

철원 자동농업기상관측자료의 품질보증 및 대표성 향상을 위한 제언

박주한^{1,2} · 이승재^{1*} · 강민석¹ · 김준^{1,2} · 양일규¹ · 김병국³ · 유근기⁴

¹국가농림기상센터, ²서울대학교 농업생명과학대학, ³광주지방기상청 관측과, ⁴광주지방기상청 예보과
(2017년 11월 13일 접수; 2018년 3월 16일 수정; 2018년 3월 20일 수락)

Suggestions for improving data quality assurance and spatial representativeness of Cheorwon AAOS data

Juhan Park^{1,2}, Seung-Jae Lee^{1*}, Minseok Kang¹, Joon Kim^{1,2}, Ilkyu Yang¹,
Byeong-Guk Kim³ and Keun-Gi You⁴

¹National Center for AgroMeteorology, ²College of Agriculture and Life Science, Seoul National University,

³Gwangju Regional Office of Meteorology, Observation Division,

⁴Gwangju Regional Office of Meteorology, Forecast Division

(Received November 13, 2017; Revised March 16, 2018; Accepted March 20, 2018)

ABSTRACT

Providing high-quality meteorological observation data at sites that represent actual farming environments is essential for useful agrometeorological services. The Automated Agricultural Observing System (AAOS) of the Korean Meteorological Administration, however, has been deployed on lawns rather than actual farm land. In this study, we show the inaccuracies that arise in AAOS data by analyzing temporal and vertical variation and by comparing them with data recorded by the National Center for AgroMeteorology (NCAM) tower that is located at an actual farming site near the AAOS tower. The analyzed data were gathered in August and October (before and after harvest time, respectively). Observed air temperature and water vapor pressure were lower at AAOS than at NCAM tower before and after harvest time. Observed reflected shortwave radiation tended to be higher at AAOS than at NCAM tower. Soil variables showed bigger differences than meteorological observation variables. In August, observed soil temperature was lower at NCAM tower than at AAOS with smaller diurnal changes due to irrigation. The soil moisture observed at NCAM tower continuously maintained its saturation state, while the one at AAOS showed a decreasing trend, following an increase after rainfall. The trend changed in October. Observed soil temperature at NCAM showed similar daily means with higher diurnal changes than at AAOS. The soil moisture observed at NCAM was continuously higher, but both AAOS and NCAM showed similar trends. The above results indicate that the data gathered at the AAOS are inaccurate, and that ground surface cover and farming activities evoke considerable differences within the respective meteorological and soil environments. We propose to shift the equipment from lawn areas to actual farming sites such as rice paddies, farms and orchards, so that the gathered data are representative of the actual agrometeorological observations.

Key words: Cheorwon, AAOS, Representativeness, Data quality



* Corresponding Author : Seung-Jae Lee
(sjlee@ncam.kr)

I. 서 론

농업기상은 대기, 토양, 수문, 생물학적인 요인을 관측하고 각 요소들이 농업에 미치는 영향을 파악하여, 궁극적으로 영농 활동에 도움을 주기 위한 목적을 가지고 있다. 그 동안의 농업 기술 발전을 통해 기상 요인의 영향력은 감소하고 있지만, 여전히 농업은 인간의 활동 영역 중 기상 요소에 가장 종속적이며, 기후변화 및 기상 재해의 증가로 인해 농업기상 서비스의 중요성은 점점 더 커지고 있다(WMO, 2010). 기상청에서는 전국 11개소에 자동농업기상관측시스템(Automated Agricultural Observation System; AAOS) 관측망을 구축하고 농업기상 요소들을 관측하고 있다. 하지만 활용도 높은 농업기상 서비스를 위해서는 관측자료의 단순 제공을 넘어서, 제공되는 자료의 품질 보증 및 품질 관리가 중요하며(Choi *et al.*, 2015; Oh *et al.*, 2015). 특히 관측 자료가 실제 농경지의 환경을 얼마나 대표하는지가 고려되어야 한다(GROM, 2017).

관측 자료의 대표성은 시간적 대표성과 공간적 대표성으로 나뉘며, 공간적 대표성은 한 지점에서 관측된 자료와 실제 주변 지역과의 차이 정도를 의미한다. 공간적 대표성은 구름의 양 및 분포, 고도, 지형과 토지 피복 등에 의해 조절되며(Barnett *et al.*, 1998; Li *et al.*, 2005), 관측 항목에 따라 공간적 대표성이 달라지는 특성을 보인다. 지표면의 특성은 식생의 종류와 영농 활동에 따라 달라진다. 식생은 지표면의 반사도를 변화시키며, 토양 표면에 도달하는 빛을 감소시켜 토양 온도 상승폭을 줄이는 반면, 차단 증발 및 증산 과정을 통해 토양 내 수분량을 변화시킨다. 인간에 의한 농경 활동 역시 대기 및 토양 환경에 큰 영향을 미친다. 예를 들면, 밭 작물에 주로 적용되는 뿌리 덮개(mulching)는 토양 온도를 상승시키고, 토양 수분 감소를 지연시킨다(Ramakrishna *et al.*, 2006). 논에 주로 적용되는 담수 관개(flooding irrigation)는 토양 위에 담수층을 형성하게 함으로써 증발량을 증가시키고, 논에서의 보웬 비(bowen ratio)를 변화시켜(Oue, 2005) 기온 및 상대 습도에도 영향을 준다. 또한 담수층 아래 진흙층이 형성되고, 진흙층 아래 수리전도도가 매우 낮은 쟁기바닥층(plow sole layer)을 형성(Liu *et al.*, 2005)시키는 등 다른 식생 아래 토양과는 상이한 토양 특성을 보이게 되며, 그 결과 토양 온도와 수분 역시 큰 차이를 보이게 된다.

