

ORIGINAL ARTICLE

용담댐시험유역 환경영향평가의 신뢰수준 향상을 위한 기상자료의 품질검정

이길하*

대구대학교 토목공학과

Meteorological Data Integrity for Environmental Impact Assessment in Yongdam Catchment

Lee, Khil-Ha*

Department of Civil Engineering, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

Abstract

This study presents meteorological data integrity to improve environmental quality assessment in Yongdam catchment. The study examines both extreme ranges of meteorological data measurements and data reliability which include maximum and minimum temperature, relative humidity, dew point temperature, radiation, heat flux. There were some outliers and missing data from the measurements. In addition, the latent heat flux and sensible heat flux data were not reasonable and evapotranspiration data did not match at some points. The accuracy and consistency of data stored in a database for the study were secured from the data integrity. Users need to take caution when using meteorological data from the Yongdam catchment in the preparation of water resources planning, environmental impact assessment, and natural hazards analysis.

Key words : Outlier, Data integrity, Quality check, Yongdam catchment

1. 서론

환경영향평가 수치모형에서 요구하는 입력 자료로서 온도, 습도, 복사에너지, 풍속 등 기상자료는 필수적이다. 이때 계절 변동이 뚜렷한 우리나라에서는 신뢰할만한 모델링 예측결과를 도출하기 위해서는 관측 자료를 바탕으로 한 모형의 보정 및 검증 과정을 거친 신뢰할만한 모형 입력 자료 확보가 매우 중요하다(Martin and McCutcheon, 1999). 즉, 정확하고 신뢰할 만한 환경영향평가를 수행하기 위해서는 개발 사업에 의한 환경부하의 영향과 더

불어 계절변화를 유발하는 기상인자의 변화도 고려하여야 한다는 것이다. 따라서 이 논문에서는 환경보존에 대한 환경영향평가를 보다 정확하게 수행하기 위한 기상자료의 질과 검정(data integrity)에 중점을 두었다.

기상인자는 수문분석의 반응과 변동뿐 아니라 환경변화에 직간접적으로 영향을 미친다(Brustaert, 1991). 예를 들면 기온은 대기와 수면의 상호반응으로 인하여 수온에 서서히 영향을 미치고, 대기온도의 영향을 받은 수온은 하천 생태계와 수질인자의 반응계수에 2차적으로 영향을 미친다(Snoeyink and Jenkins, 1980). 기본적인

Received 20 August, 2020; Revised 19 September, 2020;

Accepted 22 September, 2020

*Corresponding author: Khil-Ha Lee, Department of Civil Engineering, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea
Phone : +82-53-850-6522
E-mail : khil_ha@yahoo.com

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

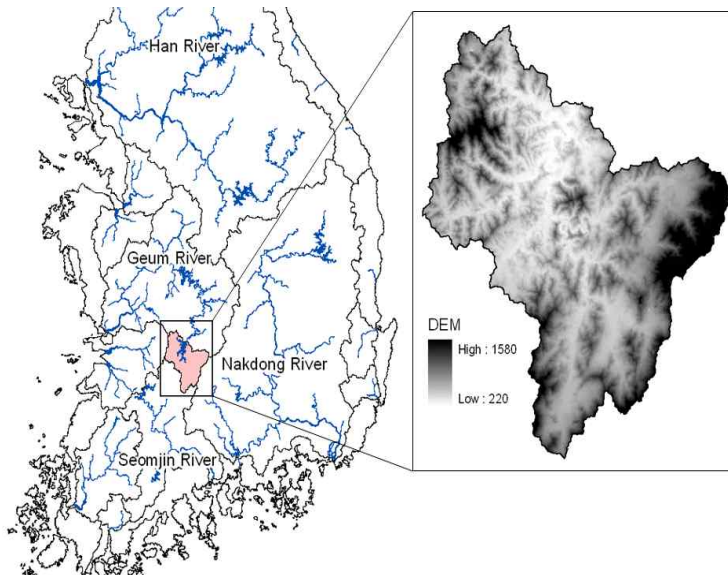


Fig. 1. Location of Yongdam catchment (extracted and edited from National Geographic Information Institute).

