

해안도시 지역에서 증발산량 산정에 토지이용도와 기상인자의 영향성

양성일·강동환^{1)*}·권병혁²⁾·김병우³⁾

부경대학교 환경지질과학과, ¹⁾부경대학교 지구과학연구소,
²⁾부경대학교 환경대기과학과, ³⁾한국수자원공사 K-water 연구원
(2009년 6월 1일 접수; 2009년 9월 9일 수정; 2009년 12월 31일 채택)

Influence of Land Use and Meteorological Factors for Evapotranspiration Estimation in the Coastal Urban Area

Sung Il Yang, Dong Hwan Kang^{1)*}, Byung Hyuk Kwon²⁾, Byung Woo Kim³⁾

Department of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan

¹⁾Geo-Sciences Institute, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²⁾Department of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

³⁾K-water Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea

(Manuscript received 1 June, 2009; revised 9 September, 2009; accepted 31 December, 2009)

Abstract

Actual evapotranspiration (AET) in the Suyeong-gu was estimated and correlations between AET and meteorological factors were analyzed. The study area was Suyeong-gu lay at the east longitude $129^{\circ} 05' 40'' \sim 129^{\circ} 08' 08''$ and north latitude $35^{\circ} 07' 59'' \sim 35^{\circ} 11' 01''$. The Kumryun mountain, the Bae mountain, the Suyeong river and the Suyeong bay are located on west, north, northeaster and south side in the study area, respectively. AET was estimated using precipitation (P), potential evapotranspiration (PET) and plant-available water coefficient. Meteorological factors to estimate PET were air temperature, dewpoint temperature, atmospheric pressure, duration of sunshine and mean wind speed (MWS). PET and AET were estimated by a method of Allen et al. (1998) and Zhang et al. (2001), respectively. PET was the highest value (564.45 mm/yr) in 2002 year, while it was the lowest value (449.95 mm/yr) in 2003 year. AET was estimated highest value (554.14 mm/yr) in 2002 year and lowest value (427.91 mm/yr) in 2003 year. Variations of PET and AET were similar. The linear regression function of AET as PET using monthly data was $AET = 0.87 \times PET + 3.52$ and coefficient of determination was high, 0.75. In order to analyze relationship between the evapotranspiration and meteorological factors, correlation analysis using monthly data were accomplished. Correlation coefficient of AET-PET was 0.96 high, but they of AET-P and PET-P were very low. Correlation coefficients of AET-MWS and PET-MWS were 0.67 and 0.73, respectively. Thus, correlation between evapotranspiration and MWS was the highest among meteorological factors in Suyeong-gu. This means that meteorological factor to powerfully effect for the variation of evapotranspiration was MWS. The linear regression function of AET as MWS was $AET = 84.73 \times MWS + 223.05$ and coefficient of determination was 0.54. The linear regression function of PET as MWS was $PET = 83.83 \times MWS + 203.62$ and coefficient of determination was 0.45.

Key Words : Actual evapotranspiration, Potential evapotranspiration, Land use, Meteorological factor

*Corresponding Author : Dong-Hwan Kang, Geo-Sciences Institute, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Phone: +82-51-629-6686
E-mail: dhkang@pknu.ac.kr

1. 서론

지난 수세기 동안 인류의 무분별한 수자원 이용과 인간만을 위한 산업 활동에 의한 기후변화로 인해, 수자원 부족현상과 이로 인한 고통이 날로 심각해지고 있다. 수자원의 지속적인 확보 및 관리와 안정적인 이용을 위해서는 국가정책 및 국민의식의 증진이 우선적으로 요구되며, 이를 위해서는 수자원에 대한 실용적이고 정량적인 연구가 필수적이다.

지하수는 강수에 의해 충전 되고 있으며, 지하수 함양량은 강수량, 지표유출량, 증발산량 및 기저유출량 등에 의해 산정된다(Domenico 와 Schwartz, 1998; Fitts, 2002; Todd 와 Mays, 2005). 지하수함양량 산정에 고려되는 인자 중 증발산량은 증발과 증산의 두 가지 작용에 의해 발생한다(Arya, 2001). 현재의 연구수준으로는 증발과 증산을 구분한 정량적인 산정은 불가능하며, 증발산량을 구하는 방법들은 여러 연구자들에 의해 제시되었다(Thornthwaite, 1944; Penman, 1948; Blaney 와 Criddle, 1950; Monteith, 1965; Allen 등, 1998).

증발은 어느 물질이 액체나 고체 상태에서 기체로 변하는 과정을 의미하고, 증산은 식물 뿌리에서 흡입된 수분이 잎의 기공을 통하여 증발되는 현상이다. 증발과 증산 작용에 의한 수증기의 발생량은 증발산량으로 총합하여 산정되고 있다(Arya, 2001). 실제증발산량은 잠재증발산량, 강수량 및 증산작용계수에 의해 산정될 수 있다(Zhang 등, 2001). 실제증발산량 산정에 필요한 변수 중 강수량과 증산작용계수는 쉽게 구할 수 있으나, 잠재증발산량은 다양한 기상인자를 고려하여야 한다(Allen 등, 1998). 따라서, 현실적이고 신뢰성 있는 잠재증발산량의 산정이 매우 중요하며 이와 관련된 많은 연구들이 수행되었다(Thornthwaite, 1944; Penman, 1948; Blaney 와 Criddle, 1950; Monteith, 1965; Allen 등, 1998).

