경상남도의 효율적 빗물관리를 위한 GIS 기반 물순환 체계 분석

이택순¹ · 송봉근^{1*} · 한치복² · 박경훈¹

Analysis of the GIS-Based Water Cycle System for Effective Rainwater Management of Gyeongsangnam-do

Taek-Soon LEE¹ · Bong-Geun SONG^{1*} · Chi-Bok HAN² · Kyung-Hun PARK¹

요 약

본 연구는 경상남도의 효율적인 빗물관리를 위해서 강우량, 증발산량, 표면유출량의 물순환 체계를 GIS 기반으로 분석하였다. 공간내삽법에 의한 강우량(1999~2008) 분포는 경상남도 남서부 해안지역의 하동군, 산청군, 사천시 등이 중동부 내륙지역의 창녕군, 밀양시, 창원시 등보다 많이 나타났다. 증발산량은 기온, 토지이용, 식생지수를 독립변수로 한 추정식으로 산출하였으며, 남해군이 평균 93.71mm로 가장 많았고, 진해시와 창원시가 각각 81.78mm와 84.37mm로 가장 적었다. 표면유출량은 SCS 수문학적 토양분류와 토지이용에 의한 산정식으로 분석하였으며, 하동군이 90.40mm로 가장 많았고, 거창군이 46.69mm로 가장 적게 나타났다. 이상의 GIS기반 물순환체계 분석결과는 경상남도의 효율적인 빗물관리를 위한 계획 및 정책마련의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

주요어 : 증발산, 표면유출량, 공간내삽, 빗물관리, 물순환

ABSTRACT

The objective of this paper is to analyze the GIS-based water cycle system: rainfall, evapotranspiration, surface run-off of Gyeongsangnam-do for the effective rainwater management. The rainfall(1999~2008) analyzed by a spatial interpolation method, showed relatively higher amount in Hadong-gun, Sanchung-gun, and Sacheon-gun on

2011년 3월 11일 접수 Received on March 11, 2011 / 2011년 5월 2일 수정 Revised on May 2, 2011 / 2011년 5월 30일 심사완료 Accepted on May 30, 2011

1 창원대학교 환경공학과 Dept. of Environmental Engineering, Changwon National University

2 경상남도 보건환경연구원 Gyeongsangnam-do Provincial Institute of Health and Environment

* 연락처 E-mail : pureguy55@nate.com

the southwest coast than in Changnyeong-gun, Miryang-si, and Changwon-si in the mideast inland. The evapotranspiration was calculated by the three independent variables: air temperature, landuse, and NDVI(normalized difference vegetation index). The analysis showed that Namhae-gun had the highest evapotranspiration of 93.71mm, and Jinhae-si and Changwon-si had the lowest values of 81.78mm and 84.37mm. The surface run-off was analysed by a run-off equation based on the SCS hydrologic soil classification and landuse. The amount of surface run-off showed that Hadong-gun had the highest value, of 90.40mm, and Geochang-gun had the lowest, of 46.69mm. The analysis results of the GIS-based water cycle system will be used to support the establishment of the effective rainwater management plan in Gyeongsangnam-do.

KEYWORDS : *Evapotranspiration, Surface Run-off, Spatial Interpolation, Rainwater Management, Water Cycle*

서 론

현대사회는 인구의 도시집중과 무분별한 도시 확장으로 인해 자연환경의 파괴가 일어나고 있으며, 그 중에서 도시의 불투수 면적 증가는 빗물의 토양 침투, 하천으로의 유출, 증발산 등의 자연적인 물 흐름을 막으면서 물 환경문제를 일으키고 있다. 그 예로, 불투수층 증가로 인한 빗물의 토양 침투량의 감소는 집중호우시 침수피해와 하천 수질오염 등의 문제를 일으키며, 지하수 고갈에 따른 하천 건천화, 물 부족 현상 등을 초래하고 있다. 또한, 식생 등의 감소로 증발산량이 줄어들어 도시 열섬현상을 가중시키고 있다(서울지역환경기술개발센터, 2008).

이러한 상황 속에서 최근 빗물관리를 통해 강우변화의 대응, 물 순환 회복, 부족한 용수의 공급, 도시기후환경 개선, 지속가능한 생활환경구축 등을 실현하는 도시의 물 관리 대응방안이 주목받고 있다(김영진 등, 2009). 빗물관리는 빗물을 대상으로 하여 저류와 저장, 침투, 증발산 등의 현상을 유도하고 이들의 제어와 감시를 포함하는 모든 행위이다. 지금까지는 빗물을 배제되어야 할 하수로 취급하고 보다 빠르게 배수시키는데 그 목적이 있었지만(경남지역환경기술개발센터, 2010), 빗물

을 버려야 하는 하수의 개념이 아니라 이용 가능한 수원으로 인식이 바뀔므로써, 효율적이고 친환경적으로 빗물을 관리할 수 있는 방안과 분산식 빗물관리시스템과 각종 빗물관련 시설 등의 새로운 기술적 접근으로 구체적인 실천방안마련이 요구되고 있다(서울지역환경기술개발센터, 2008).

