

도시형 침수 예방을 위한 공간디자인 전략*

이은석
건축도시공간연구소
부연구위원

도시형 침수의 개념과 공간디자인 전략의 필요성

최근 우리가 느끼는 기상현상은 경험의 범위를 넘어서고 있다. 국지성 집중호우의 빈도를 보면 그렇다. 최근 발생하는 국지적 집중호우는 도시 내 지하 배수관로의 용량을 일시적으로 마비시켜 짧은 시간이지만 침수를 유발하고 이내 사라진다.

그러나 피해는 흔적을 남긴다. 우리는 2010년과 2011년 서울 등지에서 이러한 현상을 목격했다. 비단 우리나라만의 문제가 아니다. 도시화가 오래전부터 진행되어 온 세계적 도시들도 최근 자주 겪는 문제이다. 전문가들은 국지성 집중호우에 의한 침수를 ‘도시형 침수’로 분류하고, 도시 내부 배수관로가 마비되어 모든 빗물이 지표에 모이는 특성을 고려해 ‘지표수 침수(Surface Water Flooding)’라고 일컫는다.

많은 연구자들은 도시 지표수 침수의 지리적 원인에 대해 ‘콘크리트와 아스팔트 등 불투수 포장면의 증가로 인해 지하로 흡수돼야 할 빗물이 그대로 노출되기 때문’으로 보고 있다.** 아울러 환경적 원인으로 ‘기후 변화에 의한 국지성 집중호우의 빈도가 늘어나고 있기 때문’임을 제기하고 있다.***

* 이 원고는 2018년 2월 <Journal of Flood Risk Management>(SCIE)의 특집호 “Flooding and multi-hazards” Vol.11, Issue S2, pp. S838-S854에 실린 저자의 논문 “Design strategies to reduce surface water flooding in a historical district”를 바탕으로 재작성하였음

** Brattebo and Booth, 2003; Tague and Pohl-Costello, 2008; Jacobson, 2011; Ogden et al., 2011; Amaguchi et al., 2012; Du et al., 2012; Fletcher et al., 2014.

*** Gómez et al., 2010; Niemela et al., 2010.

웹 브라우저로 지도서비스를 접속해 항공사진을 열면 도시가 어디에 있는지 쉽게 볼 수 있다. 오래된 도시일수록 넓으면서 평탄하고, 많진 않지만 개울이나 하천이 그 사이를 잔잔히 흐른다. 대체적으로 하류지역이다.

그러나 최근 오랜 도시에서 새로운 개발은 어디에서 이뤄지는가? 경사지를 깎고, 더 이상 건축을 할 수 없는 곳까지 행해진다. 녹지는 애처롭기까지 하다. 도시 나이트는 평평하고 너른 장소에서부터 시작해 산지로 갈수록 좁다. 유역으로 보자면 상류유역이 도시 나이트가 최근에 만들어진 곳이다.*

우리가 아는 것처럼 물은 높은 데서 낮은 데로 흐른다. 이것은 2차원 선형이다. 3차원적으로 생각해 보면, 많은 물줄기가 높은 곳에서 낮은 곳으로 서로 경합하듯 흐르다가도 모여 합쳐지고 넓게 퍼진다. 개발 전에는 흙 입자가 스펀지처럼 빗물을 빨아들인다. 빗물은 지하수가 되어 눈에 보이지 않게 흘러 하천으로 나간다.

하지만 도시에서 빗물을 흡수할 흙 입자는 대부분 콘크리트 아래에 있다. 흡수되어야 할 많은 빗물이 그대로 콘크리트 표면에 이합집산하며 흐른다. 일부는 배수관으로 흘러들어 바로 하천으로 빠져나가지만, 배수관이 막히거나 그보다 많은 물이 몰려들면 지표수로 역류한다.

역류가 시작되는 지점은 대체로 오래전부터 개발된 하류지역이다. 상류지역이 개발되지 않았을 때 하류지역에 만들어진 배수시스템은 상류지역 개발에 따라 늘어난 배수용량을 감당하기에는 너무 좁다. 병목현상을 피할 수 없다.** 하류지역은 국지성 집중호우가 올 때마다 일시적 지표수 침수를 겪는다.*** 원인을 제공하지 않은 하류지역은 피해를 입고, 원인이 되는 상류지역은 영문을 모르는 딜레마가 시작된다.

쉽게 이해해 보자면, 최초로 정착한 하류지역 시민들은 그동안 겪지 않던 침수가 최근 잦아진다. 다른 지역에 살다 상류지역에 정착한 시민들은 원인을 제공하는 것조차 느끼지 못한다. 하류지역의 침수는 다른 동네 이야기로 여긴다. 대체적으로 지가가 비싼 하류지역은 배수체계를 개선하기에 많은 비용을 들인다.**** 공공은 이런 문제에 대한 전략적 해법을 찾아야 한다. 그 해법의 실마리는 공간적 원인에서부터 찾을 수 있다.

* Gómez et al., 2010; Niemela et al., 2010.

