

수질예측모형의 입력자료 산정방법

조 흥 연 (한국해양연구소 연안·항만공학연구센터 선임연구원)

1. 서 론

하천, 호소 및 해역에서의 수질변화를 예측하기 위하여 수질모형을 적용하는 경우 대두되는 가장 큰 문제는 자료의 부족에 따른 문제이다. 자료부족은 수질모형을 수행하기 위한 입력자료의 부족과 모형의 보정 및 검증에 위한 자료 (모의 수질항목 관측자료) 부족으로 구분할 수 있다. 모형의 보정과 검증과정을 위한 수질자료 확보는 수질모델링에 있어서 모형의 신뢰성 확보를 위한 중요한 과정에 해당되지만, 모형의 출력자료를 이용·조정하는 단계이므로 상세한 기술은 생략하였다. 본 기사는 모형의 보정 및 검증을 위한 자료부족보다는 입력자료의 부족과 관련된 내용에 중점을 두어 수질모형 입력자료를 구분하고, 현재 수행되고 있는 입력자료 산정방법의 문제점을 분석·기술하여, 향후 보다 신뢰성있는 수질모의를 하기 위한 입력자료 생성(또는 산정) 방법 등에 대하여 제한하는 내용을 포함하고 있다.

2. 수질모형의 구분

수질예측모형(수질모형)은 환경분야에서 광범위하게 사용되고 있는 용어로, 수질과 관련된 부모형(submodel)을 다양하게 포함하고 있는 경우가 많다(이길성, 조흥연, 1995). 따라서, 모형 입력자료의 산정방법을 기술하기 이전에, '수질(관련)모형'에 대한 구분 및 적용범위를 명확하게 할 필요가 있다. 따라서, '수질관련모형'을 환경수리학(토목공학)의 관점에서 구분하고 모형의 적용범위를 우선적으로 규정·

기술하였다. 본 기사에서는 하천, 호소 및 연안해역에서의 수질변화를 모의할 수 있는 부영양화 모형(eutrophication model)을 대상으로 입력자료 산정방법을 기술하였다.

- (해수)유동모형(Tidal circulation model, Tide model, Flow model etc.) - 시(홍수시), 일(창조 및 낙조), 월(대조 및 소조) 단위 시간규모의 조석에 의한 해수의 순환(또는 하천 및 호소의 유동)을 모의하는 모형으로, 연안수질 예측모형 및 운송방정식 형태로 표현되는 각종 모형의 수리학적 입력자료를 제공한다. 광역해수유동 모형은 공간의 규모가 연안해역의 규모보다 큰 경우의 모형이며, 해류(ocean current)를 모의하는 모형은 해양순환모형(ocean circulation model)으로 규정한다. 반면, 하천 및 호소 등에서의 흐름양상을 모의하는 모형은 흐름모형(flow model)으로 규정한다. 한편, 취송류 모형(wind-driven current model)은 해수유동모형에 의력으로 바람이 추가된 모형으로, 조석(또는 흐름)과 바람의 상호작용이 고려된 모형이다. 일반적으로, 호소 및 해안 등에 적용되는 모형으로 유동모형에 포함되는 경우가 많다.

- 확산모형(Diffusion model) - 에너지 및 보존성 물질의 이송 및 확산(또는 분산)을 예측하는 모형으로, 하천 등에서는 이송확산모형(advection-diffusion model)이라는 용어가 사용되나, 일반적으로 해역에서는 이송이라는 용어를 생략하는 경우가 빈번하다. 이 확산모형은 온도확산모형, 염도확산모형, 임의의 보존성 물질의 확산모형 등으로 세분되고, 또한 적용영역의 공간적 규모 및 시간적 규모에 따라

장·단기 모형으로 세분화된다. 독립적으로 모의하는 임의의 비보존성 물질(예, COD, SS 항목 등)의 단기 간(조석주기 규모)의 농도분포 모의도 확산모형에 포함되며, 광범위한 영역을 포함하는 물질운송모형에 사용되는 일반적인 용어이다. 실질적으로, 확산모형은 수질모형을 포함된다.

• 온배수 모형(Thermal discharge model) - 온도 확산모형의 일종으로, 발전소 냉각수로 사용되어 온도가 상승된 따뜻한(또는 뜨거운) 물을 해역에 방류할 경우의 주변해역의 온도상승(에너지확산)을 모의하는 모형으로, 시간규모는 조석규모이다. 방류량에 대한 정보, 방류해역의 기상조건 및 흐름조건이 중요한 입력자료에 해당한다. 우리 나라에서는 원자력발전소 및 임해지역에 위치한 화력발전소 등에서 배출되는 온배수 확산을 모의하는 경우에 사용되며, 대상해역의 흐름장 계산을 포함한다. 온배수 모형결과는 해역에서의 수온상승에 의한 어업피해범위를 규정하고 보상하기 위한 자료로 사용되기 때문에 정확한 자료의 입력, 모형의 보정·검증 및 적용이 필요하다.

