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

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

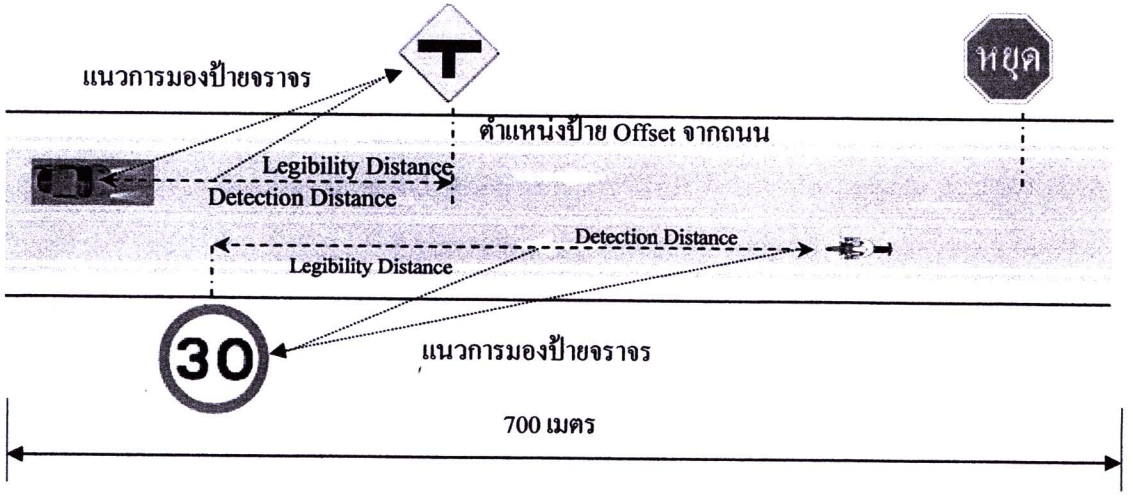
ตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในงานวิจัย ได้แก่ ระยะตรวจพบ (Detection Distance) และระยะมองเห็นและอ่านได้ (Legibility Distance) ของป้ายจราจร ซึ่งระยะตรวจพบ คือ ระยะทางที่ผู้ขับขี่ยานพาหนะสามารถตรวจสอบพบตำแหน่งของป้ายจราจรข้างหน้าขณะขับขี่ และระยะมองเห็นและอ่านได้ คือ ระยะทางที่ผู้ขับขี่ยานพาหนะสามารถอ่านมองเห็นและเข้าใจข้อความบนป้ายจราจรอย่างชัดเ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

วิธีการทดสอบผู้วิจัยจะทำการทดลองโดยใช้สนามการทดลองในเวลากลางคืนที่มีการควบคุม ถนนแบบ 2 ช่องจราจรในชนบทและเป็นถนนที่มีปริมาณของแสงไฟในการขับขี่ต่ำจึงเป็นถนนที่มีความเหมาะสมในการทดสอบเนื่องจากเป็นสภาพวิกฤต โดยถนนที่ใช้ทำการทดสอบคือ ถนน 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 และขณะนั้นผู้วิจัยจะทำการบันทึกตำแหน่งระยะมองเห็นนั้นๆ โดยอ้างอิงเทียบกับตำแหน่งบอกระยะด้านข้างถนนหรือปล่อยวัตถุระบุตำแหน่งลงบนถนน 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

<u>ระยะตรวจพบ (Detection Distance)</u>

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

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

<u>ระยะมองเห็น (Legibility Distance)</u>

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

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

โดยที่ V_0 คือ ความเร็วขับขี่คงที่ของยานพาหนะ

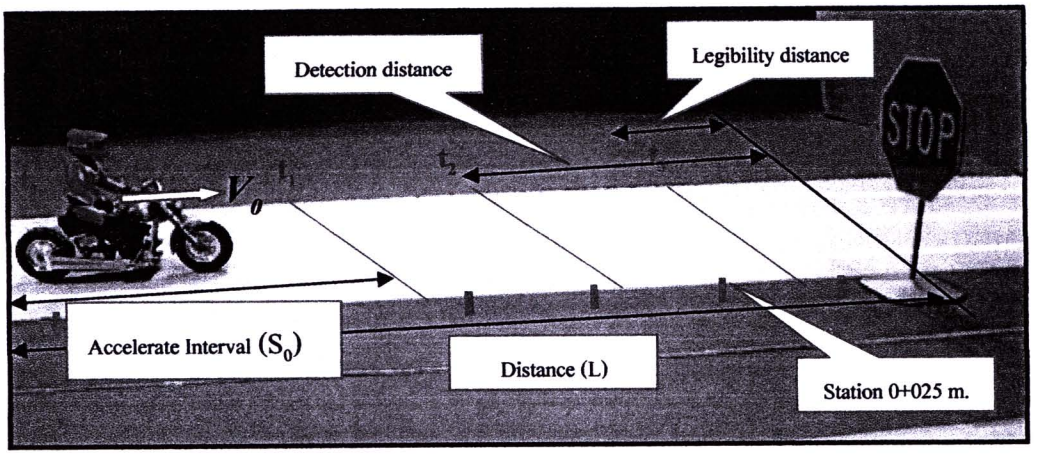
$t_{PIEV\ time}$ คือ เวลาการตอบสนองในการขับขี่

