Science and Engineering Connect, ISSN 3027-7914 (Online)
Vol. 47 No. 2 pp. 163-178 (2024)

บทความวิจัย (Research Article)

# ประสิทธิภาพการลดการระเหยของแหล่งน้ำโดยการลอยปกคลุมด้วยขวดน้ำดื่มพีอีทีบรรจุเศษพลาสติก

# Efficiency in Reducing Evaporation of Water Sources by Using PET Bottles Containing Plastic Scraps

**จิรเดช เศรษฐกัมพู, วชรภูมิ เบญจโอฬาร***
**Jiradet Settakhumpoo, Vacharapoom Benjaoran***
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา ประเทศไทย
Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand
*Corresponding author E-mail: vacharapoom@sut.ac.th

Received 3 November 2023; Revised 21 May 2024; Accepted 20 June 2024

## บทคัดย่อ

**ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ :** การระเหยเป็นหนึ่งในสาเหตุของการสูญเสียน้ำจากบ่อกักเก็บน้ำเพื่อการเกษตร การป้องกันการระเหยด้วยวิธีการสร้างโครงสร้างครอบคลุมบ่อกักเก็บน้ำหรือวิธีการลอยปกคลุมด้วยผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์มีความเป็นไปได้ค่อนข้างต่ำและมีราคาแพง ทำให้เกษตรกรไม่สามารถนำไปใช้ได้ บทความนี้นำเสนอวิธีการใช้ขวดน้ำดื่มพีอีทีที่ใช้แล้วบรรจุด้วยวัสดุทึบแสงลอยอยู่บนผิวน้ำเพื่อลดการสูญเสียน้ำจากการระเหย โดยวัสดุที่บรรจุ คือ เศษพลาสติกเคลือบอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (Laminated Aluminum Foil: LAF) และถุงพลาสติกทั่วไป (Assorted Plastic Bags: APB)

**วิธีดำเนินการวิจัย :** การทดลองนี้ใช้บ่อทดลอง 4 บ่อ และถาดวัดการระเหย 1 ถาด โดยทำการวัดระดับน้ำทุกวันเพื่อบันทึกอัตราการระเหย ซึ่งบ่อทดลอง 1 บ่อ และถาดมาตรฐาน Class-A เป็นตัวควบคุม บ่อที่เหลืออีก 3 บ่อ ลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีเปล่า ขวดบรรจุ LAF และขวดบรรจุ APB ตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำของทุกบ่อ จากนั้นวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้วยวิธี Incremental Cost-Effectiveness Ratio (ICER)

**ผลการวิจัย :** ขวดพีอีทีเปล่า ขวดพีอีทีบรรจุ APB และขวดพีอีทีบรรจุ LAF มีประสิทธิภาพลดการระเหย 19.2%, 23.2% และ 32.3% ตามลำดับ ค่าอุณหภูมิผิวน้ำเฉลี่ยเป็น 29.8 ºC, 28.9 ºC และ 28.6 ºC ตามลำดับ บ่อควบคุมมีอุณหภูมิผิวน้ำเฉลี่ย 27.7 ºC ส่วนค่า ICER ของขวดพีอีที ขวดพีอีทีบรรจุ LAF และขวดพีอีทีบรรจุ APB มีค่าเท่ากับ 34, 107 และ 322 บาทต่อหนึ่งเปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มประสิทธิภาพการลดการระเหย

**สรุป :** ขวดพีอีทีบรรจุ LAF มีประสิทธิภาพในการลดการระเหยสูงที่สุด และให้อุณหภูมิผิวน้ำต่ำที่สุดในกรณีบ่อที่มีการลอยปกคลุม ค่า ICER ขวดพีอีทีเปล่ามีค่าต่ำที่สุด หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการระเหยของขวดพีอีทีเปล่า ขวดพีอีทีบรรจุ LAF เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากมีค่า ICER ต่ำกว่าขวดพีอีทีบรรจุ APB

**การนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงปฏิบัติ** : ผลการวิจัยอาจนำไปใช้เป็นทางเลือกสำหรับการลดการระเหยของแหล่งน้ำขนาดเล็กเพื่อการเกษตรหรือในชุมชน

**คำสำคัญ :** การลดการระเหย, ภัยแล้ง, ขวดพีอีที, ขยะรีไซเคิล

## Abstract

**Background and Objectives:** Evaporation is one of the causes of water loss from agricultural storage ponds. The costly method of covering up storage ponds makes it impossible for smallholder farmers to implement. This article presents a method of using polyethylene terephthalate (PET) bottles filled with an opaque material floating on the water surface to reduce evaporation loss. The filled opaque materials were Laminated Aluminum Foil (LAF) and Assorted Plastic Bags (APB).

**Methodology:** The experiments were performed using 4 experimental ponds and 1 evaporation pan. The water level was measured on a daily basis to record the evaporation rate. One experimental pond and the standard Class-A pan were used as controls. The remaining three ponds were covered with empty PET bottles, bottles filled with LAF and bottles filled with APB. The water surface temperature was measured. The cost-effectiveness of each scheme was then analyzed using the Incremental Cost-Effectiveness Ratio (ICER) method.

**Main Results:** The experiment results showed that evaporation decreased by 19.2%, 23.2% and 32.3% respectively, while the average water surface temperatures were 29.8 °C, 28.9 °C, and 28.6 °C, respectively, in the cases of the ponds covered with empty PET bottles, LAF-filled PET bottles and APB-filled PET bottles. The control pond exhibited an average surface water temperature of 27.7 °C. The ICER values for the empty PET bottles, LAF-filled PET bottles and APB-filled PET bottles were calculated to be 34, 107, and 322 THB per unit of evaporation suppression efficiency, respectively.

**Conclusions:** LAF-filled PET bottles demonstrated the highest evaporation suppression efficiency and resulted in the lowest water surface temperature among the covered ponds. Regarding the ICER, the empty PET bottles exhibited the lowest value. If one aims to enhance the evaporation suppression efficiency of empty PET bottles, LAF-filled PET bottles present

an attractive option, as they have a lower ICER value compared to APB-filled PET bottles. **Practical Application:** This method can be employed as an alternative for reducing evaporation in small agricultural or community water sources.

**Keywords:** Evaporation Reduction, Drought, PET Bottles, Waste Reuse

## Introduction

ภัยแล้งเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ส่งผลกระทบต่อภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก ซึ่งก่อให้เกิดความท้าทายอย่างมากต่อการจัดการทรัพยากรน้ำ ท่ามกลางปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความแห้งแล้ง ทั้งการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากมนุษย์มีบทบาทสำคัญยิ่ง การเปลี่ยนแปลงของรูปแบบปริมาณน้ำฝนน้อยลงและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดภัยแล้งในหลายพื้นที่ ผลกระทบโดยตรงของอุณหภูมิที่สูงขึ้นต่ออัตราการระเหยและการคายน้ำทำให้มีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นจากอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ทำให้ทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ขาดแคลนมากขึ้น ส่งผลกระทบโดยตรงต่อเกษตรกรทำให้ผลผลิตทางเศรษฐกิจลดลงอย่างมากทุกปี จากการศึกษา ประเทศไทยสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กและขนาดกลางประมาณ 15-20% ของปริมาณการจัดเก็บ [1] และค่าการระเหยเฉลี่ยต่อเดือนคือ 100-200 มม. ซึ่งแตกต่างกันไปตามฤดูกาลและตำแหน่งภูมิประเทศ โดยเฉพาะด้านทางตะวันตกของภาคเหนือ ด้านทางตะวันตกของภาคกลางตอนบนและด้านทางตะวันตกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีค่าการระเหยระหว่าง 175-200 มิลลิเมตร ในช่วงเดือนเมษายน [2] การระเหยเกิดขึ้นบนพื้นผิวของน้ำด้วยปัจจัยภูมิอากาศต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม รังสีจากดวงอาทิตย์ ลักษณะกายภาพของอ่างเก็บน้ำ (พื้นที่ผิวน้ำ และความลึก) และความหนาแน่นของของเหลว