• 수질모형(Water quality model) - 일반적인 수질항목간 상호작용을 모의할 수 있는 모형으로, 지배방정식은 이송·확산방정식에 모의하고자 하는 수질항목의 반응항 및 용출·소멸항이 추가되어 있다. 월, 계절 또는 연단위 시간규모의 모의로 가장 기본적인 수질모형은 하천의 경우 BOD-DO 모형, 호소 및 저수지의 경우 인(phosphorus) 모형이며, 최근에는 질소 및 인항목, 엽록소(藻類, 식물플랑크톤, 유기탄소 등의 항목으로도 표현)항목이 추가되어 부영양화를 모의하는 모형으로 향상되었다. 질소 및 인의 구분 방법 및 유기물, 무기물의 구분방법, 藻類(algae)의 모의방법, 동물플랑크톤의 영향을 포함하는 방법 등에 따라 세부적인 반응모식도가 차이가 있으나, 모두 수질모형의 범주에 포함된다. 부영양화 모형(eutrophication model)이라는 용어도 사용되며, 특히 동물플랑크톤과 식물플랑크톤의 상호작용을 모의하는 경우는 생태학적 모형(ecological model)으로 구분하는 경우도 있다.

• 단기간(동적)수질모형(Short-term(dynamic)

water quality model) - 오염물질 유출사고 발생시 신속하게 실시간(realtime)으로 오염물질의 이동 및 확산 양상을 예측하는 모형으로, 危害한 오염물질의 유출로 인한 방제 및 경고(warning)를 위한 모형으로 활용된다. 하천에서는 취수중단, 바다에서는 양식장의 대피 등의 대처방안을 제시하는 모형으로 특정 물질에 국한된 확산 모형으로 구분된다. 즉, 하천에서는 유해화학물질(예, 폐놀, 암모니아, 기름 등) 이송모형, 연안해역 및 해양에서는 선박좌초 사고 등에 의하여 유출된 유류의 확산모형(oil spill model) 및 오염물질(분뇨, 준설토, 방사능물질 등)을 해양에 투기하는 경우의 확산모형(ocean pollutants disposal model)이다. 해양투기모형은 투기물질의 지속적인 영향 및 해저퇴적물에 미치는 영향을 모의하는 경우는 장기간의 수질모형에 해당한다고 할 수 있다. 방류구에서의 오염물질 확산 모형도 포함한다. 이 모형은 현 상황을 반영할 수 있는 신속한 자료의 중요한 부분을 차지하고 있기 때문에 실시간 자료취득을 위한 체계가 수립되어야 한다.

• 수질관리모형, 장기 수질모형(WQ management model, Long-term water quality model) - 계절 및 연단위의 수질변동을 예측하는 모형으로, 유역의 인구 및 오염물질 배출시설·배출량, 대규모 개발사업 등의 영향에 의한 장기적인 수질변화를 예측하는 모형으로 수질개선 대책 수립 및 상수원 수질관리 등의 차원에서 적용되는 모형이다. 단기간의 수질모형과 대응되는 모형으로, 예상되는 미래 오염부하량 변화(개발 및 인구증가에 의한 오염부하량 증가, 하수처리장 건설 등에 의한 오염부하량 감소)에 대한 정상상태의 수질변동을 예측하는 경우에 주로 사용된다. 수질관리모형은 장래 오염부하량의 예측, 장기 수질변동양상을 모의할 수 있는 수질모형의 보정 및 검증이 중요한 부분을 차지하고 있다.

비점오염원 모형(Non-point sources model) - 모의대상 지역의 오염부하량 입력자료를 산정하는 모형으로, 강우-유출모형, 토사유실모형, 오염물질 유출모형으로 구성되어 있다. 대상유역의 토지이용(land use)도 및 강우와 밀접하게 관련된 비점오염원 모형

은 일시적으로 다량 유입되는 오염물질량을 계산하는 모형으로, 강우시의 단기간 모의 및 장기모의가 가능하다. GIS 도입으로 인공위성정보, 지리정보의 전산자료 및 DB 체계를 활용하여 유역의 오염원 관리 및 유역정보 추출 분야에 적용되고 있다.