현재 기상청에서는 AAOS 관측 자료의 품질 보증

을 위해 주기적으로 센서를 검보정하고 있으나, 대기 관측 요소인 기온, 상대습도, 풍속 센서만을 주요대상으로 하고 있으며, 타관측망에 존재하지 않는 토양 수분, 복사계 센서는 명확한 검정 기준이 마련되어 있지 않은 상황이다. 또한 품질 관리 역시 주로 대기 관측 요소에 집중되어 있으며, 토양 관측 요소의 경우 품질 관리 기준이나 방법론이 마련되지 않아 품질 관리가 이루어지지 않고 있다. 농업기상관측 자료의 대표성을 향상시키기 위해 기상청은 AAOS를 관내 노장에서 실제 농경지대로 재배치하는 등 관측 환경을 개선하고 있으나(KMA, 2011), 아직까지 모든 농업기상관측 장비가 실제 영농 환경이 아닌 잔디밭 위에 자리하는 문제가 존재한다. 특히 토양 온도와 수분의 경우 토성 및 공극 분포의 차이에 의한 토양 이질성, 지표면 형태 및 식생 차이에 의해, 한 지점의 관측 값이 전체 영역을 대표하지 못하는 문제가 존재한다. 기상청 농업기상관측은 동일한 관측 환경 조건을 유지하기 위해 주기적으로 잔디밭을 관리하는 반면, 논과 밭에서는 위에 언급한 것처럼 영농 활동에 의해 자라나는 작물의 종류와 형태가 달라지며, 식물계절적 변화를 동반한다. 특히 논에는 관개에 의해 인위적으로 수분을 공급하기 때문에 잔디밭과는 상이한 조건을 보이게 된다. 하지만 이런 관측 환경의 차이로 인해 기상 및 토양 관측 값이 어떤 차이를 보이는지 인접한 두 지점에 대해 직접 비교한 연구는 아직까지 없다.

본 연구에서는 사례연구를 통해 기상청 농업기상관측 자료의 품질향상과 농업기상관측 개선방안을 제시하고자 하였다. 특히, 매우 인접해 있지만 토지 피복이 상이한 두 조건에서 생산된 농업기상 관측자료의 차이점을 분석하기 위해, 철원 AAOS 자료의 시계열 특성 및 연직적 변화 경향을 분석하고, 이를 실제 농경지 위에 설치된 국가농림기상센터(NCAM) 타워(CRK)에서 관측한 기상 및 토양 자료와 비교 분석을 수행하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

기상청 농업기상관측소들 중에서 NCM이 플렉스 관측 및 기상 관측을 인근에서 하고 있는 철원 AAOS(38.2N, 127.25E)를 대상으로 자료를 비교하였다. 철원 AAOS는 실제 논 근처에서 관측을 하고 있고, 주변에 관측 장애 요인도 적으며, 관측 장비 설치 및 관리가 잘 되고 있다고 평가되었다(Choi *et al.*, 2015).



Fig. 1. Aerial map of the study site provided by Google Earth, and location of the National Center for AgroMeteorology (NCAM) observation tower and the Korean Meteorological Administration’s Automated Agricultural Observation System (AAOS). The pictures on the right side show the AAOS observation tower and the NCAM observation tower.

하지만 앞서 말한대로 기상청 AAOS는 모두 잔디밭 위에 설치되어 있으며, 실제 논 위에 설치한 NCAM 관측소와는 큰 차이를 보인다(Fig. 1). 관측소 사이의 거리는 30 m 이내였으며, 공통 관측 요소 중 기온, 상대습도, 순복사, 토양 온도, 토양 수분을 비교 대상으로 선정하였다. 이 중 상대습도는 온도에 큰 영향을 받기 때문에 온도에 따른 포화수증기압을 계산

(Tetens, 1930)한 뒤, 상대습도를 곱해 추정된 수증기압을 비교하였다.

기상청 AAOS는 기온 상대습도를 0.5 m, 1.5 m, 4 m에서, 순복사를 1.5 m에서 관측하는 반면, NCAM 타워는 세 관측 요소 모두 약 10 m 높이에서 관측하고 있어 관측 높이에 차이가 있으므로(Table 1), 가장 가까운 높이 값을 비교하는 동시에 높이에 따른 관측 값의 변화를

Table 1. Agrometeorological elements, measurement height or depth, sensors and types that were used in this study and installed at the Automated Agricultural Observation System (AAOS) and the National Center for AgroMeterology (NCAM) observation tower.

	Elements	Height or Depth (m)	Sensor	Type
AAOS	Air temperature	0.5	JY100829	Platinum RTD
		1.5		
		4.0		
	Relative humidity	0.5	HMP-45D	Thin film capacitance
		1.5		
		4.0		
	Net radiation	1.5	CNR4	Thermophile
Soil temperature	0.1	JY-100832	Platinum RTD	
	0.2			
Soil moisture	0.1	Easy AG	High frequency capacitance	
	0.2			
NCAM	Air temperature	9.8	HMP-155	Platinum RTD
	Relative humidity	9.8	HMP-155	Thin film capacitance
	Net radiation	9.8	CNR4	Thermophile
	Soil temperature	0.0 - 0.1	CS655	Platinum RTD
		0.1 - 0.2		
	Soil moisture	0.0 - 0.1	CS655	Time domain reflectometry
		0.1 - 0.2		

함께 고려하였다. 토양 온도와 수분의 경우 지표면에서 20 cm 깊이의 관측 값을 비교하였다. 비교 시기는 결측 자료가 적고 벼의 생장이 활발한 8월과 수확 이후인 10월을 선정하였다. 기온 및 수증기압은 시간에 따른 변이가 심하여 월 평균 일중 변화를 비교하였다. 토양 온도 및 수분은 일중 변화 폭이 작고 뚜렷한 일중 변화를 보이지 않기 때문에 선정 기간인 수확 전후의 월 중 변화 경향 차이를 비교하였다. 순복사는 두 사이트의 자료가 함께 존재하는 11월을 비교 시기로 선정하였으며, AAOS 관측 순복사가 단파역영만을 관측하고 있어

순단파복사를 비교하였다. 같은 관측 항목이라도 관측 센서의 종류가 다르기 때문에 교차 검증이 불가능하고, 관측 위치도 다르기 때문에, 두 관측 타워 사이의 비교는 주로 정성적인 측면에서 이루어졌다.

