วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา
Engineering Journal of Research and Development
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage
ปีที่ 36 ฉบับที่ 1 มกราคม-มีนาคม 2568
Volume 36 Issue 1 January-March 2025
Received 16 September 2024
Revised 8 December 2024
Accepted 24 February 2025

การพัฒนาเครื่องมือสำหรับทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศของยางและพลาสติกในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง

DEVELOPMENT OF A TOOL FOR TESTING THE SUNLIGHT AND WEATHER RESISTANCE OF RUBBER AND PLASTIC IN OUTDOOR ENVIRONMENTS

ยุทธชัย เรืองรัตน์[1*], อรรถชัย คงตุก[2] และอัครพงษ์ แซ่จอง[3]
[1*]วิศวกรชำนาญการพิเศษ, สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[2]วิศวกร, สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[3]นักวิชาการคอมพิวเตอร์, สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[*]*Corresponding author, E-Mail: yuthachai.pay@gmail.com*

บทคัดย่อ

การพัฒนาเครื่องมือสำหรับทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศของยางและพลาสติกในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง ที่ได้พัฒนาขึ้น เป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทดสอบการเสื่อมสภาพของยางและพลาสติก และบันทึกค่าสภาพอากาศที่เป็นปัจจัยของการเสื่อมสภาพในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริงของวัสดุจำพวกยางและพลาสติก ซึ่งการบริการทดสอบอ้างอิงการเตรียมตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 2377-2559 แผ่นยางปูพื้น เพื่อทดสอบสมบัติของวัสดุจำพวกยางและพลาสติก โดยรายงานผลการทดสอบตัวอย่างยางและพลาสติกในรูปแบบการบันทึกภาพลักษณะการเสื่อมสภาพผิวตัวอย่างทดสอบที่กำลังขยาย 2 เท่า (2×) เทียบกับสเกลบาร์ และข้อมูลสภาพอากาศตลอดระยะเวลาการทดสอบ 8 สัปดาห์ จากผลการทดสอบตัวอย่างยางกรวยจราจรจากยางธรรมชาติ ของสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยรายงานผลค่าสภาพอากาศในการทดสอบประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิ, ความชื้น, อุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่าง, ดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี, ความเข้มแสง และค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงระยะเวลาในการทดสอบ โดยการตรวจวัดค่าสภาพแวดล้อม ตัวตรวจวัดมีค่าความผิดพลาดจากการวัด เทียบกับเครื่องมือทวนสอบที่ผ่านการสอบเทียบ อยู่ในช่วงเกณฑ์การยอมรับ และได้ผลเป็นที่น่าพอใจ การบันทึกและการเข้าถึงข้อมูลค่าสภาพอากาศในการทดสอบสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว ผ่านเว็บบราวเซอร์บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยคอมพิวเตอร์ หรือสมาร์ทโฟนได้ตลอดเวลา นอกจากนี้ เครื่องมือทดสอบยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการบริการทดสอบที่ดีให้กับผู้มารับบริการทดสอบ รวมถึงผู้ประกอบการสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทดสอบแทนการทดสอบด้วยเครื่อง QSUN Accelerated Weathering Tester ซึ่งเป็นเครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่มีราคาสูง นำเข้าจากต่างประเทศ โดยเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้นสามารถทดสอบและรายงานผลการทดสอบได้ตามความต้องการของผู้ที่มาใช้บริการทดสอบร้องขอได้

คำสำคัญ: ความทนต่อแสงแดด; สภาพอากาศ; เสื่อมสภาพ; สภาพแวดล้อมกลางแจ้ง

Yuttachai Ruangrat[1*], Attachai Kongtuk[2] and Akkarapong Saejong[3]
[1*]Engineer Senior Professional Level, Office of Scientific Instrument and Testing, Prince of Songkla University, Thailand.
[2]Engineer, Office of Scientific Instrument and Testing, Prince of Songkla University, Thailand.
[3]Computer Technical Officer, Office of Scientific Instrument and Testing, Prince of Songkla University, Thailand.

ABSTRACT

This abstract is concerning the Development of a Tool for Testing the Resistance of Rubber and Plastics to Sunlight and Weathering in Outdoor Environments for providing a convenient method for evaluating the degradation of these materials. This tool records weather factors that contribute to the deterioration of rubber and plastic materials under real-world conditions. The testing service complies with the preparation of test samples based on Industrial Product Standard (TIS) 2377-2559 (2016) for rubber flooring sheets, aimed at evaluating the properties of rubber and plastic materials. The test results include visual documentation of surface degradation on test samples at a magnification of 2x (2×) compared to a scale bar, along with weather data recorded over an 8-week testing period. For instance, the tests on natural rubber traffic cones conducted by the Office of Scientific Instrument and Testing at Prince of Songkla University reported weather data, including temperature, humidity, sample surface temperature, UV intensity index, light intensity, and solar energy levels during the testing period. Environmental measurements demonstrated acceptable error margins compared to calibrated reference instruments, ensuring reliable and satisfactory results. Data recording and access are simple and fast, available anytime through a web browser on a computer or smartphone connected to the internet. Additionally, this testing tool serves as a cost-effective alternative for businesses, reducing expenses compared to the QSUN Accelerated Weathering Tester, an expensive imported scientific instrument. The developed tool can fulfill specific testing and reporting requirements, providing an efficient, customizable solution for evaluating the durability of rubber and plastic materials.

KEYWORDS: Sunlight Resistance; Weathering; Degradation; Outdoor Environment

1. บทนำ

วัสดุจำพวกยางและพลาสติกที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์และนำไปสู่การใช้ประโยชน์ ซึ่งพบว่าการนำชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงได้ระยะเวลาหนึ่ง แล้วพบมีการเสื่อมสภาพของวัสดุ บ้างก็ไม่สามารถใช้งานต่อได้ ดังนั้น การทดสอบวัสดุก่อนการนำไปใช้ประโยชน์ จึงเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่มีความสำคัญ เพื่อเป็นการยืนยันและสังเกตประสิทธิภาพของวัสดุ ก่อนการนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน หรือเป็นผลิตภัณฑ์สู่การนำไปใช้งานจริง ซึ่งปัจจุบันการทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง ของวัสดุจำพวกยางและพลาสติก พบว่ายังไม่มีห้องปฏิบัติการทดสอบใดที่เปิดให้บริการทดสอบ เพื่อเป็นสังเกตสมบัติการทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง โดยการเสื่อมสภาพของวัสดุดังกล่าว เช่น การเปลี่ยนสี การซีดจางของสี การเหลืองตัว การขุ่น การหลุดร่อนเป็นชอล์กชิ้นงานแตกลายงา พื้นผิวเสียหาย เกิดการเปราะแตกง่าย และการสูญเสียความต้านทานแรงดึง เป็นต้น [1] โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพหลักๆ ที่สำคัญประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มข้นรังสียูวี ซึ่งการทดสอบอ้างอิงการเตรียมตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 2377-2559 แผ่นยางปูพื้น และเทคนิคการออกแบบเครื่องมือทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม JIS D 0205 การทดสอบวัสดุชิ้นส่วนยานยนต์ [2] ซึ่งการทดสอบวัสดุจำพวกยางและพลาสติกจะรายงานผลการทดสอบด้วยภาพลักษณะผิวตัวอย่าง พร้อมข้อมูลของสภาพอากาศในสภาพแวดล้อมของการทดสอบตามระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งการทดสอบจะมีการบันทึกผลทุก 2 สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการทดสอบ 8 สัปดาห์ หรือตามระยะเวลาที่ตกลงกันของการทดสอบ โดยสมบัติของวัสดุจำพวกยาง หรือพลาสติกที่ดีต้องไม่มีการเสื่อมสภาพจากสภาพแวดล้อมการนำไปใช้งานจริง หรือมีการเสื่อมสภาพน้อยมาก เพื่อบ่งบอกถึงคุณสมบัติ และประสิทธิภาพของวัสดุจำพวกยาง หรือพลาสติกที่ดี นำไปสู่การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น กรวยยางจราจร ยางรถยนต์ ชิ้นส่วนยานยนต์ ขอบยางประตู เป็นต้น ต่อไป

ซึ่งการทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศ ปัจจุบันสามารถทดสอบโดยเครื่องมือทดสอบระบบปิดด้วยเครื่อง QSUN Accelerated Weathering Tester เป็นเครื่องมือที่มีจำหน่ายและนำเข้าจากต่างประเทศ การทดสอบเหมาะสำหรับงานวิจัยและ การพัฒนาสูตรส่วนผสมในการผลิตยางที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเฉพาะงาน เพื่อยืนยันความทนแสงแดดเสมือนจริง ด้วยจากการจำลองและเร่งสภาวะการทดสอบ [3] ซึ่งสามารถตั้งค่าสภาพแวดล้อมการทดสอบค่าสูงค่าหนึ่งแบบคงที่และทราบค่าที่แน่นอน ด้วยค่าความเข้มข้นรังสียูวี พลังงานแสงอาทิตย์ อุณภูมิ และความชื้นที่กำหนดได้ตามต้องการ ทำให้ทราบผลการทดสอบในระยะเวลาที่รวดเร็ว ผลจากการทดสอบจะพบการแตกลายงา และการซีดจางบนผิวตัวอย่างทดสอบ เป็นต้น แต่สำหรับเครื่องมือทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศของยางและพลาสติกในสภาพแวดล้อมกลางแจ้งที่ได้พัฒนาขึ้นนั้น เหมาะสำหรับการทดสอบในกลุ่มลูกค้าบริษัท หรือผู้ประกอบการ ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์จากยางที่อยู่ระหว่างการทดลองทดสอบ การวิจัย และพัฒนาสูตรการผสมยางให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ซึ่งเป็นการทดสอบในลักษณะการใช้งานจริง ดังนั้น การทดสอบจึงใช้เวลาในการทดสอบที่ยาวนานกว่าการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบในระบบปิด เนื่องจากในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง ค่าความเข้มข้นรังสียูวี และปัจจัยในการเสื่อมสภาพอื่นๆ ตามธรรมชาติของสภาพอากาศจริงที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและไม่สามารถกำหนดให้เป็นค่าคงที่ได้

