

제주 천미천 유역의 차단량 추정

정일문* · 이정우** · 김남원***

Chung, Il-Moon*, Lee, Jeongwoo**, Kim, Nam Won***

Estimation of Interception in Cheonmi Watershed, Jeju Island

ABSTRACT

For the establishment of effective water resources management platform for Jeju-Island, the characteristics, including surface runoff, evapotranspiration, groundwater recharge and discharge are to be properly quantified. Among these hydrologic components, interception due to vegetation is very important factor but it is hard to be quantified. After Von Hoyningen-Huene (1981) found the relationship between LAI (Leaf Area Index) and interception storage, LAI has been used for key factor to estimate interception and transpiration. In this study the equation suggested by Kozak et al. (2007) is implemented in SWAT-K (Soil and Water Assessment Tool - Korea) model and is tested at the Cheonmicheon watershed in Jeju-Island. The evaporation due to interception was estimated as 85~104mm, 8~11% of whole evaporation. Therefore it is necessary to consider the evaporation due to interception as a controlling factor to water budget of this watershed.

Key words : SWAT-K Jeju Island, Water budget, Interception, Leaf area index

초 록

제주도의 효율적 수자원 관리 기반을 구축하기 위해서는 지표수의 유출 특성과 증발산량, 지하수 함양량, 지하수 유출량의 상호관계를 정확하게 제시할 필요가 있다. 이 중 식생에 의한 차단(interception)효과는 증발산량에 직결되는 영향 인자임에도 정량적 분석의 어려움 때문에 유역단위로 정량화된 사례는 드물다. Von Hoyningen-Huene (1981)이 엽면적지수와 차단저류량의 관계를 밝혔고, LAI는 차단, 증산의 핵심요소로 다양한 수문모형에 활용되고 있다. 본 연구에서는 Kozak et al. (2007)이 제시한 엽면적 지수(LAI: Leaf Area Index)에 따른 차단저류량의 관계식을 이용하여 한국형 유역수문모형 SWAT-K (Soil and Water Assessment Tool-Korea)내에 식생에 의한 차단량 산정모듈을 개선하였다. 제주도 천미천 유역을 대상으로 적용한 결과 천미천 유역의 차단증발량은 85~104mm로서 전체 증발산량(993~1062mm)의 약 8~11% 만큼 차지하는 것으로 분석되어 전체 물수지 성분에 영향인자로 고려되어야 할 것이다.

검색어 : SWAT-K, 제주도, 물수지, 차단, 엽면적지수

1. 서론

연평균 강우량이 2,000mm를 상회하는 제주도는 우리나라 최대의 다우지역 중 한 곳인 반면, 급한 경사와 짧은 유로 연장 등의 하천 특성과 높은 투수성의 지질학적 특성으로 인해 집중호우시 짧은 기간 동안 유출이 발생하고 평상시 도내 대부분의 하천은 건천의

* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원·하천연구소 연구위원, 공학박사

(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology · imchung@kict.re.kr)

** 정희원 · 교신저자 · 한국건설기술연구원 수자원·하천연구소 수석연구원, 공학박사

(Corresponding Author · Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology · ljw2961@kict.re.kr)

*** 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원·하천연구소 선임연구위원, 공학박사

(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology · nwkim@kict.re.kr)

Received January 23, 2015/ revised February 5, 2015/ accepted April 6, 2015

상태로 유지되고 있다(Jeju-Do and KOWACO, 2003). 이와 같이 내륙과는 상이한 제주도의 수문특성으로 인해 그동안 우리나라에서 진행된 수자원 관련 연구의 결과를 적용하기에 한계가 있으며, 제주도의 수문특성에 대한 체계적인 연구는 미흡한 상황이다. 특히 제주지역은 한라산을 중심으로 구성된 대규모 지하수 함양지역과 바다로 유출되는 배출지역의 특성이 분명하게 나타나 있다(Chung et al., 2011). 따라서 제주도의 효율적 수자원 관리 기반을 구축하기 위해서는 지표수의 유출 특성과 증발산량, 지하수 함양량, 지하수 유출량의 상호관계를 정확하게 제시할 필요가 있다. 이 중 식생에 의한 차단(interception)효과는 증발산량에 직결되는 영향 인자로 인식되고 있으나 정량적 분석의 어려움 때문에 유역단위로 정량화 된 사례는 매우 드물다(Fig. 1).

