ประสิทธิภาพของการใช้เทปเส้นจราจรสะท้อนแสง (Retroreflective Tape) ทดแทนหมุดสะท้อนแสง (Road Stud) บนทางพิเศษ

Efficiency of Using Retroreflective Tape Instead of Road Stud on Expressways

ปิยภัค มหาโพธิ์[1], นันทวรรณ พิทักษ์พานิช[2] และ เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร[3]

[1,2,3] *กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310*

**Corresponding author; E-mail address: piyapak1991@hotmail.com*

บทคัดย่อ

เครื่องหมายจราจรบนทางพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ควบคุมการจราจรที่ใช้เป็นตัวกำหนดทิศทางแก่ผู้ใช้ทางพิเศษ เพื่อให้สามารถขับขี่ยานพาหนะได้อย่างสะดวกรวดเร็วและปลอดภัย เส้นจราจร (Line Marking) และหมุดสะท้อนแสง (Road Stud) เป็นหนึ่งในเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางพิเศษ ที่มีหน้าที่แบ่งช่องจราจร โดยต้องสามารถมองเห็นได้ชัดเจนในทุกสภาวะ ทั้งกลางวันและกลางคืน อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการสะท้อนแสงของเครื่องหมายจราจรจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป หรือมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสภาพแวดล้อม เช่น มีสภาวะแสงน้อย หรือมีฝนตกจนเกิดเป็นฟิลม์น้ำเคลือบอยู่บนผิวหน้า ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุจากการมองไม่เห็นเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางพิเศษ การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) จึงเล็งเห็นถึงความปลอดภัยของผู้ใช้ทางพิเศษและได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพ (Geometric Layout) รวมถึงประสิทธิภาพของการใช้เทปเส้นจราจรสะท้อนแสงทดแทนหมุดสะท้อนแสงบนทางพิเศษ จากการศึกษาพบว่าขนาดของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงทดแทนหมุดสะท้อนแสงควรมีความกว้างเท่ากับเส้นจราจรบนทางพิเศษคือ 0.15 เมตร และมีความยาวไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร ซึ่งเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงมีค่าการสะท้อนแสงในสภาวะแห้งและเปียกสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด ทำให้วิสัยทัศน์ของผู้ขับขี่ชัดเจนขึ้น ใช้ระยะเวลาในการติดตั้งน้อย และมีราคาต่อหน่วยเทียบเท่ากับหมุดสะท้อนแสง

คำสำคัญ: เส้นจราจร, หมุดสะท้อนแสง, ลักษณะทางกายภาพ, ทางพิเศษ

Abstract

Road Marking and Traffic Sign are a part of traffic control devices for giving a direction for expressway users to drive easily, quickly and safely. Line Marking and road stud are used on expressways to divide traffic lanes, so they need to clearly visible in both day and night conditions. However, the reflectivity of road markings decreases over time or environmental changes such as low light conditions or rains, causing a water film to be coated on the surface. This can lead to accidents as drivers are not able to see road marking on the expressway. The Expressway Authority of Thailand (EXAT) aims to provide drivers with good service and safety. with the concerns about safety, EXAT Launches a study on geometric layout including the efficiency of using “Retroreflective tape” instead of road studs. This paper shows that the size of the reflective traffic tape to be used in place of road studs should be 0.15 m wide and 0.30 m The reflectivity values of the tape in dry and wet conditions are higher than FHWA standard, which provides clearer vision. Moreover, it requires less installation time and has the same unit price as road studs.

Keywords: Road Marking, Road Stud, Geometric Layout, Expressways

1. บทนำ

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) เป็นหน่วยงานในสังกัดกระทรวงคมนาคมที่มีวิสัยทัศน์มุ่งสู่การเป็นองค์กรนวัตกรรมเพื่อการเดินทางและคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น (Innovation for better drive and better life) จึงมีการศึกษาเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ ๆ เพื่อพัฒนาคุณภาพของการให้บริการทางพิเศษอยู่เสมอ

การเดินทางบนทางพิเศษผู้ขับขี่จะต้องปฏิบัติตามเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางพิเศษ (Road Marking) อย่างเคร่งครัด เพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุ ดังนั้นเครื่องหมายจราจรจำเป็นที่จะต้องสังเกตเห็นได้ชัดเจนตลอดเวลาและทุกสภาวะ ทางพิเศษได้มีการใช้เส้นจราจร (Traffic Line) ร่วมกับหมุดสะท้อนแสง (Road Stud) เพื่อนำทางให้ผู้ขับขี่ไปในทิศทางที่ถูกต้องปลอดภัย อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการสะท้อนแสงของเครื่องหมายจราจรจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป หรือมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสภาพแวดล้อม เช่น มีสภาวะแสงน้อย หรือมีฝนตกจนเกิดเป็นฟิลม์น้ำเคลือบอยู่บนผิวหน้า ซึ่งทำให้การมองเห็นเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางพิเศษลดลง เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ ดังนั้น กทพ. จึงมีแนวคิดที่จะทำให้การเดินทางเป็นไปด้วยความสะดวกและปลอดภัย โดยทดลองใช้เทปเส้นจราจรสะท้อนแสง (Retroreflective Tape) ติดตั้งแทนหมุดสะท้อนแสง อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาว่าการใช้เทปเส้นจราจรสะท้อน

