมาะสม ซึ่งโปรแกรมสำหรับการออกแบบสัญญาณไฟจราจร คือ SIDRA 2.0 และ Synchrony 5.0 เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจรมากขึ้น

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสัญญาณไฟจราจร

สัญญาณไฟจราจร (Traffic Signalization) หมายถึง สัญญาณไฟสำหรับให้ผู้ใช้ทางปฏิบัติตามสัญญาณนั้น อาจเป็นสัญญาณไฟทางแยกหรือสัญญาณไฟทางข้ามหรือสัญญาณไฟกระพริบหรือสัญญาณไฟควบคุมช่องเดินรถหรือสัญญาณไฟเตือนอื่นๆ ตามข้อกำหนดกรมตำรวจเรื่องสัญญาณจราจร เครื่องหมายจราจรและความหมายของสัญญาณจราจรและเครื่องหมายจราจร ข้อ 3 เมื่อวันที่ 24 เมษายน 2522 ออกตาม พ.ร.บ. จราจรทางบกพ.ศ.2522 “สัญญาณไฟจราจร หมายถึง โคมสัญญาณไฟที่ใช้ควบคุมการจราจร มีขนาดและติดตั้งหรือทำให้ปรากฏไว้ในทาง ในลักษณะที่ทำให้ผู้ขับขี่หรือผู้ที่ต้องปฏิบัติตามสัญญาณมองเห็นได้โดยชัดเจน การติดตั้งโคมสัญญาณไฟจราจรต้องประกอบด้วยดวงโคมอย่างน้อยสามดวง โดยมีโคมสัญญาณไฟจราจรสีแดงอยู่ตอนบนหรือด้านขวาของผู้ขับขี่หรือผู้ที่ต้องปฏิบัติตามสัญญาณโคมสัญญาณไฟจราจรสีเหลืองอำพันอยู่ตอนกลาง และโคมสัญญาณไฟจราจรสีเขียวอยู่ตอนล่างหรือด้านซ้ายมือของผู้ขับขี่หรือผู้ที่ต้องปฏิบัติตามสัญญาณในบางกรณีอาจมีโคมสัญญาณไฟจราจรลูกศรเขียวประกอบได้”

สัญญาณไฟจราจร

สัญญาณไฟจราจรประกอบด้วย 3 สี คือ

- สีแดง (Red) หมายถึง การบังคับให้ยานพาหนะทุกคันหยุด
- สีเหลืองอำพัน (Amber) หมายถึง การเตือนให้ผู้ขับขี่ชะลอความเร็วและเพิ่มความระมัดระวังให้มากยิ่งขึ้นในบางครั้งให้หยุดเมื่อเห็นว่าจะไม่ปลอดภัย
- สีเขียว (Green) หมายถึง การอนุญาตให้ยานพาหนะแล่นผ่านไป

จุดประสงค์ในการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

การติดตั้งสัญญาณไฟจราจรควบคุมที่ทางแยกจะช่วยลดปัญหาการจราจรติดขัดและทำให้การจราจรไหลลื่นให้ปลอดภัยมากยิ่งขึ้น และเป็นแนวทางที่สำคัญอันหนึ่งที่ใช้ควบคุมการจราจรในโครงข่าย จุดประสงค์หลักในการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรอาจจะเป็นข้อหนึ่งข้อใดหรือหลายข้อดังต่อไปนี้

- ลดความขัดแย้งในการจราจร (TRAFFIC CONFLICTS)
- ลดความล่าช้าการจราจร
- เพิ่มความจุถนน
- ลดอุบัติเหตุ
- ลดกำลังเจ้าหน้าที่ตำรวจ
- อำนวยความสะดวกในการข้ามถนนของคนเดินเท้าและรถจักรยาน
- ให้สิทธิพิเศษแก่ยานพาหนะบางประเภทในบางโอกาส เช่น รถโดยสารสาธารณะ รถจักรยาน
- ส่งเสริมให้มีการใช้ถนนตรงตามชนิดของถนนที่กำหนดไว้ เช่น ลดจุดขัดแย้งและความล่าช้าบนถนนบางสาย เพื่อดึงดูดให้ผู้ขับขี่หันมาใช้ถนนนั้น เพื่อลดจำนวนการขับขี่ตามซอยต่างๆ ที่ผ่านพื้นที่อยู่อาศัย
- ลดความยากลำบาก และความกดดันในการขับขี่ผ่านทางแยกที่มีการจราจรหนาแน่น

ข้อดีของการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

- การจราจรเป็นไปอย่างมีระเบียบ ลดปัญหาการติดขัด
- ลดอุบัติเหตุบางชนิด เช่น การประสานงาน อุบัติเหตุของคนเดินถนน
- ให้ความปลอดภัยแก่รถทางโทในการผ่านหรือเข้าสู่ทางเอก
- เสริมความมั่นใจให้กับผู้ใช้ยานพาหนะ

ข้อเสียของการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

- ทำให้เกิดความล่าช้าบริเวณทางแยก โดยเฉพาะนอกเหนือเวลาเร่งด่วน
- เพิ่มอุบัติเหตุบางประเภท เช่น ชนด้านหลังของรถยนต์ เป็นต้น
- การติดตั้งสัญญาณไฟในบริเวณไม่เหมาะสมอาจเพิ่มความล่าช้าโดยไม่จำเป็น
- การติดตั้งสัญญาณไฟที่ระยะเวลาไม่เหมาะสมอาจสร้างความล่าช้าและความเบื่อหน่ายต่อผู้ขับขี่

การไหลอิ่มตัว (Saturation Flow)

การไหลอิ่มตัว หมายถึง ปริมาณการจราจรสูงสุดที่ผ่านเส้นหยุดที่ทางแยกไปได้ในช่วงสัญญาณไฟเขียว มีหน่วยนับเป็นปริมาณยานพาหนะต่อชั่วโมงหรือหน่วยยานพาหนะเทียบรถยนต์ส่วนบุคคล เริ่มจากการเคลื่อนที่และการเร่งความเร็วเพื่อให้ความเร็วเพิ่มขึ้นคงที่ ปริมาณการจราจรที่สามารถผ่านทางแยกส่วนหนึ่งจะเสียไปจากประสิทธิภาพของทางแยก

ปัจจัยที่ใช้พิจารณากำหนดให้มีสัญญาณไฟจราจร

1) ความเร็วของการจราจรที่คาดหวัง ปริมาณการจราจร และจำนวนคนเดินเท้าในช่วงเวลา 16 ชั่วโมง นอกจากนี้จะต้องพิจารณาถึงสัดส่วนของยานพาหนะในช่วงเวลาเร่งด่วน ความสมดุลระหว่างปริมาณการจราจรในถนนสายหลักกับปริมาณจราจรในถนนสายรอง และจุดขัดแย้ง (CONFLICT) ระหว่างรถเลี้ยวกับคนข้ามถนน

- 2) สถิติของอุบัติเหตุ (จำนวน อัตรา และคุณลักษณะ) และความสัมพันธ์ของอุบัติเหตุกับรูปแบบของพื้นที่บริเวณนั้น
- 3) ความเป็นไปได้ในการจัดรูปแบบทางแยกในลักษณะต่างๆ และแผนผังของทางแยก
- 4) ทางแยกนั้นอยู่ในพื้นที่การควบคุมสัญญาณไฟเป็นโครงข่ายหรือไม่และอยู่ใกล้กับทางแยกถัดไปมากน้อยเพียงใด

2.3.1 การควบคุมสัญญาณไฟ

การควบคุมสัญญาณไฟ มี 2 ประเภท คือ

- 1) การควบคุมสัญญาณไฟแบบเดี่ยว (Isolated Signal Control) ทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจรควบคุมสามารถที่จะทำงานได้เดี่ยวๆ ไม่ว่าจะเป็นการกำหนดสัญญาณไฟล่วงหน้า (Fixed Time Operation) หรือจัดสัญญาณไฟตามสภาพจริง การควบคุมในลักษณะนี้จะใช้ในกรณีที่ทางแยกนั้นเป็นทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจรอยู่แห่งเดียวในบริเวณนั้นหรือทางแยกอื่นๆ อยู่ห่างออกไปมากเกินกว่า 500 เมตร เป็นต้น
- 2) การควบคุมสัญญาณไฟแบบต่อเนื่อง (Linked Signal Control) บริเวณในเมืองไม่ควรใช้การควบคุมสัญญาณไฟแบบเดี่ยว ดังนั้นควรพิจารณาออกแบบสัญญาณไฟแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะให้มีประสิทธิภาพสูงสุด สัญญาณไฟแบบนี้จะเชื่อมต่อกันกับทางแยกใกล้เคียงภายใต้ระบบควบคุมสัญญาณแบบโครงข่าย UPC (Urban Traffic Control)

การใช้งานอื่นๆ ของสัญญาณไฟจราจร

สัญญาณไฟกระพริบที่เรียกว่า “WIG-WAG” ใช้ในการหยุดการจราจรในบริเวณต่างๆ เช่นทางรถไฟ บริเวณใกล้กับสนามบิน สถานีดับเพลิง และสถานีฉุกเฉินต่างๆ สัญญาณไฟนี้จะประกอบด้วยไฟแดง 2 ดวง ที่อยู่ในแนวขนานกันและกระพริบไป-มา มีไฟเหลือง 1 ดวง อยู่ตรงกลางระหว่างไฟแดงทั้งสอง ขณะที่เริ่มทำงานจะเปิดไฟเหลืองก่อนที่จะมีการเปิดไฟกระพริบสีแดง โดยทั่วไปสัญญาณนี้จะปิดไว้ตลอด จนกว่าจะมีการสั่งให้ทำงาน โดยมือหรือโดยอุปกรณ์อัตโนมัติก็ได้ ในถนนที่มีความเร็วสูง การควบคุมช่องทางจราจรแบบพิเศษและสัญญาณบอกเหตุอื่นๆ สามารถใช้เพื่อหยุดการจราจรเมื่อมีเหตุการณ์บางอย่างเกิดขึ้นและอาจจะบังคับให้เปลี่ยนช่องทาง ลดความเร็ว เตือนอันตรายหรือบังคับให้ออกที่ทางออกข้างหน้า สัญญาณอาจจะวางไว้ที่ข้างถนน หรือวางบนทั้งบนช่องทางที่ต้องการ ส่วนมากการดำเนินการแบบนี้จะใช้กับแผนจัดการจราจรตามปริมาณการจราจรซึ่งทิศทางจราจรจะเปลี่ยนไปตามชั่วโมงเร่งด่วน การเปลี่ยนทิศทางนี้จะใช้สัญญาณไฟที่ติดตั้งไว้กับโครงเหล็กที่ติดตั้งไว้เหนือช่องทางจราจรเป็นตัวบ่งบอก ในงานก่อสร้างหรือบำรุงรักษาถนนอาจจะเป็นที่ต้องใช้อุปกรณ์จราจรชั่วคราว (สามารถเคลื่อนย้ายได้) เพื่อช่วยจัดการจราจร เช่นจัดเดินรถทางเดียว เป็นต้น

หลักในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร

- 1) วงรอบเวลาในการปิด-เปิดสัญญาณไฟจราจร แต่ละรอบต้องไม่นานเกินไป โดยแต่ละรอบไม่ควรเกิน 4 นาที โดยประมาณ
- 2) การปิด-เปิดสัญญาณไฟจราจร แต่ละด้านต้องไม่นานเกินไป แต่ละด้านไม่ควรเกิน 1 นาที และไม่ต่ำกว่า 20 วินาที
- 3) การปล่อยแต่ละด้านไม่ควรข้ามจังหวะการปล่อยปกติ
- 4) การควบคุมการปิด-เปิด ต้องประสานสัมพันธ์กับแยกใกล้เคียงทุกด้าน
- 5) ควบคุมทิศทางตามความเหมาะสม เช่น เร่งระบายรถด้านเข้าเมืองในช่วงเช้าในช่วงโมงเร่งด่วน และระบายรถขาออกเมืองในช่วงเย็น

การจราจรเป็นระบบที่ค่อนข้างซับซ้อน มีองค์ประกอบหลักอยู่ 4 ส่วน ได้แก่ ผู้ใช้รถใช้ถนน (Drivers) ยานพาหนะ (Vehicles) ถนนหนทาง (Roadways) และอุปกรณ์ควบคุมการจราจร (Traffic Controls) ซึ่งปัจจัยทั้งสี่มีความเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กันจนก่อให้เกิดเป็นสภาพการจราจร จึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจในองค์ประกอบทั้งสี่อย่างลึกซึ้ง เพื่อสามารถนำความรู้ดังกล่าวไปใช้ในการออกแบบ วางแผน จัดการ ควบคุมระบบการจราจรได้อย่างเหมาะสมต่อไป

2.3.2 คุณลักษณะของผู้ใช้รถใช้ถนน

ผู้ใช้รถใช้ถนน คือคนที่เดินทางอยู่บนท้องถนนทุกคน ไม่ว่าจะเป็นผู้ขับขี่ยานพาหนะ (รถยนต์ รถมอเตอร์ไซด์ รถเมล์) ผู้โดยสาร ผู้ขับขี่จักรยาน คนเดินเท้า และคนพิการ ผู้ใช้รถใช้ถนนนี้เป็นองค์ประกอบของระบบจราจรที่มีความซับซ้อนมากที่สุด เพราะคนแต่ละคนมีความรู้ความนึกคิด ความรู้ ความพร้อม สภาพร่างกายและอารมณ์แตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล และยังคงแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงเวลาด้วย ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์ควบคุมสภาพการจราจรต่างๆ ให้ใช้งานได้อย่างเหมาะสมกับผู้ใช้รถใช้ถนนทุกคน ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ซึ่งต้องคำนึงถึงบุคคลกลุ่มต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นผู้ใหญ่ เด็ก คนชรา คนพิการ และผู้ใช้รถใช้ถนนอื่นๆ ด้วย

คุณลักษณะของผู้ใช้รถใช้ถนนที่สำคัญบางตัวถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์วิศวกรรมจราจร ได้แก่ ระยะเวลาการรับรู้และตอบสนอง (Perception and reaction time) และ visual acuity ซึ่งคุณลักษณะเหล่านี้สามารถทำการตรวจวัดได้ไม่ยากนัก สำหรับคุณลักษณะอื่นๆ เช่น ความสมบูรณ์แข็งแรงของร่างกาย การได้ยิน ความเหนื่อยล้า และสภาพจิตใจ ก็มีผลต่อการตัดสินใจของผู้ใช้รถใช้ถนนเช่นกัน แต่ปัจจัยเหล่านี้ทำการตรวจวัดได้ยาก จึงไม่ค่อยนิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์มากนัก

ระยะเวลาการรับรู้และตอบสนอง (Perception and reaction time)

การขับขี่บนท้องถนน เป็นการกระทำที่การรับรู้ทางสายตาและเสียงอย่างต่อเนื่อง โดยผู้ขับขี่จะต้องคอยสนใจอยู่ตลอดเวลา และมีปฏิกิริยาตอบสนองอย่างทันท่วงที ถ้าวิเคราะห์กันอย่างละเอียดแล้วการรับรู้และตอบสนองจะประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

- 1) การรับรู้ (Perception) - การรับรู้ว่ามีเหตุการณ์หนึ่งเกิดขึ้น
- 2) การเข้าใจหรือจำได้ (Intellection or Identification) - ผู้ขับขี่จำได้ว่าเหตุการณ์นั้นคืออะไร จากการสะสมประสบการณ์ในอดีต
- 3) การตัดสินใจ (Decision or Emotion) - ผู้ขับขี่วิเคราะห์หาวิธีการตอบสนองที่เหมาะสมกับเหตุการณ์นั้นๆ
- 4) ปฏิกริยาตอบสนอง (Reaction or Volition) - การดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งตามการตัดสินใจข้างต้นตัวอย่างเช่น ถ้าผู้ขับขี่กำลังขับรถยนต์มาถึงทางแยกสัญญาณไฟจราจรแห่งหนึ่ง ซึ่งเมื่อกำลังเข้ามาใกล้ทางแยกนั้น สัญญาณไฟได้เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดง ผู้ขับขี่เริ่มต้นจากการรับรู้ นั่นคือการมองเห็นสัญญาณไฟจราจรเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดง จำได้ว่าสัญญาณไฟสีแดงเป็นการให้สัญญาณหยุดรถ ณ เส้นหยุดรถ เพื่อให้รถยนต์จากทางด้านอื่นไปก่อน ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้ขับขี่ได้สั่งสมประสบการณ์เรื่อยมา จากนั้นจึงตัดสินใจที่จะชะลอความเร็วเพื่อหยุดรถ ณ เส้นหยุดรถ เนื่องจากคาดว่าจะไม่สามารถข้ามทางแยกได้ทันการณ์ จึงทำปฏิกริยาตอบสนอง โดยการเหยียบเบรกเพื่อชะลอรถยนต์จนรถหยุดที่เส้นหยุด

ระยะเวลาตลอดกระบวนการสี่ขั้นตอนนี้ รวมกันเรียกว่าระยะเวลาการรับรู้และตอบสนอง หรือ ค่าเวลา PIEV (ตัวย่อของขั้นตอนนี้) ซึ่งค่านี้ได้นำไปใช้ในการออกแบบด้านวิศวกรรมจราจรมากมาย จากกรณีดังกล่าวข้างต้น จึงสังเกตว่า ในขณะที่ผู้ขับขี่กำลังรับรู้และตอบสนองอยู่นั้น รถยนต์ก็ยังคงวิ่งต่อไปเรื่อยๆ ด้วยความเร็วคงที่ (เพราะกำลังรับรู้และตัดสินใจอยู่ แต่ยังไม่ได้เหยียบเบรกจริง) ซึ่งในกรณีที่ยานพาหนะใช้ความเร็วสูงหรือผู้ขับขี่บางกลุ่มที่มีเวลา PIEV มาก รถยนต์คันดังกล่าวก็จะวิ่งเป็นระยะทางอีกไกลพอสมควร จนผู้ขับขี่ไม่สามารถหยุดรถได้ทันการณ์ อาจจะทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ ระยะทางรวมที่รถยนต์กำลังวิ่งต่อเนื่องไปในขณะที่ผู้ขับขี่อยู่ในกระบวนการรับรู้และตอบสนองนั้น จะเรียกว่า ระยะทาง PIEV โดยทั่วไป ระยะทาง PIEV (ในหน่วยเมตร) มีสูตรคำนวณดังนี้

$$d_p = \frac{1}{3.6} vt \quad (2-1)$$

โดยที่	d_p	- ระยะทางการรับรู้และการตอบสนอง (เมตร)
	v	- ความเร็วของยานพาหนะขณะนั้น (กม. / ชม.)
	t	- ระยะเวลาการรับรู้และตอบสนอง หรือค่าเวลา PIEV (วินาที)

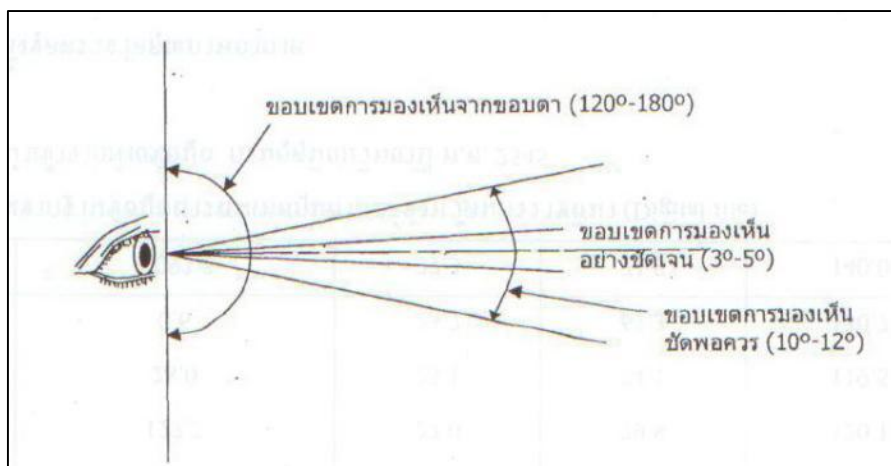
ในสภาพการณ์จราจรจริง ระยะเวลาการรับรู้และตอบสนองของแต่ละบุคคลจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ค่าดังกล่าวจะเพิ่มสูงขึ้นสำหรับเหตุการณ์ที่มีความซับซ้อน โดยปรกติแล้ว ระยะเวลาการรับรู้และตอบสนอง จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น

- อายุ
- ความล้า
- ความซับซ้อนของเหตุการณ์
- ความพิการทางกายภาพ
- การอยู่ในสภาพมีนเมา

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) ได้แนะนำให้ใช้ค่าเวลาการรับรู้และตอบสนอง (หรือค่า PIEV) เท่ากับ 2.5 วินาที ในการคำนวณระยะการเบรก หรือระยะการหยุดรถในสภาพการณ์ต่างๆ

การมองเห็นและการขับขี่

เป็นที่ทราบกันดีว่าผู้ขับขี่ต้องสามารถมองเห็นท้องถนนจึงสามารถขับขี่รถยนต์ได้ อย่างไรก็ตามที่ผ่านมามีการวิเคราะห์เกี่ยวกับรายละเอียดการขับขี่และ Visual Acuity กันมากขึ้น โดยส่วนใหญ่ในปัจจุบันการตรวจสอบสายตาในการสอบใบขับขี่ของกรมการขนส่งทางบก จะดำเนินการตรวจสอบเฉพาะความคมชัดในการมองวัตถุหยุดนิ่ง เช่น การอ่านค่าตัวเลขขนาดต่างๆ จากโปสเตอร์ที่ติดบนฝาผนัง ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว การมองวัตถุหยุดนิ่ง จะมีผลต่อการขับขี่น้อยกว่าการมองเห็นในรูปแบบอื่นๆ เช่น ความชัดเจนในการมองวัตถุเคลื่อนที่ (Dynamic visual acuity) การเห็นความใกล้ไกลของวัตถุ (Depth perception) การที่สายตากลับคืนสู่สภาพปกติหลังจากมองแสงจ้า (Glare recovery) และการมองเห็นวัตถุบริเวณขอบตา (Peripheral vision) เป็นต้น คุณลักษณะทางสายตาที่สำคัญเหล่านี้ยังไม่ได้รับการศึกษามากนัก ทั้งนี้ เพราะโดยปกติแล้วคนส่วนใหญ่ที่มีปัญหาทางด้านสายตาเหล่านี้ จะตระหนักถึงความบกพร่องของตนเอง และทำการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อให้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันอยู่แล้ว เช่น ผู้มีปัญหาทางด้านสายตากลับคืนสู่สภาพปกติหลังจากมองแสงจ้า จะต้องใช้เวลาในการคืนสภาพ ก็จะขับขี่รถยนต์ช้าลง และเพิ่มความเสี่ยงต่อการขับขี่ในเวลากลางคืน รูปที่ 2.1 แสดงขอบเขตการมองเห็นที่สำคัญสามประเภท ที่มีความสำคัญในการขับขี่ยานพาหนะ ประเภทแรกคือขอบเขตการมองเห็นอย่างชัดเจน (Field of clear or acute vision) ซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 3-5 องศาโดยรอบของแนวการมองของของตา (พื้นที่การมองเห็นจะมีลักษณะเป็น cone) ผู้ขับขี่สามารถอ่านตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ต่างๆ ในขอบเขตการมองเห็นนี้ได้อย่างชัดเจน ประเภทที่สองได้แก่ขอบเขตการมองเห็นชัดพอควร (Field of fairly clear vision) ซึ่งจะมีพื้นที่การมองเห็นกว้างกว่าการมองเห็นประเภทแรก นั่นคือครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 10-12 องศาของแนวการมองของตา ภายในขอบเขตนี้ ผู้ขับขี่สามารถระบุได้ว่าวัตถุมีสีอะไรและมีรูปร่างอย่างไร แต่ไม่สามารถอ่านตัวอักษรได้ ส่วนประเภทสุดท้าย ได้แก่ขอบเขตการมองเห็นจากขอบตา (Field of peripheral vision) ซึ่งโดยปกติ จะครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 120-180 องศาจากศูนย์กลางจากแนวการมองของสายตา ในขอบเขตการมองเห็นดังกล่าว ผู้ขับขี่ไม่สามารถบอกสีและรูปร่างของวัตถุได้ แต่สามารถรับรู้ถึงการเคลื่อนที่ของวัตถุในขอบเขตดังกล่าวได้



รูปที่ 2.1 ขอบเขตการมองเห็น

ขอบเขตการมองเห็นมีความสำคัญในการออกแบบติดตั้งป้ายจราจร สัญญาณไฟจราจร และอุปกรณ์ควบคุมการจราจรประเภทต่างๆ เช่น ในการวางป้ายเตือนที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ควรจะต้องติดตั้งที่ผู้ขับขี่สามารถมองเห็นด้วยขอบเขตการมองเห็นอย่างชัดเจน หรือ 3-5 องศาจากศูนย์กลางตา เพื่อให้ผู้สัญจรไปมาสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนโดยไม่ต้องละสายตาจากถนนเบื้องหน้า

สีและรูปร่างของวัตถุสามารถมองเห็นได้จากขอบเขตการมองเห็นอย่างชัดเจนพอควร ซึ่งมีมุมมองกว้างขึ้น ดังนั้น ป้ายจราจรต่างๆ จึงได้ถูกออกแบบให้มีสี และรูปร่างที่เป็นมาตรฐาน เช่น ป้ายหยุด จะมีพื้นสีแดงและมีรูปร่างแปดเหลี่ยม เป็นต้น

คุณลักษณะอื่นๆ ของผู้ขับขี่

การได้ยินเป็นปัจจัยอันหนึ่งที่ช่วยให้การขับขี่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการศึกษาสถิติอุบัติเหตุในอดีต ไม่มีการยืนยันว่าผู้ที่พิการทางหูจะมีสถิติอุบัติเหตุจราจรมากกว่าผู้ขับขี่อื่นๆ ในปัจจุบันผู้พิการทุพพลภาพ ก็สามารถขับขี่ยานพาหนะได้ โดยจะต้องมีการดัดแปลงสภาพรถยนต์เพื่อให้มีความเหมาะสมกับความพิการนั้นๆ ได้

2.3.3 คุณลักษณะของยานพาหนะ

คุณลักษณะของยานพาหนะบนท้องถนนมีความแตกต่างกัน มียานพาหนะหลายๆ ประเภทซึ่งมีรูปร่างและสมรรถนะที่แตกต่างกันไป ตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น รถมอเตอร์ไซด์ รถเก๋งสี่ล้อ รถเก๋งอเนกประสงค์ รถกระบะ รถสองแถว จนไปถึงยานพาหนะขนาดใหญ่ เช่น รถประจำทาง รถบรรทุก 6 ล้อ 10 ล้อ 18 ล้อ และรถพ่วง ดังนั้น วิศวกรจราจรจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้ในการออกแบบและจัดการระบบการจราจรบนท้องถนน

รูปร่างยานพาหนะมาตรฐาน (Design Vehicles)

ในประเทศสหรัฐอเมริกา American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) ได้กำหนดมาตรฐานรูปร่างยานพาหนะ (Design Vehicles) สำหรับยานพาหนะไว้ทั้งหมด 10 ประเภท สำหรับใช้ในการออกแบบคุณลักษณะทางเรขาคณิตของท้องถนน (Geometric Design) และโครงสร้างที่อำนวยความสะดวกต่างๆ เช่น ความกว้างช่องจราจร ความกว้างไหล่ทาง รัศมีของขอบทางและมุมถนน ระดับความสูงของโครงสร้างคร่อมช่องจราจรต่างๆ (Clearance heights) และองค์ประกอบอื่นๆ ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดและรูปร่างของยานพาหนะมาตรฐาน 10 ประเภท ที่กำหนดโดย AASHTO ดังแสดงในตาราง จะเห็นได้ว่ายานพาหนะแต่ละประเภทก็จะมีคุณลักษณะความกว้าง ความสูง ความยาวและขนาดอื่นๆ ที่กำหนดเป็นมาตรฐานสำหรับการออกแบบ ทั้งนี้ในกรณีจราจรจริง ยานพาหนะแต่ละประเภทก็มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันอยู่บ้างเล็กน้อย รูปร่างของยานพาหนะมาตรฐานที่กำหนดขึ้น ถือว่าเป็นตัวแทนของยานพาหนะนั้นๆ สำหรับใช้ในการออกแบบเท่านั้น

ตารางที่ 2.1 ขนาดของยานพาหนะมาตรฐานที่ใช้สำหรับออกแบบ โดย AASHTO

ประเภทยานพาหนะ	สัญลักษณ์	ขนาด (ฟุต)				
		โดยรวม			เฉพาะส่วนที่ยื่น	
		สูง	กว้าง	ยาว	ด้านหน้า	ด้านหลัง
รถยนต์ส่วนบุคคล	P	4.25	7	19	3	5
รถบรรทุก	SU	13.5	8.5	30	4	6
รถประจำทาง	BUS	13.5	8.5	40	7	8
รถประจำทางพ่วง	A-BUS	10.5	8.5	60	8.5	9.5
รถบรรทุก						
รถบรรทุกกึ่งพ่วง - กลาง	WB-40	13.5	8.5	50	4	6
รถบรรทุกกึ่งพ่วง - ใหญ่	WB-50	13.5	8.5	55	3	2
รถบรรทุกพ่วง	WB-60	13.5	8.5	65	2	3

ตารางที่ 2.1 ขนาดของยานพาหนะมาตรฐานที่ใช้สำหรับออกแบบ โดย AASHTO (ต่อ)

ประเภทยานพาหนะ	สัญลักษณ์	ขนาด (ฟุต)				
		โดยรวม			เฉพาะส่วนที่ยื่น	
		สูง	กว้าง	ยาว	ด้านหน้า	ด้านหลัง
ยานพาหนะสำหรับพักผ่อน						
รถแบบอยู่อาศัยได้	MH		8	30	4	6
รถพ่วงบ้านแคมป์	P/T		8	49	3	10
รถพ่วงเรือ	P/B		8	42	2	8

อัตราการเร่งของยานพาหนะ

ยานพาหนะแต่ละประเภทจะมีขนาด น้ำหนักและกำลังขับเคลื่อนที่แตกต่างกันไป ทำให้มีสมรรถภาพการเร่งความเร็วที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งสรุปไว้ใน ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อัตราการเร่งยานพาหนะแต่ละประเภท

ประเภท	น้ำหนักสุทธิ (ปอนด์)	อัตราความเร็วสูงสุด		
		0-15 ไมล์/ชม.	จาก 40ไมล์/ชม.	จาก 60ไมล์/ชม.
รถยนต์ - ใหญ่	4,800	10.0	4.0	2.5
รถยนต์ - กลาง	4,000	8.0	4.0	2.0
รถคอมแพกต์	3,000	8.0	3.0	1.1
รถยนต์-เล็ก	2,100	6.0	1.2	0.7
รถปิคอัพ	5,000	8.0	1.8	1.5
รถบรรทุก	12,000	2.0	0.6	0.6
รถบรรทุก - ใหญ่	45,000	2.0	0.4	-

จากตารางจะเห็นได้ว่า โดยทั่วไปแล้วยานพาหนะชนิดที่ใช้ความเร็วต่ำ สามารถเร่งความเร็วได้ดีกว่าชนิดที่ใช้ความเร็วสูง และยานพาหนะที่มีขนาดเล็ก และน้ำหนักเบาสามารถเร่งความเร็วได้ดีกว่ายานพาหนะที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ซึ่งคุณลักษณะนี้มีผลต่อการออกแบบท้องถนนเป็นอย่างมาก เพราะค่าที่ต้องใช้ในการคำนวณระยะทางที่สามารถหยุดรถได้โดยปลอดภัยโดยใช้สมการ

$$d_a = \frac{1}{7.2} at^2 \quad (2-2)$$

โดยที่	d_a	- ระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ไปขณะที่เร่งความเร็ว (เมตร)
	a	- อัตราการเร่งความเร็ว (กม./ชม./วินาที)
	t	- ระยะเวลาในการเร่งความเร็ว (วินาที)

ความแตกต่างในการเร่งสูงสุดของยานพาหนะแต่ละประเภท ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการจราจรในระบบลดต่ำลง ตัวอย่างเช่น รถบรรทุกขนาดใหญ่ ติดรอสัญญาณไฟจราจร ณ ทางแยกแห่งหนึ่ง เมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียว ก็จะเร่งความเร็วได้ช้า ทำให้อานพาหนะประเภทอื่นที่ตามหลังมาเกิดความล่าช้าไปด้วย

การชะลอตัวของยานพาหนะ

การชะลอตัวของยานพาหนะถือเป็นคุณลักษณะของยานพาหนะที่มีความสำคัญมากที่สุด ในด้านการออกแบบบนท้องถนน และความปลอดภัยการจราจร ทั้งระยะเวลา และระยะทางที่จำเป็นต้องใช้ในการชะลอรถยนต์จนหยุดนิ่งสนิท จะนำมาใช้ประกอบการออกแบบและปฏิบัติการของการจราจรในแทบทุกๆ ด้าน

ประสิทธิภาพในการชะลอตัวของยานพาหนะ จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ ประการ ได้แก่ ระบบเบรกของยานพาหนะ ชนิดและสภาพของยางรถยนต์ ตลอดจนประเภทและสภาพของพื้นผิวถนน โดยปรกติ การคำนวณที่จำเป็นต้องใช้ในการชะลอรถยนต์ จะใช้สมการ

$$d_b = \frac{v^2 - u^2}{254(f+g)} \quad (2-3)$$

โดยที่	d_b	- ระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ไประหว่างการชะลอความเร็ว (เมตร)
	v	- ความเร็วเริ่มต้นก่อนการชะลอความเร็ว (กม. / ชม.)
	u	- ความเร็วสุดท้ายหลังจากชะลอความเร็ว (กม. / ชม.)
	f	- ค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการลื่นไถล (Coefficient of skidding friction)
	g	- ความชันของถนน (Decimal)

ทั้งนี้ระยะทางชะลอรถยนต์ที่คำนวณได้จากสมการ (2-3) ข้างต้นนี้ เป็นระยะทางในช่วงระหว่างการชะลอความเร็วหลังจากเริ่มเหยียบเบรกแล้วเท่านั้น จะไม่รวมถึงเวลารับรู้ตอบสนอง ในกรณีที่ความชันเป็นแบบลงเขา ก็ให้ใส่ค่าความลาดชันพร้อมด้วยเครื่องหมายลบ ตารางที่ 2.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการลื่นไถลที่นิยมใช้ในการออกแบบ ซึ่งจะแปรผันตามชนิดของพื้นผิวถนน ความเร็วก่อนเริ่มชะลอความเร็ว สภาพยางของรถยนต์ และสภาพพื้นผิวถนนว่าแห้งหรือเปียก

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการลื่นไถลที่ใช้ในการออกแบบ

ประเภทของพื้นผิว	พื้นผิวแห้ง		พื้นผิวเปียก
	ยางใหม่ที่ได้มาตรฐาน	ยางที่เสื่อมสภาพแล้ว	
	ความเร็ว = 10 mph (17.7 km/h)		ค่าออกแบบที่แนะนำ โดย AASHTO
Dry bit. Conc.	0.74	0.61	-
Sand asphalt	0.75	0.66	-
Rock asphalt	0.78	0.73	-
Port. Cem. Conc.	0.76	0.68	-
	ความเร็ว = 20 mph (32.2 km/h)		
Dry bit. Conc.	0.76	0.60	0.40
Sand asphalt	0.75	0.57	0.40
Rock asphalt	0.76	0.65	0.40
Port. Cem. Conc.	0.73	0.50	0.40
	ความเร็ว = 30 mph (48.2 km/h)		
Dry bit. Conc.	0.79	0.57	0.36
Sand asphalt	0.79	0.48	0.36
Rock asphalt	0.74	0.59	0.36
Port. Cem. Conc.	0.78	0.47	0.36
	ความเร็ว = 40 mph (64.4 km/h)		
Dry bit. Conc.	0.75	0.48	0.33
Sand asphalt	0.75	0.39	0.33
Rock asphalt	0.74	0.50	0.33
Rock asphalt	0.74	0.50	0.33
Port. Cem. Conc.	0.76	0.33	0.33
ทุกพื้นผิว	ความเร็ว = 50 mph (80.5 km/h)		0.31
	ความเร็ว = 60 mph (96.5 km/h)		0.30
	ความเร็ว = 70 mph (112.6 km/h)		0.29
	ความเร็ว = 80 mph (128.7 km/h)		0.27

คุณลักษณะในการขับเคลื่อน

ในขณะที่ยานพาหนะเคลื่อนที่นั้น จะมีแรงต้านทานภายนอกต่างๆ มาทำให้รถช้าลง ได้แก่ แรงต้านทานจากอากาศ (Air resistance) แรงต้านทานจากความลาดชัน (Grade resistance) แรงต้านทานในการขับเคลื่อน (Rolling resistance) แรงต้านทานจากการเข้าโค้ง (Curve resistance) แรงต้านทานจากความต้านทานบนผิวถนน (Friction resistance)

ตัวอย่างการคำนวณระยะทางการรับรู้และตอบสนองและระยะทางการชะลอความเร็ว

ดังที่กล่าวมาแล้ว ระยะทางการชะลอรถยนต์ถือเป็นตัวแปรหลักในการออกแบบท้องถนน เพราะมีความสำคัญทางด้านความปลอดภัย ยานพาหนะจะต้องชะลอตัวได้ทันท่วงทีเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดอุบัติเหตุ ระยะทางดังกล่าวจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ระยะทางการรับรู้และตอบสนอง ซึ่งเริ่มต้นขึ้นจากการที่ผู้ขับขี่สามารถมองเห็นเหตุการณ์ข้างหน้า จนกระทั่งเริ่มเหยียบเบรก และระยะทางที่ใช้ในการชะลอความเร็วยานพาหนะภายหลังจากการเหยียบเบรกแล้ว ดังนั้น สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$d_s = \frac{1}{3.6} vt + \frac{v^2 - u^2}{254.0(f + g)} \quad (2-4)$$

ระยะทางการหยุดรถอย่างปลอดภัย

โดยหลักการแล้วการออกแบบท้องถนนนั้น จะต้องให้ผู้ขับขี่มีระยะการมองเห็นได้ไม่น้อยกว่าระยะการหยุดรถอย่างปลอดภัย ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ขับขี่ เมื่อพบเห็นสิ่งที่กีดขวางถนนข้างหน้า เช่น อุบัติเหตุ ของตกหล่น เป็นต้น ก็สามารถชะลอความเร็วยานพาหนะได้อย่างทันท่วงที

ระยะเวลาการเปลี่ยนสัญญาณไฟ ณ ทางแยก

โดยทั่วไป จะเห็นว่าการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรจากไฟเขียวเป็นไฟแดงนั้น จะต้องให้สัญญาณไฟเหลืองในระยะเวลาสั้นๆ ก่อนเสมอ ทั้งนี้ เพื่อให้ยานพาหนะคันที่ไม่สามารถหยุดรถที่เส้นหยุดได้ทัน สามารถเร่งความเร็วให้ผ่านทางแยกได้อย่างปลอดภัย ก่อนที่สัญญาณไฟเขียวทางด้านอื่นจะเริ่มต้น ถ้าไม่มีสัญญาณไฟเหลือง กล่าวคือ เปิดไฟเขียวให้ด้านอื่นไปทันที จะส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นมากมาย ดังนั้น จึงต้องมีการพิจารณาระยะเวลาการเปลี่ยนสัญญาณไฟ (Clearance interval) ในการออกแบบไฟสัญญาณจราจรด้วย

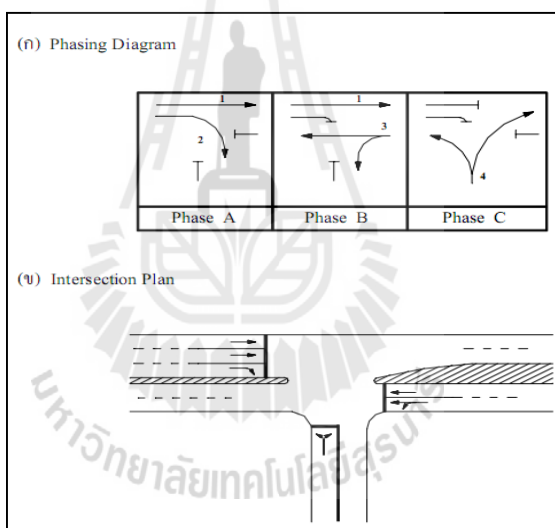
ในการวิเคราะห์หาระยะเวลาการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจร (ช่วงเวลาสั้นๆ ที่แสดงสัญญาณไฟเหลือง และไฟแดงทุกด้าน) นั้น จะพิจารณาจากระยะทางการหยุดรถอย่างปลอดภัย ในขณะที่สัญญาณไฟจราจรเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดงนั้น ยานพาหนะที่ยังคงอยู่ห่างจากทางแยกมาก ระยะห่างจากทางแยกมากกว่าระยะการหยุดรถอย่างปลอดภัยนั้น จะสามารถชะลอความเร็วและจอดหยุดนิ่งที่เส้นหยุดได้ทัน ส่วนยานพาหนะที่กำลังเข้าสู่ทางแยก ระยะห่างจากทางแยกน้อยกว่าระยะการหยุดรถอย่างปลอดภัย จะไม่สามารถหยุดรถที่ทางแยกได้ทัน ดังนั้น วิศวกรจะต้องออกแบบสัญญาณไฟจราจรให้รถยนต์เหล่านี้ สามารถเคลื่อนตัวผ่านทางแยกได้อย่างปลอดภัย ก่อนที่จะเปิดสัญญาณไฟเขียวให้กับขาอื่นของทางแยก

2.4 ทฤษฎีการวิเคราะห์การออกแบบสัญญาณไฟจราจร

การวิเคราะห์การออกแบบสัญญาณไฟจราจรมีด้วยกันหลายวิธี โดยจะมีนิยามและคำจำกัดความของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบสัญญาณไฟจราจรจะมีดังต่อไปนี้

2.4.1 ทิศทางการเคลื่อนที่ (Movement)

แต่ละแถว/คิวของยานพาหนะที่แยกกันมุ่งหน้าเข้าสู่ทางแยกซึ่งบงกกลักษณะด้วยทิศทางการเคลื่อนที่ การใช้ของทางจราจร และข้อกำหนดในการใช้สิทธิในเขตทาง (Right of Way Provision) เรียกว่า การเคลื่อนที่ (Movement) การจัดสรรสิทธิในเขตทางให้กับแต่ละการเคลื่อนที่จะถูกกำหนดด้วยระบบการจัดจังหวะสัญญาณไฟ (Signal Phasing System) ภาพประกอบ แสดงตัวอย่างการจัดจังหวะสัญญาณไฟสำหรับทางแยกรูปตัว T และลักษณะทางกายภาพของทางแยกที่แสดงการจัดของจราจรโดยแต่ละทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจะถูกกำหนดด้วยตัวเลขและจังหวะสัญญาณไฟจะถูกกำหนดด้วยตัวอักษรสำหรับการเคลื่อนที่ซึ่งได้รับสิทธิในเขตทาง (สัญญาณไฟเขียว) มากกว่าหนึ่งเฟส (Phase) จะเรียกว่า Overlap Movement เช่น การเคลื่อนที่ที่ 1 ในรูปที่ 2.2 สำหรับการเคลื่อนที่อื่นๆ จะเป็น Non Overlap Movements [ที่มา : สมศักดิ์ วันเซ่ง (2546)]



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการจัดจังหวะสัญญาณไฟและทิศทางการเคลื่อนที่

[ที่มา: Akcelik (1981)]

2.4.2 จังหวะสัญญาณไฟ (Signal Phase)

จังหวะสัญญาณไฟเป็นรูปแบบของสัญญาณไฟจราจร โดยในระหว่างที่หนึ่งทิศทางการเคลื่อนที่ที่ได้รับสิทธิในเขตทาง ณ จุดเริ่มต้นของเฟส จะต้องมียานอย่างน้อยหนึ่งทิศทางการเคลื่อนที่ที่ตรงองสูญเสียสิทธิในเขตทาง ณ จุดสิ้นสุดของเฟส เมื่อทิศทางการเคลื่อนที่หนึ่งหยุดการเคลื่อนที่ และทิศทางการเคลื่อนที่อื่นๆ เริ่มต้นเคลื่อนที่จะเรียกว่า มีการเปลี่ยนเฟส (Phase Change) นั่นคือ มีการเปลี่ยนสิทธิในเขตทางระบบการจัดจังหวะสัญญาณไฟสามารถอธิบายได้ด้วยการใช้ Phase Movement Matrix ซึ่งแสดงการเริ่มต้นของเฟส (Starting Phases) และการสิ้นสุดของเฟส (Terminating Phases) ของแต่ละทิศทางการเคลื่อนที่ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ระบบการจัดจังหวะสัญญาณไฟในแต่ละทิศทางการเคลื่อนที่

(Phase Movement Matrix)

ทิศทางการเคลื่อนที่	การเริ่มต้นของเฟส	การสิ้นสุดของเฟส
1	A	C
2	A	B
3	B	C
4	D	A

[ที่มา: Akcelik (1981)]

