

บทที่ 9

พลังงานความร้อน, สภาพแวดล้อมของน้ำ และการเคลื่อนไหว ของน้ำ

(Heat energy, water as environment and movement)

ความร้อนเป็นบ่อเกิดพลังงานระหว่างแรงที่เกิดระหว่างอะตอม และพลังงานจลน์ (Kinetic energy) ของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในสาร หรือพลังงานที่เปลี่ยนรูปร่างไปจากสูงกว่าไปยังต่ำกว่า ในขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนจากสูงมาต่ำ ความร้อนมีหน่วยเป็น calories มันอยู่ในรูปของความร้อน (heat content)

ความร้อนจำเพาะ (specific heat) คือจำนวนความร้อนที่ใช้ในน้ำ 1 gm มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C

High specific thermal capacity of water = heat capacity / Volume of water

High specific thermal capacity of water มีหน่วย cal/gm/degree

อุณหภูมิ คือระดับความร้อนที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ ถ้าอุณหภูมิสูงก็แสดงว่ามีระดับความร้อนสูง, ถ้าอุณหภูมิต่ำก็แสดงว่ามีระดับความร้อนต่ำ หรืออุณหภูมิคือการเปลี่ยนพลังงานจลน์ในโมเลกุลของสาร ในทางสรีระวิทยา อุณหภูมิมีความสำคัญมากกว่าความร้อน, มันมีอิทธิพลต่อขบวนการ metabolism, การกินอาหาร, การสืบพันธุ์ และอื่น ๆ เช่น *Diaptomus pallidus* สามารถเจริญมากกว่า 4.5 เท่าที่ 25°C กว่าที่ 10°C มีเครื่องมือที่ใช้วัดเรียกว่า thermometer มีหลายแบบ

1. **Simple thermometer** เป็นเครื่องมือใช้วัดอุณหภูมิที่ผิวน้ำ
2. **Sample thermometer** เป็นเครื่องมือใช้วัดอุณหภูมิ ในส่วนลึกของน้ำ เมื่อนำน้ำที่อยู่ตื้นขึ้นมาทันที ใช้วัดระดับน้ำลึกประมาณ 50 เมตร
3. **Reversing thermometer** เป็นเครื่องมือภายในมีปรอทในหลอดแก้ว สามารถหมุนเวียนตลอด 180° การหมุนเวียนทำให้แท่งปรอทแตก เมื่ออุณหภูมิสูงมากเกินไป ควรวัดที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไปนัก มันถูกนำมาใช้ใน oceanography, limnology วัดอุณหภูมิของน้ำในที่ลึก

4. **Thermocouple** (Resistance thermometer) ใช้วัดอุณหภูมิที่ลึก ๆ ทุก ๆ 2-3 ซม. เพื่อได้ อุณหภูมิติดต่อกันในการบันทึกทุกระดับอุณหภูมิ

ความจุความร้อนของน้ำแตกต่างกัน ในน้ำกลั่น 1.0 หรือ 4.187 joules/gm/degree ที่ 14.5°C ในน้ำทะเล 3.5 gm ของเกลือ/น้ำ 1 kg. ในทะเลสาป, ล้ำธารน้อยกว่า 1.0 เล็กน้อย

Mean temperature and Heat content

Mean Temperature ในแหล่งน้ำหมายถึง อุณหภูมิในทะเลสาปเท่ากันเป็นแนวตั้ง ตลอด ตัวอย่าง เช่น อุณหภูมิของน้ำในทะเลสาป 8°C

Heat content ความจุความร้อนของน้ำ หมายถึง จำนวนความร้อนที่มีอยู่ในแต่ละมวลของ น้ำ

น้ำ 1 กรัม มีปริมาตร 1 cm³ (1 ml) ความจุความร้อน 1 cal (ml × °C)

Table 9-1. Some thermal data from Tom Wallace, Kentucky, 3 August 1951

I Depth (m)	II Temperature (°C)	III Strata (m)	IV Volume (m ³)	V Relative volume	VI Mean temperature of strata (°C)	VII Heat content (IV × VI)	VIII (V × VI)
0	28.9						
1	27.2	0-1	21,460	0.237	28.1	603.026	6.66
2	26.7	1-2	17,990	0.198	26.9	483.931	5.33
3	24.4	2-3	14,980	0.165	25.6	383.488	4.22
4	16.1	3-4	12,280	0.135	20.3	249.284	2.74
5	10.6	4-5	9,775	0.108	13.3	130.007	1.44
6	10.0	5-6	7,195	0.079	10.3	74.108	0.81
7	8.9	6-7	4,645	0.051	9.4	43.663	0.48
8	8.8	7-8	2,090	0.023	8.9	18.601	0.20
8.75	8.8	8-8.75	230	0.003	8.8	2.041	0.03
Totals	170.4		90,647	1.000		1,988.140	21.91

จาก Table 9-1 อุณหภูมิที่วัดได้ 10 ครั้ง จากผิวบนจนถึงผิวล่าง อุณหภูมิเฉลี่ยคือ 17.0°C มันไม่ใช่ mean temperature สังเกตจากน้ำในระดับลึก มีอุณหภูมิ 8.8°C จะมีปริมาตรน้อยกว่าที่อยู่บนผิว 1 เมตร อุณหภูมิระหว่าง 28.9 และ 27.2°C อุณหภูมิไม่ใช่จุดเฉพาะที่หา mean temperature

และค่าเฉลี่ย ของชั้นอุณหภูมิตั้ง 10 ชั้น ไม่ได้บอก

$$\text{Mean depth} = V = \frac{90,647}{23,400} \text{ เมตร} = 3.87 \text{ เมตร}$$

$$\text{ใน column IV} = \frac{\text{Volume แต่ละชั้น}}{\text{Total volume}}$$

$$\text{อุณหภูมิใน III แต่ละชั้น} = \frac{\text{อุณหภูมิผิวบน} + \text{อุณหภูมิผิวชั้นถัดไป}}{2}$$

Heat content ใน column VII = Volume ใน column IV \times Temperature ของแต่ละชั้นใน column VI

Mean temperature = ผลรวมของ Relative Volume \times Temperature of strata

$$\text{Relative volume} = \frac{\text{Volume ระหว่างชั้นทั้งสอง}}{\text{Total volume}}$$

$$\text{Mean temperature of strata} = \frac{\text{อุณหภูมิตั้งชั้นทั้งสอง}}{2}$$

จะเห็นได้ว่าค่าของ mean temperature ที่หาได้ = 21.9° C แตกต่างจาก 17° C เกือบ 5° C ผลของมันได้จากค่าเฉลี่ยของชั้นในแนวตั้ง ซึ่งไม่ได้เอาปริมาตรมาเกี่ยวข้อง จากผลของปริมาตรของน้ำ และอุณหภูมิใน Table 9-1, column VII คือความร้อน ถ้าปริมาตรทะเลสาบเปลี่ยนเป็น cm^3 , total heat content เป็น calories ได้จากผลรวมเป็น column VII เมื่อ $1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3$ เพราะฉะนั้น total heat content ของ Tom Wallace lake ในวันที่ 3 ส.ค.1951 = $1,988,140 \times 10^6 \text{ cal}$ ถ้าน้ำมีอุณหภูมิตลอด 5° C ใน Tom Wallace lake แสดงว่า heat content (ความจุความร้อน) เป็นแบบเดียวกันตลอดในช่วงฤดูร้อน

heat content คือจำนวนความร้อนเป็น cal/หน่วย พ.ท. ผิวหน้า เมื่อ พ.ท. ผิวหน้าของ Tom Wallace lake = 2.34 ha, หรือ $2.34 \times 10^8 \text{ cm}^2$

$$\therefore \text{จำนวน Total heat} = \frac{1,988,140 \times 10^6 \text{ cal}}{234 \times 10^6 \text{ cm}} = 8,496 \text{ cal/cm}^2$$

ที่อยู่ใต้ พ.ท. ผิวหน้าของทะเลสาบ

Heat distribution : Work of Wind

การแพร่กระจายความร้อนสู่ผิวน้ำของทะเลสาบ ส่วนมากมาจากลม เมื่อมีลมมาพัดทำให้น้ำเกิดการหมุนเวียนจะทำให้เกิดปะทะกันไป ลมพัดทำให้ชั้นของน้ำที่อุ่น และเบากว่าลงสู่เบื้องล่าง และ particle ของน้ำแลกเปลี่ยนกันในแนวตั้ง

Birge (1916) ว่าการทำงานของลม (B) จำเป็นต่อการแพร่กระจายความร้อนลงสู่ชั้นล่าง มีหน่วยเป็น dyne-cm หรือ erg/unit area หรือ gm-cm/cm²

$$B = \frac{1}{A_0} \int_{Z_0}^{Z_m} z (\rho_1 - \rho_2) A_z dz$$

Table 9-2. Data and calculations for establishing work of the wind, Tom Wallace Lake, Kentucky, 26 June 1954.

