

유역에서의 강우유출 억제대책 및 기준설정

이 은 태*

1. 도시의 침수문제와 그 대책

지금까지의 홍수라는 것은 거의 대하천(大河川)이 대상이 되어왔으며 1990. 9월에도 한강 인도교 지점 유량이 30,000m³/sec를 넘었고 일산쪽이 무너져 수많은 가옥과 전답이 물에 잠기고 그에 대한 내용이 크게 보도되어 그와 같은 제방붕괴가 다시는 발생하지 않도록 하기 위한 대책이 검토되는 등 국민들의 큰 관심이 되기도 하였다.

그에 반해 도시에 있어서도 홍수로 인한 혼란이 자주 발생하고 있으나 그 발생의 피해지역이 비교적 좁다는 것과 그 피해정도가 작다는 것 또한 지속시간이 짧은 것 등의 이유로 인해 그와 같은 내수배제의 문제에 기인한 혼란이 큰 사회문제가 되는 경우는 대하천의 제방붕괴 등에 의한 혼란에 못지않게 큰 사회적 이슈가 되는 경우는 적다. 신문으로 말하자면 대하천의 홍수는 일면 톱기사로 다루어지고 있지만 도시내의 그것은 지방판의 작은 기사로 다루어지는 경우가 많다.

대하천의 홍수는 Flooding 이라고 표현되고 유역에 내린 비가 하천에 배제되어 하도에서 배제되지 않고 흘러 넘치는 현상을 말한다.

한편 도시내의 홍수는 하천에서의 흘러 넘치는 현상에 의한 경우도 있지만 그때의 하천은 도시내를 관통하는 하천이고 비교적 중소하천의 많은 경우에는 도시 내에 발원지를 가진 하천인 경우가 많으며 이러한 중소하천으로부터의 홍수가 하천에 배

제되기까지의 내수(內水)에 의해 발생하는 경우가 많다. 그러므로 이와 같은 범람을 홍수와 구분해 침수(Inundation)라고 정의한다.

도시형 수해로써의 침수가 언제부터인가 그 시점을 생각해 보면 바로 도시의 발생과 동시라고 해도 과언이 아닐 것이다. 인간은 물이 있는 곳에 생활의 터전을 만들었지만 그것은 동시에 침수의 위험성을 함께 한 것이라 할 수 있으며 그 접점(接点)은 치수대책이나 기술의 진보와 함께 하천으로 이동하여 나아가고 있다고 할 수 있다.

일반적으로 홍수는 불규칙적이고 그 발생을 예측할 수 없는 것이지만 지금까지의 교훈과 경험에 의해 여러 가지 대응책이 강구되어 왔으며 어느 정도의 성과를 얻을 수도 있었다. 그러나 도시화가 급격히 진행되면서 예상 밖의 피해가 생기기 시작하였다. 그 큰 이유는 배수시설의 정비에 의해 홍수가 집중되기 시작하였으며 지금까지는 지표면과 요지(凹地)에 저류 되어 있다든지, 침투되어 있었지만 지표면의 불침투화(不浸透化)에 의해 침투되지 않은 표면류로써 유출된다든지 하는 것을 들 수 있겠으나 실제로는 두 가지 효과가 동시에 유출의 집중화 현상을 심화시키고 있다.

일본의 경우 이와 같은 도시화에 의해 빗물 유출의 집중화가 명확히 인식된 것은 1965년 9월의 태풍이라고 한다. 이때의 강우는 강우시간 11시간, 총 강우량 400mm, 최대강우강도 76mm/hr 의 대형태풍에 의한 강우이고 대략 동경 전역에서 침수가 발생한 것이다. 우전천(隅田川)의 침수는 홍수

* 회원, 경희대학교 토목공학과 교수

형이라고 할 수 있지만 탄천(呑川), 목흑천(目黑川)[북택천(北澤川), 조산천(鳥山川), 사봉천(蛇崩川)], 신전천(神田川)[묘정사천(妙正寺川), 선복천(善福川)], 석신천(石神川)의 중소하천에는 지금까지 경험한 적이 거의 없는 홍수와 침수를 볼 수 있었다. 이들 유역에서 홍수의 피해경험이 거의 없는 지역주민에 이 홍수가 미친 충격은 대단히 큰 것이었다.

그때까지 동경에서의 중소하천의 안전도는 강우강도 30mm/hr 이고 유출계수 0.4~0.6이었지만 이 태풍의 강우강도는 계획치를 훨씬 넘어 각 지역 내의 유출계수의 증가로 인한 피해였다. 그 후 동경에서는 설계강우강도를 50mm/hr로 하고 유출계수도 0.6~0.7에 대응할 수 있도록 개수(改修)를 시작했다. 그러나 지가(地價)의 상승과 하천연안의 토지이용이 과밀화되고 있기 때문에 하천의 개선 계획이 충분히 진전되어 있는 상태는 아니라고 한다. 우리나라의 경우도 1990년 9월의 홍수때만 해도 많은 서울의 일부 지역이 침수되어 피해가 엄청났으며 이 역시 내수배제능력의 부족에 기인한 것이며 우리에게 교훈적인 것을 시사하고 있다.

