ผลกระทบจากการเบนแนวทางดิ่งต่อความเร็วรถ: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยขอนแก่น

Effect of Vertical Deflections on Vehicle Speed: A Case study from Khon Kaen University

ธนวิชญ์ เลิศพรประสพโชค[1,*] วิชุดา เสถียรนาม[2] และ ธเนศ เสถียรนาม[3]

[1,2,3] *ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น*

**Corresponding author; E-mail address: le_thanawit@kkumail.com*

บทคัดย่อ

การเบนแนวทางดิ่งเป็นเทคนิคการสยบการจราจรที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อควบคุมความเร็วรถ การติดตั้งเนินเปลี่ยนระดับถนน ซึ่งผู้ขับขี่จะปรับความเร็วเพื่อรักษาระดับความสบายขณะเคลื่อนผ่าน มาตรการนี้พัฒนาขึ้นในบริบทถนน สภาพการจราจรและพฤติกรรมของผู้ขับขี่ในประเทศที่พัฒนาแล้ว จึงมีข้อกังขาต่อประสิทธิภาพเมื่อถูกนำมาใช้ควบคุมความเร็วรถในเขตมหาวิทยาลัยขอนแก่น ดังนั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาผลกระทบของการเบนแนวทางดิ่งต่อความเร็วรถและ 2) ระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระดับการลดความเร็วของผู้ขับขี่ การศึกษานี้ใช้อากาศยานไร้คนขับบันทึกพฤติกรรมของผู้ขับขี่บริเวณเนินชะลอความเร็ว 3 แห่ง และเนินราบชะลอความเร็ว 6 แห่ง เนินมีขนาดที่หลากหลาย กว้าง 4 ถึง 14 เมตร สูง 5 ถึง 14 เซนติเมตร และชัน 1:43 ถึง 1:20 การศึกษาสังเกตความเร็วรถยนต์ 1,068 คัน และรถจักรยานยนต์ 840 คัน ทุกระยะ 10 เมตรในช่วง 50 เมตรก่อนและหลังเนิน สร้างกราฟหน้าตัดความเร็วและระบุปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อการลดความเร็วด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ผลการศึกษาพบว่ารถเคลื่อนผ่านเนินด้วยความเร็วเฉลี่ย 25-37 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ 29-44 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อเทียบกับความเร็วที่ใช้บนถนนช่วงก่อนหน้า ความเร็วของรถยนต์และรถจักรยานยนต์ลดลง 18-46 % และ 12-34 % ตามลำดับ เนินสามารถควบคุมความเร็วรถในช่วง 20-30 เมตรก่อนและหลังตำแหน่งติดตั้ง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระดับการลดความเร็วได้แก่ ความเร็วขณะสัญจรบนช่วงถนนก่อนหน้า รูปทรงของอุปกรณ์ และประเภทรถ โดยเนินส่งผลกระทบต่อรถยนต์มากกว่ารถจักรยานยนต์

คำสำคัญ: มาตราการสยบการจราจร, เนินชะลอความเร็ว, เนินราบชะลอความเร็ว, รถจักรยานยนต์

Abstract

Vertical deflections are widely used traffic calming techniques. Due to a change in height, drivers must reduce their speed when crossing the device to maintain an acceptable level of comfort. As the measure is based on the experiences of developed nations, its effectiveness in mixed traffic environments is still questionable. Therefore, this study aims to 1) determine the effects of vertical deflections on vehicle speed on collector roads in Khon Kaen University and 2) identify the factors that contribute to speed reductions. This study observed driver behavior on a section of collector road that had vertical deflection installed, including 3 sections with speed humps and 6 sections with speed tables. The vertical deflections vary in width from 4 to 14 meters, in height from 5 to 14 centimeters, and in slope from 1:43 to 1:20. The drone was used to video free-flowing traffic characteristics. During post-recording analysis, speed profiles of 1,068 passenger cars and 840 motorcycles were plotted every 10 meters for 50 meters prior to and after the location of the device. In addition, the technique of Linear regression analysis was utilized to determine the contributing factors in speed reductions. The results revealed that the mean and 85th percentile crossing speeds were 25-37 km/h and 29-44 km/h, respectively. The speed reduction ranged from 18 to 46 percent for passenger cars and 12 to 34 percent for motorcycles. According to the speed profile data, vertical deflection can control the vehicle's speed 20 to 30 meters before and after the device. In addition, contributing factors to speed reduction involve device geometry, approaching speed, and vehicle types.

Keywords: Traffic calming measures, Speed hump, Speed tables, Motorcycle

1. บทนำ

ความเร็วนับเป็นปัจจัยสำคัญต่อการชนบนถนน ทั้งในแง่ความเสี่ยงในการเกิดการชน และต่อความรุนแรงในการบาดเจ็บ ความเร็วที่เพิ่มขึ้น ลดโอกาสในการหลีกเลี่ยงการชน และส่งผลโดยตรงต่อแรงกระแทกและระดับการบาดเจ็บ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกี่ยวข้องกับผู้ใช้ถนนเปราะบาง (Vulnerable Road Users) เช่นคนเดินเท้า คนขี่จักรยาน และคนใช้จักรยานยนต์ โดยการศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่า คนเดินเท้าที่ถูกรถชนที่ความเร็ว 58 ไมล์ต่อชั่วโมงมีโอกาสเสียชีวิตสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ในทางกลับกันหากใช้ความเร็วที่ 23 ไมล์ต่อชั่วโมง โอกาสเสียชีวิตจะลดลงเหลือเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ [1]

การควบคุมความเร็วรถให้สอดคล้องกับหน้าที่ถนนและความสามารถในการรับแรงกระแทกของผู้ใช้ถนน นับเป็นหัวใจสำคัญในการอำนวยความปลอดภัยในระดับสากล การกำหนดและบังคับใช้ความเร็วจำกัด (Speed limit enforcement) ควบคู่กับการสยบการจราจร (Traffic calming) ซึ่งใช้กายภาพถนนบังคับควบคุมความเร็วในการขับขี่ นับเป็นมาตรการดำเนินการหลัก [2]

ในประเทศไทยการกำหนดและบังคับใช้ความเร็วจำกัดเป็นประเด็นที่ต้องให้ความสำคัญ จากรายงานการชนบนทางหลวงของกรมทางหลวงในปี 2563 [3] การขับรถเร็วเกินอัตราความเร็วที่กำหนด เป็นสาเหตุหลักของการชนบนทางหลวง สูงถึงร้อยละ 77 ของสาเหตุในการเกิดการชนทั้งหมด นอกจากนั้น จากรายงานขององค์การอนามัยโลก [4] ประเทศไทยได้รับการประเมินว่ามีกฎหมายและระดับการบังคับใช้กฎหมายควบคุมความเร็วที่ด้อยประสิทธิภาพ และกำหนดความเร็วจำกัดในเขตเมืองไว้สูงถึง 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในขณะที่มีผู้ใช้ถนนกลุ่มเสี่ยงหลักเป็นผู้ใช้รถจักรยานยนต์ซึ่งเปราะบางต่อแรงกระแทก

มหาวิทยาลัยขอนแก่น มีโครงข่ายถนนขนาดใหญ่ภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งถูกใช้สัญจรโดยบุคลากรและใช้เป็นทางผ่านเข้าออกของผู้อยู่อาศัยในชุมชนโดยรอบ เพื่อควบคุมความเร็วรถ ทางมหาวิทยาลัยฯ ได้ติดตั้งป้ายจำกัดความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และติดตั้งอุปกรณ์เบนแนวทางดิ่ง (Vertical deflections) บนช่วงถนน โดยเนินที่ติดตั้งมีรูปร่างและเรขาคณิตที่ค่อนข้างหลากหลาย [5-6] ทั้งในลักษณะเนินชะลอความเร็ว (Speed hump) เนินราบชะลอความเร็ว (Speed table)

ในทางทฤษฎี การเบนแนวทางดิ่ง เป็นมาตรการสยบการจราจรที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย [7-8] มาตรการนี้ใช้กายภาพถนนควบคุมความเร็วของรถทุกคันที่ผ่านอุปกรณ์ ช่วยลดผลกระทบในแง่ลบของรถยนต์ต่อผู้ใช้ถนนเปราะบางกลุ่มอื่น ๆ [4] อีกทั้งยังใช้งบประมาณการก่อสร้างอย่างประหยัดและคุ้มค่า [9] การติดตั้งอุปกรณ์เบนแนวทางดิ่ง จะเปลี่ยนระดับบนถนน เพื่อรักษาระดับความสบายในการขับขี่ ผู้ขับขี่ที่ผ่านอุปกรณ์จะปรับความเร็วรถให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมโดยอัตโนมัติ

จากกลไกนี้ ประสิทธิภาพในการควบคุมความเร็วจะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดรถ ตำแหน่งติดตั้ง และรูปร่างของอุปกรณ์ เช่น ความสูง ความกว้าง และความชัน เป็นต้น [10-11] ซึ่งคำแนะนำเกี่ยวกับมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ [12-13] ควรถูกพัฒนาขึ้นในบริบทถนน สภาพการจราจร และพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ซึ่งในปัจจุบัน มาตรฐานต่างๆกำหนดขึ้นในบริบทของการจราจรในประเทศพัฒนาแล้ว

ดังนั้น เพื่อให้เกิดข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้ ออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ชะลอความเร็วให้เหมาะสมต่อความปลอดภัยของผู้ใช้รถใช้ถนนในประเทศไทย งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเบนแนวทางดิ่งต่อความเร็วรถและระบุปัจจัยต่างๆที่นำไปสู่ระดับการลดความเร็วรถบนถนนสายรองในเขตมหาวิทยาลัยขอนแก่น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนินชะลอความเร็ว (Speed hump) เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ยกผิวโค้งลากตัดขวางผ่านถนน ถูกเรียกอีกอย่างว่า Road hump หรือ Undulations ซึ่งเนินชะลอความเร็วที่เป็นที่รู้จักกันคือรูปแบบของวัตต์ (Watt profile hump) พัฒนาและทดสอบโดยห้องปฏิบัติการวิจัยการขนส่งของสหราชอาณาจักร (TRRL) ถูกใช้เป็นอุปกรณ์ชะลอความเร็วที่ใช้กันทั่วไปในสหรัฐอเมริกา

นอกจากนี้ยังมีการออกแบบเนินชะลอความเร็วรูปแบบอื่นๆ เช่น เนินชะลอความเร็วแบบโค้งรูปไซน์ (Sinusoidal) เนินชะลอความเร็วแบบโค้งพาราโบลา (Parabolic) และเนินชะลอความเร็วแบบผิวบนแบนราบ (Flat-top) [12]

อีกหนึ่งประเภทคือเนินราบชะลอความเร็ว (Speed table) เรียกอีกอย่างว่า Trapezoidal humps หรือ speed platforms ซึ่งโดยพื้นฐานคือเนินราบชะลอความเร็ว (Flat-top) ที่ถูกยกสูงขึ้นจากพื้นถนนและมีระยะราบตรงกลางของอุปกรณ์ชะลอความเร็ว เนินชนิดนี้เมื่อมีการทาสีเครื่องหมายทางข้ามบริเวณระยะราบตรงกลางเพื่อให้คนข้ามก็จะกลายเป็นทางข้ามยกระดับ (Raised crosswalk หรือ Raised crossing) [14] หรือ Wombat crossing ในประเทศออสเตรเลีย [13,16]

2.1 แนวทางการออกแบบอุปกรณ์ชะลอความเร็ว

ในสหรัฐอเมริกามีแนวทางแนะนำสำหรับการออกแบบและการใช้งานของเนินชะลอความเร็ว ซึ่งรูปทรงของเนินชะลอความเร็วแบบโค้งพาราโบลาได้รับความนิยมใช้มากที่สุด โดยส่วนใหญ่ใช้ เนินชะลอความเร็ว ที่ความสูง 3 ถึง 3.5 นิ้ว (76 ถึง 90 มม.) และมีฐานกว้าง 12 ถึง 14 ฟุต (3.7 ถึง 4.3 ม.) ซึ่งเนินที่มีฐานกว้าง 12 ฟุต มีความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ขณะข้ามเนินอยู่ที่ 15-20 ไมล์ต่อชั่วโมง (24-32 กม./ชม.) ส่วนเนินที่มีฐานกว้าง 14 ฟุต มีรูปทรงและความสูงคล้ายกับ 12-foot hump แตกต่างกันที่ฐานของเนินชะลอความเร็วนั้นมีความยาวมากกว่า จึงทำให้ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ขณะข้ามเนินชะลอความเร็วมากกว่า 12 foot hump ประมาณ 3 ไมล์ต่อชั่วโมงหรืออยู่ที่ 18-23 ไมล์ต่อชั่วโมง (29-37 กม./ชม.) โดยทั่วไปจะใช้เนินชะลอความเร็วบนถนนในท้องถิ่นและบริเวณที่อยู่อาศัย [2,12,14-15]

ในส่วนของเนินราบชะลอความเร็วที่มีความสูงอยู่ที่ 3-3.5 นิ้ว (76-90 มม.) และมีความกว้างของฐานอยู่ที่ 22 ฟุต (6.7 ม.) ระยะทางลาดขึ้นและลาดลงมีระยะ 6 ฟุต (1.8 ม.) ซึ่งทางลาดขึ้นและลาดลงสามารถเป็นแบบลาดตรง โค้งพาราโบลา หรือ โค้งรูปไซน์ก็ได้ และเนื่องจากเนินราบชะลอความเร็วมีความยาวฐานที่มากกว่าเนินชะลอความเร็วทำให้ผู้ขับขี่มีระดับ

ความสบายมากกว่า ทำให้ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ขณะข้ามเท่ากับ 25-30 ไมล์ต่อชั่วโมง (40-48 กม./ชม.) [14]

นอกจากนี้ในประเทศออสเตรเลียมีแนวทางการกำหนดขนาดของเนินชะลอความเร็วอยู่ที่ ความสูง 70-120 มม. มีความยาว 3-4 เมตร ในเส้นทางที่มีรถประจำทาง และรถจักรยานผ่านควรมีความสูงไม่เกิน 75 มม. โดยแนะนำให้มีความยาวอย่างน้อย 3.7 เมตร และเนินราบชะลอความเร็ว (Speed table) มีลักษณะเป็นพื้นราบยกสูงขึ้นจากพื้นผิวถนนประมาณ 75-100 มม. โดยทั่วไปแล้วพื้นราบส่วนที่ยกสูงขึ้นจะยาว 2-6 เมตร ในกรณีที่ติดตั้งอุปกรณ์นี้ได้บนเส้นรถประจำทางแนะนำให้ พื้นราบส่วนที่ยกสูงขึ้นจะยาว 6 เมตรขึ้นไปด้วยความสูงที่ 75 มม. และทางลาดขึ้น 1 ต่อ 20 ณ ด

ดณด ด ง ก
ฉ ก ง ก ณ
ก จ ต ฉ ต ฉด ฉ ง
ต ง [13,16]

2.2 แนวทางการออกแบบอุปกรณ์ชะลอความเร็วในประเทศไทย

มาตรฐานการก่อสร้างสันชะลอความเร็วในประเทศไทย (มยผ.2501-56) จัดทำโดยกระทรวงมหาดไทย กรมโยธาธิการและผังเมือง [17] โดยทำการแบ่งสันชะลอความเร็วออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ ลูกระนาด (Speed bump) และเนินชะลอความเร็ว (Speed hump)

2.2.1 ลูกระนาด (Speed bump)

โดยมีลักษณะเป็นส่วนที่ยกขึ้นมาจากพื้นถนน มีระยะกว้าง 30-90 ซม. และมีความสูงไม่เกิน 7.5 ซม. ทั้งนี้ความเร็วของรถขณะข้ามลูกระนาดอยู่ที่ประมาณ 8 กม./ชม. หรือน้อยกว่า

2.2.2 เนินชะลอความเร็ว (Speed hump)

โดยเนินชะลอความเร็วมีเนินชะลอความเร็วที่พบได้โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นส่วนยกที่ก่อสร้างเพิ่มเติมจากพื้นถนนโดยมีระยะฐานกว้างมากกว่า 90 ซม. โดยมาตรฐาน (มยผ.2501-56) ได้กำหนดไว้ 2 รูปแบบแบ่งออกเป็นเนินชะลอความเร็วแบบโค้งพาราโบลา (Parabolic speed hump) และแบบผิวบนแบนราบ (Flat-top speed hump)

(1) เนินชะลอความเร็วแบบโค้งพาราโบลา (Parabolic speed hump) กำหนดให้มีฐานกว้าง 3.7 ม. โดยประมาณและมีความสูง 76.2 มม.

