การพัฒนาระบบการสืบสวนอุบัติเหตุเชิงลึกอัจฉริยะต้นแบบ: การบูรณาการเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ

Development of Smart In-depth Crash Investigation System Prototype: Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Technology Integration

วิรุฬห์ ยศมีบุญ (Wiroon Yotmeeboon)* ดร.พนกฤษณ คลังบุญครอง (Dr.Pongrid Klungboonkrong)[1]**
วรัญญู อุทธา(Waranyu Auttha)*** พีรวุฒิ ทองอินร์ (Peeravut Thongin)****
สุรัตน์ ประมวลศักดิกุล (Surat Pramualsakdikul)***** ดร.ชาติชาย ไวยสุระสิงห์ (Dr.Chattichai Waisurasingha)******

(Received: *June 18, 2019*; Revised: *August 4, 2019*; Accepted: *August 8, 2019*)

บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ ในการเก็บข้อมูลอุบัติเหตุทางถนน เพื่อหาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุและเสนอแนวทางแก้ไข ประเทศไทยกำลังเผชิญกับปัญหาอุบัติเหตุทางถนนทำให้มีผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บจำนวนมากในแต่ละปี จากการศึกษาพบว่า อากาศยานไร้คนขับสามารถลดระยะเวลาในการเก็บและรวบรวมข้อมูล อีกทั้งเพิ่มความปลอดภัยให้กับทีมสืบสวนอุบัติเหตุในที่เกิดเหตุ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจอุบัติเหตุเชิงลึกร่วมกับเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับมีความแม่นยำและสามารถตรวจสอบได้ ทำให้สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลตำแหน่งต่าง ๆ ณ จุดชนและจุดสุดท้ายของการชนได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งลักษณะความเสียหายของยวดยาน ณ จุดเกิดอุบัติเหตุ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับสามารถนำเข้าสู่โปรแกรมวิเคราะห์การชนเพื่อฟื้นฟูการเกิดอุบัติเหตุนำไปสู่การวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ ภาพที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับสามารถมองในทิศทางต่างๆ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุซึ่งสามารถทำได้จากเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับเท่านั้น

ABSTRACT

This article presents an application of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in road accident data collection in order to investigate the road accident cause and proposes the solutions. Thailand is facing up to road accident problems causing a large number of people die and are injured each year. From the study, the UAV can decrease data collection time and increase safety for the road accident investigation team at the scene. Information obtained from the in-depth crash investigation in conjunction with UAVs provides high accuracy and can be checked. This can help in the collection of data from the phases of a collision: at collision and post-collision with high accuracy together with the appearance of damage at the scene. Additionally, the data collected from UAV can be imported into the road crash analysis software for reconstructing and simulating an accident leading to the analysis of the cause of the accident. Images from UAV can be viewed in various directions that can assist the investigation team in the cause analysis.

คำสำคัญ: การสืบสวนอุบัติเหตุเชิงลึก โปรแกรม Crash Zone อากาศยานไร้คนขับ

Keywords: In-depth accident investigation, Crash Zone, Unmanned Aerial Vehicles (UAV)

[1]*Corresponding author: kku.sirdc.17@gmail.com*

,*นักวิจัย ประจำศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

***รองศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

****นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

*****อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

******ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

บทนำ

องค์การสหประชาชาติ (UN) ได้กำหนด "เป้าประสงค์การพัฒนาที่ยั่งยืน" (Sustainable Development Goals, SDGs) ซึ่งประชาคมโลกได้ตกลงร่วมกันที่จะใช้เป็นกรอบในการดำเนินงานด้านการพัฒนา เพื่อให้บรรลุเป้าประสงค์การพัฒนาที่ยั่งยืนใน ปี ค.ศ. 2030 เป้าประสงค์ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับปัญหาด้านความปลอดภัยทางถนนทั่วโลกรวมถึง คือ เป้าประสงค์ที่ 3 “มั่นใจว่าชีวิตมีสุขภาพดีและส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีสำหรับทุกวัย” เป้าหมายที่ 3.6: “ลดจำนวนผู้เสียชีวิตและอุบัติเหตุจากอุบัติเหตุทางถนนลงครึ่งหนึ่ง ใน ปี ค.ศ. 2020” และเป้าประสงค์ที่ 11 “ทำให้เมืองและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์มีความปลอดภัยมั่นคงและยั่งยืน” เป้าหมายที่ 11.2 “ให้การเข้าถึงระบบการขนส่งที่ปลอดภัยและราคาไม่แพงสามารถเข้าถึงได้และยั่งยืนสำหรับทุกคน ภายในปี ค.ศ. 2030” เป้าหมายที่เกี่ยวข้องเหล่านี้ได้ถูกตั้งขึ้นเพื่อสนับสนุนและกระตุ้นให้ทั้งประเทศที่พัฒนาแล้วและประเทศที่กำลังพัฒนาต่อสู้กับวิกฤตการณ์อุบัติเหตุทางถนน [1] นอกจากนี้แนวคิดในการพัฒนาที่ยั่งยืน ยังเป็นแนวคิดที่นำไปสู่การบรรลุความต้องการของคนในยุคปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาด้านใดก็ตามจะต้องมีความสมดุลทั้งการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมกอรปกับแนวคิด “เมืองอัจฉริยะ (Smart city)” โดยการนำเอาเทคโนโลยีด้านข้อมูลและโทรคมนาคมมาใช้ร่วมกับการวางแผนโครงสร้างพื้นฐานเพื่อให้เกิดการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ และมีคุณภาพชีวิตที่ดีเป็นเมืองที่น่าอยู่และมีการใช้ทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพสูงสุด [2]

จากรายงานความปลอดภัยบนถนนทั่วโลก (Global Status Report on Road Safety) ขององค์การอนามัยโลก [3] ในปี พ.ศ.2561 พบว่าจากการประมาณการทางสถิติ ประเทศไทยมีผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนน ในปี พ.ศ.2559 จำนวน 21,745ราย และมีอัตราผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุ 32.7 คนต่อประชากรแสนคน ซึ่งมีค่าสูงเป็นอันดับที่ 9 ของโลก และเป็นอันดับที่ 1 ของเอเชียโดยสาเหตุการเสียชีวิตอันดับหนึ่งมาจากรถจักรยานยนต์ (ร้อยละ 74) อันดับสองคือ รถยนต์ส่วนบุคคล (ร้อยละ 12) คนเดินเท้า (ร้อยละ 8) และจักรยาน (ร้อยละ 3)

