

# 우리나라에서 기상요인에 의한 증발 능력 변화의 시공간적 특성

○ 류상범, 엄원근, 정성훈, 허소정

## 1. 서론

자유수면과 토양으로부터의 증발량 산정과 식물로부터의 증산량 산정은 수문기상학적 연구에서 대단히 중요하다. 증발과 증산은 지표-대기간 물 순환의 주요 과정 가운데 하나이다. 지표에 내린 연간 총 강우량의 거의 75 %가 증발산 과정을 통해 대기로 되돌아간다. 지표-대기간 에너지 및 물 순환에서 이와 같은 증발산의 중요성으로 인하여 기상학을 비롯한 여러 관련 학문 분야에서 아주 오래 전부터 실증발산량에 대한 직간접적 산정 방법에 대한 연구가 이루어져 왔다. 본 연구에서는 증발계 증발량을 우리나라 각 지역의 기상 요인에 의한 증발 능력의 지수로 가정하고 대·소형 증발계로 관측한 우리나라 기상 요인에 의한 증발 능력의 공간 분포도를 작성하고 시공간적 변동 특성을 분석하고자 한다. 공간 분포도는 지역간 기상 요인에 의한 증발 능력 비교에 활용될 수 있을 것이고 분석된 시공간적 변동 특성들은 우리나라 지표에서 실제로 발생하고 있는 대기로의 수분 손실과 관련된 기상학적, 수문 수공학적 이해에 필요한 기초 정보를 제공할 것이라고 기대한다. 본 연구에서는 대·소형 증발계 증발량의 연평균 공간 분포와 월평균 분포를 설명하고 지역간 평균 편차 비교와 주성분 분석을 통해 공간 변동성을 조사할 것이다. 또한 소형 증발계 증발량 시계열에 나타나는 계절성, 경향성, 주기를 분석할 것이며 이 분석 결과를 토대로 하여 우리나라의 지역간 기상 요인에 증발 능력의 특성을 정리하고, 본 연구의 최종 결론을 간단히 정리할 것이다.

## 2. 자료

본 연구에 사용된 주요 자료는 그 동안 기상청 정규 관측망에서 대·소형 증발계로 관측한 증발량이다. 그리고 증발계 증발량 자료의 분석 결과들을 토의하기 위해 서울과 부산에서 관측한 여

---

기상연구소 수문기상연구실

러 가지 기상 요소 자료를 사용하였다. 1977년을 분석 기간의 시작으로 설정한 이유는 이때부터 대형 증발계의 관측 지점이 51지점 (도서 지방 관측 지점 제외)으로 확충되었기 때문이다. 그리고 1991년부터 수년간 서울을 비롯하여 일부 관측 지점에서 증발계 관측을 중단하였기에 자료의 연속성을 확보하기 위하여 1977년부터 1990년까지 14년을 기상 요인에 의한 증발 능력의 공간 변동성 분석 기간으로 정하였다. 14년이라는 짧은 분석 기간으로 인해 수년 주기 형태의 변동성을 조사하는데에는 어렵지만 지역간 기상 요인에 의한 증발 능력의 비교와 계절성 분석은 가능할 것으로 판단된다. 그림 2. 1은 연평균 분포와 월평균 분포에 이용된 관측 지점을 표시한 것이다. 소형 증발계 증발량의 연평균 분포도와 월평균 분포도 작성 및 지역간 기상 요인에 의한 증발 능력 비교에 사용된 지점 (59개 지점)은 ●으로, 대형 증발계 증발량의 월평균 분포도 작성에 사용된 지점 (51개 지점)은 ○으로, 그리고 대형 증발계와 소형 증발계의 공간 분포를 비교하기 위해서 사용된 지점 (27개 지점)은 □으로 표시하였다.

