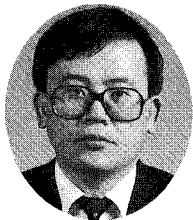


# 하천 모델의 원리와 활용방법

〈2〉



朴錫淳

(강원대학교 자연대 환경학과 부교수)

## 목차

- I. 서론
  - 1.1 STREAM모델 연구 배경
  - 1.2 STRESS모델 연구 배경
  - 1.3 모델 개요
- II. 모델 원리
  - 2.1 반응조 나열법
  - 2.2 STREAM모델식
  - 2.3 STRESS모델식
- III. 수질인자 반응 및 상호관계
  - 3.1 분변성 세균
  - 3.2 비보존성물질
  - 3.3 보존성 물질
  - 3.4 질소 화합물
  - 3.5 인 화합물
  - 3.6 엽록소 a
  - 3.7 생물화학적 산소요구량
  - 3.8 용존산소
    - 3.8.1 보에 의한 재포기
    - 3.8.2 재포기 계수
  - 3.9 무작위 수질 반응식
- IV. 입력 화일 구성
  - 4.1 하천의 구조화
  - 4.2 결정 모델 입력 화일 작성
  - 4.3 실측 데이터 화일 작성
  - 4.4 확률 모델 입력 화일 작성
    - 4.4.1 기초 입력 화일
    - 4.4.2 확률 입력 화일
- V. 수행 절차
  - 5.1 STREAM모델
    - 5.1.1 프로그램 개요
    - 5.1.2 수행과정
  - 5.2 STRESS모델
    - 5.2.1 프로그램 개요
    - 5.2.2 수행과정
- VI. 참고문헌

## III. 수질인자 반응 및 상호관계

모델에 포함된 주요 수질 인자는 용존산소(Dissolv-

환경관리인, 1993. 5

ed Oxygen : DO), 생물화학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand : BOD), 분변성 세균(Fecal Coliform : FC), 질소화합물(유기질소 : Organic Nitrogen ; 암모니아성 질소 : Ammonia Nitrogen; 아질산성 질소 : Nitrite Nitrogen; 질산성 질소 : Nitrate Nitrogen), 인 화합물(유기인 : Organic Phosphorus; 무기 용존인 : Dissolved Inorganic Phosphorus), 부유 조류(Phytoplankton), 침전물 산소요구량(Sediment Oxygen Demand : SOD); 비보존성 물질 3가지(총부유성 고형물질 : Total Suspended Solid, 등), 부착조류(Periphyton) 및 수초(Macrophyte)의 광합성 및 호흡에 의한 DO 변화 등이며 QUAL2E에 포함되지 않은 탈질화 과정(Denitrification Process)과 부착조류 및 수초에 의한 용존산소 변화도 포함하고 있다. 수체내에서 수질인자들의 상호작용과 변화 기작은 그림 3.1과 같다.

### 3.1 분변성 세균(Fecal Coliform)

분변성 세균은 수체에서 식(6)과 같이 사멸 과정에 의해서만 개체수가 감소하게 되며 증가되는 요인은 유입원으로 고려될 수 있다.

$$FC_i = \frac{FC_{i-1}}{1 - K_{FD} \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (6)$$

여기서,

$FC_i$  : i번째 반응조에서의 분변성 세균 농도,  
 $FC_{i-1}$  : i-1번째 반응조에서의 분변성 세균 농도,  
 $K_{FD}$  : 반응조에서의 분변성 세균 사멸계수, 그리고  
 $\Delta t$  : 체류시간이다.

### 3.2 비보존성 물질(Arbitrary Non-conservative Materials)

비보존성 물질은 수체에서 식(7)과 같이 수질인자와는 관계없이 침전과 사멸에 의해 감소되고 재부유 과정에 의해 증가된다.

$$AN_i = \frac{AN_{i-1} + (K_{AC} / d) \cdot \Delta t}{1 - (k_{AD} + K_{AS}) \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (7)$$

여기서,

$AN_i$  : i번째 반응조에서의 비보존성 물질 농도,  
 $AN_{i-1}$  : i-1번째 반응조에서의 비보존성 물질 농도,  
 $K_{AC}$  : 비보존성 물질 용출계수,