국내에서 도시화에 의한 토지이용 변경에 따른 물수지 변동 연구는 1990년대 중반부터 시작되었으며, 원격탐사자료와 지리정보시스템을 이용한 광역 열유량 또는 증발산량의 추정기법을 확립하였으며(안 등, 1995), 고해상도 LANDSAT TM 자료를 지표면 수분상태 추정 알고리즘에 적용하여 도시지역의 상대적인 증발산 비율을 산정하였다(김 등, 2006). 토

양표면이 수분의 증발에 적합한 조건이고, 토양층이 완전한 포화상태에서 발생하는 증발산량이 잠재증발산량으로 정의되고 있다(Arya, 2001). 이러한 잠재증발산량을 이용한 연구로는 제주도의 외도천 유역에서 지하수함양의 공간분포를 분석할 수 있는 격자기반(grid-based)의 토양물수지방법이 제시되었으며(안 등, 2006), 도시화에 따른 기후변화가 연 물수지에 미치는 영향을 분석하기 위해 전국 56개 기후관측지점을 중심으로 반경 10 km²에 해당하는 314 km²의 면적에 대한 연 잠재증발산량을 산정한 사례(임과 채, 2007) 등이 있다. 도시화에 따른 기후변화가 FAO Penman-Monteith 잠재증발산량에 미치는 영향성을 파악한 결과, 잠재증발산량의 변화정도는 도시화율, 열섬현상에 의한 기온상승, 주거면적의 증가에 따른 습도와 풍속의 감소에 의한 영향이었으며, 특히 습도의 감소가 잠재증발산량에 미치는 영향성이 가장 큰 것으로 보고하였다(임, 2007).

국외에서 증발산량 산정 및 관련 연구는 1940년대부터 시작되고 있었으며, 실제증발산량을 산정하는 방법으로는 기상인자를 고려하여 식물소비량을 계산하는 방법(Thornthwaite, 1944), 에너지보존법칙에 의한 이론적 방법을 이용하는 방법(Penman, 1948), 식물에 의한 물의 소비량은 기후와 식물의 종류에만 영향을 받는다는 가정 하에 월평균기온과 낮의 길이, 식물소비수량(consumptive use)의 관계를 이용하는 방법(Blaney 와 Criddle, 1950), 낮과 밤의 기후 조건들을 고려한 인자들을 이용하여 Penman 방정식을 간결하게 만든 Penman-Monteith 방법(Monteith, 1965) 등이 있다. 미국의 북동지역에서 잠재증발산량을 산정할 수 있는 6가지 방법(Thornthwaite, 1944; Makkink, 1957; Turc, 1961; Hamon, 1963; Priestley 와 Taylor, 1972; Hargreaves 와 Samani, 1985)을 비교 분석하여 실제증발산량을 정량화 하였으며, 이를 통해 Turc, Hamon 및 Priestley-Taylor 방법이 신뢰성 있는 실제증발산량을 산정하는 것으로 보고하였다(Lu 등, 2005). 양쯔강의 장강 분지를 3개의 영역으로 구분하여 FAO Penman-Monteith 법을 이용하여 산정한 잠재증발산량과 기상인자들 사이의 민감도 분석을 수행한 연구에서는 계절과 지역적인 변화에 따라 민감도 차이가 나타났으며, 상부지역에서는 상대습도, 중간과 하부지역에서는 평균풍속이 잠재증발산량의 변동에 가장

큰 영향성을 보였다(Gong 등, 2006).

본 논문은 해안도시 지역인 부산시 수영구에서 1999년부터 2007년 동안 도시화에 의한 토지이용도의 변화에 따른 실제증발산량의 변동을 비교 분석하고, 실제증발산량과 기상인자들 사이의 상관분석 및 회귀분석을 통해 그 영향성을 규명하였다.

2. 연구지역 현황

연구지역인 부산광역시 수영구는 경·위도 상으로는 동경 129° 05' 40" ~ 129° 08' 08", 북위 35° 07' 59" ~ 35° 11' 01" 에 위치한다. 연구지역의 동서거리는 3.6 km, 남북거리는 5.3 km 정도이다(Fig. 1). 연구지역의 동쪽으로는 수영강이 흐르고 있으며, 서쪽으로 금련산과 접하고 있다. 남쪽으로는 수영만이 형성되어 있으며, 북쪽으로는 배산과 접하고 있다. 본 연구지역의 전체적인 지형은 서쪽과 북쪽이 높게 형성되어 있으며, 이로 인해 강수가 남쪽의 수영만으로 직접 유출되거나 동쪽의 수영강을 통해 수영만으로 합류되고 있다.

