

การประยุกต์ใช้แบบจำลองปัญญาประดิษฐ์เพื่อตรวจวัดความสว่างของผิวถนน Adaptation of AI Road Surface Luminance Prediction model

ปณณวัชร สิริพัฒน์ธิตี^{1,*} พัฒนพงศ์ จอสมอน² สุทธิพงษ์ สุทธิประทีป³ และ ดร.พลเทพ เลิศวรรณิช⁴

^{1,2,3,4} สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

*Corresponding author; E-mail address: punna.si@doh.go.th

บทคัดย่อ

ความสว่างถือเป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินความปลอดภัยด้านการขนส่งและการจราจรทางถนน โดยเฉพาะช่วงเวลากลางคืนที่ความสว่างมีผลโดยตรงต่อการมองเห็น และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ ปัจจุบันการวัดค่าความสว่าง (Luminance, cd/m²) บนถนนที่ต้องใช้อุปกรณ์ราคาสูงและใช้เวลานานในการดำเนินการ งานวิจัยนี้จึงทำลองใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีปัญญาประดิษฐ์ ที่ให้สามารถทำนายค่าความสว่างผ่านพิกเซลของภาพช่วงไดนามิกสูง (High Dynamic Range, HDR) หรือแม้กระทั่งภาพช่วงไดนามิกต่ำ (Low Dynamic Range, LDR) ซึ่งภาพทั้งสองแบบสามารถถ่ายได้กล้องโปร (DHLR) และกล้องสมาร์ตโฟน

แบบจำลองดังกล่าวได้ถูกพัฒนามาบนชุดข้อมูลรูปภาพ HDR ที่เก็บจากกล้องโปรและแต่ละพิกเซลมีการบันทึกค่าความสว่างที่แม่นยำ เพื่อนำมาอนุมานค่าความสว่างจากภาพ HDR หรือ LDR ที่ได้จากอุปกรณ์อื่นๆ ที่ราคาถูกลงและจะช่วยลดการพึ่งพาเครื่องมือราคาแพง ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายค่าความสว่างจากภาพ HDR ได้ โดยมีผลเชิงรูปภาพที่น่าพึงพอใจ อีกทั้งยังสามารถนำค่าความสว่างไประบุค่าพิกัดเพื่อใช้ชี้ตำแหน่งบนแผนที่ในจุดที่ความสว่างไม่เพียงพอหรือไม่สม่ำเสมอได้อีกด้วย

วิธีการที่นำเสนอนี้ จึงสามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดความสว่างบนถนนในช่วงกลางคืนได้อย่างรวดเร็ว ประหยัด และมีประสิทธิภาพเพื่อการอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน

คำสำคัญ: ความสว่าง, ค่าความสว่างต่อพิกเซล, ความปลอดภัยบนถนน, ปัญญาประดิษฐ์

Abstract

Brightness is a crucial factor in traffic safety operations. The photometric value commonly used to assess brightness is luminance (measured in cd/sq.m). Traditionally, acquiring this value requires expensive equipment and a long monitoring time. However, with advancements in artificial intelligence, it's now possible to predict luminance from pixels in a High Dynamic Range (HDR) image or a Low Dynamic Range (LDR) image, taken

from either a professional camera (DHLR) or a smartphone camera.

The model was trained on a HDR dataset consisting of images from professional cameras with accurate luminance values. This allows the model to be used to recreate a luminance image from either an HDR image or an LDR image captured with a less expensive camera, reducing the need for expensive measurement equipment. The study's results demonstrate that the model can predict luminance from HDR images with promising visual results. Additionally, the luminance value can be combined with spatial information to identify areas with insufficient brightness or light uniformity.

This proposed method can measure luminance from road surfaces at night more efficiently, quickly, and inexpensively, making it beneficial for improving road safety.

Keywords: Luminance, Per-pixel Luminance, Road Safety, Artificial Intelligence

1. บทนำ

ความปลอดภัยในการขับขี่ประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ความพร้อมของผู้ขับขี่ ความพร้อมของยานพาหนะ และสภาพแวดล้อมขณะขับขี่ โดยเฉพาะช่วงเวลากลางคืนที่ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมคือ แสงสว่าง มีผลต่อความปลอดภัยในการขับขี่เป็นอย่างมาก ถ้าแสงสว่างไม่เพียงพอจะส่งผลทำให้ไม่สามารถมองเห็นวัตถุต่าง ๆ เช่น แนวขอบถนนหรือผู้คนที่กำลังข้ามถนนในขณะขับขี่ได้อย่างชัดเจน โดยมาตรฐานของกรมทางหลวง ทั้งในการออกแบบและการตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างของระบบไฟฟ้าส่องสว่างในปัจจุบันจะใช้ค่าการส่องสว่าง (Illuminance) ซึ่งเป็นค่าปริมาณแสงที่ตกกระทบบนวัตถุในหนึ่งหน่วยพื้นที่ใดๆเป็นตัวชี้วัด แต่ในปัจจุบันได้มีการมาตรฐานการออกแบบและการวัดความเข้มของแสงสว่างบนถนน โดยใช้ค่าความสว่าง (Luminance) ที่เป็นค่าที่แสงตกกระทบบนวัตถุแล้วสะท้อนกลับเข้าสู่ดวงตาของผู้ขับขี่ ซึ่งข้อดีที่สำคัญของการใช้ค่าความสว่างในการออกแบบและการวัดความเข้มของแสงสว่างนี้คือ สามารถตรวจวัดค่าได้สะดวกเพราะใช้อุปกรณ์ Imaging Luminance Measuring Device