III. 결 과

3.1. 기온 및 수증기압 차이

8월 평균기온은 기상청 AAOS 4 m 관측 값이 24.4 ± 4.5 °C, NCAM 타워 관측 값이 25.3 ± 4.5 °C였으며,

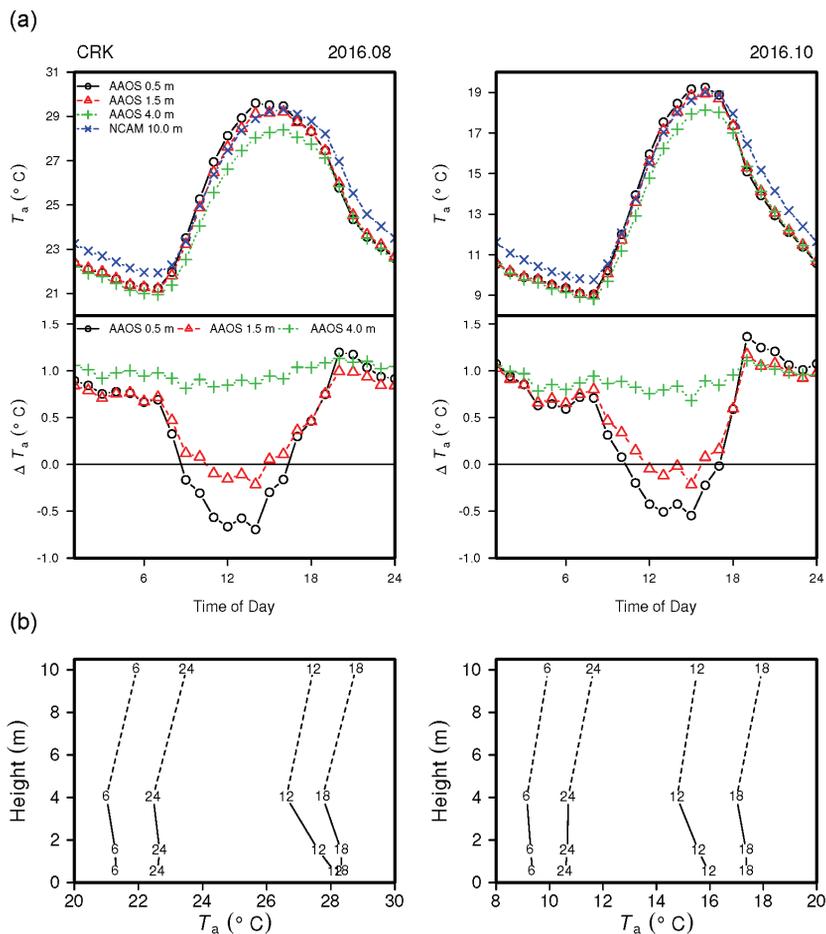


Fig. 2. (a) Monthly mean diurnal variations of air temperature (T_a) measured at the AAOS at three different heights (0.5, 1.5, and 4.0 m) and at the NCAM at single height (10 m) in August and October 2016, and difference in T_a measured at NCAM and AAOS. (b) Monthly mean vertical variation of T_a at 6, 12, 18, 24 LST (Local Standard Time) in August and October 2016. The bottom three heights were measured at AAOS, and the top height was measured at NCAM tower. Standard errors are not shown for reasons of clarity.

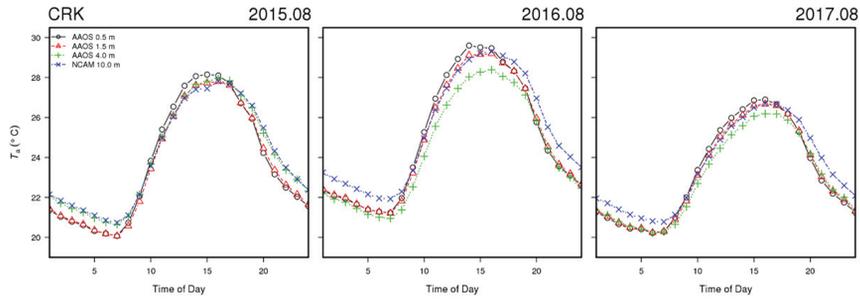


Fig. 3. Comparison of monthly mean diurnal variation of August air temperature from 2015 to 2017. Standard errors are not shown for reasons of clarity.