본 연구에 이용된 토지이용(land use) 자료는 1999년부터 2007년 동안 조사된 것으로서, 대지(building), 답(rice), 공원(park), 묘지(grave) 및 기타 용지로 분류하였다(Table 1). 수영구의 총면적은 2007년이 1999년에 비해 0.055 km² 정도 증가하였다. 수영구에서는 대지의 이용면적이 가장 많았으며, 2007년이 1999년에 비해 0.07% 증가하였다. 임야와 수역은 2007년이 1999년에 비해 0.97%와 0.05% 정도 감소하였으며, 도로는 0.13% 증가하였다. 수영구의 전체 면적은 증가하고 있으나, 도시화로 인해 임야와 수역은 감소하고 있다(수영구청, 2008). 기타 용지는 공장, 학교, 주

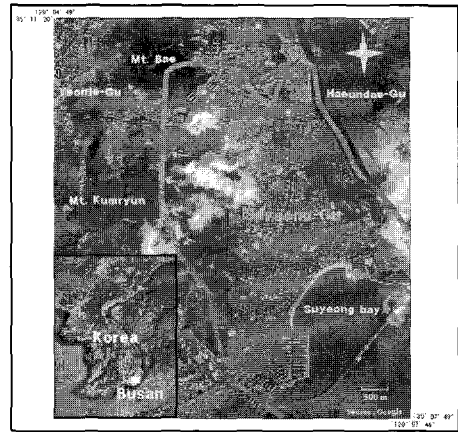


Fig. 1. Location and boundary of study area.

차장, 주유소, 창고, 종교용지, 사적지 및 잡종지 등이며 이는 대부분이 아스팔트 또는 콘크리트로 지표면이 덮여있다. 기타 용지는 수영구의 5% 이상을 차지하고 있으며, 도시화로 인해 1999년 5.60% 에서 2007년 6.37%로 증가하였다.

3. 실제증발산량 산정

3.1. 기본 이론

실제증발산량은 지표면에서 대기로 증발되는 수증기량과 식물 작용에 의해 앞에서 대기로 증산되는 수증기량을 합친 것이다. 실제증발산량은 잠재증발산량, 강수량 및 증산작용계수를 이용하여 산정될 수 있으며(Zhang 등, 2001), 그 수식은 식 (1)과 같다.

$$\frac{AET}{P} = \frac{1 + w \frac{PET}{P}}{1 + w \frac{PET}{P} + \frac{P}{PET}} \quad (1)$$

Table 1. Area of land use in the Suyeong-gu

Year	Area (km ²)	Building (%)	Forest (%)	Road (%)	Waters (%)	Dry, Rice, Park, Grave (%)	Others(%)
1999	10.159	50.99	24.92	15.12	2.37	1.00	5.60
2000	10.160	51.28	24.62	15.11	2.36	0.99	5.64
2001	10.158	51.33	24.58	15.16	2.34	0.96	5.63
2002	10.158	51.21	24.57	15.18	2.34	0.95	5.75
2003	10.158	51.20	24.56	15.22	2.33	0.94	5.75
2004	10.212	51.08	24.47	15.29	2.36	0.96	5.84
2005	10.211	51.12	24.42	15.26	2.36	0.95	5.89
2006	10.210	51.14	24.36	15.29	2.35	0.95	5.91
2007	10.214	51.06	23.95	15.25	2.32	1.05	6.37

여기서 AET(actual evapotranspiration)는 실제증발산량[mm/yr], w(the plant-available water coefficient)는 식생의 증산작용 관련 계수[무차원], PET (potential evapotranspiration)는 잠재증발산량[mm/yr], P (precipitation)는 강수량[mm/yr] 이다. 식 (1)의 입력 변수인 잠재증발산량은 식 (2)에 의해 산정된다(Allen et al., 1998).

$$PET = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (2)$$

여기서 Δ (slope vapour pressure curve)는 포화증기압과 온도곡선의 기울기[kPa °C⁻¹], R_n (net radiation)은 순복사[MJm⁻²day⁻¹], G(soil heat flux density)는 토양열플럭스밀도(MJm⁻²day⁻¹), γ (psychrometric constant)는 건습계 상수[kPa °C⁻¹], T(mean daily air temperature at 2 m height)는 2 m 높이에서의 일평균온도 [°C], u_2 (wind speed at 2 m height)는 2 m 높이에서의 풍속[ms⁻¹], e_s (saturation vapour pressure)는 포화증기압[kPa], e_a (actual vapour pressure)는 실제증기압[kPa], ($e_s - e_a$)(saturation vapour pressure deficit)는

대기의 포화증기압 부족량[kPa]이다.

3.2. 산정 결과 및 분석

잠재증발산량 산정에 필요한 변수들은 2 m 높이에서의 일평균온도(T, mean daily air temperature at 2 m height), 평균최고온도(T_{MAX}, mean maximum temperature), 평균최저온도(T_{MIN}, mean minimum temperature), 대기압(AP, atmospheric pressure), 이슬점온도(DT, dewpoint temperature), 일조시간(DS, duration of sunshine) 및 평균풍속(MWS, mean wind speed) 이다(Table 2). 평균온도, 평균최고온도 및 이슬점온도는 2001년에 가장 높았으며, 2005년에 가장 낮았다. 평균최저온도는 2007년에 가장 높았으며, 2005년에 가장 낮았다. 일조시간은 1999년에 가장 길었으며, 2003년에 가장 짧았다. 평균풍속은 2004년, 2005년 및 2006년에 동일한 값으로 가장 낮았으며, 2002년에 가장 높았다(수영구청, 2008).