• 생태계 모형(Ecological model, Ecosystem model) - 생물(주로 플랑크톤)의 개체수, 세포수(cell number) 또는 생물량을 표현하는 유기체 탄소의 양을 모의하는 모형이며, 가장 기본적인 모형으로 화학적인 관점에서의 동·식물플랑크톤의 상호작용에 관한 모형을 예로 들 수 있다. 일반적인 모형은 보다 높은 영양 단계의 생물(대상해역의 식물, 어류, 저서생물 등) 개체수의 변천 추이를 모의하는 모형으로 규정한다. 대표적인 모형으로는 WQRRS(Smith, 1978) 모형이 있으나, 실질적으로 모형의 적용을 위한 자료의 부족 및 자료수집의 어려움으로 적용된 사례가 거의 없다. 따라서, 생태계 모형은 통계학적 추정 및 간단한 포식자·피식자모형(predator-prey model)으로 구성되어 사용되고 있는 실정으로 파악된다. 자료의 부족 및 지역적인 특수성, 機構把握의 難解로 범용적인 모형의 개발이 활발하게 진행되지 못하고 있다.

• 적조(예측)모형(Redtide model, Algal bloom model) - 부영양화 예측모형과 생태계 모형이 결합된 모형으로 시간규모는 수질모형과 확산모형의 중간범위인 일별 모의정도로 유류오염 확산모형과 시·공간규모는 유사하다. 적조발생 기작이 명확하게 해명되지 않은 현 시점에서 활발하게 연구가 수행되고 있으나, 주로 인근 어장 및 양식장 피해를 저감하기 위한 경고체계구축 및 적조방제를 위한 기법연구가 수행되고 있으며, 범용모형은 없다. 특정 식물플랑크톤 종(species)에 대한 開花(bloom)모형 등이 제시되고 있으나, 적용 및 실질적인 활용은 부진한 실정이다. 최근에는 인공위성정보를 활용한 적조생물의 이동을 파악하여 예·경보체계를 구축하는 방향으로 연구가 수행되고 있으며, 해역의 유류유출에 의한 방재시스템 구축과 유사한 부분이 있다.

• 중금속 및 유해화학물질(독극물) 모의모형(Heavy metal and chemical toxicants model) -

모의항목이 일반 수질항목이 아닌 중금속 및 유해화학물질(독극물)인 경우로 상호작용에 의한 모의보다는 한 항목의 세부적인 반응과정 및 운명(fate)을 모의하는 모형이다. 또는, 장기간에 걸쳐 퇴적된 화학물질의 용출효과를 모의하기 위하여 퇴적층(sediment)과 水柱(water column)의 상호작용을 고려한 모형등을 포함한다. 이 모형의 모의항목은 주로 PCB, DDT, Ni, Cd, Zn, Cu 등이며, 시간규모상 수년에 걸친 장기적인 모의에 해당한다.

3. 수질모형의 입력자료

수질모형 개발 및 부영양화 측정을 위한 모니터링 자료는 지리자료(geographic data), 지형 및 수문자료(morphometric & hydrologic data), 생물학적 자료(ecological data)로 구분하고 있다(OECD, 1972). 그러나, 본 기사에서는 일반적인 모형의 구조 및 특성, 저자의 수질모델링 경험에 근거하여 수질모형(또는 부영양화 모형)의 입력자료를 다음과 같이 세분하였으며, 각 입력자료의 연결관계를 도시적으로 표시하였다(Fig. 1 참조).

- ▶ 기상학적 입력자료(환경자료)
- ▶ 수문학적 입력자료(hydrologic input data)
- ▶ 수리학적 입력자료(hydraulic input data)
- ▶ 오염원(오염물질 배출시설, 배출방식 및 배출지점) 및 오염부하량 자료
- ▶ 모의 수질항목의 반응계수 및 확산계수, 보정계수
- ▶ 모형의 구조적 매개변수

기상학적 입력자료는 기온, 풍속, 풍향, 강우량 및

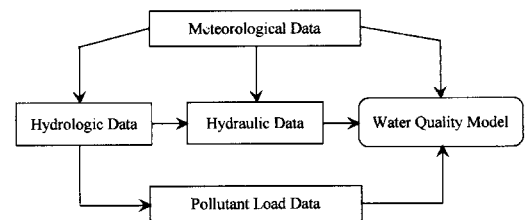


Fig.1 Schematic diagram on the input data of the WQ model

증발량, 광도(light intensity), 일조시간, 습도 등이 해당되며, 광도 및 일조시간은 주로 식물플랑크톤(조류)의 성장모의와 관련된 인자이다. 수리·수문학적 입력자료는 대상 지역의 유동을 결정하는 인자로 유량, 유속, 수심 등이 해당된다. 오염원 및 오염부하량 자료는 점오염원과 비점오염원으로 구별될 수 있으며, 오염물질 배출지점과 배출량이 해당된다. 비점오염원의 경우, 오염물질 배출양상이 강우·유출과 밀접한 관련이 있으므로 수리·수문학적 입력자료와도 직접적인 관련이 있다.