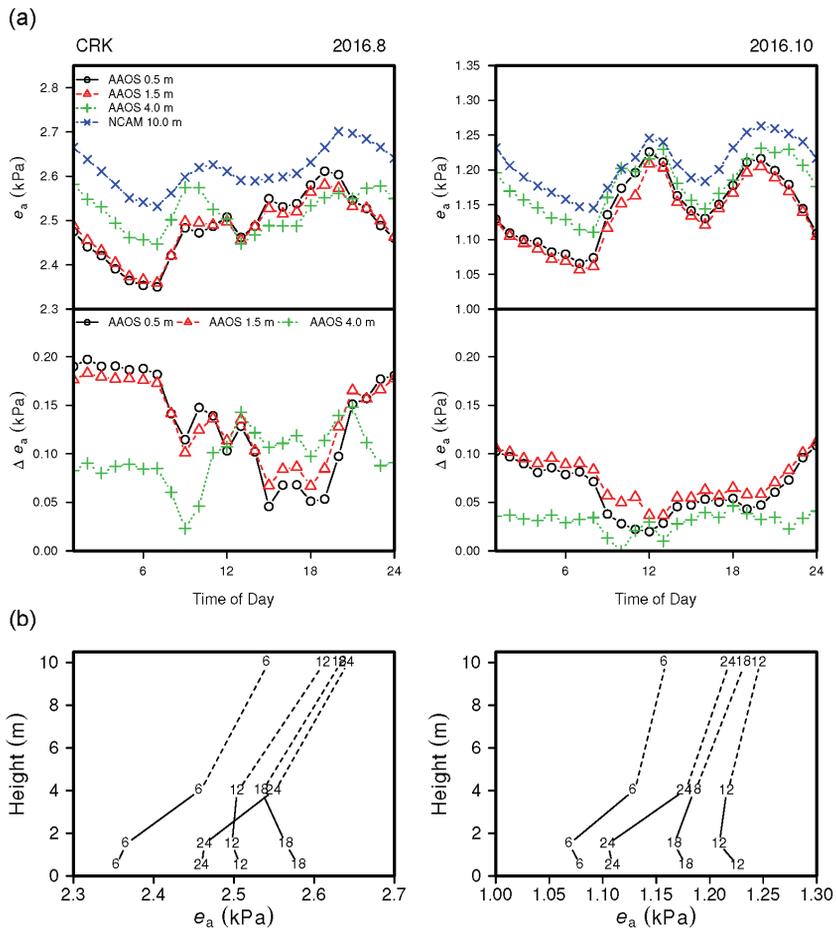


Fig. 4. (a) Monthly mean diurnal variations of water vapor pressure (e_a) measured at the AAOS at three different heights (0.5, 1.5, and 4.0 m) and at the NCAM at single height (10 m) in August and October 2016, and difference in e_a measured at NCAM and AAOS. (b) Monthly mean vertical variation of e_a at 6, 12, 18, 24 LST in August and October 2016. The bottom three heights were measured at AAOS and the top height was measured at NCAM tower. Standard errors are not shown for reasons of clarity.

낮과 밤 관계없이 NCAM 관측 값이 1 °C 정도 항상 높았다. 두 관측 값 사이의 최대 온도 차는 2.1 °C, 최소 온도 차는 0.1 °C 이하였다. 10월의 평균 기온은 기상청 AAOS 관측 값이 12.8 ± 5.2 °C, NCAM 관측 값이 13.7 ± 5.3 °C 였으며, 8월과 마찬가지로 낮과 밤에 상관없이 NCAM 관측 값이 0.8 °C 정도 높은 경향을 보였다(Fig. 2(a)). 이러한 차이가 관측 높이에 기인한 것인지 확인하기 위해 AAOS에서 관측한 세 높이의 기온을 이용해 높이에 따른 기온 및 수증기압의 변화 경향을 분석하였다. 기온은 관측 고도가 높아질수록 감소하는 경향을 보였으며, 밤에는 낮보다 그 차이가 줄어들었으나 역전층은 형성되지 않았다(Fig. 2(b)).

특히 AAOS 관측 4 m 기온은 다른 높이의 AAOS 관측 기온 및 NCAM 타워에서 10 m 높이에서 관측 값과 비교했을 때, 2015년 8월과 2016년 8월 및 2017년 8월 사이에 서로 다른 경향이 나타났다. 2015년 8월의 경우, AAOS 4 m 관측 기온은 밤에 AAOS 관측 0.5 m, 1.5 m 관측 기온보다 높고, NCAM 타워의 10 m 관측 기온보다 낮았다. 낮에는 0.5 m 관측 기온에 비해 낮고 1.5 m 관측 기온과 비슷한 경향을 보였으며, NCAM 타워 10 m 관측 값에 비해 높은 일중 변화 경향을 보였다. 하지만 2016년 8월의 경우 앞서 기술한 것처럼 낮과 밤 관계없이 NCAM 타워 관측 기온은 AAOS 관측 4 m 기온에 비해 높았으며, 2017년 8월에도 같은 경향이 유지되었다(Fig. 3).

평균 수증기압은 AAOS 관측 값이 8월에 2.52 ± 0.52 kPa, NCAM 관측 값이 2.62 ± 0.54 kPa 였다. 온도와 마찬가지로 NCAM 관측 값이 AAOS 관측 값에 비해 낮과 밤 시간에 상관없이 높았으며, 낮 시간 동안 더 큰 차이를 보였다. 10월 수증기압은 AAOS 관측 값이 1.18 ± 0.37 kPa, NCAM 관측 값이 1.21 ± 0.37 kPa 이었다. 8월에 비해 그 차이가 줄었으나 NCAM 관측 값이 AAOS 관측 값에 비해 낮과 밤 관계없이 항상 높았으나 8월과 달리 낮과 밤 시간에 관계없이 일정한 차이를 유지하였다(Fig. 4(a)). 마찬가지로 이러한 차이가 관측 높이에 기인한 것인지 확인하기 위해 AAOS에서 관측한 세 높이의 수증기압을 이용해 높이에 따른 기온 및 수증기압의 변화 경향을 분석하였다. 수증기압의 경우, 8월에는 낮에는 고도가 높아질수록 감소하고 밤에는 고도가 높아질수록 증가하는 경향을 보였다. 10월에는 1.5 m 높이의 수증기압이 관측 시각에 관계없이 다른 두 높이에서 관측된 수증기압에 비해 낮았으며, 낮에는 0.5 m 높이의 수증기압이 4 m 수증기압에 비해 높고 밤에는 반대의 경향

이 나타났다(Fig. 4(b)). 따라서 이러한 AAOS와 NCAM 타워 관측 값 차이, 특히 기온의 차이는 단순히 관측 고도의 차이로만 설명할 수는 없다.