실제증발산량 산정에 필요한 증산작용계수는 대지, 도로 등 지표면이 불투수층(impermeable layer)인 지역에서는 0, 전, 담, 공원, 묘지에서는 0.5, 임야 지역에서는 2.0, 수역에서는 1.076의 값을 가진다(Zhang 등,

Table 2. Meteorological data used to estimate PET in the Suyeong-gu

Year	T (°C)	T _{MAX} (°C)	T _{MIN} (°C)	AP (kPa)	DT (°C)	DS (hr)	MWS (m/sec)
1999	15.0	19.2	11.8	101.53	7.8	6.73	3.6
2000	14.9	19.2	11.6	101.51	7.8	5.51	3.6
2001	15.3	20.0	12.0	101.53	8.2	5.66	3.6
2002	14.7	18.9	11.4	101.51	7.2	5.54	3.9
2003	14.3	18.5	11.2	101.58	7.5	5.06	3.2
2004	14.9	19.3	11.5	101.57	6.5	6.58	3.1
2005	13.8	18.1	10.5	101.54	5.4	6.62	3.1
2006	14.7	18.9	11.4	101.55	7.0	6.02	3.1
2007	15.3	19.1	12.4	101.53	7.5	6.00	3.3

Table 3. “w” values and areas with land use

Year	Building, Road, Others (w=0)	Dry, Rice, Park, Grave (w=0.5)	Forest (w=2.0)	Waters (w=1.076)
1999	0.717	0.010	0.249	0.024
2000	0.720	0.010	0.246	0.024
2001	0.721	0.010	0.246	0.023
2002	0.721	0.010	0.246	0.023
2003	0.722	0.009	0.246	0.023
2004	0.722	0.010	0.245	0.024
2005	0.723	0.010	0.244	0.024
2006	0.723	0.010	0.244	0.024
2007	0.727	0.011	0.240	0.023

1999). 증산작용계수에 따라 토지이용 부지를 분류하였으며, 분류된 토지의 면적은 Table 3에 정리하였다. 수영구에서 증산작용계수가 0인 대지와 도로 지역의 면적은 71.7~72.7%의 범위로서 증가하고 있으며, 증산작용계수가 2.0인 임야 지역의 면적은 24.0~24.9%의 범위로서 감소하고 있다. 본 연구지역과 같이 도시화가 진행 중인 지역에서는 식물에 의한 증산작용이 감소하므로 인해 증산작용계수는 낮은 값을 가지게 된다(Zhang 등, 2001).

잠재증발산량과 실제증발산량을 산정하여 Table 4에 정리하였으며, 잠재증발산량과 실제증발산량의 차이와 비율을 구하였다. 강수량은 1999년, 2002년 및 2003년에 2,000 mm/yr 이상으로 많았으며, 2001년에 1171.3 mm/yr 로서 가장 적었다. 잠재증발산량은 2002년에 564.45 mm/yr로 가장 높았으며, 2003년에

449.95 mm/yr로 가장 낮았다. 실제증발산량은 2002년에 가장 많은 554.14 mm/yr, 2003년에 가장 낮은 427.91 mm/yr 정도이었다. 잠재증발산량과 실제증발산량의 변동양상은 유사하였으며 그 차이는 10.31~39.94 mm/yr의 범위로서 2002년에 가장 낮고 2000년에 가장 높게 나타났다. 잠재증발산량과 실제증발산량의 비율은 0.92 이상으로서 높았으며, 2002년과 2006년에 0.98로서 가장 높게 나타났다. 본 연구지역에서 잠재증발산량과 실제증발산량의 차이가 적고 상대적인 비율이 높게 나타난 것은 증산작용계수가 0인 지역(빌딩, 도로 등)이 대부분의 면적을 차지하여 도시화율이 높았기 때문이다(임과 채, 2007). 잠재증발산량과 실제증발산량의 변동양상은 유사하였으나, 강수량과 실제증발산량의 변동은 다른 양상을 보였다 (Fig. 2). 본 연구지역에서의 실제증발산량은 강수량

Table 4. Estimated PET and AET using meteorological data (mm/yr)

Year	P	PET	AET	PET-AET	AET/PET
1999	2396.7	516.71	489.45	27.26	0.95
2000	1248.5	499.95	460.00	39.94	0.92
2001	1171.3	540.98	523.43	17.55	0.97
2002	2085.2	564.45	554.14	10.31	0.98
2003	2328.3	449.95	427.91	22.05	0.95
2004	1386.5	521.37	497.42	23.96	0.95
2005	1383.9	482.07	467.21	14.86	0.97
2006	1528.3	484.74	473.21	11.54	0.98
2007	1276.5	515.18	480.52	34.66	0.93
Avg.	1645.0	508.38	485.92	22.46	0.96