선진 외국에서는 70~80년대부터 홍수에 의한 재해예방과 수자원 확보, 하천의 건천화 방지를 위하여 도로나 주차장, 공공시설물은 물론, 주택이나 아파트 등에도 빗물이용 시설을 설치하여 체계적인 빗물관리 기반을 구축하고 있다. 또한, 효과적인 빗물관리를 위해 계획 대상지역의 기후와 지형, 토양, 시설현황 등 각종 환경정보, 공간정보, 행정정보 등을 구축하여 빗물관리시설의 계획 및 유지관리를 수행함에 있어 근거자료로 활용하고 있다. 특히 독일 베를린의 경우, 분산형 빗물관리를 위한 정보화 시스템을 구축하고자 환경지도를 작성하였는데, 이는 물순환과 관련된 강우량, 빗물유출, 지하수위, 토질, 토양, 기후, 하천에 관한 공간자료를 구축하여 빗물관리 정책 계획 및 시행시 분명한 근거를 제시하였다. 또한, 적용대상지에 대한 상세한 정보를 제공할 뿐만 아니라, 분산형 빗물관리 시스템 평가에도 유용한 정보를 담고 있다(신수용, 2006).

최근 우리나라도 지속가능한 도시개발 및

생태도시건설의 한 가지 방안으로 빗물관리의 중요성이 부각되고 있으며, 빗물관리사업 수행시 현실성 있는 제도 및 계획 등의 방안 마련 필요성을 인지하고 있다. 하지만 국외의 경우와 달리, 빗물의 침투, 증발산과 강수량 등 빗물관리를 위한 공간화되어진 기초자료가 부족하여 빗물관리시설 설치와 기본계획 수립을 위한 근거자료가 미흡하고, 토지이용계획, 기반시설계획, 공원 및 녹지계획, 건축계획 등 다른 개발계획사업과의 연계성을 확보하기가 어려울 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 경상남도를 대상으로 물순환 체계 개선과 효율적인 빗물관리를 위한 계획 및 정책 수립에 활용가능한 지리정보시스템(GIS) 기반의 강수량, 증발산량, 표면유출량의 물순환 체계 분석 및 지도화(mapping)하는 것을 목적으로 하였다.

연구 방법

1. 연구대상지

본 연구는 한반도의 동남단에 위치하는 경상남도를 대상으로 실시하였다(그림 1). 지리적 위치는 북쪽으로 대구광역시와 인접해 있고, 서쪽으로 소백산맥을 경계로 전라남도, 전라북도과 접해있다. 기후적으로는 내륙지방은 연평

균기온이 12~13℃로 온화한 편이며, 강수량은 1,200~1,500mm이고, 해안지방은 바다의 영향으로 연평균기온이 14~15℃, 강수량이 1,400~1,800mm로 내륙지방보다 다소 높은 수치를 나타내고 있다. 행정구역은 창원시, 김해시 등 8개의 시와 고성군, 하동군 등 10개의 군으로 구분되어 있다(<http://www.gsnd.net>).

경상남도는 대부분의 수원을 낙동강의 지표표류수를 사용하기 때문에 필요 수량의 대부분을 빗물에 의존하고 있는 실정이며, 하천의 환경이나 수량, 수질 등에 따라 물 공급이 많은 영향을 받고 있다. 이에 따라, 강우시 집중호수에 의한 침수피해를 저감하고, 용수공급의 확보 등을 위해 2009년에 경상남도 빗물관리에 관한 조례를 제정하여 빗물관리를 위한 법적근거를 마련하였다(경남지역환경기술개발센터, 2010). 따라서 이 같은 조례를 바탕으로 경상남도 빗물관리 정책을 종합적이고 체계적으로 시행할 수 있는 빗물관리 기본계획을 수립의 근거를 마련하기 위해 강수량분포, 증발산량분포, 표면유출량 분포와 같은 공간정보의 구축이 필요할 것으로 본다. 한편, 통합 창원시의 경우는 통합이전인 창원시, 마산시, 진해시로 구분하여 분석하였다.

FIGURE 1. 연구대상지

2. 연구과정

본 연구는 그림 2와 같은 과정으로 수행하였다. 우선 분석을 위해 공간자료인 토지이용도, 정밀토양도, 위성영상자료와 강우량과 기상자료 등 기초자료를 수집하였다. 토지이용도는 2007년 환경부에서 제작한 1:25,000 축척의 토지피복중분류도를 활용하였고, 정밀토양도는 1:25,000 축척으로 농업과학기술원의 자료를 이용하였다. Landsat 5 TM 위성영상을 이용하여 식생지수 분석하였다. 또한, 경상남도 전 지역의 강우량 분포를 분석하기 위해 국토해양부의 10년간(1999~2008년) 강우량 자료를 수집하였고, 기상자료는 경상남도 내외의 17개 자동기상측정 자료를 활용하였다. 이상과 같이 수집된 기초자료를 이용하여 강우량, 증발산량 분포, 표면유출량을 래스터(raster) 자료구조로 분석하였다. 강우량 분포는 경상남도 전 지역을 대상으로 월별 평균 강우량을 분석하여 강우패턴과 지형적·지리적 특성으로 발생하는 강우량의 차이를 파악하였다. 증발산량은 토지피복과 기온에 의해 발생하는 증발산 작용으로 인해 대기 중으로 빠져나가는 빗물의 양을 분석하였으며, 표면유출량은 빗물이 지하수로 스며들지 않고 지표면으로 유출되는 양을 파악하였다.