(2) เนินชะลอความเร็วแบบผิวบนแบนราบ (Flat-top speed hump) กำหนดมีความสูงไม่เกิน 75 มม. และมีทางลาดขึ้นและลาดลงที่มีความชัน 1:12 ถึง 1:15 โดยผิวแบบราบด้านบนมีความยาวไม่น้อยกว่า 2 ม. ซึ่งสามารถใช้เป็นทางคนเดินข้ามได้

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พรศิริ และคณะ [5] ศึกษาประสิทธิภาพของเนินชะลอความเร็วในการควบคุมความเร็วของรถจักรยานยนต์ในช่วงก่อนและหลังเนินชะลอความเร็วที่มีการไหลอย่างอิสระ เป็นจำนวนทั้งสิ้น 20 ตำแหน่ง ซึ่งมีความกว้าง 0.3-14.8 ม. และความสูง 5-18 ซม. โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มยางชะลอความเร็ว กลุ่มเนินที่มีขนาดความกว้างน้อยกว่า 1 ม. และกลุ่มเนินที่มีขนาดความกว้างมากกว่า 1 ม. ผลการศึกษาพบว่าผู้ขับขี่ใช้ความเร็วสัญจรผ่านเนินทั้งสามกลุ่มด้วยความเร็วเฉลี่ย 11-16 กม./ชม. 12-15 กม./ชม. และ12-34 กม./ชม. ตามลำดับ อุปกรณ์ที่ติดตั้งสามารถลดความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ในช่วง 15-69 % และได้นำเสนอสมการสำหรับการทำนายความเร็วเฉลี่ยและความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของรถจักรยานยนต์ขณะผ่านสันชะลอความเร็วจากความกว้างและความสูงของอุปกรณ์

Nor Izzah Zainuddin et al [18] ศึกษาการออกแบบเนินชะลอความเร็วที่เหมาะสมในประเทศมาเลเซีย การศึกษาเก็บข้อมูลความเร็วของรถยนต์ที่วิ่งผ่านเนินรูปไซน์ที่ติดตั้งในบริเวณที่อยู่อาศัย เก็บข้อมูลความเร็วแบบจุด (Spot speed) ในช่วงก่อนถึงขณะผ่าน และหลังเนินชะลอความเร็ว วิเคราะห์และพัฒนาแบบจำลองการลดความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85 ที่สัมพันธ์กับการออกแบบทางเรขาคณิตของเนินชะลอความเร็ว การศึกษานี้พบว่าลักษณะทางเรขาคณิตของเนินชะลอความเร็ว ได้แก่ ความสูง และความกว้าง มีผลต่อการลดความเร็วรถ

Saúl A. Obregon-Biosca [10] ศึกษาเนินชะลอความเร็วและเนินราบชะลอความเร็วที่ติดตั้งบนถนนสายรอง โดยคำนึงถึงรูปร่างและระยะห่างของอุปกรณ์ ผลการศึกษาพบว่ารูปร่างและขนาดของอุปกรณ์ เช่น ความสูง ความกว้าง และความชัน เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อประสิทธิภาพในการลดความเร็ว โดยลดลง 50%–75% เมื่อเป็นเนินชะลอความเร็ว และลดความเร็วสูงสุด 10%-65% เมื่อเป็นเนินราบชะลอความเร็ว นอกจากนั้นการศึกษาพบว่าระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ไม่ได้ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความเร็วของรถเมื่อผ่านอุปกรณ์ดังกล่าว การศึกษานี้พัฒนาแบบจำลองทำนายความเร็วขณะผ่านเนินชะลอความเร็วและเนินราบชะลอความเร็วจากลักษณะทางเรขาคณิตของอุปกรณ์

Satiennam et al. [6] ศึกษาอิทธิพลของลูกระนาดและเนินชะลอความเร็วที่มีต่อรถจักรยานยนต์ในบริเวณอุปกรณ์ 6 ตำแหน่ง ที่มีลักษณะเรขาคณิตที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่าลูกระนาดและเนินชะลอความเร็วมีผลกระทบที่แตกต่างกันอย่างมากต่อรถยนต์และรถจักยานยนต์ ลูกระนาดสามารถควบคุมความเร็วของรถจักรยานยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่มีผลกระทบที่แตกต่างกันกับรถยนต์ ทำให้ผลต่างของความเร็วของรถทั้ง 2 ประเภทแตกต่างกันส่งผลต่อกระทบด้านความปลอดภัยได้ และในส่วนของเนินชะลอความเร็วรถจักรยานยนต์มีความเร็วค่อนข้างหลากหลายขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ

Boris Antic et al. [19] ศึกษาอิทธิพลของลูกระนาดต่อการลดความเร็วรถ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของความสูงของเนินที่แตกต่างกัน (3, 5 และ 7 ซม.) มีผลต่อการลดความเร็ว นอกจากนี้ได้มีข้อแนะนำว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดการชนควรติดตั้งลูกระนาด 5-7 ซม. แต่ในจุดที่เสี่ยงน้อยควรติดตั้ง 3 ซม. เช่นเดียวกับการศึกษาในประเทศอินเดีย [11] ที่ได้ทำการศึกษาไปที่ประสิทธิภาพของเนินชะลอความเร็วที่มีขนาดที่แตกต่างกันในรถหลากหลายประเภท ซึ่งพบว่ามากกว่า 70% ของการลดความเร็วเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางเรขาคณิตของเนินชะลอความเร็ว จากการสำรวจความสูงของเนินชะลอความเร็วมีผลโดยตรงต่อการ

ลดความเร็วในทางกลับกันความกว้างของเนินชะลอความเร็วมีผลตรงข้ามต่อการลดความเร็วของรถ

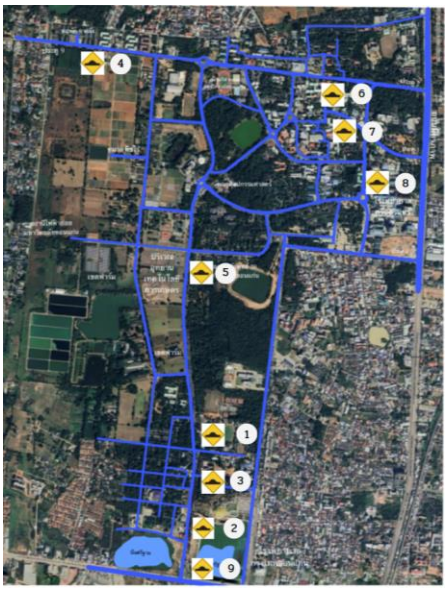
สรุปผลการทบทวนวรรณกรรม จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเบนแนวทางดิ่ง (Vertical deflection) มีประสิทธิภาพในการช่วยลดความเร็วและการเสียชีวิตของผู้ขับขี่ แต่จะเห็นว่าในกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนารวมถึงประเทศไทย มีการติดตั้งการเบนแนวทางดิ่งที่มีลักษณะการออกแบบทางเรขาคณิตแตกต่างกันออกไปไม่เป็นไปตามมาตรฐานการก่อสร้าง ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าถ้าหากมีการออกแบบและจัดวางไม่เหมาะสมอาจจะเป็นอุปสรรคต่อการขับขี่และเกิดการชนขึ้น แต่ยังขาดการศึกษาปัจจัยด้านอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อการลดความเร็วของรถร่วมด้วย ดังนั้น สมมุติฐานของงานวิจัยนี้ คือความเร็วที่ลดลงของรถเมื่อผ่านเนินชะลอความเร็วมีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการลดความเร็วของรถ สมมติฐานทางสถิติ H_0 : ตัวแปรตาม (Y) ไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระ (x) ทั้ง k ตัว H_1 : ตัวแปรตาม (Y) ขึ้นกับตัวแปรอิสระ (X) อย่างน้อย 1 ตัว โดย Y = ความเร็วที่ลดลงของรถเมื่อผ่านเนินชะลอความเร็ว และ X_i = ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดความเร็วของรถ i

3. วิธีการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษา

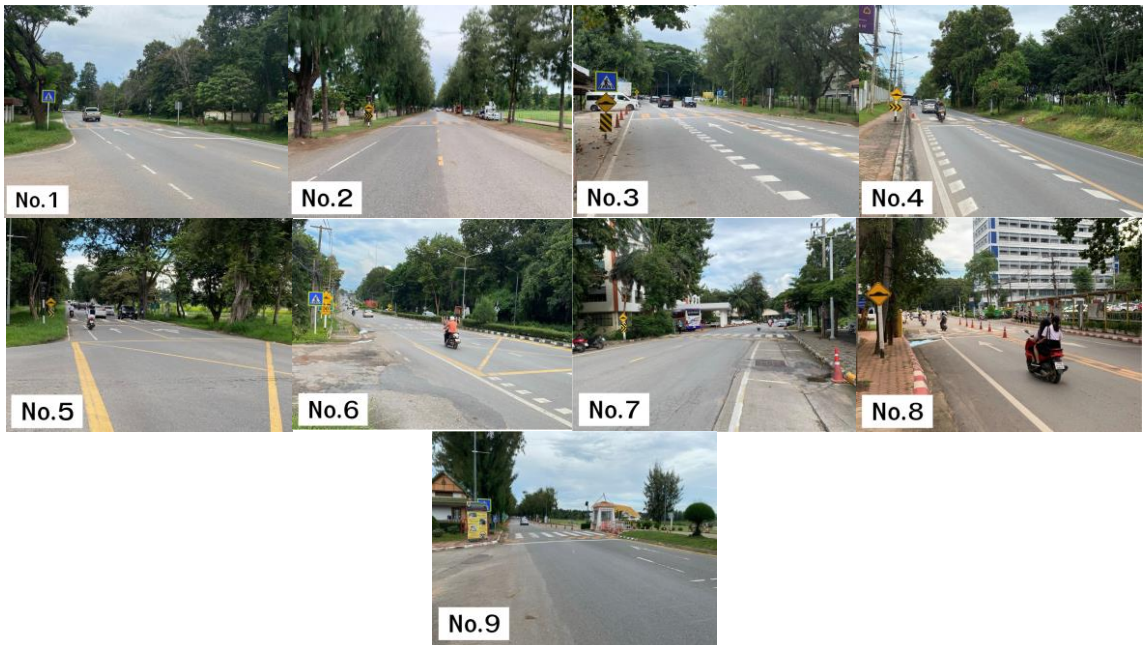
การศึกษานี้สังเกตพฤติกรรมของผู้ขับขี่ในช่วงถนนที่มีการเบนแนวทางดิ่ง 9 ตำแหน่ง ซึ่งตั้งกระจายอยู่บนโครงข่ายถนนในพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น ดังแสดงในภาพที่ 1

อุปกรณ์ที่ศึกษาแบ่งเป็นเนินชะลอความเร็ว 3 ตำแหน่ง และเนินราบชะลอความเร็ว 6 ตำแหน่ง ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งในบริเวณช่วงถนนที่มีการติดตั้งการเบนแนวดิ่งมีความหลากหลายทั้งด้านจราจรและทางกายภาพ โดยตั้งอยู่ในถนนสายรองและท้องถิ่นสำหรับใช้ในการเดินทางไปสถานศึกษาและพื้นที่สันทนาการ



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา

สำหรับแต่ละแห่งได้ทำการสำรวจลักษณะทางกายภาพของเนินชะลอความเร็วด้วยกล้องระดับ LEICA Sprinter ในการเก็บระดับความสูง ความกว้างและความชันของเนินชะลอความเร็ว รวมทั้งรายละเอียดของช่วงถนนในพื้นที่ศึกษา เช่น จำนวนช่องจราจร ความกว้างถนน ความกว้างไหล่ทาง เป็นต้น รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 2 พื้นที่ศึกษาที่มีการติดตั้งมาตรการแบนแนวทางดิ่งในมหาวิทยาลัยขอนแก่น

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของเนินชะลอความเร็วและช่วงถนนในแต่ละตำแหน่ง

ตำแหน่ง	สถานที่	ลักษณะเนิน	จุดชะลอความเร็ว				ช่วงถนน					
			สูง(cm)	กว้าง(m)	ความชัน	ป้ายเตือน(km/h)	จำนวนช่องจราจร	ความกว้าง(เมตร)/ช่องจราจร	ความกว้างไหล่ทาง (เมตร)/ทิศทาง	ลักษณะการแบ่งแยกทิศทาง	ความชันถนน(%)	ใกล้ทางแยก
1	หน้าแฟลตประตู[A]	Parabolic	6	4.00	1:33	30	1	3.5	1.5	ไม่มีเกาะกลาง	ขึ้นเนิน 1.4	มี
2	หน้าหอศิลป์[A]	Parabolic	5	4.00	1:40	30	1	3.5	0.5	ไม่มีเกาะกลาง	ขึ้นเนิน 0.9	ไม่มี
3	หน้าคณะนิติศาสตร์[A]	Parabolic	5	4.30	1:43	30	1	3.6	2.8	ไม่มีเกาะกลาง	ลงเนิน 1.7	ไม่มี
4	หน้าหอ9หลัง[A]	Flat-top	8	8.00	1:24	30	1	3.25	1	ไม่มีเกาะกลาง	ลงเนิน 1.5	ไม่มี
5	หน้าแปลงเกษตร[A]	Flat-top	13	11.60	1:22	30	1	3.5	1.25	ไม่มีเกาะกลาง	ขึ้นเนิน 0.9	มี
6	หน้าคณะมนุษย์[A]	Flat-top	11	13.00	1:31	30	2	3.5	1.4	มีเกาะกลาง	ลงเนิน 3.5	มี
7	หน้าตึกพิมล[B]	Flat-top	9	6.50	1:20	30	1	3.8	0.5	ไม่มีเกาะกลาง	ลงเนิน 3.2	ไม่มี
8	หน้าคณะเภสัช[A]	Flat-top	8	10.00	1:30	30	1	3.8	1.5	ไม่มีเกาะกลาง	ลงเนิน 2.2	ไม่มี
9	หน้าประตูสี่ฐาน[A]	Flat-top	10	10.00	1:20	20	2	3.6	0.5	มีเกาะกลาง	ลงเนิน 0.2	ไม่มี

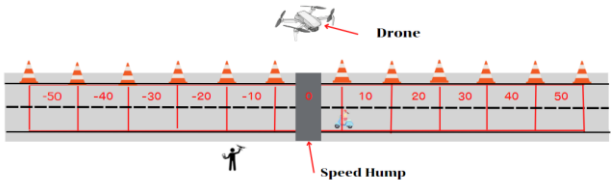
***ตำแหน่งติดตั้งเนิน: [A]ถนนสายรอง, [B]สายท้องถิ่น*

3.2 สำรวจความเร็ว

การสำรวจข้อมูลพฤติกรรมการใช้ความเร็วของรถบริเวณที่มีการติดตั้งเนินชะลอความเร็ว อาศัยอากาศยานไร้คนขับ (Drone) ยี่ห้อ DJI รุ่น MINI 3 PRO ซึ่งเป็นโดรนถ่ายภาพทางอากาศความละเอียดสูง บันทึกวิดีโอที่ความละเอียด 2.7K ที่อัตรา 60 เฟรมต่อวินาที

การบันทึกภาพ บันทึกวิดีโอจากมุมสูงที่ความสูงไม่เกิน 90 เมตร ให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้อยู่ในช่วง 50 เมตรก่อนและหลังอุปกรณ์ชะลอความเร็ว ในช่วงนอกเวลาเร่งด่วนวันราชการเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (9.00-11.00 น.) ที่มีสภาพอากาศโปร่งใส

ในแต่ละพื้นที่ศึกษา เพื่อให้ได้สภาพการจราจรที่มีการใช้ความเร็วอย่างอิสระ และในระหว่างการเก็บข้อมูลมีสภาพอากาศโปร่งใส ไม่มีลมแรง ซึ่งในแต่ละพื้นที่ศึกษาได้ทำการติดตั้งกรวยจราจรที่ตำแหน่ง 55 45 35 25 15 และ 5 เมตรทั้งก่อนและหลังเนินชะลอความเร็วหลัง (ดังภาพที่ 3) เพื่อให้ตำแหน่งอ้างอิงในการคำนวณความเร็วรถ