มาตรการด้านความปลอดภัยทางถนนที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการความปลอดภัยทางถนนมีหลายวิธีการ ได้แก่ การตรวจสอบความปลอดภัยทางถนน (Road Safety Audit, RSA) การแก้ไขจุดอันตราย (Black Spot Treatment) การยับยั้งการจราจร (Traffic Calming) และการสืบสวนอุบัติเหตุเชิงลึก (In-depth Crash Investigation) [4] การสืบสวนอุบัติเหตุทางถนนเชิงลึก (In-depth Crash Investigation) คือการฟื้นฟูอุบัติเหตุทางถนนที่ประยุกต์ใช้ความรู้และทฤษฎีทางด้านวิทยาศาสตร์เพื่อหาสาเหตุที่เกิดขึ้นของอุบัติเหตุที่บ่อยครั้งโดยเฉพาะปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดอุบัติเหตุรวมทั้งความเร็วที่เกี่ยวข้องกับยวดยานซึ่งขึ้นอยู่กับแรงปะทะ ความเร็วของยวดยานก่อนจะเบรก เวกเตอร์ของทิศทางเริ่มต้นของยวดยาน ทิศทางการมองเห็นของคนขับ สถานะของยวดยานก่อนชน จุดชน ศักยภาพในการหลบหลีกอุบัติเหตุ ระยะเวลาในการเกิดเหตุและอื่นๆ [5] ซึ่งเป็นวิธีการเดียวที่จะสามารถวิเคราะห์เพื่อบ่งชี้สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุที่แท้จริงได้อย่างเป็นระบบและเป็นวิทยาศาสตร์มากที่สุด จึงมีบทบาทสำคัญยิ่งในการแก้ไขปัญหาอุบัติเหตุโดยสามารถบ่งชี้ปัจจัยที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุทางถนนได้ถูกต้องและแม่นยำ สำหรับปัญหาในการวิเคราะห์อุบัติเหตุทางถนนคือการรวบรวมข้อมูล จำเป็นต้องมีความถูกต้องและครบถ้วนเพื่อประกอบการวิเคราะห์หาสาเหตุและจำลองการเกิดอุบัติเหตุ ในปัจจุบันมีเครื่องมือหลากหลายที่นำมาใช้ในการสืบสวนอุบัติเหตุ เช่น กล้องสำรวจแบบประมวลผล (Total Station) เทปวัดระยะ Global Positioning System (GPS) และวิธีการรังวัดแบบต่างๆ อย่างไรก็ตามเครื่องมือเหล่านี้ยังมีข้อบกพร่อง การนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) มาประยุกต์กับการสืบสวนอุบัติเหตุเชิงลึกจึงเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือที่นำไปสู่ระบบความปลอดภัยอัจฉริยะที่สามารถใช้เป็น

ฐานข้อมูลในการวิเคราะห์อุบัติเหตุย้อนรอย (Reconstruction) ช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับทีมสำรวจข้อมูล ลดค่าใช้จ่าย ลดระยะเวลาในการดำเนินการและลดจำนวนบุคลากรที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

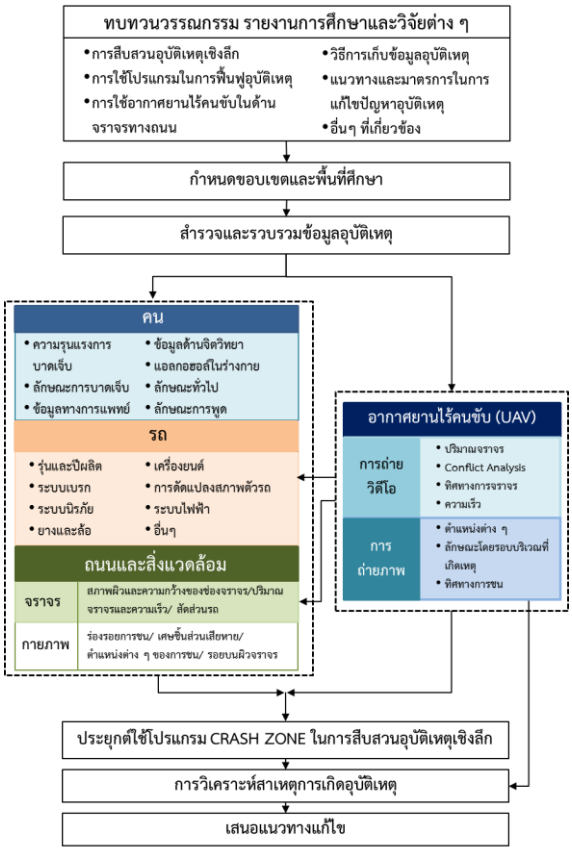
บทความนี้นำเสนอการบูรณาการอากาศยานไร้คนขับ มาช่วยในการสำรวจและรวบรวมข้อมูล และภาพลักษณะความเสียหายของยวดยาน ณ จุดเกิดเหตุ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการฟื้นฟูอุบัติเหตุโดยโปรแกรม Crash Zone [6] ซึ่งนำไปสู่การระบุสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ รวมทั้งใช้ในการเสนอแนะแนวทางแก้ไขการเกิดอุบัติเหตุดังกล่าวบนถนนได้ นอกจากนี้ ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้เพื่อกำหนดนโยบายข้อกฎหมายด้านมาตรการ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหาอุบัติเหตุทางถนนเชิงนโยบายที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยทางด้านคนยานพาหนะ ถนนและสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิผลและสามารถดำเนินการได้อย่างเป็นรูปธรรมได้ อีกทั้งนำไปสู่การสืบสวนอุบัติเหตุที่อัจฉริยะ (Smart In-depth Crash Investigation)

วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้งานต้นแบบระบบความปลอดภัยทางถนนอัจฉริยะโดยการบูรณาการระหว่างการสืบสวนอุบัติเหตุเชิงลึก (In-depth Crash Investigation) อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) และการฟื้นฟูอุบัติเหตุ (Reconstruction) โดยใช้โปรแกรม Crash Zone ช่วยให้การวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุและเสนอแนะแนวทางป้องกันแก้ไขที่เหมาะสมโดยยกตัวอย่าง 1 กรณีศึกษาภายในจังหวัดขอนแก่น ที่เป็นที่สนใจของสาธารณชน

วิธีการศึกษา

ทบทวนวรรณกรรม รายงานการศึกษาและวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง กำหนดเกณฑ์และพื้นที่ในการดำเนินงานวิจัย และการคัดเลือกกรณีศึกษาที่ใช้ในการสืบสวนอุบัติเหตุเชิงลึก ประสานหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อรับแจ้งเหตุบูรณาการใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAV) หรือโดรนในการสำรวจข้อมูล นำข้อมูลจากโดรนไปใช้ในโปรแกรม Crash Zone เพื่อจำลองสถานการณ์การเกิดอุบัติเหตุเหตุ วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะแนวทางในการแก้ไข โดยมีรายละเอียดโครงสร้าง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วิธีการศึกษา

