

영양물질과 유사/수질 상호작용에 대한 수질모의 (Modeling of Nutrients and Sediment/Water Quality Interactions)

한 건 연 (경북대학교 공과대학 토목공학과 교수)

1. 서론

유기오염물, 영양물질 및 유사/수질 상호관계로 인해 발생하는 수질문제에는 용존산소의 부족과 수생생물의 성장에 해를 증대시키는 문제들이 포함되어 있다. 유기오염물은 주로 농업활동에 의해 발생되고, 강우-유출을 통해 호소나 하천으로 유입된다. 질소와 인과 같은 영양물질들은 비료로서 땅에 살포되고, 강우-유출과 침출작용을 통해 지표수에 도달하게 된다. 질소는 물에 더욱 잘 녹고, 강우-유출이나 침출수를 통해 좀 더 쉽게 이동된다. 인은 토양과의 결합력이 크고 토양침식을 통해 이동된다. 농업용수의 유출에 포함되어 있는 유기오염물과 영양물질은 농업용수가 유입되는 하천이나 호소 등에서의 영양상태와 수질에 중요한 역할을 하게 된다. 본 고에서는 전형적인 오염물로 간주되는 이러한 구성성분들과 유사/수질의 상호작용을 모형화하는 과정에 대해서 기술하였다 (Chapra와 Reckhow, 1983; Orlob, 1983; Bowie 등, 1985; Thomann과 Mueller, 1987; Stefan 등, 1989). 하천 시스템에 있어서 전형적인 오염물에 대한 모형들은 일반적으로 DO와 BOD에 초점을 두고 있으며, 부영양화가 주요 관심사일 때는 1차 생산자가 모형의 초점이 될 수 있다. 이러한 모형들은 수온, 영양물질, 화학적 특성, 박테리아, 1차 생산자 등을 다루고 있다. 지표수에 대한 수질모형은 동물성 플랑크톤과 물고기와 같은 높은 영양단계를 포함하게 되는데, 이것들은 식물성 플랑크톤, BOD, DO와 같은 좀 더 중요한 다른 변수들에 영향을 끼치기 때문이다. 동물성 플랑크톤과 물고기들은 좀더 낮은 영양 단계를

조절하는 수단도 제공하게 되는데, 이것들이 영양물질과 DO에 영향을 줄 수 있다. 농업활동에 관계된 유기오염물과 영양물질들은 수문학적 순환과정에 의해 이동되어지므로, 가장 적절한 모형 접근방법은 동역학적 방법이다. 그러나, 순환의 속도가 느린 침출이나 관개의 상황에서는 정상상태나 준동역학적 모형이 적당할 수도 있다.

2. 유기오염물과 영양물질의 순환과정

일반적으로 지표수로 유입된 입자상의 유기오염물과 영양물질은 침전한다. 유속이 빠른 경우에는 기존의 퇴적물질은 세굴될 수 있다. 재포기를 통해 DO의 공급이 상승되면, 유기물질은 산화하게 된다. 유기질소는 암모니아로 변형하게 되어 암모니움과 이온평형에 이르게 된다. 질산화는 암모니아를 아질산염으로, 아질산염을 질산염으로 변화시키는 과정에서 DO를 필요로 한다. 탈질산화는 물이나 퇴적물의 DO값이 낮은 영역에서 발생하는데, 이를 통해 질산염은 암모니아나 질소 가스로 역변환된다. 암모니아와 질산염은 식물성 플랑크톤과 수생식물에 의해 섭취되어 먹이사슬에 함유하게 되고, 유기질소의 형태로 수체에 다시 돌아오게 된다.

유기인은 오르토인산염을 형성하게 되는데, 이것은 부유사나 하상 퇴적물과 흡착평형을 이루게 된다. 미립자에 흡착된 인은 침강되고 용해된 인은 식물성 플랑크톤과 수생식물에 의해 빠르게 섭취되어 먹이사슬에 참여하게 된다. 하상 토사에 퇴적된 유기물은 상부의 호기성 층에서는 산화되고, 하부의 혐기성 층에서

는 환원된다. 암모니아의 상향흐름과 감소된 유기성 종들이 생성되는데, 후자는 하상산소요구량에 기여하게 된다. 일부 수생환경에서는 순수한 퇴적층이 하상에 퇴적되어 있는 영양물질과 유기물의 여러 층을 덮기도 한다.

