

기상청 수원기상대 농업기상 관측요소의 품질관리

오규림¹ · 이승재^{1*} · 최병철² · 김 준^{1,3} · 김규량² · 최성원¹ · 이병렬^{1,4}

¹국가농림기상센터, ²국립기상연구소 응용기상연구과

³서울대학교 생태조경지역시스템공학부/협동과정 농림기상학전공, ⁴세계기상기구 농업기상위원회
(2014년 11월 11일 접수; 2014년 11월 24일 수정; 2015년 1월 21일 수락)

Quality Control of Agro-meteorological Data Measured at Suwon Weather Station of Korea Meteorological Administration

Gyu-Lim Oh¹, Seung-Jae Lee^{1*}, Byoung-Choel Choi², Joon Kim^{1,3},
Kyu-Rang Kim², Sung-Won Choi¹ and Byong-Lyol Lee^{1,4}

¹National Center for AgroMeteorology, Seoul 151-742, Korea

²Applied Meteorology Research Division, National Institute of Meteorological Research, Seoguiipo 697-845, Korea

³Department of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, Interdisciplinary Program in Agricultural & Forest Meteorology, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

⁴Commission for Agricultural Meteorology, World Meteorological Organization, Geneva CH-1211, Switzerland

(Received November 11, 2014; Revised November 24, 2014; Accepted January 21, 2015)

ABSTRACT

In this research, we applied a procedure of quality control (QC) to the agro-meteorological data measured at the Suwon weather station of Korea Meteorological Administration (KMA). The QC was conducted through six steps based on the KMA Real-time Quality control system for Meteorological Observation Data (RQMOD) and four steps based on the International Soil Moisture Network (ISMN) QC modules. In addition, we set up our own empirical method to remove erroneous data which could not be filtered by the RQMOD and ISMN methods. After all these QC procedures, a well-refined agro-meteorological dataset was compiled at both air and soil temperatures. Our research suggests that soil moisture requires more detailed and reliable grounds to remove doubtful data, especially in winter with its abnormal variations. The raw data and the data after QC are now available at the NCAM website (http://ncam.kr/page/req/agri_weather.php).

Key words: Quality control, Agro-meteorological data, RQMOD, ISMN, Suwon

I. 서 론

농업기상은 기상학·수문학적 요인과 원예·축산·산림 등을 포함하는 넓은 의미로 농업과의 상호관계를 다룬다. 농업기상의 목적은 기상과 농업의 상호관계를 파악하고 그 지식을 실제 영농에 적용하는 데 있다. 농업기상과 관련된 지식이 농업에 적절히 활용되기 위

해서는 품질보증(Quality Assurance, QA)과 품질관리(Quality Control, QC)가 제대로 이루어진 농업기상 관측자료의 확보가 필수적인 요건이다. 농업기상 관측 자료를 구성하고 있는 요소는 지표부근 공기의 연직방향 온도, 습도, 풍속 등의 대기요소와 땅 속의 온도, 수분 등의 토양요소로 구분되며, 특히 토양요소는 일반 기상기상 관측에서는 포함되지 않는 요소이다.



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

일반적으로 QA는 제품을 생산하는 과정에서 결함을 미리 방지하고 고품질을 보장하기 위하여 처리 공정에 행해지는 사전 작업을 말한다. 이에 반해 QC는 이미 생산된 제품에 존재하는 결함 식별과 사후 수정에 초점을 맞춘 작업이다. QA와 QC가 모두 잘 이루어질 때 효과적인 품질경영(Quality Management, QM)이 가능해진다. 농업기상 관측자료에 대하여 QC를 실시한다는 것은 저장되거나 표출된 관측자료에 존재하는 오류(error)를 찾고 걸러내어 정제된 자료를 얻는 작업을 수행하는 것을 의미한다.

농업기상 관측자료에 대한 QA는 농업기상 관측장비의 설치 환경 및 운용 방식과 관련이 있다. 최근, Choi *et al.*(2014)은 기상청의 농업기상 관측소들을 모두 답사하여 관측환경을 진단하고 개선 방안을 제시한 바 있다. 그러나 국내 농업기상 관측자료의 QC에 대한 연구는 대부분 지상기상 관측요소의 기온과 같은 대기요소에 집중되거나(예로, Hur *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2007; Park and Choi, 2012; Lee *et al.*, 2013), KoFlux 농림 관측지에서 지표-대기 간 에너지와 물질 플럭스 관측을 위한 미기상 자료처리 과정에서 주로 행해져 왔으며(예로, Kim *et*

al., 2007; Kwon *et al.*, 2007), 대기 외의 토양요소에 대한 국내 연구는 국외 연구(예로, Dorigo *et al.*, 2012)에 비해 전반적으로 매우 부족한 실정이다.

기상청에서는 현재 전국 11곳에 농업기상 관측관서를 운영하고 있으며, 이 중 수원기상대가 기본관서로서의 역할을 해오고 있다. 전국 농관 지점에서 관측한 자료는 기상청을 비롯한 농림기상 유관기관의 웹사이트 등을 통해 제공되고 있지만 사실상 지상기상 관측자료의 재표출일 뿐이며, 근본적으로는 농업기상 관측자료에 대한 품질관리가 이루어지지 못해 정제된 자료가 만들어지지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 농업기상 기본관서의 관측자료에 대하여 처음으로 품질관리를 실시하여 관측요소별 품질검사 방안을 만들고, 이를 바탕으로 향후 기상청 농업기상 보조관서에서 나오는 관측자료에 활용하고자 한다.

