

총설

오염 부유물질의 관측과 관리

김건하[†]

한남대학교 건설시스템공학과

Monitoring and Management of Contaminated Suspended Solid

Geonha Kim[†]

Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University

(Received 24 October 2011, Revised 1 November 2011, Accepted 7 November 2011)

Abstract

Main objectives of this paper were; firstly, to explain impacts of suspended solid in the water body on the relationship between water quantity and water quality; secondly, study on the inter-relationship between organic materials, nutrients, pathogens, and suspended solids considering eco-friendly water resources. Relationship between water quality and water quantity is not easy to understand as it includes physicochemical-biological reactions and diffuse pollutions. Especially, suspended solid makes water resource management difficult. Eroded soil in the upper land transported to the downstream by water flows carrying biological and physicochemical information and sedimented in the downstream. As sediment scoured under high flow condition and environmental change, suspended solid and sediment should be emphasized for understanding the inter-relationship between water quality and water quantity. Knowledge gaps between known monitored data and management of suspended solid were identified as well for future study.

keywords : Integrated watershed management, Sediment, Suspended solid, Water quality, Water quantity, Water resources

1. 서론

1.1. 부유물질의 발생

수량과 수질간의 관계는 미시적으로 볼 때 물리적·화학적·생물학적 반응을 포함하기 때문에 매우 복잡하고, 거시적으로 볼 때는 비점원오염을 포함하므로 간단한 해석이 불가능하다. 특히, 고체상태인 부유물질은 오염물질 배출해석을 어렵게 한다(Kaiserli et al., 2002). 또한 흐름에 의해 상류유역이나 소하천에서 배출되어 하류에 퇴적된 토사는 상류 유역과 하천의 생물·화학·물리적 정보를 지니고 있다. 부유물질은 입경이 0.45 μm 이상인 입자로 정의되는데 이러한 입자는 암석의 풍화과정과 토양 유실에 의하여 발생되는 것이 대부분이지만 경우에 따라 조류 또는 탄산염의 침전에 의한 부유물질이 상당량 존재할 수 있다. 특히 호소지역에서는 호소와 연결되어 있는 하천에서 유입하는 부유물질뿐 아니라, 수변지역의 토양이 유실되어 발생하는 부유물질도 많다(Fig. 1 참조). 폐수, 생활오수, 폐기물처리장 침출수, 도시 및 농촌의 강우유출수 등 점오염원과 비점오염원에서 발생한 입자성 오염물질(particulate pollutants)은 하류로 운반되다가 비교적 유속이 약한 하천, 호소, 하구, 해양 바닥에 침강, 퇴적된다(이재수 등, 2003; 이창희 등, 1999; Shengrui, 2005; Walling et al., 2001). 부유물질

이 발생한 후 배출되는 과정에서 수저에 퇴적된 입자성 물질을 퇴적물(sediment)이라 하는데, 퇴적물은 특히 폐쇄성 수역의 환경에 대한 영향이 매우 큰 것으로 알려져 있다(Chapman, 1996; James and Schelske, 2003). 하천의 퇴적물은 유속이 증가하거나 외부 환경요인에 따라 재부상하여 수질에 영향을 미치기 때문에(Julien, 1995), 부유물질과 퇴적물, 하천의 유량과 수질은 매우 밀접한 관계가 있다(장병욱 등, 2003; Kim et al., 2004).

유역에서 발생하는 부유물질은 그 발생원의 특성을 나타내고 있다. 부유물질이 발생하여 유하하는 동안 임야, 농지, 도시 등 다양한 이용형태의 토지를 거치는 과정에서 오염물질이 미세 부유물질에 흡착하며 이는 수리학적 특성에 따라 침전하게 된다.

