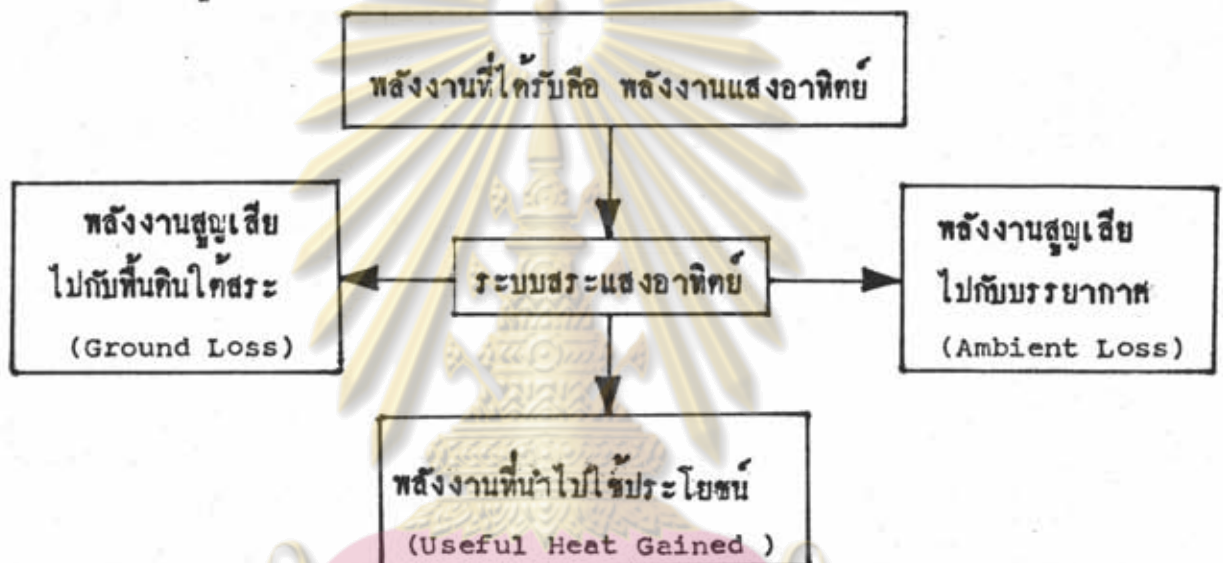




ทฤษฎีการคำนวณ

พลังงานจากดวงอาทิตย์แผ่รังสีกระจายออกมายังโลกนั้นมีหลายรูปด้วยกัน เช่น แสง ความร้อน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ค่อยเมื่อกระทบกับวัตถุใด ๆ เข้า วัตถุนั้นก็จะดูดเก็บไว้ แล้วเปลี่ยนมาเป็นความร้อนภายหลัง ซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้เป็นหลักการเก็บความร้อนด้วยระบบแสงอาทิตย์ดังรูปที่ 2.1

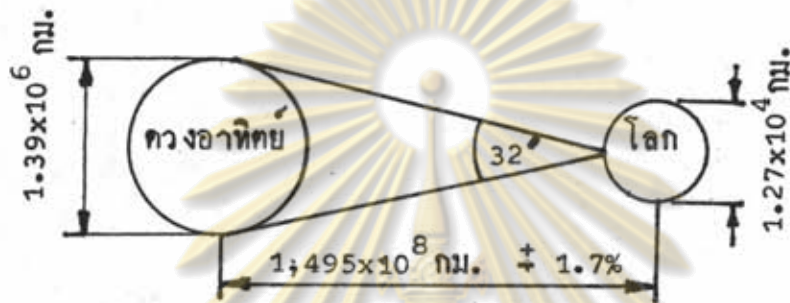


รูปที่ 2.1 แสดงหลักการการทำงานของระบบของสะสมแสงอาทิตย์

เมื่อระบบสะสมแสงอาทิตย์ได้รับพลังงานความร้อนจะถูกเก็บสะสมไว้ในสระที่บริเวณชั้นเก็บสะสมความร้อน (Storage Zone) ใต้สระ แต่ในขณะที่ความเย็นและความร้อนจะเกิดการสูญเสียไปกับบรรยากาศบนระบบสะสมแสงอาทิตย์ สูญเสียไปกับผนังสระ สูญเสียไปกับพื้นดินและรวมทั้งความร้อนที่นำออกไปใช้ประโยชน์เมื่อปริมาณความร้อนมีมากพอที่จะใช้งานได้

2.1 คุณสมบัติของพลังงานแสงอาทิตย์

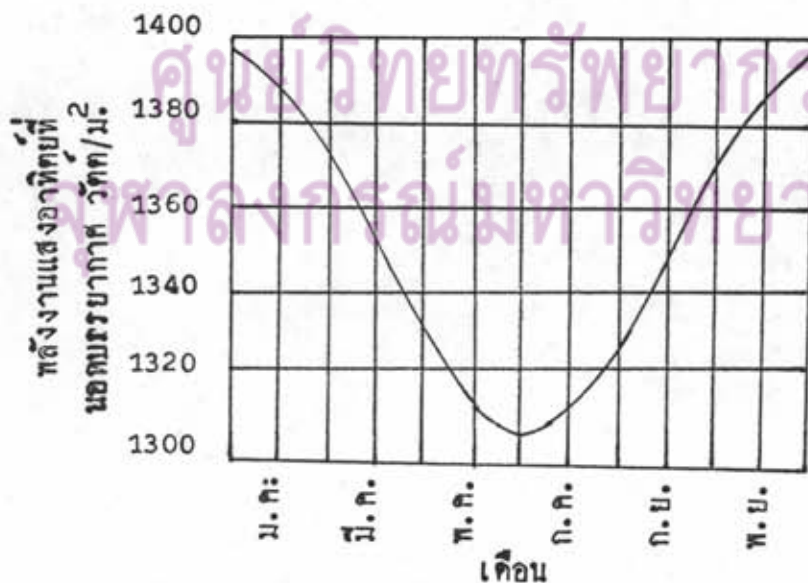
แสงอาทิตย์ซึ่งแผ่รังสีมายังบรรยากาศรอบโลกให้ค่าอิทธิพลพลังงานเฉลี่ย 1353 วัตต์/ม.² ซึ่งเรียกทั่วไปว่าค่าคงที่ของแสงอาทิตย์ มุมรองรับดวงอาทิตย์บนพื้นโลกมีขนาด 32 องศา ลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงขนาดและระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

2.2 พลังงานแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก

พลังงานแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกคือ ปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ที่รับได้นอกบรรยากาศของโลกต่อหน่วยเวลา ต่อหน่วยพื้นที่ตั้งฉากกับแนวของแสงอาทิตย์ที่ระยะห่างเท่ากับระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.3 แสดงปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ในรอบปี