II. 자 료

이 연구에 사용된 자료는 수원기상대에서 지난 2년(2012년 1월~2013년 12월) 동안 관측한 연직 대기

Table 1. Agro-meteorological elements and sensors (KMA, 2011b)

Observing time	Elements	Height or Depth	Sensor	Type	
Every hour	Air Temperature	0.5 m	JY-100829	100Ω 4 wire platinum RTD (JIS Standard)	
		1.5 m			
		4.0 m			
	Soil Temperature	0.05 m	JY-100832	100Ω 4 wire platinum RTD (JIS Standard)	
		0.10 m			
		0.20 m			
		0.30 m			
	Surface Temperature		JY-100831	100Ω 4 wire platinum RTD (JIS Standard)	
	Air Humidity	Air Humidity	0.5 m	HMP-45	Thin film sensing
			1.5 m		
			4.0 m		
		Soil Moisture	0.10 m	Easy AG	Capacitance via the dielectric effect
0.20 m					
0.30 m					
Wind Speed	1.5 m	JY-WS161B	3-Cup Anemometer		
	4.0 m				
	Illumination Intensity		JY 0169000000	Photometric	
9 am	Underground Water Level		n/a	n/a	

온도 및 습도(0.5, 1.5, 4.0m), 풍속(1.5, 4.0m), 토양 온도(0.05, 0.10, 0.20, 0.30m), 토양수분(0.10, 0.20, 0.30, 0.50m), 조도, 지하수위이며, 지하수위를 제외한 모든 자료는 매시간 측정된 자료이고 지하수위는 일 1회(오전 9시) 측정된 자료이다. 각 관측 요소의 센서와 센서 형식은 Table 1에 제시되어 있다. 동일한 지점의 지상기상 관측자료는 농업기상 관측자료의 품질검사에 보조자료로 이용하였다. 순복사는 해당 기간에 가용한 자료가 충분치 않은 관계로 QC에서 제외하였으며, 지면온도 또한 측정방법에 있어 신뢰성이 높지 않다고 판단되어 이에 대한 연구는 추후 진행하기로 하였다.

대상 자료에 대하여 품질관리를 실시하기 이전에, 간단한 사전 처리과정을 거쳤다. 먼저 매월 19일 20시~23시 자료가 97일 40시~43시로 표기되어 있었으므로 이에 대한 오류를 수정하였다. 조도자료의 경우, Fig. 1과 같이 2012년 1월~5월까지의 자료 값이 모두 의심된다고 판단되어 이 기간에 대한 QC는 수행하지 않았다.

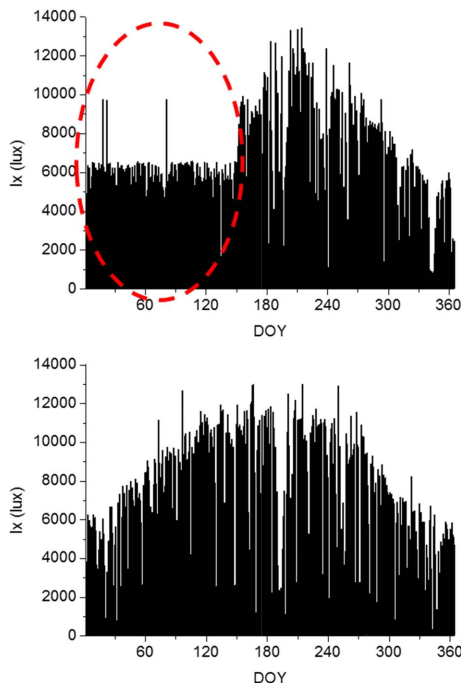


Fig. 1. Raw data graph of illumination intensity measured at Suwon weather station in 2012 (above). The dashed red circle shows doubtful data in the time period January to May 2012, compared to that in 2013 (below).

III. 방 법

농업기상 관측자료의 품질관리는 기상청 국가기후자료 품질관리 매뉴얼(KMA, 2011a)과 Hur *et al.*(2005)에서 기술한 실시간 품질관리 시스템(RQMOD, Real-time Quality control system for Meteorological Observation Data)을 참고하여 Fig. 2와 같은 흐름으로 실시하였다. 토양수분의 경우, 강수량과 밀접한 연관이 있어 강수 유무에 따른 불규칙한 변동을 보이므로 (Fig. 3), 기존 요소와는 별개의 품질관리 방법이 필요하다. 따라서 토양수분은 Dorigo *et al.*(2012)이 제시한 국제 토양수분 관측망(International Soil Moisture Network, ISMN) QC 모듈을 참고하여 Fig. 4와 같이

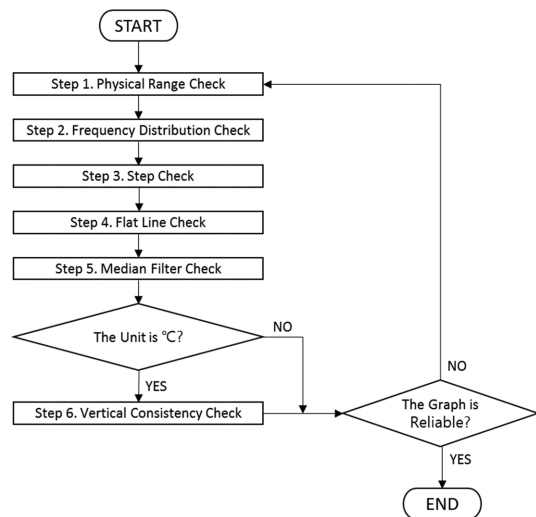


Fig. 2. Flowchart to guide the quality control process based on RQMOD.

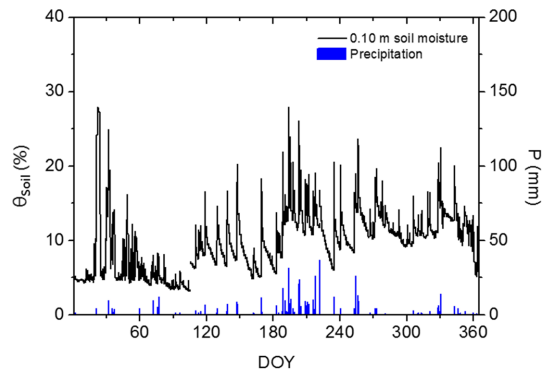


Fig. 3. Soil moisture (θ_{soil}) at 0.1 m and precipitation (P) in 2013.