외부유입 원인인 암석의 풍화 및 토양의 유실은 발생 지역 토양의 특성을 나타낸다. 예를 들어 용존성인 Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, SiO₂ 등은 모암에서 직접 발생하는 반면, 불용성인 Al³⁺, Fe²⁺, Ti⁺, Mn²⁺ 등은 토양에 남게 되며 토양 내 농도가 증가하게 된다. 따라서 하류의 부유물질은 모암에서 침식되어 발생되었으므로 불용성 이온 농도가 높다. 또한 부유물질 중의 유기탄소 양은 유기물질의 양과 반비례한다. 부유성 유기질소(particulate organic nitrogen)는 부유성 유기탄소(particulate organic carbon)와 연관되어 있으며 그 비율은 매우 일정하다. 이는 퇴적물에 대하여도 적용될 수 있는데, 퇴적물이 수체 외부에서 유입된 부유물질로 구성되어있는 경우와 다르게, 수체 내부의 조류 등으로 구성

[†] To whom correspondence should be addressed.
kimgh@hnu.kr

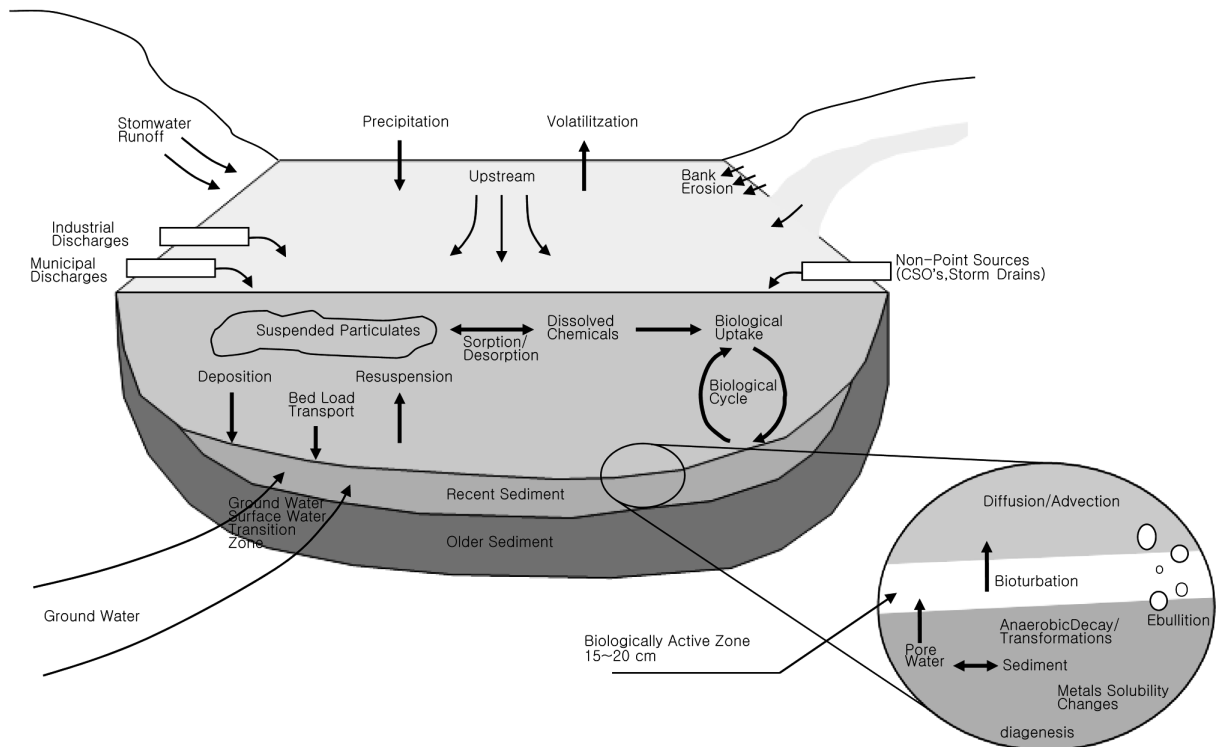


Fig. 1. Sample conceptual site model focusing on sediment-water interaction (modified from USEPA, 2005).

되어 있는 경우에는 탄산염 또는 규소 성분이 높다(Klavins et al., 1997; Wang et al., 2005a, 2005b). 오염원의 물질수지를 작성하는 데 있어서 이러한 부유물질과 결합하여 배출되는 오염물질은 매우 중요하며 특히 침전 상태의 퇴적물과 관련된 오염물질 부하는 반드시 고려되어야 한다.

