

분산식 빗물관리시설 적용에 따른 증발산 변화 연구

Study on the Changes in Evapotranspiration according to the Decentralized Rainwater Management

한 영 해* 이 태 구**
Han, Young-Hae Lee, Tae-Goo

Abstract

In this study, the influence of decentralized rainwater management over the changes in evapotranspiration was analyzed. The analysis method was obtained by establishing the decentralized rainwater management plan according to different scenarios, and subsequently examined evapotranspiration in the plan.

Scenario 1 refers to the analysis of the existing situation, in which was 100% of a parking lot is asphalt pavement. In Scenario 2, the pavement of the parking surface in the parking lot is replaced with lawn blocks. In Scenario 3, some asphalt pavement was removed to establish a flower-bed type infiltration system to allow rainwater to permeate. In Scenario 4, infiltration and storage of rain water would be achieved by transforming the parking surface into lawn blocks, keeping the asphalt for the parking road while establishing a vegetation strip. The amount of evapotranspiration of the target site was analyzed with a water budget analysis program (CAT) using the 2001 meteorological data for each scenario

According to the analysis values of S2 and S3, it was found that evapotranspiration is critically affected by the amount of area replaced with pervious area in the total target site. An energy equivalent to 680kWh is required for 1 ton of water to evaporate. Hence, it can be seen that the active inducement of evapotranspiration in urban area makes a positive contribution not only to heat island mitigation, but also to the small-scale water circulation process in a city.

키워드 : 소규모 물순환, 분산식 빗물관리, 증발산, 증발잠열, 기후변화, 에너지밸런스

Keyword : Small Water Circulation, Decentralized Rainwater Management, Evapotranspiration, Latent Heat of Evapotranspiration, Climate Change, Energy Balance

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 2006~2010년 동안 우리나라는 세종시, 혁신도시, 기업도시 등 대규모 개발사업이 집중되면서 연간 농지 전용면적이 연평균 2만ha에 이른다¹⁾. 도시화에 따라 주로 산업단지 조성 등 공장설치, 주거시설 용도의 택지개발을 위한 농지전용에 의한 것이다. 또한 2010년 현재 우리나라의 도시지역은 전국토의 16.6%인 17,492km²로서 도시화율로 볼 때, 도시지역 도시화율은 90.9%에 이르고 있다.

도시지역은 대부분 포장된 지역과 식생이 거의 없는 부분적으로 침투가 가능한 포장면으로 구성되어 있다. 이

러한 도시지역의 국지 및 지역기후는 도시화 및 기타 토지이용변화에 의해 현저하게 바뀐다. 도시기후는 물수지 변화, 복사 및 에너지 수지 그리고 바람장의 변화에 의해 바뀐다(Gross, 1996).

최근의 도시개발 전체를 아우르는 개념으로 지속가능성 및 기후변화 대응이 주를 이룬다. 이를 실질적으로 구현하기 위해 저부하형 개발기법이나 분산식 빗물관리의 개념이 적극 적용되고 있는 것도 이러한 단적인 예일 것이다. 특히 빗물을 관리하고 자연상태의 물순환을 유지하는 것은 기후보호 측면에서 매우 중요한 사항이다. 증발에 의해 재순환되는 빗물이 강우를 발생시키며, 이것이 소위 지표면에서의 “소규모 물순환”을 구성하고 지역차원의 강우발생에 많은 부분을 차지하고 있기 때문이다 (Schmidt, M. 2009)²⁾.

* 주저자, 에코아르케 생태도시건축연구소장, 공학박사.
youngseahan@empal.com

** 교신저자, 세명대학교 건축공학과 교수, 공학박사.
tg_lee@semyung.ac.kr

1) 2011년 농림수산식품부 보도자료

2) 해양으로부터 증발되어 육지로 이동하여 생성하는 강우는 평균적으로 지역단위의 강우발생에 단지 작은 비율만 차지하게 된다. 더 큰 부분이 해당 육지에서 수분이 증발되어 강우가 발생하는 것이다.

지금까지 분산식 빗물관리가 개발로 인해 발생하는 유출증가를 친환경적으로 해당지역에서 처리하기 위하여 빗물의 이용 및 침투, 저류에 초점을 맞추어왔다. 기존의 전통적인 빗물배수와 비교하면 분산적으로 빗물을 침투하는 것이 상당한 이익이 있음에도 불구하고, 이러한 접근은 자연적인 물순환과 연계되는 에너지순환 측면을 충분히 고려하지 못하고 있다.

최근 독일 베를린의 도시개발국(Berlin Senate for Urban Development Department VI, Ministerial Building Affairs, 2010)에서의 한 연구결과에 따르면, 도시지역의 문제는 침투율의 저감에 있는 것이 아니라 오히려 식생으로 피복된 토양면의 부족에서 오는 증발산의 부족에 있음을 밝히고 있다. 밀봉된 포장면을 대체하거나 밸런스를 맞추기 위해서는 환경적 중요성이 강우, 증발, 그리고 응결의 자연물순환 과정을 유지하는 다양한 조치들에 있어야 할 것을 주장하며, 이는 곧 식생구조, 녹화, 개방된 수공간을 조성하는 것, 그리고 빗물을 이용하여 건물을 냉방하는 등 물순환의 과정에서 에너지순환을 적극 유도하는 것을 의미한다.

이에 본 연구에서는 지금까지 논의되었던 분산식 빗물관리를 침투·저류를 통한 유출량 저감 뿐 아니라 물순환 과정에서 발생하는 증발산량을 분석하고자 한다. 이는 향후 분산식 빗물관리를 통하여 도시지역의 미기후 개선효과를 정량적으로 분석하는데 관련이 있을 것으로 본다.