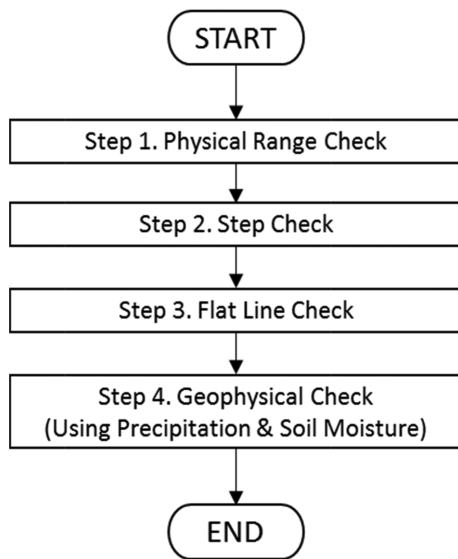


Fig. 4. Flowchart to guide the quality control process of soil moisture based on the ISMN Module.

Table 2. Physical limit range of agro-meteorological elements (WMO, 2013)

Elements	Unit	Physical limit range
Air Temperature	°C	-80 ~ +60
Soil Temperature	°C	-50 ~ +50
Surface Temperature	°C	-80 ~ +80
Air Humidity	%	0 ~ 100
Soil Moisture	%	0 ~ 100 (depends on soil porosity)
Wind Speed	m s ⁻¹	0 ~ 75
Illumination Intensity	lux	0 ~ 100000
Underground Water Level	m	0 ~ 1800

토양수분 QC를 진행하였으며, 이에 대한 자세한 내용은 아래에 별도로 기술하였다.

3.1. 물리적 범위 검사

물리적 범위(physical range) 검사는 장비의 기계적인 오차에 따른 오류 값을 제거하기 위해 시행된다. 이 검사를 통해 예상되는 물리적 범위를 벗어나는 관측자료가 제일 먼저 제거된다. 이 연구에서 사용된 물리적 범위는 WMO(2013)에서 권고한 사항을 참고하여 설정되었다(Table 2). 지하수위의 물리적 범위는 해발고도 기준 수준면을 기준으로 한다. 토양수분의 경우, 물리적 범위에 대한 WMO의 권고기준인 0~10³g kg⁻¹을 %로 환산하여 사용한다. 여기에 관측지

토양의 공극률 ϵ 을 고려하여 적용한다. 예를 들어 $\epsilon = 0.50$ (즉 50%)일 경우의 물리적 범위는 0~50%가 된다.

3.2. 빈도 분포 검사

빈도 분포(frequency distribution) 검사는 극단 이상의 값을 구하여 이를 제거하기 위해 시행된다. 극단 이상의 값은 상위 25%에서 하위 25%를 뺀 값인 Q3-Q1(사분위범위, IQR)을 이용하여, Q1과 Q3으로부터 사분위범위의 3배를 넘어선 값을 말한다. 지하수위는 일 1회 관측자료이기 때문에 월별 빈도 분포 검사를 하기에는 자료가 불충분하다고 판단하여 제외하였다. 조도의 경우 7, 8월과 1, 12월은 강수현상이 잦아 정규 분포를 잘 따르지 않으므로 1, 7, 8, 12월을 제외한 나머지 달에 대해서만 빈도 분포 검사가 수행되었다. 토양수분 또한, 그 분포가 정규 분포를 따르지 않는 경우가 많으므로 빈도 분포 검사에서 제외하였다.

3.3. 단계 검사

단계(step) 검사는 변동량의 한계값을 산출하여 연속적인 시간 자료에 대하여 이상 변동이 있는지 확인하는 것이다. 변동량의 한계값은 최대 변동량이며, 이 값은 여러 해 동안의 자료에 대해 통계분석을 통해 산출하는 것이 일반적이지만, 본 연구에서는 2012년과 2013년 자료만을 이용할 수 있으므로 2012년을 기준으로 최대 변동량을 산출하되, 0.05 및 0.30m 토양은 토 요소에 대해서는 예외적으로 2013년을 기준으로 적용하였다. 그 이유는 해당 요소의 2012년 원자료(raw data)가 2013년에 비하여 튀는 값이 빈번하게 일어났기 때문이다. 그래서 한 시간 간격 변동량이 최대 변동량보다 크면 의심자료(doubtful data)로 처리하였으며, 온도와 관련된 의심자료는 그 자료를 제외하고 산출한 일평균 값으로부터 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 를 벗어나는 경우 제거하였다.

단계 검사에서 토양수분은 별도의 과정을 거쳤다. 토양수분의 튀는 값은 연속한 두 시점 사이에 그 측정값이 이전 값의 15%(센서 정확도(accuracy)의 최댓값에 3배를 곱한 것으로써 Dorigo *et al.*(2012)은 ISMN의 센서 평균인 5%를 사용)를 넘어 급격한 증가를 보이는 경우에 나타난다. 하지만 튀는 값이 강수량의 영향을 받은 것인지 구분하기 힘들기 때문에 해당 값을 중심으로 그 주변에 대해 2차 미분을 실시한

다. 시각 t 에서 급격한 증가가 일어났다면, $t-1$ 과 $t+1$ 에서의 토양수분은 큰 변화가 없었다고 가정하므로 해당 시각에서의 2차 도함수 비는 0.8과 1.2 사이의 값을 만족해야 한다. 하지만 이 또한 데이터가 산발적이고 의심값이 많은 노이즈 자료에서는 효과가 없으므로, 본 연구에서는 튀는 값을 중심으로 24시간 동안의 평균과 분산의 비가 1.0보다 작아야 한다는 기준을 추가하였다. 따라서 강수의 영향이 없었다는 가정 하에서 위의 세 가지 기준을 모두 충족할 경우, 튀는 값으로 여기고 의심자료로 분류하였다.

