

도시화에 수반되는 광주천 유역의 물수지 변화

양해근¹ · 김종일²

전남대 호남문화연구소 전임연구원¹, 광주 · 전남발전연구원 책임연구원²

1. 서론

도시수문학자인 Jens과 McPherson(1964)은 도시화 과정에서 나타난 수문현상의 변화를 다음과 같이 기술하였다. 먼저, 도시화 초기단계에서는 산발적으로 소규모의 택지가 조성되기 시작하고, 그 영향으로 지표를 덮고 있는 식생들이 제거되어, 증발산량이 감소하고, 지표유출이 증가하기 시작한다. 한편 생활용수로 이용하기 위한 지하수 개발은 지하수위의 저하를 가져온다. 그리고 도시화 중기단계에서는 구 시가지를 중심으로 대규모적인 택지조성 사업이 행해짐에 따라 대형 중장비가 동원되어 대대적인 절토와 봉토작업이 행해진다. 그 결과 우수의 침식이 가속화 되어, 하천퇴적의 증대로 인한 홍수위험이 커진다. 또한 도로가 포장되고, 하수도 시설이 정비되는 한편 우수의 침투량은 감소하여 홍수 유출이 증가한다. 그리고 도시용수를 취수하는 하천에서는 유량이 감소하고, 미처리 생활하수 등의 유입으로 하천수질이 악화된다. 최종단계에서는 대단위 공동주택단지과 도로 공공시설, 상업지역, 공장지역 등의 지역이 대규모로 입지하게 됨으로서, 우수의 침투량이 급감하고, 유역의 조도가 감소하여, 빗물의 유출시간이 단축되고, 수로의 정비가 정비되어, 홍수 침투유량이 증가하는 한편 기저유출량이 감소하게 된다. 수질오염으로 기존의 지하수 관정은 방치되고, 지표수의 오염과 용수수요의 증대로 다른 유역에서 물을 도수함으로써 더 많은 유출량이 도시유역에 집중하게 된다. 하천 연안부의 토지까지. 그 이용률이 증대되어, 하도가 제한되어 하폭이 축소되어 홍수위가 상승하는 홍수피해가 증가한다고 보았다.

이와 같이 도시화 과정 속에 나타난 수문현상의 변화는 유출변화로 귀착될 수 있다. 그러나 도시화에 의한 유출기구 변화는 복잡하고, 다양한 요소들이 상호 관계하고 있어, 그 전모를 명확하게 결론을 내릴 수 없는 것 또한 현실이다. 그러나 도시화에 따른 각 하천유량의 시간변화에 대한 관계변수, 즉 수문그래프 각 요소의 변화를 지리적 인자인 지표면, 지하수, 하천(배수구) 등을 예 대한 상호관계에 대한 분석을 통하여 정량화가 가능하다고 생각한다.

따라서 본 연구는 광주광역시 중심시가지가 위치해 있는 광주천유역을 대상으로 유역전체의 수문 기후학적 특성과 수문지형적 요소 그리고 토지이용 변화 등에 대한 검토를 통해 도시화에 따른 유출 특성에 대한 검토하고, 물수지 변화를 추정하였다.

2. 연구지역의 개관

광주천유역은 광주광역시 동구, 서구, 남구, 북구의 일부지역을 포함하고 있으며, 유역면적은 106.47km²이고, 유로연장길이는 22.8km이다. 그리고 유역내의 인구는 2002년 현재 884,178명으로 광주시 전체인구의 약 65.9%가 거주하고 있으며, 일제시대 이후 광주천 유역이 광주시의 중심시가지를 이루고 있다. 한편, 광주천은 구 한말까지 건천(巾川) 또는 조탄강(漕灘江)이라 불리었으나, 일제시대 이후부터 광주천이라 불리고 있다.

광주천(光州川)은 무등산에 발원하여 광주시가지를 남동방향에서 북서방향으로 관류하면서, 중심사천, 동계천, 용봉천, 극락천 등의 지류와 합류하여, 치평동에서 영산강에 합류된다.