I z cm	II T _z C°	III A _z /A ₀	IV ρ _z g/cm ³	V ρ ₁ - ρ ₂ g/cm ³	VI A _z /A ₀ × z cm	VII (V × VI) g/cm ²
50	27.7	0.9188	0.99634	0.00366	45.9	0.16799
150	26.7	0.7692	0.99662	0.00338	115.4	0.38998
250	20.9	0.6410	0.99804	0.00196	160.2	0.31409
350	14.0	0.5278	0.99927	0.00073	184.7	0.13485
450	10.3	0.4188	0.99970	0.00030	188.5	0.05654
550	8.1	0.3098	0.99987	0.00013	170.4	0.02215
650	7.3	0.2009	0.99992	0.00008	130.6	0.01045
750	7.0	0.0940	0.99993	0.00007	70.5	0.00493
850	6.9	0.0043	0.99993	0.00007	3.7	0.00026
Total						1.10355

$$B = \sum_{z_0}^{z_m} z (\rho_1 - \rho_2) \frac{A_z}{A_0} \Delta z = 1.10355 \text{ g/cm}^2 \times 100 \text{ cm} = 110.4 \text{ g-cm/cm}^2$$

จาก Table 9-2 การทำงานของลมสามารถคำนวณได้จาก Fig. 9-1 direct work curve แสดงถึงการทำงานของแต่ละชั้นของลม ที่จะดันแรงพุงของน้ำให้ต่ำลงสู่ที่ลึก การแพร่กระจาย

ความร้อนในฤดูร้อนไม่จำเป็นต้องผลของการทำงานของลม สาเหตุอื่นก่อนความร้อนจากดวงอาทิตย์ และการแพร่กระจายความร้อนในฤดูร้อน โดยการเคลื่อนไหวของอากาศที่ผิวหน้าทะเลสาบ อุณหภูมิที่ผิวหน้าสูง การแผ่รังสีสะท้อนกลับ, และกลายเป็นไอ

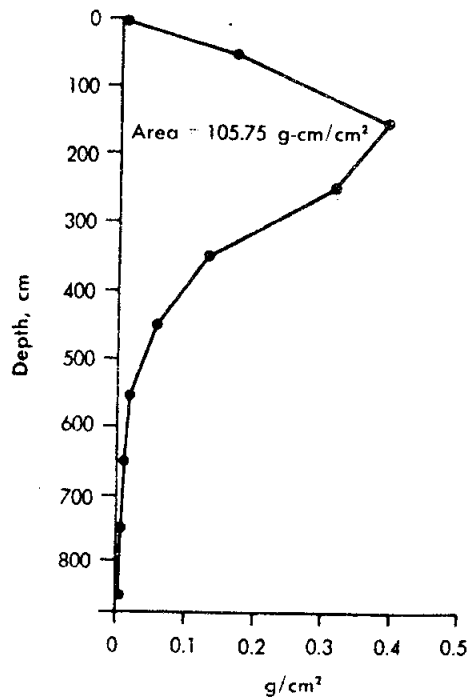


Fig. 9-1. Plot of Birge's 'work of the wind.' Direct work curve for Tom Wallace Lake, Kentucky, 26 June 1954. Based on data in Table 9-2.

Ricker (1937) ว่าการเคลื่อนที่ของ zooplankton จำนวนมากในแนวตั้งประจำวัน ขึ้นสู่ผิวน้ำที่อยู่ในเวลากลางคืน มันจะเปลี่ยนแปลงความร้อนถึง 0.07 cal/cm²/day ขณะที่เคลื่อนลงสู่ชั้นผิวน้ำล่าง เช่น Chaoborus sp.

Heat budget

Heat budget หมายถึง จำนวนความร้อนในแหล่งน้ำระหว่างระยะเวลาหนึ่ง แบ่งออก
ได้

1. **Annual heat budget** หมายถึงจำนวนความร้อนทั้งหมดในทะเลสาบหนึ่งจากอุณหภูมิต่ำสุด จนถึงขั้นสูงสุดในรอบปี

θ = ความจุความร้อนทั้งหมดหน่วยเป็น calories

a = ความร้อนที่เพิ่มขึ้น cal

b = ความร้อนต่อหน่วย พ.ท.ผิวน้ำ cal/cm^2

ดังนั้น θ_{ba} = Annual heat budget

ถ้าความจุความร้อนขั้นสูงสุดใน Wallace lake ในวันที่ 3 สิงหาคม 1951 = $8,490 \text{ cal/cm}^2$ และถ้าปีนี้อุณหภูมิฤดูหนาว 4°C θ_{ba} สามารถคำนวณได้

$$\frac{V, \text{cm}^3 \times 4.0^\circ\text{C}}{A, \text{cm}^2} = \frac{90,670 \times 10^6 \times 4.0^\circ\text{C}}{234 \times 10^6 \text{ cm}^2} = 1,548 \text{ cal/cm}^2$$

ความแตกต่างระหว่างความจุความร้อนสูงสุด และต่ำสุด =

$$\theta_{ba} = 8,490 - 1,548 = 6,942 \text{ cal/cm}^2$$

ดูได้จาก Table 9-3 แสดงให้เห็นอุณหภูมิแตกต่างในแต่ละระดับความลึกมาก และจาก data นี้ นำมาพล็อตกราฟใน Fig. 9-2

Table 9-3 Areas and temperature extremes observed at various depths in Tom Wallace Lake, Kentucky, used for calculating heat budget, θ_{ba}

Depth (m)	$\text{cm}^2 \times 10^6$	Temperatures ($^\circ\text{C}$)			Product Range \times area $\times 10^6$
		Lowest	Highest	Range	
0	234	0	30.7	30.7	7,183.8
1	196	3.6	29.2	25.6	5,017.6
2	164	3.6	28.0	24.4	4,001.6
3	136	3.6	23.3	19.7	2,679.2
4	111	3.8	22.2	18.4	2,042.4
5	85	4.0	19.4	15.4	1,309.0
6	60	4.0	17.8	13.8	828.0
7	34	4.0	10.5	6.5	221.0
8	10	4.0	10.0	6.0	60.0
8.5	1	4.0	10.0	6.0	6.0

Also see Fig. 9-3

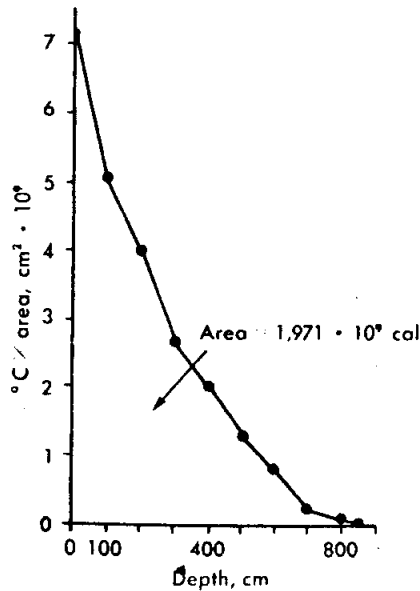


Fig. 9-2. Extreme heat budget for Tom Wallace Lake, Kentucky, based on data in Table 9-3. Product of extreme temperature ranges and area plotted on vertical axis; depth plotted on horizontal axis. Therefore, area beneath curve is $(^{\circ}\text{C} \times \text{cm}^2) \times \text{cm} = ^{\circ}\text{C} \times \text{cm}^3 = \text{calories}$

พ.ท. ได้ curve หยาบ ๆ = $1,971 \times 10^9 \text{ cal}$ จากการแบ่ง พ.ท. $234 \times 10^6 \text{ cm}^2$ จะได้ $8,423 \text{ cal/cm}^2$ เป็น yearly budget

ในทะเลสาบบางแห่ง annual heat budget ยังประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกัน

1. Winter heat income (๑) หมายถึง จำนวนความร้อนที่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิต่ำสุดในฤดูหนาวขึ้นสูงสุด ในฤดูใบไม้ผลิที่มีกระแสหน้าหมุนเวียน เมื่ออุณหภูมิในแหล่งน้ำที่ 4°C ทั้งหมด

ใน dimictic และ cold monomictic lake winter heat income ใช้ละลายน้ำแข็ง ถ้าใน polar lake อุณหภูมิต่ำกว่า 4°C annual heat budget ประกอบด้วย winter heat income เท่านั้น, เพราะช่วงระหว่างอุณหภูมิไม่กว้าง ดูจากการแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อน้ำกลายเป็นน้ำแข็ง หรือน้ำแข็งกลายเป็นน้ำ ใช้ความร้อนแฝง 80 cal/gm เราจะดูได้ว่า น้ำแข็งหนา 1 เมตร จะดูดซึมความร้อน $8,000 \text{ cal/cm}^2$ ในน้ำที่จะกลายเป็นน้ำแข็งก็เช่นเดียวกัน

Monomictic lake เช่น Cayuga น้ำไม่ค่อยจับตัวแข็งนัก, มีความเย็น อุณหภูมิต่ำกว่า 4°C ระหว่างช่วงฤดูหนาว กระแสน้ำเกิดการหมุนเวียน, $\theta_{bw} = 24\%$ ของ θ_{ba} แสดงว่าน้ำแข็งไม่ละลาย

Warm monomictic lake Tahoe การหมุนเวียนของอุณหภูมิกว่า 4°C ดังนั้น $\theta_{bw} = 0$ (ศูนย์) ถ้า θ_{bw} ของ warm monomictic lake การหมุนเวียนของอุณหภูมิมสูงกว่า 4°C ค่าที่ได้จะติดลบ

2. Summer heat income (θ_{bs}) หมายถึง จำนวนความร้อนที่ทำให้น้ำจากอุณหภูมิมที่มีความร้อนต่ำสุด (หนาวสุด) ในช่วงฤดูหนาว ขึ้นสูงสุดในช่วงฤดูร้อน

ใน warm monomictic lake อุณหภูมิมีการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงถึง 4°C หรือสูงกว่า, $\theta_{bs} = \theta_{ba}$ ใน dimictic และ cold monomictic lakes θ_{bs} เป็นส่วนหนึ่งของ Annual heat budget θ_{bs} มีลมช่วยพัดให้ความร้อนแพร่กระจาย

Thermal cycle หมายถึง การหมุนเวียนพลังงานความร้อนในทะเลสาบทั้งรับและสูญเสีย ประกอบด้วย แหล่งที่มาของความร้อน และแหล่งที่สูญเสียความร้อน

แหล่งที่มาของความร้อน (Energy source)	แหล่งที่สูญเสียความร้อน (Energy loss)
1. Solar radiation ซึมผ่านน้ำเข้ามา	ความร้อนบางส่วนสะท้อนกลับไป back radiation
2. ความร้อนบางส่วนมาจากอากาศ (conduction from air)	ความร้อนบางส่วนสะท้อนกลับไปยังอากาศ (back conduction to air)
3. ความร้อนทำให้น้ำเกิดการกอดตัว (condensation of water)	กลายเป็นไอน้ำ (evaporation)
4. Conduction from bottom ความร้อนถูกพาเข้ากันพื้นน้ำ	Conduction to sediment ความร้อนถูกพาหายไปที่ก้นทะเลสาบ
5. ความร้อนไหลเข้า (Inflow)	ความร้อนไหลออก (out flow)

ถ้าการกระจายความร้อน เป็นแบบข้างบนโดยปราศจากสิ่งอื่น ๆ ครอบคลุม อุณหภูมิของ ทะเลสาบจะลดลงอย่างรวดเร็วจากผิวนบนลงสู่ผิวล่าง

การแพร่กระจายความร้อนในทะเลสาบ (Distribution of heat in lake) จะมีความร้อนมากบน ผิวน้ำ ส่วนที่ลึกลงไปจะค่อย ๆ ลดลง จาก Fig. 9-3

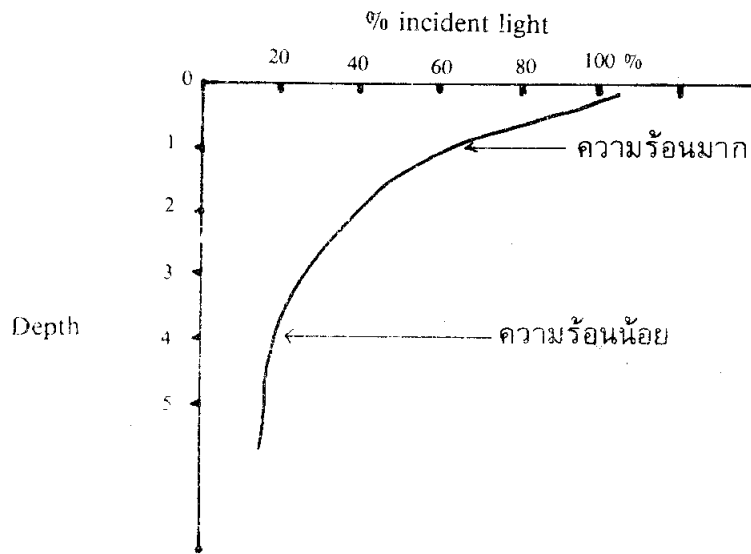


Fig. 9-3 จำนวนความร้อนมีมากบนผิวน้ำ และจะค่อยลดลงตามความลึก

ใน Seneca lake มีความร้อนซึมผ่าน 99% ในระดับความลึก 10 เมตร จาก Table 9-4, Fig. 9-4

Table 9-4

ความลึก	จำนวนความร้อน (องศา/นาที่)
0 mm	6.68
0.1 mm	3.69
1 mm	0.71
10 mm	0.071
100 mm	0.0071
1 m	0.0008
10 m	0.0000

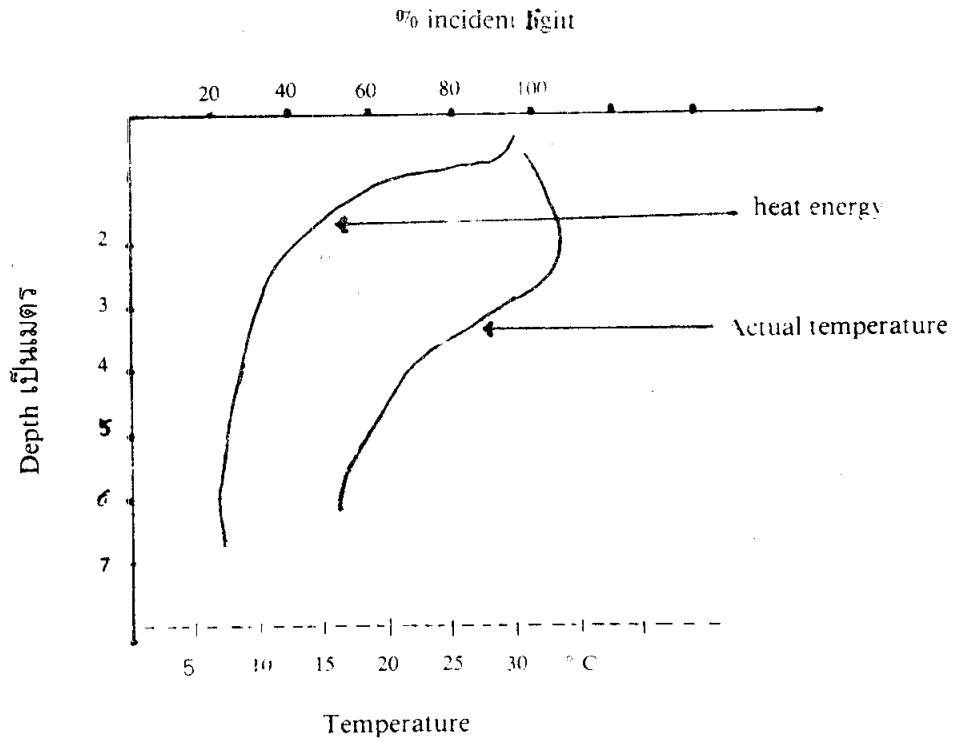


Fig. 9-4 แสดงให้เห็นถึงจำนวนความร้อน, อุณหภูมิลดลงในระดับความลึกต่าง ๆ

จุดวิกฤติของความร้อนที่เคลื่อนไหว ผิวหน้าของทะเลสาบ ถ้ากว้างจะได้รับความร้อนมาก ความร้อนจะคลายความร้อนรวดเร็ว อุณหภูมิของผิวหน้าจะเปลี่ยนตามอัตราส่วนของอุณหภูมิของอากาศ กระแสลมไม่มีลมพัด