แสงแทนที่หมุดสะท้อนแสงบนทางพิเศษนั้นจำเป็นต้องมีคุณสมบัติและเงื่อนไขใดบ้าง ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1) วิเคราะห์ค่าการสะท้อนแสงของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสง ณ วันติดตั้ง และ 8 เดือนหลังการติดตั้ง

2) วิเคราะห์ขนาดที่เหมาะสมของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงที่สามารถใช้แทนหมุดสะท้อนแสงได้

3) วิเคราะห์เปรียบเทียบความคุ้มค่าของการใช้เทปเส้นจราจรสะท้อนแสงแทนหมุดสะท้อนแสง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีของเครื่องหมายจราจร (Lane Marking Technologies)

เครื่องหมายจราจรบนพื้นทางพิเศษมีหน้าที่เพิ่มประสิทธิภาพการมองเห็น เพื่อการเดินทางที่ปลอดภัยในทุก ๆ สภาพอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเวลากลางคืนหรือมีฝนตก เครื่องหมายจราจรบนพื้นทางพิเศษมีด้วยกันหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและอายุของวัสดุ โดยชนิดของเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางที่นิยมจะแบ่งออกเป็น 4 ชนิด แสดงดังรูปที่ 1 ดังนี้ [1]

2.1.1 สีจราจร (Traffic Paint)

เป็นวัสดุเพื่อตีเส้นจราจรหรือเครื่องหมายจราจร มีอายุการใช้งานสั้น มีราคาถูก เหมาะสำหรับการใช้งานบนทางที่จะต้องซ่อมแซมในอนาคต หรือทางหลวงที่มีปริมาณจราจรน้อย

2.1.2 สีเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เป็นวัสดุเพื่อตีเส้นจราจรหรือเครื่องหมายจราจร มีอายุการใช้งานนานทนต่อการเสียดสี มีราคาสูงกว่าสีจราจร เหมาะกับการใช้เป็นเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางพิเศษที่มีปริมาณจราจรสูง

2.1.3 แผ่นเทปสำเร็จรูป (Tapes)

เป็นวัสดุเพื่อตีเส้นจราจร ใช้ติดบนผิวจราจรโดยใช้กาวหรือสารยึดแน่นอื่น ๆ มีความทนทานต่อการเสียดสียางรถยนต์ โดยไม่หลุด หรือเคลื่อนที่ มีอายุการใช้งานที่เทียบเท่ากับวัสดุเทอร์โมพลาสติก เหมาะกับการใช้เป็นเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางพิเศษที่มีปริมาณจราจรสูง

2.1.4 หมุดจราจร (Retroreflective Raised Pavement Marker, RRPM)

เป็นวัสดุติดตั้งยื่นออกมาเหนือผิวทาง (RRPM) ความสูงและลักษณะของหมุดจะต้องไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อการจราจร ติดตั้งโดยการฝังเดือย (Anchor Bolts) และใช้สารยึดแน่นที่ติดตั้งได้อย่างถาวร เหมาะกับการใช้เป็นเครื่องหมายจราจรที่เพิ่มมุมมองการขับขี่ให้ปลอดภัยมากยิ่งขึ้น



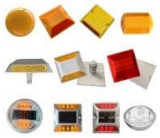


สีจราจร



แผ่นเทปสำเร็จรูป

สีเทอร์โมพลาสติก

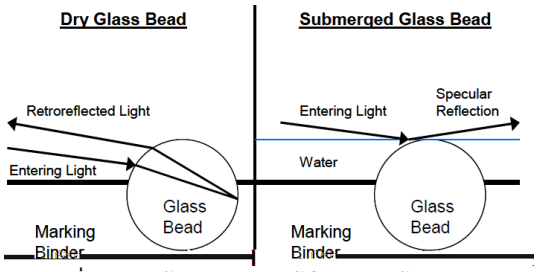


หมุดจราจร

รูปที่ 1 ชนิดของเครื่องหมายจราจรบนพื้นทาง

การสะท้อนแสงย้อนหลังของเครื่องหมายบนผิวทาง คือปริมาณแสงจากเครื่องหมายบนผิวทางที่สะท้อนกลับมาให้ผู้ขับขี่มองเห็น ความสว่างจะวัดเป็นหน่วยแคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) การสะท้อนแสงของวัสดุเทอร์โมพลาสติกและแผ่นเทปสำเร็จรูปมาจากลูกแก้ว (Glass Bends) ที่ฝังในวัสดุ

ในสภาวะแห้ง (Dry Condition) มุมที่แสงตกกระทบส่วนใหญ่จะสะท้อนกลับไปยังผู้ขับขี่ แต่ขณะเดียวกัน ในสภาวะเปียก (Wet Condition) มุมที่แสงตกกระทบส่วนใหญ่จะกระเจิงไปในทิศทางตรงกันข้ามกับผู้ขับขี่ ทำให้มองเห็นเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางได้ยาก [2] ดังแสดงในรูปที่ 2 อย่างไรก็ตามมีเทคโนโลยีมากมายในการปรับปรุงการมองเห็นเส้นจราจร ยกตัวอย่างเช่น การใช้ลูกแก้วขนาดใหญ่ (Larger Glass Beads) การใช้ลูกแก้วที่มีค่าการสะท้อนแสงที่สูงขึ้น (High Reflective Index Glass Beads) การใช้ร่วมกับหมุดสะท้อนแสง (RRPM) เป็นต้น