기상자료인 온도, 습도, 풍속, 복사에너지를 이용하여 추정되는 실제 증발산량 자료는 유역의 유량에 영향을 미치고, 이 때 계산한 유량은 다시 수질과 가뭄 분석에 2차적으로 영향을 미친다 (Lee and Cho, 2011). 일조량과 일사시간과 관련된 복사에너지는 수온의 열수지(heat budget), 부영영화, 적조와 녹조로 인하여 식물플랑크톤의 밀도에 직접적으로 영향을 준다(Thomann and Mueller, 1987; Taylor, 2005). 용담댐시험유역의 경우 집중 시범지역이므로 자료의 품질과 신뢰도가 보장되어야 향후 연구 확대로 연결될 수 있다. 기상자료에 대한 적절한 검증은 없이 수치모형의 입력 자료로 사용하는 경우에는 자료의 품질이 의심되는 특정시기 및 특정 인자에서는 모형의 예측결과에 큰 오차가 포함될 수 있다. 기상자료는 시간적 특성과 지역적 특성을 동시에 가지고 있기 때문에 연구 지역의 특성과 관련한 자료의 시공간적인 변화양상을 적절하게 반영해야 하므로 (Lee and Cho, 2011) 용담댐시험유역에서도 기상자료의 품질검정은 필수적이다. 이 논문에서 사용한 검증 기법 자체는 본 논문에서 개발하거나 제안하는 방법은 아니며 일반적으로 사용하는 대표적인 기상자료 검증 기법 등을 사용하였다. 우리나라의 경우 기본적인 기상자료는 풍부하지만 관측이 어려운 실제증발산량 자료가 드문 상황에서

도 용담댐시험유역의 기상관측소 및 자동기상관측소(AWS) 등에서 수집한 기상 자료의 품질관리에 대한 노력은 미흡한 실정이다. 이 논문은 용담댐 유역 기상자료의 검증과 보정을 통하여 이상자료를 제거함으로써 후속 연구에서 정확성과 신뢰성을 확보하고 자료의 활용성을 증가시키고자 하는 것이다.

2. 연구대상 및 자료

2.1. 용담댐 유역

금강유역의 최상류 지역에 위치한 용담시험유역은 북위 36° 00'~ 35° 35', 동경 127° 20'~ 127° 45'에 해당하며 용담댐 유역의 면적은 약 930 km²에 이른다. 용담시험 유역 내에는 장수군, 진안군, 무주군의 3개군과 2개 읍 12개면이 위치하고 있고, 유역은 대부분 임야지역인 산악지대로 분류된다 (Fig. 1). 유역 동쪽은 국립공원 덕유산 향적봉(1,614 m)에서 동북으로 금강 지류인 남대천 유역, 동측으로 낙동강의 지류인 황강유역과 경계를 이루고 있고, 유역 서쪽으로는 운장산(1,126 m)을 경계로 만경강 유역과 접하고 있다. 유역의 남쪽으로는 장안산(1,237 m), 사두봉(1,015 m), 신무산(897 m), 팔공산(1,151 m), 성수산(1,059 m), 마이산(678 m)을 경계로

하여 섬진강 유역과 접하고 있다. 수계에 따라 부분적으로 농경지가 분포하고 있으며 일부 농경지에서 사용하는 농약에 의한 비점 오염원 외에는 특별한 토양 오염원이 없는 것으로 사료된다(KIWE, 2014).

용담댐 시험유역에서는 2003년부터 신뢰도 높은 수문자료를 생산하기 위하여 매년 홍수기 유량조사를 실시해 오고 있다. 2008년부터는 토양 수분량을 2011년부터는 증발산량을 신규 수문조사 항목으로 추가하여 에디공분산방법을 이용한 증발산 자료와 기상자료를 수집하고 있다. 용담댐 시험유역은 수문환경인자의 과학적인 측정과 높은 신뢰도를 목적으로 수자원 기초조사를 수행되고 있다(KIWE, 2014).

2.2. 환경영향평가에 영향을 미치는 기상인자

본 논문에서는 환경과 수문학적 측면에서 다양한 경로와 방향으로 영향을 미치는 기본적인 기상인자인 기온, 습도, 복사에너지, 증발산량 등을 중심으로 분석을 수행 제시하였다.