1.2 연구방법 및 내용

연구내용은 다음과 같다.

기존에 논의되었던 분산식 빗물관리시설들의 증발산량을 계산함으로써 이들이 도시지역의 에너지밸런스에 미치는 영향 정도를 분석하고자 한다. 이를 위해 한 대상지를 선정하여 여러형태의 분산식 빗물관리의 계획시나리오를 설정하고 이에 따른 해당 시나리오별 증발산량의 변화를 분석하고자 한다.

분석방법은 한국건설기술연구원 내 주차장 일부 부지를 대상으로 각 시나리오별 물수지분석프로그램(CAT)을 이용하여 대상지의 증발산량을 분석하고 이를 에너지측면에서 비교한다(그림1 참조).

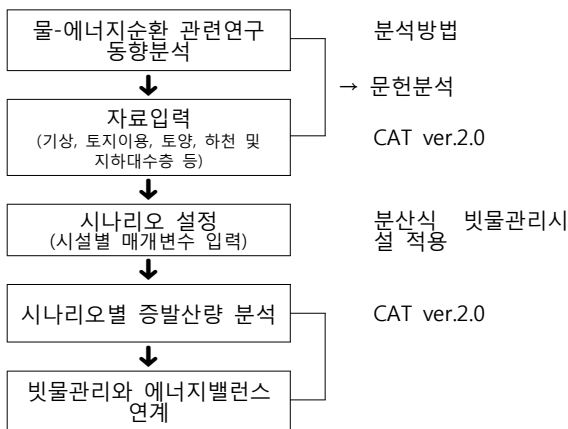


그림 1. 연구프로세스 및 주요내용

2. 관련동향 및 연구사례 분석

2.1 물순환과 에너지순환

1) 물순환과 에너지순환의 관계

물의 순환은 태양복사에너지에 의해 해양과 대지에서 증발로 시작된다. 증발과정은 에너지 수송을 수반하며 증발에 필요한 열량을 증발잠재열(latent heat of Evaporization)이라 한다. 녹지에서 물이 식물에 의해 흡수되고 증발산되는 과정에서 주변의 복사열을 흡수하여 냉각열로 바뀌게 되고, 이로 인해 주변 온도가 저감되는 현상이 바로 이러한 과정이다³⁾.

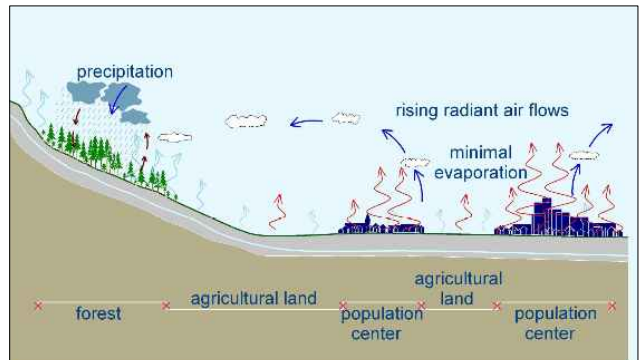


그림 2. 소규모 물순환이 파괴된 지역에서의 구름형성 영향 출처 : Kravč.řík, M.; J. Pokornýy, J. Kohutiar, M. Kováč., 15 Reichmann, B. (2009)

그림2에서 보는 바와 같이 산림지역과 농경지역, 도시지역은 지표면의 복사와 증발양상이 다르며, 도시화가 진행된 지역일수록 증발량이 적어지고 복사열이 증가한다. 이 때 도시지역에서 증가하는 복사에너지가 도시 상층의 구름을 주변의 자연지역 즉, 좀 더 온도가 낮은 지역으로 이동시키게 되며, 따라서 이 지역에 구름이 많아져 강우가 발생된다(Kravč.řík, M.et al 4, 2009)

이와 같은 과정이 반복되면서 도시지역은 증발량과 침투량이 적어지고 또한 총강우량이 줄어들며 따라 소규모의 물순환이 깨어지게 된다. 이는 또한 이상기후 현상을 증가시켜 기후변화를 가져오게 되는 것이다. 특히 사막지역에서 사막화가 더 가속화 되는 이유는 그 지역의 지표면 복사에너지는 증가하는 반면 증발량은 지속적으로 감소하기 때문이다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위해서는 소규모의 물순환 과정, 즉 빗물의 침투와 저류, 증발현상이 재정립되도록 지표면에 인위적으로 침투저류공간을 만들어 줌으로써 기후가 회복되고 그 지역에서의 수문학적 회복으로 확장될 수 있다.

증발은 수면뿐만 아니라 나지, 초목으로 피복된 토양, 초목, 지붕, 도로와 같은 불투수면에서도 일어난다. 증발률은 표면의 색, 반사성질, 표면의 노출상태에 따라 다르

3) 증발잠재열은 1대기압에서 1g의 물을 증기로 변환하는데 필요한 열량(cal)이며, 100℃ 1기압에서 증발잠재열은 539cal/gm이다. 이는 곧, 1톤의 물이 증발하기 위해서는 주변의 복사열 680kWh를 흡수하게 되는 것이다.

게 된다. 따라서 증발에 영향을 주는 인자는 태양복사열, 증기압구배, 온도, 기압, 습도, 풍속, 수질 및 토양 등 증발표면의 성질이다(윤태훈, 2001). 이중 계획적 또는 의도적으로 변화를 줄 수 있는 부분이 증발표면의 성질인데, 초목, 건물과 같이 경우에 노출되는 모든 표면은 증발표면이 된다.