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การสืบสวนอุบัติเหตุเชิงลึก (In-depth Accident Investigation)

อรรถกร และพนกฤษณ [7] ได้เสนอเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ และกระบวนการในการสืบสวนอุบัติเหตุทางถนนเชิงลึก เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยปรับปรุงแบบฟอร์มที่ใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลอุบัติเหตุทางถนน และพัฒนาเป็นฐานข้อมูล ในการสืบสวนอุบัติเหตุเชิงลึก ตรวจสอบและเสนอแนะแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหาอุบัติเหตุทางถนน จากผลการศึกษาใน 3 กรณี พบว่าปัจจัยที่ทำให้อุบัติเหตุเกิดความรุนแรงส่วนใหญ่พบว่า ความประมาทของผู้ขับขี่ ส่วนปัจจัยทางด้านถนน/สิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งที่เกื้อหนุนให้อุบัติเหตุมีความรุนแรงมากขึ้น สำหรับปัจจัยของรถที่อยู่ในสภาพไม่พร้อมก่อนการออกเดินทาง เช่น ระบบเบรค ยาง ล้อ เป็นต้น โดยเฉพาะรถขนาดใหญ่ ทำให้เป็นสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุทางถนนและเกื้อหนุนทำให้อุบัติเหตุมีความรุนแรงมากขึ้น

ภูวไนย และพนกฤษณ [8] ได้วิเคราะห์สาเหตุของอุบัติเหตุและความรุนแรงที่เกิดขึ้นกับอุบัติเหตุรถกระบะในประเทศไทยจากกรณีศึกษา โดยใช้องค์ความรู้และกระบวนการจากการสืบสวนอุบัติเหตุเชิงลึกพบว่าปัจจัยคน เช่น การเมาแล้วขับ เป็นต้น เป็นสาเหตุหลักของการเกิดอุบัติเหตุ ปัจจัยด้านรถ ถนนและสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยรอง เช่น การใช้ยางที่เสื่อมสภาพ ทางโค้งมีต้นไม้บดบังระยะมองเห็น การขีดสีตีเส้นเลือนราง เป็นต้น ส่วนสาเหตุของความรุนแรง เช่น ไม่คาดเข็มขัดนิรภัย บรรทุกผู้โดยสารที่กระบะท้าย เป็นต้น จากกรณีศึกษาได้ถูกนำไปเสนอแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาอุบัติเหตุรถกระบะในประเทศไทย

2. การฟื้นฟูอุบัติเหตุ (Accident Reconstruction)

วิรุฬห์ และพนกฤษณ [9] ได้ประยุกต์ใช้โปรแกรม Crash Zone [6]ในการฟื้นฟูอุบัติเหตุระบุสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุและเสนอแนะแนวทางแก้ไขที่เหมาะสม และเปรียบเทียบความแม่นยำถูกต้องผลของการวิเคราะห์อุบัติเหตุด้วยโปรแกรม EDCRASH [10] กับโปรแกรม Crash Zone พบว่าการใช้โปรแกรม Crash Zone ให้ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ได้ขณะเกิดการชนมีความคลาดเคลื่อน ประมาณร้อยละ 30 เนื่องจากข้อจำกัดในการนำเข้าข้อมูลของโปรแกรม Crash Zone อย่างไรก็ตามความเร็วขณะชนนี้ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรมฯมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีความคลาดเคลื่อนเพียงประมาณร้อยละ 3

3. การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAV) ในการสำรวจข้อมูลอุบัติเหตุ

มีการศึกษาเพื่อตรวจสอบการทำงานของอากาศยานไร้คนขับ (UAV) เพื่อเปรียบเทียบวิธีการในการสำรวจข้อมูลด้านการจราจร ระหว่างวิธีการทั่วไปและการใช้ฮาร์ดแวร์ [11] โดยรวบรวมข้อมูลการจราจรแบบเรียลไทม์ เพื่อบูรณาการข้อมูลที่ได้จากหน่วยงานเฝ้าระวังการจราจรทางอากาศ (ATSS) กับเครือข่ายไมโครเวฟ จากศูนย์ปฏิบัติการจราจร (TOCs) จากนั้นศูนย์ปฏิบัติการฉุกเฉิน (ESOCs) ได้ตรวจสอบแนวคิดของหน่วยงาน Florida DOT รวมทั้งได้เสนอแอฟพลิเคชั่นที่มีศักยภาพ 4 รูปแบบ สำหรับอากาศยานไร้คนขับแบบปีกยึด (Fixed-Wing) ในการเก็บข้อมูลด้านการจราจร [12] ทั้งนี้แอพพลิเคชั่น [13] จาก 1 ใน 4 รูปแบบ สามารถใช้ในการตรวจสอบการจราจรและระบุเหตุฉุกเฉินและได้นำไปทดลองใช้จริงและได้พัฒนาระบบเพื่อถ่ายทอดวิดีโอที่บันทึกไว้ไปยังศูนย์การจัดการจราจรเพื่อทำการศึกษาอีกครั้ง [14] ในการตรวจสอบการจราจรโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ มุ่งเน้นไปที่การให้แนวทางสำหรับการเลือกประเภทของอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งมีปัจจัยสำคัญ เช่น เวลา น้ำหนักบรรทุก แหล่งพลังงาน ความต้านทานลมและความคุ้มค่า เป็นต้น ที่มีผลต่อการปฏิบัติงานอย่างมาก [15]

Pagounis et al. [16] ได้ประยุกต์ใช้เครื่องสแกน 3 มิติ (Terrestrial laser scanners) ในงานด้านความปลอดภัยทางถนนและการฟื้นฟูอุบัติเหตุ เพื่อบูรณาการการใช้เครื่องสแกน 3 มิติ ในการจัดการเกี่ยวกับความปลอดภัยทางถนนมีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินลักษณะของอุบัติเหตุทางถนนและความสัมพันธ์ของลำดับเหตุการณ์ อันจะเป็นข้อมูลสนับสนุนการวิเคราะห์ความปลอดภัยทางถนนและการย้อนรอยอุบัติเหตุ โดยข้อดีของวิธีนี้คือการลดระยะเวลาในการสำรวจอย่างมาก และลดระยะเวลาติดขัดของการจราจร รวมทั้งลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุต่อเจ้าหน้าที่สำรวจข้อมูล

