

분산식 빗물관리시설 적용에 따른 물수지 변화 분석 연구

- CAT을 이용한 수문모델링 결과를 토대로 -

Analysis of a Change in the Water-Balance after Application of Decentralized Rainwater Management Facilities

- Based on the Results of the Hydrologic Modeling using the CAT -

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

Abstract

To analyze changes in the water-balance before and after using decentralized rainwater management facilities, this study carried out hydrologic modeling based on data including roof planting, rainwater use, infiltration and detention facilities applied to the sites. The results of the analysis are as follows:

First, the total runoff quantity after facility installation was about 24% less than before. In particular, it showed that the surface runoff declined significantly.

Second, the analysis of the effects of different decentralized rainwater management facilities revealed that the rooftop planting contributed to about a 3.5 times increase in actual evaporation than before.

Third, the analysis of the effect of decentralized management facilities by different rainfall events showed that it turned to have about a 30% decreasing effect after facility installation for a monthly rainfall over 500mm or so and about 50% declining effect for a monthly rainfall about 200mm.

As discussed above, the study confirmed that it is important to implement decentralized rainwater management facilities to improve inevitable changes in water-balance arising from development as it would be a significant alternative for sustainable urban development

키워드 : 분산식 빗물관리시설, 물수지, 수문모델링, 도시유역 물순환해석모형(CAT)

Keywords : decentralized rainwater management facilities, water-balance, hydrologic modeling, Catchment Hydrologic Cycle Assessment Tool

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

유엔 정부 간 기후변화위원회(IPCC)의 보고에 따르면, 지역적으로 차이가 있으나 공통적으로 기온 및 해수면 상승, 호우발생빈도가 대부분의 대륙에서 증가하는 것으로 보고되고 있다. 한국의 경우도 지난 100년간 기온상승 폭과 온난화 경향으로 볼 때 강수량이 17% 정도 증가될 것으로 예상하고 있다.

한반도의 강수량 변화는 지역적으로 큰 차이를 보이지만, 1970년대에 비해 2000년대에 연 강수량이 증가했고, 강수일수는 감소하고 있다. 강수 패턴에 있어서 여름철 강수량의 증가가 뚜렷하고 일강수량이 50mm 이상인 호우일수가 증가한 반면, 겨울철과 봄철 강수량은 감소한 것

으로 보고되고 있다(안문수, 2010).

이러한 기후변화를 보다 효율적으로 반영하고 이산화탄소 발생이 저감될 수 있는 물관리 전략이 시대적으로 요구되고 있다. 특히, 지속가능한 성장을 위해 기존의 집중식 대규모의 물관리 정책에서 전환하여 새로운 관리전략을 수립하는 등 통합적 사고가 요구된다. 우리나라의 경우 기후변화로 인한 강수패턴 및 강도의 시공간적 변동성이 클 것으로 전망됨에 따라, 보다 지역의 특성을 고려한 유역단위 물관리 정책의 수립 및 시행이 시급하다.

이러한 패러다임의 전환은 수자원 분야의 국내 대응 5대전략에서도 나타나고 있어, 대규모 홍수방어능력을 제고하기 위한 홍수저류공간 확보 및 도시 침수방지 시스템 강화 등이 제안되고 있다. 그러나 이러한 전략 또한 유출발생지점에서의 처리가 우선적으로 이루어질 때 그 효율성이 극대화 될 것이다.

다행히 저탄소 녹색성장을 위한 물관리에 많은 관심이 모아지고 있으며, 이것이 친환경적인 공간계획과 맞물려

* 세명대학교 건축공학과 교수(tg_lee@semyung.ac.kr)

** 교신저자, 에코아르케 생태도시건축연구소장 공학박사 (youngseahan@empal.com)

구체화되고 있는 실정이다. 아산탕정택지개발사업 지역에 대한 분산형 빗물관리계획이나 행정중심복합도시 내 첫마을 복합커뮤니티계획에 적용되고 있는 물순환 계획들은 저부하형 개발기법 및 그린기술을 포함하는 유역관리 등이 도시화지역에 대한 지속가능한 개발의 한 방법으로 최근의 개발사업에 적용되고 있는 예인 것이다.

이와 같이 분산식 빗물관리계획이 수립되면서 과연 이러한 계획이 물순환 측면에서 얼마만큼의 효과가 있는지에 대한 논의가 다양하다. 따라서 현장에 적용된 빗물관리시설을 통하여 해당지역에 얼마만큼의 물수지 개선효과가 있는지를 정량적으로 분석하는 것은 앞으로 빗물관리계획을 확대·적용하는데 있어서도 중요한 근거가 될 것이다.

이에 본 연구에서는 현장에 적용된 지붕녹화 및 빗물이용, 침투, 저류시설 등의 복합적인 분산식 빗물관리시설을 통하여 예상되는 해당유역의 물수지 변화를 분석하고자 한다. 이를 위해 분산식 빗물관리계획 수립 이전 상태의 물수지를 분석하고 이를 적용한 이후의 물수지와 비교함으로써 분산식 빗물관리의 효과를 정량적으로 도출하고자 한다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 충청북도 제천시에 위치한 3만㎡ 규모의 학교시설로서 2005년부터 2010년까지 분산식 빗물관리와 관련하여 연구 및 시설적용이 이루어진 지역이다. 2005-2007년에 빗물저장시설 및 침투시설이 학교기숙사 및 교육시설에 설치되었으며, 2009-2010년에는 건물 한 동에 지붕녹화 및 이와 연계하여 빗물저장시설 및 침투시설이 설계·시공되었다.