3.4. 지속성 검사

시계열 관측자료에 평평한 선(flat line)이 오랜 시간 동안 지속되면 오류값으로 의심할 수 있다. 따라서 지속성(persistence) 검사는 그러한 오류를 걸러내기 위하여 시행되는데, 특정 기간 동안의 누적 변동량과 최소 변동량을 비교하여 누적 변동량이 설정된 최소 변동량보다 작으면 의심자료로 처리한다. 최소 변동량은 1년 이상의 자료에 대하여 해당 관측 요소별, 월별로 산출하여 적용하며 0보다는 큰 최소값으로 설정하였다. 토양온도의 경우 진폭의 변화가 다른 변수들에 비해 상대적으로 작기 때문에 최소 변화량을 적용하기 어려우므로 지속성 검사에서 제외하였다. 또한 해빙기(1~3월)의 기온 및 지면온도는 최소 변화량이 0°C로 아무 변화가 없어도 의심값으로 처리하지 않는 것이 일반적이다. 그 이유는 해빙기의 잠열을 고려해야 하기 때문이다(WMO, 2013). 본 연구에서는 10시

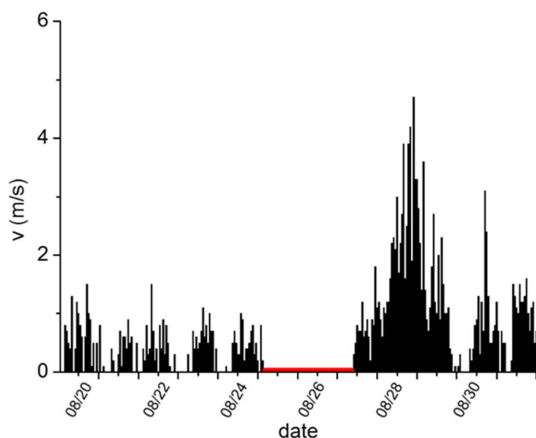


Fig. 5. The wind speed (m s^{-1}) at 1.5 m measured at Suwon weather station on 20-31 August 2012. The red line shows data which were filtered by the flat line check.

간을 기준으로 삼고 이 시간 동안 최소 변동량을 넘지 못하면 첫 번째 자료를 제외한 나머지를 의심자료로 처리하였다(Fig. 5). 토양수분 요소의 경우에는 그 값이 최소 12시간 동안 일정하게 지속되고, 그 기간 동안의 분산이 센서 정확도의 1%를 넘지 못하면 첫 번째 자료를 제외한 나머지를 의심자료로 처리하였다.

3.5. 중앙값 필터 검사

중앙값 필터(median filter) 검사는 연속적인 시계열 자료에서 짧은 시간동안 급격하게 일어나는 비정상 값들을 필터링하는 방법이다. 이 검사는 모든 값을 대상으로 수행할 경우 정상적인 값들도 필터링되는 경향이 있으므로 이전 검사들에서 의심자료로 분류된 값들을 위주로 실시하였다. 검사 방법은 해당하는 관측값을 포함하여 홀수 횟수 관측값들의 중앙값과 현재 관측값의 차이가 일정 한계값을 초과하면 제거하는 방식이다. 여기서 홀수 횟수는 3회를 적용하였고, 한계값은 대상 관측값이 해당하는 달의 월 단위 표준편차를 적용하였다. 토양수분의 경우에는, 의심자료 제거에 있어 더욱 확실한 근거가 필요하므로 중앙값 필터 검사에서 제외하였다.

3.6. 연직 일관성 검사

연직 일관성(vertical consistency) 검사는 온도요소에 적용 가능하며, 높이에 따른 변화율을 기준으로 튀는 값을 걸러내는 방법이다. 일반적으로 대류권에서의 기온감률은 약 $6.5^\circ\text{C km}^{-1}$ 로, m로 환산하면 매우 작은 값을 가진다. 그러므로 기온의 관측 높이인 0.5, 1.5, 4.0m 간의 온도는 미세한 변동을 제외하고 서로 큰 차이를 보이지 않아야 한다. 토양온도의 경우, 토양은 대기에 비해 열전도율이 높으나 열용량이 크기 때문에 기온보다 덜 미세한 변동을 보인다. 본 연구에서는 연직 변동 기준을 기온 1.5°C , 토양온도 1°C 로 자체 설정하여 연직 관측값의 중간값에서 해당 기준을 초과하는 값을 제거하였다.

3.7. 지구물리학적 검사

지구물리학적(geophysical) 검사는 토양수분 요소에 한하여 적용하였다.

3.7.1. 강수량 이용

토양수분은 강수량과 매우 밀접한 관계가 있다. 따

라서 토양수분이 상당히 증가할 때, 해당 시간으로부터 지난 24시간 동안 강수량이 존재하지 않으면 의심 플래그(flag)를 부여하였다. 여기서 상당한 증가는 증가 시점으로부터 지난 24시간 동안의 토양수분 증가량이 해당 시간 동안의 토양수분 표준편차의 2배를 넘을 때로 정의된다. 하지만 강수가 있었다라도 토양수분 센서가 반응하지 않는 경우를 고려하여, 센서가 반응하는 최소 강수량 (P_{min})을 정의하였다. P_{min} 은 센서의 깊이, 센서의 정확도, 그리고 토양의 공극률을 곱하여 산출해낸다. 본 연구에서는 수원기상대에서 사용하는 Easy AG센서의 정확도 정보를 찾을 수 없어, 이를 대신하여 Dorigo *et al.*(2012)이 사용한 ISMN 센서 평균인 5%로 대체하였고 평균 토양 공극률 50%를 사용하였다. 따라서 토양수분이 상당히 증가할 때 강수량이 존재했다라도, 강수량이 P_{min} 미만이면 역시 의심자료로 처리하였다. 이 방법은 토양수분이 강수량에 즉각적으로 반응하는 것을 가정하고 있기 때문에 0.10m 토양수분 요소에만 적용하였다.

