บทที่ 5

ปริมาณฝนสุทธิ (Net Effective Rainfall)

ปริมาณฝนสุทธิเป็นข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการคำนวณหาปริมาณน้ำใช้จากแหล่งน้ำธรรมชาติและปริมาณน้ำไหลนำ (Surface runoff) เพื่อการออกแบบระบบระบายน้ำและใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำชะล้างขยะ (leachate) สำหรับการออกแบบหลุมฝังกลบขยะ

5.1 หลักการและทฤษฎี

5.1.1. การระเหย (Evaporation)

การระเหยเป็นกระบวนการที่น้ำในบริเวณที่ผิวน้ำสัมผัสกับอากาศกลายเป็นไอแล้วลอยขึ้นสู่บรรยากาศ ปัจจัยสำคัญ 2 ประการที่มีผลต่อปริมาณการระเหยคือ พลังงานแสงแดดซึ่งถูกใช้เป็นความร้อนแฝงของการเป็นไอ และความสามารถในการถ่ายเทมวลของไอน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันไอระหว่างผิวน้ำและอากาศ อุณหภูมิ ความเร็วลม ความดันบรรยากาศตลอดจนคุณสมบัติของน้ำที่ระเหย

สมการการถ่ายเทมวล (Mass-Transfer Method)

สมการการถ่ายเทมวลทั้งหลายมีพื้นฐานทางทฤษฎีจากแนวความคิดเกี่ยวกับ turbulant transfer ของไอน้ำจากผิวน้ำที่เกิดจากการระเหยไปสู่อากาศ สมการการถ่ายเทมวลมีมากมายทั้งที่ได้มาจากการพิจารณาทางทฤษฎี และที่เป็นสมการสำเร็จรูปกึ่งการทดลอง (empirical formula) แต่เกือบทั้งหมดจะมีลักษณะคล้ายกัน คือเป็นความสัมพันธ์ระหว่างการระเหย และความแตกต่างของความดันไออิ่มตัวกับความดันไอของอากาศซึ่ง Dalton ได้ให้รูปแบบของความสัมพันธ์ดังนี้

$$E = k(e_s - e_a) \qquad \text{---------- (1)}$$

โดยที่ k คือสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วลม ความดันบรรยากาศและองค์ประกอบอื่นๆ

e_s และ e_a คือ ความดันอิ่มตัวที่ผิวน้ำ และความดันไอของอากาศ

Mayer ได้ปรับปรุงสมการของ Dalton โดยกำหนดให้ $k = C(1+\frac{u}{10})$ ซึ่งทำให้ได้ค่าสมการที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปดังนี้

$$E = C(1+\frac{u}{10})(e_s-e_a) \text{ ---------- (2)}$$

โดยที่ u คือความเร็วลมที่วัดที่ระดับสูง 25 ฟุต จากผิวน้ำ มีหน่วยเป็นไมล์ต่อชั่วโมง

C ค่าคงที่ มีค่าประมาณ 0.36 สำหรับอ่างเก็บน้ำโดยทั่วไป และมีค่าประมาณ 0.50 สำหรับผิวดินที่เปียกชื้นหรือหนองน้ำตื้นๆ

E มีหน่วยเป็นนิ้วต่อวัน

$e_a = e_s$ (อากาศ) x ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

e_s (ผิวน้ำ) ที่อุณหภูมิต่างๆหาได้จากตารางที่ 5.1

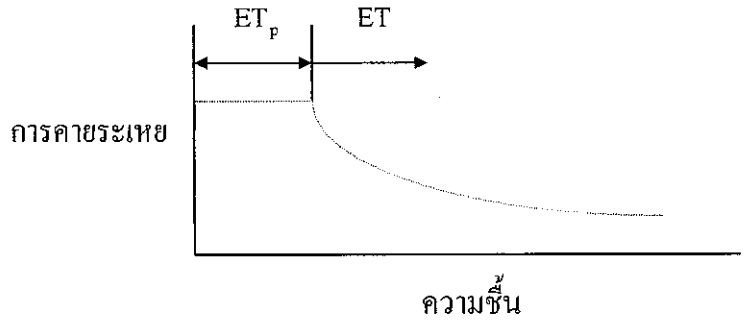
ตารางที่ 5.1 ความดันไออิ่มตัวของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°F)	ความดันไออิ่มตัว (e_s)		
	Millibars	นิ้วของปรอท	psi
32	6.11	0.18	0.09
40	8.36	0.25	0.12
50	12.19	0.36	0.18
60	17.51	0.52	0.26
70	24.79	0.74	0.36
80	34.61	1.03	0.51
90	47.68	1.42	0.70
100	64.88	1.94	0.96

5.1.2. การคายระเหย (Evapotranspiration)

การคายระเหยน้ำคือกระบวนการที่เกิดการระเหย (Evaporation) และการคายน้ำ (Transpiration) ไปพร้อมๆกันซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆเช่น ชนิดและความหนาแน่นของพืช ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน ความเข้มและการกระจายของพลังงานแสงแดด ความเร็วลม อุณหภูมิ ความแตกต่างของความดันไอ เป็นต้น

การวัดหรือการคำนวณหาปริมาณของการคายระเหยที่เกิดขึ้นจริงในสนามมีความยุ่งยากและไม่สามารถทำได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ตลอดเวลาซึ่งไม่สามารถทราบได้อย่างแน่ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำในดินที่จะถูกคายระเหยด้วยเหตุนี้ค่าที่วัดหรือคำนวณหาโดยทั่วไป จึงเป็นค่าการระเหยสูงสุด (potential evapotranspiration,Et_p) ซึ่งหมายถึงปริมาณที่สามารถสูญเสียได้สูงสุดจากกระบวนการคายระเหย เมื่อพืชมีน้ำใช้อย่างเพียงพอตลอดการเจริญเติบโต



รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการคายระเหย

รูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นถึงการคายระเหยในสภาพสูงสุด (ET_p) เมื่อความชื้นของดินเริ่มลดต่ำลง การคายระเหย (ET) จะลดลง

สมการของ Thornthwait

วิธีนี้ใช้อุณหภูมิของอากาศเป็นตัวชี้ (Index) ดึงพลังงานสำหรับการคายระเหย โดยสมมุติว่า อุณหภูมิอากาศมีความสัมพันธ์กับผลจากตัวแปรต่างๆ เช่น การแผ่รังสีสุทธิและอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อการคายระเหยพลังงานที่มีจำนวนนั้นส่วนหนึ่งจะถูกใช้ไปในการคายระเหย และส่วนหนึ่งจะถูกใช้ไปในการทำให้บรรยากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น สัดส่วนการใช้พลังงานนี้มีค่าคงที่ ค่าที่คำนวณได้ไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช การคายระเหยสูงสุด (ET_p) หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$ET_p = 16L_d(10T/I)^a \quad \text{---------- (3)}$$