2.4.3 เวลาแสดงไฟเขียว (Displayed Green Time)

ช่วงระยะเวลาที่คอมพิวเตอร์สัญญาณไฟเขียวแก่ผู้ขับขี่รถยนต์ เรียกว่า “เวลาแสดงไฟเขียว”

2.4.4 ระยะเวลาไฟเขียว (Intergreen Time)

ระยะเวลาจากจุดสิ้นสุดของช่วงเวลาไฟเขียว (Green Period) ของเฟสหนึ่งจนถึงจุดเริ่มต้นของช่วงเวลาไฟเขียวของเฟสถัดไป เรียกว่า เวลาระหว่างไฟเขียว (I) ซึ่งจะประกอบด้วย ช่วงเวลาไฟเหลือง (Yellow Period) และช่วงเวลาไฟแดงทุกด้าน (All Red Period) ดังรูปที่ 2.3 โดยในระหว่างช่วงเวลาไฟแดงทุกด้านทั้งเฟสและทิศทางการเคลื่อนที่ที่สิ้นสุดและกำลังจะเริ่มตนจะแสดงสัญญาณไฟแดงในเวลาเดียวกัน

2.4.5 เวลาเปลี่ยนเฟส (Phase Change Times)

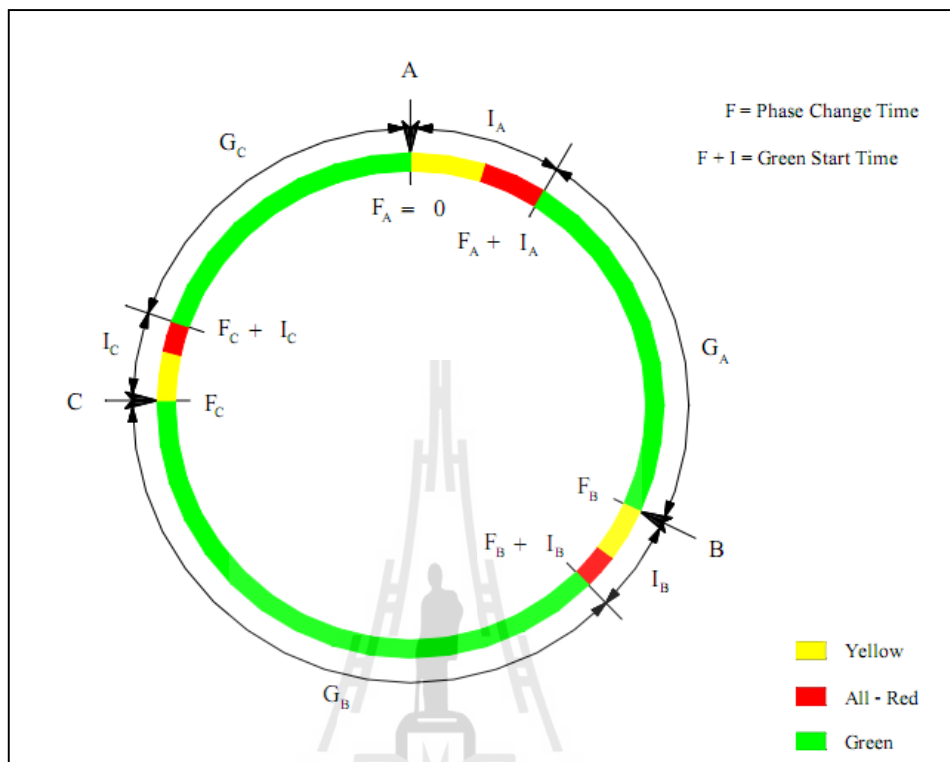
จากรูปที่ 2.3 สามารถอธิบายได้ว่า เวลาของการเปลี่ยนเฟส (F) คือ เวลาของการสิ้นสุดของเฟส ซึ่งเกิดขึ้น ณ จุดสิ้นสุดของช่วงเวลาไฟเขียว ดังนั้น ช่วงเวลาไฟเขียวจึงเริ่มต้นที่เวลา $F + I$ ถ้าวเวลาแสดงไฟเขียวสำหรับเฟส คือ G ช่วงเวลาไฟเขียวจะสิ้นสุดที่เวลา $F + I + G$ ซึ่งก็คือเวลาของการเปลี่ยนเฟสสำหรับเฟสถัดไปโดยที่แผนภาพของรอบเวลาสัญญาณไฟจากรูปที่ 2.3 สามารถที่จะกำหนดให้เวลาของการเปลี่ยนเฟสแรกเป็นศูนย์ และเพิ่มค่าเวลา $I + G$ สำหรับเฟสแรก เพื่อที่จะหาเวลาของการเปลี่ยนเฟสสำหรับเฟสที่สองและเฟสต่อไป

2.4.6 รอบเวลาสัญญาณไฟ (Signal Cycle)

ลำดับของจังหวะสัญญาณไฟที่ครบถ้วนสมบูรณ์ในหนึ่งวงรอบ เรียกว่า รอบเวลาสัญญาณไฟ (C) หรืออีกนัยหนึ่ง คือ เวลาจากจุดเริ่มต้นของไฟเขียวของเฟสใดเฟสหนึ่งจนถึงจุดเริ่มต้นของเวลาไฟเขียวของเฟสเดียวกันดังรูปที่ 2.3 โดยที่ผลรวมของเวลาระหว่างไฟเขียวและเวลาแสดงไฟเขียวของทุกเฟส คือ รอบเวลาสัญญาณไฟ (Cycle Time) และสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C = \sum (I+G) \quad (2-3)$$

- เมื่อ C คือ รอบเวลาสัญญาณไฟ (วินาที)
 I คือ เวลาระหว่างไฟเขียว (วินาที)
 G คือ เวลาแสดงไฟเขียว (วินาที)



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงรอบเวลาสัญญาณไฟ [ที่มา: Akcelik (1981)]

2.4.7 ลักษณะของการเคลื่อนที่ (Movement Characteristics)

ลักษณะของการเคลื่อนที่ที่พื้นฐานดังรูปที่ 2.4 เป็นความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับการจัดจังหวะสัญญาณไฟ โดยแบบจำลองพื้นฐานนี้มีลักษณะบางประการที่แตกต่างจากแบบจำลองที่ได้อธิบายไว้โดย Webster and Cobbe (1966) ซึ่งรูปแบบใหม่ที่สำคัญของแบบจำลองนี้ คือ จะมีเวลาของการเปลี่ยนเฟส (F_i และ F_k) สำหรับเริ่มต้นและหยุดการเคลื่อนที่ที่พิจารณา ซึ่งไม่จำเป็นที่จะต้องสอดคล้องกับจังหวะสัญญาณไฟที่ต่อเนื่องกันเพราะว่าการเคลื่อนที่นั้นอาจจะเป็น Overlap Movement

ก. ปริมาณการจราจรอิ่มตัวและเวลาไฟเขียวประสิทธิผล

แบบจำลองพื้นฐานในรูปที่ 2.4 จะสมมุติว่า เมื่อสัญญาณไฟเปลี่ยนเป็นไฟเขียว การไหล (Flow) ผ่านเส้นหยุด (Stop Line) ของปริมาณจราจรจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงอัตราที่เรียกว่า ปริมาณการจราจรอิ่มตัว (Saturation Flow) ซึ่งจะอยู่ในระดับคงที่จนกระทั่งแถวคอยของยานพาหนะหมดไปซึ่งเป็นช่วงเวลาสิ้นสุดไฟเขียว โดยที่อัตราการเคลื่อนที่ออกไปของแถวคอยของยานพาหนะจะต่ำในช่วง 2 - 3 วินาทีแรกของเวลาไฟเขียว ขณะที่ยานพาหนะเร่งความเร็วไปสู่ความเร็วปกติ (Normal Running Speed) ในทำนองเดียวกัน อัตราการเคลื่อนที่ออกไปจะต่ำลงใน

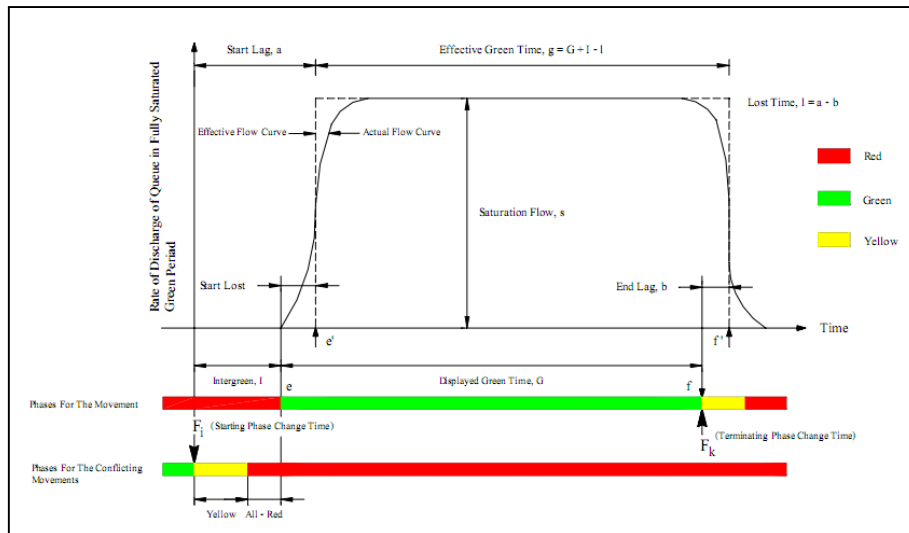
ช่วงเวลาหลังจากสิ้นสุดไฟเขียวเพราะวายนพาหนะบางคันจะหยุดแต่ยานพาหนะคันอื่นอาจจะไม่หยุดซึ่งช่วงเวลาไฟเขียวที่อิ่มตัวเต็มที่ (Fully Saturated Green Period) เป็นกรณีที่แถวคอยของยานพาหนะยังมีอยู่จนกระทั่งสิ้นสุดช่วงเวลาไฟเขียว ถ้าแทนที่เส้นโค้งการไหลออกไปของปริมาณจราจรที่แท้จริง (Actual Departure Flow Curve) ของแบบจำลองพื้นฐานด้วยรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีพื้นที่เท่ากับแถวคอยประ โดยที่ความสูงของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่ากับปริมาณการจราจรอิ่มตัว และความกว้างเท่ากับเวลาไฟเขียวประสิทธิผล (Effective Green Time: g) ดังนั้น พื้นที่ใต้เส้นโค้ง (sg) ก็คือ จำนวนยานพาหนะสูงสุดที่สามารถเคลื่อนที่ออกไปได้ในรอบเวลาสัญญาณไฟเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นของช่วงเวลาไฟเขียวและช่วงเวลาไฟเขียวประสิทธิผลก็คือ เวลาที่สูญเสียไปจากการออกรถ (Start Lost: ee') ในทำนองเดียวกันเวลาระหว่างจุดสิ้นสุดของช่วงเวลาไฟเขียวและจุดสิ้นสุดของช่วงเวลาไฟเขียวประสิทธิผลก็คือเวลาเกี่ยวพันของไฟเหลือง (End Gain: ff') ดังนั้น เวลาไฟเขียวประสิทธิผลจะสามารถคำนวณได้จาก สมการ

$$g = G + ff' - ee' \quad (2-4)$$

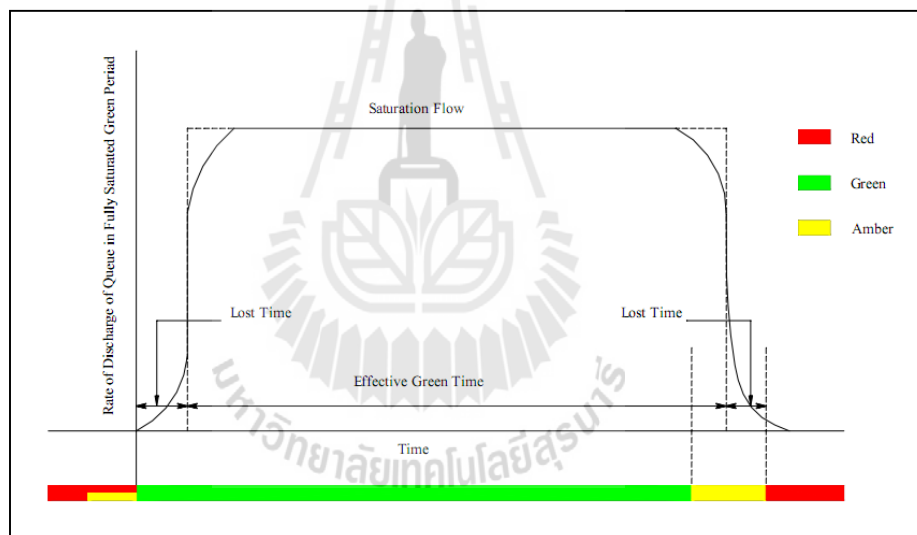
- เมื่อ g คือ เวลาไฟเขียวประสิทธิผล (วินาที)
 G คือ เวลาแสดงไฟเขียว (วินาที)
 ff' คือ เวลาเกี่ยวพันของไฟเหลือง (วินาที)
 ee' คือ เวลาที่สูญเสียไปจากการออกรถ (วินาที)

ข. เวลาลาขาของการเริ่มต้นและสิ้นสุด (Start and End Lag Times)

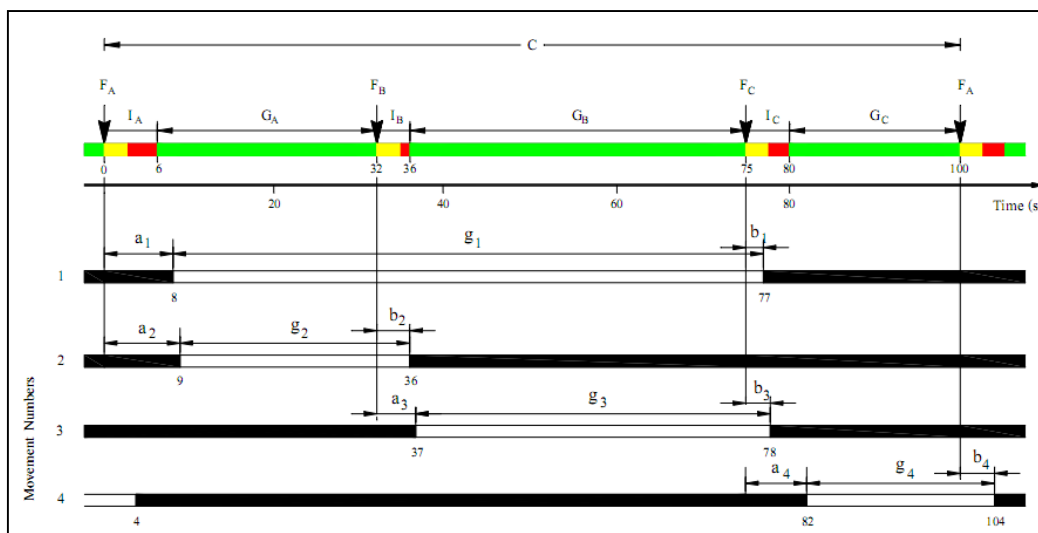
จากรูปที่ 2.6 เวลาลาขาของการเริ่มต้น (a) คือ ผลรวมของเวลาระหว่างไฟเขียวกับเวลาที่สูญเสียไปจากการออกรถและเวลาลาขาของการสิ้นสุด (b) คือ เวลาเกี่ยวพันของไฟเหลือง นั่นคือ $a = l + ee'$ และ $b = ff'$ โดยที่ช่วงเวลาไฟเขียวประสิทธิผลจะเริ่มต้นที่ $F_i + a$ และสิ้นสุดที่ $F_k + b$ เมื่อ F_i และ F_k เป็นเวลาของการเปลี่ยนเฟสสำหรับเริ่มต้นและหยุดการเคลื่อนที่ตามลำดับซึ่งจะทำให้สามารถหาคาเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของช่วงเวลาแสดงไฟเขียวและเวลาไฟเขียวประสิทธิผลได้ (รูปที่ 2.6) เป็นแผนภาพแสดงเวลาที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงของระบบการจัดจังหวะสัญญาณไฟ (รูปที่ 2.6) โดยที่เส้นบนสุดจะแสดงเวลาของการเปลี่ยนเฟส (F) เวลาระหว่างไฟเขียว (l) และเวลาไฟเขียวของเฟส (G) สำหรับเส้นตรงอื่นๆ ถัดลงมาจะแสดงเวลาไฟเขียวประสิทธิผล (g) เวลาลาขาของการเริ่มต้น (a) และเวลาลาขาของการสิ้นสุด (b) ในแต่ละทิศทางเคลื่อนที่



รูปที่ 2.4 แบบจำลองปริมาณการจราจรอิมตัวและไฟเขียวประสิทธิภาพของ Akcelik [ที่มา: Akcelik (1981)]



รูปที่ 2.5 แบบจำลองปริมาณการจราจรอิมตัวและไฟเขียวประสิทธิภาพของ Webster [ที่มา: Webster and Cobbe (1966)]



รูปที่ 2.6 แผนภาพเวลาสัญญาณไฟ (Signal Timing Diagram) [ที่มา: Akcelik (1981)]

ค. เวลาสูญเสียของการเคลื่อนที่ (Movement Lost Time)

เวลาสูญเสียของการเคลื่อนที่ (l) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$l = a - b = l + ee' - ff' \quad (2-5)$$

เมื่อ l คือ เวลาสูญเสียของการเคลื่อนที่ (วินาที)

a คือ เวลาสาขาของการเริ่มต้น (วินาที)

b คือ เวลาสาขาของการสิ้นสุด (วินาที)

และถ้าสมมติว่าเวลาสูญเสียจากการออกรถ (ee') เท่ากับเวลาเกี่ยวพันของไฟเหลือง (ff') ดังนั้นเวลาสูญเสียของการเคลื่อนที่ก็จะเท่ากับเวลาระหว่างไฟเขียว จากรูปที่ 2.6 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาแสดงไฟเขียว (G) และเวลาไฟเขียวประสิทธิภาพ (g) ได้ดังสมการ

$$g + l = G + l \quad (2-6)$$

การเคลื่อนที่ที่วิกฤติ (Critical Movements)

การเคลื่อนที่ที่ใช้ในการหาความจุของการจราจรและเวลาสัญญาณไฟ เรียกว่า การเคลื่อนที่ที่วิกฤติโดยเวลาที่เพียงพอได้ถูกจัดสรรให้กับแต่ละการเคลื่อนที่ที่วิกฤติเพื่อให้ได้ความจุของการจราจรที่ต้องการแล้วการเคลื่อนที่ทั้งหมดก็จะมีค่าความจุของการจราจรที่เพียงพอทุกๆ การเคลื่อนที่เป็น Non Overlap Movements ก็จะมีหนึ่งการเคลื่อนที่ที่วิกฤติต่อเฟส ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่ต้องการเวลายาวนานที่สุดในเฟส แต่ถ้ามมีการเคลื่อนที่ที่เป็น Overlap Movements การหาการเคลื่อนที่ที่วิกฤติจะมีความยุ่งยากมากขึ้นอย่างไรก็ตามจะสามารถหาการรอบเวลาสัญญาณไฟที่ต้องการได้ ถ้าสามารถกำหนดได้ว่าการเคลื่อนที่ใดเป็นการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ และคำนวณจากสมการ

$$C = \sum (g+l) \quad (2-7)$$

- เมื่อ C คือ รอบเวลาสัญญาณไฟ
 g คือ เวลาไฟเขียวประสิทธิภาพ สำหรับการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ
 l คือ เวลาที่สูญเสียไปของการเคลื่อนที่ สำหรับการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ

2.4.8 เวลาสูญเสียของทางแยก (Intersection Lost Time)

เวลาสูญเสียของทางแยก (L) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = \sum l \quad (2-8)$$

- โดย L คือ เวลาสูญเสียของทางแยก
 l คือ เวลาที่สูญเสียไปของการเคลื่อนที่ สำหรับการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ

2.4.9 อัตราการไหลอิมิตัวของการจราจรและรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม (Saturation Flow and Optimum Cycle Time)

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอิมิตัวกับรอบเวลาสัญญาณไฟ สามารถพิจารณาได้จากสมการสำหรับการคำนวณรอบเวลาสัญญาณไฟซึ่งมีค่าการไหลอิมิตัวเป็นตัวแปรตัวหนึ่งในสมการ Webster and Cobbe (1966) การออกแบบรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม ใช้สมมติฐานที่ว่าจะตองเป็นรอบสัญญาณไฟที่ทำให้ค่าความล่าช้าของรถที่วิ่งผ่านทางแยกน้อยที่สุดซึ่งในทางปฏิบัติรอบสัญญาณไฟควรมีค่าต่ำสุด 50 วินาทีและมีค่าสูงสุดไม่เกิน 120 วินาที เนื่องจากการมีรอบสัญญาณไฟที่สั้นเกินไปจะทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยและการมีรอบสัญญาณไฟที่ยาวเกินไปจะทำให้เกิดความล่าช้าของรถที่วิ่งเข้าสู่ทางแยกสูง การคำนวณหาการอบสัญญาณไฟที่เหมาะสมใช้สูตรดังสมการ

$$C = \frac{1.5L+5}{1 + \sum_{i=1}^n x_i} \quad (2-9)$$

- เมื่อ C คือ ความยาวสัญญาณไฟที่เหมาะสม (วินาที)
 L คือ เวลาที่สูญเสียทั้งหมดในรอบสัญญาณไฟจราจร (วินาที)
 x_i คือ ความจุ่มตัวของเฟส i

2.4.10 ความล่าช้า (Delay)

ความล่าช้าโดยประมาณสำหรับการเคลื่อนที่ที่ทางแยกเดี่ยวแบบกำหนดเวลาแน่นอน สามารถคำนวณจากสมการการจำลองความล่าช้าสม่ำเสมอของ Webster ดังสมการที่ 2-10

$$UD = \frac{0.50C \left[1 - \frac{g}{c}\right]^2}{1 - \left(\frac{g}{c}\right)x} \quad (2-10)$$

เมื่อ UD	คือ ความล่าช้าเฉลี่ยสม่ำเสมอต่อคัน (วินาที/คัน)
C	คือ รอบเวลาสัญญาณไฟ (วินาที)
g	คือ ประสิทธิภาพไฟเขียว (วินาที)
x	คือ ความจุความอิมตัว
c	คือ ความจุของทางแยก (คัน/ชั่วโมง)

2.4.11 ระดับการให้บริการ

ระดับการให้บริการ (Level of Service; LOS) คือ การวัดคุณภาพของการจราจรบนถนนโดยพิจารณาจากสวนประกอบต่างๆ เช่น ความเร็วของยานพาหนะ ระยะเวลาในการเดินทาง ความคล่องตัวในการจราจร ความปลอดภัย ความสะดวก สบายในการขับขี่และการเดินทางค่าใช้จ่าย เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งระดับการให้บริการออกเป็น 6 ระดับ ดังนี้

- ระดับ A สภาพอิสระ (Free Flow) มีความเร็วสูง ปริมาณจราจรน้อย ผู้ขับขี่สามารถขับรถได้อย่างอิสระ ตามใจชอบ ไม่มีการติดขัด และความล่าช้า
- ระดับ B สภาพอยู่ตัว (Stable Flow) ผู้ขับขี่สามารถเลือกใช้ความเร็วได้ตามสมควร ปริมาณการจราจรในระดับนี้เหมาะสำหรับใช้ทางหลวงนอกเมือง
- ระดับ C อยู่ในสภาพอยู่ตัว (Stable Flow) แต่อิสระภาพในการเลือกใช้ความเร็วถูกจำกัดลง การแซง การเปลี่ยนช่องจราจรก็ถูกจำกัดอยู่ในระดับพอสมควร เหมาะสำหรับการออกแบทางหลวงในเมือง
- ระดับ D ใกล้สภาพไม่อยู่ตัว (Approach Unstable Flow) ผู้ขับขี่จำเป็นต้องขับตามรถคันหน้าไปด้วยความเร็วต่ำ มีความสะดวก สบายต่ำ ทางหลวงในเมืองอาจยอมให้มีปริมาณจราจรสูงสุดถึงระดับนี้
- ระดับ E สภาพไม่อยู่ตัว (Unstable Flow) การจราจรมีการหยุดบางบางครั้ง ปริมาณจราจรสูง การจราจรเริ่มติดขัด
- ระดับ F สภาพถูกบีบ (Force Flow) ความเร็วต่ำ มีการติดขัดเป็นแฉวยาว การเคลื่อนที่ไปอย่างช้ามาก

2.4.12 ความยาวของแถวคอย (Queue)

ค่าความยาวของแถวคอย (Queue) นั้นเป็นการวัดประสิทธิภาพการทำงานของทางแยกนั้นๆ ที่ควบคุมทางแยกด้วยสัญญาณไฟจราจร โดยทั่วไปมีหน่วยวัดเป็น จำนวนคัน หรือเมตร

2.5 ระบบตัวตรวจวัด (Detectors)

เป็นปัจจัยสำคัญในการตรวจสอบยานพาหนะบนท้องถนน ตัวตรวจวัดจะใช้หลักการทำงานของขดลวดเหนี่ยวนำ จากขดลวด หรือสายไฟมาพันเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือเป็นรูปวงกลม โดยมีจำนวนรอบตั้งแต่หนึ่งรอบขึ้นไปจะทำให้ขดลวดหรือสายไฟเส้นนั้นมีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) ค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) ที่ได้อยู่ที่ขนาด และจำนวนรอบการคำนวณทั่วไปของค่าเหนี่ยวนำคือ

$$L = \frac{P(t^2 + t)}{4} \quad (2-11)$$

โดย L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ (ไมโครเฮนรี)

P คือ เส้นรอบรูป (ฟุต)

T คือ จำนวนรอบ

2.5.1 ค่าความไวในการตรวจวัดยานพาหนะ

ความไวในการตรวจจับยานพาหนะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Amount of Change} \approx \frac{\text{Vehicle Size}}{\text{Loop Size} \times \text{Vehicle Height}} \quad (2-12)$$

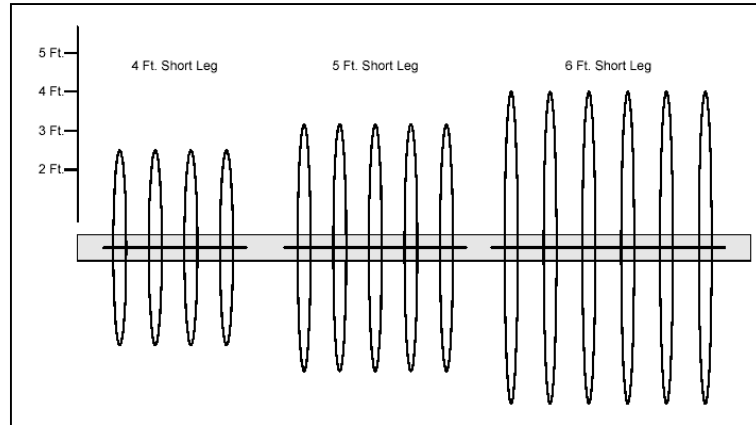
โดย Vehicle Size คือ ขนาดของยานพาหนะ

Loop Size คือ ขนาดของลูป

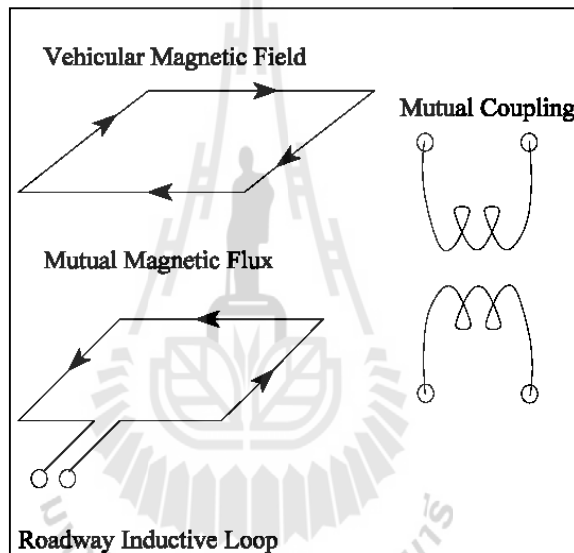
Vehicle Height คือ ความสูงของยานพาหนะ

จากสมการที่ (2-12) จะทำให้ได้ว่า

- การเพิ่มขนาดของลูป จะลดการเปลี่ยนแปลงที่กระทำจากยานพาหนะ
- ถ้ายานพาหนะมีความสูง ความเหนี่ยวนำที่เกิดจากยานพาหนะก็จะลดลง
- ถ้ายานพาหนะมีขนาดเล็กการเปลี่ยนแปลงที่กระทำจากยานพาหนะก็จะน้อยลง
- การเพิ่มจำนวนรอบไม่มีผลต่อความสูงที่ต้องการตรวจวัด
- ขนาดของลูปมีผลต่อความสูงในการตรวจวัด



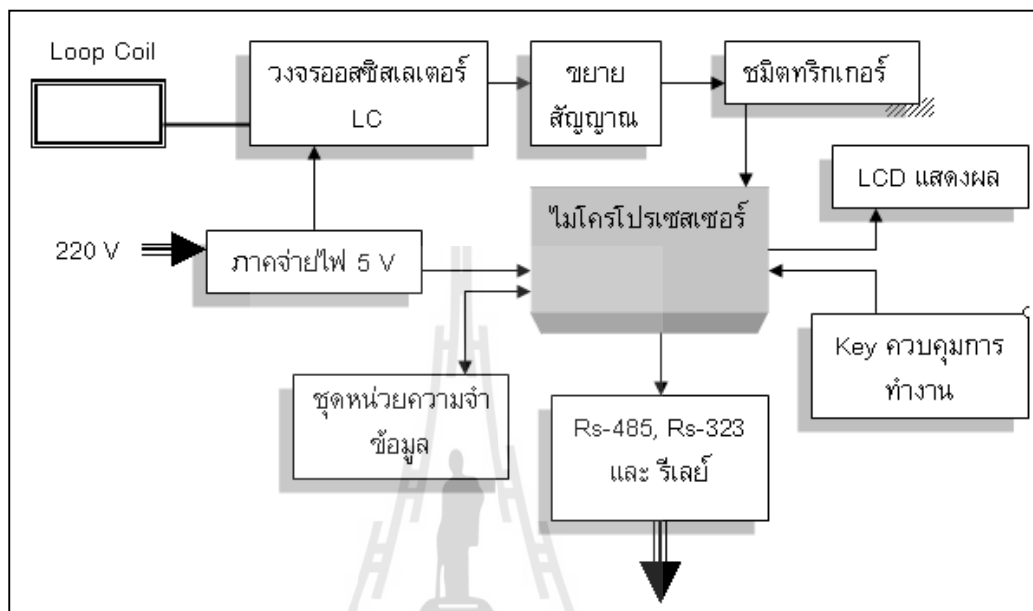
รูปที่ 2.7 แสดงลำดับความสูงที่เหมาะสมในการตรวจวัด



รูปที่ 2.8 แสดงผลการกระทำระหว่างยานพาหนะกับขดลวดเหนี่ยวนำ

2.5.2 วงจรการทำงาน

ขดลวดจะถูกฝังลงบริเวณพื้นดิน และเมื่อตัวตรวจจับได้ไปพบกับวัตถุที่เป็น ยานพาหนะ จะทำให้ความถี่ในภาคผลิตความถี่อิสระดังที่ได้กล่าวมาแล้วแต่ตอนต้น เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ การเปลี่ยนแปลง ความถี่ดังกล่าวนี้จะถูกขยายสัญญาณ และแปลงสัญญาณเป็นรูปสี่เหลี่ยมเข้าไปใน ส่วนวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยอัลกอริทึมในไมโครคอนโทรลเลอร์ บล็อกไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะวงจรพื้นฐานของส่วนเครื่องตรวจจับยานพาหนะแบบลู่วิ่ง

2.6 เครือข่ายประสาทเทียม (Neural network)

อาทิตย์ ศรีแก้ว (2552) เครือข่ายประสาทเทียมหรือ Artificial neural network เป็นการคำนวณที่มีความสามารถคล้ายคลึงในระดับหนึ่งกับระบบประสาทในสมองของสิ่งมีชีวิตได้ โดยเฉพาะในเรื่องของการเรียนรู้ของเครือข่าย การคำนวณเชิงนิเวรอน (Neural computing) เป็นกระบวนการคำนวณหรือประมวลผลข้อมูลที่มีขั้นตอนของการเรียนรู้ โดยใช้โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียม ในการตอบสนองเชิงปรับตัวได้กับอินพุตของระบบตามกฎการเรียนรู้ของเครือข่ายนั้นๆ หลังจากเครือข่ายได้เรียนรู้สิ่งที่ต้องรู้แล้ว เครือข่ายสามารถทำงานตามที่ตั้งไว้ได้ เครือข่ายประสาทเทียมเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายทั้งในอดีตจนกระทั่งปัจจุบัน ในด้านการเป็นเทคโนโลยีสำหรับการแก้ปัญหาที่ยุ่ยากซับซ้อน และใช้กับปัญหาการไม่เป็นเชิงเส้นของข้อมูล รวมทั้งสามารถที่จะเรียนรู้ข้อมูลตัวแปรอิสระที่ใ้ใหม่ในการพยากรณ์ตัวแปรตาม จากนักวิจัยหลากหลายสาขาวิชาไม่ว่าจะเป็น วิศวกรรม ฟิสิกส์ ประสาทวิทยา การเงิน แพทยศาสตร์ เป็นต้น การประยุกต์ใช้งานต่างๆ เช่นการทำนาย การจดจำรูปแบบ การประมาณฟังก์ชัน การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ฯลฯ ทำให้เครือข่ายประสาทเทียมถูกยอมรับในความสำเร็จ นอกเหนือไปจากความสามารถในการเรียนรู้แล้ว ความทนทานของเครือข่ายประสาทเป็นอีกจุดเด่นอย่างหนึ่ง อันเนื่องมาจากโครงสร้างที่มีการเชื่อมต่อของนิเวรอนจำนวนมากอยู่ ระบบภายในเครือข่ายจะยังคงทำงานได้แม้ว่านิเวรอนบางส่วนจะเสียหาย โดยทั่วไปแล้วเครือข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยจำนวนของการดำเนินการในขั้นแรกๆที่เรียกว่า นิเวรอน (Neurons) เป็นคอนเนคชันระหว่างค่าน้ำหนักที่เชื่อมกันคือไซแนปส์ (Synapses) ค่าน้ำหนักที่

เชื่อมต่อกันต้องมีการเรียนรู้และปรับค่าน้ำหนักตามฟังก์ชันของเครือข่าย (Network function) ในเนื้อหาส่วนนี้จะกล่าวถึงการนำเอาการเรียนรู้ด้วยเครือข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้งานรวมไปถึงโครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมที่รองรับการเรียนรู้นั้นๆ เนื้อหาในที่นี้จะเน้นการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมแบบการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Back-propagation learning) ถือเป็นการเรียนรู้ที่มีผู้นำไปประยุกต์ใช้งานมากที่สุด การเรียนรู้แบบแพร่กลับสามารถใช้ฝึกสอนเครือข่ายแบบหลายชั้นได้

เครือข่ายประสาทเทียมได้ถูกพัฒนาคิดค้นจากการทำงานของสมองมนุษย์โดยสมองมนุษย์ประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลเรียกว่านิวรอน จำนวนนิวรอนในสมองมนุษย์มีอยู่ประมาณ 10^{11} โหนดและมีการเชื่อมต่อกันอย่างมากมาย สมองมนุษย์จึงสามารถกล่าวได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ที่มีการปรับตัวเอง (Adaptive) ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) และทำงานแบบขนาน (Parallel) ความสามารถในการเรียนรู้จากตัวอย่างและการทำให้เป็นทั่วไป (Generalize) ถือเป็นคุณลักษณะสำคัญของเครือข่ายประสาทเทียม ตัวเครือข่ายจะถูกฝึกสอนโดยการแสดงรูปแบบต่างๆ ที่ต้องการให้เครือข่ายเรียนรู้ด้วยกฎการเรียนรู้ (Learning rule) ความสามารถในการเรียนรู้ได้ของเครือข่ายนี้ทำให้มีความแตกต่างไปจากการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การที่เครือข่ายถูกทำให้เป็นกรณีทั่วไปจะทำให้ตัวเครือข่ายสามารถที่จะจำแนกแยกแยะรูปแบบของอินพุตแบบใหม่ๆ ที่ตัวเครือข่ายไม่รู้จักมาก่อนได้ ในระดับที่เป็นที่ยอมรับ ตัวเครือข่ายทำการเก็บข้อมูลความรู้ในระหว่างขั้นตอนของการเรียนรู้โดยทำการเก็บไว้ที่น้ำหนักประสาท (Synaptic weights) โครงสร้างของตัวนิวรอน ภายในเครือข่ายมีอยู่มากมายหลายชนิด โครงสร้างดังกล่าวเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้คุณลักษณะต่างๆ ของเครือข่ายแตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็นการจัดวางเรียงตัวของนิวรอน กฎการเรียนรู้ที่ทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักประสาทหรือแม้กระทั่งเงื่อนไขในการฝึกฝนของเครือข่าย สิ่งแรกในการพิจารณาใช้งานเครือข่ายประสาทเทียมคือศึกษารูปแบบของเครือข่าย เครือข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างแตกต่างกันจะมีคุณลักษณะและพฤติกรรมที่แตกต่างกันด้วย โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมทั่วไปประกอบ ด้วยสองส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

- แบบจำลองของนิวรอน
- ฟังก์ชันถ่ายโอน เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รวมค่าเชิงตัวเลขจากเอาต์พุตของนิวรอนแล้วทำการตัดสินใจว่าจะยิงสัญญาณเอาต์พุตออกไปในรูปแบบใดฟังก์ชันถ่ายโอนสามารถเป็นได้ทั้งแบบเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้นการเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนจะขึ้นกับลักษณะของระบบที่นำเอาเครือข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้

ในการจัดกลุ่มชนิดของเครือข่ายประสาทเทียม เมื่อพิจารณาสถาปัตยกรรมเครือข่ายประสาทเทียมแล้วจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

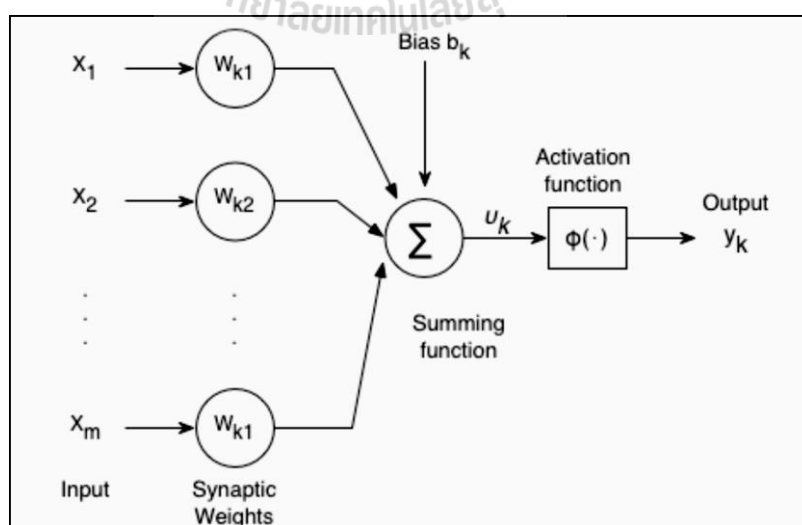
1. เครือข่ายแบบไปข้างหน้า (Feed forward Network)

โดยปกติแล้วเครือข่ายประสาทเทียมจะประกอบไปด้วยนิวรอนหลายๆ ตัวและเชื่อมต่อกันแบบขนานหลายๆ ชั้นหรือเรียกว่า Layer โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมที่มีรูปแบบการไหลของอินพุตไปยังเอาต์พุต และไม่มีการป้อนกลับแต่อย่างใด เราจึงเรียกเครือข่ายประเภทนี้ว่าเป็นแบบไปข้างหน้า (Feed forward network) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (Haykin (1998)) สิ่งแรกที่จะเอาเครือข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้งานจึงต้องทำการออกแบบพารามิเตอร์ต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น จำนวนนิวรอนในแต่ละชั้น จำนวนอินพุต จำนวนเอาต์พุต ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน ฯลฯ

2. เครือข่ายแบบป้อนกลับ (Recurrent network)

เครือข่ายป้อนกลับแตกต่างจากเครือข่ายไปข้างหน้าตรงที่มีการวนรอบแบบป้อนกลับภายในเครือข่าย ซึ่งเอาต์พุตของแต่ละนิวรอนถูกป้อนกลับไปยังอินพุตของทุกๆ นิวรอน ในบางเครือข่ายมีการป้อนกลับให้ตนเองของนิวรอนด้วย เครือข่ายป้อนกลับสามารถมีชั้นซ่อนเร้นของนิวรอน การป้อนกลับในเครือข่ายป้อนกลับนี้เป็นส่วนสำคัญของการเรียนรู้ของเครือข่าย นอกไปจากนั้นแล้วในเครือข่ายป้อนกลับนี้ยังมีการใช้หน่วยวงในโครงสร้าง ซึ่งเป็นส่วนที่ก่อให้เกิดพฤติกรรมไม่เป็นเชิงเส้นของเครือข่ายป้อนกลับ

เครือข่ายไปข้างหน้าแบบหลายชั้น (Multilayer feed forward network) โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นโดยปกติแล้วชั้นแรกจะเป็นชั้นของอินพุต และชั้นสุดท้ายจะเป็นชั้นของเอาต์พุต โดยระหว่างชั้นแรกและชั้นสุดท้ายสามารถมีชั้นซ่อนได้ (Hidden layer) โดยในแต่ละชั้นมีน้ำหนักประสา (W) ไบอัส (b) เน็ตเอาต์พุต (n) และเอาต์พุต (y) ของชั้นนั้น เครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นที่มีการฝึกสอนโดยอัลกอริทึมแบบแพร่กลับ (Back-propagation) เป็นเครือข่ายประสาทเทียมที่มีการใช้แพร่หลายที่สุด การเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Back-propagation feed forward network) เป็นการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอนโดยมีคุณลักษณะการเรียนรู้ที่จะสร้างผลลัพธ์ที่ต้องการให้ได้ตามตัวอย่างที่ได้รับ หรือตามเป้าหมายที่กำหนดให้ โดยที่กฎการเรียนรู้ จะมีวิธีการแก้ค่าความผิดพลาดโดยการลดค่าความผิดพลาดของเอาต์พุตให้น้อยที่สุด



รูปที่ 2.10 เครือข่ายประสาทเทียมแบบไปข้างหน้า

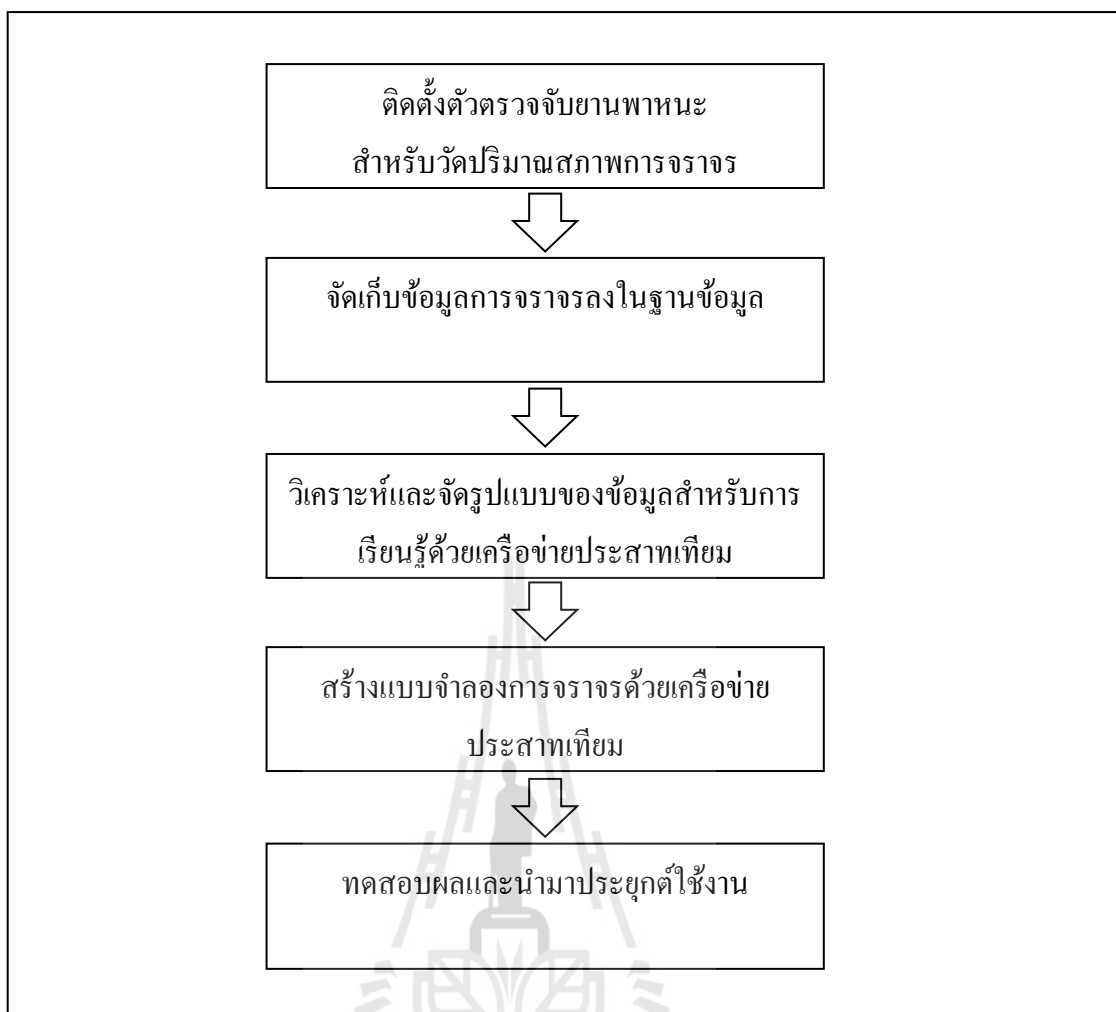
บทที่ 3

การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการสร้างแบบจำลอง โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม

3.1 บทนำ

ในปัจจุบันการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ใช้งานกันเป็นส่วนใหญ่จะเป็นแบบตั้งเวลาคงที่ (Fix Time Control) ซึ่งการออกแบบสัญญาณไฟจราจรแบบดังกล่าวนั้นจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลการจราจรของแยกการจราจรที่ต้องการออกแบบสัญญาณไฟ โดยอาศัยการเก็บข้อมูลในรูปแบบต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์และหาระยะเวลาของการเปิดสัญญาณไฟจราจรให้มีความเหมาะสม การออกแบบสัญญาณไฟจราจรแบบตั้งเวลาคงที่จะเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ง่ายที่สุด แต่ข้อเสียของวิธีการดังกล่าว คือ ระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพการจราจร ดังนั้นการที่จะปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรให้มีความเหมาะสมอีกครั้ง จำเป็นจะต้องอาศัยการเก็บข้อมูลเช่นเดิม ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่ยุ่ยากและซับซ้อนในการปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรในแต่ละครั้ง

ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการสร้างแบบจำลองของการจราจร โดยอาศัยข้อมูลจากการเก็บข้อมูลที่แยกสำโรงจันทร์ โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองซึ่งประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการเรียนรู้สภาพการจราจรที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน เวลา เพื่อให้สามารถพยากรณ์สภาพการจราจรที่เกิดขึ้นในอนาคตได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะช่วยให้การควบคุมสัญญาณไฟจราจรมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องทำการเก็บข้อมูลการจราจรใหม่ เมื่อต้องการที่จะปรับปรุงสัญญาณไฟจราจร การสร้างแบบจำลองการจราจรโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ข้อมูลการจราจรของแยกการจราจรที่พิจารณา ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาแยกสำโรงจันทร์ซึ่งในจังหวัดนครราชสีมา มีลักษณะทิศทางการเคลื่อนที่ 4 ทิศทาง ติดตั้งตัวตรวจจับยานพาหนะ (Loop Detector) สำหรับตรวจนับยานพาหนะที่ผ่านแยกการจราจรในแต่ละช่วงเวลา และนำข้อมูลที่ได้อมาจัดเก็บลงในฐานข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ คัดกรองและจัดรูปแบบของข้อมูลให้มีความเหมาะสมสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งโครงสร้างของระบบจะสามารถแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบการสร้างแบบจำลองการจราจรโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม

3.2 การวัดปริมาณการจราจรและการจัดเก็บข้อมูล

สภาพการจราจรในแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกันออกไป หากต้องการสร้างแบบจำลองการจราจรสำหรับแยกการจราจรนั้นๆ จำเป็นจะต้องสังเกตพฤติกรรมของผู้ขับขี่และระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจร รวมถึงปริมาณยานพาหนะที่เกิดขึ้น จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้กล่าวมาเพื่อนำมาวิเคราะห์และออกแบบสัญญาณไฟจราจรที่มีความเหมาะสมต่อไป การวัดปริมาณการจราจรในงานวิจัยนี้ใช้ตัวตรวจจับยานพาหนะ (Loop Detector) สำหรับตรวจวัดปริมาณสภาพการจราจรและข้อมูลที่ได้อาจถูกส่งไปยังฐานข้อมูล เพื่อให้สามารถเข้ามาตรวจสอบปริมาณสภาพการจราจร นำข้อมูลปริมาณการจราจรมาวิเคราะห์และจัดรูปแบบของข้อมูลให้เหมาะสมสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมต่อไป

3.2.1 ลักษณะทางกายภาพของแยกการจราจรที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

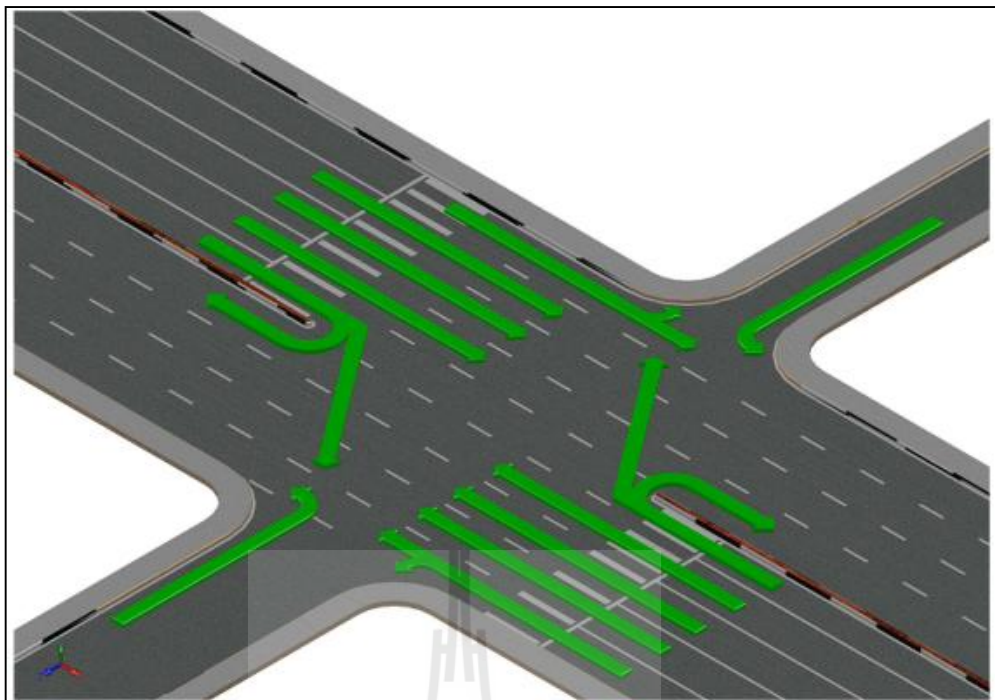
แยกการจราจรที่พิจารณาและนำมาสร้างแบบจำลอง คือ แยกสำโรงจันทร์ ตั้งอยู่บนเส้นทางหลวงหมายเลข 2 (มิตรภาพ) ซึ่งแยกจากราดังกล่าวจะมีลักษณะ 4 ทิศทาง โดยในเส้นทางหลักบนเส้นทางหลวงหมายเลข 2 จะมีทิศทางการเดินทางเป็นแบบทางเดียว มีช่องทางการเดินทาง 5 ช่องทาง เส้นทางดังกล่าวจะมีห้างสรรพสินค้าที่สำคัญตั้งอยู่บนทางหลวงหมายเลข 2 คือ “เดอะมอลล์นครราชสีมา” ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับแยกสำโรงจันทร์ ซึ่งจะส่งผลต่อสภาพการจราจรของแยกสำโรงจันทร์เป็นอย่างมาก แยกสำโรงจันทร์ใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบตั้งเวลาคงที่ (Fix Time Control) ลักษณะทางกายภาพของแยกการจราจรที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองจะแสดงดังรูปที่ 3.2



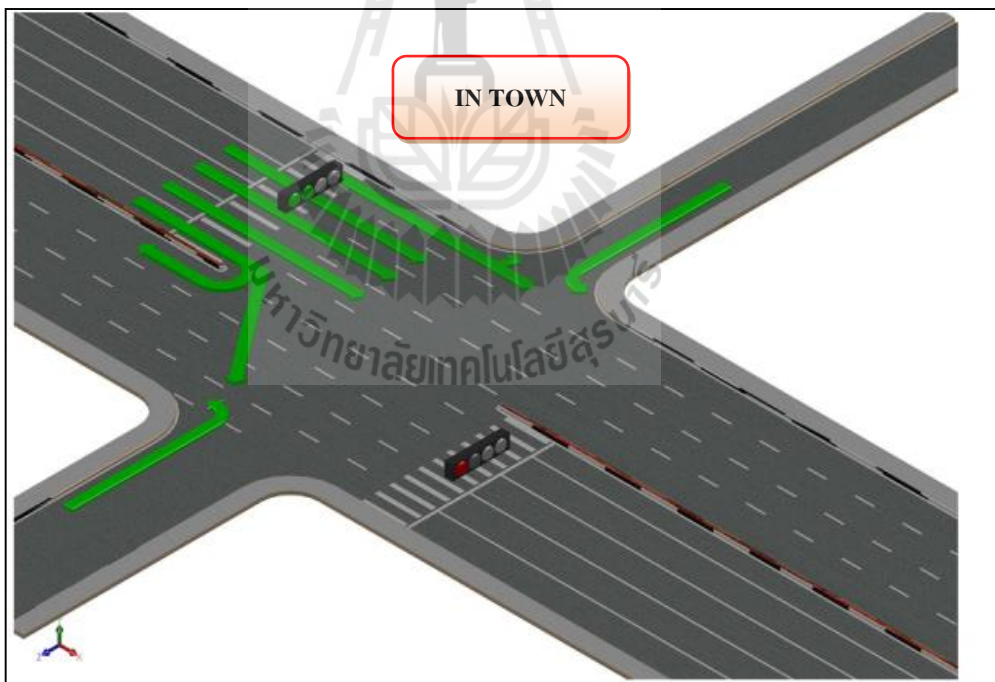
รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงลักษณะทางกายภาพของแยกสำโรงจันทร์

3.2.2 ลักษณะทิศทางการจราจรและสัญญาณไฟจราจร

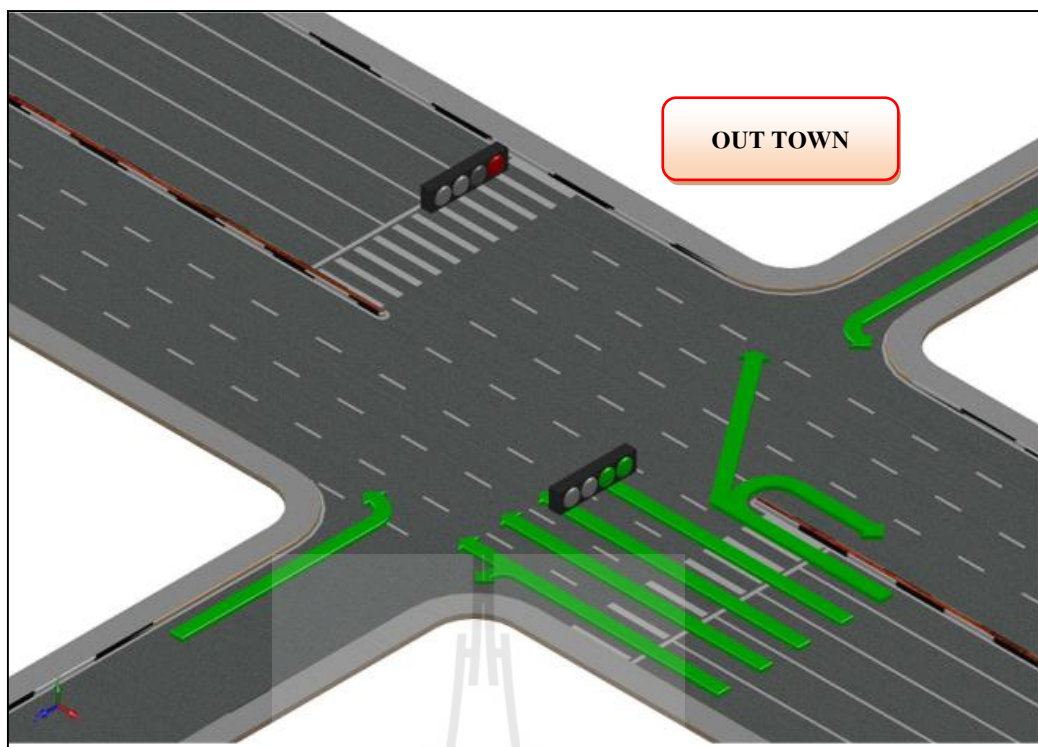
ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสำหรับแยกสำโรงจันทร์จะสามารถแบ่งได้ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งจะเป็นทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่สามารถผ่านได้โดยไม่ทำให้เกิดความขัดแย้งกัน แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) ทิศทางเข้าตัวเมืองจังหวัดนครราชสีมา (IN TOWN) คือ เมื่อเดินทางมาจากกรุงเทพมหานครเพื่อที่จะเข้ามาสู่ตัวเมืองนครราชสีมาจะต้องผ่านเดอะมอลล์นครราชสีมา ก่อนถึงแยกสำโรงจันทร์ 2) ทิศทางออกนอกตัวเมืองจังหวัดนครราชสีมา (OUT TOWN) คือ เมื่อเดินทางมาจากตัวเมืองนครราชสีมาเพื่อที่จะเดินทางไปยังกรุงเทพมหานครจะต้องผ่านแยกสำโรงจันทร์ก่อนเดอะมอลล์นครราชสีมา



รูปที่ 3.3 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะทั้งหมดสำหรับแกล่สำโรงจันทร์



รูปที่ 3.4 ทิศทางเข้าตัวเมืองจังหวัดนครราชสีมา (IN TOWN)



รูปที่ 3.5 ทิศทางออกนอกตัวเมืองจังหวัดนครราชสีมา (OUT TOWN)

3.2.3 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะสำหรับการวัดปริมาณการจราจร

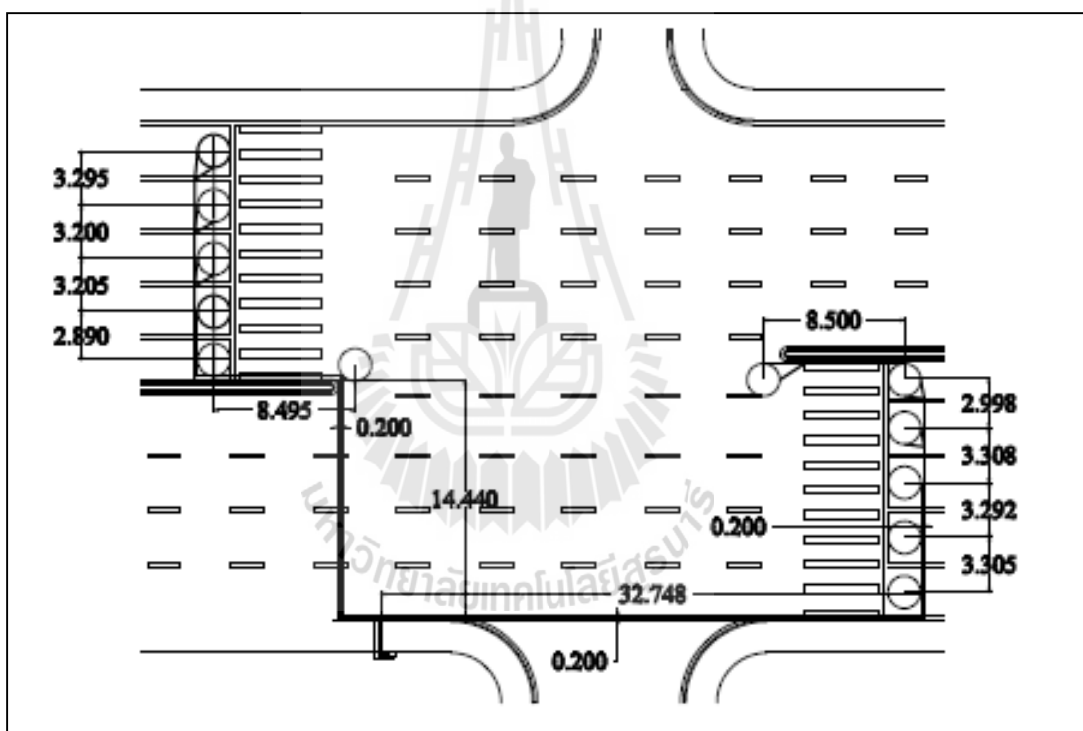
การวัดปริมาณการจราจรจะใช้ตัวตรวจจับยานพาหนะ (Loop Detector) ซึ่งจะมีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำความถี่ให้มีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมียานพาหนะอยู่เหนือตำแหน่งที่ได้ติดตั้งตัวตรวจจับยานพาหนะ ตัวตรวจจับยานพาหนะดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นขดลวดที่ฝังไว้ใต้พื้นผิวถนนในทุกช่องทางการเดินรถของถนนหมายเลข 2 (มิตรภาพ) โดยทุกจุดนั้นจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับตู้ควบคุมและจะนับปริมาณการจราจรเพื่อส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูล ในทิศทางของตรอกเสารงและซอยสำโรงจันทร์นั้น จะไม่ติดตั้งตัวตรวจจับยานพาหนะเพราะในทิศทางทั้ง 2 จะถูกบังคับให้มีทิศทางเลี้ยวซ้ายเสมอ ไม่ส่งผลต่อปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นของแยกสำโรงจันทร์

ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะสำหรับการวัดปริมาณการจราจรและระบบสัญญาณไฟจราจรแบบใหม่

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะสำหรับการวัดปริมาณการจราจรและระบบสัญญาณไฟจราจรแบบใหม่ จะมีการติดตั้งที่แยกสำโรงจันท์ที่สี่ลักษณะเป็น 4 แยกการจราจรเป็นถนนเส้นหลัก 4 ช่องทางการจราจรตัดกันถนนรอง แยกสำโรงจันท์เป็นสี่แยกบนถนนหมายเลข 2 แต่มีสัญญาณไฟจราจรเพียงแค่สองทิศทางคือ ทิศทางที่มาจากกรุงเทพฯ และทิศทางที่ออกจากในเมืองนครราชสีมา ซึ่งจะมีขั้นตอนการติดตั้งดังนี้

การวางตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะ

แยกสำโรงจันท์ซึ่งมีทิศทางการเคลื่อนที่ 2 ทิศทาง และทั้ง 2 ทิศทางนั้นจะมีการวางอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะด้านละ 6 จุดเท่ากัน (เฉพาะถนนเส้นหลัก) ในแต่ละทิศทางจะวางสายไฟเพื่อตัดวางสายไฟไปที่ตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจร



รูปที่ 3.6 แสดงการวางตำแหน่ง Loop Detector ที่แยกสำโรงจันท์



รูปที่ 3.7 แสดงการกำหนดตำแหน่งที่จัด Loop Detector ที่แยกสำโรงจันทร์ (1)



รูปที่ 3.8 แสดงการกำหนดตำแหน่งที่จัด Loop Detector ที่แยกสำโรงจันทร์ (2)



รูปที่ 3.9 แสดงการกำหนดตำแหน่งที่จัด Loop Detector ที่แยกสำโรงจันทร์ (3)



รูปที่ 3.10 แสดงการกำหนดตำแหน่งที่จัด Loop Detector ที่แยกสำโรงจันทร์ (4)

การตัดถนนเพื่อวางสายไฟของอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะ

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะจะทำการตัดถนนเป็นเส้นตรงและวงกลมเพื่อวางสายไฟจาก Loop Detector มายังตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจร ซึ่งจะต้องใช้เครื่องตัดถนนที่มีใบขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถตัดได้เร็ว ความลึกและความกว้างพอที่จะวางสายไฟที่พันเกลียวสายไฟได้



รูปที่ 3.11 เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นเส้นตรง (1)



รูปที่ 3.12 เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นเส้นตรง (2)



รูปที่ 3.13 เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นเส้นตรง (3)



รูปที่ 3.14 เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นเส้นตรง (4)

การตัดวงกลมเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะ

การตัดวงกลมเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะจะใช้เครื่องตัดที่มีใบเล็กกว่าตัดตรง เพื่อให้สามารถหมุนเครื่องตัดให้เป็นวงกลมได้ จะมีฐานตรึงเครื่องตัดให้หมุนเป็นวงกลม



รูปที่ 3.15 เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นวงกลม (1)



รูปที่ 3.16 เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นวงกลม (2)



รูปที่ 3.17 เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นวงกลม (3)



รูปที่ 3.18 เครื่องตัดถนนแบบตัดเป็นวงกลม (4)

การวางสายไฟและการคืนสภาพพื้นผิวถนน

การวางสายไฟเพื่อทำให้เป็น Loop Detector ในวงกลมที่ตัดไว้แล้วในแต่ละวงจะวาง 5 รอบ สายไฟที่ออกจาก Loop Detector ไปยังตู้สัญญาณไฟจราจร จะตีเกลียวสายไฟทั้งเส้นเพื่อไม่ให้สายไฟแยกออกจากกัน เมื่อวางสายไฟเสร็จเรียบร้อยแล้วจะคืนสภาพพื้นผิวถนนด้วยการเทยางมะตอยร้อนลงในร่องเพื่อปิดไม่ให้สายไฟได้รับความเสียหายจากการใช้รถใช้ถนนดังแสดงใน



รูปที่ 3.19 การวางสายไฟและคืนสภาพพื้นผิวถนน (1)



รูปที่ 3.20 การวางสายไฟและคืนสภาพพื้นผิวถนน (2)



รูปที่ 3.21 การวางสายไฟและคืนสภาพพื้นผิวถนน (3)



รูปที่ 3.22 การวางสายไฟและคืนสภาพพื้นผิวถนน (4)



รูปที่ 3.23 การวางสายไฟและคืนสภาพพื้นผิวถนน (5)



รูปที่ 3.24 การวางสายไฟและคืนสภาพพื้นผิวถนน (6)

การเดินสายไฟเข้าสู่ตู้ควบคุมระบบไฟจราจร

เมื่อเดินสายไฟมาจาก Loop Detector แล้วจะต้องทำการตัดขอบทางเดินเพื่อให้สายไฟสามารถเดินไปยังตู้ควบคุมระบบได้ โดยที่จะใส่ท่อที่สายไฟก่อนที่จะเอาเข้าสู่ตู้ควบคุมระบบไฟจราจร ดังแสดงใน



รูปที่ 3.25 การเดินสายไฟเข้าสู่ตู้ควบคุมระบบไฟจราจร (1)



รูปที่ 3.26 การเดินสายไฟเข้าสู่ตู้ควบคุมระบบไฟจราจร (2)



รูปที่ 3.27 การเดินสายไฟเข้าสู่ตู้ควบคุมระบบไฟจราจร (3)



รูปที่ 3.28 การเดินสายไฟเข้าสู่ตู้ควบคุมระบบไฟจราจร (4)



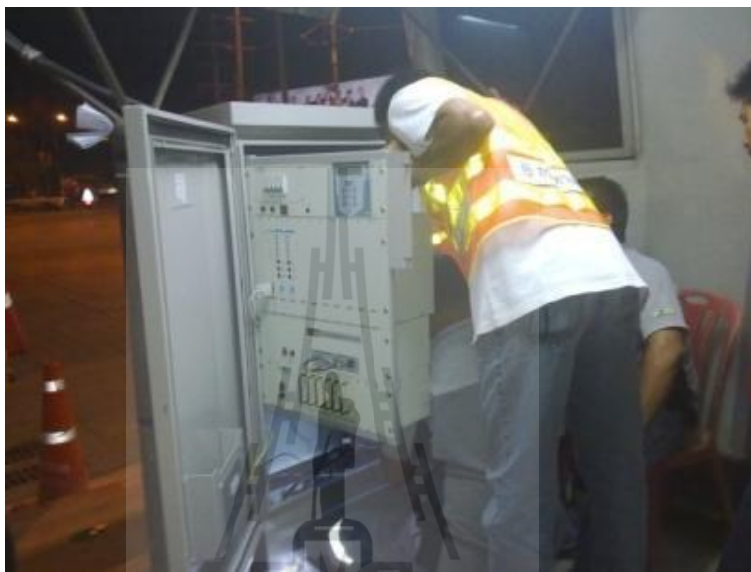
รูปที่ 3.29 การเดินสายไฟเข้าสู่ตู้ควบคุมระบบไฟจราจร (5)



รูปที่ 3.30 การเดินสายไฟเข้าสู่ตู้ควบคุมระบบไฟจราจร (6)

ขั้นตอนการติดตั้งตู้ควบคุมระบบไฟจราจร

เนื่องจากตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรเดิมเป็นตู้ที่ใช้มานานและไม่รองรับกับระบบสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติ จึงต้องทำการรื้อถอนตู้เดิมออกแล้วเอาตู้ใหม่มาติดตั้งแทน ซึ่งตู้ที่เอามาแทนนั้นมีขนาดของฐานที่ใหญ่กว่าเดิม ต้องทำการสร้างฐานตู้ขึ้นมาใหม่เพื่อให้สามารถวางตู้ใหม่ได้ ตู้ที่นำมาตั้งใหม่นี้ข้างในตู้จะมีอุปกรณ์ควบคุมสัญญาณไฟจราจรใหม่ทั้งหมด แต่สามารถทำงานได้เหมือนเดิมกับตอนที่ยังไม่ได้เปลี่ยนตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจร และสามารถรองรับระบบสัญญาณไฟจราจรอัจฉริยะได้ด้วย ดังแสดงใน



รูปที่ 3.31 การติดตั้งตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติ (1)



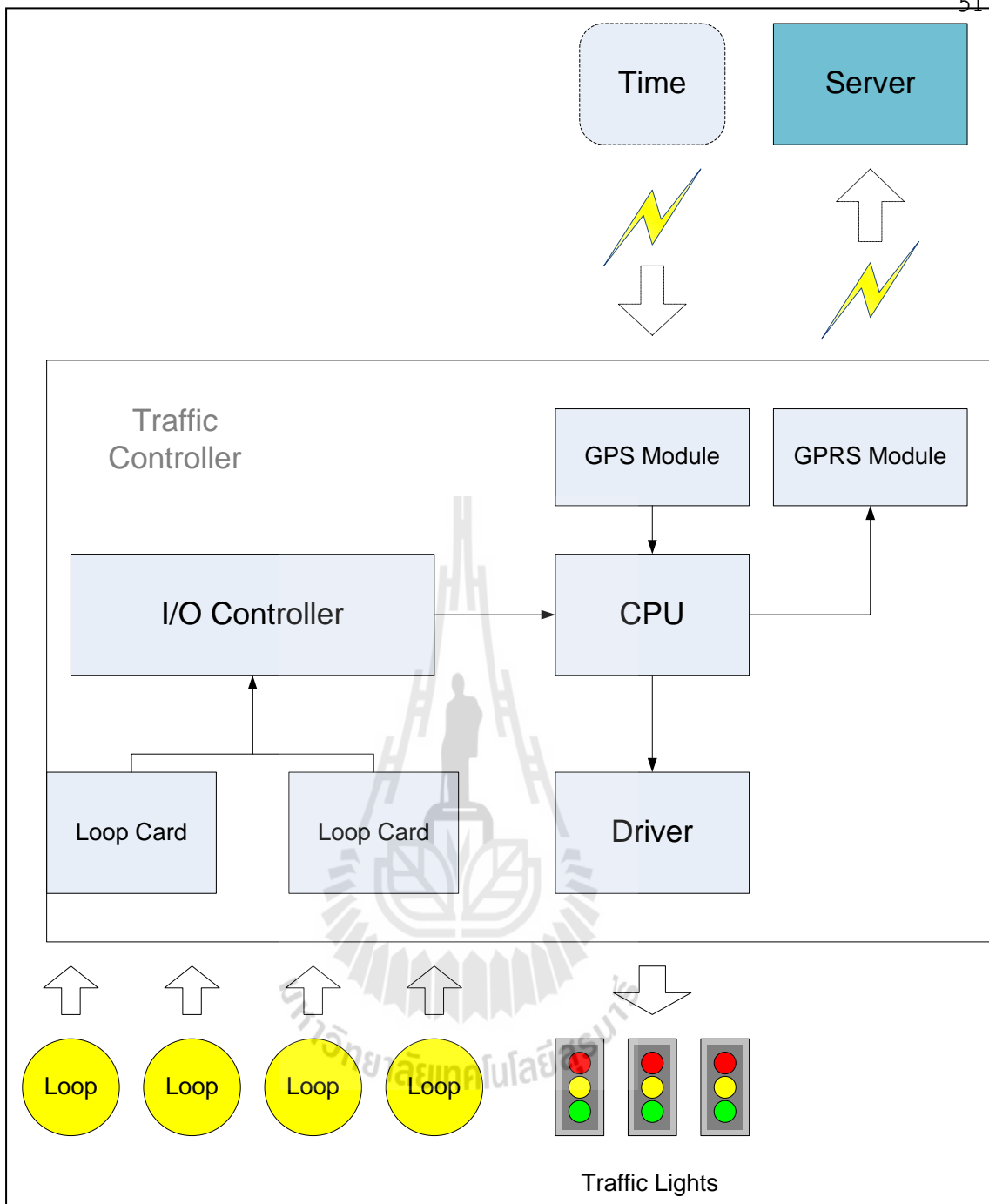
รูปที่ 3.32 การติดตั้งตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติ (2)



รูปที่ 3.33 การติดตั้งตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติ (3)



รูปที่ 3.34 การติดตั้งตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติ (4)



รูปที่ 3.35 ลักษณะการทำงานของระบบสัญญาณไฟจราจร

3.2.4 รูปแบบของข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลอง

ข้อมูลที่สำคัญสำหรับนำมาวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองการจราจร คือ วันที่ เวลา ระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรและปริมาณการจราจร ซึ่งในการเก็บข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้จะเก็บข้อมูลในช่วงระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวของแต่ละเฟส เช่น เฟส IN TOWN จะควบคุมสัญญาณไฟจราจรสำหรับการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในทิศทางเข้าตัวเมืองนครราชสีมา การวัดปริมาณยานพาหนะจะวัดจากจำนวนของยานพาหนะทั้งหมดที่สามารถผ่านแยกการจราจรในช่วงระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียว

ข้อมูลปริมาณการจราจรที่เก็บบันทึกในงานวิจัยนี้ได้จากระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ทำงานร่วมกับตัวตรวจจับยานพาหนะและระบบฐานข้อมูล โดยจะทำการเก็บข้อมูลทุกรอบสัญญาณไฟเขียวที่เกิดขึ้น การควบคุมสัญญาณไฟจราจรของแยกสำโรงจันทร์ไม่ได้เป็นระบบตั้งเวลาคงที่ตลอดทั้งวัน ซึ่งจะมีช่วงระยะเวลาของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรจากเจ้าหน้าที่ตำรวจผู้สังเกตการณ์และปรับเปลี่ยนระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรให้มีความเหมาะสมตามสภาพการจราจรที่เกิดขึ้น ซึ่งผลจากการควบคุมสัญญาณไฟจราจรจากเจ้าหน้าที่ตำรวจจะทำให้ระบบไม่สามารถที่จะบันทึกข้อมูลของรอบสัญญาณไฟจราจรนั้นได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พิจารณาช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลการจราจรในช่วงเวลาที่ไม่มีการควบคุมสัญญาณไฟจากเจ้าหน้าที่ตำรวจ คือ ช่วงเวลาตั้งแต่ 18.00 น. เป็นต้นไป และปริมาณการจราจรหลังจากเวลา 24.00 น. มีปริมาณการจราจรที่เบาบางมาก ซึ่งไม่ก่อให้เกิดปัญหาการจราจรแออัดเหมือนในช่วงเวลาอื่นๆ ดังนั้นจึงสามารถใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบตั้งเวลาคงที่ให้มีค่า Cycle Time ที่มีค่าเท่ากันในทุกๆ ชั่วโมงได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาการจราจรในช่วงเวลา 18.00 ถึง 24.00 น. สำหรับการสร้างแบบจำลอง โดยรูปแบบการเก็บข้อมูลของแต่ละวันจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.13



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Information					Data Traffic										
2	Date	Direction	Signal			In Town					Out Town					
3			G	Y	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
4	3/25/2012 0:00	0	24	3	3	0	0	0	0	0	0	1	5	3	2	
5	3/25/2012 0:00	1	24	3	3	2	0	4	2	0	0	0	0	0	0	
6	3/25/2012 0:01	0	24	3	3	0	0	0	0	0	0	3	4	5	2	
7	3/25/2012 0:01	1	24	3	3	4	0	3	2	0	0	0	0	0	0	
8	3/25/2012 0:02	0	24	3	3	0	0	0	0	0	0	1	4	1	5	
9	3/25/2012 0:02	1	24	3	3	2	5	5	2	0	0	0	0	0	0	
10	3/25/2012 0:03	0	24	3	3	0	0	0	0	0	1	3	5	5	0	
11	3/25/2012 0:03	1	24	3	3	0	3	5	4	0	0	0	0	0	0	
12	3/25/2012 0:04	0	24	3	3	0	0	0	0	0	4	2	5	5	3	
13	3/25/2012 0:04	1	24	3	3	2	3	5	3	0	0	0	0	0	0	
14	3/25/2012 0:05	0	24	3	3	0	0	0	0	0	0	4	3	2	1	
15	3/25/2012 0:05	1	24	3	3	5	3	4	4	2	0	0	0	0	0	
16	3/25/2012 0:06	0	24	3	3	0	0	0	0	0	2	1	4	2	2	
17	3/25/2012 0:06	1	24	3	3	2	5	6	1	0	0	0	0	0	0	
18	3/25/2012 0:07	0	24	3	3	0	0	0	0	0	0	3	7	2	3	
19	3/25/2012 0:07	1	24	3	3	6	3	2	2	0	0	0	0	0	0	
20	3/25/2012 0:08	0	24	3	3	0	0	0	0	0	3	2	5	2	1	
21	3/25/2012 0:08	1	24	3	3	5	6	4	3	0	0	0	0	0	0	
22	3/25/2012 0:09	0	24	3	3	0	0	0	0	0	2	5	6	4	0	
23	3/25/2012 0:09	1	24	3	3	2	4	3	5	0	0	0	0	0	0	
24	3/25/2012 0:10	0	24	3	3	0	0	0	0	0	0	3	7	6	0	
25	3/25/2012 0:10	1	24	3	3	2	1	3	2	0	0	0	0	0	0	
26	3/25/2012 0:11	0	24	3	3	0	0	0	0	0	2	4	5	6	3	
27	3/25/2012 0:11	1	24	3	3	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	
28	3/25/2012 0:12	0	24	3	3	0	0	0	0	0	5	5	5	5	1	

รูปที่ 3.36 รูปแบบการเก็บข้อมูลของแต่ละวัน

การจราจรที่เกิดขึ้นของแต่ละวันนั้นจะมีรูปแบบของปริมาณการจราจรในแต่ละช่วงเวลา คล้ายกัน แต่ในวันเสาร์และวันอาทิตย์ ของแต่ละสัปดาห์นั้นมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด อาทิเช่น เมื่อวันเสาร์ตรงกับวันสำคัญๆ ต่างๆ จะทำให้มีปริมาณการจราจรมากกว่าวันปกติ เป็นต้น ดังนั้นในการพิจารณาข้อมูลสำหรับสร้างแบบทดสอบแบบจำลองในงานวิจัยนี้ จึงได้พิจารณาเฉพาะปริมาณการจราจรวันจันทร์ถึงวันศุกร์เท่านั้น

3.3 การจัดรูปแบบข้อมูลและพารามิเตอร์ของการจราจรให้มีความเหมาะสมกับการสร้างแบบจำลอง

ข้อมูลในฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณการจราจรของแยกสำโรงจันทร์ไม่สามารถที่จะนำข้อมูลมาฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมได้โดยตรง จำเป็นต้องผ่านการวิเคราะห์ คัดกรองและจัดรูปแบบของข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อที่จะนำมาฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม โดยในส่วนนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ระบบสัญญาณไฟและสภาพการจราจรที่เกิดขึ้น

3.3.1 พารามิเตอร์สำหรับการสร้างแบบจำลองจราจร

สำหรับพารามิเตอร์ที่สำคัญในการสร้างแบบจำลองการจราจรด้วยเครือข่ายประสาทเทียมจะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญดังนี้

ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ (Direction)

ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสำหรับแยกสำโรงจันทร์จะมีทิศทางการเคลื่อนที่ที่มีความสัมพันธ์กับเฟสของสัญญาณไฟจราจร คือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของการจราจรโดยที่ไม่เกิดการขัดแย้งกัน จากรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 ลักษณะทางกายภาพของแยกการจราจรนั้นจะแบ่งทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้ 2 ทิศทาง คือ ทิศทางเข้าตัวเมืองนครราชสีมา (IN TOWN) และทิศทางออกนอกตัวเมืองนครราชสีมา (OUT TOWN) โดยในงานวิจัยนี้จะไม่พิจารณาทิศทางของการเคลื่อนที่ในทิศทางเลี้ยวทางด้านซ้ายของผู้ขับขี่ เพราะในสภาพการจราจรทั่วไปสามารถเลี้ยวผ่านได้ตลอด พารามิเตอร์สำหรับการฝึกสอนของเครือข่ายประสาทเทียม คือ DIR โดยกำหนดค่า $DIR = 0.3$ สำหรับทิศทาง IN TOWN และ $DIR = 0.7$ สำหรับทิศทาง OUT TOWN

การสุ่มชุดตัวอย่าง (Sample Data)

คือข้อมูลการจราจรที่ถูกแบ่งย่อยๆ สำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม จะต้องมีข้อมูล Input และ Output เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับกาสร้างแบบจำลอง โดยในการสุ่มตัวอย่างของชุดข้อมูลการฝึกสอนของเครือข่ายประสาทเทียม คือ การนำเอาข้อมูลการจราจรในรอบของสัญญาณไฟเขียวที่เกิดขึ้นมาเป็นข้อมูล Input และ Output ตัวอย่างเช่น เมื่อเฟส IN TOWN เริ่มได้สัญญาณไฟเขียวจะเริ่มวัดปริมาณการจราจรพร้อมทั้งเริ่มนับเวลาของสัญญาณไฟและเมื่อสิ้นสุดของสัญญาณไฟเขียว ปริมาณยานพาหนะและระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียว เป็นต้น ซึ่งจากรูปที่ 3.14 จะเห็นว่าข้อมูลที่อยู่ในกรอบเป็นชุดข้อมูลย่อยที่ 6 (Sample Data ที่ 6) สำหรับเป็นข้อมูลการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Information					Data Traffic										
2			Signal			In Town					Out Town					
3	Date	Direction	G	Y	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
4	3/25/2012 0:00	0	24	3	3	0	0	0	0	0	0	1	5	3	2	
5	3/25/2012 0:00	1	24	3	3	2	0	4	2	0	0	0	0	0	0	
6	3/25/2012 0:01	0	24	3	3	0	0	0	0	0	0	3	4	5	2	
7	3/25/2012 0:01	1	24	3	3	4	0	3	2	0	0	0	0	0	0	
8	3/25/2012 0:02	0	24	3	3	0	0	0	0	0	0	1	4	1	5	
9	3/25/2012 0:02	1	24	3	3	2	5	5	2	0	0	0	0	0	0	
10	3/25/2012 0:03	0	24	3	3	0	0	0	0	0	1	3	5	5	0	

รูปที่ 3.37 Sample Data สำหรับการฝึกสอนของเครือข่ายประสาทเทียม

อัตราการไหลของการจราจร (Traffic Flow Rate)

อัตราการไหลของการจราจร คือ ปริมาณการจราจรที่สามารถผ่านได้ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด จากข้อมูลแต่ละ Sample Data พบว่า ในแต่ละช่วงเวลาของการจราจรนั้นจะมีระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรที่ไม่เท่ากัน ไม่สามารถที่จะเปรียบเทียบปริมาณการจราจรกันได้นั้นเมื่อพิจารณาจากระบบการจราจรจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละชุดการจราจรเปรียบเทียบในหน่วยวินาที ซึ่งจะสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{Traffic Flow Rate} = \frac{\text{Volume}}{\text{Green Time}} \quad (3-1)$$

โดย Volume คือ ปริมาณยานพาหนะทั้งหมดที่สามารถผ่านได้ในช่วงระยะเวลาสัญญาณไฟเขียว

Green Time คือ ระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวในเฟส

การหาค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของการจราจร (Moving Average Traffic Flow Rate)

จากข้อมูลปริมาณการจราจรของแยกสำโรงจันทร์พบว่าปริมาณการจราจรในแต่ละเวลานั้นมีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการหาปริมาณการจราจรเฉลี่ยเพื่อลดความแตกต่างของข้อมูลการจราจรที่เกิดขึ้น การเฉลี่ยของข้อมูลการจราจรสำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยแบบ Moving Average ในระยะเวลา 5 นาที เนื่องจากการเฉลี่ยปริมาณการจราจรจะต้องทำการเฉลี่ยทุกๆ Sample Data ซึ่งค่ารอบสัญญาณไฟจราจร (Cycle Time) สูงสุดในช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูล คือ 240 วินาที (4 นาที) ดังนั้นระยะเวลา 5 นาทีเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมเพราะจะได้ปริมาณการจราจรครบ 1 รอบสัญญาณไฟจราจรเป็นอย่างดี

Day of Week (DOW)

Day of Week (DOW) คือ วันของสัปดาห์ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาวันจันทร์ถึงวันศุกร์เท่านั้น DOW เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกคุณลักษณะของสภาพการจราจรในวันต่างๆ โดยการกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมคือ

- DOW = 1 สำหรับระบุดค่าของ วันจันทร์
- DOW = 2 สำหรับระบุดค่าของ วันอังคาร
- DOW = 3 สำหรับระบุดค่าของ วันพุธ
- DOW = 4 สำหรับระบุดค่าของ วันพฤหัสบดี
- DOW = 5 สำหรับระบุดค่าของ วันศุกร์

Hour of Day (HOUR)

Hour of Day (Hour) คือ ค่าของเวลาในหน่วยของชั่วโมงใน 1 วัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาช่วงเวลาตั้งแต่ 18.00 ถึง 24.00 น.