** Tague and Pohl-Costello, 2008.

*** Jacobson, 2011.

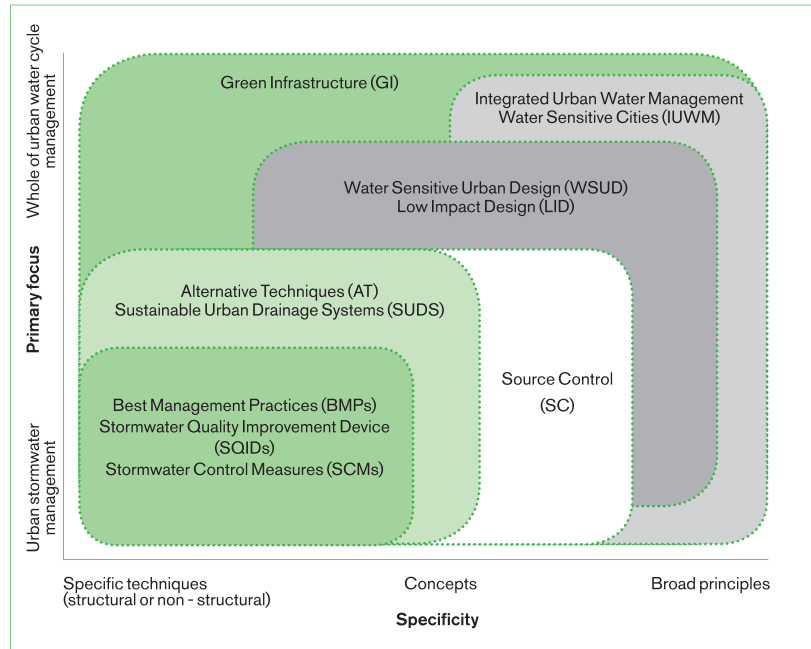
**** Wiechmann, 2008; Everard and Moggridge, 2012.

도시형 침수를 예방하기 위해 공간디자인을 고려해야 한다는 것은 아직 우리에게 익숙하지 않다. 그러나 이미 많은 나라에서는 이 개념 하나만으로도 다양한 키워드들을 만들어 연구와 실증과 정책에 반영해 나가고 있다. 키워드 간 위계를 정립해 둘 정도로 많은 진보가 있어 왔다. 지금까지 해외에서 통용되고 있는 키워드를 정리해 보면 다음과 같다.

그린인프라스트럭처(GI), 통합도시유역관리(IUWM), 물 민감성 도시(WSC), 물 민감성 도시설계(WSUD), 저영향개발(LID), 대체기술(AT), 지속가능한 도시배수 시스템(SUDS), 우수 질 증진장비(SQIDs), 우수 제어도구(SCMs), 원수 제어(SC), 최적화 관리기술(BMPs) 등이다.* 이 가운데 우리나라에 알려진 키워드는 그린인프라로 통용되는 그린인프라스트럭처와 저영향개발 정도이다.

이 키워드들은 기능적으로 보면, 공간적 관점과 특화된 대상의 차이를 갖고 있다. 공간적 관점은 대상 공간과 물을 바라보는 공간의 크기에 따라 도시빗물관리부터 전체 도시 물 순환관리를 범위로 한다. 특화된 대상

세계적으로 통용되고 있는 도시 물 관리를 위한 기법 유형과 기능적 분포도



자료: Fletcher et al.,(2014); Figure 1.

* Fletcher et al., 2014; Figure 1.

은 ‘특정 기술(Specific techniques)’에서부터 ‘개념(Concept)’과 정책적으로 활용될 수 있는 ‘원칙(Principle)’까지 폭 넓다. 예를 들어 그린인프라스트럭처는 도시빗물관리와 도시 물 순환 모두를 아우르는 특정 기술부터 개념, 원칙까지 포괄적 영역을 갖는다. 반면 저영향개발은 도시빗물관리에 관련한 특정 기술과 개념을 그 영역으로 한다. 이렇듯 선진국은 이미 도시형 침수와 관련한 공간적 개념과 체계를 갖추고 있다. 반면 우리나라는 아직 재해발생 시 피해 최소화를 위한 배수기술에 특화돼 있다. 따라서 아직 물 순환을 개념적으로 이해하고 예방을 위한 공간적 대안보다 생활지역으로 물려드는 빗물을 인접 하천으로 배출하는 기술에 머물러 있는 실정이다.