3. 공간정보의 분석방법

1) 강우량 분포

기존의 선행연구에서는 강우량을 산정하기 위해 산술평균법과 Thiessen 기법, 등우선법 등이 사용되었다. 하지만 산술평균법은 강우관측소의 정보를 단순히 산술평균하는 방법으로 대상지의 호우특성을 잘 반영하지 못한다는 단점이 있고, Thiessen 기법의 경우는 관측소의 지배면적에 민감하게 반응하며, 등우선법은 일반적으로 대상지경계선상에서 등우선이 걸치는 경우 경계처리가 임의적일 수밖에 없다(최용규, 2001; 조홍래와 정종철, 2006). 따라서 본 연구는 이러한 단점을 보완하고자 경상남도 전 지역에 대한 강우량 분포는 특정 지점을 선정하여 관측 값을 얻은 후 이를 이용하여 미관측지점의 값을 예측하는 공간내삽법(Spatial Interpolation Method)을 이용하였다. 공간내삽법은 특정 지점을 선정하여 관측 값을 얻은 후 미관측지점을 예측하는 것으로 본 연구에서는 ArcGIS의 IDW(Inverse Distance Weighted) 기법을 적용하였다. 이는 공간적으로 인접한 지점 사이의 값은 공통된 위치요인으로 인하여 유사성을 갖고, 두 지점 사이의 거리가 증가할수록 이러한 유사성은 상대적으로 감소하게 된다는 원리이다(조홍래와 정종철, 2006). 강우량은 그림 3과 같이 경상

FIGURE 2. 연구수행과정

남도 및 인접한 주변지역의 약 80여개 지점에서 10년간(1999~2008년) 측정된 자료를 이용하였다. 공간내삽법에 의한 강우량 분포자료는 공간해상도 1km×1km의 래스터 자료구조로 구축하였으며, 월별 평균 강우량과 ArcGIS의 zonal statistic 기능을 이용한 시군별 강우량 특성도 분석하였다.

FIGURE 3. 강우량 측정지점

2) 증발산량 분석

증발산은 증산과 증발에 의해 수증기가 대기 중으로 방출되는 현상으로, 물순환 과정에서 강수와 함께 지표면의 건습을 결정하는 중요한 인자이다(신사철과 안태용, 2004). 증산은 식물의 뿌리로부터 흡수된 액체상태의 물이 물관부를 거쳐 잎의 기공을 통해 기체상태로 방출되는 현상이고, 증발은 나지, 호수면, 해수면 등과 같이 식생이 없는 지역이나 식생에 의해 차단된 강수 또는 관개로 인해 젖은 식물표면으로부터 액체상태의 물이 기화하여

대기로 방출되는 것이다(이재수, 2006; 김수진 등, 2009). 증발산량은 직접적인 측정에 의한 방법과 증발산이 발생하는 다양한 인자를 고려하여 추정하는 방법이 있다. 직접적인 측정은 공간적·시간적으로 많은 한계를 가지고 있기 때문에, 현재 지구관측 위성에 의해 광역적으로 증발산량을 추정하는 방법이 주를 이루고 있다(김수진 등, 2009). 따라서 본 연구는 증발산 작용에 영향을 미치는 인자인 식생지수와 기온, 토지이용을 독립변수로 하는 신사철과 안태용(2007)의 증발산량 추정식(표 1)으로 분석하였다. 이 식에 의해 산출된 증발산량은 Penman의 잠재증발산량으로 실제증발산량을 산정한 것과 약 10% 전후의 오차를 보이는 것으로 나타나 실제증발산량의 예측에 적정한 것으로 평가하였다.

여기서, 식생지수는 식생의 분포와 상태를 나타내는 지수로서, 경상남도 지역에 해당되는 Landsat 5 TM 위성영상을 선정하여 영상처리 프로그램인 PG-STEAMER v.4.2로 방사 및 기하보정을 실시하였고, 파장대가 0.63~0.69 μ m인 band 3과 0.75~0.90 μ m인 band 4를 이용하여 식 1과 같이 식생지수를 산출하였다(그림 4(a)).

$$NDVI = \frac{band4 - band3}{band4 + band3} \quad (1)$$

그리고 기온분포는 경상남도 및 인접 주변지역의 17개 자동기상측정 지점의 2007년도 기상자료를 활용하여 공간내삽법인 IDW 기법으로 분석하였다(그림 4(b)). 또한, 토지이용

TABLE 1. 증발산량 추정식

토지이용	3~8월	9~11월
도시지역	$E = 4.33 - 15.69NDVI + 2.3085TEMP$	
농경지	$E = 23.27 - 89.05NDVI + 5.6888TEMP$	$E = -1.999 - 16.66NDVI + 3.841TEMP$
활엽수	$E = 29.08 - 64.32NDVI + 5.3866TEMP$	$E = -1.007 - 21.76NDVI + 4.368TEMP$
상록수	$E = 31.04 - 8.91NDVI + 4.5501TEMP$	$E = 3.297 - 27.49NDVI + 4.663TEMP$

신사철, 안태용. 2007. 인공위성자료를 활용한 광역증발산량의 산정방법 개발. 한국지리정보학회 10(2):70-80

FIGURE 4. 증발산량 추정식 적용 변수별 공간자료

은 환경부의 토지피복중분류 속성을 활용하여 재분류하였는데, 도시지역은 시가화 및 건조지역 속성, 농경지는 농업지역과 초지, 습지, 나지 속성, 활엽수는 활엽수림 속성, 상록수는 침엽수림 속성으로 분류하였고, 토지피복속성 중에서 미 분류된 혼효림과 수역은 면적이 크지 않기 때문에 연결한 토지피복속성으로 대체하였다(그림 4(c)). 한편, 증발산량 추정식에는 12월, 1월, 2월이 누락되어 있는데, 이는 겨울철 적설의 영향으로 인해 지표면의 정확한 관측이 불가능하여 제외하였다(신사철과 안태용, 2007).