เมื่อ ET_p คือการคายระเหยสูงสุด (มม./เดือน)

T คืออุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)

L_d คือค่าแก้ไข (connection factor) สมมุติให้เท่ากับ 1

I คือตัวชี้ความร้อนรายปี (annual heat index)

$$I = \sum_{i=1}^{12}(T/5)^{1.514} \quad \text{---------- (4)}$$

ตามสมการที่ (3)

$$a = 0.49+0.179\times10^{-1}I-0.77\times10^{-4}I^2+0.675\times10^{-6}I^3 \quad \text{---------- (5)}$$

ค่าที่คำนวณได้ตามสมการที่ (3) จะถูกต้องต่อเมื่อมีจำนวนชั่วโมงของแสงแดดเท่ากับ 360 ชั่วโมง ซึ่งจริงๆแล้วในแต่ละวันจำนวนชั่วโมงของแสงแดดจะมากกว่าหรือน้อยกว่า 12 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับฤดู และจำนวนวันของแต่ละเดือนด้วย ดังนั้นค่าการระเหยสูงสุดตามสมการที่ (3) จึงต้องคูณด้วยค่าแก้ไข (L_d)

5.1.3 ปริมาณฝนสุทธิ (Net Effective Rainfall)

คือปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไม่ได้ระเหยไปสู่บรรยากาศ ซึ่งได้แก่ น้ำที่ซึมลงใต้ดิน (infiltration) น้ำที่กักเก็บบนผิวดิน (surface storage) น้ำที่ไหลตามผิวดิน (surface runoff) และน้ำที่ไหลใต้ผิวดิน (subsurface flow) ซึ่งหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Net Effective Rainfall} = \text{Rainfall} - \text{Evaporation} \quad \text{---------- (6)}$$

เมื่อ Rainfall คือปริมาณน้ำฝน (มม./เดือน)

Evaporation คือการระเหย (มม./เดือน)

5.1.4 Return Period (Tr)

คือ ช่วงเวลาของการเกิดเหตุการณ์ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าครึ่งหนึ่ง

$$Tr = \frac{n+1}{m} \quad \text{---------- (7)}$$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

m คือ ลำดับจากค่าสูงสุดไปยังค่าต่ำสุด

5.1.5 Probability (p)

คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์

$$p = \frac{1}{Tr} \quad \text{---------- (8)}$$

ตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลสภาพอากาศ ปี พ.ศ.2533-2541

YEARS	RELATIVE HUMIDITY (%)	RAINFALL (mm.)	MAX. TEMPERATURE (°c)	MIN. TEMPERATURE (°c)
Jan-90	66	8.4	32.8	21
Feb-90	62	6.2	34.4	22.3
Mar-90	65	116.5	34.8	23.7
Apr-90	62	55.7	36.6	25
May-90	72	180.6	35.3	25
Jun-90	76	117.5	33.6	25.3
Jul-90	77	168	32.5	25
Aug-90	74	105.8	33.6	25.1
Sep-90	80	165.1	32.8	24.8
Oct-90	78	121.2	32.3	24.6
Nov-90	70	0.9	32.3	22.3
Dec-90	63	0	31.8	18.8
Jan-91	63	T	33.7	20.5
Feb-91	56	0	34.7	20.1
Mar-91	58	4.4	37.5	25.3
Apr-91	57	42.9	38.3	26.6
May-91	66	193.6	37.4	25.7
Jun-91	74	75.5	33.4	25.2
Jul-91	73	108	33.9	25.6
Aug-91	81	331.1	32.2	24.9
Sep-91	79	80.5	33	25.7
Oct-91	78	122.2	32.2	24.3
Nov-91	70	0	31.4	20.8
Dec-91	64	0.2	30.9	19.7
Jan-92	66	15.8	30.4	18.4
Feb-92	60	22.7	33.2	19.3
Mar-92	59	0	36.3	23.1
Apr-92	55	0.9	38.8	26.2
May-92	58	45.1	38.6	26.3
Jun-92	70	86.5	35.3	25.7
Jul-92	74	187.6	33.3	25.1

YEARS	RELATIVE HUMIDITY (%)	RAINFALL (mm.)	MAX. TEMPERATURE (°c)	MIN. TEMPERATURE (°c)
Aug-92	81	208.7	32.6	24.7
Sep-92	80	373.8	32.4	24.5
Oct-92	80	140.3	30.4	23.3
Nov-92	71	1	30.3	20
Dec-92	69	47.3	30.7	17.6
Jan-93	67	0.8	31	18.9
Feb-93	62	0	32.8	18.9
Mar-93	65	19.7	35.4	23.8
Apr-93	63	35.3	36.9	25.8
May-93	67	104.9	36.4	25.4
Jun-93	71	147.4	35.4	25.3
Jul-93	74	177.9	34.3	25.2
Aug-93	79	227.9	32.4	24.3
Sep-93	81	184.4	32.2	24.8
Oct-93	75	50.3	32.6	24.1
Nov-93	68	T	32.7	21.1
Dec-93	61	0	31	18.3
Jan-94	64	0	33.2	18.8
Feb-94	61	7.9	35.4	23
Mar-94	67	148.2	34.4	23.2
Apr-94	66	29.7	37	25.3
May-94	77	468	34.5	25.2
Jun-94	81	236.9	32.8	25.1
Jul-94	81	125.9	32.1	25.3
Aug-94	83	264.6	31.4	24.8
Sep-94	81	144.4	32.3	25.1
Oct-94	75	39.3	32.2	22.6
Nov-94	68	3.3	32.1	20.8
Dec-94	69	87.1	31.5	19.6
Jan-95	84	9.5	31.8	19.4
Feb-95	78	T	33.2	20
Mar-95	76	14.1	36.5	24.3