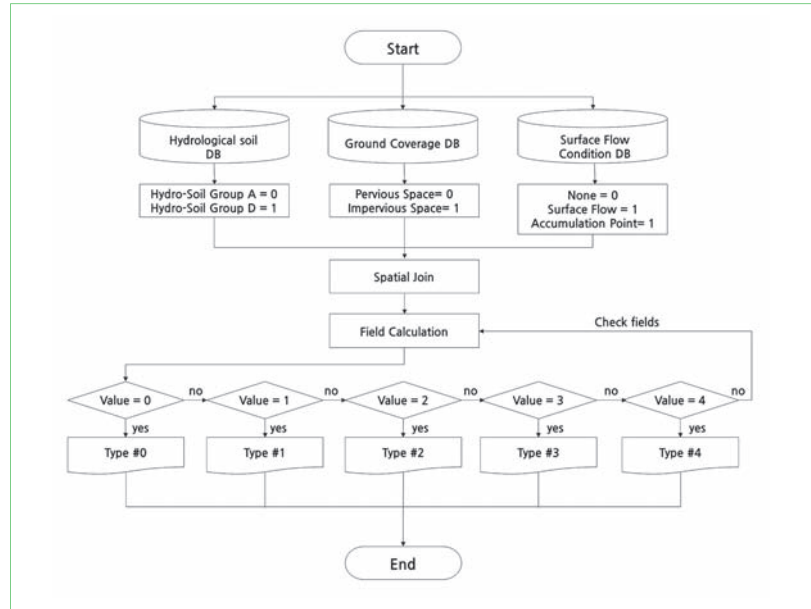
침수예방을 위한 공간디자인 개념과 원리

앞서 언급한 바와 같이 침수피해를 줄이고자 하는 인간의 노력은 국내외를 막론하고 오랜 시간 동안 고민되고 있는 과제이다. 오랜 고민에서 공통적으로 얘기하고 있는 침수피해 예방의 핵심적 원리는 ‘지표면에 흐르는 빗물을 상류에서부터 최소화’하는 것이다. 그렇다면 우리가 살기 위한 공간을 만들어 감에 있어 어떻게 적용해야 할까? 현재 우리 사회가 공간을 만들어 가기 위해 정해 놓은 제도범위에 맞춰 방법을 고민해 볼 수 있다.

우리 사회는 공간을 만들기 위해 도시계획을 정하고 도시설계를 한다. 도시계획과 도시설계에서 정한 범위 안에서 건축계획을 하고 건축설계를 한 뒤에 시공을 하는 과정을 제도화해 두고 있다. 각 과정의 교집합을 통해 물리적 공간을 만들게 된다. 각 과정은 공간을 만들기 위해 정해진 규칙을 정보화해 중첩한 일종의 층위(層位) 정보이다.

우리는 이 층위 정보를 활용해 도시형 침수를 예방하기 위한 공간디자인을 할 수 있다. 1960년대 미국 펜실베이니아의 저명한 조경가 이언 맥하그(Ian McHarg)는 중첩방법론(Overlay Method)을 만들었다.* 이는 다양한 공간정보를 중첩시켜 자연생태 피해가 최소화되는 지역을 우선적으로 찾아 개발 적합지를 결정하는 방법론이다. 개발 적합지를 찾는 중첩방법론을 응용해 보면, 도시형 침수가 어디에 많이 발생하는지도 진단할 수 있다. 반대로 도시형 침수에서 안전한 지역을 찾을 수 있으며, 나아가 도시형 침수의 지리적 인과관계를 파악할 수 있다.

* Herrington, 2010.



자료: Lee et al.(2016); Figure 4.

다시 도시형 침수 예방을 위한 핵심적 원리로 돌아가 ‘지표면에 흐르는 빗물을 상류에서부터 최소화한다’의 원리를 충족시키는 조건을 구분해 보자. 첫째, 빗물이 흐르는 방향을 알아야 한다. 둘째, 물이 흐르는 궤적이 불투수성 포장재로 포장되어 있는지 확인해야 한다. 셋째, 빗물이 흐르는 궤적의 하부 토양이 물을 잘 흡수하는지 알아야 한다.

이 정도만 알아도 도시형 침수에 영향을 주는 최소한의 요소는 충족된다. 이 조건을 파악하기 위한 기초 공간정보는 이미 공개된 정보이다. 우선 지리정보시스템(GIS)을 적절히 활용하면, 공개된 수치지형도를 통해 상류에서부터 하류까지 지표수가 지형을 따라 어떻게 흐르는지 분석된 정보를 만들 수 있다. 다음으로 생태자연도에 표기된 도로·건물·공원 등을 보면 지표면을 덮고 있는 재료의 정보를 분석할 수 있다. 마지막으로 토양도를 통해 배수성능이 좋은 토양층과 그렇지 않은 토양층의 분포를 공간적으로 파악할 수 있다.