L คือ ระยะจากจุดเริ่มต้นถึงตำแหน่งป้ายจราจร

S_0 คือ ระยะความเร่งจนกระทั่งความเร็วคงที่

t_i คือ ค่าของเวลา ณ ตำแหน่งที่ i

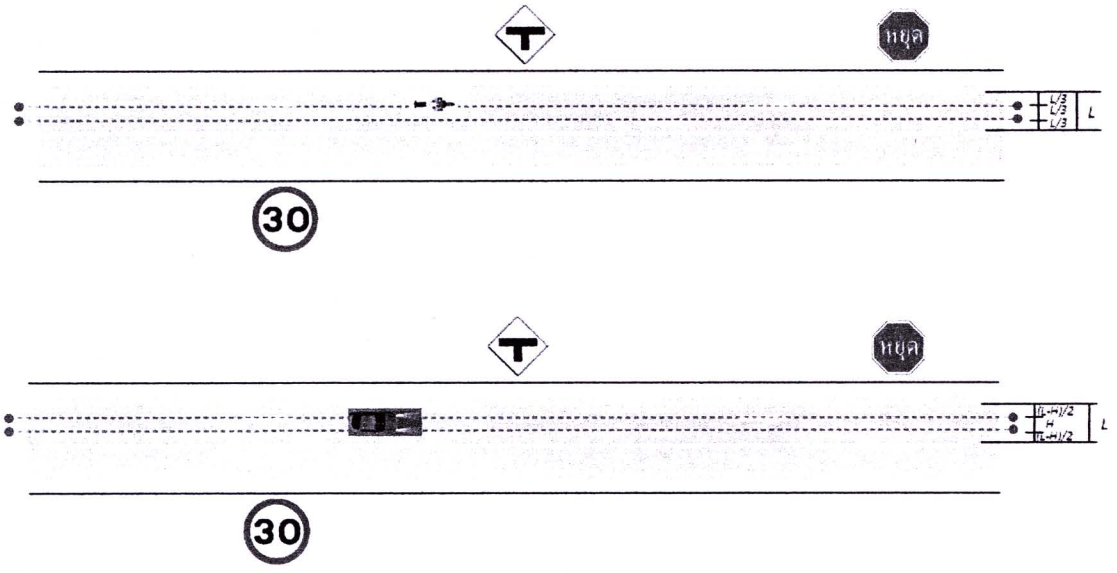
t_{i+1} คือ ค่าของเวลา ณ ตำแหน่งที่ i+1



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

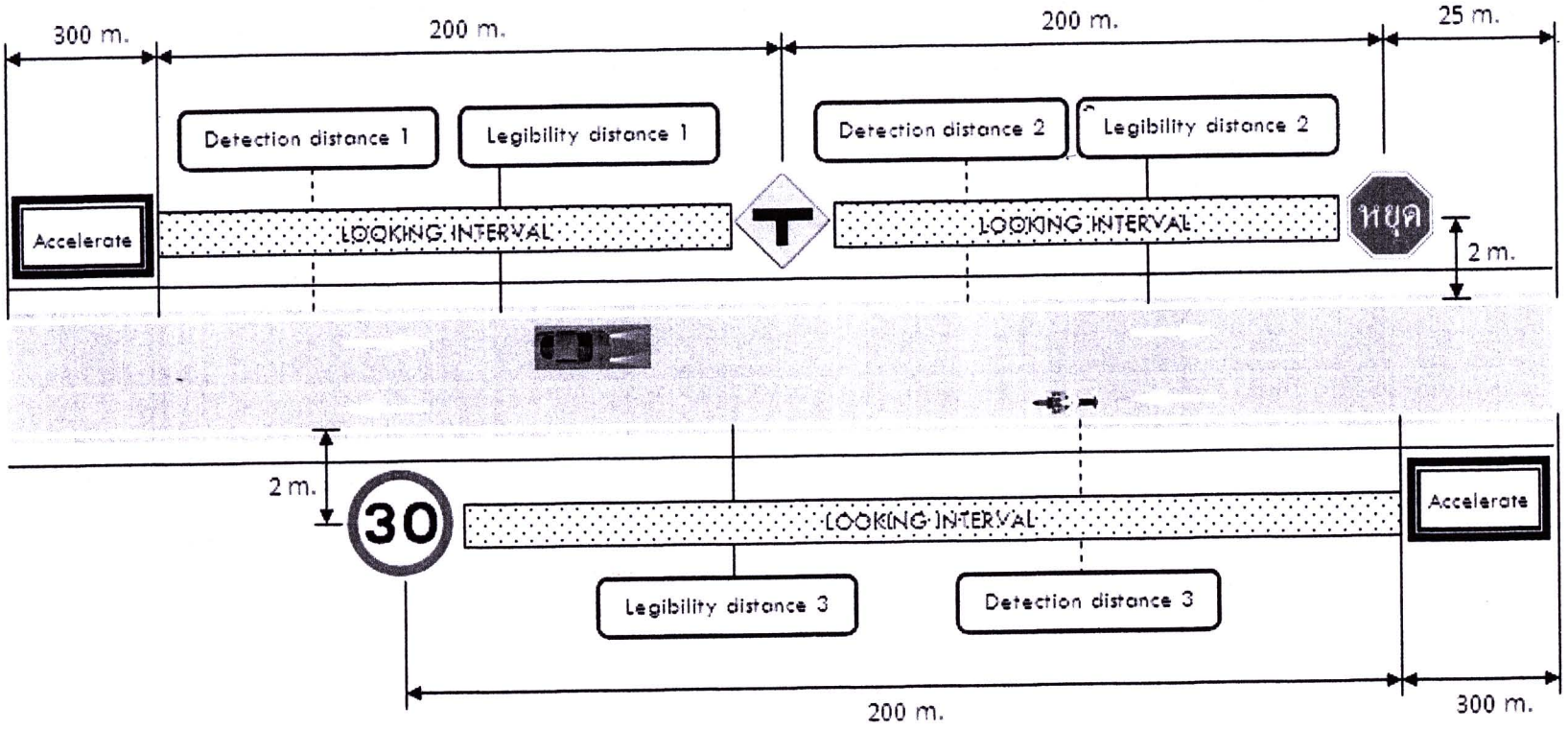
ในการทดสอบผู้ทดสอบจะขับขี่ประเภทยานพาหนะทั้ง 2 ประเภท ผู้ทดสอบต้องขับขี่ในแนวเส้นตรงตามแนวที่กำหนด โดยรถยนต์ส่วนบุคคลจะกำหนดที่ระยะกึ่งกลางช่องจราจรห่างจากเส้นขอบทาง (L-H)/2 ในส่วนของรถจักรยานยนต์จะกำหนดที่ระยะ L/3 หรือหนึ่งในสามของความกว้างช่องจราจร เนื่องจากผู้ขับขี่ส่วนใหญ่จะขับขี่ที่ระยะดังกล่าว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



L คือ ความกว้างช่องจราจร

H คือ ระยะห่างระหว่างไฟหน้ายานพาหนะ

รูปที่ 3.3 แนวการขับขี่ยานพาหนะของผู้ทดสอบในสนามทดลอง



Remark: Not to scale

รูปที่ 3.4 แผนภาพระยะต่างๆในการดำเนินการทดสอบภาคสนาม

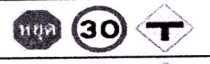
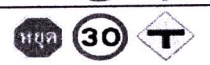
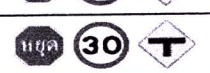
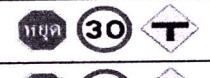
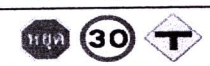
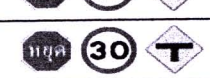
3.3 ปัจจัยที่ทดสอบ

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

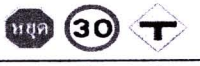
- ป้ายบังคับหยุด บ.1 พื้นสีแดง อักษรสีขาว ขอบสีขาว
- ป้ายจำกัดความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บ.32 พื้นสีขาว อักษรสีดำ ขอบสีแดง
- ป้ายเตือนทางแยกรูปตัวที ต.75 พื้นสีเหลือง สัญลักษณ์สีดำ

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

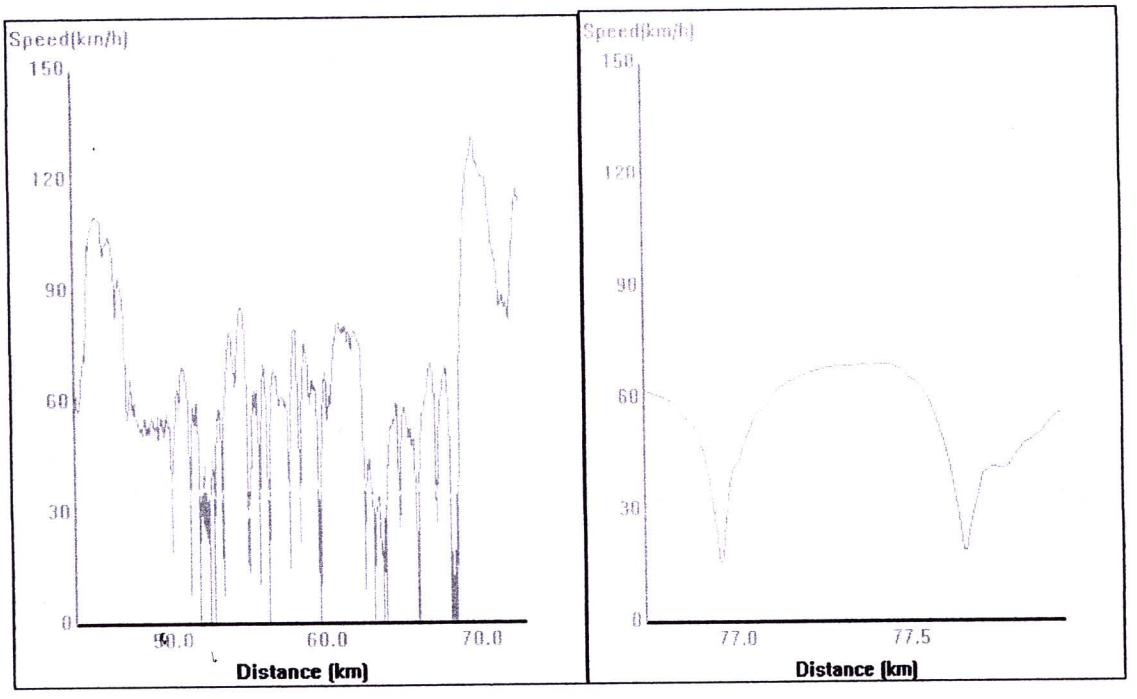
ผู้วิจัยได้เลือกใช้ช่วงถนน 2 ช่องจราจรในความดูแลของกรมทางหลวงชนบท สำนักทางหลวงชนบทจังหวัดสุโขทัย สท.4013 แยกทางหลวงหมายเลข 1195 (กม.ที่ 11.100) - บ้านขอนซุง ระยะทาง 16.247 กิโลเมตร เป็นถนนลาดยาง ความกว้างช่องจราจร 3 เมตร ความกว้างไหล่ทาง 1 เมตร โดยช่วงถนนดังกล่าวมีลักษณะตรงตามเงื่อนไขในการทดสอบงานวิจัย 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