기온은 수집이 쉽고 인간의 생활과 밀접한 연관이 있기 때문에 시간과 공간에 상관없이 자료의 양이 충분하고 품질관리 상태가 매우 좋은 기상자료이다. 환경영향평가에서 기온은 보통 증발산량을 계산하기 위하여 직접적으로 필요하나 복사에너지, 일조량, 일조시간과 같은 에너지관련 정보가 부족한 지역에서는 기온정보를 간접적으로 이용하여 에너지를 추정하는 경우도 빈번한데 하그리브공식(Hargreaves and Samani, 1985; Hargreaves and Allen, 2003)으로 기준증발산량을 계산하는 경우가 대표적인 예이다. 추정된 증발산량은 물수지 균형을 통하여 유량에 관여한다. 따라서 기온이 환경과 수문분석에 영향을 미치는 간단한 경로 개념을 근거로 보면 환경에 영향을 미치는 모든 생화학적 반응요소, 수생물의 성장과 호흡활동, 수질의 변동성 등이 기온의 영향을 받는다고 볼 수 있다. 수집된 기온 자료의 품질 검증은 최고 기온, 최저기온 자료와 같이 연 변화를 도시하면 가시적으로 자료의 품질 수준을 쉽게 파악할 수 있다(Irmak et al., 2003). 가장 당연하고 기본적인 기준은 “최저기온 ≤ 평균기온 ≤ 최고기온” 조건으로 표현할 수 있다.

습도는 증발량 모델링과 추정 과정에서 직접적으로 사용되는 정보이다. 관측 자료는 상대습도이기 때문에 최대는 100%, 최소는 0% 한계를 가진다. 여름이 습하고

겨울이 건조한 우리나라 기후조건 양상을 반영하여 전체적인 연간 변화 양상이 합리적이고 적절한 수준인가를 가시적으로 판단하는 것이 가능하다.

태양복사에너지(일사량)는 기온, 습도 등의 정보에 비하여 상대적으로 관측이 부족하여 연구나 사업 분석 시 약점이 될 수 있는 기상인자이다. 태양복사에너지는 기온과 수온변화를 주도하는 에너지원이며 광합성을 하는 식물플랑크톤의 성장에 영향을 미치는 기상인자로서 환경영향평가에서는 매우 중요하고 민감한 영향인자이다. 복사에너지는 증발산량의 계산을 지배하여 물수지 분석과 최근 중요한 문제로 부각되는 적조, 녹조 등의 환경문제와 직결되어 있기 때문에 적절한 환경영향평가를 수행하기 위해서는 복사에너지 자료의 품질검정은 필수적이다. 즉, 복사에너지는 증발량에 직접적인 영향을 미치기 때문에, 강수량과 더불어 환경영향평가의 주요 대상이 되는 하천 유량에 영향을 미치게 되고, 하천 유량은 오염물질의 생화학적 반응과 희석에 직접적으로 영향을 미친다. 복사에너지 자료 검증을 위한 기본개념은 청정한 하늘(clear sky)에서 가능한 최대복사에너지는 태양의 위도와 경도, 연중 시기 정보를 이용하여 이론적으로 계산할 수 있다는 것이다(Allen 1997; Lee, 2009; Lee 2010). 실제 구름과 미세먼지 등의 영향으로 복사에너지가 계산된 이론적인 양보다는 항상 적게 나타나고 구름이 없는 맑은 날은 이론적인 최대 복사에너지에 도달하여야 한다. 연중 포락선(envelop) 변화양상이 이론적인 가능 최대복사에너지와 차이를 보이는 경우에는 관측 문제라고 판단하고 이론적인 최대 복사에너지에 맞도록 조정하는 것이 합리적이다.

실제 증발산량은 지표면으로부터 공기로 유입되는 물의 총량을 나타내는 질량의 개념이다. 잠열(latent heat flux)은 똑같이 지표면에서 공기로 유입되는 물의 총량을 나타내는 에너지 개념이다. 이론적으로는 두 개의 물리량은 같은 것으로 정확하게 일치하여야 한다. 경우에 따라서는 실제증발산량을 잠열로 또는 그 반대방향으로 전환을 한다. 한 관측소에서 발생한 자료라면 이 두 개의 수문인자는 정확히 일치한다.