2. Analytic energy budget หมายถึง จำนวนความร้อนทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น หรือลดลงจากสาเหตุหลาย ๆ ประการด้วยกัน มันมีหน่วยเป็น cal/cm^2

$$Q_S + Q_H - Q_R - Q_u - Q_E + Q_V - Q_B - Q_s - Q_T = 0$$

Q_S = รังสีแสงที่ส่องผ่านเข้ามา

Q_H = รังสีแสงจากท้องฟ้า

Q_V = จำนวนความร้อนที่เหลือจากเข้ามาแล้วผ่านออกไป

- Q_R = เป็นค่าลบ แทนรังสีแสงที่สะท้อนลงสู่แหล่งน้ำ
 Q_u = เป็นค่าลบ แทนรังสีแสงที่สะท้อนกลับจากใต้ผิวน้ำขึ้นสู่ผิวน้ำ
 Q_E = พลังงานที่ใช้ในการระเหยกลายเป็นไอ และจับตัวของน้ำ
 Q_B = จำนวนความร้อนที่เหลือของ long wave ระหว่างผิวน้ำสู่อากาศ ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิค่าของมันไม่จำเป็น เป็นค่าติดลบ
 Q_s = การพาความร้อนจากน้ำสู่บรรยากาศ หรือกลับกันเมื่อมันมีค่าเป็นบวก
 Q_T = ความร้อนที่เหลืออยู่ในมวลน้ำ

ค่าของ Q ที่ไม่ใช่แทนค่าคือ Analytic energy budget ที่ได้รับพลังงาน

ทะเลสาบใน tropical และ polar จะมี heat budget ต่ำ เพราะว่าอุณหภูมิปรกติไม่แตกต่างกันมากนัก Low heat budget มักจะอยู่ในแถบเส้นศูนย์สูตร equatorial zones)

Gorham (1964) ได้ศึกษา heat budget ใน temperate lakes ว่า มันมีความสัมพันธ์ต่อรูปร่างของทะเลสาบ เขาพบว่าปริมาตรในทะเลสาบเพิ่มขึ้น เมื่อมีความร้อนสูงขึ้น

Meromixis มักจะมี heat budget น้อยเพราะว่า กระแสน้ำบางส่วนไม่ได้ร่วมในการเคลื่อนไหวของน้ำ จากผิวน้ำลงผิวล่าง จากผิวล่างขึ้นผิวน้ำ

Monimolimnion จะมีจำนวนความร้อนที่เหลือเก็บอยู่ ซึ่งหมายความว่า อุณหภูมิในฤดูหนาว ยังคงอยู่ไม่สูงนัก

ในบ่อเล็ก ๆ มีความสัมพันธ์กันของ heat budget ใน sediment, เขตแห้งแล้ง, โดยเฉพาะการกลายเป็นไอ เป็นสาเหตุที่จะนับเข้าไปด้วย, รวมทั้งผลของ salinity ที่มีต่อแหล่งน้ำ ในระดับต่ำของผิวน้ำของ Long-H ponds ประมาณ 30 cm ในฤดูร้อนจะมีจำนวนความร้อน $300 \text{ cal/cm}^2/\text{วัน}$, ในบ่อน้ำจืดเจือจาง 250 cal/cm^2 ควรพอ

Langmuir circulation

Langmuir (1938) เป็นนักเคมีฟิสิกส์ชาวอเมริกันได้ทำการสำรวจ sea weed ในทะเลและนำผลมาทดลอง ใน Lake George ได้พบการหมุนเวียนของน้ำที่ชื่อว่า Langmuir cells หมายถึง กระแสน้ำหมุนเป็นแนวยาวไปทางตะวันออกโดยลม การหมุนเวียนนี้ขนานต่อผิวน้ำ และทิศทางของลม กระแสน้ำหมุนเป็นแนวยาว รูปร่างไม่แน่นอน ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตามเข็มนาฬิกา พบกันที่จุด ๆ หนึ่งและจมลง Langmuir cells ได้เปิดเผยในมวลของน้ำน้อย, แต่มันยอมให้กระ

แอสลัมพัดบนผิวหน้าไม่เป็นระเบียบ แรงลมมีผลต่อการแพร่กระจายของ plankton และ nutrients ที่อยู่ผิวหน้า

Austausch coefficient

คำนี้ตั้งชื่อมาจากชาวเยอรมันชื่อ Austausch แปลว่า แลกเปลี่ยน มันเป็นกระแสคลื่นที่เคลื่อนตัวไม่เป็นระเบียบ แล้วเกิดการหมุนเวียนของน้ำ โดย eddy system, การนำความร้อน, การดูดซึม ต่อการละลายของ materials ดังนั้น Austausch coefficient มีความหมายอยู่สองนัยด้วยกัน

1. Turbulence คือกระแสคลื่นที่เคลื่อนตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ความเร็วของ Turbulence ที่จุดอื่น ๆ ที่ขึ้นลงในทิศทางไม่แน่นอน
2. กระแสคลื่น เคลื่อนที่ในทิศทางแตกต่างกัน จากกระแสคลื่นใหญ่ มันเคลื่อนม้วนงอเป็นวงกลม และหมุนเวียนจากแนวตั้งไปแนวนอน

Coefficient of eddy viscosity หมายถึงโมเมนต์ของน้ำเคลื่อนผ่านไปมา โดยมีแรงต้านทานที่เกิดจากการเสียดทาน

Viscosity of a fluid ความหนืดของของเหลวถูกทดสอบ โดยให้ไหลผ่าน standard test tube ในเวลาหนึ่ง ในน้ำบริสุทธิ์มี coefficient = $0.01 \text{ dyne-sec/cm}^2$ ที่ 20°C น้ำในทะเลทรายของ Mono Lake มีความหนืดมากกว่า 20% ของน้ำบริสุทธิ์ กระแสคลื่น Turbulence มีผลต่อแรงเสียดทานของสิ่งที่มีชีวิตมาก เมื่อสิ่งมีชีวิต เช่น Seston เปลี่ยนความเร็ว

Coefficient of eddy conductivity คือประสิทธิภาพของการนำความร้อนสู่แหล่งน้ำ โดย turbulent current ทำหน้าที่ส่งผ่านความร้อนหลังจากเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ได้มีการวัดอุณหภูมิในแนวตั้งระหว่าง heating season จำนวนอุณหภูมิทั้งหมดเปลี่ยนแปลง, Q ที่ความลึก z , หากด้วยจำนวนวันหรือเวลา, จะได้ค่าหนึ่งคือ dQ/dz นำมาพล็อตกราฟต่อความลึก จากจุดเริ่มต้นทุก ๆ ระดับความลึก curve จะเป็นเส้นตรงแสดงให้เห็นถึงอัตราจำนวนความร้อนลดลงในระดับที่ลึกลงไป (Fig. 9-5) Hutchinson (1941) เรียกชั้นของทะเลสาบผิวบนว่า epilimnion สามารถรับพลังงานความร้อนโดยตรง โดยลมเป็นตัวช่วยพัดพาให้ผสม และส่วนที่สูญเสียหรือเพิ่มโดยบรรยากาศเกิดการแลกเปลี่ยน ชั้นกลางเรียก clinolimnion เป็นชั้นที่จำนวนความร้อนลดลงในระดับที่ลึกลงไป ชั้นต่ำสุดเรียก bathylimnion เป็นชั้นที่จำนวนความร้อนลดลงแบบเดียวกัน