식생 차단은 지상의 식생 표면에 부착상태로 잔류하는 강수량으로 강수가 중단된 후에는 전량 증발하므로 물수지 측면에서는 손실량이라고 볼 수 있으며, 식생에 의한 연간 차단 백분율은 10%에서 밀도가 높은 삼림지역의 25%에 이른다고 한다(Yoon, 2011). 벌채나 산지전용 등에 의해 가장 단기간에 나타나는 변화는 숲 구조의 차이에 의한 차단량의 감소이므로 수자원을 합리적으로 관리하고 산지개발에 따른 수자원의 변화량을 예측하기 위해서는 기상조건과 숲 구조의 변화에 따른 차단손실량의 변화를 정확히 산정할 수 있는 전산모형이 필요하다. 그럼에도 불구하고 차단은 강우-유출해석에서 초기손실에 의해 처리되는 것이 대부분이다. 대부분의 이벤트 모형은 완전히 무시하는 경향이 있으며 연속유출 모형에서도 총 증발량의 적은 부분으로만 인식하고 있으나, 차단량은 강수량에서 수문순환에 기여하지 못하고 손실되는 양으로서 지역적 특성에 따라 그 영향이 크고 작을 수 있다(Savenije, 2004). 따라서 지상위에 도달하지 못한 채, 나뭇잎이나 지면에 저류되었다가 당일에 증발량으로 처리되는 양을 수문모형에서 고려하는 것은 타당하다.

차단량 산정과 관련하여 미국 지질조사국에서 개발된 PRMS 모형(Leavesley et al., 1983)은 식생피복밀도, 최대저류량, 현재 차단저류량 등의 함수로 차단 영향을 고려한다. 완전분포형 유역수

문모형인 MIKE-SHE 모형(DHI, 1998)에서는 차단저류능을 차단 계수와 엽면적지수와의 곱으로 결정하고 있다. 본 연구에서는 한국형 유역수문모형 SWAT-K(Kim et al., 2009)를 기반으로 차단량 산정모듈을 탑재하였고, 이를 제주도 천미천 유역에 시험적으로 적용하여 물수지 분석 항목중에서 차단량이 전체 수문성분에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 SWAT-K 모형

미국 농무성에서 개발된 SWAT(Arnold et al., 1993)은 토양과 토지이용 관리 조건의 변화에 따른 대규모 복잡한 유역에서 물, 유사, 농업화학물질의 장기간 부하량을 예측하는 모형이다. SWAT은 CREAMS(Kniskel, 1980), GLEAMS(Leonard et al., 1987)등을 통합한 SWRRB(Arnold and Williams, 1987) 모형을 근간으로 하고 있으며, 여기에 하도내 유출 및 유사 추적의 모의하는 모형인 ROTO(Arnold et al., 1995; Neitsch et al., 2005)가 결합된 구조를 가지고 있다. SWAT모형의 개발 연혁과 동향에 대해서는 Gassman et al.(2007)이 매우 자세히 기술한 바 있다. 한편, 모형 개발 국가인 미국과 국내유역특성이 상이하여 그 사용이 제한되고 어렵게 적용되고 있는 점을 극복하고자 SWAT을 국내 현실에 맞게 개선한 SWAT-K가 개발되었으며, 주된 개선항목은 인위적, 자연적인 물 순환구조 변화와 지표수-지하수 연계해석 추가, 국내 토양통 DB 구축 및 유출 구조 등이다(Kim et al., 2009). SWAT 모형은 지표유출, 중간유출, 지하수유출, 증발산 등의 수문성분별 모의를 위해서 전체 유역을 소유역으로 구분하고 각각의 소유역에 대해 동일한 토지피복과 토양형을 갖는 수문응답단위인 HRU(Hydrologic Response Unit)별로 물수지를 계산한다. 각 소유역내 HRU별 수문성분량은 합산되어 해당 소유역의 주하도로 유입되며 하도추적 과정을 거쳐 유출량이 산정된다. SWAT으로 모의할 수 있는 주요 성분요소는 수문, 기상, 유사, 토양온도, 작물성장, 영양물질, 살충제, 농업관리 등이며, 이 중 수문성분 모의 절치는 지표유출 및 침투, 증발 및 증산, 중간유출 및 침투, 함양, 지하수유출 순으로 이루어지며, Eq. (1)과 같이 토양수분 변화량에 따른 물수지 방정식을 기본으로 하고 있다.

