

# 연별 및 월별 FAO Penman-Monteith 기준증발산 추세 분석

## Trends of Annual and Monthly FAO Penman-Monteith Reference Evapotranspiration

임창수\*

Rim, Chang-Soo

### Abstract

The effects of climatic changes owing to urbanization, geographical and topographical conditions on annual and monthly FAO Penman-Monteith (FAO P-M) reference evapotranspiration, and energy and aerodynamic terms of FAO P-M reference evapotranspiration were studied. In this study, 21 climatological stations were selected. The statistical methods applied for trend analysis are Spearman rank test, Sen's test, linear regression analysis and analysis of actual variation ratio. Furthermore, the cluster analysis was applied to cluster 21 study stations by considering the geographical and topographical characteristics of study area. The study results indicate that urbanization affects the trend and amount of FAO P-M reference evapotranspiration, energy term and aerodynamic term; however, the result of Sen's test indicates that urbanization does not significantly affect the magnitude of trend (Sen's slope). The energy term increased at study stations located in coastal area; however, decreased at study stations located in inland area. The topographical slope of study area did not significantly influence on the trend of energy term. The aerodynamic term increased in both coastal area and inland area, indicating much significantly increasing trend in inland area, and it was also affected by the topographical slope of the study area.

**Keywords :** *reference evapotranspiration, trend analysis, cluster analysis, urbanization, climatic change*

### 요 지

본 연구에서는 지리 및 지형적 특성과 도시화에 따른 기후변화가 기준증발산량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 FAO P-M 기준증발산식을 이용하여 연별 및 각 월별 기준증발산량과 기준증발산식의 에너지항 및 공기동력항 변화추세를 분석하였다. 추세분석을 위하여 전국 21개 연구지역에서 일별 기후자료를 수집하여 Spearman 순위상관분석, Sen분석(Sen's estimator of slope) 그리고 실제변화율분석과 선형회귀분석 등을 실시하였다. 또한 도시지역 특성에 따라 21개 연구지역을 군집화하였고, 각 군집에 따른 기준증발산과 기준증발산식의 에너지항 및 공기동력항의 변화를 분석하였다. 연구결과에 의하면 도시화정도는 기준증발산, 에너지항 및 공기동력항의 변화추세 및 크기에 밀접한 영향이 있으나, 변화추세 정도(Sen's slope)에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 에너지항의 경우 해안지역에서는 주로 증가추세를 보이는 반면, 내륙지역에서는 일부 월을 제외하고 감소추세를 보이고 있다. 또한 지역 경사도는 에너지항보다는 공기동력항 변화추세 정도(Sen's slope)에 더 큰 영향력을 보이는 것으로 판단된다. 공기동력항의 경우 해안 및 내륙지역에서 증가추세를 보이고 있고, 내륙지역이 해안지역보다 더 큰 공기동력항의 증가추세를 보이고 있다.

**핵심용어 :** 기준증발산, 추세분석, 군집분석, 도시화, 기후변화

### 1. 서 론

지구상에서 도시유역이 차지하는 비율은 낮지만 거주하는 인구가 차지하는 비율은 상당한 부분을 차지한다. 또한 계속 되는 산업화로 인하여 농촌 및 산림지역의 도시화는 계속 가속되고 있는 실정이다. 도시지역은 농촌 및 산림지역과 비교하여 수문 기후학적 측면에서 상이한 특성을 가지고 있으며 이러한 상이한 특성은 지역 내 물수지에 상당한 영향을 미친다. 따라서 농촌 및 산림지역이 도시화되면서 발생하는 기후학적 변화가 물수지에 미치는 영향을 파악하기 위해서

는 도시화 및 도시특성에 따른 증발산 변화를 분석 파악하는 것은 필요하다.

도시화는 도시기온을 상승시키는 반면에 풍속과 상대습도 그리고 안개일수와 일조시간을 감소시키는 것으로 많은 연구자들에 의해서 보고된 바 있다(Bornstein과 Johnson, 1977; Yague 등, 1991; Chow, 1992; 김광섭과 황보정도, 2005). Um 등(2007)에 의하면 서울과 인천, 수원 그리고 부산과 밀양에서 도시화지역과 비도시화지역간의 상대습도 변화를 비교한 결과, 도시화가 진행됨에 따라서 상대습도는 장기적으로 감소추세를 보이고 있다고 보고하였다. 일반적으로

\*정회원 · 청운대학교 철도행정토목학과 부교수 (E-mail : csrim@chungwoon.ac.kr)

로 도시화로 인하여 도시지역에 내린 강수의 빠른 유출과 식생의 감소로 인한 실제증발산량의 감소로 인하여 상대습도는 감소한다고 보고된 바 있다(Henry와 Dicks, 1985). 도시화지역과 비도시화지역에서 식생밀도와 토지이용조건이 기온에 미치는 영향을 연구한 결과 식생밀도와 토지이용조건은 도시기후에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 도시지역에서의 식생은 증발산을 통해서 기온을 감소시키고, 비도시지역에서는 식생과 토양수분의 증가에 따라서 기온 감소효과를 저감시키는 것으로 나타났다(Wilmers, 1990; Shashua-Bar와 Hoffman, 2000; Jonsson, 2004).

도시화나 도시의 지리 및 지형적 특성에 따른 기후변화가 수문현상에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 기후변화에 따른 기준증발산량의 변화를 파악하는 것이 필요하다. FAO (Food and Agriculture Organization)는 Allen 등(1998)에 의해서 제안된 Penman-Monteith(P-M) 기준증발산식을 기준증발산량을 산정하기 위한 표준방법으로 제시한 바 있다. FAO P-M 식은 다른 많은 방법들에 비해서 2가지의 장점을 지니고 있다. 첫째, FAO P-M 식은 물리적 근거에 기초하여 유도되었다. 따라서 추가적인 매개변수의 보정 없이 전 세계에서 사용될 수 있다. 둘째로 FAO P-M 식은 식의 유도과정과 사용방법이 잘 알려져 적용성이 있고, 각종 증발산량계(lysimeter)를 이용하여 측정된 증발산량과 비교 검토된 바 있다(Droogers와 Allen, 2002). 또한 FAO P-M 기준증발산식을 사용하는 경우 식생 및 토양요소의 차이를 고려하지 않음으로 서로 다른 지역 및 서로 다른 기간에 산정된 기준증발산량을 이용하여 각 지역의 특징기간 별로 대기의 증발산 생성력(evaporating power)을 비교 검토할 수 있다(Allen 등, 1998).

여러 연구자들은 지역별 기후변화에 따른 FAO P-M 기준증발산식의 변화를 평가한 바 있다(Qiu 등, 2002; Droogers와 Allen, 2002; Lage 등, 2003; Chen 등, 2005; Trajkovic, 2005). Gong 등(2006)은 중국 Changjing(Yangtz 강) 유역에 위치한 150개의 연구지역에서 FAO P-M 기준증발산식을 적용하여 지역별 특성에 따른 민감도분석을 실시한 바 있다. Gong 등(2006)에 의하면 FAO P-M 기준증발산식의 경우 상대습도가 가장 민감한 것으로 나타났으며, 태양복사량, 대기온도 그리고 풍속이 뒤를 이었다. 국내의 경우 임혁진 등(2006)은 소양강댐유역의 수문변화에 미치는 변화양상을 SLURP 수문모형을 이용하여 분석하기 위하여 FAO P-M 식을 통하여 기온, 일사량, 풍속에 대한 가상시나리오를 적용하여 분석한 바 있다. 김성원과 김형수(2007)는 우리나라 14개 기상관측지점에서 1985년부터 1992년까지 관측된 일별 기상자료를 이용하여 FAO P-M 식으로부터 산정된 알팔과 기준증발산량을 계측된 알팔과 기준증발산량으로 가정하여 비선형 증발산량 시계열 모형을 위한 신경망 유전자 알고리즘 모형을 개발한 바 있다.

도시화에 따른 수문기후학적 변화는 지리 및 지형적 특성 과도 밀접한 연관성을 가지고 있으며, 도시화가 수문기후현상에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 다양하고 구체적인 지리 및 지형적 특성조건을 동시에 고려하여야 한다. 임창수와 채효석(2007) 그리고 임창수(2007)는 우리나라 56개 연구지역에서 도시화 및 도시특성에 따른 연별 물수지변화 분석을 실시하였고, 도시화 및 지리 지형적 조건에 따른 연별

기준증발산, 에너지항 및 공기동력항의 변화추세를 비교분석한 바 있다. 본 연구에서는 이러한 다양한 지리 및 지형적 특성이 도시화과정과 함께 연별 및 각 월별 수문기후변화에 미치는 영향을 분석하기 위하여 한반도에 위치한 21개 연구지역을 선정하였다. 21개 연구지역으로부터 얻어진 일별 기후자료를 이용하여 지리 및 지형적 특성과 도시화에 따른 기후변화가 기준증발산량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 FAO P-M 기준증발산식을 적용하여 연별 및 각 월별로 기준증발산량의 장기간 변화추세를 분석하였다. 또한 지리 및 지형적 특성과 도시화가 FAO P-M 기준증발산식의 에너지항 및 공기동력항에 미치는 영향력을 분석하여, 지역적 특성에 따른 기후요소의 변화가 연별 및 각 월별로 FAO P-M 기준증발산(량)에 미치는 영향도 알아보았다.

## 2. 연구 방법

본 연구에서는 지리 및 지형적 특성과 도시화에 따른 기후변화가 기준증발산량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 FAO P-M 기준증발산식을 적용하여 연별 및 각 월별로 기준증발산량과 기준증발산식의 에너지항 및 공기동력항 변화 추세를 분석하였다. 분석을 위하여 전국 21개 연구지역에서 일별 기후자료를 수집분석하였고, 추세분석을 위하여, Spearman 순위상관분석, Sen 분석(Sen's estimator of slope) 그리고 실제변화율분석과 선형회귀분석 등을 실시하였다. 또한 도시특성에 따른 군집별 기준증발산량, 에너지항, 공기동력항의 변화추세도 비교분석하였다.

### 2.1 연구지역 및 자료

연구 지역을 선정하기 위하여 수문기후자료의 가용성을 검증하고, 검증된 결과를 바탕으로 기후관측지점을 중심으로 반경 10 km 범위에서 21곳의 연구 지역을 선정하였다(표 1, 그림 1). 본 연구를 위하여 전국 21개 지점에서 관측되는 일별 수문기후 자료를 수집하여 기후요소 변화를 분석하였다. 수집 분석된 수문기후자료는 일별 최고기온, 최저기온, 풍속, 습도, 일조시간, 강수량 등이며, 1970년부터 5년 간격으로 2004년까지 8 개년에 걸쳐서 분석을 실시하였다.

