

การประเมินสมบัติของแหล่งน้ำธรรมชาติภาคกลางและภาคเหนือ สำหรับการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพตามมาตรฐานสากล OECD 301A

Evaluation of natural water properties in the central and northern regions for ready biodegradability testing according to OECD 301A

นิตยาพร สมภักดิ์ย์¹, จันทนา พันธุ์พราน¹, มिरันตี ดีเจริญ¹, นพวรรณ สระแสงตา¹,
ชาญชัย คหาปนะ¹, วิทวัส เยื่อใย¹, ศิริรัตน์ ตั้งสถิตพร¹, อัญชนา พัฒนสุพงษ์¹
Nidtayaporn Sompakdee¹, Jantana Panpran¹, Mirantee Deechareem¹, Nopphawan Srasaengta¹,
Chanchai Kahapana¹, Witthawat Yueayai¹, Sirorat Tungsatitporn¹, Anchana Pattanasupong¹
รับบทความ 31 พฤษภาคม 2567 แก้ไขบทความ 7 ตุลาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์ 7 ตุลาคม 2567

บทคัดย่อ

ประเมินสมบัติของแหล่งน้ำธรรมชาติสำหรับทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพของเคมีภัณฑ์ตามมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A รวมการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ โดยใช้ตัวอย่างน้ำธรรมชาติ เป็นกล้ำเชื้อ ซึ่งเก็บรวบรวมจากพื้นที่ภาคกลาง 3 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร และราชบุรี พื้นที่ภาคเหนือ 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกำแพงเพชร ลำปาง พะเยา พิจิตร และนครสวรรค์ โดยใช้สาร Sodium benzoate เป็นสารอ้างอิง ทั้งนี้ตัวอย่างน้ำธรรมชาติมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน อีกทั้งยังเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน OECD 301A นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ยร้อยละการสลายตัวทางชีวภาพของสารอ้างอิง ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติทั้ง 2 พื้นที่ ตลอดระยะเวลาการศึกษามีค่าร้อยละ 86.13-97.53 ซึ่งสอดคล้องตามเกณฑ์ที่ระบุในมาตรฐาน OECD 301A ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ภายในระยะเวลา 28 วัน กล่าวได้ว่าน้ำธรรมชาติทั้ง 2 พื้นที่ มีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ประเมินการสลายตัวทางชีวภาพของเคมีภัณฑ์ตามมาตรฐาน OECD 301A โดยวิธีการทดสอบในครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการด้านผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทั้งภายในและต่างประเทศที่ต้องการพัฒนาสมบัติผลิตภัณฑ์ด้านการสลายตัวทางชีวภาพให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานสากล

คำสำคัญ: เคมีภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, ไฮเดียมเบนโซเอต, การสลายตัวทางชีวภาพ, ไอเอสซีดี 301A

¹ห้องปฏิบัติการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพของวัสดุ ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

Abstract

The evaluation of natural water properties for chemical compounds biodegradation test according to the OECD 301A including the verification of test method validity. The test method was using the natural water as the inoculum which collected from 3 provinces of central region, namely Nakhon Pathom, Samut Sakhon, and Ratchaburi, including 5 provinces of northern region, namely Kamphaeng Phet, Lampang, Phayao, Phichit and Nakhon Sawan. The quality of the collected natural water does not exceed surface water quality standards and still meets the OECD 301A standards requirement. In addition, the average biodegradation percentage of Sodium benzoate as the reference compound in the both of region were 86.13-97.53 throughout the study period, that achieve to the criteria according to OECD 301A, indicated that the biodegradation percentage of reference compound not less than 70% within 28 days test period. Therefore, it can be mentioned that the natural water from both areas are suitable for chemical compounds biodegradation testing according to the OECD 301A. Through this testing method, entrepreneurs in environmentally friendly products, both domestically and internationally, can benefit. It aids those aiming to enhance product properties related to biodegradation, ensuring compliance with international quality standards.

Keywords: Environmentally friendly chemicals, Sodium benzoate, Biodegradation, OECD 301A

¹Material Biodegradation Testing Laboratory, Material Properties Analysis and Development Centre, Thailand Institute of Scientific and Technological Research

^{*}Corresponding author e-mail address: anchana@tistr.or.th

1. บทนำ (Introduction)

จากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของจำนวนประชากรโลก ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติถูกใช้ไปอย่างไม่คำนึงถึงปริมาณและวิธีการใช้ที่เหมาะสม และเมื่อทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่จำกัดมีปริมาณลดลง มนุษย์จึงพยายามพัฒนาความรู้และนำวิทยาการใหม่ ๆ มาใช้ในการผลิตอาหาร สินค้าอุปโภคบริโภค เพื่อประโยชน์ของผู้ผลิตและผู้บริโภคทั้งจากภาคครัวเรือนภาคเกษตรและอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของสารเคมีอันตรายในสิ่งแวดล้อมทั้งทางบกและทางน้ำ ดังรายงานของสถาบันจัดการน้ำระหว่างประเทศ (International Water Management Institute) ที่ว่าในรอบ 10 ปีที่ผ่านมาประชากรมากกว่า 5 ล้านคนตายด้วยโรคที่เกิดจากน้ำไม่สะอาด และประมาณการว่าปี ค.ศ. 2025 ประชากร 4 พันล้านคน ใน 48 ประเทศ (2 ใน 3 ของประชากรโลก) จะเผชิญกับปัญหาความขาดแคลนน้ำ [1] นำไปสู่ความเสี่ยงต่อความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตโดยรอบ อีกทั้งยังมีแนวโน้มรุนแรงเพิ่มขึ้น ทำให้หลายประเทศทั่วโลก อาทิ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และกลุ่มประเทศยุโรปตื่นตัวกับปัญหาดังกล่าว แนวทางหนึ่งในการป้องกันและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม คือ การใช้ผลิตภัณฑ์ที่สลายตัวได้ทางชีวภาพตลอดจนลดการใช้สารเคมีที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากในส่วนผสมของสินค้าอุปโภคที่มีปริมาณการใช้งานสูง อาทิ ผลิตภัณฑ์ดูแลร่างกาย ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด จะเป็นส่วนสำคัญในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของผู้บริโภค รวมถึงเป็นการแก้ปัญหาการสะสมของสารอันตรายตกค้างในสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจำเป็นต้องผ่านการทดสอบสมบัติการสลายตัวได้ทางชีวภาพด้วยวิธีการที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลเพื่อเป็นข้อมูลที่ยืนยันถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ก่อนนำไปใช้ [2]

ปัจจุบันการทดสอบความสามารถในการสลายตัวทางชีวภาพเป็นตัวแปรสำคัญในข้อบังคับระหว่างประเทศหลายฉบับที่เกี่ยวกับเคมีภัณฑ์ เช่น ระเบียบข้อบังคับของสหภาพยุโรป Regulation on the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) [3] และระเบียบ Regulation on the Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures (CLP) ของยุโรป [4] เป็นต้น ซึ่งมีการกำหนดมาตรฐานภายใต้องค์กรระหว่างประเทศ อาทิ Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) และ International Organization for Standardization (ISO) ทั้งนี้ การทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพของเคมีภัณฑ์ตามมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301 (Ready biodegradability) เป็นหนึ่งในมาตรฐานสำหรับตรวจสอบความสามารถในการสลายตัวทางชีวภาพของสารอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมทางน้ำภายใต้สภาวะที่มีอากาศ ซึ่งมี 6 หัวข้อการทดสอบย่อย (A-F) โดยแต่ละหัวข้อการทดสอบจะมีวิธีการวัดผลที่แตกต่างกัน เช่น การวัดปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำ (Dissolved organic carbon; DOC) การวัดปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไป (Oxygen consumption) เป็นต้น ทั้งนี้ การเลือกใช้แต่ละหัวข้อการทดสอบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สมบัติการละลายน้ำ การระเหยได้ และการถูกดูดซับ โดยหัวข้อการทดสอบตามมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301 หัวข้อย่อย A (OECD 301A: DOC Die-away) ใช้หลักการตรวจวัดปริมาณอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกลุ่มจุลินทรีย์ มาตรฐานระบุว่าค่าการสลายตัวทางชีวภาพจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ภายในระยะเวลาการทดสอบ 28 วัน [5] ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ทดสอบเคมีภัณฑ์ได้หลายประเภท อาทิ 4,4'-Diaminodiphenylmethane เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสีย้อมสำหรับกระดาษ เครื่องหนัง และสิ่งทอ [6] Aniline เป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยาง ยา หมึก น้ำยาล้างรูป เรซิน น้ำหอม น้ำยาขัดรองเท้า ใช้เป็นตัวทำละลายสี [7] Alkyl betaines เป็นสารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้ในผงซักฟอก Cocamidopropyl betaine สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ผสมในแชมพูหรือสบู่ [8] เป็นต้น