한편, 반응계수는 화학·생물학적인 입력자료에 해당되며, 모의 수질해목의 반응 및 용출·소멸을 표현한다. 또한, 수질모형에서 사용되는 반응계수와 관련이 있는 광소멸계수, 온도보정계수, 반포화상수 및 단위 통일을 위하여 사용되는 입력자료도 포함된다. 모형의 구조적 매개변수는 모형구성과 관련된 입력자료로 주로 보정 매개변수(tuning parameter)가 해당되며, 모형의 보정 및 검증과정에서 이용된다. 따라서, 모형의 구조적 입력자료 산정방법에 대한 기술은 생략하였다.

4. 모형입력자료의 산정방법

모형의 입력자료는 필요한 자료를 대상지역에서 직접 측정하는 경우가 가장 이상적이다(측정오차에 의한 영향은 배제). 그러나, 수질예측모형을 수행하는데 필요한 모든 입력자료를 측정하는 것은 방대한 양 및 모형의 자료 요구수준(예, 모형격자에서의 공간적 변수분포 또는 시간적 변수분포)의 세분화로 인하여 실질적으로 불가능하다. 따라서, 필요한 입력자료가 가용하지 않은 경우, 입력자료의 성격에 따라 적절한 추정방법을 적용하여 산정하여야 한다. 그러나, 신뢰성이 없는 입력자료의 추정에는 모형의 신뢰도를 감소시키는 직접적인 요인이 되므로, 추정방법의 신뢰성이 낮은 경우에는 보조관측에 의한 신뢰성 증진작업이 수행되어야 한다.

본 기사에서는 입력자료의 산정방법을 공간적인 분포자료를 중심으로 접근하고, 시간적인 자료보완 및

산정방법은 생략하였다. 시간적인 입력자료 문제는 모형수행 시간간격과 가용자료의 시간간격에 따른 차이에서 발생한다. 일반적으로, 모형에서 요구되는 자료의 시간규모(time scale)가 가용한 자료의 시간규모에 비하여 매우 작다. 따라서, 시간적인 가용자료는 시간규모를 모형의 시간규모에 일치시키기 위하여 내삽법 및 외삽법, 가용한 시간자료의 원용 또는 상관관계 분석에 의한 방법 등을 사용하거나 일정한 값을 사용하는 경우도 있다. 시간변동자료는 실질적으로는 특정시점에서의 공간분포자료 확보를 바탕으로 하기 때문에, 입력자료의 산정방법에 관한 기술을 공간분포 자료 중심으로 수행하였다.

4.1 기상학적 입력자료

기상학적 입력자료는 모형적용지역에 인접한 기상 관측소에서 지속적으로 관측하고 있으며, 자료의 정리상태도 양호하므로 기상청을 통하여 수월하게 취득할 수 있다. 기상관측소는 전국적으로 분포하고 있기 때문에, 인접 기상관측소의 관측자료를 취득하기는 수월하다. 강우량, 기온, 풍속 및 풍향 등의 기본적인 자료는 풍부하지만 증발량, 광도(일사량) 등은 측정에서 제외되어 있는 경우가 빈번하다(예, 마산에 위치한 마산측후소(1985년 개국)의 경우, 증발량 및 광도자료 결측, 일조시간은 관측). 실질적으로, 수질모형의 수행시 문제가 되는 기상자료는 증발량, 광도 자료가 대부분이다. 따라서, 장기적인 연구를 수행할 경우 또는 모형의 정확도가 중요한 문제로 대두되는 경우에는 해당 지역에서 직접 기상관측을 수행하여야 한다. 관측이 곤란한 경우에는 증발량, 광도 자료가 가용한 인접 측후소의 자료를 직접 또는 평균하여 사용하는 방법, 상관관계 분석에 의한 방법, 경험식(empirical equation)에 의한 산정방법을 이용할 수 있다. 가용한 측후소의 자료를 직접 사용하는 방법은 거리상 제한이 따르기 때문에 주의를 요하는 방법이다. 따라서, 기상요소간 상관관계 분석(예, 일조시간-광도, 일조시간-증발량), 측후소간 상관관계 분석에 의한 추정이 적절한 방법으로 판단된다. 이 방법은 가용한 기상자료를 이용하여 결측자료를 상관관계식으로 추정하는

방법이다. 예를 들면, 기온, 일조시간, 습도 등의 자료를 이용하여 광도 및 증발량, 잠재증발산량 등을 추정하는 방법이다.

