

# 강수량의 손실

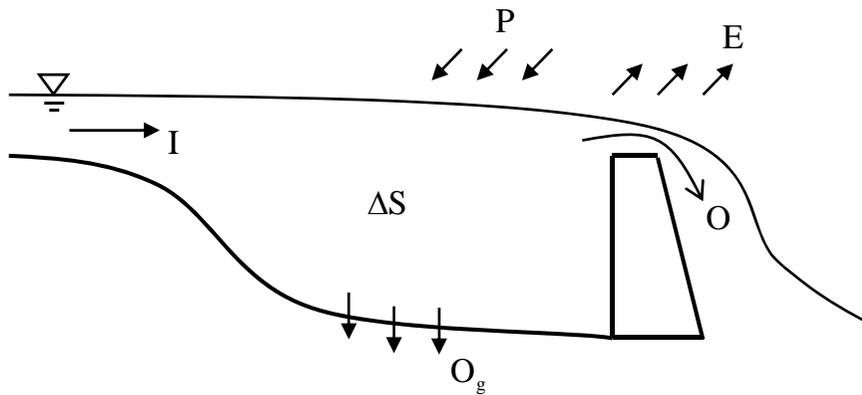
## ● 저수지 수표면에서의 증발

- 물수지 방법
- 에너지수지 방법
- 공기동역학 방법
- 에너지수지 + 공기동역학



저수지에서의 증발, 잠재증발산량 산정

# 물수지 방법

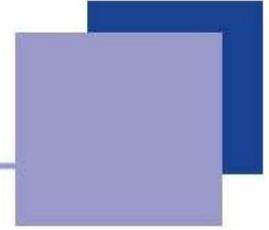


들어오는량 - 나가는량 = 저류량의 변화

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

# 에너지수지 방법

---

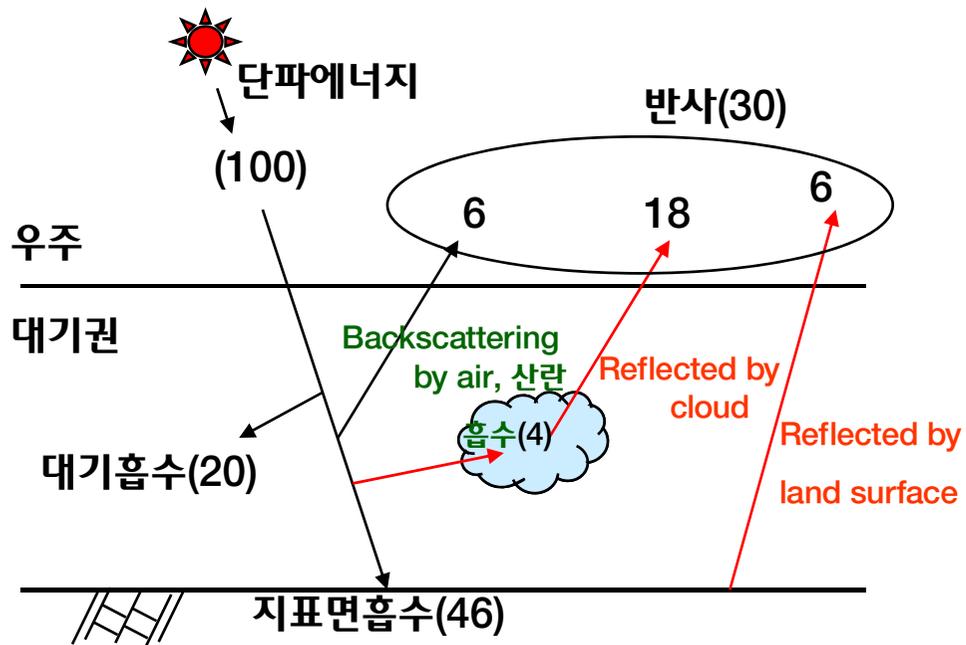


## 열 전달

1. 복사에너지 : 파동에 에너지를 실어서 전달
2. 현열(sensible heat) : 전도에너지, 온도가 다른 두 물체 간의 접촉
3. 잠열(latent heat) : 상태를 바꾸면서 열 전달