연구는 다음과 같은 방법으로 진행하였다.

우선, 분산식 빗물관리시설이 적용되기 이전의 상황을 분석하였다. 이때 건축물 및 외부공간에서 일어나는 유출 및 증발산, 침투량 등을 분석하여 일반적인 개발상황에서의 물순환 상태를 유추할 수 있도록 하였다.

다음으로는, 모의 대상유역을 소유역으로 구분하여 각 소유역에 설치된 분산식 빗물관리시설들에 의해 물수지가 어떻게 변화되었는지를 분석하였다. 적용된 시설로는 지붕녹화 및 빗물저장시설, 침투조, 인공연못 등이며, 실제 그 지역에 적용된 시설의 제원을 그대로 적용, 물수지 변화를 분석하였다.

본 연구에는 한국건설기술연구원에서 개발한 물순환 해석모형인 CAT ver.1.5(Catchment Hydrologic Cycle Assessment Tool)을 이용하여 모델링하였다. 이 물순환 해석모형은 기존의 수문해석모형과 같이 도시유역 개발 전·후의 장·단기적인 물순환 변화 특성을 정량적으로 분석할 수 있을 뿐 아니라, 빗물이용시설이나 침투, 저류시설의 설계 및 물순환 개선시설의 효과를 분석할 수 있도록 개발된 프로그램이다. 특히 국내의 기후 및 적용하고자 하는 시설에 대한 매개변수의 정보 취득이 용이하도록 개발된 프로그램이다.

이에 본 연구는 현장에 복합적으로 적용된 분산식 빗

물관리시설에 대해 적용 전·후의 대상지 전체에 대한 물수지 변화를 분석하고, 또한 개별시설의 설치 후 변화된 물수지를 분석함으로써 그 결과를 토대로 개발계획에 있어 분산식 빗물관리 적용의 확대를 도모하고자 한다.

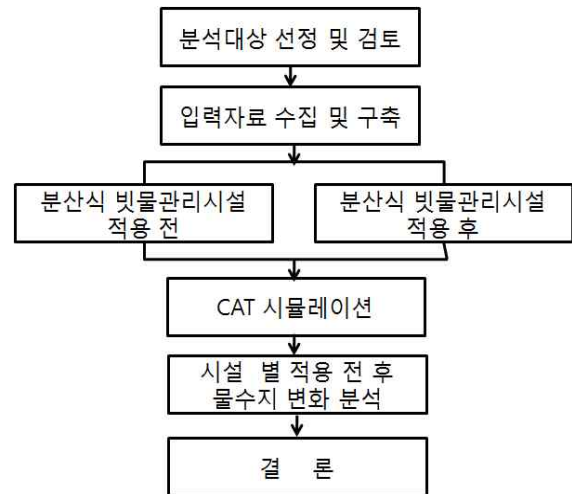


그림 1. 연구진행과정

2. 선행연구 고찰

2.1 실험에 의한 물순환 효과 검토

분산식 빗물관리를 통한 물순환 효과를 분석한 연구는 두가지 경향으로 구분된다. 첫째, 실험구나 실제 대상지에 적용된 개별시설의 실험을 통해 시설의 효과를 분석하는 것이다. 이 경우, 현장의 조건과 강우사상 등이 특정한 경우에 해당하여 그 결과를 일반화 할 수는 없지만, 이러한 연구결과들이 집적될 경우, 각 시설에 대한 단위설계침투량이나 저류량 등 원단위를 추측할 수 있는 잇점이 있다.

Schmidt.M(2005)의 경우 베를린의 4개지역, 즉 훔볼트물리학관과 뤼테커스트라세 주거단지, 우파파르틱 단지, 포츠다머광장에 빗물이용 및 침투저류시설을 설치 후 나타나는 빗물이용율, 침투율, 증발산율, 오염물질 감소율 등을 분석한 바 있다.

국내에서는 환경학외5(2006)의 연구에서 침투정과 침투트렌치를 현장에 설치하여 계측을 통해 유출량 저감효과를 분석한 바 있다. 연구내용을 보면, 집수면적 500㎡를 대상으로 15시간동안 70mm강우에 대해 3개의 침투정과 36m의 침투트렌치에서 약 40%의 유출저감이 일어난 것으로 분석되었다. 또한 9시간동안 12mm강우에 대해서는 약 85%이상의 유출이 저감된 것으로 분석되었다.

한편, 성종상외4(2004)의 연구에서는 침투통과 침투관을 현장에 설치하고 이의 설계침투량을 분석한 뒤, 이 시설을 상암 새천년 주거단지 6블럭에 적용하였을 경우 예상되는 총유출량 감소효과를 분석한 바 있다.