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมบัติของแหล่งน้ำธรรมชาติบริเวณภาคกลางและภาคเหนือของประเทศไทยในการใช้เป็นกิลล์เชื้อ (Inoculum) สำหรับการพัฒนาและตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพของเคมีภัณฑ์ โดยใช้สารโซเดียมเบนโซเอตที่เป็นสารอ้างอิงเชิงบวกตามระบุในมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A ซึ่งเป็นการขยายผลความสำเร็จในการพัฒนาวิธีทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพตามมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A [5] จากพื้นที่จังหวัดนนทบุรี ปทุมธานี และพระนครศรีอยุธยา [2] ไปยังพื้นที่อื่นของประเทศไทย ดังนั้น ความสำเร็จของการพัฒนาวิธีการทดสอบนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัยและผู้ประกอบการ

ในการบ่งชี้สมบัติของเคมีภัณฑ์ที่สลายตัวทางชีวภาพในสิ่งแวดล้อมทางน้ำ รวมถึงยกระดับมาตรฐานและความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการไทยในตลาดการค้าสากล

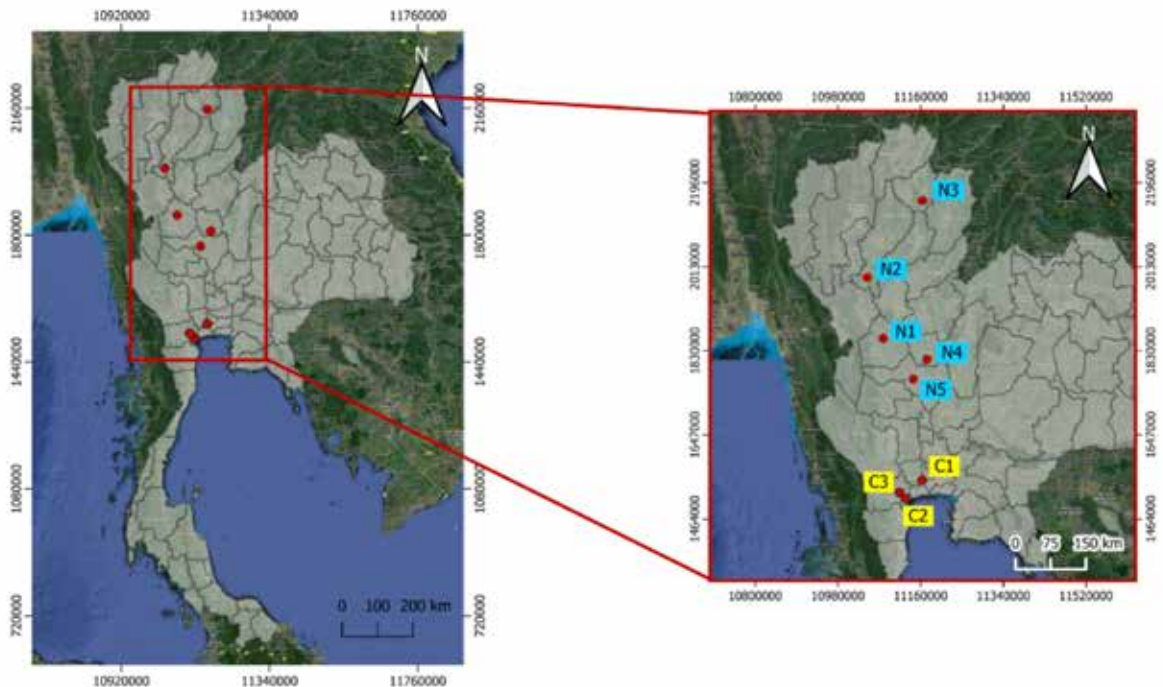
2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 ตัวอย่างน้ำธรรมชาติ

ตัวอย่างน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคกลาง 3 แหล่ง (จุด C1–C3) เก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ในระยะเวลา 1 ปี ระหว่างเดือนตุลาคม 2565 ถึงเมษายน 2566 และขยายจุดเก็บไปยังพื้นที่ภาคเหนือ 5 แหล่ง (จุด N1–N5) ในเดือนพฤษภาคม 2566 เวลาการเก็บอยู่ในช่วงระหว่าง 10.00–14.00 น. อุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วงระหว่าง 28–36 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วงระหว่าง 28–32 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 1 และรูปที่ 1)

ตารางที่ 1 แหล่งเก็บตัวอย่างน้ำธรรมชาติและพิกัดทางภูมิศาสตร์

ภูมิภาค	รหัส	แหล่งเก็บตัวอย่าง	จังหวัด	พิกัดทางภูมิศาสตร์		ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง
				ละติจูด	ลองจิจูด	
กลาง	C1	แม่น้ำท่าจีน	นครปฐม	13.7718	100.2832	ครั้งที่ 1 เดือนตุลาคม 2565 ครั้งที่ 2 เดือนมกราคม 2566 ครั้งที่ 3 เดือนเมษายน 2566
	C2	แม่น้ำแม่กลอง	สมุทรสาคร	13.4235	99.9605	
	C3	แม่น้ำแม่กลอง	ราชบุรี	13.53822	99.83958	
เหนือ	N1	แม่น้ำปิง	กำแพงเพชร	16.4514	99.5193	เดือนพฤษภาคม 2566
	N2	แม่น้ำวัง	ลำปาง	17.7234	99.1955	
	N3	แม่น้ำยม	พะเยา	19.0161	100.2861	
	N4	แม่น้ำน่าน	พิจิตร	16.0585	99.8870	
	N5	แม่น้ำเจ้าพระยา	นครสวรรค์	15.6857	100.1107	



