

# 원격탐사 기반 기준 증발산 산정 모의: 낙동강 유역조사 분석

## Estimation of Reference Evapotranspiration Based on Remote Sensing: Nakdong River Hydrologic Survey

서찬양\*, 이종진\*\*, 박재영\*\*\*, 최민하\*\*\*\*

Chanyang Sur, Jongjin Lee, Jaeyoung Park, Minha Choi

### 요 지

현재 국내외에서는 양질의 증발산을 관측하여 활용하기 위해 증발접시 (evaporation pan), 침 루계 (lysimeter) 등을 이용하여 실측하거나 Flux Tower에서 Eddy covariance technique, Bowen ratio method 등을 이용하여 경험적으로 산정하고 있다. 이러한 방법으로 산정되는 증발산은 크게 두 분류로 나눌 수 있다. 일반적인 기후 상태에서 유역의 토양이 증발산에 방해받지 않을 정도로 충분히 물을 포함하고 있고, 식생이 조밀한 상태에서의 증발산량을 의미하는 잠재 증발산과 실제 산정치인 실제 증발산으로 나눌 수 있다 (Thornthwait, 1939). 본 연구에서는 유역의 잠재 증발산을 산정하여 실제 증발산과 비교를 통해 적용성을 확인하고자 한다. 잠재 증발산을 산정하는 방법은 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 인공위성 데이터를 이용한 원격탐사 기술을 적용하여 산정한다. 원격탐사 기술은 지상 관측의 단점을 보완한 것으로서, 날씨, 인간 활동 등 주변 외부 환경의 영향에 민감하게 반응하여 공간적인 분포 현황을 파악하는 것이 어려운 지상 관측의 한계점을 대체하기 위한 방법이다. 이들 방법으로는 가장 널리 쓰이는 Penman-Monteith (Penman, 1948; Monteith, 1965), 일별 최대, 최저, 평균 기온을 이용한 Hargreaves 방법 (Hargreaves, 1985)과 Priestley-Taylor 방법 (Priestley and Taylor, 1972) 등의 세 가지 방법을 소개하였다. 세 가지 방법으로 산정된 잠재 증발산을 통해 해당 유역의 잠재 증발산의 공간적인 거동을 파악해 볼 수 있다.

**핵심용어 :** 기준 증발산, 실제 증발산, MODIS, 원격탐사

## 1. 서 론

잠재 증발산을 산정하는 방법에 대한 연구는 국내외에서 진행이 되고 있지만, 기준 증발산을 잠재 증발산과 같은 의미라는 가정을 통하여 연구가 진행되고 있다. Food and Agricultural (FAO)에서는 단위 면적의 지표 안에 한 작물이 가득 차 있을 경우 작물에 대한 최대치의 증발산량을 기준 증발산이라 가정하고 있다 (Allen et al., 1998). 활발한 국외 연구와는 달리, 국내에서는 잠재 증발산을 산정하는 연구가 미비한 실정이다. 그 중에서, 임창수 (2008)는 연/월별 FAO

\* 한양대학교 건설환경공학과 석사과정 · E-mail : [cysur@hanyang.ac.kr](mailto:cysur@hanyang.ac.kr)

\*\* 한국수자원공사 조사기획처 수자원조사팀 팀장 · E-mail : [Ljj@kwater.or.kr](mailto:Ljj@kwater.or.kr)

\*\*\* 한국수자원공사 조사기획처 처장 · E-mail : [jyp@kwater.or.kr](mailto:jyp@kwater.or.kr)

\*\*\*\* 교신저자 · 한양대학교 건설환경공학과 교수 · E-mail : [mchoi@hanyang.ac.kr](mailto:mchoi@hanyang.ac.kr)

Penman-Monteith 기준 증발산을 산정하여 국가 수자원 관리 통합 시스템에서 제공하는 21개 지역의 자료와 추세를 분석하였고, 임창수 등 (2009)에서는 지역적 특성을 고려하여 잠재 증발산을 산정하는 여러 방법을 소개하며 기상청의 Pan 증발량과의 비교 분석하였다. 정 수와 신사철 (2006)에서는 MODIS 위성영상 자료의 식생지수 (NDVI) 자료를 이용하여 광역의 증발산량을 산정하는 방법을 개발하였다. 위성영상을 이용하여 산정된 증발산량 분포를 강우 분포자료 및 잠재 증발산량 분포자료와 결합하여 기후학적 물 수지를 산정하였다.