$$\Delta SW = P - Q - ET - DP - QR \quad (1)$$

여기서, ΔSW 는 토양층의 수분변화량, P 는 강수량, Q 는 지표유출량, ET 는 증발산량, DP 는 침투량, QR 은 하천으로의 회귀수를 나타낸다. 지표유출량은 토양수분량에 따라 CN 을 계산하는 수정 NRCS 유출곡선지수법 또는 Green & Ampt 침투법을 근간으로 산정

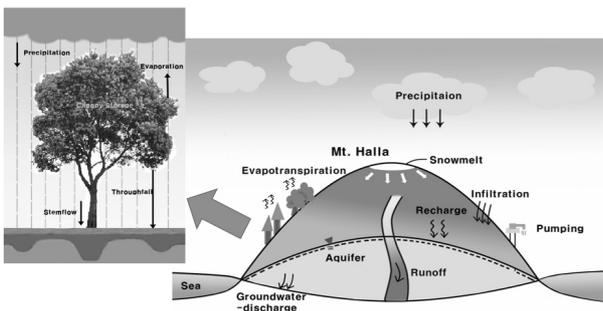


Fig. 1. Hydrologic Components in Jeju-Island

되며, 증발산량은 Penman-Montieth, Priestley-Taylor, Hargreaves 방식의 3가지 중 하나로 잠재증발산량을 계산하고 여기에 토양수분 부족분을 고려하여 실제증발산량이 계산된다. 중간유출량은 토양층의 포화수리전도도, 경사장 및 경사 등의 함수인 운동학적 저류모델(kinematic storage model)로 계산되며, 연직하향으로의 침투량은 저류추적법(storage routing method)을 이용하여 중간유출량과 동시에 계산된다. 토양층 최하단부를 통과한 물이 얇은 대수층까지 도달하는 지하수 함양량은 시간적 지체를 고려하기 위해서 지수형 감쇠 가중함수로 나타내고 있으며, 지하수 유출량 역시 감쇠 가중함수를 사용하여 금일 배출량과 지연배출량의 가중합으로 계산된다. 상기 절차에 따라 계산된 각 소유역내 HRU별 지표유출, 중간유출, 지하수 유출량은 합산되어 해당 소유역의 주하도로 보내지고 Muskingum 또는 변동저류법에 의해 하도추적이 이루어진다. 한편, SWAT모형에서 식생에 의한 차단량은 식생별로 최대차단량을 설정하고 여기에 최대엽면적지수에 대한 해당일 엽면적지수의 비를 곱해 산정된다. 그러나, 이 방법은 Green & Ampt 방법을 선택한 경우만 적용되고 국내에서 일반적으로 사용하고 있는 NRCS 유출곡선지수법을 선택한 경우는 차단 효과를 직접유출량 산정시 고려되는 초기손실에 포함시킴으로써 차단증발량을 별도로 산정하는 계산루틴은 포함되어 있지 않다.