การอนุรักษ์น้ำและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งในการบรรเทาภัยแล้ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการดำเนินการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระดับบุคคลและระดับชุมชน การส่งเสริมพฤติกรรมการประหยัดน้ำ การนำเทคโนโลยีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพมาใช้ รวมทั้งเทคนิคและวิธีการลดการระเหย เช่น การใช้ผ้าใบคลุม การใช้สารเคมีลอยปกคลุมผิวน้ำ การสร้างกำแพงลมด้วยการปลูกต้นไม้ และการใช้วัสดุลอยปกคลุมผิวน้ำ ซึ่งเทคนิคเหล่านี้เป็นการป้องกันปัจจัยที่ส่งผลต่อการระเหยและมีประโยชน์ในการอนุรักษ์น้ำ เพิ่มประสิทธิภาพ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการบริหารจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและรักษาทรัพยากรน้ำให้ยั่งยืนในภูมิภาค

ในขณะเดียวกัน ทั่วโลกก็ยังกำลังประสบปัญหาการจัดการขยะพลาสติก เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติความทนทาน และราคาถูกจึงกลายเป็นส่วนสำคัญของชีวิตประจำวัน ของใช้พลาสติกเหล่านี้ทำจากสารพอลิเมอร์หลายประเภท เช่น พลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ซึ่งเป็นพลาสติกที่นิยมใช้สำหรับบรรจุเครื่องดื่มและสินค้าอุปโภคบริโภคอื่น ๆ โดยขวดพลาสติกพีอีทีมีคุณสมบัติ ใส น้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงเหนียว

ทำให้สะดวกในการใช้งาน หากการใช้พลาสติกในชีวิตประจำวันมากขึ้นแต่มีการจัดการขยะพลาสติกที่ขาดประสิทธิภาพอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอย่างรุนแรง เนื่องจากขยะพลาสติกใช้เวลาหลายร้อยปีในการย่อยสลาย และส่วนใหญ่จบลงที่หลุมฝังกลบ อย่างไรก็ตามการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่เป็นทางเลือกสำหรับการจัดการแก้ไขปัญหาขยะพลาสติกที่เหมาะสมกว่าและมีประสิทธิภาพมากกว่า

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองเปรียบเทียบวิธีการลดการระเหยโดยการใช้ขวดพีอีทีเปล่า ขวดพีอีทีบรรจุเศษพลาสติกทั่วไป (Assorted Plastic Bags, APB) และขวดพีอีทีบรรจุเศษพลาสติกอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (Laminated Aluminum Foil, LAF) วัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุที่จัดหาได้ง่ายและมีปริมาณมากในชุมชน เพื่อหารูปแบบขวดพีอีทีที่เหมาะสมในการใช้งาน จึงควรทดลองหาประสิทธิภาพในการลดการระเหยและเปรียบเทียบความคุ้มค่า ด้วยวิธีอัตราส่วนต้นทุนประสิทธิผลส่วนเพิ่ม (Incremental Cost-Effectiveness Ratio, ICER) และผลลัพธ์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชุมชน ซึ่งวิธีการใช้ขวดพีอีทีบรรจุเศษพลาสติกเป็นนวัตกรรมทางเลือกสำหรับแนวทางการแก้ปัญหาภัยแล้งและการจัดการขยะพลาสติกได้พร้อมกัน และสามารถนำไปใช้ได้สะดวก รวมทั้งยังใช้เงินลงทุนต่ำ

## Literature Review

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการเสนอแนวทางแก้ปัญหาสำหรับการลดการสูญเสียน้ำจากการระเหยหลากหลายแนวทาง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ชีวภาพ เคมี และกายภาพ [3] โดยแต่ละประเภทมีเทคนิคที่ใช้ควบคุมหรือขจัดปัจจัยที่ส่งผลต่อการระเหย

วิธีการลดการระเหยโดยการคลุมอ่างเก็บน้ำด้วยผ้าใบ [4] มีประสิทธิภาพในการลดการระเหยประมาณ 80% ซึ่งควบคุมรังสีจากดวงอาทิตย์และปัจจัยลม แต่มีค่าใช้จ่ายและค่าบำรุงรักษาสูง แผงกันลมถูกสร้างขึ้นเพื่อยับยั้งการระเหย [5] และสามารถลดการระเหยได้ 15-25% ต่อมา Verlee และ Zetland [6] และ Saggaï และ Bachi [7] ได้ทดลองใช้สารเคมีจำพวกแอลกอฮอล์ไขมันเพื่อสร้างฟิล์มบาง ๆ ปกคลุมผิวน้ำ ลดการระเหยได้อย่างมีประสิทธิภาพประมาณ 15-22% ถึงกระนั้นการควบคุมความเข้มข้นที่เหมาะสมในพื้นที่นั้นไม่ใช่เรื่องง่าย ส่วน Elsebaie และคณะ [8] ใช้แผ่นปาล์ม-ฟรอนท์คลุมบ่อทดลองเพื่อป้องกันพวกมันจากรังสีจากดวงอาทิตย์และปัจจัยลมและลดการระเหย 20–24% นอกจากนั้นยังมีการเสนอวัสดุพลาสติกลอยปกคลุมผิวน้ำที่มีรูปทรงต่างๆ เช่น ทรงกลม (Shade Ball) แผ่นวงกลม (Discs) และแผ่นสี่เหลี่ยม (Thermocal Sheet) วิธีการใช้วัสดุลอยปกคลุมผิวน้ำเป็นวิธีที่นิยมและได้รับการวิจัยอย่างกว้างขวาง ซึ่งประเภทของวัสดุที่ใช้เป็นพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE), โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride, PVC) และโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นวัสดุเชิงพาณิชย์และมีงานวิจัยรองรับ วัสดุทรงกลมได้นำมาทดลองภายใต้เงื่อนไข ชนิดของพลาสติก สี ความหนาแน่น ความถ่วงน้ำหนักและขนาดของลูกบอล [9-11] พร้อมทั้งควบคุมปัจจัยทางสภาพอากาศ ซึ่งพบว่าเงื่อนไขเหล่านี้มีอิทธิผลต่อการระเหย Lehmann และคณะ [12] ได้เปรียบเทียบความสามารถในการลดการระเหยของแผ่นกลมกับลูกบอลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน ซึ่งแผ่นกลมลดการระเหยได้ดีกว่าจากการสัมผัสผิวน้ำได้มากกว่า