รูปที่ 2 การสะท้อนแสงของลูกแก้วในสภาวะแห้งและเปียก

การสะท้อนกลับสัมพันธ์กับการมองเห็น ยิ่งค่าสะท้อนแสงสูงเครื่องหมายก็จะยิ่งมองเห็นได้ชัดเจนขึ้น ผู้ขับขี่จะมีระยะเวลาในการตัดสินใจมากขึ้น ดังนั้น จึงมีการกำหนดค่าการสะท้อนแสงขั้นต่ำที่เหมาะกับประเภทของทาง และสีของเส้นจราจรดังแสดงในตารางที่ 1 [2] โดย FHWA (2005) ได้แนะนำค่าการสะท้อนแสงสำหรับทางพิเศษที่ 150 mcd/m^2/lux สำหรับเส้นจราจรสีขาว และที่ 100 mcd/m^2/lux สำหรับเส้นจราจรสีเหลือง

ตารางที่ 1 ค่าการสะท้อนแสงขั้นต่ำของเส้นจราจรบนถนนแต่ละประเภท

Material	Option	Roadway Type / Speed Classification		
		Non-Freeway	Non-Freeway	Freeway
	1	≤40 mph	≥45 mph	≥45 mph
	2	≤40 mph	≥45 mph	≥60 mph > 10,000 ADT
	3	≤40 mph	45 - 55 mph	≥60 mph
White		85	100	150
White with RRPMs		30	35	70

Yellow	55	65	100
Yellow with RRPMs	30	35	70
Note : All values are based on the 30 meters ASTM geometry and are unit in mcd/m^2/lux. These values are based on 3.65 second preview time.			

2.2 ระยะเวลาในการตอบสนองของบุคคล (Perception-Response Time, PRT)

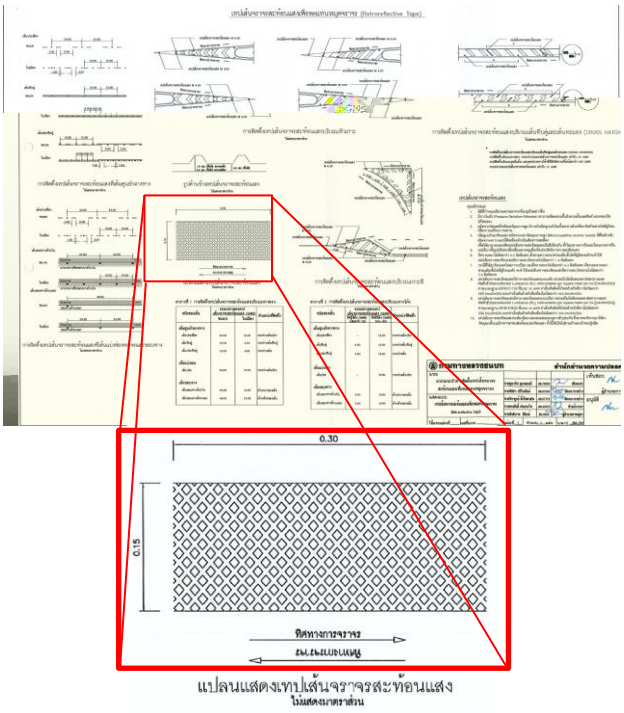
Hopper & McGee (1988) [3] ได้ศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาการตอบสนองของมนุษย์และระยะเวลาการตอบสนอง (Reaction Time) โดยได้สร้างโมเดลองค์ประกอบของการเบรคขณะขับขี่รถยนต์ของมนุษย์ (Breaking Response Time) แต่ละองค์ประกอบมีที่มาจากข้อมูลเชิงสถิติ โดยมีค่าแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งขีดจำกัดของมนุษย์ที่มีการตอบสนองที่ปลอดภัยอยู่ที่ 1.5 วินาที อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการตอบสนองของผู้ขับขี่ที่ปลอดภัยจะเปลี่ยนแปลงไปตามเงื่อนไขแวดล้อมอื่น ๆ เช่น การแตะเบรกเพื่อชะลอเปลี่ยนช่องจราจร หรือแตะเบรกเพื่อหยุดรถ เป็นต้น AASHTO (2011) และ FHWA-SA-10-005 (2009) ได้กำหนดระยะเวลา PRT ไว้ในการคำนวนระยะหยุดรถได้โดยปลอดภัย (Stopping Sight Distance, SSD) ตั้งแต่ 1.00 – 2.50 วินาที [4]

ตารางที่ 2 ระยะเวลาการตอบสนองของมนุษย์ขณะเบรกรถยนต์

Component	Time (sec)	Cumulative Time (sec)
1) Perception Latency	0.31	0.31
Eye Movement	0.09	0.40
Fixation	0.20	1.00
Recognition	0.50	1.50
2) Initialing Breaking Application	1.24	2.74

2.3 เกณฑ์การใช้งานเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงทดแทนหมุดสะท้อนแสงของกรมทางหลวงชนบท

สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวงชนบท (ทช.) [5] ได้มีการจัดทำแบบแนะนำการติดตั้งเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงเพื่อทดแทนหมุดจราจรสำหรับทางหลวงชนบท โดยได้มีการกำหนดเงื่อนไขการใช้ คุณสมบัติของวัสดุ ขนาดของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสง และรูปแบบการติดตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยพิจารณาให้ใช้ร่วมกับเส้นจราจรต่าง ๆ ขนาดที่แนะนำในการใช้เทปเส้นจราจรสะท้อนแสงแทนหมุดจราจร คือ กว้าง 0.15 ม. และยาว 0.30 ม. ติดตั้งทิศทางขนาดกับทิศทางการจราจร