การพัฒนาเครื่องมือสำหรับทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศของยางและพลาสติกในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่เป็นการพัฒนาเครื่องมือทดสอบ สำหรับการเปิดบริการทดสอบให้กับห้องปฏิบัติการทดสอบ เพื่อตอบสนองการทดสอบให้กับผู้มารับการบริการทดสอบทางด้านยางและวัสดุ รวมถึงผู้ประกอบการที่มีความต้องการทดสอบวัสดุจำพวกยางหรือพลาสติก นำผลการทดสอบที่ได้ไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพ เพื่อผลิตวัสดุจำพวกยางและพลาสติก รวมทั้งการนำไปสู่การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป โดยหลักการวัดค่าการทดสอบของเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้น จะมีการติดตั้งตัวตรวจวัด ประกอบด้วยตัวตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น อุณหภูมิผิวสัมผัวตัวอย่าง ดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี ความเข้มแสง และค่าพลังงานแสงอาทิตย์รอบตัวอย่างยาง ขณะทำการทดสอบ และบันทึกค่าดังกล่าวไว้ ซึ่งเป็นสภาพอากาศของการทดสอบที่เปลี่ยนแปลงไปทุก 1 นาที โดยการบันทึกค่าในรูปแบบฐานข้อมูล และแสดงผลด้วยกราฟแบบเป็นค่าปัจจุบัน สามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้บนเว็บบราวเซอร์ ซึ่งสามารถเข้าถึงข้อมูลการทดสอบได้ตลอดเวลา ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพิ่มความสะดวก รวดเร็ว ในการบันทึกค่าสภาพอากาศจากการทดสอบ และนำข้อมูลเพื่อมาใช้ในการรายงานผลการทดสอบได้เป็นอย่างดี

จากปัญหา และความสำคัญดังกล่าว ทางทีมผู้พัฒนาเครื่องมือทดสอบพบว่า สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการทดสอบ ยังขาดความพร้อมสำหรับการบริการทดสอบในรายการทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศของยางและพลาสติกในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง จึงเป็นที่มาในการพัฒนาเครื่องมือทดสอบ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าและเป็นการพัฒนาเครื่องมือทดสอบขึ้นมาใช้งานในหน่วยงานภายในประเทศ ลดการนำเข้าเครื่องมือทดสอบที่มีราคาสูง และเปิดให้บริการทดสอบตามความต้องการของลูกค้าที่เข้ามารับบริการทดสอบ ตามรายการทดสอบ ดังกล่าวได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาเครื่องมือสำหรับทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศของยางและพลาสติกในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง

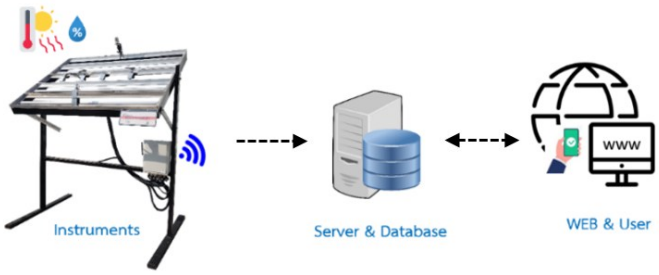
2.2 เพื่อทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศของยางและพลาสติกในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง ในผลิตภัณฑ์จากยางและพลาสติกที่ผลิตโดยผู้ประกอบการ

2.3 เพื่อพัฒนาเครื่องมือทดสอบวัสดุจำพวกยางและพลาสติกขึ้นใช้ภายในหน่วยงาน ลดการนำเข้าเครื่องมือทดสอบที่มีราคาสูงจากต่างประเทศ

3. การออกแบบระบบตรวจวัดค่าของเครื่องมือทดสอบ

การออกแบบระบบการวัดค่าสำหรับเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้น ผู้พัฒนาเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการประมวลผล เบอร์ ESP8266 [4] เนื่องจากมีขนาดเล็ก กะทัดรัด สามารถเชื่อมต่อกับสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย (Wi-Fi) ได้ภายในตัว รวมทั้งมีความสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน โดยตัวประมวลผลเชื่อมต่อกับตัวตรวจวัด เบอร์ SHT21 ซึ่งเป็นตัวตรวจวัดที่สามารถอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นได้ภายในตัวเดียวกัน ผ่านทางขา D2 และ D2 การเชื่อมต่อสื่อสารแบบ I^2C สามารถวัดค่าอุณหภูมิได้ในช่วง -40 ถึง 125 ± 3 ^oC ความละเอียดในการวัด 0.02 ^oC และความชื้นได้ตั้งแต่ 0 ถึง 100 ± 2 %RH ความละเอียดในการวัด 0.04 %RH [5] ซึ่งมีคุณสมบัติช่วงการใช้งานที่ครอบคลุมช่วงการทดสอบที่ใช้งาน เฉลี่ยในช่วงอุณหภูมิ 23 ถึง 60 ^oC และความชื้นในช่วง 20 ถึง 80 %RH และเชื่อมต่อกับตัวตรวจวัดค่าความเข้มแสง เบอร์ BH1750FVI โดยการขนานผ่านทางขา D1 และ D2 การเชื่อมต่อสื่อสารแบบ I^2C เช่นกัน สามารถวัดความเข้มแสงได้ตั้งแต่ 1 ถึง 65,535 Lux [6] ความละเอียดในการวัด 1 Lux ซึ่งมีคุณสมบัติช่วงการใช้งานที่ครอบคลุมช่วงการทดสอบที่ใช้งาน เฉลี่ยในช่วงความเข้มแสง 0 ถึง 30,000 Lux และมีเชื่อมต่อกับตัวตรวจวัดอุณหภูมิที่ผิวสัมผัสของตัวอย่างทดสอบด้วยตัวตรวจวัดค่าอุณหภูมิ เบอร์ DS18b20 ผ่านทางขา D5 โดยการเชื่อมต่อสื่อสารแบบ 1-Wire ซึ่งเป็นการสื่อสารข้อมูลมีการเชื่อมต่อสายเพียงสายเดียว ทำให้ประหยัดขาใช้งานของตัวประมวลผล สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -55 ถึง 125 ± 0.5 ^oC ความละเอียดในการวัด 0.5 ^oC [7] มีคุณสมบัติช่วงการใช้งานที่ครอบคลุมช่วงการทดสอบที่ใช้งาน เฉลี่ยในช่วงอุณหภูมิ 23 ถึง 60 ^oC และมีการเชื่อมต่อกับตัวตรวจวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ Solar Detector ผ่านทางขา A0 ช่วงการวัดตั้งแต่ 0.1 ถึง 3,999 ± 10 W/m^2 ความละเอียดในการวัด 0.1 W/m^2 [8] ซึ่งมีคุณสมบัติช่วงการใช้งานที่ครอบคลุมช่วงการทดสอบที่ใช้งาน เฉลี่ยในช่วงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ 0 ถึง 1,000 W/m^2 และเป็นตัวตรวจวัดชนิดเดียวกันกับตัวตรวจวัดที่ใช้ในการทวบสอบค่าด้วยเครื่องมือที่ผ่านการสอบเทียบ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล เบอร์ ESP8266 อีกตัวหนึ่ง สำหรับการเชื่อมต่อกับตัวตรวจวัดค่าดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี เบอร์ UVM-30A [9] ผ่านทางขา A0 การเชื่อมต่อสื่อสารแบบ ADC ความละเอียดในการวัด 10 บิต ช่วงดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี ตั้งแต่ 0 ถึง 11 มีคุณสมบัติช่วงการใช้งานที่ครอบคลุมช่วงดัชนีความเข้มข้นรังสียูวีการทดสอบที่ใช้งาน ตั้งแต่ 0 ถึง 6 ซึ่งตัวตรวจวัดดังกล่าว ที่ผู้พัฒนาเครื่องมือเลือกใช้ โดยพิจารณาจากขนาดที่เล็กกะทัดรัด ประหยัดพลังงาน อุปกรณ์มีมาตรฐานและมีความสามารถที่จะป้องกันฝุ่นและป้องกันน้ำได้จากทุกทิศทาง (IP65) มีราคาที่ไม่สูงมากนักเหมาะสำหรับงานพัฒนาเครื่องมือ หรือเครื่องมือต้นแบบ ตลอดมีความละเอียดในการวัดและช่วงการใช้งานครอบคลุมช่วงการใช้งานจริง ที่เหมาะสมตามสภาพแวดล้อมการทดสอบ ซึ่งตามมาตรฐานการทดสอบอ้างอิงไม่ได้กล่าวถึงความละเอียดในการวัดค่า ซึ่งคุณสมบัติของตัวตรวจวัดที่ผู้พัฒนาเครื่องมือเลือกใช้ จึงเป็นคุณสมบัติพื้นฐานทั่วไปของตัวตรวจวัดเท่านั้น

โดยการทำงานของเครื่องมือทดสอบ ตัวประมวลผลจะทำการวัดค่าสภาพอากาศด้วยตัวตรวจวัดดังกล่าวทุก 1 นาที และส่งผ่านค่าข้อมูลที่ทำการวัดได้ ผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายไปยังระบบบันทึกค่า (Server) ในรูปแบบฐานข้อมูล (Database) และนำผลข้อมูลที่จัดเก็บมาแสดงผลผ่านหน้าต่างเว็บบราวเซอร์ โดยผู้ทดสอบที่ใช้งานเครื่องมือทดสอบ สามารถเข้าถึงข้อมูลการทดสอบได้ตลอดเวลา ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยคอมพิวเตอร์ หรือสมาร์ทโฟน โดยแผนภาพการออกแบบการทำงานของระบบการตรวจวัดค่าของเครื่องมือทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศที่พัฒนาขึ้น ดังรูปที่ 1



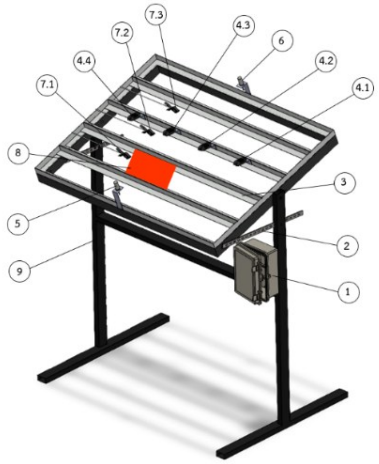
รูปที่ 1 แผนภาพการออกแบบระบบตรวจวัดค่าของเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้น

ซึ่งผู้ทดสอบสามารถเรียกดูผลของค่าสภาพอากาศในการทดสอบได้ในลักษณะกราฟ และการเรียกดูข้อมูลค่าสภาพอากาศย้อนหลังได้ ตลอดจนสามารถนำค่าสภาพอากาศในการทดสอบที่บันทึกไว้ ออกมาในลักษณะข้อมูลดิบที่เป็นรูปแบบไฟล์ Excel ได้ ทำให้ผู้ทดสอบมีความสะดวกในบันทึก ติดตาม และนำผลสภาพอากาศในการทดสอบ หรือระหว่างการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบ เพื่อใช้ในการรายงานผลการทดสอบให้กับผู้มารับการบริการทดสอบได้อย่างสะดวก และรวดเร็ว