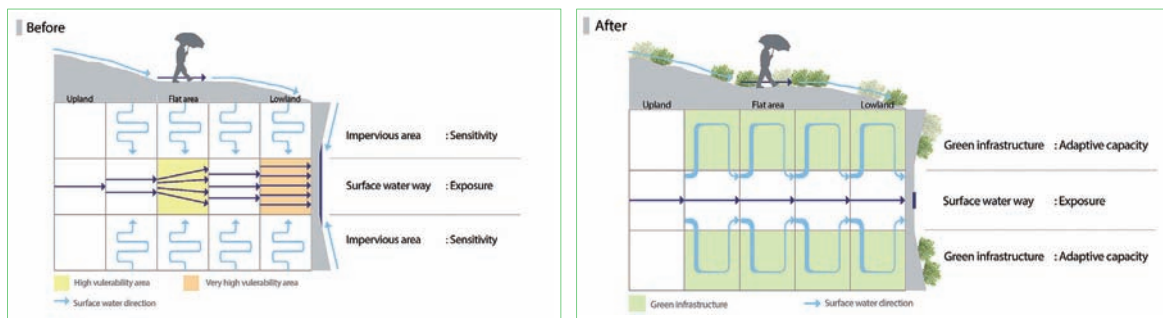
GIS 분석을 위해 대상 도시지역을 모두 균일한 정방형으로 세분한다. 각 정방형 공간은 아무런 정보가 없는 상태이다. GIS의 공간연산 기법을 활용해 정방형 공간이 위치한 지점을 기준으로 토양 정보 중에 투수성

능이 좋은 토양이라면 0점, 투수성능이 매우 좋지 않은 토양이라면 1점을 입력한다. 이렇게 토양정보 층을 구성한다. 다음에는 정방형 공간에 투수성 포장재가 덮고 있지 않은 토양노출지역이라면 0점, 토양이 불투수성 포장재로 덮였다면 1점을 입력한다. 마지막으로 지형에 따라 해당 정방형 공간에 지표수 흐름이 발생하지 않는다면 0점, 지표수 흐름의 선형이 있다면 1점, 여러 갈래 지표수 흐름이 모이는 곳이라면 또 1점을 입력한다.

이들 층위 정보를 중첩해 부여된 점수를 합해 보면, 지표면에 빗물이 보이지 않는 공간은 0점, 지표면에 빗물이 보이는 정도가 클수록 1점부터 4점까지 점수가 정방형 공간에 적용된 결과를 얻을 수 있다. 그 결과를 통해 상류지역이지만 빗물길의 궤적이 형성되는 위치를 알 수 있고, 불투수 포장재로 덮인 지표면을 따라 하류지역으로 흘러가면서 중첩되는 물길과 공간과의 관계를 파악할 수 있게 된다. 이렇게 0점부터 4점까지 주어진 도시공간정보를 분석하면 하류지역에 영향을 주는 상류지역의 분포와 개발형태를 진단해 볼 수도 있다.

도시형 침수 예방을 위한 공간디자인 전략은 단위공간이 빗물에 얼마나 민감한지를 확인하는 것에서부터 출발한다. 물 민감성(Water Sensitivity)은 동일한 비가 내렸을 때 지표면에 빗물이 모이는 정도를 척도로 한다. 즉 시간당 50mm의 비가 내렸을 때 A지점은 흡수력이 좋은 토양이 대부분이라 지표면에 물이 보이지 않는다. 반면 B지점은 콘크리트로 포장되어 있어 지표면에 물이 모인다. 더불어 인접한 경사지인 C지역에서 흘러온 물이 유입된다. 결과적으로 A지점은 빗물에 민감하게 반응한 결과 빗물을 흡수해 보이지 않게 된 것으로 이해할 수 있다. 반면 B지점은 빗물에 민감하지 않아 물이 계속 모이는 것으로 볼 수 있다.

일반 도시의 지표수 흐름 개념도(좌)와 물 민감도를 높인 도시지역의 지표수 흐름도(우) 비교



자료: Lee et al.(2016); Figure 5.

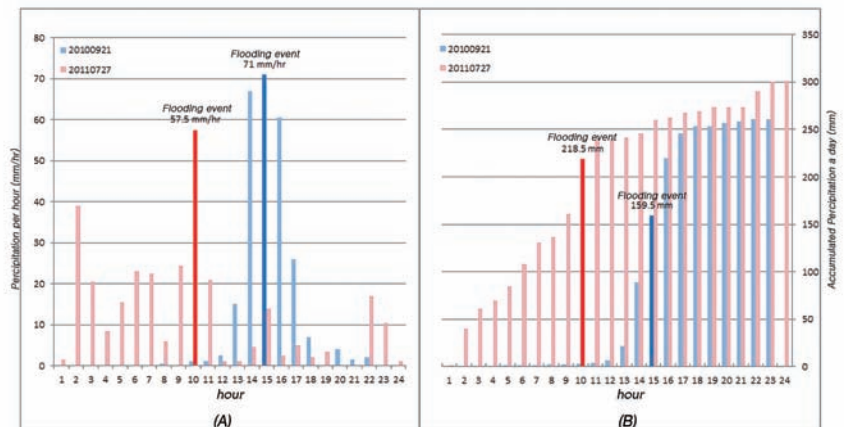
도시형 침수 예방을 위한 공간디자인 전략은 크게 세 가지 유형으로 정리할 수 있다. 첫 번째는 ‘빗물 침투능력 향상(Infiltration)’, 두 번째는 ‘빗물 침투능력과 완화능력 적용(Infiltration and Detention)’, 세 번째는 ‘빗물 침투능력, 완화능력 강화와 배출(Infiltration, Detention, and Overflow)’이다. 결과적으로 대상 공간의 빗물 민감성에 따라 적합한 세 가지 유형을 조합해 전략적으로 적용시키는 것이 도시형 침수 예방을 위한 공간디자인 전략의 실현 방법이다. 이론 설명만으로는 이해하기가 쉽지 않아 다음 장에서 사례 지역을 들어 설명한다.