รูปที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำธรรมชาติ

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.2.1 เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง (Balance) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BSA224S-CW
- 2.2.2 ตู้อบความร้อน (Oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น UNE 500
- 2.2.3 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อแรงดันไอน้ำ (Autoclave) ยี่ห้อ Tomy รุ่น SX-500 และรุ่น SX-700
- 2.2.4 กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอชนิด 2 ตา (Microscope) ยี่ห้อ Olympus รุ่น SZ 51-SET
- 2.2.5 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น PP-20
- 2.2.6 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO meter) ยี่ห้อ WTW รุ่น MULTI 3630 IDS
- 2.2.7 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมในสารละลาย (Total organic carbon analyzer) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น TOC-L

2.3 สารเคมี

- 2.3.1 Ammonium chloride เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent grade) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 100.0 ยี่ห้อ Merck ผลิตจากประเทศเยอรมนี
- 2.3.2 Calcium chloride dehydrate เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent grade) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ยี่ห้อ Merck ผลิตจากประเทศเยอรมนี
- 2.3.3 Dipotassium hydrogen orthophosphate เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent grade) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.2 ยี่ห้อ Sigma Aldrich ผลิตจากประเทศเยอรมนี
- 2.3.4 Disodium hydrogen orthophosphate dehydrate เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent grade) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 100.0 ยี่ห้อ Sigma Aldrich ผลิตจากประเทศเยอรมนี
- 2.3.5 Iron (III) chloride hexahydrate เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent grade) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 ยี่ห้อ Merck ผลิตจากประเทศเยอรมนี

- 2.3.6 Magnesium sulphate heptahydrate เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent grade) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 ยี่ห้อ Merck ผลิตจากประเทศเยอรมนี
- 2.3.7 Potassium dihydrogen orthophosphate เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent grade) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8 ยี่ห้อ Merck ผลิตจากประเทศเยอรมนี
- 2.3.8 Potassium hydrogen phthalate orthophosphate เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent grade) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.7 ยี่ห้อ Merck ผลิตจากประเทศเยอรมนี
- 2.3.9 Sodium benzoate เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent grade) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 100.0 ยี่ห้อ Sigma Aldrich ผลิตจากประเทศเยอรมนี
- 2.3.10 Sodium carbonate เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent grade) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 100.0 ยี่ห้อ Merck ผลิตจากประเทศเยอรมนี
- 2.3.11 Sodium hydrogen carbonate เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent grade) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 100.0 ยี่ห้อ Merck ผลิตจากประเทศเยอรมนี

2.4 วิธีดำเนินงาน

2.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำธรรมชาติ

เก็บตัวอย่างน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคกลาง 3 แหล่ง และพื้นที่ภาคเหนือ 5 แหล่ง ด้วยวิธีการเก็บน้ำผิวดินแบบจ้วง ที่ระดับความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร [9] ทำการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ และปริมาณแบคทีเรียรวม (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้น

รายการวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	วัดค่าโดยหลักการทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) ด้วยเครื่อง pH Meter
2. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen)	วัดค่าโดยหลักการทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) ด้วยเครื่อง DO Meter
3. ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved organic carbon: DOC)	วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดและคาร์บอนอินทรีย์ในสารละลาย โดยใช้เครื่อง Total organic carbon analyzer
4. ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ (Suspended solids: SS)	กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C ตามวิธี APHA, AWWA and WEF; 2017 [10]
5. ปริมาณแบคทีเรียรวม (Total bacteria count)	Total plate count [11]

2.4.2 การทดสอบการสลายตัวของชีวภาพตามมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A [5]

การสลายตัวของชีวภาพตามมาตรฐานสากล OECD 301A เป็นการตรวจวัดปริมาณอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (Dissolved Organic Carbon: DOC) ที่คงเหลือในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดำเนินการทดสอบโดยใช้ตัวกลางที่ประกอบด้วยกล้ำเชื้อจากแหล่งน้ำธรรมชาติ (ผ่านการบ่มเลี้ยงที่อุณหภูมิ 22 ± 2 องศาเซลเซียส มีการให้อากาศอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 7 วัน) และอาหารเหลวสังเคราะห์ Mineral medium (ตารางที่ 3) อัตราส่วน 1:4 แล้วเติมสารโซเดียมเบนโซเอตที่ระดับความเข้มข้น DOC 10–40 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่มเลี้ยงในระบบปิด โดยทำการกวน