(ILMD) ที่ตรวจวัดค่าความสว่าง (Luminance) โดยการถ่ายภาพ ต่างกับการเก็บค่าการส่องสว่าง (Illuminance) ที่ต้องทำการปิดถนนเป็นเวลานานเพื่อเข้าไปวัดค่าความเข้มของแสงที่ตกกระทบบนถนน ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาการจราจร และในสายทางที่มีปริมาณจราจรสูง อาจดำเนินการได้ยากหรืออาจมีข้อกังวลเกี่ยวกับความปลอดภัยของผู้ตรวจวัด อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเครื่อง ILMD ยังมีราคาที่สูงมาก จึงยังเป็นอุปสรรคในการนำไปใช้งานโดยกว้างขวาง

จากเหตุผลข้างต้น สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง จึงได้มีการพัฒนาแอปพลิเคชันที่สามารถตรวจวัดค่าความสว่างได้ โดยใช้กล้องโทรศัพท์มือถือ (Smart Phone) ประกอบการพิจารณากับการใช้อุปกรณ์ ILMD ที่มีราคาแพง พัฒนาแอปพลิเคชันออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวงที่สามารถใช้ค่าความสว่าง (Luminance) ในการออกแบบรวมทั้งทำการรวบรวมข้อมูลตัวแปรต่าง ๆ ที่จำเป็นในการออกแบบ เช่น ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) เป็นต้น ซึ่งอาศัยการประมวลผลเชิงเส้นบนภาพช่วงโดนามิกต่ำหรือภาพ JPEG แม้จะมีผลที่ยอมรับได้ และสะดวกกว่าการใช้เครื่อง ILMD ทว่าการจากการใช้งานยังพบข้อจำกัดบางประการ อาทิ ผู้ใช้งานต้องใช้น้ำมือถือรุ่นที่ระบุหรือใกล้เคียง ต้องบันทึกการตั้งค่าของกล้อง และไม่สามารถนำภาพมาประมวลผลกับสมาร์ตโฟนรุ่นอื่นนอกเหนือจากที่ระบุได้ [1]

ในการนี้ สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง จึงได้ทดลองนำแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์เข้ามาใช้หาค่าความสว่างจากภาพถนน โดยนำแบบจำลองที่ได้มีการพัฒนาแล้วและปรับให้มีความเข้ากันได้กับกล้องทั่วไป และต้องหลีกเลี่ยงการแทรกแซงจากมนุษย์ระหว่างประมาณค่าให้ได้มากที่สุด โดยคณะผู้จัดทำเห็นว่า งานวิจัยนี้จะช่วยเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการตรวจวัดความสว่างและการอำนวยความสะดวกบนท้องถนน

โครงสร้างของงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็นห้าส่วนได้แก่ บทนำที่ได้กล่าวไปแล้ว ส่วนที่สองบททวนวรรณกรรม ซึ่งจะมีการเสนอวิธีการดำเนินงานในปัจจุบันและเปรียบเทียบกับวิธีที่จะนำเสนอ ส่วนที่สามจะเป็นการอธิบายวิธีการทดลอง ส่วนที่สี่จะนำเสนอผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล และสุดท้ายจะเป็นการสรุปผลที่ได้

ทั้งนี้แอปพลิเคชันทั้งสองที่ได้จากโครงการนี้จะช่วยยกระดับมาตรฐานในการตรวจสอบและออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างของกรมทางหลวง และช่วยผู้ปฏิบัติงานภาคสนามสามารถทำการตรวจประเมินความสว่างของถนนได้อย่างสะดวก รวดเร็ว นำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขระบบไฟฟ้าแสงสว่างบนสายทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การขับขี่ยานพาหนะบนถนนของกรมทางหลวงในยามค่ำคืนมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ความสว่าง (Luminance, L)

ความสว่างหมายถึงคุณลักษณะเชิงปริมาณที่ใช้วัดปริมาณแสงที่ปล่อยออกมา, ผ่านออกไป, หรือสะท้อนจากพื้นผิว โดยความสว่างนั้นเน้นการวัดปริมาณที่เฉพาะเจาะจง และคำนึงถึงความไวของสายตามนุษย์ต่อความยาวคลื่นของแสงในระดับต่างๆ ทำให้เป็นวิธีมาตรฐานหลักในการวัดความเข้มของแสงที่มองเห็นได้