### 2.2 연구지역의 분류

21개 연구지역의 분류를 위하여 기후관측지점을 중심으로 반경 10 km에 대해서 국가수자원관리 종합정보시스템(<http://www.wamis.go.kr>)에서 제공되고 있는 자료를 활용하여 2004년 수지표고자료와 임상자료에 대한 분석을 실시하였고, 1975년도부터 2000년도까지 6 개년도(1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000년)에 대한 토지피복도를 분석하였다. 1975년도 및 1980년도의 경우 Landsat MSS를 이용한 자료이며, 1985년도, 1990년도 및 1995년도의 경우 Landsat TM, 그리고 2000년도의 경우에는 Landsat ETM을 이용하여 분석된 자료이다. 지리 및 지형특성분석의 경우 기후자료와 동일한 모든 기간에 대해서 분석하는 것이 타당하나 1970년 및 2004년 토지피복현황자료의 경우 GIS분석을 위하여 자료 사용에 어려움이 있어 분석자료에서 제외하였다. 연구 지역의 도시화정도를 판단하기 위하여 토지이용현황을

표 1. 21개 연구지역의 지리 지형학적 특성

관측지점 (No.)	북 위 Lat.(N)	동 경 Long.(E)	해발 높이 (m)	지리 및 지형적 분류											
				해안유무		2000년 도시화율 (%)	수역 및 습지면적비(%) (6년평균)			5%이하 경사도비 (%)					
				해안	내륙		10%~	5-10	~5%	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	
속초(1)	38°15'	128°34'	17.8	o		6.67			o				o		
서울(2)	37°34'	126°58'	86.0		o	59.40		o						o	
인천(3)	37°28'	126°38'	68.9	o		52.70	o							o	
수원(4)	37°16'	126°59'	33.6		o	23.70			o				o		
서산(5)	36°46'	126°30'	25.9		o	7.51			o				o		
청주(6)	36°38'	127°27'	57.4		o	13.30			o				o		
대전(7)	36°22'	127°22'	68.3		o	20.0			o				o		
추풍령(8)	36°13'	128°00'	242.5		o	0.52			o	o					
포항(9)	36°02'	129°23'	1.9	o		14.20			o				o		
군산(10)	36°00'	126°45'	26.9	o		16.40		o						o	
대구(11)	35°53'	128°37'	57.6		o	25.60			o				o		
전주(12)	35°49'	127°09'	53.5		o	10.50			o				o		
울산(13)	35°33'	129°19'	34.7		o	12.20			o		o				
광주(14)	35°10'	126°54'	70.5		o	22.20			o				o		
부산(15)	35°06'	129°02'	69.2	o		41.0		o					o		
통영(16)	34°51'	128°26'	31.7	o		3.36			o	o					
목포(17)	34°49'	126°23'	37.9	o		17.10	o						o		
여수(18)	34°44'	127°45'	66.1	o		16.50			o	o					
제주(19)	33°31'	126°32'	20.0	o		21.0			o					o	
서귀포(20)	33°15'	126°34'	50.5	o		11.80			o				o		
진주(21)	35°12'	128°07'	21.3		o	5.25			o		o				

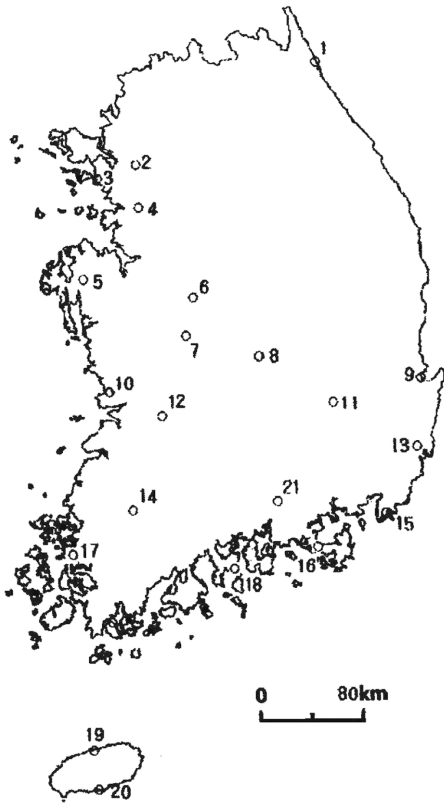


그림 1. 21개 연구지역의 위치

분석하였다. 도시화율을 산정하기 위하여 반경 10 km 이내에 위치한 주거지역 면적을 육지면적으로 나눈 값을 도시화

율로 결정하였으며, 도시화정도를 판단하기 위하여 1975년도 도시화율과 2000년도의 도시화율의 차이를 도시화 정도의 기준으로 적용하였다(임창수와 채효석, 2007).

2.3 FAO Penman-Monteith 기준증발산 모형

기준증발산량(ET<sub>o</sub>)을 계산하기 위하여 Allen 등(1998)은 Penman-Monteith 공식(Monteith, 1965)으로부터 FAO P-M 공식을 유도하였으며, FAO에 의해서 기준증발산량을 산정하기 위한 유일한 방식으로 추천되고 있다. FAO P-M식의 유도과정은 임창수(2007)에서 언급된 바 있다.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Q_n - Q_g) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

$$R_o = \frac{0.408\Delta(Q_n - Q_g)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

$$A_o = \frac{\gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (3)$$

$$Q_n = Q_{ns} - Q_{nl} \quad (4)$$

$$Q_n = (1 - \alpha) Q_s \quad (5)$$

$$Q_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{max,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] [0.34 - 0.14\sqrt{e_a}] \left[ 1.35 \frac{Q_s}{Q_{so}} - 0.35 \right] \quad (6)$$

$$Q_s = \left( a + b \frac{n}{N} \right) Q_a \quad (7)$$

$$Q_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} Z) Q_a \quad (8)$$

여기서,  $ET_o$ =기준증발산량(mm/day),  $R_o$ = 기준증발산량식의 에너지항(mm/day),  $A_o$ =기준증발산량식의 공기동력항(mm/day),  $T_a = 2$  m 높이에서 일평균기온 ( $= T_a = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$ , °C),  $T_{max}$ =일 최고기온(°C),  $T_{min}$ =일 최저기온(°C),  $u_2 = 2$  m 높이에서 풍속(m/s),  $Q_n$ = 순방사(MJ/m<sup>2</sup>/day),  $Q_g$ = 토양 열 유동밀도(MJ/m<sup>2</sup>/day),  $e_s$ = 포화증기압(kPa),  $e_a$ = 실제증기압(kPa),  $(e_s - e_a)$ = 대기의 포화증기압 부족량(kPa),  $\Delta$ = 포화증기압과 온도곡선의 기울기(kPa/°C),  $Y$ = 건습계 상수(kPa/°C),  $Q_{ns}$ = 순단파복사량(MJ/m<sup>2</sup>/day),  $Q_{nl}$ = 순장파복사량(MJ/m<sup>2</sup>/day),  $Q_s$ = 입사태양복사량(MJ/m<sup>2</sup>/day),  $\alpha$ = 태양복사에너지의 반사율 (=0.23 사용),  $Q_{so}$ = 맑은 날 지구표면에 도달하는 태양복사에너지(MJ/m<sup>2</sup>/day),  $Q_a$ = 지구 대기권에 도달하는 태양방사열량(MJ/m<sup>2</sup>/day),  $(a+b)$ = 회귀상수(일정한 기간동안,  $n=N$ 일 때,  $Q_a$ 가 지구표면에 도달하는 비율),  $Z$ = 해수면으로부터의 지반고(m),  $\sigma$ = Stefan-Boltzmann 상수 ( $4.903 \times 10^{-9}$  MJ/m<sup>2</sup>/K<sup>4</sup>/day),  $T_{max, K}^4 = 24$ 시간 동안 최대절대온도(°C+273.16),  $T_{min, K}^4 = 24$ 시간 동안 최소절대온도(°C+273.16),  $e_a$ = 실제증기압(kPa). 여기서 토양열 유동밀도의 경우 일별 기준증발산량을 산정하는 경우 낮과 밤사이의 토양열 유동밀도의 증가와 감소로 인하여 일별 토양열 유동밀도가 미미하여 계산에서 제외하였다.

## 2.4 추세분석

### 2.4.1 Spearman 순위상관분석

변수나 측정값이 서열척도로 이루어진 경우 Spearman 순위상관분석을 실시할 수 있다. 또한 주어진 자료에서 등간성이 의문시되거나, 변수들의 값이 극단적인 분포를 나타내는 경우에는 적률상관관계(Pearson의 상관관계) 대신 Spearman의 순위상관분석을 사용할 수 있다. 이 경우 변수의 정규성 분포 가정이 필요하지 않으며, 상관계수의 값은 -1.00~1.00 사이에 값을 갖는다.

$$\rho = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad (9)$$

여기서,  $\rho$ =Spearman 순위 상관계수,  $d_i$ =각기 다른  $x_i, y_i$  자료들의 순위 간 차이,  $n$ =자료들의 수

### 2.4.2 Sen 분석 (Sen's nonparametric estimator of slope)

만일 자료에 선형적인 추세가 존재한다면 단위시간당 변화(true slope)는 최소자승법을 적용하여 산정될 수 있다. 하지만, 이 경우 산정된 경사  $b$ 는 자료의 오류로 인하여 이상적으로 크거나 작은 값이 포함되어 있다면 단위시간당 변화는 크게 다른 값을 산정할 것이다. 따라서 이러한 경우 Sen (1968)에 의해서 제안된 방법을 적용함으로써 단위시간당 변화를 산정할 수 있다. Sen(1968)에 의해서 제안된 방법은 자료의 오류나 이상적으로 크거나 작은 값들에 영향을 받지 않고, 또한 자료가 부족한 경우에도 적용할 수 있다.

$$\beta = \text{Median} \left( \frac{x_j - x_k}{j - k} \right) \quad \forall k < j \quad (10)$$

여기서,  $\beta$  = estimate of slope

### 2.4.3 실제 변화율분석

통계적으로 설명될 수 없는 자료의 변화를 알아보기 위하여 식 (11)과 같은 방법으로 실제 자료의 변화율을 알아보았다. 따라서 실제 변화율은 관측기간 자료의 평균값에 대한 자료기간 자료의 변화를 백분율(%)로 환산하여 나타낸다.

$$TD = \frac{X_n - X_1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i} \times 100(\%) \quad (11)$$

여기서  $TD$ =연구기간 중 실제 변화율 (%),  $X_i$ = $i$ 번째 자료,  $X_1$ =최초 기간자료,  $X_n$ =최종 기간자료,  $n$ =전 기간의 자료 수

## 2.5 군집분석

본 연구에서는 각 21개 연구지역에서 GIS분석을 실시하여 얻어진 토지피복자료와 수치표고자료를 이용하여 각 연구지점을 도시화정도, 해안근접성 그리고 지형조건(경사도) 등으로 구분하여 군집분석을 실시하였다. 군집분석은 특성자료가 얼마나 비슷한 값을 갖는지를 거리로 환산하여 거리가 가까운 대상들을 동일한 집단으로 편입시키게 된다. 따라서 토지피복자료를 이용한 군집분석은 대상 연구지역들이 지니고 있는 토지피복조건 유사성을 바탕으로 동질적인 연구지역으로 묶어주게 되며, 다수의 연구지역을 몇 개의 동질적인 지역으로 군집화 함으로써 동일군집 내에 속해있는 연구지역의 기준증발산 및 에너지항과 공기동력항의 변화추세 특성을 조사하기 위한 목적으로 적용하였다.

