



MODIS NDVI와 Morton 증발산량의 관계를 이용한 공간증발산량 산정 기법 연구 - 충주댐유역을 대상으로 -

Estimation of Spatial Evapotranspiration using the Relationship between MODIS NDVI and Morton ET - For Chungjudam Watershed -

신형진* · 하림* · 박민지* · 김성준**,*

Shin, Hyung-Jin* · Ha, Rim* · Park, Min-Ji* · Kim, Seong-Joon**,*

ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate monthly Morton evapotranspiration (ET) using normalized difference vegetation index (NDVI) from MODIS satellite images. Morton ET for land surface conditions was evaluated by using daily meteorological data, and the monthly averaged Morton ETs for each land cover were compared with the monthly NDVIs of three years (2000-2002) at Chungjudam Watershed. There was a high correlation between monthly NDVI and Morton ET for the watershed with average coefficient of determination, 0.80. By comparing the MODIS NDVI ET with SLURP Morton ET, the SLURP ET was smaller than the MODIS NDVI ET. This was estimated from the consideration of soil moisture condition for the ET occurrence in the SLURP model, the limited information from the monthly NDVI values, and the errors from the derived regression equations.

Keywords: MODIS; NDVI; Morton CRAE; Correlation; SLURP model

1. 서 론

증발산량은 여러 종류의 수문량 중 특정지역의 물수지 및 물 순환 체계를 규명하기 위한 중요한 지표이며, 토양면으로부터의 증발 및 식물체로부터의 증산을 통해서 지구 표면으로부터 대기 증으로의 수증기의 이동을 말한다 (Kim, 1992). 지금까지 증발산량을 산정하기 위한 여러 가지 방법이 개발되어 왔으나, 지표면에서 발생하는 증발산량을 지배하는 복잡한 지형 특성 및 토지 이용 등을 고려한 공간적인 증발산량을 산정한다는 것은 어려운 일로 다루어져 왔다.

한편 1970년대 이후 인공위성의 성공적인 발사 및 운영이 시작되면서 전 지구적인 정보 지표정보의 획득과 주기적인 관측이 가능해 짐으로써, 인공위성 자료를 이용하여 증발산량을 추정하는 연구가 시도되어왔다. 증발산량은 기상 특성뿐만 아니라 식생조건에 의해 크게 지배되기 때문에 (Shin, 2006), 여

러 연구에서 원격탐사 기법 (Remote Sensing Technique)을 이용하여 식생과 토지이용과 같은 지형조건과 관련된 증발산량을 산정하기 위한 시도가 이루어져 왔다. Gurney and Hall (1983)은 원격탐사 자료로부터 계산된 지표면 알베도 및 온도와 기상자료를 이용하여 열수지 성분을 보정하여 일별 증발산량을 계산한 바 있으며, Jackson et al. (1983)은 원격탐사 자료를 이용하여 지표의 조건에 따라 변화하는 방사량 및 지표면 온도 등과 같은 열수지 요소를 계산하고, 태양복사에너지, 대기온도, 풍속 및 수증기압 등과 같은 기상자료를 결합하여 증발산량을 추정하는 기법을 제안한 바 있다. Shin (1996)은 NOAA AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 위성영상으로부터 추출한 식생자료를 이용하여 한반도 전역에 대한 증발산량을 산정하고, 물수지 분석을 한 바 있으며, Chae et al. (2000)은 보청천 유역을 대상으로 Landsat TM (Thematic Mapper) 위성영상자료와 GIS (Geographic Information System)를 이용하여 지표면 에너지 수지 요소를 공간적으로 추출하고, 이를 이용하여 광역 증발산량을 추정한 바 있다.