3.7.2. 토양온도 이용

토양온도는 서리로 인해 토양수분이 잘못 측정되는 경우를 걸러내기 위해 사용하였다. 토양온도가 0°C 미만일 경우, 이론적으로 토양수분은 얼게되어 제대로 측정되기 어려우므로 이 때의 토양수분 값에는 의심 플래그를 부여하였다. 이 연구의 사례에서 토양온도와 토양수분의 관측 깊이가 일치하는 곳은 0.10, 0.20, 0.30m 이므로, Fig. 6에서와 같이 일정 깊이의 토양수분에 대해서는 동일한 깊이의 토양온도를 기준으로

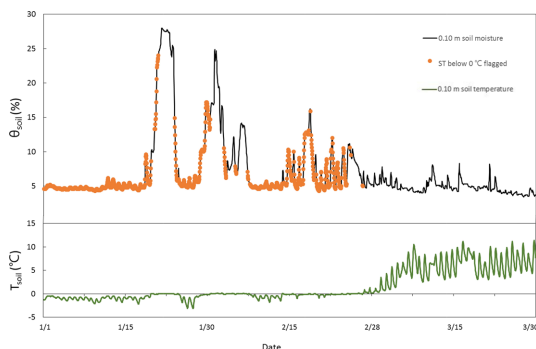


Fig. 6. The soil moisture (θ_{soil}) at 0.1 m measured at Suwon weather station from January to March 2013. The orange dots show data flagged by geophysical check using soil temperature (T_{soil} , green line).

하여 QC를 시행하였다.

IV. 결과 및 고찰

Fig. 7은 2013년 기온의 원자료와 QC 결과를 나타낸다. QC 적용 이전에는 -49.9°C에서 34°C의 범위를 보이며 주로 최저값 주위에서 비정상적인 값들을 보였으나, QC 적용 이후에는 -17.2°C에서 34°C의 비교적 정상적인 범위를 보였다. 기온의 튀는 값이 나타난 시기는 11월 12~13일이다. 연직 기온의 연간 변화 양상은 Fig. 7에서 보듯이 1, 2월에 증가와 감소를 반복하다 점차 증가하고 8월 중순까지 꾸준히 증가하는 경향을 보이며, 9월 중순 이후부터는 다시 꾸준히 감소하는 계절적 경향을 보인다.

Fig. 8는 (a) 2012, (b) 2013년 0.05, 0.10, 0.20, 0.30m 토양온도의 원자료와 QC 결과를 나타낸다. QC 적용의 효과는 토양온도에서 가장 현저하게 나타났다. 먼저 (a)에서 0.05m 토양온도는 QC 전 -23.9°C에서 59.6°C의 큰 범위를 보였으나, QC 후 -7.2°C에서 33.4°C의 정상적인 범위를 나타냈다. (a)의 0.30m의 경우, QC 전 -48.9°C에서 70.1°C, QC 후 -0.6°C에서 31.7°C를 보여 토양온도 자료가 잘 정제되었음을 알 수 있다. (a)의 0.10, 0.20m에서는 이상값이 나타나지 않았다. (b)에서 0.10m 토양온도는 -3.1°C에서 98.3°C의 범위에서 QC 후 -3.1°C에서 35.4°C를 보였고, 0.20m 토양온도는 QC 전 -1.6°C에서 83°C, QC 후 -1.6°C에서 32.4°C의 범위를 나타냈다. (b)에서는 0.05, 0.30m에서 이상값이 나타나지 않았다. 연도별로 튀는 값을 분석해보면, 먼저 (a) 2012년 0.05m, 0.30m에는 공통적으로 3월 7일과 8월 25, 26일에 튀는 값

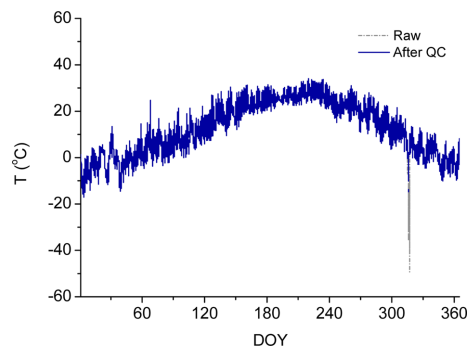


Fig. 7. The application of QC methods to air temperature at 1.5 m measured at Suwon weather station in 2013.