본 연구에서 분류 대상은 21곳의 연구지역이며, 분류를 위하여 각 연구지역에서 얻어진 토지피복조건을 이용하였다. 21개의 연구지역을 군집화하기 위하여 적용된 방법은 단일기결합법식(single-linkage)이다. 이 방법은 기존의 군집에 속해 있는 대상 중에서 어느 하나와 가장 가까운 대상으로부터 군집에 편입시키는 방법이다. 또한 대상 자료들의 유사성을 거리로 환산하기 위하여 유클리디안 거리(euclidean distance) 방법을 적용하였으며, 이 방법은 다음 식(12)로 표현되어질 수 있다. 이 식은 변수 값들의 차이를 제공하여 합산한 거리, 다차원공간에서 직선최단거리를 말하며, 가장 일반적으로 사용되는 거리측정방법이다.

$$d_{kl} = \left[ \sum_i (X_{ik} - X_{il})^2 \right]^{0.5} \quad (12)$$

여기서,  $X_{ik}$ 는 연구지점  $k$ 에서 토지피복조건  $i$ 의 평균값을 나타내며,  $X_{il}$ 은 연구지점  $l$ 에서 토지피복조건  $i$ 의 평균값을 나타낸다.

## 3. 연구 결과

### 3.1 연구지점별 추세분석

21개 연구지역에 대해서 1970년부터 2004년까지 8개년(1970, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2004년)의 각 월별 기후자료의 변화추세를 비교분석하였다. 그리고 FAO P-M 기준증발산량과 기준증발산식의 에너지항과 공기

표 2. FAO P-M 기준증발산량의 변화추세 (Spearman 순위상관분석  $\alpha=0.1$ )

지점(No.)	년	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
속초(1)	0.500	0.024	0.071	0.476	<b>0.952</b>	-0.162	0.167	0.476	0.071	0.048	0.381	-0.119	<b>-0.810</b>
서울(2)	0.476	0.429	0.405	<b>0.786</b>	-0.048	<b>-0.548</b>	0.476	<b>0.595</b>	-0.095	0.238	0.333	0.024	<b>0.619</b>
인천(3)	0.476	-0.333	0.190	0.476	0.262	<b>-0.833</b>	0.476	0.476	-0.071	0.310	0.119	-0.214	<b>0.762</b>
수원(4)	0.381	<b>0.619</b>	<b>0.524</b>	<b>0.714</b>	0.357	-0.095	0.286	0.238	0.024	0.310	<b>0.643</b>	0.405	<b>0.452</b>
서산(5)	<b>0.762</b>	0.405	0.476	<b>0.762</b>	<b>0.619</b>	-0.381	0.500	<b>0.619</b>	0.024	0.333	0.310	-0.357	0.405
청주(6)	<b>0.810</b>	<b>0.667</b>	<b>0.595</b>	<b>0.905</b>	<b>0.810</b>	0.119	<b>0.714</b>	<b>0.619</b>	0.238	0.333	<b>0.810</b>	<b>0.524</b>	<b>0.810</b>
대전(7)	<b>0.857</b>	<b>0.643</b>	<b>0.690</b>	<b>0.881</b>	<b>0.548</b>	-0.286	<b>0.667</b>	0.452	-0.048	0.333	<b>0.738</b>	<b>0.738</b>	<b>0.762</b>
추풍령(8)	<b>0.595</b>	0.190	0.286	0.452	<b>0.643</b>	-0.095	0.500	<b>0.667</b>	-0.071	0.048	<b>0.762</b>	0.262	0.238
포항(9)	<b>0.786</b>	<b>0.762</b>	<b>0.619</b>	<b>0.762</b>	<b>0.952</b>	0.429	<b>0.619</b>	<b>0.595</b>	0.238	-0.071	0.452	<b>0.595</b>	<b>0.786</b>
군산(10)	0.452	-0.190	<b>0.524</b>	<b>0.619</b>	<b>0.571</b>	-0.143	0.405	0.301	-0.095	-0.024	<b>0.524</b>	0.024	<b>0.667</b>
대구(11)	<b>0.786</b>	0.238	0.429	<b>0.762</b>	<b>0.952</b>	0.119	0.476	<b>0.905</b>	0.095	-0.238	0.429	0.310	0.262
전주(12)	<b>0.833</b>	<b>0.929</b>	<b>0.524</b>	<b>0.929</b>	<b>0.810</b>	0.405	<b>0.667</b>	<b>0.857</b>	0.333	0.143	<b>0.857</b>	<b>0.786</b>	<b>0.857</b>
울산(13)	<b>0.929</b>	<b>0.619</b>	<b>0.548</b>	<b>0.548</b>	<b>0.976</b>	0.452	<b>0.690</b>	<b>0.667</b>	0.190	0.429	<b>0.762</b>	<b>0.524</b>	<b>0.905</b>
광주(14)	<b>0.738</b>	0.190	<b>0.524</b>	<b>0.619</b>	<b>0.714</b>	0.190	<b>0.738</b>	<b>0.738</b>	0.000	0.262	<b>0.833</b>	0.310	0.476
부산(15)	<b>0.571</b>	-0.333	0.286	0.024	<b>0.952</b>	-0.357	0.405	0.333	0.000	0.000	0.214	-0.333	0.143
통영(16)	<b>0.905</b>	<b>0.833</b>	0.405	0.452	<b>0.905</b>	-0.071	<b>0.714</b>	0.452	0.095	0.238	<b>0.619</b>	0.429	<b>0.619</b>
목포(17)	<b>0.690</b>	0.381	<b>0.667</b>	<b>0.810</b>	<b>0.976</b>	<b>0.595</b>	<b>0.738</b>	<b>0.762</b>	0.071	-0.214	<b>0.643</b>	<b>0.690</b>	<b>0.762</b>
여수(18)	<b>0.810</b>	<b>0.643</b>	<b>0.595</b>	0.452	<b>0.952</b>	0.310	<b>0.714</b>	<b>0.619</b>	-0.095	0.119	<b>0.738</b>	<b>0.524</b>	<b>0.690</b>
제주(19)	<b>0.881</b>	0.310	<b>0.524</b>	<b>0.619</b>	<b>0.714</b>	<b>0.524</b>	<b>0.619</b>	<b>0.762</b>	0.429	-0.095	0.429	0.476	0.405
서귀포(20)	<b>0.881</b>	0.095	<b>0.571</b>	<b>0.524</b>	<b>0.905</b>	0.143	<b>0.667</b>	<b>0.571</b>	0.452	0.405	<b>0.810</b>	0.347	<b>0.786</b>
진주(21)	<b>0.571</b>	<b>0.524</b>	<b>0.548</b>	<b>0.548</b>	<b>0.548</b>	0.071	0.500	<b>0.905</b>	-0.024	-0.286	<b>0.571</b>	0.286	<b>0.857</b>

\*굵은 숫자는 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 수치임 (+ 증가, - 감소)

동력항의 연별 및 각 월별 변화추세를 알아보기 위하여 Spearman 순위상관분석과 Sen 분석을 실시하였고, 또한 통계적으로 설명될 수 없는 자료의 변화를 알아보기 위하여 실제 자료의 변화율을 알아보았다.

### 3.1.1 기후요소 변화 추세

21개 연구지역에서 1970년부터 2004년까지 8개년에 대해서 각 월별로 월평균 일 기후자료의 변화추세를 선형회귀분석을 통하여 비교분석하였다. 기온의 경우 계절에 관계없이 대부분의 지역에서 상승추세를 보이고 있다. 속초, 서울, 서산, 통영, 목포지역에서 5월과 9월에 감소추세를 보이고 있고, 청주, 포항, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 여수, 제주지역은 9월에 감소추세를 보이고 있어서, 주로 5월과 9월에 감소추세를 보이는 것으로 나타났다. 반면에 인천, 수원, 대전, 서귀포지역은 모든 월에 증가추세를 보이는 것으로 나타났다. 상대습도의 경우 계절에 관계없이 감소추세를 보이고 있다. 속초, 서울, 인천의 경우 5월에만 증가추세를 보이고 있고, 부산의 경우 2, 3, 5월에 증가추세를 보이고 있다. 기온의 경우 도시화에 따라서 뚜렷한 월별 증가추세를 보이고, 상대습도의 경우 도시화에 따라서 매우 뚜렷한 월별 감소추세를 보이고 있다.

풍속의 경우 대부분의 지역에서 감소추세를 보이고 있으나, 일부지역에서는 풍속의 증가추세를 보이고 있다. 따라서 도시화에 따라서 각 월별 풍속이 감소추세에 있다고 판단할 수 있으나, 기온이나 상대습도와 비교하여 그 추세는 뚜렷하지 않다. 일사량의 경우 수원지역에서 모든 월에 감소추세를

보이고 있고, 통영지역의 경우 모든 월에 증가추세를 보이고 있다. 반면에 다른 지역의 경우 각각의 월에 따라서 증가나 감소추세를 보이고 있다.

### 3.1.2 기준증발산량 변화추세

21개 연구지역에서 FAO P-M 기준증발산량의 연별 및 각 월별 변화추세를 분석하였다. 분석을 위하여 연 평균 일값과 월 평균 일값 자료를 이용하여 Spearman 순위상관분석을 실시하였다(표 2). 표 2에서 보는 바와 같이 굵은 숫자는 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 수치를 나타내고, (+)는 증가추세 (-)는 감소추세를 나타낸다. 연별 자료를 분석한 결과 기준증발산량은 1970년부터 2004년까지 모든 연구지역에서 지속적으로 증가하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 속초, 서울, 인천, 수원 그리고 군산지역을 제외하고 모든 다른 지역에서 유의한 수준의 증가추세를 보이고 있다. 월별 자료 분석결과 대부분의 지역에서 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 증가추세를 보이고 있으나, 8, 9월의 경우 유의한 추세를 보이지 않고 있으며, 5월의 경우 서울과 수원지역에서 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 감소추세를 보이고, 속초지역에서 12월에 유의한 감소추세를 보이고 있다.