รูปที่ 2.3 ปริมาณแสงอาทิตย์ที่แปรตามเดือน

2.3 พลังงานแสงอาทิตย์ในบรรยากาศโลก (Terrestrial Solar Radiation)

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงมาบนพื้นโลกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

1. พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรง (Beam Radiation) คือพลังงานที่ได้รับได้โดยตรงจากดวงอาทิตย์โดยทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์มาถึงหน่วยรับ (Receiver) บนพื้นโลกไม่เปลี่ยนแปลง

2. พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจาย (Diffuse Radiation) คือพลังงานที่ไม่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่รับจากตัวกลางที่ขวางกั้นแสงอาทิตย์ไว้ เช่น เมฆ และท้องฟ้า แล้วจึงส่งพลังงานความร้อนออกมา

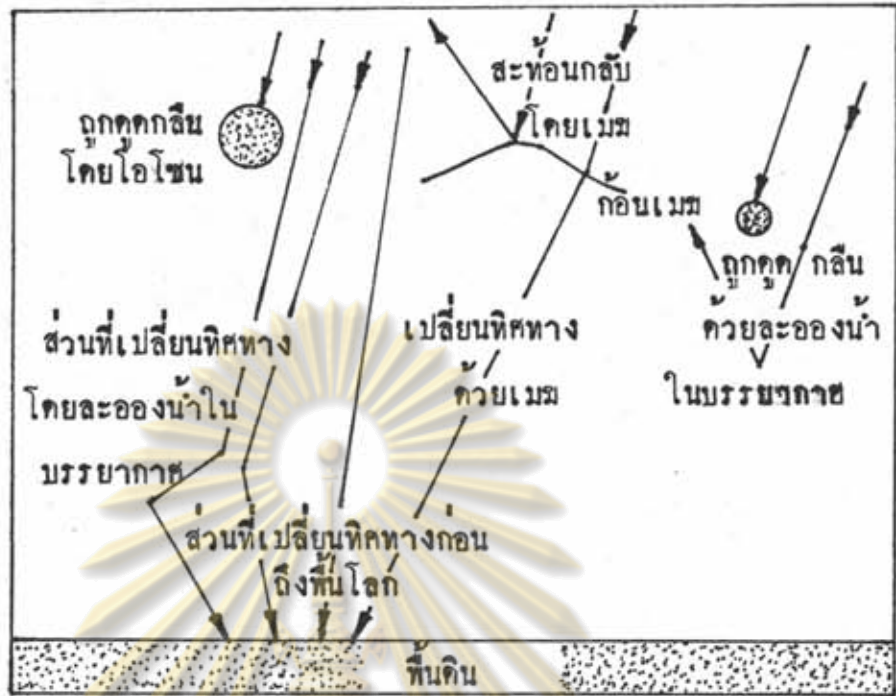
เมื่อรวมพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรง (Beam Radiation) และแบบรังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เข้าด้วยกันเรียกว่า พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีรวม (Total or Global Radiation) ซึ่งหมายถึงพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ได้รับได้บนระนาบระดับ (Horizontal Surface) ต่อหน่วยเวลา ต่อหน่วยพื้นที่

2.4 การดูดกลืนรังสีโดยแก๊สและอนุภาคในบรรยากาศ (Atmosphere Absorption of Solar Radiation)

บรรยากาศของโลกประกอบด้วยแก๊สหลายชนิด เช่น O_2 , N_2 , ไอน้ำ และฝุ่นละอองเป็นตัวกลางขวางกั้นแสงอาทิตย์ทำให้พลังงานที่ได้รับได้บนพื้นโลกน้อยกว่าที่ได้รับได้นอกบรรยากาศ พลังงานที่สูญเสียไปผลมาจากสาเหตุ 2 ประการ (ดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4) ดังนี้

1. ผลจากแสงอาทิตย์บางส่วนเปลี่ยนทิศทาง (Scattering)
2. แสงอาทิตย์บางส่วนจะถูกดูดเอาไว้โดยแก๊สในบรรยากาศ

ศูนย์วิทยพัชร์พยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 แสดงพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูญเสียไปกับบรรยากาศก่อนลงสู่พื้นโลก



รูปที่ 2.5 พลังงานแสงอาทิตย์ที่รับบนบรรยากาศรอบโลกและบนพื้นโลก

1. ช่วงอุลตราไวโอเลต (ความยาวคลื่นต่ำกว่า 0.3 ไมโครเมตร) พลังงานแสงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนโดย O_2, N_2, O_3 ในชั้นไอโอโนสเฟียร์ เนื่องจากรังสีช่วงอุลตราไวโอเลตนี้เป็นอันตรายต่อดินหนังและสิ่งมีชีวิต โอโซนจึงมีบทบาทสำคัญในการลดปริมาณแสงอุลตราไวโอเลต
2. ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นได้ (visible) จะมีการดูดกลืนโดยโมเลกุล O_2, O_3 และน้ำ
3. ช่วงรังสีอินฟราเรด มีการดูดกลืนแสงอาทิตย์โดยโมเลกุล H_2O และ CO_2 พลังงานที่ถูกดูดกลืนนี้ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในชั้นบรรยากาศที่มีความยาวคลื่น 8.0 - 12.0 ไมโครเมตร ณ. ที่บรรยากาศโปร่งแสงช่วงนี้เรียกว่า "Atmosphere window" และที่ความยาวคลื่นสูงกว่านี้แสงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนเกือบหมดด้วย H_2O และ CO_2 สำหรับการดูดกลืนรังสีโดยก้อนเมฆมีค่าน้อยมากราว ๆ 10 % เมื่อก้อนเมฆมีขนาดความหนา 1,000 ม.

2.5 แสงอาทิตย์ในประเทศไทย (Solar radiation in Thailand) (11)

ประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งขนาน $5^\circ - 22^\circ$ เหนือ และเส้นแวง $96^\circ - 106^\circ$ ตะวันออก เป็นบริเวณที่ได้รับแสงอาทิตย์พอสมควร

การวัดปริมาณแสงอาทิตย์โดยตรงในประเทศไทยโดยพลังงานแห่งชาติได้จัดตั้งเครื่องบันทึกแสงอาทิตย์ (Solarimeter) ตามสถานีต่าง ๆ ของประเทศ และที่สถานีเทคโนโลยีแห่งเอเชีย โดย R.H.B. Exell ได้ศึกษาข้อมูลทางอุทกนิยมนิวทริยาที่ได้รับจากสถานีตรวจอากาศตามสถานีต่าง ๆ ในประเทศแล้วคำนวณหาค่าปริมาณรังสีโดยใช้คอมพิวเตอร์พบว่า