อย่างต่อเนื่อง ภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิ 22 ± 2 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการทดสอบ 28 วัน ทำการทดสอบ 3 ซ้ำต่อชุดทดสอบ แสดงผลเป็นค่าร้อยละการสลายตัวของสารโซเดียมเบนโซเอต โดยคำนวณจากปริมาณ DOC คงเหลือเทียบกับปริมาณ DOC ของชุดควบคุม

2.4.3 การคำนวณค่าร้อยละการสลายตัวของสารชีวภาพตามมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A [5]

$$D_t = \left[1 - \frac{C_t - C_{bl(t)}}{C_0 - C_{bl(0)}} \right] \times 100$$

D_t = ร้อยละการสลายตัวของชีวภาพ

C_0 = ค่าเฉลี่ยปริมาณ DOC ในชุดทดสอบสารอ้างอิง (mg/L) ณ ช่วงเวลาที่ 0

C_t = ค่าเฉลี่ยปริมาณ DOC ในชุดทดสอบสารอ้างอิง (mg/L) ณ ช่วงเวลาที่ n

$C_{bl(0)}$ = ค่าเฉลี่ยปริมาณ DOC ในชุดควบคุม (mg/L) ณ ช่วงเวลาที่ 0

$C_{bl(t)}$ = ค่าเฉลี่ยปริมาณ DOC ในชุดควบคุม (mg/L) ณ ช่วงเวลาที่ n

ตารางที่ 3 องค์ประกอบอาหารเหลวสังเคราะห์ Minimal medium ตามมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A [5]

องค์ประกอบ	ความเข้มข้น (g/L)
(a) Potassium dihydrogen orthophosphate, KH_2PO_4 Dipotassium hydrogen orthophosphate, K_2HPO_4 Disodium hydrogen orthophosphate dehydrate, $Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$ Ammonium chloride, NH_4Cl (Dissolve in water and make up to 1 L The pH of the solution should be 7.4)	8.50 21.75 33.40 0.50
(b) Calcium chloride, anhydrous, $CaCl_2$ Or Calcium chloride dehydrate, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ (Dissolve in water and make up to 1 L)	27.50 36.40
(c) Magnesium sulphate heptahydrate, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (Dissolve in water and make up to 1 L)	22.50
(d) Iron (III) chloride hexahydrate, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (Dissolve in water and make up to 1 L)	0.25

2.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA (One-Way Analysis of Variance) และทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Duncan Multiple Rang Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 26.0 (SPSS Inc, Chicago, Illinois)

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 สมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างน้ำธรรมชาติ

การตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของตัวอย่างน้ำธรรมชาติที่เก็บรวบรวมจากพื้นที่ภาคกลาง 3 แหล่งโดยเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ในระยะเวลา 1 ปี ระหว่างเดือนตุลาคม 2565 ถึงเมษายน 2566 และทำการขยายจุดเก็บไปยังพื้นที่ภาคเหนือ 5 แหล่ง เดือนพฤษภาคม 2566 พบว่า ตัวอย่างน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคกลางมีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 7.80–8.02 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 3.92–4.44 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ 5.84–7.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ 7.85–6.12 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณแบคทีเรียรวม 4–5 สลือกโคโลนีต่อมิลลิลิตร โดยสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของตัวอย่างน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคกลาง 3 แหล่ง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4) นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคกลางและภาคเหนือ พบว่า มีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง 7.90–9.00 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 4.23–7.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ 4.75–6.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ 7.06–11.48 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณแบคทีเรียรวม 4–5 สลือกโคโลนีต่อมิลลิลิตร โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ และปริมาณแบคทีเรียรวม แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 5)