2.1 식물성 플랑크톤

식물성 플랑크톤의 동역학은 질소와 인의 순환, DO 평형, 먹이사슬의 반응 등에 영향을 끼치는 부영양화에 있어서 중심적인 역할을 한다. 식물성 플랑크톤에 대한 반응항은 하나의 체적요소 안에서의 성장률, 소멸률 및 침전률간의 차이로서 표시된다. 식물성 플랑크톤의 성장률은 현재의 종들과 그 종들이 가지는 일조량, 수온, 먹이가 되는 영양물질의 유용가능성과 식물성 플랑크톤의 요구량 사이의 균형 등에 대해서로 다른 반응들로 이루어진 복잡한 함수이다. 현재까지 알려지고 사용되고 있는 정보들은 자연상태하에서의 개별 종들에 대한 성장역학의 특징치를 알려주지 못하고 있다. 그러므로, 모형들은 식물성 플랑크톤 집단을 전체적으로 모의수행하거나 아니면 녹조류(greens), 규조류(diatoms), 남조류(blue-greens) 등과 같은 군집으로 나누어 모의수행한다. 성장률 G 는 식 (1)과 같이 최적의 일조조건과 영양물질 조건하에서 최대성장률 G_{max} 과 수온보정계수 X_I , 일조량 감쇠계수 X_L , 영양물질 제한계수 X_N 을 나타내는 계수들의 곱으로 표시된다.

$$G = G_{max} X_I X_L X_N \quad (1)$$

수온은 변환과정, 반응계수 및 수생생물들에 끼치는 영향으로 인해 중요한 수질 변수가 된다. 일조량 감쇠계수는 일반적으로 Steele (1965)의 분석을 따르게 된다. 이 분석은 수주(水柱)를 통한 과포화된 일조강도와 일조감쇠로 인한 효과를 식 (2)와 같이 산정하고 있다.

$$X_L = \frac{2.178}{\eta d} \left\{ \exp \left[- \frac{I_0}{I_s} \exp \frac{I_0}{I_s} (-K_e D) \right] - \exp \left(- \frac{I_0}{I_s} \right) \right\} \quad (2)$$

여기서, η 는 차단효과를 포함한 일조흡수계수(m^{-1}), d 는 수심(m), I_0 는 수표면 바로 하부에서의 유입일조강도(ly/day), I_s 는 식물성 플랑크톤의 포화일조강도(ly/day)이다.

영양물질 제한요소는 식물성 플랑크톤이 중요 영양물질에 대한 Monod의 동역학을 따른다는 가정에 기초를 두고 있는데 식 (3)과 같이 무기질소와 인에 대한 최소값으로 표시된다.

$$X_N = \text{Min} \left(\frac{C_{IN}}{K_{MN} + C_{IN}}, \frac{C_{IP}}{K_{MN} + C_{IP}} \right) \quad (3)$$

여기서 C_{IN} 은 무기질소의 농도($\mu g/l$), K_{MN} 은 질소에 대한 Michaelis의 반포화상수($\mu g/l$), C_{IP} 은 무기인의 농도($\mu g/l$), K_{IP} 은 인에 대한 Michaelis의 반포화상수($\mu g/l$)이다.

2.2 인의 순환

유기인은 미립자나 용해된 형태로 물속에 존재하며 서로 다른 비율로 화합물을 형성하고 침전된다. 어떤 모형들은 모든 유기인을 합해서 단일 상태변수로 처리하는 반면, 다른 모형들은 서로 다른 침전률과 화합물 생성물에 따라 두가지, 세가지, 또는 네가지 상태 변수들로 나누어 다루기도 한다. 비록 식물성 플랑크톤 총량에 따른 2차 온도보정반응과 포화율이 적용되기도 하지만, 일반적인 경우에 있어서 화합물 생성이나 박테리아 분해과정은 1차 온도보정반응으로 모형화된다. 수주내에서 용해된 무기인은 부유물질에 흡착되는데, 분할계수나 용해된 부분에 의해 평형상태에 도달하게 된다.

$$f_{DIP} = \frac{1}{1 + K_{PIP}SS} \quad (4)$$

여기서 f_{DIP} 는 무기인의 용해된 부분, K_{MP} 는 분할계수(l/kg), SS 는 부유물질의 농도(kg/l)이다. 위의 과정 이후에는 고형물과 흡착된 인의 침전이 나타나는데, 수주로부터 수저에 이르는 동안 현격한 인의 감소를 나타낼 수 있다. 용해된 무기인은 수정된 성장률

에 맞추어 식물성 플랑크톤의 먹이가 되며, 이러한 포식작용을 통해 식물성 플랑크톤에 포함된 인은 먹이사슬 내부로 이동하게 되고, 호흡작용과 사멸작용을 통해 사용자가 지정하는 비율로서 유기 및 무기인의 다양한 형태로 재순환하게 된다.