근자 주택문제해결 대책으로 수도권을 비롯한 대도시지역의 급격한 도시화와 하천주위의 이용 고도화는 하천유역의 안전도를 악화시키는 요인이 되고 있다.

이와 같은 시가화(市街化)에 대해 지금까지는 하천의 통수단면적을 증가시키려고 여러 가지 노력을 해 오고 있지만 예상치 못한 상황이 발생할 가능성이 높아지고 있다. 여기서 재래의 제방증축, 하상굴착, 하도폭의 확대라는 이제까지의 하천수에 대한 대응만이 아니라 유역 전체에서의 유출억제를 도모하는 방안이 검토되어야 할 것이다. 구체적으로는 개발과 함께 유출량의 증대를 억제하는 시설설치의 의무화와 개인주택, 공동주택, 기타 공공시설에 저류시설을 설치하는 것이 있을 수 있다.

일본의 경우 단지 내 집수면적 5.59ha인 경우 주차장 등으로 이용할 수 있는 공간을 저수지로 활용하였을 때 (담수심(湛水深) 4.5~28cm) 저수지면적 4671m²에 총저류량 1223m³의 단지저수지 공간을 확보하는 효과를 내는 단지배치계획의 예를 들 수 있다.

우리 나라의 경우도 이와 같이 신도시 개발이나 구도시의 정비시에 홍수를 하도에서만 대응할 것이 아니라 유역자체에서 대응할 수 있도록 유도함으로써 그와 같은 사례가 점차-증가하게 되면 각 지방자치단체의 경우 택지개발기준(치수목적은 아니지만 그 중에서 치수상의 항목을 포함)을 제정해 개발후의 계획강우(計劃降雨)에 대해 유출량을 개발전의 유출량이하로 하는 것을 의무로 하는 방향으로 유도할 수 있을 것이다.

2. 하수도정비에 의한 우수유출 시스템의 변화

하수도를 정의하면 하수는 생활 또는 사업에 기인하는 오수(汚水)와 우수(雨水)라 정의되고 이 하수(下水)를 안전하게 배제(排除)하기 위한 시설과 그것을 보완하기 위한 시설전체를 하수도라 정의할 수 있을 것이다. 보다 구체적으로 말하면 수세식변소와 부엌, 목욕탕 등에서부터 발생하는 오수와 부지(敷地)에 내리는 비를 안전하게 다른 피해를 내지 않고 방류되게 하는 시스템을 하수도라 할 수 있을 것이다.

이 정의에 의하면 하수도의 역할에는 빗물의 억제가 포함되어 있으며 실제로 하수도가 정비되면 빗물유출의 메커니즘이 정비 이전과 완전히 달라져 그 결과로써 빗물의 집중현상이 일어나는 것을 경험적으로 알 수가 있다.

93년도 말까지의 우리 나라 하수도 보급률은 전국평균 60.5%이며 서울 95.9%, 부산 49.2%, 대구 78.9%, 인천 84.1%, 광주 41.4%, 대전 68.8%, 경기도 70.0%, 강원도 50.5%, 충청북도 63.1%, 충청남도 33.3%, 전라북도 51.5%, 전라남도 41.2%, 경상북도 47.5%, 경상남도 62.8%, 제주도 31.0% 등으로 상당히 높은 편이나 대도시지역과 중소도시, 농촌지역간의 불균형이 심한 편이다.

한편 학교, 병원 등의 공공시설과 백화점, 음식점 등의 영업시설에서는 하수도 미정비 시설지역에서도 공동정화조가 설치되어 실질적인 수세화가 실행되고 있고 수세식변소를 이용하고 있는 사람은 전국적으로 많아지고 있다.

이와 같이 수세화가 전국적으로 확대 실시되고 있으며 더욱 수세화에 대한 요구가 증가될 것이며 재

래의 하수도 건설은 대도시 중심이었지만 저밀도지역, 농촌지대에도 실현되게 되었다. 이럴 때 요구되는 시책은 반드시 대도시형의 공공하수도가 아니라 각 가정에 설치된 정화조의 경우도 있을 수 있지만 어쨌든, 하수도 보급시스템은 확대될 것이다.

이 하수도 정비의 진행은 우수배제 시스템의 정비와도 밀접한 관련을 갖고 있다. 하수 시스템으로는 분류식, 합류식의 두 가지가 있고 공공용수역 특히, 하류유역의 폐쇄수역의 수질보존을 위해 분류식이 채택되게 되었지만 분류식 하수도 정비지구에 있어서도 어떤 형태로든 우수배제 시스템의 정비가 실행되는 곳이 많다.

강우는 어떤 곳에도 내리고 자연적으로 만들어진 수로(강우에 따라 장소가 이동하는 것도 있을 수 있다)를 통해 최종적으로 하천, 호소, 바다로 유출하는 것이다. 도시화되기 이전의 그것에 대해 배수 시설은 농업배수로에 있었거나 증소하천에서 있었다. 그러나 도시화 특히, 지붕이나 도로 등의 불침투면의 증가에 따라 재래의 수로는 없어지거나 흐르지 않게 되었다.

