

## 기상요인이 일천궁의 증발산량 변화에 미치는 영향

서영진<sup>1</sup> · 남효훈<sup>1</sup> · 장원철<sup>1</sup> · 김종수<sup>2</sup> · 이부용<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>경상북도농업기술원 봉화약용작물연구소, <sup>2</sup>경상북도농업기술원 유기농업연구소, <sup>3</sup>대구가톨릭대학교 환경과학과  
(2018년 9월 17일 접수; 2018년 11월 28일 수정; 2018년 12월 4일 수락)

### Effect of Meteorological Factors on Evapotranspiration Change of *Cnidium officinale* Makino

Young-Jin Seo<sup>1\*</sup>, Hyo-Hoon Nam, Won-Cheol Jang, Jong-Soo Kim and Bu-Yong Lee

<sup>1</sup>Bonghwa Herbal Crop Research Institute, Gyeongsangbuk-do A.T.A., Bonghwa, 36229, Korea

<sup>2</sup>Organic Agriculture Research Institute, Gyeongsangbuk-do A.T.A., Uiseong, 37339, Korea

<sup>3</sup>Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Gyeongsan, 38430, Korea

(Received September 17, 2018; Revised November 28, 2018; Accepted December 4, 2018)

#### ABSTRACT

Evapotranspiration (ET) information is needed for many applications in agricultural and environmental resource management because crop yields, plant growth and physiological characteristics are primarily water limited. This study was conducted to evaluate the diurnal change of ET using electronic weighing lysimeter and to determine whether the ET of *Cnidium officinale* Makino could be manipulated through meteorological factors such as solar radiation, windy conditions and air temperature etc., Pot has a diameter of 35 cm and an height of 38 cm. A disturbed soil of sandy loam (coarse, mixed, mesic family of Dystric Fluventic Eutroudepts) within lysimeter has a mass of approximately 40.0 kg. In 2017, 10-minute recordings of data were used for measuring actual ET, and also evaluating a relationship between ET and meteorological factors during from 2 Aug. to 6 Aug. The maximum daily ET of *Cnidium officinale* was  $44.04 \pm 3.949$  g per hour in lysimetric measurements. Diurnal changes of ET was highly correlated with solar radiation ( $r^2 = 0.7778$ ) and followed by wind speed ( $r^2 = 0.6400$ ). But on the other hand, air temperature was not consistent with ET ( $r^2 = 0.2260$ ). This results imply that ET of *Cnidium officinale* seems to be mainly governed by radiation energy in clear days, and approximately 40% of solar radiation is likely to be converted into ET. Therefore, weighing lysimeter can be used to accurately estimate actual ET and is expected to attract a great deal of attention to reliable application of water management in agriculture.

**Key words:** Lysimeter, Evapotranspiration, *Cnidium officinale* Makino, Solar radiation, Wind speed



\* Corresponding Author : Young-Jin Seo  
(francisc@korea.kr)

## I. 서 론

토양-식물-대기 계(Soil-plant-atmosphere system)에서 수분의 이동에 대한 정보는 농작물의 물관리 뿐만 아니라 환경중 물질과 에너지 이동을 이해하는데 매우 중요한 요소이다. 토양-식물 계로 수분은 비, 눈, 이슬 등에 의해 공급되며 지표면의 증발이나 식생의 증산작용에 의하여 수증기로 변화되어 대기중으로 이동하게 되는데 이것을 총칭하여 증발산이라고 한다. 지표면 증발산은 주로 바람, 일사, 기온 및 습도 등의 기상요소에 의하여 그 양이 결정되는데 식물의 물수지와 환경중 에너지 순환에 매우 중요한 역할을 하므로 증발산량 산정기술에 대한 연구가 오래 전부터 이루어지고 있다.

정교한 관측을 기반으로 한 에디 공분산 방법은 미기상학적/통계학적 분석에 근거한 자료의 품질관리가 필요한 점이 있음에도 불구하고 넓은 지역을 대표하는 연속적인 관측이 가능한 장점이 있어 많은 연구가 수행되고 있다(Kwon et al., 2007; Hong et al., 2009; Kwon et al., 2009). 또한 전통적인 기상관측 장비를 활용하는 Bowen Ratio 방법(Rana and Katerji, 2000), 기상요소로부터 가능 증발산량을 추정하기 위하여 Food and Agriculture Organization (FAO)의 FAO Penman-Monteith, Penman-Kimberly 1996, FAO-24 Radiation 등의 방법(Yun et al., 2009; Bakhtiari et al., 2011)과 대형증발계를 이용한 연구가 수행되었다(Han and Lee, 2005). 현장 관측시 발생하는 지역적 제한을 극복하고 전체 지역에 대한 증발산의 공간분포, 시계열적 추세변화 조사를 위하여 readGrADSWrapper와 같은 격자형 기상자료 처리도구 활용(Yoo et al., 2017), 위성자료(Lim et al., 2010)와 드론 원격정보(Lee et al., 2016)를 활용하여 지표면 토양습수 및 식생특성을 반영한 증발산량 평가 연구가 수행되었다.

라이시미터는 실제 증발산량과 강우, 이슬 및 안개에 의한 수분유입량을 직접 측정하는 유일한 방법으로 보고하였다(Schrader et al., 2013; Peters et al., 2014). Marek et al.(1988)은 무게 45Mg (면적 9m<sup>2</sup>, 깊이 2.3m)의 불교란 식양토를 대상으로 증발산량을 측정한 결과 0.05mm의 수분변화까지 관측하였으며 Martin et al.(2001)은 천근성 작물을 식재한 약 1Mg 정도의 토양을 대상으로 ±0.12kg의 재현성을 가지는 소형 라이시미터를 활용하여 작물의 물 사용량에 대한

평가를 하였다.