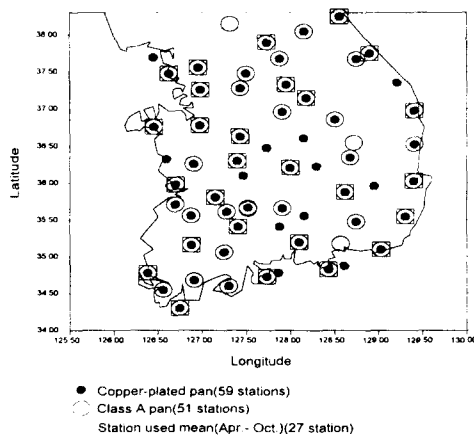


Figure 2. 1. Location map for stations used in the analyses of spatial distribution.

시계열 분석은 1905년부터 1996년까지 부산에서 관측한 소형 증발계 증발량 일자료를 월평균 및 연평균으로 가공하여 수행되었다. 그리고 부산의 기상 요인에 의한 증발 능력 시계열에 나타난 특성들을 확인하기 위하여 서울을 비교 분석 지점으로 활용하였다. 서울의 경우는 1909년부터 1996년까지의 자료를 이용하였다.

### 3. 공간 분포 특성

우리나라의 지역간 기상 요인에 의한 증발 능력의 비교를 위하여 연평균 소형 증발계 증발량 분포도와 월평균 대·소형 증발계 증발량 분포도를 구하였다. 그림 3. 1과 그림 3. 2는 각각 대·

소형 증발계 증발량의 7개월 평균 분포도이다. 겨울철에는 대형 증발계를 이용한 증발량 관측이

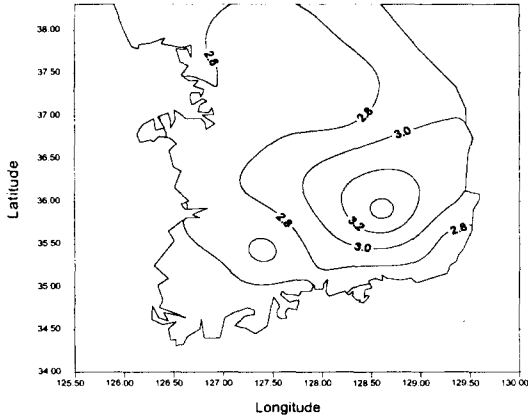


Figure 3. 1. Seven months (April to October) averaged U. S. class A pan evaporation (1977-1990). Contour interval is 0.2 mm day<sup>-1</sup>.

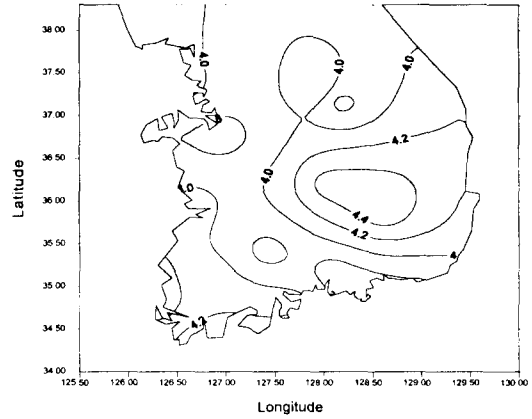


Figure 3. 2. Seven months (April to October) averaged copper-plated pan evaporation (1977-1990). Contour interval is 0.2 mm day<sup>-1</sup>.