Khan [17] ได้นำเสนอรูปแบบของการใช้อากาศยานไร้คนขับในการเก็บข้อมูลการจราจรทางถนนและการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้งานอากาศยานไร้คนขับขั้นตอนการดำเนินการและแพลตฟอร์มซอฟต์แวร์ สำหรับอากาศยานไร้คนขับ (UAV) สามารถใช้เพื่อรวบรวมข้อมูลนอกช่วงของเซ็นเซอร์แบบคงที่เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดและแม่นยำกว่าการเก็บข้อมูลโดยทั่วไป ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการพัฒนาด้านเทคโนโลยีกฎระเบียบที่มีประสิทธิภาพและกรอบการทำงานที่เป็นระบบจะส่งผลให้ UAV ใช้งานได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานการจราจร

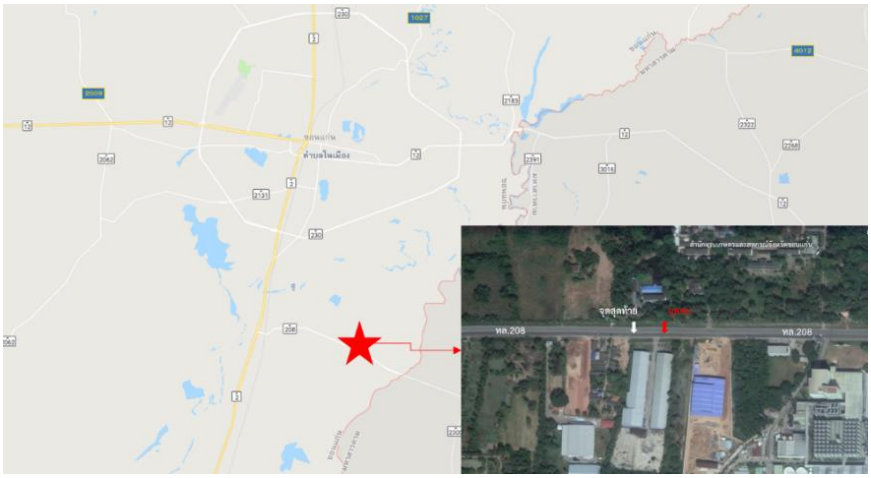
Jin et al. [18] ได้นำเสนอการตรวจสอบและจัดการการจราจร โดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAVs) เพื่อเร่งการสำรวจในพื้นที่เกิดอุบัติเหตุที่สำคัญหรือเหตุการณ์ที่มีความลำบากในการเข้าถึงพื้นที่ นอกจากนี้ได้พัฒนาระบบต้นแบบ UAV ซึ่งสามารถใช้งานได้อย่างรวดเร็วในสนาม สำหรับการสำรวจจุดเกิดเหตุ แบบVideo-Based และการจำลองด้วยภาพ 3 มิติพร้อมระบบฮาร์ดแวร์ ติดตั้งเซ็นเซอร์ GPS ความถี่สูง กล้องความละเอียดสูง เครื่องส่งสัญญาณแบบ HD และสถานีภาคพื้นดินเพื่อการสื่อสารและการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงปัจจัยต่าง ๆ

4. อากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) คือ อากาศยานที่มีความสามารถในการบินได้อย่างอัตโนมัติโดยที่ไม่มีนักบินประจำการอยู่ในอากาศยานมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถคำนวณและกำหนดแนวบินได้ตามรูปแบบแผนการบินที่วางไว้ [19] ในปัจจุบันได้มีการผลิตออกมาหลายรุ่น โดยรุ่นที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ DJI Phantom 4 มีลักษณะการควบคุม 6 ช่อง และมีรัศมีควบคุมการบินระยะทาง 300 เมตร ความเร็วสูงสุด (แนวราบ) 36 กิโลเมตร/ชั่วโมง แบตเตอร์รี่ขนาด 2,200 mAh 20C สามารถใช้ในการสำรวจ 1 เที่ยว ใช้ได้นาน 10-12 นาที ระบบเชื่อมต่อระหว่างอากาศยานไร้คนขับกับระบบควบคุมและสนับสนุนภาคพื้นดิน ใช้หลายย่านความถี่ เช่น ย่านความถี่สูง (HF) ย่านความถี่สูงมาก (VHF) และย่านไมโครเวฟ

กรณีศึกษา

ในการศึกษานี้ได้คัดเลือกกรณีอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในจังหวัดขอนแก่น และเป็นกรณีที่ประชาชนให้ความสนใจอย่างมาก โดยเป็นกรณีรถยนต์ชนท้ายรถพ่วง มีผู้เสียชีวิต 2 ราย บาดเจ็บ 1 ราย เหตุเกิดเมื่อวันที่ 27 ธ.ค. 2561 เวลาประมาณ 04.22 น. โดยมีรายละเอียดเบื้องต้นดังนี้



ภาพที่ 2 แผนที่แสดงตำแหน่งของจุดเกิดเหตุกรณีศึกษา

1. **ลำดับเหตุการณ์**

วันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ.2561 เวลา 4:22 น. ถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 208 เส้นทางขอนแก่น – มหาสารคาม ตำบลท่าพระ อำเภอเมืองขอนแก่น รถยนต์เก๋ง 4 ที่นั่งได้วิ่งมาจากบริษัท ขอนแก่นบิวเวอรี่ จำกัด มุ่งหน้าไปทางถนนมิตรภาพเพื่อกลับบ้านหลังจากเลิกงาน เมื่อมาถึงจุดเกิดเหตุ ซึ่งบริเวณดังกล่าวไม่มีไฟส่องสว่าง ทำให้รถคันที่ตามมาด้วยความเร็วชนท้ายรถบรรทุกพ่วงที่บรรทุกอ้อยมาเต็มคันรถ (วิ่งมาในทิศทางเดียวกัน) ทำให้อ้อยส่วนที่ยื่นออกมาจากกระบะของพ่วงลาก เสียบเข้าห้องผู้โดยสาร และกระแทกในบริเวณต่างๆ ของร่างกายและใบหน้าทำให้ได้รับบาดเจ็บอย่างรุนแรงและเสียชีวิต หลังการชนรถยนต์เก๋งเกิดเพลิงลุกไหม้บริเวณตัวเครื่องยนต์แล้วรถยนต์ติดไปกับรถพ่วงประมาณ 100 เมตร ก่อนที่รถพ่วงจะหยุด ความเสียหายของรถยนต์เก๋งมีบริเวณด้านหน้า ห้องเครื่องยนต์ ที่เสียหายอย่างหนัก เนื่องจากอ้อยทะลุผ่านกระจกและโครงสร้างรถกระแทกกับผู้โดยสารบริเวณด้านหน้า

