บทที่ 2

การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการสะท้อนแสงของป้ายจราจรจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบในด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีการสะท้อนแสงของป้ายจราจร ประเภทป้ายจราจรสะท้อนแสงและวัสดุที่ใช้ทำป้าย ปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจร เพื่อเป็นพื้นฐานความเข้าใจหลักการทำงานของป้ายจราจรสะท้อนแสง รวมไปถึงวิธีการประเมินการสะท้อนแสงของป้ายจราจรและการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจรในต่างประเทศ เพื่อทราบถึงงานวิจัยในปัจจุบันและการนำไปประยุกต์ในงานวิจัยนี้

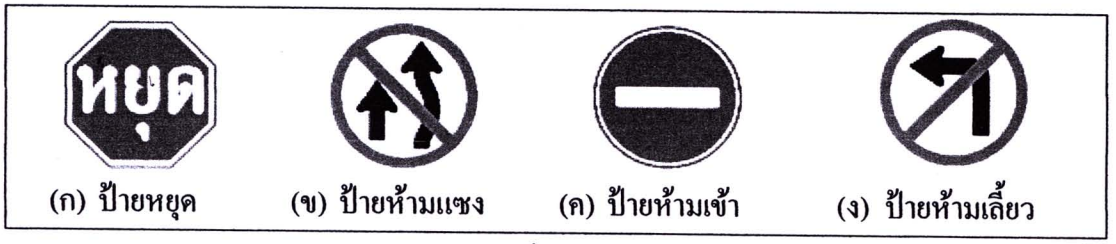
2.1 ป้ายจราจร (Traffic Sign)

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)

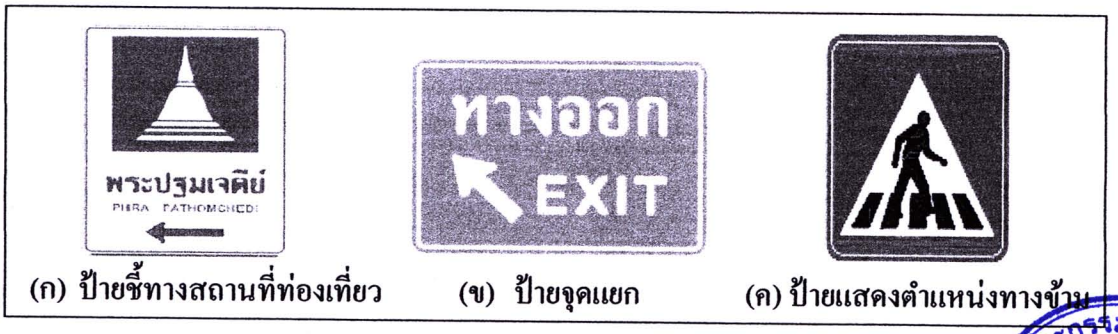


(ก) ป้ายหยุด (ข) ป้ายห้ามแซง (ค) ป้ายห้ามเข้า (ง) ป้ายห้ามเลี้ยว

(ก) ป้ายบังคับ

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

(ข) ป้ายเตือน



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

(ค) ป้ายแนะนำ

รูปที่ 2.1 ประเภทป้ายจราจร

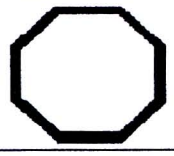
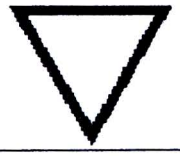
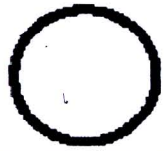
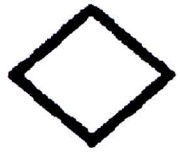
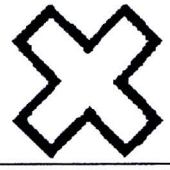
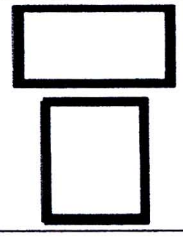
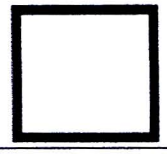
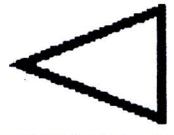
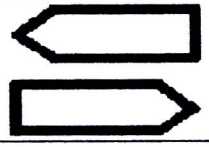
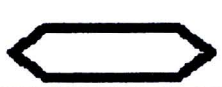
ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (2547).

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

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

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 18 มี.ค. 2555
เลขทะเบียน 246932
เลขเรียกหนังสือ

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).

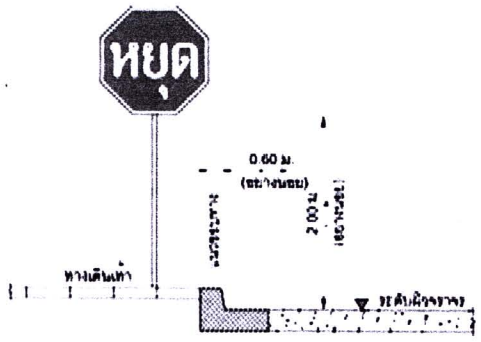
ระยะทางที่สามารถอ่านป้ายได้คิดจากขนาดตัวอักษรสูง 20 เซนติเมตร สำหรับป้ายจราจรซึ่งขนาดของตัวอักษรแตกต่างไปจากนี้ อาจจะใช้ระยะทางที่สามารถอ่านป้ายได้โดยประมาณเท่ากับ 10 เมตรต่อความสูงตัวอักษร 2.0 เซนติเมตร

ขนาดของป้ายจราจรและเงื่อนไขการใช้ป้ายที่กำหนดโดย สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร ขึ้นอยู่กับประเภททางและความเร็วสำคัญ โดยมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.3

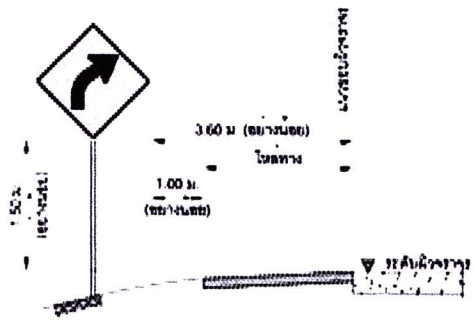
ตารางที่ 2.3 ขนาดป้ายและเงื่อนไขการใช้ป้ายจราจร (สนข., 2547)

ขนาด (มม.)	เงื่อนไขการกำหนดขนาดป้าย	ความเร็วสำคัญ (กม./ชม.)
	ประเภททาง	
≤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

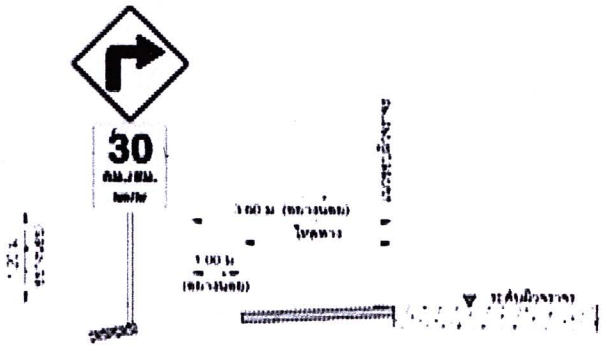
<u>เงื่อนไข</u> 1. การกำหนดขนาดป้ายถ้าเงื่อนไขตรงตามที่ระบุให้ใช้ขนาดป้ายตามที่ระบุ 2. ขนาดป้ายที่ระบุในตารางคือขนาดส่วนที่แคบที่สุดของป้าย 3. ในกรณีที่ไม่เป็นไปตามกำหนดเงื่อนไขที่ระบุข้างต้นให้กำหนดขนาดป้ายตามความเหมาะสมและอยู่บนพื้นฐานด้านวิศวกรรมจราจรและความปลอดภัยเป็นสำคัญ 4. ความเร็วสำคัญ (Prevailing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



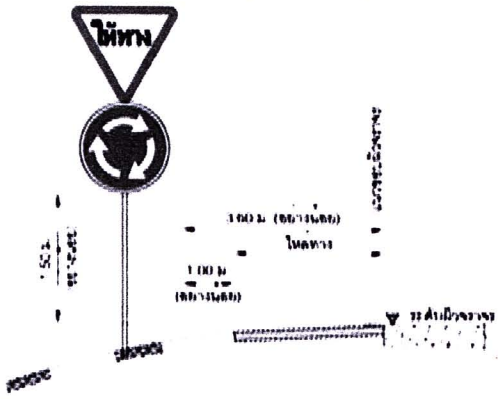
ก) ถนนในเมือง



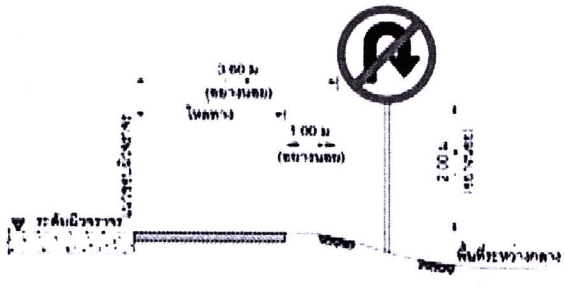
ข) ถนนนอกเมือง (ป้ายเดี่ยว)



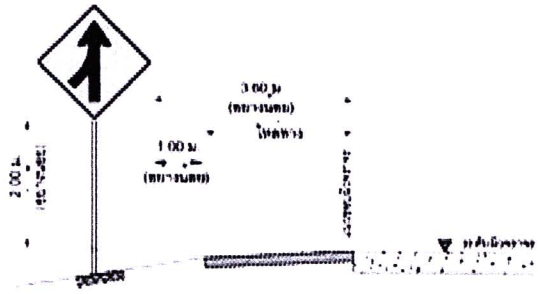
ค) ถนนนอกเมือง (ป้ายหลักติดตั้งร่วมป้ายประกอบ)



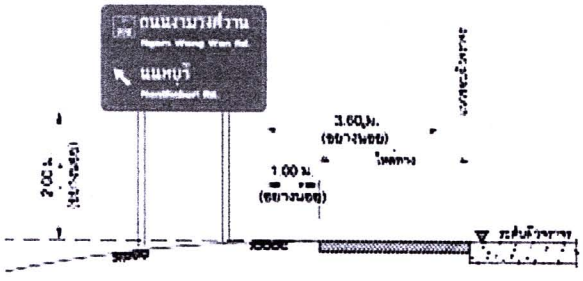
ง) ถนนนอกเมือง (ป้ายคู่)



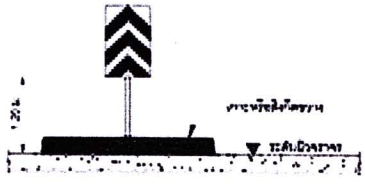
จ) ทางหลวงพิเศษ (ติดตั้งด้านขวา)



ฉ) ทางหลวงพิเศษ (ติดตั้งด้านซ้าย)



ช) ทางหลวงพิเศษ (ติดตั้งด้านซ้าย)



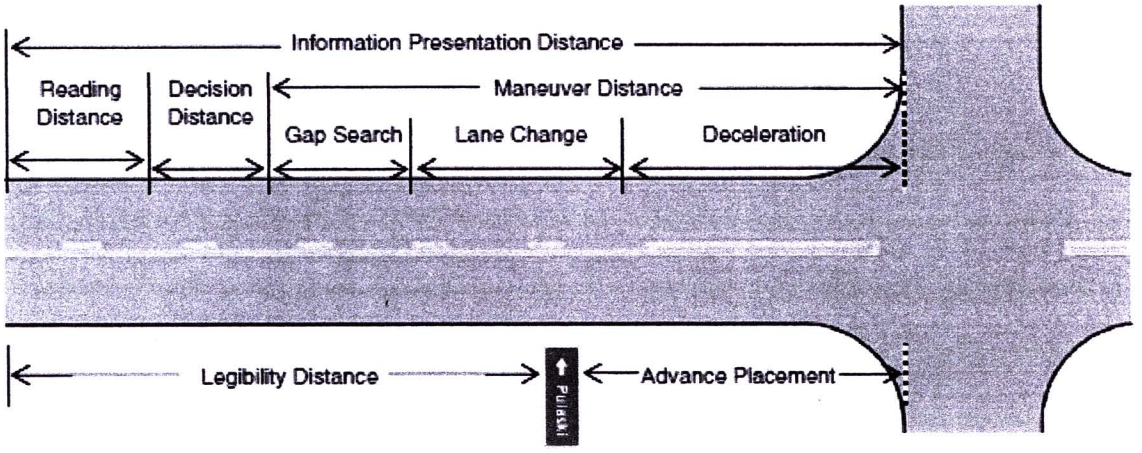
ซ) ระยะติดตั้งป้ายเตือนแนวทาง

รูปที่ 2.2 ระยะการติดตั้งป้ายบริเวณข้างทาง

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (2547).