본 연구의 목적은 충주댐 유역의 11개 기상관측소의 기상 자료 (2000-2002)를 이용한 Morton (1978)의 보완관계식에 의한 토지피복별 증발산량과 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)자료로부터 추출된 정규식생지수

* 건국대학교 사회환경시스템공학과 대학원
** 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수
† Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3749
Fax: +82-2-444-0186
E-mail address: kimsj@konkuk.ac.kr

2009년 1월 28일 투고
2010년 1월 8일 심사완료
2010년 1월 8일 게재확정

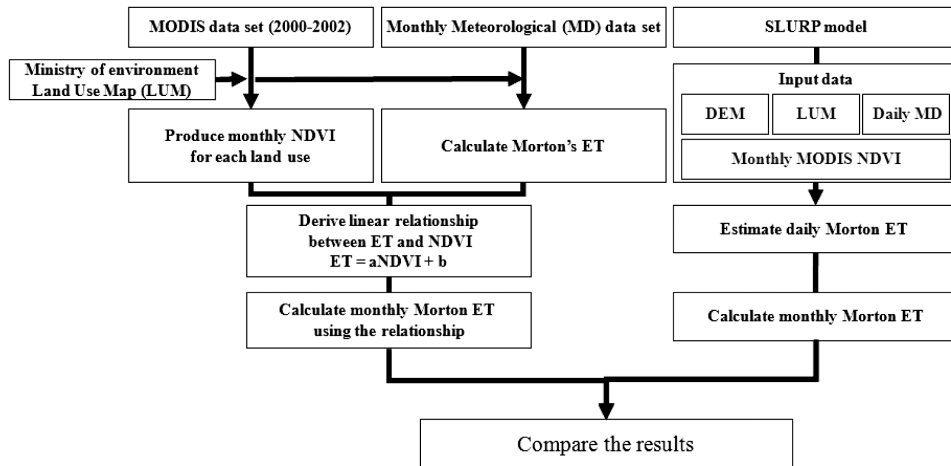


Fig. 1 Flow chart of this study

(NDVI; Normalized Difference Vegetation Index)와의 회귀 분석을 통한 상관식을 이용하여, 향후 MODIS자료로부터 해당 지역의 공간증발산량을 추정하는 방법론을 제시하는데 있다. 회귀식에 의한 증발산량이 수문모형에 의한 증발산량을 얼마나 설명해 줄 수 있는지를 파악하기 위하여 SLURP 모형 (Kite et al. 1998)에 의한 증발산량 값과 비교를 시도하고자 한다. 본 연구의 흐름은 Fig. 1과 같으며, 증발산량 추정은 회귀식 및 수문모형 모두 Morton CRAE (Complementary Relationship Areal Evapotranspiration)방법을 사용하였다.

II. 기본 이론

1. Morton CRAE ET

Morton CRAE 유역 실제증발산량 추정방법은 전통적인 증발산 추정모형이 잠재증발산이라는 중간과정을 거쳐 유역의 실제증발산량을 계산하는데 반하여 기상자료로부터 직접적으로 실제증발산량을 계산한다는 점에서 새로운 접근방법이다. Morton의 실제증발산추정 모형은 Bouchet (1963)가 제안한 유역증발량(Regional Evaporation)개념을 보완시켜 Morton (1983)이 발표한 모형이다. 이 모형이 전통적 개념과 다른 점은 전통적 개념이 증발산에 영향을 미치는 원인을 밝혀 이들은 계량화함으로써 증발량을 추정하는 확정론적 접근인데 반하여, Morton의 유역 실제증발산량 추정모형은 증발산이 일어났을 때 변화되는 결과, 기온의 하강과 습도의 증가로부터 증발량의 크기를 추정하는 결과론적 접근방법이다. 즉 Morton 모형은 모형 매개변수중 온도, 습도, 복사에 관한 매개변수를 포함하고 있어서 기존의 증발산량 산정모형보다는 산정결과에 대한 신뢰도가 높은 모형이다. Morton (1978)은 실제증발산량과 Penman 잠

재증발산량이 서로 보완관계에 있으며 양자의 합은 Priestly-Taylor 잠재증발산량의 2배에 상당한다는 다음 관계식을 제안하였다.

$$E_a = 2E_{TW} - E_{TP} \quad (1)$$

여기서, E_a 는 실제증발산량 (mm/day), E_{TW} 는 Priestly-Taylor 잠재증발산량 (mm/day), E_{TP} 는 Penman 잠재증발산량 (mm/day)이다.