พร้อมกันนี้ ยังมีตัวชี้วัดที่นิยมใช้ในการประเมินความปลอดภัยของถนน โดยคำนวณจากค่าความสว่างเพื่อใช้ประเมินความสม่ำเสมอของแสงในพื้นที่ นั่นก็คือ ความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity Ratio, U) โดยใช้สองอัตราส่วน:

ความสม่ำเสมอโดยรวมของความส่องสว่าง (U_{avg,U_0}): อัตราส่วนระหว่างระดับความสว่างเฉลี่ยต่อค่าน้อยสุดที่วัดได้จากทุกจุด

ความสม่ำเสมอโดยตามยาวของความส่องสว่าง (U_L): อัตราส่วนระหว่างระดับความสว่างสูงสุดต่อค่าน้อยสุดที่วัดได้ตามแนวความยาวของถนน

โดยอัตราส่วนความสม่ำเสมอที่สูง (ใกล้เคียง 1:1) ถือว่าเป็นสิ่งที่พึงประสงค์ในระบบไฟส่องถนน เนื่องจากให้แสงที่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามความสม่ำเสมอที่เท่ากันอย่างสมบูรณ์อาจลดทัศนวิสัยลงได้เนื่องจากวัตถุอาจกลืนไปกับพื้นหลัง การมีระดับความไม่สม่ำเสมอจะช่วยเพิ่มความคมชัดและปรับปรุงการมองเห็น [2] โดยค่าความสว่างและความสม่ำเสมอของแสง ตามมาตรฐานได้ถูกรวบรวมไว้ในตาราง 1

ตาราง 1 ตารางเปรียบเทียบเกณฑ์การออกแบบแสงสว่างสำหรับการขับขี่ตามมาตรฐานสากล

มาตรฐาน	ค่าความสว่าง* มากที่สุด – ต่ำที่สุด (cd/m ²)	ความสม่ำเสมอของแสง มากที่สุด – ต่ำที่สุด	
		U_0	U_L
EN-13201	2.0 – 0.3	0.40 – 0.35	0.70 – 0.40
CIE: 115	2.0 – 0.3	0.40 – 0.35	0.70 – 0.40
มอก. 2954-2562	2.0 – 0.3	0.40 – 0.35	0.70 – 0.40
IES RP-8	1.2 – 0.3	0.33 – 0.16	0.20 – 0.10

* ค่าความสว่างจะขึ้นอยู่กับระดับชั้นการให้แสงสว่างของถนนแต่ละประเภท

2.2 วิธีการในการวัดค่าความสว่างจากอุปกรณ์ ILMD

การวัดค่าความสว่างนั้นสามารถทำได้ทั้งที่นิยมและเป็นมาตรฐานคือการใช้อุปกรณ์ Imaging Luminance Measuring Device (ILMD) และต้องนำข้อมูลความสว่างของผิวถนนที่ได้ไปเข้าสู่ซอฟต์แวร์เฉพาะทางเพื่อให้ได้ค่าความสว่าง โดยจะตีแนวถนนออกเป็นตารางและวัดค่าความสว่างตามจุดตัดของตาราง โดยกระบวนการดังกล่าวกินเวลานาน และต้องมีการปิดการสัญจรเพื่อเข้าไปวัดค่า [3]

นอกจากนี้อุปกรณ์ ILMD ต้องอาศัยความชำนาญในการวัดค่าและการแปลผล และต้องมีความเข้าใจในหลักการของกล้องดิจิทัลอย่างมา [4] และยังมีกรทดลองอื่นๆที่ถกเถียงกันในเรื่องของรูปแบบการวัด อาทิ [5] ที่แสดงให้เห็นว่าการวัดความสว่างด้วย ILMD นั้นอาจจะได้ค่าความสว่างที่เกินจริงเนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงแนวทัศนะ เพราะจุดตัดของตารางที่อยู่ใกล้กัน จะถี่กว่าจุดที่อยู่ไกล แสงที่รับจากจุดใกล้จะทับซ้อนกันมากกว่า และ [6] แสดงให้เห็นว่ายิ่งระยะในการวัดความสว่างของเครื่องสูง จะยังมีความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อเทียบกับการคำนวณย้อนกลับจากค่าความส่องสว่าง (Illuminance) ซึ่งการทดลองนี้ทำในห้องทดลองความคุมสภาพแวดล้อม

จากรูปผลงานวิจัยในงานที่กล่าวมาข้างต้น ผู้อ่านจะพบว่าความสว่างที่วัดได้จากถนนจะมีค่าใกล้เคียงกับความสว่างที่วัดได้จากหลอดไฟโดยตรง ทั้งนี้เพราะว่าอุปกรณ์ประเภทนี้ถูกตั้งค่าให้วัดความสว่างจากการสะท้อน

