

우수유출 저감시설의 수문환경에 미치는 효과와 경제성 평가

이창해 (대진대학교 이공대학 환경공학과 조교수)

1. 서론

사회경제의 발달과 함께 자연유역의 도시화 가속으로 토지이용의 극대화가 진행되고 있다. 수문환경에 미치는 도시화의 가장 큰 특징으로는 불투수성 지표면적의 증가와 하수관거의 발달을 들 수 있다. 이와 같은 도시화의 특징으로 인해 도시의 홍수피해와 수자원 확보 및 환경 등에 문제를 더욱 악화시키게 된다.

우선 증가된 불투수면으로 인하여 자연상태일 때보다 강우로 인한 유출이 더 많이 발생하고, 하수관거의 확충과 자연수로의 정비 또는 암거화로 물이 보다 빨리 이동되는 결과를 가져온다. 이로 인하여 홍수 도달 시간이 짧아지고 침투유량이 증가되며 기저유출은 감소된다(Wanielista와 Yousef, 1992). 즉, 홍수 위험도가 높아지고 더욱이 도시화에 따른 하천범람지역의 인구와 자산의 집중으로 홍수피해는 급증하게 된다.

또한 인구의 증가와 생활수준 향상에 따라 일인당 물 수요는 가증된다. 그러나, 유역내에서 공급원을 확보하는데는 한계가 있어 광역상수도를 통한 도수가 요구되는데, 지방자치단체간의 이해 관계로 쉽지 않다. 그리고 불투수면적의 확대로 지하수 함양이 부족해져 지반이 침하되거나 지하수자원의 이용이 제한되는 일이 발생된다.

한편 환경 측면으로는 홍수유출량은 증가하는 반면 표층을 통한 지하수함양이 감소하고 지하수위는 저하된다. 건기시 지하수위 감소로 기저유출이 줄어 도시 하천의 유량이 감소하고 인구증가에 따라 점오염원과 불투수면 위에 쌓인 비점오염원으로 인한 오염부하가

증가하므로 수질오염이 가중되어 도시의 소규모 하천부터 환경이 급속히 악화되어 간다. 게다가 낮아진 지하수위로 인해 지중에 미생물이 서식하지 못하여 토양 환경도 악화되며 도시 가루수 등의 생육이 나빠진다.

이외에도 도시의 포장면은 태양에너지의 흡수를 증가시키고 증발산량을 감소시켜 기화열에 의한 냉각효과가 줄어들어 열섬현상의 발생이 촉진된다. 이러한 열섬효과에 의한 상승기류의 발생, 미세먼지에 의한 응결핵의 증가, 연소와 냉각탑에서 발생하는 수증기 등으로 인해 강수량도 약 10% 정도 증가되는 것으로 알려져 있다(Oke, 1974). 그러므로 불투수면과 하수관거의 발달과 함께 홍수유출은 더욱 증가되며, 더욱이 홍수피해가 하류지역으로 전가된다는데 문제의 심각성은 더욱 크다.

이와 같은 도시화로 인한 문제점은 치수, 이수 및 환경 문제로 각각 존재할 뿐만 아니라 이들이 서로 간섭 및 상승작용을 일으켜 도시수문환경의 악화가 가증된다는 것이다. 이러한 문제점들을 최소화하기 위하여 선진국에서 우수유출의 저감대책이 확대 적용되고 있는 것은 주지의 사실이다. 그러나 국내에서는 아직 우수유출 저감시설에 대해서 홍수를 줄이기 위한 치수차원에서의 연구는 있었으나, 수자원 확보와 도시 및 하천 환경관리의 차원에서 연구된 바는 찾아보기 어려운 실정이다. 그러므로 도시지역의 우수유출 저감시설의 치수 이외의 효과들에 대해서도 연구가 진행될 필요가 있으며, 이들 시설의 설치 및 유지관리에 비용이 추가 될 것이 예상되므로 도시수문환경의 편익에 대한 경제성 평가도 반드시 수행되어야 하겠다.

2. 우수유출 저감시설

우수의 집중적인 유출을 억제하고 보수와 저류기능을 강화하여, 도시화로 인한 홍수 증가, 수원함양기능 저하, 수자원환경의 악화 등을 억제하는 기술을 추진하는 구체적인 시설들을 우수유출 저감시설이라 한다. 이러한 시설들은 우수를 일시적으로 저류시켜 침투유출을 줄이는 저류형과 지표면을 통해 지하로 침투시키는 침투형으로 대별 된다(서울시정개발연구원, 1995).