이와 같이 개별적인 분산식 빗물관리시설의 효과분석을 토대로 대상지에 적용하였을 경우의 유출량 감소 및 침투량 등의 분석하게 된다. 그러나 이 경우에는 적용전

후의 물순환 변화를 분석하기 보다는 시설 적용이후에 예측되는 효과에 주안점을 두게 된다.

2.2 수문모델링에 의한 물순환 효과 검토

분산식 빗물관리를 통한 물순환 효과를 분석한 연구의 또 다른 경향은 수문모델링을 통하여 분산식 빗물관리계획 전후의 물순환 효과를 분석하는 것이다. 이러한 방법은 계획대상지에 다양한 시설을 적용하여 시계열적이며, 장단기간의 효과를 복합적으로 분석할 수 있는 잇점이 있다.

기존의 도시유출 모형 중 널리 사용되어 온 BRRL, ILLUDAS, SWMM 등의 모형은 도시유역에서 강수 및 증발산에 의한 지표유출 및 지하수 유출, 수질모의, 배수관망 내의 유출량 추적, 저류량 산정, 오염물질의처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형으로서 분산식 빗물관리시설의 적용에 따른 수문변화를 모의할 수 있는 모형은 아니다.

한편, 점차 분산식 빗물관리계획에 대한 연구가 진행되면서 일부 연구에서 기존의 모형을 변형, 수정하여 이러한 수문변화를 모델링한 연구가 진행되었다. Kipkie(1999)는 연속유출 모의 시 투수성 포장을 고려할 수 있도록 SWMM을 수정하여 투수성포장과 지표유출에 관한 연구를 수행한 바 있으며, Jia등(2001)은 침투트렌치의 효과를 도시유출 모형과 연관하여 일본 치바현의 해노천 유역에 WEP(Water and Energy transfer Process) 모형을 적용 1993년과 2035년 미래 수문순환 변화를 분석한 바 있다.

국내의 경우, 서울시정개발연구원(1995), 조원철등(2000)이 우수유출 저감대책에 관해 ILLUDAS 모형을 일부 수정하여 저류시설과 침투시설의 유출률 저감방안에 대해 연구하였다. 이정민(2007)은 투수성포장과 침투 트렌치에 의한 효과를 분석할 수 있도록 SWMM모형을 수정하여 개발하였으며, 개발한 모형을 이용하여 안양천의 지류인 학의천 유역의 물수지를 분석하였다. 이 지역의 불투수면적의 10%를 투수성 포장으로 교체할 경우와 침투트렌치를 설치할 경우 저수량 및 갈수량의 변화를 분석한 바 있다.

이처럼 여러가지 분산식 빗물관리시설을 포함시킨 수문순환 모형이 개발되기 이전에는 기존의 모형을 변형, 수정하여 모델링을 하였으나, 독일에서 본격적으로 STORM과 같은 분산식 빗물관리시설을 포함한 수문모델링이 가능하도록 프로그램이 개발되고 상용화에 이르면서 이를 이용한 물수지 변화를 분석하기에 이르렀다.

일례로 Sieker는 중앙집중식 빗물관리시설과 분산식 빗물관리시설을 대상으로 강우사상에 따라 각 시설의 유출, 증발, 침투비율을 STORM 프로그램을 이용하여 분석한 바 있다. 연구결과에 따르면, 월평균 500mm이하의 강우량과 30mm/hr에 대해서 관거 및 우수지 등 중앙집중식 빗물관리시설들은 대부분 유출되는 것에 비해 침투저류시설에서는 침투비율이 훨씬 높은 것으로 나타났다. 그러나 월 300mm이상 강우량일 때에는 분산식 빗물관리시설에 있어서도 유출비율이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

(Sieker et al, 2002; 한영해 외1. 2008)

김승현외 3(2010)은 독일의 STORM 모형을 이용하여 남양주시의 약 6만㎡의 규모인 공동주택단지를 대상으로 외부공간에 계획된 포장재의 종류와 면적을 달리하고 지붕녹화를 추가로 조성할 경우의 물수지 변화를 분석한 바 있다. 분석결과에 의하면, 투수포장면적을 늘렸을 경우에 그렇지 않았을 때보다 4%의 유출감소 효과가 나타났으며, 투수포장과 지붕녹화를 하였을 경우 그렇지 않았을 때보다 약 8%의 유출감소 효과가 나타난 것으로 분석되었다. 이러한 결과에서 알 수 있듯이 강우사상과 유역면적에 따라 분산식 빗물관리시설의 효과가 크게 차이는 나는 것을 알 수 있다.

이와 같이 수문모델링을 이용할 경우에는 대상유역의 크기나 적용시설의 많고 적음에 상관없이 보다 정량적인 효과분석이 가능한 것으로 나타나고 있다.

3. 자료구축 및 실행

3.1 공간데이터 구축

본 연구의 분석 대상지는 충청북도 제천시에 소재하고 있는 총 면적 약 30,000㎡의 학교시설이다. 이 중 서쪽에 위치하는 학교군을 중심으로 빗물저장탱크 및 침투시설이 설치되어 있으며, 이곳에 내리는 빗물을 집수하여 이용 및 처리하였기 때문에 대상 모의유역을 다음과 같이 선정하여 분석하였다.

