



การเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการลดการระเหยแบบดั้งเดิม กับขวด PET บรรจุเศษขยะพลาสติก Comparing the cost efficiencies of traditional evaporation reduction with PET bottles containing plastic waste

จิรเดช เศรษฐกัมพู* และ วชรภูมิ เบญจโอฬาร

Jiradet Settakhumpoo* and Vacharapoom Benjaoran

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

School of Civil Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

111 University Avenue, Suranaree, Mueang, Nakhon Ratchasima 30000

*E-mail: D6300272@g.sut.ac.th, Telephone: +66-4422-4420-1

บทคัดย่อ

การระเหยเป็นสาเหตุสำคัญของความสูญเสียในแหล่งกักเก็บเป็นอย่างมาก ทำให้เกิดการคิดค้นวิธีลดอัตราการระเหยรูปแบบต่างๆ ที่ผ่านมาสามารถจัดเป็นกลุ่มได้ 3 แนวทาง ได้แก่ วิธีการครอบคลุมทางชีวภาพ วิธีการทางสารเคมี และวิธีการทางกายภาพ จากการศึกษาพบว่าวิธีการครอบคลุมทางชีวภาพสามารถลดอัตราการระเหยได้ประมาณ 15-40% เป็นวิธีธรรมชาติที่มีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากแต่จะมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำทำให้ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนนำไปใช้ ส่วนวิธีการทางสารเคมีเป็นวิธีที่สามารถลดอัตราการระเหยได้ประมาณ 15-30% มีการลงทุนค่อนข้างต่ำจึงใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีค่า B/C Ratio เท่ากับ 1.32 และต้นทุนต่อหน่วยของวิธีนี้มีค่าเท่ากับ 7.60 บาท/ม³ แต่วิธีนี้ไม่สามารถรับรู้พื้นที่ครอบคลุมของสารเคมีบนผิวน้ำและโดนทำลายได้ง่ายโดยคลื่นที่ผิวน้ำจากความเร็วลมและอุณหภูมิของน้ำ สำหรับวิธีการทางกายภาพสามารถลดอัตราการระเหยได้มากที่สุดประมาณ 70-95% แต่เป็นวิธีที่มีต้นทุนต่อหน่วยที่สูงมีค่าเท่ากับ 59.15 บาท/ม³ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอการใช้ขวด PET บรรจุเศษขยะพลาสติกกลอยปกคลุมผิวน้ำ ซึ่งเป็นวิธีทางกายภาพที่ใช้วัสดุหาได้ง่ายในท้องถิ่น และเป็นการกำจัดขยะโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ซึ่งทำให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำลงอย่างมากมีค่าเท่ากับ 3.56 บาท/ม³ และมีค่า B/C Ratio เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.24 นอกจากนี้ขวด PET ยังไม่มีสาร Diethyl hydroxylamine และสาร Bisphenol A ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: ลดการระเหย; ขยะรีไซเคิล; วัสดุลอยน้ำ

ABSTRACT

The water evaporation largely exhausted reserved water in reservoir. Three formal reduction methods of water evaporation were composed of bio-covering method, chemical and physical methods. Previous studies presented the bio-covering method can reduce the evaporation rate to 15-40% with using natural plant and rarely low expenses. But bio-covering method effected the reduction of water quality and required water quality improvement cost. The chemical method can reduce the evaporation rate to 15-30% and widely use with low expense. In the contrary, chemical method presented the B/C ratio of 1.32, the high unit cost of 7.60 Baht/m³, un-defined covering area and easily defeat by wind and fluctuated temperature. And the physical method can largely reduce the evaporation rate to 70-95% but requiring high expense and complicate installation. In this study, the physical method using PET bottles with waste plastic packed was used. These materials have lower unit cost and commercially found with further reducing waste landfill. The result presents a dramatically decreasing unit cost of 3.56 Baht/m³ and an increasing B/C ratio of 2.24. Moreover, PET bottles do not contain Diethyl hydroxylamine and Bisphenol A which has a zero environmental impact.

Keywords: Reduce evaporation; Recycled waste; Floating module

1. บทนำ

น้ำคือสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิตเพื่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตและเป็นองค์ประกอบหลักในกิจกรรมประจำวันในการดำเนินชีวิตบนโลก แม้น้ำจะครอบคลุมพื้นที่ผิวโลกมากกว่า 70% แต่มีเพียง 1% ที่สามารถนำมาอุปโภคบริโภค ซึ่งในปัจจุบันการเจริญเติบโตของประชากรที่มากขึ้น มลพิษและภาวะโลกร้อนต่างส่งผลให้เกิดปัญหาภัยแล้งขึ้น ดังนั้นความต้องการปริมาณน้ำในแหล่งน้ำของหลายๆ ประเทศที่มีสภาพอากาศแห้งแล้งหรือกึ่งแห้งแล้งนั้นไม่เพียงพอต่อการดำรงชีวิต ในช่วงหลายๆ ปีที่ผ่านมาพบว่าการระเหยเป็นกระบวนการทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดกระบวนการหนึ่งที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำต้นทุนของระบบเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่เขตร้อนที่มีปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยค่อนข้างสูงอย่างประเทศไทย โดยมีข้อมูลจากการสำรวจพบว่าทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการระเหยสูงสุดในระหว่างเดือนมีนาคมและพฤษภาคม โดยมีค่าการระเหยอยู่ในช่วง 150-175 มิลลิเมตร สำหรับการระเหยต่ำสุดเกิดขึ้นในระหว่างเดือนสิงหาคมและกันยายน โดยมีค่าการ

ระเหยต่ำกว่า 100 มิลลิเมตร ส่วนเดือนอื่นๆ มีค่าการระเหยอยู่ในช่วง 100-150 มิลลิเมตร [1]

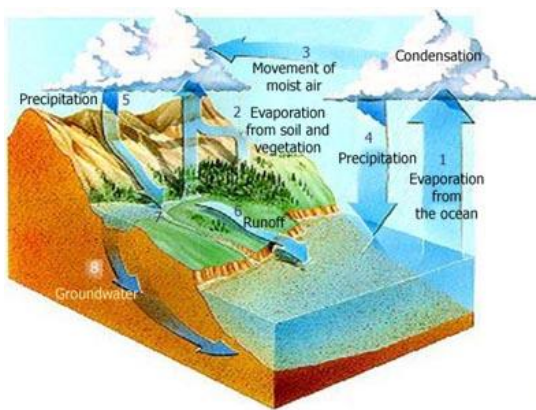
ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์พลาสติกหลากหลายรูปแบบที่มีสีสนสวยงามให้เลือกใช้อย่างมากมาย ด้วยคุณสมบัติของพลาสติกที่โดดเด่นทำให้ได้รับความนิยมอย่างรวดเร็ว เช่น กระจกพลาสติก ภาชนะบรรจุอาหาร เฟอร์นิเจอร์และของเล่นเด็ก ส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกเป็นจำนวนมากขึ้น ขยะพลาสติกเป็นวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายด้วยตัวเอง จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการในการกำจัดขยะ ซึ่งในกระบวนการกำจัดขยะพลาสติกมากกว่าครึ่งถูกกำจัดอย่างไม่ถูกวิธี และก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น ปัญหาสุขภาพ ปัญหาเศรษฐกิจ และปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อมนุษย์กับสิ่งแวดล้อม