저류형인 우수저류 시설은 일반적으로 유역의 말단이나 타 유역과 함께 공용으로 설치하는 지역외 저류와 유역내에서 강우를 일시적으로 저류시키는 지역내 저류로 분류된다. 이와 같은 저류시설은 침투유출량의 저감에는 효과적이지만 홍수유출량의 감소기능은 없다. 또한 지하수 함량이나 기저유출을 증가시킬 수는 없으므로 홍수부담을 경감시키는 기능 외에 수자원의 확보나 환경보전의 기능을 보유하지 못하는 단점이 있다.

침투형 우수유출 저감시설의 종류로는 우물식과 유역의 표층에서부터 물을 침투시키는 확수식이 있고, 저류와 침투의 기능을 동시에 가지는 쇄석공극저류식이 있다. 우수침투 시설은 지반의 침투능력에 따라 지하로 우수를 침투케하여 침투유출과 홍수유출량을 감소시켜 하류하천의 홍수부담을 경감시키는 것 외에도 토지의 다목적 이용과 지하수자원 확보 및 환경보전의 효과도 탁월하다(김귀곤, 1993).

우물식은 우물 속의 막힘 제거작업에 어려움과 넓은 토지의 점유 등에 문제가 있다. 확수식은 투수성 포장, 침투측구, 침투구, 침투 트렌치 등으로 세분되는데, 침투측구와 침투구 및 침투 트렌치는 각각 일반 측구와 맨홀 및 하수관거의 기능에 침투 효과를 추가한 것으로 일반적인 우수배제 시설이 우수를 유역에서 신속히 배제시키고자 하는 것에 발상의 전환을 하여 홍수시 유출을 억제하고 건기시 수자원 확보 및 유역의 토양환경과 하류하천의 수질을 보전하기 위한 것이다.

한편 침투구, 침투측구, 침투 트렌치는 점 또는 선형으로 우수를 침투시키는 반면에, 투수성 포장은 포

장면을 통해 우수를 지중에 분산침투시키는 구조를 가진 포장으로 보다 넓은 면적을 사용하므로 우수의 침투효과와 오염물질의 지중에 축적되는 효과를 줄일 수 있다. 참고로 일반적인 종래의 포장은 교통기능을 중시하고 보다 안전하고 튼튼해야 한다는 관점에서 노반이나 노상에 우수가 침투되지 않아 수분을 포함하지 않는 방향으로 기술개발이 되어 도시의 불투수면의 확대에 커다란 영향을 끼쳐왔다.

우수유출 저감대책의 하나인 투수성 포장의 경우에는 침투성의 증대로 유출률이 감소하여 홍수량을 줄이고 지하수위를 높여 홍수와 갈수시의 수자원효율의 증가는 물론 지하에 물 및 공기를 공급하여 토양 및 하천환경관리상의 장점이 있다. 그 외에도 도로에 고인 물의 제거로 차량 및 보행자의 교통장애를 줄이고 포장표면의 공극으로 인한 자동차 소음의 감소 효과 등이 있는 것으로 알려져 있다.

3. 홍수피해의 추이

본 고의 주요 목적은 우수유출 저감 시설의 홍수저감 이외의 효과에 있지만 우수유출 저감 시설에서 치수효과를 무시할 수는 없을 것이다. 그러므로 홍수저감효과는 생략하고 우리나라의 홍수피해를 검토하여 문제점을 도출해 보기로 한다.

그림 1.은 각 연대별 홍수피해를 나타낸 것으로 재산피해는 연대별로 평균하여 1998년의 가치로 환산한 것이며, 인명피해도 연대별로 평균하여 그 추이를 나타낸 것이다. 여기서 나타난 바와 같이 1960년대는

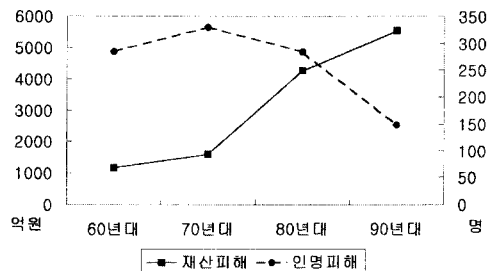


그림 1. 연대별 평균 홍수피해의 추이 (재산피해는 1998년 환산가치)

산업화와 도시화의 미진으로 피해금액이 비교적 적었고, 1970년대는 산업시설의 증가와 도시화가 시작된 초기의 경제개발 5개년 계획시대로 피해금액과 인명피해가 최고조에 달해 재해대책의 심각성이 대두되기 시작하였다. 그후 1980년대와 1990년대에는 정부의 재해대책이 어느 정도 성과를 나타내기 시작하여 인명피해는 점차 줄어가는 양상을 띄고 있다. 그러나 이 시대에는 도시화와 경제규모의 확대로 인해 하천 주변의 범람지역에까지 자산이 집중되므로 재산피해는 오히려 증가되는 결과를 나타내고 있다. 게다가 일반적인 도시와 하천의 개발이 하류에서 점차적으로 상류로 진행됨에 따라 상류지역의 도시화로 인한 불투수층과 하수관거의 발달로 인한 하류지역의 홍수량은 더욱 증가되어 홍수피해가 하류지역으로 전가 된다는 데 문제의 심각성은 더욱 크다.

