การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ภาพในการคัดแยกประเภทขยะที่รั่วไหลสู่แม่น้ำในรูปแบบเรียลไทม์

มงคลชัย อัศวดิษฐเลิศ[1], คมสูรย์ สมประสงค์[2,*], พนาสนฑ์ มโนรส[3],ณัฐภัทร การะเกษ[3]

[1] ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[3] ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

* Email: s.komsoon@gmail.com

ส่งต้นฉบับบทความ : 18 มิ.ย. 66 / ส่งบทความฉบับแก้ไข : 21 ก.ย. 66 / ตอบรับให้เผยแพร่ : 26 ก.ย. 66 / เผยแพร่ 25 ธ.ค. 66

การอ้างอิง: มงคลชัย อัศวดิษฐเลิศ, คมสูรย์ สมประสงค์, พนาสนฑ์ มโนรส, ณัฐภัทร การะเกษ. (2566). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ภาพในการคัดแยกประเภทขยะที่รั่วไหลสู่แม่น้ำในรูปแบบเรียลไทม์. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 27 (ฉบับที่ 2).

https://doi.org/10.35762/EJ.2566008

บทคัดย่อ

การจัดการขยะพลาสติกในแม่น้ำของประเทศไทยนั้น มีข้อจำกัดหลายประการที่ลดทอนประสิทธิภาพของกระบวนการดังกล่าว ปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบอย่างเห็นได้ชัดคือตำแหน่งที่ตั้งของแม่น้ำ และความหนาแน่นของปริมาณการรั่วไหลของขยะลงสู่แม่น้ำ จากพฤติกรรมที่มีความหลากหลายและมีลักษณะจำเพาะของพื้นที่ การรั่วไหลของขยะในแม่น้ำจะมีปลายทางคือทะเลหรือบริเวณที่เชื่อมต่อกับทะเลและเกิดการปนเปื้อนกลับสู่ระบบนิเวศน์บนบกในที่สุด การติดตามตรวจสอบเพื่อระบุตำแหน่งที่มาและปริมาณการรั่วไหลของขยะนั้นกระทำได้ยากและส่งผลให้การจัดการขยะดังกล่าวไม่เกิดประสิทธิภาพเท่าที่ควร ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีการวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิตอล (Digital Image Processing: DIP) ซึ่งได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนสามารถใช้แยกคุณลักษณะทางภาพของวัสดุต่าง ๆ อาทิ สีและแสงเงาได้อย่างแม่นยำ โดยเริ่มมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการจัดการขยะในรูปแบบต่าง ๆ ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยจึงได้สนใจจะนำเทคนิควิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการคัดแยกและประเมินปริมาณขยะที่ถูดพัดผ่านมากับระบบลำน้ำ โดยประยุกต์ใช้งานในรูปแบบของระบบคัดแยกขยะติดตั้งพร้อมกับ CCTV ที่พัฒนาขึ้นเพื่อประเมินปริมาณขยะในระบบลำน้ำที่มีการบริหารจัดการแตกต่างกันทั้งสิ้นสามรูปแบบ และแสดงประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการวิเคราะห์ในสภาวะที่แตกต่างกัน จากผลการศึกษาพบว่าระบบที่ทำการพัฒนาขึ้นมีความแม่นยำในการวิเคราะห์ขยะพลาสติกที่ร้อยละ 87 โดยความแม่นยำของระบบในการระบุชนิดและปริมาณขยะนั้นจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของการบริหารจัดการและความซับซ้อนของขยะที่พัดมาในลำน้ำของแต่ละพื้นที่ศึกษา

คำสำคัญ DIP, Image processing, การปนเปื้อนในแม่น้ำ, การจัดการขยะ

1. บทนำ

การจัดเก็บขยะพลาสติก ตลอดจนขยะประเภทอื่น ๆ ที่ไหลมาตามแม่น้ำให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มักจะถูกจำกัดด้วยความซับซ้อนของประเภทขยะ ความแตกต่างของระบบการบริหาร การจัดเก็บและป้องกันการรั่วไหล รวมถึงลักษณะภูมิประเทศที่ระบบลำน้ำตั้งอยู่ ซึ่งหากสามารถแยกชนิดของขยะที่มีความซับซ้อนและลักษณะของขยะที่ไหลผ่านสู่ลำน้ำได้อย่างแม่นยำ จะนำไปสู่การจัดหาวิธีการเก็บรวบรวมขยะทุกประเภท รวมถึงขยะพลาสติกได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ดีระบบอุทกวิทยาที่มีขนาดใหญ่เหล่านี้ไม่สามารถใช้กำลังคนในการติดตามปริมาณขยะที่ไหลมาได้โดยตรง จึงจำเป็นจะต้องมีการนำเอาเทคโนโลยีมาสนับสนุนการติดตามตรวจสอบดังกล่าว โดยเทคโนโลยีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการคัดแยกและระบุประเภทของขยะ ได้แก่ การทำงานร่วมกันระหว่างการวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิตอล (Digital Image Analysis: DIP) และกระบวนการการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning: ML) ซึ่งจำแนกประเภทของวัสดุที่มีความซับซ้อนภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีความแตกต่างได้