표 3은 Sen분석의 결과를 보여준다. 연별 자료의 경우 모든 지역에서 증가추세를 보이는 것으로 나타났다. 그리고 인천지역만 Sen's slope이 0.004 mm/day/year보다 작고 나머지 모든 지역에서 0.004 mm/day/year를 초과하고 있으나, Spearman 순위상관분석 결과와 비교할 때, Spearman 순위상관분석에서는 속초, 서울, 인천, 수원 그리고 군산지역에서

표 3. FAO P-M 기준증발산량의 변화추세 (Sen's estimator of slope)

지점 No.	년	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1	0.00606	0.00041	0.00545	0.01917	0.03002	-0.00767	0.01459	0.01610	-0.00050	0.00283	0.00544	-0.00258	-0.00715
2	0.02166	0.00288	0.00577	0.01597	0.00293	-0.01905	0.01258	0.01619	-0.00434	0.00530	0.01009	0.00052	0.00940
3	0.00363	-0.00122	0.00453	0.01331	0.00665	-0.01998	0.01296	0.01686	0.00393	0.00428	-0.03628	-0.00085	0.00555
4	0.03670	0.00430	0.01016	0.01393	0.00625	-0.00207	0.00414	0.00544	-0.00150	0.01203	0.00852	0.00394	0.00405
5	0.03354	0.00281	0.00722	0.00785	0.01051	-0.00528	0.01549	0.01757	0.00216	0.00432	0.00472	-0.00353	0.00420
6	0.04937	0.00451	0.00855	0.01490	0.01388	0.00181	0.02162	0.01474	0.00426	0.00874	0.01823	0.00342	0.00556
7	0.04350	0.00394	0.01060	0.01390	0.01973	-0.00348	0.02154	0.00185	-0.00491	0.00331	0.01141	0.00351	0.00861
8	0.03291	0.00119	0.00821	0.03175	0.02311	-0.00098	0.01122	0.01453	-0.00332	0.00086	0.00749	0.00241	0.00477
9	0.08550	0.00872	0.01792	0.02093	0.03531	0.01369	0.02249	0.02097	0.01534	-0.00452	0.00975	0.00887	0.01398
10	0.01675	-0.00145	0.00805	0.01226	0.00685	-0.00142	0.00593	0.00917	-0.00142	-0.00176	0.00537	0.00179	0.00536
11	0.04661	0.00368	0.01108	0.01626	0.01700	0.00468	0.01824	0.01728	0.00457	-0.01155	0.00679	0.00222	0.00271
12	0.06016	0.00416	0.00588	0.01560	0.01990	0.00431	0.01693	0.02142	0.00533	0.00366	0.01235	0.00800	0.01292
13	0.05900	0.00892	0.01607	0.01919	0.03110	0.00843	0.01505	0.02377	0.00997	0.00554	0.00840	0.00708	0.00547
14	0.03740	0.00063	0.00662	0.01520	0.01265	0.00076	0.01517	0.01574	0.00533	0.00580	0.01780	0.00243	0.00651
15	0.02862	-0.00110	0.00275	-0.00021	0.01606	-0.00721	0.01236	0.02140	0.00252	-0.00220	0.00727	-0.00535	0.00120
16	0.04454	0.00602	0.00792	0.01363	0.01675	-0.00073	0.02191	0.02093	0.00300	0.00152	0.01132	0.00181	0.00907
17	0.05241	0.00385	0.01275	0.01509	0.02610	0.00521	0.02260	0.02029	-0.00334	-0.01603	0.01707	0.00415	0.00964
18	0.08525	0.01777	0.02090	0.01246	0.03087	0.00705	0.02442	0.01817	-0.00259	0.00295	0.02471	0.00955	0.01211
19	0.06166	0.00093	0.00975	0.02415	0.02590	0.01649	0.01813	0.04736	0.01918	-0.01217	0.01523	0.01148	0.00610
20	0.06912	0.00037	0.00941	0.01311	0.02621	0.00170	0.02200	0.02404	0.01734	0.00677	0.01913	0.00363	0.00536
21	0.04602	0.00368	0.01023	0.01226	0.01041	0.00367	0.00599	0.01752	0.00325	-0.00198	0.00719	0.00148	0.00571

\*단위 : mm/day/year; 이탤릭체 (-)는 감소추세; 굵은 숫자는 Sen's slope이 0.004 mm/day/year이상

유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 증가추세를 보이지 않고 있다. 월별 자료의 경우 Spearman 순위상관분석 결과와 유사하게 Sen's slope 역시 5, 8, 9월에 주로 감소추세를 보이는 월이 많으며, 2, 4, 6, 7월에는 모든 지역에서 증가추세를 보이고 있다. 1, 3, 10, 11, 12월의 경우 일부 월에서만 감소추세를 보이고 있다. 5월에는 속초, 서울, 인천, 수원, 서산, 대전, 추풍령, 군산, 부산, 그리고 통영에서 감소추세를 보이고 있고, 8월에는 속초, 서울, 수원, 대전, 추풍령, 군산, 목포, 여수에서 감소추세를 보이고 있고, 9월에는 포항, 군산, 대구, 부산, 목포, 제주, 진주지역에서 감소추세를 보이고 있다. 일반적으로 도시화가 진행됨에 따라서 기온증가, 풍속감소, 운량증가(일사량 감소), 강우-유출 증가로 인한 실제증발산량의 감소, 그리고 그에 따라서 대기 중의 수증기가 감소하는 것으로 알려져 있다. 분석결과에 의하면 일부 연구지역의 월에서 습도는 증가추세를 보이고, 일사량은 감소하는 추세를 보이고 있다. 결과적으로 기준증발산량 변화에 가장 민감한 기후요소로 알려져 있는 습도의 증가와 일사량의 감소로 인하여 이들 지역에서 기준증발산량의 감소추세를 보이는 것으로 판단된다.

표 4는 기준증발산량의 실제 변화율을 보이고 있다. 연별 자료의 경우 모든 21개 지역이 증가추세를 보이고 있다. 서울, 서산, 청주, 포항, 대구, 전주, 울산, 통영, 목포, 여수, 제주 그리고 서귀포지역이 10% 이상의 증가율을 보이고 있고, 나머지 지역은 10% 이하의 증가율을 보이고 있다. 연별 분석결과에 의하면 서울지역의 경우 Spearman 순위상관분석에

서는 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 증가추세를 보이지 않고 있으나 실제 기준증발산량 변화율에서는 10.2%의 증가율을 보이고 있다. 대전, 추풍령, 광주, 부산, 진주지역의 경우 Spearman 순위상관분석에서는 유의한 증가추세를 보이고 있으나, 실제증가율에서는 10% 이하의 증가추세를 보이고 있다. 월별 자료의 경우 대부분의 지역에서 10% 이상의 증가율을 보이고 있으나, 1월에 군산과 광주지역, 2월의 경우 목포지역, 5월에 서울, 인천, 추풍령지역, 11월에 속초, 서산, 부산지역, 12월에 속초지역이 10% 이상의 감소추세를 보이고 있다

연별 자료 분석결과 Spearman 순위상관분석에서는 울산지역이 가장 큰 기준증발산량 변화가 있는 것으로 나타났으며, Sen's slope의 경우 포항지역이 가장 큰 변화를 보이는 것으로 나타났고, 실제변화율 분석에서는 전주지역이 가장 큰 변화를 보이는 것으로 나타났다. 월별 자료 분석결과 5월에는 Spearman 순위상관분석, Sen's slope 그리고 실제변화율에서 변화추세 정도가 서로 동일한 결과를 보여주고 있다. 인천지역이 Spearman 순위상관분석과 Sen's slope 그리고 실제변화율 분석에서 가장 큰 변화를 보이는 것으로 나타났다.

반면에 1, 4, 7월의 경우 Sen's slope과 실제변화율이 동일한 변화추세 정도를 보여주고 있다. 예를 들어 7월의 경우 Spearman 순위상관분석에서는 진주지역이 가장 큰 기준증발산량 변화가 있는 것으로 나타났으며, Sen's slope의 경우 제주지역이 가장 큰 변화를 보이는 것으로 나타났고, 실제변화율 분석에서는 제주지역이 가장 큰 변화를 보이는 것으로 나타났다. 3월과 11월의 경우 Spearman 순위상관분석

표 4. FAO P-M 기준증발산량의 변화 (%)

지점(No.)	년	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
속초(1)	8.4	17.9	19.8	24.7	29.6	-3.7	9.1	2.4	17.0	-0.07	9.5	-12.5	-16.9
서울(2)	10.2	14.0	25.9	32.1	-1.7	-17.9	11.3	9.5	12.5	20.1	23.0	12.8	26.0
인천(3)	3.1	-1.5	21.9	23.5	0.09	-24.8	10.0	2.2	4.6	8.6	8.8	-7.1	14.1
수원(4)	7.3	24.6	36.4	30.0	4.9	-6.7	1.2	-6.6	1.6	8.2	27.3	15.2	42.2
서산(5)	10.4	12.2	37.1	26.3	10.1	-2.8	16.6	6.7	5.8	11.1	16.1	-10.9	23.6
청주(6)	18.9	22.8	42.5	29.5	20.9	3.2	20.0	13.3	11.1	21.5	34.6	21.0	45.9
대전(7)	9.4	10.6	26.0	16.4	10.5	-8.5	18.5	6.5	-2.5	12.4	22.3	12.4	45.9
추풍령(8)	7.4	11.1	20.1	18.2	19.5	-11.5	9.0	8.1	4.2	7.6	8.7	-0.07	7.7
포항(9)	21.7	24.3	39.5	31.0	34.4	14.0	26.5	18.2	11.3	6.3	19.6	25.3	31.5
군산(10)	2.8	-20.8	22.4	11.7	4.9	-9.0	6.4	3.1	0.07	4.8	8.9	-3.6	12.3
대구(11)	11.3	17.4	23.9	20.1	20.7	-1.4	14.7	15.0	3.3	5.4	13.2	3.7	12.7
전주(12)	22.0	24.1	44.4	44.7	26.6	3.0	17.0	19.5	8.8	22.0	35.3	36.6	60.0
울산(13)	18.1	23.6	32.7	17.0	32.5	4.6	25.4	26.4	8.3	8.6	20.5	8.3	14.5
광주(14)	6.4	-10.5	6.8	9.2	8.3	-5.5	14.1	7.6	-3.4	14.3	24.5	-7.4	22.1
부산(15)	7.0	-4.3	3.7	-6.3	17.9	-6.5	25.7	25.5	6.2	7.6	11.2	-15.7	-4.9
통영(16)	12.1	3.6	3.7	17.1	17.0	-3.6	27.2	27.7	4.0	5.2	17.4	1.7	13.3
목포(17)	12.7	2.9	-27.9	17.8	21.7	1.4	24.6	15.9	0.4	8.1	19.7	6.8	19.4
여수(18)	20.5	38.7	38.3	21.6	34.0	2.5	26.7	15.2	-0.1	19.8	35.1	11.3	35.7
제주(19)	20.8	1.7	29.5	20.0	28.3	15.2	22.7	39.8	0.4	10.3	37.1	25.9	18.4
서귀포(20)	21.2	16.3	21.7	20.7	26.9	4.3	41.4	24.0	15.4	25.6	30.1	7.8	12.0
진주(21)	5.5	12.0	21.6	9.6	9.1	-8.3	4.9	14.6	-3.6	-2.3	13.7	4.4	21.9

\*굵은 숫자는 실제변화율이 10%이상인 수치임 (+ 증가, - 감소)

과 실제변화율이 동일한 변화추세 정도를 보여주고 있다. 예를 들어 11월의 경우 Spearman 순위상관분석에서는 전주지역이 가장 큰 기준증발산량 변화가 있는 것으로 나타났으며, Sen's slope의 경우 제주지역이 가장 큰 변화를 보이는 것으로 나타났고, 실제변화율 분석에서는 전주지역이 가장 큰 변화를 보이는 것으로 나타났다.