예를 들어 1998년 8월에 발생한 중랑천 홍수의 경우, 8월 8일에 도봉구와 노원구는 각각 475mm와 347mm로 관측사상 두 번째의 큰 강우에도 불구하고 범람하지 않았으나, 8월 6일의 200mm와 165mm의 강우에도 중랑천이 범람하였다(이종태, 1998). 그 원인은 중랑천 상류인 의정부 지역에 8일에는 250mm, 6일에는 366~409mm의 강우가 발생한데서 찾을 수 있다. 그러므로 중랑천 상류에 개발이 완료되었거나 사업중인 의정부시의 택지개발지는 장암, 송산, 금오, 민락, 신곡으로 총면적은 3.361km²에 달하고 있어(국토개발연구원, 1996) 앞으로 중랑천의 범람의 가능성은 더 커지고 있다. 따라서 우수유출억제 시설의 시급한 도입이 필요한 상태에 있으며, 서울특별시의 우수유출저감 시설에 대한 시험사업이 경기도와 같은 지방자치단체에서도 병행하여 시행되어야만 재해예방의 효과를 기대할 수 있을 것이다.

4. 수문환경에 미치는 효과

우수유출 저감시설의 치수효과는 전 절에서 설명한 바와 같으나, 특히 침투형 우수유출 저감시설은 치수 이외에도 도시수문환경에 미치는 효과는 광범위하게 나타난다. 그 중 일부를 정리하여 나타내면 다음과 같

다.

1) 물수지의 균형 효과

일본의 八王子주택단지에서의 물 순환의 보전을 위한 시스템으로 투수성포장을 포함한 우수유출 저감시설에 의한 효과를 물수지 분석에 의한 연구 결과(松下, 1993), 기존의 개발방식에 의하면 불투수 유역은 2%에서 53%로 증가하여 표면유출량은 개발 전에 비해 약 10배의 홍수량 증가가 이루어지며, 지하수 유출량은 절반 수준으로 나타났다. 즉, 과도한 홍수유출과 갈수량의 부족현상이 예상되었다. 그러나 물 순환의 보전을 위한 우수유출 저감시설을 도입할 경우 표면 유출량은 기존의 개발방식에 비해 50% 수준에 머물고 지하수유출량은 2.6배의 증가가 예상되어 하천환경 유지와 개선의 가능성이 확인되었다. 또한 도시 개발후의 홍수량 증가로 하천개수가 필수적인데, 기존의 개발방식보다 20%의 단면 감소가 예상되어 40% 이상의 하천개수 사업비의 절감효과가 나타났다.

일본의 주택·도시정비공단에서 수행한 昭島주택 단지의 물 순환 보전의 효과에 대한 연구에서 조사한 바에 의하면, 昭島주택단지를 4개로 나누어 제1단지는 침투 트렌치와 침투구 및 침투층구를 설치하고, 제2단지는 여기에 투수성 포장을 추가하고, 제3과 4단지는 종래의 공법으로 시공하여 유출량을 조사한 결과 유출률이 제1단지에서는 0.25, 제2단지에서는 0.02, 제3과 4단지에서는 0.55와 0.49로 조사되어 투수성 포장의 우수유출 억제 효과가 충분한 것으로 나타났다(吉野와 坂尾, 1993). 동경의 23區에 우수침투공법을 적용하여 연간 물수지를 계산한 결과(虫明, 1991), 하수도가 완전히 보급된 후 당시 약 65%의 불투수면의 반을 우수침투시설로 적용한 결과 연간 약 200mm 정도가 추가로 침투되는 것으로 나타났다.

한편, 도시포장지역의 평탄화와 불투수 포장으로 인하여 평상시 지면이 건조해지고 증발이 차단되어 복사열 증가와 증발에 의한 흡수열 감소에 따라 도시의 온도상승 효과 즉 열섬효과를 일으킨다(吉野, 1993). 그러나 우수침투시설은 이러한 현상을 완화시키는데 커다란 기여를 하는 것으로 알려져 있다.

2) 식물 생육에 미치는 효과

도시지역에 불투수성 면적이 증가하므로 물의 토양으로의 침투가 적어져 도시내의 가로수를 비롯한 공원 수목의 생육불량의 한 원인이 된다고 추측된다. 그러므로 투수성 포장 등을 도입하여 지중의 수분 함량을 자연상태에 가깝게 복원시켜 지중의 미생물이나 곤충들의 서식처로서 지중생태계를 건강하게 할 필요가 있으나 이에 관한 연구가 대단히 부족한 것 또한 사실이다.