2.3 질소의 순환

유기질소는 화합물을 생성하고 침전하는 다양한 입자상과 용해된 형태로서 수체내에 존재한다. 유기인의 경우와 같이, 어떤 모형들은 모든 유기질소들을 단일 상태의 변수로 합해서 다루고, 다른 모형들은 한가지, 두가지, 세가지 또는 네가지 상태의 변수로 나누어 고려하기도 한다. 암모니아로의 화합물 생성과정은 식물성 플랑크톤에 대한 1차식으로 표현될 수 있고, 2차식 또는 포화 조건식을 포함할 수도 있다.

질산화 박테리아와 산소가 있는 조건하에서 암모니아성 질소는 아질산염 질소로 바뀌게 되고, 다시 질산염 질소로 변환된다. 자연하천에서의 질산화 과정은 DO, pH, 총무기탄소, 알칼리도, 질산화박테리아 및 흐름조건 등에 의해 복잡하게 나타나며, 대부분의 모형들은 이러한 반응들을 1차 온도보정된 변환률을 사용한다. 일부 모형들은 사용자가 지정한 값이나 경험적인 DO 제한항에 의해 검정된 공간적인 변화를 다루기도 한다.

탈질산화 과정은 질산염이 아질산염으로, 다시 질소 가스로 변화하는 환원과정이다. 주로 하상반응에 있어서, 일부 모형들은 이러한 과정을 질산염 감소율로 다루고 있다. 이 반응은 1차 반응으로 모형화되고, 때로는 적은 양의 산소만이 있을 때 반응을 억제하기 위해 수정 Michaelis-Menten 항을 곱하기도 한다.

암모니아와 질산염은 수정된 성장률에 맞게 식물성 플랑크톤의 먹이가 된다. 일부 모형들은 선호함수 (preference function)를 포함하고 있는데, 이 함수는 암모니아의 농도가 충분히 높을 경우에 암모니아 소비를 계산하는 함수이다. 이러한 포식작용을 통해 식물성 플랑크톤에 포함된 질소는 먹이사슬내로 이동하게 된다. 생성과 소멸작용을 통해 축적된 질소는 사용자가 지정하는 비율로 유기질소와 암모니아의 다양

한 형태로 재순환하게 된다.

3. 유사와 수질의 상호작용

유사는 전형적으로 농경지유출수와 연관되어 있으며, 수체에 영향을 미칠뿐 아니라, 영양물질이나 화학물질들을 운반한다. 유사이송은 소류사와 부유사의 주요한 형태를 지닌다. 비록, 두가지 모두가 하천에서 중요하나, 부유사 이송은 특히 정지된 상태의 수체에 있어서 주관심사가 된다. 흐름에 의한 유사이동이 없다 하더라도 하천, 저수지, 또는 호수의 바닥에 퇴적되어 움직이지 않는 토사도 상부의 수체에 대해 수질에 큰 영향을 미친다. 흡착, 생체막 및 화학적/생화학적 변형 등을 통해 하천, 호소에서의 유사는 산소, 독성물질 및 영양물 등이 생성 또는 소멸될 수 있다.

입자는 크기, 형태, 밀도, 표면적, 물리적 및 전하를 포함한 화학적 특징 등으로 분류된다. 부유사와 유동하거나 혹은 정지된 하상유사는 실트, 점토, 유기퇴적물과 플랑크톤을 포함한 미소입자들에 있어서 매우 중요한 것이다.