표 1. 대상모의단지 개요

구분		면적(㎡)		비고
건축면적	건축물1	582	3,764	평지붕 및 경사지붕 혼재, 평균경사 30°
	건축물2	2,598		평지붕, 콘크리트 지붕
	건축물3	584		평균경사 45°, 아스팔트 성글
외부공간	도로	2870		콘크리트포장
	잔디	2,435	7856	운동장
	수목	1,708		마사토포장
	보도	3,713		
총계		14,490		

분산식 빗물관리시설을 설치하기 전의 대상지 현황은 다음과 같다.

건축물이 3개의 군을 이루고 있으며, 지붕면적이 전체 분석대상면적의 26%를 차지하고 있다. 외부공간의 도로를 포함하여 전체 불투수면적은 46%이다. 그 외는 운동장으로 사용되는 잔디면 및 주변 수목군, 보도 등이 투수면으로 되어 있다. 대상지 주변의 녹지에서 유입되는 빗물은 학교 주변에 설치된 우수관거로 처리되도록 되어 있어, 본 대상지로의 외부 유입수는 없는 것으로 가정하였다.

대상지에 적용된 빗물관리시설은 다음과 같다.

건축물1에 지붕녹화 및 빗물저장탱크, 상부는 녹지로

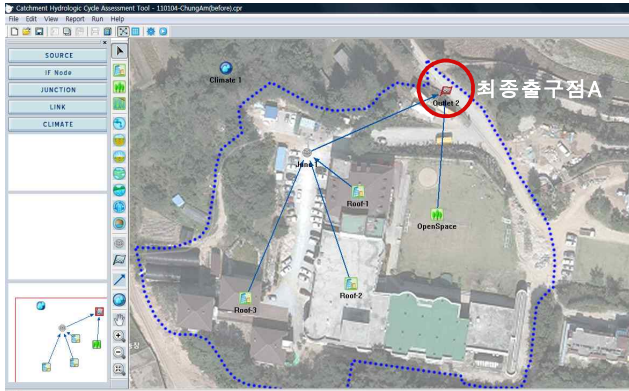


그림 2. 분산식 빗물관리시설 설치 전 모의화면

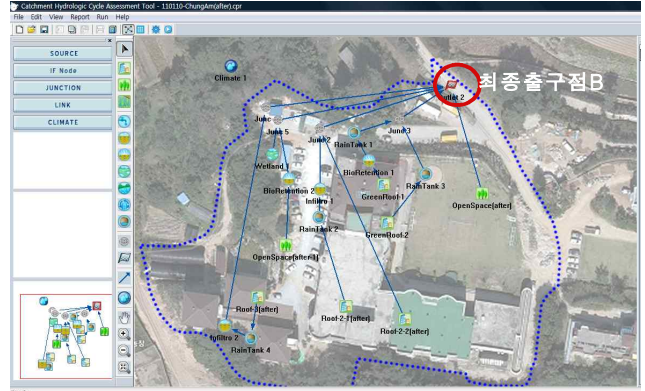


그림 4. 분산식 빗물관리시설 적용 모의화면

구성되어 있으며, 하부에는 콘크리트 빗물저장탱크로 되어 있는 녹지통합형 빗물저장탱크가 설치되어 있다.

건축물2와 3에는 빗물저장탱크 및 이곳에서 유통된 물을 침투시키기 위한 침투조가 설치되어 있다. 집수된 빗물은 건축물 내에서 일일 20m³씩 사용하고 있으며, 침투조의 단위설계침투량은 0.0416m³/hr.m²이다. 외부공간에는 일부 보도에서 유입되는 빗물을 침투녹지에서 처리하도록 하고 있으며, 인공연못이 구성되어 있다.

표 2. 분산식 빗물관리 적용시설

구분	적용시설의 종류 및 제원		
건축물	건축물1	지붕녹화	토양두께 0.3m
		빗물저장탱크	20m ³ 1EA
		녹지통합형 빗물저장탱크	탱크용량 30m ³ 1EA 상부녹지면적 19m ²
	건축물2	빗물저장탱크	30m ³ 1EA
		침투조	10m ³ 1EA 단위설계침투량 0.0416 m ³ /hr.m ²
	건축물3	빗물저장탱크	30m ³ 1EA
침투조		10m ³ 1EA 단위설계침투량 0.0416 m ³ /hr.m ²	
외부공간	침투녹지	L10.0*W1.0*H0.6	
	인공연못	Area 14m ²	



그림 3. 대상지에 적용된 빗물관리시설 현황

3.2 기본 입력 데이터 구축

본 연구에서 사용한 CAT모형은 해당지역의 지형, 지질, 수문, 수리 등의 특성을 반영하는 입력자료가 필요하다. 물리적 매개변수 입력 값들은 토지이용자료, 토양도, 하천자료 등을 활용하여 구축하였으며 각각의 값은 다음과 같다.

① 기상자료

본 모형에 입력한 기상자료는 제천기상관측소의 강우, 평균기온, 풍속, 일조시간, 습도 등의 시계열자료이다. 2000-2009년의 기상자료를 이용하였으며, 관측소에 관한 정보로는 관측소 위도 북위 37°09', 해발고도 263.1, 관측기기의 평균값인 1.5m를 적용하였다.