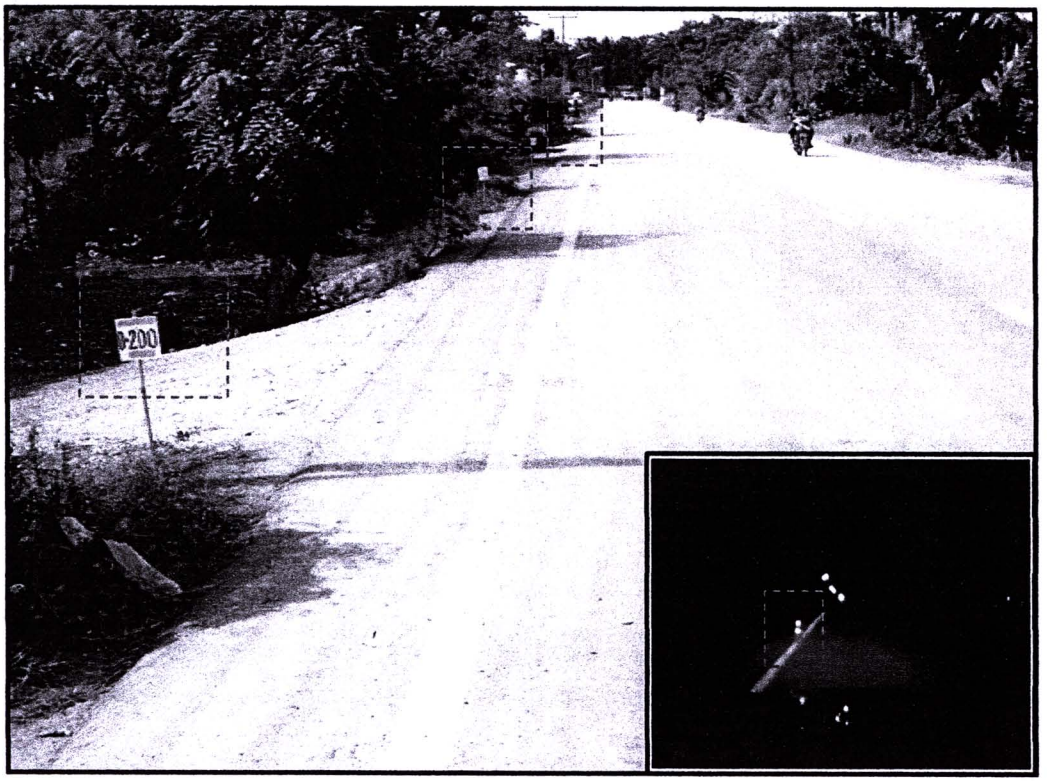
เนื่องด้วยสายทางทดสอบที่คัดเลือกเป็นสายทางที่มีความเหมาะสมตามเงื่อนไขงานวิจัย รวมทั้งเป็นสายทางในจังหวัดและพื้นที่ที่ผู้วิจัยสามารถดำเนินงานการทดลองได้สะดวกทั้งความพร้อมด้านเครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบภาคสนาม อีกทั้งเพื่อความสะดวกและปลอดภัยของผู้เข้าร่วมที่นำมาทดสอบที่เป็นคนในพื้นที่จังหวัดเป็นส่วนใหญ่ 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

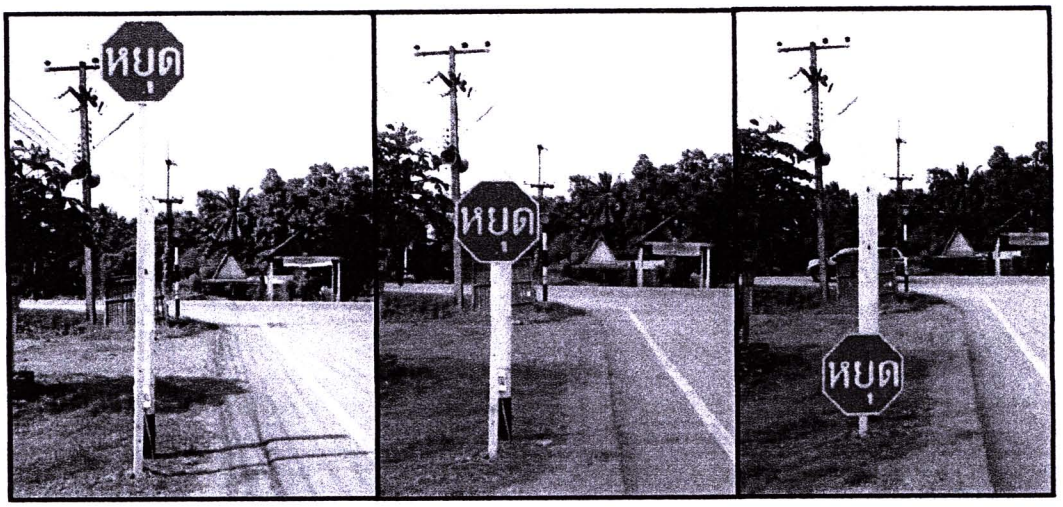
การทดสอบปัจจัยทางกายภาพของป้ายจราจร อันประกอบด้วย ประเภทป้ายจราจร ระดับการสะท้อนแสงของป้ายจราจร และระดับความสูงของป้ายจราจร เสาป้ายจราจรจึงต้องมีการเจาะรูติดตั้งป้ายจราจรทั้ง 3 ระดับ ได้แก่ ระดับ 0 เมตร 1.5 เมตร และ 3.0 เมตร การดำเนินการทดสอบกลางคืนจะทำการติดตั้งป้ายจราจรตามชุดทดสอบในแบบต่างๆ ที่สุ่มปัจจัยทดสอบทางกายภาพทั้ง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

รูปที่ 3.9 เสาป้ายจราจรที่ทำการติดตั้งใหม่เพื่อการทดสอบงานวิจัย

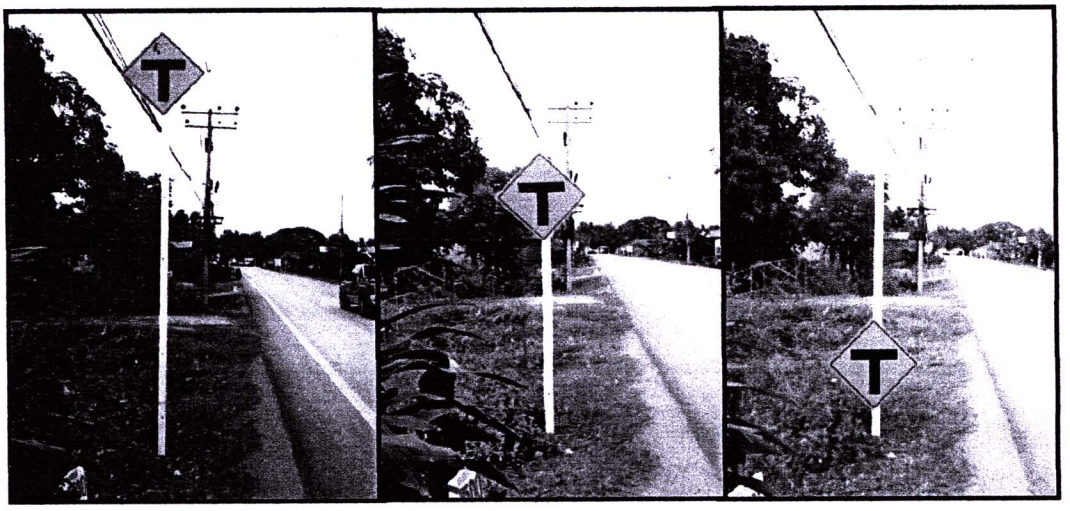
รูปที่ 3.10 การติดตั้งป้ายบอกระยะทางทุกๆ 25 เมตร



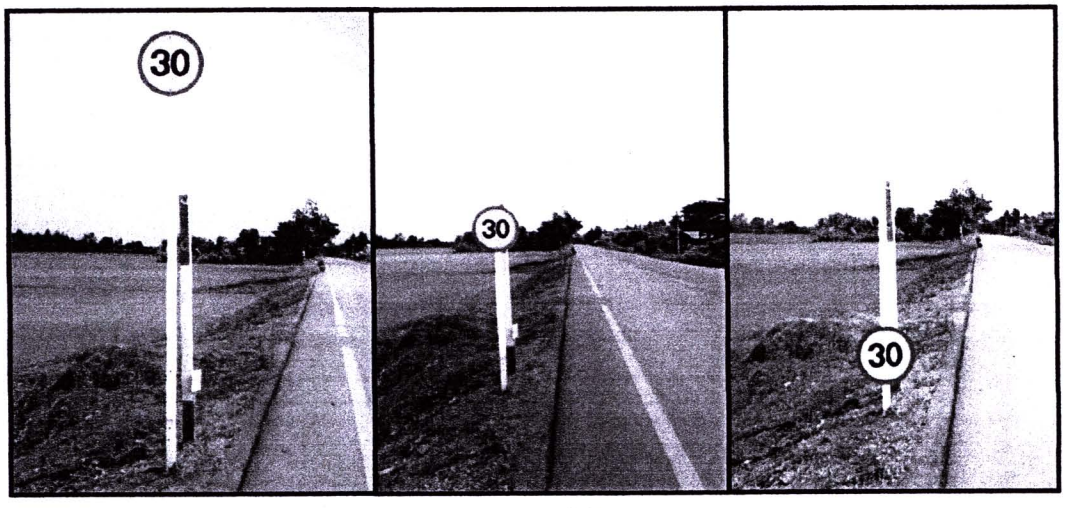
รูปที่ 3.11 ป้ายบอกระยะทางทุกๆ 25 เมตร และกรวยระยะ 200 เมตร ด้านข้างสนามทดสอบ