รูปที่ 3 แบบแนะนำการติดตั้งเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงเพื่อทดแทนหมุดจราจร

3. วิธีการศึกษา

3.1 การสำรวจลักษณะทางกายภาพด้วยสายตา (Visual Inspection)

การศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงแทนหมุดสะท้อนแสง ดังนั้นจึงมีการกำหนดขนาดของเทปสะท้อนแสงที่จะใช้ในการทดสอบ โดยกำหนดความยาวที่ 30 และ 50 เซนติเมตร ติดบริเวณเส้นจราจรกลาง (Center Line) ของช่องจราจร และใช้การเปรียบเทียบในมุมมองของผู้ขับขี่รถยนต์บนทางพิเศษด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) ผู้วิจัยจะใช้รถปฏิบัติการวิ่งสำรวจด้วยความเร็ว 80 – 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ทั้งช่วงก่อนและหลังการติดตั้งเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงเพื่อเก็บภาพและวิดีทัศน์ด้านหน้ารถเพื่อดูการสะท้อนแสงของเครื่องหมายจราจรบนผิวทางพิเศษ โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือน ต.ค. 2564 ถึง พ.ค. 2565

ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกทางพิเศษฉลองรัช บริเวณ กม. 7+000 – 8+000 เป็นพื้นที่ทดสอบ เนื่องจาก บริเวณ กม. 7+000 – 8+000 เป็นช่วงทางร่วมต่างระดับ มีลักษณะทางกายภาพเป็นทางโค้งร่วมกับทางตรง มีความสว่างไม่เพียงพอในบางจุด และมีปริมาณจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาเร่งด่วน จึงต้องมีการติดตั้งหมุดสะท้อนแสงเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่มากขึ้น โดยมีช่วงพื้นที่ทดสอบแสดงในภาพที่ 4



รูปที่ 4 ช่วงพื้นที่ทดสอบ ทางพิเศษฉลองรัช กม. 7+000 – 8+000

นอกจากการสำรวจด้วยตาเปล่า ยังต้องคำนวนระยะเวลาการสังเกตุเห็นวัตถุ โดยจะใช้ข้อมูลทางกายภาพที่ระยะ 30 เมตร ความเร็วของรถบนทางพิเศษที่ 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ด้วยสมการที่ 1 จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับค่าระยะเวลาในการตอบสนองของมนุษย์ในการเบรกตามมาตรฐาน FHWA

$$t = \frac{s}{v} \qquad (1)$$

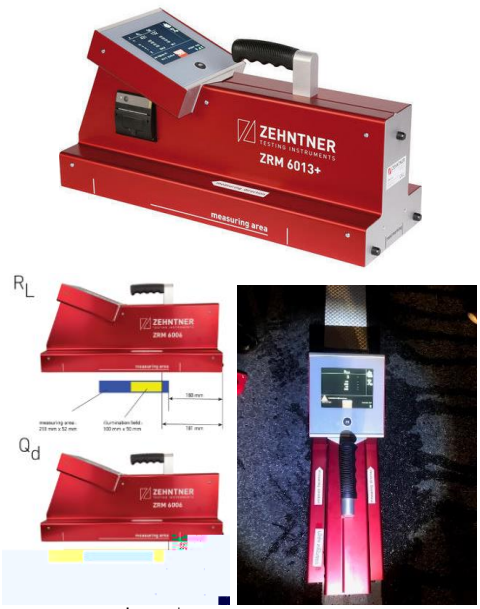
โดยที่ v คือ ความเร็วของยานพาหนะ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

s คือ ระยะทาง (เมตร)

t คือ ระยะเวลาการสังเกตุเห็นวัตถุ (วินาที)

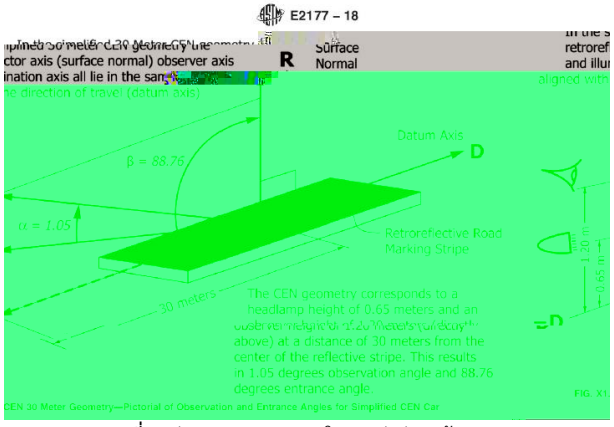
3.2 การวัดค่าสะท้อนแสง

วิธีวัดค่าการสะท้อนแสงของเทปเส้นจราจรในสนาม จะใช้อุปกรณ์วัดที่สามารถวัดแบบจำลองการสะท้อนแสงแบบย้อนกลับ RL (Retroreflected Luminance) ตามมาตรฐาน ASTM E 1710 และค่าการมองเห็นในเวลากลางวัน Qd (Luminance Coefficient Under Diffuse Illumination) ตามมาตรฐาน ASTM E 2302 ได้ (รูปที่ 5) โดยจะวัดค่าการสะท้อนแสงเปรียบเทียบกันในสภาวะแห้ง (Dry Condition) และสภาวะเปียก (Wet Condition) ตามมาตรฐาน ASTM E 2177