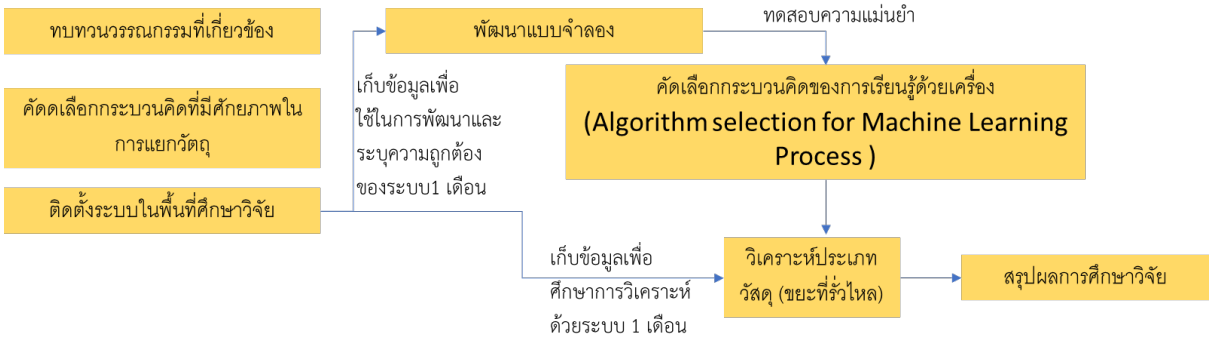
การประยุต์ใช้งานการวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิตอลสำหรับการคัดแยกขยะนั้นได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง อาทิ การศึกษาของ Wahab (Scavino และคณะ, 2009) ซึ่งได้พัฒนาต้นแบบของระบบจำแนกพลาสติกอัตโนมัติด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิตอลโดยสามารถให้ความแม่นยำประมาณร้อยละ 95 สำหรับการระบุชนิดพลาติกและขยะกลุ่มอื่น ๆ ในสภาพแสงปกติ หรือ การศึกษาของ Wang (Wang และคณะ, 2019) และทีมงาน ที่ได้พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อตรวจจับและแยกขวดพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ได้จากระบบสายพานลำเลียง โดยอาศัยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดที่มีนัยสำคัญผ่านโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neuron Network) โดยระบบดังกล่าวมีความแม่นยำที่ ร้อยละ 97 เมื่อทดสอบกับชุดข้อมูลของพลาสติกรีไซเคิลจำนวน 50 ขวดที่มีขนาดและประเภทแตกต่างกัน เป็นต้น จากตัวอย่างการศึกษาข้างต้นจะพบว่าเทคโนโลยีที่กล่าวถึงนี้ มีความสามารถเพียงพอในการตรวจจับและแยกประเภทของขยะพลาสติก และอาจรวมถึงขยะประเภทอื่น ๆ ด้วยความแม่นยำสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาวะแวดล้อมที่คงที่ (Static Environmental Conditions) อาทิ โรงงานรีไซเคิล หรือบ่อขยะที่มีการสะสมของวัสดุต่าง ๆ ในแหล่งกำเนิด อย่างไรก็ดีในสถานการณ์จริงของแม่น้ำซึ่งอยู่ในระบบลำน้ำที่ติดกับทะเลนั้นจะอยู่ในลักษณะของสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง (Extreme Environmental Conditions) อาทิ การเกิดคลื่นลมที่ส่งผลต่อความเร็วของการไหลบริเวณผิวน้ำ การเกิดลมกรรโชก ตลอดจนการเกิดฝนหรือแสงแดดจ้าสลับกันในระยะเวลาสั้น ๆ จึงส่งผลให้ไม่สามารถนำระบบต่าง ๆ ที่เคยมีการศึกษาไว้มาใช้ได้โดยตรง เนื่องจากอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างมาก