ในน้ำบริสุทธิ์ โมเลกุลน้ำเป็นตัวนำความร้อน 0.12×10^{-2} gm/cm/sec

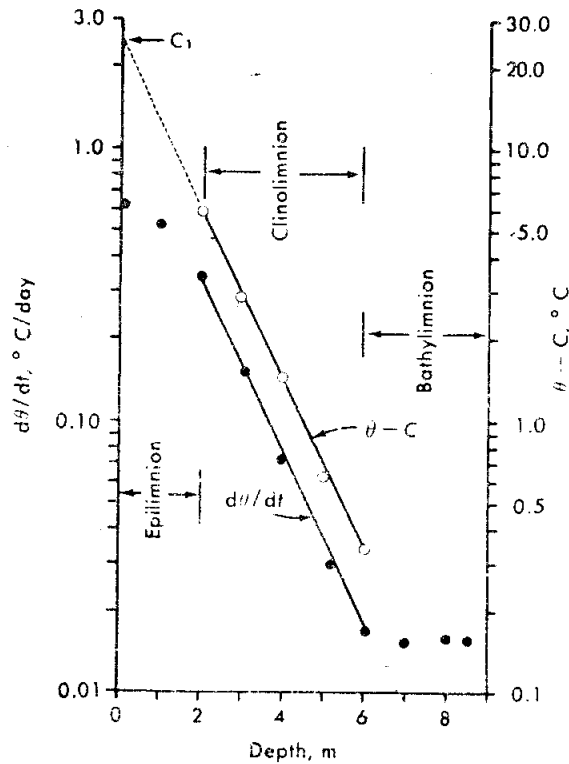


Fig. 9-5. Semilog plot of heating rates ($d\theta/dt$), solid circles, and temperature increments ($\theta - C$), open circles, plotted against depth. Heating season of 1951, Tom Wallace Lake, Kentucky. Epilimnion from 0 to 2 m; clinolimnion from 2 to 6 m; bathylimnion from 6 to 8.75 m. C_1 at 25° C indicated by arrow at top left.

ความร้อนที่เคลื่อนไหวโดยไม่มีชั้นของกระแสน้ำรบกวน เรียก heat flux มันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยน heat flux ก็เปลี่ยนด้วย จำนวนความร้อนเพิ่มมากขึ้นที่โมเลกุลของน้ำเป็นตัวนำความร้อน ความแตกต่างระหว่าง heat flux และเพิ่มขึ้นนี้ เนื่องจาก eddy current เรียกว่า coefficient of eddy conductivity (A) มันก็เป็น coefficient of turbulent หนึ่งในที่นำแก๊ส และสารอื่น ๆ จมลงในขบวนการ diffusion ดังนั้น coefficient of diffusivity เป็นสัญลักษณ์ที่บ่งถึงพลังงานที่ถูกนำออกไปจนเหลือน้อยลง

วิธีการของ Hutchinson ที่ใช้หา A โดยให้ A คงที่ ถ้า semilog plot ของ $(\theta - c)$ ต่อ z ไม่ขนานกันต่อ $d\theta/dz$ depth line ใน Clinolimnion (Fig. 9-5) C คืออุณหภูมิที่เริ่มต้นจากการทดลองในฤดูใบไม้ผลิที่เกิดการหมุนเวียน, $(\theta - c)$ คือความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ

$$\therefore \frac{d\theta_z}{dz} = Aa^z (\theta_z - c)$$

Z = ความลึกหน่วยเป็นซม., C_1 คงที่โดย $(\theta - c)$ ต่อเส้น Z ความลึก 0 เมื่อตัดกับแกน log จุดที่ตัดนี้ Hutchinson เรียกว่า Virtual surface temperature (Fig. 9-5)

$$-a = \frac{1}{Z} \ln \frac{\theta_z - c}{C_1}$$

Current during stagnation

Stagnation หมายถึงไม่มีกระแสไหลเวียน ช้างที่อยู่ด้านล่างของน้ำแข็งปกคลุม กระแสลมไม่มีผลต่อการเคลื่อนไหล แต่การเคลื่อนไหลของน้ำ, ในบริเวณที่มีความร้อนเหมือนกัน มีอุณหภูมิสูงกว่า 4 C, ทำให้กระแสน้ำเกิดระหว่างการแบ่งชั้น (current during stagnation) มวลน้ำเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ จากรายละเอียดเกี่ยวกับอุณหภูมิบ่งถึงการเคลื่อนไหลของน้ำในแนวระนาบ ความร้อนเพิ่มขึ้นจาก sediment และแสงทะลุผ่านน้ำแข็งเข้ามา

Water as an environment

สิ่งที่มีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม น้ำมีอิทธิพลต่อสิ่งที่มีชีวิต 2 ประการ คือ ทางคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เปรียบเสมือนตัวกลางให้พืชและสัตว์เคลื่อนไหลในน้ำ และคุณสมบัติทางเคมีเป็นตัวกลางที่ทำให้อาหารในสภาพอนินทรีย์สสารเปลี่ยนเป็นอินทรีย์สสาร

น้ำมีโมเลกุลยึดเหนี่ยวกัน นอกจากนั้นยังเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ และความหนาแน่น

น้ำแข็งที่ 0 C มีความหนาแน่น 0.9168 gm/cm³

น้ำที่ 0 C มีความหนาแน่น 0.9999 gm/cm³

น้ำที่ 3.94 C มีความหนาแน่น 1.0000 gm/cm³

น้ำที่ 10 C มีความหนาแน่น 0.9997 gm/cm³

น้ำที่ 20 C มีความหนาแน่น 0.9982 gm/cm³

ดูจาก Fig. 9-6, 9-7

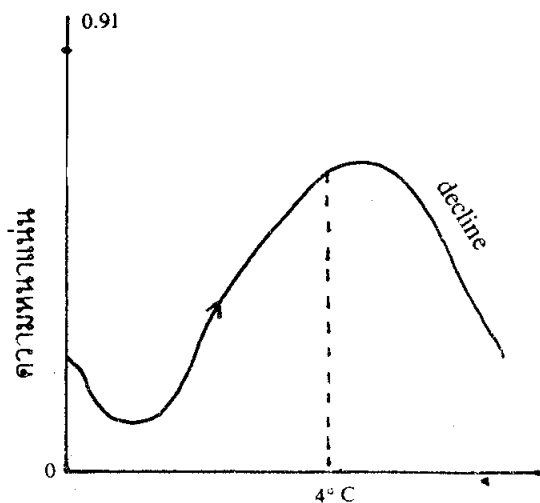


Fig. 9-6

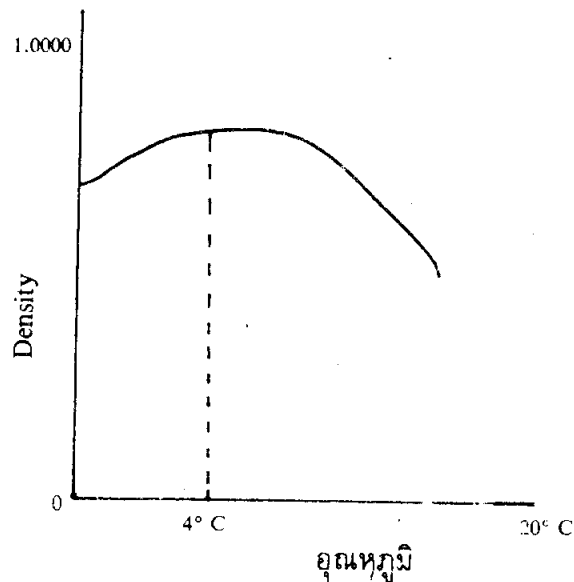
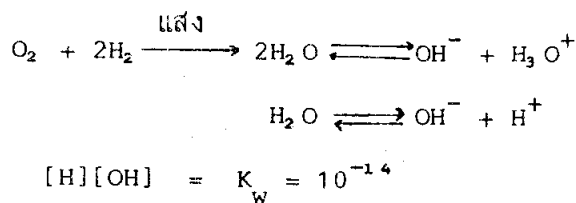


Fig.9-7

Fig. 9-6, 9-7 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น และอุณหภูมิในน้ำบริสุทธิ์

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำ

1. จุดแข็งตัวที่ 0° C จุดเดือดที่ 100° C
2. ความร้อนแฝง 79.7 cal ที่น้ำแข็งเปลี่ยนสภาพมาเป็นน้ำที่ 0° C
ความร้อนแฝง 536 cal ที่น้ำเปลี่ยนสภาพมาเป็นไอที่ 100° C
3. ถ.พ. = 1
4. $p^H = 7$



$$[H]^2 = 10^{-14}$$

$$[H] = 10^{-7}$$

$$-\log [H] = 7$$

$$\text{pH} = 7$$

ความถ่วงจำเพาะ, ความร้อนจำเพาะ, ความชื้น, การเคลื่อนไหวของสิ่งที่มีชีวิต มีอิทธิพลต่อสิ่งที่มีชีวิต

