

보안 과제(), 일반 과제() / 공개(), 비공개(), 발간등록번호()

| |
|----------------------|
| 발간등록번호 |
| 11-1543000-002382-01 |

ICT연계 사과원 정밀관수 매뉴얼 개발 최종보고서

2018.09.07.

주관연구기관 / 경북대학교
자조금 단체 / (사)한국사과연합회

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

<제출문>

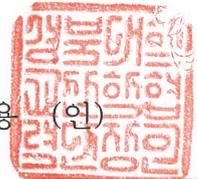
제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “ICT연계 사과원 정밀관수 매뉴얼 개발” (개발기간 : 2016.07.28. ~ 2018.07.27.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018.09.07.

주관연구기관명 : 경북대학교 산학협력단 (대표자) 최제용 (인)



자조금단체명 : (사)한국사과연합회 (대표자) 박철선 (인)



주관연구책임자 : 윤태명

참여기관책임자 : 김영문

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라
보고서 열람에 동의 합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

| | | | | | |
|------------------|-----------|-----------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------------------------|
| 과제고유번호 | 116041-02 | 해 당 단 계 연 구 기 간 | 2017.07.28. ~2018.07.27. | 단 계 구 분 | (2)/(2) |
| 연구사업명 | 단 위 사 업 | 농식품 R&D 바우처 시범사업 | | | |
| | 사 업 명 | 농생명산업기술개발 | | | |
| 연구과제명 | 대 과 제 명 | (해당 없음) | | | |
| | 세부 과제명 | ICT연계 사과원 정밀관수 매뉴얼 개발 | | | |
| 연구책임자 | 윤태명 | 해당단계 참여연구원 수 | 총: 11명 내부: 7명 외부: 4명 | 해당단계 연구개발비 | 정부:110,000천원 민간: 27,600천원 계:137,600천원 |
| | | 총 연구기간 참여연구원 수 | 총: 14명 내부: 8명 외부: 6명 | 총 연구개발비 | 정부:220,000천원 민간:55,200천원 계:275,200천원 |
| 연구기관명 및 소속부서명 | 경북대학교 | | | 자조금단체: (사)한국사과연합회 | |
| 국제공동연구 | 상대국명: | | | 상대국 연구기관명: | |
| 위탁연구 | 연구기관명: | | | 연구책임자: | |

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

| | |
|-------------------------|--|
| 연구개발성과의 보안등급 및 사유 | |
|-------------------------|--|

9대 성과 등록·기탁번호

| 구분 | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구시설 ·장비 | 기술요약 정보 | 소프트 웨어 | 화합물 | 생명자원 | | 신품종 | |
|-------------|----|----|-----------|-------------|------------|-----------|-----|----------|----------|-----|----|
| | | | | | | | | 생명 정보 | 생물 자원 | 정보 | 실물 |
| 등록·기탁 번호 | | | | | | | | | | | |

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

| 구입기관 | 연구시설· 장비명 | 규격 (모델명) | 수량 | 구입연월일 | 구입가격 (천원) | 구입처 (전화) | 비고 (설치장소) | NTIS 등록번호 |
|------|--------------|-------------|----|-------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

보고서 면수

<요약문>

| | | | | | |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|----------|---------------------|
| <p>연구의 목적 및 내용</p> | <p>과수분야 ICT 시스템과 연계하여 지구온난화에 따라 날로 심화되고 있는 이상 기후에 의한 한발에 대처하기 위하여 다양한 환경의 사과원에 적용 가능한 정밀 관수 매뉴얼을 개발하고자 함.</p> | | | | |
| <p>연구개발성과</p> | <p>○ 텐시오미터를 이용한 정밀관수 매뉴얼 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 전자식 텐시오미터를 저비용으로 자체 개발, 제작하여 시험에 활용하였고 추 후 공동연구기관과 함께 사과재배 농가에 보급할 예정임. - 포항 죽장면, 기북면 일대 토양의 물리성과 관수방법이 각기 다른 8농가, 청송 부남면 등 3농가, 봉화 춘양면 등 3농가, 영천 신녕면 등 3농가, 영주시 사과 시험장 및 농가 2농가 등 총 19곳의 사과원 포장에 토양수분 자동기록 측정 장치인 전자식 텐시오미터를 설치하였음. - 생육단계별로 토양수분 모니터링을 실시하고 과원 내 토양 수분데이터 수집 후 토성과 농가의 관행적인 관수방법에 따른 적절한 관수 시점과 관수량을 찾기 위한 데이터를 분석하였음. - 사과원 수분수지에 근거한 관수모델 개발과 이용을 통해 사과원이 적정 관수량 모델 개발하였음 - 연차별로 모집된 토양수분 관련 빅데이터를 정밀 분석하여 적정 관수방법 및 관수 매뉴얼 개발하였음. - 본 연구결과물을 사과관련 전문잡지 등에 기고하고 교육 및 컨설팅 자료로 활용하였음. <p>○ 증산냉각을 통한 사과 일소 피해 경감기술 체계화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1년차 경북대학교 부속농장에서 시험한 결과 수관 상단부 살포의 경우 과실의 표면온도를 일소발생 누적온도 한계점 이하로 관리가 가능한 것을 확인하였음. - 2년차 시험으로 영천 신녕면 등 영천지역에 위치한 사과원 3곳의 협조를 얻어 실험실시 한 결과 1년차에서 실험한 실험구보다 과원의 면적이 넓어 살수 시간 및 정지시간을 조정하여 누적온도 한계점 이하로 관리가 가능한 것을 확인하였음. - 1년차, 2년차 실험 결과로 수관상단의 미세살수가 수관내부 온도와 과실표피 온도를 감소시키지만 제한된 수자원을 활용하여 경제적으로 일소피해를 최소화 할 수 있는 관수량과 관수방법을 모니터링 하였음. | | | | |
| <p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 2년간 분석한 토양수분포텐셜 빅데이터를 활용하여 사과원 환경에 따른 관수 매뉴얼을 개발, 보급하여 상이한 과원 환경에 맞는 정밀관수가 이뤄짐으로써 이상기상 환경 속에서 제한된 수자원을 효과적으로 사용하여 안정생산 및 품질향상에 기여할 것임. - 기존 관수시설을 활용하여 가뭄, 고온, 일소 피해 등을 최소화 할 수 있는 방법 구명하여 이상기상에 의한 기상재해의 피해를 최소화하는데 활용할 것임. | | | | |
| <p>국문핵심어 (5개 이내)</p> | 관수방법 | 한발 | 과습 | 일소 | 증발냉각 |
| <p>영문핵심어 (5개 이내)</p> | irrigation method | drought | wet | sunscald | evaporation cooling |

<본문목차>

< 목 차 >

| | |
|-----------------------------|-----|
| 1. 연구개발과제의 개요 | 6 |
| 2. 연구수행 내용 및 결과 | 8 |
| 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 | 138 |
| 4. 연구결과의 활용 계획 등 | 139 |
| 붙임. 참고 문헌 | 139 |

<별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발 목적

- 작물재배에 있어서 여러 가지 재배환경 또는 재배기술 중에 적정 수분관리가 병해충, 지력, 잡초, 시비 등 다른 요인에 비해 현저하게 중요한 제한요인이다. FTA 기금사업을 통해 기존 사과원은 물론 신규 개원사과원은 필수적으로 점적 또는 미세살수 관수시설을 갖추게 되었다.
- 그러나 점적관수방법에 대한 이해 부족으로 점적관수는 우리나라에서 적합하지 않다며 미세살수로 대체하는 농가가 많은가 하면 미세살수관수의 경우도 관수방법에 대한 이해 부족으로 고온기에 수분부족에 의한 스트레스를 받는가 하면 필요이상으로 관수하여 과습상태인 경우가 적지 않다.
- 미세살수의 경우 소요 물량이 많기 때문에 2015년과 같이 가뭄이 심한 경우 수원이 부족하여 제대로 관수하지 못하는 경우가 발생하기도 한다..
- 토양의 수분상태를 측정하여 관수시기를 결정하는 방법이 가장 보편적으로 농가단위에서는 토양수분의 장력을 측정할 수 있는 텐시오미터가 값싸고 정확하면 다루기 쉽고 측정값의 해석이 손쉬워서 우리나라는 물론 세계적으로 보편적으로 이용되고 있다.
- 우리나라에서는 텐시오미터를 이용한 관수는 연구수준에 머물러 있고 농가수준에서 설치, 측정방법, 결과에 따른 관수지침 등 관련 매뉴얼이 없어서 농가 수준에서는 경험과 느낌에 의해 관수하는 수준에 머무르고 있는 실정이다.
- 또한 일소피해는 토양수분의 부족 혹은 과다와 함께 여름철 고온기에 과실표면이 직사광선에 노출이 되어 생기는 고온장해로 왜화도가 높은 M9, M26은 수관용적이 작아 과실이 여름철 높은 온도에 노출되기 쉬워 고밀식재배 보급이전까지 사용하던 준왜성대목에 비해 일소피해 발생이 빈번하게 발생하는 편이다.
- 일소는 일 최고기온이 31℃를 넘는 맑은 날에 주로 발생하나 잎에 가려진 과실이나 수관 내부 과실이 갑자기 직사광선에 노출이 되면 31℃ 이하 온도에서도 일소가 발생하기도 한다.
- 또한 장마 직후 기온이 상승하여 증산량은 많은데 장마기간 동안 과습에 의해 뿌리의 활력이 저하되고 충분한 수분공급이 안됨에 따라 일소현상이 발생하여 상품성 저하를 일으킨다.
- 본 과제는 사과원 환경에 따른 관수방법, 관수주기, 관수량 등 정밀관수 매뉴얼 개발과 기존 관수시설을 활용하여 일소 등 기상장해 절감기술 개발을 위해 수행되었다.

1-2. 연구개발의 필요성

- 기후적으로 우리나라는 연 평균 강수량이 1,000~1,200mm로 사과재배지로서는 강수량이 충분하나 6월 중하순부터 약 30일의 장마기와 이후 8~9월의 호우를 동반한 태풍이 잦은 시기에 연강수량의 약 2/3가 집중되어 있어서 침수 또는 과습의 우려가 크다.
- 반면에 장마가 끝나는 9월 하순이후부터 이듬해 6월에 다시 장마가 시작되기까지는 증발산량에 비해 강수량이 적어 겨울에는 동건해의 원인이 되는가 하면 생육이 개시되면서부터는 수분부족으로 초기 생육과 유과 비대 불량에 원인이 되기도 한다.
- 또한 최근 지구온난화의 영향으로 예상치 못한 폭우나 지나친 고온 건조가 빈번하게 나타나고 있어서 수분관리의 중요성이 더욱 높아지고 있다.
- 2000년에 들어 추진한 FTA 한·칠레 사업으로 사과원 개선사업 결과 대부분의 기존 및 신규 사과원은 점적 또는 미세살수 관수체계를 갖추고 있다. 점적은 적은 양으로 자주 관수를 하여야 하고 살수관수는 한번에 많은 양을 관수하는 대신 관수 주기를 길게 하는 것이 원칙이나 이를 지키지 않아 관수량이 부족하거나 수원이 모자라 사과나무가 스트레스를 받는 경우가 빈번하다.
- 정밀관수는 토양수분상태를 모니터링하면서 관수하는 것이 원칙이나 관련 기술이 부족하고 농가에서도 이에 대한 관심이 부족하다. 우리나라의 경우 수분생리 및 관수기술에 대한 연구가 미흡하여 이에 대한 실용기술 연구도 부족한 상황이다.
- 이상고온의 빈도가 높아지고 9월까지 여름 날씨가 계속됨에 따라 수분관리와 함께 일소 문제가 현안으로 대두되고 있다. 일소피해가 증가하고 있으나 방지대책은 미흡한 경우인데 수관에 비해 결실량이 많은데다 열간이 충분히 열려있는 고밀식 재배에서는 관행재배에 비해 일소 위험은 현저히 높은 것이 현실이다.
- 과실표면에 탄산칼슘, 카올린과 같은 흰색의 피막제를 살포하여 햇빛을 차단하고 반사하여 일소피해를 막을 수 있으나 수확 후에 세척하여 피막을 제거해야하는 문제가 있어서 우리나라 농가에서는 사용을 꺼리고 있다.
- 농진청에서는 수관 상단에 살수장치를 하고 기온 31℃ 이상 올라가면 5분 살수, 1분 정지의 주기를 반복하면 기화냉각에 의한 일소피해를 줄일 수 있다고 하나 혹서기에 수원이 모자라거나 수관 및 토양이 지나치게 과습하여 병 발생을 유발하거나 과습 피해를 가져오는 경우가 많아 실용화되지 못하고 있다.
- 최근 기상이변이 잦아지면서 사과원의 생산량과 품질에도 크게 영향을 미치는데 사과 재배체계와 기상조건에 부응하고 사과 재배농민들이 쉽게 활용할 수 있는 관수 매뉴얼의 개발과 보급이 필요하다.
- 또한 일소경감을 위해 살수하는 물의 양은 최소화하여 과습에 의한 피해는 줄이면서 기화냉각에 의한 과실 표면온도를 일소유발 한계온도 이하로 유지할 수 있는 살수주기 및 살수량에 대한 규명이 필요하다.

1-3. 연구개발 범위

- 1) 텐시오미터(Tensiometer)를 이용한 정밀관수 매뉴얼 개발
 - 자기기록 텐시오미터 제작 및 현장 적용시험
 - 기상환경, 토양조건 및 재배환경에 따른 토양수분변화 모니터링 및 분석
 - 사과원 수분수지에 근거한 관수모델 개발과 이용
 - 생육시기별 점적관수와 살수관수 최적화를 위한 관수 매뉴얼 개발

- 2) 증산냉각을 통한 사과 일소 피해 경감기술 체계화
 - 증발냉각 효과 최적화를 위한 적정 살수주기 구명
 - 수관 및 토양 내 과습방지를 위한 적정 살수량 구명

2. 연구수행 내용 및 결과

2-1. 자기기록 텐시오미터 제작과 설치, 이용

1) 서론

당기는 힘을 의미하는 장력(tension)과 계측기를 뜻하는 미-터(meter)의 합성어인 텐시오미터(tensiometer)는 토양의 수분흡착력을 측정하는 장치이다. 토양이 수분을 강하게 흡착할수록 그만큼 사과나무가 토양으로부터 수분을 뺏어오기 힘들기 때문에 토양의 수분흡착력 정도를 측정하여 관수기준으로 삼을 수 있다. 토양이 수분을 흡착하는 힘을 매트릭포텐셜(matric potential)이라고 하는데 토양의 수분은 삼투포텐셜이나 압력포텐셜이 존재하기 않기 때문에 토양의 매트릭포텐셜은 곧 토양수분포텐셜이 된다.

토양수분장력을 측정하는 텐시오미터의 구조와 원리는 매우 간단하다. 투명한 플라스틱튜브 아래쪽 끝에 다공질의 세라믹 선단(ceramic tip)을 끼우고 플라스틱튜브 상단부에 병렬로 0~100kPa 범위의 압력을 잴 수 있는 압력계를 연결시킨 다음, 투명튜브에 끓였다 식힌 깨끗한 물을 채우고 고무마개로 막는다. 이를 근권부 토양에 꽂으면 토양의 수분흡착력 정도에 따라 다공질의 선단을 통해 관 속의 물이 토양으로 빠져 나오면 밀폐된 투명한 관 내부에는 그만큼의 부압이 생기고 압력계의 바늘이 움직여 그 값을 읽을 수 있게 된다.

시판되는 텐시오미터는 수입제품으로 가격이 비쌀 뿐 아니라 매년 측정값을 기록해야 하는 번거로움이 있다. Thalheimer(2013)는 토양수분포텐셜을 지속적으로 모니터링 할 수 있는 저비용의 전자식 텐시오미터 제작법을 소개한 바 있다. 시판되는 마이크로 컨트롤 보드, 전자식 압력계 등을 구입하여 간단하게 조립하는 방법으로 제작비용이 매우 저렴하고 사용에서도 간편

하기 때문에 우리나라에서도 쉽게 제작하여 이용할 수 있다고 판단되어 기본적인 Thalheimer(2013)의 방식에 따라 제작하고 현장에서의 적용가능성을 검토하였다.

2) 재료 및 방법

(1) 소요 부품

- 마이크로 컨트롤러 보드

마이크로 컨트롤러란 마이크로프로세서와 입출력 모듈을 하나의 칩으로 만들어 특정 기능을 수행하는 작은 컴퓨터라고 할 수 있는데 가격이 저렴하면서 고온과 과습에서도 영향을 적게 받는 Arduino Uno(Arduino Inc. USA)를 컨트롤러 보드로 사용하였다. Arduino 시스템은 AVR microcontrollers를 이용하여 소프트웨어를 손쉽게 다양한 방식으로 제작할 수 있는 가하면 전력수요가 적어 Flash Memory를 통해 많은 양의 데이터를 저장할 수 장점이 있다(그림 1, A).

- 전자 압력 변환기(Electronic pressure transducer)

텐시오미터에 걸리는 압력은 MPX5100(Freescale NXP. USA)를 이용하여 측정하였다(그림3, C). 온도보상 및 신호 통합형 반도체로 압력을 전기신호로 변환하여 0~1000hPa 범위의 압력을 측정할 수 있는데 Micro Channel과 Digital Port를 이용하여 구동된다.

- 전원공급

소형 광전지 패널(5W 12V)로부터 태양광발전 전기를 납축전지(12V 7Ah)에 축적하면서 안정적으로 전기를 공급받도록 시도하였으나 날씨의 영향을 크게 받고 역전류 현상으로 과도한 전력소모 등의 문제가 있어 리튬전지(5V 5Ah, 그림 1, B)를 주기적으로 교체하는 방식을 택하였다. Arduino Uno의 기본 전력소모량은 약 15mA로 매우 낮고 MPX5100DP의 전력소모는 7~10mA에 불과하다

- 텐시오미터

텐시오미터는 이중 투명 PVC 파이프에 다공질 세라믹 팁을 연결하는 방법으로 제작하였다(그림1, D, E, F). \varnothing 16mm 투명 PVC파이프에 \varnothing 25mm의 투명 PVC파이프를 이중으로 씌어(그림3, D) 외부충격에 견딜 수 있도록 한 다음 아래쪽에 다공질 세라믹선단(Tropt-Blumet, Austria, 그림1, E)을 연결하였다. 상단에 나사형 마개를 부착하여 밀폐하고 상단 측면에 압력 센서 MPX5100를 부착하여 텐시오미터를 완성하였다.

- 컨트롤박스

마이크로 보드와 배터리는 컨트롤박스(15×15×10cm)에 조립하여(그림 1, G) 외부 충격, 비나 바람 등으로 보호 받을 수 있게 하였다.

(2) 자기기록 텐시오미터의 조립

각 부품과 USB Female단자와 건전지용 power jack을 signal & control cable 2464(AWG24-3C, 서남전선)으로 연결한 자기기록 텐시오미터의 회로도 및 완성품 모습은 그림 2와 3과 같다.

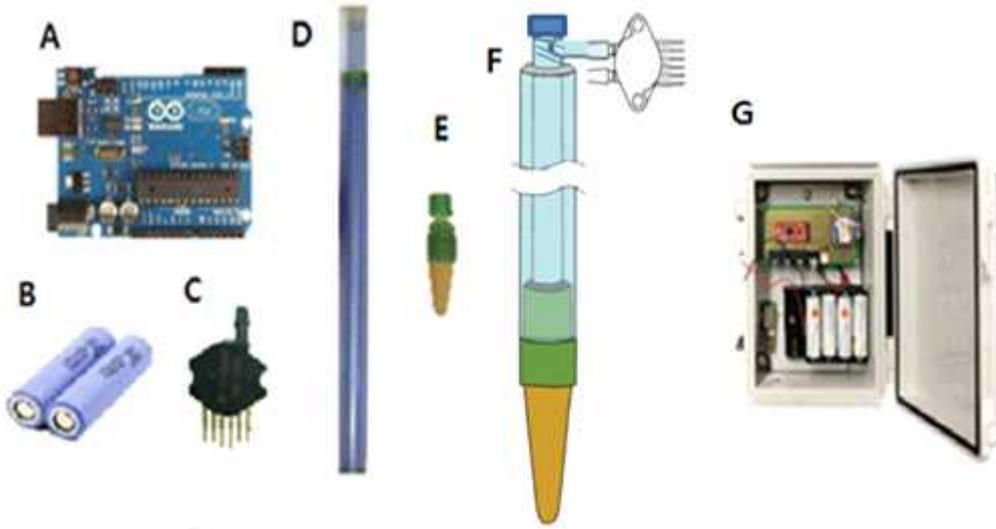


그림 1. 자기기록 텐시오미터의 구성 A: 마이크로 컨트롤러보드(Arduino Uno), B: 리튬배터리, C: 압력센서(MXP5100DP), D: PVC 파이프, E: 다공질 세라믹 선단(Tropt-Blumet), F: 조립을 마친 텐시오미터, G : 완성된 컨트롤 박스

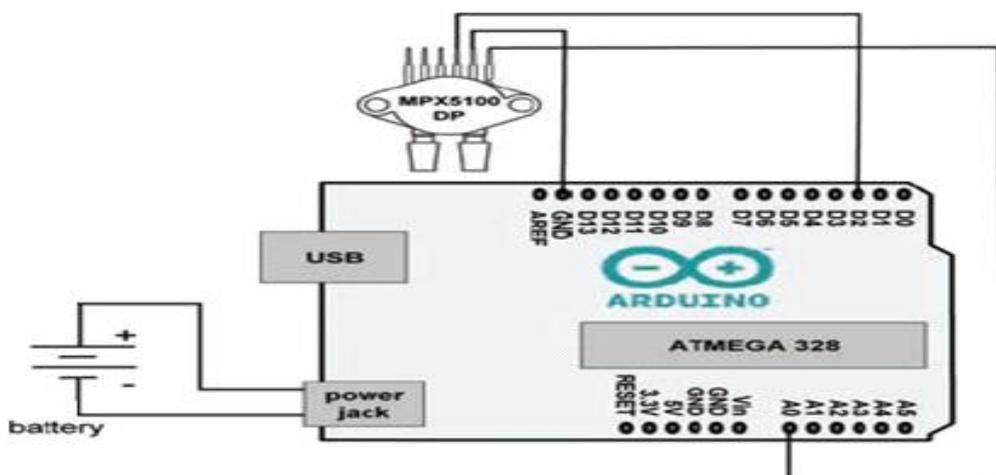


그림 2. 자기기록 텐시오미터의 전기 회로도

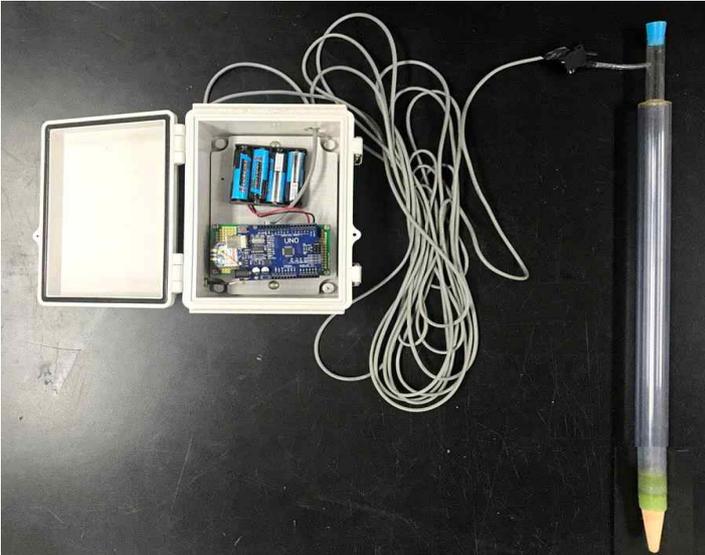


그림 3. 조립이 완성된 자동기록 텐시오미터 모습

Arduino Uno board와 MPX5100DP 압력 센서를 기반으로 제작한 텐시오미터는 시판되는 텐시오미터에 비해 저렴한 가격으로 자체 제작할 수 있고 무엇보다 근권부의 토양수분상태를 지속적으로 모니터링 할 수 있는 장점이 있다. 자기기록 텐시오미터의 제작에 필요한 부품별 추정 구입단가는 표 1에 제시되어 있다. 비교적 가격비중이 큰 전자부품은 수시로 변화하고 주문량에 따라 가격이 달라질 수가 있으나 1세트 자기기록 텐시오미터의 제작에 소요되는 비용은 약 10만 7천원이다.

표 1. 자기기록 텐시오미터의 구성 부품과 가격

| 구 분 | 가격 (원) |
|-------------------------|----------------|
| 마이크로 컨트롤러 보드 및 전원 공급 장치 | |
| Arduino Uno board | 45,000 |
| 1.5V AA 리튬 건전기 (5개) | 2,000 |
| 케이블 | 4,000 |
| 컨트롤박스 | 12,000 |
| 소계 | 63,000 |
| 텐시오미터 | |
| MPX5100DP 압력센서 | 35,000 |
| PVC 파이프 (50cm) | 3,500 |
| Tropf-Blumat cone | 5,000 |
| 나사형 마개 | 500 |
| 소계 | 44,000 |
| 합계 | 107,000 |

제작한 자기기록 텐시오미터로 토양수분 측정에 들어가기 전에 운영에 필요한 간단한 코딩을 입력해야 한다. Arduino 홈페이지(<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>)에 접속하여 Arduino IDE 소프트웨어 Ver. 1.8.7을 다운받아 컴퓨터에 설치한 다음 프로그램을 실행한다. 컴퓨터와 Arduino Uno board를 연결하여 코딩된 프로그램을 입력시키면 되는데 코딩 프로그램은 측정간격마다 순간적으로 10번의 측정을 한 뒤 평균값을 압력단위(hPa)로 변환하여 기록된다.