도시형 침수 예방을 위한 공간디자인 적용과 예상효과

서울 광화문 일대를 대상으로 공간디자인 전략을 적용해 봤다. 2010년 9월 21일과 2011년 7월 27일에 서울의 도심 광화문 일대는 국지성 집중호우에 의한 침수피해를 입었다. 지하 배수관거의 용량이 일시적으로 마비되어 지표에 누적된 빗물이 침수피해를 야기하였다. 당시 전형적인 여름성 침수양상을 보였다. 인근 청계천이 범람하여 주변지역에 피해를 준 것이 아니었다. 당시 일부 서울지역에는 맑은 날씨가 관측될 정도로 강우편차가 컸다.

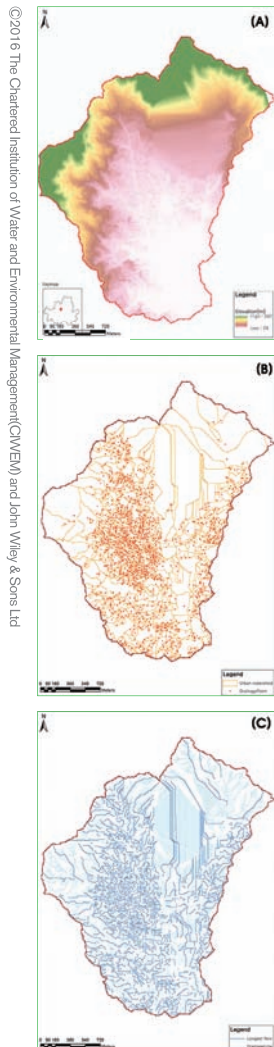
빗물이 모이는 지류의 흐름을 거꾸로 따라가면 능선(稜線)을 만나게 된다. 지류 형성에 영향을 주는 능선을 연결하면 넓은 공간이 그려진다. 이를 유역(流域)이라고 한다. 광화문 일대는 백운동천·중학천이 청계

광화문 일대 시간당 강우량과 누적 강우량도(적색: 2011. 7. 27., 청색: 2010. 9. 21.)



자료: Fletcher et al., 2014; Figure 6.

도시화로 변형된 효자배수분구의
지형(A)과 그에 따라 파편화된
미소유역도(B), 지표수 흐름도(C)



자료: Lee et al.(2016); Figure 8.

천에 연결된 유역에 포함되며, 공식적으로는 효자배수분구라 불린다. 유역에는 지형을 따라 상류지역과 하류지역이 존재한다. 2010년과 2011년 침수피해는 효자배수분구의 하류지역인 청계천 시점부에 집중되었다. 청계천 시점부는 백운동천과 중학천이 합수하는 지점이기도 하다. 이렇듯 유역은 지류와 지류가 합해지는 점이 존재하고, 소유역에서 모인 물이 만나는 지점은 중요한 배수구(排水口)가 된다. 유역에 대한 이해를 바탕으로 효자배수분구의 물 민감성을 진단해 보았다.

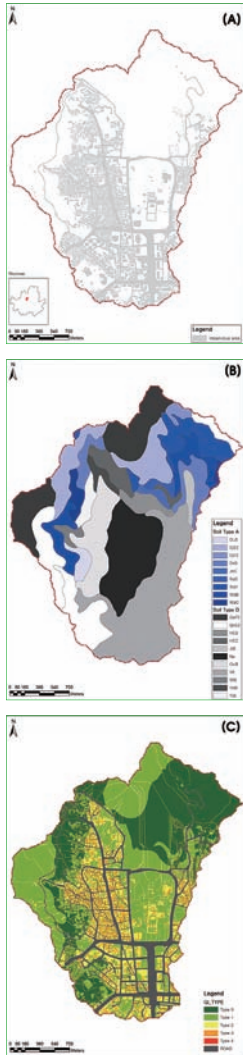
효자배수분구의 물 민감성을 진단하기 위해서는 세 가지 유형의 특별한 지도가 필요하다. 첫째, 개발된 지형에 따른 물길의 특성을 파악할 수 있는 지표수의 누적 흐름도가 필요하다. 둘째, 토지피복을 나타내는 지도에서 건축물, 주차장, 도로와 같이 확실한 불투수 포장재로 구성된 요소를 뽑아낸 불투수 포장재 분포도가 필요하다. 셋째, 배수분구 전체 토양의 배수능력을 보여주는 토양도가 필요하다.