Minute of Hour (MINUTE)

Minute of Hour คือ ค่าของเวลาในหน่วยนาทีใน 1 ชั่วโมง

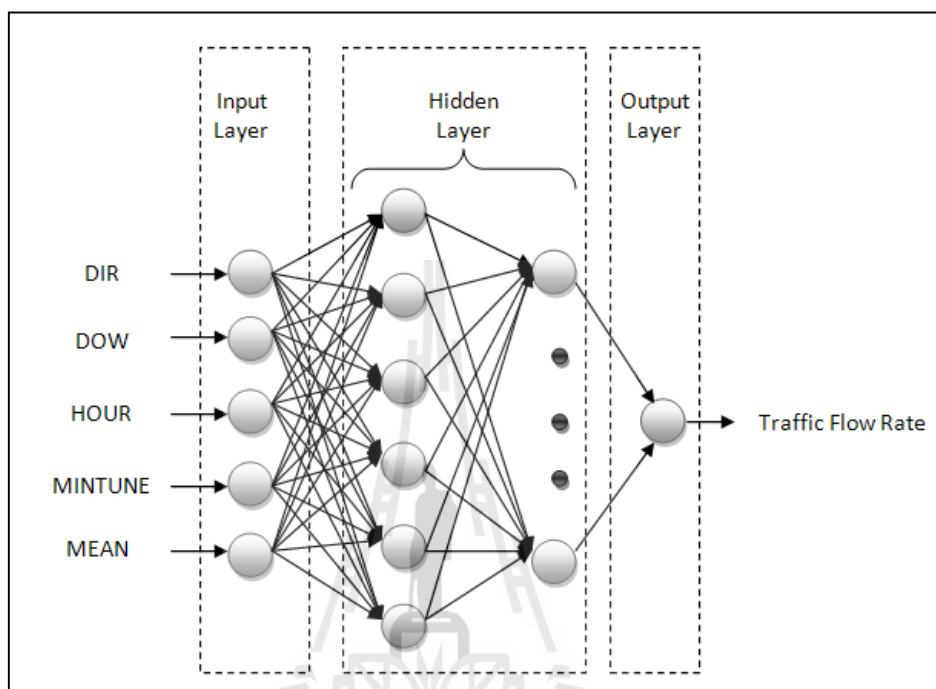
การหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของการจราจรในรายชั่วโมง

(Mean of Moving Average Traffic Flow Rate between Hour)

ปริมาณการจราจรของแต่ละเวลามีค่าแตกต่างกันดังที่เคยได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งการพยากรณ์ปริมาณการจราจรโดยอาศัยตัวแปรทิศทางและการเคลื่อนที่ วัน เวลา ในการพยากรณ์ ให้ผลที่มีความคลาดเคลื่อนสูง ดังนั้นค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของการจราจรในรายชั่วโมงเป็นค่าที่บ่งบอกสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นในรายชั่วโมง สามารถระบุความหนาแน่นของการจราจรในชั่วโมงนั้นๆ ได้ ดังนั้นจึงเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม

3.4 การออกแบบเครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

เครือข่ายประสาทเทียมเป็นรูปแบบหนึ่งของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งเครือข่ายประสาทเทียมจะมีความสามารถในการเรียนรู้ข้อมูลต่างๆ เพื่อสร้างแบบจำลองจากสิ่งที่เรียนรู้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจะได้นำเครือข่ายประสาทเทียมมาเรียนรู้ข้อมูลการจราจรจากข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมในฐานข้อมูล โดยจะออกแบบโครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อสร้างแบบจำลองดังรูป



รูปที่ 3.38 โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการสร้างแบบจำลองการจราจร

โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมในงานวิจัยนี้จะใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi Layer Neural Network) ที่มีการเรียนรู้โดยอัลกอริทึมแบบแพร่กลับ (Back propagation) ซึ่งเป็นเครือข่ายประสาทเทียมที่มีการใช้แพร่หลายที่สุด โดยจะกำหนดพารามิเตอร์สำหรับโครงสร้างดังนี้

1. จำนวน Layer
2. จำนวนชั้นของเครือข่ายประสาทเทียมนั้นกำหนดให้มีทั้งหมด 4 ชั้น ประกอบด้วย
 - 1) Input Layer จำนวน 1 ชั้น
 - 2) Hidden Layer จำนวน 2 ชั้น และ
 - 3) Output Layer จำนวน 1 ชั้น ดังรูปที่ 3.15
3. จำนวน Node
4. ในโครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมกำหนดให้แต่ละชั้นมีจำนวน Node ที่ไม่เท่ากัน โดยชั้นแรก Input Layer จะมีการเปลี่ยนแปลงจำนวน Node ไปตาม Input ที่ป้อน Hidden ชั้นที่ 1 กำหนดจำนวน Node คือ 10 Hidden ชั้นที่ 2 กำหนดจำนวน Node คือ 4 และ Output Layer กำหนดจำนวน Node คือ 1 ตามค่า Output ที่กำหนด
5. ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Function)

6. ในแต่ละ Layer ของเครือข่ายประสาทเทียมจำเป็นต้องกำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอนของแต่ละ Layer ให้มีความเหมาะสมกับรูปแบบของข้อมูลที่เรียนรู้ โดยในโครงสร้างที่กล่าวนี้ จะมีการกำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอนดังนี้

ตารางที่ 3.1 การกำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอนของแต่ละ Layer

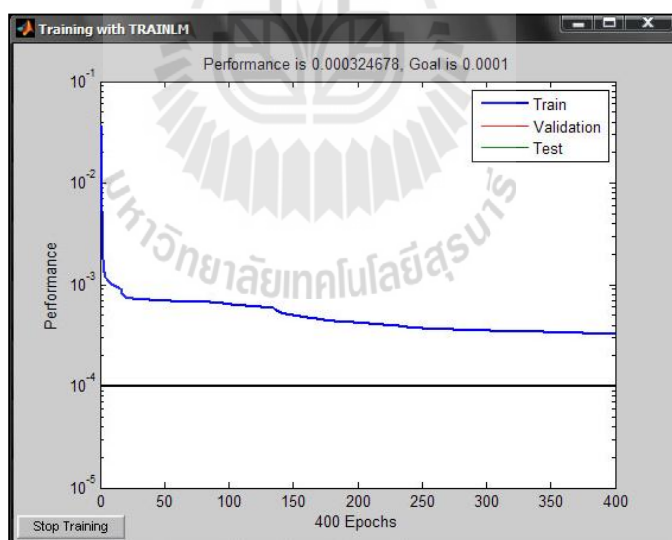
7. Layer	8. Transfer Function
9. Input	10. logsig
11. Hidden 1	12. logsig
13. Hidden 2	14. tansig
15. Output	16. purelin

17. ข้อมูลสำหรับการเรียนรู้

18. ข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมนั้นจะถูกกำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เท่านั้น

19. พารามิเตอร์อื่นๆ

- Back propagation network training function คือ **trainlm** (default)
- Back propagation weight/bias learning function คือ **learngdm** (default)
- Performance function คือ MSE (default)



รูปที่ 3.39 กราฟแสดงค่า Performance การเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียม

3.5 รูปแบบของการเรียนรู้สำหรับการสร้างและการทดสอบแบบจำลอง

รูปแบบการฝึกสอนของเครือข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีการเรียนรู้จากข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูล โดยในงานวิจัยนี้จะนำข้อมูลทั้งหมดมาคัดกรองข้อมูลที่สามารถนำมาสร้างแบบจำลองได้ ผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาพารามิเตอร์ที่สำคัญ การสร้างแบบจำลองแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 รูปแบบ เพื่อการสร้างแบบจำลองการจราจรที่ต่างต่างกัน รูปแบบของข้อมูลการฝึกสอนทั้ง 3 แบบจะให้ผลของการฝึกสอนที่ส่งผลกับแบบจำลองที่ได้ที่ไม่เหมือนกันและการประยุกต์ใช้งานของแต่ละแบบจำลองก็ จะมีความแตกต่างกันออกไปด้วย โดยในส่วนนี้จะได้อธิบายรูปแบบของข้อมูลสำหรับการฝึกสอน เครือข่ายประสาทเทียมแบบต่างๆ และวิธีการทดสอบแบบจำลองด้วย

3.5.1 ข้อมูลสำหรับการเรียนรู้และการทดสอบผลของเครือข่ายประสาทเทียม

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการจราจรและคัดกรองข้อมูลที่สามารถนำมาสร้างแบบจำลองการจราจรได้ทั้งหมด 17 สัปดาห์ ซึ่งแต่ละสัปดาห์จะพิจารณาวันจันทร์ถึงวันศุกร์ เท่านั้น รวมข้อมูลทั้งหมด 85 วัน ช่วงเวลาของการเก็บข้อมูล คือ 18.00 ถึง 24.00 น. ข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ข้อมูลสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมจำนวน 14 สัปดาห์ (70 วัน) และข้อมูลสำหรับการทดสอบแบบจำลอง 3 สัปดาห์ (15 วัน) โดยข้อมูลทั้ง 2 ชุดนี้ ไม่มีความเกี่ยวเนื่องกัน

3.5.2 การทดสอบผลและค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง

แบบจำลองจะถูกทดสอบด้วยข้อมูลสำหรับการทดสอบทั้งหมด 15 วัน โดยจะนำค่าที่ได้จากการพยากรณ์เปรียบเทียบกับข้อมูลจริง วัดประสิทธิภาพของแบบจำลองจากค่า Root Mean Square Error (RMSE) ซึ่งจะสามารถคำนวณได้จากสมการ

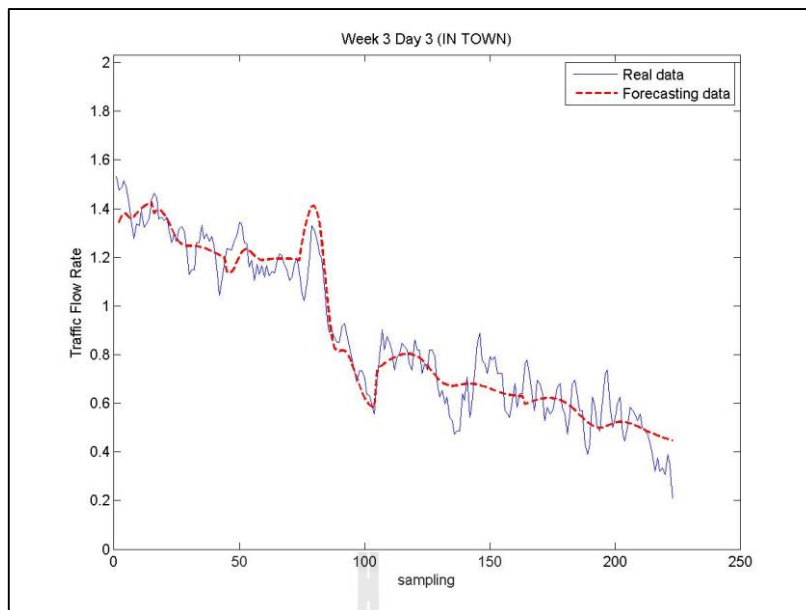
$$\text{Error} = \text{Flow rate}_{\text{Real}} - \text{Flow rate}_{\text{Prediction}} \quad (3-2)$$

และ

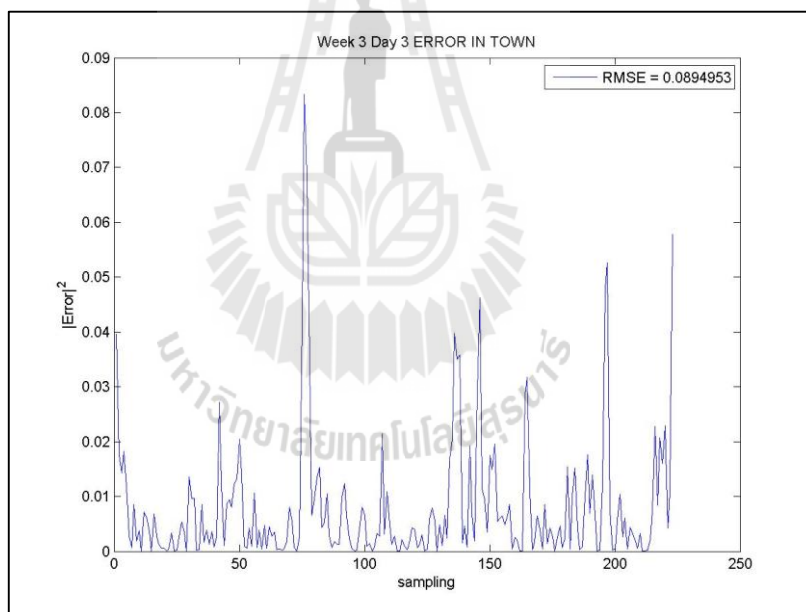
$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Flow Rate (Real)}_i - \text{Flow Rate (Prediction)}_i)^2}{n}} \quad (3-3)$$

เมื่อ i คือ ตำแหน่งของ Sample Data

n คือ จำนวนของ Sample Data ทั้งหมด



รูปที่ 3.40 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการจราจรจริง



รูปที่ 3.41 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง

3.5.3 รูปแบบการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม

รูปแบบของข้อมูลสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมจะส่งผลกับแบบจำลองการจราจรที่ได้ ดังนั้นรูปแบบของข้อมูลจำเป็นต้องมีรูปแบบของการฝึกสอนที่เหมาะสม ค่าอัตราการไหลเฉลี่ยของการจราจร (Traffic Flow Rate) จะถูกกำหนดให้เป็น Output ของแบบจำลองซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่สุดสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานในการสำหรับการออกแบบสัญญาณไฟจราจร ข้อมูล Input จะเป็นสิ่งที่แบบจำลองจะต้องนำมาคำนวณเพื่อให้ได้อัตราการไหลของการจราจร (Traffic Flow Rate) ตาม Input ที่ป้อนให้กับแบบจำลอง ซึ่งรูปแบบของ Input จะมีความแตกต่างกันออกไปตามรูปแบบของการฝึกสอน ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการฝึกสอนออกเป็น 3 รูปแบบ เพื่อที่จะหาวิธีการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม โดยการฝึกสอนจะแบ่งออกเป็นดังนี้

1. การฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูล 1 สัปดาห์ (1 Week Data Training)
2. แบบจำลองที่ได้จากการฝึกสอนด้วยวิธีนี้จะเรียกว่า “**แบบจำลอง 1 Week Data**”
3. การฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลที่เป็นวันเดียวกันแต่อยู่คนละสัปดาห์ (Day of Week Data Training) แบบจำลองที่ได้จากการฝึกสอนด้วยวิธีนี้จะเรียกว่า “**แบบจำลอง Day of Week Data**”
4. การฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลทั้งหมด (All Data Training)
5. แบบจำลองที่ได้จากการฝึกสอนด้วยวิธีนี้จะเรียกว่า “**แบบจำลอง All Data**”

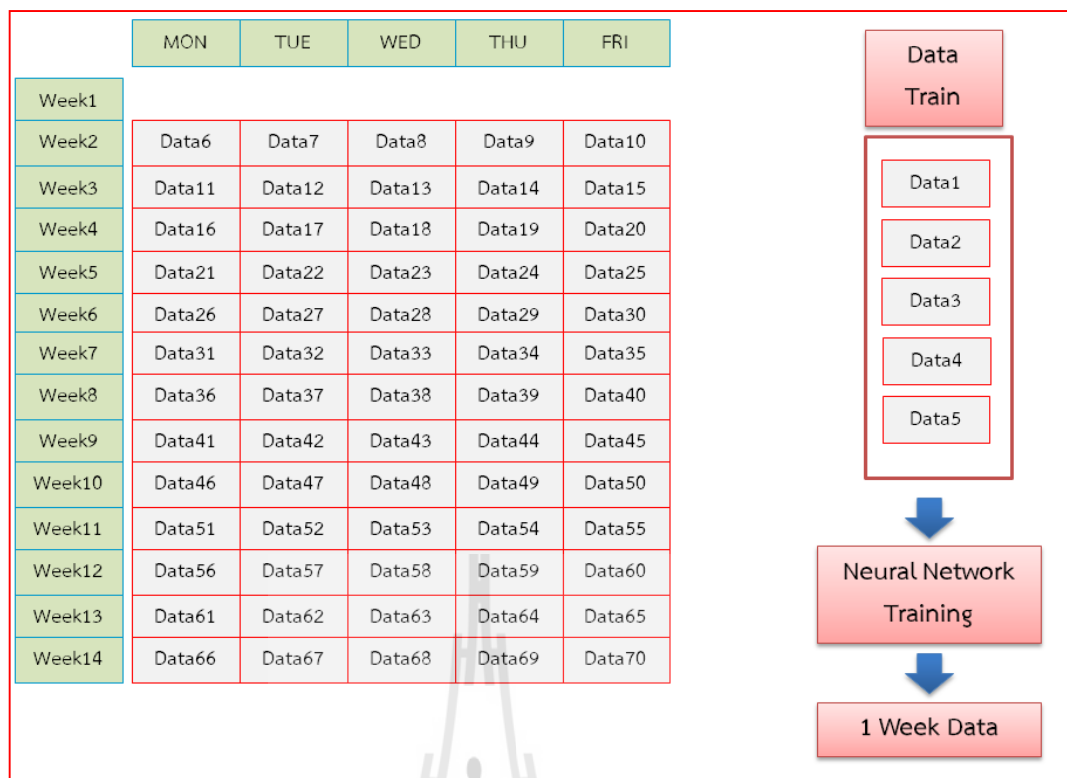
1. การสร้างแบบจำลองด้วยการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมจากข้อมูลการจราจร 1 สัปดาห์ (1 Week Data Training)

การฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมโดยอาศัยข้อมูลการจราจร 1 สัปดาห์ คือ การฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลการจราจร 5 วัน ที่อยู่ในสัปดาห์เดียวกัน (1 สัปดาห์) โดยจะไม่มีกำหนดวันของสัปดาห์ (Day of Week) ซึ่งสมมุติฐานของการทดสอบการสร้างแบบจำลองนี้คือ “ปริมาณการจราจรของวันต่าง ๆ ในสัปดาห์มีค่าใกล้เคียงกันและสามารถใช้ข้อมูลเพียง 1 สัปดาห์สำหรับสร้างแบบจำลองได้”

	A	B	C	D	E
1	1 Week Data Information				
2	DIR	HOUR	MINUTE	Mean of Traffic Flow	Traffic Flow Rate
3					
4	0.3	18	11	1.7836	1.8116
5	0.3	18	13	1.7836	1.9275
6	0.3	18	16	1.7836	1.9058
7	0.3	18	18	1.7836	1.6087
8	0.3	18	21	1.7836	1.8116
9	0.3	18	23	1.7836	2.0072
10	0.3	18	26	1.7836	1.8478
11	0.3	18	28	1.7836	1.7826
12	0.3	18	31	1.7836	1.7464
13	0.3	18	33	1.7836	1.7536
14	0.3	18	36	1.7836	1.7101
15	0.3	18	38	1.7836	1.7029
16	0.3	18	41	1.7836	1.6957
17	0.3	18	56	1.7836	1.7609
18	0.3	18	58	1.7836	1.6812

รูปที่ 3.42 ข้อมูลสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับวิธี 1 Week Data Training

จากรูปที่ 3.19 คือ ข้อมูล 1 วัน โดยจะประกอบด้วย ทิศทางการเคลื่อนที่ของการจราจร (DIR) ข้อมูลชั่วโมง (HOUR) ข้อมูลนาที (MINUTE) และค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของการจราจร (Mean of Traffic Flow Rate) จากข้อมูลของแยกการจราจรจะเห็นได้ว่า ข้อมูลทั้งหมด 5 วันในสัปดาห์ จะมีค่า DIR และ HOUR เหมือนกันทั้งหมด เพราะช่วงระยะเวลาในการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเวลาเดียวกัน แต่ค่า MINUTE จะมีค่าใกล้เคียง สาเหตุเนื่องจากช่วงเวลาของสัญญาณไฟเขียวในแต่ละวันมีค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้เวลาที่หน่วยเป็นนาที่สำหรับเก็บข้อมูลจะต้องอ้างอิงกับระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของการจราจร (Mean of Traffic Flow) จะมีค่าแตกต่างกัน โดยในแต่ละชั่วโมงจะมีปริมาณการจราจรที่มีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งค่าพารามิเตอร์นี้จะบ่งบอกความหนาแน่นของสภาพการจราจรในชั่วโมง อัตราการไหลของการจราจร (Traffic Flow Rate) จะถูกกำหนดให้เป็น Output ของของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม รูปแบบของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมจากข้อมูลการจราจร 1 สัปดาห์สามารถอธิบายได้ดังรูป



รูปที่ 43 รูปแบบชุดข้อมูลการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการ 1 Week Data

2. การฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลที่เป็นวันเดียวกันแต่อยู่คนละสัปดาห์ (Day of Week Data Training)

ในการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการแบบ 1 Week Data Training มีข้อจำกัดของวันอื่นๆ ของสัปดาห์ ซึ่งไม่สามารถให้ค่าการพยากรณ์ในแต่ละวันของสัปดาห์ได้ ดังนั้นการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยวิธี Day of Week Data Training จะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยนำข้อมูลการจราจรจากวันเดียวกันแต่คนละสัปดาห์มาฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งสมมุติฐานของการทดสอบการสร้างแบบจำลองนี้ คือ “ปริมาณการจราจรของวันต่างๆ ในสัปดาห์มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อเป็นวันเดียวกันในแต่ละสัปดาห์มีความใกล้เคียงกัน” ในการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการ Day of Week Data Training จะต้องทำการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมทั้งหมด 5 รูปแบบ คือ ข้อมูลของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ดังนั้นแบบจำลองที่ได้จากวิธีการ Day of Week Data Training จะมีทั้งหมด 5 แบบจำลอง ซึ่งจะแสดงฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมดังรูป

	MON	TUE	WED	THU	FRI	Data Train (MON)	Data Train (TUE)	Data Train (WED)	Data Train (THU)	Data Train (FRI)
Week1	Data1	Data2	Data3	Data4	Data5					
Week2	Data6	Data7	Data8	Data9	Data10					
Week3	Data11	Data12	Data13	Data14	Data15					
Week4	Data16	Data17	Data18	Data19	Data20					
Week5	Data21	Data22	Data23	Data24	Data25					
Week6	Data26	Data27	Data28	Data29	Data30					
Week7	Data31	Data32	Data33	Data34	Data35					
Week8	Data36	Data37	Data38	Data39	Data40					
Week9	Data41	Data42	Data43	Data44	Data45					
Week10	Data46	Data47	Data48	Data49	Data50					
Week11	Data51	Data52	Data53	Data54	Data55					
Week12	Data56	Data57	Data58	Data59	Data60					
Week13	Data61	Data62	Data63	Data64	Data65					
Week14	Data66	Data67	Data68	Data69	Data70					

รูปที่ 3.44 รูปแบบชุดข้อมูลการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการ Day of Week Data Training ก่อนการแยกชุดข้อมูล

	MON	TUE	WED	THU	FRI	Data Train (MON)	Data Train (TUE)	Data Train (WED)	Data Train (THU)	Data Train (FRI)
Week1						Data1	Data2	Data3	Data4	Data5
Week2						Data6	Data7	Data8	Data9	Data10
Week3						Data11	Data12	Data13	Data14	Data15
Week4						Data16	Data17	Data18	Data19	Data20
Week5						Data21	Data22	Data23	Data24	Data25
Week6						Data26	Data27	Data28	Data29	Data30
Week7						Data31	Data32	Data33	Data34	Data35
Week8						Data36	Data37	Data38	Data39	Data40
Week9						Data41	Data42	Data43	Data44	Data45
Week10						Data46	Data47	Data48	Data49	Data50
Week11						Data51	Data52	Data53	Data54	Data55
Week12						Data56	Data57	Data58	Data59	Data60
Week13						Data61	Data62	Data63	Data64	Data65
Week14						Data66	Data67	Data68	Data69	Data70

รูปที่ 3.45 รูปแบบชุดข้อมูลการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการ Day of Week Data Training หลังการแยกชุดข้อมูล

จากรูปแสดงตัวอย่างของการจัดชุดข้อมูลของวันจันทร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้อมูลของวันจันทร์ของทุกสัปดาห์จะถูกนำมาเรียงต่อกันใหม่เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม จากข้อมูลทั้งหมดสำหรับการฝึกสอน 14 สัปดาห์ จะได้ว่าในชุดข้อมูลมีข้อมูลทั้งหมด 14 วัน (เป็นข้อมูลของวันจันทร์ทั้งหมด) จากชุดข้อมูลจะได้แบบจำลองการจราจร 1 แบบจำลอง ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวจะเป็นแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลของการจราจรของวันจันทร์เท่านั้น

3. การสร้างแบบจำลองโดยการเรียนรู้จากข้อมูลทั้งหมด 14 สัปดาห์ (All Data Training)

ในการสร้างแบบจำลองจรรยาจรด้วยวิธี 1 Week Data Training นั้นข้อมูลสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมจะมีเพียง 1 สัปดาห์เท่านั้น อาจจะทำให้เครือข่ายประสาทเทียมยังไม่สามารถที่จะจดจำรูปแบบการจรรยาจรได้ ซึ่งการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการ All Data Training จะเป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลของการฝึกสอนของเครือข่ายประสาทเทียมระหว่างใช้ข้อมูลการฝึกสอนที่มีข้อมูลน้อยและข้อมูลการฝึกสอนที่มีจำนวนมาก การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการ All Data Training จะทำการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลทั้งหมด 14 สัปดาห์ (70 วัน)

Data Train				
Data1	Data2	Data3	Data4	Data5
Data6	Data7	Data8	Data9	Data10
Data11	Data12	Data13	Data14	Data15
Data16	Data17	Data18	Data19	Data20
Data21	Data22	Data23	Data24	Data25
Data26	Data27	Data28	Data29	Data30
Data31	Data32	Data33	Data34	Data35
Data36	Data37	Data38	Data39	Data40
Data41	Data42	Data43	Data44	Data45
Data46	Data47	Data48	Data49	Data50
Data51	Data52	Data53	Data54	Data55
Data56	Data57	Data58	Data59	Data60
Data61	Data62	Data63	Data64	Data65
Data66	Data67	Data68	Data69	Data70

รูปที่ 3.46 รูปแบบชุดข้อมูลการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการ All Data Training

บทที่ 4

การสร้างแบบจำลองและการออกแบบสัญญาณไฟจราจร

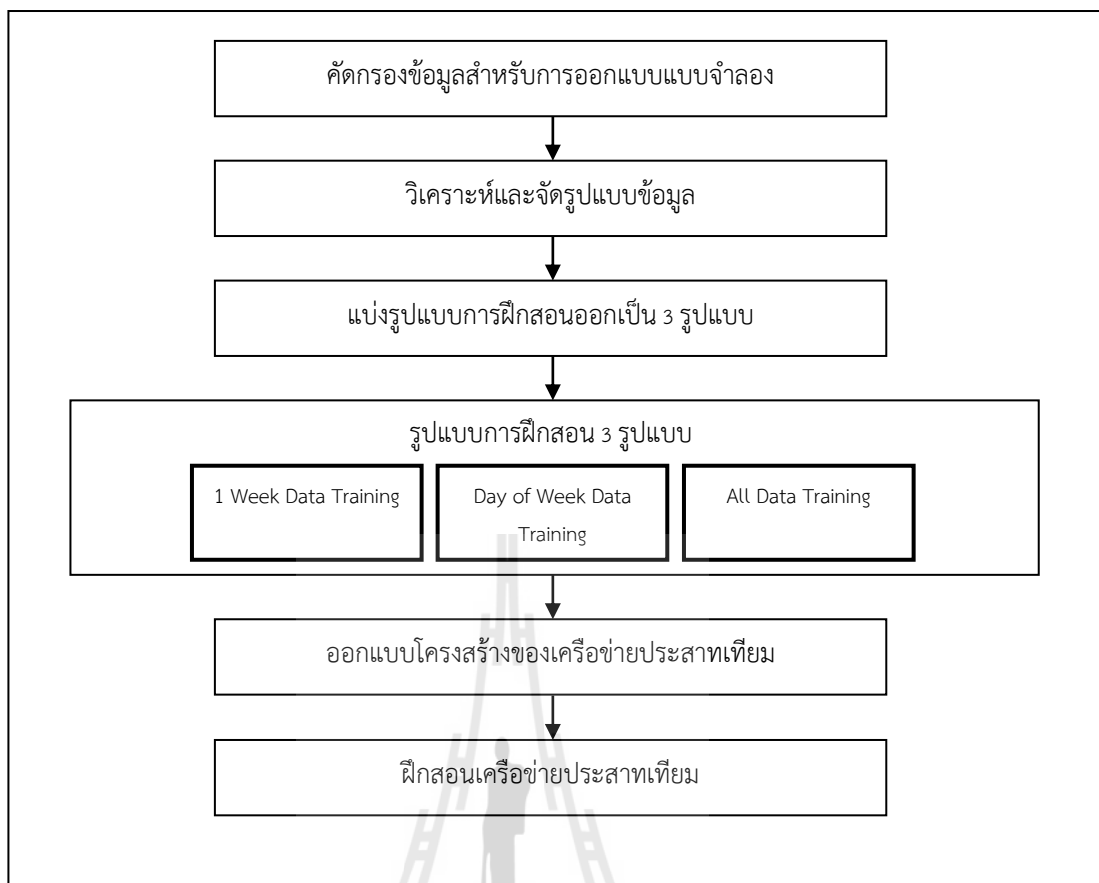
4.1 บทนำ

การสร้างแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ปริมาณจราจรโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งมีการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายประสาทเทียมมาเรียนรู้ข้อมูลการจราจรเพื่อให้สร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่ประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้มีโครงสร้างเป็นแบบมีการเชื่อมโยงไปข้างหน้าแบบหลายเลเยอร์ (Multi-layer feed forward network) โดยใช้คู่กับอัลกอริทึมแพร่กลับ (Back propagation) ข้อมูลสำหรับการฝึกสอนและทดสอบแบบจำลองจะมีทั้งหมด 85 วัน จะพิจารณาเฉพาะวันจันทร์ถึงวันศุกร์ในช่วงเวลา 18.00 ถึง 24.00 น. เท่านั้น แบ่งข้อมูลสำหรับการฝึกสอนแบบ 70 วัน และข้อมูลสำหรับการทดสอบแบบจำลอง 15 วัน ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบจะแยกออกจากชุดข้อมูลสำหรับการฝึกสอน และจะมีรูปแบบของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม 3 วิธี คือ 1) 1 Week Data Training 2) Day of Week Training และ 3) All Data Training ในบทนี้จะสร้างแบบจำลองโดยฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมและทดสอบแบบจำลองที่ได้เพื่อหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น เปรียบเทียบวิธีการสร้างแบบจำลองทั้ง 3 วิธี เพื่อหาวิธีการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม ข้อมูลจากแบบจำลองจะถูกนำมาวิเคราะห์และออกแบบสัญญาณไฟจราจรสำหรับแยกสำโรงจันทร์และเปรียบเทียบผลที่ได้กับระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบเดิม โดยจะทำการออกแบบและหาประสิทธิภาพด้วยโปรแกรม SIDRA INTERSECTION

4.2 การสร้างแบบจำลองการจราจรด้วยเครือข่ายประสาทเทียม

การสร้างแบบจำลองการจราจรสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการจราจรในงานวิจัยนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลอง 3 แบบ โดยแต่ละแบบจะใช้เครือข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างเดียวกันแต่จะมีข้อมูลสำหรับการฝึกสอนที่แตกต่างกันไป ซึ่งจะทำให้แบบจำลองที่ได้มีความแตกต่างกันตามข้อมูลการฝึกสอน การทดสอบผลจะเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการพยากรณ์กับข้อมูลจริง ประสิทธิภาพของแบบจำลองจะประเมินด้วย Root Mean Square Error (RMSE) เนื่องจากการทดสอบแบบจำลองจะใช้ข้อมูลทั้งหมด 15 วัน ดังนั้นประสิทธิภาพของแบบจำลองจะวัดจากค่าเฉลี่ย RMSE ของข้อมูลทั้งหมดที่ทดสอบ

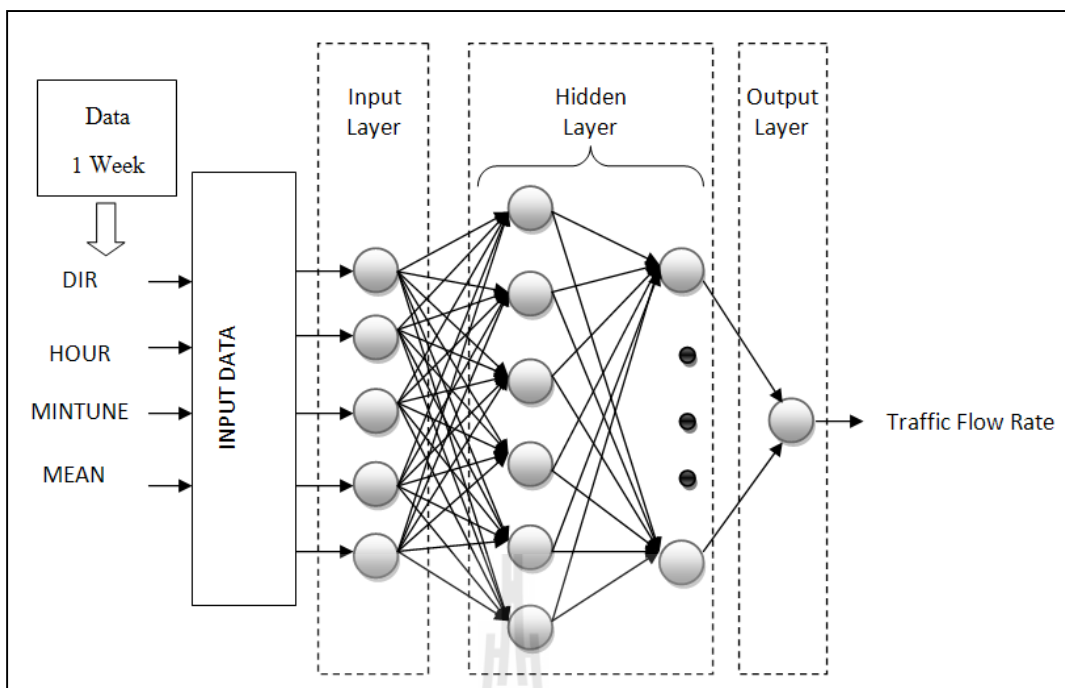
ขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองด้วยเครือข่ายประสาทเทียมสามสามารถทำได้โดยการคัดกรองข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลอง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้คัดกรองข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองจำนวน 14 สัปดาห์ โดยข้อมูลทั้งหมดจะผ่านการวิเคราะห์ข้อมูล ระบุทิศทางจราจร ช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ซึ่งจะถูกจัดเป็นชุดข้อมูลสำหรับการฝึกสอนให้มีความเหมาะสม ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งรูปแบบของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม 3 วิธี คือ 1) 1 Week Data Training 2) Day of Week Training และ 3) All Data Training โดยมีขั้นตอนสรุปแสดงดังรูปที่ 4.1



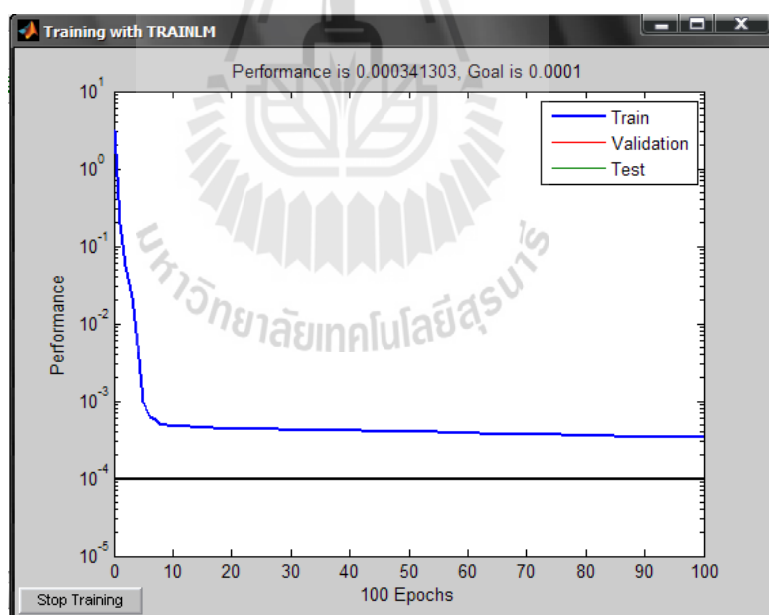
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วยเครือข่ายประสาทเทียม

4.2.1 การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการ 1 Week Data Training

การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการ 1 Week Data Training คือ การสร้างแบบจำลองโดยการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลเพียง 1 สัปดาห์ หรือ 5 วัน (จากข้อมูลสำหรับการฝึกสอนทั้งหมด 14 สัปดาห์) แบบจำลองที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการดังกล่าวจะเรียกว่า “แบบจำลอง 1 Week Data” โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมจะมีทั้งหมด 4 Layer ประกอบด้วย 1) Input 1 Layer 2) Hidden 2 Layer และ 3) Output 1 Layer จำนวน Node ของแต่ละ Layer คือ 4 10 4 1 ตามลำดับค่าพารามิเตอร์สำหรับการฝึกสอน คือ 1) DIR 2) HOUR 3) MINUTE 4) MEAN กำหนดให้เป็น Input และ Traffic Flow Rate กำหนดให้เป็น Output โครงสร้างของการฝึกสอนแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 4.2 รูปแบบและข้อมูลสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม ด้วยวิธีการ 1 Week Data Training



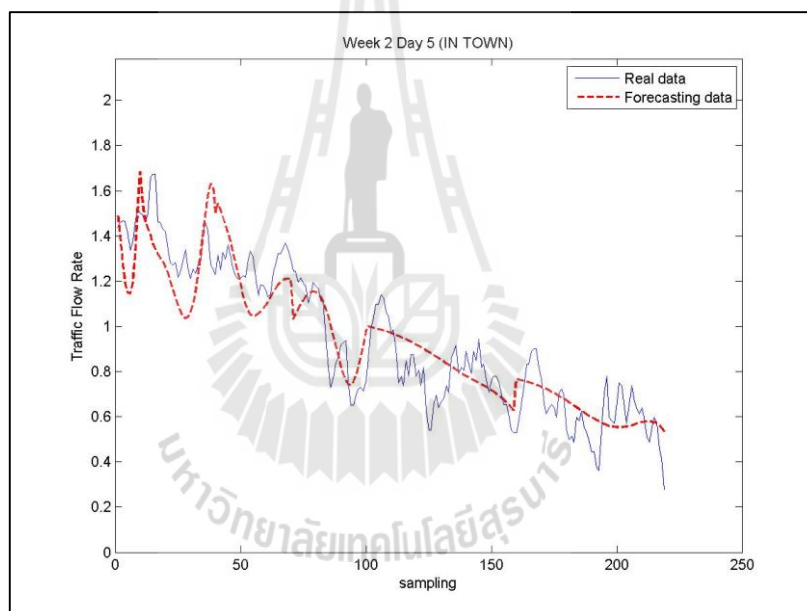
รูปที่ 4.3 กราฟค่า Performance ของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม ด้วยวิธีการ 1 Week Data Training

การทดสอบแบบจำลอง 1 Week Data

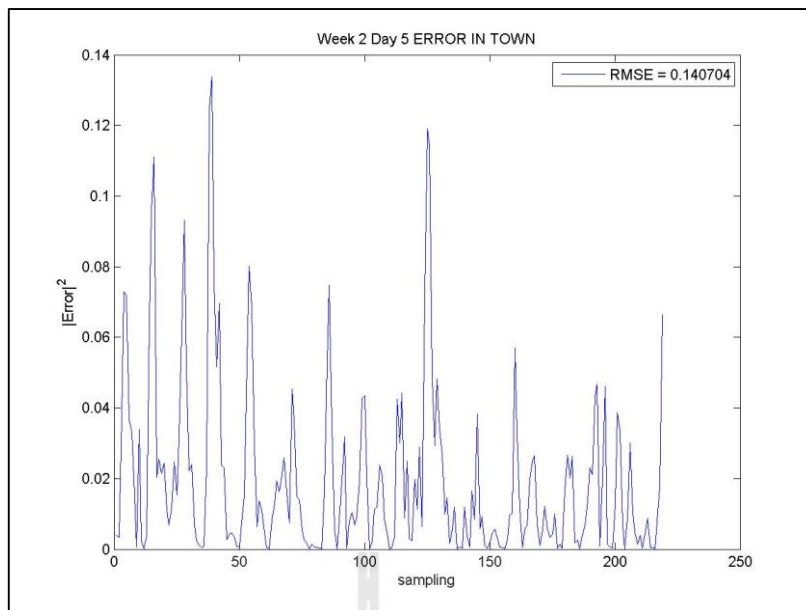
การทดสอบแบบจำลอง 1 Week Data จะทำการทดสอบทั้งหมด 15 วัน (3 สัปดาห์) โดยในแต่ละวันจะมีข้อมูลที่เป็น Input คือ 1) DIR 2) HOUR 3) MINUTE และ 4) Mean เพื่อป้อนให้กับแบบจำลอง ผลการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลอง คือ อัตราการไหลของการจราจร (Traffic Flow Rate) การทดสอบของแบบจำลองจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ทิศทาง คือ IN TOWN และ OUT TOWN ค่าการพยากรณ์ของแบบจำลองจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงและคำนวณหา RMSE เพื่อวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ผลการทดสอบแบบจำลอง 1 Week Data

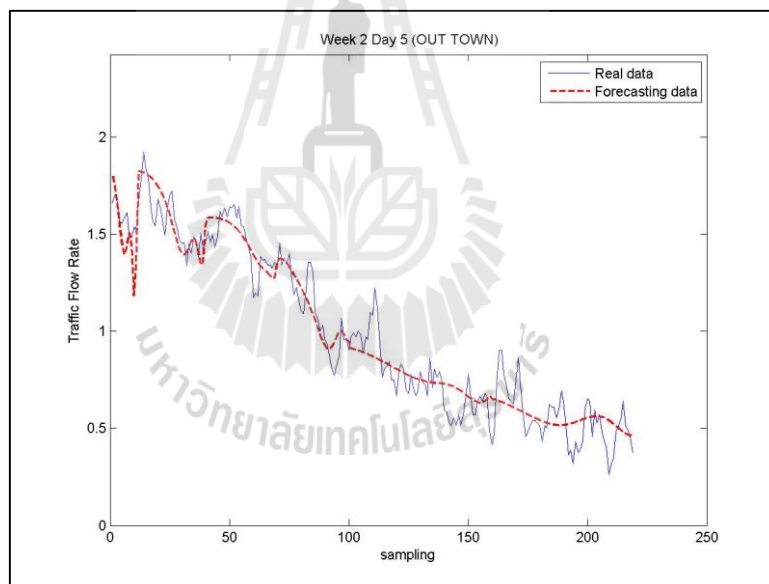
ผลการทดสอบแบบจำลอง 1 Week Data จะมีทั้งหมด 15 วัน ซึ่งรายงานเล่มนี้จะแสดงกราฟตัวอย่างของการเปรียบเทียบและแสดงค่าความผิดพลาดของข้อมูลเพียง 1 วันของทิศทางเข้าตัวเมืองนครราชสีมา (IN TOWN) และออกนอกตัวเมืองนครราชสีมา (OUT TOWN) จะสามารถแสดงได้ดังนี้



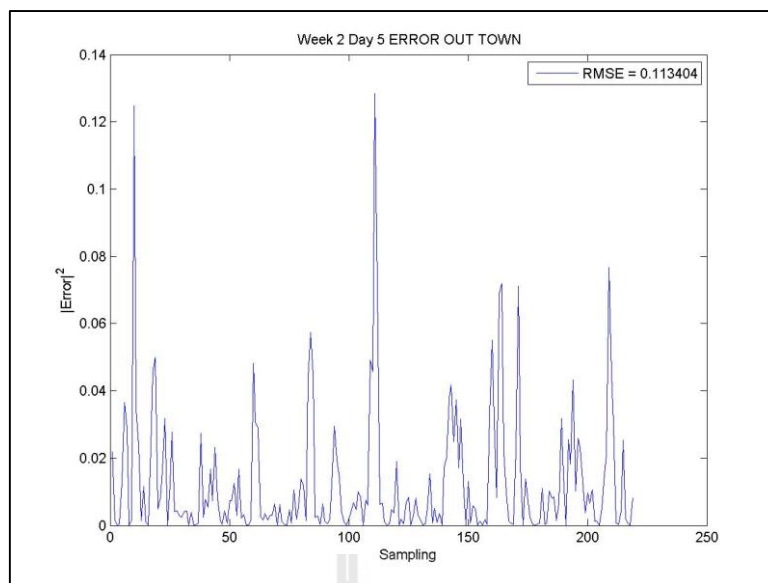
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริงของแบบจำลอง 1 Week Data (IN TOWN)



รูปที่ 4.5 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง 1 Week Data (IN TOWN)



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริงของแบบจำลอง 1 Week Data (OUT TOWN)



รูปที่ 4.7 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง 1 Week Data (OUT TOWN)

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแบบจำลอง 1 Week Data ในทิศทาง IN TOWN

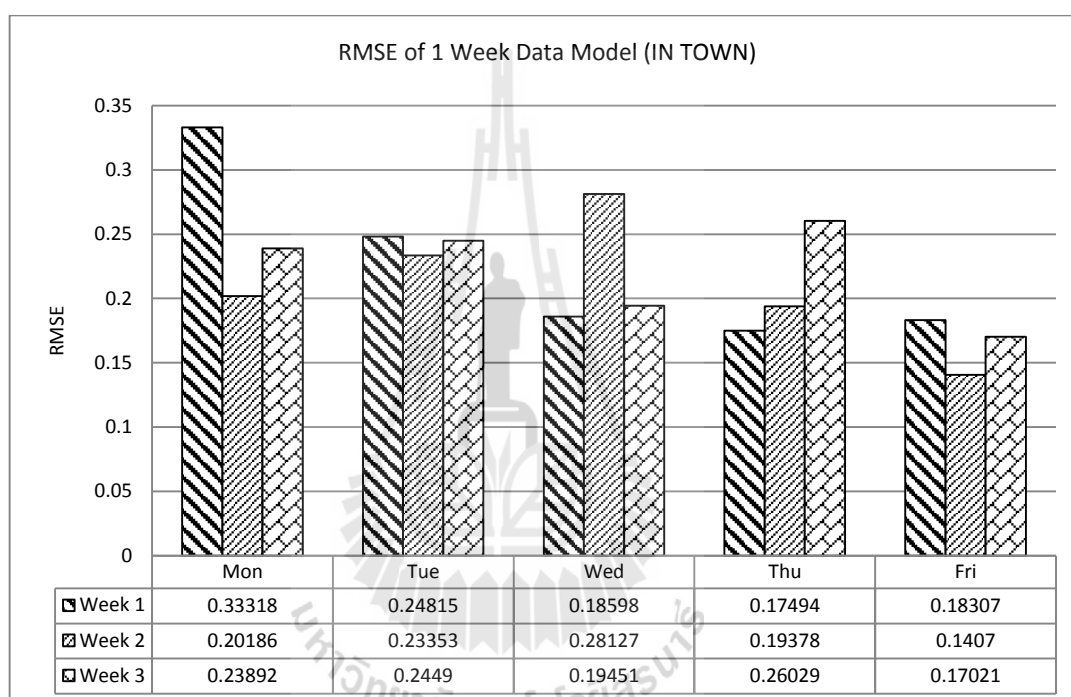
RMSE of 1 Week Data (IN TOWN)						
Week/Day	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Average RMSE
Week 1	0.33318	0.24815	0.18598	0.17494	0.18307	0.21902
Week 2	0.20186	0.23353	0.28127	0.19378	0.1407	
Week 3	0.23892	0.2449	0.19451	0.26029	0.17021	