수행되지 않으므로 대형 증발계 증발량 관측 자료를 이용할 수 있는 4월에서 10월까지 7개월 동안의 대형 증발계 증발량과 소형 증발계 증발량의 평균 분포도를 각각 구하여 서로 비교하였다. 분석 기간 (1977년 ~ 1990년) 동안 대·소형 증발계 증발량 관측 자료를 모두 가지고 있는 지점은 27개이다. 기상 요인에 의한 증발 능력이 최대인 지역은 대·소형 증발계 증발량 평균도 모두 경상북도 지역에 나타나지만, 중부 지방 이북은 증발계 종류에 따라 다소 다른 지역간 분포 형태를 보이고 있다. 증발계에 종류의 차이에 의한 지역간 기상 요인에 의한 증발 능력의 차이를 좀 더 구체적으로 살펴보기 위하여 각 지점의 소형 증발계 증발량에서 대형 증발계 증발량을 뺀 값들의 공간 분포를 구하였다 (그림 3.3). 모든 지역에서 소형 증발계가 대형 증발계보다 기상 요인에 의한 가능 증발량을 많게 측정한다. 이러한 소형 증발계의 과다 측정은 일사에 의한 증발계 자체 가열로 인한 증발 때문에 발생한 것으로 사료된다. 강릉 지역과 지리산 지역 주변이 다른 지역에 비해 증발계 차이로 인한 기상 요인에 의한 증발 능력의 차이가 다소 적으며 분포도를 서로 비교했을 때 공간 분포 형태는 측정 방법에 관계없이 거의 비슷하다. 그렇지만 증발계 종류에 관계없이 각 달의 기상 요인에 의한 증발 능력의 공간 분포 형태를 서로 비교하면 모든 달에 걸쳐 기상 요인에 의한 증발 능력이 최대인 지역이 경상북도 지역에 나타난다는 점을 제외하고는 달에 따라 지역간 기상 요인에 의한 증발 능력의 차이가 변한다. 특히 영동 지역과 남해안 지역에서 기상 요인에 의한 증발 능력의 변화가 심하며 지역간 증발 능력의 차이가 1년 주기의 계절성을 가진다. 기상 요인에 의한 증발 능력의 공간 분포에 나타난 이러한 특성을 자세히 살펴보기 위하여 각 달의 평균도에서 그 달의 면적 평균을 뺀 평균 편차도를 구하였다. 그림 3.4는 각각 겨울, 봄, 여름, 가을을 대표하는 1, 4, 7, 10월의 평균 편차도이다. 1월의 경우 태백산맥과 소

백산맥의 능선을 경계로 하여 동서로 편차 지역이 양과 음으로 각각 구분되지만 4월에는 경상남도 지역이 음의 편차 지역으로, 영서 지방이 양의 편차 지역으로 변하게 된다. 7월에는 중부 이북의 거의 모든 지역이 음의 편차 지역이 되고 이남 지역은 음과 양의 편차가 혼재되어 있는데 중부 지역에 나타난 음의 경계는 공간 변동성에서 분석한 계절성을 제거한 주성분 분석의 eigenvector 3의 시계열과 각 지점의 기상 요인에 의한 증발 능력 시계열의 상관도에 나타난 동서 방향의 구분선과 거의 일치한다(그림 생략). 10월의 경우 서부 호남 지역이 다시 음의 편차 지역으로 변하며 호남의 해안지역을 제외하고는 1월의 형태와 비슷하게 태백산맥과 소백산맥의 능선을 경계로 하여 동대구의 음의 편차가 10월이 되면서 심화되고 있다. 이러한 평균 편차도의 변화 형태에서 지역간 기상 요인에 의한 증발능력의 차이가 계절성을 가지고 있음을 유추할 수 있다. 서로 편차 지역이 양과 음으로 구분된다. 7월의 평균편차 공간 분포 형태에서 약하게 나타났다.

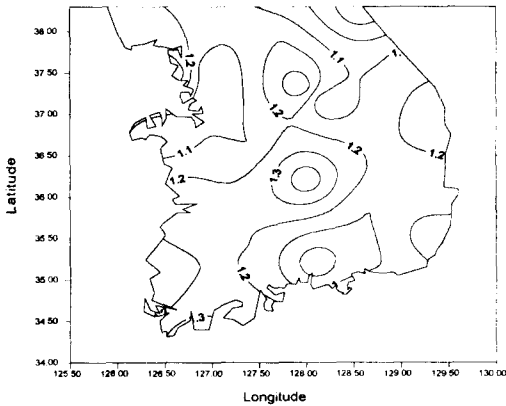


Figure 3. 3. Difference between the seven months (April to October) averaged copper-plated pan and U. S. class A pan evaporations (1977-1990). Contour interval is 0.2 mm day<sup>-1</sup>.