3.2. 순복사 차이

11월 평균 AAOS 관측 순단파복사량(71 ± 32 W m⁻²)이 NCAM 관측 순단파복사량(83 ± 39 W m⁻²)에 비해 낮았다. 이는 AAOS 전천복사 관측 값(91 ± 42 W m⁻²)이 NCAM 관측 하향 단파복사량(99 ± 46 W m⁻²)에 비해 낮은 반면, 반사 복사량은 AAOS 관측 값(20 ± 10 W m⁻²)이 NCAM 관측 값(16 ± 7 W m⁻²)에 비해 높았기 때문이다(Fig. 5).

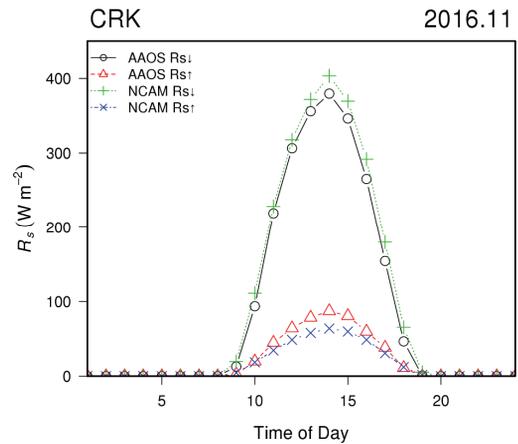


Fig. 5. Monthly mean diurnal variation in global radiation (GR) and reflectance radiation (RR) measured at the AAOS, and downward shortwave radiation (R_{s_down}) and upward shortwave radiation (R_{s_up}) measured at the NCAM tower in November 2016. Standard errors are not shown for reasons of clarity.

3.3. 토양 온도 및 수분 차이

기온 및 상대습도에 비해 토양 온도와 수분은 더 큰 차이를 보였다. 눈에 물이 차 있고 추수 이전인 8월의 경우, AAOS 관측 20 cm 깊이의 토양 온도는 28.2 ± 3.0 °C로 NCAM 관측 10 - 20 cm 깊이의 평균 토양 온도(24.7 ± 2.0 °C)에 비해 지속적으로 높았으며, 큰 일변화 폭을 보였다(Fig. 6(a)). 토양 수분은 NCAM 관측 10 - 20 cm 깊이 관측 값이 강우와 관계없이 항상 포화 상태($46 \pm 0\%$)를 유지하는데 반해, AAOS 관측 20 cm 깊이 토양 수분($9 \pm 2\%$)은 NCAM 관측

값에 비해 항상 낮았으며 강우에 반응하여 상승한 뒤 감소하는 경향을 보였다(Fig. 6(b)).

추수 이후인 10월은 대부분 기간 논에 물이 차 있지 않았으며, 8월과는 다른 경향을 보였다. NCAM 관측 10 - 20 cm 깊이의 평균 토양 온도($14.6 \pm 2.8 \text{ }^\circ\text{C}$)는 AAOS 관측 20 cm 깊이 토양 온도($16.1 \pm 2.4 \text{ }^\circ\text{C}$)에 비해 일 평균 온도는 낮은 반면 일변화 폭은 더 컸다(Fig. 6(a)). NCAM 관측 10 - 20 cm 깊이의 평균 토양 수분($41 \pm 7\%$)은 수확 이전과 마찬가지로 AAOS 관측 20 cm 깊이 토양 수분($12 \pm 4\%$)에 비해 높았으나, 두 관측 값 모두 강수에 의해 상승한 이후 증발 또는 배수에 의해 감소하는 경향을 보였다(Fig. 6(b)).

IV. 토 의

4.1. 자료의 품질 관리

기상청의 경우, 기상측기 검증은 기상관측 표준화 법에 따라 온도, 기압, 습도, 풍향, 풍속, 일조, 일사,

강수량, 증발계 9종류에 대해서만 실시하고 있으며, 농업기상관측장비의 토양수분, 복사, 조도 센서는 검정 기준이 명확하지 않아 정확히 검정되지 않고 있다. 일조계, 일사계, 증발계는 5년 간격으로, 나머지 기상 측기들은 3년 주기로 현장에서 검증하고 있다(일조계는 실내 검증). 철원 AAOS의 경우에 2016년 4월에 기온, 토양 온도, 습도, 풍향, 풍속, 강수량 관측 측기에 대한 검정이 이루어졌다. 하지만 AAOS 4 m 기온 관측 값은 다른 높이에서 관측된 기온과 비교했을 때, 2015년 8월의 온도 변화 경향이 2016년 8월 및 2017년 8월과 차이를 보였으며(Fig. 3), 관측 값의 품질 관리 부분에서 미흡한 부분이 있는 것으로 판단되었다. 이러한 오차는 센서 자체의 문제 이외에도 온습도 센서의 빛 차단 덮개 및 모터 불량으로 인해 관측에 요구되는 기본적인 통풍이 제대로 되지 않는 등 여러가지 요인에 의해 발생할 수 있다.

이런 품질 관리 문제는 관측 측기에 대한 검정을 하지 않는 복사의 경우 더 심각하였다. 기상청 농업기상 관측 매뉴얼(기상청, 2016)에 따르면 순복사는 0.3 -

