

노지작물과원 스마트영농 모델개발 사업 토양수분센서 데이터 분석

경농 컨소시엄

2020. 11. 23

토양수분센서 데이터 분석

고려대학교 식물생명공학부 김종윤



고려대학교
KOREA UNIVERSITY



고려대학교 생명과학대학
Korea University
College of Life Sciences & Biotechnology



고려대학교 생명자원연구소
Institute of Life Science and
Natural Resources



KOREA UNIVERSITY
CONTROLLED ENVIRONMENT
for Plant Production Biotechnology

농가 정보

지역	번호	농가명	주소	작물	휴토람 토양	설치시 토양 특성
제천	1	이*호	제천시 송학면	사과	사양토	<ul style="list-style-type: none"> • 산을 개간한 과수원으로 센서 설치 위치는 산 아래쪽에 위치 • 설치시 토양에 자갈이 매우 많았으며, 물이 많은 상태 였음
	2	이*현	제천시 한수면	사과	미사질양토	<ul style="list-style-type: none"> • 산과 산 사이 계곡 아래쪽에 위치한 과수원이었음
청주	1	이*눌	청주시 상당구	사과	미사질양토	<ul style="list-style-type: none"> • 산에 가까운 과수원이며, 설치시 수분이 충분하였으며 돌이 매우 많은 땅이었음
	2	김*상	청주시 상당구	사과	미사질양토	<ul style="list-style-type: none"> • 개천 바로 옆에 위치한 과수원으로 설치 개천에 가까운 쪽이었음 • 토양에 수분이 충분한 상태였음
장흥	1	김*인	장흥군 대덕읍	블루베리	미사질양토	<ul style="list-style-type: none"> • 나무 주위에 부직포로 덮여 있음 • 농가에서 주기적으로 물관리를 하고 있다고 하였음 • 블루베리 수확 완료
	2	이*모	장흥군 용산면	블루베리	미사질양토	<ul style="list-style-type: none"> • 나무 주위에 부직포가 덮여 있음 • 농가에서 주기적으로 물관리를 하고 있다고 하였음 • 블루베리 수확 완료 • 설치시 토양에 부식물이 매우 많았으며, 건조한 상태로 토양이 자꾸 흘러 내려음
제주	1	현*석	제주시 조천읍	감귤	미사질양토	<ul style="list-style-type: none"> • 타이백이 전체적으로 설치됨 • 설치시 토양이 매우 건조한 상태 : 당도를 높이기 위해 물을 안준다고 함
	2	유*숙	서귀포시 남원읍	감귤	미사질양토	<ul style="list-style-type: none"> • 타이백이 전체적으로 설치됨 • 설치시 토양이 매우 건조한 상태 : 당도를 높이기 위해 물을 안준다고 함

설치 센서 정보

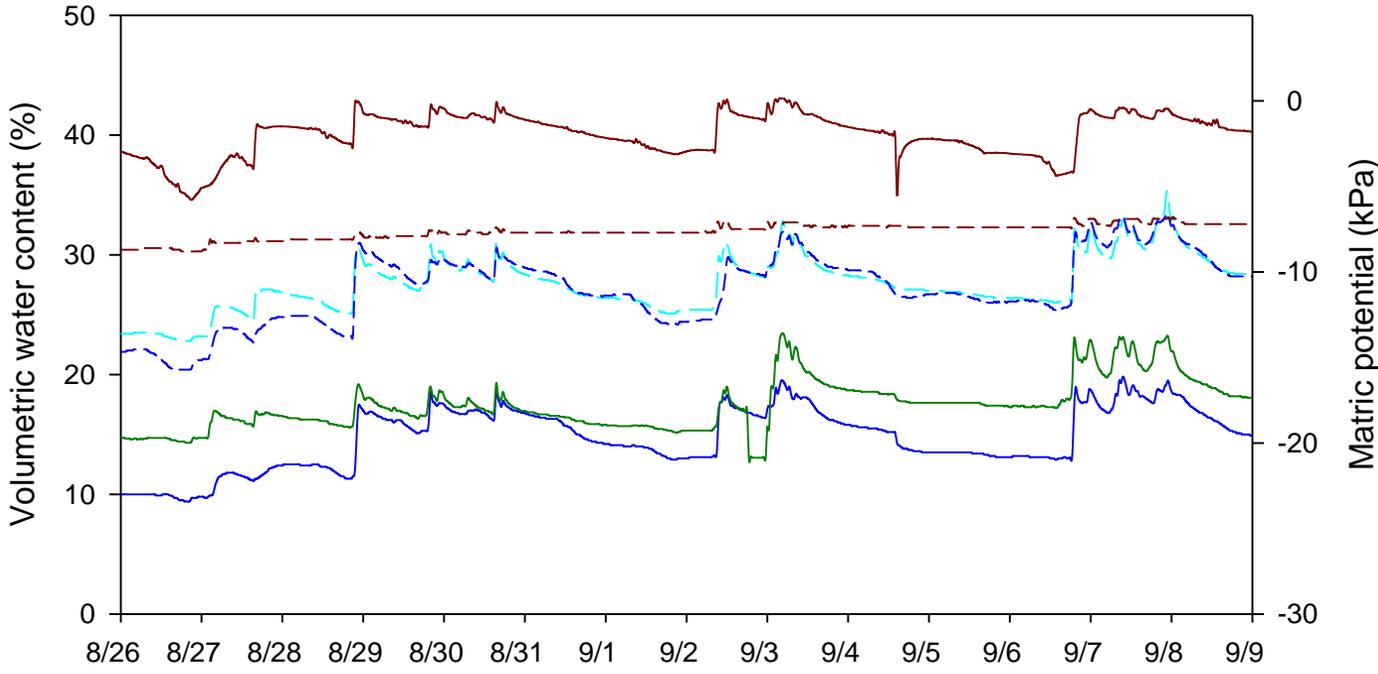
	EC-5	TEROS10	TEROS12	TEROS21	TEROS32	KT
						