2. MODIS NDVI

MODIS는 지구 생물권 활동에 관한 자료를 제공하는 미항공우주국 Terra EOS (Earth Observation System)위성의 주 센서로 해양과 육상, 대기 분야에 적용이 가능한 다목적 센서이다. MODIS는 현재 36개의 밴드를 이용하여, 다양한 대기, 지표, 해양관련 정보들을 생성하여 제공하고 있다. 이 중에서 식생지수인 NDVI (Rouse et al., 1974)를 제공하고 있는데, 이는 식 (2)와 같이 가시광선 파장영역과 근적외선 파장영역의 조합으로 만들어 낸 식생활력도를 나타내는 지표이다. NDVI는 -1.0에서 1.0까지의 범위를 가지며, 물과 눈은 - 값을, 나지는 0에 가까운 값을, 식생에 의한 피복이 있는 경우는 +의 값을 가진다.

$$NDVI = \frac{X_N - X_R}{X_N + X_R} \quad (2)$$

여기서, X_N 과 X_R 는 각각 MODIS 영상의 X_N (근적외선)과 X_R (적외선)의 반사율을 의미한다.

III. 자료 및 방법

1. 대상유역

충주댐 유역은 유역면적 6,661.5 km², 평균표고 609.1 m, 평균경사 34.9 %로 Fig. 2 에서 보는 바와 같이, 우리나라 북동부 산악지역에 위치해 있으며, 산림면적이 5,481.7 km²로서 유역면적의 83.4 %에 이른다 (Table 1). 따라서 이 유역은 수문순환에 있어, 산림지역의 증발산량이 크게 영향을 주는 유역이라고 말할 수 있으며, 이는 증발산량에 대한 관측과 평가가 심도있게 이루어져야 하는 유역으로 판단된다. 현재로서는 충주댐 및 상류하천에서의 수위관측지점에서의 유출량 자료가 유역의 수문학적 물수지를 평가하는데 활용되고 있다.

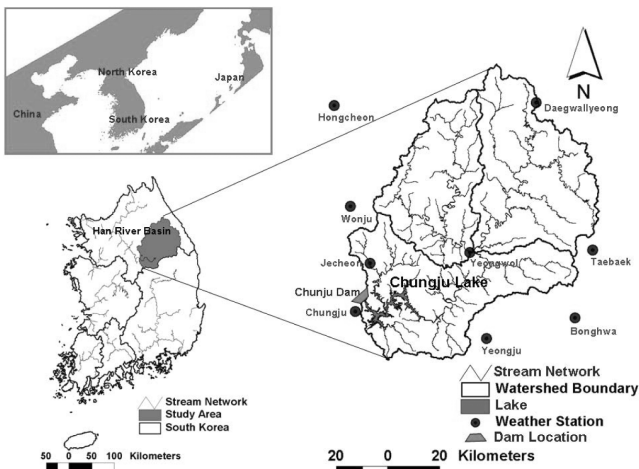


Fig. 2 Location of the study watershed and the weather stations

2. MODIS NDVI 자료

MODIS는 시간해상도로는 16일 합성, 공간해상도로는 250 m, 500 m, 1000 m의 NDVI자료를 생성하고 있다. 이 중에서 본 연구에서는 MODIS 250m NDVI 16일 합성영상 (MOD13Q1)

Table 1 Summary of land use area of Chungjudam watershed

Land use	Area	
	km ²	%
Urban	112.5	1.7
Paddy	186.4	2.8
Upland Crop	590.7	8.8
Deciduous Forest	1668.9	25.0
Coniferous Forest	2501.9	37.6
Mixed Forest	1386.9	20.8
Grassland	29.5	0.4
Bare Ground	178.6	1.0
Water	66.2	1.8
Total	6661.5	100.0