3.1 침강속도, 침전 및 퇴적

수질모의에 있어 입자침강속도와 일단 퇴적된 후에 전단응력하에서 재부유상태에 대한 저항은 매우 중요하다. 입자의 침강속도는 입자크기, 형태(항력계수) 및 밀도의 함수이다. 미소한 입자와 유기물 입자들에 대해서는 크기, 형태 및 밀도에 있어 매우 다양하기 때문에, 침전포착이나 질량보존으로부터 침강속도를 간접적으로 결정하기도 한다. 침강속도는 수주를 통해서 하향으로 흡수된 화학물질의 이동을 계산하는데도 사용될 수 있다. 퇴적속도는 침강속도와 하상에 접하고 있는 퇴적확률의 곱으로 산정될 수 있는데, 빠른 난류상태의 하천의 경우 0의 값을, 정체된 호소상태의 경우 1의 값을 가진다.

3.2 재부유, 세굴 및 침식

하상전단 운동하에서 재부유율을 결정하는 것은 어려운 작업으로서, 입자상의 비점착성 물질들에 있어

서 자연상태에서 그 관계는 급격하게 증가된다. 초기 전단응력에 도달할때까지는 재부유는 점진적이거나 거의 없다. 그 후에, 재부유율은 초과 전단응력에 멱급수적인 관계를 가지는데, 하구부에 대한 연구에서는 1의 멱급수를 가지며 입상의 하천유사에 대해서는 4-5의 멱급수를 가지는 것으로 연구된 바 있다(Wang 등, 1986). 재부유율은 퇴적물에 의해 균형을 이룰 수 있다. 그 지점에서 하상위의 연직농도 분포는 침전에 의한 유사의 하부 유입량과 상부 유입량이 평형을 이루게 된다. Rouse에 따르면, 무차원 매개변수 $V_s(ku_*)^{-1}$ 는 연직유사 농도가 균일하게 되는 정도에 대한 평탄 하상 상에서의 유량을 결정하게 된다. $V_s(ku_*)^{-1}$ 가 대략 0.02보다 작을 때, $\pm\%$ 내에서 균일하게 된다. 여기서 V_s 는 입자침강속도, k 는 0.4, u_* 는 하상전단속도로서 $\sqrt{\tau_b/\rho}$, τ_b 는 하상전단응력, ρ 는 물의 밀도이다.

비점착 물질의 재 부유율은 많은 연구자들에 의해 다양하게 변형된 여러형태로 규명되어 왔다. Akiyama와 Fukushima(Wang 등, 1986)는 무차원 재부유 매개변수 E_s 를 식 (5)와 같이 정의하였다.

$$E_s = 3 \times 10^{-12} Z^{10} \left(1 - \frac{5}{Z}\right) \frac{u_*}{V} \quad 5 < Z < 13.4 \text{ 일 때} \quad (5)$$

$$E_s = 0.3 \quad Z > 13.4 \text{ 일 때}$$

여기서 $Z = R_p, R_p = (g'D)^{1/2} \frac{D}{\nu}, g' = g(\rho_s/\rho - 1)$, D 는 입자직경, ν 는 동점성계수이다. 재부유(또는 세굴, 침식)율은 하상표면의 전단응력과 입자 크기에 의존할 뿐만 아니라, 표면하상 퇴적물의 압밀 상태에도 기인한다. 조사 지점별로 이루어져야 하는 검정작업이 초기 세굴정도를 상세히 규명하는데 필요하다.

3.3 점착성, 응고, 응집과 흡착

퇴적된 하상에서의 입자 점착성은 재부유에 대한 저항을 증대시키며, 압밀된 정도에 대한 함수가 된다.

이러한 상태는 Krone, Ariathurai, Partheniades 등의 여러 학자들에 의해 조사되었고 Mehta(1986)에 의해 검토되었다. 중력이나 바람에 의한 흐름에 기인한 하상 전단응력외에도 항해나 유기물들에 의한 교란 등도 점착성유사의 재부유율을 크게 증가시킬 수 있다.

응고는 응집체(flocs)를 형성하는 입자가 응집체를 형성함에 있어서의 물리 및 화학적 공정이다. 응집체는 높은 침강속도를 가지며, 이러한 사실은 수질에 있어서 매우 중요한 영향을 끼친다. 이 효과는 폐수처리 공정에서 응용된다. 부유사는 수질매개변수에 있어서의 자체적인 중요성 이외에도, 수중에 용해된 영양물질이나 혹은 합성유기물(때로는 독극물) 등의 화학적 성분들과 흡착/탈착을 통해 매우 긴밀한 관계를 가진다.