จากสาเหตุข้างต้น คณะผู้ศึกษาจึงได้ทำการพัฒนาระบบคัดแยกขยะแบบเรียลไทม์ที่มีความสามารถในการคัดแยกขยะภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงได้ โดยการวิเคราะห์ผ่านภาพเคลื่อนไหวที่บันทึกได้จากกล้องวงจรปิด (Closed Circuit Television System: CCTV) ด้วยวิธี DIP ร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่อง โดยทำการติดตั้งระบบในสามพื้นที่ ประกอบด้วย พื้นที่ปากแม่น้ำ ตำบลบางหลา อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี พื้นที่คลองระบายน้ำ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และชุมชนปากแม่น้ำ ตำบลเก้าเส้ง

อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา โดยมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของระบบในสภาวะแวดล้อมของการทำงานและความซับซ้อนของรูปแบบขยะที่ถูกพัดพามาที่แตกต่างกัน ทั้งในส่วนของรูปแบบการจัดการป้องกันการรั่วไหลของขยะ จำนวนประชากรและชุมชนโดยรอบแม่น้ำ และประเภทและสัดส่วนของขยะที่ไหลมาในแม่น้ำระหว่างระยะเวลาการศึกษา

2. การพัฒนาและทดลองระบบประมวลผลภาพ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีการดำเนินการตามแผนภาพในรูปที่ 1 เริ่มต้นด้วยการทบทวนวรรณกรรมเพื่อหาอุปกรณ์แบบจำลองการประมวลผล (Computation Model) และกระบวนการของการศึกษาด้วยเครื่อง (Machine Learning) ที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์คัดแยกประเภทของขยะโดยอาศัยภาพตัวอย่างจากคลังข้อมูลออนไลน์ หลังจากเลือกกลุ่มแบบจำลองที่มีศักยภาพแล้ว จะมีการกำหนดและดำเนินการติดตั้งระบบตรวจสอบตำแหน่งที่เหมาะสมในพื้นที่ศึกษาวิจัยสามพื้นที่ ประกอบด้วย พื้นที่ปากแม่น้ำ ตำบลบางหลา อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี พื้นที่คลองระบายน้ำ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และชุมชนปากแม่น้ำ ตำบลเก้าเส้ง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ข้อมูลที่บันทึกไว้จากสถานีตรวจวัดในระยะเวลา 1 เดือน จะถูกส่งผ่านระบบออนไลน์เข้าสู่ฐานข้อมูลของกล้อง จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ภาพเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของการวิเคราะห์คัดแยกขยะของแบบจำลองแต่ละประเภท แบบจำลองที่มีความแม่นยำสูงที่สุดจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อแยกประเภทของขยะในพื้นที่ศึกษาเพิ่มเติมเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อสรุปเป็นผลการศึกษาสำหรับสมรรถนะของระบบและปริมาณขยะรายประเภทที่รั่วไหลจากระบบลำน้ำสู่ทะเลต่อไป



รูปที่ 1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

เนื่องจากการศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องมือในการจำแนกประเภทขยะที่ซับซ้อนสำหรับสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงรุนแรง คณะผู้วิจัยจึงเลือกพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยเป็นพื้นที่ศึกษา สถานที่แรกที่ได้รับการคัดเลือก ได้แก่ ตำบลบางหลา จังหวัดสุราษฎร์ธานี (UTM 47N 535156.67 E 1011508.38 N) มีลักษณะเป็นปากแม่น้ำสายหนึ่งของระบบแม่น้ำตาปีเชื่อมต่อโดยตรงกับอ่าวไทยผ่านชุมชน ซึ่งรายได้หลักของที่อยู่อาศัยมาจากการประมงและผลพลอยได้ จากรูปที่ 2 (ก) ตำแหน่งที่สอง ได้แก่ ประตู

ระบายน้ำในกำกับดูแลของเทศบาลอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา (UTM 47N 663375.61 E 777638.80 N) โดยมีจุดประสงค์เพื่อติดตามการรั่วไหลของขยะที่สามารถหลบเลี่ยงระบบคัดกรองของการจัดการขยะชุมชน ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) และตำแหน่งที่สาม ได้แก่ ปากแม่น้ำของตำบลเก้าเส้ง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา (UTM 47N 678683.47 E 794082.41N) คลองนี้เชื่อมต่อโดยตรงกับทะเลสาปสงขลาและทะเลบริเวณอ่าวไทย โดยมีจุดประสงค์เพื่อติดตามการรั่วไหลของขยะลงสู่ทะเลในบริเวณพื้นที่ชุมชนที่มีจำนวนประชากรหนาแน่นและขาดการจัดการที่ดี ดังแสดงในรูปที่ 2 (ค)