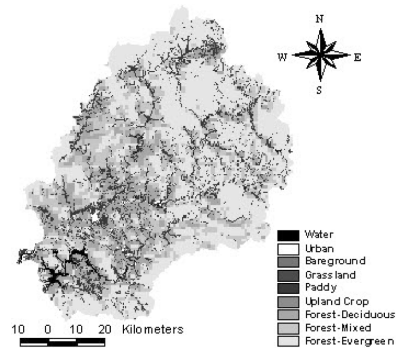


Fig. 3 Land use of study watershed

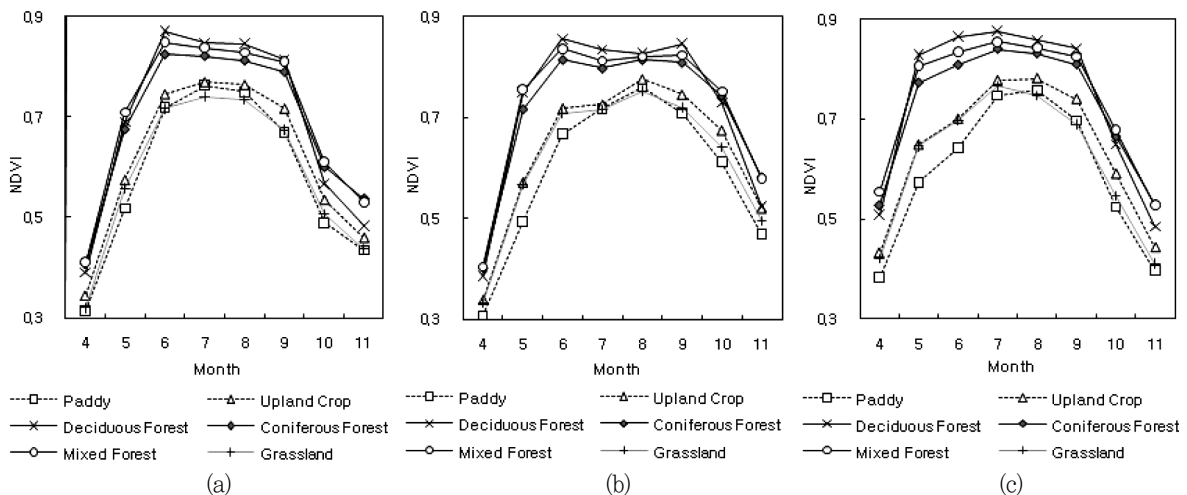


Fig. 4 MODIS NDVIs of each land use ((a): 2000, (b): 2001, (c): 2002)

을 EOS data gateway (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/ims/welcome/index.html>)를 통하여 3개년 (2000-2002)간의 자료를 수집하였다. 토지피복에 따른 NDVI자료를 생성하기 위하여 Fig. 3과 같이 환경부 토지피복도를 9개 항목(주거지, 논, 밭, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 초지, 나지, 수역)으로 재분류하여 토지피복별 월평균 NDVI (4월-11월)를 추출하였으며, 이는 Fig. 4와 같다. NDVI의 크기는 활엽수림, 혼효림, 침엽수림, 밭, 논 순이었다.

III. 결과 및 고찰

1. MODIS NDVI와 Morton CRAE ET와의 관계

Morton CRAE 증발산량은 MODIS해상도에 맞추어 각 격자

Table 2 The derived MODIS ET (E_a) from NDVI value for each land use

Land use	Regression equations	R ²
Paddy	$E_a = 172.88 \times NDVI - 12.95$	0.79
Upland Crop	$E_a = 151.74 \times NDVI - 17.41$	0.78
Deciduous Forest	$E_a = 168.69 \times NDVI - 26.64$	0.84
Coniferous Forest	$E_a = 183.09 \times NDVI - 29.16$	0.80
Mixed Forest	$E_a = 169.18 \times NDVI - 35.78$	0.82
Grassland	$E_a = 172.43 \times NDVI - 21.20$	0.82
Urban	$E_a = 83.47 \times NDVI - 2.54$	0.74
Bare Ground	$E_a = 121.59 \times NDVI - 15.13$	0.79
Water	$E_a = 215.87 \times NDVI - 33.39$	0.82
Average	-	0.80

Table 3 Summary of the monthly MODIS NDVI ET (A) and Morton CRAE ET (B) for each land use(2000-2002) (mm/month)