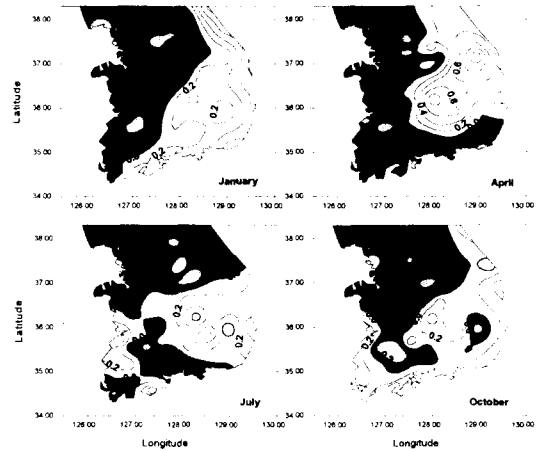


Figure 3. 4. Spatial mean departures of monthly mean copper-plated pan evaporation in January, April, July, and October (1977-1990). Contour interval is 0.2 mm day<sup>-1</sup>.

#### 4. 시계열 특성

본 절에서는 기상 요인에 의한 증발 능력 변화의 지역성이 계절에 따라 어떤 변화를 하는지 조사하였다. 부산에서 간이형 소형 증발계로 관측한 연평균 가능 증발량의 시계열은 육안으로도 확연히 1930년대를 경계로 하여 전후의 시계열이 급격히 변하고 있음을 알 수 있다. 이러한 불연속성을 확인하기 위하여 소위 '이중 위상 회귀 모델 (two-phase regression model)'을 사용하였다. 시계열 내에 불연속성을 포함하고 있는 경우에 대한 이중 위상 회귀 모델의 유용성 등에 대해서는

류상범(1996)에 의해 검증되었다. 잔차 제곱합에서 볼 수 있듯이 1930년대 부근에서 모델의 적합성이 최대로 된다. 최소 잔차 제곱합이 나타나는 1932년을 변곡점 (change point)으로 하여 시계열을 두 개의 부분으로 나누어 각각의 시계열에 대해 단순 회귀 모델을 구하였다 (그림 4. 1).

$$1931년\ 이전 \quad E = 4.0568 - 0.0320 t \quad (1)$$

$$1932년\ 이후 \quad E = 4.3108 - 0.0129 t \quad (2)$$

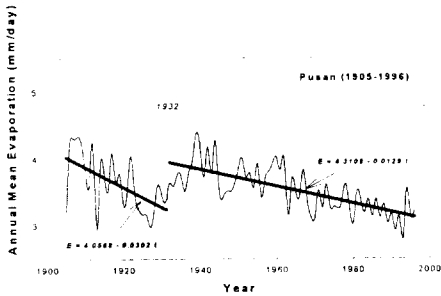


Figure 4. 1. Time series of annual mean copper-plated pan evaporation in Pusan (1905-1996), with the two-phase regression line, two regression equations, and the change year of 1932 in the background.

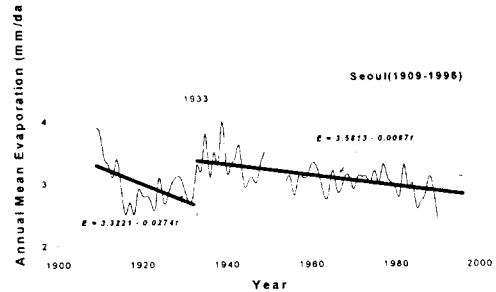


Figure 4. 2. Time series of annual mean copper-plated pan evaporation in Seoul (1909-1996), with the two-phase regression line, two regression equations, and the change year of 1933 in the background.

