



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

ระยะจมและหน่วยน้ำหนักของขวด PET บรรจุ LAF ลอยน้ำที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดการระเหยจากผิวน้ำ

Effects of sinking distance and unit weight of LAF-Contained PET bottles on evaporation suppression efficiency from water surfaces

จิรเดช เศรษฐกัมพู วชรภูมิ เบญจโอฬาร*

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

Jiradet Settakhumpoo Vacharapoom Benjaoran*

¹ School of Civil Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000

* Corresponding author.

E-mail: vacharapoom@sut.ac.th; Telephone: 044-224-420

วันที่รับบทความ 26 เมษายน 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 20 มิถุนายน 2567; วันที่ตอบรับบทความ 25 สิงหาคม 2567

บทคัดย่อ

การระเหยเป็นสาเหตุของการสูญเสียน้ำในแหล่งกักเก็บ การใช้วัสดุลอยปกคลุมผิวน้ำเป็นวิธีการลดการระเหยที่นิยมและมีผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์อยู่ในรูปแบบลูกบอลพลาสติกทรงกลม แผ่นกลม หรือแผ่นสี่เหลี่ยม ซึ่งวัสดุเหล่านี้มีราคาสูงแต่หากสามารถนำวัสดุรีไซเคิลจำพวกขวด PET และเศษขยะอลูมิเนียมเย็บพอยล์ลามิเนต (Laminated Aluminum Foil, LAF) มาทดแทนจะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ดังนั้นการศึกษานี้เป็นการทดลองในสนามที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะการจมหรือหน่วยน้ำหนักของขวด PET บรรจุ LAF ที่มีประสิทธิภาพลดการระเหยได้มากที่สุด โดยใช้อ่างพลาสติกจำนวน 7 อ่าง ประกอบด้วยอ่างควบคุม 1 อ่างและอ่างทดลอง 6 อ่าง โดยแต่ละอ่างมีการลอยปกคลุมที่ 75% ของพื้นที่อ่างทดลอง เพื่อให้มีพื้นที่เหลือและขวดไม่ลอยซ้อนทับกันและเป็นการลอยแบบอิสระ และได้กำหนดระยะจมของขวด PET บรรจุ LAF แนวนอนที่ระยะจม 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, และ 3.0 เซนติเมตร พบว่าขวด PET บรรจุ LAF ที่มีระยะการจม 3.0 เซนติเมตรซึ่งเป็นระยะครึ่งหนึ่งพอดีของความกว้างของขวดเมื่อลอยตามแนวนอน และมีค่าหน่วยน้ำหนัก เท่ากับ 442 kg/m^3 มีประสิทธิภาพในการลดอัตราการระเหยสูงสุดที่ร้อยละ 56.9 ซึ่งผลการศึกษาจะเป็นแนวทางในการจัดเตรียมขวด PET บรรจุ LAF ที่มีค่าหน่วยน้ำหนักที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการลดการระเหยอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

คำสำคัญ

การระเหย ภัยแล้ง แหล่งกักเก็บน้ำ ขวดน้ำดื่มพลาสติก

Abstract

Evaporation causes water loss in reservoirs. One common approach to reduce evaporation is to use floating materials to cover the water's surface. There are different commercial products available for this purpose, such as round plastic balls, round discs, and square discs, but these can be expensive. Recycling materials like PET water bottles and laminated aluminum foil (LAF) waste offers a cost-effective alternative. This study conducted a field experiment to determine the most efficient sinking distance or unit weight of LAF-contained PET bottles for suppressing evaporation. Seven plastic basins were used, including one control and six experimental basins. Each basin had a floating cover 75% of the total surface area, allowing space for bottles to float freely without overlapping. The sinking distances of horizontally placed LAF-contained PET bottles were set at 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, and 3.0 cm in each basin. The experimental results showed

that LAF-contained PET bottles with a sinking distance of 3.0 cm (half the bottle's width when floating horizontally) and a unit weight of 442 kg/cm³ demonstrated the highest evaporation suppression efficiency as 56.9%. Therefore, the findings of this study are a guideline for preparing LAF-contained PET bottles with the appropriate sinking distance and unit weight to achieve the most effective evaporation suppression.

Keywords

evaporation; drought; reservoir; PET drinking bottles

1. บทนำ

การสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยจากอ่างเก็บน้ำหรือแหล่งกักเก็บน้ำ ส่งผลต่อต้นทุนการใช้น้ำเพื่อการชลประทาน เกษตรกรรม และสุขภาพ โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งและการจัดหาน้ำตลอดทั้งปี เกษตรกรจำเป็นต้องกักเก็บน้ำในช่วงฤดูฝนเพื่อตอบสนองความต้องการในช่วงฤดูแล้ง โดยเน้นย้ำถึงความสำคัญของการลดการสูญเสียจากอ่างเก็บน้ำและแหล่งกักเก็บน้ำ ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่ออัตราการระเหยจากผิวน้ำเปิด ได้แก่ พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับรังสีดวงอาทิตย์และสภาพบรรยากาศเหนือผิวน้ำ ลมกระจายไอน้ำออกจากพื้นผิว โดยได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ เช่น การแผ่รังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ และความชื้นที่แตกต่างระหว่างผิวน้ำกับบรรยากาศด้านบน ตลอดจนความเร็วลม แม้กระทั่งคุณภาพน้ำ การคำนวณอัตราการระเหยที่เป็นไปได้เกี่ยวข้องกับพิจารณาตัวแปรทางอุณหพลศาสตร์เหล่านี้โดยอิงตามสมมูลของพลังงานและหลักการสมมูลของน้ำ ซึ่งในประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยของการระเหยรายเดือนอยู่ระหว่าง 100 - 200 มิลลิเมตร [1] และได้มีการศึกษาประมาณการสูญเสียจากอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กในประเทศไทยจำนวน 5 อ่าง ผลการศึกษาพบว่า มีการสูญเสียจากอ่างเก็บน้ำอยู่ระหว่าง 2.8 - 3.7 มิลลิเมตร/วัน หรือประมาณ 3.3% -21.0% ของปริมาตรกักเก็บใช้การ [2] แสดงให้เห็นว่าการระเหยเป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการสูญเสีย

ในการควบคุมอัตราการระเหย สิ่งสำคัญคือต้องป้องกันไม่ให้ผิวน้ำสัมผัสกับแสงแดดและลมโดยตรง ด้วยการใช่วัสดุปกคลุมต่างๆ เนื่องจากแสงแดดทำให้อุณหภูมิผิวน้ำสูงขึ้นจนกลายเป็นไอน้ำและโดนลมพัดพาไอน้ำออกไป ปัจจุบันการลดการระเหยสามารถแบ่งเป็น 3 วิธี ได้แก่ วิธีการครอบคลุมทางชีวภาพ (Bio-covering), วิธีการทางสารเคมี (Chemical) และวิธีการทางกายภาพ (Physical) [3] ซึ่งในแต่ละวิธีมีรูปแบบที่

ต่างกัน เช่น การใช้สารเคมีประเภท Fatty alcohol emulsion สร้างเป็นฟิล์มบาง ๆ ปกคลุมผิวน้ำ [4] ผลลัพธ์สามารถลดการระเหยได้ประมาณ 15-22% ถึงกระนั้นการควบคุมความเข้มข้นที่เหมาะสมในพื้นที่นั้นไม่ใช่เรื่องง่าย หรือการใช้ผ้าใบคลุมผิวน้ำซึ่งป้องกันรังสีจากดวงอาทิตย์และลมที่มีประสิทธิภาพในการลดการระเหยประมาณ 80% แต่มีค่าใช้จ่ายและค่าบำรุงรักษาสูง [5] ต่อมามีการใช้วัสดุพลาสติกลอยปกคลุมผิวน้ำ เช่น ทรงกลม (Shade Ball) แผ่นวงกลม (Discs) และแผ่นสีเหลี่ยม (Thermocol Sheet) ซึ่งเป็นพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE), โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride, PVC) และโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) วัสดุเหล่านี้เป็นสินค้านวัตกรรมเชิงพาณิชย์ โดยที่วัสดุทรงกลมได้นำมาทดลองภายใต้เงื่อนไข ชนิดของพลาสติก สี ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะและขนาดของลูกบอล [6-8] พร้อมทั้งควบคุมปัจจัยทางสภาพอากาศ ซึ่งพบว่าเงื่อนไขเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการระเหย สำหรับวัสดุแผ่นวงกลมถูกอ้างว่าสามารถช่วยลดอัตราการระเหยได้ประมาณ 70 - 80% [9-10] และ Thermocol Sheet สามารถลดการระเหยได้ 32% [11]

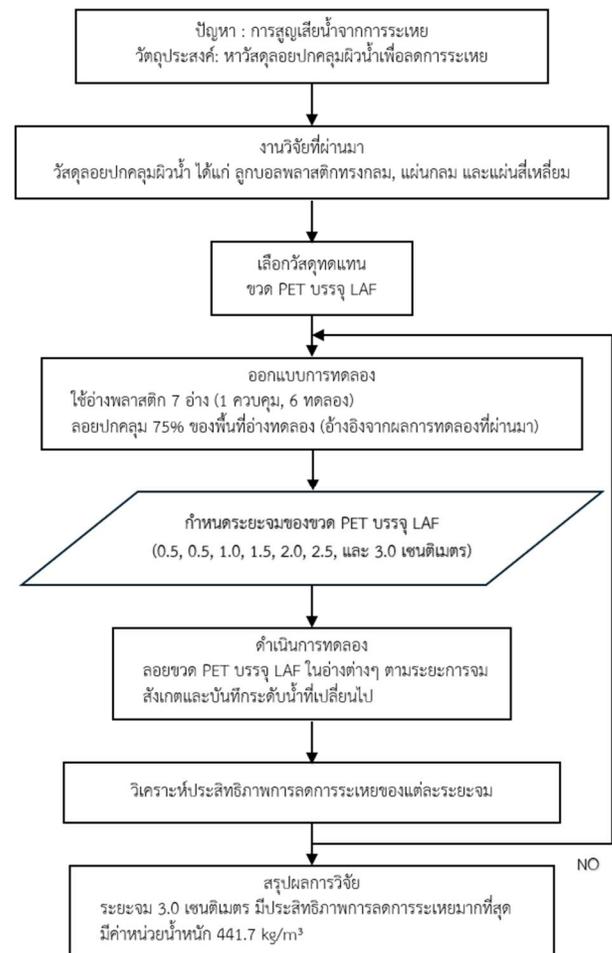
ปัจจุบันขวดพลาสติก PET (Polyethylene terephthalate) ที่นิยมใช้บรรจุน้ำดื่ม เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารที่ใช้แล้วทิ้ง จึงเกิดขยะจำนวนมาก การรีไซเคิลจะช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติปิโตรเลียม และสร้างวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืนด้วยการเปลี่ยนกลับไปเป็นสารตั้งต้นใหม่ [12] ขยะพลาสติกในหลุมขยะฝังกลบจะทำลายทัศนียภาพ เป็นแหล่งก่อให้เกิดโรคระบาด บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่เปื้อนอาหารจะส่งกลิ่นเน่าเหม็นเป็นมลภาวะทางอากาศ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัญหาในการจัดการขยะพลาสติก งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการเสนอให้ใช้ขวดน้ำดื่ม PET ขนาด 1.5 ลิตร ที่เป็นขยะพลาสติกรีไซเคิลลอยปกคลุมผิวน้ำ พบว่าขวด PET ดังกล่าวสามารถลด