4. การออกแบบเครื่องมือทดสอบต้นแบบ

โครงสร้างเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้น เลือกใช้การขึ้นรูปด้วยเหล็กกล่องผ่านการชุบและเคลือบด้วยสังกะสีป้องกันการเกิดสนิม เนื่องจากเครื่องมือออกแบบให้สามารถใช้งานได้กลางแจ้งภายนอกอาคาร ลักษณะตัวเครื่องมือทดสอบมีลักษณะเป็นถาดสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีช่องสำหรับวางตัวอย่างทดสอบ การออกแบบโดยใช้โปรแกรมออกแบบสามมิติ ซึ่งสามารถออกแบบโครงสร้างสามมิติได้ ทำให้เห็นภาพโครงร่างที่ออกแบบก่อนที่จะสร้างเป็นชิ้นงานจริง สามารถแก้ไขแบบให้ได้ตามที่ต้องการได้ง่าย และเมื่อได้โครงร่างของเครื่องมือทดสอบแล้ว จากนั้น ออกแบบในส่วนของราวสำหรับวางตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ โดยใช้อะลูมิเนียมฉากลักษณะการวางราวขนานเป็นช่วง โดยเว้นช่องว่างระหว่างราวตามระยะที่พอดีสำหรับการวางแผ่นยางตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ ซึ่งในรัศมีการวางตัวอย่างทดสอบ จะติดตั้งตัวตรวจวัดสภาพอากาศจริงของการทดสอบ ประกอบด้วย ตัวตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น จำนวน 4 จุด การติดตั้งใช้งานเป็นลักษณะตัวหนีบจับยึดกับราว สามารถปรับแต่งตำแหน่งได้อิสระ ตัวตรวจวัดจะติดตั้งอยู่เหนือตัวอย่างทดสอบประมาณ 10 เซนติเมตร ครอบคลุมพื้นที่วางตัวอย่างที่ทดสอบ เพื่อเป็นตัวแทนของค่าอุณหภูมิและความชื้นในการทดสอบ และมีตัวตรวจวัดอุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่างทดสอบ จำนวน 3 จุด ซึ่งติดตั้งแนบสนิทติดกับผิวตัวอย่างทดสอบ เพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิพื้นผิวตัวอย่างอีกค่าหนึ่ง ประกอบกับค่าอุณหภูมิที่ติดตั้งเหนือตัวอย่างตามได้ที่กล่าวแล้วข้างต้น และมีตัวตรวจวัดค่าดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี จำนวน 1 จุด ตัวตรวจวัดความเข้มของแสง จำนวน 1 จุด ซึ่งติดตั้งเหนือตัวอย่างที่ระยะประมาณ 10 เซนติเมตร บริเวณขอบถาดรองรับตัวอย่าง โดยหน้าสัมผัสรับแสงขนานกับผิวตัวอย่างทดสอบ ซึ่งเป็นมุมรับแสงเดียวกับที่ตัวอย่างได้รับ และตัวตรวจวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์อีกจำนวน 1 จุด ซึ่งได้ใช้หลักการติดตั้งเช่นเดียวกัน โดยตำแหน่งการติดตั้งตัวตรวจวัด ทั้งในส่วนของระยะห่างระหว่างตัวตรวจวัดและตัวอย่างทดสอบ และระดับความสูงในการติดตั้งเทียบกับผิวตัวอย่างทดสอบ ซึ่งในการทดสอบไม่ได้มีการกำหนดค่าระยะที่แน่นอน โดยทั้งนี้ให้พิจารณาตามความเหมาะสมของสภาพที่เป็นตัวแทนของสภาพอากาศในการทดสอบให้ได้มากที่สุดเท่านั้น หรือแล้วแต่การตกลงของการทดสอบนั้นๆ ตามผู้มารับบริการทดสอบร้องขอ พร้อมทั้งได้จัดวางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และส่วนควบคุมการวัดค่าและส่งค่าแบบไร้สายไว้ในตำแหน่งด้านหน้าของตัวเครื่องมือทดสอบ ซึ่งถาดวางตัวอย่างทดสอบจะทำมุมประมาณ 35 องศา กับแนวระนาบ ซึ่งมุมดังกล่าวเป็นมุมเริ่มแรกที่ใช้ในการทดสอบ

ทั้งนี้สำหรับมุมรับแสงการทดสอบก็ให้ขึ้นอยู่กับการตกลงของการทดสอบนั้น และขึ้นอยู่ตามความต้องการของการทดสอบแต่ละตัวอย่างทดสอบ หรือตามความต้องการของผู้มารับบริการทดสอบร้องขอ ซึ่งถาดวางตัวอย่างสามารถปรับระดับมุมเอียงได้ตามมุมที่ต้องการ นอกจากนี้ผู้พัฒนาได้ออกแบบให้ตัวถาดและราววางตัวอย่างสูงเหนือจากพื้นที่ตั้งที่ระยะ 120 เซนติเมตร เพื่อลดอุณหภูมิจากพื้นที่จะส่งผลต่อตัวอย่างทดสอบ โดยเครื่องมือทดสอบใช้พลังงานไฟฟ้าจากตัวอาคาร ซึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกำลังไฟฟ้าหลักที่ใช้ในการทำงานของเครื่องมือทดสอบ และต่อไปยังกล่องควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่ภายในตัวเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้น ซึ่งสามารถที่จะใช้งานได้อย่างต่อเนื่องประมาณ 5 ชั่วโมงในกรณีที่ไฟฟ้าหลักขัดข้อง ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ลักษณะของเครื่องมือทดสอบที่ทำการออกแบบ ดังรูปที่ 2 และรายละเอียดชื่อส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบ ดังตารางที่ 1



รูปที่ 2 เครื่องมือทดสอบที่ออกแบบสามมิติ และหมายเลขอธิบายชื่อส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบ

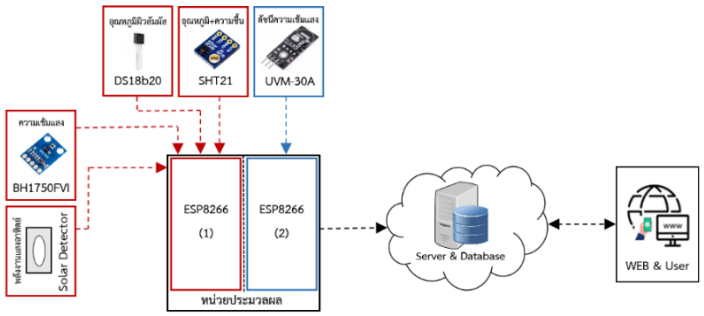
ตารางที่ 1 รายละเอียดหมายเลขอธิบายและชื่อส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบ

หมายเลข	คำอธิบาย / ชื่อส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบ
1	ชุดควบคุมการอ่านและส่งค่าสภาพอากาศการทดสอบแบบไร้สาย (Wi-Fi)
2	แขนปรับระยะมุมรับแสง
3	ราวสำหรับวางตัวอย่างทดสอบ
4	ตัวตรวจวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้น หน่วย ^{o}C และ %RH ; โดยที่ 4.1-4.4 เป็นจุดวัดที่ 1-4 ตามลำดับ
5	ตัวตรวจวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ หน่วย W/m^2
6	ตัวตรวจวัดค่าดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี และตัวตรวจวัดค่าความเข้มแสง หน่วย Lux
7	ตัวตรวจวัดค่าอุณหภูมิพื้นผิวสัมผัสตัวอย่าง หน่วย ^{o}C ; โดยที่ 7.1-7.3 เป็นจุดวัดที่ 1-3 ตามลำดับ
8	ตัวอย่างยางที่ใช้สำหรับการทดสอบ
9	เหล็กกล่องที่เคลือบด้วยสังกะสีสำหรับยึดและเป็นโครงสร้างเครื่องมือทดสอบ

เครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้น สามารถสร้างจริงตามแบบ และมีการติดตั้งตัวตรวจวัดในตำแหน่งต่างๆ บนเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้น ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 เครื่องมือทดสอบจริงที่สร้างตามแบบและการติดตั้งตัวตรวจวัด

