การวิเคราะห์การทดลองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน

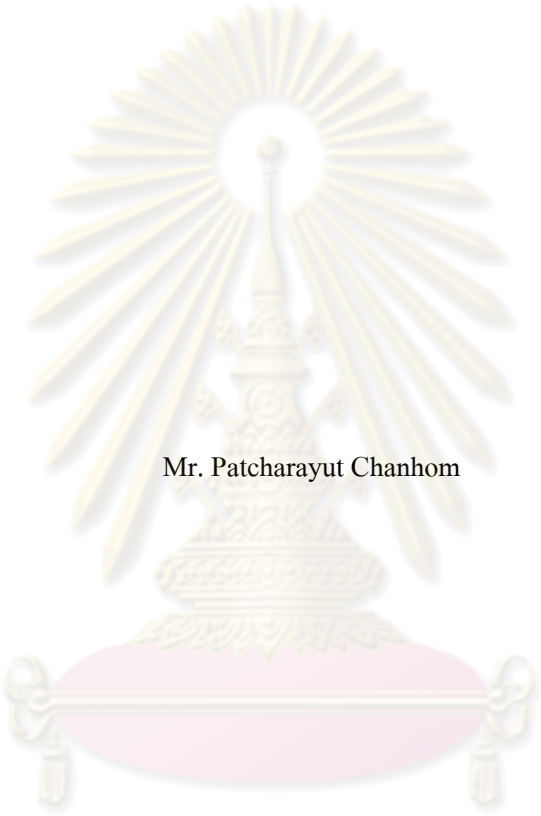
นายพัชรายุทธ์ จันทน์หอม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN EXPERIMENTAL ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING NIGHTTIME VISIBILITY OF TRAFFIC SIGN

Mr. Patcharayut Chanhom



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์การทดลองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน
โดย	นาย พัชรายุทธ์ จันทน์หอม
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เกษม ชูจารุกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้เป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. บุญชัย แสงเพชรงาม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. เกษม ชูจารุกุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. กิตติ มโนคุ้น)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พัชรายุทธ์ จันทน์หอม: การวิเคราะห์การทดลองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน. (AN EXPERIMENTAL ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING NIGHTTIME VISIBILITY OF TRAFFIC SIGN) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ ดร. เกษม ชูจารุกุล, 230 หน้า.

การศึกษาการวิเคราะห์การทดลองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนตั้งอยู่บนการศึกษาปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรโดยสามารถตรวจวัดได้จากระยะทางที่ผู้ขับขี่บนถนนตรวจพบและมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ปัจจัยด้านกายภาพของป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และลักษณะของผู้ขับขี่ โดยพิจารณาบนพื้นฐานการศึกษาเงื่อนไขการติดตั้งและสายทางในประเทศไทยเพื่อนำไปสู่แนวทางมาตรฐานที่เหมาะสมในการติดตั้งป้ายจราจรเพื่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาระดับของปัจจัยประกอบด้วยประเภทยานพาหนะ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจร ความเร็วขับขี่ ระดับความสูงป้าย และกลุ่มอายุผู้ขับขี่ ซึ่งจากงานวิจัยในอดีตมีแนวโน้มว่าปัจจัยดังกล่าวอาจส่งผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองทดสอบหาค่าระยะการมองเห็นป้ายจราจรจากผู้ขับขี่แต่ละช่วงอายุ นอกจากนี้ในงานวิจัยได้มีการควบคุมปัจจัยควบคุมต่างๆเพื่อให้ผลการทดสอบถูกต้อง ได้แก่ ประเภทถนน ลักษณะเรขาคณิตของถนน ปริมาณการจราจร และช่วงเวลาในการทดสอบ นอกจากนี้ยังเป็นการจำกัดตัวแปรหรือปัจจัยที่ไม่สนใจในการศึกษาและอาจส่งผลต่อปัจจัยที่ศึกษาอื่นๆในงานวิจัย ผลลัพธ์จากการทดลองพบว่าค่าระยะการมองเห็นและระยะการตรวจพบป้ายจราจรของรถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าสูงกว่ารถจักรยานยนต์อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง และระดับความสูงป้ายจราจรส่งผลต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นอย่างมีนัยสำคัญสำหรับป้ายทางแยกรูปตัวที ป้ายหยุด และป้ายจำกัดความเร็ว ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางในการพัฒนาป้ายจราจรโดยให้มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานการสะท้อนแสงขั้นต่ำ หรือปรับเพิ่มระยะการติดตั้งป้ายจราจรให้ห่างจากจุดเตือนหรือจุดอันตรายเพื่อให้ผู้ขับขี่มีระยะการมองเห็นป้ายจราจรได้ไกลมากขึ้นในเวลากลางคืน

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต นายพัชรายุทธ์ จันทน์หอม

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2553

5270622421: MAJOR CIVIL ENGINEERING

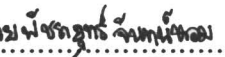
KEYWORDS: NIGHTTIME VISIBILITY / LEGIBILITY DISTANCE / DETECTION DISTANCE / EXPERIMENTAL DESIGN / TRAFFIC SIGN

PATCHARAYUT CHANHOM: AN EXPERIMENTAL ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING NIGHTTIME VISIBILITY OF TRAFFIC SIGN. ADVISOR: ASSOC. PROF. KASEM CHOOCHARUKUL, Ph.D., 230 pp.

This study attempts to investigate underlying factors that could affect traffic sign visibility, which can be measured by road user's detection distance when driving at night. Such factors may be due to physical characteristics of traffic signs, types of vehicle, and characteristics of road users. Significant factors under prevailing road conditions in Thailand are identified. The findings would help developing a more appropriate guideline for installation of traffic signs so that such road furniture can guarantee the maximum safety of road users, particularly on the visibility at night. In terms of study design, several factors are investigated, i.e., types of vehicles, coefficient of retroreflectivity, driving speed, height of traffic signs, and characteristics of road users. Systematic experimental deign is applied to study these effects on legibility distance. Subjects were recruited from road users with different age groups. The controlled variables in the experiment consist of road condition, road geometry, traffic volume, and time of the day during the experiment. Findings indicate that the passenger car provided statistically longer legibility distances and detection distances than the motorcycle. Coefficient of Retroreflection and Sign height was significant for T-junction sign stop sign and speed limit sign. The researcher also recommends that Department of Rural Roads (DRR) installs and maintains traffic sign to be higher than minimum retroreflectivity levels or increase the advance placement of traffic signs.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department: Civil Engineering
Field of Study: Civil Engineering
Academic Year: 2010

Student's Signature ..... 
Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. เกษม ชูจารุกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จเสร็จสิ้น นอกจากนี้ข้าพเจ้ายังได้เรียนรู้หลักการทำงานวิจัยต่างๆนอกเหนือจากวิทยานิพนธ์ และการให้โอกาสด้านการศึกษารวมถึงความอนุเคราะห์ช่วยเหลือข้าพเจ้าในด้านต่างๆเสมอมา จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม และ ดร.กิตติ มโนคุ้น ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งแนวคิดและวิสัยทัศน์ที่ข้าพเจ้าได้รับในการทำวิทยานิพนธ์ และความรู้ทางด้านวิศวกรรมการขนส่ง ข้าพเจ้าขอขอบคุณท่านคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งและจราจร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมทั้งคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความรู้พื้นฐานในระดับปริญญาบัณฑิตทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันเป็นประโยชน์ทั้งในการทำวิจัยและประกอบอาชีพแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ นายเกริกฤทธิ์ ศรีรุ่งวิกรัย และนายสมชาย วิกิจไพศาล ที่เป็นผู้คอยช่วยเหลือในการรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย และช่วยเหลือด้านต่างๆเสมือนพี่น้อง สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ย่า และครอบครัวทุกคน ที่คอยอบรมสั่งสอนให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้ามาโดยตลอด ขอขอบคุณแรงผลักดันต่างๆที่ทำให้ข้าพเจ้ามีเส้นทางที่ดีมาจนถึงทุกวันนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญภาพ ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 8
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 8
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 9
1.5 แนวทางการดำเนินการวิจัย 10
1.6 องค์ประกอบของรายงานการวิจัย 10
บทที่ 2 การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12
2.1 ป้ายจราจร 12
2.1.1 การติดตั้งป้ายจราจร 16
2.1.2 เสาป้ายจราจร 16
2.1.3 ความสูงของการติดตั้งป้ายจราจร 17
2.1.4 ระยะการติดตั้งทางขวางของป้ายจราจร 17
2.1.5 ตำแหน่งการติดตั้งป้ายจราจร 18
2.1.6 ระยะการติดตั้งป้ายจราจร 21
2.2 ทฤษฎีการสะท้อนแสงของป้ายจราจร 24
2.3 วัสดุและประเภทป้ายจราจรสะท้อนแสง 31
2.4 การประเมินการสะท้อนแสงของป้ายจราจร 36
2.4.1 การวัดค่าโดยเครื่องมือพกพา 37
2.4.2 สรุปงานวิจัยวิธีการวัดค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจร 39
2.4.3 แนวทางการวัดค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรโดยเครื่องมือพกพา 40

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

2.5 งานวิจัยปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจร 43
2.6 งานวิจัยการกำหนดวิธีและเกณฑ์การวัดค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจร 57
2.7 สรุปผลการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 69
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 71
3.1 ปัจจัยที่ทำการศึกษา 71
3.2 วิธีการศึกษา 73
3.3 ปัจจัยที่ทดสอบ 80
3.4 พื้นที่ศึกษา 82
3.5 ป้ายจราจรที่ศึกษา 88
3.6 ยานพาหนะ 97
3.7 ผู้เข้าร่วมทดสอบ 101
3.8 การทดสอบขับขี่บนสนามทดลองควบคุมเวลากลางคืน 103
3.9 แนวทางในการวิเคราะห์ 106
3.9.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน 106
3.9.2 การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอย 111
บทที่ 4 ผลการศึกษาการทดลองปัจจัย 113
4.1 ข้อมูลคุณลักษณะทางเศรษฐกิจและสังคม และข้อมูลการเดินทางของผู้ขับขี่ 113
4.2 ข้อมูลทัศนคติและความคิดเห็นของผู้ขับขี่ทดสอบ 116
4.3 ข้อมูลการตอบสนองของผู้ขับขี่จากการทดลอง 122
4.3.1 ค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามกลุ่มอายุและประเภทป้ายจราจร 123
4.3.2 ค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจรและยานพาหนะ 128
4.3.3 ค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็น ของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับความสูงของป้าย 132
4.3.4 ค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และค่าการสะท้อนแสง 136
4.3.5 ค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะและความเร็วขับขี่ 141

หน้า

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองเชิงความแตกต่างแต่ละปัจจัยหลัก 146
4.5 สรุปผลการศึกษาการทดลองปัจจัย 154
บทที่ 5 ผลลัพธ์จากแบบจำลองและการประยุกต์ 156
5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน 156
5.1.1.ป้ายทางแยกรูปตัวที กรณีการทดสอบรถยนต์ส่วนบุคคล 157
5.1.2 ป้ายหยุด กรณีการทดสอบรถยนต์ส่วนบุคคล 161
5.1.3 ป้ายจำกัดความเร็ว กรณีการทดสอบรถยนต์ส่วนบุคคล 166
5.1.4. ป้ายทางแยกรูปตัวที กรณีการทดสอบรถจักรยานยนต์ 171
5.1.5 ป้ายหยุด กรณีการทดสอบรถจักรยานยนต์ 174
5.1.6 ป้ายจำกัดความเร็ว กรณีการทดสอบรถจักรยานยนต์ 177
5.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็น 184
5.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตรวจพบและระยะมองเห็นป้ายจราจรของรถยนต์ส่วนบุคคล 184
5.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตรวจพบและระยะมองเห็นป้ายจราจรของรถจักรยานยนต์ 185
5.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตรวจพบและระยะมองเห็นป้ายจราจร โดยพิจารณารถยนต์ส่วนบุคคลรวมกับรถจักรยานยนต์ 187
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา 189
6.1 สรุปผลการศึกษา 189
6.1.1 สรุปผลของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรของผู้ขับขี่ในเวลากลางคืน 189
6.1.2 อายุผู้ขับขี่ 192
6.1.3 ยานพาหนะ 192
6.1.4 ป้ายจราจร 192
6.1.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง 193
6.1.6 ระดับความสูง 193
6.1.7 ความเร็วขับขี่ 194
6.2 ความเหมาะสมของเกณฑ์มาตรฐานการติดตั้งป้ายจราจร 194

หน้า

6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต 200
รายการอ้างอิง 202
ภาคผนวก 205
ภาคผนวก ก. 206
ภาคผนวก ข. 209
ภาคผนวก ค. 222
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 230

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 จำนวนข้อมูลผู้ป่วยและอุบัติเหตุข้างทางในปี พ.ศ. 2544-2550 4
1.2 ปัจจัยควบคุมแต่ละองค์ประกอบหลักของการขับขี่บนถนน 9
2.1 รูปร่างและลักษณะแต่ละประเภทป้ายจราจร 14
2.2 ระยะสำหรับติดตั้งป้ายจราจรเพื่อเตือนผู้ขับขี่ 18
2.3 ขนาดป้ายและเงื่อนไขการใช้ป้ายจราจร 19
2.4 วิธีการคำนวณระยะเวลาการอ่านพื้นฐาน 3 ขั้นตอน 22
2.5 ระยะของผู้ขับขี่ในการตัดสินใจเปลี่ยนช่องจราจร 23
2.6 เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำและองค์ประกอบของค่ามุม 29
2.7 ประเภทป้ายจราจรสะท้อนแสงตามมาตรฐาน ASTM 34
2.8 วิธีการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงและข้อจำกัดต่างๆ 36
2.9 ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการทดสอบเครื่องมือวัดแสง กับการทดสอบในห้องปฏิบัติการมืดและการทดสอบโดยผู้สำรวจ 37
2.10 ตารางสรุปวิธีการวัดจากงานวิจัยต่างๆ 39
2.11 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นของป้ายจราจร 44
2.12 ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของ R_A แบ่งตามสีป้ายจราจร 47
2.13 ตัวแปรทดสอบและตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติ 56
2.14 ผลสำรวจการประเมินป้ายจราจรสะท้อนแสงโดยผู้สำรวจ 60
2.15 เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของป้ายจราจร 61
2.16 ค่าการสะท้อนแสงที่แนะนำสำหรับป้ายเตือน อักษรดำบนพื้นเหลืองหรือส้ม 62
2.17 ค่าการสะท้อนแสงที่แนะนำ อักษรขาวบนพื้นแดง 62
2.18 ค่าการสะท้อนแสงที่แนะนำสำหรับป้ายบังคับ อักษรดำหรือดำและแดงบนพื้นขาว 63
2.19 ค่าการสะท้อนแสงที่แนะนำสำหรับป้ายแนะนำ อักษรขาวบนพื้นเขียว 63
2.20 เกณฑ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของป้ายแนะนำและป้ายชื่อถนน 64
2.21 เกณฑ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของทุกสีป้ายจราจร 65
3.1 ปัจจัยทดสอบแบบ 3 ปัจจัย 3 ระดับ 73
3.2 การทดสอบปัจจัยทั้งหมด 27 สถานการณ์ 80
3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรในการทดสอบภาคสนาม 92

ตารางที่ หน้า

3.4 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับยานพาหนะที่ต้องทำการวัดค่า 98
3.5 สูตรคำนวณหามุมสังเกต และมุมตกกระทบ 100
3.6 คุณลักษณะผู้ขับขี่ที่เข้าร่วมทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรเวลากลางคืน 101
3.7 สูตรการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแบบจำลอง 3 ปัจจัย แบบผลกระทบคงที่ 110
4.1 ข้อมูลคุณลักษณะทางเศรษฐกิจและสังคมแบ่งตามกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดสอบ 114
4.2 ข้อมูลการเดินทางแบ่งตามกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดสอบ 115
4.3 ร้อยละของความคิดเห็นด้านทัศนคติเกี่ยวกับความสำคัญของปัจจัยด้านอุปกรณ์เพื่อ
ความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนของผู้เข้าร่วมทดสอบ 118
4.4 ร้อยละของความคิดเห็นด้านทัศนคติเกี่ยวกับความพึงพอใจของปัจจัยด้านอุปกรณ์เพื่อ
ความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนของผู้เข้าร่วมทดสอบ 120
4.5 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบของป้ายจราจร จำแนกตามกลุ่มอายุ
และประเภทป้ายจราจร 125
4.6 ผลการทดสอบค่าระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามกลุ่มอายุ
และประเภทป้ายจราจร 126
4.7 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร
และประเภทยานพาหนะ 129
4.8 ผลการทดสอบค่าระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร
และประเภทยานพาหนะ 130
4.9 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภท
ยานพาหนะ และระดับความสูงของป้าย 133
4.10 ผลการทดสอบค่าระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภท
ยานพาหนะ และระดับความสูงของป้าย 134
4.11 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภท
ยานพาหนะ และระดับการสะท้อนแสง 138
4.12 ผลการทดสอบค่าระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภท
ยานพาหนะ และระดับการสะท้อนแสง 139
4.13 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภท
ยานพาหนะ และระดับความเร็วขับขี่ 143

ตารางที่ หน้า

4.14 ผลการทดสอบค่าระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับความเร็วขับขี่ 144
5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายทางแยกรูปตัวที โดยรถยนต์ส่วนบุคคล 159
5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายหยุด โดยรถยนต์ส่วนบุคคล 162
5.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจำกัดความเร็ว โดยรถยนต์ส่วนบุคคล 167
5.4 สรุปปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นของรถยนต์ส่วนบุคคลจำแนกตามประเภทป้ายจราจร 170
5.5 สมการแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ 171
5.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายทางแยกรูปตัวที โดยรถจักรยานยนต์ 172
5.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายหยุด โดยรถจักรยานยนต์ 175
5.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจำกัดความเร็ว โดยรถจักรยานยนต์ 178
5.9 สรุปปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นของรถจักรยานยนต์จำแนกตามประเภทป้ายจราจร 182
5.10 สมการแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ 183
5.11 สรุปความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างระยะการมองเห็นและระยะการตรวจพบป้ายจราจร 188
6.1 สรุปปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะการตรวจพบและมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน 190
6.2 สถิติค่าระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงระดับกลางและระดับความสูงป้ายจราจร 0 เมตร โดยรถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์ 195
6.3 สถิติค่าระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงระดับกลางและระดับความสูงป้ายจราจร 1.5 เมตร โดยรถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์ 196
6.4 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะจากงานวิจัยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน 199

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1.1 จำนวนผู้เสียชีวิตที่ลดลงจากการเพิ่มความปลอดภัยในประเทศออสเตรเลีย.....2
1.2 สัดส่วนอุบัติเหตุต่อระยะการเดินทางในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน.....4
1.3 ร้อยละจำนวนผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุข้างทางแยกตามประเภทยานพาหนะแต่ละช่วงเวลา.....5
1.4 ร้อยละจำนวนผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุข้างทางแยกตามช่วงเวลากลางคืนและกลางวัน.....5
1.5 ปริมาณความต้องการความสว่างในการมองเห็นกลางคืนของผู้ขับขี่ที่แปรเปลี่ยนตามอายุ.....6
1.6 ความแตกต่างของป้ายจราจรต่อการมองเห็นในสภาพกลางวันและกลางคืนของผู้ขับขี่.....7
1.7 ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย.....11
2.1 ประเภทป้ายจราจร.....13
2.2 ระยะการติดตั้งป้ายบริเวณข้างทาง.....20
2.3 องค์ประกอบของระยะการมองเห็นและอ่านได้ในการออกแบบติดตั้งป้ายจราจร.....21
2.4 ประเภทการสะท้อนแสง.....25
2.5 กระบวนการสะท้อนแสงกลับของป้ายจราจรจากไฟรถของผู้ขับขี่.....26
2.6 ความสว่างของการสะท้อนแสงกลับตามแนวรัศมี.....27
2.7 มุมที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าการสะท้อนแสงของยานยนต์ 2-headlamp.....28
2.8 มุมที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าการสะท้อนแสงของยานยนต์ 1-headlamp.....28
2.9 ค่าการสะท้อนแสงที่มุมสังเกตต่างๆแต่ละประเภทป้ายจราจร.....29
2.10 ค่าการสะท้อนแสงที่มุมสังเกตและมุมตกกระทบ ของป้ายจราจร Type III.....30
2.11 หลักการของวัสดุสะท้อนแสงโดยทั่วไป.....31
2.12 ประเภทวัสดุสะท้อนแสงและหลักการทำงาน.....33
2.13 อุปกรณ์วัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแบบพกพา.....40
2.14 อุปกรณ์วัดค่าการสะท้อนแสงที่ไม่ต้องสัมผัสกับป้าย.....41
2.15 เครื่องมือการทดสอบค่าการสะท้อนแสงแบบจุดและแบบวงแหวน.....42
2.16 การวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรในภาคสนาม.....43
2.17 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของ R_A เทียบอายุป้ายจราจร.....48
2.18 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแยกประเภทสีเทียบอายุป้ายจราจร.....48
2.19 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสของป้ายแต่ละสีแบ่งตามทิศทาง.....49
2.20 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของ R_A ของป้ายแต่ละสีแบ่งตามทิศทาง.....49

ภาพที่ หน้า

2.21 สติกเกอร์บันทึก เดือน ปี การติดตั้งป้ายจราจรและเครื่องมือ GPS แบบพกพา.....52
2.22 ART Sign Master 920 SEL วัดค่าการสะท้อนแสงแบบพกพาและจุดวัดค่าของป้ายหยุด 52
2.23 ความสัมพันธ์ค่า R_A และอายุของป้ายจราจรสีแดง 53
2.24 ความสัมพันธ์ค่า R_A และ Azimuth ของป้ายจราจรสีแดงอายุ 0-5 ปี 53
2.25 ความสัมพันธ์สัดส่วนค่า R_A สีขาว/แดง และอายุป้ายจราจร 54
2.26 การกระจายค่า R_A ตามช่วงอายุของป้ายจราจรสีเหลือง 54
2.27 การประเมินค่าอันดับการสะท้อนแสงในห้องปฏิบัติการ 58
2.28 การประเมินค่าอันดับการสะท้อนแสงบนถนนที่มีการควบคุม.....59
2.29 การประเมินค่าอันดับการสะท้อนแสงบนถนนของรัฐวอชิงตัน 59
2.30 การทดสอบวัดค่าความสว่างของป้ายจราจรสูง และป้ายชื่อถนน 64
2.31 ประเภทป้ายจราจรที่ใช้ในการทดสอบ (ก) Guide Sign (ข) Destination Sign (ค) Daytime Speed Limit Sign (ง) Nighttime Speed Limit Sign.....66
2.32 การทดสอบระยะการมอเห็นในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์.....67
2.33 รูปแบบอักษรและระยะมองเห็น.....68
3.1 การทดสอบปัจจัยต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจรในสนามทดสอบ 75
3.2 พารามิเตอร์ในการวัดระยะทาง.....77
3.3 แนวการขับขี่ยานพาหนะของผู้ทดสอบในสนามทดลอง 78
3.4 แผนภาพระยะต่างๆในการดำเนินการทดสอบภาคสนาม.....79
3.5 ลักษณะถนน 2 ช่องจราจรของกรมทางหลวงชนบทในการทดสอบภาคสนาม.....82
3.6 ลักษณะถนน 2 ช่องจราจรของกรมทางหลวงชนบทในการทดสอบภาคสนาม.....83
3.7 ลักษณะป้ายจราจรที่ติดตั้งบนสายทางก่อนการทดสอบภาคสนาม.....83
3.8 ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางของสายทางทดสอบ 84
3.9 เสาป้ายจราจรที่ทำการติดตั้งใหม่เพื่อการทดสอบงานวิจัย.....85
3.10 การติดตั้งป้ายบอกระยะทางทุกๆ 25 เมตร.....86
3.11 ป้ายบอกระยะทางทุกๆ 25 เมตร และกรวยระยะ 200 เมตร ด้านข้างสนามทดสอบ 86
3.12 เสาและตำแหน่งติดตั้งป้ายจราจรที่ระดับต่างๆ (ก) ป้ายหยุด (ข) ป้ายทางแยกรูปตัวที (ค) ป้ายจำกัดความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 87
3.13 การสุ่มจุดการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจร 4 จุดในแต่ละประเภทสี 88
3.14 เครื่องมือใช้วัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรในภาคสนาม.....89

ภาพที่ หน้า

3.15 องค์ประกอบมุมการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจร 90
3.16 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรแต่ละประเภท.....90
3.17 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรเก่า.....91
3.18 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรบนเส้นทาง.....91
3.19 กราฟระดับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรแต่ละประเภทในการทดสอบ.....93
3.20 ลักษณะป้ายหยุด ป้ายทางแยกรูปตัวที ป้ายจำกัดความเร็ว 30 กม.ต่อชม. แต่ละระดับการสะท้อนแสงที่ใช้ทดสอบ.....95
3.21 ประเภทป้ายจราจรในการทดสอบ.....97
3.22 ประเภทยานพาหนะที่ใช้การทดสอบในงานวิจัย.....98
3.23 กราฟฟิกจำลองเพื่อหามุมสังเกต และมุมตกกระทบ.....99
3.24 แผ่นวัดระดับสายตา Snellen’s chart.....102
3.25 การทดสอบวัดระดับสายตาผู้ขับขี่ทดสอบ.....102
3.26 การทดสอบขับขี่ของผู้เข้าร่วมเพื่อประเมินระยะพบและมองเห็นป้ายจราจร 103
3.27 การทดสอบขับขี่รถยนต์ส่วนบุคคลของผู้เข้าร่วมเพื่อประเมินระยะพบและมองเห็นป้าย 104
3.28 การทดสอบขับขี่รถจักรยานยนต์ของผู้เข้าร่วมเพื่อประเมินระยะพบและมองเห็นป้าย.....104
3.29 การเปลี่ยนปัจจัยทางกายภาพของป้ายจราจรแต่ละชุดทดสอบ 105
4.1 ทัศนคติความสำคัญที่มีต่ออุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืน 118
4.2 ทัศนคติความพึงพอใจที่มีต่ออุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืน 120
4.3 การวิเคราะห์คุณภาพการให้บริการด้านอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืน. 122
4.4 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็น จำแนกตามกลุ่มอายุ และประเภทป้ายจราจร 127
4.5 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็น จำแนกตามประเภทป้ายจราจร และประเภทยานพาหนะ 131
4.6 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับความ สูงของป้าย 135
4.7 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับการสะท้อนแสง 140
4.8 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับความเร็วขับขี่ 145

ภาพที่ หน้า

4.9 ผลของปัจจัยหลักประเภทป้ายที่มีต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร 146
4.10 ผลของปัจจัยหลักประเภทป้ายที่มีต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร 147
4.11 ผลของปัจจัยหลักประเภทยานพาหนะที่มีต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร 148
4.12 ผลของปัจจัยหลักประเภทยานพาหนะที่มีต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร 148
4.13 ผลของปัจจัยหลักประเภทกลุ่มอายุผู้ขับขี่ที่มีต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร 149
4.14 ผลของปัจจัยหลักประเภทกลุ่มอายุผู้ขับขี่ที่มีต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร 150
4.15 ผลของปัจจัยหลักระดับความเร็วขับขี่ที่มีต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร....150
4.16 ผลของปัจจัยหลักระดับความเร็วขับขี่ที่มีต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร 151
4.17 ผลของปัจจัยหลักระดับความสูงที่มีต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร 152
4.18 ผลของปัจจัยหลักระดับความสูงที่มีต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร....152
4.19 ผลของปัจจัยหลักระดับการสะท้อนแสงที่มีต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร 153
4.20 ผลของปัจจัยหลักระดับการสะท้อนแสงที่มีต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร 154
5.1 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการตรวจพบป้ายทางแยกรูปตัวที 160
5.2 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงและระดับความสูงต่อระยะการตรวจพบป้ายทางแยกรูปตัวที 160
5.3 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นป้ายทางแยกรูปตัวที....161
5.4 ปัจจัยค่าระดับความสูงต่อระยะการตรวจพบป้ายหยุด....163
5.5 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการตรวจพบป้ายหยุด....163
5.6 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นป้ายหยุด.... .164
5.7 ปัจจัยค่าระดับความสูงต่อระยะการตรวจพบป้ายหยุด....165
5.8 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงและระดับความเร็วขับขี่ต่อระยะการมองเห็นป้ายหยุด 165
5.9 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการตรวจพบป้ายจำกัดความเร็ว....168
5.10 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นป้ายจำกัดความเร็ว 168
5.11 ปัจจัยค่าระดับความสูงต่อระยะการตรวจพบป้ายทางแยกรูปตัวที .... .173
5.12 ปัจจัยค่าระดับความสูงต่อระยะการมองเห็นป้ายทางแยกรูปตัวที .... .173
5.13 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นป้ายทางแยกรูปตัวที....174
5.14 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการตรวจพบป้ายทางหยุด....176
5.15 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นป้ายหยุด....176

ภาพที่ หน้า

5.16 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการตรวจพบป้ายจำกัดความเร็ว.....179
5.17 ปัจจัยค่าระดับความสูงต่อระยะการตรวจพบป้ายจำกัดความเร็ว 179
5.18 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นป้ายจำกัดความเร็ว 180
5.19 ปัจจัยค่าระดับความเร็วต่อระยะการมองเห็นป้ายจำกัดความเร็ว.....180
5.20 กราฟความสัมพันธ์ของระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของรถยนต์ส่วนบุคคล จำแนกตามประเภทป้ายจราจร 185
5.21 กราฟความสัมพันธ์ของระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของรถจักรยานยนต์ จำแนกตามประเภทป้ายจราจร 186
5.22 กราฟความสัมพันธ์ของระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของรถยนต์ส่วนบุคคลรวมกับรถจักรยานยนต์ จำแนกตามประเภทป้ายจราจร..... 187
6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระยะทางหยุดรถอย่างปลอดภัย.....197
6.2 ระยะลดความเร็วก่อนเข้าโค้งของผู้ขับขี่ 198

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

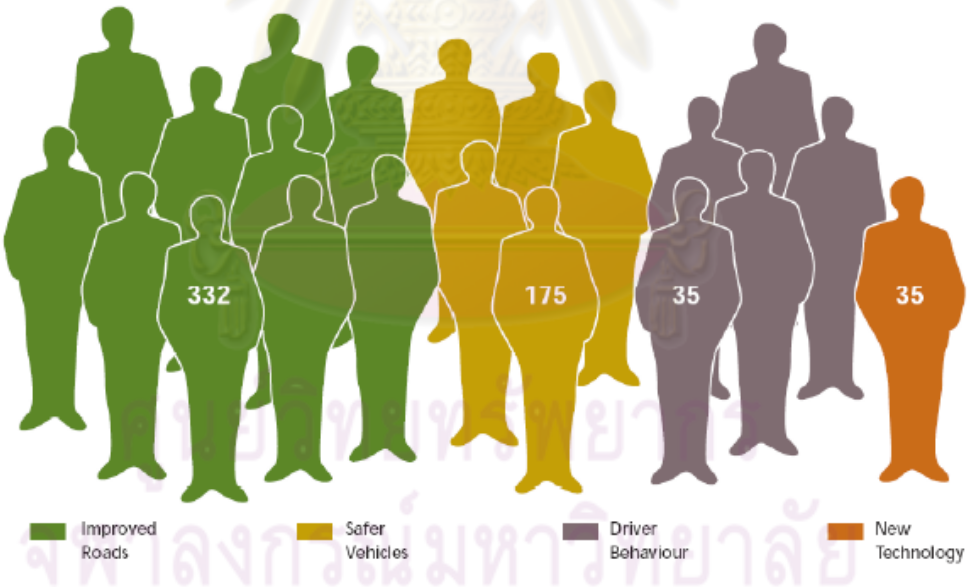
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุบัติเหตุทางถนนเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญทางเศรษฐกิจและสังคมโลก ทุกๆปีจะมีผู้เสียชีวิตและได้รับบาดเจ็บเป็นจำนวนมาก มูลค่าความเสียหายของทรัพย์สินที่เกิดจากอุบัติเหตุบนถนนมีมูลค่ามหาศาล จากข้อมูลพบว่าประชากรเฉลี่ยประมาณ 1.2 ล้านคนต่อปี เสียชีวิตเนื่องจากอุบัติเหตุทางถนน นั่นหมายถึงในแต่ละวันมีผู้เสียชีวิต 3,242 คนบนท้องถนน และยังมีผู้บาดเจ็บและพิการจากอุบัติเหตุทางถนนอีกราวๆ 20 - 50 ล้านคน การบาดเจ็บทางถนนเป็นสาเหตุการเสียชีวิตของประชากรโลกอยู่ในอันดับที่ 11 หรือประมาณร้อยละ 2.1 ของการเสียชีวิตทั้งหมด (องค์การอนามัยโลก, 2547) นับว่าเป็นปริมาณอุบัติเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก สำหรับสถานการณ์อุบัติเหตุทางถนนในประเทศไทยในแต่ละปีนั้นมีผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุบนท้องถนนประมาณ 13,000 คน ส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจมากกว่า 232,000 ล้านบาท (กรมทางหลวง, 2550) ผู้ได้รับบาดเจ็บคิดเป็นจำนวนร้อยละ 50 และมีผู้เสียชีวิตประมาณร้อยละ 26.5 ของผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตทั้งหมด จะเห็นได้ว่าแม้แต่ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศกำลังพัฒนาแต่กลับมีจำนวนอุบัติเหตุบนท้องถนนที่สูงและก่อให้เกิดความเสียหายเป็นจำนวนมาก ปัญหาอุบัติเหตุบนท้องถนนจึงเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญและควรเร่งดำเนินมาตรการป้องกัน แก้ไข และพัฒนาโดยเร็วเพื่อลดความสูญเสียในทุกๆภาคส่วนที่จะตามมา

การป้องกันและแก้ไขปัญหาอุบัติเหตุบนท้องถนนนั้นจำเป็นต้องทราบถึงที่มาและสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนอย่างจริงจัง เพื่อให้สามารถดำเนินการป้องกันและแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้องและถูกจุด จากการศึกษาในอดีตที่ผ่านมาพบว่า โดยทั่วไปองค์ประกอบของอุบัติเหตุเกิดจากปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย ได้แก่ ผู้ขับขี่ ยานพาหนะ ถนน/สิ่งแวดล้อม การศึกษาในปี พ.ศ. 2548 – 2550 (ศูนย์วิจัยอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย, 2550) พบว่าปัจจัยจากคนมีสัดส่วนต่อการเกิดอุบัติเหตุสูงที่สุดเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นๆ แต่องค์ประกอบปัจจัยด้านถนนและสิ่งแวดล้อมก็มีสัดส่วนสูงถึงหนึ่งในสามเมื่อพิจารณาจากทั้งองค์ประกอบเดี่ยวและองค์ประกอบร่วม ปัจจัยด้านนี้จึงมีนัยสำคัญต่อการเกิดอุบัติเหตุไม่ด้อยกว่าปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุอื่นๆ

โดยทั่วไปแล้วถนนเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ปัจจัยทางตรงได้แก่ พื้นผิวถนนไม่สมบูรณ์ โค้งอันตราย ทางแยกอันตราย หรือปัญหาบกพร่องที่อาจเกิดกับสัญญาณไฟหรือป้ายจราจร เป็นต้น ส่วนปัจจัยทางอ้อมได้แก่ อุปกรณ์ข้างทางที่สร้างอันตรายแก่รถที่อาจเสียหลักหลุดออกข้างทาง และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ข้างทาง อย่างไรก็ตามแม้คนทั่วไปจะสรุปว่าอุบัติเหตุบนท้องถนนเกิดจากความผิดพลาดของผู้ขับขี่เองที่ไม่สามารถควบคุมรถให้อยู่บนถนนอย่างปลอดภัยนั้นอาจถูกเพียงบางส่วน จากการศึกษางานวิจัยในอดีต (Australian Road Assessment Program, 2005) พบว่าผลจากการแก้ไข เปลี่ยนแปลง หรือปรับปรุงประสิทธิภาพของรถและถนนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้รถใช้ถนนอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งคณะกรรมการการขนส่งประเทศออสเตรเลียได้เสนอไว้ในแผนยุทธศาสตร์ความปลอดภัยทางถนนในระดับประเทศว่าหากมีการปรับปรุงถนน ยานพาหนะ และปรับเปลี่ยนพฤติกรรมผู้ขับขี่จะสามารถลดจำนวนผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนลงได้ถึง 700 คน และปัจจัยที่ลดจำนวนผู้เสียชีวิตที่สำคัญที่สุด คือ การปรับปรุงถนนซึ่งสามารถลดจำนวนผู้เสียชีวิตได้ถึงร้อยละ 50 ดังรูปที่ 1.1



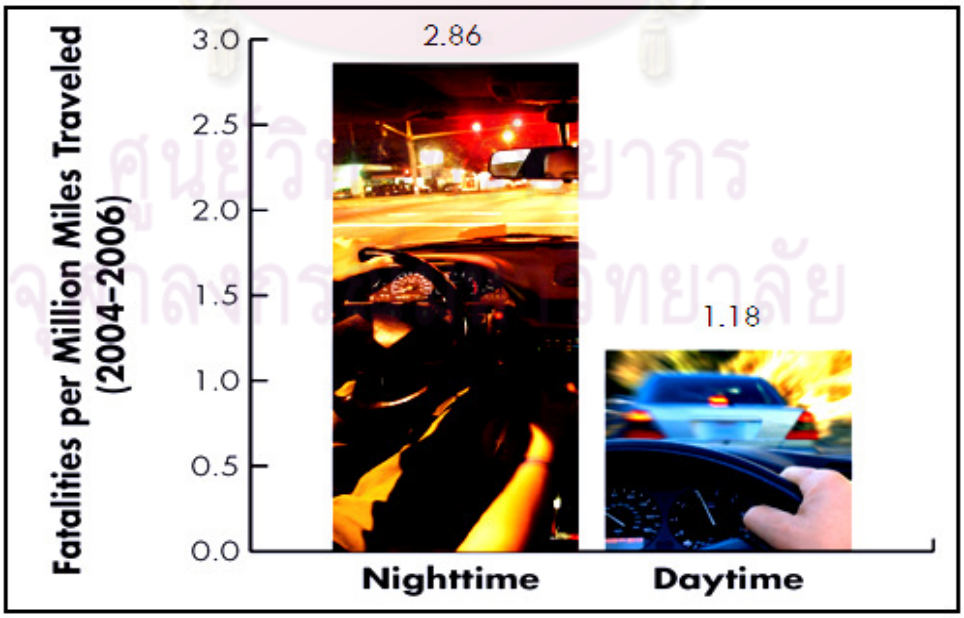
รูปที่ 1.1 จำนวนผู้เสียชีวิตที่ลดลงจากการเพิ่มความปลอดภัยในประเทศออสเตรเลีย

ที่มา : Australian Road Assessment Program (2005).

จากที่กล่าวมาข้างต้น ปัญหาด้านความปลอดภัยหรืออุบัติเหตุบนท้องถนนนับว่ามีบทบาทสำคัญต่อผู้ขับขี่หรือผู้ใช้บริการบนท้องถนนเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันการขับขี่ในช่วงเวลากลางคืนนับว่ามีความสำคัญที่เป็นส่วนในการส่งเสริมการเกิดอุบัติเหตุให้เพิ่มขึ้น เพราะเนื่องจากเกี่ยวข้องกับการมองเห็นของผู้ขับขี่ในช่วงเวลากลางคืน จากข้อมูลในประเทศ

สหรัฐอเมริกาพบว่าอุบัติเหตุจากการจราจรเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืนมากกว่าร้อยละ 50 ของอุบัติเหตุทั้งหมด (National Safety Council, 2007) ถึงแม้ว่าการเดินทางในช่วงเวลากลางคืนจะมีปริมาณการจราจรเพียงหนึ่งในสี่ของการจราจรทั้งหมดก็ตาม

รูปที่ 1.2 แสดงถึงสัดส่วนอุบัติเหตุต่อระยะการเดินทางในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนในปี ค.ศ. 2004-2006 ในประเทศสหรัฐอเมริกา (National Safety Council, 2007) พบว่าอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากการเดินทางในช่วงเวลากลางคืนมากกว่าช่วงเวลากลางวันอยู่เท่าตัวที่ปริมาณการเดินทางเดียวกัน ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากสภาพการมองเห็นของผู้ขับขี่ที่เป็นส่วนหนึ่งในการก่อให้เกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน ปริมาณแสงที่ไม่เพียงพอในช่วงเวลากลางคืนประกอบกับความเหนื่อยล้าของผู้ขับขี่และการดื่มของมึนเมาอันมีส่วนทำให้สภาพร่างกายและสภาพการมองเห็นมีความผิดปกติ อันทำให้ประสิทธิภาพการควบคุมการขับขี่ลดลงเช่นกัน ด้วยเหตุนี้ Federal Highway Administration (FHWA) ประเทศสหรัฐอเมริกา จึงเห็นความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพลดการเกิดอุบัติเหตุบนถนนในช่วงเวลากลางคืน โดยการพัฒนาคุณภาพอุปกรณ์ควบคุมการจราจรให้สามารถมองเห็นได้ดีในเวลากลางคืน มีการตรวจสอบบำรุงรักษาอุปกรณ์ควบคุมจราจรที่ไม่สามารถมองเห็นในเวลากลางคืน รวมทั้งการติดตั้งไฟให้แสงสว่าง โดยทั้งหมดเพื่อเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ถนนทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ด้วยเหตุนี้ประเด็นดังกล่าวจึงมีความสำคัญในการศึกษาด้านการเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่ในช่วงเวลากลางคืนของประเทศไทยเช่นเดียวกัน



รูปที่ 1.2 สัดส่วนอุบัติเหตุต่อระยะการเดินทางในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

ที่มา : National Safety Council (2007).

ในประเทศไทยจากการเก็บข้อมูลอุบัติเหตุของศูนย์วิจัยอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย (TARC) โดยเป็นข้อมูลเฝ้าระวังการบาดเจ็บ (Injury Surveillance, IS) ที่ได้จากโรงพยาบาล 28 แห่ง ระหว่างปี พ.ศ. 2544 – 2550 ดังแสดงในตารางที่ 1.1 แสดงจำนวนข้อมูลผู้ป่วยและอุบัติเหตุจากอันตรายข้างทาง (Roadsite Hazard) ในปี พ.ศ. 2544-2550 พบว่าจำนวนอุบัติเหตุบนท้องถนนที่เกิดขึ้นจำนวน 25,896 ราย โดยประมาณร้อยละ 5.0 ของข้อมูลทั้งหมดเป็นอุบัติเหตุจากอันตรายข้างทาง

ตารางที่ 1.1 จำนวนข้อมูลผู้ป่วยและอุบัติเหตุข้างทางในปี พ.ศ. 2544-2550

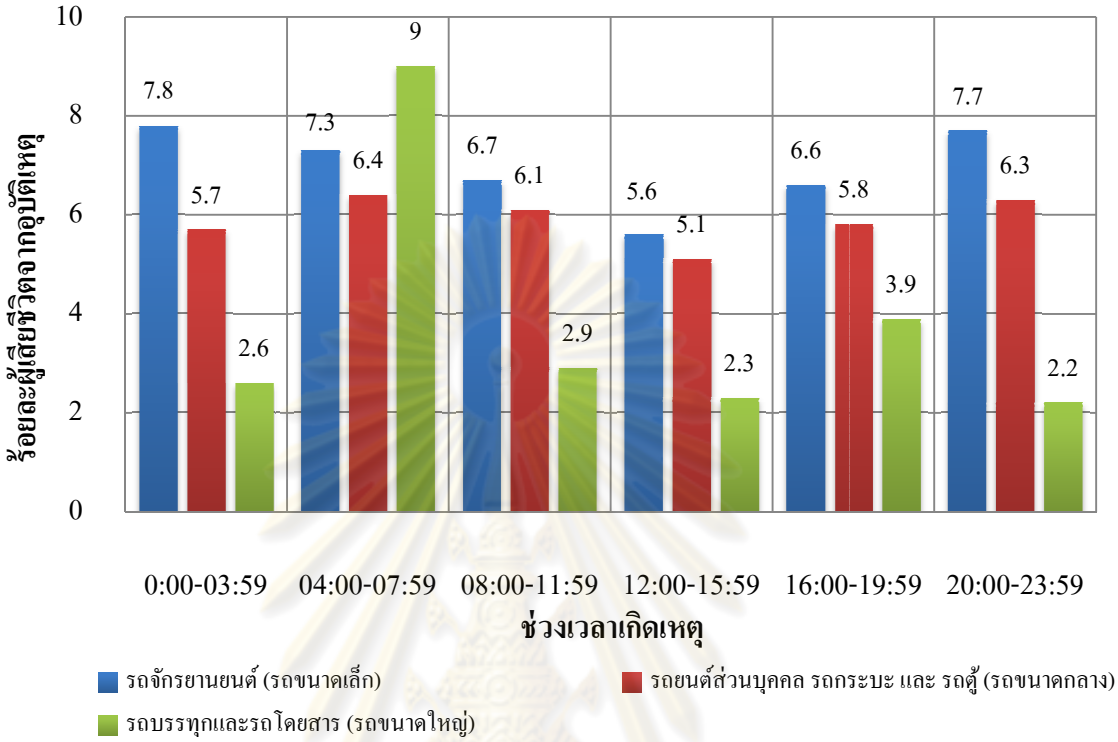
ปี พ.ศ.	จำนวนผู้ป่วย	จำนวนผู้ป่วยจากอุบัติเหตุอันตรายข้างทาง
2544	56,245	2,823 (5.0%)
2545	62,359	3,043 (4.9%)
2546	85,251	4,295 (5.0%)
2547	74,148	3,820 (5.2%)
2548	73,852	3,798 (5.1%)
2549	80,711	4,073 (5.0%)
2550	77,649	4,044 (5.2%)
รวม	510,215	25,896 (5.0%)

ที่มา : ศูนย์วิจัยอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย (2009).

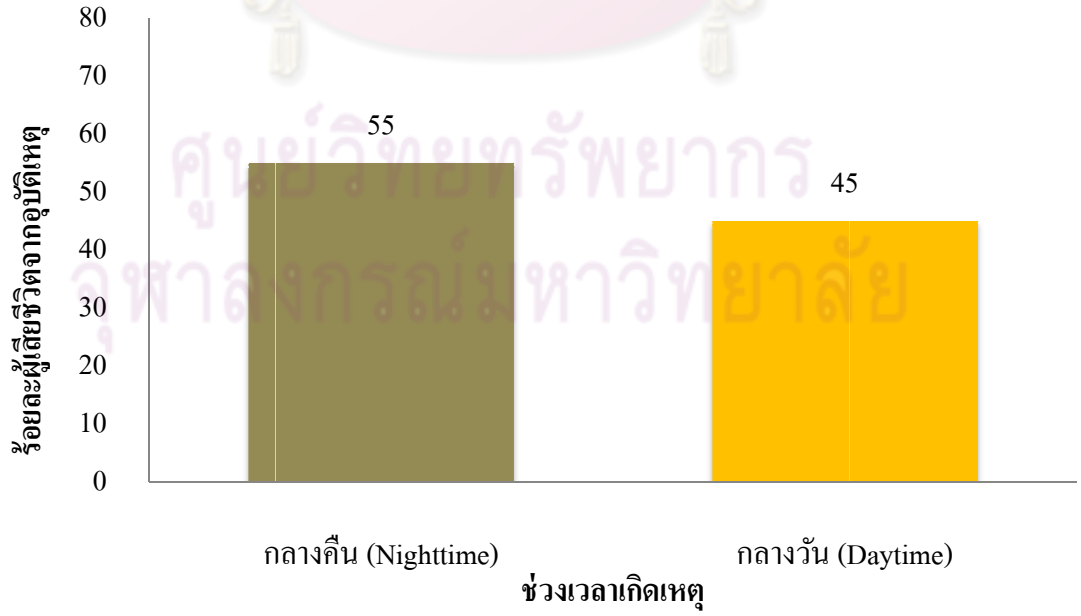
ในทำนองเดียวกันจากจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบนท้องถนนในประเทศไทย ประกอบด้วยประเภทยานพาหนะหลายประเภท ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งแสดงร้อยละจำนวนผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุข้างทางแยกตามประเภทยานพาหนะในแต่ละช่วงเวลา โดยพบว่าอุบัติเหตุส่วนใหญ่ในประเทศไทยเกิดจากรถจักรยานยนต์ในอัตราที่สูง รองลงมาได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล รถกระบะ รถตู้ และน้อยที่สุดได้แก่รถบรรทุกและรถโดยสาร ด้วยเหตุนี้ประเภทรถที่แตกต่างกันจึงมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและการเสียชีวิตในลักษณะที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาจำนวนผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุในด้านช่วงเวลาในการเกิดเหตุโดยแบ่งเป็นช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ดังรูปที่ 1.4 ที่แสดงร้อยละจำนวนผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุจากอันตรายข้างทาง แยกตามช่วงเวลาของยานพาหนะในการเดินทางทุกประเภทพบว่าร้อยละผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุเกิดขึ้นในเวลากลางคืนร้อยละ 55 และกลางวันร้อยละ 45 ซึ่งแสดงให้เหตุว่าอุบัติเหตุโดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในตอนกลางคืนมากกว่ากลางวันจึงส่งผลต่อการมีผู้เสียชีวิตที่มากกว่า เมื่อพิจารณา

ร่วมกับสภาพการขับขี่ในตอนกลางคืนแล้วเป็นไปได้ที่ความสามารถของผู้ขับขี่อย่างปลอดภัยในเวลากลางคืนจะมีน้อยกว่าในเวลากลางวันที่มีความสว่างในการมองเห็นได้อย่างชัดเจน



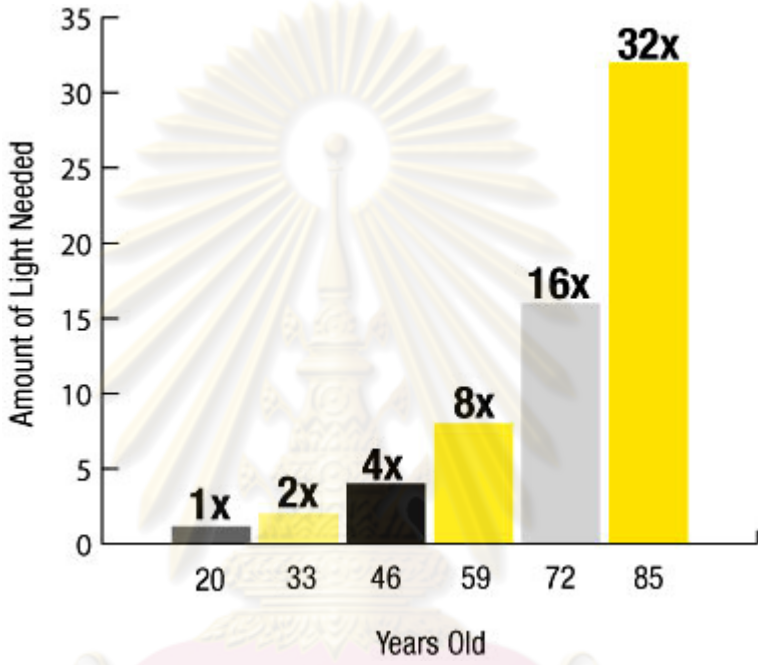
รูปที่ 1.3 ร้อยละจำนวนผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุข้างทางแยกตามประเภทยานพาหนะแต่ละช่วงเวลา
ที่มา : ศูนย์วิจัยอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย (2009).



รูปที่ 1.4 ร้อยละจำนวนผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุข้างทางแยกตามช่วงเวลากลางคืนและกลางวัน
ที่มา : ศูนย์วิจัยอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย (2009).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในทำนองเดียวกันปัจจัยด้านลักษณะบุคคลของผู้ขับขี่ที่มีผลต่อการขับขี่ในเวลากลางคืน อันได้แก่ อายุ ของผู้ขับขี่ ดังรูปที่ 1.5 ซึ่งพบว่าอายุของผู้ขับขี่ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 13 ปี จะมีความต้องการความสว่าง (Luminance, cd/m^2) เพื่อการมองเห็นที่เพิ่มขึ้นในอัตรา 2 เท่า นั่นหมายถึงประสิทธิภาพการมองเห็นในเวลากลางคืนจะลดลงอย่างทวีคูณเมื่ออายุเพิ่มขึ้น โอกาสที่ผู้ขับขี่สูงอายุจะประสบอุบัติเหตุจากการมองไม่เห็นสภาพแวดล้อมการขับขี่หรืออุปกรณ์ในการควบคุมจราจรเป็นอย่างมาก



รูปที่ 1.5 ปริมาณความต้องการความสว่างเพื่อการมองเห็นกลางคืนของผู้ขับขี่ที่แปรเปลี่ยนตามอายุ
ที่มา: Texas Transportation Institute (2004).

จากปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดอุบัติเหตุในเวลากลางคืนดังกล่าวจึงมีความจำเป็นที่ต้องเพิ่มประสิทธิภาพให้ผู้ขับขี่ในเวลากลางคืนได้รับความปลอดภัยจากการใช้บริการถนน โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่ควบคุมและแนะนำการจราจร ป้ายจราจร ซึ่งเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความสำคัญในการให้ข้อมูลและกฎเกณฑ์ในการใช้ถนนต่อผู้ขับขี่ จากสภาพในปัจจุบันป้ายจราจรในบางสายทางของถนนมีสภาพการมองเห็นในเวลากลางคืนต่อผู้ขับขี่ที่ต่ำ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยในการขับขี่ในเวลากลางคืน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1.6 ซึ่งจะเห็นว่าในสภาพช่วงเวลากลางวันมีแนวการขับขี่ของทางที่มองเห็นชัดเจน แต่ในสภาพช่วงเวลากลางคืนการขับขี่อย่างปลอดภัยจำเป็นต้องใช้ความสามารถในการสะท้อนแสงของป้ายจราจรและอุปกรณ์ควบคุมจราจรสะท้อนแสงอื่นๆ

รูปที่ 1.6 ความแตกต่างของป้ายจราจรต่อการมองเห็นในสภาพกลางวันและกลางคืนของผู้ขับขี่
ที่มา : Federal Highway Administration (2008).

จากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้น ความเพียงพอในการบำรุงรักษาสภาพการสะท้อนแสงของป้ายจึงเป็นส่วนที่ช่วยปรับปรุงความปลอดภัยบนถนนและป้องกันอุบัติเหตุบนถนน อันเป็นสาเหตุหนึ่งในสามของการเกิดอุบัติเหตุ (TARC, 2007) โดยอาศัยหลักการเพิ่มการสะท้อนแสงกลับของไฟหน้ารถไปยังป้ายกลับมาสู่สายตาของผู้ขับขี่อย่างเพียงพอ ซึ่งจะทำให้ป้ายจราจรบนถนนมีความสว่างและง่ายต่อการมองเห็นการอ่านของผู้ขับขี่ แต่เนื่องจากสภาพของป้ายจราจรหรืออุปกรณ์ควบคุมการจราจรในปัจจุบันมีการเสื่อมสภาพไปตามเวลาหรือเสื่อมสภาพด้วยปัจจัยต่างๆกันทำให้สภาพการสะท้อนแสงต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่ลดลงอันมีผลต่อการขับขี่ที่ยากลำบากในตอนกลางคืน โดยเฉพาะถนนในเขตชนบทที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดอุบัติเหตุในเวลากลางคืนเนื่องจากปริมาณแสงไฟที่ถูกจัดให้แก่ถนนมีน้อยทำให้ยากต่อการขับขี่หรือการมองเห็นในเวลากลางคืนของผู้ขับขี่

ป้ายจราจรที่ดีควรมีคุณสมบัติที่มีส่วนช่วยให้ผู้ขับขี่มีช่วงเวลาและระยะทางของกระบวนการมองเห็น อ่านทำความเข้าใจ ตัดสินใจ และปฏิบัติ หรือช่วงเวลาการรับรู้และปฏิกิริยาตอบกลับ (PIEV Time) ได้อย่างทันท่วงที การมองเห็นป้ายจราจรมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่หลายปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยผู้ขับขี่ ปัจจัยสภาพแวดล้อม ปัจจัยจากยานพาหนะ ซึ่งสอดคล้องกับปัจจัยหลักในการ

เกิดอุบัติเหตุบนถนนอย่างชัดเจน ดังนั้นการติดตั้งและออกแบบป้ายจราจรสะท้อนแสงที่มีความเหมาะสมกับผู้ขับขี่ในเวลากลางคืนจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

การศึกษาวิธีการที่จะช่วยเพิ่มการสะท้อนแสงของป้ายจราจรต่อผู้ขับขี่รวมถึงศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการมองเห็นของป้ายจราจรและผู้ขับขี่ในเวลากลางคืน จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อที่จะสามารถเข้าใจและเพิ่มประสิทธิภาพในการมองเห็น อันนำมาซึ่งการเพิ่มความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่บนถนนเพื่อลดจำนวนอุบัติเหตุ และผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในเวลากลางคืน รวมถึงยังเป็นการส่งเสริมและช่วยในการปรับปรุงระบบการให้บริการของถนนเพื่อความปลอดภัยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ ดังนี้

1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรของผู้ขับขี่ในเวลากลางคืนจากปัจจัยทางด้านกายภาพของป้ายจราจร ยานพาหนะ และผู้ขับขี่
2) เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยหลักที่มีผลมากที่สุดต่อการมองเห็นป้ายจราจรของผู้ขับขี่ในเวลากลางคืนจากปัจจัยทางด้านกายภาพของป้ายจราจร ยานพาหนะ และผู้ขับขี่ โดยอาศัยการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติประยุกต์
3) เพื่อศึกษาคุณลักษณะและความเหมาะสมของเกณฑ์มาตรฐานการติดตั้งป้ายจราจรของกรมทางหวงชนบท เพื่อการขับขี่อย่างปลอดภัยในเวลากลางคืน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระยะการมองเห็น (Legibility) ป้ายจราจรสะท้อนแสงของผู้ขับขี่ในเวลากลางคืน ปัจจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจร ระดับความสูงป้ายจราจร ความเร็วในการขับขี่ กลุ่มอายุผู้ขับขี่ และประเภทยานพาหนะ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวอาจมีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรหรือการขับขี่ในช่วงเวลากลางคืน

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการวางแผน ออกแบบการทดลอง ในการทดสอบปัจจัยที่อาจมีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรสะท้อนแสงในเวลากลางคืน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบได้แก่กลุ่มผู้ขับขี่ที่มีความแตกต่างของช่วงอายุเนื่องจากสายตาการมองเห็นของผู้ขับขี่อาจเสื่อมตามอายุและเป็นกลุ่มที่อาศัยหรืออยู่ใกล้พื้นที่สนามการทดลองหรือกลุ่มที่ผู้วิจัยสามารถจัดหาได้ ในการทดลองมีการควบคุมปัจจัยที่อาจส่งผลรบกวนต่อปัจจัยที่สนใจ (Controlled Factor) ได้แก่ สภาพถนนต้องมี

สภาพปรกติ ประเภทถนนเป็นถนน 2 ช่องจราจรในพื้นที่ชนบท จำกัดควบคุมปริมาณจราจรช่วงเวลาในการทดสอบกลางคืนที่มืดสนิทไม่มีการให้แสงไฟแก่ถนนสนามทดลอง ไม่มีผลกระทบจากสภาพอากาศที่ส่งผลต่อการมองเห็น ป้ายจราจรที่ทดสอบแต่ละครั้งทำการเช็ดก่อนทดสอบ สภาพรถทดสอบมีสภาพปรกติและเช็ดกระจกหน้าทุกครั้งก่อนทดสอบ ผู้ขับขี่มีสายตาและสภาพร่างกายก่อนทดสอบปรกติ ปัจจัยควบคุมเหล่านี้ในการทดสอบจะทำการควบคุมเพื่อผลวิจัยที่ถูกต้อง โดยปัจจัยที่ควบคุมในงานวิจัยนี้ได้รวบรวมแสดงดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ปัจจัยควบคุม (Controlled Factor) แต่ละองค์ประกอบหลักของการขับขี่บนถนน

ป้ายจราจร	ยานพาหนะ	ผู้ขับขี่	สภาพแวดล้อม/ถนน
• ตำแหน่งป้าย o ป้ายติดพื้น -ด้านซ้าย -ระยะห่างด้านข้าง • ขนาด • รูปร่าง • สี o พื้นหลัง o ข้อความ • ข้อความ o สัญลักษณ์ o ตัวอักษร -รูปแบบ -ขนาด • ไฟส่องสว่าง • วัสดุสะท้อนแสง	• ประเภท o รถยนต์ส่วนบุคคล o รถจักรยานยนต์ • ดวงไฟหน้ารถ o ประเภท -Halogen -Tungsten -High-intensity discharge • กระจกหน้ารถ o การส่งผ่านแสง o ความสะอาด	• คุณลักษณะการมองเห็น o ระดับสายตา Acuity o ความบอดสี Color deficiency • ความตึงเตรียด • การดื่มสุรา • การเสพยาเสพติด • แนวการขับขี่	• สภาพภูมิอากาศ o ฝน o หมอก o ควัน • ประเภทของถนน o ถนนชนบท • เวลาของวัน o กลางคืน • แนวทางโค้งราบ • แนวทางโค้งดิ่ง • ถนนลาดยาง • ถนน 2 ช่องจราจร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ได้แก่

1) ทราบถึงหลักการและองค์ประกอบของปัจจัยในการมองเห็นป้ายจราจรสะท้อนแสงในเวลากลางคืนของผู้ขับขี่ รวมถึงงานวิจัยในอดีตที่ได้มีการศึกษามาก่อน

2) ทราบถึงอิทธิผลของปัจจัยด้านกายภาพของป้ายจราจรสะท้อนแสง ปัจจัยด้านบุคคล และปัจจัยด้านยานพาหนะ ที่อาจมีผลต่อระยะการมองเห็นในเวลากลางคืนของผู้ขับขี่

3) ทราบถึงปัจจัยหลักที่มีอิทธิผลมากที่สุดต่อระยะการมองเห็นเวลากลางคืนของผู้ขับขี่

4) พิจารณานำผลการทดสอบของปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรสะท้อนแสงในเวลากลางคืนมาใช้ในการออกแบบติดตั้งป้ายจราจรสะท้อนแสงเพื่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ในการขับขี่เวลากลางคืนบนท้องถนน

5) เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้เป็นข้อมูลต่อยอดงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องต่อไป

1.5 แนวทางการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยจะอาศัยจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงหลักการแนวคิดและแนวทางในการศึกษาผลกระทบหรือปัจจัยของป้ายจราจรสะท้อนแสงที่มีต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่ โดยในงานวิจัยได้ทำการออกแบบการทดลอง พิจารณาปัจจัยที่ศึกษาและปัจจัยที่ต้องควบคุมรวมถึงพิจารณาสถานที่ทำการทดลองที่เหมาะสมเพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ รวมถึงคำนึงถึงแนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ จากนั้นเป็นการเตรียมอุปกรณ์ สถานที่ รวมถึงคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างผู้ขับขี่ที่จะนำมาทำสอบในภาคสนามและเตรียมความพร้อมของผู้ทดสอบในการทดสอบภาคสนาม จากนั้นทำการทดสอบในภาคสนามจนครบจำนวนตัวอย่างที่กำหนด เมื่อได้ข้อมูลครบตามที่กำหนดจะเป็นการวิเคราะห์ผลข้อมูลและสรุปผลของปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน และนำปัจจัยที่ได้ไปใช้ในการออกแบบการติดตั้งป้ายจราจรสะท้อนแสงต่อไปหรือศึกษาในงานวิจัยอื่นต่อไป โดยระเบียบวิธีการดำเนินงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 1.7

1.6 องค์ประกอบของรายงานการวิจัย

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์แบ่งหัวข้อในการนำเสนอเป็น 6 ส่วน ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ นำเสนอความเป็นมาและปัญหาของงานวิจัย วัตถุประสงค์การวิจัย ขอบเขตการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และแนวทางการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เป็นการนำเสนอผลที่ได้จากการทบทวนแนวทางการวิเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยในอดีต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย รวมถึงทราบทฤษฎีและปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรสะท้อนแสงในเวลากลางคืนในต่างประเทศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย เนื้อหาในส่วนนี้จะแสดงขั้นตอนการดำเนินงานโดยละเอียดของการวิจัย การวางแผน การออกแบบการทดลอง การควบคุมปัจจัยในการทดลองภาคสนาม วิธีในการทดลอง และแนวทางในการวิเคราะห์ผลข้อมูล

บทที่ 4 ผลการศึกษาการทดลองปัจจัย ส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ผลการศึกษาเบื้องต้นของแต่ละปัจจัยที่ทำการศึกษา รวมทั้งการเก็บข้อมูลความพึงพอใจต่ออุปกรณ์บนสายทางของผู้ทดสอบ

บทที่ 5 ผลลัพธ์จากแบบจำลองและการประยุกต์ เนื้อหาส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนจากการทดสอบ

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา เป็นการสรุปผลกรศึกษา ข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต

รูปที่ 1.7 ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการสะท้อนแสงของป้ายจราจรจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบในด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีการสะท้อนแสงของป้ายจราจร ประเภทป้ายจราจรสะท้อนแสงและวัสดุที่ใช้ทำป้าย ปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจร เพื่อเป็นพื้นฐานความเข้าใจหลักการทำงานของป้ายจราจรสะท้อนแสง รวมไปถึงวิธีการประเมินการสะท้อนแสงของป้ายจราจรและการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจรในต่างประเทศ เพื่อทราบถึงงานวิจัยในปัจจุบันและการนำไปประยุกต์ในงานวิจัยนี้

2.1 ป้ายจราจร (Traffic Sign)

ป้ายจราจรที่ใช้ในปัจจุบันตามคำจำกัดความได้แก่ เครื่องหมายจราจรที่ทำให้ปรากฏอยู่บนแผ่นป้าย กล่อง ผนัง หรือที่อื่นใด อาจทำด้วยแผ่นโลหะ ไม้ หรือ วัสดุอื่นๆ ป้ายจราจรเป็นเครื่องหมายจราจรประเภทหนึ่งที่จัดสร้างขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้รถใช้ถนน รวมถึงให้ทราบข้อมูลถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ขับขี่จากสภาพแวดล้อมในบริเวณต่างๆที่ผู้ขับขี่ไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน นอกจากนั้นยังแสดงข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทาง สถานที่สำคัญ ซึ่งป้ายจราจรจะติดตั้งไว้บริเวณเขตทางหรือถนนต่างๆ ป้ายจราจรมีอยู่ด้วยกัน 3 ประเภทดังนี้ (สนข., 2547)

- ป้ายบังคับ (Regulatory Sign)
- ป้ายเตือน (Warning Sign)
- ป้ายแนะนำ (Guide Sign)

- **ป้ายบังคับ (Regulatory Sign)** คือ ป้ายจราจรที่มีความหมายเป็นการบังคับให้ผู้ใช้ทางปฏิบัติตามความหมายของเครื่องหมายจราจรที่ปรากฏอยู่บนป้ายนั้น โดยการกำหนดให้ผู้ใช้ทางต้องกระทำ งดเว้นการกระทำ จำกัดการกระทำในบางประการหรือบางลักษณะ เช่น ป้ายห้ามจอดรถ ห้ามขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด เป็นต้น ผู้ใดฝ่าฝืนย่อมมีความผิดตามกฎหมาย ป้ายบังคับอาจมีการบังคับใช้ตลอดเส้นทางตามความยาวถนน บางกรณีจำเป็นต้องมีการติดตั้งป้ายเดิมหลายครั้งตามแนวเส้นทาง ป้ายบังคับแสดงดังรูปที่ 2.1 (ก)

- **ป้ายเตือน (Warning Sign)** คือ ป้ายจราจรที่มีความหมายเป็นการเตือนผู้ใช้ทางให้ทราบล่วงหน้าถึงสภาพทางหรือข้อมูลอย่างอื่นที่เกิดขึ้นในทางข้างหน้าที่อาจก่อให้เกิดอันตรายหรืออุบัติเหตุขึ้นได้ ป้ายเตือนถูกจัดทำเพื่อให้ผู้ใช้ทางระมัดระวังในการใช้ทางซึ่งจะช่วยป้องกันการเกิดอันตรายหรืออุบัติเหตุได้ ป้ายเตือนแสดงดังรูปที่ 2.1 (ข)
- **ป้ายแนะนำ (Guide Sign) คือ** ป้ายจราจรที่มีความหมายเป็นการแนะนำให้ผู้ใช้ทางทราบข้อมูลเกี่ยวกับการเดินทางและการจราจร เช่น เส้นทางที่จะใช้ ทิศทาง ระยะทาง สถานที่ รวมทั้งข้อมูลอื่นๆ เพื่อประโยชน์ในการเดินทาง ป้ายแนะนำแสดงดังรูปที่ 2.1 (ค)

(ก) ป้ายหยุด (ข) ป้ายห้ามแซง (ค) ป้ายห้ามเข้า (ง) ป้ายห้ามเลี้ยว

(ก) ป้ายบังคับ

(ก) ป้ายเตือนทางโค้ง (ข) ป้ายเตือนทางคดเคี้ยว (ค) ป้ายเตือนทางแยก (ง) ป้ายเตือนทางลื่น

(ข) ป้ายเตือน

(ก) ป้ายชี้ทางสถานที่ท่องเที่ยว (ข) ป้ายจุดแยก (ค) ป้ายแสดงตำแหน่งทางข้าม

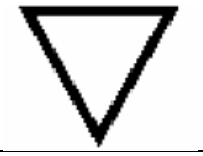
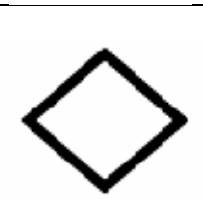
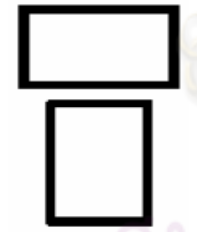
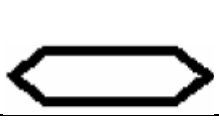
(ค) ป้ายแนะนำ

รูปที่ 2.1 ประเภทป้ายจราจร

ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (2547).

ป้ายจราจรมีหลายลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะว่ามีการแยกประเภทและการใช้งานที่แตกต่างกันไป แต่ก็เป็นไปตามมาตรฐานสากลทั้งด้าน รูปร่าง สี ขนาด สัญลักษณ์ ขอบป้าย ตัวเลข และอักษร สำหรับป้ายจราจรที่ใช้ในประเทศไทยมีอยู่ด้วยกัน 10 รูปแบบ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รูปร่างและลักษณะแต่ละประเภทป้ายจราจร (สนข., 2547)

รูปแบบ	ลักษณะ	ประเภท
	ป้ายแปดเหลี่ยมด้านเท่า (Octagon shape)	ใช้เฉพาะป้ายหยุด
	ป้ายสามเหลี่ยมด้านเท่า (Equilateral Triangle Shape) ชี้ด้านแหลมลง	ใช้เฉพาะป้ายให้ทาง
	ป้ายกลม (Round Shape)	ใช้เฉพาะป้ายบังคับ
	ป้ายทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสตั้งมุมขึ้น (Diamond Shape)	ใช้เฉพาะป้ายเตือน
	ป้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้าไขว้เป็นรูปกากบาท (Diamond Cross)	ใช้เฉพาะป้ายเตือนทางรถไฟตัดผ่าน
	ป้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้าตั้งและนอน (Rectangular Shape)	ใช้เฉพาะป้ายเตือนและป้ายแนะนำบางประเภทและป้ายเสริมที่ใช้กับป้ายหลัก
	ป้ายสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Shape)	ใช้เฉพาะป้ายเตือนและป้ายแนะนำบางประเภทและป้ายเสริมที่ใช้กับป้ายหลัก
	ป้ายสามเหลี่ยมหน้าจั่ว (Isosceles Triangle Shape) มุมแหลมชี้ไปทางซ้าย	ใช้เฉพาะป้ายเขตห้ามแซง
	ป้ายสี่เปลี่ยมผืนผ้าแนวนอนปลายแหลมหนึ่งด้าน	ใช้เฉพาะป้ายแนะนำประเภทชี้บอกทิศทางบริเวณทางแยก
	ป้ายสี่เปลี่ยมผืนผ้าแนวนอนปลายแหลมหนึ่งด้าน	ใช้เฉพาะป้ายแนะนำชื่อถนนและซอยต่างๆ

สีของป้ายจราจรมีหลายลักษณะขึ้นกับประเภทของป้ายจราจร เพื่อให้ผู้ขับขี่และผู้ใช้ถนนสามารถจดจำลักษณะของป้ายจราจรแต่ละประเภทได้ง่าย รวมถึงผลต่อการมองเห็นอย่างชัดเจนและการสะท้อนแสงของป้ายจราจร องค์ประกอบสีของป้ายจราจรแต่ละประเภทแสดงดังนี้

1) ป้ายบังคับ

โดยทั่วไปใช้สีขาวเป็นสีพื้น เส้นขอบป้าย เส้นขีดเฉียงหากมีใช้สีแดง เครื่องหมาย สัญลักษณ์ ตัวเลข และตัวอักษรบนป้ายใช้สีดำ ยกเว้นดังนี้

- ป้ายห้ามจอด พื้นป้ายสีน้ำเงิน เส้นขอบป้ายและเส้นขีดกลางสีแดง
- ป้ายหยุด พื้นป้ายสีแดง เส้นขอบป้ายและตัวอักษรสีขาว
- ป้ายสุดเขตบังคับ พื้นป้ายสีขาว เส้นขอบป้ายและเส้นขีดกลางสีดำ
- ป้ายคำสั่ง พื้นป้ายสีน้ำเงิน เส้นขอบในและสัญลักษณ์สีขาว

2) ป้ายเตือน

โดยทั่วใช้สีเหลืองเป็นพื้น เส้นขอบป้าย เครื่องหมาย สัญลักษณ์ ตัวเลข และตัวอักษรบน ป้ายใช้สีดำ ป้ายเตือนที่เกี่ยวกับงานก่อสร้างและซ่อมบำรุงทางใช้พื้นสีส้ม เส้นขอบป้าย เครื่องหมาย สัญลักษณ์ ตัวเลข และตัวอักษรบนป้ายใช้สีดำ

3) ป้ายแนะนำ

ป้ายแนะนำโดยทั่วไปมี 4 แบบ ได้แก่

แบบที่ 1 พื้นป้ายสีขาว เส้นขอบป้าย เครื่องหมาย ตัวเลข ตัวอักษร และสัญลักษณ์บนป้ายใช้สีดำ

แบบที่ 2 พื้นป้ายสีน้ำเงิน เส้นขอบป้าย เครื่องหมาย สัญลักษณ์ ตัวเลข และตัวอักษรบนป้ายใช้สีขาวหรือสีอื่นที่กำหนดเฉพาะป้าย

แบบที่ 3 พื้นป้ายสีน้ำเงิน ภาพสัญลักษณ์สีน้ำเงินบรรจุในรูปสีเหลี่ยมจัตุรัสสีขาว เส้นขอบป้าย เครื่องหมาย สัญลักษณ์ ตัวเลข และตัวอักษรบนป้ายสีขาว (ป้ายแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติ)

แบบที่ 4 พื้นป้ายสีขาว ภาพสัญลักษณ์สีขาวบรรจุในรูปสีเหลี่ยมจัตุรัสสีน้ำตาล เส้นขอบป้าย เครื่องหมาย สัญลักษณ์ ตัวเลข และตัวอักษรบนป้ายสีน้ำตาล (ป้ายแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถาน)

ป้ายแนะนำชนิดพิเศษหรือใช้ติดตั้งบนทางหลวงพิเศษมี 2 แบบ ได้แก่ แบบที่ 1 และ 2 ดังนี้

แบบที่ 1 พื้นป้ายสีเขียว เส้นขอบป้าย เครื่องหมาย ตัวเลข ตัวอักษร และสัญลักษณ์บนป้ายใช้สีขาว หรือสีอื่นที่กำหนดเฉพาะป้าย

แบบที่ 2 พื้นป้ายสีน้ำเงิน เส้นขอบป้าย เครื่องหมาย ตัวเลข ตัวอักษร และสัญลักษณ์บนป้ายใช้สีขาว หรือสีอื่นที่กำหนดเฉพาะป้าย

2.1.1 การติดตั้งป้ายจราจร

- การติดตั้งป้ายจราจร โดยปกติทางหลวง 2 ช่องจราจร จะติดตั้งป้ายจราจรทางด้านซ้ายของผิวจราจรหรือผิวทาง (สนข., 2547)
- ป้ายจราจรทุกป้ายจะต้องติดตั้งเข้าหาทิศทางของยานพาหนะ โดยติดตั้งให้เอียงออกจากแนวตั้งฉากจราจรเล็กน้อยประมาณ 5 องศา เพื่อไม่ให้เกิดการสะท้อนแสงแบบกระจกเงาจากป้าย นอกจากนี้การติดตั้งป้ายตามทางโค้งจะต้องคำนึงถึงทิศทางการมองเห็นของผู้ขับขี่ด้วย
- ป้ายจราจรจะต้องติดตั้งให้อยู่ในแนวดิ่ง นอกจากในกรณีของทางขึ้นเขาหรือทางลงเขา แผ่นป้ายจราจรอาจจะติดตั้งทำมุมกับแนวดิ่งเล็กน้อย เพื่อช่วยให้ผู้ขับรถมองเห็นป้ายได้ชัดเจนยิ่งขึ้น
- เสาป้ายสำหรับการจราจรในทิศทางหนึ่ง ไม่ควรติดตั้งป้ายบังคับหรือป้ายเตือนเกิน 1 ป้าย ยกเว้น ป้ายเตือนความเร็วที่ใช้ติดตั้งร่วมกับป้ายเตือนอื่น ๆ การติดตั้งป้ายบังคับและป้ายเตือนร่วมกันจะต้องเป็นป้ายที่มีความหมายเสริมกัน

2.1.2 เสาป้ายจราจร

เสาป้ายจราจรจะต้องตอกหรือฝังลงในดิน ไม่โยกคลอนหรือบิดไปมาได้ ป้ายที่ติดตั้งถาวรควรเทคอนกรีตหรือยึดโคนเสาในระดับใต้ดินด้วย เสาป้ายจราจรสำหรับป้ายบังคับ ป้ายเตือน และป้ายหมายเลขทางหลวงให้ใช้เสาเดียว ส่วนป้ายแนะนำอื่นๆ และป้ายเตือนที่ใช้ข้อความมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้ใช้เสาคู่ (สนข., 2547)

การออกแบบป้ายแนะนำขนาดใหญ่ ต้องให้แข็งแรงพอที่จะรับแรงลมได้ ทั้งนี้ให้พิจารณาออกแบบเป็นรายๆไป

ป้ายจราจรในเขตชุมชนอาจทำการติดตั้งบนส่วนรองรับอื่นๆ ได้ เช่น บนเสาไฟสัญญาณ เสาไฟส่องสว่าง เสาโทรเลข ส่วนของสะพาน ฯลฯ ทั้งนี้เพื่อลดค่าใช้จ่าย และลดสิ่งกีดขวางบนทางเท้าให้น้อยลง แต่ทั้งนี้ต้องให้เป็นไปตามตำแหน่งที่ถูกต้อง และได้รับความยินยอมของหน่วยงานที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับสิ่งเหล่านั้นเสียก่อน

2.1.3 ความสูงของการติดตั้งป้ายจราจร

ป้ายจราจรที่ติดตั้งข้างทางนอกเมือง จะต้องสูงอย่างน้อย 1.50 เมตร แต่ถ้าติดตั้งป้ายประกอบหรือป้ายเสริมใต้ป้ายปกติ เช่น ป้ายแนะนำความเร็วให้ทางโค้งด้านหน้า ส่วนล่างของขอบป้ายเสริมต้องสูงจากผิวจราจรอย่างน้อย 1.20 เมตร (สนข., 2547)

สำหรับป้ายที่ติดตั้งบนถนนในเมืองหรือบนทางหลวงพิเศษ หรือในที่ซึ่งคาดว่าจะมีสิ่งกีดขวางระดับสายตา ส่วนล่างของป้ายอันล่างสุดที่เป็นป้ายเดียวหรือเกิน 1 ป้าย ที่ติดตั้งบนที่เดียวกันต้องสูงจากขอบผิวจราจรไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร ในกรณีที่ติดตั้งป้ายบนเสาไฟจราจรให้ติดตั้งข้างล่างเสาไฟจราจรได้

ป้ายเตือนแนวทางต่างๆ ซึ่งป้ายทำหน้าที่แสดงตำแหน่งอุปสรรคในเขตทางหลวง ป้ายที่ติดตั้งข้างทางความสูงของการติดตั้งให้สูงจากผิวจราจร 1.20 เมตร การติดตั้งที่เกาะกลางให้พิจารณาปรับลดลงได้

ป้ายที่ติดตั้งที่เกาะกลางถนนในเมือง อาจพิจารณาให้ลดความสูงลง เพื่อการมองเห็นที่ดีจากการสะท้อนแสงไฟหน้ารถในเวลากลางคืน

2.1.4 ระยะการติดตั้งทางขวางของป้ายจราจร

ป้ายจราจรที่ติดตั้งข้างทางบนทางหลวงนอกเมือง ระยะจากขอบป้ายจราจรที่ใกล้ที่สุดต้องห่างจากขอบป้ายทางเดินรถไม่น้อยกว่า 3.60 เมตร หรือห่างจากขอบไหล่ทาง 1.00 เมตร หรือห่างจากสันขอบทาง (Curbs) หรือราวกั้น (Guardrails) ไม่น้อยกว่า 0.6 เมตร (สนข., 2547)

เสาของโครงสร้างป้ายจราจรแขวนสูงต้องห่างจากขอบทางเดินรถอย่างน้อย 4.00 เมตร หรือห่างจากไหล่ทางอย่างน้อย 1.20 เมตร โดยให้ติดตั้งราวกันอันตรายไว้ด้วย

ในเขตเมืองที่มีพื้นที่จำกัดให้ระยะห่างจากขอบไหล่ทางหรือจากสันขอบทางถึงขอบป้ายด้านใกล้สุด 0.60 เมตร และถ้าจำเป็นอาจอนุโลมให้ห่างจากสันขอบทาง 0.30 เมตร

ป้ายที่ไม่มีประโยชน์ต่อการจราจรโดยตรง เช่น ป้ายบอกสถานที่ให้ติดตั้งห่างจากขอบทางเดินรถไม่น้อยกว่า 6.00 เมตร

ในกรณีที่ต้องใช้ราวกันอันตราย หรือกำแพงคอนกรีตเสาป้ายจราจรแขวนสูง ราวกั้นนั้นจะต้องห่างจากผิวจราจรอย่างน้อยที่สุดเท่ากับความกว้างผิวไหล่ทาง หรือห่างจากสันขอบทางอย่างน้อย 0.30 เมตร

2.1.5 ตำแหน่งการติดตั้งป้ายจราจร

บนทางหลวงนอกเมือง ป้ายจราจรสองป้ายที่มีวัตถุประสงค์แตกต่างกัน ไม่ควรจะติดตั้งห่างกันน้อยกว่า 60 เมตร ป้ายจราจรที่อยู่ใกล้กันเกินไปทำให้อ่านไม่ทัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะที่รถวิ่งด้วยความเร็วสูง ป้ายเตือนโดยปกติติดตั้งไว้ล่วงหน้า ก่อนที่จะถึงจุดที่ต้องการเตือนผู้ขับรถ สำหรับการติดตั้งป้ายบังคับ ให้ติดในที่ซึ่งต้องการบังคับหรือห้ามกระทำนั้น เช่น ป้ายหยุด ให้ติดตั้งให้ใกล้จุดที่ต้องการให้รถหยุดเท่าที่จะทำได้ ป้ายบังคับบางป้าย ให้ติดตั้งซ้ำเป็นช่วง ๆ ตลอดระยะทางที่ต้องบังคับนั้น ๆ

ระยะทางที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.2 เป็นผลรวมระหว่างระยะทางที่ใช้ในการลดความเร็วรถยนต์จนเหลือความเร็ว 40 กม./ชม. (โดยไม่ใช้ห้ามล้อ) และระยะทางที่ใช้ห้ามล้อจากความเร็ว 40 กม./ชม.จนถึงความเร็วที่ต้องการ และระยะทางรับรู้และปฏิบัติตาม กำหนดให้ช่วงเวลารับรู้และปฏิบัติตามเป็นเวลา 2.5 วินาที และระยะทางที่อ่านป้ายได้ 100 เมตร ที่ขนาดตัวอักษรสูง 20 เซนติเมตร ในที่นี้ระยะทางรับรู้และปฏิบัติตาม (เมตร) = $0.287 \times 2.5 \times V_{Prevailing\ speed}$

ตารางที่ 2.2 ระยะสำหรับติดตั้งป้ายจราจรเพื่อเตือนผู้ขับขี่

ความเร็วสำคัญ (กม./ชม.)	ความเร็วที่ให้ใช้ตรงจุดที่กำหนด (กม./ชม.)							
	หยุด	20	30	40	50	60	70	80
	ระยะทางสำหรับเตือนล่วงหน้า (เมตร)							
100	400	375	375	350	300	250	175	125
90	325	325	300	275	250	150	125	125
80	275	250	250	200	175	150	125	-
70	175	175	175	150	125	125	-	-
60	150	125	125	125	125	-	-	-
50	125	125	125	125	-	-	-	-
40	100	100	100	-	-	-	-	-
30	100	100	-	-	-	-	-	-

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (2547).