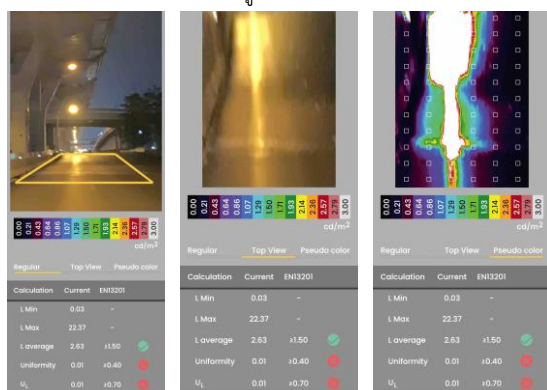
แสงอย่างเดียว ทำให้ไม่ไวต่อการกระจัดของแสงและแยกไม่ออกว่าแสงที่เข้ามานั้นมาจากอุปกรณ์กำเนิดแสงหรือแสงสะท้อนกันแน่

2.3 วิธีการในการทำนายค่าความสว่างจากพิกเซล (Per-pixel luminance)

แม้แสงสว่างจะเป็นหัวใจสำคัญของของวิทยาการทางด้านการถ่ายภาพ (Photography) และคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) แต่วิธีการส่วนมากยังพิจารณาว่าจุดภาพหรือพิกเซลแค่เป็นตัวแสดงข้อมูลสีแดง เขียว เหลือง (RGB) โดยไม่ได้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของพิกเซลและความส่องสว่าง ทั้งนี้ แนวทางส่วนใหญ่ในนี้มุ่งเป้าไปที่การกู้คืนภาพที่ค่าพิกเซลแปรผันเชิงเส้นกับความสว่างของฉาก (หรือความสว่าง) [7] แม้ว่าการพิจารณาค่าพิกเซลแบบเชิงเส้นจะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการประยุกต์ใช้งานด้านการมองเห็นตามหลักฟิสิกส์ เช่น [8] แต่มาตราส่วนต่อความสว่างสัมบูรณ์ยังคงไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดอยู่

สำนักวิจัยและพัฒนาทาง [1] ได้พัฒนาแอปพลิเคชัน Road Lighting Reality ที่ทำนายค่าความสว่างจากภาพตระกูล JPG ที่ได้จากกล้องมือถือ โดยอาศัยการประมาณค่าความสว่างด้วยวิธีเชิงเส้นจากข้อมูล RGB ของพิกเซลจากรูป JPG และปรับแก้ค่าตามประเภทของมือถือ แอปพลิเคชันนี้สามารถช่วยวัดค่าความสว่างและออกแบบความสว่างที่ต้องการของถนนแต่ละประเภทได้อีกด้วย ดังรูป 1 ซึ่งทดลองใช้งานแอปพลิเคชันบนถนนพระราม 2 โดยผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้จาก ILMD ทว่าการพัฒนาแบบจำลองจากชุดข้อมูลรูปภาพ JPG หรือรูปภาพประเภท LDR นั้นมีข้อจำกัดที่ภาพเก็บข้อมูลได้ที่ 8 บิตและช่วงสีค่าอีกทั้งค่าพิกเซลยังขึ้นอยู่กับค่าการตั้งค่าของอุปกรณ์ถ่ายภาพอย่างมาก เช่น ค่าโฟกัส (Focus) ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เป็นเพียงการอนุมานค่าความสว่างเท่านั้น

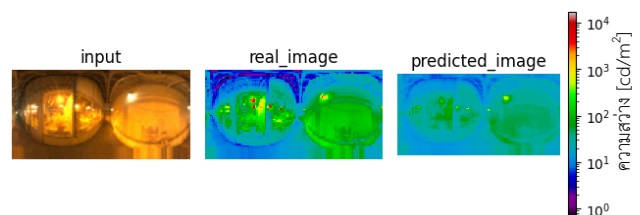
การทำนายค่าความสว่างกายภาพจากภาพ HDR ยังถือเป็นเรื่องใหม่ แม้ว่า Wei และคณะ [9] ได้พยายามที่จะแก้ปัญหานี้ แต่ชุดข้อมูลที่ใช้ศึกษานั้นก็ยังไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของข้อมูลที่เก็บไว้ในพิกเซล โดยเก็บเพียงค่าความสว่างแต่ไม่ได้เก็บความแตกต่างของสี (Chromaticity) และค่าปริมาณแสง (Exposure) ถูกนำมาป้อนเข้าแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ด้วย ทำให้แบบจำลองไม่ได้เรียนรู้ที่จะทำนายความสว่างจากปัจจัยลักษณะทางการภาพ (Visual feature) ของรูป



รูป 1 หน้าจอแสดงแอปพลิเคชัน Road Lighting Reality บน iPhone SE ซ้ายเป็นรูปที่ถ่ายจากถนนและตีกรอบเพื่อสร้างตาราง ตรงกลางเป็นรูปในกรอบที่มีการปรับให้เป็นมุมมองจากด้านบน ขวาเป็นรูปการวิเคราะห์ค่าความสว่าง

เพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมานี้ [10] ได้พัฒนาชุดข้อมูลรูปภาพ HDR ชื่อ Laval Photometric Indoor HDR โดยได้จากกล้อง Canon 5D Mark III และมีการปรับแก้พิกเซลให้สะท้อนกับความความสว่างและความแตกต่างของสี โดยระหว่างถ่ายภาพได้วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Konica Minolta CL-200a จากนั้นจึงนำไปเทียบกับค่าส่องสว่าง (Illuminance) ที่ได้จากการประมวลผลภาพ HDR จากนั้นค่าความส่องสว่างจะถูกปรับแก้ให้ตรงกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดสีโดยคำนึงปัจจัยเรื่องการตั้งค่าของกล้อง ผลลัพธ์ที่ได้เป็นรูป HDR panorama 2,362 รูปที่เก็บค่าความสว่างทางกายภาพและสีได้อย่างแม่นยำ

จากนั้น งานวิจัยดังกล่าวยังได้พัฒนาแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์แบบสถาปัตยกรรม UNet [11] ที่ทำนายค่าความสว่างจากพิกเซลของรูป HDR พร้อมกันนี้ยังได้ทดลองข้อมูลนำเข้าด้วย Tone mapping (γ), ปรับเปลี่ยนให้เป็น 8 บิต (Quantized), และ เพิ่ม Gaussian noise ซึ่งพบว่าแบบจำลองมีความเสถียรต่อการเสื่อมสภาพของภาพนำเข้า โดยแบบจำลองที่ดีที่สุดให้ค่า RMSE เท่ากับ 116.2 และตัวชี้วัด HDR-VDP-3 เท่ากับ 96.4 นอกจากนี้แบบจำลองเดียวกันยังถูกนำไปทำนายค่าความสว่างจากรูปภาพ HDR ที่ถูกสร้างจากภาพ LDR โดยค่าเฉลี่ยไปเพียงเล็กน้อยที่ RMSE เพิ่มขึ้นเป็น 130.6 และ HDR-VDP-3 ลดลงเหลือ 95.5 (RMSE คือ Root Mean Squared Error สำหรับวัดความแม่นยำของการคาดการณ์ทางสถิติ และ HDR-VDP-3 [12] คือตัวชี้วัดที่สามารถคาดการณ์ได้ของความแตกต่างของภาพ คุณภาพ และการบิดเบือนสัญญาณสัมผัสในภาพที่มีความสามารถในการแสดงผลสูง (HDR))



รูป 2 ตัวอย่างการทำนายค่าความสว่างของแบบจำลองบนรูปตัวอย่างจากชุดข้อมูล Laval

ตัวอย่างผลลัพธ์ของงานวิจัยดังแสดงใน รูป 2 โดยความสว่างถูกนำเสนอออกมาในรูปแบบภาพสีเท็จ (False color) ทั้งภาพจริงและภาพที่แบบจำลองสร้างขึ้นใหม่

จากผลการทบทวนวรรณกรรม ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทดลองนำแบบจำลองดังกล่าวมาใช้ประเมินค่าความสว่างบนท้องถนน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาทดแทนวิธีการดำเนินการในปัจจุบัน

3. วิธีการทดลอง

ทางคณะผู้จัดทำได้เลือกคัดเลือกสายทางที่จะดำเนินการทดลอง ณ ถนนพระราม 2 เป็นบริเวณด้านหน้าตึกของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง โดยเส้นทางดังกล่าวจะมีการปิดการจราจรเพื่อการก่อสร้างหลังเวลาสามทุ่ม ทำให้พื้นที่นี้มีความเหมาะสมที่จะตรวจวัดความสว่างบนทางหลวงที่ยังคงใช้สัญจรอย่างต่อเนื่อง เพื่อกันนี้คณะผู้จัดทำได้ทดลองถ่ายภาพถนนชุมชนข้างเคียงกับสนามทดสอบแรก โดยได้ถ่ายไว้ในช่วงเวลาหลังพระอาทิตย์ตกเล็กน้อยเพื่อใช้เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ โดยระยะเวลาในการถ่ายไม่ถึง 10 วินาที

ทั้งนี้กล้องที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นกล้อง Nikon D750 ตั้งค่าปริมาณแสงให้เป็น 0 และไม่ได้ตั้งค่าอะไรเพิ่มเติม โดยถ่ายเก็บภาพให้อยู่ในนามสกุล .NEF (.RAW ของกล้อง Nikon) ภาพตัวอย่างแบบ thumbnail นามสกุล jpg (มีการปรับปรุงภาพ) แสดงในรูป 3



รูป 3 รูปสนามทดสอบในการทดลองบนถนนพระราม 2 (ซ้าย)
และถนนชุมชน (ขวา)

หมายเหตุ คณะผู้จัดทำไม่ได้ทำการวัดตามรูปแบบการติดตั้งและการตั้งกล้องตามแบบมาตรฐานของ CIE [13]