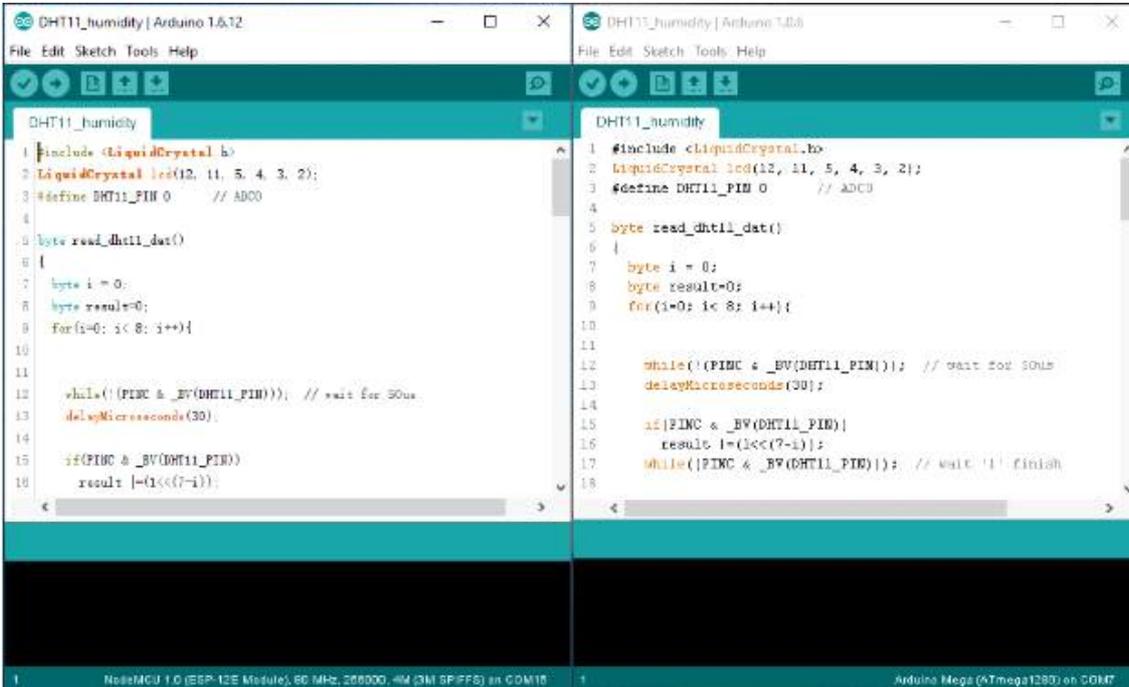


그림 4. Arduino IDE라는 프로그램을 이용하여 좌측의 Thalheimer(2013)의 코드와 우측의 전력소모를 줄이기 위하여 코드를 다시 코딩한 모습.

토양수분포텐셜이 일정수준을 넘어서면 녹색 LED가 점멸하도록 임계치를 설정할 수 있다. 설정한 임계값에 도달하거나 초과하게 되면 Arduino Uno의 13번이 점멸하기 시작하는데 관수나 강우를 통해 토양수분포텐셜이 설정한 임계값 아래로 떨어지면 점멸이 멈춘다. 임계값을 변경하는 방법은 명령어 x를 입력한 다음 b(set blink threshold)를 입력하고 희망하는 임계값을 0~600hPa 범위에서 10단위까지 값을 입력하면 된다. 예를 들면 400hPa을 임계치로 입력하고자 할 경우 40을 입력하면 400hPa로 전환되고 토양수분포텐셜이 400hPa을 넘어서면 녹색 LED가 점멸한다(그림 5).



그림 5. Arduino Uno의 전원LED와 토양 수분 포텐셜 임계값에 도달했을 때 점멸하는 LED

토양수분포텐셜 측정 주기는 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24시간 중 하나를 선택할 수 있다. 측정주기가 짧을수록 저장 데이터 량이 많아지고 측정주기가 길수록 데이터 량이 적어서 오랫동안 데이터를 축적할 수 있다. Serial USB Terminal을 띄우고 아래 명령어를 입력하는 부분에 x를 입력하면 명령어가 나타난다. I를 입력하면 측정주기(01, 02, 03, 04, 06, 08, 12, 24)를 입력할 수 있으며 원하는 시간대를 선택하여 입력한다. 본 연구에서는 3시간을 측정주기로 선택하였는데 데이터 저장용량이 약 2개월간 측정값 정도에 해당되므로 7~8주 주기로 데이터를 내려 받아야 한다.

(3) 텐시오미터의 설치와 측정값 획득

토양조건이 균일하여 조사 사과원을 대표할 수 있는 위치에 있는 건전한 사과나무를 선정하고 점적관수 시설 사과원의 관수의 경우 원줄기와 30cm, 점적구와 25cm 지점, 미니스프링살수 시설 사과원의 경우 살수반경을 고려하여 수관하부 원줄기에서 30cm 지점에 텐시오미터를 같은 깊이로 설치한다. 텐시오미터의 PVC 파이프 직경보다 다소 굵은 \varnothing 30mm의 쇠 파이프를 망치질 하여 30cm 정도 유도구멍을 내고, 텐시오미터의 선단 세라믹 캡이 빈틈없이 토양과 완전하게 밀착하게 하기위해 고운 흙으로 만든 진흙을 조금 채운 다음 세라믹 선단이 25cm 깊이에 이르도록 부드럽게 텐시오미터 관을 밀어 넣고 표토로 빈틈을 채우면 된다. 텐시오미터의 투명파이프에 끓였다 식힌 깨끗한 물을 채운다. 아두이노의 LED가 켜졌는지를 확인하고 텐시오미터가 설치된 인근 파이프 지주에 눈높이로 컨트롤박스를 설치한다. 컨트롤박스를 채운 다음 텐시오미터가 동물에 의하거나 작업 중에 손상되지 않도록 안전망을 두르도록 한다(그림 6).



그림 6. 지주에 컨트롤박스를 고정하고 대표적인 나무를 골라 원줄기와 30cm, 점적기와 20~30cm 지점에 쇠파이프로 유도 구멍을 낸 다음, 텐시오미터의 선단이 25~30cm 깊이로 위

치하게 깨끗하고 표토로 틈새를 채워 빈틈이 없게 한 다음 투명관에 깨끗한 물을 채운다. 컨트롤박스의 LED가 켜지면 작동이 되는 것이므로 컨트롤 박스를 채우고 텐시오미터가 작업 시 손상되는 것을 막기 위해 보호망을 세운다.

측정값의 획득은 5핀 단자를 이용하여 노트북으로 내려 받을 수 있고(그림 7), 스마트폰 어플리케이션(그림 8)을 이용하면 쓰고 있는 스마트폰으로도 내려 받을 수 있다. 스마트폰(애플사의 iPhone은 제외)에 Serial USB Terminal이라는 어플리케이션을 설치 한 후 연결 변환젠더로 아두이노와 연결하고 어플리케이션을 실행하면 실시간은 물론 저장된 토양수분장력데이터를 확인하거나 다운로드 받을 수 있다(그림. 8). 어플리케이션을 실행 후 왼쪽의 상단 부분의 버튼을 클릭하고 Setting 부분 값을 표 2와 같이 설정하여야 어플리케이션과 Arduino Uno가 정상적으로 연결된다. 명령어 x를 입력한 뒤 s를 입력하면 실시간의 토양 수분 포텐셜 수치를 볼 수 있다. 명령어 x를 입력하고 t를 입력하면 세팅을 시작한 시간부터 설정한 시간 간격으로 측정된 값을 아래 그림과 같이 얻을 수 있다. 데이터를 전체선택 한 뒤 스마트폰의 Excel(Microsoft Corporation, USA)의 어플리케이션을 실행하여 데이터를 붙여넣기 한 뒤 드래그를 하여 그래프를 그리면 손쉽게 지난 기간 동안의 토양수분데이터와 변화를 가시적으로 확인 할 수 있다(그림 8).

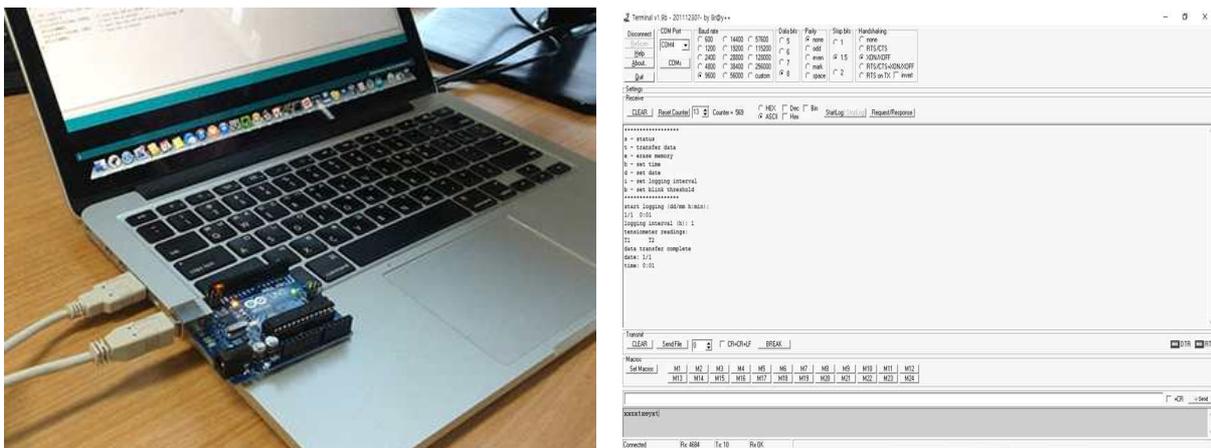


그림 7. Arduino를 노트북에 연결하여 저장된 데이터를 내려 받을 수 있다.

표 2. Serial USB Terminal 기본 세팅

| Serial | Receive | Send |
|------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Baud rate : 9600 | Newline : none | Newline : none |
| Data bits : 8 | Display mode : text | Edit mode : text |
| Parity : none | Font size : 14(변경가능) | Macrobuttons : row |
| Stop bits : 1 | Font style : normal | Local echo : off |
| | Show connection : message(on) | Clear input : on on sensor : on |
| | Show time stamps : on | |
| | Stamp format : HH.mm.ss.SSS | |
| | Buffer size : 10kb | |

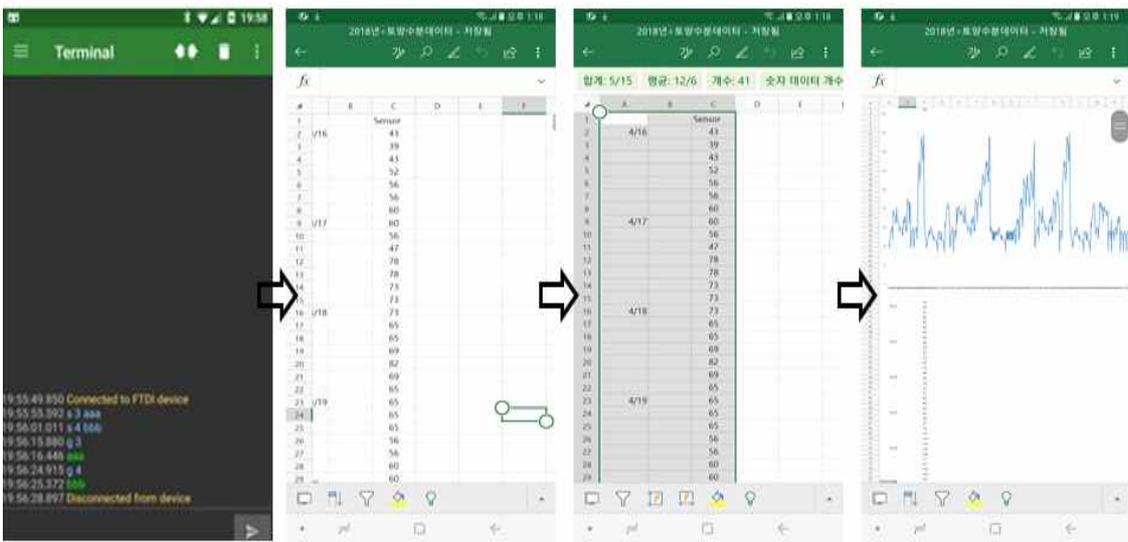


그림 8. 스마트폰과 연결 한 후 데이터를 획득하고 이를 Excel에 붙여 넣고 드래그 하여 그래프로 나타낼 수 있다.

2-2. 자기기록 텐시오미터를 이용한 사과원의 생육기 토양수분변화 추적과 관수 적정성 평가

1) 서론

우리나라의 사과 재배는 1990년대 중반까지 M.26 이중 접목묘를 이용한 준왜화재배의 형태를 띠고 있었으나, 1990년 후반에는 재배면적의 감소, 노동력 부족으로 인해 유럽의 고밀식 재배체계를 모델로 한 ‘신 경북형 사과생산체계’가 개발, 보급이 되면서 우리나라에서도 M.9 또는 M.26 대목을 이용한 실질적인 고밀식재배가 정착되기 시작하였다(Yoon, 1998). 이들 대목은 조기결실성인데다 밀식을 통해 단위생산성이 높아 투자자본 회수가 빠르며(Kim and Yoon,

1998; Palmer, 1989; Rom, 1994; Rom et al., 1994), 사과원 관리도 손쉬운 장점이 있고 과실비대와 착색이 양호해 세계적으로 밀식사과원에서 가장 많이 사용되고 있다(Kim and Yoon, 1998).

반면에 이들 대목은 천근성이어서 지주 설치가 필요하며 M.26대목은 기근속 발생이 빈번하며 토양조건에 따라 개체간 생육이 균일하지 않게 나타난다(Kim and Yoon, 1998). 또한 내건성이 취약해 생육기에 충분한 강우가 고르지 내리지 않는 지역에서는 관수시설이 필수적이다. 한편 내습성도 약해 토양수분이 과다하면 수세가 크게 약화되면서 (Yoon, 1994; Arzani et al., 2000; Ferree, 1989; Fallahi et al., 2010; Helena Et al., 2007; Forshey et al., 1989; Palmer, 1989; Buwalda and Lenz, 1992) 노화가 빨라지고 심하면 고사의 원인이 되기도 한다(Kozlowski, 1997).

기후적으로 우리나라는 연 평균 강수량이 1,000~1,200mm로 사과재배지로서는 강수량이 충분하나 6월 중하순부터 약 30일의 장마기와 이후 8~9월의 호우를 동반한 태풍이 잦은 시기에 약 2/3가 집중되어 있어서 침수 또는 과습의 우려가 크다. 반면에 장마가 끝나는 9월 하순이후부터 이듬해 6월에 다시 장마가 시작되기까지는 증발산량에 비해 강수량이 적어 겨울에는 동건해의 원인이 되는가 하면 생육이 개시되면서부터는 수분부족으로 초기 생육과 유과 비대 불량 원인이 되기도 한다(Helena, 2007). 더구나 최근 지구온난화의 영향으로 예상치 못한 폭우나 지나친 고온 건조가 빈번하게 나타나고 있어서(Sim, 2008) 수분관리의 중요성이 더욱 높아지고 있다(Yang, 2007; Elias, 2006).

고밀식 사과재배에 있어서 높은 생산성을 위해서는 양·수분 관리의 최적화를 통한 영양생장과 결실 간의 생리적 균형 유지가 매우 중요하다(Ahmadi S. H. et al. 2010, Ebel, 2001, Lee, 1982; Theodore et al. 2007; Jaleel et al., 2009; Robert, 1993). 한·칠레 FTA 지원사업으로 일환으로 2000년대 이후에 개원된 대부분 사과원은 기본적으로 관수시설을 갖추고 있다(과수산업발전대책, 2011). 기본적으로 사과나무는 기상 환경과 토양조건, 그리고 생육기간에 따라 수분관리를 달리하여야 한다(Esmaeil, 2012). 우리나라에는 관수기준이나 지침이 없는 상황에서 사과농민 스스로의 경험과 느낌에 의존하여 관수를 하고 있는 것이 현실이다.

따라서 본 연구는 경북 사과 주산지의 여러 사과원을 선정하여 이들 과수원은 생육기에 관수를 어떻게 하고 있고 그에 따른 토양수분상태의 변화를 추적하고 진단하여 정적수분관리의 기준을 설정하기 본 시험을 실시하였다.

2) 재료 및 방법

(1) 조사과원선정과 관수관련 기반조사

경북의 사과주산지에서 비교적 최근에 개원된 과수원을 중심으로 토양조건이 양호하고 관수시설을 갖추고 있으면서 비교적 잘 관리되고 있는 M.9 및 M.26대목의 '후지'사과원을 청송지역 3곳, 봉화지역 3곳, 영천지역 3곳, 영주지역 2곳, 포항지역 8곳 등 19농가의 사과원을 선정하였다. 대목별 재식거리, 표토관리방법, 관수 및 배수시설, 경사도 등 기본과원 상황을 실측

또는 원주와의 상담을 통해 파악하였다. 과원별 토성은 해당과원 소재 농업기술센터의 토양분석결과를 인용하였고 과원별 관수방법에 따른 시간당 관수량과 살수반경 등은 현장에서 실측하였다.

(2) 텐시오미터의 설치와 측정값 획득

토양조건이 균일하여 조사 사과원을 대표할 수 있는 위치에 있는 3~6m 간격으로 건전한 사과나무 2주를 선정하고 점적관수 시설 사과원의 관수의 경우 원줄기와 30cm, 점적구와 25cm 지점에 설치하였다. 미니스프링살수 시설 사과원의 경우 살수반경을 고려하여 수관하부 원줄기에서 30cm 지점으로 살수반경이 중복되는 부분에 텐시오미터를 같은 깊이로 설치하였다. ϕ 30mm의 쇠 파이프를 망치질 하여 30cm 정도 유도구멍을 내었다. 텐시오미터가 빈틈없이 토양과 완전하게 밀착하게 하기위해 고운 흙으로 만든 진흙을 조금 채운 다음 세라믹 선단이 25cm 깊이에 이르도록 부드럽게 텐시오미터 관을 밀어 넣고 표토로 빈틈을 채웠다. 투명관에 꿰었다 식힌 깨끗한 물을 채우고 압력계가 달린 실리콘 마개로 막았다. 아두이노의 LED가 켜졌는지를 확인하고 텐시오미터가 설치된 인근 파이프 지주에 눈높이로 컨트롤박스를 설치하였다. 컨트롤박스를 채운 다음 텐시오미터가 동물이나 작업 중에 손상되지 않도록 안전망을 둘러쳤다.

2017년은 5월부터 중순부터 10월 말까지, 2018년은 4월 1일부터 7월말까지 3~4주 주기로 측정값을 내려 받아 토양수분의 적정성을 분석하였다.

(3) 과실 특성 조사

포향 3개, 영천 1개, 청송 1개 과원을 선정하여 임의로 5주에 대해 10개씩 수확된 다음 다시 10개를 택하여 샘플링을 취한 후 과실 특성 조사를 실시하였다. 경도는 ϕ 8mm 직경의 헤드를 가진 Penetrometer(EPT-1-R, Lake City Technical Products Inc. Kelowna, B.C. Canada)를 사용하여 각 과실의 적도부를 기준으로 동서남북 4지점의 과피를 약 0.2mm 제거한 후 측정하였다. 산 함량은 과즙 5ml를 0.1N NaOH를 적정한 후 사과산으로 환산하였고, 가용성 고형물 함량은 디지털당도계(PR-201a, ATAGO, Japan)를 이용하여 측정하였다. 착색은 간이 색차계(CM-2500D/Konica Minolta)를 이용하여 과실의 적도면을 기준으로 양광면과 음광면 지점에서 Hunter L, a, b 값을 측정하여 평균값으로 나타내었다.

통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.4, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 95%의 신뢰수준에서 Duncan's Multiple Range Test(DMRT)검정을 실시하였다.

3) 결과 및 고찰

(1) 조사 사과원 현황과 관수관련 기반

19개 사과원 중 2개 사과원이 M.26대목이고 17개 사과원은 M.9대목이었으나 재식거리는 농가에 따라 다양하였다. M.9 대목의 추천 재식거리는 3.0~3.2m × 0.8~1.5m, M.26 대목의 추천

재식거리는 3.5~4.0m × 1.3~1.8m이다(고밀식 사과재배기술, 2012). M.9대목 사과원은 3.5~3.8m × 1~1.5m, 4 × 1.5m~2m로 재식되었고 M.26대목 사과원은 4 × 1.5~2m였으며 재식년차는 3~8년차로 다양하였다. 대부분의 사과원이 추천거리에 비해 현저히 넓게 심겨져 있었다. 지표면 관리에 있어서 열간은 한 사과원만 제초제를 살포하면서 청경으로 관리하고 있었고 나머지 18개 사과원은 초생을 하면서 수시로 깎아주는 방법으로 열간을 관리하고 있었다. 수관하부를 제초제로 청경관리하는 과원이 2개과원, 풀이 자라나는 시기마다 깎아주는 방법으로 관리하는 과원이 13개였다. 토심이 20cm 깊이까지 토성은 사질토 2개, 사양토가 17개 사과원이었으나 점토:미사:모래의 비율이 5.8/24.9/70.3인 비교적 가벼운 토양에서 17.9/27.7/54.5인 비교적 무거운 토양까지 다양하였다. 대부분의 사과원에서는 토양의 물리화학을 좋게하기 위해 토층의 개량(심경, 폭기식 심토파쇄), 유기물 시용, 석회 시용 등을 하는 추세였다(표 3).

미니스프링클러 관수방법을 택한 사과원이 15개로 절대적으로 많았고 점적관수를 택한 사과원은 4개원에 불과하였다. 이를 통해 가시적 효과가 큰 미니스프링클러의 선호도가 높은 것을 알 수 있었다. 미니스프링클러의 경우 15개 과원 중 7개가 살수용량(제품규격) 70리터/시간을 40리터/시간 5개, 35리터/시간 2개, 20리터/시간 1개 2미터 또는 4미터 간격으로 수관하부에 설치하였다. 점적관수의 경우 2.1리터/시간 점적구가 30cm 간격인 점적호스를 재식열을 따라 2열로 설치한 사과원이 3개 과원, 주당 2개의 점적구를 둔 사과원이 1개 사과원이었다. 살수용량에 있어서 제품규격과 실측치는 차이를 보이기도 하였는데 제품규격은 살수량이 시간당 70리터였으나 실제로는 80리터씩 살수되는 사과원이 2개였고 제품규격은 점적구당 시간당 2.1리터였으나 4개 사과원 모두 실제로는 5리터가 관수되고 있었다. 그 이유는 양수기의 용량이 과원마다 다르고 같은 용량의 양수기라도 스프링클러 수 또는 점적기 수가 달라서 수압에서 차이가 있기 때문으로 보인다. 따라서 정밀관수를 위해서는 제품규격과는 별개로 자기 사과원 관수시설의 실제 관수용량을 사전에 파악할 필요가 있다. 미니스프링클러의 살수반경도 규격과는 달리 설치 높이가 걸리는 수압에 따라 차이가 있어서 2m라는 제품규격과는 달리 실제로는 2.5m 또는 3m이었다(표 4).

표 3. 조사과원 현황

| Region ^z | Orchard | Rootstock | Planting distance (m) | Ground surface management | | Soil exture (clay/silt/sand, %) |
|---------------------|---------|-----------|-----------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------|
| | | | | Alley | Under the canopy | |
| CS | HJ Lee | M9 | 4×2 | Sod | Clean culture | Sandy loam(8.4/25.8/65.8) |
| | SG Sim | M9 | 4×2 | Sod | Sod culture | Sandy loam(13.7/26.1/60.2) |
| | IS Yoon | M9 | 3.8×1 | Sod | Sod culture | Sandy loam(14.9/22.3/62.8) |
| BH | WJHwang | M9 | 4×2 | Sod | C.H | Sandy soil(7.2/28.9/63.9) |
| | JJ Park | M9 | 4×2 | Sod | Sod culture | Sandy loam14.1/27.8/58.1) |
| | WWKwon | M9 | 4×2 | Sod | Sod culture | Sandy loam11.2/25.9/62.9) |
| YC | GH Shin | M9 | 3.5×1 | Sod | Sod culture | Sandy loam(11.2/25.9/62.9) |
| | BG Ha | M9 | 3.5×1 | Sod | Sod culture | Sandy soil(5.8/24.9/70.3) |
| | JY Lee | M9 | 3.5×1.5 | Sod | Sod culture | Sandy loam(16.2/29.2/54.6) |
| YJ | JL Son | M9 | 4×2 | Sod | Sod culture | Sandy loam(11/28.2/60.8) |
| | FR | M9 | 3.5×1.5 | Clean | Sod culture | Sandy loam(11.8/26.2/62) |
| PH | SW Seo | M9 | 3.5×1 | Sod | Sod culture | Sandy loam(9.1/29.9/61) |
| | SD Lim | M9 | 4×2 | Sod | C.H | Sandy loam(16.4/28.8/54.8) |
| | OL Jo | M9 | 4×2 | Sod | Sod culture | Sandy loam(13.9/29.1/57) |
| | ST Kim | M26 | 4×1.5 | Sod | Sod cultures | Sandy loam(11.8/22.9/65.3) |
| | TH Koo | M9 | 4×1 | Sod | mulches | Sandy loam(14.5/22.9/62.6) |
| | YN Beak | M9 | 4×2 | Sod | mulches | Sandy loam(13.4/21.7/64.9) |
| | PS Kim | M9 | 4×2 | Sod | Sod culture | Sandy loam(9.8/25.9/64.3) |
| | WS Park | M26 | 4×2 | Sod | Sod culture | Sandy loam(17.9/27.7/54.4) |

표 4. 조사 과원의 관수 및 배수시설 현황

| Region ^z | Orchard | Irrigation system | | | | | Pipe drainage (depth) |
|---------------------|----------------|-------------------|------------------|--------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|
| | | Method | Watering volume | | Dripper/Splinkler spacing | Watering diameter | |
| | | | product standard | Actual measurement | | | |
| CS | HJ Lee | mini-sprinkler | 70L/hr | 70L/hr | 2m | 3m | × |
| | SG Sim | mini-sprinkler | 70L/hr | 70L/hr | 2m | 2.5m | × |
| | IS Yoon | mini-sprinkler | 35L/hr | 35L/hr | 2m | 2.5m | O (70cm) |
| BH | WJ Hwang | drip | 2.1L/hr | 5L/hr | 30cm, 1 line | - | × |
| | JJ Park | mini-sprinkler | 70L/hr | 70L/hr | 2m | 2.5m | × |
| | WW Kwon | mini-sprinkler | 70L/hr | 70L/hr | 2m | 2.5m | O (60cm) |
| YC | GH Shin | drip | 2.1L/hr | 5L/hr | 30cm, 2 lines | - | × |
| | BG Ha | drip | 2.1L/hr | 5L/hr | 30cm, 2 lines | - | × |
| | JY Lee | mini-sprinkler | 35L/hr | 40L/hr | 2m | 3m | × |
| YJ | JL Son | mini-sprinkler | 40L/hr | 40L/hr | 2m | 3m | × |
| | FR | drip | 2.1L/hr | 5L/hr | 30cm, 2 lines | - | × |
| PH | SW Seo | mini-sprinkler | 40L/hr | 40L/hr | 2m | 3m | × |
| | SD Lim | mini-sprinkler | 70L/hr | 80L/hr | 2m | 3m | × |
| | OL Jo | mini-sprinkler | 40L/hr | 40L/hr | 2m | 3m | × |
| | ST Kim | mini-sprinkler | 40L/hr | 40L/hr | 2m | 2.5m | × |
| | TH Koo | mini-sprinkler | 20L/hr | 20L/hr | 2m | 3m | O (50cm) |
| | YN Beak | mini-sprinkler | 40L/hr | 40L/hr | 2m | 3m | O (60cm) |
| | PS Kim | mini-sprinkler | 70L/hr | 80L/hr | 2m | 3m | × |
| WS Park | mini-sprinkler | 70L/hr | 70L/hr | 2m | 3m | × | |

^z CS=Cheongsong, BH=Bonghwa, YC=Yeongcheon, YJ=Yeongju, PH=Pohang

(2) 지역별 강수량과 수분부족량 변화

<2017>

조사 사과원이 있는 5개 시, 군의 2017년 5월부터 10월까지의 강우분포는 그림 9에서 보는 바와 같다. 영천이 이 기간 동안 538mm로 가장 비가 적게 왔고 봉화가 763mm로 가장 많았다. 전체적으로 5~6월에는 거의 비가 오지 않았고 청송과 봉화는 7월 초에 102mm의 비가 오면서 어느 정도 수분이 공급이 되었으나 영주와 영천은 7월 14일까지, 포항은 23일까지 수분이 계속 부족한 상태였다.