측후소 또는 기상항목간 상관성도 없고 보완관측도 곤란한 경우에는 경험식에 의한 방법도 추천할 만한 방법이다. 경험식은 비교적 널리 사용되고, 대상 유역의 특성에 적합한 식을 선정하는 작업이 중요하다. 기상요소를 산정하는 경험식은 비교적 많이 제안되어 있는 실정이기 때문에, 가용자료가 전무하거나 매우 미흡한 경우에는 경험식에 의한 선정방법이 유용하다. 그러나, 기상자료는 가장 기본적인 입력자료에 해당하므로 가능하면 대상지역에서 측정을 수행하는 것이 좋다. 참고적으로, 저자는 마산유역의 증발량을 부산측후소-마산측후소와의 상관관계를 이용하여 추정하였으며, 증발량-광도의 상관관계식을 이용하여 광도를 추정하였다(한국해양연구소, 1997). 또한, 시기적으로 자료관측이 수행되지 않은 경우에는, 자료가 있는 인접측후소의 평균값 또는 Thiessen Network 방법(가중평균법) 등을 이용하여 추정할 수 있다.

4.2 수문학적 입력자료

수문학적 입력자료에서 제일 중요한 것은 대상유역의 유출량 및 구조물(수문, 취·배수구 등)을 통한 취수량·방류량이다. 구조물을 통한 취·배수량은 구조물 관리기관에서 자료를 정기적으로 관측·정리하고 있는 경우가 많으므로, 기관의 협조를 통하여 자료를 취득할 수 있다. 반면, 유역의 유출량은 보통의 경우, 수질모형을 적용하는 영역(호소, 하천 또는 해양)의 경계조건에 해당하며, 영역의 흐름양상을 결정하는 중요한 입력자료이다. 한강, 금강, 낙동강, 영산강, 섬진강 등의 대하천 분류에는 연속적인 수위관측 및 수위-유량관계곡선식이 가용하기 때문에 수문학적 입력자료가 풍부한 편이다. 그러나, 대하천의 지류 및 연안유역에 위치한 소하천의 경우에는 수위 및 유량관측이 전무한 실정이다. 따라서, 고정관측소를 설치하여 수위 또는 유량을 관측하는 것이 타당하지만, 평상시에는 거의 건천상태를 유지하고 홍수시에 일시적으로 유출이 수행되는 지역에 고정관측소를 운영하는

것은 불합리한 면도 있다. 수문관측자료가 전무한 경우에는 강우-유출모형에 의존하여야 한다. 그러나, 강우-유출모형을 이용하여 유역의 유출량을 계산하기 위한 경우에도 모형의 보정·검증을 위한 최소한의 연속적인 유량(또는 수위)관측자료가 필요하다. 신뢰성이 감소하지만, 최소한의 관측도 불가능한 경우에는 해당 유역과 유사한 특성을 가지고 있는 영역에서 적용된 모형을 이용하면 된다. 그러나, 모형의 신뢰성은 감소하고 불확성은 증가하게 된다.

한편, 강우-유출모형은 유역에서의 오염물질 유출모형과 연결하여 수행할 수 있기 때문에, 오염물질 유출량에 대한 정보가 없는 경우에는 오염물질 유출모형(비점오염원 모형)을 이용할 수 있다(Novotny & Chesters, 1981). 모형의 보정 및 검증을 위한 최소한의 관측은 필수적이다. 수문자료 및 오염부하량에 대한 자료가 빈약한 경우, 월별 또는 계절별 관측을 통하여 자료 보완작업을 수행하고 관측된 값을 해당 기간의 대표값으로 사용하는 경우가 있다. 그러나, 강우-유출 및 오염물질 유출의 계절적인 변동 및 강우시 일시적인 변동을 감안하는 경우, 이 방법은 많은 불확실성을 내포할 수 있으며 일시적인 다량의 유량 및 오염물질 유입의 영향을 고려할 수 없기 때문에 대상해역내의 수질변동 예측에 큰 오차를 수반할 수 있다. 강우사상에 근거한 모형의 구축이 요망되며, 월 또는 계절간격의 정기적인 시간규모 관측이 아닌 강우시의 시간간격 흐름을 파악할 수 있는 단기간의 집중관측이 수행되는 것이 바람직하다.