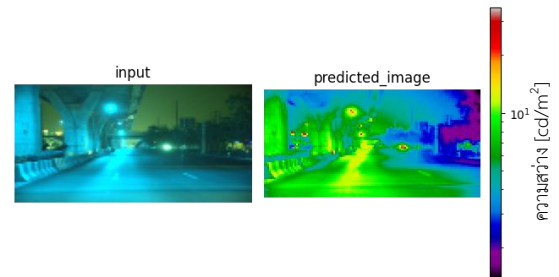
ถัดมาผู้จัดทำได้ทดลองผลิตซ้ำผลการทดลอง ตาม [10] โดยใช้ค่าน้ำหนักจากแบบจำลองที่ได้มีการเรียนรู้ไว้แล้ว และได้ทำการปรับแก้น้ำหนัก (Fine tune) ได้ผลดังรูป 2 ซึ่งแบบจำลองสามารถทำนายความสว่างในภาพรวมได้อย่างแม่นยำ ให้สังเกตที่ตำแหน่งของหลอดไฟและความสว่างบนผนังของรูปที่แบบจำลองสร้างขึ้น มีความใกล้เคียงกับรูปความสว่างที่แท้จริง แต่ทั้งนี้แบบจำลองยังไม่สามารถระบุค่าความสว่างสูง (มากกว่า $5,000 \text{ cd/m}^2$) ได้อย่างแม่นยำมากนัก

จากนั้นจึงได้นำรูปที่ได้จากการถ่ายรูปถนนจริงเข้าสู่แบบจำลองโดยไม่มีการปรับแต่งรูปภาพใดๆทั้งสิ้น เพื่อรักษาสภาพดั้งเดิมของรูปที่กล้องถ่ายภาพมาได้ให้ได้มากที่สุด (ไม่มีการเปลี่ยน Gamma, White Balance, Noise Reduction, Color space ไปจากค่าที่ถ่ายมาในกล้อง) ยกเว้นบิตของรูปภาพจาก 24 เป็น 16 บิต และลดขนาดรูปภาพเหลือ 64×128 พิกเซล

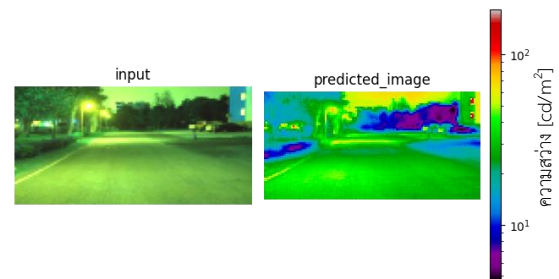
เมื่อได้ความสว่างที่แบบจำลองทำนายจากพิกเซลมาแล้ว จึงได้นำมาตัดเอาส่วนที่เป็นถนนออกมา เพื่อปรับมุมมองให้เป็นมุมมองจากด้านบนเพื่อให้คล้ายคลึงกับการส่องแสงของหลอดไฟและดูความไม่สม่ำเสมอของแสง (Zebra effect) ได้ง่ายขึ้น เพื่อกันนี้ยังได้ปรับให้มีการแสดงผลแบบสามมิติ โดยแบ่งเป็นตารางเพื่อให้ในอนาคตสามารถทำตามมาตรฐานของ CIE ได้สุดท้ายนี้ก็นำค่าความสว่างที่ได้มาเฉลี่ยตามขวาง เพื่อแสดงผลความสว่างตามความยาวของถนนที่ไปวัดมาบนรูปถ่าย street view

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ค่าความสว่างที่ได้จากแบบทดลองแสดงอยู่ในรูป 4 สำหรับถนนพระราม 2 ทางหลวงและรูป 5 สำหรับถนนชุมชน ทั้งสองรูปภาพให้ค่าความสว่างที่สะท้อนกับความเป็นจริง กล่าวคือ แสงจากจุดกำเนิดแสงมีความสว่างมากกว่าแสงสะท้อนจากผิวถนน และท้องฟ้าหลังพระอาทิตย์ตกเล็กน้อยสว่างกว่าท้องฟ้าหลังพระอาทิตย์ตกไปแล้ว (ปล. บริเวณหลังอาคารตัวกลางในรูปของถนนชุมชน มีห้างสรรพสินค้าเปิดอยู่)