3. 연구방법

기상관측자료의 축적정도와 신뢰도 그리고 관측지점의 밀도는 정확한 하천유황 분석과 유역의 수문분석에 커다란 영향을 미친다. 광주천 유역은 동남부에 무등산(EL. 1187.0m)이 위치하고 있으며, 북서방향으로 펼쳐진 대부분의 유역은 낮은 구릉지 혹은 평야를 이루고 있다. 따라서 시·공간적인 강우현상의 변동을 적절히 보완하기 위해서는 비교적 관측지점이 조밀한 기상청의 자동기상관측지점(AWS)의 자료를 이용하는 것도 하나의 방법이라 할 수 있다. 그러나 광주천 유역의 인근에 위치한 AWS는 1993년부터 관측이 실시되어, 불과 9년 정도의 짧은 기간의 자료이고, 일반적으로 관측 시설상의 문제로 타 자료에 비해 비교적 신뢰도가 떨어진다는 지적을 받고 있다. 광주 인근에 분포한 AWS관측지점 연평균 강수량이 광주 기상청의 40년 평균값에 대한 표준편차를 고려할 때, 오차 범위 $\pm 10\%$ 이내이고, 1993~2001년 사이의 광주기상청 연평균 강수량은 40년간의 평균강수량에 비해 약 40.3mm이 많은 1381.7mm로서, 기상자료의 시·공간적 변동을 감안할 때, 1993년 이후 강우자료를 사용하여도 광주천 유역의 평균적 물수지 변동을 추정하는데 큰 무리는 없으리라 사료된다.

토지이용 분석은 먼저 1967년과 1997년 편집·수정된 국립지리원 1/25,000지형도를 이용하여 지형도에 기술된 범례와 도로망을 기준으로 불록을 나누어 기초 토지이용도를 작성하였다. 그리고 토지이용도는 국립지리원의 1/25,000 수치지도를 기본지도로 설정하고, 1911년에 발행된 1/50,000지형도와 1969년에 발행된 1/25,000(1967년 편집) 지형도, 1996년에 편집·수정되어 2001년에 발행된 1/25,000지형도, 1/50,000지형도, 광주광역시 “새주소 안내지도(2002)”, 1967년과 1991년에 촬영된 항공사진 그리고 인터넷 홈페이지에서 제공되는 “광주광역시도시계획총괄도”와 기존 문헌을 참고로 현지조사와 인터뷰조사를 실시하여, 1900년대와 1960년대, 1990년대 초기 그리고 2010년대의 토지이용을 조사·예측하였다. 그리고 불투수성 면적율에 대한 산출은, 먼저 1967년에 촬영된 1/37,500 항공사진과 1991년 10월에 촬영된 1/5,000 항공사진을 이용하여, 1960년대와 1990년대의 각 토지이용 항목별 불투수성 지역으로 간주되는 건물면적 혹은 포장면적을 추출하여, 그 비율을 계산하였다.

4. 연구내용 및 결과

1) 기후학적 물수지

광주천에는 유량 관측자료가 없기 때문에 경험적 관계식(梁海根, 1996)을 이용하여 월별 유출량(Rn)을 추정하였으며, 이용된 강수량은 Thiessen 다각형에 기초한 면적강수량이다. 증발산량은 Thornthwaite 물수지법에 의한 실제증발산을 의미한다. 그 결과는 다음과 같다. 연평균강수량은 1381.5mm이며, 그 중의 약 53.9%가 증발산되어 대기에 손실되고, 나머지 47.1%가 토양수분의 과잉으로 지표에 남게 된다. 월별 토양수분과잉량이 적은 시기는 강수량에 비해 기온이 상대적으로 높은 5월과 10월, 4월이고, 토양의 수분변화(-)가 가장 많이 나타난 5월은 토양과잉수분량이 0로 산출되었다. 비교적 가뭄이 빈번하게 나타날 것으로 간주되는 4월, 5월, 10월의 증발산량은 각각 50.8mm, 89.9mm, 57.8mm로 추정된다. 그리고 계산된 지하수의 저유량은 강수량이 극히 적거나, 강수량에 비해 증발산량이 많은 시기, 즉 4월과 5월, 9월, 10월, 11월, 12월에 (-)를 기록하고, 상대적으로 강수량이 많은 6월~8월 사이 그리고 기온이 낮은 1월~3월 사이에는 (+)를 기록한다. 그러나 1월~3월사이의 저유량은 총 8.1mm에 지나지 않으며, 6월~8월 사이에 함양된 저유량에 의해 하천의 기저유출량이 유지된다고 볼 수 있다.