รูปที่ 5 เครื่องมือวัดค่าการสะท้อนแสง

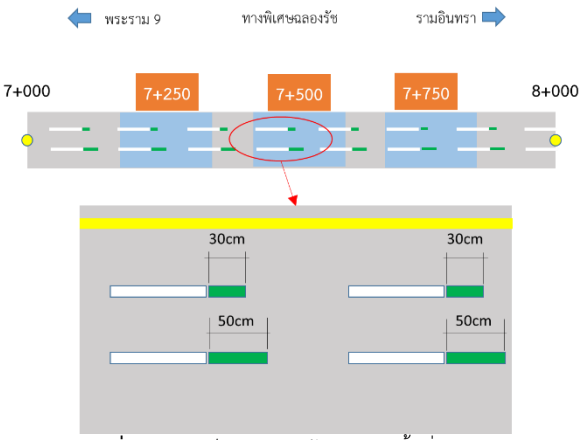
ลักษณะทางกายภาพของเครื่องมือวัดต้องสามารถวัดค่าสะท้อนแสงที่ระยะ 30 เมตร มีมุมสังเกตุ (Observation Angle) 1.05 องศา มีความสูงจากระดับสายตาของผู้ขับขี่ขณะขับรถที่ 1.20 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ลักษณะทางกายภาพในการวัดค่าสะท้อนแสง

ข้อมูลการสะท้อนแสงที่ได้จะมีความถูกต้องเมื่อได้รับการสอบเทียบก่อนทำการวัดจริงทุกครั้ง และตัวอย่างในการวัดต้องอยู่ในพื้นที่การวัด (Measuring Area) ตามที่ระบุอยู่บนแถบด้านข้างเครื่องมือวัด โดยกรณีที่ทำการทดสอบค่าการสะท้อนแสงในสภาวะเปียกตามมาตรฐาน ASTM E 2177 จะต้องใช้น้ำ 3 ลิตร เทราดบนเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางและทิ้งไว้ 45 วินาที ก่อนทำการวัดค่าการสะท้อนแสง

จำนวนตัวอย่างในการวัดค่าการสะท้อนแสงจะแบ่งสุ่มตรวจทุก ๆ 250 เมตร ในพื้นที่ทดสอบ บนทางพิเศษฉลองรัช กม. 7+000 – 8+000 (1000 เมตร) จำนวน 3 ช่วง โดยมีพื้นที่การเก็บค่าทดสอบดังแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 บริเวณเก็บค่าการสะท้อนแสงบนพื้นที่ทดสอบ

3.3 วิธีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการใช้เทปเส้นจราจรสะท้อนแสงแทนหมุดสะท้อนแสง

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของเส้นจราจรสะท้อนแสงเปรียบเทียบกับหมุดจราจร แบ่งออกเป็น 2 หัวข้อย่อยดังนี้

3.3.2 ระยะเวลาในการติดตั้ง

วิธีการวัดระยะเวลาในการติดตั้ง จะใช้การจับเวลาตั้งแต่เตรียมพื้นที่จนกระทั่งติดตั้งเทปเส้นจราจรแล้วเสร็จ เปรียบเทียบกับระยะเวลาการติดตั้งหมุดจราจร ต่อ 1 จุด

3.3.3 ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย

วิธีการวัดค่าใช้จ่ายต่อหน่วย ใช้การคำนวนค่าวัสดุอุปกรณ์ในการติดตั้งเทปเส้นจราจรต่อ 1 จุด เปรียบเทียบกับการติดตั้งหมุดสะท้อนแสง 1 จุด

4. ผลการศึกษา

4.1 ระยะเวลาในการสังเกตุเห็นวัตถุ

ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้เทปเส้นจราจรสะท้อนแสงทดแทนหมุดสะท้อนแสง จึงจำเป็นต้องกำหนดขนาดความยาวในการติดตั้งเทปเส้นจราจรสะท้อนแสง จากสมการที่ (1) ถ้ารถมีความเร็ว 80 - 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ระยะห่างระหว่างหมุดสะท้อนแสงหรือเทปเส้นจราจรสะท้อนแสง 30 เมตร ผู้ขับขี่จะสามารถสังเกตุเห็นวัตถุจากการสะท้อนในระยะเวลา 1.08 วินาที ดังนั้น ตารางที่ 3 จะแสดงให้เห็นถึงระยะเวลานำสายตาในการสังเกตุเห็นเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงขนาด 0.30 เมตร และ 0.50 เมตร ที่ความเร็วแตกต่างกันที่ 60 80 และ 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง

ตารางที่ 3 ระยะเวลาในการสังเกตุเห็นวัตถุ

ความเร็วของรถ (กม./ชม.)	ความยาวของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสง (m)	ระยะเวลาสังเกตุเห็นวัตถุ (s)	ระยะเวลานำสายตาที่ระยะ 30 m
60	0.30	1.818	0.018
	0.50	1.830	0.030
80	0.30	1.3635	0.0135
	0.50	1.3725	0.0225
100	0.30	1.0908	0.0108
	0.50	1.0980	0.018
	2.50	1.1700	0.09

Hopper & McGee [2] ได้ระบุถึงองค์ประกอบของระยะเวลาการรับรู้ (Perception Response Time) ของผู้ขับขี่ ไว้ 4 ส่วน คือ Latency, Eye Movement, Fixation และ Recognition โดยระยะเวลาการรับรู้ที่เป็นช่วงนำสายตา (Eye Movement) ต้องมีระยะเวลา 0.09 วินาที