ทั้งนี้ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ประกาศมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน แบ่งออกเป็น 5 ประเภทตามลักษณะการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำ โดยประเภทที่ 2, 3 และ 4 สามารถใช้ในการอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน [12] จากการประเมินคุณภาพตัวอย่างน้ำธรรมชาติ 8 แหล่ง เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 2, 3 และ 4 พบว่า ตัวอย่างน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคกลางและภาคเหนือ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง สอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดินทั้ง 3 ประเภท ในส่วนของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ภาคกลางมีคุณภาพน้ำสอดคล้องกับประเภทที่ 3 และ 4 ทั้งยังสอดคล้องกับกรมควบคุมมลพิษ ที่ทำการตรวจติดตามคุณภาพแม่น้ำท่าจีนอย่างต่อเนื่อง ภายใต้แผนปฏิบัติการยกระดับคุณภาพน้ำลุ่มน้ำท่าจีน ปี พ.ศ. 2562–2570 ในพื้นที่ 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดชัยนาท สุพรรณบุรี นครปฐม และสมุทรสาคร พบว่าคุณภาพน้ำไม่เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนด โดยน้ำมีความสกปรก และความสามารถในการรองรับน้ำเสียของกลุ่มแม่น้ำท่าจีนลดลงเนื่องมาจากการรับน้ำเสียจากแหล่งชุมชน อุตสาหกรรม และการเกษตร [13] ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำตัวอย่างน้ำธรรมชาติภาคเหนือมีคุณภาพน้ำสอดคล้องกับประเภทที่ 2 ซึ่งมีคุณภาพดีกว่า

วิธีการทดสอบมีการระบุเกณฑ์สมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างน้ำ สำหรับใช้เป็นกล่าเชื้อในการทดสอบ โดยต้องมีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณแบคทีเรียรวม 4–5 สลือกโคโลนีต่อมิลลิลิตร สอดคล้องตามมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A [5] ดังนั้น จากการตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างน้ำธรรมชาติ 8 แหล่ง ในพื้นที่ภาคกลางบริเวณแม่น้ำท่าจีนและแม่กลอง พื้นที่ภาคเหนือบริเวณแม่น้ำปิง วัง ยม น่านและเจ้าพระยา มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดที่ระบุในมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A [5] จึงกล่าวได้ว่า ตัวอย่างน้ำธรรมชาติในพื้นที่ดังกล่าวมีความเหมาะสม สามารถนำมาใช้เป็นกล่าเชื้อในการทดสอบได้

ตารางที่ 4 สมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคกลาง

รายการวิเคราะห์	เกณฑ์ ¹	ครั้งที่ 1 ² (ต.ค. 65)	ครั้งที่ 2 ² (ม.ค. 66)	ครั้งที่ 3 ² (เม.ย. 66)	p-value
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ไม่ระบุ	8.02±0.16	7.80±0.03	7.88±0.06	0.193
2. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		4.33±1.24	3.92±1.96	4.44±2.09	0.093
3. ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		7.40±3.66	5.84±4.16	6.37±1.32	0.837
4. ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤30	10.47±5.12	7.85±5.39	16.12±15.02	0.592
5. ปริมาณแบคทีเรียรวม (ล็อกโคโลนีต่อมิลลิลิตร)	4-5	4.33±0.58	4.67±0.58	4.33±0.58	0.729

หมายเหตุ ¹ เกณฑ์ระบุตามมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A [5]

² ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 27)

ตารางที่ 5 สมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคกลางและภาคเหนือ

รายการวิเคราะห์	เกณฑ์ ¹	ภาคกลาง ²	ภาคเหนือ ²	p-value
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ไม่ระบุ	7.90±0.13	9.00±0.06	0.000 ³
2. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		4.23±1.58	7.83±0.13	0.000 ³
3. ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		6.55±2.93	4.75±2.86	0.289
4. ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤30	11.48±9.14	7.06±6.82	0.366
5. ปริมาณแบคทีเรียรวม (ล็อกโคโลนีต่อมิลลิลิตร)	4-5	4.44±0.53	4.80±0.45	0.228

หมายเหตุ ¹ เกณฑ์ระบุตามมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A [5]

² ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 42)

³ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05)

3.2 การสลายตัวทางชีวภาพของสารอ้างอิง

การทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพของสารโซเดียมเบนโซเอต ซึ่งใช้เป็นสารอ้างอิง ภายในระยะเวลาการทดสอบ 28 วัน โดยใช้ตัวอย่างน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคกลางและขยายจุดเก็บไปยังพื้นที่ภาคเหนือ 5 แห่ง เพื่อพัฒนาและตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีการทดสอบ (Vilified method) ตามมาตรฐาน OECD 301A พบว่า ตัวอย่างน้ำธรรมชาติจังหวัดนครปฐม มีค่าเฉลี่ยร้อยละการสลายตัวทางชีวภาพอยู่ในช่วง 87.96–97.53 โดยตัวอย่างน้ำที่เก็บในเดือนมกราคม 2566 (ครั้งที่ 2) มีความแตกต่างจากเดือนตุลาคม 2565 (ครั้งที่ 1) และเดือนเมษายน 2566 (ครั้งที่ 3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05) ในขณะที่ตัวอย่างน้ำธรรมชาติจังหวัดสมุทรสาคร มีค่าเฉลี่ยร้อยละการสลายตัวทางชีวภาพของสารอ้างอิงอยู่ในช่วง 86.13–91.04 และจังหวัดราชบุรี 89.53–93.36 ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p > 0.05)