3) 표면 유출량 분석

표면유출량이란 토지피복과 토양도의 배수성을 토대로 일정량의 강우가 내렸을 때 격자당 몇 mm의 강우가 표면으로 유출되는 가를 분석하는 것이며, 이를 위해 정밀토양도를 활용한 수문학적 토양유형분류와 토지이용도가

필요하다. 토양특성은 강우로 인한 유출과정에 직접적인 영향을 미치는데, 토양의 성질에 따라 침투능이 상이하므로 총 강우 중 직접 유출로 유하하는 유효우량의 크기도 다를 수밖에 없다. 그러나 토양의 성질을 양적으로 표현하기가 어렵기 때문에 SCS(Soil Conservation Service)에서는 토양의 침투능을 기준으로 표 2와 같이 토양의 성질을 4개의 토양군으로 분류하고 있다. 따라서 본 연구는 SCS 방식의 수문학적 토양특성 분류를 위해 농업과학기술원에서 제공하는 정밀토양도의 토양속성을 배수등급과 토성에 따라 재분류하였다(농업과학기술원, 2006; 안승섭 등, 2006; 창원시, 2009).

그리고 SCS의 수문학적 토양형과 토지이용도를 바탕으로 유출곡선지수 CN값을 산정하는데, 본 연구에서는 표 3에 제시된 토지피복 특성에 따른 수문학적 유출곡선지수 CN값을 적용하였으며, 이 CN값은 선행토양함수조건

TABLE 2. 토양의 성질에 따른 SCS 토양형의 분류

토양 구분	토양의 성질	
	토양 구성물	배수
A형	침투율이 대단히 크고, 사질, 사양질, 식양질, 자갈 등이며, 투과율이 7.62mm/h 이상이다.	매우 양호
B형	침투율이 크고, 미사와 굵은 골재가 포함된 사양질, 식양토이며, 투과율이 3.81~7.62mm/h이다.	양호
C형	침투율이 대체로 작고, 미사질이 많은 미사식양질, 미사사양질, 식질이며, 투과율이 1.27~3.81mm/h이다.	불량
D형	높은 유출율, 침투율이 대단히 작고, 식질, 식질판으로 구성되며, 투과율이 1.27mm/h 이하이다.	매우 불량

TABLE 3. 토지피복특성에 따른 유출곡선지수 CN값

토지피복지도			토지이용현황도(국토지리정보원)		수문학적 토양 Group의 CN				
대분류(7단계)	중분류(23단계)		중분류(37단계)		A	B	C	D	
시가화/건조지역	100	주거지역	110	일반주택지	3110	77	85	90	92
				고층주택지	3120	77	85	90	92
		공업지역	120	공업시설	3310	81	88	91	93
				상업-업무지역	3130	81	88	91	93
		위락시설지역	140	유원지	2330	68	79	86	89
				도로	3210	98	98	98	98
		교통지역	150	철로 및 주변지	3220	98	98	98	98
				공항	3230	98	98	98	98
				항만	3240	98	98	98	98
		공공시설지역	160	발전시설	3410	81	88	91	93
				처리장	3420	81	88	91	93
				교육-군사시설	3430	81	88	91	93
				공공용지	3440	81	88	91	93
				매립지	3530	81	88	91	93
				댐	4320	100	100	100	100
농업지역	200	논	210	경지정리답	1110	67	78	85	89
				미경지정리답	1120	67	78	85	89
		밭	220	보통-특수작물	1210	63	75	83	87
				하우스재배지	230	-	-	-	-
		과수원	240	과수원-기타	1220	63	75	83	87
				기타재배지	250	81	88	91	93
산림지역	300	활엽수림	310	2220	45	66	77	78	
		침엽수림	320	2210	45	66	77	78	
		혼합수림	330	2230	45	66	77	78	
		자연초지	410	2110	30	58	71	78	
초지	400	골프장	420	2310	68	79	86	89	
		인공초지	2120	30	58	71	78		
		공원묘지	2320	68	79	86	89		
습지	500	내륙습지	510	-	-	-	-		
		연안습지	520	갯벌	4110	100	100	100	100
나지	600	채광지역	610	염전	4120	100	100	100	100
				채광지역	3520	81	88	91	93
		기타나지	620	광천지	3540	81	88	91	93
				암벽 및 석산	2340	98	98	98	98
				나대지 및 인공	3140	81	88	91	93
				공업나지-기타	3320	81	88	91	93
수역	700	내륙수	710	백사장	4410	100	100	100	100
				하천	4210	100	100	100	100
		해양수	720	호소	4310	100	100	100	100

자료: 건설교통부(2005)의 자료를 정리

(Antecedent soil Moisture Condition, AMC) II인 경우이다.