ภาพที่ 3 ตำแหน่งการวัดความเร็ว

3.3 การบันทึกข้อมูล

การศึกษานี้ สังเกตพฤติกรรมผู้ขับขี่จากบันทึกวิดีโอในแต่ละพื้นที่ศึกษา ทำการถอดข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Kinovea ด้วยการนับจำนวนเฟรมเรทภาพของวิดีโอโดยเปรียบเทียบกับระยะอ้างอิงที่กำหนดจากพื้นที่ศึกษา คำนวณความเร็วของรถที่วิ่งผ่านระยะต่างๆ โดยพิจารณาเฉพาะรถนั่งส่วนบุคคลและรถจักรยานยนต์ที่ไหลอย่างอิสระ ไม่มีปัจจัยอื่นรบกวน เช่น ไม่มีรถที่วิ่งตามกันมาเป็นกลุ่ม ไม่มีคนข้ามถนนขัดจังหวะทำให้รถต้องชะลอความเร็ว เป็นต้น

การศึกษานี้สังเกตรถยนต์ 1,155 คัน และรถจักรยานยนต์ 877 คัน บันทึกข้อมูลเวลาที่รถผ่านแต่ละตำแหน่งในช่วง 50 เมตรก่อนและหลังเนิน เพื่อคำนวณความเร็วรถ และบันทึกปัจจัยอื่น ๆ ที่สังเกตได้ เช่น ประเภทรถ

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่บันทึกได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ในเบื้องต้น และนำข้อมูลความเร็วในแต่ละชุดข้อมูลมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวแบบกล่อง (Box plot) เพื่อตรวจสอบข้อมูลที่มีค่าสูงหรือต่ำเกินไปเมื่อเทียบกับค่าอื่นๆ จากกระบวนการดังกล่าวคงเหลือข้อมูลรถยนต์ 1,068 คัน และรถจักรยานยนต์ 840 คัน ในการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยระหว่างรถสองประเภท ณ ตำแหน่งต่างๆ ด้วยสถิติทดสอบที

การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อการลดความเร็วของรถ ทำด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression) ด้วยวิธีการคัดเลือกแบบลำดับขั้น (stepwise section) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) [19] ซึ่งกำหนดตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ ความเร็วรถที่ลดลง และตัวแปรอิสระ (Independent Variable) คือปัจจัยที่นำไปสู่การลดความเร็วของรถ ซึ่งได้แก่ ความเร็วขณะสัญจรในช่วงถนนก่อนหน้า ประเภทรถ ลักษณะทางกายภาพของลูกเนินชะลอความเร็ว สภาพแวดล้อมบริเวณรอบข้างถนน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัย คำอธิบาย และการให้รหัสตัวแปร

ปัจจัย	คำอธิบาย	หน่วย/รหัส
ความเร็วขณะสัญจรในช่วงถนนก่อนหน้า	ความเร็วในช่วงก่อนถึงเนินชะลอความเร็ว 50 เมตร	กิโลเมตรต่อชั่วโมง
ประเภทรถ	ประเภทของรถที่สัญจรผ่านเนินชะลอความเร็ว	0=รถยนต์ 1=รถจักรยานยนต์

ตารางที่ 2 ปัจจัย คำอธิบาย และการให้รหัสตัวแปร (ต่อ)

ปัจจัย	คำอธิบาย	หน่วย/รหัส
ความกว้าง	ความกว้างของเนินชะลอความเร็วในแต่ละตำแหน่ง	เมตร
ความสูง	ความสูงของเนินชะลอความเร็ววัดตั้งฉากจากพื้นถนนในแต่ละตำแหน่ง	เมตร
ความชัน	ความชันของเนินชะลอความเร็ว	เปอร์เซ็นต์
รูปแบบของเนินชะลอความเร็ว	รูปแบบของเนินชะลอความเร็วในแต่ละตำแหน่ง	0=เนินชะลอความเร็ว 1=เนินราบชะลอความเร็ว
สภาพแวดล้อม	ลักษณะของสภาพแวดล้อมในบริเวณรอบข้าง	0=ไม่พลุกพล่าน 1=พลุกพล่าน
ใกล้ทางแยก	ทางแยกใกล้กับเนินชะลอความเร็ว	0=ไม่มี, 1=มี

4. ผลการศึกษา

4.1 ประสิทธิภาพในการลดความเร็วรถ

ตารางที่ 3 แสดงความเร็วของรถแต่ละประเภทในช่วงก่อนถึงและขณะข้ามอุปกรณ์ชะลอความเร็วทั้ง 9 ตำแหน่ง

ตารางที่ 3 ความเร็วของรถแต่ละประเภทเมื่อผ่านอุปกรณ์ชะลอความเร็ว

ตำแหน่ง	ประเภทรถ	จำนวนข้อมูล	ความเร็ว (กม./ชม.)				ผลต่างความเร็ว (%)	
			ก่อนถึง		ขณะข้าม			
			$V_{เฉลี่ย}$ (S.D.)	V_{85}	$V_{เฉลี่ย}$ (S.D.)	V_{85}	$V_{เฉลี่ย}$	V_{85}
1	Car	160	50(6.4)	57	35(7.3)	43	30	24
	MC	83	46(7.0)	54	33(6.7)	40	29	26
2	Car	112	39(6.4)	45	32(6.9)	38	18	16
	MC	49	42(7.4)	49	33(8.1)	41	20	16
3	Car	138	44(6.4)	50	32(6.9)	39	27	22
	MC	67	44(6.7)	50	33(6.0)	40	24	21
4	Car	99	43(6.1)	48	28(4.4)	33	35	33
	MC	159	44(6.3)	51	34(5.2)	39	24	24
5	Car	138	51(6.0)	57	28(5.1)	33	46	41
	MC	76	50(7.0)	57	33(5.4)	40	34	30
6	Car	143	50(5.9)	55	35(5.7)	41	29	26
	MC	102	49(7.8)	58	37(6.6)	44	25	25
7	Car	65	32(4.0)	36	25(4.3)	30	20	18
	MC	118	34(4.5)	38	30(4.0)	34	12	12
8	Car	86	40(4.4)	43	26(3.6)	29	35	32
	MC	125	44(6.9)	53	31(4.9)	36	30	31
9	Car	125	39(6.5)	46	27(6.8)	35	31	25
	MC	61	41(6.8)	48	30(6.3)	38	27	20

***พื้นที่ศึกษา, (1) หน้าแฟลตประตู่ (2) หน้าหอศิลป์ (3) หน้าคณะนิติศาสตร์ (4) หน้าหอ9 หลัง (5) หน้าแปลงเกษตร (6) หน้าคณะมนุษย์ (7) หน้าตึกพิมล (8) หน้าคณะเภสัช (9) หน้าประตูสีฐาน*

จากตารางที่ 3 ในกลุ่มเนินชะลอความเร็ว (ลำดับ 1-3) ซึ่งเป็นเนินที่มีความสูงประมาณ 5-6 ซม. และมีความกว้าง 4.0-4.3 ม. ติดตั้งอยู่บนถนนสายรอง ที่รถยนต์และรถจักรยานยนต์ใช้ความเร็วโดยเฉลี่ยในช่วง 39-50 กม./ชม. และ 42-46 กม./ชม.ตามลำดับ ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ในช่วง 45-57 กม./ชม. และ 49-54 กม./ชม. ตามลำดับ

ในขณะขับผ่านเนิน ผู้ขับขี่รถยนต์และรถจักรยานยนต์ ใช้ความเร็วเฉลี่ยในช่วง 32-35 กม./ชม. และ 33 กม./ชม. ตามลำดับ ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ในช่วง 38-43 กม./ชม. และ 40-41 กม./ชม. ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นจะพบว่าอุปกรณ์ชะลอความเร็วสามารถลดความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์และรถจักรยานยนต์ลงได้ 18-30 เปอร์เซ็นต์และ 20-29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ในกลุ่มเนินราบชะลอความเร็ว (ลำดับ 4-9) ซึ่งมีความสูง 8-13 ซม. และมีความกว้าง 6.5-13.0 ม. ติดตั้งอยู่บนถนนสายรองและถนนสายท้องถิ่น ที่รถยนต์และรถจักรยานยนต์ใช้ความเร็วโดยเฉลี่ยในช่วง 32-51 กม./ชม. และ 34-50 กม./ชม. ลำดับ ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ในช่วง 36-57 กม./ชม. และ 38-58 กม./ชม. ตามลำดับ