이들 세 가지 공간 정보를 활용하면 내가 사는 집이 빗물에 얼마나 민감한지 확인할 수 있다. 내 집이 있는 땅이 물이 지나가는 곳인지, 모이는 곳인지, 나가는 곳인지를 알 수 있고, 콘크리트 등 포장재 때문에 토양으로 흡수시킬 수 있는 능력을 차단했는지, 그렇지 않다면 배수가 잘 되는 토양에 집을 지었는지, 아닌지를 알 수 있다. 앞서 방법론에서 서술한 것처럼 지나가는 빗물이 흘러들어(1점) 모였다(1점) 나가고, 포장재로 덮여 있으며(1점), 토양 배수가 불량(1점)하면 물에 매우 둔감한 것으로 4점을 입력할 수 있다. 이와 달리 빗물이 모이지 않고(0점) 흘러 나가기만 하고(0점), 포장재로 덮여 있지 않으며(0점), 배수가 양호한 토양(0점)이면 물에 매우 민감하다는 뜻으로 0점을 입력할 수 있다. 편의상 각 점수를 ‘물 민감도’라 하고, 0점과 4점 사이의 점수 분포로서 효자배수분구의 민감도를 설명하면 48쪽의 그림(C)와 같다.

각 점수에 따라서 공간별 물 민감성을 설명할 수 있고, 공간적 해결 방법을 연계할 수 있다. 0점은 물 민감도가 매우 높은 자연 상태에 가까운 곳으로 지금과 같이 유지하는 것이 좋다. 1점은 자연 상태에서 소극적 개발이 이뤄져 토양 침투능력만 보완하면 민감도를 유지할 수 있는 장소이다. 2점은 개발이 이뤄진 상태지만 적당히 자연 상태를 유지하고 있는 곳으로, 토양 침투능력과 빗물의 유출을 완화하는 소규모 저장 기능을 부여하면 물 민감성을 높일 수 있는 지점이다. 3점은 개발이 완성된 곳으로,

효자배수분구의 빗물수 포장 분포도(A), 토양의 배수능력 분포도(B, 청색일수록 양호), 물 민감성 진단 결과 (C: 녹색은 민감도 매우 높음, 황색은 보통, 적색은 매우 낮음)

©2016 The Chartered Institution of Water and Environmental Management(CIWM) and John Wiley & Sons Ltd



자료: Lee et al.(2016); Figure 9.

빗물 침투와 저장기능을 높게 잡을 수 없는 곳이다. 따라서 최대한 침투와 저장을 하되 넘어서는 용량에 대해서 배출이 필요한 장소이다. 4점은 고도의 개발이 완료된 곳으로, 침투·저장기능을 공간적으로 부여하는 것보다 배수기능을 최대한 확보하는 것이 보다 효율적인 곳이라 할 수 있다. 각 점수에 따라 공간적 해결 방향이 정리된다면, 물 민감도를 높이는 복합기법을 공간디자인을 통해 적재적소에 전략적으로 배치해야 한다.

자연 상태처럼 물 민감성이 좋은 곳과 고도로 개발되어 배수기능을 집중해야 하는 곳은 비용대비 효율성을 고려해 제외한다. 따라서 물 민감도를 기준으로 1점부터 3점 사이 공간을 대상으로 물 민감도를 높이는 기술을 배치하는 것이 합리적이다. 그러나 현실 공간은 1점부터 3점 사이의 공간이 혼재되어 존재한다. 따라서 우리는 공간디자인 전략을 구상할 때, 지표면에서의 빗물 흐름과 유역에 대한 개념을 먼저 생각해야 한다.

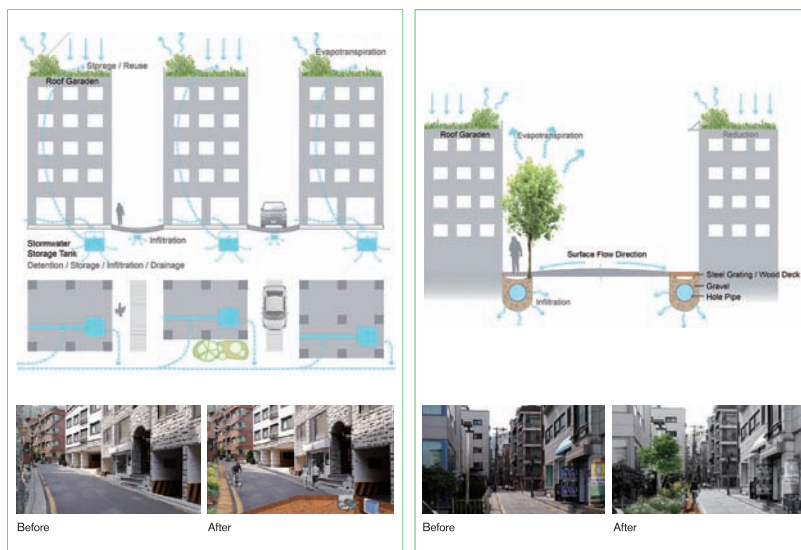
앞서 원리에서 설명한 것과 같이 비가 내리면 상류에서 유출된 빗물이 하류로 흐르게 된다. 우리 도시는 상류로 갈수록 작은 필지에 밀도가 높은 건축물이 뻗뻗하고, 하류로 갈수록 대형 필지와 대형 건축물의 분포하는 특징이 있다. 효자배수분구 또한 유사하다. 대부분 침수는 첨두(尖頭, Peak)유량을 분산·완화하면 예방이 가능하다. 따라서 하류의 피해를 최소화하기 위해서는 상류지역부터 하류지역에 이르기까지 건축물과 공용공간을 최대한 활용해 물 민감성을 높이는 기술을 연계해 적용하는 것이 필요하다.