2) 빗물관리와 도시에너지관리의 연계

기후변화와 관련하여 지역차원에서 시행되어야만 하는 페러다임의 전환은 현재의 도시계획과 물관리에 있어서 에너지밸런스와 물순환이 충분히 재고될 필요가 있다. 독일에서 최근까지는 빗물침투가 빗물관리의 주요한 전략이었다. 그러나 침투가 표면 유출수에 미치는 부정적인 영향을 방지하는데 커다란 도움이 되었음에도 불구하고, 침투는 자연의 물순환 사이클에 충분히 반영되지 못하고 있음을 수년간의 모니터링을 통해 밝히고 있다. 도시지역은 침투율이 줄어드는 것으로 특징지워지는 것이 아니라 오히려 물순환의 요소 중 간과되고 있는 것이 증발산이라는 것이다(Schmidt, M. 2009).

베를린 도시개발국에서는 2010년 이제까지의 분산식 빗물관리 프로젝트를 수행한 결과를 토대로 강우, 증발 및 새로운 지하수 생성 등의 자연적 물순환에 영향을 끼치는 관점에서 빗물관리시설에 대한 재평가를 실시한 바 있다. 표 1은 각 시설에 대한 평가를 나타낸 것으로 빗물관리와 자연적인 물순환, 에너지 순환 등의 총체적 측면에서 기존의 주차장, 정원, 보도 등 불투수 포장면을 투수면으로 교체하는 조치가 가장 의미있는 것으로 보고 있다. 더욱이 벽면녹화와 지붕녹화, 수공간, 식생형 침투 시설이 높은 점수를 받은 것에 비해, 트렌치 침투시설이나 장치형 침투시설은 전체적인 물순환에 미치는 영향이 적음을 나타내고 있다.

표 1. 자연적 물순환 관점에서의 분산식 빗물관리시설 평가

순위	평가	조치
1	●●● 1.0	불투수 포장면에 대한 투수화 (주차장, 정원, 보도 등)
2	●●○ 0.78	벽면녹화와 지붕녹화
3	●● 0.67	도시의 인공수공간, 개방형 수공간
4	●○○ 0.56	건축물 냉방 및 관개용으로 빗물이용
5	●○ 0.44	식생형 침투시설(수목 또는 관목형), 잔디수로
6	● 0.33	빗물의 화장실용수 사용과 그밖의 중수이용
7	○○ 0.22	트렌치 침투, 부분투수포장면
8	○ 0.11	장치형 침투시설

출처: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2010.7

2.2 관련연구동향

1) 국내

국내에서 도시열섬 현상 및 도시 열환경 개선과 관련해서는 주로 녹지 분야에서 접근하고 있다. 녹지네트워크 및 바람길 구축방안(차재규외3, 2007. 김수봉외3 2004), 건물녹화 유형에 따른 도시 열환경 특성(김금지외3,

2011), 옥상녹화에 따른 건축물 열환경 변화(박찬필외 1.2004. 정재용외2,2008. 장대회외3,2006 등), 지표면 포장 유형에 대한 열환경 특성(한승호외, 2008. 류남형 외 1.2006 등)에 관한 연구가 주를 이루고 있다.

이는 곧 지상피복 상태에 따라 에너지밸런스에 어떠한 변화가 있는지에 대한 연구로서 대부분 포장된 도로와 건물, 지붕등에 의한 도시기후 영향이 자연지역의 피복상태와 다름에서 출발하게 되는 것이다.

포장별 표면온도 분포특성에 관해서는 서용철(1995)이 대구지역의 기상자료를 바탕으로 아스팔트 포장면과 잔디면을 대상으로 모의 실험하여 포장별 표면온도 분포특성을 연구한 결과, 아스팔트면의 온도가 최소 65.4℃를 보이고 일사가 존재하는 낮 동안 고온성이 뚜렷하게 나타남을 밝혔다. 한편 잔디면의 경우는 표면온도가 낮동안 크게 상승하지 않고 외기 기온을 약간 상회하는 정도로 나타났는데, 이는 잔디의 증발산 및 토양의 수분등이 증발하면서 잠열발생으로 인해 온도가 낮은 것으로 분석된다.

이들 선행연구 중의 또 하나 공통점은 녹화에 의한 도시열섬 해결방안이다. 도시차원에서 녹지체계를 구축하거나 건축물차원에서 녹화를 도입하는 등의 접근방식은 결국 식물에 의한 증발산 시 잠열에 의해 주변기온이 저감된다는 이론에 근거를 두고 있는 것이다.

그러나 아직까지 국내에서는 옥상녹화, 포장체 등의 단일 실험 및 효과분석에 국한되어 있고, 공간적응에 있어서도 컴퓨터 프로그램에 의한 효과 분석이 주를 이루는 한계를 갖고 있다.

한편, 분산식 빗물관리와 관련하여 개발 후 예상되는 유출량을 저감하기 위한 방안으로 빗물의 저장 및 침투 시설 설치를 제안하고 이에 대한 효과를 제시하는 연구(이태구외1, 2011; 한무영외1, 2007)가 주로 이루어지고 있다. 이는 개발로 인한 영향을 최소화하는 LID 빗물관리와 그 맥을 같이 하며, 내용적으로도 초기 오염빗물 유출 최소화, 개발로 인한 빗물유출 증가량 저감 등에 초점을 맞추고 있다(현경학, 2012).

2) 국외

도시의 미기후에 대한 논의가 활발해지면서 그동안 지표면 구성재료에 따른 지표면 온도특성에 대한 연구(Landsberg, 1981; Robinette, 1977; Suh, 1995, Yoshino, 1981)와 보다 규모가 큰 지역의 미기후 특성에 대한 연구가 이루어져 왔다.