② 토지이용 자료

대상모의유역면적을 몇 개의 소유역으로 구분하여 면적을 입력하며, 해당 소유역의 불투수면적을 및 투수면적을, 경사, 투수지역의 수목비율등은 CAD 프로그램을 이용하여 산정하였다. 또한 불투수지역의 웅덩이 저류능 및 투수지역의 웅덩이 저류능은 CAT 메뉴얼에서 제시한 일본의 SHER User's Manual의 값을 참고하였다.

③ 토양

토양에서의 침투 및 증발산 등을 토양의 물리적 특성에 기반하여 해석하며, 이를 위해서는 표층토양에 대한 매개변수 자료가 구축되어야 한다. CAT 모형에서 사용되는 표층토양의 물리적 특성치는 토양깊이, 포화수분율(s_per), 잔류수분율(r_per), 포장용수량의 수분함양(FC_per), 위조점이하의 수분함양(W_per), 포화투수계수(Ks_per), 사면방향 투수계수(Ksi_per), Mualem's n 등이며, 이에 대한 정보는 농촌진흥청의 1:25,000 정밀토양도 속성을 이용하였다. 해당 유역은 사양토로 구성되어 있으며, 사양토에 대한 특성치는 표3 과 같다.

표 3. 토성별 표층토양 입력 매개변수

토성	s_per	r_per	FC_per	W_per	Ks_per (mm/s)	Ksi_per (mm/s)	Mualem'sn
sandy Loam	0.453	0.041	0.207	0.095	6.1E-03	6.1E-02	3.91

출처: 한국건설기술연구원, 2010

④ 하천 및 지하대수층

모의 대상유역 근처에는 중소하천이 없으나 인근에 작은 개울이 있어 하상표고값 및 하상재료의 두께, 하천바닥의 저면적 등은 인공사진 자료를 이용하여 측량하였다. 또한 초기지하수위 및 대수층 상면표고, 저면표고 등 또한 하천의 레벨을 지하수위로 가정하고 입력하였다.

4. 연구결과

4.1 water-balance 변화

① 분산식 빗물관리시설 설치 전

각 노드, 즉 건축물1,2,3과 외부공간의 단위면적당 강수량 대비 증발산량(ET) 및 유출량(Runoff)에 대한 분석 결과이다. 건축물 지붕면이 모두 콘크리트이거나 아스팔트 성글로 되어 있어 있으며, 세 개의 지붕면에서는 강수량 대비 약 10%의 증발산, 약 90%의 유출이 일어나며, 모두 표면유출(Surface)로 일어나고 있다. 반면, 외부공간에서는 약 28%의 증발산과 83% 유출이 일어나고 있으며, 중간유출(Interflow) 및 지하수 유입(Groundwater) 등이 고루 일어나는 것으로 분석되었다(표4).

한편, 최종출구점A(outlet)(그림2)에서의 유출양상은 총 유출량이 연간 10938m³으로 분석되었으며, 이 중에서 표면 유출이 7855m³(71.8%), 중간유출이 1969m³(18.2%), 지하수 유출이 1114m³(10%)로 나타났다(표6).

표 4. 분산식 빗물관리시설 설치 전 water-balance

Before	Average	건축물-1	건축물-2	건축물-3	외부공간
Rainfall(mm)	1277.4	1277.4	1277.4	1277.4	1277.4
Inflow	0	0	0	0	0.0
ET(mm)	306.5	125.0	125.0	125.0	370.2
ET_imp	58.8	125.0	125.0	125.0	35.5
ET_per	247.7				334.6
Runoff(mm)	1096.4	1152.4	1152.4	1152.4	1061.6
Surface	541.9	1152.4	1152.4	1152.4	327.6
Inter-flow	146.5	0	0	0	197.9
Ground water	408.1	0	0	0	536.1
Recharge	293.0	0	0	0	395.8
Soil	-43.16	0	0	0	-58.30
GW-Storage	-115.0	0	0	0	-140.2
MassBalance	32.69	-0.00002	-0.00002	-0.00002	44.17

② 분산식 빗물관리시설 설치 후

건축물-1에 지붕녹화를 설치하고 난 이후의 모델링 결과, 강수량 대비 약 34%가 증발산으로 나타나며, 유출량은 약 60%로 나타나 지붕녹화 설치 전보다 약 30%가량이 감소한 것으로 나타났다. 녹화지붕에서의 유출양상도 표면유출에 비해 중간유출이 더 많이 일어남으로써 직접적인 유출량 증가가 감소하는 것으로 나타난다(표5).