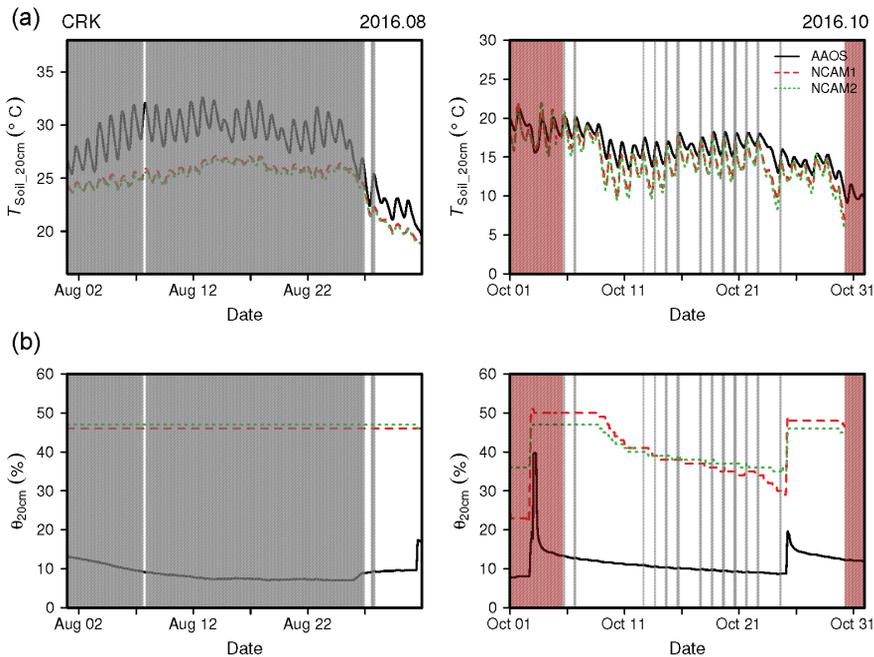


Fig. 6. (a) Soil temperature (T_{soil}) and (b) volumetric soil water content (θ) measured at a depth of 20 cm by the AAOS, which is located on lawn, and at depths of 10 - 20 cm by the NCAM tower ($n = 2$), which is located on rice paddy, in August and October 2016. Grey-shaded area indicates periods when a pond layer exists within the rice paddy, and red-shaded area indicates periods when water depth data is missing. The non-shaded area indicates periods without pond layer.

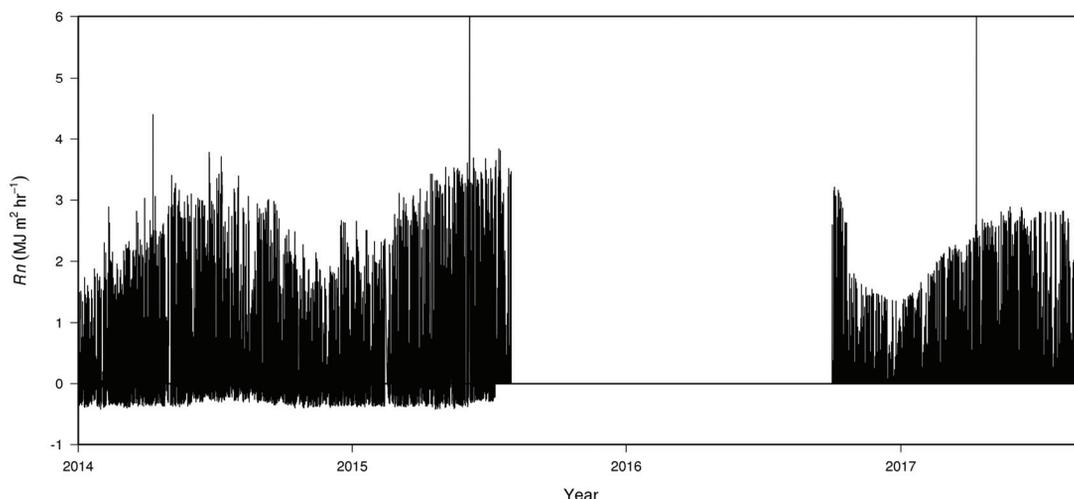


Fig. 7. Hourly net radiation measured at the AAOS tower from January 2014 to August 2017.

30 μm 사이의 모든 수평 지표면의 복사열을 측정한다고 되어 있지만, 철원 AAOS의 경우 현재 장파 영역 관측이 이뤄지고 있지 않은 것으로 판단된다. 순복사는 순단파복사와 순장파복사의 합으로 순단파복사는 낮에는 양의 값, 밤에는 0인 반면, 순장파복사는 일중 시간에 관계 없이 음의 값을 갖는다. 따라서 해가 진 이후에는 일반적으로 순복사는 음의 값을 보여야 하지만 AAOS 관측 순복사는 일 최소값이 항상 0으로 나타났다. AAOS 관측 순복사량은 2015년 7월을 기점으로 확연한 차이를 보이는데, 그 이전에는 단파와 장파 복사 관측이 모두 이루어지고 있으나 그 이후 2017년 현재까지 장파 복사 영역에 대한 관측이 이루어지지 않고 있다(Fig. 7). 하향 단파복사의 경우, 연구 대상지의 1.5 m와 10 m 높이 사이에 식생 등의 기타 관측에 영향을 줄 요소가 없기 때문에 높이에 따른 차이가 나타나지 않아야 한다. 따라서 AAOS 하향 단파복사 관측 값이 NCAM 타워 관측 값에 비해 작은 이유로는 센서 자체의 문제와 그림자 등의 영향으로 관측이 제대로 되지 않는 문제일 수 있다.

4.2. 영농 활동이 토양 및 기상 조건에 미치는 영향

본 연구의 대상지인 논외의 경우, 벼의 생육 기간 동안 대부분 관개를 통해 담수층이 형성된 상태를 유지하기 때문에 다른 작물이나 잔디밭과는 다른 특성을 보인다. 특히 담수층으로 인해 지표의 에너지 수지, 지표 유출량 및 지하수 변화를 포함한 물 순환 과정이 다른 식생과 큰 차이를 보이게 된다(Chen and Liu, 2002;

Alberto *et al.*, 2011). 벼가 자라는 동안, 논외의 토양 표면은 식생 및 담수층으로 인해 직접적으로 빛에 노출되지 않는다. 물은 토양에 비해 열용량이 크기 때문에 같은 에너지를 받는 경우 토양에 비해 더 낮은 온도 변화를 보인다. 또한 유입된 복사에너지의 상당 부분이 잠열 형태로 소진되어 현열로의 에너지 분배가 낮아진다(Oue, 2005). 따라서 같은 에너지를 받을 경우, 논외의 잔디밭에 비해 낮은 기온과 높은 수증기압을 보이게 된다.