또한 라이시미터로 벼와 해바라기의 시간별 증발산량을 측정하여 Penman-Monteith와 다른 증발산량 측정 방법간 상관관계 분석에 대한 연구(Tyagi et al., 2000)와 바람과 일사가 강한 건조지역에서 수수의 증발산량 평가를 위하여 Penman-Monteith, Jensen-Haise, Priestley-Taylor model의 정확성 검증에 라이시미터를 사용하였으며(Steiner et al., 1989), Colaizzi et al.(2006)은 위성과 항공장비에 지표온도 관측센서를 장착하여 증발산량의 지역적 분포 및 공간적 분포를 조사해서 5가지 증발산량 추정 모델식에 의한 일 변화량을 계산 한 후 라이시미터에 의한 실측값과 비교하여 모델의 효용성 평가 연구를 수행하였다.

넓은 면적의 증발산 분포지도 작성을 위하여 고해상도 IKONOS 영상자료와 라이시미터에 의한 실측 증발산량과의 관계를 구명하여 모델 개발 연구를 수행하였다(Yang et al., 2014).

우리나라에서도 전원 공급이 어려운 야외에서 증발산량의 안정적인 연속관측을 위하여 로드셀과 데이터 로거를 이용하여 1분 마다 측정 가능한 라이시미터를 개발하였는데 잔디로 피복된 토양에서 증발산량은 단 파복사량의 46%에 해당되며 순복사의 일 변화에 따른 지표면으로 에너지의 유입과 유출에 따른 증발산량 변화 분석(Lee and Haginoya, 2011), 고도와 기상요소에 따른 증발산량의 일 변화 특성 연구가 수행되었다(Lee et al., 2012).

일천궁(*Cnidium officinale* Makino)은 산형과(Umbelliferae)에 속하는 다년생 초본으로 지하부 근경을 건조한 후 세절하여 약재로 사용하고 있다. 국내에서는 식품에 제한적 원료로 사용이 허가되어 있고 보혈, 진정, 진통의 효과가 뛰어나 한방에서는 교애궁귀탕, 사물탕, 궁귀조혈음 등 약재로 사용되고 월경불순, 부인과 질환에 널리 사용되는 생약재이다(Oh et al., 2010). 최근에 항산화(Lee et al., 2002) 및 항진균활성(Yi, 2004), 뇌질환 관련 효능(Kim et al., 2003) 등 약리활성 연구가 보고되어 산업소재로 활용이 증가되고 있다.

하지만 일천궁은 고온과 가뭄에 약하기 때문에 기후온난화로 인한 재배면적이 크게 줄어들어 90년대 중반 1,000ha에서 2016년은 약 100ha 수준으로 재배면적이 감소하였다(MAFRA, 2017). 따라서 안정적인 원료생산을 위한 기술개발이 필요한 실정이나 기상조건에 따른 증발산량 평가, 적정 토양수분 등 수분이용

특성 관련 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 라이시미터를 이용하여 고온기 일천공의 증발산량을 평가하고 증발산에 영향을 미치는 기상인자를 조사하여 안정적인 생산을 위한 환경관리 기초자료를 확보하고자 수행을 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 라이시미터 제작

라이시미터는 Fig. 1과 같이 토양시료를 담은 용기의 크기는 직경 34.6 cm, 높이 38 cm로 스테인레스 재질로 제작을 하였다. 복사와 온도변화에 의한 영향을 최소화 하기 위하여 폴리우레탄 재질로 된 완충재를 용기의 내·외부에 피복하였고, 바람이나 일사에 의한 영향을 최소화하기 위하여 20 mm 두께의 단열재를 라이시미터 포트 외부에 부착하였으며 강우시 과잉의 토양수분에 의한 생육이 억제되는 것을 막기 위해 용기하단에 배출구를 설치하였다. 라이시미터 용기 상부의 단면적은 939.8 cm<sup>2</sup>이고 40 kg의 상주통(Sangju series)에 해당하는 사양토(coarse loamy, mixed, mesic family of Dystric Fluventic Eutroudepts)를 충전하고 용기 하단에 0.01%의 측정 분해능을 제공하는 20 kg 용량의 로드셀 3개를 설치하였으며 로드셀의 신호는 별도의 증폭없이 CR1000 데이터로거

(Cambell Sci.사)에 연결하여 매 1분마다 무게변화를 측정하여 10분 간격 평균자료를 저장하였다.

### 2.2. 라이시미터 설치 및 관측

라이시미터는 경상북도농업기술원 봉화약용작물연구소 시험포장(경도 128° 48' 36", 위도 36° 53' 54", 해발고도 315 m)에 일반적으로 약초재배가 많이 되는 지형인 곡간지로 분류된 곳에 설치를 하였다. 포장에서 생육중인 일천공을 라이시미터에 이식하고 토양에서 수분증발을 방지하기 위하여 검정색 피복비닐로 덮은 후 일주일 동안 생육을 안정시켜 증발산량을 측정하였다. 미기상 자료의 관측시설은 라이시미터 부근의 1 미터 높이에 설치하여 라이시미터의 증발산 관측자료와 상관관계를 조사하였다. 대기중 기온과 상대습도는 HMP 155 센서(VAISALA사), 풍속은 프로펠러형 풍향/풍속 센서(R.M YOUNG사), 일사량은 CMP 6센서(KIPP & ZONEN사)를 사용하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 3.1. 기상 관측 자료

본 연구에서는 구름의 영향이 거의 없었고 날씨가 맑은 2017년 8월 2일부터 8월 5일까지의 4일간에 대하여 분석을 하였다. Fig. 2와 같이 일 최고기온은 29.