3.4 바닥 경계층과 탁류

입자와 물의 화학작용에 대한 상호관계가 하상근처에서 특히 복잡한 것은 (a) 전단력과 관련된 연직방향의 급격한 속도경사; (b) 생체막, 연체동물, 갑각류, 어류 등과 같은 유기체의 활동; (c) 공극수의 유동 등에 기인한다. 이러한 시스템의 축소모형에 용해물질의 입력율과 감쇠율을 제공하는 것이 필요한데 유사에 의한 산소요구량, 인 방출량, PCB 재부유 등이 그 예가 될 수 있다.

수중에서 유사가 부유하면 물과 유사 혼합체의 밀도를 크게 증가시켜 이들 혼합체가 해안이나 수표면에 방출될 때, 정지수에서 밀도교란이 생겨난다. 입자는 이러한 흐름으로 퇴적되거나 하상으로부터 침식될 수 있고, 그 결과로 부력흐름은 보존되지 않는다. 탁류는 호소와 저수지의 얇은 영역에서 파랑작용과 연안류 및 단순한 흐름유입 등에 의해 생성될 수 있다. 이것은 토사에 부착된 오염물질이 얇은 연안지역 흐름에서부터 심해지역 흐름까지의 먼거리를 빠르게 운송할수 있는 기구를 제공한다.

3.5 하상퇴적물의 반응

하상 퇴적물에 포함되어 있는 유기물질의 분해는

상부의 산소와 영양물질의 농도에 큰 영향을 미친다. 대부분의 기존 모형들은 수중 이동현상을 다양한 유입, 유출항으로 묘사하고 있다. 입자상태의 질소, 인, 탄소 등은 침강되어 하상에 쌓이고, 침식이나 퇴적을 통해 감소한다. 용해된 형태의 질소, 인 및 탄소는 순전히 물의 확산을 통해 상층부의 물과 교환된다. 수저에서의 산화율은 일반적으로 1차 반응함수로 고려된다. 최근 다양한 반응특성에 대해서 좀 더 사실적으로 모의수행하기 위한 노력이 이루어지고 있다. 이러한 노력들은 유기성 오염물과 영양물질의 좀 더 정확하고 예견적인 모형화가 이루어질 수 있다는 것을 보여주고 있다.

보통크기를 가진 성층화된 호소와 저수지는 연직혼합에 비해서 수평방향의 유체이송이 빠르고, 이에 따라 부유물질농도의 연직경사만이 모의수행된다. 1차원은 때로는 20 km 이하의 소규모 수체에 대해서 처리할 수 있는 가정이 된다. 부유물질의 농도형상, 연직난류, 퇴적을 및 재부유 사이의 관계는 식 (6)과 같다.

$$A \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{(VsAC)} = VsC \frac{\partial A}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \quad (6)$$

$$(AKz \frac{\partial C}{\partial z}) - R \frac{\partial A}{\partial z}$$

여기서 C는 부유사농도, Vs는 부유사의 침강속도가 된다. 이 식의 첫 번째 항은 시간에 따라 변동하는 유사함량을 표시하고, 두 번째 항은 한층에서 다른 층으로의 침강에 의한 이동을, 세 번째 항은 경사진 하상에 있어서의 퇴적을, 네 번째항은 연직 방향의 난류 혼합을, 마지막 항은 재부유에 관련된 항이다. 연직이송항이 이 방정식에 추가될 수 있다. 특정목적에 대한 유사이송모형이 존재하는데 층적수모에서의 모의, 저수지 유사, 하구부의 흐름 및 유사이송, 단순히 호소의 탁도 등을 들 수 있다.

4. 모의 모형

유기오염물, 영양물질 및 유사/수질 상호관계 규명

을 위한 많은 모형들이 개발되었고 다양한 수체에 대해 적용되었다. 물론, 단지 몇 개의 모형들만이 일반적인 적용성을 지속할 수 있었다. 농업활동으로 인한 영양물질과 유기오염물에 대한 일반적인 모의수행이 유용하게 되기 위해서는, 비정상상태의 이송과 부하, 식물성 플랑크톤의 동역학, 질소와 인의 순환과정, 그리고 탄소와 용존 산소간의 균형 등을 다룰 수 있는 모형이어야 한다. 더우기, 기본이론들과 사용자 설명서도 프로그램과 함께 얻을 수 있어야 한다. 다섯 개의 모형 구조가 이러한 조건들에 부합되고 있는데, WASP(EUTRO), CE-QUAL-R1, CE-QUAL-W2, CE-QUAL-RIV1, 그리고 HSPF가 그것이다. QUAL2E는 정상상태의 오염물 부하조건에 대해서 유용하다. DEM, EXPLORE, RECEIVII, WRECEV, MINLAKE와 AUTO-QD 등과 같은 모형들도 이러한 조건을 충족시키지만, 활동적으로 지속되지 못하고, 관리기관에 의해 적극적으로 지원되지 못하였다. 이러한 모형들에 대한 또다른 버전들과 그밖의 모형들이 관련 용역회사들에 의해 개별적으로 사용되기도 한다.