Year	Month	precipitation (mm)	Paddy		Upland Crop		Deciduous Forest		Coniferous Forest		Mixed Forest		Grassland		Bare Ground		Water	
			A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
2000	Apr	47.7	40.8	59.2	27.2	47.8	40.8	66.2	45.7	72.7	42.0	69.4	27.4	50.8	15.5	30.1	24.6	48.5
	May	99.2	74.5	114.6	66.0	83.0	87.5	116.4	91.9	121.5	92.4	118.9	72.8	91.6	46.3	50.8	82.8	106.3
	Jun	195.6	100.4	122.8	89.3	100.0	114.1	117.3	114.4	122.5	113.3	119.9	98.3	109.4	62.5	70.2	105.7	106.9
	Jul	195.2	115.1	137.8	99.7	118.2	115.8	135.4	119.7	141.3	116.8	138.4	107.9	125.3	70.1	84.9	104.9	133.4
	Aug	328.3	114.3	118.0	98.2	119.6	111.6	130.6	115.9	136.7	112.6	133.7	107.2	126.9	69.7	85.2	105.5	129.0
	Sep	275.3	106.9	78.6	94.4	68.0	109.9	86.6	114.1	90.9	111.1	88.7	101.2	75.3	65.0	41.9	97.3	79.5
	Oct	29.5	87.9	46.2	79.1	44.0	93.4	48.8	100.5	55.2	97.9	52.0	83.7	48.3	52.6	30.8	91.0	42.0
	Nov	38.2	62.7	25.3	49.5	22.7	56.8	28.5	69.3	30.8	64.7	29.7	51.6	22.6	31.4	19.1	57.3	23.4
	Total	1,208.9	702.5	702.5	603.5	603.5	729.9	729.9	771.6	771.5	750.7	750.7	650.0	650.0	413.0	413.1	669.1	669.1
2001	Apr	19.6	49.0	59.3	38.4	47.8	50.2	66.7	57.6	73.3	42.3	55.8	39.2	50.8	21.5	30.1	34.2	48.2
	May	10.9	77.7	103.5	73.0	83.0	102.3	111.9	106.4	119.7	94.3	96.1	80.1	91.6	50.6	50.8	89.1	92.4
	Jun	181.9	97.4	124.4	85.9	100.0	109.3	117.8	113.2	123.0	98.7	110.1	94.6	109.4	60.8	70.2	100.7	110.4
	Jul	327.4	117.2	133.4	98.7	118.2	116.4	131.4	120.1	137.2	103.1	122.7	109.1	125.3	71.0	84.9	112.3	131.3
	Aug	101.3	117.3	121.3	103.0	119.6	115.4	133.5	121.8	139.7	104.5	124.5	112.1	126.9	71.8	85.2	110.3	133.5
	Sep	21.0	107.4	75.6	97.4	68.0	116.4	87.3	120.4	94.2	104.3	78.0	104.6	75.3	65.1	41.9	103.5	76.6
	Oct	109.1	89.3	49.6	80.8	44.0	87.0	52.2	102.0	61.1	85.2	49.3	84.1	48.3	53.4	30.8	88.5	47.4
	Nov	3.5	58.1	23.6	51.7	22.7	54.7	26.9	68.0	29.1	53.3	25.7	54.3	22.6	33.6	19.1	49.2	21.5
	Total	774.8	713.4	690.8	628.9	603.5	751.8	727.7	809.5	777.3	685.6	662.2	678.2	650.0	427.9	413.1	687.7	661.4
2002	Apr	211.5	41.3	59.2	29.2	47.8	41.9	66.2	44.6	72.7	44.9	69.4	31.7	50.8	20.1	30.1	35.8	48.5
	May	107.7	84.0	114.5	77.6	83.0	110.5	116.4	109.7	121.5	111.3	118.9	89.0	91.6	57.2	50.8	106.6	106.3
	Jun	88.4	99.5	122.8	89.1	100.0	118.3	117.3	119.2	122.5	118.6	119.9	102.2	109.4	63.1	70.2	110.5	106.9
	Jul	238.0	123.0	137.8	106.4	118.2	120.6	135.4	127.6	141.3	124.0	138.4	119.6	125.3	76.4	84.9	124.3	133.4
	Aug	703.0	125.6	118.0	107.2	119.6	116.6	130.6	125.2	136.7	120.8	133.7	114.8	126.9	75.2	85.2	117.2	129.0
	Sep	80.8	111.7	78.6	98.0	68.0	113.0	86.6	119.4	90.9	116.1	88.7	100.0	75.3	63.3	41.9	92.3	79.5
	Oct	45.5	72.9	46.2	64.5	44.0	72.1	48.8	81.0	55.2	77.3	52.0	63.6	48.3	39.7	30.8	64.7	42.0
	Nov	13.9	44.5	25.3	31.6	22.7	36.9	28.5	44.8	30.8	37.7	29.7	29.2	22.6	18.1	19.1	17.7	23.4
	Total	1488.8	702.6	702.6	603.5	603.5	729.9	729.9	771.6	771.5	750.7	750.7	650.0	650.0	413.1	413.1	669.1	669.1