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ความเร็วของรถมีผลโดยตรงกับระยะเวลาในการสังเกตุเห็นวัตถุ ยิ่งมีความเร็วสูงระยะเวลาในการมองเห็นวัตถุจะสั้นลง ทำให้มีระยะเวลาในการตัดสินใจลดลง อย่างไรก็ตาม ระยะความยาวของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงไม่ได้เพิ่มระยะเวลานำสายตา (Eye Movement) อย่างมีนัยสำคัญ (0.0108 – 0.0225 วินาที) ซึ่งวัตถุประสงค์ของหมุดสะท้อนแสงนั้นไม่ใช่เป็นแนวนำสายตาเหมือนเส้นจราจร แต่เป็นการสะท้อนแสงให้ผู้ขับขี่สังเกตุถึงทิศทางการเดินรถ ดังนั้น ความสำคัญของหมุดสะท้อนแสงจึงอยู่ที่ค่าการสะท้อนแสงภายใต้ความยาวขั้นต่ำที่สามารถสังเกตุเห็นเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงได้

หากต้องการความยาวที่เป็นแนวนำสายตาจะต้องใช้เทปเส้นจราจรสะท้อนแสงที่ 2.50 เมตรเป็นอย่างน้อย ซึ่งเทียบเท่ากับความยาวของเส้นจราจรนั่นเอง

เมื่อเปรียบเทียบภาพของทางพิเศษฉลองรัชก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยการติดเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงแทนหมุดสะท้อนแสง พบว่า ในสภาวะแห้ง (Dry Condition) ผู้ขับขี่จะสามารถมองเห็นเส้นจราจรสีขาวตัดกับผิวจราจรแอสฟัลต์สีดำได้ชัด แต่เมื่อติดตั้งเส้นจราจรสะท้อนแสงแทนหมุดสะท้อนแสง พบว่า ผู้ขับขี่สามารถมองเห็นความต่าง (Contrast) ของเส้นจราจรและเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงแทนหมุดสะท้อนแสงได้ชัดเจนกว่า ทำให้มีทัศนวิสัยในการขับขี่ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 8

เมื่อเปรียบเทียบภาพของทางพิเศษฉลองรัชก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยการติดเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงแทนหมุดสะท้อนแสง พบว่า ในสภาวะเปียก (Wet Condition) น้ำฝนจะจับตัวคล้ายฟิลม์เคลือบบนเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางทำให้การหักเหของแสงสะท้อนกลับมาหาผู้ขับขี่ได้น้อย ทำให้ผู้ขับขี่มองเห็นเส้นจราจรได้ยาก แต่เมื่อติดตั้งเส้นจราจรสะท้อนแสงแทนหมุดสะท้อนแสง พบว่า ผู้ขับขี่สามารถมองเห็นความต่าง (Contrast) ระหว่างเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงกับผิวทางแอสฟัลต์ได้ชัดเจนมากขึ้น ซึ่งทำให้ผู้ขับขี่มีทัศนวิสัยในการขับขี่ดีขึ้น และสามารถเดินทางบนทางพิเศษได้โดยปลอดภัย ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 8 เปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้งเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงแทนหมุดสะท้อนแสง ในสภาวะแห้ง



รูปที่ 9 เปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้งเทปเส้นจราจรสะท้อนแสง แทนหมุดสะท้อนแสง ในสภาวะเปียก

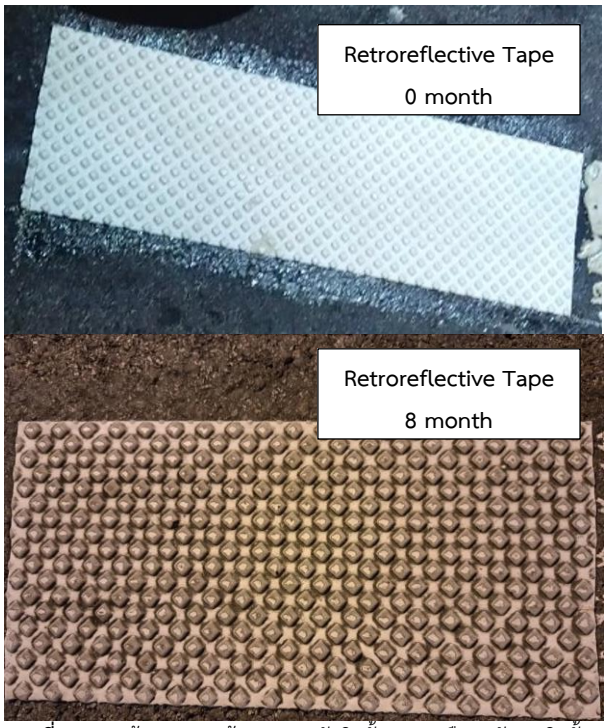
4.2 ผลการศึกษาค่าการสะท้อนแสงของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสง

ค่าการสะท้อนแสงแบบย้อนกลับ (RL) ของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสง เมื่อติดตั้งเป็นเวลา 8 เดือน ส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 190 – 320 mcd/m^2/lux (เฉลี่ย 267.67 mcd/m^2/lux) ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์การตรวจรับงานของกรมทางหลวง การทางพิเศษ และ FHWA ที่กำหนดไว้ที่ 150 mcd/m^2/lux โดยค่าที่แตกต่างกันเกิดจากปริมาณจราจร และการหลุดของลูกแก้วของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงดังแสดงในรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าสีขาวมีการหลุดลอกออกบางส่วน มีสิ่งสกปรกเกาะอยู่บนผิวเทปบางส่วน ปุ่มนูนรูปทรงเลขาคณิตถูกทับจนแบนลง แต่ด้วยรูปทรงของปุ่มนูนขึ้นมาจากผิวจราจร ทำให้ยังมีองศาให้ลูกแก้วสะท้อนแสงแบบย้อนกลับบางส่วน และด้วยเทคโนโลยีการปรับแต่งขนาดของลูกแก้วและการเพิ่มคุณสมบัติการสะท้อนแสงของลูกแก้ว ทำให้ค่าการสะท้อนแสงแบบย้อนกลับ (RL) ยังผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้