부유물질의 비표면적은 흡착에 영향을 미치는 인자이다. 따라서 세립자는 여러 종류의 오염물질을 흡착하고 있다. 이러한 부유물질과 흡착하는 오염물질의 종류는 다음과 같다: 1) 광물입자에 흡착되어 있는 오염물질; 2) 유기물질과 결합되어 있는 유기부유물질과 휴믹물질; 3) 탄산염과 결합되어 있는 것; 4) 황화물과 결합되어 있는 것; 5) 입자 표면에 Fe 또는 Mn 산화물로 침적하는 것; 6) 광물질 결정에 포함되어 있는 것; 7) 규소 등 안정한 광물질 등이다.

1.2. 부유물질의 영향

보 또는 댐은 개방수역을 폐쇄수역으로 변형시켜 상류에서 유입되는 부유물질이 정체, 축적된다. 보 설치 후 하상 지형은 단기적 변동을 거쳐 재평형 상태에 이르게 될 것이다. 이때 유입되는 부유물질은 경우에 따라 중금속, 질소, 인 등 다량의 오염물질을 함유하여 보 수문개폐에 따른 유속의 변화나 퇴적물 내부의 산화/환원 조건의 변화에 따라 고형성 물질이 아닌 용해성 물질, 즉 수체로 오염물질이 용출될 수 있어, 체계적인 수질관리를 위해 퇴적층에서 수층으로의 오염물질 이동에 대한 조사평가가 필요하다.

물과 오염물질의 생태계 내 순환과정에서 부유물질은 그 자체가 오염물질인 동시에 오염물질이 부유물질에 흡착되어 배출되므로 오염물의 이송 매체로 작용하여 하천과 지

하수의 수질에 영향을 미친다. 이러한 부유물질의 수환경에 대한 영향은 다음과 같이 나눌 수 있다: 1) 용존성 유기물질은 수체로 유입된 부유물질 또는 조류 등에 흡착하며 이의 분해로 인하여 수질이 악화된다; 2) 하저의 퇴적물에서 용출되는 영양염류는 오염물질의 저장고 역할을 한다; 3) 부유물질에 흡착하여 배출되는 독성물질은 수질에 악영향을 미치는데, 이 과정에 영향을 미치는 인자는 흡탈착, 산화환원전위 등이며, 유기물질은 친수성, 소수성 및 용해성과 관련이 있다(Chapman, 1996); 4) 점원, 비점원에서 발생하는 병원균은 숙주를 떠난 후 급속히 사멸하지만, 부유물질과 결합하여 자외선의 영향이 감소하며 부유상 유기물질을 기질로 하여 사멸률이 매우 낮을 수 있다.

부유물질이 수질에 미치는 영향은 간단하게 파악하기 어렵다. 일례로, 우리나라의 폐쇄성 수역의 용존유기탄소(Dissolved Organic Carbon: DOC)의 농도가 높아지고 있는데, DOC의 주 공급원은 지표면의 용출과 더불어 퇴적층 표면 탄소질의 미생물 분해-용출이다(Cronan and Aiken, 1985; Guggenberger and Zech, 1994). David and Vance (1991)은 토양에서 DOC 저류 및 용출이 호소와 하천의 DOC 농도에 절대적인 영향을 미친다고 하였다. 이러한 난분해성 유기물은 지표수에 유입되는 NOM (Natural Organic Matter)에 의한 것인데, NOM은 상수처리 효율성과 소독부산물의 생성에 영향을 미치므로(Owen et al., 1995), NOM의 발생과 분석에 많은 관심을 가지고 있다. 또한 우리나라 토지이용의 60%를 차지하는 임야 유역에서 발생하는 난분해성 유기물질이 수체로 유입되는 이유가 크다(김성원 등, 2006). 농지의 부속된 농작물과 식물 역시 유기 오염물을

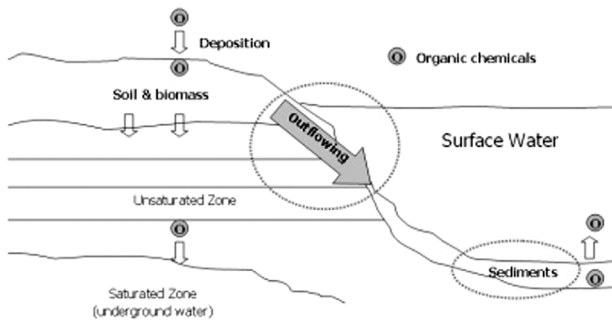


Fig. 2. Concept of dissolved organic matters outflowing from soils and biomasses in agricultural-forestry watersheds. Suspended solid associated organic matters form sediments, which subjected to the dissolution to the surface water body depend on environmental condition (after Kim et al., 2006).