유출량은 식 2를 이용하여 산정가능하며, S

를 구하기 위해 유출곡선지수 CN값을 사용하고, Ia는 0.2S로 추정하여 식 3으로 구하였다. 한편, 누가강우량은 분석하고자 하는 기간

동안의 총 강우량을 나타내는 것으로 본 연구에서는 월별 유출량을 파악하고자 월 평균 강우량자료를 적용하여 분석하였다.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (2)$$

여기서, Q : 표면유출량

P : 누가강우량(mm)

Ia : 표면유출 전에 제외되는 양

S : 표면유출 시작 후에 보류되는 양

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad (3)$$

결과 및 고찰

1. 강우량 분포

공간내삽법을 활용하여 경상남도의 평균 강우량 분포를 분석한 결과는 그림 5와 같다. 강우량은 경상남도 서부지역인 하동군, 산청군, 사천시, 함양군 등에서 많은 것으로 나타났다는데, 이는 지리산과 인접해 있어 산악지형에 의한 국지적인 강우가 많기 때문인 것으로 판단된다. 반면에, 경상남도 내륙지역인 창녕군, 밀양시, 창원시, 김해시 등은 강우량이 상대적으로 적은 것으로 분석되었다. 시군별로는 하동군이 월 평균 146.62mm로 강우가 가장 많은 것으로 분석되었고, 이와 반대로 창원시와 창녕군은 월 평균 약 105mm 이하의 강우로 비교적 적은 것으로 나타났다. 강우량 패턴은 우리나라의 강우 특성상 여름철인 6~9월에 집중적으로 내리는 것을 알 수 있으나, 10~3월에는 평균 강우량을 밑도는 것으로 나타났다. 그러므로 계절에 따라 강우량의

FIGURE 5. 월별 평균 강우량 분포

TABLE 4. 시군별 월 평균 강우량

시군별	월 평균 강우량(mm)												평균	표준 편차
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		
창원시	22.28	31.14	46.55	77.80	119.58	152.41	273.55	272.93	163.97	39.42	26.47	15.65	103.48	94.11
마산시	24.69	35.03	50.89	94.07	132.13	163.39	283.24	290.59	179.96	42.06	28.32	16.02	111.70	98.90
진해시	25.13	37.02	53.67	101.22	139.69	163.37	285.75	277.56	157.33	43.20	27.47	16.58	110.67	95.68
거제시	34.50	52.09	78.27	161.55	216.54	192.57	302.39	297.33	160.84	51.75	34.74	28.21	134.23	101.93
거창군	24.84	31.64	43.43	77.09	102.32	173.49	332.56	315.54	195.15	38.10	26.51	17.67	114.86	113.78
고성군	25.42	36.79	54.70	100.01	141.27	174.69	289.79	303.25	195.21	45.96	28.05	17.15	117.69	102.91
김해시	23.22	33.62	49.46	88.37	131.16	159.79	284.28	282.64	152.07	41.67	27.13	16.42	107.48	96.57
남해군	25.03	52.52	74.12	148.52	186.54	200.83	325.41	274.37	203.72	53.16	32.87	23.82	133.41	104.29
밀양시	19.86	27.34	48.14	80.11	116.92	167.88	285.19	293.14	164.80	40.80	26.14	15.76	107.17	100.42
사천시	28.15	39.75	58.02	106.50	146.45	196.86	349.18	358.34	212.89	45.40	29.55	18.27	132.45	122.74
산청군	28.80	39.04	59.25	94.84	138.96	209.02	380.63	395.85	238.68	42.59	30.52	18.23	139.70	136.61
양산시	25.06	31.96	52.07	94.23	148.90	177.06	314.53	315.70	184.18	46.57	32.58	16.78	119.97	108.75
의령군	26.25	33.83	48.15	77.56	120.25	169.95	312.88	312.28	183.00	37.63	25.16	14.86	113.48	108.77
진주시	26.59	36.69	55.49	94.90	136.90	182.26	325.64	338.31	208.14	43.85	27.39	16.40	124.38	115.69
창녕군	24.61	29.87	42.92	67.92	112.15	161.68	290.20	275.90	181.79	35.22	23.05	14.51	104.98	99.90
통영시	23.57	38.76	59.13	124.53	162.30	174.19	248.79	237.81	144.26	46.79	28.76	20.44	109.11	83.98
하동군	30.02	42.94	58.45	110.02	151.49	221.45	402.93	416.05	226.50	46.40	32.56	20.60	146.62	142.28
합안군	25.17	33.71	46.77	77.39	122.18	164.61	294.29	292.49	187.49	38.29	25.26	15.16	110.23	102.60
함양군	28.53	37.26	49.58	79.58	109.79	181.31	359.50	331.48	205.92	38.91	30.41	20.21	122.71	120.46
함천군	23.16	29.42	43.90	70.38	107.48	171.76	313.91	319.09	184.67	35.91	22.95	13.57	111.35	111.61
평균	25.74	36.52	53.65	96.33	137.15	177.93	312.73	310.03	186.53	42.68	28.29	17.82	118.78	-
30년 평균*	28	39	67	116	122	211	280	282	160	48	45	18	118.00	-

* 경상남도 재난안전대책본부 : <http://bangjae.gsnd.net>

편차가 클 것으로 예상되는데, 특히 하동군과 산청군 등은 다른 시군에 비해 월별 평균 강우량의 차이가 크게 나타나 빗물관리시설의 용량 및 규격 등을 결정하는데 이러한 부분이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 한편, 경상남도의 30년간 실측에 의한 월평균강우량과 비교한 결과, 여름철에 다소 차이가 있는 것으로 나타났지만, 전반적으로 비슷한 패턴으로 강우량이 내리는 것으로 분석되었으며, 평균 강우량이 본 연구에서 분석된 결과와 0.78mm 차이로 크지 않은 것으로 확인되었다(표 4).