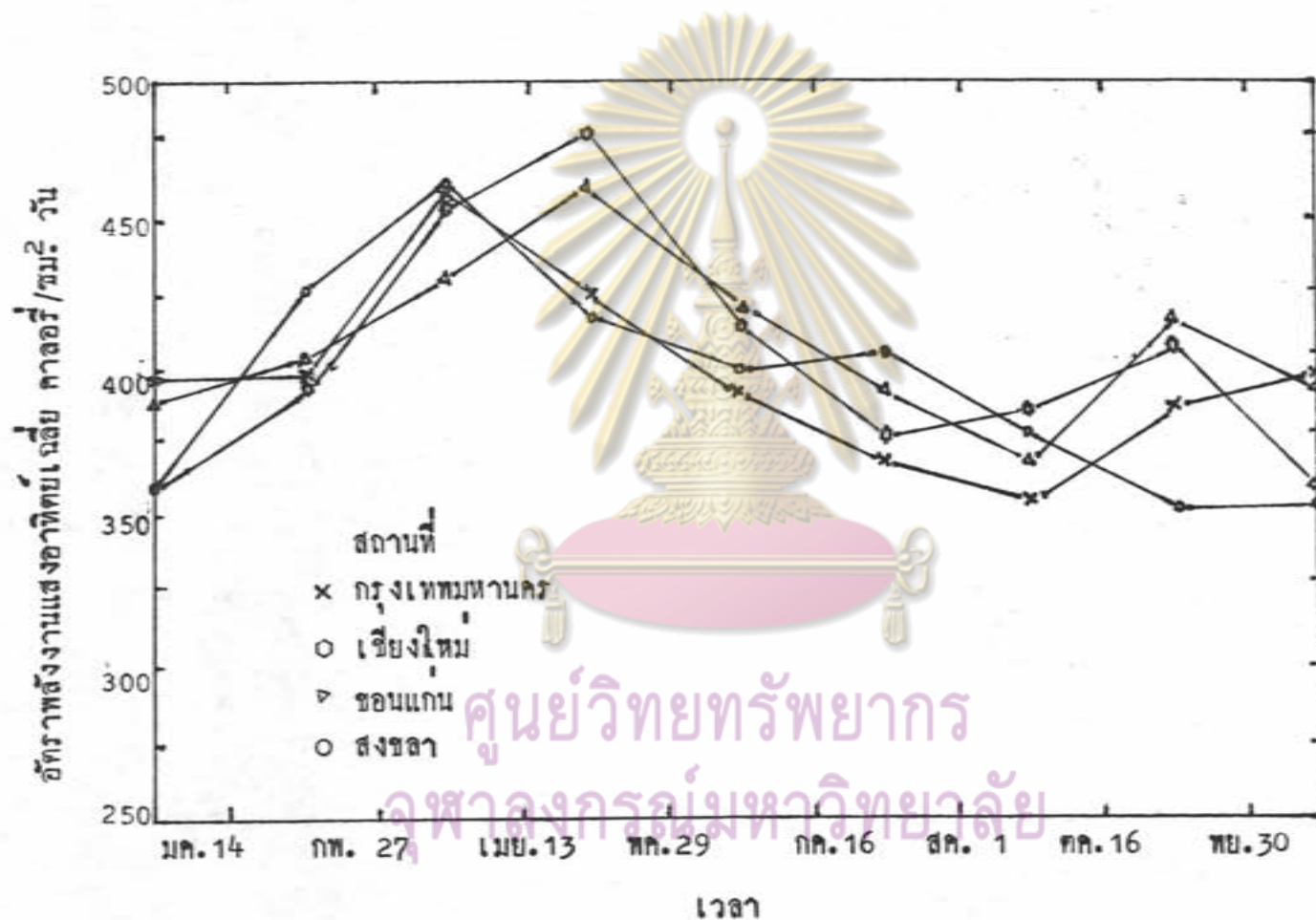
- (1) ปริมาณแสงอาทิตย์ทั้งหมดเฉลี่ยทั่วประเทศมีค่า 16.7×10^6 กิโลจูล/ม².วัน
- (2) แม้ยังไม่มีผลการวัดปริมาณรังสีตรงและรังสีกระจายโดยตรง แต่จากการคำนวณพบว่ารังสีกระจายเฉลี่ยต่อวันมีค่าสูงสุดในฤดูร้อน และต่ำสุดในฤดูหนาวทั่วประเทศ ยกเว้นในเขตภาคใต้ซึ่งมีค่าคงที่ตลอดปี เหตุผลสำคัญในการผันแปรของรังสีกระจายต่อวันคือ การเปลี่ยนระดับ (Inclination) ของดวงอาทิตย์ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศไม่มีผลมากนักต่อค่าเฉลี่ยนี้ที่นำสังเกตคือ โดยเฉลี่ยรังสีกระจายจะมีค่าครึ่งหนึ่งของรังสีแสงอาทิตย์ทั้งหมด

(3) ในฤดูหนาวอากาศเหนือท้องฟ้าประเทศไทยได้รับลมตะวันออกเฉียงเหนือ มีความแรงคงตัวและอากาศดี ปริมาณแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยทั่วประเทศจึงมีค่ามากพอสมควรใน ฤดูหนาว แม้ว่าค่าแห่งของดวงอาทิตย์จะต่ำและจะมีค่าแห่งสูงขึ้นในฤดูร้อน สำหรับปริมาณ แสงอาทิตย์บริเวณที่มีค่าน้อยที่สุดคือจังหวัดระนอง และจันทบุรี ทั้งนี้คล้ายตามการเคลื่อนที่ของ ลมโซนร้อนในเดือนสิงหาคมจะให้ค่าต่ำสุดที่เชียงใหม่ ที่กรุงเทพฯ จะต่ำสุดในเดือนกันยายน สำหรับอัตราพลังงานแสงอาทิตย์รับได้ที่กรุงเทพฯมหานครมีปริมาณทั้งแสงดวงไว้ในตารางที่ 1