또한 담수 관개 및 무거운 농기계 사용으로 인해 논외의 잔디밭과 다른 토양 특성을 보인다. 벼의 생육 기간 형성되는 토양 위 담수층에 의해, 지표부터 20 cm 정도 깊이까지 진흙층이 형성된다. 이 진흙층 바로 아래 수리전도도가 매우 낮은 쟁기바닥층이 존재하기 때문에 배수로 손실되는 물이 거의 없어 위에 담수층이 유지되는 한 항상 포화 상태를 유지하게 된다. 또한 높은 수분함량으로 인해 토양의 열용량이 높아져 잔디밭에 비해 낮은 온도 변화를 보이게 된다.

이러한 논외의 특성은 수확을 기점으로 완전히 달라지게 된다. 수확 이후에는 식생이 사라지는 동시에 담수층 역시 사라지게 된다. 특히 노출된 토양 표면은 검은색으로 다른 지표에 비해 낮은 반사도를 보이게 때문에(Post *et al.*, 2000) 지표로 유입되는 에너지가 많아진다. 이와 함께 논외 토양의 높은 점토 비율 및 쟁기바닥층으로 인해 여전히 토양 수분 보유량은 높기 때문에, 잠열에 의한 에너지 손실 역시 높은 특성을 보이게 된다.

4.3. 관측 높이에 따른 발자국 영역 차이

발자국(footprint) 영역은 측정된 관측 값에 기여한 영역을 의미하며, 일반적으로 관측 고도와 지표면 또는 식생과의 고도 차, 풍향 거리, 대기 안정도, 풍속, 지표면 거칠기에 영향을 받으며, 관측 항목에 따라 발자국에 영향을 주는 요인이 달라진다(Schmid, 1997). 관측 요소 중 복사계의 발자국 영역은 복사계 관측 높이, 복사계 바닥 지점과의 거리, 지표면의 반사 특성에 의해서 조절되며, 발자국 영역 내 지표면이 모두 동일한 반사 특성을 보인다면 거리와 관측 고도만으로 발자국 영역을 추정할 수 있다. AAOS에서 관측한 상향 복사의 98%에 기여한 발자국 영역의 반지름은 약 9.4 m로 대부분의 발자국 영역이 관측 기기가 설치된 잔디밭과 근처의 농로에 분포되어 있다. 이에 반해 NCAM 타워에서 관측하고 있는 상향 복사의 발자국 영역의 반지름은 약 61.2 m로 농로와 AAOS 관측 장비가 설치된 잔디밭을 포함하지만 대부분의 발자국 영역이 실제 눈에 분포되어 있다. 따라서 4.1절에서 설명한 AAOS 순복사계의 장파 영역에 대한 미관측 문제가 해결되더라도 AAOS 관측 복사계는 눈이 아닌 잔디밭의 순복사를 관측하는 문제가 있게 된다.

V. 결론 및 제언

기상청은 종관기상관측과 농업기상관측이 관내 관측노장에서 함께 실시되어 오던 것을 분리하여(KMA, 2011), 2011년부터 농업기상관측 장비들을 실제 농경지 주변으로 옮기기 시작하였고, 서산과 전주를 제외한 모든 농업기상관측소에 대해 이행이 되었다(Choi *et al.*, 2015). 하지만 모든 농업기상관측 장비가 잔디밭 위에 설치되어 있어서, 실제 농경 활동이 이루어지는 논 또는 밭을 대표하는 대기 및 토양 관측을 실시하고 있지 못한 문제점이 남아 있다.

본 연구는 논과 잔디밭이라는 지표면 피복 및 영농 활동 차이가 기상 및 토양 관측 값에 미치는 영향을 30m 이내로 매우 인접한 두 사이트 자료를 이용하여 비교적 보여주었다. 이를 통해 기상청 AAOS 장비가 실제 농업기상을 대표할 수 있도록 잔디밭이 아닌 지역을 대표하는 논, 밭, 과수원 등의 실제 농업 현장에 배치되고, AAOS마다 해당 농업 현장의 특성을 나타내는 표식과 함께 측정되기를 제언하고자 한다. 이러한 제언이 실제 농업기상 관측 현장에 반영된다면, 한국기상산업기술원(KIMPA, 2016)이 제시한

방안과 같은 맥락에서, 우리나라 농업기상 분야 서비스 선진화에 큰 도움이 될 것이다.