4.3 수리학적 입력자료

수리학적 입력자료는 수질변동을 예측하고자 하는 영역의 지점별, 시간별 흐름양상을 파악할 수 있는 정보이다. 그러나, 해당 영역의 모든 지점에 대하여 수위 및 유속을 관측하는 것은 불합리하다. 일반적으로, 적절한 흐름모형을 이용하여 해당 영역의 흐름양상을 계산하는 방법을 이용한다. 흐름모형의 신뢰성은 주요 지점에 대하여 관측된 수위(또는 유량) 및 유속자료를 이용한 보정 및 검증과정에서 증진된다. 수리학적 입력자료는 오염물질의 이동과 직접 관련된 중요

한 정보이므로 세밀한 분석이 요구된다.

수리학적 입력자료를 산정하는 모형(흐름모형)은 많이 보급되어 있으므로, 해당 유역 및 연구목적에 적합한 모형의 선정과정이 중요하다. 모형의 경계조건으로 하천흐름모형의 경우에는 유량 및 수위(또는 수위유량곡선식)를 이용하고, 연안 해수유동 모형의 경우에는 조위(외해경계조건) 및 유량을 주로 사용한다. 흐름모형의 육지경계조건(하천을 통한 유출입량) 및 상류경계조건은 수문학적 입력자료를 사용한다. 한편, 모형의 보정 및 검증은 영역 내부에서의 수위 및 유속자료를 이용하여 수행한다. 수리학적 입력자료는 지형(수심)의 영향이 지배적이며, 대상영역에서 방대한 양의 자료가 필요하기 때문에 추정에 의한 입력자료 산정은 시도되지 않고 있다. 그러나, 장기간의 수질모형을 수행할 경우에는 장기간을 대표할 수 있는 유속 및 유량, 수위 등의 산정이 필요하기 때문에 흐름모형으로 계산된 자료를 원하는 시간간격으로 평균하거나 물수지방정식을 이용하는 경우도 있다.

4.4 오염원 및 오염부하량 자료

오염부하량 자료는 수질모형에서 가장 중심이 되는 입력자료이면서도, 가장 부실하게 취급되는 입력자료로 판단된다. 오염원에 대한 기초조사는 오염원의 위치, 오염물질 배출량, 배출경로 및 방법 등에 대한 정보를 취득할 수 있으나, 실질적으로 발생한 오염물질이 배출경로를 통하여 이동되는 양상은 매우 복잡하다. 특히, 점오염원이 아닌 비점오염원의 형태로 유입되는 오염물질은 관측이 아니고는 파악할 수 없는 입력자료이다. 또한, 오염부하량도 원칙적으로는 수질모형에서 모의하는 항목에 대하여 관측 또는 추정되어야 하지만 가용한 오염부하량 자료와 모형의 입력오염부하량과도 일치하지 않는 경우도 많이 있다.

식물플랑크톤, DO 등의 유입부하량은 오염물질이 아니기 때문에 유입오염부하량에서 제외되어 있는 경우가 대부분이며, BOD 또는 COD 오염부하량도 측정방법의 차이가 있는 값으로 제시되는 경우가 많다. 총질소 및 총인의 항목으로 주어지는 오염부하량 자료는 총질소 및 총인 항목을 암모니아, 질산성질소,

아질산성질소, 유기질소, 무기인(인산염인), 유기인 등의 항목으로 구분하여 모의하는 수질모형의 입력자료로 직접 활용할 수 없다. 총질소 및 총인 항목의 오염부하량 자료를 일정한 평균 함량비로 배분하여 오염부하량 입력자료로 활용하는 경우가 있으나, 실질적으로 총질소 및 총인에서 무기질소, 무기인, 유기질소 및 유기인의 함량비가 항상 일정하지도 않으며 변화도 크게 나타나고 있으므로 부적절한 방법으로 판단된다. 그러나, 오염물질 항목간의 상관관계 분석을 통하여 추정하는 방법 및 경험식을 이용하여 계산하는 방법은 유용하다. 식물플랑크톤 양(엽록소량) - 총인 또는 총질소의 관계식을 이용하여 결측항목을 추정하는 방법, 투명도 및 탁도를 이용하여 SS 농도를 추정하는 방법 등은 전통적으로 사용되는 방법이다.

그러나, 오염부하량 측정자료는 강우-유출모형과 관련하여 관측을 수행하는 것이 최상의 방법이다. 관측된 자료가 있는 경우에는 수질항목별로 오염부하량을 모의할 수 있는 모형을 선정하여 보정·검증하는 절차를 수행하면 되지만, 오염물질 유출기작이 복잡하기 때문에 상당한 양 및 기간의 관측자료를 필요로 한다. 가장 중요하면서도, 가장 단순한 방법으로 또는 최소한의 관측으로 오염부하량을 산정하려는 시도가 수행되고 있다. 보다 개선된 비점오염원 유출모형의 개발이 요구되는 상황이다. 최근에는 지리정보시스템(GIS)을 이용하여 수문모형 및 오염물질 유출모형을 구성·적용하는 경우가 수행되고 있다(Donigian & Huber, 1991; 이범희, 1998; 심명필, 김경탁, 1998).