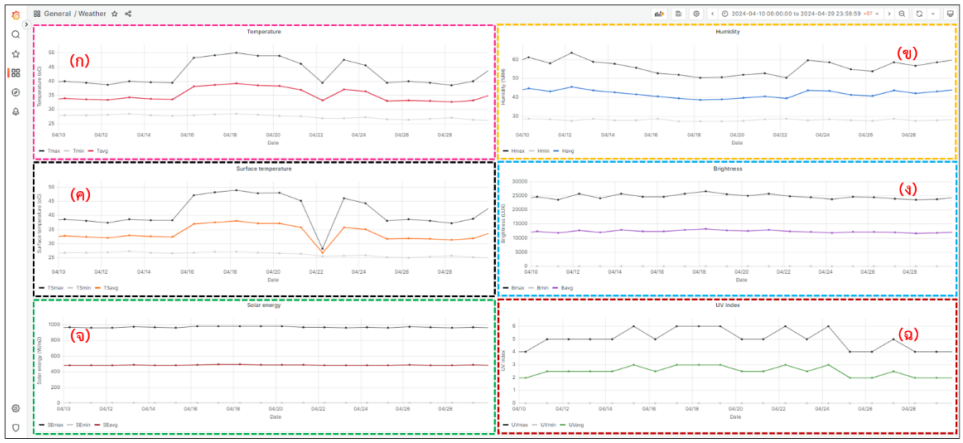
การทำงานของเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้น เป็นลักษณะเครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบตัวอย่างที่เป็นวัสดุจำพวกยางและพลาสติก เพื่อหาสมบัติความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศของยางและพลาสติกในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวก ที่ใช้สำหรับการทดสอบสมบัติของวัสดุจำพวกยางและพลาสติก เพื่อสังเกตการเสื่อมสภาพ เช่น การเปลี่ยนสี การซีดจางของสี การเหลืองตัว การหลุดออก การขุ่น การหลุดร่อนเป็นชอล์ก ชิ้นงานแตกลายงา พื้นผิวเสียหาย เกิดการเปราะแตกง่าย การสูญเสียความต้านทานแรงดึง เป็นต้น ของผิวตัวอย่างทดสอบจากพฤติกรรมความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศในสภาพแวดล้อมที่อยู่กลางแจ้ง โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของวัสดุจำพวกยางและพลาสติกที่พบได้โดยทั่วไป ประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มข้นรังสียูวี ความเข้มแสง และพลังงานแสงอาทิตย์ในสภาพอากาศ การทดสอบโดยการติดตั้งตัวอย่างยางที่มีความต้องการทดสอบ ซึ่งการเตรียมตัวอย่างยางทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 2377-2559 การทดสอบแผ่นยางปูพื้น โดยกำหนดให้นำตัวอย่างยางที่เป็นตัวอย่างจากชิ้นผลิตภัณฑ์ หรือตัวอย่างที่ตัดจากผลิตภัณฑ์ ขนาดความกว้าง ความยาวไม่น้อยกว่า 75 มิลลิเมตร และ 150 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยที่ใช้ความหนา 3 มิลลิเมตร สำหรับชิ้นงานพลาสติก และความหนา 2 มิลลิเมตร สำหรับตัวอย่างที่เป็นยาง ซึ่งทำการวางตัวอย่างทดสอบลงบนราวเครื่องมือทดสอบโดยให้ตัวอย่างวางทำมุม 35 องศา หรือองศาตามที่ตกลงของการทดสอบ กับแสงแดดที่ส่องลงมาในทางทิศใต้ ตามระยะเวลาที่ตกลงของการทดสอบ (โดยการทดสอบในกรณีนี้ กำหนดให้ทำการทดสอบตัวอย่างเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ตามระยะเวลาที่ผู้มารับบริการทดสอบต้องการ) เครื่องมือทดสอบทำงานด้วยระบบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ ที่ชาร์จประจุไฟฟ้ามาจาก พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจากตัวอาคาร ซึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้าหลักจ่ายให้กับวงจรควบคุมการอ่านค่าจากตัวตรวจวัด โดยวงจรควบคุมการอ่านค่า จะอ่านค่าสภาพอากาศ ประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิ ความชื้น [10] อุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่าง ดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี ความเข้มแสง และค่าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยตัวตรวจวัดที่ติดตั้งอยู่บริเวณรอบตัวอย่างยางที่ทำการทดสอบ ซึ่งค่าสภาพอากาศดังกล่าวจะถูกเก็บบันทึกค่าทุก 1 นาที รวบรวมค่าเป็นข้อมูลส่งไปเก็บยังระบบบันทึกค่าในรูปแบบของฐานข้อมูล [11], [12] ตลอดระยะเวลาของการทดสอบ ซึ่งผู้ทดสอบสามารถเข้าถึงข้อมูล และนำค่าสภาพอากาศ เพื่อใช้สำหรับการรายงานผลสภาพอากาศของการทดสอบได้ ผ่านทางเว็บบราวเซอร์ของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ตลอดเวลา ซึ่งลักษณะไดอะแกรมของวงจรวัดค่าสภาพอากาศของเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้น ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ไดอะแกรมของวงจรวัดค่าสภาพอากาศของเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้น

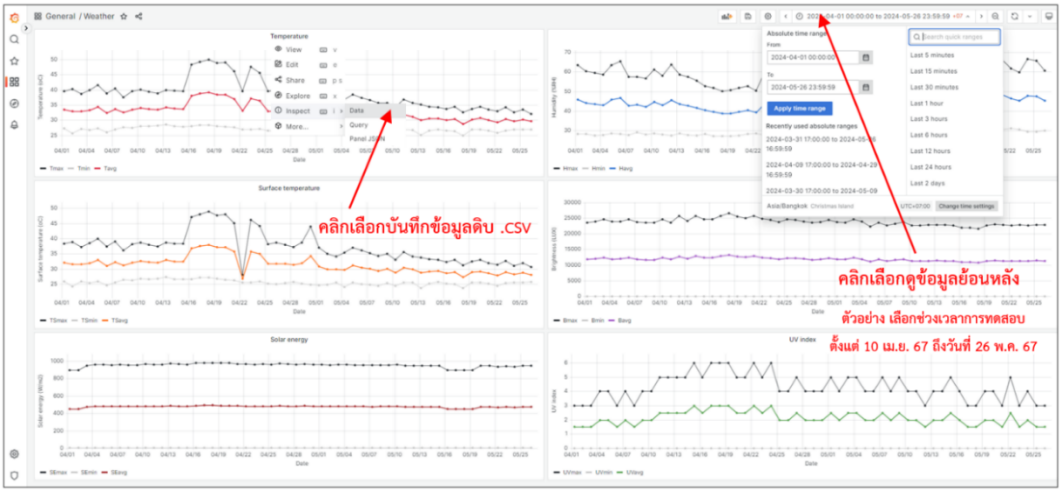
5. การออกแบบการบันทึกค่าและแสดงผลข้อมูล

การออกแบบการบันทึกค่าและแสดงผลค่าสภาพอากาศจากข้อมูลที่จัดเก็บได้ โดยอาศัยการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาซี (C) เพื่อกำหนดให้ตัวประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ ESP8266 [13] ทำการอ่านค่าสภาพอากาศในการทดสอบจากตัวตรวจวัด ซึ่งประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิและความชื้น จำนวน 4 ค่า, ค่าอุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่าง จำนวน 3 ค่า, ค่าดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี จำนวน 1 ค่า, ค่าความเข้มแสง จำนวน 1 ค่า และค่าพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวน 1 ค่า พร้อมตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล จากนั้น ทำการส่งผ่านค่าที่ทำการอ่านได้ ส่งผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังระบบบันทึกค่า โดยการเก็บข้อมูลในรูปแบบของฐานข้อมูล ผ่านทางโปรแกรมพีเอชพี (PHP) มีการออกแบบตารางของข้อมูลโดยแยกตารางของแต่ละค่าที่ได้ทำการบันทึก เพื่อให้การประมวลผลข้อมูลมีความรวดเร็ว ลดเวลาจากการกรองข้อมูล และนำข้อมูลมาแสดงผลในลักษณะกราฟผ่านหน้าต่างเว็บบราวเซอร์ การแสดงผลข้อมูลจะแสดงทุก 1 นาที ซึ่งเป็นเวลาเดียวกันกับช่วงเวลาที่ตัวประมวลผลทำการอ่านและส่งค่าข้อมูลมาเก็บบันทึกในฐานข้อมูล โดยหน้าต่างหลักจะเลือกแสดงผลข้อมูลจากค่าปัจจุบันที่เป็นข้อมูลล่าสุดย้อนหลังไปจำนวน 20 ค่าข้อมูล และข้อมูลจะมีการจัดเก็บตลอดเวลา ซึ่งนอกจากนี้ ผู้พัฒนาโปรแกรมยังได้พัฒนาให้ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังในช่วง วัน เวลา ที่ต้องการได้ผ่านเมนูทางแถบด้านบนฝั่งขวาของหน้าต่างหลัก และผู้ทดสอบสามารถนำค่าสภาพอากาศในการทดสอบที่ระบบบันทึกไว้ ออกมาในลักษณะข้อมูลดิบในรูปแบบไฟล์ Excel และกราฟในแบบรูปภาพ เพื่อใช้ในการรายงานผลสภาพอากาศของการทดสอบ ตลอดระยะเวลาการทดสอบตัวอย่างด้วยเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้นให้กับลูกค้า หรือผู้มารับการบริการทดสอบ ลักษณะตัวอย่างหน้าต่างหลักของการแสดงผลกราฟบนเว็บบราวเซอร์ และการเรียกดูผลค่าสภาพอากาศย้อนหลังจากการทดสอบ ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 5 ตัวอย่างหน้าต่างหลักบนเว็บบราวเซอร์ที่แสดงผลค่าสภาพอากาศระหว่างการทดสอบ

จากรูปที่ 5 เป็นลักษณะตัวอย่างหน้าต่างหลัก บนเว็บบราวเซอร์ที่แสดงผลค่าสภาพอากาศระหว่างการทดสอบ ซึ่งผู้ทดสอบสามารถเข้าดูค่าสภาพอากาศระหว่างการทดสอบได้ตลอดเวลา โดยพื้นที่หน้าต่างหลักจะถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่กราฟย่อยแต่ละค่าของข้อมูลที่ถูกจัดเก็บทั้งหมด 6 กราฟ ซึ่งข้อมูลจะถูกแสดงผลจากค่าข้อมูลย้อนหลังมาถึงค่าที่เป็นปัจจุบัน (Real time) จำนวน 20 ค่าข้อมูล โดยพื้นที่ (ก) จะเป็นส่วนการแสดงผลกราฟค่าอุณหภูมิอากาศ โดยที่ Tmax คือ อุณหภูมิอากาศสูงสุดของวัน, Tmin คือ อุณหภูมิอากาศต่ำสุดของวัน และ Tavg คือ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของวัน มีหน่วยเป็น ^{o}C, พื้นที่ (ข) จะเป็นส่วนการแสดงผลกราฟค่าความชื้น โดยที่ Hmax คือ ความชื้นอากาศสูงสุดของวัน, Hmin คือ ความชื้นอากาศต่ำสุดของวัน และ Havg คือ ความชื้นอากาศเฉลี่ยของวัน มีหน่วยเป็น %RH, พื้นที่ (ค) จะเป็นส่วนการแสดงผลกราฟค่าอุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่าง โดยที่ TSmax คือ อุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่างสูงสุดของวัน, TSmin คืออุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่างต่ำสุดของวัน และ TSavg คือ อุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่างเฉลี่ยของวัน มีหน่วยเป็น ^{o}C, พื้นที่ (ง) จะเป็นส่วนการแสดงผลกราฟค่าความเข้มแสง โดยที่ Bmax คือ ค่าความเข้มแสงสูงสุดของวัน, Bmin คือ ค่าความเข้มแสงต่ำสุดของวัน และ Bavg คือ ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยของวัน มีหน่วยเป็น Lux, พื้นที่ (จ) จะเป็นส่วนการแสดงผลกราฟค่าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยที่ SEmax คือ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดของวัน, SEmin คือ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำสุดของวัน และ SEavg คือค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยของวัน มีหน่วยเป็น W/m^2 และพื้นที่ (ฉ) จะเป็นส่วนการแสดงผลกราฟของช่วงค่าดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี โดยที่ UVmax คือ ค่าดัชนีความเข้มข้นรังสียูวีสูงสุดของวัน, UVmin คือ ค่าดัชนีความเข้มข้นรังสียูวีต่ำสุดของวัน และ UVavg คือ ค่าดัชนีความเข้มข้นรังสียูวีเฉลี่ยของวัน มีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 11 ตามลำดับ สำหรับบริเวณขอบด้านบนของหน้าต่างเรียกดูข้อมูลย้อนหลัง จะมีช่องให้ระบุช่วง วัน เวลา สภาพอากาศของการทดสอบที่ต้องการค้นหา และสามารถคลิกเลือกที่ปุ่มเมนู Inspect ของแต่ละกราฟข้อมูล ซึ่งหน้าต่างจะแยกออกจากกันแบบอิสระ เพื่อความสะดวกสำหรับการบันทึกข้อมูลดิบในรูปแบบไฟล์ Excel ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