YEARS	RELATIVE HUMIDITY (%)	RAINFALL (mm.)	MAX. TEMPERATURE (°c)	MIN. TEMPERATURE (°c)
Apr-95	77	12.7	38.6	26.3
May-95	84	185.6	35.7	25.5
Jun-95	88	176.4	34.7	25.4
Jul-95	91	189.1	32.6	24.9
Aug-95	92	545	31.9	24.7
Sep-95	91	227.8	32.5	25.1
Oct-95	89	186	32.5	24.6
Nov-95	86	56.9	31.2	22.3
Dec-95	83	0.2	30.1	18.1
Jan-96	85	0.6	31.6	17.8
Feb-96	81	89.7	31.7	19.5
Mar-96	81	15.9	35.3	23.8
Apr-96	84	194.8	35.4	24.7
May-96	90	215.6	34.4	25
Jun-96	90	246.5	33.5	25.3
Jul-96	88	98.8	33.1	25.3
Aug-96	91	194.7	32.6	25
Sep-96	92	415.3	32.1	24.8
Oct-96	88	61.5	32.1	24.6
Nov-96	89	117.8	31.6	23.2
Dec-96	84	T	30.3	19
Jan-97	85	0	30.8	18.3
Feb-97	82	0	33.5	20.4
Mar-97	80	13.7	35.3	23.3
Apr-97	81	84.6	36.2	23.9
May-97	80	62.7	37.2	26
Jun-97	80	55.1	36.9	25.6
Jul-97	86	240.6	33.7	25.1
Aug-97	90	108	32.9	25.2
Sep-97	91	175.8	32.7	24.8
Oct-97	90	220.3	33.1	24.7
Nov-97	87	0.6	32.9	22.6
Dec-97	84	0	33.2	22.9

ตารางที่ 5.2 แสดงการระเหย (Evaporation)

Month	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิเฉลี่ย	ความชื้น	es (ผิวน้ำ)	es (อากาศ)	ea	u	Evaporation
	c	F	สัมพัทธ์(%)	นิ้วของปรอท	นิ้วของปรอท	นิ้วของปรอท	mile / hr	มม. / เดือน
Jan-90	26.9	80.42	66	1.05	1.29	0.85	0.9	58.30
Feb-90	28.4	83.12	62	1.15	1.29	0.80	1.4	110.04
Mar-90	29.3	84.74	65	1.21	1.29	0.84	2	123.89
Apr-90	30.8	87.44	62	1.32	1.29	0.80	2.3	175.58
May-90	30.2	86.36	72	1.28	1.29	0.93	2	114.96
Jun-90	29.5	85.1	76	1.23	1.29	0.98	1.7	79.76
Jul-90	28.8	83.84	77	1.18	1.29	0.99	1.6	59.33
Aug-90	29.4	84.92	74	1.22	1.29	0.95	1.5	84.32
Sep-90	28.8	83.84	80	1.18	1.29	1.03	1.3	45.80
Oct-90	28.5	83.3	78	1.16	1.29	1.01	1.1	46.44
Nov-90	27.3	81.14	70	1.07	1.29	0.90	1	51.74
Dec-90	25.3	77.54	63	0.93	1.29	0.81	1	36.62
Jan-91	27.1	80.78	63	1.06	1.29	0.81	0.9	74.07
Feb-91	27.4	81.32	56	1.08	1.29	0.72	1.4	112.29
Mar-91	31.4	88.52	58	1.36	1.29	0.75	2	202.15
Apr-91	32.5	90.5	57	1.44	1.29	0.74	2.3	237.61
Mar-91	31.6	88.88	66	1.38	1.29	0.85	2	172.80
Jun-91	29.3	84.74	74	1.21	1.29	0.95	1.7	83.53
Jul-91	29.8	85.64	73	1.25	1.29	0.94	1.6	98.09
Aug-91	28.6	83.48	81	1.17	1.29	1.04	1.5	38.11
Sep-91	29.4	84.92	79	1.22	1.29	1.02	1.3	62.86
Oct-91	28.3	82.94	78	1.14	1.29	1.01	1.1	42.16
Nov-91	26.1	78.98	70	0.99	1.29	0.90	1	26.32
Dec-91	25.3	77.54	64	0.93	1.29	0.83	1	32.73
Jan-92	24.4	75.92	66	0.87	1.29	0.85	0.9	5.82
Feb-92	26.3	79.34	60	1.00	1.29	0.77	1.4	72.01
Mar-92	29.7	85.46	59	1.24	1.29	0.76	2	158.61
Apr-92	32.5	90.5	55	1.44	1.29	0.71	2.3	246.31
May-92	32.5	90.5	58	1.44	1.29	0.75	2	227.56
Jun-92	30.5	86.9	70	1.30	1.29	0.90	1.7	127.13
Jul-92	29.2	84.56	74	1.21	1.29	0.95	1.6	80.58
Aug-92	28.7	83.66	81	1.17	1.29	1.04	1.5	40.33
Sep-92	28.5	83.3	80	1.16	1.29	1.03	1.3	39.27
Oct-92	26.9	80.42	80	1.05	1.29	1.03	1.1	4.38
Nov-92	25.2	77.36	71	0.93	1.29	0.92	1	3.36

Month	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิเฉลี่ย	ความชื้น	es (ผิวน้ำ)	es (อากาศ)	ea	u	Evaporation
	c	F	สัมพัทธ์(%)	นิ้วของปรอท	นิ้วของปรอท	นิ้วของปรอท	mile / hr	มม. / เดือน
Dec-92	24.2	75.56	69	0.86	1.29	0.89	1	-10.04
Jan-93	24.9	76.82	67	0.91	1.29	0.86	0.9	12.46
Feb-93	25.9	78.62	62	0.98	1.29	0.80	1.4	55.16
Mar-93	29.6	85.28	65	1.24	1.29	0.84	2	130.82
Apr-93	31.4	88.52	63	1.36	1.29	0.81	2.3	185.44
May-93	30.9	87.62	67	1.33	1.29	0.86	2	152.37
Jun-93	30.4	86.72	71	1.29	1.29	0.92	1.7	120.74
Jul-93	29.8	85.64	74	1.25	1.29	0.95	1.6	93.99
Aug-93	28.4	83.12	79	1.15	1.29	1.02	1.5	41.82
Sep-93	28.5	83.3	81	1.16	1.29	1.04	1.3	35.28
Oct-93	28.4	83.12	75	1.15	1.29	0.97	1.1	56.08
Nov-93	26.9	80.42	68	1.05	1.29	0.88	1	51.05
Dec-93	24.7	76.46	61	0.89	1.29	0.79	1	31.70
Jan-94	26	78.8	64	0.98	1.29	0.83	0.9	47.12
Feb-94	29.2	84.56	61	1.21	1.29	0.79	1.4	131.64
Mar-94	28.8	83.84	67	1.18	1.29	0.86	2	103.84
Apr-94	31.2	88.16	66	1.35	1.29	0.85	2.3	167.64
May-94	29.9	85.82	77	1.26	1.29	0.99	2	86.80
Jun-94	28.9	84.02	81	1.19	1.29	1.04	1.7	45.54
Jul-94	28.7	83.66	81	1.17	1.29	1.04	1.6	40.68
Aug-94	28.1	82.58	83	1.13	1.29	1.07	1.5	18.90
Sep-94	28.7	83.66	81	1.17	1.29	1.04	1.3	39.63
Oct-94	27.4	81.32	75	1.08	1.29	0.97	1.1	34.71
Nov-94	26.5	79.7	68	1.02	1.29	0.88	1	42.58
Dec-94	25.6	78.08	69	0.96	1.29	0.89	1	19.62
Jan-95	25.6	78.08	84	0.96	1.29	1.08	0.9	-38.42
Feb-95	26.6	79.88	78	1.03	1.29	1.01	1.4	5.98
Mar-95	30.4	86.72	76	1.29	1.29	0.98	2	102.60
Apr-95	32.5	90.5	77	1.44	1.29	0.99	2.3	150.55
May-95	30.6	87.08	84	1.31	1.29	1.08	2	73.25
Jun-95	30.1	86.18	88	1.27	1.29	1.14	1.7	43.59
Jul-95	28.8	83.84	91	1.18	1.29	1.17	1.6	1.86
Aug-95	28.3	82.94	92	1.14	1.29	1.19	1.5	-13.29
Sep-95	28.8	83.84	91	1.18	1.29	1.17	1.3	1.82
Oct-95	28.6	83.48	89	1.17	1.29	1.15	1.1	5.37
Nov-95	26.8	80.24	86	1.04	1.29	1.11	1	-21.13