발생시킬 수 있다. Fig. 2는 강우시 임야에서 강우유출수가 발생하는 양상을 보이고 있다. 강우유출수의 일부는 토양으로 침투되고 일부는 지표로 유출되어 수체로 유입된다. 이때 부유물질과 결합된 유기물질은 수체에 퇴적되었다가 pH 또는 산화환원전위가 변화할 때 수체로 유출된다.

유역의 비점오염원 관리에서 미립 토사의 거동은 매우 중요하므로 유역의 오염물질 추적에서 물의 이동과 부유토사의 이동을 모두 추적할 필요가 있다(우효섭, 2001). 오염된 부유토사가 하류의 토지에 퇴적되는 경우 하류의 토양이 오염될 수 있으며, 나아가 그 토지에서 생산되는 농작물도 오염시킬 수 있다(Bengston et al., 1975; Maris et al., 1997).

부유물질은 수체의 이동에 따라 이송되므로 부유물질의 크기가 매우 중요하다. Hjulstrom curve라고도 불리는 입경-속도커브는 부유물질의 입경과 속도간의 관계를 나타내고 있으며 이를 이용하여 입자의 크기에 따른 침식과 이동, 침전의 관계를 나타낼 수 있다. 이러한 부유물질의 이동은 하상 퇴적물의 크기 변화에도 영향을 미치는데, 미세부유물질은 오염물질과 결합하여 하류로 이동하고 또한 침전하여 수질에 영향을 미친다. 부유토사의 이동은 수리학적인 상태에 따라 매우 다른데, 부유상태의 이동과 하상퇴적물의 이동 등 두 가지로 나눌 수 있다. 하천의 유량과 수질의 시간별 변화는 그 변화가 매우 크다. 부유물질의 양은 유량과 연동하는 것이 잘 알려져 있으나 강우 사상간의 부유물질의 성상은 그 변화가 다르므로 hysteresis가 발생한다. 또한 부유물질은 수량/수질 해석시 많은 불확실성을 유발한다. De Blois 등(2003)은 라인강의 수질예측모델인 RHIMO (RHIne Model)을 개발하면서 수질예측에서 발생하는 불확실성에 대하여 분석하였다. 그는 강우유출, 저니침전, 저니부상, 오염물질의 이송 등 지표수 수질 모델링의 불확실성에 있어서 저니의 침적 및 부상이 미치는 영향이 크다는 것을 강조하였으며 특히 정확한 오염원자료의 입력이 수질모델링의 불확실성을 저감하는데 직접적으로 영향을 미친다고 하였다.

1.3. 부유물질과 수량과의 관계

물관리 계획은 수량계획 뿐 아니라 오염물질이 물 이용

목적에 미치는 복합적인 영향까지를 고려해야 한다. 특히 유량이 증가하는 경우 부유물질 농도가 높아지고, 유량이 감소하는 경우 수질이 악화되므로 부유물질이 물 이용목적에 어떠한 방식으로 영향을 미치는지에 대해 분석을 하여야 한다. 이러한 분석은 수질악화의 많은 부분이 퇴적물의 배출량 증가가 아니라 유량의 감소와 관련하여 발생할 수도 있다는 점에서 필요하다.

최근 효율적인 수질, 수량 관리를 위하여 유역관리국내에서 유역관리(watershed management, catchment management)의 개념이 도입되고 있다. 유역관리는 유역접근법(watershed approach) 또는 생태적 접근법(ecosystem approach)이라고 불리기도 한다. 유역관리의 기본적인 개념은 관리의 기본단위가 행정구역이 아닌 유역경계란 사실이다. 유역관리는 통합적, 총체적인 성격을 띄기 때문에 총체적 접근법(Holistic approach)라는 용어를 많은 문헌에서 사용한다. Cobourn (1999)에 의하면 효과적인 유역의 크기는 관리목적에 따라 다르나 용수공급 및 배분은 대권역, 비점오염원은 중권역, 수질문제는 소권역이 바람직하다고 한다(Cobourn, 1999). 유역관리의 궁극적인 목표는 환경의 보전이라고 할 수 있는데, 하천수질의 악화는 인간활동으로 인한 오염물질의 배출이 하천의 자정능력을 초과한 결과이므로 이를 극복하기 위하여 유역 전체의 생태적 구성요소간의 관계를 고려하여 통합적인 구조에서 판단할 필요가 있다. 이러한 유역의 생태계는 상·하류, 지표수·지하수, 천변과 육지와 이들의 시간적 변화과정까지도 포함하여야 한다(Doppelt et al., 1993).