2.2 차단 모델

엽면적 지수(Leaf Area Index :LAI)에 따른 차단저류량의 관계가 von Hoyningen-Huene(1981)에 의해 밝혀짐으로써 차단저류량을 추정하는 방정식이 개발되었고 이에 따라 차단량을 추정하는 연구가 급속히 발전했다. Eq. (2)의 최대저류량(maximum storage capacity- S_{max} , mm)은 매우 정확한 산정식으로 알려지고 있어 많은 학자들이 이 식을 활용하고 있다(Kozak et al., 2007). 한편, LAI는 피복에 의한 차단, 증산, 광합성 등의 핵심요소이며 다양한 생태 또는 수문모형에 활용되고 있다.

$$S_{max} = 0.935 + 0.498(LAI) - 0.00575(LAI^2) \quad (2)$$

차단 저류량을 이용하여 차단량을 계산하는 식은 다음과 같다 (Gomez, 2001).

$$I = CS_{max} (1 - \exp(-k \frac{\Sigma P}{S_{max}})) \quad (3)$$

여기서, I는 차단량, S_{max} 는 최대 차단저류용량, ΣP 는 단일사상의 누적강수량, C는 식생피복비율, k는 식생 개도(openness)의 경험계수이다.

본 연구에서는 SWAT-K모형내에 위와 같은 차단저류와 LAI의 관계식 및 차단량 계산식을 도입함으로써 토지 피복 식생자료에 의해 계산되는 차단량을 계산할 수 있도록 모형을 개선했고 제주 천미천 유역에 대해 시범적용하여 수문성분에 미치는 영향을 정량적으로 평가하고자 하였다. SWAT모형에서는 직접유출량 산정시 초기 손실부분에서 차단을 다루고 있으나, 본 연구에서는 Eq. (2)에 나타난 차단저류량을 LAI와 연동시켜 계산하는 루틴을 코드안에 탑재하였고, Eq. (3)의 관계식을 이용하여 차단량을 정량화 하였다. 그리고 이와 같이 정량화된 차단량은 당일 토양으로부터 증발량과 함께 대기로 손실되는 것으로 처리하였다.

2.3 대상유역 현황

천미천은 한라산 동쪽 해발 1,700고지인 흙붉은오름(EL.891m)과 성널오름(EL.1,125.2m)사이의 협곡에서 발원하여 동류하다가 바다로 유입되는 하천으로 유로연장 40.6km이고 유역면적은 122.95km²이다. 본 연구에서는 천미천을 중심으로 표준유역 경계까지 확장하여 모델영역을 설정하였으며, 16개의 소유역으로 구분하였다. Kim et al.(2013)은 천미천 유역의 간헐하천 모의를 위한 프로세스 중심의 개념적 물리적 방법을 제시, 제주 천미천 유역에 시험 적용한 바 있는데 상시 유출이 없고 큰 비가 내릴 경우에만

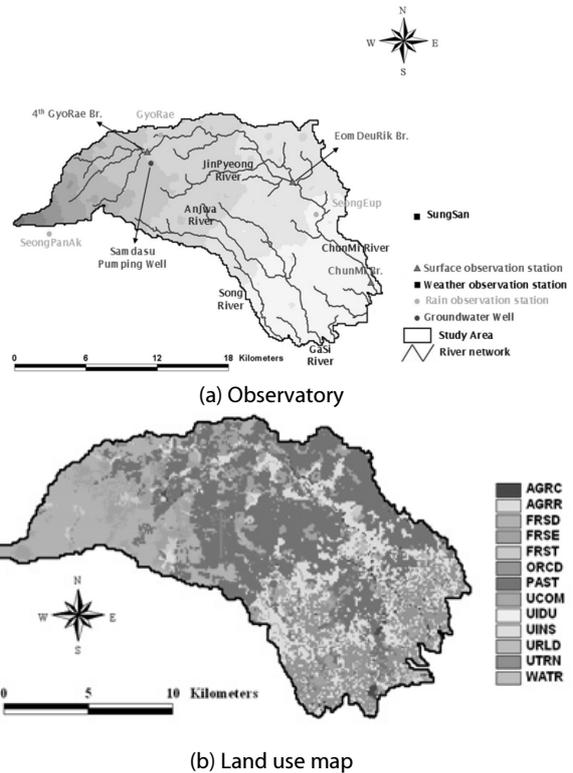


Fig. 2. The Observatory in Study Watershed and Land Use Map (Chung et al., 2011)

하천유출이 발생하는 전형적인 간헐하천의 양상을 효과적으로 모의할 수 있는 기법을 개발한 바 있다. 본 연구에서는 Kim et al. (2013)이 구축한 간헐 하천 유출해석 결과를 기반으로 차단 증발산 효과를 정량적으로 파악하였다.