2, 6, 8, 9, 10, 12월의 경우 Spearman 순위상관분석, Sen's slope 그리고 실제변화율 모두에서 서로 다른 변화추세를 보여주고 있다. 예를 들어 2월의 경우 Spearman 순위상관분석에서는 대전지역이 가장 큰 기준증발산량 변화가 있는 것으로 나타났으며, Sen's slope의 경우 여수지역이 가장 큰 변화를 보이는 것으로 나타났고, 실제변화율 분석에서는 전주지역이 가장 큰 변화를 보이는 것으로 나타났다.

그림 2는 21개 연구지역에 대해서 1970년부터 2004년까지 전 기간에 대해서 연평균 일 기준증발산량의 추세변화를 분석한 결과를 보여준다. 분석결과 속초를 제외한 모든 20개 지역에서 증가추세를 보이고 있어서, 8개년 자료를 이용하여 분석한 결과와 동일한 추세를 보이고 있다. 속초의 경우 Spearman 순위상관분석, Sen 분석 그리고 실제변화율 분석에서 모두 유의하지 않은 증가추세를 보였다.

### 3.1.3 공기동력항 및 에너지항 변화추세

Spearman 순위상관분석을 이용하여 기준증발산식의 에너지항 변화추세를 분석하였다. 연별 자료 분석결과 속초, 인천, 서산, 청주, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 울산, 광주, 부산, 통영, 목포, 제주, 서귀포지역이 증가추세를 보이고 있고, 그

중에서 속초, 인천, 포항, 대구, 제주, 서귀포지역이 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 증가추세를 보이고 있다. 반면에 서울, 수원, 대전, 전주, 여수, 진주지역이 감소추세를 보이고 있고, 그 중에서 수원지역은 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 감소추세를 보이고 있다. 월별 자료의 경우 대부분의 지역에서 3월에 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 증가추세를 보이고 있고, 5월에 대부분의 지역에서 감소추세를 보이고 있다. 수원지역의 경우 연별뿐만 아니라 월별에서도 5, 6, 8, 9, 10월에 유의한 수준의 감소추세를 보이고 있다.

Sen 분석을 실시하여 기준증발산식의 에너지항 변화추세를 분석하였다. 연별 자료의 경우 속초, 인천, 청주, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 울산, 광주, 부산, 통영, 제주, 그리고 서귀포지역에서 증가추세를 보이고 있으며, 반면에 서울, 수원, 서산, 대전, 전주, 목포, 여수 그리고 진주지역에서 감소추세를 보이고 있다. 월별 자료의 경우 2월에 모든 지역에서 증가추세를 보이고 있다. 5, 8, 9월에 대부분의 지역에서 감소추세를 보이고 있다. 겨울철에 해당하는 12, 1, 2월의 경우 Sen's slope이 0.004 mm/day/year를 초과하는 연구지역이 없는 것으로 나타났다. 이는 겨울철이 상대적으로 일사량이 적고 기온이 낮기 때문인 것으로 판단된다. 에너지항의 실제변화율을 분석한 결과에 의하면, 연별 자료의 경우 인천, 군산, 부산, 통영, 제주, 서귀포지역에서 10% 이상의 증가율을 보이고 있고, 수원지역에서 10% 이상의 감소율을 보이고 있다. 월별 자료의 경우 수원지역은 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10월에 10% 이상의 감소율을 보이고 있다. 3월의 경우 대부분의 지역에서 10% 이상의 증가율을 보이고 있다.

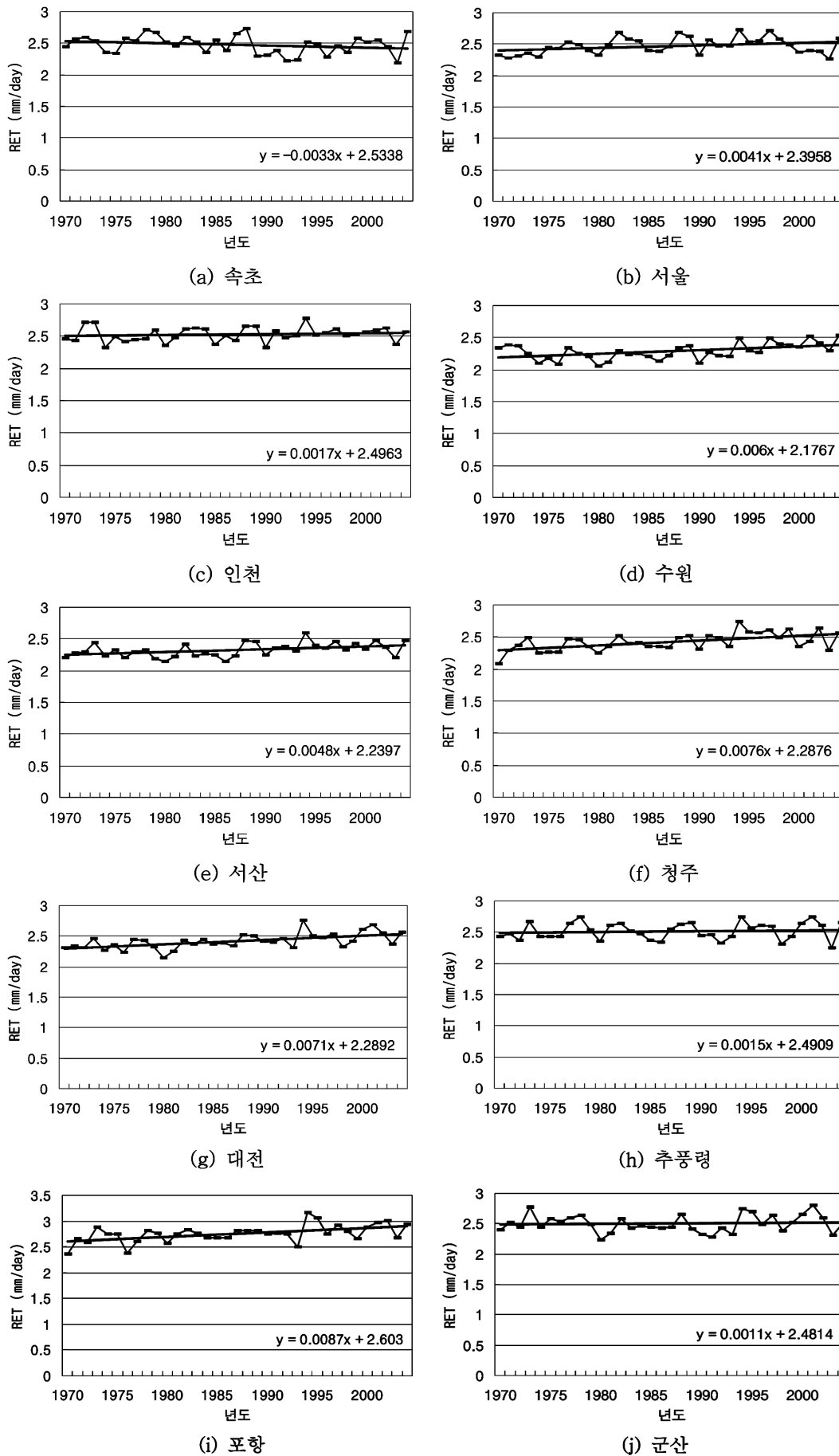
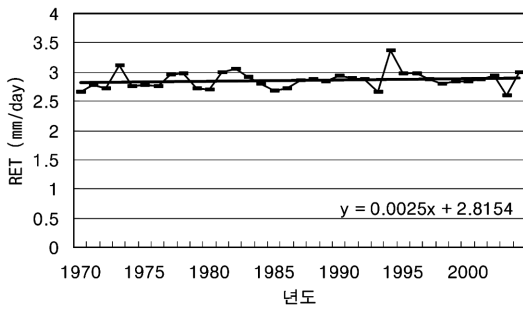


그림 2. FAO P-M 기준증발산량 변화추세 (21개 연구지역)

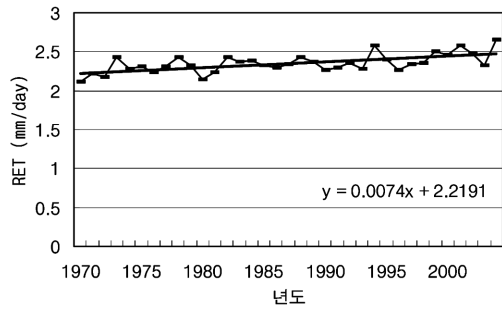
Spearman 순위상관분석을 이용하여 기준증발산식의 공기 동력항 변화추세를 분석하였다. 연별 자료 분석결과 속초, 인천, 군산, 부산지역을 제외한 모든 지역에서 유의수준  $\alpha=0.1$

에서 유의한 증가추세를 보이고 있다. 월별 자료의 경우 1월에 부산지역, 5월에 인천과 부산지역, 8월에 인천지역 그리고 12월에 속초지역에서 유의한 수준의 감소추세를 보이