清水와 岡本(1992)은 투수성 포장이 식재토양이나 식물의 생육에 미치는 효과를 알아보기 위해 용량이 약 48 l 인 농업용 콘테이너에 토양을 넣고 그 위에 투수성 포장판과 콘크리트 포장판을 절반씩 설치하고 나머지 표토에서 잔디를 식재 하여 2년간 생육에 관한 비교실험을 수행했다. 그 결과 투수성포장 아래의 토양으로 투수된 투과수량이 불투수성 포장의 경우보다 2배 이상 많은 것으로 나타났고, 잔디의 생육량도 투수성지역이 불투수성 지역보다 30%이상 많으며, 전혀 포장하지 않은 곳보다도 훨씬 생육상태가 좋은 것으로 나타났다. 첫 번째는 포장면이 50%임에도 불구하고 전체 투수량이 배 이상 차이 나는 것은 잔디의 생육에 따른 토양의 스폰지화가 원인이고, 두 번째는 투수성에 따른 토양의 함유수분의 효과이며, 마지막은 투수성포장의 mulching효과에 의한 것으로 판단된다.

이러한 연구가 보다 설득력을 갖기 위해서는 실제와 같은 지하수의 흐름현상이 고려되고 보다 다양한 식물이 식재 된 상태에서 현장에서 직접 관찰 및 비교 실험을 수행할 필요가 있을 것이다. 여타튼 식물의 생육이 활발해지면 토양환경이 개선되고, 이것은 수질 개선에 매우 중요한 역할을 하게 된다.

3) 수질보전의 효과

도시하천의 수질을 보전하기 위해서는 크게 환경기초시설에 의한 점오염원의 하수처리와 강우시 비점오염원의 처리 및 기저유출의 증대에 의한 하천유지수량의 확보로 요약해 볼 수 있다.

우선 점오염원에 의한 수질오염문제는 환경기초시설의 확충에 의해서 해결될 문제이므로 여기서는 논외로 하기로 한다. 더욱이 미국의 경우와 같이 환경기초시설을 충분히 시설 및 운영한 곳에서도 하천의 수질은 어느 한계이상 개선되지 못함을 확인 할 수 있었는데, 그 이유로는 비점오염원에 의한 수질오염문제를 개선하지 못했기 때문으로 평가되고 있다. 합류식 하수도의 경우 건기시 하수관거에 오염물질이 퇴적되고 강우시에는 우수에 혼합된 오수가 우수토실을 통해 하천에 방류되므로 하천수질에 악영향을 끼치고 있다. 분류식 하수도는 우수는 전량 종말처리장으로 보내지고 우수만 우수관거를 통해 하천으로 방류되므로 수질이 개선되리라 기대했지만 도시지역의 비점오염원이 그대로 하천에 방류되어 이것이 하천의 오염부하량을 급증시키는 결과를 가진다. 안산시 반월천의 경우 강우시 오염부하량이 급증하여 시화호에 미치는 오염부하량이 건기시의 약 100배 가량 증가한다는 연구보고도 있다(국립환경연구원, 1998). 그러므로 비점오염원의 처리문제에도 각별히 신경을 써야 한다.

우수유출 저감시설의 도입으로 강우시 홍수유출을 줄임과 함께 침투수에 의한 기저유출을 증가시킬 수 있음은 앞에서 서술한 바와 같이 여러 연구에서 확인되고 있다. 이로 인한 건기시의 하천유량의 증대로 오염부하량에 대한 희석능력이 증대되고, 물리적·생물학적 자정작용이 활발해져 하천의 오염농도를 현저히 줄일 수 있다. 더욱이 우수침투시설을 도입한 경우 이른바 초기세류(first flush)현상에서 오는 오염물질을 지하에 침투시키게 된다. 그러나 이러한 비점오염원이 넓은 지역에 침투함과 동시에 우수와 공기가 함께 지하로 공급되므로 흠속에서 서식하는 미생물들이 처리할 수 있는 환경이 조성되므로 하천으로 유입되는 오염물질을 현저히 줄일 수 있을 것이다. 즉 하천 유지용수의 증가뿐만 아니라 비점오염원에 의한 하천오염을 줄이는 효과를 지니게 된다.

