



Research Article

การออกแบบระบบแจ้งเตือนระยะเบรกที่ปลอดภัยด้วยไลดาร์
สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

Design of a Lidar-Based Safe Braking Distance Warning System
for Small Electric Vehicles

สุนทร โษษฐาม และ ชัยยุทธ์ สัมภาวะคุปต์ *

Soontorn Odngam and Chaiyut Sumpavakup *

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

Research Centre for Combustion Technology and Alternative Energy, Department of Power Engineering Technology, College of Industrial
Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangsue, Bangkok 10800, Thailand.

ABSTRACT

Article history:

Received: 2023-09-12

Revised: 2023-12-11

Accepted: 2023-12-27

Keywords:

brake distance;

LiDAR technology;

warning system

This paper presents a braking distance warning system design using LiDAR technology to measure distances when approaching an object. The objective was to study and develop a system for vehicles that provides warnings before a potential collision occurs. The proposed system was designed for installation in small vehicles that lack basic driving assistance systems to detect objects in front of the vehicle. The current research divides the braking distance for testing into four zones: Zone 1 - Safe distance (greater than 700 cm from an object), Zone 2 - Caution distance (250 - 700 cm), Zone 3 - Brake distance (25 - 250 cm) and Zone 4 - Stop distance (less than 25 cm). In order to conduct this study, a prototype vehicle was moving toward an object at a constant speed of 15 km/hr. It was found that when the prototype was positioned 767.67 cm in front of the object, the warning system would display a green light to indicate a safe distance. When the prototype approached the object at a distance of 593 cm, it would indicate a yellow light for a caution distance. Once the vehicle reached the object at a distance of 237.67 cm, a red status indicator for braking distance was shown. Finally, when approaching the object at a distance of 23 cm, the system would initiate a speed reduction with a deceleration of 0.524 m/s². This investigation showed that the proposed system was able to operate according to the specified conditions with a braking error of 5.77% from the designated distances. The system developed in this work can be applied to larger-sized vehicles to assist in braking or automatically reduce speed, thereby minimizing the occurrence of accidents.

* Corresponding author.

E-mail address: chaiyut.s@cit.kmutnb.ac.th

Cite this article as:

Odngam, S. and Sumpavakup, C. 2025. Design of a Lidar-Based Safe Braking Distance Warning System for Small Electric Vehicles. **Recent Science and Technology** 17(1): 260367.

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบแจ้งเตือนระยะเบรกของยานยนต์โดยใช้เทคโนโลยีไลดาร์ในการวัดระยะขณะเคลื่อนที่เข้าใกล้วัตถุ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาาระบบแจ้งเตือนระยะเบรกสำหรับยานยนต์ในการแจ้งเตือนก่อนเกิดการชนที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งระบบที่นำเสนอได้นั้นถูกออกแบบไว้สำหรับติดตั้งในยานยนต์ขนาดเล็กที่ไม่มีระบบช่วยเหลือการขับขี่พื้นฐานในการตรวจสอบวัตถุด้านหน้าตัวรถ งานวิจัยนี้ได้แบ่งระยะเบรกออกเป็น 4 โซนสำหรับการทดสอบ ได้แก่ โซนที่ 1 ระยะปลอดภัย (มากกว่า 700 เซนติเมตร) โซนที่ 2 ระยะระวัง (250 – 700 เซนติเมตร) โซนที่ 3 ระยะเบรก (25 – 250 เซนติเมตร) และระยะหยุด (น้อยกว่า 25 เซนติเมตร) และเมื่อทำการทดสอบด้วยยานยนต์ต้นแบบที่ความเร็วคงที่ที่ 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะได้ว่าเมื่อยานยนต์อยู่ห่างจากวัตถุด้านหน้าที่ระยะ 767.67 เซนติเมตร ให้แสดงสถานะไฟสีเขียว (ระยะปลอดภัย) เมื่อยานยนต์เคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่ระยะ 593 เซนติเมตร ให้แสดงสถานะไฟสีเหลือง (ระยะระวัง) เมื่อยานยนต์เคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่ระยะ 237.67 เซนติเมตร ให้แสดงสถานะไฟสีแดง (ระยะเบรก) และเมื่อยานยนต์เคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่ระยะ 23 เซนติเมตร ให้ชะลอความเร็วด้วยความหน่วง 0.524 เมตรต่อวินาที² จากผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไข โดยมีความคลาดเคลื่อนในการเบรกอยู่ที่ 5.77 % จากระยะที่กำหนด ระบบดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับยานยนต์ที่มีขนาดใหญ่ในการช่วยเบรกหรือลดความเร็วแบบอัตโนมัติเพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุได้

คำสำคัญ: ระยะทางเบรก, เทคโนโลยีไลดาร์, ระบบแจ้งเตือน

1. บทนำ

ในประเทศไทยยานพาหนะเป็นสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันเป็นอย่างมากในการอำนวยความสะดวกสำหรับการเดินทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ โดยในปี 2565 จำนวนยานยนต์ที่จดทะเบียนมีจำนวนสูงถึง 41,955,920 คัน (Transport Statistics Group, Planning Division, Department of Land Transport, 2022) โดยชนิดของยานยนต์ที่มีการจดทะเบียนมากที่สุด คือ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล 7 ที่นั่ง มีจำนวน 11,314,722 คัน และเทคโนโลยีในยานยนต์ได้มีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดที่มาพร้อมกับระบบช่วยเหลือต่าง ๆ เช่น ระบบนำทาง ระบบรักษาความเร็ว ระบบเว้นระยะห่าง ระบบแจ้งเตือนการชน และระบบช่วยเบรกอัตโนมัติ เป็นต้น ซึ่งระบบเหล่านี้มีประโยชน์อย่างมากในการช่วยลดอุบัติเหตุ แต่สำหรับยานยนต์ที่มีอายุมากกว่า 20 ปี จะอาศัยความชำนาญและประสบการณ์การของผู้ขับขี่เท่านั้น เมื่อผู้ขับขี่ใช้ขับรถเป็นระยะเวลานานก็จะทำให้เกิดความเมื่อยล้าหรืออ่อนเพลียจึงส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบแจ้งเตือนระยะเบรกที่ปลอดภัยสำหรับยานยนต์ขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานและติดตั้งได้กับรถทุกประเภทด้วยเทคโนโลยีไลดาร์ (Roriz *et al.*, 2022)