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบแบบจำลอง 1 Week Data ในทิศทาง OUT TOWN

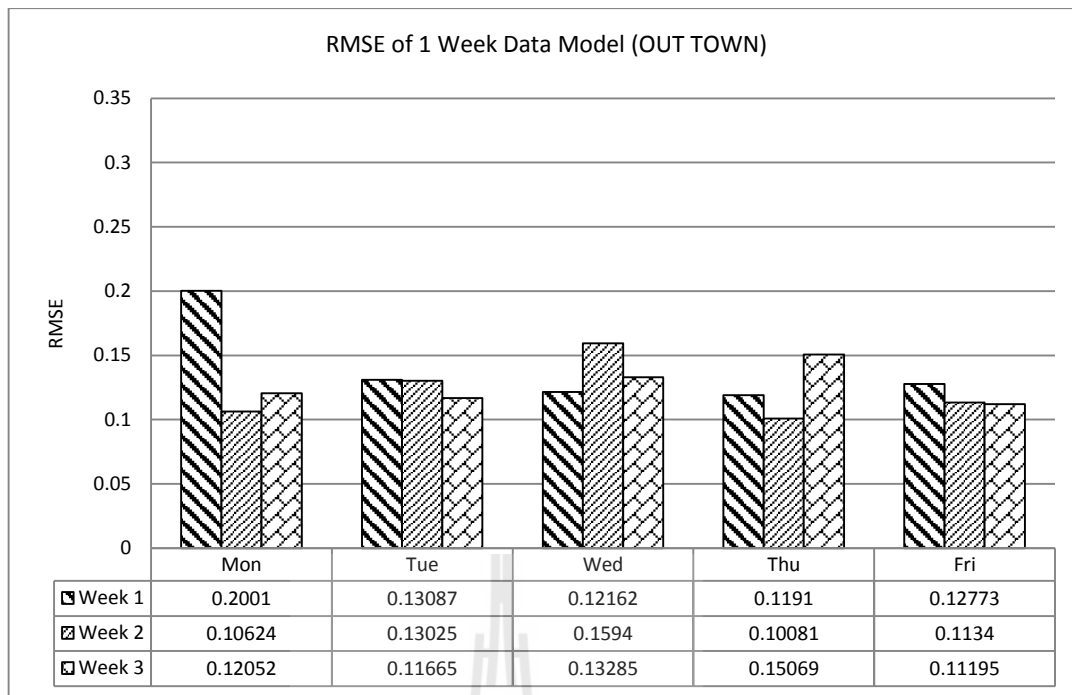
RMSE of 1 Week Data (OUT TOWN)						
	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Average RMSE
Week 1	0.2001	0.13087	0.12162	0.1191	0.12773	0.12948
Week 2	0.10624	0.13025	0.1594	0.10081	0.1134	
Week 3	0.12052	0.11665	0.13285	0.15069	0.11195	

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ย RMSE ของการทดสอบวันจันทร์ถึงวันศุกร์ของแบบจำลอง 1 Week Data

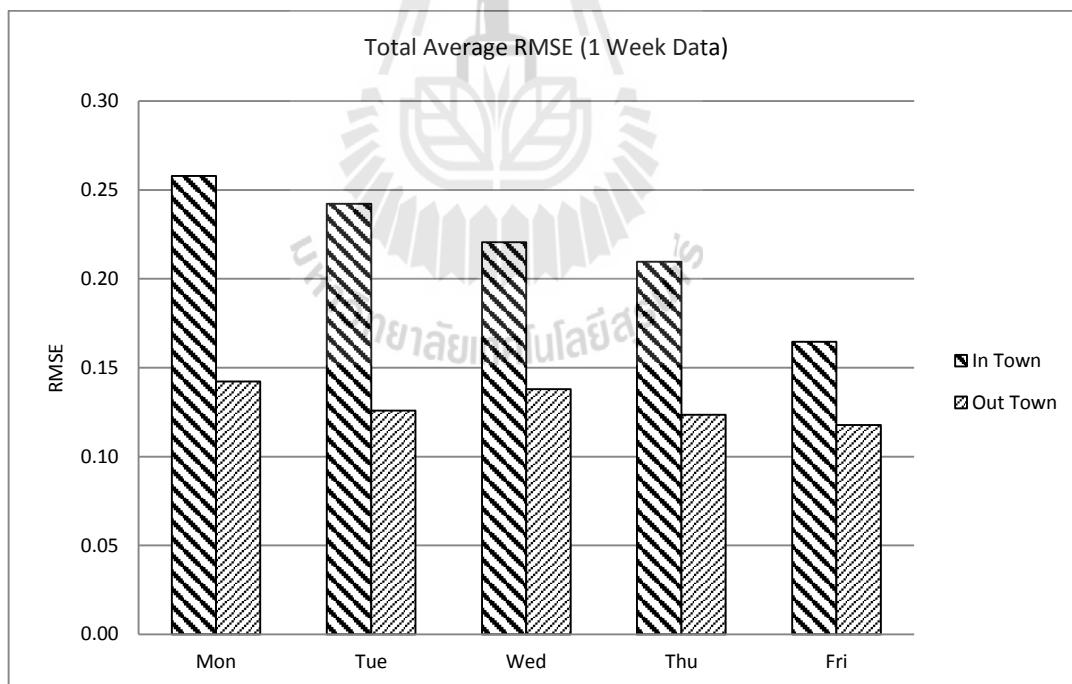
Total Average RMSE (1 Week Data)		
Day/Direction	IN TOWN	OUT TOWN
Mon	0.25799	0.14229
Tue	0.24219	0.12592
Wed	0.22059	0.13796
Thu	0.20967	0.12353
Fri	0.16466	0.11769
<u>Total Average</u>	0.21902	0.12948



รูปที่ 4.8 ค่า RMSE ของการทดสอบแบบจำลอง 1 Week Data (IN TOWN)



รูปที่ 4.9 ค่า RMSE ของการทดสอบแบบจำลอง 1 Week Data (OUT TOWN)

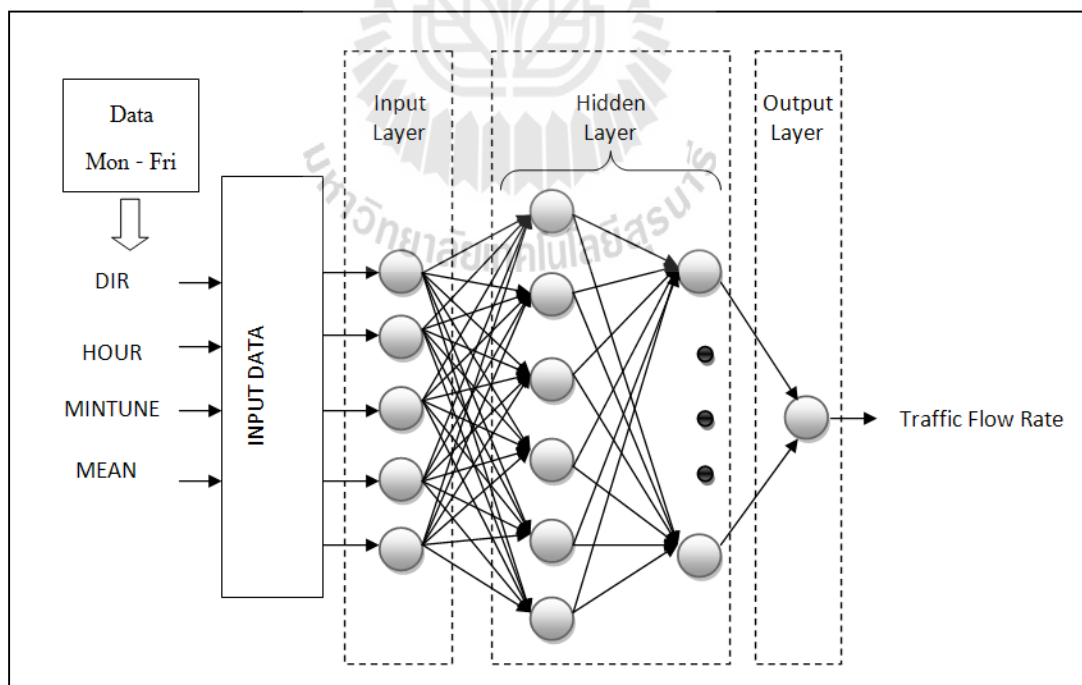


รูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ย RMSE ของแต่ละวันในสัปดาห์ของแบบจำลอง 1 Week Data

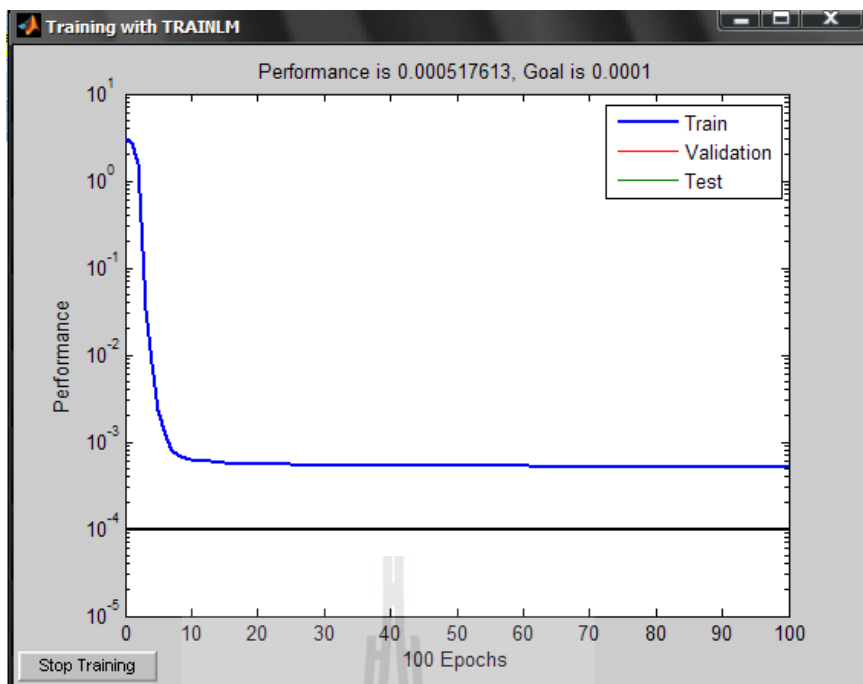
จากการทดสอบแบบจำลอง 1 Week Data ผลการทดสอบประสิทธิภาพของทิศทาง IN TOWN มีค่าเฉลี่ย RMSE คือ 0.21902 และทิศทาง OUT TOWN มีค่าเฉลี่ย RMSE คือ 0.12948 จะเห็นได้ว่าในทิศทาง OUT TOWN มีค่า RMSE ที่น้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของแบบจำลอง 1 Week Data ในทิศทาง OUT TOWN ให้ผลการทดสอบที่ดีกว่าในทิศทาง IN TOWN จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าในทิศทาง IN TOWN ปริมาณการจราจรที่มาจากห้างสรรพสินค้า “เดอะมอลล์นครราชสีมา” มีปริมาณการจราจรที่ไม่สามารถระบุแน่นอนหรือไม่มีรูปแบบ ทำให้ข้อมูลการพยากรณ์มีความผิดพลาดสูงและข้อมูลสำหรับการฝึกสอนแบบจำลองยังมีข้อมูลการจราจรที่น้อย ทำให้ไม่สามารถที่จะพยากรณ์รูปแบบของการจราจรในทิศทาง IN TOWN ได้อย่างถูกต้อง

4.2.2 การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการฝึกสอนแบบ Day of Week Data Training

การสร้างแบบจำลองการจราจรด้วยวิธีการฝึกสอนแบบ Day of Week Data Training ข้อมูลที่ใช้สำหรับการฝึกสอนจะใช้ข้อมูลการจราจรของวันเดียวกันแต่คนละสัปดาห์ โดยข้อมูลสำหรับการฝึกสอนจะแบ่งออกเป็น 5 ชุด คือ ชุดข้อมูลของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ซึ่งจะฝึกสอนทั้งหมด 5 ครั้ง แบบจำลองที่ได้จะมีทั้งหมด 5 แบบจำลอง แบบจำลองที่เกิดจากวิธีการฝึกสอนแบบ Day of Week Data Training จะเรียกว่า “แบบจำลอง Day of Week Data” โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมจะมีทั้งหมด 4 Layer ประกอบด้วย 1) Input 1 Layer 2) Hidden 2 Layer และ 3) Output 1 Layer จำนวน Node ของแต่ละ Layer คือ 4 10 4 1 ตามลำดับค่าพารามิเตอร์สำหรับการฝึกสอน คือ 1) DIR 2) HOUR 3) MINUTE 4) MEAN กำหนดให้เป็น Input และ Traffic Flow Rate กำหนดให้เป็น Output โครงสร้างของการฝึกสอนแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 4.11 รูปแบบและข้อมูลสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการ Day of Week Data Training



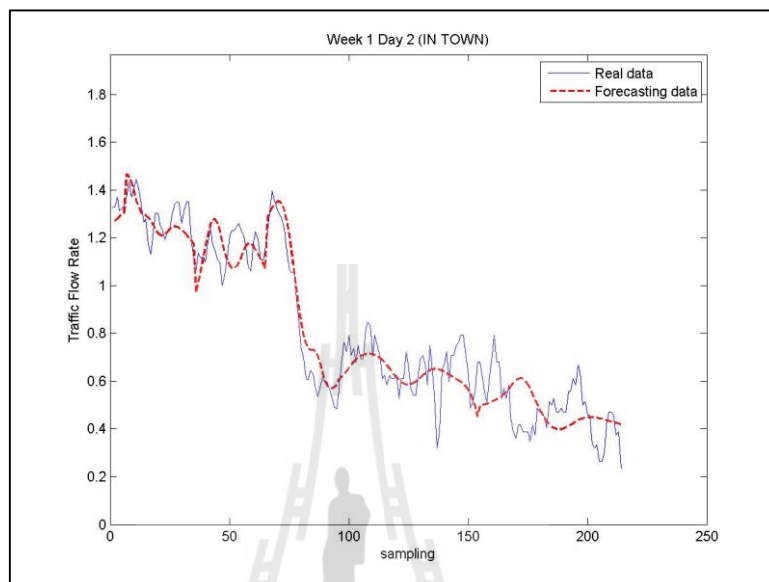
รูปที่ 4.12 กราฟค่า Performance ของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม
ด้วยวิธีการ Day of Week Data Training

การทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data

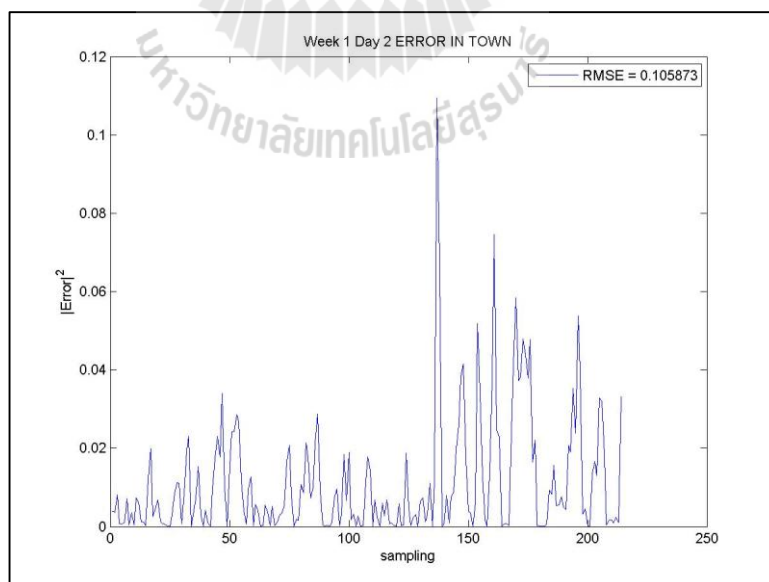
การทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data จะทำการทดสอบทั้งหมด 15 วัน (3 สัปดาห์) โดยในแต่ละวันของข้อมูลที่ใช้ทดสอบจะมีข้อมูลที่เป็น Input คือ 1) DIR 2) HOUR 3) MINUTE และ 4) Mean เพื่อป้อนให้กับแบบจำลอง ผลการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลอง คือ อัตราการไหลของการจราจร (Traffic Flow Rate) การทดสอบของแบบจำลองจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ทิศทาง คือ IN TOWN และ OUT TOWN ค่าการพยากรณ์ของแบบจำลองจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงและคำนวณหา RMSE เพื่อวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง การทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data จะทดสอบ 2 รูปแบบคือ 1) ทดสอบกับข้อมูลของวันเดียวกันกับข้อมูลการฝึกสอน เช่น เมื่อฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลของวันจันทร์ จะทำการทดสอบกับข้อมูลสำหรับการทดสอบที่เป็นวันจันทร์เท่านั้น 2) ทดสอบกับข้อมูลของวันที่ไม่ได้เป็นวันของการฝึกสอน เช่น เมื่อฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลของวันจันทร์ จะทำการทดสอบกับข้อมูลสำหรับการทดสอบที่เป็นวันอื่นๆ เพื่อทดสอบแบบจำลองว่าสามารถที่จะพยากรณ์วันอื่นๆ ที่ไม่ได้อยู่ในข้อมูลการฝึกสอนได้หรือไม่

ผลการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data

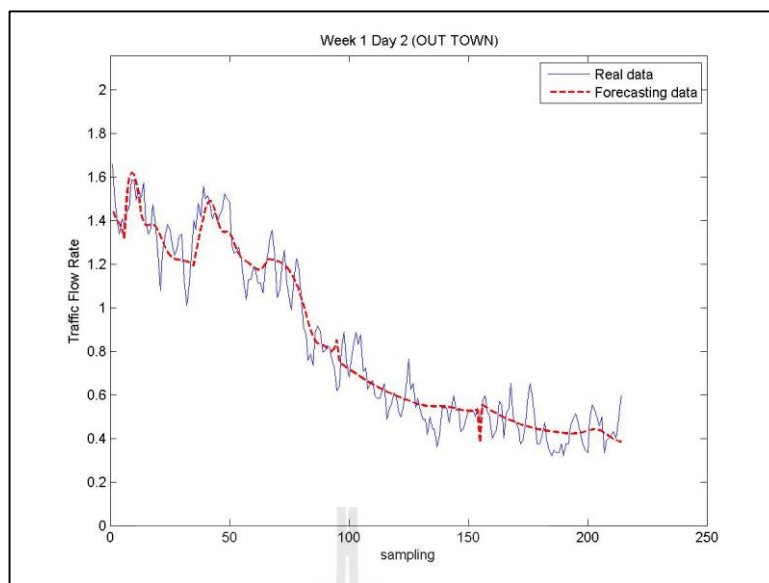
จากการสร้างแบบจำลองการจราจรด้วยวิธี Day of Week Data Training ซึ่งจะมีแบบจำลองทั้งหมด 5 แบบจำลอง การทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data จะทดสอบทั้งหมด 15 วัน ซึ่งรายงานเล่มนี้จะแสดงกราฟตัวอย่างของการเปรียบเทียบและแสดงค่าความผิดพลาดของข้อมูลเพียง 1 วันของแบบจำลองวันจันทร์เท่านั้น จะสามารถแสดงได้ดังรูป



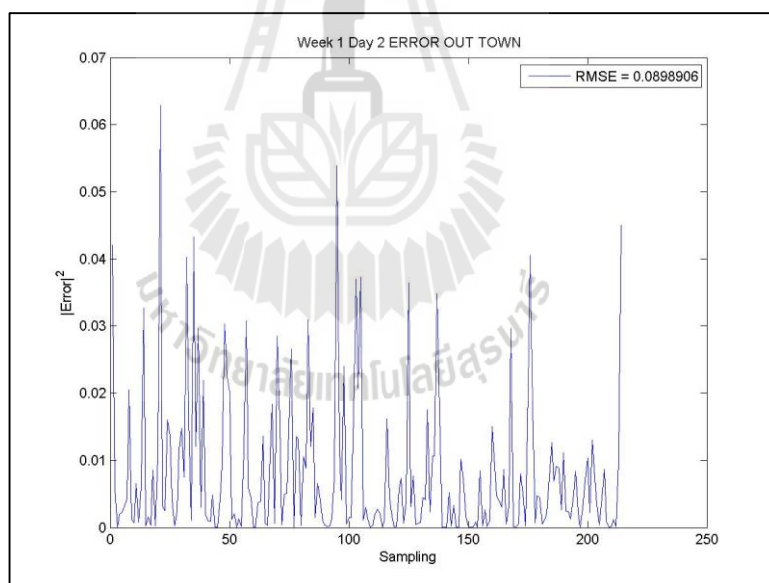
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริงของแบบจำลอง Day of Week Data ของวันจันทร์ (IN TOWN)



รูปที่ 4.14 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง Day of Week Data ของวันจันทร์ (IN TOWN)



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริงของแบบจำลอง Day of Week Data ของวันจันทร์ (OUT TOWN)



รูปที่ 4.16 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง Day of Week Data ของวันจันทร์ (OUT TOWN)

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data ในทิศทาง IN TOWN

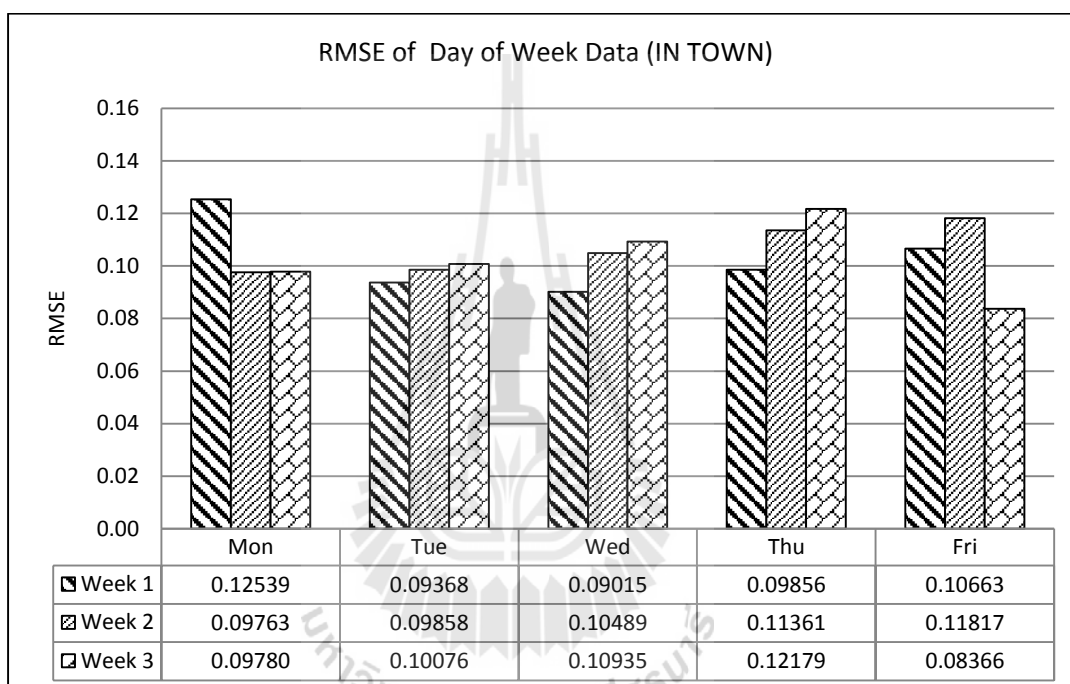
RMSE of Day of Week Data (IN TOWN)							
Model	Week/Day	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Average RMSE
Mon	Week 1	0.12539	-	-	-	-	0.10694
	Week 2	0.09763	-	-	-	-	
	Week 3	0.09780	-	-	-	-	
Tue	Week 1	-	0.09368	-	-	-	0.09767
	Week 2	-	0.09858	-	-	-	
	Week 3	-	0.10076	-	-	-	
Wed	Week 1	-	-	0.09015	-	-	0.10146
	Week 2	-	-	0.10489	-	-	
	Week 3	-	-	0.10935	-	-	
Thu	Week 1	-	-	-	0.09856	-	0.11132
	Week 2	-	-	-	0.11361	-	
	Week 3	-	-	-	0.12179	-	
Fri	Week 1	-	-	-	-	0.10663	0.10282
	Week 2	-	-	-	-	0.11817	
	Week 3	-	-	-	-	0.08366	

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data ในทิศทาง OUT TOWN

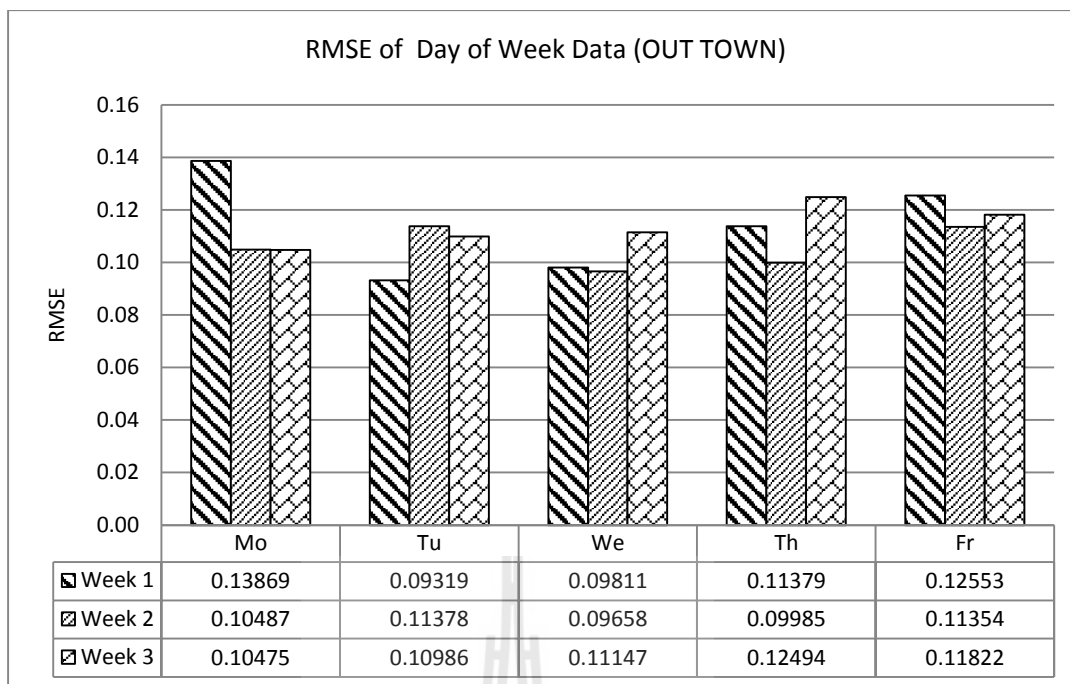
RMSE of Day of Week Data (OUT TOWN)							
Model	Week/Day	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Average RMSE
Mon	Week 1	0.13869	-	-	-	-	0.11610
	Week 2	0.10487	-	-	-	-	
	Week 3	0.10475	-	-	-	-	
Tue	Week 1	-	0.09319	-	-	-	0.10561
	Week 2	-	0.11378	-	-	-	
	Week 3	-	0.10986	-	-	-	
Wed	Week 1	-	-	0.09811	-	-	0.10205
	Week 2	-	-	0.09658	-	-	
	Week 3	-	-	0.11147	-	-	
Thu	Week 1	-	-	-	0.11379	-	0.11286
	Week 2	-	-	-	0.09985	-	
	Week 3	-	-	-	0.12494	-	
Fri	Week 1	-	-	-	-	0.12553	0.11910
	Week 2	-	-	-	-	0.11354	
	Week 3	-	-	-	-	0.11822	

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย RMSE ของการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data

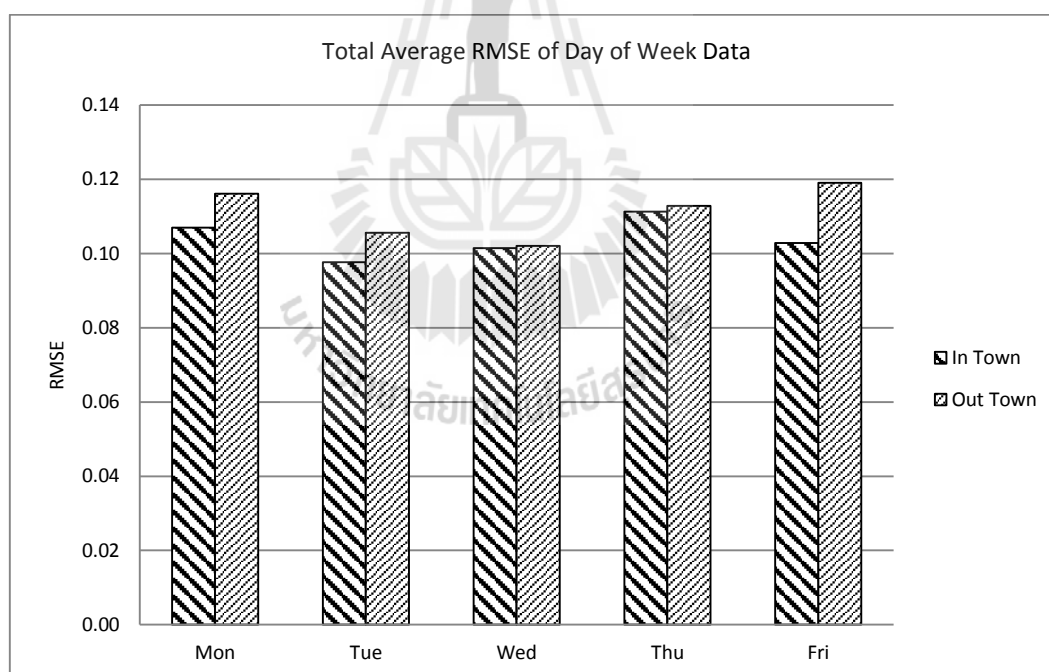
Total Average RMSE (Day of Week Data)		
Day/Direction	IN TOWN	OUT TOWN
Mon	0.10694	0.11610
Tue	0.09767	0.10561
Wed	0.10146	0.10205
Thu	0.11132	0.11286
Fri	0.10282	0.11910
<u>Total Average</u>	0.10404	0.11115



รูปที่ 4.17 แสดงค่า RMSE ของผลการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data (IN TOWN)



รูปที่ 4.18 แสดงค่า RMSE ของผลการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data (OUT TOWN)



รูปที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยของ RMSE ของแบบจำลอง Day of Week Data

แบบจำลอง Day of Week Data เป็นแบบจำลองที่ได้จากการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมในวันเดียวกันของทุกๆ สัปดาห์ ซึ่งผลการทดสอบที่ได้กล่าวมาแล้วเป็นการทดสอบด้วยข้อมูลที่ฝึกสอนเท่านั้น ดังนั้นในการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data จะทำการทดสอบกับข้อมูลของวันอื่นๆ ที่ไม่ได้ทำการฝึกสอนเพื่อจะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ว่าสามารถนำแบบจำลองที่ได้นั้นมาประยุกต์ใช้งานกับวันอื่นๆ ที่ไม่ได้ใช้ในการฝึกสอนได้หรือไม่ ซึ่งผลการทดสอบจะสามารถแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data สำหรับข้อมูลของวันที่ไม่ได้ใช้ในการฝึกสอนในทิศทาง IN TOWN

RMSE of Day of Week Data (IN TOWN)							
Model	Week/Day	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Average RMSE
Mon	Week 1	-	0.10587	0.09798	0.10701	0.12048	0.10849
	Week 2	-	0.10567	0.10378	0.11692	0.11920	
	Week 3	-	0.10734	0.09890	0.12136	0.09737	
Tue	Week 1	0.11485	-	0.08097	0.10298	0.11005	0.09833
	Week 2	0.08648	-	0.09697	0.11234	0.10299	
	Week 3	0.09031	-	0.08282	0.11057	0.08869	
Wed	Week 1	0.10482	0.09204	-	0.10600	0.12203	0.10563
	Week 2	0.09713	0.09582	-	0.11317	0.12171	
	Week 3	0.09439	0.10692	-	0.11879	0.09468	
Thu	Week 1	0.11102	0.08969	0.09136	-	0.12365	0.10108
	Week 2	0.08917	0.09554	0.09707	-	0.12236	
	Week 3	0.09707	0.09956	0.09851	-	0.09791	
Fri	Week 1	0.10323	0.09948	0.08786	0.11965	-	0.10369
	Week 2	0.11078	0.09155	0.08929	0.11398	-	
	Week 3	0.11900	0.09400	0.09906	0.11644	-	

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data สำหรับข้อมูลของวันที่ไม่ได้ใช้ในการฝึกสอนในทิศทาง OUT TOWN

RMSE of Day of Week Data (OUT TOWN)							
Model	Week/Day	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Average RMSE
Mon	Week 1	-	0.11989	0.10904	0.11287	0.12015	0.11416
	Week 2	-	0.11216	0.09886	0.11910	0.10992	
	Week 3	-	0.11025	0.11122	0.12824	0.11817	
Tue	Week 1	0.13763	-	0.10348	0.11530	0.11889	0.11071
	Week 2	0.10261	-	0.09884	0.09628	0.10549	
	Week 3	0.09909	-	0.10804	0.12686	0.11603	
Wed	Week 1	0.15589	0.09458	-	0.11082	0.12867	0.11389
	Week 2	0.09909	0.11125	-	0.09871	0.10830	
	Week 3	0.10351	0.10786	-	0.12410	0.12395	
Thu	Week 1	0.13752	0.09847	0.10374	-	0.12212	0.11218
	Week 2	0.10531	0.11502	0.10296	-	0.10963	
	Week 3	0.10321	0.10983	0.11392	-	0.12441	
Fri	Week 1	0.14532	0.10396	0.10184	0.11057	-	0.11258
	Week 2	0.10576	0.11861	0.10462	0.10014	-	
	Week 3	0.10788	0.11144	0.11792	0.12294	-	

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ย RMSE ของการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data สำหรับข้อมูลของวันที่ไม่ได้ใช้ในการฝึกสอน

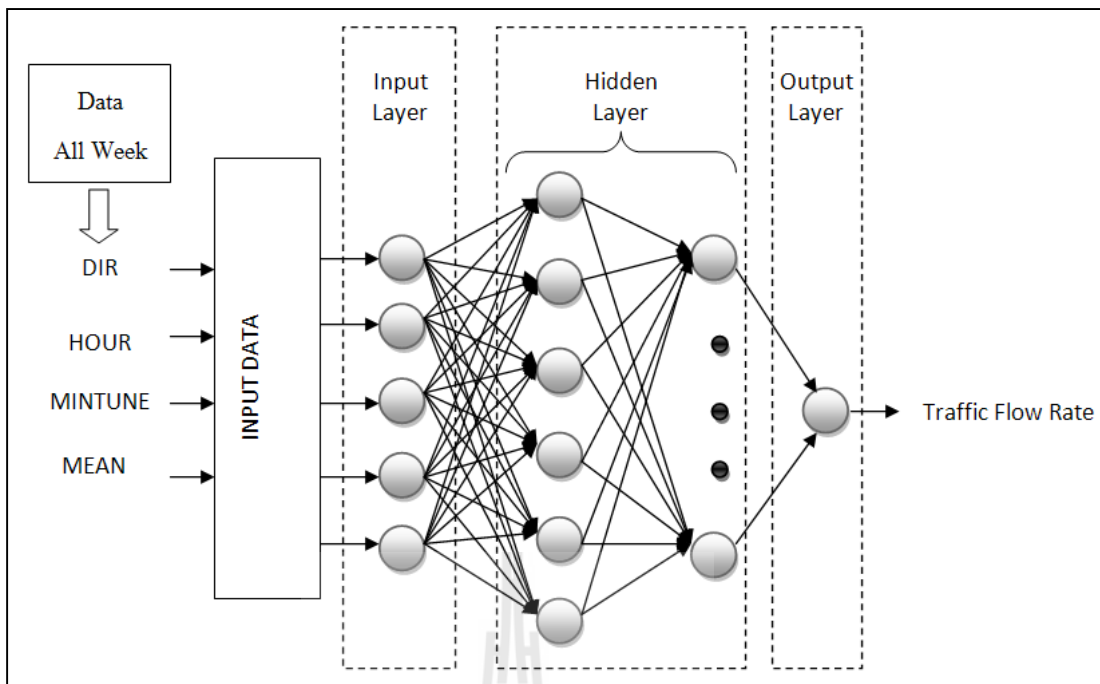
Total Average RMSE (Day of Week Data)		
Day/Direction	IN TOWN	OUT TOWN
Mon	0.10849	0.11416
Tue	0.098335	0.110712
Wed	0.105626	0.113894
Thu	0.101076	0.112178
Fri	0.103693	0.112583
Total Average	0.103444	0.112705

ผลการทดสอบแบบจำลอง Day of Week Data แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการแยกข้อมูลของแต่ละวันและทำการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม สามารถพยากรณ์ปริมาณการจราจรในทิศทาง IN TOWN และ OUT TOWN ได้มีความถูกต้องมากขึ้น จากการวิเคราะห์พบว่าข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนมีความละเอียดมากขึ้นจะส่งผลต่อแบบจำลองที่ให้ผลการพยากรณ์ที่มีความถูกต้องเพิ่มขึ้น ซึ่งรวมไปถึงสมรรถนะที่จะระบุรูปแบบของปริมาณการจราจรที่ออกมาจากห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์นครราชสีมา

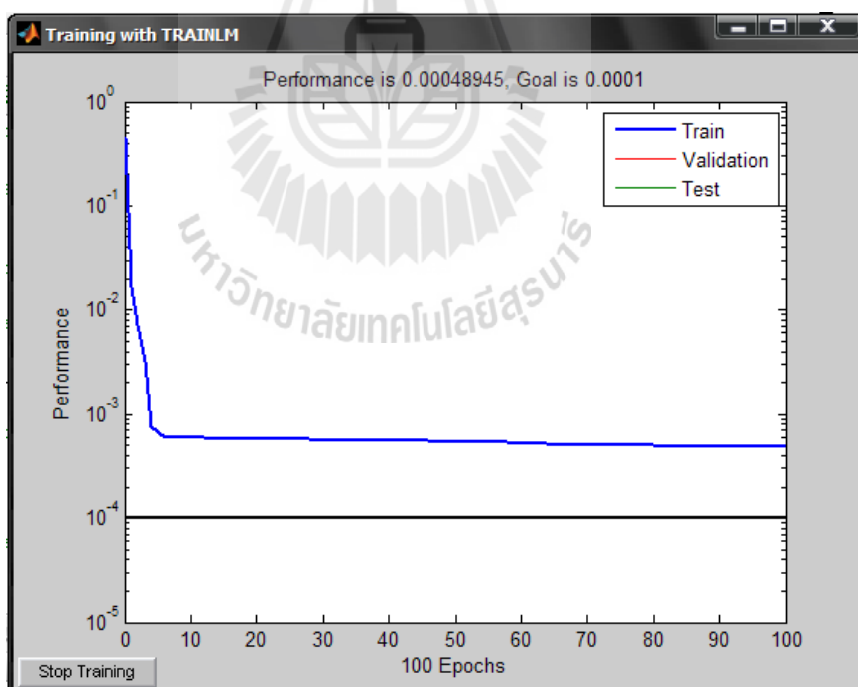
จากการทดสอบแบบจำลองโดยทดสอบกับข้อมูลของวันอื่นๆ ที่ไม่ได้ใช้ในการฝึกสอน ผลการทดสอบสำหรับในทิศทางเข้าตัวเมืองนครราชสีมา (IN TOWN) ผลการทดสอบเฉพาะวันที่ทำการฝึกสอนได้ค่า RMSE เฉลี่ย คือ 0.10404 และผลการทดสอบวันอื่นๆ ที่ไม่ได้ใช้ในการฝึกสอนได้ค่า RMSE เฉลี่ย คือ 0.10344 มีความแตกต่างกัน 0.0006 สำหรับการทดสอบแบบจำลองในทิศทางออกนอกตัวเมืองนครราชสีมา (OUT TOWN) ผลการทดสอบเฉพาะวันที่ทำการฝึกสอนได้ค่า RMSE เฉลี่ย คือ 0.11115 และผลการทดสอบวันอื่นๆ ที่ไม่ได้ใช้ในการฝึกสอนได้ค่า RMSE เฉลี่ย คือ 0.112705 มีความแตกต่างกัน 0.00156 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากข้อมูลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองที่ได้นั้น สามารถที่จะนำมาพยากรณ์วันอื่นๆ ได้

4.2.3 การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการฝึกสอนแบบ All Data Training

การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมแบบ All Data Training จะมีลักษณะเหมือนกันกับวิธีการฝึกสอนแบบ 1 Week Data Training แต่ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนซึ่งข้อมูลสำหรับการฝึกสอนจะมีทั้งหมด 14 สัปดาห์ (70 วัน) แบบจำลองที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการ All Data Training จะเรียกว่า “แบบจำลอง All Data” โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมจะมีทั้งหมด 4 Layer ประกอบด้วย 1) Input 1 Layer 2) Hidden 2 Layer และ 3) Output 1 Layer จำนวน Node ของแต่ละ Layer คือ 4 10 4 1 ตามลำดับค่าพารามิเตอร์สำหรับการฝึกสอน คือ 1) DIR 2) HOUR 3) MINUTE 4) MEAN กำหนดให้เป็น Input และ Traffic Flow Rate กำหนดให้เป็น Output โครงสร้างของการฝึกสอนแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 4.20 รูปแบบและข้อมูลสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม
วิธีการ All Data Training

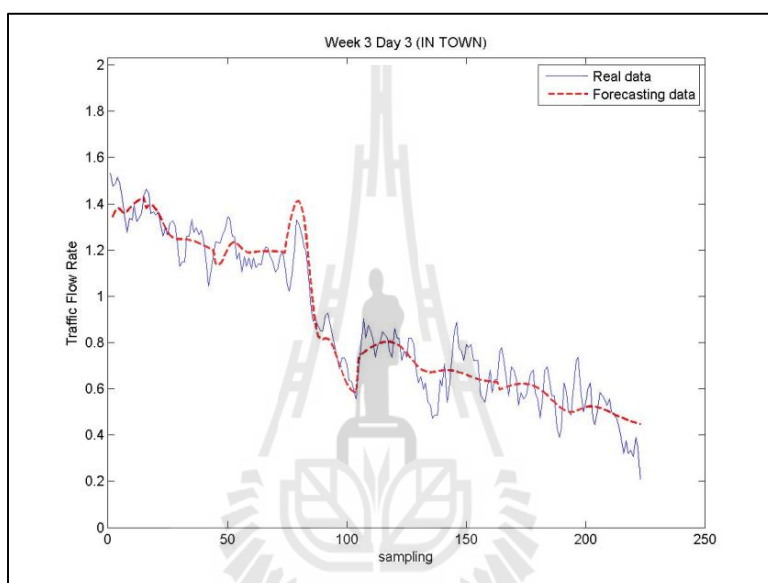


รูปที่ 4.21 กราฟค่า Performance การฝึกสอนของเครือข่ายประสาทเทียมของ
แบบจำลอง All Data Training

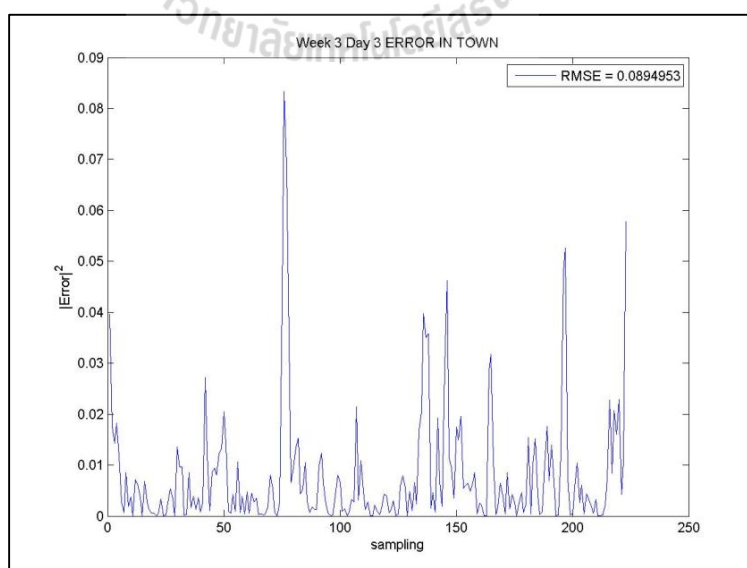
การทดสอบแบบจำลองของ All Data

จากการสร้างแบบจำลอง All Data ที่จะมีลักษณะการทดสอบเหมือนกันกับ 1 Week Data โดยข้อมูลที่เป็น Input คือ 1) DIR 2) HOUR 3) MINUTE และ 4) Mean เพื่อป้อนให้กับแบบจำลอง ผลการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลอง คือ อัตราการไหลของการจราจร (Traffic Flow Rate) การทดสอบของแบบจำลองจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ทิศทาง คือ IN TOWN และ OUT TOWN ค่าการพยากรณ์ของแบบจำลองจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงและคำนวณหา RMSE เพื่อวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