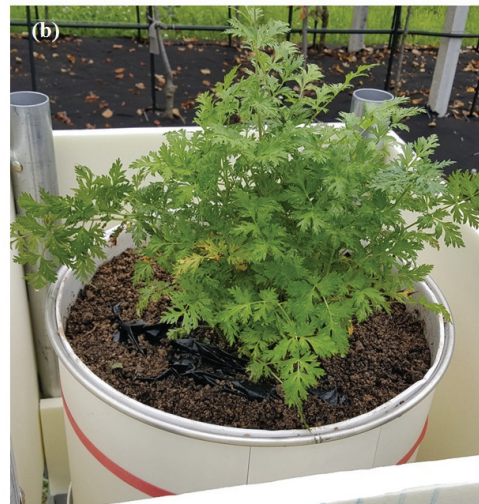
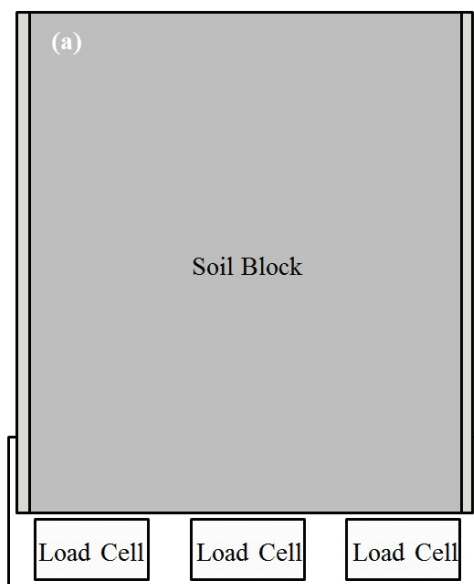
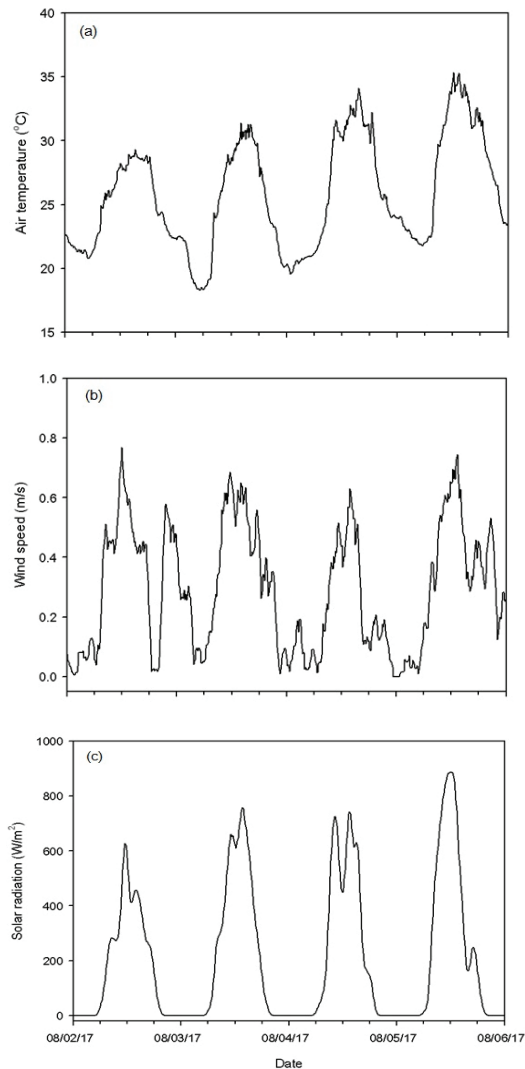


Fig. 1. Diagram (a) and photo (b) of lysimeter for evapotranspiration measurements.

3°C에서 35.3°C를 나타내었고 최저기온은 18.3°C에서 21.8°C 정도로 일교차가 잘 나타난 날씨 상태를 보였다. 8월 2일 20시 20분 이후 풍속이 강해진 것을 제외하고는 낮 시간 동안은 강하고 야간에는 약해지는 전형적인 일 변화 주기의 바람이 불었다. 일사량 변화는 전형적인 맑은 날의 종모양 일사 형태를 나타내었는데 일 최대 단파복사량은 8월 2일은 628 W/m<sup>2</sup>로 가장 낮았고 8월 5일 12시경 888 W/m<sup>2</sup>로 가장 높게 나타났다.



**Fig. 2.** Daily changes of air temperature (a), wind speed (b) and solar radiation (c) during the experiment period.

구름이 없고 날씨가 맑을 때 일사량은 일출과 함께 증가하였다가 태양의 고도가 최고가 되는 정오경에 그 값은 최대가 되고 오후에는 다시 감소하게 되며 기온과 습도의 일교차가 나타나고 지표면의 역전층이 소멸하는 일출 이후 상층 바람의 운동에너지가 지표면 하부로 전달되어 풍속은 점차 증가하였다가 일몰과 함께 감소한다고 하였다. 구름의 영향이 없는 청명한 기상 상태는 라이시미터에서 관측된 증발산 자료와 직접적인 영향인자인 일사량과의 정량적인 관계분석에 양호한 조건이라고 하였다(Lee and Haginoya, 2011). 따라서 본 연구에서도 유사한 기상조건을 나타내어 라이시미터에 의한 증발산량 관측과 기상요소간 상관관계 분석에 적합한 조건으로 판단되었다.

