

지구온난화 등 기상이변에 따른 태풍과 집중강우 현상은 시민의 생명과 재산을 위협하고 도시 및 지자체의 기능 마비를 유발할 수 있다는 사실은 최근 한반도에서 발생한 ‘볼라벤’과 ‘덴빈’ 등 2개의 태풍 피해에서 잘 반영해 주고 있다. 수계 및 주변 환경의 변화와 도시화는 피할 수 없는 상관관계로 강우유출수의 발생 및 관리방안에 대해 지난 수십 년간의 과학적, 법적인 도전을 가져왔고, 최근 들어 그 중요성은 기후변화에 대한 경각심과 함께 더욱더 심각하게 대두되고 있다.



기후변화에 따른 도시강우 유출수 관리

안 종 호 | 한국환경정책·평가연구원 정책연구본부 물환경연구실 부연구위원

미국 캘리포니아주립대 공학박사

현) 한국환경정책·평가연구원(KEI) 정책연구본부 물환경연구실 부연구위원

tel. 02-380-7741 | ahnhj@kei.re.kr

도시화와 강우유출수

오늘날 인류문명의 발달은 지구 표면적의 30에서 50 %의 변형을 초래하게 되었고 그 중 약 10%만이 도시지역을 차지하고 있지만, 도시집중화 현상은 더욱 가속화할 전망이다. 그에 따른 토지 변화는 필연적일 수밖에 없다¹⁾. 이러한 도시화는 강우유출에 의한 지표수의 흐름에 크게 영향을 미쳐 인근 하천, 호소, 강 하구에 궁극적으로 영향을 주게 된다. 특히 지구온난화 등 기상이변에 따른 태풍과 집중강우 현상은 시민의 생명과 재산을 위협하고 도시 및 지자체의 기능 마비를 유발할 수 있다는 사실은 2005년 미국 카트리나 재난과 최근 한반도에서 발생한 ‘볼라벤’과 ‘덴빈’ 등 2개의 태풍 피해에서 잘 반영해 주고 있다. 특히 댐이나 하천의 제방개선 등은 지난 20세기에 공공 토목사업의 일반적인 활동으로 치수 및 이수를 위한 하나의 환경개선 사업으로 여겨져 왔으나, 환경변화의 실제적인 결과는 하류수계의 악화로 나타나기도 하였다. 따라서 수계 및 주변 환경의 변화와 도시화는 피할 수 없는 상관관계로 강우유출수의 발생 및 관리방안에 대해 지난 수십 년간의 과학적, 법적인

도전을 가져왔고, 최근 들어 그 중요성은 기후변화에 대한 경각심과 함께 더욱더 심각하게 대두되고 있다.

수세기에 걸쳐 강우유출수 제어는 다양한 목적에 맞춰 변화되어 왔다. 기원전 2세기 메소포타미아 제국이 홍수조절과 관개용수를 사용한 이후 오늘날 홍수와 배수 조절은 도시기능의 필수적인 요소가 되고 있다. 더구나 최근 들어 수질관리 측면에서의 강우유출수로부터 오염물질의 제거와 물 부족 해결을 위한 지하수로의 함양 능력 증대 방안의 모색이 새로운 쟁점으로 부각되고 있으나 아직까지 적절한 설계나 운영기법에 대한 정립이 미흡하다. 그동안의 강우유출수 관리를 살펴보면, 2차 세계대전 이후 순간최대유량(Peak Flows)을 평가하는 방법에 따라 현대적 개념의 도시배수시스템의 설계가 이루어져 왔으나 곧 지나치게 빠른 배수는 하류의 심각한 홍수와 제방침식을 일으키게 된다는 것이 밝혀지면서 상류지역 지류의 하폭을 증대 시키고 하상을 콘크리트화 하기 시작하였다. 그러나 이러한 자연하천의 하폭 증대와 콘크리트 Channel화는 홍수와 토양 침식 방식을 위한 경제적인 방법일지라도 건강한 수생 생태

환경의 파괴를 가져 왔다. 강우유출수량 조절은 일반적으로 초기 최대유출량을 저감시키기 위한 저류시설(De-tention Basins)을 통해 어느 정도 조절이 가능하다. 하지만 빈번한 강우에 의한 저류 용량의 초과나 하류의 또 다른 문제를 일으킬 수 있을 뿐만 아니라, 소홀한 관리에 따른 문제점이 빈번한 것이 사실이다. 이러한 저류시설의 한계성 때문에 최근 지하침투율의 증대, 자연유하, 개수로화, 불투수층 방지 등과 같은 다양한 형태의 저충격개발(Low Impact Development, LID) 기법과 녹색기반시설(Green Infrastructure) 구축이 지표유출 조절을 위한 방법으로 사용되고 있으나 보다 체계적인 관리방안에 대한 연구노력이 절실하다.