Density, Viscosity, Surface tension

ความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์เท่ากับ 775 เท่า มากกว่าของอากาศที่ 0° C, 760 mm Hg. Organisms สามารถลอยตัวอยู่ในน้ำได้โดยแรงพยุงของน้ำทำให้ช่วยลดพลังงานของ organism ที่สร้างขึ้น ความหนาแน่นของน้ำในทะเลสาบ, ลำคลอง, แม่น้ำ ไม่เหมือนกันทีเดียว, เมื่อแตกต่างกันทั้งสถานที่ และเวลา ค่าความแตกต่างจะต่างกันเล็กน้อยจาก Table 9-4 แสดงให้เห็นความหนาแน่นแตกต่างกันเมื่ออุณหภูมิเดียวกัน แต่ความเค็มแตกต่างกัน ความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำมีความเค็มมากขึ้น

Table 9-4

Salt content % (gm/lt)	Density ที่ 4° C
0	1.00000
1	1.00085
2	1.00169
3	1.00251
10	1.00818

จาก Table 9-4 นี้ ความหนาแน่นเพิ่มใกล้เคียงกับการเพิ่มจำนวนเกลือ ความหนาแน่นไม่เพิ่มติดต่อกันกับอุณหภูมิลดลง

น้ำมีสถานะพิเศษระหว่างของเหลว เพราะว่าโมเลกุลของมันรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนของเหลวอื่นโมเลกุลมักไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น เป็นรูปทรงกลม ในน้ำซึ่งอยู่ในสภาพของเหลวเป็นแบบ tetrahedral แล้ว แตกออกเป็นรูปอื่นของการรวมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นเปลี่ยนรวดเร็วมาก ที่อุณหภูมิสูงกว่ามันลดลง เช่นความหนาแน่นระหว่าง 24 °C และ 25 °C เป็น 30 เท่ามากกว่า 4 ° -5 °C

Viscosity ความหนืดของน้ำ เป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่ทำให้เกิดการเสียดทาน เมื่อมีการเคลื่อนไหวในของเหลว สิ่งที่มีชีวิตที่เคลื่อนไหวในของเหลว เป็นสัดส่วนกับ

1. ร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่สัมผัสน้ำ
2. ความเร็ว
3. อุณหภูมิ และธรรมชาติของของเหลว

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดน้อยลง ความหนืดของน้ำมากเป็น 100 เท่ากว่าอากาศ ดังนั้นสัตว์น้ำต้องพยายามชนะความต้านทานมากกว่าสัตว์ที่บินได้

Surface Tension ความตึงผิวของน้ำต่อรูปร่างของสิ่งที่มีชีวิต เป็น biological factor สำคัญภายใต้สภาวะการณที่คงที่ เพราะมันป้องกันการจมน้ำ จำกัดการเคลื่อนไหว และ metabolism

วัฏจักรของน้ำ (Hydrologic cycle)

มีหน่วยวัดน้ำเป็น geogram (Gg) $1 \text{ Gg} = 10^{20} \text{ gm}$

น้ำในแหล่งน้ำได้มาจาก

1. Sediment rock = 252,000 Gg
2. Ocean = 13,800 Gg
3. Polar and other ice = 167 Gg
4. Circulation ground water = 2.5 Gg
5. Atmosphere = 0.13 Gg
6. Inland water = 0.25 Gg

แหล่งน้ำต่าง ๆ เมื่อถูกแดดเผา จะระเหยกลายเป็นไอในบรรยากาศ ต่อมารวมตัวกันเป็นก้อนเมฆ เมื่อกระทบความเย็น จะตกมาเป็นฝน, หิมะ น้ำบางส่วนซึมผ่านลงไปในดิน, แหล่งน้ำ

หรือถูกพืชดูดไปใช้ น้ำที่พืชคายออกมาทางใบ ก็ระเหยออกไป ดูจาก Fig. 9-8

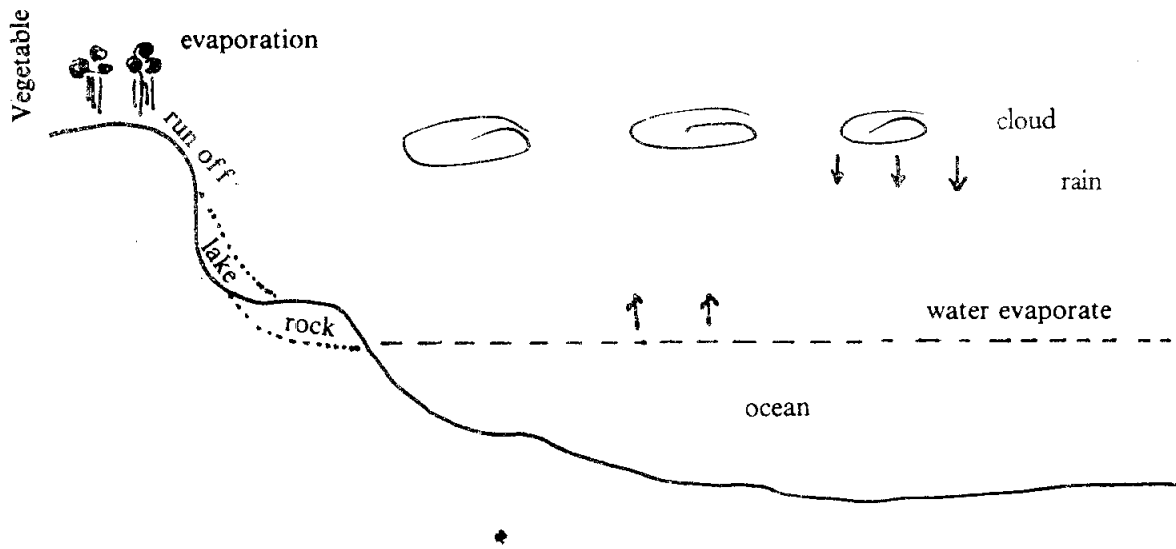


Fig. 9-8 Hydrologic cycle

ปริมาณน้ำในรอบปีที่กลายเป็นไอ

น้ำทะเลกลายเป็นไอประมาณ 3.83 Gg/yr

ppt (precipitate) การตกตะกอนของน้ำทะเล 3.47 Gg/yr

น้ำกลายเป็นไอในพื้นที่ดิน 0.63 Gg/yr

ppt การตกตะกอนของน้ำบนพื้นดิน 0.99 Gg/yr

Water movements (การเคลื่อนไหวของน้ำในทะเลสาบ) กระแสน้ำไหลภายในทะเลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หรือความหนาแน่นของการแบ่งชั้นของทะเลสาบ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการไหล ทำให้เกิด

1. **Rhythmic current** แบ่งออกได้ 2 อย่างคือ long wave และ short wave wave (คลื่น) คือกระแสน้ำไหล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวขึ้น ๆ ลง ๆ

1.1 long wave คือกระแสน้ำไหลทำให้เกิดลูกคลื่นติดต่อกันอย่างน้อยสองลูก เช่น

1.1.1 **Travelling surface wave** คือคลื่นที่เกิดจากกระแสน้ำทั้งหมดเคลื่อนไหว ตามชั้นผิวหน้า มีลูกคลื่นสูงติดต่อกัน อนุภาคในส่วนลึกของลูกคลื่นไม่เป็นระเบียบ กระแสคลื่นเคลื่อนขึ้นและลง จะกลับมาที่จุดเริ่มต้นใหม่ แบ่งออกได้

1.1.1.1 Standing wave คือกระแสคลื่นที่มีอนุภาคของน้ำเคลื่อนไหวไปในแนวต่าง ๆ, มีการเคลื่อนไหวในแนวตั้งในลูกคลื่นลูกหนึ่ง และในระหว่างลูกคลื่นทั้งสองมี node เห็นได้ชัด, กระแสคลื่นถูกมวลของน้ำมาแทนที่มาก อนุภาคของน้ำเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกัน แต่แตกต่างกันใน phase

ลักษณะของ long wave Fig. 9-9

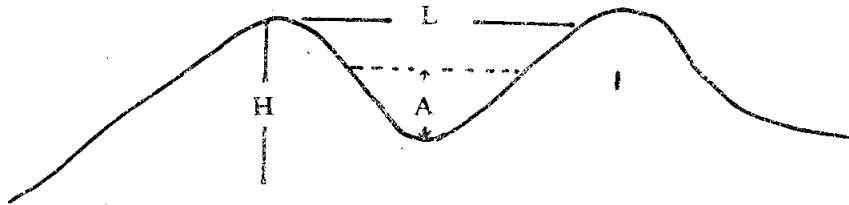


Fig. 9-9 ลักษณะของ long wave

Period = ความยาวของลูกคลื่น 2 ลูก

$$\text{ความถี่} = \frac{1}{\text{Period}} \text{ Wave/second}$$

H = ความสูง, A = Amplitude, L = ความยาวคลื่น

เมื่อลมพัดบนผิวน้ำแล้วหยุด คลื่นจะหนุนกลับทำให้ส่วนยอดของคลื่นแตก ดูจาก Fig.