### 3.2. 증발산량 변화

Fig. 3, Fig. 4 및 Fig. 5는 기온, 풍속 및 일사량과 일천공의 증발산량 변화를 나타낸 것으로 전체적인 그래프의 모습은 일출과 함께 증가하여 정오경에 높아지고 오후에는 다시 감소하는 종모양의 일 변화를 나타내었고 야간에는 증발산이 매우 미미함을 알 수 있었다. 관측 기간 동안의 증발산량은 시간당 39.4g에서 48.8g까지 분포를 나타내었으며 증발산량의 변화 그래프는 기온보다는 풍속과 일사량 변화와 유사한 경향을 보였다.

Lee *et al.*(2012)은 라이시미터를 이용한 제주지역 해발 고도별 증발산량 관측시 맑은 날 일사량의 증가와 감소 패턴과 동일하게 증발산이 변화한다고 보고하였으며 야간에는 증발산이 거의 일어나지 않는 것으로 보고하였으며, Han and Lee(2005)는 표면 증발은 풍속과 수증기압에 영향을 받으며 풍속이 증가할수록 대기건조에 따른 증발량 증가 속도가 빨라진다고 하였다.

Hatfield *et al.*(1984)는 목화, 사탕수수, 콩, 알팔파 등의 작물을 대상으로 균락의 피복 정도에 따른 증발산량을 중량식 라이시미터를 이용하여 조사한 결과 복사 유입에 따라 균락의 표면온도가 상승을 하여 증발산량이 증가하지만, 순 복사량과 더 밀접한 상관관계를 나타낸다고 하였다. 콩은 엽면적 지수가 증가함에 따라 증발산량이 증가하는데 비선형 회귀분석 결과 0.72 - 0.86의 결정계수를 나타내므로 엽면적과 같은 작물의 생육상태가 증발산량 변화에 영향을 준다고 하였다(Al-Kaisi *et al.*, 1989). 재배기간 경과함에 따라 Fig. 1에서 나타낸 천공의 엽면적이 증가하면 증발산

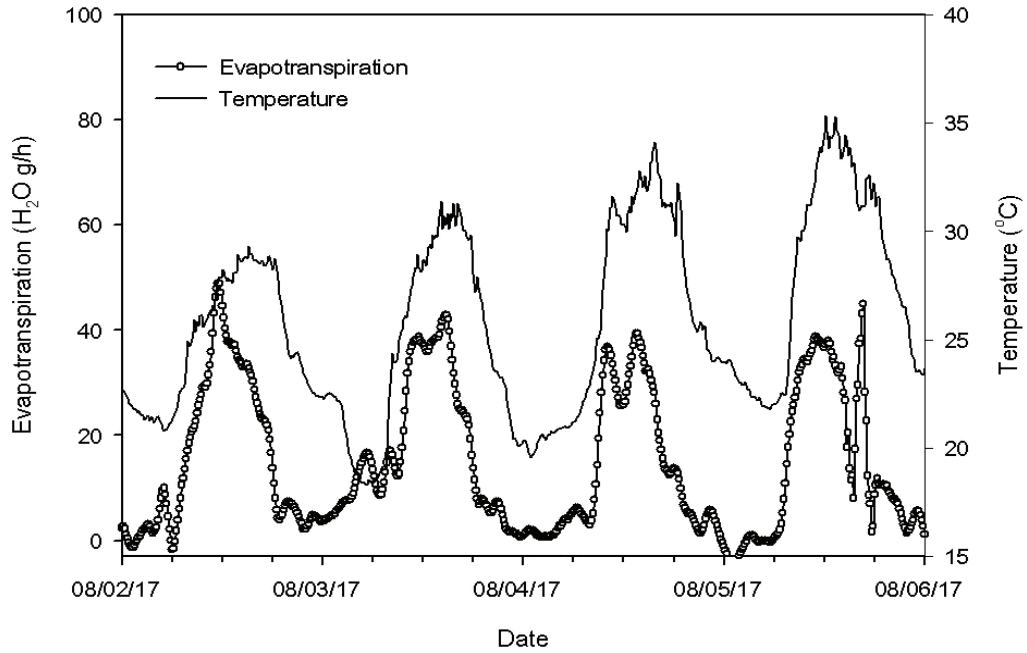


Fig. 3. Comparisons of evapotranspiration of *Cnidium officinale* Makino from lysimeter and air temperature during the experiment period.