구미의 우수저류 시설중의 약 절반은 초기세류된 우수를 일단 저류하고 강우 종료 후에 서서히 처리해서 방류하여 공공수역의 수질개선의 역할을 주목적으

로 하고 나머지가 치수를 목적으로 하고 있다. 이 경우 일시에 대량의 우수를 모으기보다는 작은 저류시설을 분산 설치하는 것이 효과적이며, 이러한 소형의 저류시설은 도시의 친수공간의 확보에도 도움이 될 것이며, 우수침투시설과 병행하면 효과를 극대화 할 수 있을 것이다. 이것을 목적으로 한 검토는 아직 불충분하고 필요한 자료도 거의 정리되어 있지 못하다. 이와 같은 연구를 위해 필요한 자료로는 유출유역의 지표면 조건, 오타부하의 종류, 유출형태, 부하의 종류에 따른 처리능력, 방류지점에서의 영향 등을 들 수 있다.

지금까지 살펴본 바와 같이 도시화는 물 순환계에 영향을 미쳐 수해의 격화, 도시하천의 수질오타의 진행, 용수의 감소, 도시식물의 생육부진, 증발감소에 따른 도시의 열섬현상의 발생(村上及淺沼, 1993) 등의 문제를 야기 시키고 있다. 이러한 문제의 해결책으로 우수유출 저감시설에 대해 살펴보았으나, 이들 대책이 이러한 문제들을 모두 해결할 수 있다는 정량적인 결과를 제시하지는 못하고 있다. 그러나 수문환경 문제는 각각이 독립적으로 발생되고 작용되는 것이 아니라 연계되어 서로 영향을 끼치고, 어느 정도의 수준을 유지한다면 가이아(Gaia)이론으로 설명되는 것처럼 자정작용에 의해 전체적인 문제해결에 상당한 도움을 줄 것이다. 수문환경은 단순히 물 순환으로 보지 말고 그에 따른 물질이나 에너지의 순환도 관계하기 때문에 그 보전대책에는 넓은 관점의 접근이 필요하다. 이 중에는 지구환경문제도 당연히 포함된다. 지구의 온난화는 에너지 순환과 대기순환을 통해 물 순환계에 영향을 미친다. 이들은 불가분의 관계에 있다고 해도 좋다. 그래서, 수문환경을 보전 재생하는 것은 넓은 의미에서 지구환경의 재생에 연결된다. 수문환경에 관한 연구의 진전과 보전을 위한 기술개발의 중요성을 지적해 두고 싶다.

우수유출 억제 시설의 이와 같은 장점에도 불구하고 아직도 해결해야 할 과제들이 남아있다(이진원 1994). 예를 들어, 공인된 기준의 부재와 효과의 실질적 결과에 대한 신뢰성이 정량적으로 뒷받침되어야 하고, 경제적 부담에 대한 평가와 안정성 대책 및 대

국민 홍보가 뒤따라야 할 것이다.

5. 경제성 분석

1) 경제성 분석의 필요성

전술한 바와 같이 우수침투 시설은 침투성의 증대로 유출률을 감소시켜 홍수로 인한 피해를 줄이고 지하수위를 높여 갈수시의 수자원을 효율적으로 이용할 수 있도록 한다. 그리고 지하에 물과 공기를 공급하여 토양 및 하천 환경관리상 장점을 지닌다. 특히 투수성 포장의 경우 도로에 고인 물의 제거로 차량 및 보행자의 교통장애를 줄일 뿐만 아니라 교통사고의 위험을 감소시킨다. 그리고 포장표면의 공극으로 인한 소음의 감소 효과 등이 있는 것으로 알려져 있다.

한편, 이러한 특성을 지닌 우수침투시설을 하기 위해서는 기존의 시설에 비해 더 많은 비용이 든다. 그러므로 우수침투시설의 사용 여부 및 사용범위를 결정하기 위해서는 이들 시설로 인한 새로운 추가적 편익(benefit)과 새로운 추가적 비용(cost)을 비교해서 이루어져야 한다. 여기서 추가적 비용 측면은 재료비, 공사비 및 유지관리비의 증가로 비교적 용이하게 취급할 수 있는 반면에 추가적 편익 측면의 가치는 화폐적 단위로 측정하기 쉽지 않다. 왜냐하면 우수침투 시설로 인한 추가적 편익은 화폐로 직접 환산하기 힘든 정성적 성격을 지니고 있기 때문이다. 결국 우수침투 시설의 경제성 평가에 있어 관건은 추가적 편익의 가치 측정에 있다고 해도 과언이 아니다.

한편으로 막연해 보이는 듯한 편익 측정을 위해서는 다행스럽게도 최근에 환경자원의 가치측정을 위해 사용되는 후생(welfare) 측정방법들을 이용할 수 있다. 그러므로 우선 편익의 유형을 명확히 하고, 그러한 편익들의 가치를 측정하기 위해서 어떤 후생 측정 방법이 적합한지 그리고 편익 측정을 위해 필요한 후생 측정법의 요구 자료들을 조사해 볼 필요가 있다.