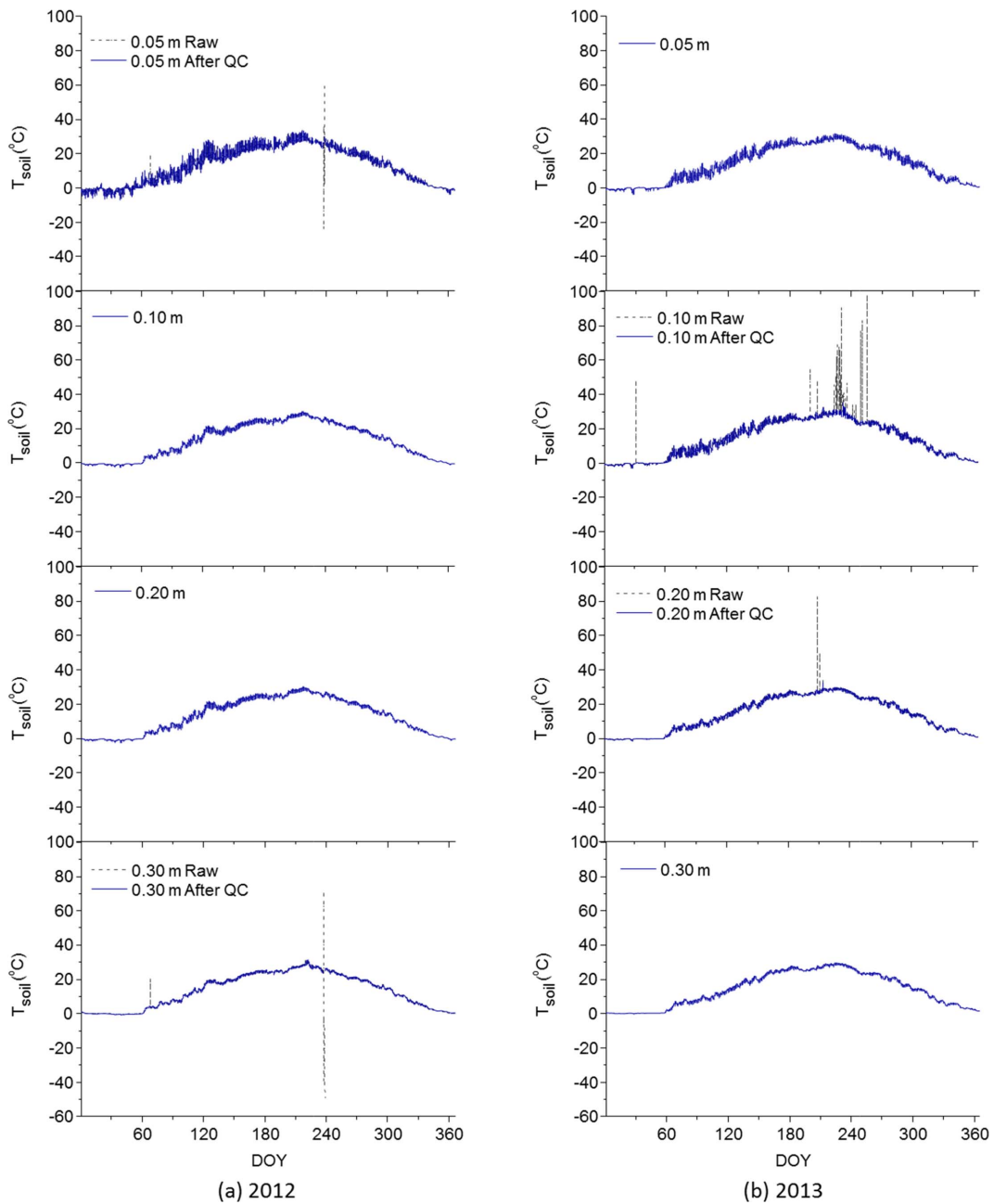


Fig. 8. The application of QC methods to soil temperature (T_{soil}) at 0.05, 0.10, 0.20, 0.30 m measured at Suwon weather station in (a) 2012 and (b) 2013.

이 나타났었다. 하지만 (b) 2013년에는 공통적인 오류 값을 보이지 않았다. (b)에서 0.10m의 경우 1월 31일과 7, 8, 9월에 산발적인 오류를 보였으며 특히 8월 중순에 튀는 값들이 많이 나타났었다. 반면에 0.20m에서는 7월 30일과 8월 2일에만 튀는 값이 나타났었다.

전반적으로 보면, 토양온도는 여름철 우기에 튀는 값이 주로 나타남을 알 수 있다. 연직 토양온도의 연간 변화 양상은 1, 2월에는 0°C 부근에서 유지되는 경향을 보이며, 3월 이후 꾸준히 증가하다 다시 8월 하순 이후 꾸준히 감소한다. 지면에 가까울수록 지면온도의

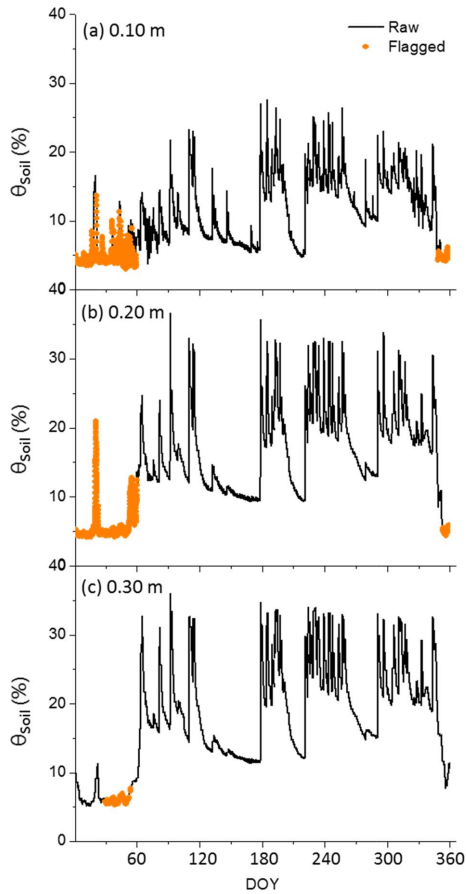


Fig. 9. The application of the ISMN QC module to soil moisture (θ_{soil}) at (a) 0.10 m, (b) 0.20 m and (c) 0.30 m measured at Suwon weather station in 2012.

영향을 많이 받아 변동 폭이 크게 나타나는 것이 특징적이다.

Fig. 9는 2012년 (a) 0.10, (b) 0.20, (c) 0.30m 토양수분의 원자료와 QC 결과를 나타낸다. 주황색 표시는 토양온도가 0°C 이하로 내려갔을 때 플래그를 부여한 것이다. 수문기상대의 토양수분 자료는 ISMN 모듈로 QC를 적용하였을 때, 지구물리학적 검사의 토양온도를 이용한 검사에서만 유일하게 플래그가 부여되었다. 토양수분은 다른 요소와는 달리 의심자료를 제거하는 대신 플래그로 표시하였는데, 그 이유는 토양수분요소의 특성상 관측값과 오류값의 확실한 구분이 어렵고, 전체적으로 불규칙적이기 때문에 정상적인 값들이 필터링될 가능성이 있기 때문이다.