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2 แสดงพื้นที่ศึกษาวิจัย (ก) ตำบลบางหลา จังหวัดสุราษฎร์ธานี (ข) อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา (ค) ตำบลเก้าเส้ง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

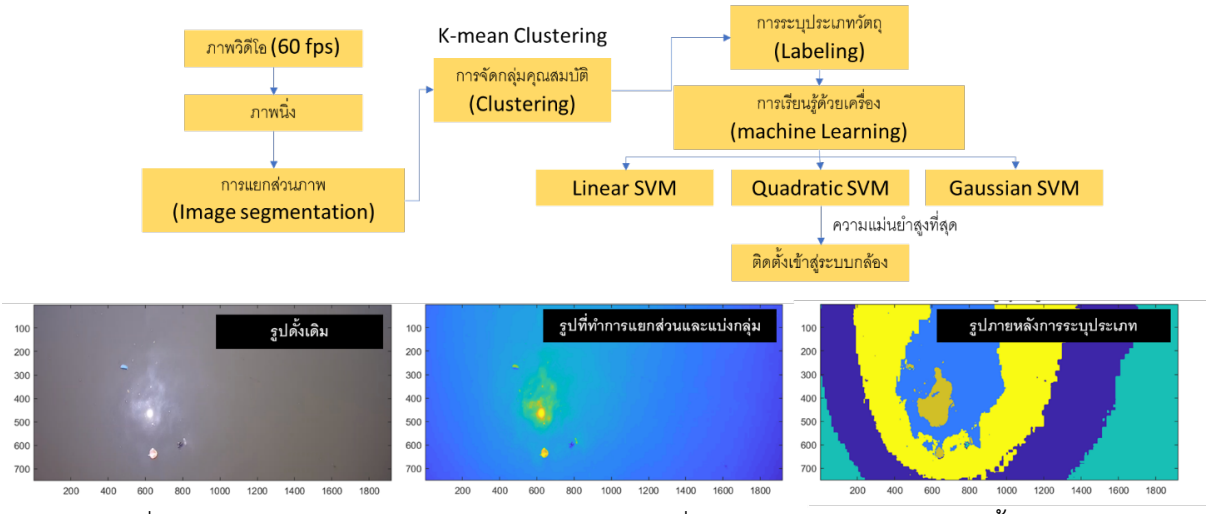
2.2 ระบบบันทึกภาพ

ระบบบันทึกภาพและส่งต่อข้อมูลของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้อาศัยกล้อง CCTV และการส่งต่อข้อมูลผ่านสัญญาณ Wi-Fi โดยกล้องแต่ละตัวเชื่อมต่อโดยตรงกับเราเตะอร์เพื่อส่งวิดีโอไปบันทึกยังพื้นที่จัดเก็บภายนอก โดยกล้อง CCTV จะถูกติดตั้งให้มีมุมมองในแนวตั้งฉากกับผิวน้ำให้มากที่สุด โดยกล้องที่เลือกใช้งานจะมีความละเอียดของภาพที่ 1080p และมีการบันทึกภาพเคลื่อนไหวในอัตรา 60 เฟรมต่อวินาที พร้อมความสามารถในการบีบอัดข้อมูลสูงเพื่อลดผลกระทบของการรบกวนจากสภาพแสงธรรมชาติ (Liy และคณะ, 2019)

2.3 แบบจำลองการวิเคราะห์ภาพเพื่อการคัดแยกวัสดุ (Image Analysis Model or Material classification)

แบบจำลองการวิเคราะห์ภาพเพื่อการคัดแยกวัสดุของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะมีองค์ประกอบของการประมวลผลดังแสดงในรูปที่ 3 โดยภาพเคลื่อนไหวในรูปแบบของวิดีโอความละเอียดสูงจะถูกนำมาแยกส่วนเป็นภาพนิ่งตามอัตราการบันทึกภาพในหน่วยเฟรมต่อวินาที (fps) จากนั้น แต่ละภาพที่แยกออกได้จะถูกนำมาเข้าสู่กระบวนการแยกส่วนภาพ (Image Segmentation) เพื่อระบุพื้นที่ที่มีโอกาสจะเป็นวัตถุ จากนั้นภาพนิ่งที่ถูกแยกส่วนแล้วจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการจัดกลุ่มการจัดกลุ่มด้วยวิธีการ K-mean