각 가정에 내린 비는 지붕에 설치된 물받이로부터 배제되지만 일반적으로 가옥주변이 습기를 갖는 것을 싫어하므로 부지에서 빨리 배제하는 것이 바람직하기 때문에 부지내의 배수시설이 설치된다. 이것은 분류식 하수도의 우수관의 정비와 동시에 이루어지는 것이 많다. 도시화된 도시의 하수도가 합류식인 경우에는 하천에의 하수출구까지는 우수도 빗물도 함께 하수도관에 유입하기 때문에 합류식 하수도의 정비는 우수배제 시스템의 정비를 동시에 시행한다.

일반적으로 하수도 정비에 행하여지는 계획강우는 50mm/hr이고 하도가 그것에 대응된다면 문제가 없으나 하도의 유하능력이 50mm/hr에 대응하지 못하면 하수도정비지구의 하류부에서 침수를 일으킬 위험성이 커진다. 그러나 그렇다해도 그같은 지역의 하수도 정비를 하천개수가 종료될 때까지 기다릴 수 없고 또 경우에 따라서는 하천개수가 경제적인 측면에서 어려울 경우도 있을 것이며 그 때문에 하수도 Side에 있어서 우수유출을 억제할 필요가 있다고 할 수 있다. 또한, 도시지역에 있어서의 침수대책을 하도대응(河道對應)만으로 해결하는

것은 현실적으로 불가능한 상황이 되어가고 있다. 특히, 수도권 도심부의 지가가 오르면 오를수록 그 실시가 곤란하게 될 것이며 그 점에서 유역으로 대응하는 방안을 생각해야만 될 것이다. 유역으로서의 대응이란 결국은 빗물을 저류시킬 것인가 침수시킬 것인가 하는 문제와 그것을 어떻게 실제로 적용시킬 것인가 하는 문제가 될 것이다.

여기서 이와 같이 저류 또는 침투를 시킨다는 것은 처음 제안되는 것은 아니지만 이제까지의 하천사업, 하수도사업에서 실시되었던 방법과는 그 목적자체가 다른 것이라 할 수 있다. 재래의 하천, 하수도사업은 빗물을 어떻게 하면 빨리 배제할 수 있을까 하는 것이 문제였기 때문이다.

여기서 제기할 저류 또한 침투는 하수도에서도, 하천에서도 기본적으로는 같지만 그것을 설치하는 경우 다른 시설과의 관련에서 별도로 시행하는 편이 효율이 좋을 경우도 있다.

그리고 하천 Side에서 실행된 이 저류, 침투기능의 정비사업을 「종합치수사업」이라고 말할 수 있을 것이다.

3. 도시유역에 있어서 최대유량 감소효과 의 실제(實際)

도시화와 함께 인간으로써 건강하고 살기 좋은 도시주거 환경을 창조하려는 요구는 많은 자연 환경 공학적 문제뿐만 아니라 사회적, 경제학적 문제를 가져온다. 도시계획자, 도시수문학관련자 및 그 외의 여기에 관여하는 기술자는 이러한 문제를 해결해야만 할 것이다. 도시배수(都市排水) 시스템은 차츰 복잡해지면서 상당히 고도화되고 적당한 대책을 제때 세우지 못하면 새로운 문제를 일으키게 된다.

전통적인 도시우수 배수 시스템설계자의 주요한 목적은 “가능한 한 빨리” 또는 “될 수 있는 한 빨리” 강우를 모아 하수관으로 인도하는 것이다. 이러한 방법을 도입하면 지속시간이 짧은 강우에 대해 큰 최대유량을 유하시킬 수 있게 될 것이다.

현재의 시스템에 있어서는 도시화가 진행되면 하수도관의 배수능력이 모자라게 될 것은 당연할 것이며 목적을 달성하기 위해 기존의 하수관을 확폭(擴幅)하거나 새로운 하수관을 기존의 것과 병행

하여 설치하는 것이 필요하게 된다. 이같은 대책으로서 특히, 밀집지나 좁은 도로에서는 경비가 많이 들 뿐 아니라 여러 가지 부수적 문제점을 야기하기 때문에 다른 대책을 구하지 않으면 안된다. 이러한 경우 대안이 바로 유역에서의 강우유출 억제대책이 될 것이며 최대유량을 감소시키는 방법을 고려할 경우 2가지의 중요한 해결방안을 구분하여 고찰할 필요가 있다. 즉,

- ① 하수관의 용량을 변화시키지 않고 최대유출량을 줄이는 방법
- ② 어떠한 홍수강우에 대해 최대유출량과 총유출량을 줄이는 방법

2번째의 방법은 가장 바람직하지만 항상 실현 가능한 것은 아니다. 하수관의 최대유출량을 감소시키는 가능한 방법으로써는 강우가 지표에 도달하는 전후 순환과정에서 실행될 수 있을 것이다. 일반적인 도시유역을 생각해 본다면 다음과 같은 지표조건을 생각해 볼 수 있다.

a) 불침투면(고전적인 의미로)