(ก)



(ข)



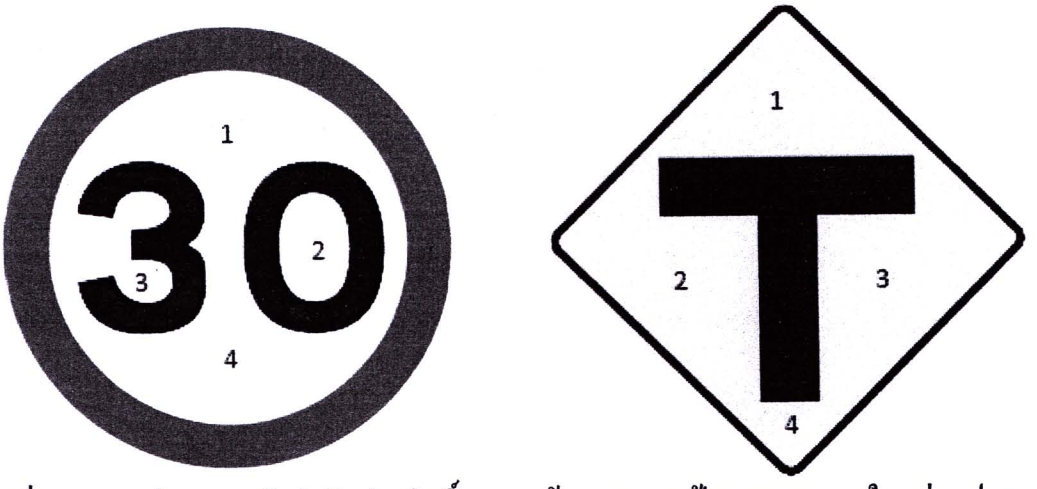
(ค)

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

3.5 ป้ายจราจรที่ศึกษา

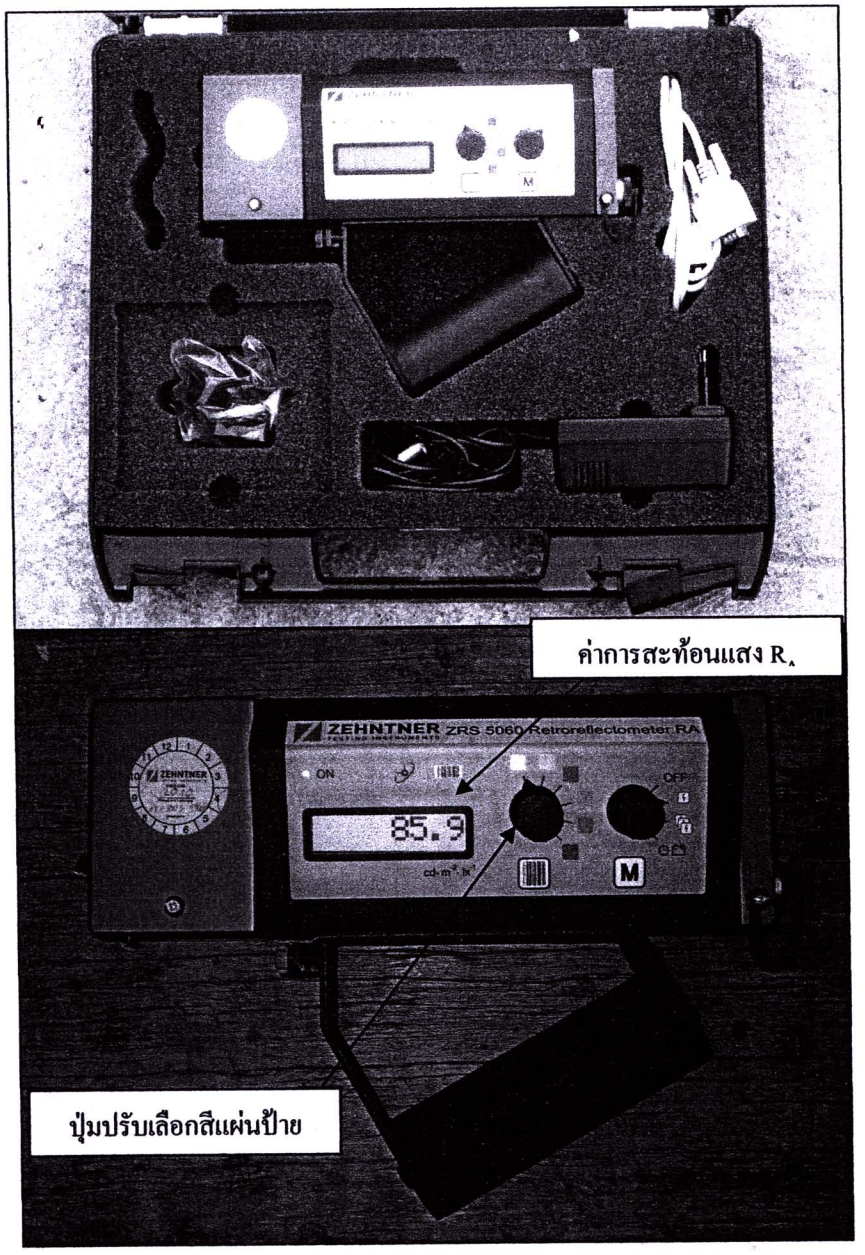
ป้ายจราจรที่ทำการทดสอบประกอบด้วยป้ายบังคับและป้ายเตือนประเภทละ 2 ป้าย ซึ่งจากกฎอย่างง่ายในการหาระยะการมองเห็นและอ่านป้ายจราจรในเวลากลางวันจะคำนวณจากอัตราระหว่างระยะมองเห็นต่อขนาดความสูงอักษรบนป้ายประมาณ 4.8 เมตรต่อเซนติเมตร (MUTCD, 2003) ดังนั้นป้ายจราจรที่ใช้ในการทดสอบจะทำการควบคุมให้ขนาดความสูงอักษรเท่ากันในป้ายประเภทเดียวกัน 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

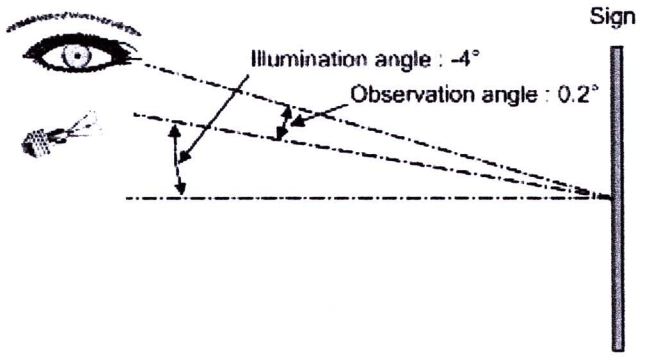


รูปที่ 3.13 การสุ่มจุดการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจร 4 จุดในแต่ละประเภทสี

การวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจร ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลภาคสนามของสายทางต่างๆ โดยครอบคลุมป้ายบังคับและป้ายเตือนที่มีค่าการสะท้อนแสงสอดคล้องกับเงื่อนไขงานวิจัย 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



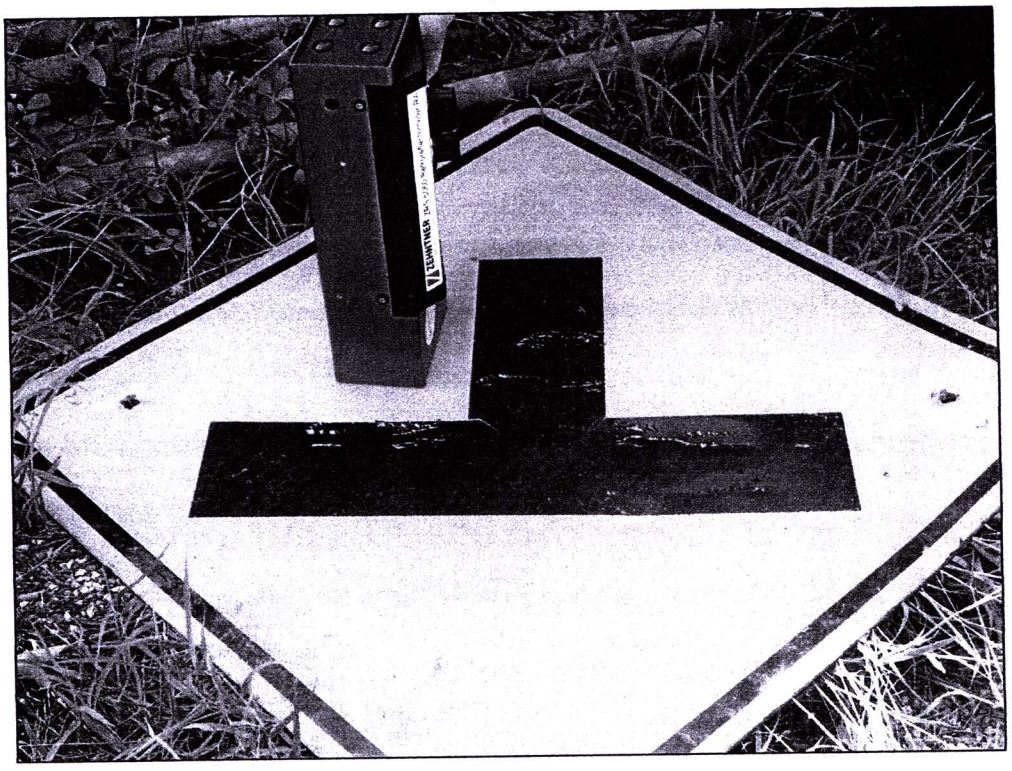
รูปที่ 3.14 เครื่องมือใช้วัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรในภาคสนาม



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

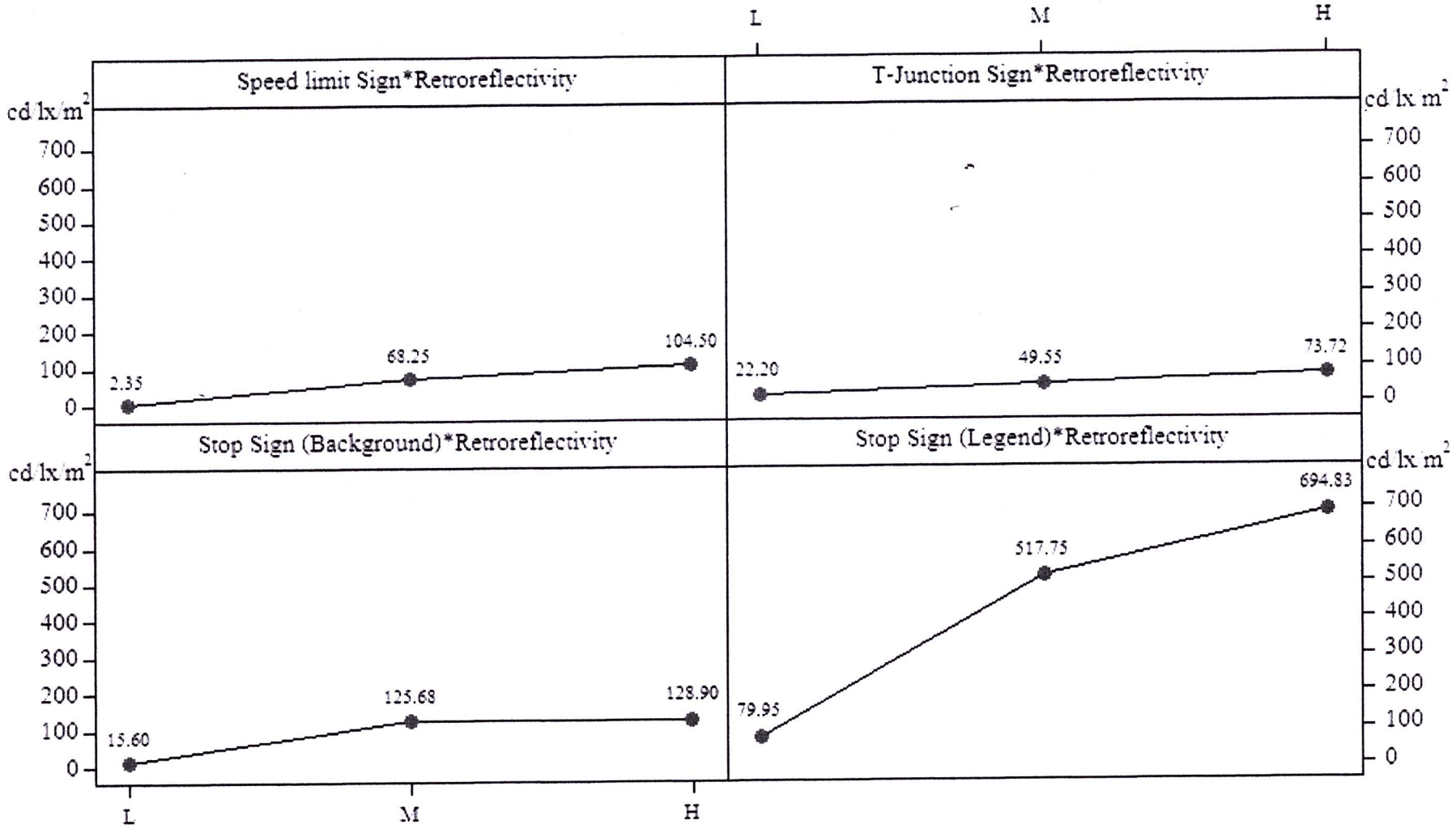
ป้ายจราจรที่ทำการวัดค่าการสะท้อนแสงประกอบด้วยป้ายจราจรแบบที่ 1 แบบที่ 4 และแบบที่ 9 ได้แก่ ป้ายหยุด 75x75 ซม. ป้ายจำกัดความเร็ว 60 ซม.และป้ายทางแยกรูปตัวที 60x60 ซม. โดยแต่ละป้ายมี 3 ระดับการสะท้อนแสง ดังนี้ ป้ายหยุด อักขระสีขาวสะท้อนแสงมีค่าการสะท้อนแสงเป็น 79.95, 517.75 และ 694.83 cd/lux/m^2 พื้นสีแดงสะท้อนแสงมีค่าการสะท้อนแสงเป็น 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)*	
			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



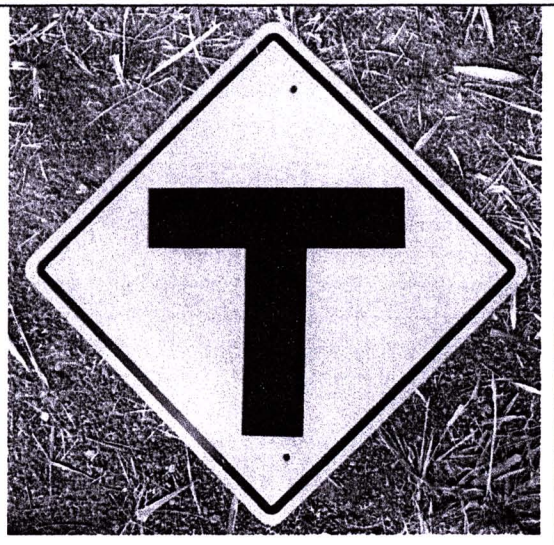
รูปที่ 3.19 กราฟระดับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรแต่ละประเภทในการทดสอบ

ป้ายหยุด (ระดับ H)

ป้ายหยุด (ระดับ M)

ป้ายหยุด (ระดับ L)

ป้ายทางแยกรูปตัวที (ระดับ H)