2) 광주천 유역의 도시화와 토지이용변화

도시화에 의한 불투수성면적의 증가는 강우시 빗물을 빨리 배출하는 동시에 지표에 침투하는 수

분을 차단하게 된다. 그 결과 도시중소하천의 평상시 유량이 감소되는 주요 요인이 되고 있다. 그러나 하수도 보급에 의한 배수시스템의 정비 또한 무시할 수 없는 요소이기 때문에 도시화에 의한 하천 기저유출량의 변화를 분석하는 것 또한 쉬운 일은 아니다. 일반적으로 도시하천의 기저유출량의 감소를 초래하는 주요 원인으로 지하수의 용출량 감소를 들 수 있다.

먼저, 1900년대 토지이용도 작성은 상세한 자료가 없기 때문에 사실상 불가능하며, 당시에는 근대적 상하수의 보급과 도로포장, 하천의 직강공사, 배수로 등과 같은 유역의 유출구조에 영향을 미치는 시설은 거의 없었던 것으로 판단되므로, 사실상 유역의 전 면적을 투수성면적으로 간주해도 큰 무리는 없으리라 생각한다. 따라서 이시기를 도시화 초기로 간주하였다.

1990년대 초기에는 전 유역의 거의 50%에 해당하는 면적을 시가지가 점유하고 있으며, 특히 중심사천 합류후부터 광주천 하류부에 걸쳐 대부분 지역의 평지와 해발 50m이하의 구릉지역에까지 주택지 또는 택지가 조성되고 있다. 이시기는 광주시가 광역도시로서 시제가 개편되고, 광산구가 편입되는 등의 영향으로 도시발전의 새로운 계기가 되었으며, 이와 같은 도시화의 영향은 광주천 유역전체에 걸쳐 확산되어, 유역의 외연지역까지 택지화가 확대되는 도시화의 성숙기로 간주할 수 있다.

광주광역시시의 “새주소 안내지도(2002)”와 “광주광역시도시계획총괄도”를 기초로 추정된 2010년대 광주천 유역의 토지이용은 도시화의 성숙기에 들어와 조성된 일곡지구와 금호지구, 문흥지구 등에는 대규모의 아파트 단지와 신흥 주택지역 형성으로 새로운 상업지역이 형성되고, 1990년대 중반부터 상무 신도심개발사업으로 도시화는 광주천 하류부에까지 그 영향을 미치게 되어, 대규모 아파트 단지와 상업지역이 형성되는 도시화의 완성단계에 이를 것으로 사료된다.

3) 불투수성 면적

도시유출의 관점에서 유역을 개발하거나 식생을 제거 하는 등의 지표의 피복조건의 변화는 식생의 유무 내지는 불투수성 면적비로서 나타낼 수가 있다. 불투수성지역에 대한 면적비는 지하수 물수지 모델을 비롯한 물순환 시스템을 다루는데 있어서 중요한 정보가 된다.

100% 불투수성면적으로 간주한 논과 도로 및 하천, 저수지를 제외하고, 토지이용항목별 불투수성 면적율이 가장 높은 것은 시가지 및 상업지역이었으며, 전체 면적에 불투수성면적이 97.3%를 차지하고 있었다. 그리고 주택지역의 83.4%, 아파트단지의 81.3%, 공장지역의 77.8%, 자연취락의 33.3%, 공원 또는 나지 등에서 29.8%가 불투수성 면적이였다. 그러나 밭과 산림에서는 불투수성면적으로 간주되는 건물은 거의 존재하지 않았다. 1990년대 초에는 불투수성 면적이 약 39.24km²로서 유역의 약 36.8%를 차지하고 있었으며, 2010년대에는 약 41.55km²로서 유역의 39%를 차지할 것으로 보인다.

4) 도시화와 물수지 변화

도시지역의 물순환계는 크게 3가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 “강우-지중침투-증발산-지하수 함양-유출”과 같은 자연계의 물순환이고, 두 번째는 빗물이 “우수배수구 혹은 하수도, 하수처리시설” 등을 경유하여 배출되는 것이고, 나머지 하나는 도시용수로서 다른 지역에서 도수하고, 사용 후 생활하수 또는 산업폐수의 형태로 배출하는 경로 즉, “상수도-하수도”의 경로를 통하여 독립적으로 배출하는 것으로 나눌 수 있다. 그리고 도시용수의 일부분은 냉각수로 이용되는 도중에 증발되어 대기 중으로 방출되거나, 도시내 배설되어 있는 수도관으로부터 상당부분이 누수되어 지하수를 보충하게 된다. 또한 도시의 기반시설이 정비된 대도시의 경우에도 생활하수 또는 공장폐수가 하수도를 경유하여 처리된 후 하천에 방류되는 것이 일반적이지만, 상당부분이 하천에 직접 방류되거나 도중에 토양 속으로 누수되어 지하수로 침투하는 부분 역시 무시할 수 없는 도시지역의 물순환 요소이다.