2. 증발산량 분포

증발산량 추정식에 의해 분석된 월별 증발산량 분포결과는 그림 6과 같으며, 전반적으로 경상남도의 증발산량은 바다와 인접해 있는 지역에서 많은 것으로 나타났다. 이는 해안지역의 온난한 기후로 인해 기온 변수가 많

이 작용하기 때문인 것으로 판단되며, 특히 계절상 겨울로 접어드는 10~11월의 증발산량 분포에서 보는 바와 같이, 경상남도 서북쪽의 내륙지역보다는 습하고 온난한 해안지역의 증발산량이 뚜렷하게 많은 것을 알 수 있다.

반면에 토지이용상 시가화 및 건조지역이 분포면적이 많은 창원시, 진해시 등은 계절에 상관없이 증발산량이 낮은 것으로 나타났는데, 이는 불투수포장면과 건물 등과 같이 건조한 인공구조물로 피복되어있기 때문으로 판단된다. 이에 따라, 태양 복사열에 의해 지표온도의 변화가 심하며 도시열섬현상의 원인으로 작용하기 때문에 도시의 물순환 뿐만 아니라, 기후적인 측면에서도 증발산 현상을 향상시키기 위해 녹지 및 공원 등의 조성이 필요할 것으로 사료된다.

표 4는 시군별 월 평균 증발산량을 산출한 결과이다. 앞서 언급한 것과 같이 해안지역에 위치한 시군에서 증발산량이 대체로 많은 것

FIGURE 6. 월별 평균 증발산량 분포

TABLE 5. 시군별 월 평균 증발산량

시군	월 평균 증발산량(mm)									평균	표준편차
	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월		
창원시	41.10	76.62	93.88	116.22	127.19	131.18	82.96	56.88	33.32	84.37	36.10
마산시	50.22	84.39	101.38	122.79	134.05	139.02	91.98	65.03	40.31	92.13	35.74
진해시	40.40	73.30	89.21	109.66	120.82	126.12	83.42	58.07	34.98	81.78	33.28
거제시	48.06	80.91	97.01	118.52	130.68	136.05	90.03	62.55	38.34	89.13	35.17
거창군	40.92	82.09	102.29	127.09	138.02	136.59	87.92	52.32	26.35	88.18	41.71
고성군	50.36	86.04	103.89	126.37	138.21	142.41	92.69	63.97	38.14	93.56	37.81
김해시	43.29	79.54	96.61	119.15	130.73	135.50	84.88	57.93	33.62	86.81	37.17
남해군	50.02	86.35	104.22	126.63	138.66	141.45	92.74	64.19	39.10	93.71	37.60
밀양시	44.13	83.23	101.68	126.70	137.09	138.87	88.61	56.76	29.10	89.57	40.39
사천시	45.02	83.19	103.47	127.98	139.92	141.56	90.28	59.34	32.34	91.46	40.45
산청군	40.29	80.96	101.89	126.82	139.28	140.39	89.41	55.78	29.46	89.36	41.61
양산시	43.21	80.54	97.19	121.01	132.21	136.15	87.23	58.99	33.55	87.79	37.61
의령군	46.13	85.00	104.25	128.33	139.41	140.41	90.76	58.36	31.31	91.55	40.36
진주시	44.50	82.77	102.99	127.43	139.19	140.74	89.74	58.56	31.60	90.84	40.43
창녕군	42.43	81.87	100.70	125.36	136.07	137.49	87.30	56.61	30.46	88.70	39.88
통영시	52.55	84.66	99.80	119.65	131.08	137.65	92.02	66.26	41.89	91.73	33.95
하동군	43.11	82.80	103.42	128.38	140.63	141.74	90.83	58.07	31.37	91.15	41.22
함안군	43.56	80.93	99.37	122.79	134.29	137.76	87.54	59.33	34.32	88.88	38.21
함양군	36.10	78.24	99.06	124.43	136.34	135.52	86.24	50.73	24.85	85.72	42.08
합천군	46.04	86.31	106.06	130.62	141.35	140.63	91.16	57.07	29.63	92.10	41.45

으로 나타났으며, 그 중 남해군이 93.71mm로 가장 많았고, 다음으로 고성군이 93.56mm로 분석되었다. 반면에 진해시와 창원시는 해안에 인접해 있지만 평균 증발산량이 각각 81.78mm와 84.37mm로 비교적 적은 것으로 나타났는데, 이는 도시화가 많이 진행되어 불투수포장이 차지하는 면적이 넓기 때문에 적은 것으로 판단된다(경남지역환경기술개발센터, 2010). 계절적으로는 기온이 높은 여름철인 6~8월의 증발산량이 많았고, 시군별 월평균 증발산량의 편차는 크게 차이가 없는 것으로 나타났다.

한편, 증발산량은 물 순환과정 중에서 물이 기화되어 대기 중으로 없어지는 양으로 수자원을 개발하고자 하는 지점에서의 가용 수자원 중 순수하게 이용 가능한 양을 추정하는데 필요하며, 단기간보다는 비교적 장기간 수자

원의 양적 손실 정도를 판단하는 기준이 된다(윤용남, 2007). 따라서 증발산량을 고려하여 실질적으로 이용할 수 있는 빗물의 양을 산정하여 빗물관리계획 수립 및 이용시설을 설치해야 할 것으로 판단된다.