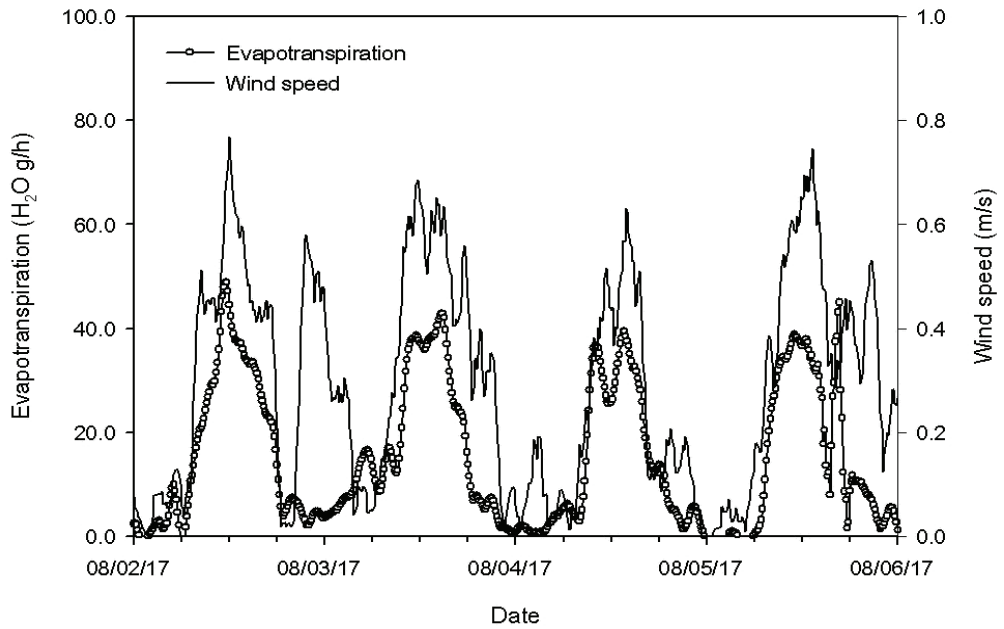
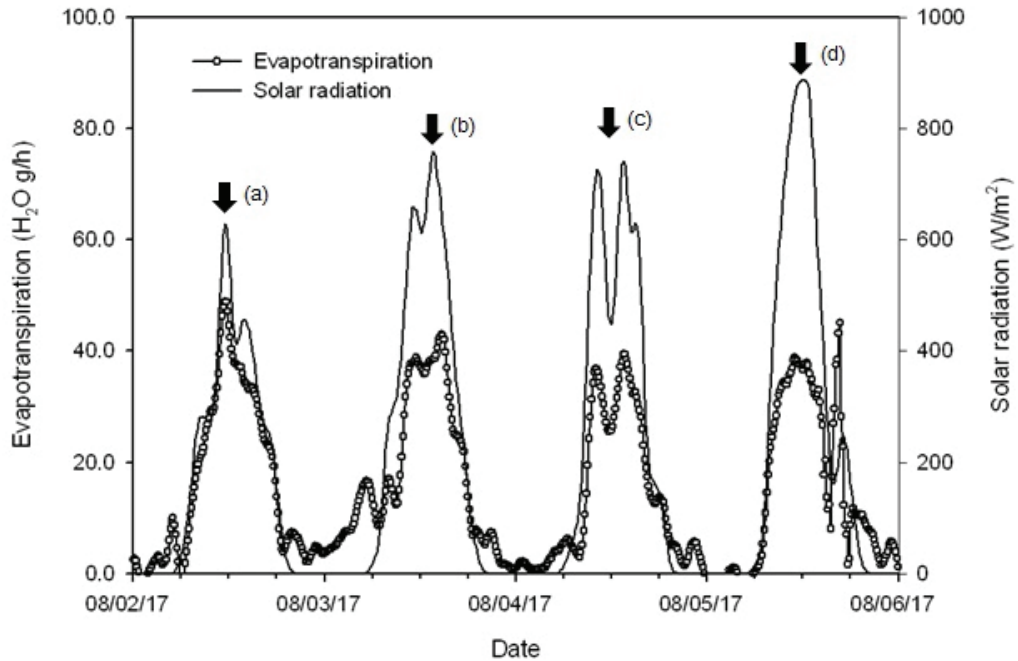


Fig. 4. Comparisons of evapotranspiration of *Cnidium officinale* Makino from lysimeter and wind speed during the experiment period.



**Fig. 5.** Comparisons of evapotranspiration of *Cnidium officinale* Makino from lysimeter and solar radiation during the experiment period. a, b, c and d are peaks of solar radiation.

량은 더욱 많아질 것으로 판단되므로 생육단계별 증발산량 평가를 위해서 균락의 특성과 기상조건과의 관계에 대한 추가 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

Fig. 5의 a, b, c, d와 같이 최대 일사량의 차이가 있어도 증발산량은 시간당 40g 내외로 일정한 경향을 나타내지만 일사량 최고치와 동일한 양상으로 증발산량 최고치가 변하고 있어 일천공의 증발산량 변화는 일사량 변화에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 8월 2일 야간과 8월 3일 새벽까지 증발산이 관측된 것은 풍속 증가에 따라 천공 윗 표면에서 증발에 영향을 받은 것으로 추정되었다.

**3.3. 기상요소와 라이시미터 증발산량의 상관관계**

Fig. 6은 기온과 증발산량에 대한 회귀분석을 실시하였다. 기울기 값은 0.627로 기온에 따라 증발산량이 증가하는 경향을 보이지만 결정계수는 0.2260으로 분산이 큰 편이어서 증발산량에 대한 직접적인 관련성은 낮았다.

Fig. 7은 풍속과 증발산량에 대한 회귀분석을 실시하였다. 기울기 값은 52.12로 풍속의 증가에 따라 증발산량이 선형적으로 증가하는 경향을 보였으며 결정계

수는 0.6400으로 나타났다. 풍속이 0.2 m/s 이상에서 증발산량이 낮았던 것은 8월 2일 야간과 8월 3일 새벽에 일사가 없었던 시간을 제외하면 증발산량 변화에 밀접한 관련을 가지는 것으로 판단되었다.