3. 결과 및 고찰

천미천 유역에 대해 기분석된 SWAT-K모형의 유출분석 결과는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 2010년 기준으로 결정계수(R^2)가 0.92로 양호하게 추정된 바 있다(Kim et al., 2013).

본 연구에서는 차단량의 고려 전후의 수문성분 변화를 파악하기 위해 먼저 차단이 고려되지 않은 경우에 대해 SWAT-K모형을 통해 구한 강수, 직접유출량, 증발산량, 지하수 함양량을 연도별로 합산, 물수지 분석을 수행하였다. Table 1에서 보는 바와 같이 2008년부터 2010년까지 직접유출량은 1.6~3.0%, 증발산 30.9~50.8%, 함양량은 46.9~65.5%의 범위를 나타내고 있다. 여기서 증발산량은 토양증발량, 식생증발량의 합이다.

각 수문성분의 일별 특성은 Fig. 4에 도시하였다. 제주지역의 경우 강수의 대부분이 땅속으로 함양되고, 기온의 함수로서 증발산이 반응하는 양상을 확인할 수 있다. 또한 유출량의 경우 일정한 강수량 이상에서만 발생하는 간헐하천의 특성을 잘 나타내고 있다.

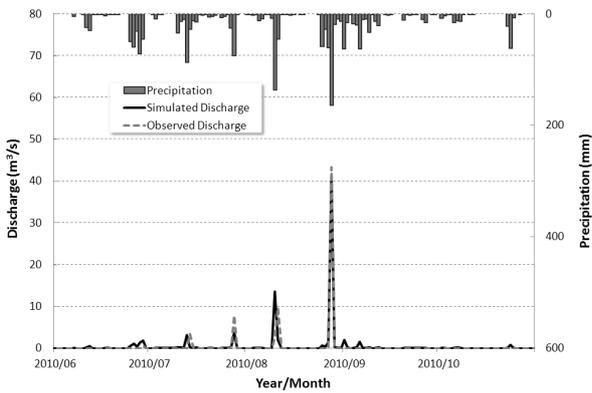


Fig. 3. Comparison Between Observed and Computed Discharge (Kim et al., 2013)

Table 1. Water Budget Analysis Results

Year	Precipitation (mm)	Runoff (mm)	EVT (mm)	GW recharge (mm)
2008	1,956 (100%)	31 (1.6%)	993 (50.8%)	918 (46.9%)
2009	2,303 (100%)	36 (1.6%)	1,062 (46.1%)	1,196 (51.9%)
2010	2,997 (100%)	90 (3.0%)	926 (30.9%)	1,964 (65.5%)