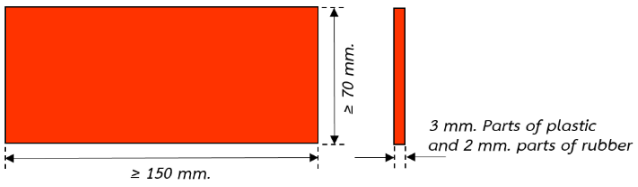


รูปที่ 6 ตัวอย่างการเรียกดูผลข้อมูลค่าอุณหภูมิสภาพอากาศย้อนหลังจากการทดสอบตัวอย่าง

6. ตัวอย่างทดสอบที่ใช้สำหรับทดลองทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้น ครอบคลุมวัสดุจำพวกยาง พลาสติก หนังสังเคราะห์ เส้นใย ยางวัลคาไนซ์ กลุ่มชิ้นส่วนยานยนต์ที่ผลิตและเคลือบสารป้องกันการเสื่อมสภาพที่ผิวชิ้นงาน หรือวัสดุอื่นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับการตกลงของการทดสอบ โดยชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้สำหรับการทดสอบ จะเป็นตัวอย่างจากชิ้นผลิตภัณฑ์ หรือตัวอย่างที่ตัดจากผลิตภัณฑ์

กำหนดให้ขนาดความกว้าง ความยาวไม่น้อยกว่า 75 มิลลิเมตร และ 150 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบอ้างอิงการเตรียมขนาดตัวอย่างทดสอบตาม มอก. 2377-2559 แผ่นยางปูพื้น โดยที่ใช้ความหนา 3 มิลลิเมตร สำหรับชิ้นงานพลาสติก หรือความหนา 2 มิลลิเมตร สำหรับตัวอย่างที่เป็นยาง หรืออยู่ที่ตกลงกันของการทดสอบ ซึ่งตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ เป็นกรวยจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติ การทดสอบจะใช้ชิ้นงานตัวอย่าง จำนวน 3 ชิ้น ต่อตัวอย่างทดสอบ ลักษณะของขนาดและตัวอย่างยางที่ใช้ในการทดสอบจริง ดังรูปที่ 7 (ก), (ข) และรูปที่ 7 (ค) ตามลำดับ



(ก) (ข)

(ค)

รูปที่ 7 (ก) – (ข) ขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาตัวอย่างทดสอบตาม มอก. 2377–2559 [14] ,
(ค) ตัวอย่างกรวยจราจรจากยางธรรมชาติที่ใช้ในการทดสอบ

7. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างที่ใช้สำหรับทดสอบ ซึ่งก่อนการทดสอบต้องพักตัวอย่างยางที่เป็นชิ้นผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นตัวอย่างที่ตัดจากผลิตภัณฑ์ เป็นระยะเวลา 70 ถึง 72 ชั่วโมง ที่สภาวะอุณหภูมิห้องช่วง 25 ± 2 °C และความชื้นในช่วง 50 ± 5 %RH โดยตัวอย่างทดสอบเป็นชิ้นงานที่ตัดจากผลิตภัณฑ์กรวยจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติ มีหน้าตัดภาคตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า การเตรียมตัวอย่างทดสอบอ้างอิงขนาดตาม มอก. 2377-2559 แผ่นยางปูพื้น [14] ขนาดความกว้าง ความยาวไม่น้อยกว่า 75 มิลลิเมตร และ 150 มิลลิเมตร ตามลำดับ ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร โดยขนาดของตัวอย่างยางทดสอบ และลักษณะชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ ดังรูปที่ 7 (ก) - (ข) และ (ค) ตามลำดับ

8. ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบจะเตรียมตัวอย่างทดสอบตาม มอก. 2377-2559 โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

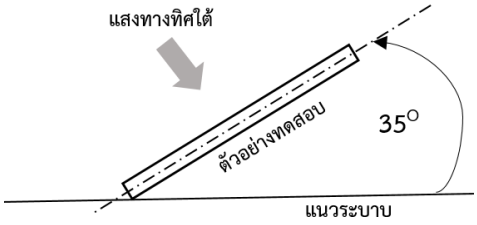
8.1 ตัดตัวอย่างยางทดสอบกรวยจราจรที่ผลิตจากยางธรรชาติจากชิ้นผลิตภัณฑ์ โดยให้มีหน้าตัดภาคตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความกว้าง ความยาวไม่น้อยกว่า 75 มิลลิเมตร และ 150 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความหนา 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 8

(ก) (ข)

รูปที่ 8 (ก) ผลิตภัณฑ์กรวยจราจรจากยางธรรมชาติ , (ข) ตัวอย่างยางจากกรวยจราจรที่ตัดจากผลิตภัณฑ์

8.2 พักตัวอย่างยางทดสอบเป็นระยะเวลา 70 ถึง 72 ชั่วโมง ในสภาวะอุณหภูมิห้องช่วง 25 ± 2°C และความชื้นในช่วง 50 ± 5 %RH

8.3 มุมและทิศทางการรับแสงของตัวอย่างยางทดสอบที่ติดตั้ง กำหนดให้มุมสัมผัสแสงหันไปทางทิศใต้ และทำมุม 35 องศา กับระนาบแนวนอน หรือจุดสัมผัสแสงขึ้นอยู่กับการตกลงกันไว้ของการทดสอบ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 มุมและทิศทางการรับแสงของตัวอย่างยางทดสอบขณะทำการทดสอบ

8.4 นำตัวอย่างยางทดสอบวางและติดตั้งบนเครื่องมือทดสอบ โดยให้มุมและทิศทางการรับแสงของตัวอย่างยางทดสอบตามข้อกำหนดของการทดสอบในหัวข้อที่ 8.3 ดังรูปที่ 10

รูปที่ 10 ลักษณะการวางตัวอย่างยางทดสอบบนเครื่องมือทดสอบ

8.5 ทำการทดสอบตัวอย่าง โดยตลอดระยะเวลาของการทดสอบ เครื่องมือทดสอบจะบันทึกผลค่าอุณหภูมิ ความชื้น อุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่าง ดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี ความเข้มแสง และพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีเปลี่ยนแปลงไปทุก 1 นาที เพื่อสังเกตการณ์สภาพอากาศของการทดสอบ จนครบกำหนดระยะเวลาของการทดสอบ โดยค่าที่ทำการบันทึกจะมีผลต่อการเสื่อมสภาพของตัวอย่างที่กำลังทดสอบ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการทดสอบทั้งหมด 8 สัปดาห์ และมีรายงานผลการทดสอบที่เปลี่ยนแปลงไปทุก 2

สัปดาห์ กล่าวคือ สัปดาห์ที่ 0 (สัปดาห์เริ่มต้นของการทดสอบ), 2, 4, 6 และ 8 ของระยะเวลาในการทดสอบ หรือตามระยะเวลาที่ตกลงไว้ของการทดสอบตัวอย่างนั้นๆ

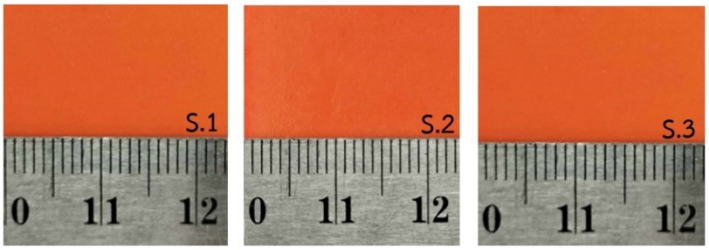
8.6 นำตัวอย่างยางทดสอบที่ครบช่วงระยะเวลาของการทดสอบทุก 2 สัปดาห์ มาตรวจสอบเพื่อประเมินระดับการเสื่อมสภาพ โดยการใช้แว่นขยาย หรือกล้องถ่ายรูปที่กำลังขยาย 2 เท่า (2×) เพื่อบันทึกและเก็บผลรูปภาพของลักษณะผิวตัวอย่างทดสอบ และรายงานผลการทดสอบ