도시형태 및 소재와 표면의 열흐름 관계에 대하여는 다마 뉴타운을 대상으로 도시블럭 형태 및 이를 구성하는 소재와 표면으로부터 열흐름과의 관계를 연구한 바 있다. 6개의 사례지를 대상으로 도시블럭을 건물 필로티 타입에 따라 5개 유형으로 구분, 각 건물의 열특성과 형태와의 관계, 토지피복상태(식생지, 나대지, 아스팔트, 건폐지)와의 관계를 바탕으로 각 블록의 총 표면으로부터 열 흐름을 분석한 바 있다(A. Hoyano et al. 3, 1999).

이러한 연구결과로 도심에서의 국지적 고온성을 해결

하기 위해서 투수성 포장재료의 사용이 쾌적한 외부 환경 조성과 건물의 냉방부하 감소 등에 효과를 기대할 수 있으나 일부지역만의 포장재 변화가 미기후 조절 측면에는 다소 한계점을 갖게 됨을 알 수 있다. 결국 도시지역 전체를 대상으로 균형된 토양포장 개선 노력이 도시 미기후 조절효과를 발생시킬 수 있을 것으로 추정된다.

3) 본 연구와의 차별성

본 연구에서는 분산식 빗물관리시설의 유형에 따라 적용했을 경우 달라지는 증발산량을 중심으로 분석하였다. 이는 기존의 분산식 빗물관리 계획 적용 후 유출량 감소 및 침투량 증대, 침투유출량 감소 등의 관점에서 효과를 분석했던 것과 달리, 증발산의 증대를 통해 도시 미기후에 미칠 영향을 중심으로 분석하고자 하는 것이다.

3. 분산식 빗물관리 시설에 따른 증발산량 분석

3.1 분석방법

도시지역에서 물순환과 에너지순환 두 측면을 동시에 고려할 수 있도록 분산식 빗물관리시설 중 지표면 변화가 가능한 시설을 선정, 이를 대상지에 적용함으로써 변화하는 증발산량을 분석하였다.

대상지는 한국건설기술연구원 내 주차장 일부 부지로서 각 시나리오별 물수지분석프로그램(Catchment Hydrologic Cycle Assessment Tool, ver.2.0)을 이용하여 대상지의 증발산량을 구하였다. 본 모형은 다양한 분산식 빗물관리 시설을 적용하여 유출량, 침투량, 증발산량 등 물수지분석이 가능하다. 분석을 위하여 해당지역의 지형, 지질, 수문, 수리, 기상 등의 특성을 반영하는 입력자료가 필요하며, 물리적 매개변수 값들은 토지이용자료, 토양도, 하천자료 등을 활용하여 입력하였다. 또한 시나리오를 설정, 시나리오 별 대상지의 증발산량을 분석하고 이를 에너지 측면에서 비교하였다.

1) 모형 입력자료 구축

① 기상자료

본 모형에 입력한 기상자료는 서울기상대의 강우, 평균 기온, 풍속, 일조시간, 습도 등의 시계열자료이다. 2000-2007년의 기상자료를 이용하였다.

② 토지이용 자료

대상모의유역인 주차공간의 면적은 553m²이며 시설 설치전에는 100% 불투수포장으로 이루어졌다. 여기에 화단형 침투저류시설을 기존의 녹지대에 조성할 경우 115m²의 시설면적이 투수면으로 확보된다. 또한 불투수지역 및 투수지역의 웅덩이 저류능은 각각 2mm를 적용하였다.

③ 토양

CAT에서는 토양에서의 침투 및 증발산 등을 토양의 물리적 특성에 기반하여 해석하며, 이를 위해서는 표층토양에 대한 매개변수 자료가 구축되어야 한다. 본 모형에서 사용되는 표층 토양의 물리적 특성치는 토양 깊이, 포화투수계수, 사면방향 투수계수, 포화함수율, 잔류함수율, Mualem's n 등이 있으며(한국건설기술연구원, 2011), 표

층토양의 매개변수에 대한 정보는 매뉴얼에 제시된 해당 토양의 변수값을 입력하였다.

해당지역의 표층토양은 Sandy Clay Loam이며 이에 대한 매개변수값은 다음과 같다.

표 2. 토성의 표층토양 입력 매개변수

토성	s_per	r_per	FC_per	W_per	Ks_per (mm/s)	Ksi_per (mm/s)	Mualem's n
Sandy Clay Loam	0.398	0.068	0.33	0.148	8.3E-04	8.3E-03	12

출처: 한국건설기술연구원, 2011

④ 하천 및 지하대수층

지하대수층 입력값 중 현재지하수위(gwE) 및 대수층 상면표고(aqu Top)값은 침투시설의 침투능에 영향을 미치므로 2m 간격을 조건으로 설정하였다. 이는 침투시설의 설치 조건 시 일반적으로 지하수위로부터 2m 이상 거리가 유지된 지역에 침투시설을 설치하도록 하는 조건을 만족하기 위함이다.

2) 증발산 분석방법

본 프로그램에서는 Penman-Monteith 방법을 사용하여 토양과 식생피복으로부터의 증발, 증산, 승화, 지표부터의 증발을 모두 포함하는 잠재증발산량을 계산한다. Penman-Monteith 방법은 증발산을 유지하기 위한 에너지, 수증기를 제거하기 위한 기작의 강도, 공기역학적 저항, 표면저항을 설명하기 위한 요소들로 구성되어 있다(한국건설기술연구원, 2011).