2. ข้อมูลสภาพถนนและสิ่งแวดล้อม

ดังภาพที่ 3 ถนนเป็นแบบ 4 ช่องจราจร (2 ช่องจราจรในแต่ละทิศทาง) กว้างช่องจราจรละ 3.5 เมตร ส่วนไหล่ทางกว้าง 2.5 เมตร มีการแบ่งทิศทางการจราจรด้วยเกาะกลางถนนแบบทาสีบนพื้น (Traversable Pointed Median) ผิวเป็นแอสฟัลติกคอนกรีต บริเวณจุดเกิดเหตุเป็นช่วงถนน ในเวลากลางคืนบริเวณจุดเกิดเหตุไม่มีไฟส่องสว่างบริเวณข้างทางภายหลังการเกิดเหตุมีร่องรอยการครูดเกิดขึ้นบริเวณจุดชน และเกิดเป็นประกายไฟ (จากคลิปวิดีโอ) ซึ่งเกิดจากโครงสร้างของรถยนต์เก๋ง

ภาพที่ 3 ลักษณะทางกายภาพ ณ จุดเกิดเหตุบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 208 กม.ที่ 2+384

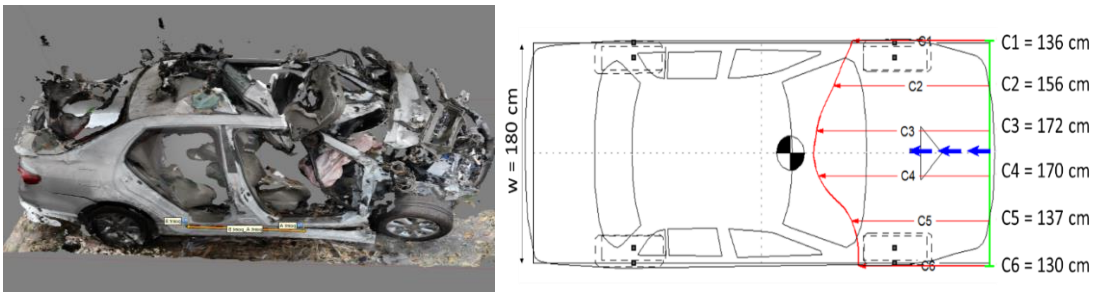
3. ข้อมูลยวดยาน

รถยนต์ (V1) ยี่ห้อ TOYOTA ALTIS สีขาว ขนาดเครื่องยนต์ 1500 cc (เบนซิน) ขับเคลื่อนล้อหน้า ระบบเบรก ABS ยานพาหนะมีการติดตั้งเข็มขัดนิรภัย (Seat-belt) และถุงลมนิรภัย (Air bag) ยางทั้งคู่หน้าและคู่หลังขนาด 206/60 R15 ผลิตในสัปดาห์ที่ 33 ของปี พ.ศ.2558

รถบรรทุกพ่วง (V2) ยี่ห้อ Mitsubishi FUSO TVY2SJR2R สีขาว ขนาดเครื่องยนต์ 10,520 cc (ดีเซล 6 ตัว) มี 3 เพลา จำนวน 24 ล้อ

4. ความเสียหายของยวดยาน

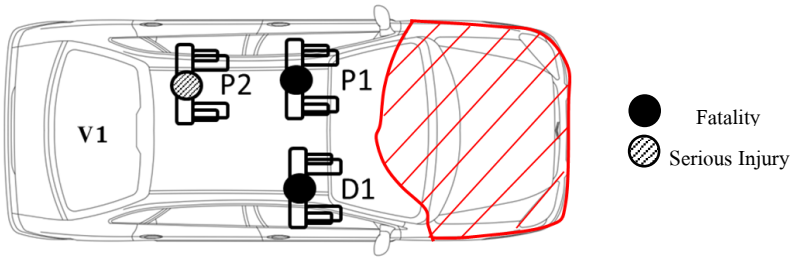
ภายหลังจากเกิดอุบัติเหตุเจ้าหน้าที่ได้ขนย้ายรถไปไว้สถานีตำรวจฯ ทีมสืบสวนอุบัติเหตุได้ใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAV) เก็บภาพความเสียหายของยวดยาน และนำไปจำลองด้วยโปรแกรม Agisoft Photoscan เพื่อจำลองให้อยู่ในรูปแบบ 3 มิติ โดยสามารถวัดระยะความเสียหายของยวดยานได้และมีระยะใกล้เคียงกับระยะที่วัดจริง พบว่าความเสียหายที่เกิดกับรถยนต์คือบริเวณด้านหน้าโดนแรงกระแทกทำให้ยุบเข้าไปจนถึงบริเวณห้องโดยสาร บริเวณหลังคารถยนต์เปิดขึ้นด้านบนจากลักษณะโครงสร้างเดิม ล้อหน้าทั้งสองข้างมีลักษณะเบนออกจากลักษณะของโครงสร้างเดิม ห้องผู้โดยสารบริเวณด้านหน้าจะถูกส่วนปลายของลำอ้อยกระแทกทะลุเข้าไปยังห้องโดยสาร เครื่องยนต์มีร่องรอยถูกเผาไหม้และถูกกระแทกยุบเข้าไปจากลักษณะของโครงสร้างเดิม ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความเสียหายบริเวณด้านหน้าของรถยนต์

5. ข้อมูลผู้ประสบอุบัติเหตุ

บริเวณจุดเกิดเหตุมีผู้เสียชีวิต 2 ราย บาดเจ็บสาหัส 1 ราย โดยผู้เสียชีวิตทั้ง 2 ราย นั่งอยู่บริเวณด้านหน้า (คนขับและผู้โดยสารที่นั่งข้างคนขับ) สาเหตุหลักของการเสียชีวิตมาจากการกระแทกอย่างรุนแรงกับส่วนปลายของอ้อยที่ยื่นออกมาจากส่วนท้ายของพ่วงลาก โดยทะลุผ่านกระจกด้านหน้าและส่วนเครื่องยนต์ของรถยนต์เข้ามายังห้องโดยสาร ตำแหน่งการนั่งของผู้โดยสารแสดงในภาพที่ 5



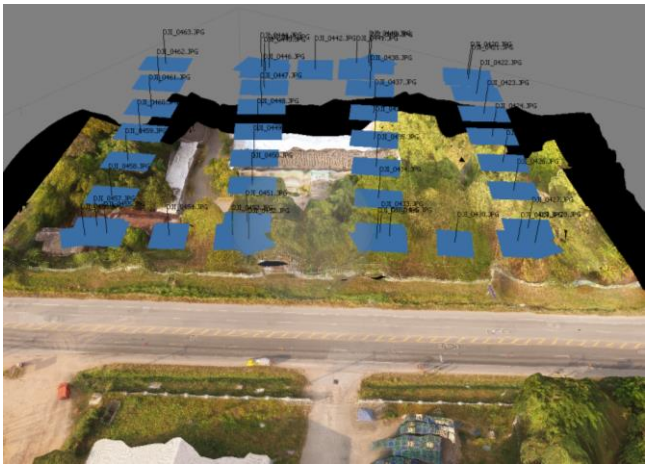
ภาพที่ 5 ผังตำแหน่งที่นั่งของผู้โดยสารในรถยนต์ V_1