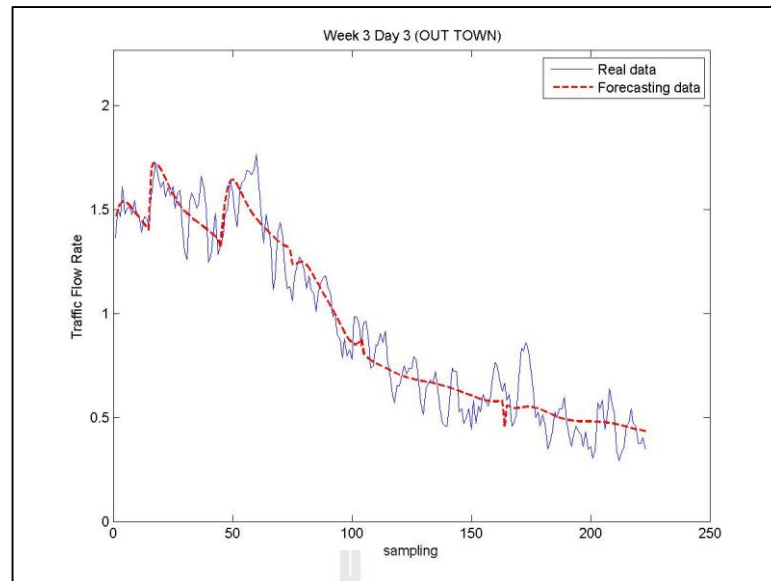
ผลการทดสอบแบบจำลองในทิศทางเข้าตัวเมืองนครราชสีมา (IN TOWN)



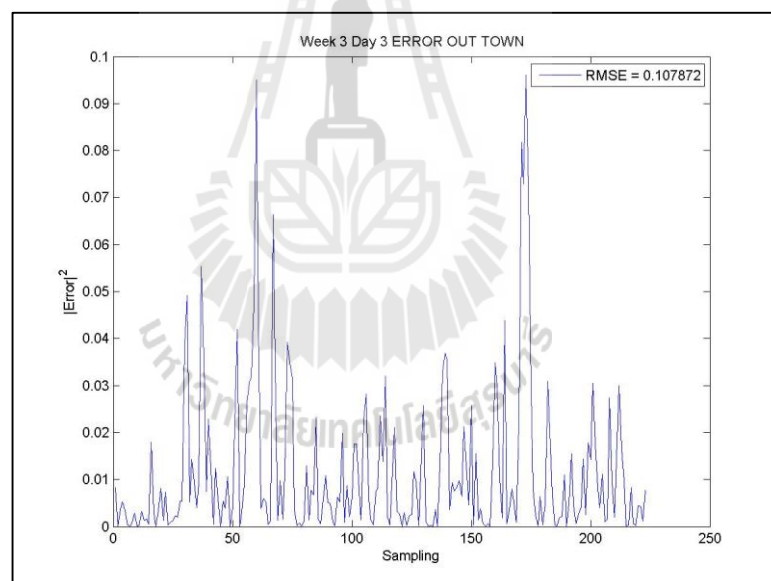
รูปที่ 4.22 กราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริงของ All Data (IN TOWN)



รูปที่ 4.23 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง All Data (IN TOWN)



รูปที่ 4.24 กราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริง
ของแบบจำลอง All Data (OUT TOWN)



รูปที่ 4.25 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง All Data (OUT TOWN)

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบแบบจำลอง All Data ในทิศทาง IN TOWN

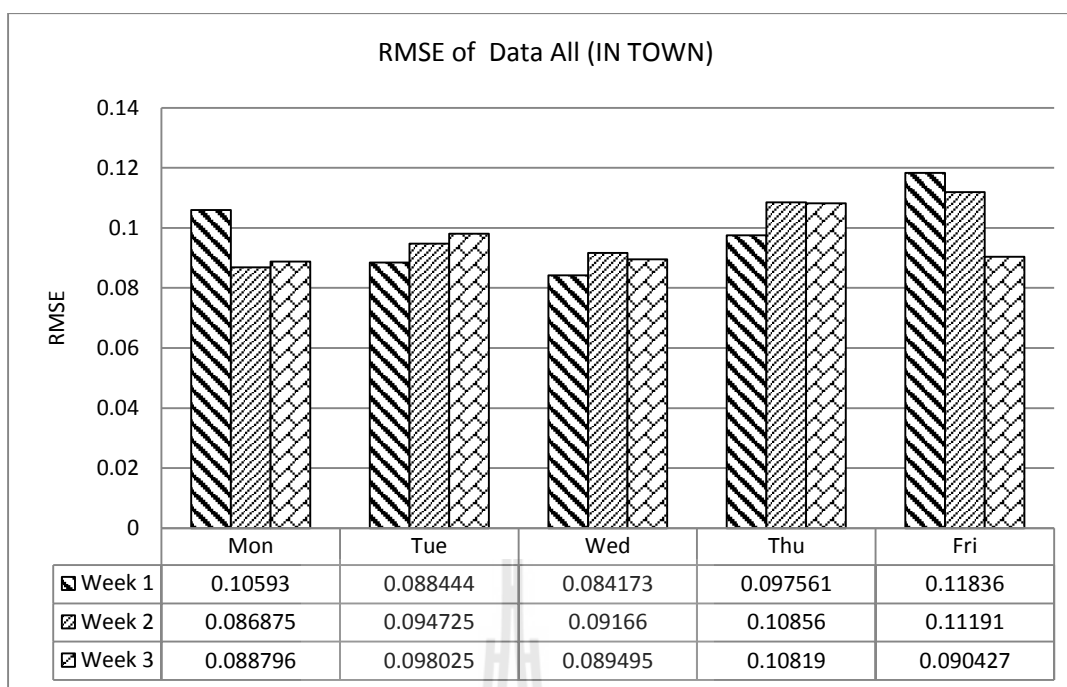
RMSE of All Data (IN TOWN)						
	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Average RMSE
Week 1	0.10593	0.088444	0.084173	0.097561	0.11836	0.09754
Week 2	0.086875	0.094725	0.09166	0.10856	0.11191	
Week 3	0.088796	0.098025	0.089495	0.10819	0.090427	

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบแบบจำลอง All Data ในทิศทาง OUT TOWN

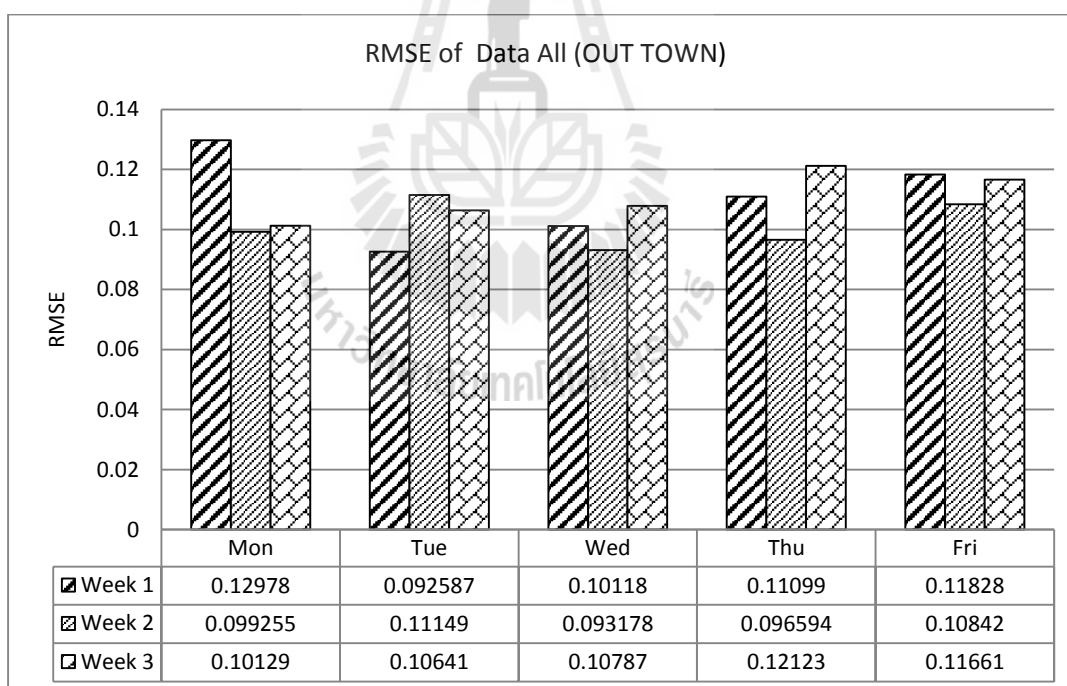
RMSE of All Data (OUT TOWN)						
	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Average RMSE
Week 1	0.12978	0.092587	0.10118	0.11099	0.11828	0.10768
Week 2	0.099255	0.11149	0.093178	0.096594	0.10842	
Week 3	0.10129	0.10641	0.10787	0.12123	0.11661	

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ย RMSE ของแบบจำลอง All Data

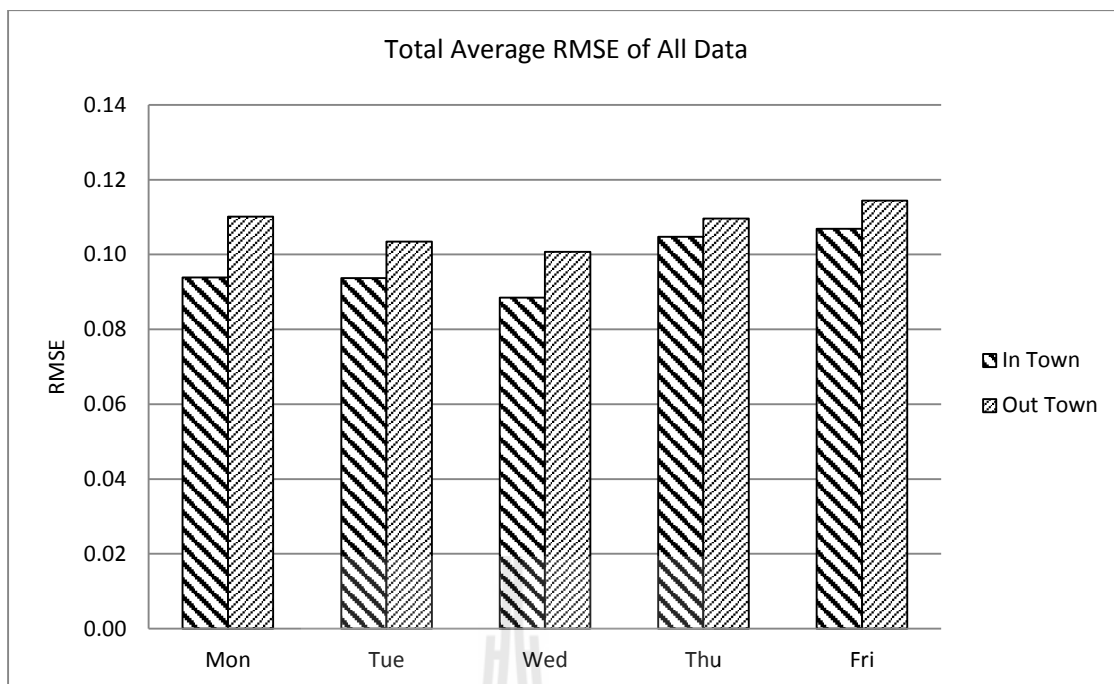
Total Average RMSE (All Data)		
Day/Direction	IN TOWN	OUT TOWN
Mon	0.09387	0.11011
Tue	0.09373	0.10350
Wed	0.08844	0.10074
Thu	0.10477	0.10960
Fri	0.10690	0.11444
Total Average	0.09754	0.10768



รูปที่ 4.26 แสดงค่า RMSE ของผลการทดสอบแบบจำลอง All Data (IN TOWN)



รูปที่ 4.27 แสดงค่า RMSE ของผลการทดสอบแบบจำลอง All Data (OUT TOWN)



รูปที่ 4.28 ค่าเฉลี่ยของ RMSE ของแบบจำลอง All Data

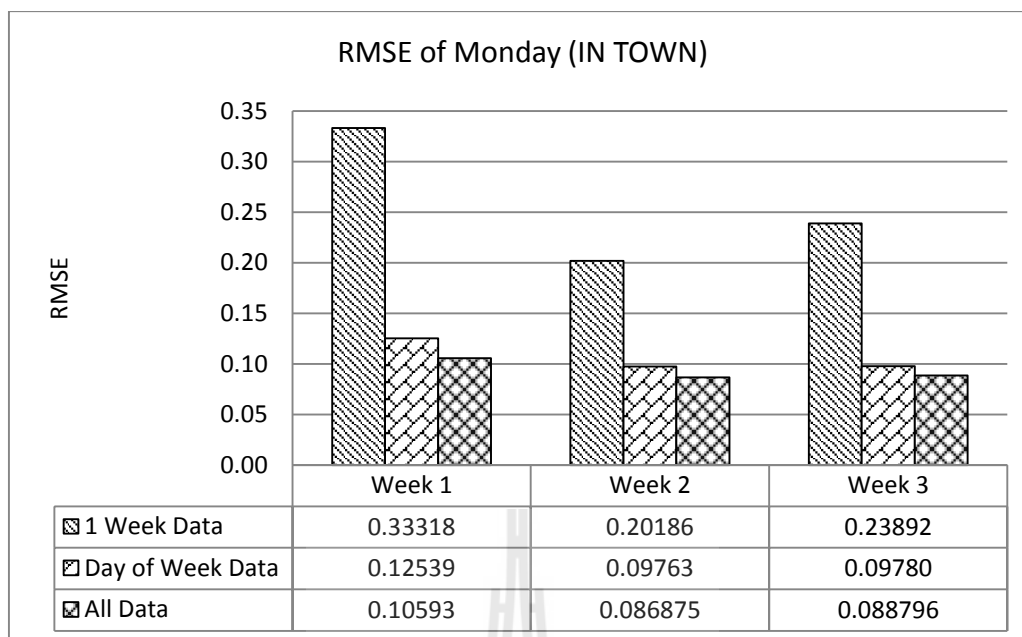
จากการทดสอบแบบจำลอง All Data ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแต่ละทิศทาง คือ ทิศทาง IN TOWN มีค่าเฉลี่ย MSE คือ 0.09754 ทิศทาง OUT TOWN มีค่าเฉลี่ย MSE คือ 0.10768 จากการทดสอบแบบจำลองจะเห็นได้ว่าข้อมูลการฝึกสอนมีความแตกต่างจากแบบจำลอง Day of Week Data แต่ให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่า ปริมาณของข้อมูลที่นำมาใช้ในการฝึกสอนนั้นเป็นส่วนที่สำคัญอย่างมากต่อแบบจำลอง เพราะถ้ามีปริมาณของข้อมูลการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมน้อยเกินไปจะทำให้ไม่สามารถที่จะพยากรณ์ปริมาณการจราจรได้อย่างถูกต้อง

4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบแบบจำลอง

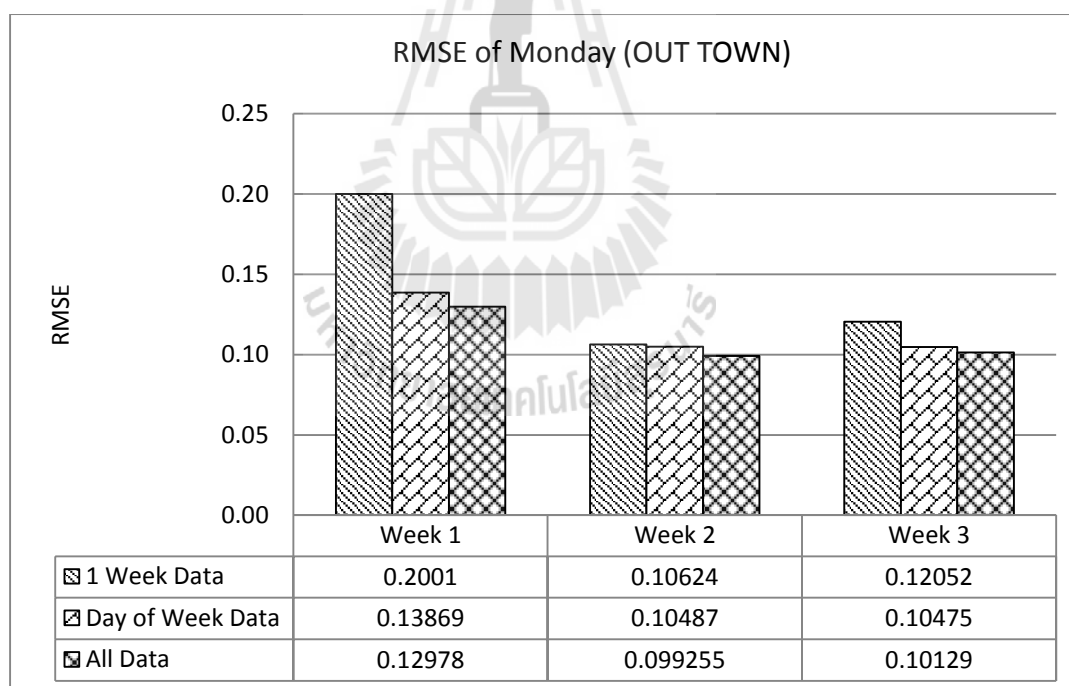
การผลการทดสอบแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองจะทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองเพื่อเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับการออกแบบสัญญาณไฟจราจรได้ นอกจากนั้นแล้วยังวิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลองเพื่อเลือกรูปแบบของข้อมูลและวิธีการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับสร้างแบบจำลองให้มีความเหมาะสม

4.3.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม

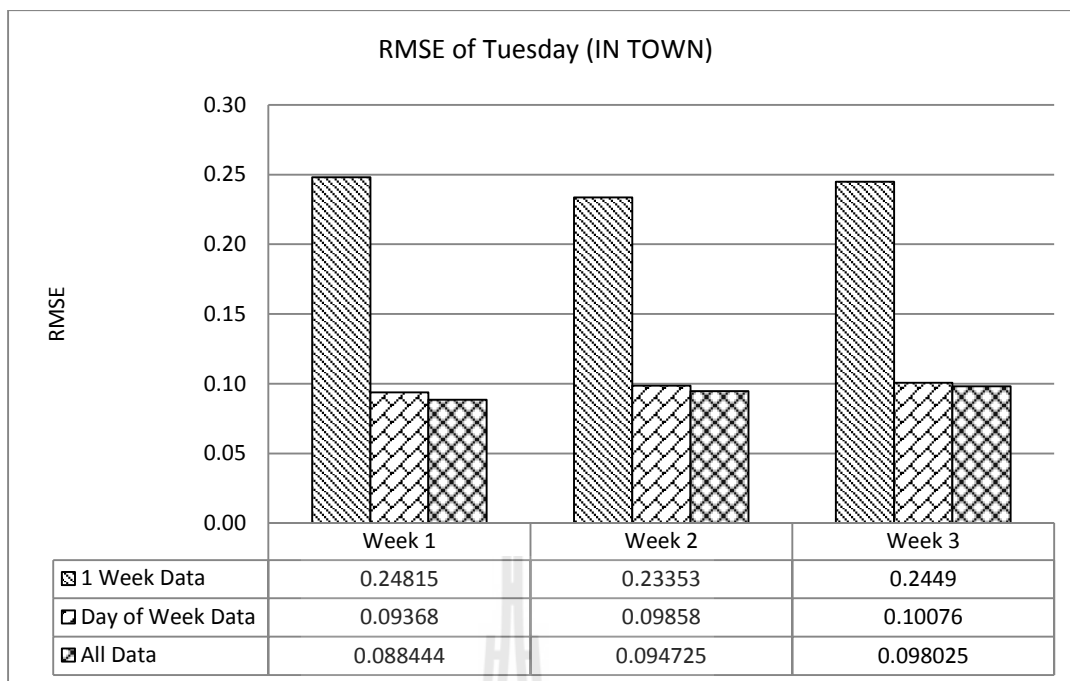
แบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองมีรูปแบบที่ต่างกัน ซึ่งจะให้ผลการทดสอบและการประยุกต์ใช้งานแตกต่างกันด้วยเช่นกัน ประสิทธิภาพของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมจะแสดงให้เห็นถึงวิธีการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแบบจำลอง ในส่วนนี้จะวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบข้อมูลของแต่ละวัน เพื่อวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง



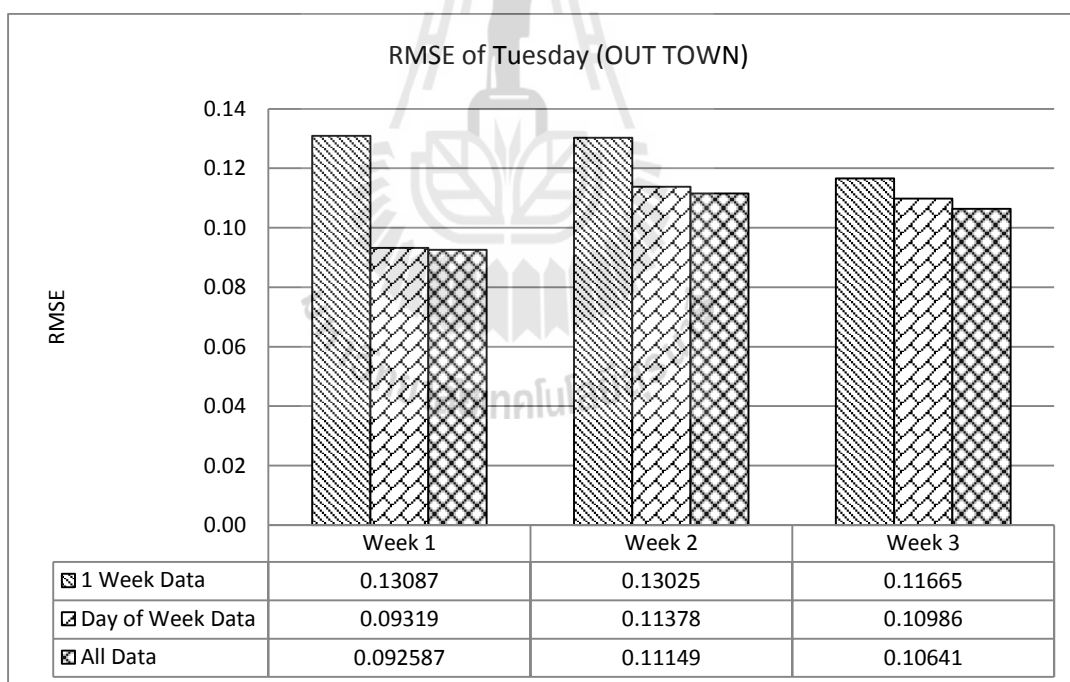
รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันจันทร์ (IN TOWN)



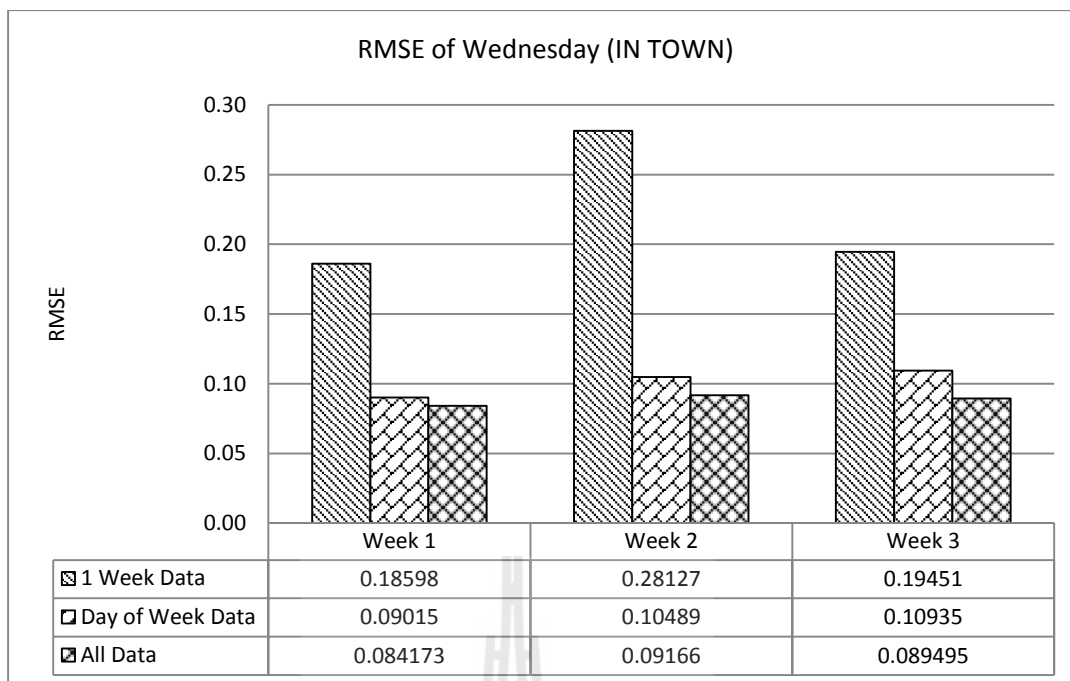
รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันจันทร์ (OUT TOWN)



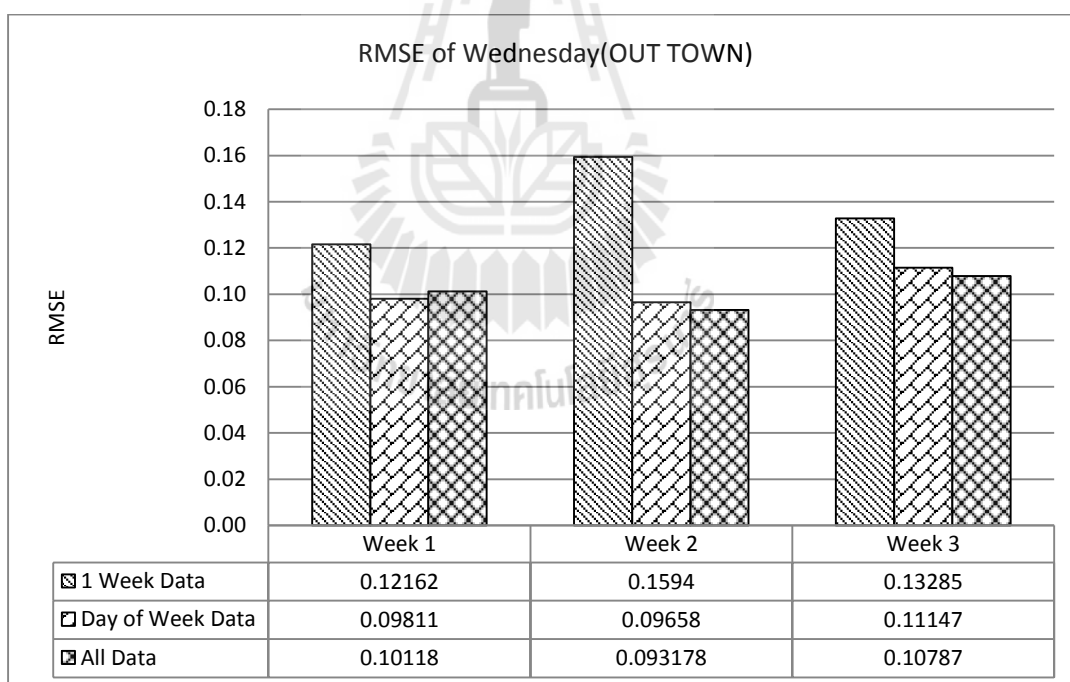
รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันอังคาร (IN TOWN)



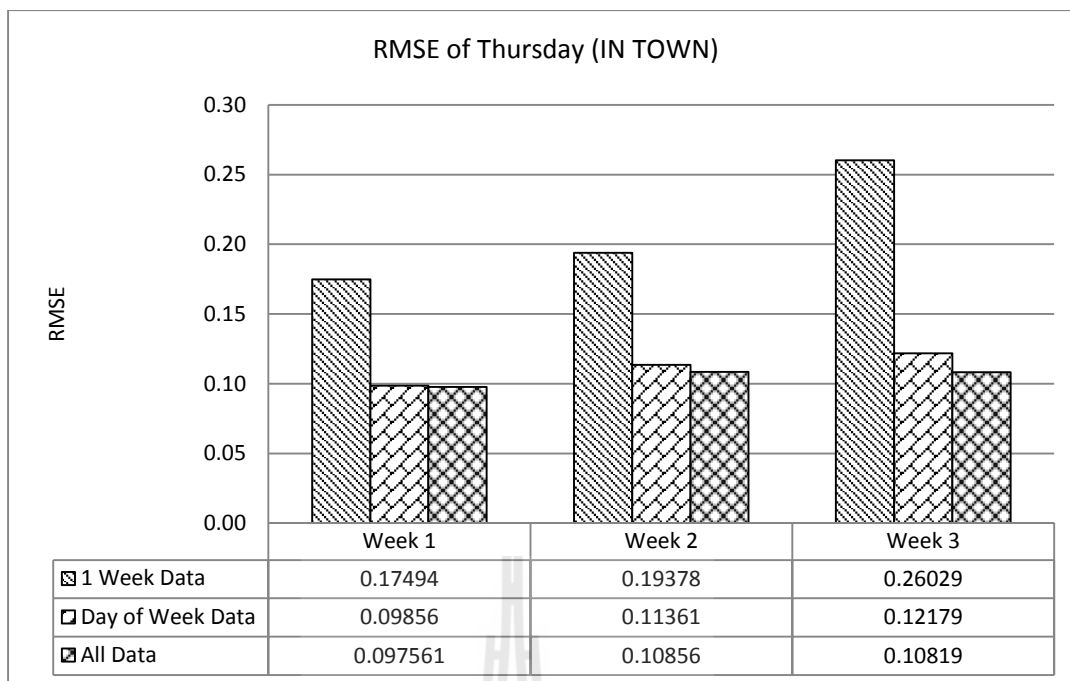
รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันอังคาร (OUT TOWN)



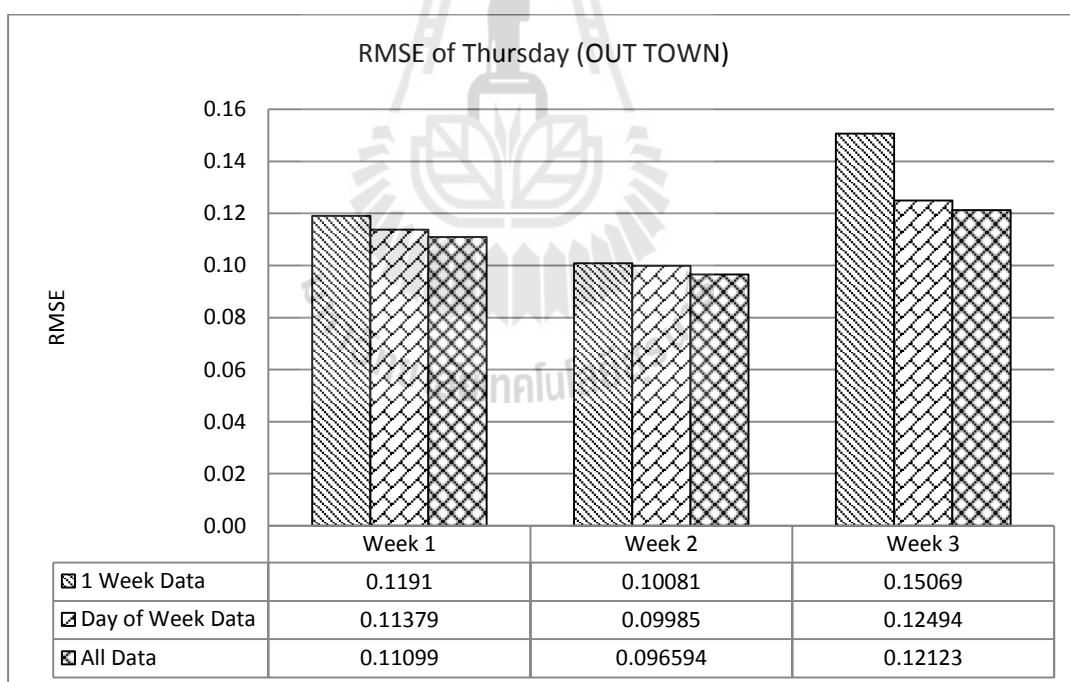
รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันพุธ (IN TOWN)



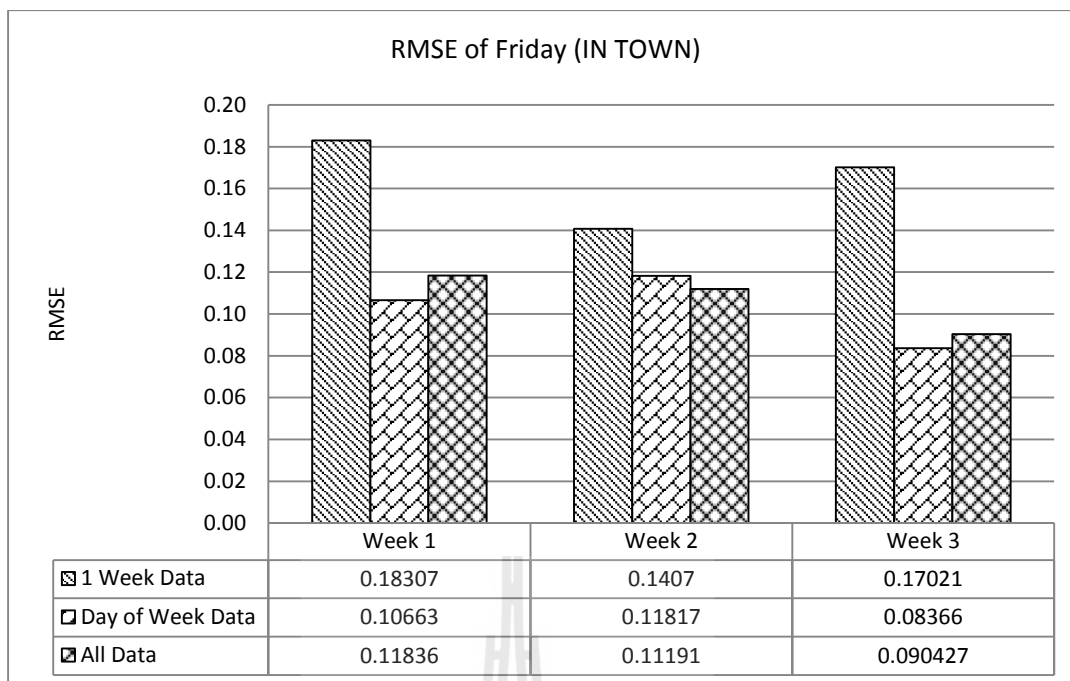
รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันพุธ (OUT TOWN)



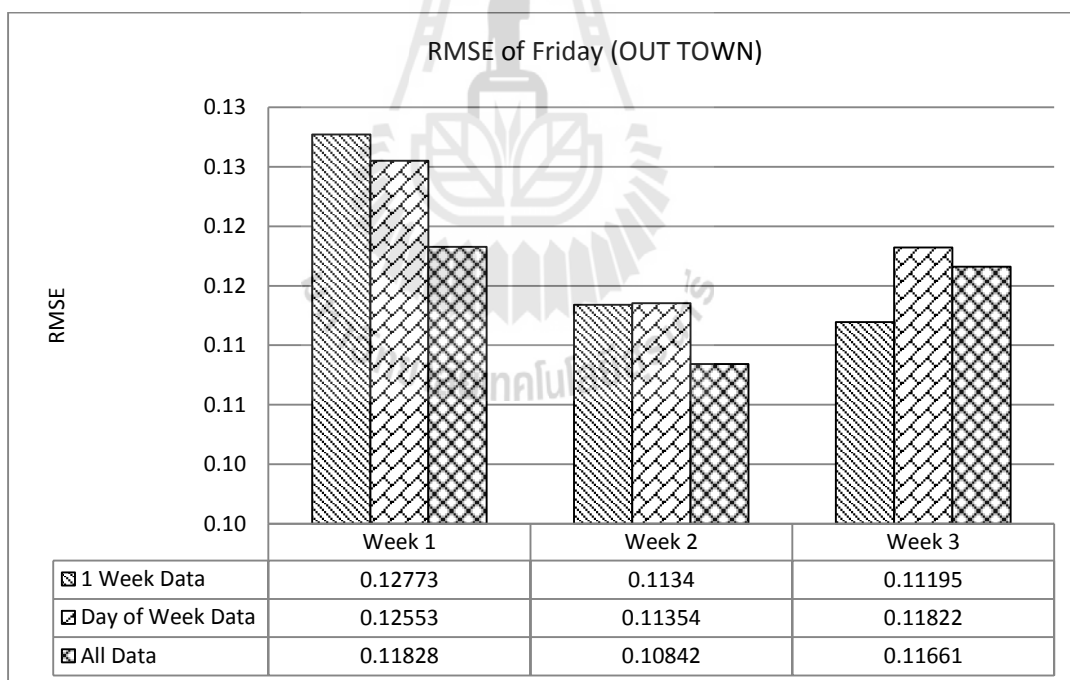
รูปที่ 4.35 เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันพฤหัสบดี (IN TOWN)



รูปที่ 4.36 เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันพฤหัสบดี (OUT TOWN)



รูปที่ 4.37 เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันศุกร์ (IN TOWN)



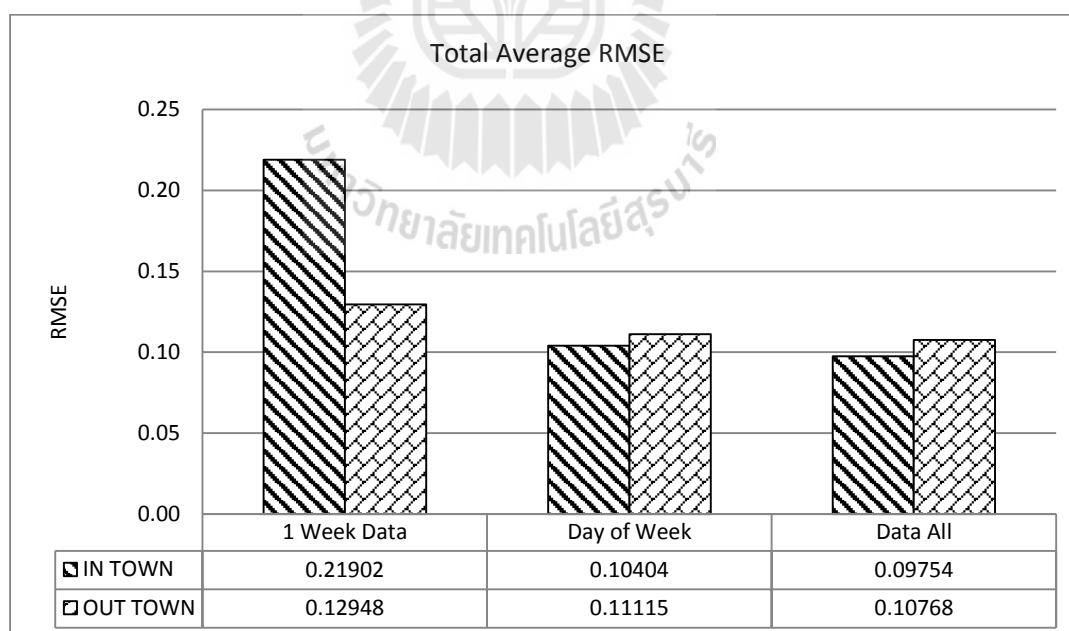
รูปที่ 4.38 เปรียบเทียบค่า RMSE ของวันศุกร์ (OUT TOWN)

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RMSE สำหรับ 3 แบบจำลอง (IN TOWN)

Total Average RMSE (IN TOWN)			
Day/Model	1 Week Data	Day of Week	All Data
Mon	0.25799	0.10694	0.09387
Tue	0.24219	0.09767	0.09373
Wed	0.22059	0.10146	0.08844
Thu	0.20967	0.11132	0.10477
Fri	0.16466	0.10282	0.10690
Total Average	0.21902	0.10404	0.09754

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RMSE สำหรับ 3 แบบจำลอง (OUT TOWN)

Average RMSE for day (OUT TOWN)			
Day/Model	1 Week Data	Day of Week	All Data
Mon	0.14229	0.11610	0.11011
Tue	0.12592	0.10561	0.10350
Wed	0.13796	0.10205	0.10074
Thu	0.12353	0.11286	0.10960
Fri	0.11769	0.11910	0.11444
Average	0.12948	0.11115	0.10768



รูปที่ 4.39 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RMSE ของ 3 แบบจำลอง

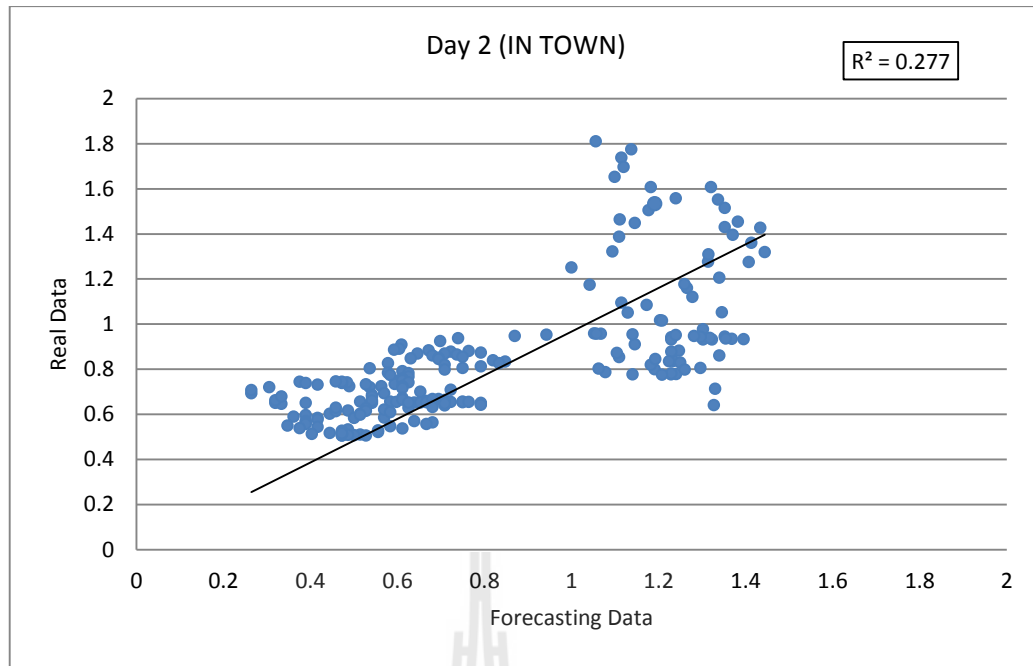
จากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RMSE ของแบบจำลองทั้งหมด จะเห็นว่าในทิศทาง IN TOWN แบบจำลอง 1 Week Data มีค่าเฉลี่ย RMSE คือ 0.21902 แบบจำลอง Day of Week Data มีค่าเฉลี่ย RMSE คือ 0.10404 และแบบจำลอง All Data มีค่าเฉลี่ย RMSE คือ 0.09754 ในทิศทาง OUT TOWN แบบจำลอง 1 Week Data มีค่าเฉลี่ย RMSE คือ 0.12948 แบบจำลอง Day of Week Data มีค่าเฉลี่ย RMSE คือ 0.11115 และแบบจำลอง All Data มีค่าเฉลี่ย RMSE คือ 0.10768 จะเห็นได้ว่าในทิศทาง IN TOWN และ OUT TOWN แบบจำลอง Day of Week Data และแบบจำลอง All Data มีค่าเฉลี่ย RMSE ที่ใกล้เคียงกันและมีค่าที่น้อยกว่าแบบจำลอง 1 Week Data ซึ่งแบบจำลอง 1 Week Data มีข้อมูลการฝึกสอนของเครือข่ายประสาทเทียมที่น้อยกว่าจึงทำให้เกิดความผิดพลาดของการพยากรณ์ปริมาณการจราจรที่มากกว่า แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่สำคัญของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม คือ ปริมาณของข้อมูลที่นำมาใช้ในการฝึกสอน เมื่อมีปริมาณของข้อมูลที่มากจะทำให้สามารถที่จะเรียนรู้และพยากรณ์ปริมาณการจราจรได้ถูกต้องมากขึ้น