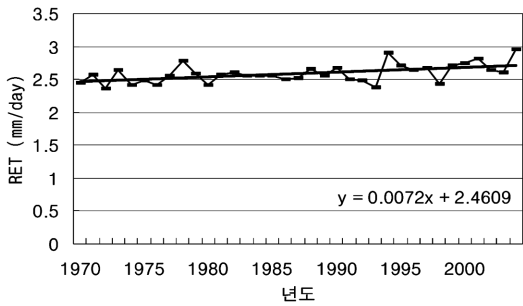




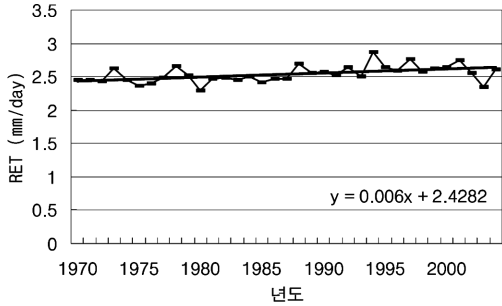
(k) 대구



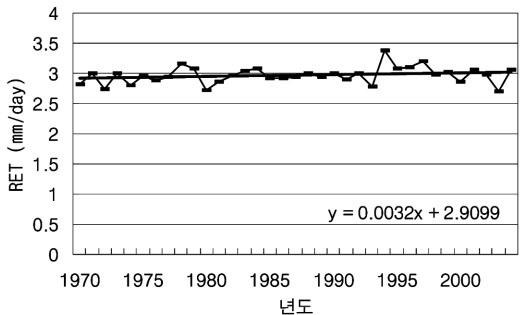
(l) 전주



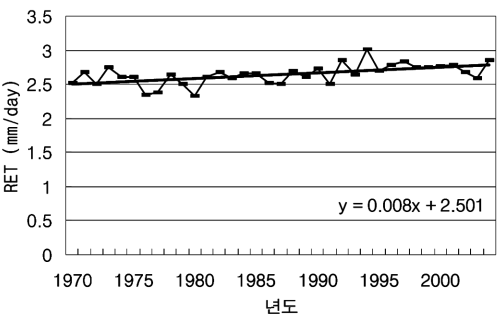
(m) 울산



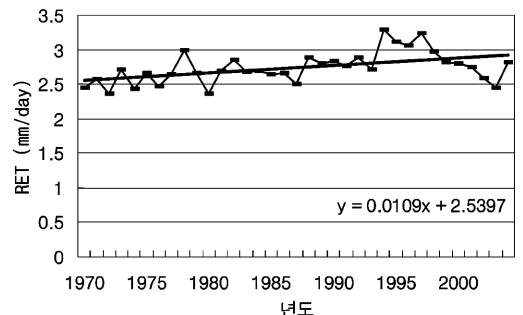
(n) 광주



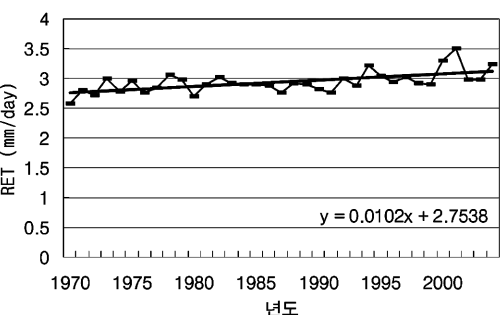
(o) 부산



(p) 통영



(q) 목포



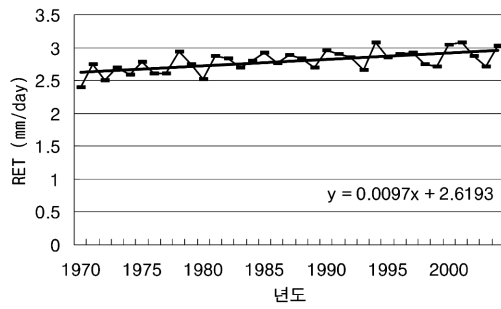
(r) 여수

그림 2. FAO P-M 기준증발산량 변화추세 (21개 연구지역) (계속)

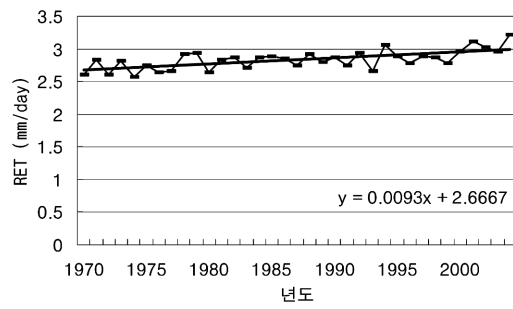
고 있다. Sen 분석을 실시하여 기준증발산량의 공기동력항 변화추세를 분석하였다. 연별 자료의 경우 인천지역에서 감소추세를 보이는 것을 제외하고, 나머지 모든 지역에서 증가추세를 보이고 있다. 월별 자료의 경우 대부분의 지역에서 증가추세를 보이고 있으나, 인천지역의 경우 월별 자료에서도 2, 3, 6 그리고 12월을 제외하고 모든 월에서 감소추세를 보이고 있다. 에너지항과 비교하여 공기동력항의 경우 연별 및 월별 자료에서 Sen's slope이 더 큰 값을 보이고 있어 변화추세가 더 뚜렷함을 알 수 있다. 연별 자료 분석결과 에너지항의 경우 21개 연구지역 중에서 수원, 포항, 통영, 제주 그리고 서귀포지역 등 5개 지역이 변화추세가 크고,

공기동력항의 경우 속초, 인천, 추풍령, 군산 그리고 부산을 제외한 나머지 16개 지역(서울, 수원, 서산, 청주, 대전, 포항, 대구, 전주, 울산, 광주, 통영, 목포, 여수, 제주, 서귀포 그리고 진주)에서 변화추세가 큼을 알 수 있다.

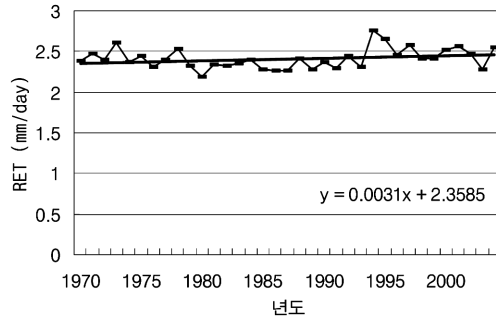
공기동력항의 실제 변화율을 분석한 결과에 의하면, 연별 자료의 경우 인천과 군산지역에서 10% 이상의 감소율을 보이고 있고, 인천, 군산, 속초, 부산, 통영지역을 제외하고 나머지 16개 지역에서 10% 이상의 증가율을 보이고 있다. 월별 자료의 경우 5월에 9개 지역(서울, 인천, 대전, 추풍령, 군산, 광주, 부산, 통영, 서귀포)에서 10% 이상의 감소율을 보이고 있다. 인천과 군산지역의 경우 월별 자료에서도 10%



(s) 제주



(t) 서귀포



(u) 진주

그림 2. FAO P-M 기준증발산량 변화추세 (21개 연구지역) (계속)

이상의 감소율을 보이고 있고, 전주지역의 경우 모든 월에서 10% 이상의 증가율을 보이고 있다.

8개년 평균 월평균 일 기후요소변화와 기준증발산 및 에너지항의 변화 분석결과에 의하면 건조지수(강수량/기준증발산량)가 낮은(상대적으로 건조한) 3, 4, 5월의 경우 공기동력항이 큰 값을 보이고 있고, 반면에 건조지수가 높은(상대적으로 습윤한) 6, 7, 8, 9월의 경우 낮은 공기동력항을 보여주고 있다. 속초를 비롯한 14개 지역(속초, 서울, 인천, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 울산, 부산, 통영, 목포, 여수, 제주, 서귀포)의 경우 1, 2, 3, 11, 12월에 공기동력항이 에너지항을 초과하지만, 수원을 비롯한 7개 지역(수원, 서산, 청주, 대전, 전주, 광주, 진주)의 경우 공기동력항을 초과하지 않거나 초과 정도가 미미한 것으로 나타났다. 반면에 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10월의 경우 모든 지역에서 에너지항이 공기동력항을 초과하는 것으로 나타났다.

21개 연구지역에서 1970년부터 2004년까지 8개년의 각 월별 월평균 일 기준증발산량에 대한 공기동력항비(공기동력항/기준증발산량)와 기준증발산량에 대한 에너지항비(에너지항/기준증발산량)의 변화추세를 선형회귀분석을 통하여 비교분

석하였다. 비교분석한 결과에 의하면 서울을 비롯한 14개 지역(서울, 수원, 서산, 청주, 대전, 포항, 전주, 울산, 광주, 통영, 목포, 여수, 제주, 진주)의 대부분 월에서 에너지항/기준증발산량 비의 감소추세와 공기동력항/기준증발산량 비의 증가추세를 보이고 있다. 따라서 이들 지역에서는 공기동력항에 영향을 미치는 기후요소가 상대적으로 에너지항에 영향을 미치는 기후요소보다도 기준증발산에 더 큰 영향을 미치는 추세인 것으로 사료된다. 반면에 인천지역의 경우 모든 월에서 에너지항/기준증발산량 비의 증가추세와 공기동력항/기준증발산량 비의 감소추세를 보이고 있다.

### 3.2 도시특성에 따른 군집별 변화추세

21개 연구 지역에 대해서 군집분석을 실시하여 도시화와 해안근접성 그리고 지역 경사도에 따라서 연구지역을 분류하였다. 도시화정도에 따라서 연구지역을 군집화하기 위하여 2000년 주거지면적에서 1975년 주거지면적을 뺀 수치를 기준으로 도시를 6개로 군집화하였다. 또한 해안 근접성을 기준으로 해안지역과 내륙지역으로 분류하였고, 5% 이하 경사도 면적비를 기준으로 4개의 서로 다른 군집으로 분류하였

표 5. 도시특성에 따른 연구지역의 군집

군집	도시화정도(2000-1975)	군집	해안근접성	군집	경사도
I	속초, 서산, 전주, 통영, 진주	I	속초, 인천, 포항, 군산, 부산, 통영, 목포, 여수, 제주, 서귀포	I	속초, 서울, 수원, 서산, 청주, 대전, 포항, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 목포, 서귀포
II	서울, 부산			II	인천, 군산, 제주
III	인천			III	추풍령, 통영, 여수
IV	수원, 대구, 광주, 제주	II	서울, 수원, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 대구, 전주, 울산, 광주, 진주	IV	진주
V	청주, 대전, 포항, 군산, 울산, 목포, 여수, 서귀포				
VI	추풍령				

다. 군집분석 결과는 표 5와 같다.

도시화에 따른 군집분석 결과 속초를 비롯한 5개 지역이 제1군집으로 분류되었고, 서울과 부산이 제2군집으로 분류되었으며, 인천이 제3군집으로 분류되었고, 수원을 비롯한 4개 지역이 제4군집으로, 청주를 비롯한 8개 지역이 제5군집으로, 그리고 추풍령이 제6군집으로 분류되었다. 해안근접성을 고려한 군집분석 결과에 의하면 속초를 비롯한 10개 지역이 해안지역으로, 그리고 서울을 비롯한 11개 지역이 내륙지역으로 분류되었다. 경사도 면적비의 경우 속초를 비롯한 14개 지역이 제1군집으로 분류되었고, 인천을 비롯한 3개 지역이 제2군집으로, 추풍령을 비롯한 3개 지역이 제3군집으로 그리고 진주지역이 제4군집으로 분류되었다.