การระเหยได้ประมาณ 30-40% [13] ซึ่งเป็นวิธีที่น่าสนใจ แต่ขวด PET เป็นพลาสติกใส หากทำให้ทึบแสงอาจเพิ่มประสิทธิภาพการลดการระเหยได้ ซึ่งการทำให้ขวด PET ทึบแสงนั้นสามารถทำได้หลายวิธี บทความนี้จึงเสนอวิธีการใช้เศษพลาสติกเคลือบอลูมิเนียมฟอยล์ (Laminated Aluminum Foil, LAF) บรรจุลงในขวด PET เนื่องจากวัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุรีไซเคิลที่หาได้ง่ายในชุมชน และที่สำคัญ LAF มีสีเงินสามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ได้ ซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการระเหย ดังนั้นการใช้ขวด PET บรรจุ LAF เป็นวัสดุทดแทนการลดการระเหย จึงเป็นอีกหนทางเลือกในการแก้ไขปัญหาความแห้งแล้งและการจัดการขยะพลาสติกไปพร้อม ๆ กัน [3] อย่างไรก็ตามยังไม่มีผลการศึกษาชัดเจนถึงลักษณะการลอยปกคลุมผิวน้ำของขวด PET บรรจุ LAF ที่จะสามารถลดการระเหยได้มากที่สุด การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะจมนอนของขวด PET บรรจุ LAF ที่ทำให้มีประสิทธิภาพของการลดการระเหยได้มากที่สุด ซึ่งแสดงขั้นตอนการวิจัยตามรูปที่ 1 โดยทำการทดลองปรับเปลี่ยนระยะจมนอนของขวดที่ระยะต่างๆ กัน ด้วยการควบคุมปริมาณวัสดุถ่วงน้ำหนักที่บรรจุไว้ในขวดที่ทำให้สามารถกำหนดค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ของขวด PET บรรจุ LAF เหล่านี้ตามที่ต้องการทดสอบ

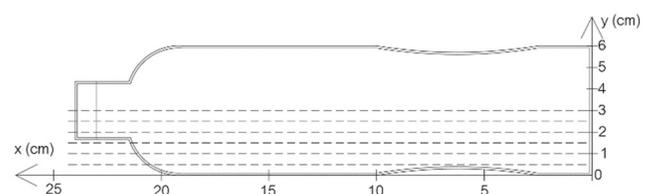
2. วัสดุและวิธีการ

2.1 วัสดุที่ใช้

ขวดน้ำดื่มใสที่ใช้กันแพร่หลายนั้นทำจากพลาสติก Polyethylene terephthalate (PET) และฝาขวดทำจาก Polypropylene (PP) หรือ High density polyethylene (HDPE) ซึ่งขวดทรงกระบอกที่มีขนาดบรรจุ 600 มิลลิลิตร ของน้ำดื่มยี่ห้อหนึ่งที่นิยมแพร่หลายทั่วไป จะมีความสูงประมาณ 24 เซนติเมตร กว้างประมาณ 6.0 เซนติเมตร (ตามรูปที่ 2) โดยภาคตัดขวางตามแนวยาวที่กึ่งกลางขวดมีพื้นที่ 1.43×10^{-2} ตารางเมตร และมีน้ำหนัก 0.015 กิโลกรัม/ขวด ส่วน LAF เป็นพลาสติกที่นิยมนำมาทำถุงบรรจุภัณฑ์ประเภทขนมขบเคี้ยว เป็นพลาสติกที่หาได้ง่ายในชุมชน และบางชุมชนได้มีการคัดแยกและรวบรวมก่อนนำไปรีไซเคิล โดยเบื้องต้นขวด PET บรรจุ LAF จะมีน้ำหนักประมาณ 30 กรัมต่อขวด เป็นการบรรจุแน่นที่คงสภาพเดิมตามรูปร่างของขวด



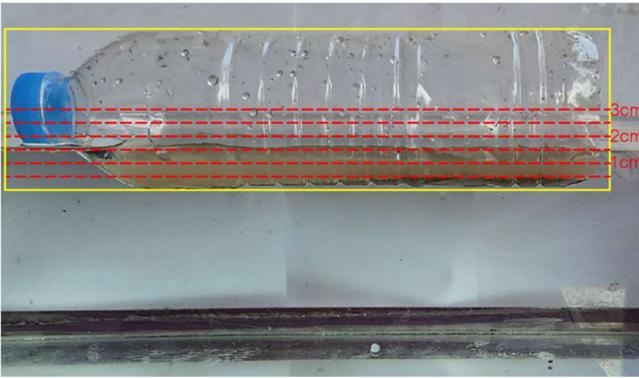
รูปที่ 1 Flow Chart ของขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 2 ระยะการจมนอนของขวด PET เทียบกับศูนย์กลางขวด

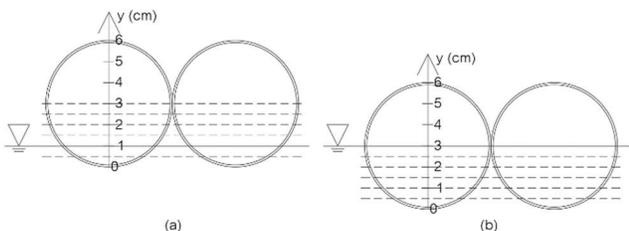
2.2 ทดลองคุณสมบัติและจัดเตรียมวัสดุ

การทดลองคุณสมบัติของวัสดุ โดยการนำขวด PET ไปลอยน้ำ ขวดจะลอยวางตัวในแนวนอน ซึ่งสามารถใส่วัสดุถ่วงน้ำหนักมากหรือน้อย เพื่อปรับเปลี่ยนระยะจมนอนของขวดตามที่ต้องการได้ ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะของขวด PET ที่ลอยน้ำและกำหนดระยะจมได้ตามต้องการด้วยการใช้วัสดุถ่วงน้ำหนักบรรจุลงในขวด

เนื่องจากขวดมีความกว้าง 6.0 เซนติเมตร จึงทำการกำหนดระยะจมต่างๆ ได้แก่ ระยะจมที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 เซนติเมตร โดยมีสมมุติฐานว่าระยะจมที่ครึ่งหนึ่งของขวดพอดีจะสามารถลอยปกคลุมผิวหน้าได้มากที่สุดจึงน่าจะลดการระเหยได้มากที่สุด ซึ่งในกรณีนี้คือระยะจมของขวดเท่ากับ 3.0 เซนติเมตร ตามรูปที่ 4 (a) ลักษณะการลอยของขวดที่ระยะจม 0.5 – 2.5 เซนติเมตร จะเกิดช่องว่างระหว่างขวดที่ไม่ปกคลุมผิวหน้า ส่วนตามรูปที่ 4 (b) ที่ระยะจมครึ่งหนึ่งของขวดพอดีหรือที่ 3.0 เซนติเมตรจะมีพื้นที่การลอยปกคลุมของขวดมากที่สุดโดยไม่มีช่องว่าง



รูปที่ 4 ลักษณะการลอยของขวด PET ที่ระยะจม 0.5 - 2.5 เซนติเมตร (a) และการลอยของขวด PET ที่ระยะจม 3.0 เซนติเมตร (b)