ทำให้ป้องกันการแผ่รังสีและพลังงานลมได้อย่างต่อเนื่อง ส่วน Chaudhari [13] ได้ทดลองหาประสิทธิการลดการระเหยของ Thermocol Sheet พบว่าสามารถลดการระเหยได้ 32% นอกจากการพิจารณาประสิทธิภาพของการลดการระเหยแล้วยังต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าในการลงทุน Yao และคณะ [14] และ Youssef และ Khodzinskaya [15] ได้ทำการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์สำหรับลดการระเหย 4 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ AquaCapTM E-VapCap NetPro และ SuperSpan โดยพิจารณาด้านต้นทุนต่อตารางและประสิทธิภาพการลดการระเหย ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่มีต้นทุนสูง ทำให้ Simon และคณะ [16] ได้เสนอการขวดน้ำดื่มพีอีทีแทนที่ซึ่งสามารถลดการระเหยได้ 40% และสามารถลดต้นทุนน้ำได้เหลือ 0.09 $/ลูกบาศก์เมตร ในประเทศอินเดีย ซึ่งขวดพีอีทีเป็นขวดใสจึงสามารถป้องกันปัจจัยรังสีจากดวงอาทิตย์ได้เพียงเล็กน้อย

จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการนำเสนอเทคนิคการลดการระเหยมากมาย ทำให้ทราบว่าการระเหยเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาการขาดแคลนน้ำ และส่งผลไปยังอุตสาหกรรมและภาคส่วนต่าง ๆ ที่ต้องการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างคุ้มค่า ดังนั้นจึงควรพัฒนาวิธีการและหาวัสดุที่มีประสิทธิภาพสำหรับการลดการระเหยให้เหมาะสมและคุ้มค่าสำหรับการใช้งาน

## Research Methodology

### พื้นที่ทำการทดลอง

สถานที่ทำการทดลองนี้อยู่ในจังหวัดนครราชสีมา ละติจูดที่ 14.899851 N, 102.009102 E มีค่าระดับสูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง 183 เมตร มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 33.2 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 43. 2 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 11 เมษายน 2559 (กรมอุตุนิยมวิทยา (ออนไลน์)) อัตราความชื้นเฉลี่ย 60% และชั่วโมงแสงอาทิตย์ 2,240 ชั่วโมง ความเร็วลมเฉลี่ย 2.8 เมตร/วินาที ช่วงเวลาทำการทดลองอยู่ในช่วงฤดูหนาว–ถึงฤดูร้อน ระหว่างต้นเดือนธันวาคมถึงปลายเดือนพฤษภาคม เป็นระยะเวลา 6 เดือน

### วัสดุและการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

ขวดพีอีทีตัวขวดน้ำดื่มทำจาก พลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) และพลาสติก HDPE เป็นวัสดุใช้ทำฝาขวด ขวดพีอีทีมีคุณสมบัติเหนียว โปร่งใส ก๊าซซึมผ่านได้ยาก ขึ้นรูปได้ง่าย มีน้ำหนักเบา และสามารถรีไซเคิลได้นอกจากนี้ขวดพีอีทีได้ผ่านการอนุมัติสำหรับใช้เป็นภาชนะสำหรับใส่อาหารจากสำนักงาน The Food and Drug Administration (FDA) และได้รับการยืนยันจาก American Plastics Council ว่าไม่ได้ใช้ Diethyl Hydroxylamine (DEHA) ที่เป็นพิษต่อร่างกายในการผลิต ขวดพีอีทีเป็นพลาสติกใสทำให้รังสีจากดวงอาทิตย์สามารถทะลุผ่าน เพื่อป้องกันปัจจัยดังกล่าวที่ส่งผลต่อการระเหย จึงทำให้ขวดพีอีทีทึบแสงด้วยการบรรจุพลาสติก LAF และ APB แสดงตาม Figure 1 ซึ่งพลาสติกเหล่านี้เป็นเศษขยะพลาสติกจำพวกถุงหิ้วและถุงขนมขบเคี้ยวที่มีปริมาณมากในชุมชน โดยทำการบรรจุเศษพลาสติกให้แน่นและถ่วงน้ำหนักด้วยทรายบางส่วน เพื่อให้ขวดมีระยะจมครึ่งหนึ่งของปริมาตรขวดตามแนวนอนและไม่เกิดการกลิ้ง ซึ่งทำให้ได้พื้นที่ลอยปกคลุมผิวน้ำต่อหนึ่งขวดมากที่สุด โดยขวดมีน้ำหนักรวมต่อขวดประมาณ 270 กรัม

**Figure 1** Empty PET bottles (left), APB-filled PET bottles (center), and LAF-filled PET bottles (right)

บ่อทดลองเป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.9 เมตร และลึก 0.6 เมตร มีปริมาตรประมาณ 1.70 ลูกบาศก์เมตร และมีพื้นที่ผิวประมาณ 2.84 ตารางเมตร ทำจากพลาสติกโพลีเอทิลีนสีขาว (PE) ตามมาตรฐาน Food-Graded หนา 2 ชั้น ในบ่อยังมีการติดตั้งท่อ PVC ขนาด 3 นิ้ว ยึดติดกับแท่งลูกบาศก์คอนกรีตสำหรับวัดระดับน้ำในบ่อ บ่อทดลองแต่ละบ่อมีระยะห่างจากบ่อควบคุมอยู่ในช่วง 2-5 เมตร และได้รับตรวจสอบการรั่วซึมทุกๆ บ่อทดลอง

ถาดวัดการระเหยแบบวางบนผิวดิน (Class-A pan) เป็นถาดที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากสะดวกต่อการติดตั้งใช้งาน ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของ U.S. Weather Bureau โดยปกติแล้วการระเหยของน้ำใน Class-A pan ($E_{pan}$) จะสูงกว่าการระเหยจากแหล่งน้ำ (E) จึงปรับแก้ข้อมูลของถาด ตามสมการที่ (1)

$$E = C_p \, x \, E_{pan} \qquad (1)$$

Boonyatharokul [17] ได้ทำการทดลองและเสนอค่าสัมประสิทธิ์ของถาด ($C_p$) มีค่าเท่ากับ 0.85 สำหรับ Class-A pan

## การทดลองและการตรวจวัดค่า

การทดลองใช้ถาดมาตรฐาน Class-A pan และบ่อทดลองจำนวน 4 บ่อ โดยมีบ่อควบคุม (ไม่มีการลอยปกคลุม) บ่อลอยขวดพีอีทีเปล่า บ่อลอยขวดพีอีทีบรรจุ LAF และบ่อลอยขวดพีอีทีบรรจุ APB เนื่องจากบ่อทดลองทำจากวัสดุที่แตกต่างกับถาดมาตรฐาน จึงทำการทดลองเบื้องต้นก่อนการทดลองจริงเพื่อตรวจสอบค่าการระเหยระหว่างบ่อทดลองกับถาดมาตรฐาน Class A Pan โดยการเก็บค่าระดับน้ำของบ่อทดลองทั้ง 4 บ่อ และของถาดมาตรฐานในช่วงเวลา 8:00 – 9:00 น. ของทุกวันเป็นระยะเวลา 15 วัน จากนั้นนำข้อมูลระดับน้ำของบ่อทดลองมาวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐานของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งเป็นการสอบเทียบค่าการระเหยของถาดวัดการระเหยกับบ่อทดลองทั้ง 4 บ่อ ด้วยการทดสอบสมมติฐาน