ระบบเบรกเป็นระบบที่ใช้สำหรับการชะลอหรือหยุดการเคลื่อนที่ของยานพาหนะทุกชนิด (Ebrahimi-Nejad and Kheybari, 2017) โดยระบบเบรกจะแบ่งตามลักษณะการทำงานออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ ระบบเบรกแบบกลไก ระบบเบรกแบบไฮดรอลิก และระบบเบรกแบบไฮดรอลิก (Wang *et al.*, 2017; He and Jing, 2019; Hua *et al.*, 2023) สำหรับระบบเบรกแบบไฮดรอลิกนั้นจะมีการใช้งานอย่างมากในรถยนต์

ส่วนบุคคล เนื่องจากมีความง่ายต่อการบำรุงรักษา กลไกไม่ซับซ้อน และได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเบรก เช่น การเพิ่มระบบช่วยผ่อนแรง (Brake Booster) (Wu *et al.*, 2020; Nugraha *et al.*, 2021; Meng *et al.*, 2023) ระบบป้องกันล้อล็อก (Anti-Lock Brake System) และระบบกระจายแรงเบรก (Electronic Brake force Distribution) (Aly *et al.*, 2011; Gaurkar *et al.*, 2022) เป็นต้น

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีไลดาร์ (LiDAR) มาใช้งานร่วมกับระบบเบรก ซึ่งเป็นการตรวจวัดระยะและตรวจจับวัตถุพร้อมการแจ้งเตือน (Light detection and ranging) (Yeong *et al.*, 2021; Dai *et al.*, 2022) เพื่อให้ผู้ขับขี่ทราบถึงระยะห่างจากวัตถุด้านหน้าหรือรถคันข้างหน้าและแจ้งเตือนก่อนที่จะเกิดอุบัติเหตุ นอกจากนี้ยังมีการนำไลดาร์มาช่วยควบคุมระบบเบรก ที่เรียกว่า “ระบบเบรกฉุกเฉินอัตโนมัติ (Autonomous Emergency Braking)” (Mustafar and Bakar, 2020; Guo *et al.*, 2022) และองค์กรทดสอบการชนเพื่อความปลอดภัย EURO Ncap หรือ ANcap ได้บรรจุให้อยู่ในมาตรฐานความปลอดภัยของรถยนต์ (Euro NCAP, Vehicle Safety, The Rating Explained, Safety Assist, AEB Car to Car., 2020)

จากข้อมูลข้างต้นทางคณะผู้วิจัยได้นำเทคโนโลยีไลดาร์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบเบรกสำหรับการชะลอความเร็วและแจ้งเตือนการเกิดการชนด้านหน้าสำหรับยานยนต์ขนาดเล็กเพื่อเป็นต้นแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยการออกแบบระบบควบคุมความเร็วและระบบการตรวจวัดระยะห่างระหว่างวัตถุในการแจ้งเตือนผู้ขับขี่ให้ทราบถึงระยะก่อนถึงสิ่งกีดขวาง และสั่งการให้รถหยุดการเคลื่อนที่ได้ทันก่อนเกิดการชนกับวัตถุด้านหน้า

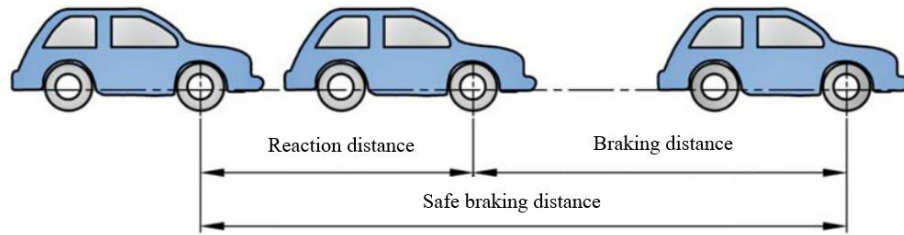


Figure 1 Safe braking distance

2. วิธีดำเนินการวิจัย

$$t = \frac{V}{a} \quad (3)$$

2.1 การคำนวณระยะเบรกของยานยนต์

โดยที่ t คือ เวลา (วินาที)

2.1.1 ระยะปลอดภัยในการเบรก

ระยะปลอดภัยในการเบรกคือ ผลรวมระหว่างระยะปฏิบัติการในการเบรกรวมกับระยะที่ใช้ในการเบรก (Figure 1)

จากภาพสามารถคำนวณหาระยะเบรกที่ปลอดภัยได้ ดังสมการที่ (1)

$$S_s = S + (V \times T) \quad (1)$$

โดยที่ S_s คือ ระยะเบรกที่ปลอดภัย (เมตร)
 S คือ ระยะทางที่ใช้ในการเบรก (เมตร)
 V คือ ความเร็วของรถ (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
 T คือ เวลาปฏิบัติการหรือเวลาตัดสินใจในการเบรก (วินาที)

2.1.2 ระยะทางในการเบรก

ระยะทางในการเบรก คือ ระยะทางจากการเริ่มเบรกไปจนกระทั่งรถไม่เกิดการเคลื่อนที่หรือหยุดนิ่ง สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (2)

$$S = \frac{V^2}{2a} \quad (2)$$

โดยที่ a คือ ความหน่วง (เมตรต่อวินาที²)
 S คือ ระยะทางที่ใช้ในการเบรก (เมตร)