도시 강우유출수: 무엇이 문제인가?

수년간 가장 큰 환경개선은 점오염원에 의해 야기되는 심각한 오염부하량의 저감이다. 이러한 환경기초시설에 의한 오염부하량의 저감은 국가정책에 의해 주도되어 일정수준으로 저감되어 왔으나 보다 향상된 수질개선을 위해서는 비점오염원의 관리가 중요하게 대두되고 있다. 강우유출수는 방류되는 인공 수계시스템의 악화된 수질 부하, 유량변화 및 에너지 소비, 수생생물의 변화 등의 변화를 초래할 수 있기 때문에 그에 대한 적절한 평가나 저감방안의 수립이 필요하다.

지표수질에 미치는 강우유출수의 역할은 명확한 과학적 접근과 메카니즘의 규명이 이루어지지 않아, 실질적인 저감방안을 찾는데 현실적 어려움이 있다. 그 주요 원인으로서는 강우유출수는 개발이 시작된 어느 지역에서나 발생된다는 점과 그 발생과 이동이 산발적이고, 그 변동성이 커서 효율적인 저감이 어렵고, 도시환경의 많은 폐물질의 축적, 이동을 유발시킨다는 점이다. 강우유출수의 오염원 또한 도처에 분포하여 오염원의 수집, 처리에 대한 어려움이 있다. 비록 오염원의 수집이 성공적으로 이루어진다 하더라도 엄청나게 많은 양의 처리는 현실적으로 불가능하며, 하나의 광범위한 기초환경시설은 강우유출수를 집중화된 시설로 수집된다 해도 그 시설의 효율성에는 의문이 생기고, 분산된 강우유출수

처리를 위한 방법은 각 시설물에 필요한 공간, 비용과 유지관리 등에 있어서 각각 특별한 요구가 필요하다.

강우유출수 관리에 있어 수처리시설은 상대적으로 최근에 설치되기 시작했다. 우리나라의 강우유출수에 대한 수질관리는 비점오염원 관리 측면에서 다루어져 왔다. 2004년 3월 관계부처 합동으로 마련한 “물관리종합대책” 추진강화를 위한 “4대강 비점오염원 관리 종합대책”을 마련하였고, 2005년 3월 수질환경보전법 개정을 통해 일정규모이상의 개발사업과 신규사업장에 대한 비점오염원저감시설 설치의무화를 실시하였고, 비점오염원으로 인한 수질문제가 심각한 지역에 대해 비점오염원 관리지역으로 지정 관리토록 하였다¹⁰⁾. 비록 이러한 노력이 어느 정도 효과를 가져왔으리라 예상되지만 제도도입의 역사가 짧고 자료가 충분치 않기 때문에 그 효과를 평가하기에는 시기상조라 판단되며, 특히 강우유출수 처리시설 방류수에 존재하는 여러 잔여 오염물질에 대한 방류지역에서의 영향에 대해서는 평가가 어려운 실정이다.

최근의 집중호우로 인한 도시침수의 빈번한 발생은 하수도시스템의 우수배제 역할에 대한 관심을 일으키고 있다. 강우유출수의 배수시스템은 수세기 동안 도시의 한 부분으로서 여겨왔으나, 그 목적은 단지 도로로부터 신속하고 효율적인 배수에 중점 되었다. 일반적으로 건조지역에서는 강우는 관개용수나 음용수를 위해 사용되기도 하지만, 대부분의 지역에서는 별다른 관리나 측정 없이 최소한의 도랑이나 관거를 통해 배수되는 정도였다. 최근의 신규 하수관거시설의 경우 강우유출수가 분리된 시스템으로 설계되지만 대다수의 오래된 도시지역은 설치비용 절감을 위해 하수와 함께 사용되는 합류식 관거시스템으로 하수 월류수에 의한 환경오염 유발을 초래하게 된다.

집중강우에 의한 도시지역 침수는 기후변화의 영향에 의해 더욱더 그 빈도나 강도에 있어서 점차 심각해지리라 예상된다. 도시화가 진행에 따른 불투수율의 증대는 집중강우시의 지하로 침투하는 강우유출수의 양을 감소시키고, 부적절한 하수관거 시스템에 의해 단기간에 집중적으로 유출되어 강우유출수에 의한 침수피해를 유발