ระยะทางที่สามารถอ่านป้ายได้คิดจากขนาดตัวอักษรสูง 20 เซนติเมตร สำหรับป้ายจราจรซึ่งขนาดของตัวอักษรแตกต่างไปจากนี้ อาจจะใช้ระยะทางที่สามารถอ่านป้ายได้โดยประมาณเท่ากับ 10 เมตรต่อความสูงตัวอักษร 2.0 เซนติเมตร

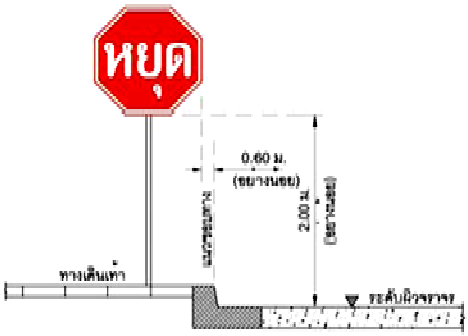
ขนาดของป้ายจราจรและเงื่อนไขการใช้ป้ายที่กำหนดโดย สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร ขึ้นอยู่กับประเภททางและความเร็วสำคัญ โดยมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขนาดป้ายและเงื่อนไขการใช้ป้ายจราจร (สนข., 2547)

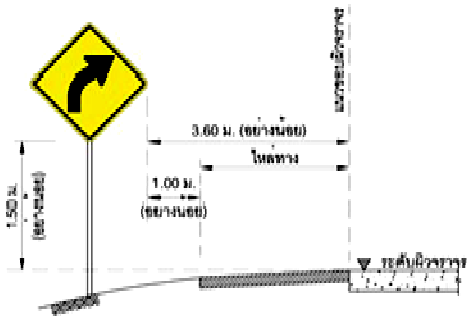
ขนาด (มม.)	เงื่อนไขการกำหนดขนาดป้าย ประเภททาง	ความเร็วสำคัญ (กม./ชม.)
≤450 (เล็กที่สุด)	ทางหลวงชนบทขนาดเล็กตรอกซอยหรือถนนในเมืองที่มีเขตทางจำกัดและการจราจรใช้ความเร็วต่ำ	≤40
600 (เล็ก)	ทางหลวงแผ่นดินเขตเมืองทางขนานทางหลวงชนบทชั้นที่ 2 และ 3 ทางหลวงเทศบาลชั้นที่ 1 ถึง 4 และทางหลวงสุขาภิบาลชั้นที่ 1 ถึง 3	≤60
750 (กลาง)	ทางหลวงแผ่นดินสายรองทางหลวงแผ่นดินสายรองระหว่างอำเภอทางหลวงชนบทถนนในเมืองมาตรฐานทางที่มีจำนวนช่องจราจรไม่เกิน 4 ช่องจราจร	≤80
900 (ใหญ่)	ทางหลวงแผ่นดินสายหลักและสายรองทางด่วนของการทางพิเศษและถนนสายหลักในเมืองและทางอื่นๆมาตรฐานทางเป็นทางคู่ (Divided Highway) หรือทางหลายช่องจราจรที่มีจำนวนช่องตั้งแต่ 4 ช่องจราจรขึ้นไป	≤90

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

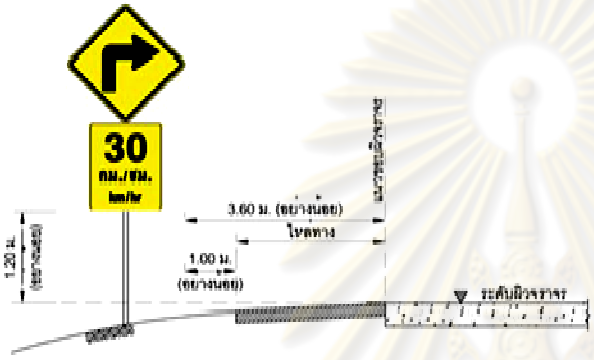
<u>เงื่อนไข</u> 1. การกำหนดขนาดป้ายถ้าเงื่อนไขตรงตามที่ระบุให้ใช้ขนาดป้ายตามที่ระบุ 2. ขนาดป้ายที่ระบุในตารางคือขนาดส่วนที่แคบที่สุดของป้าย 3. ในกรณีที่ไม่เป็นไปตามกำหนดเงื่อนไขที่ระบุข้างต้นให้กำหนดขนาดป้ายตามความเหมาะสมและอยู่บนพื้นฐานด้านวิศวกรรมจราจรและความปลอดภัยเป็นสำคัญ 4. ความเร็วสำคัญ (Prevailing Speed) คือ ความเร็ววิ่ง 85% ของยวดยานทั้งหมดใช้ความเร็วต่ำกว่ายวดยานนี้ความเร็วสำคัญสำหรับทางหลวงที่ออกแบบก่อสร้างใหม่ให้ใช้ความเร็วออกแบบ (Design Speed)



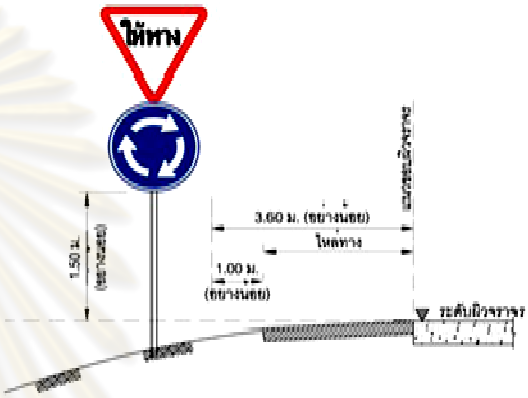
ก) ถนนในเมือง



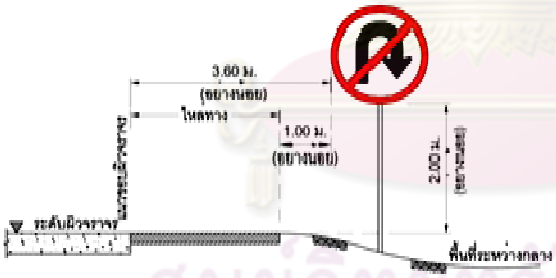
ข) ถนนนอกเมือง (ป้ายเดี่ยว)



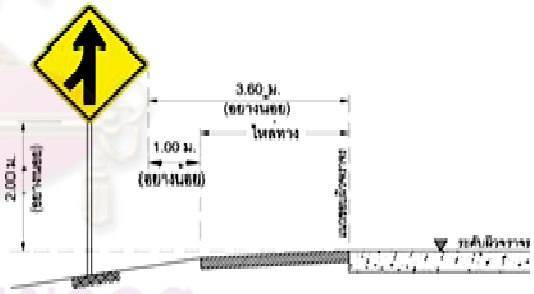
ค) ถนนนอกเมือง (ป้ายหลักติดตั้งร่วมป้ายประกอบ)



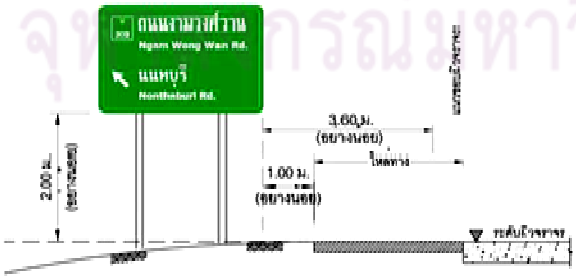
ง) ถนนนอกเมือง (ป้ายคู่)



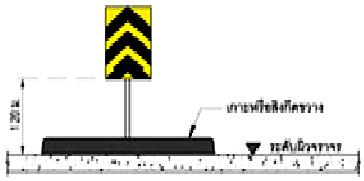
จ) ทางหลวงพิเศษ (ติดตั้งด้านขวา)



ฉ) ทางหลวงพิเศษ (ติดตั้งด้านซ้าย)



ช) ทางหลวงพิเศษ (ติดตั้งด้านซ้าย)



ซ) ระยะติดตั้งป้ายเตือนแนวทาง

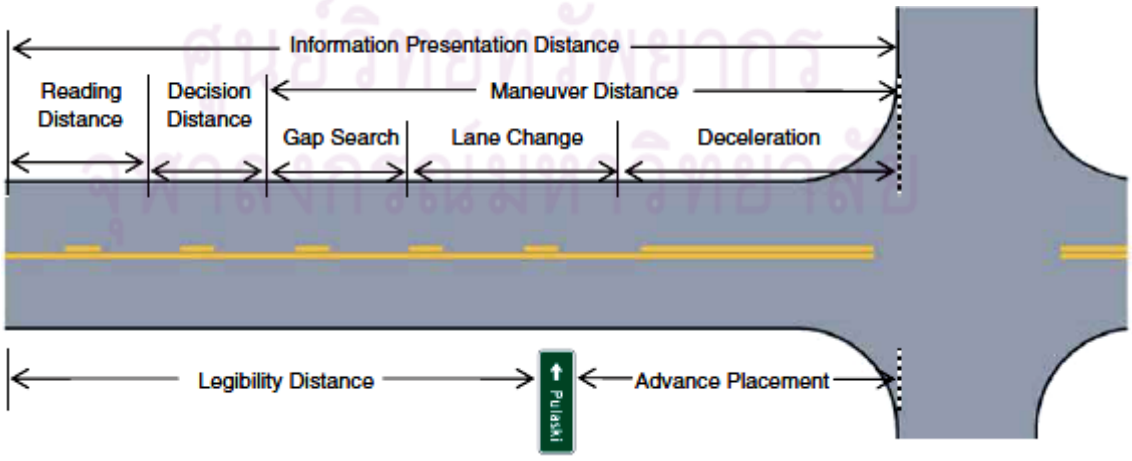
รูปที่ 2.2 ระยะการติดตั้งป้ายบริเวณข้างทาง

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (2547).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.6 ระยะการติดตั้งป้ายจราจร

การติดตั้งป้ายจราจรและขนาดความสูงของตัวอักษรข้อความบนป้ายเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องถูกหาในการพิจารณาติดตั้งป้ายจราจร กระบวนการหาค่าต่างๆเหล่านี้ได้ถูกระบุไว้ในคู่มือการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการจราจร (Traffic Control Devices Handbook, 2001) ซึ่งเป็นคู่มือในการหาตำแหน่งที่ติดตั้งป้ายจราจรที่เหมาะสม ตำแหน่งติดตั้งป้ายที่เหมาะสมจะพิจารณาจากระยะทางการนำเสนอข้อมูล (Information Presentation Distance) ซึ่งเป็นระยะทางทั้งหมดที่ผู้ขับขี่ต้องการในการรับรู้ข้อมูลก่อนถึงจุดทางเลือก (Choice Point) ในการดำเนินการขับขี่ เช่น จุดเข้าโค้ง ทางแยก การหยุด เป็นต้น ระยะทางนี้เป็นผลรวมของระยะการอ่าน (Reading Distance) ระยะการตัดสินใจ (Decision Distance) ระยะการเลือกปฏิบัติของผู้ขับขี่ (Maneuver Distance) ระยะการเลือกปฏิบัติของผู้ขับขี่ของผู้ขับขี่นั้นคือระยะในการกระทำอย่างใดอย่างหนึ่งของผู้ขับขี่เมื่อรับข้อมูลจากป้ายจราจรแล้ว เช่น การเว้นระยะห่าง (Gap Search) เปลี่ยนช่องจราจร (Lane Change) และช่วงเบรก (Deceleration) ระยะติดตั้งป้าย (Advance Placement) เป็นระยะห่างระหว่างป้ายและจุดทางเลือกในการดำเนินการขับขี่ ระยะนี้ในทางปฏิบัติวิศวกรเป็นผู้กำหนดความเหมาะสมในการติดตั้งป้ายจราจรเช่นติดตำแหน่งที่ไม่มีสิ่งกีดขวางสามารถมองเห็นได้ชัดเจน โดยระยะติดตั้งป้ายจะมีความสัมพันธ์กับระยะการมองเห็นและอ่านได้ของป้ายจราจร (Legibility Distance) ซึ่งเป็นระยะที่ผู้ขับขี่จะต้องมองเห็นและอ่านป้ายจราจรได้ ระยะทางนี้จึงมีความสำคัญเพราะเป็นระยะที่จะนำไปใช้ในการออกแบบขนาดความสูงตัวอักษรบนป้ายจราจรที่เหมาะสม ระยะต่างๆแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของระยะการมองเห็นและอ่านได้ในการออกแบบติดตั้งป้ายจราจร

ที่มา: Transportation Research Board (2010).

2.1.6.1 ระยะการอ่าน (Reading Distance)

ระยะทางการอ่านของผู้ขับขี่สามารถหาได้จากเวลาที่ผู้ขับขี่ต้องการเพื่อการอ่านข้อความหรือสัญลักษณ์บนป้ายจราจร โดยเวลาจะขึ้นอยู่กับจำนวนคำ จำนวนตัวเลข จำนวนสัญลักษณ์บนป้ายจราจรบอกข้อความ การคำนวณระยะการอ่านตามคู่มือการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการจราจร (Traffic Control Devices Handbook) ได้แนะนำวิธีการหา 2 วิธี วิธีแรกประกอบด้วย 3 ขั้นตอนโดยขั้นแรกคำนวณจากเวลาการอ่านพื้นฐานและเปรียบเทียบกับช่วงเวลาขั้นสองนำไปบวกเพิ่มและพิจารณาว่าคนขับระบุป้ายก่อนผ่าน แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 วิธีการคำนวณระยะเวลาการอ่านพื้นฐาน 3 ขั้นตอน (TRB, 2010)

Step 1	Step 2	Step 3
Base Reading Time (BRT)	**Are there more than 4 words?**	**Does the maneuver initiate before passing the sign?**
BRT (s) = 0.5*x* + 1*y* where: *x* = the number of critical words/ numbers in the message *y* = the number of critical symbols in the message	**Yes**: Add time based on the BRT 2 < BRT ≤ 4 Add 0.75 s 4 < BRT ≤ 6 Add 1.50 s 6 < BRT ≤ 8 Add 2.25 s …etc	**Yes**: Add 0 s
	No: Add 0 s	**No**: Add 0.5 s

นอกจากวิธีดังกล่าววิธีที่สองเป็นการคำนวณระยะการอ่านจากการศึกษาได้มีการประยุกต์ใช้ป้ายในเงื่อนไขความเร็วสูง คำนวณได้ดังสมการ หลังจากได้เวลาการอ่านจะแปลงเป็นระยะการอ่านโดยคูณกับค่าความเร็วการเดินทาง (Travel Speed)

$$\text{Reading Time (s)} = 0.31\ (\text{Number of Familiar Words}) + 1.94$$

2.1.6.2 ระยะการตัดสินใจ (Decision Distance)

ระยะการตัดสินใจเป็นระยะทางที่ผู้ขับขี่ต้องการเพื่อการตัดสินใจในการขับขี่หรือระบุการดำเนินการต่างๆที่เกิดขึ้น เนื่องจากหลังจากอ่านป้ายจราจรผู้ขับขี่จะต้องมีเวลาเพื่อทำการตัดสินใจประมาณ 1 วินาที ในการตัดสินใจกระทำแบบง่าย เช่น หยุด ลดความเร็ว เลือกหรือไม่เลือกจุดหมายปลายทางที่ป้ายบอก เป็นต้น และใช้เวลา 2.5 วินาทีในการตัดสินใจการดำเนินที่ซับซ้อน เช่น กรณีต้องตัดสินใจเลือกหลายทางแยก หลังจากได้เวลาการตัดสินใจสามารถแปลงเป็นระยะทางโดยคูณความเร็วการเดินทาง

2.1.6.3 ระยะการเลือกปฏิบัติของผู้ขับขี่ (Maneuver Distance)

ระยะการเลือกปฏิบัติของผู้ขับขี่คือระยะที่ผู้ขับขี่ต้องการเพื่อกระทำการบางอย่างในการขับขี่จากผลการตัดสินใจ โดยระยะนี้จะขึ้นอยู่กับทักษะการของผู้ขับขี่และความเร็วการขับขี่ ระยะการเลือกปฏิบัติของผู้ขับขี่ในการเปลี่ยนช่องจราจรพิจารณาความเร็วการขับขี่แสดงดังตารางที่ 2.5 ซึ่งจะประกอบด้วยระยะเว้นช่องว่าง ระยะการเปลี่ยนช่องจราจร และระยะลดความเร็วเบรก

ตารางที่ 2.5 ระยะของผู้ขับขี่ในการตัดสอนใจเปลี่ยนช่องจราจร (TRB, 2010)

Operating Speed (mi/h)	Gap-Search Distance (ft)	Lane Change Distance (ft)	Deceleration Distance (ft)
Non-Freeway Maneuver Distance Requirements			
25	66	139	77
35	92	195	154
45	119	251	257
55	145	306	385
Freeway Maneuver Distance Requirements			
55	218	306	308
65	257	362	462
70	277	390	549

2.1.6.4 ระยะการแสดงข้อมูลต่อผู้ขับขี่ (Information Presentation Distance)

ระยะการแสดงข้อมูลต่อผู้ขับขี่เป็นระยะทางรวมทั้งหมดจากจุดทางเลือก (Choice Point) ซึ่งเป็นจุดที่ผู้ขับขี่ต้องการในการรับรู้ข้อมูล ระยะทางนี้สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

Information Presentation Distance = Reading Distance + Decision Distance + Maneuver Distance

2.1.6.5 ระยะการมองเห็นและอ่านได้ (Legibility Distance)

ระยะการมองเห็นและอ่านได้เป็นระยะทางที่ป้ายจะต้องได้รับการมองเห็นและอ่านได้ชัดเจน โดยระยะนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วผู้ขับขี่และระยะติดตั้งป้ายที่ห่างจากจุดทางเลือก เช่น ทางแยก ระยะการมองเห็นและอ่านได้ของป้ายจราจรสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

Legibility Distance = Information Presentation Distance - Advance Placement

2.1.6.6 ระยะความสูงอักษรน้อยสุด (Minimum Letter Height)

ในการดำเนินการติดตั้งป้ายจราจรวิศวกรต้องดำเนินการออกแบบขนาดของอักษร ตัวเลข สัญลักษณ์ ข้อความ บนป้ายจราจรโดยเฉพาะขนาดความสูงของอักษรบนป้ายจราจรซึ่งมีผลต่อระยะการมองเห็นและอ่านได้ของป้ายจราจรในเวลากลางวัน โดยการออกแบบขนาดความสูง

อักษรบนป้ายจะพิจารณาจากค่าระยะการมองเห็นและค่าดัชนีการมองเห็น (Legibility index) ซึ่งมีค่าประมาณ 30 ฟุตต่อนิ้ว ระยะความสูงอักษรในการออกแบบแสดงดังสมการ

$$\text{Minimum Letter Height (in.)} = \frac{\text{Legibility Distance (ft)}}{\text{Legibility Index (ft/in)}}$$

จากประเภทของป้ายจราจรและลักษณะของสีที่ใช้แต่ละประเภทของป้ายที่กล่าวไปข้างต้นจะเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการบ่งบอกถึงความสำคัญของป้ายจราจรแต่ละประเภทในการศึกษาการสะท้อนแสง รวมถึงรูปแบบการติดตั้งป้ายจราจรที่อาจมีผลต่อการสะท้อนแสงในเวลากลางคืน ในส่วนต่อไปจะอธิบายองค์ความรู้ของการสะท้อนแสงของป้ายจราจรเพื่อศึกษาในงานวิจัย

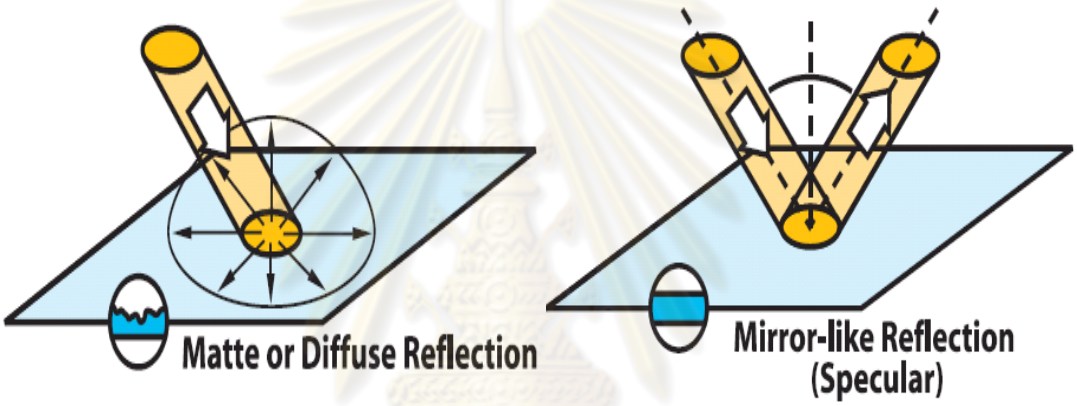
2.2 ทฤษฎีการสะท้อนแสงของป้ายจราจร

ป้ายจราจรโดยทั่วไปมีจุดประสงค์ในการติดตั้งเพื่อความปลอดภัยและแนวปฏิบัติที่เป็นแบบอย่างเดียวกันของผู้ขับขี่บนถนน ซึ่งป้ายจราจรจะติดตั้งทั้งบริเวณด้านข้างและด้านบนของถนนตามจุดประสงค์ที่เหมาะสม องค์ประกอบด้าน ขนาด รูปร่าง สี ของสัญลักษณ์และอักษรบนป้ายจราจรเป็นสิ่งสำคัญต่อการรับรู้ของผู้ขับขี่ โดยเฉพาะสภาพการมองเห็นในช่วงเวลากลางคืน ผู้ขับขี่จะมีความสามารถในการมองเห็นป้ายจราจรที่ต่ำเนื่องจากขาดแสงสว่างที่เพียงพอซึ่งแตกต่างจากสภาพเวลากลางวัน ซึ่งประด็นแรกที่ควรพิจารณาก็คือความส่องสว่างของป้ายจราจรมีความเพียงพอมากน้อยเพียงใดและควรเป็นอย่างไร รวมไปถึงความเข้มของพื้นหลังที่ซึ่งจะมองเห็นป้ายจราจรได้ชัดเจน ตำแหน่งที่ตั้งป้ายเทียบกับผู้ขับขี่ ขนาดของป้าย และระยะการมองเห็นป้ายในเวลากลางคืน ซึ่งทำให้ผู้ขับขี่มองเห็นป้ายจราจรที่แตกต่างกัน

เทคโนโลยีการใช้หลักการสะท้อนแสงของป้ายจราจรในปัจจุบันจึงเป็นส่วนสำคัญในการช่วยให้ป้ายจราจรสามารถมองเห็นในช่วงเวลากลางคืนได้ โดยที่การสะท้อนแสงของป้ายจราจรต้องมีความเพียงพอต่อความต้องการในการมองเห็นของผู้ขับขี่เพื่อความปลอดภัยในการขับขี่ การพิจารณาการสะท้อนแสงของป้ายจราจรมีความจำเป็นที่ต้องทราบถึงหลักการสะท้อนแสงเบื้องต้นของป้ายจราจรเพื่อทราบถึงองค์ประกอบการทำงานทางกายภาพของการสะท้อนแสง

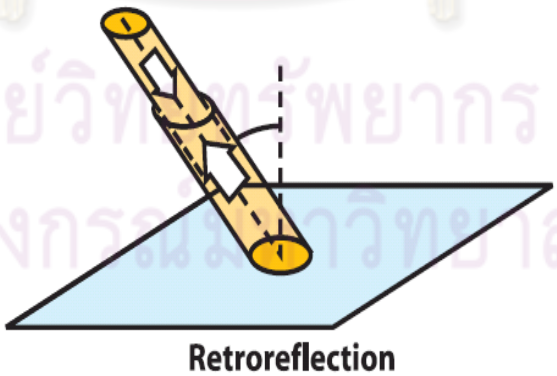
การสะท้อนแสง หมายถึง การที่แสงตกกระทบกับตัวกลางแล้วสะท้อนไปในทิศทางอื่นหรือสะท้อนกลับมาทิศทางเดิม การสะท้อนของแสงนั้นขึ้นอยู่กับพื้นผิวของวัตถุ ความเรียบ ความหยาบ โดยทั่วไปการสะท้อนแสงมีทั้งหมด 3 รูปแบบอันได้แก่ การสะท้อนแบบกระจาย (Matte or diffuse reflection) แสงที่ตกกระทบวัตถุหรือพื้นผิวจะแผ่กระจายออกบนพื้นผิวซึ่งจะพบในการ

สะท้อนของทุกพื้นผิว การสะท้อนบางช่วงของสเปกตรัม (Specular reflection) เป็นการสะท้อนแสงกลับในมุมที่เท่ากันของมุมตกกระทบและมุมสะท้อน ซึ่งจะสะท้อนบางสีสเปกตรัมในแต่ละมุม ซึ่งในสภาพการจราจรบนถนนอาจพบได้จากไฟรถที่มาในทิศทางตรงกันข้ามส่องบนถนนในสภาพฝนตกรถในทิศทางตรงกันข้ามจะพบแสงไฟส่องมายังรถของตนเอง และการสะท้อนแสงกลับ (Retroreflection) เป็นการสะท้อนของแสงกลับในทิศทางเดิม การสะท้อนแสงรูปแบบนี้ถือว่ามีความสำคัญในการขับขี่ในช่วงเวลากลางคืนเป็นอย่างมากเนื่องจากผู้ขับขี่จะเห็นป้ายจราจรสะท้อนแสงก็เนื่องด้วยการสะท้อนกลับหมดของแสงจากไฟด้านหน้ารถที่ส่องไปยังตัวป้าย โดยการสะท้อนแสงในแต่ละแบบมีเงื่อนไขการเกิดที่แตกต่างกัน รูปแบบการสะท้อนแสดงดังรูปที่ 2.4



(ก) การสะท้อนแบบกระจาย (Matte or diffuse reflection)

(ข) การสะท้อนบางช่วงของสเปกตรัม (Specular reflection)



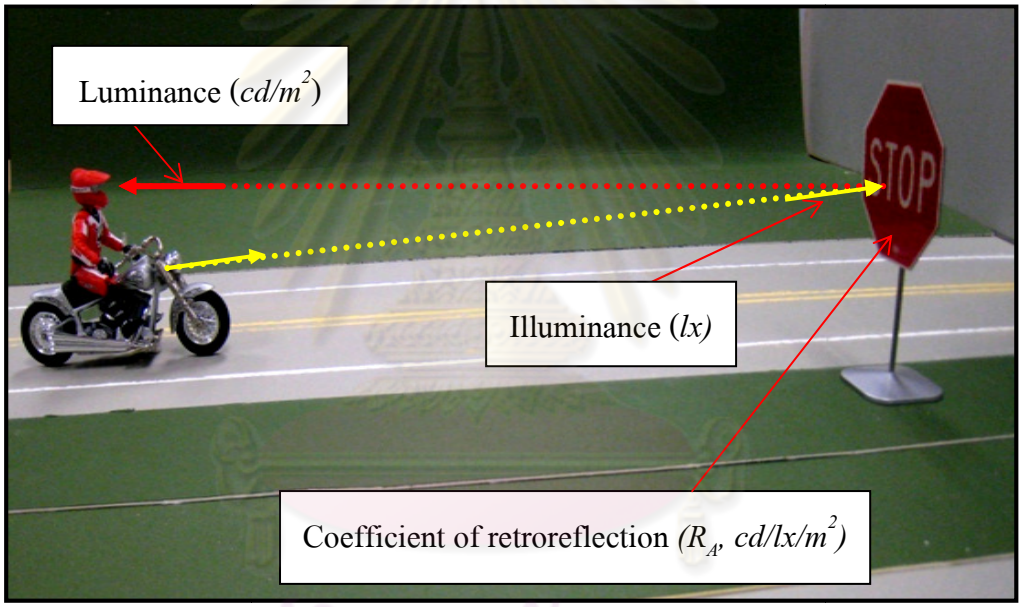
(ค) การสะท้อนแสงกลับ (Retro-reflection)

รูปที่ 2.4 ประเภทการสะท้อนแสง

ที่มา: Federal Highway Administration (2008).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวชี้วัดที่แสดงถึงการสะท้อนแสงกลับ (Retroreflection) คือ ค่าการสะท้อนแสง (Retroreflectivity) ซึ่งหาได้จากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Coefficient of retroreflection) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณของแสงที่ออกจากสิ่งตกกระทบ (ป้ายจราจร) ต่อปริมาณของแสงที่เข้าชนสิ่งตกกระทบ (ป้ายจราจร) เพื่อใช้วัดและอธิบายประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้เป็นสิ่งตกกระทบ (ป้ายจราจร) ในการสะท้อนแสง โดยปริมาณของแสงจากไฟรถที่กระทบป้ายจราจรและวัดที่ผิวป้ายจราจรจะเรียกว่าความส่องสว่าง (Illuminance, lx) และเมื่อแสงกระทบที่ป้ายจะให้การสะท้อนออกมาด้วยค่าการสะท้อนแสง (Retroreflectivity, R_A, cd/lx/m^2) จากนั้นแสงจะสะท้อนออกไปยังตาผู้ขับขี่จะเรียกว่าความสว่าง (Luminance, cd/m^2) ดังรูปที่ 2.5 กระบวนการสะท้อนแสงกลับจากไฟรถของผู้ขับขี่ไปยังป้ายและสะท้อนกลับมาสู่ตาผู้ขับขี่



รูปที่ 2.5 กระบวนการสะท้อนแสงกลับของป้ายจราจรจากไฟรถของผู้ขับขี่

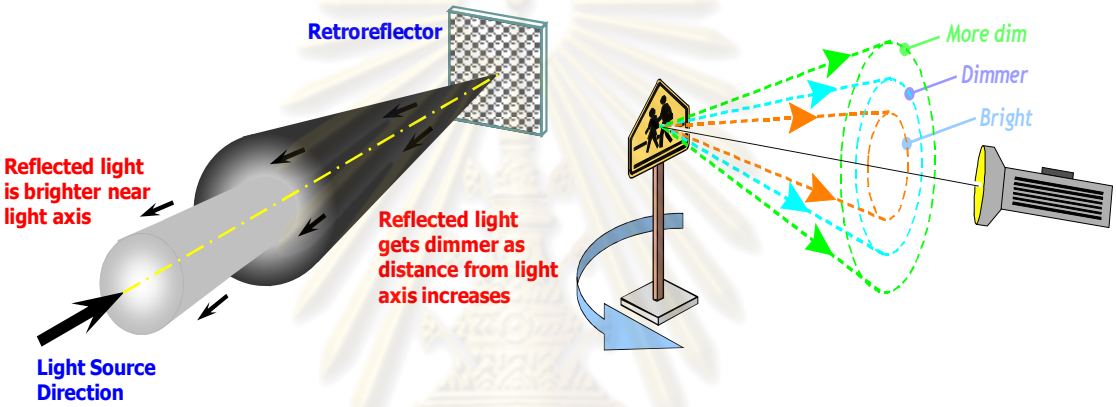
ที่มา: Federal Highway Administration (2008).

จากนิยามค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงข้างต้น สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Coefficient of retroreflection, R_A, cd/lx/m^2) พิจารณาได้จากสมการดังนี้

$$\text{Coefficient of retroreflection } (R_A, \text{cd/lx/m}^2) = \frac{\text{Luminance (cd/m}^2)}{\text{Illuminance (lx)}}$$

ทั้งนี้แสงสะท้อนจากป้ายมาสู่ตาผู้ขับขี่จะมีความสว่างมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแกนของแสงแหล่งกำเนิดที่ส่องไปยังป้ายจราจร โดยการสะท้อนกลับจะให้ความสว่างมากที่สุดที่แกนกลางของแสงแหล่งกำเนิดและระยะรัศมีในแนวโคนที่ห่างออกไปจากแกนจะมีความสว่าง

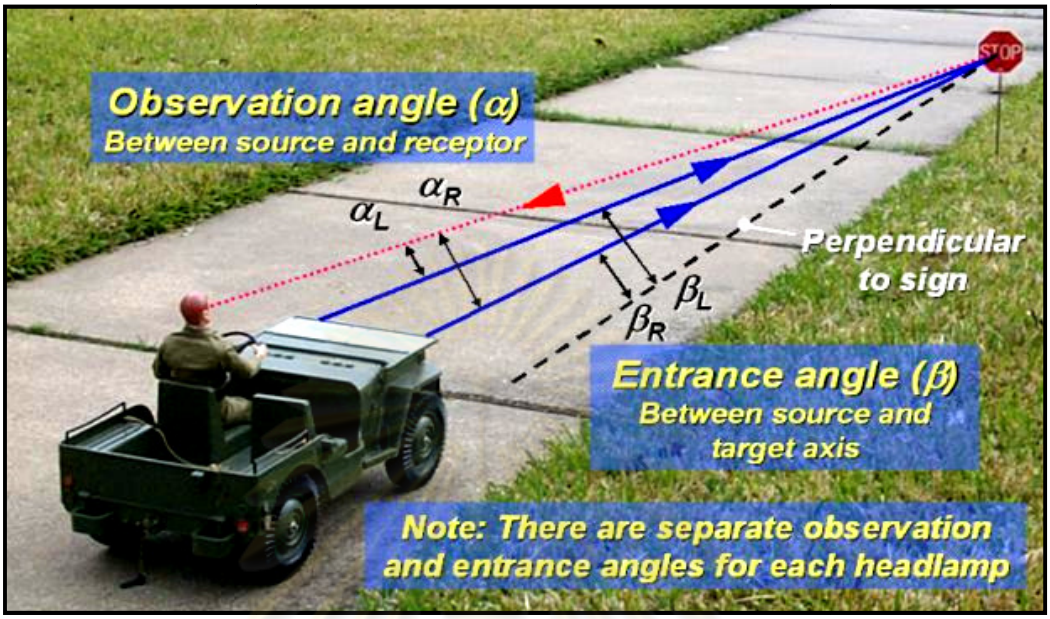
น้อยลงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 แสดงถึงความความสว่าง (Luminance) ของแสงสะท้อน เมื่อแหล่งกำเนิดแสงพุ่งเข้าสู่วัสดุสะท้อนแสงในแนวเส้นสีเหลืองจะสะท้อนแสงกลับความสว่างมากสุดในแนวเส้นทิศทางเดิม ความสว่างจะมากเมื่ออยู่ใกล้แกนของแหล่งกำเนิดแสง ระยะที่ห่างจากแกนของแหล่งกำเนิดแสงออกไปจะมีความสว่างที่น้อยลงไปจนถึงมืดในที่สุด ซึ่งหลักการทางกายภาพของแสงนี้บ่งชี้ว่าทิศทางของแหล่งกำเนิดแสงและแหล่งรับการสะท้อนแสงมีความสัมพันธ์ต่อค่าความสว่าง การกำหนดมุมระหว่างทิศทางของแหล่งกำเนิดแสงและแหล่งรับการสะท้อนของแสงจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องระบุในการวัดค่าการสะท้อนแสงกลับทุกครั้ง



รูปที่ 2.6 ความสว่างของการสะท้อนแสงกลับตามแนวรัศมี
ที่มา: Federal Highway Administration (2008).

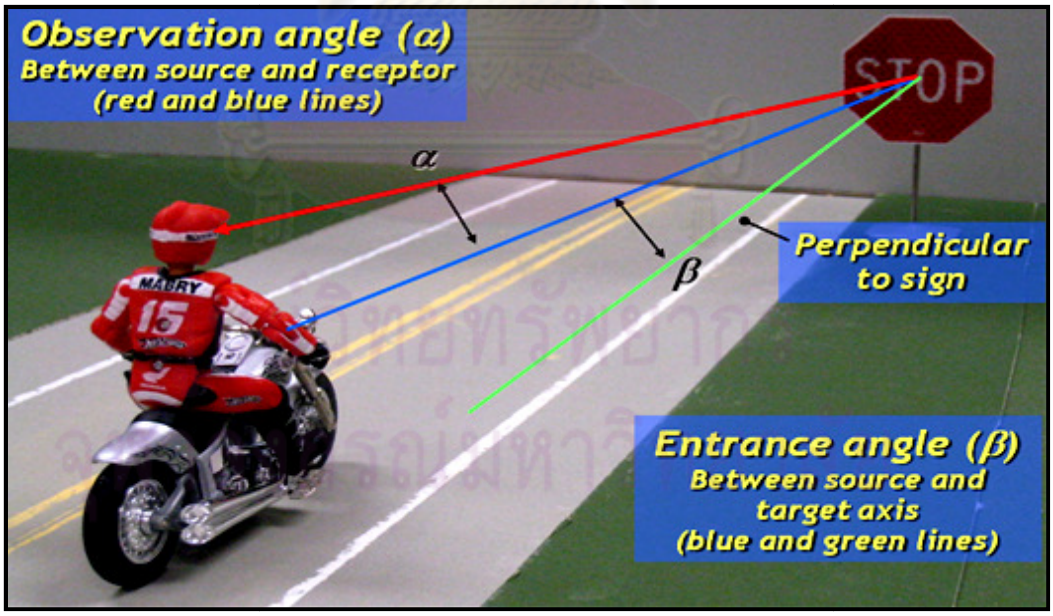
จากที่กล่าวมาข้างต้นเนื่องจากค่าการสะท้อนกลับขึ้นอยู่กลับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงและตำแหน่งของป้ายจราจร ดังนั้นในการวัดค่าการสะท้อนแสงจะต้องมีการกำหนดมุมที่ใช้ในการวัดค่า โดยได้มีการนิยามองค์ประกอบของมุมที่ใช้วัดค่าการสะท้อนแสงอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ มุมสังเกต (Observation angle) ซึ่งเป็นมุมระหว่างทิศทางของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงและทิศทางของแสงสะท้อนกลับมายังผู้ขับขี่ และมุมตกกระทบ (Entrance angle) เป็นมุมระหว่างเส้นแนวที่ตั้งฉากกับป้ายจราจรและแนวทิศทางของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงของผู้ขับขี่ ดังรูปที่ 2.7 และ 2.8 แสดงถึงมุมที่เกี่ยวข้องในการสะท้อนแสงของป้ายจราจร ประกอบด้วย มุมตกกระทบ (Entrance angle, β) เป็นมุมที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณแสงที่สะท้อนกลับเข้าสู่สายตาผู้ขับขี่ ค่ามุม α ที่เพิ่มขึ้นจำมีผลทำให้ปริมาณความสว่างลดลงซึ่งมีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรของผู้ขับขี่ และมุมสังเกต (Observation angle, α) เป็นมุมที่แสดงถึงระยะความเอียงของแหล่งกำเนิดแสงและป้ายจราจร ค่า

ของมุม β ที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อประสิทธิภาพการสะท้อนแสงของป้ายจราจรที่ต่ำลง เนื่องจากการให้แหล่งกำเนิดแสงในทิศทางที่ 180° กับแนวทิศทางป้ายจะให้การสะท้อนที่สูงที่สุด



รูปที่ 2.7 มุมที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าการสะท้อนแสงของยานยนต์ 2-headlamp

ที่มา: Federal Highway Administration (2008).



รูปที่ 2.8 มุมที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าการสะท้อนแสงของยานยนต์ 1-headlamp

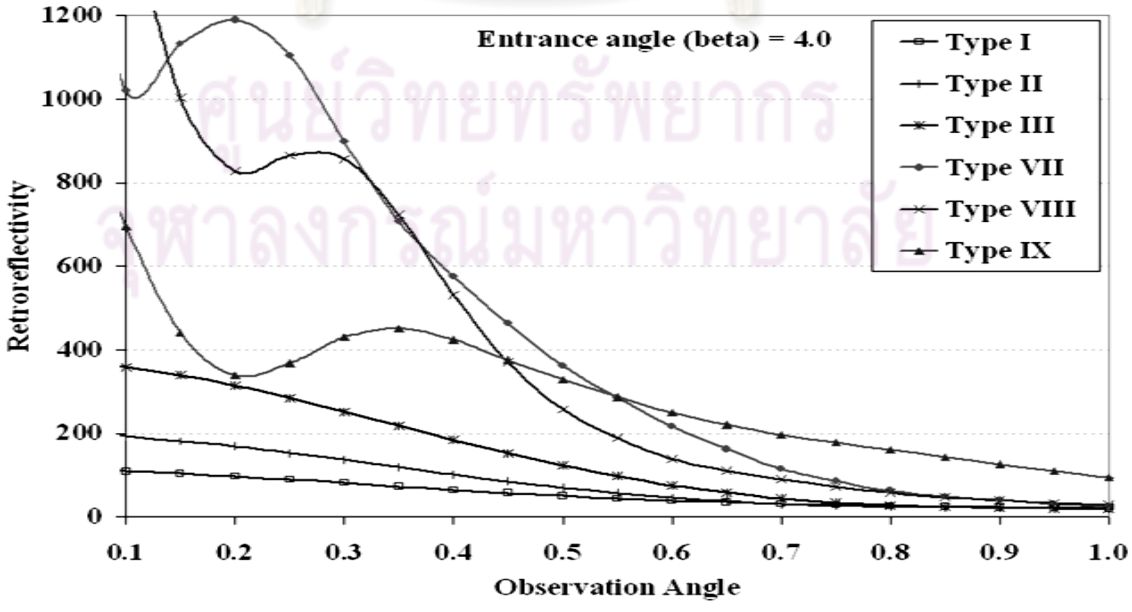
ที่มา: Federal Highway Administration (2008).

ในการวัดค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรจึงต้องกำหนดค่ามุมแต่ละประเภทให้เหมาะสม เพื่อสามารถนำค่าดังกล่าวมาพิจารณาเทียบกับค่าเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ตรวจสอบ ตารางที่ 2.6 แสดง

ถึงเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรขั้นต่ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามองค์ประกอบของมุมตกกระทบ (Entrance angle) และมุมสังเกต (Observation angle) แผ่นสะท้อนแสงชนิด ASTM Type III กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงตามมาตรฐาน ASTM D 4956 “Standard Specification for Retroreflective Sheeting for Traffic Control” จากตารางจะพบว่าค่าของมุมแสงเข้า และมุมสังเกตเพิ่มขึ้นเกณฑ์ค่าสัมประสิทธ์การสะท้อนแสงจะต่ำลงไป ทำนองเดียวกับรูปที่ 2.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่มุมสังเกต (Observation Angle) ต่างๆแบ่งตามประเภทป้ายจราจรที่มุมตกกระทบ (Entrance angle 4°) พบว่าที่แต่ละระดับการให้แสงสว่างจากไฟหน้ารถใดๆ ค่าการสะท้อนแสงจะลดลงเมื่อค่ามุมสังเกตเพิ่มขึ้นป้าย Type I-III จะลดลงด้วยอัตราที่ต่ำกว่าป้าย Type VII-IX ซึ่งค่าลดลงในอัตราที่สูงและแปรปรวนขึ้นลงบางมุม

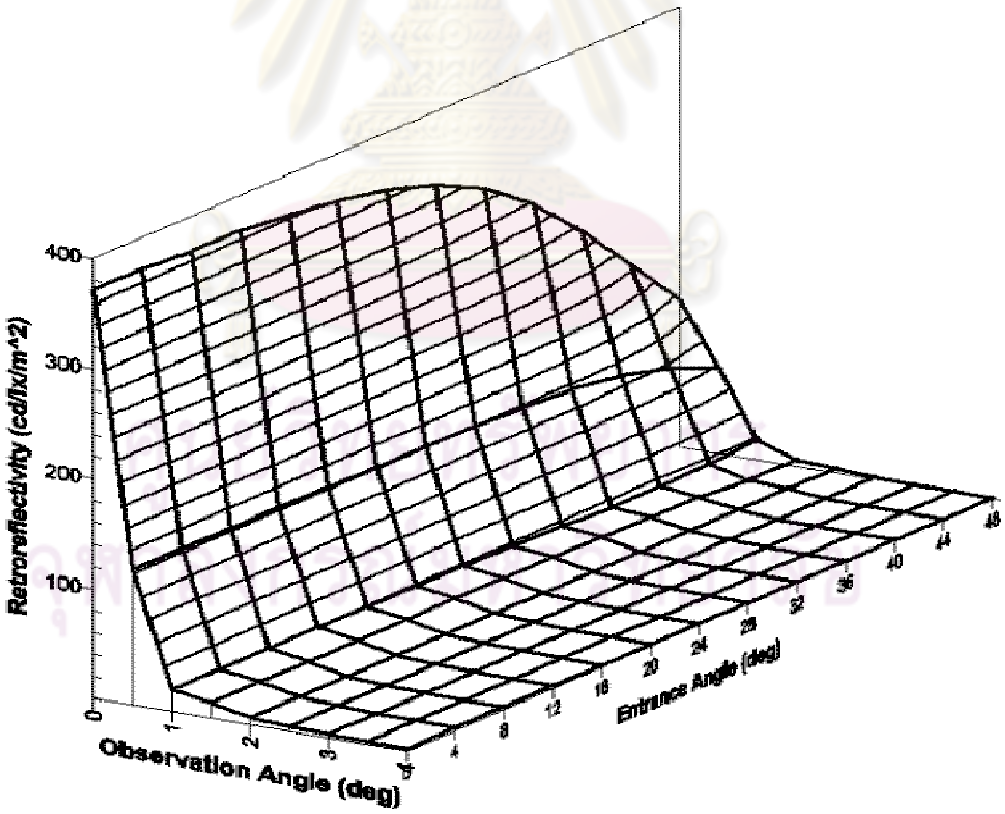
ตารางที่ 2.6 เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำและองค์ประกอบค่ามุม (ASTM, 2008)

Observation angle	Entrance angle	White	Yellow	Orange	Green	Red	Blue	Brown
0.1°	-4°	300	200	120	54	54	24	14
0.1°	+30°	180	120	72	32	32	14	10
0.2°	-4°	250	170	100	45	45	20	12
0.2°	+30°	150	100	60	25	25	11	8.5
0.5°	-4°	95	62	30	15	15	7.5	5
0.5°	+30°	65	45	25	10	10	5	3.5



รูปที่ 2.9 ค่าการสะท้อนแสงที่มุมสังเกตต่างๆแต่ละประเภทป้ายจราจร (FHWA, 2002)

จากการศึกษาในต่างประเทศในด้านความสัมพันธ์ระหว่างมุมสังเกต และมุมตกกระทบ โดยเฉพาะป้ายจราจรประเภทที่ III ASTM Type III พบว่าค่าของมุมสังเกต และมุมตกกระทบส่งผลต่อค่าการสะท้อนของป้ายที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.10 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างมุมทั้งสองประเภทและค่าการสะท้อนแสงจากกราฟเชิง 3 มิติ จะเห็นได้ว่าผลของมุมสังเกตมีผลต่อการลดค่าการสะท้อนแสงที่มากกว่ามุมตกกระทบอย่างมีนัยสำคัญ อัตราการลดค่าการสะท้อนแสงจะมากถ้ามุมสังเกตเพิ่มมากขึ้นเพียงไม่กี่องศาและค่ามุมตกกระทบต้องเพิ่มมากขึ้นจนระดับหนึ่งจึงจะมีผลต่อการลดลงของค่าการสะท้อนแสง นั่นจึงเป็นสาเหตุที่ในการทดสอบจะมีการระบุมุมทั้งสองประเภทให้แน่นอนและมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการทดสอบวัสดุโดยที่อาจให้ความสัมพันธ์กับมุมตกกระทบที่น้อยลงไป แต่อย่างไรก็ตามจากกราฟความสัมพันธ์เป็นการทดสอบจากป้ายจราจรประเภทที่ III ป้ายจราจรประเภทอื่นอาจให้ผลที่แตกต่างออกไปได้ รวมถึงกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นผลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งอาจให้ผลที่แตกต่างกันต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่จากการขับขี่บนถนนในช่วงเวลากลางคืนจึงเป็นประเด็นที่ต้องทำการศึกษาต่อไปภายหน้า



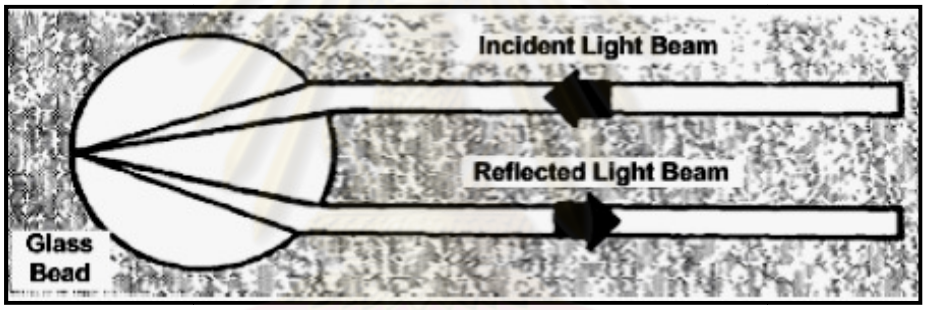
Retroreflectivity values are for a Type III (high intensity) material.

รูปที่ 2.10 ค่าการสะท้อนแสงที่มุมสังเกตและมุมตกกระทบ ของป้ายจราจร Type III

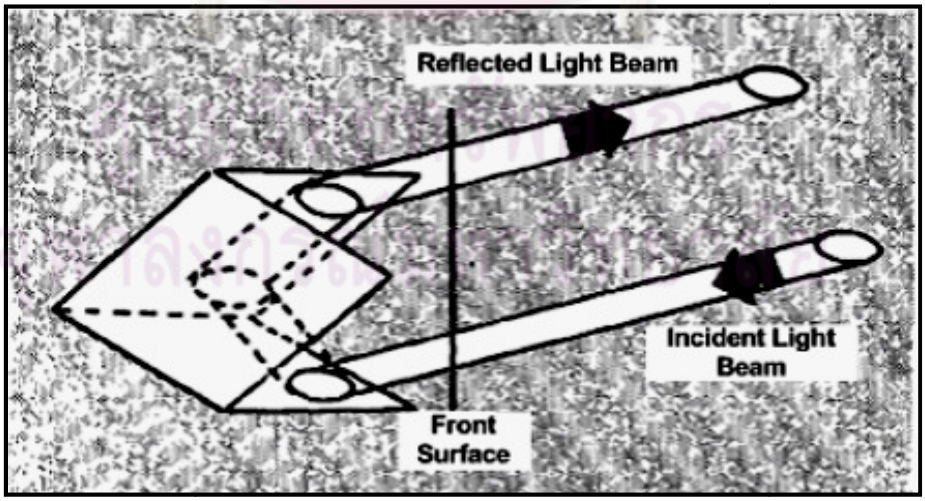
ที่มา: Federal Highway Administration (2008).

2.3 วัสดุและประเภทป้ายจราจรสะท้อนแสง

วัสดุที่ใช้ทำป้ายจราจรสะท้อนแสงมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปเป็นวัสดุประเภทสีเทอร์โมพลาสติก วัสดุที่ใช้ทำเครื่องหมายจราจรจะช่วยให้ผู้ใช้รถใช้ถนนมองเห็นในเวลากลางวัน แต่ในเวลากลางคืนสิ่งสำคัญที่ทำให้เครื่องหมายจราจรเหล่านี้สามารถมองเห็นได้ชัดเจนแม้ในระยะไกล ได้แก่ วัสดุสะท้อนแสง (Retroreflective Material) ซึ่งจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ การใช้อนุภาคเม็ดแก้วกลม (Spherical Reflector) และอนุภาคปริซึมรูปเหลี่ยม (Prismatic or cube-corner reflector) รูปแบบวัสดุช่วยในการสะท้อนแสงทั้งสองประเภทนี้จะยึดเกาะอยู่ที่ผิวด้านบนของป้ายจราจรสะท้อนแสง ดังรูปที่ 2.11 แสดงถึงหลักการทำงานของวัสดุสะท้อนแสงทั้งสองประเภทในการสะท้อนแสงจากแหล่งกำเนิดแสงกลับไปยังตัวรับแสงสะท้อนหรือแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางเดิม



(ก) อนุภาคเม็ดแก้วกลม (Spherical Reflector)



(ข) อนุภาคปริซึมรูปเหลี่ยม (Prismatic or cube-corner reflector)

รูปที่ 2.11 หลักการของวัสดุสะท้อนแสงโดยทั่วไป (McGee และ Paniati, 1998)

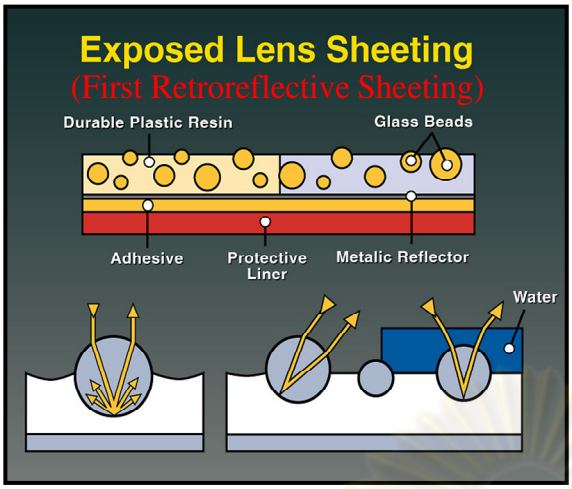
การทำงานของอนุภาคเม็ดแก้วกลม (Spherical Reflector) ในการสะท้อนแสงอาศัยหลักการเมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดกระทบอนุภาคจะหักเหเข้าสู่ตัวกลางของเม็ดแก้วกลมและกระทบพื้นผิวอนุภาคภายในเม็ดแก้วอีกครั้งโดยจะสะท้อนขนาดมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนจากนั้นจะกระทบอนุภาคเม็ดแก้วกลมอีกครั้งและหักเหออกสู่แหล่งกำเนิดแสงเดิม ในส่วนของการทำงานของอนุภาคปริซึมรูปเหลี่ยม (Prismatic or cube-corner reflector) จะมีลักษณะเดียวกันแต่จะเกิดการสะท้อนในปริซึมหลายครั้งก่อนที่แสงจะออกไปสู่ทิศทางของแหล่งกำเนิดแสงเดิม

ประเภทของวัสดุสะท้อนแสงที่ใช้ในการทำป้ายจราจรสะท้อนแสงแบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ Enclosed glass beads, Encapsulated glass beads, และ Prismatic โดยแต่ละประเภทจะมีลักษณะที่แตกต่างกันทั้งหลักการและวัสดุองค์ประกอบ ในระยะแรกประเภทวัสดุการสะท้อนแสงมีลักษณะอนุภาคทรงกลมสะท้อนแสงฝังตัวเกินออกมาที่ผิวด้านนอกที่เรียกว่า Exposed Lens Sheeting ซึ่งมีข้อด้อยกว่าประเภทอื่นคือเมื่อมี ฝุ่นละออง น้ำ เกาะที่ผิววัสดุจะมีผลต่อการหักเหและการสะท้อนของแสงซึ่งจะไม่สะท้อนกลับไปในทิศทางเดิม ดังรูปที่ 2.12 (ก)

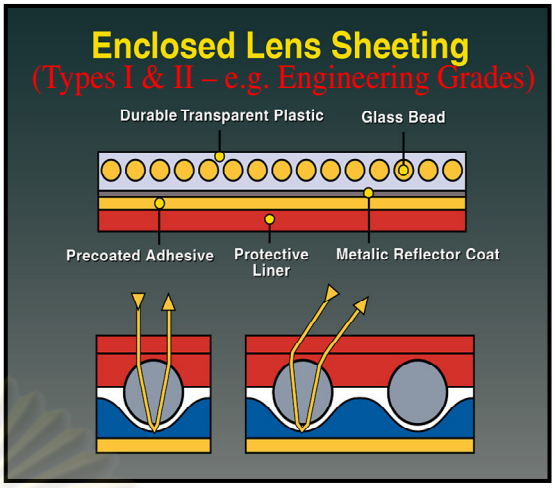
- Enclosed Lens Sheeting วัสดุสะท้อนแสงประเภทนี้มีการพัฒนาจาก Exposed Lens Sheeting โดยอนุภาคทรงกลมสะท้อนแสงจะไม่เกินออกมาที่ผิวแต่จะฝังไว้ในแผ่นพลาสติกชนิดทนทานแทนเพื่อป้องกันฝุ่นละออง น้ำ เกาะที่ผิวที่มีผลต่อการสะท้อนแสงกลับ โดยวัสดุสะท้อนแสงประเภทนี้จัดอยู่ตามการจำแนกของ ASTM เป็น Type I และ Type II (Engineering grade (EG), Super engineer grade (SEG)) ดังรูปที่ 2.12 (ข)

- Encapsulated Lens Sheeting อนุภาคทรงกลมสะท้อนแสงถูกติดตั้งในช่องเชื่อมกับวัสดุรองและเว้นช่องว่างอากาศไว้ เคลือบปิดทับด้วยแผ่นพลาสติกความทนทานสูง การสะท้อนแสงกลับความเข้มสูงกว่าประเภท Exposed Lens Sheeting และ Enclosed Lens Sheeting ตามการจำแนกของASTM เป็น Type III (High intensity (HI)) ดังรูปที่ 2.12 (ค)

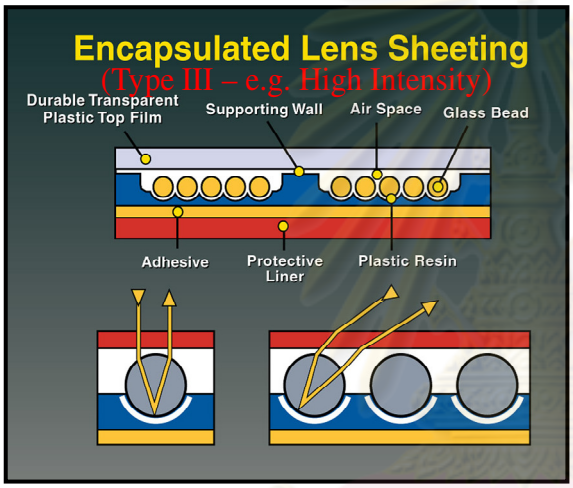
- Prismatic Lens Sheeting เป็นแผ่นสะท้อนแสงที่ใช้ปริซึมรูปเหลี่ยมโดยมีลักษณะองค์ประกอบวัสดุและการทำงานไม่แตกต่างจาก Encapsulated Lens Sheeting โดยมีการใช้ปริซึมรูปเหลี่ยมแทนที่อนุภาคทรงกลมสะท้อนแสงและแผ่นเคลือบด้านนอกเป็นอะคลิลิค แผ่นสะท้อนแสงประเภทนี้จัดอยู่ ASTM เป็น Type IV- X (High intensity (HI), Very-high-intensity (VHI), Super-high-intensity (SHI)) แสดงดังรูปที่ 2.12 (ง)



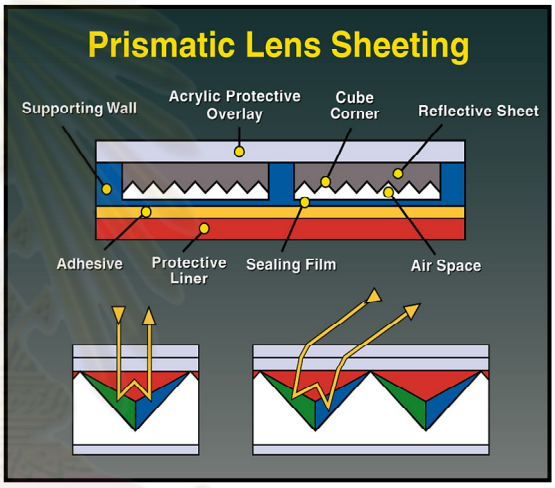
(ก) Exposed Lens Sheeting



(ข) Enclosed Lens Sheeting



(ค) Encapsulated Lens Sheeting



(ง) Prismatic Lens Sheeting

รูปที่ 2.12 ประเภทวัสดุสะท้อนแสงและหลักการทำงาน (FHWA, 2008)

มาตรฐาน ASTM specification D4956 (2007) ได้กำหนดประเภทป้ายจราจรสะท้อนแสงเพื่อการใช้งานและการทดสอบ โดยจำแนกชนิด ประเภทวัสดุ การแนะนำ และการนำไปประยุกต์ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 2.7 เพื่อนำไปใช้ทำป้ายจราจรที่มีคุณสมบัติการสะท้อนแสงได้ในเวลากลางคืน วัสดุที่ใช้ในการทำป้ายจราจรจะมีหลายชนิดที่ใช้เรียกกันโดยขึ้นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทำป้ายจราจร Engineering grade (EG) จะใช้วัสดุที่เป็นเม็ดแก้วที่สะท้อนแสงสูง Super engineer grade (SEG) จะใช้วัสดุที่เป็นเม็ดแก้วที่สะท้อนแสงสูงฝังในเลนส์พลาสติกช่วยสะท้อนแสง High intensity (HI) จะใช้วัสดุที่เป็นเม็ดแก้วที่สะท้อนแสงสูงแต่จะมีผ่านเลนส์พลาสติกเคลือบผิวด้านบน Microprismatic (MP) จะใช้วัสดุปริซึมแก้วเล็กๆฝังเคลือบด้วยผิวพลาสติกเพื่อการสะท้อนแสง Delineators จะเป็นแผ่นเหล็กที่จะใช้วัสดุปริซึมแก้วเล็กๆฝังเคลือบ

ด้วยผิวพลาสติกเพื่อการสะท้อนแสงบอกทิศทางข้างทาง Roll-up เป็นป้ายสะท้อนแสงที่ทำโดยพลาสติกใช้วัสดุปริซึมแก้วเล็กๆฝังเคลือบด้วยผิวพลาสติกเล็กๆ โดยทั่วไปเรียกประเภทป้ายดังนี้

- Engineering grade (EG) -ASTM Type I
- Super engineer grade (SEG) -ASTM Type II
- High intensity (HI) -ASTM Type III
- Microprismatic (MP) -ASTM Types III, IV, VII, VIII, IX, X
- Delineators -ASTM Type V
- Roll-up -ASTM Type VI

ตารางที่ 2.7 ประเภทป้ายจราจรสะท้อนแสงตามมาตรฐาน ASTM (ASTM, 2008)

ASTM Type	ASTM Description	Typical Construction	Suggested Use	Typical Applications
I	Medium intensity	enclosed lens	none provided	permanent highway signing, construction zone devices, and delineators
II	Medium high-intensity	enclosed lens	none provided	permanent highway signing, construction zone devices, and delineators
III	High-intensity	encapsulated glass beads	none provided	permanent highway signing, construction zone devices, and delineators
IV	High-intensity	microprismatic	none provided	permanent highway signing, construction zone devices, and delineators
V	High-intensity	metalized microprismatic	none provided	delineators
VI	Elastomeric high-intensity	vinyl microprismatic	none provided	orange temporary roll-up warning signs, traffic cone collars, and post bands

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 ประเภทป้ายจราจรสะท้อนแสงตามมาตรฐาน ASTM (ASTM, 2008) (ต่อ)

ASTM Type	ASTM Description	Typical Construction	Suggested Use	Typical Applications
VII	Super-high-intensity	microprismatic	medium and long road distances	permanent highway signing, construction zone devices, and delineators
VIII	Super-high-intensity	microprismatic	medium and long road distances	permanent highway signing, construction zone devices, and delineators
IX	Very-high-intensity	microprismatic	short road distances	permanent highway signing, construction zone devices, and delineators
X	Super-high-intensity	microprismatic	medium road distances	permanent highway signing, construction zone devices, and delineators

ที่มา: Standard Specification for Retroreflective Sheeting for Traffic Control, ASTM specification D4956 (2008).

ประเภทป้ายจราจรสะท้อนแสงที่ใช้ในประเทศไทยในปัจจุบันมีความหลากหลายในการใช้ขึ้นอยู่กับหน่วยงาน โดยเฉพาะหน่วยงานของรัฐที่ดูแลด้านโครงสร้างพื้นฐานการขนส่งทางถนน ได้แก่ กรมทางหลวง (ทล.) และกรมทางหลวงชนบท (ทช.) โดยทั้งสองหน่วยงานได้ใช้แผ่นป้ายจราจรสะท้อนแสงเพื่อความปลอดภัยในปัจจุบันเป็น 2 แบบ สติกเกอร์สะท้อนแสง ได้แก่ อนุภาคเม็ดแก้วกลม (Spherical Reflector) และอนุภาคปริซึมรูปเหลี่ยม (Prismatic or cube-corner reflector) โดยประเภทป้ายจราจรสะท้อนแสงที่ใช้อ้างอิงจากมาตรฐาน มอก. และ ASTM โดยประเภทที่ป้ายจราจรใช้ในปัจจุบันได้แก่ ป้ายจราจรสะท้อนแสงแบบที่ 1 (ASTM Type I) แบบที่ 3 (ASTM Type III) แบบที่ 4 (ASTM Type IV) และแบบที่ 9 (ASTM Type IX) ใช้ทั้งป้ายจราจรข้างทางและป้ายจราจรแขวนสูง แต่ละประเภทจะแตกต่างกันด้านระดับการสะท้อนแสงกลับออกจากแผ่นป้ายซึ่งแผ่นป้ายจราจรประเภทสูงกว่าจะมีระดับการสะท้อนแสงสูงกว่า และเหมาะกับจุดที่สำคัญต่อความปลอดภัยบนถนนของผู้ขับขี่ที่แตกต่างกัน

2.4 การประเมินการสะท้อนแสงของป้ายจราจร

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา McCormack (1986) ได้ศึกษาและประเมินวิธีการวัดป้ายจราจรสะท้อนแสง เนื่องจากป้ายจราจรอาจถูกปัจจัยต่างๆทำให้ความสามารถในการสะท้อนแสงลดน้อยลงในเวลากลางคืน ดังนั้นวิธีในการตรวจสอบการสะท้อนแสงของป้ายจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญต่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่บนถนน โดยงานวิจัยนี้ได้สำรวจและอธิบายวิธีการวัดค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรรวมถึงการพิจารณาวิธีการวัดที่เหมาะสม โดยในปัจจุบันวิธีการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรแบ่งเป็น 3 วิธี ได้แก่

- การใช้คนสำรวจ (Human observers)
- การวัดโดยเครื่องมือ (Measuring Instruments)
- การใช้คนและเครื่องมือสำรวจร่วมกัน (Observers and Instruments)

วิธีที่ง่ายที่สุดในการวัดค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรคือการใช้คนสำรวจ (Human observers) โดยผู้สำรวจจะทำการประเมินป้ายจราจร แต่การสำรวจด้วยวิธีนี้จะได้ค่าความถูกต้องที่ไม่แน่นอน การใช้วิธีการวัดโดยอุปกรณ์วัดค่าการสะท้อนแสงแบบพกพาจะให้ค่าความถูกต้องมากกว่า แต่จะใช้เวลานานและมีความยุ่งยากกว่าในการวัด วิธีสุดท้ายเป็นการผนวกรวมเอาการใช้คนสำรวจและการใช้เครื่องมือสำรวจเข้าด้วยกันโดยวิธีนี้จะถูกจำกัดในการตรวจสอบขนาดตัวอย่างที่มากจะให้ผลที่คลาดเคลื่อนได้เนื่องจากต้องแปลความหมายข้อมูลจากเทปบันทึกมาก ตารางที่ 2.8 แสดงวิธีในการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงและข้อจำกัดต่างๆของแต่ละวิธีการสำรวจ

ตารางที่ 2.8 วิธีการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงและข้อจำกัดต่างๆ (McCormack, 1986)

Measurement Method	Special Equipment Needed	Stop Required at Each Sign	Limited to Use at Night	Accuracy Verified
Observer	No	Varies	Yes	No
Instrument	Yes	Yes	No Generally	No Generally
Observers and Instruments	Yes	No	Yes	No

ในส่วนต่อไปจะเป็นการรวมรวมผลการศึกษาและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับวิธีในการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรโดยเครื่องมือพกพา (Portable Measuring Systems) ซึ่งจะทำให้ทราบลักษณะการประเมินและความถูกต้องในการประเมินโดยวิธีนี้

2.4.1 การวัดโดยเครื่องมือพกพา (Portable Measuring Systems)

การทดลองหาค่าการสะท้อนแสงในห้องทดลองสามารถทำได้ง่ายแต่ในการวัดค่าการสะท้อนแสงจะทำได้ยาก เครื่องมือวัดค่าการสะท้อนแสงแบบพกพาจึงมีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากกว่า โดยในอดีตมีการศึกษาเครื่องมือวัดค่าการสะท้อนแสงแบบพกพาในประเด็นต่างดังนี้

การศึกษาของ Rector (1968) ได้ทดสอบเครื่องมือวัดค่าแสง (Photometer) แบบพกพาโดยการจำลองสภาพทางเรขาคณิตของถนนและแสงสว่างเพื่อการออกแบบเครื่องมือวัดแสงแบบพกพาที่ใช้ทดสอบหาค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ทำผิวป้ายจราจร โดยได้มีการเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จาก Photometer กับการทดสอบค่าสะท้อนแสงในห้องปฏิบัติการมืดและค่าอันดับจากการทดสอบโดยผู้สำรวจที่มีต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจรของถนนในสภาพกลางคืนในสนามจริง ผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของค่าที่ได้จากการทดสอบเครื่องมือวัดค่าแสง (Photometer) กับการทดสอบในห้องปฏิบัติการมืดและการทดสอบโดยผู้สำรวจมีค่าที่สูงและเข้าใกล้ 1 ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการทดสอบเครื่องมือวัดแสงกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการมืด และการทดสอบโดยผู้สำรวจ (Rector, 1968)

Item	Sign Colors				
	Siler	Yellow	Red	Green	Blue
0.2 deg divergence:[1]					
Visual ranking	0.87	0.78	0.98	1	0.99
Darkroom	0.98	0.99	0.99	0.99	0.97
0.5 deg divergence:[2]					
Visual ranking	1	0.9	1	1	1
Darkroom	0.98	0.89	0.99	0.99	0.82
Sample Size	6	5	5	4	6

1. Corresponds to a viewing distance of 600 feet. 2. Corresponds to a viewing distance of 300 feet.

จากการทดลองข้างต้นทำให้ทราบว่าเครื่องมือวัดค่าแสงแบบพกพาให้ค่าการทดสอบค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรที่ไม่แตกต่างกับการทดสอบโดยวิธีอื่นๆมากอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับเครื่องมือจึงสามารถประเมินค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรได้

Williams (1974) ได้เสนอเครื่องมือวัดค่าการสะท้อนแสงกลับ (Retro-reflectometer) โดยสามารถวัดได้ทั้งในตอนกลางวันละกลางคืนโดยไม่ต้องใช้แสงใดๆภายนอก โดยค่าที่อ่านได้มีความแปรปรวนต่อแสงสว่างน้อย และการวัดให้ผลที่มีค่าความถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากการวัดด้วยวิธีนี้ใช้ต้นทุนสูงจึงควรวัดในตัวอย่างการสำรวจที่น้อยโดยการใช้การสุ่มตัวอย่างทางสถิติเพื่อหาปัจจัยหรือสาเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อป้ายจราจร เช่น ใช้ในการพัฒนาตารางการบำรุงรักษาป้ายจราจร

Webb (1977) สร้างเครื่องมือวัดค่าการสะท้อนแสงกลับ (Retro-reflectometer) และประเมินความถูกต้องของเครื่องมือ โดยเครื่องมือนี้ถูกออกแบบให้ใช้วัดค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรและอุปกรณ์ควบคุมจราจรอื่นๆเฉพาะเวลากลางวันในภาคสนาม การประเมินเครื่องมือจะทำโดยวัดค่าการสะท้อนแสงของตัวอย่างป้ายจราจร 5 สี ที่แตกต่างกันในห้องปฏิบัติการ ก่อนนำไปวัดจริงในสนาม พบว่าการกระจายความแตกต่างสูงสุดเมื่อเทียบกับค่าในห้องปฏิบัติการเป็นร้อยละ 2.7 และเครื่องมือถูกออกแบบให้มีน้ำหนักเบาง่ายต่อการพกพาในการวัดค่าในภาคสนาม

Malasheskie (1979) ได้ประเมินการใช้งานเครื่องมือวัดค่าการสะท้อนแสง (Retro-reflectometer) รุ่น Gamma Scientific Model 910B เพื่อหาค่าความถูกต้องและความแข็งแรงในการใช้งานในภาคสนาม โดยในการทดสอบภาคสนามได้ทดสอบตัวแปรด้านต่างๆ ทั้ง เงื่อนไขของแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ที่อาจมีผลต่อค่าที่วัดจากเครื่องมือ จากนั้นจึงทดสอบวัดค่าการสะท้อนแสงจากเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ จากค่าการวัดจากเครื่องมือในสภาวะทั้งสองทุกกรณีพบว่าค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของเครื่องมือทั้งสองมีค่าเป็น 0.94 และมากกว่า นั่นหมายถึงสภาวะแวดล้อมในภาคสนามไม่มีผลต่อการวัดค่าที่คลาดเคลื่อน

Young blood (1971) ได้ใช้เครื่องมือ Telephotometer เป็นกล้องโทรทัศน์ที่วัดปริมาณแสงได้โดยติดตั้งที่เหนือเบาะผู้ขับขี่ในรถยนต์ส่วนบุคคลเพื่อวัดความสว่างของป้ายจราจรทั้งกลางวันและกลางคืนและจะหยุดวันค่าที่ระยะทางต่างๆกันจากป้ายจราจร วิธีนี้ไม่จำเป็นต้องลงจากรถไปวัดค่าแต่จะวัดค่าจากในตัวรถโดยจอดที่ไหล่ทางของถนน Young blood สนใจศึกษาความสว่างของป้ายจราจรที่ถูกติดตั้งบนสภาวะแวดล้อมของถนน โดยควบคุมตัวแปรอายุของป้ายเพราะมีผลต่อ

การเสื่อมสภาพของป้าย แต่ประสิทธิภาพการวัดความสว่างของป้ายยังแตกต่างจากระดับการสะท้อนแสงของป้ายจราจร การวัดการสะท้อนแสงของป้ายจราจรให้ผลที่ดีกว่า

2.4.2 สรุปงานวิจัยวิธีการวัดค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจร

จากงานวิจัยในอดีตการพิจารณาความถูกต้องของวิธีการวัดการมองเห็นป้ายและการสะท้อนแสงของป้ายจราจร จากตารางที่ 2.10 แสดงถึงวิธีการวัดการสะท้อนแสงของป้ายจราจร อุปกรณ์ที่ต้องใช้แต่ละวิธี ความต้องการการหยุดวัดที่ละป้ายจราจร ข้อจำกัดช่วงเวลาการใช้ และการระบุความถูกต้องในการใช้แต่ละวิธี ซึ่งพบว่าวิธีการใช้คนสำรวจยังไม่มีการตรวจสอบหรือวิจัย

ตารางที่ 2.10 ตารางสรุปวิธีการวัดจากงานวิจัยต่างๆ

Measurement Method	Special Equipment Requirement	Stop Required for Each Sign	Limited to Use at Night	Accuracy Verified
Observer				
• Visual Inspection	None	No	Yes	No
• Comparison with Standard Test Strip	Standard Test Strip	Yes	Yes	No
Instrument				
• Photometer (Rector)	Photometer	Yes	-	Yes
• Retroreflectometer (Williams)	Retroreflectometer	Yes	No	Yes
• Retroreflectometer (Webb)	Retroreflectometer	Yes	No	Yes
• Retroreflectometer (Malasheskie)	Retroreflectometer	Yes	No	Yes
• Telephotometer (Youngblood)	Telephotometer/ Pavement Marks	Yes	Yes	No
Observer with Instrument				
• Sign Detection Distance (Hills)	Specially Equipped Vehicle	No	Yes	No

ที่มา : McCormack (1986).

การวัดค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรได้มีการกำหนดวิธีการวัดที่เป็นสากลโดยเกณฑ์ในแต่ละประเทศอาจมีความแตกต่างกัน แต่แนวทางที่ใช้อย่างแพร่หลายปัจจุบันคือเกณฑ์การประเมินค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรตามวิธีแนะนำโดย Manual of Uniform Traffic Control Devices, MUTCD (2003) ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยแนวทางการวัดตั้งอยู่บนมาตรฐานการทดสอบของเครื่องมือวัดค่าการสะท้อนแสงแบบพกพาตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials, ASTM (2008) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.4.3 แนวทางการวัดค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรโดยเครื่องมือพกพา

โดยทั่วไปการวัดค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรในสนามสามารถวัดได้ 2 วิธี ได้แก่ วัดโดยอุปกรณ์ที่ต้องใช้การสัมผัสป้าย (hand-held contact instruments) และอุปกรณ์ที่ไม่ต้องใช้การสัมผัสกับป้าย (with non-contact instruments) ดังรูปที่ 2.13 และ 2.14 แสดงอุปกรณ์การวัดที่ต้องใช้การสัมผัสป้าย (hand-held contact instruments) และอุปกรณ์ที่ไม่ต้องใช้การสัมผัสกับป้าย (with non-contact instruments) โดยอุปกรณ์ที่ต้องสัมผัสป้ายจะใช้เครื่องมือวัดโดยอาศัยลักษณะการสัมผัสทางกายภาพของผิวป้ายจราจร และอุปกรณ์ที่ไม่ต้องใช้การสัมผัสกับป้ายจะใช้เครื่องมือวัดจากระยะทางที่ห่างจากป้ายจราจรระยะคงที่หนึ่งๆ โดยการรวมเครื่องมือวัดค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรกับยานพาหนะเป็นระบบเดียวกัน

Model 922 *Model* (Gamma Scientific)

Model GR3 (Delta)

รูปที่ 2.13 อุปกรณ์วัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแบบพกพา (hand-held contact instruments)

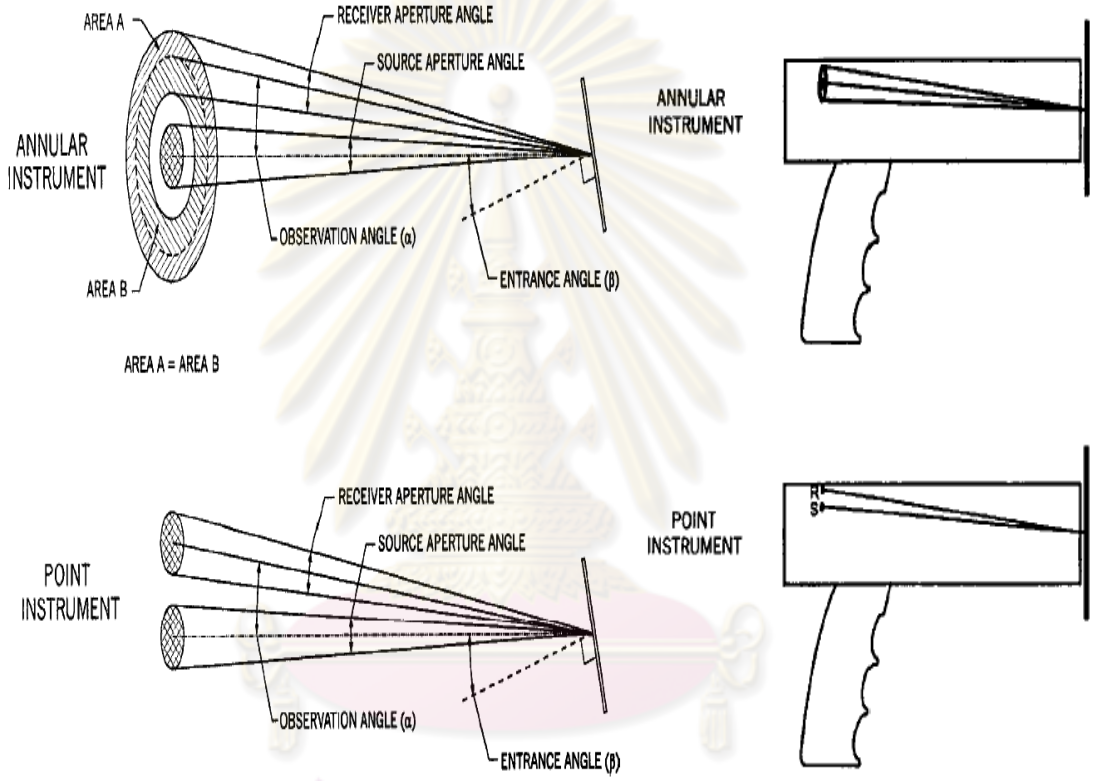
รูปที่ 2.14 อุปกรณ์หาค่าการสะท้อนแสงที่ไม่ต้องสัมผัสกับป้าย (with non-contact instruments)

อุปกรณ์ในการวัดค่าการสะท้อนแสงทั้ง 2 ประเภททั้งอุปกรณ์ที่ต้องใช้การสัมผัสป้าย (hand-held contact instruments) และอุปกรณ์ที่ไม่ต้องใช้การสัมผัสกับป้าย (with non-contact instruments) จะมีความแตกต่างกันในด้านความแน่นอนและเวลาในการสำรวจ กล่าวคือ อุปกรณ์ที่ต้องใช้การสัมผัสป้ายจะให้ระดับความไม่แน่นอนที่ต่ำกว่าในการวัดค่าแต่จะต้องใช้เวลาในการวัดค่าที่สูงกว่า ในส่วนการวัดโดยอุปกรณ์ที่ไม่ต้องใช้การสัมผัสกับป้ายจะใช้เวลาในการวัดค่าที่เร็วกว่าเนื่องจากใช้ยานพาหนะในการวัดค่าแต่เนื่องจากเป็นการวัดที่ระยะไกลจึงให้ค่าระดับความไม่แน่นอนมากกว่าวิธีแรก ในมาตรฐานการทดสอบ ASTM สำหรับการวัดค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรจึงได้มีการระบุการวัดค่าการสะท้อนแสงที่ผิวพื้นหลังและตัวอักษรหลายจุดจากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย จุดการวัดและการปรับแก้ค่าเครื่องมือวัดที่แตกต่างกันอาจนำไปสู่ค่าผลการวัดที่แตกต่างกันได้ถึงแม้จะเป็นการวัดที่ป้ายเดียวกัน

วิธีการวัดโดยเครื่องมืออุปกรณ์การวัดค่าการสะท้อนแสงที่ต้องใช้การสัมผัสป้าย (Hand-held contact instruments) ควรมีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM Standard Test Method E1709 โดยจะหาค่าต่ำสุดจาก 4 ค่าจากการวัดค่าสะท้อนแสงของอักษรและพื้นหลังและเฉลี่ยค่าการสะท้อนแสงในแต่ละสีของป้ายที่ทดสอบ ค่าที่ได้ดังกล่าวจะนำไปตรวจสอบเปรียบเทียบกับค่าการสะท้อนแสงต่ำสุดตามมาตรฐานว่าอยู่ในเกณฑ์และควรจะพิจารณาเปลี่ยนป้ายจราจรใหม่หรือไม่

เครื่องมืออุปกรณ์การวัดค่าการสะท้อนแสงที่ต้องใช้การสัมผัสป้าย (Hand-held contact instruments) ตามมาตรฐาน ASTM Standard Test Method E1709 ได้ระบุความแตกต่างของ

เครื่องมือทดสอบค่าการสะท้อนแสงของป้าย 2 ประเภทคือ เครื่องมือวัดแสงแบบจุด (Point instrument) และแบบวงแหวน (Annular instrument) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแสงและแหล่งรับแสง โดยเครื่องมือวัดแสงแบบจุดจะให้แหล่งกำเนิดแสงแบบจุดและสะท้อนกลับมาสู่จุดรับแสงอีกจุดหนึ่ง ส่วนเครื่องมือวัดแสงแบบวงแหวนจะมีลักษณะตัวรับแสงสะท้อนกลับเป็นวงแหวนรอบแหล่งกำเนิดแสง โดยค่าความแตกต่างของทั้ง 2 ประเภทการทดสอบจะให้ค่าแตกต่างประมาณร้อยละ 10 ถึง 25 ดังรูปที่ 2.15 แสดงลักษณะทางเรขาคณิตของการทดสอบทั้ง 2 ประเภท



รูปที่ 2.15 เครื่องมือการทดสอบค่าการสะท้อนแสงแบบจุดและแบบวงแหวน (ASTM, 2008)

การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรและเกณฑ์ระดับค่าการสะท้อนแสงต่ำสุด จะเป็นส่วนหนึ่งในการประกอบการพิจารณาตัดสินใจว่าค่าจากวิธีที่วัดเป็นไปตามความต้องการที่ระดับการสะท้อนแสงต่ำสุดหรือไม่อย่างไร โดยค่าที่ได้จากการวัดโดยวิธีดังรูปที่ 2.16 จะนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ระดับการสะท้อนแสงต่ำสุดตามแนวทางใน MUTCD (2009) เมื่อพบว่าค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรมีค่าใกล้เคียงกับค่าระดับการสะท้อนแสงต่ำสุดมากก็ควรจัดการบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนป้ายจราจรใหม่ โดยวิธีนี้ถือเป็นการเปรียบเทียบการให้บริการในการสะท้อนแสงของป้ายโดยตรงกับระดับการสะท้อนแสงต่ำสุด

รูปที่ 2.16 การวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรในภาคสนาม (FHWA, 2008)

ในส่วนของข้อดีและข้อเสียจากการวัดค่าการสะท้อนแสงโดยวิธีนี้นั้นพบว่าค่าการสะท้อนแสงที่ถูกวัดจัดเป็นการวัดโดยตรงที่ใช้สำหรับตรวจสอบและประเมินผลสภาพการบำรุงรักษาระดับการสะท้อนแสงของป้ายจราจร แต่อย่างไรก็ตามเครื่องมือจะตั้งอยู่บนค่าระดับการสะท้อนแสงของป้ายมีความใกล้เคียงกับเกณฑ์ขั้นต่ำมากน้อยเพียงใดเพื่อพิจารณาก่อนที่จะป้ายจะถูกเปลี่ยน ความไม่แน่นอนและความแปรปรวนจากการวัดระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่วัดจากเครื่องมือกับค่าการสะท้อนจากการวัดสำรวจสังเกตการณ์จริงอาจทำให้ผลลัพธ์อยู่ในเกณฑ์การสะท้อนขั้นต่ำ แต่อาจไม่เป็นไปตามความต้องการของผู้ขับขี่ ในส่วนข้อเสียของการใช้วิธีทดสอบนี้คือการวัดค่าการสะท้อนแสงจากป้ายจราจรทั้งหมดต้องใช้เวลานาน รวมทั้งการใช้ค่าการสะท้อนแสงเพียงอย่างเดียวเป็นตัวระบุการเสื่อมสภาพของป้ายว่าควรเปลี่ยนหรือไม่อาจไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นๆอีกที่มีผลต่อคุณลักษณะของป้าย ปัจจัยอื่นๆที่ควรพิจารณาได้แก่ ระดับความไม่ชัดหรือพร่ามัวของป้ายซึ่งอาจต้องเพิ่มความสว่างให้ป้าย นอกจากนี้ข้อเสียอีกด้านหนึ่งคือเจ้าหน้าที่ต้องมีการฝึกใช้อุปกรณ์ในการทดสอบโดยวิธีข้างต้น

2.5 งานวิจัยปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจร

การสะท้อนแสงของป้ายจราจรต่อผู้ขับขี่เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ผู้ขับขี่บนถนนสามารถที่จะมองเห็นป้ายจราจรและปฏิบัติในการขับขี่ได้อย่างปลอดภัย แต่เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรของผู้ขับขี่ไม่เพียงจำกัดที่การสะท้อนแสงเท่านั้นยังมีปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจร และปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นดังกล่าวอาจมีความสัมพันธ์ต่อการสะท้อนแสง

ของป้ายจราจรและนำมาใช้เป็นตัวแปรในการศึกษาหาความสัมพันธ์กับการสะท้อนแสงของป้ายจราจรต่อไป ได้มีผู้ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรซึ่งปัจจัยดังกล่าวถูกรวบรวมโดย Carlson และ Hawkins (2003) ซึ่งได้พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรแบ่งเป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มลักษณะป้ายจราจร ยานยนต์ สภาพแวดล้อม และผู้ขับขี่ ดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นของป้ายจราจร (Carlson และ Hawkins, 2003)

Sign	Vehicle	Driver	Environment/Road
• Position o Ground-mounted -Right -Left -Lateral offset o Overhead -Height -Lane positioning -Tilt • Size • Shape • Color o Background o Legend • Legend o Symbol o Alphabet -Font -Size -Stroke width -Letter spacing -Line spacing • Lighting • Retroreflective material	• Type o Sports car o Passenger car o Pickup truck/SUV o 18-wheeler • Headlamp o Type -Halogen -tungsten -High-intensity discharge o Illumination distr. o Aim o Cleanliness • Windshield o Transmissivity o Cleanliness • Constant voltage	• Visual characteristics o Acuity o Contrast sensitivity o Color deficiency o Other • Awareness • Mental load • Alcohol/drugs	• Atmospheric conditions o Rain o Fog o Haze o Other • Background complexity o Urban -Residential -School -Commercial -Industrial o Rural • Time of day o Day o Dusk o Night • Horizontal alignment • Vertical alignment • Sight distance • Pavement reflectance