Clustering ซึ่งเป็นการแบ่งกลุ่มโดยอาศัยตัวแปรในกลุ่มที่มีค่าเฉพาะอย่างใกล้เคียงกันมาจัดลำดับเป็นกลุ่มตามค่าที่ได้ ซึ่งอาจจะอยู่ในช่วงของอนุกรมทางคณิตศาสตร์ หรือช่วงค่าที่การแบ่งช่วงเป็นคาบเท่ากัน โดยการคำนวณแบบอัติโนมัติของคอมพิวเตอร์ (Liy และคณะ, 2019) เพื่อแยกกลุ่มของวัสดุที่มีคุณสมบัติทางภาพ อาทิ สี ขนาด และรูปทรง เป็นกลุ่มเดียวกัน การแยกกลุ่มนี้จะทำให้สามารถแยกสิ่งที่มีช่วงค่าสีเท่ากันหรืออยู่ในช่วงใกล้เคียงกันมาไว้ด้วยกันได้ โดยการแยกกลุ่มจะถูกทำเป็นลำดับขั้นตอน เพื่อให้สามารถแยกพื้นหลัง (น้ำ) และวัสดุกลุ่มต่าง ๆ ออกจากกันได้



รูปที่ 3 องค์ประกอบการประมวลผลและตัวอย่างรูปที่ได้จากการดำเนินการแต่ละขั้นตอน ซึ่งสามารถแสดงช่วงสีของวัตถุที่สามารถตรวจจับได้ในภาพ รวมไปจนถึงการแบ่งระดับช่วงสีของเงาที่ได้จากการะสะท้อนผิวน้ำ เละวัตถุที่ลอยอยู่เหนือผิวน้ำ

2.4 การพัฒนาและทดสอบความแม่นยำของระบบ

การพัฒนาการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning) ซึ่งเป็นหัวใจในการประเมินเพื่อแยกชนิดของวัตถุในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะเริ่มจากการนำภาพมาป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อทำการวิเคราะห์แยกกลุ่มสีของภาพดังกระบวนการที่ได้อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา รูปที่ทำการคัดแยกกลุ่มแล้วจะถูกนำเข้าสู่การระบุตัวตนเละประเภท (Labeling) เพื่อระบุประเภทของวัสดุที่ตรวจพบได้

ข้อมูลที่ได้จากการระบุตัวตนประเภทนี้ จะถูกนำไปใช้ในเป็นข้อมูลสำหรับการฝึกสอน (Training) ให้กับระบบ โดยมีชุดข้อมูลในการฝึกสอน (Training Data) เป็นภาพเคลื่อนไหวที่บันทึกได้จาก CCTV ในบริเวณพื้นที่ศึกษา เป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบจะถูกประมวลผลผ่านกระบวนคิดของการเรียนรู้ด้วยเครื่อง Machine Learning’s Algorithm

สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้รูปแบบของการเรียนรู้ด้วยเครื่องภายใต้กระบวนคิดจากระบบ ซัพพอร์ตเวคเตอร์แมชชีน (Support Vector Machaine: SVM) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับการจดจำรูปแบบตลอดจนการแก้ปัญหาการจัดกลุ่ม (Classification Problem) (Wang และคณะ, 2019),

(Zhu และคณะ, 2019) โดยอาศัยหลักการของการสร้างสมการการประเมินและแบ่งกลุ่ม เพื่อสร้างกระบวนการหรือเส้นขอบเขตของกลุ่มข้อมูลต่าง ๆ เพื่อให้สามารถแบ่งแยกข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการสอนออกเป็นกลุ่มย่อยและเป็นกรณีตามขอบเขต หรือค่าป้อนของผลลัพธ์ที่ผู้ใช้งานต้องการ จากนั้นระบบจะดำเนินการทำซ้ำกรณีย่อยที่เกิดขึ้น จนสามารถเรียนรู้การสร้างการแบ่งกลุ่มที่ดีที่สุด (Optimal Separating Hyperplane) ที่สามารถให้ค่าการแบ่งกลุ่มเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าป้อนได้ กระบวนการคิดหรือขั้นตอนที่เกิดขึ้นนี้เองจะถูกบันทึกเพื่อใช้เป็นกระบวนการในการแบ่งกลุ่มสำหรับชุดข้อมูลอื่นต่อไป