Fig. 8은 일사량에 대한 증발산량과의 회귀분석을 실시하였다. 기울기 값은 0.0574로 일사량 증가에 따라 약 600 W/m<sup>2</sup>까지 증발산량의 선형적인 증가를 나타내었으며, 600 W/m<sup>2</sup> 이상의 일사량에서는 증발산량의 증가는 없었다.

식물 잎의 열수지는 태양으로부터 앞으로의 일사량 흡수와 주변으로 부터의 복사에너지 흡수에 따른 에너지 수입 부분과 앞으로부터 대기로의 적외방사, 대류 또는 전도에 의한 주변으로 열 수송, 그리고 증산에 의한 잠열 방출 같은 에너지 손실 부분의 차이로 결정되는데 일사에 의한 에너지 흡수와 앞으로부터 잠열 형태의 에너지 소실이 잎의 온도에 가장 크게 영향을 미치는 인자로 작용하며 강한 일사조건에서 많은 에너지 유입으로 엽온이 상승하여 식물체는 열적 스트레스 조건에 놓인다고 하였다(Park, 2011). 그러므로 일천공 재배 시 천공 윗 표면으로 입사되는 복사에너지가 과다하게 높을 경우 엽온 상승에 따른 생리장해 발생

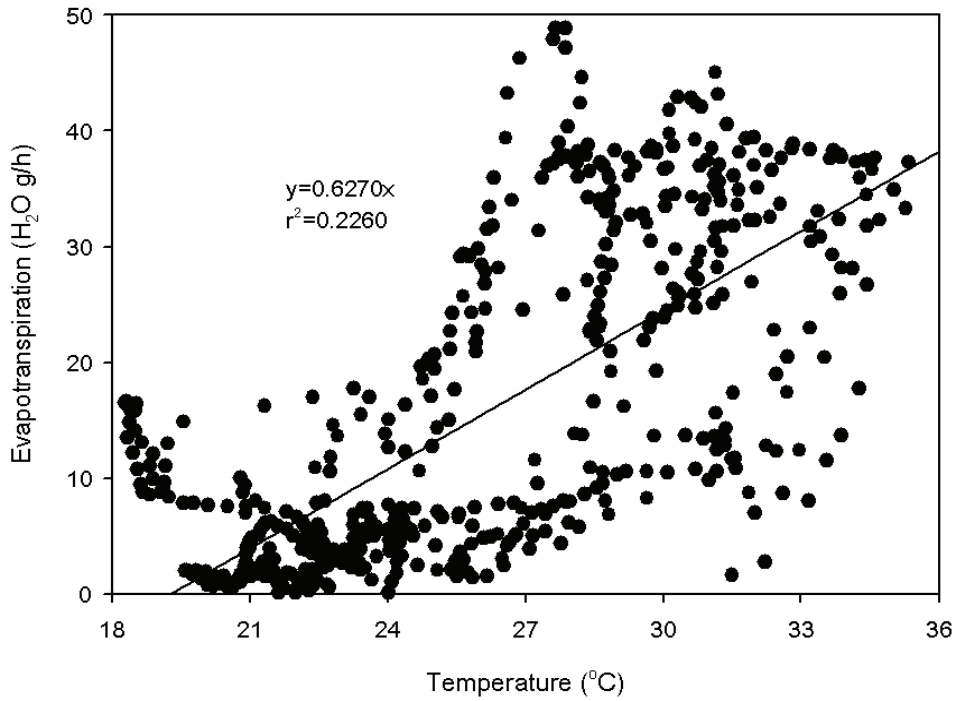


Fig. 6. Relationship between evapotranspiration of *Cnidium officinale* Makino from lysimeter and air temperature.

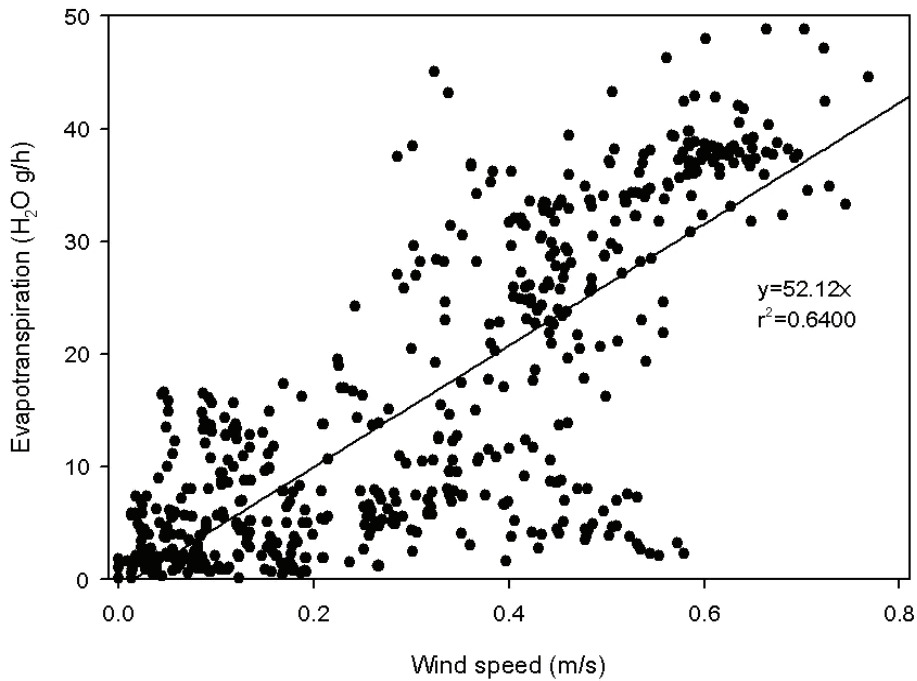


Fig. 7. Relationship between evapotranspiration of *Cnidium officinale* Makino from lysimeter and wind speed.