- 1) 지붕
일반적인 강우를 저류시킬 수 있는 평면이지만 사면도 있다.
하수관에 직접 접속되어 있는 경우가 많지만 마당등의 침투면에 강우를 인도, 침투 시키는 경우도 있다.
- 2) 포장면 (콘크리트, 아스팔트)
주차장, 운동장, 보도 등(일반적으로 어느 정도의 강수저류가 되는곳, 되지 않는 곳도 함께 포함)
- 3) 도로, 그 외 지하수관에 연결되어 있는 지표면

b) 침투면

- 1) 침투능이 높은것
- 2) 침투능이 낮은것
- 3) 거친땅(황무지)

c) 개수로와 암거

- 1) 일반적인 강수저류가 되는것
- 2) 현저히 저류능력이 떨어지는것

d) 강우조정시설과 강우저류시설

만일 가능한 한 빠르게 배수시키는 것을 생각해 보면 최대유출량을 감소시킬 가능성을 생각하지 않고 모든 지표면에서의 강우를 신속히 하수도 및 하천에 방류할 수 있도록 기술적 수단과 대책을 세우는 것이다. 이같은 공법에는 간선(幹線), 지선(枝線)하수관은 크고 상당히 고가의 것이 될 것이다.

특별한 대책이 없는 경우라면 최대유량을 감소시키는 효과는 강수가 내려 위에서 언급한 지표를 흐르는 단계마다 비교적 작을 것이며 효과를 증대시키기 위해서는 흐름의 모든 단계에서 최대유출량감소를 위해 여러가지 방법을 강구할 필요가 있을 것이다.

각 단계마다 최대유량을 감소시킬 수 있는 방법은 크게 2개군으로 구분할 수 있을 것이다.

- 1. 시설을 도입함으로써 유출량을 감소시킨다.(소극적 방법)
- 2. 적절한 운영과 실시간 제어에 의해 유출량을 감소시킨다.(적극적 방법)

첫번째 방법에서는 운전관리인과 자동감시 장치의 조작을 필요로 하지 않는 방법이 쓰이는 일이 많을 것이다.

두번째 방법은 자동관리 제어하에 있게 되는 경우가 많을 것이며 다음과 같은 방법이 있을 수 있을 것이다.

- (1) 유효강우의 감소
- (2) 유출조절 장치의 조작
- (3) 조정, 저류시설의 운전관리
- (4) 간선하수관, 펌프장, 차집거, 지하저류시설에서의 저류량, 유량의 실시간제어

첫번째 방법(소극적 방법)으로서 물이 지표면과 지하하수관 그 외의 배수시설을 흐르는 곳에 이용될 수 있는 것으로써 그 조작은 운전관리인과 자동감시 장치의 조작하에 이루어지지 않는다는 것에 주의할 필요가 있다.

(1) 지표면에 있어서 체류효과의 증가

어떤 일정량의 물은 항상 지표면에 보존 유지된다. 예를 들면 미끄러운 표면에 있어서도 일부 저류가 된다는 것은 잘 알고 있는 사실이다. 실제 유역에서의 자료에 대한 수학적 모델로부터의 분석에

의하면 이 저류량은 수mm에 달하는 것으로 알려져 있지만 유역표면의 일부를 적당한 것으로 대체하거나 유지관리를 적절히 실행한다면 저류량을 10배 이상 올릴 수도 있을 것이다.

실시 가능한 방법으로는 다음과 같은 방법을 예로 들 수 있을 것이다. 실시 가능한 장소로 실시로 인한 다른 장애가 없는 곳에서는 조도를 높여서 지표면을 불규칙하게 하는 방법이다. 그 예로는 구멍 뚫린 특수 콘크리트 블럭(투수판)을 사용한 주차장을 예로 들 수 있다. 주차장만이 아니라 보도라든가 기타 도로의 일부도 가능할 것이며 침투성 지표면의 경우는 잔디의 높이를 조절함으로써 지표의 조도를 높이고 지표면에서의 저류효과를 증대시킬 수 있으며 뿐만 아니라 단지내의 녹지공간을 평면으로 할 것이 아니라 완만한 굴곡을 줌으로써 자연경관에 근접한 환경친화적인 공간이 될 뿐더러 저류공간으로써의 역할도 할 수 있도록 하는 방안이 될 것이다.

(2) 지표류의 일시저류

지표수의 일시저류는 지붕, 불침투면, 침투면 등의 모든 지표면에서 일어날 수 있으며 저류가 발생하는 지표면의 보수능력에 따라 유출수문곡선이 변화할 것이며 일반적으로 최대유출량의 감소효과가 발생하게 될 것이다. 이런 것들은 시설에 따른 유출억제에 속하며 예를들면 지붕위에 조약들을 올려놓거나 탱크를 만드는 방법 등에 의해 유출을 늦추고 최대유량을 감소시킬 수 있을 것이다.

물론 최대유출량 감소 해결방법의 일부로 채용하기 전에 이러한 방법에 의한 역효과를 충분히 검토할 필요는 있을 것이다. 이런 방법을 적용할 때는 전유역에서의 유출량을 산정해서 효과를 검토할 필요가 있으며 이 효과를 고려한 적절한 유출 Model을 사용함으로써 효과를 파악할 수 있을 것이며 여러 가지 대안들을 종합적으로 비교 검토할 수 있을 것이다.