การใช้วัสดุที่ทำด้วยพลาสติกย่อยสลายได้เพื่อลดการระเหยของน้ำ มีการผลิตเป็นสินค้าสำหรับขายเชิงการค้าในต่างประเทศ หลายยี่ห้อและหลายรูปทรง ซึ่งมีราคาสูงเพราะถือว่าเป็นสินค้านวัตกรรม ต้องมีการวิจัยเป็นพื้นฐาน แต่วัสดุที่ใช้เพื่อเป้าหมายเดียวกันในงานวิจัยนี้จะเป็นวัสดุเหลือใช้หรือขยะพลาสติกที่ต้องเข้าสู่กระบวนการ

รีไซเคิลและกระบวนการกำจัด จึงทำให้วัสดุปกคลุมผิวน้ำของงานวิจัยนี้มีต้นทุนที่ถูกกว่าและหาได้ง่ายกว่าในท้องถิ่น เพียงแต่ต้องมีการทดสอบวิจัยหาประสิทธิภาพของการลดการระเหยของน้ำที่มีมาตรฐาน รวมทั้งการจัดเตรียมขวด PET และเศษขยะที่เป็นวัสดุในการบรรจุ เช่น เศษพลาสติก สีดำ เศษโฟม รวมทั้งวิธีในการบรรจุภัณฑ์ที่ได้ประสิทธิภาพดีที่สุดและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้ได้มากที่สุด เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงในพื้นที่แห้งแล้งและขาดแคลนน้ำ วิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ต้องการเทคโนโลยีในการผลิต ไม่ต้องการเครื่องมือเฉพาะ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปปฏิบัติจริงในชุมชนทั่วไป

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการระเหย

การระเหย คือ กระบวนการที่น้ำในสถานะของเหลวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำหรืออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณโมเลกุลของน้ำสุทธิไปสู่บรรยากาศ ในบริเวณผิวน้ำกับบรรยากาศจะมีการแลกเปลี่ยนโมเลกุลของน้ำมีการระเหยและการกลั่นตัวตลอดเวลา ปริมาณการระเหยจะเป็นศูนย์เมื่ออัตราการระเหยเท่ากับอัตราการกลั่นตัว



รูปที่ 1 การระเหยในวัฏจักรของน้ำ [2]

2.1 ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (Q_n) เป็นปัจจัยที่สำคัญในการระเหยของน้ำและเป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิ (T_o) ของน้ำสูงขึ้นส่งผลให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่มากขึ้นจนเกิดเป็นพลังงานจลน์

และโมเลกุลของน้ำลอยสู่อากาศได้ง่ายขึ้น ความเร็วลม (V) มีผลต่อการระเหยของน้ำ โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมประมาณ 10% จะมีผลต่อการระเหยประมาณ 1% - 3% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยา ความดันไอ (e) คือความดันในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ซึ่งตามกฎของ Dalton [3] พบว่าผลต่างของความดันไอน้ำอิ่มตัวกับความดันไอน้ำของอากาศหรือที่เรียกว่าผลต่างความดันไอน้ำ ถ้าผลต่างของความดันไอน้ำมาก อัตราการระเหยก็จะมากด้วยตามสมการที่ (1)

$$E = C(e_s - e_d) \quad (1)$$

E = อัตราการระเหย

C = สัมประสิทธิ์ ขึ้นอยู่กับความเร็วลม ความดันบรรยากาศ และตัวแปรอื่น ๆ

e_s = ความดันไอน้ำอิ่มตัว ที่อุณหภูมิของผิวน้ำ

e_d = ความดันไอน้ำอิ่มตัว ที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง

2.2 ธรรมชาติของผิวน้ำที่มีการระเหย

อ่างเก็บน้ำตื้นจะได้รับพลังงานความร้อนทำให้เกิดการระเหยได้มากกว่าอ่างเก็บน้ำลึก ดังนั้นเพื่อลดการสูญเสียน้ำจากการระเหยจึงควรออกแบบหรือเลือกสร้างอ่างเก็บน้ำที่มีพื้นที่ผิว (A) น้อยแต่มีความลึกของน้ำมาก ผิวดินที่มีสีเข้มจะดูดซับพลังงานความร้อนได้ดีกว่าผิวดินที่มีสีอ่อน ทำให้ดินสีเข้มมีการระเหยมากกว่าดินสีอ่อน นอกจากนี้จะเห็นว่าแหล่งน้ำที่อยู่กลางแจ้งจะระเหยมากกว่าแหล่งน้ำที่อยู่ภายใต้ร่มเงาของต้นไม้ สิ่งปลูกสร้างหรือมีแนวกีดขวางทางท้ายลม

2.3 ผลของคุณภาพน้ำ

การอัตราการระเหยจะลดลงในน้ำที่มีสารละลายเจือปนอยู่มาก น้ำบริสุทธิ์หรือน้ำจืดมีความดันไอน้ำมากกว่าน้ำทะเล ส่งผลให้น้ำจืดมีการระเหยได้มากกว่าน้ำทะเลหรือน้ำที่มีความหนาแน่น (ρ) น้อยจะระเหยได้ดีกว่าน้ำที่มีความหนาแน่นมาก

2.4 สมการแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยการระเหย

2.4.1 วิธีงบประมาณ (Water budget method) เป็นวิธีการวิเคราะห์ว่าน้ำจะไม่มีการสูญหาย แต่จะมีการเปลี่ยน

สถานะและเปลี่ยนตำแหน่งที่อยู่ ซึ่งสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นสมการต่อเนื่องที่ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าจะมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำที่ไหลออกบวกกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

สมการต่อเนื่อง

$$Inflow = Outflow + \Delta S \quad (2)$$

แทนค่า

$$I + P = (O + O_g + E) + \Delta S \quad (3)$$

สมการการระเหยโดยวิธีบ่งน้ำ

$$E = (S_1 - S_2) + I + P - O - O_g \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) ข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์การระเหย (E) ได้แก่ ปริมาตรของน้ำที่เปลี่ยนแปลงในอ่างเก็บน้ำ ($S_1 - S_2$) ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (I) ปริมาณน้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำ (O) การรั่วซึมของดินชั้นล่าง (O_g) และปริมาณน้ำฝน (P) วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย แต่ในทางปฏิบัตินั้นค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือได้น้อยเนื่องจากความผิดพลาดจากการประเมินปริมาณน้ำฝน, ปริมาณน้ำไหลเข้าออกของอ่าง, อัตราการรั่วซึม, ปริมาตรเก็บกัก

2.4.2 วิธีงบประมาณ (Energy budget) เป็นวิธีที่คล้ายๆ วิธีบ่งน้ำคือใช้สมการต่อเนื่องในรูปของพลังงานและคำนวณหาปริมาณการระเหยจากปริมาณที่เหลือเพื่อรักษาสมดุลของพลังงาน

สมการต่อเนื่องในรูปของพลังงาน

$$Q_n - Q_h - Q_e = Q_z - Q_v \quad (5)$$

Q_n = รังสีสุทธจากดวงอาทิตย์ของทุกคลื่นความถี่ที่ถูกดูดเก็บโดยน้ำ

Q_h = Sensible heat ที่ถ่ายกลับคืนสู่บรรยากาศ

Q_e = พลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในการระเหย

Q_z = จำนวนพลังงานที่เพิ่มขึ้นและเก็บกักโดยน้ำในอ่าง

Q_v = พลังงานสุทธิของน้ำไหลเข้าและไหลออกจากอ่าง

โดยสมการพลังงานนี้ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของน้ำ ปริมาณความร้อน อุณหภูมิผิวน้ำ อุณหภูมิของบรรยากาศ

ความดันไอน้ำ ความดันบรรยากาศ และพื้นที่ผิวน้ำของทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ

2.4.3 วิธีการอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic method) เป็นวิธีที่พัฒนามาจากสมการแบบ turbulent-transport ซึ่งมีพื้นฐานแนวคิดจาก 2 วิธีด้วยกันคือ การผสมแบบไม่ต่อเนื่องและการผสมแบบต่อเนื่อง ในการพัฒนาสมการเอมไพริกัลต่างๆ เพื่อพิจารณาการระเหยเป็นฟังก์ชันส่วนย่อย ๆ ของบรรยากาศ ตัวอย่างสมการการคำนวณการระเหยของ Dalton [3]

$$E_a = (e_0 - e_a)(a + bV) \quad (6)$$

e_0 = ความดันไอน้ำที่ผิวน้ำ ในบางกรณีใช้ค่าความดันไอน้ำที่จุดอิ่มตัว เมื่ออุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของอากาศ

e_a = ความดันไอน้ำที่จุดซึ่งมีความสูงคงที่จากผิวน้ำ

V = ความเร็วลมที่จุดซึ่งมีความสูงคงที่จุดหนึ่ง

จากที่มีการพัฒนาสูตรขึ้นและทำการตรวจสอบความถูกต้องที่ทะเลสาบเฮฟเนอร์ (Hefner) และทะเลสาบมีด (Mead) โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมจากทะเลสาบเฮฟเนอร์ได้สมการดังนี้

$$E_a = 0.122(e_0 - e_2)V_4 \quad (7)$$

$$E_a = 0.97(e_0 - e_8)V_8 \quad (8)$$

E_a = ปริมาณการระเหยวิธีอากาศพลศาสตร์
ตัวเลข Subscripts ต่างๆ คือความสูงที่อยู่เหนือผิวน้ำ (m.)

ในสมการที่ (7), (8) เป็นสมการที่ให้ผลการคำนวณที่ดีที่สุดที่ทะเลสาบมีดและให้ผลเป็นที่น่าพอใจในทะเลสาบอื่น ๆ และเหตุผลประกอบหลายประการจึงเชื่อว่าเป็นวิธีที่ดีสำหรับประยุกต์ใช้ในกรณีทั่วไป

2.4.4 วิธีผสม (Combination method) เป็นวิธีที่คำนวณจากวิธีการประมาณค่าการการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยวิธีนี้เป็นารผสมผสานระหว่างวิธีงบประมาณและวิธีอากาศพลศาสตร์เป็นข้อมูลหลักในสมการที่ใช้

คำนวณ โดยมีสมการที่ใช้ในการประมาณค่าการระเหยที่มีชื่อเสียงได้แก่ สมการของ Penman [4]

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} E_r + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a \quad (9)$$

โดย E คือค่าคงที่ psychrometric และ $\Delta = de_s / dT$ คือการเปลี่ยนแปลงความดันไออิ่มตัวเทียบกับอุณหภูมิที่ T_a แปรเตอร์ถ่วงน้ำหนัก $\Delta / (\Delta + \gamma)$ และ $\gamma / (\Delta + \gamma)$ มีผลรวมเป็นหนึ่งจึงเป็นสมการพื้นฐานสำหรับวิธีรวมของการคำนวณอัตราการระเหย ซึ่งพัฒนาครั้งแรกโดย [4] ในการเก็บข้อมูลบางรายการไม่มีจำเป็นต้องใช้สมการการระเหยอย่างง่ายกว่านี้ การระเหยเหนือพื้นที่ขนาดใหญ่สัดส่วนของการระเหยจากสมการบพลังงานมีค่ามากกว่า ทำให้พบว่าในเทอมที่สองของสมการที่ (9) มีค่าประมาณ 30% ของเทอมแรก ซึ่งนำมาเขียนเป็นสมการ Priestley-Taylor evaporation equation [5] ได้ดังนี้

$$E = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} E_r \quad (10)$$

โดย $\alpha = 1.3$ ผลการตรวจวัดจากข้อมูลต่าง ๆ พบว่า α มีค่าแปรผันเล็กน้อยของการเคลื่อนที่ของลมจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง

2.5 วิธีลดการระเหย

จากงานวิจัยที่ผ่านมามีความพยายามในการลดการระเหยจากแหล่งกักเก็บน้ำเริ่มต้นในปี 1960 โดยใช้ฟิล์มโมเลกุลเดี่ยวเป็นตัวกันที่ไม่สามารถซึมผ่านได้สำหรับผิวน้ำ และได้มีการพัฒนาวิธีการมากมายที่ช่วยควบคุมการสูญเสียจากการระเหยได้ดีขึ้น วิธีลดการระเหยเป็นการป้องกันปัจจัยที่ส่งผลต่อการระเหย ซึ่งส่วนมากคือปัจจัยทางอุณหภูมิตามธรรมชาติ เช่น รังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ และความเร็วลม ในส่วนของธรรมชาติของผิวน้ำและผลของคุณภาพน้ำเป็นสิ่งที่ควบคุมหรือป้องกันได้ค่อนข้างยาก ในปัจจุบันวิธีลดการระเหยสามารถแบ่งได้ 3 วิธี ได้แก่ วิธีการครอบคลุมทางชีวภาพ (Bio-covering), วิธีการทางสารเคมี (Chemical) และวิธีการทางกายภาพ (Physical)

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

การใช้พืชน้ำ (Floating plants) เป็นการนำพืชลอยน้ำมาปกคลุมผิวน้ำเพื่อลดผิวสัมผัสจากรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งพืชที่นิยมใช้เป็นพืชจำพวกจอก หรือแหน อย่างไรก็ตาม แห่ลงน้ำดิบสำหรับการประปาควรรักษาคุณภาพน้ำไม่ให้มีสารอินทรีย์เจือปนที่จะทำให้ยากต่อการบำบัดและผลิตประปา

การป้องกันลม (Wind breakers) การป้องกันลมโดยการกั้นที่กำบังจากลมและในการทำเช่นนั้นจะเปลี่ยนความเร็วลมและทิศทางลม ความปั่นป่วนของกระแสลมจึงมีผลทางอ้อมต่อกระบวนการระเหย และยังขึ้นอยู่กับลักษณะของกำบังลม ความหนาแน่นหรือความพรุน การวางแนวกับทิศทางลมโดยเฉพาะอย่างยิ่งความสูงของกำบังลม [6] ซึ่งการปลูกต้นไม้ใหญ่ขวางทางลม หรือสร้างสิ่งก่อสร้างขวางทางลมของวิธีนี้มีข้อจำกัดกับขนาดของอ่างเก็บน้ำที่ไม่ใหญ่มากนัก

2.5.2 วิธีการทางสารเคมี

การใช้สารเคมีเคลือบผิวน้ำ (Chemical monolayers) ช่วยลดการระเหยโดยการสร้างฟิล์มที่ไม่ละลายน้ำของโมเลกุลแอสลอสอลโซลิมันชั้นเดียวซึ่งทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันทางกายภาพของโมเลกุลของน้ำที่หลุดออกจากพื้นผิว และป้องกันการเคลื่อนไหวของอากาศที่มีปฏิกิริยากับโมเลกุลของผิวน้ำ นอกจากนี้จะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ จึงทำให้พื้นที่ผิวสำหรับการระเหยลดลง [7] เนื่องจากสารเคมีที่ไม่ละลายน้ำเลยส่งผลให้ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ อย่างไรก็ตามต้องหมั่นเติมสารเคมีเหล่านี้เป็นระยะ สำหรับการวิเคราะห์ด้านค่าใช้จ่ายของวิธีใช้สาร WaterSavrTM [8] ได้ตั้งสมมุติฐานให้ปริมาณการระเหยในช่วงเวลา 3 เดือนคิดเป็น 60% ของปริมาณการระเหยทั้งปี ซึ่งเป็นตัวเลขที่สูงเกินไปและการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ในสภาพแวดล้อมที่ต่างออกไป

2.5.3 วิธีการทางกายภาพ

การสร้างฟองอากาศใต้น้ำ (Air bubble plume) เป็นการให้น้ำในอ่างเกิดการหมุนเวียน ผสมน้ำจากใต้อ่างที่

อุณหภูมิต่ำกว่า กับน้ำใกล้ผิวที่อุณหภูมิสูงกว่า เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิของน้ำที่อยู่ใกล้ผิวลง ส่งผลให้เกิดการพาความร้อนและแลกเปลี่ยนอุณหภูมิทำให้การระเหยลดลง เหมาะสำหรับอ่างที่ลึกและอยู่ในประเทศเขตร้อน [9]

การคลุมผิวน้ำด้วยแผงโซลาร์ (Solar floating) เป็นการนำทุ่นลอยน้ำติดตั้งเหนือผิวน้ำพร้อมทั้งติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ที่ผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณแสงแดดที่จะส่องโดนผิวน้ำพร้อมกับการผลิตพลังงานสะอาด และข้อดีเพิ่มเติมของการใช้แผงโซลาร์เซลล์เหนือคลองชลประทานคือสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ได้ 7% เมื่อเทียบกับ SPVS ภาคพื้นดิน [10] อย่างไรก็ตามวิธีนี้ต้องลงทุนสูงมาก และแผงโซลาร์จำเป็นต้องถูกยึดรั้งให้อยู่นิ่งกับที่ โดยการลดการระเหยเป็นผลพลอยได้ทางอ้อมซึ่งไม่ใช่วัตถุประสงค์หลักของการติดตั้งแผง

การคลุมผิวน้ำด้วยผืนผ้าเหนือผิวน้ำ (Shadecloth) เป็นการสร้างโครงสร้างด้านบนผิวน้ำเพื่อรองรับแผ่นวัสดุคลุมอาจแตกต่างกันไปตั้งแต่มีรูพรุน [11] จนถึงพลาสติกที่ทึบน้ำ [12] ที่ปกคลุมทั่วผิวน้ำ วัสดุคลุมปิดช่วยลดการระเหยโดยป้องกันการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่สัมผัสบริเวณผิวน้ำซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิผิวน้ำและยังช่วยลดการกระทำของลมที่ผิวน้ำในการลดความแตกต่างของความดันไอเหนือผิวน้ำ ลักษณะคล้ายการปิดฝาขวดน้ำ วิธีนี้มีข้อจำกัดกับขนาดของอ่างเก็บน้ำที่ไม่ใหญ่มากนัก

การใช้วัสดุลอยน้ำปกคลุมผิวน้ำ (Floating covers) เป็นการนำพลาสติกทรงต่างๆ ลอยเหนือผิวน้ำเพื่อปกคลุมผิวน้ำ ซึ่งผู้ผลิตเชิงการค้าได้ทำออกมาหลายรูปทรง เช่น ลูกบอลทรงกลม แผ่นกลม Aquacap™ โดยใช้วัสดุ HDPE (High density polyethylene) หรือ Polystyrene เป็นวัสดุที่ทนทานและยอมรับได้มาก มีการวิจัยพบว่าการใช้วัสดุปกคลุมผิวน้ำต่อเนื่องกัน (Continuous floating covers) จะช่วยลดการระเหยได้ดีกว่าการปกคลุมแบบเป็นหย่อมๆ (Modular floating covers) [13] ในการปกคลุมผิวน้ำต้องพิจารณาถึงการแลกเปลี่ยน Oxygen ในน้ำด้วย เพื่อรักษาคุณภาพของน้ำ การปกคลุมมากเกินไปอาจทำให้ปริมาณ Oxygen ในน้ำต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดคุณภาพน้ำที่ดี ซึ่งวัสดุลอยน้ำปกคลุมผิวน้ำยังมีราคาสูง ส่งผลให้อาจไม่

คุ้มค่าในการลงทุน แต่หากนำวัสดุเหลือใช้จำพวกขวด PET และขวดพลาสติกบรรจุทรายลอยปกคลุมผิวน้ำ ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถลดอัตราการระเหยได้และยังมีต้นทุนที่ต่ำ [14] แต่การใช้ขวด PET ลอยน้ำนั้นอาจไม่สามารถป้องกันการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ได้มาก จึงส่งผลให้ลดการระเหยได้ไม่มากเท่ากับการลอยปกคลุมผิวน้ำด้วยวัสดุทึบแสง แต่หากนำขวด PET บรรจุเศษขยะพลาสติกเคลือบอูมิเนียมที่ต้นทุนต่ำมาลอยปกคลุมผิวน้ำจะเป็นการนำเศษพลาสติกมาใช้ให้เกิดประโยชน์และช่วยป้องกันการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ผิวน้ำ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสม

2.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่า

2.6.1 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio)

เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันระหว่างผลตอบแทนกับเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายของโครงการ โดยการแปลงผลตอบแทน เงินลงทุน และค่าใช้จ่ายในช่วงตลอดอายุของโครงการมาเป็นมูลค่าในปัจจุบัน ดังสมการที่ (11)

$$B / C \text{ Ratio} = \frac{PV}{CV} \quad (11)$$

PV = มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน

CV = มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่าย

โดยที่ค่า $B/C \text{ Ratio} \geq 1$ โครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่าการลงทุน และ $B/C \text{ Ratio} < 1$ โครงการให้ผลตอบแทนไม่คุ้มค่าการลงทุน

2.6.2 ต้นทุนต่อหน่วย

เป็นการวิเคราะห์ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการลดปริมาณการระเหยของน้ำได้ 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งต้นทุนต่อหน่วยนี้ยังเป็นตัวชี้วัดและแสดงถึงความน่าสนใจในการลงทุน ดังสมการที่ (12)

$$UC = \frac{AC}{AeR} \quad (12)$$

UC = ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ม³)

AC = เงินลงทุนหรือค่าใช้จ่ายต่อปี (บาท)

AeR = ปริมาณความสามารถลดการระเหยต่อปี (ม³)

3. การเปรียบเทียบวิธีการลดการระเหย

วิธีการลดการระเหยแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการลดการระเหยให้เหมาะสม ในบทความนี้จึงทำการวิเคราะห์และเสนอวิธีการลดการระเหย โดยนำมาพิจารณาเปรียบเทียบเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหย ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และความคุ้มค่า

3.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหย

3.1.1 วิธีการครอบคลุมทางชีวภาพ

การใช้พืชน้ำเป็นการลดผิวสัมผัสจากรังสีดวงอาทิตย์ได้บางส่วน แต่ยังไม่สามารถลดพลังงานความร้อนได้เพียงพอและลมยังสามารถถ่ายเทหรือพัดพาไอน้ำจากผิวน้ำได้

การป้องกันลมเป็นการป้องกันลมที่จะพัดพาไอน้ำซึ่งลมมีผลต่อการระเหยค่อนข้างน้อยหากเทียบกับปัจจัยอื่น และวิธีนี้ไม่สามารถลดพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการระเหยส่งผลให้การระเหยลดลงเพียงเล็กน้อยแสดงดังตารางที่ 2

3.1.2 วิธีการทางสารเคมี

การใช้สารเคมี WaterSavr™ เคลือบผิวน้ำโดยการสร้างฟิล์มที่ไม่ละลายน้ำของโมเลกุลแอลกอฮอล์ไขมันชั้นเดียวป้องกันโมเลกุลของน้ำที่หลุดออกจากพื้นผิว แต่ไม่ป้องกันปัจจัยการระเหยในส่วนอื่นและที่สำคัญสารเคมีที่ใช้จะเสื่อมคุณภาพหากมีคลื่นน้ำหรือความเร็วลมทำให้ความสามารถในการลดการระเหยลดลงและแสดงประสิทธิภาพลดการระเหยแสดงในตารางที่ 2

3.1.3 วิธีการทางกายภาพ

การคลุมผิวน้ำด้วยผืนแผ่นผ้าเหนือผิวน้ำ การใช้ผ้าคลุมเหนือผิวน้ำจำเป็นจะต้องมีโครงสร้างสำหรับการทำให้วัสดุคลุมมีความตึงคล้ายใบเรือโดยรองรับภายนอกด้วยสายเคเบิลและเสาเหล็ก ซึ่งวัสดุที่คลุมเป็นแบบมีรูพรุน (Suspended permeable) และเป็นพลาสติกที่ทึบน้ำ (Suspended impermeable) ผ้าคลุมปิดช่วยลดการระเหยโดยปิดกั้นการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ที่สัมผัสผิวน้ำ ซึ่งจะช่วยป้องกันพลังงานความร้อนลงในแหล่งน้ำ ในส่วน

ผิวดินจะช่วยลดอุณหภูมิผิวน้ำและช่วยลดความเร็วลมที่ผิวน้ำเนื่องจากความเร็วลมจะพัดเอาไอน้ำที่อยู่เหนือผิวน้ำออกไปที่อื่น ทำให้เกิดผลต่างของความดันไอน้ำอึดตัวมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการระเหยมากขึ้น ทั้งนี้ผ้าคลุมยังสามารถดักจับไอน้ำที่ผิวน้ำได้อีกด้วย จากผลการทดสอบผ้าคลุมเป็นแบบมีรูพรุนสามารถลดการระเหยได้ประมาณ 70% และผ้าคลุมเป็นพลาสติกที่ทึบน้ำสามารถลดการระเหยได้ประมาณ 90% [15]

การใช้วัสดุลอยน้ำปกคลุมผิวน้ำ (Floating covers) วัสดุคลุมลอยน้ำประกอบด้วยแผ่นปิดแบบแยกส่วน AquaCap™ และแผ่นเรียบ E-VapCap ที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ วัสดุและวิธีนี้ป้องกันปัจจัยจากรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้ามาและทำหน้าที่เป็นอุปสรรคทางกายภาพในการผ่านของไอน้ำลมและการเปลี่ยนถ่ายอุณหภูมิบางส่วน ทำให้สามารถลดการระเหยได้ค่อนข้างมากโดยที่แผ่นปิดแบบแยกส่วน AquaCap™ สามารถลดการระเหยได้ประมาณ 73% และแผ่นเรียบ (E-VapCap) สามารถลดการระเหยได้ประมาณ 90% [15]

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหยของแต่ละวิธี

Method	Description	Annual Saving%
Bio-covering	Floating plants	10-26 ^{*1}
	Wind breakers	15-25 ^{*2}
Chemical	WaterSavr™	15-30 ^{*3}
Physical	Air bubble plume	10 ^{*4}
	Solar floating	15-20 ^{*5}
	Suspended permeable cover	70 ^{*6}
	Suspended impermeable cover	90 ^{*6}
	Floating sheet type cover (E-VapCap)	90 ^{*6}
	Floating module type cover (AquaCap™)	73 ^{*6}

ตารางที่ 2 (ต่อ) ประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหยของแต่ละวิธี

Method	Description	Annual Saving%
Physical	PET bottles as floating covers	40-60*7
	PET bottles containing plastic waste	70-90

หมายเหตุ 1 [16], 2 [6], 3 [17], 4 [9], 5 [10], 6 [15], 7 [14]

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าวิธีการลดการระเหยที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจะเป็นวิธีทางกายภาพ ซึ่งวิธีทางกายภาพมีหลายรูปแบบ รูปแบบ Suspended impermeable cover และ Floating sheet type cover เป็นรูปแบบที่ลดอัตราการระเหยได้มากที่สุด โดยวิธีนี้เป็นวิธีที่ป้องกันปัจจัยจากการระเหยทั้งรังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิและความเร็วลม ในส่วนวิธีการลอยแบบอิสระสามารถลดอัตราการระเหยได้ในช่วง 70-90% ซึ่งเป็นวิธีที่น่าสนใจและสามารถทำได้จริงโดยเฉพาะการใช้ขวด PET ในการลดอัตราการระเหยของแหล่งน้ำได้ประมาณ 40%-60% แต่หากใช้ขวด PET บรรจุด้วยเศษขยะพลาสติกถุงอูมูนิเยมพอยล์ เป็นการลดปัจจัยจากรังสีดวงอาทิตย์ ส่งผลให้สามารถลดการระเหยได้มากกว่าหรือเท่ากับวิธีทางกายภาพประมาณ 70-90%

3.2 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

วิธีการลดการระเหยในแต่ละวิธีต่างส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน รวมถึงทางด้านทัศนียภาพ วิธีการลดการระเหยทางชีวภาพโดยการใช้จอก หรือแห่นลอยเป็นวิธีที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมากเนื่องจากการเพิ่มสารอินทรีย์ให้กับน้ำส่งผลให้ค่า BOD น้ำสูงขึ้น และการลอยปกคลุมอาจส่งผลให้ออกซิเจนละลายในน้ำได้น้อยลงทำให้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Do) ต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่ยอมให้ สำหรับวิธีการทางสารเคมี WaterSavrTM ถูกอ้างว่าเป็นวิธีที่ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพ

น้ำและส่งผลให้ค่าต่าง ๆ ไม่เกินค่ามาตรฐาน เช่น ค่า TDS (Total Dissolved Solids), ค่า Turbidity, ค่า pH, ค่า DO, ค่า Chlorophyll รวมทั้งไม่มีอันตรายปนื้อพิษ ปลาและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ แต่หากสูดดมหรือสัมผัสสาร WaterSavrTM โดยตรงจะทำให้เกิดการระคายเคืองเล็กน้อย [17] ส่วนวิธีทางกายภาพโดยการคลุมผิวน้ำด้วยผืนแผ่นผ้าเหนือผิวน้ำเป็นวิธีที่ทำให้ระบบนิเวศเสื่อมโทรม เช่น ไม่สามารถทำกิจกรรมทางน้ำได้ส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจ แต่อาจจำเป็นต้องสำรวจตรวจสอบในระยะยาว ส่วนการแลกเปลี่ยนออกซิเจนที่ผิวน้ำได้น้อยมากทำให้คุณภาพของน้ำต่ำลงรวมทั้งอาจทำลายสิ่งมีชีวิตในน้ำที่ต้องการแสงอาทิตย์ในการดำรงชีวิต และวิธีการลอยแบบอิสระเป็นวิธีที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมากเนื่องจากวัสดุที่ใช้เป็นชิ้น ๆ หรือแผ่นที่ไม่ต่อเนื่อง ทำให้อากาศสัมผัสกับน้ำ ส่งผลให้ออกซิเจนสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น ในส่วนของวัสดุที่นำมาลอยปกคลุมผิวน้ำจะใช้ขวด PET บรรจุเศษขยะพลาสติกถุงอูมูนิเยมพอยล์ โดยที่ขวด PET เป็นวัสดุที่สมาคมพลาสติกสหรัฐอเมริกา (The America Plastics Council) ออกมายืนยันว่า “วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขวด PET ไม่มีสาร Diethyl hydroxylamine เป็นสารประกอบ” และไม่มีสาร Bisphenol A [18] เป็นไปตามมาตรฐานภาษาขณะที่ใช้บรรจุอาหารที่นิยมใช้กันทั่วโลก ดังนั้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแน่นอน

3.3 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบความคุ้มค่า

การเปรียบเทียบความคุ้มค่าในบทความนี้ทำการเปรียบเทียบ 2 ส่วน ส่วนแรกอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C ratio) ส่วนที่สองต้นทุนต่อหน่วย ซึ่งสามารถบอกความคุ้มค่าในการลงทุนของแต่ละวิธีได้ ส่งผลให้การเลือกวิธีการลดอัตราการระเหยจำเป็นต้องมีความเหมาะสมและคุ้มค่าเหมาะกับการใช้งาน จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าวิธีทางกายภาพเป็นวิธีที่ลดการระเหยได้มากที่สุดแต่ก็มีค่าใช้จ่ายที่สูงมากและการดำเนินงานจริงเป็นไปได้ค่อนข้างยาก ในส่วนวิธีทางสารเคมี WaterSavrTM เป็นวิธีที่ลดอัตราการระเหยได้น้อยมีค่าใช้จ่ายที่น้อยและในต่างประเทศก็มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย หากมีการลงทุนที่คุ้มค่าและสามารถลดอัตราการระเหยได้มากน่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสม

และเป็นได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสำหรับวิธีการใช้สารเคมี วิธีการลอยแบบอิสระด้วย Modular AquacapTM และวิธีการลอยแบบอิสระโดยการใช้ขวด PET บรรจุเศษขยะพลาสติกถูกลูมิเนียมฟอยล์

สมมุติฐานในการเปรียบเทียบ

- ขนาดของแหล่งน้ำมีค่าเท่ากับ 200,000 ตารางเมตร และความลึกประมาณ 2-3 เมตร

- ประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหยของวิธีการใช้ WaterSavrTM = 15%

- ประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหยของวิธีการใช้ Modular AquaCapTM = 73%

- ประสิทธิภาพการลดอัตราการระเหยของวิธีการใช้ขวดพลาสติก PET บรรจุเศษขยะพลาสติก = 80%

- ข้อมูลอัตราการระเหยเฉลี่ย 5.0 มม./วัน หรือประมาณ 1,825 มม./ปี (ข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำห้วยยาง บ้านหนองซอน ต.โคกกรวด อ.เมือง จ.นครราชสีมา ระหว่างปี 2553-2562)

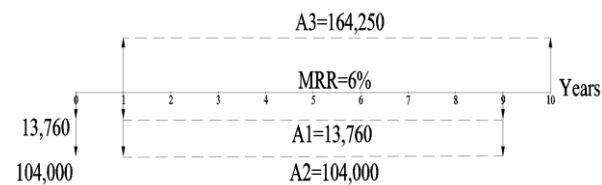
- ผลตอบแทนคำนวณจากราคาน้ำดิบที่ภาคเอกชนเสนอขายมีราคาประมาณ 10-13 บาท/ม³ [19] = 10 บาท/ม³

- อัตราดอกเบี้ยใช้ค่า MRR มีค่าประมาณ 6%, อัตราแลกเปลี่ยนเงิน 31.188 บาท ต่อ 1 \$ ณ-วันที่ 31/10/63 และช่วงเวลา 10 ปี

3.3.1 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของวิธีการใช้สารเคมี

ข้อมูลในการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของวิธีใช้สารเคมีโดย [8] ค่าวัตถุดิบ 173 บาท/กิโลกรัม ปริมาณการใช้สารเคมีต่อพื้นที่ 0.1 กรัม/ม² ค่าแรงงานรวมกับค่าเครื่องจักร 50,000\$/5600ac และเติมสาร WaterSavrTM ทุก ๆ 3 วัน จากข้อมูลดังกล่าวได้ค่าวัตถุดิบประมาณ 104,000 บาท/ปี ค่าแรงงานรวมกับค่าเครื่องจักรประมาณ 13,760 บาท/ปี ส่วนปริมาณน้ำที่ได้จากการลดอัตราการระเหย ช่วงระยะเวลาที่พิจารณา คือ 2.6 เดือนซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการระเหยประมาณ 30% ของการระเหยต่อปี มีค่าประมาณ (AeR) 16,425 m³ สำหรับผลตอบแทนจะคำนวณจากราคาน้ำดิบที่ภาคเอกชนเสนอขาย ทำให้วิธี

สารเคมีนี้มีผลตอบแทนประมาณ 164,250 บาท/ปี Cash flow ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 Cash flow ของวิธีการใช้สารเคมี

จากรูปที่ 2 ผลกำไร ณ ปัจจุบัน (B)

$$= 164,250 (P/A, 6\%, 10)$$

$$= 1,208,894.78 \text{ บาท}$$

ค่าใช้จ่าย ณ.ปัจจุบัน (C)

$$= 117,7600 (P/A, 6\%, 9) + 117,760$$

$$= 918,727.01 \text{ บาท}$$

ดังนั้นค่า B/C Ratio มีค่าเท่ากับ 1.32

และมีค่าใช้จ่ายต่อปี (AC)

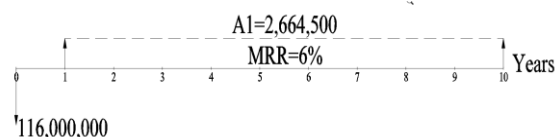
$$= 918,727.01 (A/P, 6\%, 10)$$

$$= 124,827.44 \text{ บาท}$$

มีต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ 7.60 บาท/ม³

3.3.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของวิธีการลอยแบบอิสระด้วย Modular AquacapTM

ข้อมูลในการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของวิธีวิธีการลอยแบบอิสระด้วย Modular AquacapTM ซึ่งวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายของ AquacapTM ต่อตารางเมตรเท่ากับ 583 บาท/ม² ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการลงทุนมีค่าเท่ากับ 116,600,000 บาท ในส่วนของกำไรจากการประหยัดน้ำของการลดการระเหยได้ (AeR) 266,450 m³/ปี คิดเป็นจำนวนเงินเท่ากับ 2,664,500 บาท/ปี นำไปเขียน Cash flow



รูปที่ 3 Cash flow ของวิธีการใช้ Modular AquacapTM

จากรูปที่ 3 คำนวณผลกำไร ณ ปัจจุบัน (B)

$$= 2,664,500 (P/A, 6\%, 10)$$

$$= 19,610,959.81 \text{ บาท}$$

ค่าใช้จ่าย ณ ปัจจุบัน (C) = 116,000,000 บาท

ดังนั้นค่า B/C Ratio มีค่าเท่ากับ 0.17

และมีค่าใช้จ่ายต่อปี (AC)

$$= 116,000,000 (A/P, 6\%, 10)$$

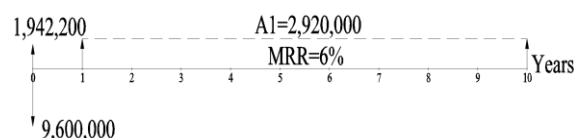
$$= 15,760,920 \text{ บาท/ปี}$$

มีต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ 59.15 บาท/ม³

3.3.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของวิธีการลอยแบบ อิสระด้วยขวด PET บรรจุเศษขยะพลาสติกถุงอูมิเนียม ฟอยล์

ข้อมูลในการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของวิธีการลอยแบบอิสระโดยใช้ขวด PET บรรจุเศษขยะพลาสติกถุงอูมิเนียมฟอยล์ ค่าใช้จ่ายโดยใช้ขวดพลาสติกขนาดบรรจุ 600 ml. มีขนาดความสูงประมาณ 20 cm. กว้างและยาวประมาณ 6 cm. เมื่อลอยในน้ำจะทำให้กินพื้นที่ผิวประมาณ 0.012 m³ ทำจากพลาสติก PET (Polyethylene terephthalate) ฝาขวดทำจาก PP (Polypropylene) หรือ HDPE (High density polyethylene) โดยจำนวนขวดที่ใช้ประมาณ 83 ขวด/ม² ซึ่งขวดมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 0.015 กิโลกรัม/ขวด และในการบรรจุขยะพลาสติกถุงอูมิเนียมฟอยล์ ใส่ขวด PET ใช้อัตราค่าแรงขั้นต่ำ 315 บาท/วัน บรรจุได้ 640 ขวด/วัน ค่าวัสดุดิบประมาณ 7.5 บาท/ม² ค่าแรงรวมค่าดำเนินการ 40.5 บาท/ม² รวมค่าใช้จ่ายประมาณ 48 บาท/ม² คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการลงทุน 9,600,000 บาท ส่วนผลตอบแทนจะคำนวณจากราคาน้ำดิบที่ภาคเอกชนเสนอ และการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะพลาสติก ซึ่งในการกำจัดขยะมีต้นทุนต่อหน่วยในการกำจัดประมาณ 1,800 บาทต่อตัน [20] น้ำหนักของขยะพลาสติกจำพวกถุงอูมิเนียมฟอยล์ประมาณ 0.05 kg/ขวด ซึ่งน้ำหนักของขยะพลาสติกทั้งโครงการประมาณ 1,079 ตัน ผลกำไรจากการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะพลาสติกของโครงการประมาณ 1,942,200 บาท การประหยัดน้ำที่ได้จากการลดอัตราการระเหยได้ประมาณ (AeR) 292,000 m³ คิดเป็นผลกำไรจาก

การลดอัตราการระเหยได้ 2,920,000 บาท/ปี ได้นำข้อมูลผลกำไรและค่าใช้จ่ายของวิธีการลอยแบบอิสระโดยใช้ขวด PET บรรจุเศษขยะพลาสติกไปเขียน Cash flow ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 Cash flow ของวิธีการใช้ขวด PET บรรจุเศษขยะพลาสติก

จากรูปที่ 4 คำนวณผลกำไร ณ ปัจจุบัน (B)

$$= 1,942,200 + 2,920,000 (P/A, 6\%, 10) =$$

$$21,491,462.80 \text{ บาท}$$

ค่าใช้จ่าย ณ ปัจจุบัน (C) = 9,600,000 บาท

ดังนั้นค่า B/C Ratio มีค่าเท่ากับ 2.24

และมีค่าใช้จ่ายต่อปี (AC)

$$= (9,600,000 - 1,942,200) (A/P, 6\%, 10)$$

$$= 1,040,465.29 \text{ บาท/ปี}$$

มีต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ 3.56 บาท/ม³

ตารางที่ 3 ผลสรุปต้นทุนต่อหน่วยของแต่ละวิธี

Method	Description	Unit Cost (฿/m ³)	หมายเหตุ
Bio-covering	Floating plants	-	ต้นทุนต่ำมาก แต่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อน
	Wind breakers	-	ควบคุมยาก เนื่องจากทิศทางลมไม่สม่ำเสมอ

ตารางที่ 3 (ต่อ) ผลสรุปต้นทุนต่อหน่วยของแต่ละวิธี

Method	Description	Unit Cost (฿/m ³)	หมายเหตุ
Chemical	WaterSavr™	7.60	มาจากการวิเคราะห์ข้อมูล
Physical	Air bubble plume	-	ลดอัตราการระเหยได้น้อย
	Solar floating	-	ไม่ใช่วัสดุประสงค์หลักในการใช้งาน
	Suspended permeable cover	16.22	[15]
	Suspended impermeable cover	35.55	[15]
	Floating sheet type cover	9.36	[15]
	floating module type cover	59.15	มาจากการวิเคราะห์ข้อมูล
	PET bottles as floating covers	5.61	[14]
	PET bottles containing plastic waste	3.56	มาจากการวิเคราะห์ข้อมูล

จากตารางที่ 3 แสดงต้นทุนต่อหน่วยของแต่ละวิธี พบว่าวิธีการลอยแบบอิสระโดยใช้ขวด PET บรรจุเศษขยะพลาสติกถุงอูมเนียมพอยล์เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด และเป็นวิธีทางกายภาพ ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการ

ลดอัตราการระเหยมากที่สุดตามตารางที่ 2 อย่างไรก็ตาม ต้องคำนึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

4. สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

ผลของการลดอัตราการระเหยด้วยวิธีการครอบคลุมทางชีวภาพสามารถลดอัตราการระเหยได้ 10-26% เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพของการลดการระเหยที่ต่ำที่สุด และใช้ต้นทุนน้อยมาก แต่ส่งผลเสียต่อคุณภาพน้ำเนื่องจากมีสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำดิบเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นวิธีนี้เหมาะสมกับแหล่งน้ำที่มีขนาดเล็ก

สำหรับวิธีทางสารเคมีลดอัตราการระเหยได้ 15-30% เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพของการลดการระเหยที่สูงกว่าวิธีทางชีวภาพเพียงเล็กน้อย มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำและมีค่า B/C Ratio มีค่าเท่ากับ 1.32 แต่หากเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยมีค่าเท่ากับ 7.60 บาท/ม³

ส่วนวิธีทางกายภาพโดยการลอยแบบอิสระด้วย Module Aquacap™ สามารถลดอัตราการระเหยได้มากที่สุดอยู่ในช่วง 70-90% ส่งผลกระทบบ้านสิ่งแวดล้อมค่อนข้างน้อยมาก แต่เป็นวิธีที่มีต้นทุนต่อหน่วยที่สูงเท่ากับ 59.15 บาท/ม³ และค่า B/C Ratio เท่ากับ 0.17 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.0 แสดงว่าวิธีนี้ไม่คุ้มค่าที่จะลงทุน อย่างไรก็ตาม การลอยแบบอิสระโดยใช้ขวด PET อย่างเดียวเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำและประสิทธิภาพของการลดอัตราการระเหยน้อยกว่าที่ควรจะเป็นอาจเนื่องมาจากขวด PET ลอยน้ำอย่างเดียวไม่สามารถปกป้องปัจจัยจากแสงอาทิตย์ได้ ดังนั้นการใช้ขวด PET บรรจุด้วยเศษขยะพลาสติกถุงอูมเนียมพอยล์จะเป็นการสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์และลดอุณหภูมิที่ผิวน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้ลดอัตราการระเหยได้มากขึ้น และการใช้เศษขยะพลาสติกถุงอูมเนียมพอยล์เป็นการลดต้นทุนในการทำลายเศษขยะที่นำไปใช้ ส่งผลให้ต้นทุนต่อหน่วยมีค่าเท่ากับ 3.56 บาท/ม³ มีค่า B/C Ratio เท่ากับ 2.24 และวิธีการลอยแบบอิสระโดยใช้ขวด PET บรรจุด้วยเศษขยะพลาสติกถุงอูมเนียมพอยล์เป็นวิธีที่มีนวัตกรรมและหาได้ง่าย หากในชุมชนมีการสนับสนุนการคัดแยกขยะดังกล่าวอาจส่งผลให้ต้นทุนต่ำลงและ

สนับสนุนกิจกรรมเสริมสร้างความสัมพันธ์ในชุมชน ในส่วน อลูมิเนียมพอยล์มีค่าน้อยกว่าราคาค่าน้ำดิบที่ขายให้กับ
ของภาคเอกชนค่าใช้จ่ายต้นทุนต่อหน่วยของการลดอัตรา ทางนิคมอุตสาหกรรมและโรงงานมาก ส่งผลให้วิธีนี้เป็นวิธีที่
การระเหยด้วยขวด PET บรรจุด้วยเศษขยะพลาสติกถูก น่าสนใจในการลงทุน

เอกสารอ้างอิง

- [1] พิศ คงบริรักษ์ และกฤติกา สืบศักดิ์. (2011). การระเหยของน้ำในประเทศไทย คับ 10 ปี (2001-2010). ใน *เอกสารผลงานวิชาการอตุณนิยมวิทยา 30 กันยายน 2011* (หน้า 30-38). กรุงเทพฯ: กระทรวงเทคโนโลยีและการสื่อสาร.
- [2] ลุ่มน้ำชี. (ม.ป.ป). *ปริมาณน้ำท่า*. สืบค้น 22 ธันวาคม 2563, จาก <https://sites.google.com/site/lumnachi/priman-natha>
- [3] กิริติ สิวจินกุล. (2552). *อุทกวิทยา (HYDROLOGY)*. (พิมพ์ครั้งที่ 3). ปทุมธานี: SPEC.
- [4] Penman, H.L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc.Roy.Soc.London*, A193:120-146.
- [5] ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร. (2562). *อุทกวิทยาสำหรับวิศวกร*. (พิมพ์ครั้งที่ 1). ห้างหุ้นส่วนจำกัด มิตรภาพการพิมพ์ 1995: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [6] Helfer, F., Zhang, H., & Lemckert, C. (2010). *Evaporation reduction by windbreaks: Overview, modelling and efficiency*: Urban Water Security Research Alliance.
- [7] Mer, V. K. L., Aylmore, L., & Healy, T. W. (1963). The ideal surface behavior of mixed monolayers of long-chain n-paraffinic alcohols. *The Journal of Physical Chemistry*, 67(12), 2793-2795.
- [8] 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*.
- [9] Helfer, F. (2012). *Influence of air-bubble plumes and effects of climate change on reservoir evaporation*: Griffith University.
- [10] Keya, A. (2015). Solar Plant A top Irrigation Canal Impresses UN Chief. *India Climate Dialogue*.
- [11] Finn, N., & Barnes, S. (2007). The benefits of shade-cloth covers for potable water storages.
- [12] Álvarez, V. M., Baille, A., Martínez, J. M. M., & Real, M. M. G. (2006). Effect of black polyethylene shade covers on the evaporation rate of agricultural reservoirs. *Spanish Journal of Agricultural Research*(4), 280-288.
- [13] Craig, I. P. (2005). Loss of storage water due to evaporation-a literature review.
- [14] 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.
- [15] Yao, X., Zhang, H., Lemckert, C., Brook, A., & Schouten, P. (2010). Evaporation reduction by suspended and floating covers: overview, modelling and efficiency. *Urban water security research alliance technical report*, 28.

- [16] Elba, E. (2017). Strategies for protection and sustainable environmental management or the Highest Aswan dam in Egypt considering climate change, *disserta verlag, Hamburg, page 36*
- [17] Babu, P. S., Eikaas, H. S., Price, A., & Verlee, D. (2010). Reduction of evaporative losses from tropical reservoirs using an environmentally safe organic monolayer. *Singapore International Water Week, Singapore.*
- [18] ศูนย์ทดสอบวัสดุสัมผัสอาหารของอาเซียน กรมวิทยาศาสตร์บริการ. (2559). น้ำดื่มบรรจุขวด PET อันตรายจริงหรือไม่. สืบค้น 3 สิงหาคม 2563, จาก http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_knowledge/FCM_02_2559_PET.pdf
- [19] บริษัท จัดการและพัฒนาทรัพยากรน้ำภาคตะวันออก จำกัด (มหาชน). (2562). อัตราค่าน้ำดิบของบริษัท. สืบค้นจาก <https://investor.eastwater.com/th/ir-corner/faq>
- [20] ภัทรานิษฐ์ ปริญากุลเสฏฐ์. (2017). การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของโรงจัดการขยะแบบครบวงจร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. *Journal of Professional Routine to Research*, 4, 46-55.