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) = 0.5x + 1y 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

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

จากประเภทของป้ายจราจรและลักษณะของสีที่ใช้แต่ละประเภทของป้ายที่กล่าวไปข้างต้น จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการบ่งบอกถึงความสำคัญของป้ายจราจรแต่ละประเภทในการศึกษาการสะท้อนแสง รวมถึงรูปแบบการติดตั้งป้ายจราจรที่อาจมีผลต่อการสะท้อนแสงในเวลากลางคืน ในส่วนต่อไปจะอธิบายองค์ความรู้ของการสะท้อนแสงของป้ายจราจรเพื่อศึกษาในงานวิจัย

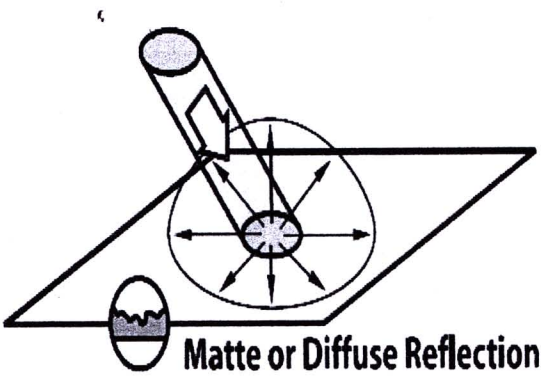
2.2 ทฤษฎีการสะท้อนแสงของป้ายจราจร

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

เทคโนโลยีการใช้หลักการสะท้อนแสงของป้ายจราจรในปัจจุบันจึงเป็นส่วนสำคัญในการช่วยให้ป้ายจราจรสามารถมองเห็นในช่วงเวลากลางคืนได้ โดยที่การสะท้อนแสงของป้ายจราจรต้องมีความเพียงพอต่อความต้องการในการมองเห็นของผู้ขับขี่เพื่อความปลอดภัยในการขับขี่ การพิจารณาการสะท้อนแสงของป้ายจราจรมีความจำเป็นที่ต้องทราบถึงหลักการสะท้อนแสงเบื้องต้นของป้ายจราจรเพื่อทราบถึงองค์ประกอบการทำงานทางกายภาพของการสะท้อนแสง

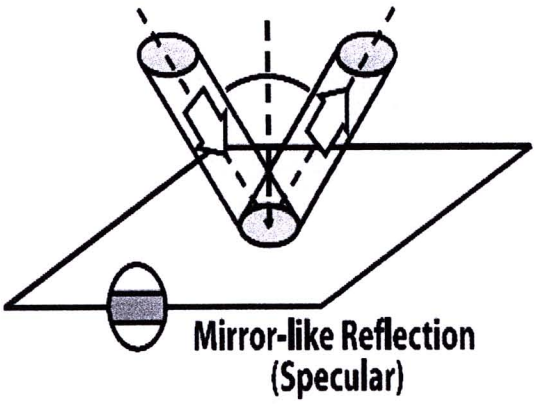
การสะท้อนแสง หมายถึง การที่แสงตกกระทบกับตัวกลางแล้วสะท้อนไปในทิศทางอื่นหรือสะท้อนกลับมาทิศทางเดิม การสะท้อนของแสงนั้นขึ้นอยู่กับพื้นผิวของวัตถุ ความเรียบ ความหยาบ โดยทั่วไปการสะท้อนแสงมีทั้งหมด 3 รูปแบบอันได้แก่ การสะท้อนแบบกระจาย (Matte or diffuse reflection) แสงที่ตกกระทบวัตถุหรือพื้นผิวจะแผ่กระจายออกบนพื้นผิวซึ่งจะพบในการ

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



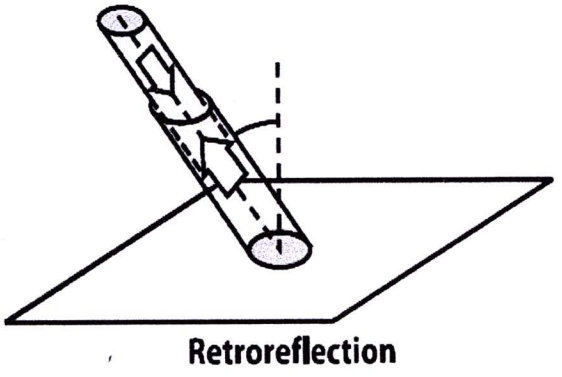
(ก) การสะท้อนแบบกระจาย

(Matte or diffuse reflection)



(ข) การสะท้อนบางช่วงของสเปกตรัม

(Specular reflection)

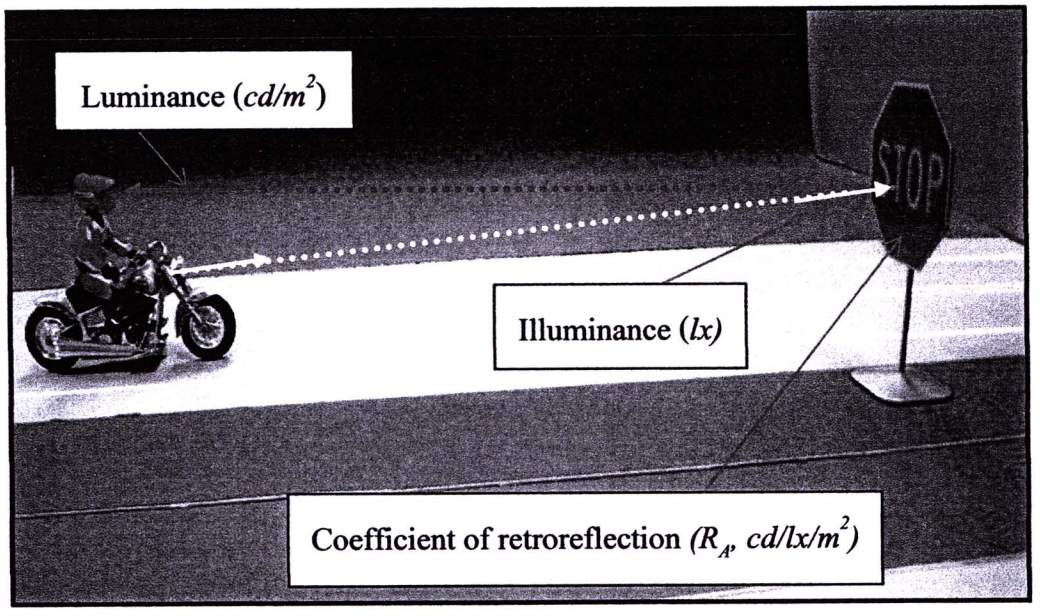


(ค) การสะท้อนแสงกลับ (Retro-reflection)

รูปที่ 2.4 ประเภทการสะท้อนแสง

ที่มา: Federal Highway Administration (2008).

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

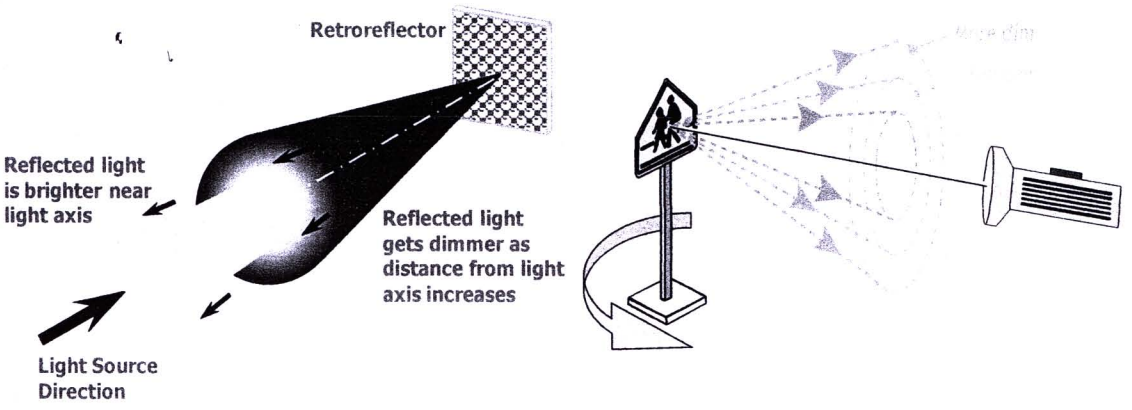
ที่มา: Federal Highway Administration (2008).

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

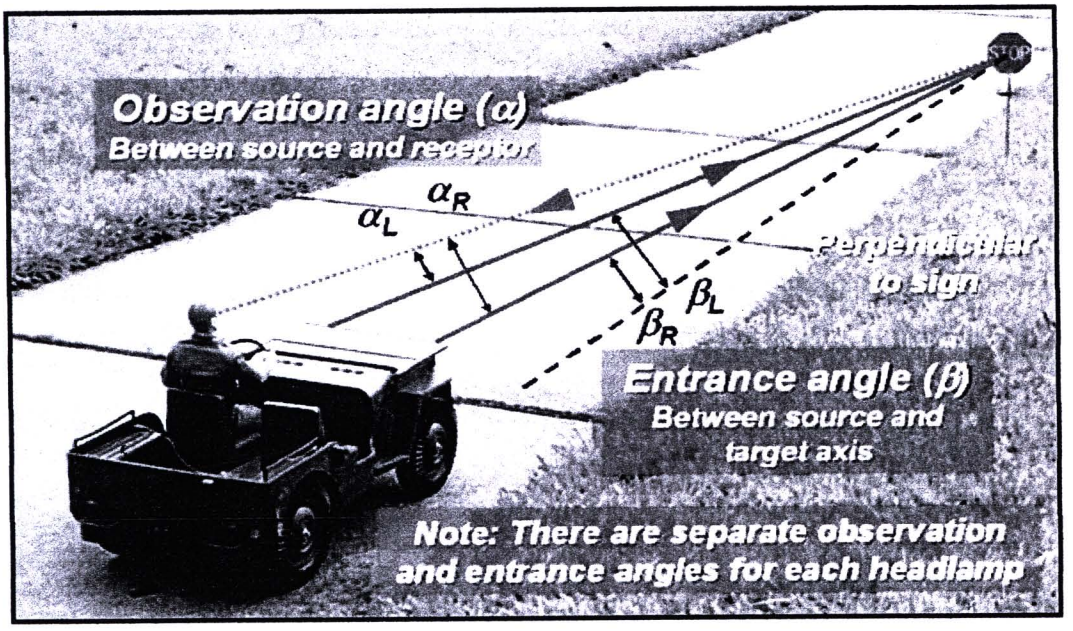
น้อยลงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 แสดงถึงความความสว่าง (Luminance) ของแสงสะท้อน เมื่อแหล่งกำเนิดแสงพุ่งเข้าสู่วัสดุสะท้อนแสงในแนวเส้นสีเหลืองจะสะท้อนแสงกลับความสว่างมากสุดในแนวเส้นทิศทางเดิม ความสว่างจะมากเมื่ออยู่ใกล้แกนของแหล่งกำเนิดแสง ระยะที่ห่างจากแกนของแหล่งกำเนิดแสงออกไปจะมีความสว่างที่น้อยลงไปจนถึงมืดในที่สุด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