9. ผลการทดสอบ

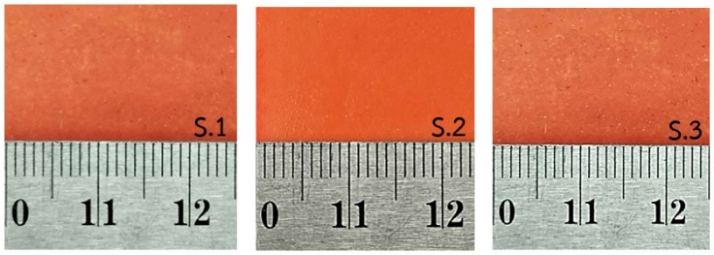
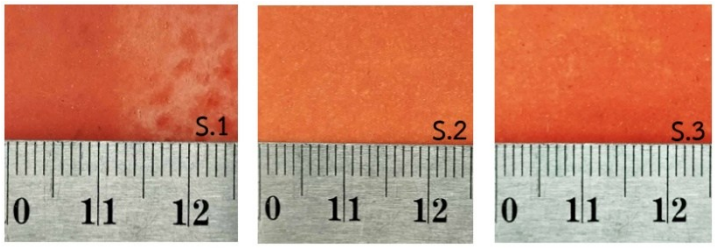
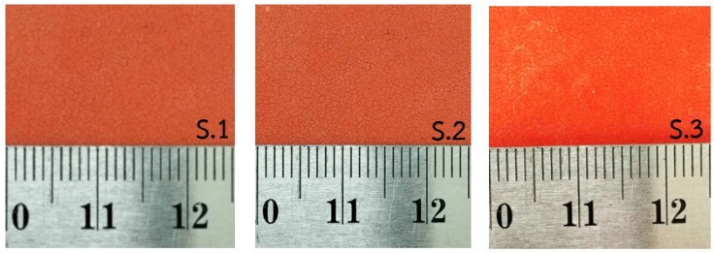
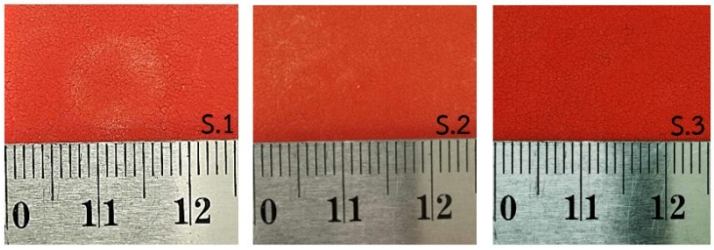
ผลการทดสอบเครื่องมือสำหรับทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศของยางและพลาสติกในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง การทดสอบตัวอย่างกรวยจราจรจากยางธรรมชาติของผู้ประกอบการ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ และสมบัติความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศของยางและพลาสติกในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง ระยะเวลาการทดสอบ 8 สัปดาห์ ซึ่งจากการทดสอบมีรายงานผลการทดสอบด้วยภาพถ่ายจากกล้องถ่ายรูป ซึ่งเป็นรูปภาพลักษณะของผิวตัวอย่างทดสอบที่กำลังขยาย 2 เท่า (2×) เทียบกับสเกลบาร์ พร้อมทั้งรายงานค่าสภาพอากาศระหว่างการทดสอบ ประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิ ความชื้น ดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี ความเข้มแสง และค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ตลอดช่วงระยะเวลาของการทดสอบ โดยตัวอย่างเป็นชิ้นงานยางตัดจากผลิตภัณฑ์กรวยจราจรชนิดเดียวกัน จำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง เพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างทดสอบ บันทึกผลตามช่วงระยะเวลาที่กำหนดทุก 2 สัปดาห์ การรายงานผลการทดสอบอ้างอิงผลการทดสอบตัวอย่างกรวยจราจรจากยางธรรมชาติ สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ รายละเอียดผลการทดสอบ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ช่วงค่าสภาพอากาศและลักษณะของผิวตัวอย่างแต่ละช่วงเวลาการทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบ	: กรวยจราจรจากยางธรรมชาติ
ช่วงระยะเวลา	: 8 สัปดาห์
ช่วงอุณหภูมิ	: 25.01 ถึง 50.03 ^{o}C และช่วงความชื้น : 27.22 ถึง 66.72 %RH
ช่วงอุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่าง	: 23.69 ถึง 48.93 ^{o}C
ช่วงความเข้มแสง	: 0.07 ถึง 26,632.23 Lux
ช่วงพลังงานแสงอาทิตย์	: 7.23 ถึง 980.91 W/m^2 และช่วงค่าดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี : 0.00 ถึง 6.00

ระยะเวลาทดสอบ (สัปดาห์)	รูปลักษณะตัวอย่างยางทดสอบ ที่กำลังขยาย 2 เท่า (2×) เทียบกับสเกลบาร์
0	

ตารางที่ 2 ช่วงค่าสภาวะแวดล้อมและลักษณะของผิวตัวอย่างของแต่ละช่วงเวลาการทดสอบ (ต่อ)

ระยะเวลาทดสอบ (สัปดาห์)	รูปลักษณะตัวอย่างยางทดสอบ ที่กำลังขยาย 2 เท่า (2×) เทียบกับสเกลบาร์
2	
4	
6	
8	

จากผลการทดสอบ การเสื่อมสภาพของตัวอย่างยางทดสอบ เริ่มต้นก่อนการทดสอบ พบว่าผิวตัวอย่างทดสอบมีความเรียบเนียนสม่ำเสมอ สีและเนื้อของตัวอย่างเป็นเนื้อและสีเดียวกันตลอดทั้งชิ้นงาน เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 2 เริ่มสังเกตเห็นสีมีการซีดจางจนกระทั่งสัปดาห์ที่ 4 พบว่า สีของตัวอย่างทดสอบมีการซีดจางลงตามลำดับ และเริ่มแตกลายงาบนผิวตัวอย่าง และมีความชัดเจนมากขึ้นในสัปดาห์ที่ 6 และในสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของระยะเวลาการทดสอบ ตามลำดับ โดยสังเกตได้ว่าการเสื่อมสภาพของตัวอย่างยางที่นำมาทดสอบมีประเด็นหลักคือ การซีดจางของสี และการแตกลายงาบนผิวตัวอย่าง ซึ่งเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมในการทดสอบที่เปลี่ยนแปลงไปของค่าของอุณหภูมิอากาศในช่วง 25.01 ถึง 50.03 ^{o}C ความชื้นอากาศในช่วง 27.22 ถึง 66.72 %RH ค่าอุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่างในช่วง 23.69 ถึง 48.93 ^{o}C ความเข้มแสงในช่วง 0.07 ถึง 26,632.23 Lux ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วง 7.23 ถึง 980.91 W/m^{2} และดัชนีความเข้มข้นรังสียูวีช่วง 0 ถึง 6 โดยปัจจัยที่เป็นค่าสภาพอากาศ มีการตรวจสอบ

ค่าความถูกต้องด้วยการทวนสอบค่าด้วยเครื่องมือวัดที่ผ่านการสอบเทียบ ซึ่งจากการทวนสอบการวัดค่าสภาพอากาศที่วัดได้ด้วยตัวเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาเทียบกับเครื่องมือทวนสอบ ประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิ ความชื้น อุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่าง พลังงานแสงอาทิตย์ และความเข้มแสง โดยมีการบันทึกค่าดังกล่าวในทุก 10 นาที จำนวน 10 ค่า ของทุกค่าการตรวจวัด จากนั้นนำค่าข้อมูลที่ได้มาเข้าโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) ร้อยละค่าความผิดพลาด (% Error) และร้อยละความแม่น (% Accuracy) [15] ตามลำดับ เพื่อดูประสิทธิภาพของเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้น ซึ่งผลการทดสอบสรุปรายละเอียด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทวนสอบค่าตัวตรวจวัดสภาพอากาศกับเครื่องมือทวนสอบที่ผ่านการสอบเทียบ

ค่าที่ตรวจวัด	ตัวตรวจวัดและคุณสมบัติช่วงการใช้งาน	เครื่องมือทวนสอบ	ค่าเฉลี่ย (n = 10)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD)	ร้อยละค่าความผิดพลาด (% Error)	ร้อยละความแม่น (% Accuracy)
1. อุณหภูมิ (^{o}C)	SHT21 - อุณหภูมิ (-40 ถึง 125 ± 3 ^{o}C) - ความชื้น (0 ถึง 100 ± 2 %RH)	เครื่อง Data Logger ยี่ห้อ SILA รุ่น AP-105	33.53	0.07	0.20	3.00	97.00
2. ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)			56.18	0.23	0.40	4.55	95.45
3. อุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่าง (^{o}C)	DS18b20 (-55 ถึง 125 ± 0.5 ^{o}C)	เครื่อง RTD Thermometer ยี่ห้อ CENTER รุ่น 375	38.24	0.02	0.05	1.25	98.75
4. พลังงานแสงอาทิตย์ (W/m^{2})	Solar Detector (0.1 ถึง 3,999 ± 10 W/m^{2})	เครื่อง Solar Power Meter รุ่น SM206-SOLAR	245.31	0.29	0.12	2.90	97.10
5. ความเข้มแสง (Lux)	BH1750FVI (1 ถึง 65,535 Lux)	เครื่อง Light Meter ยี่ห้อ DIGICON รุ่น LX-73	26,453.74	8.68	0.03	0.03	99.97

10. อภิปรายผล

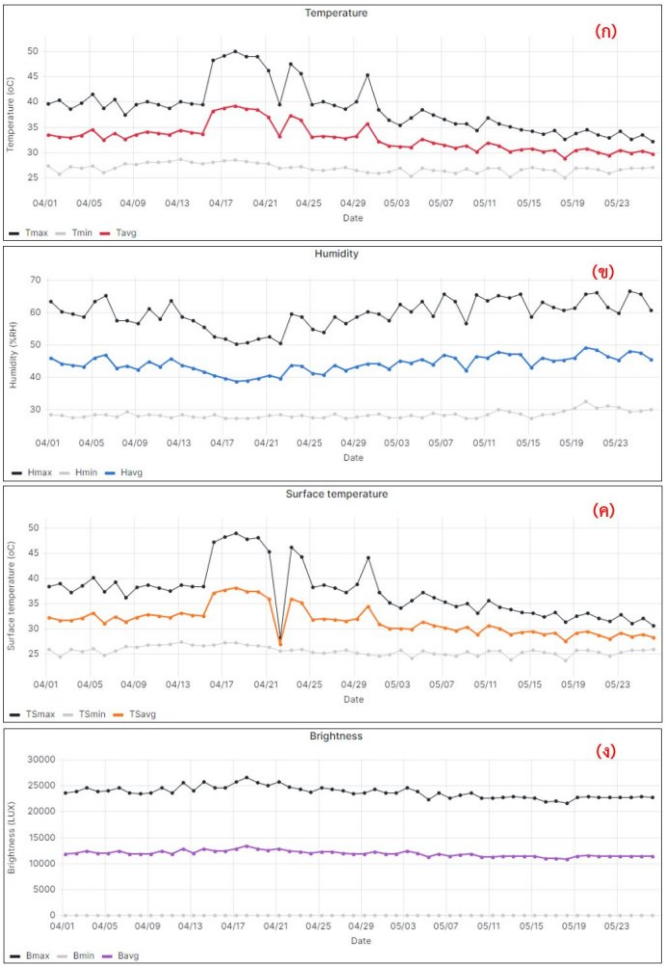
ผลจากการทดสอบการใช้งานจริงของเครื่องมือสำหรับทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศของยางและพลาสติกในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง การทดสอบตัวอย่างกรวยจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติ ซึ่งผลิตโดยผู้ประกอบการตามจุดประสงค์ในการพัฒนาเครื่องมือทดสอบ อ้างอิงรายงานผลการทดสอบตัวอย่าง สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ ด้วยเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้นพบว่า ตั้งแต่เริ่มต้นก่อนการทดสอบ ผิวตัวอย่างทดสอบมีลักษณะเรียบเนียน สม่ำเสมอ มีเนื้อและสีเดียวกันตลอดทั้งชิ้นงาน เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 2 สีของตัวอย่างเริ่มมีการซีดจาง จนเข้าสู่สัปดาห์ที่ 4 สีของตัวอย่างมีการซีดจางลง และพบเริ่มมีการแตกลายงาบนผิวตัวอย่าง โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนมากขึ้นในสัปดาห์ที่ 6 และเข้าสู่สัปดาห์ที่ 8 ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของระยะเวลาการทดสอบ ตามลำดับ ซึ่งในกรณีนี้ เป็นการทดสอบตัวอย่างกรวยจราจรจากยางธรรมชาติ โดยสมบัติของตัวอย่างยาง หรือพลาสติกที่ดีต้องให้ผลของการทดสอบที่ไม่พบการเสื่อมสภาพ นั่นหมายความว่า ผิวตัวอย่างยางทดสอบต้องไม่พบการแตกลายงา และการซีดจางของสีตัวอย่าง หรือการเสื่อมสภาพในลักษณะอื่น ซึ่งจากการทดสอบในช่วงระยะเวลา 8 สัปดาห์ ยังพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของตัวอย่างยางทดสอบ นอกจากขึ้นอยู่กับดัชนีความเข้มข้นรังสียูวีแล้ว ค่าของอุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสง พลังงานแสงอาทิตย์ ระยะเวลาในการทดสอบ และสมบัติการเปลี่ยนขนาดของวัสดุนั้นๆ ก็ยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการเสื่อมสภาพที่มีผลต่อตัวอย่างยางทดสอบอีกด้วย โดยตัวอย่างกรวยจราจรจากยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นลักษณะตัวอย่างที่มีการแตกลายงา และ มีการซีดจางของสีบนผิวตัวอย่าง เกิดการเสื่อมสภาพจากปัจจัยข้างต้นในสภาวะของการใช้งานจริงในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น ดังรูปที่ 11

