รายงานการวิจัย

การศึกษาการใช้ขวดพลาสติก PET ลดปริมาณการระเหยของแหล่งน้ำ

(A study on the use of PET plastic bottles to reduction of evaporation rate in reservoir)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รายงานการวิจัย

การศึกษาการใช้ขวดพลาสติก PET ลดปริมาณการระเหยของแหล่งน้ำ

(A study on the use of PET plastic bottles to reduction of evaporation rate in reservoir)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ วชรภูมิ เบญจโอฬาร

ผู้ร่วมวิจัย

นายจิรเดช เศรษฐกัมพู

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2565

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มีนาคม 2566

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม และ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ปีงบประมาณพ.ศ. 2565

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร และเจ้าหน้าที่ประจำ ห้องปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี อาคารเครื่องมือ 4 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับการอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์การทดลอง

ขอขอบคุณ นายภาณุ เอกพงศ์เมธี (หัวหน้าส่วนอาคาร), หน่วยสิ่งแวดล้อม, งานระบบประปา, งานรักษาความปลอดภัยของส่วนอาคารสถานที่ ที่ช่วยอนุเคราะห์สถานที่ทดสอบและอำนวยความสะดวกในการเติมน้ำในบ่อทดลอง

ขอขอบคุณ นายณัฐวรรธน์ พิเคราะห์งาน นักศึกษาสาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ช่วยเตรียมวัสดุ ติดต่อประสานงาน ตลอดจนช่วยทำการทดลอง

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องสนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จิรเดช เศรษฐกัมพู

31 มีนาคม 2566

บทคัดย่อ

การระเหยเป็นสาเหตุสำคัญในการสูญเสียน้ำจากแหล่งกักเก็บอย่างมีนัยสำคัญ วิธีการใช้วัสดุลอยปกคลุมผิวน้ำเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการลดการระเหย ทำให้มีผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ในรูปทรงต่างๆ เช่น ลูกบอลทรงกลม แผ่นวงกลม และแผ่นสี่เหลี่ยม การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการระเหยของน้ำในอ่างเก็บน้ำโดยการนำขวดน้ำดื่ม Polyethylene Terephthalate (PET) กลับมาใช้ใหม่เป็นวัสดุลอยปกคลุมผิวน้ำ การทดลองใช้บ่อจำลองจำนวน 8 บ่อ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการลดการระเหยของขวดพีอีทีบรรจุเศษพลาสติก 3 เงื่อนไข ได้แก่ ชนิดของวัสดุทึบแสงที่ใช้บรรจุ พื้นที่การลอยปกคลุม และรูปแบบการลอยน้ำ พบว่าขวดพีอีทีบรรจุอลูมิเนียมฟลอยด์ลามิเนต (LAF) มีประสิทธิภาพการลดการระเหยประมาณ 60% ที่พื้นที่การลอยปกคลุม 75% และรูปแบบการลอยเป็นกลุ่มแพมีประสิทธิภาพมากกว่ารูปแบบการลอยแบบอิสระเพียงเล็กน้อย ส่วนการทดสอบคุณภาพน้ำตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพผิวน้ำผิวดินประเภท 3 พบว่าดัชนีคุณภาพน้ำส่วนใหญ่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน และค่าของแต่ละดัชนีมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงว่าการใช้ขวดพีอีทีลอยปกคลุมผิวน้ำไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าสำหรับวัสดุเชิงพาณิชย์ พร้อมสนับสนุนการนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่และเป็นการแก้ปัญหาภัยแล้ง

คำสำคัญ ภัยแล้ง, การลดการระเหย, อ่างเก็บน้ำ, ขวด PET, การนำของเสียกลับมาใช้ใหม่

Abstract

Evaporation is a major cause of water loss from small-scale water storage facilities, and using a water surface cover material is an effective method to reduce evaporation. A floating cover material, which can be shaped into commercial products such as spherical balls, circular disks, and rectangular sheets. This study aims to reduce water evaporation in reservoirs by using Polyethylene Terephthalate (PET) drink bottles. Eight experimental ponds were used to test the effectiveness of the PET bottles under three conditions: the type of light-blocking material used for bottle packaging, the area covered by the floating cover, and the shape of the floating cover. The results showed that the PET bottles packaged in aluminum foil laminate (LAF) had the highest effectiveness in reducing evaporation, with approximately 60% reduction in evaporation under 75% of the floating cover area, and the raft-floating pattern was more effective than the free-floating pattern. Water quality testing using the Type 3 surface water quality standards showed that the water quality was mostly in compliance with the standards, with only minor changes in each index value, indicating that using PET bottles as a floating cover material did not negatively impact the environment and was a cost-effective option for commercial materials. This also supports the reuse of plastic waste and helps address drought issues.

Keywords: Drought, Reduces Evaporation, Reservoir, PET bottle, Waste reuse.

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ ..... **ก**

บทคัดย่อ ..... **ข**

ABSTRACT ..... **ค**

สารบัญ ..... **ง**

สารบัญตาราง ..... **ฉ**

สารบัญภาพ ..... **ช**

บทที่ 1 บทนำ **1**

1.1 ความสำคัญความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ 3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง **4**

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการระเหยในแหล่งน้ำ 4
2.2 วิธีการประมาณการระเหย 5
2.3 วิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำ 9
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการลดการระเหย 10

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย **17**

3.1 การทดลองเบื้องต้น 17
3.2 รูปแบบของขวดพีอีที 17
3.3 การจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล 20
3.4 การตรวจสอบคุณภาพน้ำ 22

บทที่ 4 ผลการศึกษา **23**

4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น 23
4.2 ผลการทดลองรูปแบบของขวดพีอีที 24
4.3 ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำ 30

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ **32**

5.1 สรุปผลการศึกษา 32
5.2 ข้อเสนอแนะ 32

บรรณานุกรม 34

ประวัติผู้วิจัย 36

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยชนิดต่าง ๆ (ฉัตรชัย, 2562).....9
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2537 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งผิวดิน).....10
ตารางที่ 3.1 สรุปจำนวนบ่อทดลองและเงื่อนไขในการทดลอง 19
ตารางที่ 4.1 ผล Pilot test ของการระเหยทั้ง 8 บ่อทดลอง.....23
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสมมติฐานสัดส่วนความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของการระเหยทั้ง 8 บ่อ .24
ตารางที่ 4.3 ค่าการระเหยเฉลี่ยรายวันในแต่ละสัปดาห์.....24

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 หลักการสมดุลน้ำ (Water Balance) 5
รูปที่ 2.2 หลักการกฎการอนุรักษ์พลังงาน 6
รูปที่ 3.1 ขวดพีอีทีเปล่า (ซ้าย) ขวดบรรจุ LAF (กลาง) และขวดพีอีทีบรรจุถุงพลาสติก (ขวา) 18
รูปที่ 3.2 รูปแบบการลอยขวดพีอีทีแบบอิสระ (ซ้าย) และรูปแบบการลอยกลุ่มแพ (ขวา)..... 19
รูปที่ 3.3 สถานที่ตั้งของพื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง..... 21
รูปที่ 4.1 ค่าการระเหยภายใต้เงื่อนไขชนิดของวัสดุทึบแสงที่บรรจุในขวดพีอีที 26
รูปที่ 4.2 ค่าการระเหยภายใต้เงื่อนไขปริมาณพื้นที่การลอยปกคลุม 26
รูปที่ 4.3 ค่าการระเหยภายใต้เงื่อนไขรูปแบบการลอย..... 27
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการลดการระเหยภายใต้เงื่อนไขชนิดของวัสดุทึบแสงที่บรรจุในขวดพีอีที..... 28
รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการลดการระเหยภายใต้เงื่อนไขปริมาณพื้นที่การลอยปกคลุม 28
รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการลดการระเหยภายใต้เงื่อนไขรูปแบบการลอย 29

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัญหาภัยแล้งเป็นปัญหาสำคัญที่เป็นต้นเหตุของปัญหาสังคมอื่น ๆ และส่งผลต่อคุณชีวิตของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อันเนื่องมาจากลักษณะกายภาพของแหล่งเก็บกักน้ำ โดยปกติแหล่งเก็บกักน้ำตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น หนองน้ำ อ่างเก็บน้ำ สระน้ำ จะมีการสูญเสียน้ำจากการระเหยและการรั่วซึมไม่มากก็น้อย ซึ่งการระเหยของน้ำเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียสำหรับแหล่งน้ำที่อยู่ในพื้นที่เขตร้อนอย่างประเทศไทย โดยข้อมูลการสำรวจพบว่าทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการระเหยของน้ำในแหล่งน้ำสูงสุดตั้งแต่ 150 ถึงมากกว่า 175 มิลลิเมตร ในช่วงฤดูร้อน และอาจมีการระเหยต่ำกว่า 100 มิลลิเมตร ในช่วงปลายฤดูฝน (พิศ คงบริรักษ์ และกฤติกา สืบศักดิ์ 2554)

อ่างเก็บน้ำทั่วไปที่เป็นแหล่งกักเก็บน้ำหลักสำหรับการอุปโภคและบริโภคในชุมชนภาคเกษตรมักเป็นขนาดเล็ก มีความจุประมาณไม่เกิน 1 ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิว 60,000-200,000 ตารางเมตร จะมีความลึกไม่มากโดยประมาณ 2 - 4 เมตร ซึ่งเป็นรูปทรงอ่างเก็บน้ำที่มีความลึกน้อย (จึงมีสัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก) ซึ่งลักษณะรูปทรงนี้ทำให้มีอัตราการระเหยน้ำได้มากกว่าอ่างเก็บน้ำที่มีความลึกมาก การระเหยของน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Evaporation losses) เป็นกระบวนการที่น้ำจากผิวของอ่างเก็บน้ำได้รับพลังงานความร้อนทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำลงลดอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะบริเวณผิวน้ำที่รับพลังงานความร้อนโดยตรงจนทำให้อนุภาคของน้ำหลุดลอยขึ้นสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ การสูญเสียน้ำอันเนื่องมาจากการระเหยของน้ำจะขึ้นอยู่กับลักษณะของแหล่งเก็บกัก เช่น แหล่งเก็บน้ำที่มีพื้นผิวน้ำมากแต่มีความลึกน้อยจะมีอัตราการระเหยของน้ำสูงกว่าอ่างเก็บน้ำที่มีพื้นที่ผิวน้อยและลึก ทฤษฎีทางอุทกวิทยาระบุปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการระเหยของน้ำ ได้แก่ รังสีอาทิตย์ ความเร็วลมเหนือผิวน้ำ อุณหภูมิผิวน้ำ ความดันไอ ละติจูด ฤดูกาล เวลา ความชื้น ลักษณะภูมิอากาศ และรวมทั้งคุณภาพของน้ำ (น้ำบริสุทธิ์มีอัตราการระเหยมากกว่าน้ำที่มีสารละลายเจือปน) การคำนวณปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการระเหยในอ่างเก็บน้ำอาจทำได้ด้วยการใช้ชุดเครื่องมือวัดการระเหยเป็นถาดวัดการระเหย (Evaporation pan) ที่ติดตั้งบริเวณเดียวกับตัวอ่างเก็บน้ำ คูณกับสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยและพื้นที่ผิวน้ำ

ในขณะที่ปัจจุบัน ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญอีกประการหนึ่งของชุมชนทั้งที่เป็นชุมชนเมืองและชุมชนภาคการเกษตรคือปัญหาการจัดการขยะ หนึ่งในขยะที่สำคัญก็คือพลาสติก พลาสติกถือเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวันและมีแนวโน้มการใช้งานมากขึ้น เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติเบา แข็งแรง ทนทาน และราคาถูก สามารถผลิตให้มีรูปแบบต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้สะดวก ทำให้ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์พลาสติกหลากหลายรูปแบบและประเภทให้เลือกใช้อย่างมากมาย ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นทำให้พลาสติกได้รับความนิยมอย่างรวดเร็ว เช่น ถุงพลาสติก ภาชนะบรรจุอาหาร ของเล่นเด็ก และเฟอร์นิเจอร์ ส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกในปริมาณมากขึ้น ขยะพลาสติกเป็นวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายด้วยตัวเอง ที่สำคัญคือขยะขวดน้ำดื่มพลาสติกPETและขยะพลาสติกเคลือบ

อลูมิเนียม (ถุงอลูมิเนียมฟอยล์, LAF) ขยะทั้งสองประเภทนี้เป็นขยะที่มีปริมาณมากสามารถรวบรวมได้ไม่ยากโดยเกือบไม่มีต้นทุน แม้ขยะขวดน้ำดื่มจะสามารถนำไปรีไซเคิลได้ในราคาถูก (ปัจจุบันขวดละประมาณ 12 สตางค์) แต่ขยะพลาสติกเคลือบอลูมิเนียมต้องกำจัดด้วยการเผาหรือฝังกลบ ขยะทั้งสองยังมีความคงทนสูงโดยไม่เสื่อมสภาพในเวลายาวนานหลายสิบปี ตัววัสดุปลอดภัยจากสารเคมีอันตรายเพราะเป็นเกรดวัสดุใช้บรรจุอาหาร มีน้ำหนักเบาทำงานได้ง่าย ขวดน้ำดื่มที่ปิดฝาไว้สามารถลอยน้ำได้ทันที ถุงพลาสติกเคลือบอลูมิเนียมที่ใส่ไว้ข้างในขวดจะช่วยทำให้ขวดทึบแสงและสะท้อนรังสี ทั้งสองวัสดุจะทำงานร่วมกันเพื่อลดอุณภูมิของผิวน้ำ ลดพื้นที่ผิวสัมผัสของน้ำกับอากาศและลม ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นตัวการหลักที่ทำให้เกิดการระเหยของน้ำ ซึ่งในต่างประเทศมีการนำวัสดุพลาสติกทรงกลมที่ทำขึ้นเฉพาะมาลอยไว้บนผิวน้ำเพื่อเป้าหมายการลดการระเหยของน้ำเช่นเดียวกันนี้ หากแต่เป็นการจำหน่ายเชิงการค้าในราคาที่สูงมาก

ขั้นตอนการดำเนินโครงการจะต้องทดสอบการจัดเตรียมวัสดุรูปแบบต่าง ๆ กัน และต้องวัดประสิทธิภาพของการลดการระเหยของน้ำ เพื่อหารูปแบบของการเตรียมวัสดุที่ดีที่สุด จากนั้นจึงจะทดสอบประสิทธิภาพของการลดการระเหยของน้ำดิบในอ่างเก็บน้ำตามรูปแบบที่ค้นพบ ทั้งนี้มีปัจจัยจำนวนมากที่ส่งผลต่ออัตราการระเหยของน้ำ การทดสอบปัจจัยด้านต่าง ๆ เพื่อค้นหาแนวทางที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุดจึงเป็นประเด็นที่ต้องทำการวิจัย ในการทดสอบจำเป็นต้องออกแบบวิธีทดสอบเพื่อควบคุมปัจจัยที่ต้องการศึกษาให้เหมาะสม ต้องการเครื่องมืออุปกรณ์และทีมนักวิจัย เพื่อให้ผลการทดสอบเป็นไปตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือและถูกต้อง นอกจากนี้จะต้องทำการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาทางทัศนียภาพที่จะเกิดขึ้นจากวัสดุปกคลุมผิวน้ำนี้ร่วมด้วย