วิธีการ SVM นี่ยังสามารถแบ่งรูปแบบอ้างอิงตามลักษณะของฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์หรือสมการเชิงเส้นที่นำมาใช้เพื่อคำนวณในการแบ่งกลุ่ม สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้นำเอาการแบ่งกลุ่มอ้างอิงสมการในการคำนวณทั้งสิ้น 3 รูปแบบ ซึ่งประกอบด้วย Linear SVM ซึ่งเป็นการแบ่งกลุ่มและประเภทอ้างอิงกับการคำนวณในรูปแบบสมการเชิงเส้น, Quadratic SVM ซึ่งเป็นการแบ่งกลุ่มและระบุประเภทอ้างอิงกับการคำนวณในรูปแบบสมการพหุคูณ และ วิธีการสุดท้าย ได้แก่ Gaussian SVM ซึ่งเป็นการแบ่งกลุ่มและระบุประเภทอ้างอิงกับการคำนวณในรูปแบบความน่าจะเป็น โดยกระบวนการดังกล่าวจะถูกนำมาใช้เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของคุณลักษณะทางภาพอันได้แก่ แสง เงา ช่วงสี และขนาด มาพิจารณาเพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่ม ภายหลังจากการดำเนินการเพื่อสร้างกระบวนคิดเสร็จสิ้นแล้ว จะต้องดำเนินการทดสอบความถูกต้องของกระบวนคิดที่ได้เพื่อเลือกใช้กระบวนคิดที่ให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด มาใช้ในการนับจำนวนวัตถุเพื่อประเมินปริมาณขยะที่ลงสู่ลำน้ำ

การตรวจสอบความถูกต้องของระบบ จะดำเนินการโดยการนำภาพที่แยกได้จากกระบวนการเรียนรู้ด้วยเครื่อง มาเปรียบเทียบกับการระบุประเภทจากขยะที่ระบุได้ในภาพนิ่ง โดยผลการวิเคราะห์จะอยู่ในรูปของความแม่นยำของระบบ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการวิจัยจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นสองช่วง ได้แก่ช่วงของการทดสอบกระบวนคิดและช่วงของการติดตั้งระบบเพื่อใช้งานในพื้นที่

ภาพถ่ายที่ได้รับการวิเคราะห์ คัดแยก จัดกลุ่ม และได้รับการยืนยันความถูกต้องเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะถูกนับจำนวนผ่านการประมวลผลของระบบ เพื่อแสดงปริมาณของขยะที่รั่วไหลจากระบบลำน้ำลงสู่ทะเลโดยประเภทของวัสดุที่ทำการคัดแยกเป็นกลุ่มโดยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้แบ่งกลุ่มข้อมูลประเภทขยะออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ พลาสติก โฟม และ วัสดุกลุ่มใบไม้

3. ผลการศึกษาวิจัย

การศึกษาครั้งนี้แบ่งกระบวนการการทดสอบผลกานทำงานของระบบออกเป็นสองช่วงได้แก่ ช่วงการทดสอบระบบในขั้นตอนของการพัฒนาเพื่อคัดเลือกกระบวนคิดที่ให้ความแม่นยำสูงที่สุด ไปใช้งานในการคัดแยกวัสดุ และช่วงของการติดตั้งระบบเพื่อทำการคัดแยกขยะเพื่อประเมินประเภทขยะจากพื้นที่ศึกษาจริง

3.1 ความแม่นยำของระบบ

การทดสอบความแม่นยำของระบบในขั้นตอนการพัฒนาจะใช้การเปรียบเทียบกระบวนคิดทั้งสิ้นสามวิธีการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยผลการศึกษาพบว่ากระบวนคิดในรูปแบบของ Quadratic SVM เป็นกระบวนการที่ให้ความแม่ยำสูงสุดในทุกกลุ่มตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 1 จากผลการศึกษาพบว่า กระบวนคิดในรูปแบบ Quadratic SVM มีความเหมาะสมกับการใช้งานกับกลุ่มข้อมูลที่ได้จากการบันทึกในพื้นที่ ตำบลบางหลา จังหวัดสุราษฎร์ธานี และอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยมีความแม่นยำเมื่อนำไปใช้งานพื้นที่สูงถึงร้อยละ 95.60 และ 97.86 ตามลำดับ ในขณะที่ กระบวนคิด ในรูปแบบGaussian SVM มีความเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานกับกลุ่มข้อมูลจาก ตำบลเก้าเส้ง จังหวัดสงขลา อย่างไรก็ดีเป็นที่น่าสังเกตว่าความแม่นยำของระบบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อนำไปใช้งานกับพื้นที่ที่มีความซับซ้อนของประเภทขยะสูง ซึ่งในพื้นที่ศึกษาของตำบลเก้าเส้ง นั้นจะมีลักษณะของขยะที่พัดพามากับระบบลำน้ำอยู่ร่วมกับชั้นไขมันดังแสดงในรูปที่ 4 ส่งผลให้ความแม่นยำลดลงเหลือร้อยละ 81.40 อย่างไรก็ดีจากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในกระบวนการคิดพบว่า ในการนำระบบไปใช้งานในพื้นที่จริงที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน ชุดข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาบางบริเวณจะไม่สามารถประมวลผลผ่านฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ที่ระบุให้ใช้เป็นพื้นฐานในการแบ่งกลุ่มได้ ส่งผลให้ไม่มีผลลัพธ์จากระบบ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความแม่นยำของระบบ