3. 기상자료의 품질검정

이 연구는 용담댐 유역 기상자료의 기후 장기 변동

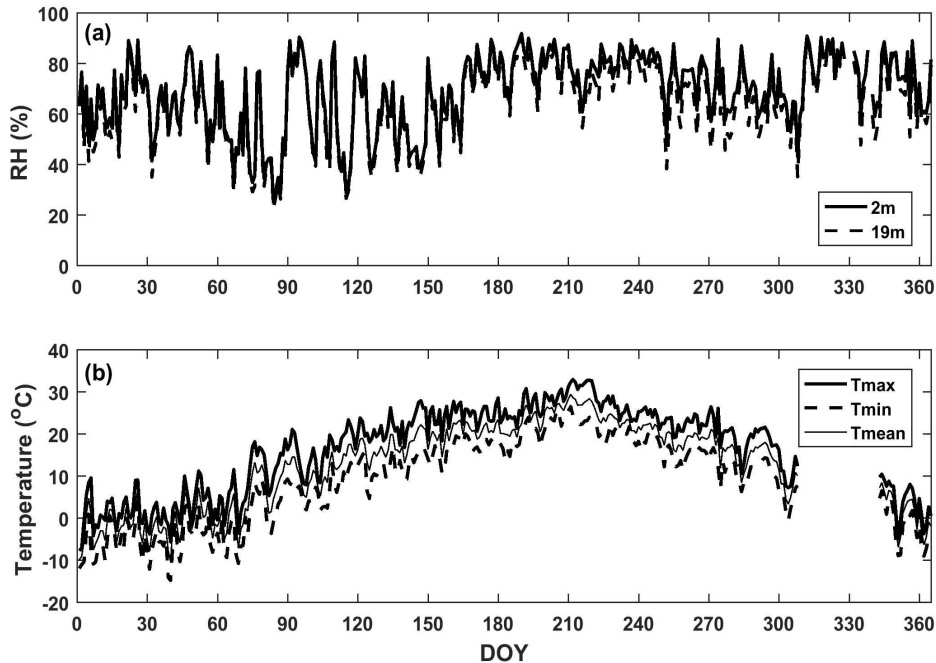


Fig. 2. Relative humidity at the height of 2m and 19m from the ground surface (a), Interannual variation of temperature (b) as a function of DOY(day of year).

분석이 아니라 실제증발산량의 입력 자료로 활용하기 위한 자료의 품질검정에 있기 때문에 이상 추세에 대한 진단은 제외하고 대상기간 동안의 자료 품질에 집중하였다. 우리나라는 건조시기와 습윤 시기가 뚜렷하게 구분되는 온대 기후로 연중 강우의 약 70%가 여름에 발생하며, 용담댐 유역은 내륙 지역으로 일교차가 해안 지역보다 높다는 것을 인식하면서 분석하였다.

일반적으로 기온측정은 장비 기술의 발달로 인하여 높은 정확도와 신뢰도를 가지고 있다. 따라서 간단한 시각적 도식(plot)만으로도 이상 자료를 판단할 수 있으나 계절적 변동성과 일 변동성이 크기 때문에 간단한 시계열도(time series)를 이용한 자료검증으로 전반적인 변화양상을 파악한다. 이상자료 판단은 분석 자료의 적절한 처리와 통계를 활용하였는데 일최고기온(T_{max})과 일최저기온(T_{min}), 일평균기온(T_{mean})의 거동에 대하여 물리적 합리성을 판단하였다. Fig. 2에서는 각각 최고기온, 최저기온, 평균기온의 연변화 양상 및 최고기온-평균기온, 최저기온-평균기온, 일교차(DTR) 정보를 볼 수 있다.

봄과 가을에 해당하는 시기에 일교차가 약 10°C 이상으로 크게 나타나고 기온자료는 대체로 양호한 것으로 파악되었다.