โครงการวิจัยนี้จะทำให้เกิดการมีส่วนร่วมกับชุมชน การจัดเตรียมและการเก็บรวบรวมขยะขวดน้ำดื่มพลาสติกและขยะถุงพลาสติกเคลือบอลูมิเนียม สามารถจัดเป็นกิจกรรมรณรงค์เพื่อให้ทุกคนในชุมชนมีส่วนร่วมช่วยกันจัดเตรียมวัสดุเหล่านี้เพื่อนำมามอบให้กับโครงการ จะเป็นการช่วยกระตุ้นให้เกิดจิตสำนึกเรื่องการอนุรักษ์แหล่งน้ำ การประหยัดน้ำ การคัดแยกขยะ และการนำขยะมาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้วยการสร้างมูลค่าเพิ่มที่สูงกว่าการนำไปรีไซเคิลเป็นพลาสติกราคาถูก

ผลที่ได้ของโครงการนี้จึงจะช่วยแก้ปัญหาความแห้งแล้งและสิ่งแวดล้อมไปพร้อมกัน และมีผลกระทบสูงเนื่องจากเป็นการแก้ปัญหาสาธารณูปโภคพื้นฐานที่สำคัญยิ่งและเป็นทรัพยากรจำเป็นที่ขาดแคลนของชุมชนภาคการเกษตร นอกเขตชลประทาน โครงการมีความเป็นได้สูงเนื่องจากจะใช้การมีส่วนร่วมของชุมชนที่จะได้ประโยชน์โดยตรงจากโครงการ อีกทั้งมหาวิทยาลัยฯ มีทีมผู้วิจัยที่มีความรู้ความสามารถ ในด้านวิศวกรรมโยธา ที่เป็นศาสตร์หลักที่จำเป็นต่อการแก้ปัญหาการวิจัยนี้ และยังเป็นการสนับสนุนนักศึกษาทั้งในระดับบัณฑิตศึกษาและระดับปริญญาตรี นอกจากนี้โครงการยังมีศักยภาพสูงในการเป็นต้นแบบเพื่อแก้ปัญหาการสูญเสียน้ำในแหล่งเก็บกักของชุมชนทุกที่ทั่วไปของประเทศไทย เนื่องจากวัสดุที่ใช้เป็นขยะที่มีต้นทุนต่ำมาก สามารถจัดหาได้ทั่วไป จัดเตรียมได้สะดวก มีขั้นตอนทางเทคนิคที่ไม่ยุ่งยาก และชุมชนทั่วไปสามารถปฏิบัติตามได้ โครงการนี้จึงมีลักษณะเป็นนวัตกรรมสำหรับชุมชนอย่างแท้จริง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาประสิทธิภาพการลดการระเหยด้วยขวดพีอีทีบรรจุเศษพลาสติก

1.2.2 เพื่อหารูปแบบการลอยที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานขวดพีอีทีบรรจุเศษพลาสติก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการลดการระเหยด้วยขวดพีอีทีปกติ ขวดพีอีทีบรรจุอลูมิเนียมฟลอยด์ลามิเนต (LAF) และถุงพลาสติกทั่วไป (Assoted Plastic Bags, APB)

1.3.2 งานวิจัยนี้ศึกษารูปแบบการลอยอิสระกับลอยเป็นกลุ่มแพโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดการระเหยด้วยขวดพีอีทีบรรจุอลูมิเนียมฟลอยด์ลามิเนต (LAF)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบประสิทธิภาพการลดการระเหยด้วยขวดพีอีทีบรรจุเศษพลาสติก

1.4.2 ทำให้ทราบรูปแบบการลอยที่เหมาะสม เพื่อสามารถนำไปใช้งานจริงได้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการระเหยในแหล่งน้ำ

การระเหยเป็นกระบวนการที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซหรือไอ เนื่องจากการใช้ความร้อนหรือการสัมผัสกับอากาศ ในระหว่างการระเหยโมเลกุลของของเหลวได้รับพลังงานมากพอที่จะเอาชนะแรงระหว่างโมเลกุลที่ยึดไว้ด้วยกันในสถานะของเหลวและกลายเป็นไอ กระบวนการนี้มักเกิดขึ้นที่พื้นผิวของของเหลวและดำเนินต่อไปจนกว่าของเหลวจะเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซอย่างสมบูรณ์ การระเหยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย รวมทั้งอุณหภูมิ ความชื้น และพื้นที่ผิวของของเหลว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลจะมีพลังงานมากขึ้น และอัตราการระเหยจะเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกัน หากความชื้นต่ำ อากาศจะมีความเข้มข้นของไอน้ำลดลงและสามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำจากของเหลวได้มากขึ้น ส่งผลให้การระเหยเร็วขึ้น

2.1.1 ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยที่สำคัญในการระเหยของน้ำและเป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นส่งผลให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่มากขึ้นจนเกิดเป็นพลังงานจลน์และโมเลกุลของน้ำลอยสู่อากาศได้ง่ายขึ้น ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การระเหยเพิ่มขึ้นตาม เนื่องจากอากาศที่เคลื่อนที่เหนือผิวน้ำสามารถพัดพาไอน้ำออกจากผิวน้ำได้ง่าย โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมประมาณ 10% จะมีผลต่อการระเหยประมาณ 1% - 3% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยา ความชื้นสัมพัทธ์เป็นปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศ อัตราการระเหยจะลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีไอน้ำในอากาศที่มีความเข้มข้นสูงอยู่แล้ว ทำให้โมเลกุลของน้ำเพิ่มเติมระเหยออกจากพื้นผิวได้ยากขึ้น ส่วนความดันไอคือความดันในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ซึ่งตามกฎของ Dalton (กีรติ, 2552) พบว่าผลต่างของความดันไอน้ำอิ่มตัวกับความดันไอน้ำของอากาศหรือที่เรียกว่าผลต่างความดันไอน้ำ ถ้าผลต่างของความดันไอน้ำมาก อัตราการระเหยก็จะมากขึ้น สุดท้ายความดันบรรยากาศส่งผลต่อจุดเดือดของน้ำ ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการระเหย เมื่อความกดอากาศลดลง จุดเดือดของน้ำก็จะลดลงด้วย ดังนั้น อัตราการระเหยจึงเพิ่มขึ้น

2.1.2 ธรรมชาติของผิวน้ำที่มีการระเหย

อ่างเก็บน้ำที่มีพื้นที่ผิวมากจะได้รับพลังงานความร้อนทำให้โมเลกุลของน้ำก็จะสัมผัสกับอากาศมากขึ้นส่งผลให้การระเหยเพิ่มขึ้น และอ่างเก็บน้ำตื้นจะได้รับพลังงานความร้อนทำให้เกิดการระเหยได้มากกว่าอ่างเก็บน้ำลึก ดังนั้นเพื่อลดการสูญเสียน้ำจากการระเหยจึงควรออกแบบหรือเลือกสร้างอ่างเก็บน้ำที่มีพื้นที่ผิวน้อยแต่มีความลึกของน้ำมาก รวมทั้งผิวดินที่มีสีเข้มจะดูดซับพลังงานความร้อนได้ดีกว่าผิวดินที่มีสีอ่อน ทำให้ดินสีเข้มมีการระเหยมากกว่าดินสีอ่อน นอกจากนี้จะเห็นว่าแหล่งน้ำที่อยู่กลางแจ้งจะระเหยมากกว่าแหล่งน้ำที่อยู่ภายใต้ร่มเงาของต้นไม้ สิ่งปลูกสร้างหรือมีแนวกีดขวางทางท้ายลม

2.1.3 ผลของคุณภาพน้ำ

ในน้ำบริสุทธิ์มีความดันไอมากกว่าน้ำทะเล ทำให้น้ำจืดมีการระเหยมากกว่าน้ำทะเลหรือน้ำที่มีความหนาแน่นน้อยจะระเหยได้ดีกว่าน้ำที่มีความหนาแน่นมาก น้ำที่มีปริมาณเกลือร้อยละ 1 ทำให้การระเหยช้าลงประมาณร้อยละ 1 ซึ่งน้ำทะเลหรือมหาสมุทรมีปริมาณเกลือประมาณร้อนละ 3 ทำให้น้ำทะเลระเหยช้ากว่าน้ำจืดร้อยละ 3 แต่น้ำทะเลมีการระเหยมากกว่าน้ำจืดเนื่องจากโลกมีผิวน้ำทะเลมากกว่าแผ่นดิน

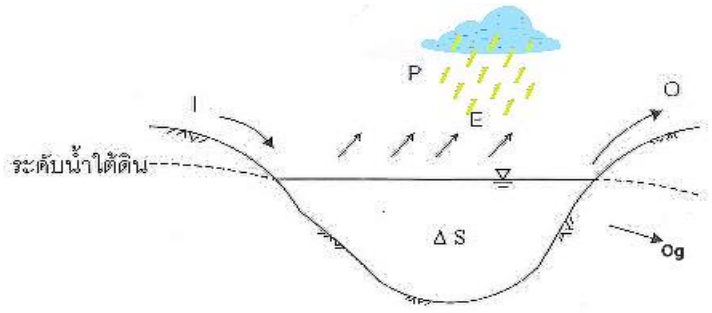
2.2 วิธีการประมาณการระเหย

การประมาณค่าการระเหยสามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มีอยู่และระดับความแม่นยำที่ต้องการ สมการเชิงประจักษ์ของ Dalton และ Penman เป็นสมการที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายสำหรับประมาณการระเหย และใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลมและรังสีแสงอาทิตย์ ต่อมาได้มีการพัฒนาสมการเชิงประจักษ์อีกมากมาย โดยสามารถแบ่งตามหลักการได้เป็น 5 วิธี ได้แก่

2.2.1 วิธีงบน้ำ (Water budget method)

วิธีงบน้ำหรือวิธีสมดุลน้ำเป็นเทคนิคทางอุทกวิทยาที่ใช้ในการประมาณปริมาณน้ำในพื้นที่ วิธีการนี้ใช้สมการต่อเนื่องเกี่ยวกับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าจะมีค่าท่ากับปริมาณน้ำที่ไหลออกรวมกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในพื้นที่ที่กำหนด ณ.ช่วงเวลาหนึ่งๆ ตามสมการที่ (1)

$$Inflow = Outflow + \Delta S \tag{1}$$



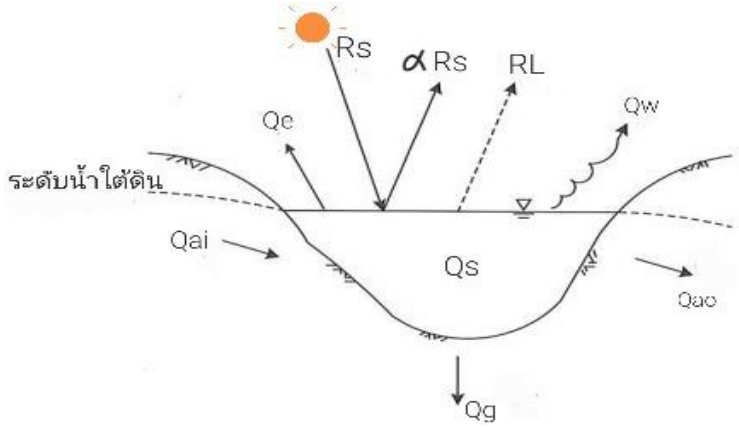
รูปที่ 2.1 หลักการสมดุลน้ำ (Water Balance)

จากรูปที่ 2.1 ข้อมูล Inflow ประกอบด้วย ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Surface Inflow, I) และปริมาณน้ำฝน (Precipitation, P) ส่วน Outflow ประกอบไปด้วย ปริมาณน้ำไหลออกจากอ่าง (Surface Outflow, O), การรั่วซึมของดินชั้นล่าง (Subsurface seepage, O_g) และการระเหย (Evaporation, E) ปริมาตรของน้ำที่เปลี่ยนแปลงในอ่างเก็บน้ำ (ΔS) แทนค่าตามสมการความต่อเนื่องทำให้ได้สมการประมาณการระเหยตามสมการที่ (2) ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย แต่ในทางปฏิบัตินั้นค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือได้น้อยเนื่องจากความผิดพลาดจากการประเมินปริมาณน้ำฝน, ปริมาณน้ำไหลเข้า-ออกของอ่าง, อัตราการรั่วซึม, ปริมาตรเก็บกัก

$$E = \Delta S + I + P - O - O_g \tag{2}$$

2.2.2 วิธีงบพลังงาน (Energy budget)

วิธีงบพลังงานเป็นการประยุกต์โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of energy law) ซึ่งพิจารณาจากพลังงานที่เข้ามา (incoming energy) พลังงานที่ออกไป (outgoing energy) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานของมวลน้ำในช่วงเวลาที่พิจารณา



รูปที่ 2.2 หลักการกฎการอนุรักษ์พลังงาน

จากรูปที่ 2.2 เมื่อให้ Q_n คือ รังสีสุทธิ (Net radiation) หาได้จากสมการที่ (3)

$$\mathrm{Q_n} = (1-\alpha)\mathrm{R_s} - \mathrm{R_L} \tag{3}$$

โดยที่ $\propto$ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection coefficient) ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะพื้นผิว สำหรับน้ำมีค่า $0.05 \leq \propto \leq 0.15$

$\mathrm{R_s}$ คือ รังสีแสงอาทิตย์ (Solar radiation) เป็นรังสีคลื่นสั้น (Short-wave) ที่ผิวโลกได้รับ

$\mathrm{R_L}$ คือ รังสีความร้อนที่ออกไปสุทธิ (Net outgoing thermal radiation)

การประยุกต์สมการสมดุลของพลังกับมวลน้ำจะได้

พลังงานที่เข้าสู่มวลน้ำ $-$ พลังงานที่ออกจากมวลน้ำ $=$ การเปลี่ยนแปลงพลังงานของมวลน้ำ

$$(Q_n + Q_{ai}) - \left(Q_{ao} + Q_g + Q_e + Q_w\right) = Q_s \tag{4}$$

เมื่อ $Q_{ai} - Q_{ao} = Q_a$ คือ พลังงานจากการพาสุทธิ **(Net advected energy)** นำมาเขียนสมการใหม่ได้ตามสมาการที่ **(5)**

$$Q_s = Q_n - Q_a - Q_g - Q_e - Q_w \tag{5}$$

โดยที่ Q_s คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานของมวลน้ำ

$\mathrm{Q_g}$ คือ การสูญเสียความร้อน (Heat loss) จากมวลน้ำสู่ดินโดยนำความร้อน

$\mathrm{Q_e}$ คือ ฟลั๊กซ์ความร้อนแฝง (Latent heat flux)

$\mathrm{Q_w}$ คือ การสูญเสียความร้อนที่รู้สึกได้ (Sensible heat loss)