국외에서는 다양한 접근 방법으로 잠재 증발산을 산정하는 연구가 진행되고 있다. Chattopadhyay and Hulme, (1997)는 인도 지역의 21개 기상청의 pan 증발량을 이용하여 잠재 증발산을 산정하고 비교 검증하였고, 인공위성 데이터를 이용한 다양한 잠재 증발산 산정 공식을 이용하는 연구는 활발히 진행 중이다 (Douglas et al., 2009; Showmaker and Sumner, 2006). Douglas et al., (2009)에서는 미국 플로리다 주에서의 다양한 토지 피복에 따른 잠재 증발산을 산정하는 수정 FAO Penman-Monteith 공식, Priestley-Taylor 공식과 Turc 공식을 통해 잠재 증발산을 산정하였고 비교하였다. Showmaker and Sumner, (2006)에서는 Priestley-Taylor 공식의 경험적인 상수인  $\alpha$ 를 여러 상황에 적용하여 실제 증발산을 산정하고 이를 Priestley-Taylor 공식으로 산정한 잠재 증발산과 비교 검증하는 방법에 대해 연구하였다. Kim and Hogue, (2008)에서는 MODIS 위성의 다양한 products의 입력 자료를 바탕으로 Priestley-Taylor 공식을 적용한 잠재 증발산을 산정하였고, 잠재 증발산의 산정에 영향을 가장 크게 미치는 순 복사량에 대한 산정 방법에 대해서도 연구하였다. 이렇듯, 다양한 접근 방식으로 잠재 증발산을 산정하고 분석하는 연구들이 진행되고 있다. 잠재 증발산을 산정하는 방법 중 수정 FAO Penman-Monteith와 Priestley-Taylor 공식을 가장 많이 이용하였고, 지역적인 적용성이 높음을 알 수 있었다.

## 2. 연구 지역

본 연구에서는 낙동강 유역을 연구 지역으로 선정하였다. 낙동강은 강원도 태백 함백산의 황지천에서 발원하여 경상북도를 거쳐 전라북도 남원, 대구 및 경상남도를 거쳐 한반도의 남동부로 흘러드는 하천으로 전 영남지역을 유역권으로 하는 국내에서 가장 큰 강이다. 금강과 섬진강 유역등과 접하여 있으며, 연장 521.5 km, 유역면적 23,717 km<sup>2</sup>으로 가장 긴 유로 및 국토의 23.9%에 달하는 유역면적을 가지고 있다. 세부적으로 상류권역이 9,352, 중류권역이 5,648, 하류서부권역 및 동부권역이 각각 5,348과 3,369 (km<sup>2</sup>)의 면적을 보인다. 낙동강 유역의 공간적 범위는 동경 127° 29' 26" ~ 129° 17' 48", 북위 34° 59' 32" ~ 37° 13' 19" (황창수 등, 2010)에 해당한다. 낙동강 수계의 수자원 총량은 385억 ton/year 정도이며, 낙동강수계의 하천은 803개 (국가 13, 지방1급 10, 지방2급 780)가 존재한다 (<http://www.me.go.kr/ndg/>).

## 3. 연구 방법

### 3.1 잠재 증발산량 산정

#### 3.1.1 수정 FAO Penman-Monteith 방법

Penman-Monteith 방법은 물리적인 개념에 바탕을 둔 가장 널리 쓰이는 방법으로 원 식은 식생에서 발생하는 증산과 공기 동역학적인 방법을 동시에 고려한 실제 증발산을 산정하는 식이지만 (Penman, 1948; Monteith, 1965), 잠재 증발산을 산정하기 위하여 Allen et al., (1998)은 원 식으로부터 Food and Agriculture Organization (FAO) Penman-Monteith 공식을 유도하였다.

$$T \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_{sat} - e)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

여기서,  $ET_o$ 는 FAO 수정 Penman-Monteith 공식을 통해 산정된 잠재 증발산,  $\Delta$ 은 온도 대 포화증기압 곡선의 기울기( $kPa \text{ } ^\circ C$ ),  $R_n$ 은 작물 표면에서의 순 복사량 ( $Mj m^{-2} day^{-1}$ ),  $u_2$ 는 2 m 높이에서의 풍속 ( $m s^{-1}$ ),  $e_{sat}$ ,  $e_a$ 는 포화, 실제 증기압 ( $kPa$ ),  $G$ 는 토양열 플럭스 ( $Mj m^{-2} day^{-1}$ ),  $T$ 는 2 m 높이에서의 대기 온도( $^\circ C$ ),  $\gamma$ 은 습도계 상수 ( $kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$ )이다.