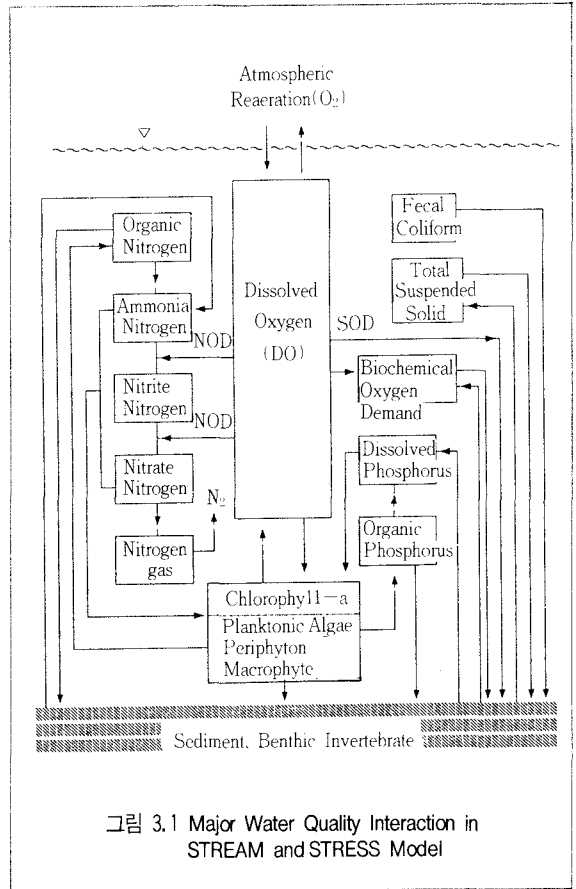


그림 3.1 Major Water Quality Interaction in STREAM and STRESS Model

$K_{AD}$  : 비보존성 물질 사멸계수, 그리고  
 $K_{AS}$  : 비보존성 물질 침전계수이다.

### 3.3 보존성 물질(Conservative Materials)

보존성 물질은 수체에서 식(8)과 같이 반응에 의한 농도의 변화가 없고 단지 유입수에 의한 희석 효과에 의해 농도 변화가 결정된다.

$$CN_i = CN_{i-1} \dots\dots\dots (8)$$

여기서,

$CN_i$  : i번째 반응조에서의 보존성 물질 농도, 그리고  
 $CN_{i-1}$  : i-1번째 반응조에서의 보존성 물질 농도이다.

### 3.4 질소 화합물(Nitrogen Series)

질소화합물중 유기질소는 식(9)에서와 같이 Algae의 사멸에 의해 증가량이 결정되고 침전과 암모니아성 질소의 형태로 분해 과정에 의해 감소량이 결정된다.

$$ON_i = \frac{ON_{i-1} + (\alpha_1 \cdot \rho \cdot A) \cdot \Delta t}{1 - (\beta_3 + \delta_4) \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (9)$$

여기서,  
 $ON_i$  : i번째 반응조에서의 유기질소 농도,  
 $ON_{i-1}$  : i-1번째 반응조에서의 유기질소 농도,  
 $\alpha_1$  : Algae에 있는 질소의 분율,  
 $\rho$  : Algae의 호흡율,  
 $A$  : Algae의 생체량,  
 $\beta_3$  : 유기질소의 가수분해 상수. 그리고  
 $\delta_4$  : 유기질소 침전계수이다.

암모니아성 질소는 식(9)에서 결정된 유기질소의 가수분해량과 바닥으로부터 용출되는 량에 의해 증가량이 결정되며 식(10)에서와 같이 Algae의 성장에 사용되거나 아질산성 질소로 산화되는 과정에 의해 감소량이 결정된다.

$$NH_i = \frac{NH_{i-1} + (\beta_3 \cdot ON_{i-1} + \delta_3/d - F_1 \cdot \alpha_1 \cdot \mu \cdot A_{i-1}) \cdot \Delta t}{1 - \beta_2 \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (10)$$

여기서,  
 $NH_i$  : i번째 반응조에서의 암모니아성 질소 농도,  
 $NH_{i-1}$  : i-1번째 반응조에서의 암모니아성 질소 농도,  
 $ON_{i-1}$  : i-1번째 반응조에서의 유기질소 농도,  
 $A_{i-1}$  : i-1번째 반응조에서의 Algae의 생체량,  
 $d$  : 수심,  
 $\delta_3$  : 바닥으로부터의 암모니아성 질소 용출속도,  
 $F_1$  : Algae의 암모니아 흡수 분율(0-1),  
 $\mu$  : Algae의 최대 성장속도,  
 $\alpha_1$  : Algae 침전속도, 그리고  
 $\beta_2$  : 암모니아성 질소의 산화 계수이다.

아질산성 질소는 식(10)의 암모니아성 질소의 산화량에 의해 증가량이 결정되며 식(11)에서와 같이 질산성 질소로 산화되는 과정에 의해 감소량이 결정된다.

$$N2_i = \frac{N2_{i-1} + (\beta_1 \cdot NH_{i-1}) \cdot \Delta t}{1 - \beta_2 \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (11)$$

여기서,  
 $N2_i$  : i번째 반응조에서의 아질산성 질소 농도,  
 $N2_{i-1}$  : i-1번째 반응조에서의 아질산성 질소 농도,  
 $NH_{i-1}$  : i-1번째 반응조에서의 암모니아성 질소 농도, 그리고  
 $\beta_2$  : 아질산성 질소의 산화 계수이다.

질산성 질소는 식(11)의 아질산성 질소의 산화량과 바닥으로부터의 용출에 의해 증가량이 결정되며 식(12)에서와 같이 Algae의 성장과정에 의해 감소량이 결정된다.

$$N3_i = \frac{N3_{i-1} + (\beta_2 \cdot N2_{i-1} - (1-F_1) \alpha_1 \cdot \mu \cdot A_{i-1}) \cdot \Delta t}{1 - \beta_5 \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (12)$$

여기서,  
 $N3_i$  : i번째 반응조에서의 질산성 질소 농도,  
 $N3_{i-1}$  : i-1번째 반응조에서의 질산성 질소 농도,  
 $N2_{i-1}$  : i-1번째 반응조에서의 아질산성 질소 농도, 그리고  
 $\beta_5$  : 탈질화 계수이다.

### 3.5 인 화합물(Phosphorus Series)

유기인은 식(13)에서와 같이 Algae의 사멸에 의해 증가량이 결정되고 침전과 무기인의 형태로 산화되는 과정에서 감소량이 결정된다.

$$OP_i = \frac{OP_{i-1} + (\alpha_2 \cdot \rho \cdot A_{i-1}) \cdot \Delta t}{1 - (\beta_4 + \delta_5) \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (13)$$

여기서,  
 $OP_i$  : i번째 반응조에서의 유기인 농도,  
 $OP_{i-1}$  : i-1번째 반응조에서의 유기인 농도,  
 $A_{i-1}$  : i-1번째 반응조에서의 Algae의 생체량,  
 $F_1$  : Algae의 암모니아 흡수 분율(0-1)  
 $\alpha_2$  : Algae에 있는 인의 분율,  
 $\rho$  : Algae의 사멸 속도,  
 $\beta_4$  : 유기인의 산화계수, 그리고  
 $\delta_5$  : 유기인 침전속도이다.

용존 무기인은 식(14)에서와 같이 침전에 의한 감소량은 없고 Algae의 성장에 소모되는 량에 의해 감소량이 결정되고 바닥으로부터 용출되는 량에 의해 증가

량이 결정된다.

$$SP_i = SP_{i-1} + (OP_{i-1} \cdot \beta_4 + \delta_2 / d - \alpha_2 \cdot \mu \cdot A_{i-1}) \times \Delta t \dots\dots\dots (14)$$

여기서,

- SP<sub>i</sub> : i번째 반응조에서의 무기인 농도,
- SP<sub>i-1</sub> : i-1번째 반응조에서의 무기인 농도,
- OP<sub>i-1</sub> : i-1번째 반응조에서의 유기인 농도, 그리고
- δ<sub>2</sub> : 용존 무기인의 용출속도이다.

### 3.6 엽록소 a(Chlorophyll a)

일반적으로 수중의 Algae는 무기물을 이용하여 유기물을 생산하는 생산자 입장의 생물로서 빛 에너지를 근거로 광합성을 수행한다. 따라서 광합성에 관계된 엽록소 a(Chlorophyll a)의 량으로 Algae의 량을 표현할 수 있다. 수중에서의 Algae변화는 성장율, 호흡율 및 침전율에 의해 결정되며 성장율은 빛, 영양염류 등의 제한요소에 의해 결정되어지며 식(15)와 같이 표현할 수 있다.

$$CA_i = \frac{\alpha_0 \cdot A_{i-1}}{1 - (\mu + \rho + \delta_1 / d) \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (15)$$

여기서,

- CA<sub>i</sub> : i번째 반응조에서의 엽록소 a 농도,
- A<sub>i-1</sub> : i-1번째 반응조에서의 Algae량, 그리고
- α<sub>0</sub> : Algae포함된 엽록소 a의 분율이다.

### 3.7 생물화학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand)

생물화학적 산소 요구량(BOD)은 식(16)에서와 같이 산화, 침전 과정에 의해 감소하고 바닥으로 부터의 재부유에 의해서 증가량이 결정된다.

$$BD_i = \frac{BD_{i-1} + (K_{BC} / d) \cdot \Delta t}{1 - (K_{BD} + K_{BS}) \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (16)$$

여기서,

- BD<sub>i</sub> : i번째 반응조에서의 BOD 농도,
- BD<sub>i-1</sub> : i-1번째 반응조에서의 BOD 농도,
- K<sub>BC</sub> : BOD용출계수,
- K<sub>BD</sub> : BOD사멸계수, 그리고
- K<sub>BS</sub> : BOD침전계수이다.

### 3.8 용존산소(Dissolved Oxygen)

용존산소(DO)는 Algae의 호흡, 유기물 및 무기물의 산화에 관계되어 감소량이 결정되며 광합성과 재포기에 의해 증가량이 결정된다. 용존산소는 수체의 온도에 따라 용존산소 포화량이 다르므로 수체의 온도에 관계한 용존산소 부족량으로 식(17)과 같이 표현된다.

$$DO_i = O_i - \frac{O_i - DO_{i-1} - (AO + SO + NO + PO + BO) \cdot \Delta t}{1 - K_2 \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (17)$$

여기서,

- DO<sub>i</sub> : i번째 반응조에서의 BOD농도,
- DO<sub>i-1</sub> : i-1번째 반응조에서의 BOD농도,
- O : 온도 t에서의 포화용존산소 농도,
- K<sub>2</sub> : 대기로부터의 재포기 계수,
- AO = (α<sub>3</sub> · μ - α<sub>4</sub> · ρ) · A<sub>i-1</sub> - ε<sub>1</sub> / d + ε<sub>2</sub> / d,
- NO = α<sub>5</sub> · β<sub>1</sub> · NH<sub>i-1</sub> - α<sub>6</sub> · β<sub>2</sub> · N<sub>2i-1</sub>,
- PO = β<sub>4</sub> · OP<sub>i-1</sub>,
- BO = K<sub>BD</sub> · BD<sub>i-1</sub>, 그리고
- SO = K<sub>SO</sub> / d이다.

#### 3.8.1 보에 의한 재포기

모델은 보를 넘쳐서 흐르는 수체에 대기로부터의 재포기되는 영향을 고려하고 있으며 이는 다음식(18)과 같이 표현하고 있다.

$$D_a - D_b = \left[ 1 - \frac{1}{1 + 0.3806abH(1 - 0.098H)(1 + 0.046T)} \right] D_a \dots\dots\dots (18)$$

여기서

- D<sub>a</sub> = 보 상류에서의 용존산소 부족량(mg/l),
- D<sub>b</sub> = 보 하류에서의 용존산소 부족량(mg/l),
- T = 온도(°C),
- H = 수체의 낙하 높이(m)
- a = 경험적 수질 척도, 그리고
- b = 경험적 재포기 계수이다.

#### 3.8.2 재포기 계수

모델은 수체가 유하하는 동안 대기로부터의 재포기되는 영향을 고려하고 있으며 이를 다음과 같이 표현하고 있다.

$K_2$  옵션 1 : Churchill, Elmore & Buckingham  
 $K_2 = 2.31 \times 5.026 \times (u / 0.3048)^{0.969} \times (d / 0.3048)^{-1.673}$

여기서,  
 $K_2$  : 20°C에서의 재포기 계수(Day<sup>-1</sup>),  
 T : 수온(°C),  
 u : 유속(m / sec),  
 d : 수심(m), 그리고  
 $K_2$  옵션 2 : O'connor & Dobbins

$$K_2 = \frac{(1.91 \times 10^3 \times 1.037^T \times u / 0.3048)^{0.5}}{(d / 0.3048)^{1.5}}$$

$K_2$  옵션 3 : Owens et al  
 $K_2 = 2.31 \times 9.399999 \times (u / 0.3048)^{0.67} \times (d / 0.3048)^{-1.85}$

$K_2$  옵션 4 : Langbien & Durum  
 $K_2 = 2.31 \times 3.3 \times (u / 0.3048) \times (d / 0.3048)^{-1.33}$

$K_2$  옵션 5 : Tsivoglou & Wallace

$$C = \frac{Q}{0.3048^3}$$

IF C > 15 THEN C = 0.054

IF C ≤ 15 THEN C = 0.110

$$K_2 = C \times \left[ \frac{(u / 0.3048)^2 \times M^2}{1.49^2 \times (d / 0.3048)^{(4/3)} } \right]$$

× (u / 0.3048) × 86400

여기서,

Q : 유량(m<sup>3</sup> / sec), 그리고

M : Manning계수이다.

(주)각 옵션에 의해 결정된 재포기 계수값은 다음과 같이 온도에 따라 보정된다.

$$K_2^T = K_2 \times \theta^{(T-20)}$$

여기서,

$K_2$  : 20°C에서의 재포기 계수(day<sup>-1</sup>)

$K_2^T$  : T°C에서의 재포기 계수(day<sup>-1</sup>),

T : 수온(°C), 그리고

$\theta$  : 온도 보정 계수이다.

### 3.9 무작위 수질 반응식

STRESS모델에 포함된 수질항목과 상호관계는 3.1에서 3.8까지 제시된 STREAM모델과 동일하며 이들 반응기작에 무작위 체류시간을 적용하여 무작위 반응 기작을 유도하였다. STRESS모델에 내재된 무작위 수질 반응식은 표 3.1과 같다.

표 3.1 Model Equations in STRESS

Parameter	Equation
FC <sub>i</sub>	$FC_{i-1} / [1 - K_{FD}] \cdot (R_n \cdot \sigma + M)$
AN <sub>i</sub>	$[AN_{i-1} + (K_{AC} / d) \cdot (R_n \cdot \sigma + M)] / [1 - (k_{AD} + K_{AS}) \cdot (R_n \cdot \sigma + M)]$
CN <sub>i</sub>	$CN_{i-1}$
ON <sub>i</sub>	$[ON_{i-1} + (\alpha_1 \cdot \rho \cdot A) \cdot (R_n \cdot \sigma + M)] / [1 - (\beta_3 + \delta_1) \cdot (R_n \cdot \sigma + M)]$
NH <sub>i</sub>	$[NH_{i-1} + (\beta_3 \cdot ON_{i-1} + \delta_3 / d - F_1 \cdot \alpha_1 \cdot \mu \cdot A_{i-1}) \cdot (R_n \cdot \sigma + M)] / [1 - \beta_1 \cdot (R_n \cdot \sigma + M)]$
N2 <sub>i</sub>	$[N2_{i-1} + \beta_1 \cdot NH_{i-1} \cdot (R_n \cdot \sigma + M)] / [1 - \beta_2 \cdot (R_n \cdot \sigma + M)]$
N3 <sub>i</sub>	$[N3_{i-1} + (\beta_2 \cdot N2_{i-1} - (1 - F_1) \cdot \alpha_1 \cdot \mu \cdot A_{i-1}) \cdot (R_n \cdot \sigma + M)] / [1 - \beta_5 \cdot (R_n \cdot \sigma + M)]$
OP <sub>i</sub>	$[OP_{i-1} + (\alpha_2 \cdot \rho \cdot A_{i-1}) \cdot (R_n \cdot \sigma + M)] / [1 - (\beta_1 + \delta_3) \cdot (R_n \cdot \sigma + M)]$
SP <sub>i</sub>	$SP_{i-1} + (OP_{i-1} \cdot \beta_1 + \delta_2 / d - \alpha_2 \cdot \mu \cdot A_{i-1}) \cdot (R_n \cdot \sigma + M)$
CA <sub>i</sub>	$\alpha_n \cdot A_{i-1} / [1 - (\mu + \rho + \delta_1 / d) \cdot (R_n \cdot \sigma + M)]$
BD <sub>i</sub>	$[BD_{i-1} + (K_{BC} / d) \cdot (R_n \cdot \sigma + M)] / [1 - (K_{BD} + K_{BS}) \cdot (R_n \cdot \sigma + M)]$
DO <sub>i</sub>	$O_i - [O_i - DO_{i-1} - (\alpha_3 \cdot \mu - \alpha_4 \cdot \rho) \cdot A_{i-1} - \epsilon_1 / d + \epsilon_2 / d + K_{SO} / d + K_{PD} \cdot BD_{i-1} + \beta_4 \cdot OP_{i-1} + \alpha_5 \cdot \beta_1 \cdot NH_{i-1} - \alpha_6 \cdot \beta_2 \cdot N2_{i-1}] \cdot (R_n \cdot \sigma + M) / [1 - K_2 \cdot (R_n \cdot \sigma + M)]$

# 낭비하면 공해물질 회수하면 유용자원