การทำให้ขวดสามารถลอยที่ระยะจมตามที่ต้องการได้จะต้องทำการถ่วงขวดด้วยวัสดุถ่วงน้ำหนัก ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นด้วยการค่อย ๆ บรรจุน้ำเพิ่มเติมทีละน้อยเพื่อให้ขวด PET มีระยะจมตามแวนอนที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 เซนติเมตรตามที่ต้องการทดลองพอดี ซึ่งคำนวณหาค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ของขวดที่ลอยที่ระยะจมต่าง ๆ กันได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หน่วยน้ำหนักของขวดที่ระยะจมต่างๆ

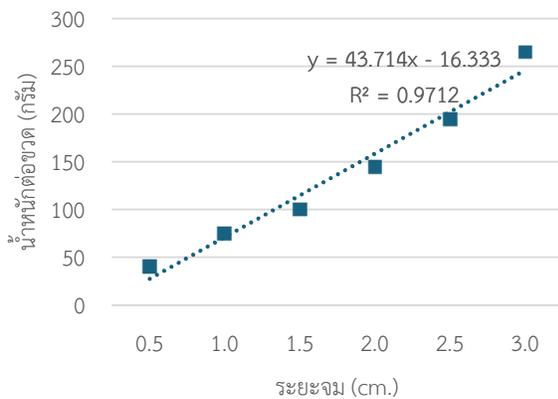
ระยะจม (cm.)	น้ำหนักต่อขวด (กรัม)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
0.5	40	66.7
1.0	75	125
1.5	100	167
2.0	145	242
2.5	195	325
3.0	265	442

การจัดเตรียมขวด PET บรรจุ LAF สำหรับใช้ในการทดลองจะอ้างอิงข้อมูลน้ำหนักต่อขวดจากตารางที่ 1 นี้ และจากการลองผิดลองถูกหลากหลายรูปแบบจึงพบวิธีการจัดเตรียมและถ่วงน้ำหนักขวดที่ดีที่สุดที่ทำให้ขวดลอยในแวนอนอย่างเสถียรภาพดังนี้ เริ่มแรกจะบรรจุพลาสติก LAF รอบขวดเพื่อทำให้ขวดทึบแสงก่อน จากนั้นใช้ทรายเป็นวัสดุถ่วงน้ำหนัก 2 ที่แยกกันที่บริเวณก้นขวดและคอขวด โดยใช้พลาสติก LAF อัดและคั่นตรงกลางบริเวณที่เหลือทั้งหมด โดยที่ใช้ LAF รวมน้ำหนักประมาณ 30 กรัมเท่ากันทุกขวด และใช้ทรายเป็นน้ำหนักถ่วงส่วนที่เหลือตามตารางที่ 1 เพื่อให้ได้ระยะจมตามที่ต้องการ ดังภาพตัวอย่างขวดตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 ลักษณะของขวดทดลอง

จากข้อมูลตารางที่ 1 นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะจมของขวดกับน้ำหนักต่อขวด ในรูปที่ 6 เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการเตรียมขวดที่ระยะจมต่างๆ ซึ่งความสัมพันธ์ของระยะจมกับน้ำหนักต่อขวดมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะจมน้ำกับน้ำหนักต่อขวด

2.3 ขั้นตอนและการบันทึกผลการทดลอง

สถานที่ตั้งของพื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง คือ พิกัด 14.899812N 102.009112E ที่มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเท่ากับ 232 เมตร ตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 สถานที่และตำแหน่งการติดตั้งอ่างทดลอง

อ่างทดลองจำนวนรวม 7 อ่าง ที่ทำจากพลาสติก PE (Polyethylene) ชนิด Food Grade ที่ทนทาน 2 ชั้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.90 เมตร ความสูง 0.6 เมตร มีพื้นที่ผิวน้ำเท่ากับ 2.84 ตารางเมตร พร้อมกับติดตั้งท่อพีวีซีขนาด 3 นิ้ว ในแนวตั้งสำหรับใช้วัดระดับน้ำในอ่าง นอกจากนี้ยังมีถาดวัดการระเหย Class-A Pan ตามมาตรฐานใช้ควบคุมไปกับการทดลองนี้เพื่อสำหรับการอ้างอิงด้วย โดยเงื่อนไขของอ่างทดลองแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนอ่างทดลองและเงื่อนไขในการทดลอง

อ่าง	ระยะจมน้ำของขวด (cm.)						เปอร์เซ็นต์การลดยุคกลุ่ม	
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	ไม่มี (0%)	75%
1							✓	
2	✓							✓
3		✓						✓
4			✓					✓
5				✓				✓
6					✓			✓
7						✓		✓

ก่อนการทดลองจริงได้ทำการสอบเทียบอัตราการระเหยของอ่างทดลองทั้ง 7 อ่าง โดยไม่มีวัสดุปกคลุมใดเลย (พื้นที่การลดยุคกลุ่มเท่ากับ 0%) กับถาดวัดการระเหย Class-A Pan โดยการเก็บค่าระดับน้ำของอ่างทดลองทั้ง 7 อ่างและของถาด ทุกวันเป็นระยะเวลา 15 วัน และวิเคราะห์อัตราการระเหยของแต่ละอ่างเปรียบเทียบกับของถาดวัดการระเหย โดยการทดลองสมมติฐานของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งผลการสอบเทียบอัตราการระเหยยืนยันว่าอ่างทดลองเหล่านี้สามารถใช้สังเกตการระเหยได้เมื่อเทียบกับถาดวัดการระเหยแบบมาตรฐาน

การทดลองดำเนินการในช่วงฤดูหนาว-ฤดูร้อน หรือ ตั้งแต่ต้นเดือนธันวาคม – ปลายเดือนพฤษภาคม (ข้อมูลที่มีเบื้องต้นเดือนธันวาคม – กุมภาพันธ์) ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงฝนที่อาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน การทดลองเริ่มต้นใช้น้ำประมาณอ่างละ 1.40-1.45 ลูกบาศก์เมตร หรือที่ระดับความลึกของน้ำที่เก็บกักเริ่มต้น 0.50-0.55 เมตร ทั้ง 7 อ่างทดลอง และได้กำหนดปริมาณการลดยุคกลุ่มที่ 75% ของพื้นที่อ่างทดลอง (ปริมาณขวด PET ลดยุคกลุ่มเท่ากับ 149 ขวดต่ออ่าง) ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ที่มีพื้นที่เหลือเพื่อไว้สำหรับการใช้งานและไม่เกิดการซ้อนทับกันของขวด ส่วนการลดยุคเป็นการลดยุคแบบอิสระ (ขวดไม่ถูกยึดติดกัน) ข้อมูลภูมิอากาศ และอัตราการระเหยจะถูกตรวจวัดด้วยความถี่เป็นรายวันสำหรับอัตราการระเหยและความถี่เป็นรายชั่วโมงสำหรับข้อมูลภูมิอากาศอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง

2.3.1 ข้อมูลภูมิอากาศ

การทดลองได้มีการบันทึกข้อมูลในกลุ่มแรกคือข้อมูลสภาพอากาศบริเวณที่ทำการทดลองโดยใช้สถานีตรวจวัดอากาศ ซึ่งประกอบไปด้วยเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่จะใช้วัดความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity: RH) วัดความเข้มแสง (Light Intensity: I) วัดอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature: T) วัดขนาดและทิศทางลม (Wind Speed and Direction: u) และกระบอกวัดปริมาณน้ำฝน (Precipitation: P) เพื่อที่จะนำข้อมูลสภาพอากาศมาวิเคราะห์ร่วมกับผลการทดลองที่ได้ต่อไป และส่วนข้อมูลอัตราการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ให้ใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาใกล้เคียงหรือใช้การคำนวณจากความเข้มแสงเฉลี่ย

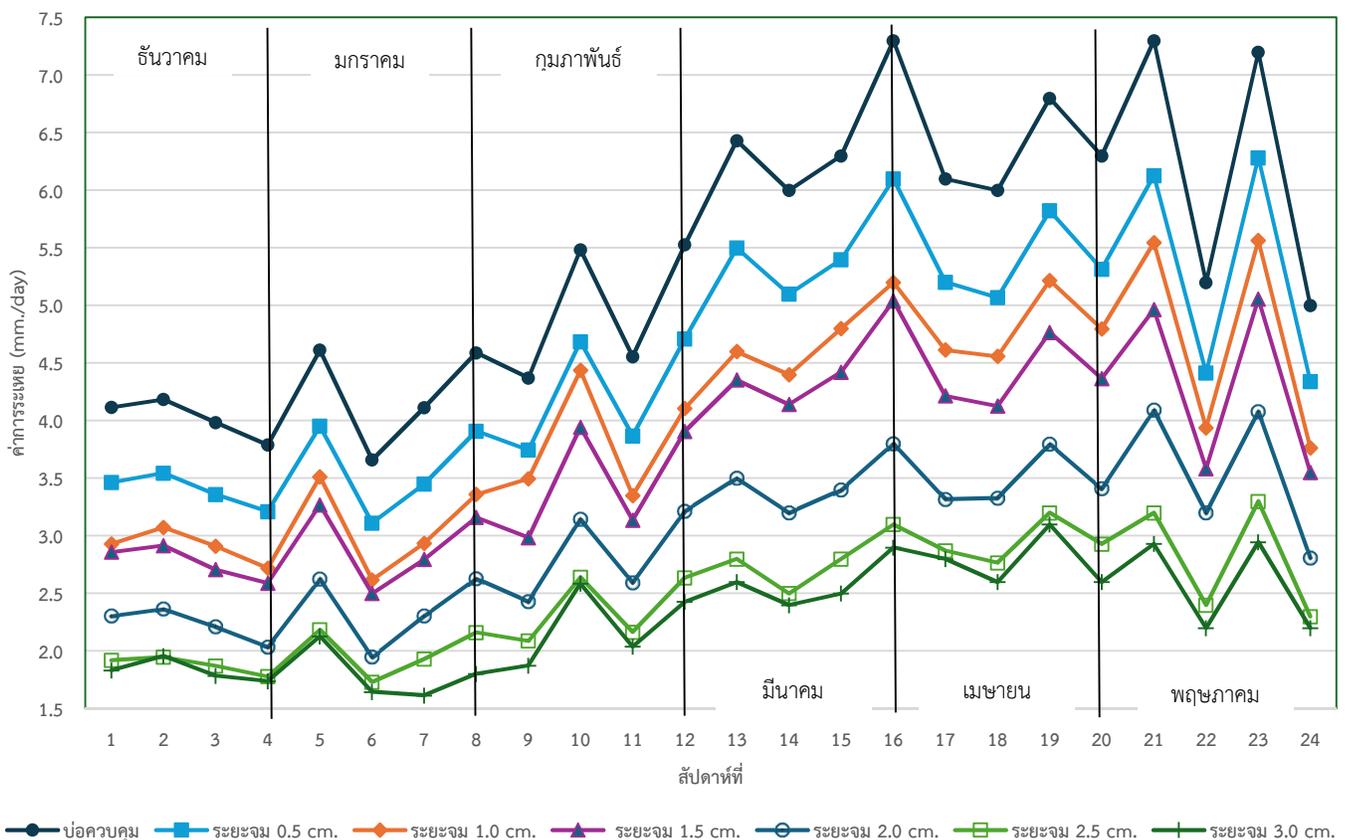
2.3.2 อัตราการระเหย

ข้อมูลในกลุ่มที่ 2 คือข้อมูลอัตราการระเหย ได้จากระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงของอ่างทดลองภายในช่วง 24 ชั่วโมง โดยทำ

การวัดและบันทึกผลในช่วงเวลา 8:00-9:00 น. ด้วยการใช้นเวอร์เนียร์วัดความลึกที่ให้ความละเอียด 0.02 มิลลิเมตร ทั้งหมด 7 อ่าง รวมทั้งภาควัดการระเหยมาตรฐาน มีความถี่เป็นรายวัน โดยการวางปีกของเวอร์เนียร์บนท่อพีวีซีวัดระดับน้ำที่ตำแหน่งเดิม และทำการปรับให้ปลายของก้านเวอร์เนียร์สัมผัสผิวน้ำ จึงทำการบันทึกค่า ผลต่างของระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงคืออัตราการระเหยของแต่ละอ่างทดลอง