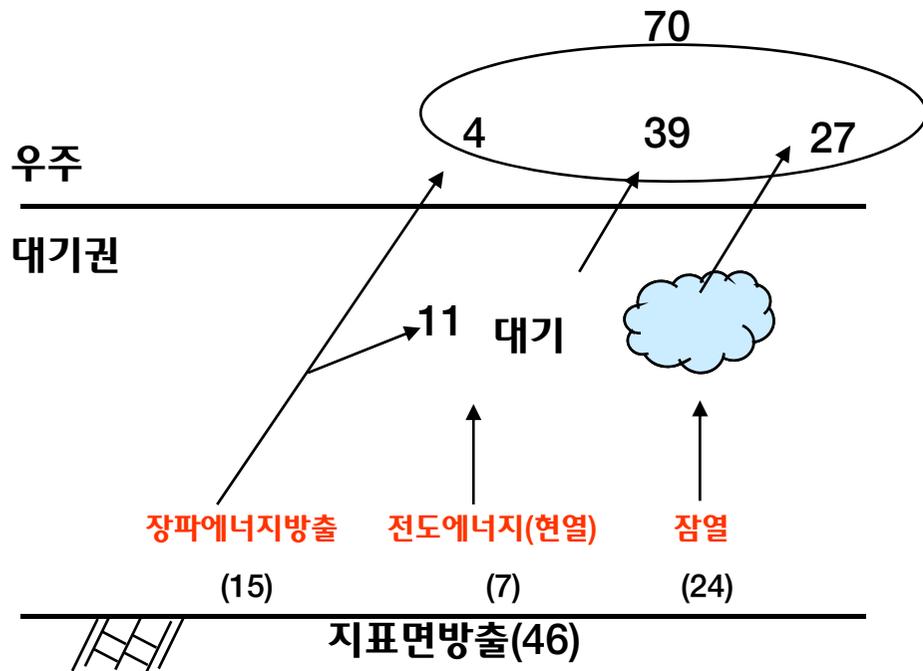
# 에너지수지 방법

< 태양복사 >



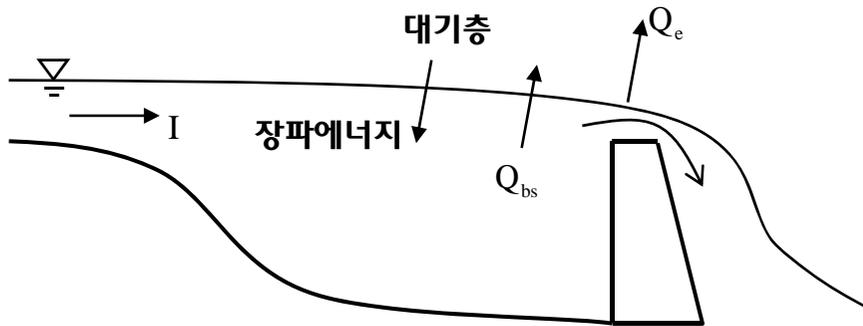
# 에너지수지 방법

< 지표복사 >



# 저수지 표면에서의 에너지수지

에너지 유입 - 에너지 방출 = 저장된 에너지 증가량



$$Q_{\theta} = Q_s - Q_r + Q_a - Q_{ar} - Q_{bs} + Q_v - Q_e - Q_h$$

$Q_{\theta}$  : 물에 의해 저장된 에너지 증가량

$Q_s$  : 수표면에 도달하는 태양복사에너지

$Q_r$  : 수표면에서 반사되는 태양복사에너지

$Q_a$  : 대기에서 수표면으로 유입되는 장파복사에너지

$Q_{ar}$  : 수표면에서 반사되는 장파복사에너지

$Q_{bs}$  : 물로부터 방출되는 장파복사에너지

$Q_b$

$Q_v$  : 저수지로부터 유입/유출되는 물에 의한 순에너지 변화량

$Q_e$  : 물로부터 대기로 전도된 에너지

$Q_h$  : 증발에 사용된 에너지

# 저수지 표면에서의 에너지수지

## ● $Q_s$ 산정

Black(1968)의 회귀식

$$Q_s = I_o (0.803 - 0.340C - 0.458C^2)$$

$Q_s$  = 특정 월의 일평균 태양복사에너지(cal/cm<sup>2</sup> · day)

$I_o$  = 특정 월의 일평균 태양상수(cal/cm<sup>2</sup> / day)

$C$  = 운도(cloud cover)

## ● $Q_r$ 산정

$$Q_r = AQ_s$$

Albedo(A) : 지표면에 도달한 태양복사에너지와  
반사된 에너지 간의 비

표면	Albedo
Water	0.03 ~ 0.40
River sand	0.43
Black, dry soil	0.14
Black, moist soil	0.08
Snow	0.40 ~ 0.85
Rice field	0.12

# 저수지 표면에서의 에너지수지

## ● $Q_b$ 산정

Stefan-Boltzman 의 법칙

$$Q_b = \sigma T_a^4 (\varepsilon_a - 1) \left( 0.1 + 0.9 \frac{n}{N} \right)$$

$Q_b$  : 장파복사에너지 교환량(cal/cm<sup>2</sup> / day)

$T_a$  : 대기의 절대온도(°C + 273)

$\sigma$  : Stefan - Boltzman 상수( $1.17 \times 10^{-7}$  cal/cm<sup>2</sup> / °K/day)

$n$  : 해당 일에 관측된 일조시간(hr)

$N$  : 해당 지역에서의 최대가능일조시간(hr)

$\varepsilon_a$  : 대기의 방사율

# 저수지 표면에서의 에너지수지

## ● $Q_\theta$ 산정

- 일정기간 동안 저수지 수온변화에 따라 저장된 에너지의 변화 발생
- 횡방향
- 종방향
- 온도변화를 무시할 수 있는 기간 동안  $Q_\theta \doteq 0$

## ● $Q_v$ 산정

- 유입/유출되는 물의 온도와 양이 같다면  $Q_v \doteq 0$

# 저수지 표면에서의 에너지수지

예제 1) 북위 35 ° 이후에 미 virginia 저수지에서 8월 달의 증발량을 에너지수지법으로 산정하시오

저수지 수표면 온도= 19 ° C

평균 대기온도= 21 ° C

상대습도= 60%

일조율( $n/N$ )= 0.5

평균대기압= 1010mb

저수지의 유입, 유출, 온도변화 무시

# 공기동력학적 방법

## ● 공기동력학적 방법

- Aero dynamics or turbulent transport
- 경험공식(Dalton)

$$E = C(e_s - e_a)(a + bw)$$

E : 증발율(mm/day)

$e_s$  : 수표면에서의 포화증기압(mb)

$e_a$  : 수표면으로부터 임의 높이에서의 실제증기압(mb)

w : 수표면으로부터 임의 높이에서의 풍속(m/sec)

a, b, c : 상수

# 에너지수지 및 공기동력학적 방법의 혼합

## 에너지수지법

$$Q_{\theta} = Q_s - Q_r + Q_b + Q_v - Q_e - Q_h$$

$$Q_n = Q_e + Q_h$$

$$E_n = E_o + K$$

$$B = \frac{Q_h}{Q_e} = \frac{K}{E_o} = 0.61 \left( \frac{T_o - T_a}{e_o - e_a} \right) \frac{P}{1000}$$

$$= \gamma \left( \frac{T_o - T_a}{e_o - e_a} \right)$$

$$E_n = E_o + BE_o = E_o(1+B)$$

$$E_o = \frac{E_n}{1+B} = \frac{E_n}{1 + \gamma \left( \frac{T_o - T_a}{e_o - e_a} \right)}$$

$$T_o - T_a = \frac{e_o - e_s}{\Delta}$$

$$E_o = \frac{E_n}{1 + \frac{\gamma}{\Delta} \left( \frac{e_o - e_s}{e_o - e_a} \right)}$$

# 에너지수지 및 공기동력학적 방법의 혼합

## ● 공기동력학적 방법과 연계

Dalton formula

$$E = C(e_o - e_a)(a + bW)$$

$$e_o - e_a = \frac{1}{C(a + bW)} E$$

$$E_o = \frac{E_n}{1 + \frac{\gamma}{\Delta} \left( \frac{e_o - e_s}{e_o - e_a} \right)}$$

에서

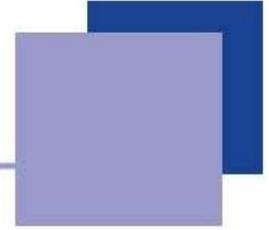
$$\frac{e_o - e_s}{e_o - e_a} = 1 - \frac{e_o - e_s}{e_o - e_a} \approx 1 - \frac{E_a}{E_o}$$

## ● Penman의 공식

$$E_o = \frac{E_n}{1 + \frac{\gamma}{\Delta} \left( 1 - \frac{E_a}{E_o} \right)} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} E_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a$$

# 증발산

---



- Thornthwaite 방법 : 가장 간단
- Blaney-Criddle 방법
- Jensen-Haise
- Penman 방법
- Penman-Monteith

# Thornthwaite 방법

- 월 열지수(monthly heat index)

$$j_n = \left( \frac{t_n}{5} \right)^{1.514} = 0.0875 t_n^{1.514}$$

$t_n$  : 월평균기온

- 연 열지수(yearly heat index)

$$J = \sum_{n=1}^{12} j_n$$

- 임의 월의 잠재증발산량

$$E_{tp}' = 16 \left( \frac{10t_n}{J} \right)^a$$

# Radiation Model

## ● Priestley and Taylor

$$\begin{aligned} \text{PET} &= \frac{1.26\Delta(Q_n / \rho \cdot L_e)}{\Delta + \gamma} \\ &= \frac{1.26\alpha(Q_n / \rho \cdot L_e)}{\alpha + 1} \end{aligned}$$

예제 1)  $T_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q_n = 600 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$$

$$L_e = 586 \text{ cal/g}$$

$$\alpha = 1.29$$

$$\text{PET} = ?$$

# Penman-Monteith

$$\text{PET} = \frac{1}{\lambda} \left[ \frac{\Delta R_n + \rho C_p (e_s - e_a) / \gamma_a}{\Delta + \gamma (1 + \gamma_{st} / \gamma_a)} \right]$$

$\rho$  : air density

$C_p$  : specific heat of air ( $= 1.013 \text{kJ}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ )

$\gamma_a$  : aerodynamic resistance

$\gamma_{st}$  : plant stomatal resistance

$R_n$  : net radiation energy

$\lambda$  : latent heat of vaporization

$$\gamma : \frac{C_p P}{\epsilon \lambda} \times 10^{-3} = 0.0016286 \frac{P}{\lambda}$$