하천수질모형인 QUAL2E는 1차원의 하천흐름과 잘 혼합된 호수에서의 보존성 물질, 수온, 박테리아, BOD, DO, 질소, 인 및 조류 등을 모의하는 정상상태 모형이다. QUAL2E는 오염물 부하의 할당과 허용 방류량 결정 등의 분야에 대해 전세계적으로 널리 적용되고있다. WASP는 프로그램 구조내부에 사용자가 원하는 모의내용을 쉽게 대체할 수 있도록 설계되었다. WASP를 적용하여 이미 연구된 문제들로는 BOD, 동역학적 DO, 영양물질과 부영양화, 박테리아로 인한 오염, 독성 화학물질의 이동 등이 있다. WASP의 부영양화 모의프로그램인 EUTRO는 WASP의 이송구조를 가진 Potomac 강의 부영양화 모형으로부터 변형된 동적구조와 결합되어 있다. EUTRO는 하상과 수체에 존재하는 DO, CBOD, 식물성 플랑크톤, 탄소, chl-a, 암모니아, 질산염, 유기질소, 오르토인산염 등을 예측한다. WASP는 다양한 조석의 순환, 바람, 비정상적인 유입 등을 다룰 수 있는 link-node형 동역학적 모형인 DYNHYD와 연결

된다.

HSPF는 전형적인 오염물들과 독성 유기 오염물에 대해 유역내의 수문 및 수질을 모의수행하기 위한 광범위한 패키지 프로그램이다. HSPF는 하도내의 오염물 이송과 변환을 포함하는 유역 분석 구조내에서 농업지역과 도시지역의 비점원 오염모형인 ARM 모형과 NPS 모형이 함께 적용된다. 이 모형은 유역내에서 발생하는 과정을 모의수행하기 위해 강우자료, 온도, 일조량 등과 같은 정보; 토지이용 양상과 토양 특성과 같은 지표 특성에 대한 정보; 토지관리에 대한 정보 등을 사용한다. 모의수행의 결과는 도시지역이나 농업지역에 대한 유량과 수질의 시간 변동 결과이다. 유량, 유사량, 영양물질과 살충제의 농도 등도 예측된다. 이 프로그램은 이러한 결과들을 하도망과 방류량에 대한 정보들을 함께 받아들인다. HSPF는 방대한 양의 모의수행 입력과 출력을 처리하기 위해 내부 데이터베이스 관리 시스템을 가지고 있다.

2차원 유사/수질모형은 수심에 대해 적분되는 것(수평모형)과 하쪽에 걸쳐 적분되는 것(수직모형)이 있다. 수평 2차원 유사이송 모의는 STUDH에 의해 수행되는데 이것은 TABS-2모델링 시스템의 일부분이 된다(Thomas와 McAnally, 1985). STUDH는 유한요소 모형이고 흐름과 이송이 수심-적분 방정식에 의해 만족스럽게 기술될 수 있는 상황에 맞게 구성된 유한요소모형이다. STUDH는 실토나 점토의 소류사 및 부유사 이송을 계산하는데, 이 프로그램은 과하중에 따른 세립유사의 압밀상태의 모의도 가능하다. 측면방향으로 평균된 모형은 비교적 좁고 깊은 수체에 대한 연구에 적용할 수 있다. 이러한 유형의 모형에 관한 작업은 수심-평균된 모형보다도 더욱 제한적이다. LARMSD는 유사이송능을 기본적인 동수역