측정항목	토양수분함량 (%)	토양수분함량 (%)	토양수분 (%) 토양온도 (°C) bulk EC(dS/m)	토양수분장력	토양수분장력	토양수분 (%) 토양온도 (°C) bulk EC(dS/m)
정확도	±3% VWC	±3% VWC	±3%/±1°C/±5%	±2kPa	±0.15kPa	±1%/±3%
측정범위	0-100%	0-약 64%	0-약62% VWC -40 ... 60°C 0-20 dS/m (bulk)	-9...-2,000kPa	+50...-85kPa -30 ... 60°C	0-100% -40... 80°C 0-10 dS/m
특징	FDR	FDR	FDR	Gypsum	Tensiometer	FDR

제천_1 Data

기간	토성	작물
8/26-9/9 (2주)	사양토	사과

Data 해석 결과

- 30kPa을 포장용수량으로 판단할 시, 측정기간 전반에 걸쳐 계속 습한 토양을 지닌 것으로 판단됨
- VWC를 측정하는 센서의 경우 동일한 패턴으로 수분함량변화가 보여짐
- 수분장력(matric potential) 측정 센서의 경우 TEROS32는 -10~0 kPa 수준의 범위를 측정하는 것으로 보여지나, TEROS21은 센서의 특성상 측정범위가 -9 kPa 이상 범위에서는 측정이 어려운 것으로 보임
- 일반적으로 관수결정에 있어서는 -30kPa 범위 이하이므로 현 데이터로는 관수 결정을 위한 적정 센서 판단 불가
- FDR 타입 센서간의 평균차이는 보정식이 달라 차이가 있으나, 표준편차에서는 1% VWC 이하로 나타나 비슷한 성능을 지니는 것으로 보임



— EC-5
 — TEROS 10
 — TEROS 12
 — TEROS 32 (kPa)
 — TEROS 21 (kPa)
 — KT

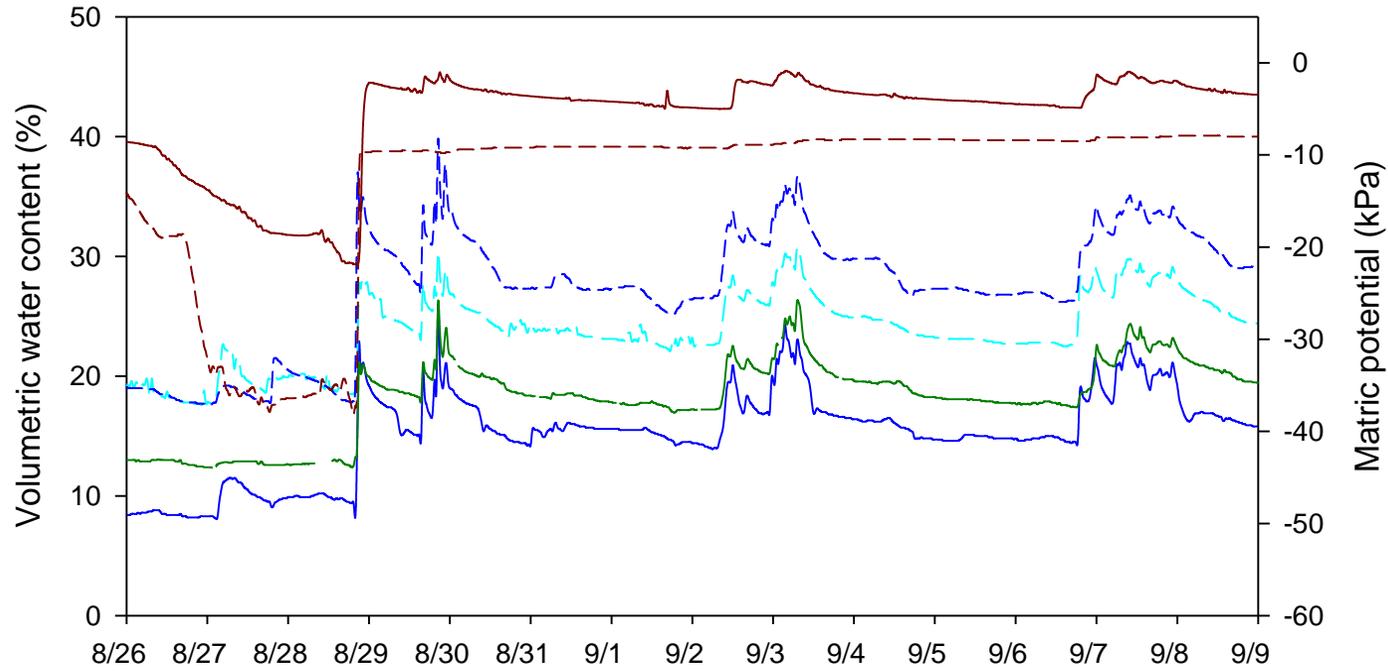
Date	TEROS12 -EC5	TEROS12 -10	TEROS10 -EC5	TEROS32 -21	KT -EC5	KT -TEROS10
평균차이	12.5	-0.4	12.8	5.7	2.8	-10.1
표준편차	0.8	1.0	0.9	1.0	1.7	1.2

제천_2 Data

기간	토성	작물
8/26-9/9 (2주)	미사질양토	사과

Data 해석 결과

- 30kPa를 포장용수량으로 판단할 시, 측정기간 초반에 약간 건조하였다가, 8/29일 즈음부터 강우로 인하여 습한 토양을 지닌 것으로 판단됨
- VWC를 측정하는 센서들의 경우 동일한 패턴으로 수분함량변화를 지니며, 강우 후 높게 유지함
- 수분장력(matric potential) 측정 센서의 경우 TEROS32는 TEROS21에 비해 높게 읽고 있으나, 아마도 설치 위치의 차이로 인한 차이로 판단됨
- TEROS21의 경우 강우 시작 전 TEROS32와의 차이가 있으며 값의 변화에 약간의 차이가 있는 것으로 보임(SD=4.5 kPa)
- TEROS21의 경우 센서의 특성상 강우 후 습한 토양의 수분장력을 -9 kPa로 측정함
- FDR 타입 센서간의 평균차이는 보정식이 달라 차이가 있으나, KT의 표준편차에서는 1% VWC 이하로 나타나 유사한 성능을 지니는 것으로 보임