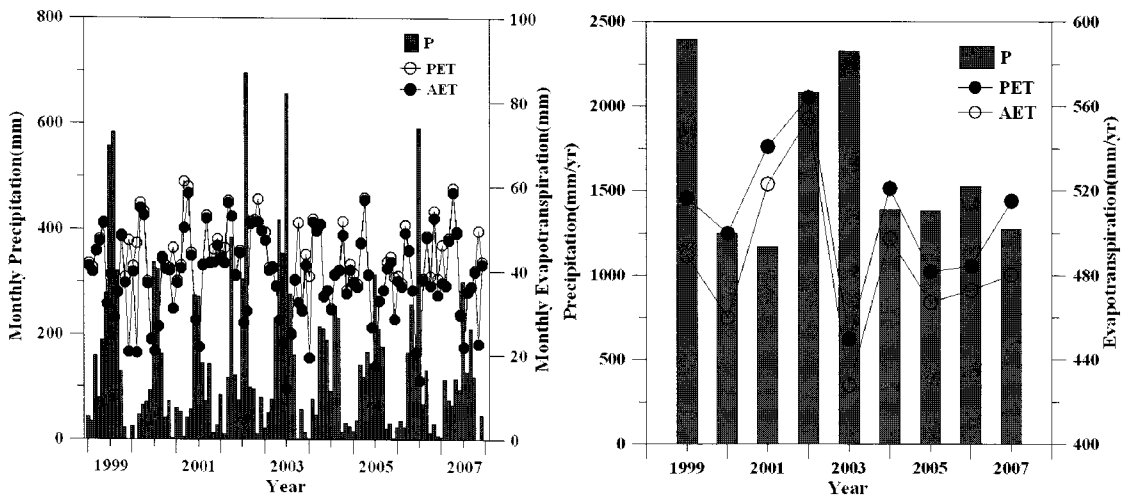


Fig. 2. Precipitation, PET and AET variation graphs with month(left) and year(right).

증발산량과 잠재증발산량의 상관계수는 0.96 으로서 높은 상관성을 보였으나, 강수량과 실제증발산량 및 잠재증발산량 사이의 상관계수는 각각 -0.06 및 -0.13 으로 매우 낮았다. 해안도시 지역의 특성을 가진 수영구에서는 평균풍속이 잠재증발산량과 실제증발산량에 미치는 영향성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 그 상관계수는 각각 0.76과 0.67 이었다. 그 다음으로는 포화수증기압의 상관성이 높았으며, 실제증발산량과 잠재증발산량에 대한 상관계수가 -0.52와 -0.62 로서

음의 상관성을 보였다. 이는 대기 중 포화수증기압이 높을수록 증발산량이 감소하기 때문이다. 일평균온도 보다는 일최고온도가 증발산량에 미치는 영향성이 높은 것으로 나타났으며, 일최저온도와 증발산량의 상관성이 상대적으로 가장 낮았다. 해안도시 지역에서의 증발산량이 강수와 온도 등의 기상인자에 비해 풍속에 의해 지배적으로 발생하고 있음을 보여주고 있다. Gong 등(2006)의 연구에서도 증발산량의 변동에 가장 크게 영향을 미치는 기상인자가 중국 장강분지

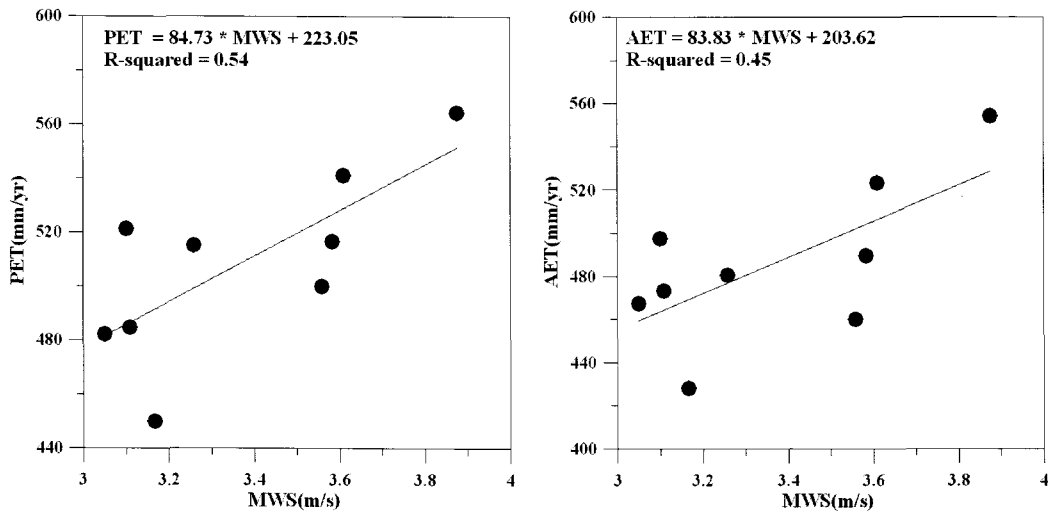


Fig. 4. The linear regression functions of PET(left) and AET(right) as mean wind speed.