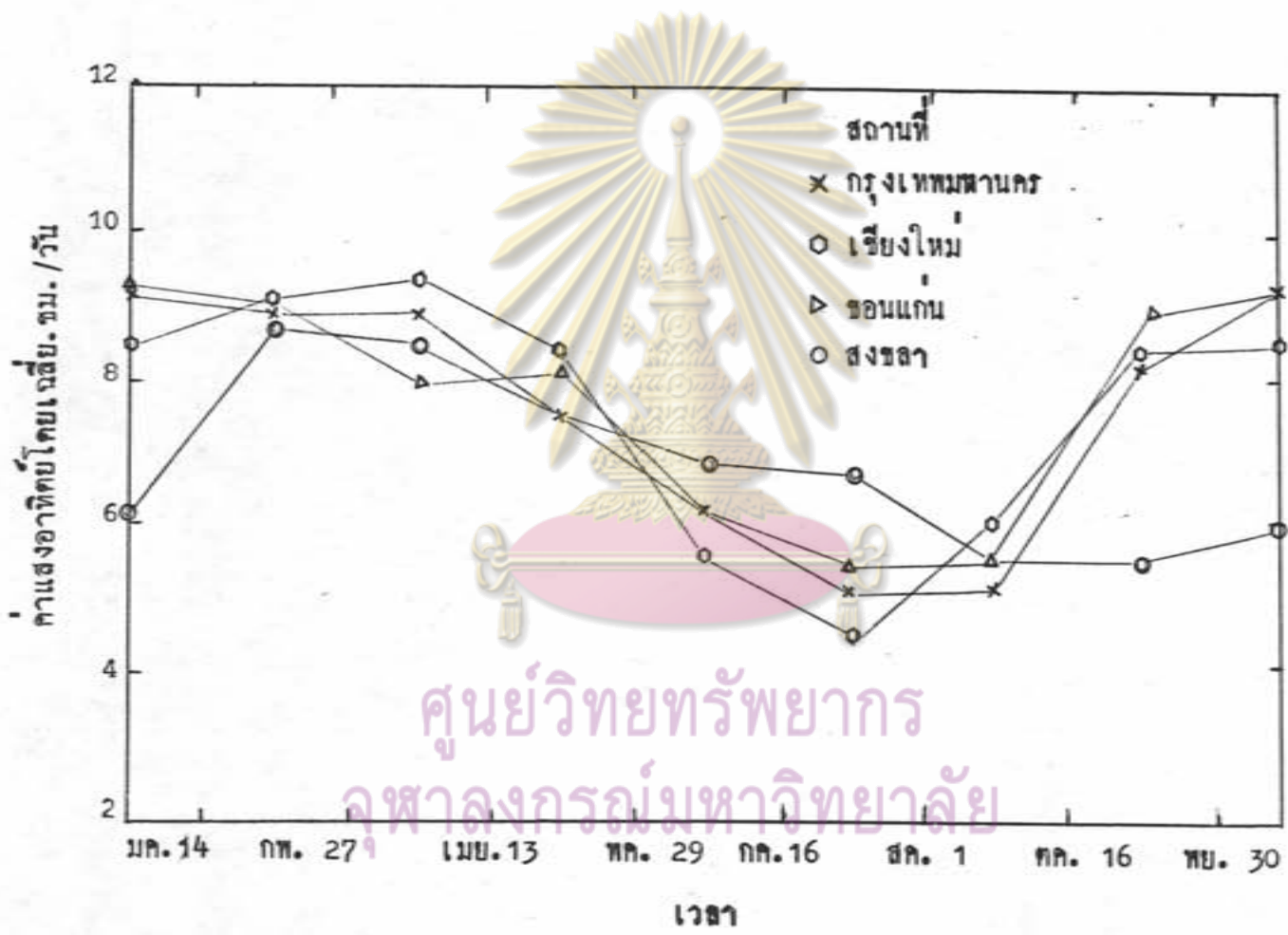
ตารางที่ 1
อัตราพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดเฉลี่ยรายวันที่กรุงเทพฯ ๗ วัตต์/ม²

ช่วงเวลา	เวลา (ชม.)									
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
14 ม.ค. - 20 ก.พ.	174	349	499	604	674	685	627	511	348	163
27 ก.พ. - 12 เม.ย.	232	407	557	673	744	755	697	581	395	197
13 เม.ย. - 28 พ.ค.	256	418	546	651	697	697	639	546	395	209
29 พ.ค. - 15 ก.ค.	232	383	499	593	615	581	465	441	325	197
16 ก.ค. - 31 ส.ค.	232	395	523	593	615	582	523	429	302	163
1 ก.ย. - 15 ก.ค.	221	383	511	581	592	569	511	441	290	151
16 ก.ค. - 28 พ.ย.	186	360	523	627	674	650	581	468	337	139
30 พ.ย. - 15 ม.ค.	174	360	499	627	685	685	615	488	314	151

ส่วนค่าพลังงานแสงอาทิตย์รวมโดยเฉลี่ยทั้งหมดในประเทศ (9) วัตต์ที่กรุงเทพฯ ๗ เชียงใหม่ ขอนแก่น และสงขลา จะให้ค่าอัตราพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่เกิดขึ้นตลอดปี ทั้งแสงดวงไว้ในรูปที่ 2.6 และค่าของแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่รับได้จำนวนชั่วโมงต่อวันตลอดปีทั้ง แสงดวงไว้ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์รวมโดยเฉลี่ยทั้งหมดในประเทศไทย (9)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.7 ค่าแสงอาทิตย์เฉลี่ยในประเทศไทย

2.6 คุณสมบัติการดูดซับรังสีของสระ (Radiation Absorption Properties of Ponds)

1. น้ำเกลือสามารถดูดซับพลังงานความร้อนจากรังสีของแสงอาทิตย์ได้ในลักษณะเป็นเอ็กโพเทนเชียลกับความลึกของสระและขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของการแผ่รังสีจากแสงอาทิตย์ภายในสระด้วยซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้. - (16)

$$\frac{\partial \phi(x)}{\partial \lambda} = \frac{\partial \phi_0(x)}{\partial \lambda} \cdot e^{-(\mu_\lambda \cdot x)} \dots \dots \dots (2.1)$$

$\phi(x)$ = ค่าการแผ่รังสีของคลื่น $(\lambda - \frac{\Delta\lambda}{2}) \rightarrow (\lambda + \frac{\Delta\lambda}{2})$ ที่เกิดขึ้น

x = ความลึก

$\phi_0(x)$ = ค่าการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นที่ผิวน้ำตอนบนของสระ

μ_λ = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีแสงอาทิตย์ของน้ำขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น

2. พลังงานแสงอาทิตย์ที่สระรับได้จากรังสีแบบรวม (Total of Global Radiation) ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของการผ่านทะลุของรังสีที่ผิวน้ำตอนบนของสระ ซึ่งคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้. - (18)

$$E = 2n(a^2 + b^2) \cos i \cos \gamma \dots \dots \dots (2.2)$$

$$a = 1/(\cos \gamma + n \cos i) \dots \dots \dots (2.3)$$

$$b = 1/(\cos i + n \cos \gamma) \dots \dots \dots (2.4)$$

E = อัตราส่วนของ การผ่านทะลุที่ได้จากปริมาณการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ที่น้ำรับได้ต่อปริมาณการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นในแนวระดับเหนือผิวน้ำ

i = ค่ามุมที่เกิดจากรังสีแสงอาทิตย์กระทบกับเส้นตั้งฉากกับผิวน้ำบนสระ

n = ค่าดัชนีหักเหของน้ำเกลือที่ผิวน้ำบนของสระ

γ = มุมที่เกิดจากรังสีสะท้อนกลับที่แนวตั้งฉากกับผิวน้ำบนสระ

ศูนย์วิจัยทรัพยากรน้ำ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\sin i = n \sin \gamma \dots\dots\dots (2.5)$$

ค่าการแผ่รังสีที่รับได้ขึ้นอยู่กับทิศทางของการแผ่รังสีจากชั้นบรรยากาศบนท้องฟ้า เราสามารถพิจารณาว่าค่าการแผ่รังสีแบบกระจายเปลี่ยนมาเป็นความเข้มที่สมมูลย์ในบรรยากาศได้อีกบางส่วนของการแผ่รังสีแบบกระจายจะมีผลต่อการผ่านทะลุของน้ำเกลือซึ่งได้ค่าดังนี้.-

$$2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} E \cos i \cdot \sin i \, d i \approx 0.93 \dots (2.6)$$

ค่ามุม zenith สามารถทำได้โดยตรงหรือหาได้จากค่ามุมดวงนี้.-

$$\cos i = \cos(\text{Latitude}) \cos \delta \sin 2 \pi (t-6) / 24 + \sin(\text{Latitude}) \sin \delta$$

t = เวลา(ชม.)