표 6은 도시특성에 따른 각 군집별 기준증발산량의 변화추세 정도를 나타내는 Sen's slope의 평균값을 보여주고 있다. 연별 자료의 경우 모든 군집지역에서 증가추세를 보여주

고 있다. 도시화가 기준증발산량의 크기에 영향을 미치는 것으로 판단되나, 연구지역들의 도시화 정도가 기준증발산량 변화추세 정도(Sen's slope)에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 군집 5지역이 가장 큰 증가추세(Sen's slope)를 보이는 것으로 나타났으며, 군집 3지역이 가장 작은 증가추세(Sen's slope)를 보이고 있으며, 군집 3지역으로 분류된 인천 지역은 1, 5, 10, 11월에 0.004 mm/day/year를 초과하는 감소추세(Sen's slope)를 보이고 있다. 해안근접성의 영향분석 결과에 의하면 해안지역이 내륙지역에 비해서 연별 자료 분석결과 더 큰 증가추세를 보이고 있으며, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11월에서 내륙지역에 비하여 더 큰 증가추세를 보이고 있다. 해안지역의 경우 9월에 감소추세를 보이고 있고, 내륙지역의 경우 5월에 감소추세를 보이고 있다. 연구지역 경사도 영향 분석 결과에 의하면 지역 경사도가 가장 큰 군집 3지역에서 가장 큰 연별 증가추세(Sen's slope)를 보이고 있고, 경사도

표 6. 도시특성에 따른 군집별 기준증발산 변화추세 (Average Sen's estimator of slope)

월	도시화율(2000-1975)						해안근접성		지형조건 (5%이하 경사도 면적 기준)			
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	I	II	III	IV
년	<b>0.03807</b>	<b>0.02515</b>	0.00363	<b>0.0456</b>	<b>0.05761</b>	<b>0.03292</b>	<b>0.04536</b>	<b>0.04245</b>	<b>0.04498</b>	<b>0.02735</b>	<b>0.05424</b>	<b>0.04603</b>
1	0.00342	0.00089	-0.00122	0.00239	<b>0.00583</b>	0.00119	0.00343	0.0037	0.00344	-0.00058	<b>0.00833</b>	0.00369
2	<b>0.00735</b>	<b>0.00426</b>	<b>0.00453</b>	<b>0.00941</b>	<b>0.01303</b>	<b>0.00821</b>	<b>0.00995</b>	<b>0.00913</b>	<b>0.00931</b>	<b>0.00745</b>	<b>0.01235</b>	<b>0.01024</b>
3	<b>0.0137</b>	<b>0.00788</b>	<b>0.01332</b>	<b>0.01739</b>	<b>0.01524</b>	<b>0.03175</b>	<b>0.0144</b>	<b>0.01608</b>	<b>0.01435</b>	<b>0.01658</b>	<b>0.01929</b>	<b>0.01226</b>
4	<b>0.01752</b>	<b>0.0095</b>	<b>0.00665</b>	<b>0.01545</b>	<b>0.02376</b>	<b>0.02311</b>	<b>0.02208</b>	<b>0.01523</b>	<b>0.01912</b>	<b>0.01314</b>	<b>0.02358</b>	<b>0.01041</b>
5	-0.00114	-0.01313	-0.01998	<b>0.00497</b>	<b>0.00413</b>	-0.00098	0.00071	-0.00065	-0.0003	-0.00164	0.00178	0.00367
6	<b>0.01499</b>	<b>0.01248</b>	<b>0.01296</b>	<b>0.01392</b>	<b>0.01946</b>	<b>0.01122</b>	<b>0.01774</b>	<b>0.01436</b>	<b>0.01677</b>	<b>0.01234</b>	<b>0.01919</b>	<b>0.00599</b>
7	<b>0.01871</b>	<b>0.0188</b>	<b>0.01687</b>	<b>0.02146</b>	<b>0.01663</b>	<b>0.01453</b>	<b>0.02153</b>	<b>0.0151</b>	<b>0.01692</b>	<b>0.02447</b>	<b>0.01788</b>	<b>0.01752</b>
8	0.00265	-0.00091	0.00393	<b>0.0069</b>	<b>0.00433</b>	-0.00332	<b>0.00535</b>	0.00189	0.00373	<b>0.00723</b>	-0.00097	0.00326
9	0.00207	0.00155	<b>0.00428</b>	-0.00147	0.00063	0.00087	-0.00183	0.00328	0.00172	-0.00322	0.00178	-0.00198
10	<b>0.00821</b>	<b>0.00869</b>	-0.03628	<b>0.01209</b>	<b>0.01426</b>	<b>0.00749</b>	<b>0.0079</b>	<b>0.01028</b>	<b>0.01122</b>	-0.00522	<b>0.01451</b>	<b>0.00719</b>
11	0.00104	-0.00241	-0.00085	<b>0.00502</b>	<b>0.00525</b>	0.00241	0.00325	0.00286	0.0026	<b>0.00414</b>	<b>0.00459</b>	0.00148
12	<b>0.00495</b>	<b>0.0053</b>	<b>0.00556</b>	<b>0.00485</b>	<b>0.00827</b>	<b>0.00477</b>	<b>0.00612</b>	<b>0.00636</b>	<b>0.00589</b>	<b>0.00567</b>	<b>0.00865</b>	<b>0.00572</b>

\*단위: mm/day/year; 이탤릭체 (-)는 감소추세; 굵은 숫자는 Sen's slope이 0.004 mm/day/year이상

표 7. 도시특성에 따른 군집별 에너지항 변화추세 (Average Sen's estimator of slope)

월	도시화율(2000-1975)						해안근접성		지형조건 (5%이하 경사도 면적 기준)			
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	I	II	III	IV
년	0.00099	0.0014	0.00377	0.00128	0.00137	0.00255	0.00342	-0.00037	0.00087	<b>0.00401</b>	0.0025	-0.00158
1	0.00021	0.00156	0.00177	0.00111	0.0009	0.0003	0.00102	0.0007	0.00093	0.0014	0.00033	-0.00024
2	0.00189	0.00276	<b>0.00417</b>	<b>0.01325</b>	0.00269	<b>0.00412</b>	0.00298	<b>0.00618</b>	<b>0.00539</b>	<b>0.00413</b>	0.00314	0.00048
3	0.00175	0.00392	<b>0.00734</b>	<b>0.00611</b>	<b>0.00488</b>	<b>0.00768</b>	<b>0.00554</b>	0.00361	<b>0.00427</b>	<b>0.00665</b>	<b>0.00524</b>	-0.00035
4	0.00041	0.0022	0.0029	<b>0.0052</b>	<b>0.00517</b>	0.00214	<b>0.00687</b>	0.00045	0.00363	<b>0.00624</b>	0.00288	-0.00449
5	-0.00641	-0.0044	-0.00457	-0.00122	-0.00162	-0.00093	0.00142	-0.00713	-0.00374	0.00224	-0.00274	-0.01028
6	0.0021	<b>0.00537</b>	<b>0.00537</b>	0.00012	<b>0.00543</b>	<b>0.00403</b>	<b>0.0073</b>	0.00014	0.00308	<b>0.00744</b>	<b>0.00462</b>	-0.00478
7	<b>0.00934</b>	<b>0.01132</b>	<b>0.02074</b>	<b>0.00525</b>	<b>0.00643</b>	0.00033	<b>0.01219</b>	0.00372	<b>0.00659</b>	<b>0.01456</b>	<b>0.00637</b>	<b>0.00778</b>
8	-0.00386	0.00044	0.00352	-0.00514	-0.00055	-0.00034	0.00213	-0.00559	-0.00267	0.00382	-0.00198	-0.00839
9	-0.00554	-0.00326	<b>0.00732</b>	-0.00621	-0.00659	-0.0074	-0.00437	-0.0062	-0.00527	0.00064	-0.01014	-0.00954
10	-0.00007	<b>0.01481</b>	0.00038	0.00168	0.00217	0.00055	<b>0.00544</b>	-0.00001	0.00285	<b>0.00418</b>	0.00063	-0.00013
11	-0.00044	0.00118	0.0017	0.00049	0.00001	0.00008	0.00083	-0.0004	-0.00011	0.00109	0.00044	0.00092
12	0.00062	0.00171	0.00193	0.00157	0.00088	0.00147	0.0015	0.00075	0.00097	0.00198	0.00126	-0.00005

\*단위: mm/day/year; 이탤릭체 (-)는 감소추세; 굵은 숫자는 Sen's slope이 0.004 mm/day/year 이상

표 8. 도시특성에 따른 군집별 공기동력항 변화추세 (Average Sen's estimator of slope)

월	도시화율(2000-1975)						해안근접성		지형조건 (5% · 이하 경사도 면적 기준)			
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	I	II	III	IV
년	<b>0.00712</b>	0.00228	-0.00143	<b>0.00713</b>	<b>0.00918</b>	0.0037	<b>0.0054</b>	<b>0.00822</b>	<b>0.00777</b>	0.00145	<b>0.0079</b>	<b>0.00758</b>
1	0.00277	-0.00067	-0.00234	0.00132	<b>0.00542</b>	0.00168	0.00243	0.00329	0.0027	-0.00148	<b>0.00775</b>	0.00393
2	<b>0.00549</b>	0.00076	0.00013	<b>0.00758</b>	<b>0.009</b>	<b>0.00554</b>	<b>0.00663</b>	<b>0.00642</b>	<b>0.00634</b>	<b>0.00406</b>	<b>0.00855</b>	<b>0.01042</b>
3	<b>0.01265</b>	<b>0.00451</b>	0.00335	<b>0.00845</b>	<b>0.01032</b>	<b>0.007</b>	<b>0.0089</b>	<b>0.00999</b>	<b>0.00968</b>	<b>0.00691</b>	<b>0.01088</b>	<b>0.00998</b>
4	<b>0.01563</b>	<b>0.00603</b>	-0.00142	<b>0.00832</b>	<b>0.01756</b>	<b>0.01702</b>	<b>0.01422</b>	<b>0.01248</b>	<b>0.01409</b>	<b>0.00462</b>	<b>0.01969</b>	<b>0.00944</b>
5	<b>0.0048</b>	-0.00511	-0.01568	<b>0.00439</b>	<b>0.00556</b>	0.00318	-0.00064	<b>0.00634</b>	0.00369	-0.00353	<b>0.00563</b>	<b>0.00539</b>
6	<b>0.00953</b>	<b>0.00614</b>	<b>0.00576</b>	<b>0.01342</b>	<b>0.02068</b>	<b>0.00637</b>	<b>0.00912</b>	<b>0.01818</b>	<b>0.01625</b>	<b>0.00494</b>	<b>0.01334</b>	<b>0.00891</b>
7	<b>0.0102</b>	<b>0.00593</b>	-0.00082	<b>0.02187</b>	<b>0.01123</b>	<b>0.00932</b>	<b>0.00854</b>	<b>0.01484</b>	<b>0.01332</b>	<b>0.00888</b>	<b>0.00653</b>	<b>0.01592</b>
8	<b>0.00672</b>	-0.00143	-0.00725	<b>0.00861</b>	<b>0.00867</b>	0.00243	<b>0.00456</b>	<b>0.00764</b>	<b>0.00833</b>	-0.00243	0.00358	<b>0.00956</b>
9	<b>0.00585</b>	<b>0.00421</b>	-0.00199	<b>0.00675</b>	<b>0.00782</b>	<b>0.00588</b>	<b>0.00411</b>	<b>0.00818</b>	<b>0.00688</b>	-0.00037	<b>0.00954</b>	<b>0.00734</b>
10	<b>0.0073</b>	<b>0.00653</b>	-0.00027	<b>0.00874</b>	<b>0.01155</b>	<b>0.00721</b>	<b>0.00862</b>	<b>0.00887</b>	<b>0.00917</b>	0.00167	<b>0.01445</b>	<b>0.00708</b>
11	0.002	-0.0012	-0.0026	0.00345	<b>0.00424</b>	0.00356	0.00247	0.00286	0.0027	0.00193	0.0038	0.00125
12	<b>0.0043</b>	0.00302	0.00368	0.00263	<b>0.00739</b>	0.00227	<b>0.00443</b>	<b>0.00535</b>	<b>0.00485</b>	0.00323	<b>0.00689</b>	<b>0.00495</b>

\*단위: mm/day/year; 이탤릭체 (-)는 감소추세; 굵은 숫자는 Sen's slope이 0.004 mm/day/year 이상

가 가장 작은 군집 2지역에서 가장 작은 연별 증가추세를 보이고 있어 지역 경사도가 기준증발산 변화추세와 상관이 있는 것으로 판단된다. 군집 1지역의 경우 5월에, 군집 2지역의 경우 1, 5, 9, 10월에, 군집 3지역의 경우 8월에, 군집 4지역의 경우 9월에 감소추세를 보이고 있다.