ของสัดส่วนความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าอัตราส่วนความแปรปรวน (Ratio of Variance) ในแต่ละบ่อทดลองมีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่าความแปรปรวนของแต่ละบ่อทดลองมีค่าไม่แตกต่างกับถาดวัดการระเหย และค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 ในการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย พบว่าช่วงความเชื่อมั่นของความต่าง (95% CI for Difference) ครอบคลุมค่า 0 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของการระเหยในแต่ละบ่อทดลองไม่แตกต่างกับถาดวัดการระเหยและมีค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จากทดสอบสมมติฐานทั้ง 2 วิธีเป็นข้อมูลยืนยันเบื้องต้นได้ว่าค่าการระเหยจากบ่อทดลองมีค่าไม่แตกต่างกับถาดวัดการระเหย Class A Pan ดังนั้นค่าระดับที่วัดได้จากบ่อทดลองสามารถใช้เป็นตัวแทนในการคำนวณค่าการระเหยได้ นอกจากนี้ยังควบคุมและติดตามค่าความแตกต่างของค่าระดับในแต่ละบ่อทดลองกับถาดวัดการระเหยตลอดการทดลอง

ในการทดลองนี้กำหนดพื้นที่การลอยปกคลุมที่ 50% ของพื้นที่ผิวน้ำ ซึ่งเปอร์เซ็นต์การลอยปกคลุม (Coverage Percentage, %CP) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) เพื่อให้มีพื้นที่เพียงพอสำหรับการทำกิจกรรมต่าง ๆ และเหมาะสมในการใช้งานจริง

$$\%CP = \frac{A_b \times n}{A_e} \times 100 \qquad (2)$$

โดยที่ $A_b$ คือ พื้นที่ของขวดพีอีทีต่อ 1 ขวด $A_e$ คือ พื้นที่บ่อทดลอง n คือ จำนวนขวดพีอีที จากสมการดังกล่าวพบว่าขวดพีอีทีที่ใช้ในแต่ละบ่อทดลองเท่ากับ 99 ขวด แสดงใน Figure 2

**Figure 2** Control pond (top left), pond floating with empty PET bottles (top right), pond floating with APB-filled PET bottles (bottom left), and pond floating with LAF-filled PET bottles (bottom right)

การทดลองเริ่มต้นใช้น้ำประมาณบ่อละ 1.40-1.45 ลูกบาศก์เมตร หรือที่ระดับความลึกของน้ำที่เก็บกักเริ่มต้น 0.50-0.55 เมตร ทั้ง 4 บ่อทดลอง และนำขวดพีอีทีเปล่า ขวดพีอีทีบรรจุ APB และขวดพีอีทีบรรจุ LAF ลอยแบบอิสระปกคลุมในแต่ละบ่อทดลอง จากนั้นบันทึกค่าระดับน้ำในแต่ละบ่อทดลองรวมทั้งค่าระดับน้ำในถาดวัดการระเหย ช่วงเวลา 8:00 – 9:00 น. ของทุกวัน ด้วยเวอร์เนียร์วัดความลึกที่มีความละเอียดสูงถึง 0.02 มิลลิเมตร ทำการวัดค่าระดับน้ำบ่อละ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย โดยค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันเป็นตัวแทนของการระเหย นอกจากค่าระดับน้ำยังทำการเก็บค่าอุณหภูมิที่ผิวน้ำ ซึ่งอุณหภูมิของ

ผิวน้ำมีผลต่อการระเหย โดยผิวน้ำที่มีอุณหภูมิสูงทำให้โมเลกุลของน้ำที่ผิวมีการเคลื่อนที่หลุดลอยออกไปได้ง่ายกว่าผิวน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิที่ผิวน้ำได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมน้ำแบบดิจิตอลที่ช่วงระหว่างระดับความลึกประมาณ 3 เซนติเมตร (ระยะจมของขวดพีอีที) โดยการปล่อยลอยแบบอิสระร่วมกับขวดพีอีที

**ประสิทธิภาพการลดการระเหย**

ประสิทธิภาพของการลดการระเหย (Evaporation Suppression Efficiency, ESE) เป็นตัวชี้วัดของแต่ละเทคนิค โดยคำนวณการเปรียบเทียบสัดส่วนค่าการระเหยจริงกับค่าการระเหยที่สามารถลดได้ [18] ซึ่งปกติจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์หรืออัตราส่วนดังสมการที่ (3)

$$ESE = (1 - \frac{E_{pi}}{E_C}) \times 100 \qquad (3)$$

โดยที่ $E_{pi}$ คือ อัตราการระเหยของบ่อที่ $i$ หน่วยเป็น มม./วัน และ $E_c$ คือ อัตราการระเหยของบ่อควบคุม (บ่อไม่มีการลอยปกคลุม) หน่วยเป็น มม./วัน

ข้อมูลระดับน้ำที่เก็บจากบ่อทดลองถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าการระเหย โดยการคำนวณจากระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละบ่อเป็นรายวัน โดยค่าการระเหยจริงได้มาจากระดับน้ำที่เปลี่ยนไปของบ่อควบคุม (ไม่มีการลอยปกคลุม) นำมาเปรียบเทียบกับระดับน้ำที่เปลี่ยนไปของบ่อที่ลอยขวดพีอีทีเปล่า ขวดพีอีทีบรรจุ APB และขวดพีอีทีบรรจุ LAF เพื่อหาประสิทธิภาพการลดการระเหยของวัสดุทั้ง 3 ชนิด

**การประเมินความคุ้มค่า**

การประเมินความคุ้มค่าการลดการระเหยจะถูกประเมินโดยการเปรียบเทียบต้นทุนที่เกิดขึ้นกับประสิทธิภาพการลดการระเหยแต่ละเงื่อนไขของบ่อทดลอง และกำหนดข้อมูลต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นสมมุติฐานในการวิเคราะห์ โดยกำหนดขนาดของแหล่งน้ำอ้างอิงตามโครงการแหล่งน้ำในไร่นานอกเขตชลประทานของกรมพัฒนาที่ดินหรือที่เรียกว่า “บ่อจิ๋ว” (กรมพัฒนาที่ดิน โครงการแหล่งน้ำในไร่นานอกเขตชลประทาน (ออนไลน์)) ซึ่งมีขนาดความกว้าง 20 เมตร ยาว 30 เมตร หรือมีพื้นที่ผิวน้ำประมาณ 600 ตารางเมตร และมีความลึก 2.1 เมตร หรือประมาณ 1,260 ลูกบาศก์เมตร ส่วนต้นทุนประกอบด้วยค่าขวดพีอีที ค่าแรงดำเนินการและบรรจุเศษพลาสติก การประเมินต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการลดการระเหยที่มากขึ้นกว่าเดิม สามารถคำนวณได้จากสัดส่วนต้นทุนที่เพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพการลดการระเหยที่เพิ่มขึ้น (Incremental Cost-Effectiveness Ratio, ICER) [19] ตามสมการที่ (4)

$$ICER = \frac{(Cost_A - Cost_B)}{(ESE_A - ESE_B)} \qquad (4)$$

โดยที่ $Cost_A$ คือ ต้น ทุนโครงการควบคุม (ขวดพีอีทีเปล่า) หรือเท่ากับ 0 บาทสำหรับการเปรียบเทียบเริ่มต้น และ $Cost_B$ คือ ต้นทุนโครงการทางเลือก ได้แก่ ต้นทุนโครงการขวดพีอีทีเปล่า ต้นทุนโครงการขวดพีอีทีบรรจุ APB และต้นทุนโครงการขวดพีอีทีบรรจุ LAF $ESE_A$ คือ ประสิทธิภาพการลดการระเหยของโครงการควบคุม (ขวดพีอีทีเปล่า) หรือเท่ากับ 0% สำหรับการเปรียบเทียบเริ่มต้น ส่วน $ESE_B$ คือ ประสิทธิภาพการลดการระเหยของโครงการทางเลือก ภายใต้เงื่อนไขการลอยปกคลุมบ่อจิ๋วที่ %CP=50 (ประมาณ 300 ตารางเมตร)

## Results

### การระเหยและอุณหภูมิที่ผิวน้ำ

จากการทดลองการลดอัตราการระเหยโดยการใช้ขวดพีอีทีลอยปกคลุมผิวน้ำ ได้มีการตรวจวัดระดับน้ำและอุณหภูมิผิวน้ำและทำการบันทึกผลทุกวัน ผลการทดลองพบว่าบ่อทดลองมีระดับน้ำลดลงอย่างต่อเนื่องจากการวัดค่าระดับน้ำประจำวัน โดยบ่อควบคุม (ไม่มีการลอยปกคลุม) มีค่าช่วงการระเหยอยู่ระหว่าง 3.1-6.5 มิลลิเมตร มีค่าการระเหยเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ 5.0 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าการระเหยจากถาดวัดการระเหยเฉลี่ยรายวันมีค่าอยู่ที่ 5.0 มิลลิเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกับถาดวัดการระเหยและค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05

ผลการเปรียบเทียบค่าการระเหยที่เกิดขึ้นโดยการใช้วัสดุลอยปกคลุมผิวน้ำในรูปแบบที่แตกต่างกันพบว่า มีการลดลงของระดับน้ำที่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบระดับน้ำของบ่อที่มีการลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีเปล่า มีค่าการระเหยอยู่ระหว่าง 2.4-5.3 มิลลิเมตร โดยมีค่าการระเหยเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ 4.0 มิลลิเมตร ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าขวดพีอีทีเปล่ามีค่าการระเหยเฉลี่ยรายวันต่ำกว่าบ่อควบคุมเล็กน้อย ส่วนบ่อลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีบรรจุ APB และขวดพีอีทีบรรจุ LAF มีค่าการระเหยรายวันอยู่ระหว่าง 2.2-5.2, 2.0-4.8 มิลลิเมตร และมีค่าเฉลี่ยการระเหยอยู่ที่ 3.8, 3.4 มิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงใน Figure 3 ซึ่งค่าการระเหยเฉลี่ยของบ่อที่ลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีบรรจุ APB และขวดพีอีทีบรรจุ LAF มีค่าการระเหยเฉลี่ยต่ำกว่าบ่อควบคุมและบ่อที่ลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีเปล่า ซึ่งแสดงว่าขวดพีอีทีบรรจุเศษพลาสติกสามารถลดการระเหยได้ดีกว่าขวดพีอีทีเปล่า

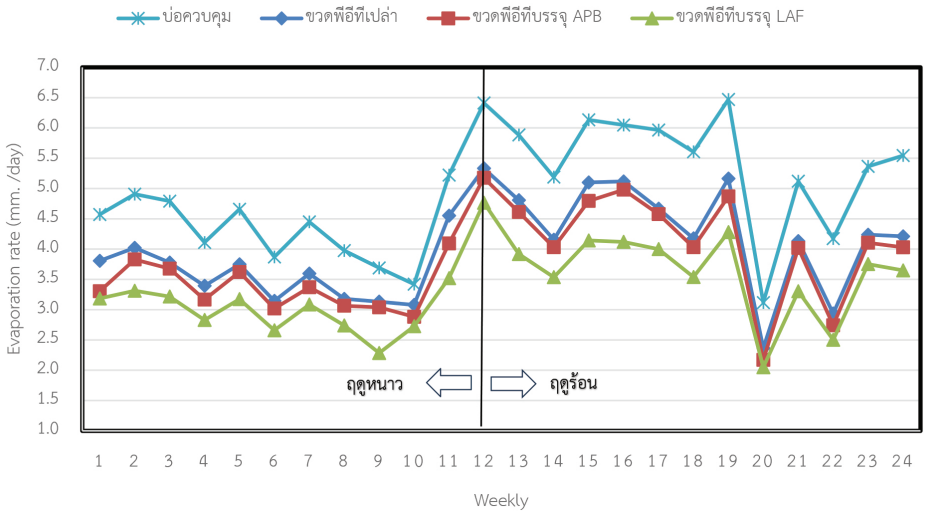


**Figure 3** Evaporation rates of all four test ponds

จากการตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทั้ง 4 บ่อ โดยบ่อทดลองทั้งหมดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน สังเกตุได้จากกราฟแสดงใน Figure 4 ซึ่งบ่อที่มีการลอยปกคลุมทั้ง 3 บ่อมีอุณหภูมิผิวน้ำสูงกว่าบ่อควบคุม โดยบ่อลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีเปล่ามีอุณหภูมิผิวน้ำสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.8 ºC ส่วนบ่อลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีบรรจุ APB บ่อลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีบรรจุ LAF และบ่อควบคุม มีค่าอุณหภูมิผิวน้ำเฉลี่ย 28.9 ºC, 28.6 ºC และ 27.7 ºC ตามลำดับ โดยจากการศึกษาอุณหภูมิผิวน้ำสูงขึ้นส่งผลให้ค่าการระเหยมากขึ้น แต่ผลการทดลองพบว่าบ่อที่มีค่าการระเหยสูงสุดคือบ่อควบคุม ซึ่งเป็นบ่อที่ไม่มีการลอยปกคลุมและมีอุณหภูมิผิวน้ำเฉลี่ยน้อยที่สุด เนื่องจากเป็นบ่อที่ไม่มีการป้องกันการระเหย ทำให้มีการถ่ายเทอุณหภูมิที่ผิวน้ำได้ดีกว่าบ่อที่มีการลอยปกคุลม

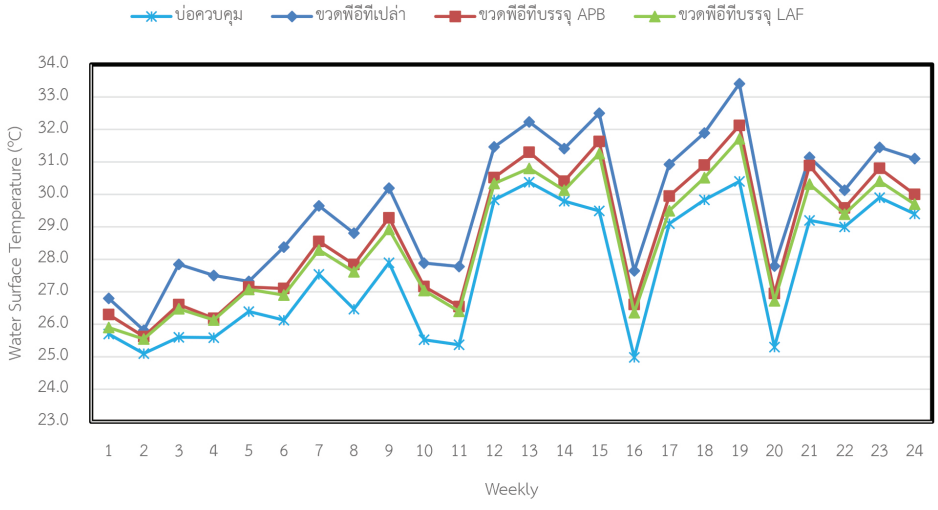


**Figure 4** Water surface temperatures of the experimental ponds

**ประสิทธิภาพการลดการระเหย**

จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดการระเหยของบ่อทดลองทั้ง 3 บ่อ พบว่าบ่อที่ลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีเปล่ามีค่า ESE ระหว่าง 10.0-29.6% โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.2% และบ่อลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีบรรจุ APB และขวดพีอีทีบรรจุ LAF มีค่า ESE ระหว่าง 15.8-34.3%, 20.3-40.1% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.2% และ 32.3% ตามลำดับ แสดงใน Figure 5 หากเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดการระเหยรายเดือนพบว่ามีประสิทธิภาพการลดการระเหยลดลงในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์จากนั้นประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงเดือนพฤษภาคม แสดงใน Figure 6 จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดการระเหยพบว่าขวดพีอีทีบรรจุ LAF มีประสิทธิภาพลดการระเหยได้มากที่สุด เท่ากับ 32.3% ที่ลอยปกคลุมผิวน้ำ (%CP) 50%

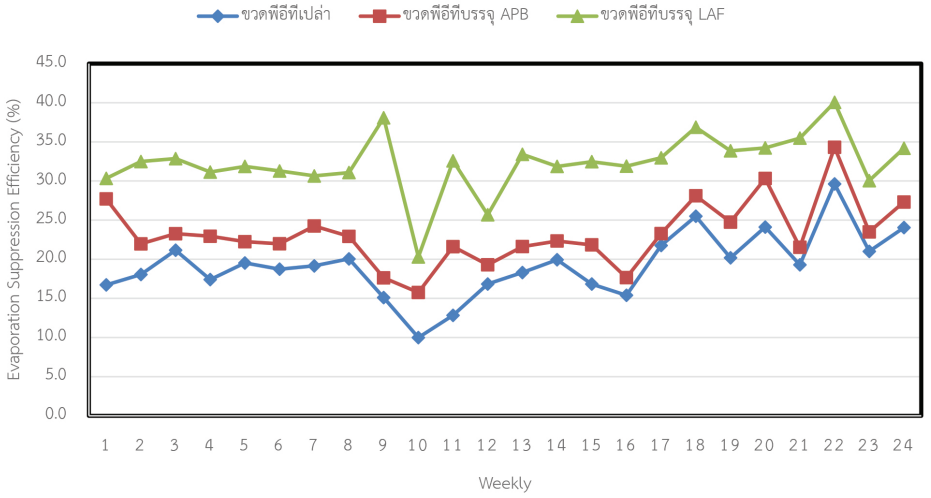


**Figure 5** Weekly evaporation suppression efficiency (%) of experimental ponds

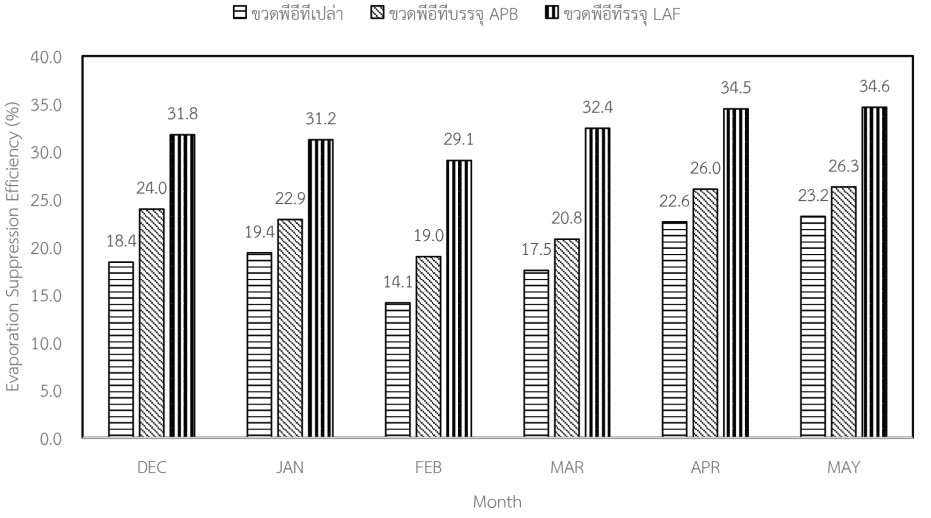


**Figure 6** Monthly evaporation suppression efficiency (%) of experimental ponds

**การประเมินความคุ้มค่า**

จากการประเมินความคุ้มค่าของโครงการด้วยการวิเคราะห์ต้นทุนของสัดส่วนต้นทุนประสิทธิผลที่เพิ่มขึ้น (ICER) หรืออัตราส่วนต้นทุนต่อประสิทธิภาพการลดการระเหย โดยต้นทุนโครงการประกอบไปด้วยค่าขวดพีอีที ค่าแรงดำเนินการและบรรจุเศษพลาสติก ซึ่งค่าขวดพีอีทีอยู่ที่ 8 บาท/กิโลกรัม (ราคากลางรับซื้อขยะ ณ วันที่ 6 มิถุนายน 2566 จาก https://wongpanit.com/) โดยขวดมีน้ำหนักประมาณ 0.015 กิโลกรัม/ขวด ส่วนค่าแรงอ้างอิงจากอัตราค่าแรงรายวัน (315 บาท/วัน) ซึ่งสามารถบรรจุ LAF ได้จำนวน 450 ขวด หรือขวดบรรจุ APB ได้จำนวน 485 ขวด สำหรับพื้นที่ลอยปกคลุมผิวน้ำ 1 ตารางเมตร ใช้ขวดพีอีทีประมาณ 83 ขวด นอกจากนี้ยังได้กำหนดอายุการใช้งานของขวดพีอีทีมีค่าเท่ากับ 10 ปี เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนของแต่ละโครงการ แสดงตาม Table 1

**Table 1** Total cost comparison of each project

| Project Cost | (Baht/Sq.m.) | | Total Cost (Baht) |
|---|---|---|---|
| | Material | Labor | |
| 1. Empty PET bottles | 10.00 | 12.00 | 6,600.00 |
| 2. APB-filled PET bottles | 11.00 | 53.95 | 19,485.00 |
| 3. LAF-filled PET bottles | 11.00 | 58.00 | 20,700.00 |

ในการประเมินความคุ้มค่าได้เปรียบเทียบโครงการขวดพีอีทีเปล่า โครงการขวดพีอีทีเปล่ากับขวดพีอีทีบรรจุ APB และโครงการขวดพีอีทีเปล่ากับขวดพีอีทีบรรจุ LAF ลอยปกคลุมบ่อจิ๋วที่ %CP=50 ซึ่งประสิทธิภาพการลดการระเหยบ่อลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีเปล่า ขวดพีอีทีบรรจุ APB และขวดพีอีทีบรรจุ LAF มีค่า ESE เฉลี่ย 19.2%, 23.2%, 32.3% ตามลำดับ ซึ่งการประเมินความคุ้มค่าได้พิจารณาตามสมมุติฐานในกรณีนำไปใช้ในบ่อจิ๋วตามขนาดมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งพบว่าค่า ICER ของบ่อจิ๋วลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีเปล่ามีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 34 บาท สำหรับประสิทธิภาพการลดการระเหยเพิ่มขึ้น 1% ขวดพีอีทีเปล่ากับขวดพีอีทีบรรจุ APB และ ขวดพีอีทีบรรจุ LAF มีค่าเท่ากับ 322 และ 107 บาทต่อหนึ่งเปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มประสิทธิภาพการลดการระเหย ตามลำดับ แสดงตาม Table 2 หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการลดการระเหยของขวดพีอีที พบว่าขวดพีอีทีบรรจุ LAF มีความคุ้มค่ากว่าขวดพีอีทีบรรจุ APB เนื่องจากค่า ICER ของขวดพีอีทีบรรจุ LAF ต่ำกว่าขวดพีอีทีบรรจุ APB

**Table 2** Incremental cost-effectiveness analysis of each project

| Project | Total Cost (บาท) | ESE (%) | Project Comparison | Incremental Cost | Increasing %ESE | Service Life (yrs.) | ICER |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Empty PET bottles | 6,600 | 19.2 | | 6,600 | 19.2 | 10 | 34 |
| 2. APB-filled PET bottles | 19,485 | 23.2 | 1-2 | 12,885 | 4.0 | 10 | 322 |
| 3. LAF-filled PET bottles | 20,700 | 32.3 | 1-3 | 14,100 | 13.1 | 10 | 107 |

## Discussion and Conclusion

จากผลการทดลองเพื่อหาวัสดุลอยปกคลุมผิวน้ำที่เหมาะสมสำหรับการลดการระเหยพบว่า บ่อทดลองที่ใช้ขวดลอยทั้ง 3 บ่อทดลองมีค่าการระเหยลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับบ่อควบคุม โดยบ่อที่ลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีบรรจุ LAF มีค่าการระเหยน้อยที่สุด รองลงมาคือที่ลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีบรรจุ APB ขวดพีอีทีเปล่า และบ่อควบคุม ซึ่งค่าการระเหยมีลักษณะแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันและมีความสอดคล้องตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการระเหย ได้แก่ พื้นที่ผิวน้ำมากมีค่าการระเหยสูงกว่าพื้นที่ผิวน้ำน้อยดังเช่นบ่อควบคุม (ไม่มีการลอยปกคลุม) มีค่าการระเหยเฉลี่ยรายวัน 5.0 มิลลิเมตร ซึ่งสูงกว่าบ่อที่มีการลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีเปล่า ขวดบรรจุ APB และขวดบรรจุ LAF ที่มีค่าการระเหย 4.0, 3.8 และ 3.4 มิลลิเมตร ตามลำดับ และปัจจัยด้านรังสีดวงอาทิตย์จะสังเกตุได้ว่าบ่อที่มีการลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีบรรจุ APB และ LAF ซึ่งถูกทำให้ขวดพีอีทีทึบแสงมีค่าการระเหยต่ำกว่าบ่อที่ลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีเปล่า

ผลการวัดอุณหภูมิผิวน้ำในบ่อที่มีการลอยด้วยวัสดุแตกต่างกันและบ่อควบคุม พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามแต่ละวันที่ขึ้นลงสอดคล้องกันทุกบ่อ ซึ่งบ่งชี้ว่าปัจจัยพื้นฐานทั่วไปจากสภาวะแวดล้อมภายนอกส่งผลอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในบ่อทุกบ่อ เช่น สภาพอากาศ การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ และอุณหภูมิของอากาศ โดยบ่อที่มีการลอยปกคลุมมีอุณหภูมิผิวน้ำสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับบ่อควบคุม ซึ่งบ่อที่มีขวดพีอีทีเปล่าลอยปกคลุม จะมีอุณหภูมิผิวน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ 29.8 °C บ่อลอยด้วยขวดพีอีทีบรรจุ APB และบ่อลอยด้วยขวดวดบรรจุ LAF มีอุณหภูมิผิวน้ำเฉลี่ย 28.9 °C และ 28.6 °C ตามลำดับ ส่วนบ่อควบคุมมีอุณหภูมิผิวน้ำเฉลี่ยต่ำสุด 27.7 °C อาจเนื่องมาจากขวดพีอีทีทำหน้าที่เป็นฉนวนกักเก็บความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์และป้องกันการไหลของอากาศบริเวณเหนือผิวน้ำส่งผลให้อุณภูมิผิวน้ำสูงขึ้น

การทดลองประสิทธิภาพการระเหยบ่อลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีเปล่า ขวดพีอีทีบรรจุ APB และขวดพีอีทีบรรจุ LAF พบว่ามีประสิทธิภาพลดการระเหยเฉลี่ย 19.2%, 23.2%, 32.3% ตามลำดับ ที่การลอยปกคลุม 50% ของพื้นที่ ซึ่งสรุปได้ว่าขวดพีอีทีบรรจุ LAF และขวดพีทีบรรจุ APB สามารถลดการระเหยได้ดีกว่าขวดพีอีทีเปล่า เนื่องจากขวดพีอีทีบรรจุ LAF และขวดพีทีบรรจุ APB เป็นวัสดุทึบแสงสามารถป้องกันและสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ได้ดี และจากรูปกราฟที่ 6 ยังเห็นได้ว่าระหว่างเดือนธันวาคม – กุมภาพันธ์ ประสิทธิภาพการลดการระเหยลดลงในช่วงหน้าหนาว และเดือนมีนาคม – เดือนพฤษภาคม ประสิทธิภาพการลดการรระเหยสูงขึ้นในช่วงหน้าร้อน เนื่องจากค่าการระเหยเฉลี่ยรายวันของบ่อควบคุมในช่วงฤดูร้อนสูงขึ้นแต่ค่าการระเหยของบ่อที่ลอยปกคลุมมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุลอยปกคลุมช่วยควบคุมและสามารถลดการระเหยได้

การประเมินความคุ้มค่าสำหรับกรณีตัวอย่างโครงการบ่อจิ๋วที่สมมติให้ถูกลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีเปล่ามีต้นทุนที่ถูกกว่าและมีค่า ICER น้อยที่สุดเท่ากับ 34 บาทต่อหนึ่งเปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มประสิทธิภาพการลดการระเหย แต่มีค่า ESE ต่ำกว่าขวดพีอีทีบรรจุ LAF และขวดพีอีทีบรรจุ APB ในการเปรียบเทียบค่า ICER ของโครงการบ่อจิ๋วลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีเปล่ากับขวดพีอีทีบรรจุ APB และโครงการบ่อจิ๋วลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีเปล่ากับขวดพีอีทีบรรจุ LAF มีค่าเท่ากับ 322 บาท และ 107 บาทต่อหนึ่งเปอร์เซ็นต์

ของการเพิ่มประสิทธิภาพการลดการระเหย ตามลำดับ ขวดพีอีทีบรรจุ LAF มีค่า ICER ต่ำกว่าขวดพีอีทีบรรจุ APB ทำให้ขวดพีอีทีบรรจุ LAF เป็นทางเลือกที่ดีกว่าสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการลดการระเหยให้กับขวดพีอีที ซึ่งหากนำวิธีการลดการระเหยนี้ไปใช้ในกรณีบ่อจิ๋วของกรมพัฒนาที่ดินที่มีจำนวน 40,000 โครงการในปี 2564 และอ้างอิงจากข้อมูลปริมาณการระเหยย้อนหลัง 10 ปี ของสถานีอุตุนิยมวิทยา อ.เมือง จ.นครราชสีมา ระหว่างปี 2555-2564 ที่มีอัตราการระเหยเฉลี่ย 5.5 มม./วัน หรือประมาณ 2008 มม./ปี พบว่าบ่อลอยด้วยขวดพีอีทีเปล่า ขวดบรรจุ APB และขวดบรรจุ LAF สามารถประหยัดน้ำจากการระเหยได้ถึง 9.25 – 15.57 ล้านลูกบาศก์ต่อปี จากข้อมูลความคุ้มค่าขวดพีอีทีเปล่ามีต้นทุนต่ำที่สุดแต่สามารถลดการระเหยได้น้อยที่สุด ซึ่งอาจเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีความต้องการน้ำน้อย ส่วนขวดพีอีทีบรรจุ LAF สามารถลดการระเหยได้มากที่สุดและเป็นวิธีการที่ง่ายในการผลิตและใช้งาน และหากได้รับความร่วมมือกันในชุมชนเพื่อจัดเตรียมวัสดุก็จะส่งผลให้ต้นทุนค่าจัดหาวัสดุและค่าแรงงานลดลงได้อีก ทำให้เป็นทางเลือกที่เหมาะสมมากขึ้น อย่างไรก็ตามหากนำไปใช้งานควรจะพิจารณาถึงประสิทธิภาพการลดการระเหยที่ได้และความต้องการใช้น้ำสำหรับแต่ละพื้นที่ เพื่อให้สามารถบริหารการจัดการน้ำได้อย่างเหมาะสม ในการทดลองนี้เป็นข้อมูลการลอยปกคลุม %CP=50 ของพื้นที่ผิว โดยในการใช้งานจริงอาจพิจารณาใช้การลอยที่ %CP ต่าง ๆ ตามความเหมาะสม จึงเป็นประเด็นสำหรับการวิจัยต่อไปและเนื่องจากการลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีทำให้อุณหภูมิผิวน้ำสูงขึ้น จากผลทดลองอุณหภูมิผิวน้ำสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 33.4 ºC โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจทำให้พลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพและอาจส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเบื้องต้นได้ทำการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของขวดพีอีทีด้วยวิธีการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน (FTIR) และตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยค่า DO และ BOD ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ไม่พบการเสื่อมสภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การทดลองปัจจุบันเป็นการทดลองในบ่อทดลอง จึงควรทำการทดลองจริงในสนาม (บ่อจิ๋ว) เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการปรับปรุงเทคนิคและอุปกรณ์ให้เหมาะสม ตลอดจนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการพิจารณาความร่วมมือจากชุมชน เพื่อให้การนำไปใช้ในสเกลที่ใหญ่ขึ้นเป็นไปอย่างถูกต้องและยั่งยืน

## Acknowledgements

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก 1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.) 2. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (Thailand Science Research and Innovation: TSRI) และ 3. กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (National Science, Research and Innovation Fund: NSRF) FF7-712-65-24- 25S (FF66: NRIIS 179329)

## References


1. Rittima, A., Saleekij, K., Samarnwongrak, K., Sritamma, P., Cheeranoravanich, I. and Udom thara, M., 2013, "The Study on Evaporation Losses from Medium and Small Reservoirs in Thailand," *Engineering Research and Development Journal*, 24 (1), pp. 27-36.
2. Kongborriak, P. and Suebsak, K., 2010, "Evaporation in Thailand Period 10 Year (2001–2010)," *Proceedings of Academic Works in Meteorology*, 30 September 2011, Ministry of Information and Communication Technology, Bangkok, pp. 30-38. (In Thai).
3. Settakhumpoo, J. and Benjaoran, V., 2021, "Comparing the Cost Efficiencies of Traditional Evaporation Reduction with PET Bottles Containing Plastic Waste," *Engineering Journal Chiang Mai University*, 28 (2), pp. 42-54.
4. Hunter, K., Finn, N. and Barnes, S., 2007, "The Benefits of Shade-Cloth Covers for Potable Water Storages," *Proceeding of 70th Annual Water Industry Engineers and Operators Conference*, Bendigo Exhibition Centre, Australia, Vol.4, pp. 86-92.
5. Helfer, F., Zhang, H. and Lemckert, C., 2010, "Evaporation Reduction by Windbreaks: Overview, Modelling and Efficiency," *Urban Water Security Research Alliance*, Technical Report No.16.
6. Verlee, D. and Zetland, D., 2015, "Extending Water Supply by Reducing Reservoir Evaporation: A Case Study from Wichita Falls, Texas," *Proceedings of Mine Water Solutions in Extreme Environments*, 12-15 April 2015, Vancouver, Canada, pp. 1-10.
7. Saggaï, S. and Bachi, O., 2018, "Evaporation Reduction from Water Reservoirs in Arid Lands Using Monolayers: Algerian Experience," *Water Resources*, 45 (2), pp. 280-288.
8. Elsebaie, I.H., Fouli, H. and Amin, M., 2017, "Evaporation Reduction from Open Water Tanks Using Palm-Frond Covers: Effects of Tank Shape and Coverage Pattern," *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21 (7), pp. 2977-2983.
9. Rezazadeh, A., Akbarzadeh, P. and Aminzadeh, M., 2020, "The Effect of Floating Balls Density on Evaporation Suppression of Water Reservoirs in the Presence of Surface Flows," *Journal of Hydrology*, 591, 125323.
10. Han, K.W., Shi, K.B. and Yan, X.J., 2020, "Evaporation Loss and Energy Balance of Agricultural Reservoirs Covered with Counterweighted Spheres in Arid Region," *Agricultural Water Management*, 238, 106227.

11. Li, C.L., Shi, K.B., Yan, X.J. and Jiang, C.L., 2021, "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*, 26 (2), 8 p. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002032
12. Lehmann, P., Aminzadeh, M. and Or, D., 2019, "Evaporation Suppression from Water Bodies Using Floating Covers: Laboratory Studies of Cover Type, Wind, and Radiation Effects," *Water Resources Research*, 55 (6), pp. 4839-4853.
13. Chaudhari, N. and Chaudhari, N.D., 2015, "Use of Thermocal Sheet as Floating Cover to Reduce Evaporation Loss in Farm Pond," *HYDRO 2015 INTERNATIONAL 20th International Conference on Hydraulics, Water Resources and River Engineering*, 17-19 December 2015, IIT Roorkee, India, pp. 17-19.
14. Yao, X., Zhang, H., Lemckert, C., Brook, A. and Schouten, P., 2010, "Evaporation Reduction by Suspended and Floating Covers: Overview, Modelling and Efficiency," Urban Water Security Research Alliance Technical Report, Vol. 28, pp. 1-13.
15. Youssef, Y.W. and Khodzinskaya, A., 2019, "A Review of Evaporation Reduction Methods from Water Surfaces," *E3S Web of Conferences*, 97 (05044), 10 p. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199705044
16. Simon, K., Shanbhag, R. and Slocum, A., 2016, "Reducing Evaporative Water Losses from Irrigation Ponds Through the Reuse of Polyethylene Terephthalate Bottles," *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142 (2), p. 06015005.
17. Boonyatharokul, W., 1975, "Estimation of Potential Evapotranspiration in Thailand by Using Formulas Based on Climatological Data," *Agriculture and Natural Resources*, 9 (1), pp. 26-34.
18. Assouline, S., Narkis, K. and Or, D., 2011, "Evaporation Suppression from Water Reservoirs: Efficiency Considerations of Partial Covers," *Water Resources Research*, 47 (7), pp. 1-8.
19. Gerdruang, A., 2015, "Cost-Effectiveness Analysis for Public Policy Evaluation," *University of the Thai Chamber of Commerce Journal Humanities and Social Sciences*, 35 (2), pp. 174-184