9-10

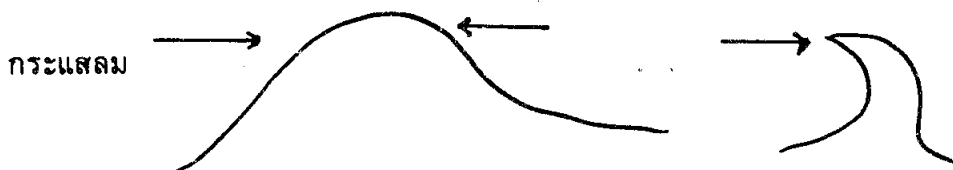


Fig. 9-10 แสดงลูกคลื่นถูกกระแสลม

Seiche ถูกตั้งโดย Le leman มาจากคำภาษาลาตินว่า siccus แปลว่าแห้ง

Seiche คือ standing wave ลูกหนึ่งในทะเลสาบของกระแสน้ำเคลื่อนไหวตามปรกติ

ดู Fig. 9-11

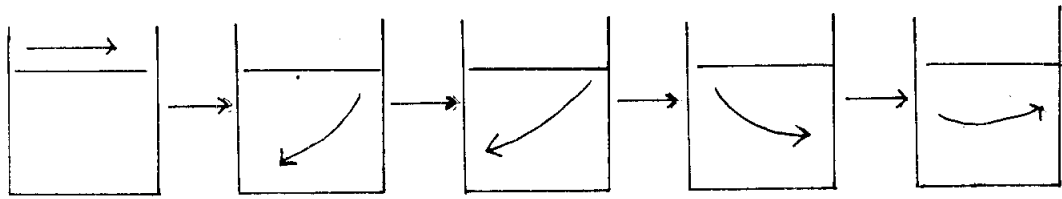


Fig. 9-11 แสดงลักษณะของ seiche

Forel ว่า elementary seiche คือกระแสน้ำยาวทั้งสองคลื่นเคลื่อนไหวไปในทิศทางตรงกันข้ามกัน

Standing wave เกิดขึ้นภายในมวลของน้ำ ซึ่งภายในมีชั้นความหนาแน่นแตกต่างกัน กระแสน้ำอยู่ด้านบนเรียก surface seiche ส่วนที่ถัดลงมาเรียก internal seiche การวัดอุณหภูมิในช่วงสั้นของ internal seiche ที่เกิดในระหว่างชั้นของน้ำที่เบากว่าของ epilimnion และหนักกว่าของ hypolimnion เมื่อเกิดการเคลื่อนไหวของคลื่น metalimnion เคลื่อนไหวขึ้นและลง มี node หนึ่ง node หรือมากกว่า, ในชั้น metalimnion นี้ไม่ค่อยสมบูรณ์ และอุณหภูมิเดียวกัน สามารถพบในที่ลึกกว่า และตื้นกว่า Standing wave แบบนี้เรียก temperature seiche โดยทั่วไปสม เป็นแหล่งที่มาของพลังงานใน internal seiche

Seiche เกิดจาก ลม, ความดัน, แผ่นดินไหว, การเคลื่อนของดิน, ฝนตกหนัก

Node คือระดับน้ำเคลื่อนไหวแกว่งขึ้นและลง ทำให้คลื่นตัดกันตรงจุด ๆ หนึ่ง Fig. 9-12

ระยะทางระดับน้ำตัดกันเรียกพิสัย

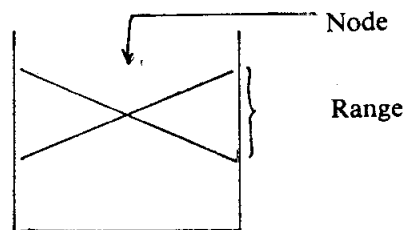


Fig. 9-12 แสดงลักษณะของ node

Seiche แบ่งออกได้ตาม node

1. Uninodal คือ seiche มีหนึ่ง node Fig. 9-13

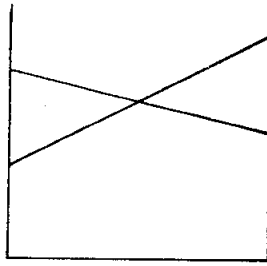


Fig. 9-13 แสดงลักษณะของ uninodal

2. Binodal คือ seiche มีสอง node Fig. 9-14

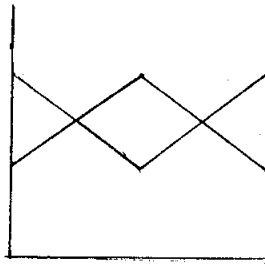


Fig. 9-14 แสดงลักษณะของ Binodal

3. Dicrotic คือ seiche ที่ uninodal เคลื่อนผสมกับ binodal

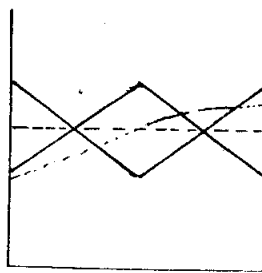


Fig. 9-15 แสดงลักษณะของ Dicrotic

4. Plurinodal คือ seiche มีหลาย node

Periodicity of seiche (ระยะของ seiche) (T) สามารถบ่งบอกรูปร่างของทะเลสาบ

$$T = \frac{2L}{v}, \quad T = \frac{2L}{\sqrt{gh}}$$

L = ความยาวทะเลสาบ, g = acceleration due to gravity, h = uniform depth

ถ้า L = 28 cm, g = 980 cm/sec², h = 3.5 cm

$$T = \frac{56 \text{ cm}}{\sqrt{980 \text{ cm/sec}^2 \times 3.5 \text{ cm}}} = \frac{56}{58.566 \text{ cm/sec}} = 0.956 \text{ sec}$$

T = ระยะระหว่างช่วงของการเคลื่อนไหวไปมาใน uninodal ไม่คงที่แน่นอนตายตัวในทะเลสาบ

Energy for the seiche

ลมเป็นตัวชักนำความร้อนสู่ seiche ถ้าความเร็วของ seiche น้อย กระแสลมแรงพัดผ่านไม่ มีผลต่อมัน เมื่อลูกเห็บ, หิมะ, ฝน ตกหนักลงสู่ น้ำ ส่วนหนึ่งที่ปลายด้านหนึ่งของทะเลสาบ มันทำให้ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำเปลี่ยนไปตามความยาวของชายฝั่ง และทำให้ seiche มีกำลังไม่เพียงพอ การสังเกต seiche เป็นตัวสร้างพลังงานนั้นยาก

1.1.1.2 Progressive wave คือกระแสคลื่นที่มีลูกคลื่นติดต่อกัน, มวลของน้ำภายใน แต่ละลูกคลื่น ถูกกระแสลมพัด ให้เคลื่อนไหวในทิศทางลม อนุภาคของน้ำเคลื่อนไหวขึ้นหรือลงไปใน ทิศทางเดียวกัน