Month	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิเฉลี่ย	ความชื้น	es (ผิวน้ำ)	es (อากาศ)	ea	u	Evaporation
	c	F	สัมพัทธ์(%)	นิ้วของปรอท	นิ้วของปรอท	นิ้วของปรอท	mile / hr	มม. / เดือน
Dec-95	24.1	75.38	83	0.85	1.29	1.07	1	-66.65
Jan-96	24.7	76.46	85	0.89	1.29	1.10	0.9	-61.17
Feb-96	25.6	78.08	81	0.96	1.29	1.04	1.4	-28.08
Mar-96	29.6	85.28	81	1.24	1.29	1.04	2	62.88
Apr-96	30.1	86.18	84	1.27	1.29	1.08	2.3	63.24
May-96	29.7	85.46	90	1.24	1.29	1.16	2	26.97
Jun-96	29.4	84.92	90	1.22	1.29	1.16	1.7	19.54
Jul-96	29.2	84.56	88	1.21	1.29	1.14	1.6	23.11
Aug-96	28.8	83.84	91	1.18	1.29	1.17	1.5	1.85
Sep-96	28.5	83.3	92	1.16	1.29	1.19	1.3	-8.71
Oct-96	28.4	83.12	88	1.15	1.29	1.14	1.1	5.02
Nov-96	27.4	81.32	89	1.08	1.29	1.15	1	-20.10
Dec-96	24.7	76.46	84	0.89	1.29	1.08	1	-57.83
Jan-97	24.6	76.28	85	0.88	1.29	1.10	0.9	-63.26
Feb-97	26.9	80.42	82	1.05	1.29	1.06	1.4	-3.57
Mar-97	29.3	84.74	80	1.21	1.29	1.03	2	60.19
Apr-97	30.1	86.18	81	1.27	1.29	1.04	2.3	76.30
May-97	31.6	88.88	80	1.38	1.29	1.03	2	113.34
Jun-97	31.3	88.34	80	1.36	1.29	1.03	1.7	103.75
Jul-97	29.4	84.92	86	1.22	1.29	1.11	1.6	35.79
Aug-97	29.1	84.38	90	1.20	1.29	1.16	1.5	12.56
Sep-97	28.8	83.84	91	1.18	1.29	1.17	1.3	1.82
Oct-97	28.9	84.02	90	1.19	1.29	1.16	1.1	7.85
Nov-97	27.8	82.04	87	1.11	1.29	1.12	1	-3.84
Dec-97	28.1	82.58	84	1.13	1.29	1.08	1	14.19

ตารางที่ 5.3 แสดงการคายระเหย (Evaptranspiration)

Month	Mean Teamperature c	Annual heat index (I)	a	Evapotranspiration (mm./month)
Jan-90	26.9	168.39	4.54	134.19
Feb-90	28.4	168.39	4.54	171.68
Mar-90	29.3	168.39	4.54	197.80
Apr-90	30.8	168.39	4.54	248.12
May-90	30.2	168.39	4.54	226.92
Jun-90	29.5	168.39	4.54	204.00
Jul-90	28.8	168.39	4.54	182.93
Aug-90	29.4	168.39	4.54	200.88
Sep-90	28.8	168.39	4.54	182.93
Oct-90	28.5	168.39	4.54	174.44
Nov-90	27.3	168.39	4.54	143.49
Dec-90	25.3	168.39	4.54	101.58
Jan-91	27.1	171.26	4.69	137.69
Feb-91	27.4	171.26	4.69	144.99
Mar-91	31.4	171.26	4.69	274.71
Apr-91	32.5	171.26	4.69	322.85
Mar-91	31.6	171.26	4.69	283.01
Jun-91	29.3	171.26	4.69	198.56
Jul-91	29.8	171.26	4.69	214.96
Aug-91	28.6	171.26	4.69	177.27
Sep-91	29.4	171.26	4.69	201.75
Oct-91	28.3	171.26	4.69	168.71
Nov-91	26.1	171.26	4.69	115.43
Dec-91	25.3	171.26	4.69	99.75
Jan-92	24.4	165.43	4.4	88.46
Feb-92	26.3	165.43	4.4	123.03
Mar-92	29.7	165.43	4.4	210.06
Apr-92	32.5	165.43	4.4	312.25
May-92	32.5	165.43	4.4	312.25
Jun-92	30.5	165.43	4.4	236.12
Jul-92	29.2	165.43	4.4	194.94
Aug-92	28.7	165.43	4.4	180.67
Sep-92	28.5	165.43	4.4	175.20
Oct-92	26.9	165.43	4.4	135.87
Nov-92	25.2	165.43	4.4	101.95
Dec-92	24.2	165.43	4.4	85.31
Jan-93	24.9	166.09	4.43	96.20
Feb-93	25.9	166.09	4.43	114.53
Mar-93	29.6	166.09	4.43	206.93
Apr-93	31.4	166.09	4.43	268.78
May-93	30.9	166.09	4.43	250.33
Jun-93	30.4	166.09	4.43	232.88
Jul-93	29.8	166.09	4.43	213.19
Aug-93	28.4	166.09	4.43	172.27
Sep-93	28.5	166.09	4.43	174.97
Oct-93	28.4	166.09	4.43	172.27
Nov-93	26.9	166.09	4.43	135.46
Dec-93	24.7	166.09	4.43	92.82
Jan-94	26	165.31	4.39	116.82
Feb-94	29.2	165.31	4.39	194.45
Mar-94	28.8	165.31	4.39	183.03
Apr-94	31.2	165.31	4.39	260.09
May-94	29.9	165.31	4.39	215.77
Jun-94	28.9	165.31	4.39	185.84

Month	Mean Teamperature c	Annual heat index (I)	a	Evapotranspiration (mm./month)
Jul-94	28.7	165.31	4.39	180.26
Aug-94	28.1	165.31	4.39	164.29
Sep-94	28.7	165.31	4.39	180.26
Oct-94	27.4	165.31	4.39	147.07
Nov-94	26.5	165.31	4.39	127.01
Dec-94	25.6	165.31	4.39	109.13
Jan-95	25.6	167.36	4.49	107.88
Feb-95	26.6	167.36	4.49	128.13
Mar-95	30.4	167.36	4.49	233.36
Apr-95	32.5	167.36	4.49	314.98
May-95	30.6	167.36	4.49	240.33
Jun-95	30.1	167.36	4.49	223.20
Jul-95	28.8	167.36	4.49	183.06
Aug-95	28.3	167.36	4.49	169.22
Sep-95	28.8	167.36	4.49	183.06
Oct-95	28.6	167.36	4.49	177.42
Nov-95	26.8	167.36	4.49	132.51
Dec-95	24.1	167.36	4.49	82.26
Jan-96	24.7	163.27	4.3	94.89
Feb-96	25.6	163.27	4.3	110.68
Mar-96	29.6	163.27	4.3	206.62
Apr-96	30.1	163.27	4.3	222.05
May-96	29.7	163.27	4.3	209.64
Jun-96	29.4	163.27	4.3	200.69
Jul-96	29.2	163.27	4.3	194.88
Aug-96	28.8	163.27	4.3	183.66
Sep-96	28.5	163.27	4.3	175.57
Oct-96	28.4	163.27	4.3	172.94
Nov-96	27.4	163.27	4.3	148.23
Dec-96	24.7	163.27	4.3	94.89
Jan-97	24.6	170.49	4.65	88.02
Feb-97	26.9	170.49	4.65	133.37
Mar-97	29.3	170.49	4.65	198.45
Apr-97	30.1	170.49	4.65	224.93
May-97	31.6	170.49	4.65	282.01
Jun-97	31.3	170.49	4.65	269.77
Jul-97	29.4	170.49	4.65	201.62
Aug-97	29.1	170.49	4.65	192.23
Sep-97	28.8	170.49	4.65	183.19
Oct-97	28.9	170.49	4.65	186.16
Nov-97	27.8	170.49	4.65	155.43
Dec-97	28.1	170.49	4.65	163.38

ตารางที่ 5.4 แสดงปริมาณฝนสุทธิ (Net Effective Rainfall)

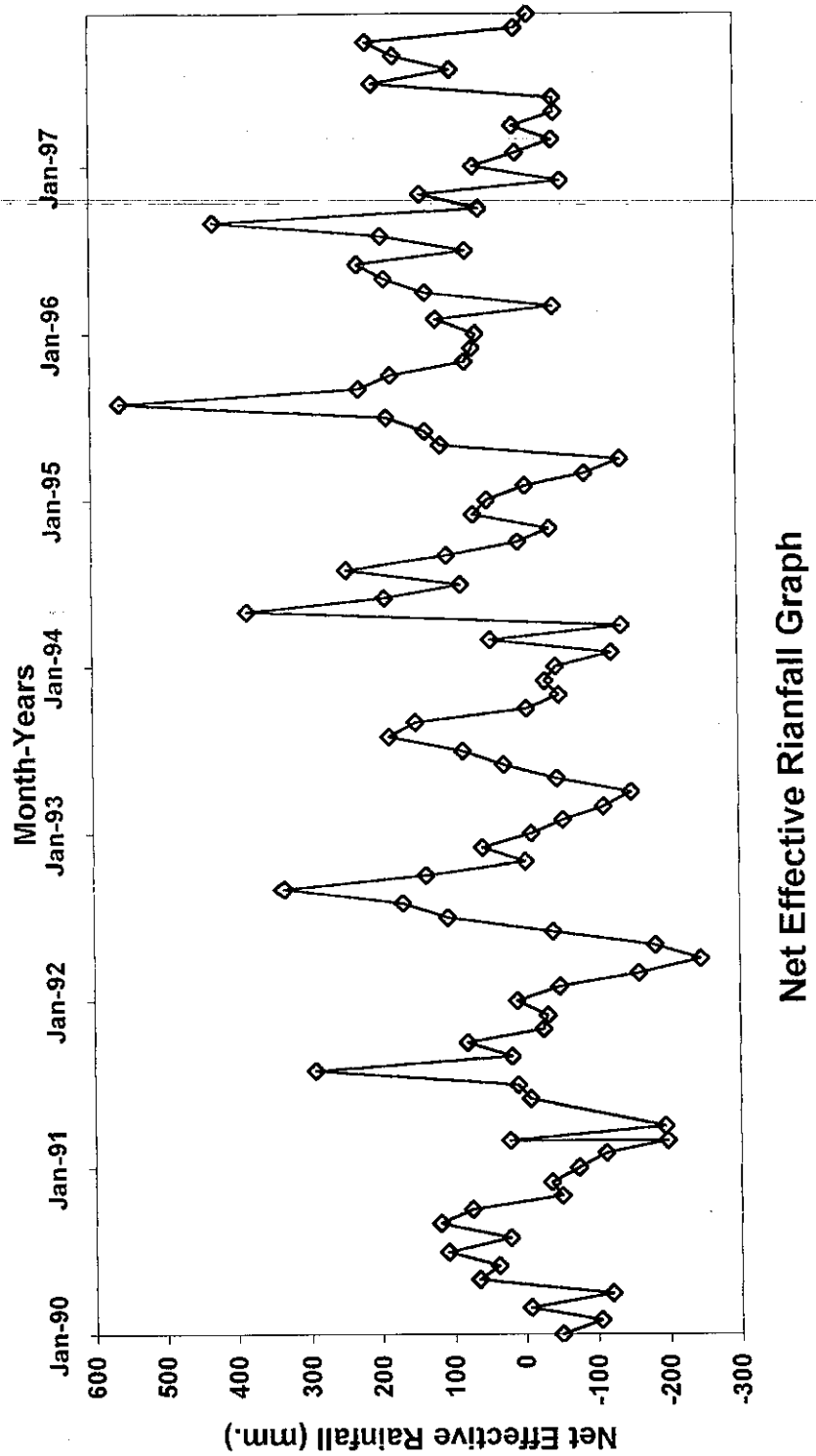
Month	Rainfall (mm.)	Evaporation (mm./month)	Net effective rianfall (mm.)
Jan-1990	8.4	58.30	-49.90
Feb-1990	6.2	110.04	-103.84
Mar-1990	116.5	123.89	-7.39
Apr-1990	55.7	175.58	-119.88
May-1990	180.6	114.96	65.64
Jun-1990	117.5	79.76	37.74
Jul-1990	168	59.33	108.67
Aug-1990	105.8	84.32	21.48
Sep-1990	165.1	45.80	119.30
Oct-1990	121.2	46.44	74.76
Nov-1990	0.9	51.74	-50.84
Dec-1990	0	36.62	-36.62
Jan-1991	T	74.07	-74.07
Feb-1991	0	112.29	-112.29
Mar-1991	4.4	202.15	-197.75
Apr-1991	42.9	237.61	-194.71
Mar-1991	193.6	172.80	20.80
Jun-1991	75.5	83.53	-8.03
Jul-1991	108	98.09	9.91
Aug-1991	331.1	38.11	292.99
Sep-1991	80.5	62.86	17.64
Oct-1991	122.2	42.16	80.04
Nov-1991	0	26.32	-26.32
Dec-1991	0.2	32.73	-32.53
Jan-1992	15.8	5.82	9.98
Feb-1992	22.7	72.01	-49.31
Mar-1992	0	158.61	-158.61
Apr-1992	0.9	246.31	-245.41
May-1992	45.1	227.56	-182.46
Jun-1992	86.5	127.13	-40.63
Jul-1992	187.6	80.58	107.02
Aug-1992	208.7	40.33	168.37
Sep-1992	373.8	39.27	334.53
Oct-1992	140.3	4.38	135.92
Nov-1992	1	3.36	-2.36
Dec-1992	47.3	-10.04	57.34
Jan-1993	0.8	12.46	-11.66
Feb-1993	0	55.16	-55.16
Mar-1993	19.7	130.82	-111.12
Apr-1993	35.3	185.44	-150.14
May-1993	104.9	152.37	-47.47
Jun-1993	147.4	120.74	26.66
Jul-1993	177.9	93.99	83.91
Aug-1993	227.9	41.82	186.08
Sep-1993	184.4	35.28	149.12
Oct-1993	50.3	56.08	-5.78
Nov-1993	T	51.05	-51.05
Dec-1993	0	31.70	-31.70
Jan-1994	0	47.12	-47.12
Feb-1994	7.9	131.64	-123.74
Mar-1994	148.2	103.84	44.36
Apr-1994	29.7	167.64	-137.94
May-1994	468	86.80	381.20
Jun-1994	236.9	45.54	191.36

Month	Rainfall (mm.)	Evaporation (mm./month)	Net effective rianfall (mm.)
Jul-1994	125.9	40.68	85.22
Aug-1994	264.6	18.90	245.70
Sep-1994	144.4	39.63	104.77
Oct-1994	39.3	34.71	4.59
Nov-1994	3.3	42.58	-39.28
Dec-1994	87.1	19.62	67.48
Jan-1995	9.5	-38.42	47.92
Feb-1995	T	5.98	-5.98
Mar-1995	14.1	102.60	-88.50
Apr-1995	12.7	150.55	-137.85
May-1995	185.6	73.25	112.35
Jun-1995	176.4	43.59	132.81
Jul-1995	189.1	1.86	187.24
Aug-1995	545	-13.29	558.29
Sep-1995	227.8	1.82	225.98
Oct-1995	186	5.37	180.63
Nov-1995	56.9	-21.13	78.03
Dec-1995	0.2	-66.65	66.85
Jan-1996	0.6	-61.17	61.77
Feb-1996	89.7	-28.08	117.78
Mar-1996	15.9	62.88	-46.98
Apr-1996	194.8	63.24	131.56
May-1996	215.6	26.97	188.63
Jun-1996	246.5	19.54	226.96
Jul-1996	98.8	23.11	75.69
Aug-1996	194.7	1.85	192.85
Sep-1996	415.3	-8.71	424.01
Oct-1996	61.5	5.02	56.48
Nov-1996	117.8	-20.10	137.90
Dec-1996	T	-57.83	-57.83
Jan-1997	0	-63.26	63.26
Feb-1997	0	-3.57	3.57
Mar-1997	13.7	60.19	-46.49
Apr-1997	84.6	76.30	8.30
May-1997	62.7	113.34	-50.64
Jun-1997	55.1	103.75	-48.65
Jul-1997	240.6	35.79	204.81
Aug-1997	108	12.56	95.44
Sep-1997	175.8	1.82	173.98
Oct-1997	220.3	7.85	212.45
Nov-1997	0.6	-3.84	4.44
Dec-1997	0	14.19	-14.19

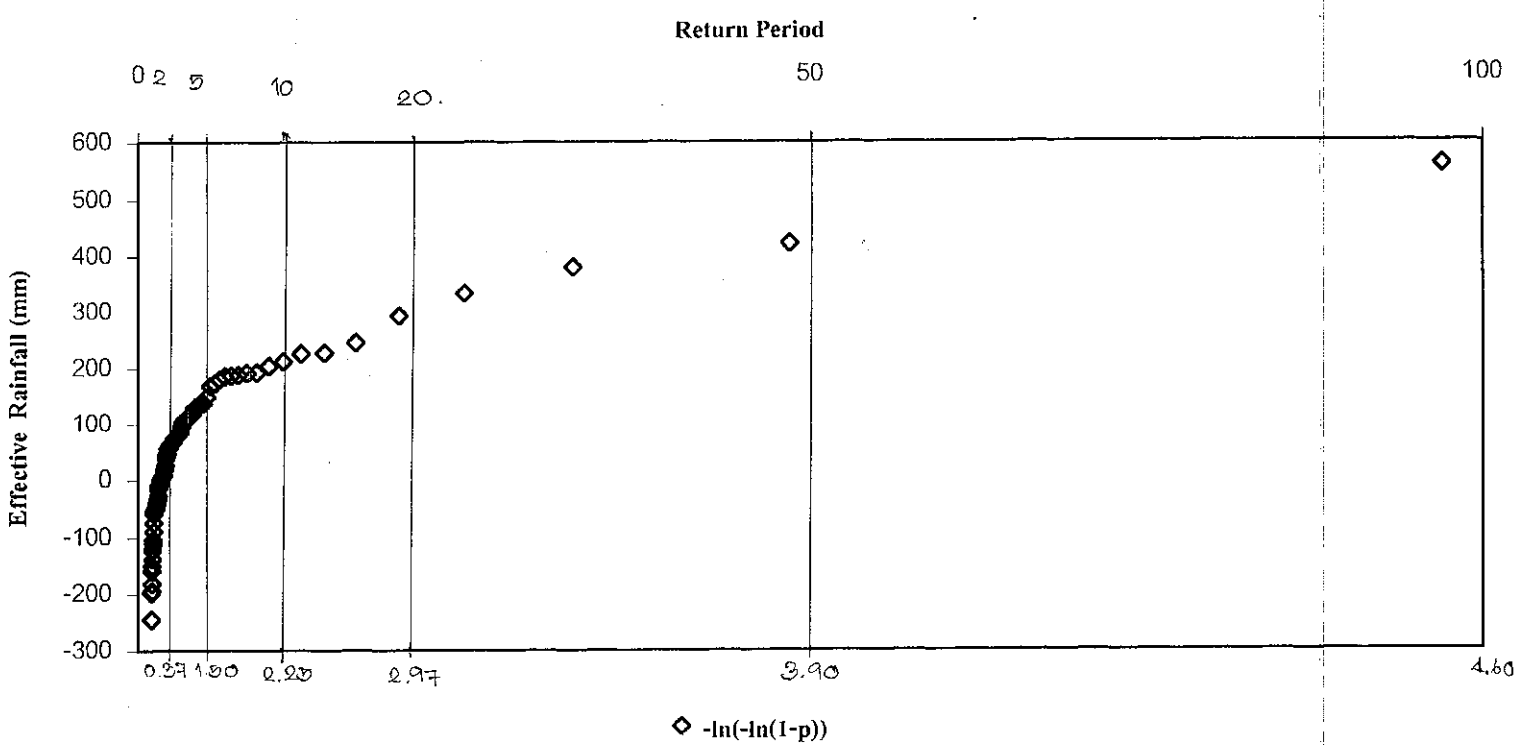
ตารางที่ 5.5 แสดงข้อมูล Net Effective Rainfall,Return Period,Probabilty and -ln(-ln(1-p

m	Net effective rianfall (mm.)	Return period Tr	Probability p	-ln(-ln(1-p))
1	558.29	97.00	0.01	4.57
2	424.01	48.50	0.02	3.87
3	381.20	32.33	0.03	3.46
4	334.53	24.25	0.04	3.17
5	292.99	19.40	0.05	2.94
6	245.70	16.17	0.06	2.75
7	226.96	13.86	0.07	2.59
8	225.98	12.13	0.08	2.45
9	212.45	10.78	0.09	2.33
10	204.81	9.70	0.10	2.22
11	192.85	8.82	0.11	2.12
12	191.36	8.08	0.12	2.02
13	188.63	7.46	0.13	1.94
14	187.24	6.93	0.14	1.86
15	186.08	6.47	0.15	1.78
16	180.63	6.06	0.16	1.71
17	173.98	5.71	0.18	1.65
18	168.37	5.39	0.19	1.58
19	149.12	5.11	0.20	1.52
20	137.90	4.85	0.21	1.47
21	135.92	4.62	0.22	1.41
22	132.81	4.41	0.23	1.36
23	131.56	4.22	0.24	1.31
24	119.30	4.04	0.25	1.26
25	117.78	3.88	0.26	1.21
26	112.35	3.73	0.27	1.16
27	108.67	3.59	0.28	1.12
28	107.02	3.46	0.29	1.08
29	104.77	3.34	0.30	1.04
30	95.44	3.23	0.31	0.99
31	85.22	3.13	0.32	0.95
32	83.91	3.03	0.33	0.92
33	80.04	2.94	0.34	0.88
34	78.03	2.85	0.35	0.84
35	75.69	2.77	0.36	0.80
36	74.76	2.69	0.37	0.77
37	67.48	2.62	0.38	0.73
38	66.85	2.55	0.39	0.70
39	65.64	2.49	0.40	0.67
40	63.26	2.43	0.41	0.63
41	61.77	2.37	0.42	0.60
42	57.34	2.31	0.43	0.57
43	56.48	2.26	0.44	0.53
44	47.92	2.20	0.45	0.50
45	44.36	2.16	0.46	0.47
46	37.74	2.11	0.47	0.44
47	26.66	2.06	0.48	0.41
48	21.48	2.02	0.49	0.38
49	20.80	1.98	0.51	0.35
50	17.64	1.94	0.52	0.32
51	9.98	1.90	0.53	0.29
52	9.91	1.87	0.54	0.26
53	8.30	1.83	0.55	0.24

m	Net effective rianfall (mm.)	Return period Tr	Probability p	-ln(-ln(1-p))
54	4.59	1.80	0.56	0.21
55	4.44	1.76	0.57	0.18
56	3.57	1.73	0.58	0.15
57	-2.36	1.70	0.59	0.12
58	-5.78	1.67	0.60	0.09
59	-5.98	1.64	0.61	0.06
60	-7.39	1.62	0.62	0.04
61	-8.03	1.59	0.63	0.01
62	-11.66	1.56	0.64	-0.02
63	-14.19	1.54	0.65	-0.05
64	-26.32	1.52	0.66	-0.08
65	-31.70	1.49	0.67	-0.10
66	-32.53	1.47	0.68	-0.13
67	-36.62	1.45	0.69	-0.16
68	-39.28	1.43	0.70	-0.19
69	-40.63	1.41	0.71	-0.22
70	-46.49	1.39	0.72	-0.25
71	-46.98	1.37	0.73	-0.28
72	-47.12	1.35	0.74	-0.30
73	-47.47	1.33	0.75	-0.33
74	-48.65	1.31	0.76	-0.36
75	-49.31	1.29	0.77	-0.39
76	-49.90	1.28	0.78	-0.43
77	-50.64	1.26	0.79	-0.46
78	-50.84	1.24	0.80	-0.49
79	-51.05	1.23	0.81	-0.52
80	-55.16	1.21	0.82	-0.55
81	-57.83	1.20	0.84	-0.59
82	-74.07	1.18	0.85	-0.62
83	-88.50	1.17	0.86	-0.66
84	-103.84	1.15	0.87	-0.70
85	-111.12	1.14	0.88	-0.74
86	-112.29	1.13	0.89	-0.78
87	-119.88	1.11	0.90	-0.82
88	-123.74	1.10	0.91	-0.87
89	-137.85	1.09	0.92	-0.91
90	-137.94	1.08	0.93	-0.97
91	-150.14	1.07	0.94	-1.02
92	-158.61	1.05	0.95	-1.09
93	-182.46	1.04	0.96	-1.16
94	-194.71	1.03	0.97	-1.25
95	-197.75	1.02	0.98	-1.36
96	-245.41	1.01	0.99	-1.52


Net Effective Rianfall Graph
Net Effective Rainfall (mm.)
600
500
400
300
200
100
0
-100
-200
-300
Month-Years
Jan-90
Jan-91
Jan-92
Jan-93
Jan-94
Jan-95
Jan-96
Jan-97

กราฟแสดงความสัมพันธ์ ของ Net effective rainfall,Return Period and -ln(-ln(1-p))



การระเหย (Evaporation)

การประมาณค่าการระเหยน้ำเป็นสิ่งจำเป็นมากเนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งที่ก่อให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำบนผิวโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการศึกษาทางบดุลน้ำของอ่างเก็บน้ำหรือแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งมีปริมาณการระเหยค่อนข้างมาก นอกจากนี้ปริมาณการระเหยของน้ำจากลุ่มน้ำในระยะยาวยังมีความสำคัญต่อการวางแผนการพัฒนาแหล่งน้ำ และวิธีการที่จะใช้คำนวณหาค่าการระเหยน้ำมีหลายวิธี แต่ในที่นี้เลือกใช้วิธีวิเคราะห์จากกระบวนการทางฟิสิกส์ คือวิเคราะห์โดยสมการการถ่ายเทมวล (Mass-transfer Method) เพราะสอดคล้องกับข้อมูลที่หาได้

จากตารางแสดงค่าการระเหย จะเห็นว่าค่าการระเหยขึ้นกับความดันไอแตกต่างระหว่างผิวน้ำและอากาศเหนือผิวน้ำ อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันบรรยากาศ และพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ซึ่งมีอิทธิพลมากที่สุด ดังนั้นค่าการระเหยในแต่ละเดือนจึงแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิอากาศ และทำให้ทราบว่าอัตราการระเหยที่อุณหภูมิหนึ่งเป็นสัดส่วนกับความเร็วลม และขึ้นอยู่กับความดันไอของอากาศเหนือผิวน้ำอย่างมาก ตามความเป็นจริงแล้วอุณหภูมิของน้ำขึ้นอยู่กับความเร็วลมและความดันไอ ถ้าการแลกเปลี่ยนการแผ่รังสีและส่วนย่อยอื่นๆทางด้านอุตุนิยมวิทยาคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง อุณหภูมิของน้ำและอัตราการระเหยจะคงที่

การประเมินผลการระเหยจากความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆในทางอุตุนิยมวิทยาทำได้ยาก และการสรุปใดๆจะต้องอ้างถึงเวลาในการพิจารณาอยู่ด้วยเสมอๆ การประเมินความสำคัญของตัวแปรเหล่านี้จะต้องเข้าใจถึงสมการการถ่ายเทมวล(Mass-transfer Method) เสียก่อน อย่างไรก็ตามสามารถสรุปได้ว่า การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศ ความดันไอ ความเร็วลม และความดันบรรยากาศ มีอิทธิพลต่อการระเหยทั้งสิ้น

การคายระเหย (Evapotranspiration)

การวัดหรือการคำนวณหาปริมาณรวมของการระเหยและการคายน้ำของพืชจากพื้นดินซึ่งเรียกรวมเป็นการคายระเหย มีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาทางอุทกวิทยาโดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวกับการศึกษาปริมาณการใช้น้ำของพืช(comsumptive use) ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วแล้วถือว่ามีค่าเท่ากันและมีความหมายเหมือนกันถึงแม้ว่าในความเป็นจริงปริมาณการใช้น้ำของพืชจะมีค่ามากกว่าปริมาณการคายระเหยเล็กน้อยเนื่องจากรวมไปถึงปริมาณน้ำที่อยู่ภายในต้นพืชด้วย

การคายระเหยเป็นขบวนการที่เกิดการระเหยและการคายน้ำไปพร้อมๆกัน ในทางปฏิบัติการระเหยสามารถจะวัดเฉพาะบนพื้นที่ผิวน้ำ หรือผิวดินที่เปียกชุ่มด้วยน้ำหลังจากฝนตกใหม่ๆ แต่หลังจากผิวดินเริ่มแห้งก็วัดได้ยาก สำหรับการวัดการคายน้ำของพืชในธรรมชาติทำไม่ได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงวัดหรือประเมินค่าทั้งสองรวมกัน เรียกว่า การคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration) ซึ่งอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การใช้น้ำของพืช (Consumptive use)

การวัดค่าการคายระเหยมีหลายวิธี ในที่นี้จะใช้วิธีของ Thornthwait เพราะง่ายต่อการคำนวณ ซึ่งวิธีนี้ใช้อุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของอากาศโดยคำนวณ จากตารางแสดงค่าการคายระเหย จะเห็นได้ว่าค่าของการระเหยจะขึ้นกับอุณหภูมิของอากาเป็นสำคัญโดยการคายระเหยจะมีค่ามากขึ้นตามอุณหภูมิที่มากขึ้น

ปริมาณฝนสุทธิ (Net Effective Rainfall)

เนื่องจากฝนที่ตกลงมายังพื้นดินมีทั้งส่วนที่ระเหยกลับสู่ชั้นบรรยากาศที่เกิดจากพลังงานแสงแดดและการคายน้ำของพืช และส่วนที่ไม่ได้ระเหยกลับสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งก็คือส่วนของน้ำที่กักเก็บบนผิวดิน (surface storage) ,ไหลซึมลงใต้ผิวดิน (infiltration) , น้ำที่ไหลตามผิวดิน (surface runoff) และน้ำที่ไหลใต้ผิวดิน (subsurface runoff) ซึ่งส่วนนี้เรียกว่า ปริมาณฝนสุทธิ (Net Effective Rainfall) ซึ่งเป็นผลต่างของปริมาณฝน (Rainfall) กับการระเหยของน้ำ (Evaporation) นอกจากจะสามารถนำข้อมูลปริมาณฝนสุทธิใช้ในการคำนวณออกแบบรางระบายน้ำ และคำนวณหาปริมาณน้ำชะล้างขยะ (leachate) ในปัจจุบันแล้ว จากข้อมูลที่มีอยู่สามารถที่จะไปใช้ประมาณหาช่วงเวลาของการเกิดฝนในอนาคตได้อีกด้วย โดยนำข้อมูลปริมาณฝนสุทธิไปเขียนกราฟความสัมพันธ์กับ Return Period ซึ่งก็จะเป็นประโยชน์ในการคำนวณออกแบบรางระบายน้ำ และคำนวณหาปริมาณน้ำชะล้างขยะต่อไปในอนาคต