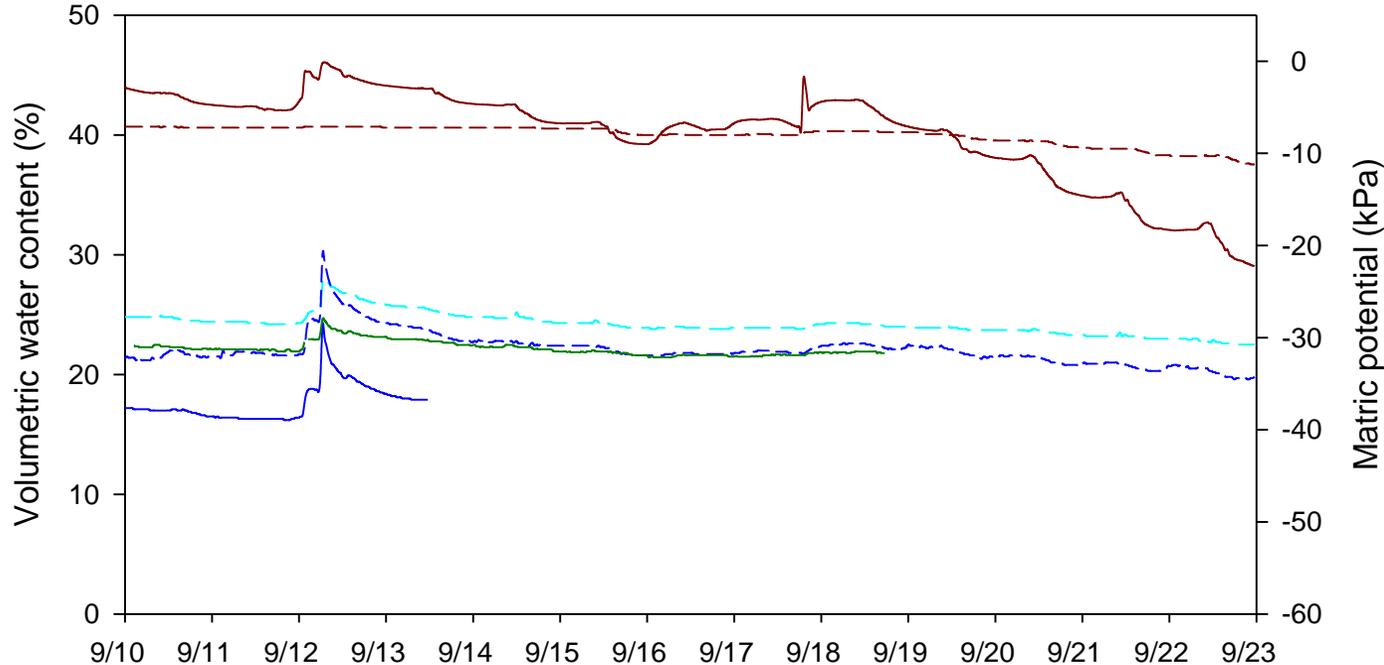


— EC-5
 - - - TEROS 10
 - - - TEROS 12
 — TEROS 32 (kPa)
 - - - TEROS 21 (kPa)
 KT

Date	TEROS12 -EC5	TEROS12 -10	TEROS10 -EC5	TEROS32 -21	KT -EC5	KT -TEROS10
평균차이	12.2	3.6	8.6	7.1	3.0	-5.7
표준편차	1.7	2.2	0.9	4.5	1.0	0.9

청주_1 Data

기간	토성	작물
9/10-9/23 (2주)	미사질양토	사과



— EC-5
 - - - TEROS 10
 - - - TEROS 12
 — TEROS 32 (kPa)
 - - - TEROS 21 (kPa)
 KT

Date	TEROS12 -EC5	TEROS12 -10	TEROS10 -EC5	TEROS32 -21	KT -EC5	KT -TEROS10
평균차이	5.4	-2.1	7.5	0.2	5.0	-2.4
표준편차	0.6	0.6	0.6	4.1	0.9	0.3