효자배수분구의 상류지역은 과거 단독주택이었던 비교적 작은 필지를 거의 꽉 채운 다세대 주택이 대부분이다. 도로 또한 매우 협소하다. 지형은 대부분 경사지다. 의무적으로 주차공간을 확보해야 하는 까닭에 1층은 대부분 주차공간으로 사용한다. 상류지역은 전체 유역에서 차지하는 면적비가 넓은 편이다. 반면에 자연배수로 인해 형성되는 지표수 유량은 비교적 적다. 상대적으로 넓은 유역면적에 많은 필지와 건축물에 작은 저류시설과 침투시설을 물 민감성이 낮은 곳 중심으로 배치하면 첨두시간을 연장함과 동시에 첨두유량을 효과적으로 분산시킬 수 있다.

조금 아래쪽으로 내려와 중류지역은 상류지역에 비해 유역에서 차지하는 면적이 다소 작고, 경사도가 낮은 지역이며, 건물의 규모도 다소 크다. 통행량 또한 상류지역보다 많아 접근도로 폭도 상류지역보다는 넓다. 국지성 집중호우가 발생해 상류지역에서 일시적으로 저류와 침투기

물 민감성을 높이기 위한 공간디자인 전략(좌: 상류지역, 우: 중류지역)

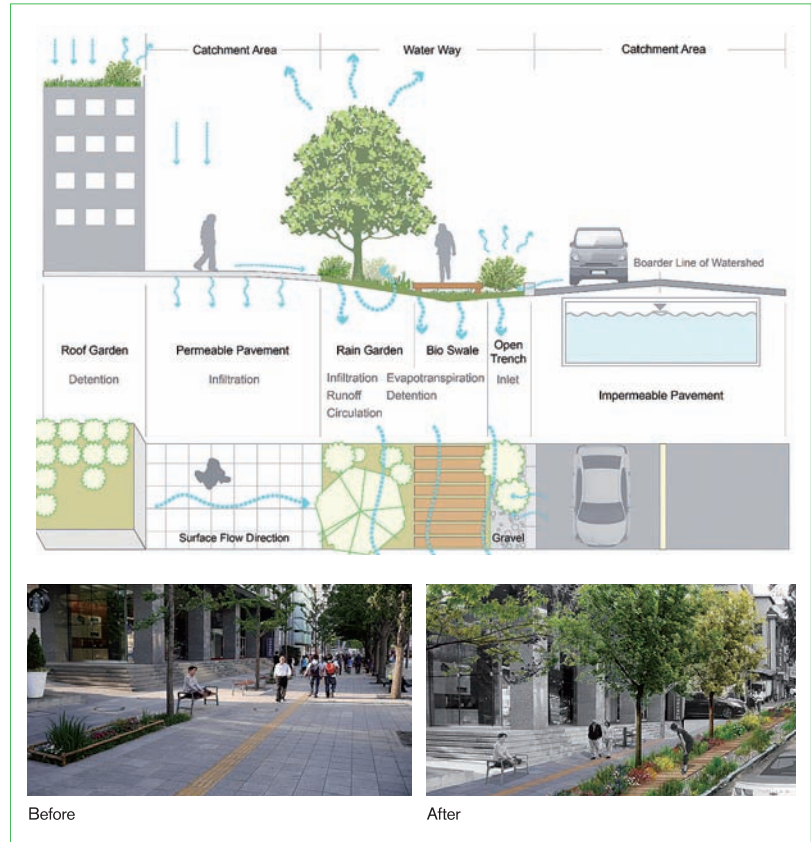
©2016 The Chartered Institution of Water and Environmental Management(CIWM) and John Wiley & Sons Ltd



자료: Fletcher et al., 2014; Figure 6.

능이 작동한 뒤에 넘쳐흐르는 지표수(월류수)는 상류지역에 저류와 침투 시설이 없을 때에 비해 확연히 적을 것이다. 이 월류수와 중류지역에서 새로 발생한 강우 지표수가 합해지면서 새로운 월류수의 흐름을 만든다. 중류지역도 물 민감성이 낮은 곳은 침투·배수·저류기능을 집중하고, 높은 곳은 침투기능에 집중하도록 공간 특성에 맞게 기능을 부여한다.