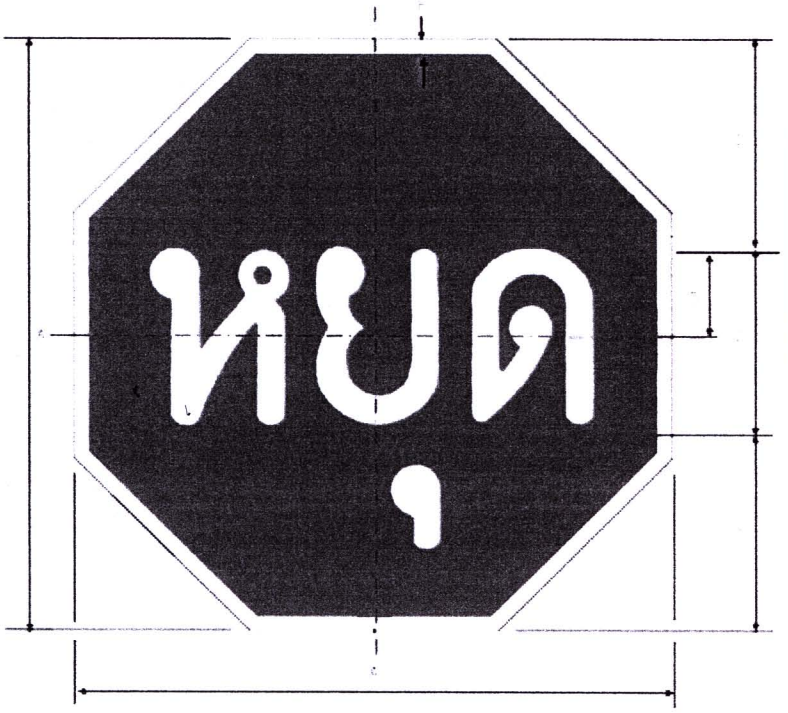
ป้ายทางแยกรูปตัวที (ระดับ M)

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

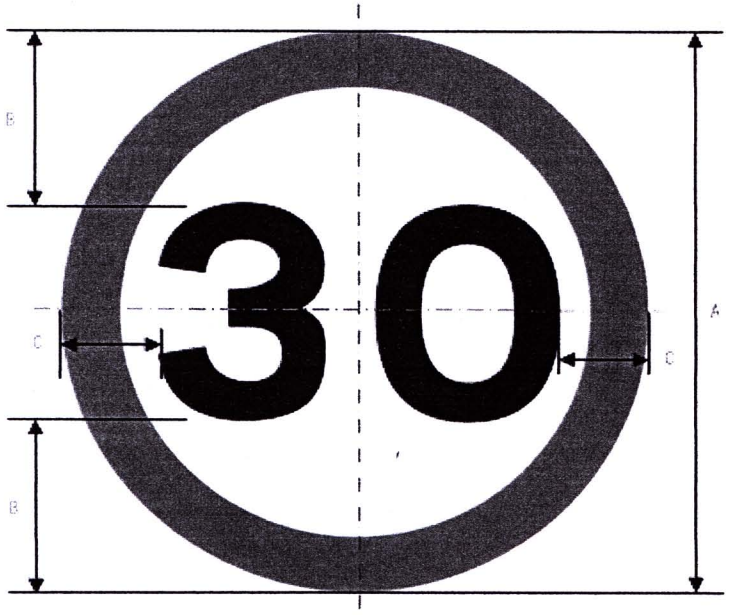
ลักษณะของป้ายจราจรในงานวิจัยประกอบด้วยองค์ประกอบด้านขนาดของป้ายจราจรและมิติขนาดต่างๆของป้ายที่เป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท ที่ใช้กับสายทาง 2 ช่องจราจรในถนนพื้นที่ชนบท ดังแสดงในรูปที่ 3.21 (ก)-(ค)



ขนาดป้ายจราจร	มิติเป็นเซนติเมตร				
	A	B	C	D	E
2	90	*	2	20	10
3	75	7.5	2.5	25	12.5

เส้นขอบป้าย — สีแดงสะท้อนแสง
เส้นขอบป้าย — สีขาวสะท้อนแสง
พื้นป้าย — สีแดงสะท้อนแสง
อักษร — สีขาวสะท้อนแสง

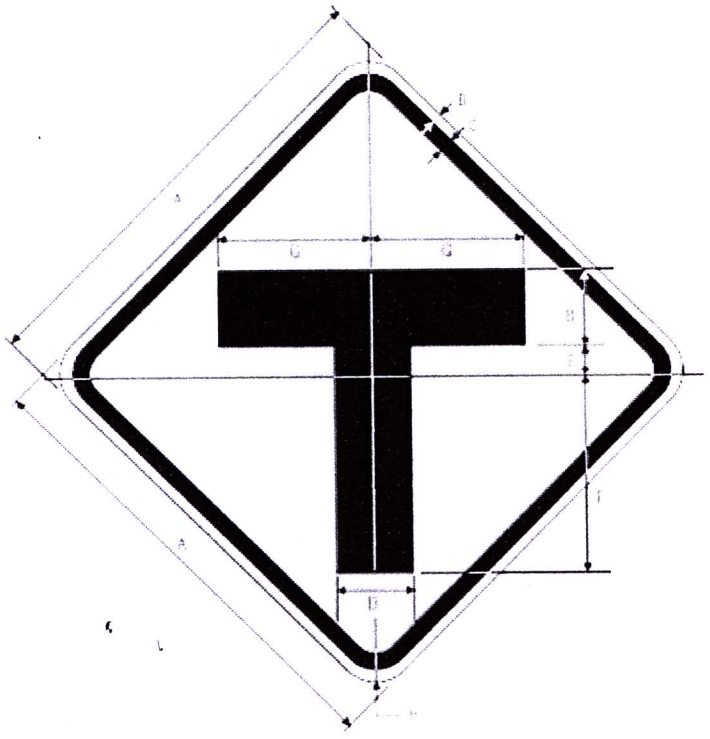
(ก) ป้ายหยุด (Stop Sign) บ.1



ขนาดป้ายจราจร	มิติเป็นเซนติเมตร		
	A	B	C
1	22.5	21.75	20.5
2	30	29	27

เส้นขอบป้าย — สีน้ำเงินสะท้อนแสง
เส้นขอบป้าย — สีขาวสะท้อนแสง
พื้นป้าย — สีน้ำเงินสะท้อนแสง
เครื่องหมาย — สีขาวสะท้อนแสง

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



ขนาดป้ายจราจร	มิลลิเมตร						
	A	B	C	D	E	F	G
1	45	1	1,5	15	3,75	7,5	3,8
2	60	1,5	2	20	5	10	5,0

เส้นขอบป้าย — สีเหลืองสะท้อนแสง
เส้นรอบป้าย — 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 จากที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นการมองเห็น ป้ายจราจรในเวลากลางคืนมีองค์ประกอบของไฟหน้ารถรวมถึงมุมสังเกตที่จะทำให้ผู้ขับขี่มองเห็น ป้ายได้แตกต่างกันแต่ละประเภทยานพาหนะ ในงานวิจัยนี้ยานพาหนะที่ใช้ทดสอบทั้ง 2 ประเภท จะต้องทำการวัดพารามิเตอร์ขนาดยานพาหนะต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4 เพื่อใช้เป็น องค์ประกอบในการคำนวณมุมตกกระทบและมุมสังเกตของตำแหน่งที่ผู้ขับขี่ทดสอบแต่ละบุคคล มองเห็นป้ายจราจรลักษณะต่างๆ ในเวลากลางคืน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากระยะต่างๆของถนน ยานพาหนะ ผู้ขับขี่ และระยะมองเห็นป้าย มุมดังกล่าวสามารถหาได้จากการจำลองดังรูปที่ 3.23 และคำนวณได้จากสมการในตารางที่ 3.5 โดยมุมที่ได้จะนำมาใช้ประกอบการวิจัยต่อไป