ในกรณีของชั้นดินจะถือว่า $\mathrm{Q_g} = 0$ และถ้าเป็นการพิจารณาในช่วงเวลาสั้นๆ จะไม่คิดผลของ $\mathrm{Q_g}$ และ Q_s เพราะถือว่ามีค่าน้อยมาก สำหรับเทอมต่างๆ ของสมการที่ (5) สามารถวัดจริงในสนามหรือประเมินค่าทางอ้อมได้ นอกจากค่า $\mathrm{Q_w}$ ที่ไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่สามารถหาได้จากสมการของ Bowen 1926 หรือสมการอัตราส่วน Bowen (Bowen ratio) ดังแสดงในสมการที่ (6) โดยอัตราส่วน Bowen มีค่าอยู่ระหว่าง 0.58 ถึง 0.66 และมีค่าเท่ากับ 0.61 สำหรับสภาพของบรรยากาศปกติทั่วไป

$$Bowen\ Ratio\ (B) = 0.61 \frac{p}{1000} \left[\frac{T_o - T_a}{e_o - e_a}\right] \tag{6}$$

เมื่อ p คือ ความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure)

$\mathrm{T_o}$ คือ อุณหภูมิของผิวน้ำ (Water-surface temperature)

$\mathrm{T_a}$ คือ อุณหภูมิของอากาศ (Air temperature)

$\mathrm{e_o}$ คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัว (Saturation pressure)

$\mathrm{e_a}$ คือ ความดันไอน้ำของอากาศ (Vapor pressure of air)

เมื่อแทนค่า $Q_w = \rho LEB$ และ $Q_\mathrm{e} = \rho LE$ ในสมการที่ (5) จะได้สมการที่ (7) โดยที่ $\boldsymbol{E}$ คือ อัตราการระเหย

$$E = \frac{Q_n - Q_a - Q_g - Q_s}{\rho L(1+B)} \tag{7}$$

ซึ่งค่า Q_a หาได้จากสมการที่ (8)

$$\mathrm{Q_a} = \frac{\mathrm{C_p Q_e (T_e - T_b)}}{\mathrm{L}} \tag{8}$$

2.2.3 วิธีการอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic method)

วิธีการอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic method) เป็นวิธีที่พัฒนามาจากสมการแบบ turbulent-transport และมีพื้นฐานแนวคิดจาก 2 วิธีด้วยกันคือ การผสมแบบไม่ต่อเนื่องและการผสมแบบต่อเนื่อง ซึ่งมีสมการในการคำนวณมากมายทั้งจากคิดค้นทางทฤษฎี หรือการพัฒนาสมการเอมไพริกัลต่างๆ โดยสมกรส่วนมากจะพิจารณาความสัมพันธ์ของอัตราการระเหยเป็นฟังก์ชั่นส่วนย่อยๆของบรรยากาศและผลต่างของความดันไอน้ำอิ่มตัวกับความดันไอน้ำของอากาศ ซึ่งสมการของ Dalton เป็นสมการพื้นฐานของวิธีนี้ ตามสมการที่ (9)

$$E_a = (e_0 - e_a)(a + bV) \tag{9}$$

เมื่อ e_0 คือ ความดันไอน้ำที่ผิวน้ำ ในบางกรณีใช้ค่าความดันไอน้ำที่จุดอิ่มตัว เมื่ออุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของอากาศ

e_a คือ ความดันไอน้ำที่จุดซึ่งมีความสูงคงที่จากผิวน้ำ

V คือ ความเร็วลมที่จุดซึ่งมีความสูงคงที่จุดหนึ่ง

จากที่มีการพัฒนาสูตรขึ้นและทำการตรวจสอบความถูกต้องที่ทะเลสาบเฮฟเนอร์และทะเลสาบมี๊ด ตามสมการที่ (10) และ (11) ตามลำดับ ซึ่งเป็นการใช้ข้อมูลที่รวบรวมจากทะเลสาปแต่ละแห่ง (ตัวเลข Subscripts คือ ความสูงที่อยู่เหนือผิวน้ำ)

$$E_a = 0.122(e_0 - e_2)V_4 \quad (10)$$

$$E_a = 0.97(e_0 - e_8)V_8 \quad (11)$$

2.2.4 วิธีผสม (Combination method)

การประมาณการระเหยด้วยวิธีผสม เป็นการรวมแนวคิดของวิธีงบพลังงานและวิธีอากาศพลศาสตร์เข้าด้วยกัน โดยวิธีผสมนี้ได้ใช้พื้นฐานทางกายภาพ พื้นฐานของการตรวจวัดข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่เป็นมาตรฐาน โดยมีสมการที่ใช้ในการประมาณค่าการระเหยที่มีชื่อเสียงได้แก่ สมการของ Penman)

$$E = \frac{\Delta}{\Delta+\gamma}E_r + \frac{\gamma}{\Delta+\gamma}E_a \quad (12)$$

โดย γ คือค่าคงที่ psychrometric และ $\Delta = de_s/dT$ คือการเปลี่ยนแปลงความดันไออิ่มตัวเทียบกับอุณหภูมิที่ T_a แฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก $\Delta/(\Delta+\gamma)$ และ $\gamma/(\Delta+\gamma)$ มีผลรวมเป็นหนึ่งจึงเป็นสมการพื้นฐานสำหรับวิธีรวมของการคำนวณอัตราการระเหย ซึ่งพัฒนาครั้งแรกโดย (Penman, 1984) ในการเก็บข้อมูลบางรายการไม่มีจำเป็นต้องใช้สมการการระเหยอย่างง่ายกว่านี้ การระเหยเหนือพื้นที่ขนาดใหญ่สัดส่วนของการระเหยจากสมการงบพลังงานมีค่ามากกว่า ทำให้พบว่าในเทอมที่สองของสมการที่ (12) มีค่าประมาณ 30% ของเทอมแรก ซึ่งนำมาเขียนเป็นสมการ Priestiey-Taylor evaporation equation ได้ดังนี้

$$E = \alpha\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}E_r \quad (13)$$

โดย α มีค่า 1.3 ผลการตรวจวัดจากข้อมูลต่างๆ พบว่า α มีค่าแปรผันเล็กน้อยของการเคลื่อนที่ของลมจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง

2.2.5 วิธีการใช้เครื่องมือวัดการระเหย

การใช้เครื่องมือวัดการระเหยที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบัน เครื่องมือมีลักษณะเป็นถาดที่ขังน้ำได้ มีขอบถาดเปิดสู่บรรยากาศ มีการวัดน้ำที่สูญเสียจากการระเหยตามช่วงเวลา และมีเครื่องมือเก็บข้อมูลความชื้น ความเร็วลม อุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิอากาศและน้ำฝนเพิ่มไปพร้อมกันกับการระเหย เครื่องมือวัดการระเหยอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ 1.ชนิดอยู่บนดิน (Surface Pan) เป็นถาดมาตรฐานมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,210 มม. สูง 255 มม. ความลึกของน้ำรักษาในช่วง 18-20 ซม. ทำด้วยแผ่นเหล็กสังกะสีไม่ทาสี เรียกว่าถาด Class A Land Pan นำมาใช้โดย US Weather Bureau นอกจากนี้ยังมีถาด ISI Standard Pan หรือเรียกว่า Modified Class A Pan ตามมาตรฐาน IS:5973-1970 เป็นถาดชนิดอยู่บนดิน 2.ชนิดฝังดิน (Sunken Pan) เป็นถาดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 920 มม. ลึก 460 มม. ถาดถูกฝังลงไปในดินให้ขอบถาดอยู่สูงจากพื้นดิน 50 มม. ทำด้วยแผ่นเหล็กอาบสังกะสีไม่ทาสี **3.**ชนิดลอย

เหนือน้ำ (Floating Pan) เป็นถาดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 900 มม. ลึก 450 มม. รองรับด้วยแพติดตั้งอยู่ตรงกลางแพกว้าง 4.25 ม. ยาว 4.8 ม. เรียกว่า US Geological Survey Floating Pan ลอยในแหล่งน้ำ ถาดชนิดนี้เป็นถาดที่วัดการระเหยได้ใกล้เคียงกับปริมาณการระเหยจากอ่างเก็บน้ำจริง ถาดวัดการระเหยแต่ละชนิดมีความถูกต้องแตกต่างกันจำเป็นต้องมีการปรับแก้ เพื่อให้ได้ค่าเทียบเท่ากับการระเหยจากอ่างเก็บน้ำ (E) ตามสมการที่ (14)

$$E = C_{pan}E_{pan} \tag{14}$$

โดย C_{pan} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหย

E_{pan} คือ ค่าการระเหยที่วัดได้จากถาดวัดการระเหย

ตารางที่ 2.1 ตารางค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยชนิดต่าง ๆ (ฉัตรชัย, 2562)

ลำดับที่	ชนิดของถาด	ค่าเฉลี่ย	ช่วงของค่า C_{pan}
1	Class A Land Pan	0.70	0.60-0.80
2	ISI Standard Pan	0.80	0.65-1.10
3	Colorado Sunken Pan	0.78	0.75-0.86
4	US Geological Survey Floating Pan	0.80	0.70-0.82

2.3 วิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำ หมายถึง สภาวะของน้ำที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปนทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีววิทยา ซึ่งคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำเพื่อควบคุมและรักษาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ โดยคำนึงถึงความปลอดภัยต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติตามสภาพแวดล้อม ซึ่งมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินมีดัชนีชี้วัดทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีวภาพ โดยที่ดัชนีชี้วัดทางกายภาพจะเป็นปริมาณสารแขวนลอย เช่น สี กลิ่น รส การนำไฟฟ้า ความขุ่น อุณหภูมิและความกระด้าง สำหรับดัชนีชี้วัดทางเคมีส่วนมากจะเป็นสารเคมีอันตรายที่ละลายน้ำ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) ไนเตรต แอมโมเนีย โลหะหนัก เป็นต้น และดัชนีชี้วัดทางชีวภาพจะเป็นน้ำที่มีสิ่งมีชีวิตเจือปน ได้แก่ เชื้อรา ไวรัส แบคทีเรีย ซึ่งมีการกำหนดขอบเขตค่าดัชนีคุณภาพน้ำ ไว้เป็นเกณฑ์บ่งบอกประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2.3 เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ โดยประเภทที่ 1 เป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพเป็นธรรมชาติโดยไม่มีน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภท ประเภทที่ 2 เป็นแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำ

เสียจากกิจกรรมบางอย่าง ซึ่งสามารถบริโภคได้หลังบำบัดทั่วไปและเหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำ การประมงและกีฬาทางน้ำ ประเภทที่ 3 เป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพต่ำกว่าประเภทที่ 2 สามารถบริโภคได้หลังจากการบำบัดทั่วไปและเหมาะสมสำหรับการเกษตรกรรม ประเภทที่ 4 เป็นแหล่งน้ำที่คุณภาพต่ำรองลงมาจากประเภทที่ 3 สามารถบริโภคได้แต่ต้องผ่านการบำบัดพิเศษและเหมาะสำหรับอุตสาหกรรม ส่วนประเภทที่ 5 เป็นแหล่งน้ำผิวดินที่มีคุณภาพต่ำที่สุดไม่เหมาะสำหรับบริโภค แต่เหมาะสำหรับการขนส่งเท่านั้น

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2537 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งผิวดิน)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	**หน่วย**	**เกณฑ์กำหนดสูงสุดประเภทคุณภาพน้ำ**				
		1	**2**	**3**	**4**	**5**
สี รส กลิ่น	-	ธ	ธ[1]	ธ[1]	ธ[1]	-
อุณหภูมิ	℃	ธ	ธ[2]	ธ[2]	ธ[2]	-
ความเป็นกรด-ด่าง	-	ธ	5.0 – 9.0	5.0 – 9.0	5.0 – 9.0	-
ออกซิเจนละลาย (DO)	mg/l	ธ	6.0	4.0	2.0	-
บีโอดี (BOD)	mg/l	ธ	1.5	2.0	4.0	-
แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (TCB)	MPN/ 100 ml.	ธ	5,000	20,000	-	-
แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (FCB)	MPN/ 100 ml.	ธ	1,000	4,000	-	-
ไนเตรต (NO_3)	mg/l	ธ	5.0	5.0	+-	-
แอมโมเนีย (NH_3)	mg/l	ธ	0.5	0.5	0.5	-
สังกะสี	mg/l	ธ	1.0	1.0	1.0	-
ตะกั่ว	mg/l	ธ	0.05	0.05	0.05	-

หมายเหตุ ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

ธ[1] ไม่มีวัตถุหรือสิ่งของที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ซึ่งจะทำให้สี กลิ่นและรสของน้ำเปลี่ยนไปตามธรรมชาติ

ธ[2] อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 ℃

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการลดการระเหย

การศึกษาแนวทางการลดการระเหยเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยลดการสูญเสียน้ำในแหล่งกักเก็บน้ำขนาดเล็ก ซึ่งมีแนวทางลดการระเหยแบ่งออกเป็น 3 วิธีหลัก ได้แก่ วิธีทางชีวภาพ วิธีทางเคมี และทาง

กายภาพ (Settakhumpoo and Benjaoran 2021) ซึ่งแต่ละเทคนิคมีเป้าหมายในการควบคุมตัวแปร (Variables) หรือขจัดปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่ส่งผลต่อการระเหย

2.4.1 วิธีทางชีวภาพ

ประกอบไปด้วย 2 วิธี คือ การใช้พืชน้ำ (Floating plants) และ การป้องกันลม (Wind breakers)

เกศวรา และคณะ (2021) ได้ศึกษาการลดการระเหยของแหล่งน้ำ โดยการนำพืชน้ำ (แหน) ลอยปกคลุมผิวน้ำ เพื่อลดผิวสัมผัสจากรังสีแสงอาทิตย์ โดยทำการวัดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำสำหรับประเมินประสิทธิภาพลดการระเหย ซึ่งพบว่าสามารถลดการระเหยได้ประมาณ 18% และประเมินค่าการสูญเสียน้ำและต้นทุน โดยกำหนดขนาดบ่อ (20 x 20 x 2.1เมตร) บ่อที่ไม่มีการลอยปกคลุมสูญเสียต้นทุนน้ำมากกว่าบ่อที่ปกคลุมด้วยแหนคิดเป็น 163 บาท/บ่อ/ปี อย่างไรก็ตามแหล่งน้ำดิบสำหรับการประปาควรรักษาคุณภาพน้ำไม่ให้มีสารอินทรีย์เจือปนที่จะทำให้ยากต่อการบำบัดและผลิตประปา

Helfer et al (2010) ได้ศึกษาระบุถึงศักยภาพของวิธีการป้องกันลม (Wind breakers) เพื่อลดการระเหยจากที่เก็บน้ำใน South East Queensland (SEQ) โดยใช้การสร้างแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ การวิเคราะห์นี้พิจารณาความหนาแน่นของแนวต้านลมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการลดความเร็วลม และทดสอบช่วงความสูง (ตั้งแต่ 20 ถึง 40 เมตร) แนวกันลมถูกวางขนานไปกับความยาวของเขื่อน และกำหนดทิศทางลมให้พัดในแนวตั้งฉากกับแนวกันลมอย่างต่อเนื่อง ผลการวิจัยพบว่าการลดระดับการระเหยต่อปีเพียง 2.5, 3.6 และ 5.6% สำหรับแนวกันลมที่สูง 20, 30 และ 40 เมตร ตามลำดับ การจำลองที่ดำเนินการในการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าสามารถการลดการระเหยเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

การลดการระเหยด้วยวิธีทางชีวภาพเป็นวิธีที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่สามารถลดการระเหยได้น้อย ส่งผลให้ปริมาณอาจไม่เพียงพอต่อการอุปโภคและบริโภค

2.4.2 วิธีทางเคมี

การใช้สารเคมีเคลือบผิวน้ำ (Chemical mono-layers) ช่วยลดการระเหยโดยการสร้างฟิล์มที่ไม่ละลายน้ำของโมเลกุลแอลกอฮอล์ไขมันชั้นเดียวซึ่งทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันทางกายภาพของโมเลกุลของน้ำที่หลุดออกจากพื้นผิว และป้องกันการเคลื่อนไหวของอากาศที่มีปฏิกิริยากับโมเลกุลของผิวน้ำ นอกจากนี้จะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำจึงทำให้พื้นที่ผิวสำหรับการระเหยลดลง เนื่องจากสารเคมีที่ไม่ละลายน้ำเลยส่งผลให้ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ อย่างไรก็ตามต้องหมั่นเติมสารเคมีเหล่านี้เป็นระยะ

Verlee et al (2015) ได้ทำการทดสอบภาคสนามของ สารลดการระเหย (WaterSavr^{TM}) บริเวณทะเลสาบใกล้น้ำตก Wichita รัฐ Texas ทดสอบประสิทธิภาพลดการระเหยโดยใช้สารลดการระเหยลอยปกคลุมผิวน้ำ สารลดการระเหยจะสลายตัวตามธรรมชาติภายในระยะเวลา 3 วัน และยังได้วิเคราะห์ความคุ้มค่าด้วยวิธีการวิเคราะห์อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit: Cost ratio, B/C) ผงการทดสอบพบว่าลดการระเหยได้ 15% และมีค่า B/C เท่ากับ 4.47

Saggai et al (2018) ได้ทำการทดสอบภายในถาด Colorado Plan จำนวน 3 ถาด โดยใช้สารเคมีจำพวก Fatty alcohols ภายใต้ความเข้มข้นแตกต่างกันที่ 0.09 กรัม/ตารางเมตร/3วัน และ 0.15 กรัม/ตารางเมตร/3วัน จากนั้นหาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการลดการระเหยกับปัจจัยอุณหภูมิอากาศ, ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นไปตามทฤษฎี, สามารถลดการระเหยได้ 16% และ 22% ตามลำดับ

การใช้สารเคมีลอยปกคลุมผวิน้ำเป็นวิธีที่สามารถลดการระเหยได้น้อยหากเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ การควบคุมความเข้มข้นที่เหมาะสมในพื้นที่จริงค่อนข้างยุ่งยากเนื่องจากไม่สามารถสังเกตุได้ด้วยตาและต้องเติมสารเคมีดังกล่าว 2-3 วัน/ครั้ง

2.4.3 วิธีทางกายภาพ

การลดการระเหยด้วยวิธีทางกายภาพสามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อย ๆ ได้ 3 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคการสร้างฟองอากาศใต้น้ำ (Air bubble plume), เทคนิคการสร้างโครงสร้างเหนือผิวน้ำและใช้วัสดุปกคลุม และเทคนิคการใช้วัสดุลอยปกคลุมผิวน้ำ

เทคนิคการสร้างฟองอากาศใต้น้ำ (Air bubble plume)

Helfer et al (2012) การสร้างฟองอากาศใต้น้ำเป็นการทำให้น้ำในอ่างเกิดการหมุนเวียน ผสมน้ำจากใต้อ่างที่อุณหภูมิต่ำกว่า กับน้ำใกล้ผิวที่อุณหภูมิสูงกว่า เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิของน้ำที่อยู่ใกล้ผิวลง ส่งผลให้เกิดการพาความร้อนและแลกเปลี่ยนอุณหภูมิทำให้การระเหยลดลง โดยการวางท่อ HDPE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร. และความยาว 200 เมตร ที่ความลึก 16 เมตรพร้อมติดตั้งเครื่องกระจายอากาศ ซึ่งฟองอากาศจะถูกปล่อยออกมาทุกๆ 10 นาทีและมีการบันทึกทุก ๆ 2 นาที เห็นได้ชัดว่าอุณหภูมิของน้ำที่ผิวลดลง 1 ถึง 2.5°C เมื่อมีการปล่อยฟองอากาศ ซึ่งสามารถลดการระเหยได้ 15% ในฤดูร้อน วิธีนี้เหมาะสมกับอ่างเก็บน้ำควรมีความลึกเพียงพอ (มากกว่า +18 ม.)

เทคนิคการสร้างโครงสร้างเหนือผิวน้ำและใช้วัสดุปกคลุม

Craig (2005) ได้ศึกษาการใช้แผ่นวัสดุพลาสติกปกคลุมซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ E-VapCaps® ในการครอบคลุมอ่างเก็บน้ำที่ Moons Farm ใกล้เมืองเซนต์จอร์เจส วัสดุดังกล่าวประกอบด้วยแผ่นโพลิเอธิลีนหลายชั้นที่มีความหนา 540 ไมคอน คล้ายกับแผ่นกันกระแทกหรือผลิตภัณฑ์คลุมสระว่ายน้ำทั่วไป แต่มีความทนทานกว่ามากเพื่อต้านทานการเสื่อมสภาพจากแสงแดด การเคลือบหลายชั้นทำให้สามารถสะท้อนร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์บางส่วนได้ เนื่องจากวัสดุด้านบนเป็นสีขาวในขณะที่ชั้นด้านล่างเป็นสีดำ ช่วยลดการส่องผ่านของแสงไปยังน้ำที่อยู่ด้านล่าง วัสดุนี้ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากพลาสติกโพลิเอทิลีนที่ใช้โดยทั่วไปจะใช้เกรดเดียวกับผลิตภัณฑ์บรรจุอาหารและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เมื่อหมดอายุการใช้งาน วิธีนี้สามารถลดการระเหยได้มากถึง 90% แต่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงและเหมาะสมกับอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก

Hunter et al (2007) ได้ศึกษาการสร้างโครงสร้างด้านบนผิวน้ำรองรับแผ่นวัสดุคลุม (Shadecloth) เพื่อลดการระเหยและการควบคุมคุณภาพน้ำ โดยป้องกันการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ที่สัมผัสบริเวณผิวน้ำ นอกจากนี้ช่วยลดการกระทำของลมที่พื้นผิวน้ำ และลดความแตกต่างของความดันไอ

เหนือผิวน้ำ ลักษณะคล้ายการปิดฝาขวดน้ำ ซึ่งสามารถลดการระเหยได้มากถึง 90% แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดกับขนาดของอ่างเก็บน้ำที่ไม่ใหญ่มากนักและมีค่าใช้จ่ายในทำโครงสร้างรองรับและค่าบำรุงรักษาที่สูง

Keya (2015) ได้มีการคลุมผิวน้ำด้วยแผงโซล่า (Solar floating) เป็นการนำทุ่นลอยน้ำติดตั้งเหนือผิวน้ำพร้อมทั้งติดแผงโซล่าร์เซลที่ผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณแสงแดดที่จะส่องโดนผิวน้ำพร้อมกับการผลิตพลังงานสะอาด และข้อดีเพิ่มเติมของการใช้แผงโซลาร์เซลล์เหนือคลองชลประทานคือสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ได้ 7% เมื่อเทียบกับ SPVS ภาคพื้นดิน อย่างไรก็ตามวิธีนี้ต้องลงทุนสูงมาก และแผงโซล่าจำเป็นต้องถูกยึดรั้งให้อยู่นิ่งกับที่ โดยการลดการระเหยเป็นผลพลอยได้ทางอ้อมซึ่งไม่ใช่วัตถุประสงค์หลักของการติดตั้งแผง

Elsebaie et al (2017) ได้ศึกษาลดการสูญเสียการระเหยจากแหล่งน้ำเปิดโดยใช้ Palm-Frond เป็นแผ่นคลุมผิวน้ำ ภายใต้เงื่อนไขรูปแบบการปกคลุมด้วย Palm-Frond ที่แตกต่างกัน โดยปกคลุมที่ 50% ของพื้นที่ผิว รวมถึงรูปร่างของบ่อทดสอบที่มีพื้นที่ผิวน้ำแตกต่างกันและมีความลึกเท่ากัน รูปแบบการปกคลุมครึ่งบ่อและแบบแถบมีผลต่อการระเหยโดยสามารถลดการระเหยได้ 20% และ 24% ตามลำดับ แต่รูปร่างของบ่อทดสอบมีค่าการระเหยแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งการทดลองนี้ยังขาดการตรวจสอบผลกระทบทางชีวภาพของ Palm-Frond ต่อระบบนิเวศน์วิทยาทางน้ำและการติดตั้งในพื้นที่จริงค่อนข้างยาก

เทคนิคการใช้วัสดุพลาสติกลอยปกคลุมผิวน้ำ

Burston (2002) ได้ทำการศึกษาหาวัสดุที่จะนำมาลอยปกคลุมผิวน้ำเพื่อป้องกันการระเหย โดยทำการทดลองแบบจำลองรูปร่างต่างๆ เช่น วงแหวน วงแหวน+แหนแดง และวงแหวน+ฝาครอบ ซึ่งวงแหวน+ฝาครอบมีประสิทธิภาพการลดการระเหยมากที่สุดประมาณ 65.4% ต่อมาได้ทำการวิเคราะห์เพื่อพัฒนารูปทรงจนกระทั่งได้รูปทรงที่เหมาะสม รวมทั้งวัสดุที่ใช้ในการผลิตคือพลาสติกโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และทำการทดลองหาประสิทธิการลดการระเหยเพื่อเป็นข้อมูลยืนยัน ซึ่งสามารถลดการระเหยได้ประมาณ 73% หลังจากนั้นได้นำแบบจำลองดังกล่าวมาผลิตเพื่อจัดจำหน่ายเป็นนวัตกรรมเชิงพาณิชย์

Chaughari et al (2015) ได้ศึกษาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคที่มีอยู่แล้วสำหรับลดการระเหยจากบ่อน้ำของเกษตรกรขนาดเล็ก โดยใช้แผ่นเทอร์โมคอล ลอยปกคลุมผิวน้ำ และผลที่ได้เปรียบเทียบกับบ่อน้ำอื่นที่ไม่มีแผ่นเทอร์โมคอล ลอยปกคุลม ได้ทำการทดลองบริเวณหมู่บ้าน Devergaon ในเขตนาสิกอ รัฐมหาราษฏระ ประเทศอินเดีย เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีฝนตกน้อยในเดือนมีนาคม – เดือนพฤษภาคม เนื่องจากเป็นช่วงฤดูร้อนมีการสูญเสียจากการระเหยที่สูง เทคนิคดังกล่าวสามารถประหยัดน้ำได้ 32% เนื่องจากมีพายุฝนฟ้าคะนองส่งผลให้แผ่นเทอร์โมคอลเกิดการเสียหายได้ง่าย

Haghighi et al (2017) ได้ศึกษาพิจารณาระยะเวลาคืนทุน ของการใช้ลูกบอลทรงกลมลดการระหย ซึ่งลูกบอลทำมาจากพลาสติกโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) โดยการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนจะพิจารณาหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตลูกบอล HDPE (Water Footprint) เปรียบเทียบกับปริมาณการลดการระเหยของอ่างเก็บน้ำในลอสแองเจลิส ซึ่งลูกบอลสามารถลดการระเหยได้ 1.15 ล้าน

ลูกบาศก์เมตรต่อปี และค่า Water Footprint มีค่าประมาณ 0.05 – 0.19 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม HDPE ส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 0.2-2.5 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของลูกบอล

Lehmann et al (2019) ได้ศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพและความเหมาะสมของการใช้งานของลูกบอลทรงกลมและแผ่นวงกลม ภายใต้เงื่อนไขทางสัญฐานวิทยา ได้แก่ สี, ขนาด, เป็นการศึกษาระดับห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับการลดการระเหยโดยใช้ฝาปิดประเภทต่างๆ ภายใต้ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ การแผ่รังสี ลม และการแผ่รังสี+ลม ซึ่งอ่างทดลองมีขนาดพื้นที่ 1.44 ตารางเมตร และวางไว้ในอุโมงค์ลม เมื่อพิจารณาความหนาแน่นในการบรรจุของลูกบอลทรงกลมและแผ่นวงกลมจะมีค่าเท่ากับ 91% ของพื้นผิว แผ่นวงกลมสามารถลดการระเหยได้ 80% และ 70% สำหรับลูกบอลทรงกลมเมื่อเทียบกับผิวน้ำที่ไม่มีการลอยปกคลุม และยังพบว่าแผ่นวงกลมขนาดใหญ่สามารถลดการระเหยได้ดีกว่าแผ่นวงกลมขนาดเล็ก ส่วนประสิทธิภาพการลดการระเหยของแผ่นวงกลมสีดำและสีขาวมีความคล้ายคลึงกันแม้ว่าจะมีพลังงานที่พื้นผิวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจเกิดจากการแยกส่วนด้วยความร้อนระหว่างส่วนบนของแผ่นวงกลมและผิวน้ำจึงทำให้ความร้อนไม่ถ่ายเทสู่ผิวน้ำ

Rezazadeh et al (2020) ได้ศึกษาทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขความหนาแน่นของลูกบอลทรงกลมในการไหลของผิวน้ำมีอิทธิพลต่อการลดการระเหยของอ่างเก็บน้ำเปิด โดยอ่างทดลองมีพื้นที่ผิว 1.13 เมตร. และลึก 0.5 เมตร. ถูกคลุมด้วยลูกบอลสีดำและขาว (เส้นผ่านศูนย์กลาง) 270 มิลลิเมตร โดยมีน้ำหนักต่างกัน 90 และ 127 กรัม ซึ่งมีความหนาแน่นเท่ากับ 500 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 707 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ .ในการศึกษาได้ควบคุมอัตราการไหลที่แตกต่างกัน 7 ระดับ ได้แก่ 1.0, 3.0, 4.5, 6.5, 8.0, 10.0 และ 12 ลิตร/นาที ถูกสร้างขึ้นโดยปั๊ม ผลการวิจัยที่สำคัญสรุปได้ดังนี้ ลูกบอลสีขาวมีประสิทธิภาพการลดการระเหยได้ดีกว่าลูกบอลสีดำ ความหนาแน่นที่มากขึ้นทำให้ระยะจมลูกบอลมากกว่าครึ่งส่งผลให้การปกคลุมผิวน้ำลดลงจึงทำให้เกิดการระเหยเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของผิวน้ำเพิ่มขึ้นช่วงแรกทำให้การระเหยลดลงจนถึงอัตราการไหลที่เหมาะสมจากนั้นการระเหยก็จะเพิ่มขึ้น แต่ในการใช้งานจริงอ่างกักเก็บจะมีการไหลเกิดขึ้นน้อยมาก

Han et al (2020) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบของลูกบอลทรงกลมต่อการสูญเสียการระเหยในอ่างเก็บน้ำทางการเกษตร โดยการทดลองนี้ใช้บ่อทดลองที่ทำมาจากวัสดุ HDPE จำนวน 2 บ่อ มีขนาด 1.2 เมตร ลึก 0.8 เมตร การทดลองได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัด อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมและค่าความกดอากาศ นอกจากนี้ติดเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิน้ำที่ระดับความลึกทุก ๆ 0.1 เมตร ผลการวิจัยพบว่าอุณหภูมิผิวน้ำของบ่อที่ถูกปกคลุมนั้นเพิ่มขึ้น การปกคลุมด้วยลูกบอลทรงกลมช่วยลดทั้งพื้นที่สัมผัสระหว่างผิวน้ำและบรรยากาศ รวมถึงความเข้มของกระแสน้ำที่ไหลบริเวณใกล้ผิวน้ำ (ด้านใน) ซึ่งจะช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลลงได้อย่างมาก อุณหภูมิพื้นผิวของน้ำเพิ่มขึ้นในบ่อที่ถูกปกคลุม แต่การระเหยลดลงเนื่องจากพื้นที่ผิวน้ำถูกปกคลุมด้วยลูกบอลทรงกลม (90.6%) การลดการระเหยมีความแตกต่างตามฤดูกาล ระหว่างเดือนมีนาคมถึงตุลาคม การลดการระเหยในช่วงแรกจะลดลง แล้วจึงเพิ่มขึ้นตามมา อัตราการลดลงต่ำสุดและสูงสุดสังเกตได้ในเดือนกรกฎาคม (67.3%) เดือนมีนาคมและตุลาคม (73.7% และ 77.0%) ตามลำดับ การการปกคลุมด้วยลูกบอลทรงกลมจะทำลายสมดุลพลังงานดั้งเดิมบนผิวน้ำและสร้างสมดุลพลังงานใหม่บนผิวน้ำ เมื่อเทียบกับบ่อที่ที่ไม่ถูกปกคลุม ในส่วนอุณหภูมิผิวน้ำระหว่างเดือนเมษายนถึงสิงหาคม มีความแตกต่าง

ระหว่างบ่อที่ไม่ถูกปกคลุมและบ่อที่ถูกปกคลุมแบบมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเดือนอื่นๆ ในทำนองเดียวกัน สำหรับทั้ง 2 บ่อ อุณหภูมิของน้ำจะเพิ่มขึ้นระหว่างเดือนมีนาคมถึงกรกฎาคม และลดลงระหว่างเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม บ่อที่ไม่ถูกปกคลุมมีการแบ่งชั้นของอุณหภูมิน้ำอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเดือนมีนาคมถึงกรกฎาคม มีค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิว (T_{0w}) และอุณหภูมิล่างสุด (T_{7w}) มีค่า 1.9 ℃ ส่วนระหว่างเดือนกรกฎาคม -เดือนตุลาคม มีความแตกต่างระหว่าง T_{0w} และ T_{7w} น้อยที่สุดเท่ากับ 0.2 ℃ ในเดือนตุลาคม สำหรับบ่อที่ไม่ถูกปกคลุมอุณหภูมิน้ำไม่มีความแตกต่าง

Simon et al (2016) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการลดการระเหย ด้วยการลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีที และพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของกาใช้ขวดพีอีทีลดการระเหย การทดลองใช้บ่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร ลึก 0.4 เมตร จำนวนทั้งหมด 8 บ่อ โดยที่ 4 บ่อเป็นบ่อควบคุม 2 บ่อลอยด้วยขวดพีอีทีเปล่า และ 2 บ่อสุดท้ายลอยด้วยขวดพีอีทีบรรจุทรายหนัก 10 กรัม ทำการทดลองระหว่างเดือน มีนาคม-เดือนพฤษภาคม ผลการทดลองพบว่าขวดพีอีทีมีการระเหยลดลง 40% ที่ความเชื่อมั่น 90% ขวดพีอีทีสามารถลดการระเหยได้ไม่น้อยกว่า 18% และขวดพีอีทีบรรจุทรายไม่ส่งผลต่อการระเหย สุดท้ายการใช้ขวดพีอีทีลดการระเหยสามารถประหยัดต้นทุนน้ำได้ 0.09$/ลูกบาศก์เมตร

สรุปผลงานวิจัยที่ผ่านมา วิธีทางกายภาพหรือการปกปิดผิวน้ำเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและใช้กันอย่างแพร่หลายในการลดการระเหย ซึ่งมีประสิทธิภาพการลดการระเหยระหว่าง 60% - 90% มากกว่าวิธีทางชีวภาพและทางเคมีที่มีประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 15% - 25% ส่วนมากวิธีทางกายภาพมีการวิจัยเกี่ยวกับวัสดุลอยปกคลุมในแง่ของรูปร่าง ขนาด สี ความหนาแน่น และความถ่วงจำเพาะ อย่างไรก็ตามวัสดุที่ใช้ลอยปกคลุมผิวน้ำเพื่อลดการระเหยของน้ำ มีขายเชิงการค้าเป็นสินค้าต่างประเทศ หลายยี่ห้อและหลายรูปทรง ซึ่งมีราคาสูงเพราะถือว่าเป็นสินค้านวัตกรรม ต้องมีการวิจัยเป็นพื้นฐาน แต่วัสดุที่ใช้เพื่อเป้าหมายเดียวกันในโครงการนี้จะเป็นวัสดุเหลือใช้หรือขยะพลาสติกที่ต้องเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลและกระบวนการกำจัด จึงทำให้วัสดุลอยปกคลุมผิวน้ำของโครงการนี้มีต้นทุนที่ถูกกว่าและหาได้ง่ายกว่าในท้องถิ่น เพียงแต่ต้องมีการทดสอบวิจัยหาประสิทธิภาพของการลดการระเหยของน้ำที่น่าเชื่อถือและรวมทั้งหาวิธีการจัดเตรียมวัสดุที่ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด อีกทั้งโครงการนี้มีศักยภาพของการเป็นนวัตกรรมเพื่อชุมชน เพราะปัญหาที่เป็นเป้าหมายของโครงการเป็นปัญหาสำคัญที่ชุมชนทั่วไปต่างเผชิญอยู่ ทั้งภัยแล้งและขยะพลาสติก และแนวทางแก้ไขหรือจัดเตรียมวัสดุลอยปกคลุมผิวน้ำนี้ไม่ต้องการเทคโนโลยีการผลิต ไม่ต้องการเครื่องมือเฉพาะ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปปฏิบัติจริงในชุมชนทั่วไป

โครงการนี้จะทดสอบประสิทธิภาพของการลดการระเหยของน้ำด้วยการใช้ขวดพีอีที, ขวดพีอีทีบรรจุเศษขยะ (ถุงอลูมิเนียมฟอยล์) และขวดพีอีที บรรจุพลาสติกทั่วไปซึ่งเป็นขยะที่สามารถรวบรวมได้ไม่ยากโดยเกือบไม่มีต้นทุนและมีความสะอาดปลอดภัย แม้ขยะขวดน้ำดื่มจะสามารถนำไปรีไซเคิลได้ในราคาถูก (ปัจจุบันขวดละประมาณ 11 สตางค์) แต่ขยะพลาสติกเคลือบอลูมิเนียมต้องกำจัดด้วยการเผาหรือฝังกลบ ขยะทั้งสองมีความคงทนสูงโดยไม่เสื่อมสภาพในเวลายาวนานหลายสิบปี ตัววัสดุปลอดภัยจากสารเคมีอันตรายเพราะเป็นเกรดวัสดุใช้บรรจุอาหาร มีน้ำหนักเบาทำงานได้ง่าย ขวดน้ำดื่มที่ปิดฝาไว้สามารถลอยน้ำได้ทันที ถุงพลาสติกเคลือบอลูมิเนียมและพลาสติกทั่วไปที่ใส่ไว้ข้างในจะช่วยทำให้

ขวดทึบแสงและสะท้อนรังสี ทั้งสองวัสดุจะทำงานร่วมกัน เพื่อป้องกันการถ่ายเทพลังงานที่ผิวน้ำ ลดพื้นที่ผิวสัมผัสของน้ำกับอากาศและลม จึงทำให้การระเหยของน้ำลดลงได้ ซึ่งในต่างประเทศมีการนำวัสดุพลาสติกทรงกลมนำมาลอยไว้บนผิวน้ำเพื่อเป้าหมายเดียวกันนี้ หากแต่เป็นการจำหน่ายเชิงการค้าในราคาที่สูงมาก

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ทดลองเบื้องต้นเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานก่อนเริ่มดำเนินการทดลอง ส่วนที่ 2 รูปแบบของขวดพีอีทีและการเก็บข้อมูลสำหรับหาประสิทธิภาพการลดการระเหยและรูปแบบที่เหมาะในการใช้ขวดพีอีทีบรรจุเศษพลาสติกลอยปกคลุมผิวน้ำ ส่วนที่ 3 การตรวจสอบคุณภาพน้ำ เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นแนวทางการตัดสินใจสำหรับนวัตกรรมทางเลือก

3.1 การทดลองเบื้องต้น

การทดลองเบื้องต้นก่อนการทดลองจริงเพื่อตรวจสอบค่าการระเหยของบ่อทดลองกับถาดมาตรฐาน Class A Pan โดยเก็บค่าระดับน้ำของบ่อทดลองทั้งหมดและของถาดมาตรฐานทุกวันเป็นระยะเวลา 15 วัน แล้วสอบเทียบค่าการระเหยของแต่ละบ่อทดลองกับของถาดวัดการระเหย ด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐานของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม Mini tab ทั้งนี้เพื่อเป็นการสอบเทียบค่าการระเหยของบ่อทดลองทุกบ่อก่อนการทดลองจริง และยืนยันว่าบ่อทดลองเหล่านี้สามารถใช้สังเกตการระเหยได้เมื่อเทียบกับถาดวัดการระเหยมาตรฐาน

3.2 รูปแบบของขวดพีอีที

รูปแบบของขวดพีอีทีอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของการลดอัตราการระเหย โดยการทดลองนี้ได้ออกแบบให้ครอบคลุมลักษณะ 3 ประการ ได้แก่ ชนิดของวัสดุทึบแสงที่บรรจุในขวดพีอีที ปริมาณพื้นที่ปกคลุม และรูปแบบการลอย ซึ่งเป็นการออกแบบเพื่อป้องกันปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่ส่งผลต่อการระเหย โดยกำหนดให้ใช้ชนิด ปริมาณ และรูปแบบที่แตกต่างกันไป

3.2.1 ชนิดของวัสดุทึบแสงที่บรรจุในขวดพีอีที

เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดการระเหย แต่ขวดพีอีทีปกติเป็นวัสดุที่โปร่งใสทำให้รังสีทะลุผ่านลงมาถึงน้ำได้ ดังนั้นเพื่อลดการระเหยจึงตั้งสมมติฐานว่าต้องทำให้ขวดพีอีทีทึบแสง การทดลองจึงถูกออกแบบให้เปรียบเทียบอัตราการระเหยของบ่อที่ใช้ขวดพีอีทีเปล่า และขวดที่ถูกทำให้ทึบแสงด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ อลูมิเนียมฟลอยด์ลามิเนต (laminated aluminum foil, LAF) และถุงพลาสติกทั่วไปไม่เจาะจง ซึ่งวัสดุเหล่านี้เป็นขยะจำพวกถุงบรรจุภัณฑ์อาหารและขนมขบเคี้ยว ตัววัสดุสามารถสะท้อนแสงหรือช่วยทำให้ขวดทึบแสงได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จึงสามารถปิดกั้นรังสีดวงอาทิตย์ไม่ให้ทะลุผ่านลงไปที่น้ำ โดยออกแบบการทดลองเพื่อจะวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการลดอัตราการระเหยของวัสดุที่บรรจุในขวดพีอีที ที่แตกต่างกัน 2 ชนิดนี้ และเปรียบเทียบกับขวดพีอีทีโปร่งใสธรรมดา ซึ่งใช้ปริมาณการลอยปกคลุมที่ 50 % ของพื้นที่บ่อทดลอง เนื่องจากเป็นปริมาณการลอยปกคลุมที่เหมาะสมในการใช้งานจริงได้

รูปที่ 3.1 ขวดพีอีทีเปล่า (ซ้าย) ขวดบรรจุ LAF (กลาง) และขวดพีอีทีบรรจุถุงพลาสติก (ขวา)

3.2.2 ปริมาณพื้นที่การลอยปกคลุม

ปริมาณพื้นที่ของผิวน้ำที่เปิดสู่บรรยากาศมีผลต่อการระเหย โดยพื้นที่เปิดจะเป็นที่ที่โมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่หลุดลอยออกจากมวลน้ำ หากพื้นที่การลอยปกคลุมมากจะส่งผลให้การระเหยน้อยลงได้ ดังนั้นจึงออกแบบให้บ่อทดลองมีปริมาณพื้นที่การลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีบรรจุเศษ LAF ที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดอัตราการระเหยที่มีปริมาณพื้นที่ลอยปกคลุมที่ 25%, 50%, 75%, 100% และบ่อที่ไม่มีการลอยปกคลุม (บ่อควบคุม) โดยเปอร์เซ็นต์การลอยปกคลุม (Coverage Percentage, %CP) คำนวณได้ตามสมการที่ (15)

$$\%CP = \frac{A_b \times n}{A_e} \times 100 \tag{15}$$

เมื่อ A_b คือ พื้นที่ของขวดพีอีทีต่อ 1 ขวด

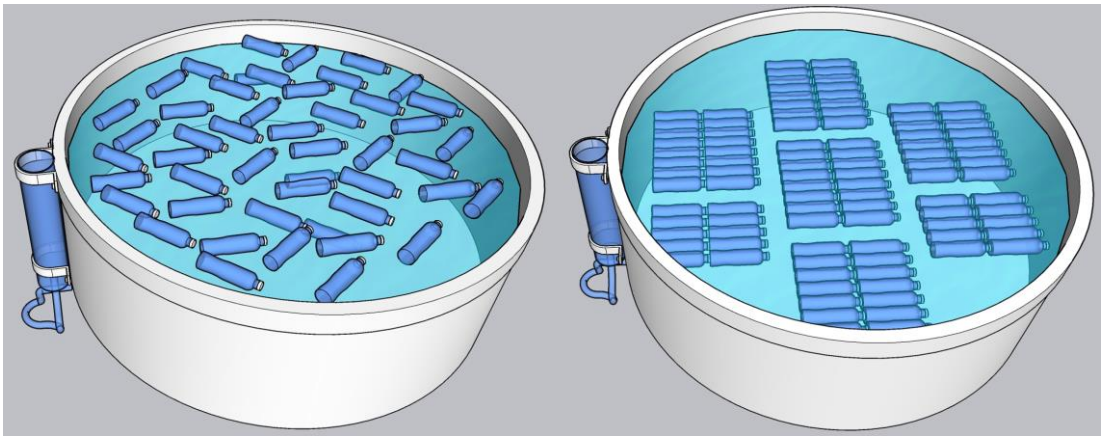
A_e คือ พื้นที่บ่อทดลอง

n คือ จำนวนขวดพีอีที

โดยที่ขวดพีอีทีมีขนาดบรรจุ 600 มิลลิลิตร ซึ่งสูง 0.240 เมตร กว้าง 0.065 เมตร มีพื้นที่ประมาณ 1.43 x 10^{-2} ตารางเมตร/ขวด

3.2.3 รูปแบบการลอย

รูปแบบการลอยในการทดลองนี้ถูกออกแบบให้เป็น 2 ลักษณะ คือ การลอยแบบอิสระ และการลอยแบบเป็นกลุ่ม-แพ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 รูปแบบการลอยขวดพีอีทีแบบอิสระ (ซ้าย) และรูปแบบการลอยกลุ่มแพ (ขวา)

การลอยแบบอิสระคือการลอยของขวดพีอีทีที่แต่ละขวดไม่ยึดติดกัน ส่วนการลอยแบบเป็นกลุ่มแพ คือ การเชื่อมขวดพีอีทีด้วยกาวซิลิโคนจำนวน 16 ขวดติดกันให้มีลักษณะคล้ายแพ โดยนำขวดพีอีที เชื่อมติดกัน 2 แถว แถวละ 8 ขวด ซึ่งเป็นขนาดแพที่เหมาะสมและแข็งแรงเพียงพอที่ไม่ทำให้เกิดการแตกแยกของแพขณะใช้งาน โดยออกแบบเปรียบเทียบที่ปริมาณการลอยปกคลุม 50% เพื่อให้กลุ่มแพไม่เกิดการลอยซ้อนทับกันและเป็นข้อจำกัดของขนาดบ่อทดลอง ทั้งนี้การออกแบบการทดลองนี้มาจากสมมติฐานว่ารูปแบบการลอยของขวดจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหย โดยรูปแบบการลอยแบบอิสระจะทำให้เกิดการปกคลุมไม่ต่อเนื่องจึงน่าจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่ารูปแบบการลอยแบบเป็นกลุ่มแพที่สามารถปกคลุมผิวน้ำได้อย่างต่อเนื่อง

การทดลองลดการระเหยด้วยขวดพีอีทีบรรจุเศษพลาสติกเพื่อหารูปแบบที่มีประสิทธิภาพของการลดอัตราการระเหยที่เหมาะสม โดยมีปัจจัยด้านวัสดุทึบแสงที่บรรจุในขวด ด้านปริมาณพื้นที่การลอยปกคลุม และด้านรูปแบบการลอย ทำให้สรุปจำนวนบ่อทดลองได้ทั้งหมด 8 บ่อ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สรุปจำนวนบ่อทดลองและเงื่อนไขในการทดลอง

	บ่อทดลองที่							
กำหนดค่า	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
วัสดุที่บรรจุในขวด								
เปล่า							●	
LAF		●	●	●	●	●		
AP								●
ปริมาณการลอยปกคลุม								

25% (50 ขวด)	●						
50% (99 ขวด)		●			●	●	●
75% (149 ขวด)			●				
100% (198 ขวด)				●			
รูปแบบการลอย							
อิสระ	●	●	●	●		●	●
กลุ่มแพ					●		

3.3 การจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

สถานที่ตั้งของพื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง คือ พิกัด 14.899851N 102.009102E ที่มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเท่ากับ 183 เมตร การทดลองจริงถูกกำหนดให้เป็นช่วงฤดูหนาว-ฤดูแล้ง ตั้งแต่ต้นเดือนพฤศจิกายน – ปลายเดือนพฤษภาคม ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงฝนที่อาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน ข้อมูลจะถูกตรวจวัดและเก็บค่าด้วยความถี่ที่กำหนดอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง

ขั้นตอนการทดสอบกับอ่างน้ำจำลองเพื่อหารูปแบบและวิธีการจัดเตรียมวัสดุให้ได้ประสิทธิการที่ดีที่สุด ซึ่งดำเนินจัดเตรียมอ่างเก็บน้ำขนาด 1600 ลิตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง 200 x 60 เซนติเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 จำนวนทั้งสิ้น 8 บ่อ และถาดวัดการระเหย Class A pan ในพื้นที่ที่จัดเตรียม ต่อมาดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทั้ง 8 อ่าง ได้แก่ เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิน้ำ อุปกรณ์การตรวจวัดระดับน้ำ ถาดวัดการระเหย กระบอกวัดปริมาณน้ำฝนและเครื่องมือวัดแรงลมในพื้นที่ศึกษา จากนั้นเติมน้ำลงทั้ง 8 อ่าง โดยให้มีความสูงของระดับน้ำประมาณ 50 - 55 เซนติเมตร

รูปที่ 3.3 สถานที่ตั้งของพื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1. การจัดเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลในการทดลอง ระยะเวลาในการดำเนินการเก็บข้อมูล เดือนพฤศจิกายน 2564 – เดือนพฤษภาคม 2565 การเก็บค่าระดับน้ำในท่อพีวีซีในบ่อทดลองด้วยเวอร์เนียวัดความลึก และถาดวัดการระเหย โดยมีความถี่เป็นรายวัน และทำการวัดในช่วงเวลา 8:00-9:00 น.

การตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยการตรวจวัดช่วงเริ่มโครงการทุกบ่อทดลองเป็นค่าตั้งต้น และทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุกๆ 45-60 วัน จนกระทั่งระดับน้ำในบ่อน้อยกว่า 0.25 เมตรจึงจะทำการเติมน้ำเพิ่มจนได้ระดับน้ำเท่ากับระดับตั้งต้น แล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำในลักษณะเดียวกันกับรอบแรก จนสิ้นสุดการทดลอง แล้วนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นและเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 3

3.3.2. การวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลระดับน้ำของบ่อทดลองทั้งหมดและถาดวัดการระเหย ถูกนำมาคำนวณค่าอัตราการระเหยของถาด E_P หรือของบ่อทดลองที่ i E_{Pi} โดยนำค่าอัตราการระเหยการระเหยที่วัดได้ของถาด E_m หรือของบ่อทดลองที่ i E_{mi} มาปรับแก้ด้วยปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ P ดังแสดงในสมการที่ (16)

$$E_{Pi} = E_{mi} + P \tag{16}$$

จากการคำนวณอัตราการระเหยของแต่ละบ่อทดลอง เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดอัตราการระเหยจากรูปแบบของขวดพีอีทีต่างๆ ของบ่อทดลอง เพื่อหารูปแบบของขวดพีอีทีที่

ครอบคลุมและเหมาะสมที่สุด 3 ด้าน คือ วัสดุทึบแสงที่บรรจุในขวด ปริมาณพื้นที่การลอยปกคลุม และรูปแบบการลอย ซึ่งประสิทธิภาพของเปอร์เซ็นต์การลดอัตราการระเหย (Evaporation Suppression Efficiency, ESE) (Shalaby et al, 2021) สามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ (17)

$$ESE = \left(1 - \frac{E_{pi}}{E_{p1}}\right) \times 100 \quad (17)$$

E_{Pi} คือ อัตราการระเหยของบ่อที่ i หน่วยเป็น มม./วัน

E_{P1} คือ อัตราการระเหยของบ่อที่ 1 (บ่อควบคุม, ไม่มีการลอยปกคลุม) หน่วยเป็น มม./วัน

3.4 การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

คุณภาพของน้ำที่เก็บกักเป็นประเด็นการทดลองที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการประเมินความสำเร็จของวิธีการลดอัตราการระเหยของแหล่งน้ำด้วยขวดพีอีทีที่ถูกทำให้ทึบแสงนี้ เนื่องจากการปกคลุมผิวน้ำจะทำให้ปริมาณพื้นที่สำหรับการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในน้ำน้อยลงและปริมาณแสงแดดที่ส่องถึงผิวน้ำน้อยลงด้วย รวมทั้งการนำใช้วัสดุที่ใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำ เช่น ขวดน้ำดื่ม ถุง LAF และพลาสติกทั่วไป อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของไมโครพลาสติก และแบคทีเรียโคลิฟอร์ม การทดลองนี้จึงจำเป็นต้องรวมประเด็นการออกแบบวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำไว้ด้วย ซึ่งเป้าหมายของคุณภาพน้ำในการทดลองนี้คือน้ำประเภทที่ 3 ที่เป็นน้ำใช้เพื่อการเกษตรกรรม โดยมีดัชนีคุณภาพน้ำ 5 รายการเท่านั้นที่จะทำการตรวจวัด ได้แก่ ค่า PH, ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO), ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (Biochemical Oxygen Demand, BOD), ปริมาณแบคทีเรียกลุ่ม TCB และ FCB. เนื่องจากการนำขวดพีอีทีกลับมาใช้และวิธีการลอยปกคลุมอาจส่งผลให้ดัชนีคุณภาพน้ำดังกล่าวเกิดการเปลี่ยนแปลง

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น

การทดลองเบื้องต้นใช้บ่อทดลองทั้ง 8 บ่อ ที่ไม่มีวัสดุปกคลุมใดเลย (พื้นที่การลอยปกคลุมเท่ากับ 0%) และถาดวัดการระเหย Class-A Pan เพื่อการเก็บค่าระดับน้ำของบ่อทดลองทั้ง 8 บ่อและของถาด ทุกวันเป็นระยะเวลา 15 วัน และวิเคราะห์อัตราการระเหยของแต่ละบ่อเปรียบเทียบกับของถาดวัดการระเหย เพื่อยืนยันว่าบ่อทดลองเหล่านี้สามารถใช้สังเกตการระเหยได้เมื่อเทียบกับถาดวัดการระเหยมาตรฐาน แสดงตามตารางที่ 4.1 ส่วนการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ แสดงตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผล Pilot test ของการระเหยทั้ง 8 บ่อทดลอง

Pilot test การระเหย (mm.)									
วันที่	**Pan**	**บ่อที่ 1**	**บ่อที่ 2**	**บ่อที่ 3**	**บ่อที่ 4**	**บ่อที่ 5**	**บ่อที่ 6**	**บ่อที่ 7**	**บ่อที่ 8**
1	4.8	4.8	5.4	5.1	5.1	5.1	4.7	5.1	5.0
2	4.1	4.4	4.4	4.5	3.9	4.4	4.3	4.0	4.4
3	5.4	5.7	5.4	5.1	5.4	5.4	5.3	5.0	5.7
4	3.6	3.8	3.5	4.0	3.5	3.7	3.5	3.5	3.9
5	4.9	5.0	4.6	5.2	5.3	4.5	4.7	4.9	4.6
6	6.3	6.4	6.4	6.5	6.1	6.6	6.6	6.5	6.5
7	4.9	4.7	5.6	4.8	5.4	5.4	4.5	4.2	5.0
8	5.3	5.1	5.1	4.8	5.0	4.9	5.2	5.3	5.0
9	6.0	6.2	5.9	6.2	6.1	6.2	6.1	6.2	6.1
10	5.0	5.1	5.2	5.0	5.1	5.1	5.0	5.1	4.9
11	5.6	5.5	5.4	6.0	6.0	5.6	5.6	5.7	5.4
12	5.4	5.4	5.2	5.6	5.5	5.6	5.6	5.7	5.1
13	3.7	3.6	3.6	3.5	3.4	3.7	3.5	4.0	3.4
14	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.6	3.2	3.3	3.5
15	4.3	4.2	4.7	4.1	4.7	3.9	4.5	4.7	3.9

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสมมติฐานสัดส่วนความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของการระเหยทั้ง 8 บ่อ

	H_0: Variance Pan = Variance บ่อที่ i				H_0: Mean Pan = Mean บ่อที่ i		
	standard deviation	Variance	Ratio of Variances	P-Value	Mean	95% CI for Difference	P-Value
Pan	0.88	0.78			4.85		
บ่อที่ 1	0.90	0.80	0.97	0.48	4.89	(-0.70, 0.63)	0.91
บ่อที่ 2	0.87	0.76	1.02	0.52	4.91	(-0.72, 0.60)	0.85
บ่อที่ 3	0.93	0.87	0.90	0.42	4.92	(-0.75, 0.61)	0.83
บ่อที่ 4	0.96	0.93	0.84	0.38	4.91	(-0.76, 0.62)	0.85
บ่อที่ 5	0.93	0.87	0.90	0.42	4.92	(-0.75, 0.60)	0.82
บ่อที่ 6	0.97	0.95	0.82	0.36	4.83	(-0.68, 0.71)	0.96
บ่อที่ 7	0.94	0.88	0.88	0.41	4.88	(-0.71, 0.66)	0.94
บ่อที่ 8	0.90	0.82	0.96	0.47	4.83	(-0.65, 0.69)	0.95

จากตารางที่ 4.2 เป็นการสอบเทียบค่าการระเหยของถาดวัดการระหยกับบ่อทดลองทั้ง 8 บ่อ ด้วยการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 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

4.2 ผลการทดลองรูปแบบของขวดพีอีที

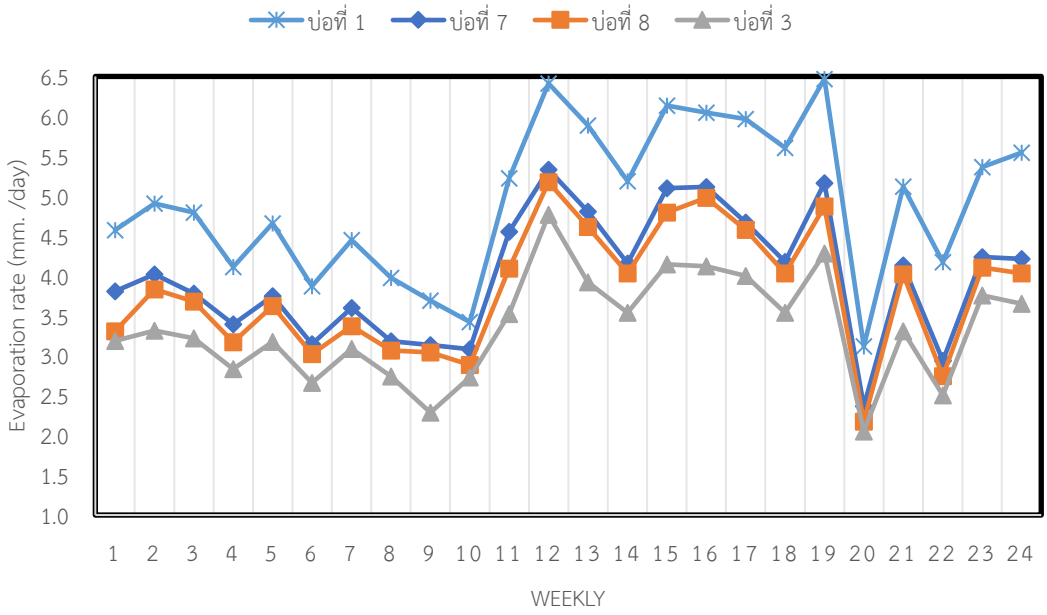
การทดลองรูปแบบขวดพีอีทีได้ทำการทดลองภายใต้ 3 เงื่อนไข ดังนี้ 1. ชนิดของวัสดุทึบแสงที่บรรจุในขวดพีอีที 2. ปริมาณพื้นที่การลอยปกคลุม 3. รูปแบบการลอย และทำการทดลองช่วงฤดูแล้งตั้งแต่ต้นเดือนธันวาคม – ปลายเดือนพฤษภาคม ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงฝนที่อาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน ข้อมูลจะถูกตรวจวัดและเก็บค่าด้วยความถี่ที่กำหนดอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง ค่าการระเหยแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าการระเหยเฉลี่ยรายวันในแต่ละสัปดาห์

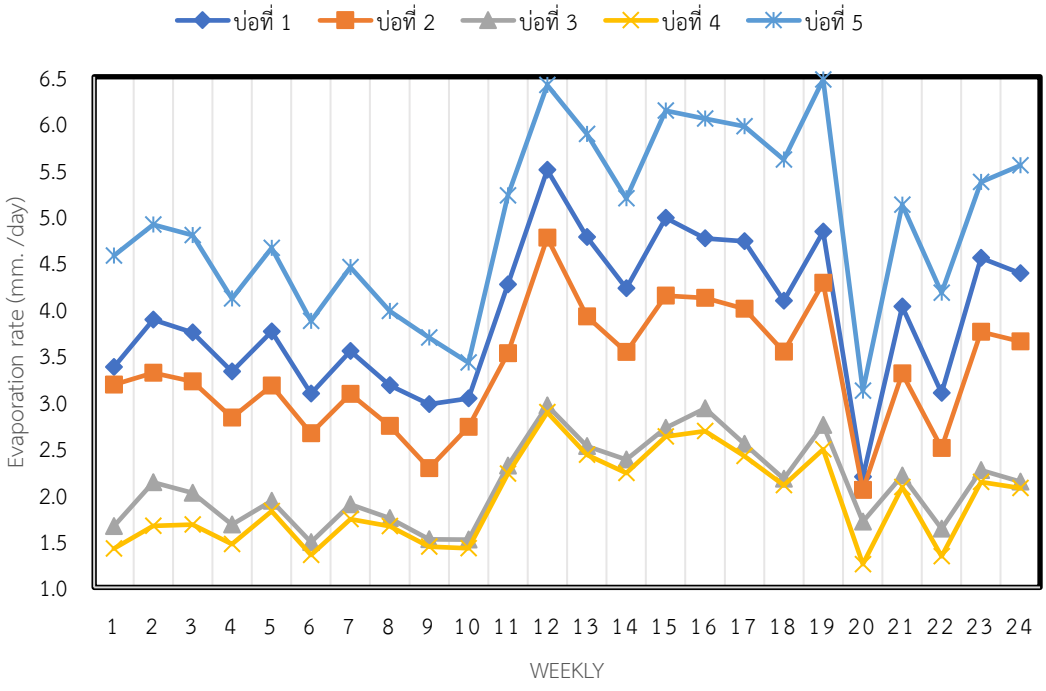
สัปดาห์ที่	**ค่าการระเหยเฉลี่ยบ่อที่ (E_{Pi}, mm/day)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**

1	4.6	3.4	3.2	1.7	1.4	3.1	3.8	3.3
2	4.9	3.9	3.3	2.1	1.7	3.2	4.0	3.8
3	4.8	3.7	3.2	2.0	1.7	3.0	3.8	3.7
4	4.1	3.3	2.8	1.7	1.5	2.7	3.4	3.2
5	4.7	3.8	3.2	1.9	1.8	3.1	3.7	3.6
6	3.9	3.1	2.7	1.5	1.3	2.5	3.1	3.0
7	4.4	3.5	3.1	1.9	1.7	2.9	3.6	3.4
8	4.0	3.2	2.7	1.7	1.7	2.7	3.2	3.1
9	3.7	3.0	2.3	1.5	1.4	2.1	3.1	3.0
10	3.4	3.0	2.7	1.5	1.4	2.7	3.1	2.9
11	5.2	4.3	3.5	2.3	2.2	3.4	4.6	4.1
12	6.4	5.5	4.8	3.0	2.9	4.4	5.3	5.2
13	5.9	4.8	3.9	2.5	2.4	3.8	4.8	4.6
14	5.2	4.2	3.5	2.4	2.2	3.4	4.2	4.0
15	6.1	5.0	4.1	2.7	2.6	4.0	5.1	4.8
16	6.0	4.8	4.1	2.9	2.7	4.0	5.1	5.0
17	6.0	4.7	4.0	2.5	2.4	3.8	4.7	4.6
18	5.6	4.1	3.5	2.2	2.1	3.4	4.2	4.0
19	6.5	4.8	4.3	2.7	2.5	4.0	5.2	4.9
20	3.1	2.2	2.0	1.7	1.3	1.9	2.4	2.2
21	5.1	4.0	3.3	2.2	2.1	3.2	4.1	4.0
22	4.2	3.1	2.5	1.6	1.3	2.4	2.9	2.7
23	5.4	4.5	3.8	2.3	2.1	3.5	4.2	4.1
24	5.5	4.4	3.6	2.1	2.1	3.5	4.2	4.0

การวิเคราะห์ผลการทดลองรูปแบบของขวดพีอีทีในการลดการระเหยภายใต้ 3 เงื่อนไข



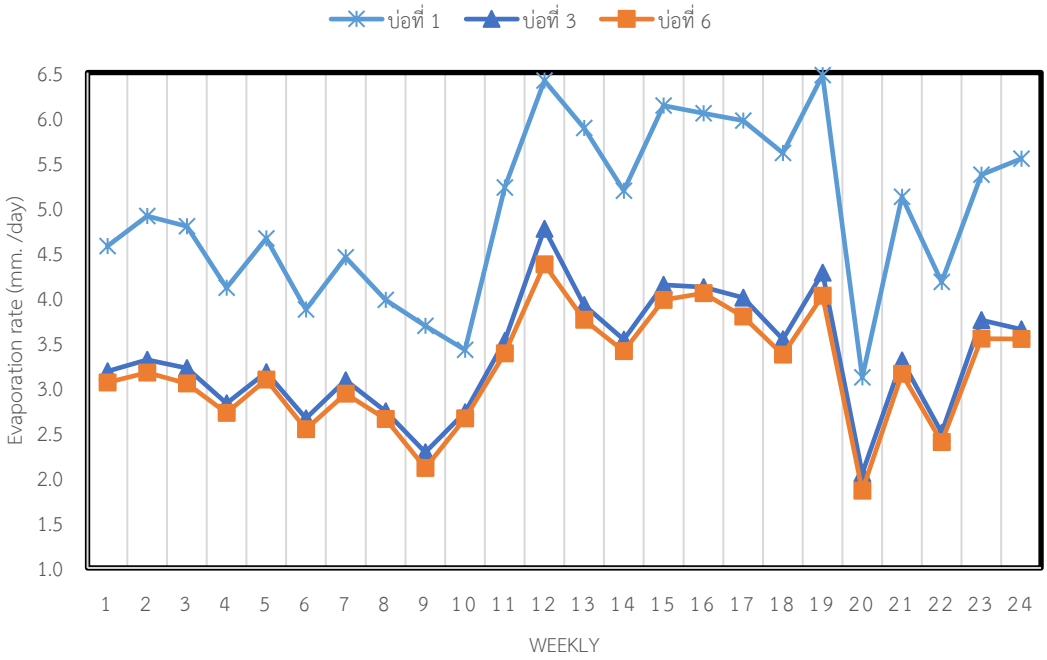
รูปที่ 4.1 ค่าการระเหยภายใต้เงื่อนไขชนิดของวัสดุทึบแสงที่บรรจุในขวดพีอีที



รูปที่ 4.2 ค่าการระเหยภายใต้เงื่อนไขปริมาณพื้นที่การลอยปกคลุม

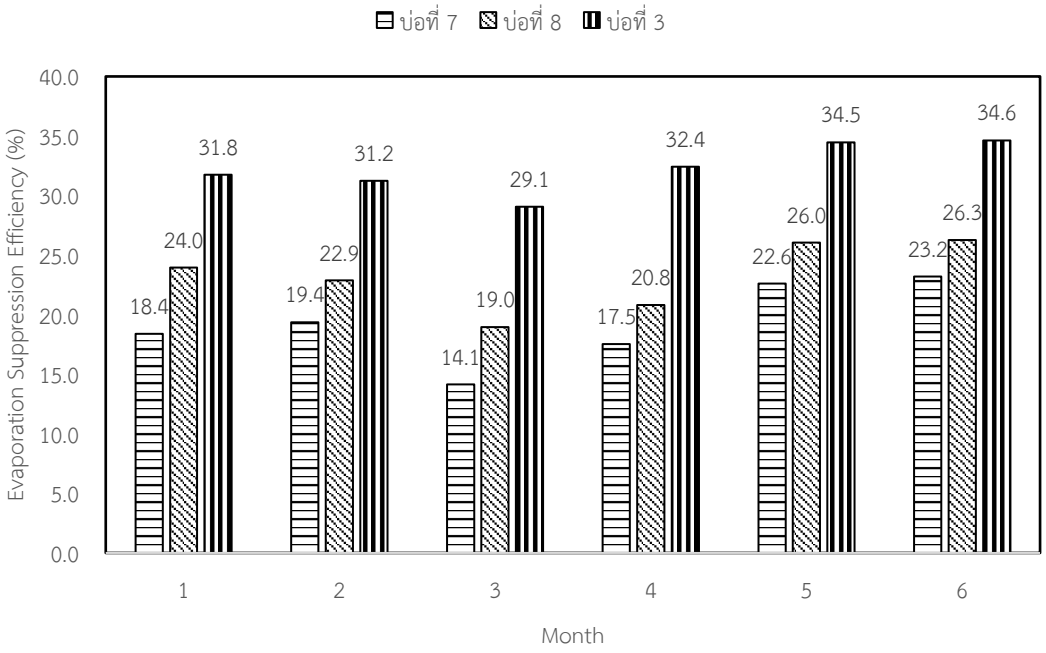
จากรูปที่ 4.1 เห็นว่าวัสดุที่เติมในขวดมีผลต่อการระเหย โดยเฉพาะขวดพีอีทีที่บรรจุ LAF เป็นวัสดุที่มีค่าการระเหยน้อยที่สุด (บ่อที่ 3) และขวดพีอีทีบรรจุพลาสติกทั่วไป (บ่อที่ 8) มีค่าการระเหยน้อยกว่าขวดพีอีทีปกติ (บ่อที่ 7) เพียงเล็กน้อย

จากรูปที่ 4.2 เปรียบเทียบระหว่างบ่อทดลองที่แตกต่างกัน 5 บ่อ ในด้านพื้นที่ครอบคลุมเป็น 25%, 50%, 75%, 100% และไม่มีการลอยครอบคลุม ในขณะที่การควบคุม บ่อ 25% 50% และ 75% แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่บ่อ 75% และ 100% มีการระเหยแตกต่างกันเล็กน้อย

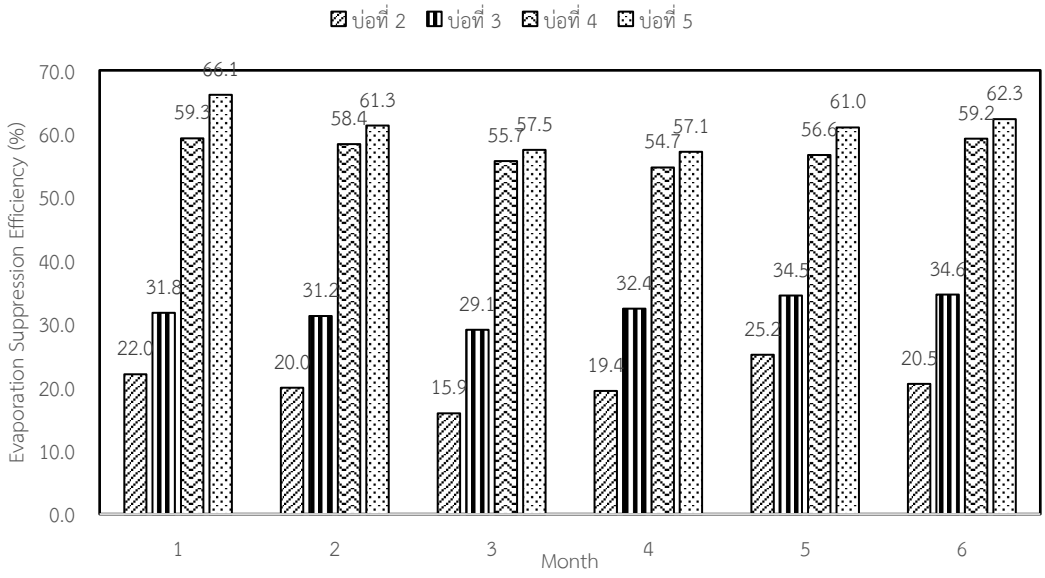


รูปที่ 4.3 ค่าการระเหยภายใต้เงื่อนไขรูปแบบการลอย

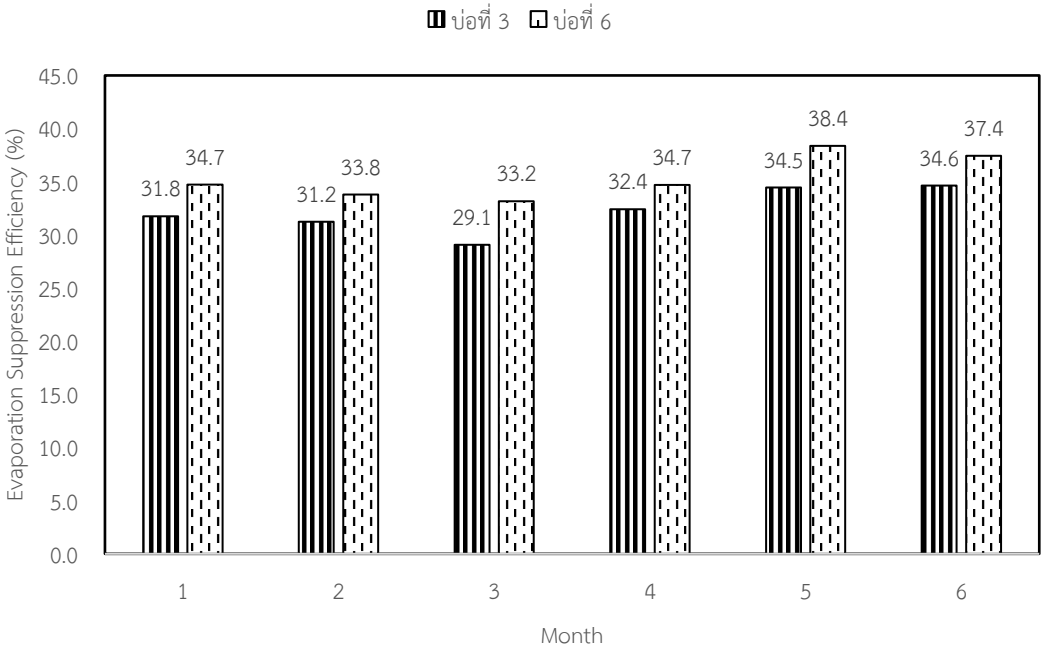
จากรูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ่อทดลอง 3 บ่อ เห็นว่ารูปแบบการลอยปกคลุมผิวน้ำส่งผลต่อการระเหย โดยรูปแบบการลอยเป็นกลุ่มแพ (บ่อที่ 6) หรือการลอยแบบต่อเนื่องมีค่าการระเหยน้อยกว่ารูปแบบการลอยแบบอิสระ (บ่อที่ 3) เพียงเล็กน้อย ซึ่งหมายความว่าการลอยเป็นกลุ่มแพสามารถลดการระเหยได้ดีกว่าการลอยแบบยอิสระเพียงเล็กน้อยในการลอยพื้นที่ปกคลุม 50 %



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการลดการระเหยภายใต้เงื่อนไขชนิดของวัสดุทึบแสงที่บรรจุในขวดพีอีที



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการลดการระเหยภายใต้เงื่อนไขปริมาณพื้นที่การลอยปกคลุม



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการลดการระเหยภายใต้เงื่อนไขรูปแบบการลอย

จากรูปที่ 4.4 - 4.6 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการลดการระเหยมีค่าลดลงในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์จากนั้นประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องมาจากเดือนมีนาคม – เดือนพฤษภาคม อยู่ในช่วงฤดูร้อนการใช้ขวดพีอีทีบรรจุเศษพลาสติกจะช่วยลดการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่ผิวน้ำและยังเป็นเกราะป้องกันไม่ให้โมเลกุลของน้ำหลุดลอยออกไป และจากรูปที่ 4.4 ขวดพีอีทีบรรจุ LAF มีประสิทธิภาพลดการระเหยได้มากที่สุด เท่ากับ 34.6% ในกรณีลอยปกคลุมพื้นผิว 50% ส่วนรูปที่ 4.5 เงื่อนไขพื้นที่การลอยปกคลุมพบว่า ที่การลอยปกคลุม 100% มีประสิทธิภาพการลดการระเหยได้มากที่สุด 66.1% และความสัมพันธ์ของพื้นที่การลอยปกคลุมกับประสิทธิภาพการลดการระเหยไม่เป็นลักษณะเชิงเส้นตรง ส่วนรูปที่ 4.6 พบว่าประสิทธิภาพการลดการระเหยของการลอยแบบอิสระกับลอยเป็นกลุ่มแพมีประสิทธิภาพแตกต่างกัน 2% - 4% โดยที่การลอยเป็นกลุ่มแพมีประสิทธิภาพดีกว่า

4.3 ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำ

ตารางที่ 4.4 ค่าดัชนีคุณภาพน้ำ

บ่อที่	ครั้งที่	ค่าดัชนีคุณภาพน้ำ				
		PH	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	TCB (MPN/100ml)	FCB (MPN/100ml)
1	1	8.2	7	9	4.5	<1.8
	2	8.2	7	10	1.8	<1.8
	3	8.4	7	8	11	7.8
2	1	8.4	7	8	<1.8	<1.8
	2	8.4	8	9	7.8	<1.8
	3	8.5	7	7	13	<1.8
3	1	8.6	8	9	7.8	4.5
	2	8.5	8	9	48	<1.8
	3	8.6	7	10	54	<1.8
4	1	8.7	7	9	7.8	<1.8
	2	8.8	8	7	1.8	<1.8
	3	8.8	7	8	23	<1.8
5	1	9.0	9	6	2	<1.8
	2	9.1	9	6	<1.8	<1.8
	3	9.1	8	6	23	<1.8
6	1	8.6	7	9	<1.8	<1.8
	2	9	8	8	<1.8	<1.8
	3	8.5	7	8	24	<1.8
7	1	8.6	7	10	31	2
	2	9	9	10	2	<1.8
	3	9	7	9	23	<1.8
8	1	8.4	7	10	<1.8	<1.8
	2	8.8	8	10	<1.8	<1.8
	3	8.8	7	8	<1.8	<1.8
ค่ามาตรฐานดัชนีคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3		**5-9**	**>=4**	**<=2**	**<=20000**	**<=4000**

การเก็บตัวอย่างน้ำเริ่มต้นเก็บและตรวจสอบครั้งที่เมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2564 ต่อมาวันที่ 26 มกราคม 2565 เริ่มเก็บตัวอย่างน้ำตรวจสอบครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 เริ่มเก็บตัวอย่างน้ำวันที่ 30 มีนาคม 2565 จากนั้นวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล จากตารางที่ 4.4 พบว่า ค่าดัชนีคุณภาพน้ำที่ได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 3 แต่มีค่าดัชนี BOD ที่มีค่าสูงเนื่องจากน้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำที่ได้จากปั๊มสูบบริเวณใกล้ขอบอ่างเก็บน้ำ ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีปริมาณสารอินทรีย์ค่อนข้างมากส่งผลให้ค่าดัชนี BOD เกินค่ามาตรฐาน (ตัวอย่างน้ำควรเก็บบริเวณกลางอ่างเก็บน้ำหรือที่ไม่มีต้นพืช) แต่จาก

การสังเกตค่าดัชนี BOD หลังจากการทดลองทุกบ่อทดลองมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย สรุปได้ว่าการใช้ขวดพีอีทีลอยปกคลุมผิวน้ำไม่ส่งผลต่อค่าดัชนีคุณภาพน้ำ ซึ่งเป็นข้อยืนยันว่าเทคนิคนี้จะไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การทดลองนี้เป็นการหาประสิทธิภาพของการลดการระเหยของขวดพีอีทีบรรจุเศษพลาสติก เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจและกำหนดค่าที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งได้ทำการทดลองภายใต้เงื่อนไข 1. ชนิดของวัสดุทึบแสงที่บรรจุในขวดพีอีที 2. ปริมาณพื้นที่การลอยปกคลุม 3. รูปแบบการลอย

ผลลัพธ์จากเงื่อนไข 1 พบว่าการลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีบรรจุ LAF มีประสิทธิภาพการลดการระเหยได้ดีที่สุด เนื่องจากพลาสติก LAF มีคุณสมบัติสะท้อนแสง ซึ่งเป็นการป้องกันปัจจัยรังสีแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อการระเหย

ผลลัพธ์จากเงื่อนไข 2 พบว่าพื้นที่การลอยปกคลุมกับประสิทธิภาพการลดการระเหยมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นตรง พื้นการลอยปกคลุม 100% มีประสิทธิภาพการลดการระเหยได้สูงสุดถึง 66.1% และอีกสาเหตุที่ประสิทธิภาพการลดการระเหยของพื้นที่ลอยปกคลุม 75% ใกล้เคียง 100% เพราะการลอยอิสระของขวดพีอีทีในพื้นที่บางส่วนอาจซ้อนทับกันเป็นบางช่วง

ผลลัพธ์จากเงื่อนไข 3 ทำให้ทราบว่าการลอยเป็นกลุ่มแพสามารถการระเหยได้ดีกว่าการลอยอิสระเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการลอยเป็นกลุ่มแพสามารถป้องกันพลังงานความร้อนได้ต่อเนื่องมากกว่าการลอยแบบอิสระ

จากผลลัพธ์ของทั้ง 3 เงื่อนไข ขวดพีอีทีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือ ขวดพีอีทีบรรจุ LAF และมีประสิทธิภาพการลดการระเหยได้ประมาณ 60% .ในส่วนของพื้นที่ลอยปกคลุมที่เหมาะสม คือ พื้นที่ลอยปกคลุม 75 % ซึ่งถือว่ามีความเป็นไปได้ เนื่องจากยังมีพื้นที่ผิวน้ำเหลือสำหรับใช้งานหรือประกอบกิจกรรมทางน้ำ และรูปแบบการลอยแบบกลุ่มแพเป็นรูปที่เหมาะสม

จากผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำ ดัชนีค่า PH, ค่า DO, ค่า BOD, ค่า TCB และ FCB มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และค่าส่วนมากอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 จากค่าต่างๆ เหล่านี่สามารถยืนยันได้ว่าวิธีการลอยปกคลุมด้วยขวดพีอีทีไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม

จากการทดลองที่ผ่านมาการใช้ขวดพีอีทีบรรจุ LAF เป็นนวัตกรรมการลดการระเหยที่สามารถนำไปใช้ได้ โดยมีประสิทธิภาพการลดการระเหยประมาณ 60% ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาการภัยแล้งที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายและมีต้นทุนที่ต่ำ และยังสร้างโอกาสในการพัฒนาความร่วมมือของชุมชมในการจัดหาและจัดเตรียมวัสดุดังกล่าว รวมทั้งเป็นการรวบรวมขยะในชุมชมก่อนนำไปกำจัด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ไมโครพลาสติกเป็นปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม การใช้ขวดพีอีทีซึ่งเป็นพลาสติกในการลอยปกคลุมอาจส่งผลให้เกิดปัญหาดังกล่าว การตรวจสอบทางตรงไม่สามารถระบุได้ว่าไมโครพลาสติกที่เกิด

ขึ้นมาจากขวดที่ใช้ในการทดลองหรือไม่ เนื่องจากไมโครพลาสติกมีอยู่ในอากาศหรือพื้นดินทั่วไปเมื่อโดนการทำด้วยธรรมชาติอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในอ่างทดลองได้ ดังนั้นควรเพิ่มการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของขวดพีอีทีที่ทำการทดลองเพื่อเป็นการยืนยันเกี่ยวกับปัญหาดังกล่าวในทางอ้อม

2. ในการทดลองได้ใช้สมมุติฐานสำหรับพื้นที่การลอยปกคลุมต่อชวดพีอีทีที่มากที่สุด คือ การที่ขวดมีระยะจมอยู่ ½ ของขวดพีอีที แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นระยะจมที่มีประสิทธิภาพการลดการระเหยได้ดีที่สุด ดังนั้นในการทดลองต่อไปควรจะนำระยะจมของขวดพีอีทีเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่น่าสนใจในการสนับสนุนหารูปแบบของขวดที่เหมาะสมในการใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

กีรติ ลีวัจนกุล. (2552). อุทกวิทยา (HYDROLOGY). (พิมพ์ครั้งที่ 3). ปทุมธานี: SPEC.

เกศวรา สิทธิโชค และ ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์. (2564). การประยุกต์ใช้วัสดุทางกายภาพและชีวภาพปกคลุมผิวน้ำเพื่อลดอัตราการระเหยของน้ำในแหล่งกักเก็บน้ำขนาดเล็ก. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 44 ฉบับที่ 1 มกราคม-มีนาคม 2564 หน้า 45-60.

ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร. (2562). อุทกวิทยาสำหรับวิศวกร. (พิมพ์ครั้งที่ 1). ห้างหุ้นส่วนจำกัด มิตรภาพการพิมพ์ 1995: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พิศ คงบริรักษ์ และกฤติกา สืบศักดิ์. (2011). การระเหยของน้ำในประเทศไทย คาบ 10 ปี (2001-2010). ใน เอกสารผลงานวิชาการอุตุนิยมวิทยา 30 กันยายน 2011 (หน้า 30-38). กรุงเทพฯ: กระทรวงเทคโนโลยีและการสื่อสาร.

Burston, I. A. (2002). Conservation of water from open storages by minimising evaporation, PhD Thesis, RMIT University.

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.

Craig, I. P. (2005). Loss of storage water due to evaporation-a literature review.

Elsebaie, I. H., Fouli, H., & 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), 2977-2983.

Haghighi, E., Madani, K., Hoekstra, A.Y., (2018). The water footprint of water conservation using shade balls in California. Nat Sustain, 1(7), pp. 358-360.

Han, K.-W., Shi, K.-B., & Yan, X.-J. (2020). Evaporation loss and energy balance of agricultural reservoirs covered with counterweighted spheres in arid region. Agricultural Water Management, 238, 106227.

Helfer, F., Zhang, H., & Lemckert, C. (2010). Evaporation reduction by windbreaks: Overview, modelling and efficiency: Urban Water Security Research Alliance.

Helfer, F. (2012). Influence of air-bubble plumes and effects of climate change on reservoir evaporation: Griffith University

Hunter, K., et al. (2007). The benefits of shade-cloth covers for potable water storages. Proceeding of 70th Annual Water Industry Engineers and Operators Conference.

Keya, A. (2015). Solar Plant A top Irrigation Canal Impresses UN Chief. India Climate Dialogue.

Lehmann, P., Aminzadeh, M., & 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), 4839-4853.

Penman, H.L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc.Roy.Soc.London, A193:120-146.

Rezazadeh, A., Akbarzadeh, P., & 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.

Saggaï, S., & Bachi, O. (2018). Evaporation reduction from water reservoirs in arid lands using monolayers: Algerian experience. Water resources, 45(2), 280-288.

Settakhumpoo, J., Benjaoran, V., (2021). Comparing the cost efficiencies of traditional evaporation reduction with PET bottles containing plastic waste. Eng J Chiang Mai Univ, 28(2), pp. 42-54.

Shalaby, M. M., Nassar, I. N., & Abdallah, A. M. (2021). Evaporation suppression from open water surface using various floating covers with consideration of water ecology. Journal of Hydrology, 598, 126482.

Simon, K., Shanbhag, R., & 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), 06015005.

Verlee, D., & 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, Vancouver, Canada.

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-นามสกุล	จิรเดช เศรษฐกัมพู
วัน-เดือน-ปีเกิด	12 เมษายน พ.ศ. 2523
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดกรุงเทพฯ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม
ประวัติการศึกษา	วิศกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, พ.ศ. 2545 วิศกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, พ.ศ. 2556 กำลังศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
สถานที่ที่จะติดต่อ	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
อีเมล	jojoe1242523@gmail.com

รายการตีพิมพ์บทความและการนำเสนอบทความ

รายการตีพิมพ์บทความ

Settakhumpoo, J., Benjaoran, V., (2021) “Comparing the cost efficiencies of traditional evaporation reduction with PET bottles containing plastic waste,” *Eng J Chiang Mai Univ*, 28(2), pp. 42-54.

Settakhumpoo, J., Benjaoran, V., (2022) “The Comparative Accuracy Evaluation of Water Evaporation using Multiple Linear Regression and Simplified Penman’s Equation” *Ladkrabang Engr J*, 39(4), pp. 138– 148.

Benjaoran, V. Raksaksri, L., and Settakhumpoo, J. (2023) “Experimentation of Evaporation Reduction by a Use of Plastic Bottles Covering” *Water Conservation and Management* (Accepted Manuscript).

รายการประชุมวิชาการ

Raksaksri, L., Benjaoran, V. and Settakhumpoo, J. (2022) “Experimentation of Evaporation Suppression by Various Plastic Bottles Coverage Area” *2022 2nd Asia Environment and Resource Engineering Conference (AERE 2022)*, 23 – 25 September 2022, Singapore.