표 5. 분산식 빗물관리시설 설치 후 water-balance

After	Average	건축물-1 (지붕녹화)	건축물-2	건축물-3	외부공간 시설(미설치 지역)	외부공간 시설(설치 지역)
Rainfall (mm)	1277.4	1277.4	1277.4	1277.4	1277.4	1277.4
Inflow	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ET(mm)	323.2	434.0	125.0	125.0	370.2	467.6
ET_imp	52.5	6.3	125.0	125.0	35.5	0.0
ET_per	270.7	427.7	0.0	0.0	334.6	467.6
Runoff(mm)	1355.8	777.8	1152.4	1152.4	1061.6	7591.1
Surface	485.4	104.5	1152.4	1152.4	327.6	0.0
Interflow	176.4	673.3	0.0	0.0	197.9	263.2
Ground water	694.0	0.0	0.0	0.0	536.1	7327.9
Recharge	298.7	0.0	0.0	0.0	395.8	526.4
Soil	-43.45	-4.75	0.000	0.000	-58.30	-60.7
GW-Storage	-394.1	0.000	0.000	0.000	-140.2	-6774.8
Mass Balance	35.96	70.38	-0.00002	-0.00002	44.17	54.24

외부공간에서 침투녹지 및 인공연못이 설치된 지역에서는 단위면적당 유출량이 증가한 것으로 나타났는데, 이는 외부공간에 설치된 침투녹지가 건축물 2와 연결되어 있어 건축물-2에서 유출되는 빗물이 이곳으로 유입되었기 때문에 유출량이 증가한 것으로 나타났다. 그러나 이렇게 증가한 유출량은 지하수로 유입됨으로써 결과적으로 지하수 확보에 영향을 미치게 됨을 알 수 있다(표5).

한편, 최종출구점B(outlet)(그림4)에서의 유출양상은 총 유출량이 연간 8275톤이 발생하며, 이는 분산식 빗물관리시설 설치 전의 유출량에 비해 24% 감소한 양으로 분석되었다(표6).

표 6. 설치 전 후 최종출구점 A,B에서의 물수지

	표면유출 (m ³ /yr)	중간유출 (m ³ /yr)	지하수유출 (m ³ /yr)	총유출 (m ³ /yr)
최종출구점 A (설치 전)	7855 (71.8%)	1969 (18.2%)	1114 (10%)	10938 (100%)
최종출구점 B (설치 후)	5817 (70.3%)	1849 (22.3%)	609 (7.4%)	8275 (100%)

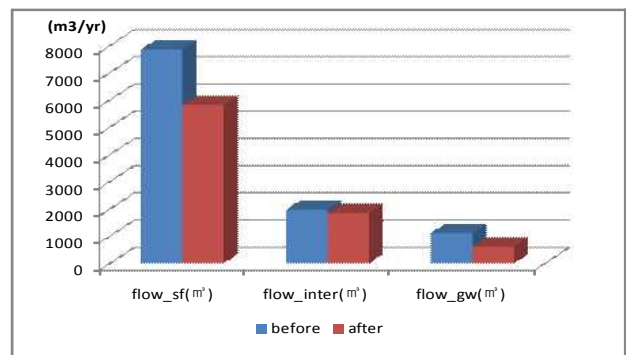


그림 5. 설치 전후 최종출구점에서의 유출변화

4.2 분산식 빗물관리시설별 효과

① 지붕녹화

지붕녹화 설치 전후의 물수지 변화는 다음과 같다. 실제증발산량(ETa)의 경우 녹화 전 보다 약 3.5배 증가하였으며, 지붕면 표면유출이 줄고 중간유출이 늘어나면서 총유출량이 일반지붕의 약 67% 정도로 나타났다.

표 7. 지붕녹화 전 후 물수지

	녹화 전	녹화 후
Rain-fall(mm)	1277.4	1277.4
ETa(mm)	125.01	433.92
Infiltrate(mm)	0	1093.4
Soil moisture content	91.25	91.9
Flow_sf(mm)	1152.38	104.55
Flow_inter(mm)	0	673.34
Flow_total(mm)	1152.38	777.8

일반지붕을 녹화하였을 경우 나타나는 효과를 보다 구체적으로 보면 다음과 같다.

첫째, 실제증발산량(ETa)의 변화이다.

지붕녹화를 한 경우 5월-8월 사이에 최대 하루동안 3mm 이상의 증발산이 일어나며(그림6) 이 기간 동안 246mm가 증발산되고 있다. 반면 일반지붕의 경우 같은기간에도 최대 2mm 정도의 증발산이 일어나며, 같은 기간 동안 67.4mm가 증발산 되었다. 실제 증발산량이 지붕녹화 설치 후 3.6배 증가하게 된 것이다.

1톤의 물이 증발하기 위해서는 680kWh의 열을 소비하게 되는데, 이때 주변의 복사열이 기화열로 전환된다. 이 녹화지붕의 경우 5월-8월 사이에만 143.5톤의 물이 증발되며 이때 97,580kwh의 열이 기화열로 전환됨으로써 그만큼의 주변온도가 저감된 효과를 나타나게 된다.

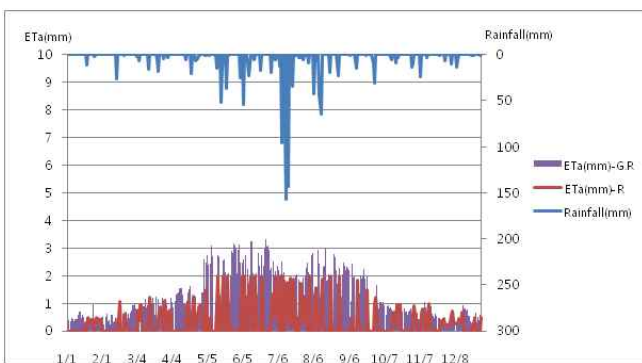


그림 6. 지붕녹화 전후 실제증발산량(ETa)의 변화

둘째, 유출량의 변화이다.