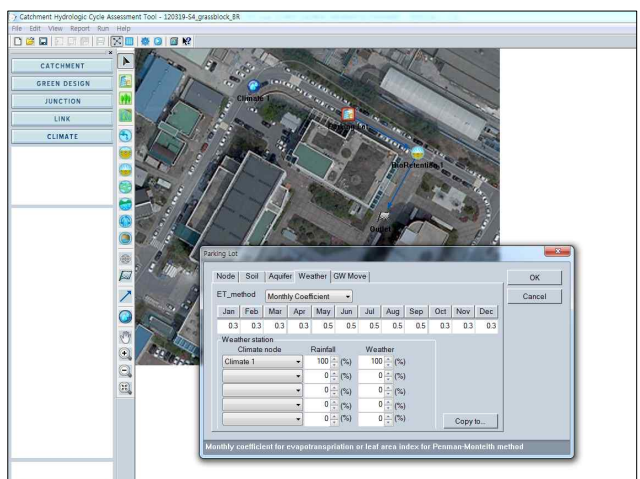


그림 3. S4의 증발산량 모의화면

입력한 기상자료를 토대로 해당시설의 증발산량을 계산하기 위하여 Weather 항목의 매개변수를 입력하며, 실제 증발산량(ET_method) 산정 방법 중 직접 입력한 잠재증발산량에 월별계수를 곱하여 실제증발산량을 계산하는 방식으로 월별 증발산 보정계수(Monthly Coefficient)를 입력하였다(그림3 참조).

3.2 시나리오 설정

1) S1. 기존현황 - 불투수면

기존의 주차장 현황에 대한 증발산량을 분석한다. 전체 면적 553㎡이며 주차면과 주차로 모두 아스팔트 포장면으로 되어 있다.

2) S2. 불투수포장면의 부분 제거

주차장내 주차면은 잔디블럭으로 교체함으로써 일부 불투수포장면을 투수면으로 대체하고 차량의 통행이 빈번한 주차로는 아스팔트 포장을 유지한다. 교체되는 면적은 전체면적의 60%인 332㎡이다.

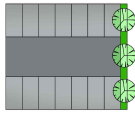
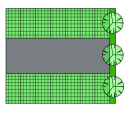
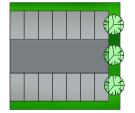
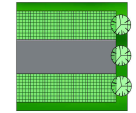




3) S3. 주차장내 화단형 침투시설 설치

기존 주차장내 일부 면적을 녹지화하고 이를 빗물의 침투 및 저류가 가능한 화단형 침투시설로 조성한다. 이때의 시설면적은 전체 면적의 20%로서 115㎡이다.

4) S4. 불투수포장면의 부분제거 및 침투시설 설치

S2와 S3의 통합적용 예로서 주차면은 잔디블럭으로 조성하고 주차로는 아스팔트면을 유지하며 주차장 녹지대는 화단형 침투시설을 적용한다. 기존 현황에 비해 전체 면적의 80%가량이 포장제거 된 형태이며 적극적인 빗물의 증발산, 침투저류를 유도한 형태이다.

표 3. 시나리오 유형 및 예

S1	S2	S3	S4
			
			

4. 결과 및 고찰

4.1 분산식 빗물관리시설별 증발산량

2007년 1월부터 12월까지의 기상자료를 적용하여 분석한 결과, 각 시설별 증발산량은 다음과 같다. 아스팔트 포장면에서 일 증발산량은 0.0~2.4mm/day가 일어나고 연간 161.8mm의 증발산이 일어났다. 연중 일 증발산량이 2.0mm 이상 일어난 날수가 총 6일이며, 일 증발산량값이 0인 날이 총 161일에 해당한다. 반면, 잔디블럭에서는 일 증발산량은 0.0~2.53mm/day가 일어나고 연간 320.9mm의 증발산이 일어났다. 연중 일 증발산량이 2.0mm 이상인 날이 총 14일이며 일 증발산량값이 0인 날이 총 6일에 해당한다. 화단형 빗물침투시설에서는 일 증발산량은 0.0~3.12mm/day가 일어나고 연간 344mm의 강우가 증발한 것으로 나타났다. 연중 일 증발산량이 2.0mm 이상인 날이 총 37일이며 일 증발산량값이 0인 날이 총 53일에 해당한다 (그림4 참조).

이러한 분석결과로 미루어볼 때, 잔디블럭의 경우에는 연 중 고르게 증발산이 일어나고 있으며, 화단형 침투시설의 경우에는 침투시설을 이루고 있는 토양과 식생에

의해 일 증발산량이 많은 것으로 판단된다.

단위면적당 증발산량이 잔디블럭의 경우 아스팔트와 비교하여 약 1.98배 증가한 수치이며, 잔디블럭과 화단형 빗물침투시설간의 증발산량 차이는 그다지 크지 않은 것으로 분석되었다.

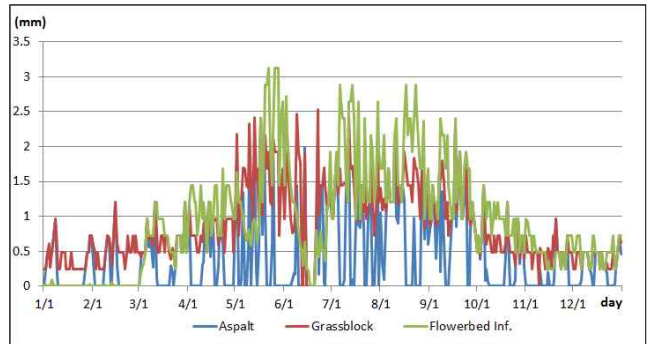


그림 4. 적용시설별 일증발산량 (2007기상자료)

4.2 시나리오별 증발산량

1) S1 기존현황 - 불투수면

연중 강우가 그림5의 상단 그래프와 같이 발생하였으며, 기존의 주차공간인 아스팔트에서는 시간당 0.0~0.13mm의 증발산량이 일어나고 있다(그림5의 하단곡선). 이 값은 해당지역에서 년 간 총 89.6톤의 물이 증발산된 양이며, 이때 증발에 의한 잠열이 약 60,928Kwh가 발생하게 된다(표4 참조).