유역관리를 위하여 부유물질을 평가하는 지표는 여러 가지가 있을 것이다. 부유입자 배출량, 부유입자의 크기, 세립자의 백분율, 배출경사와 총부유물질 회귀 분석 비교, 최소유량, 온도, 투명도, 부유물질의 총량 등이 될 수 있다. 그러나 부유물질이 물 이용목적이나 기준용도에 어떠한 영향을 미치는지 또는 오염원과 어떠한 인과관계가 있는지를 알아내기는 매우 어렵다. 주된 이유는 자연계에서 부유물질의 공간 및 시간에 따른 배출량의 변화가 심하고, 이러한 부유물질이 생태계에서 작용하는 정도가 단순 수치로 비교 평가되기 어렵기 때문이다. 따라서 부유물질의 발생, 이송, 퇴적 및 영향에 관한 추정치에는 상당한 수준의 불확실성이 내재되어 있다. 따라서 이러한 부유물질이 물환경 관리계획의 불확실성에 미치는 영향을 파악하고 이를 추정하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

부유물질은 수체의 핵심적인 구성요소로서 수질항목 중 유량과 밀접한 관계가 있으나 그 변화추이에 대한 연구와 이해도는 낮은 수준이라 평가할 수 있다. 부유물질의 오염도에 대한 연구 및 관측은 매우 적다. 단지, 부유물질이 퇴적한 퇴적물에 대한 모니터링 결과는 외국 문헌이 다수 있으나 국내의 선행연구 결과는 많지 않다고 생각된다. 임동일(2003)은 제주도 연안 퇴적물은 퇴적지 주변 화산암의 풍화산류물질을 퇴적물의 원소성분을 분석하여 증명하였다. 하천에서 수질은 단기간에 걸친 하천환경의 특성변화를 반영한다면, 퇴적물에 함유되어 있는 오염물질은 하천수에 함유된 성분들에 비해 시간적 변화가 적고 상대적 함량이 높

아 환경에 대한 영향을 지속적으로 평가하는 인자가 될 수 있다(오강호 등, 2003; 황종연, 2001). 또한 퇴적물 내 오염물질은 주변 환경의 변화에 따라 하천수 증으로 재용출될 수 있으므로 하천환경에 대한 영향이 크다(문동연 등, 2005). 안건상 등(2003)은 매립지 주변 하천에서 퇴적물의 지구화학적 특성을 조사한 결과 매립지에서 유출되는 중금속이 공극수 중에 축적되고 있음을 보고하였다. 오강호 등(2003)은 화순지역 토양·퇴적물·하천수의 지구화학적 특성을 분석한 결과 시료채취지점의 탄광에서 발생하는 영향으로 수질이 오염되어 있으며 퇴적물 또한 같은 화학적 특성을 보이고 있으나 퇴적물내의 오염물질 농도가 농축되어 있어 화학적 조건의 변화에 따라 수계로 유출될 수 있음을 보고하였다. 하천의 부유물질과 하상퇴적물은 하천의 수질에 영향을 미치는 주요 인자의 하나이지만, 이에 대한 이론 연구와 모니터링이 매우 부족한 상태이다.

전지구적 기후변화 또한 부유물질 발생에 영향을 미친다. 기후변화가 수자원에 영향을 미치는 요인은 기온상승과 강수량 및 강우강도 증가 등 강우패턴의 변화이다. 특히 수문예측의 불확실성이 높아지는데, 강우의 년중 시간분포뿐 아니라 지역적, 국지적 변동에 대한 불확실성이 높아지는 경향을 보이고 있다. 증발산양은 증가하는 추세이고 토양수분량과 유출율의 연중변화가 더 커지는 양상을 보이고 있다. 이에 따라 수자원분야는 용수수요 증대 및 시기변화, 하천유출량의 감소 및 시간적 변화, 기존 수자원시설 기능저하, 극한 홍수 및 가뭄 발생빈도와 규모증가, 수질악화 및 하천생태계 변화, 지하수의 염수화 등의 영향을 받을 수 있다(SWCS, 2003). 기후변화에 의한 강수패턴 변화는 더 심화되는 것으로 예측되고 있으므로 이에 대한 대책이 필요하다.