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 2.11 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นอย่างชัดเจนของป้ายจราจรพบว่ามีตัวแปรหลากหลายที่มีผลต่อการมองเห็นป้าย กลุ่มลักษณะป้ายจราจรประกอบด้วยปัจจัยด้านตำแหน่งที่ตั้ง ขนาด รูปร่าง สีพื้นและอักษร ลักษณะอักษร แสงไฟส่องป้าย วัสดุสะท้อนแสง กลุ่มลักษณะยานยนต์ ประกอบด้วย ประเภทรถ ลักษณะไฟหน้ารถ กระจกมองหน้าหลัง ความต่างศักย์ไฟฟ้า กลุ่มลักษณะผู้ขับขี่ ประกอบด้วย ลักษณะการมองเห็น สายตาผู้ขับขี่ ความเหนื่อยล้า ความมึนเมาของผู้ขับขี่ และสุดท้ายเป็นกลุ่มลักษณะด้านสภาพแวดล้อมของถนน ประกอบด้วย สภาพอากาศ ความซับซ้อนการใช้พื้นที่รอบถนน ช่วงเวลา ระยะการมองเห็น และสภาพเรขาคณิตของถนน

จากปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นดังกล่าวในการศึกษาความสัมพันธ์กับการสะท้อนแสงไม่สามารถที่จะศึกษาทุกตัวแปรได้จึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการสะท้อนแสงของป้ายจราจรตามนิยามการสะท้อนแสง คือ วัสดุสะท้อนแสง (Retroreflective material) ไฟหน้ารถยนต์ (Headlamp) และลักษณะสายตาของผู้ขับขี่ (Visual driver characteristics) และปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องตั้งสมติฐานและตรวจสอบความสัมพันธ์กับการสะท้อนแสงของป้ายจราจรเพิ่มเติม จากข้อกล่าวอ้างข้างต้นได้มีผู้ศึกษาปัจจัยหลักที่สอดคล้องกับนิยามการสะท้อนแสงของป้าย เพื่อหาแบบจำลองการสะท้อนแสงของป้ายที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่

Texas Transportation Institute (2001) ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อหาค่าระดับการสะท้อนแสงขั้นต่ำของป้ายจราจร โดยพิจารณาปัจจัยหลักที่มีความสัมพันธ์ต่อการมองเห็นป้ายจราจรของผู้ขับขี่ ได้แก่ ไฟหน้ารถยนต์ (Headlamps, Source) ป้ายจราจร (Sign, Target) และสภาพเรขาคณิตของยานยนต์ (Geometric Vehicle) สัมพันธ์กับผู้ขับขี่ (Driver, Receptor) แบบจำลองนี้เรียกว่า TTI MR Model โดยเงื่อนไขของแบบจำลองนี้ในแต่ละปัจจัยพิจารณาจาก

- **ไฟหน้ารถยนต์** ใช้ข้อมูลจากความแตกต่างของรูปแบบแสงที่ไฟหน้ารถยนต์ส่อง (Headlamp Profiles) ที่มีการศึกษามาจาก Computerized Analysis of Retroreflective Traffic Sign (CARTS50) และ University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI)
- **ป้ายจราจร** ใช้ข้อมูลจากการศึกษาการสะท้อนแสงของป้ายทุกประเภทจากสภาพจริงข้อมูลได้จากแบบจำลอง Exact Roadway Geometry Output (ERGO) ซึ่งนักวิจัยได้ประเมินสภาพทางเรขาคณิตของทางของป้ายจราจรหลายๆประเภทจำแนกตามวัสดุ โดยการทดสอบ Goniometer (TxDOT) พบว่าข้อมูลของแบบจำลอง ERGO มีความถูกต้อง

- **ผู้ขับขี่** แบบจำลองนี้ไม่ได้พิจารณาองค์ประกอบลักษณะปัจจัยของผู้ขับขี่แบบต่างๆ พิจารณาเพียงระดับค่าความสว่าง (Luminance) ต่ำสุด ที่จำเป็นต่อการมองเห็นและอ่านป้ายจราจรของผู้ขับขี่ในระยะทางต่างๆกัน
- **ยานยนต์** แบบจำลองเกิดจากการศึกษาลักษณะประเภทยานยนต์หลายๆรูปแบบในด้านการออกแบบเพื่อหาข้อมูลตำแหน่งและระดับของไฟหน้า รวมถึงตำแหน่งและระดับสายตาของผู้ขับขี่ เพราะมีผลต่อค่ามุมต่างๆในการสะท้อนแสงจากป้ายจราจร

แบบจำลอง TTI MR Model ที่พัฒนาขึ้นมีองค์ประกอบต่างๆ ของสมการดังนี้

$$\text{Minimum } R_A = \text{New } R_{A,SG} x \left(\frac{\text{Demand } R_{A,SG}}{\text{Supply } R_{A,SG}} \right)$$

โดยที่

Minimum R_A คือ ระดับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำที่จำเป็นต่อการมองเห็นป้ายวัดจากสภาพทางเรขาคณิต Observation angle (α = 0.2 °) Entrance angle (β = -4.0 °) มีหน่วยเป็น cd/lx/m^2

New $R_{A, SG}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงเฉลี่ยของป้ายจราจรใหม่วัดตามมาตรฐานทางเรขาคณิตของมุม มีหน่วยเป็น cd/lx/m^2

Demand $R_{A, NSG}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ต้องการในการมองเห็นต่ำสุด (Minimum Luminance) โดยที่ Observation angle ($\alpha \neq 0.2$ °) Entranc angle ($\beta \neq -4.0$ °) มีหน่วยเป็น cd/lx/m^2 ได้จากการหาค่า Luminance แล้วคำนวณกลับหาค่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง

Supply $R_{A, NSG}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายใหม่หาจากนำค่า supplied luminance (cd/m^2) หารด้วย Illuminance (lx) ของไฟรถยนต์

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ต้องการในการมองเห็นต่ำสุด Demand $R_{A, NSG}$ หาได้จากสมการ

$$\text{Demand } R_{A,NSG} = \frac{\text{Demand Luminance x } \cos(\nu)}{\text{Illuminance}}$$

โดยที่ Demand Luminance คือ ค่าความสว่างของแสงที่ต้องการและเพียงพอต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่ที่แปรผันตามปัจจัยต่างๆ เช่น อายุ สายตา (cd/lx/m^2)

ν คือ มุมที่ผู้ขับขี่มองเห็นป้ายจราจร

Illuminance คือ ปริมาณแสงที่ไฟหน้ารถยนต์ส่องมายังป้ายจราจร (lx)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยแบบจำลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรขั้นต่ำ (MR Model) สามารถนำมาใช้ในการกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำการสะท้อนแสงในแต่ละสีของป้ายจราจรแต่ละประเภท ได้แต่เงื่อนไขอยู่บนตัวแปรหลักดังกล่าวที่ถูกพิจารณาในแบบจำลอง ตัวแปรอื่นๆที่กระทบต่อการสะท้อนของแสงไม่ถูกพิจารณาความสัมพันธ์ในแบบจำลองนี้

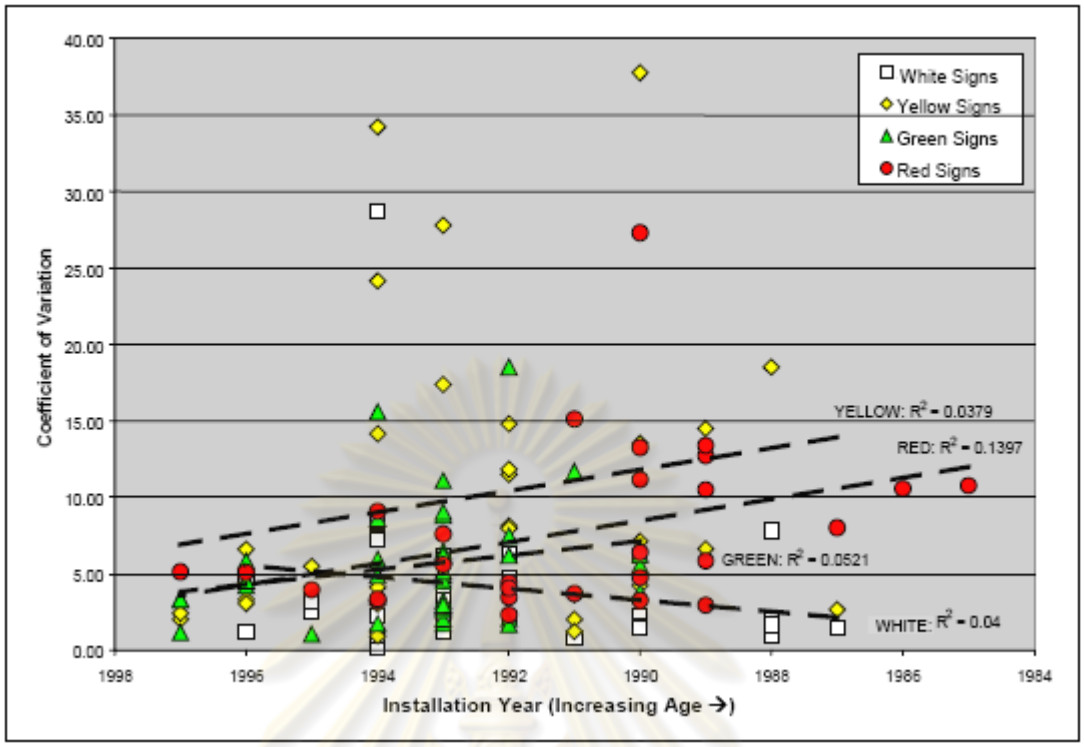
Kirk และคณะ (2001) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจร จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพื้นฐานค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งทิศทางทางกายภาพของป้ายกับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ซึ่งตำแหน่งทิศทางของป้ายจะแสดงถึงผลกระทบจากปริมาณรังสีของแสงอาทิตย์ที่กระทบป้าย ปริมาณฝุ่นละออง และปริมาณฝน ที่อาจมีผลต่อการสะท้อนแสงของป้าย

การศึกษาของ Kirk และคณะ (2001) ได้ศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรในพื้นที่ mid-Willamette Valley รัฐออริกอน โดยใช้เครื่องมือวัดค่าการสะท้อนแสงแบบพกพา RetroSign® Retroreflectometer Model 4500 วัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรประเภท ASTM Type III 80 ป้าย แยกประเภทสีแดง เหลือง เขียว และขาว อย่างละ 20 ป้าย โดยทำการวัด 10 ค่าต่อป้าย การวัดจะทำความสะอาดและเช็ดป้ายให้แห้งก่อนและวัดค่าเฉพาะพื้นป้ายไม่วัดที่ตัวอักษรทำการวัดทั้งป้ายเก่าและป้ายใหม่ แต่ละป้ายจะบันทึกอายุของป้ายรวมถึงทิศทางของป้าย (ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก หรือทิศตะวันตก) ภายหลังมีการเพิ่มจำนวนป้าย อีก 57 ป้าย เพื่อให้ครบการกระจายสีป้ายในแต่ละทิศทาง

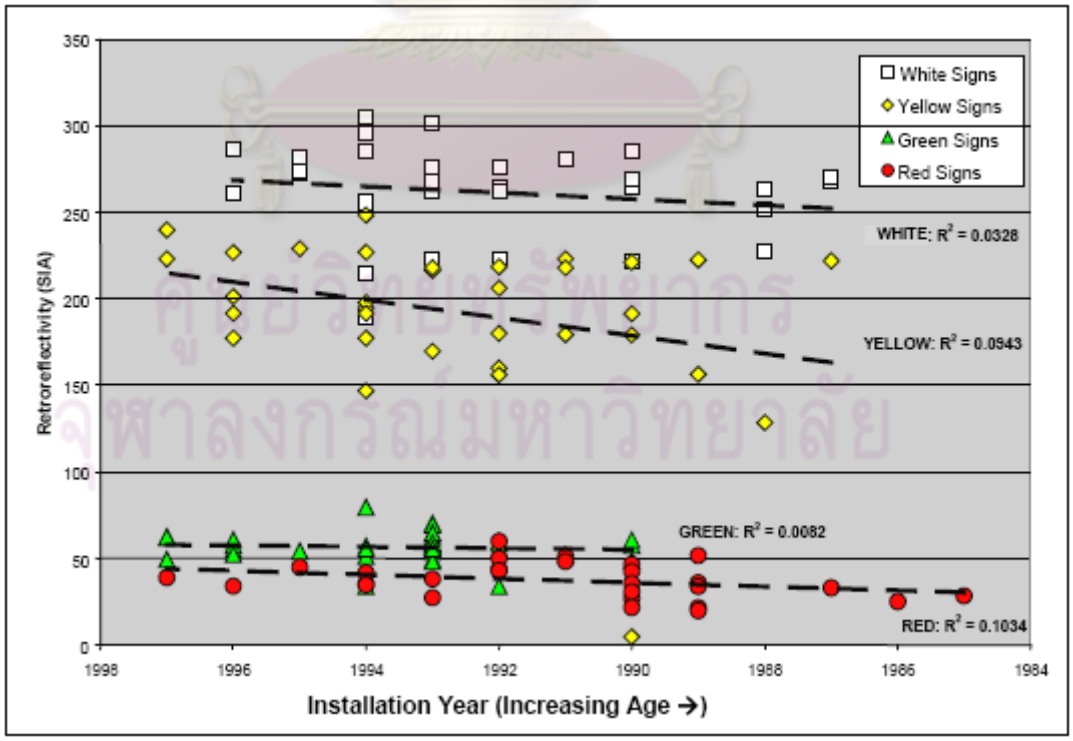
ผลการศึกษาปัจจัยที่กระทบต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจร Kirk และคณะ (2001) พบว่าในการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง 10 ค่าในสีและป้ายเดียวกันมีค่าการกระจายแต่ละสีที่มาก โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่า R_A ดังตารางที่ 2.12 แสดงถึงการกระจายของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงมีการกระจายสูงสุดถึงร้อยละ 37.8 และต่ำสุดร้อยละ 0.2 ประเด็นนี้มีความสำคัญต่อการวัดค่า R_A เนื่องจากความแปรเปลี่ยนของผิวป้ายสะท้อนแสง การพิจารณาค่าเทียบเกณฑ์มาตรฐานการสะท้อนแสงต้องใช้ค่าที่เหมาะสม เช่น ค่าเฉลี่ย เปอร์เซนไทล์

ตารางที่ 2.12 ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของ R_A แบ่งตามสีป้ายจราจร (Kirk และคณะ, 2001)

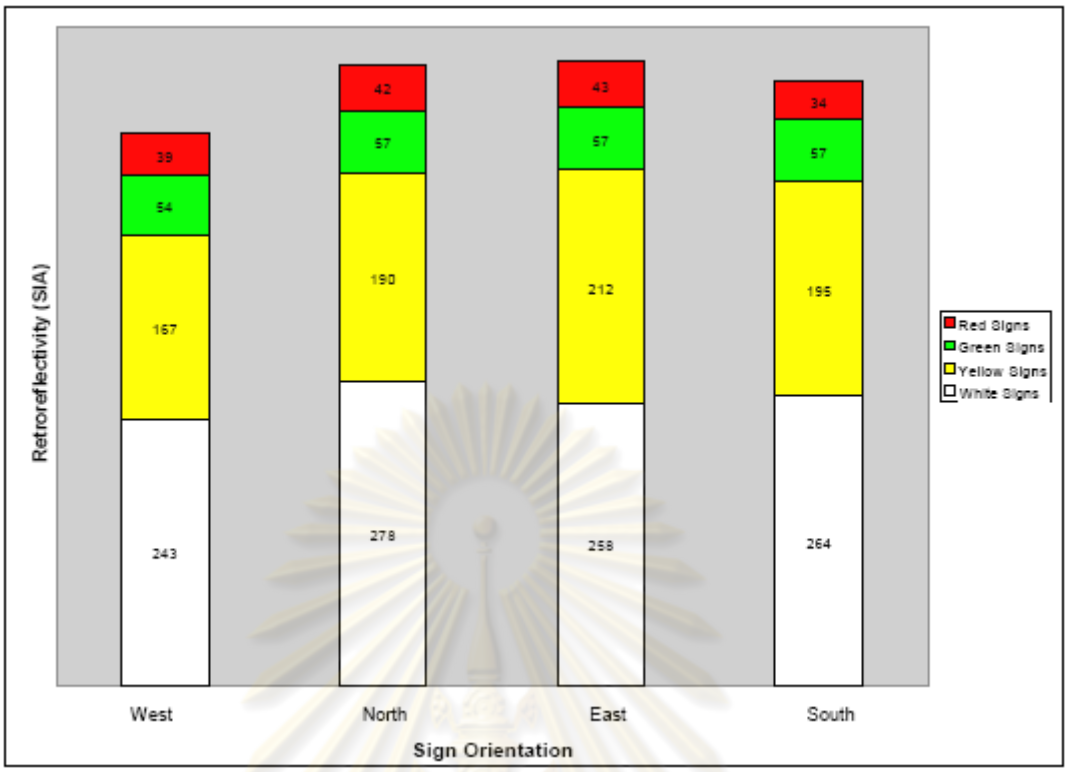
Sign Color	Minimum Measured CV	Maximum Measured CV
White	0.2%	28.7%
Yellow	0.9%	37.8%
Green	1.1%	18.5%
Red	2.3%	27.3%



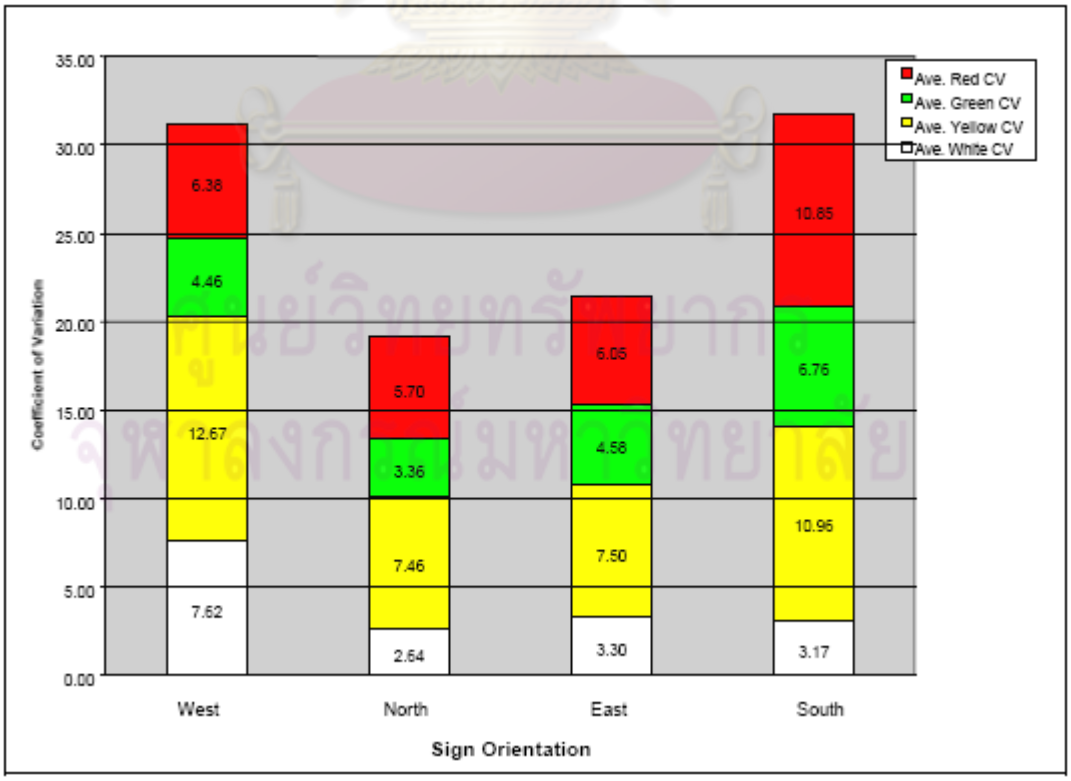
รูปที่ 2.17 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของ R_A เทียบอายุป้ายจราจร (Kirk และคณะ, 2001)



รูปที่ 2.18 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแยกประเภทสีเทียบอายุป้ายจราจร (Kirk และคณะ, 2001)



รูปที่ 2.19 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายแต่ละสีแบ่งตามทิศทาง (Kirk และคณะ, 2001)



รูปที่ 2.20 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของ R_A ของป้ายแต่ละสีแบ่งตามทิศทาง (Kirk และคณะ, 2001)

นอกจากการศึกษาความผันแปรของค่า R_A โดยตรงแล้ว Kirk และคณะ (2001) ได้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของ R_A และอายุป้ายจราจร (วัดจากระยะเวลาการติดตั้ง) ดังรูปที่ 2.17 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของ R_A เทียบอายุป้ายจราจรในแต่ละประเภทสีของป้ายพบว่ามีความเป็นไปได้ที่อายุของป้ายเพิ่มขึ้นการกระจายตัวของค่า R_A เพิ่มขึ้นตามด้วยเหตุผลการกัดกร่อนจาก ลม ฝุ่น และฝนแต่ความสัมพันธ์ยังไม่ชัดเจนจากค่า R^2 ที่ต่ำมาก นอกจากนี้ได้มีการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงและอายุป้าย ดังรูปที่ 2.18 พบว่าจากแนวโน้มอายุของป้ายเพิ่มขึ้นมีผลต่อค่า R_A ที่ลดลงเนื่องจากสภาวะแวดล้อม แต่มีเงื่อนไขความสัมพันธ์ที่น้อยเนื่องจากประเด็นด้านอายุป้ายที่น้อยในช่วงไม่เกิน 10 ปีทำให้ความสัมพันธ์ไม่ชัดเจน การพิจารณาค่าเทียบกับอายุป้ายจึงต้องมีช่วงอายุหลากหลายและยาวกว่านี้

ด้านการพิจารณาทิศทางของป้ายจราจรที่หันหน้าป้ายในทิศทางต่างๆกันโดยมีสมมติฐานว่าป้ายอาจได้รับปริมาณของ ฝุ่น ลม ฝน และรังสีแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันตามทิศทางและมีผลต่อการเสื่อมสภาพของป้าย การศึกษาพบว่าป้ายจราจรที่หันหน้าไปทางทิศตะวันตกและทิศใต้มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายต่ำกว่าทิศทางอื่นๆ ดังรูปที่ 2.19 นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของค่า R_A ของป้ายที่หันหน้าทางทิศตะวันตกและทิศใต้มีค่าที่สูงซึ่งแสดงถึงการกระจายค่าตามพื้นผิวป้ายที่มาก ดังรูปที่ 2.20 ซึ่งเป็นไปตามที่ผู้วิจัยตั้งสมติฐานว่าการลดลงและการกระจายของค่า R_A เกิดจากอิทธิพลของสภาพอากาศ โดยข้อกล่าวอ้างนี้จะเป็นจริงตามสมมติฐานที่ Kirk และคณะ (2001) กล่าวอ้างคือต้องทำการพิจารณาอายุของป้ายจราจรที่ไม่แตกต่างกันในแต่ละทิศทาง (เหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก) เนื่องจากอายุอาจมีผลต่อการที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ลดลงซึ่งงานวิจัยนี้มิได้กล่าวถึงอายุของป้ายจราจรในแต่ละทิศทางที่นำมาวิเคราะห์

Wolshon และ Degeyter (2000) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการสะท้อนแสงของป้ายจราจรโดยได้ทดสอบความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างทิศทางของป้ายจราจรและคุณลักษณะต่างๆของป้ายโดยใช้สถิติ F-test พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และ Awadallah (1988) ทำการศึกษาอายุการใช้งานของป้ายจราจรประเภทเตือนพบว่าทิศทางการหันหน้าของป้ายเตือนต่อแสงอาทิตย์ไม่มีนัยสำคัญต่อการทำนายอายุการใช้งานของป้ายจราจรประเภทเตือน

จากงานวิจัยข้างต้นสามารถกล่าวอ้างได้ว่าทิศทางการหันหน้าของป้ายจราจรที่ต้านทานสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ลม ฝุ่น ฝน และแสงอาทิตย์ ไม่มีผลอย่างชัดเจนต่อการเสื่อมสภาพของป้ายจราจร การศึกษาปัจจัยทิศทางของป้ายอาจจำเป็นต้องทดสอบและเก็บข้อมูลโดยละเอียด

Black และคณะ (1992) ได้ทำการศึกษาการเสื่อมสภาพของป้ายจราจรสะท้อนแสง โดยพบว่าป้ายจราจรสะท้อนแสงประเภท High Intensity (ASTM Type III) ที่ถูกเช็ดทำความสะอาดทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นจากเดิมเพียงร้อยละ 8 โดยระบุว่าการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงเกิดจากคุณภาพความราบลื่นของแผ่นป้ายที่ปราศจากฝุ่นละออง สิ่งสกปรกและการทำความสะอาดโดยเช็ดล้างดีกว่าการชะล้างจากฝนที่กระทบป้าย นอกจากนี้พวกเขายังระบุว่าการทำความสะอาดแผ่นป้ายอาจให้ประโยชน์ที่น้อยแต่ในช่วงฤดูหนาวป้ายจะถูกเกลือหิมะจับแผ่นป้ายจากการกระจายของหิมะที่ล้อรถยนต์วิ่งผ่านบนถนน

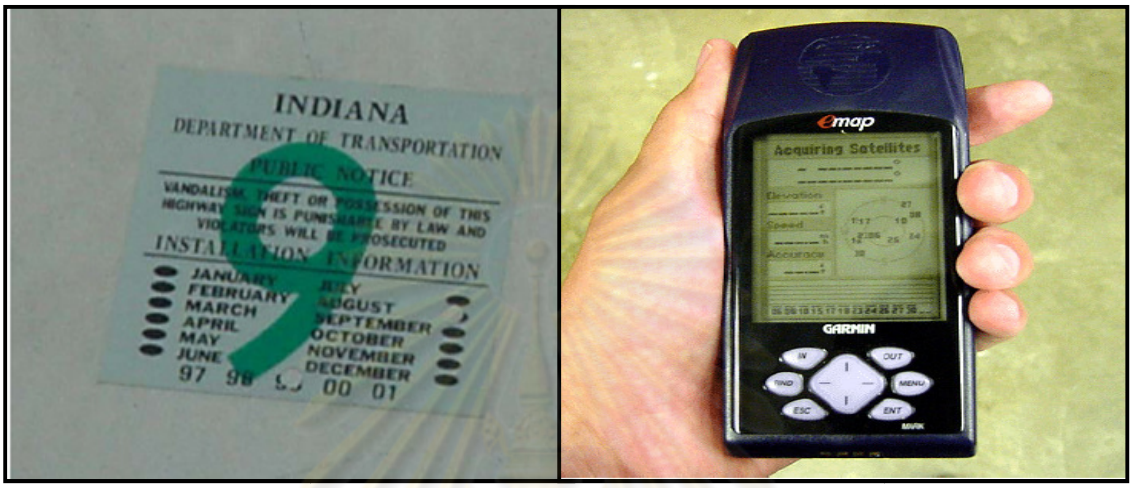
โดยการศึกษาของ Black และคณะ (1992) ในด้านสิ่งแปลกปลอมที่เกาะป้ายและทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงเปลี่ยนไป มิได้รวมการพิจารณาผลของสถานที่ตั้งของป้าย เช่น ป้ายในพื้นที่เมือง และพื้นที่ชนบท เพราะเนื่องจากในพื้นที่เมืองอาจมีผลของมลพิษทางอากาศที่มากกว่าชนบทและอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพของป้ายอันทำให้การสะท้อนแสงเปลี่ยน

Bullock และ Bischoff (2002) ทำการศึกษาการสะท้อนแสงของป้ายจราจร โดยมีจุดประสงค์เพื่อประเมินสัดส่วนการสะท้อนแสงของป้ายจราจรที่ต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำของถนนในรัฐและระหว่างรัฐ หารอบเวลาการแทนที่ป้ายใหม่ที่เหมาะสมต่อการสะท้อนแสงของผู้ขับขี่รวมถึงต้นทุน และการพิจารณาความแตกต่างของพื้นในด้านสภาวะแวดล้อมที่กระทบต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจร งายวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลป้ายจราจร ASTM Type III เน้นที่ป้ายเก่าในพื้นที่รัฐอินดีแอนา (Indiana) จำนวน 2200 ตัวอย่างป้ายจราจร

การเก็บข้อมูลโดยป้ายจะถูกตรวจสอบวันติดตั้งเพื่อให้แน่ใจว่าป้ายไม่ใหม่เกินไป ป้ายที่ไม่สามารถระบุวันติดตั้งได้จะไม่นำมาเป็นเป็นกลุ่มตัวอย่างในการศึกษา อายุป้ายหาจากวันติดตั้งโดยรัฐอินดีแอนามีสติกเกอร์ที่ระบุรายละเอียดเดือนและปีที่ติดตั้งป้ายแต่ละป้าย ดังรูปที่ 2.21 จากนั้นมีการเก็บข้อมูลระยะทางจากขอบถนน (Travel lane) มายังป้ายแนวระดับ วัดระยะความสูงขอบล่างป้ายถึงระดับพื้นหรือระดับพื้นถนน และวัดขนาดของป้ายจราจรในมิติต่างๆ

ในด้านการเก็บตำแหน่งที่ตั้งป้ายจราจรได้ใช้เครื่องมือวัด GPS แบบพกพา (handheld global positioning satellite, GPS) บันทึกละติจูด ลองติจูดที่ติดตั้งป้าย และบันทึกค่า Azimuth เพื่อหาทิศทางการหันหน้าของป้ายจราจร เครื่อง GPS ดังรูปที่ 2.21

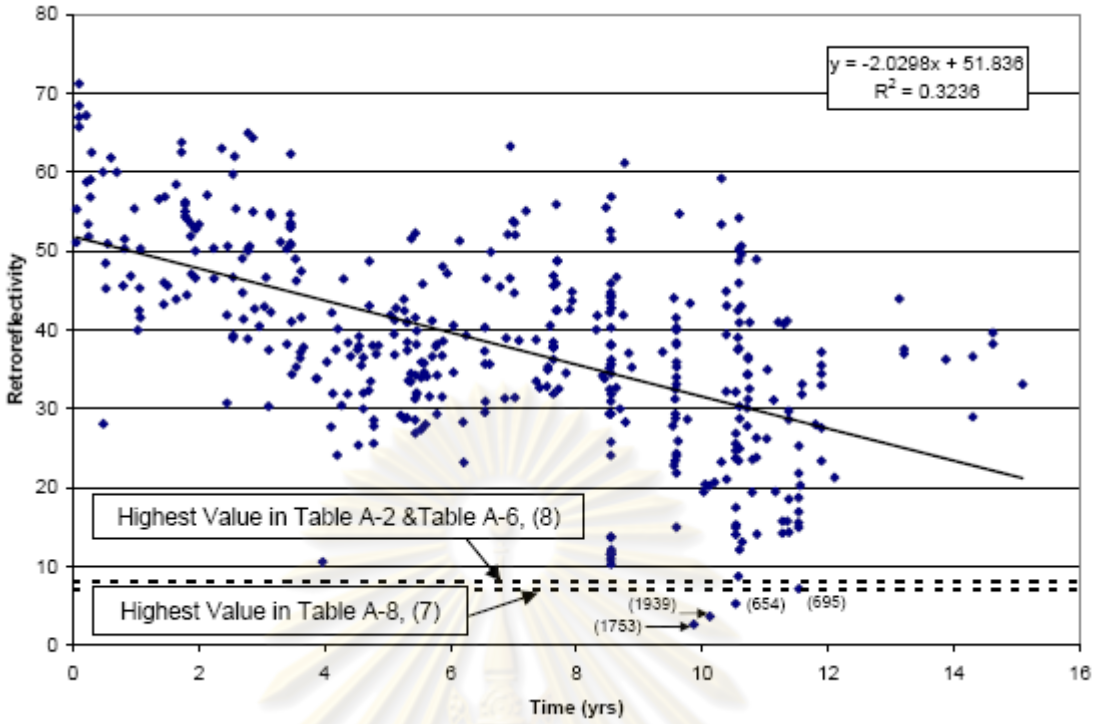
ในการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงใช้เครื่องมือวัดค่าการสะท้อนแสงแบบพกพา ART Sign Master 920 SEL โดยทำการอ่านค่าแต่ละสี 3 ค่าในแต่ละป้ายจราจรตัวอย่างการ เช่น ป้ายหยุด (Stop Sign) ประกอบด้วยสีแดงและขาวจะทำการอ่านสีละ 3 ค่าในแต่ละจุดที่แตกต่างกันบนป้าย เครื่องมือวัดค่าสะท้อนแสงแบบพกพาและการวัดค่าในป้ายหยุดแสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.21 สติกเกอร์บันทึก เดือน ปี การติดตั้งป้ายจราจรและเครื่องมือ GPS แบบพกพา

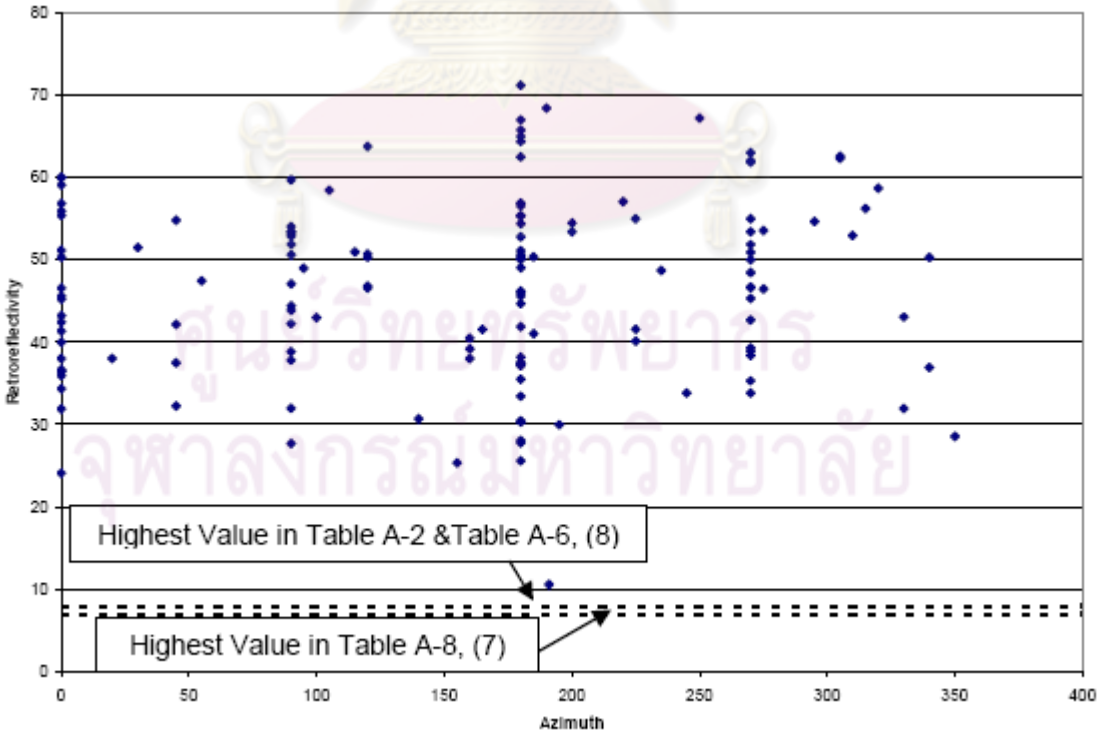
รูปที่ 2.22 ART Sign Master 920 SEL วัดค่าการสะท้อนแสงแบบพกพาและจุดวัดค่าของป้ายหยุด

Bullock และ Bischoff (2002) ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนการสะท้อนแสงที่เก็บแบ่งออกเป็น 4 ประเภทการวิเคราะห์ ได้แก่ 1) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงและอายุป้ายจราจรรวมถึงพิจารณาค่าเทียบเกณฑ์ FHWA, ASTM, Carlson (2003) 2) การวิเคราะห์ค่าสะท้อนแสงและ Azimuth พิจารณาผลของทิศทางป้าย 3) การวิเคราะห์ค่าสัดส่วนค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสีขาวต่อแดงเทียบอายุ 4) การวิเคราะห์การกระจายค่า R_A ตามอายุป้าย ดังตัวอย่างการวิเคราะห์แต่ละประเภทของป้ายจราจรในพื้นที่ Crawfordsville ดังรูปที่ 2.23-2.26



รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ค่า R_A และอายุของป้ายจราจรสีแดง

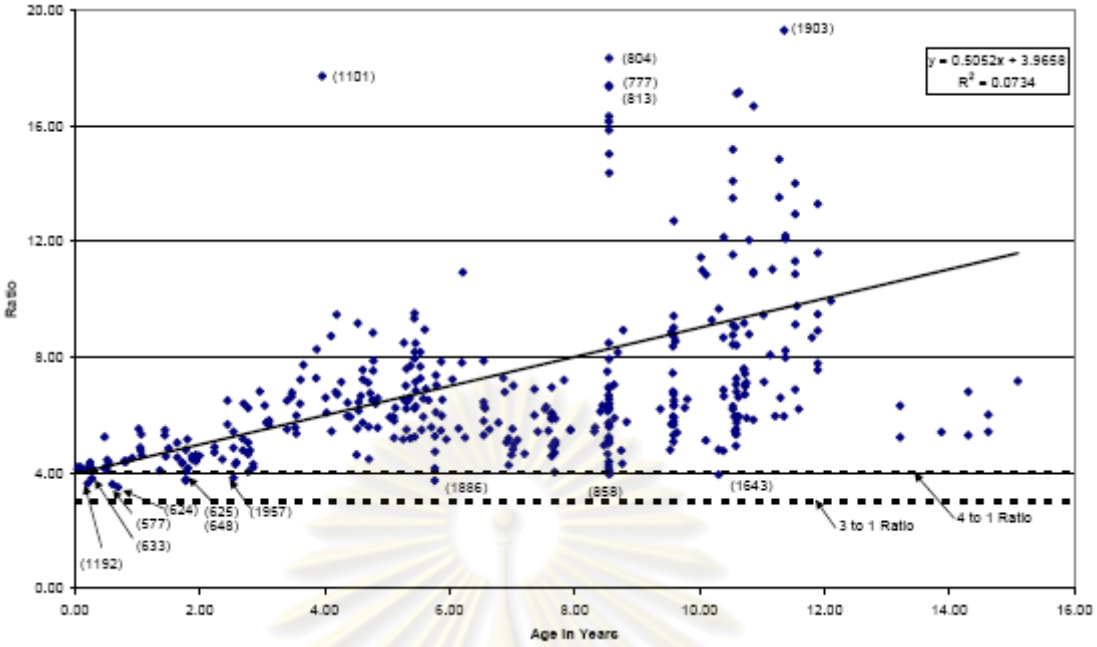
(Bullock และ Bischoff, 2002)



รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ค่า R_A และ Azimuth ของป้ายจราจรสีแดงอายุ 0-5 ปี

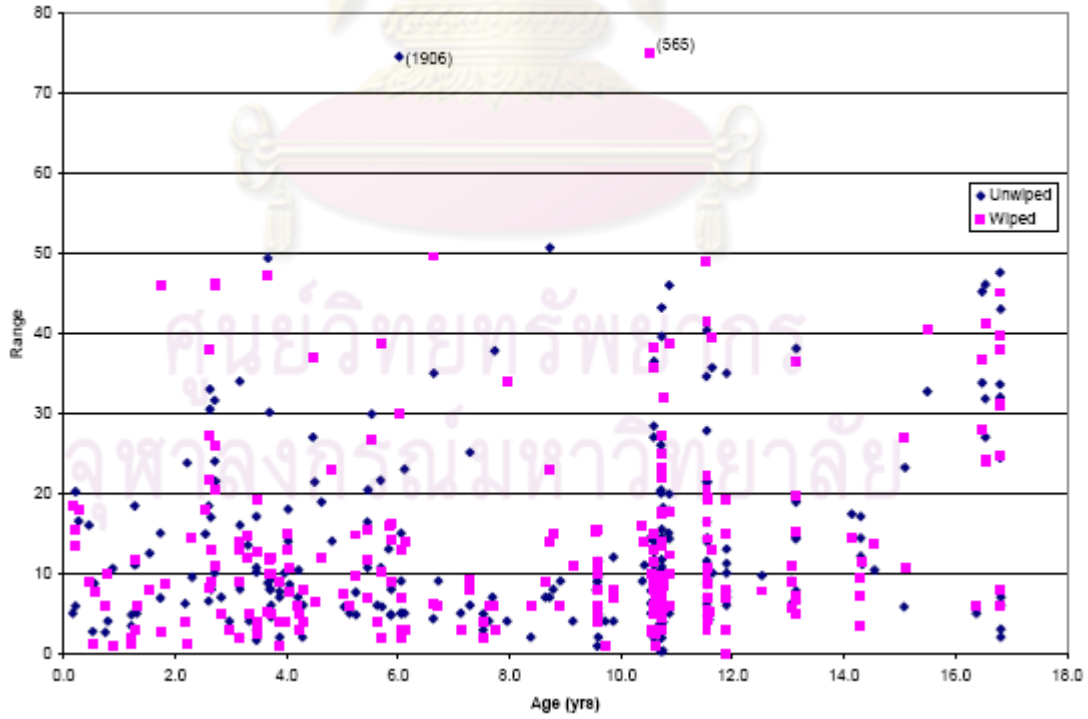
(Bullock และ Bischoff, 2002)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์สัดส่วนค่า R_A สีขาว/แดง และอายุป้ายจราจร

(Bullock และ Bischoff, 2002)



รูปที่ 2.26 การกระจายค่า R_A ตามช่วงอายุของป้ายจราจรสีเหลือง

(Bullock และ Bischoff, 2002)

ผลการศึกษาของ Bullock และ Bischoff (2002) พบว่าการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจร ASTM Type III โดยส่วนใหญ่ผ่านมาตรฐานเกณฑ์ขั้นต่ำของ FHWA, ASTM, Carlson และคณะ (2003) แม้ป้ายจะมีอายุมากกว่า 10 ปีและการวัดใช้ค่าต่ำสุดจาก 3 ค่าที่วัดแต่ละสีเทียบก็ตาม มีเพียง 7 ป้ายในแต่ละสีที่ต่ำกว่ามาตรฐาน ในด้านการวิเคราะห์ความเข้มของสีขาวและแดงพบว่าอัตราส่วนค่า R_A สีขาวต่อสีแดงมีค่ามากกว่า 4 ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด ด้านการทดสอบปัจจัยด้านความสกปรกของป้ายพบว่าการวัดค่า R_A ของป้ายแบบเช็ดและไม่เช็ดทำความสะอาดค่า R_A ไม่มีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญรวมถึงไม่มีผลต่อการกระจายของค่าด้วย

การวิเคราะห์ด้านทิศทางของป้ายพบว่าป้ายที่หันหน้าไปทางทิศใต้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจะลดลงเร็วกว่าตามอายุมากกว่าทิศทางอื่นๆ แต่ผลยังไม่ชัดเจนจากการทดสอบ T-test และจากการวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ R_A กับอายุพบว่ามีความสัมพันธ์ที่เมื่ออายุป้ายมากขึ้นค่าจะลดลงแต่ผลยังไม่ชัดเจนมากทางสถิติ ป้ายจราจรสีแดงจะมีอัตราการลดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงลงตามอายุมาก ป้ายจราจรสีขาวและเหลืองจะมีอัตราการลดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ต่ำและค่าจะพบกับค่ามาตรฐานที่อายุป้าย 15 ปี โดยประมาณซึ่งแสดงถึงรอบอายุที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนป้ายโดยที่ป้ายสีแดงอาจเปลี่ยนที่เวลา 10 ปี ซึ่งมีผลต่อการจัดการต้นทุนการดูแลและบำรุงรักษาป้ายจราจรรวมถึงการจัดการแทนที่ป้ายจราจรใหม่เพื่อผู้ใช้บริการถนน

นอกจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงโดยตรงยังมีผู้ศึกษาปริมาณแสงที่สะท้อนจากป้ายจราจรมายังสายตาผู้ขับขี่หรือค่าความสว่าง (Luminance) ซึ่งเป็นค่าจากผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Retroreflectivity) และปริมาณความส่องสว่าง (Illuminance) ของแหล่งกำเนิดเพื่อเชื่อมโยงหาปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นของป้ายจราจร

Holick และ Carlson (TRB, 2002) ได้ทำการศึกษาหาแบบจำลองค่าความสว่างแสง (Luminance) ที่เพียงพอต่อการมองเห็นป้ายจราจรสูง (Overhead Sign) ของผู้ขับขี่ซึ่งยังไม่มีการกำหนดหรือมีเกณฑ์มาตรฐานมาก่อน การศึกษาได้พิจารณาป้ายจราจรประเภท ASTM Type III เป็นป้ายจราจรสูง (Overhead Sign) สูงจากพื้น 18 ฟุตโดยทำการเก็บข้อมูลวัดค่า Luminance ที่แตกต่างกันจากปริมาณแสงที่ส่องเข้าป้าย (Illuminance) และระยะทางจากรถถึงป้าย (Vehicle distance from sign face) มีผู้เข้าร่วมประเมิน 30 คนอายุช่วง 55-81 ปี ทำการประเมินป้ายจำนวน 534 ป้าย ที่แตกต่างกันด้วยตำแหน่งของอักษรบนและล่าง (Word position on sign) และประเภท

อักษรที่มีลักษณะเป็นกลาง น่าเชื่อถือ หรือไม่น่าเชื่อถือ (Word type) ในส่วนผู้เข้าร่วมประเมิน นอกจากพิจารณาอายุยังได้ศึกษาการประเมินความสามารถในการมองเห็น (Visual acuity) และมุมในการมองเห็น (Visual angle) ทั้ง 2 ประเภทได้แก่ Snellen และ Contrast Sensitivity ของผู้ขับขี่ที่เข้าร่วมทดสอบ ตัวแปรต่างๆใช้สถิติ Linear regression เพื่อหาความสัมพันธ์ โดยค่า Luminance จากการวัดได้ใช้ Box-Cox Transformation เพื่อปรับให้มีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ผลการวิเคราะห์พบตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังตารางที่ 2.13 และได้สมการ Linear regression ของตัวแปรที่มีนัยสำคัญมีค่า R^2 เป็น 0.701 ดังแสดงในสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการ Luminance และปัจจัยต่างๆ

ตารางที่ 2.13 ตัวแปรทดสอบและตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Holick และ Carlson, 2002)

Independent Variable	Independent Variable Significant
• Driver age	• Age
• Visual acuity	• Visual acuity (both Snellen
• Word position on sign	and Contrast Sensitivity)
• Word type	• Trial number
• Trial number	• Word position
• Vehicle distance from sign face	• Visual Angle
• Visual angle of critical detail	

$$\begin{aligned} Legend\ Luminance\ &= -0.874\ + 0.02161(Age) + 0.01525(Snellen\ VA) \\ &+ 0.03339(Vistech\ VA)\ -\ 0.0537(Trial) + 0.0149(Legend\ Height) \\ &- 0.743(Visual\ Angle) \end{aligned}$$

นอกจากนี้ Holick และ Carlson ได้ศึกษาเพิ่มเติมหาสมการที่ใช้ในการออกแบบป้ายจราจรสูง (Overhead Sign) ที่สัมพันธ์กับปริมารแสงที่ผู้ขับขี่มองเห็น Luminance (cd/m^2) โดยพิจารณาอายุผู้ขับขี่ออกแบบ (Design driver age) ค่าการมองเห็นของคน (Snellen visual acuity) ความกว้างอักษร (Stroke width, in) และระยะทางระหว่างป้ายและผู้ขับขี่ (Distance, ft) ดังสมการ

$$L = -0.874 + \frac{A}{462.7} + \frac{VA}{20.56} - 212.9\frac{SW}{D}$$

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังจำกัดในด้านปัจจัยที่อาจยังไม่ครอบคลุม ปัจจัยบางด้าน เช่น ความคุ้นเคยในพื้นที่ของคนขับ ความสูงอักษร อาจมีผลปริมาณแสงต่อการมองเห็นได้

2.6 งานวิจัยการกำหนดวิธีและเกณฑ์การวัดค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจร

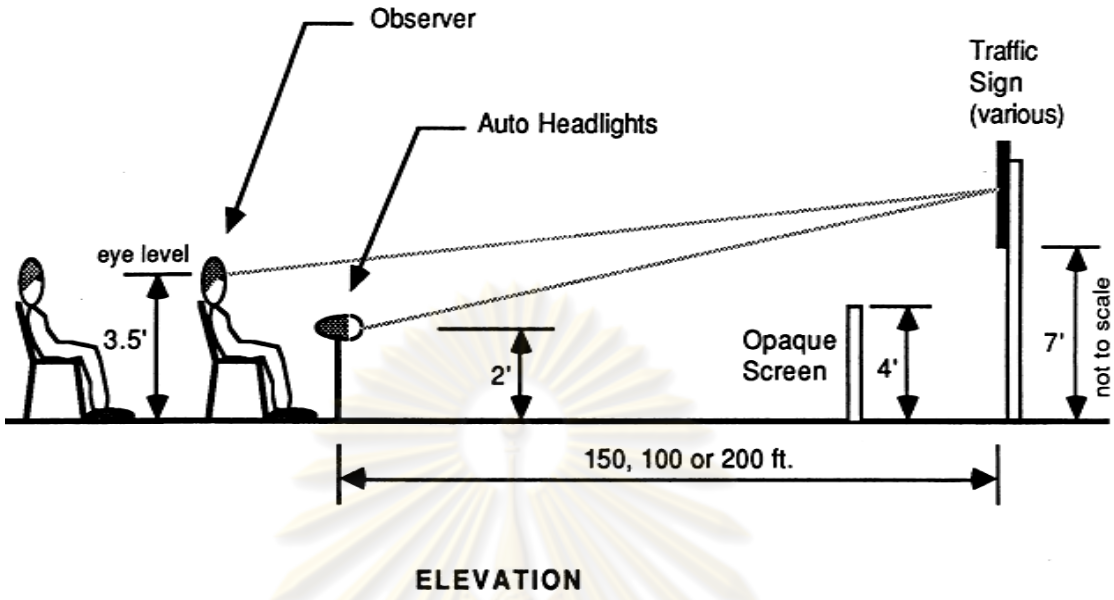
Lagergren (1987) ได้ศึกษาวิธีการประเมินการสะท้อนแสงของป้ายจราจรโดยใช้คนสำรวจ โดยผู้สำรวจ 17 คน ถูกฝึกในการประเมินค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรโดยให้ประเมินเป็นค่าลำดับ (Ratting) ตั้งแต่ 0 ถึง 4 ดีที่สุดในห้องทดลองที่มีสภาพมืดและในสภาพถนนจริงทำโดยขับขี่รถยนต์ในการประเมินป้ายจราจร ตำแหน่งการทดสอบจะประเมินค่าที่ระยะ 100 ถึง 300 ฟุต ป้ายจราจรในห้องทดลองถูกเตรียม ส่วนป้ายจราจรบนถนนจริงจะทำการประเมินจำนวน 130 ป้าย โดยเน้นศึกษาป้ายจราจรประเภทป้ายหยุด และป้ายเตือนเนื่องจากมีความสำคัญต่อการขับขี่บนถนน

การออกแบบการทดลองของ Lagergren ได้จัดทำการทดลอง 3 รูปแบบ ได้แก่ การทดลองแรกเป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติภายใน University of Washington การที่มีการเตรียมป้ายจราจร แหล่งกำเนิดแสง ตำแหน่งผู้นั่งทดสอบการสะท้อนแสงเพื่อประเมินที่ระยะต่างๆกัน รวมถึงระยะการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบต่างๆ ทั้งมุมมองในแนวราบและด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 2.27 การทดลองที่สองเป็นการทดสอบในเงื่อนไขเดียวกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการแต่จะทดสอบประเมินป้ายจราจรบนถนนภายใน University of Washington จำลองการขับรถจอดบนไหล่ทาง ดังรูปที่ 2.28 และการทดลองที่ 3 เป็นการทดสอบป้ายจราจรบนถนน 3 เส้นทางของรัฐวอชิงตันเป็นถนนชนบท 2 เส้นทางและถนนในเมือง 1 เส้นทาง แสดงดังรูปที่ 2.29

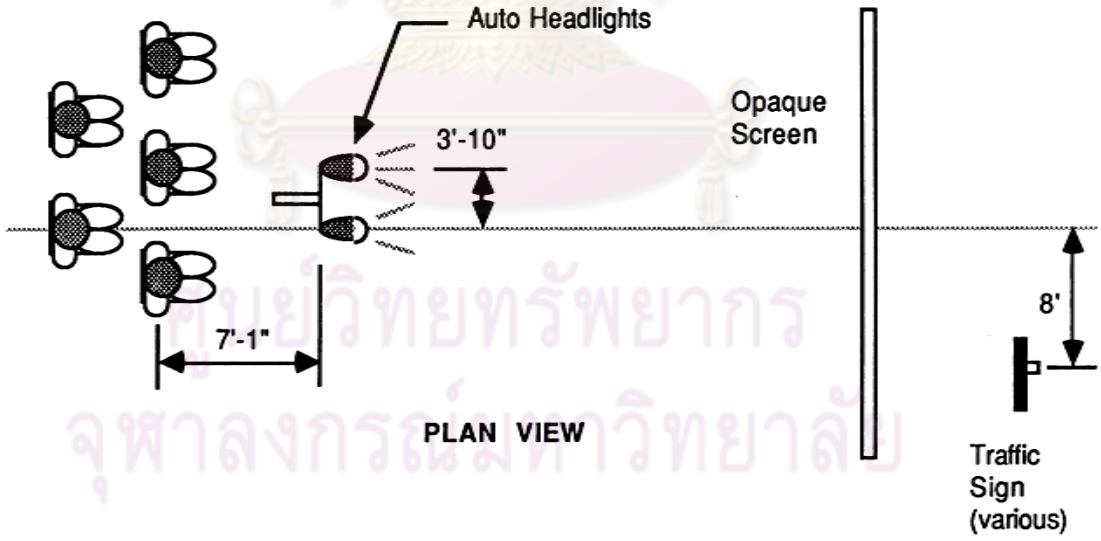
ค่าอันดับ 0 ถึง 4 ที่ใช้ในการประเมินจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การประเมินป้ายจราจรก่อนโดยเจ้าหน้าที่ ซึ่งได้กำหนดช่วงค่าอันดับตามค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ประเมิน เช่น ช่วงค่า 0 ถึง 1 แทนค่า R_A เป็น 6 cd/ft^2/fc ป้ายที่ต่ำกว่าระดับนี้จะมืดมองไม่เห็น ช่วงค่า 1 ถึง 2 แทนค่า R_A เป็น 18 cd/ft^2/fc ความเพียงพอของค่า Luminance ค่อนข้างต่ำ เป็นต้น และการประเมินโดยผู้เข้าร่วมทดสอบจะให้ค่าอันดับตามการมองเห็นการสะท้อนแสงของตนตั้งแต่ 0 ถึง 4 การวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของการประเมินค่าอันดับทั้งจากค่าจริง (Actual Sign Rating) และจากผู้ร่วมทดสอบ (Observer Sign Rating) โดยใช้แบบจำลอง Observer Rationing Units (ORU) ดังสมการ

$$ORU = \frac{\sum_{j=1}^{NC}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_A - X_O)^2}}{NC}$$

X_A คือ ค่าอันดับจริงของป้ายจราจร X_O คือ ค่าอันดับจากการประเมินของผู้ทดสอบ
n คือ จำนวนป้ายที่ทดสอบแต่ละประเภทอันดับ NC คือ จำนวนอันดับในแต่ละป้ายที่สำรวจ

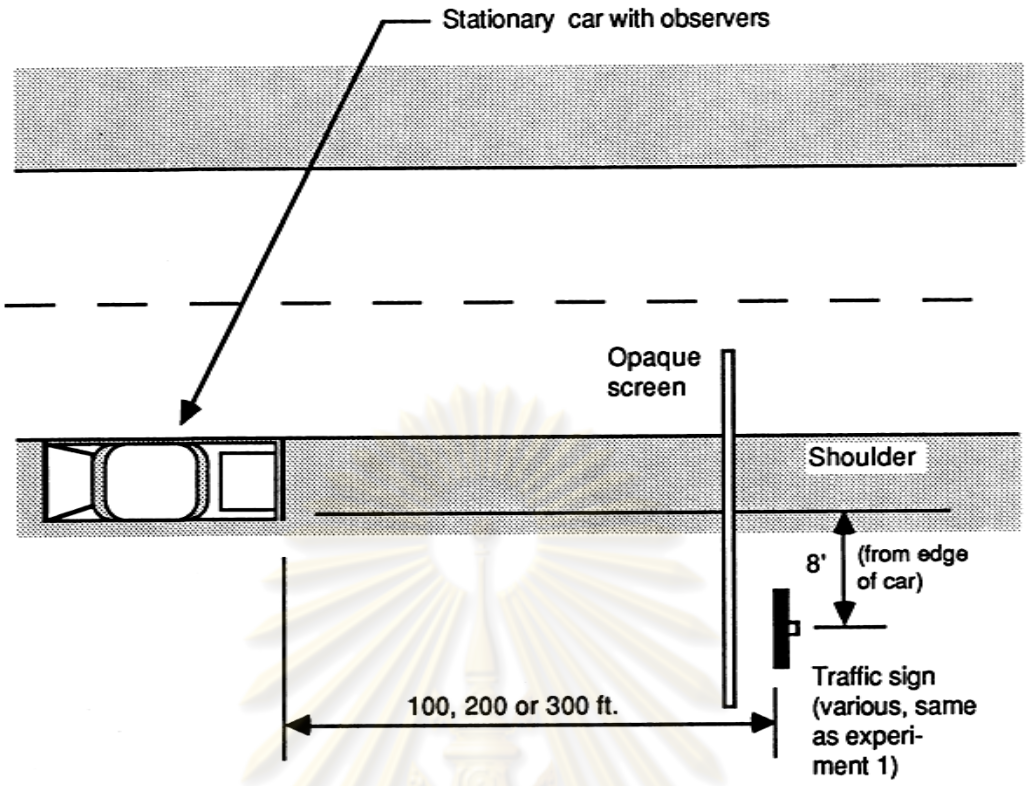


(ก) ด้านข้าง

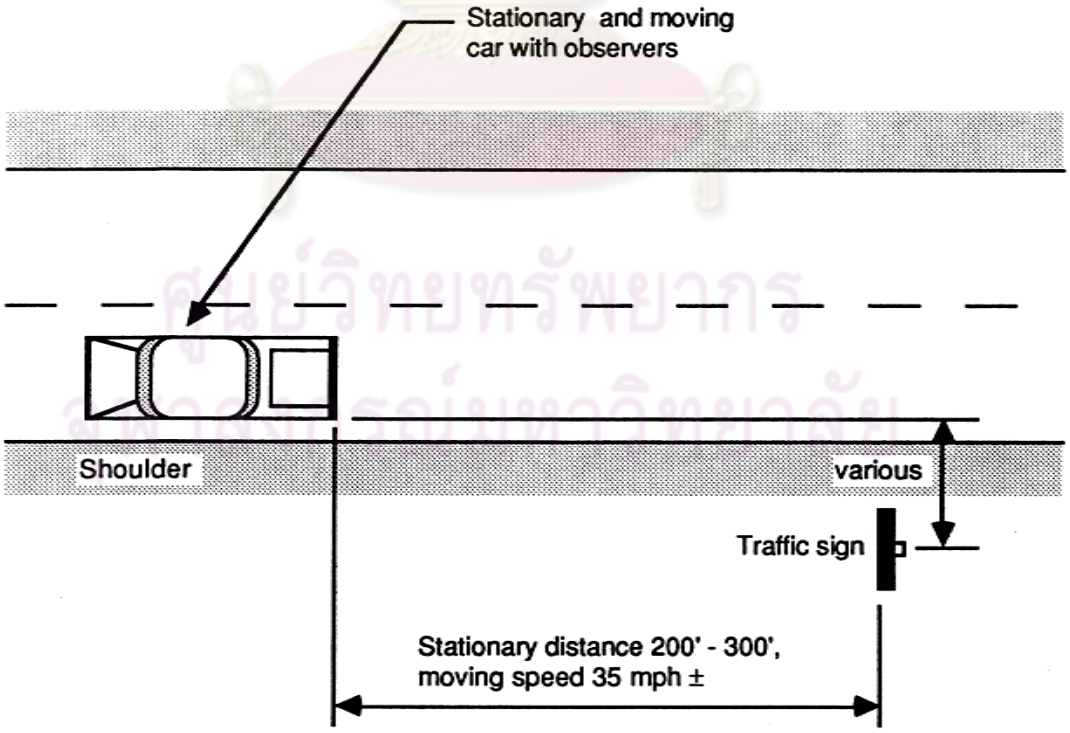


(ข) ด้านบน

รูปที่ 2.27 การประเมินค่าอันดับการสะท้อนแสงในห้องปฏิบัติการ (Lagergren, 1987)



รูปที่ 2.28 การประเมินค่าอันดับการสะท้อนแสงบนถนนที่มีการควบคุม (Lagergren, 1987)



รูปที่ 2.29 การประเมินค่าอันดับการสะท้อนแสงบนถนนของรัฐวอชิงตัน (Lagergren, 1987)

ผลการศึกษาของ Lagergren (1987) พบว่าการใช้คนประเมินป้ายจราจรโดยการให้ค่าอันดับการสะท้อนแสงนั้นให้ค่าความถูกต้องในการประเมินได้ตรงกับค่าอันดับจริงหรือการสะท้อนแสงจริง โดยการประเมินป้ายเตือนพบว่าประเมินได้ถูกต้องจำนวน 64 ป้าย จากทั้งหมด 86 ป้าย คิดเป็นร้อยละความถูกต้องร้อยละ 74 ป้ายหยุดประเมินได้ถูกต้องจำนวน 36 ป้าย จากทั้งหมด 44 คิดเป็นร้อยละความถูกต้องร้อยละ 82 แต่จากตารางที่ 2.14 จะพบว่ามีป้ายจราจรจำนวนไม่น้อยที่ควรถูกแทนที่ใหม่แต่กลับให้ผ่านและบางป้ายไม่ควรถูกแทนที่ใหม่แต่กลับประเมินให้ต้องแทนที่ ความผิดพลาดนี่อาจเป็นผลจากการประเมินโดยคนที่อาจมีความคลาดเคลื่อนทางสายตาหรือลักษณะของบุคคล ในการประเมินป้ายจราจรจำนวนมากๆจึงเหมาะสมที่จะใช้คนประเมินเพราะถ้าใช้วิธีอื่นต้นทุนจะสูงกว่า การประเมินเส้นทางที่มีจำนวนป้ายน้อยควรใช้วิธีอื่นเพื่อหลีกเลี่ยงการประเมินผิดพลาดโดยใช้คนซึ่งทำให้เกิดต้นทุนการเปลี่ยนป้ายใหม่เพิ่มขึ้นมากได้เช่นกัน

ตารางที่ 2.14 ผลสำรวจการประเมินป้ายจราจรสะท้อนแสงโดยผู้สำรวจ (Lagergren, 1987)

Individual Observer	Replaced		Not Replaced		Total Sign	Correct decisions	Percent Correct
Decision Model	Replace	Do Not Replace	Replace	Do Not Replace			
Warning Sign	21(26)	17	5	43(60)	86	64	74
Stop Sign	19(27)	3	8	14(17)	44	36	82

Paniati และ Mace (1993) ได้ศึกษาหาเกณฑ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำที่ต้องการสำหรับป้ายจราจร โดยใช้แบบจำลองการวิเคราะห์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรทางคอมพิวเตอร์ Computerized Analysis of Retroreflective Traffic Sign (CARTS) Model แบบจำลองนี้จะพิจารณาการสะท้อนแสงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรประเภท ขนาด ตำแหน่งที่ตั้งป้ายจราจร ประเภทไฟรถ ตำแหน่ง อายุ ลักษณะสายตาของผู้ขับขี่ และสภาพเรขาคณิต สภาพจราจรของถนน แบบจำลองประกอบด้วยการคำนวณระยะการมองเห็นที่ต้องการ Minimum Required Visibility Distance (MRVD) คือระยะการมองเห็นป้ายจราจรสั้นที่สุดเพื่อผู้ขับขี่สามารถตอบสนองการขับขี่ที่ปลอดภัย หลังจากคำนวณ MRVD แล้วจะทำการหาปริมาณแสงแห่งการมองเห็น (Luminance) ที่ต้องการในแต่ละ MRVD โดยใช้แบบจำลองการมองเห็น (DETECT, visibility model) แบบจำลอง CARTS จะสามารถคำนวณค่า Luminance ที่เพียงพอต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่แต่ละระยะทางและแปลง

เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง การทดสอบได้สร้างเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจำแนกตามประเภทป้ายจราจร ขนาดตัวอักษร ลักษณะตัวอักษร ลักษณะสีป้าย และความเร็วรถดังแสดงเกณฑ์ขั้นต่ำที่แนะนำในการสะท้อนแสงของป้ายจราจรในตารางที่ 2.16-2.19

โดยงานวิจัยของ Paniati และ Mace (1993) เป็นการสร้างเกณฑ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรที่พิจารณาเพียงปัจจัยด้านวัสดุตัวป้ายจราจร ลักษณะแสงไฟหน้ารถยนต์ และอายุ ลักษณะสายตาผู้ขับขี่ ปัจจัยอื่นๆของผู้ขับขี่มิได้ศึกษาและนำไฟรวมในการพัฒนาเกณฑ์การสะท้อนแสงขึ้นต่ำนี้ รวมถึงพิจารณาป้ายจราจรที่ติดตั้งบนพื้นยังขาดเกณฑ์สำหรับป้ายจราจรสูง (Overhead Sign)

Carlson และ Hawkins (2003a) ได้ปรับปรุงเกณฑ์มาตรฐานค่าการสะท้อนแสงขั้นต่ำของ Paniati และ Mace (1993) ด้วยสาเหตุที่ระยะเวลาผ่านมามีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีไฟหน้ารถยนต์ ขนาดประเภทรถยนต์ และวัสดุทำป้ายจราจร ทำให้เกณฑ์ที่ใช้อาจไม่มีความเหมาะสม โดยการพัฒนาเกณฑ์ใหม่ของ Carlson และ Hawkins ได้ใช้แบบจำลอง TTI MR Model ที่พัฒนาโดย Texas Transportation Institute, TTI (2001) โดยให้ความสำคัญกับ 4 ปัจจัยในการกำหนดแบบจำลองการสะท้อนแสงของป้ายจราจร ได้แก่ ลักษณะแสงไฟหน้ารถยนต์ ประเภทและขนาดรถยนต์ ลักษณะผู้ขับขี่กลางคืน และป้ายจราจรแบบใหม่ ผลการศึกษาจึงได้เกณฑ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของป้ายจราจรแยกประเภทและสีของป้ายแบบใหม่ แสดงดังตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของป้ายจราจร
(Carlson และ Hawkins, 2003a)

<table>
<tr><th rowspan="2">Sign Color</th><th rowspan="2">Criteria</th><th colspan="6">Sheeting Type (ASTM D4956-01a)</th></tr>
<tr><th>I</th><th>II</th><th>III</th><th>VII</th><th>VIII</th><th>IX</th></tr>
<tr><td>White on Red</td><td>See note 1</td><td colspan="6">35 //7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Black on Orange or Yellow</td><td>See note 2</td><td>*</td><td colspan="5">50</td></tr>
<tr><td>See note 3</td><td>*</td><td colspan="5">75</td></tr>
<tr><td>Black on White</td><td></td><td colspan="6">50</td></tr>
<tr><td rowspan="2">White on Green</td><td>Overhead</td><td>*// 7</td><td>*// 15</td><td>*// 25</td><td colspan="3">250 // 25</td></tr>
<tr><td>Shoulder</td><td>* // 7</td><td colspan="5">120 //15</td></tr>
<tr><td colspan="8">NOTE: Levels in cells represent legend retroreflectivity * background retroreflectivity (for positive contrast signs). Units are cd/lx/m^2 measured at an observation angle of 0.2° and an entrance angle of -4.0°</td></tr>
<tr><td colspan="8">1. Minimum Contrast Ratio > or = 3:1 (white retroreflectivity ÷ red retroreflectivity).</td></tr>
<tr><td colspan="8">2. For all bold symbol signs and text signs measuring 48 inches or more.</td></tr>
<tr><td colspan="8">3. For all fine symbol signs and text signs measuring less than 48 inches.</td></tr>
<tr><td colspan="8">* (Sheeting Type should not be used.)</td></tr>
</table>

ตารางที่ 2.16 ค่าการสะท้อนแสงที่แนะนำสำหรับป้ายเตือน อักษรดำบนพื้นเหลืองหรือส้ม (Paniati และ Mace, 1993)

Traffic Sign Legend	Sign Size	≥122 cm (48 in)	91 cm (36 in)	≤76 cm (30 in)
Legend	Material Type			
Bold Symbol	All	15	20	25
Fine Symbol and Word	I	20	30	35
	II	25	35	45
	III	30	45	55
	IV & V	40	60	70

ตารางที่ 2.17 ค่าการสะท้อนแสงที่แนะนำ อักษรขาวบนพื้นแดง (Paniati และ Mace, 1993)

Traffic Speed	72 km/h (45 m/h) or greater			64 km/h (40 m/h) or less		
Sign Size	≤122 cm (48 in)	91 cm (36 in)	≥76 cm (30 in)	≤122 cm (48 in)	91 cm (36 in)	≥76 cm (30 in)
Color	W R	W R	W R	W R	W R	W R
All Signs	35 8	45 8	50 8	25 5	30 5	35 5

ตารางที่ 2.18 ค่าการสะท้อนแสงที่แนะนำสำหรับป้ายบังคับ อักษรดำหรือดำและแดงบนพื้นขาว (Paniati และ Mace, 1993)

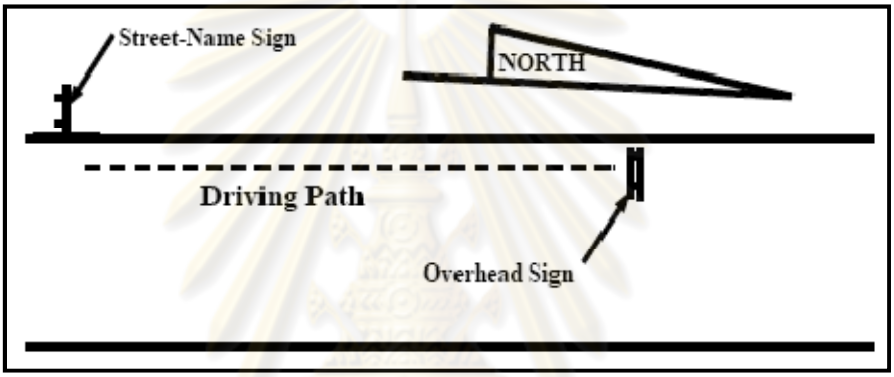
Traffic Speed	72 km/h (45 m/h) or greater			64 km/h (40 m/h) or less		
Sign Size	≥122 cm (48 in)	76-91 cm (30-36 in)	≤61 cm (24 in)	≥122 cm (48 in)	76-91 cm (30-36 in)	≤61 cm (24 in)
Material						
I	25	35	45	20	25	30
II	30	45	55	25	30	35
III	40	55	70	30	40	45
IV & V	50	70	90	40	50	60

ตารางที่ 2.19 ค่าการสะท้อนแสงที่แนะนำสำหรับป้ายแนะนำ อักษรขาวบนพื้นเขียว (Paniati และ Mace, 1993)

Traffic Speed	72 km/h (45 m/h) or greater		64 km/h (40 m/h) or less	
Color	White	Green	White	Green
Ground-Mounted	35	7	25	5

Note: All table values are in cd/lx/m^2. Since both the legend and the background of these signs are retroreflective, a minimum contrast ration of 4:1 should be maintained

Carlson และ Hawkins (2003b) ได้ศึกษาเกณฑ์ค่าสะท้อนแสงขั้นต่ำของป้ายแนะนำสูง (Overhead Guide Sign) และป้ายชื่อถนน (Street Name Sign) เนื่องจากในอดีตมีผู้ศึกษาเกณฑ์การสะท้อนขั้นต่ำของป้ายจราจรสูง (Overhead Sign) แต่รวมป้ายชื่อถนน และเกณฑ์ของป้ายจราจรสูงในอดีตมีสมมติฐานในข้อผิดพลาดเนื่องจากลักษณะของไฟหน้ารถยนต์ในสหรัฐอเมริกาที่เปลี่ยนแปลงไปจึงทำการหาเกณฑ์ใหม่ของป้ายจราจรสูงและป้ายชื่อถนนโดยใช้แบบจำลอง TTI MR Model และใช้กระบวนการทั้งหมดจากแบบจำลองโดยเพิ่มข้อมูลที่เป็นลักษณะรถยนต์ในปัจจุบันของอเมริกา และทำการวัดค่าแสงสว่าง (Luminance) โดยขับรถทดสอบแต่ละระยะทางในแนวตรงที่กำหนด วัดค่า Luminance ของป้ายจราจรสูงและป้ายชื่อถนน ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 การทดสอบวัดค่าความสว่าง (Luminance) ของป้ายจราจรสูงและป้ายชื่อถนน (Carlson และ Hawkins, 2003b)

ผลจากการศึกษาของ Carlson และ Hawkins (2003b) ได้เกณฑ์ค่าการสะท้อนแสงขั้นต่ำแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ เกณฑ์สำหรับป้ายแนะนำจราจรสูง (Overhead Guide Sign) และป้ายชื่อถนนทั้งแบบติดพื้นและแบบสูง แต่ภายหลังจบงานวิจัยได้มีการรวมเกณฑ์เป็นตารางเดียวสำหรับเกณฑ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของป้ายแนะนำและป้ายชื่อถนนทั้งแบบสูงและแบบบนพื้น ดังตารางที่ 2.20

ตารางที่ 2.20 เกณฑ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของป้ายแนะนำและป้ายชื่อถนน (Carlson และ Hawkins, 2003b)

Sign Color	Position	Sheeting Type (ASTM D4956-01a)					
		I	II	III	VII	VIII	IX
White-on-green guide signs or street-name signs	Overhead	* // 7	* // 15	* // 25	250 // 25		
	Shoulder	* // 7	120 // 15				
Note: The levels in the cells represent legend retroreflectivity // background retroreflectivity (for positive-contrast signs). Units are cd/lx/m^2 measured at an observation angle of 0.2° and an entrance angle of -4.0°.							

Holick และ Carlson (2008) ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกณฑ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของป้ายจราจรสีขาวบนพื้นน้ำเงิน (white on blue) และสีขาวบนพื้นน้ำตาล (White on brown) ซึ่งเป็นป้ายให้บริการข้อมูลแก่ผู้เดินทางและให้ข้อมูลจุดที่ท่องเที่ยวหรือจุดวัฒนธรรมที่น่าสนใจ โดยใช้แบบจำลอง TTI MR Model เช่นเดียวกับการศึกษาก่อนๆ แต่งานวิจัยนี้ได้เพิ่มปัจจัยด้านความจ้าแสง (Glare) ของแสงไฟหน้ารถและไฟบนถนนที่มีผลต่อ Luminance ในแบบจำลองดังสมการ

$$L_v = \sum_{i=1}^{n} \frac{9.5E_i}{\theta^2 + 1.5\theta} \quad , \quad L_v = L_{v,streetlight} + L_{v,headlamp}$$

L_v = veiling luminance (cd/m2)

E_i = glare illuminance at the driver's eye (lux)

θ = angle between line of sight and the glare source (degrees)

ผลการศึกษาทำให้ได้เกณฑ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของป้ายจราจรสีขาวบนพื้นน้ำเงิน (White on blue) และสีขาวบนพื้นน้ำตาล (White on brown) และเพิ่มเติมลงในตารางเกณฑ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรขั้นต่ำทุกประเภทสีของป้ายจราจร ดังตารางที่ 2.21

ตารางที่ 2.21 เกณฑ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของทุกสีป้ายจราจร (Holick และ Carlson, 2008)

<table>
<tr><th rowspan="3">Sign Color</th><th colspan="4">Sheeting Type (ASTM D4956-04)</th><th rowspan="3">Additional Criteria</th></tr>
<tr><th colspan="3">Beaded Sheeting</th><th>Prismatic Sheeting</th></tr>
<tr><th>I</th><th>II</th><th>III</th><th>III, IV, VI, VII, VIII, IX, X</th></tr>
<tr><td rowspan="2">White on green or white on blue</td><td>W*; G ≥ 7</td><td>W*; G ≥ 15</td><td>W*; G ≥ 25</td><td>W ≥ 250; G ≥ 25</td><td>Overhead</td></tr>
<tr><td>W*; G ≥ 7</td><td colspan="3">W ≥ 120; G ≥ 15</td><td>Ground mounted</td></tr>
<tr><td rowspan="2">White on brown</td><td>W*; Br ≥ 7</td><td>W*; Br ≥ 15</td><td>W*; Br ≥ 20</td><td>W ≥ 350; Br ≥ 20</td><td>Overhead</td></tr>
<tr><td>W*; Br ≥ 7</td><td colspan="3">W ≥ 150; Br ≥ 15</td><td>Ground mounted</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Black on yellow or black on orange</td><td>Y*; O*</td><td colspan="3">Y ≥ 50; O ≥ 50</td><td>(1)</td></tr>
<tr><td>Y*; O*</td><td colspan="3">Y ≥ 75; O ≥ 75</td><td>(2)</td></tr>
<tr><td>White on red</td><td colspan="4">W ≥ 35; R ≥ 7</td><td>(3)</td></tr>
<tr><td>Black on white</td><td colspan="4">W ≥ 50</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="6">The minimum MR levels shown in this table are in units of cd/lx/m^2 measured at an observation angle of 0.2° and an entrance angle of-4.0°.</td></tr>
<tr><td colspan="6">(1) For text and fine symbol signs measuring at least 1,200 mm (48 inches) and for all sizes of bold symbol signs.</td></tr>
<tr><td colspan="6">(2) For text and fine symbol signs measuring less than 1,200 mm (48 inches).</td></tr>
<tr><td colspan="6">(3) Minimum Sign Contrast Ratio ≥ 3:1 (white retroreflectivity ÷ red retroreflectivity).</td></tr>
<tr><td colspan="6">* This sheeting type should not be used for this color for this application.</td></tr>
</table>

Finley และคณะ (2002) ได้ศึกษาความสามารถการมองเห็นป้ายในมุมมองของผู้ขับขี่รถยนต์เพื่อการพาณิชย์ เนื่องจากรัฐเทกซัสมีปริมาณรถยนต์เพื่อการพาณิชย์เพิ่มมากขึ้นซึ่งทำให้อาจเกิดปัญหาตามมา โดยเฉพาะด้านความปลอดภัยต่อการมองเห็นป้ายจราจรในมุมมองของผู้ขับขี่รถยนต์พาณิชย์ในเวลากลางคืน การศึกษาเป็นการออกแบบการทดลองบนเส้นทางควบคุมในเวลากลางคืน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประเภทยานยนต์ ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล (Passenger car) และรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ (Commercial vehicle) และวัสดุประเภทป้ายจราจรสะท้อนแสง และอายุผู้ขับขี่ โดยถูกประเมินในด้านระยะการมองเห็นป้ายจราจร (Legibility distance) ในเวลากลางคืน และศึกษาผลของประเภทป้ายจราจร ได้แก่ ป้ายแนะนำ (Guide Sign) ป้ายบอกจุดหมายปลายทาง (Destination Sign) และป้ายจำกัดความเร็ว (Speed limit Sign) ดังรูปที่ 2.31 โดยมีประเภทป้ายจราจรสะท้อนแสงที่แตกต่างกันคือ ASTM Type III Type VIII และ Type IX

วิธีการทดสอบทำโดยสนามควบคุมการทดสอบใน Texas A&M University ในเวลากลางคืน โดยมีผู้เข้าร่วมในการทดสอบจำนวน 28 คน ที่ทำการวัดค่าสายตา (Visual Acuity) ในแต่ละช่วงอายุ ให้ขับขี่ในเส้นทางที่กำหนดด้วยความเร็วสูงสุดแนะนำ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และใช้ไฟต่ำรถยนต์ส่องไปยังป้ายจราจรเมื่อขับขี่ผ่านทีละป้ายผู้เข้าร่วมจะอ่านป้ายจราจรที่มองเห็นในระยะชัดเจน โดยผู้วิจัยจะนั่งข้างผู้ขับขี่เพื่อบันทึกคำพูดจากการอ่านป้ายและระยะทางที่จุดที่มองเห็นป้ายจราจรนั้นๆ ผู้เข้าร่วมแต่ละคนจะขับรถ 2 ครั้ง คือรถยนต์ส่วนบุคคลและรถยนต์การพาณิชย์ ในการวัดระยะทางได้ใช้เครื่องมือวัด DMI distance ติดที่ตัวรถแต่ละประเภทเพื่อบันทึกระยะทางโดยบันทึกระยะตั้งต้นไปจนตำแหน่งที่ผู้เข้าร่วมมองเห็นป้ายอย่างชัดเจนและตำแหน่งของป้าย ผลต่างระยะทั้งสองจะได้ระยะการมองเห็น (Legibility distance) ที่ตอบสนองจากผู้ขับขี่

(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 2.31 ประเภทป้ายจราจรที่ใช้ในการทดสอบ (ก) Guide Sign (ข) Destination Sign (ค) Daytime Speed Limit Sign (ง) Nighttime Speed Limit Sign (Finley และคณะ, 2002)

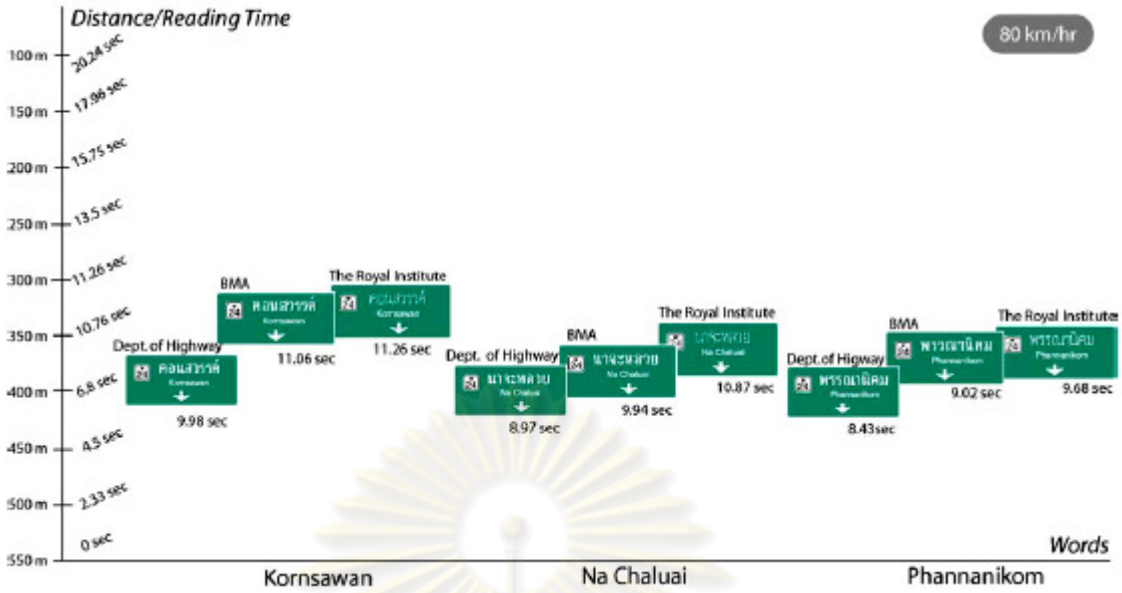
จากการศึกษาพบว่ารถยนต์เพื่อการพาณิชย์ (Commercial vehicle) มีระยะการมองเห็นป้ายจราจรสูงกว่ารถยนต์ส่วนบุคคล (Passenger car) ในทางสถิติ แต่จากการทดสอบค่าการให้แสงสว่าง (Illuminance) ของไฟหน้ารถยนต์เพื่อการพาณิชย์ที่ทดสอบในสนามมีค่าสูงกว่ารถยนต์เพื่อการพาณิชย์ทั่วไป ในส่วนประเภทป้ายจราจรสะท้อนแสงที่ใช้พบว่ามีนัยสำคัญต่อระยะการมองเห็นของป้ายจำกัดความเร็วเท่านั้น รวมถึงปัจจัยด้านประเภทยานยนต์และประเภทป้ายจราจรสะท้อนแสงมีนัยสำคัญร่วมกันต่อระยะการมองเห็นสำหรับป้ายจำกัดความเร็ว แต่ไม่มากนัก

กล่าวโดยสรุปงานวิจัยนี้พบว่าประเภทของยานยนต์ในการขับขี่ที่ทดสอบ คือ Freightliner ปี 1986 และ Chevy Lumina ปี ค.ศ. 1998 ในเวลากลางคืนมีผลต่อการระยะการมองเห็นของผู้ขับขี่ รวมถึงประเภทป้ายจราจรและประเภทป้ายสะท้อนแสง แต่การทดสอบมีผลเพียงกับป้ายจำกัดความเร็ว ป้ายประเภทอื่นที่ทำการทดสอบไม่มีผลที่แตกต่างต่อระยะการมองเห็น รวมถึงในงานวิจัยนี้ยังไม่ครอบคลุมถึงประเภทรถอื่นต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน และระยะติดตั้งป้ายแนวดิ่งและราบที่ยังไม่มีการทดสอบซึ่งอาจมีผลต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่ในเวลากลางคืน

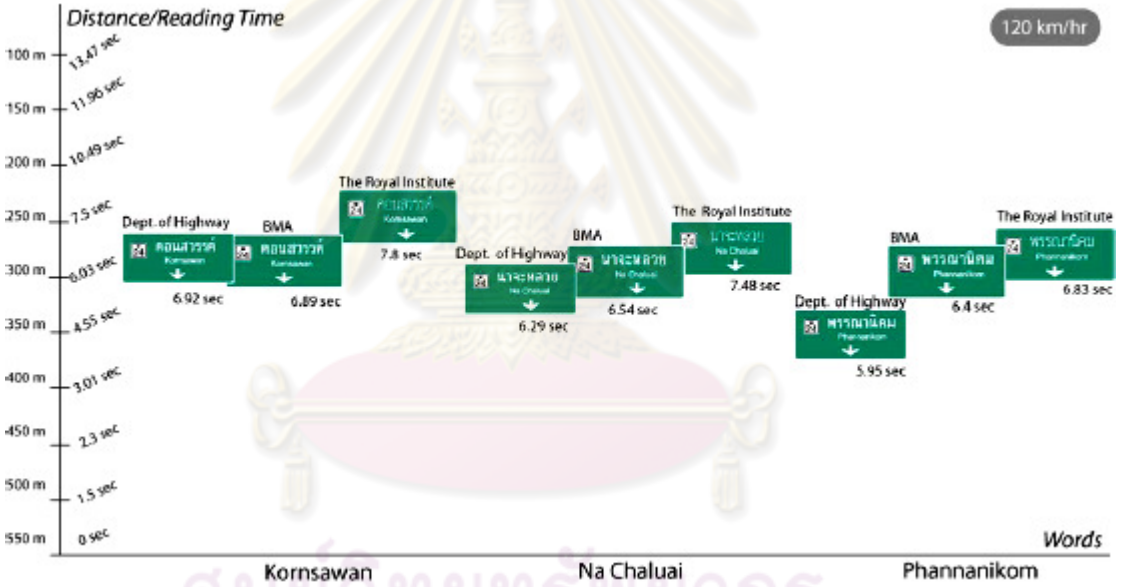
Teeravarunyou S. และ Loasirihongthong T. (2003) ได้ทำการศึกษาผลของรูปแบบอักษรบนป้ายจราจรที่มีต่อระยะมองเห็นของผู้ขับขี่ โดยศึกษาแบบอักษรบนป้ายจราจร 3 ประเภท ได้แก่ กรุงเทพมหานครฯ กรมทางหลวง และราชบัณฑิตมาทำการทดลองเปรียบเทียบผลต่อระยะมองเห็นของป้ายจราจรแบบ Overhead งานวิจัยได้ทดสอบโดยจำลองการมองเห็นป้ายจราจรรูปแบบต่างๆทางคอมพิวเตอร์เป็นภาพ 3 มิติแบบเคลื่อนไหวได้เพื่อเสมือนการขับขี่จริง ดังรูปที่ 2.32 มีการเทียบปรับระยะมองเห็นของผู้ขับขี่และขนาดป้ายจริงให้สอดคล้องกับระยะมองเห็นของผู้ทดสอบที่ห่างจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ การทดลองผู้ทดสอบเริ่มเห็นป้ายที่ระยะไกลและเมื่อถึงระยะที่อ่านตัวอักษรได้ให้ทำการกดปุ่มทันที ลักษณะคำในการทดสอบจะใช้ข้อความที่ไม่คุ้นเคยมาก่อนต่อผู้ขับขี่ การทดสอบใช้ป้ายจราจร 9 ป้าย 3 ข้อความในแต่ละประเภท ผู้ร่วมทดสอบจำนวน 99 คน เป็นผู้มีประสบการณ์ในการขับขี่และหลายช่วงอายุ ผู้ทดสอบถูกวัดสายสายตาก่อนทดสอบ

รูปที่ 2.32 การทดสอบระยะการมอเห็นในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

(Teeravarunyou S. และ Loasirihongthong T., 2003)



(ก) ความเร็ว 80 กม.ต่อ ชม.