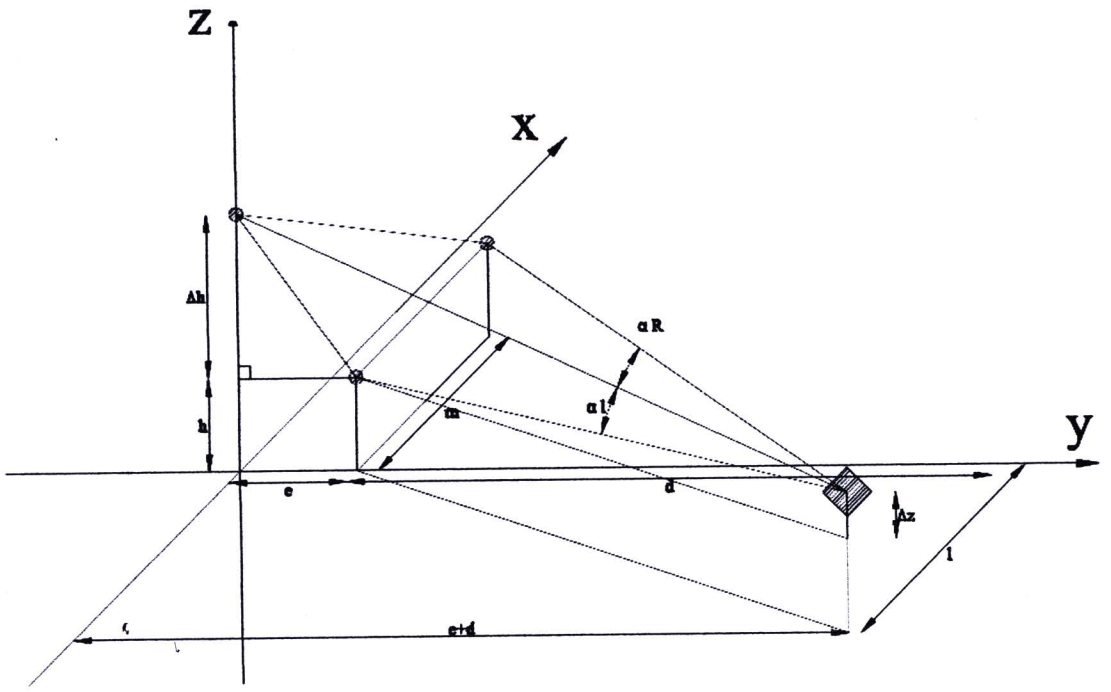
ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับยานพาหนะที่ต้องทำการวัดค่า

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

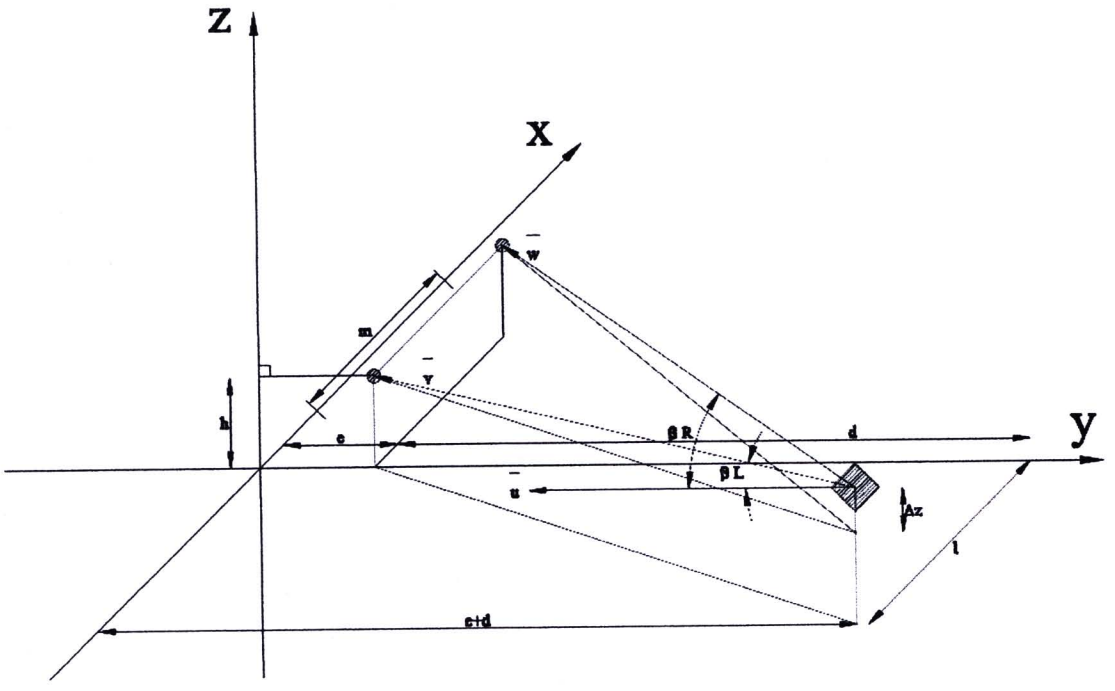
(ก) รถยนต์ส่วนบุคคล

(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

α = มุมสังเกต (Observation angle)

β = มุมตกกระทบ (Entrance angle)

d = ระยะมองเห็นและอ่านได้ (Legibility Distance)

e = ระยะห่างแนวราบระหว่างไฟหน้าและสายตาผู้ขับขี่

l = ระยะห่างด้านข้างระหว่างป้ายจราจรถึงไฟรถคันแรก

m = ระยะห่างของไฟหน้ารถยนต์

Δh = ความแตกต่างของระดับความสูงสายตาผู้ขับขี่และไฟหน้ารถ

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

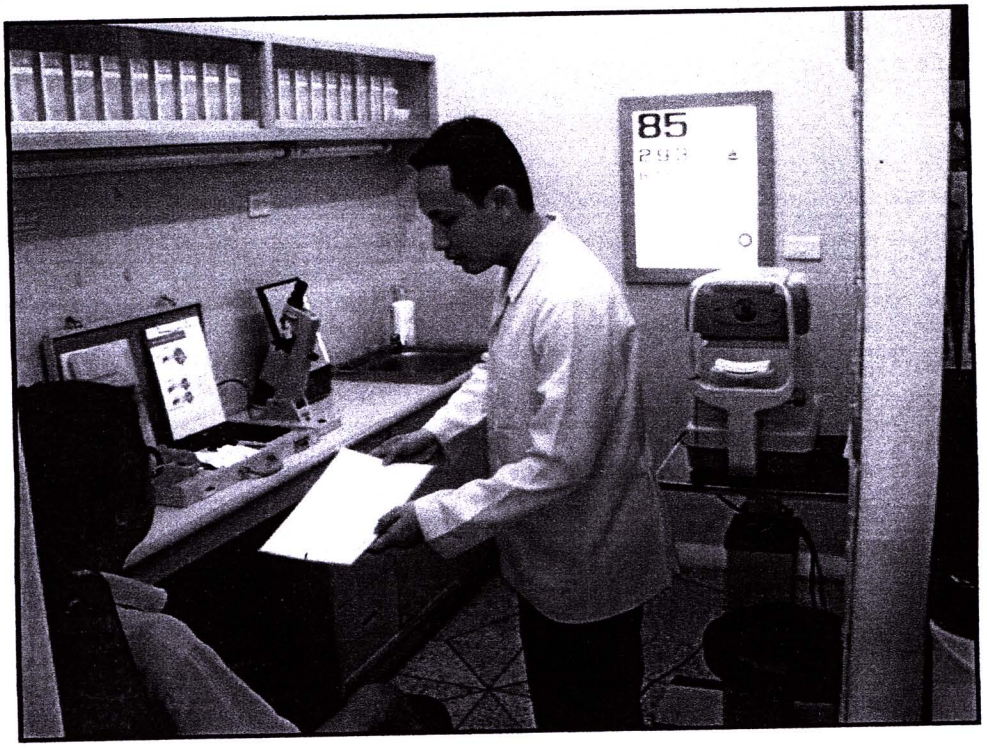
ข้อมูลที่ผู้ขับขี่ทดสอบถูกบันทึกแต่ละคนประกอบด้วยข้อมูลส่วนบุคคลข้อมูลการขับขี่ โดยคุณลักษณะผู้ขับขี่ที่เข้าร่วมทดสอบแสดงสรุปค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 3.6 ในส่วนของข้อมูลด้านทัศนคติต่ออุปกรณ์บนสายทางในการขับขี่กลางคืนซึ่งจะได้อธิบายสรุปในบทส่วนถัดไป