δ = ค่า declination ของดวงอาทิตย์ (Declination) = $\delta_0 \sin 2\pi D/365$

δ_0 = ค่า declination ของดวงอาทิตย์ที่นับจากวันที่ 21 มีนาคม

D = จำนวนวันที่วัดนับเริ่มจากวันที่ 21 มีนาคม

2.7 สมการหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในสระของ Weinberger

Weinberger (15) and Shirtcliffe (17) ได้ทำการวิจัยและกำหนดชั้นของความร้อนในภาชนะที่มีการแพร่กระจายโมเลกุลของน้ำทั้งหมดในมิติเดียวของระบบ Non-convecting ซึ่งจะประกอบด้วยพลังงานความร้อน $H(x,t)$ ต่อหน่วยความยาวจะได้สมการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\alpha}{\rho C_{p,w}(x)} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{H(x,t)}{\rho C_{p,w}(x)} \dots\dots\dots (2.7)$$

$T(x,t)$ = อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในน้ำ (°ซ)

x = ความลึกจากผิวน้ำตอนบนของสระลงไป (ชม.)

α = ค่าการแพร่กระจายโมเลกุลของน้ำ (พ.ท./ชม.)

t = เวลาที่นับจากจุดเริ่มต้นทำงาน (ชม.)

$H(x,t)$ = พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นที่ความลึก x เวลา t

$C_{p,w}(x)$ = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำที่มีความดันคงที่ ที่ความลึก x จากผิวน้ำตอนบนของสระ (กิโลจูล/กิโลกรัม°ซ.)

ρ = ค่าความหนาแน่นของ ของเหลวผสม (กก./ม³)

2.8 ประมาณค่าความสามารถการรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง

Bachanann and Goldman (19) ได้วิเคราะห์และพัฒนาความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรงจากหลักความจริงที่ว่ากลไกสำคัญในการให้ความร้อนแบบ Hypolimnion คือ " บริเวณภายในสระจะต้องไม่ถูกรบกวน " (บริเวณใต้สระ) (20) ถ้าอัตราการแพร่กระจายความร้อนออกไปอุณหภูมิต่ำที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีภายในที่ถูกล้อมไว้กำหนดได้โดยสมการ (2.8)

$$\frac{\partial T_{bd}}{\partial t} = - \frac{1}{AC_{p,w}(x)} \cdot \frac{\partial(\phi A)}{\partial x} \dots\dots\dots (2.8)$$

สมการ (2.8) แสดงอัตราการของอุณหภูมิต่ำที่เพิ่มขึ้นในสระเมื่อไม่คิดผลจากการแพร่กระจายของความร้อนที่เกิดขึ้นภายในสระ และในทางกลับกันเมื่อคิดผลจากการแพร่กระจายความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิต่ำที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อได้รับการแผ่รังสีโดยตรงและความร้อนที่ถูกส่งถ่ายโดยการแพร่กระจายจะเป็นไปตามสมการ(2.9)

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial T_{bd}}{\partial t} + \frac{\partial T_d}{\partial t} \dots\dots\dots (2.9)$$

$T(x, t)$ = อุณหภูมิรวมที่เกิดขึ้นทั้งหมด (°ซ)

$T_{bd}(x, t)$ = อุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีภายในที่ถูกล้อมไว้ (°ซ)

$T_d(x, t)$ = อุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการแพร่กระจาย (°ซ)

t = เวลา (ชม.)

2.9 การแผ่รังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) (21)

พลังงานที่ได้จากการแผ่รังสีคลื่นยาวอยู่ในช่วงของอินฟราเรดจะถูกดูดซับไว้ในบรรยากาศชั้นล่างใกล้ผิวโลก ความร้อนที่บรรยากาศชั้นล่างดูดซับไว้บางส่วนจะถูกคายให้แก่บรรยากาศชั้นสูงกว่าขึ้นไป ทำให้อากาศชั้นบนเกิดการหมุนเวียน อีกส่วนหนึ่งจะคายลงสู่พื้นโลกเป็นการเพิ่มความร้อนให้แก่พื้นโลกอีกทางหนึ่ง ซึ่งพลังงานที่พื้นโลกรับได้จริง ๆ นี้รวมเรียกว่า อินโซเลชัน (Insolation)

การแผ่รังสีจากวัตถุดำให้ไว้โดย Stefan Boltzmann Law.

$$\phi_b = \sigma (273 + T_{b1})^4 \dots\dots\dots (2.10)$$

ϕ_b = เป็นค่าการแผ่รังสีของวัตถุดำ (วัตต์/ม²)

σ = เป็นค่าคงที่ Stefan Boltzmann (วัตต์/ม².เคลวิน⁴)
5.674 10⁻⁸ วัตต์/ม² (เคลวิน)⁴

T_{b1} = เป็นอุณหภูมิของวัตถุดำ (เคลวิน)

การแผ่รังสีของน้ำ:

$$\phi_w = \epsilon_w \sigma (273 + T_m)^4 \dots\dots\dots (2.11)$$

เมื่อ ϵ_w = เป็นค่าการปล่อยรังสีออกของผิวน้ำบนสระที่อุณหภูมิเฉลี่ย (T_m)

การแผ่รังสีจากบรรยากาศ

$$\phi_a = \epsilon_a \sigma (273 + T_a)^4 \dots\dots\dots (2.12)$$

เมื่อ ϵ_a = เป็นค่าการปล่อยรังสีออกของบรรยากาศบนสระที่อุณหภูมิบรรยากาศ (T_a)

ϕ_a = ค่าการแผ่รังสีจากบรรยากาศ (วัตต์/ม²)

ความสามารถในการดูดเก็บรังสีของผิวน้ำ

$$a_w = (1 - \text{albedo}) \dots\dots\dots (2.13)$$

เมื่อ a_w = ค่าความสามารถการดูดเก็บรังสีของผิวน้ำ

albedo = ค่าการสะท้อนกลับของผิวน้ำ

ในการแผ่รังสีอินฟราเรดมาจากบรรยากาศทั้งหมดคำนวณได้จากสมการ (2.14)

$$\phi_y = \epsilon_w \sigma (273 + T_m)^4 - a_w \epsilon_a \sigma (273 + T_a)^4 \dots (2.14)$$