ในขณะขับผ่านเนินกลุ่มนี้ ผู้ขับขี่รถยนต์และรถจักรยานยนต์ ใช้ความเร็วเฉลี่ยในช่วง 26-35 กม./ชม. และ 30-37 กม./ชม. ตามลำดับ ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ในช่วง 29-41 กม./ชม. และ 34-44 กม./ชม. ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลข้างต้น เนินกลุ่มนี้สามารถลดความเร็วเฉลี่ยในการขับขี่ลงได้ 20-46 เปอร์เซ็นต์และ 12-34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4.2 หน้าตัดความเร็วของรถยนต์และรถจักรยานยนต์

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบหน้าตัดความเร็วของผู้ขับขี่รถยนต์และรถจักรยานยนต์ในช่วง 50 เมตรก่อนและหลังตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์

ในกลุ่มเนินชะลอความเร็ว (ตำแหน่ง 1-3) ซึ่งเป็นชุดอุปกรณ์ที่ตั้งอยู่บนถนนเส้นเดียวกันขนาด 2 ช่องจราจรไม่มีเกาะกลาง การเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์และรถจักรยานยนต์พบสิ่งที่น่าสนใจคือ เนินชะลอความเร็วในตำแหน่งที่ 2-3 (หน้าหอศิลป์และหน้าคณะนิติศาสตร์) ผู้ขับขี่รถทั้ง 2 ประเภทใช้ความเร็วเฉลี่ยใกล้เคียงกันขณะผ่านเนินชะลอความเร็ว และเมื่อทดสอบ t-test พบว่าความเร็วเฉลี่ยขณะสัญจรผ่านเนินชะลอความเร็วไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

ส่วนในตำแหน่งที่ 1 (หน้าแฟลตประตู่) ความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์และรถจักรยานยนต์อยู่ที่ 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value=0.02) ซึ่งเมื่อพิจารณาความเร็วก่อนถึงเนินในตำแหน่งนี้สังเกตได้ว่าผู้ขับขี่รถยนต์และรถจักรยานยนต์ใช้ความเร็วเฉลี่ย 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 46 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงและมีความแตกต่างกันสูง ทำให้มีแนวโน้มในการใช้ความเร็วสูงขณะสัญจรผ่านเนินชะลอความเร็วเช่นกัน [5] แต่หลังจากผ่านเนินชะลอความเร็วไปในตำแหน่ง 10 เมตรหลังเนินชะลอความเร็วสังเกตได้ว่าความเร็วของรถทั้ง 2 ประเภทมีความใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p-value=0.16)

ผลในเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า เนินชะลอความเร็วประเภทนี้สามารถควบคุมความเร็วของรถทั้ง 2 ประเภทให้มีความเร็วที่ใกล้เคียงกันได้ ซึ่งจากการสังเกตระยะที่ได้รับผลกระทบจากเนินชะลอความเร็วมีระยะอยู่ที่ประมาณ 20-30 เมตรก่อนและหลังเนินชะลอความเร็ว

ในทางกลับกัน ในกลุ่มเนินราบชะลอความเร็ว (ตำแหน่งที่ 4-9) ผลการเปรียบเทียบพบว่าผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ใช้ความเร็วเฉลี่ยขณะสัญจรผ่านเนินราบชะลอความเร็วสูงกว่ารถยนต์เกือบทุกตำแหน่ง ซึ่งจากการทดสอบ t-test ความเร็วเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วที่แตกต่างกันค่อนข้างสูงของรถทั้งสองประเภทอาจทำให้บริเวณนั้นขาดความปลอดภัย [6]

ส่วนในตำแหน่งที่ 6 (หน้าคณะมนุษยศาสตร์) รถยนต์และรถจักรยานยนต์มีการใช้ความเร็วเฉลี่ยขณะสัญจรผ่านเนินราบชะลอความเร็วอยู่ที่ 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมงและ 37 กิโลเมตรต่อชั่วโมงซึ่งมีความแตกต่างจากตำแหน่งอื่นค่อนข้างสูงอาจเนื่องจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ เช่น จำนวนช่องจราจร ลักษณะการแบ่งช่องจราจร ประเภทของถนน และความชันถนน เป็นต้น การเคลื่อนที่ของรถในตำแหน่งที่มีเนินชะลอความเร็วสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเนินชะลอความเร็วที่มีความลาดชันสูงและความสูงมากจะส่งผลต่อความเร็วของรถโดยที่ความเร็วจะลดลงเมื่อเข้าสู่เนินและเพิ่มขึ้นเมื่อออกจากเนิน การวิเคราะห์ speed profile และเนินชะลอความเร็วช่วยให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นว่าแต่ละตำแหน่งบนถนนมีผลต่อความเร็วของรถและสามารถเลือกใช้วิธีการลดความเร็วที่เหมาะสมกับแต่ละตำแหน่งได้ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความปลอดภัยและลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุบนถนนได้

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์และรถจักรยานยนต์ในแต่ละตำแหน่ง

ลำดับ	ประเภทรถ	จำนวนข้อมูล	ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)										
			-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
1	Car	160	50(6.4)	48(5.8)	47(5.6)	44(5.4)	39(5.9)	35(7.3)	35(7.2)	37(6.5)	39(5.9)	41(5.7)	44(5.6)
	MC	83	46(7.0)	45(6.4)	43(6.0)	41(5.8)	37(5.7)	33(6.7)	33(6.3)	36(5.9)	38(5.5)	40(5.6)	42(5.8)
	p-value		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.16	0.31	0.31	0.14	0.04
2	Car	112	39(6.4)	39(6.3)	38(6.0)	37(5.7)	34(5.8)	32(6.9)	30(6.6)	33(5.7)	35(5.2)	37(5.2)	39(5.3)
	MC	49	42(7.4)	41(6.8)	41(6.6)	39(6.4)	36(6.7)	33(8.1)	33(7.1)	36(6.8)	38(6.5)	40(7.0)	41(6.9)
	p-value		0.01	0.02	0.02	0.04	0.21	0.14	0.01	0.01	0.02	0.06	0.14
3	Car	138	43(6.4)	43(6.3)	42(5.9)	40(5.9)	36(6.2)	32(6.9)	31(6.5)	34(5.9)	37(5.5)	39(5.2)	41(5.5)
	MC	67	44(6.7)	43(6.4)	42(5.9)	40(5.6)	37(5.6)	33(6.0)	33(5.6)	36(5.6)	38(6.0)	40(6.3)	42(6.5)
	p-value		0.95	0.89	0.76	0.73	0.23	0.17	0.03	0.04	0.10	0.19	0.21
4	Car	99	43(6.1)	41(5.6)	39(4.9)	37(4.6)	33(4.3)	28(4.4)	28(3.9)	31(3.6)	34(3.7)	36(4.0)	37(4.4)
	MC	159	44(6.3)	43(5.9)	41(5.8)	39(5.4)	37(5.2)	34(5.2)	34(4.8)	37(4.8)	38(5.1)	39(5.3)	40(5.5)
	p-value		0.09	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Car	138	51(6.0)	49(5.6)	45(5.2)	42(4.8)	36(4.6)	28(5.1)	28(4.5)	31(4.2)	34(4.2)	37(4.5)	40(4.5)
	MC	76	50(7.0)	48(6.7)	45(6.6)	43(5.8)	38(5.5)	33(5.4)	35(5.2)	38(5.3)	40(5.6)	42(5.9)	44(6.2)
	p-value		0.61	0.78	0.81	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Car	143	50(5.9)	48(5.6)	46(5.2)	43(5.2)	39(5.4)	35(5.7)	35(4.8)	37(4.3)	39(4.1)	40(4.1)	41(4.3)
	MC	102	49(7.8)	48(7.3)	45(6.7)	42(6.3)	39(6.2)	37(6.6)	38(5.6)	40(5.6)	41(5.8)	43(5.9)	43(5.9)
	p-value		0.68	0.42	0.34	0.54	0.73	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
7	Car	65	32(4.0)	32(4.1)	32(4.1)	31(4.1)	29(3.9)	25(4.3)	25(3.8)	27(3.4)	29(3.0)	30(3.0)	30(3.1)
	MC	118	34(4.5)	35(4.4)	35(4.1)	34(3.8)	32(3.7)	30(4.0)	29(3.7)	31(3.5)	32(3.5)	33(3.8)	33(4.1)
	p-value		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Car	86	40(4.4)	39(4.4)	37(4.1)	35(3.8)	31(3.7)	26(3.6)	27(3.0)	29(2.9)	32(3.0)	33(3.3)	33(3.4)
	MC	125	44(6.9)	43(6.4)	41(5.9)	39(5.3)	35(4.9)	31(4.9)	33(4.8)	36(5.1)	37(5.4)	38(5.6)	39(5.9)
	p-value		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Car	125	39(6.5)	39(6.3)	38(6.0)	36(5.9)	33(6.1)	27(6.8)	29(5.9)	33(5.6)	36(5.6)	38(5.9)	40(6.5)
	MC	61	41(6.8)	41(6.2)	40(5.6)	37(5.4)	34(5.8)	30(6.3)	33(5.8)	36(5.9)	38(6.2)	40(6.4)	42(6.9)
	p-value		0.02	0.02	0.03	0.08	0.12	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.08