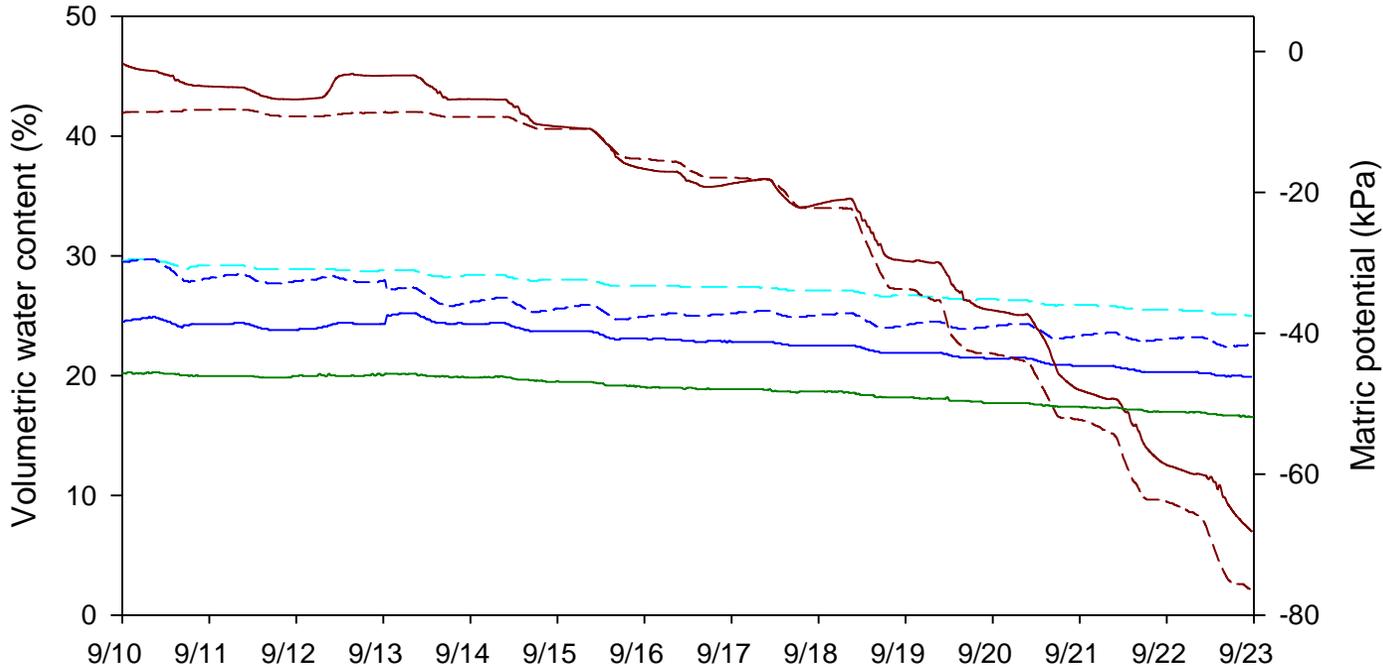
Data 해석 결과

- -30kPa을 포장용수량으로 판단할 시, 측정기간 전반에 걸쳐 습한 토양을 지닌 것으로 보이며, 용적 수분함량(VWC)역시 큰 변화를 보이지 않음
- 9/20일 이후 작물의 수분이용으로 인해 수분장력 및 VWC의 감소가 보이나, 건조가 심하지 않아 TEROS32의 수분장력 변화가 뚜렷하게 나타남
- 수분장력을 측정하는 TEROS21와 TEROS32의 특성상 TEROS21은 물이 충분한 상태($<-10\text{kPa}$)에서의 측정수치는 큰 변화가 없는 것으로 보임
- FDR 타입 센서간의 평균차이는 보정식이 달라 차이가 있으나, 동일회사 센서 간의 측정치는 0.6%로 매우 유사하게 변화를 감지하고 있음
- EC-5의 경우 중간에 센서가 빠진 것으로 확인
- KT센서의 경우도 표준편차에서는 1% VWC 이하로 나타나 유사한 성능을 지니는 것으로 보임

기간	토성	작물
9/10-9/23 (2주)	미사질양토	사과

Data 해석 결과

- 30kPa를 포장용수량으로 판단할 시, 측정 초반 습한 토양이었다가 9/19일 정도부터 -30kPa 이하로 떨어져 관수가 필요한 것으로 판단됨
- VWC를 측정하는 센서들의 경우 동일한 패턴으로 수분함량변화를 지니며, 초반부터 천천히 용적수분 함량이 감소하는 것으로 나타남(약 4%정도 감소)
- 수분장력(matric potential) 측정 센서의 경우 TEROS32가 TEROS21에 비해 약간 높게 측정하였으나, 토양 내 수분변화 양상을 비슷하게 측정함
- 특히, 관수개시결정 시점으로 보이는 -30kPa 수준에서는 비슷한 시기에 도달하여 토양의 경우 FDR센서에 비해 그 민감도가 좋은 것으로 판단됨
- 9/19일 이후 FDR센서의 변화는 1% VWC 내외 이나, 수분장력의 경우는 급격히 떨어져, 토경재배 관수개시점 측정에는 수분장력센서가 민감도가 훨씬 좋을 것으로 판단됨



— EC-5
 - - - TEROS 10
 - - - TEROS 12
 — TEROS 32 (kPa)
 - - - TEROS 21 (kPa)
 KT

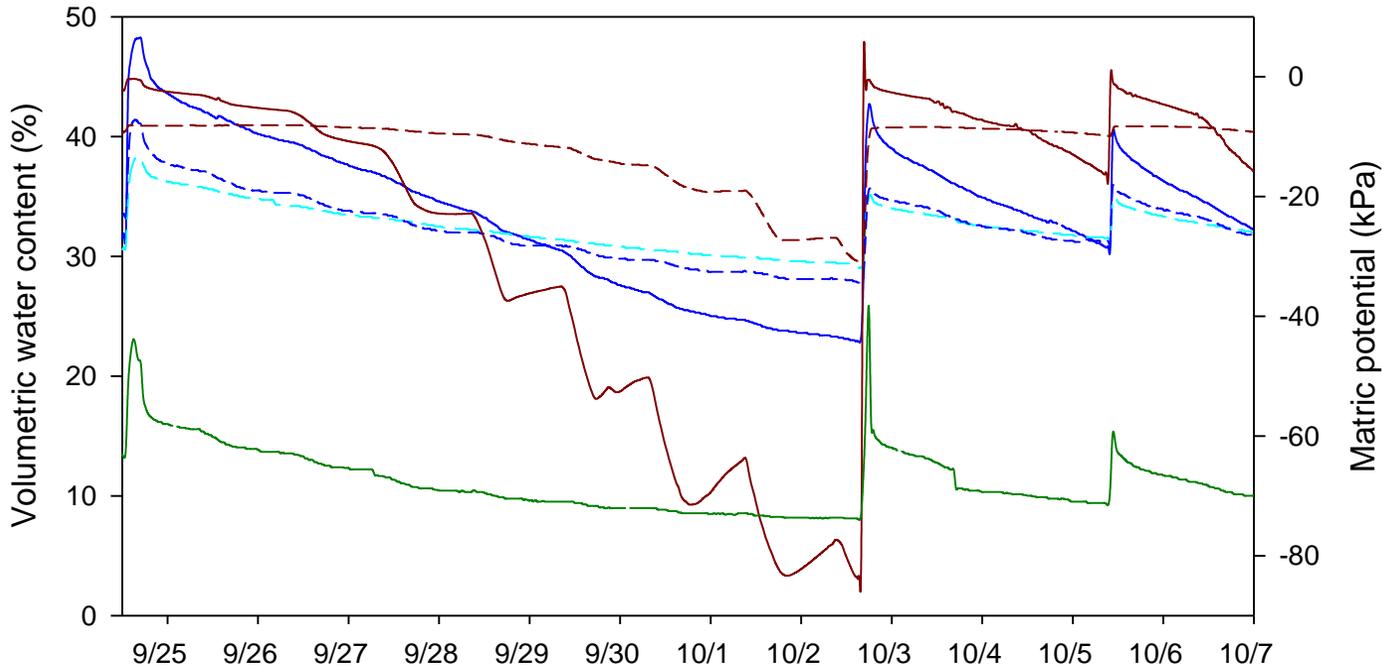
	Date					
	TEROS12 -EC5	TEROS12 -10	TEROS10 -EC5	TEROS32 -21	KT -EC5	KT -TEROS10
평균차이	2.7	-1.9	4.6	3.4	-4.0	-8.6
표준편차	0.8	0.7	0.4	2.9	0.4	0.3