그림7에서 보는 바와 같이 파란색으로 나타나는 그래프가 지붕녹화 하기 이전의 일반지붕에서 유출되는 양상을 나타낸다. 그러나 지붕녹화 설치 이후 붉은색으로 보이는 만큼 중간유출이 발생하면서 표면유출(분홍색)은 급격히 감소하는 것을 알 수 있다.

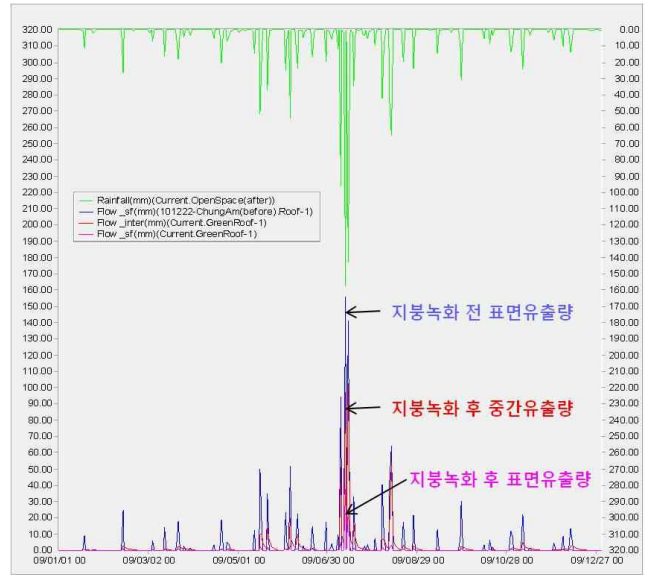


그림 7. 지붕녹화 전후의 유출량 변화

② 빗물이용시설 및 침투시설

건축물2와 건축물3에는 각각 30톤규모의 빗물저장탱크와 20톤 규모의 빗물침투조를 설치하였다. 이때 하루 20톤씩 집수된 빗물을 사용할 경우 유출량 변화를 분석하였다. 건축물2에서는 두 개의 시설 설치 후 638톤 가량의 유출저감이 일어나며, 이는 설치 전의 유출량에 대한 약 21.3% 저감 효과가 나타나고 있다. 건축물3의 경우 빗물저장탱크와 침투시설 설치로 인해 유출량 감소는 연간 582톤 가량으로 이는 시설 설치전에 발생하는 유출량의 약 87%를 감소시키는 효과가 있게 나타났다.

건축물2의 면적이 건축물3에 비해 넓으나 동일한 규모의 빗물처리시설을 설치함으로써 건축물2에서 상대적으로 유출량 감소효과가 적은 것으로 나타났다.

표 8. 빗물저장탱크 및 침투시설 설치 후 유출량 변화

	건축물2(Flow_out)		건축물3(Flow_out)	
	(mm/s)	(m3/yr)	(mm/s)	(m3/yr)
before	0.0347	2998	0.00776	670
after	0.02811	2360	0.00102	88

4.3 강우사상별 분산식 빗물관리시설의 효과

2009년 7월 한 달 동안 내린 강우량은 481.5mm로 일강우 최대 157.5mm(7월12일)가 발생하였다. 이 때 건축물 3곳에서 발생한 유출총량은 분산식 빗물관리시설을 설치하기 전 1687톤이었으나 설치 후에는 1130톤이 발생하여 설치 전에 비해 약 70% 가량만 유출된 것으로 분석되었다. 즉, 설치 후에 약 30%의 유출량 감소효과가 있는 것으로 분석되었다.

한편 8월 한 달 동안 내린 강우량은 221.0mm로 일강우 최대 65mm(8월12일)가 발생하였다. 이러한 강우사상에서는 설치 전에 비해 설치 후 약 50%정도만 유출되어 50%의 유출량 저감효과가 있는 것으로 분석되었다.

표 9. 강우사상별 유출감소 효과

월	강우량 (mm)	건축물 유출총량		비 고
		before(m ³)	after(m ³)	
7월	481.5	1687(100)	1130(66.9%)	557m ³ 감소(30%)
8월	221.0	753(100)	388(51.5%)	364m ³ 감소(48.4%)

이와 같이 집중강우나 총강우량이 많은 경우에는 그렇지 않은 강우패턴에 비해 분산식 빗물관리시설에 의한 유출량 감소효과가 떨어지는 것으로 해석된다. 결론적으로 강우사상에 따라 분산식 빗물관리시설의 유출량 감소효과가 달라질 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 충북 제천에 소재하고 있는 학교시설을 대상으로 현장에 적용된 지붕녹화 및 빗물이용, 침투, 저류 시설 등의 복합적인 분산식 빗물관리시설을 적용함으로써 예상되는 해당유역의 물수지 변화를 수문모델링에 의해 분석한 것이다. 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 시설 설치 후 연간 총 유출량은 설치 전에 비해 약 24% 감소하였으며, 특히 표면유출량이 현저히 저감됨을 알 수 있었다.