(3) 침투역(浸透域)의 증가

도시유역의 어떤 지역에 있어서 불침투면을 침투면으로 하는 것도 충분히 가능하리라고 본다. 지표면의 형태를 바꾸는 것으로도 유출을 억제하는 것

이 가능할 것으로 생각된다.

(4) 침투면과 침투능의 증가

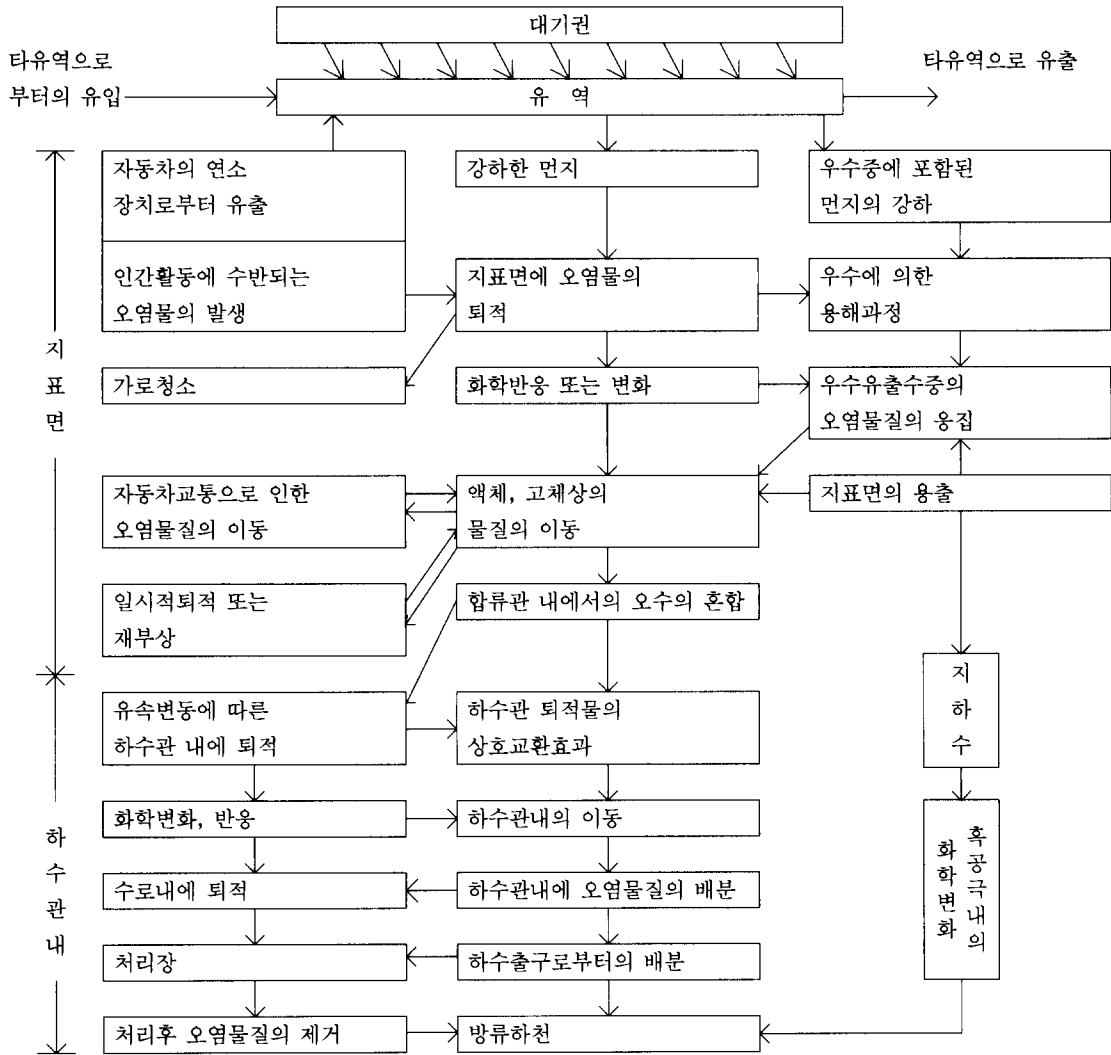
- ① 불침투면에서 식물에 덮여 있는 표면의 횡방향으로의 물이 흐르도록 함으로써 평면침투를 일으킨다. 이것은 불침투면을 수리학적으로 유효하지 않은 불침투면으로 바꾸는 것을 의미한다. 그리고 최대유량 발생시점을 늦추어서 그 양을 감소시킬 수 있으며 그 효과는 극히 생각보다 크다고 알려져 있다.
- ② 평탄유역의 침투(표면저류와 침투의 조합)
- ③ 다공성포장(多孔性鋪裝) : 불침투면에서의 침투의 증가
- ④ 통이나 우물에 의한 침투 : 보통 조약들이 깔려져 있다. 소규모의 불침투면에 대해서는 이와 같은 방법으로 대처하면 침투유량을 현저하게 감소시킬 수 있다.
- ⑤ 트렌치에 의한 침투(하부에 다공관(多孔管)을 넣은 조약들을 채운 배수구)
- ⑥ 투수성(透水性) L자 측구에 의한 침투
- ⑦ 침투와 저류의 조합
- ⑧ 테라스, 평탄부에서의 유출수의 배분

이러한 방법은 토양상태, 충전물(充填物) 경계면에 틈이 생기지 않도록 적절한 관리유지를 함으로써 효율을 올릴 수 있다.