표 7은 도시특성에 따른 각 군집별 에너지항의 변화추세 정도를 나타내는 Sen's slope의 평균값을 보여주고 있다. 연별 자료의 경우 모든 군집지역에서 증가추세를 보이고 있다. 도시화가 에너지항의 크기에 영향을 미치는 것으로 판단되나, 연구지역들의 도시화 정도가 에너지항의 변화추세 정도 (Sen's slope)에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 월별 자료 분석결과 5월에 모든 군집지역에서 감소추세를 보이고 있고, 8월에는 1, 4, 5, 6 군집에서, 9월에는 군집 3을 제외한 모든 군집에서 감소추세를 보이고 있다. 해안 근접성을 고려한 경우 해안지역에서는 증가추세를 보이는 반면, 내륙지역에서는 감소추세를 보이고 있다. 월별 자료의 경우 해안지역은 9월에, 내륙지역은 5, 8, 9, 11월에 감소추세를 보이고 있다. 연별 및 월별 자료를 이용하여 지역 경사도의 영향 분석 결과 지역 경사도는 에너지항에 어느 정도 영향을 주는 것으로 판단된다. 군집 4지역에 속하는 진주지역의 경우 연별뿐만 아니라 월별 자료에서도 2, 7, 11월을 제외하고 모든 월에 감소추세를 보이고 있다. 반면에 군집 2지역의 경우 연별 자료뿐만 아니라 모든 월별 자료에서 증가추세를 보이고 있다.

표 8은 도시특성에 따른 각 군집별 공기동력항의 변화추세 정도를 나타내는 Sen's slope의 평균값을 보여주고 있다. 연별자료의 경우 군집 3지역을 제외하고 증가추세를 보이고 있다. 도시화가 공기동력항의 크기에 영향을 미치는 것으로 판단되나, 연구지역들의 도시화 정도가 공기동력항의 변화추세 정도(Sen's slope)에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 군집 3의 월별 자료에서도 2, 3, 6, 12월을 제외하고 모든 월에서 감소추세를 보이고 있다. 해안 근접성을 고려한 경우 연별 자료 분석결과 해안 및 내륙지역에서 공기동력항

의 증가추세를 보이고 있고, 내륙지역이 해안지역보다 더 큰 공기동력항의 증가추세를 보이고 있다. 이는 해안지역의 경우 내륙지역과 비교하여 바다의 영향으로 인하여 비교적 높은 상대습도를 유지하기 때문인 것으로 사료된다. 월별 자료의 경우 2, 4월을 제외하고 모든 월에서 내륙지역이 더 큰 증가추세를 보이고 있다. 해안지역의 경우 5월에 감소추세를 보이는 것을 제외하고 해안 및 내륙지역의 모든 월에서 증가추세를 보이고 있다. 연별 및 월별 자료를 이용하여 지역 경사도의 영향 분석 결과 지역 경사도는 공기동력항의 변화추세 정도 (Sen's slope)에 영향을 주는 것으로 판단된다. 연별 자료의 경우 군집 3 지역이 가장 큰 증가추세를 보이고 있다. 월별 자료 분석결과 군집 2지역의 1, 5, 8, 9월을 제외하고 모든 군집지역의 월별 자료에서 증가추세를 보이고 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 21개 연구지역으로부터 얻어진 일별 기후 자료를 이용하여 지리 및 지형적 특성과 도시화에 따른 기후변화가 기준증발산량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 FAO P-M 기준증발산식을 이용하여 연별 및 각 월별 기준증발산량과 기준증발산식의 에너지항과 공기동력항의 변화를 분석하였다. 도시특성에 따른 각 군집별 기준증발산량 변화추세를 비교분석한 결과, 연별 자료의 경우 모든 군집지역에서 증가추세를 보이고 있다. 도시화가 기준증발산량의 크기에 영향을 미치는 것으로 판단되나, 연구지역들의 도시화 정도가 기준증발산량 변화추세 정도(Sen's slope)에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 해안근접성의 영향분석 결과 해안지역이 내륙지역에 비해서 연별 자료에서 더 큰 증가추세를 보이고 있으며, 월별 자료에서 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11월에 내륙지역에 비하여 더 큰 증가추세를 보이고 있다.

도시특성에 따른 각 군집별 에너지항 변화추세를 비교분석한 결과, 연별 자료의 경우 모든 군집지역에서 증가추세를 보이고 있다. 도시화가 에너지항의 크기에 영향을 미치는 것

으로 판단되나, 연구지역들의 도시화 정도가 에너지항 변화 추세 정도(Sen's slope)에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 해안 근접성을 고려한 경우 해안지역에서는 증가 추세를 보이는 반면, 내륙지역에서는 감소추세를 보이고 있다. 월별 자료의 경우 해안지역은 9월에, 내륙지역은 5, 8, 9, 11월에 감소추세를 보이고 있다. 연별 및 월별 자료를 이용하여 지역 경사도의 영향 분석 결과 지역 경사도는 에너지항에 어느 정도 영향을 주는 것으로 판단된다.

도시특성에 따른 각 군집별 공기동력항 변화추세를 비교분석한 결과, 연별자료의 경우 인천지역을 제외하고 대체적으로 증가 추세를 보이고 있다. 도시화가 공기동력항의 크기에 영향을 미치는 것으로 판단되나, 연구지역들의 도시화 정도가 공기동력항 변화추세 정도(Sen's slope)에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 해안 근접성을 고려한 경우 연별 자료 분석결과 해안 및 내륙지역에서 공기동력항의 증가추세를 보이고 있고, 내륙지역이 해안지역보다 더 큰 공기동력항의 증가추세를 보이고 있다. 이는 해안지역의 경우 내륙지역과 비교하여 바다의 영향으로 인하여 상대적으로 높은 상대습도를 유지하기 때문인 것으로 사료된다. 연별 및 월별 자료를 이용하여 지역 경사도의 영향 분석 결과 지역 경사도는 공기동력항 변화추세 정도(Sen's slope)에 영향이 있는 것으로 판단된다.

위에서 언급한 결론은 FAO-PM 기준증발산식을 적용하여 산정된 기준증발산량에 대한 것으로, 이는 증발산 발생지역의 토양이 포화되어 있다는 가정 하에 식생조건과 무관하게 기후요소의 변화에 따른 대기상태를 반영하여 증발산량을 산정한다. 따라서 서로 다른 지역 및 서로 다른 기간에 산정된 기준증발산량은 각 지역의 특정 기간별로 대기의 증발산 생성력(evaporating power)을 비교 검토할 수 있다. 하지만 토양수분이 포화상태에서 점차 감소하고, 식생조건이 변하는 경우의 증발산량 즉, 실제증발산량의 경우는 토양수분의 감소와 식생조건 변화에 따라서 기준증발산량과 비교하여 다른 값을 가질 것이다. 따라서 지역간 실제증발산량의 추세변화를 비교 분석하는 경우 토양수분 및 식생조건 변화가 동시에 고려되어야 한다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설기술혁신사업 (03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

## 참고문헌

김광섭, 황보정도(2005) 남한지역 기온 변화의 연 추세 및 월 추세 분석. **한국수자원학회 학술 발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 920-923.

김성원, 김형수(2007) 비선형 증발량 및 증발산량 시계열의 모형을 위한 신경망-유전자 알고리즘 모형 1. 모형의 이론과 적용. **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제1호, pp. 73-88.

임창수, 채효석(2007) 도시화에 따른 수문기후 변화 I(연 물수지 변화 분석). **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제7호, pp. 555-572.

임창수(2007) 도시화에 따른 수문기후 변화 II(도시화가 기준증발산량에 미치는 영향). **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제7호, pp. 573-385.

임혁진, 권형중, 배덕효, 김성준(2006) CA-Markov 기법을 이용한 기후변화에 따른 소양강댐 유역의 수문분석. **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제5호, pp. 453-466.

Allen, R.G., Peretira, L.S., Raes, D., and Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. *FAO irrigation and drainage paper 56*, FAO, ISBN 92-5-104219-5.

Bornstein, R. and Johnson, D.S. (1977) Urban-rural wind velocity differences. *Atmospheric Environment*, Vol. 11, pp. 597-604.

Chen, D., Gao, G., Xu, C.-Y., Guo, J., and Ren, G. (2005) Comparison of the Thornthwaite method and pan data with the standard Penman-Monteith estimates of reference evapotranspiration in China. *Climate Research*, Vol. 28, pp. 123-132.

Chow, S.D. (1992) The urban climate of Shanghai. *Atmospheric Environment*, Vol. 26B, No. 1, pp. 9-15.

Droogers, P. and Allen, R.G. (2002) Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrigation and Drainage Systems*, Vol. 16, pp. 33-45.

Gong, L., Xu, C.Y., Chen, D., Halldin, S., and Chen, Y.D. (2006) Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. *J. of Hydrology*, Vol. 329, pp. 620-629.

Henry, J.A. and Dicks, S.E. (1985) Urban and rural humidity distribution: Relationships to surface materials and land use. *J. of Climatology*, Vol. 5, pp. 53-62.

Jonsson, Per (2004) Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana. *Int. J. of Climatology*, Vol. 24, pp. 1307-1322.

Lage, M., Bamouh, A., Karrou, M., and Mourid, M. El. (2003) Estimation of rice evapotranspiration using a microlysimeter technique and comparison with FAO Penman-Monteith and Pan evaporation methods under Moroccan conditions. *Agronomie*, Vol. 23, pp. 625-631.

Monteith, J.L. (1965) Evaporation and environment. *Symp. Soc. Exp. Biol.*, Vol. 19, pp. 205-234.

Qiu, G.Y., Miyamoto, K., Sase, S., Gao, Y., Shi, P., and Yano, T. (2002) Comparison of the three temperature model and conventional models for estimating transpiration. *Japanese Agricultural Research Quarterly*, Vol. 36, No. 2, pp. 73-82.

Sen, P.K. (1968) Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 63, pp. 1379-1389.

Shashua-Bar, L. and Hoffman, M.E. (2000) Vegetation as a climatic component in the design of an urban street, An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings*. Vol. 31, pp. 221-235.

Trajkovic, S. (2005) Temperature-based approaches for estimating reference evapotranspiration. *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 131, No. 4, pp. 316-323.

Um, H.-H., Ha, K.-J., and Lee, S.-S. (2007) Evaluation of the urban effect of long-term relative humidity and the separation of temperature and water vapor effects. *Int. J. of Climatology*, Vol. 27, pp. 1531-1542.

Wilmers, F. (1990) Effects of vegetation on urban climate and buildings. *Energy and Buildings*, Vol. 15, pp. 507-514.

Yague, C., Zurita, E., and Martinez, A. (1991) Statistical analysis of the Madrid urban heat island. *Atmospheric Environment*, Vol. 25B, No. 3, pp. 327-332.

(접수일: 2007.10.15/심사일: 2007.12.7/심사완료일: 2007.12.7)