เมื่อ ϕ_y = ค่าการแผ่รังสีอินฟราเรดมาจากบรรยากาศ (วัตต์/ม²)

ค่าการปล่อยรังสีออกและการดูดเก็บรังสีของน้ำ โดยทั่ว ๆ ไปจะใช้ค่าประมาณ 0.97

$$\phi_y = 0.97 \sigma [(273 + T_m)^4 - \epsilon_a (273 + T_a)^4] \dots (2.15)$$

ค่าการปล่อยรังสีออกของบรรยากาศนั้น เกิดจากก้อนเมฆและความชื้นในอากาศที่อุณหภูมิต่ำกว่า
ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าการแผ่รังสีของบรรยากาศได้ดังนี้

$$\phi_{\gamma} = 0.97 \cdot \sigma (T_m^4 - T_s^4) \dots \dots \dots (2.16)$$

2.10 ผลกระทบจากลม

ผลกระทบจากลมเป็นปัญหาอย่างหนึ่ง ในการสร้างขึ้นของน้ำเกลือในสระหรือใน
ทะเลสาบ สาเหตุเพราะเมื่อลมพัดผ่านผิวน้ำตอนบนของสระจะทำให้ น้ำระเหยไปส่วนหนึ่ง
อีกส่วนหนึ่งจะเกิดจากผิวน้ำตอนบนของสระเกิดปั่นป่วน (Epilimnion) ชั้น (25) ซึ่ง
ทำให้น้ำเกลือบริเวณชั้นที่ต่ำกว่าจะไหลขึ้นข้างบนทำให้ชั้นของน้ำเกลือเสียไป

Bryson and Suomi (1952) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำและลมพบว่าค่า
ความดวงจำเพาะของของเหลวในส่วนที่ไม่ถูกรบกวน (Hypolimnion) จะให้ค่าแตกต่าง
กันน้อยมาก (ประมาณ 0.002) และผิวน้ำตอนบนของสระจะถูกลมรบกวนลึกประมาณ
3 ซม. และจะมีค่ามากในทะเลสาบขนาดใหญ่ถึง 1,500 ซม. (รูปที่ 2.8)

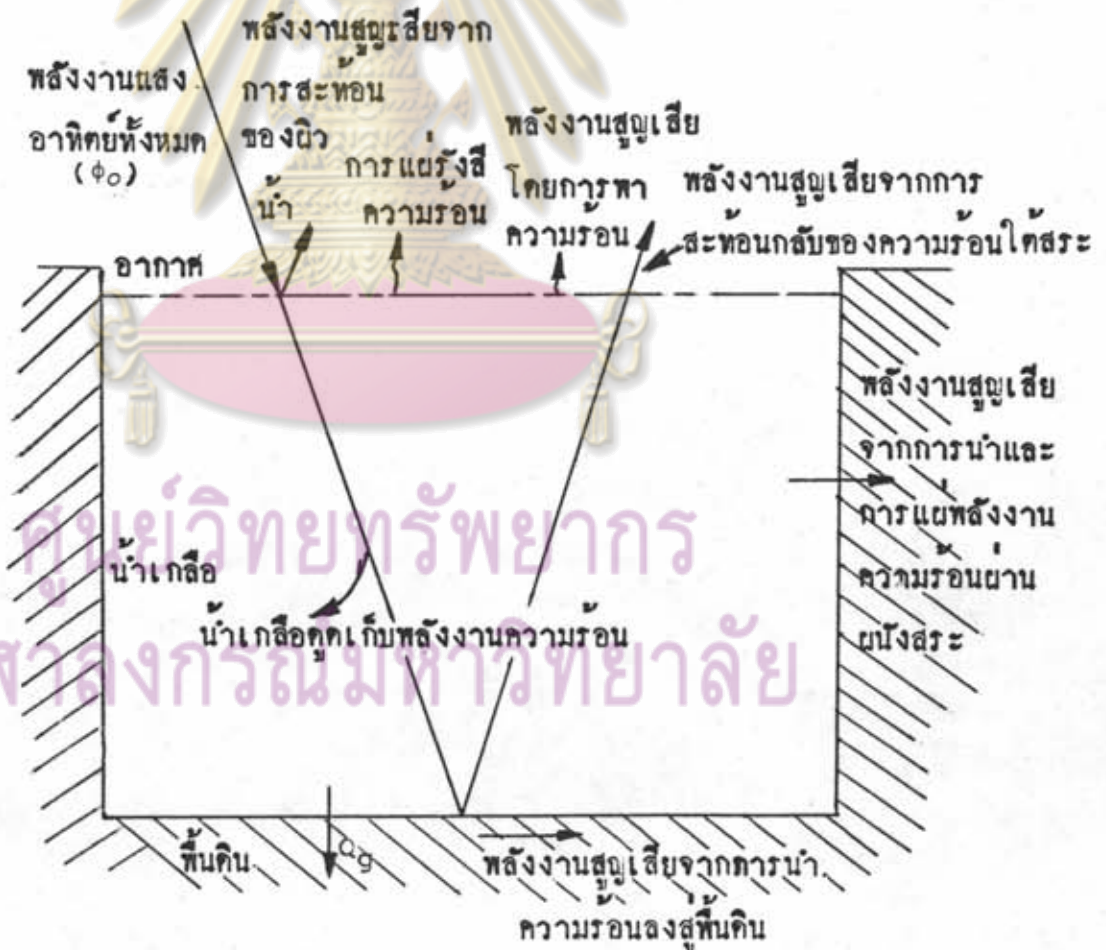


รูปที่ 2.8 แสดงพลังงานที่ถ่ายเทในสระแสงอาทิตย์

เมื่อทะเลสาบได้รับความร้อน อุณหภูมิจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นไม่ว่าในทะเลสาบจะแบ่งชั้นมากหรือน้อยก็ตาม ความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำจากอหิพอลของลมน้ำวนมากขึ้น และในขณะเดียวกันชั้นน้ำส่วนที่ไม่ถูกรบกวนก็จะรวมตัวเป็นความร้อนสะสมอยู่ที่ทะเลสาบนั้นคือ จะไหลเวียนรวมตัวกันอยู่ที่ทะเลสาบนั้นเอง (25)

2.11 หลักการสมดุลพลังงานของสระแสงอาทิตย์

พลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ เมื่อนำมาพิจารณาในกรณีที่มีความสามารถของสระแสงอาทิตย์จะรับไว้ได้ซึ่งประกอบไปด้วย พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ทั้งหมดซึ่งจะเท่ากับพลังงานที่เกิดขึ้นในสระแสงอาทิตย์จริงรวมกับพลังงานที่เกิดจากการสูญเสียทั้งหมดนั่นเอง (ดังรูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของพลังงานที่เกิดขึ้นในสระแสงอาทิตย์