เมื่อเปรียบเทียบตามแหล่งน้ำธรรมชาติที่เก็บในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการสลายตัวทางชีวภาพอยู่ในช่วง 86.13–97.53 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 6) เนื่องจากตัวอย่างน้ำธรรมชาติที่นำมาใช้เป็นกล้ำเชื้อในการทดสอบ มีคุณสมบัติสอดคล้องตามเกณฑ์กำหนดที่ระบุในมาตรฐาน OECD 301A (ตารางที่ 4) ทั้งนี้ยังพบว่าตัวอย่างน้ำที่เก็บในเดือนมกราคม 2566 มีค่าเฉลี่ยร้อยละการสลายตัวทางชีวภาพน้อยกว่าตัวอย่างน้ำที่เก็บในเดือนตุลาคม 2565 และเดือนเมษายน 2566 ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของตัวอย่างน้ำธรรมชาติที่เก็บในเดือนมกราคม 2566 ที่มีค่าน้อยกว่าเดือนตุลาคม 2565 และเดือนเมษายน 2566 เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในน้ำมีความสำคัญต่อกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในน้ำ [10] อีกทั้งการทดสอบนี้เป็นการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะมีอากาศ ดังนั้น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่เพียงพอและเหมาะสมต่อการหายใจของจุลินทรีย์จึงเป็นปัจจัยสำคัญเพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคกลางและภาคเหนือ พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการสลายตัวทางชีวภาพอยู่ในช่วง 91.83–95.79 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 7)

จากผลการศึกษาข้างต้นกล่าวได้ว่า ตัวอย่างน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคกลางและภาคเหนือ จำนวน 8 แหล่ง แม้ว่า มีสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีสมบัติสอดคล้องตามเกณฑ์ระบุในมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A จึงมีความเหมาะสมสามารถนำไปเป็นกล้ำเชื้อ สำหรับการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพโดยใช้สารโซเดียมเบนโซเอตเป็นสารอ้างอิง ส่งผลให้ร้อยละการสลายตัวทางชีวภาพของสารอ้างอิงมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย โดยยังมีค่าสอดคล้องตามเกณฑ์ระบุในมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A ที่กำหนดค่าร้อยละการสลายตัวทางชีวภาพของสารอ้างอิงต้องไม่น้อยกว่า 70 ภายในระยะเวลาการทดสอบ 28 วัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fang Mei และคณะ [6] ที่รายงานค่าร้อยละการสลายตัวทางชีวภาพของสารโซเดียมเบนโซเอต 98.9 ภายในระยะเวลาทดสอบ 28 วัน เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A ซึ่งทำการตรวจวัดปริมาณ DOC คงเหลือเทียบกับปริมาณ DOC ของชุดควบคุม

ตารางที่ 6 ร้อยละการสลายตัวทางชีวภาพของสารอ้างอิงโดยใช้ตัวอย่างน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคกลาง

จุดเก็บ	จังหวัด	เกณฑ์ ^{/1}	ร้อยละการสลายตัวทางชีวภาพ ^{/2}			ช่วงเวลากการเก็บตัวอย่าง
			ครั้งที่ 1 (ต.ค. 65)	ครั้งที่ 2 (ม.ค. 66)	ครั้งที่ 3 (เม.ย. 66)	
C1	นครปฐม	ร้อยละ 70	97.07b±0.37	87.96a±2.96	97.53b±1.98	0.002 ^{/3}
C2	สมุทรสาคร		90.68±5.50	86.13±2.27	91.04±1.25	0.242
C3	ราชบุรี		93.36±7.65	89.53±1.90	93.14±4.78	0.634
p-value			0.409	0.300	0.099	

หมายเหตุ ¹เกณฑ์ระบุตามมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A [5]
²ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 27)
³ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กแตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$)

ตารางที่ 7 ร้อยละการสลายตัวทางชีวภาพของสารอ้างอิงโดยใช้ตัวอย่างน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคกลางและภาคเหนือ

ตัวอย่างน้ำธรรมชาติ	เกณฑ์ ^{/1}	ร้อยละการสลายตัวทางชีวภาพ ^{/2}
1. ภาคกลาง	ร้อยละ 70	91.83±4.91
2. ภาคเหนือ		95.79±4.49
p-value		0.014 ^{/3}

หมายเหตุ ^{1/} เกณฑ์ระบุตามมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A [5]

^{2/} ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 42)

^{3/} มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

4. สรุป (Conclusion)

แหล่งน้ำธรรมชาติในเขตพื้นที่ภาคกลางและภาคเหนือของประเทศไทยจำนวน 8 แหล่ง ได้แก่ แม่น้ำท่าจีน จังหวัดนครปฐม แม่น้ำแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม และจังหวัดราชบุรีในพื้นที่ภาคกลาง แม่น้ำปิง จังหวัดกำแพงเพชร แม่น้ำวัง จังหวัดลำปาง แม่น้ำยม จังหวัดพะเยา แม่น้ำน่าน จังหวัดพิจิตร และแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดนครสวรรค์ในพื้นที่ภาคเหนือ มีสมบัติเบื้องต้นสอดคล้องตามเกณฑ์ระบุในมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A จึงมีความเหมาะสมและสามารถนำไปเป็นกล้ำเชื้อสำหรับการทดสอบได้ เมื่อทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีโดยทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพของสารโซเดียมเบนโซเอตซึ่งเป็นสารอ้างอิง มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ภายในระยะเวลาการทดสอบ 28 วัน สอดคล้องตามเกณฑ์ระบุในมาตรฐาน OECD guideline for testing of chemicals, OECD 301A การศึกษาในลำดับถัดไป จะทำการขยายพื้นที่แหล่งเก็บตัวอย่างน้ำธรรมชาติ อาทิ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อตรวจสอบและรวบรวมสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างแหล่งน้ำธรรมชาติ ที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องตามเกณฑ์ข้อกำหนดที่ระบุในมาตรฐานสำหรับนำมาใช้เป็นกล้ำเชื้อ พร้อมทั้งตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีโดยทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพของสารอ้างอิง สามารถช่วยยืนยันความถูกต้องและเชื่อถือได้ของวิธีการทดสอบ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องในการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพของตัวอย่างเคมีภัณฑ์

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.)

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] จาตุรงค์ กอบแก้ว. รายงานสถานการณ์น้ำของโลก [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 15 พฤษภาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.salika.com/2020/12/02/world-water-crisis>.
- [2] จันทนา พันธุ์พราน, มรินทร์ ดีเจริญ, สุทธิดา คงเจ้ย, ชาญชัย คหาปนะ, อัญชนา พัฒนสุพงษ์. การประเมินสมบัติของแหล่งน้ำธรรมชาติสำหรับการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพตามมาตรฐานสากล OECD 301A. ใน: งานประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 5; วันที่ 19 ส.ค. 2565; กรุงเทพฯ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร; 2565. น. 296-301.
- [3] European Chemicals Agency (ECHA). The European Parliament and the Council of the European Union, directive 2006/121/EC of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 amending Council Directive 67/548/EEC on the approximation of laws, regulations and administrative provisions

- relating to the classification, packaging and labelling of dangerous substances in order to adapt it to Regulation (EC) No 1907/2006 concerning the registration, evaluation, authorization and restriction of chemicals (REACH) and establishing a European chemicals agency. 2006.
- [4] European Parliament. Regulation (EC) No 1272/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing Directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No 1907/2006. 2008.
- [5] The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). OECD guideline for testing of chemicals: Ready biodegradability. OECD 301, adopted by the Council on 17th July 1992. Paris: OECD; 1992.
- [6] Fang MC, Zhen LY, Nian LW, Ping SG, Qu ZG, Ying XM, et al. A comparative study of biodegradability of a carcinogenic aromatic amine (4,4-Diaminodiphenylmethane) with OECD 301 test methods. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2015;111:123-30.
- [7] Reuschenbach P, Pagga U, Strotmann U. A critical comparison of respirometric biodegradation tests based on OECD 301 and related test methods. *Water Res.* 2003;37:1571-82.
- [8] Comber SDW, Painter H, Reynolds P. Cationic and amphoteric surfactant primary biodegradability ring test. European Union; ETD/98/502063, WRc Ref: CO 4909. 2000.
- [9] กรมควบคุมมลพิษ. วิธีการปฏิบัติสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำ [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 17 พฤษภาคม 2567]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.pcd.go.th/publication/4209>.
- [10] APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd ed. Washington (DC): American Public Health Association; 2017. Part 2540D.
- [11] นางลักษณ์ สุวรรณพินิจ, ปรีชา สุวรรณพินิจ. จุลชีววิทยาทั่วไป. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2547.
- [12] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 กฎ ประกาศ และระเบียบที่เกี่ยวข้องด้านการควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 111 ตอนพิเศษ 16 ง, 24 กุมภาพันธ์ 2537. 234-240.
- [13] ธีระพงษ์ บุญทองล้วน. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำแม่น้ำเพชรบุรี ระหว่างปี 2549-2558 [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 20 พฤษภาคม 2567]. เข้าถึงได้จาก: <http://lib.mnre.go.th/lib/achievement/a251.pdf>.