2.1.3 เวลาในการเบรก

เวลาในการเบรก คือ เวลาที่ใช้ในการเบรกจนกระทั่งรถหยุดนิ่งหรือไม่เกิดการเคลื่อนที่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วและอัตราหน่วงของรถ สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (3)

2.1.4 การควบคุมความเร็ว

การควบคุมความเร็วของรถในงานวิจัยนี้เป็นการคำนวณเชิงเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างยานยนต์ขนาดเล็กกับยานยนต์ต้นแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์สูงสุดที่ 104 รอบต่อนาที ถูกสั่งงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด โดยความเร็วของยานยนต์ต้นแบบ สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (4)

$$V = \left(\frac{2\pi r}{60} \right) \times RPM \quad (4)$$

โดยที่ r คือ รัศมีของล้อ (เมตร)
 RPM คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (รอบต่อนาที)

เนื่องจากการควบคุมความเร็วของยานยนต์ต้นแบบนั้น จะเป็นการส่งสัญญาณในลักษณะของมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse width modulation, PWM) ตั้งแต่ 0 – 100 เปอร์เซ็นต์ของ Duty Cycle (Figure 2) โดยที่ค่า Percent duty cycle สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (5)

$$\%Duty - cycle = \frac{Pulse}{Period} \times 100 \quad (5)$$

โดยที่ $Pulse$ คือ ความกว้างของพัลส์ (วินาที)
 $Period$ คือ คาบเวลา (วินาที)

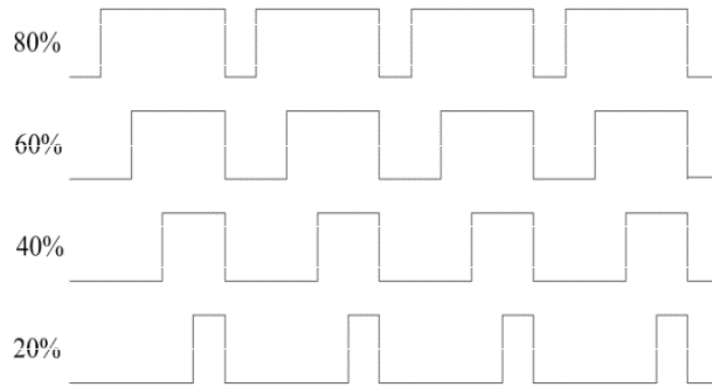


Figure 2 Characteristics of a pulse signal (Tsai *et al.*, 2023)

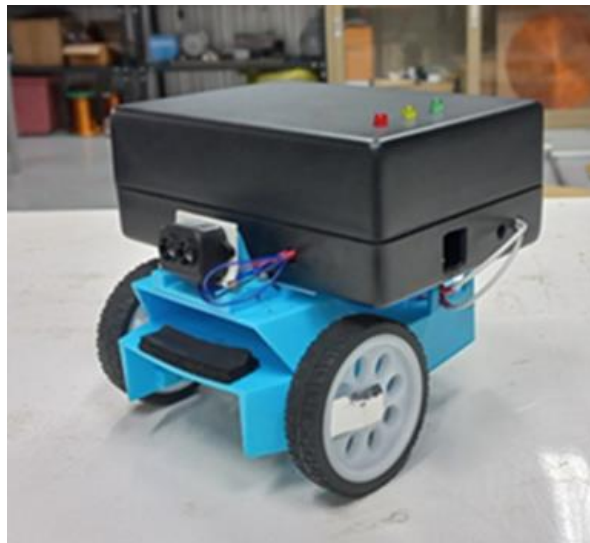


Figure 3 Prototype vehicle for testing warning systems

2.2 การออกแบบยานยนต์ต้นแบบสำหรับงานวิจัย

ยานยนต์ที่ใช้สำหรับการทดสอบจะสร้างจากเครื่องพิมพ์สามมิติเพื่อเป็นฐานสำหรับเป็นโครงสร้างต้นแบบพร้อมติดตั้งอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ฐานส่วนล่างสำหรับมอเตอร์ขับเคลื่อนจำนวน 2 ล้อ มีรัศมีล้อ 3.25 เซนติเมตร และล้อลูกกลิ้งจำนวน 1 ล้อ และส่วนที่ 2 ฐานส่วนบน สำหรับติดตั้งระบบตรวจวัดระยะทางและระบบแจ้งเตือน มิติของรถต้นแบบเมื่อรวมทั้งฐานส่วนบนและส่วนล่างมีขนาดหน้ากว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 14 เซนติเมตร สูง 13 เซนติเมตร (Figure 3)

2.3 อุปกรณ์ระบบแจ้งเตือนและการวัดระยะทาง

ระบบแจ้งเตือนและการวัดระยะเบรกที่ปลอดภัยประกอบด้วย 5 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 หลอดไฟแสดงสถานะ สีเขียว สีเหลือง และสีแดง ส่วนที่ 2 ไมโครคอนโทรเลอร์ ส่วนที่ 3 บอร์ดขับเคลื่อนแบบแยกอิสระ L298N ส่วนที่ 4 ไลดาร์เซ็นเซอร์ TF-Luna ระยะทำการตรวจวัด 0.2 - 8 เมตร ขอบเขตภาพ 2 องศา และส่วนที่ 5 แบตเตอรี่ (Figure 4)