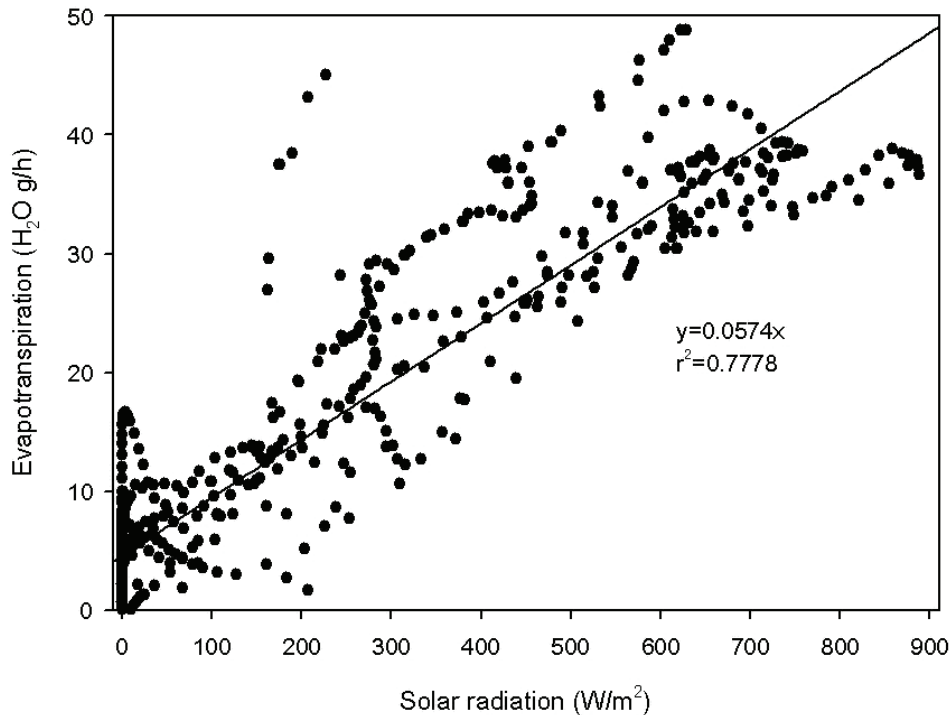


Fig. 8. Relationship between evapotranspiration of *Cnidium officinale* Makino from lysimeter and solar radiation.

과 생육불량 현상을 초래할 수 있어 안정적인 재배를 위하여 복사에너지의 감소를 위한 일사량 조절이 반드시 필요한 것으로 판단되었다. 관측자료의 계산에서 이 기간 동안 일사량의 약 40% 정도가 증발산 에너지로 변환된 것으로 계산되었다.

따라서 라이시미터는 일천궁의 증발산량 실시간 관측과 수분생리에 영향을 주는 기상요인 구명에 매우 효과적인 것으로 사료된다.

## 적 요

본 연구에서는 라이시미터를 이용하여 일천궁의 증발산량을 관측하였고, 그 자료를 분석하여 기상요소와 증발산량과의 관계를 조사하였다. 맑은 날이 지속된 4일간 라이시미터에서 관측된 증발산량은 일사량의 약 40%에 해당하는 것으로 관측되었으며, 증발산량 변화의 형태는 일출이 시작됨과 동시에 증가하였고 일몰과 함께 급격히 감소하여 일사량은 일천궁의 증발산량에 영향을 주는 중요한 인자로 나타났고 야간의 강한 풍속은 증발산량을 증가시켰으며, 일사량과 풍속이

증발산량 변화에 가장 큰 영향을 주는 요인이었다. 600 W/m<sup>2</sup> 이상의 일사량에서는 일천궁의 증발산량 증가가 없어 일천궁을 안정적으로 재배하기 위해서 잎 표면으로 입사되는 일사량의 조절이 필요한 것으로 조사되었다. 따라서 라이시미터는 야외에서 증발산량을 간단하면서도 정확하게 관측할 수 있는 방법임을 확인하였고, 추후 식물의 수분생리 및 적정 재배환경 구명에도 매우 유용할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 지역특화작목기술개발사업 “가뭄, 고온장해 대응 천궁 안정생산 기술 개발 과제 (사업번호:PJ012722)”의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.