ตารางที่ 1 สรุปการบาดเจ็บและเสียชีวิตของผู้โดยสารในรถยนต์ V_1

บุคคล	เพศ	อายุ	ตำแหน่ง	ความรุนแรง	เข็มขัดนิรภัย	สาเหตุการบาดเจ็บและเสียชีวิต
1	ชาย	46	คนขับ (D1)	เสียชีวิต	ใช้	– กะโหลกศีรษะแตก /ใบหน้ามีแผลฉีกขาด กระดูกซี่โครงซ้ายหัก 3 ซี่ ลำคอช้ำ ใบหน้ามีแผลฉกรรจ์หลายตำแหน่ง เนื่องจากกระแทกกับปลายของอ้อย
2	ชาย	27	ผู้โดยสาร (P1)	เสียชีวิต	ใช้	– กะโหลกศีรษะแตก / กระดูกซี่โครงขวาหักและมีแผลเปิดที่หน้าอก 3 เซนติเมตร จากการกระแทกกับปลายของลำอ้อย
3	ชาย	24	ผู้โดยสาร (P2)	บาดเจ็บสาหัส	ไม่ใช้	– ศีรษะแตกเนื่องจากกระแทกที่เบาะหน้าและมีรอยแผลช้ำที่ลำตัวจากการกระแทกกับส่วยปลายของอ้อย

การจำลองจุดเกิดเหตุและยวดยานโดยอากาศยานไร้คนขับ (UAV)

จากการสำรวจลักษณะทางกายภาพ ณ จุดเกิดเหตุและลักษณะความเสียหายของยวดยาน โดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAV) เก็บภาพในมุมต่างๆและจำลองภาพ 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม Agisoft PhotoScan ซึ่งนำภาพถ่ายจากโดรนถ่ายได้ในแต่ละตำแหน่งนำมาเรียงต่อกันและจำลองภาพให้อยู่ในรูปแบบ 3 มิติ ซึ่งมีลักษณะและขนาดเท่ากับขนาดของจุดเกิดเหตุจริง เมื่อนำภาพที่ได้จากโปรแกรม Agisoft PhotoScan และภาพที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ก่อนชน (Pre-Crash) ขณะชน (During-Crash) และหลังชน (Post-Crash) โดยโปรแกรม Crash Zone ซึ่งจะทำให้มีมุมมองการเกิดอุบัติเหตุที่หลากหลายและชัดเจนยิ่งขึ้น สำหรับความเสียหายของยวดยานสามารถวัดระยะยุบตัวและลักษณะความเสียหายต่าง ๆ ได้จากภาพ 3 มิติ ที่ได้จากภาพถ่ายของโดรน ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลการสร้างภาพ 3 มิติ บริเวณจุดเกิดเหตุที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ

การวิเคราะห์สาเหตุและความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุ

1. การพิจารณาความเร็วของยวดยาน

จากหลักฐานการเกิดอุบัติเหตุ เมื่อเกิดอุบัติเหตุ หน้าปัดของรถยนต์จะหยุดทำงาน (บางกรณี) โดยเข็มไมล์ของรถคันที่เกิดเหตุค้าง ณ ความเร็วสุดท้ายที่เกิดการชน ประมาณ 145 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 7

ภาพที่ 7 เข็มไมล์ของรถยนต์ที่ค้างหลังจากการชน

จากร่องรอยการยุบตัวของรถยนต์หลังจากเกิดเหตุ โดยการวัดระยะยุบของรถที่เกิดจากการชน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นและความเร็วขณะชน จากข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมและจากกระบวนการวิเคราะห์เพื่อ

ฟื้นฟูอุบัติเหตุด้วยโปรแกรม Crash Zone ซึ่งเป็นโปรแกรม ประเภทพลศาสตร์การชน (Impact Dynamic Program) ข้อมูลที่นำเข้าสามารถ แบ่งออกเป็น 3 แบบหลัก คือ (1) ข้อมูลทั่วไปของยวดยาน (2) ข้อมูลสถานที่เกิดเหตุ และ (3) ข้อมูลความเสียหายของยวดยาน โดยวัตถุประสงค์หลักเบื้องต้นของโปรแกรม Crash Zone คือ การหาค่าความเร็วปะทะ (Impact speed) และการเปลี่ยนแปลงของความเร็ว (Delta-V) โดยตั้งสมมติฐานว่าอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นอยู่บนพื้นที่ราบเรียบ สำหรับกรณีที่จุดเกิดเหตุมีความแตกต่างกันของประเภทผิวจราจรให้ใช้ความแตกต่างของแรงเสียดทาน

การหาความเร็วของรถยนต์ก่อนชน (V_1) โดยใช้กฎของพลังงาน (Energy conservation) โดยมีสมการพลังงานที่ถูกดูดซับจากการชนที่เกี่ยวข้อง [6, 20] ดังนี้

$$E = \frac{L}{5}\left[\begin{array}{l} 5G + \frac{A}{2}(C_1 + 2C_2 + 2C_3 + 2C_4 + 2C_5 + C_6) \\ + \frac{C}{6}\left(\begin{array}{l} C_1^2 + 2C_2^2 + 2C_3^2 + 2C_4^2 + 2C_5^2 + C_6^2 \\ + C_1C_2 + C_2C_3 + C_3C_4 + C_4C_5 + C_5C_6 \end{array}\right) \end{array}\right]\gamma \quad \text{..... (1)}$$

โดยที่ E = พลังงานที่ถูกดูดซับ (Energy dissipated) ; จูล

C = สัมประสิทธิ์ความแข็ง (Stiffness Coefficient); นิ้วต่อเซนติเมตร

C_1-C_6 = ระยะการยุบตัวในแต่ละตำแหน่งของยวดยาน; นิ้ว

$G = A^2 / 2B$ = สัมประสิทธิ์ตัวเลขคงที่สำหรับแรงต้านการชน; นิ้ว (A และ B คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งเกร็งของวัตถุ [21])

γ = 1+tanθ_2 โดยที่ θ เท่ากับ 0 องศา (เนื่องจากเป็นทิศทางเดียวกันและมุมของการชนเท่ากับ 0 องศา)

สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความเร็วขณะชน (Equivalent Barrier Speed; EBS) ดังสมการที่ (2)

$$\text{EBS} = \sqrt{\frac{2gE_{actual}}{w_t}} \quad \text{.....(2)}$$

โดยที่ EBS = ความเร็วเทียบเท่าขณะชน; กิโลเมตรต่อชั่วโมง

E_{actual} = พลังงานที่ถูกดูดซับ (Energy dissipated); จูล

g = ความเร่งโลก = 9.81 เมตรต่อวินาที^{2}

Wt = น้ำหนักรถรวมน้ำหนักบรรทุก; กิโลกรัม

จากการคำนวณหาความเร็วก่อนชนของรถยนต์ (V_1) ซึ่งเท่ากับความเร็วขณะชน (บริเวณจุดเกิดเหตุไม่มีรอยเบรค) พบว่าความเร็วก่อนชนของรถยนต์ (V_1) เท่ากับ 141.39 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และพลังงานที่เกิดขึ้นขณะชนเท่ากับ 1,132,929 จูล เนื่องจากเป็นการชนแบบชนท้าย (Rear-end) โดยมีมุมของการชนเท่ากับ 0 องศา ซึ่งภายหลังการชนรถยนต์ได้ติดไปกับส่วนท้ายของพ่วงลากของรถบรรทุกพ่วงประมาณ 100 เมตร

การหาความเร็วหลังชนของรถทั้งสองคัน [ความเร็วหลังจากการชนของรถคันที่ 1 (U_1) = ความเร็วหลังจากการชนของรถคันที่ 2 (U_2)] จากภาพวีดีโอ โดยใช้จุดอ้างอิงจากจุดที่เกิดการชน เป็นระยะทาง 20 เมตร และเวลาในการเดินทางเท่ากับ 1.60 วินาที จากสมการ (S = VT) พบว่าความเร็วหลังจากการชนของยวดยานทั้งสองคัน (U_1=U_2= 45) เท่ากับ 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ภาพที่ 8 การหาระยะทางและเวลาขณะชนจากวิดีโอ

จากข้อมูลความเร็วที่ได้สามารถหาความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการชน (Delta-V) ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมกับการชนแบบไม่ยืดหยุ่น เป็นลักษณะการชนกันโดยที่วัตถุทั้งสองเมื่อเกิดการชนแล้วติดกันไปด้วยความเร็วที่เท่ากัน การชนลักษณะนี้ทำให้ผลรวมของโมเมนตัมก่อนชนเท่ากับหลังชน แต่พลังงานจลน์จะไม่เท่ากันดังสมการที่ (3) ซึ่งเป็นสมการโมเมนตัมการชนแบบไม่ยืดหยุ่น

$$m_1u_1 + m_2u_2 = (m_1 + m_2)v \quad \text{..... (3)}$$

สมการพลังงานจลน์การชนแบบไม่ยืดหยุ่น ดังแสดงในสมการที่ (4)

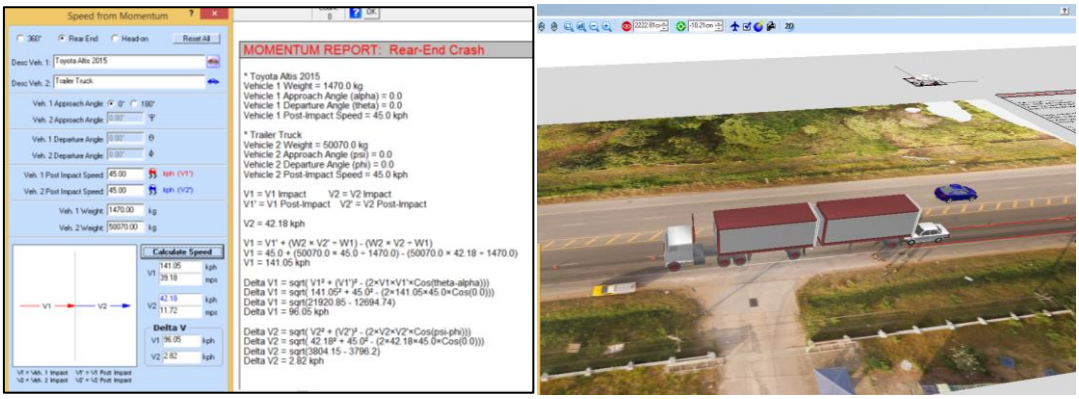
$$\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 > \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 \quad \text{..... (4)}$$

โดยที่ v คือ ความเร็วหลังการชนของรถคันที่ 1 และ 2 ที่ติดกัน

m_1, m_2 คือ น้ำหนักของรถคันที่ 1 และ 2

u_1, u_2 คือ ความเร็วก่อนการชนของรถคันที่ 1 และ 2

จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Crash Zone (ภาพที่ 9) พบว่าความเร็วของรถยนต์ก่อนชน (V_1) เท่ากับ 141.05 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความเร็วของรถบรรทุกก่อนที่จะเกิดการชน (V_2) เท่ากับ 42.18 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หลังจากการชนพบว่า ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปของรถยนต์ (ΔV_1) เท่ากับ 96.05 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปของรถบรรทุกพ่วง (ΔV_2) เท่ากับ 2.82 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



ภาพที่ 9 ผลการวิเคราะห์หาความเร็วจากโปรแกรม Crash Zone

สรุปปัจจัยที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ

1. ปัจจัยจากคน

คนขับรถยนต์เก๋ง: จากคลิปวิดีโอที่บันทึกเหตุการณ์ขณะเกิดเหตุ พบว่ารถยนต์เก๋งขับมาด้วยความเร็วสูงและชนเข้าที่ท้ายรถพ่วงที่บรรทุกอ้อยมาเต็มคันรถ โดยเวลาเกิดเหตุประมาณ 4.22 นาฬิกา ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้ขับและผู้โดยสารพึ่งเลิกงานและกำลังมุ่งกลับบ้าน เมื่อมาถึงที่เกิดเหตุซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีไฟส่องสว่างประกอบกับขับรถยนต์ด้วยความเร็วสูงอาจมีอาการง่วงหรือเหนื่อยล้าจากการทำงาน ทำให้ไม่สามารถมองเห็นและหยุดรถได้ทัน จึงทำให้เกิดการชนและนำไปสู่การเสียชีวิตในเวลาต่อมา

2. ปัจจัยจากยานพาหนะ

เมื่อพิจารณาในส่วนของรถบรรทุกพ่วง เนื่องจากรถพ่วงไม่มีการติดตั้งไฟกระพริบบริเวณปลายอ้อยที่ยื่นแต่มีเพียงผ้าแดง (ข้อมูลได้จากการตรวจสอบบริเวณจุดเกิดเหตุและยวดยาน) ซึ่งมองเห็นได้เฉพาะเวลากลางวัน ทำให้รถยนต์ที่แล่นตามมาข้างหลังมองไม่เห็นจึงเกิดการชนท้ายรถบรรทุกพ่วงอย่างรุนแรงส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บและเสียชีวิตขึ้น