시킨다. 더욱이 하수도의 대응 능력적 측면에 있어 확률 연수 10년을 초과하는 집중강우가 증가하고 있어 하수도 용량부족으로 인한 침수피해가 더욱 심각해 질 것으로 예상되고 있다^①. 우리나라의 최근 5년간 도시 내 상습침수지역은 전국적으로 719개소에 이르며, 이중 피해 원인이 내수침수로 인한 곳이 524개소로 전체의 73%를 차지하고 있다. 구체적으로 내수침수의 원인을 살펴보면 2003년 기준 저지대문제 22%, 배수능력부족 14%, 하천의 수위상승으로 인한 배수불량 14%, 하수 역류 노면배수 13%, 하수관거 용량부족 11% 등으로 나타났다^②. 따라서 도시지역 침수에 대한 대책 수립에 있어서는 하천에서 발생하는 외수침수 영향보다 내수침수의 영향이 중요하며, 이를 위해 하수도의 대응 대책이 시급한 상황이다. 그동안 하수관거 보급률은 1986년 48.3%에서 2009년에는 75.4%로 대폭 증가하였으나, 2001~2011년 기간 중 하수관거 신설연장 중 우수관거 설치비율은 6%로 여전히 미미한 수준으로, 최근의 집중호우 등이 빈번히 발생하고 있으나 하수관거의 설계용량은 이를 제대로 반영하지 못하고 있는 실정이다. 실제 2011년도 도시침수가 발생했던 서울을 살펴보면 7월 1시간 최대 강우량은 113mm였던 반면, 하수관거 설계용량은 65~75mm, 배수펌프장은 65~88mm로서 침수방지를 위한 배수시설 투자도 부족할 뿐 아니라, 시설간의 유기적이고 효율적 운영이 필요하다.

강우유출수 수질관리방안 강화

강우유출수 유출수 수질관리의 가장 취약한 부분은 수질 모니터링과 수질 예측 모델링이다. 현재 국내의 강우유출수 수질관리는 비점오염원 관리에 포함되어 비점오염원을 배출하는 공사장 또는 사업장에 대한 저감시설 설치대책과 관리지역 지정하고, 각종 저감계획 및 저감 시설설치 등에 대한 설치신고제를 통해 관리되고 있다. 하지만 이러한 관리방안이 신뢰성 부족한 수질자료, 모니터링방법의 미정립, 적정 수질기준에 대한 과학적 모호성 등에 따라 보다 체계적인 관리방안으로의 향상에 어려움이 있다. 강우유출수 모델링도 지금까지의 적지

않은 연구가 진행되어 왔으나 대부분이 특정 지역에서의 관련 인자들 간의 상관성 평가수준에 머물고 있으며 시공간적 불규칙한 강우유출 오염원의 특성상 실제수계 시스템에 얼마 만큼의 오염부하를 유발시키는데 대한 정량화하는데 필요한 충분한 결과를 제공할 만큼의 수준에 못 미치고 있다. 이러한 강우유출 수질오염원의 시공간적 변동성, 시스템 내 다양한 영향인자에 의한 복잡성, 모델링과 데이터의 불확실성 등은 강우유출수 수질관리에 있어 심각하게 고민해야 할 부분들로, 향후 수질관리 측면에서 강우유출수 관리를 위해 노력해야 하는 부분들은 다음과 같은 것들이 있다.

첫째로, 도시지역의 강우유출수에 대한 지속적인 수질 및 수량 모니터링을 통한 데이터베이스 구축과 구축된 자료 분석을 위한 노력을 기울여야 한다. 아직까지 국내의 현실은 실제 강우유출수 영향 및 저감시설 설계에 이용할 수 있는 자료가 매우 부족하여 대부분 외국의 자료를 참조하는 수준에 그치고 있다. 미국의 예를 들면 지난 10년간 데이터의 축적이 있어왔고 그에 따른 많은 오염물질의 발생현황을 예측할 수 있음에도 불구하고 여전히 지속적인 데이터베이스의 구축의 필요성을 강조하고 있다는 점이 시사하는 바가 크다고 하겠다^③.

두 번째로는 비점오염원 관리 대상 사업장이나 공사장의 경우 보다 구체적이고 체계적인 강우유출수 모니터링 프로토콜을 통한 모니터링이 수행될 수 있도록 비점오염원 설치신고제도의 강화와 벤치마킹을 통한 기술수준에 근거한(Technology-Based) 유출수 수질 관리 기준을 제시하는 것이 필요하다. 특히, 모니터링 계획에 있어 기존의 단순한 시료채취보다는 연속적이고 유량 보정된 수질시료 채취방법을 제시하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 수질측정과 함께 유량 및 강우측정 시설의 설치가 필요하다. 또한, 각 현장의 강우패턴, 토지이용도에 따른 초기 강우시의 발생오염물질의 특성을 판단하는 것이 중요하다.

마지막으로 강우유출수 수질모델링은 강우유출수 관리, 설계, 분석을 위한 필수적 요소로 적절한 예산과 체계적이고 신뢰성 있는 모니터링 자료를 가지고 수행되어야 한다. 현재까지의 모델링 수준은 강우유출수가 배출되는

수계내의 오염부유물질 및 토사유출과 만성적 독성 등에 대한 생물학적 영향, 강우유출 수질오염물질의 물리·화학적 생물학적 메커니즘을 제시하는 데는 한계가 있다.