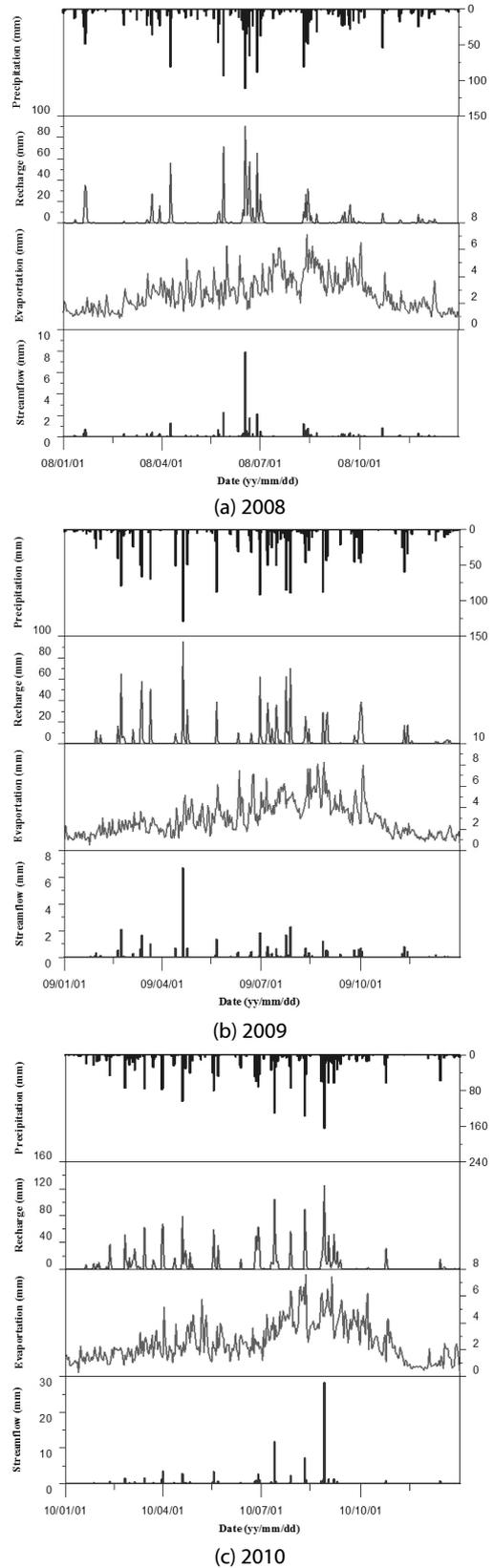


Fig. 4. Hydrologic Components in Cheonmi-Cheon

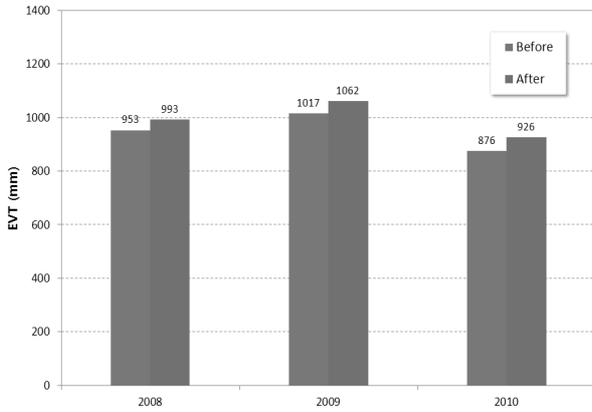


Fig. 5. Change of Evapotranspiration Due to Interception

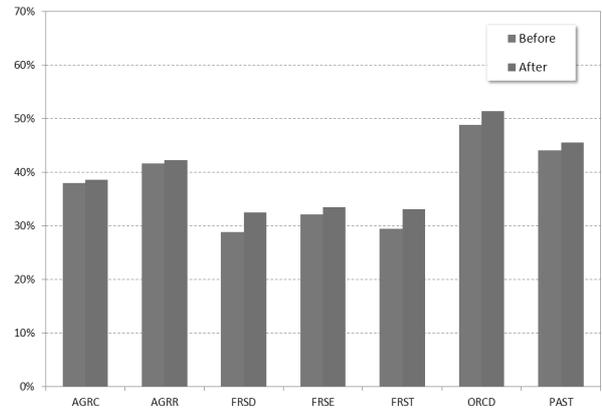


Fig. 6. Changes of EVT Due to Interception According to Land Use Types

Table 2. Hydrologic Components According to Land Uses

NAME	Description	Precipitation	Runoff	Recharge	EVT
AGRC	Agricultural Land-Generic	2209	17 (0.8%)	1300 (58.9%)	850 (38.5%)
AGRR	Agricultural Land-Row Crops	2269	27 (1.2%)	1243 (54.8%)	957 (42.2%)
FRSD	Forest-Deciduous	2603	29 (1.1%)	1691 (65.0%)	844 (32.4%)
FRSE	Forest-Evergreen	2376	15 (0.6%)	1530 (64.4%)	795 (33.5%)
FRST	Forest-Mixed	2579	19 (0.7%)	1668 (64.7%)	853 (33.1%)
ORCD	Orchard	2240	16 (0.7%)	1035 (46.2%)	1151 (51.4%)
PAST	Pasture	2327	18 (0.8%)	1204 (51.8%)	1060 (45.6%)