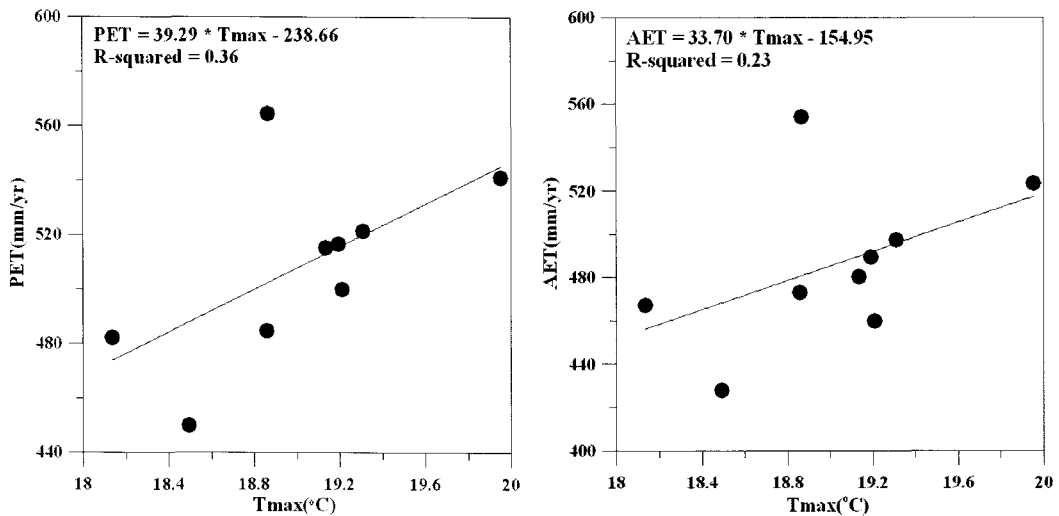


Fig. 5. The linear regression functions of PET(left) and AET(right) as maximum temperature.

의 고산지대(평균고도 3000 m)에서는 상대습도 (relative humidity) 이었으나, 동일지역 중 장강에 근접한 저지대(평균고도 100 m)에서는 풍속인 것으로 보고되었다.

잠재증발산량과 실제증발산량에 대한 상관계수가 가장 높았던 평균풍속, 기온 및 포화수증기압에 대한 선형회귀분석을 수행하여 함수를 추정하였다. 수영구에서 평균풍속에 대한 잠재증발산량과 실제증발산량

의 선형회귀함수 기울기는 각각 85와 84 정도이었으며, 원 자료와 추정함수 간의 결정계수는 0.54와 0.45 이었다(Fig. 4). 추정된 선형함수에 의하면, 평균풍속이 1 m/sec 높아지면 증발산량은 84 mm/yr 이상 증가하게 된다.

본 연구지역에서 일최고온도와 일평균온도에 의한 증발산량 함수는 선형적으로 증가하였다(Fig. 5, Fig. 6). 온도의 상승에 따른 증발산량의 변동은 실제증발

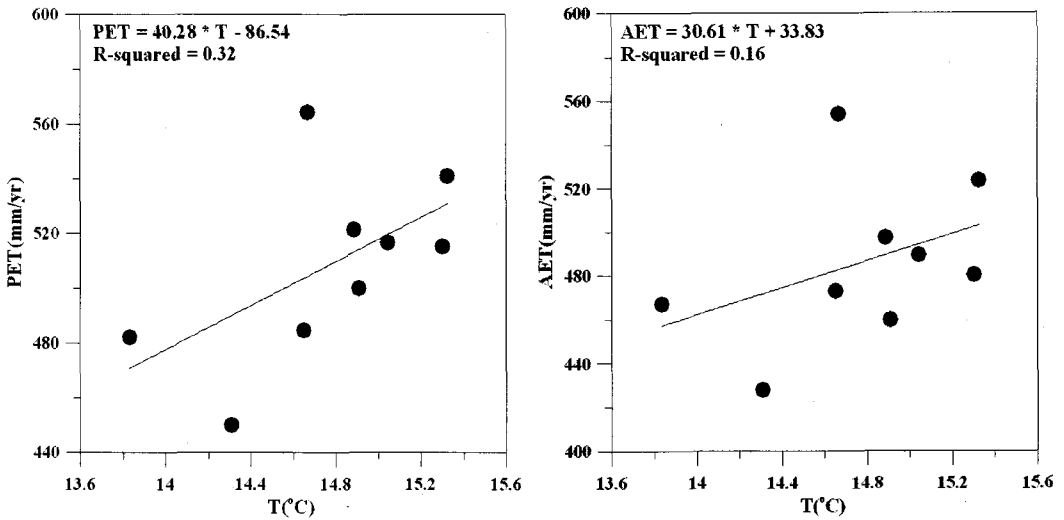


Fig. 6. The linear regression functions of PET(left) and AET(right) as temperature.

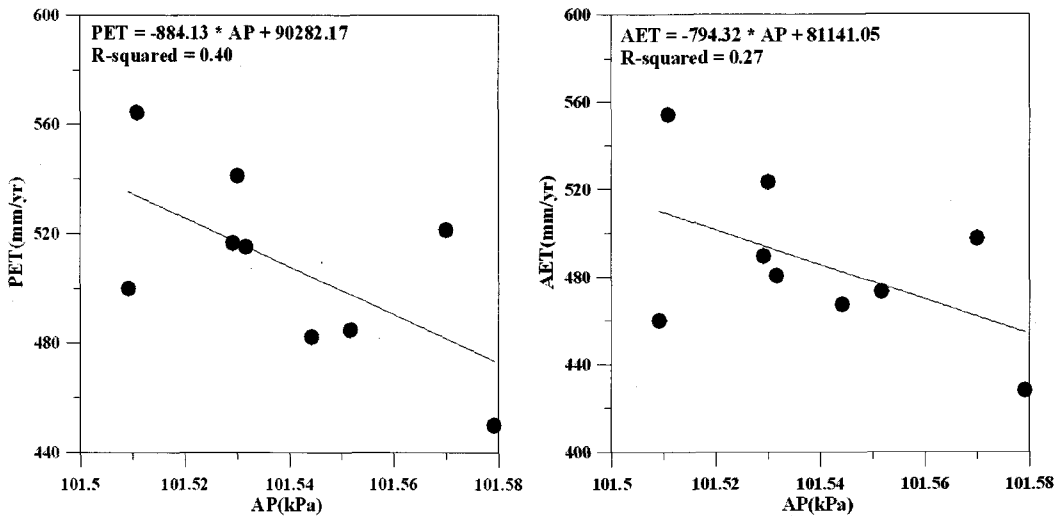


Fig. 7. The linear regression functions of PET(left) and AET(right) as air pressure.