2. 부유물질 관련 연구의 필요성

부유물질 및 결합된 오염물질에 대한 관심이 높는데 반하여, 이에 대한 관측자료와 현상연구는 부족하다. 변화되는 수환경을 관리하기 위한 관리도구를 개발하기 위하여 필요한 관측, 조사, 연구를 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 유역관리 개념을 고려하여 부유물질이 수량-수질간의 관계에 미치는 영향을 파악한다. 둘째, 미래가치 수자원의 정의를 친생태계(Eco-Friendly) 수자원으로 할 때 부유물질, 유기물질, 병원균, 영양염류, 저니(sediment) 간의 상호관계를 규명한다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 필요한 조사 또는 연구를 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

- 1) 오염부유물질 배출특성 관측(Monitoring of Discharge Characteristics)
 - 국가기관 측정 자료 분석을 이용하여 유량변화, 수질변화, 부유물질 변화의 경향 파악
 - 유기질소와 유기탄소의 비율, 양이온과 중금속의 비율 변화를 이용하여 부유물질의 발생원을 추적
- 2) 오염부유물질의 영향 정량화(Quantification of Impact induced by Contaminated Suspended Solid)

- 유기물질의 분석을 통하여 그 종변화(speciation)를 측정함
 - 지표미생물의 사멸률을 측정하여 부유물질이 지표미생물 사멸률에 미치는 영향을 파악함
- 3) 오염부유물질의 처리(Treatment of Contaminated Suspended Solid)
 - 부유물질로 인한 영향을 감소시키는 처리공법을 평가하고 이로 인한 부유물질의 정상변화 연구
 - 4) 오염된 부유물질로 인한 불확실성을 정량화(Uncertainty Quantification induced by Contaminated Suspended Solid)
 - 부유물질 지속곡선과 오염물질 부하지속곡선, 유량지속곡선의 상관관계 설정
 - 부유물질의 불확실성 파악

3. 오염부유물질 관리방향

오염부유물질의 관리방향은 우선 기후변화 등 수량과 연관된 불확실성을 저감하고, 토양유실을 저감하는 방향으로 접근할 필요가 있다. 이와 관련되어 다음과 같은 관리방향을 설정할 수 있다:

- 1) 기후변화 인자를 추출하고 이를 토양보전에 적용해야 한다. 지역별 강우 빈도, 강우강도의 변화양상을 제시하고 이 자료를 지속적으로 업데이트 하여야 토양보전 실무에서 사용할 수 있다. 기후영향과 토양유실, 작물과의 관계는 좀 더 복잡한데, 기온증가에 의한 작물성장과 갈수기의 강수량 감소, 이산화탄소의 증가에 따른 수확량 변화에 대한 명확한 자료가 아직 가용하지 않다. 또한 연구유역을 설정하여 강우강도, 강우빈도와 같은 기후변화인자와 토양유실, 강우유출수 발생, 환경영향에 대한 모니터링을 수행하고 이 자료를 지속적으로 축적하여야 한다.
- 2) 토양은 유용한 자연자원, 토사는 수질 오염물질로 인식할 필요가 있다. 토양은 인류에게 영양원을 공급하지만 토사 또는 토사결합 오염물의 증가는 하천 수질악화를 초래한다. 따라서 토양은 보전해야 하며 토양 모재로부터 이탈되어 수계로 전달되는 대규모 토사에 대해서는 수질오염물질의 한 형태로 인식하는 것이 중요하다. 특히 소하천이 토사에 의한 영향에 민감하므로 이에 대한 관심이 필요하다. 우리나라 하천에서 부유물에 대한 농도규제를 보다 현실화하여 적용할 필요가 있으며 부유물질에 대한 수질오염총량 관리제도 도입방안도 신중하게 검토될 필요가 있다.
- 3) 사전예방 차원의 접근 즉 토사 발생원별 관리가 필요하다. 준설 등과 같은 토사의 사후처리 방법은 중금속과 같은 오염물질 제거가 필요할 수 있다. 따라서 토사발생원별 관리기법들을 지역적인 개발정도나 수생태계 현안에 맞추어서 적용하는 것이 중요하다.
- 4) 우리나라에는 그동안 여러 가지 수문 및 토양정보를 발전시켜왔으나 토사관리를 위해 필요한 하천 및 토양정보는 아직 미흡하였다. 토사는 지표 유출수를 따라 상류