2.11.1 อัตราพลังงานความร้อนที่เก็บสะสม

อัตราพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดเก็บด้วยน้ำเกลือคิดต่อหน่วยเวลาคำนวณได้จากสมการดังนี้. -

$$\frac{dQ_I}{dt} = M_w \cdot C_{p,w}(x) \frac{dT}{dt} \dots\dots\dots (2.17)$$

- $\frac{dQ_I}{dt}$ = อัตราพลังงานที่เกิดขึ้นในชั้นเก็บสะสมต่อหน่วยเวลา (กิโลจูล/ชม.)
- M_w = น้ำหนักของน้ำ (กก.)
- $C_{p,w}(x)$ = ความร้อนจำเพาะของน้ำเกลือในสระที่ความลึก x จากผิวน้ำตอนบน
- $\frac{dT}{dt}$ = อัตราของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงต่อหน่วยเวลา

ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปริมาตรของน้ำเกลือในสระ คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

หรือ $\frac{dQ_I}{dt} = M_w \cdot C_{p,w}(x) \frac{dT}{dt}$

หรือ $Q_I = M_w \cdot C_{p,w}(x) \int_{T_o(x)}^{T_f(x)} dT$

เมื่อ $Q_I = M_w \cdot C_{p,w}(x) (T_f(x) - T_o(x)) \dots\dots\dots (2.18)$

- Q_I = พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา (กิโลจูล/พ.ท./ชม.)
- $T_o(x)$ = อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำเกลือที่ความลึก x จากผิวน้ำตอนบน
- $T_f(x)$ = อุณหภูมิสุดท้ายหลังจากเวลา t ชม. ที่ความลึก x จากผิวน้ำตอนบน

ศูนย์วิจัยทรัพยากรน้ำบาดาล
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.11.2 พลังงานสูญเสียค่านบนของสระแสงอาทิตย์

ให้ Q_{Lc} เป็นพลังงานสูญเสียไปกับบรรยากาศที่ผิวหน้าค่านบนของสระ
เป็นไปได้ 2 ลักษณะ คือ

1. การพาความร้อน (Convection)
2. การแผ่รังสี (Radiation)

จากคำจำกัดความของการแผ่รังสีคลื่นยาว และจากความรู้ทางทฤษฎีของการพาความร้อนและการแผ่รังสี เราสามารถเขียนพลังงานสูญเสียทั้งหมดออกจากค่านบนของสระได้ดังนี้

$$Q_{Lc} = h(T_{ws} - T_a) + \epsilon_w \sigma (T_{ws}^4 - T_a^4) \dots\dots\dots (2.19)$$

ในเทอมแรกเป็นการพาความร้อน ซึ่ง h เป็นสัมประสิทธิ์การพา-
ความร้อน (วัตต์/ม²-°ซ) ส่วนในเทอมที่สองบอกถึงความสูญเสียจากการแผ่รังสี

เมื่อความเร็วลมเปลี่ยนแปลงสามารถคำนวณหาได้ หรือเปิดได้จากตาราง
ความสัมพันธ์ที่กำหนดขึ้น (23)

ความเร็วลม (v)	0	5	10	ม/วินาที
h	6	25	40	วัตต์/ม ² (°ซ)

หรือคำนวณได้จาก $h = 5.7 + 3.8 v \dots\dots\dots (2.19)$

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ v = ความเร็วลม (ม/วินาที)

T_{ws} = อุณหภูมิของผิวน้ำ (°ซ)

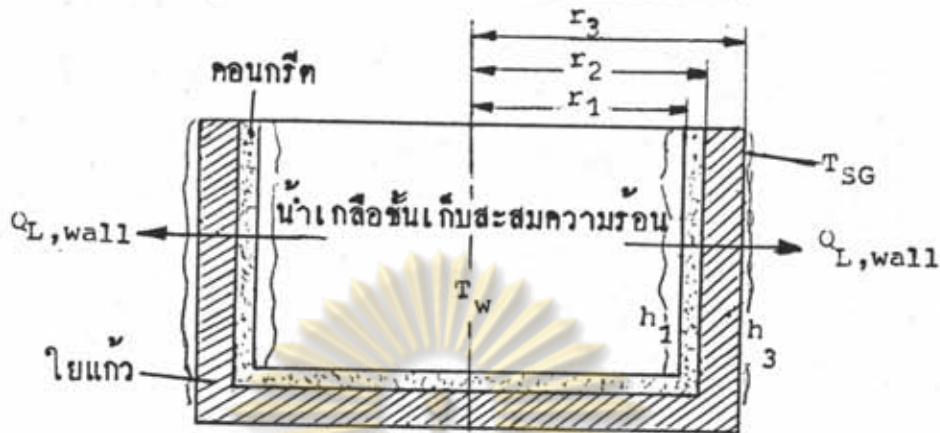
T_a = อุณหภูมิบรรยากาศ (°ซ)

σ = ค่าคงที่ของ Stefan Boltzmann (วัตต์/ม²(เคลวิน)⁴)

ϵ_w = ค่าความสามารถการส่งออกของผิวน้ำส่วนบน

Q_{Lc} = พลังงานที่เกิดการสูญเสียขึ้นระหว่างน้ำกับอากาศใน
บรรยากาศบนสระ (วัตต์/ม²)

2.11.3 พลังงานสูญเสียไปกับผนังสระในชั้นสะสมความร้อน



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะพลังงานสูญเสียไปกับผนังสระ

$$Q_{L,wall} = \frac{2 \pi L (T_w - T_a)}{\left(\frac{1}{r_1 h_1} + \frac{\ln r_2 / r_1}{K_c} + \frac{\ln r_3 / r_2}{K_f} + \frac{1}{r_3 h_3} \right) A} + \epsilon_s \sigma (T_{SG}^4 - T_a^4) \quad (2.20)$$

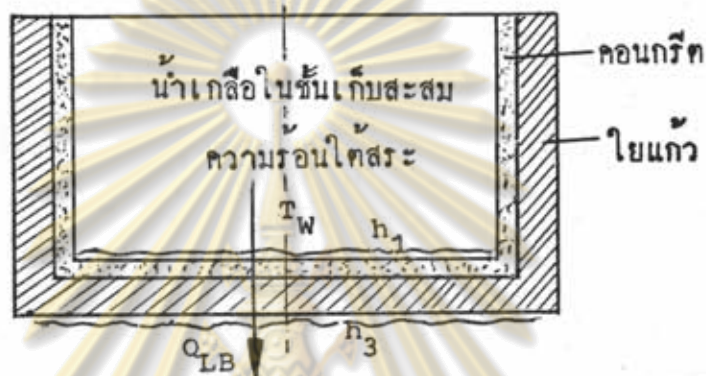
ในเทอมแรกเป็นการสูญเสียพลังงานไปกับผนังสระ ในเทอมสองเกิดการแผ่พลังงานความร้อนออกสู่อากาศ