우리나라 상대습도는 여름 습윤 시기에는 70~80%에 이르고 건조기후인 적어도 경우 20~30%를 넘어서는 것이 일반적이다. Fig. 2는 용담댐 유역의 일평균 상대습도를 보여준다. 습도자료도 기온과 같이 매우 변동성이 크기 때문에 전반적인 변화양상을 제외하고는 이상 자료를 감지하기는 쉽지 않다. 상대 습도는 계절적인 경향을 뚜렷하게 보이고 이러한 경향은 전체적인 자료변화양상을 이용한 자료 품질 검증에서 매우 중요한 기준으로 사용될 수 있다. 그러나 Fig. 2에서 보듯이 겨울 건조시기에 상대습도가 높게 나타나고 DOY 330 부근은 결측치가 발견된다. 이는 상대습도 자료를 활용할 시 신중한 검토와 주의가 필요함을 의미한다. 한편, 2m 관측 상대습도가 19m 관측 상대습도보다 일관성 있게 높다는 것은 물리적으로 합리적이다.

일반적으로 최저기온(T_{min})와 이슬점온도(T_{dew})는

상관관계가 상당히 높은 것으로 알려져 있다. 그래서 습윤 지역에서는 이슬점온도의 관측이 어렵고 구하기가 어려워 대신에 최저기온을 사용하기도 한다. Fig. 3은 최저기온과 이슬점온도의 상관관계를 보여준다. 이슬점 온도는 평균기온과 상대습도의 함수로 표현되며, 다음과 같은 관계식을 이용하여 계산한 이슬점 온도를 계산하여 상관관계 분석에 이용하였다(Johnson, 1991).

$$e = \frac{e_s RH}{100} = 6.112 \cdot e^{\left(\frac{17.67 \cdot T}{T+243.5}\right)} \cdot \frac{RH}{100} \quad (1)$$

$$T_{dew} = \frac{243.5 \cdot \ln\left(\frac{e}{6.112}\right)}{17.67 - \ln\left(\frac{e}{6.112}\right)} \quad (2)$$

여기서 e , e_s 는 각각 실제 수증기압, 포화수증기압이며, RH(%)는 상대습도, T는 평균기온이다. 최저기온과 이슬점온도의 상관관계는 0.93으로 나타났다. 최저 기온과 이슬점온도의 일반적인 차이인 3~4°C를 부분적으로 벗어나는데 특히 봄 가을철에 벗어나는 경향이 있다. 그러나 중요부분인 여름철에서는 범위 내에 들어 전반적으로 양호한 것으로 파악되었다.

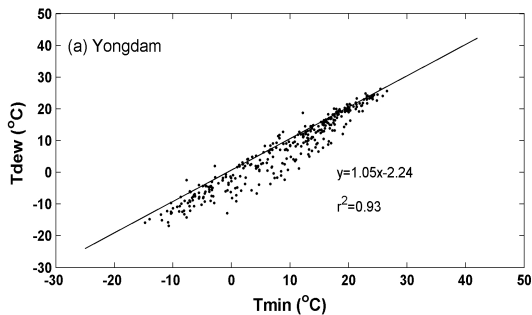


Fig. 3. A scatter plot for minimum temperature and dew point temperature.

복사에너지는 구름이 없는 맑은 날씨를 가정하여 최대가능 복사에너지를 유도하는 이론식을 활용하여 가능한 최대값을 계산한 후 품질관리에 이용한다. 지구 대기 상부에서의 이론적인 복사에너지(Extra-terrestrial solar radiation, R_a [MJ/m²-day])은 다음과 같다(Allen, 1996; Allen et al., 1998).

$$R_a = 0.0864K \frac{G_{SC}}{\pi} d [\omega_s \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (3)$$

$$d = 1 + 0.033 \cos(2\pi J/365) \quad (4)$$

여기서, G_{SC} 는 태양상수(1,367W/m²), d 는 지구와 태양의 상대거리(astronomical units, 식 (4) 참조, 식 (3)과 유사), K 는 대기상층에서 지표면으로의 맑은 하늘 조건에서의 전달계수로 0.7~0.8 정도의 범위(Allen, 1996; 본 연구에서는 0.75 적용)이다.

Fig. 4는 연 중 복사에너지 변화양상을 최대 가능 복사에너지를 중첩하여 도시하고 있다. 기온과 상대 습도 같이 상대적으로 정확도가 높은 기상인자에 비해 복사에너지는 흔히 오차나 오류를 쉽게 발견할 수 있다. 복사에너지는 센서 주변의 그늘에 의하여 관측기간이 늘어날수록 오차에 노출될 가능성이 커진다. 또 센서 위에 새가 앉는다거나 이물질이 센서를 가려서 일시적인 오차를 발생시키기 때문에 꾸준하면서도 지속적인 관리가 필요하다.