전반적으로 수문기상대 토양수분 값은 최대치가 40%를 넘지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 측정

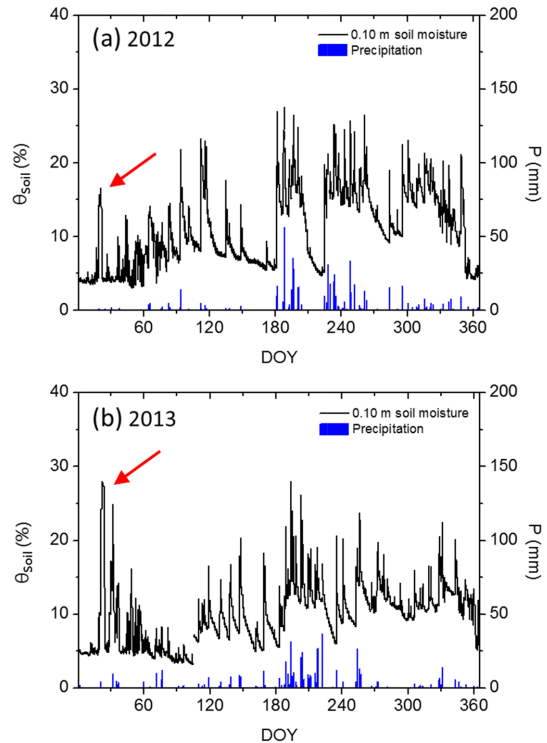


Fig. 10. The soil moisture (θ_{soil}) in (a) 2012 and (b) 2013. Red arrows indicate doubtful data.

장소의 토양 공극률과 연관된 것으로, 토양에 수분이 포화되었을 경우 그 값은 토양 공극률과 동일하게 나타날 것이다(실제로 수문기상대의 관측 노지가 얼기 전인 2014년 12월 1일에 해당 토양 표본을 시험 채취하여 공극률을 조사한 결과 36.25%의 공극률을 예비적으로 얻은 바 있으며, 추후 정밀한 표본 채취와 분석이 필요함). 또한, 토양수분은 깊이가 깊어질수록 수분의 양 자체가 많아지며, 지면에 가까울수록 강수량에 민감하게 반응함을 알 수 있다. 토양수분의 연간 변화 양상은 2월 중순에 증가하고 12월 중순에 감소함을 보이며, 강수량에 의한 일시적인 변동을 제외하면 연중 안정적인 양상을 띤다. 겨울철 토양온도는 깊이 내려갈수록 거의 0°C 이하로 떨어지지 않기 때문에, 이로 인한 토양수분의 플래그 표시도 함께 줄어드는 경향을 보인다.

한편, 0.20m 토양수분의 경우 1, 2월 모든 값이 의심자료로 분류된 것이 확인되었다. 이는 0.20m 토양온도가 계속 영하의 온도를 보였기 때문인데, 비록 영하라 하더라도 0°C 에 근접한 온도에서는 토양층의 수분이 완전히 얼지 않을 가능성이 높다. 따라서 모든

값이 의심자료로 처리된 결과로 볼 때, 그 처리 기준이 너무 엄격하다고 판단된다. 이에 따라 해당 모듈의 토양온도 기준을 완화하는 방법을 모색해 볼 필요가 있다.

수원기상대에서 관측된 토양수분은 몇 가지 의심스러운 양상을 띠었는데 강수가 존재할 때 토양수분 반응에 시간적 지연이 있거나, 여름철 집중강우 발생시 증가된 토양수분이 일정기간 유지되지 않고 곧바로 회복되는 점 등이 그렇다. 그 중에서도 특히, 2012년과 2013년에 공통적으로 1월 19일부터 24일 사이에 이상한 값들이 발견되었다(Fig. 10). 보통 겨울철에 토양수분에 나타나는 오류로는 토양수분계가 얼어붙어 그 값이 급격한 감소를 보이는 것이 보편적인데, 이 경우에는 급격한 증가를 보였다. 이러한 값이 위의 QC 모듈로도 걸러지지 않은 이유는 전체적인 증가 폭이 크지만 한 번에 증가한 것이 아닌 단계적으로 증가한 점, 또 증가하는 시점에 소량이지만 강수량이 존재한다는 점 때문이었다. 그러나 매우 적은 강수량임에도 여름철 우기에는 볼 수 있는 큰 변동이 나타난 것은 명백히 비정상적인 값들로 보여지며, 또한 2012년과 2013년 연말에 비슷한 시기에 이러한 값들이 나타났다는 것은 단순한 우연으로 보기 힘들다. 이는 수원기상대의 고유한 관측 환경에 따른 영향이 어느 정도 작용하고 있는 것이라 추정되며, 이에 대한 추가적인 조사가 필요하다. 또한 위에 언급한 의심값들에 대해서도 보다 세밀한 연구가 필요하다.

적 요

농업기상 관측자료의 QC는 원자료의 튀는 값을 의심자료로 분류하거나 제거하는 사후 성격의 작업이다. 본 연구에서는 수원기상대의 2012, 2013년 농업기상 관측요소에 대하여 처음으로 QC를 시행하고, 관련 절차를 문서화하였다. QC 방법은 기상청의 실시간 품질관리 시스템을 참고하였고, 토양수분은 국제 토양수분관측망 QC 모듈을 참고하였으며, 그 외의 경우는 경험에 근거하여 자체적으로 고안한 기준을 적용하였다. 농업기상 관측자료에 이상의 품질검사 알고리즘들을 적용한 결과, 튀는 값과 비정상적인 값들이 사라지고, 보다 신뢰할 수 있는 시계열 자료가 확보되었으며, 보다 정확한 통계값이 산출되었다. 연직 기온, 토양온도 등의 온도 요소는 품질관리가 상대적으로 용이하게 이루어