- เมื่อ
- $Q_{L,wall}$ = พลังงานที่สูญเสียผ่านผนังสระในชั้นสะสมความร้อน (วัตต์/ม²)
 - L = ความลึกของสระในชั้นสะสมความร้อน (ม.)
 - T_w = อุณหภูมิภายในสระที่ชั้นสะสมความร้อน (°ซ)
 - T_{SG} = อุณหภูมิผิวของใยแก้วด้านนอก (°ซ)
 - r_1 = รัศมีจากกึ่งกลางสระถึงขอบสระด้านใน (ม.)
 - r_2 = รัศมีจากกึ่งกลางสระถึงขอบสระด้านนอกติดกับใยแก้ว (ม.)
 - r_3 = รัศมีจากกึ่งกลางสระถึงผิวใยแก้วด้านนอก (ม.)
 - K_c = ค่าการนำความร้อนของคอนกรีต (กิโลจูล/ม. ชม. °ซ.)
 - K_f = ค่าการนำความร้อนของใยแก้ว (กิโลจูล/ม. ชม. °ซ)
 - T_a = อุณหภูมิบรรยากาศ (°ซ)
 - ϵ_s = ค่าสัมประสิทธิ์การส่งความร้อนออกของผนังสระ ≈ 1
 - σ = ค่าคงที่ของ Stefan Boltzmann (วัตต์/ม².(เคลวิน)⁴)

- A = ค่าพื้นที่ที่ผนังสระในชั้นสะสมความร้อน (ม²)
- h_1 = ค่าการพาความร้อนที่ผนังสระค้ำใน (วัตต์/ม²·ซ.)
- h_3 = ค่าการพาความร้อนที่ผนังสระค้ำนอก (วัตต์/ม²·ซ.)

2.11.4 พลังงานสูญเสียผ่านโถ้สระทดลอง

การสูญเสียพลังงานโถ้สระสำหรับการทดลองนี้ลักษณะผนังคอนกรีตโยแก้ว มีลักษณะเช่นเดียวกับแบบการสูญเสียที่ผนังค้ำรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะพลังงานสูญเสียผ่านโถ้สระในสระทดลอง

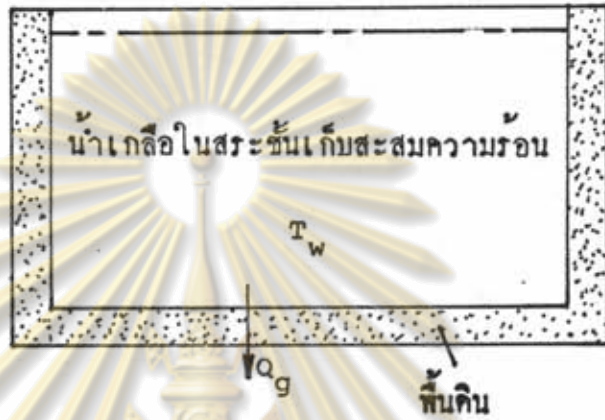
$$Q_{LB} = \frac{(T_w - T_a)}{\frac{1}{h_1} + \frac{x_c}{K_c} + \frac{x_f}{K_f} + \frac{1}{h_3}} + \epsilon_s \sigma (T_{SG}^4 - T_a^4) \quad (2.21)$$

เมื่อ Q_{LB} = พลังงานสูญเสียผ่านโถ้สระทดลอง (วัตต์/ม²)
 T_w = อุณหภูมิของน้ำ (ซ.)

- T_a = อุณหภูมิบรรยากาศ (ซ.)
- x_c = ความหนาของคอนกรีต (ม.)
- x_f = ความหนาของโยแก้ว (ม.)
- K_c = ค่าการนำความร้อนคอนกรีต (กิโลจูล/ม.ซม.ซ.)
- K_f = ค่าการนำความร้อนของโยแก้ว (กิโลจูล/ม.ซม.ซ.)
- ϵ_s = ค่าสัมประสิทธิ์การส่งความร้อนออกของผนังสระ
- T_{SG} = อุณหภูมิที่ผิวโยแก้วค้ำนอก (ซ.)
- σ = ค่าคงที่ของ Stefan Boltzmann (วัตต์/ม²(เคลวิน)⁴)
- h_1 = ค่าการพาความร้อนที่ผนังสระค้ำใน (วัตต์/ม²·ซ.)
- h_3 = ค่าการพาความร้อนที่ผนังสระค้ำนอก (วัตต์/ม²·ซ.)

2.11.5 พลังงานสูญเสียไต้สระกรณีที่มีสัมผัสกับพื้นดิน

การคำนวณหาพลังงานที่สูญเสียผ่านไต้สระเนื่องจากค่าการนำความร้อนของดิน ค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนจำเพาะของดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะพลังงานสูญเสียผ่านไต้สระ

อัตราของพลังงานที่ไหลผ่าน ในของแข็ง, พื้นดินให้ไว้โดย (24)

$$\dot{Q}_g = \frac{\Delta T \sqrt{4k_s \rho_s C_{p,s}}}{\pi} \cdot \sqrt{t} \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

เมื่อ Q_g = พลังงานสูญเสียจากไต้สระสู่พื้นดิน (วัตต์/ม²)

ΔT = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ผิวของดินมากกว่าอุณหภูมิเดิม (เริ่มต้น) (°ซ.)

k_s = ค่าการนำความร้อนของดิน (กิโลจูล/ม.ซม. °ซ)

ρ_s = ค่าความหนาแน่นของดิน (กก./ม³)

$C_{p,s}$ = ความร้อนจำเพาะของดิน (กิโลจูล/กก. °ซ.)

t = เวลาการทำงานของ สระ(ชม.)

• คำนวณได้โดยใช้คุณสมบัติในภาคผนวก ง.

2.11.6 ประสิทธิภาพของสระแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของสระอาจจะกำหนดได้ว่า

$$\eta_p = \frac{\text{อัตรารวมพลังงานที่สะสม}}{\text{อัตรารวมพลังงานทั้งหมดที่สระได้รับ}}$$

- เมื่อ
- η_p = ประสิทธิภาพของสระแสงอาทิตย์
 - Q_I = อัตรากำลังงานที่สะสมในสระแสงอาทิตย์... (วัตต์)
 - Q_0 = อัตรากำลังงานทั้งหมดที่สระได้รับจากแสงอาทิตย์ (วัตต์)
(การแผ่รังสีแสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นบนผิวน้ำของสระ)

$$\eta_p = \frac{Q_I}{Q_0} \times 100 \dots \dots \dots (2.23)$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย