

도시화에 따른 수문기상변화Ⅰ(도시화에 따른 물수지 변화 분석)

Evaluation of Urbanization Effects on Water Balance

임창수*, 채효석**

Chang-Soo Rim, Hyo-Seok Chae

요 지

도시화에 따른 기상변화가 물수지에 미치는 영향을 분석하기 위하여 56개 연구지역에서 연 실제증발산량을 산정하였고, 도시화에 따른 연 유출량변화를 모의하기 위하여 연 물수지분석을 실시하였다. 실제증발산 산정을 위하여 수문기상자료와 토지이용자료를 이용하여 추정된 식생지수를 이용하여 지역별 반경 10km지역의 실제 증발산량을 산정하였다. 여기서 연 실제증발량은 Zhang 등에 의해서 전 세계 250개 유역에서 장기간의 물수지분석으로부터 유도된 경험공식을 적용하였다. 도시화정도가 큰 연구지역의 경우 도시화가 진행됨에 따라서 잠재증발산량의 증가추세를 보이고 있다. 따라서 도시화에 따른 기상변화가 실제증발산량을 증가시키는 요인과 도시화가 진행됨에 따라 주거지면적이 증가하여 실제증발산량을 감소시키는 요인이 복합적으로 작용하는 것으로 판단된다. 도시화지역에서 유출량은 강수량의 변화에 직접적인 영향을 받고 있고, 실제증발산량의 변화정도는 강수량의 영향을 받음에도 불구하고 강수량에 비하여 그 편차가 크지 않다. 도시화에 따른 실제증발산량의 변화는 유출량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

핵심용어 : 도시화, 물수지, 실제증발산

1. 서론

지구상에서 도시유역이 차지하는 비율은 낮지만 거주하는 인구가 차지하는 비율은 상당한 부분을 차지한다. 또한 계속되는 산업화로 인하여 농촌 및 산림지역의 도시화는 계속 가속되고 있는 실정이다. 도시지역은 농촌 및 산림지역과 비교하여 수문 기상학적측면에서 상이한 특성을 가지고 있으며 이러한 상이한 특성은 지역 내 에너지수지 및 물수지에 상당한 영향을 미친다. 따라서 그러한 특성을 이해하고 농촌 및 산림지역이 도시화되면서 발생하는 기상학적 변화가 에너지수지에 미치는 영향과 그에 따른 유역물수지 요소 변화를 분석 과학하는 것은 필요하다.

도시화가 기후변화에 미치는 영향뿐만 아니라 유역 증발산량 및 유출량에 미치는 영향도 연구된 바 있다. 실제증발산량 자료가 없는 경우 연 물수지분석을 통한 잠재증발산량으로부터 실제증발산량을 산정하는 방법은 일반적으로 유역규모에서 토양수분과 지하수함양량의 변화를 무시하는 조건으로 연구가 수행되어 왔다. FAO (Allen 등, 1998)는 연 잠재증발산량 산정을 위한 표준식으로 Penman-Monteith (P-M)방법을 제안한 바 있으며 유역규모에서의 적용 연구가 이루어지고 있다 (Alkaeed 등, 2006). 최근에는 도시유역에서의 증발산분석을 위하여 GIS분석이 적용된 바 있다 (Furaus 등, 2004). 본 연구에서는 도시화에 따른 기상변화와 그에 따른 실제증발산량의 변화나 강우량의 변화 등과 같은 수문학적 변화에 대하여 연구를 수행하였다. 또한 연 실제증발산량 산정을 위한 GIS분석을 실시하였으며 연 물수지 분석으로부터 지역별 유출량을 산정하였다.

* 정회원·청운대학교 철도행정토목학과 부교수 E-mail : csrim@chungwoon.ac.kr

** 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 E-mail : chaehs@kowaco.or.kr

2. 연구 지역

2.1 연구지역 선정

연구 지역을 선정하기 위하여 수문기상자료의 가용성을 검증하고, 검증된 결과를 바탕으로 기상관측지점을 중심으로 반경 10km 범위에서 56곳의 연구 지역을 선정하였다. 연구 지역을 선정하기 위하여 다음과 같은 사항을 고려하였다. 첫째, 수문기상자료 관측지점의 도시화 정도가 증발산에 미치는 영향을 판단하기 위하여 전체 면적에 대한 주거지 면적 비를 이용하여 도시화 정도를 구분하였다. 둘째, 해안과의 근접성이 증발산에 미치는 영향을 파악하기 위하여 관측지점의 해안 근접성을 고려하였다. 셋째, 관측지점 인근에 호소, 평야, 산지 등의 지형적 조건이 증발산에 미치는 영향을 고려하였다. 선정된 56개의 연구지역은 우리나라 한반도 전역에 걸쳐서 해안지역 및 내륙 지역에 고르게 위치하고 있으며, 또한 연구지역의 지형특성이 평야, 산악, 호소 등에 고르게 분포하여 도시화에 따른 수문기상변화를 분석하는데 적절하리라 판단된다.

2.2 수문기상 자료

본 연구를 위하여 수집 분석될 자료는 강수, 기온, 풍속, 습도, 운도, 일조시간, 증발량자료 등이며, 전국 56개 기상관측지점 중 서울을 포함한 11개 대도시의 경우 1970년부터 5년 간격으로 2004년까지 8개년에 걸쳐서 분석을 실시하였고, 속초를 포함한 45개 중소도시의 경우 1975년부터 10년 간격으로 4개년에 걸쳐서 분석을 실시하였다. 전국 56개 지점에서 관측되는 수문기상 관측자료를 수집하여 도시화에 따른 기상요소 변화를 분석하였다.

2.3 지리정보 자료 검토

한강 등 4대강 유역조사(전교부, 한국수자원공사) 결과로 국가수자원관리종합정보시스템에서 제공되고 있는 자료를 활용하여 수치표고자료와 토지피복도 그리고 임상자료에 대한 분석을 실시하였다. 1975년도부터 2000년도까지 6개 년도에 대한 토지피복도를 분석하였다. 1975년도 및 1980년도의 경우 Landsat MSS를 이용한 자료이며, 1985년도, 1990년도 및 1995년도의 경우 Landsat TM, 그리고 2000년도의 경우에는 Landsat ETM를 이용하여 분석된 자료이다.

선정된 56개 연구 지역에 대해서 기상관측지점을 중심으로 반경 10km 범위의 314km²에 대해서 GIS분석을 통하여 1975년, 1980년, 1985년, 1990년, 1995년 2000년의 6년간의 토지피복현황, 지역평균고도, 지역경사 및 임상조건에 대해서 분석을 실시하였다. 기상자료와 동일한 기간을 적용하는 것이 타당하나 1970년 및 2004년 자료의 경우 GIS분석을 위하여 자료 사용에 어려움이 있어 분석자료에서 제외하였다. 연구지역들의 토지피복 현황변화를 분석한 결과 대부분의 대도시 지역에서 주거지면적의 비율이 증가하고 있고, 반면에 산림이나 농경지의 면적이 계속적으로 감소하고 있다.

2.4 연구 지역 및 수문기상 자료

전국 56개 기상관측지점을 중심으로 반경 10km 범위에서 연구 지역을 선정하였다. 연구 지역의 도시화정도를 판단하기 위하여 토지이용현황을 분석하였다. 56개 지역에 대해서 GIS분석을 이용하여 토지이용조건과 지역평균고도자료 등을 분석한 결과를 바탕으로 연구지역을 분류하였다.

전국 56개 지점에서 관측되는 수문기상 관측자료를 수집하여 도시화에 따른 기상요소 변화를 분석하였고 특히 도시화가 상당히 진행된 대도시지역을 중심으로 분석하였다. 수집된 자료를 바탕으로 본 연구의 궁극적 목표인 도시화에 따른 기상변화가 물수지에 미치는 영향 평가를 위하여 자료의 적절성을 분석하였다. 본 연구를 위하여 분석된 기상자료는 강수, 기온, 풍속, 습도, 운도, 일조시간, 가조시간, 일사량 등이다.

3. 도시화에 따른 물수지 변화 분석

도시화에 따른 기상변화가 물수지에 미치는 영향을 분석하기 위하여 연구지역 내에서 연 실제증발산량을 산정하였고, 도시화에 따른 연 유출량변화를 모의하기 위하여 연 물수지분석을 실시하였다.

3.1 실제증발량 산정

1975년, 1980년, 1985년, 1990년, 1995년, 2000년 수문기상자료와 토지이용자료를 이용하여 추정된 식생지수를 이용하여 지역별 반경 10km지역의 실제 증발산량을 산정하였다. 여기서 연 실제증발량은 Zhang 등 (2001)에 의해서 전 세계 250개 유역에서 장기간의 물수지분석으로부터 유도된 경험공식을 적용하였다.

$$AET = \left(\frac{1 + w \frac{PET}{P}}{\frac{1 + w \frac{PET}{P} + \frac{P}{PET}}{P}} \right) \times P$$

여기서 AET는 실제증발산량(mm/년), PET는 잠재증발산량(mm/년), P는 강수량(mm/년), w는 식생이 증산작용에 의한 물사용 정도의 차이를 반영하는 계수이다. 여기서, w지수는 연구지역의 토지피복조건을 이용하여 산정하였으며 주거지역의 경우 0, 나대지의 경우 0.2, 논, 밭, 초지의 경우 0.5, 산림의 경우 2.0, 수역의 경우 실제증발산은 잠재증발산량의 1.076배로 간주하였다.

도시화정도가 큰 연구지역의 경우 도시화가 진행됨에 따라서 잠재증발산량의 증가추세를 보이고 있다. 도시지역 내 습도의 감소영향을 가장 크게 받는 것으로 판단되며, 도시지역 내의 일사량 감소에 따른 순단파복사량의 감소나 기온상승에 따른 순장파복사량의 증가에 의해서 영향을 받는 것으로 보인다. 따라서 도시화에 따른 기상변화가 실제증발산량을 증가시키는 요인과 도시화가 진행됨에 따라 주거지면적이 증가하여 실제증발산량을 감소시키는 요인이 복합적으로 작용하는 것으로 기대된다.

하지만 56개 지역의 실제증발산량 분석결과에 의하면 도시화에 따른 특정한 경향을 찾아볼 수 없다. 강수량변화가 실제증발산 산정에 미치는 영향이 커서 도시화에 따른 기상변화로 인한 실제증발산량의 증가나 주거지면적 증가로 인한 실제증발산량의 감소를 판단하는데 어려움이 있다. 토지이용별 실제증발산량 변화를 분석한 결과 주거지역의 실제증발산량은 주거지면적이 증가함에 따라서 증가하는 추세를 보이고 있다.

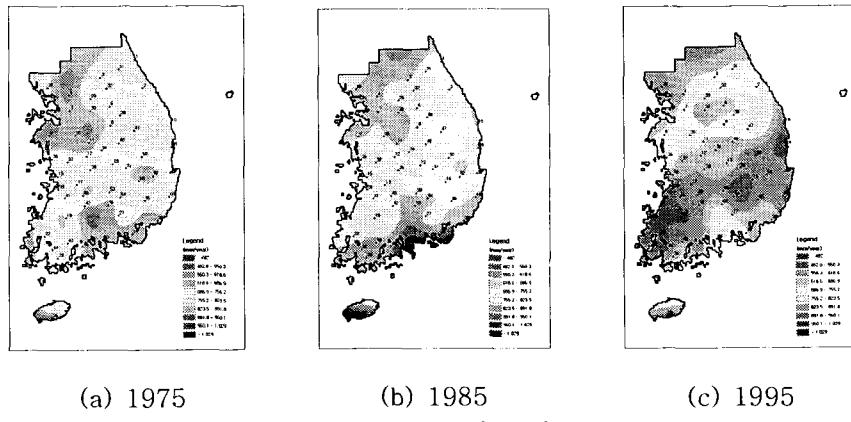


그림 1. 실제증발산량 분포

3.2 물수지 변화 분석

56개 연구지역에 대해서 1970년, 1975년, 1980년, 1985년, 1990년, 1995년, 2000년 그리고 2004년에 대해서 연 강수량자료를 수집하여 도시화 정도에 따른 분석을 실시하였다. 연구지역으로부터의 연 유출량(Q , mm/년))은 연 강수량(P , mm/년)과 실제증발산량(AET, mm/년)과의 차이($Q=P-AET$)를 이용하여 산정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 도시화지역에서 유출량은 강수량의 변화에 직접적인 영향을 받고 있고, 실제증발산량의 변화정도는 강수량의 영향을 받음에도 불구하고 강수량에 비하여 그 편차가 크지 않다. 도시화에 따른 실제증발산량의 변화는 유출량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보이며, 따라서 도시화가 연 유출량에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

서울, 인천, 수원 등 수도권지역의 경우 1990년에 다른 지역과 비교하여 많은 강수량을 보여 유출량이 증대되었

음을 볼 수 있고, 광주, 부산, 제주지역의 경우 1985년에 다른 지역과 비교하여 많은 강수량을 보여 유출량이 증대되었음을 볼 수 있다. 이들 기간 중에 강수량은 잠재증발산량을 매우 초과하여 습한 기간이었음을 알 수 있다. 반면에 1995년의 경우 포항, 대구, 울산, 광주 그리고 부산지역의 강수량이 잠재증발산량보다 적어서 이 기간 중에 이들 지역이 매우 건조한 기간이었음을 보여준다.

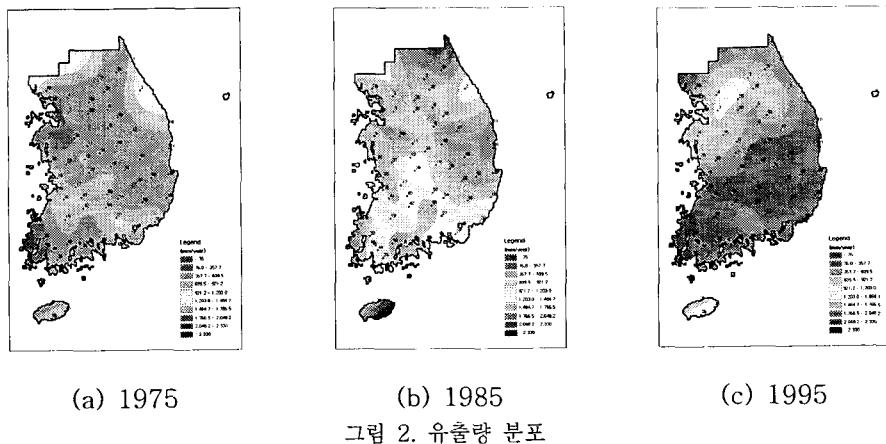


그림 2. 유출량 분포

4. 결 론

도시화에 따른 기상변화가 물수지에 미치는 영향을 분석하기 위하여 11개 연구지역 내에서 연 실제증발산량을 산정하였고, 도시화에 따른 연 유출량변화를 모의하기 위하여 연 물수지분석을 실시하였다. 도시화정도가 큰 연구지역의 경우 도시화가 진행됨에 따라서 잠재증발산량의 증가추세를 보이고 있다. 따라서 도시화에 따른 기상변화가 실제증발산량을 증가시키는 요인과 도시화가 진행됨에 따라 주거지면적이 증가하여 실제증발산량을 감소시키는 요인이 복합적으로 작용하는 것으로 기대된다. 도시화지역에서 유출량은 강수량의 변화에 직접적인 영향을 받고 있고, 실제증발산량의 변화정도는 강수량의 영향을 받음에도 불구하고 강수량에 비하여 그 편차가 크지 않다. 도시화에 따른 실제증발산량의 변화는 유출량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보이며, 따라서 도시화가 연 유출량에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

- Alkaeed, O., Flores, C., Jinno, K. and Tsutsumi, A. (2006). "Comparison of several reference evapotranspiration methods for Itoshima peninsula area, Fukuoka, Japan." memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu Univ. 66(1), 1-14.
- Allen, R.G., Peretira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). "Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-FAO irrigation and drainage paper 56." FAO, 1998. ISBN 92-5-104219-5.
- Furaus, M.J., Wagner, D.G., Podmore, T.H. (2004). "Using remotely sensed imagery and GIS for urban

- evapotranspiration studies." *Applied Engineering in Agriculture* 21(3), 347-355.
4. Zhang, L., Dawes, W.R., Walker, G.R. (2001). "Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale." *Water Resources Research* 37(3), 701-708.