- 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

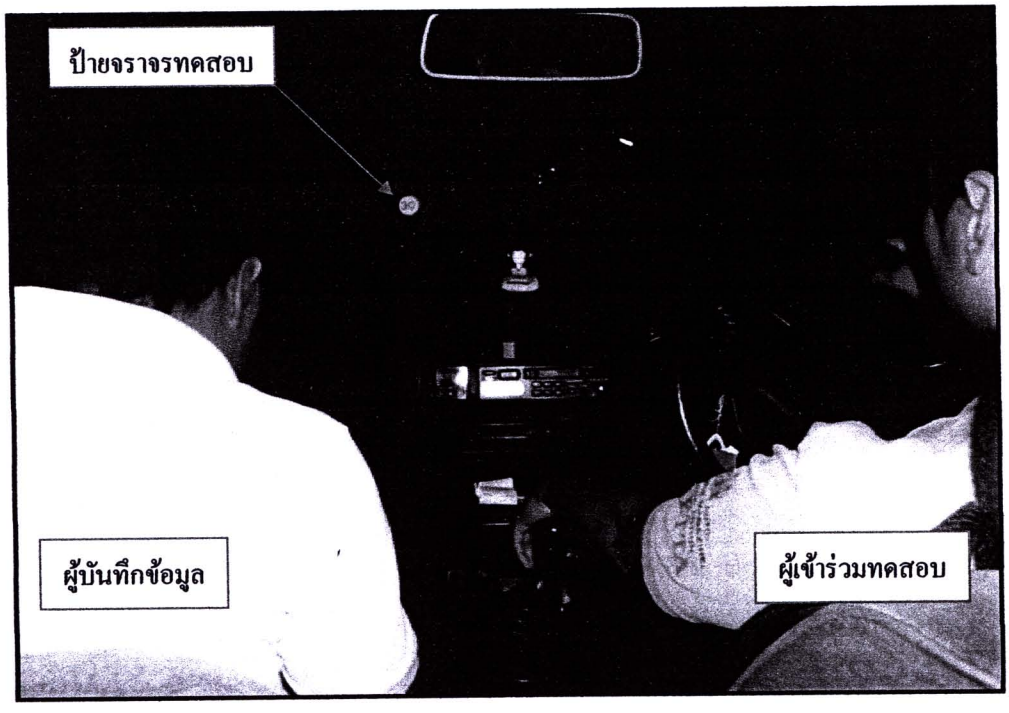


รูปที่ 3.25 การทดสอบวัดระดับสายตาผู้ขับขี่ทดสอบ

3.8 การทดสอบขับขี่บนสนามทดลองควบคุมเวลากลางคืน

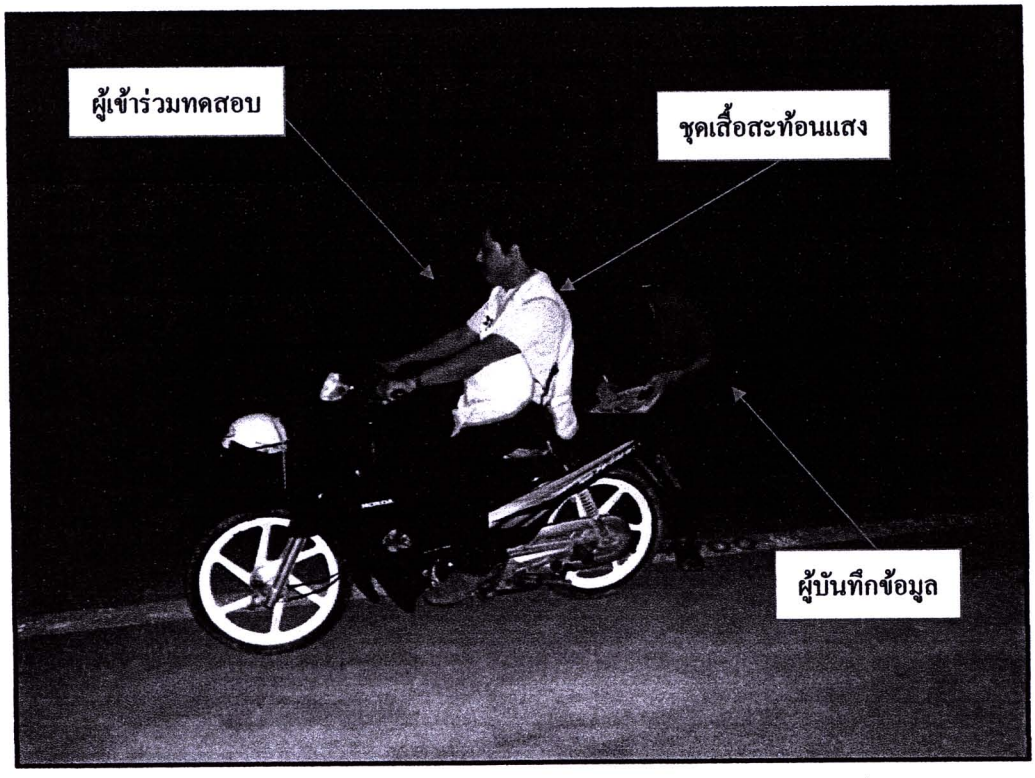
การทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นป้ายจราจรในเวลากลางคืนได้ดำเนินการทดสอบการขับขี่บนสายทางทดสอบที่มีการควบคุมปัจจัยที่เกี่ยงข้อง สายทางทดสอบเป็นถนน 2 ช่องจราจร ผู้เข้าร่วมทดสอบได้ถูกวัดระดับสายตา (Static Snellen Visual Acuity) รวมทั้งสอบถามข้อมูลด้านเศรษฐสังคม ข้อมูลการเดินทาง และข้อมูลด้านทัศนคติต่อความปลอดภัยในการขับขี่กลางคืน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

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



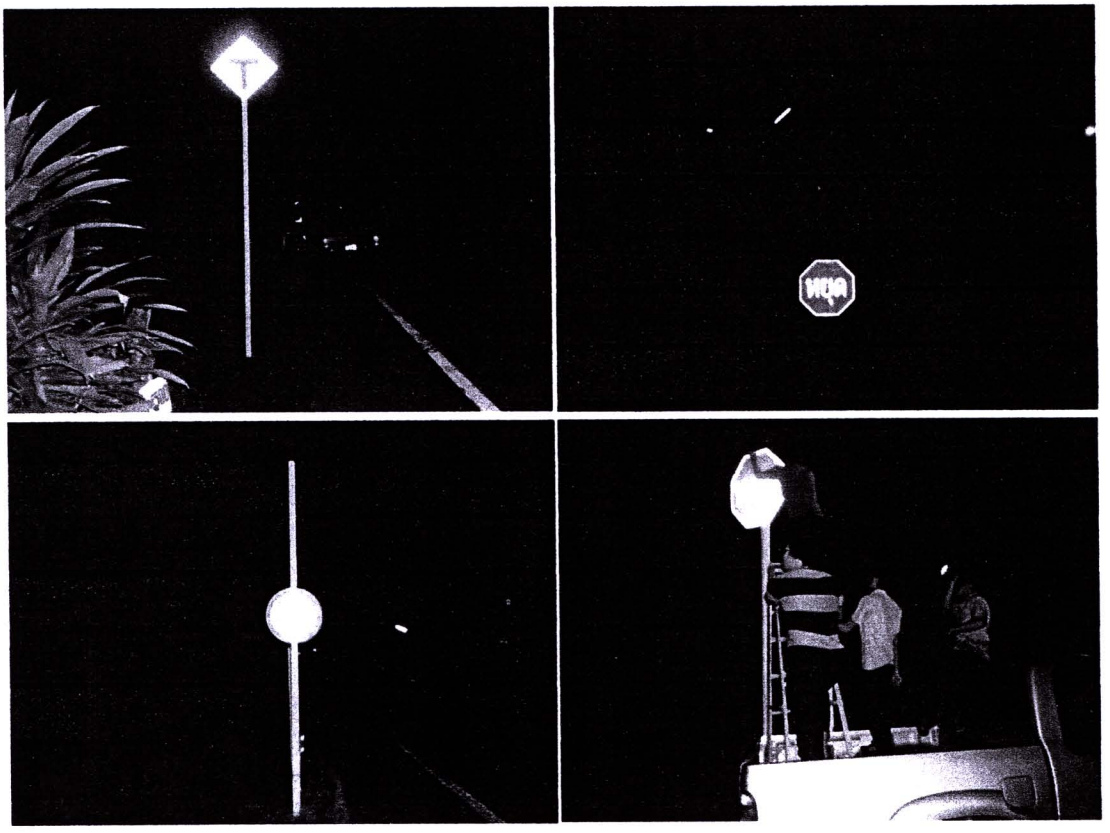
รูปที่ 3.26 การทดสอบขับขี่ของผู้เข้าร่วมเพื่อประเมินระยะพบและมองเห็นป้ายจราจร

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 $n \geq 2$ 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

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

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

$H_0 = \gamma_1 = \gamma_2 = ... = \gamma_c = 0$ $\quad$ $H_a : \gamma_k \neq 0$ 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 $\quad H_a : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ 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 $\quad H_a : (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$ 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 $\quad H_a : (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$ 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 $\quad H_a : (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$ 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

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).

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)

การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ (Statistical significance)

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 นั่นหมายถึงค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระตัวนั้นๆไม่มีนัยสำคัญต่อแบบจำลองสามารถละทิ้งตัวแปรนั้นได้โดยไม่ทำให้แบบจำลองนั้นเกิดความแตกต่างแต่อย่างใด 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