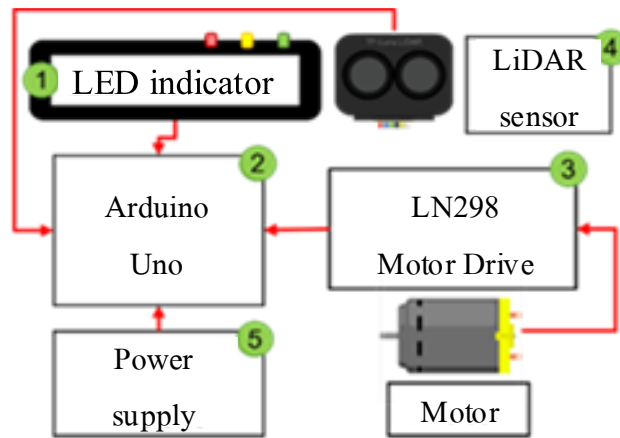


Figure 4 Block diagram of a prototype vehicle

2.4 การทำงานของระบบแจ้งเตือนและการวัดระยะทาง

หลักการทำงานของระบบ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ระบบตรวจวัดระยะทาง (Distance detection system) งานวิจัยนี้ใช้ไลดาร์ เนื่องจากมีความแม่นยำในการวัดระยะด้วยหลักการสะท้อนของแสงเลเซอร์เมื่อไปกระทบกับวัตถุโดยการวัดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของแสง ซึ่งมีความรวดเร็วในการวัดสูงกว่าวิธีการวัดระยะทางด้วยวิธีอื่น ๆ และส่วนที่ 2 ระบบแจ้งเตือนระยะปลอดภัย (Safety distance notification system) ในส่วนนี้จะนำข้อมูลที่ไดจากไลดาร์มากำหนดระยะที่ใช้ในการแจ้งเตือนด้วยการเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) พร้อมกับการแสดงผลด้วยหลอดไฟสีเขียว สีเหลือง สีส้ม และสีแดง

ส่วนที่ 1 ระบบตรวจวัดระยะทางจะวัดระยะห่างระหว่างไลดาร์เซ็นเซอร์และวัตถุแล้วส่งข้อมูล ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลในการ

สั่งควบคุมบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ และหลอดไฟแสดงสถานะ สำหรับแจ้งเตือนระยะปลอดภัยตามโซนต่าง ๆ ที่ได้ออกแบบไว้ ในส่วนนี้จะออกแบบให้ยานยนต์ต้นแบบมีความเร็วสูงสุดที่ 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ส่วนที่ 2 ระบบแจ้งเตือนระยะปลอดภัย จะแบ่งออกเป็น 4 โซน ประกอบไปด้วย โซนที่ 1 ระยะปลอดภัย (Safety Zone) คือ ช่วงระยะห่างระหว่างไลดาร์กับวัตถุมากกว่า 700 เซนติเมตร โซนที่ 2 ระยะระวัง (Warning Zone) เป็นโซนที่แจ้งเตือนเมื่อระยะห่างของรถต้นแบบกับวัตถุอยู่ในช่วง 250 – 700 เซนติเมตร โซนที่ 3 ระยะเบรก (Braking Zone) โซนระยะเบรก เป็นเขตแจ้งเตือนเมื่อระยะห่างรถต้นแบบกับวัตถุอยู่ในช่วง 25 - 250 เซนติเมตร เพื่อเบรกชะลอความเร็วรถ และโซนที่ 4 ระยะหยุด (Stopping Zone) โซนนี้จะแจ้งเตือนเมื่อระยะห่างน้อยกว่า 25 เซนติเมตร เพื่อสั่งการให้รถต้นแบบหยุดการเคลื่อนที่ แสดงแผนผังการทำงานของระบบ (Figure 5)