4.3.2 วิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

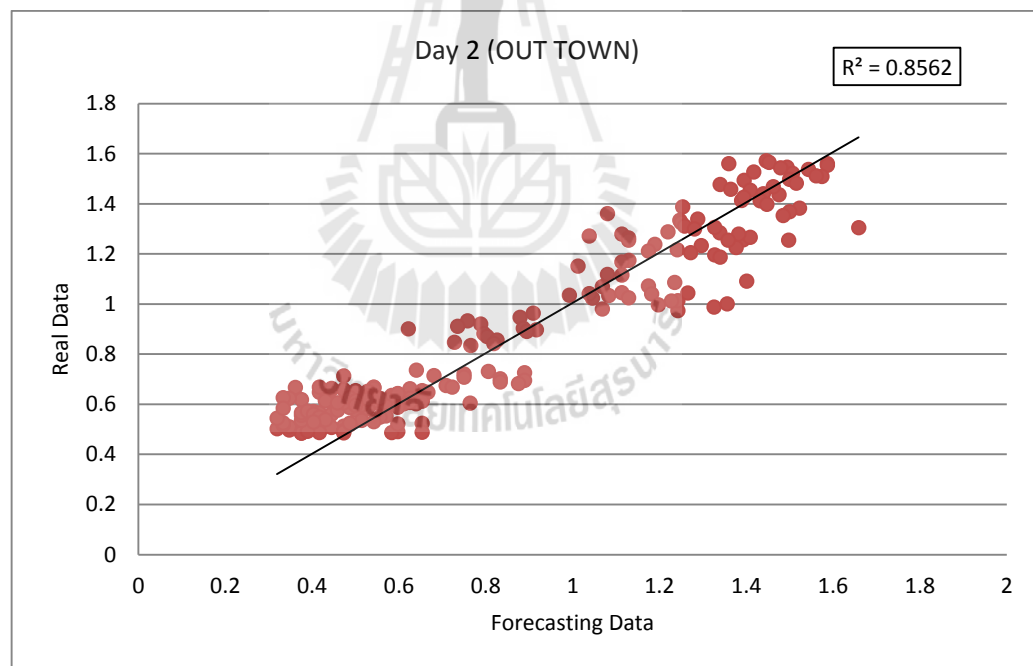
การวิเคราะห์ค่าความถดถอยสามารถที่จะบอกประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ ซึ่งกราฟที่ได้นั้นเป็นการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์จะเปรียบเทียบในลักษณะของแนวโน้มสมการเส้นตรง ซึ่งจะบอกค่าของ Regression จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อข้อมูลของการพยากรณ์กับค่าจริงมีค่าเท่ากัน ดังนั้นการวิเคราะห์การถดถอยนั้นจะทำการเปรียบเทียบทุกแบบจำลองโดยการพิจารณาค่า Regression ที่มีความเข้าใกล้ 1 มากที่สุด ผลการวิเคราะห์การถดถอยจะแสดงดังนี้

วิเคราะห์การถดถอยของแบบจำลอง 1 Week Data

ในการวิเคราะห์การถดถอยแบบจำลอง 1 Week Data จะทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 15 วัน ซึ่งจะแสดงตัวอย่างของการวิเคราะห์โดยแสดงดังรูป



รูปที่ 4.40 กราฟค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง 1 Week Data (IN TOWN)

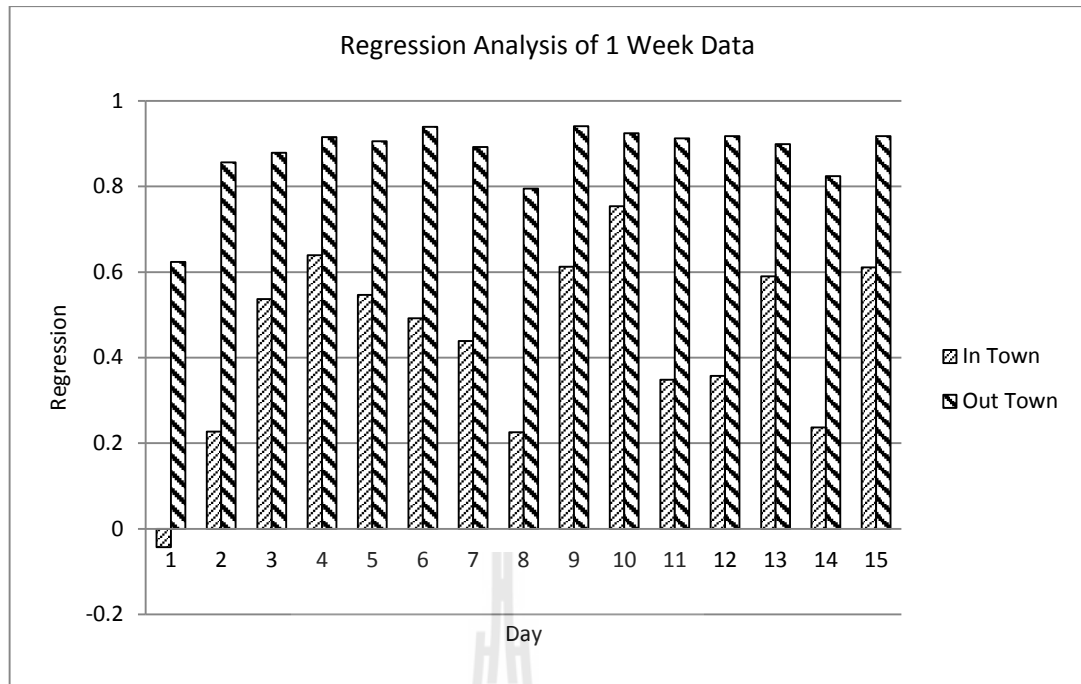


รูปที่ 4.41 กราฟค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง 1 Week Data (OUT TOWN)

ตารางที่ 4.15 ค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง 1 Week Data

Regression Analysis		
Day/Direction	IN TOWN	OUT TOWN
1	-0.043	0.6235
2	0.277	0.8562
3	0.5362	0.8788
4	0.6393	0.9157
5	0.5467	0.9059
6	0.4919	0.9391
7	0.4387	0.8921
8	0.2258	0.7948
9	0.6172	0.9411
10	0.754	0.9243
11	0.3483	0.9123
12	0.3574	0.9179
13	0.5896	0.8989
14	0.2368	0.8244
15	0.6109	0.918
<u>Average</u>	0.441787	0.8762

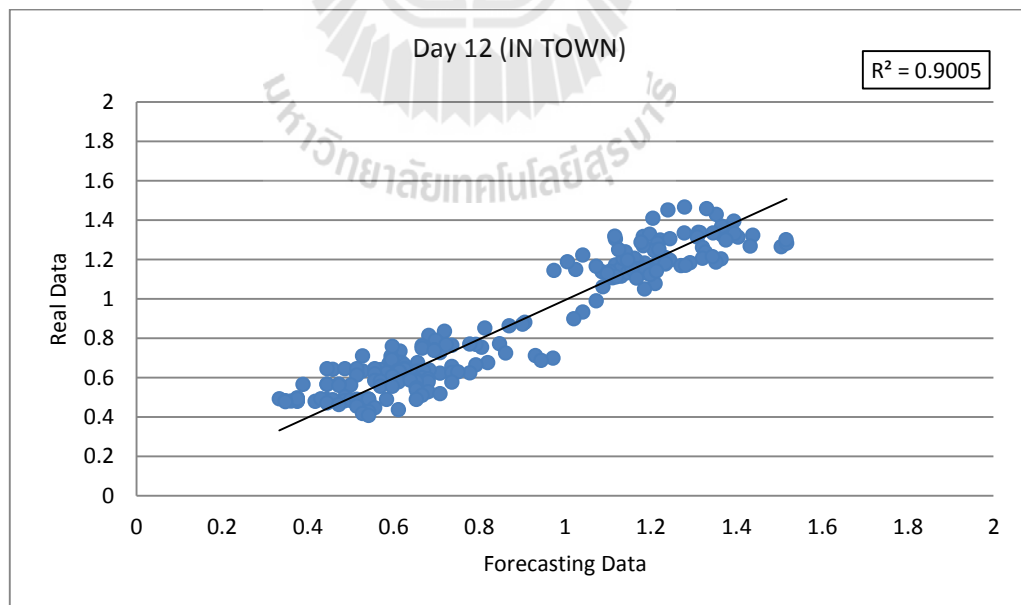




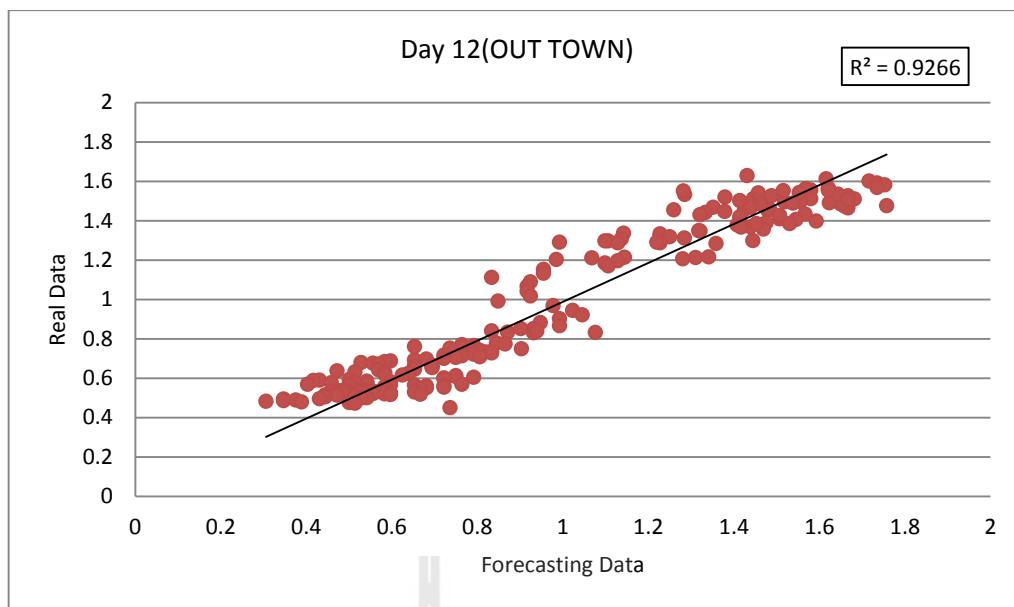
รูปที่ 4.42 ค่า Regression ของแบบจำลอง 1 Week Data

วิเคราะห์การถดถอยของแบบจำลอง Day of Week Data

ในการวิเคราะห์การถดถอยแบบจำลอง Day of Week Data จะทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 15 วัน ซึ่งจะแสดงตัวอย่างของการวิเคราะห์โดยแสดงดังรูป



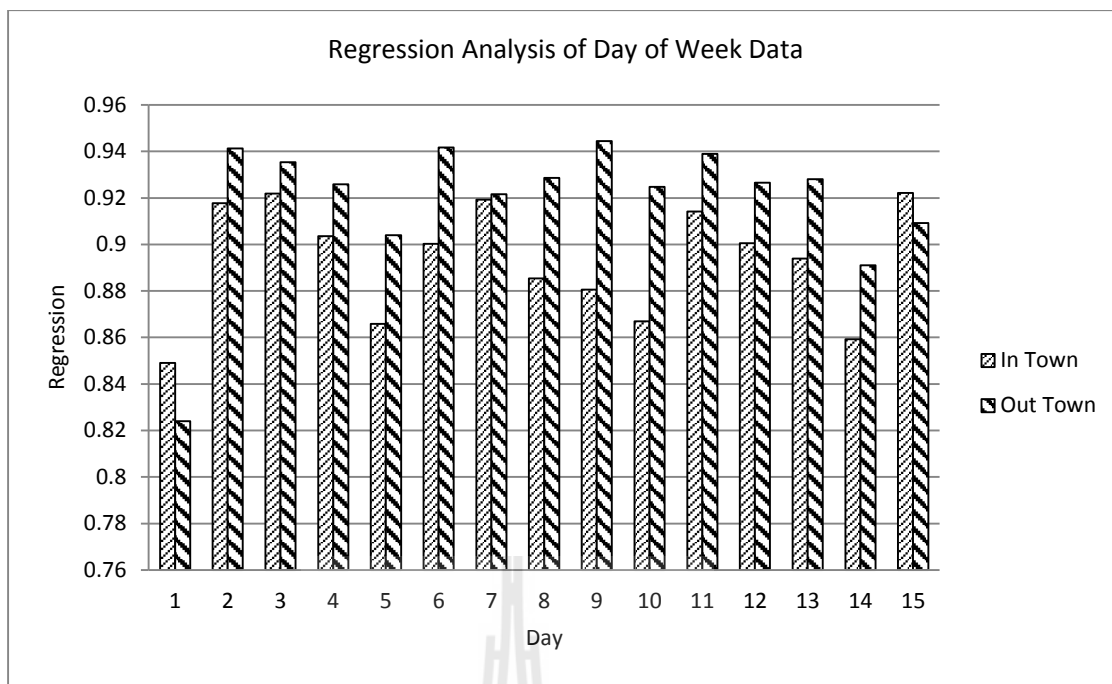
รูปที่ 4.43 กราฟค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง Day of Week Data (IN TOWN)



รูปที่ 4.44 กราฟค่าความถดถอย (Regression)
ของแบบจำลอง Day of Week Data (OUT TOWN)

ตารางที่ 4.16 ค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง Day of Week Data

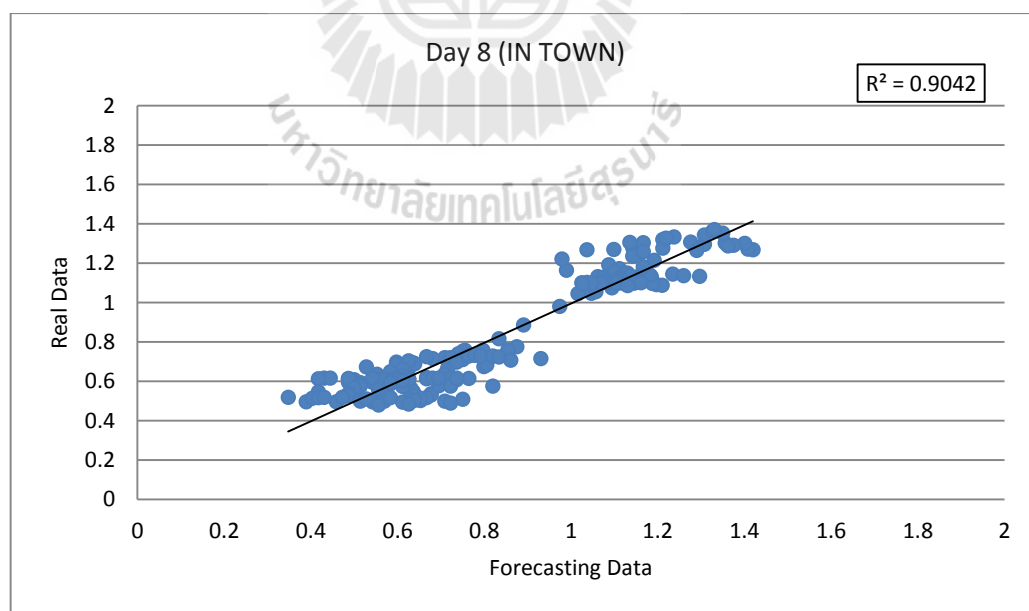
Regression Analysis		
Day/Direction	IN TOWN	OUT TOWN
1	0.8491	0.824
2	0.9177	0.9413
3	0.9219	0.9353
4	0.9035	0.9258
5	0.8658	0.904
6	0.9002	0.9417
7	0.9192	0.9216
8	0.8854	0.9286
9	0.8806	0.9445
10	0.867	0.9247
11	0.9142	0.9389
12	0.9005	0.9266
13	0.8939	0.9281
14	0.8592	0.891
15	0.9221	0.9092
Average	0.893353	0.91902



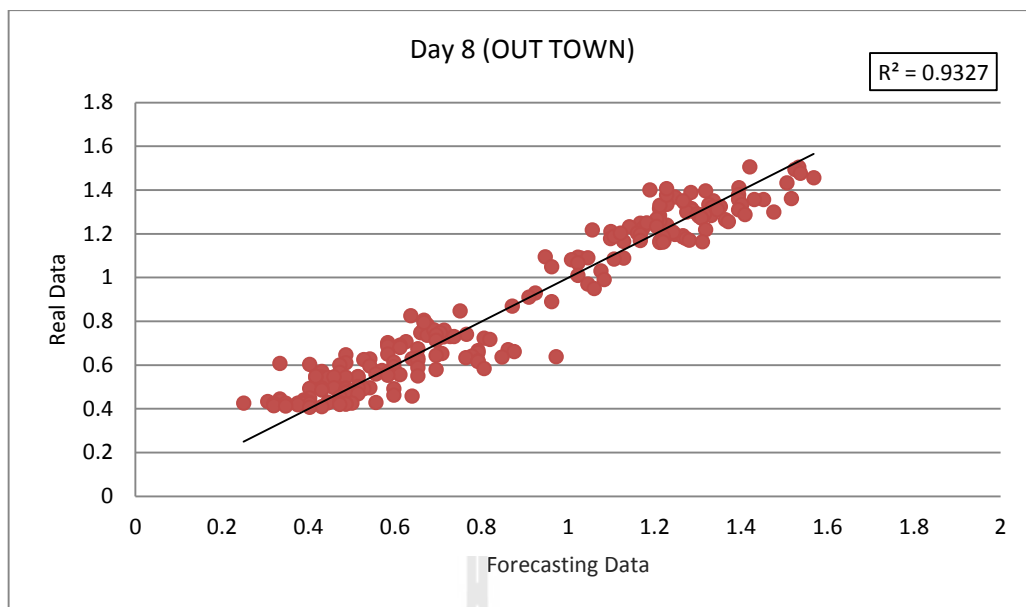
รูปที่ 4.45 เปรียบเทียบค่า Regression ของแบบจำลอง Day of Week Data

วิเคราะห์การถดถอยของแบบจำลอง All Data

ในการวิเคราะห์การถดถอยแบบจำลอง All Data จะทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 15 วัน ซึ่งจะแสดงตัวอย่างของการวิเคราะห์โดยแสดงดังรูป



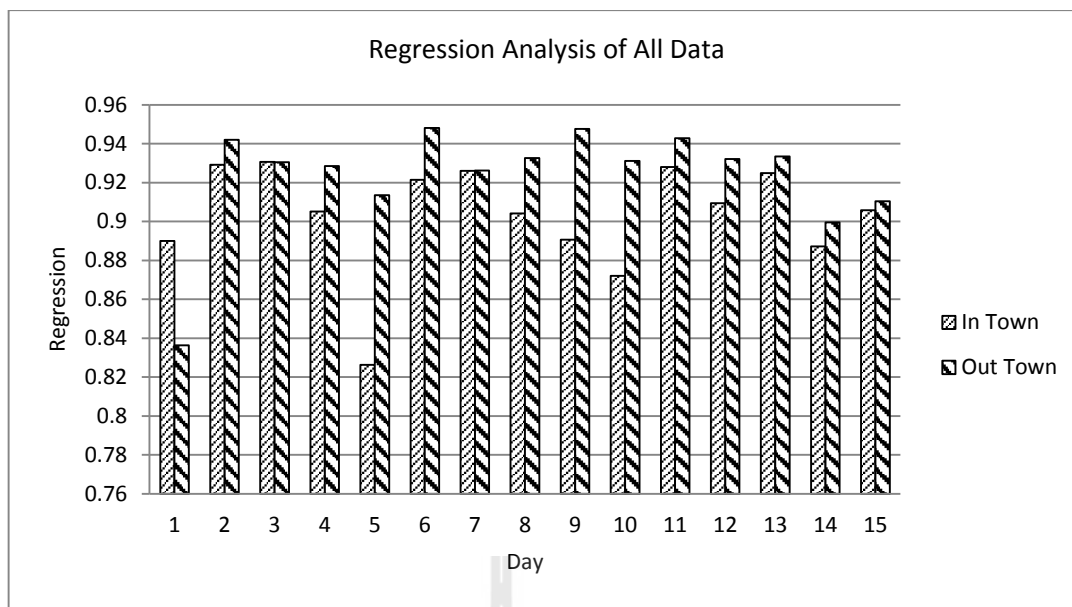
รูปที่ 4.46 กราฟค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง All Data (IN TOWN)



รูปที่ 4.47 กราฟค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง All Data (OUT TOWN)

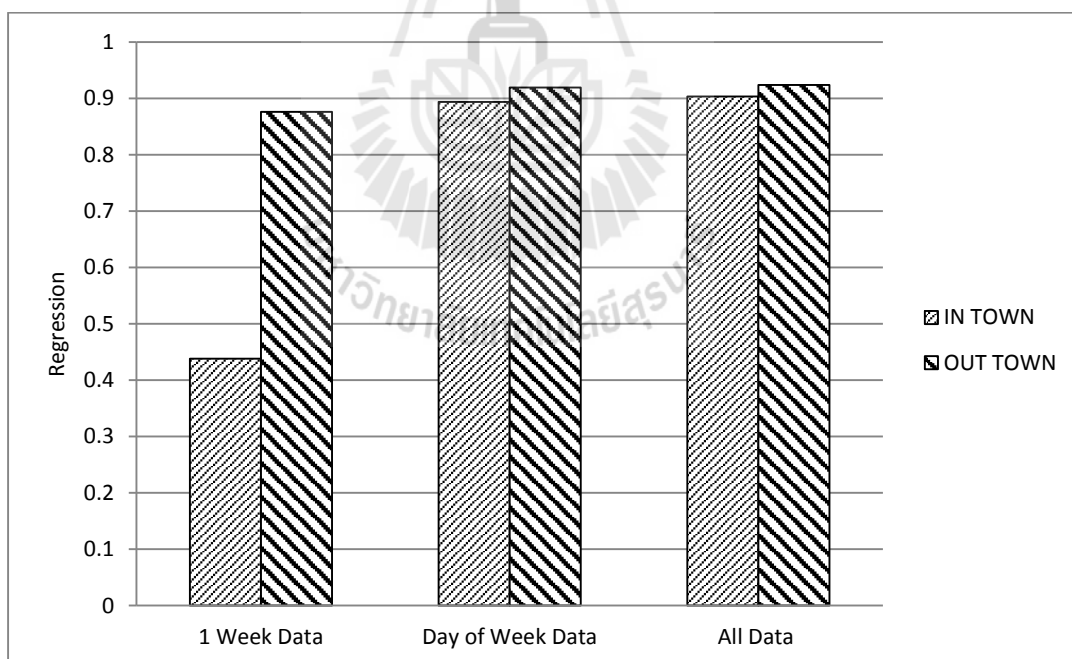
ตารางที่ 4.17 ค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลอง All Data

Regression Analysis		
Day/Direction	IN TOWN	OUT TOWN
1	0.89	0.8364
2	0.9292	0.942
3	0.9306	0.9305
4	0.9051	0.9286
5	0.8263	0.9136
6	0.9214	0.9482
7	0.9261	0.9263
8	0.9042	0.9327
9	0.8906	0.9476
10	0.8721	0.9311
11	0.928	0.9429
12	0.9094	0.9322
13	0.925	0.9335
14	0.8872	0.8996
15	0.9059	0.9105
<u>Average</u>	0.903407	0.923713



รูปที่ 4.48 ค่า Regression ของแบบจำลอง All Data

จากการทดสอบความถดถอยของแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง และนำค่า Regression มาวิเคราะห์และทำการเปรียบเทียบจะได้กราฟดังรูป



รูปที่ 4.49 เปรียบเทียบค่าความถดถอย (Regression) ของทั้ง 3 แบบจำลอง

จากรูปจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยความถดถอยของแบบจำลอง Day of Week Data และ All Data มีค่าเข้าใกล้ 1 แนวโน้มของข้อมูลการพยากรณ์และข้อมูลจริงมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน แต่จากรูปจะเห็นได้ว่า ทิศทางเข้าตัวเมืองนครราชสีมา (IN TOWN) มีค่าเฉลี่ยความถดถอย คือ 0.441787 ซึ่งเป็นค่าน้อยที่สุด แสดงถึงแนวโน้มของข้อมูลการพยากรณ์กับข้อมูลจริงไม่ได้ไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้ไม่มีความน่าเชื่อถือของข้อมูลจากแบบจำลอง 1 Week Data ในทิศทางออกนอกตัวเมืองนครราชสีมา สำหรับการนำข้อมูลการพยากรณ์ไปออกแบบสัญญาณไฟจราจร

4.4 การประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง

แบบจำลองการจราจรที่สร้างขึ้นนั้น จุดประสงค์หลักของการออกแบบและสร้างแบบจำลองคือสามารถนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้งานในการออกแบบสัญญาณไฟจราจรได้ ดังนั้นแบบจำลองที่ในงานวิจัยนี้ได้สร้างขึ้นจะต้องสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ ในการออกแบบสัญญาณไฟจราจรนั้น พารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบ คือ ปริมาณการจราจร ซึ่งในการออกแบบสัญญาณไฟจราจรแบบตั้งเวลาคงที่จำเป็นจะต้องมีการเก็บข้อมูลดังกล่าวก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์และออกแบบสัญญาณไฟจราจร และถ้าหากต้องการที่จะปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรให้มีความเหมาะสมเมื่อเวลาผ่านไปนาน จำเป็นต้องทำการเก็บข้อมูลการจราจรอีกครั้งเพื่อนำมาวิเคราะห์และออกแบบสัญญาณไฟจราจรใหม่ ซึ่งทำให้เกิดเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและใช้ระยะเวลามากในการปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรในแต่ละครั้ง

แบบจำลองการจราจรที่ได้สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ได้เสนอให้เห็นถึงการพยากรณ์ปริมาณการจราจรล่วงหน้า โดยไม่จำเป็นต้องทำการเก็บข้อมูลใหม่เมื่อต้องการปรับปรุงหรือออกแบบสัญญาณไฟจราจรใหม่ โดยในแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองสามารถรู้ค่าอัตราการไหลของการจราจรได้โดยการระบุ วัน เวลา และความหนาแน่นของการจราจรรายชั่วโมง ทำให้สามารถประมาณสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นได้ เพื่อที่จะนำปริมาณการจราจรที่ได้นั้นมาออกแบบสัญญาณไฟจราจรให้มีความเหมาะสมอีกครั้ง

4.4.1 การประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง 1 Week Data เพื่อออกแบบสัญญาณไฟจราจร

แบบจำลอง 1 Week Data เป็นแบบจำลองที่ต้องอาศัยข้อมูลจากพารามิเตอร์ DIR HOUR MIN และ Mean เพื่อที่จะสามารถพยากรณ์ค่า Traffic Flow Rate ได้ จากการสร้างแบบจำลอง 1 Week Data ที่ไม่ได้ระบุวันของสัปดาห์ (DOW) ทำให้ไม่สามารถที่จะบอกปริมาณการจราจรในวันต่างๆ ได้ จะมีความสัมพันธ์กับเวลาที่พยากรณ์เท่านั้น ซึ่งจะส่งผลกับการออกแบบสัญญาณไฟจราจร เนื่องจากค่าตอบที่ได้จากแบบจำลองจะสามารถออกแบบสัญญาณไฟจราจรให้มีความแตกต่างกันในแต่ละวันไม่ได้ จะสามารถออกแบบสัญญาณไฟจราจรได้เพียงรูปแบบเดียวเท่านั้น และการควบคุมสัญญาณไฟจราจรจะมีรูปแบบที่เหมือนกันทั้ง 5 วันของสัปดาห์ ดังนั้นในรูปแบบนี้จะมีข้อจำกัดในเรื่องของข้อมูลที่นำมาออกแบบสัญญาณไฟจราจร แต่ถ้าหากแยกการจราจรที่มีลักษณะของสภาพการจราจรที่เหมือนกัน ก็จะสามารถที่จะออกแบบสัญญาณไฟจราจรด้วยวิธีดังกล่าวได้

4.4.2 การประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง Day of Week Data เพื่อออกแบบสัญญาณไฟจราจร

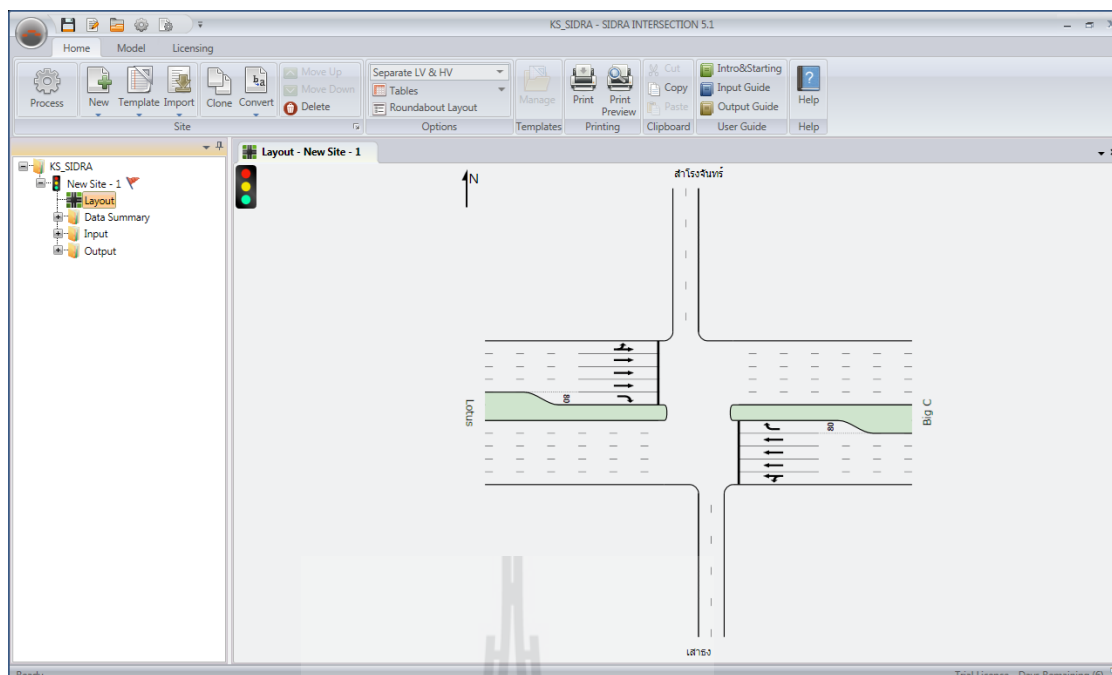
เนื่องด้วยข้อจำกัดของวิธีการแบบ 1 Week Data ที่ไม่สามารถที่จะพยากรณ์ปริมาณการจราจรในแต่ละวันได้ แบบจำลอง Day of Week Data เป็นแบบจำลองที่มาจากปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการสร้างแบบจำลองขึ้นมาทั้งหมด 5 แบบจำลอง ซึ่งจะเป็นแบบจำลองของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ซึ่งการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองนี้สามารถทำได้โดยการป้อนพารามิเตอร์ที่เป็น Input ของแบบจำลอง คือ DIR HOUR MIN และ Mean เพื่อที่จะสามารถพยากรณ์ค่า Traffic Flow Rate ซึ่งในการป้อนค่า Input นี้จะต้องเลือกแบบจำลองของวันให้ถูกต้อง เช่น ถ้าหากต้องการที่จะออกแบบสัญญาณไฟจราจรของวันจันทร์โดยอาศัยข้อมูลจากแบบจำลองนั้น จะต้องเลือกใช้แบบจำลองที่เกิดจากข้อมูลของวันจันทร์เท่านั้น จึงจะสามารถพยากรณ์ปริมาณการจราจรได้ใกล้เคียงที่สุด ดังนั้นการออกแบบสัญญาณไฟจราจรด้วยแบบจำลองนี้จะสามารถออกแบบสัญญาณไฟจราจรในแต่ละวันของสัปดาห์ให้มีรูปแบบของสัญญาณไฟจราจรที่แตกต่างกันได้ แต่การออกแบบสัญญาณไฟจราจรด้วยแบบจำลอง Day of Week Data ควรจะต้องเลือกแบบจำลองของแต่ละวันให้ถูกต้องกับความต้องการในการออกแบบสัญญาณไฟจราจรในวันนั้นๆ ไม่เช่นนั้นแล้วจะทำให้สัญญาณไฟจราจรที่ได้ไม่มีความเหมาะสมกับสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นจริง

4.4.3 การประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง All Data เพื่อออกแบบสัญญาณไฟจราจร

แบบจำลอง All Data จะมีลักษณะที่เหมือนกันกับแบบจำลอง 1 Week Data โดยการประยุกต์ใช้งานจะสามารถพยากรณ์ปริมาณการจราจรที่มีความสัมพันธ์กับเวลาเท่านั้น แต่แบบจำลอง All Data จะข้อมูลสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อสร้างแบบจำลองที่มากกว่า ทำให้ได้ผลการพยากรณ์ที่ใกล้เคียงกับสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นจริงมากกว่าแบบจำลอง 1 Week Data ที่ใช้ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองเพียง 1 สัปดาห์เท่านั้น โดยผลการพยากรณ์ที่ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริงจะทำให้การออกแบบสัญญาณไฟจราจรมีประสิทธิภาพมากกว่า

4.5 การออกแบบสัญญาณไฟจราจรด้วยโปรแกรม SIDRA INTERSECTION

การออกแบบสัญญาณไฟจราจรเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับสภาพการจราจรโดยคำนวณจากค่าปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบสัญญาณไฟเขียวโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการคำนวณรอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม โปรแกรม SIDRA INTERSECTION ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการออกแบบสัญญาณไฟจราจรซึ่งได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในการออกแบบสัญญาณไฟจราจร ระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างยิ่งต่อสภาพการจราจร เพราะถ้ามีระยะเวลาไฟเขียวมากจนเกินไปจะทำให้เกิดปริมาณของแถวคอยและความล่าช้าเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวน้อยเกินไปจะทำให้การหยุดรอสัญญาณไฟเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ดังนั้นระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งการออกแบบสัญญาณไฟจราจรนั้นจะใช้อัตราการไหลของการจราจร (Traffic Flow Rate) ในหน่วยของคันต่อชั่วโมงเพื่อให้ได้ค่าระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม



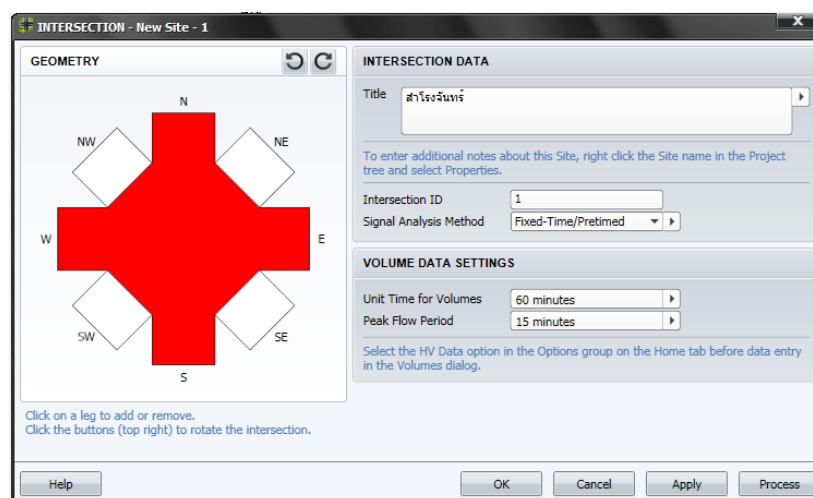
รูปที่ 4.50 หน้าต่างโปรแกรม SIDRA INTERSECTION ที่ใช้ในการออกแบบ

4.5.1 ขั้นตอนการออกแบบสัญญาณไฟจราจร

การออกแบบสัญญาณไฟจราจรให้มีความเหมาะสมจากโปรแกรม SIDRA INTERSECTION จะสามารถทำการออกแบบได้ดังนี้

1. กำหนดทิศทางของแยกการจราจร

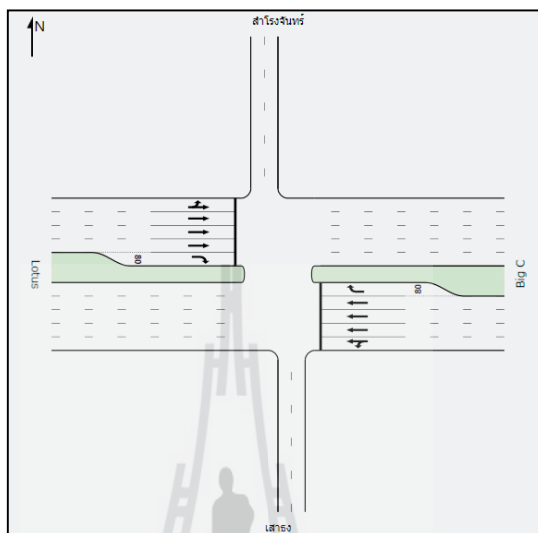
แยกการจราจรที่จะทำการออกแบบสัญญาณไฟจราจรนั้นจะมีทิศทางทั้งหมด 4 ทิศทางดังรูปที่ 4.51 กำหนดรูปแบบของสัญญาณไฟจราจรเป็นแบบตั้งเวลาคงที่ (Fix Time Control) ปริมาณการจราจรที่จะทำการออกแบบสัญญาณไฟเขียว (Unit Time of Volume) กำหนดให้เป็น 60 นาที ค่าปริมาณการจราจรสูงสุด (Peak Flow Period) กำหนดให้เป็น 15 นาที



รูปที่ 4.51 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของการจราจรสำหรับแยกสำโรงจันทร์

2. กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในแต่ละทิศทาง

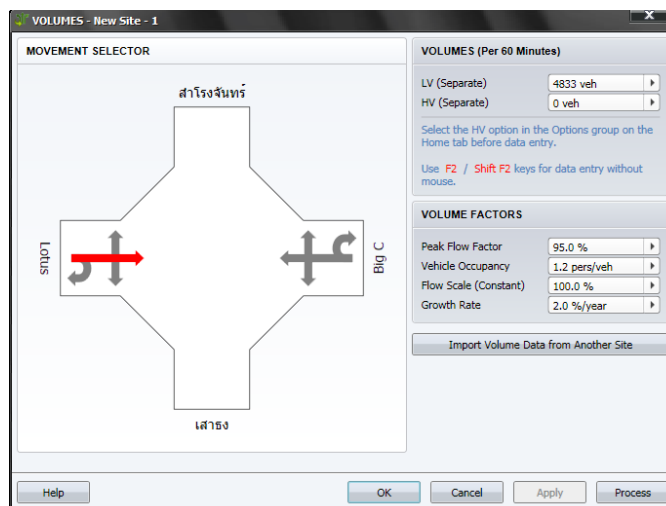
โครงสร้างทางกายภาพของแยกการจราจรจะมีจำนวนเลนส์ถนนทั้งหมด 10 ช่องทางการเดินรถ ซึ่งจะแบ่งออกเป็นทิศทางเข้าตัวเมืองนครราชสีมา 5 ช่องทาง และทิศทางออกนอกตัวเมืองนครราชสีมา 5 ช่องทางเท่ากัน ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะแต่ละเลนส์ถนนจะแสดงดังรูปที่ 4.52



รูปที่ 4.52 ลักษณะทางกายภาพของแยกการจราจรสำหรับการออกแบบสัญญาณไฟจราจรด้วยโปรแกรม SIDRA INTERSECTION

3. กำหนดปริมาณการจราจรในแต่ละทิศทาง

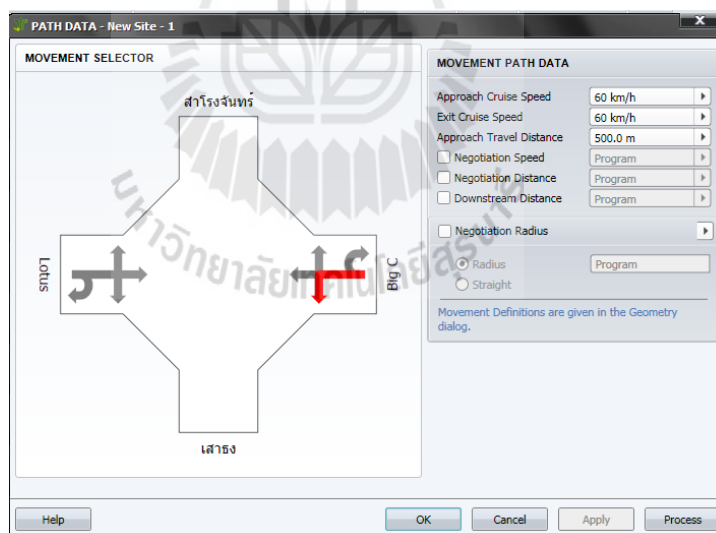
ปริมาณการจราจรในแต่ละทิศทางนั้นจะมีค่าที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจะต้องกำหนดในแต่ละทิศทางให้ชัดเจน โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ออกเป็น 2 ทิศทาง คือ IN TOWN และ OUT TOWN โดยค่าปริมาณการจราจรที่จะกำหนดให้โปรแกรมนี้ได้จากแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณการจราจร



รูปที่ 4.53 แสดงการกำหนดปริมาณการจราจรในแต่ละทิศทาง

4. กำหนดความเร็วของยานพาหนะและความยาวของถนน

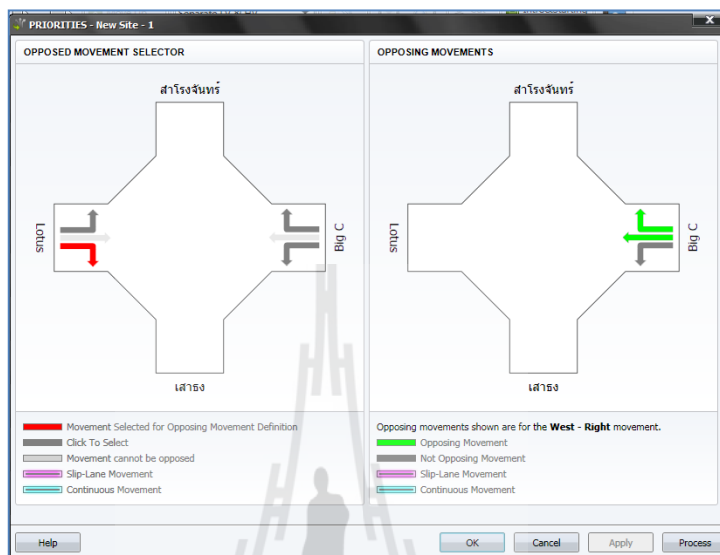
ความเร็วในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสำหรับงานวิจัยนี้ กำหนดให้ยานพาหนะมีความเร็ว 50 กม./ชั่วโมง สำหรับทุกทิศทางเคลื่อนที่ และกำหนดให้ความยาวของถนนแต่ละทิศทางมีความยาว 500 เมตร โดยประมาณความยาวของถนนให้มีค่าใกล้เคียงกับแยกการจราจรจริงซึ่งจะแสดงการกำหนดค่าต่างๆ ดังรูป



รูปที่ 4.54 แสดงความเร็วของยานพาหนะและความยาวของถนนของแยกการจราจร

5. กำหนดทิศทางการเคลื่อนของยานพาหนะโดยไม่เกิดความขัดแย้ง

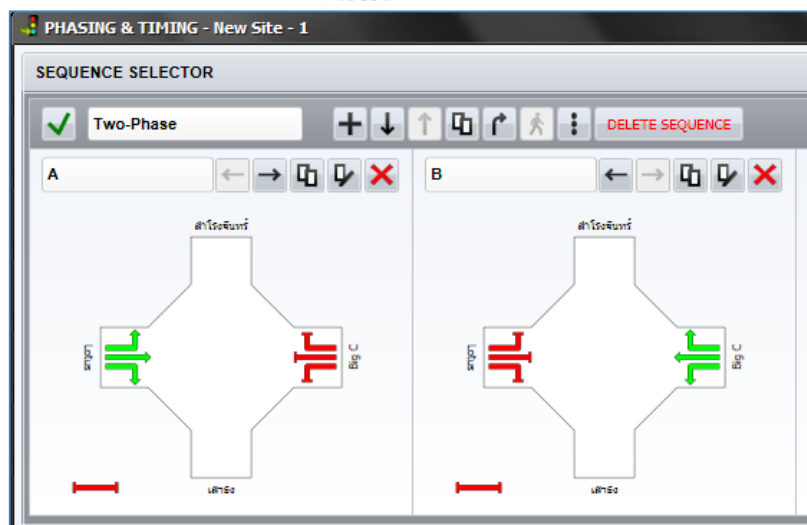
จุดประสงค์หลักของการออกแบบสัญญาณไฟจราจร คือ การออกแบบทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะโดยที่ไม่ทำให้เกิดความขัดแย้ง ซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่ดังกล่าวจะต้องพิจารณาจากแยกการจราจร โดยในโปรแกรม SIDRA INTERSECTION สามารถกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ในแต่ละทิศทางได้ดังรูป



รูปที่ 4.55 แสดงการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะโดยไม่ทำให้เกิดความขัดแย้ง