2) 경제적 편익과 측정방법

우수침투 시설로 인해 발생하는 긍정적 효과의 경제적 편익을 측정하기 위해서는 우선적으로 그 효과

표 1. 투수성 포장의 편익 유형

편익유형	편익범주	편익소범주	예
사용가치	직접 사용가치	도로의 이용	제동거리감소, 난반사감소, 주행성향상, 보행불편해소
		하천의 이용	수자원확보, 수질개선
	간접 사용가치	심미적	킬라포장, 강변위락활동, 조망, 차량소음감소
		생태계 유지	지중 미생물 서식, 하천오염감소
비사용가치 (존재가치)	대리소비	자신과 관련된 사람들의 소비	
		일반 대중의 소비	
	청지기	홍수감소, 지반침하감소, 자연환경의 보존(고유가치) 다음세대에게 물려줌(유증가치)	

가 어떤 것인지 명확히 되어야 비로소 경제성을 평가할 대상을 가지게 된 것이다. 또한 우수침투시설이 일정한 지역에 어느 정도로 이용되는지에 따라 어떠한 결과를 가져오는지에 대한 일정한 시나리오를 가질 수 있어야 한다. 물론 이러한 시나리오는 과학적 근거로 해서 이루어져야 하며, 이러한 시나리오를 바탕으로 설정된 우수침투시설이 가져올 여러 가지 긍정적 측면들이 바로 경제적 편익이다. 예로서 우수유출 저감시설 중 투수성 포장의 편익 유형을 정리해 보면 표 1.과 같이 나타낼 수 있다.

일반적으로 환경자원의 경제적 편익에는 사용가치(use value)와 비사용가치(non-use value)로 나누어진다. 여기서 사용가치란 평가하고자 하는 대상재화를 물리적으로 이용한다고 기대되는 경제주체들에게 직·간접적으로 현재 발생하는 편익을 통틀어 일컫는다. 반면에 존재가치 또는 수동적 사용가치(passive use value)라고도 불리는 비사용가치는 대상재화의 직·간접적인 이용과 관련되지 않는 여러 가지 이유로부터 발생하는 편익을 말한다. 즉, 사람들이 어떤 방식으로 쾌적성에 의해 물리적으로 영향받기 때문에 발생하는 사용가치와는 달리, 비사용가치는 위락장소의 보존이나 개선으로부터의 효용을 얻기 위해 위락장소를 방문할 필요가 없다는 관념과 관련된다(Krutilla 와 Fisher, 1975).

우선, 사용가치에 속하는 편익은 크게 직접사용편익과 간접사용편익 유형으로 구분할 수 있다. 직접사

용편익은 대상재화를 물리적으로 이용한다고 기대되는 경제주체로부터 발생하는 편익을 일컫는다. 즉, 투수성 포장이 된 후 도로와 하천을 물리적으로 이용하는 경제주체에게 발생하는 편익을 말한다. 예를 들어, 일정한 지역에 이용된 투수성 포장으로 인한 직접사용편익은 우천시에 도로상태 개선으로 인한 교통장애 및 교통사고의 감소, 포장표면의 공극으로 인한 소음의 감소 그리고 갈수위의 수자원 확보와 수질개선 등이 될 것이다. 한편 간접사용편익은 지하수 수위의 조절로 인한 하천환경의 보존에서 오는 여러 형태의 편익을 생각할 수 있다. 즉 하천 환경 보전으로 인한 심미적 가치의 증가, 하천을 포함한 주위 생태계의 복원 내지 보전으로 인한 편익 그리고 하천 환경의 보존으로 인한 옥외위락(outdoor recreation)으로 인한 편익 등이 간접사용가치의 범주에 속한다고 볼 수 있다.

투수성 포장으로 인한 비사용가치는 크게 대리소비 가치(vicarious consumption value)와 청지기가치(stewardship value)로 분류할 수 있다. 대리소비가치란 자신과 관련 있는 사람 혹은 일반대중들이 투수성 포장으로 인해 발생하는 여러 가지 서비스를 소비한다는 것을 아는 경우에 발생하는 효용을 지칭한다. 투수성 포장을 이용하는 가족 또는 이웃을 생각할 때 안도감 또는 만족감이 발생한다면 이러한 편익은 대리소비가치에 속한다고 볼 수 있다. 한편 청지기가치는 유증가치(bequest value)와 고유가치(inherent value)로 나눌 수 있다. 개선된 자연환경을 가족이나 다음 세대가 미래에 즐길 수 있도록 물려준다는 것에서 발생하는 효용을 유증가치라 한다. 한편 고유가치는 자연환경의 쾌적성 그 자체가 누구에게 이용되는지 여부와 상관없이 자연환경의 쾌적성이 보존되는 것으로부터 느끼는 효용을 말한다. 결국 청지기가치는 투수성 포장의 직·간접적인 이용 여부와 전혀 상관없이 그로 인해 홍수가 감소하고 지반침하가 억제되며 자연환경이 보다 잘 보존된 상태로 유지, 다음 세대에게 물려줄 수 있다는 것으로부터 발생하는 편익이라 볼 수 있다.