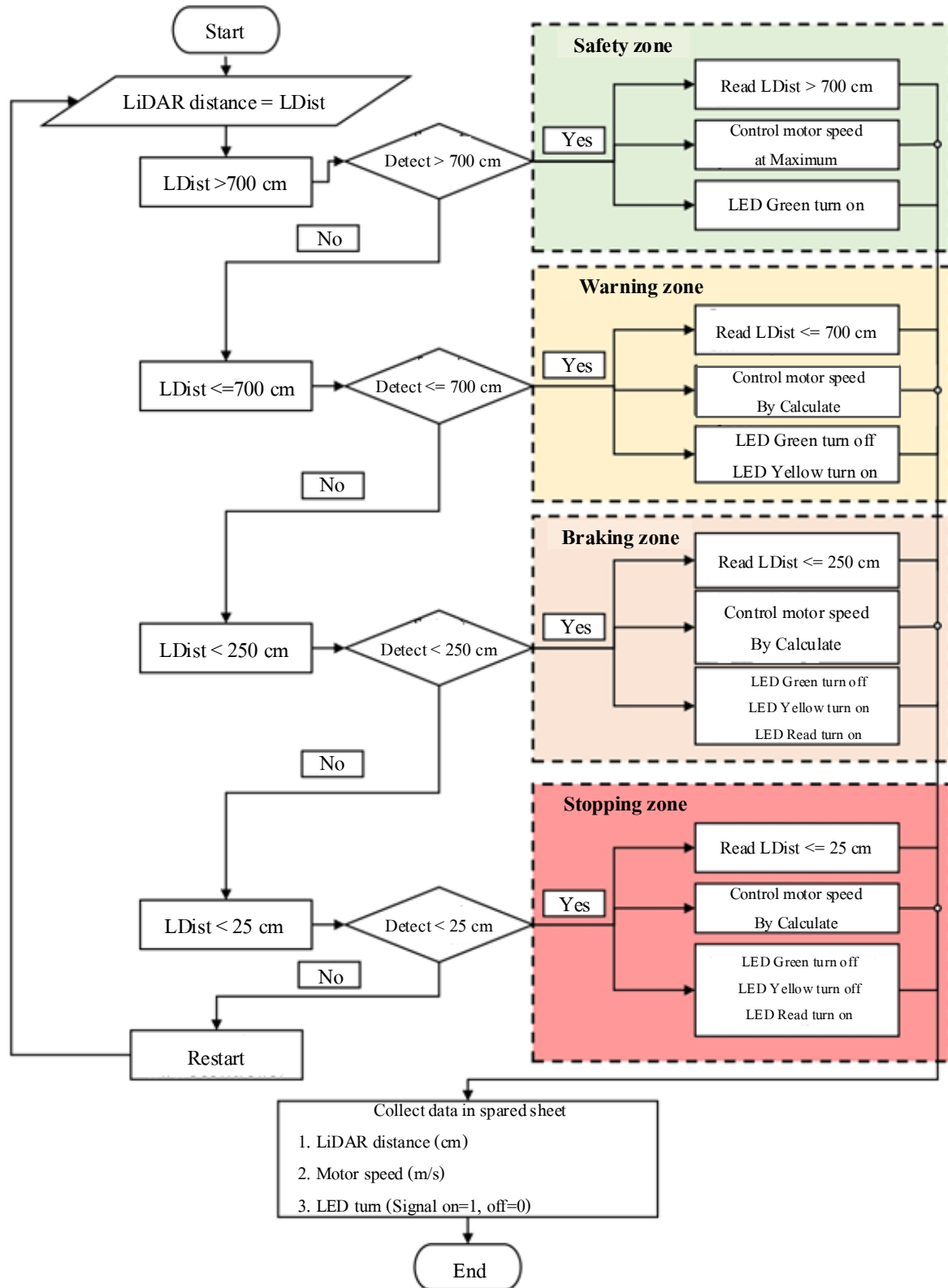


Figure 5 Working diagram of distance detection and safety distance warning system

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การทดลองจะควบคุมให้รถต้นแบบวิ่งเป็นเส้นตรงเป็นระยะทางมากกว่า 700 เซนติเมตร เพื่อวัดและเก็บข้อมูลของระยะห่างจากวัตถุ ความเร็วตัวรถ พร้อมกับการแสดงสถานะไฟแจ้งเตือนเมื่อยานยนต์ต้นแบบเคลื่อนที่ผ่านโซนต่าง ๆ (Vasile *et al.*, 2021) (Figure 6)

ในส่วนนี้จะทำการทดสอบ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของการวัดระยะทางจากไลดาร์สำหรับใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบภายในตัวยานยนต์ต้นแบบ (Popa *et al.*, 2022) (Figure 7 – 9) ที่เป็นผลของการทดสอบในแต่ละครั้ง