로부터 전달되어 하류에서 마지막으로 침전되므로 정확하고 신뢰 있는 의사결정을 위해서는 관련 정보의 확보가 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

- 5) 환경을 보호하고 토양유실을 방지하기 위하여 위해성평가를 기반으로 하여 유역을 관리할 필요가 있다. 강우강도의 증가가 토사를 발생시킨다는 선형관계 해석을 지양하고, 가장 취약한 토사유실지역, 가장취약한 토사발생시기를 분리하여야 한다. 그리고 현재 환경을 보전하기 위한 한계조건, 예를 들면 한계강우강도, 한계강우시간을 제시하여야 한다. 이를 통하여 대응할 수 있는 방법이 제시될 수 있다.
- 6) 고령지 밭에 대한 대책으로 농약 및 비료 사용량 축소, 경작방법 개선, BMP 실행과 더불어 제도적 개선사항으로 토양유실 방지를 위한 보조금이 필요하다. 적정량의 비료 사용에 대한 보상금을 지원하고 토양유실 방지시설물 설치시 보조금 지원할 필요가 있다.

4. 결론

부유물질은 지표수의 양과 질을 결정하는 핵심 구성요소이나, 부유물질에 대한 평가는 수자원 수량계획 측면에서 혹은 수량을 무시한 수질관리 측면에서 단편적으로 접근하고 있다. 따라서 부유물질의 발생, 배출, 오염과정, 퇴적, 불확실성을 고려한 수체에 대한 영향 및 그 저감방법에 대한 연구 등 통합수자원 관리의 핵심적인 지식이 될 수 있는 연구를 수행할 필요가 있다. 이러한 수량과 수질의 연중변화를 관리함에 있어서 국민에게 공급하는 수자원의 수량, 수질의 품질에 대한 개념이 도입될 필요성이 있다고 사료된다.

사 사

본 연구는 2011년도 한남대학교 교내연구비 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

- 김성원, 김건하, 최의소(2006). 호소의 난분해 물질 축적 영향요인의 평가. *수질보전 한국물환경학회지*, **22**(4), pp. 720-726.
- 문동연, 김병용, 박정제, 정재범, 송주훈, 권태혁, 김윤정, 진수영, 박미중(2005). 수질오염과 하상퇴적물의 상관관계에 관한 연구, 전라북도 보건환경연구원 폐기물분석과, pp. 1-41.
- 안건상, 박천영, 신인현, 배종필(2003). 광주시 풍암매립지 주변 하상퇴적물과 물의 지구화학적 특성. *한국지구과학회지*, **24**(4), pp. 290-302.
- 오강호, 고영구, 윤석태(2003). 화순지역 토양-퇴적물-하천수의 지구화학적 특성. *환경영향평가*, **12**(1), pp. 9-22.
- 우효섭(2001). *하천수리학*, 청문각, pp. 562-563.
- 이재수, 김영철, 황길순(2003). 장마 전후의 농업용 저수지 퇴적물의 변화분석. *대한토목학회논문집*, **23**(4B), pp. 359-368.