Fig. 4에서 보면 봄과 습윤 시기보다 건조기에 관측된 일조량이 최대 복사에너지에 더 근접함을 볼 수 있다. 이는 우리나라의 기후 특성상 여름철에 강우가 잦고 구름이 많이 발생하는 일반적인 현상이다. 그러나 일 년 내내 꾸준히 최대값에 미치지 못하는데 이런 지점은 장비의 보정(calibration)이 의심된다. 따라서 복사에너지 자료를 이용하는 연구자는 자료를 보정(adjustment)하여 사용하여야 한다(Allen, 1997; Lee, 2010). 이 연구에서는 간단하게 일정한 환산계수를 곱하여 복사에너지 자료를 보정하는 방법을 제안하며, 보정 전과 보정 후의 결과를 Fig.4에 제시하였다. 복사에너지의 품질검정은 복사에너지를 입력 자료로 필요로 하는 증발산량모형, 수질모형, 생태모형 등에 있어서 매우 중요하다.

실제 증발산량과 잠열은 같은 물리량으로 정확하게 일치하여야 한다. 따라서 질량 차원에서 에너지 차원 또는 반대 방향으로의 전환으로 품질 검증이 가능하다. Fig. 5 위쪽에서는 실제 증발산량과 잠열의 산포도를 보여준다. 이상적으로는 결정계수가 1이 되어야 하나 불일치를 보인다. Fig. 5 아래쪽에서는 순복사에너지와 잠열, 현열, 토양열의 합에 대한 산포도를 보여준다. 일관성있게 순복사에너지가 더 큰 값을 보인다. 한 관측소에서 발생한 자료라면 이 두 개의 수문인자는 정확히 일치해야

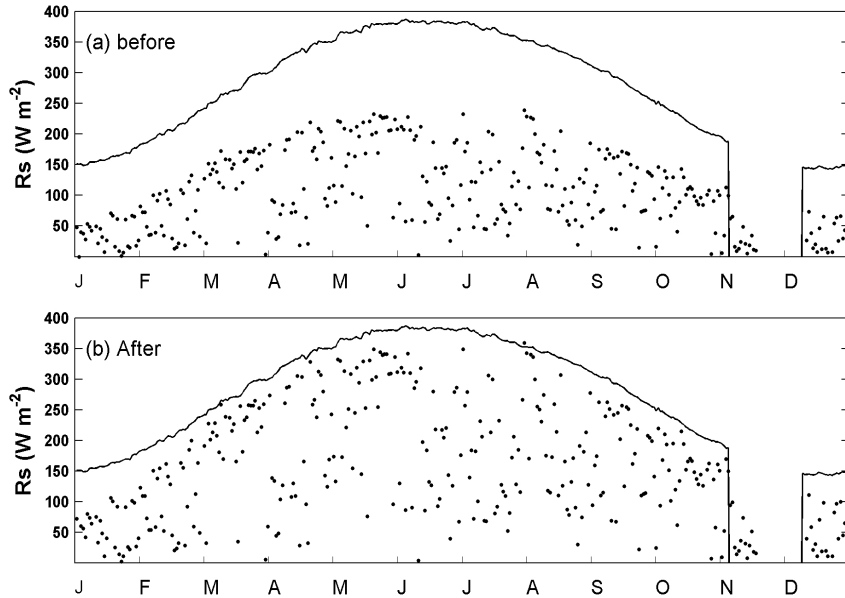


Fig. 4. (a) Observed incoming solar radiation under the probable maximum envelop and (b) adjusted incoming solar radiation (Correction factor=1.5).