하류지역은 대부분 평탄지이다. 건물의 규모가 크고 필지의 크기도 넓다. 통행량도 상당히 많기 때문에 도로의 폭도 넓게 조성되어 있다. 물의 흐름 관점에서 볼 때, 자연 지류가 합류하는 합수부인 경우가 많다. 유속이 느려지기 때문에 지표수가 정체되기도 한다. 빠른 배수가 되지 않는다면 침수될 수밖에 없다. 구조적으로 집중호우 시 물길이 되는 도로와 인도에 침투와 배수가 동시에 일어날 수 있는 공간기법이 필요하다. 평상 시에는 토양이 노출돼 있는 녹지로 활용되지만, 강우 시 빗물이 집중되면 신속히 물길로 활용되어 배수되어야 한다. 따라서 물길이 형성되는 장소에는 선형으로 빗물정원, 생태수로, 침투형 배수로 설치를 고려해야 한다. 물 민감도에 따라서 건축물의 옥상에 저류형 옥상녹화를 설치함으로써 하류지역에서 새로 발생하는 빗물을 건물 옥상에서 일시적으로 저류할 수 있도록 한다.



자료: Lee et al.(2016); Figure 10.

성공적인 도시형 침수를 예방하기 위한 공간디자인 전략은 상류·중류·하류로 이어지는 물의 연결성을 고려해야 한다. 또한 물 민감도에 따라 기능하는 적절한 기술을 공간과 어울리는 형태로 배치·디자인하는 것이 매우 중요하다. 이러한 원칙을 지킨다면 현재 상태와 비교해 집중호우 시 약 33%의 지표수량을 저장할 수 있다. 또한 개별 건축물의 빗물 저장소가 다 채워질 시간 동안 침투시간을 늦출 수 있으며, 지표에 흐르는 빗물의 총량을 줄일 수 있기 때문에 기존에 설치되어 있는 배수관로의 용량을 마비시킬 확률도 그만큼 낮출 수 있게 된다. 즉 공간의 물 민감도를 파악하고 그에 맞는 기술을 적용하면, 배수관로 확장을 위해 소요될 수 있는 막대한 공공예산과 교통차단 등 엄청난 사회적 비용을 절감할 수 있고, 경제적으로 도시형 침수를 예방할 수 있는 합리적 방법이 될 것이다. 더

불어 평상시에 도시의 녹지로 활용되는 만큼 도시경관이 개선될 수 있고, 이산화탄소 배출과 미세먼지의 피해를 다소 줄이는 등 환경적 효과도 기대할 수 있다.

결국 침수에 대한 공간 진단이 선행되고 그 결과를 바탕으로 전략적인 디자인을 적용한다면, 경제적이면서 다기능적인 도시 공간의 보급을 기대할 수 있다.

참고문헌

- 1 Amaguchi H., Kawamura A., Olsson J. & Takasaki T. (2012), "Development and testing of a distributed urban storm runoff event model with a vector-based catchment delineation", J Hydro, 420-421, 205-215.
- 2 Brattebo B.O. & Booth D.B.(2003), "Long-term stormwater quantity and quality performance of Permeable pavement systems.", Water Res, 37, (XVIII), 4369-4376.
- 3 Du J., Qian L., Rui H., Zuo T., Zheng D., Xu Y. & Xu C.Y. (2012) "Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modelling system for Qinhuai River basin. China", J Hydrol, 464-465, 127-139.
- 4 Everard M. & Moggridge H.L. (2012) "Rediscovering the value of urban rivers.", Urban Ecosyst, 15, (II), 293-314.
- 5 Fletcher T.D., Shuster W., Hunt W.F., Ashley R., Buter D., Arthur S. & Viklander M. (2014) "SUDS, LID, BMPs, WSUD and more: the evolution and application of terminology surrounding urban drainage.", Urban Water J, 12, (VII), 1-18.
- 6 Gómez F., Jabaloyes J., Montero L., De Vicente V. & Valcuende M. (2010), "Green areas, the most significant indicator of the sustainability of cities: research on their utility for urban planning.", J Urban Plan Dev, 137, (III), 311-328.
- 7 Jacobson C.R. (2011) "Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: a review.", J Environ Manage, 92, (VI), 1438-1448.
- 8 Lee, E.S., Lee, D.K., Kim, S.H., Lee, K.C. (2016), "Design strategies to reduce surface-water flooding in a historical district", Journal of Flood Risk Management, Vol.11, Issue S2, pp. S838-S854.
- 9 Niemela J., Saarela S.R., Soderman T., Kopperoinen L., Yli-Pelkonen V., Vare S. & Kotze D.J. (2010) "Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study.", Biodivers Conserv, 19, (XI), 3225-3243.
- 10 Ogden E.L., Pradhan N.R., Downer C.W. & Zahner J.A. (2011) "Relative importance of impervious area, drainage density, width function, and subsurface storm drainage on flood runoff from an urbanized catchment.", Water Resour Res, 47, (XII), W12503.
- 11 Tague C. & Pohl-Costello M.(2008) "The potential utility of physically based hydrologic modelling in ungauged urban streams.", Ann Assoc Am Geogr, 98, (IV), 818-833.
- 12 Wiechmann T. (2008) "Errors expected: aligning urban strategy with demographic uncertainty in shrinking cities.", Int Plan Stud, 13, (IV), 431-446.