산량에 비해 잠재증발산량이 더욱 크게 나타났으며, 일최고온도에 의해서는 17% 정도이고 일평균온도에 의해서는 12% 정도의 차이를 보였다. 인도 라자스탄 (Rajasthan) 지역에서 32년(1971~2002년) 동안 관측된 증발산량은 온도에 의한 변동이 가장 높았다고 보고하였으며, 또한 지구온난화로 인해 증발산량이 계속적으로 증가할 것이라고 예측하였다(Goyal, 2004).

일반적인 연구에서도 대기압(AP)은 증발산량에 반비례적인 관계를 나타내고 있으며(Singh 와 Xu, 1997), 수영구 지역에서도 대기압의 증가에 따른 잠재증발산량과 실제증발산량의 선형적인 감소가 발생하였다(Fig. 7). 토양 표면과 수면에서 기화된 수분은 대기 중의 대기압이 낮을수록 많은 양이 증발될 수 있다. 따라서 대기 중 대기압이 높은 곳에서는 증발산과 관련된 다른 영향인자들이 동일한 조건에서는 증발산량이 감소하게 된다. 본 연구에서는 대기압에 따른 잠재증발산량의 감소율이 실제증발산량에 비해 높게 나타났으며, 이는 대기압의 변화에 잠재증발산량이 더욱 민감하게 영향을 받음을 의미한다.

5. 결론

부산의 해안도시 지역인 수영구에서 수행된 본 연구에서는 1999년부터 2007년 기간 동안 기상인자를 고려한 실제증발산량을 산정하였으며, 상관분석과 선형회귀분석을 통해 실제증발산량의 변동에 영향을 미치는 기상인자에 대해 논의한 결과를 아래와 같이 정리하였다.

1) 본 연구에서의 실제증발산량은 강수량, 잠재증발산량 및 증산작용계수를 이용하여 산정하였으며, 잠재증발산량은 대기온도, 이슬점온도, 대기압, 일조시간 및 풍속 등을 고려하여 구하였다. 잠재증발산량은 449.95~564.45 mm/yr, 실제증발산량은 427.91~554.14 mm/yr의 범위로 산정되었다. 잠재증발산량과 실제증발산량은 2002년도에 가장 높고 2003년도에 가장 낮은 값을 보였으며, 연간 변동양상도 매우 유사하게 나타났다. 잠재증발산량과 실제증발산량의 평균 차이는 22.46 mm/yr 이었으며, 상대적인 비율(AET/PET)의 평균은 0.96 정도이었다. 잠재증발산량과 실제증발산량의 평균적인 차이가 산정된 값들의 5% 이내로서

작고, 상대적인 비율이 높은 것은 수영구에서의 실제증발산량은 잠재증발산량에 의해 지배되고 있음을 의미한다. 이는 본 연구지역의 도시화율이 높아 증산작용계수가 0인 지역(빌딩, 도로 등)이 대부분의 면적을 차지하고 있기 때문으로 판단된다.

2) 본 연구지역에서는 실제증발산량이 강수량보다는 잠재증발산량에 의해 지배되고 있었으며, 이에 실제증발산량 대 잠재증발산량 함수를 추정해 보았다. 실제증발산량과 잠재증발산량의 월 자료를 이용한 선형회귀함수는 $AET = 0.87 \times PET + 3.52$ 이며, 그 결정계수는 0.75 정도이다. 이러한 회귀함수의 결과는 수영구 지역에서의 실제증발산량이 잠재증발산량의 0.87배 정도 발생하고 있음을 의미한다.

3) 월별 자료를 이용하여 실제증발산량, 잠재증발산량과 기상인자 간의 상관분석을 수행하였으며, 실제증발산량과 잠재증발산량의 상관계수는 0.96 으로서 높은 상관성을 보였다. 기상인자 중 평균풍속이 잠재증발산량과 실제증발산량에 미치는 영향성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 그 상관계수는 각각 0.73과 0.67 이었다. 수영구와 같이 도시화된 해안지역에서의 증발산량은 강수와 기온보다는 풍속에 의해 지배되고 있음을 알 수 있었다.

4) 본 연구지역에서 월별로 관측된 기상인자 중 증발산량의 변동에 영향성이 가장 높았던 평균풍속을 독립변수로 잠재증발산량과 실제증발산량의 함수를 추정하였다. 잠재증발산량과 평균풍속 간의 선형함수는 $PET = 84.73 \times MWS + 223.05$ 이었으며, 그 결정계수는 0.54 정도이었다. 실제증발산량과 평균풍속 간의 선형함수는 $AET = 83.83 \times MWS + 203.62$ 이었으며, 그 결정계수는 0.45 정도이었다. 추정된 선형함수에 의하면, 본 연구지역에서의 평균풍속이 1 m/sec 상승할 때의 실제증발산량은 83 mm/yr 정도 높아질 수 있다.