두번째 방법(적극적 방법)에 의한 경우에는 운전관리인 또는 자동제어를 필요로 하며 적극적 방법과 소극적 방법을 엄밀히 구별하는 것은 곤란하지만 여기에 속하는 것으로는 다음과 같은 것이 있다.

(1) 강우량의 감소

그 가능성은 지금까지 완전히 연구된 것이 아니고 싸락눈 즉, 얼음대책에 국한되어 있다. 뇌운(雷雲)의 방향을 바꾸거나 로켓트를 뇌운에 쏘아올려 얼음을 녹이는 것은 오늘날 실제로 이루어지고 있으며 같은 기술이 최대유량을 감소시키는 방안으로 사용될 수 있을 것이다. 전선상(前線上)의 구름을 줄이기 위해 같은 기술을 응용하여 도시지역에서 높은 침투능이 있는 지역으로 비를 이동시키거나 큰 강우에도 홍수가 일어나지 않는 지역으로 구름



도시지역의 오염유출 메카니즘

을 이동시키는 것은 가능하고 유익하다고 생각되어진다. 그러나 현재로서는 채택하기 어려운 기술일 것이다.

(2) 조정 (調整), 저류설비의 조작법

이러한 시설에 대해 많은 방법이 있지만 가장 간단한 수리학적 원리에 따라 조작하면 될 것이며 자세한 내용은 Poertner(1974)의 보고서나 Wanellista(1978)의 논문 등을 참조할 수 있을 것이다.

(3) 유량 조절 장치

분수(分水), 월류, 그 외 장치가 이 대책에 들어간다.

(4) 여러가지 시스템을 가진 지역에서의 실시간 억제와 유출량

대개 여기에 속하는 시스템들은 폐회로상태의 수로망이나 간선하수관, 펌프장, 차집거, 처리시설, 지하저류시설 등으로 구성되어 있다. 기존의 시스템을 이용해 빗물을 재분배하기 위해 그 운전역제

나, 시뮬레이션 규칙 등을 위해 PC컴퓨터 등이 이용된다.

지금까지 각각 설명한 방법들의 효과는 토지이용, 지표면, 조도, 불포화 토양, 포화침투능에 적용된 기술 등에 따라 크게 다르지만 시스템의 유지관리가 매우 중요하다.

4. 수질문제

불행히도 공장과 교통량이 많은 도시지역에서는 홍수류가 깨끗하지 못하며 배수계(排水系)에 있어서의 오염물 유출의 과정을 보면 지표면에서의 인간활동, 가로청소, 자동차교통, 하수관내에서의 유속변화에 따른 퇴적, 화학변화 또는 반응 등에 의해 오탁물의 발생, 교반, 유출이 발생하게 된다.

지하수 수질과 우수침투에 관한 장기간에 걸친 충분한 연구가 없기 때문에 여러가지 기술의 응용과 그 추진(推進)에 동반되는 문제에 대한 결론은 의견이 나누어져 그 차이가 상당히 크다. 예를 들면 독일의 연구를 총괄한 Sieker(1984)에 의하면 “법적으로 허용하는 강우침투는 지붕과 정원의 유출로 제한한다”라는 즉, 침투는 온사이트(On-Site)의 침투로 제한해야만 한다고 규정하고 있다. 교외의 도로에서의 자연 발생적인 침투는 어쩔 수 없지만 도로배수에서의 침투는 권장할 만한 것이 못된다고 규정하고 있다. 그러므로 도시유역 전체에서 유출한 우수를 한꺼번에 모아, 예를 들어 집중된 침투시설은 권장하지 않는다. 한편 어떤 지역에서는 우수침투가 발생한 지하수의 Sample을 분석한 바에 의하면 수질에 중대한 영향을 미치지 않는 것으로 밝혀진 곳도 있다. 지하수 자원을 보급하면서 도시유역의 기저유량을 공급하는 등, 긍정적인 면의 효과가 강조되고 있는 곳도 있다.

우수침투에 의한 지하수 오염의 일반적인 결론은 각각의 경우에 따라 판단하여야만 한다는 것이다. 침투가 허용된 지역이라는 것은 지하수가 한 방향으로 흐르고 있고 지표면에 유출하는 지점에는 응용수로 사용되지 않는 지역에 국한되어야 할 것이다.

역으로 수수역(受水域)의 수위변동에 의해 지하수의 이동방향이 변화하는 경우는 지하수오염이 예

기치 않은 지대에 영향을 미치는 경우가 있다. 다음으로 지하수를 이용하기 위해 Pump up 시키는 경우에는 지하수 수질오염의 효과와 예측을 위해서 지하수흐름의 동역학적 시뮬레이션을 행하여야만 할 것이다.