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

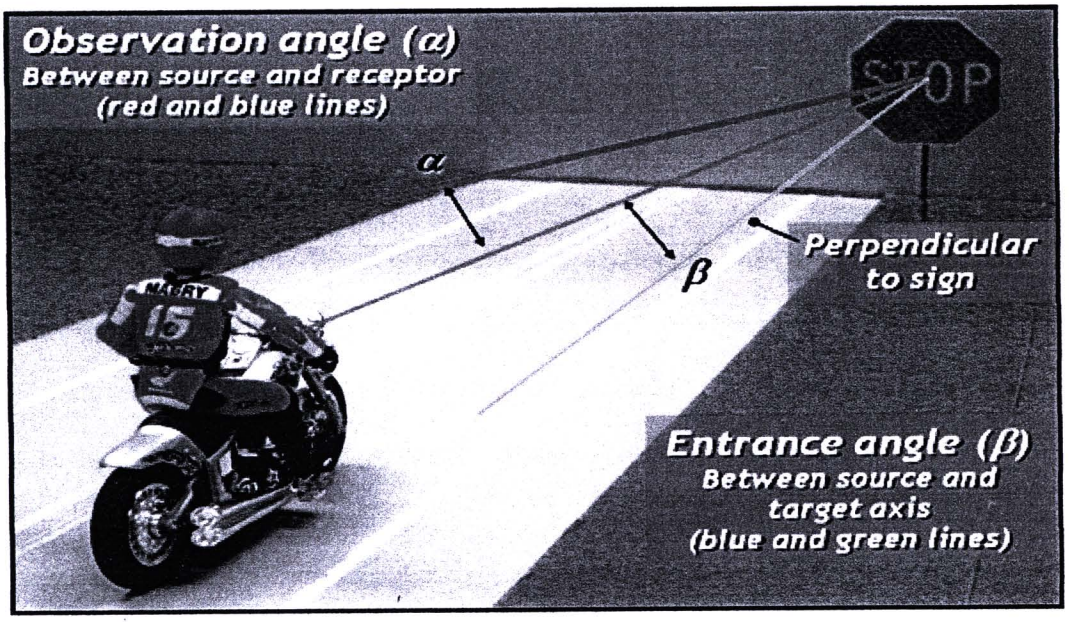
จากที่กล่าวมาข้างต้นเนื่องจากค่าการสะท้อนกลับขึ้นอยู่กลับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงและตำแหน่งของป้ายจราจร ดังนั้นในการวัดค่าการสะท้อนแสงจะต้องมีการกำหนดมุมที่ใช้ในการวัดค่า โดยได้มีการนิยามองค์ประกอบของมุมที่ใช้วัดค่าการสะท้อนแสงอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ มุมสังเกต (Observation angle) ซึ่งเป็นมุมระหว่างทิศทางของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงและทิศทางของแสงสะท้อนกลับมายังผู้ขับขี่ 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

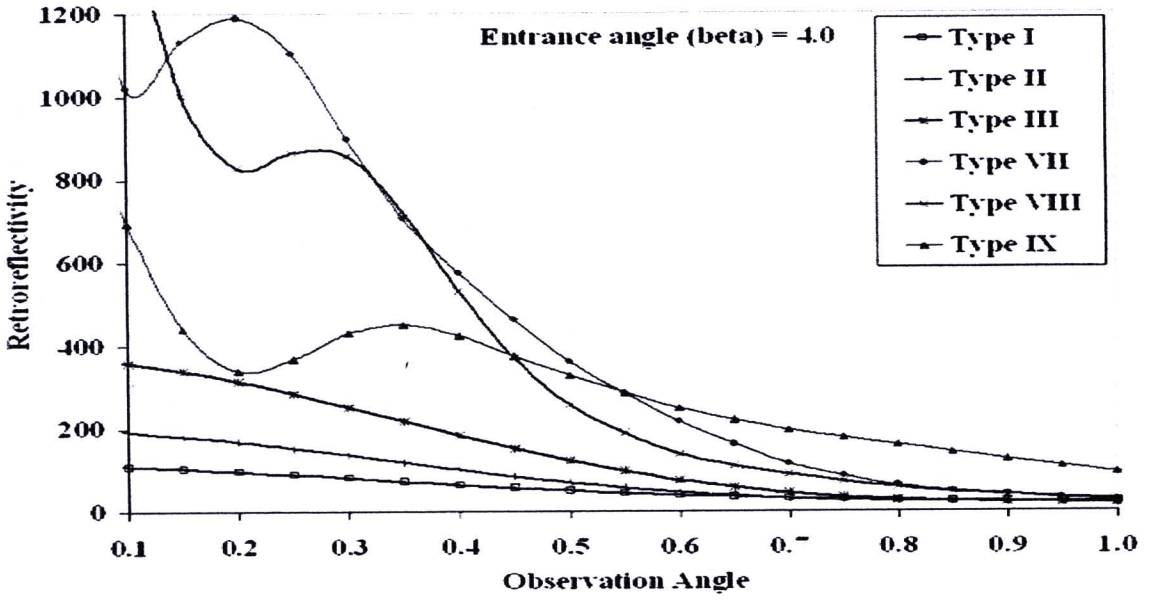
ที่มา: Federal Highway Administration (2008).

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

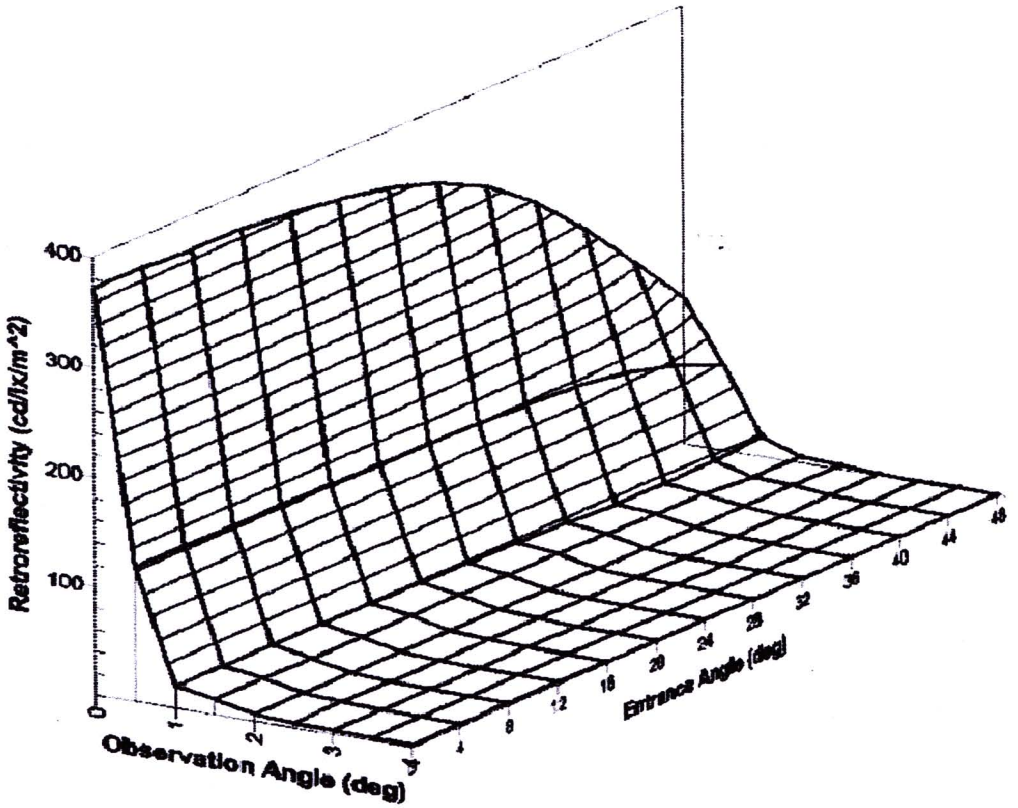
ตารางที่ 2.6 เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำและองค์ประกอบค่ามุม (ASTM, 2008)

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



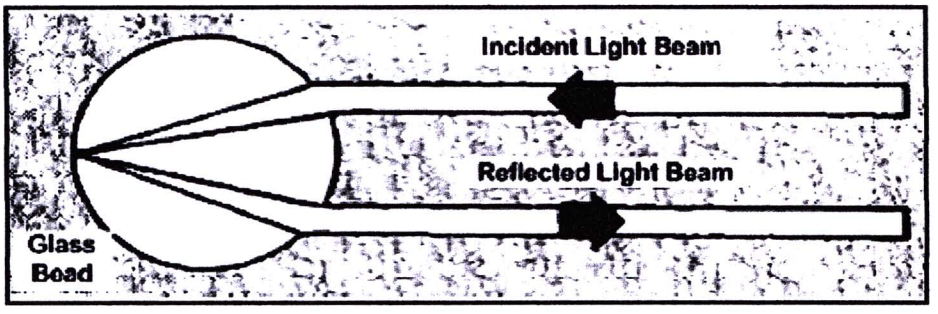
Retroreflectivity values are for a Type III (high intensity) material.

รูปที่ 2.10 ค่าการสะท้อนแสงที่มุมสังเกตและมุมตกกระทบ ของป้ายจราจร Type III

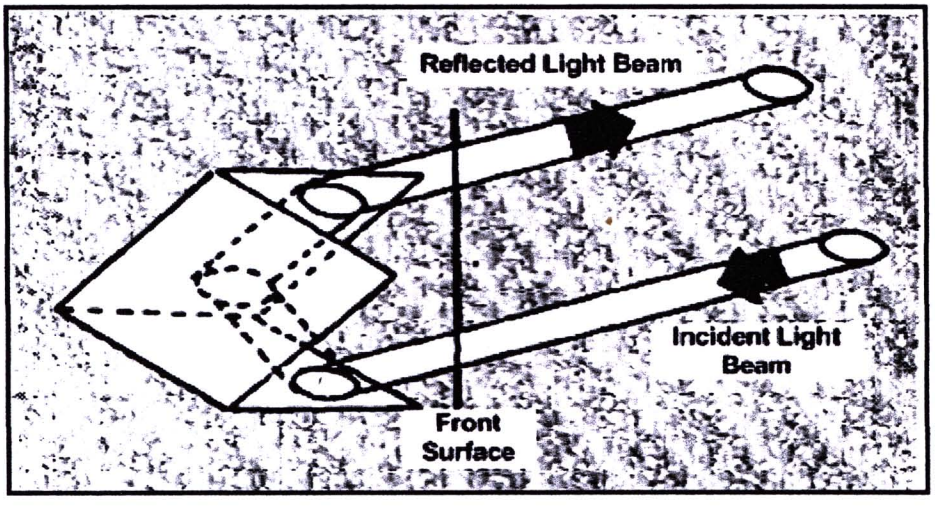
ที่มา: Federal Highway Administration (2008).

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)

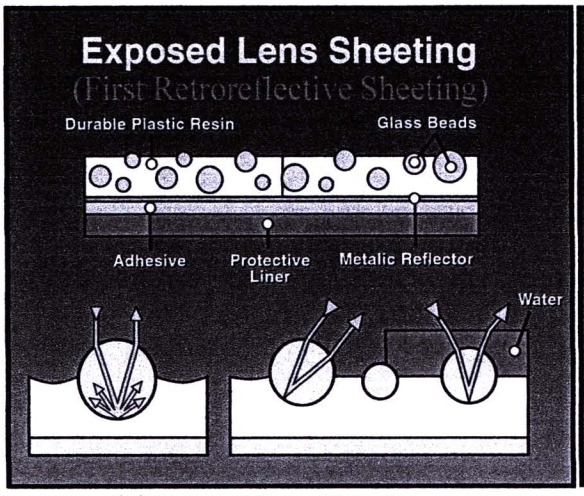
การทำงานของอนุภาคเม็ดแก้วกลม (Spherical Reflector) ในการสะท้อนแสงอาศัยหลักการเมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดกระทบอนุภาคจะหักเหเข้าสู่ตัวกลางของเม็ดแก้วกลมและกระทบพื้นผิวอนุภาคภายในเม็ดแก้วอีกครั้งโดยจะสะท้อนขนาดมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนจากนั้นจะกระทบอนุภาคเม็ดแก้วกลมอีกครั้งและหักเหออกสู่แหล่งกำเนิดแสงเดิม ในส่วนของการทำงานของอนุภาคปริซึมรูปเหลี่ยม (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)