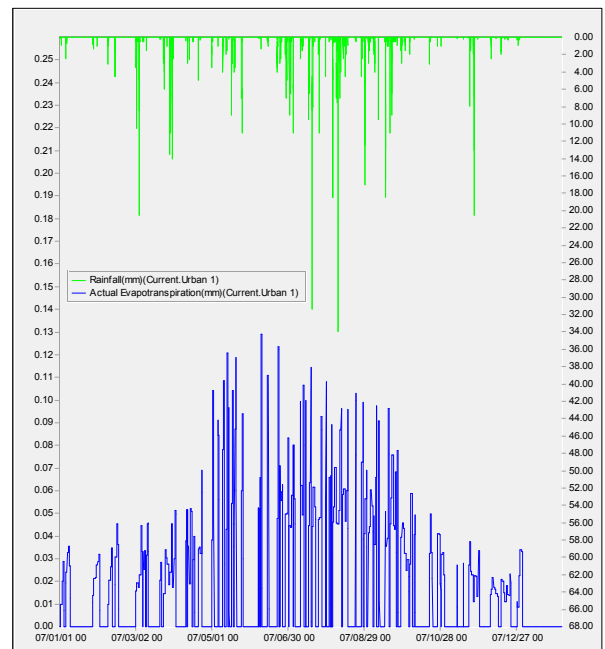


그림 5. S1의 년 강우량 대비 증발산량(mm/day)

2) S2. 불투수포장면의 부분 제거

주차면을 잔디블럭으로 교체한 후에는 0.0~0.13mm/hr 증발산이 일어나고 있으나 기존 주차공간과는 달리 약 6일을 제외하고는 지속적으로 증발산이 일어나는 것으로 분

석되었다(그림6의 하단곡선). 년 간 총 142.2톤이 증발산 되었으며, 이에 의한 잠열이 약 96.696Kwh가 발생하게 된다(표4 참조).

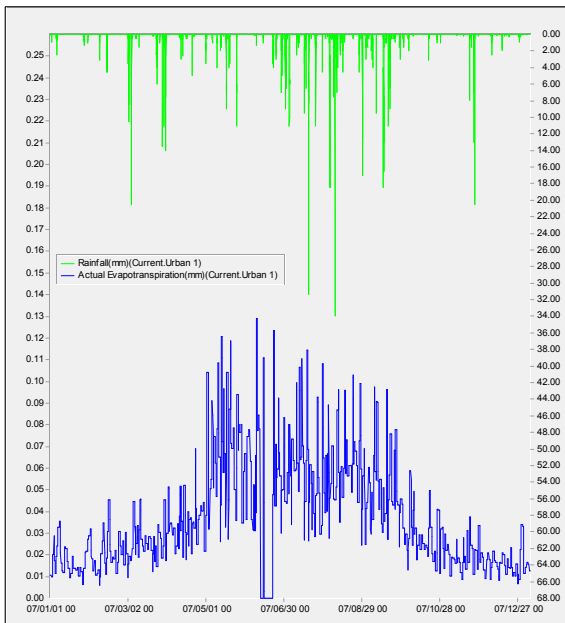


그림 6. S2의 년 강우량 대비 증발산량(mm/day)

3) S3. 주차장내 화단형 침투시설 설치

주차공간 중 일부면적에 화단형 침투시설을 설치하였을 경우 침투시설에서 발생하는 증발산량은 연간 344.4mm이며, 이 값은 아스팔트면에 비해 약 2배에 달하는 값이다. 전체 주차공간에서 연간 110.3톤의 증발산이 발생되며, 이로서 약 75,140Kwh의 잠열이 발생한다(표4 참조). 그러나 시나리오 2와 비교하면, 침투시설을 집중적으로 설치하는 것보다 많은 면적을 투수면으로 교체하는 것이 증발산을 유도하는데 더 효과적임을 알 수 있다.

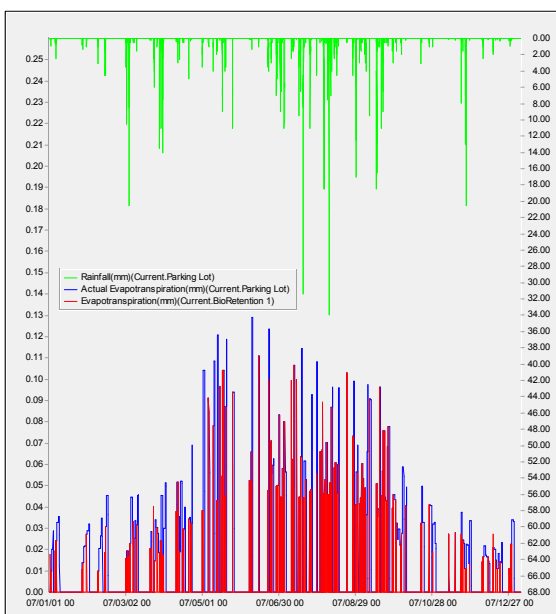


그림 7. S3의 년 강우량 대비 증발산량(mm/day)

4) S4. 불투수포장면의 부분제거 및 침투시설 설치
시나리오 4는 보다 적극적으로 분산식 빗물관리시설을 설치한 경우이며, 따라서 증발산 측면에서 연간 약 162.5톤이 발생되고 이로서 잠열이 110,500Kwh가 발생하는 것으로 분석되었다(표4 참조). 또한 그림8에서 보는 바와 같이 투수면이 확보된 주차면의 증발산(파란곡선)과 화단형 침투시설에서의 증발산(붉은 곡선)이 지속적으로 일어나는 것을 알 수 있다.