3. ปัจจัยจากถนนและสิ่งแวดล้อม

บริเวณจุดเกิดอุบัติเหตุอยู่บนถนนสายท่าพระ-โกสุมพิสัย ผิวจราจรมีสภาพดีช่องจราจรกว้างและเป็นช่วงถนนที่ทางตรงและยาวทำให้สามารถใช้ความเร็วได้สูง ประกอบกับบริเวณดังกล่าวไม่มีไฟฟ้าแสงสว่าง จึงทำให้ยากแก่การมองเห็นและนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุในครั้งนี้

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการสืบสวนอุบัติเหตุเชิงลึกทางถนนโดยการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับและโปรแกรม Crash Zone ในการวิเคราะห์และจำลองการเกิดเหตุ สามารถสรุปสาระสำคัญและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

(1) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับในการสืบสวนอุบัติเหตุทางถนนช่วยลดระยะเวลาในการสำรวจอย่างมาก และลดระยะเวลาการหยุดชะงักของการจราจรบริเวณดังกล่าวลง รวมทั้งลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุต่อเจ้าหน้าที่สำรวจข้อมูล ณ จุดเกิดเหตุ เนื่องจากไม่ต้องเข้าไปพื้นที่บริเวณเกิดเหตุกรณีที่อยู่บนถนนที่มีการจราจรผ่านของยวดยาน

(2) เมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของตำแหน่งต่าง ๆ ณ จุดเกิดเหตุที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับกับการเก็บข้อมูลอุบัติเหตุด้วยวิธีทั่วไป พบว่าระยะและตำแหน่งมีความใกล้เคียงกันกับระยะที่วัดได้จริงจากจุดเกิดเหตุ เนื่องจากมีการติดตั้งกล้องความละเอียดสูงเพื่อใช้บันทึกภาพรวมทั้งลักษณะบริเวณที่เกิดเหตุสามารถมองในมุมมองที่กว้างและอยู่ในรูปแบบ 3 มิติ และมุมมองที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับมีความหลากหลาย โดยเฉพาะมุมมองจากด้านบน (Top view) ซึ่งการเก็บข้อมูลทั่วไปไม่สามารถกระทำได้ ทำให้การวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุมีความหลากหลายของข้อมูลซึ่งมีความสำคัญอย่างมาก นอกจากนี้ผลของการจำลองลักษณะของบริเวณจุดเกิดเหตุและความเสียหายของยวดยานในรูปแบบของภาพ 3 มิติ มีลักษณะและขนาดใกล้เคียงกับของจริง

(3) สำหรับการนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจโดยอากาศยานไร้คนขับไปสร้างภาพจำลองในรูปแบบ 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม Agisoft Photoscan ผลที่ได้สามารถนำผลที่ได้ไปนำเข้าโปรแกรม Crash Zone เพื่อประกอบการฟื้นฟูการเกิดเหตุและวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ

เอกสารอ้างอิง

1. United Nations. The Sustainable Development Goals Report 2016. Department of Economic and Social Affairs (DESA): New York, USA. 2016.
2. Sumalee A. Smart City: Developing and deploying IT systems in urban management. Bangkok: King Prajadhipok's Institute; 2015. Thai.
3. World Health Organization (WHO). Global Status Report on Road safety 2018. Geneva: World Health Organization; 2018.
4. Office of Transport and Traffic Policy and Planning (OTP). Action Plan Study for Road Accident Reduction. Khon Kaen: Khon Kaen University, 2018. Thai.
5. Noon RK. Engineering Analysis of Vehicular Accidents. 1st ed. CRC Press: Washington, D.C. 1994.
6. The CAD Zone, Inc. The Crime Zone Version 9 User's Manual. Beaverton: The CAD Zone. 2011. 63 p.
7. Sala A, Klungboonkrong P. In-depth traffic accident investigation: Case study of the upper northeastern part of Thailand. The 6th Asian Transportation Research Society (ATRANS). Phitsanulok: Naresuan University. 2009; 489-99. Thai.
8. Chaiyawarn P, Klungboonkrong P. In-depth Accident Investigation in The Northeastern Region, Thailand: Pickup-Truck involved crash case studies. 20th National Convention on Civil Engineering. Chon Buri: Kasetsart University Sriracha Campus. 2015: 234-245. Thai.
9. Yootmeeboon W, Klungboonkrong P. In-depth Crash Investigation: The Crash Zone Application. 22th National Convention on Civil Engineering. Nakhon Ratchasima: ChokCharoen Marketing. 2018; 385-92. In Thai.
10. Engineering Dynamic Corporation. EDCRASH Training Manual. Engineering Dynamic Corporation, USA. 1994.
11. Srinivasan S, Latchman H, Shea J, Wong T, McNair J. Airborne Traffic Surveillance Systems: Video Surveillance of Highway Traffic. Proceedings of the ACM 2nd international workshop on Video surveillance & sensor networks, 2004; 131-135.
12. Coifman B, McCord M, Mishalani R, Iswalt M, Ji Y. Roadway Traffic Monitoring from an Unmanned Aerial Vehicle. IEE Proceedings-Intelligent Transport Systems. 2006; 151(1): 11-20.
13. Ro K, Oh J S, Dong L. Application of Small UAV for Urban Highway Traffic Monitoring. 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada: 2007; 2007-2596.
14. Peng ZR. Feasibility Study of the Application of Unmanned Aerial Vehicles Transportation Applications. 2005; 2012(06): 119-126.
15. Lee J, Zhong Z, Kim K, Dimitrijevic B, Du B, Gutesa S. Examining the Applicability of Small Quadcopter Drone for Traffic Surveillance and Roadway Incident Monitoring. Transportation Research Board 94thAnnual Meeting. United States. 2015.
16. Pagounis V, Tsakiri M, Palaskas S, Biza B, Zaloumi E. 3D Laser Scanning for Road Safety and Accident Reconstruction. XXIII FIG Congress; 2006.

17. Khan MA, Ectors W, Bellemans T, Janssens D, Wets G. Unmanned aerial vehicle-based traffic analysis: Methodological framework for automated multivehicle trajectory extraction, Transportation Research Record. 2017. 2626(1); 25-33.
18. Jin JP, Ardestani MS, Wang Y, Hu W. Unmanned Aerial vehicle (UAV) Based Traffic Monitoring and Management. Center for Advanced Infrastructure and Transportation (CAIT). The State University of New Jersey. 2016.
19. Da Jiang Innovation. Phantom 4: user manual. DJI incorporates HDMI technology, United States. 2017.
20. 3D Mapping Laser [Internet]. 2017 [updated 2019 June 24; cited 2018 Jan 10]. Available from https://www.policemag.com/
21. United States Department of Transportation. Databases and Software. New Jersey Avenue, SE Washington, DC. 2018