รูปที่ 11 ตัวอย่างลักษณะผิวกรวยจราจรยางธรรมชาติที่เกิดการเสื่อมสภาพ

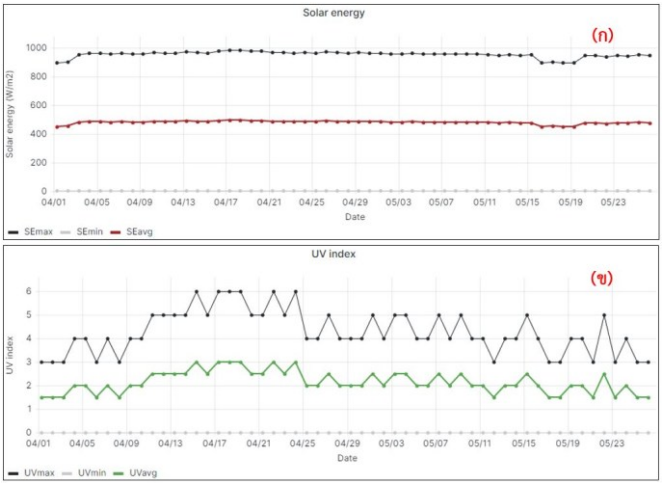
จากรูปที่ 11 เป็นตัวอย่างยางของกรวยจราจรจากยางธรรมชาติ ที่เกิดการเสื่อมสภาพในลักษณะของการแตกลายงา และการซีดจางของสี จากสภาพอากาศการใช้งานจริงช่วงระยะเวลาประมาณ 2 ปี ซึ่งจากเครื่องมือสำหรับทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศของยางและพลาสติกในสภาพแวดล้อมกลางแจ้งที่พัฒนาขึ้นกับตัวอย่างยางที่ให้บริการทดสอบ พบการแตกลายงา และการซีดจางของสีตัวอย่างน้อยกว่า เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการทดสอบในช่วง 8 สัปดาห์ โดยดัชนีความเข้มข้นรังสียูวีตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นจริงในช่วงระยะเวลาของการทดสอบมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 6 ซึ่งค่าดัชนีความเข้มข้นรังสียูวีสูงสุด ระหว่างช่วงเวลาการทดสอบระดับ 6 มีความรุนแรงระดับสูง (High) จะพบในช่วงเวลา ตั้งแต่ 9.00 น. ถึงช่วงเวลา 15.00 น. [16] และกรณีของค่าดัชนีความเข้มข้นรังสียูวีที่ระดับต่ำกว่า 2 จากการทดสอบคือ 0 จะมีระดับความรุนแรงต่ำ (Low) พบในช่วงเช้าก่อนถึงเวลา 7.00 น. ค่าของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.01 ถึง 50.03 ^{o}C ความชื้นอยู่ในช่วง 27.22 ถึง 66.72 %RH อุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่างอยู่ในช่วง 23.69 ถึง 48.93 ^{o}C ความเข้มแสงอยู่ในช่วง 0.07 ถึง 26,632.23 Lux และพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 7.23 ถึง 980.91 W/m^{2} ซึ่งค่าสภาพอากาศดังกล่าว จะมีการเพิ่มขึ้น หรือลดลง ตลอดเวลาของในแต่ละวันแบบไม่คงที่ ตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตามธรรมชาติ ซึ่งเครื่องมือสามารถทดสอบได้จริงในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง ประกอบกับตัวอย่างยางทดสอบที่เข้ารับบริการทดสอบ ซึ่งก่อนการส่งทดสอบนั้น ตัวอย่างยางได้ผ่านการวิจัย และพัฒนาจนกระทั่งให้สมบัติยางมีความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศในระดับหนึ่ง

แล้ว จึงมีผลทำให้ตัวอย่างทดสอบเกิดการแตกลายงา และการซีดจางลงของสีไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ใช้งานจริงในระยะเวลาที่ยาวนาน ดังตัวอย่างในรูปที่ 11 ที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น แต่การทดสอบในครั้งนี้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าในสภาพการใช้งานจริง ตัวอย่างยางทดสอบจะไม่เกิดการเสื่อมสภาพ หรือหากพบการเสื่อมสภาพในช่วงระยะเวลาของการทดสอบ ก็ยังสามารถกลับไปปรับปรุงสมบัติของยางให้ดีขึ้น ก่อนการไปผลิต

ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งการทดสอบจะรายงานผลการทดสอบให้กับผู้ประกอบการที่ผลิตยางและพลาสติกที่ได้ส่งตัวอย่างมาบริการทดสอบได้ และจากข้อมูลการทดสอบพบว่าในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดสอบ ค่าของสภาพอากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับสัปดาห์แรก จึงมีผลทำให้เริ่มสังเกตมีซีดจางของสีตัวอย่าง และในสัปดาห์ที่ 3 ค่าของสภาพอากาศมีค่าที่เพิ่มขึ้นสูงสุด ส่งผลให้สัปดห์ที่ 4 นอกจากมีการซีดจางของสีตัวอย่างแล้ว เริ่มจะสังเกตพบการแตกลายงา ของผิวตัวอย่างร่วมด้วย และเห็นได้อย่างชัดเจนมากขึ้นในสัปดาห์ที่ 6 และพบว่าหลังจากสัปดาห์ที่ 6 แม้ค่าของสภาพอากาศมีค่าแนวโน้มที่ลดลง แต่การเสื่อมสภาพก็ไม่ได้ลดลงตามไปด้วย โดยสังเกตจากสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของการทดสอบ พบการซีดจางของสี และการแตกลายงาที่ชัดเจนมากขึ้น ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลค่าสภาพอากาศตลอดช่วงระยะเวลาการทดสอบ สามารถนำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟ ดังรูปที่ 12-13 ตามลำดับ



รูปที่ 12 (ก) ค่าอุณหภูมิอากาศ (T : ^{o}C) , (ข) ค่าความชื้นอากาศ (H : %RH) , (ค) ค่าอุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่าง (TS : ^{o}C) , (ง) ค่าความเข้มแสง (B : Lux)



รูปที่ 13 (ก) ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (SE : W/m^2) , (ข) ค่าดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี (UV Index)

จากข้อมูลสภาพอากาศการทดสอบในรูปที่ 12-13 โดยที่ ค่า T คือ อุณหภูมิ (^{o}C) ค่า H คือ ความชื้น (%RH) ค่า TS คือ อุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่าง (^{o}C) ค่า B คือ ความเข้มแสง (Lux) ค่า SE คือ พลังงานแสงอาทิตย์ (W/m^2) และค่า UV คือ ดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี ตามลำดับ ซึ่งนอกจากการพัฒนาเครื่องมือทดสอบที่สามารถทดสอบและบริการทดสอบได้จริงแล้ว เครื่องมือทดสอบยังมีส่วนช่วยในการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการส่งตัวอย่างทดสอบของผู้ประกอบการ กล่าวคือ กรณีไม่มีเครื่องมือทดสอบที่ได้พัฒนาขึ้น ผู้ประกอบการต้องอาศัยการทดสอบผลเทียบเคียงด้วยเครื่อง QSUN Accelerated Weathering Tester ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบทางวิทยาศาสตร์ที่มีราคาสูงที่นำเข้าจากต่างประเทศได้ผลการทดสอบที่ไม่ครอบคลุมเพียงพอ เนื่องจากการทดสอบด้วยเครื่องมือวิจัยเป็นการทดสอบที่มีการตั้งค่าอุณหภูมิ ความชื้น และค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ที่เป็นค่าเทียบเคียงเสมือนจริง แบบคงที่ค่าหนึ่ง ตลอดระยะเวลาการทดสอบ ซึ่งไม่เป็นไปตามลักษณะการทดสอบความทนต่อแสงแดดในสภาพอากาศกลางแจ้งที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการบริการทดสอบประมาณ 403,200 บาท / ครั้ง / ตัวอย่าง (กรณีบริการทดสอบด้วยเครื่อง QSUN ในอัตราค่าบริการทดสอบชั่วโมงละ 300 บาท จำนวน 1,344 ชั่วโมง หรือ 8 สัปดาห์) [17] ขณะที่เครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้นมีค่าใช้จ่ายในการทดสอบประมาณ 33,600 บาท / ครั้ง / ตัวอย่าง จึงเป็นเครื่องมือทดสอบที่เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ตอบสนองการทดสอบได้ตรงจุดประสงค์การทดสอบ ของผู้มารับบริการทดสอบ และผู้ประกอบการที่ต้องการทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศของยางและพลาสติกในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง ส่งผลให้สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีเครื่องมือทดสอบที่อำนวยความสะดวกในการบริการทดสอบสมบัติของยางและพลาสติกในรายการบริการทดสอบดังกล่าว เพิ่มรายได้จากการบริการทดสอบ และเป็นการใช้ศักยภาพบุคลากรในการพัฒนาเครื่องมือทดสอบขึ้นใช้ภายในหน่วยงาน ลดการนำเข้าเครื่องมือทดสอบที่มีราคาสูงจากต่างประเทศได้ และนอกจากนี้ หลังจากมีการเปิดให้บริการทดสอบ ผู้พัฒนาและผู้ใช้งานเครื่องมือทดสอบยังพบว่า เครื่องมือทดสอบยังมีข้อจำกัดในการทดสอบคือ กรณีตัวอย่างทดสอบที่มีขนาดจำกัด หรือมีขนาดที่เล็กกว่าที่มาตรฐานการเตรียมตัวอย่างที่อ้างอิงกำหนด ทำให้การวางตัวอย่างทดสอบในช่องระหว่างราวบนถาดวางตัวอย่างหลุดร่วงได้ง่าย สร้างความยุ่งยากให้กับผู้ทดสอบ แต่สามารถแก้ไขเบื้องต้นด้วยการเพิ่มแผ่นรองรับตัวอย่างทดสอบ เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสการวางแล้วแต่กรณีไป และเนื่องจากเครื่องมือทดสอบวางตัวรับแสงในแนวทิศใต้ เพื่อให้ได้รับแสงเฉลี่ยทั่วถึงมากที่สุดระหว่างวัน แต่ก็ไม่ใช้มุมที่ได้รับแสงมากที่สุดที่แท้จริง ด้วยสภาพโครงสร้างที่ปรับไว้คงที่ที่ระดับหนึ่งเท่านั้น และเพื่อเพิ่ม