집중강우유출에 대한 하수관거시설 대응방안 구축

최근 우리나라에서 반복되고 있는 도시침수의 73%를 차지하는 내수침수는 그 피해 원인을 살펴보면 배수 능력부족, 하수역류, 하수관거 용량부족 등 하수관거 문제가 38%를 차지하고 있다^①. 따라서 향후 도시침수 대책의 일환으로서 관거 및 저류시설 등과 같은 하수관거시설의 대응대책의 수립은 무엇보다 중요하다. 아직까지 국내의 기존 하수과거들은 최소유속 기준보다 낮게 설치되었거나 역경사로 인한 역류가 발생구간이 발생하는 등 설계 및 시공 부실에 여전히 존재하며, 지자체의 부족한 예산투자과 그에 따른 관리소홀 등 해결해야 하는 문제점이 많이 있다^②. 위와 같은 문제점들에 대한 과학적이고 체계적인 유지관리를 위해서는 하수처리구역별 종합적 관리시스템의 구축을 통한 통합관리가 필요하다. 특히, 현재 진행 중인 하수관거정비사업과 함께 정비된 지역의 지속적인 유지관리와 합류식지역에서의 미처리방류수 관리 등을 효율적으로 이루어지도록 하기 위해 하수관거시설물의 기능유지, 관거사고 대비, 공공수역의 환경보전, 침수피해 예방 및 대응 대책수립 등을 포함하는 구조적 및 비구조적 종합관리시스템 구축방안이 필요하다. 또한 최근 집중강우대책의 적정대안으로 대두되고 있는 빗물저류시설의 효율적 유지관리 방안 마련이 필요하다. 최근 대형건축물 설치시 빗물저류시설 설치의무화 등의 노력이 활발히 계획·추진되고 있으나 유지관리에 대한 사항은 미흡한 바, 시설물의 저류 및 재이용 기능을 발휘하도록 시설의 철저한 유지관리가 필수적이다.

특히, 합류식 체계를 유지해 오고 있는 대도시의 경우, 분류식 하수도의 수준으로 방류오염부하량을 줄이기 위한 노력이 요구된다. 아직까지 하수처리시설의 강우시

미처리 하수의 방류 및 우수토실 및 토구의 CSOs 방류로 인한 오염부하량에 대한 정량화 및 오염부하 저감을 위한 규제기준 설정이 없는 실정이다. 우선적으로 강우시 하수처리시설의 방류오염 부하 저감을 위해서는 하수처리장 유입수문 원격제어 설비와 소독시설이 보완이 필요하다. 또한 강우시 하수처리 규정의 미흡으로 처리장 운영자의 의지부족과 운영관리기법이 미숙한 실정임으로 이를 위해 하수도법 및 관련 지침의 강우시 계획 하수량의 유입처리 의무화 규정하고 하수처리시설별 초기우수 처리에 관한 운영관리 업무지침 마련 및 관리감독 방안 마련하여 초기우수처리를 의무화하는 것이 바람직하다. 더불어 강우시 초기우수처리나 비강우시 하수처리시설 또는 CSOs에 저류된 하수의 연계처리에 따른 오염부하량 저감효과를 수질오염총량제의 수질오염부하 삭감량으로 적용하도록 추진하는 적극적이고 체계적인 노력이 필요하다.

한편, 이처럼 시대적으로 새로운 하수도의 역할과 서비스의 요구가 강조되고 있음에도 불구하고 하수도사업재정의 건전성은 극히 취약한 실정이다. 사용자 부담은 2010년 기준 전국평균 38.3%에 불과하며, 결과적으로 서비스 공급, 재정, 요금 등에 대한 하수도 사업의 지역적 격차가 매우 크다. 특히, 강화되는 방류수질 규제와 도시 침수방지 등의 하수도 서비스 확대를 위한 초기우수 처리강화 사업과 우수배제시설의 정비사업의 원활한 추진을 위해 안정적인 신규재원의 확보가 절대적으로 필요한 실정이다. 이를 해결하기 위해서는 하수도의 침수방재 및 물환경 보전의 역할을 법적·제도적으로 재정립함과 동시에 새로운 하수도 비용분담체계 구축을 위한 요금부과의 형평성 확보와 요금정책의 합리화 방안마련과 이행을 위한 노력이 필요하다. 특히 빗물요금제 등의 도입을 고려하여 토지 소유자의 빗물관리 의식을 제고를 통한 그린인프라 구축 및 빗물이용을 촉진하고 지속 가능한 신규재정 확보를 위한 기반을 제공해 줄 수 있는 정책이 무엇보다 중요하다 하겠다.

① 비점오염원 관리지역 지정기준 설정 등에 관한 연구, 환경부, 2007

② 하수관거 집중강우 대응지침 및 관리방안 마련연구, 환경부, 2008