본 연구에서는 SWAT-K 모형에 반영된 차단량 산정 기법을 적용하여 산정된 증발산량을 차단증발량을 고려하지 않은 결과와 함께 비교하여 도시하였다(Fig. 5). 즉, 차단량을 유효강수량 산정시 배제시킨 경우 연 증발산량이 876~1017mm의 분포를 보였으나, 차단량을 정량화 한 후 일별로 증발량에 의해 우선 소비된다는 조건으로 계산한 연 증발산량은 926~1062mm로 약 4~6% 증가한 것으로 나타났다. 이는 식생 옆면에 강수차단으로 인해 저류된 물이 증발되어 대기중으로 빠져나간 양을 고려할 경우 기존 방식의 증발산량에 비해 다소 증가되는 양상이 매년 나타난다는 것으로 이해된다. 천미천 유역의 차단량은 85~104mm로서 전체 증발산량(993~1062mm)의 약 8~11% 만큼 차지하는 것으로 분석되었다.

차단량이 전체 증발산량에서 비교적 큰 부분을 차지하는 것은 천미천 유역의 토지이용형태에서 그 원인을 찾을 수 있다. 따라서,

전체 연별 증발산량 분석에 이어서 토지이용 특성별 물수지 분석 결과를 기반으로 다시 비교해 보았다. 천미천 유역의 3개년(2008~2010)간 토지이용에 따른 물수지 성분 결과는 Table 2와 같다. 토지이용별로 지하수 함양은 46.2~65.0%, 증발산은 32.4~51.4%, 유출률은 0.6~1.2%의 범위를 갖는다. 그런데 이와 같은 물수지 성분은 차단량을 고려할 경우 토지이용별로 그 분포가 매우 다르게 나타났다. 특히 차단량이 많은 것으로 추정되는 산림지역(FRSD, FRSE, FRST)은 다른 토지이용에 비하여 증발산량이 1.4~3.7%의 증가율을 보였고, 과수원(ORCD)과 목장지(PAST)는 2.6%, 1.5%의 차이를 보였다. 그리고 차단량이 그리 많지 않은 것으로 추정되는 밭과 나지에서는 0.5~0.7%로 거의 차이가 발생하지 않는 것으로 나타났다(Fig. 6).

4. 결론

유역내에서 차단량에 관한 중요성과 역할은 수문성분해석의 목적과 유역특성, 그리고 기후조건에 따라 달라진다(Savenije, 2004). 따라서 물수지 성분해석의 고도화를 위해서는 차단량의 정량화 기술이 연속유출모형에 반영되는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 엽면적 지수와 차단저류량의 관계식을 SWAT-K에 탑재시켜 일별 차단저류량을 산정하고, 증발산량 산정시 가장 먼저 증발되는 양으로 차단량을 산정하는 프로세스를 구현하였다. 그 결과 천미천 유역에서는 2008년부터 2010년까지 연도별 증발산량의 8~11%에 해당하는 차단량이 산정되었다. 토지이용별로 구분하여 평가한 결과, 침엽수림과 활엽수림 등 산림지역에서 차단량의 영향이 가장 크게 나타났고, 과수원과 목장의 영향이 그 뒤를 이었으며, 밭과 나지에서의 차단효과는 미미한 것으로 나타났다. 이와 같은 차단량 평가는 삼림이 울창한 소유역의 경우 물수지 성분에서 매우 큰 영향을 미칠 것으로 평가되므로 향후 토지이용 형태에 따라 본 연구에서 개발된 모형의 활용도는 높아질 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통기술지역특성화사업 제주권 건설교통기술 지역거점센터의 연구비지원(과제번호 : 14RDRP-B076275-01-000000)에 의해 수행되었습니다.