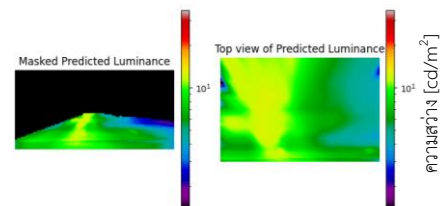


รูป 4 รูปตัวอย่างการทำนายค่าความสว่างจากพิกเซลของทางหลวง

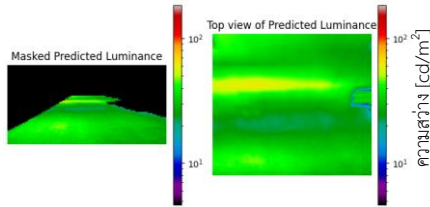


รูป 5 รูปตัวอย่างการทำนายค่าความสว่างจากพิกเซลของถนนชุมชน

เมื่อทำการปรับส่วนของถนนในรูปให้เป็นภาพมุมมองสูง จะได้ความสว่างของถนนทางหลวงและถนนชุมชนตามรูป 8 และรูป 7 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบรูปมุมมองของทั้งสองภาพแล้วจะสังเกตได้ว่าความสว่างของทางหลวงค่อนข้างมีความสม่ำเสมอมากกว่าความสว่างบนถนนชุมชน โดยในรูปมีความแตกต่างของความสว่างตามแนวยาวสูงสุดถึง 40 cd/m^2 ในส่วนของทางหลวง แม้ความสว่างจะไม่เทียบเท่ากับถนนชุมชน แต่ความสม่ำเสมอของความสว่างนั้นดีกว่ามาก

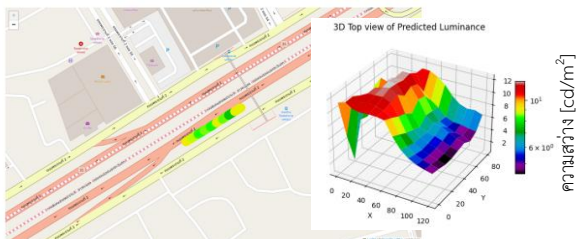


รูป 6 ค่าความสว่างจากพิกเซลของทางหลวงในส่วน of ถนน (ซ้าย)
และปรับให้เป็นภาพมุมมองสูง (ขวา)



รูป 7 ค่าความสว่างจากฟลักซ์ของถนนชุมชนในส่วนของถนน (ซ้าย)
และปรับให้เป็นภาพมุมมองสูง (ขวา)

สุดท้ายนี้ในรูป 8 และรูป 9 คือเมื่อลองนำค่าความสว่างมาพล็อตเป็นสามมิติ โดยการเก็บค่าจากการแบ่งฟลักซ์ออกเป็นทุกๆ 10 ฟลักซ์ทั้งแนวยาว (แกน y) และแนวขวาง (แกน x) ในส่วนที่เป็นถนนของรูปภาพ (หมายเหตุ ตัวเลขที่แสดงบนแกน x และแกน y ไม่ได้หมายถึงระยะทาง – เมตร แต่เป็นลำดับของฟลักซ์) ในรูปสามมิติยังทำให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของความสว่างของถนนชุมชน ซึ่งควรได้รับการปรับปรุงจากเจ้าหน้าที่ทางหลวง จากนั้นนำค่าเฉลี่ยตามแนวขวาง (แกน x) ไปพล็อตลงบนแผนที่ Street view ก็จะได้ข้อมูลฟลักซ์ไปใช้สำหรับการอำนวยความสะดวก



รูป 8 ค่าความสว่างเฉลี่ยตามขวางจากฟลักซ์ของทางหลวงในรูปแบบสามมิติ
และตำแหน่งในแผนที่



รูป 9 ค่าความสว่างเฉลี่ยตามขวางจากฟลักซ์ของถนนชุมชนในรูปแบบสามมิติ
และตำแหน่งในแผนที่

ทว่าเมื่อเก็บค่าความสว่างและความสม่ำเสมอของแสงมาแสดงในตาราง 2 จะสังเกตได้ว่า ผลที่ได้มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานตามตาราง 1

ตาราง 1 ทั้งหมด และค่าความสม่ำเสมอของแสงไม่สอดคล้องกับผลลัพธ์ทางรูปภาพที่ได้แสดงไปก่อนหน้านี้ ซึ่งเหตุผลที่เป็นเช่นนี้คาดว่าเกิดจากกระบวนการเก็บค่าโดยตรงจากฟลักซ์หนึ่งตัว ณ ตำแหน่งจุดตัด ซึ่งควรใช้วิธีเฉลี่ยจากฟลักซ์หลายๆตัวรอบบริเวณจุดตัด ทำให้มีโอกาที่ได้ฟลักซ์เสีย (noise) เข้ามาในการคำนวณ

ตาราง 2 ตารางผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างและความสม่ำเสมอของแสง

รูปจาก	ค่าความสว่างเฉลี่ย (cd/m^2)	ค่าความสว่างมากที่สุด – ต่ำที่สุด (cd/m^2)	ความสม่ำเสมอของแสงมากที่สุด – ต่ำที่สุด	
			U_0	U_L
ทางหลวง	8.1	12.5 – 0.6	12.6 – 0.7	11.2 – 1.1
ชุมชน	33.5	62.1 – 21.8	1.5 – 0.5	1.7 – 1.2