지금까지의 최대유량을 줄이는 방법은 새로운 기술이 아니고 이전부터 있어왔던 방법이라고 할 수 있으며 이것은 어떤 의미로는 지역내에 있는 저류용량을 이용해 저류시키되 저류용량을 초과하는 것만을 우수로써 배수시키자는 것이다. 앞으로 우리는 실시간제어에 더해서 계속 환경적으로 엄격한 조건 하에서 유역의 저류능력을 어떻게 활용할 것인가를 연구해 나가야만 할 것이다. 강수배수중에 고농도의 오염물질이 존재하기 때문에 지하 어디에서도 우수를 간단하게 처분해서는 안된다. 수질을 긴 안목으로 보고 처분 전에 지하수의 장기간 영향을 연구해야만 할 것이다. 이것은 특히 유역에서의 유출억제 책으로써 침투를 증가시키는 방안이나 지하유수지 또는 저장탱크 등을 설치하는 경우(일본의 경우 실제 예가 있음) 충분히 검토해야만 할 것이다.

재현기간을 넘는 극도로 큰 강우가 발생할 때에 대비한 시설용량, 자연상태 혹은 침투능을 증가시킨 경우에 포화대와 불포화대의 토양침투능과 토양 종류의 차이에 따른 신뢰할 수 있는 데이터 베이스 구축과 기존 데이터 베이스와의 결합, 대수층에 있어서의 오염물질의 영구적인 축적작용의 영향, 경계면의 영구적인 폐쇄의 문제, 침투감소 기술이 효력을 발생한 후의 홍수발생의 확률분포, 도시우수 유출모델의 부(副)모델로써 유출량 억제시설의 도입에 의한 유량의 추정과 유량감소 기술의 경제평가 등의 연구가 차후의 연구과제가 될 것이다.

5. 결 언

인구의 도시집중 현상이나 신도시개발 또는 구도시의 정비 등을 하천유역의 관점에서 보면 국토면적의 10% 정도에 지나지 않는 하천변의 총적영양이 생산과 생활의 기반이 된 것이지만 도시근교의 저지대로써 평지부분에 입지가 진행되어 하천범람 구역내의 인구, 자산의 집적도가 높아지고 있다고

설명할 수 있을 것이다. 범람구역내의 입지비율이 증가한다는 것은 그만큼 데미지 포텐셜(Damage Potential)이 증대한다는 것을 의미하기도 한다. 또한 도시화에 수반된 토지이용의 변화는 물 순환 형태의 변화를 통해 하천에 큰 영향을 미쳤다. 도시하천이라 하더라도 그 규모, 형태는 여러 가지로서 대하천의 지천인 경우, 중규모유역을 갖는 단독수계, 소규모유역의 단독수계 등이 있다. 대수계의 일부인가 아닌가를 떠나 도시화가 진행된 유역을 갖는 중소규모하천의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 유역면적이 작기 때문에 도시화에 의한 영향을 현저히 받는다. 대하천의 경우는 수원이 산지이고 유역면적이 크기 때문에 절반이상이 도시적 토지이용에 사용되는 것은 상상할 수 없을지 몰라도 중소하천의 경우는 50% 이상 100% 가까이가 도시화될 수도 있을 것이다. 이에 동반해 홍수도달시간의 단축이나 침투유량의 증가라는 영향을 현저히 받아 침투홍수량이 종전의 배이상 증가될 수도 있을 것이다. 또한 하천개수라든가 하수도의 정비에 의해 유출형태의 변화도 대하천보다 선명하게 나타나 도시화에 의해 침수형태도 크게 변화할 가능성이 크며 이러한 요소가 충분히 반영되어야 할 것이다.
- (2) 유역면적이 작으므로 인해 매스스케일의 경우 뿐 아니라 마이크로스케일의 경우에 의한 영향을 크게 받는다는 것을 들 수 있다. 기상현상에는 대륙성고기압에 의한 경우와 같이 스케일이 큰 경우에서부터 집중호우와 같이 수십~10000km²의 넓이를 갖는호우, 작계는 적운(積雲), 적란운(積亂雲)같이 100km²이하 수십km² 규모의 경우가 있으며 구름의 라이프타임도 긴 것에서부터 1시간 미만의 것까지 있다. 유역규모가 작은 하천은 집중호우나 뇌우의 영향을 예민하게 받아 불의의 집중호우의 내습에 의해 큰 피해를 받을 수 있다. 더구나 종래 전원지대에서는 허용되던 담수심(湛水深)도 도시지역에서는 허용되지 않게 되고 수해로 인식하게 된다. 이와 같은 단시간 집중형 호우에 대해 배수로의 정비나 하천의 홍수능증대

와 같은 배출형 시설만으로 대응하는 것은 비효율적이며 또한 초과홍수시 그 하류지역에 침수우려가 있기 때문에 강수처리의 효율성과 위험분산이란 관점에서도 유역내의 유출억제 시설을 적절히 배치할 필요가 있다.

- (3) 수방이나 홍수에경보, 대피측면에서도 도시중소하천의 경우 홍수에경보활동에 대한 시간적 여유가 부족하며 홍수도달시간이 2~3시간 이하가 되면 수방단을 수집, 수방활동을 통해 대피시킨다는 것은 극히 어려울 것이다.

이때문에 정보전달 시스템의 개선과 동시에 주민의 자발적 활동이 불가결하지만 도시수해가 문제가 되는 곳은 최근 개발되었거나 정비되어 주민 대부분이 비교적 최근에 이주하였으며 일반적으로 방재에 대한 의식도 낮다고 할 수 있다.

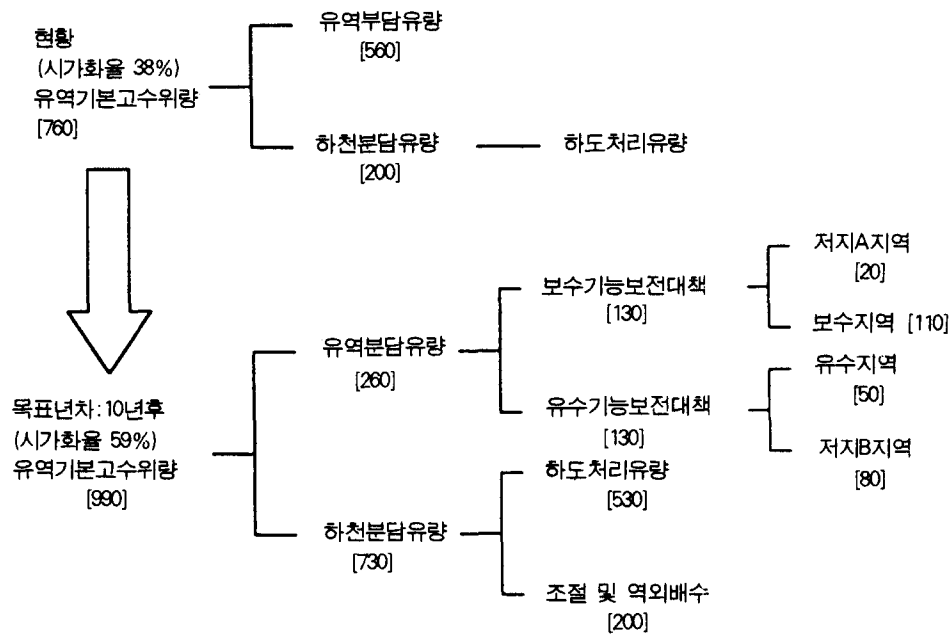
- (4) 침수시스템이 상당히 복잡하게 되어 있는 경우가 많을 것이다. 그래서 강우의 규모가 어느 정도 이상이 되면 하수관거에서 맨홀을 통해 흘러 넘치는 등 침수시스템간에 상호 간섭현상이 발생하기 쉽다.

또한 하구에 가까운 지역의 도시하천의 경우는 조위나 합류부의 하천수위의 영향을 받아 복잡한 수리현상이 일어나며 양수기의 조작이나 수문의 조작 등이 짧은 시간에 이루어져야 할 경우가 많다.

- (5) 침수구역내의 인구, 자산의 밀도가 높을 뿐더러 중추관리기능의 집적도가 높다. 또한 토지이용도가 높기 때문에 하천개수를 시행하기 위해서는 거액의 용지비와 수많은 관계자간의 의견조정이 어렵다.

이상과 같이 도시가 발달되어 있거나 새로이 개발되는 도시화지역에 위치한 대부분의 중소하천유역의 특성 때문에 하도로운 홍수에 대응한다는 것은 상당히 어려우며 비경제적일 수 있다. 또한 뒤의 예시도에서 보는바와 같이 어떤 지역이 도시화되므로써 유역에서 부담할 기본홍수유량의 비율은 감소하고 하천에서 부담할 홍수유량의 비율은 커진다.

도시의 정비나 신도시의 개발, 주택단지의 개발사업 전에 충분한 유량분담계획을 세워 유



유역분담 계획표(예)

역기본계획홍수량중 유역에서 분담해야할 홍수량을 추정하고 그에 맞는 유역에서의 유출억제시설의 설치를 의무화해야 할 것이다.

유역에서의 유출억제시설의 설치는 결국은 유역의 보수(保水)기능을 확보하기 위한 수단이며 지금까지는 대규모 신규개발지역에 대해서는 집중형유수지의 설치나 하도정비 등으로만 대응하였으나 앞으로는 정비, 개발의 규모나 지역특성에 따라 1ha당의 저유량을 할당해 유역에서의 유출을 억제할 수 있도록 앞에서 언급되었든 시설들에 대한 규정을 설정하여야만 할 것이다.

일반적으로 대규모개발의 경우는 500~600m³

/ha, 소규모개발에 대해서는 300~400m³/ha 정도를 할당하는 경우가 많은 것으로 알려져 있다.

기성의 시가지에 대해서는 유역자체에 큰 폭의 분담을 나누는 것이 곤란하므로 공공시설에 의해 대응할 수 밖에 없는 것이며 국가에서 사유지의 저류, 침투시설에 대한 보조금의 지급도 검토해야 할 단계가 아닌가 생각된다. 기타 주택단지의 동과 동사이, 공원, 학교의 운동장 등 현지의 저류시설, 기타 침수통, 트랜치 등 침투형 유출 억제시설에 대한 규정이나 실시에 따른 제반사항이 적극 검토되어야 할 것이라고 생각된다.