(ข) ความเร็ว 120 กม.ต่อ ชม.

รูปที่ 2.33 รูปแบบอักษรและระยะมองเห็น

(Teeravarunyou S. และ Loasirihongthong T., 2003)

ผลจากงานวิจัยพบว่าตัวอักษรของกรมทางหลวงสามารถมองเห็นได้ในระยะไกลที่สุด เนื่องจากตัวอักษรมีความหนากว่าประเภทอื่น ดังรูปที่ 2.33 แต่ตัวอักษรของกรมทางหลวงบางตัว ทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านเช่น “ค” และ ”ด” เนื่องจากความหนาที่มาก ตัวอักษรของกรุงเทพมหานครฯ สามารถเข้าใจข้อความได้ง่ายและถูกต้องมากกว่าเพราะมีเส้นกิ่งบางๆ ที่ต่อกับหัวตัวอักษร จากงานวิจัยนี้ทำบ่งชี้ได้ว่าลักษณะของประเภทอักษร ความหนา และความเร็วขับขี่ มี

ผลต่อระยะมองเห็นแบบเสมือนของผู้ขับขี่ แต่ข้อกล่าวอ้างข้างต้นตั้งอยู่บนการจำลองในการทดสอบหน้าคอมพิวเตอร์ซึ่งในสภาพการขับขี่จริงอ่านให้ผลที่แตกต่างได้รวมถึงการขยายไปสู่การทดสอบในเวลากลางคืนอาจให้ข้อมูลที่น่าสนใจมากขึ้น

2.7 สรุปการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสะท้อนแสงของป้ายจราจรเป็นส่วนสำคัญต่อการมองเห็นในการขับขี่อย่างปลอดภัยในเวลากลางคืน ซึ่งปัจจุบันป้ายจราจรส่วนใหญ่เป็นป้ายสะท้อนแสงที่แตกต่างกันในแต่ละประเภท ปัจจุบันป้ายจราจรสะท้อนแสงที่ใช้มีประสิทธิภาพการสะท้อนแสงแตกต่างกันไปและเสื่อมสภาพด้วยปัจจัยต่างๆ อันมีผลต่อความปลอดภัยในการขับขี่เวลากลางคืน รวมถึงวิธีตรวจวัดการสะท้อนแสงของป้ายในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานที่ชัดเจน จึงเป็นสิ่งที่ต้องศึกษาในงานวิจัยต่างๆ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าวิธีการวัดค่าการสะท้อนแสงโดยใช้เครื่องมือวัดค่าแบบพกพาไม่มีความแตกต่างกับค่ากับค่าการสะท้อนแสงของป้ายจริง จึงเป็นวิธีที่ง่ายแต่เหมาะสมกับขนาดการวัดจำนวนป้ายที่ไม่มากนักเพราะต้องใช้เวลาวัดมาก ในส่วนของการใช้ผู้สำรวจประเมินป้ายจราจรสะท้อนแสงพบว่ายังมีความคลาดเคลื่อนแต่ในระดับน้อย วิธีนี้จึงเหมาะแก่การเก็บข้อมูลในปริมาณมาก เพราะจะใช้ต้นทุนการเก็บข้อมูลต่ำกว่าการใช้เครื่องมือทดสอบพกพา

งานวิจัยป้ายจราจรสะท้อนแสงในอดีตจนถึงปัจจุบันจะแบ่งเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การศึกษาปัจจัยที่กระทบต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจร และการศึกษาหาเกณฑ์ในการสะท้อนแสงของป้ายจราจรแต่ละประเภทหรือแต่ละสี การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจรพบว่า ปัจจัยหลักที่มีผลได้แก่ ลักษณะป้ายจราจร ลักษณะรถยนต์ ลักษณะผู้ขับขี่ ลักษณะสภาพแวดล้อม/ถนน การศึกษาส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาด้านตัวป้ายจราจรพบว่าอายุของป้ายมีผลต่อการลดประสิทธิภาพการสะท้อนแสงของป้าย ในส่วนตำแหน่งทิศทาง ฝุ่นละออง และการกระจายของค่าบนพื้นผิวป้าย ไม่มีผลอย่างชัดเจนต่อความสัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงของป้าย

ในด้านการกำหนดเกณฑ์การสะท้อนแสงนั้นจากงานวิจัยปัจจุบันได้มีการกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำในทุกป้ายจราจร โดยพิจารณาปัจจัยด้านไฟหน้ารถยนต์ ป้ายจราจร สภาพเรขาคณิตของยานยนต์และผู้ขับขี่ เป็นหลักในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อหาเกณฑ์การสะท้อนขั้นต่ำออกมาเป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบใช้งานแต่ในสภาพการเดินทางจริงในตอนกลางคืนอาจยังมีปัจจัยอื่นๆที่กระทบและมีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจร

อย่างไรก็ตามงานวิจัยจากการศึกษาที่ผ่านมาเป็นงานวิจัยในด้านการออกแบบป้ายจราจรในเวลากลางคืนให้ขับขี่ได้อย่างปลอดภัย โดยให้ความสำคัญกับตัวป้ายจราจรสะท้อนแสงในด้านวัสดุ การบำรุงรักษาและเกณฑ์การตรวจสอบการสะท้อนแสงของป้ายจราจรมากกว่า รวมถึงยังอาจมีปัจจัยอีกหลายด้านที่มีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนจากงานวิจัยที่ผ่านมาข้างต้นจะเห็นว่าการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อนแสงในปัจจุบันยังมิได้พิจารณาปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องอีกมากโดยเฉพาะปัจจัยด้านบุคคลหรือผู้ขับขี่ รวมถึงปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมหรือถนน ตำแหน่งการติดตั้งป้ายจราจรที่เหมาะสมต่อการมองเห็นในเวลากลางคืนที่อาจส่งผลต่อผู้ขับขี่ได้

การศึกษาหาตัวชี้วัดการมองเห็นป้ายจราจรได้ดีตัวหนึ่งคือระยะการมองเห็น (Legibility Distance) และระยะตรวจพบ (Detection Distance) ของป้ายจราจร ดังงานวิจัยในส่วนท้ายซึ่งป้ายจราจรที่มีประสิทธิภาพต่อการมองเห็นในเวลากลางคืนจะต้องออกแบบให้มีระยะการมองเห็นที่มากที่สุด อันมีผลต่อการตัดสินใจของผู้ขับขี่ในสถานการณ์ข้างหน้าบนถนนรวมถึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการสะท้อนแสงและการมองเห็นเข้าใจข้อความ สัญลักษณ์ บนป้ายจราจรได้ดียิ่งขึ้น

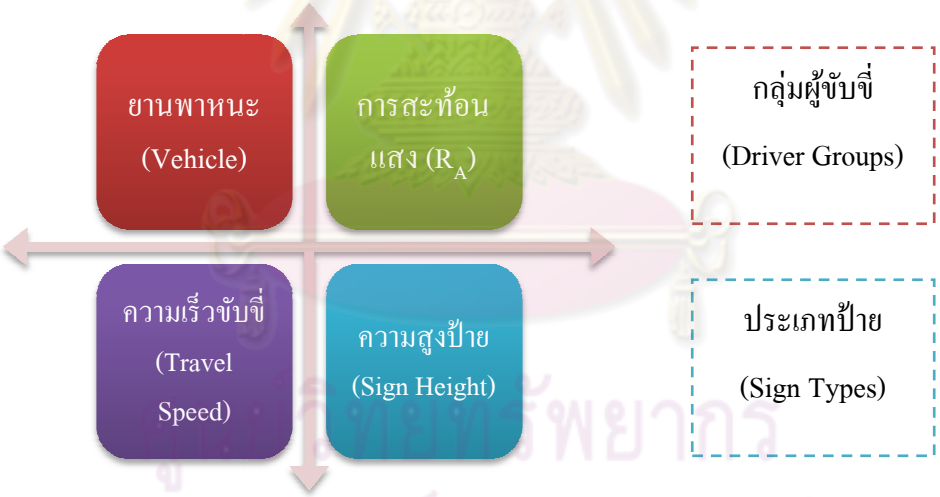
ผลของพฤติกรรมของผู้ขับขี่ในด้านต่างๆของแต่ละประเทศมีความจำเพาะเจาะจงที่แตกต่างกันด้วยลักษณะทางกายภาพ อาทิ ร่างกาย ความสูง ระดับสายตา พฤติกรรมการตัดสินใจ เหล่านี้อาจมีผลต่อการประเมินการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน เพราะการติดตั้งป้ายจราจรโดยทั่วไปประเทศไทยใช้มาตรฐานขนาดป้าย ระดับความสูงและระยะห่างด้านข้างจากถนน ของต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่จึงอาจมีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน ทั้งประเภทยานยนต์ที่ใช้ในแต่ละประเทศยังมีลักษณะพฤติกรรมการใช้ที่แตกต่างกัน ประเทศไทยมีการใช้ยานยนต์ที่แตกต่างกันหลายลักษณะ เช่น รถยนต์ส่วนบุคคล รถยนต์ปิกอัพ และรถจักรยานยนต์ ซึ่งอาจมีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรที่ระดับต่างๆที่อ้างอิงจากมาตรฐานที่ยังไม่มีการศึกษาที่ชัดเจนต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนเช่นเดียวกัน ดังนั้นการศึกษาปัจจัยที่กระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรเวลากลางคืนในแนวทางการทดลองปฏิบัติจริง จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมของผู้ขับขี่ในการมองเห็นเวลากลางคืนและการออกแบบป้ายจราจรที่เหมาะสมต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่ได้โดยตรงอันจะมีผลต่อการพัฒนาป้ายจราจรต่อการมองเห็นให้ปลอดภัยยิ่งขึ้น

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยในการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรสะท้อนแสงในการขับขี่ช่วงเวลากลางคืน โดยเนื้อหาประกอบไปด้วยปัจจัยที่ทำการศึกษา (Factors) วิธีการศึกษา (Procedure) การออกแบบการทดลอง (Design of Experimental) ปัจจัยทดสอบ (Treatments) พื้นที่ศึกษา (Location) ป้ายจราจรที่ศึกษา (Traffic Signs) ลักษณะยานพาหนะ (Vehicles) ผู้เข้าร่วมทดสอบ (Participants) แนวทางในการวิเคราะห์และแผนการดำเนินการวิจัย เพื่อให้การดำเนินงานวิจัยมีความชัดเจนและเป็นไปตามเป้าหมายในการทดสอบผลปัจจัยต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ปัจจัยที่ทำการศึกษา



จากการทบทวนทฤษฎีหลักการการสะท้อนแสงของป้ายจราจรในเวลากลางคืนพบว่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ประเภท ได้แก่ ป้ายจราจรสะท้อนแสง ไฟหน้ายานพาหนะ และผู้ขับขี่ (FHWA, 2008) รวมถึงองค์ประกอบของมุมในการสะท้อนแสง มุมสังเกต (Observation Angle) และมุมตกกระทบ (Entrance angle) ในส่วนของผู้ขับขี่ การรับรู้ข้อความบนป้ายจราจรในเวลากลางคืนอาจแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคลขึ้นกับพฤติกรรมการขับขี่ ขอบเขตของงานวิจัยนี้ได้พิจารณาทดสอบปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรของผู้ขับขี่ช่วงเวลากลางคืน โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การขับขี่ที่ความเร็วแตกต่างกันอาจทำให้ระยะเวลาในการมองเห็นและอ่านป้ายจราจรของผู้ขับขี่ลดลง ผู้ขับขี่อาจมีเวลาตัดสินใจต่อสถานการณ์ต่างๆน้อยลง จากงานวิจัยของ Teeravarunyou S. และ Loasirihongthong T. (2003) พบว่าความเร็วมีผลต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจรในแบบอักษรต่างๆจากการจำลองภาพเคลื่อนไหวทางคอมพิวเตอร์ แต่ในการทดสอบกับผู้ขับขี่บนถนนสภาพจริงยังมิได้มีการทดสอบมาก่อนในประเทศไทย ดังนั้นปัจจัยด้านระดับความเร็วในการขับขี่ยานพาหนะจึงเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญและอาจส่งผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรในช่วงเวลากลางคืน

- ป้ายจราจรที่ติดตั้งในปัจจุบันโดยส่วนมากติดตั้งที่ระดับความสูงที่หลากหลายตามแต่วิศวกรตัดสินใจโดยมีเกณฑ์มาตรฐานความสูงขั้นต่ำของถนนแต่ละประเภทระบุไว้ แต่เกณฑ์ความสูงดังกล่าวอาจพิจารณาเฉพาะตอบสนองต่อการมองเห็นในช่วงเวลากลางวันของผู้ขับขี่ ช่วงเวลากลางคืนการสะท้อนแสงของป้ายจราจรอาจขึ้นอยู่กับตำแหน่งระดับความสูงของป้ายที่ลำแสงจากไฟหน้ารถยนต์จะมาสะท้อนกลับไปยังผู้ขับขี่มากที่สุด ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะมีตำแหน่งระดับความสูงหนึ่งๆที่จะให้การสะท้อนแสงกลับมายังผู้ขับขี่ในเวลากลางคืนได้สว่างมากที่สุดและเพื่อทดสอบว่าเกณฑ์ระดับปัจจุบันเหมาะสมหรือไม่

- ปัจจัยด้านค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรในปัจจุบันเป็นปัจจัยที่หน่วยงานการทางต่างๆใช้เป็นส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการมองเห็นของป้ายจราจรในเวลากลางคืน ซึ่งป้ายจราจรที่มีประเภทวัสดุที่แตกต่างจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่แตกต่างด้วย นอกจากนี้จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา Bullock และ Bischoff (2002) พบว่าป้ายจราจรที่เสื่อมสภาพไปตามอายุการใช้งานจะให้ค่าการสะท้อนแสงลดลง นั่นหมายถึงความสามารถในการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนของผู้ขับขี่จะมีน้อยลงตามกัน แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากการทดสอบป้ายจราจรที่มีค่าการสะท้อนแสงแตกต่างกัน เช่น ป้ายเก่าและป้ายใหม่ ยังมิได้มีการทดสอบมาก่อน การนำป้ายจราจรสะท้อนแสงดังกล่าวมาทดสอบอาจทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนได้

- นอกจากปัจจัยดังกล่าวแล้วผู้วิจัยได้สนใจประเภทของยานพาหนะต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน โดยเฉพาะในประเทศไทยรถยนต์ส่วนบุคคลและรถจักรยานยนต์นับว่ามีสถิติการเกิดอุบัติเหตุที่สูงมาก การศึกษาประเภทของยานพาหนะต่อการมองเห็น

ป้ายจราจรช่วงเวลากลางคืนจึงอาจทำให้ทราบถึงลักษณะที่แตกต่างของการรับรู้การมองเห็นป้ายจราจรของผู้ขับขี่ทั้งรถทั้งสองประเภทได้

- ปัจจัยด้านผู้ขับขี่ ผู้วิจัยได้เสนอการทดสอบเพิ่มเติมโดยสนใจกลุ่มผู้ขับขี่ที่แตกต่างกันในด้านอายุและสภาพความชำนาญทางในการทดสอบการมองเห็นป้ายจราจรเวลากลางคืน ซึ่งปัจจัยทดสอบนี้เป็นการศึกษาลักษณะของบุคคลผู้ขับขี่เฉพาะที่อาจมีผลจากสภาพความสามารถตอบสนองทางร่างกายที่แตกต่างกันในไปในละกลุ่มต่อการมองเห็นป้ายจราจรสะท้อนแสง ด้วยเหตุนี้จึงเป็นปัจจัยที่เหมาะสมและมีความน่าสนใจในการศึกษา

3.2 วิธีการศึกษา

การศึกษาปัจจัยในการส่งผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนของผู้ขับขี่ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ปัจจัยที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ความเร็วขับขี่ และระดับความสูงป้ายจราจร เป็นปัจจัยหลัก นอกจากนี้การศึกษาได้รวมไปถึงประเภทยานพาหนะ และกลุ่มอายุผู้ขับขี่ โดยวิธีการศึกษาผู้วิจัยได้สนใจในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (3^k Factorial Design) ซึ่งเป็นการศึกษา k ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ประกอบด้วยระดับต่ำ กลาง และสูง เพื่อศึกษาและทดสอบปัจจัยทั้งหมดในงานวิจัย ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยทดสอบแบบ 3 ปัจจัย 3 ระดับ (3^3 Factorial Design)

ปัจจัย A (ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง)			ปัจจัย B (ความเร็วขับขี่)	ปัจจัย C (ความสูงป้าย)
0	1	2		
a_{000}	a_{100}	a_{200}	0	0
a_{001}	a_{101}	a_{201}	0	1
a_{002}	a_{102}	a_{202}	0	2
a_{010}	a_{110}	a_{210}	1	0
a_{011}	a_{111}	a_{211}	1	1
a_{012}	a_{112}	a_{212}	1	2
a_{020}	a_{120}	a_{220}	2	0
a_{021}	a_{121}	a_{221}	2	1
a_{022}	a_{122}	a_{222}	2	2

0 = ระดับต่ำ 1 = ระดับกลาง 2 = ระดับสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าการทดสอบปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ต้องดำเนินการทดสอบทั้งหมด 27 แบบการทดสอบ ในการทดสอบ 3 ปัจจัยหลักได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจร แบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำกว่าเกณฑ์ ระดับเกณฑ์ และระดับสูงกว่าเกณฑ์การสะท้อนแสง ความเร็วการขับขี่ แบ่งเป็น 3 ระดับได้แก่ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความสูงป้าย แบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับ 0 เมตร 1.5 เมตร และ 3.0 เมตร โดยชุดการทดสอบจะแบ่งเป็น 2 ชุดตามประเภทยานพาหนะ ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์

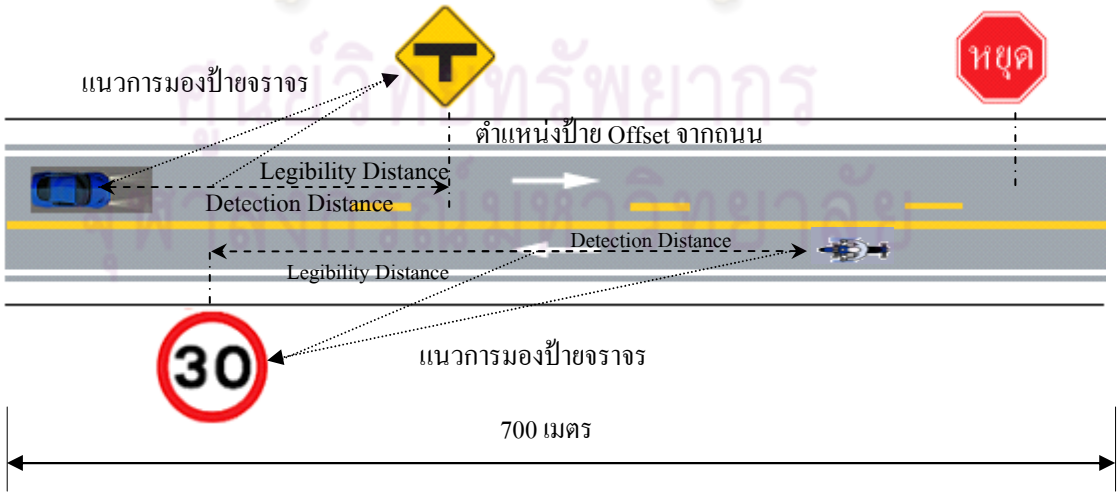
ตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในงานวิจัย ได้แก่ ระยะตรวจพบ (Detection Distance) และระยะมองเห็นและอ่านได้ (Legibility Distance) ของป้ายจราจร ซึ่งระยะตรวจพบ คือ ระยะทางที่ผู้ขับขี่ยานพาหนะสามารถตรวจสอบพบตำแหน่งของป้ายจราจรข้างหน้าขณะขับขี่ และระยะมองเห็นและอ่านได้ คือ ระยะทางที่ผู้ขับขี่ยานพาหนะสามารถอ่านมองเห็นและเข้าใจข้อความบนป้ายจราจรอย่างชัดเจนในช่วงเวลาที่เพียงพอต่อการดำเนินการการขับขี่ที่จำเป็นต่อสถานการณ์ข้างหน้า (Dewar, 2006) โดยทั้ง 2 ตัวแปรดังกล่าวจะเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของป้ายจราจรในการตอบสนองต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่ เนื่องจากระยะการตรวจพบป้ายและระยะการมองเห็นและอ่านได้ที่ไกลจะทำให้ผู้ขับขี่มีระยะเวลาในการทำความเข้าใจข้อความและสัญลักษณ์บนป้ายจราจรมากขึ้น ตัวแปรตอบสนองทั้งสองนี้จึงมีส่วนสัมพันธ์ต่อปัจจัยอิสระที่ทำการทดสอบ และหาได้จากการทดสอบในสนามทดลอง

วิธีการทดสอบผู้วิจัยจะทำการทดลองโดยใช้สนามการทดลองในเวลากลางคืนที่มีการควบคุม ถนนแบบ 2 ช่องจราจรในชนบทและเป็นถนนที่มีปริมาณของแสงไฟในการขับขี่ต่ำจึงเป็นถนนที่มีความเหมาะสมในการทดสอบเนื่องจากเป็นสภาพวิกฤต โดยถนนที่ใช้ทำการทดสอบคือถนน 2 ช่องจราจร (Two-lane Highway) ช่วงถนนระยะประมาณ 700 เมตร ควบคุมปริมาณจราจรและไม่มีการให้แสงไฟข้างทางหรือแสงไฟแก่ป้ายจราจร ถนนที่ใช้ทดสอบจะทำการติดตั้งป้ายจราจร 2 ป้ายในแต่ละทิศทาง ได้แก่ ป้ายบังคับ (ป้ายหยุดและป้ายจำกัดความเร็ว) ป้ายเตือน (ป้ายเตือน 4 แยกและป้ายเตือน 3 แยก) ในส่วนผู้เข้าร่วมทดสอบจะทำการวัดสายตา (Virtual acuity) เพื่อให้ทราบถึงลักษณะกายวิภาคของดวงตาต่อการมองเห็นก่อนทำการทดสอบ

การทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนอันประกอบด้วย 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ นั้นจำเป็นต้องทดลองผสมปัจจัย 27 แบบ ซึ่งเป็นจำนวนที่มากและยากแก่

การทดสอบจริง ดังนั้นผู้วิจัยจึงจัดให้มีการทดสอบ 2 จำนวนทดสอบซ้ำ (Replicate) 27 แบบสถานการณ์ ผู้ทดลองกลุ่มละ 9 คนทดลองคนละ 3 สถานการณ์ โดยกลุ่มผู้ทดลองประกอบด้วย 3 กลุ่มแบ่งตามช่วงอายุได้แก่ต่ำกว่า 30 ปี 30 ถึง 50 ปี และมากกว่า 50 ปี กลุ่มผู้ทดสอบเป็นผู้ขับขี่ที่ไม่มีความบกพร่องทางสายตาสามารถอ่านข้อความบนป้ายจราจรได้ ผู้ทดสอบควรมีสภาพร่างกายปรกติขณะทดสอบเพื่อสามารถระบุการมองเห็นข้อความหรือสัญลักษณ์บนป้ายจราจรได้ถูกต้อง

การทดสอบผู้เข้าร่วมทดสอบทั้งหมดจะทำการขับรถโดยใช้ไฟต่ำจากตำแหน่งอ้างอิงในสนามทดสอบไปตามเส้นทางตรงของถนนที่กำหนด และแนะนำให้ผู้ขับขี่ควบคุมความเร็วในการขับขี่ตามที่กำหนด โดยมีผู้วิจัยจะเป็นผู้นั่งไปด้วยในการขับขี่เพื่อบันทึกระยะการมองเห็นป้ายจราจร เมื่อผู้ทดสอบขับขี่จนถึงระยะที่สามารถตรวจพบ และระยะมองเห็นและอ่านได้ของป้ายจราจร จะทำการระบุตำแหน่งดังกล่าวแก่ผู้วิจัยทันทีในลักษณะคำพูด ได้แก่ “พบ” และ “เห็น” ตามลำดับ และขณะนั้นผู้วิจัยจะทำการบันทึกตำแหน่งระยะมองเห็นนั้นๆโดยอ้างอิงเทียบกับตำแหน่งบอกระยะด้านข้างถนนหรือปล่อยวัตถุระบุตำแหน่งลงบนถนน จากนั้นทำการวัดระยะทางจากตำแหน่งตรวจพบและตำแหน่งมองเห็นไปยังป้ายจราจร การทดสอบผู้เข้าร่วมจะทำการทดสอบคนละ 2 ครั้ง โดยใช้รถยนต์ส่วนบุคคลและรถจักรยานยนต์ เป็นจำนวนทั้งหมด 27 สถานการณ์การทดสอบแต่เนื่องจากต้องใช้ผู้ทดสอบที่มาก ผู้วิจัยจึงออกแบบการทดสอบให้ผู้ทดสอบ 1 คนทดสอบคนละ 3 สถานการณ์ หรือ 3 blocks จึงใช้ปริมาณผู้เข้าร่วมจำนวน 9 คนต่อชุด 27 สถานการณ์ แนวการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การทดสอบปัจจัยต่อระยะการตรวจพบและการมองเห็นของป้ายจราจรในสนามทดสอบ

วิธีการวัดค่าตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ ระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจราจร ในการทดสอบภาคสนามเวลากลางคืน ผู้ขับขี่จะทำการบอกตำแหน่งที่ตรวจพบและมองเห็นข้อความบนป้ายจราจรที่ใช้ทดสอบ จากนั้นผู้วิจัยที่นั่งรถทดสอบไปกับผู้ขับขี่จะทำการบันทึกเวลาขณะตรวจพบและมองเห็นป้ายจราจรทันที จากนั้นจะนำเวลาที่ได้มาคำนวณหาระยะทางการตรวจพบและมองเห็นป้ายจราจร โดยระยะทางดังกล่าวเป็นระยะจากตำแหน่งตรวจพบและมองเห็นไปยังตำแหน่งป้ายจราจรในแนวเส้นตรงแนวราบ ดังรูปที่ 3.2 ดังนั้นระยะทางของแปรตอบสนองทั้งระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นสามารถคำนวณได้จาก

ระยะตรวจพบ (Detection Distance)

$$Detection/Legibility\ Distance = d_{PIEV\ time} + d_{Detection\ or\ Legibility}$$

$$Detection\ Distance = V_0 t_{PIEV\ time} + [L - S_0 - V_0(t_{i+1} - t_i)]$$

ระยะมองเห็น (Legibility Distance)

$$Legibility\ Distance = d_{PIEV\ time} + d_{Detection\ or\ Legibility}$$

$$Legibility\ Distance = V_0 t_{PIEV\ time} + [L - S_0 - V_0(t_{i+1} - t_i)]$$

โดยที่ V_0 คือ ความเร็วขับขี่คงที่ของยานพาหนะ

$t_{PIEV\ time}$ คือ เวลาการตอบสนองในการขับขี่

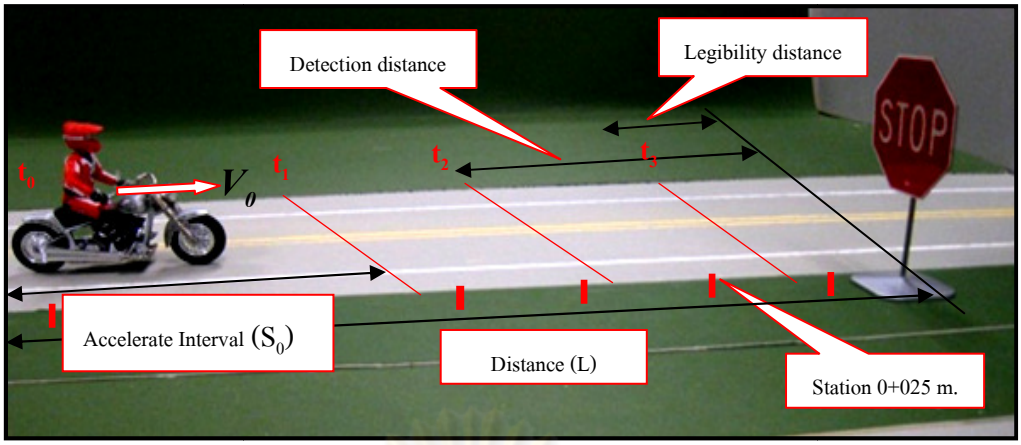
L คือ ระยะจากจุดเริ่มต้นถึงตำแหน่งป้ายจราจร

S_0 คือ ระยะความเร่งจนกระทั่งความเร็วคงที่

t_i คือ ค่าของเวลา ณ ตำแหน่งที่ i

t_{i+1} คือ ค่าของเวลา ณ ตำแหน่งที่ i+1

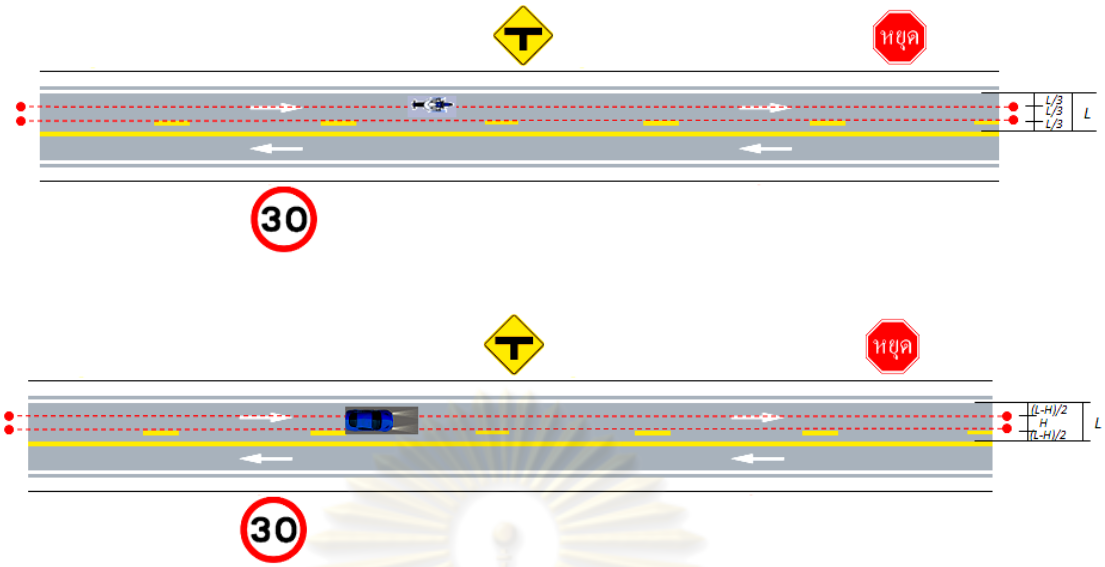
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 พารามิเตอร์ในการวัดระยะทาง

ในการทดสอบจริงจำเป็นต้องมีการจัดตั้งรูปแบบการทดลองบนสนามควบคุม อันได้แก่ ระยะห่างระหว่างป้ายจราจร ระยะห่างป้ายจราจรจากขอบทาง ระยะการเร่งความเร็วยานพาหนะของผู้ขับขี่ ช่วงการตรวจวัดระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นป้ายจราจร โดยในการทดสอบในงานวิจัยนี้ปัจจัยด้านความเร็วเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำการศึกษาผู้ขับขี่ต้องขับขี่ด้วยความเร็วระดับต่างๆในการมองป้ายจราจรเวลากลางคืน ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดระยะในการเร่งความเร็วรวมทั้งระยะที่คาดว่าผู้ขับขี่จะตรวจพบและมองเห็นป้ายจราจรในช่วงนั้น ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลขับขี่จริงและกำหนดระยะทางดังกล่าว อันประกอบด้วย ระยะการเร่งความเร็วยานพาหนะของผู้ขับขี่ 300 เมตร ช่วงการตรวจวัดระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นป้ายจราจร 200 เมตร ระยะห่างระหว่างป้ายจราจร 200 เมตร และระยะห่างป้ายจราจรจากขอบทาง 2 เมตร โดยป้ายจราจรที่ทำการทดสอบจำนวน 3 ป้ายจราจร ระยะต่างๆในการดำเนินการทดสอบภาคสนาม แสดงดังรูปที่ 3.4

ในการทดสอบผู้ทดสอบจะขับขี่ประเภทยานพาหนะทั้ง 2 ประเภท ผู้ทดสอบต้องขับขี่ในแนวเส้นตรงตามแนวที่กำหนด โดยรถยนต์ส่วนบุคคลจะกำหนดที่ระยะกึ่งกลางช่องจราจรห่างจากเส้นขอบทาง (L-H)/2 ในส่วนของรถจักรยานยนต์จะกำหนดที่ระยะ L/3 หรือหนึ่งในสามของความกว้างช่องจราจร เนื่องจากผู้ขับขี่ส่วนใหญ่จะขับขี่ที่ระยะดังกล่าว และเป็นระยะที่ไฟหน้ารถจักรยานยนต์สามารถส่องถึงป้ายจราจรได้ดี ดังรูปที่ 3.3

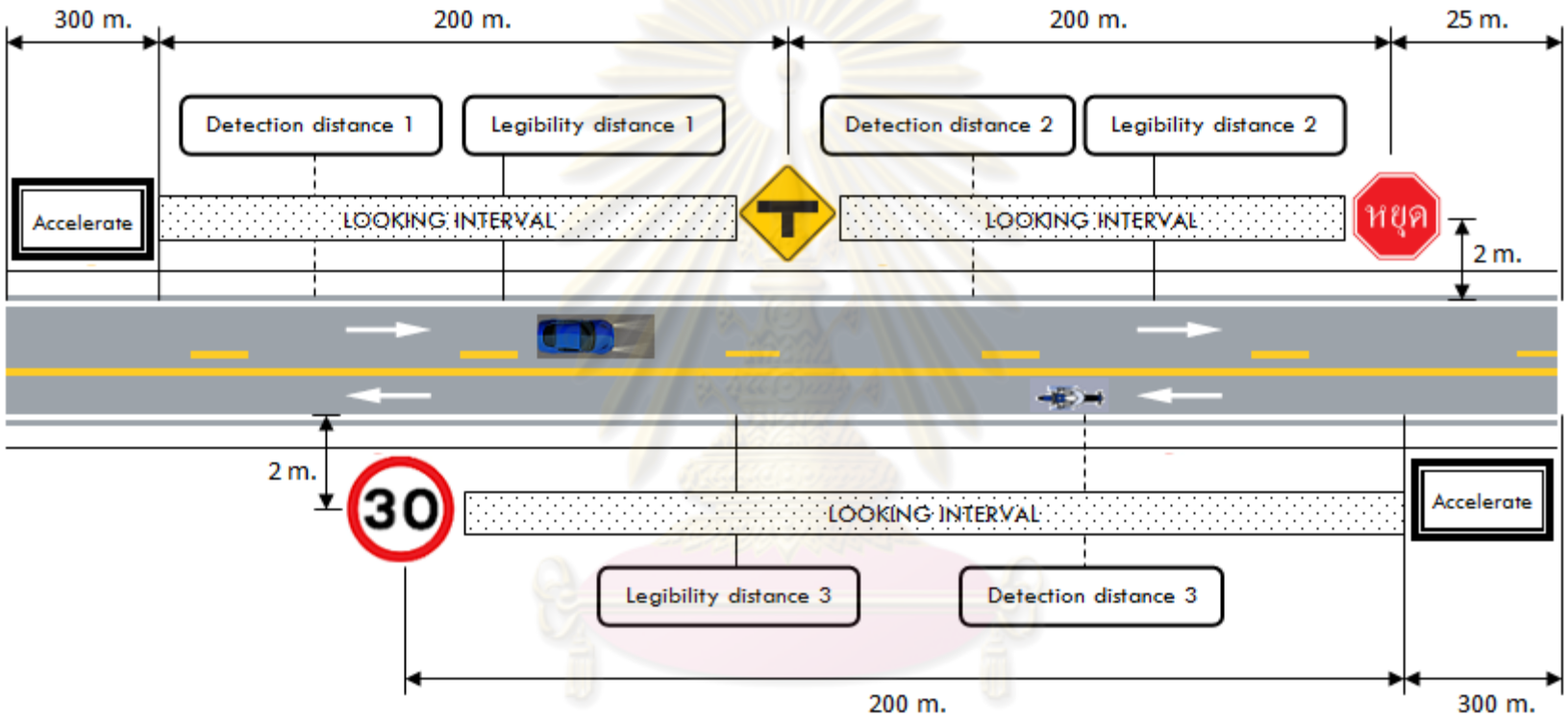


L คือ ความกว้างช่องจราจร

H คือ ระยะห่างระหว่างไฟหน้ายานพาหนะ

รูปที่ 3.3 แนวการขับขี่ยานพาหนะของผู้ทดสอบในสนามทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Remark: Not to scale

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.4 แผนภาพระยะต่างๆในการดำเนินการทดสอบภาคสนาม

3.3 ปัจจัยที่ทดสอบ

การทดสอบปัจจัยที่อาจส่งผลต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน ในการทดสอบผู้วิจัยได้แบ่งปัจจัยทดสอบเป็น 3 ประเภทปัจจัยได้แก่ ความเร็วขับขี่ ระดับความสูงของป้ายจราจร และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจร โดยมีปัจจัยร่วมในการทดสอบทั้งหมด 27 แบบ จำนวนกลุ่มผู้ทดสอบ 3 กลุ่มอายุ และประเภทป้ายจราจรที่ผู้วิจัยทำการทดสอบได้แก่

- ป้ายบังคับหยุด บ.1 พื้นสีแดง อักษรสีขาว ขอบสีขาว
- ป้ายจำกัดความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บ.32 พื้นสีขาว อักษรสีดำ ขอบสีแดง
- ป้ายเตือนทางแยกรูปตัวที ต.75 พื้นสีเหลือง สัญลักษณ์สีดำ

ปัจจัยทดสอบทั้งหมด 27 แบบ โดยผู้ทดสอบ 3 กลุ่ม กลุ่มละ 9 คน จำนวนทั้งสิ้น 27 คน การทดสอบแบ่งเป็น 3 ชุดการทดสอบ ได้แก่ การขับขี่โดยใช้รถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์ ในชุดทดสอบทั้ง 27 แบบ รายละเอียดการทดสอบปัจจัยแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การทดสอบปัจจัยทั้งหมด 27 สถานการณ์

ลำดับทดสอบ	ความเร็ว (Speed, km/hr)	ความสูงป้าย (Sign Height, m)	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (R_A[a])	ประเภทยานพาหนะ (Vehicle Type[b])	อักษรหรือสัญลักษณ์ (Legends/Symbols)
1	20	0.0	L	PC,MC	
2	20	1.5	L	PC,MC	
3	20	3.0	L	PC,MC	
4	20	0.0	M	PC,MC	
5	20	1.5	M	PC,MC	
6	20	3.0	M	PC,MC	
7	20	0.0	H	PC,MC	
8	20	1.5	H	PC,MC	
9	20	3.0	H	PC,MC	
10	40	0.0	L	PC,MC	
11	40	1.5	L	PC,MC	

ตารางที่ 3.2 การทดสอบปัจจัยทั้งหมด 27 สถานการณ์ (ต่อ)

ลำดับทดสอบ	ความเร็ว (Speed, km/hr)	ความสูงป้าย (Sign Height, m)	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (R_A[a])	ประเภทยานพาหนะ (Vehicle Type[b])	อักษรหรือสัญลักษณ์ (Legends/Symbols)
12	40	3.0	L	PC,MC	
13	40	0.0	M	PC,MC	
14	40	1.5	M	PC,MC	
15	40	3.0	M	PC,MC	
16	40	0.0	H	PC,MC	
17	40	1.5	H	PC,MC	
18	40	3.0	H	PC,MC	
19	60	0.0	L	PC,MC	
20	60	1.5	L	PC,MC	
21	60	3.0	L	PC,MC	
22	60	0.0	M	PC,MC	
23	60	1.5	M	PC,MC	
24	60	3.0	M	PC,MC	
25	60	0.0	H	PC,MC	
26	60	1.5	H	PC,MC	
27	60	3.0	H	PC,MC	

[a]L = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่ำกว่าเกณฑ์, M = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ระดับเกณฑ์, H = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงกว่าเกณฑ์ การสะท้อนแสงของป้ายจราจรของกรมทางหลวงชนบท (DRR), 2010 และกรมทางหลวงประเทศสหรัฐอเมริกา (FHWA), 2008

[b]PC = รถยนต์ส่วนบุคคล, MC = รถจักรยานยนต์

3.4 พื้นที่ศึกษา

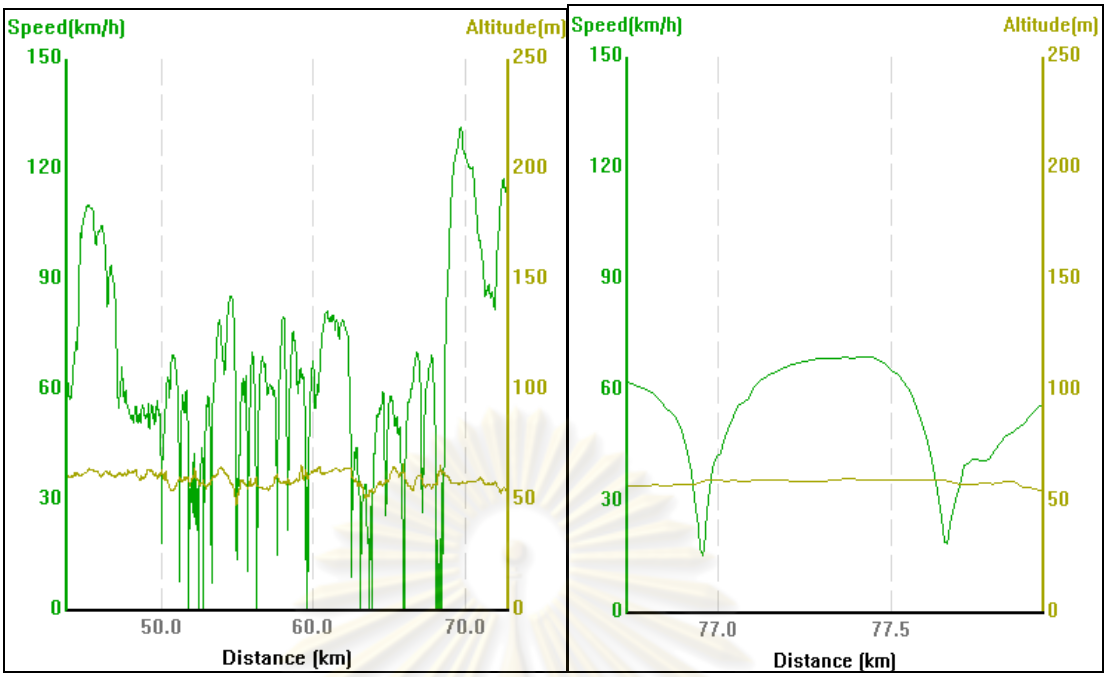
ผู้วิจัยได้เลือกใช้ช่วงถนน 2 ช่องจราจรในความดูแลของกรมทางหลวงชนบท สำนักทางหลวงชนบทจังหวัดสุโขทัย สท.4013 แยกทางหลวงหมายเลข 1195 (กม.ที่ 11.100) - บ้านขอนซุง ระยะทาง 16.247 กิโลเมตร เป็นถนนลาดยาง ความกว้างช่องจราจร 3 เมตร ความกว้างไหล่ทาง 1 เมตร โดยช่วงถนนดังกล่าวมีลักษณะตรงตามเงื่อนไขในการทดสอบงานวิจัย กล่าวคือ มีลักษณะช่วงสายทางแนวตรงไม่มีแนวโค้งราบ (Horizontal Alignment) และแนวโค้งดิ่ง (Vertical Alignment) บนสายทางทดสอบ โดยผู้วิจัยใช้ช่วงความยาวของถนนประมาณ 700 เมตรในการทดสอบป้ายจราจร 3 ประเภท โดยมีการควบคุมปัจจัยในการทดสอบในด้านตัวถนนเป็นทางตรงและควบคุมปริมาณจราจรในขณะทำการทดสอบ สภาพถนนในเวลาทดสอบควบคุมให้มีสภาพถนนปกติไม่ลื่นหรือมีสภาพเปียกและไม่มีสภาพภูมิอากาศรบกวน รวมถึงมีสิ่งกีดขวางทางในขณะทำการทดสอบ นอกจากนี้พื้นที่ศึกษาจะต้องมีป้ายจราจรเป็นป้ายบังคับและป้ายเตือนตามที่ผู้วิจัยกำหนดในการศึกษา ดังรูปที่ 3.5 ถึง 3.7

ลักษณะของสายทางและพื้นที่ทดสอบมีลักษณะเป็นถนนชนบท มีปริมาณจราจรต่ำในเวลากลางคืน ประชากรอาศัยอยู่ไม่หนาแน่นบนพื้นที่และมีลักษณะอยู่อาศัยตามแนวยาวของถนน

รูปที่ 3.5 ลักษณะถนน 2 ช่องจราจรของกรมทางหลวงชนบทในการทดสอบภาคสนาม

รูปที่ 3.6 ลักษณะถนน 2 ช่องจราจรของกรมทางหลวงชนบทในการทดสอบภาคสนาม

รูปที่ 3.7 ลักษณะป้ายจราจรที่ติดตั้งบนสายทางก่อนการทดสอบภาคสนาม



รูปที่ 3.8 ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางของสายทางทดสอบ

สายทางทดสอบนอกจากมีลักษณะปราศจากแนวโค้งดิ่งและแนวโค้งราบแล้ว ในด้านระดับความสูงหรือความชันของถนนก็อาจส่งผลต่อการทดสอบการมองเห็นป้ายจราจรเวลากลางคืนของผู้ขับขี่ รูปที่ 3.8 แสดงระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางของสายทางทดสอบ โดยแสดงในรูป Altitude (m) หรือ Mean Sea Level (MSL) ซึ่งเป็นความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางพบว่าสายทางทดสอบในช่วงถนนที่ใช้ทดลอง 700 เมตร มีค่าระดับไม่แตกต่างกันโดยค่าระดับอยู่ในช่วง 50-51 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

เนื่องด้วยสายทางทดสอบที่คัดเลือกเป็นสายทางที่มีความเหมาะสมตามเงื่อนไขงานวิจัย รวมทั้งเป็นสายทางในจังหวัดและพื้นที่ที่ผู้วิจัยสามารถดำเนินงานการทดลองได้สะดวกทั้งความพร้อมด้านเครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบภาคสนาม อีกทั้งเพื่อความสะดวกและปลอดภัยของผู้เข้าร่วมที่นำมาทดสอบที่เป็นคนในพื้นที่จังหวัดเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นสถานที่ทดสอบที่คัดเลือกผู้วิจัยจึงได้พิจารณาถึงด้านการขนส่งผู้ทดสอบมายังสถานที่ทดสอบ โดยพื้นที่จะต้องอยู่ใกล้กับที่พักหรือสามารถนำผู้ทดสอบมาได้อย่างสะดวกเพื่อลดต้นทุนการขนส่งและความเหนื่อยล้าก่อนการทดสอบในเวลากลางคืน ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาดำเนินการทดสอบเงื่อนไขถนนที่กำหนดดังกล่าว

จากเงื่อนไขในการศึกษาข้างต้นผู้วิจัยได้ออกแบบติดตั้งอุปกรณ์การทดลองต่างๆ ที่เหมาะสม อันประกอบไปด้วย การติดตั้งเสาเพื่อติดป้ายจราจรสูง 3.50 เมตร จำนวน 3 เสา ตัวเสาทาสีขาวเพื่อจำลองให้ใกล้เคียงกับสภาพเสาติดป้ายจราจรจริง บนสายทางทดสอบมีการติดตั้งปักป้ายบอกระยะทางทุกๆ 25 เมตร ทั้ง 2 ด้านของสายทางทดสอบ ดังรูปที่ 3.9 เพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งในการระบุระยะตรวจพบและระยะมองเห็นป้ายจราจรของผู้ขับขี่เวลากลางคืน นอกจากนี้ในการทดสอบเวลากลางคืนได้มีการกำหนดระยะเร่งของผู้ขับขี่ให้ได้ตามความเร็วคงที่ที่กำหนดโดยระยะดังกล่าวกำหนดไว้ที่ระยะ 200 เมตร จากจุดเริ่มต้นขับขี่ ตำแหน่งดังกล่าวจะถูกกำหนดโดยกรวยสะท้อนแสงดังรูปที่ 3.10 และ 3.11

การทดสอบปัจจัยทางกายภาพของป้ายจราจร อันประกอบด้วย ประเภทป้ายจราจร ระดับการสะท้อนแสงของป้ายจราจร และระดับความสูงของป้ายจราจร เสาป้ายจราจรจึงต้องมีการเจาะรูติดตั้งป้ายจราจรทั้ง 3 ระดับ ได้แก่ ระดับ 0 เมตร 1.5 เมตร และ 3.0 เมตร การดำเนินการทดสอบกลางคืนจะทำการติดตั้งป้ายจราจรตามชุดทดสอบในแบบต่างๆ ที่สุ่มปัจจัยทดสอบทางกายภาพทั้ง 3 ประเภท ทั้งความสูง การสะท้อนแสง และประเภทป้าย ดังรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.9 เสาป้ายจราจรที่ทำการติดตั้งใหม่เพื่อการทดสอบงานวิจัย

รูปที่ 3.10 การติดตั้งป้ายบอกระยะทางทุกๆ 25 เมตร

รูปที่ 3.11 ป้ายบอกระยะทางทุกๆ 25 เมตร และกรวยระยะ 200 เมตร ด้านข้างสนามทดสอบ

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 3.12 เสาและตำแหน่งติดตั้งป้ายจราจรที่ระดับต่างๆ (ก) ป้ายหยุด (ข) ป้ายทางแยกรูปตัวที (ค) ป้ายจำกัดความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

3.5 ป้ายจราจรที่ศึกษา

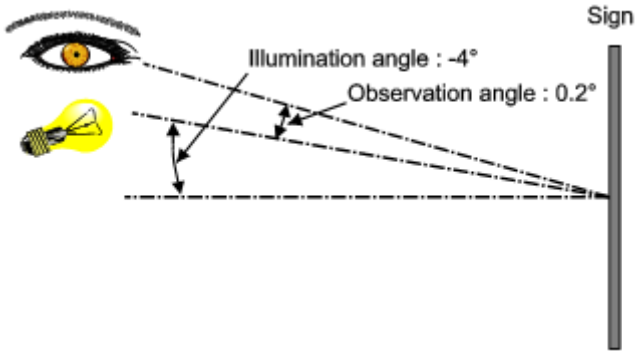
ป้ายจราจรที่ทำการทดสอบประกอบด้วยป้ายบังคับและป้ายเตือนประเภทละ 2 ป้าย ซึ่งจากกฎอย่างง่ายในการหาระยะการมองเห็นและอ่านป้ายจราจรในเวลากลางวันจะคำนวณจากอัตราระหว่างระยะมองเห็นต่อขนาดความสูงอักษรบนป้ายประมาณ 4.8 เมตรต่อเซนติเมตร (MUTCD, 2003) ดังนั้นป้ายจราจรที่ใช้ในการทดสอบจะทำการควบคุมให้ขนาดความสูงอักษรเท่ากันในป้ายประเภทเดียวกัน เพื่อสามารถนำมาเปรียบเทียบผลการมองเห็นป้ายเวลากลางคืนของผู้ขับขี่ได้ นอกจากนี้ขนาดป้ายจราจรที่ใช้ทดสอบจะเป็นขนาดเดียวกันและสอดคล้องกับถนน 2 ช่องจราจร นั้นคือที่ความเร็วสำคัญไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขนาดของป้ายจราจรต้องมีขนาด 600 มิลลิเมตร (สนข., 2547) เป็นป้ายจราจรขนาดเล็ก

ค่าการสะท้อนแสงป้ายจราจรเป็นตัวแปรหนึ่งในงานวิจัยที่ศึกษา จึงมีความจำเป็นต้องทำการวัดค่า โดยงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการวัดที่เป็นสากลตามวิธีที่แนะนำโดยคู่มืออุปกรณ์ควบคุมการจราจร Manual of Uniform Traffic Control Devices (MUTCD) ของประเทศสหรัฐอเมริกา แนวทางการวัดตั้งอยู่บนมาตรฐานการทดสอบวัสดุสะท้อนแสงตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) ซึ่งใช้อุปกรณ์วัดค่าการสะท้อนแสงแบบพกพา (Hand-held contact instruments) ตามมาตรฐาน ASTM E1709-00 โดยทำการสุ่มวัดค่าการสะท้อนแสง 4 ค่า จากอักษรหรือพื้นหลังป้ายจราจร จากนั้นทำการเฉลี่ยค่าการสะท้อนแสงในแต่ละสีของป้ายที่ทดสอบ โดยสีที่ทำการวัดเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการสะท้อนแสงขั้นต่ำของป้ายจราจร FHWA (Carlson , 2008) โดยงานวิจัยนี้ป้ายที่คัดเลือกประกอบด้วยระดับการสะท้อนแสง 3 ระดับ ในงานวิจัย ได้แก่ ระดับต่ำกว่ามาตรฐาน ระดับมาตรฐาน และระดับสูงกว่ามาตรฐานเพื่อใช้ในการทดสอบ ดังรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 การสุ่มจุดการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจร 4 จุดในแต่ละประเภทสี

การวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจร ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลภาคสนามของสายทางต่างๆโดยครอบคลุมป้ายบังคับและป้ายเตือนที่มีค่าการสะท้อนแสงสอดคล้องกับเงื่อนไขงานวิจัย โดยใช้เครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแบบพกพา ZEHNTNER ZRS 5060.A Retroreflectometer ซึ่งแสดงผลค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรในหน่วยของแคนเดลลาต่อลักซ์ต่อตารางเมตร (cd/lx/m^2) วัดค่าในช่วง 0-2,000 cd/lx/m^2 บันทึกค่าได้ 1,000 ค่า เครื่องวัดค่าที่มุม Illumination angle หรือ Entrance angle -4° และ Observation angles 0.2° ตามมาตรฐาน ASTM 1709 และสอดคล้องกับมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท ดังรูปที่ 3.14 และ 3.15

รูปที่ 3.14 เครื่องมือใช้วัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรในภาคสนาม



รูปที่ 3.15 องค์ประกอบมุมการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจร (DELTA, 2009)

ป้ายจราจรที่ศึกษาในงานวิจัยประกอบด้วยป้ายบังคับและป้ายเตือน ได้แก่ ป้ายหยุด ป้ายจำกัดความเร็ว และป้ายทางแยกรูปตัวที โดยป้ายจราจรแต่ละประเภทในการศึกษามีระดับการสะท้อนแสง 3 ระดับที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดค่าการสะท้อนแสงป้ายจราจรแบบพกพา การวัดป้ายจราจรสะท้อนแสงแต่ละป้ายจำเป็นต้องทำความสะอาดป้ายทุกครั้งก่อนทำการวัดค่า ในงานวิจัยผู้วิจัยได้ทดสอบป้ายจราจรสะท้อนแสงทั้ง 3 ประเภทดังกล่าวครอบคลุมป้ายจราจรสภาพเก่า กลางและใหม่ จนได้ค่าการสะท้อนแสงตามที่ออกแบบการศึกษา การทดสอบการสะท้อนแสงป้ายจราจรในภาคสนามแสดงดังรูปที่ 3.16 ถึง 3.18

รูปที่ 3.16 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรแต่ละประเภท

รูปที่ 3.17 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรเก่า

รูปที่ 3.18 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรบนเส้นทาง

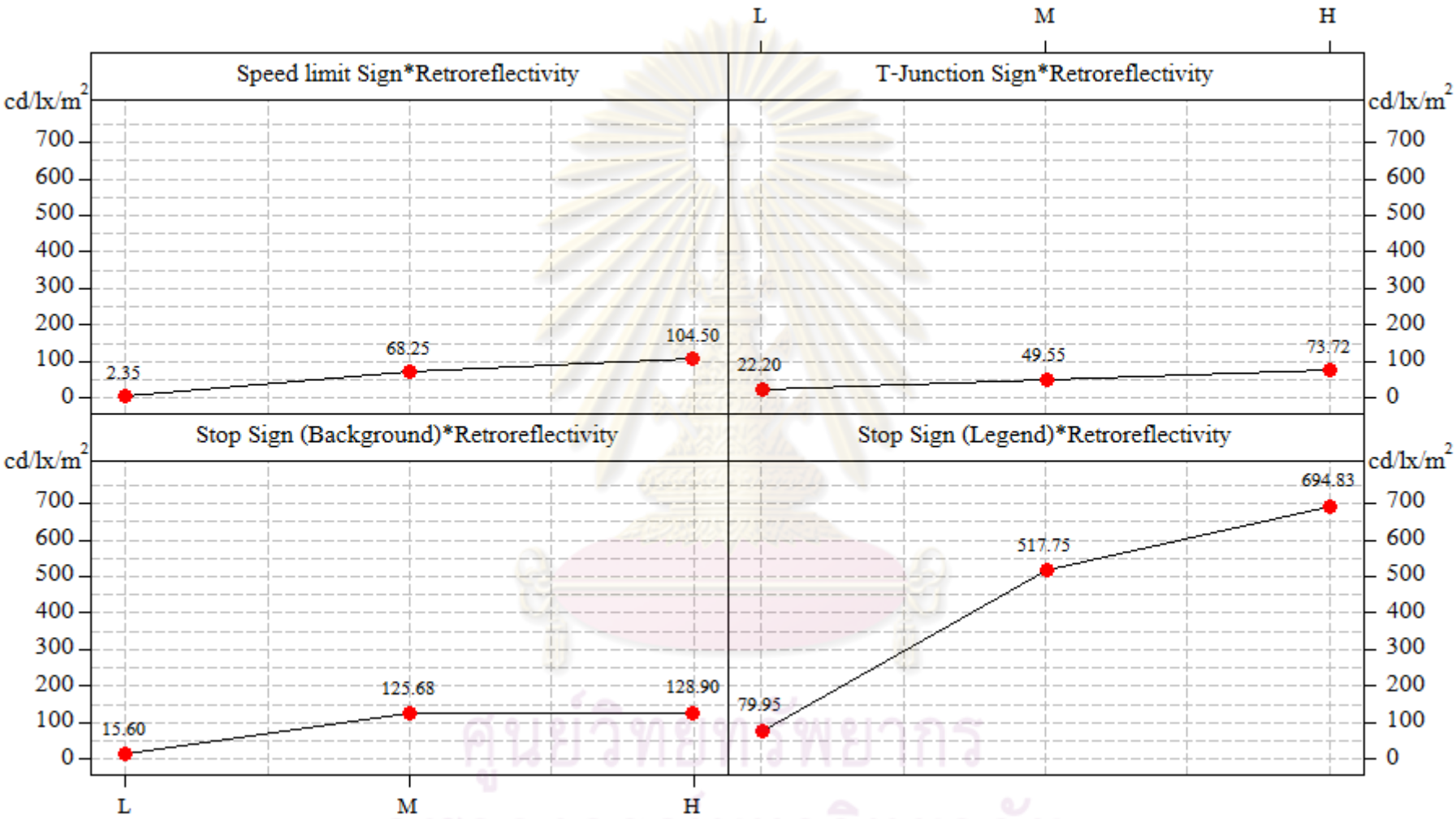
ป้ายจราจรที่ทำการวัดค่าการสะท้อนแสงประกอบด้วยป้ายจราจรแบบที่ 1 แบบที่ 4 และแบบที่ 9 ได้แก่ ป้ายหยุด 75x75 ซม. ป้ายจำกัดความเร็ว 60 ซม.และป้ายทางแยกรูปตัวที 60x60 ซม. โดยแต่ละป้ายมี 3 ระดับการสะท้อนแสง ดังนี้ ป้ายหยุด อักขระสีขาวสะท้อนแสงมีค่าการสะท้อนแสงเป็น 79.95, 517.75 และ 694.83 cd/lux/m^2 พื้นสีแดงสะท้อนแสงมีค่าการสะท้อนแสงเป็น 15.60, 125.68 และ 128.90 cd/lux/m^2 ป้ายจำกัดความเร็ว อักขระสีดำ พื้นสีขาวสะท้อนแสงมีค่าการสะท้อนแสงเป็น 2.35, 68.25 และ 104.50 cd/lux/m^2 ป้ายทางแยกรูปตัวที อักขระสีดำ พื้นสีเหลืองสะท้อนแสงมีค่าการสะท้อนแสงเป็น 22.2, 49.55 และ 73.72 cd/lux/m^2 โดยมีเกณฑ์ค่าการสะท้อนแสงขั้นต่ำของป้ายจราจรตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท แสดงดังตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.19

ตารางที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรในการทดสอบภาคสนาม

ประเภทป้าย (Sign Type)	แบบป้าย (ASTM)	เกณฑ์ (Criteria)	สี (Color)		ค่าการสะท้อนแสง (R_A ,cd/lux/m^2)*	
			พื้น (Background)	อักขระ (Legend)	พื้น (Background)	อักขระ (Legend)
ป้ายหยุด (STOP SIGN)	I	L	แดง (Red)	ขาว (White)	15.60	79.95
	IV	M	แดง (Red)	ขาว (White)	125.68	517.75
	IX	H	แดง (Red)	ขาว (White)	128.90	694.83
	เกณฑ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของกรมทางหลวงชนบท				14	70
ประเภทป้าย (Sign Type)	แบบป้าย (ASTM)	เกณฑ์ (Criteria)	สี (Color)		ค่าการสะท้อนแสง (R_A ,cd/lux/m^2)[a]	
			พื้น (Background)	อักขระ (Legend)	พื้น (Background)	
ป้ายจำกัดความเร็ว (SPEED LIMIT)	I	L	ขาว (White)	ดำ (Black)	2.35	
	I	M	ขาว (White)	ดำ (Black)	68.25	
	I	H	ขาว (White)	ดำ (Black)	104.50	
	เกณฑ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของกรมทางหลวงชนบท				70	
ป้ายทางแยกรูปตัวที (T-JUNCTION)	I	L	เหลือง (Yellow)	ดำ (Black)	22.20	
	I	M	เหลือง (Yellow)	ดำ (Black)	49.55	
	I	H	เหลือง (Yellow)	ดำ (Black)	73.72	
	เกณฑ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของกรมทางหลวงชนบท				50	

*ค่าการสะท้อนแสงวัดโดยเครื่อง ZEHNTNER ZRS 5060.A Retroreflectometer ที่ระนาบ 0 องศา

ป้ายจราจรที่ใช้ในการทดสอบภาคสนามจำแนกตามเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงหรือลักษณะอายุการใช้งาน (เก่า กลาง ใหม่) ของป้ายจราจรแต่ละประเภทแสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 กราฟระดับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรแต่ละประเภทในการทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ป้ายหยุด (ระดับ H)	ป้ายหยุด (ระดับ M)	ป้ายหยุด (ระดับ L)
ป้ายทางแยกรูปตัวที (ระดับ H)	ป้ายทางแยกรูปตัวที (ระดับ M)	ป้ายทางแยกรูปตัวที (ระดับ L)

ป้ายจำกัดความเร็ว 30 กม.ต่อชม.(ระดับ H)	ป้ายจำกัดความเร็ว 30 กม.ต่อชม.(ระดับ M)	ป้ายจำกัดความเร็ว 30 กม.ต่อชม.(ระดับ L)

รูปที่ 3.20 ลักษณะป้ายหยุด ป้ายทางแยกรูปตัวที ป้ายจำกัดความเร็ว 30 กม.ต่อชม. แต่ละระดับการสะท้อนแสงที่ใช้ในการทดสอบ

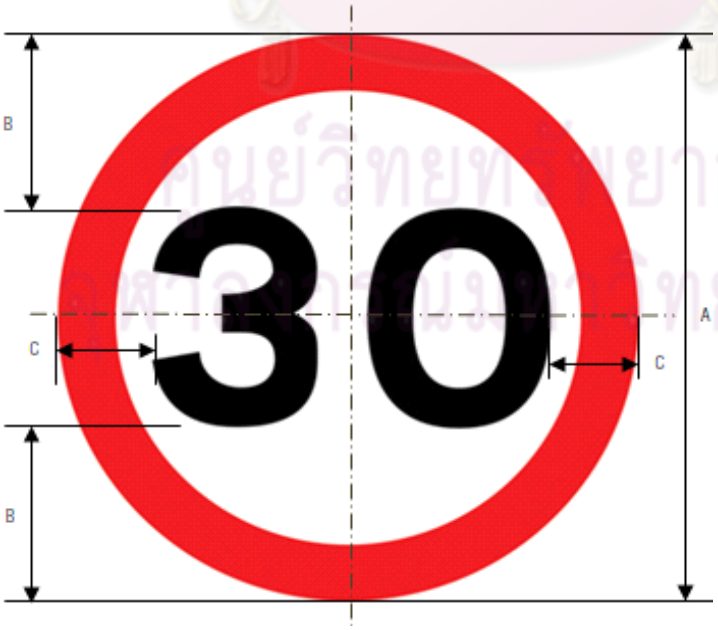
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลักษณะของป้ายจราจรในงานวิจัยประกอบด้วยองค์ประกอบด้านขนาดของป้ายจราจรและมิติขนาดต่างๆของป้ายที่เป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท ที่ใช้กับสายทาง 2 ช่องจราจรในถนนพื้นที่ชนบท ดังแสดงในรูปที่ 3.21 (ก)-(ค)

ขนาดป้ายจราจร	มิติเป็นเซ็นติเมตร				
	A	B	C	D	E
2	60	1	2	20	10
3	75	1.5	2.5	25	12.5

เว้นขอบป้าย	สีแดงสะท้อนแสง
เส้นขอบป้าย	สีขาวสะท้อนแสง
พื้นป้าย	สีแดงสะท้อนแสง
อักษร	สีขาวสะท้อนแสง

(ก) ป้ายหยุด (Stop Sign) บ.1



ขนาดป้ายจราจร	มิติเป็นเซ็นติเมต		
	A	B	C
1	22,5	21,75	20,5
2	30	29	27

เว้นขอบป้าย	สีน้ำเงินสะท้อนแสง
เส้นขอบป้าย	สีขาวสะท้อนแสง
พื้นป้าย	สีน้ำเงินสะท้อนแสง
เครื่องหมาย	สีขาวสะท้อนแสง

(ข) ป้ายจำกัดความเร็ว (Speed limit Sign) บ.32

ขนาดป้ายจราจร	มิติเป็นเซ็นติเมตร						
	A	B	C	D	E	F	G
1	45	1	1.5	15	3.75	7.5	3.0
2	60	1.5	2	20	5	10	3.5

เว้นขอบป้าย	สีเหลืองสะท้อนแสง
เส้นขอบป้าย	สีดำไม่สะท้อนแสง
พื้นป้าย	สีเหลืองสะท้อนแสง
เครื่องหมาย	สีดำไม่สะท้อนแสง

(ค) ป้ายเตือนทางแยก (สามแยก) ต.75

รูปที่ 3.21 ประเภทป้ายจราจรในการทดสอบ (ก)-(ค) (สนข., 2547).

3.6 ยานพาหนะ

ยานพาหนะที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยเป็นยานพาหนะ 2 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์ ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.22 องค์ประกอบของยานพาหนะทั้งสองประเภท ดังกล่าวแตกต่างกันทั้งด้านกายภาพและด้านความปลอดภัย จากที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนมีองค์ประกอบของไฟหน้ารถรวมถึงมุมสังเกตที่จะทำให้ผู้ขับขี่มองเห็นป้ายได้แตกต่างกันแต่ละประเภทยานพาหนะ ในงานวิจัยนี้ยานพาหนะที่ใช้ทดสอบทั้ง 2 ประเภท จะต้องทำการวัดพารามิเตอร์ขนาดยานพาหนะต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4 เพื่อใช้เป็นองค์ประกอบในการคำนวณมุมตกกระทบและมุมสังเกตของตำแหน่งที่ผู้ขับขี่ทดสอบแต่ละบุคคลมองเห็นป้ายจราจรลักษณะต่างๆ ในเวลากลางคืน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากระยะต่างๆของถนน ยานพาหนะ ผู้ขับขี่ และระยะมองเห็นป้าย มุมดังกล่าวสามารถหาได้จากการจำลองดังรูปที่ 3.23 และคำนวณได้จากสมการในตารางที่ 3.5 โดยมุมที่ได้จะนำมาใช้ประกอบการวิจัยต่อไป

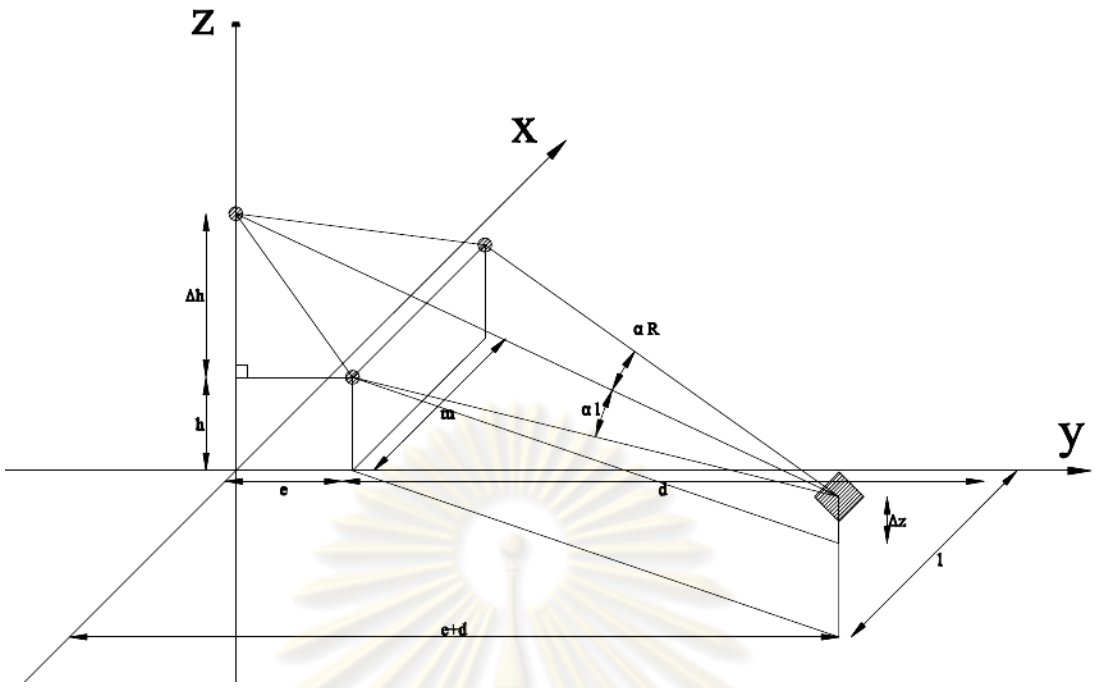
ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับยานพาหนะที่ต้องทำการวัดค่า

รายละเอียดพารามิเตอร์	รถยนต์ส่วนบุคคล	รถจักรยานยนต์
ระดับความสูงของไฟหน้ารถจากระดับพื้น (h)	✓	✓
ระดับความสูงสายตาผู้ขับขี่จากระดับพื้น (h+Δh)	✓	✓
ระยะห่างแนวราบระหว่างไฟหน้าและสายตาผู้ขับขี่ (e)	✓	✓
ระยะห่างด้านข้างระหว่างป้ายจราจรถึงไฟรถดวงแรก (l)	✓	✓
ระยะห่างแนวราบระหว่างไฟหน้ารถยนต์ (m)	✓	-

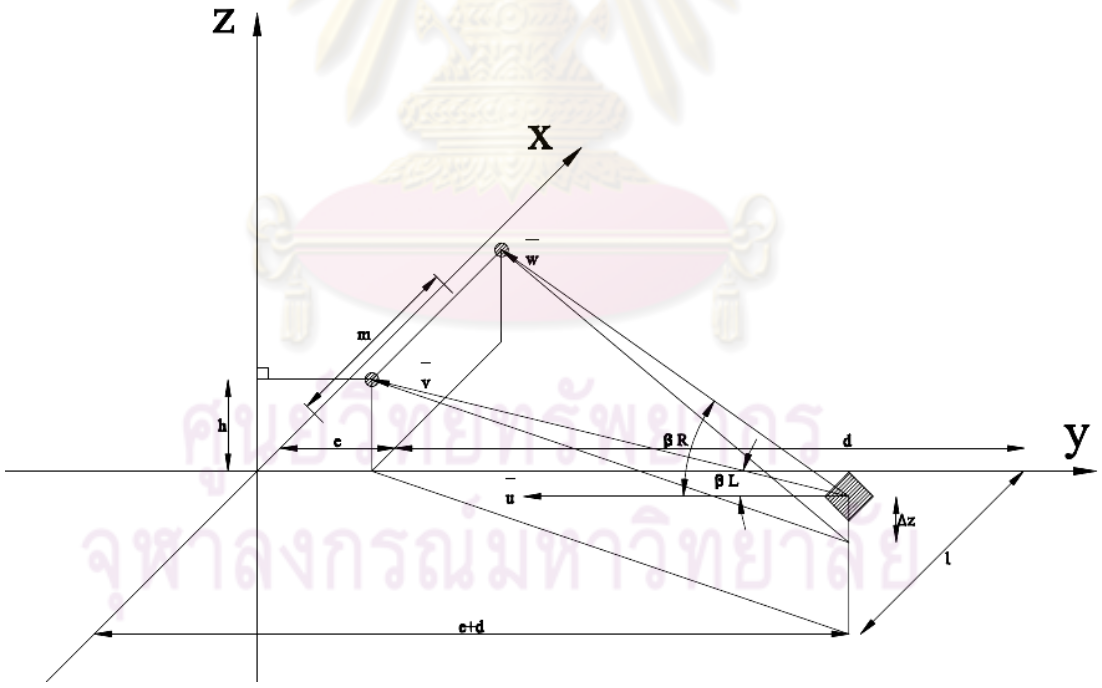
(ก) รถยนต์ส่วนบุคคล

(ข) รถจักรยานยนต์

รูปที่ 3.22 ประเภทยานพาหนะที่ใช้การทดสอบในงานวิจัย (ก)-(ข)



(ก) มุมสังเกต (Observation angle)



(ข) มุมตกกระทบ (Entrance angle)

รูปที่ 3.23 กราฟฟิกจำลองเพื่อหามุมสังเกต และมุมตกกระทบ

ตารางที่ 3.5 สูตรคำนวณหามุมสังเกต (Observation angle) และมุมตกกระทบ (Entrance angle)

องค์ประกอบค่ามุม	รถยนต์ส่วนบุคคล (Passenger car) และรถกระบะ (Pick-up car)	รถจักรยานยนต์ (Motorcycle)
มุมสังเกต (Observation angle, α_L)	$\alpha_L = \arccos\left(\frac{2(d^2 + l^2) + \Delta z^2}{2(d^2 + l^2 + e^2 + \Delta h^2)(d^2 + l^2 + \Delta z^2)}\right)$	$\alpha = \arccos\left(\frac{2(d^2 + l^2) + \Delta z^2}{2(d^2 + l^2 + e^2 + \Delta h^2)(d^2 + l^2 + \Delta z^2)}\right)$
มุมสังเกต (Observation angle, α_R)	$\alpha_R = \arccos\left(\frac{2(d^2 + l^2) + m^2 + \Delta z^2}{2(d^2 + l^2 + e^2 + \Delta h^2)(d^2 + (l^2 + m^2) + \Delta z^2)}\right)$	
มุมตกกระทบ (Entrance angle, β_L)	$\beta_L = \arccos\left(-\frac{d}{\sqrt{d^2 + l^2 + \Delta z^2}}\right)$	$\beta = \arccos\left(-\frac{d}{\sqrt{d^2 + l^2 + \Delta z^2}}\right)$
มุมตกกระทบ (Entrance angle, β_R)	$\beta_R = \arccos\left(-\frac{d}{\sqrt{d^2 + (l^2 + m^2) + \Delta z^2}}\right)$	

Δz = ความแตกต่างของระดับความสูงของป้ายจราจรและไฟหน้ารถ e = ระยะห่างแนวราบระหว่างไฟหน้าและสายตาผู้ขับขี่

α = มุมสังเกต (Observation angle) l = ระยะห่างด้านข้างระหว่างป้ายจราจรถึงไฟรถดวงแรก

β = มุมตกกระทบ (Entrance angle) m = ระยะห่างของไฟหน้ารถยนต์

d = ระยะมองเห็นและอ่านได้ (Legibility Distance) Δh = ความแตกต่างของระดับความสูงสายตาผู้ขับขี่และไฟหน้ารถ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7 ผู้เข้าร่วมทดสอบ

ผู้ขับขี่ที่เข้าร่วมการทดสอบในงานวิจัยเป็นจำนวน 27 คน โดยประกอบด้วยผู้ขับขี่ช่วงอายุต่ำกว่า 30 ปี จำนวน 9 คน ช่วงอายุ 30 ถึง 50 จำนวน 9 คน และอายุมากกว่า 50 จำนวน 9 คน โดยผู้ขับขี่มีอายุต่ำสุดที่ 24 ปี และเป็นผู้ขับขี่เพศชายทั้งหมด ผู้ขับขี่แต่ละคนในงานวิจัยได้รับการทดสอบวัดระดับสายตา โดยการทดสอบใช้วิธีมาตรฐานและใช้กันแพร่หลายคือ Snellen Visual Acuity (SVA) โดยใช้แผ่นทดสอบที่เรียกว่า Snellen chart ซึ่งเป็นแผ่นที่มีพื้นขาว และมีแสงไฟส่องมาจากด้านหลังเพื่อให้ความคมชัดที่สุด โดยมีตัวเลขหรือตัวอักษรเป็นตัวทดสอบ (Optotypes) วัด VA ที่สองระยะ คือที่ไกล (distance VA) คือที่ระยะ 6 เมตร (หรือ 20 ฟุต) ดังรูปที่ 3.24 และ 3.25

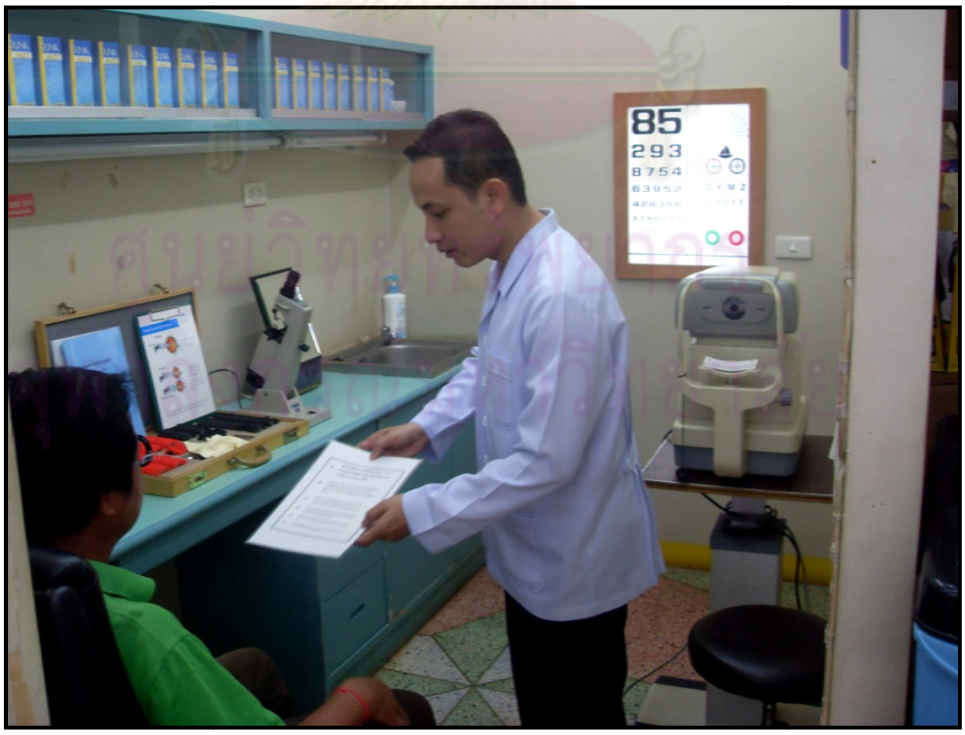
ข้อมูลที่ผู้ขับขี่ทดสอบถูกบันทึกแต่ละคนประกอบด้วยข้อมูลส่วนบุคคลข้อมูลการขับขี่ โดยคุณลักษณะผู้ขับขี่ที่เข้าร่วมทดสอบแสดงสรุปค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 3.6 ในส่วนของข้อมูลด้านทัศนคติต่ออุปกรณ์บนสายทางในการขับขี่กลางคืนซึ่งจะได้อธิบายสรุปในบทส่วนถัดไป

- อายุ (Age)
- ระดับสายตา (Visual Acuity)
- ความสูงผู้ขับขี่ (Height of driver)
- ประสบการณ์การขับขี่ (Years Driving Experience)
- ความถี่การขับขี่กลางคืน (Frequency Driving at night)
- พื้นที่อาศัย (Living Area)

ตารางที่ 3.6 คุณลักษณะผู้ขับขี่ที่เข้าร่วมทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรเวลากลางคืน

คุณลักษณะผู้ขับขี่	ค่าเฉลี่ย
อายุ	37.92 ปี
ระดับสายตา	5.56/6
ความสูงผู้ขับขี่	167.22 เซนติเมตร
ประสบการณ์การขับขี่	17.04 ปี
ความถี่การขับขี่กลางคืน	4.67 ครั้งต่อสัปดาห์
พื้นที่อาศัย	เขตพื้นที่ชนบท

รูปที่ 3.24 แผ่นวัดระดับสายตา Snellen’s chart



รูปที่ 3.25 การทดสอบวัดระดับสายตาผู้ขับขี่ทดสอบ

3.8 การทดสอบขับขี่บนสนามทดลองควบคุมเวลากลางคืน

การทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนได้ดำเนินการทดสอบการขับขี่บนสายทางทดสอบที่มีการควบคุมปัจจัยที่เกี่ยงข้อง สายทางทดสอบเป็นถนน 2 ช่องจราจร ผู้เข้าร่วมทดสอบได้ถูกวัดระดับสายตา (Static Snellen Visual Acuity) รวมทั้งสอบถามข้อมูลด้านเศรษฐสังคม ข้อมูลการเดินทาง และข้อมูลด้านทัศนคติต่อความปลอดภัยในการขับขี่กลางคืน ก่อนการทดสอบขับขี่กลางคืนผู้เข้าร่วมแต่ละบุคคลจะได้รับการอธิบายถึงวิธีการในการทดสอบโดยละเอียด ยกเว้นระดับปัจจัยที่จะทำการสุ่มทดสอบผู้ทดสอบแต่ละบุคคล

วิธีการทดสอบผู้เข้าร่วมแต่ละคนจะขับขี่ยานพาหนะ 2 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์ ที่ระดับความเร็วคงที่แต่ละระดับ การขับขี่จะใช้ไฟต่ำ (Low-beam headlamps) โดยมีผู้วิจัยนั่งด้านข้างหรือด้านหลังเพื่อบันทึกข้อมูล ผู้ขับขี่จะขับขี่จากจุดอ้างอิงที่ความเร็วเป็นศูนย์จากนั้นจะเร่งจนมีระดับความเร็วคงที่ก่อนตำแหน่งกรวยสะท้อนแสง ขณะเดียวกันผู้ขับขี่จะสังเกตป้ายจราจรข้างทางเมื่อถึงตำแหน่งที่ตนเองพบป้ายจราจรและตำแหน่งอ่านหรือเข้าใจข้อความสัญลักษณ์บนป้ายจะทำการบอกผู้วิจัยเพื่อบันทึกเวลา ณ ตำแหน่งนั้นทันที การทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.26-3.28

รูปที่ 3.26 การทดสอบขับขี่ของผู้เข้าร่วมเพื่อประเมินระยะพบและมองเห็นป้ายจราจร

รูปที่ 3.27 การทดสอบขับขี่รถยนต์ส่วนบุคคลของผู้เข้าร่วมเพื่อประเมินระยะพบและมองเห็นป้าย

รูปที่ 3.28 การทดสอบขับขี่รถจักรยานยนต์ของผู้เข้าร่วมเพื่อประเมินระยะพบและมองเห็นป้าย

ผู้เข้าร่วมแต่ละคนจะทำ 3 ชุดการทดสอบ ชุดละ 2 ครั้งจากการเปลี่ยนประเภทยานพาหนะแบบสลับกัน กล่าวคือชุดแรกจะขับขี่รถยนต์ส่วนบุคคลก่อนรถจักรยานยนต์ ชุดต่อไปรถจักรยานยนต์ก่อนรถยนต์ส่วนบุคคล โดยแต่ละชุดการทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางกายภาพของป้ายจราจร ได้แก่ระดับความสูง และระดับการสะท้อนแสงของป้ายจราจรแต่ละประเภท แสดงดังรูปที่ 3.29 ในการทดสอบผู้เข้าร่วมที่จำแนกตามกลุ่มอายุจะทำการทดสอบจนครบแต่ละกลุ่มอายุ ข้อมูลเวลาจากการทดสอบจะนำไปคำนวณหาระยะตรวจพบและระยะมองเห็นป้ายจราจรเพื่อคำนวณหาความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ทำการทดสอบต่อไป

รูปที่ 3.29 การเปลี่ยนปัจจัยทางกายภาพของป้ายจราจรแต่ละชุดทดสอบ

3.9 แนวทางในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ผลของปัจจัยที่ศึกษาสามารถใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่สามารถสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม โดยวิธีการวิเคราะห์ 2 วิธี ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบและแนวโน้มของแต่ละปัจจัย