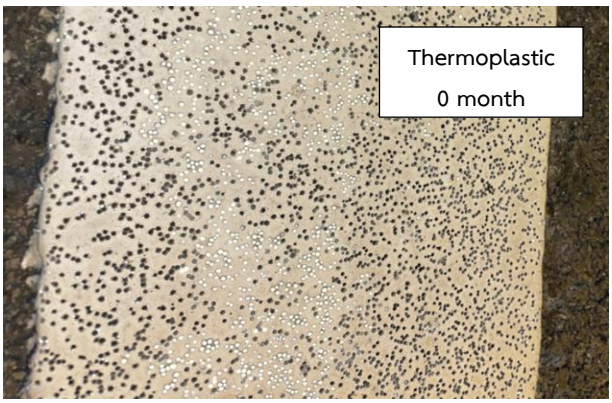
ตารางที่ 4 การสะท้อนแสงของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงและเส้นจราจรเทอร์โมพลาสติก

ช่วงเวลาที่ทดสอบ (เดือน)	ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยของเส้นจราจรเทอร์โมพลาสติก (mcd/m^2/lux)				ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสง (mcd/m^2/lux)			
เวลากลางคืน	Dry		Wet		Dry		Wet	
	RL	Qd	RL	Qd	RL	Qd	RL	Qd
0	107	-	3	-	2095	-	879	-
8	34	163.3	3	79.7	840	82.7	267.7	99.7

ค่าการสะท้อนแสงแบบย้อนกลับ (RL) ของเส้นจราจรเทอร์โมพลาสติก เมื่อติดตั้งเป็นเวลา 8 เดือน ส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 32 – 34 mcd/m^2/lux (เฉลี่ย 34 mcd/m^2/lux) ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์การตรวจรับงานของกรมทางหลวง การทางพิเศษ และ FHWA ที่กำหนดไว้ที่ 150 mcd/m^2/lux สาเหตุที่ทำให้ค่า RL ที่วัดได้ต่ำเกิดจากการหลุดลอกของลูกแก้วที่โรยทับหน้าดังแสดงในรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าจุดสีขาวบนเส้นเทอร์โมพลาสติกซึ่งคือลูกแก้วสะท้อนแสงที่ติดอยู่บนผิวเทอร์โมพลาสติก จุดสีดำคือส่วนที่ลูกแก้วสะท้อนแสงหลุดออกไป วันที่ติดตั้งเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงและสำรวจค่าการสะท้อนแสงเพื่อเปรียบเทียบ สภาพของเส้นจราจรเทอร์โมพลาสติกมีอายุการใช้งานมาประมาณ 2-3 เดือนแล้ว และเมื่อไปเก็บค่าการสะท้อนแสง ณ 8 เดือน นับจากวันติดตั้งเทปเส้นจราจรสะท้อนแสง พบว่ามีสิ่งสกปรกเกาะอยู่บนผิวเส้นเทอร์โมพลาสติกบางส่วน ลูกแก้วสะท้อนแสงหลุดออกจากผิวเทอร์โมพลาสติกจนหมด สังเกตุได้จากจุดสีดำมีปริมาณครอบคลุมเส้นจราจรเทอร์โมพลาสติก



รูปที่ 10 เทปเส้นจราจรสะท้อนแสง ณ วันติดตั้งและ 8 เดือนหลังจากติดตั้ง





รูปที่ 11 เส้นจราจรเทอร์โมพลาสติก ณ วันติดตั้งและ 8 เดือนหลังจากติดตั้ง

4.3 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการใช้เทปเส้นจราจรสะท้อนแสงแทนหมุดสะท้อนแสง

นอกจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสะท้อนแสงของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงแล้วนั้น การวิเคราะห์ถึงข้อจำกัดในการใช้งานอื่น ๆ เช่น การประเมินความคุ้มค่าของวัสดุ โดยแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการใช้งานวัสดุ

ชนิดของเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง	ระยะเวลาในการติดตั้งต่อจุด (นาที)	ประมาณราคาต่อ 1 จุด (บาท)**
หมุดจราจร (หมุดแก้ว)	20	360
หมุดจราจร (หมุด uni-direction)	20	220
เทปเส้นจราจรสะท้อนแสง (0.30 x 0.15 m)	5	280
เทปเส้นจราจรสะท้อนแสง (0.50 x 0.15 m)	5	420

***หมายเหตุ อ้างอิงราคา ณ ปี 2564*

การติดตั้งเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงแทนหมุดสะท้อนแสงต่อจุดนับตั้งแต่การทำความสะอาดผิวทาง จนกระทั่งการติดตั้งเสร็จสามารถเปิดการจราจรได้ ใช้ระยะเวลาประมาณ 5 นาทีต่อ 1 จุด ในขณะที่ การติดตั้งหมุดสะท้อนแสงนับตั้งแต่การทำความสะอาดผิวทาง เจาะพื้นถนน จนกระทั่งรอกาวที่ติดกับหมุดถนนแห้ง ใช้ระยะเวลาประมาณ 20 นาทีต่อ 1 จุด จะเห็นได้ว่าการปฏิบัติงานบนทางพิเศษที่ต้องการความเร็วในการทำงานปิดช่องจราจรในระยะเวลาที่สั้นที่สุด การใช้เทปเส้นจราจรสะท้อนแสงมีความเหมาะสมมากกว่า ด้วยราคาต้นทุนต่อหน่วยที่ใกล้เคียงกัน