둘째, 적용된 분산식 빗물관리시설별 효과를 분석한 결과, 지붕녹화를 설치함으로써 실제증발산량이 녹화전에 비해 약 3.5배 증가한 것으로 분석되었다. 이러한 실제증발산량의 증가는 지붕면에서의 유출량을 저감시키는 효과 이외에도 증발하면서 발생하는 기온저감 효과도 큰 것으로 예측된다. 또한 빗물저장시설은 유출량 감소효과가 집수면적과 시설의 크기, 사용량에 따라 서로 다르게 나타남을 알 수 있었다.

셋째, 강우사상별 분산식 빗물관리시설의 효과를 분석한 결과, 월 500mm가량의 강우가 발생하였을 때에는 설치 전에 비해 30% 정도의 저감효과가 있었으나, 월 200mm가량의 강우 시에는 약 50%의 저감효과가 있는 것으로 분석되었다. 즉, 동일한 시설을 설치하였을 경우라도 강우사상에 따라 유출량 감소효과가 서로 다르게 나타남을 알 수 있었다.

일반적으로 자연 상태의 지역이 개발로 인해 불투수포장면이 늘어나면 표면 유출은 증가하는 반면 중간유출 및 지하유출은 감소함으로써 결과적으로 총 유출량이 증가하고 지하수위는 떨어지는 현상들을 문제점으로 지적하고 있다. 또한 대기 중으로 증발산되는 양이 줄어들어 복사열로 인해 주변온도가 상승되는 것 또한 문제점으로 지적하고 있다.

본 연구에서는 일부건축물을 옥상녹화로 재조성함으로써 표면유출의 감소 및 증발산량의 증가를 정량적으로 분석할 수 있었다. 또한 옥상녹화하지 않은 건축물에는 빗물저장시설 및 침투시설을 설치함으로써 표면유출을 감소시키고 지하침투량을 늘림으로써 결과적으로 유출총량을 줄이는 효과를 가져 올 수 있었다.

이와 같이 개발로 인해 불가피하게 발생하는 물수지의 변화를 분산식 빗물관리시설을 설치함으로써 이를 개선

시키는 것은 지속가능한 도시개발을 위한 중요한 대안임을 확인할 수 있었다.

다만 본 연구가 갖는 한계점으로는 수문모델링 분석결과를 현장의 실측자료, 즉 증발산량이나 최종 출구점에서의 유출량 등의 현장 데이터와 비교하여 검증하는 과정을 거치지 못한 것이다. 따라서 이후 얻어지는 모니터링의 자료를 토대로 수문모델링에 의한 분석 결과와 비교하는 것을 후속연구로 남기고자 한다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 연구비 지원(과제번호 20103044)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 기상청, 2009, 기상연보
2. 김승현 외3, 2010. 분산식 빗물관리 기법에 따른 물수지 개선 효과에 관한 연구-STORM을 활용한 단지 차원계획-. 한국생태환경건축학회 2010 춘계학술발표대회 논문집 18호
3. 서울시정개발연구원, 1995. 우수유출물 저감대책. 시정연 95-R-21.
4. 성종상 외 4, 2004. 분산식 우수관리를 위한 침투통 개발 및 적용효과 분석. 한국조경학회지 Vol.32, No.2
5. 안문수, 2010. 기후변화에 따른 물 관리 정책방향. 워터저널
6. 이정민, 2007. 투수성 포장과 침투 트랜치를 고려한 수정 SWMM의 개발 및 적용. 부경대학교 대학원 박사논문
7. 조원철 등(2000). 우수유출 저감시설 시범사업 검토 연구. 서울특별시.
8. 한국건설기술연구원. 2010. 도시유역 물순환 해석 모형(ver.1.5) 사용자 매뉴얼
9. 한영해 외 1. 2008. 분산식 빗물관리시스템이 도시 물순환에 미치는 효과분석. 한국생태환경건축학회 2008 추계학술발표대회 논문집 제8권제2호
10. 현경학 외 5, 2006. 공동주택단지 분산식 빗물관리시설의 적용효과. 주택도시 제90호
11. IPCC 제1실무그룹 보고서, 정책결정자를 위한 요약보고서 Intergovernmental Panel on Climate Change 2007. Climate Change 2007 : The physical Science Basis. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS
12. Jia, Y., Guangheng, N., Yoshihisa, K., and Tadashi, S. 2001. "Development of WEP model and its application to an urban watershed."Hydrological Processes, Vol.15, pp.2177- 2194.
13. Kipkie, C.W. 1999. Feasibility of a permeable pavement option in the Storm Water Management Model (SWMM) for long-term continuous modelling. M.Sc.thesis, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.
14. Schmidt M.(2005). Water management to save energy, a decentralized approach to an integrated sustainable urban development. Report for the Rio5-World Climate & Energy Event, Rio de Janeiro.
15. Sieker et al 4. 2002. Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten. Kontakt & Studium Band 508. Germany

투고(접수)일자: 2011년 3월 11일

심사일자: 2011년 3월 14일

게재확정일자: 2011년 4월 18일