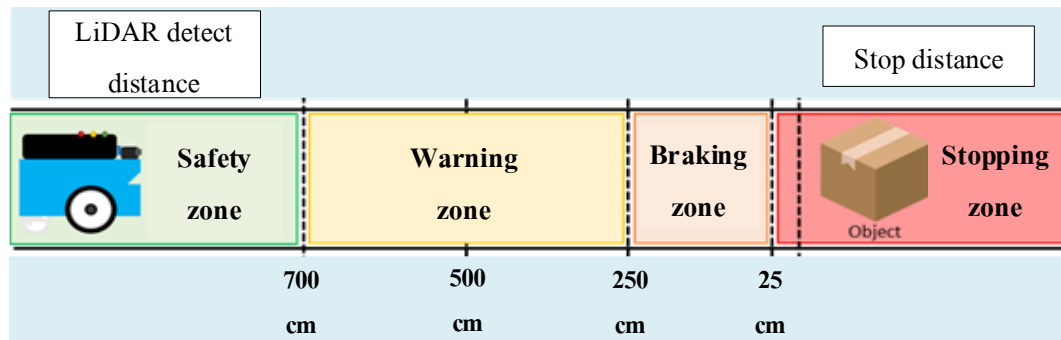


Figure 6 Design of safety warning and distance measurement system

Operation LED indicator of Exp.1

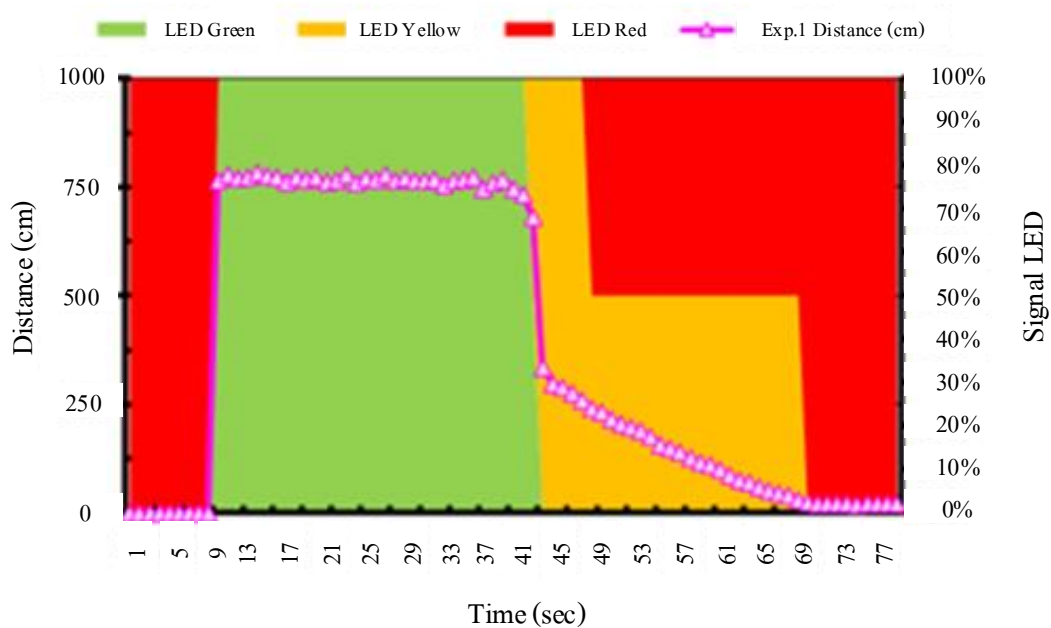


Figure 7 Experiment 1: Relationship between distance and time in various zones

Operation LED indicator of Exp.2

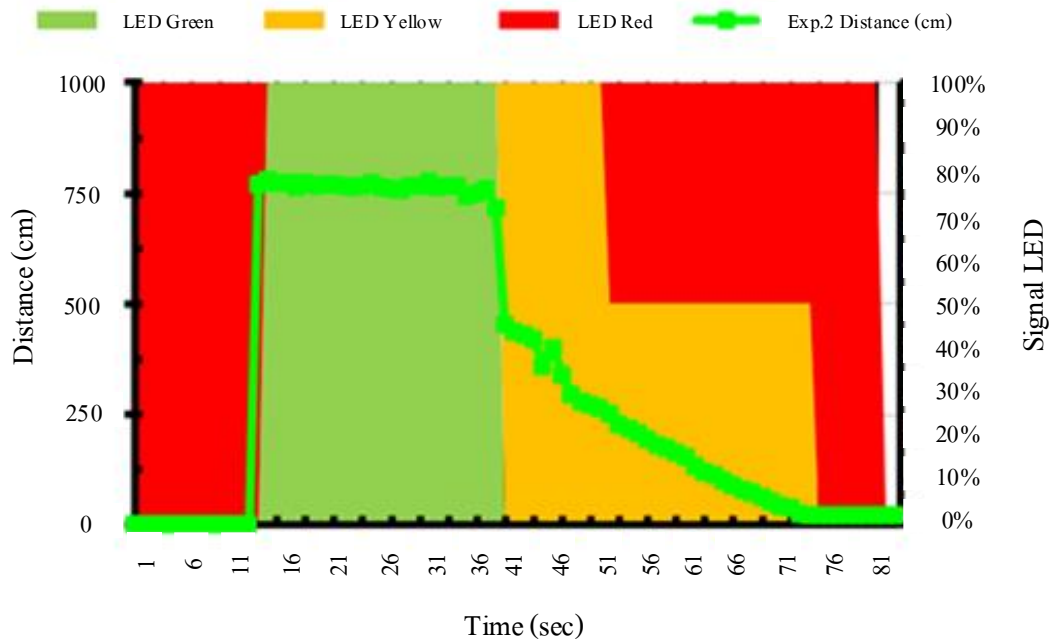


Figure 8 Experiment 2: Relationship between distance and time in different zones

Operation LED indicator of Exp.3

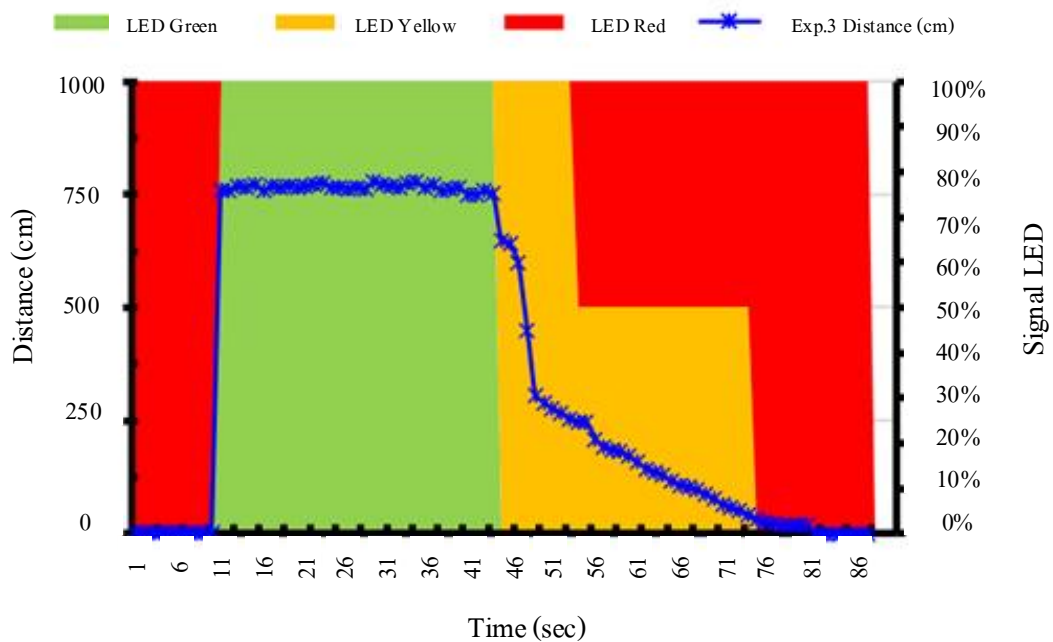


Figure 9 Experiment 3: Relationship between distance and time in different zones

จาก Figure 7-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของวัตถุด้านหน้ายานยนต์ต้นแบบกับเวลาในการเคลื่อนที่ผ่านโซนต่าง ๆ ด้วยความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พร้อมการแจ้งเตือนสถานะของหลอดไฟ LED ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 สถานะ ได้แก่ สถานะไฟสีเขียว (ระยะปลอดภัย) สถานะไฟสีเหลือง (ระยะระวัง) และสถานะไฟสีแดง (ระยะเบรก) จากการทดสอบทั้ง 3 ครั้งพบว่า ระบบ

การแจ้งเตือนด้วยหลอดไฟ LED สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วโดยไม่เกิดความผิดพลาด เมื่อทำงานวัดระยะจากไคลดาร์ในแต่ละโซน พบว่า ที่โซนสีเขียวสถานะไฟ LED สีเขียวจะสว่างจนถึงระยะห่างจากวัตถุ 767.67 เซนติเมตร และจะเปลี่ยนสถานะไฟ LED เป็นสีเหลืองเมื่อยานยนต์เข้าใกล้วัตถุด้านหน้าในระยะ 593 เซนติเมตร และ

จะเปลี่ยนสถานะไฟ LED เป็นสีแดง เมื่อยานยนต์เข้าใกล้วัตถุด้านหน้าในระยะ 237.67 เซนติเมตร ตามลำดับ

จากการทดสอบเมื่อนำข้อมูลเฉพาะระยะห่างจากวัตถุด้านหน้ายานยนต์ต้นแบบมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างวัตถุกับเวลาที่ความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อมาใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาความหน่วงที่ใช้ในการเบรกมอเตอร์ไฟฟ้าของยานยนต์ต้นแบบ (Vaibhav *et al.*, 2022) (Figure 10)

จาก Figure 10 เมื่อนำผลระยะห่างระหว่างวัตถุด้านหน้ายานยนต์ต้นแบบทั้ง 3 ครั้งมาทำการเปรียบเทียบกัน

โดยยานยนต์ไฟฟ้าจะใช้เวลาอยู่ในโซนสีเหลือง (ระยะระวัง) ประมาณ 20 วินาที และอยู่ในโซนสีแดง (ระยะเบรก) ก่อนเกิดการชนกับวัตถุด้านหน้าตัวรถ ประมาณ 10 วินาที ในส่วนนี้ได้ออกแบบให้ยานยนต์เริ่มเบรกตั้งแต่โซนสีเหลือง ซึ่งจะมีเวลาในการเบรกที่ 20 วินาที สามารถนำมาคำนวณหาความหน่วงได้ 0.524 เมตรต่อวินาที² โดยค่าความหน่วงนี้ได้รับการประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอยู่กับความเร็วยานยนต์ที่ใช้ สำหรับงานวิจัยนี้ทุกการทดสอบจะใช้ความเร็วคงที่ที่ 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

Comparison distance form LiDAR sensor

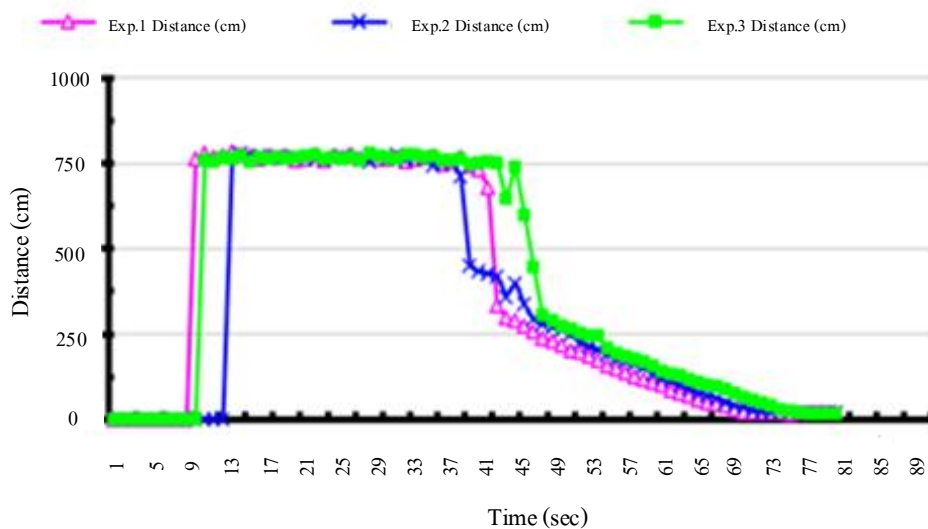


Figure 10 Relationship between distance and time

Comparison motor speed by calculating braking distance

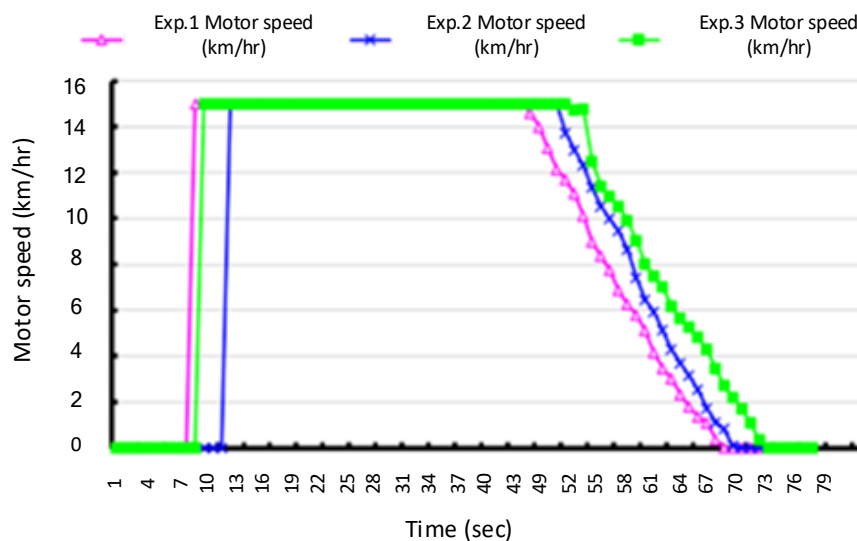


Figure 11 Relationship between distance and time

จาก Figure 11 จะเห็นว่าเมื่อเริ่มเบรค ยานยนต์ต้นแบบด้วยความหน่วง 0.524 เมตรต่อวินาที² จะสามารถหยุดรถได้ที่ 20 วินาที โดยเริ่มเบรคที่วินาทีที่ 52 ไปจนถึงวินาทีที่ 72 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่รถหยุดนิ่ง และไม่เกิดการชนกับวัตถุด้านหน้า ในการทดสอบระบบเบรคของการทดลองนี้ผลที่ได้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้โดยไม่เกิดการชน และเมื่อคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของการเบรคของการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง จะมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 5.77 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับการทดสอบนี้