장흥_1 Data

기간	토성	작물
9/24-10/7 (2주)	미사질양토	블루베리

Data 해석 결과

- 30kPa을 포장용수량으로 판단할 시, TEROS21 측정 기반 기준으로는 알맞은 시기에 관수를 하는 농가 데이터로 판단됨
- VWC를 측정하는 센서들의 경우 동일한 패턴으로 수분함량변화를 보이며, Meter 사의 경우 보정치에 따른 차이가 크게 나타나지 않음(1%VWC 내외)
- VWC 수치와 변화양상을 보았을 시, 블루베리재배 특성상 pH 조절을 위해 토양에 피트모스를 첨가한 것으로 판단하였으며, 이를 농가에 확인하였음
- KT센서의 경우 패턴은 비슷하게 읽으나, 보정치에 큰 차이가 있어 VWC가 매우 낮게 측정됨
- 상토의 특성때문인지, 설치의 오류인지 TEROS32의 천천히 상승하는 수분변화 곡선이 상토를 혼용하는 토양에는 알맞지 않을 것으로 보임
- 블루베리와 같이 피트모스를 사용하는 토양의 경우 FDR센서의 이용이 가능할 것으로 판단됨

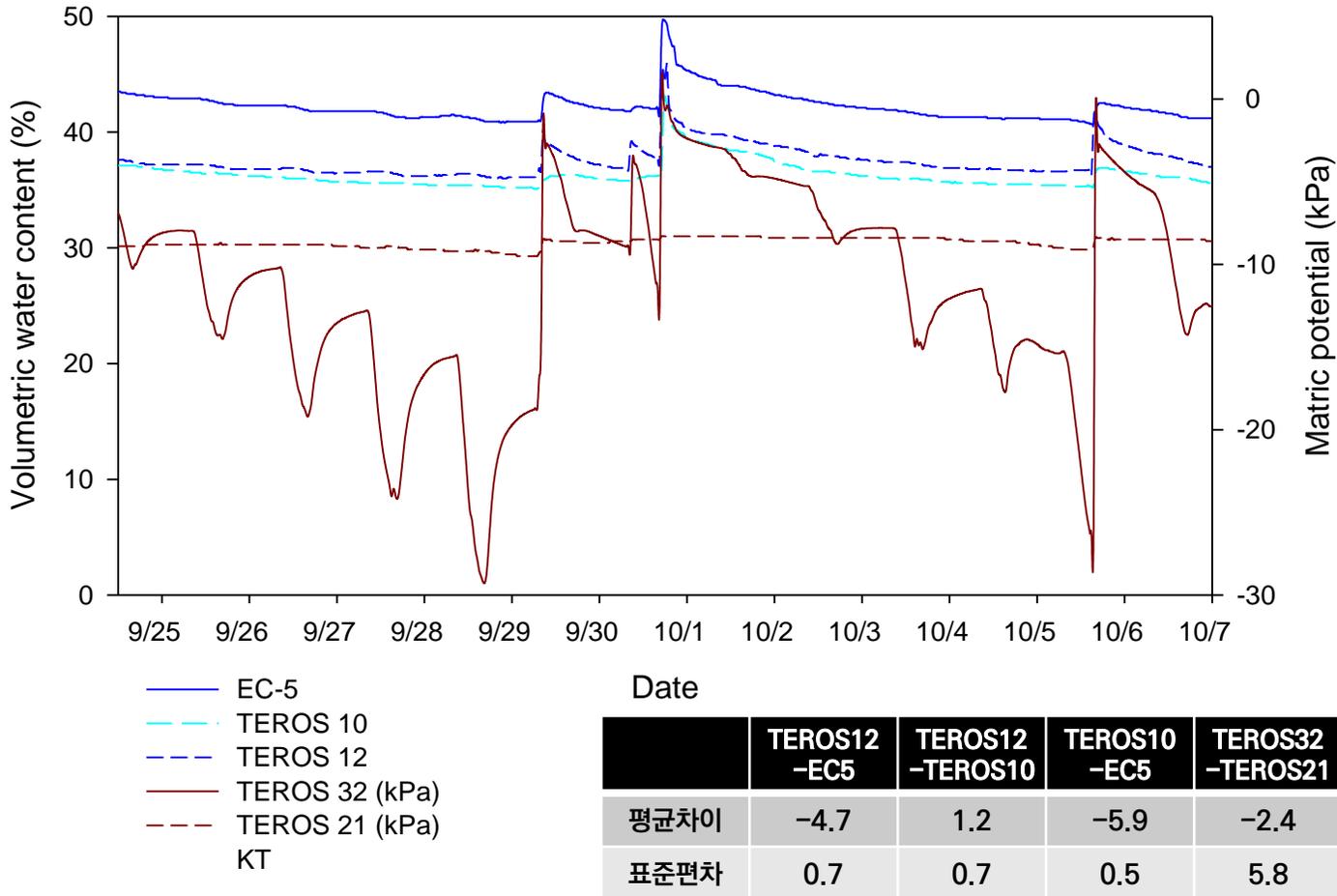


— EC-5
 - - - TEROS 10
 - - - TEROS 12
 — TEROS 32 (kPa)
 - - - TEROS 21 (kPa)
 KT

Date	TEROS12	TEROS12	TEROS10	TEROS32	KT	KT
	-EC5	-10	-EC5	-21	-EC5	-TEROS10
평균차이	-1.1	-0.1	-1.0	-13.6	-22.4	-21.3
표준편차	3.5	0.9	4.3	20.9	3.9	1.2