(1) 도시화 초기 (1900년대): 이 당시에 충장로와 금남로를 중심으로 상가가 형성되기 시작하였으나, 불투수성 면적은 거의 0로에 가깝고, 우수의 배수구나 하수도가 전혀 정비되지 않은 시기라 할 수 있다. 따라서 강수량을 기준으로 각 수문 요소들간의 비율은, 증발산량이 53.9%이고, 지표유출이 0% 그리고 지하수의 저유량이 46.1%로 추정된다. 1년을 수년(水年)으로 간주할 때 1년을 주기로 계절이 변하는 온대몬순지역에서는 토양수분의 변화가 거의 없으므로, 지하수 저유량의 대부분은 광주천의 기저유출량으로 용출되었으며, 현재 광주천보다는 유량이 풍부한 하천이었으리라 생각된다.

(2) 도시화 중기(1960년대):

(3) 도시화 성숙기 (1990년대): 1990년대에 들어오면서 광주시는 광역시로 개편되고, 제3차 국토개발 5개년계획 등의 사업실시로 호남권의 거점도시로 성장하게 된다. 이러한 영향으로 도시화가 외연적으로 급속하게 확대되는 시기였다. 불투수성 면적이 39.24km^2 이고, 강우시 지표유출량은 강수량 대비 17.2%이고, 초기손실량은 19.9%에 해당하고, 유역전체 증발산량의 약 37%를 차지하는 양이다. 상대적으로 도시화 초기에 비해 지하수 저유량은 감소하여 강수량대비 28.9%였다. 그리고 지하수량은 강수량 대비 30%로서, 도시화 초기보다는 16.1%가 감소한 결과이다.

(4) 도시화 완성기 (2010년대): 상무신도심 개발로 광주천 유역은 거의 도시화가 마무리된 상태라 가정하고, 지금처럼 물순환·물환경 보전을 위한 토양침투 또는 지하수의 인공함양 등이 전혀 실시되지 않는다는 전제 조건하에 물수지를 계산하였다. 그 결과 불투수성면적이 41.55km^2 으로 확대되고, 강수량에 대해 초기 손실량은 20년 전에 비해 약간 증가하여 21%이고, 초기 손실량을 포함한 증발산량은 53.9%, 침투량은 27.8%로 추정된다. 그리고 지하수량은 더욱 감소하여 강수량 대비 28.4%로서, 광주천의 건천화가 더욱 가속화하리라 사료된다.

참고문헌

- 木下武雄, 1968, 都市化と流出變化, 土木技術資料, 9(3), 12-18.
山本莊毅, 1983, “上水道における漏水の水文學”, 立正大學人文社會學研究所年報, 21, 55-65.
新井正, 新藤靜夫, 市川新, 吉越昭久, 1987, 都市の水文環境, 共立出版.
梁海根, 1996, “小河內貯水池流域における水收支と流出率”, 地域研究, 37, 1-10.
梁海根, 1997, 秦野盆地の都市水文環境, 立正大學校 博士學位論文.
Arai, T., 1990, Urban hydrology in Tokyo, Geographical Review of Japan, 63(B), 88-97.
Brater, E.F., 1968, Steps toward a better understanding of urban runoff process, Water Resources Research, 4, 335-347.
Jens, S.W. and M.B. McPherson, 1964, Hydrology of urban areas, in V.T. Chow ed., “Handbook of Applied Hydrology” Section 20, McGraw-Hill.
Hall, M.J., 1984, “Urban hydrology”, Elsevier Applied Science.299p.
Hollis, G.H.,1975, The effect of urbanization on floods of different recurrence interval, Water Resources Research, 4, 335-347.
Leopold, L.B., 1963, Hydrology for urban land planning -a guide book on the hydrologic effects of urban land use-, U.S. Geological Survey Circular, No. 554, 1-18.
Mather, J.R., 1974, Climatology -fundamentals and applications-, McGraw-Hill.
Ragan, R.M. and T.J. Jackson, 1980, Runoff Synthesis Using Landsat and SCS Model, Journal of the Hydraulid Division, ASCE, 106-HY5, 667-678.
Warren, V.Jr., 1966, The hydrology of small impervious areas, Water Resources Research, 2, 405-412.