ประสิทธิภาพการรับแสงจึงควรมีการพัฒนาให้โครงสร้างหลักของเครื่องมือทดสอบ สามารถปรับมุมรับแสง และหมุนรับความเข้มแสงที่ระดับความเข้มแสงสูงสุดได้ตลอดวัน ตลอดช่วงระยะเวลาของการทดสอบแบบอัตโนมัติต่อไป

11. บทสรุป

จากผลการทดสอบการทำงานของเครื่องมือทดสอบความทนต่อแสงแดดและสภาพอากาศของยางและพลาสติกในสภาพแวดล้อมกลางแจ้งที่พัฒนาขึ้น ด้วยการทดสอบตัวอย่างกรวยจราจรยางธรรมชาติที่ผลิตโดยผู้ประกอบการที่เข้ารับบริการทดสอบ อ้างอิงตามรายงานผลการทดสอบ สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ โดยรายงานผลค่าสภาพอากาศที่ทำการวัดค่าได้ในช่วงระยะเวลาการทดสอบและลักษณะผิวตัวอย่าง ดังตารางที่ 2 ตลอดระยะเวลาการทดสอบ 8 สัปดาห์ พบว่าสัปดาห์เริ่มต้นถึงสัปดาห์ที่ 2 ตัวอย่างเริ่มมีการซีดจางของสีเมื่อทดสอบอยู่ในสภาพอากาศกลางแจ้ง และในช่วงสัปดาห์ที่ 4 สภาพอากาศมีค่าเพิ่มสูงขึ้น จากแสงแดดที่จัดตลอดสัปดาห์ ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศสูงสุดที่ 50.03 ^{o}C อุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่าง 48.93 ^{o}C ที่ความเข้มแสง 26,632.23 Lux ดัชนีความเข้มข้นรังสียูวีที่ระดับ 6 และเป็นช่วงที่ค่าพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 980.91 W/m^2 โดยแสดงผลค่าข้อมูลที่บันทึกได้ ดังรูปที่ 12-13 ซึ่งจากผลของค่าข้อมูลที่บันทึกแสดงให้เห็นว่า ในช่วงการทดสอบที่มีแสงแดดจัด ค่าอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิผิวสัมผัสตัวอย่าง ความเข้มแสง ดัชนีความเข้มข้นรังสียูวี และค่าพลังงานแสงอาทิตย์จะแปรผันตรงตามไปด้วย นอกจากสีมีการซีดจางลงแล้วยังทำให้ตัวอย่างทดสอบมีการแตกลายงานบนผิวตัวอย่างอย่างชัดเจนในช่วงเวลาดังกล่าว โดยค่าต่างๆ เป็นปัจจัยในการเสื่อมสภาพของตัวอย่างทดสอบ และเมื่อเริ่มเข้าสัปดาห์ที่ 6 จนถึงสัปดาห์ที่ 8 แม้สภาพอากาศเริ่มมีแนวโน้มลดลง สังเกตจากค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 12 (ข) ก็ตาม ตัวอย่างที่มีการเสื่อมสภาพไปแล้วก็ไม่สามารถคืนสู่สภาพปกติเช่นดังเดิมได้ และจากการทวนสอบค่าตัวตรวจวัดเพื่อดูประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเครื่องมือทวนสอบ และนำข้อมูลเพื่อมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ร้อยละค่าความผิดพลาด (% Error) และร้อยละความแม่น (% Accuracy) ผลการทดสอบ ดังตารางที่ 3 โดยค่า %RSD แสดงได้ถึงความเที่ยง (Precision) ของเครื่องมือทดสอบ ขณะที่ความแม่น (Accuracy) ของแต่ละตัวตรวจวัดมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ที่ค่าอุณหภูมิมีค่าความผิดพลาดในช่วง 0.88 ถึง 1.06 ^{o}C ที่เกณฑ์การยอมรับ ± 2.00 ^{o}C ความผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 3.00 ^{o}C ความชื้นมีค่าความผิดพลาดในช่วง 2.00 ถึง 2.61 %RH ที่เกณฑ์การยอมรับ ± 5.00 %RH ความผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 4.55 %RH อุณหภูมิผิวสัมผัสมีค่าความผิดพลาดในช่วง 0.45 ถึง 0.48 ^{o}C ที่เกณฑ์การยอมรับ
± 2.00 ^{o}C ความผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 1.25 ^{o}C ค่าพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าความผิดพลาดในช่วง 6.40 ถึง 7.30 W/m^2 ที่เกณฑ์การยอมรับ ± 10.00 W/m^2 ความผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 2.90 W/m^2 และค่าความความเข้มแสงมีค่าความผิดพลาดในช่วง 7.89 ถึง 8.80 Lux ที่เกณฑ์การยอมรับ ± 10.00 Lux ความผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 0.03 Lux ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงเกณฑ์การยอมรับของการทดสอบกำหนด เครื่องมือสามารถบริการทดสอบได้และบรรลุตามวัตถุประสงค์ของการพัฒนาเครื่องมือทดสอบที่วางไว้

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งได้ให้การสนับสนุนทุนโครงการพัฒนาและสนับสนุนศักยภาพบุคลากร ด้านการสร้างสิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรมด้วยเงินรายได้ ประเภทงานสังเคราะห์ ส่งผลให้เครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้นนี้ สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณผู้อำนวยการ วิศวกร นักวิชาการคอมพิวเตอร์ และนักวิทยาศาสตร์ ของสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือสนับสนุน ตลอดจนเอื้ออำนวยความสะดวกทางด้านพื้นที่ และเครื่องมือในการพัฒนาเครื่องมือทดสอบในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] อุทัย เทพสุวรรณ์. *Rubber product failure*, 2024. Available from: http://www.mahidolrubber.org/lc_rtec/rubber_properties/2554_Rubber ProductFailure.pdf [Accessed 15 March 2024].

[2] SCRIBD. *JIS D 0205*, 2024. Available from: https://www.scribd.com/document/466899484/JIS-D0205-1987-pdf [Accessed 15 March 2024].

[3] Color Global Co., Ltd. *Q-SUN XENON ARC TEST CHAMBERS*, 2024. Available from: http://color-gb.com/product-category/q-lab/q-sun-xenon-arc-test-chambers [Accessed 15 March 2024].

[4] Tech Talk 2 Apply. *ESP8266*, 2024. Available from: http://techtalk2apply.com/what-is-esp8266/ [Accessed 20 April 2024].

[5] Sensirion. *SHT21 Digital humidity and temperature sensor*, 2024. Available from: http://sensirion.com/products/catalog/SHT21 [Accessed 21 April 2024].

[6] AnalogRead. *Light intensity sensor*, 2024. Available from: http://www.analogread.com/article/light-intensity-sensor [Accessed 21 April 2024].

[7] Electronics Source. *Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*, 2024. Available from: http://www.es.co.th/detail.asp?prod 006700549 [Accessed 17 June 2024].

[8] S.C.IC Supply Limited Partnership. *SM206 Digital Solar Power Meter*, 2024. Available from: http://www.it-elec.com/contactus [Accessed 17 June 2024].

[9] Arduitronics. *UVM-30A Ultra Violet (UV) Sensor Module*, 2024. Available from: http://www.arduitronics.com/product/2500/uvm-30a-ultra-violet-uv-sensor-module [Accessed 20 June 2024].

[10] Addoddorm, C. and Ariyapim, N. The design and construction of automatic temperature and humidity control system for oyster mushroom house controlled by microcontroller. *Journal of Energy and Environment Technology*, 2020, 7 (2), pp. 59-72. Available from: https://ph01.tci-thaijo.org /index.php/JEET/article/view/243400/165785 [Accessed 20 June 2024].

[11] Rattananimit, W. Kespanich, V. and Choonprawat, S. Installation of smart farm server for data monitoring via mobile application. *Journal of Energy and Environment Technology*, 2019, 6 (1), pp. 37-42. Available from: https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/JEET/article/view/197574/ 139162 [Accessed 20 June 2024].

[12] Pusayatanont, M. Sookananta, B. Camharn, T. Pisurach, N. and Chaothai, A. Development of greenhouse and monitoring system using IoT. *Journal of Engineering and Innovation*, 2021, 14 (3), pp. 132-143. Available from: https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eng_ubu/article/view /165513/166219 [Accessed 20 June 2024].

[13] Chukiatkhajorn, N. Takum, C. Pookkapund, P. Piyawongwisal, P. Tubkerd, A. and Euaviriyanukul, K. Automatic Water, Fertilizerand Insecticide Dispenser Systemfor Rose Gardenusing ESP8266and Blynk IoT Platform. *Journal of RMUTL Engineering*, 2023, 8 (2), pp. 30-41. Available from: https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/RMUTLEngJ/article/view/250956/171658 [Accessed 20 June 2024].

[14] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. *ยางและผลิตภัณฑ์ยาง*, 2024. Available from: http://lib1.dss.go.th/sdo2/index.php/th/all-product/rubber/708-tis2377 [Accessed 20 June 2024].

[15] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ม.เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. *Statistical Evaluation of Analytical Data*, 2024. Available from: https://web.rmutp.ac.th/woravith/upload/AnalChem/ppt-evaluation.pdf [Accessed 24 June 2024].

[16] ศูนย์โอโซนและรังสี กรมควบคุมโรค. *ระดับความรุนแรงของแดดผ่านค่าดัชนี UV (UV Index)*, 2024. Available from: http://www.thaipbs.or.th/now/content/1134 [Accessed 25 June 2024].

[17] สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ. *อัตราค่าบริการ*, 2024. Available from: http://osit.psu.ac.th/th/pricerate/ [Accessed 29 June 2024].