### 3.1.2 Priestley-Taylor 방법

Priestley-Taylor 공식은 Penman, (1948) 식을 단순화한 형태로 적용지역의 기후 조건이 습하여 증발량 산정과정에서의 공기 동역학적 인자의 영향을 무시할 수 있다는 가정 하에 특정 계수로 치환하여 단순화한 식이다.

$$ET_o = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \quad (3)$$

여기서,  $R_n \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ 은 Penman-Monteith식에서의 에너지 수지 인자와 동일하고,  $\alpha$ 는 경험적인 상수로써, 수표면이나 균일하게 포화된 지표면과 같이 대류 영향을 무시할 수 있는 경우 공기동력학적 인자가 에너지 수지 인자와 비례 관계를 보이고, 공기 동역학적 인자가 에너지 수지 인자의 26% 정도라고 가정할 경우  $\alpha=1.26$ 으로 적용한다 (Flint and Childs, 1991; Ferguson and Den Hartog, 1975; Stewart and Rouse, 1976; Stewart and Rouse, 1977; Mukammal and Neumann, 1977; Irmak and Haman, 2003) 보다 적은 관측 자료를 필요로 하고, 다습한 지역에서 적용하도록 제안되었다.

## 4. 연구 결과

현재 FAO 수정 Penman-Monteith 공식을 통한 잠재 증발산과 Priestley-Taylor 공식을 이용하여 산정한 잠재 증발산 값을 바탕으로 낙동강 유역에 대한 공간적인 mapping을 진행 중에 있으며, 이를 바탕으로 낙동강 유역 권역에 위치한 농업기상정보시스템 (RDA)에서 제공하는 팬 증발량 데이터와 기상청에서 제공하는 팬 증발량 데이터를 이용하여 검증할 계획이다. RDA 팬 증발량은 낙동강 유역에서 2 지점에서 데이터를 획득할 수 있으며, 기상청도 2개의 지점에서 데이터를 제공하고 있다.

## 5. 결론

현재 국내의 잠재 증발산의 시공간적 분석에 대한 연구는 매우 미비한 실정이고, 해외의 연구 동향은 에너지 수지 방정식에 의존하는 경향이 강하다. 방법론을 결정하고 문헌을 조사함에 있어 연구 지역에 대한 검증 데이터가 부족하고 현재 MODIS product는 clear sky condition에서만 산출이 된다는 제한 사항이 있음을 찾을 수 있었다. 이에 본 연구과제는 수정 FAO Penman-Monteith, Hargreaves, Priestley-Taylor 공식을 산정된 잠재 증발산연구 지역인 낙동강 유역 인근의 기상청의 증발접시 증발량 (대 / 소형 증발접시)과의 비교 및 검증 하는 것 뿐만 아니라, MODIS 16에서 제공되는 증발산 product와 Revised Remote-Sensing Penman-Monteith 알고리즘으로 산정된 증발산을 이용하여 다각도로 검증해 볼 것이다. 또한, 잠재 증발산을 산정하는 다른 방법들의 지역적인 적용성도 검토해 볼 것이다. 월 평균 기온을 이용하여 잠재 증발산을 구하는 Thornthwait 공식과 건조한 지역에서의 높은 적용성을 보이는 Turc 방법에 대한 연구를 더 진행할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국수자원공사와 계약 체결한 “4대강 유사관리를 위한 하천 조사 분석 용역의 지원”으로 수행된 성과입니다

## 6. 참고 문헌

- 임창수 (2008) 연별 및 월별 FAO Penman-Monteith 기준증발산 추세 분석. 대한 토목학회지. Vol 28. No. 1B. pp 65-77.
- 임창수, 윤세의, 송주일 (2009) 지역특성을 고려한 pan 증발량 산정식 평가. 대한 토목학회지. Vol 29. No. 1B. pp 47-62.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. United Nations-Food and Agricultural Organization (FAO), Rome, Italy.
- Douglas, M.E., Jacobs, M.J., Summer, M.D., Ray, L.R. (2009) A comparison of models for estimating potential evapotranspiration for Florida land cover types. Journal of Hydrology. Vol. 373. pp. 366-376.
- Flint, A.L. and Childs, S.W. (1991) Use of the Priestley-Taylor evaporation equation for soil water limited conditions in a small forest clear-cut. Agricultural and Forest Meteorology. Vol. 56. pp. 247-260.
- Irmak, S., Allen, R.G., Whitty, E.B. (2003a) Daily grass and alfalfa-reference evapotranspiration calculations as part of the ASCE standardization effort. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE. Vol. 129. No. 5. pp. 360-370.
- Irmak, S Haman, D.Z. (2003) Evaluation of five methods for estimating class A pan evaporation in a humid climate. Hort Technology. Vol. 13. No. 3. pp. 500-508.