장흥_2 Data

기간	토성	작물
9/24-10/7 (2주)	미사질양토	블루베리



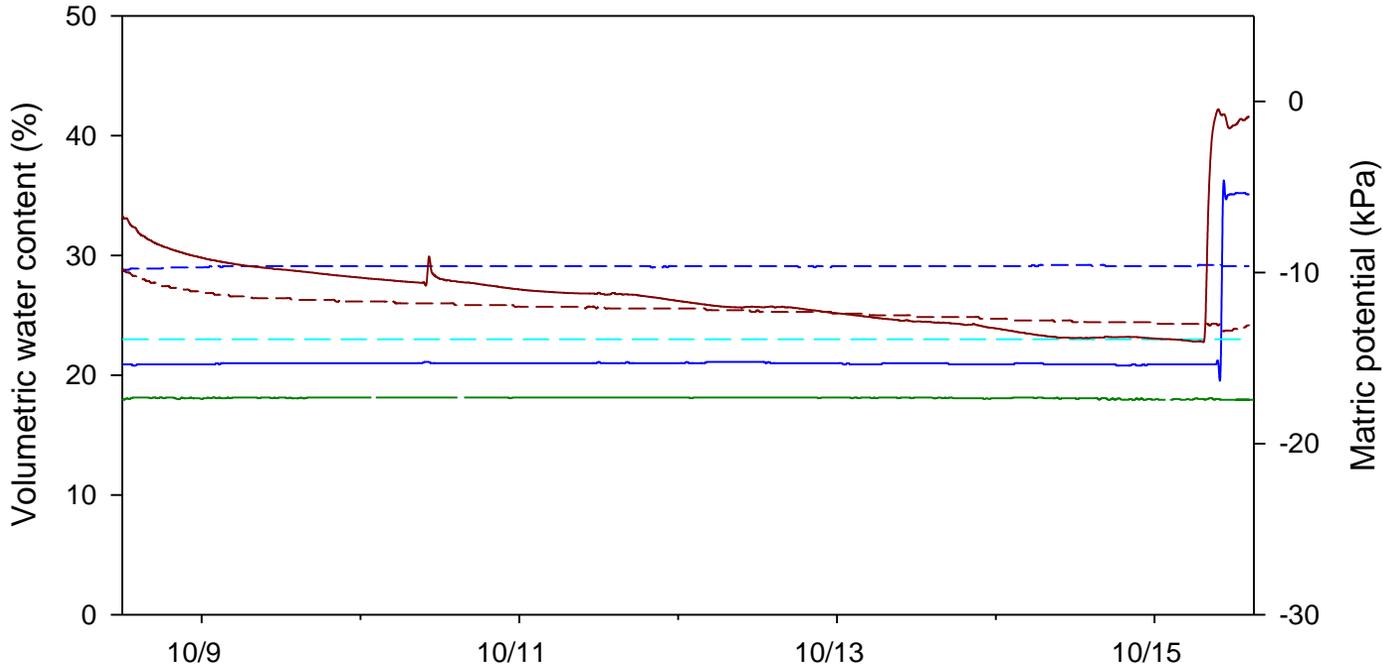
Data 해석 결과

- -30kPa을 포장용수량으로 판단할 시, 토양 수분을 높게 유지해주는 것으로 판단됨
- VWC를 측정하는 센서들의 경우 동일한 패턴으로 수분함량변화를 보이며, 센서간 오차차이가 크지 않았음 (SD=0.7%VWC 이하)
- VWC 수치와 변화양상을 보았을 시, 블루베리재배 특성상 pH 조절을 위해 토양에 피트모스를 첨가한 것으로 판단하였으며, 이를 농가에 확인하였음
- TEROS21의 경우 계속 높은 수준의 수분함량 (>-9kPa)을 보유하는 것으로 보이며, TEROS32의 천천히 상승하는 수분변화 곡선이 상토를 혼용하는 토양에는 알맞지 않을 것으로 보임
- 장흥_1의 결과와 유사하게 블루베리 과원과 같은 피트모스를 사용하는 토양의 경우 FDR센서의 이용이 유리할 것으로 판단됨

기간	토성	작물
10/8-10/15 (1주)	미사질양토	감귤

Data 해석 결과

- 본 농가에서는 측정 기간 동안 토양수분함량(VWC)의 변화가 거의 없는 것으로 보여지며, -15kPa 이상의 높은 수준을 계속 유지하는 것으로 보여짐
- 농가 특성상 타이백을 설치하고 당도를 높이기 위해 관수가 이루어지지 않은 것으로 확인
- FDR 센서간의 표준편차 차이는 거의 없는 것으로 나타나며(SD<0.1%VWC), 보여지지 않으며 KT 센서의 경우 EC5와 보정치만 차이가 있음 (SD=0)
- FDR 센서의 측정 변화는 거의 없으나, 수분장력 측정치는 5kPa 정도의 변화가 감지됨
- 일반적으로 관수결정에 있어서는 -30kPa 범위 이하이므로 현 데이터로는 관수 결정을 위한 적정 센서 판단 불가이나, 토양의 경우 FDR 센서에 비해 tensiometer 형태 센서의 민감도가 더 좋은 것으로 평가됨