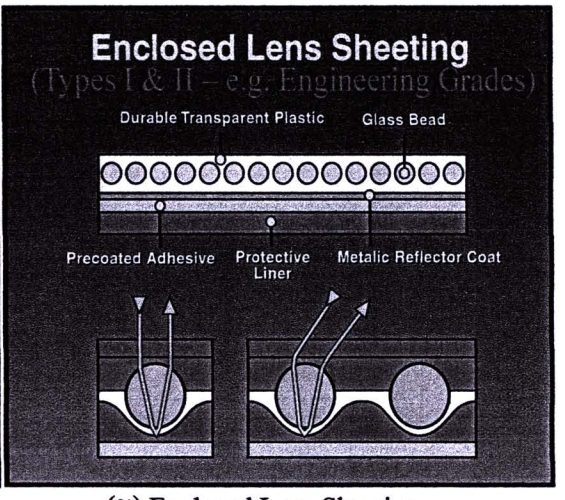
- Enclosed Lens Sheeting วัสดุสะท้อนแสงประเภทนี้มีการพัฒนาจาก Exposed Lens Sheeting โดยอนุภาคทรงกลมสะท้อนแสงจะไม่เกินออกมาที่ผิวแต่จะฝังไว้ในแผ่นพลาสติกชนิดทนทานแทนเพื่อป้องกันฝุ่นละออง น้ำ เกาะที่ผิวที่มีผลต่อการสะท้อนแสงกลับ โดยวัสดุสะท้อนแสงประเภทนี้จัดอยู่ตามการจำแนกของ ASTM เป็น Type I และ Type 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)

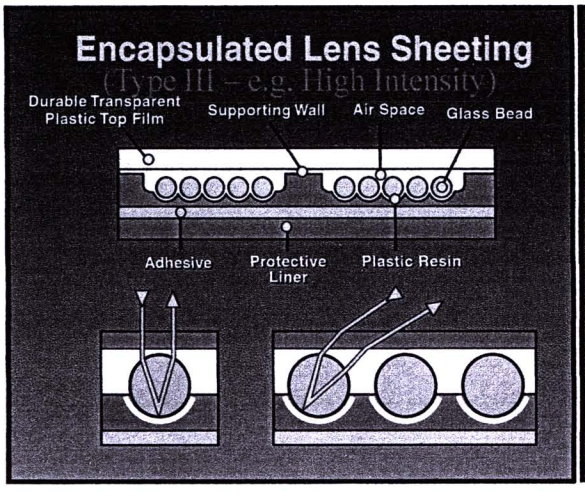
- Prismatic Lens Sheeting เป็นแผ่นสะท้อนแสงที่ใช้ปริซึมรูปเหลี่ยมโดยมีลักษณะองค์ประกอบวัสดุและการทำงานไม่แตกต่างจาก Encapsulated Lens Sheeting โดยมีการใช้ปริซึมรูปเหลี่ยมแทนที่อนุภาคทรงกลมสะท้อนแสงและแผ่นเคลือบด้านนอกเป็นอะคลิลิค แผ่นสะท้อนแสงประเภทนี้จัดอยู่ ASTM เป็น Type IV- X (High intensity (HI),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



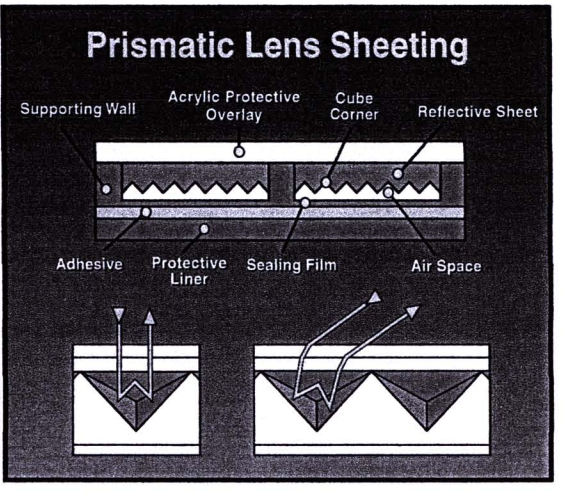
(ก) Exposed Lens Sheeting



(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

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 วิธีสุดท้ายเป็นการผนวกรวมเอาการใช้คนสำรวจและการใช้เครื่องมือสำรวจเข้าด้วยกัน โดยวิธีนี้จะถูกจำกัดในการตรวจสอบขนาดตัวอย่างที่มากจะให้ผลที่คลาดเคลื่อนได้เนื่องจากต้องแปลความหมายข้อมูลจากเทปบันทึกมาก 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

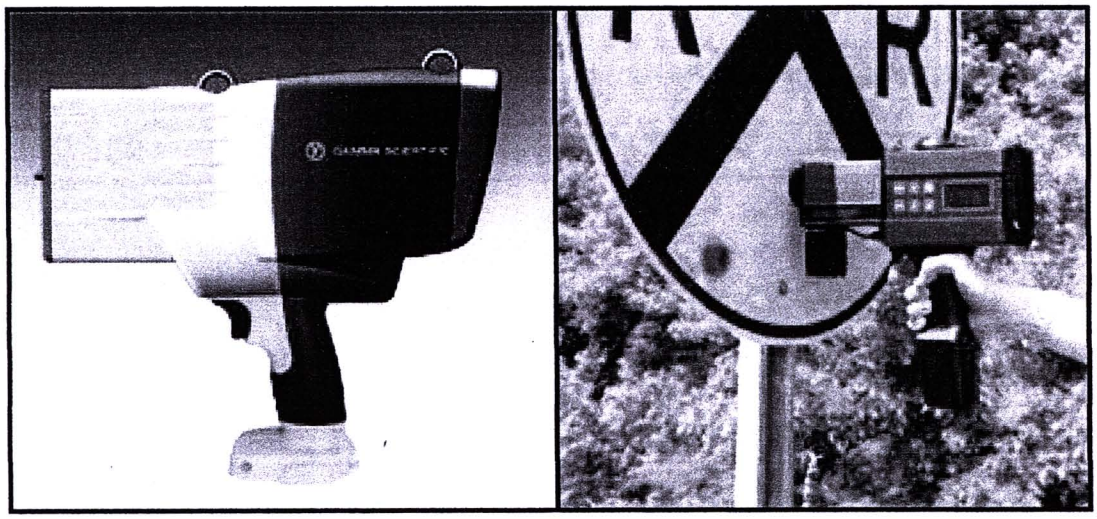
Measurement Method	Special Equipment Requirement	Stop Required for Each Sign	Limited to Use at Night	Accuracy Verified
Observer				
• Visual Inspection	None	No	Yes	No
• Comparison with Standard Test Strip	Standard Test Strip	Yes	Yes	No
Instrument				
• Photometer (Rector)	Photometer	Yes	-	Yes
• Retroreflectometer (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)

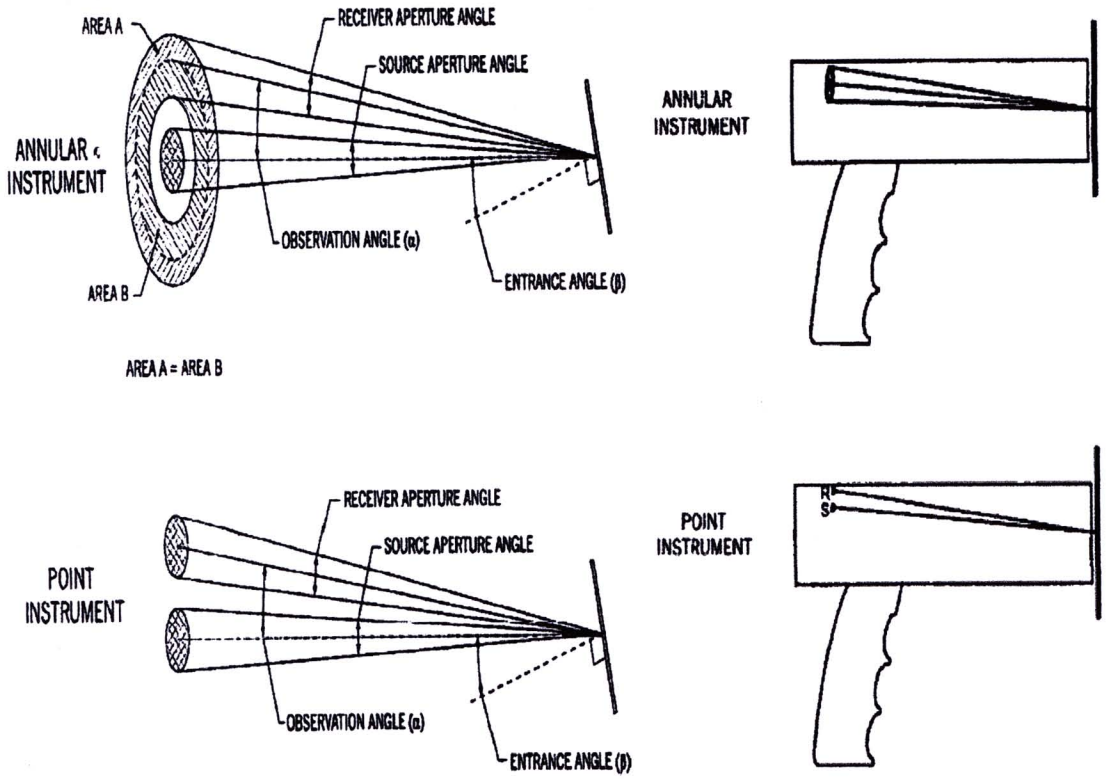
รูปที่ 2.14 อุปกรณ์หาค่าการสะท้อนแสงที่ไม่ต้องสัมผัสกับป้าย (with non-contact instruments)

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

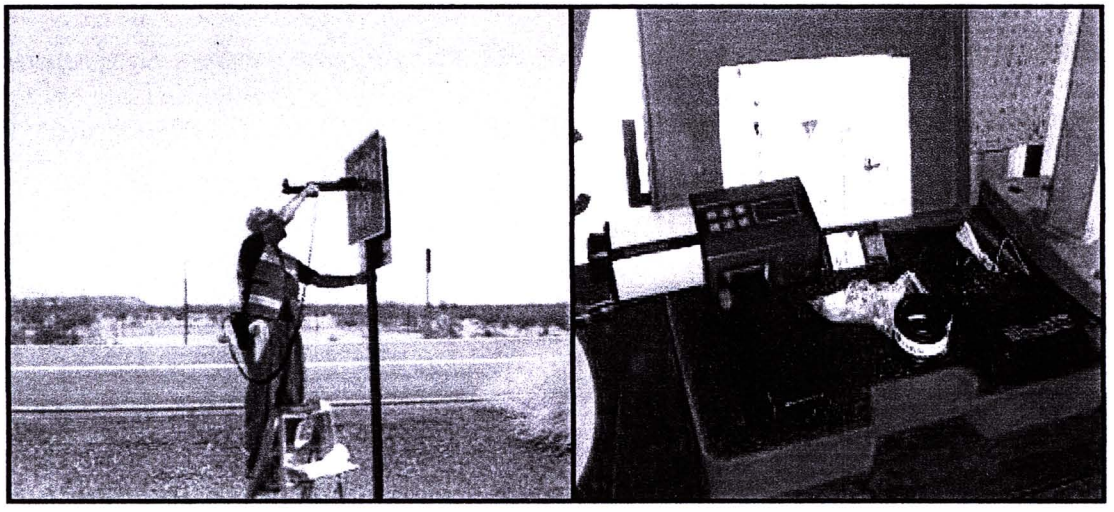
เครื่องมืออุปกรณ์การวัดค่าการสะท้อนแสงที่ต้องใช้การสัมผัสป้าย (Hand-held contact instruments) ตามมาตรฐาน ASTM Standard Test Method E1709 ได้ระบุความแตกต่างของ

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

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)

υ คือ มุมที่ผู้ขับขี่มองเห็นป้ายจราจร

Illuminance คือ ปริมาณแสงที่ไฟหน้ารถยนต์ส่องมายังป้ายจราจร (lx)

โดยแบบจำลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรขั้นต่ำ (MR Model) สามารถนำมาใช้ในการกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำการสะท้อนแสงในแต่ละสีของป้ายจราจรแต่ละประเภท ได้แต่เงื่อนไขอยู่บนตัวแปรหลักดังกล่าวที่ถูกพิจารณาในแบบจำลอง ตัวแปรอื่นๆที่กระทบต่อการสะท้อนของแสงไม่ถูกพิจารณาความสัมพันธ์ในแบบจำลองนี้

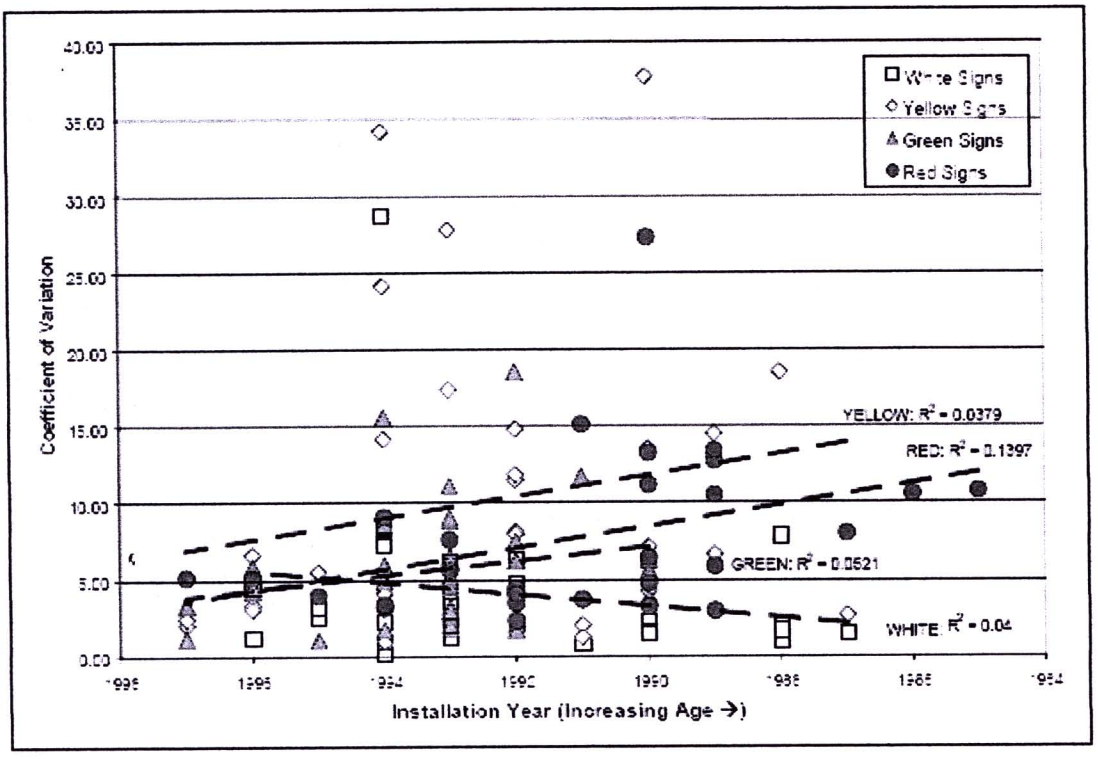
Kirk และคณะ (2001) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจร จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพื้นฐานค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งทิศทางทางกายภาพของป้ายกับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ซึ่งตำแหน่งทิศทางของป้ายจะแสดงถึงผลกระทบจากปริมาณรังสีของแสงอาทิตย์ที่กระทบป้าย 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

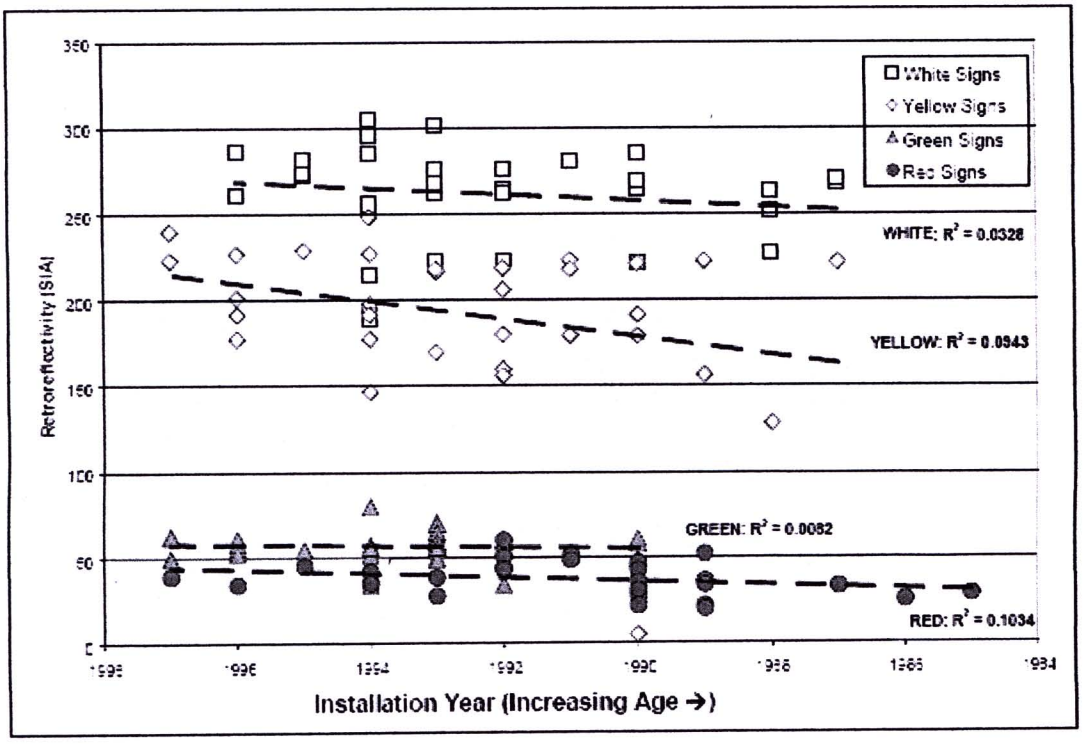
ผลการศึกษาปัจจัยที่กระทบต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจร Kirk และคณะ (2001) พบว่าในการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง 10 ค่าในสีและป้ายเดียวกันมีค่าการกระจายแต่ละสีที่มาก โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่า R_A ดังตารางที่ 2.12 แสดงถึงการกระจายของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงมีการกระจายสูงสุดถึงร้อยละ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

ตารางที่ 2.12 ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของ R_A แบ่งตามสีป้ายจราจร (Kirk และคณะ, 2001)

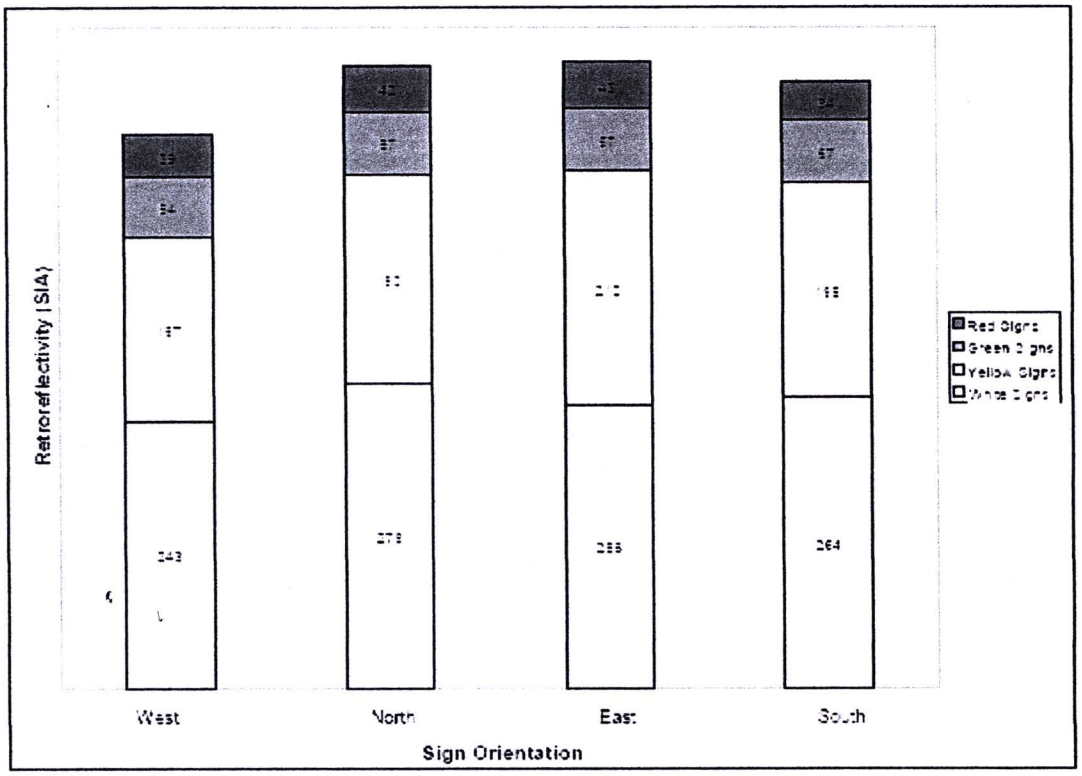
Sign Color	Minimum Measured CV	Maximum Measured CV
White	0.2%	28.7%
Yellow	0.9%	37.8%
Green	1.1%	18.5%
Red	2.3%	27.3%



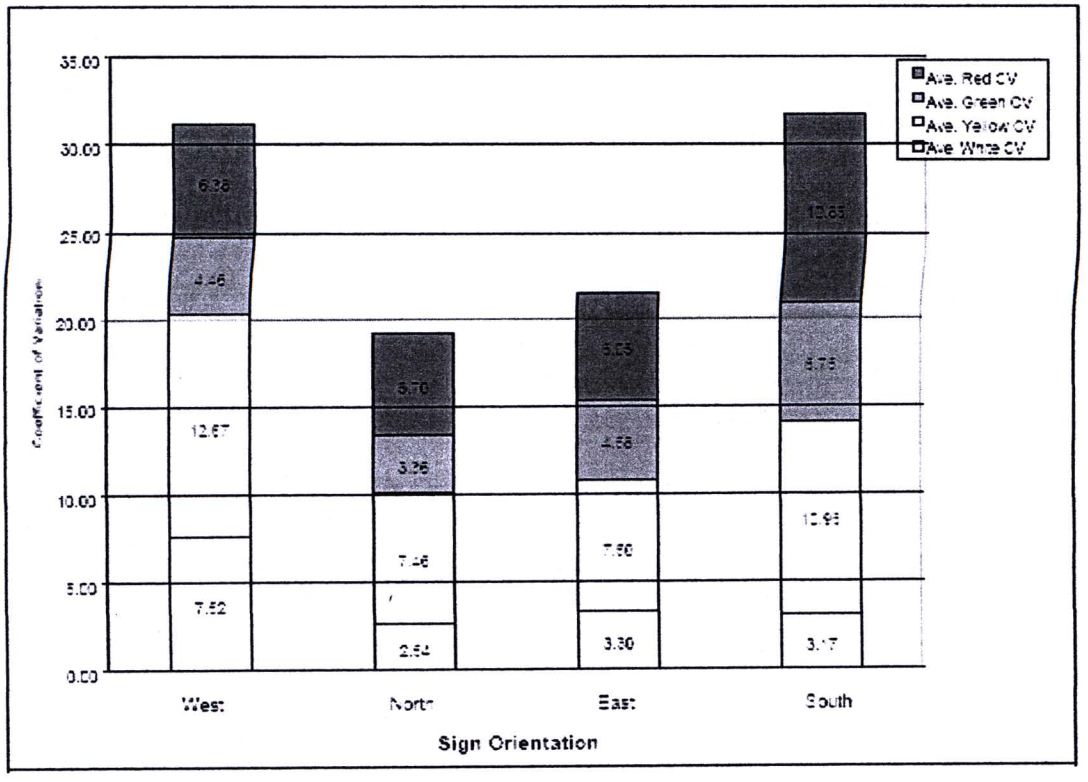
รูปที่ 2.17 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของ R_A เทียบอายุป้ายจราจร (Kirk และคณะ, 2001)



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

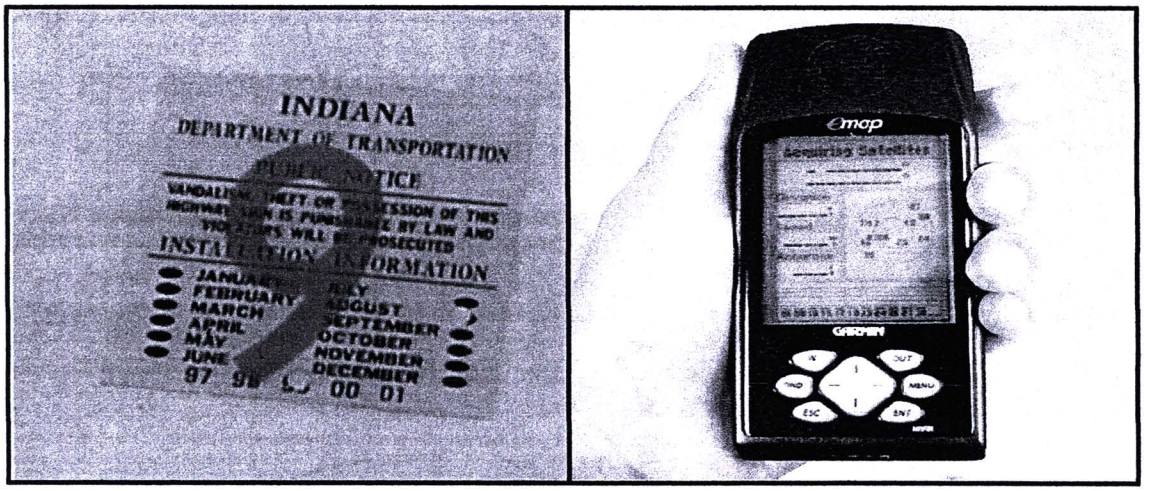
โดยการศึกษาของ Black และคณะ (1992) ในด้านสิ่งแปลกปลอมที่เกาะป้ายและทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงเปลี่ยนไป มิได้รวมการพิจารณาผลของสถานที่ตั้งของป้าย เช่น ป้ายในพื้นที่เมือง และพื้นที่ชนบท เพราะเนื่องจากในพื้นที่เมืองอาจมีผลของมลพิษทางอากาศที่มากกว่าชนบทและอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพของป้ายอันทำให้การสะท้อนแสงเปลี่ยน

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

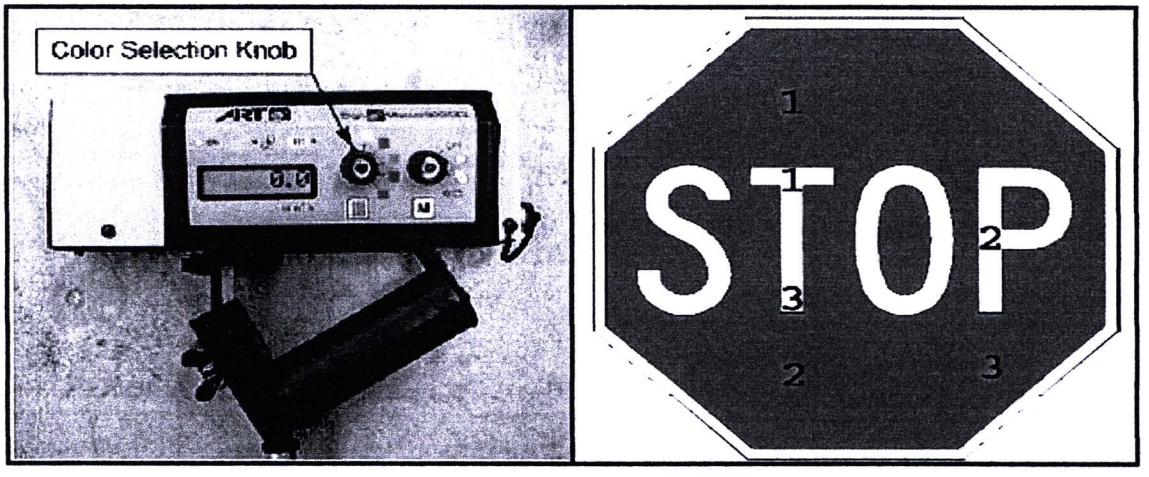
การเก็บข้อมูลโดยป้ายจะถูกตรวจสอบวันติดตั้งเพื่อให้แน่ใจว่าป้ายไม่ใหม่เกินไป ป้ายที่ไม่สามารถระบุวันติดตั้งได้จะไม่นำมาเป็นเป็นกลุ่มตัวอย่างในการศึกษา อายุป้ายหาจากวันติดตั้งโดยรัฐอินดีแอนามีสติกเกอร์ที่ระบุรายละเอียดเดือนและปีที่ติดตั้งป้ายแต่ละป้าย ดังรูปที่ 2.21 จากนั้นมีการเก็บข้อมูลระยะทางจากขอบถนน (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

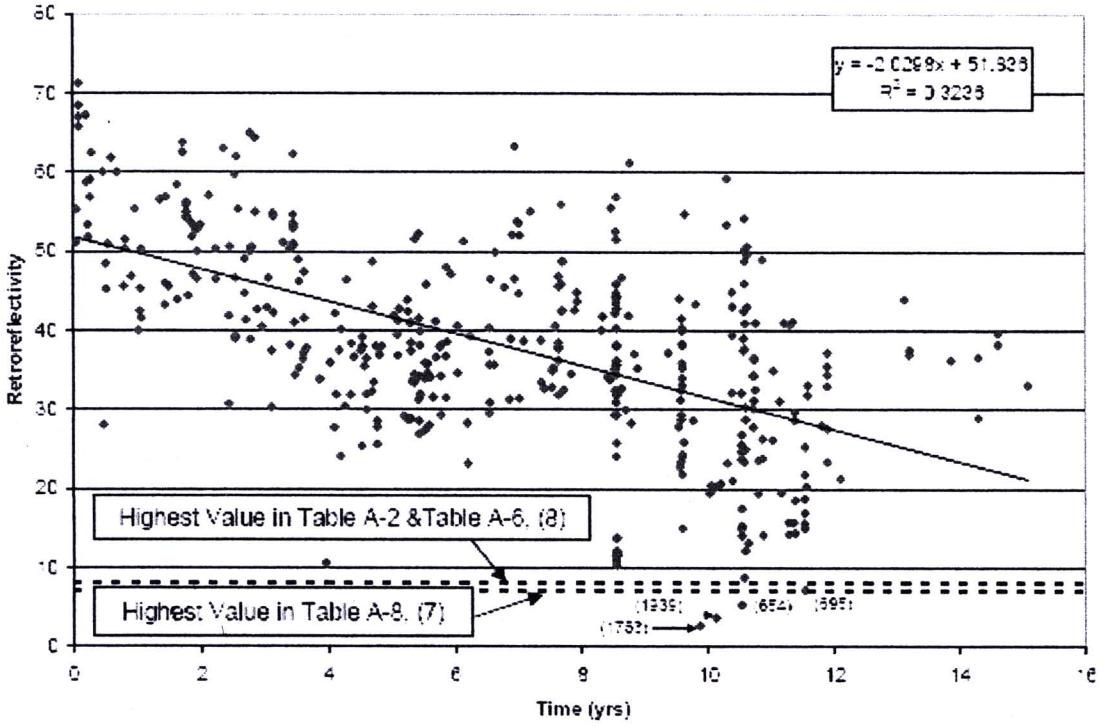


รูปที่ 2.21 สติกเกอร์บันทึก เดือน ปี การติดตั้งป้ายจราจรและเครื่องมือ GPS แบบพกพา



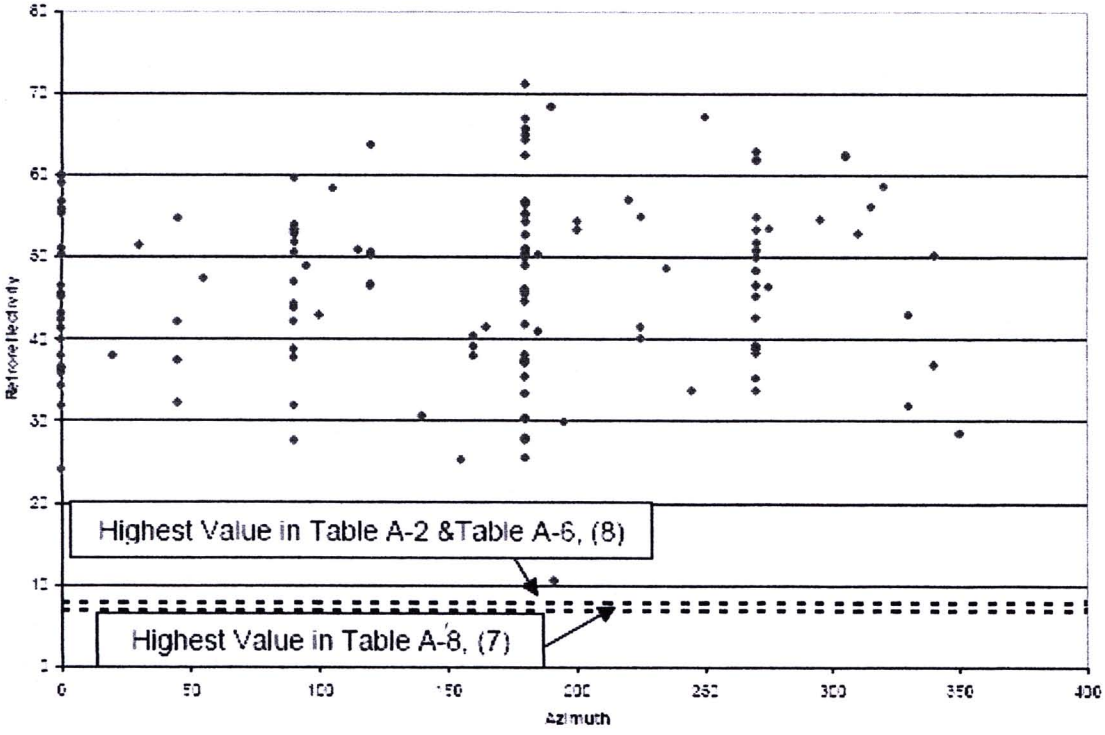
รูปที่ 2.22 ART Sign Master 920 SEL วัดค่าการสะท้อนแสงแบบพกพาและจุดวัดค่าของป้ายหยุด

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



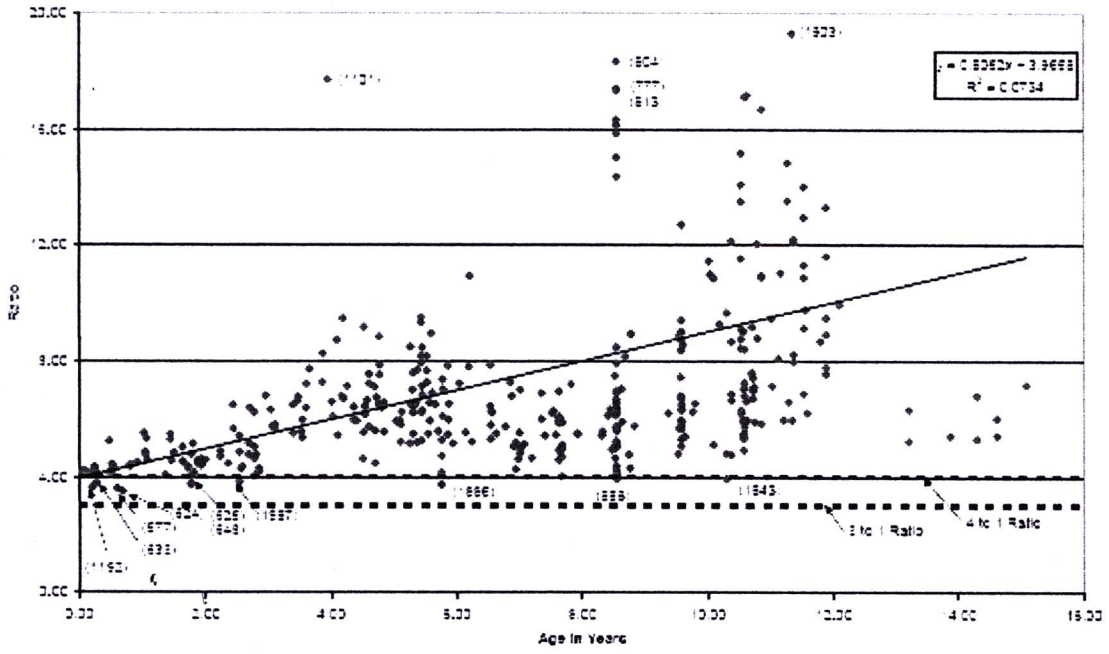
รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ค่า R_A และอายุของป้ายจราจรสีแดง

(Bullock และ Bischoff, 2002)



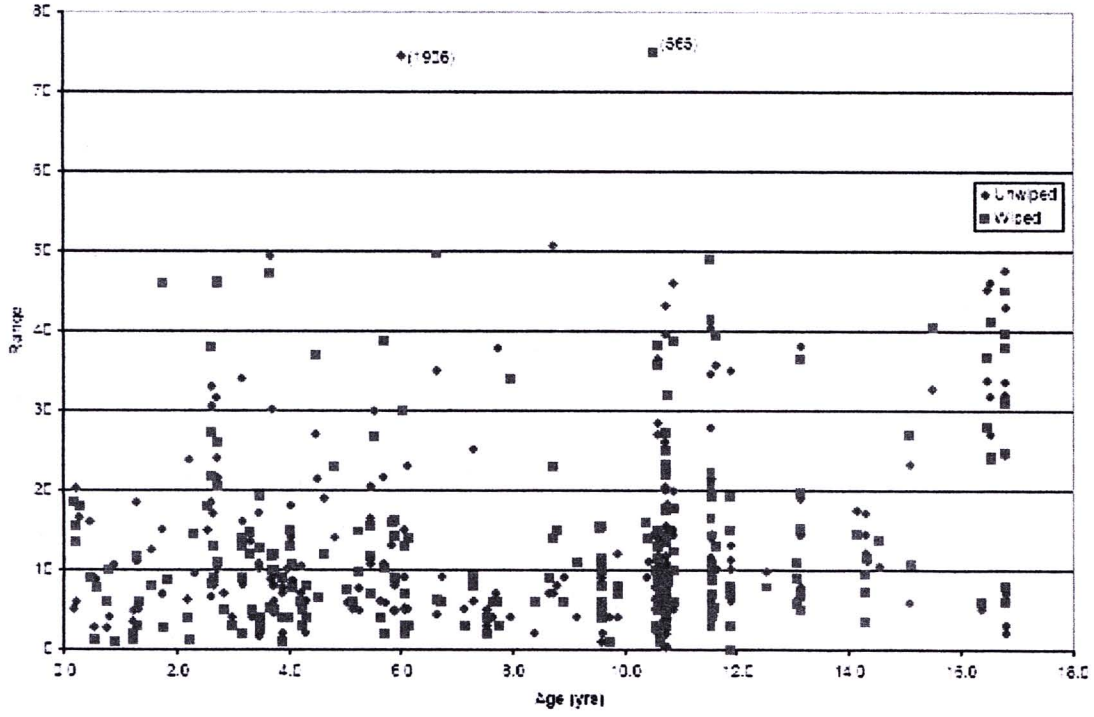
รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ค่า R_A และ Azimuth ของป้ายจราจรสีแดงอายุ 0-5 ปี

(Bullock และ Bischoff, 2002)



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	

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

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

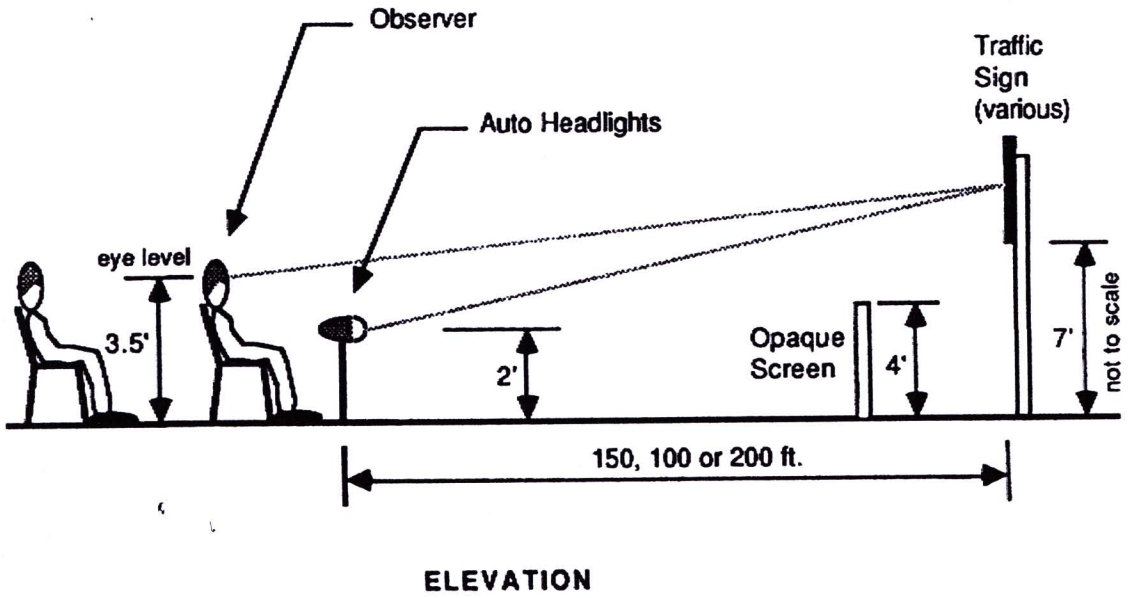
การออกแบบการทดลองของ Lagergren ได้จัดทำการทดลอง 3 รูปแบบ ได้แก่ การทดลองแรกเป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติภายใน University of Washington การที่มีการเตรียมป้ายจราจร แหล่งกำเนิดแสง ตำแหน่งผู้นั่งทดสอบการสะท้อนแสงเพื่อประเมินที่ระยะต่างๆกัน รวมถึงระยะการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบต่างๆ ทั้งมุมมองในแนวราบและด้านบน 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

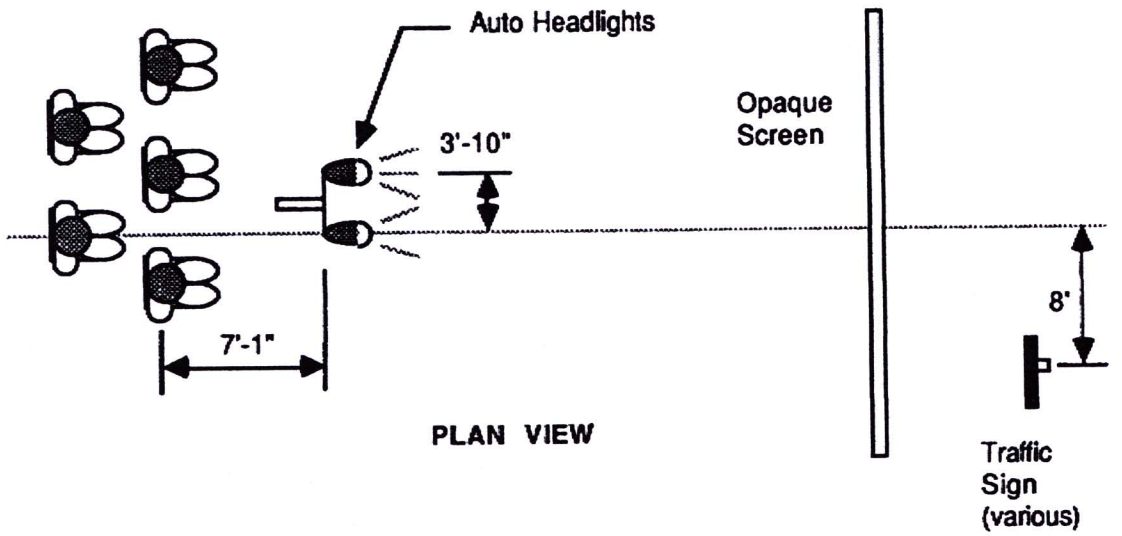
$$ORU = \frac{\sum_{j=1}^{NC}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_A - X_O)^2}}{NC}$$

X_A คือ ค่าอันดับจริงของป้ายจราจร X_O คือ ค่าอันดับจากการประเมินของผู้ทดสอบ

n คือ จำนวนป้ายที่ทดสอบแต่ละประเภทอันดับ NC คือ จำนวนอันดับในแต่ละป้ายที่สำรวจ

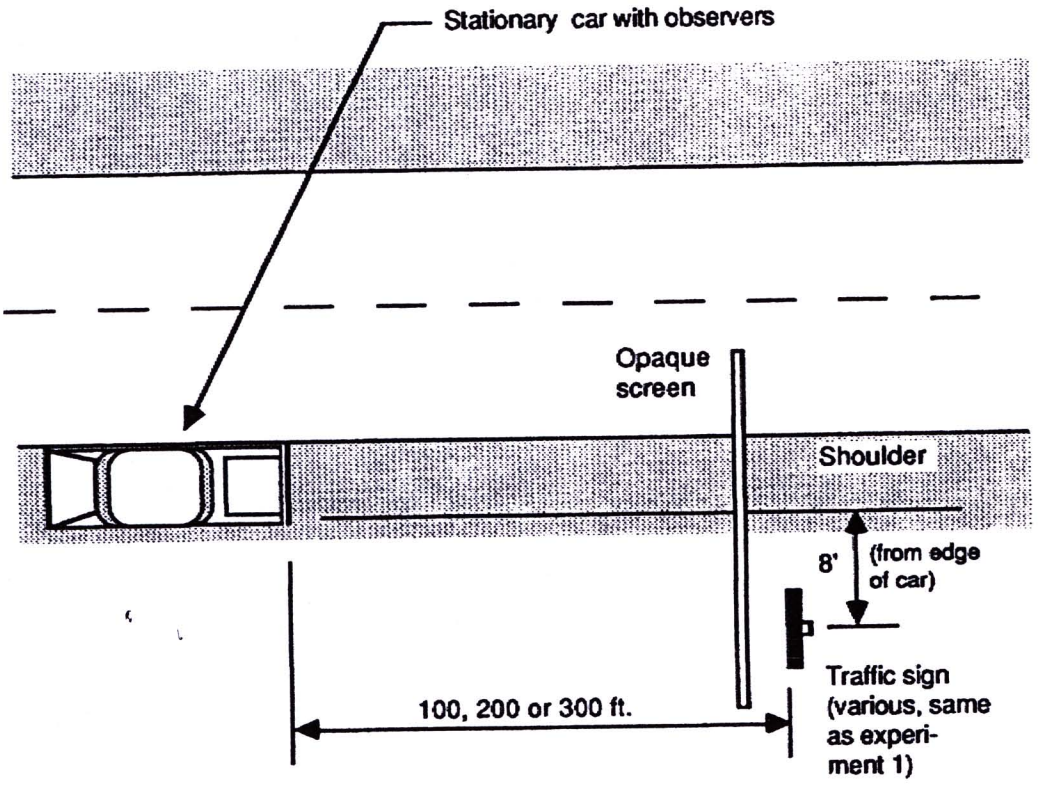


(ก) ด้านข้าง

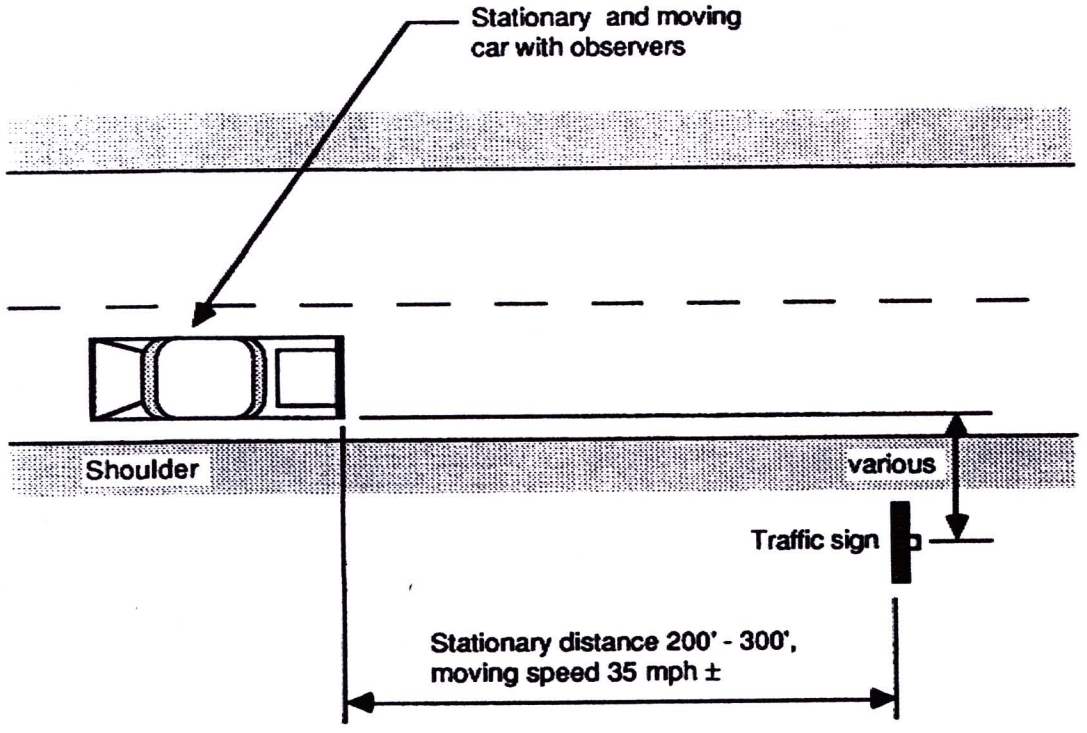


(ข) ด้านบน

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 ความผิดพลาดนี้อาจเป็นผลจากการประเมินโดยคนที่อาจมีความคลาดเคลื่อนทางสายตาหรือลักษณะของบุคคล 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