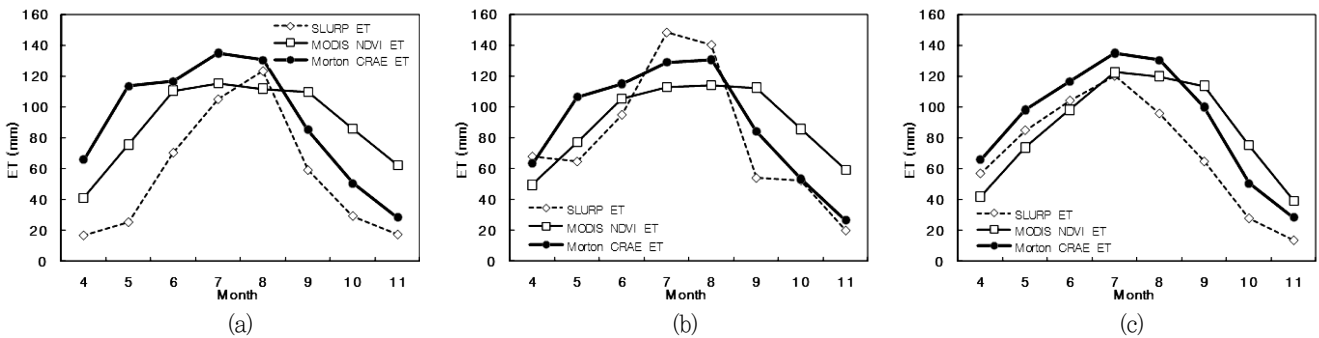


Fig. 5 The comparison of SLURP ET, MODIS NDVI ET and Morton CRAE ET ((a): 2000, (b): 2001, (c): 2002)

별로 산정하였으며, 산정에 사용된 기상자료로는 일단위 평균기온, 상대습도, 풍속, 일조시간, 일조량이다. 토지피복 조건은 피복별 월단위 albedo 및 soil heat flux 계수 (Kotoda, 1986) 자료를 이용하였다. 일증발산량은 월단위로 재정리하였으며, 이와 같이 정리된 격자별 월평균 증발산량과 이에 대응하는 MODIS 월 NDVI를 1:1로 대응시켜, 선형회귀식을 도출하였다. 각 토지피복별로 산정된 선형회귀식은 Table 2와 같으며, 결정계수 (R^2 , determination of coefficient)는 도시지역의 0.74부터 활엽수지역의 0.84까지로 도출되었으며, 전체 평균 R^2 는 0.80이었다. Table 3은 Morton CRAE ET와 MODIS NDVI ET를 대상기간에 대하여 토지피복별로 비교하여 정리한 것이다. 결과를 살펴보면, 전체 토지피복에 대하여 4월~8월에는 Morton ET가 MODIS NDVI ET보다 크게 산정되었으며, 가을이 시작되는 9월부터 11월까지의 반대로 작게 산정되었다.

2. SLURP 수문모형 결과와의 비교

충주댐 유역을 대상으로 Morton CRAE 증발산량을 이용한 SLURP 수문모형의 검보정 결과는 Shin et al. (2009)의 논문에서 자세히 다루고 있다. 모형은 MODIS 월 NDVI자료도 고려하여 검보정되었으며, 모형에 의한 증발산량은 매일의 토양수분 상태를 고려하여 산정된 결과이다. MODIS NDVI ET, Morton CRAE ET 그리고 SLURP ET를 월별로 유역평균하여 도시하면 Fig. 5와 같다. 그림을 보면 강우에 의하여 토양수분이 충분한 상태를 제외하고는 SLURP ET가 다른 두 ET값보다 작게 나타나고 있다. 이러한 차이의 원인을 살펴보면, 첫째, 수문 모형에서는 매일의 토양수분을 추적하여 토양수분이 부족한 상태에서는 그만큼 실제증발산량이 줄어들면서 모의되기 때문인 이유와 더불어, 둘째, 영상의 월단위 평균정보의 한계, 유도한 회귀식에 따른 오차가 수반되어 발생한 것으로 판단된다. 따라서 NDVI 식생정보만으로 유역의 월단위 증발산량을 모의하는 데는 한계가 있으며, MODIS의 제공정보 중에서 지표면 온도자