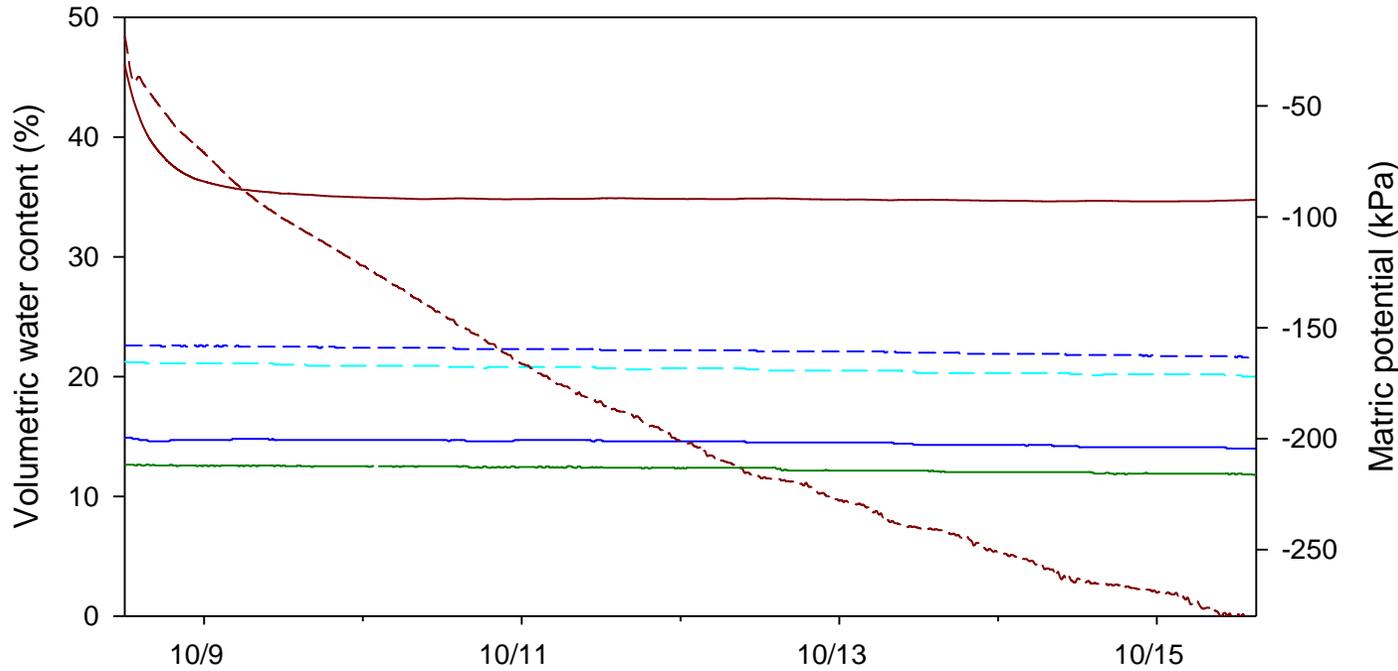
— EC-5
 - - - TEROS 10
 - - - TEROS 12
 — TEROS 32 (kPa)
 - - - TEROS 21 (kPa)
 KT

	Date					
	TEROS12 -EC5	TEROS12 -10	TEROS10 -EC5	TEROS32 -21	KT -EC5	KT -TEROS10
평균차이	8.1	6.1	2.0	0.7	-2.9	-4.9
표준편차	0.1	0.1	0.1	1.6	0.0	0.1

기간	토성	작물
10/8-10/15 (1주)	미사질양토	감귤

Data 해석 결과

- 본 농가에서는 측정 기간 동안 토양수분함량(VWC)의 변화가 거의 없는 것으로 보여지나, 수분장력값의 경우 지속적으로 감소하는 모습을 보임
- 농가 특성상 타이백을 설치하고 감귤 당도를 높이기 위해 관수가 이루어지지 않은 것으로 확인
- FDR 센서간의 표준편차 차이는 거의 없는 것으로 나타나며(SD<0.1%VWC), 매우 건조한 토양으로 수분변화가 감지되지 않음
- FDR 센서의 측정 변화는 거의 없으나, 수분장력 측정치는 200kPa 이상의 변화가 감지됨
- TEROS32의 경우 최저치인 -95kPa 이하에서 측정이 불가하나, TEROS21은 이후 계속 장력이 떨어지는 것을 측정할 수 있음
- 건조한 토양의 경우 FDR 센서에 비해 수분장력 형태 센서의 민감도가 더 좋으며, TEROS21와 32의 측정범위 확인이 가능하였음



— EC-5
 - - - TEROS 10
 - - - TEROS 12
 — TEROS 32 (kPa)
 - - - TEROS 21 (kPa)
 KT

Date	TEROS12 -EC5	TEROS12 -10	TEROS10 -EC5	TEROS32 -21	KT -EC5	KT -TEROS10
평균차이	7.7	1.5	6.1	98.1	-2.2	-8.3
표준편차	0.1	0.1	0.1	64.5	0.1	0.1