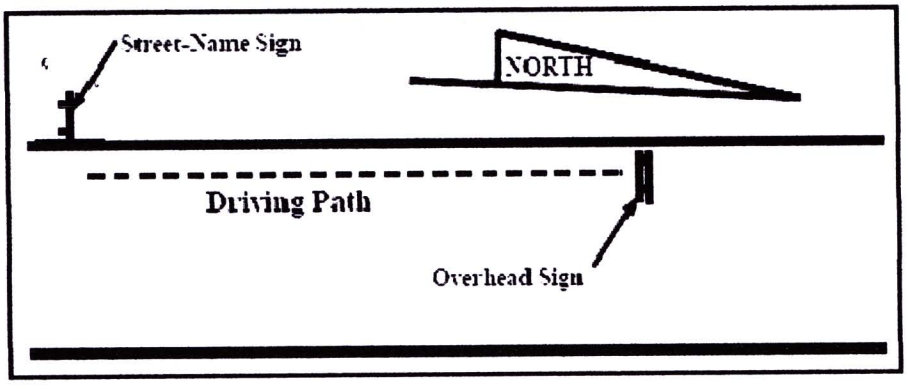
ตารางที่ 2.19 ค่าการสะท้อนแสงที่แนะนำสำหรับป้ายแนะนำ อักษรขาวบนพื้นเขียว

(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)

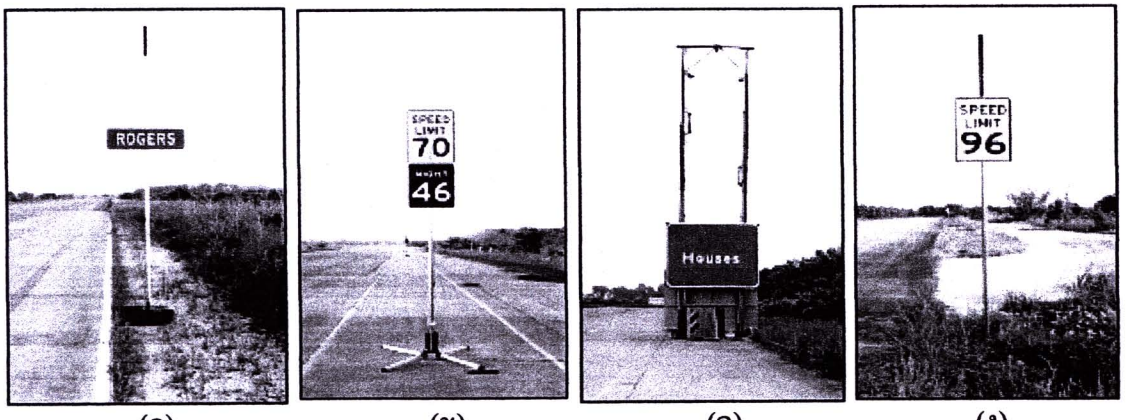
ผลการศึกษาทำให้ได้เกณฑ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของป้ายจราจรสีขาวบนพื้นน้ำเงิน (White on blue) และสีขาวบนพื้นน้ำตาล (White on brown) และเพิ่มเติมลงในตารางเกณฑ์การสะท้อนแสงของป้ายจราจรขั้นต่ำทุกประเภทสีของป้ายจราจร ดังตารางที่ 2.21

ตารางที่ 2.21 เกณฑ์การสะท้อนแสงขั้นต่ำของทุกสีป้ายจราจร (Holick และ Carlson, 2008)

Sign Color	Sheeting Type (ASTM D4956-04)				Additional Criteria
	Beaded Sheeting			Prismatic Sheeting	
	I	II	III	III, IV, VI, VII, VIII, IX, X	
White on green or white on blue	W*; G ≥ 7	W*; G ≥ 15	W*; G ≥ 25	W ≥ 250; G ≥ 25	Overhead
	W*; G ≥ 7	W ≥ 120; G ≥ 15			Ground mounted
White on brown	W*; Br ≥ 7	W*; Br ≥ 15	W*; Br ≥ 20	W ≥ 350; Br ≥ 20	Overhead
	W*; Br ≥ 7	W ≥ 150; Br ≥ 15			Ground mounted
Black on yellow or black on orange	Y*; O*	Y ≥ 50; O ≥ 50			(1)
	Y*; O*	Y ≥ 75; O ≥ 75			(2)
White on red	W ≥ 35; R ≥ 7				(3)
Black on white	W ≥ 50				-
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°.					
(1) For text and fine symbol signs measuring at least 1,200 mm (48 inches) and for all sizes of bold symbol signs.					
(2) For text and fine symbol signs measuring less than 1,200 mm (48 inches).					
(3) Minimum Sign Contrast Ratio ≥ 3:1 (white retroreflectivity ÷ red retroreflectivity).					
* This sheeting type should not be used for this color for this application.					

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



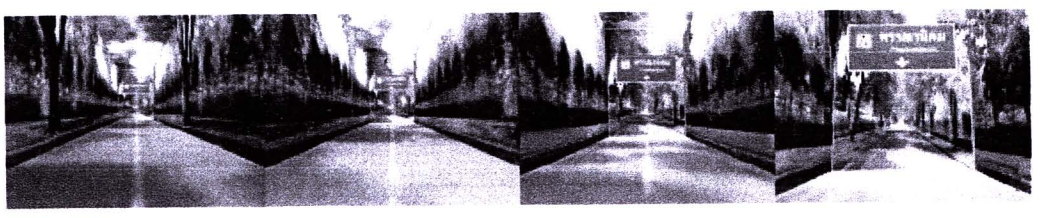
(ก) (ข) (ค) (ง)

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

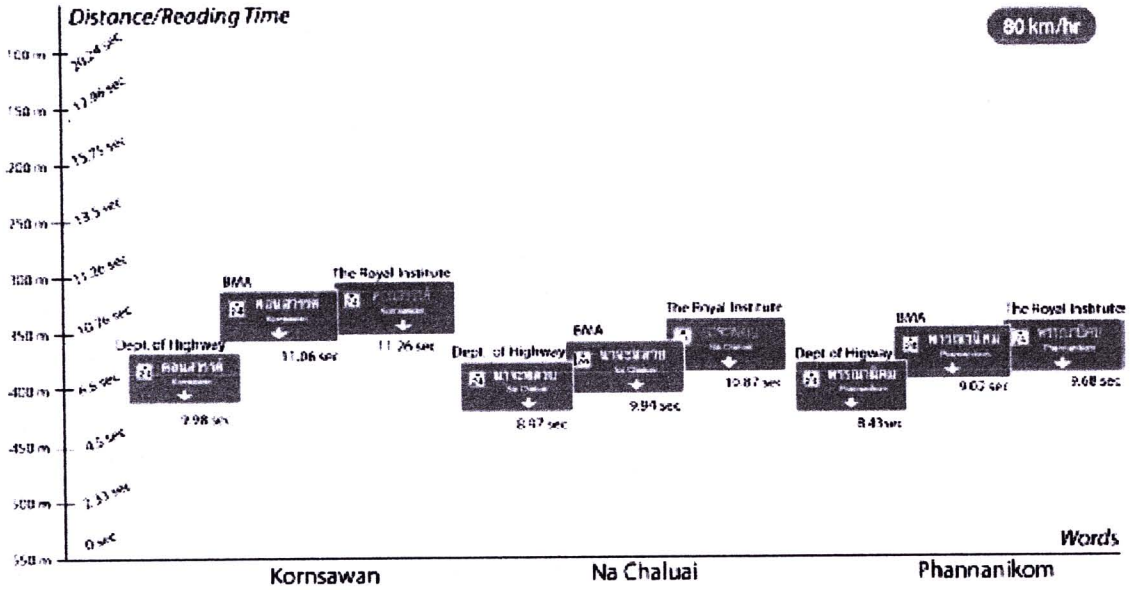
กล่าวโดยสรุปงานวิจัยนี้พบว่าประเภทของยานยนต์ในการขับขี่ที่ทดสอบ คือ Freightliner ปี 1986 และ Chevy Lumina ปี ค.ศ. 1998 ในเวลากลางคืนมีผลต่อการระยะการมองเห็นของผู้ขับขี่ รวมถึงประเภทป้ายจราจรและประเภทป้ายสะท้อนแสง แต่การทดสอบมีผลเพียงกับป้ายจำกัดความเร็ว ป้ายประเภทอื่นที่ทำการทดสอบไม่มีผลที่แตกต่างต่อระยะการมองเห็น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

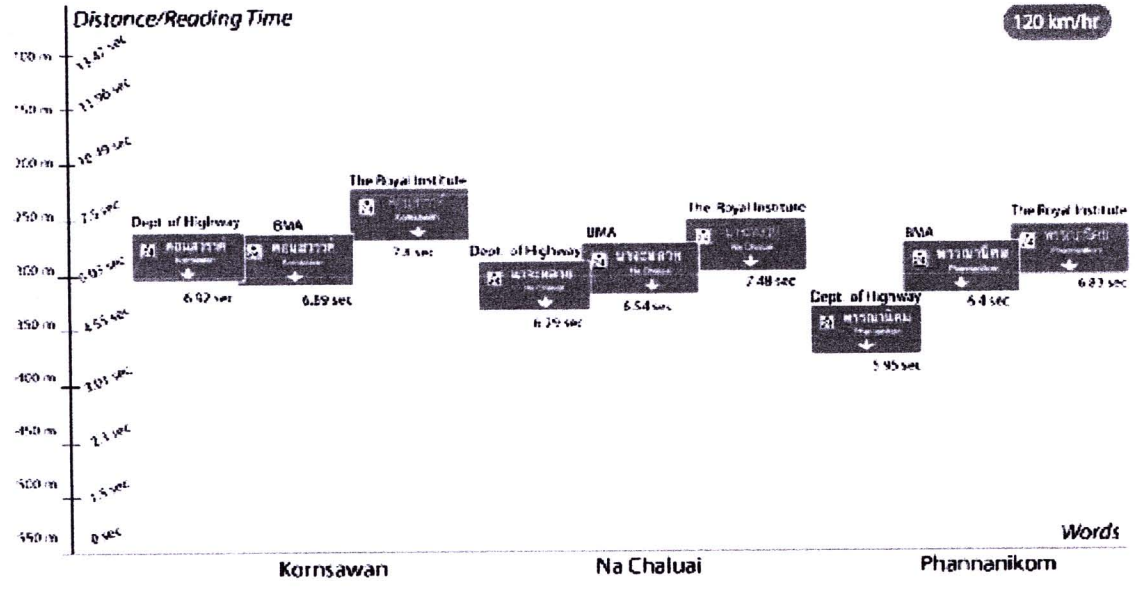


รูปที่ 2.32 การทดสอบระยะการมอเห็นในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

(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 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อนแสงของป้ายจราจร พบว่า 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