3. ผลการทดลอง

ผลการทดลองอัตราการระเหยของแต่ละอ่างทดลองได้ผลดังรูปที่ 8 เห็นได้ว่าอ่างที่ระยะจมน้ำ 3.0 เซนติเมตร มีอัตราการระเหยน้อยที่สุด ส่วนอ่างที่ระยะจมน้ำ 2.5, 2.0, 1.5, 1.0 และ 0.5 เซนติเมตร มีอัตราการระเหยมากขึ้นตามลำดับ และอ่างควบคุม (ไม่มีการลอยปกคลุม) มีอัตราการระเหยมากที่สุด



รูปที่ 8 อัตราการระเหยของแต่ละอ่างทดลอง

จากข้อมูลของการระเหยสามารถนำไปหาค่าเฉลี่ยของแต่ละอ่างทดลองและนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของการลดการระเหย (Evaporation Suppression Efficiency, ESE) [14] ได้จากสมการที่ (1)

$$ESE = \left(1 - \frac{E_i}{E_C} \right) \times 100 \quad (1)$$

E_i คือ อัตราการระเหยที่เกิดขึ้นของอ่างที่มีการลอยปกคลุมที่ระยะจมน้ำต่างๆ (หน่วยเป็น mm/day) และ E_C คือ อัตราการระเหยที่เกิดขึ้นของอ่างควบคุม (หน่วยเป็น mm/day)

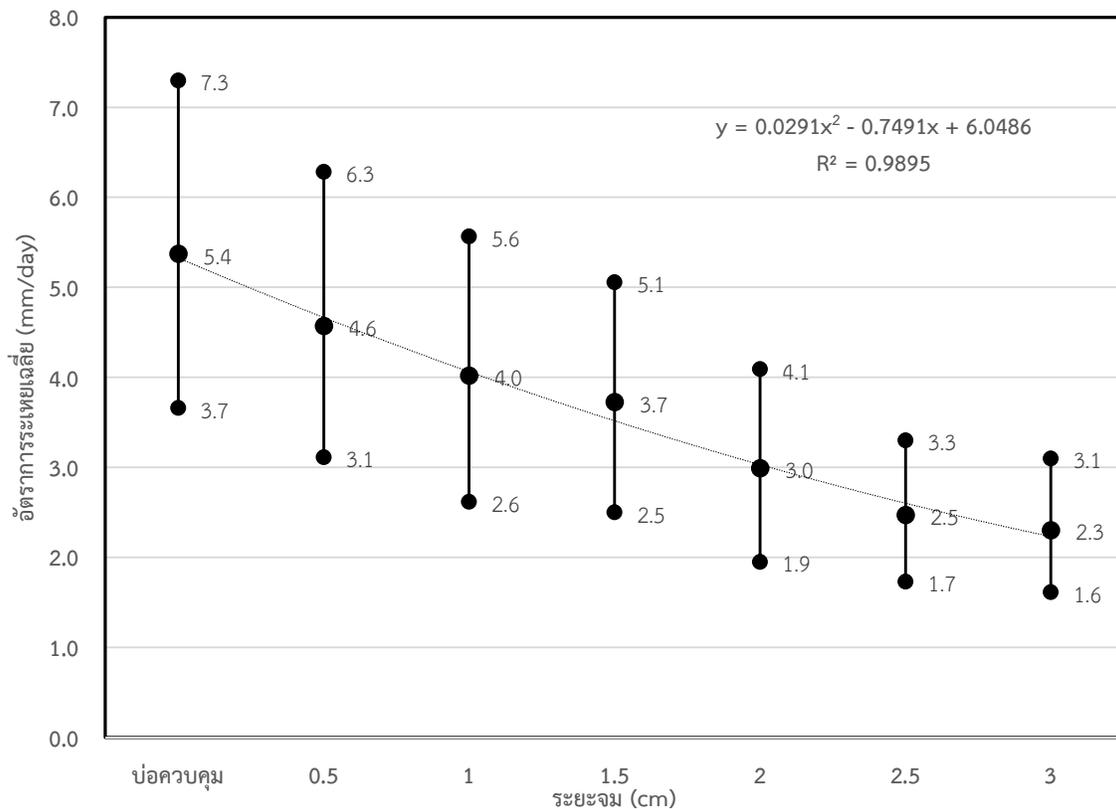
จากตารางที่ 3 แสดงประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหยของแต่ละอ่างทดลองและอัตราการระเหยที่ลดได้ โดยที่ระยะจมน้ำ 3.0 เซนติเมตรหรือค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 442 kg/m^3 สามารถลดอัตราการระเหยได้มากที่สุด และส่วนที่ระยะจมน้ำ 2.5, 2.0, 1.5, 1.0 และ 0.5 เซนติเมตร สามารถลดอัตราการระเหยได้รองลงมาตามลำดับ ซึ่งระยะจมน้ำ 3.0 เซนติเมตร มี

ประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหยเฉลี่ยได้มากที่สุดมากถึง 56.9%

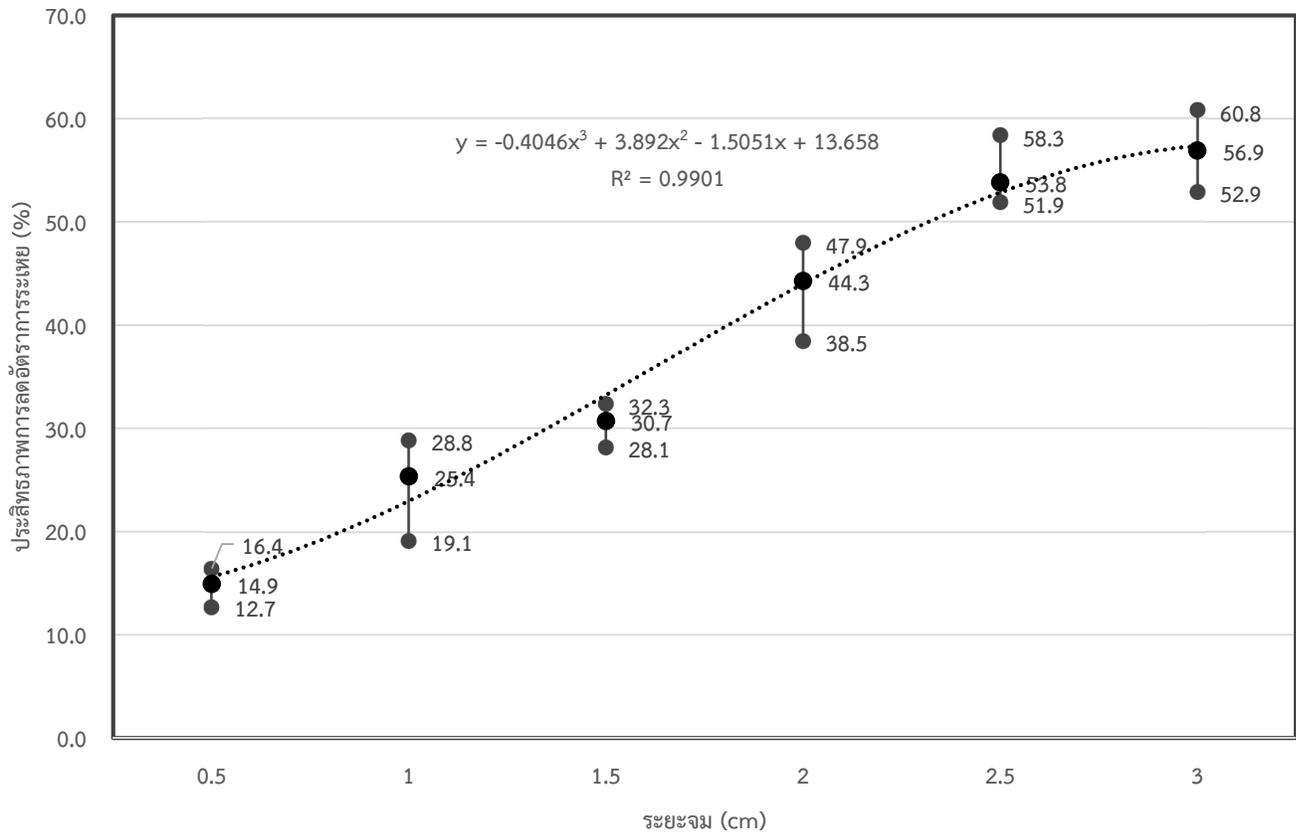
ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหยเฉลี่ยของการทดลอง

ระยะจมน้ำ (cm)	อัตราการระเหย (mm/day)		
	ค่าเฉลี่ย	อัตราการระเหยที่ลดลง	ประสิทธิภาพลดการระเหยเฉลี่ย (%)
0.5	4.6	0.8	14.9
1.0	4.0	1.4	25.4
1.5	3.7	1.7	30.7
2.0	3.0	2.4	44.3
2.5	2.5	2.9	53.8
3.0	2.3	3.1	56.9
อ่างควบคุม	5.4		

และรูปที่ 9 ระยะจมน้ำมีความสัมพันธ์ต่ออัตราการระเหยในรูปแบบโพลีโนเมียล โดยระยะจมน้ำมากขึ้นค่าการระเหยจะลดลง นอกจากนี้ระยะจมน้ำยังมีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหยในรูปแบบโพลีโนเมียลกำลังสามตามรูปที่ 10



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะจมน้ำของขวด PET บรรจุ LAF กับอัตราการระเหย



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะจมนของขวด PET บรรจุ LAF กับประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหย

4. อภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดลองอัตราการระเหยจากกราฟข้อมูลรูปที่ 8 จะเห็นว่าเดือนธันวาคม – เดือนมกราคม ค่าการระเหยจะใกล้เคียงกันและเริ่มปรับตัวสูงขึ้นเมื่อเริ่มจะเข้าสู่ปลายเดือนกุมภาพันธ์ เนื่องจากเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากกราฟรูปที่ 8 สังเกตเห็นค่าการระเหยในช่วงเดือนพฤษภาคมสูงและต่ำต่างกัน เนื่องจากช่วงเวลาที่มียุทธการระเหยต่ำจะมีเมฆปกคลุมท้องฟ้ามากและฝนตกเกิดขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศลดต่ำ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการระเหย และจากกราฟรูปที่ 8 อัตราการระเหยของอ่างที่มีระยะจมน 2.0, 2.5 และ 3.0 เซนติเมตร ในช่วงสัปดาห์ที่ 11 เป็นต้นไป อัตราการระเหยของแต่ละอ่างดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย หากเทียบกับอ่างควบคุม ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหยเพิ่มมากขึ้น ซึ่งหมายความว่าขวด PET บรรจุ LAF สามารถป้องกันปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการระเหยได้ดี

จากความสัมพันธ์ระหว่างระยะจมนของขวด PET บรรจุ LAF กับอัตราการระเหย พบว่าแนวโน้มของกราฟรูปที่ 9 ระยะจมน 3.0 เซนติเมตร เริ่มใกล้เคียงจะเป็นเส้นแนวนอนหรือมีแนวโน้มเป็นจุดที่ต่ำที่สุด ซึ่งหมายความว่าที่ระยะจมน 3.0 เซนติเมตร หรือค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 442 kg/m^3 มีประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหยได้มากที่สุด ประกอบกับความสัมพันธ์ระหว่างระยะจมนของขวด PET บรรจุ LAF กับประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหยจะเห็นว่าเส้นแนวโน้มเริ่มจะเป็นเส้นแนวนอนหรือใกล้จุดสูงสุด ซึ่งเป็นการยืนยันตามสมมุติฐานว่าที่ระยะจมน 3.0 เซนติเมตร สามารถลดการระเหยได้มากที่สุดและลักษณะระยะการจมนขวดโดยไม่มีช่องว่างตามรูปที่ 4 (b) ดีกว่าระยะการจมนขวดที่มีช่องว่างตามรูปที่ 4 (a) แสดงให้เห็นว่าช่องว่างดังกล่าวเป็นอีกหนึ่งสาเหตุของการระเหยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างผิวน้ำกับอากาศบริเวณช่องว่าง

ในการทดลองได้เลือกเปอร์เซ็นต์การลอยปกคลุมที่ 75% ของพื้นที่อ่างทดลองเป็นการกำหนดเงื่อนไขการทดลอง

เบื้องต้น โดยอ้างอิงจากผลการทดลองก่อนหน้า ที่ระยะจมนของขวด 3.0 เซนติเมตร ของพื้นที่การลอยปกคลุมที่ 75% มีประสิทธิภาพลดการระเหยได้ 57.2% ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองครั้งนี้ที่มีประสิทธิภาพลดการระเหยได้ 56.9%

5. สรุปผลการศึกษา

การทดลองการลดอัตราการระเหยจากผิวน้ำเปิดในสนาม โดยใช้ขวด PET บรรจุ LAF ลอยปกคลุมที่ 75% ของพื้นที่อ่างภายใต้เงื่อนไขระยะจมนที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 เซนติเมตร ซึ่งแต่ละระยะจมนขวด PET บรรจุ LAF มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 66.7, 125, 167, 242, 325 และ 442 kg/m³ ตามลำดับ พบว่าระยะจมนที่เพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการระเหยของน้ำลดลง โดยที่ระยะจมน 3.0 เซนติเมตร หรือค่าหน่วยน้ำหนัก 442 kg/m³ มีประสิทธิภาพลดการระเหยมากที่สุด ร้อยละ 56.9 และที่ระยะจมน 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 มีประสิทธิภาพลดการระเหยร้อยละ 14.9, 25.4, 30.7, 44.3 และ 53.8 ตามลำดับ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างระยะจมนและประสิทธิภาพการลดการระเหยแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มระยะจมนทำให้อัตราการระเหยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองนี้ทำให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกใช้ขวด PET บรรจุ LAF ที่มีระยะจมนเหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดการระเหยให้ได้สูงที่สุด

การทดลองนี้เป็นการจำลองสภาพแวดล้อมทำให้ได้อัตราการระเหยและอัตราการลดการระเหยในการทดลอง แต่หากต้องการความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น ควรมีการทดลองในอ่างวัดการระเหยแบบลอยน้ำ (US Geological Survey Floating Pan) เพื่อจำลองลักษณะสภาพแวดล้อมเสมือนอ่างเก็บน้ำจริง แต่เนื่องจากอ่างดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายสูงและการเก็บข้อมูลค่อนข้างยาก ผลจากการศึกษานี้จึงเป็นแนวทางสำหรับระยะจมนและความหนาแน่นที่เหมาะสมของขวด PET บรรจุ LAF เพื่อนำไปใช้งานจริงให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งในขั้นตอนการจัดเตรียมขวด PET บรรจุ LAF เป็นขั้นตอนที่ทำได้ง่ายไม่ซับซ้อน และสามารถบรรจุจัดทำเป็นกิจกรรมร่วมกันภายในชุมชนได้ ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมการสร้างความสัมพันธ์ในชุมชน อีกทั้งจะเป็นรวมการจัดการกับปัญหาขยะพลาสติกในชุมชนพร้อมกับการแก้ปัญหาภัยแล้งในคราวเดียวกัน เนื่องจากการใช้

ขวด PET ซ้ำเป็นระยะเวลายาวนานอาจเกิดการเสื่อมสภาพและก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้ทำการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของขวด PET ด้วยวิธีการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน (Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy: ATR-FTIR) การวิเคราะห์ทางความร้อน (Differential Scanning Calorimetry: DSC) และตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยค่า DO และ BOD ภายหลังจากการทดลอง ซึ่งผลการตรวจสอบไม่พบการเสื่อมสภาพและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำที่เก็บกักภายในระยะเวลาตลอดการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kongborriak P, Suebsak K. Evaporation in Thailand period 10 year (2001–2010). in *Proceedings Meteorology. Ministry of Information and Communication Technology. Thai.* 2010;30-38.
- [2] อาริยา ฤทธิมา, กิตติพัฒน์ สาสีกิจ, กฤตยา สมานวงศ์ รักษ์, พรรณทิพา ศรีธรรมมา, อิทธิพล ชีรนรวิชัย. การศึกษาการสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กในประเทศไทย. *วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา.* 24 (1); 2556: 27-36.
- [3] Settakumpoo J, Benjaoran V. Comparing the cost efficiencies of traditional evaporation reduction with PET bottles containing plastic waste. *Engineering Journal Chiang Mai University.* 2021; 28(2): 42-54.
- [4] Verlee D, Zetland D. Extending water supply by reducing reservoir evaporation: a case study from Wichita Falls, Texas. *Proceedings Mine Water Solutions in Extreme Environments.* Vancouver. Canada. 2015;1-10.
- [5] Hunter K, Finn N, Barnes S. The benefits of shade-cloth covers for potable water storages. in *Proceedings of 70th Annual Water Industry Engineers and Operators Conference.* Melbourne. Australia. 2007;86-92.
- [6] Rezazadeh, A., Akbarzadeh, P., & Aminzadeh, M. The effect of floating balls density on evaporation suppression of water reservoirs in

the presence of surface flows. *Journal of Hydrology*. 2020; 591: 125323.

- [7] Han KW, Shi KB, Yan, XJ. Evaporation loss and energy balance of agricultural reservoirs covered with counterweighted spheres in arid region. *Agricultural Water Management*. 2020; 238, 106227.
- [8] Li CL, Shi KB, Yan XJ, Jiang CL. Experimental analysis of water evaporation inhibition of plain reservoirs in inland arid area with light floating balls and floating plates in Xinjiang, China. *Journal of Hydrologic Engineering*. 2018; 26(2): 04020060.
- [9] Verlee D, Zetland D. Extending water supply by reducing reservoir evaporation: a case study from Wichita falls, Texas. *Proceedings of Mine Water Solutions in Extreme Environments*. Vancouver, Canada. 2015
- [10] Saggai S, Bachi O. Evaporation reduction from water reservoirs in arid lands using monolayers: Algerian experience. *Water resources*. 2018; 45(2), 280-288.
- [11] Chaudhari N, Chaudhari ND. Use of thermocal sheet as floating cover to reduce evaporation loss in farm pond. *20th International Conference on Hydraulics, Water Resources and River Engineering*. 17-19 December 2015.
- [12] Mendiburu-Valor E, et al. Valorization of urban and marine PET waste by optimized chemical recycling. *Resources. Conservation and Recycling*. 2022; 184: 106413.
- [13] Simon K, Shanbhag R, Slocum A. Reducing evaporative water losses from irrigation ponds through the reuse of polyethylene terephthalate bottles. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2016; 142(2): 06015005.
- [14] Assouline S, Narkis K, Or D. Evaporation suppression from water reservoirs: Efficiency considerations of partial covers. *Water Resources Research*. 2011;47(7):1-8.