졌다. 그러나 토양온도의 튀는 값이 여름철에 집중된 것으로 볼 때, 강수에 따른 대비와 관측 장비의 철저한 관리가 필요하다고 사료된다. 한편, 온도 요소를 제외한 나머지 요소에는 각각의 자료 특성에 맞는 품질관리 방법의 개발이 시급하다. 특히 토양수분은 연직으로 깊이 들어가더라도 그 정도에 차이가 있을 뿐 강수량의 영향을 받음에도 불구하고, 앞에 제시한 일부 QC 방법은 0.10m 토양수분에 한정되어 있는 점이 한계로 작용하였다. 수원기상대에서 나타나는 토양수분의 겨울철 이상 변동은 ISMN 방식의 QC 모듈로도 걸러지지 않았으므로, 이에 대한 원인 분석이 이루어져야 할 것이다. 또한, 토양수분 QC에서 플래그가 부여된 의심자료들을 오류값으로 분류하기 위해서는 더욱 확실한 근거가 필요하다. 예를 들어 수원기상대의 경우, 여러 해 동안 측정된 토양수분 관측자료를 종합적으로 분석하여 수원기상대에서의 토양수분의 변화 양상이 매년 어떻게 반복되고 있는지 파악하는 것이 중요하다. 향후 단기적으로는 이번 QC 연구에서 자료의 신뢰도가 낮아 제외되었던 복사 변수와 지면온도 변수에 대한 QC가 이루어져야 하며, 수원 이외의 다른 농관 지점의 관측자료에 대해서도 QC가 속히 실시되어야 할 것이다. 중기적으로는 QC된 자료를 바탕으로 농업기상 정기보고서 작성 및 배포가 가능하다. 장기적으로는 기상청 및 KoFlux의 자동화 QC 프로그램, 수치모형을 이용한 비선형 변환 QC(예로, Lee *et al.*, 2011) 등을 기반으로 농업기상 관측요소별 QC 수행의 고도화 및 자동화가 필요하다. 이러한 체계적인 개선을 통해 농업기상 관측자료의 품질경영이 한층 더 성취되면, 기상기상 관측자료에 버금가는 고품질의 농업기상 관측자료가 생산되어, 국내 유관기관, 학술 연구자, 농림업 현장 종사자 등 많은 이용자들에게 제공 및 활용될 것으로 기대된다. 이 연구에서 사용된 원자료 및 품질관리 결과 자료는 국가농림기상센터의 웹사이트 (http://ncam.kr/page/req/agri_weather.php)에서 소정의 절차를 거쳐 이용할 수 있다.

감사의 글

본 논문의 개선을 위해 좋은 의견을 제시해 주신 세 분의 심사위원께 감사를 드립니다. 이 연구는 기상청 국립기상연구소 “응용기상기술개발연구”의 지원과 연구사업(과제번호: 3133-302-210-13)의 지원으로 수

행되었습니다. 또한 기상청 차세대도시농림융합스마트 기상서비스개발(WISE) 사업의 지원을 받아 수행되었습니다(153-3100-3133-302-350).

REFERENCES

- Choi, S., S.-J. Lee, J. Kim, B. L. Lee, K. R. Kim and B. C. Choi, 2014: Agrometeorological Observation Circumstances of KMA and their Improvement Plan. *Proceedings of Autumn Meeting of KMS*, 315-316.
- Dorigo, W. A., A. Xaver, M. Vreugdenhil, A. Gruber, A. Hegyiova, A. D. Sanchis-Dufau, D. Zamojski, C. Cordes, W. Wagner and M. Druch, 2012: Global Automated Quality Control of In Situ Soil Moisture Data from the International Soil Moisture Network. *Vadose Zone Journal* **12**(3), 21pp.
- Hur, B., J. Lee, Y. Chu, J. Kim, N. Park, J. Jo, S. Oh, M. Noh and Y. Lee, 2005: Statistical Analysis of AWS Observation Data to Calculate the Quality Control Threshold of Meteorological Observation Data in RQMOD. *Proceedings of Autumn Meeting of KMS*, 390-391.
- Kim, J., R. Yuan, S. Park, M. Kang, Y. Ryu, J. Lee, J. Hong, U. Byun, J. Yoo, D. Lee, S. Moon and S. Kim, 2007: *Quality Control Manual for KoFlux Micrometeorological Data*. Biometeorological Laboratory at Department of Atmospheric Sciences in Yonsei University, 56pp.
- KMA, 2011a: *Quality Control Manual for National Climate Data*, 44pp.
- KMA, 2011b: *Study on Suitability for Relocation of Agri-Meteorological Equipment*, 59pp.
- Kwon, H., S. Park, M. Kang, J. Yoo, R. Yuan and J. Kim, 2007: Quality Control and Assurance of Eddy Covariance Data at the Two KoFlux Sites. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(4), 260-267.
- Lee, S.-J., D. F. Parrish, S.-Y. Park, W.-S. Wu, S. J. Greybush, W.-J. Lee, and S. J. Lord, 2011: Effects of 2-m air temperature assimilation and a new near-surface observation operator on the NCEP Gridpoint Statistical-Interpolation System. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **47**(4), 353-376.
- Lee, Y., D. Kim, K. Kim, J. Lee, H. Kim and S. Jeong, 2013: Quality Control for AWS Observation Data: Analysis of Irregularity Inspection of Temperature Data. *Proceedings of Autumn Meeting of KMS*, 28-29.
- Lee, Y., W. Sim and S. Oh, 2007: Study on QC Method for Temperature Data using Spectrum Analysis. *Proceedings of the Spring Meeting of KMS*, 300-301.
- Park, C. and Y. Choi, 2012: Validation of Quality Control Algorithms for Temperature Data of the Republic of Korea. *Journal of the Korean Meteorological Society* **22**(3), 299-307.
- WMO, 2013: Guide to the Global Observing System (WMO No. 488). Geneva.