- 이창희, 이병국, 최지용, 김은정(1999). 물자원의 효율적 이용을 위한 유역관리방안-낙동강 수계관리를 중심으로, 한국환경정책평가연구원 연구보고서.
- 임동일(2003). 한국남해 제주도 연안 퇴적물의 지화학적 특성: 퇴적물의 근원지. *한국환경과학회지*, **24**(4), pp. 337-345.
- 장병욱, 우철웅, 김성필(2003). 농촌 중·소 하천 저수지 퇴적물의 오염현황. *농촌계획*, **9**(2), pp. 1-6.
- 황종연(2001). 대청호, 삼교호 및 금강호의 퇴적물 분석, 박사학위논문, 충북대학교 대학원 화학과, pp. 1.
- Bengtson, L., Fleischer, S., Lindmark, G., and Ripl, W. (1975). Lake Trummen Restoration Project I. Water and Sediment Chemistry, *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung Theoretische und Ange Wandte Limnologie*, **19**, pp. 1080-1087.
- Chapman, D. (ed.) (1996). *Water Quality Assessments 2nd ed.*, Spon Press, pp. 127-128.
- Cobourn, J. M. (1999). Integrated watershed management on the Truckee river in Nevada. *Journal of the American Water Resource Association*, **35**(3), pp. 623-632.
- Cronan, C. S. and Aiken, G. R. (1985). Chemistry and transport of soluble humic substances in forested watersheds of the Adirondak Park, New York. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **49**, pp. 1697-1705.
- David, M. B. and Vance, G. F. (1991). Chemical character and origin of organic acids in streams and seepage lakes of central Maine. *Biogeochemistry*, **12**, pp. 17-41.
- De Blois, C. J., Wind, H. G., de Kok, J. L., and Koppeschaar, K. (2003). Robustness of river basin water quality models. *Journal of Water Resources Planning and Management*, **129**(3), pp. 189-199.
- Doppelt, B., Scurlock, M., Frissell, C., and Karr, J. (1993). *Entering the Watershed*, Island press, Washington, DC.
- Guggenberger, G. and Zech, W. (1994). Dissolved organic carbon in forest floor leachate: simple degradation products or humic substances?. *Science of Total Environment*, **152**, pp. 63-72.
- James, S. E. and Schelske, C. L. (2003). Saturated Hydrocarbons in the Sediments of Lake Apopka, Florida. *Organic Geochemistry*, **34**(2), pp. 253-260.
- Julien, P. Y. (1995). *Erosion and sedimentation* Cambridge university press, pp. 1-3.
- Kaiserli, A., Voutsas, D., and Samara, C. (2002). Phosphorus Fractionation in Lake Sediments - Lakes Volvi and Koronia, N. Greece, *Chemosphere*, **46**(8), pp. 1147-1155.
- Kim, L. H., Choi, E., Gil, K. I., and Stenstrom, M. K. (2004). Phosphorus release rates from sediments and pollutant characteristics in Han River, Seoun, Korea, *Science of the Total Environment*, **321**, pp. 115-125.
- Klavins, M. M. and Apsite, A. E. (1997). Sedimentary Humic Substances from Lakes in Latvia. *Environment International*, **23**(6), pp. 783-790.
- Maris, K. M. and Elga, A. E. (1997). Sedimentary Humic Substances from Lakes in Latvia. *Environment International*, **23**(6), pp. 783-790.
- Owen, D. M., Amy, G., Chowdhury, Z. K., Paode, R., McCoy, G., and Viscosil, K. (1995). NOM characterization and treatability. *Journal of American Water Works Association*, **87**, pp. 46-63.

- Shengrui, W., Xiangcan, J., Yan, P., Haichao, Z., and Xiaoning, Z. (2005). The study of the effect of pH on phosphate sorption by different trophic lake sediments. *Journal of Colloid and Interface Science*, **285**(2), pp. 445-457.
- SWCS (2003). Conservation Implications of Climate Change: Soil Erosion and Runoff from Cropland, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa
- USEPA. (2005). *Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites*, EPA/540/R/05/012, U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response.
- Walling, D. E., Russell, M. A., and Webb, B. W. (2001). Controls on the Nutrient Content of Suspended Sediment Transport by British Rivers. *The Science of the Total Environment*, **266**, pp. 113-123.
- Wang, S., Jin, X., Bu, Q., Zhou, X., and Wu, F. (2005a). Effects of Particle Size, Organic Matter and Ionic Strength on the Phosphate Sorption in Different Trophic Lake Sediments. *Journal of Hazardous Materials*, **128**(2-3), pp. 95-105.
- Wang, S., Jin, X., Pang, Y., Zhao, H. G., and Zhou, X. (2005b). The Study of the Effect of pH on Phosphate Sorption by Different Trophic Lake Sediments. *Journal of Colloid and Interface Science*, **285**(2), pp. 445-457.