4. สรุป

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าเทคโนโลยีโลดาร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการทำงานของระบบเบรคของยานยนต์ได้ โดยการทดสอบการทำงานของระบบการแจ้งเตือนและระบบเบรคสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขทั้ง 3 ครั้ง โดยมีความคลาดเคลื่อนในการเบรคอยู่ที่ 5.77 % จากระยะที่กำหนดไว้จากการคำนวณ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ไม่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุต่อผู้ขับขี่ สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของค่าที่กำหนดไว้และผลลัพธ์ เช่น สภาพแวดล้อม พื้นผิวของวัตถุ กำลังขับของมอเตอร์ และขนาดลำแสงของโลดาร์ เป็นต้น ทั้งนี้การออกแบบดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับยานยนต์อัตโนมัติที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้

5. เอกสารอ้างอิง

Aly, A.A., Zeidan, E., Hamed, A. and Salem, F. 2011. An Antilock-Braking System (ABS) Control: A Technical Review. **Intelligent Control and Automotive** 2(3): 186-195.

Dai, Z., Wolf, A., Ley, P., Gluck, T., Sundermerier, M.C. and Lachmayer, R. 2022. Requirements for Automotive LiDAR System. **Sensor** 22(19): 7532.

Ebrahimi-Nejad, S. and Kheybari, M. 2017. Brake System Design for Sports Cars using Digital Logic Method. **International Journal of Automotive Engineering** 7(4): 2570-2582.

Euro NCAP, Vehicle Safety, The Rating Explained, Safety Assist, AEB Car to Car. 2020. **AEB Car to Car System Are Tested Across A Wide Range of Speed and Vehicle Overlaps and Traffic Situations.** Available Source:

<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/safety-assist/aeb-car-to-car/>, August 10, 2020.

Gaurkar, P.V., Ramakrushnan, K., Challa, A., Subramanian, S.C., Vivekanandan, G. and Sivaram, S. 2022. An Anti-Lock Braking System Algorithm using Real-Time Wheel Reference Slip Estimation and Control. **Journal of Automobile Engineering** 236(4): 676-688.

Guo, J., Wang, Y., Yin, X., Liu, P., Hou, Z. and Zhao, D. 2022. Study on the Control Algorithm of Automatic Emergency Braking System (AEBS) for Commercial Vehicle Based on Identification of Driving Condition. **Machines** 10(10): 895.

He, R. and Jing, Z. 2019. Study on Braking Stability of Commercial Vehicles: And optimized Air Brake System. **Advances in Mechanical Engineering** 11(5): 168781401984859.

Hua, X., Zeng, J., Li, H., Huang, J., Luo, M., Feng, X., Xiong, H. and Wu, W. 2023. A Review of Automobile Brake-by-Wire Control Technology. **Processes** 11(4): 994.

Meng, B., Zhou, Z., Zhang, C. and Yang, F. 2023. A Design Method for Booster Motor of Brake-by-Wire System Based on Intelligent Electric Vehicle. **Green Energy and Intelligent Transportation** 2(4): 100110.

Mustafar, M.Z.C. and Bakar, S.A.A. 2020. Optimal Design of an Autonomous Emergency Braking (AEB) System for a Passenger Vehicle. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering** 884(1): 012088.

Nugraha, A.A., Sumarsono, D.A., Adhitya, M. and Prasetya, S. 2021. Development of Brake Booster Design for Electric City Cars. **International Journal of Technology** 12(4): 802-812.

Popa, G., Gheti, M.A., Tudor, E., Vasile, I. and Sburlan, I.C. 2022. Experimental Study Regarding Long Range LiDAR Capabilities in Sensing Safety Distance for Vehicle Application. **Sensors** 22(15): 5731.

- Roriz, R., Cabral, J. and Gomes, T. 2022. Automotive LiDAR Technology: A Survey. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation System** 23(7): 6282-6297.
- Transport Statistics Group, Planning Division, Department of Land Transport. 2022. **Report on transportation statistics for 5 years**. Other analytical statistics reports. Available Source: https://www.nso.go.th/nsoweb/nso/survey_detail/sK, July 31, 2023. (in Thai)
- Tsai, P.S., Wu, T.F., Chen, J.Y. and Teng, P.T. 2023. Micro-Stepping Motor for Instrument Panel Using PWM Drive Method. **Processes** 11(12): 329.
- Wang, Z., Zhou, X., Yang, C., Chen, Z. and Wu, X. 2017. An Experimental Study on Hysteresis Characteristics of a Pneumatic Braking System for a Multi-Axle Heavy Vehicle in Emergency Braking Situations. **Sciences** 7(8): 799.
- Vaibhav, R., Amutha Prabha, N., Indragandhi, V., Bharathidasan, M., Vasantharaj, S. and Sam, A.J. 2022. Autonomous Braking System Using Linear Actuator. **Journal of Sensors** 2022(1): 7707600.
- Vasile, I., Tudor, E., Sburlan, I.C., Gheti, M.A. and Popa, G. 2021. Experimental Validation of LiDAR Sensors Used in Vehicular Applications by Using a Mobile Platform for Distance and Speed Measurements. **Sensors** 21(23): 8147.
- Wu, J., He, H.Z.R., Chen, P. and Chen, H. 2020. A Mechatronic Brake Booster for Electric Vehicles: Design, Control and Experiment. **IEEE Transactions on Vehicular Technology** 69(7): 7040-7053.
- Yeong, D.J., Velasco-Hernandez, G., Barry, J. and Walsh, J. 2021. Sensor and Sensor Fusion Technology in Autonomous Vehicles: A Review. **Sensor** 21(6): 2140.