พื้นที่ศึกษา/ กระบวนคิด	ความแม่นยำ (ร้อยละ)					
	ต.บางหลา จ.สุราษฎร์ธานี		อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา		ต.เก้าเส้ง จ.สงขลา	
	ขั้นตอนทดสอบระบบ	การติดตั้งใช้งานจริง	ขั้นตอนทดสอบระบบ	การติดตั้งใช้งานจริง	ขั้นตอนทดสอบระบบ	การติดตั้งใช้งานจริง
Linear SVM	96.15	-	99.04	-	78.6	-
Quadratic SVM	97.22	95.60	98.93	97.86	81.5	-
Gaussian SVM	90.43	-	99.10	-	82.8	81.40

หมายเหตุ “- “ หมายถึงกระบวนคิดไม่สามารถคัดแยกขยะจากกลุ่มข้อมูลได้

3.2 การประเมินปริมาณขยะที่รั่วไหลจากลำน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ของการคัดแยกขยะผ่านระบบที่ทำการพัฒนาขึ้น มีผลการศึกษาเป็นดังรูปที่ 4 โดยพบว่าตลอดระยะเวลา 1เดือน ที่มีการเก็บข้อมูลและติดตั้งระบบ ในพื้นที่ตำบลบางหลา อำเภอเมือง จังหวดสุราษฎร์ธานี มีปริมาณของวัสดุที่ตรวจพบ ได้แก่ ขยะพลาสติก 1350 ชิ้น เศษใบไม้ 720 ชิ้น และ โฟม 130 ชิ้น และวัตถุที่ระบุประเภทไม่ได้ 915 ชิ้น พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่ามีการตรวจพบวัสดุกลุ่มพลาสติกจำนวน 10 ชิ้น และไม่พบวัสดุประเภทอื่น สำหรับพื้นที่ศึกษา ตำบลเก้าเส้ง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ตรวจพบวัสดุที่รั่วไหลมากับลำน้ำ ได้แก่ พลาสติก 114 ชิ้น โฟม 2 ชิ้น ตรวจไม่พบเศษใบไม้ และพบวัตถุที่ระบุประเภทไม่ได้ 1,912 ชิ้น

พื้นที่ศึกษา/ประเภทขยะ	ต.บางหลา จ.สุราษฎร์ธานี (ชิ้น)	อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา (ชิ้น)	ต.เก้าเส้ง จ.สงขลา (ชิ้น)
พลาสติก	1350	10	114
เศษใบไม้	720	0	60
โฟม	130	0	2
ระบุประเภทไม่ได้	515	0	1912
รวม	2715	10	2088

รูปที่ 4 ผลการคัดแยกและนับจำนวนขยะรายประเภทแยกตามพื้นที่ศึกษาวิจัย

4. วิเคราะห์ผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์และคัดแยกขยะโดยอาศัยระบบที่พัฒนาขึ้น จะสามารถสังเกตได้ว่าลักษณะของแม่น้ำ ซึ่งมีตำแหน่งที่ตั้งและการบริหารจัดการน้ำที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อประเภทและปริมาณขยะที่รั่วไหลลงสู่ทะเลที่แตกต่างกัน โดยพบว่าในพื้นที่ที่มีการจัดการขยะอย่างเป็นระบบ เช่น ในพื้นที่ศึกษาของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จะมีปริมาณขยะที่ตรวจจับได้จากระบบน้อยกว่าพื้นที่ศึกษาที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของแผนการจัดการของหน่วยงานปกครองส่วนท้องถิ่นซึ่งเป็นหนึ่งในกุญแจสำคัญที่ช่วยลดการรั่วไหลของขยะต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ ในทางกลับกันสำหรับพื้นที่ศึกษาของตำบลเก้าเส้ง ซึ่งตั้งอยู่ใกล้ชุมชนที่มีประชากรและครัวเรือนหนาแน่นจะมีปริมาณวัสดุที่ตรวจพบสูงกว่า 2,088 ชิ้นและไม่สามารถระบุประเภทได้ ทั้งนี้ เนื่องจากขยะอยู่ในรูปของแพขยะที่เชื่อมติดกันโดยกลุ่มขยะประเภทชั้นไขมัน อย่างไรก็ดีพื้นที่ทางน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นที่รวมของขยะจำนวนมากจากสายสาขาของลำน้ำในบริเวณพื้นที่ศึกษาวิจัย ของตำบลบางหลา จังหวัดสุราษฎร์ธานี จะเป็นตัวอย่างที่ดีที่ทำให้เห็นว่าทางน้ำธรรมชาตินั้นเป็นเส้นทางที่มีการบริหารจัดการที่ยากที่สุด เนื่องจากมีขนาดใหญ่และสะสมตัวของขยะจำนวนมากที่สุดในช่วงเวลาที่เท่ากัน