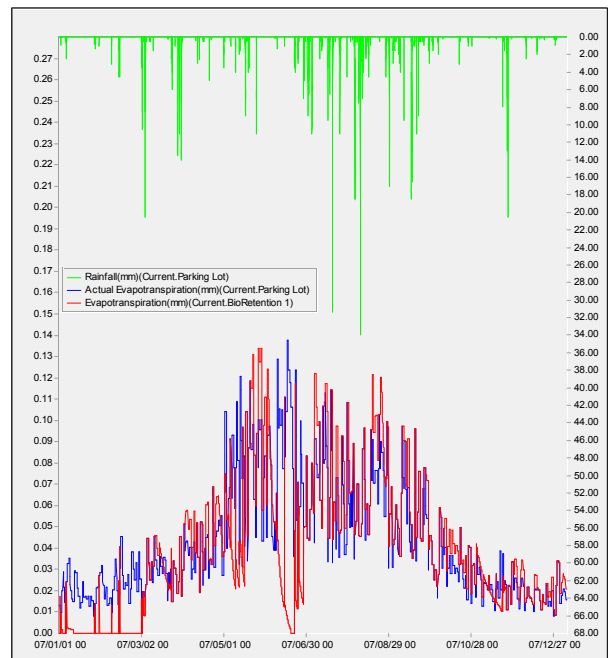


그림 8. S4의 년 강우량 대비 증발산량(mm/day)

5) 소결

대상지에서 년 간 증발산된 량을 계산한 결과, 시나리오 2의 경우 1에 비하여 약 1.58배, 시나리오 4과 비교하였을 때는 1.14배 증가한 값을 나타낸다. 불투수포장면의 일부를 잔디블럭으로 교체한 경우와 화단형침투시설로 교체한 경우의 증발산량을 비교해보면, 결국 증발산량에 영향을 주는 것은 전체 대상지의 어느 정도가 투수면으로 교체되었는가 결정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

표 4. 시나리오별 증발산량 분석

	S1		S2		S3		S4	
	Imper.	Per.	Imper.	Per.-G B	Imper.	Per.-BR	Imper.	Per.-G B Per.-B R
Area (m ²)	553	0	221	332	438	115	109	328 115
Eta(m m/yr)	161.8	0	161.8	320.9	161.8	344.4	161.8	320.9 344.4
ETa (m ³ /yr)	89.6	0	35.7	106.5	70.9	39.6	17.6	105.3 39.6
total (m ³ /yr)	89.6		142.2		110.5		162.5	
LHE (Kwh/yr)	60,928		96,696		75,140		110,500	

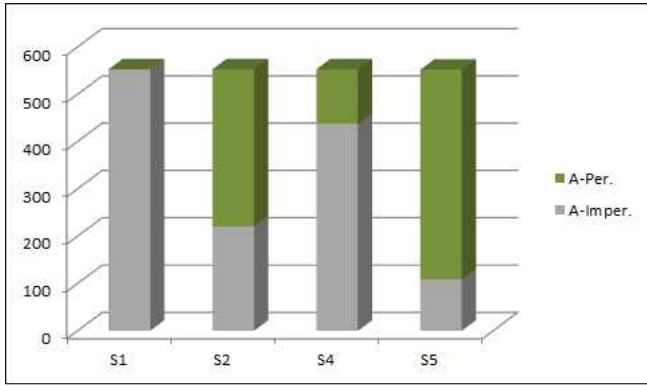


그림 9. 시나리오별 지표면 유형 면적

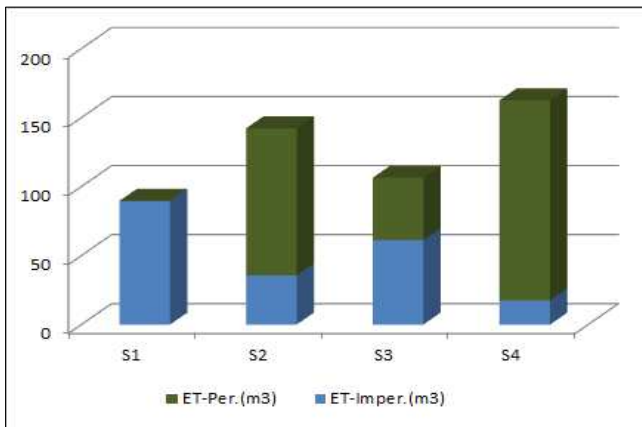


그림 10. 시나리오별 증발산총량

5. 결론

최근까지 분산식 빗물관리가 유출이 발생하는 현지에서 빗물의 이용 및 침투·저류를 통하여 유출억제에 초점을 맞추어왔다. 기존의 전통적인 빗물배수와 비교하면 분산적으로 침투·저류하는 것이 자연적인 물순환 회복에 상당히 유용한 영향을 미치는 것으로 알려져 왔다. 그러나 최근의 기후변화에 따라 분산식 빗물관리를 통해 유출량 저감 뿐 아니라 평상시의 증발산을 통해 도시의 미기후 개선에 유도하고자 하는 움직임이 있어왔다. 특히, 분산식 빗물관리에 있어 선두적인 기술을 발전시키고 있는 독일의 경우에는 최근 분산식 빗물관리의 목표를 유출량 저감 뿐 아니라 지역 내 소규모 물순환, 즉 증발산을 통한 물의 대류적 순환에 초점을 맞추어 물순환과 에너지순환을 연계하여 접근하고자 하는 움직임이 있다.