료 (Land Surface Temperature) 등을 고려한 다중회귀분석을 시도한다면 좀 더 향상된 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

V. 요약 및 결론

본 연구에서는 충주댐 유역을 대상으로 Morton 증발산량과 MODIS NDVI와의 관계식을 도출하여, MODIS자료로부터 공간 증발산량을 추정하고자 하였다. 도출된 관계식에 의한 증발산량은 SLURP 모형에 의한 증발산량 값과 비교하여 그 적용성을 판단하였다.

Morton CRAE 증발산량과 MODIS NDVI와의 선형회귀 결정계수(R^2)는 도시지역의 0.74부터 활엽수지역의 0.84까지로 도출되었으며, 유역전체 평균은 0.80로 나타났다. 한편 SLURP모형에 의한 Morton ET와 비교한 결과, SLURP ET가 전반적으로 작게 나타났는데, 이는 수문모형에서는 토양수분이 부족한 상태를 고려하면서 증발산량이 모의되는 원인, 영상의 월단위 정보의 한계 그리고 유도한 관계식에서 오는 오차에서 기인한다고 판단되었다.

본 연구결과를 보다 향상시키기 위해서는 보다 긴 기간의 자료를 이용한 회귀식의 도출이 필요하며, 유역에서의 토지피복별 증발산량의 실측이 이루어져 모의된 결과와의 비교검증이 이루어져야 할 것으로 생각된다. 또한 MODIS의 다른 유용하게 생산되고 있는 정보들(지표면 온도, 지표면 반사, 지표면 토양수분 등)을 최대한 활용한 다중회귀분석을 시도하면 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-9-3)과 건설교통부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신사업과제의 연구비지원(07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Bouchet, R. J., 1963. Evapotranspiration reelle evapotranspiration potentielle, signification climatique. *Int. Assoc. Sci. Hydrol., Proceedings, Berkeley Calif. Symp.* Publ. 62: 134-142.
2. Chae, H. S., Y. S. Song, and J. Y. Park, 2000. An Assessment of Areal Evapotranspiration Using Landsat TM Data. *Journal of Korea Water Resources Association* 33(4): 471-482 (in Korean).
3. Gurney, R. J., and D. K. Hall, 1983. Satellite-derived surface energy balance estimates in the Alaskan sub-arctic. *J. Climate Meteorol.* 22: 115-125.
4. Jackson, R. D., J. L. Hatfield, K. J. Reginato, S. B. Idso, and J. R. Pinter, 1983. Estimates of daily evapotranspiration from one time of day measurements. *Agri. Water Mang.* 7: 351-362.
5. Kim, G. S., 1992. meteorology a technical dictionary. Hyangmunsa (in Korean).
6. Kite, G. W., M. Danard, and B. Li, 1998. Simulating long series of streamflow using datafrom an atmospheric model. *Hydrologic Science Journal* 43(3): 391-408.
7. Kotoda, K., 1986. Estimating of river basin evapotranspiration. *Environmental Research Center Papers, Univ. Tsukuba* 8: 1-92.
8. Morton, F. I., 1978. Estimating evapotranspiration from potential evaporation-practicality of an iconoclastic approach. *Journal of Hydrology* 38: 351-362.
9. Morton, F. I., 1983. Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. *Journal of Hydrology* 66: 1-76.
10. Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering, 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, 301-317.
11. Shin, H. J., R. Ha, M. J. Park, and S. J. Kim, 2009. Estimation of Morton CRAE Evapotranspiration Using MODIS NDVI and SLURP Model -For Chungjudam Watershed-. *Konkuk Journal of Life & Environment* 31(2): 1-9 (in Korean).
12. Shin, S. C., 1996. Estimation Method of Evapotranspiration through Vegetation Monitoring over Wide Area. *Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography* 14(1): 81-88 (in Korean).
13. Shin, S. C., M. H. Hwang, I. H. Ko, and S. J. Lee, 2006. Suggestion of Simple Method to Estimate Evapotranspiration Using Vegetation and Temperature Information. *Journal of Korea Water Resources Association* 39(4): 363-372 (in Korean).