두 기간 모두 육안으로 보아도 선명하게 강한 감소 경향을 가지고 있으므로 계수에 대한 유의성 검정을 생략한다. 부산의 소형 증발계 증발량 시계열 자료에 나타난 이러한 시계열의 불연속적인 감소가 부산에 국한된 특성인지 아니면 다른 지역에서도 이와 같은 감소 경향이 나타나는지에 대해서 확인하기 위해 거의 동기간에 걸친 소형 증발계 증발량 관측자료를 갖고 있는 서울의 경우에 대해서도 같은 분석을 해 보았다. 서울 역시 1933년을 변곡점으로 하여 불연속적인 두 개의 감소 경향을 나타내었다 (그림 4. 2). 본 연구에서는 이중 위상 회귀 모델 분석을 통해 잔차 제곱합이 최소가 되는 두 개의 단순 회귀 모델에 근거하여 1933년 이후부터의 서울 소형 증발계 증발량의 감소 경향을 검출하였다. 1932년 이후의 시계열에 나타나고 있는 감소 경향에 대해 좀 더 구체적으로 살펴보면 회귀계수중 0.0129의 의미는 부산의 소형 증발계 증발량의 감소 세기이다. 즉 매일 0.0129 mm정도 감소하고 있다. 이 크기를 1세기를 단위로 하여 환산하면 부산에서 소형 증발계로 관측되는 증발량이 지난 55년동안 259mm 정도 감소했음을 의미한다. 이러한 크기의 감소가 왜 일어나는 지에 대해서 현재로서는 분명하게 알 수 없다. 현재로서는 소형 증발계로 관측한 증발량이 1930년대 이후로 지속적으로 감소하고 있고 그 감소 세기가  $4.7 \text{ mm year}^{-1}$ 로 상당하다는 현상학적인 결론만 제시할 뿐이다.

## 제 5 장 결과 및 토의

본 연구의 증발계 증발량 분석에서 나타난 우리나라 각 지역의 기상 요인에 의한 증발 능력의 공간 분포의 특성과 시공간적 변동성은 아래와 같다.

1) 강원도 영동 해안 지역과 영남 지역이 다른 지역에 비해 기상 요인에 의한 연평균 증발 능력이 강하다. 2) 지역간 기상 요인에 의한 증발 능력의 분포가 측정 방법 (간이형 소형 증발계/미국형 대형 증발계)에 따라 강원도 북부에서 약간 달라지지만 전체적으로는 비슷한 공간 분포 형태를 가진다. 따라서 증발계 종류에 관계없이 지역간 기상 요인에 의한 증발 능력의 차이에 대한 정보를 일정하게 얻을 수 있다. 3) 이중 모드의 계절성이 우리나라의 기상요인에 의한 증발 능력의 변화의 가장 큰 특성이다. 그리고 계절에 따른 기상 요인에 의한 증발 능력의 지역간 분포는 겨울에는 매년 거의 일정하지만 그 외의 계절에서는 매년 변화가 심하다. 4) 1930년대 초반을 기점으로 소형 증발계 증발량 관측 자료의 특성이 불연속적으로 변하며 1930년대 중반 이후부터 기상 요인에 의한 증발 능력이 감소하고 있다. 소형 증발계 증발량을 기준으로 470 mm/세기의 감소율을 가지고 있다. 5) 기상요인에 의한 증발 능력의 변화 주기는 1년 주기의 계절성이 가장 탁월하다. 그 외의 통계적으로 의미 있는 주기로는 6, 4, 3, 2.4 개월의 단주기와 12 년의 장주기가 있다.

이상의 기상 요소에 의한 증발 능력의 현상학적 특성에 대한 원인을 고찰하고자 한다. 여러 가지 현상학적 특성 중에서 가장 두드러진 특성이 이중 모드의 계절성이다. 이러한 계절성은 지역간의 증발 능력 분포의 변화에서뿐만 아니라 각 관측 지점의 시계열 자료에서도 뚜렷하게 나타난다. 본 연구의 목적은 우리나라 지표에서 대기로의 수분손실량을 추정하고자 하는 것이 아니라 기상 요인에 의한 지역간 증발 능력의 차이를 비교하고 증발 능력의 시간적 변화를 조사하고자 하는 것이므로 우리나라 각 지역의 실증발산량 산정과 관련된 연구가 앞으로 수행되어야 할 것이다.

## 6. 참고 문헌

류상범, 1996: Detection of changes in climate due to industrialization: with an application in Pohang, Korea. 부산대학교 박사학위 논문, 99pp.