3. 표면유출량 분포

표면유출량을 분석한 결과는 그림 7과 같으며, 대체로 평균 강우량에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 6~9월의 경우, 경상남도 서부지역과 동부지역의 표면유출량 차이가 뚜렷한 것으로 나타났고, 12월을 제외한 10월~2월은 전체적으로 차이가 크지 않은 것으로 분석되었다. 시군별로는 하동군이 90.40mm로 가장 많았는데, 이는 평균 강우량의 영향이 많기 때문인 것으로 판단된다. 반면에, 표면 유출량이 가장 적은 시군은 거

FIGURE 7. 월별 평균 표면유출량 분포

TABLE 6. 시군별 월 평균 유출량

시군	월 평균 유출량(mm)												평균	표준 편차
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		
창원시	3.97	7.01	14.33	34.02	65.55	92.64	200.98	200.44	102.60	10.79	5.34	2.58	61.69	73.79
마산시	2.59	6.12	13.82	42.96	73.28	100.05	209.85	216.84	114.79	9.22	3.70	1.10	66.19	79.32
진해시	3.37	7.08	14.69	45.00	74.62	94.09	202.57	194.10	88.09	9.64	3.84	2.01	61.59	72.48
거제시	4.48	10.38	23.04	73.96	112.07	110.52	205.29	200.29	94.47	12.62	4.97	2.83	71.24	74.70
거창군	4.15	4.12	5.12	13.78	24.20	64.65	182.88	169.12	78.79	4.51	4.09	4.87	46.69	65.49
고성군	3.57	7.72	16.89	48.15	81.45	110.26	215.72	228.47	128.57	12.06	4.38	1.86	71.59	82.79
김해시	4.05	8.28	17.08	44.92	80.18	105.26	220.75	219.11	98.37	12.41	5.38	2.13	68.16	80.20
남해군	3.52	11.64	22.74	69.81	103.13	138.15	272.44	257.28	142.44	13.89	5.12	1.89	86.84	98.03
밀양시	1.79	3.65	12.61	32.85	61.09	104.21	211.66	219.06	101.43	8.94	3.33	1.28	63.49	80.14
사천시	4.55	9.49	19.83	55.19	88.67	133.63	277.23	286.09	148.32	12.42	5.05	1.87	86.86	104.28
산청군	3.83	6.37	13.47	32.62	61.90	114.97	263.88	277.87	139.26	7.12	4.11	3.04	77.37	101.28
양산시	3.30	5.14	12.94	38.14	79.10	102.18	224.13	224.98	107.87	10.44	5.23	2.29	67.98	82.87
의령군	2.76	5.35	11.88	30.42	63.10	105.35	237.73	237.10	117.09	6.87	2.55	0.87	68.42	88.68
진주시	4.16	8.05	17.89	45.09	78.83	118.14	250.79	262.99	141.51	11.47	4.43	1.88	78.77	95.53
창녕군	3.88	5.64	11.51	26.55	59.97	101.87	219.93	206.18	119.75	7.75	3.32	1.67	64.00	80.34
통영시	2.45	7.04	16.60	57.84	90.36	105.28	192.90	189.28	95.93	9.14	3.41	1.59	64.32	71.11
하동군	3.89	8.13	15.54	49.10	81.11	140.19	307.00	319.28	144.61	9.62	4.44	1.93	90.40	116.04
함안군	4.07	7.24	13.66	33.49	68.39	104.68	224.07	222.69	125.18	9.27	4.05	1.79	68.21	83.53
함양군	4.03	4.54	6.72	15.60	29.75	72.41	208.64	186.54	90.07	4.93	4.06	4.36	52.64	73.67
합천군	3.83	4.94	9.22	21.18	44.00	90.34	210.81	215.73	100.73	6.41	3.66	3.25	59.51	79.41

창군으로 46.69mm로 나타났다. 하동군과 사천시, 산청군 등은 월별 표면유출량의 편차가 비교적 큰 것으로 분석되었으며, 통영시와 진해시, 창원시 등은 편차가 적었다(표 6).

한편, 증발산량 분석결과와는 대조적으로 시가화 및 건조지역은 표면유출량이 많은 것으로 나타났다. 이는 불투수포장면으로 인해 강우시 빗물이 지하로 스며들지 못하기 때문인 것으로 판단되며, 이로 인해 하천의 건천화현상과 여름철 집중호우가 내렸을 때 도시의 홍수를 초래할 수도 있다. 따라서 이러한 문제를 완화하기 위해서는 유출량을 줄일 수 있는 투수성 포장재질을 조성하고, 유출량 증가로 인한 하류지역의 피해를 방지하기 위해 유수지, 저류지 등과 같은 유출지체 구조물의 설치 등이 필요할 것으로 사료된다.

결론

최근 도시의 급격한 성장으로 인해 불투수지역이 증가하면서 지하수 및 용수부족, 하천의 건천화 등과 같은 물 환경문제가 대두되고

있다. 이러한 상황 속에서 자연적인 강우에 의한 빗물을 효과적으로 이용하고자 하는 빗물관리에 대한 관심이 집중되고 있으며, 효율적인 빗물관리를 위해서는 강우량과 빗물의 침투 및 유출지역, 증발산 작용 등과 같은 물순환 체계에 대한 공간정보가 필요하다. 따라서 본 연구는 경상남도를 대상으로 강우량 분포와 증발산량 분포, 표면유출량 분포를 GIS 기반으로 분석하여 빗물관리에 대한 객관적이고 효율적인 자료를 제공하고자 하였다.