한편, 대상영역 내부에서 배출(용출)되는 오염부하량은 오염이 장기간 지속된 영역에서는 상당한 비중을 차지하고 있다. 내부 오염부하량은 모형의 보정 매개변수로 사용될 수 있으나, 관측자료가 있는 경우(한국해양연구소, 1995, 1996 - 진해·마산만에서 오염물질 용출률 측정)에는 모형의 입력자료로 직접 활용된다. 내부오염부하량과 관련된 주요 입력자료는 저층에서의 산소소비량(sediment oxygen demand), COD, 암모니아, 인산염인의 용출률 등이 해당되며, 일반적으로 온도가 상승되는 하계에 용출이 활발하고

수온이 감소하는 동계에는 용출이 억제된다(Bowie, et al., 1985). 이 입력자료는 현장에서의 내부오염부하량에 대한 표준적인 측정방법이 없으므로, 모형에서 사용되는 정의에 입각하여 모형 수행자가 직접 관측하는 작업이 요망된다. 또한, 대기로부터의 오염부하량에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이나, 대규모 공장지대가 있는 지역의 경우 또는 대기오염이 심각한 경우에는 대기로부터의 오염부하량(특히, 질소화합물)에 대한 입력자료 선정작업도 수행되어야 한다.

4.5 반응계수 및 온도보정계수, 반포화상수, 확산계수

수질항목의 반응 및 용출·소멸을 표현하는 반응계수는 문헌 및 보고서에 제시된 값을 이용하는 경우도 빈번하지만, 최근에는 주요 반응계수를 직접 현장에서 관측하여 사용하는 경우도 많다. 반응계수중에서도 재폭기계수(re-aeration coefficient)는 하천의 경우 수심 및 유속의 함수, 호소의 경우 풍속의 함수로 계산하는 식이 제안되고 비교적 널리 사용되고 있다(Thomann & Mueller, 1987). 또한, BOD 또는 COD 항목의 분해계수(또는 탈산소계수)도 유량 및 수심의 함수로 표현하는 방법이 제안되어 사용되고 있다. 질산화(nitrification) 계수, 무기질화(mineralization) 계수, 조류(식물플랑크톤)의 최대 성장률 및 소멸률, 무기물 섭취율(uptake rate) 등의 반응계수는 대부분이 모형의 보정과정에서 결정되거나 문헌(Bowie et al., 1985)에서 제시된 값을 사용하고 있다.

모형의 구조가 복잡할수록 모형의 입력 반응계수는 증가하게 되어 실질적으로 모든 반응계수를 관측하는 것은 불가능하게 된다. 따라서, 복잡한 수질모형의 반응계수는 모형의 보정 및 검증자료를 이용하여 최적 추정을 하는 방법이 타당하다(전경수·이길성, 1993, 조홍연·이길성, 1995). 반응계수는 직·간접적으로 모의하는 모든 수질항목에 영향을 미치고 있지만, 직접적으로 크게 영향을 미치는 항목(반응계수에 대한 민감도가 큰 항목)은 1-2 항목으로 제한된다. 따라서, 보정 및 검증자료가 풍부하다면 적절한 추정을 통하

여 반응계수를 추정할 수 있다. 모든 반응계수를 추정하는 것은 지루하고 불합리한 작업이다. 그러므로, 민감도가 작거나 변화가 적은 계수(온도보정계수)는 고정매개변수로 사용하고, 주요한 반응계수는 보정매개변수로 사용하면 적절한 추정이 가능하다. 반응계수의 추정은 관측치와 계산치의 일치율 목적함수로 하기 때문에, 대상 영역의 수질자료가 확보되지 않은 상황에서는 추정이 실질적으로 불가능하다. 문헌에서 제시된 값을 사용하는 방법을 도모할 수 있으나, 일반적으로 반응계수의 범위가 크고 제시된 값도 모형의 보정과정에서 추정된 경우가 허다함을 명심하여야 한다.

한편, 수질모형 지배방정식의 골격을 이루는 운송방정식(또는 이송확산방정식)에서 제일 중요한 입력자료는 확산계수이다. 확산계수에 대한 실험 및 관측, 경험식 등이 제안되고 있으며, 하천에서의 확산계수에 대한 제안식(유속, 수심, 하천 폭의 함수; Seo & Jeong, 1998)은 널리 사용되고 있다. 그러나, 호소 및 하천에서의 (연직 또는 평면) 확산계수에 대한 연구는 활발하게 수행되고 있으나 표준화된 현장관측 방법은 제안되어 있지 않은 실정이다. 부표추적 및 확산실험에 의한 관측값이 제안되고 있으나, 보존성 물질(염도, 총용존고형물 등)의 농도분포 관측에 의한 확산계수 추정방법도 효율적인 방법이다.