***พื้นที่ศึกษา, (1) หน้าแฟลตประดู่ (2) หน้าหอศิลป์ (3) หน้าคณะนิติศาสตร์ (4) หน้าหอ9หลัง (5) หน้าแปลงเกษตร (6) หน้าคณะมนุษย์ (7) หน้าตึกพิมล (8) หน้าคณะเภสัช (9) หน้าประตูสี่ฐาน*

4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดความเร็วของรถ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์คู่ ระหว่างตัวอิสระคือปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อการลดความเร็ว กับความเร็วที่ลดลงของรถซึ่งเป็นตัวแปรตาม จะได้ค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งพบว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ได้แก่ ความเร็วขณะสัญจรในช่วงถนนก่อนหน้า ประเภทรถ ความกว้าง และ ความสูง แต่เนื่องจาก ความกว้างและความสูงมีความสัมพันธ์สูงจึงไม่ควรพิจารณาเลือกให้อยู่ในการวิเคราะห์โมเดลเดียวกัน

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

	Y	X1	X3	X4	X5
Dependent variable					
Y	1.000				
Independent variables					
X1	0.64*	1			
X3	0.262*	0.214*	1		
X4	0.282*	0.188*	0.89*	1	
X5	0.018	-0.193*	0.436*	0.674*	1

***หมายเหตุ Y:ความเร็วที่ลดลงของรถเมื่อผ่านเนินชะลอความเร็ว, X1:ความเร็วขณะสัญจรในช่วงถนนก่อนหน้า, X3:ความกว้าง, X4:ความสูง, X5:ความชัน,*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์*

จากการใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression) เพื่อระบุปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อการลดความเร็วของรถเมื่อผ่านเนินชะลอความเร็ว ด้วยวิธีการคัดเลือกแบบลำดับขั้น (stepwise section) ได้ผลสรุปแสดงความเหมาะสมของแบบจำลองและผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ คือ 0.686 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.47 และค่าสัมประสิทธิ์การทำนายที่ปรับแก้ (Adjusted R^2) เท่ากับ 0.469 นั่นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ประมาณ 47 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ มีค่าเท่ากับ 5.435 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 5.435 หน่วย สำหรับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยใช้ Sum of Squares, df, Mean square, F และ Sig การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรโดยเทียบค่า F กับ ค่า Sig หากค่า Sig < 0.05 แสดงว่าแบบจำลองมีความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ดีและค่า F ที่สูง แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่มีค่าสูงกว่าระดับความเชื่อมั่นที่ตั้งไว้ โดยที่ค่า F เท่ากับ 422.623 และค่า Sig < 0.001 ดังนั้นสรุปได้ว่าแบบจำลองสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลสรุปของแบบจำลองและผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Multiple R	0.686		
Coefficient of determination (R^2)	0.47		
Adjusted R^2	0.469		
Standard error of the estimate	5.435		
Analysis of Variance			

ตารางที่ 6 ผลสรุปของแบบจำลองและผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ต่อ)

	Sum of Squares	df	Mean square	F	Sig
Regression	49934.633	4	12483.658	422.623	<.001
Residual	56211.739	1903	29.538		
Total	106146.372	1907			

แบบจำลองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดความเร็วรถดังแสดงในตารางที่ 7 ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพบว่าทุกตัวแปรมีค่า Tolerance เข้าใกล้ 1 VIF น้อยกว่า 10 ดังนั้นไม่มีปัญหากับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Multicollinearity) ในแบบจำลอง

จากตารางที่ 7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (B), ค่าประมาณความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error) และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบคะแนนมาตรฐาน (Beta) โดยผลวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดความเร็วทั้งหมด 4 ปัจจัยได้แก่ ความเร็วขณะสัญจรในช่วงถนนก่อนหน้า (X_1) ประเภทรถ (X_2) ความสูง (X_4) และความชัน (X_5) โดยมีรายละเอียดแต่ละปัจจัยดังนี้

ตารางที่ 7 แบบจำลองวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ

Variable	Regression coefficients			Statistical Significance		Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Tolerance	VIF
Constant	-16.36	0.961		-17.022	<.001		
X1	0.567	0.017	0.629	33.26	<.001	0.778	1.286
X2	-2.723	0.253	-0.181	-10.781	<.001	0.985	1.015
X4	0.334	0.074	0.114	4.547	<.001	0.439	2.277
X5	0.65	0.203	0.081	3.194	0.001	0.434	2.303

***หมายเหตุ X1:ความเร็วขณะสัญจรในช่วงถนนก่อนหน้า, X2:ประเภทรถ, X4:ความสูง, X5:ความชัน*

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (B) ของค่าคงที่ (Constant) มีค่าเท่ากับ -16.36 แสดงให้เห็นว่าเมื่อไม่มีปัจจัยอื่น ๆ มาเกี่ยวข้องจะทำให้การลดความเร็วของรถมีค่าเท่ากับ 16.36 กม./ชม.

ความเร็วขณะสัญจรในช่วงถนนก่อนหน้า (X_1) เป็นหนึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการลดความเร็วของรถ (Y) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (B) เท่ากับ 0.567 กล่าวคือ เมื่อผู้ขับขี่ใช้ความเร็วของรถขณะสัญจรเพิ่มขึ้น 1 กม./ชม. ทำให้ความเร็วที่ลดลงของรถเมื่อผ่านเนินชะลอความเร็วสูงขึ้น 0.567 กม./ชม. ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ระดับความเร็วสัญจรในช่วงถนนที่สูง ผู้ขับขี่จำเป็นต้องลดความเร็วของรถลง เพื่อรักษาระดับความสบายในขณะที่เคลื่อนผ่านเนินชะลอความเร็ว

ปัจจัยที่มีอิทธิพลตัวต่อมาคือ ประเภทของรถ (X_2) มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการลดความเร็วของรถ (Y) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (B) เท่ากับ -2.723 กล่าวคือเมื่อรถจักรยานยนต์เป็นรถที่กำลังสัญจรผ่านเนินชะลอความเร็วจะทำให้ความเร็วที่ลดลงของรถ (Y) ต่ำกว่ารถยนต์

2.723 กม./ชม. จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเนินชะลอความเร็วมีผลกระทบต่อรถยนต์มากกว่ารถจักรยานยนต์

อีกหนึ่งปัจจัยในด้านลักษณะทางกายภาพของเนินชะลอความเร็ว คือ ความสูง (X_4) และความชัน (X_5) ของเนินชะลอความเร็วมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการลดความเร็วของรถ (Y) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (B) เท่ากับ 0.334 และ 0.65 ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวส่งผลไปในทิศทางเดียวกันคือหากเนินชะลอความเร็ว มีความสูงเพิ่มขึ้น 1 เซนติเมตร จะทำให้การลดความเร็วของรถสูงขึ้น 0.334 กม./ชม. เนื่องจากความสูงของเนินที่สูงขึ้นทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกว่าเป็นอุปสรรคต่อการใช้ความเร็วและไม่สามารถยอมรับระดับความสบายขณะเคลื่อนผ่านเนินได้ส่งผลให้มีการลดความเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับผลของงานวิจัยก่อนหน้า [5,10-11,18-19] และหากเนินชะลอความเร็วมีความชันที่ชันขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ ก็จะทำให้การลดความเร็วของรถสูงขึ้น 0.65 กม./ชม. มีเหตุผลเช่นเดียวกับปัจจัยด้านความสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า [10]