6. กำหนดสัญญาณไฟเขียวในแต่ละทิศทาง

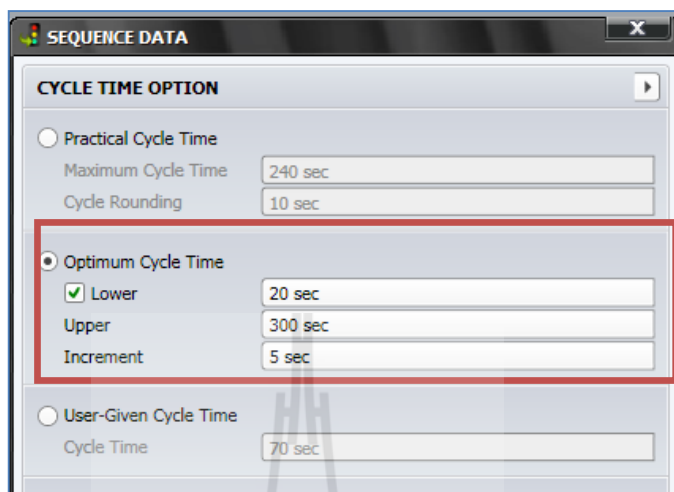
การกำหนดสัญญาณไฟเขียวจะมีความสัมพันธ์กับทิศทางการเคลื่อนที่โดยในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบสัญญาณไฟเขียวออกเป็น 2 เฟส คือ สัญญาณไฟเขียวสำหรับทิศทางการเคลื่อนที่เข้าตัวเมืองนครราชสีมา (IN TOWN) และทิศทางออกนอกตัวเมืองนครราชสีมา



รูปที่ 4.56 แสดงการกำหนดสัญญาณไฟเขียว

7. กำหนดการตั้งค่าโปรแกรมให้คำนวณระยะเวลาไฟเขียวที่เหมาะสม

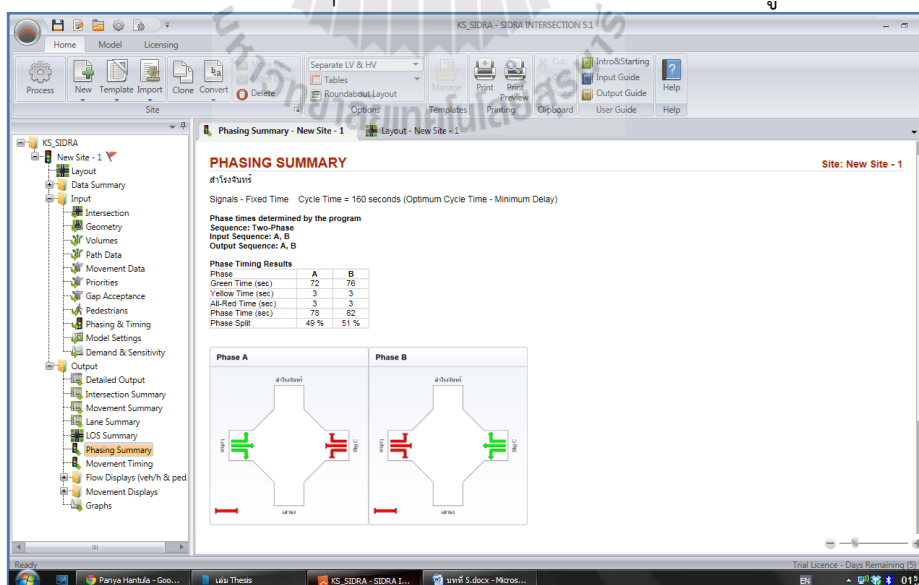
ในส่วนการตั้งค่าของโปรแกรม SIDRA INTERSECTION ให้คำนวณหาระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวในแต่ละเฟสให้มีความเหมาะสม โดยกำหนดให้ระยะเวลารอบสัญญาณไฟมีค่าสูงสุดไม่เกิน 300 วินาที และค่าต่ำสุด 20 วินาที



รูปที่ 4.57 กำหนดระยะเวลาสูงสุดของสัญญาณไฟเขียว

8. ตรวจสอบระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวที่คำนวณจากโปรแกรม SIDRA INTERSECTION

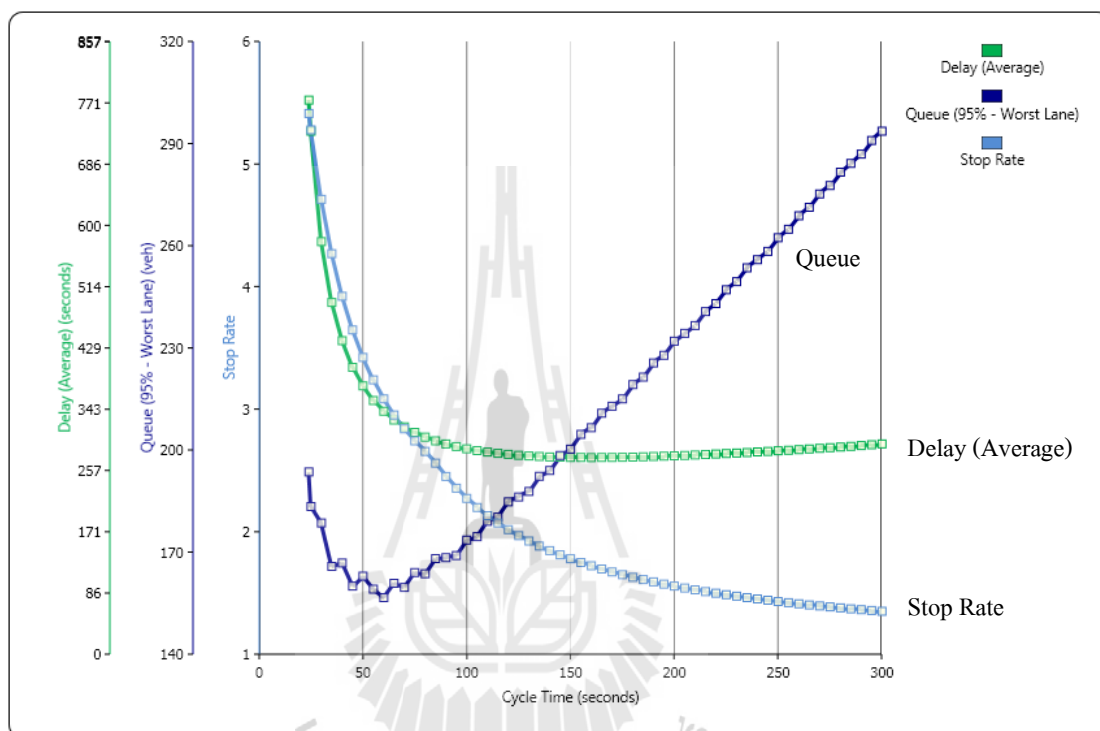
เพื่อให้โปรแกรม SIDRA INTERSECTION ทำการคำนวณระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียว คลิกที่ Process เพื่อทำการคำนวณแล้วตรวจสอบระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวที่ได้จากโปรแกรม โดยตรวจสอบในโหมด Output ในหัวข้อ PHASING SUMMARY ดังรูปที่ 4.70



รูปที่ 4.58 แสดงระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ได้จากโปรแกรม SIDRA INTERSECTION

4.5.2 ผลการคำนวณระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม

จากการออกแบบระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรในแต่ละเฟสของแยกการจราจรเพื่อให้ได้ระยะเวลาที่เหมาะสม โดยระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวที่คำนวณจากอัตราการไหลของการจราจร (Traffic Flow Rate) ที่ได้จากแบบจำลอง All Data ในช่วงเวลา 18.00 ถึง 19.00 น. ประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจรจะพิจารณาพารามิเตอร์ คือ ค่าความล่าช้าเฉลี่ย (Average Delay) ค่าปริมาณแถวคอย (Queue) และค่าอัตราการหยุดยานพาหนะ (Stop Rate) ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวนี้ได้จากการคำนวณจากโปรแกรม SIDRA INTERSECTION



รูปที่ 4.59 แสดงค่าประสิทธิภาพของการคำนวณสัญญาณไฟจราจร

ผลการทดสอบคำนวณค่ารอบสัญญาณไฟจราจร (Cycle Time) ที่เหมาะสม ซึ่งพิจารณาจากค่าความล่าช้าเฉลี่ย (Average Delay) ที่น้อยที่สุด จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่ารอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม คือ 160 วินาที ซึ่งจะทำให้ค่าความล่าช้าเฉลี่ยน้อยที่สุด สัญญาณไฟจราจรในแต่ละเฟสจะถูกคำนวณจากรอบสัญญาณไฟจราจรโดยการคำนวณค่าที่เหมาะสมเช่นกัน ซึ่งได้ผลการคำนวณสัญญาณไฟจราจรในแต่ละเฟสดังนี้

ตารางที่ 4.18 ระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรในแต่ละเฟส

Phase	IN TOWN	OUT TOWN
Green Time (sec)	72	76
Yellow Time (sec)	3	3
All-Red Time (sec)	3	3
Phase Time (sec)	78	82
Phase Split	49 %	51 %

ตารางที่ 4.19 ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรม SIDRA INTERSECTION ในทิศทางเข้าตัวเมืองนครราชสีมา (IN TOWN)

IN TOWN	Performance	
	Parameter	Optimal
	Volume (veh./hour)	4833
	Phase (Sec.)	78
	Average Delay (Sec.)	276.7
	Queue (veh.)	196
	Stop Rate	1.72

ตารางที่ 4.20 ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรม SIDRA INTERSECTION ในทิศทางออกนอกตัวเมืองนครราชสีมา (OUT TOWN)

OUT TOWN	Performance	
	Parameter	Optimal
	Volume (veh./hour)	5091
	Phase (Sec.)	82
	Average Delay (Sec.)	273.8
	Queue (veh.)	206.5
	Stop Rate	1.72

จากผลการคำนวณหาระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรที่มีความเหมาะสมสำหรับแยก
 สำโรงจันทร์ในช่วงเวลา 18.00 ถึง 19.00 น. นั้น จะได้ค่ารอบเวลาสัญญาณไฟจราจร (Cycle Time)
 ที่เหมาะสม คือ 160 วินาที และกำหนดระยะเวลาสัญญาณไฟเหลืองและระยะเวลาสัญญาณไฟแดงทุก
 ด้าน คือ 3 วินาทีในทุกเฟส ระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรในเฟส IN TOWN คือ 78 วินาที คิดเป็น
 49 % และระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรในเฟส OUT TOWN คือ 78 วินาที คิดเป็น 51 % เมื่อนำมา
 เปรียบเทียบกับระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบเดิมจะได้ผลดังตาราง

ตารางที่ 4.21 เปรียบเทียบระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรก่อนและหลังการคำนวณ

Phase	IN TOWN		OUT TOWN	
	Before	After	Before	After
Cycle Time	240	160	240	160
Green Time (sec)	104	72	124	76
Yellow Time (sec)	3	3	3	3
All-Red Time (sec)	3	3	3	3
Phase Time (sec)	110	78	130	82
Phase Split (%)	45.83	49	54.17	51

จากตารางจะเห็นได้ว่าระยะเวลาของสัญญาณไฟเดิมจะมีค่ารอบเวลาสัญญาณไฟจราจรที่มากกว่าที่ออกแบบได้ โดยระยะเวลารอบสัญญาณไฟจราจรเดิม คือ 240 วินาที และรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรที่ออกแบบ คือ 160 วินาที

ตารางที่ 4.22 ประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรที่ออกแบบเมื่อทดสอบกับข้อมูลการจราจรจริง

Phase	IN TOWN			OUT TOWN		
	Before	After	Δ	Before	After	Δ
Phase Time	110	78	-32	130	82	-48
Real Volume (veh./hour)	4798			5203		
Average Delay (Sec.)	326.8	271.9	-54.9 (20.2%)	254.7	288.4	33.7 (11.7%)
Queue (veh.)	250.6	193.4	-57.2 (29.5%)	254.6	215.1	-39.5 (18.4%)
Stop Rate	1.51	1.71	0.2 (11.7%)	1.41	1.75	0.34 (19.4)

ตารางที่ 4.23 ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของแยกการจราจรก่อนและหลังการปรับปรุงสัญญาณไฟ

	Before	After	Δ	
Average Delay (Sec.)	290.75	280.15	10.6	-3.65 %
Queue (veh.)	252.6	204.25	48.35	-19.14 %
Stop Rate	1.46	1.73	-0.27	18.49 %

จากตารางที่ 4.22 และตารางที่ 4.23 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากข้อมูลการจราจรที่เกิดขึ้นจริงโดยใช้ระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรที่ได้ออกแบบ เมื่อนำค่าระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรมาทดสอบกับข้อมูลจริงค่า Average Delay และค่า Queue มีแนวโน้มที่มีค่าลดลงเฉลี่ยทั้ง 2 ทิศทาง โดยค่า Average Delay มีค่าลดลง 10.6 วินาที (-3.65%) และค่า Queue มีค่าลดลง 48.35 คัน (19.14%) แต่ค่า Stop Rate แนวโน้มเพิ่มขึ้น คือ 0.54 ครั้ง (18.49%) ค่า Stop Rate ที่เพิ่มขึ้นหมายถึงจำนวนครั้งของการหยุดรอสัญญาณไฟจราจรเฉลี่ยของยานพาหนะในระบบการจราจรได้เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของ Stop Rate ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการจราจรมาก แต่เห็นได้ชัดว่าค่า Average Delay และค่า Queue ลดลงซึ่งส่งผลดีต่อระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจร

4.5.3 ผลกระทบของสัญญาณไฟที่ส่งผลต่อสภาพการจราจร

จากการออกแบบสัญญาณไฟจราจรที่กล่าวมานั้นเป็นการออกแบบสัญญาณไฟเขียวให้มีค่าที่เหมาะสมกับปริมาณการจราจรที่จะเกิดขึ้น แต่ถ้าวาระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรไม่มีความเหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรลดลงไปด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ผลกระทบของสัญญาณไฟเขียวที่มีต่อสภาพการจราจร โดยใช้ปริมาณการจราจรที่ได้จากแบบจำลองให้มีค่าคงที่และทดสอบเมื่อมีระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวมีการเปลี่ยนแปลงมากและน้อยจนเกินไป ในการทดสอบผลกระทบจะทำการทดสอบในแต่ละเฟส โดยอ้างอิงค่าสัญญาณไฟจราจรที่ได้จากการออกแบบจากโปรแกรม SIDRA INTERSECTION เป็นหลัก ผลกระทบของสภาพการจราจรเมื่อมีสัญญาณไฟเขียวที่ไม่เหมาะสมสามารถสรุปได้ดังตาราง



ตารางที่ 4.24 ผลการทดสอบผลกระทบของสัญญาณไฟเขียวในทิศทาง IN TOWN

IN TOWN					
Volume (veh./hour)	4833	4833	4833	4833	4833
Cycle Time (Sec)	140	150	160	170	180
ปรับสัญญาณไฟ Phase IN TOWN (Sec.)	58(-20)	68(-10)	78(0)	88(+10)	98(+10)
Phase OUT TOWN (Sec.)	82	82	82	82	82
Performance of IN TOWN					
Average Delay (Sec.)	413.5	334	276.7	233.4	199.4
Queue (veh.)	211.6	202.9	196	190.7	186.4
Stop Rate	2.21	1.9	1.72	1.58	1.47
Performance of OUT TOWN					
Average Delay (Sec.)	180.7	227.1	273.8	320.7	367.8
Queue (veh.)	168	188.1	206.5	223.6	239.6
Stop Rate	1.59	1.67	1.72	1.76	1.78
ค่าประสิทธิภาพรวมของแยกการจราจร					
Average Delay (Sec.)	297.1	280.55	275.25	277.05	283.6
Queue (veh.)	189.8	195.5	201.25	207.15	213
Stop Rate	1.9	1.785	1.72	1.67	1.625

ตารางที่ 4.25 ผลการทดสอบผลกระทบของสัญญาณไฟเขียวในทิศทาง IN TOWN (ต่อ)

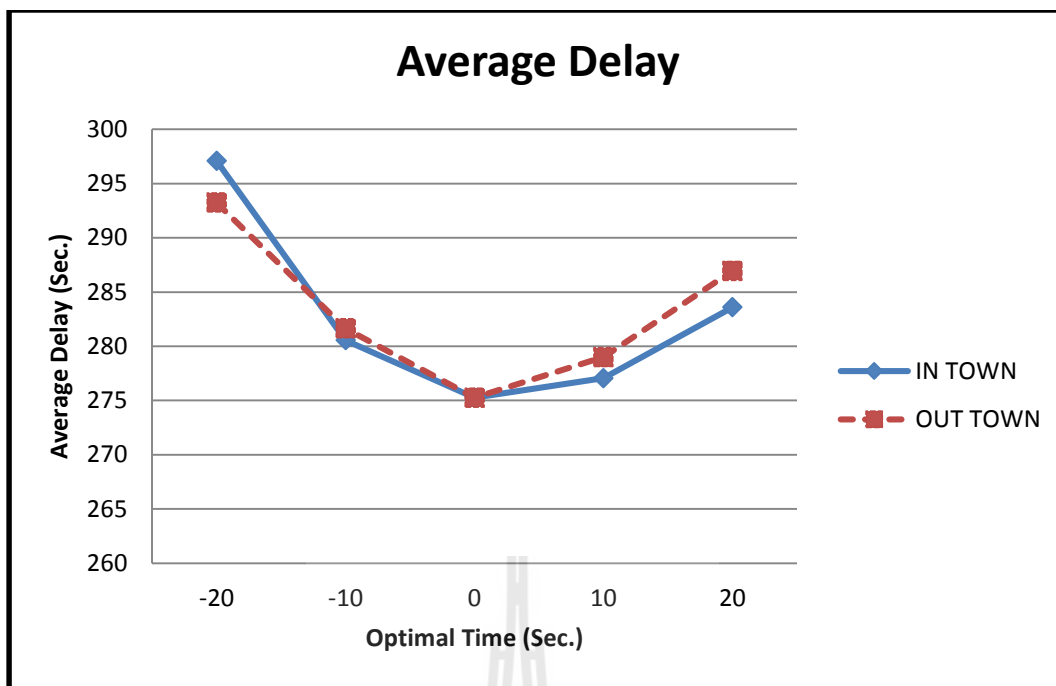
IN TOWN					
ปรับสัญญาณไฟ Phase IN TOWN (Sec.)	-20	-10	0	10	20
Phase OUT TOWN (Sec.)	0	0	0	0	0
ผลกระทบของสัญญาณไฟจราจร IN TOWN					
Average Delay (Sec.)	136.80	57.30	0	-43.30	-77.30
	49.44 %	20.71 %	0	-15.65 %	-27.94 %
Queue (veh.)	15.60	6.90	0	-5.30	-9.60
	7.96 %	3.52 %	0	-2.70 %	-4.90 %
Stop Rate	0.49	0.18	0	-0.14	-0.25
	28.49 %	10.47 %	0	-8.14 %	-14.53 %
ผลกระทบของสัญญาณไฟจราจร OUT TOWN					
Average Delay (Sec.)	-93.10	-46.70	0	46.90	94.00
	-34.00 %	-17.06 %	0	17.13 %	34.33 %
Queue (veh.)	-38.50	-18.40	0	17.10	33.10
	-18.64 %	-8.91 %	0	8.28 %	16.03 %
Stop Rate	-0.13	-0.05	0	0.04	0.06
	-7.56 %	-2.91 %	0	2.33 %	3.49 %

ตารางที่ 4.26 ผลการทดสอบผลกระทบของสัญญาณไฟเขียวในทิศทาง OUT TOWN

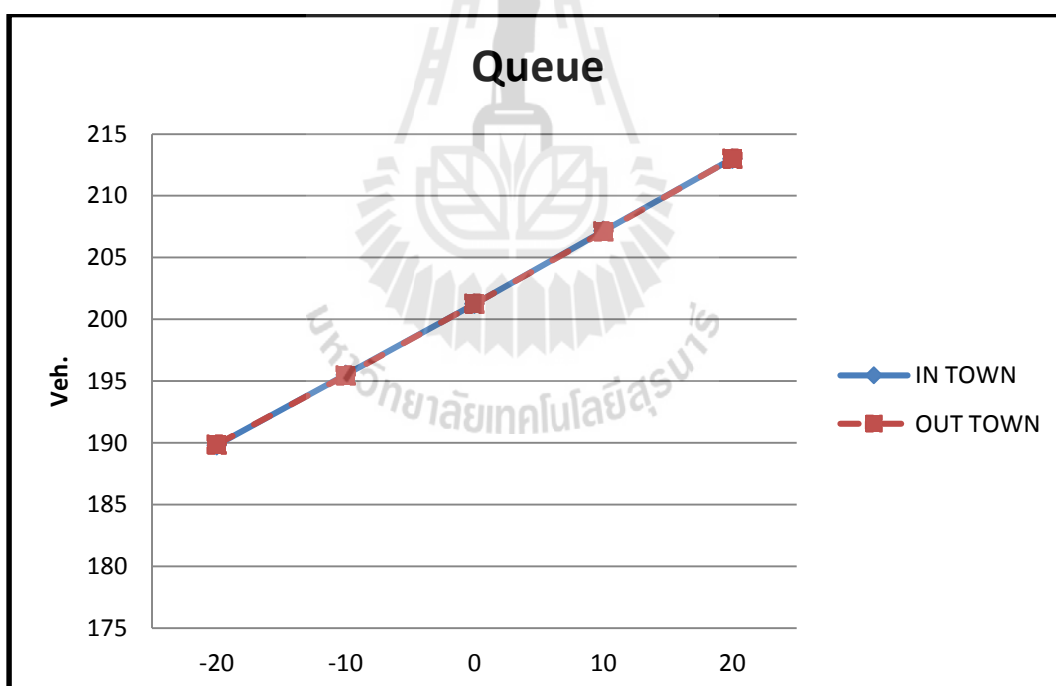
OUT TOWN					
Volume (veh./hour)	5091	5091	5091	5091	5091
Cycle Time (Sec)	140	150	160	170	180
Phase IN TOWN (Sec.)	78	78	78	78	78
ปรับสัญญาณไฟ Phase OUT TOWN (Sec.)	62(-20)	72(-10)	82(0)	92(-20)	102(-20)
Performance of OUT TOWN					
Average Delay (Sec.)	394.7	325.1	273.8	234.4	203.2
Queue (veh.)	220.1	212.4	206.5	202	198.6
Stop Rate	2.09	1.88	1.72	1.59	1.48
Performance of IN TOWN					
Average Delay (Sec.)	191.8	238.2	276.7	323.6	370.7
Queue (veh.)	159.6	178.5	196	212.2	227.4
Stop Rate	1.59	1.67	1.72	1.76	1.78
ค่าเฉลี่ยของแยกการจราจร					
Average Delay (Sec.)	293.25	281.65	275.25	279	286.95
Queue (veh.)	189.85	195.45	201.25	207.1	213
Stop Rate	1.84	1.775	1.72	1.675	1.63

ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบผลกระทบของสัญญาณไฟเขียวในทิศทาง OUT TOWN (ต่อ)

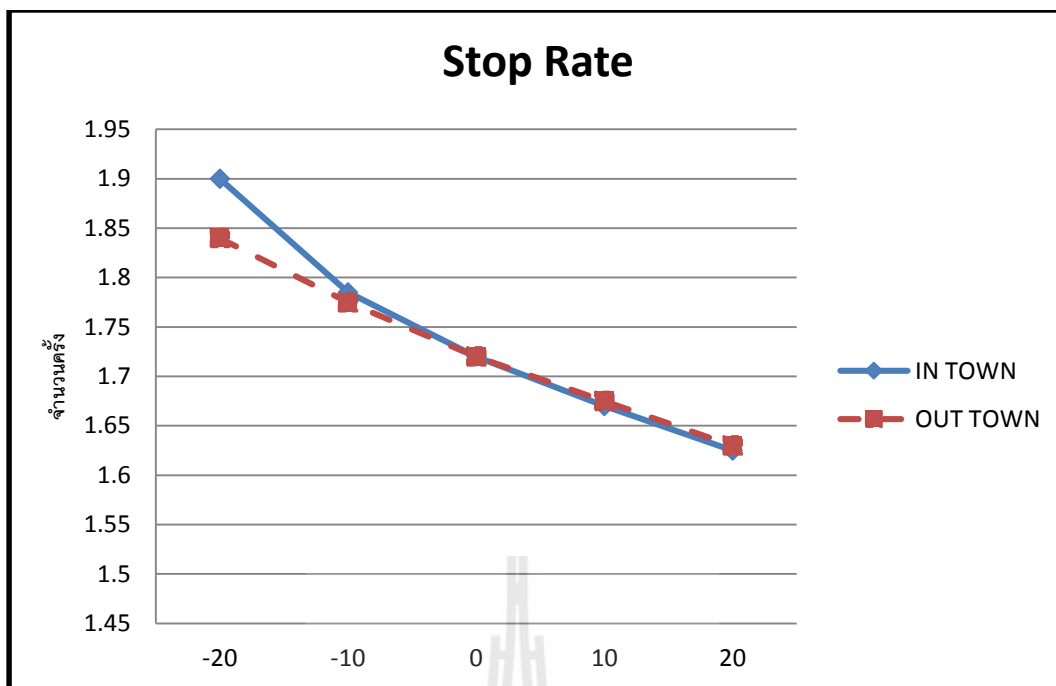
OUT TOWN					
Phase IN TOWN (Sec.)	0	0	0	0	0
ปรับสัญญาณไฟ Phase OUT TOWN (Sec.)	-20	-10	0	10	20
ผลกระทบของสัญญาณไฟจราจร OUT TOWN					
Average Delay (Sec.)	120.90	51.30	0	-39.40	-70.60
	-44.16 %	-18.74 %	0	14.39 %	25.79 %
Queue (veh.)	13.60	5.90	0	-4.50	-7.90
	-6.59 %	-2.86 %	0	2.18 %	3.83 %
Stop Rate	0.37	0.16	0	-0.13	-0.24
	-21.51 %	-9.30 %	0	7.56 %	13.95 %
ผลกระทบของสัญญาณไฟจราจร IN TOWN					
Average Delay (Sec.)	-84.90	-38.50	0	46.90	94.00
	30.68 %	13.91 %	0	-16.95 %	-33.97 %
Queue (veh.)	-36.40	-17.50	0	16.20	31.40
	18.57 %	8.93 %	0	-8.27 %	-16.02 %
Stop Rate	-0.13	-0.05	0	0.04	0.06
	7.56 %	2.91 %	0	-2.33 %	-3.49 %



รูปที่ 4.60 แสดงผลค่า Average Delay เมื่อทำการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจร



รูปที่ 4.61 แสดงผลค่า Queue เมื่อทำการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจร



รูปที่ 4.62 แสดงผลค่า Stop Rate เมื่อทำการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจร

จากการทดสอบปรับเปลี่ยนระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรจะส่งผลกระทบต่อสภาพการจราจรเป็นอย่างมาก สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

1. เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวในทิศ IN TOWN ขึ้น 20 วินาที และให้ระยะเวลาของสัญญาณไฟในทิศ OUT TOWN มีค่าคงที่ ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ในทิศ IN TOWN มีค่าลดลง โดย Average Delay มีค่าลดลง 27.94 % ค่า Queue มีค่าลดลง 4.90 % และค่า Stop Rate มีค่าลดลง 14.53 % แสดงให้เห็นถึงระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Average Delay Queue และ Stop Rate ในทิศทางที่เพิ่มสัญญาณไฟเขียวมีค่าลดลง (ประสิทธิภาพการจราจรเพิ่มขึ้น) แต่ในทิศทาง OUT TOWN ที่มีสัญญาณไฟจราจรคงที่ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 มีค่าเพิ่มขึ้น (ประสิทธิภาพการจราจรลดลง) โดยค่า Average Delay เพิ่มขึ้น 3.49 % ค่า Queue เพิ่มขึ้น 16.03 % และค่า Stop Rate ในทิศ OUT TOWN เพิ่มขึ้น 3.49 %

2. ค่า Average Delay ในระบบการจราจรมีค่าน้อยที่สุดเมื่อมีสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม โดยจากการทดสอบในทิศทาง IN TOWN มีระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม คือ 78 วินาที ทำให้เกิดค่า Average Delay ในระบบเท่ากับ 275.25 วินาที แต่หากทำการเพิ่มระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรขึ้น 20 วินาที จะทำให้เกิดค่า Average Delay ในระบบเท่ากับ 283.6 วินาทีหรือลดสัญญาณไฟจราจรลง 20 วินาที จะทำให้เกิดค่า Average Delay ในระบบเท่ากับ 297.1 วินาที ซึ่งจะแสดงว่า ค่า Average Delay ในระบบ จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อมีระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.60
3. ค่า Queue ในระบบการจราจรจะมีค่าแปรผันตามค่าระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียว โดยจากการทดสอบในทิศทาง IN TOWN เมื่อระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้น 20 วินาที จะทำให้เกิดค่า Queue ในระบบเท่ากับ 239.6 คัน และเมื่อลดระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรลง 20 วินาที จะทำให้เกิดค่า Queue ในระบบเท่ากับ 168 คัน จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าหากมีระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรมากขึ้นจะทำให้ค่า Queue ในระบบมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 4.61
4. ค่า Stop Rate ในระบบการจราจรจะมีค่าแปรผกผันกับค่าระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียว โดยจากการทดสอบในทิศทาง IN TOWN เมื่อระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้น 20 วินาที จะทำให้เกิดค่า Stop Rate ในระบบเท่ากับ 1.78 ครั้ง และเมื่อลดระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรลง 20 วินาที จะทำให้เกิดค่า Stop Rate ในระบบเท่ากับ 1.59 ครั้ง จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าหากมีระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรมากขึ้นจะทำให้ค่า Stop Rate ในระบบจะมีค่าลดลง ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 4.61

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในทิศทางใดทิศทางหนึ่งจะทำให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น แต่ในทิศทางตรงข้ามกลับส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลงจากเดิม ซึ่งถึงแม้ว่าในทิศทางดังกล่าวไม่ได้มีการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจร ดังนั้นการออกแบบระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรนั้นควรจะต้องมีการพิจารณาทุกทิศทางให้มีความสมดุลกัน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจรสูงสุด

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรและเก็บข้อมูลการจราจรของแยกสำโรงจันทร์ จังหวัดนครราชสีมา เพื่อวิเคราะห์และนำข้อมูลการจราจรที่เกิดขึ้นจริงมาสร้างแบบจำลองโดยการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายประสาทเทียมมาเรียนรู้สภาพการจราจร ซึ่งได้คัดกรองข้อมูลสำหรับการสร้างและทดสอบแบบจำลองทั้งหมด 17 สัปดาห์ พิเคราะห์เฉพาะวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ในช่วงเวลา 18.00 ถึง 24.00 น. โดยข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ข้อมูลสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม 14 สัปดาห์และข้อมูลสำหรับการทดสอบแบบจำลอง 3 สัปดาห์ รูปแบบการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมจะมีทั้งหมด 3 รูปแบบที่แตกต่างกัน คือ 1) 1 Week Data Training 2) Day of Week Data Training และ 3) All Data Training ซึ่งแบบจำลองการจราจรจะมีลักษณะที่แตกต่างตามรูปแบบการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม

จากการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองโดยวัดประสิทธิภาพจากค่า Total Average RMSE การทดสอบของแต่ละแบบจำลองจะทำการทดสอบทั้ง 2 ทิศทาง คือ ทิศทาง IN TOWN และทิศทาง OUT TOWN ค่า Total Average RMSE ที่ได้จากการทดสอบในทิศทาง IN TOWN คือ แบบจำลอง 1 Week Data มีค่าเท่ากับ 0.21902 แบบจำลอง Day of Week Data มีค่าเท่ากับ 0.10404 และแบบจำลอง All Data มีค่าเท่ากับ 0.09754 ค่า Total Average RMSE ที่ได้จากการทดสอบในทิศทาง OUT TOWN คือ แบบจำลอง 1 Week Data มีค่าเท่ากับ 0.12948 แบบจำลอง Day of Week Data มีค่าเท่ากับ 0.11115 และแบบจำลอง All Data มีค่าเท่ากับ 0.10768 จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการ Day of Week Data Training และ All Data Training ให้ประสิทธิภาพของการฝึกสอนที่ดีกว่าวิธี 1 Week Data Training ซึ่งจะเห็นได้จากค่า Total Average RMSE ที่มีค่าน้อยกว่า

การทดสอบค่าความถดถอย (Regression) ของแบบจำลองเพื่อวัดประสิทธิภาพความน่าเชื่อถือของข้อมูลการพยากรณ์ เมื่อข้อมูลของการพยากรณ์มีค่าเท่ากับข้อมูลจริงจะทำให้มีค่าสูงสุดของค่าความถดถอยเท่ากับ 1 การทดสอบค่าความถดถอยของแต่ละแบบจำลองจะทำการทดสอบทั้ง 2 ทิศทาง คือ ทิศทาง IN TOWN และทิศทาง OUT TOWN โดยค่าความถดถอยในทิศทาง IN TOWN คือ แบบจำลอง 1 Week Data มีค่าเท่ากับ 0.4381 แบบจำลอง Day of Week Data มีค่าเท่ากับ 0.8933 และแบบจำลอง All Data มีค่าเท่ากับ 0.9034 และค่าความถดถอยในทิศทาง OUT TOWN คือ แบบจำลอง 1 Week Data มีค่าเท่ากับ 0.8762 แบบจำลอง Day of Week Data มีค่าเท่ากับ 0.9190 และแบบจำลอง All Data มีค่าเท่ากับ 0.9237 จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการ Day of Week Data Training และ All Data Training มีความน่าเชื่อถือของข้อมูลของแบบจำลองที่ดีกว่าวิธี 1 Week Data Training ซึ่งจะเห็นได้จากค่าความถดถอยของแบบจำลองทั้ง 2 มีค่าเข้าใกล้ 1 ค่าความถดถอยของข้อมูลการพยากรณ์จะมีความสอดคล้องกับค่า Total Average RMSE โดยเมื่อมีค่า Total Average RMSE ที่มีค่าน้อย (ความถูกต้องการพยากรณ์สูง) จะส่งผลให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือสำหรับการนำมาออกแบบสัญญาณไฟจราจรต่อไป

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรเพื่อคำนวณหาระยะเวลารอบสัญญาณไฟจราจร (Cycle Time) ที่เหมาะสม โดยอาศัยข้อมูลอัตราการไหลของการจราจร (Traffic Flow Rate) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้อัตราการไหลของการจราจรในช่วงเวลา 18.00 ถึง 19.00 น. จากแบบจำลอง All Data และทำการออกแบบสัญญาณไฟจราจรด้วยโปรแกรม SIDRA INTERSECTION จากการคำนวณของโปรแกรมพบว่าระยะเวลารอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมของช่วงเวลา 18.00 ถึง 19.00 น. มีค่าเท่ากับ 160 วินาที โดยระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรในเฟส IN TOWN มีค่า Phase Time เท่ากับ 78 วินาที ในเฟส OUT TOWN มีค่า Phase Time เท่ากับ 82 วินาที ระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรที่ออกแบบสามารถลดความล่าช้าเฉลี่ย (Average Delay) ได้ 3.65 % ลดปริมาณแถวคอย (Queue) ได้ 19.14% และแต่ทำให้อัตราการหยุดรอสัญญาณไฟ (Stop Rate) มีค่าเพิ่มขึ้น 18.49 % จากความล่าช้าเฉลี่ยและปริมาณแถวคอยที่ลดลงแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรที่ออกแบบมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรรูปแบบเดิม แม้ว่าอัตราการหยุดรอสัญญาณไฟจะเพิ่มมากขึ้นแต่ก็ไม่ส่งผลกระทบต่อปัญหาการจราจรมากเหมือนกับความล่าช้าเฉลี่ยและปริมาณแถวคอย

ผลกระทบของระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวที่มีต่อค่าความล่าช้าเฉลี่ย ปริมาณแถวคอยและอัตราการหยุดรอสัญญาณไฟ จะทดสอบโดยการเพิ่มและลดระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวไปจากค่าที่เหมาะสม จากการทดสอบพบว่าเมื่อทำการปรับเพิ่มระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ในทิศทางดังกล่าวมีค่าลดลง (ประสิทธิภาพดีขึ้น) แต่ทำให้ในทิศทางอื่นๆ มีค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 เพิ่มมากขึ้น (ประสิทธิภาพลดลง) จะเห็นได้จากการทดสอบเพิ่มระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวในเฟส IN TOWN ขึ้น 20 วินาที และให้สัญญาณไฟเขียวในเฟส OUT TOWN มีค่าคงที่ ส่งผลให้ในทิศ IN TOWN มีค่าความล่าช้าเฉลี่ยลดลง 27.94 % ค่าปริมาณแถวคอยลดลง 4.90 % และอัตราการหยุดรอสัญญาณไฟลดลง 14.53 % ในทิศทาง OUT TOWN มีค่าความล่าช้าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 3.49 % ค่าปริมาณแถวคอยในเพิ่มขึ้น 16.03 % และค่าอัตราการหยุดรอสัญญาณไฟเพิ่มขึ้น 3.49 % ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรที่ไม่เหมาะสม ซึ่งสามารถสรุปได้ คือ 1) ค่าความล่าช้าเฉลี่ยของระบบมีมากขึ้น 2) ค่าปริมาณแถวคอยทั้งระบบจะแปรผันตามระยะเวลาสัญญาณไฟจราจร และ 3) อัตราการหยุดรอสัญญาณไฟทั้งระบบจะแปรผกผันกับระยะเวลาสัญญาณไฟจราจร

การออกแบบสัญญาณไฟจราจรโดยการให้ระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวนานจนเกินไปจะทำให้ปริมาณแถวคอยและความล่าช้าเฉลี่ยรวมของทั้งระบบการจราจรมีค่ามาก จะทำให้เกิดผลเสียต่อสภาพการจราจร ซึ่งสร้างความเบื่อหน่ายแก่ผู้ขับขี่ยานพาหนะ แต่จะส่งผลดีกับการหยุดรอสัญญาณไฟจราจรที่จะมีจำนวนครั้งของการหยุดน้อย ในทางตรงกันข้ามเมื่อให้ระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวน้อยจนเกินไปจะทำให้การหยุดรอสัญญาณไฟจราจรมีจำนวนครั้งของการหยุดบ่อย ทำให้เกิดความล่าช้าสะสมในระบบการจราจรมาก แต่ส่งผลดีกับปริมาณแถวคอยทำให้ปริมาณแถวคอยน้อยลง

จากการวิเคราะห์การออกแบบระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรโดยอาศัยข้อมูลอัตราการไหลของการจราจรจากแบบจำลอง All Data ที่ได้สร้างขึ้น พบว่าค่าความล่าช้าเฉลี่ยเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญที่สุดในการออกแบบระยะเวลาสัญญาณไฟจราจร โดยจะต้องมีระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมจึงจะทำให้เกิดประสิทธิภาพของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ดีที่สุด จากการออกแบบระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรพบว่า แบบจำลองการจราจรก็เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งที่จะทำให้เกิดระยะเวลาที่เหมาะสม โดยค่าที่เหมาะสมนั้นจะถูกคำนวณจากอัตราการไหลของการจราจรที่

เกิดจากการพยากรณ์จากแบบจำลอง หากการพยากรณ์ไม่มีความถูกต้องจะส่งผลให้ระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรไม่มีความเหมาะสมและประสิทธิภาพของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรต่ำตามมา ดังนั้นรูปแบบของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมด้วยวิธี Day of Week Data Training และ All Data Training เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแบบจำลองที่ให้ประสิทธิภาพการพยากรณ์ที่ดีกว่าวิธี 1 Week data Training

5.2 แนวทางวิจัยต่อไปในอนาคต

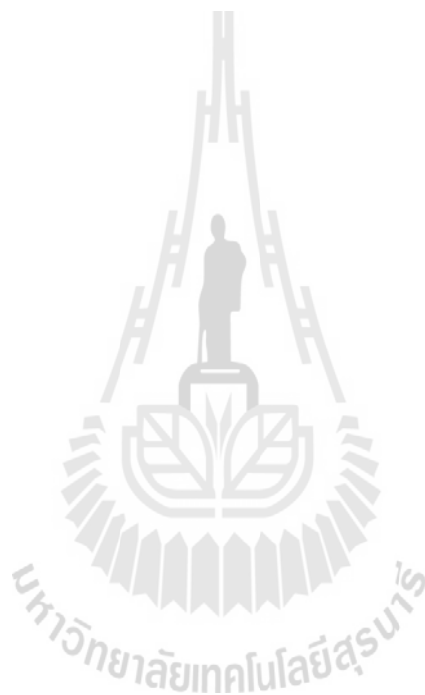
1. ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการสร้างแบบจำลองการจราจรจากข้อมูลการจราจรจริง แต่ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากแยกการจราจรเดี่ยวเท่านั้น ซึ่งการออกแบบแบบจำลองการจราจรโดยทั่วไปจะต้องพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากแยกการจราจรข้างเคียง เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องมากขึ้น
2. ในการสร้างแบบจำลองการจราจรจะต้องมีการพิจารณาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นให้มากที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองการจราจรโดยพิจารณาจากพารามิเตอร์พื้นฐานเท่านั้น
3. ในงานวิจัยนี้พิจารณาการจราจรเฉพาะวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ในช่วงเวลา 18.00 น. ถึง 24.00 น. เท่านั้น ซึ่งจำนวนของข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองด้วยเครือข่ายประสาทเทียมควรจะต้องให้ครอบคลุมตลอดทั้งวัน เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถใช้งานกับทุกสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นในทุกวันและทุกเวลา
4. พัฒนาอัลกอริทึมในการฝึกสอนแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพสำหรับการเรียนรู้ที่ดีขึ้น
5. พัฒนาการออกแบบสัญญาณไฟจราจรให้มีความเหมาะสมมากขึ้นและนอกจากนี้ยังจำเป็นต้องทดสอบใช้งานระบบสัญญาณไฟจราจรที่ได้ออกแบบกับแยกการจราจรจริงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของงานวิจัย

บรรณานุกรม

- ชญาณนท์ มินเสน, วฐา มินเสน และผศ.ดร. จิตรเกษม งามนิล. 2548. การพัฒนาเครื่องควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจรแบบตรวจจับยานพาหนะบนท้องถนนเพื่อตัดสินใจในการกำหนดสัญญาณไฟที่เหมาะสม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- Nattapon K, Jumpol Y, Sukree S., Wasan P. (2011). Traffic Prediction Models for Bangkok Traffic Data. 8th Electrical Engineering Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI), Association of Thailand Conference, pp 484 – 487.
- Feng Jin and Shiling Sun. (2008). Neural Network Multitask Learning Traffic Flow Forecasting , International Joint Conference on Neural Network (IJCNN 2008), IEEE, pp. 1897 – 1901.
- Xiaojun Shen and Jun Chen. (2009). Study on Prediction of Traffic Congestion Based on LVQ Neural Network. International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, IEEE, pp 319-321.
- Pang Qingle, Liu Xinyun and Zhang Min. (2010). Traffic Flow Forecasting Based on Rough Set and Neural Network. Sixth International Conference on Natural Computation (ICNC 2010) , IEEE, pp 1920-1924.
- ศิวกิจ เสรีรัตนสกุล. 2550. การพัฒนาระบบควบคุมการจราจรที่เหมาะสม กรณีศึกษาจังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 203 น.
- สมศักดิ์ วันแข่ง. 2546. ผลกระทบที่มีต่อความจุทางแยกสัญญาณไฟเนื่องจากลักษณะทางเรขาคณิตและประเภทของยานพาหนะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมโยธา (การขนส่ง) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 211 น.
- อาทิตย์ ศรีแก้ว. 2552. ปัญญาเชิงคำนวณ. พิมพ์ครั้งที่ 1 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 512 น.
- ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล. 2553. โครงการสาธิตการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัจฉริยะเพื่อลดพลังงานในภาคขนส่ง. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Ya Gao and Shiliang Sun. (2010). Multi-link Traffic Flow Forecasting Using Neural Networks. Sixth International Conference on Natural Computation (ICNC 2010) , IEEE, pp. 398-401.
- Akcelik and Associates. SIDRA INTERSECTION 5.1 traffic model reference guide [Computer Software]. ,Melbourne: Akcelik and Associates Pty Ltd.
- Akcelik, R. (2004). Traffic model [on-line]. Available: <http://www.aatraffic.com/TrafficModels.htm>.

Akcelik, R. (1981). Traffic Signal : Capacity and Timing Analysis. อ้างอิงโดย กมล ปูนศิริ.
2542. การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SIDRA ในการวิเคราะห์สัญญาณไฟจราจรใน
เมืองหาดใหญ่และเมืองอุบลราชธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม
โยธา (การขนส่ง) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Webster, F.V. and Cobbe, B.M. (1966). Traffic Signal. Road Research Technical Paper
No.56. HMSO. London



ประวัติผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชสรณ์ ทองทา สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2531 และ MS และ PH.D. จาก Florida Institute of Technology, USA เมื่อปี 1993 และ 1998 ตามลำดับ เริ่มงานในตำแหน่งวิศวกรที่บริษัท Elcom Research เมื่อปี พ.ศ. 2531 และบริษัท การบินไทย จำกัด ในปี พ.ศ. 2532 เมื่อปี พ.ศ. 2533 ได้เริ่ม ในตำแหน่งอาจารย์ที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปี พ.ศ. 2536