5. บทสรุป

การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้เทปเส้นจราจรสะท้อนแสง (Retroreflective Tape) ทดแทนหมุดสะท้อนแสง (Road Stud) บนทางพิเศษสามารถสรุปผลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้ดังนี้

5.1 ผลการศึกษาค่าการสะท้อนแสงของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงทดแทนหมุดสะท้อนแสง

การศึกษาค่าการสะท้อนแสงย้อนกลับ (RL) ณ วันที่ติดตั้งและหลังการติดตั้งเป็นเวลา 8 เดือน พบว่า ค่าการสะท้อนแสงย้อนกลับ (RL) ของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงมีค่ามากกว่า 190 - 320 mcd/m^2/lux ซึ่งมากกว่าค่าที่กำหนดในมาตรฐานของกรมทางหลวง การทางพิเศษ และ FHWA (150 mcd/m^2/lux) และเพิ่มวิสัยทัศน์การมองเห็นให้แก่ผู้ขับขี่ด้วยการสะท้อนแสงที่ตัดกับผิวถนนแอสฟัลต์อย่างชัดเจน (Contrast) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ในสภาวะเปียก

5.2 ผลการศึกษาขนาดของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงทดแทนหมุดสะท้อนแสง

การศึกษาประสิทธิภาพของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงแทนหมุดสะท้อนแสง โดยแบ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบออกเป็น 2 ขนาด คือ 15 x 30 เซนติเมตร และ 15 x 50 เซนติเมตร เพื่อเปรียบเทียบการมองเห็นเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงในเงื่อนไขของทางพิเศษ ใช้การคำนวนและสำรวจด้วยรถปฏิบัติการพบว่า ณ ความเร็ว 80 - 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขนาดความยาวของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงที่ 30 หรือ 50 เซนติเมตร ไม่ได้ส่งผลกระทบอย่างมีนัยยะสำคัญกับการมองเห็นของผู้ขับขี่

5.3 ผลการศึกษาความคุ้มค่าของเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงทดแทนหมุดสะท้อนแสง

ขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งานเทปเส้นจราจรสะท้อนแสงแทนหมุดสะท้อนแสง คือ กว้าง 15 ซม. ยาว 30 ซม. ซึ่งมีราคาต่อหน่วยใกล้เคียงกับการใช้หมุดสะท้อนแสง แต่สามารถติดตั้งและใช้เวลาในการปิดช่องจราจรเพื่อติดตั้งที่สั้นกว่าถึง 15 นาทีต่อจุด

จากผลการศึกษาพบว่าการใช้เทปเส้นจราจรสะท้อนแสงทดแทนหมุดสะท้อนแสงสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สังเกตได้จากค่าการสะท้อนแสงย้อนกลับ (RL) ที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน และมีความต่าง (Contrast) กับผิวจราจรอย่างเห็นได้ชัดในทุกสภาวะทั้งแห้งและเปียก โดยขนาดของเทปจราจรที่เหมาะสมมีขนาด กว้าง 15 ซม. ยาว 30 ซม. ซึ่งจากผลการศึกษานี้ทำให้เห็นถึงความสำคัญของการมองเห็นเครื่องหมายจราจรบนทางพิเศษชัดเจนในทุกสภาวะทั้งแห้งและเปียก และนำไปสู่การปรับปรุงมาตรฐานเครื่องหมายจราจรบนทางพิเศษในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ขอขอบพระคุณ นายเทพฤทธ์ รัตนปัญญากร ผอ.กวพ. ที่ให้โอกาสจัดทำงานศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ นางณัฐฐาพร ท้วมประดิษฐ์ ผอ.กบท. ให้อนุเคราะห์ข้อมูลและอุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณ นางสาวนันทวรรณ พิทักษ์พานิช ห.ทส. กวพ. รวมทั้งบุคลากรทุกท่านในกองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ตลอดการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมทางหลวง. (2551). *รายละเอียดข้อกำหนดการจัดทำเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง*. มาตรฐานและข้อกำหนดกลาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, หน้า 14 – 20.

[2] Federal Highway Administration (2005). *FHWA/TX-06/0-5008-1 Evaluation of wet-weather pavement marking : First year report*. Texas Department of Transportation Research and Technology Implementation Office., pp.5-15.

[3] Rodger J. Koppa. (2003). *Human Factors Chapter 3.* Texas A&M University, National Research Council, Washington DC, pp. 1-7.

[4] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย. (2564). *มาตรฐานการปฏิบัติงานบนทางพิเศษ (Expressway Standard for Traffic Control)*. บริษัท ไฮสปีด เลเซอร์ปริ้นต์ จำกัด (สำนักงานใหญ่), หน้า 164-171.

[5] กรมทางหลวงชนบท (2564). *เกณฑ์การพิจารณาติดตั้งปุ่มสะท้อนแสง (Road Studs) หรือเทปเส้นจราจรสะท้อนแสง (Retroreflective Tape)*, สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม, หน้า 1-3.