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ศึกษาผลกระทบของการเบนแนวทางดิ่งต่อความเร็วของรถและปัจจัยที่นำไปสู่ระดับการลดความเร็ว ในบริเวณที่มีการเบนแนวทางดิ่ง 9 แห่งในเขตมหาวิทยาลัยขอนแก่น แบ่งเป็นเนินชะลอความเร็ว 3 แห่ง และเนินราบชะลอความเร็ว 6 แห่ง โดยเนินมีขนาดความกว้าง 4 ถึง 14 เมตร สูง 5 ถึง 14 เซนติเมตร และชัน 1:43 ถึง 1:20 โดยสังเกตความเร็วของรถยนต์ 1,068 คัน และรถจักรยานยนต์ 840 คัน ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบความเร็วของรถในช่วง 50 เมตรก่อนและหลังเนิน และระบุปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อการลดความเร็วด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ

ผลการศึกษาพบว่าเนินชะลอความเร็ว สามารถควบคุมความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์และรถจักรยานยนต์ขณะสัญจรผ่านอุปกรณ์ที่ความเร็ว 32-35 กม./ชม. และ 33 กม./ชม. ตามลำดับ ลดความเร็วเฉลี่ยในการขับขี่ของรถยนต์และรถจักรยานยนต์ลงได้ 18-30 เปอร์เซ็นต์และ 20-29 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เนินชนิดนี้ส่งผลต่อรถทั้งสองประเภทและสามารถควบคุมความเร็วของรถทั้ง 2 ประเภทให้มีความเร็วที่ใกล้เคียงกันได้ ซึ่งระยะที่ได้รับผลกระทบจากเนินชะลอความเร็วมีระยะอยู่ที่ประมาณ 20-30 เมตรก่อนและหลังเนินชะลอความเร็ว

ในส่วนของเนินราบชะลอความเร็ว เนินชนิดนี้สามารถควบคุมความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์และรถจักรยานยนต์ขณะสัญจรผ่านอุปกรณ์ในช่วง 26-35 กม./ชม. และ 30-37 กม./ชม. ตามลำดับ ลดความเร็วเฉลี่ยในการขับขี่ของรถยนต์และรถจักรยานยนต์ลงได้ 20-46 เปอร์เซ็นต์ และ 12-34 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังนั้นอุปกรณ์ชนิดนี้มีอิทธิพลในการควบคุมความเร็วรถยนต์มากกว่ารถจักรยานยนต์ โดยรถจักรยานยนต์มักจะข้ามเนินด้วยความเร็วที่สูงกว่ารถยนต์ ความเร็วที่แตกต่างกันค่อนข้างมากของรถทั้งสองประเภทอาจส่งกระทบด้านความปลอดภัยในบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์

ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุอธิบายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดความเร็วรถขณะผ่านเนินชะลอความเร็ว ประกอบไปด้วย ความเร็วขณะสัญจรในช่วงถนนก่อนหน้า ประเภทรถ ความสูงและความชันของอุปกรณ์ชะลอความเร็ว

ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะนำสำหรับการขยายผลการศึกษาต่อไป ดังนี้ เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาในขอบเขตของเขตมหาวิทยาลัยขอนแก่นเท่านั้น ซึ่งอาจมีลักษณะพึ่งพาในการใช้ความเร็วของรถที่แตกต่างกันในเขตอื่นๆ ของประเทศไทย ดังนั้น หากมีการศึกษาเชิงพื้นที่ในอนาคต ควรนำข้อมูลที่ได้รับมาจากการศึกษานี้มาเปรียบเทียบกับเขตอื่นๆ เพื่อความแม่นยำและน่าเชื่อถือของการศึกษา นอกจากนี้ การศึกษาเพิ่มเติมอาจพิจารณาเรื่องอื่นๆ เช่น ปัจจัยที่ส่งผลต่อการขับขี่ในช่วงเวลากลางคืน การใช้รถที่มีความเร็วสูงในทางหลวง การใช้รถขนาดใหญ่ การปรับเปลี่ยนลักษณะของอุปกรณ์ช่วยเหลือการเบนแนวทางดิ่ง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความรู้และข้อมูลให้เป็นประโยชน์กับการออกแบบและพัฒนาระบบจราจรในอนาคตที่มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

[1] Tefft, B.C. (2011). *Impact Speed and a Pedestrian's Risk of Severe Injury or Death*; AAA Foundation for Traffic Safety, Washington DC, USA.

[2] South Central Regional Council of Governments. (2008). *Traffic Calming Resource Guide*. Fitzgerald & Halliday, Inc., pp.2-9.

[3] สำนักอำนวยความปลอดภัย (2563). *สรุปสถิติวิศวกรรมจราจรสำหรับผู้บริหาร 2563*. สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

[4] World Health Organization (2018). *GLOBAL STATUS REPORT ON ROAD SAFETY*. Geneva, Switzerland., pp.4-10.

[5] พรศิริ อุระภา, จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์, สหลาภหอมวุฒิวงศ์ และวิชุดา เสถียรนาม (2014). ประสิทธิภาพในการควบคุมความเร็วของรถจักรยานยนต์ด้วยเนินชะลอความเร็ว. *KKU Engineering Journal*, 41(3), หน้า 313-320.

[6] Satiennam, W., Satiennam, T., Urapa, P., Phacharoen, T. (2014). Effects of speed bumps and humps on motorcycle speed profiles. *Advanced Materials Research*, 931–932, 536–540.

[7] Daniel, B., Nicholson, A. and Koorey, G. (2011). Investigating Speed Patterns and Estimating Speed on Traffic-Calmed Streets. *IPENZ Transportation Group Conference Auckland,* March 2011.

[8] Arbogast, H., Patao, M., Demeter, N., Bachman, S., Devietti, E., Upperman, J.S. and Burke, R.V. (2018). The effectiveness of installing a speed hump in reducing motor vehicle accidents involving pedestrians under the age of 21. *Journal Transport and Health*, 8, pp.30–34.

[9] Patel, T. and Vasudevan, V. (2016). Impact of speed humps of bicyclists. *Safety Science*, 89, pp.138–146.

[10] Obregon-Biosca, S.A. (2020). Speed humps and speed tables: Externalities on vehicle speed, pollutant emissions and fuel consumption. *Results in Engineering*, 5, 100089.

[11] Korra Ravi Kiran, Molugaram, K. and Sandeep, M. (2020). Analysis of Speed Profiles at Speed Hump under Various Dimensions and Simulating their Los Using VISSIM. *Transportation Research Procedia*, 48, pp.1200-1210.

[12] Ewing,R., (1999). *Traffic Calming: State of the practice. Institute of Transportation Engineers*, Washington, DC, Prepared for U.S. Department of Transportation, Federal Highway Association, Office of Safety Research and Development and Office of Human Environment.

[13] Damen, P., Brindle, R. and Rueda, M. (2016*). Guide to Traffic Management Part 8* : Local Area Traffic Management. Ausroad Ltd., pp.68-76.

[14] Margaret, P., Sooklall, R. and Bahar, G. (2007) Updated guidelines for the design and application of speed humps, Annual Meeting and Exhibit Compendium of Technical Papers.

[15] National Association of City Transportation Officials (2013). *Urban Street Design Guide*, Island Press., pp.51-56.

[16] Australian Standard (AS 1742.13) (2009). *Manual of Uniform Traffic control Devices* - Local Area Traffic Management. Standards Australia, pp.9, 15-16.

[17] มยผ.2301-56 (2562). *มาตรฐานการก่อสร้างสันชะลอความเร็ว*. กรมโยธาธิการและผังเมืองกระทรวงมหาดไทย

[18] Zainuddin, N.I., Diah, J.M.,Adnan, M.A. and Sulaiman, N. (2012). The Optimization of Speed Hump Design: A Case Study in Malaysia Residential Streets. *IEEE Colloquium on Humanities, Science & Engineering Research (CHUSER)*, Kota Kinabalu Sabah, Malaysia, 3-4 December 2012, pp.368-373.

[19] Antić, B., Pešić, D., Vujanić, M. and Lipovac, K. (2013). The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed – Belgrade experience. *Safety Science*, 57, pp.303-312.

[20] ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ (2559). *การใช้ IBM SPSS Statistics เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล*. สาขาวิชาการวิจัยและประเมินทางการศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์., หน้า 83-125.