5) 부산시 수영구와 같이 해안에 위치한 도시지역에서의 잠재증발산량은 풍속에 지배적임을 알 수 있었으며, 실제증발산량의 변동은 강수량에 비해 잠재증발산량의 영향에 의해 나타나고 있었다. 향후에는, 본 연구에서 도출된 결과와 지표유출량을 산정하여 해안도시 지역에서 지하수자원의 확보량을 추정하여 물 부족문제를 해결할 수 있는 연구를 하고자 한다. 이

러한 향후 연구는 해안도시 지역에서 인간활동에 의한 수자원 고갈 및 해수면 상승에 의한 해안대수층 내 지하수자원의 저감 대책을 수립하기 위해 필요하다.

감사의 글

본 논문은 기상청 기상지진기술개발사업단(CATER 2006-2101)에 의하여 연구비가 지원되었으며, 지원기관에 감사한다. 그리고, 본 논문의 심사에 수고를 아끼지 않으신 심사위원님들에게도 감사드립니다.

참고 문헌

- 김해동, 임진욱, 이순환, 2006, 위성 자료를 이용한 대구광역시 지역의 상대적 증발산 효율 분포, 한국지구과학회, 27(6), 677-686.
- 수영구청, 2008, 토지 및 기후, 통계연보, 수영구청.
- 안중기, 이용두, 황종환, 2006, 격자기반의 토양 물수지방법에 의한 지하수함양의 공간분포 추정, 한국지하수 토양환경학회, 11(1), 65-76.
- 안충현, 오성남, 박종현, 1995, RS/GIS기법을 이용한 광역 증발산량의 추정, 대한원격탐사학회, 11(1), 65-80.
- 임창수, 2007, 도시화에 따른 수문기후변화 II (도시화가 기준 증발산량에 미치는 영향), 한국수자원학회, 40(7), 571-583.
- 임창수, 채효석, 2007, 도시화에 따른 수문기후변화 I (연물수지 변화 분석), 한국수자원학회, 40(7), 555-570.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998, Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements, FAO irrigation and drainage paper 56, FAO, ISBN 92-5-104219-5.
- Arya, S. P., 2001, Introduction to Micrometeorology, Academic Press, 420.
- Blaney, H. F., Criddle, W. D., 1950, Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data, USDA(SCS) TP-96, 48.
- Domenico, P. A., Schwartz, F. W., 1998, Physical and Chemical Hydrogeology, 2nd ed., John Wiley and Sons, Inc., 506.
- Fitts, C. R., 2002, Groundwater science, Academic press, 450.
- Gong, L., Xu, C. Y., Chen, D., Halldin, S., Chen, Y. D., 2006, Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin, J. of Hydrology, 329, 620-629.
- Goyal, R. K., 2004, Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India), Agricultural Water Management, 69, 1-11.
- Hamon, W. R., 1963, Computation of Direct Runoff Amounts From Storm Rainfall, Int. Assoc. Sci. Hydrol. Pub., 63, 52-62.
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A., 1985, Reference Crop Evapotranspiration From Temperature, Applied Engrg. in Agric., 1(2), 96-99.
- Lu, J., Sun, G., McNulty, S. G., Amatya, D. M., 2005, A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern United States, J. of the American Water Resources Association, 41(3), 621-633.
- Makkink, G. F., 1957, Testing the Penman Formula by Means of Lysimeters, J. Inst. of Water Eng., 11, 277-288.
- Monteith, J. L., 1965, Evaporation and environment, in Fogg, G. E. (ed.), symposium of the Society for Experimental Biology, The State and Movement of Water in Living Organic, 19, Academic Press, Inc., NY, 205-234.
- Penman, H. L., 1948, Natural evapotranspiration from open water, bare soil, and grass, Proc. Roy. Soc. London, Ser. A, Mathematical and Physical Sciences, 193, 120-145.
- Priestley, C. H. B., Taylor, R. J., 1972, On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters, Monthly Weather Review, 100, 81-82.
- Singh, V. P., Xu, C. Y., 1997, Sensitivity of mass transfer-based evaporation equations to errors in daily and monthly input data, Hydrological Processes, 11, 1465-1473.
- Thornthwaite, C. W., 1944, Report of the committee on transpiration and evaporation, Am. Geophys. Union Trans., 25, 683-693.
- Todd, D. K., Mays, L. W., 2005, Groundwater Hydrology, 3rd Ed., John Wiley and Sons, Inc., 636.
- Turc, L., 1961, Evaluation de besoins en eau d'irrigation, ET potentielle, Ann. Agron., 12, 13-49.
- Zhang, L., Dawes, W. R., Walker, G. R., 1999, Prediction the effect of vegetation changes on catchment average water balance, Technical Report, 99/12, Coop. Res. Cent. for Catch. Hydrol., Canberra, ACT.
- Zhang, L., Dawes, W. R., Walker, G. R., 2001, Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale, Water Resour. Res., 37(3), 701-708.