## REFERENCES

- Al-Kaisi, M., L. J. Brun, and J. W. Enz, 1989: Transpiration and evapotranspiration from maize as related to leaf area index. *Agricultural and Forest Meteorology* **48**, 111-116.
- Bakhtiari, B., N. Ghahreman, A. M. Liaghat, and G. Hoogenboom, 2011: Evaluation of reference evapotranspiration models for a semiarid environment using lysimeter measurements. *Journal of Agricultural Science Technology* **13**, 223-237.
- Colaizzi, P. D., S. R. Evett, T. A. Howell, and J. A. Tolk, 2006: Composition of five models to scale daily evapotranspiration from one time of day measurements. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* **49**(5), 1409-1417.
- Han, J. S., and B. Y. Lee, 2005: Measurement and analysis of free water evaporation at Haenam paddy field. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(1), 91-97.
- Hatfield, J. L., R. J. Reginato, and S. B. Idso, 1984: Evaluation of canopy temperature- evapotranspiration models over various crops. *Agricultural and Forest Meteorology* **32**, 41-53.
- Hong, J. K., H. J. Kwon, J. H. Lim, Y. H. Byun, J. Lee, and J. Kim, 2009: Standardization of KoFlux eddy covariance data processing. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(1), 19-26.
- Kim, J. M., D. Son, P. Lee, K. J. Lee, H. Kim, and S. Y. Kim, 2003: Ethyl acetate soluble fraction of *Cnidium officinale* Makino inhibits neuronal cell death by reduction of excessive nitric oxide production in lipopolysaccharide-treated rat hippocampal slice cultures and microglia cells. *Journal of Pharmacological Science* **92**, 74-78.
- Kwon, H. J., S. B. Park, M. S. Kang, J. I. Yoo, and R. Yuan, and J. Kim, 2007: Quality control and assurance of eddy covariance data at two KoFlux sites. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(4), 260-267.
- Kwon, H. J., J. H. Lee, Y. K. Lee, J. W. Lee, S. W. Jung, and J. Kim, 2009: Seasonal variations of evapotranspiration observed in a mixed forest in the Seolmacheon catchment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(1), 39-47.
- Lee, B. Y., and S. Haginoya, 2011: The latent heat exchange on the ground. *Journal of the Environmental Sciences* **20**(8), 1061-1068.
- Lee, B. Y., S. K. Yang, K. H. Kwon, and J. B. Kim, 2012: The effect of evapotranspiration by altitude and observation of lysimeter. *Journal of the Environmental Sciences* **21**(6), 749-755.
- Lee, G. S., S. W. Kim, S. Y. Hamm, and K. H. Lee, 2016: Computation of actual evapotranspiration using drone based remotely sensed information; preliminary test for a drought index. *Journal of Environmental Science International* **25**(12), 1653-1660.
- Lee, J. H., H. S. Choi, M. S. Chung, and M. S. Lee, 2002: Volatile flavor components and free radical scavenging activity of *Cnidium officinale*. *Korean Journal of Food Science and Technology* **34**, 330-338.
- Lim, Y. J., K. Y. Byun, T. Y. Lee, and J. Kim, 2010: Evaluation of evapotranspiration estimation using Korea Land Data Assimilation system. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**(4), 298-306.
- Marek, H. T., A. D. Schneider, T. A. Howell, and L. L. Ebeling, 1988: Design and construction of large weighing monolithic lysimeter. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* **31**(2), 477-484.
- Martin, E. C., A. S. De Oliveira, A. D. Folta, E. J. Pegilow, and D. C. Slack, 2001: Development and testing of a small weighable lysimeter system to assess water use by shallow rooted crops. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* **44**(1), 71-78.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), 2017: 2016 an actual output of crop for a special purpose : *Annual Production Data of Medicinal Crops* 86-91, Sejong, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs
- Oh, Y. J., H. R. Seo, Y. M. Choi, and D. S. Jung, 2010: Evaluation of antioxidant activity of the extracts from the aerial parts of *Cnidium officinale* Makino. *Korean Journal of Medicinal Crop Science* **18**(6), 373-378.
- Park, Y. M., 2011: Leaf temperature characteristics being affected by light regime. *Journal of the Environmental Sciences* **20**(12), 1599-1605.
- Peters, A., T. Nehls, H. Schonsky, and G. Wessolek, 2014: Separating precipitation and evapotranspiration from noise-a new filter routine for high resolution lysimeter data. *Hydrology and Earth System Science* **18**, 1189-1198.
- Rana, G., and N. Katerji, 2000: Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. *European Journal of Agronomy* **13**(2), 125-153.

- Schrader, F., W. Durner, J. Fank, S. Gebler, T. Putz, and M. Hannes, 2013: Estimating precipitation and actual evapotranspiration from precision lysimeter measurements. *Procedia Environmental Science* **19**(12), 543-552.
- Steiner, J. L., T. A. Howell, and A. D. Schneider, 1989: lysimetric evaluation of daily potential evapotranspiration models for grain sorghum. *Agronomy Journal* **83**(1), 240-247.
- Tyagi, N. K., D. K. Sharma, and S. K. Luthra, 2000: Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. *Agricultural Water Management* **45**(1), 41-54.
- Yang, G. J., R. L. Pu, C. J. Zhao, and X. Z. Xue, 2014: Estimating high spatiotemporal resolution evapotranspiration over a winter wheat field using an IKONOS image based compcomplem relationship and lysimeter observations. *Agricultural Water Management* **133**, 34-43.
- Yi, E. J., 2004: Control of citrus blue mold and chili pepper anthracnose by ligustilide and antifungal compound from *Cnidium officinale* Makino. Master Thesis, Seoul National University, Seoul.
- Yoo, B. H., K. J. Lee, B. W. Lee, and K. S. Kim, 2017: Production and analysis of digital climate maps of evapotranspiration using gridded climate scenario data in Koran Peninsula. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **19**(2), 62-72.
- Yun, S. K., S. O. Hur, S. H. Kim, S. J. Park, J. B. Kim, and I. M. Choi, 2009: Prediction of evapotranspiration from grape vein in Suwon with the FAO Penman-Monteith equation. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(3), 111-117.