References

Arnold, J. G. and Williams, J. R. (1987). "SWRRB—A watershed scale model for soil and water resources management." *Computer Models of Watershed Hydrology*, V.J. Singh ed., Water Resources Publications, pp. 847-908.

Arnold, J. G., Williams, J. R. and Maidment, D. R. (1995). "Continuous time water and sediment routing model for large basins." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 121, No. 2, pp. 171-183.

Arnold, J. G., Allen, P. M. and Bernhardt, G. (1993). "A comprehensive surface-groundwater flow model." *Journal of Hydrology*, Vol. 142, pp. 47-69.

Chung, I. M., Lee, J., Kim, J. T., Na, H. and Kim, N. W. (2011). "Development of threshold runoff simulation method for runoff analysis of Jeju Island." *J. Environ. Sci.*, Vol. 20, No. 10, pp. 1347-1355.

DHI (1998). *MIKE SHE water movement - user guide and technical reference manual, edition 1.1*, Danish Hydraulic Institute, Denmark.

Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, J. G. and Arnold, J. G. (2007). "The soil and water assessment tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions." *Transactions of the ASABE*, Vol. 50, No. 4, pp. 1211-1250.

Gomez, J. A., Giraldez, J. V. and Fereres, E. (2001). "Rainfall interception by olive trees in relation to leaf area." *Agricultural Watershed Management*, Vol. 49, pp. 65-76.

Jeju Do and Korea Water Resources Corporation (2003). *Hydrogeologic Groundwater resources investigation in Jeju Island* (in Korean).

Kim, N. W., Chung, I. M., Kim, C., Lee, J. and Lee, J. E. (2009). "Development and applications of SWAT-K (Korea)." *Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Global Applications*, J. Arnold et. al, eds., Special Publication No. 4, World Association of Soil and Water Conservation, Bangkok, Thailand.

Kim, N. W., Chung, I. M. and Na, H. (2013). "A method of simulating ephemeral stream runoff characteristics in cheonmi-cheon watershed." *Jeju Island, J. Environ. Sci.*, Vol. 22, No. 5, pp. 523-531 (in Korean).

Kim, N. W., Won, Y. S., Lee, J., Lee, J. E. and Jeong, J. (2011). "Hydrological impacts of urban imperviousness in white rock creek watershed." *Transactions of the ASABE*, Vol. 54, No. 5, pp. 1759-1771.

Knisel, W. G. (1980). *CREAMS: A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems*, USDA Conservation Research Report No. 26.

Kozak, J. A., Ahuja, L. R., Green, T. R. and Ma, L. (2007). "Modeling crop canopy and residue rainfall interception effects on soil hydrological components for semi-arid agriculture." *Hydrological Processes*, Vol. 21, No. 2, pp. 229-241.

Leavesley, G. H., Lichty, R. W., Troutman, B. M. and Saindon, L. G. (1983). *Precipitation-runoff modeling system - User's manual*, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 83-4238.

Leonard, R. A., Knisel, W. G. and Still, D. A. (1987). "GLEAMS: Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems." *Trans. ASAE*, Vol. 30, No. 5, pp. 1403-1428.

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. and Williams, J. R. (2005). *Soil and water assessment tool: The Theoretical Documentation (version 2005)*, U.S. Agricultural Research Service.

Savenije, H. H. G. (2004). "The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary." *Hydrological Processes*, Vol. 18, No. 8, pp. 1507-1511.

Von Hoyningen-Huene, J. (1981). *The interception of precipitation in agricultural*, Work report German Association for Water, Wastewater and Agriculture, DVWK, Braunschwig, Germany.

Yoon, T. (2011). *Applied hydrology practice and application*, Cheongmoongak (in Korean).