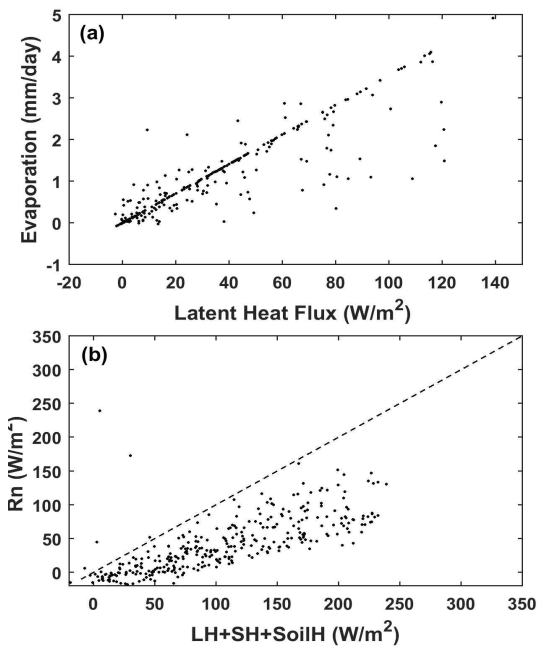


Fig. 5. A scatterplot of evapotranspiration vs latent heat flux (a), and net radiation vs sum of latent, sensible heat, and soil heat flux (b).

함에도 상당한 불일치성을 보여준다. 이는 용담댐 유역의 복사에너지자료와 증발산량 관측 자료의 신뢰성에 의심이 감을 의미한다.

PT-JPL을 이용하여 실제증발산량을 계산하여 용담댐 시험유역 관측값과 비교해 보았다. PT (Priestley-Taylor) 모형(Priestley and Taylor, 1972)은 잠재증발산량을 산정하기 위하여 PM (Penman-Monteith) 공식(Monteith, 1965)으로부터 만들어졌다(Lee et al., 2016). PT-JPL 모형에서는 토양의 건조한 정도를 나타내는 수문학적 매개변수, 식생의 건강한 정도와 양, 식생온도를 나타내는 생태학적 매개변수, 식생이 흡수한 복사에너지 정도를 나타내는 광학적 매개변수가 있다. PT-JPL를 이용하여 실제증발산량을 산정하기 위해서는 순복사에너지, 온도, 습도 등의 기상자료가 필요하며, 자료의 신뢰성이 계산 과정에 전파되어 증발산량 산정의 결과를 지배한다. Fig. 6에서 x축은 관측값을 보여주며 y축은 계산결과를 보여준다. Fig. 6은 수년간 축적된 용담댐시험유역 관측 자료 중에 유일하게 실제증발산 산정에 필요한 입력 자료가 모두 구비된 2015년의 결과를 보여준다. 자료의 양이 많지 않으나 결과 분석에 대한 보조 역할은 충분히 수행할

수 있다고 판단된다. 예상한 대로 계산값과 관측값의 결정계수가 0.43으로 정확도가 떨어진다. 또 실제증발산량의 관측값에서 일관성이 부족하여 연구 활용성이 떨어진다.

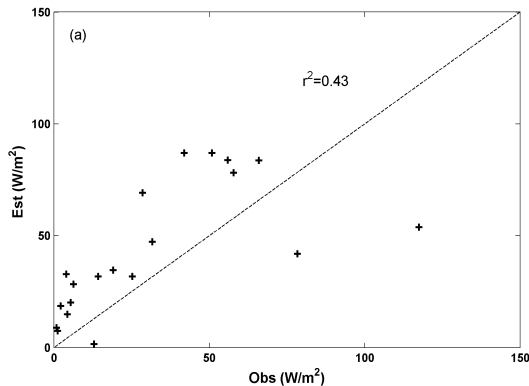


Fig. 6. A scatterplot of observed evapotranspiration vs estimated latent heat flux by PT-JPL for the year of 2015.

4. 결론 및 제언

환경영향의 자연적인 변동성분과 인위적인 변동성분에 직접적·간접적인 영향을 미치는 기상인자의 품질검정을 수행하였다. 실제증발산량의 산정 결과에 영향을 미치는 주요한 인자, 즉 기온, 습도, 복사에너지 자료 등을 이용한 수자원 분석은 기상자료의 품질 그 자체에 따라 좌우되기 때문에 기상자료의 품질관리는 증발산량모형에서 중요하다. 이상 자료에 대한 적절한 처리와 더불어 부분적으로 한계 범위 내에 들어가는 자료에 대한 품질관리를 기상인자의 변화 특성을 고려한 제약조건을 이용하여 수행하였다. 전반적으로 최고기온, 최저기온, 상대습도, 이슬점온도 등은 양호한 것으로 나타났으나, 복사에너지는 일 년 내내 꾸준히 최대값에 미치지 못하는 부분이 발견되는데 이런 지점은 장비의 보정(calibration)이 의심된다. 이 자료를 이용하여 증발산량을 계산하여 하천수량을 추정하거나 환경영향평가에서 수생물의 성장률을 계산하는 경우 오차가 전파될 수 있기 때문에 자료의 적절한 보정과정 필요하다. 잠열과 실제증발산량은 불일치를 보이며 에너지균형이 맞지 않는다. 이는 심각한 관측 오류로서 장비의 문제인지 기술의 문제인지는