5. บทสรุป

ความสว่างยังคงเป็นปัจจัยสำคัญในการอำนวยความสะดวกบนถนน การวัดค่าความสว่างและความสม่ำเสมอของแสงด้วยวิธีดั้งเดิมนั้นยังถือเป็นเรื่องยุ่งยากและใช้เวลานาน งานวิจัยนี้จึงได้เสนอการใช้แบบจำลองปัญญาประดิษฐ์มาเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง โดยอาศัยเพียงกล้องหรือมือถือที่เก็บรูปภาพได้ กระบวนการนี้ใช้เวลาไม่นานและสามารถทำบนรถที่เคลื่อนตัวช้าได้ หลังจากนั้นจึงนำรูปไปให้แบบจำลองประมวลผลโดยผู้ดำเนินการไม่จำเป็นต้องปรับปรุงรูปภาพหรือตั้งค่าแบบจำลองเพิ่มเติมก็ได้ค่าความสว่างและความสม่ำเสมอของแสงมา ทั้งในแบบเชิงภาพ เชิงตัวเลข และเชิงแผนที่ พร้อมทั้งจะนำไปสนับสนุนการทำงานของเจ้าหน้าที่กรมทางหลวง ทั้งนี้ ผู้ที่จะนำวิธีการนี้ไปใช้ต้องพิจารณาเรื่องของการเก็บค่าความสว่างตามมาตรฐานเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นสากล อีกทั้งควรต้องมีการส่งต่อความรู้ (Transfer Learning) ของแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์อีกเล็กน้อยเพื่อที่จะให้แบบจำลองมีการเรียนรู้จากรูปถ่ายนอกอาคารบ้าง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิศวกรและเจ้าหน้าที่ทุกท่านของสำนักวิจัยและพัฒนางานกรมทางหลวงที่ได้สนับสนุนข้อมูลและข้อเสนอแนะงานวิจัยชิ้นนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] “โครงการศึกษาเทคโนโลยีนวัตกรรมการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างบนทางหลวง,” สำนักวิจัยและพัฒนาทาง, กรมทางหลวง, รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report), 2565.
- [2] R. Gibbons, M. McLean, P. Lutkevich, R. Bhagavathula, and D. Keith, “2023 FHWA Lighting Handbook,” Virginia Tech Transportation Institute, Technical Report FHWA-SA-23-004, Feb. 2023. Accessed: Mar. 30, 2025. [Online]. Available: https://highways.dot.gov/sites/fhwa.dot.gov/files/2023-05/FHWA-Lighting-Handbook_0.pdf
- [3] BS EN 13201 - Road lighting, Jan. 31, 2016. doi: <https://doi.org/10.3403/BSEN13201>.
- [4] S. Stomiński, “Typical Causes of Errors During Measuring Luminance Distributions in Relation to Glare Calculations,” in 2018 VII. Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4), Sep. 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/LUMENV.2018.8521136.

- [5] F. Greffier, V. Boucher, V. Muzet, S. Buschmann, and S. Völker, "A Grid in Perspective for Road Lighting Calculations," LEUKOS, vol. 19, no. 4, pp. 389–404, Oct. 2023, doi: 10.1080/15502724.2022.2135529.
- [6] D. Czyżewski, "The Influence of a Photometric Distance on Luminance Measurements," Energies, vol. 16, no. 10, Art. no. 10, Jan. 2023, doi: 10.3390/en16104166.
- [7] P. E. Debevec and J. Malik, "Recovering high dynamic range radiance maps from photographs," in Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, in SIGGRAPH '97. USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., Aug. 1997, pp. 369–378. doi: 10.1145/258734.258884.
- [8] B. Haefner et al., "Recovering Real-World Reflectance Properties and Shading From HDR Imagery," in 2021 International Conference on 3D Vision (3DV), Dec. 2021, pp. 1075–1084. doi: 10.1109/3DV53792.2021.00115.
- [9] W. Wei et al., "Beyond Visual Attractiveness: Physically Plausible Single Image HDR Reconstruction for Spherical Panoramas," Mar. 24, 2021, arXiv: arXiv:2103.12926. doi: 10.48550/arXiv.2103.12926.
- [10] C. Bolduc, J. Giroux, M. Hébert, C. Demers, and J.-F. Lalonde, "Beyond the Pixel: a Photometrically Calibrated HDR Dataset for Luminance and Color Prediction," Oct. 13, 2023, arXiv: arXiv:2304.12372. doi: 10.48550/arXiv.2304.12372.
- [11] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox, "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation," in Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015, N. Navab, J. Hornegger, W. M. Wells, and A. F. Frangi, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 234–241. doi: 10.1007/978-3-319-24574-4_28.
- [12] R. K. Mantiuk, D. Hammou, and P. Hanji, "HDR-VDP-3: A multi-metric for predicting image differences, quality and contrast distortions in high dynamic range and regular content," Apr. 26, 2023, arXiv: arXiv:2304.13625. doi: 10.48550/arXiv.2304.13625.
- [13] CIE TC 4-15, CIE 140:2019 Road Lighting Calculations, 2nd Edition. doi: 10.25039/TR.140.2019.