5. 결론 및 향후 연구방향

수질항목의 입력자료 선정은 다양한 방법으로 시도되고 있으나, 근본적으로 입력항목의 시간·공간분포 표현의 한계에 의한 자료부족에 기인한다. 가장 바람직한 모형의 입력자료 선정방법은 통합모형의 구축 및 연결(linkage)에 의한 방법이다. 모형의 구조에 적합한 관측계획을 세우는 것도 바람직하지만, 장기적인 연구과제를 수행하는 경우에만 가능한 방법으로 판단된다. 현재는 개략적으로 기상자료의 경우 기상 관측소 자료를 사용하고, 수리·수문학적 자료는 모형을 이용한 방법이 사용되고, 오염부하량 자료는 관측자료를 사용하고 있으나 부실한 실정이며, 반응계

수는 모형의 보정 및 검증과정에서 추정하는 방법이 사용되고 있다. 따라서, 모형 입력자료의 예상되는 오차 및 불확실성을 인정한 민감도 분석, 오차분석, 모형의 불확실성 및 신뢰도 분석에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있다. 그러므로, 모형의 신뢰도 향상을 위한 연구, 즉 모형 입력자료의 신뢰도 향상을 위한 노력이 수행되어야 한다. 모형 입력자료의 신뢰도 향상은 수질 및 관련 부모형의 다각적인 보정 및 검증, 보정 및 검증을 위한 관측자료의 확보 및 관측시스템 구축·활용을 통하여 수행되어야 한다.

수질예측에 관한 연구는 수질에 영향을 미치는 입

력자료를 추정하는 분야가 다양하므로, 각 입력자료를 정확하게 추정할 수 있는 전문가 집단에 의한 학제적 연구가 수행되어야 한다. 모든 분야의 전문적인 내용을 모두 파악한다는 것은 실질적으로 불가능하므로, 상호 연구협력을 통하여 중요한 입력자료를 신뢰할 만 한 정도로 산정하는 방법을 연구하여야 한다. 본 기사에서 언급하는 내용은 최상의 방법이 아니라, 현재 수질모델링 관련 연구를 수행하고 있는 저자가 제한된 수질자료 및 수질 모형입력자료를 이용하여 산정하는 방법, 타기관 및 타연구자에 의하여 수행되고 있는 방법을 검토하여 제시한 내용이다. ●

〈참고 문헌〉

- 심명필, 김경탁(1998). 지리정보시스템과 결합된 강우·유출모형의 적용. 한국수자원학회지.
- 이길성(1993). 팔당호 수질조사 및 평가. 서울대학교 토목공학과 수공학연구실.
- 이길성, 조홍연(1995). 저수지 수질모델링. 한국수자원학회지, 제28권, 제2호, pp.71-76.
- 이범희, 이길성(1998). 지리정보체계 및 전문가시스템을 이용한 도시유출 및 수질모형의 개발. 서울대학교 토목공학과 수공학연구실.
- 전경수, 이길성(1993). 영향계수를 이용한 QUAL2E 모형의 반응계수 추정. 대한토목학회논문집, 제13권, 제4호, pp.163-176.
- 조홍연, 이길성(1995). 직교곡선격자를 이용한 수질모형의 개발 및 적용. 대한토목학회논문집, 제15권, 제5호, pp.1301-1309.
- 한국해양연구소(1997). 연안환경 개선기술, 과학기술처, 환경부.
- 한국해양연구소(1995). 연안역 이용 및 통합관리를 위한 연구, 제1차년도 보고서.
- 한국해양연구소(1996). 연안역 이용 및 통합관리를 위한 연구, 제2·3차년도 보고서.
- Bowie G.L.(1985). Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling, 2nd Ed., U.S. EPA.
- Donigian Jr., A.S. and Huber, W.C.(1991). Modeling of Nonpoint Source Water Quality in Urban and Non-urban Areas, U.S. EPA.
- Novotny, V and Chesters, G.(1981). Handbook of Nonpoint Pollution : Sources and Management, Litton Educational Pub.
- OECD(1982). Eutrophication of Water : Monitoring, Assessment and Control.
- Seo, I.W. and Cheong, T.S.(1998). Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams, J. of Hydraulic Engineering, Vol.124, No.1, pp.25-32.
- Thomann, R.V. and Mueller, J.A.(1987). Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, Harper Collins.