3.9.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่สองกลุ่มขึ้นไป โดยอาศัยวิธีการทางสถิติที่เรียกว่าการวิเคราะห์ความแปรปรวน หรือ Analysis of Variance (ANOVA) ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นการแบ่งพิจารณาความแปรปรวนออกเป็นองค์ประกอบต่างๆ ตามแหล่งของการเปลี่ยนแปร (Source of Variation) การวิเคราะห์ความแปรปรวนนับเป็นพื้นฐานที่สำคัญของกระบวนการออกแบบการทดลองซึ่งเป็นเนื้อหาที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างหรือข้อมูลที่ได้จากการทดลองหรือทดสอบ

การศึกษาในงานวิจัยนี้จะใช้หลักการการวิเคราะห์ความแปรปรวน ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ในกรณีทั่วไปหากให้ปัจจัย A มีจำนวนระดับเท่ากับ a ปัจจัย B มีจำนวนระดับเท่ากับ b และปัจจัย C มีจำนวนระดับเท่ากับ c ทั้งหมดจะถูกจัดให้อยู่ในลักษณะการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) มีจำนวนข้อมูลในการทดลองทั้งหมด abcn โดยที่ n คือจำนวนการทำซ้ำ (Replicate) ซึ่ง n≥2 เพื่อสามารถคำนวณหาผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดได้ ถ้าปัจจัยในการศึกษาทั้งหมดเป็นปัจจัยคงที่สามารถที่จะทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลหลักและผลของปฏิสัมพันธ์ได้ โดยสร้างค่ากำลังสองเฉลี่ยของค่าจากปัจจัยนั้นขึ้นหารด้วยค่ากำลังสองเฉลี่ยของความผิดพลาด การทดสอบสมมติฐานใช้ F-Test ในการทดสอบ ถ้าค่า p-Value ของค่า F-Test ต่ำกว่าระดับ 1-α ปัจจัยนั้นไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ แบบจำลองการวิเคราะห์ความแปรปรวน 3 ปัจจัย แสดงดังสมการ Montgomery, D. C. (2005)

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \begin{cases} i = 1,2,\dots,a \\ j = 1,2,\dots,b \\ k = 1,2,\dots,c \\ l = 1,2,\dots,n \end{cases}$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบถูกแบ่งเป็น 5 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ผลของค่าเฉลี่ยทั้งหมด (μ) ผลของชุดทดลองที่ได้รับระดับ i ของปัจจัย A (τ_i) ผลของชุดทดลองที่ได้รับระดับ j ของปัจจัย B (β_j) ผลของชุดทดลองที่ได้รับระดับ k ของปัจจัย C (γ_k) ผลของปฏิสัมพันธ์หรืออิทธิพลร่วมระหว่างระดับ i ของปัจจัย A กับระดับ j ของปัจจัย B คือ $(\tau\beta)_{ij}$ ผลของปฏิสัมพันธ์หรืออิทธิพลร่วมระหว่างระดับ i ของปัจจัย A กับระดับ k ของปัจจัย C คือ $(\tau\gamma)_{ik}$ผลของปฏิสัมพันธ์หรืออิทธิพลร่วมระหว่างระดับ j ของปัจจัย B กับระดับ k ของปัจจัย C คือ $(\beta\gamma)_{jk}$ และปฏิสัมพันธ์ร่วมของทุกปัจจัยคือ $(\tau\beta\gamma)_{ijk}$ และค่าคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม ε_{ijkl}

โดยการคำนวณสำหรับค่าผลรวมกำลังสองทั้งหมดมีสูตรคำนวณดังนี้

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c}\sum_{l=1}^{n} y_{ijkl}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn}$$

ค่าผลรวมกำลังสองของผลหลักหาได้จากสูตร

$$SS_A = \frac{1}{bcn}\sum_{i=1}^{a} y_{i...}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn}$$

$$SS_B = \frac{1}{acn}\sum_{j=1}^{b} y_{.j..}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn}$$

$$SS_C = \frac{1}{abn}\sum_{k=1}^{c} y_{..k.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn}$$

เพื่อคำนวณค่าผลรวมกำลังสองของ 2 ปัจจัยของปฏิสัมพันธ์ (Interaction) จะต้องทำการสร้างตารางผลรวมซึ่งประกอบด้วยเซลล์จำนวน AxB, AxC และ BxC เซลล์ขึ้นมา ซึ่งเกิดจากการแปลงตารางข้อมูลเบื้องต้นให้อยู่ในรูปของตารางแบบ 2 ทาง จำนวน 3 ตาราง เพื่อคำนวณค่าต่างๆ เหล่านี้ ค่าผลรวมของกำลังสองหาได้จากสูตร

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij..}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_B = SS_{Subtotals\,(AB)} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{c} y_{i.k.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_C = SS_{Subtotals\,(AC)} - SS_A - SS_C$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{.jk.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_B - SS_C = SS_{Subtotals\,(BC)} - SS_B - SS_C$$

ค่าผลรวมของกำลังสองของอันตรกิริยาแบบ 3 ปัจจัย หาได้จากสูตร

$$SS_{ABC} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{ijk.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

$$= SS_{Subtotals\ (ABC)} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

ค่าผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดหาได้จากการลบผลรวมของกำลังสองทั้งหมดของผลหลักและอันตรกิริยาจากผลรวมทั้งหมดของกำลังสอง

$$SS_E = SS_T - SS_{Subtotals\ (ABC)}$$

ในการทดสอบสมมติฐานสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 3 ปัจจัย ผู้วิจัยสามารถพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเนื่องมาจากปัจจัย A ปัจจัย B และปัจจัย C และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับต่างๆของปัจจัย A ปัจจัย B และปัจจัย C ดังนี้

1) สำหรับผลของชุดทดลองที่ได้รับระดับต่างๆ ของปัจจัย A

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = ... = \tau_a = 0$ $H_a : \tau_i \neq 0$ อย่างน้อยหนึ่งค่าของ i

ใช้ค่าสถิติ F ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$F_0 = \frac{SS_A/(a-1)}{SS_E/(abc(n-1))} = \frac{MS_A}{MS_E}$$

2) สำหรับผลของชุดทดลองที่ได้รับระดับต่างๆ ของปัจจัย B

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = ... = \beta_b = 0$ $H_a : \beta_j \neq 0$ อย่างน้อยหนึ่งค่าของ j

ใช้ค่าสถิติ F ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$F_0 = \frac{SS_B/(b-1)}{SS_E/(abc(n-1))} = \frac{MS_B}{MS_E}$$

3) สำหรับผลของชุดทดลองที่ได้รับระดับต่างๆ ของปัจจัย C

$H_0 = \gamma_1 = \gamma_2 = ... = \gamma_c = 0$ $H_a : \gamma_k \neq 0$ อย่างน้อยหนึ่งค่าของ k

ใช้ค่าสถิติ F ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$F_0 = \frac{SS_C/(c-1)}{SS_E/(abc(n-1))} = \frac{MS_C}{MS_E}$$

4) สำหรับผลของปฏิสัมพันธ์

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$ สำหรับทุกคู่ i, j $H_a : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ อย่างน้อยหนึ่งคู่ i, j

ใช้ค่าสถิติ F ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$F_0 = \frac{SS_{AB}/(a-1)(b-1)}{SS_E/(abc(n-1))} = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$$

5) สำหรับผลของปฏิสัมพันธ์

$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0$ สำหรับทุกคู่ i, k $H_a : (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$ อย่างน้อยหนึ่งคู่ i, k

ใช้ค่าสถิติ F ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$F_0 = \frac{SS_{AC}/(a-1)(c-1)}{SS_E/(abc(n-1))} = \frac{MS_{AC}}{MS_E}$$

6) สำหรับผลของปฏิสัมพันธ์

$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0$ สำหรับทุกคู่ j, k $H_a : (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$ อย่างน้อยหนึ่งคู่ j, k

ใช้ค่าสถิติ F ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$F_0 = \frac{SS_{BC}/(b-1)(c-1)}{SS_E/(abc(n-1))} = \frac{MS_{BC}}{MS_E}$$

7) สำหรับผลของปฏิสัมพันธ์

$H_0 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0$ สำหรับทุกคู่ i, j, k $H_a : (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$ อย่างน้อยหนึ่งคู่ i, j, k

ใช้ค่าสถิติ F ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$F_0 = \frac{SS_{ABC}/(a-1)(b-1)(c-1)}{SS_E/(abc(n-1))} = \frac{MS_{ABC}}{MS_E}$$

สูตรคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแบบจำลอง 3 ปัจจัย แสดงดังตารางที่ 3.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.7 สูตรการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแบบจำลอง 3 ปัจจัย แบบผลกระทบคงที่ (Fixed Effect)

Source of Variation	Sum of Square	Degree of Freedom	Mean Square	Expected Mean Square	F_0
A	SS_A	a-1	MS_A	$\sigma^2 + \frac{bcn\sum \tau_i^2}{a-1}$	MS_A / MS_E
B	SS_B	b-1	MS_B	$\sigma^2 + \frac{acn\sum \beta_i^2}{b-1}$	MS_B / MS_E
C	SS_C	c-1	MS_C	$\sigma^2 + \frac{abn\sum \gamma_i^2}{c-1}$	MS_C / MS_E
AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	MS_{AB}	$\sigma^2 + \frac{cn\sum\sum(\tau\beta)_{ij}^2}{(a-1)(b-1)}$	MS_{AB} / MS_E
AC	SS_{AC}	(a-1)(c-1)	MS_{AC}	$\sigma^2 + \frac{bn\sum\sum(\tau\gamma)_{ik}^2}{(a-1)(c-1)}$	MS_{AC} / MS_E
BC	SS_{BC}	(b-1)(c-1)	MS_{BC}	$\sigma^2 + \frac{an\sum\sum(\beta\gamma)_{jk}^2}{(b-1)(c-1)}$	MS_{BC} / MS_E
ABC	SS_{ABC}	(a-1)(b-1)(c-1)	MS_{ABC}	$\sigma^2 + \frac{n\sum\sum\sum(\tau\beta\gamma)_{ijk}^2}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	MS_{ABC} / MS_E
Error	SS_E	abc (n-1)	MS_E	σ^2	
Total	SS_T	abcn-1			

ที่มา: Montgomery, D. C. (2005).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.9.2 การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอย (Regression Model)

แบบจำลองการถดถอยเป็นแบบจำลองที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรตาม y และตัวแปรอิสระ x ต่างๆ โดยถ้ามีตัวแปรอิสระ m ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปร y โดยมีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่าง y และ $x_1, x_2, \ldots, x_m$ ได้ดังนี้ (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_m x_m + \varepsilon$$

การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่ทำให้ค่าผลรวมกำลังสองของค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยที่สุด ทำได้โดยวิธีกำลังสองน้อยสุด (Ordinary Least Squares, OLS) เป็นตัวประมาณค่าที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการการถดถอยที่ทำให้ผลต่างระหว่างค่า y จากตัวประมาณค่าและค่า y จากข้อมูลจริงมีค่าน้อยที่สุด

สำหรับแบบจำลองที่มีความซับซ้อนมากกว่าสามารถวิเคราะห์โดยวิธีการถดถอยเชิงพหุคูณได้ โดยเฉพาะแบบจำลองที่มีผลจากปฏิสัมพันธ์ (Interaction) เช่นแบบจำลอง 2 ตัวแปร ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon$$

ถ้าพิจารณาให้ $x_3 = x_1 x_2$ และ $\beta_3 = \beta_{12}$ สมการสามารถเขียนได้เป็น

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon$$

การวิเคราะห์แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นดังกล่าวมีสมมติฐานหลายประการ โดยสมมติฐานที่สำคัญที่ต้องตรวจสอบ คือ สมมติฐานของ Gauss-Markov ซึ่งหากเป็นไปตามสมมติฐานจะทำให้การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ได้จากวิธี OLS (β_{OLS}) เป็นสัมประสิทธิ์ที่มีลักษณะ Best Linear Unbiased Estimators (BLUE) สมมติฐานของ Gauss-Markov มีดังนี้

1. ค่าคลาดเคลื่อนมีค่าคาดหวังเป็นศูนย์ $E[\varepsilon_i] = 0$
2. ค่าคลาดเคลื่อนมีค่าความแปรปรวนคงที่ (Homoscedasticity) $VAR[\varepsilon_i] = \sigma^2$
3. ค่าคลาดเคลื่อนมีความเป็นอิสระต่อกัน (Non-autocorrelation)
   $COV[\varepsilon_i, \varepsilon_j] = 0 \quad if \quad i = j$
4. ค่าคลาดเคลื่อนและตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน
   $COV[X_i, \varepsilon_j] = 0 \quad for\ all \quad i\ and\ j$
5. ค่าคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution)

<u>การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ (Statistical significance)</u>

การทดสอบสถิติ t-test เมื่อได้แบบจำลองการถดถอย (Regression Model) แล้วจะต้องทำการพิสูจน์ทางสถิติโดยพิจารณาค่าคงที่ (b_0) และสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระทุกค่า ($b_1, b_2,....,b_n$) ว่ามีนัยสำคัญต่อแบบจำลองหรือไม่ โดยตั้งสมมติฐาน ดังนี้

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_a : \beta_i \neq 0$$

จากการทดสอบถ้ายอมรับสมมติฐาน H_0 โดยพิจารณาจากค่า t ที่คำนวณได้ถ้ามีค่าน้อยกว่าค่า t-critical นั่นหมายถึงค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระตัวนั้นๆไม่มีนัยสำคัญต่อแบบจำลองสามรถละทิ้งตัวแปรนั้นได้โดยไม่ทำให้แบบจำลองนั้นเกิดความแตกต่างแต่อย่างใด ในทางตรงกันข้ามการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่า t ที่คำนวณได้มากกว่า t-critical นั่นหมายถึงค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระตัวนั้นๆมีนัยสำคัญต่อแบบจำลองไม่สามารถละทิ้งตัวแปรนั้นได้

การทดสอบสถิติ F-test สุดท้ายจะได้แบบจำลองที่ถือว่าเหมาะสมที่สุดแต่แบบจำลองดังกล่าวจะใช้ในการ Predict ค่า y ได้ถูกต้องมีความจำเป็นต้องพิสูจน์ทราบว่าแบบจำลองที่ได้นั้นเมื่อนำไปคาดการณ์ค่า y แล้วจะมีความคลาดเคลื่อนมากแค่ไหนหรือความคลาดเคลื่อนระหว่าง y และ $\hat{y}$ มากน้อยเพียงใด

H_0: ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่ (Y) เกือบทั้งหมดมาจากตัวแปรอิสระ

H_a: ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่ (Y) ส่วนน้อยเท่านั้นที่มาจากตัวแปรอิสระ

หากผลการทดสอบด้วย F-Test พบว่ายอมรับสมมติฐาน H_0 หรือ F-Statistic ที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่า F-critical ก็ให้ถือว่าแบบจำลองนั้นมีความผิดพลาดสูงจนไม่อาจยอมรับให้นำไปใช้ต่อไปได้ ในทางตรงกันข้ามหากผลการทดสอบด้วย F-Test พบว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หรือ F-Statistic ที่ได้มีค่ามากกว่าค่า F-critical ก็ให้ถือว่าแบบจำลองนั้นเมื่อนำไปคาดการณ์ ค่า Y แล้วมีความผิดพลาดน้อยสามารถยอมรับได้จึงเป็นเหตุให้ Regression analysis ทดสอบ ANOVA โดยสถิติ F-Test

บทที่ 4

ผลการศึกษาการทดลองปัจจัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้การสำรวจด้วยแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่างและข้อมูลจากการทดลองปัจจัย โดยจะแสดงผลลัพธ์ในรูปของสถิติเชิงพรรณนา ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลทางเศรษฐกิจและสังคมของกลุ่มตัวอย่าง ข้อมูลการเดินทางเบื้องต้นของกลุ่มตัวอย่าง ข้อมูลพฤติกรรมการเดินทางและข้อมูลทัศนคติเบื้องต้น และข้อมูลระยะตรวจพบและระยะมองเห็น ข้อมูลการศึกษาดังกล่าวสามารถนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน การวิเคราะห์ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS (Statistical Package for Social Science) Version 18.0 และ Minitab Version 15.0 ในการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาสามารถทำให้ทราบถึงลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง ลักษณะการเดินทางของผู้ขับขี่ ทัศนคติของผู้ขับขี่ที่มีต่ออุปกรณ์ในการขับขี่กลางคืน และแนวโน้มของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อระยะมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน

4.1 ข้อมูลคุณลักษณะทางเศรษฐกิจและสังคม และข้อมูลการเดินทางของผู้ขับขี่ทดสอบ

ข้อมูลคุณลักษณะทางเศรษฐกิจและสังคมของกลุ่มตัวอย่างได้ถูกนำมาวิเคราะห์เบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณนาเพื่อตรวจสอบภาพรวมและลักษณะโดยทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างโดยแบ่งการพิจารณาตามลักษณะกลุ่มอายุของผู้เข้าร่วมทดลองที่ใช้ในการศึกษาดังตารางที่ 4.1 และข้อมูลการเดินทางของผู้ขับขี่ทดสอบ แสดงดังตารางที่ 4.2

จากผลสำรวจข้อมูลคุณลักษณะทางเศรษฐกิจและสังคมของผู้เข้าร่วมทดสอบทั้งสิ้น 27 คน ดังตารางที่ 4.1 โดยผู้เข้าร่วมทั้งสิ้นอาศัยอยู่ในเขตพื้นที่นอกเมืองและเป็นเพศชายทั้งหมด ซึ่งจากการพิจารณาภาพรวมของผลสำรวจพบว่าผู้ขับขี่มีอายุเฉลี่ยเป็น 37.92 ปี โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 12.00 ปี ผลจากการวัดระดับสายตา Snellen Visual Acuity (SVA) พบว่าผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่มีระดับสายตาเฉลี่ยเป็น 5.56/6 เมื่อพิจารณาความสูงของผู้ขับขี่ทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเป็น 167.22 เซนติเมตร โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.39 เซนติเมตร ในด้านประสบการณ์การขับขี่พบว่าผู้ขับขี่มีประสบการณ์การขับขี่เฉลี่ย 17.04 ปี มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.0 ปี

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลคุณลักษณะทางเศรษฐกิจและสังคมแบ่งตามกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดสอบ

คุณลักษณะผู้ขับขี่	ค่าเฉลี่ย			เฉลี่ย
	< 30 ปี	30-50 ปี	> 50 ปี	รวม
จำนวนผู้เข้าร่วม (คน)	9	9	9	27
อายุ (ปี)	25.78	35.00	53.00	37.92
	(3.31)	(4.06)	(3.00)	(12.00)
ระดับสายตา (Visual Acuity)	6.00/6	5.54/6	5.14/6	5.56/6
ความสูงผู้ขับขี่ (เซนติเมตร)	167.22	169.00	165.44	167.22
	(6.51)	(8.64)	(7.28)	(7.39)
ประสบการณ์การขับขี่ (ปี)	9.0	14.4	27.7	17.0
	(7.0)	(5.8)	(6.1)	(10.0)
ระดับการศึกษา (ร้อยละ)				
• ต่ำกว่ามัธยมศึกษา	33.33	33.33	33.33	33.33
• มัธยมศึกษา	0.00	11.11	44.45	18.52
• อนุปริญญา	22.22	0.00	11.11	11.11
• ปริญญาตรี	44.45	55.56	11.11	37.04
อาชีพ (ร้อยละ)				
• รับราชการ	22.2	11.1	22.2	18.50
• พนักงานของรัฐ	11.1	11.1	22.2	14.80
• เกษตรกรรม	0.00	0.00	33.4	11.13
• นิสิต,นักศึกษา	11.1	0.00	0.00	3.70
• รับจ้าง	55.6	77.8	22.2	51.87

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

ด้านความหลากหลายของกลุ่มอาชีพและระดับการศึกษาของกลุ่มผู้เข้าร่วมทดสอบ พบว่าส่วนใหญ่ร้อยละ 51.87 ประกอบอาชีพรับจ้างทั่วไป รองลงมาคือประกอบอาชีพรับราชการ ร้อยละ 18.50 ประกอบอาชีพพนักงานรัฐวิสาหกิจหรือพนักงานของรัฐ ร้อยละ 14.80 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม 11.13 และน้อยที่สุดได้แก่สถานะกลุ่มนิสิต นักศึกษา ร้อยละ 3.70 เมื่อพิจารณาถึงระดับการศึกษาของผู้เข้าร่วมทดสอบ ดังตารางที่ 4.1 พบว่าผู้ขับขี่มีวุฒิการศึกษาในระดับปริญญาตรีมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 37.04 รองลงมาคือมีวุฒิการศึกษาต่ำกว่ามัธยมศึกษาร้อยละ 33.3 วุฒิการศึกษามัธยมศึกษาร้อยละ 18.52 และวุฒิอนุปริญญาหรือระดับ ปวช./ปวส. ร้อยละ 11.11

จากข้อมูลคุณลักษณะทางเศรษฐกิจและสังคมแบ่งตามกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดสอบทำให้ทราบแนวโน้มของคุณลักษณะต่างๆแต่ละกลุ่มอายุ โดยเฉพาะระดับสายตาของผู้ทดสอบพบว่าผู้ที่มีอายุมากขึ้นความสามารถในการมองเห็นระยะไกลจะต่ำลงเมื่อพิจารณากลุ่มอายุทั้ง 3 กลุ่ม ความสูงของผู้ขับขี่แต่ละกลุ่มมีลักษณะไม่แตกต่างกันมากในแต่ละกลุ่มอายุ ด้านประสบการณ์การขับขี่จะเห็นว่ามีค่ามากขึ้นตามช่วงอายุเนื่องจากอายุมากโดยทั่วไปประสบการณ์การขับขี่จะสูงขึ้น ลักษณะของกลุ่มอาชีพและการศึกษาจะมีผลต่อความเข้าใจในการทดสอบดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกกลุ่มผู้ทดสอบเป็นผู้รับจ้างขับขี่ นายช่างตำบล และข้าราชการในพื้นที่ ซึ่งมีผลต่อความถูกต้องของการทดสอบมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลการเดินทางแบ่งตามกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดสอบ

คุณลักษณะผู้ขับขี่	ค่าเฉลี่ย			เฉลี่ย
	< 30 ปี	30-50 ปี	> 50 ปี	รวม
ความถี่การขับขี่กลางคืน (วันต่อสัปดาห์)	4.89 (2.09)	5.22 (1.92)	3.89 (2.03)	4.67 (2.02)
ความเร็วขับขี่เฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	95.56 (18.78)	91.11 (9.28)	85.56 (17.40)	90.74 (15.67)
ความถี่การขับขี่ (ครั้งต่อสัปดาห์)				
• รถยนต์ส่วนบุคคล	6.50 (0.71)	4.00 (2.74)	4.50 (0.71)	4.58 (2.19)
• รถกระบะ	6.50 (0.71)	6.60 (0.89)	5.50 (2.12)	5.72 (1.93)
• รถจักรยานยนต์	7.13 (1.36)	7.00 (0.00)	5.50 (2.12)	6.42 (1.58)
สภาพถนนขับขี่ประจำ				
• ทางตรงราบ	69.23	64.29	61.54	65.02
• ทางตรงสูงชัน	15.38	35.71	7.69	19.59
• ทางคดเคี้ยวราบ	15.38	0.00	15.38	10.25
• ทางคดเคี้ยวสูงชัน	0.00	0.00	15.38	5.13
ช่วงเวลาขับขี่				
• กลางวัน	64.29	55.25	56.25	58.60
• กลางคืน	28.57	39.50	25.00	31.02
• โพล้เพล้/รุ่งสาง	7.14	5.25	18.75	10.38
ประเภทถนนที่ท่านขับขี่เป็นประจำ				
• ถนนในเมือง	31.58	27.27	11.76	23.54
• ถนนนอกเมือง	36.84	40.91	47.06	41.60
• ถนนในซอย/หมู่บ้าน	31.58	31.82	41.18	34.86

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงผลสำรวจข้อมูลการเดินทางแบ่งตามกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดสอบ ทั้งสิ้น 27 คน ซึ่งจากการพิจารณาภาพรวมของผลสำรวจพบว่าผู้เข้าร่วมทดสอบมีความถี่การขับขี่กลางคืนเฉลี่ยเป็น 4.67 วันต่อสัปดาห์ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.02 วันต่อสัปดาห์ ผู้เข้าร่วมขับขี่ด้วยความเร็วขับขี่เฉลี่ย 90.74 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 15.67 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในด้านความถี่ในการขับขี่ยานพาหนะแต่ละประเภทพบว่าผู้เข้าร่วมทดสอบขับขี่รถจักรยานยนต์ รถกระบะ และรถยนต์ส่วนบุคคลเฉลี่ยเป็น 6.42 ครั้งต่อสัปดาห์ 5.72 ครั้งต่อสัปดาห์ และ 4.58 ครั้งต่อสัปดาห์ ตามลำดับ โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.58 ครั้งต่อสัปดาห์ 1.93 ครั้งต่อสัปดาห์ และ 2.19 ครั้งต่อสัปดาห์ ตามลำดับ สภาพทางเรขาคณิตของถนนที่ขับขี่ประจำร้อยละ 65.02 เป็นทางตรงราบ ร้อยละ 19.59 เป็นทางตรงสูงชัน ร้อยละ 10.25 เป็นทางคดเคี้ยวราบ และร้อยละ 5.13 เป็นทางคดเคี้ยวสูงชัน ช่วงเวลาขับขี่เป็นช่วงกลางวันร้อยละ 58.60 ช่วงกลางคืนร้อยละ 31.02 และช่วงโพล้เพล้/รุ่งสางร้อยละ 10.38 ผู้ขับขี่ขับขี่บนพื้นที่ถนนนอกเมืองร้อยละ 41.60 ถนนในซอย/หมู่บ้านร้อยละ 34.86 และถนนในเมืองร้อยละ 23.54

จากข้อมูลคุณลักษณะการเดินทางข้างต้นสามารถสรุปได้ว่ากลุ่มผู้ขับขี่แต่ละช่วงอายุขับขี่ในช่วงเวลากลางคืนไม่ต่ำกว่า 3 วัน โดยส่วนใหญ่จะขับขี่รถจักรยานยนต์เป็นส่วนใหญ่ รองลงมาเป็นรถกระบะ และรถยนต์ส่วนบุคคล ส่วนใหญ่ขับที่ความเร็วมากกว่า 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากสภาพถนนที่ขับขี่ส่วนใหญ่เป็นทางตรงราบ ช่วงเวลาขับขี่เป็นช่วงเวลากลางวัน รองลงมาเป็นช่วงกลางคืน และช่วงโพล้เพล้/รุ่งสาง ตามลำดับ และประเภทถนนส่วนใหญ่เป็นถนนนอกเมืองที่มากที่สุดในทุกช่วงอายุเนื่องจากผู้ขับขี่ส่วนใหญ่อาศัยอยู่นอกเมือง

4.2 ข้อมูลทัศนคติและความคิดเห็นของผู้ขับขี่ทดสอบ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงทัศนคติและความคิดเห็นที่สามารถใช้ในการประเมินคุณภาพการให้บริการของสายทางหรือถนนรวมทั้งยังสามารถใช้ในการประเมินคุณลักษณะหรือสิ่งที่ต้องปรับปรุงในประเด็นต่างๆ โดยในการศึกษาจะประกอบด้วยทัศนคติความคิดเห็น 2 ส่วน ได้แก่ ทัศนคติเกี่ยวกับความสำคัญ และทัศนคติเกี่ยวกับความพึงพอใจของปัจจัยด้านอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางในเวลากลางคืน โดยมีประเด็นที่ศึกษาทั้งหมด 12 ประเด็นที่สำคัญ ประกอบด้วย ไฟฟ้าส่องสว่างข้างทาง สัญญาณไฟจราจรบนถนน สภาพป้ายจราจรชำรุด การสะท้อนแสงของป้ายจราจร ขนาดของป้ายจราจร การดึงดูดความสนใจของป้ายจราจร ตำแหน่งติดตั้งป้ายจราจรด้านข้าง

ความสูงของป้ายจราจร ความเหมาะสมของป้ายจราจรกับพื้นที่รอบข้าง การบดบังป้ายจราจรจากสิ่งกีดขวาง ระยะตรวจพบป้ายจราจร ระยะการมองเห็นป้ายจราจร ในการสอบถามถึงความคิดเห็นต่างๆ ของผู้ขับขี่นั้นผู้วิจัยได้ใช้ระดับของความคิดเห็น 5 ระดับได้แก่ มากที่สุดเห็นด้วย ค่อนข้างมาก ปานกลาง/ไม่แน่ใจ ค่อนข้างน้อย และน้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาในส่วนนี้สามารถนำไปปรับปรุงและพัฒนาระบบอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนได้ต่อไป

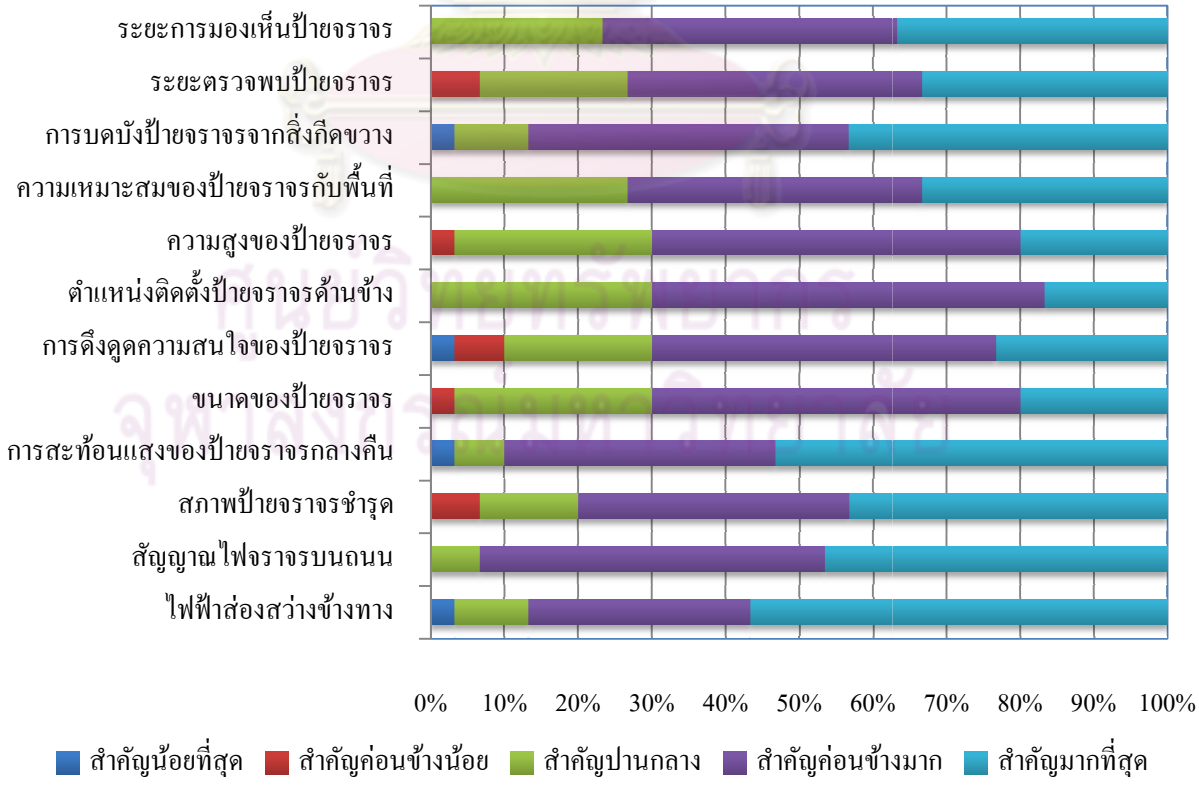
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลความคิดเห็นด้านทัศนคติความสำคัญและความพึงพอใจของปัจจัยด้านอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนแสดงในรูปร้อยละ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในภาพรวมทุกประเด็นมีความสำคัญค่อนข้างมากถึงมากที่สุด โดยประเด็นด้านสัญญาณไฟจราจรบนถนน ระยะการมองเห็นป้ายจราจร ความเหมาะสมของป้ายจราจรกับพื้นที่รอบข้าง ตำแหน่งติดตั้งป้ายจราจรด้านข้าง มีร้อยละความสำคัญถึงร้อยละ 93.3 ร้อยละ 76.7 ร้อยละ 73.3 และร้อยละ 70.0 ตามลำดับ นอกจากนี้ประเด็นที่ให้ความสำคัญค่อนข้างน้อย และน้อยที่สุด ได้แก่ ไฟฟ้าส่องสว่างข้างทาง สภาพป้ายจราจรชำรุด การสะท้อนแสงของป้ายจราจร การดึงดูดความสนใจของป้ายจราจร ความสูงของป้ายจราจร การบดบังป้ายจราจรจากสิ่งกีดขวาง และระยะตรวจพบป้ายจราจร โดยตำแหน่งการติดตั้งป้ายจราจรด้านข้างมีการประเมินให้ความสำคัญปานกลางถึงร้อยละ 30.0

จากการพิจารณาข้อมูลด้านทัศนคติต่อความสำคัญดังกล่าวอาจกล่าวได้ว่าผู้ขับขี่มีความคิดเห็นว่าอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนที่ถูกติดในปัจจุบันมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งและช่วยเหลือผู้ขับขี่ในการขับขี่ในช่วงเวลากลางคืน ทัศนคติและความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมทดสอบด้านความสำคัญต่ออุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนแสดงสัดส่วนร้อยละในแต่ละประเด็นที่ทำการศึกษาดังรูปที่ 4.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ร้อยละของความคิดเห็นด้านทัศนคติเกี่ยวกับความสำคัญของปัจจัยด้านอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนของผู้เข้าร่วมทดสอบ

ประเด็นที่พิจารณา	ร้อยละแต่ละระดับความสำคัญและประเด็น				
	สำคัญน้อยที่สุด	สำคัญค่อนข้างน้อย	สำคัญปานกลาง	สำคัญค่อนข้างมาก	สำคัญมากที่สุด
ไฟฟ้าส่องสว่างข้างทาง	3.3	0.0	10.0	30.0	56.7
สัญญาณไฟจราจรบนถนน	0.0	0.0	6.7	46.7	46.6
สภาพป้ายจราจรชำรุด	0.0	6.7	13.3	36.7	43.3
การสะท้อนแสงของป้ายจราจร	3.3	0.0	6.7	36.7	53.3
ขนาดของป้ายจราจร	0.0	3.3	26.7	50.0	20.0
การดึงดูดความสนใจของป้ายจราจร	3.3	6.7	20.0	46.7	23.3
ตำแหน่งติดตั้งป้ายจราจรด้านข้าง	0.0	0.0	30.0	53.3	16.7
ความสูงของป้ายจราจร	0.0	3.3	26.7	50.0	20.0
ความเหมาะสมของป้ายจราจรกับพื้นที่รอบข้าง	0.0	0.0	26.7	40.0	33.3
การบดบังป้ายจราจรจากสิ่งกีดขวาง	3.3	0.0	10.0	43.3	43.4
ระยะตรวจพบป้ายจราจร	0.0	6.7	20.0	40.0	33.3
ระยะการมองเห็นป้ายจราจร	0.0	0.0	23.3	40.0	36.7



รูปที่ 4.1 ทัศนคติความสำคัญที่มีต่ออุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืน

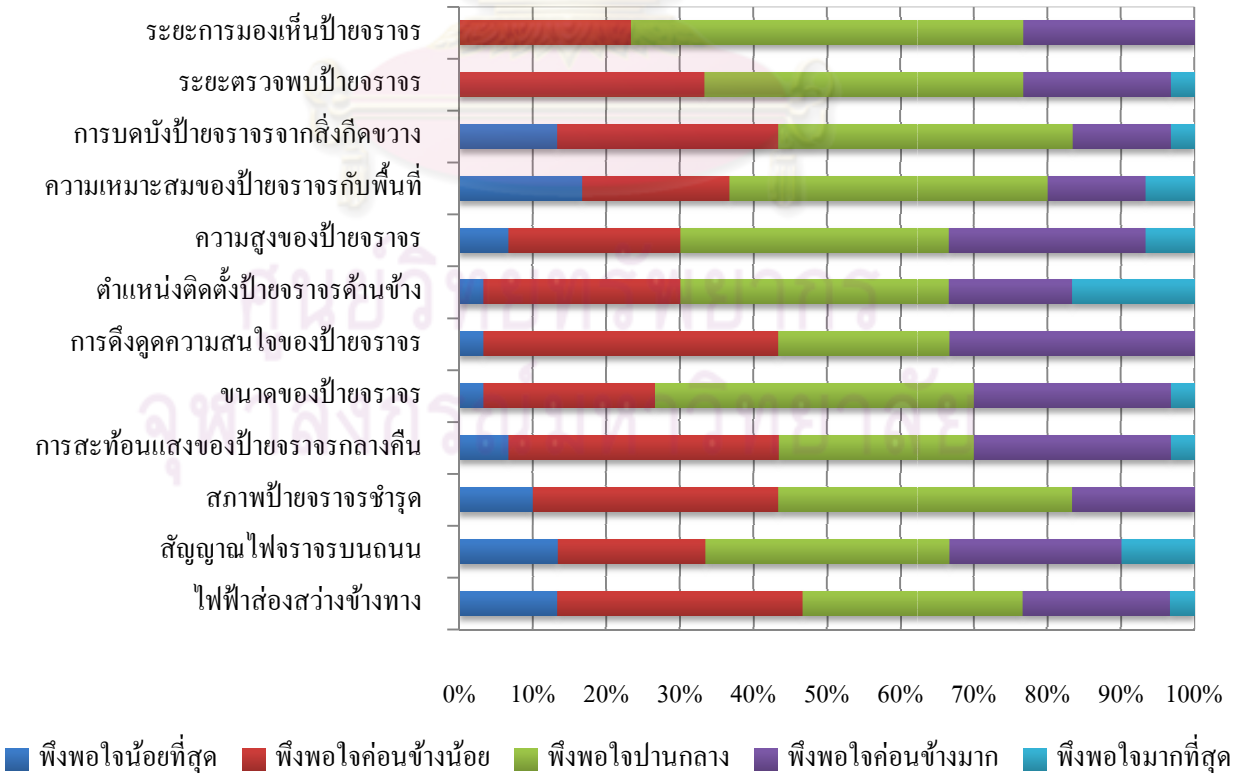
จากตารางที่ 4.4 ผู้เข้าร่วมทดสอบได้พิจารณาประเด็นความพึงพอใจในแต่ละประเด็นพบว่าโดยรวมในทุกประเด็นมีความพึงพอใจที่แตกต่างกัน โดยประเด็นส่วนใหญ่ผู้เข้าร่วมประเมินให้ความพึงพอใจปานกลางและความพึงพอใจค่อนข้างน้อย โดยประเด็นที่ได้รับความพึงพอใจค่อนข้างน้อยถึงน้อยที่สุด ได้แก่ การดึงดูดความสนใจของป้ายจราจรร้อยละ 43.3 การสะท้อนแสงของป้ายจราจรร้อยละ 43.4 สภาพป้ายจราจรชำรุดร้อยละ 43.3 ไฟฟ้าส่องสว่างข้างทางร้อยละ 46.6 และการบดบังป้ายจราจรจากสิ่งกีดขวางร้อยละ 43.3 นอกจากนี้ประเด็นที่ให้ความพึงพอใจค่อนข้างมากถึงมากที่สุด ได้แก่ ขนาดของป้ายจราจรร้อยละ 30.0 ความสูงของป้ายจราจรร้อยละ 34.4 ตำแหน่งติดตั้งป้ายจราจรด้านข้างร้อยละ 33.4 การดึงดูดความสนใจของป้ายจราจรร้อยละ 33.3 สัญญาณไฟจราจรบนถนน 33.3 โดยในลักษณะเดียวกันความพึงพอใจระดับปานกลางคือประเด็นด้าน ขนาดของป้ายจราจรร้อยละ 43.4 ความเหมาะสมของป้ายจราจรกับพื้นที่รอบข้างร้อยละ 43.3 ระยะตรวจพบป้ายจราจรร้อยละ 43.4 สภาพป้ายจราจรชำรุดร้อยละ 40.0 และระยะการมองเห็นป้ายจราจรร้อยละ 53.4

จากการพิจารณาข้อมูลด้านทัศนคติต่อความพึงพอใจดังกล่าวสามารถกล่าวได้ว่าผู้ขับขี่มีความคิดเห็นว่าอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนที่ถูกติดตั้งอยู่ตามมาตรฐานในปัจจุบันมีความพึงพอใจในหลายประเด็น แต่เมื่อพิจารณาในประเด็นที่มีความพึงพอใจน้อยนั่นหมายถึงเป็นประเด็นที่ผู้ใช้บริการไม่พึงปรารถนาจากสายทางที่ใช้และต้องปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนอันได้แก่ประเด็น ด้านการดึงดูดความสนใจของป้ายจราจร การสะท้อนแสงของป้ายจราจร สภาพป้ายจราจรชำรุด ไฟฟ้าส่องสว่างข้างทาง และการบดบังป้ายจราจรจากสิ่งกีดขวาง ทัศนคติและความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมทดสอบด้านความพึงพอใจต่ออุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนแสดงดังรูปที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ร้อยละของความคิดเห็นด้านทัศนคติเกี่ยวกับความพึงพอใจของปัจจัยด้านอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนของผู้เข้าร่วมทดสอบ

ประเด็นที่พิจารณา	ร้อยละแต่ละระดับความพึงพอใจและประเด็น				
	พึงพอใจน้อยที่สุด	พึงพอใจค่อนข้างน้อย	พึงพอใจปานกลาง	พึงพอใจค่อนข้างมาก	พึงพอใจมากที่สุด
ไฟฟ้าส่องสว่างข้างทาง	13.3	33.3	30.0	20.0	3.4
สัญญาณไฟจราจรบนถนน	13.4	20.0	33.3	23.3	10.0
สภาพป้ายจราจรชำรุด	10.0	33.3	40.0	16.7	0.0
การสะท้อนแสงของป้ายจราจร	6.7	36.7	26.6	26.7	3.3
ขนาดของป้ายจราจร	3.3	23.3	43.4	26.7	3.3
การดึงดูดความสนใจของป้ายจราจร	3.3	40.0	23.4	33.3	0.0
ตำแหน่งติดตั้งป้ายจราจรด้านข้าง	3.3	26.7	36.6	16.7	16.7
ความสูงของป้ายจราจร	6.7	23.3	36.6	26.7	6.7
ความเหมาะสมของป้ายจราจรกับพื้นที่รอบข้าง	16.7	20.0	43.3	13.3	6.7
การบดบังป้ายจราจรจากสิ่งกีดขวาง	13.3	30.0	40.1	13.3	3.3
ระยะตรวจพบป้ายจราจร	0.0	33.3	43.4	20.0	3.3
ระยะการมองเห็นป้ายจราจร	0.0	23.3	53.4	23.3	0.0

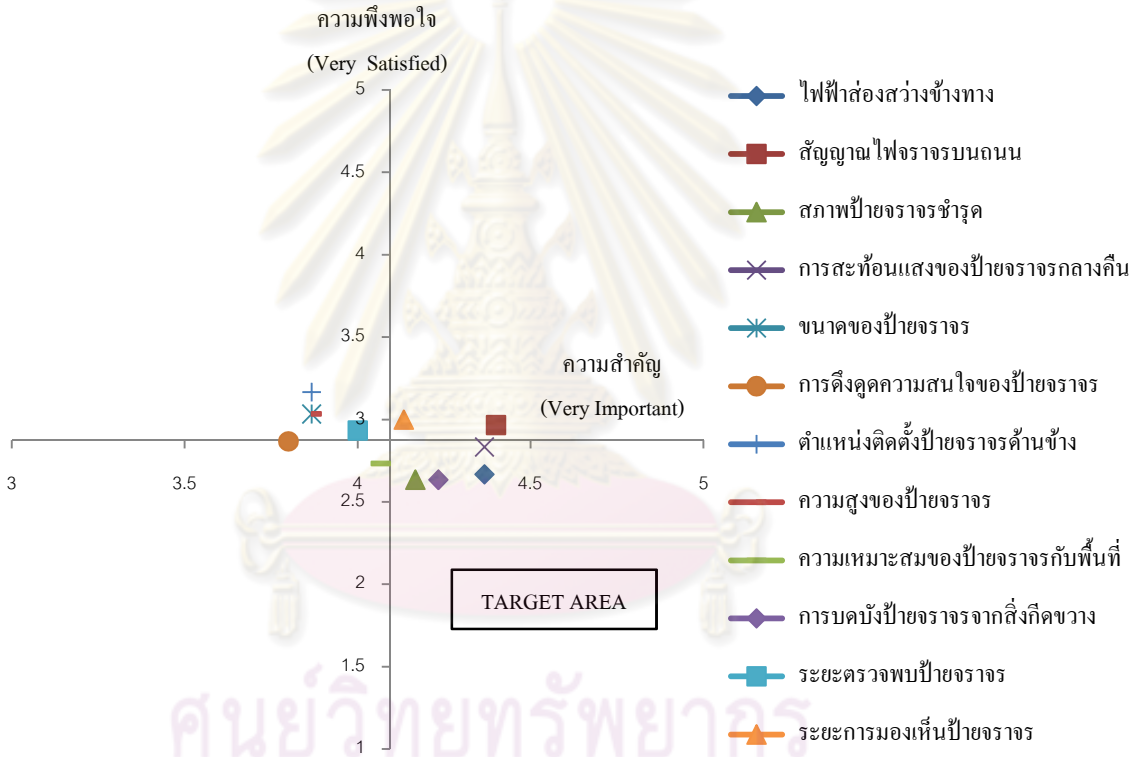


รูปที่ 4.2 ทัศนคติความพึงพอใจที่มีต่ออุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืน

รูปที่ 4.3 แสดงถึงการวิเคราะห์คุณภาพการให้บริการด้านอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนของผู้เข้าร่วมทดสอบ จากผลการศึกษาพบว่าประเด็น 12 ประเด็นให้ค่าตกอยู่ในพื้นที่ทั้ง 4 Quadrant โดยประเด็นที่มีความสำคัญและผู้ใช้บริการมีความพึงพอใจนั่นคือจุดแข็งของการให้บริการ ได้แก่ ประเด็นด้านสัญญาณไฟจราจรบนถนน และระยะมองเห็นป้ายจราจร เมื่อพิจารณาประเด็นทั้งสองสัญญาณไปจราจรค่อนข้างเป็นระบบที่มีการควบคุมและมีมาตรฐานการใช้งานจึงค่อนข้างมีการชำรุดเสียหายน้อย แต่จากการสัมภาษณ์มีบางสายทางที่กลุ่มตัวอย่างบางท่านมีความสับสนระหว่างป้ายหยุดและสัญญาณไฟเหลืองตรงทางแยก ในส่วนระยะมองเห็นป้ายจราจรเวลากลางคืนนั้นผู้ขับขี่มีความพึงพอใจเมื่อเทียบกับประเด็นอื่นๆ แต่เมื่อพิจารณาเชิงลึกของความพึงพอใจแล้วมีการประเมินให้ในระดับกลางที่สูงค่าจึงอยู่ที่ 3 แต่เมื่อเทียบกับประเด็นอื่นๆแล้วอยู่ในระดับที่พอใจ ด้านประเด็นการให้บริการที่ควรรักษาระดับคุณภาพเดิมไว้ได้แก่ ขนาดของป้ายจราจร ตำแหน่งการติดตั้งป้ายจราจรด้านข้าง และระยะตรวจพบป้ายจราจร ซึ่งประเด็นดังกล่าวผู้ขับขี่เห็นว่ามีความสำคัญและมีความพึงพอใจดังนั้นจึงควรรักษาระดับการให้บริการไว้ ในส่วนของประเด็นที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการบริการในระดับรุนแรง ได้แก่ ประเด็นการดึงดูดความสนใจของป้ายจราจร และความเหมาะสมของป้ายจราจรกับพื้นที่ เมื่อเปรียบเทียบกับประเด็นอื่นๆ อย่างไรก็ตามพื้นที่ของ Quadrant ที่ต้องได้รับการปรับปรุงมีความสำคัญต่อการพัฒนาการให้บริการเป็นอย่างมากเพราะบ่งบอกถึงส่วนพื้นฐานที่ต้องปรับปรุงในการพัฒนาการให้บริการ โดยประเด็นที่ตกอยู่ในพื้นที่ดังกล่าวได้แก่ การสะท้อนแสงของป้ายจราจรในเวลากลางคืน ไฟฟ้าส่องสว่างข้างทาง การบดบังป้ายจราจรจากสิ่งกีดขวาง และสภาพป้ายจราจรชำรุด ประเด็นดังกล่าวจากการสอบถามผู้เข้าร่วมพบว่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรนั้นในเวลากลางคืนบางป้ายมองเห็นได้ยากหรือสะท้อนน้อยมาก รวมทั้งการชำรุดของป้ายจราจรที่ยังมิได้ทำการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนแปลงรวมทั้งการบดบังป้ายจราจรเนื่องจากบางป้ายอาจมีสิ่งกีดขวางต้นไม้บ้านเรือนบังตำแหน่งป้ายจราจรทำให้ผู้ขับขี่มองเห็นได้ยาก และไฟฟ้าส่องสว่างข้างทางบางแหล่งชุมชนหรือแยกมีการติดตั้งไฟที่น้อยหรือบางแยกไม่มีไฟส่องสว่างเลยจึงมีผลต่อการขับขี่กลางคืนของผู้ขับขี่

กล่าวโดยสรุปจากการประเมินคุณภาพการให้บริการของอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนทั้งหมด 12 ประเด็น โดยภาพรวมพบว่าประเด็นทั้งหมดมีความสำคัญต่อผู้ใช้บริการแต่ด้านความพึงพอใจโดยรวมนั้นมีหลายประเด็นที่ผู้ใช้บริการยังไม่พึงพอใจมากนักเกี่ยวกับอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนโดยจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น แต่ในประเด็น

เร่งด่วนที่ต้องปรับปรุงแก้ไขได้แก่ประเด็นในพื้นที่ที่ต้องได้รับการปรับปรุงที่กล่าวไปข้างต้น แนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืนทางภาครัฐและองค์กรท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องควรร่วมกันตรวจตราและประเมินคุณภาพป้ายจราจรที่ติดตั้งเพื่อผู้ขับขี่ให้สามารถมองเห็นได้และเข้าใจได้เพียงพอต่อการตัดสินใจของผู้ขับขี่บนถนนทั้งกลางวันและกลางคืนซึ่งจะสอดคล้องกับมาตรฐาน Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD, 2009) ประเทศสหรัฐอเมริกาที่ได้กล่าวไว้ว่าป้ายจราจรที่ได้มาตรฐานควรให้การมองเห็นและเข้าใจทั้งเวลากลางวันและกลางคืนที่ไม่แตกต่างกันจึงจะทำให้ผู้ขับขี่มีความปลอดภัยบนถนนและเป็นส่วนหนึ่งในการช่วยลดการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นและสร้างความเสียหายเป็นอย่างมาก



รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์คุณภาพการให้บริการด้านอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยบนสายทางเวลากลางคืน

4.3 ข้อมูลการตอบสนองของผู้ขับขี่จากการทดลอง

จากการดำเนินการทดสอบปัจจัยต่างๆที่อาจส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรภาคสนามในเวลากลางคืนในบทที่ 3 ประกอบด้วยปัจจัยด้าน ประเภทยานพาหนะ กลุ่มผู้ขับขี่ ประเภทป้ายจราจร การสะท้อนแสง ความเร็วขับขี่ และความสูงป้ายจราจร ผลการทดสอบได้ผลลัพธ์

ของค่าการตอบสนองของผู้ขับขี่เป็น 2 ประเภท อันได้แก่ ระยะการตรวจพบ (Detection Distance) และระยะการมองเห็น (Legibility Distance) ของป้ายจราจร โดยการทดสอบแต่ละกลุ่มปัจจัยได้ให้ค่าระยะการตอบสนองของผู้ขับขี่จากป้ายจราจรที่แตกต่างกันออกไป

ส่วนถัดไปเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้นที่ใช้อธิบายลักษณะกลุ่มของข้อมูลจากการทดลองปัจจัย โดยแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติในรูปแบบตารางและแผนภาพกล่อง (Box plot) แยกพิจารณาแยกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็น เทียบกับปัจจัยต่างๆ โดยการวิเคราะห์จะพิจารณาภาพโดยรวม จากนั้นพิจารณาแต่ละกลุ่มตัวแปรตอบสนอง และพิจารณาแยกย่อยแต่ละปัจจัย

4.3.1 ค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามกลุ่มอายุและประเภทป้ายจราจร

การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้เป็นการอธิบายผลการทดสอบภาคสนามโดยพิจารณาค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของแต่ละป้ายจราจร ได้แก่ ป้ายทางแยกรูปตัวที ป้ายหยุด และป้ายจำกัดความเร็ว และจำแนกตามกลุ่มอายุ ได้แก่ ช่วงอายุต่ำกว่า 30 ปี 30 ถึง 50 ปี และมากกว่า 50 ปี โดยพิจารณาค่าสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความแปรปรวน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ค่าพิสัย และค่าแสดงการแจกแจงปกติ ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

จากการพิจารณาในตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงถึงค่าระยะการตรวจพบของป้ายจราจร พบว่าเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของระยะการตรวจพบของป้ายทางแยกรูปตัวทีมีค่าอยู่ในช่วง 173-191 เมตร ป้ายหยุดมีค่าอยู่ในช่วง 203-219 เมตร และป้ายจำกัดความเร็วมีค่าอยู่ในช่วง 203-220 เมตร ในทุกกลุ่มอายุ ซึ่งระยะพบป้ายอาจขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อนแสงของป้าย โดยจากการพิจารณาป้ายหยุดและป้ายจำกัดความเร็วมีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยใกล้เคียงกันจึงทำให้เห็นได้ในระยะไกลกว่าป้ายจำกัดความเร็วที่ที่ทีค่าการสะท้อนแสงต่ำกว่า

จากการพิจารณาในตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงถึงค่าระยะการมองเห็นของป้ายจราจร พบว่าเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของระยะการมองเห็นของป้ายทางแยกรูปตัวทีมีค่าอยู่ในช่วง 106-133 เมตร ป้ายหยุดมีค่าอยู่ในช่วง 119-158 เมตร และป้ายจำกัดความเร็วมีค่าอยู่ในช่วง 84-117 เมตร ในทุกกลุ่มอายุ โดยเมื่อพิจารณาแยกแต่ละกลุ่มอายุพบว่าอายุเพิ่มขึ้นมีผลต่อแนวโน้มค่าระยะการมองเห็นที่ต่ำลงในแต่ละประเภทป้ายจราจรทดสอบ

เมื่อพิจารณาภาพรวมแสดงค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของแต่ละป้ายจราจรและกลุ่มอายุ ดังรูปที่ 4.4 พบว่าจากการทดสอบค่าระยะการตรวจพบมีค่าสูงกว่าค่าระยะการมองเห็นในทุกปัจจัย เมื่อพิจารณาระยะการตรวจพบป้ายหยุดและป้ายจำกัดความเร็วให้ระยะที่สูงกว่าป้ายทางแยกรูปตัวที โดยป้ายจำกัดความเร็วมีค่าการกระจายของข้อมูลที่สูง ในส่วนระยะการมองเห็นป้ายหยุดให้ระยะที่สูงสุด รองลงมาเป็นป้ายทางแยกรูปตัวที และป้ายจำกัดความเร็วตามลำดับ เมื่อกลุ่มอายุผู้ขับขี่สูงขึ้นระยะการมองเห็นมีแนวโน้มต่ำลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

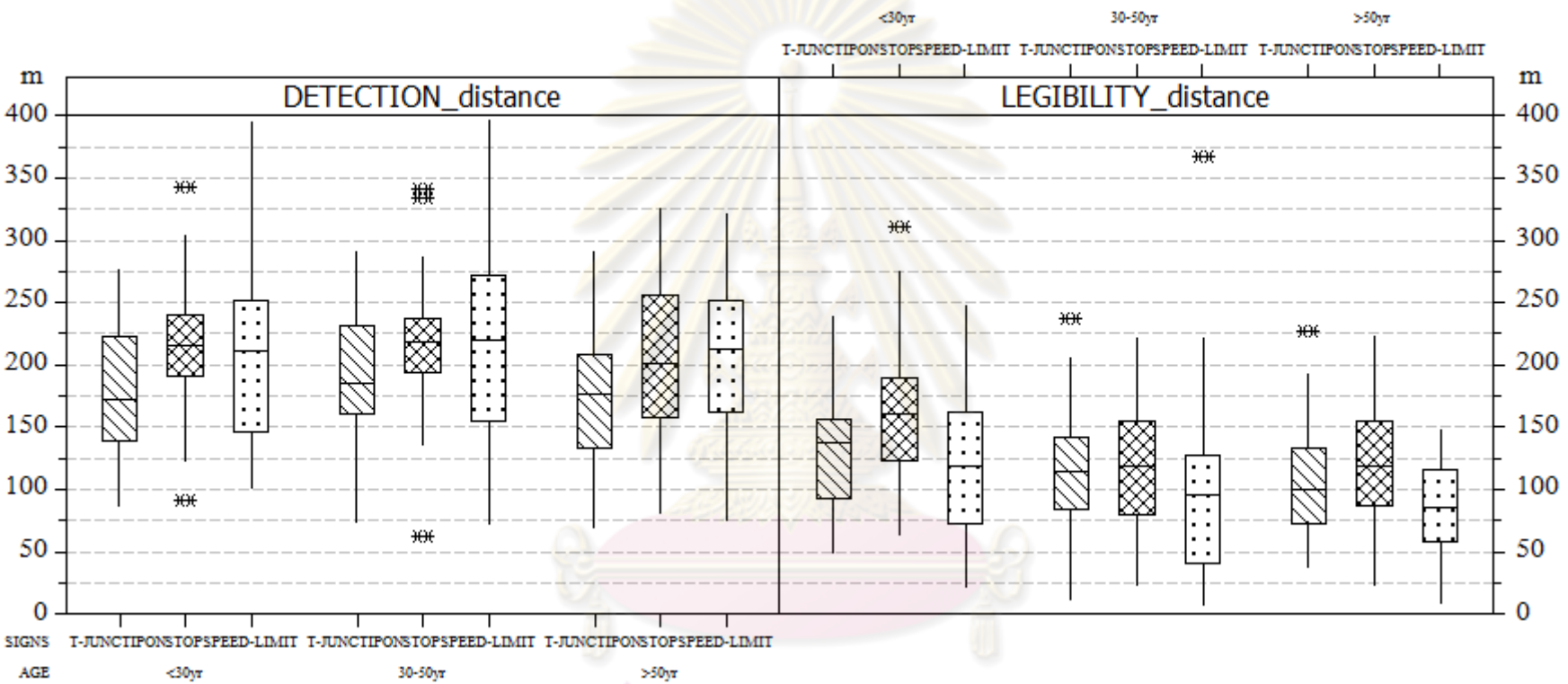
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ (Detection Distance) ของป้ายจราจร จำแนกตามกลุ่มอายุและประเภทป้ายจราจร

ช่วงอายุผู้ขับขี่	<30 ปี			30-50 ปี			>50 ปี		
ประเภทป้ายจราจร	ป้ายทางแยกรูปตัวที	ป้ายหยุด	ป้ายจำกัดความเร็ว	ป้ายทางแยกรูปตัวที	ป้ายหยุด	ป้ายจำกัดความเร็ว	ป้ายทางแยกรูปตัวที	ป้ายหยุด	ป้ายจำกัดความเร็ว
จำนวน	54	54	54	54	54	54	54	54	54
ค่าเฉลี่ย	178.10	218.63	203.03	190.78	214.99	219.30	173.29	203.19	205.48
ค่ามัธยฐาน	169.26	215.00	211.24	185.00	217.83	219.06	176.36	200.25	212.00
ค่าคาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย	6.70	6.42	8.70	6.81	6.19	11.00	7.21	7.95	8.48
ค่าต่ำสุด	86.06	91.67	101.67	74.00	62.11	72.89	69.67	80.56	74.50
ค่าสูงสุด	276.11	343.22	395.00	290.72	341.11	396.67	290.44	325.11	320.67
พิสัย	190.05	251.55	293.33	216.72	279.00	323.78	220.77	244.55	246.17
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	49.24	47.19	63.94	50.07	45.45	80.81	53.01	58.43	62.34
ค่าความแปรปรวน	2424.68	2226.50	4088.57	2507.27	2065.99	6529.72	2810.30	3414.64	3886.80
Kurtosis	-0.74	0.72	0.04	-0.38	2.64	-0.16	-0.62	-0.73	-0.66
Skewness	0.39	0.17	0.39	-0.04	-0.16	0.21	0.16	0.05	-0.23

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบค่าระยะการมองเห็น (Legibility Distance) ของป้ายจราจร จำแนกตามกลุ่มอายุและประเภทป้ายจราจร

ช่วงอายุผู้ขับขี่	<30 ปี			30-50 ปี			>50 ปี		
ประเภทป้ายจราจร	ป้ายทางแยกรูปตัวที	ป้ายหยุด	ป้ายจำกัดความเร็ว	ป้ายทางแยกรูปตัวที	ป้ายหยุด	ป้ายจำกัดความเร็ว	ป้ายทางแยกรูปตัวที	ป้ายหยุด	ป้ายจำกัดความเร็ว
จำนวน	54	54	54	54	54	54	54	54	54
ค่าเฉลี่ย	132.64	157.18	116.20	114.45	119.48	99.38	106.40	119.22	84.54
ค่ามัธยฐาน	136.63	160.45	119.17	113.64	118.28	95.62	100.11	118.42	85.50
ค่าคาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย	6.25	6.91	7.37	6.00	6.80	9.46	5.49	6.62	5.04
ค่าต่ำสุด	49.50	63.33	21.11	12.00	23.67	7.78	37.78	23.33	8.67
ค่าสูงสุด	238.89	311.44	247.78	236.67	221.61	366.56	226.33	223.22	148.00
พิสัย	189.39	248.11	226.67	224.67	197.94	358.78	188.55	199.89	139.33
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	45.93	50.78	54.15	44.06	49.94	69.52	40.33	48.64	37.06
ค่าความแปรปรวน	2109.84	2578.33	2932.45	1941.28	2494.30	4833.53	1626.11	2366.25	1373.33
Kurtosis	-0.57	0.55	-0.65	0.48	-0.54	2.59	0.24	-0.58	-0.84
Skewness	0.29	0.49	0.19	0.38	0.15	1.15	0.68	0.06	-0.23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ (Detection Distance) และระยะการมองเห็น (Legibility Distance) จำแนกตามกลุ่มอายุ และประเภทป้ายจราจร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 ค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจรและประเภทยานพาหนะ

การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้เป็นการอธิบายผลการทดสอบภาคสนามโดยพิจารณาค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของแต่ละป้ายจราจร ได้แก่ ป้ายทางแยกรูปตัวที ป้ายหยุด และป้ายจำกัดความเร็ว และจำแนกตามประเภทยานพาหนะ ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์ โดยพิจารณาค่าสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความแปรปรวน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ค่าพิสัย และค่าการแจกแจงปกติ ดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

จากการพิจารณาในตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงถึงค่าระยะการตรวจพบ ของป้ายจราจร พบว่าเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของระยะการตรวจพบของรถจักรยานยนต์มีค่าอยู่ในช่วง 171-209 เมตร และรถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าอยู่ในช่วง 190-226 เมตร สำหรับทุกป้ายจราจร เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบรถทั้งสองประเภทในป้ายจราจรแต่ละประเภทพบว่ารถยนต์ส่วนบุคคลมีระยะการตรวจพบสูงกว่ารถจักรยานยนต์ถึงช่วงประมาณ 30 เมตร โดยระยะการตรวจพบของป้ายหยุดและป้ายจำกัดความเร็วมีค่าสูงกว่าระยะการตรวจพบของป้ายทางแยกรูปตัวที

จากการพิจารณาในตารางที่ 4.8 ซึ่งแสดงถึงค่าระยะการมองเห็นของป้ายจราจร พบว่าเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของระยะการมองเห็นของของรถจักรยานยนต์มีค่าอยู่ในช่วง 91-115 เมตร และรถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าอยู่ในช่วง 108-150 เมตร ในทุกป้ายจราจร เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบรถทั้งสองประเภทในป้ายจราจรแต่ละประเภทพบว่ารถยนต์ส่วนบุคคลมีระยะการมองเห็นสูงกว่ารถจักรยานยนต์ถึงช่วงประมาณ 36 เมตร

เมื่อพิจารณาภาพรวมแสดงค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของแต่ละป้ายจราจรและประเภทยานพาหนะ ดังรูปที่ 4.5 พบว่าจากการทดสอบค่าระยะการตรวจพบมีค่าสูงกว่าค่าระยะการมองเห็นในทุกปัจจัย รถยนต์ส่วนบุคคลให้ค่าระยะทั้งสองสูงกว่ารถจักรยานยนต์ทุกป้ายจราจร และเมื่อพิจารณาระยะการตรวจพบป้ายหยุดและป้ายจำกัดความเร็วให้ระยะที่สูงกว่าป้ายทางแยกรูปตัวทีทั้งสองประเภทรถ ในส่วนระยะการมองเห็นป้ายหยุดให้ระยะที่สูงสุด ป้ายจำกัดความเร็วและป้ายทางแยกรูปตัวทีมีค่าไม่แตกต่างกันในทั้งสองประเภทรถ โดยป้ายจราจรที่มีการกระจายของข้อมูลมากสุดได้แก่ป้ายจำกัดความเร็ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ (Detection Distance) ของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจรและประเภทยานพาหนะ

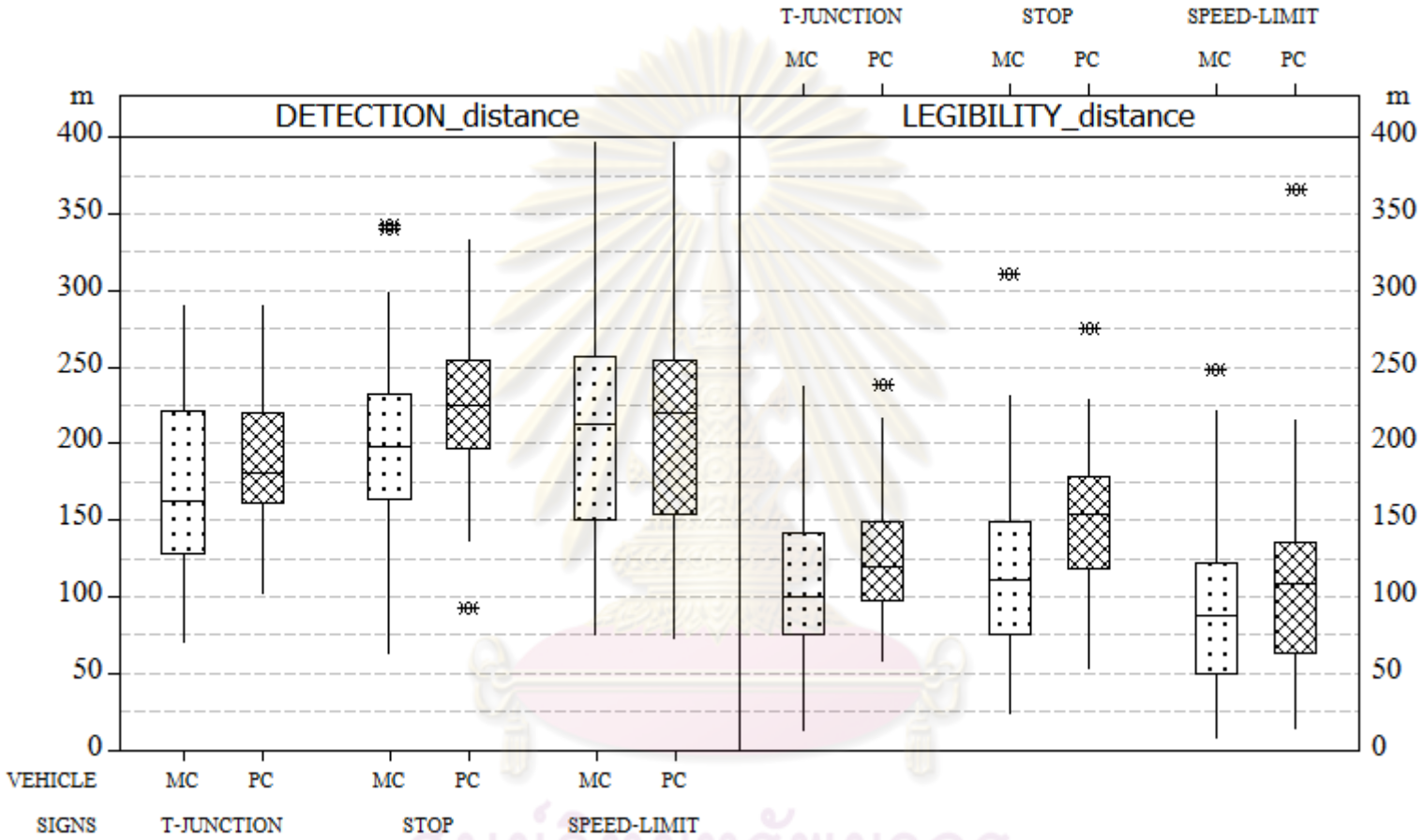
ประเภทป้ายจราจร	ป้ายทางแยกรูปตัวที		ป้ายหยุด		ป้ายจำกัดความเร็ว	
ประเภทยานพาหนะ	รถจักรยานยนต์	รถยนต์ส่วนบุคคล	รถจักรยานยนต์	รถยนต์ส่วนบุคคล	รถจักรยานยนต์	รถยนต์ส่วนบุคคล
จำนวน	81	81	81	81	81	81
ค่าเฉลี่ย	171.09	190.36	198.73	225.81	208.84	209.70
ค่ามัธยฐาน	162.22	180.44	198.33	225.17	213.17	220.30
ค่าคาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย	6.27	4.80	5.93	4.93	7.87	7.61
ค่าต่ำสุด	69.67	101.67	62.11	91.67	74.50	72.89
ค่าสูงสุด	290.44	290.72	343.22	333.22	396.67	396.67
พิสัย	220.77	189.05	281.11	241.55	322.17	323.78
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	56.44	43.20	53.39	44.41	70.86	68.50
ค่าความแปรปรวน	3185.35	1865.96	2850.99	1971.83	5020.80	4692.32
Kurtosis	-0.94	-0.40	0.53	0.48	-0.27	0.28
Skewness	0.25	0.41	0.16	-0.02	0.23	0.23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบค่าระยะการมองเห็น (Legibility Distance) ของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร และประเภทยานพาหนะ

ประเภทป้ายจราจร	ป้ายทางแยกรูปตัวที		ป้ายหยุด		ป้ายจำกัดความเร็ว	
ประเภทยานพาหนะ	รถจักรยานยนต์	รถยนต์ส่วนบุคคล	รถจักรยานยนต์	รถยนต์ส่วนบุคคล	รถจักรยานยนต์	รถยนต์ส่วนบุคคล
จำนวน	81	81	81	81	81	81
ค่าเฉลี่ย	108.79	126.86	114.17	149.75	91.85	108.23
ค่ามัธยฐาน	99.72	119.33	111.22	154.06	87.78	108.44
ค่าคาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย	5.29	4.41	6.12	4.84	6.22	6.21
ค่าต่ำสุด	12.00	58.33	23.33	52.39	7.78	13.83
ค่าสูงสุด	236.67	238.89	311.44	275.33	247.78	366.56
พิสัย	224.67	180.56	288.11	222.94	240.00	352.73
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	47.58	39.70	55.06	43.59	55.99	55.88
ค่าความแปรปรวน	2264.07	1575.70	3031.42	1899.68	3134.53	3123.13
Kurtosis	-0.08	0.08	1.03	-0.16	-0.26	4.36
Skewness	0.61	0.58	0.78	0.08	0.50	1.29

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ (Detection Distance) และระยะการมองเห็น (Legibility Distance) จำแนกตามประเภทป้ายจราจร และประเภทยานพาหนะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3 ค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับความสูงของป้าย

การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้เป็นการอธิบายผลการทดสอบภาคสนามโดยพิจารณาค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของแต่ละป้ายจราจร ได้แก่ ป้ายทางแยกรูปตัวที ป้ายหยุด และป้ายจำกัดความเร็ว และจำแนกตามประเภทยานพาหนะ และระดับความสูงได้แก่ ระดับ 0 เมตร ระดับ 1.5 เมตร และระดับ 3 เมตร โดยพิจารณาค่าสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความแปรปรวน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ค่าพิสัย และค่าการแจกแจงปกติ ดังตารางที่ 4.9 และ 4.10

จากการพิจารณาในตารางที่ 4.9 ซึ่งแสดงถึงค่าระยะการตรวจพบของป้ายจราจร พบว่าเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของระยะการตรวจพบทุกประเภทป้ายของรถจักรยานยนต์ที่ระดับความสูงป้าย 0 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 141-193 เมตร ระดับ 1.5 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 169-217 เมตร และระดับ 3 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 201-229 เมตร และรถยนต์ส่วนบุคคลระดับความสูงป้าย 0 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 177-240 เมตร ระดับ 1.5 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 194-210 เมตร และระดับ 3 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 198-228 เมตร โดยจะเห็นว่าที่ระยะ 3 เมตร ให้ค่าระยะการตรวจพบที่สูงกว่าระดับอื่น

จากการพิจารณาในตารางที่ 4.10 ซึ่งแสดงถึงค่าระยะการมองเห็นของป้ายจราจร พบว่าเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของระยะการตรวจพบทุกประเภทป้ายของรถจักรยานยนต์ที่ระดับความสูงป้าย 0 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 81-109 เมตร ระดับ 1.5 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 102-121 เมตร และระดับ 3 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 86-130 เมตร และรถยนต์ส่วนบุคคลระดับความสูงป้าย 0 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 111-168 เมตร ระดับ 1.5 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 105-134 เมตร และระดับ 3 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 107-149 เมตร โดยจะเห็นว่าที่ระยะ 0 และ 3 เมตร ให้ค่าระยะการมองเห็นที่สูงกว่าระดับอื่น

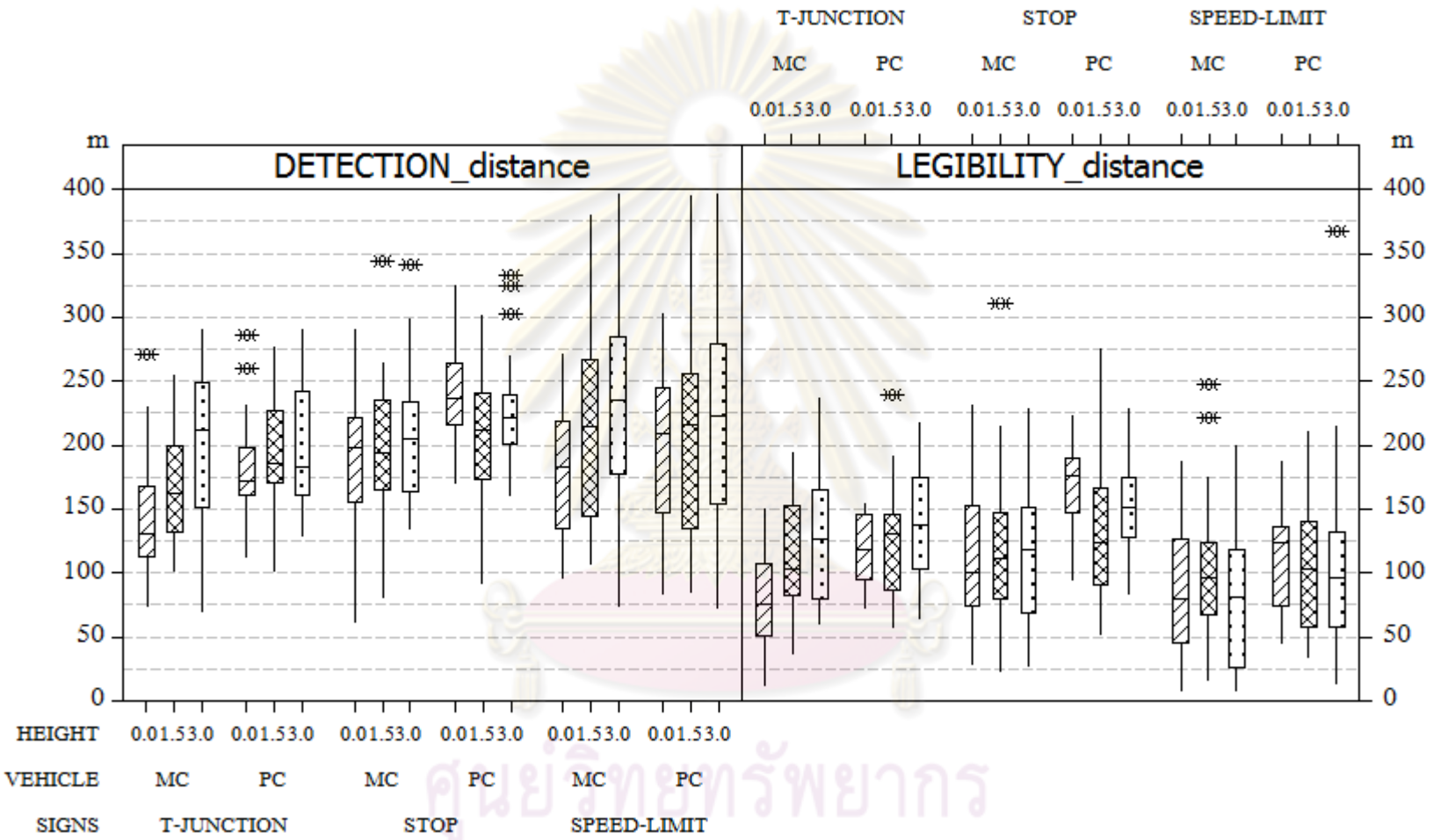
เมื่อพิจารณาภาพรวมแสดงค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของแต่ละป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับความสูงป้าย ดังรูปที่ 4.6 พบว่าค่าระยะการตรวจพบมีค่าสูงกว่าค่าระยะการมองเห็นในทุกปัจจัย พิจารณาระยะการตรวจพบพบว่าที่ระดับป้าย 0 หรือ 3 เมตรจะให้ค่าที่สูงกว่าระดับ 1.5 เมตร ป้ายจำกัดความเร็วมีค่าการกระจายของข้อมูลที่สูง ด้านระยะการมองเห็นมีลักษณะเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ (Detection Distance) ของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับความสูงของป้าย

ประเภทป้ายจราจร	ป้ายทางแยกรูปตัวที						ป้ายหยุด						ป้ายจำกัดความเร็ว					
ประเภทยานพาหนะ	รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล			รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล			รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล		
ระดับความสูง (เมตร)	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
จำนวน	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
ค่าเฉลี่ย	141.84	169.84	201.58	177.70	194.89	198.51	192.79	196.90	206.52	239.69	209.73	228.00	180.78	216.74	228.99	201.44	206.33	221.33
ค่ามัธยฐาน	129.80	162.33	211.50	171.34	185.00	182.31	198.33	194.33	204.44	237.11	211.11	221.83	183.33	214.67	235.56	209.33	215.33	222.33
ค่าคาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย	9.09	9.15	11.31	7.39	8.47	8.76	10.14	10.92	9.95	7.05	9.61	8.07	9.83	14.46	14.77	10.89	14.07	14.49
ค่าต่ำสุด	74.00	101.83	69.67	113.33	101.67	129.33	62.11	80.56	134.56	170.56	91.67	161.33	96.50	107.28	74.50	84.33	85.11	72.89
ค่าสูงสุด	270.56	254.11	290.44	286.56	276.11	290.72	290.00	343.22	341.11	325.11	301.50	333.22	271.33	380.00	396.67	303.11	395.00	396.67
พิสัย	196.56	152.28	220.77	173.23	174.44	161.39	227.89	262.66	206.55	154.55	209.83	171.89	174.83	272.72	322.17	218.78	309.89	323.78
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	47.22	47.53	58.79	38.37	44.03	45.54	52.70	56.74	51.69	36.62	49.93	41.94	51.10	75.14	76.73	56.60	73.09	75.30
ค่าความแปรปรวน	2229.37	2259.36	3456.42	1472.59	1938.41	2073.58	2777.20	3219.65	2672.32	1341.24	2493.37	1759.27	2611.07	5646.54	5886.81	3203.34	5341.83	5669.51
Kurtosis	0.81	-0.93	-0.57	1.76	-0.39	-0.87	0.42	0.79	0.51	-0.12	-0.21	1.10	-0.96	-0.63	0.18	-0.85	0.29	0.29
Skewness	0.86	0.38	-0.54	1.08	-0.27	0.49	-0.18	0.07	0.69	0.19	-0.26	1.05	-0.05	0.31	-0.31	-0.32	0.11	0.44

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบค่าระยะการมองเห็น (Legibility Distance) ของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับความสูงของป้าย

ประเภทป้ายจราจร	ป้ายทางแยกรูปตัวที						ป้ายหยุด						ป้ายจำกัดความเร็ว					
ประเภทยานพาหนะ	รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล			รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล			รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล		
ระดับความสูง (เมตร)	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
จำนวน	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
ค่าเฉลี่ย	81.96	114.59	129.83	118.52	123.27	138.80	108.81	120.33	113.35	167.53	133.26	148.46	86.48	102.58	86.47	111.66	105.36	107.68
ค่ามัธยฐาน	75.00	102.78	126.67	117.89	131.00	137.67	100.17	111.67	118.89	176.11	123.94	150.67	80.33	96.67	81.44	123.83	103.70	96.72
ค่าคาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย	6.93	8.07	9.94	4.69	8.21	9.03	9.69	11.57	10.73	6.76	10.11	6.78	10.09	11.20	11.10	7.58	9.85	14.16
ค่าต่ำสุด	12.00	37.78	60.33	73.33	58.33	65.00	29.33	23.33	26.83	94.44	52.39	83.22	7.78	16.17	8.67	45.00	34.11	13.83
ค่าสูงสุด	150.50	193.33	236.67	153.61	238.89	216.67	231.67	311.44	228.89	223.22	275.33	228.06	187.22	247.78	200.00	187.17	210.56	366.56
พิสัย	138.50	155.55	176.34	80.28	180.56	151.67	202.34	288.11	202.06	128.78	222.94	144.84	179.44	231.61	191.33	142.17	176.45	352.73
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	36.03	41.94	51.64	24.37	42.67	46.90	50.34	60.11	55.77	35.13	52.52	35.22	52.44	58.21	57.68	39.38	51.21	73.59
ค่าความแปรปรวน	1298.45	1759.13	2666.34	594.08	1820.96	2199.55	2533.78	3613.55	3110.20	1234.18	2758.07	1240.74	2749.86	3387.93	3327.34	1550.57	2622.17	5415.80
Kurtosis	-0.49	-0.74	-0.60	-0.99	0.55	-1.08	-0.13	2.87	-0.58	-0.57	0.58	-0.01	-0.83	0.46	-0.57	-0.94	-0.81	4.84
Skewness	0.37	0.45	0.52	-0.16	0.61	0.23	0.50	1.22	0.42	-0.43	0.76	0.21	0.38	0.61	0.50	-0.12	0.37	1.76



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ (Detection Distance) และระยะการมองเห็น (Legibility Distance) ของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับความสูงของป้าย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.4 ค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง

การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้เป็นการอธิบายผลการทดสอบภาคสนามโดยพิจารณาค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของแต่ละป้ายจราจร ได้แก่ ป้ายทางแยกรูปตัวที ป้ายหยุด และป้ายจำกัดความเร็ว และจำแนกตามประเภทยานพาหนะ และระดับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจร ได้แก่ ระดับต่ำ (L) ระดับกลาง (M) และระดับสูง (H) โดยพิจารณาค่าสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความแปรปรวน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ค่าพิสัย และค่าแสดงการแจกแจงแบบปกติ ดังตารางที่ 4.11 และ 4.12

จากการพิจารณาในตารางที่ 4.11 แสดงถึงค่าระยะการตรวจพบของป้ายจราจร พบว่าเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของระยะการตรวจพบทุกประเภทป้ายของรถจักรยานยนต์ที่ระดับค่าการสะท้อนแสงระดับต่ำ (L) มีค่าอยู่ในช่วง 136-166 เมตร ระดับกลาง (M) มีค่าอยู่ในช่วง 163-229 เมตร และระดับสูง (H) มีค่าอยู่ในช่วง 193-260 เมตร และรถยนต์ส่วนบุคคลที่ระดับค่าการสะท้อนแสงระดับต่ำ (L) มีค่าอยู่ในช่วง 138-204 เมตร ระดับกลาง (M) มีค่าอยู่ในช่วง 190-231 เมตร และระดับสูง (H) มีค่าอยู่ในช่วง 211-261 เมตร โดยจะเห็นว่าระดับการสะท้อนแสงสูงขึ้นระยะตรวจพบมีค่าสูงขึ้นตาม เนื่องจากป้ายที่สะท้อนแสงได้ดีจะตรวจพบป้ายได้ที่ระยะไกล

จากการพิจารณาในตารางที่ 4.12 แสดงถึงค่าระยะการมองเห็นของป้ายจราจร พบว่าเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของระยะการมองเห็นพบทุกประเภทป้ายของรถจักรยานยนต์ที่ระดับค่าการสะท้อนแสงระดับต่ำ (L) มีค่าอยู่ในช่วง 35-93 เมตร ระดับกลาง (M) มีค่าอยู่ในช่วง 103-116 เมตร และระดับสูง (H) มีค่าอยู่ในช่วง 129-144 เมตร และรถยนต์ส่วนบุคคลที่ระดับค่าการสะท้อนแสงระดับต่ำ (L) มีค่าอยู่ในช่วง 57-131 เมตร ระดับกลาง (M) มีค่าอยู่ในช่วง 126-153 เมตร และระดับสูง (H) มีค่าอยู่ในช่วง 137-165 เมตร โดยจะเห็นว่าระดับการสะท้อนแสงสูงขึ้นระยะการมองเห็นมีค่าสูงขึ้นตาม เพราะอักษรหรือสัญลักษณ์จะมีความชัดสว่างขึ้น อ่านออกได้ง่าย

พิจารณาภาพรวมแสดงค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของแต่ละป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรดังรูปที่ 4.7 พบว่าค่าระยะการตรวจพบมีค่าสูงกว่าค่าระยะการมองเห็นในทุกปัจจัย พิจารณาระยะการตรวจพบพบว่าที่ระดับต่ำ (L) ระดับกลาง (M) และระดับสูง (H) พบว่าแต่ละประเภทป้าย และประเภทยานพาหนะเมื่อ

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงขึ้นจะมีผลให้ระยะการตรวจพบมีค่าสูงขึ้นตามอย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาป้ายจำกัดความเร็วพบว่ามีค่าระยะการตรวจพบที่ค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีค่าการสะท้อนแสงใกล้เคียง 0 cd/lx/m^2

เมื่อพิจารณาระยะการมองเห็นที่ระดับต่ำ (L) ระดับกลาง (M) และระดับสูง (H) พบว่าแต่ละประเภทป้ายและประเภทยานพาหนะเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงขึ้นจะมีผลให้ระยะการมองเห็นมีค่าสูงขึ้นตามอย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาป้ายจำกัดความเร็วพบว่ามีค่าระยะการมองเห็นที่ค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีค่าการสะท้อนแสงใกล้เคียง 0 cd/lx/m^2 และให้ค่าระยะการมองเห็นที่ต่ำมากโดยมีค่าไม่เกินระยะ 50 เมตร สำหรับทั้งรถจักรยานยนต์ และรถยนต์ส่วนบุคคล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ (Detection Distance) ของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับการสะท้อนแสง

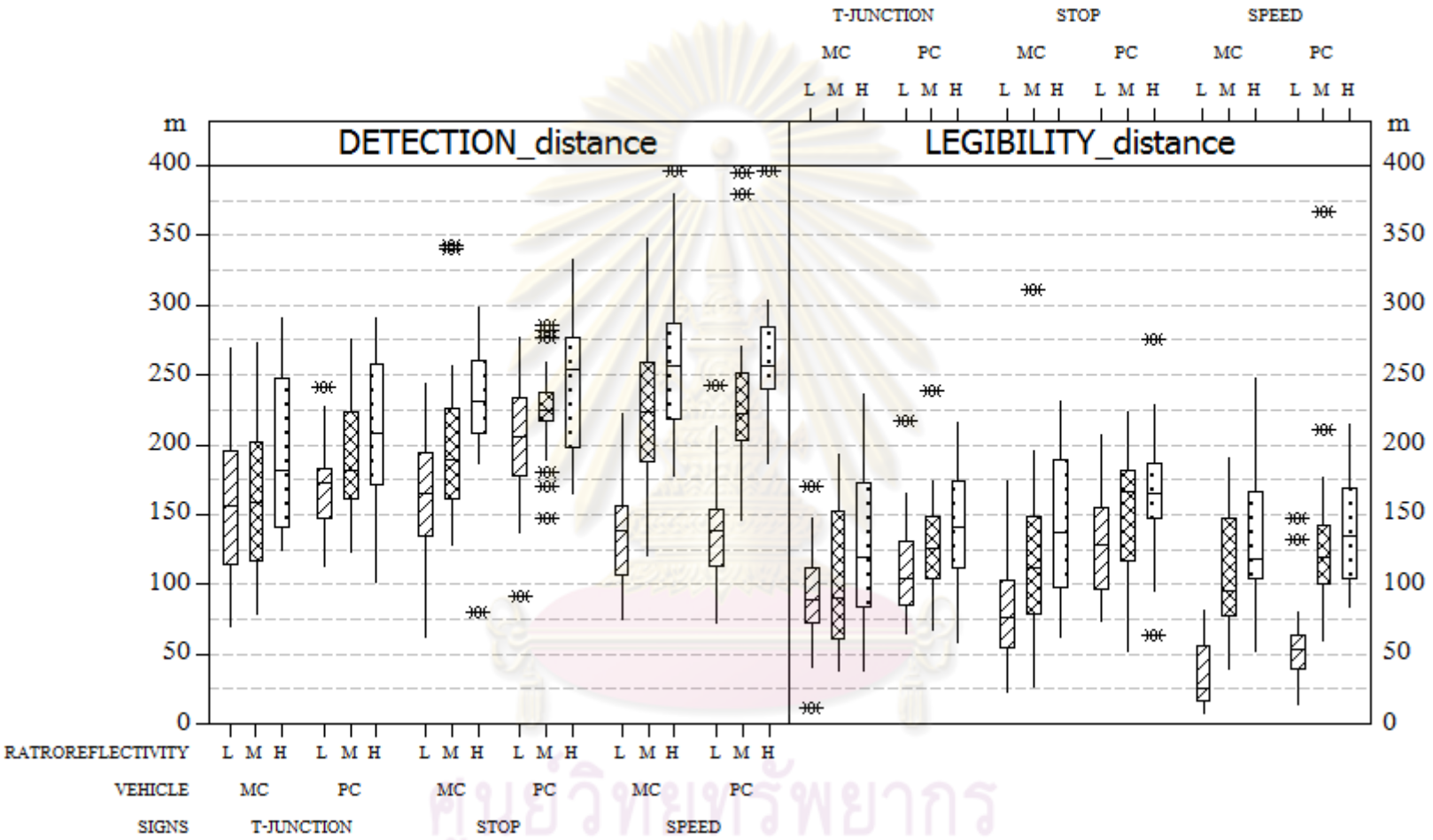
ประเภทป้ายจราจร	ป้ายทางแยกรูปตัวที						ป้ายหยุด						ป้ายจำกัดความเร็ว					
ประเภทยานพาหนะ	รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล			รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล			รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล		
ค่าการสะท้อนแสง	ต่ำ (L)	กลาง (M)	สูง (H)	ต่ำ (L)	กลาง (M)	สูง (H)	ต่ำ (L)	กลาง (M)	สูง (H)	ต่ำ (L)	กลาง (M)	สูง (H)	ต่ำ (L)	กลาง (M)	สูง (H)	ต่ำ (L)	กลาง (M)	สูง (H)
จำนวน	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
ค่าเฉลี่ย	156.14	163.95	193.17	169.45	190.00	211.65	165.52	201.30	229.39	203.05	225.31	249.06	138.57	228.03	259.92	138.06	230.96	260.08
ค่ามัธยฐาน	156.00	153.00	182.20	173.33	182.31	208.67	165.33	189.50	231.56	205.56	225.00	254.33	139.11	224.00	256.67	138.22	222.33	256.11
ค่าคาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย	10.74	10.52	10.37	6.06	7.03	9.61	8.34	10.18	8.53	7.95	6.10	9.15	7.45	10.68	9.90	7.57	10.28	7.71
ค่าต่ำสุด	69.67	79.33	125.00	113.33	123.00	101.67	62.11	128.22	80.56	91.67	147.78	165.00	74.50	120.56	178.33	72.89	146.67	187.00
ค่าสูงสุด	269.45	273.17	290.44	241.67	276.11	290.72	244.00	343.22	298.33	276.50	286.00	333.22	222.33	348.00	396.67	242.83	395.00	396.67
พิสัย	199.78	193.84	165.44	128.34	153.11	189.05	181.89	215.00	217.77	184.83	138.22	168.22	147.83	227.44	218.34	169.94	248.33	209.67
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	55.81	54.69	53.90	31.48	36.53	49.91	43.32	52.92	44.34	41.29	31.69	47.52	38.73	55.51	51.45	39.33	53.40	40.06
ค่าความแปรปรวน	3114.24	2990.80	2904.71	990.68	1334.75	2491.11	1877.05	2800.47	1966.05	1705.00	1004.43	2258.30	1499.98	3081.59	2647.26	1546.98	2851.65	1604.41
Kurtosis	-0.90	-0.83	-1.48	0.15	-0.24	-0.80	-0.05	2.04	3.77	0.89	0.69	-0.74	-0.24	0.07	1.34	0.89	4.41	4.25
Skewness	0.28	0.36	0.28	0.26	0.41	-0.21	-0.31	1.31	-1.14	-0.53	-0.25	-0.03	0.43	0.30	0.94	0.73	1.82	1.25

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบค่าระยะการมองเห็น (Legibility Distance) ของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับการสะท้อนแสง

ประเภทป้ายจราจร	ป้ายทางแยกรูปตัวที						ป้ายหยุด						ป้ายจำกัดความเร็ว					
ประเภทยานพาหนะ	รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล			รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล			รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล		
ค่าการสะท้อนแสง	ต่ำ (L)	กลาง (M)	สูง (H)	ต่ำ (L)	กลาง (M)	สูง (H)	ต่ำ (L)	กลาง (M)	สูง (H)	ต่ำ (L)	กลาง (M)	สูง (H)	ต่ำ (L)	กลาง (M)	สูง (H)	ต่ำ (L)	กลาง (M)	สูง (H)
จำนวน	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
ค่าเฉลี่ย	92.84	103.67	129.87	110.69	126.25	143.65	83.46	115.95	143.09	131.09	153.19	164.98	35.80	108.85	130.89	57.24	129.92	137.54
ค่ามัธยฐาน	88.67	90.50	119.39	103.67	126.11	141.00	76.00	112.11	137.33	127.78	167.00	165.33	25.60	95.67	118.00	53.00	120.00	134.50
ค่าคาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย	6.74	8.86	10.31	6.67	7.16	7.93	7.60	11.05	9.86	7.20	8.28	8.56	4.40	8.13	9.01	5.51	11.04	7.25
ค่าต่ำสุด	12.00	38.67	37.78	65.00	67.50	58.33	23.33	26.83	62.56	73.17	52.39	63.33	7.78	39.50	51.67	13.83	59.28	83.33
ค่าสูงสุด	170.44	192.89	236.67	216.67	238.89	215.89	173.61	311.44	231.67	207.33	223.22	275.33	81.44	191.17	247.78	148.00	366.56	215.00
พิสัย	158.44	154.22	198.89	151.67	171.39	157.56	150.28	284.61	169.11	134.16	170.83	212.00	73.66	151.67	196.11	134.17	307.28	131.67
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	35.00	46.04	53.56	34.67	37.18	41.23	39.47	57.40	51.21	37.41	43.02	44.50	22.88	42.24	46.82	28.62	57.35	37.69
ค่าความแปรปรวน	1224.90	2119.58	2868.92	1201.76	1382.32	1699.76	1558.16	3295.27	2622.82	1399.87	1850.33	1980.07	523.48	1784.00	2191.92	819.04	3289.26	1420.90
Kurtosis	0.31	-1.16	-0.64	1.87	1.97	-0.71	0.03	4.12	-1.14	-0.40	-0.38	0.86	-0.76	-0.90	0.41	4.22	11.12	-0.86
Skewness	0.13	0.39	0.43	1.10	0.78	0.07	0.49	1.36	0.23	0.36	-0.44	0.06	0.73	0.41	0.88	1.76	2.86	0.46

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ (Detection Distance) และระยะการมองเห็น (Legibility Distance) ของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับการสะท้อนแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.5 ค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และความเร็วขับขี่

การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้เป็นการอธิบายผลการทดสอบภาคสนามโดยพิจารณาค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของแต่ละป้ายจราจร ได้แก่ ป้ายทางแยกรูปตัวที ป้ายหยุด และป้ายจำกัดความเร็ว และจำแนกตามประเภทยานพาหนะ และระดับความเร็วขับขี่ทดสอบ ได้แก่ ระดับ 20 40 และ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยพิจารณาค่าสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความแปรปรวน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ค่าพิสัย และค่าการแจกแจงปกติ ดังตารางที่ 4.13 และ 4.14

จากการพิจารณาในตารางที่ 4.13 แสดงถึงค่าระยะการตรวจพบของป้ายจราจร พบว่าเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของระยะการตรวจพบทุกประเภทป้ายของรถจักรยานยนต์ที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 173-216 เมตร ความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 116-191 เมตร และความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 171-203 เมตร และรถยนต์ส่วนบุคคลที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 201-235 เมตร ความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 182-227 เมตร และความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 187-216 เมตร โดยจะเห็นว่าระดับความเร็วขับขี่ที่สูงขึ้นระยะตรวจพบจะมีค่าต่ำลง

จากการพิจารณาในตารางที่ 4.14 แสดงถึงค่าระยะการมองเห็นของป้ายจราจร พบว่าเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของระยะการมองเห็นพบทุกประเภทป้ายของรถจักรยานยนต์ที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 112-134 เมตร ความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 92-109 เมตร และความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 70-101 เมตร และรถยนต์ส่วนบุคคลที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 114-159 เมตร ความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 110-148 เมตร และความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 99-142 เมตร โดยจะเห็นว่าระดับความเร็วขับขี่ที่สูงขึ้นระยะการมองเห็นมีค่าต่ำลงเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาภาพรวมแสดงค่าระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของแต่ละป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับความเร็วขับขี่ ดังรูปที่ 4.8 พบว่าค่าระยะการตรวจพบมีค่าสูงกว่าค่าระยะการมองเห็นในทุกปัจจัย รวมทั้งรถยนต์ส่วนบุคคลให้ค่าระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นที่สูงกว่ารถจักรยานยนต์ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็น

ป้ายจราจรพบว่ามีแนวโน้มลดลงตามระดับความเร็วขับขี่ที่สูงขึ้นอันเนื่องมาจากความเร็วที่สูงขึ้นทำให้ภาพการมองแคบลงและเวลาในการตัดสินใจในการระบุป้ายลดลงทำให้ระยะตรวจพบและระยะการมองเห็นป้ายมีค่าลดลงตามความเร็วที่เพิ่มขึ้นนอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าการกระจายของข้อมูลในด้านปัจจัยด้านความเร็วค่อนข้างมีการกระจายที่สูงกว่าปัจจัยอื่นๆ โดยเฉพาะระยะการตรวจพบมีค่าการกระจายสูงกว่าระยะการมองเห็นซึ่งอาจเป็นผลจากปัจจัยด้านค่าการสะท้อนแสงในระดับต่างๆ ระดับความสูง และอายุผู้ทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

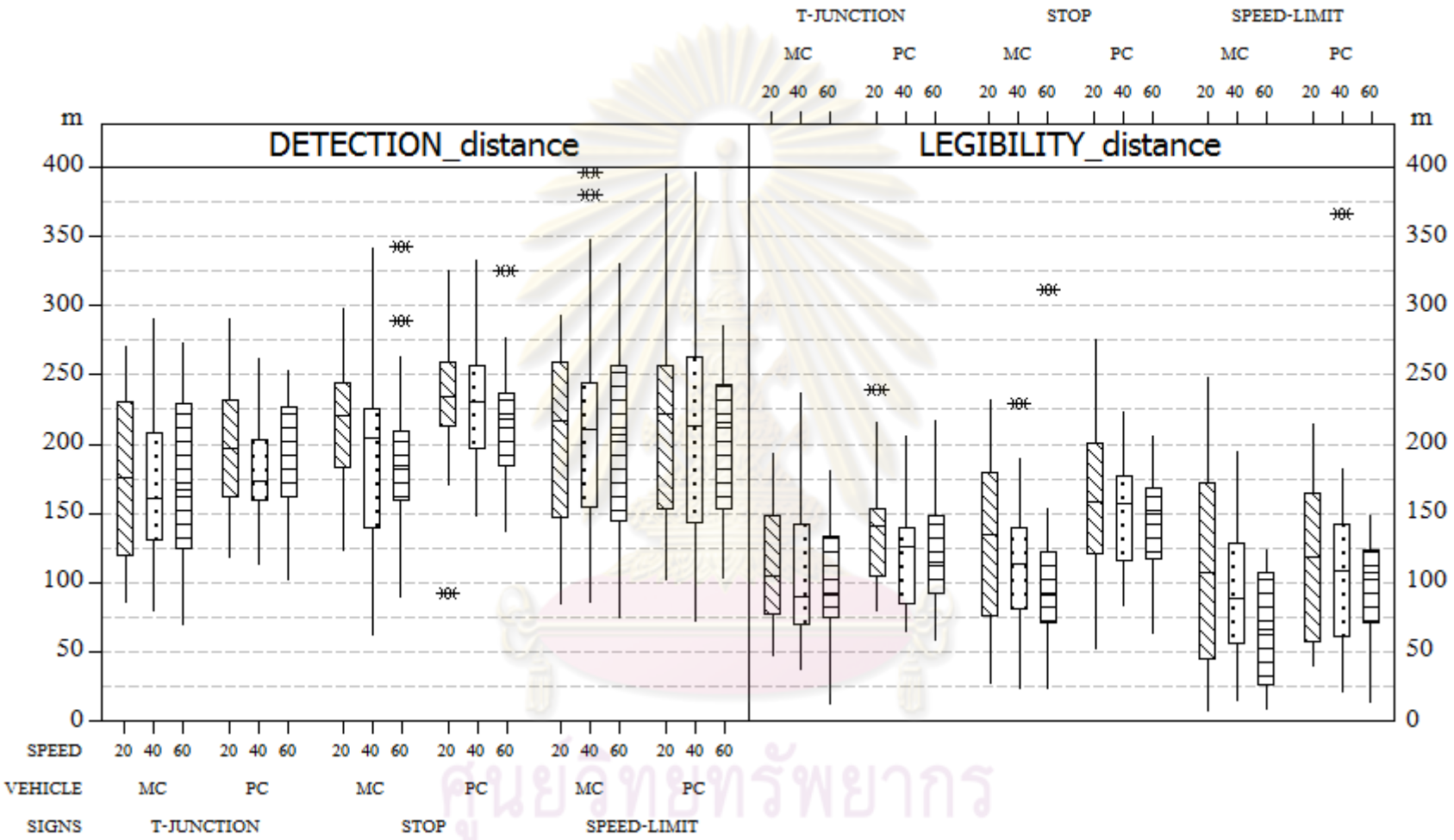
ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ (Detection Distance) ของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับความเร็วขับขี่

ประเภทป้ายจราจร	ป้ายทางแยกรูปตัวที						ป้ายหยุด						ป้ายจำกัดความเร็ว					
ประเภทยานพาหนะ	รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล			รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล			รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล		
ความเร็ว (กม./ชม.)	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60
จำนวน	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
ค่าเฉลี่ย	173.68	168.37	171.22	201.10	182.25	187.75	215.42	190.36	190.42	234.08	226.79	216.55	209.17	214.03	203.31	218.33	210.49	200.28
ค่ามัธยฐาน	165.33	161.10	167.17	197.22	173.89	181.67	221.11	204.44	184.17	233.89	230.43	217.83	217.17	210.25	206.67	222.33	213.70	215.33
ค่าคาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย	10.88	10.26	11.78	9.74	6.84	7.98	8.76	11.57	9.91	9.37	8.23	7.95	12.57	15.49	13.12	12.32	16.67	9.94
ค่าต่ำสุด	86.06	79.33	69.67	118.33	113.33	101.67	122.94	62.11	89.33	91.67	147.78	137.00	84.50	86.44	74.50	101.67	72.89	103.50
ค่าสูงสุด	270.56	290.44	273.17	290.72	261.33	253.00	298.33	341.11	343.22	325.11	333.22	324.83	293.33	396.67	330.50	395.00	396.67	285.33
พิสัย	184.50	211.11	203.50	172.39	148.00	151.33	175.39	279.00	253.89	233.44	185.44	187.83	208.83	310.23	256.00	293.33	323.78	181.83
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	56.54	53.31	61.22	50.62	35.55	41.47	45.52	60.10	51.52	48.71	42.75	41.31	65.30	80.47	68.18	64.01	86.63	51.64
ค่าความแปรปรวน	3197.11	2841.99	3747.31	2562.63	1264.05	1719.60	2072.41	3612.27	2653.93	2372.29	1827.52	1706.21	4264.10	6475.78	4648.86	4097.15	7504.45	2666.19
Kurtosis	-1.44	-0.10	-0.99	-0.89	0.45	-0.54	-0.36	0.78	2.28	1.66	0.32	0.57	-0.96	0.06	-0.67	0.78	-0.38	-0.89
Skewness	0.20	0.54	0.11	0.23	0.75	0.01	-0.30	0.02	1.12	-0.64	0.20	0.51	-0.47	0.69	0.01	0.43	0.22	-0.48

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบค่าระยะการมองเห็น (Legibility Distance) ของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับความเร็วขับขี่

ประเภทป้ายจราจร	ป้ายทางแยกรูปตัวที						ป้ายหยุด						ป้ายจำกัดความเร็ว					
ประเภทยานพาหนะ	รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล			รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล			รถจักรยานยนต์			รถยนต์ส่วนบุคคล		
ความเร็ว (กม./ชม.)	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60
จำนวน	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
ค่าเฉลี่ย	115.37	109.23	101.77	138.80	122.26	119.53	133.17	109.82	99.50	158.56	148.18	142.52	112.84	92.26	70.45	114.70	110.77	99.22
ค่ามัธยฐาน	105.00	89.44	90.50	140.56	126.11	114.83	134.39	113.00	91.33	157.78	156.67	150.00	107.33	88.33	66.67	118.00	108.44	106.67
ค่าคาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย	8.46	10.67	8.31	7.69	7.85	7.10	11.68	9.13	10.14	10.21	7.92	6.66	13.69	9.16	7.17	11.18	13.41	6.78
ค่าต่ำสุด	47.06	37.78	12.00	79.61	65.00	58.33	26.83	23.67	23.33	52.39	83.22	63.33	7.78	14.44	8.67	39.89	21.11	13.83
ค่าสูงสุด	193.33	236.67	181.00	238.89	206.11	216.67	231.67	228.89	311.44	275.33	223.22	205.33	247.78	194.44	123.83	215.00	366.56	148.00
พิสัย	146.27	198.89	169.00	159.28	141.11	158.34	204.84	205.22	288.11	222.94	140.00	142.00	240.00	180.00	115.16	175.11	345.45	134.17
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	43.94	55.45	43.17	39.94	40.80	36.92	60.70	47.43	52.69	53.06	41.15	34.62	71.14	47.58	37.25	58.12	69.69	35.23
ค่าความแปรปรวน	1930.78	3075.06	1864.07	1595.23	1664.52	1362.82	3684.25	2249.44	2775.93	2815.79	1693.53	1198.44	5060.84	2263.44	1387.25	3377.38	4856.61	1241.10
Kurtosis	-0.93	0.27	-0.42	0.31	-0.30	0.41	-1.15	0.52	9.78	-0.35	-0.95	-0.06	-1.24	-0.53	-1.33	-1.31	5.98	-0.18
Skewness	0.33	0.97	0.20	0.77	0.46	0.62	-0.19	0.24	2.54	-0.03	0.04	-0.52	0.12	0.03	-0.22	0.34	1.84	-0.81



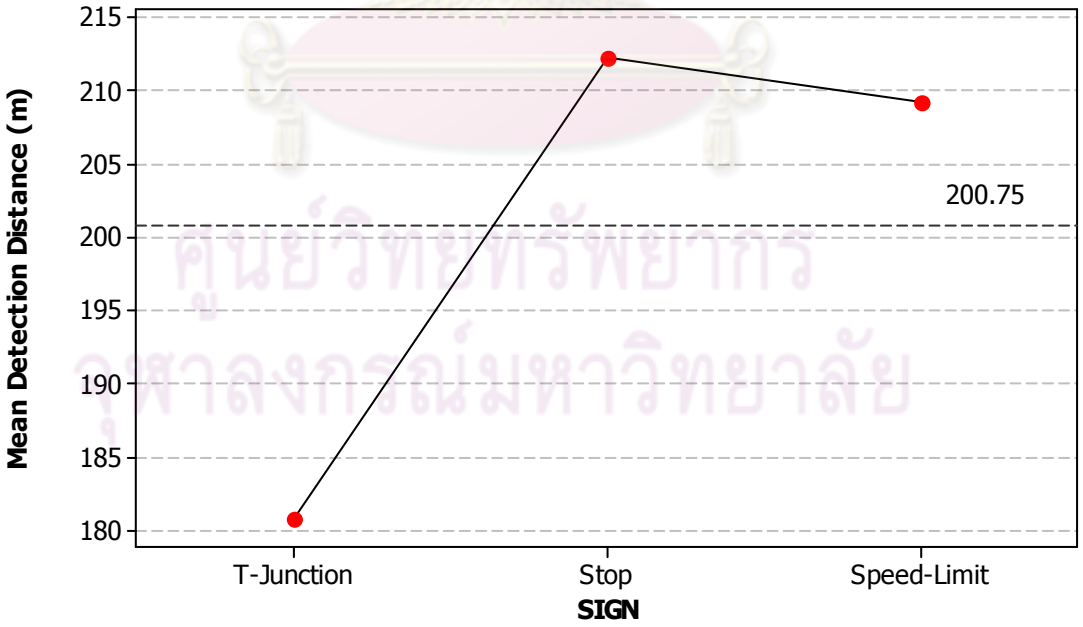
รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบค่าระยะการตรวจพบ (Detection Distance) และระยะการมองเห็น (Legibility Distance) ของป้ายจราจร จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ และระดับความเร็วขับขี่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองเชิงความแตกต่างแต่ละปัจจัยหลัก

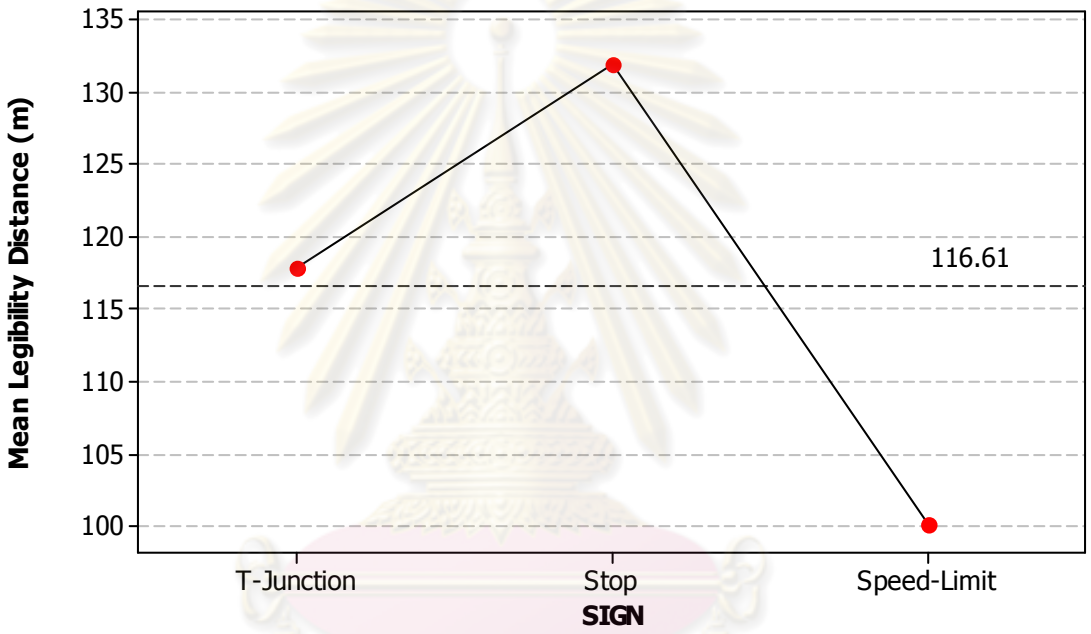
เนื้อหาในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้นที่ใช้อธิบายลักษณะของปัจจัยหลักต่างๆในการทดสอบ อันประกอบด้วย ประเภทป้ายจราจร (Traffic Sign) กลุ่มอายุ (Age) ประเภทยานพาหนะ (Vehicle) ความเร็วขับขี่ (Speed) ระดับความสูงป้ายจราจร (Sign Height) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Coefficient of Retroreflection) ของป้ายจราจร โดยแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติในรูปกราฟเชิงเส้นแสดงผลของปัจจัยหลักที่สนใจจากการเฉลี่ยปัจจัยอื่นๆ โดยทำการแยกพิจารณาเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็น

พิจารณาประเภทป้ายจราจรต่อระยะการตรวจพบป้ายในเวลากลางคืนเมื่อพิจารณาทั้งสองประเภทยานพาหนะและทุกกลุ่มอายุ พบว่าป้ายทางแยกรูปตัวทีมีระยะเท่ากับ 181 เมตร ป้ายหยุดมีระยะเท่ากับ 212.5 เมตร และป้ายจำกัดความเร็วมีระยะเท่ากับ 209 เมตร โดยมีระยะการตรวจพบเฉลี่ยทุกป้ายเป็น 200.75 เมตร ดังรูปที่ 4.9 โดยเมื่อพิจารณาโดยละเอียดจะเห็นว่าป้ายหยุดมีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยไม่แตกต่างกับป้ายจำกัดความเร็ว โดยค่าที่ต่ำสุดได้แก่ป้ายทางแยกรูปตัวที ซึ่งอาจมีผลให้ระยะการตรวจพบสูงขึ้นหรือต่ำลงตามค่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจร โดยระยะการตรวจพบจะไม่พิจารณาผลของอักขระบนป้าย



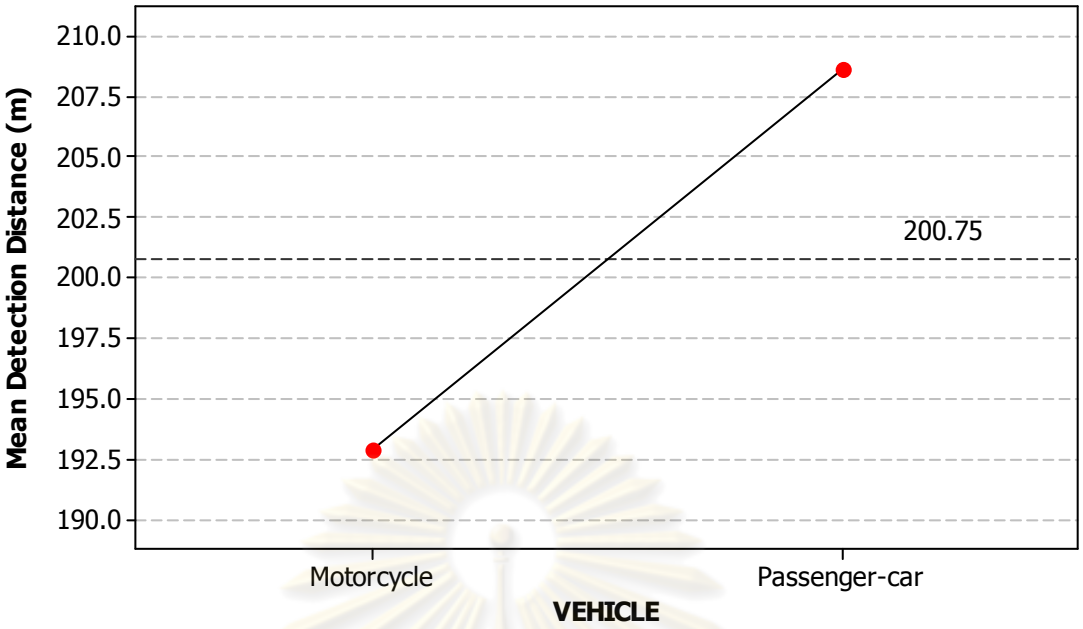
รูปที่ 4.9 ผลของปัจจัยหลักประเภทป้ายที่มีต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร

ประเภทป้ายจราจรต่อระยะการมองเห็นป้ายในเวลากลางคืนเมื่อพิจารณาทั้งสองประเภทยานพาหนะและทุกกลุ่มอายุ พบว่าป้ายทางแยกรูปตัวทีมีระยะเท่ากับ 118 เมตร ป้ายหยุดมีระยะเท่ากับ 132.5 เมตร และป้ายจำกัดความเร็วมีระยะเท่ากับ 100.2 เมตร โดยมีระยะการมองเห็นเฉลี่ยทุกป้ายเป็น 116.61 เมตร ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าป้ายหยุดระยะการมองเห็นสูงสุดเนื่องจากมีค่าการสะท้อนแสงที่สูงทั้งพื้นหลังและตัวอักษรรองมาได้แก่ป้ายทางแยก และป้ายจำกัดความเร็วเนื่องจากถึงแม้ป้ายจำกัดความเร็วจะมีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยที่สูงแต่เนื่องจากมีลักษณะอักขระเป็นตัวเลขซึ่งต่างจากสัญลักษณ์ทางแยกรูปตัวทีหนาสีดำที่ให้การเห็นที่เข้าใจได้ง่ายและรวดเร็วกว่า



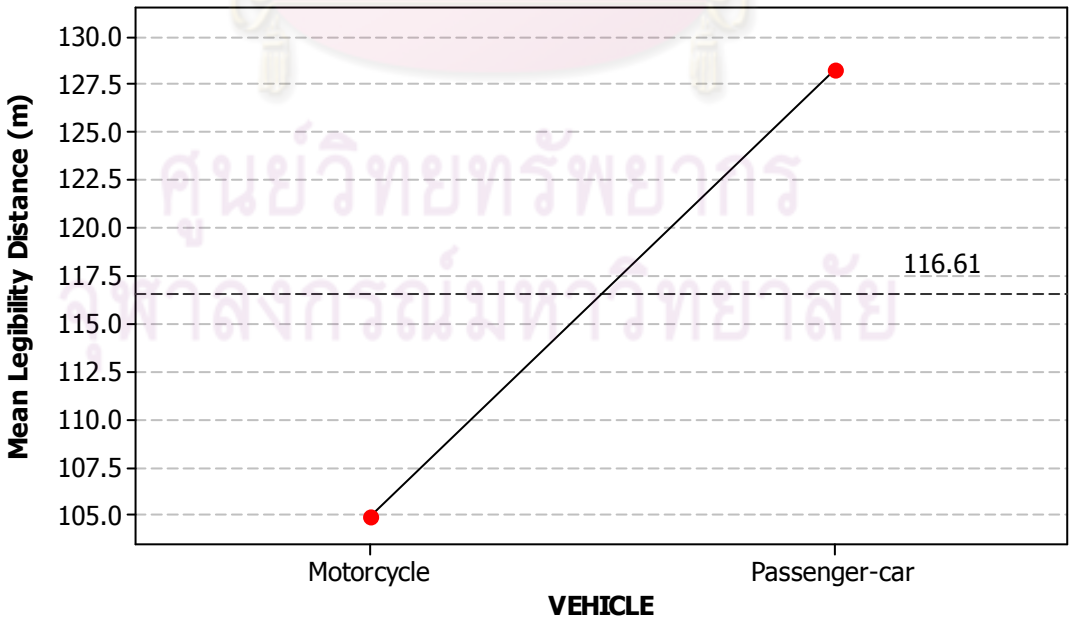
รูปที่ 4.10 ผลของปัจจัยหลักประเภทป้ายที่มีต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร

เมื่อพิจารณาผลของประเภทยานพาหนะต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจรในเวลากลางคืน พบว่ารถจักรยานยนต์มีระยะเฉลี่ยเท่ากับ 193 เมตร และรถยนต์ส่วนบุคคลมีระยะเฉลี่ยเท่ากับ 208.5 เมตร โดยมีระยะการตรวจพบเฉลี่ยทั้งสองประเภทยานพาหนะเป็น 200.75 เมตร ดังรูปที่ 4.11 จะเห็นว่ารถยนต์ส่วนบุคคลให้ระยะการตรวจพบที่สูงกว่ารถจักรยานยนต์ประมาณ 16 เมตร ซึ่งไม่แตกต่างกันมากอาจเนื่องมาจากการตรวจพบป้ายเพียงใช้แสงไม่มากก็สามารถที่จะตรวจพบป้ายจราจรแต่ละป้ายได้จากการทดสอบในสนามทดลอง



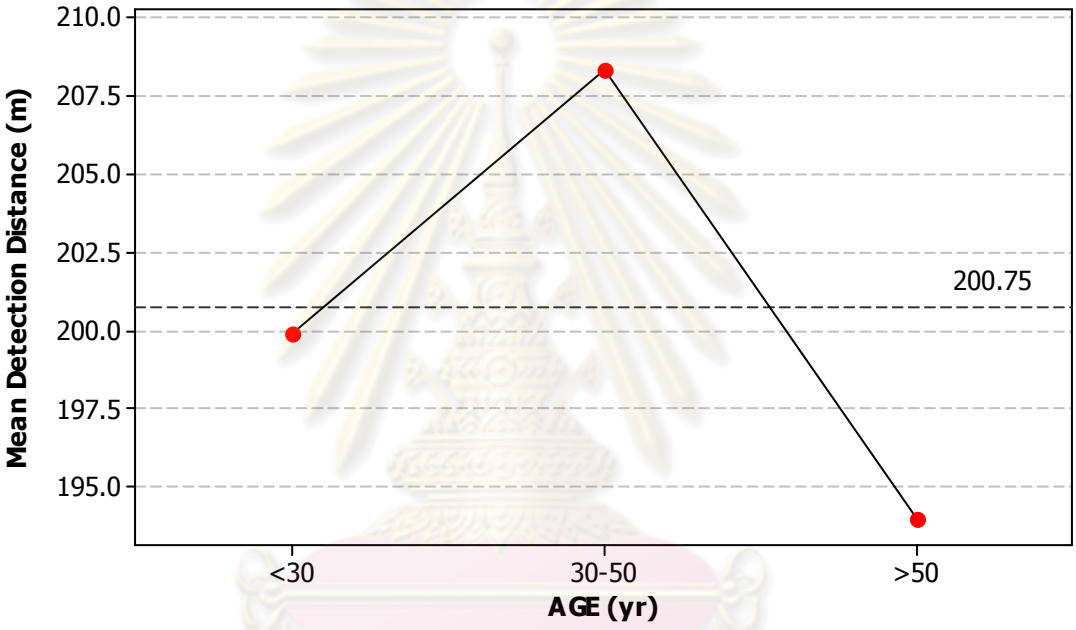
รูปที่ 4.11 ผลของปัจจัยหลักประเภทยานพาหนะที่มีต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร

ในส่วนประเภทยานพาหนะต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนพบว่า รถจักรยานยนต์มีระยะเฉลี่ยเท่ากับ 105 เมตร และรถยนต์ส่วนบุคคลมีระยะเฉลี่ยเท่ากับ 128.5 เมตร โดยมีระยะการมองเห็นเฉลี่ยทั้งสองประเภทยานพาหนะเป็น 116.61 เมตร ดังรูปที่ 4.12 จะเห็นว่า รถยนต์ส่วนบุคคลให้ระยะการมองเห็นที่สูงกว่ารถจักรยานยนต์ประมาณ 25 เมตร



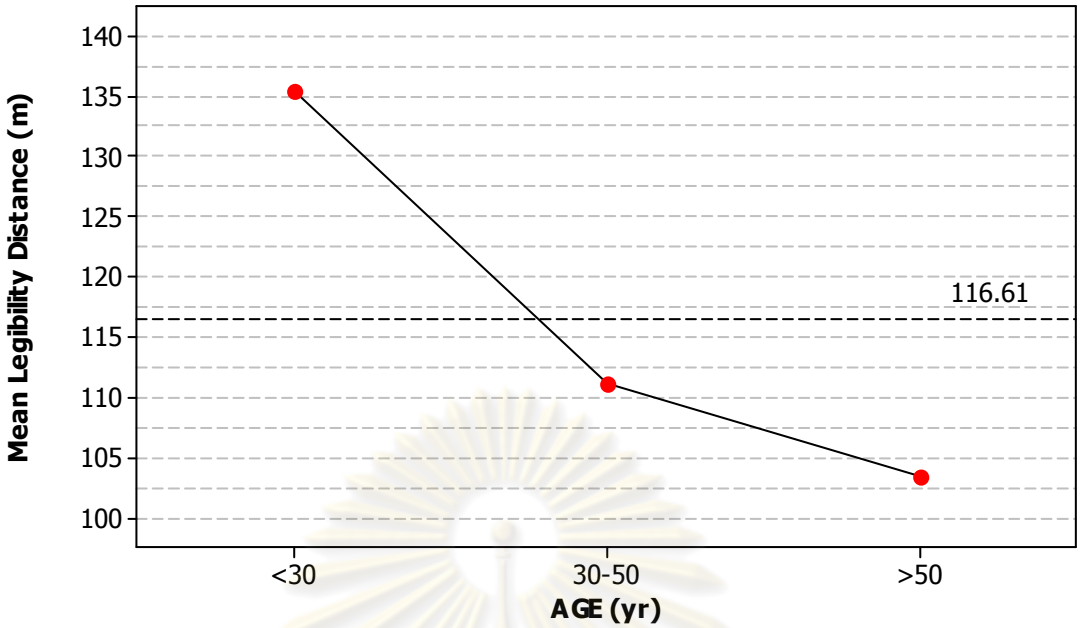
รูปที่ 4.12 ผลของปัจจัยหลักประเภทยานพาหนะที่มีต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร

เมื่อพิจารณาผลของกลุ่มอายุของผู้ขับขี่ทดสอบต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจรในเวลากลางคืนพบว่าช่วงอายุต่ำกว่า 30 ปี มีระยะเท่ากับ 200 เมตร ช่วงอายุ 30-50 ปี มีระยะเท่ากับ 208.5 เมตร และช่วงอายุมากกว่า 50 ปี มีระยะเท่ากับ 193.5 เมตร โดยมีระยะการตรวจพบเฉลี่ยทุกช่วงอายุเป็น 200.75 เมตร ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระยะการตรวจพบของผู้ขับขี่กลุ่มอายุกลางมีค่าสูงสุด รองมาได้แก่กลุ่มวัยรุ่น และกลุ่มสูงอายุตามลำดับ โดยค่าความแตกต่างของกลุ่มอยู่ในช่วง 8-15 เมตร และกลุ่มกลางคนมีระยะการตรวจพบที่สูงอาจเนื่องจากมีประสบการณ์และมีสายตาที่ตรวจจับป้ายได้รวดเร็วกว่ากลุ่มอายุอื่น



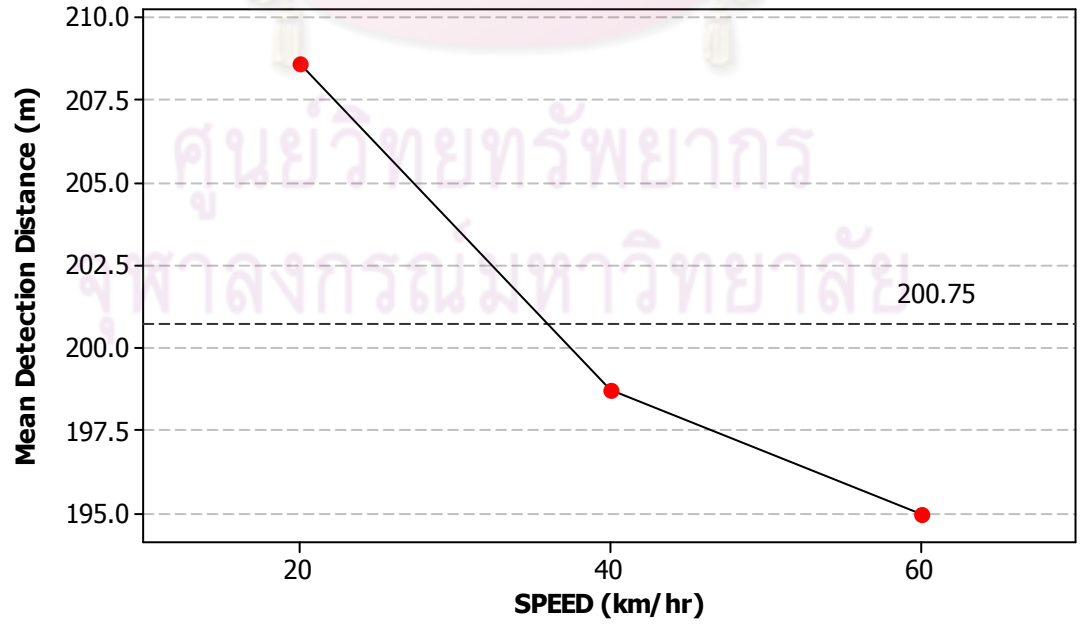
รูปที่ 4.13 ผลของปัจจัยหลักประเภทกลุ่มอายุผู้ขับขี่ที่มีต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร

พิจารณากลุ่มอายุของผู้ขับขี่ทดสอบต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน พบว่าช่วงอายุต่ำกว่า 30 ปี มีระยะเท่ากับ 135.5 เมตร ช่วงอายุ 30-50 ปี มีระยะเท่ากับ 111.5 เมตร และช่วงอายุมากกว่า 50 ปี มีระยะเท่ากับ 103 เมตร โดยมีระยะการมองเห็นเฉลี่ยทุกช่วงอายุเป็น 116.61 เมตร ดังรูปที่ 4.14 โดยที่ระยะการมองเห็นของผู้ขับขี่กลุ่มวัยรุ่นมีค่าสูงสุด รองมาได้แก่กลุ่มกลางคน และกลุ่มสูงอายุตามลำดับ โดยค่าความแตกต่างของกลุ่มอยู่ในช่วง 8-33 เมตร นอกจากนี้กลุ่มอายุที่สูงขึ้นมีผลต่อระยะการมองเห็นที่ต่ำลง โดยการลดลงจากกลุ่มวัยรุ่นไปกลุ่มกลางคนจะลดลงในอัตราที่สูงกว่ากลุ่มกลางคนไปกลุ่มผู้สูงอายุ ซึ่งอาจเป็นผลจากระดับสายตาและความเร็วช้าในการตัดสินใจหรือเข้าใจข้อความบนป้ายจราจร



รูปที่ 4.14 ผลของปัจจัยหลักประเภทกลุ่มอายุผู้ขับขี่ที่มีต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร

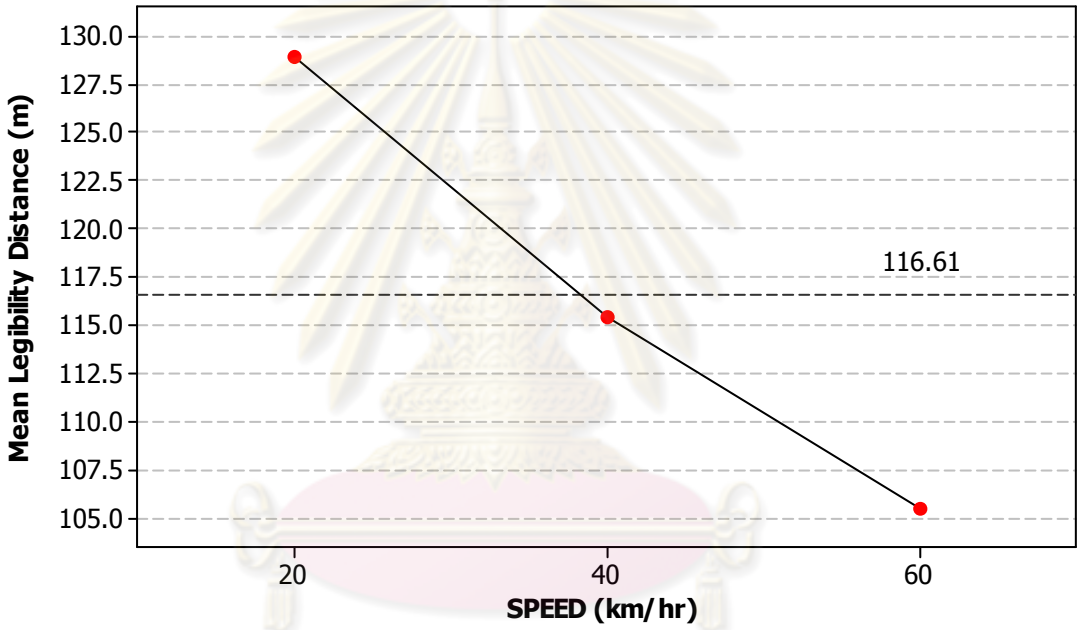
เมื่อพิจารณาผลของระดับความเร็วขับขี่ต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจรในเวลากลางคืน พบว่า ระดับความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะเท่ากับ 208.5 เมตร ระดับความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะเท่ากับ 198.5 เมตร และระดับความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะเท่ากับ 195 เมตร โดยมีระยะการตรวจพบเฉลี่ยทุกระดับความเร็วเป็น 200.75 เมตร ดังรูปที่ 4.15 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระยะการตรวจพบป้ายของผู้ขับขี่ลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.15 ผลของปัจจัยหลักระดับความเร็วขับขี่ที่มีต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร

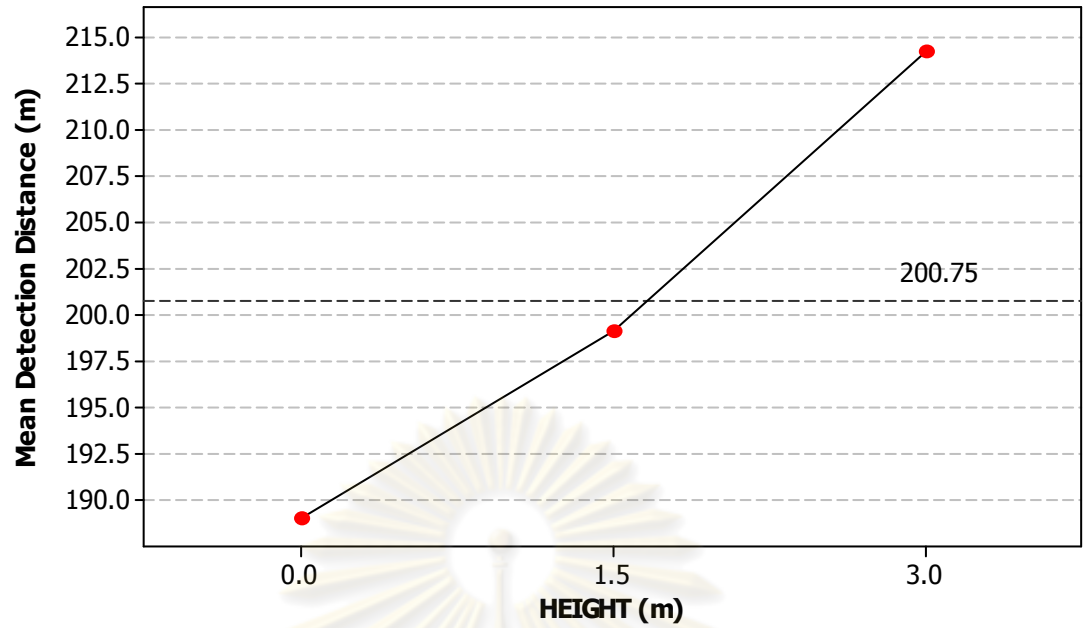
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หากพิจารณาผลของระดับความเร็วขับขี่ต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน พบว่า ระดับความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะเท่ากับ 128.5 เมตร ระดับความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะเท่ากับ 115.5 เมตร และระดับความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะเท่ากับ 105.5 เมตร โดยมีระยะการมองเห็นเฉลี่ยทุกระดับความเร็วเป็น 116.61 เมตร ดังรูปที่ 4.16 จากรูปจะเห็นได้ว่าระยะการมองเห็นป้ายของผู้ขับขี่ลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น โดยการลดลงมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง (Linear) ความเร็วที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้ผู้ขับขี่เสียระยะทางที่ใช้ในการตัดสินใจมากขึ้นตามระดับความเร็วจึงทำให้ระยะมองเห็นจากป้ายจราจรลดลง โดยที่ระยะในการหยุดรถหรือดำเนินการกระทำอย่างใดอย่างหนึ่งมีค่าคงที่แปรผันกับความเร็วกำลังสอง



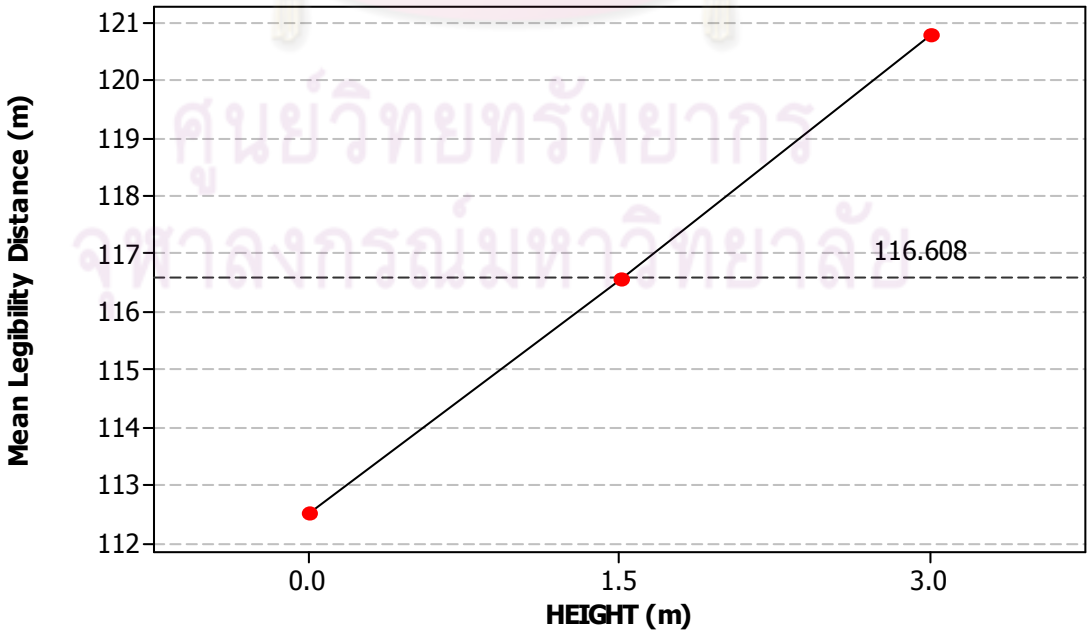
รูปที่ 4.16 ผลของปัจจัยหลักระดับความเร็วขับขี่ที่มีต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร

เมื่อพิจารณาผลของระดับความสูงของป้ายต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจรในเวลากลางคืน พบว่า ที่ระดับความสูง 0 เมตร มีระยะเท่ากับ 189 เมตร ระดับความสูง 1.5 เมตร มีระยะเท่ากับ 199 เมตร และระดับความสูง 3 เมตร มีระยะเท่ากับ 214.5 เมตร โดยมีระยะการตรวจพบเฉลี่ยทุกระดับความสูงเป็น 200.75 เมตร โดยมีค่าความแตกต่างของระยะการตรวจพบป้ายแต่ละระดับความสูงอยู่ในช่วง 10-26 เมตร ดังรูปที่ 4.17 พบว่า ระดับความสูงที่สูงขึ้นมีแนวโน้มที่ระยะการตรวจพบมีค่าสูงขึ้นตามอันเนื่องจากผลของการสะท้อนแสงของป้ายแล้ว ป้ายจราจรที่ถูกติดตั้งระดับสูงสามารถที่จะถูกตรวจพบหรือมองเห็นได้ที่ระยะไกลกว่าป้ายจราจรที่ระดับต่ำกว่า ถึงแม้การสะท้อนจะต่ำลงเมื่อป้ายถูกติดตั้งที่ระดับสูงขึ้น



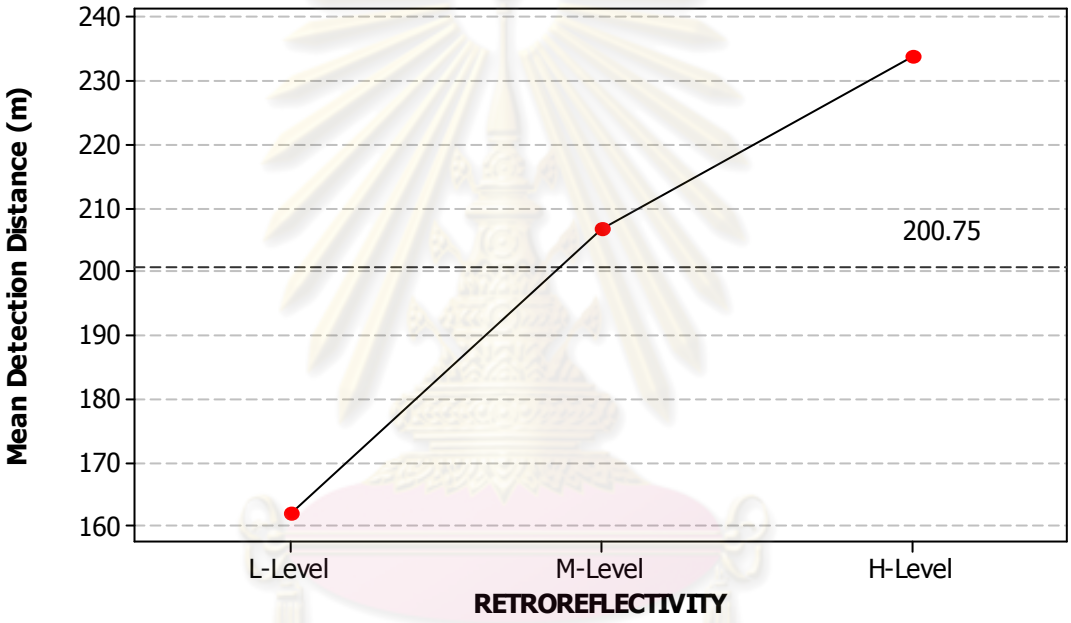
รูปที่ 4.17 ผลของปัจจัยหลักระดับความสูงที่มีต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร

ในส่วนของระดับความสูงของป้ายต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร ระดับความสูง 0 เมตร มีระยะเท่ากับ 112.5 เมตร ระดับความสูง 1.5 เมตร มีระยะเท่ากับ 116.5 เมตร และระดับความสูง 3 เมตร มีระยะเท่ากับ 120.8 เมตร โดยมีระยะการมองเห็นเฉลี่ยทุกระดับความสูงเป็น 116.61 เมตร ดังรูปที่ 4.18 พบว่า ระดับความสูงที่สูงขึ้นระยะการมองเห็นจะมีค่าสูงขึ้นอันเนื่องจากผลของการสะท้อนแสงของป้ายแล้วป้ายที่ถูกติดตั้งระดับสูงสามารถที่จะถูกมองเห็นได้ที่ระยะไกลกว่าป้ายที่ติดตั้งในระดับต่ำเช่นเดียวกับระยะการตรวจพบป้ายจราจร



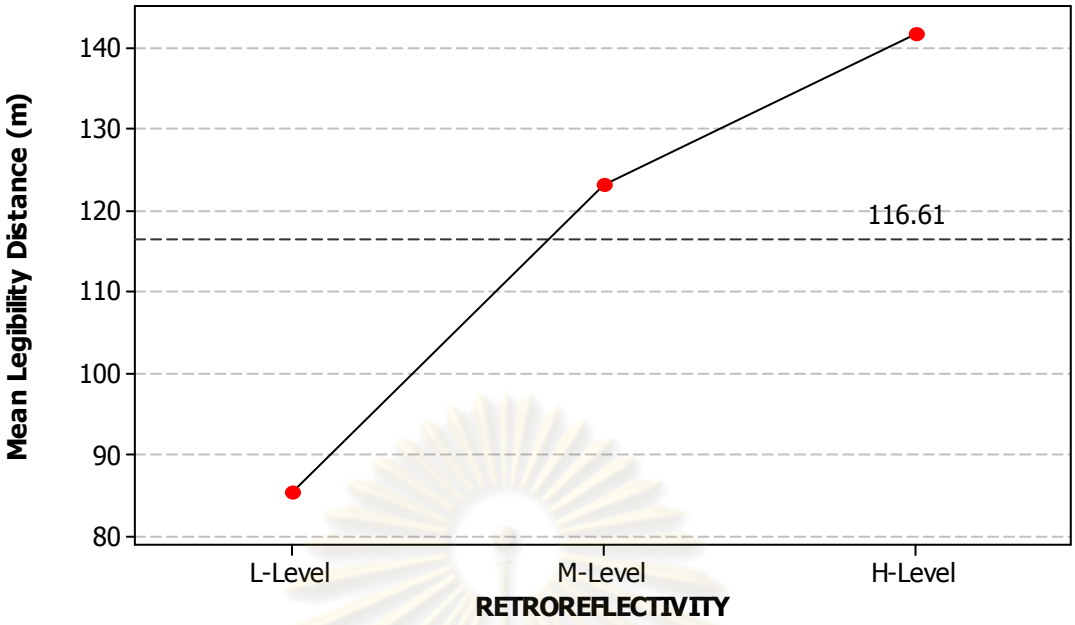
รูปที่ 4.18 ผลของปัจจัยหลักระดับความสูงที่มีต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร

เมื่อพิจารณาผลของระดับการสะท้อนแสงต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจรในเวลากลางคืน พบว่า ระดับการสะท้อนแสงต่ำ (L) มีระยะเท่ากับ 162 เมตร ระดับการสะท้อนแสงปานกลาง (M) มีระยะเท่ากับ 208.5 เมตร และระดับการสะท้อนแสงสูง (H) มีระยะเท่ากับ 234.5 เมตร โดยมีระยะการตรวจพบเฉลี่ยทุกระดับค่าการสะท้อนแสงเป็น 200.75 เมตร โดยมีค่าความแตกต่างของระยะการตรวจพบป้ายแต่ละระดับค่าการสะท้อนแสงอยู่ในช่วง 46-73 เมตร ดังรูปที่ 4.19 พบว่าระดับค่าการสะท้อนแสงสูงขึ้นระยะการตรวจพบสูงขึ้นเป็นอย่างมากจากค่าความแตกต่าง อันเนื่องมาจากการสะท้อนแสงของป้ายจากไฟยานพาหนะทำให้ผู้ขับขี่เห็นแสงในระยะไกลในแต่ละสีของป้ายจราจรจึงสามารถตรวจพบป้ายได้ในระยะไกล



รูปที่ 4.19 ผลของปัจจัยหลักระดับการสะท้อนแสงที่มีต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร

ในส่วนของระดับการสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนพบว่า ระดับการสะท้อนแสงต่ำ (L) มีระยะเท่ากับ 86 เมตร ระดับการสะท้อนแสงปานกลาง (M) มีระยะเท่ากับ 123 เมตร และระดับการสะท้อนแสงสูง (H) มีระยะเท่ากับ 142 เมตร โดยมีระยะการมองเห็นเฉลี่ยทุกระดับค่าการสะท้อนแสงเป็น 116.61 เมตร โดยมีค่าความแตกต่างของระยะการมองเห็นป้ายแต่ละระดับค่าการสะท้อนแสงอยู่ในช่วง 19-56 เมตร ดังรูปที่ 4.20 พบว่าระดับค่าการสะท้อนแสงสูงขึ้นระยะการมองเห็นจะมีค่าสูงขึ้นตามเช่นเดียวกับระยะการตรวจพบถึงแม้ว่าระยะการมองเห็นข้อความบนป้ายจะขึ้นอยู่กับลักษณะของอักขระแต่ผลของการสะท้อนแสงก็มีส่วนสำคัญที่ช่วยให้ผู้ขับขี่มองป้ายได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.20 ผลของปัจจัยหลักระดับการสะท้อนแสงที่มีต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร

4.5 สรุปผลการศึกษาการทดลองปัจจัย

การศึกษาการทดลองปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน โดยพิจารณาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นป้ายจราจร ได้แก่ ประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ ระดับความสูงป้าย ระดับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ระดับความเร็วขับขี่ และกลุ่มอายุของผู้ขับขี่ ดังที่ได้กล่าวไปในการวิเคราะห์เชิงพรรณนาข้างต้นจะเห็นได้ว่าปัจจัยต่างๆที่ทดสอบให้ผลการตอบสนองต่อระยะทางที่แตกต่างกันที่แตกต่างกัน โดยเมื่อปัจจัยมีค่าเปลี่ยนแปลงไปก็จะมีผลต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นอย่างชัดเจน อาทิ เช่น ผลของปัจจัยประเภทยานพาหนะที่รถยนต์ส่วนบุคคลให้ค่าระยะตรวจพบ และระยะการมองเห็นป้ายจราจรที่สูงกว่ารถจักรยานยนต์ กลุ่มอายุผู้ขับขี่ที่สูงขึ้นมีแนวโน้มให้ระยะตรวจพบและระยะการมองเห็นป้ายจราจรลดลง ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อระยะการตรวจพบที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนรวมทั้งมีผลต่อระยะการมองเห็นที่เสริมให้ผู้ขับขี่อ่านและเข้าใจข้อความบนป้ายได้ดีขึ้น ผลของการเพิ่มความเร็วในการขับขี่ทำให้ระยะต่างๆที่มีต่อป้ายจราจรลดลงในเวลากลางคืน แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยที่เชื่อว่ามีความสัมพันธ์ในลักษณะที่เป็นไปตามการวิเคราะห์เชิงพรรณนาเบื้องต้นนั้นจำเป็นต้องได้รับการทดสอบทางสถิติขั้นสูงโดยละเอียดเพื่อบ่งบอกถึงผลกระทบของแต่ละปัจจัยต่อระยะตอบสนองต่างๆของผู้ขับขี่ต่อไป

นอกจากการศึกษาผลของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน แล้วงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาคุณภาพการให้บริการของสายทางในด้านอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนสายทางเพื่อความปลอดภัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการสนับสนุนและการพัฒนาอุปกรณ์บนสายทางให้เกิดความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ผลลัพธ์ทำให้ทราบว่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรเวลากลางคืน ไฟฟ้าส่องสว่างข้างทาง การบดบังป้ายจราจรจากสิ่งกีดขวาง และการชำรุดของป้าย เป็นปัจจัยที่ผู้ขับขี่ให้ความสำคัญและปัจจุบันยังเป็นส่วนที่ต้องพัฒนาอุปกรณ์บนสายทางเหล่านี้

งานวิจัยนี้ในส่วนถัดไปจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ผลของปัจจัยโดยสถิติที่มีความละเอียดและน่าเชื่อถือนอกจากนี้การวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ระดับต่างๆในการติดตั้งป้ายจราจรว่าที่ระดับที่ตรงตามมาตรฐานหน่วยงานที่ใช้ในประเทศไทยและมาตรฐานต่างประเทศว่ามีความเหมาะสมต่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ในเวลากลางคืนมากน้อยเพียงใด รวมทั้งการออกแบบหาค่าระดับปัจจัยในการติดตั้งป้ายจราจรเพื่อให้ได้ระยะตรวจพบและระยะมองเห็นที่สูงสุดเพื่อความปลอดภัยในการขับขี่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลลัพธ์จากแบบจำลองและการประยุกต์

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางสถิติตลอดจนผลลัพธ์จากแบบจำลอง ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ทั้งสิ้น 2 ประเภท คือแบบจำลองการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และแบบจำลองการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) โดยแบบจำลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะใช้พิจารณาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน ในขณะที่แบบจำลองการวิเคราะห์ความถดถอยจะใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆที่ศึกษาที่มีต่อตัวแปรตอบสนองอันได้แก่ ระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นป้ายจราจร

5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน

การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองได้ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบ่งการพิจารณาเป็น 6 ประเภท โดยจำแนกตามประเภทยานพาหนะรถยนต์ ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์ ประเภทป้ายจราจร ได้แก่ ป้ายทางแยกรูปตัวที ป้ายหยุด และป้ายจำกัดความเร็ว ผู้วิจัยพิจารณาวิเคราะห์ความแปรปรวนในลักษณะปัจจัยแบบคงที่ 3 ทิศทาง (Three-way fixed-effect ANOVA) ที่มีต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน โดยปัจจัยที่ทำการวิเคราะห์ประกอบไปด้วย ความเร็วขับขี่ ความสูงป้ายจราจร และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง โดยพิจารณาแต่ละช่วงอายุที่เท่าๆกันเป็นเสมือนจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (3 Replications)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็น ตัวแปรหรือปัจจัยหลักที่มีนัยสำคัญทางสถิติจะทำการแสดงผลในรูปของกราฟ Box Plot ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มการกระจายของข้อมูล ค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐาน ของข้อมูล เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มของผลของตัวแปรดังกล่าวที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองชัดเจนมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลซึ่งกันและกันอย่างมีนัยสำคัญจะแสดงในลักษณะแผนภาพปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของ 2 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ ระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นป้ายจราจร

5.1.1 ป้ายทางแยกรูปตัวที กรณีการทดสอบรถยนต์ส่วนบุคคล

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะการตรวจพบ (Detection Distance) และระยะการมองเห็น (Legibility Distance) ของป้ายทางแยกรูปตัวที โดยพิจารณารถยนต์ส่วนบุคคล ตารางที่ 5.1 (ก) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้าย (Retroreflectivity) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้าย (Height * Retroreflectivity) มีนัยสำคัญต่อระยะการตรวจพบป้ายที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 99 เนื่องจากในการขับขี่เวลากลางคืนการพบป้ายจราจรจะขึ้นกับว่าป้ายจราจรนั้นสามารถสังเกตเห็นได้ง่ายกว่าและมีประสิทธิภาพให้ผู้ขับขี่มองเห็นได้ไกลเพียงใด ความสามารถในการสะท้อนแสงของป้ายจราจรจึงเป็นส่วนที่ทำให้ผู้ขับขี่สามารถตรวจพบป้ายได้จากการสะท้อนของไฟรถยนต์ไปยังป้ายจราจร นอกจากนี้ปัจจัยด้านระดับความสูงป้าย (Height) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับความเร็วขับขี่และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้าย (Speed *Retroreflectivity) มีนัยสำคัญต่อระยะการตรวจพบป้ายที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 นั่นหมายระดับความสูงและความเร็วส่งผลต่อการพบป้ายเช่นเดียวกันแต่ในระดับที่น้อยกว่า

รูปที่ 5.1 แสดงกราฟ Box Plot ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายต่อระยะการตรวจพบ โดยพบว่าที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงขึ้นทำให้ค่าระยะการตรวจพบเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของป้ายสูงขึ้นตามลำดับ ในส่วนของระดับความสูงและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายเป็นส่วนหนึ่งในการทำให้ผู้ขับขี่สังเกตป้ายได้ที่ระยะทางไกลที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.2 โดยพบว่าที่ระดับการสะท้อนสูงขึ้นในแต่ละระดับความสูงค่าระยะการตรวจพบมีแนวโน้มสูงขึ้นยกเว้นที่ระดับความสูงของป้าย 1.5 เมตร ซึ่งที่ระดับการสะท้อนแสงระดับกลางให้ค่าระยะการตรวจพบค่อนข้างสูง อาจเนื่องจากเป็นระดับความสูงและค่าการสะท้อนแสงป้ายที่ทำให้ผู้ขับขี่คุ้นเคย และยังเป็นมาตรฐานที่กำหนดในปัจจุบัน เมื่อพิจารณาด้านระดับความสูงที่การสะท้อนค่าหนึ่งๆพบว่าที่ระดับการสะท้อนแสงต่ำป้ายที่ติดตั้งที่ระดับสูงจะสามารถตรวจพบได้ไกลแต่ที่ระดับ 0 เมตรหรือระดับพื้นที่การสะท้อนระดับกลางและสูงจะมีระยะการตรวจพบที่มากกว่าบางระดับอันเนื่องจากระดับป้ายที่พื้นทำให้สะท้อนไฟรถยนต์ได้ดี

เมื่อพิจารณาตารางที่ 5.1 (ข) จะพบได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจรอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้าย (Retroreflectivity) เพียงปัจจัยเดียวเนื่องการระยะที่ผู้ขับขี่มองเห็นป้ายเป็นช่วงขณะที่สามารถอ่าน

และเข้าใจข้อความบนป้ายได้จึงมีความจำเป็นที่สัญลักษณ์บนป้ายต้องมีความชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 5.3 ซึ่งพบว่าที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงขึ้นค่าระยะการมองเห็นเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของป้ายจะสูงขึ้นตามลำดับ การสะท้อนแสงบนป้ายทำให้มองเห็นสัญลักษณ์ได้ดีขึ้นผู้ขับขี่จึงเข้าใจข้อความบนป้ายจราจรได้อย่างชัดเจนและตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว ในส่วนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้าย (Height * Retroreflectivity) ส่งผลต่อระยะการมองเห็นที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 90 อาจเนื่องจากผลของความสูงป้ายร่วมกับความสว่างของป้ายจากการสะท้อนแสงส่งผลร่วมกันต่อระยะการมองเห็นที่ระดับหนึ่งๆของทั้ง 2 ปัจจัย แต่ผลร่วมทั้งสองปัจจัยค่อนข้างมีผลในระดับความเชื่อมั่นที่ต่ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายทางแยกรูปตัวที โดยรถยนต์ส่วนบุคคล

(ก) ระยะการตรวจพบ (Detection Distance)

Source	Type III Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Speed	5073.325	2	2536.662	2.230	0.117
Height	6677.515	2	3338.758	2.935	<0.062*
Retroreflectivity	24046.566	2	12023.283	10.571	<0.000***
Speed * Height	1133.727	4	283.432	0.249	0.909
Speed * Retroreflectivity	10065.056	4	2516.264	2.212	<0.080*
Height * Retroreflectivity	35133.584	4	8783.396	7.722	<0.000***
Speed * Height * Retroreflectivity	5727.655	8	715.957	0.629	0.749
Error	61419.189	54	1137.392		
Total	3084610.308	81			
Corrected Total	149276.619	80			

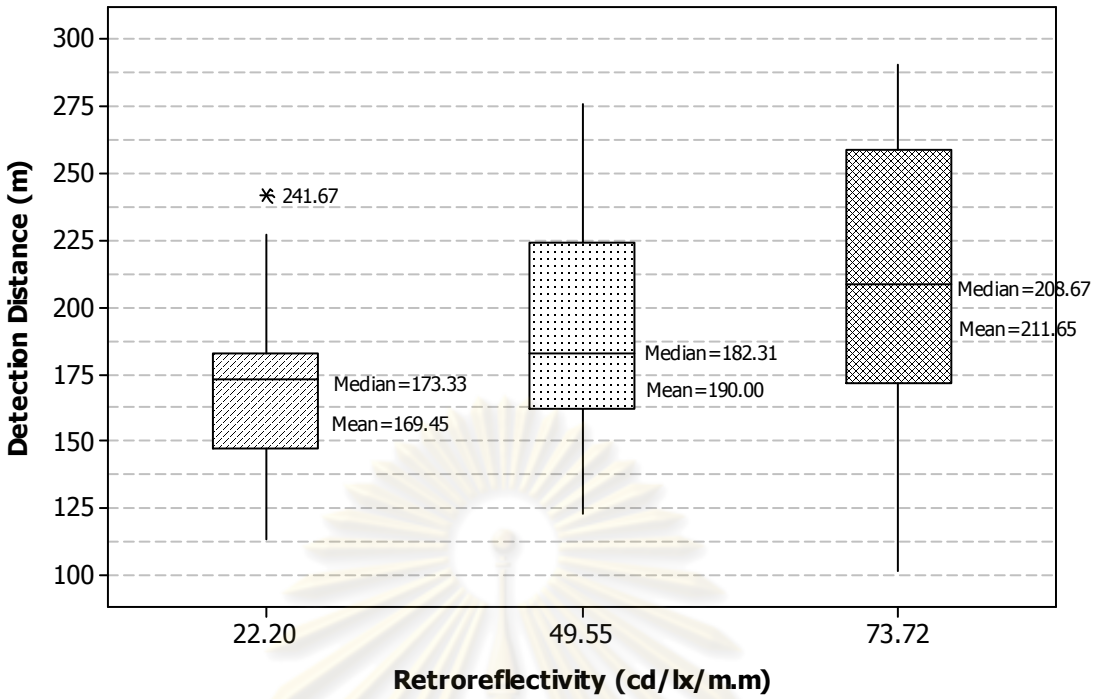
*** $p < 0.01$., ** $p < 0.05$., * $p < 0.10$.

(ข) ระยะการมองเห็น (Legibility Distance)

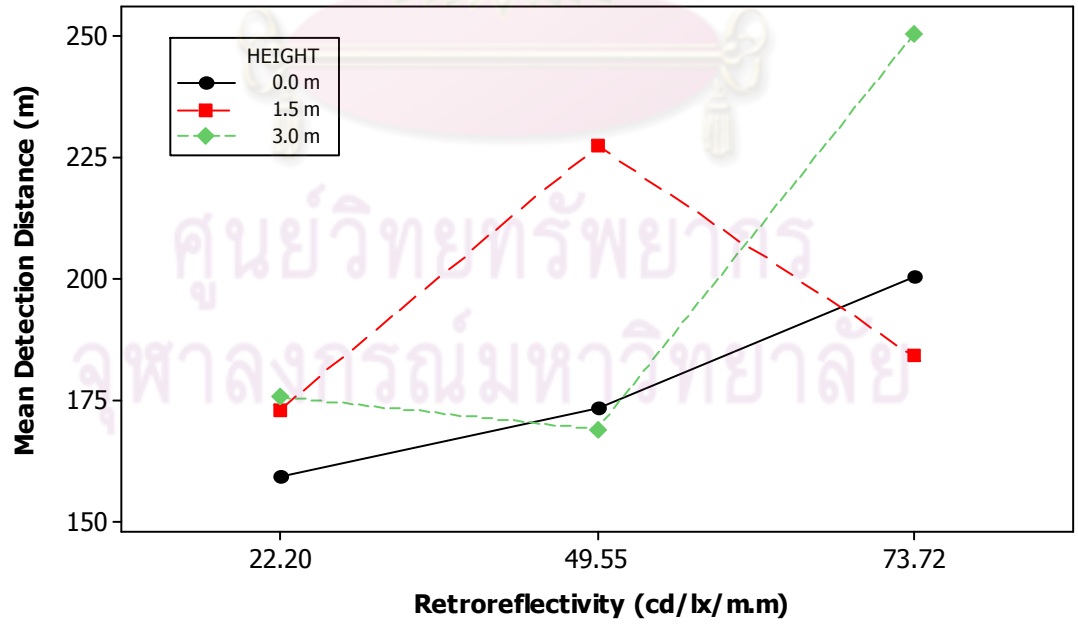
Source	Type III Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Speed	5869.103	2	2934.551	2.246	0.116
Height	6076.701	2	3038.350	2.326	0.107
Retroreflectivity	14676.352	2	7338.176	5.618	<0.006***
Speed * Height	4182.118	4	1045.530	0.800	0.530
Speed * Retroreflectivity	5640.022	4	1410.005	1.079	0.376
Height * Retroreflectivity	11334.665	4	2833.666	2.169	<0.085*
Speed * Height * Retroreflectivity	7737.773	8	967.222	0.740	0.656
Error	70539.107	54	1306.280		
Total	1429669.200	81			
Corrected Total	126055.839	80			

*** $p < 0.01$., ** $p < 0.05$., * $p < 0.10$.

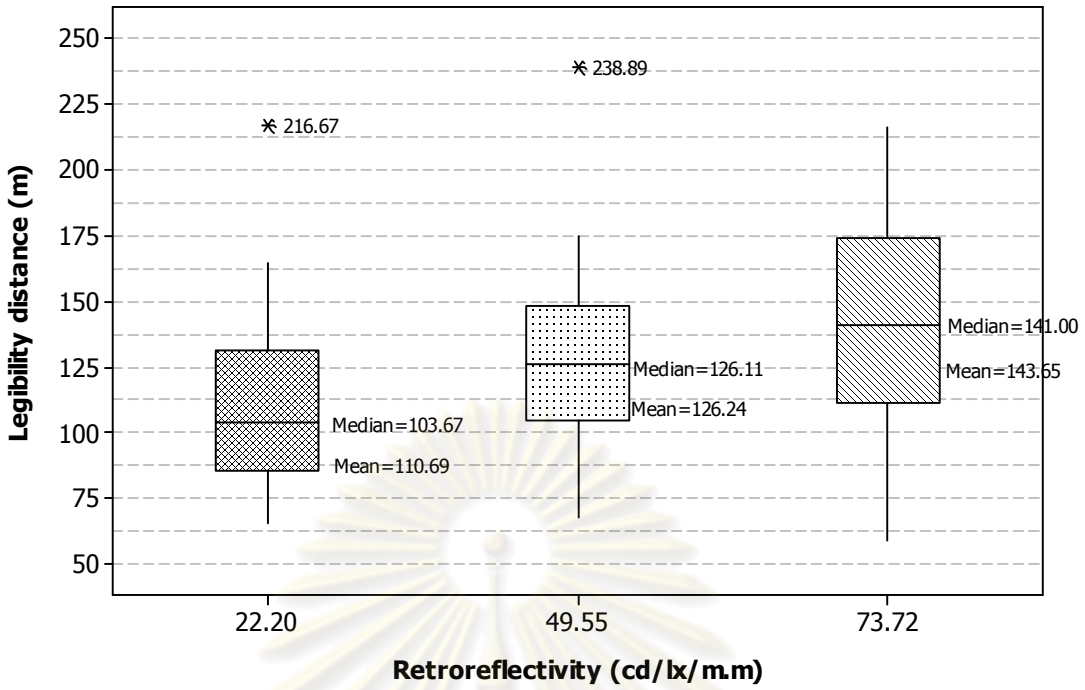
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการตรวจพบป้ายทางแยกรูปตัวที



รูปที่ 5.2 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงและระดับความสูงต่อระยะการตรวจพบป้ายทางแยกรูปตัวที



รูปที่ 5.3 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นป้ายทางแยกรูปตัวที

5.1.2 ป้ายหยุด กรณีการทดสอบรถยนต์ส่วนบุคคล

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายหยุด โดยพิจารณารถยนต์ส่วนบุคคล ดังตารางที่ 5.2 (ก) พบว่าปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Retroreflectivity) และระดับความสูงป้าย (Height) ส่งผลต่อระยะการตรวจพบอย่างมีนัยสำคัญซึ่งสอดคล้องกับกรณีของป้ายทางแยกรูปตัวที

รูปที่ 5.4 แสดงผลของระดับความสูงต่อระยะการตรวจพบป้าย พบว่าที่ระดับความสูง 0 เมตร และ 3 เมตร จะให้ค่าระยะการตรวจพบที่สูงกว่าระดับ 1.5 เมตร ในส่วนของค่าการสะท้อนแสงที่สูงขึ้นส่งผลต่อค่าระยะการตรวจพบเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของป้ายสูงขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 5.5 แต่เมื่อพิจารณาช่วงระดับค่าการสะท้อนแสงถึงแม้ค่าความแตกต่างของแต่ละระดับการสะท้อนแสงจะสูงมากในป้ายหยุดแต่ระยะการตรวจพบเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมากตามช่วงค่าสะท้อนแสงที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลจะเห็นว่าที่ระดับการสะท้อนแสงสูงค่าระยะการตรวจพบของผู้ทดสอบมีการกระจายที่สูง แต่อย่างไรก็ตามค่ามัธยฐานและค่าเฉลี่ยยังคงยืนยันว่าปัจจัยทดสอบที่ค่าระดับการสะท้อนแสงสูงให้ค่าระยะการตรวจพบที่สูงกว่าระดับต่ำ และกลาง

ตารางที่ 5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายหยุด โดยรถยนต์ส่วนบุคคล

(ก) ระยะการตรวจพบ (Detection Distance)

Source	Type III Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Speed	4189.698	2	2094.849	1.335	0.272
Height	12305.310	2	6152.655	3.921	<0.026**
Retroreflectivity	28585.493	2	14292.746	9.107	<0.000***
Speed * Height	1104.319	4	276.080	0.176	0.950
Speed * Retroreflectivity	3723.545	4	930.886	0.593	0.669
Height * Retroreflectivity	12853.638	4	3213.409	2.048	0.101
Speed * Height * Retroreflectivity	10239.661	8	1279.958	0.816	0.592
Error	84744.642	54	1569.345		
Total	4287831.530	81			
Corrected Total	157746.306	80			

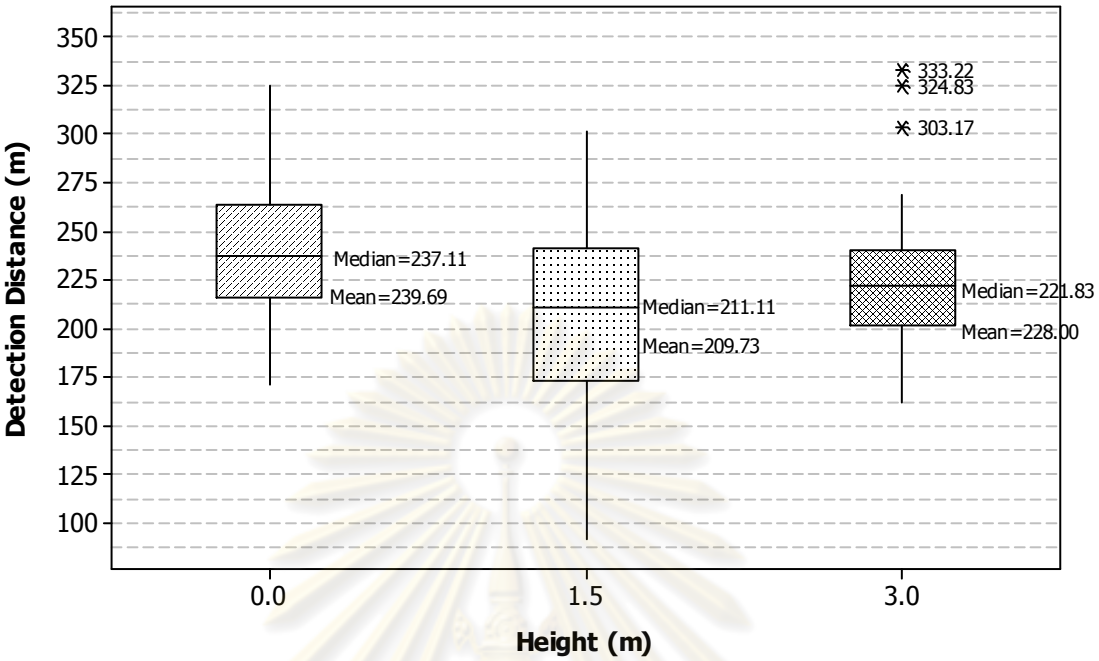
*** $p < 0.01$., ** $p < 0.05$., * $p < 0.10$.

(ข) ระยะการมองเห็น (Legibility Distance)

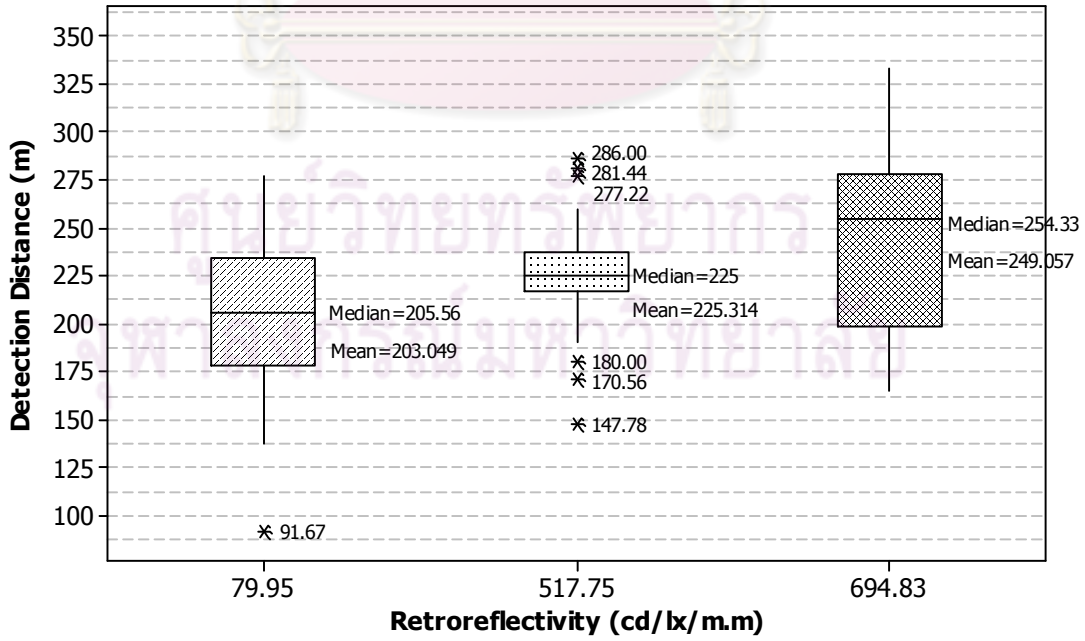
Source	Type III Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Speed	3572.765	2	1786.382	1.201	0.309
Height	15916.937	2	7958.468	5.352	<0.008***
Retroreflectivity	15987.569	2	7993.785	5.375	<0.007***
Speed * Height	2102.941	4	525.735	.354	0.840
Speed * Retroreflectivity	25690.474	4	6422.619	4.319	<0.004***
Height * Retroreflectivity	4302.555	4	1075.639	0.723	0.580
Speed * Height * Retroreflectivity	4095.822	8	511.978	0.344	0.944
Error	80305.525	54	1487.139		
Total	1968435.500	81			
Corrected Total	151974.589	80			

*** $p < 0.01$., ** $p < 0.05$., * $p < 0.10$.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

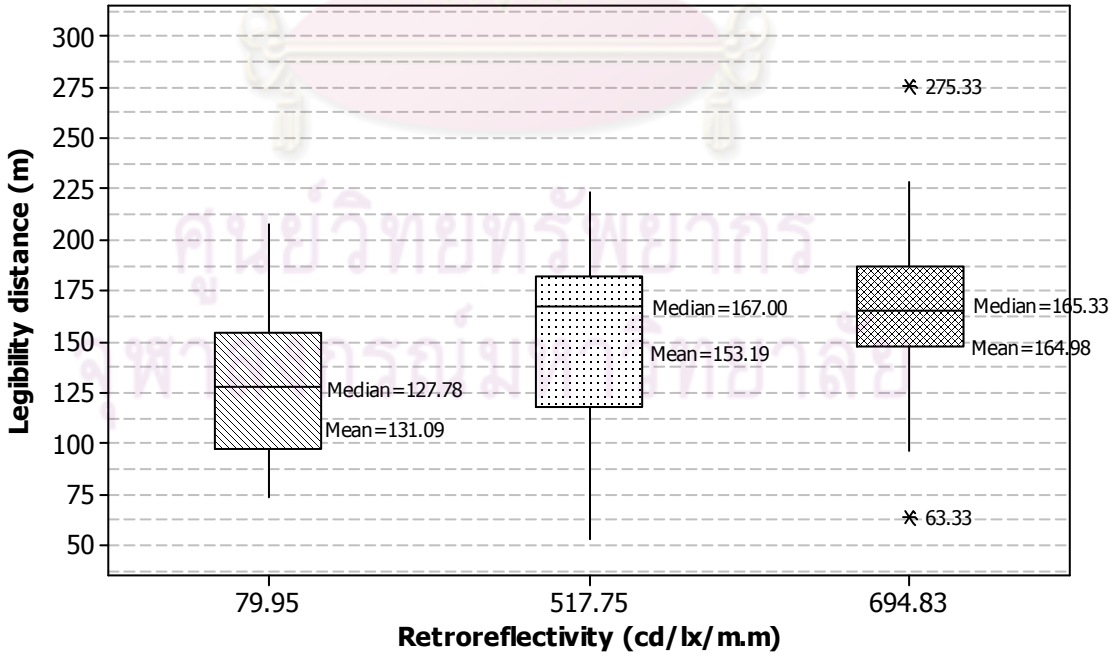


รูปที่ 5.4 ปัจจัยค่าระดับความสูงต่อระยะการตรวจพบป้ายหยุด

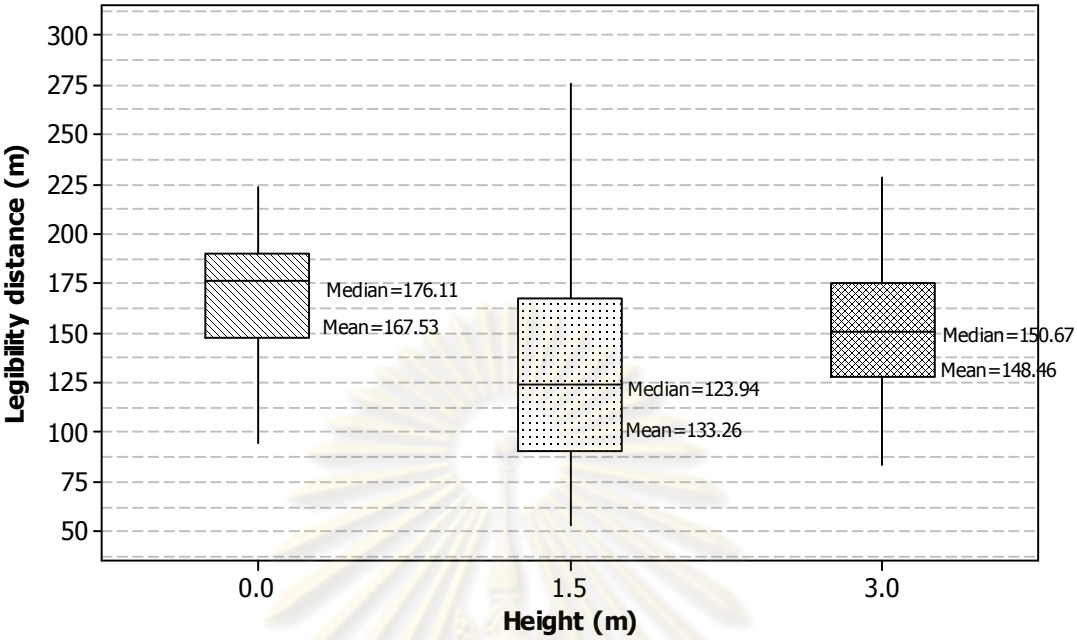


รูปที่ 5.5 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการตรวจพบป้ายหยุด

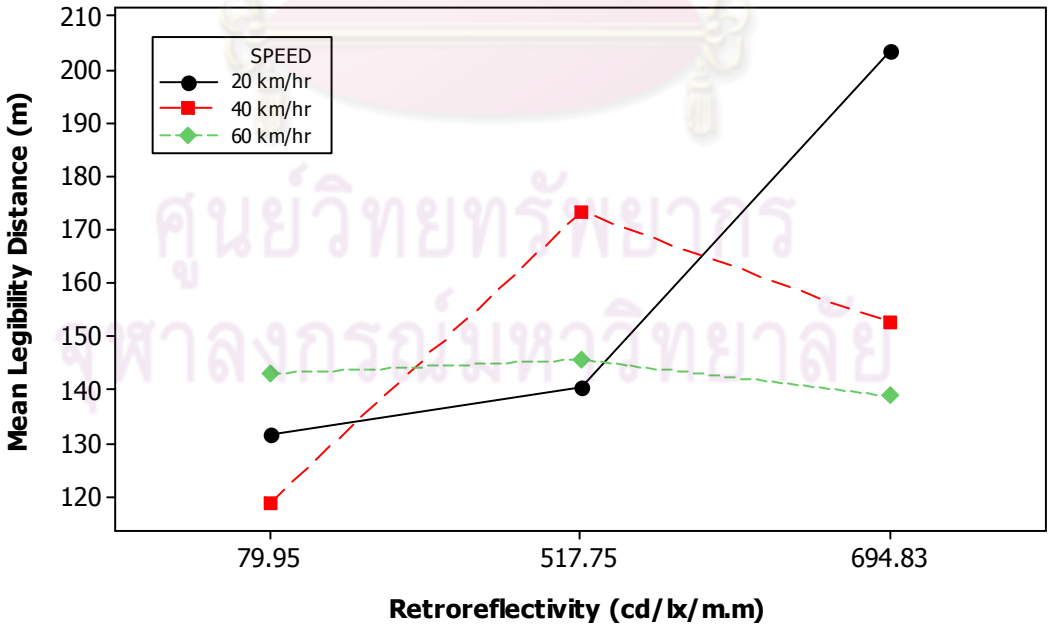
จากตารางที่ 5.2 (ข) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจรอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้าย (Retroreflectivity) ระดับความสูงป้าย (Height) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขับขี่และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Speed * Retroreflectivity) โดยเมื่อพิจารณารูปที่ 5.6 ซึ่งแสดงผลของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นพบว่าเมื่อค่าเฉลี่ยค่าการสะท้อนแสงสูงขึ้นระยะการมองเห็นป้ายจะสูงขึ้นตาม แต่เมื่อพิจารณาที่ระดับ 517.75 และ 694.83 cd/lx/m^2 พบว่าค่าระยะการมองเห็นเฉลี่ยรวมทั้งค่ามัธยฐานไม่แตกต่างกันมาก เมื่อพิจารณาผลของความสูงป้ายดังรูปที่ 5.7 พบว่าระดับความสูงที่ 0 และ 3 เมตร ให้ค่าระยะการมองเห็นที่สูงกว่าระดับ 1.5 เมตร อาจเนื่องจากไฟรถจะสะท้อนป้ายที่ระดับต่ำก่อนระดับสูง แต่ในส่วนป้ายที่ระดับสูงจะมีผลให้ผู้ขับขี่มองเห็นได้ไกลถึงแม้ปริมาณแสงสะท้อนจะต่ำว่าแต่ผู้ขับขี่ก็สามารถที่จะอ่านและเข้าใจข้อความบนป้ายได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขับขี่และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงในรูปที่ 5.8 พบว่าที่ความเร็วต่ำ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผู้ขับขี่มองเห็นป้ายได้ดีขึ้นเมื่อค่าการสะท้อนแสงเพิ่ม แต่ที่ระดับความเร็วเพิ่มขึ้นระยะการมองเห็นจะคงที่หรือลดลงเมื่อค่าการสะท้อนแสงเพิ่มซึ่งอาจสืบเนื่องจากผู้ขับขี่ที่ใช้ความเร็วสูงขึ้นในการขับขี่จะมีเวลาในการอ่านและเข้าใจป้ายเท่าเดิมแต่ระยะทางจะใกล้ป้ายมากกว่าเดิมจึงมีผลต่อระยะการมองเห็นถึงแม้ป้ายจะสะท้อนแสงได้ดีก็ตาม



รูปที่ 5.6 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นป้ายหยุด



รูปที่ 5.7 ปัจจัยค่าระดับความสูงต่อระยะการตรวจพบป้ายหยุด



รูปที่ 5.8 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงและระดับความเร็วขับขี่ต่อระยะการมองเห็นป้ายหยุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.3 ป้ายจำกัดความเร็ว กรณีการทดสอบรถยนต์ส่วนบุคคล

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจำกัดความเร็ว จากตารางที่ 5.3 (ก) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้าย (Retroreflectivity) มีนัยสำคัญต่อระยะการตรวจพบป้าย ทั้งนี้เนื่องจากในการขับขี่เวลากลางคืนการพบป้ายจราจรจะขึ้นกับว่าป้ายจราจรนั้นมีประสิทธิภาพให้ผู้ขับขี่มองเห็นได้ไกลเพียงใด ความสามารถในการการสะท้อนแสงของป้ายจราจรจึงเป็นส่วนที่ทำให้ผู้ขับขี่สามารถตรวจพบป้ายได้จากการสะท้อนของไฟรถยนต์ไปยังป้าย โดยจากรูปที่ 5.9 ซึ่งแสดงกราฟ Box Plot ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายต่อระยะการตรวจพบ พบว่าที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายสูงขึ้นทำให้ค่าระยะการตรวจพบสูงขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะป้ายที่ระดับการสะท้อนแสงต่ำสุดจนเกือบเป็นศูนย์ผู้ขับขี่จะมีระยะการตรวจพบป้ายที่ต่ำกว่าระดับอื่นๆมาก ดังนั้นระยะการตรวจพบป้ายจึงขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้าย ซึ่งนอกจากนี้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขับขี่และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Speed * Retroreflectivity) ยังมีนัยสำคัญต่อระยะการตรวจพบป้ายที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90

เมื่อพิจารณาตารางที่ 5.3 (ข) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะการมองเห็นอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้าย (Retroreflectivity) เนื่องจากระยะที่ผู้ขับขี่มองเห็นป้ายเป็นช่วงขณะที่สามารถอ่านและเข้าใจข้อความบนป้ายได้จึงมีความจำเป็นที่สัญลักษณ์บนป้ายต้องมีความชัดเจน จากรูปที่ 5.10 จะพบได้ว่าที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงขึ้นค่าระยะการมองเห็นจะสูงขึ้นตาม โดยพิจารณาที่ระดับการสะท้อนแสงต่ำสุดผู้ขับขี่จะมีระยะการมองเห็นป้ายที่ต่ำมากเฉลี่ยไม่เกิน 57 เมตร แต่เมื่อระดับการสะท้อนแสงสูงขึ้นที่ระดับกลางและสูง ผู้ขับขี่ให้ระยะการมองเห็นที่สูงขึ้นแต่พิจารณาค่าเฉลี่ยจะไม่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับค่าการสะท้อนแสงที่สูงขึ้นจากเดิมของระดับกลางและสูง ข้อสังเกตนี้อาจบ่งชี้ได้ว่าที่ระดับความสว่างของป้ายระดับหนึ่งที่เพียงพอต่อการมองเห็นและอ่านข้อความผู้ขับขี่จะทำให้ผู้ขับขี่มีความสามารถที่จะอ่านทำความเข้าใจได้ ดังนั้นการเพิ่มค่าการสะท้อนแสงของป้ายให้มากกว่านี้จะมีผลต่อระยะการมองเห็นป้ายค่อนข้างน้อย นอกจากนี้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับความเร็วและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Speed * Retroreflectivity) ยังมีนัยสำคัญต่อระยะการมองเห็นป้ายที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90

ตารางที่ 5.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจำกัดความเร็ว โดยรถยนต์ส่วนบุคคล

(ก) ระยะการตรวจพบ (Detection Distance)

Source	Type III Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Speed	4423.314	2	2211.657	1.190	0.312
Height	5804.470	2	2902.235	1.561	0.219
Retroreflectivity	219307.149	2	109653.575	58.976	<0.000***
Speed * Height	8618.266	4	2154.567	1.159	0.339
Speed * Retroreflectivity	15965.035	4	3991.259	2.147	<0.088*
Height * Retroreflectivity	12233.532	4	3058.383	1.645	0.176
Speed * Height * Retroreflectivity	8631.684	8	1078.961	0.580	0.790
Error	100402.456	54	1859.305		
Total	3937270.421	81			
Corrected Total	375385.907	80			

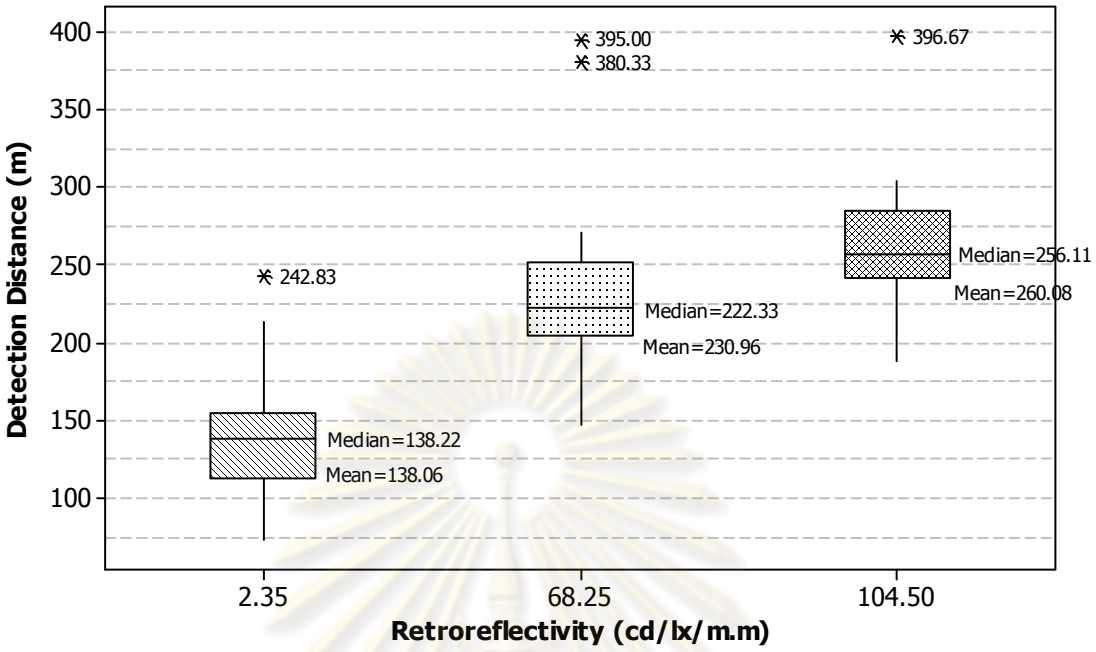
***p < 0.01., **p < 0.05., *p < 0.10.

(ข) ระยะการมองเห็น (Legibility Distance)

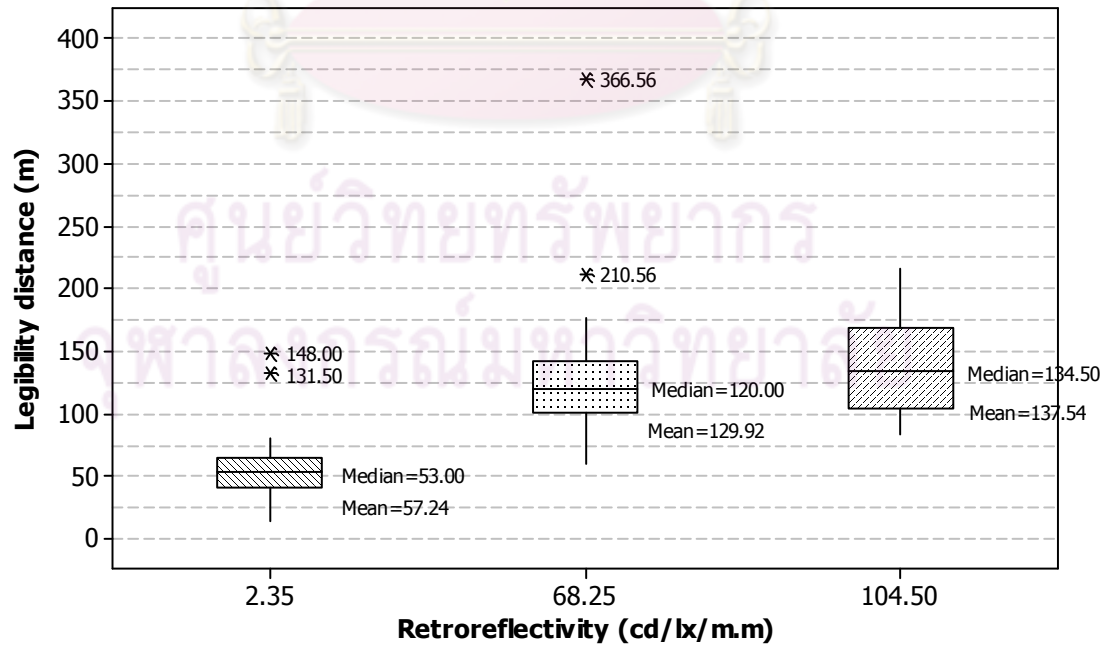
Source	Type III Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Speed	3497.853	2	1748.927	0.880	0.421
Height	548.182	2	274.091	0.138	0.872
Retroreflectivity	106091.017	2	53045.508	26.685	<0.000***
Speed * Height	1558.522	4	389.631	0.196	0.939
Speed * Retroreflectivity	18831.916	4	4707.979	2.368	<0.064*
Height * Retroreflectivity	3446.968	4	861.742	0.434	0.784
Speed * Height * Retroreflectivity	8531.489	8	1066.436	0.536	0.824
Error	107344.150	54	1987.855		
Total	1198675.449	81			
Corrected Total	249850.097	80			

***p < 0.01., **p < 0.05., *p < 0.10.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.9 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการตรวจพบป้ายจำกัดความเร็ว



รูปที่ 5.10 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นป้ายจำกัดความเร็ว

ตารางที่ 5.4 สรุปผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จากการทดลองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นป้ายจราจรของรถยนต์ส่วนบุคคล โดยเมื่อพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะการตรวจพบที่ระดับความเชื่อมั่นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 พบว่าป้ายจราจรแต่ละประเภทจะให้ระยะการตรวจพบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลของปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง และระดับความสูงป้ายจราจรเป็นหลักเนื่องจากป้ายที่มีการสะท้อนที่สูงจะทำให้ผู้ขับขี่พบป้ายในระยะทางที่ไกล รวมทั้งระดับการติดตั้งที่สูงขึ้นทำให้ผู้ขับขี่สามารถพบป้ายได้ไกลเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาระยะการมองเห็นป้ายพบว่าปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงมีผลกระทบสำหรับทุกป้ายจราจรเนื่องจากความสว่างของป้ายทำให้ผู้ขับขี่สามารถมองเห็นเข้าใจลักษณะสัญลักษณ์และอักขระข้อความบนป้ายได้ชัดเจนมากขึ้นจึงทำให้มองเห็นและเข้าใจข้อความบนป้ายได้ที่ระยะไกล

จากปัจจัยแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นป้ายจราจรข้างต้นเมื่อพิจารณาในรูปแบบจำลองการถดถอดเชิงเส้น (Linear Regression) ดังตารางที่ 5.5 ซึ่งเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นเพื่อสามารถคาดการณ์ระยะต่างๆ จากปัจจัยได้ โดยจากสมการจะจำลองปัจจัยโดยใช้ค่าจริงและได้ผลของปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 จากสมการแบบจำลองถดถอดเชิงเส้นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงและระดับความสูงของการติดตั้งป้ายสามารถนำไปใช้คาดการณ์ระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นได้

จากสมการพบว่าป้ายทางแยกรูปตัวทีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง และค่าระดับความสูงสามารถประมาณระยะการตรวจพบ ส่วนระยะการมองเห็นมีเพียงสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ผลของสัญลักษณ์ตัวหนาและเข้าใจง่ายของรูปตัวทีทำให้ความสูงมีผล ในส่วนของป้ายหยุดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง และค่าระดับความสูงสามารถประมาณระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นได้ ส่วนป้ายจำกัดความเร็วใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงในการประมาณระยะทั้งสองได้ แต่จากสมการมีค่า R^2 ในช่วง 0.12-0.58 แสดงถึงความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างต่ำซึ่งนับเป็นข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้งาน

ตารางที่ 5.4 สรุปปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นของรถยนต์ส่วนบุคคลจำแนกตามประเภทป้ายจราจร

(ก) ระยะการตรวจพบ (Detection Distance)

ปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์	ป้ายทางแยกรูปตัวที	ป้ายหยุด	ป้ายจำกัดความเร็ว
ความเร็ว			
ความสูง	0.062*	0.026**	
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	0.000***	0.000***	0.000***
ความเร็ว * ความสูง			
ความเร็ว * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	0.080*		0.064*
ความสูง * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	0.000***		
ความเร็ว * ความสูง * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง			

*** $p < 0.01$., ** $p < 0.05$., * $p < 0.10$.

(ข) ระยะการมองเห็น (Legibility Distance)

ปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์	ป้ายทางแยกรูปตัวที	ป้ายหยุด	ป้ายจำกัดความเร็ว
ความเร็ว			
ความสูง		0.008***	
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	0.006***	0.007***	0.000***
ความเร็ว * ความสูง			
ความเร็ว * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง		0.004***	0.064*
ความสูง * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	0.085*		
ความเร็ว * ความสูง * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง			

*** $p < 0.01$., ** $p < 0.05$., * $p < 0.10$.

ตารางที่ 5.5 สมการแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ กรณีรถยนต์ส่วนบุคคล

(ก) ระยะการตรวจพบ (Detection Distance)

ป้ายจราจร	ระยะการตรวจพบ (Detection Distance)	R^2
ป้ายทางแยกรูปตัวที	Detection Distance = 140 + 0.818 Retroreflectivity + 6.94 Height	0.20
ป้ายหยุด	Detection Distance = 201 + 0.0703 Retroreflectivity - 3.90 Height	0.18
ป้ายจำกัดความเร็ว	Detection Distance = 138 + 1.22 Retroreflectivity	0.58

(ข) ระยะการมองเห็น (Legibility Distance)

ป้ายจราจร	ระยะการมองเห็น (Legibility Distance)	R^2
ป้ายทางแยกรูปตัวที	Legibility Distance = 95.9 + 0.638 Retroreflectivity	0.12
ป้ายหยุด	Legibility Distance = 136 + 0.0542 Retroreflectivity - 6.36 Height	0.14
ป้ายจำกัดความเร็ว	Legibility Distance = 60.1 + 0.825 Retroreflectivity	0.40

5.1.4. ป้ายทางแยกรูปตัวที กรณีการทดสอบรถจักรยานยนต์

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายทางแยกรูปตัวที โดยพิจารณารถจักรยานยนต์ ตารางที่ 5.6 (ก) พบว่าปัจจัยค่าระดับความสูง (Height) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Retroreflectivity) มีนัยสำคัญต่อระยะการตรวจพบป้าย เนื่องจากการขับขี่รถจักรยานยนต์ในเวลากลางคืนไฟหน้ารถค่อนข้างให้ปริมาณความเข้มแสงไฟที่ส่องต่ำทำให้ผลของระดับความสูงป้ายที่สูงขึ้นทำให้ผู้ขับขี่พบป้ายที่ระยะไกล นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่สูงขึ้นก็ยังทำให้ผู้ขับขี่พบป้ายที่ระยะไกลเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 5.11 โดยพบว่าหากติดตั้งป้ายในระดับที่สูงขึ้นก็จะทำให้ค่าระยะการตรวจพบสูงขึ้นตามลำดับ ในส่วนระยะการมองเห็นพิจารณา ตารางที่ 5.6 (ข) พบว่าปัจจัยด้านความสูง (Height) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Retroreflectivity) รวมทั้งปฏิสัมพันธ์ระหว่างความสูงและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Height * Retroreflectivity) ส่งผลต่อระยะการมองเห็น ดังรูปที่ 5.12 และ 5.13

ตารางที่ 5.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายทางแยกรูปตัวที โดยรถจักรยานยนต์

(ก) ระยะการตรวจพบ (Detection Distance)

Source	Type III Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Speed	381.231	2	190.615	0.066	0.936
Height	48253.996	2	24126.998	8.361	<0.001***
Retroreflectivity	20574.453	2	10287.226	3.565	<0.035**
Speed * Height	9243.613	4	2310.903	0.801	0.530
Speed * Retroreflectivity	1144.693	4	286.173	0.099	0.982
Height * Retroreflectivity	12947.362	4	3236.841	1.122	0.356
Speed * Height * Retroreflectivity	6464.047	8	808.006	0.280	0.970
Error	155818.626	54	2885.530		
Total	2625726.517	81			
Corrected Total	254828.021	80			

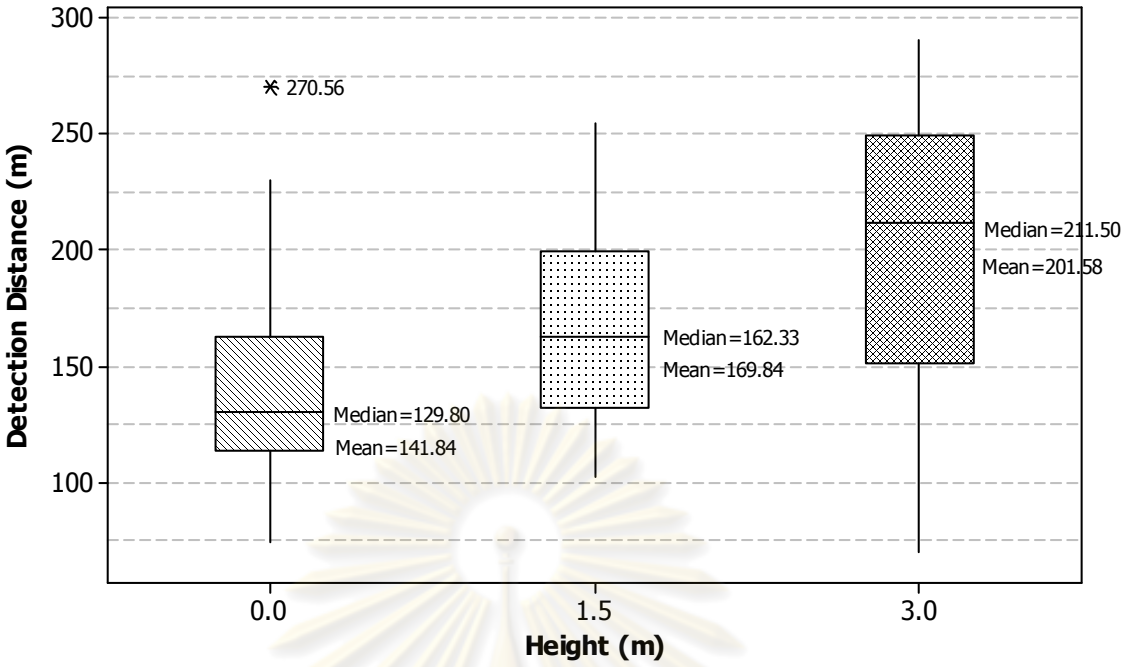
***p < 0.01., **p < 0.05., *p < 0.10.

(ข) ระยะการมองเห็น (Legibility Distance)

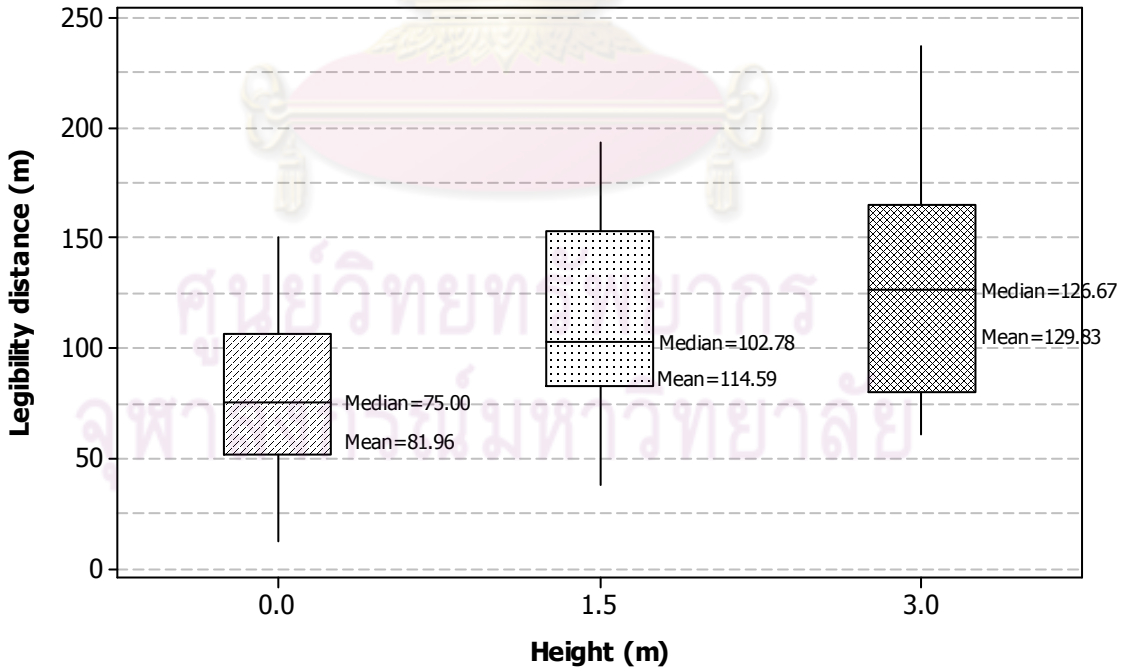
Source	Type III Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Speed	2507.741	2	1253.871	0.848	0.434
Height	32303.494	2	16151.747	10.918	<0.000***
Retroreflectivity	19577.054	2	9788.527	6.617	<0.003***
Speed * Height	11132.039	4	2783.010	1.881	0.127
Speed * Retroreflectivity	4457.907	4	1114.477	0.753	0.560
Height * Retroreflectivity	20675.290	4	5168.822	3.494	<0.013**
Speed * Height * Retroreflectivity	10588.191	8	1323.524	0.895	0.527
Error	79883.613	54	1479.326		
Total	1139818.710	81			
Corrected Total	181125.329	80			

***p < 0.01., **p < 0.05., *p < 0.10.

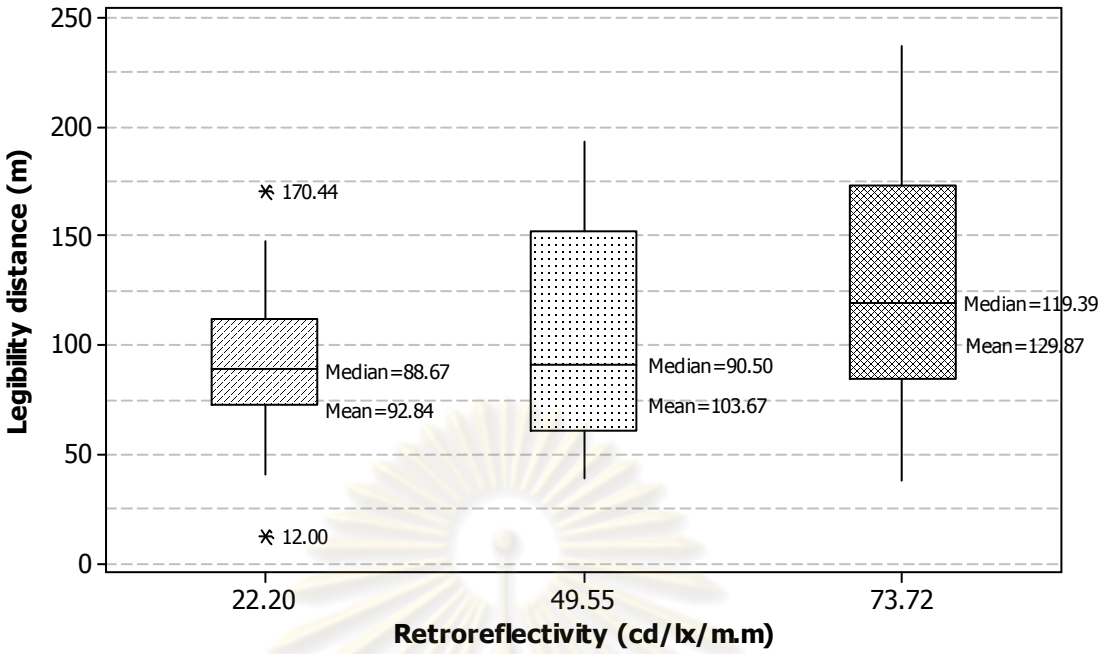
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.11 ปัจจัยค่าระดับความสูงต่อระยะการตรวจพบป้ายทางแยกรูปตัวที



รูปที่ 5.12 ปัจจัยค่าระดับความสูงต่อระยะการมองเห็นป้ายทางแยกรูปตัวที



รูปที่ 5.13 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นป้ายทางแยกรูปตัวที

5.1.5 ป้ายหยุด กรณีการทดสอบรถจักรยานยนต์

ตารางที่ 5.7 (ก) แสดงผลการทดสอบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะการตรวจพบป้ายหยุด พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Retroreflectivity) เป็นปัจจัยเดียวที่มีผลต่อระยะการตรวจพบของป้ายหยุดอย่างมีนัยสำคัญ รูปที่ 5.14 แสดงผลของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการตรวจพบป้าย โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่สูงขึ้นส่งผลต่อค่าระยะการตรวจพบของป้ายสูงขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 5.7 (ข) แสดงผลการทดสอบปัจจัยต่อระยะการตรวจพบป้ายหยุด พบว่าปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Retroreflectivity) มีผลต่อระยะการตรวจพบของป้ายหยุดอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ดังแสดงในรูปที่ 5.15 โดยระยะการมองเห็นจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายสูงขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้ปัจจัยด้านความเร็วขับขี่ (Speed) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Speed * Retroreflectivity) ยังส่งผลต่อระยะการมองเห็นป้ายหยุดที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นั่นเป็นเพราะทั่วไปแล้วการขับขี่ที่ระดับความเร็วการขับขี่สูงจะทำให้ระยะทางที่ใช้ในช่วงเวลาที่ตัดสินใจว่าเห็นข้อความบนป้ายมากขึ้น นั่นทำให้ระยะที่ผู้ขับขี่มองเห็นป้ายไปยังป้ายลดลง

ตารางที่ 5.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายหยุด โดยรถจักรยานยนต์

(ก) ระยะการตรวจพบ (Detection Distance)

Source	Type III Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Speed	11275.396	2	5637.698	2.346	0.105
Height	2680.985	2	1340.493	0.558	0.576
Retroreflectivity	55346.386	2	27673.193	11.516	<0.000***
Speed * Height	9268.266	4	2317.066	0.964	0.435
Speed * Retroreflectivity	3737.948	4	934.487	0.389	0.816
Height * Retroreflectivity	7972.586	4	1993.147	0.829	0.512
Speed * Height * Retroreflectivity	8032.675	8	1004.084	0.418	0.905
Error	129764.905	54	2403.054		
Total	3427185.007	81			
Corrected Total	228079.148	80			

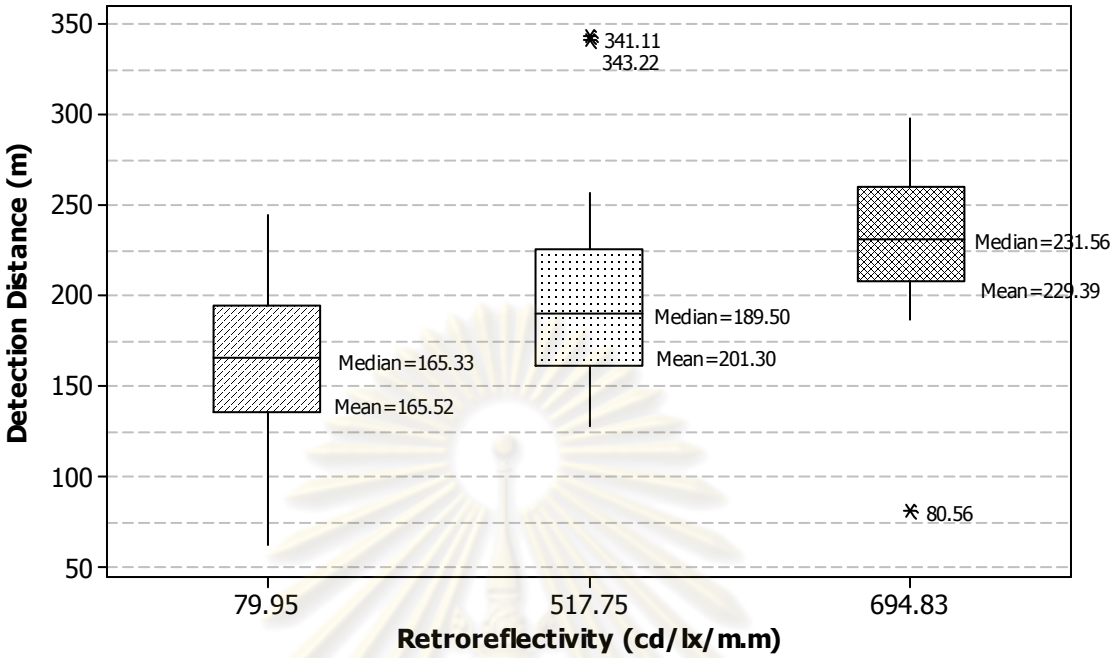
***p < 0.01., **p < 0.05., *p < 0.10.

(ข) ระยะการมองเห็น (Legibility Distance)

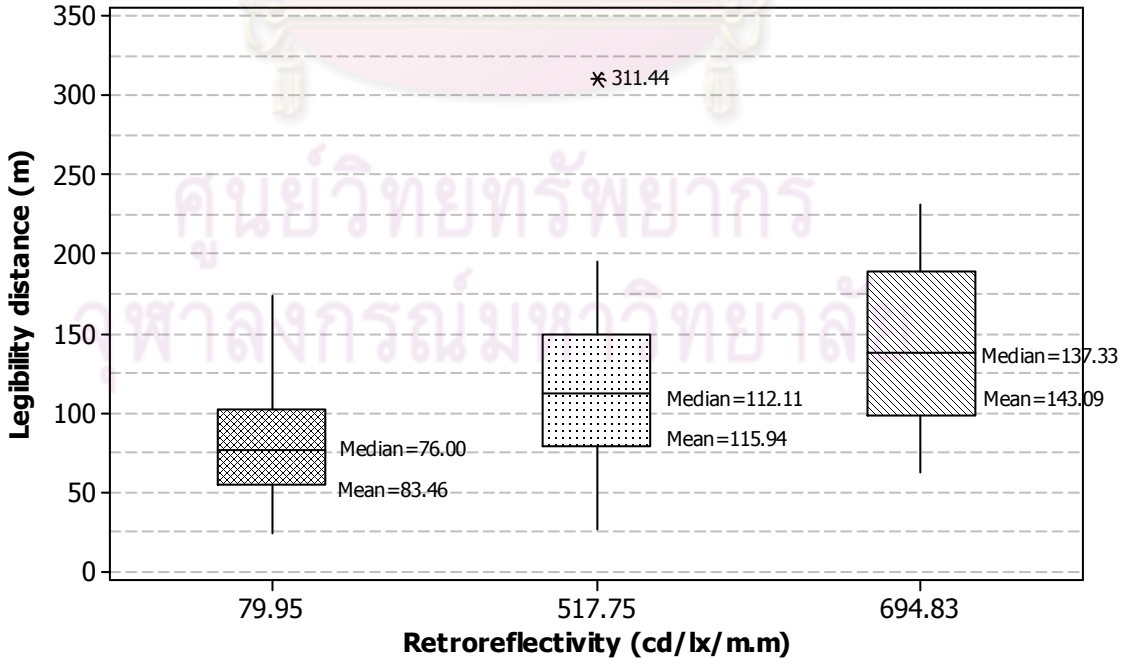
Source	Type III Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Speed	16064.070	2	8032.035	3.464	<0.038**
Height	1818.307	2	909.154	0.392	0.678
Retroreflectivity	48131.329	2	24065.665	10.380	<0.000***
Speed * Height	11342.237	4	2835.559	1.223	0.312
Speed * Retroreflectivity	27659.111	4	6914.778	2.982	<0.027**
Height * Retroreflectivity	2713.203	4	678.301	0.293	0.882
Speed * Height * Retroreflectivity	9582.633	8	1197.829	0.517	0.839
Error	125203.034	54	2318.575		
Total	1298247.340	81			
Corrected Total	242513.923	80			

***p < 0.01., **p < 0.05., *p < 0.10.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.14 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการตรวจพบป้ายทางหยุด



รูปที่ 5.15 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นป้ายหยุด

5.1.6 ป้ายจำกัดความเร็ว กรณีการทดสอบรถจักรยานยนต์

ตารางที่ 5.8 (ก) แสดงผลการทดสอบปัจจัยต่อระยะการตรวจพบป้ายจำกัดความเร็ว พบว่าปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงและระดับความสูงของป้ายมีนัยสำคัญต่อระยะการตรวจพบป้าย โดยจากรูปที่ 5.16 พบว่าที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงขึ้นทำให้ค่าระยะการตรวจพบของป้ายสูงขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะป้ายที่ระดับการสะท้อนแสงต่ำสุดจนเกือบเป็นศูนย์ผู้ขับขี่จะมีระยะการตรวจพบป้ายที่ต่ำกว่าระดับอื่นๆมาก ดังนั้นระยะการตรวจพบป้ายจึงขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้าย ในส่วนของระดับความสูงป้ายพบว่าป้ายจำกัดความเร็วที่ติดตั้งตำแหน่งที่สูงขึ้นมีผลให้ผู้ขับขี่ตรวจพบป้ายจราจรได้ในระยะไกลขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.17

ตารางที่ 5.8 (ข) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัยต่อระยะการมองเห็น ของป้ายจำกัดความเร็วพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจรอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายและระดับความเร็วขับขี่เนื่องจากระยะที่ผู้ขับขี่มองเห็นป้ายเป็นช่วงขณะที่สามารถอ่านและเข้าใจข้อความบนป้ายได้จึงมีความจำเป็นที่สัญลักษณ์บนป้ายต้องมีความชัดเจนจากความสว่างของป้าย ดังแสดงในรูปที่ 5.18 ซึ่งพบว่าที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงขึ้นค่าระยะการมองเห็นของป้ายจะสูงขึ้นตาม โดยพิจารณาที่ระดับการสะท้อนแสงต่ำสุดผู้ขับขี่จะมีระยะการมองเห็นป้ายที่ต่ำมากเฉลี่ยไม่เกิน 36 เมตร แต่เมื่อระดับการสะท้อนแสงสูงขึ้นที่ระดับกลางและสูงผู้ขับขี่ให้ระยะการมองเห็นที่สูงขึ้นแต่พิจารณาค่าเฉลี่ยจะไม่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับค่าการสะท้อนแสงที่สูงขึ้นมากกว่า 30 $cd/lx/m^2$

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านระดับความเร็วดังรูปที่ 5.19 พบว่าที่ระดับความเร็วของการขับขี่รถจักรยานยนต์ที่สูงขึ้นมีผลทำให้ระยะการมองเห็นป้ายจำกัดความเร็วลดลงเนื่องมาจากการขับขี่ที่ความเร็วสูงระยะเวลาที่ผู้ขับขี่ใช้ในการเข้าใจหรืออ่านข้อความบนป้ายจราจรเท่าเดิมแต่ด้วยความเร็วทำให้ระยะทางจากตำแน่งที่มองเห็นป้ายไปยังตัวป้ายจราจรลดลง เมื่อพิจารณาที่ระดับความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผู้ขับขี่จะมีความสามารถในการระบุตำแหน่งระยะการมองเห็นที่สูงและมีความถูกต้องมากกว่าเนื่องจากไม่ต้องวิตกกังวลในผลของความเร็วที่ขับขี่ อาทิ การรักษาระดับความเร็ว รวมทั้งความปลอดภัยในการขับขี่

ตารางที่ 5.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของป้ายจำกัดความเร็ว โดยรถจักรยานยนต์

(ก) ระยะการตรวจพบ (Detection Distance)

Source	Type III Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Speed	1557.165	2	778.583	0.359	0.700
Height	33909.173	2	16954.587	7.820	<0.001***
Retroreflectivity	213714.517	2	106857.259	49.285	<0.000***
Speed * Height	5388.005	4	1347.001	0.621	0.649
Speed * Retroreflectivity	10433.821	4	2608.455	1.203	0.320
Height * Retroreflectivity	4605.176	4	1151.294	0.531	0.713
Speed * Height * Retroreflectivity	14976.635	8	1872.079	0.863	0.553
Error	117079.614	54	2168.141		
Total	3934334.718	81			
Corrected Total	401664.106	80			

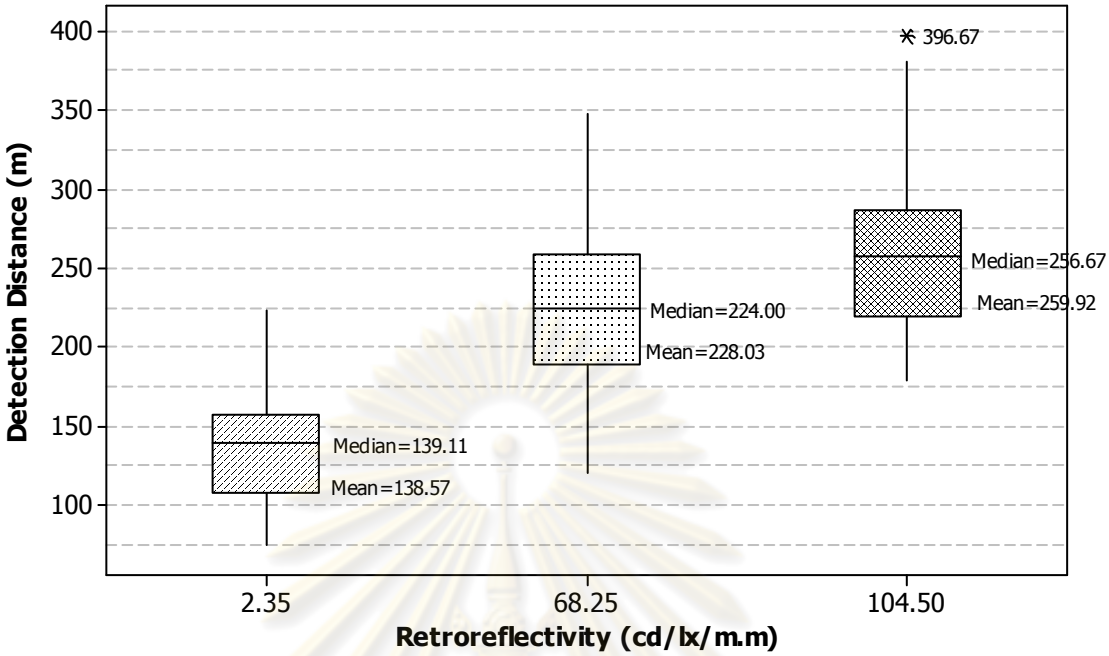
***p < 0.01., **p < 0.05., *p < 0.10.

(ข) ระยะการมองเห็น (Legibility Distance)

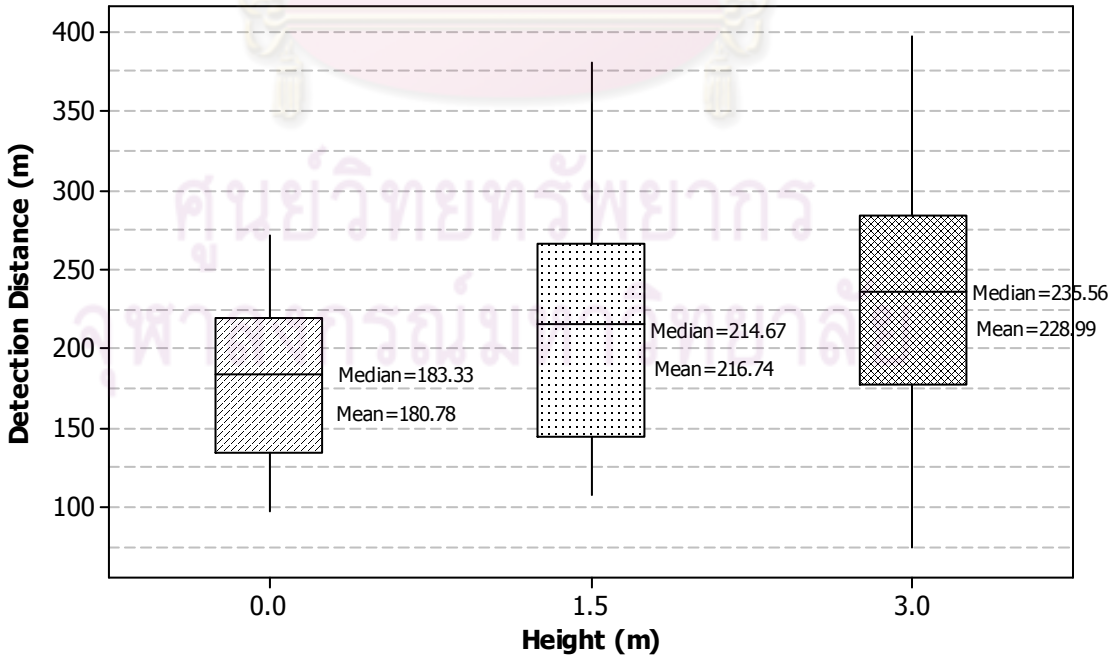
Source	Type III Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
Speed	24262.685	2	12131.343	8.843	<0.000***
Height	4668.895	2	2334.447	1.702	0.192
Retroreflectivity	133777.916	2	66888.958	48.760	<0.000***
Speed * Height	1667.157	4	416.789	0.304	0.874
Speed * Retroreflectivity	7112.162	4	1778.040	1.296	0.283
Height * Retroreflectivity	520.020	4	130.005	0.095	0.984
Speed * Height * Retroreflectivity	4676.980	8	584.622	0.426	0.900
Error	74076.469	54	1371.786		
Total	934081.276	81			
Corrected Total	250762.282	80			

***p < 0.01., **p < 0.05., *p < 0.10.

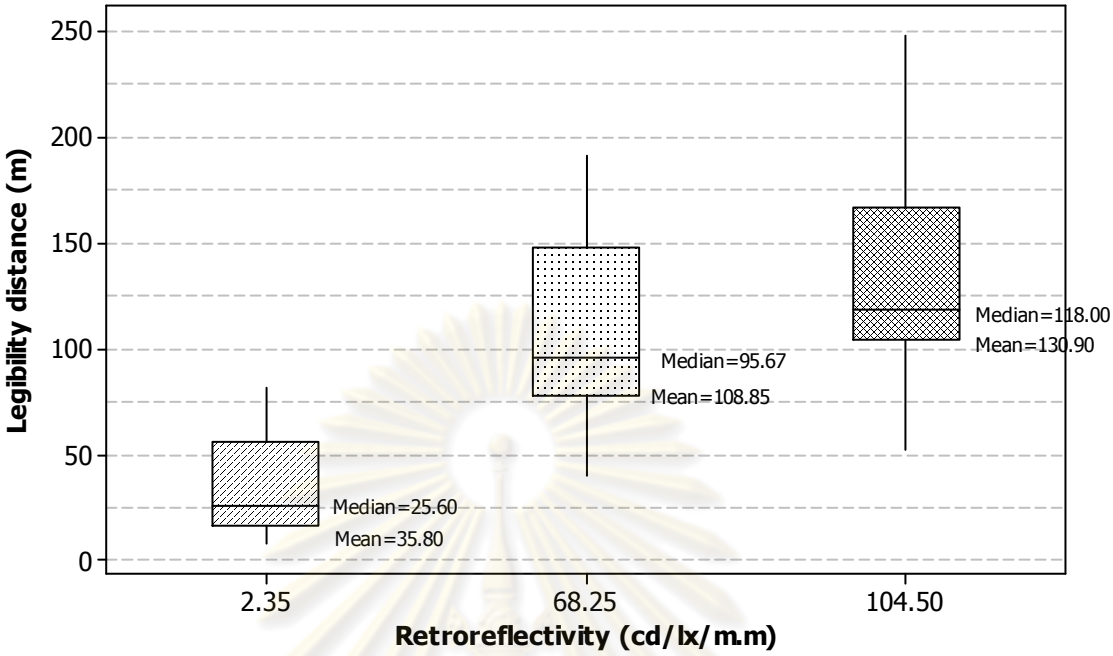
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



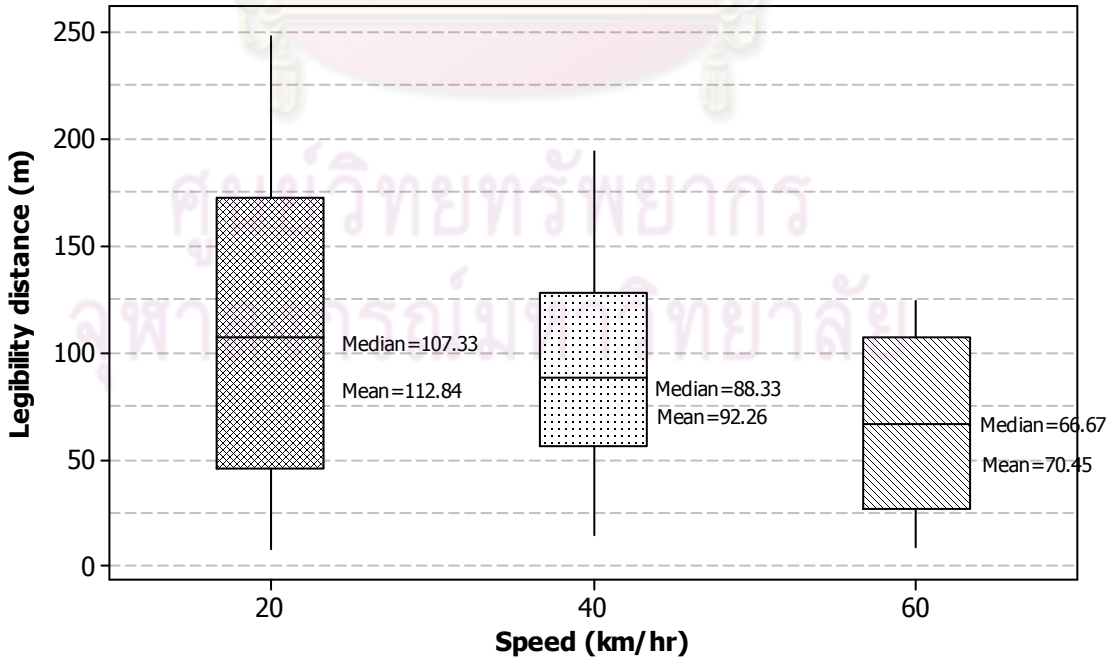
รูปที่ 5.16 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการตรวจพบป้ายจำกัดความเร็ว



รูปที่ 5.17 ปัจจัยค่าระดับความสูงต่อระยะการตรวจพบป้ายจำกัดความเร็ว



รูปที่ 5.18 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นป้ายจำกัดความเร็ว



รูปที่ 5.19 ปัจจัยค่าระดับความเร็วต่อระยะการมองเห็นป้ายจำกัดความเร็ว

ตารางที่ 5.9 สรุปผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จากการทดลองปัจจัยต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นป้ายจราจรของรถจักรยานยนต์ เมื่อพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นป้ายที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 พบว่าป้ายจราจรแต่ละประเภทให้ระยะการตรวจพบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลของปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง และระดับความสูงป้ายจราจรเป็นหลัก ไม่แตกต่างจากรถยนต์ส่วนบุคคล แต่จะมีผลของความเร็วในบางป้ายจราจรที่ส่งผลกระทบต่อระยะการมองเห็นป้าย

ตารางที่ 5.10 แสดงแบบจำลองการถดถอดเชิงเส้น (Linear Regression) ซึ่งเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็น โดยจำลองปัจจัยโดยใช้ค่าจริงและได้ผลของปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 จากสมการแบบจำลองถดถอดเชิงเส้นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ระดับความสูงป้าย และความเร็วขับขี่ สามารถนำไปใช้คาดการณ์ระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นได้สำหรับรถจักรยานยนต์

จากสมการพบว่าป้ายทางแยกรูปตัวทีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสามารถประมาณระยะการตรวจพบ ในส่วนระยะการมองเห็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง และระดับความสูงป้ายสามารถใช้ในการคาดการณ์ระยะการมองเห็นได้โดยค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรความสูงมีค่ามากกว่าตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงความสูงจึงมีผลต่อระยะการมองเห็นมากกว่า ในส่วนของป้ายหยุดมีเพียงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง สามารถประมาณระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นได้โดยไม่มีผลของระดับความสูงป้ายอาจเป็นเพราะรถจักรยานยนต์ที่ใช้ทดสอบมีปริมาณพลังงานแสงไฟหน้ารถที่ระดับต่ำกว่าทำให้ระดับป้ายที่แตกต่างกันไม่ส่งผลอย่างชัดเจน ส่วนป้ายจำกัดความเร็วใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงและระดับความสูงในการประมาณระยะการตรวจพบ โดยระดับความสูงมีผลมากกว่า แต่การประมาณระยะการมองเห็นนอกจากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแล้วปัจจัยด้านความเร็วยังส่งผลในทิศทางตรงข้าม กล่าวคือความเร็วสูงขึ้นระยะการมองเห็นจะลดลงแต่จากค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรมีผลน้อยกว่าตัวแปรสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง โดยจากสมการที่ได้มีค่า R^2 ในช่วง 0.19-0.62 แสดงถึงความสัมพันธ์ที่

ค่อนข้างต่ำในการคาดการณ์ แต่เมื่อพิจารณาป้ายจำกัดความเร็วมีค่า R^2 ค่อนข้างสูงนั่นแสดงถึงมีนัยสำคัญและมีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่สูงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

ตารางที่ 5.9 สรุปปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นของรถจักรยานยนต์จำแนกตามประเภทป้ายจราจร

(ก) ระยะการตรวจพบ (Detection Distance)

ปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์	ป้ายทางแยกรูปตัวที	ป้ายหยุด	ป้ายจำกัดความเร็ว
ความเร็ว			
ความสูง	0.001***		0.001***
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	0.035**	0.000***	0.000***
ความเร็ว * ความสูง			
ความเร็ว * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง			
ความสูง * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง			
ความเร็ว * ความสูง * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง			

***p < 0.01., **p < 0.05., *p < 0.10.

(ข) ระยะการมองเห็น (Legibility Distance)

ปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์	ป้ายทางแยกรูปตัวที	ป้ายหยุด	ป้ายจำกัดความเร็ว
ความเร็ว		0.038**	0.000***
ความสูง	0.000***		
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	0.003***	0.000***	0.000***
ความเร็ว * ความสูง			
ความเร็ว * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง			
ความสูง * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	0.013**		
ความเร็ว * ความสูง * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง			

***p < 0.01., **p < 0.05., *p < 0.10.

ตารางที่ 5.10 สมการแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ กรณีรถจักรยานยนต์

(ก) ระยะการตรวจพบ (Detection Distance)

ป้ายจราจร	ระยะการตรวจพบ (Detection Distance)	R^2
ป้ายทางแยกรูปตัวที	Detection Distance = 141 + 19.9 Height	0.19
ป้ายหยุด	Detection Distance = 156 + 0.0997 Retroreflectivity	0.24
ป้ายจำกัดความเร็ว	Detection Distance 114 + 1.21 Retroreflectivity + 16.1 Height	0.61

(ข) ระยะการมองเห็น (Legibility Distance)

ป้ายจราจร	ระยะการมองเห็น (Legibility Distance)	R^2
ป้ายทางแยกรูปตัวที	Legibility Distance = 50.3 + 0.712 Retroreflectivity + 16.0 Height	0.27
ป้ายหยุด	Legibility Distance = 74.2 + 0.0927 Retroreflectivity	0.19
ป้ายจำกัดความเร็ว	Legibility Distance = 78.6 + 0.952 Retroreflectivity - 1.06 Speed	0.62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

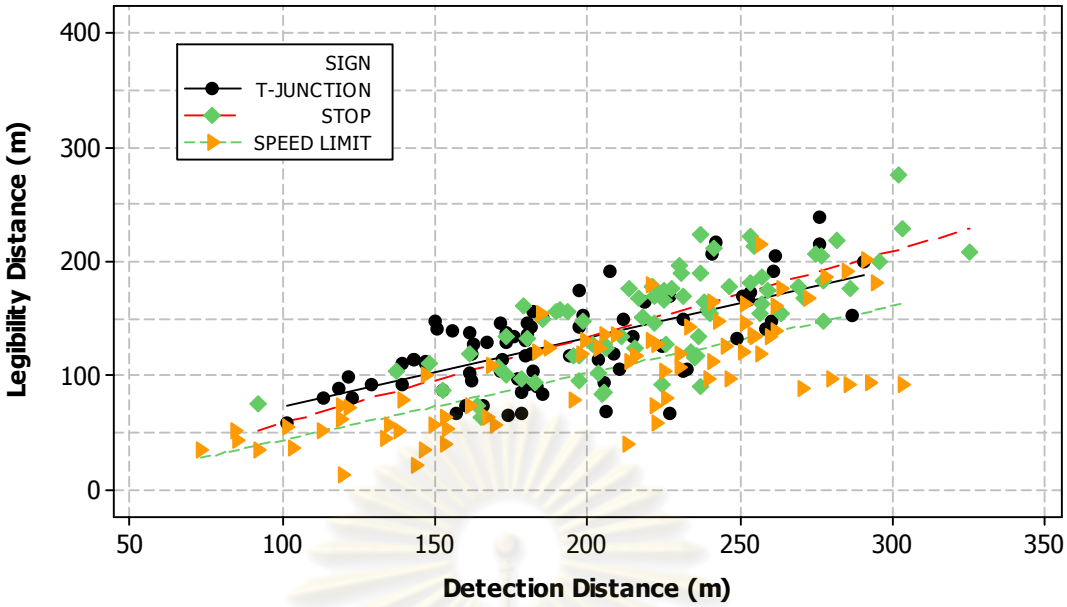
5.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็น

เนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการตรวจพบ (Detection Distance, DD) และระยะการมองเห็น (Legibility Distance, LD) ของป้ายจราจรจากกลุ่มตัวอย่างผู้ขับขี่ ระยะดังกล่าวทั้งสองเป็นระยะที่ผู้ขับขี่สามารถที่จะตรวจพบป้ายจราจรและสามารถมองเห็นป้ายจราจรซึ่งระยะทางดังกล่าวอาจมีความสัมพันธ์ในรูปแบบหนึ่งแบบใดที่จะสามารถนำไปใช้คาดการณ์ความสัมพันธ์ของระยะทางทั้งสองได้ โดยจากการวิเคราะห์เบื้องต้นก่อนหน้าพบว่าระยะการตรวจพบย่อมมีค่ามากกว่าระยะการมองเห็นอย่างเด่นชัดจากผลการทดสอบขับขี่มองป้ายจราจรในสนามทดลองเวลากลางคืน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นป้ายจราจร ได้จำแนกผลการวิเคราะห์ตามประเภทป้ายจราจรและประเภทยานพาหนะเนื่องจากให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันรวมทั้งเพื่อตัดผลของรูปแบบของป้ายจราจร อันได้แก่ ลักษณะอักขระและสัญลักษณ์ สีบนป้าย และขนาดป้าย ที่แตกต่างกันออกไปเพื่อการวิเคราะห์และการนำไปใช้งานที่เหมาะสม

5.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตรวจพบและระยะมองเห็นป้ายจราจรของรถยนต์ส่วนบุคคล

รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นป้ายจราจรของรถยนต์ส่วนบุคคลที่ได้จากลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามประเภทป้ายจราจร ได้แก่ ป้ายทางแยกรูปตัวที ป้ายหยุด และป้ายจำกัดความเร็ว โดยพิจารณาใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นเพื่อระบุความสัมพันธ์เชิงเส้นของข้อมูลระยะทางทั้งสองดังในสมการที่ (1) – (3) พบว่าแนวโน้มระยะการมองเห็นของป้ายทางแยกรูปตัวที และป้ายหยุด มีค่าสูงกว่าระยะการมองเห็นของป้ายจำกัดความเร็วถึง 27 เมตร จากสมการเชิงเส้นความสัมพันธ์ของระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นของป้ายทางแยกรูปตัวที และป้ายหยุด มีค่าไม่แตกต่างกัน นั่นหมายถึงป้ายหยุดถึงแม้ให้ค่าการสะท้อนแสงที่สูงของป้ายที่ใช้ในปัจจุบันแต่ผลของรูปสัญลักษณ์ที่หนาของป้ายทางแยกรูปตัวทีให้ผลระยะมองเห็นที่สูงกว่าเช่นกันจึงทำให้แนวโน้มสมการใกล้เคียงกัน



รูปที่ 5.20 กราฟความสัมพันธ์ของระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของรถยนต์ส่วนบุคคล จำแนกตามประเภทป้ายจราจร

<u>ป้ายทางแยกรูปตัวที</u>

$$LD = 0.6192DD + 11.60 \quad (t=7.82) \quad (R^2 = 0.53) \qquad (1)$$

<u>ป้ายหยุด</u>

$$LD = 0.6776DD - 2.20 \quad (t=7.10) \quad (R^2 = 0.44) \qquad (2)$$

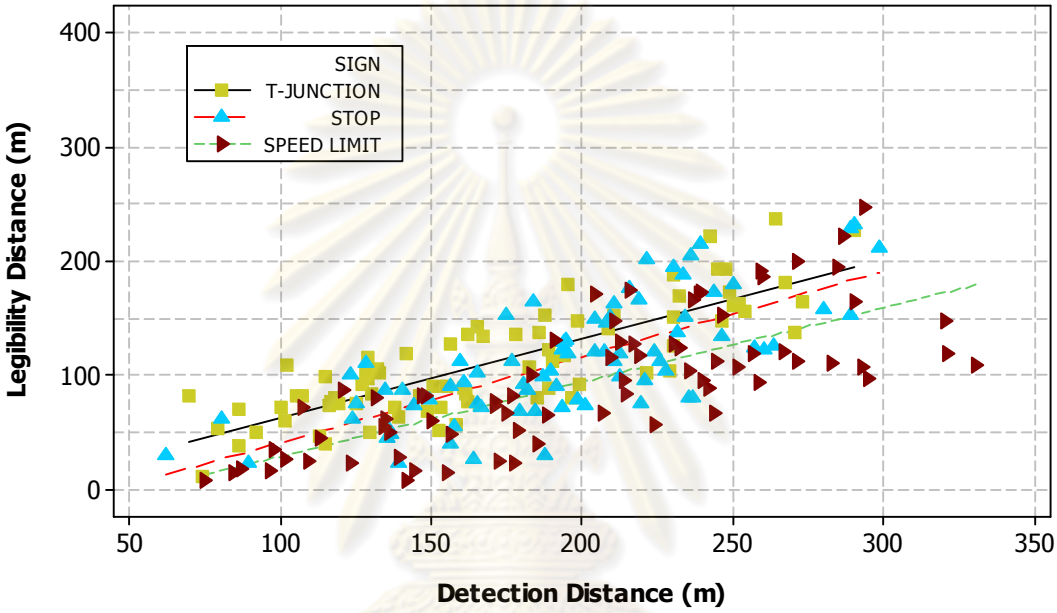
<u>ป้ายจำกัดความเร็ว</u>

$$LD = 0.5863DD - 14.90 \quad (t=9.26) \quad (R^2 = 0.55) \qquad (3)$$

5.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตรวจพบและระยะมองเห็นป้ายจราจรของรถจักรยานยนต์

รูปที่ 5.21 แสดงข้อมูลจุดคู่อันดับระหว่างระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นแต่ละประเภทป้ายจราจร ในกรณีรถจักรยานยนต์ โดยพิจารณาใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นเพื่อระบุความสัมพันธ์เชิงเส้นดังแสดงในสมการที่ (4)-(6) โดยพบว่าแนวโน้มระยะการมองเห็นของป้ายทางแยกรูปตัวที มีค่าสูงกว่าระยะการมองเห็นของป้ายหยุด และป้ายจำกัดความเร็ว เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 สมการ พบว่าที่ระยะการตรวจพบเดียวกัน ป้ายทางแยกรูปตัวที ให้ค่าระยะการตรวจพบมากกว่าป้ายหยุด และป้ายจำกัดความเร็วตามลำดับ เมื่อพิจารณาความชันของสมการเส้นตรงแต่ละป้าย

พบว่าป้ายหยุดให้อัตราการเพิ่มของระยะการมองเห็นสูงสุด รองลงมาได้แก่ป้ายทางแยกรูปตัวทีและป้ายจำกัดความเร็วน้อยที่สุด นั่นคือที่ระยะการตรวจพบเดียวกันป้ายหยุดยิ่งให้ระยะการตรวจพบที่สูงขึ้นจะให้ระยะการมองเห็นที่มากขึ้นตามโดยมากกว่าป้ายจราจรประเภทอื่นๆ เมื่อพิจารณาป้ายจำกัดความเร็วจะพบว่ามีค่าของข้อมูลค่อนข้างกระจายทั้งนี้อาจเป็นผลจากป้ายมีลักษณะค่าการสะท้อนแสงต่ำรวมทั้งเป็นป้ายที่ค่อนข้างเก่าในการทดสอบจึงอาจทำให้กลุ่มตัวอย่างให้ผลการมองเห็นที่ยากและมีความแตกต่างกัน



รูปที่ 5.21 กราฟความสัมพันธ์ของระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของรถจักรยานยนต์จำแนกตามประเภทป้ายจราจร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ป้ายทางแยกรูปตัวที

$$LD = 0.6249DD + 2.60 \quad (t=10.44) \quad (R^2 = 0.64) \qquad (4)$$

ป้ายหยุด

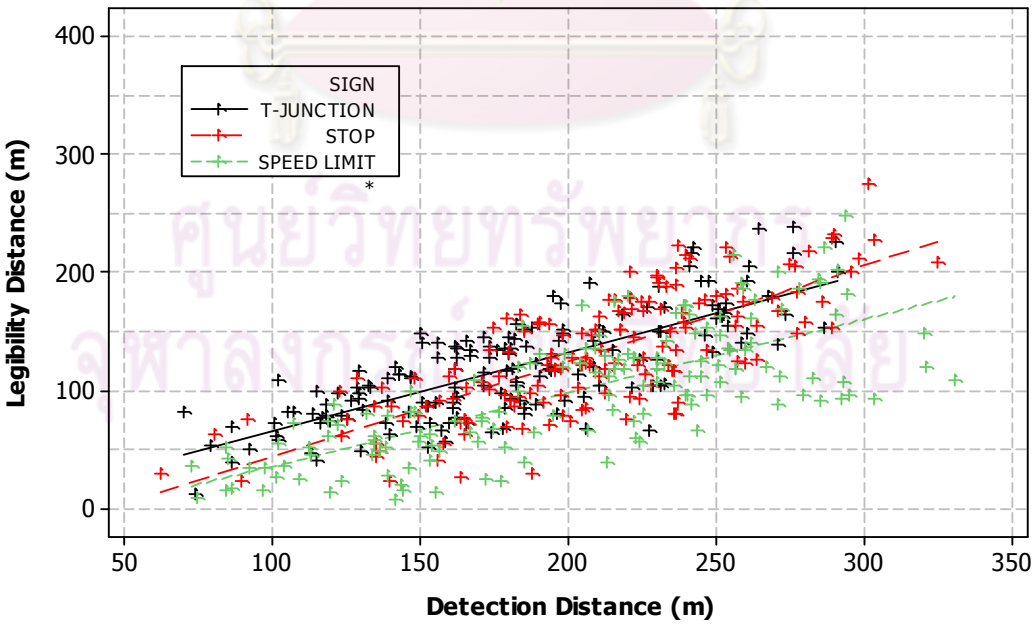
$$LD = 0.7488DD - 32.40 \quad (t=9.14) \quad (R^2 = 0.55) \qquad (5)$$

ป้ายจำกัดความเร็ว

$$LD = 0.5697DD - 22.90 \quad (t=7.15) \quad (R^2 = 0.53) \qquad (6)$$

5.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตรวจพบและระยะมองเห็นป้ายจราจรโดยพิจารณารถยนต์ส่วนบุคคลรวมกับรถจักรยานยนต์

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นป้ายจราจรเมื่อพิจารณาการขับขี่โดยรถยนต์ส่วนบุคคลและรถจักรยานยนต์รวมกันเพื่อให้ทราบผลของยานพาหนะทั้ง 2 ประเภท บนถนนเวลากลางคืนอาจนำมาซึ่งการออกแบบระยะการมองเห็นป้ายโดยจำแนกตามประเภทป้ายจราจร รูปที่ 5.22 แสดงข้อมูลจุดคู่อันดับระหว่างระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นแต่ละประเภทป้ายจราจร ได้แก่ ป้ายทางแยกรูปตัวที ป้ายหยุด และป้ายจำกัดความเร็ว โดยพิจารณาใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นเพื่อระบุความสัมพันธ์เชิงเส้นของข้อมูลระยะทางทั้งสองดังแสดงในสมการที่ (7)-(9) จากผลลัพธ์ของสมการแสดงให้เห็นว่าป้ายทางแยกรูปตัวทีให้ค่าระดับของระยะการมองเห็นที่สูงกว่าป้ายหยุด และป้ายจำกัดความเร็ว ตามลำดับ โดยที่ค่าระยะการตรวจพบที่เท่ากันนั่นคือป้ายให้ค่าระยะการมองเห็นที่มากกว่าเพราะผลของสัญลักษณ์ที่ผู้ขับขี่สามารถเข้าใจได้ง่าย เมื่อพิจารณาผลของความชันของสมการพบว่า ป้ายหยุดให้ความชันที่สูงสุด นั่นคือที่ระยะการตรวจพบที่สูงขึ้นป้ายจะให้ค่าระยะการมองเห็นต่อผู้ขับขี่ที่ไกลขึ้นกว่าป้ายอื่นๆ ป้ายจำกัดความเร็วจะให้ค่าระยะการมองเห็นที่ต่ำซึ่งอาจเป็นเพราะผลของขนาดตัวเลขบนป้ายและระดับค่าการสะท้อนแสงที่ทำให้ผู้ขับขี่มองเห็นในระดับที่ใกล้ป้ายกว่าปกติ



รูปที่ 5.22 กราฟความสัมพันธ์ของระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นของรถยนต์ส่วนบุคคลรวมกับรถจักรยานยนต์ จำแนกตามประเภทป้ายจราจร

ป้ายทางแยกรูปตัวที

$$LD = 0.6269DD + 5.10 \quad (t=13.60) \quad (R^2 = 0.60) \quad (7)$$

ป้ายหยุด

$$LD = 0.7643DD - 26.80 \quad (t=16.64) \quad (R^2 = 0.57) \quad (8)$$

ป้ายจำกัดความเร็ว

$$LD = 0.5425DD - 12.4 \quad (t=11.32) \quad (R^2 = 0.50) \quad (9)$$

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นป้ายจราจรข้างต้นทำให้ทราบแนวโน้มของระยะทางการตอบสนองของผู้ขับขี่ต่อป้ายจราจรในเวลากลางคืน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคาดการณ์ระยะการมองเห็นป้ายจราจรแต่ละประเภทในเวลากลางคืนได้ โดยพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อระยะการตรวจพบประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง และระดับความสูง การเพิ่มประสิทธิภาพปัจจัยเหล่านี้จะมีผลทำให้ระยะการตรวจพบป้ายจราจรสูงขึ้น จึงส่งผลให้ระยะการมองเห็นหรือเข้าใจข้อความบนป้ายจราจรมีค่าสูงขึ้นตามซึ่งทำให้ผู้ขับขี่มีระยะเวลาในการดำเนินการขับขี่ตามข้อมูลที่สื่อสารบนป้ายได้ นอกจากนี้การพบป้ายที่ระยะไกลจะส่งผลให้ผู้ขับขี่สามารถที่จะเตรียมรับข้อมูลที่สื่อจากป้ายได้ดีขึ้นหรือแม้กระทั่งการหลีกเลี่ยงการชนหรือเสียหลักของรถกับอุปกรณ์ข้างทางเช่นเสาป้ายจราจรได้อย่างทันท่วงที ตารางที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ของระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นป้ายจราจร

ตารางที่ 5.11 สรุปความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างระยะการมองเห็นและระยะการตรวจพบป้ายจราจร

Traffic Signs	Vehicle*	Linear Equation	R^2	Linear Equation	R^2
T-Junction (60x60)	PC	LD = 0.6192DD + 11.60	0.53	LD = 0.6269DD + 5.10	0.60
	MC	LD = 0.6249DD + 2.60	0.64		
Stop (75x75)	PC	LD = 0.6776DD – 2.20	0.44	LD = 0.7643DD – 26.80	0.57
	MC	LD = 0.7488DD – 32.40	0.55		
Speed-Limit (ϕ60)	PC	LD = 0.5863DD – 14.90	0.55	LD = 0.5425DD – 12.40	0.50
	MC	LD = 0.5697DD – 22.90	0.53		

[b]PC = รถยนต์ส่วนบุคคล, MC = รถจักรยานยนต์

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

เนื้อหาในบทนี้เป็นการสรุปผลของการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน โดยการศึกษามุ่งเน้นการทดสอบเชิงพฤติกรรมการตอบสนองของผู้ขับขี่จากการจำลองสถานการณ์ต่างๆของปัจจัยในการทดสอบเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตั้งและพัฒนาป้ายจราจรเพื่อความปลอดภัยในเวลากลางคืน วัตถุประสงค์หลักของการศึกษามีดังต่อไปนี้

1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรของผู้ขับขี่ในเวลากลางคืนจากปัจจัยทางด้านกายภาพของป้ายจราจร ยานพาหนะ และผู้ขับขี่

2) เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยหลักที่มีผลมากที่สุดต่อการมองเห็นป้ายจราจรของผู้ขับขี่ในเวลากลางคืนจากปัจจัยทางด้านกายภาพของป้ายจราจร ยานพาหนะ และผู้ขับขี่ โดยอาศัยการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติประยุกต์

3) เพื่อศึกษาคุณลักษณะและความเหมาะสมของเกณฑ์มาตรฐานการติดตั้งป้ายจราจรของกรมทางหลวงชนบท เพื่อการขับขี่อย่างปลอดภัยในเวลากลางคืน

6.1 สรุปผลการศึกษา

6.1.1 สรุปผลของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรของผู้ขับขี่ในเวลากลางคืน

จากการศึกษาการทดลองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน โดยพิจารณาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการติดตั้งป้ายจราจรที่เหมาะสมอันประกอบด้วย ประเภทป้ายจราจร ประเภทยานพาหนะ กลุ่มอายุผู้ขับขี่ ความเร็วขับขี่ การสะท้อนแสงของป้ายจราจร และระดับความสูงของป้ายจราจร ตารางที่ 6.1 ชี้ให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรส่งผลต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นป้ายจราจรอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาได้แก่ ระดับความสูงในการติดตั้งป้าย ในส่วนของความเร็วขับขี่ส่งผลเพียงป้ายจราจรบางประเภทเท่านั้น นอกจากการสะท้อนแสงของป้ายแล้วเมื่อพิจารณาด้านระดับความสูงการติดตั้งป้ายจราจรส่งผลต่อระยะการตรวจพบมากกว่าระยะการมองเห็น

จากผลลัพธ์ดังข้างต้นการกำหนดมาตรฐานและตัวชี้วัดที่ชัดเจนในทั้งสองปัจจัยนี้จะส่งผลต่อการขับขี่ และความปลอดภัยของผู้ขับขี่ในเวลากลางคืน ดังนั้นการตรวจประเมินและบำรุงรักษาระดับการสะท้อนแสงและระดับความสูงของการติดตั้งป้ายจราจรที่ติดตั้งบนสายทางในบริเวณพื้นที่และสภาพแวดล้อมต่างๆให้มีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน และมีระยะการตัดสินใจของผู้ขับขี่ต่อสถานการณ์ที่เพียงพอจะช่วยส่งเสริมและช่วยให้ผู้ขับขี่สามารถขับขี่บนท้องถนนได้อย่างปลอดภัย

ตารางที่ 6.1 สรุปปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะการตรวจพบและมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน

(ก) รถยนต์ส่วนบุคคล

ปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทดสอบ	รถยนต์ส่วนบุคคล					
	ป้ายทางแยกรูปตัวที		ป้ายหยุด		ป้ายจำกัดความเร็ว	
	DD	LD	DD	LD	DD	LD
ความเร็ว						
ความสูง	0.062*		0.026**	0.008***		
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	0.000***	0.006***	0.000***	0.007***	0.000***	0.000***
ความเร็ว * ความสูง						
ความเร็ว * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	0.080*			0.004***	0.088*	0.064*
ความสูง * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	0.000***	0.085*				
ความเร็ว * ความสูง * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง						

*** $p < 0.01$., ** $p < 0.05$., * $p < 0.10$,

DD คือ ระยะการตรวจพบ (Detection Distance, m), LD คือ ระยะการมองเห็น (Legibility Distance, m)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.1 สรุปปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะการตรวจพบและมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน

(ข) รถจักรยานยนต์

ปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทดสอบ	รถจักรยานยนต์					
	ป้ายทางแยกรูปตัวที		ป้ายหยุด		ป้ายจำกัดความเร็ว	
	DD	LD	DD	LD	DD	LD
ความเร็ว				0.038**		0.000***
ความสูง	0.001***	0.000***			0.07***	
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	0.035**	0.003***	0.000***	0.000***	0.000***	0.000***
ความเร็ว * ความสูง						
ความเร็ว * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง				0.027**		
ความสูง * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง		0.013**				
ความเร็ว * ความสูง * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง						

*** p < 0.01., ** p < 0.05., * p < 0.10 ,

DD คือ ระยะการตรวจพบ (Detection Distance, m), LD คือ ระยะการมองเห็น (Legibility Distance, m)

(ค) ภาพรวมปัจจัยทดสอบรถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์

ปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทดสอบ	รถยนต์ส่วนบุคคล						รถจักรยานยนต์					
	ป้ายทางแยกรูปตัวที		ป้ายหยุด		ป้ายจำกัดความเร็ว		ป้ายทางแยกรูปตัวที		ป้ายหยุด		ป้ายจำกัดความเร็ว	
	DD	LD	DD	LD	DD	LD	DD	LD	DD	LD	DD	LD
ความเร็ว												X***
ความสูง	X*		X**	X***			X***				X***	
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	X***	X***	X***	X***	X***	X***		X***	X***	X***	X***	X***
ความเร็ว * ความสูง												
ความเร็ว * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	X*			X***	X*	X*						
ความสูง * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	X***	X*										
ความเร็ว * ความสูง * ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง												

X คือ ปัจจัยที่มีนัยสำคัญ *** p < 0.01., ** p < 0.05., * p < 0.10 ,

DD คือ ระยะการตรวจพบ (Detection Distance, m), LD คือ ระยะการมองเห็น (Legibility Distance, m)

6.1.2. อายุผู้ขับขี่

ในการทดลองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนผู้วิจัยได้พิจารณากลุ่มอายุของผู้เข้าร่วมโดยพบว่าค่าเฉลี่ยของระยะการมองเห็นป้ายจราจรของกลุ่มอายุผู้ขับขี่สูงกว่า 50 ปี มีค่าน้อยกว่ากลุ่มอายุ 30-50 ปี และกลุ่มอายุต่ำกว่า 30 ปี อยู่ร้อยละ 8 และ 32 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้สูงอายุมีความสามารถในการมองเห็นระหว่างการขับขี่รวมทั้งเวลาการตัดสินใจต่อป้ายจราจรที่ต่ำ และการออกแบบป้ายจราจรจะต้องพิจารณาผู้ขับขี่ทุกกลุ่มอายุ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาระยะการตรวจพบป้ายจราจรพบว่ากลุ่มอายุผู้ขับขี่ 30-50 ปี มีค่ามากกว่ากลุ่มอายุต่ำกว่า 30 ปี และสูงกว่า 50 ปี อยู่ร้อยละ 4 และ 8 ตามลำดับ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าผู้ขับขี่ช่วงกลางคนค่อนข้างมีประสบการณ์การขับขี่อีกทั้งสายตาและการตัดสินใจยังมิได้ด้อยกว่ากลุ่มวัยรุ่นมากนักจึงเป็นผลให้ระยะการตรวจพบสูงกว่าในทั้งสองกลุ่มอายุ

6.1.3 ประเภทยานพาหนะ

ในการศึกษาการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนโดยการทดสอบประเภทยานพาหนะทั้ง 2 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์ พบว่ารถยนต์ส่วนบุคคลให้ค่าระยะการมองเห็นป้ายจราจรมากกว่ารถจักรยานยนต์ถึงร้อยละ 23 ในส่วนของระยะการตรวจพบรถยนต์ส่วนบุคคลให้ค่าระยะการตรวจพบป้ายจราจรมากกว่ารถจักรยานยนต์ร้อยละ 8 ในการออกแบบติดตั้งป้ายจราจรจากมาตรฐานต่างประเทศ อาทิ ประเทศสหรัฐอเมริกา (MUTCD, 2009) และออสเตเลีย (Australian Standards, 2003) มิได้คำนึงถึงรถจักรยานยนต์ ดังนั้นในประเทศไทยจึงควรมีการคำนึงถึงประเด็นดังกล่าวในการออกแบบและเพิ่มระยะการมองเห็นป้ายจราจรต่อผู้ขับขี่กลุ่มนี้

6.1.4 ป้ายจราจร

ป้ายจราจรที่ใช้ในระบบทางแยกในปัจจุบันของกรมทางหลวงชนบทโดยเฉพาะทางสามแยกจะประกอบด้วยชุดป้ายเตือนทางแยกรูปตัวที และป้ายหยุด (กรมทางหลวงชนบท, 2009) จากการศึกษาพบว่าป้ายหยุดให้ค่าระยะการมองเห็นที่สูงกว่าป้ายทางแยกรูปตัวทีถึงร้อยละ 13 ซึ่งเหมาะสมเนื่องจากป้ายหยุดให้ระยะที่มากกว่าเพราะป้ายมีขนาด 75x75 เซนติเมตร รวมทั้งใช้แผ่นป้ายสะท้อนแสงประเภทที่ 9 ไดมอนเกรดซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่สูงมาก แต่อย่างไรก็ตามยังมีความแตกต่างไม่มากนักระหว่างระยะการมองเห็นของทั้งสองป้ายซึ่งอาจเป็นเพราะผลของข้อความสัญลักษณ์บนป้ายทั้งสองป้ายที่แตกต่างกัน โดยป้ายทางแยกรูปตัวทีเป็นข้อความ

สัญลักษณ์ (Bold Symbol) ที่หนาทำให้ผู้ขับขี่มองเห็นได้ที่ระยะไกลมากกว่าถึงแม้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจะต่ำกว่ามากเมื่อเทียบข้อความอักษรบนป้ายหยุดที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงกว่ามาก ในส่วนป้ายจำกัดความเร็วพบว่ามีระยะการมองเห็นต่ำประมาณ 100 เมตร เนื่องจากผลของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ต่ำในการทดสอบโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 70 cd/lx/m^2 ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวงชนบทถึง 30 cd/lx/m^2 แต่ผลการทดสอบแสดงถึงระยะการมองเห็นที่สูง ในส่วนระยะการตรวจพบป้ายพบว่าป้ายหยุดให้ระยะที่สูงกว่าป้ายทางแยกรูปตัวที และป้ายจำกัดความเร็ว อยู่ร้อยละ 17 และ 2 ตามลำดับ

6.1.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงเป็นส่วนหนึ่งของป้ายจราจรที่ช่วยในการตอบสนองจากผู้ขับขี่ในเวลากลางคืน จากการศึกษาทดลองทางภาคสนามในแต่ละป้ายจราจรจะใช้ค่าต่ำ กลาง และสูง โดยที่ระดับกลางเป็นระดับเกณฑ์มาตรฐานการสะท้อนแสงของกรมทางหลวงชนบท ผลลัพธ์จากการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ระดับกลางให้ระยะการมองเห็นป้ายสูงกว่าระดับต่ำร้อยละ 43 และต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ระดับสูงอยู่ร้อยละ 15 ในด้านระยะการตรวจพบมีแนวโน้มลักษณะเช่นเดียวกัน กล่าวคือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ระดับกลางให้ระยะการมองเห็นป้ายสูงกว่าระดับต่ำร้อยละ 29 และต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ระดับสูงอยู่ร้อยละ 12 โดยแนวโน้มโดยรวมพบว่าเมื่อค่าการสะท้อนแสงสูงขึ้นระยะการมองเห็นจะสูงขึ้นตาม นอกจากนี้ยังพบว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่เป็นอย่างมากในทั้งสองประเภทยานพาหนะการบำรุงรักษาและปรับปรุงคุณภาพปัจจัยนี้ของป้ายจราจรจึงเป็นสิ่งสำคัญ

6.1.6 ระดับความสูง

เมื่อพิจารณาระดับความสูงในการติดตั้งป้ายจราจรจากการศึกษาพบว่าระดับความสูงส่งผลต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นของป้ายจราจรอย่างมีนัยสำคัญ โดยระยะการมองเห็นและระยะการตรวจพบป้ายมีแนวโน้มที่ระดับความสูงป้ายสูงขึ้นทำให้ระยะทั้งสองสูงขึ้นตามอาจเป็นผลเนื่องจากความสูงทำให้ผู้ขับขี่สังเกตและมองเห็นป้ายได้ไกลขึ้นนอกจากผลของการสะท้อนแสงของตัวป้ายจราจร แต่อย่างไรก็ตามที่ระดับความแตกต่างแต่ละระดับความสูงมีค่าไม่มาก นอกจโดยที่ระดับ 0 เมตร และ 1.5 เมตรผู้ขับขี่ยังสามารถมองเห็นป้ายที่ระยะมากกว่า 100 เมตรนั่นหมายถึงที่ระดับเกณฑ์การติดตั้งป้ายจราจร รวมทั้งการติดตั้งป้ายจราจรที่ระดับพื้นของป้ายงาน

ก่อสร้างทาง (Construction Work Zone) สามารถทำให้ผู้ขับขี่มองเห็นได้ในระยะทางไม่ต่ำกว่า 100 เมตรซึ่งถือว่าเป็นระยะที่สูง

6.1.7 ความเร็วขับขี่

จากผลการศึกษาบ่งชี้ว่าระดับความเร็วขับขี่ไม่ส่งผลต่อระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นของป้ายจราจรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้จากการพิจารณาผลโดยรวมที่ระดับความเร็วขับขี่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อระยะการมองเห็นและระยะการตรวจพบป้ายจราจรลดลง โดยพิจารณาความเร็วที่ระดับ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมงมีค่าระยะการมองเห็นสูงกว่าความเร็ว 40 และ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อยู่ร้อยละ 11 และ 22 ด้านระยะการตรวจพบความเร็วที่ระดับ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมงมีค่าระยะการตรวจพบสูงกว่าความเร็ว 40 และ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อยู่ร้อยละ 5 และ 7 การที่ความเร็วเพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้ค่าระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นลดลงเนื่องจากความเร็วที่เพิ่มส่งผลให้เวลาในการตอบสนองต่อป้ายจราจรเท่าเดิมแต่ระยะทางจะเข้าใกล้ป้ายเพิ่มขึ้นทำให้ระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นลดลงตามระดับความเร็วแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

6.2 ความเหมาะสมของเกณฑ์มาตรฐานการติดตั้งป้ายจราจร

จากการทดสอบป้ายจราจรอันประกอบด้วย ป้ายทางแยกรูปตัวที ป้ายหยุด ป้ายจำกัดความเร็ว เมื่อพิจารณาเกณฑ์มาตรฐานการติดตั้งป้ายจราจรของกรมทางหลวงชนบท ด้านการสะท้อนแสง และระดับความสูงติดตั้งป้ายจราจรต่อการมองเห็นในเวลากลางคืนของผู้ขับขี่รถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์ ดังตารางที่ 6.2 และ 6.3 สามารถสรุปได้ดังนี้

<u>ป้ายทางแยกรูปตัวที</u>

เมื่อพิจารณาระยะการมองเห็นของป้ายทางแยกรูปตัวที ซึ่งป้ายจราจรสะท้อนแสงประเภทที่ 1 พื้นสีเหลืองระดับเกณฑ์การสะท้อนแสง 50 $cd/lx/m^2$ ที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ 15 ติดตั้งป้ายที่ 0 เมตร และ 1.5 เมตร มีค่าเป็น 49 และ 81 เมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ความเร็วสำคัญ (Prevailing Speed) 60 และ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ป้ายที่ 0 เมตร มีเวลาการตัดสินใจมีค่าเป็น 2.94 และวินาที และ 2.2 วินาที ป้ายที่ 1.5 เมตรตามเกณฑ์มาตรฐานมีเวลาการตัดสินใจมีค่าเป็น 4.86 และ 3.64 วินาที ก่อนถึงป้าย ดังนั้นหากรวมระยะทางการติดตั้งป้ายทางแยกรูปตัวทีก่อนทางแยกย่อมมีเวลา

การติดสินใจที่เพียงพอนั่นคือมากกว่า 2.5 วินาทีที่ใช้ในการออกแบบระยะการติดตั้งป้ายจราจร รวมถึงการออกแบบทางเรขาคณิตของทางต่างๆ (AASHTO, 2008)

ตารางที่ 6.2 สถิติค่าระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงระดับกลาง และระดับความสูงป้ายจราจร 0 เมตร โดยรถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์

ป้ายจราจร	ป้ายทางแยกรูปตัวที		ป้ายหยุด		ป้ายจำกัดความเร็ว	
การติดตั้งป้าย	DM^{*50}	LM^{*50}	DM^{*14}	LM^{*14}	DM^{*70}	LM^{*70}
N	18	18	18	18	18	18
Mean	151.27	95.57	190.98	118.32	204.05	113.77
Median	152.64	96.59	196.92	112.25	203.67	121.83
Std. Deviation	38.98	37.75	57.42	52.35	35.12	37.43
Variance	1519.15	1425.22	3296.73	2740.50	1233.27	1400.91
10^{th} Percentiles	86	46	117	47	145	63
15^{th} Percentiles	109	49	123	60	167	76
20^{th} Percentiles	121	51	134	71	176	80
25^{th} Percentiles	127	53	142	74	183	80
50^{th} Percentiles	153	97	197	112	204	122
75^{th} Percentiles	178	126	237	158	235	136
80^{th} Percentiles	185	136	243	164	240	146
85^{th} Percentiles	191	146	259	192	246	164
90^{th} Percentiles	206	148	275	206	252	172

*D คือ ระยะการตรวจพบ (Detection Distance, m)

*L คือ ระยะการมองเห็น (Legibility Distance, m)

*M คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงระดับกลาง (Coefficient of Retroreflection Criteria level, $Cd/lx/m^2$)

ตัวเลขด้านบน คือ เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแต่ละประเภทป้ายจราจร และประเภทสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.3 สถิติค่าระยะการตรวจพบและระยะการมองเห็นที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงระดับกลาง และระดับความสูงป้ายจราจร 1.5 เมตร โดยรถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์

ป้ายจราจร	ป้ายทางแยกรูปตัวที		ป้ายหยุด		ป้ายจำกัดความเร็ว	
การติดตั้งป้าย	DM*50	LM*50	DM*14	LM*14	DM*70	LM*70
N	18	18	18	18	18	18
Mean	203.64	133.30	173.93	98.81	243.21	123.76
Median	212.71	133.83	177.00	89.95	227.73	118.00
Std. Deviation	49.40	45.87	45.86	41.34	63.02	37.25
Variance	2440.52	2104.13	2102.76	1709.26	3971.98	1387.91
10^{th} Percentiles	107	77	91	24	177	83
15^{th} Percentiles	115	81	120	66	193	87
20^{th} Percentiles	171	82	135	75	207	88
25^{th} Percentiles	187	89	139	75	213	93
50^{th} Percentiles	213	134	177	90	228	118
75^{th} Percentiles	236	159	207	132	265	149
80^{th} Percentiles	246	172	216	135	281	157
85^{th} Percentiles	250	182	234	139	325	175
90^{th} Percentiles	256	197	236	166	353	180

*D คือ ระยะการตรวจพบ (Detection Distance, m)

*L คือ ระยะการมองเห็น (Legibility Distance, m)

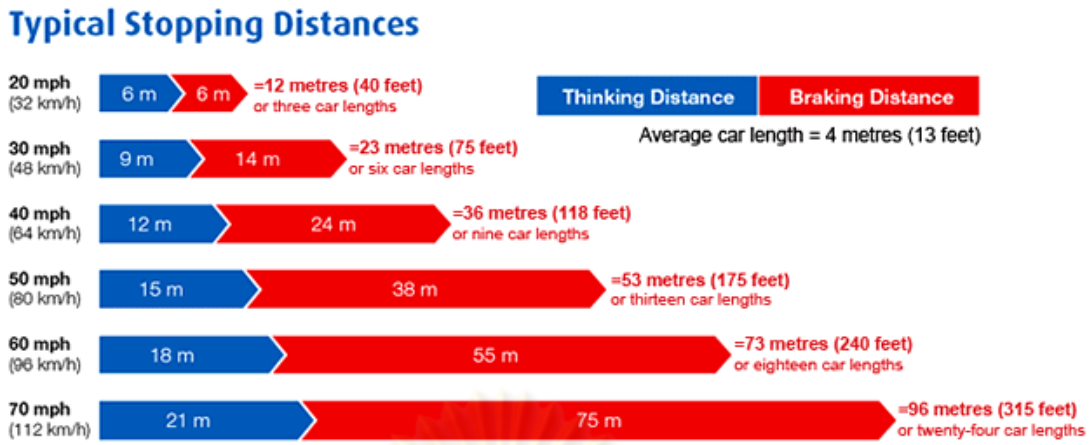
*M คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงระดับกลาง (Coefficient of Retroreflection Criteria level, cd/lx/m^2)

ตัวเลขด้านบน คือ เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแต่ละประเภทป้ายจราจร และประเภทสี

<u>ป้ายหยุด</u>

ระยะการมองเห็นของป้ายหยุด ซึ่งเป็นป้ายจราจรสะท้อนแสงประเภทที่ 9 พื้นสีแดงระดับเกณฑ์การสะท้อนแสง 14 cd/lx/m^2 ที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ 15 ติดตั้งป้ายที่ 0 เมตร และ 1.5 เมตร มีค่าเป็น 60 และ 66 เมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ความเร็วสำคัญ (Prevailing Speed) 60 และ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ต้องใช้ระยะทางในการหยุดรถไม่ต่ำกว่า 53 เมตร ดังรูปที่ 6.1 แสดงถึงระยะการคิดและระยะหยุดรถที่ความเร็วต่างๆ ซึ่งป้ายหยุดที่ระดับการสะท้อนแสงขั้นต่ำตามเกณฑ์และระดับความสูงทั้งสองมีความเพียงพอต่อการหยุดของรถเพราะให้ระยะการมองเห็นที่สูงกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

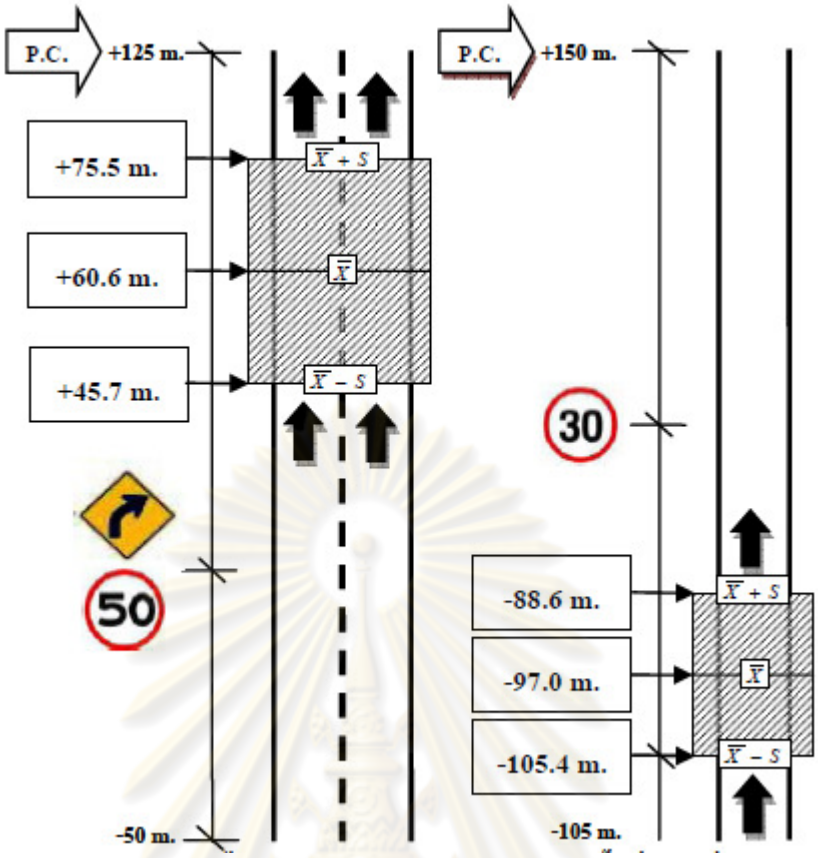


รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระยะทางหยุดรถอย่างปลอดภัย

(ศูนย์วิจัยอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย, 2551)

ป้ายจำกัดความเร็ว

ระยะการมองเห็นของป้ายจำกัดความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ป้ายจราจรสะท้อนแสงประเภทที่ 1 พื้นสีขาวระดับเกณฑ์การสะท้อนแสง 70 cd/lx/m^2 ที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ 15 ติดตั้งป้ายที่ระดับความสูง 0 เมตร และ 1.5 เมตร มีค่าเป็น 76 และ 83 เมตร ตามลำดับ กรณีทางโค้งราบทุกประเภท มาตรฐานกรมทางหลวงกำหนดให้ติดตั้งป้ายเตือนทางโค้งก่อนจุดเริ่มต้นทางโค้งเป็นระยะไม่น้อยกว่า 200 เมตร และไม่เกิน 250 เมตร ขณะที่ MUTCD กำหนดให้ติดตั้งป้ายเตือนทางโค้งก่อนจุดเริ่มต้นทางโค้งไม่มีการกำหนดระยะติดตั้งต่ำสุดตามสภาพเงื่อนไขของทางโค้งราบโดยพิจารณาที่ความเร็วสำคัญเท่ากับ 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความเร็วปลอดภัยเท่ากับ 30-40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (MUTCD, 2003) แต่จากการศึกษาของ ธวัชชัย แสงรัตน์ (2551) ในส่วนของการทดลองปรับเปลี่ยนรูปแบบการติดตั้งป้ายจำกัดความเร็วกำหนดให้ติดตั้งป้ายเตือนทางโค้งก่อนจุดเริ่มต้นทางโค้ง 150 เมตร จึงทำให้ผู้ขับขี่ลดความเร็วและเข้าโค้งอย่างปลอดภัยดังรูปที่ 6.2 จะเห็นว่าโค้งรัศมีแคบป้ายจำกัดความเร็วจะเห็นว่าโค้งรัศมีแคบป้ายจำกัดความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีระยะการชะลอลดความเร็วที่ระยะ 88.6-105.4 เมตร จากป้าย ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบระยะการมองเห็นป้ายในเวลากลางคืนที่ระดับความสูง 0 เมตร และ 1.5 เมตร มีค่าต่ำกว่าช่วงระยะในการชะลอความเร็ว ดังนั้นจึงควรเผื่อระยะการติดตั้งป้ายให้มากกว่า 150 เมตร ก่อนจุดเริ่มต้นทางโค้งจึงช่วยให้ผู้ขับขี่สามารถเข้าโค้งได้อย่างปลอดภัยทั้งเวลากลางวันและกลางคืน



รูปที่ 6.2 ระยะลดความเร็วก่อนเข้าโค้งของผู้ขับขี่ (ธวัชชัย แสงรัตน์, 2551)

จากการศึกษางานวิจัยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรและการพิจารณาเกณฑ์ความเหมาะสมของป้ายจราจรด้านระดับความสูงและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงดังสรุปและข้อสเนอแนะในตารางที่ 6.4 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการมองเห็นป้ายจราจรและระยะทางการรับรู้และตัดสินใจ รวมทั้งระยะทางการหยุดรถอย่างปลอดภัยทั้งรถยนต์ส่วนบุคคลและรถจักรยานยนต์ ดังนั้นการเพิ่มระยะทางดังกล่าวเพื่อความปลอดภัยในการขับขี่อาจทำได้โดย การบำรุงรักษาป้ายจราจรให้มีค่าการสะท้อนแสงไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดหรือเปลี่ยนประเภทป้ายจราจรให้มีค่าการสะท้อนแสงที่สูงขึ้น หรืออาจทำการปรับระยะการติดตั้งป้ายจราจรจากจุดเตือนหรือจุดอันตรายให้สูงขึ้นโดยเฉพาะป้ายหยุดและป้ายจำกัดความเร็วในชุดของการติดตั้งป้ายบนทางแยกของสายทาง

ตารางที่ 6.4 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะจากงานวิจัยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน

ป้ายจราจร	ขนาด ($ซม^2$)	ประเภทป้ายจราจร	เกณฑ์มาตรฐาน		ปัจจัยที่ส่งผลกระทบ $^{***}p < 0.01$. $^{**}p < 0.05$. $^{*}p < 0.10$	ระยะการมองเห็น (เมตร) (MUTCD)	ระยะการมองเห็น (เมตร) (งานวิจัย)	เกณฑ์พิจารณา	ระยะการติดตั้งป้ายจราจร		ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย
			ความสูง (เมตร)	ค่าการสะท้อนแสง ($Cd/lx/m^2$)					DRR (เมตร)	MUTCD (เมตร)	
	60x60	Engineering grade (Type I)	1.50	เหลือง ≥ 50	Factors: PC (DD, LD), MC (DD, LD); Speed; Height: X*, X***; R_A: X***, X***, X***	199	70-92	PRT ≥ 2.5 วินาที (AASHTO, 2008)	200 จากแยก	180 จากแยก	ป้ายทางแยกมีเวลาการรับรู้และตัดสินใจที่เพียงพอต่อการขับขี่ในเวลากลางคืนที่ระดับเกณฑ์ ควรตรวจประเมินค่าการสะท้อน แสงอย่างสม่ำเสมอ
	75x75	Engineering grade (Type I)	1.50	แดง ≥14 ขาว ≥ 70	Factors: PC (DD, LD), MC (DD, LD); Speed; Height: X**, X***; R_A: X***, X***, X***, X***	120	55-77	≥ 78 เมตร (SSD,V=60 km/hr)	<10 จากแยก	<10 จากแยก	ป้ายหยุดที่ระดับเกณฑ์มีระยะทางการหยุดรถไม่เพียงพอ การเพิ่มค่าการสะท้อนแสงหรือระยะติดตั้งป้ายให้สูงขึ้นจะช่วยให้ผู้ขับขี่เห็นป้ายระยะไกลขึ้น
	Ø 60	Engineering grade (Type I)	1.50	ขาว ≥ 70	Factors: PC (DD, LD), MC (DD, LD); Speed; Height: X*, X***; R_A: X***, X***, X***, X***	121	76-98	≥ 88-105 เมตร (ธวัชชัย, 2551)	130-200 จาก P.C.	ไม่ระบุกำหนด	ที่ระดับเกณฑ์ป้ายให้ระยะการมองเห็นในการลดความเร็วเข้าโค้งไม่เพียงพอจึงควรเพิ่มค่าการสะท้อนแสงโดยป้ายปรีซึมหรือเพิ่มระยะติดตั้งป้ายจากจุด P.C. มากกว่า 150 เมตร

6. 3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

จากผลการศึกษานี้เป็นการริเริ่มเพื่อตรวจสอบสมมติฐานมาตรฐานการติดตั้งป้ายจราจรในปัจจุบันบนพื้นฐานของเกณฑ์มาตรฐานของต่างประเทศ ผลการศึกษาทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรและระยะทางการตอบสนองต่อป้ายจราจรของผู้ขับขี่ในเวลากลางคืนรวมถึงความเหมาะสมของเกณฑ์มาตรฐานการติดตั้งป้ายจราจร จากวิธีการและแนวคิดดังกล่าว สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต ดังนี้

- ลักษณะทางกายภาพของถนน งานวิจัยต่อไปอาจศึกษาลักษณะการติดตั้งป้ายจราจรของถนนที่มีหลายช่องจราจร ลักษณะทางเรขาคณิตของถนนต่างๆ เช่น ทางโค้งลักษณะต่างๆ ถนนในเมือง และถนนนอกเมือง เป็นต้น

- ประเภทของยานพาหนะ ควรทดสอบหาระยะการมองเห็นป้ายจราจรของผู้ขับขี่จากยานพาหนะประเภทต่างๆเพิ่มเติม อาทิ รถบรรทุก รถตู้โดยสาร รถปิคอัพ เพื่อศึกษาถึงผลความแตกต่างของระยะการมองเห็นป้ายเวลากลางคืน

- นำวิธีการศึกษาแนวทางการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการศึกษาป้ายจราจรประเภทอื่นๆ เช่น ป้ายเตือนประเภทอื่นๆ หรือป้ายแนะนำทาง หรือป้ายที่ไม่เคยมีการนำมาใช้ในประเทศไทยมาก่อน เป็นต้น

- ควรทำแบบสอบถามผู้ขับขี่ในการทดลองรูปแบบการติดตั้งป้ายและความพึงพอใจต่ออุปกรณ์บนสายทางเพื่อความปลอดภัยในเวลากลางคืนที่จำแนกประเภทถนนและความถี่ในการใช้ถนนแต่ละบุคคลเพื่อเป็นการสนับสนุนผลการวิเคราะห์ปัจจัยและความพึงพอใจของป้ายจราจรบนสายทาง

- ศึกษาถึงผลการเสื่อมสภาพของระดับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรแต่ละสีและประเภทป้าย รวมทั้งผลของสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ภาคต่างๆ พื้นที่ เป็นต้น เนื่องจากการสะท้อนแสงมีผลต่อการขับขี่ยานพาหนะในเวลากลางคืนมากที่สุดเมื่อทราบความสัมพันธ์จึงสามารถกำหนดรอบการตรวจสอบดูแลและปรับเปลี่ยนป้ายใหม่เข้าแทนที่ป้ายเก่าได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในด้านข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ผลลัพธ์จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการสะท้อนแสงของป้ายจราจรเป็นส่วนสำคัญในการทำให้ผู้ขับขี่มองเห็นและรับรู้ข้อความบนป้ายจราจรเวลากลางคืน ดังนั้นการดูแลเรื่องประสิทธิภาพการสะท้อนแสงของป้ายจราจรจึงมีความสำคัญ การจัดรอบการตรวจสอบป้ายจราจรในด้านความสมบูรณ์และการสะท้อนแสงของป้าย นอกจากนี้ควรมีการกำหนดอายุของป้ายที่จำเป็นต้องเปลี่ยนป้ายใหม่เข้าทดแทนจากการที่ป้ายมองไม่เห็นทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน นอกจากนี้จากการทดสอบเกณฑ์การติดตั้งป้ายจราจรด้านความสูงและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรพบว่าเกณฑ์ที่กรมทางหลวงชนบทใช้กับป้ายทางแยกรูปตัวที ป้ายหยุด และป้ายจำกัดความเร็ว มีความเหมาะสมและมีระยะดำเนินการขับขี่ที่ปลอดภัยในเวลากลางคืนแต่อาจปรับเพิ่มระยะการติดตั้งป้ายให้มีระยะห่างจากจุดเตือนหรือจุดอันตรายมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

คมนาคม, กระทรวง. กรมทางหลวงชนบท. คู่มือและมาตรฐานความปลอดภัยในการจัดการจราจรบนทางหลวงชนบท. 2551.

คมนาคม, กระทรวง. สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.). คู่มือมาตรฐานป้ายจราจร, 2547.

ธวัชชัย แสงรัตน์. การออกแบบป้ายเพื่อลดความเร็วจราจรก่อนถึงทางโค้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์. มหาวิทยาลัย, 2545.

ศูนย์วิจัยอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย. การใช้ความเร็วในการขับขี่อย่างปลอดภัย.[ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: http://www.tarc.ait.ac.th/th/speed2.php.[2553, ธันวาคม 8]

ภาษาอังกฤษ

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). National Transportation Product Evaluation Program, Sign Sheeting Materials. Submittal Year 2002. SSM number 0910, North Carolina and Arizona DOT, 2008.

American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Signs Using a Portable Retroreflectometer at a 0.2 Degree Observation Angle. ASTM E1709 – 09, West Conshohocken, PA, 2008.

Australian Road Assessment Program (AusRAP). How Safe Are Our Roads Rating Australia's National Network for Risk. Australian Transportation Safety Bureau, 2005.

Awadallah, F.I. Prediction of the Service Life of Warning Signs. Public Roads Vol. 51 Issue 4, Publisher, 1988, pp. 116-122.

Black, K.L., Hussain, S.F., and Paniati, J.F., Deterioration of Retroreflective Traffic Signs. ITE Journal Vol. 62 Issue 7, 1992, pp.16-22.

Bullock, D., and Bischoff, A. Sign Retroreectivity Study. Joint Transportation Research Program, Federal Highway Administration/IN/JTRP-2002/22, 2002.

Carlson, P.J., and Hawkins, H.G., Minimum Retroreflectivity Levels for Overhead Guide Signs and Street-Name Sign. Report No.FHWA-RD-03-082, 2003b.

Carlson, P.J. and H.G. Hawkins. Updated Minimum Retroreflectivity Levels for Traffic Signs. FHWA-RD-03-81. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Washington D.C., 2003a.

Department of Highways (DOH). The Study of Traffic Accident Cost in Thailand, 2007.

Federal Highway Administration (FHWA), Traffic Sign Retroreflectivity: Basics of Sign Retroreflectivity and New Sign Maintenance Requirements. 2008.

Finley, M.D., Carlson, P.J., Trout, N.D., and Jasek, D.L. Sign and Pavement Marking Visibility from The Perspective of Commercial Vehicle Drivers. FHWA/TX-03/4269-1, 2002.

Holick, A.J. and Carlson, P.J. A Model of Overhead Sign Luminance Need for Legibility. Transportation Research Board (TRB) 81st Annual Meeting, National Research Council (NRC), Washington, D.C., 2002.

Kirk, A.R., Hunt, E.A., Brooks, E.W., Factors effecting sign retroreflectivity, Research Project OR-RD-01-09. Oregon Department of Transportation, 2001.

Lagergren, E.A. Traffic Sign Retroreflecttivity Measurements Using Human Observers, Report WA-RD 140.1, Washington State Transportation Center (TRAC), 1987.

Malasheskie, G.J., and O'Block, F.W., Field Evaluation of the Gamma Scientific Model 910B Retroreflectometer, Transportation Research Record 713, 1979.

Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD). U.S. Department of Transportation, Washington D.C., 2003.

Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD). U.S. Department of Transportation, Washington D.C., 2009.

Mccoemack, E. Measuring Traffic Sign Retroreflectivity: A Literature Survey. Washington State Transportaation Commission. Department of Transportation, 1986.

McGee, H.W., and Paniati, J.A. An Implementation Guide for Minimum Retroreflectivity Requirements for Traffic Signs. Office of Safety and Traffic Operations R&D. Federal Highway Administration, McLean, VA. Report No. FHWA-RD-97-052., 1998.

Montgomery, D. C., Design and Analysis of Experiments. 6th edition. Wiley New York, 2005.

National Safety Council (NSC). Distractions a factor in nighttime teen driver crashes: report. United States of America, 2007.

Paniati, J.F., and Mace, D.J. Minimum Retroreflectivity Requirements for Traffic Signs, Report No. FHWA-RD-93-077, FHWA, Washington D.C., 1993.

Rector, H. C. and Youngblood, W. P. Photometer for Measurement of Retro-Reflective Sign Material, Highway Research Record 242, 1968.

Thailand Accident Research Center (TARC). Final Report: Collaboration with Accident Research Program at AIT on Partnership Basis to Establish TARC, 2007.

Thailand Accident Research Center (TARC). Final Report: Roadside Hazards, 2009.

Teeravarunyou, S. and Laosirihongthong, T. Dynamic Legibility of Standard Thai Fonts on Traffic Highway Sign. The 6th Asian Design International Conference. October 14-17. Tsukuba, Japan, 2003.

Texas Transportation Institute (TTI), Texas Transportation Researcher, Seeing the Road Safety and Efficiently, Volume 40, Number 1, 2004.

Transport Research Board (TRB). Human Factors Guidelines for Road Systems, NCHRP Report 600C. TRB, National Research Council, Washington D.C., 2010.

United Nations (UN). World population prospects: the 2002 revision Volume 1: Comprehensive tables, New York, United Nations, 2003.

Webb, W.E., and Dugen, J.E. A Reflective Measuring System for Field Use. State of Alabama Highway Department, 1977.

Williams, T. Reflective Instrument Design. Lousiana Department of Highways, 1974.

Wogalter, M.S., and Dewar, R.E. Handbook of Warnings. Lawrence Erlbaum Assoc. Inc., 2006.

Wolshon, B., Degeyter, R., and Swargam, J. Performance of Traffic Sign Retroreflectivity. IMSA (International Municipal Signal Association) Journal Vol. 38 Issue 4, 2000.

Youngblood, W. P., and Woltman, H. L. A Brightness Inventory of Contemporary Signing Materials for Guide Sign. Highway Research Record 377, 1971.

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

แบบสอบถามที่ใช้ในการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสอบถามด้านคุณลักษณะทางเศรษฐสังคม การเดินทาง และความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมทดสอบ

โครงการศึกษาการวิเคราะห์การทดลองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน
หน่วยปฏิบัติการวิจัยการขนส่งและจราจร คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสำรวจข้อมูล:การวิเคราะห์การทดลองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน
An Experimental Analysis of Factors Affecting Nighttime Visibility of Traffic Signs
Faculty of Engineering Chulalongkorn University

1

ข้อมูลเศรษฐสังคม/การขับขี่

ครั้งที่ทดสอบ.....	สายทาง.....	วันที่.....	เวลา.....
ชื่อผู้ทดสอบ.....		อายุ.....ปี เพศ.....	ความสูง.....cm

ระดับการศึกษา 1) ต่ำกว่ามัธยมศึกษา 2) มัธยมศึกษา 3) อนุปริญญา 4)ปริญญาตรี 5)สูงกว่าปริญญาตรี
อาชีพ..... พื้นที่อาศัย 1) พื้นที่เมือง (City area) 2) นอกเมือง (Rural area)
ประสบการณ์การขับขี่.....ปี ความถี่การขับขี่กลางคืน.....ครั้ง/สัปดาห์ Visual Acuity.....
ความถี่การขับขี่ รถยนต์.....ครั้ง/สัปดาห์ รถปิคอัพ.....ครั้ง/สัปดาห์ รถจักรยานยนต์.....ครั้ง/สัปดาห์
สภาพถนนที่ท่านขับขี่เป็นประจำ □ ทางตรง,ราบ □ทางตรง,สูงชัน □ทางคดเคี้ยว,ราบ □ทางคดเคี้ยว,สูงชัน
ประเภทถนนที่ท่านขับขี่เป็นประจำ □ถนนในเมือง □ถนนนอกเมือง □ถนนในซอย/หมู่บ้าน
ส่วนใหญ่ท่านขับขี่ในเวลาใด □กลางวัน □กลางคืน □โพล้เพล้/รุ่งสาง
ปกติท่านขับขี่ด้วยความเร็วเฉลี่ยเท่าใด □30 □40 □50 □60 □70 □80 □90 □100 □110 □120 □130 □140

ข้อมูลด้านทัศนคติ

ประเด็นจากการใช้บริการถนนทั่วไป	ความสำคัญ น้อยสุด ⟷ มากสุด					ความพึงพอใจ น้อยสุด ⟷ มากสุด				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ไฟฟ้าส่องสว่างข้างทาง										
สัญญาณไฟจราจรบนถนน										
สภาพป้ายจราจรชำรุด										
ตำแหน่งการติดตั้งป้ายจราจร										
การสะท้อนแสงของป้ายจราจร										
การบดบังป้ายจราจรจากสิ่งกีดขวาง										
ขนาดของป้ายจราจร										
ความเหมาะสมป้ายจราจรกับพื้นที่										
ความสูงของป้ายจราจร										
การดึงดูดความสนใจของป้ายจราจร										
ระยะตรวจพบป้ายจราจร										
ระยะการมองเห็นป้ายจราจร										

PASSENGER CAR

ค่าสำคัญในการคำนวณค่ามุมสังเกต(Observation angle) และมุมตกกระทบ(Entrance angle)	สัญลักษณ์	ค่า
ระยะห่างแนวราบระหว่างไฟหน้าและสายตาผู้ขับขี่	e	
ระดับความสูงสายตาผู้ขับขี่จากระดับพื้น	h+Δh	

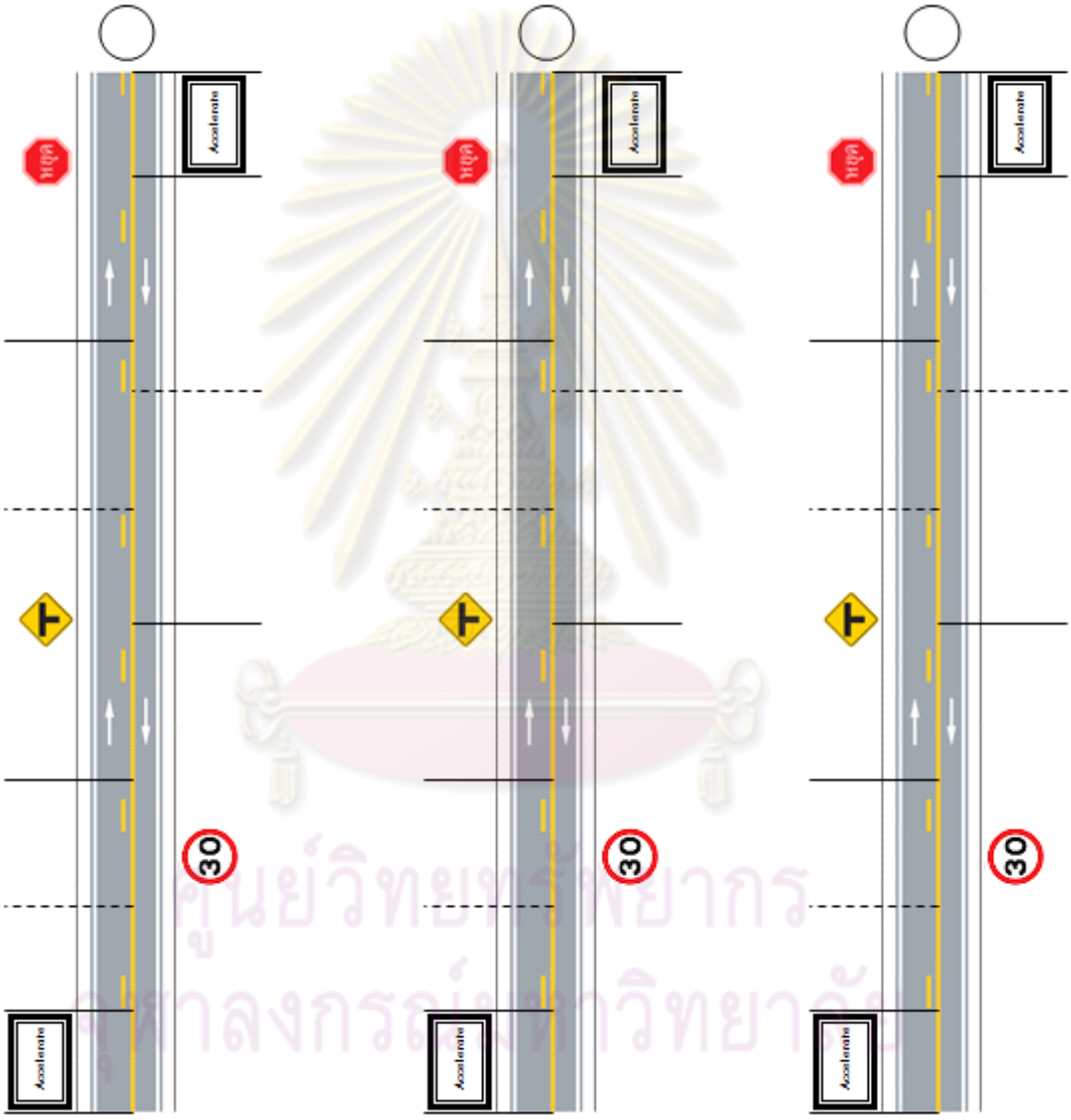
MOTORCYCLE

ค่าสำคัญในการคำนวณค่ามุมสังเกต(Observation angle) และมุมตกกระทบ(Entrance angle)	สัญลักษณ์	ค่า
ระยะห่างแนวราบระหว่างไฟหน้าและสายตาผู้ขับขี่	e	
ระดับความสูงสายตาผู้ขับขี่จากระดับพื้น	h+Δh	

โครงการศึกษาการวิเคราะห์การทดลองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน
หน่วยปฏิบัติการวิจัยการขนส่งและจราจร คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลตำแหน่งเวลาการตรวจพบ และการมองเห็นป้ายจราจรในภาคสนาม

ประเภทยานพาหนะ ☐ รถยนต์ส่วนบุคคล ☐ รถจักรยานยนต์



———— คือ เวลา ณ ตำแหน่งมองเห็นและอ่านข้อความหรือสัญลักษณ์บนป้ายจราจรได้

- - - - - - - - - - คือ เวลา ณ ตำแหน่งตรวจพบข้อความหรือสัญลักษณ์บนป้ายจราจรได้

◯ คือ เลขรหัสประจำตัวผู้เข้าร่วมทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลการทดสอบปัจจัยศึกษาต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นป้ายจราจรในช่วงเวลากลางคืน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข1 ข้อมูลการทดสอบปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ระดับความสูง และระดับความเร็วขับขี่ ต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร ของรถยนต์ส่วนบุคคล จำแนกตามประเภทป้ายจราจร กรณีศึกษากลุ่มตัวอย่างอายุต่ำกว่า 30 ปี

PASSENGER CAR, T-JUNCTION SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	138.89	118.334	150.56	231.11	276.11	197.22	211.67	207.44	275.89
40	113.33	173.33	146.67	171.34	226.78	182.31	173.3	155.56	240.67
60	166.67	121.67	241.67	150	185	181.67	161.33	101.67	253
PASSENGER CAR, STOP SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	190.56	91.67	213.33	277.22	241.11	230	295.78	301.5	303.17
40	205.56	211.11	225.56	253.55	230.43	221.6	246.33	193.33	258.89
60	236.67	173.33	185	225	216.67	180	231	165	269
PASSENGER CAR, SPEED LIMIT SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	138.89	101.67	169.44	251.11	395	184.44	240.83	220.33	256.11
40	118.89	118.89	143.33	220.3	263.22	213.7	261.56	205.56	294
60	121.67	112.53	153.33	146.67	183.33	229.99	187	261.67	254.5

ตารางที่ ข2 ข้อมูลการทดสอบปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ระดับความสูง และระดับความเร็วขับขี่ ต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร ของรถยนต์ส่วนบุคคล จำแนกตามประเภทป้ายจราจร กรณีศึกษากลุ่มตัวอย่างอายุต่ำกว่า 30 ปี

PASSENGER CAR, T-JUNCTION SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	91.67	88.89	140.56	150	238.89	174.44	150.17	190.89	215.89
40	80	137.78	112.22	145.3	170.28	156.52	128.67	140	206.11
60	130	98.33	216.67	148.33	151.67	143.33	102.5	58.33	173.83
PASSENGER CAR, STOP SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	157.78	75.003	177.22	183.89	211.11	197.22	200.44	275.33	228.06
40	127.78	134.44	127.78	181.54	190.67	169.35	177.56	156.67	174.89
60	190	135	150	175	168.33	133.33	169.67	63.33	178
PASSENGER CAR, SPEED LIMIT SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	79.44	55.56	57.22	162.22	210.56	154.44	164.61	179.67	215
40	74.44	61.11	21.11	130.46	176.7	112.58	161.78	135.56	181.89
60	71.67	51.38	63.33	100	120	106.67	123.84	140	134.5

ตารางที่ ข3 ข้อมูลการทดสอบปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ระดับความสูง และระดับความเร็วขับขี่ ต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร ของรถจักรยานยนต์ จำแนกตามประเภทป้ายจราจร กรณีศึกษากลุ่มตัวอย่างอายุต่ำกว่า 30 ปี

MOTORCYCLE, T-JUNCTION SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	86.06	114.67	185.83	12828	244.67	165.33	198.33	132.22	230.56
40	160.67	162.33	148.56	130.45	210.3	178.3	162.22	128.89	242.22
60	126.83	167.17	269.45	129.8	194.94	273.17	125	138	230
MOTORCYCLE, STOP SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	122.94	183.5	194.17	218.78	176.83	230	290	239.44	298.33
40	212.22	180.67	140.11	204.3	223.7	210.53	233.33	207.78	288.89
60	193	194.33	156.5	182	343.22	209.17	221	187	191.67
MOTORCYCLE, SPEED LIMIT SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	112.72	107.28	150.17	239.44	246.5	258.83	238.89	293.33	235.56
40	156.56	123	148.11	190.54	210.25	230.13	212.22	236.67	284.44
60	134.33	136.17	177.17	131.67	258.67	330.5	183.33	232.5	256.67

ตารางที่ ข4 ข้อมูลการทดสอบปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ระดับความสูง และระดับความเร็วขับขี่ ต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร ของรถจักรยานยนต์ จำแนกตามประเภทป้ายจราจร กรณีศึกษากลุ่มตัวอย่างอายุต่ำกว่า 30 ปี

MOTORCYCLE, T-JUNCTION SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	69.94	99.72	137.56	102.17	192.89	142.56	148.33	105	187.78
40	89.44	77	69.3	83.8	152.33	135.7	135.56	97.78	221.11
60	92.17	134	78.67	49.5	179.56	165.17	75	72.33	126.67
MOTORCYCLE, STOP SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	100.17	164.67	128.72	166.67	112.11	195.56	231.67	214.44	211.11
40	98.44	92.33	86.56	148.72	121.3	163.12	188.89	146.67	228.89
60	122.17	131.17	91.33	87.33	311.44	151.5	95	98.17	90
MOTORCYCLE, SPEED LIMIT SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	45.5	72.44	60.72	172.44	152.83	191.17	171.67	247.78	104.44
40	48.22	23.33	81.44	130.42	147.3	127.84	130	166.67	194.44
60	61.17	49.5	23.17	80.33	94.5	109.5	100	123.83	118.33

ตารางที่ ข5 ข้อมูลการทดสอบปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ระดับความสูง และระดับความเร็วขับขี่ ต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร ของรถยนต์ส่วนบุคคล จำแนกตามประเภทป้ายจราจร กรณีศึกษากลุ่มตัวอย่างอายุช่วง 30 ถึง 50 ปี

PASSENGER CAR, T-JUNCTION SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	162.06	218.39	197.06	161.67	231.5	142.67	286.56	258.44	290.72
40	165.56	178.33	182.33	203.44	224.22	161.33	193.78	180.44	261.33
60	179.5	185	129.33	161.67	232.5	142.67	171.67	171.17	208.67
PASSENGER CAR, STOP SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	215.28	233.89	239.83	221	237	217.83	253.44	179.06	254.33
40	182.89	205.56	204.44	286	281.44	236.11	235	256.89	333.22
60	239.17	163.5	201.33	221	235.67	217.83	198.17	173.17	195.33
PASSENGER CAR, SPEED LIMIT SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	149.5	213.11	153.06	203.67	215.33	222.33	277.78	285.06	291.17
40	84.33	85.11	72.89	259.56	251.44	380.33	303.11	272.44	396.67
60	133.5	103.5	119.33	203.67	215.33	222.33	229.83	225.17	250.67

ตารางที่ ข6 ข้อมูลการทดสอบปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ระดับความสูง และระดับความเร็วขับขี่ ต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร ของรถยนต์ส่วนบุคคล จำแนกตามประเภทป้ายจราจร กรณีศึกษากลุ่มตัวอย่างอายุช่วง 30 ถึง 50 ปี

PASSENGER CAR, T-JUNCTION SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	95.44	164.56	142.56	118.33	104.5	113.83	153.61	141	200.61
40	73.33	85.33	103.67	113.44	126.11	137.67	117.89	136	205.44
60	117.67	84.5	92.67	118.33	105.5	113.83	114.83	103.78	119.33
PASSENGER CAR, STOP SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	123.78	120.89	154.06	178.33	90.67	151.17	221.61	161.28	212.72
40	94.44	86	83.22	176.11	218.33	134.22	116.33	163.33	135.56
60	157.67	73.17	127.67	178.33	117.33	151.17	147.5	101.25	117.67
PASSENGER CAR, SPEED LIMIT SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	56.44	39.89	40.44	123.83	118	127.33	187.17	191.67	201.83
40	51.33	42.56	35.69	134.11	146.78	366.56	93	168.44	83.33
60	45	36.83	13.83	123.83	118	127.33	118.67	103.7	121

ตารางที่ ข7 ข้อมูลการทดสอบปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ระดับความสูง และระดับความเร็วขับขี่ ต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร ของรถจักรยานยนต์ จำแนกตามประเภทป้ายจราจร กรณีศึกษากลุ่มตัวอย่างอายุช่วง 30 ถึง 50 ปี

MOTORCYCLE, T-JUNCTION SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	196.22	232.28	228.83	152.28	254.11	119.22	270.56	247.22	248.89
40	114.56	139.22	221.44	153	187.44	252.11	182.2	161.1	264.44
60	74	189	246.17	86.33	107.33	194	158.33	155	185
MOTORCYCLE, STOP SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	200.83	244	219.33	233.28	257.06	246.5	215.56	221.11	236.11
40	62.11	139.33	187.56	207.44	225.78	341.11	236.67	227.78	212.22
60	136.33	165	179.5	149.5	160.83	184.17	198.33	210.45	193.37
MOTORCYCLE, SPEED LIMIT SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	141.44	139.11	222.33	204.33	215.78	290.17	259.44	286.67	271.11
40	155.11	108.78	86.44	244.56	348	241.78	240	380	396.67
60	96.5	172	213.17	171	213.83	243.67	178.33	295	206.67

ตารางที่ ข8 ข้อมูลการทดสอบปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ระดับความสูง และระดับความเร็วขับขี่ ต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร ของรถจักรยานยนต์ จำแนกตามประเภทป้ายจราจร กรณีศึกษากลุ่มตัวอย่างอายุช่วง 30 ถึง 50 ปี

MOTORCYCLE, T-JUNCTION SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	80.84	170.44	104.44	51.33	155.61	74.56	138.33	193.33	172.78
40	40.67	63.44	102.89	72.11	152.78	163.3	106.67	84.44	236.67
60	12	88.67	147	38.67	81.33	117.5	56.67	90	80
MOTORCYCLE, STOP SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	74.17	173.61	76	35.78	124.56	134.39	176.67	201.11	204.44
40	29.33	23.67	30.22	121	113	139.33	81.11	104.44	118.89
60	48.83	75.17	69.33	79.17	93.83	68.33	78.33	111.67	71.67
MOTORCYCLE, SPEED LIMIT SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	7.78	27.89	12.67	171.67	175.11	164.35	187.22	221.67	200
40	14.44	25.6	17.67	112.78	117.56	88.33	95.56	107.78	83.33
60	15.99	24.89	22.67	77.67	95.67	66.67	51.67	96.67	66.67

ตารางที่ ข9 ข้อมูลการทดสอบปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ระดับความสูง และระดับความเร็วขับขี่ ต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร ของรถยนต์ส่วนบุคคล จำแนกตามประเภทป้ายจราจร กรณีศึกษากลุ่มตัวอย่างอายุมากกว่า 50 ปี

PASSENGER CAR, T-JUNCTION SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	146.89	179.56	181.17	123	215.11	176.94	260.22	179.94	210.5
40	162.22	157	173.89	175.78	205.78	159.67	139.11	152.44	260.78
60	198.33	227	180.33	183.5	248.83	178.17	205.17	250.5	252.5
PASSENGER CAR, STOP SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	256.39	205.72	178.33	170.56	259.17	224.11	325.11	277.39	227.5
40	274.44	152.11	161.33	237.11	147.78	189.78	257.11	197.33	238.33
60	276.5	137	221.83	197.17	225.17	203.17	263.5	270.83	324.83
PASSENGER CAR, SPEED LIMIT SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	138.22	134.61	153.78	225.39	270.56	222.56	245.11	256.33	279.44
40	161.33	92	146	233.22	195	168.22	209.33	240.67	292.22
60	242.83	166.83	199	197.83	239.67	221.83	253.67	246.5	285.33

ตารางที่ ข10 ข้อมูลการทดสอบปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ระดับความสูง และระดับความเร็วขับขี่ ต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร ของรถยนต์ส่วนบุคคล จำแนกตามประเภทป้ายจราจร กรณีศึกษากลุ่มตัวอย่างอายุมากกว่า 50 ปี

PASSENGER CAR, T-JUNCTION SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	111.11	131	119.11	79.61	134.33	97.44	148.39	145.78	104.89
40	128.2	66.78	65	134	68.11	73	111.33	86.56	192.33
60	152.17	66.67	92.83	91	133.33	67.5	94.67	169.33	166.33
PASSENGER CAR, STOP SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	154.56	123.94	96.94	107.17	52.39	92.67	208.33	148.56	175.89
40	207.33	87.56	119.22	223.22	110.22	156.78	187.22	95.78	165.33
60	205.33	103.21	145.33	118.17	167	102.33	154.17	167.33	150.67
PASSENGER CAR, SPEED LIMIT SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	51.56	57.67	53	80.22	88.67	59.28	125.39	119.17	96.72
40	73.56	34.11	34.78	142	78.89	108.44	135.67	112.22	93.67
60	148	64	131.5	119.83	96.83	74.17	136.67	96.67	91.67

ตารางที่ ข11 ข้อมูลการทดสอบปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ระดับความสูง และระดับความเร็วขับขี่ ต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร ของรถจักรยานยนต์ จำแนกตามประเภทป้ายจราจร กรณีศึกษากลุ่มตัวอย่างอายุมากกว่า 50 ปี

MOTORCYCLE, T-JUNCTION SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	100.28	190.28	118.28	113.17	116.78	211.5	128.94	132.94	141.5
40	91.89	156	208.33	79.33	105.22	101.33	146	167.89	290.44
60	115.83	101.83	69.67	188.67	198.83	150.83	230.33	250	267.33
MOTORCYCLE, STOP SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	143.94	235.44	135.06	156	189.5	163.78	280.28	250.11	234.44
40	123.44	125.33	204.44	174.89	128.22	134.56	195.22	80.56	231.56
60	165.33	89.33	135.17	159.67	166.5	157.67	288.83	263.5	260
MOTORCYCLE, SPEED LIMIT SIGN									Detection Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	97.5	146.83	84.5	185.11	214.67	286.67	217.17	209.11	292.94
40	134.22	174.56	203.3	176.67	120.56	170.67	219	266.67	320
60	101.5	144	74.5	188.17	320.67	224	271.33	251.33	282.67

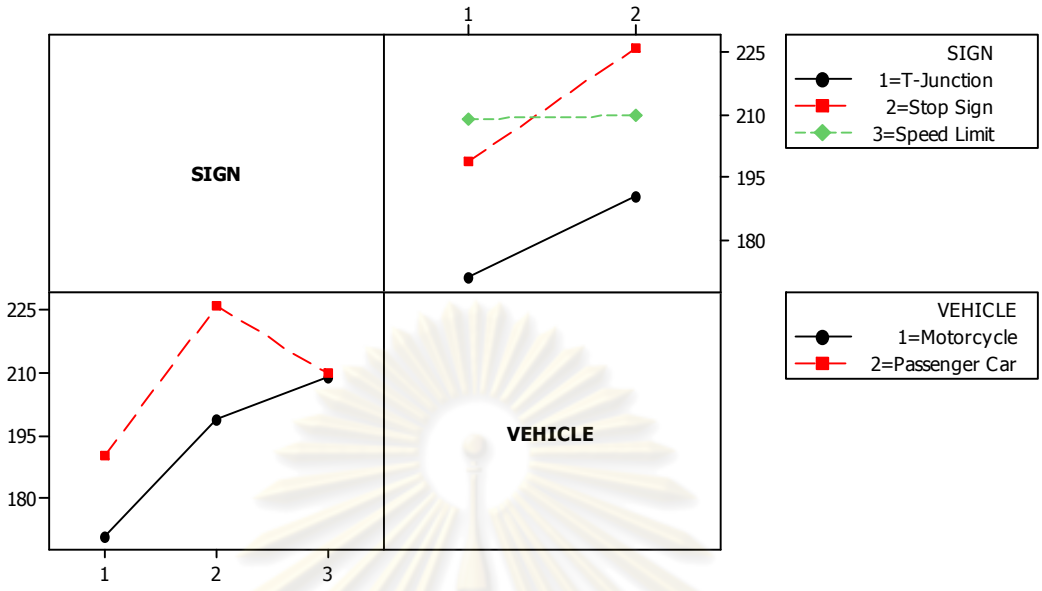
ตารางที่ ข12 ข้อมูลการทดสอบปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ระดับความสูง และระดับความเร็วขับขี่ ต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร ของรถจักรยานยนต์ จำแนกตามประเภทป้ายจราจร กรณีศึกษากลุ่มตัวอย่างอายุมากกว่า 50 ปี

MOTORCYCLE, T-JUNCTION SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	72.67	111.72	79.61	47.06	77.67	60.33	116.28	102.78	119.39
40	50.78	128.33	141.56	54	82.78	60.78	82	37.78	226.33
60	73	108.5	82.3	123.33	91.67	90.5	150.5	162	181
MOTORCYCLE, STOP SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	73.5	80.11	54.72	40.72	104.78	26.83	158.56	179.78	150.72
40	62.22	75.33	121.33	153.33	111.22	87.33	118.67	62.56	137.33
60	102.33	23.33	44.67	111.83	72.17	55.17	153.33	126.33	123
MOTORCYCLE, SPEED LIMIT SIGN									Legibility Distance (m)
Factor C (Travel Speed, km/hr)	Factor A (Coefficient of Retroreflection, R_A, cd/lx/m^2)								
	L			M			H		
	Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)			Factor B (Sign Height, m)		
	0	1.5	3	0	1.5	3	0	1.5	3
20	35	81.28	15.17	39.5	83.22	55.11	126.83	115.76	107.33
40	55.56	67.67	25.55	81.33	87.78	74.11	118	120.56	147.78
60	26.5	16.17	8.67	65.17	119.33	57.17	112.67	107	110.5

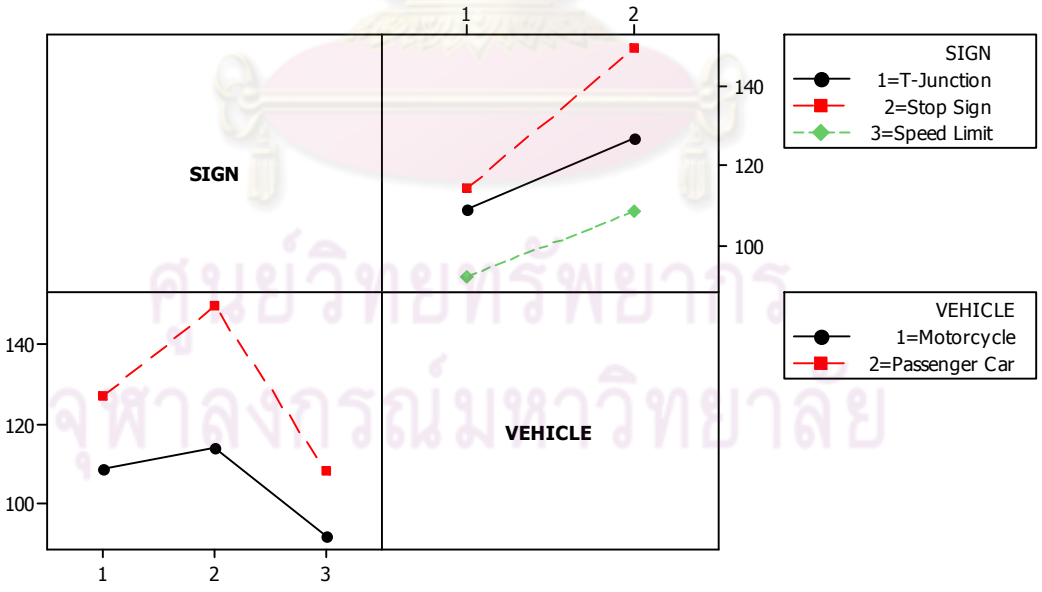
ภาคผนวก ค.

ข้อมูลการวิเคราะห์ผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยศึกษาต่อระยะการตรวจพบ และระยะการมองเห็นป้ายจราจรในช่วงเวลากลางคืน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

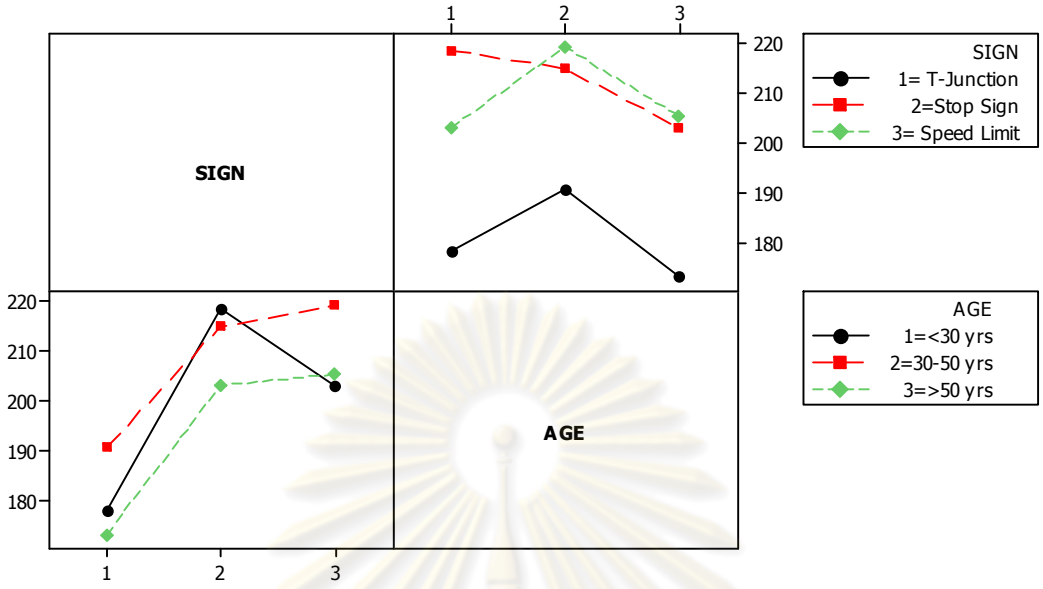


รูปที่ ค1 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านประเภทป้ายจราจร และประเภทยานพาหนะต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร (Detection Distance)

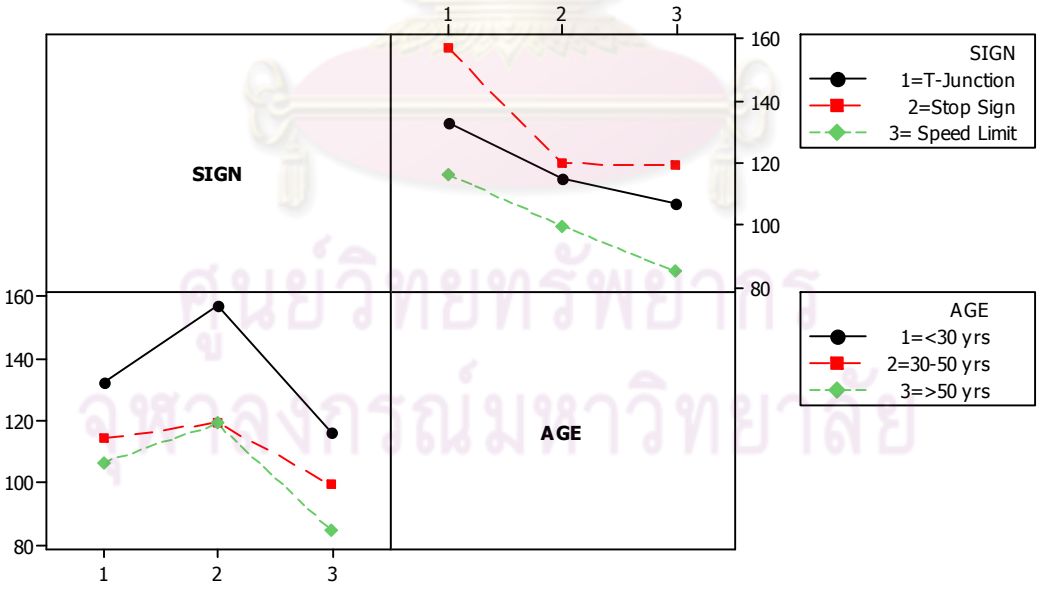


รูปที่ ค2 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านประเภทป้ายจราจร และประเภทยานพาหนะต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร (Legibility Distance)

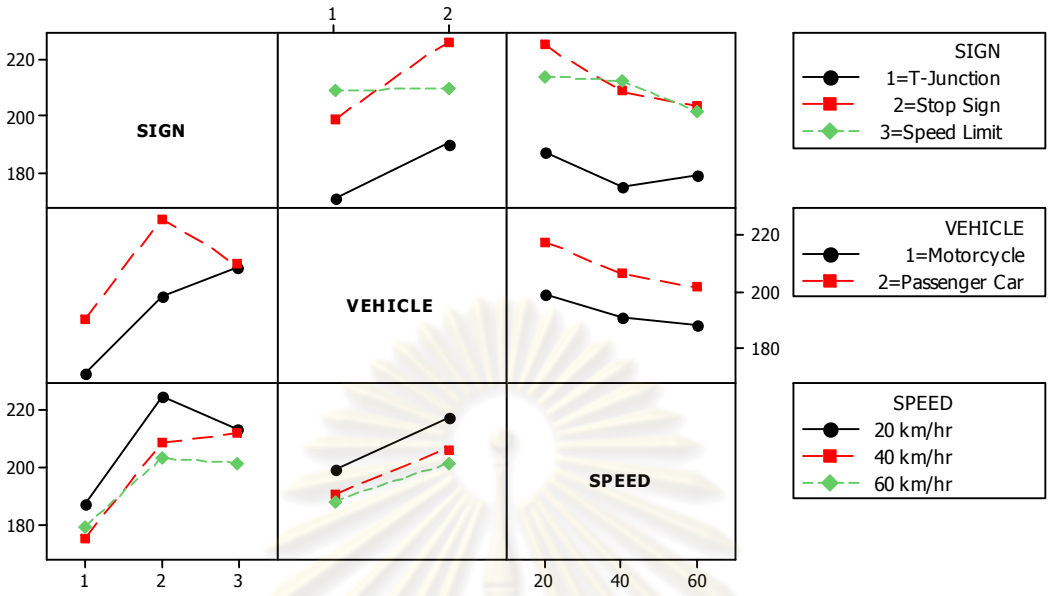
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



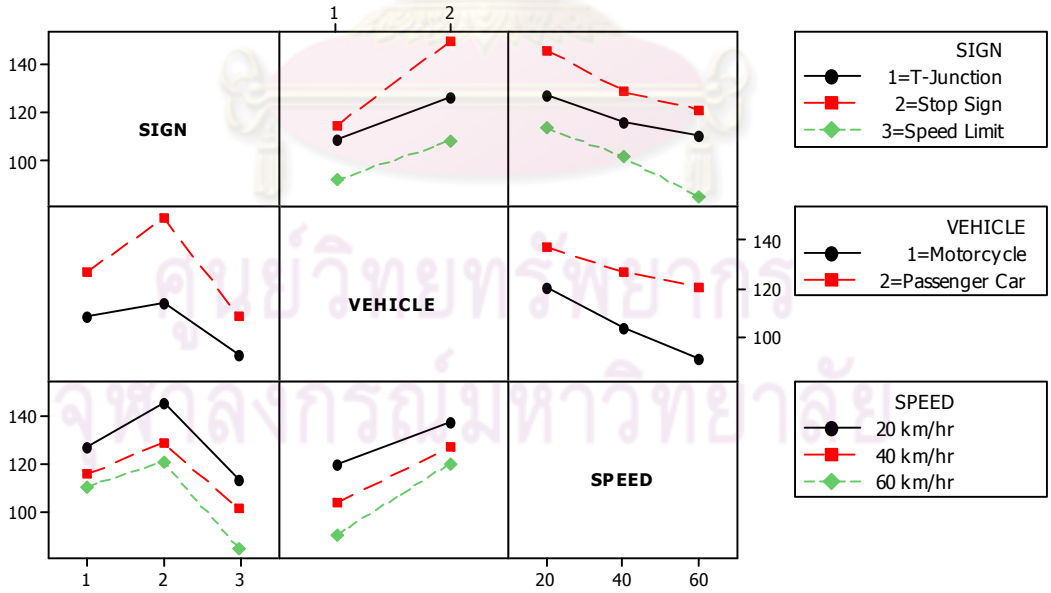
รูปที่ ค3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านประเภทป้ายจราจร และช่วงอายุของกลุ่มตัวอย่างต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร (Detection Distance)



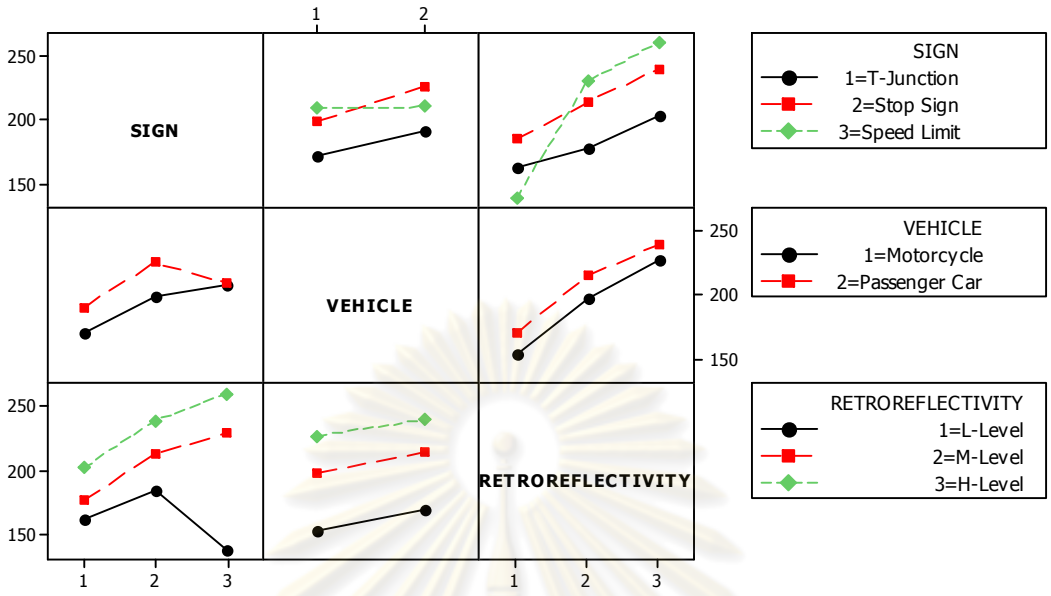
รูปที่ ค4 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านประเภทป้ายจราจร และช่วงอายุของกลุ่มตัวอย่างต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร (Legibility Distance)



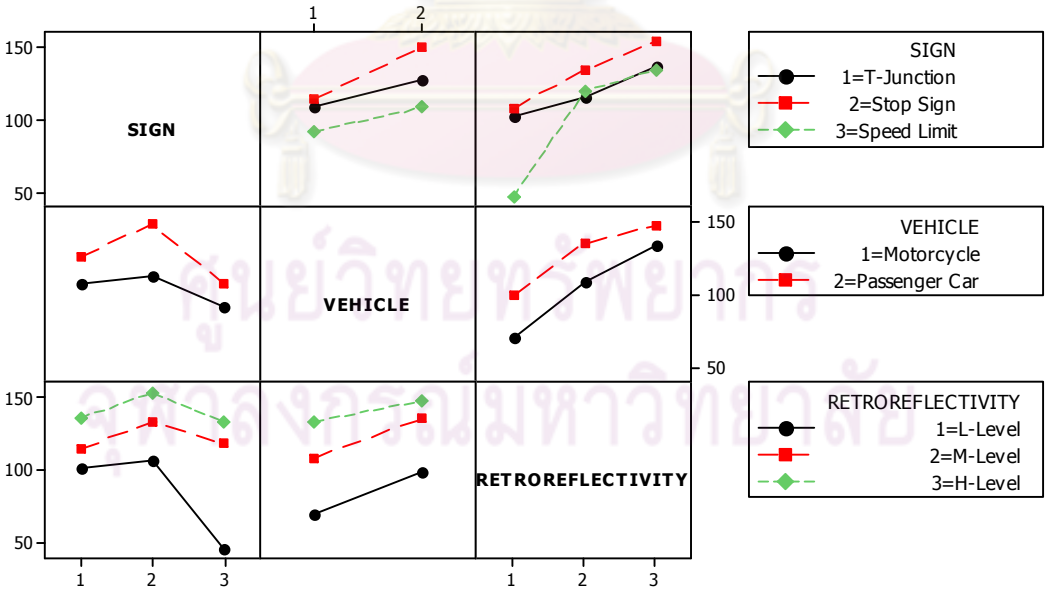
รูปที่ ค5 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านประเภทป้ายจราจร ยานพาหนะ และความเร็วขับขี่ต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร (Detection Distance)



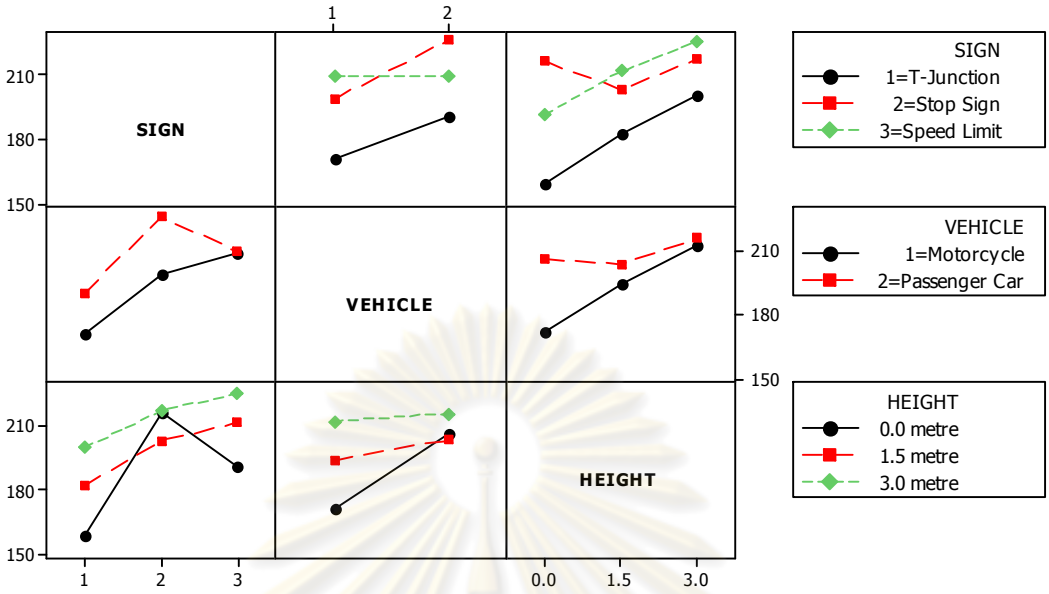
รูปที่ ค6 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านประเภทป้ายจราจร ยานพาหนะ และความเร็วขับขี่ต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร (Legibility Distance)



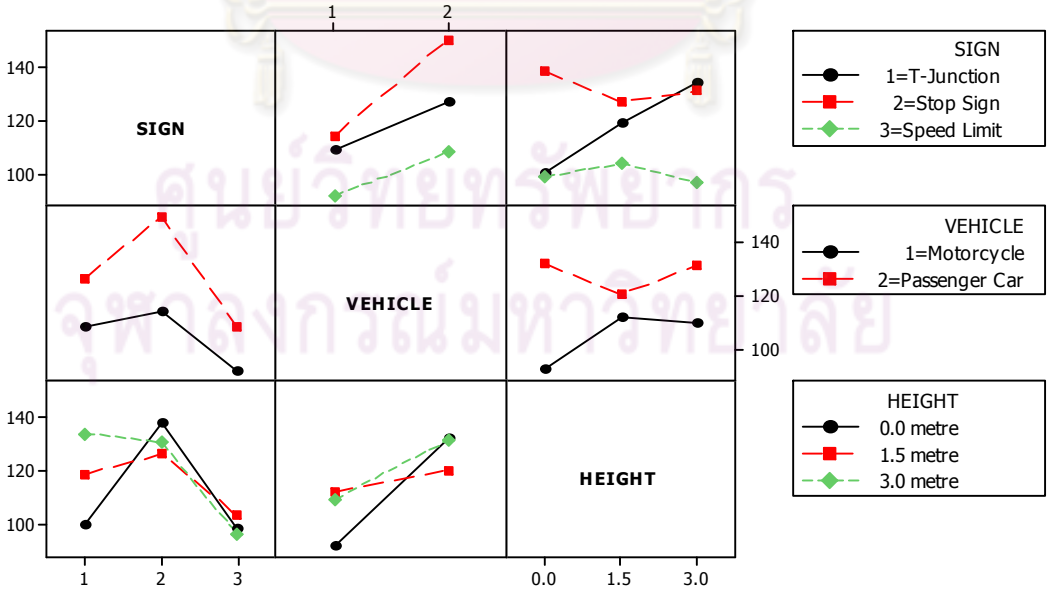
รูปที่ ค7 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านประเภทป้ายจราจร ยานพาหนะ และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร (Detection Distance)



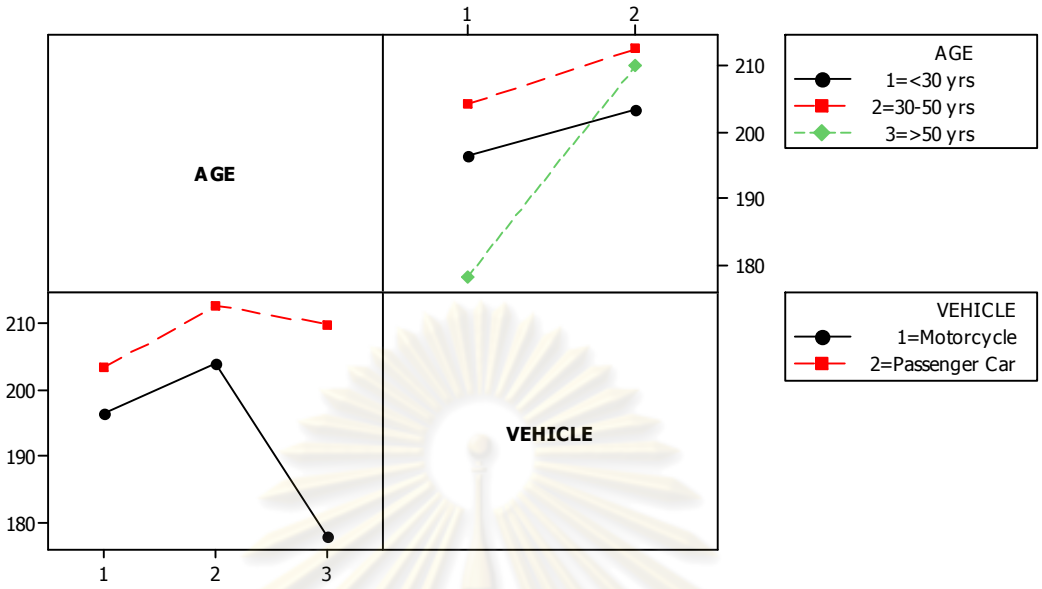
รูปที่ ค8 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านประเภทป้ายจราจร ยานพาหนะ และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร (Legibility Distance)



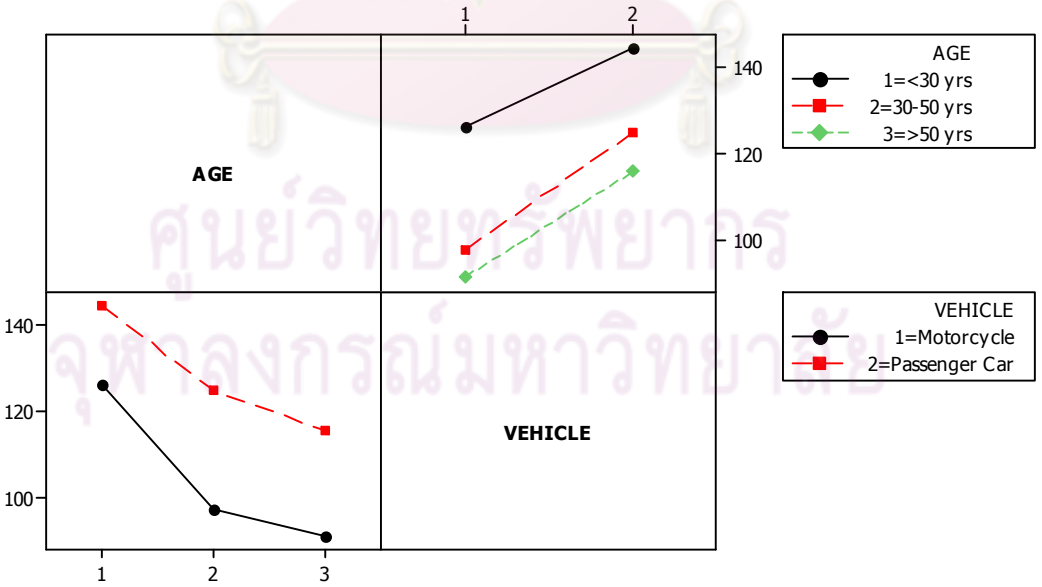
รูปที่ ค9 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านประเภทป้ายจราจร ยานพาหนะ และระดับความสูงต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร (Detection Distance)



รูปที่ ค10 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านประเภทป้ายจราจร ยานพาหนะ และระดับความสูงต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร (Legibility Distance)

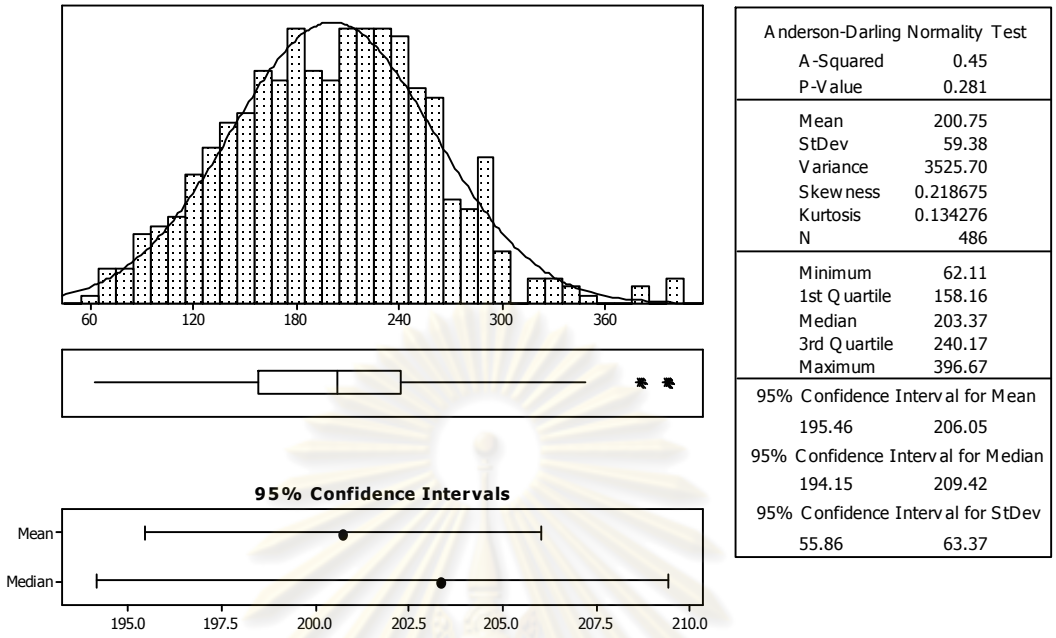


รูปที่ ค11 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านช่วงอายุของกลุ่มตัวอย่าง และประเภทยานพาหนะต่อระยะการตรวจพบป้ายจราจร (Detection Distance)



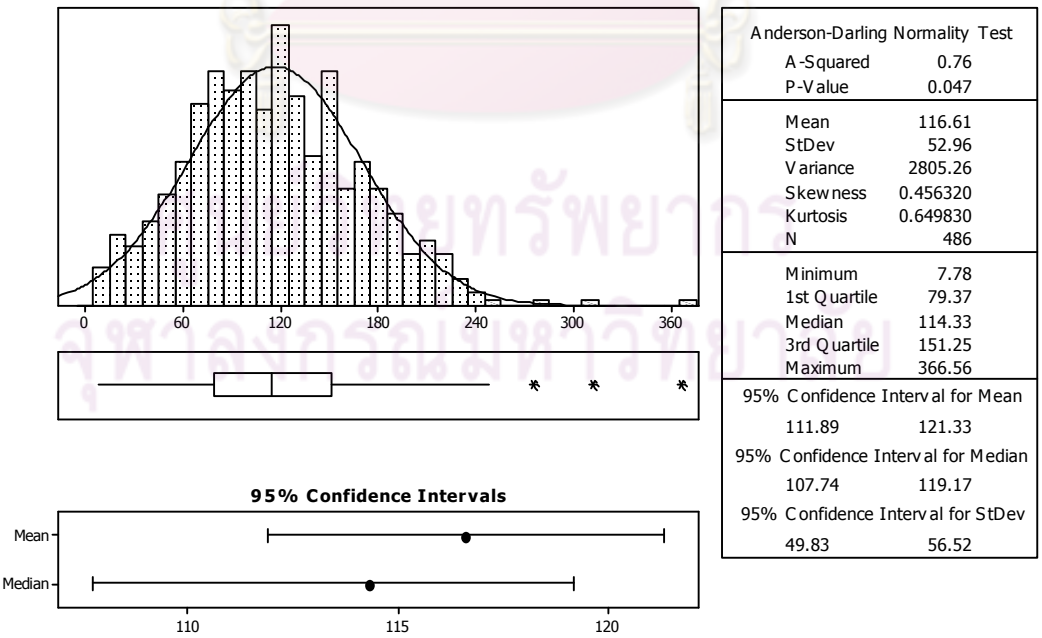
รูปที่ ค12 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านช่วงอายุของกลุ่มตัวอย่าง และประเภทยานพาหนะต่อระยะการมองเห็นป้ายจราจร (Legibility Distance)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.45
P-Value	0.281
Mean	200.75
StDev	59.38
Variance	3525.70
Skewness	0.218675
Kurtosis	0.134276
N	486
Minimum	62.11
1st Quartile	158.16
Median	203.37
3rd Quartile	240.17
Maximum	396.67
95% Confidence Interval for Mean	
195.46	206.05
95% Confidence Interval for Median	
194.15	209.42
95% Confidence Interval for StDev	
55.86	63.37

รูปที่ ค13 การทดสอบการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ของข้อมูลระยะการตรวจพบ



Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.76
P-Value	0.047
Mean	116.61
StDev	52.96
Variance	2805.26
Skewness	0.456320
Kurtosis	0.649830
N	486
Minimum	7.78
1st Quartile	79.37
Median	114.33
3rd Quartile	151.25
Maximum	366.56
95% Confidence Interval for Mean	
111.89	121.33
95% Confidence Interval for Median	
107.74	119.17
95% Confidence Interval for StDev	
49.83	56.52

รูปที่ ค14 การทดสอบการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ของข้อมูลระยะการมองเห็น

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพัชรายุทธ์ จันทน์หอม เป็นบุตรของ นายมนตรี จันทน์หอม และนางอรพินท์ บัวขาว เป็นบุตรคนเดียว เกิดเมื่อวันที่ 13 มิถุนายน พ.ศ. 2528 ณ โรงพยาบาลสุโขทัย จังหวัดสุโขทัย ได้สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนอนุบาลสุโขทัย และสำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและปลายจากโรงเรียนสุโขทัยวิทยาคม และสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2551 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2552

ขณะศึกษาอยู่ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บทความของผู้เขียนวิทยานิพนธ์ได้ถูกตีพิมพ์ในเอกสารรวมการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 16 (16th National Convention on Civil Engineering) ซึ่งจัดขึ้นที่จังหวัดชลบุรี ระหว่างวันที่ 18-20 พฤษภาคม พ.ศ. 2553 ดังนี้

พัชรายุทธ์ จันทน์หอม, เกษม ชูจารุกุล. 2553. การวิเคราะห์การทดลองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืน (AN EXPERIMENTAL ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING NIGHTTIME VISIBILITY OF TRAFFIC SIGNS). เอกสารรวมการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 16. ชลบุรี.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย