

แสงอาทิตย์แบบ SALT GRADIENT

(สรุขัย ลิมย้งเจริญ *)

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงคุณลักษณะทางกายภาพ ความเป็นมา ศักยภาพในการเป็นแหล่งจ่ายพลังงานของแสงอาทิตย์และยังรวมถึงวิธีการสร้างการดำเนินงานของสระ และปัญหาต่าง ๆ ที่ควรมีการค้นคว้าหาคำตอบ บทความได้มีการแสดงการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพได้ด้วย

1) หลักการทำงานของสระแสงอาทิตย์แบบ Salt Gradient

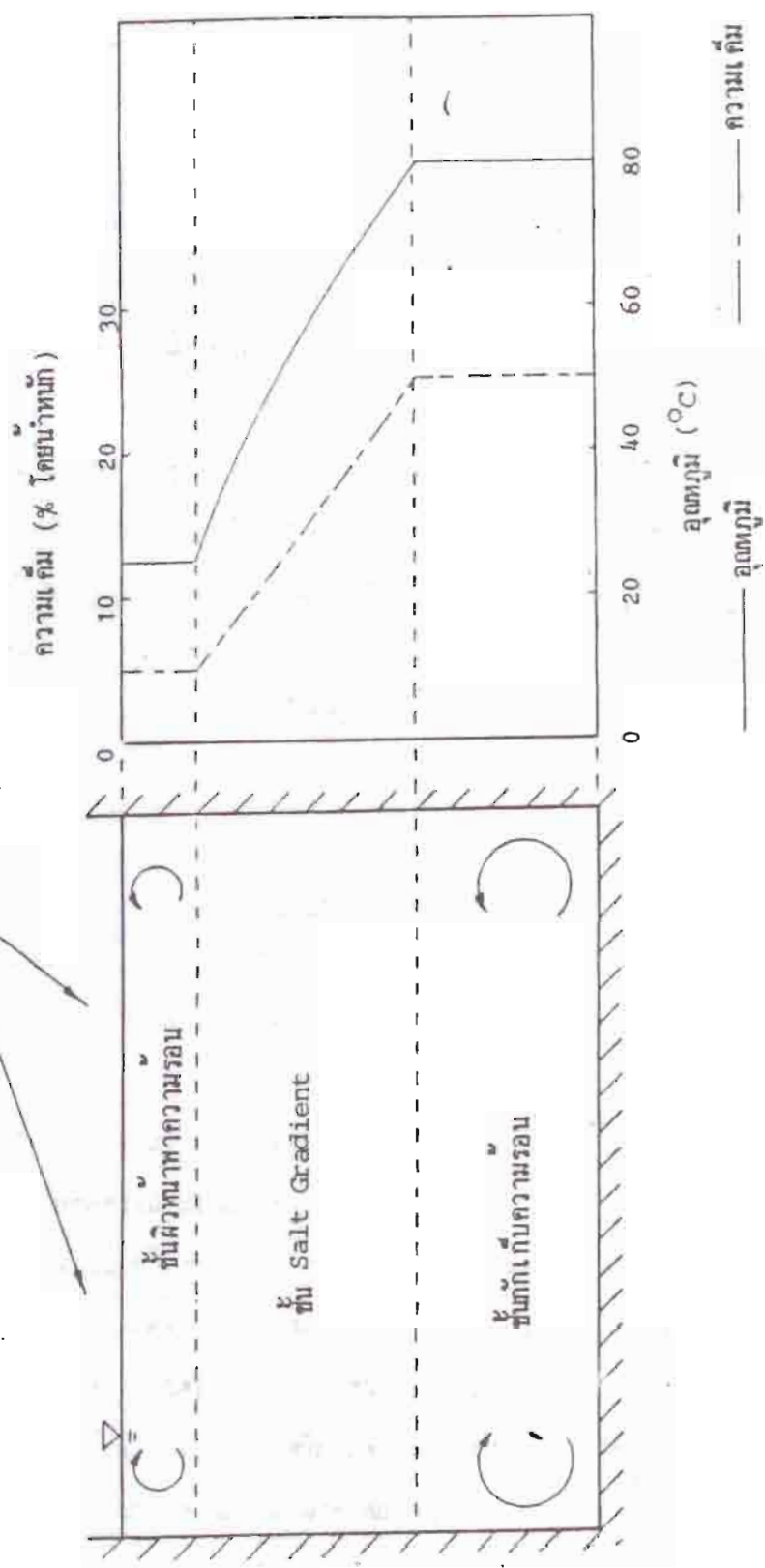
การทำงานของสระแสงอาทิตย์แบบ Salt Gradient นั้น อาศัยคุณลักษณะสองประการคือ 5,6,9

ก. คุณสมบัติโปร่งแสงของน้ำ

ข. การขจัดความร้อนในแนวตั้ง โดยอาศัย Salt Gradient

สระแสงอาทิตย์ดังกล่าว มีลักษณะเป็นสระน้ำเกลือ โดยปกติลึกประมาณ 2-3 เมตร โดยมีความเค็ม (ความเข้มข้นของเกลือ) เพิ่มขึ้นตามความลึกของน้ำ ซึ่งก็จะทำให้ความหนาแน่นของน้ำเกลือเพิ่มขึ้นตามความลึกไปด้วย โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งชั้นของน้ำในสระแสงอาทิตย์แบบนี้ออกเป็น 3 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 1 คือ

1. ชั้นผิวหน้าพาความร้อน (Top Convective Zone) หนาประมาณ 0.2-0.5 ม.
2. ชั้น Salt Gradient (Nonconvective Salt Gradient Zone) ซึ่งไม่พาความร้อน หนาประมาณ 0.5-1.2 ม. ขึ้นอยู่กับการออกแบบ สระ และ
3. ชั้นกักเก็บความร้อนก้นสระ (Bottom Convective Zone) มีการพาความร้อน ความหนาขึ้นอยู่กับลักษณะการทำความร้อนที่เก็บกักได้ในชั้นนี้ไปใช้งาน



รูปที่ 1 รูปหน้าตัดทางแนวตั้งของสระแสงอาทิตย์แบบ Salt Gradient

การที่น้ำมีคุณสมบัติโปร่งแสงนั้น ทำให้แสงแดดบางส่วนสามารถส่องผ่านลงไปถึงก้นสระได้ และบางส่วนก็ถูกดูดซับโดยโมเลกุลของน้ำและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปความร้อน ในสระแสงอาทิตย์เราสร้างชั้น Salt Gradient ในลักษณะที่ความหนาแน่นของน้ำเกลือในระดับที่ลึกกว่ายังคงมีความหนาแน่นของเกลือในระดับที่ตื้นกว่า ถึงแม้ว่าน้ำเกลือในระดับที่ลึกกว่านั้นจะมีการขยายตัว (ซึ่งทำให้ความหนาแน่นของน้ำลดลง) อันเนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมิที่ก้นสระโดยความร้อนจากแสงแดดก็ตาม การสร้างชั้น Salt Gradient ในลักษณะนี้จะช่วยลดการพาความร้อนในแนวดิ่ง ซึ่งความร้อนจะสูญเสียผ่านชั้น Salt Gradient ได้ก็โดยเพียงการนำความร้อนเท่านั้น ซึ่งจะมีปริมาณต่ำ เพราะน้ำที่อยู่เบื้องบนเป็นฉนวนความร้อนที่ดี และอีกประการหนึ่งน้ำมีคุณสมบัติที่ยอมให้รังสีคลื่นยาวซึ่งเป็นคลื่นความร้อนอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีผ่านไปได้ หรือเรียกได้ว่า "กักเก็บความร้อน" ด้วยการทำงานในลักษณะดังกล่าว ความร้อนจากแสงแดดก็จะถูกกักเก็บไว้ในชั้นพาความร้อนก้นสระซึ่งเราสามารถนำไปใช้งานต่อไปได้ สระแสงอาทิตย์จึงมีสิ่งดึงดูดใจสองชั้น คือ มีความสามารถในการเก็บกักพลังงานความร้อนในตัว ขณะที่ทำหน้าที่เป็นแผงรับแสงแดดซึ่งมีราคาค่อนข้างถูกเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ

2) ประวัติของการพัฒนาสระแสงอาทิตย์แบบ Salt Gradient

Kalecsinsky⁹ เป็นคนแรกที่สังเกตและรายงานถึงทะเลสาบแสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ในปี พ.ศ. 2445 และได้เสนอแนะให้มีการสร้างทะเลสาบแสงอาทิตย์ขึ้น เพื่อเก็บพลังงานแสงแดดมาใช้ทั้งในครัวเรือนและอุตสาหกรรม

งานพัฒนาสระแสงอาทิตย์เริ่มอย่างจริงจังในอิสราเอล ใน พ.ศ. 2501 โดย Tabor^{8,9} โดยเริ่มจากสระเล็ก ๆ ในห้องปฏิบัติการซึ่งมีอยู่หลายสระ และขยายขึ้นเป็นสระขนาดใหญ่กลางในสนามทดลองต่าง ๆ Dead Sea 3 สระในช่วง พ.ศ. 2501 ถึง 2509

เริ่มแรกนักอิสราเอลตั้งใจเป้าหมายที่จะใช้สระแสงอาทิตย์ได้สูงกว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า แต่ต่อมาค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจากสระแสงอาทิตย์ได้สูงกว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจากน้ำมัน จึงได้มีการพิจารณาการนำสระแสงอาทิตย์ไปใช้ในงานอื่น ๆ ด้วย ในช่วงนี้อิสราเอลได้ศึกษาทางทฤษฎีของเสถียรภาพ คุณภาพพลังงานและศาสตร์ของสระแสงอาทิตย์ และได้เรียนรู้ปัญหาจากสระในสนามทดลอง เช่น ปัญหาการสูญเสียความร้อนจากการไหลของน้ำ

ไต้ดิน ปัญหาฟองแก๊สที่เกิดจากจุลินทรีย์ในดิน เป็นต้น

โครงการสระแสงอาทิตย์ของอิสราเอลได้ขังไปหลัง พ.ศ. 2509 เนื่องจากสงครามตะวันออกกลาง และเริ่มใหม่อีกครั้งใน พ.ศ. 2518 หลังวิกฤตการณ์พลังงานซึ่งเกิดขึ้นจากกลุ่มประเทศผู้ส่งออกน้ำมันใน พ.ศ. 2518 เป็นต้นมาอิสราเอลได้สร้างสระแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ไปแล้ว 4 สระ สระหลังสุดอยู่ที่ Ein Bokek มีพื้นที่ 7,500 ตารางเมตรอยู่ข้าง ๆ Dead Sea สระนี้ใช้ระบบ Organic Rankine Cycle Engine ที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 35 กิโลวัตต์ต่อเนื่องและจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 300 กิโลวัตต์ และขณะนี้อิสราเอลกำลังสร้างสระแสงอาทิตย์ขนาดหนึ่งในสี่ตารางกิโลเมตร ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าสูงสุดได้ถึง 5 เมกะวัตต์

ตั้งแต่ Tabor ได้เริ่มต้นพัฒนาสระแสงอาทิตย์ในอิสราเอลประเทศอื่น ๆ หลายประเทศก็ได้ดำเนินโครงการวิจัยทางสระแสงอาทิตย์ทางคานต่าง ๆ เช่น ใน อิสราเอล รัสเซีย แคมเบีย อินเดีย ออสเตรเลีย และที่สำคัญคือสหรัฐอเมริกา^{2,5,6,9} ซึ่งเริ่มในปี พ.ศ. 2517 โดย Nielsen ที่ Ohio State University และได้มีการสร้างสระแสงอาทิตย์ที่สำคัญ ๆ ในสหรัฐอเมริกา คือ สระขนาด 200 ตารางเมตร ที่ Ohio State University ใน พ.ศ. 2518 สระขนาด 170 ตารางเมตร ที่ New Mexico ใน พ.ศ. 2518 สระขนาด 2000 ตารางเมตร ที่ Miamisburng, Ohio ใน พ.ศ. 2502 สระขนาด 4000 ตารางเมตร ที่ Chattanooga, Tennessee พ.ศ. 2525 และในขณะนี้ได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะเปลี่ยนพื้นที่บางส่วนของ Salton Sea ใน Southern California เป็นสระแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่

3) การประยุกต์ใช้งานสระแสงอาทิตย์แบบ Salt Gradient

สระแสงอาทิตย์แบบ Salt Gradient จะมีประสิทธิภาพทางความร้อนประมาณร้อยละ 10-20 นั่นคือกำลังความร้อนที่เรานำมาใช้งานได้มีอัตราส่วนประมาณร้อยละ 10-20 ของกำลังแสงแดดที่ตกกระทบผิวน้ำในสระ ความแตกต่างของอุณหภูมิที่กั้นสระกับอุณหภูมิผิวสระจะอยู่ระหว่าง 30-60 °C ขึ้นอยู่กับการออกแบบสระและภูมิอากาศของสถานที่ตั้ง ในเขตร้อนแบบประเทศไทยเราอาจคาดหวังในทางที่ดีว่าอุณหภูมิที่กั้นสระอาจสูงถึง 90 °C.

พลังงานความร้อนที่ได้จากสระแสงอาทิตย์แบบ Salt Gradient นี้สามารถนำไปใช้

ประโยชน์โดยแยกหัวข้อได้ ดังนี้.-

ก. โซล เป็นแหล่งจ่ายความร้อนแก่เครื่องยนต์ Organic (Rankine Cycle) ซึ่งผลิตไฟฟ้าที่ตั้งทำอยู่ในประเทศอิสราเอล¹ การผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์มีอนาคตมากพอสมควรเมื่อเปรียบเทียบราคากับระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลและระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในท้องที่ชนบทที่ห่างไกล ระบบที่ใช้แสงอาทิตย์จะได้เปรียบมากขึ้นเมื่อพิจารณาการพึ่งตนเองทางเทคโนโลยีและด้านบุคลากร ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญยิ่งด้านหนึ่งของประเทศกำลังพัฒนา

ข. โซล เป็นแหล่งจ่ายความร้อนทั้งในรูปแหล่งพลังงานหลักและแหล่งพลังงานเสริมแก่ขบวนการทางอุตสาหกรรมที่ใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำ ดังเช่นในออสเตรเลียได้มีการวิจัยที่จะนำความร้อนจากแสงอาทิตย์แบบ Salt Gradient ไปใช้ในโรงงานฟอกเกลือให้บริสุทธิ์ (Salt Refinery)⁴ ตัวอย่าง อุตสาหกรรมที่ใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมสูบน้ำ อุตสาหกรรมอาหารแห้ง เป็นต้น

ค. โซล เป็นแหล่งจ่ายความร้อนทำความอบอุ่นให้กับอาคารบ้านเรือน การใช้งานในแง่นี้จะเป็นประโยชน์แก่ประเทศในเขตอบอุ่น แต่ไม่เกิดประโยชน์กับประเทศในเขตร้อนมากนัก

ง. โซล เป็นแหล่งจ่ายความร้อนให้กับขบวนการทำน้ำจืดจากน้ำเค็ม (Desalination) การใช้งานนี้จะเป็นประโยชน์เฉพาะกับประเทศที่น้ำจืดได้ยาก เช่น ประเทศแถบตะวันออกกลางที่พื้นที่บางส่วนของประเทศ เป็นทะเลทราย

สำหรับประเทศไทยเราจะเห็นได้ว่าศักยภาพของแสงอาทิตย์มีมากสำหรับที่จะเป็นแหล่งจ่ายความร้อนให้แกขบวนการอุตสาหกรรม และเป็นแหล่งจ่ายความร้อนสำหรับผลิตไฟฟ้า หรืออาจจะใช้ผลิตทั้งความร้อนและกระแสไฟฟ้าสำหรับอุตสาหกรรมพร้อมกันไปก็ได้ พื้นที่ที่ควรพิจารณาทำแสงอาทิตย์ไปใช้ได้แก่บริเวณชายฝั่งทะเล และพื้นที่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีชั้นของหินเกลืออยู่อย่างมากมาย

4. การสร้างและดำเนินการใช้งานของสระแสงอาทิตย์

องค์ประกอบที่สำคัญที่จะทำสระแสงอาทิตย์มาใช้งานได้คือ การขุดสร้างตัวสระ การสร้าง Salt Gradient ขึ้นในสระ การดูแลและควบคุม Salt Gradient และการนำความร้อนออกมาใช้งาน

ก. การเลือกสถานที่และขุดสร้างตัวสระ

สิ่งที่มาก่อนการขุดสร้างตัวสระคือการเลือกสถานที่ตั้งซึ่งจะมีผลอย่างมากทั้งต่อการขุดสร้างตัวสระ และการดำเนินการของสระ คุณสมบัติที่เอื้ออำนวยต่อสระแสงอาทิตย์มีดังนี้คือ

3,6,9

- มีแสงแดดดี
- ใกล้เคียงแหล่งเกลือ
- ใกล้เคียงน้ำที่จะใช้ในการดำเนินการของสระ
- ดินแห้งระบายน้ำได้ดีเพื่อเป็นฉนวนหุ้ม
- บริเวณพื้นที่ราบ เพื่อลดการขุดและเคลื่อนย้ายดิน
- ดินมีการเกาะกลุ่มกันดี เพื่อความแข็งแรงและคงรูปของผนังสระ
- บริเวณที่มีความเร็วลมต่ำ เพื่อลดการระเหยของน้ำและลดการระเหยของน้ำ
- บริเวณที่ปราศจากฝุ่นละอองและใบไม้ที่จะปลิวลงไปทำความสกปรกให้กับสระ
- ทางขึ้นน้ำใต้ดินที่จะพาความร้อนจากสระหนีไป
- น้ำท่วมไม่ถึง
- สภาพแวดล้อมเหมาะในการทิ้งน้ำเกลือ หรือสามารถ Recycle น้ำเกลือได้
- ใกล้เคียงที่ต้องการพลังงาน

คุณสมบัติที่กล่าวมาบางครั้งก็ขัดแย้งกันต้องมีการประนีประนอม เช่น ดินที่เป็นฉนวนระบายน้ำใต้ดินยากและเก็บน้ำไม่อยู่ ซึ่งอาจต้องลงทุนเพิ่มโดยบุพลาสติกกันซึมซึ่งต้องลงทุนเพิ่ม

การขุดสระอาจ เป็นลักษณะใดก็ได้ เป็นผนังขอบสระ ในรูปของคันดิน เพื่อลดปริมาตรของดินที่ต้อง เคลื่อนย้ายผนังของสระ ถ้าอยู่ในแนวตั้งได้ก็จะลดปัญหาเสถียรภาพของชั้น Salt Gradient เนื่องจากความลาดเทได้

ผนังสระ ขอบสระและพื้นที่สระต้องมีการบดอัดเพื่อความแข็งแรงทางโครงสร้าง ไม่ให้เกิดการยุบตัวของสระต้องมีการทำให้ลาดเทระบายน้ำฝนที่จะชะล้างสิ่งสกปรกให้ไหลออกไปจากตัวสระไม่ให้ไหลลงสระ

รูปร่างของสระอาจ เป็นสี่เหลี่ยมหรือกลมหรือรูปร่างอื่นที่เหมาะสมก็ได้ แต่ควรคำนึงถึงความร่อนสูญเสียที่วงรอบของสระด้วย

ข. การเติมน้ำลงสระและการสร้าง Salt Gradient

ในสระแสงอาทิตย์ เราต้องการสร้างชั้นน้ำเกลือ 2 ชั้นเท่านั้นคือชั้นล่างสุดที่มีความหนาแน่นเท่ากันทั้งชั้นสำหรับเก็บความร่อนและชั้น Salt Gradient ที่เป็นฉนวนความร่อน ส่วนชั้นผิวหน้าความร่อนนั้นเราไม่ต้องการ แต่ชั้นนี้จะเกิดขึ้นเองจากความไร้เสถียรภาพ เนื่องจากการคูดัชนีรังสีความร่อนที่ผิวน้ำและสิ่งรบกวนอื่น ๆ

ชั้นสะสมความร่อนกันสระนั้นสร้างขึ้นโดยเทเกลือในปริมาณที่เหมาะสมลงกับสระแล้ว ฉีกน้ำละลายจนได้ความหนาของชั้นและความหนาแน่นตามต้องการ ในการทำละลายเกลือนั้นเมื่อน้ำเกลือมีความเข้มข้นมากขึ้น จะทำละลายเกลือได้ช้าลงจึงอาจจำเป็นต้องใช้สูบลูบหน้าเกลือ ฉีกกองเกลือวนเวียนจนกว่าจะละลายหมดซึ่งอาจกินเวลานาน การหาแหล่งน้ำเกลือเข้มข้นได้จากแหล่งใกล้เคียงจะเป็นการสะดวกและทันเวลากว่า

ชั้น Salt Gradient มีวิธีการสร้างที่นิยมกัน 2 วิธี วิธีแรกนิยมสำหรับสระขนาดเล็กใช้ในงานวิจัย^{6,9} วิธีนี้ทำได้โดยผสมน้ำเกลือเต็มลงสระทับกันเป็นชั้น ๆ ชั้นละ 5-6 เซนติเมตร โดยให้ชั้นที่เติมทีหลังมีความหนาแน่นน้อยกว่าชั้นที่เติมลงไปก่อนหน้า ทั้งนี้จะต้องมีการคำนวณหาความหนาแน่นของน้ำเกลือแต่ละชั้นให้เหมาะสมด้วย ในการเติมปลายท่อน้ำเกลือเข้าสระอาจวางอยู่บนแท่นทำด้วยโฟม เพื่อให้ น้ำกระจายออกเป็นการลดความเร็ว เพื่อป้องกันการผสมกันของน้ำเกลือที่กำลังเติมอยู่กับชั้นน้ำเกลือที่เติมลงไปก่อนหน้า ชั้นผิวหน้าสุดท้ายนั้นก็จะ เป็นน้ำจืด ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยที่สุดนั่นเอง

สำหรับสระแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ วิธีข้างบนจะไม่สะดวกและช้าเกินไป ถึงมีการพัฒนาวิธีการที่เรียกว่า Redistribution Method โดย Zangrando¹⁰ วิธีนี้ใช้การเติมน้ำเกลือเข้มข้น ความหนาแน่นเท่ากับที่ต้องการให้เป็นชั้นกักเก็บความร้อน บวกกับครึ่งหนึ่งของความหนาของชั้น Salt Gradient หลังจากนั้นจึงสูบน้ำจืดเข้าส่วผ่าน Diffuser เพื่อกระจายน้ำให้ออกเป็นระนาบในแนวนอน (ดูรูป Diffuser ในรูปที่ 2) ในชั้นแรกจะวาง Diffuser ไว้ที่ตำแหน่งบนสุดของชั้นกักเก็บความร้อน (หรือตำแหน่งที่จะเป็นส่วนล่างสุดของชั้น Salt Gradient) เมื่อมีการสูบน้ำจืดเข้าส่วก็จะค่อย ๆ ยก Diffuser ขึ้นด้วยอัตราเร็วสองเท่าของ อัตราการสูงขึ้นของผิวน้ำในสระ น้ำจืดที่สูบเข้าไปผ่าน Diffuser นั้นจะผสมกับน้ำเกลือในชั้นที่สูงขึ้นไปให้เจือจางลงเป็นลำดับ ตัว Diffuser จะสูงขึ้นจนทันกับผิวน้ำในสระเมื่อเราได้ความหนาของชั้น Salt Gradient ตามความต้องการพอดี การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของน้ำเกลือในสระจากการสร้าง Salt Gradient ด้วยวิธีนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 การยก Diffuser นั้น อาจทำแบบต่อเนื่องหรือยกขึ้นเป็นชั้น ๆ ชั้นละ 5-10 ซม. ก็ได้ วิธีการที่กล่าวมาสมมติฐานว่าสระมีผนังในแนวตั้งและ Salt Gradient เป็นเชิงเส้นกับความลึกของน้ำเกลือในสระ ถ้าหากผนังสระมีการลาดเทหรือต้องการรูปร่าง Salt Gradient ในรูปอื่นก็จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงอัตราการยก Diffuser ใหม่ เพื่อให้จะให้ชั้นถาวร Salt Gradient มีเสถียรภาพทางศาสตร์ ค่าความลาดชันของ Salt Gradient จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข

$$\frac{\partial s}{\partial z} > - \frac{(v+k_T)(\partial \rho / \partial T)(\partial T / \partial z)}{(v+k_S)(\partial \rho / \partial s)}$$

เมื่อ	ρ	เป็นความหนาแน่นของน้ำเกลือ ก.ก./ม ³
	s	เป็นความเข้มข้นของน้ำเกลือ ก.ก./ม ³
	z	ความลึกวัดจากผิวน้ำ ม.
	T	อุณหภูมิของน้ำเกลือ k

v	ความหนืดของน้ำเกลือ $m^2/วินาที$
k_s	สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของเกลือ $m^2/วินาที$
k_t	สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของอุณหภูมิ $m^2/วินาที$

การมีเสถียรภาพของ Salt Gradient ในพื้นที่หมายถึงการกลับเข้าสู่สภาพเดิมได้ ภายหลังเกิดการรบกวนจากภายนอกโดยที่ชั้น Salt Gradient ไม่เกิดการผสมกันระหว่างน้ำ เกลือต่างระดับที่มีความหนาแน่นต่างกัน ถ้าหากเกิดการไร้เสถียรภาพก็จะเกิดการผสมกันของน้ำ เกลือต่างระดับจนเป็นเนื้อเดียวกันมีความหนาแน่นเท่ากันและ เกิดการพาความร้อนขึ้น ทำให้คุณ ภาพการ เป็นฉนวนของชั้น Salt Gradient เสียไป

ค. การควบคุมดูแล Salt Gradient และความโปร่งใสของสระ

การที่ก้นสระมีความเข้มข้นของเกลือมากกว่าผิวสระ ก็เป็นธรรมชาติที่จะมีการ แพร่กระจายของเกลือจากก้นสระมาสู่ผิวสระ เมื่อถึงไ้เป็นระยะเวลานาน ความเข้มข้นของเกลือ ที่ผิวสระก็จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของเกลือที่ก้นสระจะลดลง ถ้าปล่อยไว้จนความลาด เทของ Salt Gradient ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขในสมการที่ 1 ก็จะมีการเสียเสถียรภาพขึ้น การรักษาความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ก้นสระ ทำได้โดยการสูบน้ำเกลือชั้นล่างออกมา แล้วเติมละลายเกลือเพิ่มไปให้ใดความเข้มข้นตามต้องการ แล้วปล่อยกลับสู่ก้นสระดังเดิม ใน การนี้อาจทำรวมกันไปได้เดียวกับการนำความร้อนออกมาใช้งานก็ได้ สำหรับการรักษาความเข้ม ข้นที่ผิวสระนั้นทำได้โดยการเติมน้ำที่เหมาะสม (เพื่อสำหรับการระเหยด้วย) ลงไปที่ผิวหน้าของ สระพร้อมกับน้ำที่ผิวสระออกซึ่งอาจทำได้ง่าย ๆ โดยวิธีการลักน้ำถ้าที่ตั้งของสระเอื้ออำนวย ปริมาณเกลือที่เติมยังก้นสระกับที่นำออกจากสระที่ผิวหน้านั้น ต้องมีอัตราสัมพันธ์กับอัตราของเกลือที่ แพร่กระจายจากก้นสระขึ้นมาข้างบน อัตราการเคลื่อนที่ของเกลือนั้นขึ้นอยู่กับความลาดเทของ Salt Gradient ค่าตัวอย่างสำหรับสระแสงอาทิตย์ที่ใช้ NaCl ก็คือ 0.0836 กิโลกรัมต่อตาราง เมตรต่อวัน ซึ่งเท่ากับ 30.51 คันตอปสำหรับสระขนาด 1000 ตารางเมตร เห็นได้ว่า มีปริมาณสูงและถ้าสามารถทำระเหยน้ำเกลือที่ชะล้างออกจากผิวหน้าสระให้เข้มข้นขึ้น แล้วเติมลง ก้นสระได้ก็จะช่วยลดค่าใช้จ่ายลง ทั้งยังลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

สำหรับความเข้มข้นของเกลือภายในตัว Salt Gradient นั้น เมื่อเราสามารถ

รักษาความเข้มข้นเกลือที่ขอบล่างและขอบบนของชั้น Salt Gradient ให้มีค่าที่ต้องการแล้วก็จะ เป็นเงื่อนไขที่เพียงพอที่จะทำให้ Profile ของความเข้มข้นในชั้น Salt Gradient ไม่เปลี่ยนแปลงไป

นอกจากวิธีควบคุม Salt Gradient ดังกล่าวข้างต้นแล้วยังมีวิธีที่เรียกว่า Rising Pond และ Falling Pond ซึ่งเป็นการทำให้น้ำเกลือทั้งสระเคลื่อนที่ลงอย่างช้า ๆ ตามลำดับ ทั้งสองวิธียังต้องได้รับการวิจัยและพัฒนาอีกมากจึงไม่ขอกล่าวเพิ่มเติมอีกต่อไป

สิ่งที่สำคัญยิ่งอีกอย่างหนึ่งในการดูแลชั้น Salt Gradient คือ ความโปร่งใสของ สระ เนื่องจากมีจุลินทรีย์บางประเภทที่สามารถเติบโตได้รวดเร็วในน้ำเกลือเข้มข้น การเติบโตของจุลินทรีย์นี้จะปิดกั้นไม่ให้แสงแดดส่องลงถึงก้นสระ จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมซึ่งทำได้ โดยการเติมสารเคมีบางประเภทและควบคุมความเป็นกรดด่าง (pH) ของน้ำเกลือในสระ อย่าง ไรก็ตาม จะต้องมีการทดสอบคุณภาพทางเคมีของน้ำเกลือในสระก่อนที่จะตัดสินใจ เลือกชนิดของ สารเคมีที่จะใช้งาน การใช้เครื่องกรองทรายจะช่วยจัดสิ่งสกปรกแขวนลอยในสระออกไปได้ นอกเหนือไปจากการเติมสารเคมีดังกล่าว

ง. การนำความร้อนออกมาใช้งาน

วิธีการนำความร้อนออกมาใช้งานที่มีมากที่สุดคือการสูบน้ำ เกลือร้อนจากชั้นเก็บกักความร้อนผ่าน Heat Exchanger ที่ตั้งอยู่ภายนอกสระ อัตราการไหลของน้ำเกลือในชั้นกักเก็บ ความร้อนต้องได้รับการควบคุมเพื่อไม่ให้กระทบกระเทือนต่อเสถียรภาพของชั้น Salt Gradient

การนำความร้อนออกมาใช้ก็วิธีหนึ่งทำได้โดยติดตั้ง Heat Exchanger ไว้ในชั้นกักเก็บความร้อนก้นสระแล้วผ่าน Working Fluid เข้าไปถ่ายเทความร้อนออกมา วิธีนี้ได้มีรายงานวิจัยที่มีอยู่เกี่ยวกับการหมุนเวียนของโลหะที่ใช้ Heat Exchanger ซึ่งยากต่อการซ่อมแซม เนื่องจากจมอยู่ในก้นสระที่มีอุณหภูมิสูง

5) ค่าใช้จ่าย

การประมาณค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และดำเนินการสระแสงอาทิตย์ในประเทศ ไทยคงจะต้องคงจะต้องรอรระยะเวลาให้มีการใช้งานสระแสงอาทิตย์เสียก่อน สำหรับราคาในต่างประเทศก่อสร้างอยู่ระหว่าง 50 ถึง 150 ดอลลาร์สหรัฐต่อตารางเมตร ของผิวสระ ทั้งนี้ขึ้น

อยู่กับการประยุกต์ใช้งานและความเหมาะสมของสถานที่ตั้ง ค่าใช้จ่ายในการสร้างและดำเนินการ
แยกรายการออกได้ดังนี้

ก. ค่าก่อสร้างเริ่มต้น

- ค่าออกแบบและควบคุมการก่อสร้าง
- ค่าชุดสระ
- ค่าวัสดุกันผนังสระ
- ค่าแผ่นพลาสติกกันซึม
- ค่าเกลือ
- ค่าอุปกรณ์ลอคคูลิ้นและลม
- ค่าเครื่องสูบน้ำและระบบพ่นน้ำรวมทั้ง Diffuser
- ค่าเครื่องมือวัด อุณหภูมิ ความหนาแน่นของน้ำเกลือ ฯลฯ
- ค่าอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น เครื่องยนต์ ORC และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อใช้สระ
แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้า

รายการดังกล่าวในบางรายการก็ไม่จำเป็นสำหรับบางสถานที่ตั้ง

ข. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการใช้งาน

- ค่าน้ำจืดเพื่อใช้ชดเชยการระเหยและรักษาระดับความเข้มข้นผิวสระ
- ค่าเกลือเพื่อชดเชยการแพร่ของเกลือชั้นผิวสระ
- ค่าจ้าง Operator

6) ปัญหาของสระแสงอาทิตย์ต่อการการค้นคว้าวิจัย

สระแสงอาทิตย์ถึงแม้ว่าจะให้คำอธิบายหลักการท างานได้อย่างง่าย ๆ แต่แท้จริงแล้ว
เป็นระบบทางกายภาพที่ซับซ้อนมีขบวนการแพร่กระจายของความร้อนและมวล และขบวนการทาง
เคมีหลายขบวนการที่เกี่ยวข้องกัน อีกทั้งมีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศของสถานที่ตั้งอย่างใกล้ชิด
เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีพลังงานอื่น สระแสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีค่อนข้างใหม่ จึงมีปัญหามาก
ด้านที่ต้องการการการค้นคว้าวิจัย หากคำตอบ ปัญหาเหล่านี้มีดังนี้

ก. ศาสตร์ของสระแสงอาทิตย์

แบ่งย่อยออกได้ เป็น

- กำเนิดของชั้นผิวหน้าพาความร้อนจากอิทธิพลต่าง ๆ เช่น การดูดซับรังสี ลม การเปลี่ยนอุณหภูมิ ฯลฯ
- ความไร้เสถียรภาพของ Salt Gradient จากความลาดเทของผนังสระ
- คุณภาพและการเคลื่อนไหวของรอยต่อระหว่างชั้น Salt Gradient กับชั้นผิวหน้าและชั้นกักเก็บความร้อน

ข. ความใสของน้ำ

การควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทนทานต่อน้ำเกลือ สิ่งสกปรก และใบไม้ที่ปลิวหล่นลงสระ

ค. การนำความร้อนออกมาใช้

การออกแบบ Heat Exchanger แบบต่าง ๆ ที่ใช้ถ่ายเทความร้อนจากน้ำเกลืออย่างมีประสิทธิภาพและทนทานต่อการผุกร่อน

ง. วัสดุ

การพัฒนาวัสดุราคาถูกเพื่อใช้ในสระแสงอาทิตย์ ซึ่งหลาย ๆ ส่วนต้องสัมผัสกับน้ำเกลือเข้มข้นอุณหภูมิสูง และยังได้รับรังสีอุลตราไวโอเลต

จ. เครื่องมือวัด

การมีเครื่องมือที่เชื่อถือได้ราคาประหยัด จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานได้ตรวจสอบการทำงานของสระและพบปัญหาแต่เนิ่น ๆ ก่อนที่จะกลายเป็นปัญหารายแรง

ฉ. การก่อสร้าง

เทคนิคการก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับแต่ละท้องถิ่นควรได้รับการพัฒนาขึ้น

ช. การสูญเสียความร้อนให้กับพื้นดินโดยรอบสระ

การสูญเสียความร้อนโดยรอบสระจะมีอัตราส่วนที่สูง สำหรับสระที่มีขนาดเล็กไม่ใหญ่โตมาก ๆ จึงควรได้รับการสนใจและหาทางลดการสูญเสียดังกล่าว

7) การวิเคราะห์ทางกายภาพของสระแสงอาทิตย์

เมื่อแสงแดดกระทบผิวน้ำในสระส่วนหนึ่งของรังสี จะถูกสะท้อนออกไปในมวลของน้ำ

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการสะท้อนนี้ Weinberger ได้ประมาณไว้ว่าไม่เกินร้อยละสิบสำหรับสภาวะแสงอาทิตย์ที่อยู่ในตำแหน่ง Latitude ต่ำกว่า 40 องศา

รังสีที่ผ่านผิวน้ำลงไปจะถูกดูดซับโดยมวลของน้ำและกลายเป็นความร้อนซึ่งทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น รังสีที่เหลือถึงชั้นต่อไปของน้ำจะลดลงตามลำดับซึ่งสามารถแสดงให้เห็นลักษณะดังกล่าวได้โดยอาศัยรูปที่ 4

โดยปกติรังสีเอกรงค์เมื่อถูกดูดซับโดยชั้นน้ำ เราสามารถเขียนสมการของการส่งผ่านรังสีได้เป็น

.....(2)

ซึ่งจะให้คำตอบเป็น

$$I_{\lambda}(z) = I_{\lambda 0} e^{-\mu_{\lambda} z} \quad (3)$$

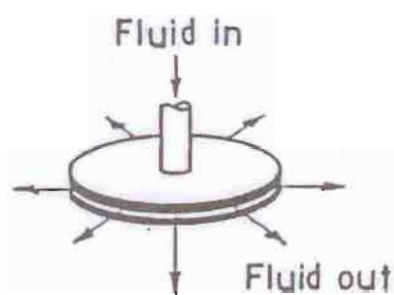
เมื่อ	$I_{\lambda 0}$	เป็นความเข้มรังสีเริ่มต้น
	z	เป็นระยะทางจากจุดเริ่มต้น
	$I_{\lambda}(z)$	เป็นความเข้มรังสีที่ระยะทาง z
	μ_{λ}	เป็นสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีที่มีความยาวคลื่น λ

อย่างไรก็ตามแสงอาทิตย์ประกอบด้วย แถบรังสีหลายความถี่จึงไม่สามารถแทนได้ด้วยสมการ Exponential ง่าย ๆ ดังสมการที่ (2) Rabl และ Nielsen ได้แบ่งแถบความถี่ของแสงอาทิตย์ออกเป็น 4 แถบและแทนการส่งผ่านของแสงอาทิตย์ ดังนี้

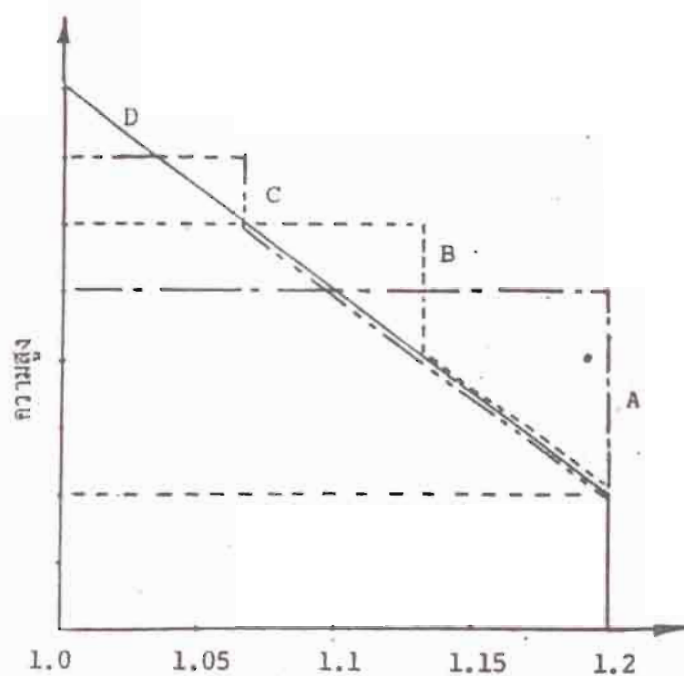
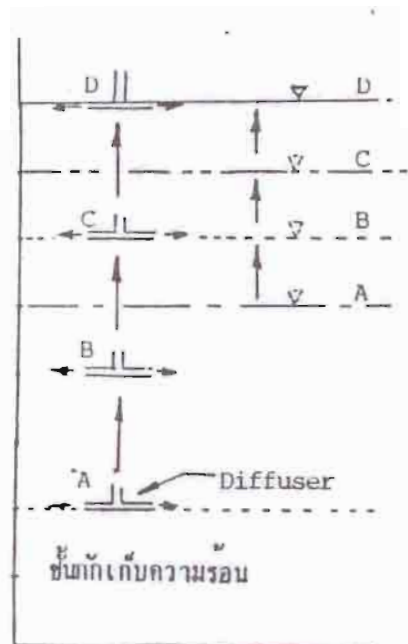
$$I(z) = CI_0 \sum_{j=1}^4 a_j e^{-b_j z} \quad (4)$$

โดยที่มี $j = 1$

$I(z)$	เป็นความเข้มของแสงที่ความลึก z
I_0	เป็นความเข้มของแสงตกกระทบผิว
τ	เป็นสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของผิวน้ำ



รูปที่ 2 ลักษณะพื้นฐานของ Diffuser



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นของน้ำเกลือในสภาวะการเคลื่อนที่ของ Diffuser ในการสร้าง Salt Gradient แบบ Redistribution

ส่วนค่า a_j และ b_j เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1
สัมประสิทธิ์การ ขยับรังสีสำหรับน้ำ

j	a_j	b_j (m^{-1})	แถบความถี่ (μm)
1	0.237	0.032	0.2-0.6
2	0.193	0.45	0.6-0.75
3	0.167	3.0	0.75-0.9
4	0.179	3.5	0.9-1.2

ถ้าเราย้อนกลับไปดูรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าสำหรับสเปกตรัมแสงอาทิตย์ ซึ่งมีความหนาของชั้น Salt Gradient บวกกับชั้นผิวหน้าพาความร้อนเท่ากับ 1.2 ม. พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกถึงชั้น กักเก็บความร้อนจะมีค่าประมาณร้อยละ 20 ถึง 30 ของพลังงานที่ผ่านผิวน้ำลงมาได้ ตัวเลขนี้ จะเป็นตัวเลขที่กำหนดประสิทธิภาพทางความร้อนของสเปกตรัมแสงอาทิตย์ กล่าวคือ จะเป็นค่าประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อไม่คิดการสูญเสียความร้อนของสเปกตรัม

ข. การวิเคราะห์อุณหภูมิในสเปกตรัมแสงอาทิตย์ใน Steady State

ในการวิเคราะห์อุณหภูมิในสเปกตรัมแสงอาทิตย์แบบ Salt Gradient นี้เราตั้งข้อสมมติเพื่อลดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ดังนี้

- ขนาดของสเปกตรัมใหญ่มากจนไม่จำเป็นต้องนำความร้อนสูญเสียบริเวณของสเปกตรัมมาคิด
- อุณหภูมิของสเปกตรัมกระจายอย่างสม่ำเสมอ ในแนวระดับทำให้สมการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะ เป็นสมการในมิติแนวตั้งเพียงมิติเดียว
- ค่าแสงแดดและอุณหภูมิรอบ ๆ สเปกตรัมที่ใช้เป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งจะให้ผลลัพธ์อุณหภูมิในสเปกตรัมเป็นค่าเฉลี่ยเช่นกัน

จากกฎการคงตัวของพลังงาน อัตราการไหลของพลังงานผ่านระนาบแนวนอนในระดับความลึกใด ๆ จะต้องเป็นศูนย์ นั่นคือ

$$(1 - \rho) \tau(z) I_0 - k \frac{\partial T(z)}{\partial z} - U = 0 \quad (5)$$

- เมื่อ I_0 เป็นความเข้มแสงแดดที่ตกกระทบบนผิวสระ
 $\tau(z)$ เป็นฟังก์ชันการส่งผ่านรังสี ซึ่งให้อัตราส่วนของรังสีที่ผ่านถึงระดับความลึก z
 k เป็นความนำความร้อนของน้ำ
 ρ เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ผิวสระ
 $T(z)$ เป็นอุณหภูมิที่ระดับความลึก z
 U เป็นอัตราการนำความร้อนออกจากสระ
 ในที่นี้จะให้ค่าคงที่เป็นสัดส่วนกับพลังงานแสงแดดที่สระได้รับ คือ $U = \eta I_0$

คำตอบของสมการที่ 5 คือ

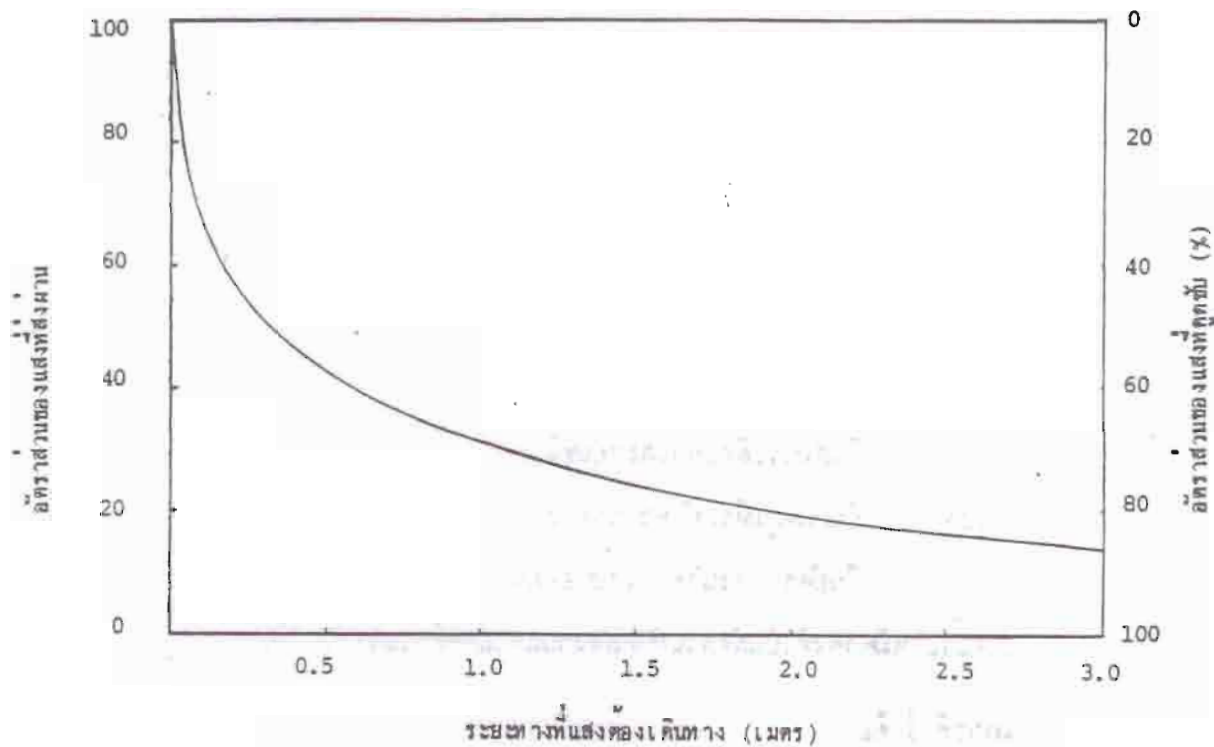
$$T = T_a + (1 - \rho) \frac{I_0}{k} \int_{z_c}^z \tau(z') dz' - \frac{z - z_c}{k} U \quad (6)$$

โดยที่

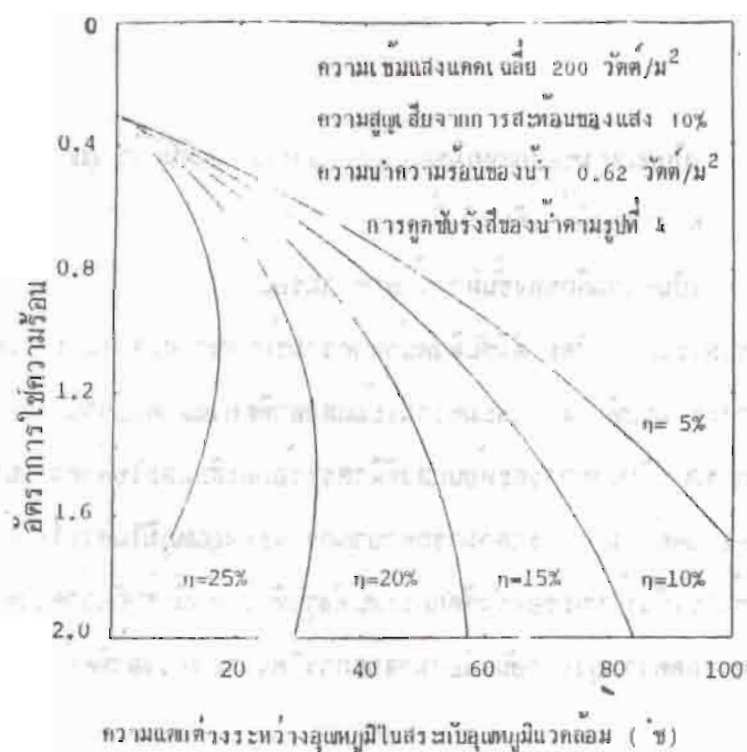
T_a เป็นอุณหภูมิของอุณหภูมิรอบ ๆ สระและในที่นี้ถือว่าอุณหภูมิของชั้นผิวหน้าพาความร้อนมีค่าเดียวกันนี้

z_c เป็นความลึกของชั้นผิวหน้าพาความร้อน

สำหรับสระแสงอาทิตย์ ที่มีชั้นผิวหน้าพาความร้อนหนา 0.3 เมตร มีคุณสมบัติการส่งผ่านของแสงของสระตามรูปที่ 4 และมีความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดวัน 200 วัตต์ / m^2 เมื่อสมมติให้เกิดการสูญเสียจากการสะท้อนแสงที่ผิวสระร้อยละสิบและใช้ค่าความนำความร้อนของน้ำเหลือเป็น 0.62 วัตต์ / m^2 เราสามารถคำนวณกราฟของอุณหภูมิในสระโดยแปรค่าอัตราการนำความร้อนไปใช้งานเป็นร้อยละของรังสีตกกระทบบนรูปที่ 5 ทั้งนี้เราถือว่าดวงอาทิตย์ทำมุม 30 กับแนวดิ่งซึ่งเป็นการลดความยุ่งยากอันเนื่องมาจากการโคจรของดวงอาทิตย์



รูปที่ 4 การดูดซับรังสีของน้ำเกลือในสภาวะแสงอาทิตย์ (ที่มา: เอกสารอ้างอิง 5)



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างอุณหภูมิจาน้ำทะเลกับอุณหภูมิจาน้ำเค็มต่ออัตราการใช้ความร้อน

เส้นกราฟในรูปที่ 3 จะแสดงถึงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในสระกับอุณหภูมิชั้นผิวหน้า
พาความร้อน ทั้งนี้ที่ระดับสูงกวาระดับที่นำความร้อนออกมาใช้งานเท่านั้น ที่ระดับในสระที่ต่ำลง
กวาระดับการนำความร้อนออกมาใช้งาน จะมีลักษณะเป็นชั้นพาความร้อนที่มีอุณหภูมิเท่ากัน ระดับที่
เหมาะสมที่สุดที่จะนำความร้อนออกมาใช้ที่ระดับที่มีอุณหภูมิสูงสุด เพราะจะให้ประสิทธิภาพเชิง
ความร้อนของสระสูงสุด และที่ระดับนี้อัตราการส่งผ่านพลังงานแสงแดดจะ เท่ากับอัตราการนำพลัง
งานออกมาใช้

8) ข้อสรุป

สระแสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีพลังงานค่อนข้างใหม่ ที่มีศักยภาพในการใช้งานสำหรับ
ประเทศไทยสูง มีโอกาสที่ประเทศไทยจะพัฒนาได้มากให้เหมาะสมกับสภาพของท้องถิ่นได้มาก
แต่ เนื่องจากการ เป็นเทคโนโลยีใหม่จึงต้องการการค้นคว้าพัฒนาเพื่อรวบรวมข้อมูลและพัฒนาบุคลากร
ทางด้านนี้เพื่อให้เกิดประโยชน์อย่างจริงจังในการนำสระแสงอาทิตย์มาใช้

9) เอกสารอ้างอิง

1. Bronicki, L.Y., Lev-Er, J. and Porat, Y. (1980), Large Solar Electric Power Plants Based on Solar Ponds, Proc. 11th World Energy Conf. Sept. 8-12, 1980, Munich, Vol. 1A, pp 739-758.
2. French, R.L. and Lin, E.I.H. (1981), Salton Sea Solar Pond Power Plant, Proc. 16THIECEC Conf., Atlanta, Georgia, Aug. 9-14, 1981, Vol. 2, pp. 1716-1719.
3. Fynn, R.P. and Short, T.H. (1983), The Salt Stabilized Solar Pond for Space Heating-A Practical Manual, Dept. of Agricultural Engineerin, Ohio State University, Agricultural Research and Development Center, Wooster, Ohio.

4. Golding, P., Dave y, J.A., Macdonald , R.W.G., and Charters, W.W.S. (1983), A Feasibility Study on the Use of Solar Ponds for Process Heat, Progress Report to March 5, 1983, Solar Energy Group, Dept. of Mechanical and Industrial Engineering, University of Melbourne, Parkville, Australia.
5. Limyingcharoen, S. (1984), Some Aspects of the Stability, Maintenance and Control of the Salt Gradient in Solar Ponds, M.Eng. Sc. Thesis, University of Melbourne, Parkville Australia.
6. Nielsen, C.E. (1980), Nonconvective Salt Gradient Solar Ponds, Chapter 11 of Solar Energy Technology Handbook, Pont A, Edited by Dickinson and Cheremisinoff, Marcel Dekker.
7. Rabl, A. and Nielsen, C.E. (1975), Solar Ponds for Space Heating, Solar Energy, Vol. 17, pp. 1-12.
8. Tabor, H. and Matz, R. (1965), Solar Pond Project, Solar Energy, Vol. 9, No.4, pp 177-182.
9. Tabor, H. and Weinberger, z. (1981), Noconvecting Solar Ponds, Chapter 10 of Solar Energy Handbook, Edited by Kreider, McGraw Hill N.Y.
10. Zangrando. F. (1979), Observation and Analysis of a Full-Scale Experimental Salt Gradient Solar Pond, Ph.D. Dissertation, University of New Mexico, Albuguerque, New Mexico , U.S.A.

รายชื่อหนังสือที่มีจำหน่าย
งานผลิตเอกสาร ส่วนงานคณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

ลำดับที่	ชื่อหนังสือ	ชื่อผู้แต่ง	ราคาจำหน่าย (บาท)	
			บุคลากรภายในคณะฯ	บุคลากรภายนอก
1	ACI CODE REINFORCED CONCRETE	ศต.สอาด เริงศิริกุล	5	5
2	เครื่องจักรกลเกษตร AGRICULTURAL MACHINERY	ศต.สมชาย ปกรโณคม	56	56
3	BIOENGINEERING IN PLANT SYSTEM	ศต.บรรจงศรี จิระวิพลวรรณ	50	60
4	COMPUTATION METHOD I	ศต.ดร.สุรพงษ์ จิระรัตนานนท์	27	35
5	COMPUTATION METHOD II	ศต.ดร.สุรพงษ์ จิระรัตนานนท์	27	35
6	วัสดุก่อสร้าง CONSTRUCTION MATERIALS	ศต.ชยาพิศย์ วัฒนวิทย์กิจ	30	40
7	ปฏิบัติการวัสดุก่อสร้าง CONSTRUCTION MATERIALS LAB.	คณาจารย์ภาควิชาฯ โยธา	20	30
8	เคมีของน้ำและน้ำทิ้ง CHEMICAL OF WATER	ศต.ดร.พิศมัย ภูริสินสิทธิ์	45	55
9	ปฏิบัติการเคมีของน้ำและน้ำทิ้ง CHEMICAL OF WATER LAB.	ศต.ดร.พิศมัย ภูริสินสิทธิ์	20	20
10	DRAWING II	ศต.ธนู พลวัฒน์	40	50
11	ENGINEERING ELECTRONICS II	ศต.สัมฤทธิ์ หังสะสุตร	25	35
12	วิศวกรรมฐานราก FOUNDATION	ศต.ปิติ อังสุโวทัย	50	70
13	FLUID MECHANICS LAB.	ศต.ดร.สัจจะ เสนอบุตร	6	6

ลำดับที่	ชื่อหนังสือ	ชื่อผู้แต่ง	ราคาจำหน่าย (บาท)	
			บุคคลภายในคณะฯ	บุคคลภายนอก
14	การถ่ายเทความร้อน HEAT TRANSFER	ผศ.บุญสร้าง คีโรสถาวร	70	80
15	ระบบไฮดรอลิก HYDRAULIC SYSTEM	รศ.ดร.วินิต ชินสุวรรณ	45	55
16	กลศาสตร์วิศวกรรม 2 MECHANICS II	อ.นิวัฒน์ คำนานทอง	25	35
17	ปฏิบัติการวัสดุศาสตร์ MATERIAL SCIENCE LAB.	คณาจารย์ภาควิชาฯ อุทสาถการ	7	7
18	กลศาสตร์วัสดุ MECHANICS OF MATERIALS	ผศ.ยิ่งศักดิ์ พรหมเชษฐ์	30	40
19	การออกแบบผิวจราจร PAVEMENT DESIGN	รศ.ณรงค์ กุหลาบ	40	50
20	P.F.S. FILE	คอมพิวเตอร์	30	30
21	PRINCIPLES OF ACHITECTURE	ผศ.สถาพร เกตทินทะ	30	40
22	การควบคุมคุณภาพ QUALITY CONTROL	ผศ.บำรุง กุลวงศ์	60	70
23	การวิเคราะห์โครงสร้าง STRUCTURAL ANALYSIS	ผศ.ดำรงศักดิ์ หอมดี	40	50
24	ทฤษฎีโครงสร้าง STRUCTURAL THEORY	รศ.ไพฑูรย์ โล่ห์สุนทร	40	50
25	การออกแบบโครงสร้างเหล็ก STEEL DESIGN	รศ.รังษี นันทสาร	25	30
27	ปฐพีกลศาสตร์	ผศ.พิชิต ลัทธิสุนเนิน	40	50

ลำดับที่	ชื่อหนังสือ	ชื่อผู้แต่ง	ราคาจำหน่าย (บาท)	
			บุคคลภายในคณะฯ	บุคคลภายนอก
28	STANDARD SPECIFICATION FOR HIGHWAY BRIDGES	ผศ.ชยาทิพย์ วัฒนวิทย์กิจ	15	20
29	SHORT NOTES ON ENGI- NEERING	MR.C. CHAKRAVANDH M.SC	10	15
30	SANITARY	ผศ.ศุภฤกษ์ สิ้นสุพรรณ	40	50
31	หลักการสำรวจเบื้องต้น PRINCIPLE OF SURVEYING	ผศ.คิลก ศรีนาวัน	30	40
32	คู่มืองานรังวัดเบื้องต้น SURVEYING II	พ.อ.อ.ศิริเชต ราชธา	30	40
33	TOWN PLANNING	ผศ.วิวัฒน์ ทิศสาร	25	35
34	การออกแบบโครงสร้างไม้ TIMBER DESIGN	รศ.รังษี นันทสาร	25	35
35	VISIFILE	คณาจารย์คอมพิวเตอร์	30	30
36	VISILOT	คณาจารย์คอมพิวเตอร์	30	30
37	VISICALE	คณาจารย์คอมพิวเตอร์	35	35
38	P.F.S. GRAPH	คณาจารย์คอมพิวเตอร์	30	30
39	P.F.S. REPORT	คณาจารย์คอมพิวเตอร์	30	30
40	WATER SUPPLY AND POLLUTION CONTROL	ผศ.ศุภฤกษ์ สิ้นสุพรรณ	50	60
41	การวางแผนส่งน้ำก่อนการ เพาะปลูก	ศ.ฉลอง เกียรติทิพย์	20	20
42	การคำนวณ BACTWATER PROFILES จากประตูละบาย ช่องแคบถึงประตูละบายในร่ม	ศ.ฉลอง เกียรติทิพย์	20	20

ลำดับที่	ชื่อหนังสือ	ชื่อผู้แต่ง	ราคาจำหน่าย (บาท)	
			บุคคลภายในคณะฯ	บุคคลภายนอก
42	คู่มือคำนวณปริมาณงานอาคาร ที่สร้างเสร็จแล้ว	ศ.ฉลอง เกิดพิทักษ์	20	20
43	ชลศาสตร์ประยุกต์	ศ.ฉลอง เกิดพิทักษ์		
44	ตารางขายประมาณการ	ผศ.นิพนธ์ สุวรรณสุขโรจน์	15	15
45	พื้นฐานการออกแบบสถาปัตยกรรมใหม่	ผศ.ธิตี เสงี่ยมมี	45	55
46	SHEET E. MACHINES 1	ผศ.วันชัย ธนาเศรษฐ์อังกุล	6	6
47	SHEET E. MACHINES 2	ผศ.วันชัย ธนาเศรษฐ์อังกุล	6	6
48	SHEET E. MACHINES 3	ผศ.วันชัย ธนาเศรษฐ์อังกุล	6	6
49	SHEET E. MACHINES 4	ผศ.วันชัย ธนาเศรษฐ์อังกุล	6	6
50	SHEET E. MACHINES 5	ผศ.วันชัย ธนาเศรษฐ์อังกุล	6	6
51	เอกสารประกอบการสอน E. MACHINE	ผศ.วันชัย ธนาเศรษฐ์อังกุล	3	3
52	SHEET FOUNDATION	ผศ.ปิติ อังสุวิทย์	6	6
53	SHEET MATERIAL SCIENCE (1-4)	ผศ.พัชร หอวิจิตร	6	6
54	SHEET MATERIAL SCIENCE 5	ผศ.พัชร หอวิจิตร	5	5
55	วัสดุศาสตร์ บทที่ 6 MATERIALS SCIENCE 6	ผศ.พัชร หอวิจิตร	3	3
56	วัสดุศาสตร์ บทที่ 7 SHEET MATERIAL SCIENCE 7	ผศ.พัชร หอวิจิตร	5	5
57	วัสดุศาสตร์ บทที่ 8 SHEET MATERIAL SCIENCE 8	ผศ.พัชร หอวิจิตร	6	6
58	SHEET SANITARY 6	ผศ.ศุภฤกษ์ สิ้นสุพรรณ	6	

ลำดับที่	ชื่อหนังสือ	ชื่อผู้แต่ง	ราคาจำนวน (บาท)	
			บุคคภายในคณะฯ	บุคคภายนอก
59	เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ENGINEERING ECONOMY	รศ.ไพฑูรย์ โล่ห์สุนทร	50	60
60	AISC SPECIFICATION	รศ.รังษี นันทสาร	35	45
61	การประมาณงานก่อสร้าง	ผศ.นิพนธ์ สุวรรณสุขโรจน์	75	85
62	กลศาสตร์วิศวกรรม 2	อ.นิวัฒน์ คำนานทอง	25	35
63	ไฟฟ้ากำลัง	อ.เล็ก หล่อสมฤดี	50	.
64	การจัดทำสัญญาการก่อสร้าง และการเขียนรายละเอียด	ผศ.วณิ เกตทินทะ	35	35

บริษัท ริสริช อีควิปเมนต์ จำกัด

11 ถ.อโศก-ดินแดง ห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร 2513464

ผู้แทนจำหน่าย เครื่องมือสำรวจภูมิประเทศ เครื่องมือเขียนแบบทางด้านวิศวกรรม
และสถาปัตยกรรม เครื่องมือทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรม เครื่องมือปฏิบัติการในห้อง
ทดลองทางด้านวิทยาศาสตร์ เครื่องมือ วัด บันทึก ควบคุม ทางด้านอุตสาหกรรม
เครื่องมือวัดและทดสอบทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม อีกมาก