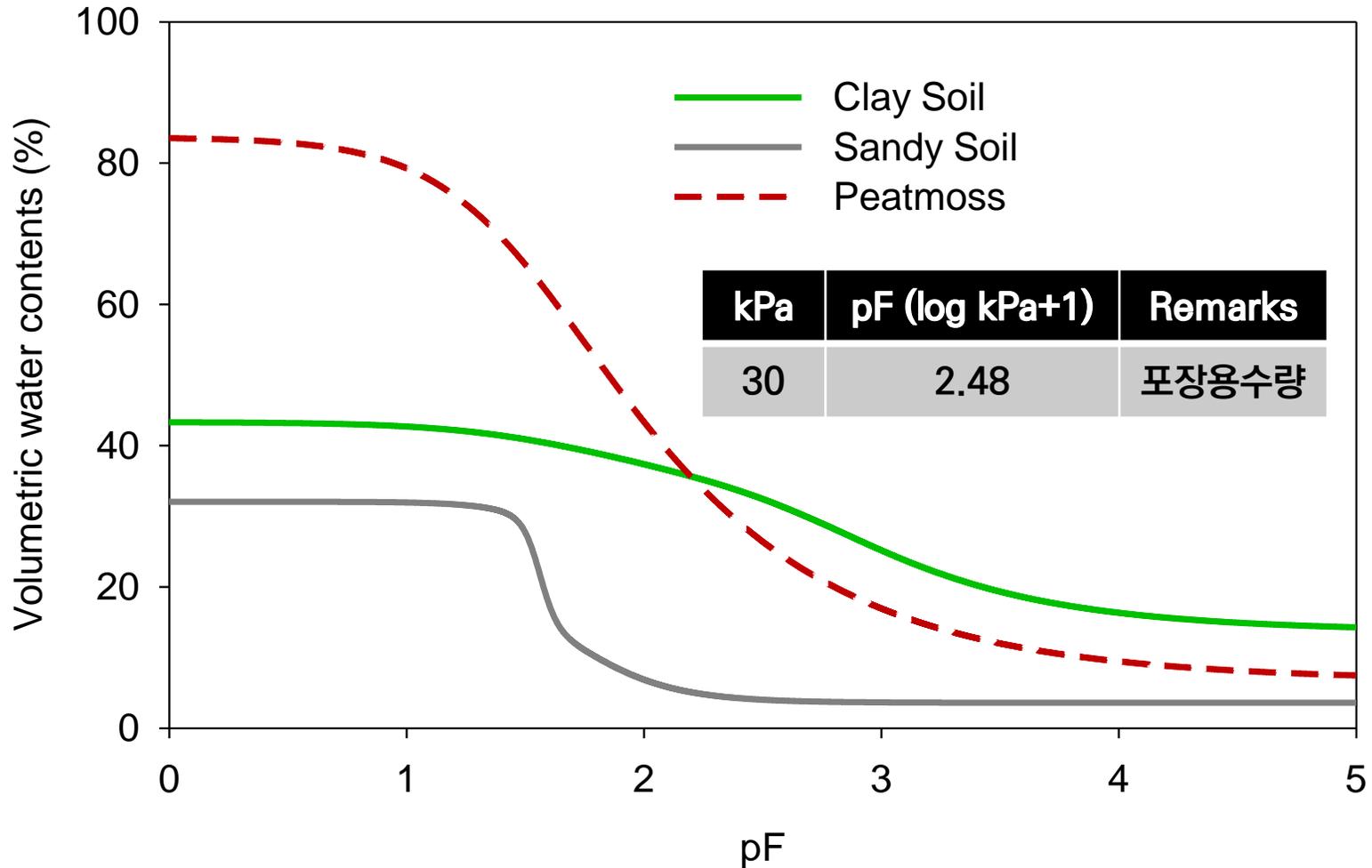
FDR 센서 간 차이

	센서간 측정 평균차이					센서간 측정차 표준편차(SD)				
	T12 -EC5	T12 -T10	T10 -EC5	KT -EC5	KT -T10	T12 -EC5	T12 -T10	T10 -EC5	KT -EC5	KT -T10
제천1	12.5	-0.4	12.9	2.8	-10.1	0.8	1.0	0.9	1.7	1.2
제천2	12.2	3.6	8.6	3.0	-5.7	1.7	2.2	0.9	1.0	0.9
청주1	5.4	-2.1	7.5	5.0	-2.4	0.6	0.6	0.6	0.9	0.3
청주2	2.8	-1.7	4.5	-4.2	-8.7	0.8	0.7	0.4	0.4	0.3
장흥1	-2.8	0.4	-3.2	-24.4	-21.2	3.5	0.9	4.3	3.9	1.2
장흥2	-4.7	1.2	-5.9			0.7	0.7	0.5		
제주1	8.1	6.1	2.0	-2.9	-4.9	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
제주2	7.7	1.5	6.1	-2.2	-8.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
평균	5.1	1.1	4.1	-3.3	-8.8	0.8	1.0	0.9	1.7	1.2

Data 해석 결과

- FDR 센서간 측정치 평균값의 차이가 있었으며 T12 - T10 - EC5 - KT 순으로 높게 나타남
- FDR 센서 특성상 각 센서별, 적용 토양에 따라 **VWC 보정이 선행되어야 함** (Rhie and Kim, 2017)
- 본 연구에서는 센서제조회사의 Mineral Soil 기준에 따랐으나, 토양의 특성에 알맞은 보정이 이루어지지 않았으므로 **정확한 VWC를 알 수 없음**
- 장흥의 경우 블루베리 과원이었으며, 피트모스를 토양에 피복하여 이용한 결과 다른 과원과 센서 측정치의 차이가 나는 것으로 판단됨
- 그럼에도 불구하고, FDR 센서의 경우 토양에서 사용할 시 **센서간 큰 차이가 나지 않았음(SD)**
- 이는 토양에서의 VWC 변화가 크지 않았으며, 토양의 수분함량을 측정하기에 FDR 센서의 활용 적합성을 재고해보아야 함

토양수분보유곡선



비고

- 토양의 특성에 따라 수분보유능력이 다르며, 토양별 용적수분함량(VWC)과 토양수분장력(matric potential)의 상관관계를 이해해야 함
- 일반적으로 30 kPa (약 pF 2.5) 수준의 토양수분장력을 포장용수량으로 하여 관수개시결정점을 선정할 때 이용함
- 왼쪽 그래프에서 보이듯, 상토(Peatmoss)의 기준은 매우 다르며, 상토의 경우 식물이 이용할 수 있는 수분의 범위는 1-10kPa(30-80%) 수준임
- 토양의 경우는 30-100 kPa 수준의 VWC 범위는 10% 내외이므로, 이를 FDR 센서를 통해 측정하는데 어려움이 있으며, tensiometer가 좋은 해상도를 지닌 것으로 판단됨

- 블루베리 과원을 제외한 다른 과원에서는 각 토양에 대한 토양수분센서의 반응이 FDR 센서에 비해 Tensiometer의 수치가 해상도가 좋음
- **노지 과원에 이용할 토양수분센서로는 Tensiometer 형태가 알맞을 것으로 판단되며, TEROS32와 TEROS21의 측정 범위에는 차이가 있음**
- 과원의 지속적인 측정을 위해서는 Tensiometer **센서의 관리가 편리**하며, 관수개시점 외 **넓은 토양 건조 범위의 측정이 가능한 TEROS21** 형태의 센서가 **적합**할 것으로 판단됨
- 블루베리 과원과 같이 **피트모스 형태의 상토를 사용할 시** Tensiometer의 측정수치에 비해 **FDR 센서가 관수개시점을 측정하기에 적합**할 것으로 판단됨
- **FDR 센서의 경우**, 본 실험에 사용된 센서 모두 유사하게 토양수분변화 측정이 가능하였으나, **정확한 VWC 수치 측정을 위해서는** 각 토양 및 상토에 알맞게 **개별적 센서 보정이 선행**되어야 함