이에 본 연구에서는 지금까지 논의되었던 분산식 빗물관리를 물순환 측면 뿐 아니라 이와 연계되는 증발산의 변화에 맞춰 분석하였다. 도시지역에서 증발량과 침투량이 적어질 경우 총강우량이 줄어들며 따라 소규모의 물순환이 깨어질 뿐 아니라 이상기후 현상을 증가시켜 기후변화를 가져오기 때문이다.

본 연구를 통하여 도시지역에서 자연적인 물순환을 유도하면서 국지적으로 나타나는 고온현상을 해결하기 위해서는 분산식 빗물관리 계획의 형태가 우선적으로 불투

수면의 포장제거와 투수표면으로 조성함으로써 해당지역에서 침투와 증발산을 유도하는 것이다. 이러한 조치는 쾌적한 외부 환경 조성과 건물의 냉방부하 감소 등의 효과를 기대할 수 있으나 한편으로는 일부지역만의 포장재 변화로 미기후 조절에는 다소 한계점을 갖게 됨을 알 수 있다. 결국 도시지역 전체를 대상으로 균형된 지표면 포장 개선노력이 도시 미기후 조절효과를 발생시킬 수 있을 것으로 추정된다. 앞의 시나리오에 따라 분석한 결과에서도 나타난 바와 같이 증발산량에 영향을 주는 것은 전체 대상지의 어느 정도가 투수면으로 교체되었는가가 결정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

그러나 본 연구에서는 분산식 빗물관리시설에 따라 실제 이러한 증발산량의 변화가 해당지역의 미기후 변화에 어떠한 영향을 끼쳤는지에 대한 분석이 이루어지지 않았다. 즉, 해당지역의 지구복사에너지와 반사에너지, 현열, 순복사열 등 에너지 밸런스를 총체적으로 분석 또는 계측하여 증발산량의 변화가 에너지 밸런스에 어떠한 변화를 주었는지에 대한 향후 분석이 요구된다.

그럼에도 불구하고 현재 기후변화와 관련하여, 물순환과 에너지밸런스를 통합적으로 고찰함으로써 도시계획과 물관리에 있어서 이를 충분히 재고될 필요가 있으며, 이에 본 연구의 의의가 있다.

후 기

본 논문은 국토해양부 첨단도시개발사업(과제번호-11 첨단도시C07)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김수봉, 정응호, 김용범. 도시열섬현상 완화를 위한 대구시 바람길 도입 및 조성방안에 관한 연구. 환경과학논집 2004 Vol.9No.1 p.143-156
2. 김금지외3, 녹화 유형에 따른 도시열환경 형성 특성에 관한 연구. 대한건축학회논문집 계획계 제27권 제6호. 2011. p.229-236
3. 류남형, 유병림. 투·보수성 시멘트 콘크리트 포장의 열물성 및 수분보유특성이 표면온도에 미치는 영향. 한국조경학회지 Vol.34 No.1, 2006.
4. 이태구, 한영해. 분산식 빗물관리시설 적용에 따른 물수지 변화분석 연구, 한국생태환경건축학회, Vol.11. No.2. 2011. 4.
5. 장대회, 김현수, 이진호, 박창영. Green Roof System의 다양한 성능 추구를 위한 공법 제시 및 성능 비교 실험 연구, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집제6권제1호. p.87-92
6. 정재웅외2, 학교건물에서의 벽면 및 옥상녹화에 따른 에너지성능 평가에 관한 연구. 대한건축학회 학술발표대회 논문집. 2008. p.647-652.
7. 차재규, 정응호, 류지원, 김대욱. 도시열섬현상 완화를 위한 녹지네트워크 및 바람길 구축 도시열섬현상 완화를 위한 녹지네트워크 및 바람길 구축. 한국지리정보학회지, Vol.10 No.1, 2007
8. 한국건설기술연구원, 2011. 도시유역 물순환 해석 모형(ver.2.0) 사용자 매뉴얼
9. 한무영·김상래, 빗물관리를 통한 유출이 없는 주택단지 조성방

- 안, 빗물학회지, Vol.1 No.1. 2007.
10. 한승호, 류남형, 윤용한, 김원태, 강진형. 조경용 투수성 블록포장의 열특성. 한국환경과학회지, Vol.17 No.5, 2008. p. 573-580
 11. 현경학, 도시 조성시 LID적용을 위한 빗물관리 기준 설정, 2012 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동학술발표회.
 12. Kravčík, M.; J. Pokorný, J. Kohutiar, M. Kováč. E. Tóth(2007), Water for the Recovery of the Climate - A New Water Paradigm. Municipalia a.s. and TORY Consulting a.s.
 13. Schmidt, M. (2009): Rainwater Harvesting for Mitigating Local and Global Warming. 2009), Beuth (Berlin), 195 - 212. Fifth Urban Research Symposium 2009: 21
 14. Berlin Senate for Urban Development Department VI, Ministerial Building Affairs 2010. Rainwater Management Concepts Greening buildings, cooling buildings. Berlin Senate for Urban Development Communications
 15. UIS 2007: Environmental Information System, Berlin Digital Environmental Atlas, Map 02.13 Surface Runoff, Percolation, Total Runoff and Evaporation from Precipitation.

투고(접수)일자: 2012년 6월 22일

수정일자: (1차) 2012년 10월 5일

(2차) 2012년 10월 22일

게재 확정일자: 2012년 10월 25일