확실하지가 않다. 그러나 관측 장비의 정확도, 정기 점검과 장비 보정, 장비 불량 장비 등과 같은 기본적인 하드웨어적인 문제는 해결할 수 없으나 관측 자료의 환경적인 문제와 관측결함에 대한 사후 관리 정도의 문제는 기본통계를 활용하여 처리할 수 있으리라 판단한다. 향후 관측이 어렵거나 장기관측으로 인한 인력과 비용 문제로 인하여 가용할 수 있는 자료가 매우 부족한 실정에서 자료부족의 한계를 극복하기 위한 노력에 박차를 가할 것으로 기대한다.

감사의 글

이 연구는 2019학년도 대구대학교 학술연구비지원으로 수행되었음.

REFERENCES

Allen, R. G., 1996, Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE*, 122(2), 97-106.

Allen, R. G., 1997, Self-calibrating method for estimating solar radiation from air temperature, *Journal of Hydrologic Engineering-ASCE*, 2(2), 56-67.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998, Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e07.htm>.

Brutsaert, W., 1991, *Evaporation into the atmosphere: theory, history and application*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.

Hargreaves, G. H., Allen, R. G., 2003, History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE*, 129(1), 53-63.

Hargreaves, G. H., Samani, Z. A., 1985, Reference crop evapotranspiration from temperature, *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99.

Irmak, S., Allen, R. G., Whitty, E. B., 2003, Daily grass and alfalfa-reference-Evapotranspiration calculations as part of the ASCE standardization effort, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering- ASCE*, 129(5), 360-370.

Johnson, J. E., 1991, Pacific Marine Environmental Laboratory, <https://www.pmel.noaa.gov/pubs/PDF/john1272/john1272.pdf>.

KIWE, 2014, 2013 Yongdam experimental catchment

- manage white book, KIWE-WRRC-14-01, Daejeon, S. Korea.
- Lee, G., Kim, S., Hamm, S., Lee, K., 2016, Computation of actual evapotranspiration using drone-based remotely sensed information: preliminary test for a drought index, *Journal of Environ. Sci. Int.*, 25, 1653-1660.
- Lee, K., 2009, Predicting Incoming Solar Radiation and Its Application to Radiation-based Equation for Estimating Reference Evapotranspiration, *J. Irrigation and Drainage Engineering-ASCE*, 135(5), 609-619.
- Lee, K., 2010, Constructing a non-linear relationship between the incoming solar radiation and bright sunshine duration, *International Journal of Climatology*, 30, 1884-1892.
- Lee, K., Cho, H. Y., 2011, Climate Data Qualification for Water Quality Impact Assessment, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 20(5), 601-613.
- Martin, J. L., McCutcheon, S. C., 1999, *Hydrodynamics and transport for water quality modeling*, 1st ed., Lewis Publishers, Boca Raton, 794.
- Monteith, J. L., 1965, Evaporation and environment, *Symposia of the society for experimental biology*, 19, 205-224.
- Priestley, C. H. B., Taylor, R. J., 1972, On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters, *Mon. Weather Rev.*, 100(2), 81-92.
- Snoeyink, V. L., Jenkins, D., 1980, *Water chemistry*, John-Wiley & Sons, New York, 463.
- Taylor, F. W., 2005, *Elementary climate physics*, Oxford University Press, 234.
- Thomann, R. V., Mueller, J. A., 1987, *Principles of surface water quality modeling and control*, Harper Collins Publishers, New York.
-
- Professor. Khil-Ha Lee
Department of Civil Engineering, Daegu University
khil_ha@yahoo.com