연구결과를 요약하면, 먼저 강우량 분포는 경상남도 남서부 지역의 하동군, 산청군, 사천시, 함양군 등에서 많은 것으로 나타났고, 중동부의 창녕군, 밀양시, 창원시, 김해시 등은 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 시군별로는 하동군이 평균 146.22mm로 가장 많았고, 창원시와 창녕군은 평균 105mm 이하로 가장 적게 나타났다.

증발산량 분포는 바다와 인접해 있는 해안 지역에 많은 것으로 나타났는데, 이는 증발산 추정식 중 기온 변수가 많이 작용했기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 해안에 인접한 창원

시와 마산시, 진해시 등의 도시화지역은 증발산량이 낮은 것으로 나타났는데, 이는 인공구조물에 의한 피복특성이 증발산 작용에 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다. 시군별로는 남해군 93.71mm, 고성군 93.56mm로 가장 많게 나타났고, 진해시와 창원시가 각각 81.78mm와 84.37mm로 가장 적었다.

표면유출량은 전반적으로 평균 강우량에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 그리고 증발산량 분석결과와는 대조적으로 시가화 및 건조지역에서 표면유출량이 많았는데, 이는 불투수포장면에 의해 빗물이 지하로 스며들지 못하기 때문에 나타난 결과이며, 하천의 건천화현상과 지하수량 부족, 도시홍수 등에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다. 시군별로는 하동군이 90.40mm로 가장 많았고, 거창군이 46.69mm로 가장 적게 나타났다.

이상의 GIS기반 물순환 체계 분석결과는 경상남도의 효율적인 빗물관리를 위한 계획 및 정책마련의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 특히 지하수량과 생활용수 및 공업용수가 부족한 시군에 빗물이용시설을 설치할 시에 설치위치와 시설용량을 결정하는데 객관적인 자료로 이용하여 안정적인 물 공급과 하천의 건천화 등의 문제를 해결할 수 있을 것이다. 또한, 가정과 관공서, 공공시설, 공장 등에서 빗물이용을 활성화할 수 있는 각종 제도를 마련하여 수돗물을 빗물로 대체함으로써 에너지 절약을 기대할 수 있을 것으로 보며, 아울러 기후변화에 대한 대응과 녹색성장을 위한 기반이 될 것으로 사료된다.

마지막으로, 향후 본 연구에서는 증발산량의 산정시 Landsat TM 위성영상에서 얻어진 NDVI자료를 사용하였지만, 추정식은 NOAA/AVHRR 자료를 이용하였기 때문에 파장대의 범위가 미세하게 차이가 있을 것으로 판단되어 추후에는 이를 보완할 예정이다. 또한, 표면유출량 산정시 누가강우량의 경우, 차후 연구에서는 시군별로 강우횟수 및 강우량 등을 고려하여 실질적으로 누가된 강우량을 분석하여 표면유출량을 산정할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 환경부가 주관하고 경남지역환경기술개발센터에서 시행하는 2010년도 환경기술연구개발사업 (과제번호:10-1-30-33-1) 지원 사업으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다. **KAGIS**

참고문헌

- 경남지역환경기술개발센터. 2010. 녹색성장 기반구축을 위한 경상남도 빗물관리 기본계획 수립. 1-5쪽.
- 김수진, 김준, 김승. 2009. 실측 기반 한반도 증발산 지도 제작. 물과 미래 42(4):50-57.
- 김영진, 한무영, 김용하, 문정수. 2009. On-site 방식 빗물관리를 위한 건축물 지붕면의 유출특성 경험식 수립. 한국수자원학회지 42(2):171-176.
- 농업과학기술원. 2006. 유출곡선지수법의 활용을 위한 수문학적 토양군 분류.
- 서울지역환경기술개발센터. 2008. 분산형 빗물관리시스템의 설계 및 유지관리 가이드라인 개발. 2-6쪽.
- 신사철, 안태용. 2004. NDVI와 기온자료를 이용한 광역증발산량의 추정. 한국지리정보학회지 7(3):79-89.
- 신사철, 안태용. 2007. 인공위성자료를 활용한 광역증발산량의 산정방법 개발. 한국지리정보학회지 10(2):70-80.
- 신수용. 2006. 친환경 건축을 위한 빗물이용시설 보급확대 방안. 세명대학교 교육대학원 석사학위논문. 52-53쪽.
- 안승섭, 박노삼, 고수현, 송인렬. 2006. 수문학적 토양군의 분류기준에 따른 SCS CN 및 유출변화특성에 관한 연구. 한국환경과학회지 15(8):775-784.

윤용남. 2007. 수문학. 청문각. 135쪽.

이재수. 2006. 수문학. 구미서관. 151쪽.

조흥래, 정중철. 2006. 강우자료에 대한 공간 보간 기법의 적용. The Journal of GIS Association of Korea 14(1):29-41.

창원시. 2009. 창원시 환경지도 제작 및 GIS 구축 연구보고서. 158-160쪽.

최용규. 2001. Kriging 기법을 이용한 면적평균 강우량 산정. 충남대학교 석사학위 논문. 3-6쪽.

경상남도 홈페이지 : <http://www.gsnd.net>

경상남도 재난안전대책본부 : <http://bangjae.gsnd.net>