이러한 편익을 측정할 수 있는 방법들은 측정하고자 하는 편익의 유형, 이용 가능한 자료, 주요 적용대상 등에 따라 달라진다. Smith와 Krutilla(1982)는 편익측정방법을 물리적 연계(physical linkages)에 기초한 방법과 행위적 연계(behavioral linkages)에 기초한 방법의 주요한 2가지 범주로 구분하였으며, Mitchell과 Carson(1989)은 행위적 연계의 유형이 관찰된 시장행위 또는 가상적 시장에서의 응답인지 여부와 선호의 현시방법이 직접적 또는 간접적인지 여부에 따라 관찰/직접, 관찰/간접, 가상/직접, 가상/간접 편익측정방법의 4가지로 유형으로 분류했다.

이들 유형 중 가상/직접 편익측정방법인 조건부 가치 측정법(CVM : contingent valuation method)은 편익의 질 또는 양의 가상적 변화에 대한 가치를 직접적으로 측정함으로써 간접적 연계 방법들에 필요한 수많은 가정들의 필요를 없애고, 가상적 시장들에 대한 개인 응답이 실제시장에 대한 개인 응답과 비교 가능하므로, 단순성과 이론적 정당성 및 편익범주의 전 영역을 측정할 수 있는 능력을 가진 방법으로써 여러 가지 편익 유형과 그에 따른 후생변화 즉 편익을 측정하고자 하는데 적합한 것으로 알려져 있다. CVM의 이론적 기초 및 실제 이용 사례는 신영철(1997a, 1997b)에 의해 이루어진 한강수질 개선편익 측정을 참고해 볼 수 있다.

표 1.에서 설명한 여러 유형의 경제적 편익을 각각 나누어서 측정하기는 쉽지 않으나, 최근 각광받고 있는 CVM을 이용하여 응답자의 최대 지불의사금액(WTP : willingness to pay)으로부터 종합적인 편익을 추론할 수 있을 것이다.

3) 경제성 평가에 필요한 자료 및 과정

우수유출 저감 시설의 경제성 평가를 위해서는 조건부가치측정법(CVM)을 사용하는 것이 바람직하지만, 몇 가지 전제되어야 할 자료와 과정들이 있다.

우선, 일정한 지역에 우수유출 저감시설을 이용하는 경우 실제로 발생할 수 있는 여러 가지 편익의 유형과 정도를 시나리오로 구축할 수 있어야 한다.

둘째로, 일단 어느 정도 과학성을 지닌 시나리오가

완성되면 여기서 발생하는 편익의 유형과 정도를 명확히 할뿐만 아니라 이를 일반인들이 이해할 수 있는 형태로 표현할 수 있어야 한다.

셋째로, 표본조사를 통해 모집단의 편익을 추론하고자 하므로 이를 보장할 수 있도록 표본 추출 등의 통계적 과정에 유의해서 실제 조사를 실행해야 한다.

넷째로, 표본조사에 의해 조사된 자료에는 우수유출 저감 시설로 발생하는 여러 가지 편익을 향유하기 위해 응답자들이 최대한 어느 정도의 금액을 지불할 의사가 있는지 파악해야 한다. 이 지불의사금액에 대한 유도과 더불어서 응답자의 사회경제적 특성 및 우수유출 저감 시설에 대한 인식 및 인지 여부를 판단할 수 있는 자료들을 확보할 수 있도록 설문이 설계되어야 한다.

마지막으로, 조사된 자료를 분석하고자 하는 경우 만약 조건부 가치 측정법 중 최근에 일반화되고 있는 양분선택형 지불의사 유도방법을 이용하는 경우 계량 모형 설정 및 분석에 신중해야 한다(신영철, 1998).

6. 결론

도시화가 진행됨에 따라 필연적으로 불투수성 포장면적의 확대와 하수관거의 정비가 이루어지게 된다. 그러나 이러한 것들은 삶의 질을 높이기 위해 시민들이 살고있는 근접 주변만을 인식한 근시안적 처방이라 생각된다. 그 결과로 홍수피해의 격화, 도시하천의 수질오염, 하천유지용수의 감소, 도시식물의 생육부진, 증발감소에 따른 도시의 열섬현상의 강화 등 실로 많은 대가를 치르고 있다. 특히 수문환경을 단순히 물순환으로만 보지 말고 그에 따른 물질이나 에너지의 순환도 관계하기 때문에 그 보전 대책에는 넓은 관점의 접근이 필요하다.