ปรากฏการณ์ทางอุทกวิทยา อาทิ น้ำขึ้น น้ำลง และการไหลเวียนของน้ำยังส่งผลต่อจำนวนขยะที่รั่วไหลลงสู่มหาสมุทร โดยพื้นที่ศึกษา ตำบลบางหลา จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งเชื่อมต่อกับแม่น้ำตาปีและอ่าวไทย มีปริมาณการรั่วไหลที่สูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งสะท้อนให้เห็นผลของอัตราการไหลของน้ำในลำน้ำขนาดใหญ่ ดังนั้น ในการจัดการเพื่อลดการรั่วไหลของขยะควรกำหนดการไหลของขยะให้รวมตัวกันในบริเวณลำน้ำสาขามากกว่าการเก็บขยะในบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งการเก็บรวบรวมดังกล่าวนี้สามารถดำเนินการได้โดยง่ายจากความร่วมมือขององค์การบริหารส่วนท้องถิ่น

จากการศึกษาพบว่า แม้ระบบจะสามารถระบุการคัดแยกได้อย่างแม่นยำ ทว่ายังคงมีข้อจำกัดในสภาวะที่ขยะที่ถูกพัดพามาตามลำน้ำมีความซับซ้อนจากลักษณะทางกายภาพ ยกตัวอย่างเช่น แผ่นไขมัน หรือกลุ่มแพของพืชน้ำบริเวณผิวน้ำ ในพื้นที่ตำบลเก้าเส้ง จังหวัดสงขลา ที่มีของเสียกลุ่มนี้อยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากการขาดการบริหารจัดการขยะของพื้นที่ ขยะเหล่านี้สามารถเกาะรวมเอาขยะจำพวกอื่นเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถสะสมและรั่วไหลออกไปได้ หากมีขนาดใหญ่มาก และระบบประมวลผลพบว่าเป็นพื้นหลังหรือพื้นที่ลำน้ำ ดังนั้น หากจะนำเอาระบบไปพัฒนาต่อยอดจำเป็นจะต้องมีการคิดค้นแบบจำลองการคัดแยกที่สามารถคัดแยกกลุ่มขยะที่มีความซับซ้อนออกจากกันเพิ่มเติมขึ้น เพื่อให้สามารถคัดแยกขยะที่ถูกพัดพามากับระบบแม่น้ำได้อย่างอัตโนมัติ และสามารถเชื่อมโยงกับการพัฒนาเป็นระบบเก็บขยะหรือคัดกรองขยะอัจฉริยะที่สามารถคัดกรองและป้องกันไม่ให้ขยะประเภทโฟม หรือพลาสติกที่ย่อยสลายยากรั่วไหลจากทั้งระบบลำน้ำ ที่มีแม่น้ำเป็นองค์ประกอบทั้งสาขาหลักและรองลงสู่พื้นที่ทะเลในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนทุนอุดหนุนจาก “โครงการ Plastic Smart Cities: Baseline Assessment and Action Plans for the City Municipalities of Surat Thani, Samui, Songkhla, and Hat Yai” ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) และองค์การกองทุนสัตว์ป่าโลกสากล (สำนักงานประเทศไทย)

เอกสารอ้างอิง

Scavino, E., Wahab, D. A., Hussain, A., Basri, H., & Mustafa, M. M. (2009). Application of automated image analysis to the identification and extraction of recyclable plastic bottles. Journal of Zhejiang University-SCIENCE A, 10(6), 794-799.

Wang, Z., Peng, B., Huang, Y., & Sun, G. (2019). Classification for plastic bottles recycling based on image recognition. Waste management, 88, 170-181.

Liu, Z., Liu, Q., Liu, T., Xu, N., Lin, X., Wang, Y., & Wen, W. (2019, June). Feature distillation: Dnn-oriented jpeg compression against adversarial examples. In 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (pp. 860-868). IEEE.f

Zhu, S., Chen, H., Wang, M., Guo, X., Lei, Y., & Jin, G. (2019). Plastic solid waste identification system based on near infrared spectroscopy in combination with support vector machine. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2(2), 77-81.