적 요

농업은 인간의 활동 중 기상 활동에 가장 종속적이며, 기후 변화 및 기상 재해와 같은 대기 변동성의 증가 속에서 농업기상서비스의 중요성은 점점 증가하고 있다. 유용한 농업기상서비스를 제공하기 위해서는 관측 자료의 품질 관리와 더불어 실제 농경 활동 현장을 대표할 수 있는 곳에서의 기상 관측이 필수적이다. 이를 위해 기상청에서는 자동농업기상관측망(AAOS)을 실제 농경지 근처로 재배치하는 등 관측망 환경을 개선하고 있지만, 아직까지 모든 농업기상관측이 실제 영농 환경이 아닌 잔디밭에서 이루어지고 있는 문제가 남아 있다. 기온, 상대 습도, 토양 온도, 토양 수분 관측 요소는 지표면의 식생 형태와 관개 등의 영농 활동에 큰 영향을 받는데, 현재의 농업기상관측은 이러한 요소들의 영향을 관측하는데 근본적인 한계가 있다. 본 연구에서는 AAOS 관측 자료의 시간적, 연직적 변이를 분석하고, 실제 농경지 위에 설치된 국가농림기상센터(NCAM) 타워에서 관측하고 있는 공통 기상 및 토양 관측 요소를 비교하여, AAOS 관측 자료의 특성 및 문제점을 분석하였다. 분석 시기는 결측이 가장 적고 추수 이전인 8월과 추수 이후인 10월로 선정하였다. 각 관측 요소별로 관측 높이 및 깊이에 차이가 있었으므로, 차이가 가장 적은 높이 또는 깊이 값을 비교 대상으로 선정하였다. 기온의 경우 AAOS 4 m 관측 값이 NCAM타워 관측 값에 비해 낮과 밤 또는 추수 이전과 이후 모두 낮았으며, 큰 일중 변화 없이 일정한 차이를 유지하였다. 수증기압 역시 NCAM 관측 값이 AAOS 관측 값에 비해 항상 높았으며, 8월이 10월에 비해 더 큰 차이를 보였다. AAOS 순단파복사의 경우 AAOS 관측 반사복사량이 NCAM 관측 값에 비해 높은 경향을 보였다. 한편, 토양 관측 요소는 대기 관측 요소에 비해 더 큰 차이를 보였다. 추수 이전인 8월에는 대부분 눈에 물이 차 있었으며, 그로 인해 NCAM 관측 토양 온도가 AAOS 관측 토양 온도에 비해 낮았으며, 일 변화 폭 역시 작았다. NCAM 관측 토양 수분은 강수 여부와 관계 없이 지속적으로 포화상태를 유지하는 반면, AAOS 관측 토양 수분은 강수에 의해 증가한 뒤 감소하는 경향을 보였다. 추수 이후인 10월에는 8월과 다른 경향을 보였다. 토양 온도의 경우,

NCAM 관측 값과 AAOS 관측 값의 일 평균값은 비슷하였으나 일 변화 폭은 NCAM 관측 값이 더 컸다. 토양 수분은 NCAM 관측 값이 지속적으로 높았으나, 두 관측 값 모두 강수에 의해 상승하고 증발 또는 배수에 의해 감소하는 경향을 보였다. 이상의 결과는 AAOS 관측 자료의 품질 관리 문제와 함께 논과 잔디밭이라는 지표면 피복 및 영농 활동의 영향을 반영하지 못하는 대표성 문제를 보여주는 것으로서, 본 연구는 2011년 이후 이루어지고 있는 기상청 농업기상관측장비의 농지 부근 이동 작업에 이은 후속 조치로, 농업기상 관측을 대표할 수 있도록 잔디밭이 아닌 논, 밭, 과수원 등 실제 지역 대표 농업 현장에 설치되어야 함을 제언한다.

감사의 글

본 논문의 개선을 위해 좋은 의견을 주신 서울대학교 농업생명과학대학의 류영렬 교수님과 심사위원들께 감사를 드립니다. 본 연구는 광주지방기상청 농업기상관측자료 활용도 제고 및 개선을 위한 관측요소 특성 연구 용역의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Alberto, M. C. R., R. Wassmann, T. Hirano, A. Miyata, R. Hatano, A. Kumar, A. Padre, and M. Amante, 2011: Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic rice fields in the Philippines. *Agricultural Water Management* **98**, 1417-1430.
- Barnett, T., J. Ritchie, J. Foat, and G. Stokes, 1998: On the space-time scales of the surface solar radiation field. *Journal of Climate* **11**, 88-96.
- Chen, S. K., and C. W. Liu, 2002: Analysis of water movement in paddy rice fields (I) experimental studies. *Journal of Hydrology* **260**, 206-215.
- Choi, S. W., S. J. Lee, J. Kim, B. L. Lee, K. R. Kim, and B. C. Choi, 2015: Agrometeorological observation environment and periodic report of Korea Meteorological Administration: Current status and suggestions. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**, 144-155. (in Korean with English abstract)
- GROM (Gwangju Regional Office of Meteorology), 2017: *A study on the characteristics of observation factors for improving utilization of agricultural weather data*. Publication registration #11-1360102-000061-01, 119pp. (in Korean)
- KMA, 2011: *A study on suitability for the relocation of agrometeorological observation system*. Publication register #11-1360000-000723-01, 59pp. (in Korean)
- KIMPA, 2016: *A study on the advancement plan for services in the agrometeorological sector*. 224pp. (in Korean)
- Li, Z., M. Cribb, F. L. Chang, A. Trishchenko, and Y. Luo, 2005: Natural variability and sampling errors in solar radiation measurements for model validation over the Atmospheric Radiation Measurement Southern Great Plains region. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **110**, D15S19.
- Liu, C. W., C. H. Tan, and C. C. Huang, 2005: Determination of the magnitudes and values for groundwater recharge from Taiwan's paddy field. *Paddy and Water Environment* **3**, 121-126.
- Oh, G. L., S. J. Lee, B. C. Choi, J. Kim, K. R. Kim, S. W. Choi, and B. L. Lee, 2015: Quality control of agro-meteorological data measured at Suwon weather station of Korea Meteorological Administration. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**, 25-34. (in Korean with English abstract)
- Oue, H., 2005: Influences of meteorological and vegetational factors on the partitioning of the energy of a rice paddy field. *Hydrological Processes* **19**, 1567-1583.
- Post, D. F., A. Fimbres, A. D. Matthias, E. E. Sano, L. Accioly, A. K. Batchily, and L. G. Ferreira, 2000: Predicting soil albedo from soil color and spectral reflectance data. *Soil Science Society of America Journal* **64**(3), 1027-1034.
- Ramakrishna, A., H. M. Tam, S. P. Wani, and T. D. Long, 2006: Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. *Field Crops Research* **95**, 115-125.
- Schmid, H., 1997: Experimental design for flux measurements: matching scales of observations and fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology* **87**, 179-200.
- Tetens, O., 1930: About some meteorological terms. *Z. Geophys.* **6**, 297-309.
- WMO, 2010: *Guide to Agricultural Meteorological Practices*. 2010 edition, World Meteorological Organization.