그러나, 우리나라에서 지금까지의 우수유출 저감시설에 대한 연구는 도시수문환경 전체에 대한 것보다는 대부분 치수적인 측면에 치우쳐 이들 시설이 가지는 많은 편익을 간과해온 것도 사실이다. 또한 이들 저감시설의 편익에 대한 경제적 평가에 대해서도 우리 공학인들은 소홀히 다루어 왔다는 느낌을 지우기

힘들다.

다른 한편, 도시의 수문환경관리를 위한 지금까지의 대부분의 연구는 환경기초시설에 의한 오염저감방안과 친환경적인 하천과 제방의 복원공법에 치우쳐왔다. 물론 이들이 많은 효과를 나타낸 것도 사실이지만 도시가 가지는 근본적인 문제들의 치유책으로 부족한 점이 있는 것도 부인할 수 없다.

그러므로 우수유출 저감방안에 대해서는 치수와 이수 및 환경문제를 종합적으로 다루어져야 하며, 이들 시설이 가지는 경제적 편익에 대해서도 앞으로 우리 수공학인들은 적극적인 관심을 나타내야할 것이다. 또한 우수유출 저감시설의 적극적인 도입을 위해서는 체계적인 대 국민 홍보에 따른 국민들의 인식과 지지가 필수적이라는 점을 강조하고 싶다. ●

(참고문헌)

- 국립환경연구원 (1998). 하수도 시설개축 및 기능개선 전략 연구, 한양대학교 환경공학연구소, pp. 43-52.
- 국토개발연구원 (1996). 수도권 정비 경기도 세부추진계획 기술부문 타당성조사, pp.65-72.
- 김귀곤 (1993). 생태도시 계획론, 대한교과서주식회사, pp. 114-144.
- 서울시정개발연구원 (1995). 우수유출률 저감대책, 시정연 95-R-21, pp.55-116.
- 신영철 (1997a). "이중양분선택형 질문 CVM을 이용한 한강 수질개선 편익 측정", 환경경제연구, 한국환경경제학회, 6(1).
- 신영철 (1997b). "단일양분선택형 질문 CVM을 이용한 한강 수질개선 편익 측정", 공공경제, 한국공공경제학회, 2.
- 신영철 (1998). "이중 양분선택형 질문 CV자료에서의 정박효과 검토", 자원경제학회지, 한국자원경제학회, 8(1).
- 이종태 (1998). "98 홍수해원인과 하천관리의 문제점", 한국수자원학회지, Vol. 31, No. 5, pp. 20-32.
- 이진원 (1994). "홍수유출억제를 위한 유역대책 -일본의 예를 중심으로-", 건설기술정보, 통권127호, pp. 21~26, 한국건설기술연구원.
- 吉野文雄 (1993). "都市の熱環境の改善に向けて -都市の熱汚染の現状と雨水貯留浸透の役割-", 雨水技術資料, Vol. 10, pp. 33-43
- 吉野文雄, 坂尾祥文 (1993). "水文環境の保全と再生 -都市化と水循環を中心として-", 雨水技術資料, Vol. 8, pp. 49-78
- 松下潤 (1993). "八王子ニュータウンにおける水循環保全システムとの意義", 雨水技術資料, Vol. 10, pp. 21~31.
- 清水陸行, 岡本認明 (1992). "透水性舗装が土壤水分および芝草の生育に及ぼす効果", 造園雑誌, 55(5), pp. 157-162.
- 村上雅博, 浅沼順 (1993). "大気放射・地表面熱收支モデルを組めた都市流出・水收支解析とその應用", 雨水技術資料, Vol. 10, pp. 45~58.
- 虫明功臣 (1991). "都市と水循環", 雨水技術資料, Vol. 1, pp. 12-20
- Krutilla, J.V., and Fisher, A.C. (1975), *The Economics of Natural Environments: Studies in the Valuation of Commodity and Amenity Resources*, The Johns Hopkins University Press for Resources for the Future, Baltimore.
- Mitchell, R.C., and Carson, R.T. (1989). *Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method*, Resources for the Future, Washington, D.C.
- Oke, T.R. (1974). *Review of Urban Climate*. W.M.O. Technical Note, No. 134.
- Smith, V. Kerry, and Krutilla, J.V. (1982). "Toward Reformulating the Role of Natural Resources in Economic Models", in V. Kerry Smith and John V. Krutilla, eds., *Explorations in Natural Resource Economics*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press for Resources for the Future.
- Wanielista, M.P., and Yousef, Y.A. (1992). *Stormwater Management*. John Wiley & Sons.