1.1.1.3 Capillary wave หมายถึงกระแสคลื่นของ standing wave เริ่มต้น ซึ่งมันจะเริ่มไม่ เป็นระเบียบของคลื่น

1.1.1.4 Long shore current หมายถึง กระแสคลื่นที่เกิดขึ้นบริเวณแถบ littoral region ใกล้ชายฝั่งขนานไปกับความยาวของชายฝั่ง

การเคลื่อนไหวของชั้นผิวน้ำ ทำให้เกิดการ

1. เปลี่ยนระดับของน้ำ Fig. 9-16

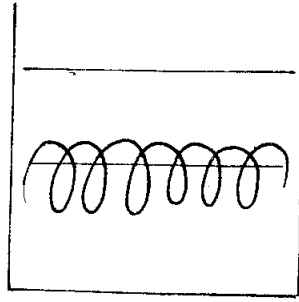


Fig. 9-16 การเปลี่ยนระดับน้ำ

2. เคลื่อนไหวรอบตัวเอง Fig. 9-17

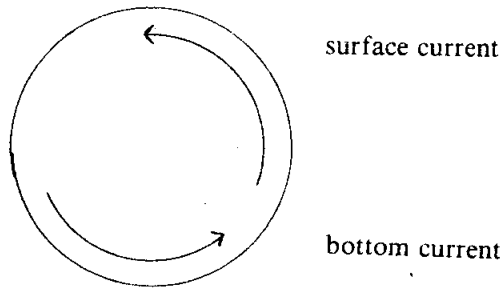


Fig. 9-17 การเคลื่อนไหวของน้ำ

1.2 Short wave คือการเคลื่อนไหวของกระแสน้ำไหลตามธรรมชาติ เกิดลูกคลื่นโดด ๆ ไม่มีความยาวระหว่างลูกคลื่น

รูปร่างของลูกคลื่น จะเป็นรูป sine curve Fig. 9-18

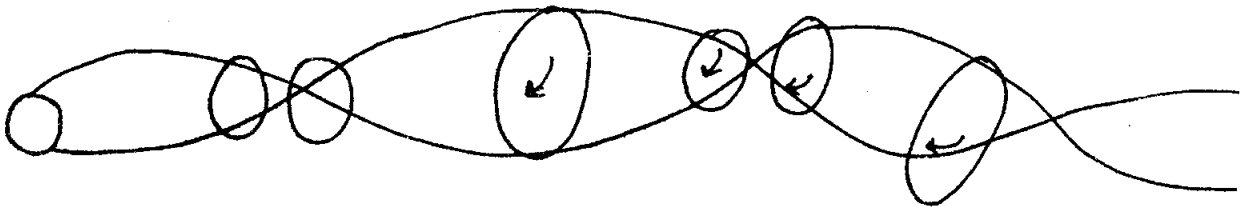


Fig 9-18 อนุภาคของน้ำหมุนเป็นรูปร่าง sine curve โดยการเคลื่อนไหวของกระแสคลื่น

2. Arhythmic current แบ่งออกได้

1. Laminar (Ordered, hydrographic current) กระแสลื่นที่เคลื่อนไปในทิศทางเดียวกันอย่างเรียบ ๆ รวมถึงอนุภาคของน้ำก็ไหลเรียบ ๆ เช่นเดียวกัน Fig. 9-19

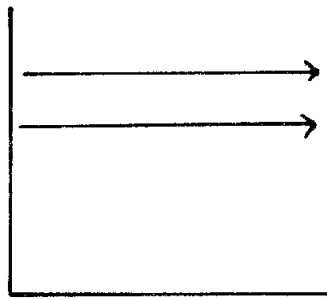


Fig 9-19 แสดงทิศทางการไหลของ Laminar current

2. Turbulent current (Disordered current) คือกระแสลื่นเกิดจากลมพัดผ่านทะเลสาบ แล้วทำให้กระแสน้ำหมุนเวียนหลาย ๆ ฟุต ทำให้เกิด turn over อนุภาคของน้ำไม่เป็นระเบียบ Fig 9-20

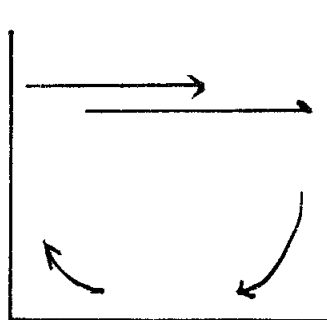


Fig. 9-20 แสดงทิศทางการไหลของ Turbulent current

3. **Density current** คือกระแสเคลื่อนที่ที่เกิดจากน้ำในแอ่งเก็บน้ำมีความหนาแน่นน้อยกว่า น้ำในทะเลสาบ ซึ่งแอ่งเก็บน้ำมีตะกอน แล้วไหลลงสู่ทะเลสาบ Fig 9-21

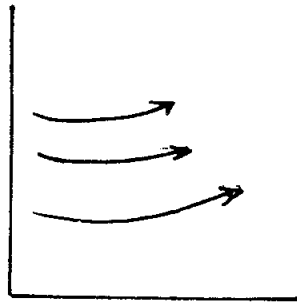


Fig. 9-21 แสดงทิศทางการไหลของ density current

4. **Convection current** คือกระแสเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นในฤดูร้อน เมื่อน้ำในบริเวณผิวอุ่น แล้วเกิดการเป็นคลื่นลอยของตัวจมลง และขึ้นแทนที่ Fig. 9-22

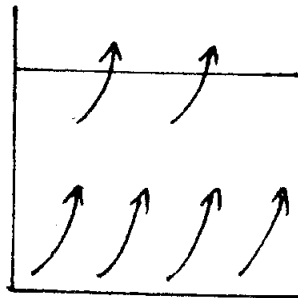


Fig 9-22 แสดงทิศทางการไหลของ convection current

การไหลของน้ำขึ้นอยู่กับความเร็ว, ความหนาแน่น, จุดเริ่มต้น, กระแสลม

Reynold number

Reynold ได้สำรวจสภาวะของ laminar และ Turbulent flow ได้จากสูตร

$$Re = \rho \frac{v l}{\mu}$$

- f = ความหนาแน่นของของเหลว
- V = ความเร็ว
- L = ความยาว
- u = ความหนืด

Critical Velocity = 0.3 cm/sec

ถ้าค่า Re มากกว่า critical velocity กระแสน้ำไหลจะเป็น Turbulent flow

ถ้าค่า Re น้อยกว่า critical velocity กระแสน้ำไหลจะเป็น laminar flow

Coriolis effects

การเคลื่อนที่ของกระแสคลื่นทำให้ระดับน้ำแกว่งขึ้นลงนั้น ทิศทางของมันขึ้นอยู่กับ ลม, ความหนาแน่นที่ต่างกัน และความถี่

Coriolis เป็นชื่อ นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ผลงานของเขาคือพิมพ์ เน้นหนักการเคลื่อน ไหวของของเหลว ในระบบการหมุนเวียนที่สะสมขึ้นในโลก

Coriolis force คือแรงที่เกิดจากการหมุนเวียนของโลก ทำให้ northern hemisphere กระแสคลื่นจะหมุนมาทางขวา และ southern hemisphere กระแสคลื่นจะหมุนมาทางซ้าย

ขณะที่โลกหมุนจากตะวันออกไปตะวันตกมีหลายสาเหตุด้วยกัน มีแรงสองแรงกระทำ บนอนุภาคต่าง ๆ ที่ยังคงอยู่บนผิวโลก

แรงแรก centrifugal force ทำที่มุมขวาต่อแกนของการหมุน และเคลื่อนอนุภาคไปทางเส้น ศูนย์สูตร

แรงสอง คือแรงไปหยุดไม่ให้อนุภาคเคลื่อนไปทางเส้นศูนย์สูตร

Coriolis force ในแนวระดับเปลี่ยนแปลงไปตามเส้นรุ้ง (latitude) เป็นหน้าที่หนึ่งของ sine ของเส้นรุ้ง แรงนี้ปรากฏแนวโน้มจากทางตรงสูงสุดของขั้วโลก และลดลงถึงศูนย์ที่เส้นศูนย์สูตร

$$\text{angular velocity ของโลก (} \omega \text{)} = \frac{2\pi}{86,164} = 7.29 \times 10^{-5} \text{ radian/sec}$$

Coriolis force ต่อของเหลวที่เคลื่อนไปแนวระดับที่ความเร็ว V (cm/sec) = $2 \Omega V$

ผิวทะเลสาบส่วนมากเล็ก ทำให้ชายฝั่งมีอิทธิพลป้องกัน Coriolis effect เป็นต้นว่า
กระแสน้ำเคลื่อนมาทางขวา หรือซ้ายขึ้นอยู่กับบรรณอากาศ

Coriolis force มีผลต่ออุณหภูมิที่แตกต่างกัน และทำให้กระแสน้ำพัดจากซ้ายไป
ขวา