학/이송모형인 LARM2에 유사이송 능력을 부가함으로써 개발되었는데 여기에는 CE-QUAL-W2도 역시 그 기초가 되었다. 층을 이루는 하상모형은 수주와 하상간의 물질교환이 가능하나, 단지 SS의 이송만이 모의된다. 이 모형은 수로내의 주운이 염분침투나 유사이송에 미치는 효과를 조사하기 위해 사용되었다. CELC3D(Sheng, 1983)는 해안, 하구부 및 호수 흐름에 대한 3차원 유한차분모형으로서 흐름의 동수역학과 온도, 염분, 유사에 대한 이송을 모의한다. 특별한 기능은 (a) 흐름구조의 효율적인 계산을 가능하게 해주는 mode-splitting 기능; (b) 연직방향 변수에 대한 효율적인 ADI 기법의 적용; (c) 연직 확산의 처리를 위한 음해기법; (d) 연직 및 수평적으로 확장된 좌표 구조; (e) 난류의 매개 변수화 등을 들 수 있다. CELC3D는 후에 CH3D로 확장, 개선되었으며 재부유, 이송 및 유사퇴적 등을 처리할 수 있도록 구성되어 있다.

5. 결론

최근에 들어 유기오염물, 영양물질 및 유사/수질 상호관계 규명과 순환경로에 대한 연구가 알려지기 시작했고 전형적인 수질해석모형에 포함되고 있지만, 정확한 모의수행은 여전히 어려운 문제이다. 기대되는 조건의 범위하에서 이들의 발생원과 변환과정을 특성화하기 위해 광범위한 현장조사가 필요하겠다. 이를 위한 관련 수질자료의 분석 및 수집은 각 유역별로 서로 상이하게 나타나게 된다. 따라서, 각 유역특성에 적합한 관련 매개변수의 도출이 이루어져, 수질모형화 과정에 효율적으로 적용될 수 있어야 하겠다. ●

(참고문헌)

- Ariathurai, C. R. (1982). "Two- and Three-Dimensional Models for Sediment Transport." RMA Report No. 9180, Resources Management Associates, Lafayette, CA.
- Bowie, G. L., et al. (1985). "Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling." 2nd ed., EPA/600/3-85/040, US Environmental Protection Agency, Athens, GA.
- Chapra, S. C. and Reckhow, K. H. (1983). Engineering Approaches for Lake Management,

- Vol. 2: Mechanistic Modeling, Butterworth Publisher, Woburn, MA.
- Mehta, A. (1986). Estuarine Cohesive Sediment Dynamics, Springer Verlag, New York.
- Orlob, G. T. (1983). Mathematical Modeling of Water Quality Streams, Lakes, and Reservoirs, John Wiley and Sons, New York.
- Sheng, Y. P. (1983). "Mathematical Medeling of Three-Dimensional Coastal Currents and Sediment Dispersion: Model Development and Application." Technical Report CERC-83-2, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Steele, J. H. (1965). "Notes on Some Theoretical Problems in Production Ecology," C. R. Goldman, ed., Primary Production in Aquatic Environments, University of California Press, Berkeley, CA.
- Stefan, H. G., Ambrose, R. B., and Dortch, M. S. (1989). "Formulation of Water Quality Models for Streams, Lakes, and Reservoirs : Modeler's Perspectives." Miscellaneous Paper E-89-1, Department of Army, US Corps of Engineers, Washington, DC.
- Thomann, R. V., and Mueller, J. A. (1987). Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, Harper and Row, New York.
- Thomas, W. A., and McAnally, W. H. (1985). "User's Manual for the Generalized Computer Program System: Open-Channel Flow and Sedimentation: TABS-2." Instruction Report HL-85-1, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Wang, S. Y., Shen, H. W., and Ding, L. A. (1986). River Sedimentation, Esturine and Coastal Sedimentation, School of Engineering, School of Engineering, The University of Mississippi, University, MS.



섬김 중에 어느 일이 가장 중요한가 하면 부모를 섬기는 일이다. 지켜야 할 일 중에 어느 것이 가장 중요한가 하면 몸을 지키는 일이다. 자기 몸을 잃지 않고 부모를 잘 섬긴다는 사람은 보았지만, 몸을 잃고서 부모를 잘 섬긴다는 말은 아직 들어보지 못하였다. 그 어느 것인들 섬김이 아니겠는가마는 부모를 섬기는 일이 섬김 중 가장 근본이다. 그 어느 것이 지킴이 아니겠는가마는 몸을 지키는 일이 지킴 중 가장 근본이다. (맹자-중국 전국시대의 학자)