하루 강수량에서 증발량을 뺀 값인 수분부족량을 5월 1일부터 10월 31일까지 누적변화를 나타낸 결과는 그림 10에서와 같다. 지역별 누적강수량과는 다른 양상을 보여 포항의 10월 31일까지의 누적수분부족량이 15,065mm로 다른 시군에 비해 현저히 많았다. 봉화의 누적강수량이 763mm, 영천 538mm와 같이 지역간 강수량의 차이가 비교적 컸음에도 나머지 4개 시군간의 누적수분부족량은 비슷한 양상을 보였다. 기온은 7월 2일, 7월 13일, 7월 21일에 포항이 1.3~

2.2℃ 높은 것으로 나타났다. 7월 14일에 영천은 92mm의 강우가 발생했지만 포항의 경우 2mm의 적은 양은 강우가 발생하여 누적 수분부족량 차이가 커진 것을 알 수 있었다.

누적강수량이 비슷한 포항과 영천의 경우 증발산량이 일정 날짜에서 차이가 나는 원인을 알아보았을 때 7월 2일에 습도가 71.2%, 영천은 84.2%로 13%차이를 보였고 7월 13일의 경우 포항은 58.1%, 영천은 68.3%, 7월 21일의 경우 포항은 66.6%, 영천은 82.7%를 나타내며 습도에서 차이를 보였다. 증발산량은 기온, 바람, 공중습도, 일사량 등의 요인에 의해 영향을 받기 때문에 단순한 강수량만으로 수분부족을 가늠할 수 없다는 것을 알 수 있다(Kang and Zhang, 2004).

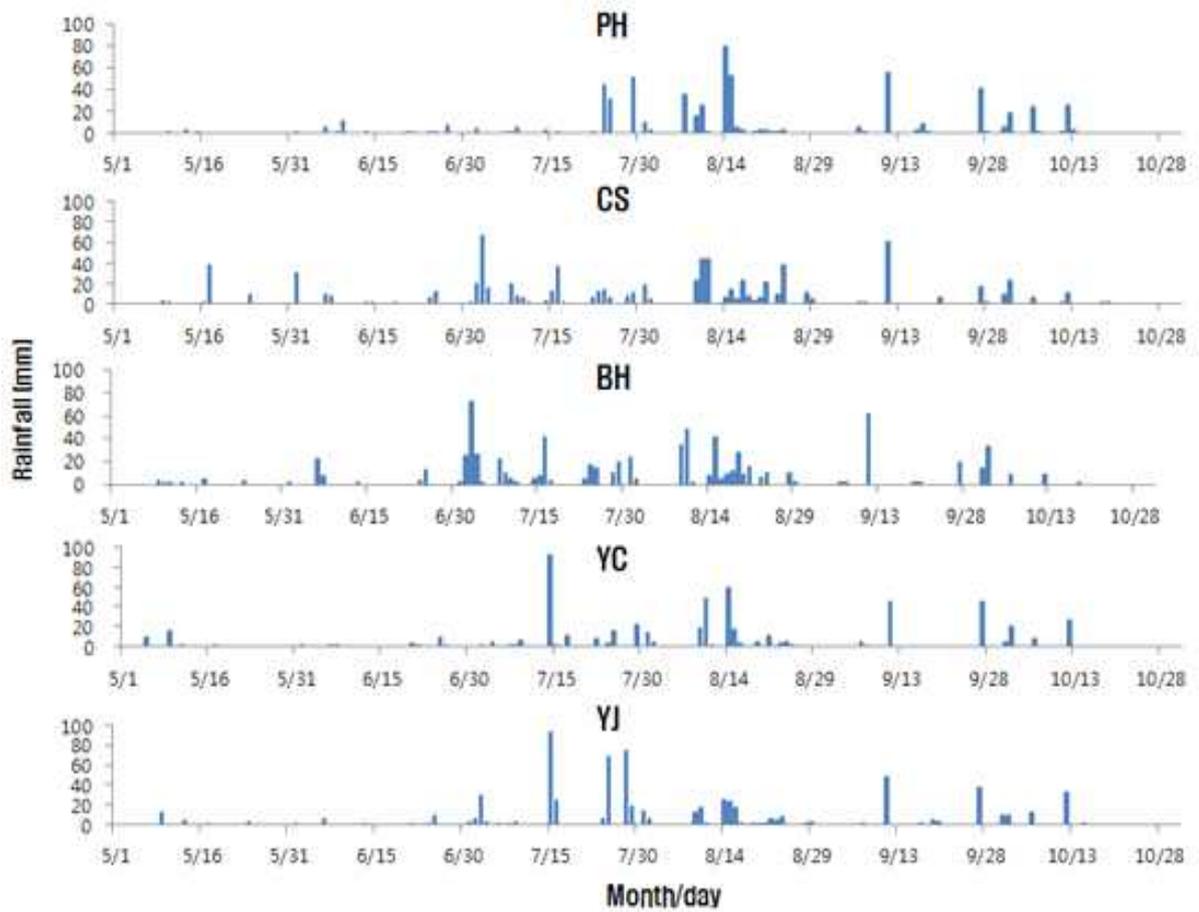


그림 9. 포항, 청송, 봉화, 영천과 영주지역의 2017년 5월부터 10월까지 강수량

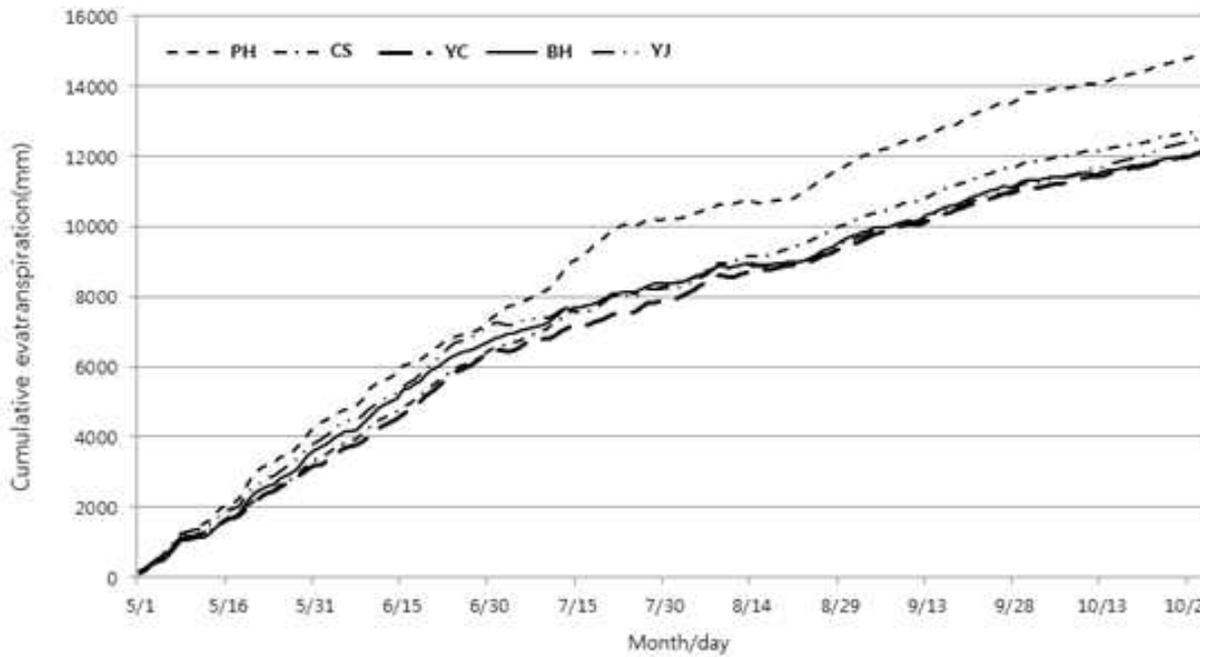


그림 10. 5개 지역별 2017년 5월부터 10월까지 누적 증발산량 변화

<2018>

조사 사과원이 있는 5개 시, 군의 2017년 4월부터 7월까지의 강우분포는 그림 11에서 보는 바와 같다. 청송이 이 기간 동안 371.5mm로 가장 비가 적게 왔고 봉화가 458.5mm로 가장 많았다. 전체적으로 5월 24일~6월 25일에는 거의 비가 오지 않았고 영주와 봉화는 6월 26일에 47mm의 비가 왔고 포항, 청송, 영천은 6월 27일에 75.5mm, 41.5mm, 69.5mm의 비가 오면서 어느 정도 수분이 공급이 되었다.

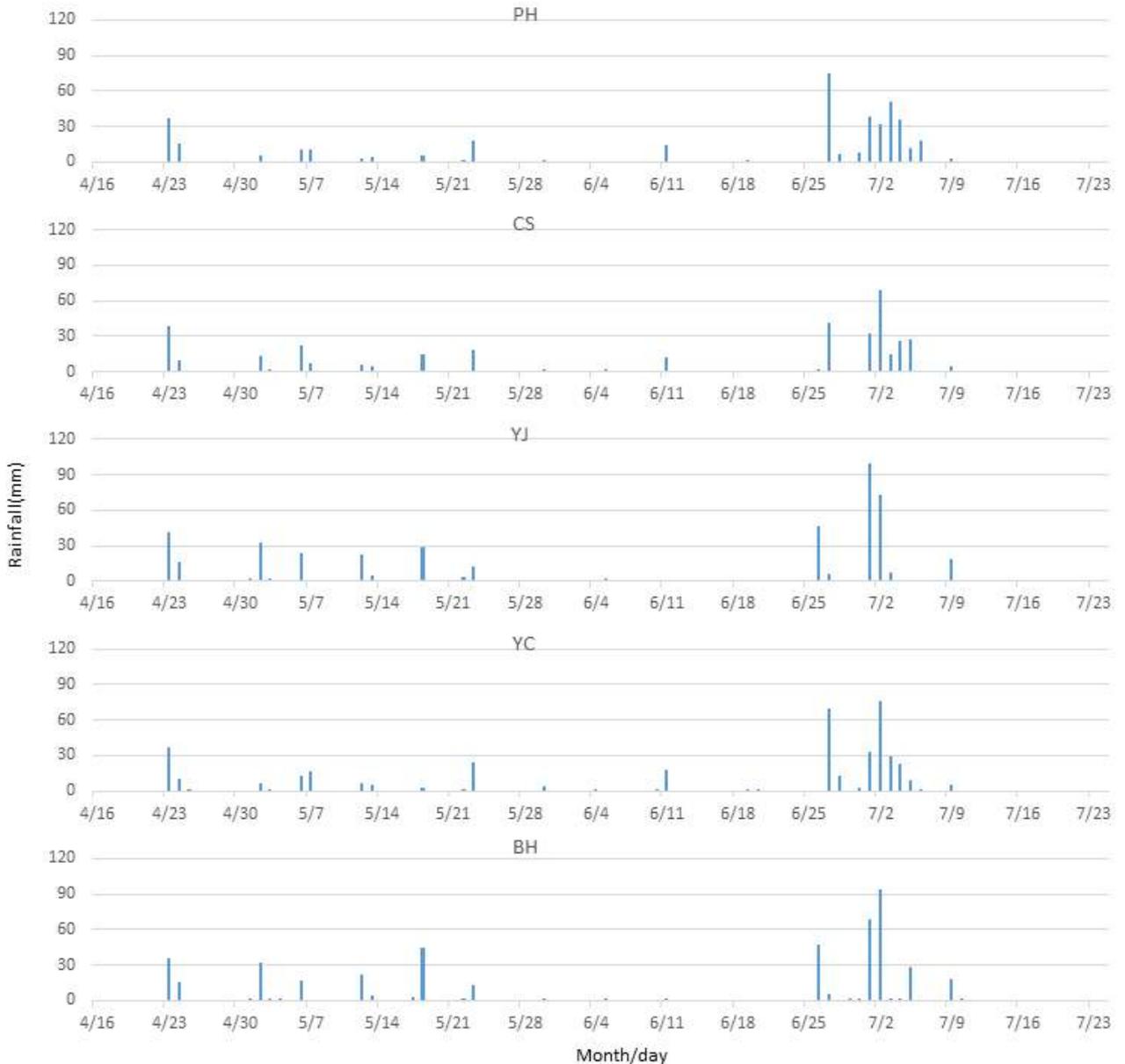


그림 11. 5개 지역(포항, 청송, 봉화, 영천, 영주)의 2018년 4월부터 7월까지 강우량

(3) 과원별 토양수분포텐셜 변화

<2017>

근권부의 적정 토양수분포텐셜을 생육시기 및 단계에 따라 다소 다르게 관리하는 것이 일반적이다(Leitfaden APFEL, 2018). 생육시기 별 수분관리 원칙(NEWA, 2018)은 개화 전 부터 만 개 후 45일까지는 수분공급이 충분하여야 하며 토양 유효 수분의 80% 수준의 수분상태(200hPa~300hPa)을 유지하는 것이 좋다. 6월 중순 이후에는 과실 비대에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 토양수분이 다소 부족하게 유지하는 것이 바람직하다. 이때 토양수분은 유효수분의 60% 수준인 400~450hPa까지 유지되도록 하며 낮의 길이가 짧아지면서 2차 성장 가능성이 거의 사라진 8월 하순부터는 350~400hPa까지 유지되도록 한다(Bhutta, 2006; Cohen, 2002; Hamlyn, 2004). 따라서 본 연구에서 조사된 자료를 이와 같은 기준에서 생육기간 동안 비교적 수분 관리가 양호하게 관리된 과원(그림 12), 부분적으로 과하거나 부족하게 관리된 과원(그림 13), 전체적으로 토양수분이 부족하게 관리된 과원(그림 14), 과다하게 관리된 과원(그림 15, 16)으로 분류하였다.

가. 토양수분이 양호하게 관리된 사과원

토양 수분 포텐셜이 제시된 적정토양 수분의 범주에 맞게 관리를 한 과수원으로는 5곳이 있었다(그림 12). CS-SSG는 사양토의 사과원으로 시간당 70L의 미니스프링클러(그림 17)를 이용하여 개화 전에는 300hPa를 유지하였는데 이는 관수를 2일간격으로 1~2시간 살수를 하는 경우도 있었지만 대부분 과습한 100hPa 정도의 수치를 나타내었다. 8월 이후 신초생장이 정지되는 시기가 지난 후에는 450hPa 수치를 유지하였다. 이는 3일 간격으로 3시간씩 관수를 한 것으로 판단된다. YC-SJH의 사과원은 배수가 양호한 사양토로 시간당 5L 관수되는 점적구멍이 30cm 간격인 점적호스를 지면에 두 줄로 깔아 관수하는 M.9 대목의 밀식 과원이다. 개화 전부터 100hPa으로 유지하였는데 이는 매일 2회씩 30분간 관수 한 것으로 보여 과다했지만 신초생장기에 관수주기를 1회로 줄여 적정한 수치로 유지되었다. 신초생장이 정지된 8월 이후에도 450hPa 정도의 수치를 나타내고 있다. YJ-FR의 경우 사양토의 사과원으로 시간당 5L의 2열의 점적관수를 이용하여 150~200hPa으로 다소 과습한 수치를 보이는데 이는 3일간격으로 2시간씩 관리 한 것으로 판단된다. 7월 초 이후 관수량을 줄여 4일간격으로 2시간씩 관수하여 적절한 수분수치를 나타내었다. 하지만 9월부터 100hPa 정도의 수치를 나타내었다. YJ-SJL의 사과원은 사양토이지만 점토의 비율이 조금 높아 수분이 과다해질 수도 있지만 개화 전 시간당 70L의 관수량을 가진 미니스프링클러(그림 18)를 이용해 개화 전부터 200~300hPa의 수치로 관리되었다. 이는 4일 간격으로 3시간씩 살수한 것으로 판단된다. 신초생장기에는 초기에는 100hPa의 수치로 과습했지만 그 후 450hPa 정도의 수치를 유지하였다. 신초 생장이 정지된 8월 이후에는 잦은 강우로 인해 과습했지만 관수를 하지 않아 450hPa의 수분수치를 유지하였다. PH-KST의 사과원은 토성이 사양토로 구성되어있으며 미니스프링클러를 사용하여 관수용량 계산 시 시간당 70L의 물량이 된다. 개화 전부터 200hPa로 유지되는 것으로 보아 2일 간격으로 4시간씩 살수한 것으로 판단된다. 6~7월 신초생장기에 450hPa의 수치까지 나타난 것으

로 보아 5일 간격으로 4시간씩 살수 한 것으로 판단된다. 신초생장이 정지된 8월 이후에도 450hPa의 수치를 보이며 5일 간격으로 4시간씩 살수 한 것으로 파악된다. 8월 이후 신초생장 정지가 된 후에 100hPa을 유지한 것으로 보아 관수를 4일 간격으로 4시간씩 한 것으로 판단된다. BH-PJJ는 사양토의 사과원으로 점토비율이 높은 토성이며 배수가 잘되지 않는다. 100~150hPa수치를 보이며 시간당 70L의 미니스프링클러를 이용하여 5일 간격으로 5시간씩 관수한 것으로 판단된다. 이후에도 봉화지역의 잦은 강우로 인해 7월 초까지 다습한 수치를 보였고 그 후 관수 수치가 권장된 곡선과 비슷하게 보이며 7일 간격으로 5시간씩 관수 한 것으로 판단된다. PH-KST, YJ-PJJ,CS-SSG의 사과원의 경우 수확직전까지 수분이 과다하게 유지되어 착색에는 불리하게 작용할 것으로 추정되었다 (Theodore et al. 2007; Jaleel et al., 2009; Robert, 1993).

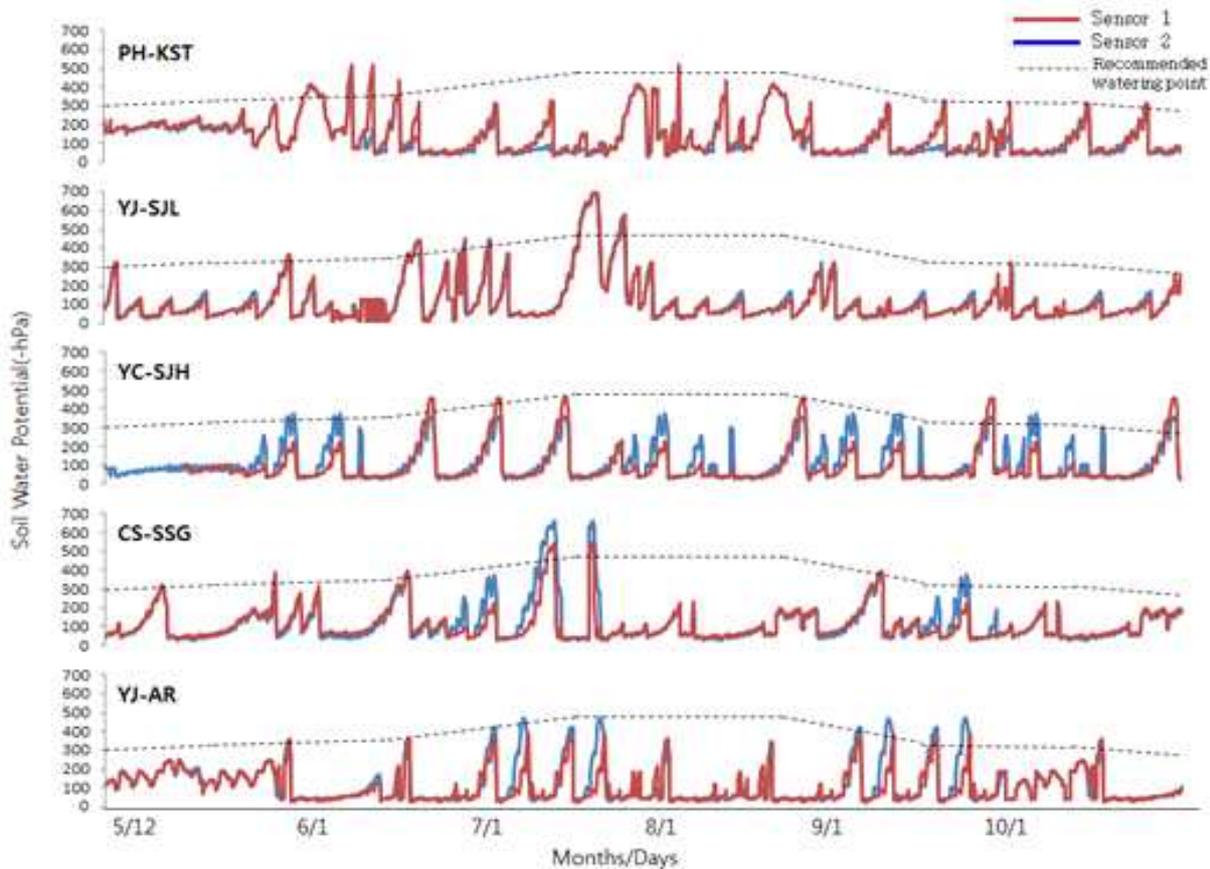


그림 12. 토양수분이 양호하게 관리된 과원의 토양수분포텐셜 변화(2017)

나. 토양수분이 부분적으로 과다·부족하게 관리된 사과원

부분적으로 수분이 부족하거나 과다한 과원의 경우는 3곳으로 조사되었다(그림 13). PH-KPS는 사양토의 사과원으로 시간당 80L의 미니스프링클러(그림 16)를 이용해 대부분 400hPa을 유지하였다 이는 5일 간격으로 4시간씩 관수한 것으로 보이며 7월 하순에 많은 강수량으로 인하여 과습해졌다. BH-KWG는 사양토의 사과원으로 시간당 70L의 미니스프링클러

(그림 17)를 이용하여 개화 전에는 200~250hPa 수치를 보이며 관수를 4일간격으로 3시간씩 실시한 것으로 판단된다. 신초생장기인 6~7월에는 324mm의 강우로 인해 다소 과습한 100hPa 정도의 수치를 보였다. 이후 신초생장이 정지된 8월 후 부터는 250~300hPa 수치를 나타내는데 이는 5일간 4시간씩 관수한 것으로 판단된다. 이들 과원은 기본적인 사과나무의 재배관리에 대해 제대로 숙지하고 있지 않고 관수시기가 제대로 맞지 않은 것으로 추정된다.

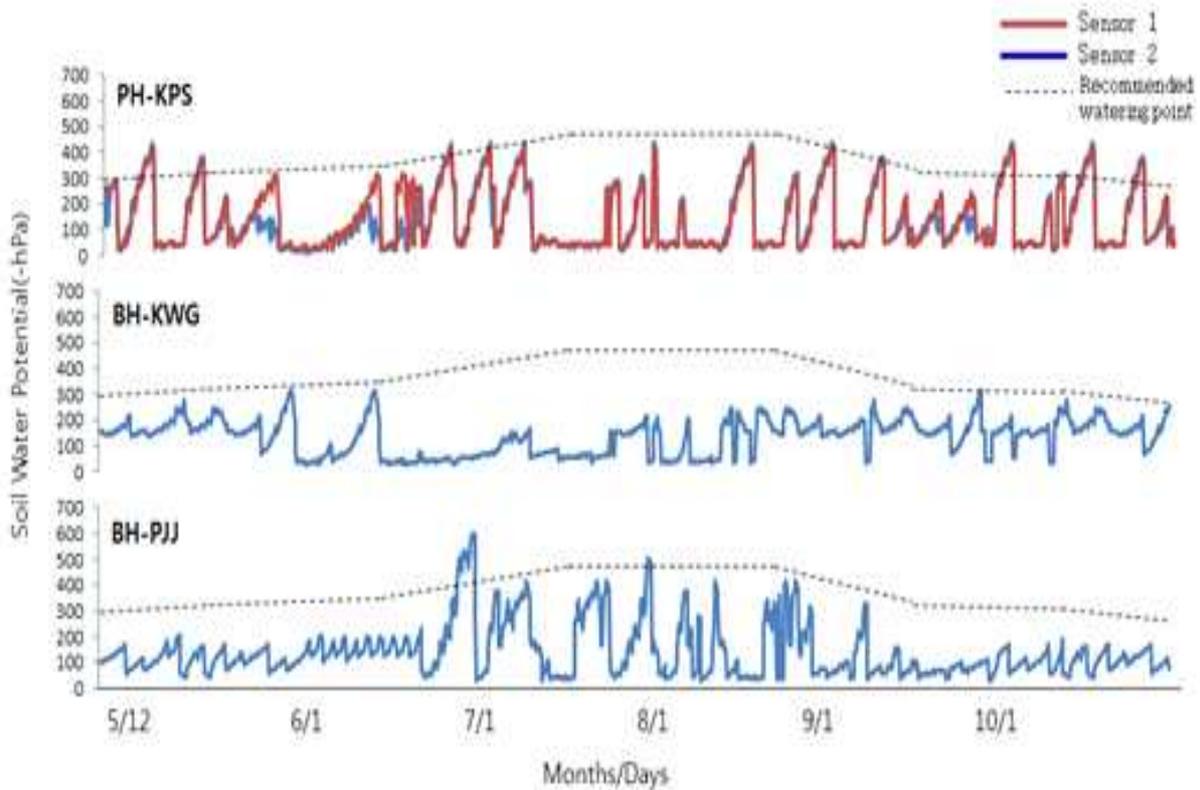


그림 13. 토양수분이 부분적으로 과다, 부족하게 관리된 과원의 토양수분포텐셜 변화(2017)

다. 토양수분이 부족하게 관리된 사과원

토양 수분 포텐셜이 600hPa 이상인 수치의 빈도가 높게 관리된 과원의 경우 3곳이 조사되었다(그림 14). PH-SSW의 사과원의 토성은 경사지의 사양토로 구성되어있으며 시간당 80L의 미니스프링클러(그림 18)를 이용해 500hPa의 수치를 보이는데 이는 5일간격으로 5시간씩 관수를 한 것으로 보이나 신초생장기인 6~7월에는 수분관리가 450~500hPa로 잘 되고 있었다. 신초생장이 정지된 8월 이후에는 과실의 비대를 위해 4일 간격으로 5시간씩 관수한 것으로 판단된다. 일반 농가보다 넓은 면적(m^2)을 관리하여 관수주기가 7~8일간격으로 길어 생육초기에 건조한 상태를 유지하였다. 증발산량의 수치가 낮을 때 토양 수분 포텐셜 증가 수치가 높을 때 보다 완만한 것을 볼 수 있었다. 경사지의 구조를 가진 과원으로 미니스프링클러로 관수하는 방식보다는 점적관수로 관수하는 것이 관리에 용이할 것으로 판단된다. 경사지에 의해 수분이 고르게 가지 않고 흐르는 점이 있고 넓은 과원을 관수하기에는 적은 수원으로 인해 다소 건조

한 것으로 판단된다. BH-HWG은 사질토의 사과원으로 30cm간격의 구멍에서 시간당 5L의 점적관수호스를 지상부에서 50cm 위에 설치하였고 대체적으로 100~200hPa을 보였으나 2.2m/s 바람의 영향으로 600hPa의 수치를 보이기도 했다. 2일 간격으로 5시간씩 관수를 한 것으로 판단된다. 봉화 지역의 잦은 강우로 인하여 6~7월 신초생장기에는 다소 낮은 수치인 100hPa 정도를 유지하였고 신초생장이 정지된 8월 이후에도 200~300hPa수치를 나타내며 3일 간격으로 4시간씩 관수한것으로 판단된다. CS-LHJ은 사양토의 사과원으로 시간당 120L의 미니스프링클러(그림 18)를 이용하여 관수하였지만 생장기에는 강수가 오는 시점을 제외한 부분에서는 600hPa 가까이 도달하였고 신초생장이 정지되는 8월 이후에도 동일하여 5일간격으로 3시간 씩 살수한것으로 판단된다. PH-SSW과 CS-LHJ의 사과원의 경우 과수원의 면적이 넓어 수자원 공급이 제대로 되지 않은 것으로 판단된다.

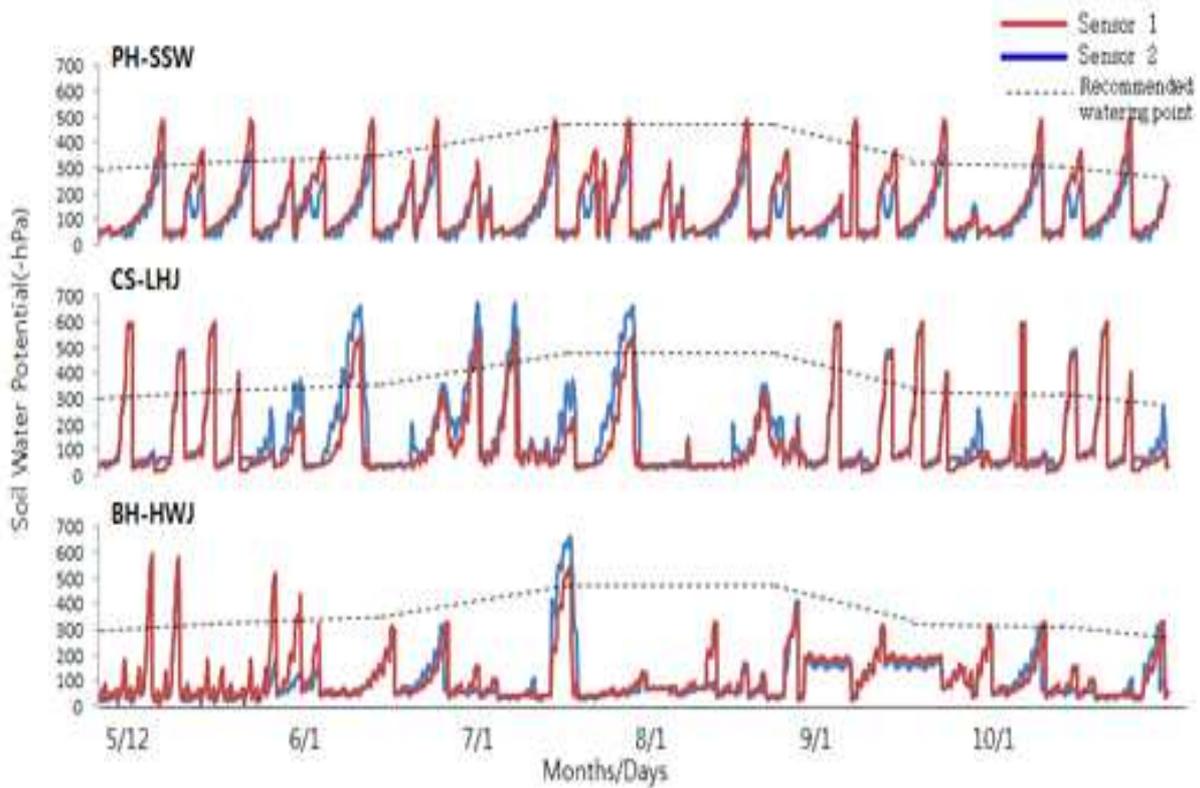


그림 14. 토양수분이 부족하게 관리된 과원의 토양수분포텐셜 변화(2017)

라. 토양수분이 과다하게 관리된 사과원

생육기간동안 토양수분이 -100hPa이하로 5일 이상 유지되는 8개 과원으로 조사되었다(그림 15, 16). PH-KTH는 사양토의 사과원으로 수관하부에 부직포를 설치하여 관리하고 그 하단에 시간당 70L의 물이 나오는 미니스프링클러(그림 17)를 설치하여 적절한 수분수치를 유지했지만 신초생장기에는 300hPa을 유지하였다 이는 2일 간격으로 2시간씩 관수한 것으로 판단된다.

PH-PWS 사양토의 배수가 잘되는 사과원으로 시간당 80L의 미니스프링클러(그림 18)를 이용하여 100hPa 수치를 보였고 개화 전 5일 간격으로 5시간씩 관수한 것으로 판단된다. 신초생장기인 6~7월의 경우 오히려 200hPa의 수치를 보이며 관수주기를 3일 간격으로 4시간씩 관수한 것으로 판단된다. 이후에도 짧은 주기로 관수하여 다소 과습한 수치를 보였다. PH-BYN은 사양토의 경사지인 사과원으로 수관하부에 부직포 설치 및 방풍망 설치 그리고 주변에 산으로 둘러싼 지형으로 과습 해지기 쉬운 환경이다. 시간당 80L의 미니스프링클러(그림 18)를 이용하여 시기중 대부분을 100hPa의 수치를 유지하였다. 이는 개화 전 4일 간격으로 5시간씩 관수한 것으로 보이며 이후 6월 21일부터 신초생장기에는 관수를 10일간 하지 않았다가 7월 1일부터 다시 관수를 4일 간격으로 5시간씩 관수한 것으로 판단된다. PH-LSD은 사양토의 점토성분이 많은 사과원으로 시간당 80L의 미니스프링클러를 이용하여 관수하며 개화 전에는 200hPa을 유지하였다. 이는 6일 간격으로 2시간씩 관수 한 것으로 보이며, 신초생장기인 6~7월의 경우 다소 과습한 100~200hPa의 수치를 보였다. 이는 4일 간격으로 3시간씩 관수한 것으로 판단된다. 8월 30일 이후에는 200hPa을 유지하였다. 이는 6일 간격으로 2시간씩 관수한 것으로 보이나 강수량으로 인해 다시 수치가 100hPa정도로 과습하게 유지되었다(그림 16). PH-JOL은 사양토의 사과원으로 미니스프링클러를 사용하여 개화 전인 5월 중순부터는 150~200hPa의 수치를 보이며 관수를 6일 간격으로 2시간씩 관수한 것으로 판단된다. 이후 6~7월 신초생장기에는 100hPa 이하의 수치를 보이는 데 3일 간격으로 3시간씩 관수한 것으로 판단된다. 8월 초 202mm 강수량으로 인해 관수를 중단하였음에도 불구하고 낮은 수치를 보였다. 이후 9월 1일에는 강수로 인해 수분수치가 100hPa로 떨어져 유지되는 것을 볼 수 있었다. CS-YIS은 사양토의 사과원으로 시간당 70L의 미니스프링클러(그림 17)를 개화 전에는 200~300hPa을 유지하였는데 이는 6일 간격으로 5시간씩 관수한 것으로 보이며, 신초생장기인 6~7월에는 100~200hPa의 수치를 보이며 3일 간격으로 3시간씩 관수한 것으로 판단된다. 이후 8월 초 잦은 강우로 인하여 100~200hPa로 낮은 수치를 보였고 9월 초 400hPa정도의 수치까지 올라 간 것으로 보아 7일간 관수를 하지 않은 것으로 판단된다. 신초가 정지된 후로 250~300hPa의 수치를 보였는데 5일 간격으로 3시간씩 관수 한 것으로 판단된다. YC-LJY는 사양토의 사과원으로 시간당 80L의 미니스프링클러를 이용하여 개화 전에는 100hPa 정도의 수치를 유지하는 것으로 보아 5일 간격으로 3시간씩 관수 한 것으로 판단된다. 신초생장기인 6~7월의 경우 100hPa의 수치를 보이며 4일간격으로 3시간씩 관수한 것으로 판단된다. 7월 초 약 400hPa 까지 떨어진 것을 보아 관수장치의 고장으로 인해 관수를 못한 것으로 파악되었다. 다시 관수를 하여 100hPa의 수치를 유지하였다. 8월 30일 이후에는 300hPa의 수치를 유지하는 것으로 보아 7일 간격으로 3시간씩 관수한 것으로 판단된다. 이후 93mm의 강수량으로 인해 다시 수치가 100hPa정도로 과습하게 유지되었다. YC-HBG는 배수가 잘되는 사질토의 사과원으로 30cm간격으로 점적구당 5L의 수분이 나오는 점적호스를 2줄로 설치하여 150~200hPa을 유지하는 것으로 보이며 20분 관수 후 40분 정지를 14회로 반복하는 관수를 실시한 것으로 판단된다(그림 16). 개화 전 수분이 많은 상태인 150~200hPa 정도를 유지하며 신초생장기인 6월 후반이후

400hPa를 유지하였는데 이는 관수 횟수를 줄인 것으로 판단된다. 하지만 7월 초부터 잦은 강우로 인하여 다소 과습한 수치인 100hPa 정도를 보였다. 8개의 과수원 대부분이 배수의 문제 보다는 과도한 관수로 인해 습해 발생 가능성을 보일 것으로 판단된다(Neilsen, 1998; Haynes, 1980; Gregory, 2006).

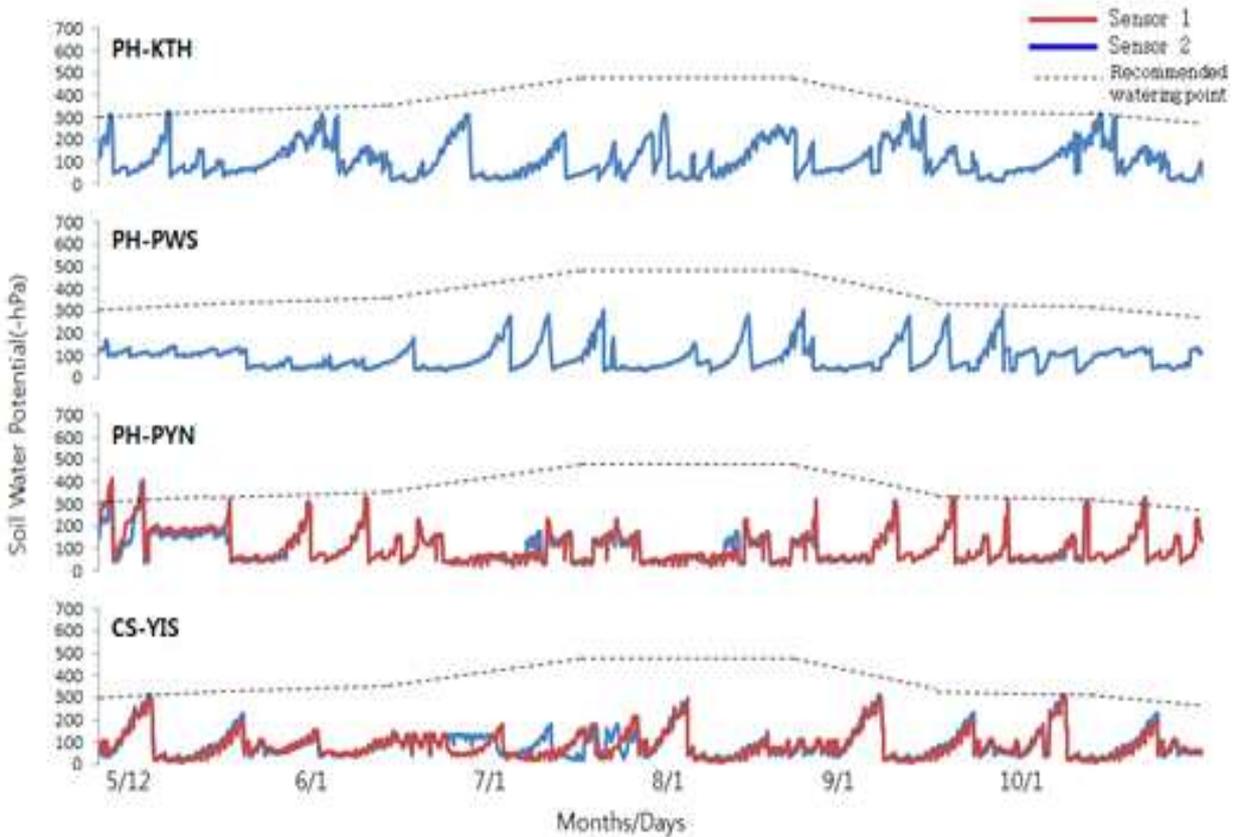


그림 15. 토양수분이 과다하게 관리된 과원의 토양수분포텐셜 변화(2017)

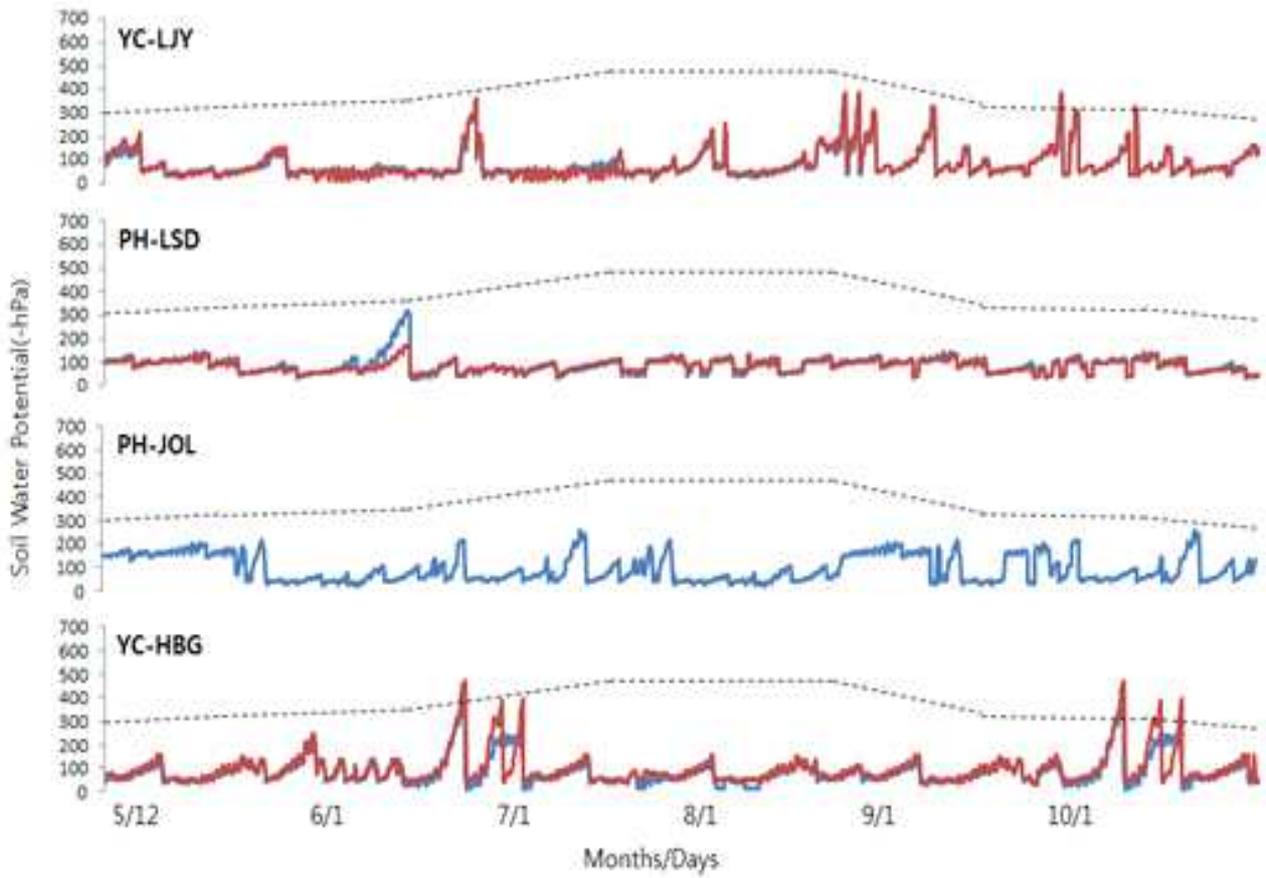
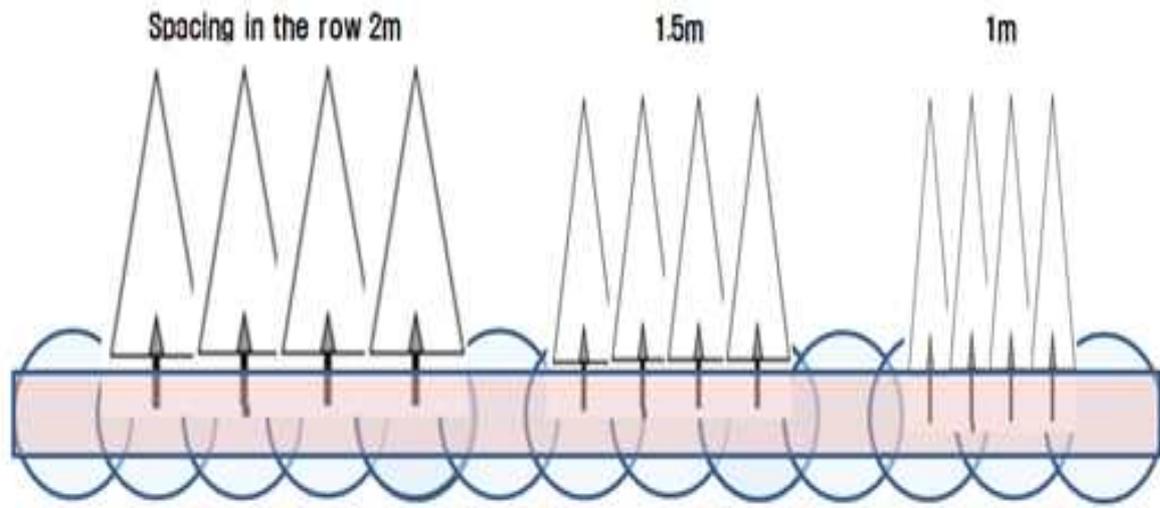


그림 16. 토양수분이 과다하게 관리된 과원의 토양수분포텐셜 변화(2017)



Good^X: Spray density 14.3mm/day 5days interval Spray density 14.3mm/day 5days interval

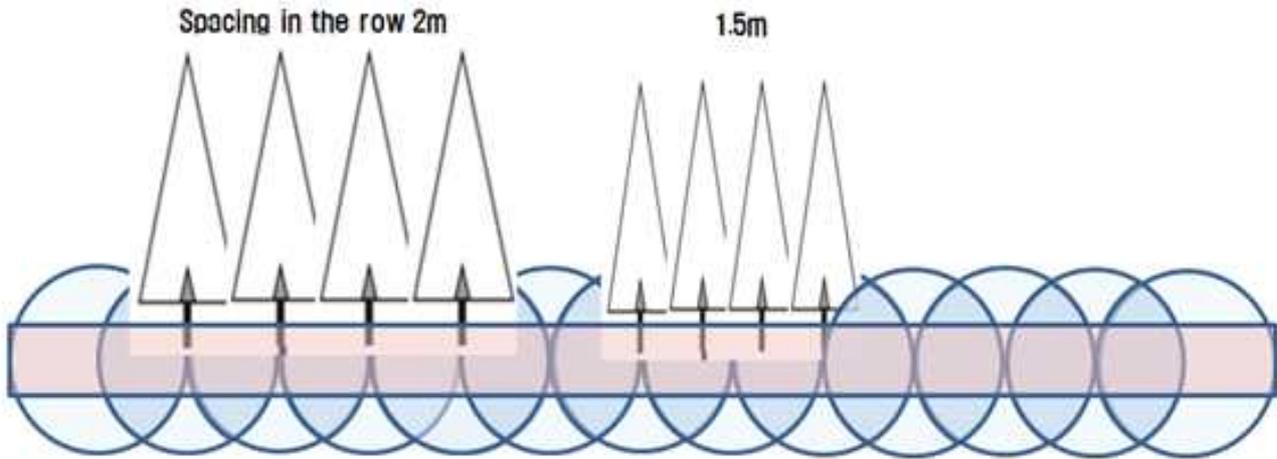
Deficit: Spray density 15.3mm/day 8days interval

Spray density 8.2mm/day 7days interval

Excessive: Spray density 21.4mm/day 2days interval

Spray density 14.3mm/일 2days interval

그림 17. 미니스프링클러의 살수면적(4.9m²)에 따른 재식거리별 살수 분포(직사각형은 수관하부 청경구역임)



Good: Spray density 7.4mm/일 4days interval
 Spray density 8.5mm/일 4days interval

Excessive: Spray density 15mm/일 3days interval
 Spray density 11.3mm/일 3days interval
 Spray density 18.8mm/일 3days interval
 Spray density 15mm/일 3days interval

Spray density 17mm/day 2days interval

그림 18. 미니스프링클러의 살수면적(7.06m²)에 따른 재식거리별 살수 분포(직사각형은 수관하부 청경구역임)

<2018>

70리터/시간 노즐을 4미터간격으로 설치하여 일주일 주기로 3시간씩 관수를 실시하는 CS LHJ과원(그림 19-1)의 경우 수분이 많이 요구되는 시기에 관수를 주기가 길어 건조해지는 수치까지 올라가는 것을 확인 할 수 있었다. 35리터/시간 노즐을 4미터 간격으로 설치한 CS YIS 과원(그림 19-1)의 경우 4일 간격으로 3시간씩 관수한 결과 다음과 같은 양호한 토양 수분 포텐셜을 나타내었다. CS SSG과원(그림 19-1)의 경우 4월부터 5월까지 수분관리를 잘하고 있었지만 점질성분이 많은 토성으로 7월경 많은 강수량으로 인해 수분 수치가 과습한 상태를 나타내는 것을 볼 수 있었다. 70리터/시간 노즐을 4미터 간격으로 설치한 BH PJJ(그림 19-1)과원의 경우 2일 간격으로 2시간씩 관수하여 다소 과습한 상태를 유지하였다. BH KWG(그림 19-1)의 과원의 경우 시간당 70리터의 관수량을 가진 미니스프링클러를 이용하여 4미터간격으로 설치되어 있었다. 관수시점이 일정하지 않고 느낌으로 관수를 하여 과습하거나 건조한 경우가 발생하였다. YC LJY(그림 19-1)의 과원의 경우 35리터/시간의 미니스프링클러를 설치했지만 관수에 대한 중요성을 인지하지 못하고 매일 2시간씩 관수한 것으로 관찰된다. YJ SJL의 과원(그림 19-2)은 40리터/시간의 관수장치를 사용하여 강우가 없는 날이 지속될 때 3일간격으로 2시간씩 관수한 것으로 관찰된다. PH SSU 과원(그림 19-2)의 경우 2미터간격으로 70리터/시간의 미니스프링클러를 사용하여 다른 과수원보다 많은 물량을 소모하지만 자체적으로 수자원을 여러대의 모터펌프를 이용하여 수원이 부족하지 않은 것으로 보인다. PH LSD과원(그림 19-2)의 경우 70리터/시간 장치를 사용하지만 수압이 세서 80리터/시간이 나오는 것으로 확인된다. 3일간격으로 3시간씩 관수하며 토성 또한 점질성분이 많아 배수가 잘되지 않는 토양으로 과습한 상태를 유지하는 것을 확인할 수 있다. PH JOL(그림 19-2)의 경우 40리터/시간의 관수 장치를 사용하였고 관수주기를 따로 두지 않고 비가 오지않는 날마다 관수를 2시간씩 한 것으로 확인된다. PH KST과원(그림 19-2)의 경우 40리터/시간의 미니스프링클러를 사용하고 있으며 2일 간격으로 3시간씩 관수하는 방식이다. 따라서 토양 수분 포텐셜이 다소 과습하게 나타나는 것을 볼 수 있다. PH KTH(그림 19-2)의 경우 20리터/시간의 미니스프링클러로 적은 양의 물이 나오지만 강우가 없는 날을 제외하면 2일 간격으로 2시간씩 관수하여 적정 토양수분 포텐셜에 관수하는 것을 확인하였다. PH KBS의 과원(그림 19-3)의 경우 70리터/시간 미니스프링클러를 사용하지만 펌프의 마력수가 권장량보다 높아 시간당 80리터의 물량이 나오는 것으로 확인되었다. 4일 간격으로 2시간씩 관수하여 토양수분포텐셜 분포는 양호하지만 7월경 강우가 많이 오는 날의 경우 배수가 잘되지 않는 토양으로 인해 다소 과습한 수치를 보였다. PH PYN 과원(그림 19-3)의 경우 40리터/시간의 미니스프링클러를 사용하여 경사지의 과수원이며 방풍망을 설치하였다. 매일 1시간씩 관수한 결과 다음과 같은 수치를 나타내며 강수가 있는 날에도 관수를 하여 다소 과습한 상태를 보였다. PH PWS(그림 19-3)의 과원의 경우 70리터/시간 미니스프링클러를 사용하며 2일 간격으로 2시간씩 관수를 하는 것으로 확인되며 토성 또한 배수가 잘 되지 않아 다소 과습하게 유지되었다. 미니스프링클러 사용과원 중 7군데가 과습한 상태를 보였고, 양호하게 관리된 곳은 5곳, 부분적으로 건조하거나 과습한 곳은 2곳, 건조한 토

양수분포텐셜을 보이는 과원이 1군데로 조사되었다.

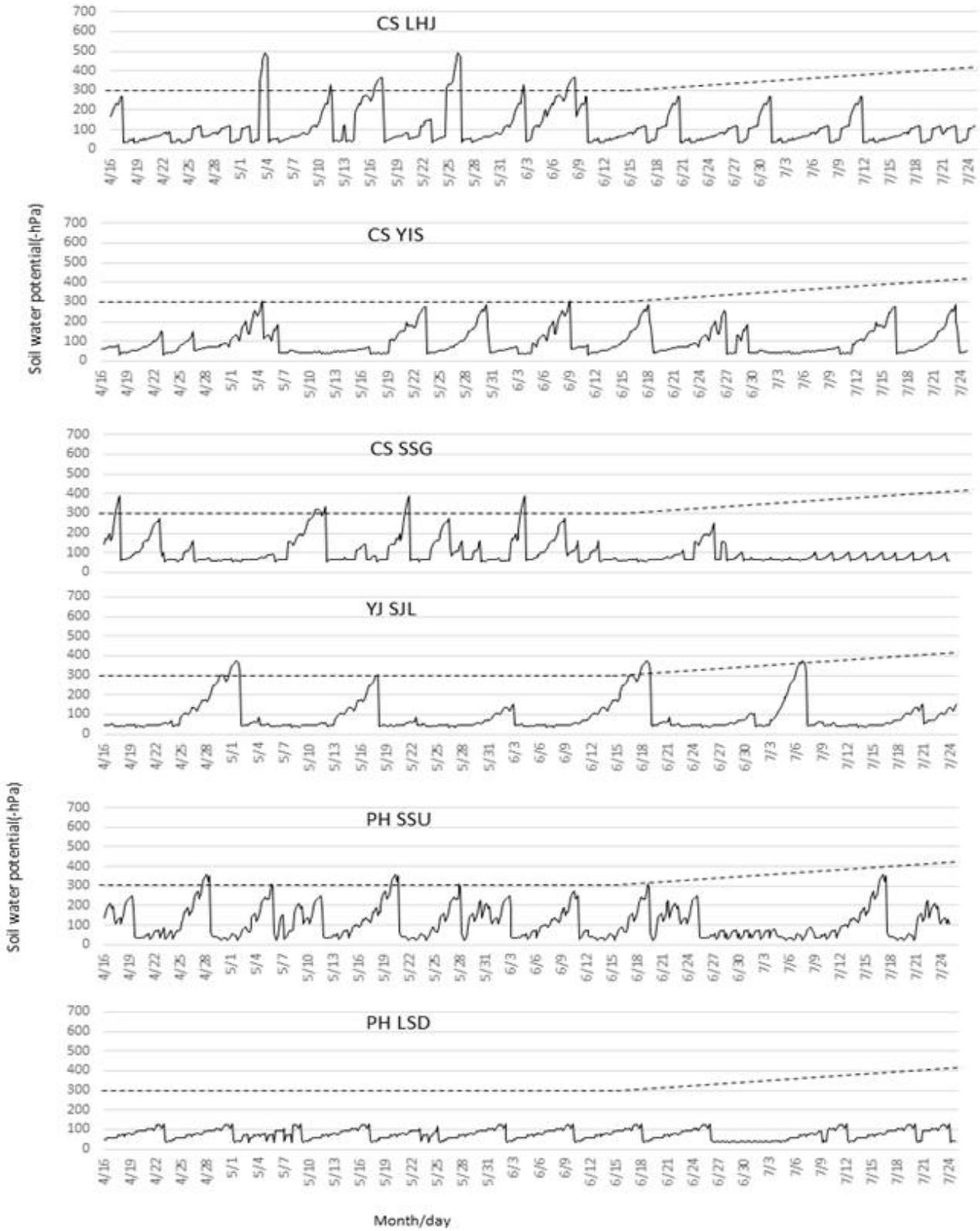


그림 19-1. 미니 스프링클러 과원의 토양수분포텐셜 변화 (2018)

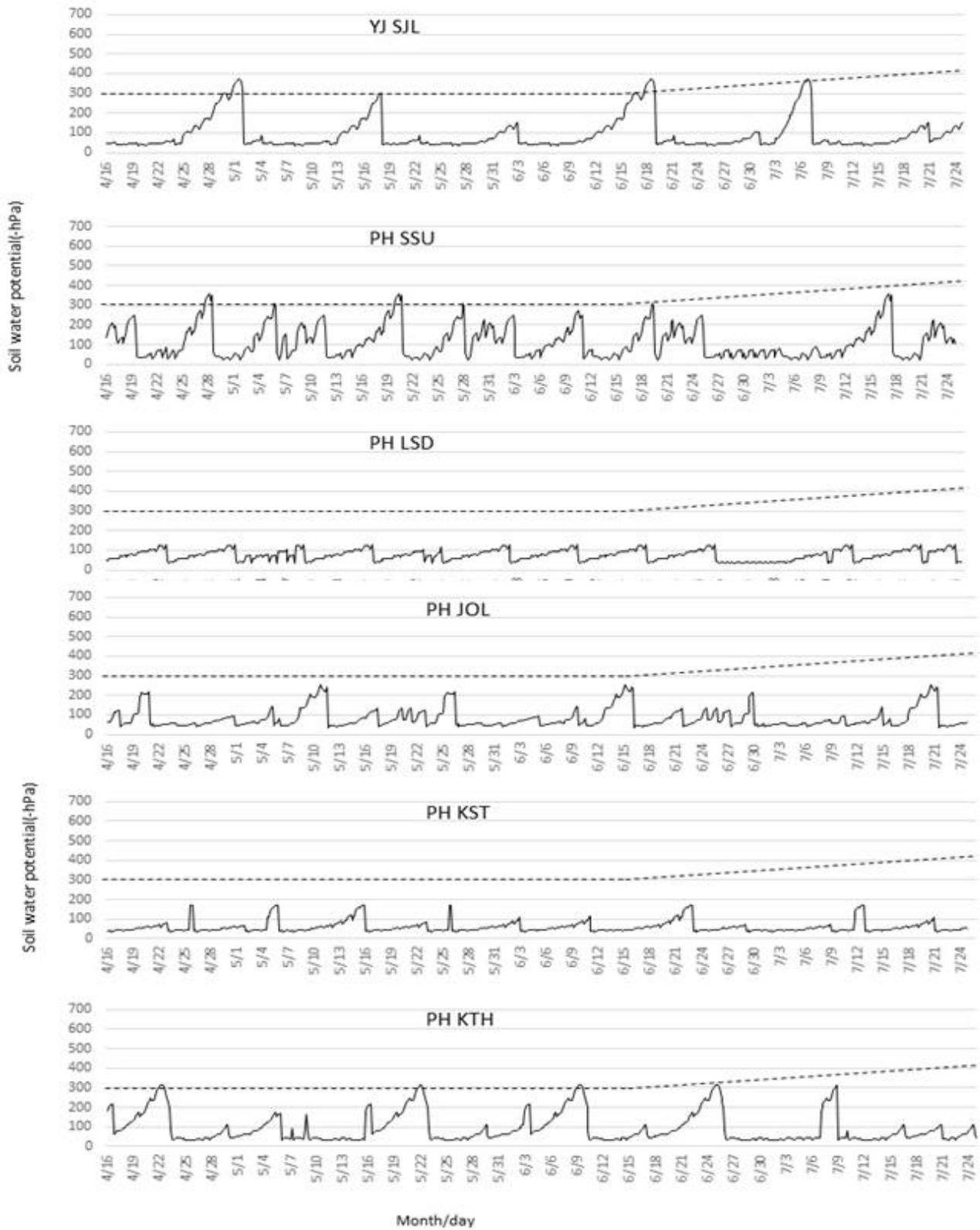


그림 19-2. 미니 스프링클러 과원의 토양수분포텐셜 변화(2018)

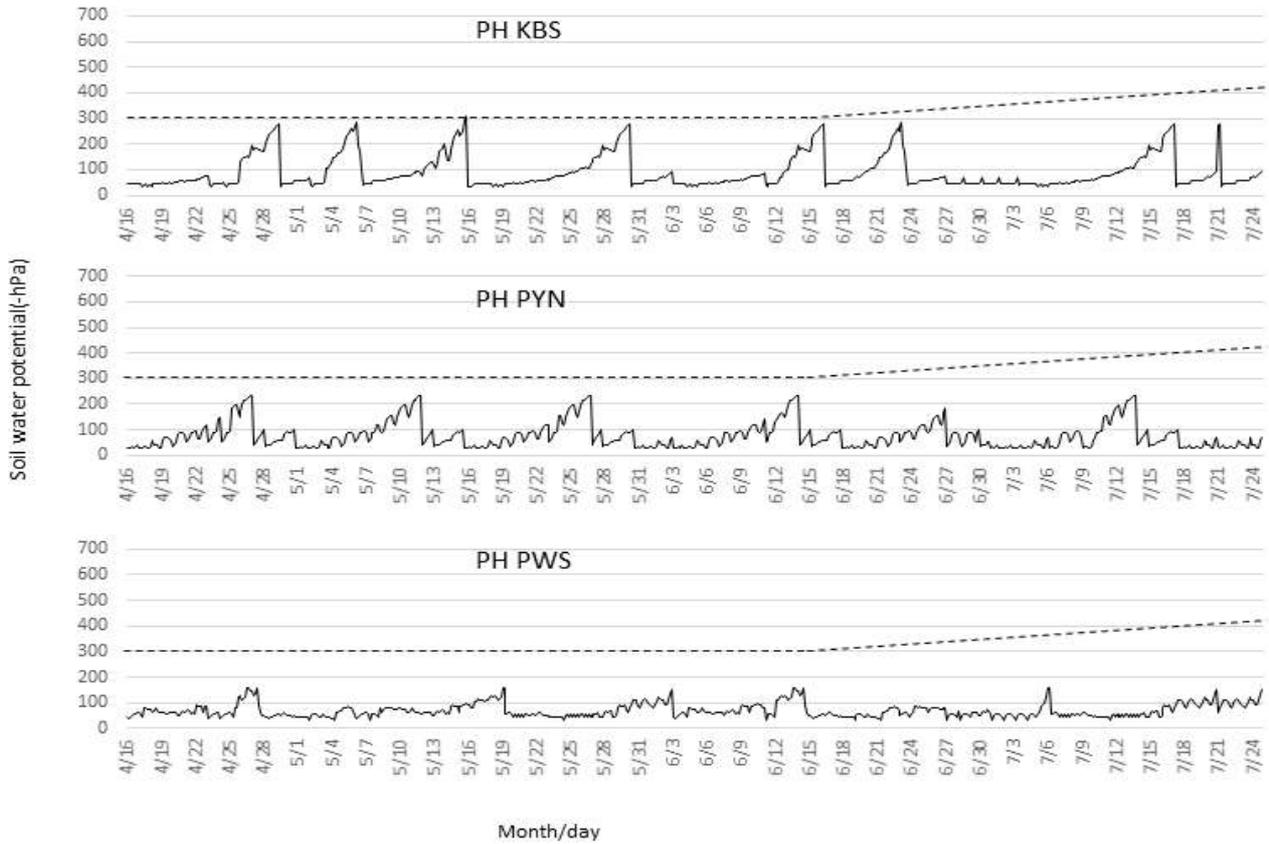


그림 19-3. 미니 스프링클러 과원의 토양수분포텐셜 변화(2018)

마. 과원별 과실특성

<2017>

관수 관리 방법에 따른 사과원별 과실의 특성 중 무게, 과고, 과경, 착색, 산도의 경우 차이를 보이지 않았으나(Robert, 1995, Mpelasoka, 2001), 경도의 경우 양호하게 관리(CS-SSG, YC-SJH)되거나 건조하게 관리(PH-KBS, PH-SSW, CS-LHKJ)된 과원의 경우 과다하게 관리된 과원(PH-LSD) 보다 높게 나온 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 가용성 고형물 함량은 건조하게 관리된 경우가 과다하게 관리된 경우에 비해 높게 나왔다(표 5).

표 5. 11개 조사 과원의 후지 과실의 특성 조사

| Management | Orchard | Weigh t (g) | Height (mm) | Width (mm) | Color rating | | | Firmness (8mm/kgf) | SSC (°Brix) | TA (%) |
|------------------------------------------|------------|-------------------|----------------|---------------|--------------|--------|--------|-----------------------|----------------|-----------|
| | | | | | L | a | b | | | |
| good soil moisture | CS-SSG | 370a ^z | 84.69a | 93.2ab | 49.6a | 30.5ab | 21.3a | 3.6a | 15.2a | 0.56a |
| | YC-SJH | 351ab | 82.09abc | 91.9ab | 45.9bc | 25.0bc | 16.9bc | 3.3b | 14.7c | 0.51b |
| | YJ-SJL | 350ab | 82.01abc | 91.8ab | 45.5bc | 22.8bc | 15.9bc | 3.2bc | 14.5c | 0.5b |
| remains insufficient soil moisture | CS-LHJ | 377a | 85.29a | 94.6a | 49.8a | 32.8a | 21.5a | 3.6a | 16a | 0.58a |
| | PH-SS W | 355ab | 82.71abc | 92.9ab | 46.8bc | 26.2bc | 17.2bc | 3.3b | 14.7c | 0.52b |
| | BH-HW J | 344ab | 81.35abc | 91.1ab | 43.5bc | 21.7c | 14.7c | 3.2bc | 14.2d | 0.46c |
| excess soil moisture | PH-PW S | 342ab | 79.71bc | 90.9ab | 42.4bc | 20.8c | 14.1c | 3.2bc | 13.8e | 0.45c |
| | PH-LSD | 341ab | 79.02bc | 89.9bc | 41.9bc | 20.7c | 13.9ce | 3.1c | 13.4f | 0.42d |
| | PH-KS T | 326.2b | 78.36c | 89.5bc | 41.1c | 20.6c | 13.6ce | 3.1c | 13f | 0.42d |
| | PH-KT H | 271c | 73.29d | 86.4c | 39.8c | 20.2c | 13.1e | 3.1c | 12.9f | 0.41e |
| | PH-PYN | 254c | 70.75d | 82.9d | 38.7c | 17.9c | 12.9e | 3.1c | 12.6f | 0.39e |

^z Different letters within columns indicate significant difference by Duncan's multiple range test. $p = 0.05$.

4) 초록

기본적으로 관수는 기상환경, 토양조건 및 생육기간에 따라 융통성 있게 조절하여야 한다. 자체 제작한 자기기록 텐시오미터를 이용하여 경북지역 5개 사과 주산지 시군의 19개 사과원에서 2017년과 2018년 생육기 동안 근권부의 토양수분상태를 정밀하게 추적할 수 있었다. 토양수분상태의 계절적 변화와 그에 따른 관수방법을 분석한 결과 점적관수의 경우 하루 주당 33L를 매일 관수하거나 주당 100L를 2일 주기로 관수한 것이 정체적으로 적당한 토양수분상태를 보였으나 배수가 잘되는 토양이라고 하여 매일 100L 이상 관수하거나 관수주기를 3일까지 늘리는 것은 바람직하지 않은 것으로 판단되었다. 미니스프링클러 관수의 경우, 1회 관수량을 주당 100~300L로 살수면적 4.9~7.06m²에 4~5일 주기로 살수하는 것이 적당한 것으로 생각되나 관수 주기를 7~8일로 길게 하면 수분부족, 2~3일로 짧게 하면 수분과다가 초래되어 바람직하지 않은 것으로 판단되었다. 그러나 수원이 제한될 수 상황에서 미니스프링클러를 이용하여 근권부를 훨씬 벗어난 반경 2.5~3m에 분산 살수하는 방법보다는 수관 직하의 근권부에만 제한적으로 자주 관수하는 점적관수가 관수효율이 월등이 높을 뿐 아니라 시설비도 저렴하여 유리한 것으로 생각되었다.

2-3. 수분수지에 근거한 한국형 사과원 관수모델 개발과 이용

1) 서론

사과원에서 관수를 얼마만큼, 어느 주기로 해야 하는 가를 알 수 있는 방법으로 사과원으로 부터의 총증발산량을 산출하고 사과원에 내린 강우량과 차이를 알면 된다(Antonio 등, 2006). 즉, 온도, 일조량, 풍속 등의 습도 등의 기상자료 등으로부터 사과원으로부터의 수분 손실량(수요량)과 강우에 의한 공급량을 측정하여 사과원의 수분수지(water balance)을 산출한 다음 수분손실에 의한 부족분만큼 관수를 통해 수요공급이 균형을 이루게 하면 된다(Robinson 등, 2017).

수분수지를 산출하여 관수기준을 삼는 방법은 개별농가가 앞에서 언급한 텐시오미터와 같은 토양수분 측정장치를 갖추고 독자적으로 사과원의 수분상태를 측정하는 수고를 들이지 않고도 전문가의 추천관수량을 따르기만 하면 되는 장점이 있다(Kullaj 등, 2017). 그러나 대목, 재식밀도, 결실량, 토양특성 등 여러 가지 재배적 요소를 고려해야 하고 관수량 산출이 정밀하지 못한 단점이 있다(Wright, 2011). 또한 관수 시작 최적 토양수분상태를 설정하고 관수를 시작해야 하므로 기준설정을 위해서는 비슷한 권역에서 일부 사과원이라도 토양수분상태를 측정할 필요가 있다.

FAO에서 작물의 수분요구량 산출을 위한 지침을 발행하면서 (Allen 등, 1998) 기상데이터를 이용한 이 작물별 수분요구량을 산출하고 이를 관수기준으로 삼는 사례가 많아졌다. 미국 (<http://newa.cornell.edu>), 독일 (<https://www.landwirtschaft.sachsen.de>), 이탈리아 남티롤 등 선진국의 사과과주산지에서는 국지 기상관측소에서 획득한 기상데이터로부터 잠재증발산량을 산출하고 여기에 재식밀도 및 수형 등에 따른 사과나무의 작물계수를 곱하는 방법으로 사과원증발산산출모델을 개발하여 인터넷에 공개함으로써 사과농업인들이 접속하여 관수기준으로 활용할 수 있도록 하고 있다. 즉, 농업인들이 공개한 사이트에 접속하여 자기 사과원에 대한 기본 정보를 입력하면 해당기간 사과원별 수분수지 결과가 제시되어 관수의 기준으로 삼는 것이다.

우리나라는 시군단위는 물론 일부 읍면까지 기상관측시설이 갖추고 있고 인터넷으로 연결되어 있어서 과거는 물론 실시간의 기상데이터를 받아 볼 수 있다. 따라서 본 연구는 우리나라의 이러한 훌륭한 기상관측 인프라를 활용하여 사과원의 수분수지를 할 수 있는 예측모델을 개발하여 누구나 손쉽게 자기 사과원의 관수기준으로 활용할 수 있도록 한국형 사과원 관수 초기 모델을 하고자 한다.

2) 한국형 사과원 관수모델 개발의 범위

제한된 연구기간과 예산규모로 다양한 연구를 수행하는 가운데 개발한 초기 모델로 본 모델을 적용할 수 있는 **공간범위는 경상북도 내로** 제한하였다. 앞으로 충북, 충남, 경남 등으로의 확대는 예산과 인력이 지원되면 가능하다.

당해 연도 특정 과거시점의 잠재증발산량 산출은 실제 관측 기상데이터를 이용해서 쉽게 할

수 있으나 앞으로 1주 또는 1개월간의 수분수지는 과거의 누적된 기상관측결과를 바탕으로 추정 경향치에 근거하여 산출하기 때문에 누적데이터가 많을수록 신뢰도가 높아진다. 본 초기 모델개발의 시간적 범위는 2007년부터 2017년까지로 10년간의 누적된 기상관측자료를 활용하였으나 추가 연구비가 확보되면 30년 이상의 누적된 기상관측데이터를 활용하여 한국형 초기 모델을 보완하고 수분수지의 신뢰도를 높일 계획이다.

3) 한국형 사과원 관수모델 개발방법과 과정

(1) 사과나무의 잠재증발산량 산출 수식

아래의 수식 1의 Penman-Monteith공식(www.FAO.org)으로 표준증발산량(ET_0)을 구한다음 수식 2에 따라 표준증발산량에 해당 작물의 작물계수(K_c)를 곱하면 해당 작물의 잠재증발산량(ET_c)이 된다(Allen 등, 1998).

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \dots\dots\dots (1)$$

- ET_0 : 표준증발산량(mm)
- R_n : 작물표면에서의 순 일사량 ($MJ m^{-2}/일$)
- G : 토양의 열유동밀도 ($MJ m^{-2}/일$)
- T : 2m 높이에서의 일평균 기온 ($^{\circ}C$)
- u_2 : 2m 높이에서의 풍속 ($m s^{-1}$)
- e_s : 포화증기압 (kPa)
- e_a : 현재 증기압 (kPa)
- $e_s - e_a$: 포화증기압차 (kPa)
- Δ : 증기압곡선기울기 ($kPa ^{\circ}C^{-1}$)
- γ : 건습구 상수 ($kPa ^{\circ}C^{-1}$)

$$ET_c = ET_0 \times K_c \dots\dots\dots (2)$$

컴퓨터 프로그램을 개발하여 각시군 기상관측소에서 실측한 기상데이터를 아래의 Penman-Monteith 공식에 대입하여 자동으로 해당 시군의 표준 잠재증발산량을 산출하였다. 미국 코넬대학교에서 연구한 결과에 따르면 Allen 등(1998)이 제시한 관행 사과작물계수는 청경제배 시 생육초기 0.6, 생육성기 0.95, 낙엽 전의 생육 후기는 0.75이고 열간 초생의 경우 각각 0.8, 1.15, 0.85이다. 미국 코넬대학교에서 연구한 결과에 따르면 여름철 비가 많고 습도가 높은 뉴욕의 기후조건에서 키큰방추형의 사과원에서는 수분요구량이 과다하게 산출되는 문제

점을 발견하고 수액이동 측정장치와 수관전체의 가스교환을 측정하는 방법으로 사과나무의 증산량을 실측하여 얻은 데이터에 근거한 ‘Cornel Apple ET Model’을 개발하였다(Robinson 등, 2017). 이 프로그램을 역산하여 사과작물계수를 산출해 본 바 생육기는 0.95, 수확기는 0.75였고 호주의 “사과, 서양배 재배자를 위한 관수지침”(http://apal.org.au/wp-content)에서도 발아에서 개화기까지는 0.45, 신초생장과 과일비대기는 0.95, 수확기는 0.7인 점을 참고하여 본 모델에서는 미국에서와 같이 생육초기 0.6, 신초생장 및 과일비대기는 0.95, 낙엽전 수확기에는 0.75를 작물계수로 대입하였다.

(2) 관수모델 개발에 사용한 프로그램

본 관수모델프로그램은 13개 기상관측소로부터 데이터를 자동으로 내려 받는 프로그램, 데이터를 축적하는 프로그램, 축적된 데이터로부터 잠재증발산량을 산출하는 프로그램으로 구성되어 있다(박, 2016). 기상데이터를 내려 받고 축적하는 프로그램은 파이썬(Python)을 이용하였고 기상데이터를 내려 받는 파이썬(Python)의 코딩은 그림 20, 데이터를 자동으로 축적하는 파이썬의 코딩은 그림 21과 같다. 잠재증발산량의 산출을 위해서는 Visual Studio 2017 Express(그림 27)을 이용하였다(장 & 조, 2008). 이러한 3개의 프로그램으로 구성된 관수모델프로그램을 이용하여 2007년부터 2017년까지의 경북지역 사과 주산지 봉화, 영주, 문경, 상주, 예천, 안동, 의성, 김천, 구미, 군위, 영양, 청송, 포항 등 13개 시군의 기상센터의 데이터를 수집, 저장, 분석하여 사과원의 잠재증발산량 수치를 예측하고 추천관수량을 산출할 수 있었다.

파이썬은 컴퓨터 언어 문법이 쉬울 뿐만 아니라 무료이며 다양한 라이브러리를 보유하고 있는 프로그래밍 언어라는 장점이 있다. Visual Studio는 Android, iOS, Windows, 웹 및 클라우드용 앱과 같은 여러 가지의 플랫폼에서도 구동될 수 있는 프로그램을 만들 수 있다. 뿐만 아니라 Visual Studio는 빠르게 코딩이 가능하고 간단한 디버그 진단 그리고 자주테스트가 가능하여 더욱더 정교한 개발을 도와준다.

(3) 관수모델 개발과정

기상청 홈페이지에 들어가서 기상자료개방포털(www.data.kma.go.kr), OpenAPI 순서로 접속한 다음 기상자료 OpenAPI 인증키를 수령한다. 이 인증서를 데이터를 내려 받는 파이썬 코딩에 입력하면 13개 시군 기상관측소로부터 시간단위로 기상자료를 자동으로 다운로드 되는데 이때 필요한 언어는 KMA C++ 이다(표 6).

```

url = "http://newsky2.kma.go.kr/service/SecndSrtPdrfcstInfoService2/ForecastSpaceData?"
key = "serviceKey=" + bill.key

forecast_date="20180510"
forecast_time="0800"

date = "%base_date=" + forecast_date
time = "%base_time=" + forecast_time
nx = "%nx=" + spot.x
ny = "%ny=" + spot.y
numOfRows = "%numOfRows=100"
type = "%type=json"
api_url = url + key + date + time + nx + ny + numOfRows + type

print("forecast_date:", forecast_date)
print("forecast_time:", forecast_time)
print(api_url)

```

그림 20. 기상데이터를 자동으로 내려 받을 수 있는 파이썬 코딩

표 6. 기상청으로부터 데이터를 내려 받는데 필요한 KMA C++ 언어 (json version)

| 예보구분 | 항목값 | 항목명 | 단위 | Missing |
|-------|-----|----------|---------|----------|
| 지역별예보 | POP | 강수확률 | % | -1% |
| | PTY | 강수형태 | 코드값 | -1 |
| | RO6 | 6시간 강수량 | 범주(1mm) | -1mm |
| | REH | 습도 | % | -1% |
| | SO6 | 6시간 신적설 | 범주(1cm) | -1cm |
| | SKY | 하늘상태 | 코드값 | -1 |
| | T3H | 3시간 기온 | ℃ | -50℃ |
| | TMN | 아침 최저기온 | ℃ | -50℃ |
| | TMX | 낮 최고기온 | ℃ | -50℃ |
| | UUU | 풍속(동서성분) | m/s | -100 m/s |
| | YYY | 풍속(남북성분) | m/s | -100/ms |
| | WAY | 파고 | M | -1m |
| | VEC | 풍향 | m.s | -1 |
| | WSD | 풍속 | 1 | -1 |

기상센터에서 받은 OpenAPI 인증키를 파이썬에 이용하여 그림 22과 같이 코드를 입력한 뒤 KMA C++언어로 코딩하면 표 6에 있는 명령어가 그림 24와 같은 형식으로 바뀌면서 데이터가 LAN을 통하여 Passing하여 각 시간대별 또는 2007년부터 2017년까지의 해당 지역의 날씨 정보가 C++언어 형태로 축적되게 된다.


```

def get_weather_data():
    url = "http://newsky2.kma.go.kr/service/SecndSrtpdFrcstInfoService2/ForecastSpaceData?"
    key = "serviceKey=" + bill.key

    forecast_date="20180510"
    forecast_time="0800"

    date = "%base_date%" + forecast_date
    time = "%base_time%" + forecast_time
    nx = "%nx%" + spot.x
    ny = "%ny%" + spot.y
    numOfRows = "%numOfRows=100"
    type = "%_type=json"
    api_url = url + key + date + time + nx + ny + numOfRows + type

    print("forecast_date:", forecast_date)
    print("forecast_time:", forecast_time)
    print(api_url)

    # generate URL to request data
    data = urllib.request.urlopen(api_url).read().decode('utf8')

    # json data parsing
    data_json = json.loads(data)
    parsed_json = data_json['response']['body']['items']['item']

    target_date = parsed_json[0]['fcstDate'] # get date and time
    target_time = parsed_json[0]['fcstTime']

    print("target_date: ", target_date)
    print("target_time: ", target_time)

    # get forecast information of target date & target time
    date_calibrate = target_date #date of THX, THY
    if target_time > int('1200'):
        date_calibrate = str(int(target_date) + 1)

    passing_data = []
    for one_parsed in parsed_json:
        if one_parsed['fcstDate'] == target_date and one_parsed['fcstTime'] == target_time: #get today's data
            passing_data[one_parsed['category']] = one_parsed['fcstValue']

        if one_parsed['fcstDate'] == date_calibrate and (
            one_parsed['category'] == 'THX' or one_parsed['category'] == 'THY'): #THX, THY at calibrated day
            passing_data[one_parsed['category']] = one_parsed['fcstValue']
    return passing_data

if __name__ == '__main__':
    print(get_weather_data())

```

그림 22. 파이선(Python) 코딩된 프로그램

Passing을 통해 얻은 데이터는 그림 23과 같이 간단한 기상데이터로 나타나게 되며 데이터는 자동적으로 경북대학교 사과연구소의 메인 컴퓨터 저장장치에 저장되게 되며 프로그램(그림 24)에 이용되게 된다.

```

posjkh@aces:~/Weather/python$ python get_api4.py
forecast_date: 20180510
forecast_time: 0800
http://newsky2.kma.go.kr/service/SecndSrtpdFrcstInfoService2/ForecastSpaceData?serviceKey=ls9XMdQtBTN%2
RPFyWAF%2BL8xmWKNKE5u57sfFXZtEqIrydbZdadQWxbenkV732P8x9cW5N7zdHF6v8WGPa2LAW%3D%3D&base_date=20180510&b
se_time=0800&nx=89&ny=91&numOfRows=1004_type=json
target_date: 20180510
target_time: 1200
{'POP': 0, 'PTY': 0, 'RO6': 0, 'REH': 45, 'SO6': 0, 'SKY': 1, 'T3H': 20, 'UUU': 1.8, 'VEC': 319, 'VVV':
-2.1, 'WSD': 2.7, 'TMX': 24.0}

```

그림 23. 파이선(Python) 코딩 결과

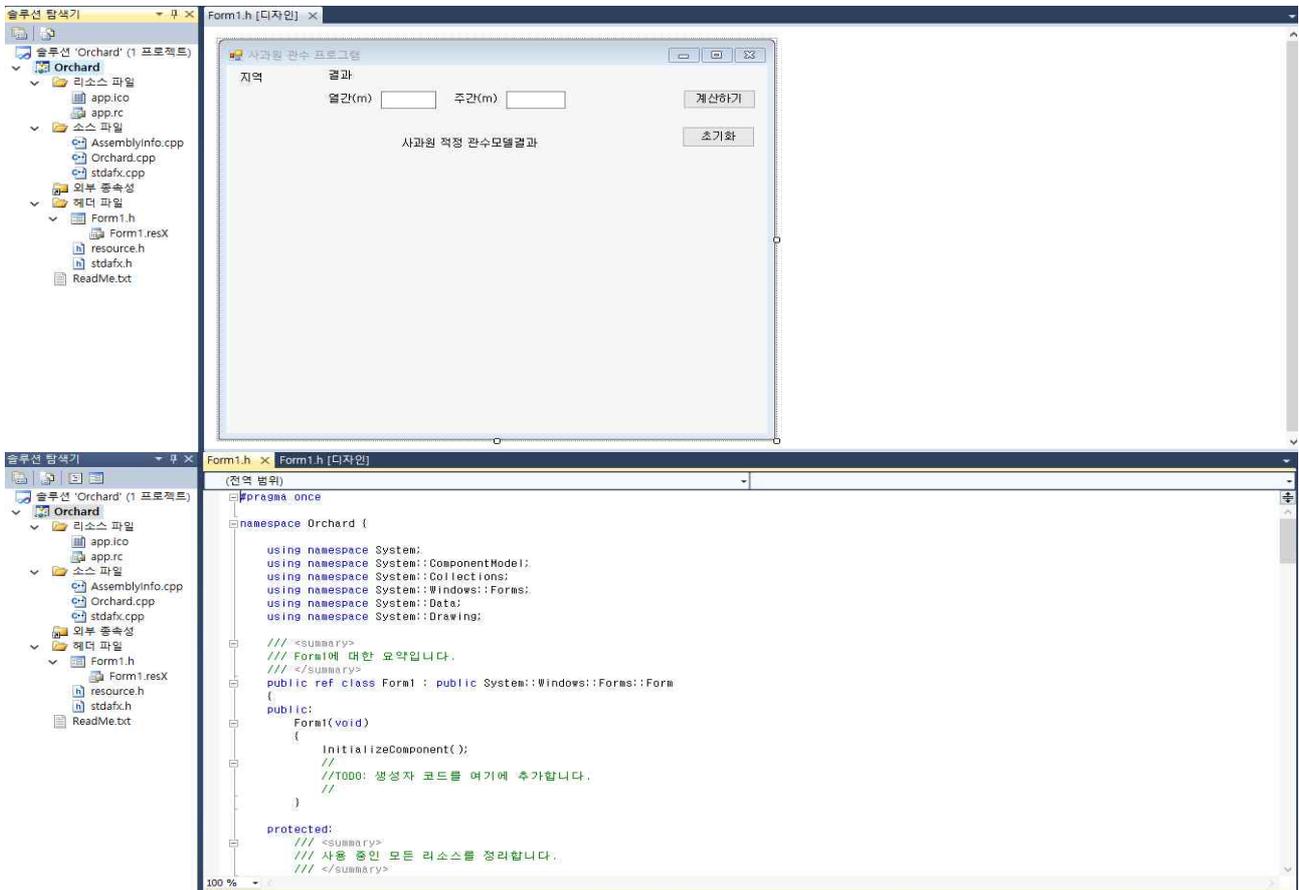


그림 24. Visual studio 2017의 추천 관수량 산출 프로그램

4) 한국형 사과원 관수모델의 이용

경북대학교 사과연구소밴드에 접속하여 상단에 표기된 링크주소에 접속하면 그림 25과 같은 화면이 나타난다. ①에서 과수원을 운영하고 있는 지역을 선택, ②에서 가장 가까운 지역의 기상센터를 선택, ③에서 현재 날짜 입력, ④에서 열간(m)과 주간(m)의 재식거리를 입력하고 ⑤를 클릭, ⑥에 과수원의 면적을 입력한 후 ⑦을 클릭 ⑧에서 과원주가 관수한 량을 입력한 후 ⑨를 클릭하게 되면 지난 4일 간의 수분수지에 따른 m^2 당 추천관수량과 앞으로 4일간의 추정 추천관수량이 제시된다. 표시 값이 +이면 증발산량에 비해 강우가 많아 관수할 필요가 없고 - 라면 그만큼 관수가 필요하다는 의미이다. 만약 지난 4일 동안 관수를 하였다면 관수량을 입력하고 하지 않았다면 0을 넣으면 된다.

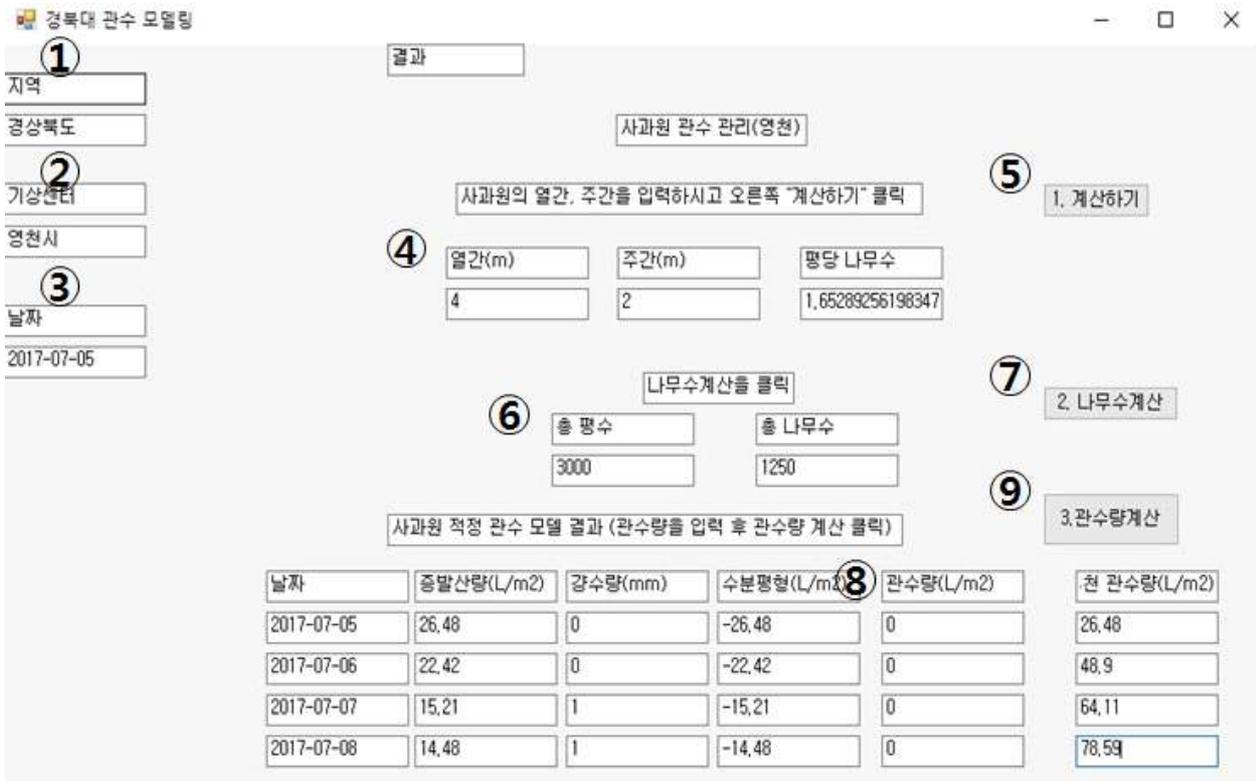


그림 25. 관수모델의 모습

2-4. 증산냉각을 통한 사과 일소 피해 경감기술 체계화

1) 서언

최근 사과재배농가가 왜성형 대목인 M.9 대목을 이용해 사과재배를 하고 있으며, M.9 대목을 이용한 고밀식 재배체계는 고품질 다수확이 가능하지만 수관용적이 작아 과실이 햇빛에 쉽게 노출되어 일소 발생 가능성이 높다(Schupp et al. 2002). 광도 및 온도가 높은 지역에서는 일소 발생률이 연평균 10~20%이며, 당해 기상에 따라서는 30~50%까지 이른다(Piskolczi et al., 2004; Saudreau et al. 2008; Wand et al. 2006).

일소란 여름철 고온기에 과실표면이 직사광선에 노출되어 생기는 생리적 장애이며(Schrader et al, 2003), 기온이 31℃ 이상일 때 과일이 직사광선을 받게 되면 과피온도가 40~45℃까지 높아지면서 일소가 발생하므로 과실 온도를 효과적으로 줄이는 것이 중요하다(Schrader et al. 2008; Song et al 2009).

최근 이상고온의 빈도가 높아지고 9월까지 여름 날씨가 계속됨에 따라 수분관리와 함께 일소문제가 현안으로 대두되고 있다. 일소피해가 증가하고 있으나 방지대책은 미흡한 경우인데 수관에 비해 결실량이 많은데다 열간이 충분히 열려있는 고밀식 재배에서는 관행재배에 보다 일소 위험은 현저히 높은 것이 현실이다. 과실표면에 탄산칼슘, 카올린과 같은 흰색의 피막제를 살포하여 햇빛을 차단하고 반사시켜 일소피해를 막을 수 있으나(Palmer et al. 2003), 수확 후에 세척하여 피막을 제거해야하는 문제가 있어서 우리나라 농가에서는 사용을 꺼리고 있다. 농진청에서는 수관 상단에 살수장치를 하고 기온 31℃ 이상 올라가면 5분 살수, 1분 정지의 주기를 반복하면 기화냉각에 의한 일소피해를 줄일 수 있다고 하나(Song et al. 2010), 혹서기에 수원이 모자라거나 수관 및 토양이 지나치게 과습하여 병 발생을 유발하거나 과습 피해를 가져오는 경우가 많아 실용화되지 못하고 있다.

본 연구에서는 일소경감을 위해 살수하는 물의 양은 최소화하여 과습에 의한 피해는 줄이면서 기화냉각에 의한 과실 표피온도를 일소유발 한계온도 이하로 유지할 수 있는 살수주기 및 살수시간에 대해 구명하기 위해 일소의 위험이 2016년과 2018년 8월 하순에 본 시험을 실시하였다. 2017년 8월 중하순은 일소를 유발할 정도의 고온기간이 나타나지 않고 흐린 날이 많아 시험을 생략하였다.

2) 재료 및 방법

< 2016 >

대구 소재의 경북대학교 부속실험실습장에서 남북방향 재식열로 재식거리 3×1m의 4년차 ‘홍로’/M9 사과나무 수관 상단 3.2m 높이에 1구 미니스프링클러(살수량: 20L/hr)와 4구 미스트노즐(살수량: 20L/hr)을 각각 1m 간격으로 10개씩 설치하고 정오 기온이 35℃ 이상인 8월 21일과 22일 양일간 작동하면서 과실표면 온도가 수체온도를 조사하여 무살수의 대조구과 살수냉각에 따른 수체온도 하강효과를 검토하였다.

21일에는 미니스프링클러 살수는 3분 살수 후 15분 정지(3 on, 15 off)와 4분 살수 후 15분 정지(4 on, 15 off)를 반복하는 두 처리를 두었고, 미스트노즐 살수는 4분 살수 후 15분 정지(4 on, 15 off)를 반복하는 처리를 두었다.

22일에는 미니스프링클러 살수는 2분 살수 후 15분 정지(2 on, 15 off)와 3분 살수 후 15분 정지(3 on, 15 off)를 반복하는 두 처리를 두었고, 미스트노즐 살수는 2분 살수 후 15분 정지(2 on, 15 off)를 반복하는 처리를 두었다. 양일 공히 대조구로 무살수구를 두었다. 각 처리별 10주씩 단일구로 시험구를 배치하였다.

과실표피 온도는 Thermometer 센서(K-type, 40AWG)를 오후에 직사광선에 노출되는 수관 서쪽 외부에 위치하는 사과를 선정하여 과실 적도부 2cm 위쪽에 부착하고 Thermometer HH147U(OMEGA, K-type) 연결하여 10초 간격으로 기록하였다. 수관 내 지면으로부터 1.5m 위치에 자동 온·습도 기록 장치(EL-USB-2LCD)를 설치하고 10초 간격으로 수관 내 온도와 습도 변화를 측정하였다. 광합성 유효방사량(Photosynthetically Active Radiation, PAR)은 Quantum Sensor(LI-190R, LI-COR)를 이용하여, 수관의 온도분포는 열화상 카메라(Testo-870)를 이용하여 8월 21일 14:00에 측정하였다.

< 2018 >

2016년의 시험결과를 바탕으로 경북 영천시 소재 2개 사과원에서 실증시험을 실시하였다.

먼저 경북 영천시 신녕면 금송로 1379-36 소재 농가의 동남-서북방향 3.5×1m로 재식된 13년차 '홍로'/M.9 사과원에 재식열을 따라 지면 3.5m 높이에 1m 간격으로 미니스프링클러(살수량: 20L/hr)를 설치하였다. 8월 17일부터 11~17시 사이에 기온이 32℃ 이상 올라가면 타이머로 5분 살수 후 20분간 정지했다 다시 실수하는 살수구와 대조구로 무살수구를 두었다. 시험구 배치는 구당 10주의 단일구로 하였다.

수관 상단부(3m 높이)와 중단부(1.5m 높이)의 수관 외부에 위치하고 정오~오후에 걸쳐 햇빛에 직접 노출되는 사과를 선정하여 과실표피 온도를 측정하였다. Thermometer 센서(K-type, 40AWG)를 선정한 사과의 서남향 적도면 2cm 위쪽에 부착하고 Thermometer RDXL4SD(OMEGA, K-type), Thermometer HH147U(OMEGA, K-type)에 연결하여 2분 30초 주기로 기록되게 하였다. 살수전후의 수관 온도변화는 Testo-870 열화상 카메라를 이용하여 측정하였고 수관 온도의 경시적 변화는 D-LT3 열화상 카메라를 이용하여 15분 간격으로 측정하였다. 이후 태풍 '솔릭'이 접근함에 따라 8월 23일 측정장비를 철수하고 시험을 종료하였다.

두 번째 시험포장인 경북 영천시 고경면 심청길 37-7 소재 농가의 북동-남서방향 3.8×1.5m로 재식된 5년차 '홍로'/M.9 사과원에 재식열을 따라 지면 3.5m 높이에 1.5m 간격으로 미니스프링클러(살수량: 20L/hr)를 설치하였다. 8월 17일부터 11~17시 사이에 기온이 32℃ 이상 올라가면 타이머로 5분 살수 후 30분간 정지했다 다시 살수하는 살수구와 대조구로 무살수구를 두었다. 시험구 배치는 구당 10주의 단일구로 하였다.

과실표면 온도와 수관온도 조사를 위한 측정장비의 설치와 기록방법은 위의 신녕면 소재 농

가에서와 같다.

3) 결과 및 고찰

< 2016 >

8월21일은 매우 무더운 날로 12시부터 16시까지 기온이 36-40℃ 범위에 있었다. 대체로 열은 구름이 가볍게 흐르면서 650~2050 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 범위의 PAR값을 보였다.

과피온도는 무처리의 경우 최저 38℃에서 최고 48℃까지 상승하였다. 미니스프링클러든 미스트노즐이든 살수가 시작되면서 과피온도는 떨어지다가 살수를 그치면 다시 상승하는 변화를 보였다. 미스트노즐 살수는 미니스프링클러 살수에 비해 냉각효과가 다소 떨어져 최고 최저 32℃에서 최고 44℃까지의 과피온도를 보였다. 이는 미스트살수의 경우 안개와 같은 미세한 물방울이 35℃ 이상의 고온 조건에서 사과 잎이나 과일에 와 닿기 전에 공중에서 기화하는 비율이 높을 뿐 아니라 미세한 바람에도 쉽게 비산이 되기 때문으로 추정된다. 미니스프링클러 살수의 경우 3분 on, 15 off 살수시에 최저 31℃까지 최고 46℃까지의 과피온도를 보이는데 반하여 4분 on, 15 off 살수는 최저 27℃, 최고 43℃까지의 과피온도를 보여 대조구에 비해 최대 11℃까지 과피온도를 떨어뜨리는 효과를 보였다. Rcsko & Schrader(2012)에 따르면 사과는 45~49℃의 높은 온도와 자위선-B에 지속적으로 노출되면 일소갈변피해를 입는다고 했는데 3가지 살수처리는 햇빛에 노출되는 부위의 과피온도를 45℃ 이상 유지되는 것을 막아 일소방지에 효과적일 것으로 추정된다.

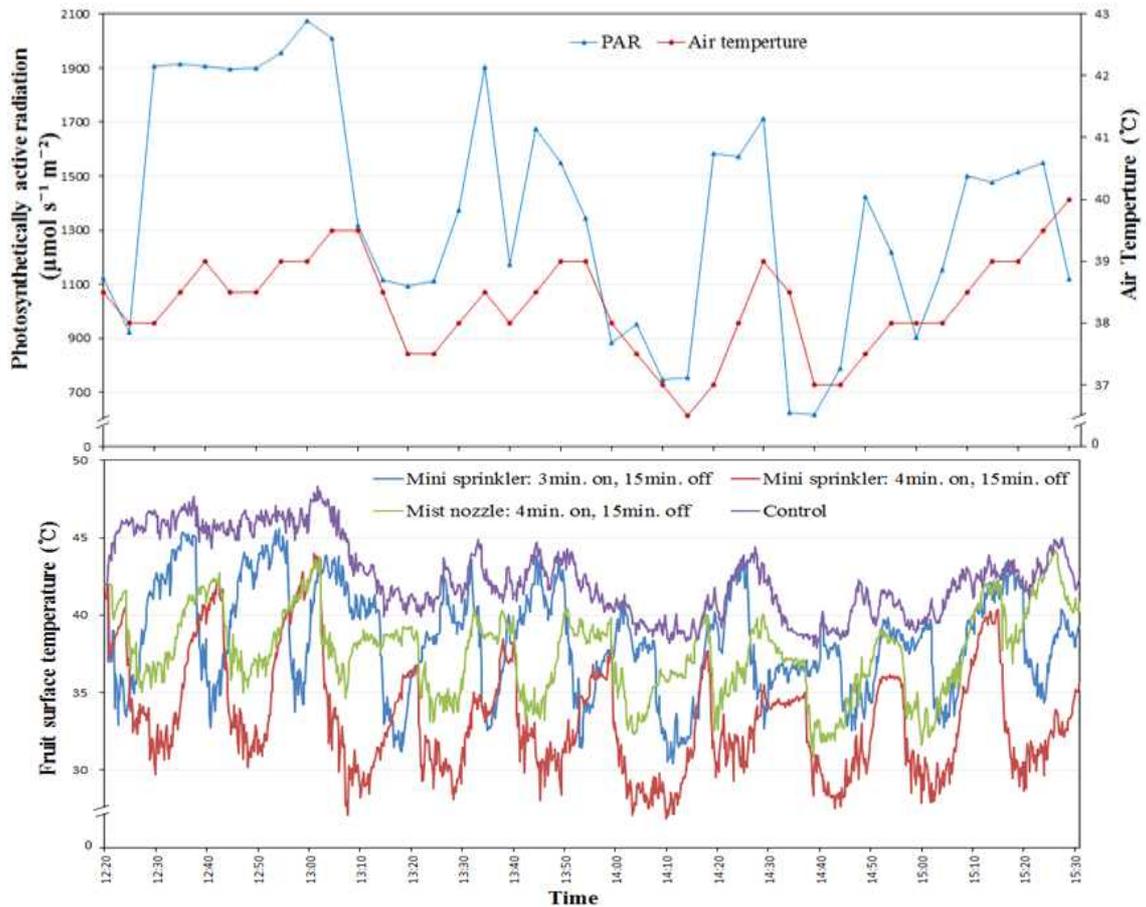


그림 26. 2016년 8월 21일 오후의 홍로 사과원 광합성유효일사량(PAR) 및 기온 변화(위)와 살수방법 및 주기에 따른 과실표면 온도 변화(아래)

8월22일 역시 옅은 구름이 흐르면서 매우 무더운 날로 12시부터 16시까지 기온이 33-44°C 범위에 있었다. 14시부터 15시까지 다소 짙은 구름이 흐르면서 PAR가 약 $300\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 까지 떨어지고 기온도 33°C까지 떨어는 변화를 보였다.

과피온도는 무처리의 경우 36~48°C 범위를 보였다. 전날(21일)에 비해 살수시간을 1분씩 짧게 한 결과 과실표면 온도하강효과는 21일보다 크지 않았다. 특히 미니스프링클러와 미스트 2분 살포는 15분간 정지했다가 다시 살포하기 직전에는 거의 무처리의 과피온도에 근접하는 경우가 잦아서 2분의 살수시간이 과피온도를 일소피해 수준이 되지 않도록 안정적으로 떨어뜨리 기에는 위험할 것으로 판단되었다.

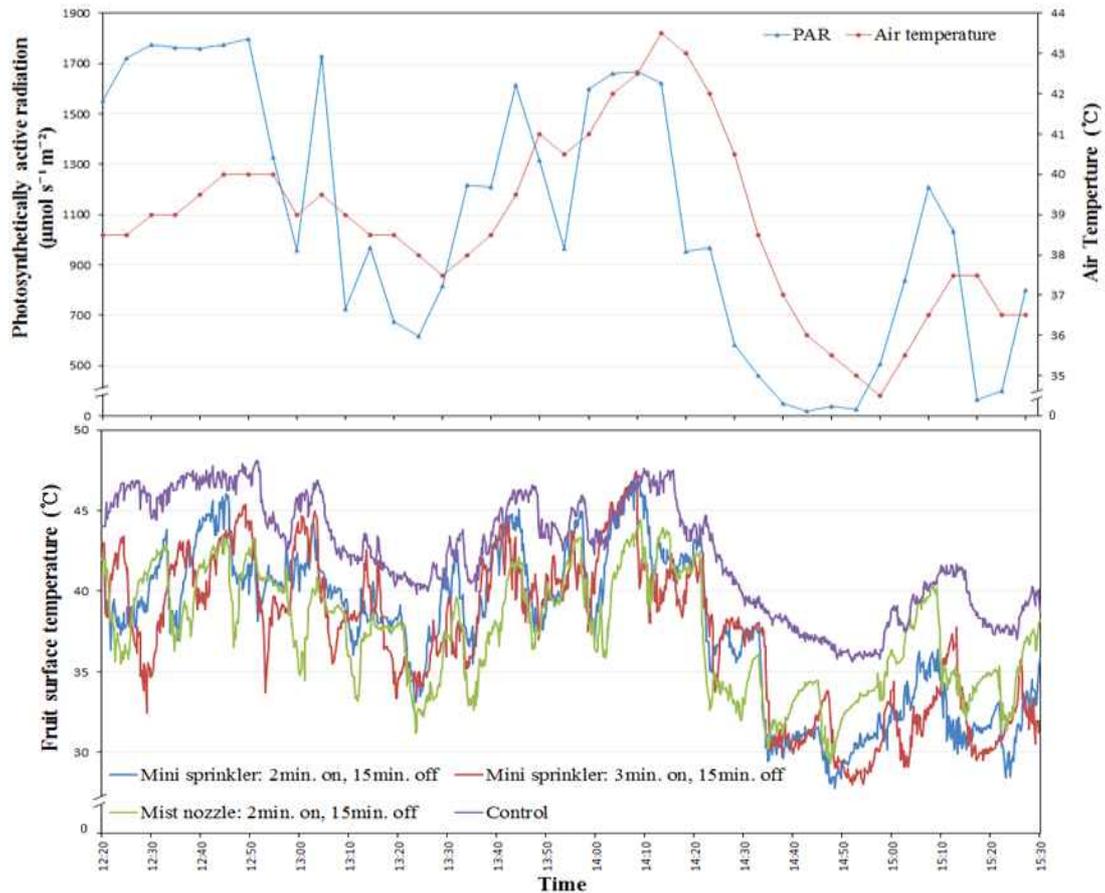


그림 27. 2016년 8월 22일 오후의 홍로 사과원 광합성유효일사량(PAR) 및 기온 변화(위)와 살수방법 및 주기에 따른 과실표면 온도 변화(아래)

살수는 대조구에 비해 수관 내 습도를 높이는 결과를 가져왔다. 특히 미스트살수는 미니스프링클러 살수에 비해 수관 내 습도를 높여서 2분이던 3분이던 대조구에 비해 7~15%나 상대습도를 높이는 결과를 보였다. 미니스프링클러의 경우 2on - 15off 주기가 3on - 15off 주기에 비해 다소 습도가 높게 유지되었으나, 3on - 15off 주거나 4on - 15off 주기 간에는 수관 내 습도의 차이가 적었다. 수관 내 습도가 높으면 병발생 위험이 높아지므로 미스트 살수보다는 미니스프링클러가 유리하고 미니스프링클러의 경우 2분 살수보다는 4on-15off가 수관 내 습도가 낮아 더 바람직한 것으로 판단되었다.

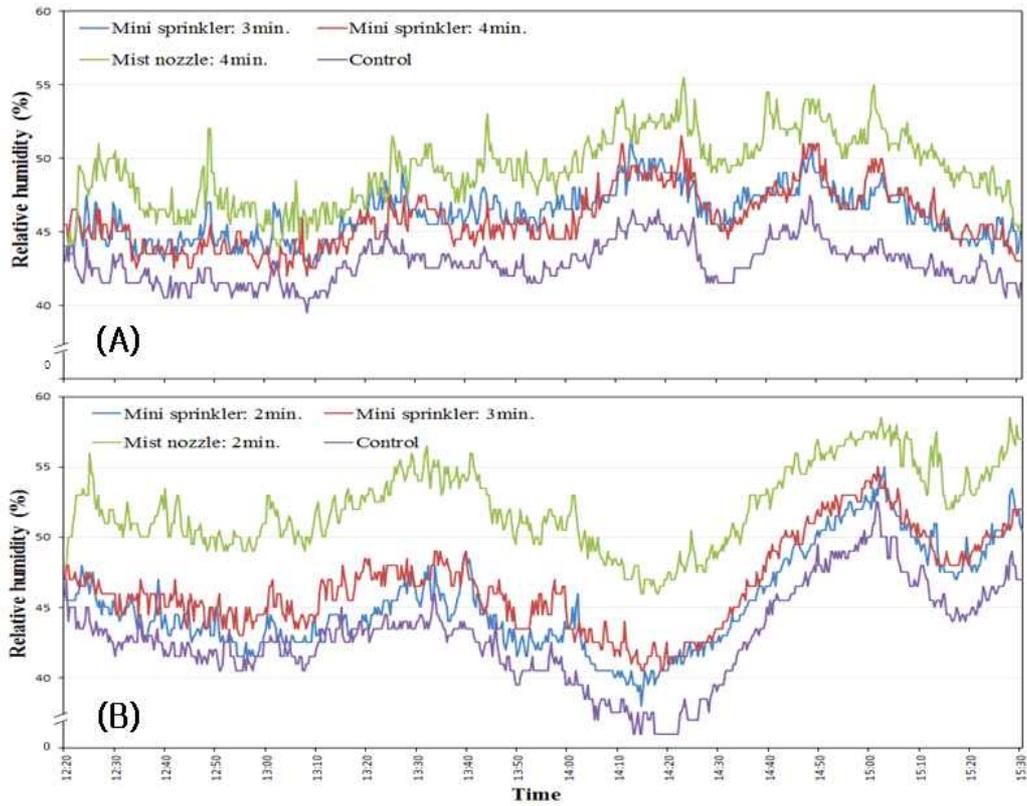


그림 28. 살수방법과 주기에 따른 8월 21일(위)과 22일(아래)의 수관 내부 상대습도 변화

살수에 따른 지면 50cm에서 200cm까지의 수관의 온도분포를 보면 무살수 대조구는 32~45°C의 온도분포를 보이면서 평균 37.5°C에 달하였으나 미니스프링클러 4분 살수, 15분 정지 주기로 살수한 사과나무의 수관 온도분포는 29~40°C범위로 평균 34.1°C였다.

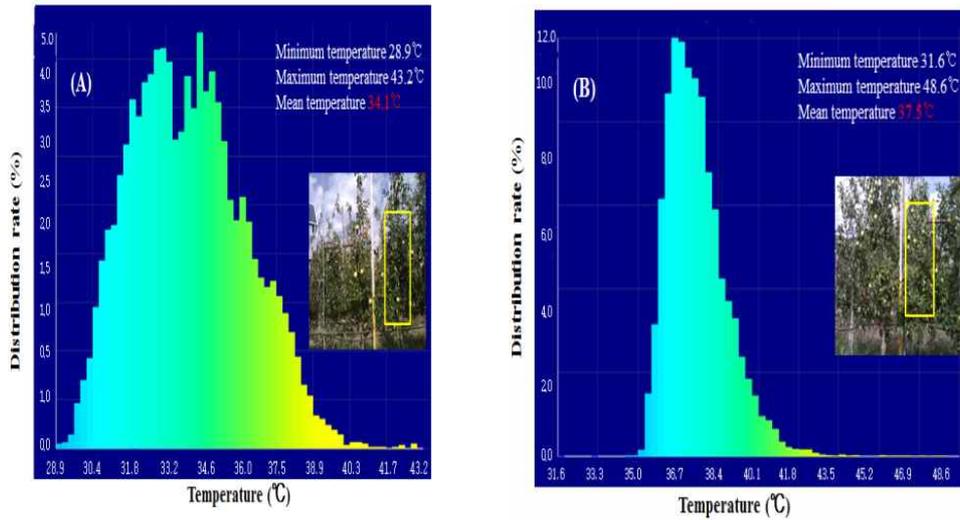


그림 29. 4분 살수 15분 정지의 주기로 미니스프링클러 살수한 사과나무(왼쪽)와 무살수 대조구 사과나무(오른쪽)의 지면 50cm에서 200cm까지의 수관내 온도 분포

< 2018 >

8월 17일부터 타이머에 따라 살수가 되도록 설정 했지만 태풍 ‘솔라’가 북상함에 따라 시험을 중단하기 직전인 22일까지 기온은 아래 그림 30에서 보는 바와 같다. 8월17일~22일 기간동안 8월 21일만 맑은데다 36°C까지 기온이 올라가서 살수장치가 작동되었고, 23일은 기온은 최고 34.2°C까지 상승하였으나 계속 흐린 날로 일소 위험성이 없어 살수장치를 작동시키지 않았다.

8월 17일부터 22일까지 영천지역 사과원의 수관외부 햇빛에 노출된 사과와 과피온도를 보면 (그림 35) 21일에만 46.5°C까지 올라갔고 그 외에는 35°C 이하로 유지되어 일소 위험이 없는 것으로 판단되었다. 따라서 설정한 살수장치는 8월 21일에만 작동하였고 살수주기가 계속되는 기간 동안 과피온도와 수관온도 변화를 추적하였다.

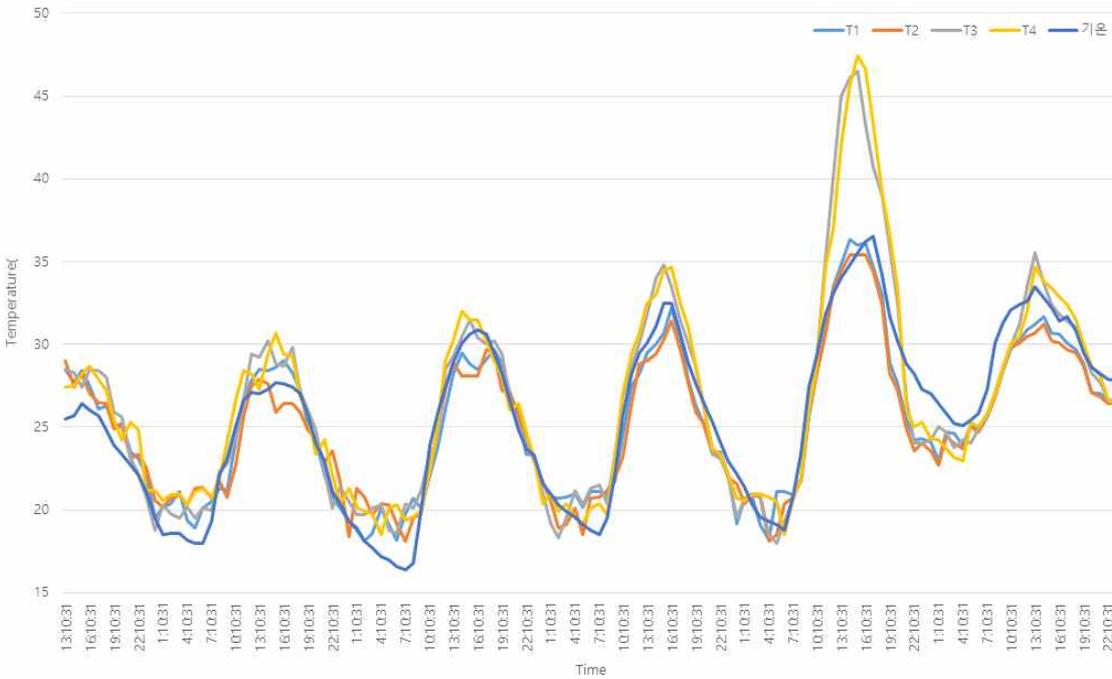


그림 30. 2018년 8월 17일부터 22일까지 수관외부의 햇빛에 노출된 사과와 수관 내부 사과의 과피온도 변화

8월 21일 13:30~14:00의 수관외부의 햇빛에 노출된 사과에 있어서 살수 개시 직전, 살수직 후, 살수 중지 10분 후, 살수 중지 20분 후의 과피온도 분포를 열화상카메라로 측정된 결과는 그림 31, 32, 33, 34에서와 같다. 살수개시 전 또는 무살수구 사과의 과피온도는 40~46°C 범위로 분포하였으며 평균 43.6°C를 나타내었다. 5분 동안 살수를 맞은 사과는 최저 34°C, 최소 39.3°C의 분포를 보이며 평균 36.7°C로 떨어졌다. 살수가 중지되면서 과실표면의 온도가 높아지기 시작하여 10분이 지난시점에서는 37.6~43.2°C 범위로 평균 39.9°C까지 상승하였다. 살수 중지 20분이 경과하면서는 35.7~45.8°C 범위로 평균 40.3°C로 높아졌다.

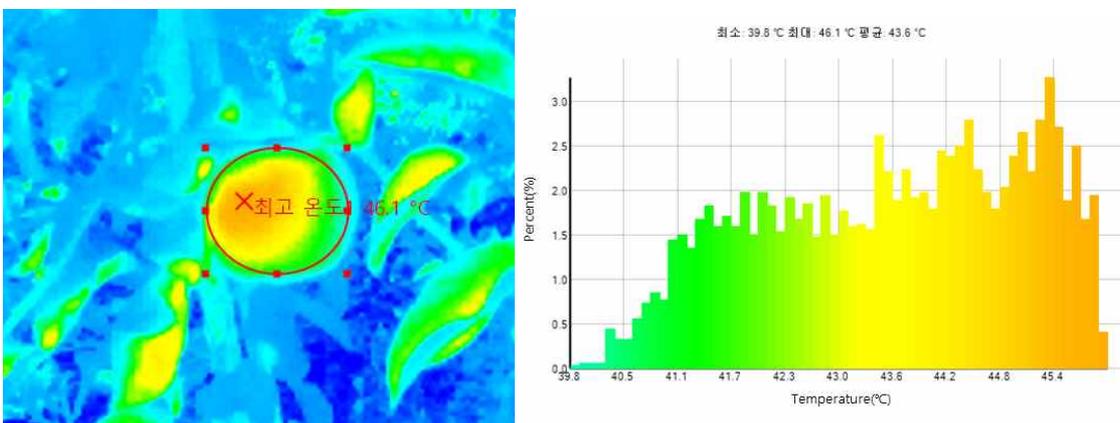


그림 31. 살수냉각을 시작하기 직전의 수관외부 사과의 표면온도 분포

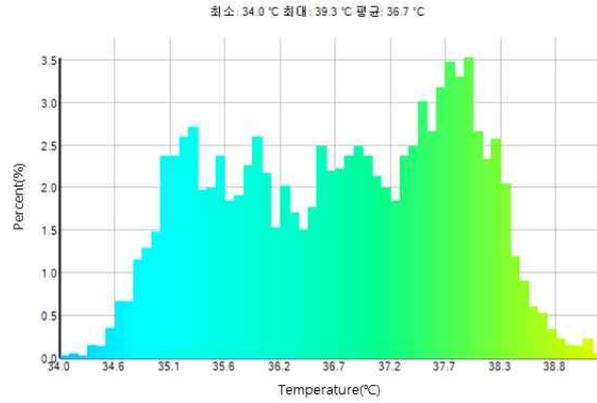
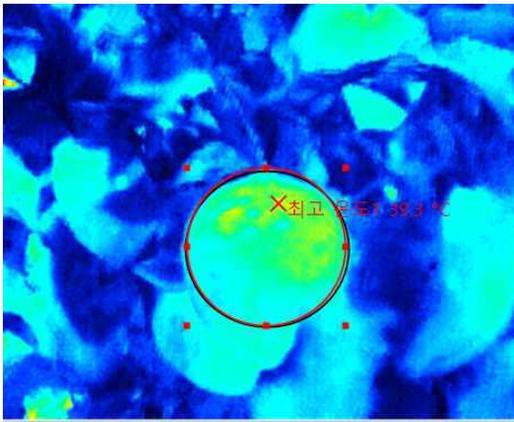


그림 32. 5분간 살수를 마친 직후의 수관외부 사과의 표면온도 분포

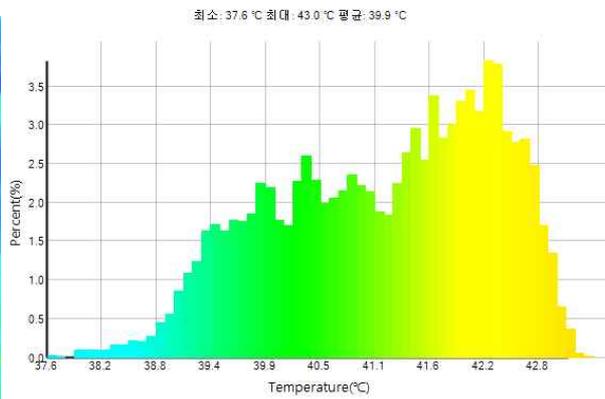
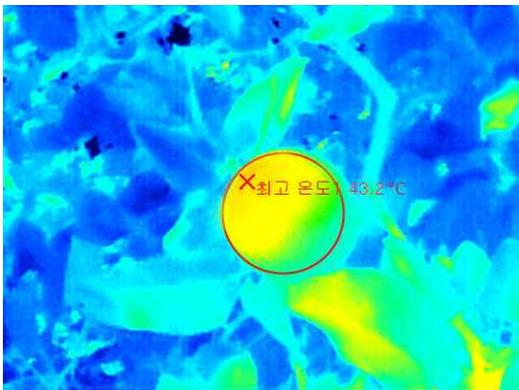


그림 33. 살수를 중단하고 10분을 경과한 시점의 수관외부 사과의 표면온도 분포

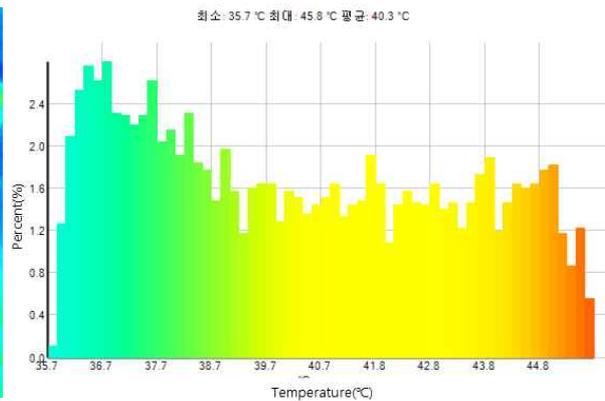
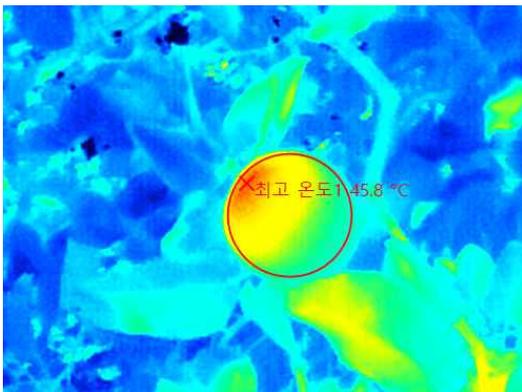


그림 34. 살수를 중단하고 20분을 경과한 시점의 수관외부 사과의 표면온도 분포

무살수 대조구 사과원의 수관온도에 비해 5분간 전면살수는 사과나무 수체 전체의 온도를 현저히 떨어뜨렸다(그림 35). 재식열을 따라 지면 1.5m 높이 수관의 온도분포를 비교해 보면, 무살수 대조구는 34~40°C의 온도분포를 보이는데 반하여 5분 살수에서는 30~34°C로 낮고 좁은 폭의 온도분포를 보였다.

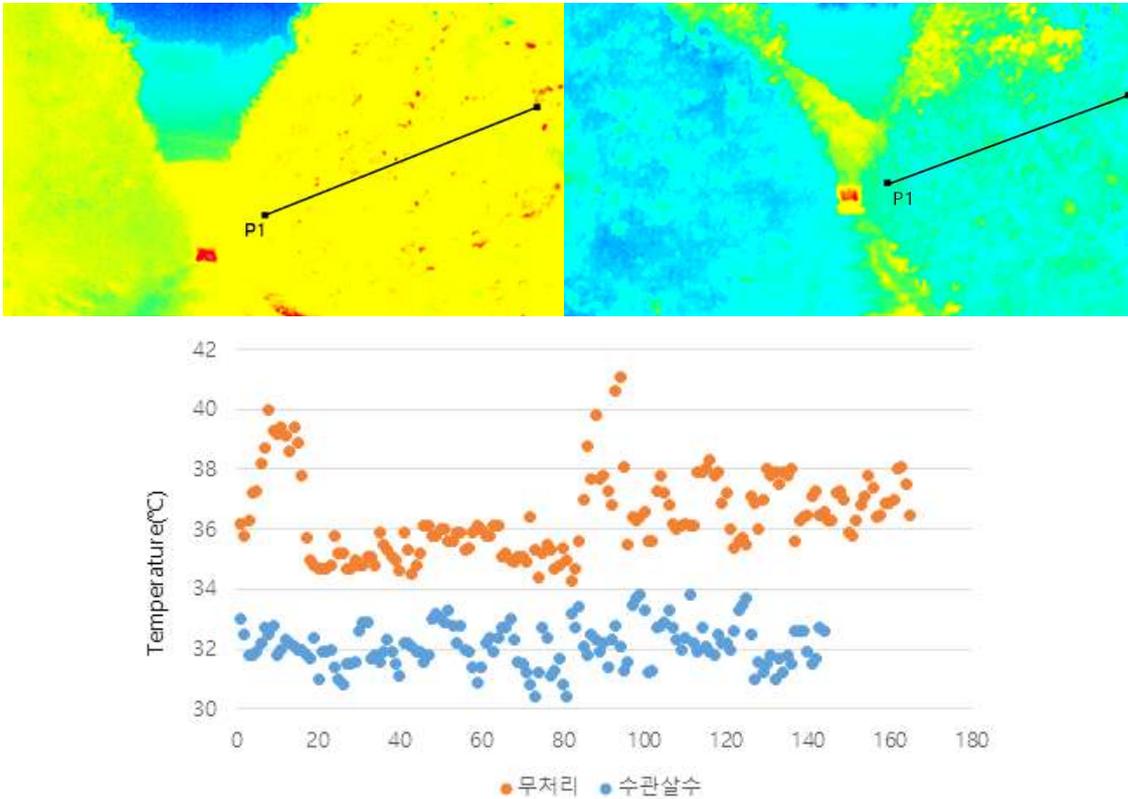


그림 35. 무살수 대조구(왼쪽)와 5분 살수 직후(오른쪽)의 재식열에서 본 수관 좌우의 온도분포(위). 재식열 양광면 지면 1.5m 수관(P1의 검은 선)의 온도분포(아래)

8월 21일 살수처리기간 동안 무살수 대조구의 수관외부 사과의 양광면 과피온도는 44~47°C 범위로 높게 유지되었다. 5분 살수 후 20분 중지하는 방법으로 과상적으로 살수한 경우는 양광면 과피온도가 살수 동안과 과면의 수분이 증발하는 동안 대조구에 비해 현저하게 낮게 유지되었고 살수 20분 후에는 일부 대조구 수준으로 과피온도가 올라가더라도 다시 살수가 되면서 약 7분 넘게 유지되는 경우가 거의 없었다. 수관 위치에 다른 과피온도는 대조구에서는 3m 높이와 1.5m 높이 간의 양광면 과피온도 차이가 거의 없었으나 살수처리의 경우 3m에 비해 1.5m 높이에 있는 사과의 과피온도가 낮게 유지되는 경향이였다. 이는 수관 부분(1.5m 높이)에 비해 상부의 수분이 더 빨리 증발하기 때문으로 보인다.

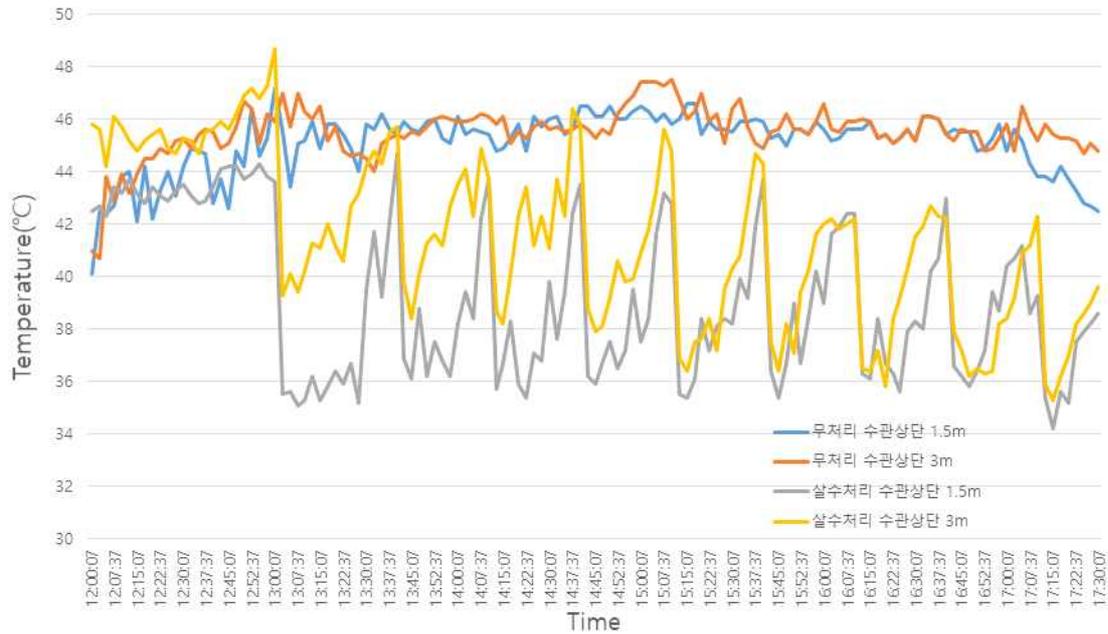


그림 36. 5분 살수 20분간 정지를 반복하는 방법으로 살수처리구와 무살수 대조구의 수관외부 사과외부의 양광면 표피온도 변화(2018년 8월 21일)

5분 살수 30분 정지의 주기로 살수를 한 사과원의 경우 살수에 따른 과피온도 하강효과는 뚜렷하였으나 20분 정지의 경우와는 달리 23~25분이 지난 다음에는 거의 예외없이 대조구 수준으로 과피온도가 상승하여 5~7분간 이온도를 유지하는 결과를 보였다. 따라서 5분 살수 30분 정지는 수체 표면의 뿌려진 물이 완전히 기화하고 다음 살수까지 마른 상태로 유지되는 기간이 다소 길어 20분에 비해 일소를 받을 가능성이 높아질 수 있을 것으로 생각된다.

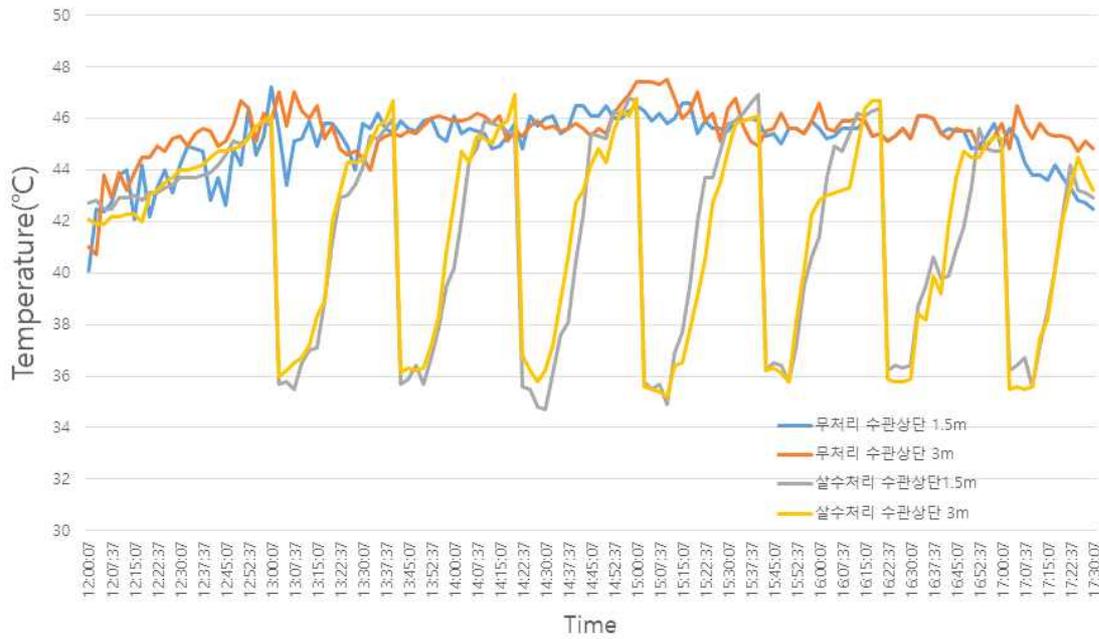


그림 37. 5분 살수 30분간 정지를 반복하는 방법으로 살수처리구와 무살수 대조구의 수관외부 사과외부의 양광면 표면온도 변화(2018년 8월 21일)

4) 초록

최근 이상 고온이 잦아지면서 수관내 광 투과가 좋은 고밀식 사과원에서 일소피해가 심각하게 나타나고 있다. 본 시험의 목적은 고온기 수관 상부의 간헐적인 살수가 증발냉각에 의한 과실온도 하락에 미치는 영향을 조사하여 농가 일소피해경감을 위한 기초자료를 제시할 목적으로 실시되었다. 수고 상부에 미니스프링클러 1구 노즐(20L/hr)과 미스트 4구 노즐을 설치하고 정오 기온 34°C 이상에서 작동시키면서 햇빛에 노출된 사과의 과피온도를 측정하였다.

미니스프링클러 살수는 2분 살수, 15분 정지에서도 과피온도 저하효과가 양호하였으나 4분 살수, 15분 정지를 반복하는 것이 7.1~11.1°C의 과피 냉각효과가 있어서 더 우수한 것으로 평가되었다. 미스트 살수의 경우 바람이 2m/s 이상에서는 물방울이 대기 중으로 날리고 사과나무 잎이나 과실 표면에 내려앉기 기화하는 경향이 있어 냉각효과는 미니스프링클러에 비해 다소 떨어지는 것을 평가되었다.

2018년에 농가 포장에서 미니스프링클러를 전 필지를 작동시키는데 10여분이 소요되는 점을 감안하여 살수주기를 10분 작동(살수시간 5분), 20분 정지를 반복하는 처리와 10분 작동(살수시간 5분), 30분 정지를 반복하는 처리를 두었던 바 5분 살수는 대조구에 비해 8~10°C 과피온도 냉각 효과가 있었다. 살수 후 20분 정지 기간 동안은 과피온도가 상승하여 대조구와 비슷한 수분에 도달되기 직전에 살수조기가 돌아오는 반면에 30분 정지는 23~25분경에 대조구 과피온도와 비슷한 수준으로 상승하는 결과를 보였다.

결론적으로 살수냉각을 통한 사과 일소방지를 위해서는 미스트살수보다는 미니스프링클러가 유리하고 살수시간은 4~5분이 적당하고 살수 후 정지기간은 15~20분이 적당한 것을 판단되

었다. 사과원의 규모에 따라 전원을 넣고 살수를 시작했을 때 과원전체에 살수되는 시간을 고려하여 살수모터작동시간을 5~10분으로 설정하고 정지시간은 약 20분으로 설정하는 것이 수관이 너무 오랫동안 젖거나 토양이 과습해지는 것을 막으면서 일소피해를 경감시킬 수 있을 것으로 생각한다.

2-5. 사과원 정밀관수 매뉴얼(ISBN등록 절차 진행 중)

www.e-apple.org

사과원 정밀관수 매뉴얼

Irrigation manual for high density
apple orchards



농림축산식품부 (사)한국사과연합회



KNU 경북대학교 사과연구소

머리말

모든 작물에서 그렇듯이 사과나무 역시 생존을 위해서 뿐만 아니라 고품질 사과의 지속적 다수확을 위해서는 다른 어떤 환경요소보다 물이 중요하고 이의 적절한 관리가 필수적이다. 곡물이나 채소와 같은 초본성 작물과는 달리 사과나무는 뿌리가 깊고 넓게 뻗기 때문에 이들 초본성 작물에 비해서는 수분에 대해 적응성이 높은 편이어서 전통적으로 사과원에서의 수분 관리는 소홀한 편이었다. 그러나 고품질과 다수확을 위해 관수가 매우 중요하다는 것을 인식하기 시작하면서 1980년대 후반부터 관수에 관심을 갖기 시작하였다. 특히 1990년대 후반부터 내건성이 약한 M.26과 M.9 자근대목을 이용한 밀식재배가 시작되면서 사과원에도 관수 시설을 갖추는 것이 개원의 전제조건이 되다시피 하였다. FTA기금으로 과수원 기반개선사업이 추진되면서 오늘날은 성목원이나 유목원이나 거의 대부분의 사과원이 미니스프링클러 또는 점적관수시설을 갖추게 되었다. 그러나 관수에 대한 실증적 연구나 체계적인 지도가 부족하여 기상이나 토양조건, 생육시기에 따라 수분요구가 다르고 관수방법에 따라서도 1회 관수량과 관수주기가 크게 차이가 남에도 불구하고 사과원 경영인 각자의 느낌과 경험에만 의존하여 관수를 해오고 있는 것이 현실이다. 따라서 현대적 관수시설로 나름 관수를 하고 있음에도 불구하고 수분부족으로 사과나무가 심한 스트레스를 받는가 하면, 반대로 과습하여 수세가 떨어지고 토양병 발생으로 심각한 손실을 보고 있는 농가들도 적지 않다. 지구온난화의 영향으로 혹서기가 길어지는가 하면 가뭄의 빈도가 잦아지고 있는 상황에서 기존 관수시설을 활용한 과학적이고 체계적인 정밀관수의 필요성이 날로 증가하고 있다.

2016년 농림축산식품부의 현장적용 가능한 생산자 주도형 연구개발을 활성화하기 위한

“농식품 R&D 바우처 시범사업”에 응모하여 (사)한국사과연합회와 함께 “ICT연계 사과원 정밀관수 매뉴얼 개발” 연구를 2년간 수행하고 그 성과물로 본 관수매뉴얼을 발행하게 되었다. 정밀관수는 토양과 지형 조건, 기상조건, 사과재배체계, 사과나무의 생태 등 수많은 조건에 직간접적으로 영향을 받기 때문에 통일된 기준과 방법을 제시하기가 어렵다. 외국의 경우 과수학자, 토양학자, 기상학자 등 다양한 분야의 과학자들이 참여한 장기간의 연구결과와 적어도 십수년의 실증결과를 토대로 만들어진 관수매뉴얼에 비하면 여러 가지로 부족하고 문제점이 없지 않다고 본다. 본 매뉴얼이 2년간의 연구결과뿐 아니라 최신 국내외 연구결과와 사례, 직간접의 경험을 토대로 만들어졌기 때문에 현 상황에서 제시할 수 있는 최선의 매뉴얼이라는 생각을 한다. 사과원마다 토양, 기상, 생태적 환경조건이 다르고 대목과 품종, 재배체계, 수령 등이 다르기 때문에 제시한 내용을 토대로 하여 자신이 택한 관수방법에 따라 스스로의 판단과 경험을 가감하여 관수하는 지혜가 필요하다. 앞으로도 사과나무 수분생리연구와 이에 기초한 정밀관수 기술개발연구를 계속하면서 현장의 목소리를 모아서 주기적으로 보완하고 개선하여 현장성 있는 관수매뉴얼의 완성도를 높여갈 것이다.

사과농업인들이 유용하게 활용해 주시기를 바라며 지속적인 관심과 격려를 기대한다.

2018년 8월

연구책임자 윤태명 외 참여연구진 일동

| | |
|---------------------------------|----|
| 1. 물의 중요성과 관수의 필요성 | 5 |
| 1. 1. 물의 중요성 | 6 |
| 1. 2. 관수의 필요성 | 7 |
| 2. 토양에서의 수분과 사과나무로의 흡수 및 체내이동 | 13 |
| 2. 1. 토양수분 | 14 |
| 2. 2. 수분흡수와 체내 이동 | 18 |
| 3. 수분부족이 사과나무에 미치는 영향 | 27 |
| 4. 사과나무 생육 시기별 수분관리 | 33 |
| 5. 관수 시기와 관수량의 결정 | 37 |
| 5. 1. 텐시오미터를 이용한 토양수분상태 측정 | 38 |
| 5. 2. 사과원 수분수지에 근거한 관수모델 개발과 이용 | 50 |
| 6. 관수 방법 | 55 |
| 6. 1. 미니스프링클러 관수 | 56 |
| 6. 2. 점적관수 | 58 |
| 7. 관수시설을 이용한 재해예방 | 61 |
| 7. 1. 수관상부 미세살수를 통한 서리피해 방지 | 62 |
| 7. 2. 고온기 수관상부 미세살수를 통한 일소방지 | 65 |

물의 중요성과 관수의 필요성

1. 1. 물의 중요성
1. 2. 관수의 필요성

1

1. 물의 중요성과 관수의 필요성

1. 1. 물의 중요성

모든 생명체가 그렇듯이 사과나무 역시 생존을 위해서는 물이 절대적으로 필요하다. 좋은 품질의 사과를 다수확하기 위해서는 다른 어떤 환경요소나 관리기술 보다 물이 중요하고 이의 적절한 관리를 위한 관수기술이 필요하다.

식물체에서의 물의 주요 생리적 기능은 아래와 같다.

- 식물의 가장 중요한 구성 물질로 과수의 경우 뿌리, 줄기, 가지 등 목질부의 약 50%, 잎의 약 60%, 과일의 85% 이상이 물로 이루어져 있다.
- 광범위한 용매로 토양의 여러 가지 무기영양과 체내에서 합성된 유기물질, 그리고 대기 중의 이산화탄소나 산소가 물에 녹아서 물과 함께 식물 체내·외로 이동하면서 여러 가지 생리작용을 가능하게 한다.
- 탄소동화작용(광합성)과 가수분해, 기타 체내의 여러 생화학반응의 원료물질이어서 물이 부족하면 기본적으로 이들 생리대사가 불가능하다.
- 세포 내의 액포에 물이 들어차면서 유발되는 팽압은 세포비대의 원인으로 작용할 뿐 아니라 숨구멍(기공)의 열리고 닫힘을 조절하여 수증기, 이산화탄소, 산소 등 기체의 체내 출입을 통제한다. 또한 지지기능이 있어 목질조직이 충분하지 않은 잎이나 어린 새순, 꽃, 과일 등이 고유의 형태를 유지할 수 있게 한다.
- 수체 내의 수분이 잎의 숨구멍을 통해 기체 상태로 바뀌어 대기 중으로 날아가면서(증산) 기화열로 주변온도를 떨어뜨려서 한여름 고온기에도 식물체의 지나친 온도 상승을 막아 준다.

여야 함과 동시에 기공개폐를 통한 증산조절로 체내 수분을 일정 수준으로 유지하여야 한다.

사과나무의 수체 내 수분 상태는 아래와 같은 간단한 식으로 나타낼 수 있다.

$$W = (G - E) + H$$

여기서 W는 사과나무 수체의 수분 상태, G는 뿌리를 통하여 흡수되는 수분 총량, E는 사과나무로부터의 수분 손실량(주로 잎을 통한 증산), H는 사과나무 수체의 저장 수분량을 나타낸다. 사과나무 수체의 수분 상태는 보통 흡수량과 증산량의 차이에 의해 달라지며 체내 저장 수분은 흡수-증산의 2차적 결과이고 변동폭도 적기 때문에 특별한 영향을 미치지 않는다. 낮 동안에는 증산량(E)이 흡수량(G)을 크게 초과하면서 수체 내 수분 함량(W)이 점진적으로 떨어지게 되는데 심하면 사과나무가 수분 부족상태 즉, 수분 스트레스 상태에 빠지게 된다. 밤에는 기공이 닫히고 대기와의 증기압차가 작아짐에 따라 사과나무의 수분 손실이 줄어들게 되고 뿌리로부터 지속적인 수분흡수가 일어남에 따라 체내의 수분 함량이 높아지면서 수분 스트레스는 해소되게 된다. 그러나 토양수분이 충분하지 못한 경우에는 수분흡수가 적어 밤 동안에 완전히 회복이 되지 못하여 날이 지날수록 더 심각한 수분 스트레스 상태에 빠지게 된다.

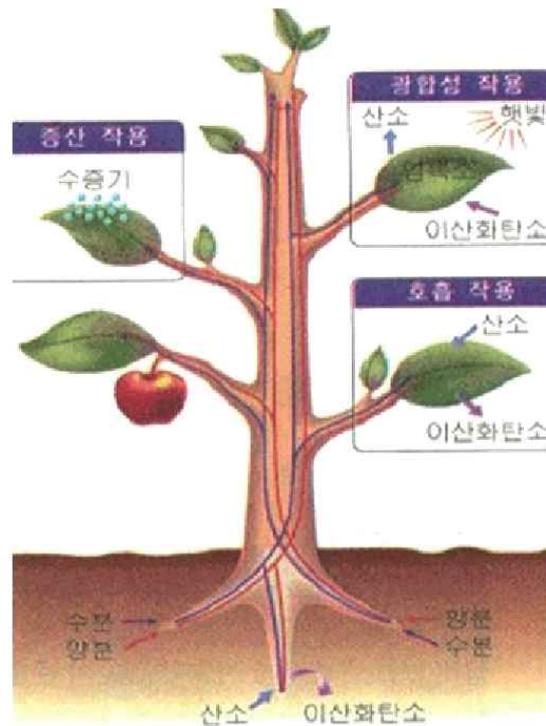


그림 1-2. 사과나무의 수분상태

수분이 부족하게 되면 앞에서 언급한 세포의 비대 증진, 기공의 폐쇄, 광합성의 제한, 여러 기본적인 대사 작용의 저하와 같은 생리장해가 일어나 사과나무의 성장과 발달에 나쁜 영향을 미치고 생산성이 떨어지며 심할 경우 고사하게 된다. 따라서 사과나무가 적정 수분상태를 유지하기 위해서는 수분흡수를 원활하게 할 수 있도록 토양수분이 충분하거나, 토양수분이 다소 부족하여 수분흡수가 원활하지 못하더라도 기공을 닫아 증산량을 최소화하면 된다. 토양수분은

강우에 크게 영향을 받기는 하나 관수를 통해 인위적으로 토양수분상태를 쉽게 조절할 수 있지만 잎을 통한 증산량은 햇빛, 온도, 공중습도, 바람 등의 기상요인에 따라 영향을 받으므로 재배기술로써 증산량을 조절하는 것은 한계가 있다.

우리나라 사과주산지의 연강우량이 1,000~1,400mm 정도로 세계 주요 사과재배지 중에는 비가 매우 많은 편에 속한다. 그러나 계절적 분포를 보면 장마가 시작되는 6월 하순부터 태풍이 거의 끝나는 9월 하순까지가 연강우량의 60~70%를 차지하고 그 이후부터 이듬해 장마가 시작되는 시기까지는 비가 현저히 적다(그림 1-3).

사과나무의 자람이 개시되는 3월부터 장마가 시작되는 6월 하순까지는 강수량에 비해 증산량이 현저히 많아서 토양수분이 부족하다. 이러한 개화기 따뜻하고 건조한 날씨는 화분매개곤충에 의한 수분, 수정에 유리하나 꽃이 진 다음부터 6월말까지의 수분부족은 엽면적 확보, 과실의 세포분열과 초기 비대에 불리하게 작용한다. 장마가 시작되는 6월 중하순부터 태풍이 잦아드는 9월 중하순까지의 기간은 대체로 증발량에 비해 강수량이 많아 관수보다는 배수에 신경을 써야하는 기간이다. 그러나 마른장마가 있거나 태풍이 비껴가는 경우 또는 폭우를 동반하지 않는 태풍이 있는 경우는 해에 따라 심각한 가뭄피해를 받을 수 있다(그림 1-4). 9월 하순 이후부터 이듬해 봄까지는 강우량에 비해 증발량이 많은 기간이다. 과실의 성숙기이자 사과나무가 월동준비에 들어가는 가을에는 다소의 수분스트레스는 긍정적인 영향을 미친다. 즉, 착색을 비롯한 사과품질의 향상, 목질부의 경화, 낙엽 전 잎의 영양이 줄기와 가지로의 재분배가 원활하게 되어 내동성이 증가한다. 그러나 겨울철의 건조한 날씨는 수체 탈수와 지나친 토양건조로 사과나무에서 동건해를 유발할 수도 있다.

토양수분은 기본적으로 강수량의 계절적 분포에 좌우되지만 지형과 토성, 토심에 따라서도 크게 영향을 받는다. 표면배수가 잘되는 경사지, 작토층이 얇은 경우, 모래나 자갈비율이 높아 물빠짐이 좋은 가벼운 토양 등은 보수력이 떨어져 관수를 자주, 많이 해야 하는데 우리나라

라는 지형과 토양조건이 수분관리에 불리한 사과원도 적지 않기 때문에 관수는 절대적으로 필요하다.

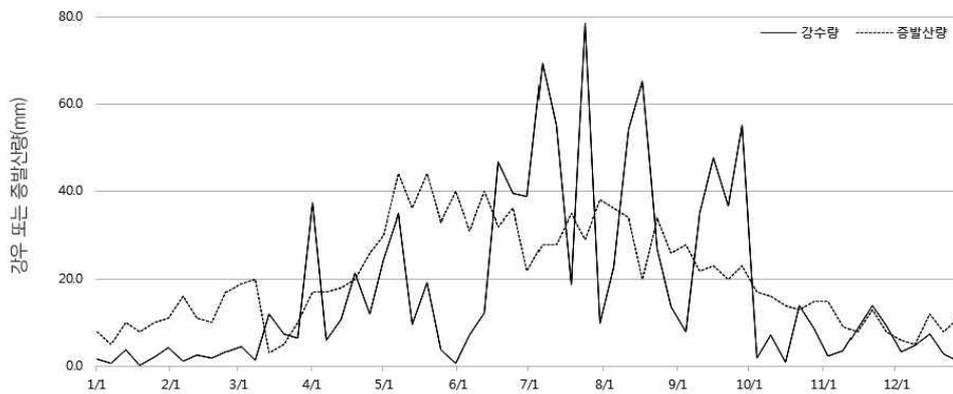


그림 1-3. 1987~2017년간 사과주산지 안동의 평균 강수량 및 증발산량

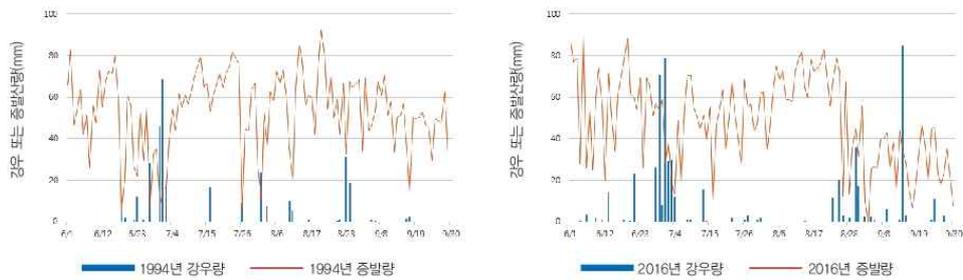


그림 1-4. 1994년과 2016년 여름철 안동시의 강수량과 증발산량분포. 강수량에 비해 증발량이 절대적으로 많아 심각한 기온피해를 받은 해였다.

최근 M.9와 같은 왜성대목을 이용하여 밀식재배하면서 재식 2년차부터 수확을 시작하여 단위수량이 관행에 비해 훨씬 높은 재배체제로 가고 있다. 왜성대목은 실생대목이나 이중접목 대목에 비해 뿌리분포가 얇고 좁다. 따라서 수분관리를 정밀하게 해 주어야 하는데 더구나 수관용적대비 결실량이 많으므로 그에 비례해서 수분요구량이 많은 것이 특징이다. 아래 그림 1-5에서 보는 것처럼 결실주는 무결실주에 비해 사과를 수확할 때까지 수분소비량이 현저히 많기 때문에 밀식재배의 성목원은 가을까지 관수를 충분히 하여야 과실비대나 수세가 유지될 수 있다.

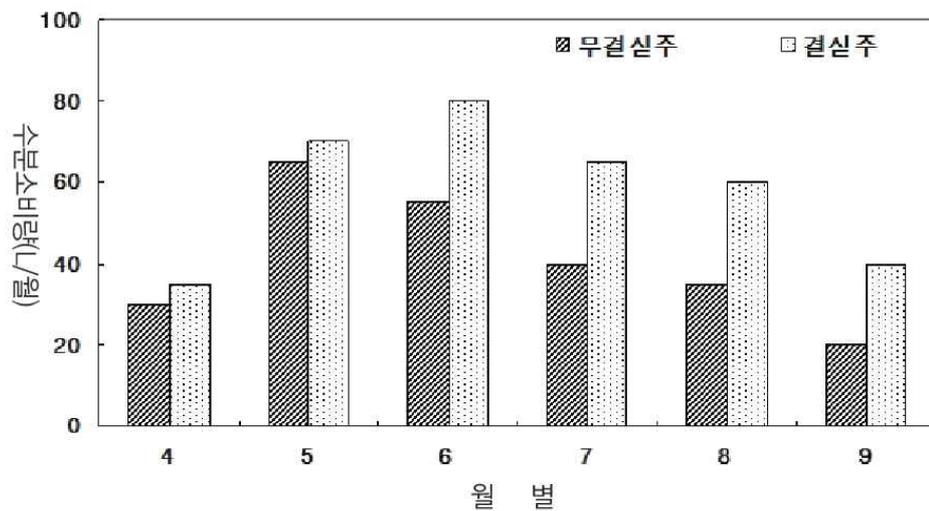


그림 1-5. 재식 3년차 '골든 딜리셔스' 사과나무의 결실유무에 따른 월별 수분요구량(Mager, 1988)

토양에서의 수분과 사과나무로의 흡수 및 체내이동

- 2. 1. 토양수분
- 2. 2. 수분흡수와 체내 이동

2

2. 토양에서의 수분과 사과나무로의 흡수 및 체내이동

2. 1. 토양수분

비가 오거나 관수를 하면 토양 내의 크고 작은 공간이 공기 대신 물로 채워지게 된다. 토양 내의 모든 공간이 물로 채워진 상태를 최대용수량이라고 한다. 그러나 비교적 큰 공간의 물은 중력에 의해 바로 아래로 흘러내리고 그 보다 좁은 공간에 채워진 물은 중력에도 불구하고 토양 내에 머무르게 된다. 중력에 의해 아래로 흘러내리는 수분을 제외하고 토양이 보유하는 최대수분량을 포장용수량(圃場容水量, field capacity)이라고 한다.

포장용수량은 식물에 의해 흡수 이용되는 수분과 토양입자에 너무 강하게 흡착되어 있어서 식물이 이용할 수 없는 수분으로 나뉘어진다. 토양이 수분을 강하게 흡착하고 있어서 식물이 더 이상 수분을 흡수하지 못하면 식물체는 시들어 마침내 죽게 되는데 이를 영구위조(永久萎凋)라고 한다.

포장용수량에서 영구위조점까지의 토양수분을 식물이 흡수, 이용할 수 있는데(aW, available water) 이는 다시 식물이 쉽게 이용할 수 있는 수분(raW, readily available water)과 쉽게 이용하기가 어려워 식물이 스트레스를 받기 시작하고 생존을 위한 최소의 수분정도만 극한 상태에서 흡수할 수 있는 수분으로 나뉘어진다. 사과나무를 비롯한 작물이 잘 자라기 위해서는 토양수분이 쉽게 이용할 수 있는 상태에 있어서 무기영양의 흡수, 원활한 증산작용과 함께 광합성이 왕성하여 동화물질이 충분하게 만들어져야 한다. 그러나 토양수분이 그 이하로 떨어지면 수분흡수량이 크게 떨어지면서 사과나무가 생존을 할 수는 있으나 무기영양의 흡수가 급격히 떨어지고 광합성도 거의 할 수가 없어서 정상적인 생장과 발달이 불가능하게 된다. 따라서 토양수분함량이 사과나무가 쉽게 흡수할 수 있는 수준이하로 떨어지면 관수를 통해 이를 보충해 주어야 한다.

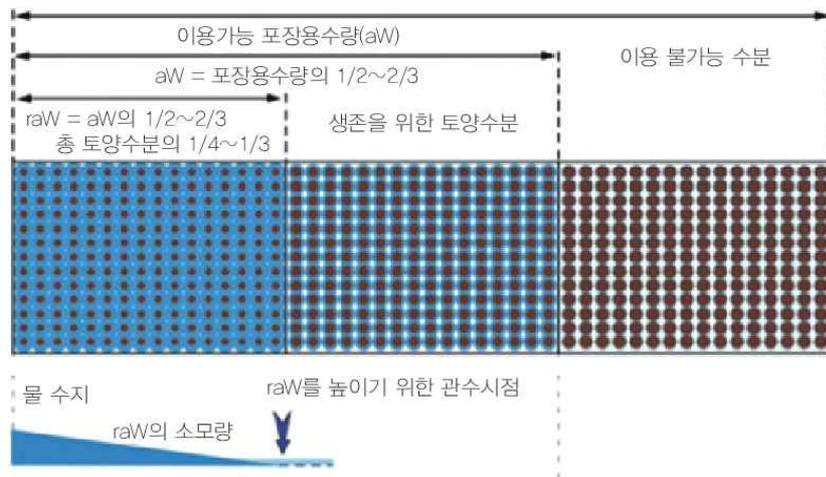


그림 2-1. 토양수분의 종류; 포장용수량은 식물 이용가능 수분과 이용불가능 수분으로 나누어지고, 식물이용가능 토양수분은 다시 식물이 쉽게 이용할 수 있는 토양수분과 쉽게 이용할 수 없어서 생존이 가능할 정도의 토양수분으로 나누어진다(Mooney & Bravin, 2011). 정상적인 성장과 발달을 위해서는 토양수분이 쉽게 이용할 수 있는 수준이하로 떨어지면 관수를 통해 토양수분을 높여주어야 한다.

토성에 따라 토양 내 공간(공극)의 크기와 비율이 달라지고 따라서 보유수분 함량도 달라진다. 대부분이 모래로 이루어진 사질토의 경우 토양입자가 큰 만큼 그 틈사이도 커서 토양수분이 중력에 의해 쉽게 아래로 흘러내리면서 포장용수량이 적으나 이 중에서 식물이 쉽게 이용할 수 있는 수분량은 토양용적의 약 6.5%로 상대적으로 많다(그림 2-2). 이와 반대로 점질토는 입자간의 틈새가 적은 만큼 중력으로 흘러내리는 물량이 적어 포장용수량은 많으나 토양수

분이 강하게 토양에 흡착되어 있어 식물이 쉽게 흡수하여 이용할 수 있는 수분의 비율은 상대적으로 낮다(토양 용적의 약 8%).

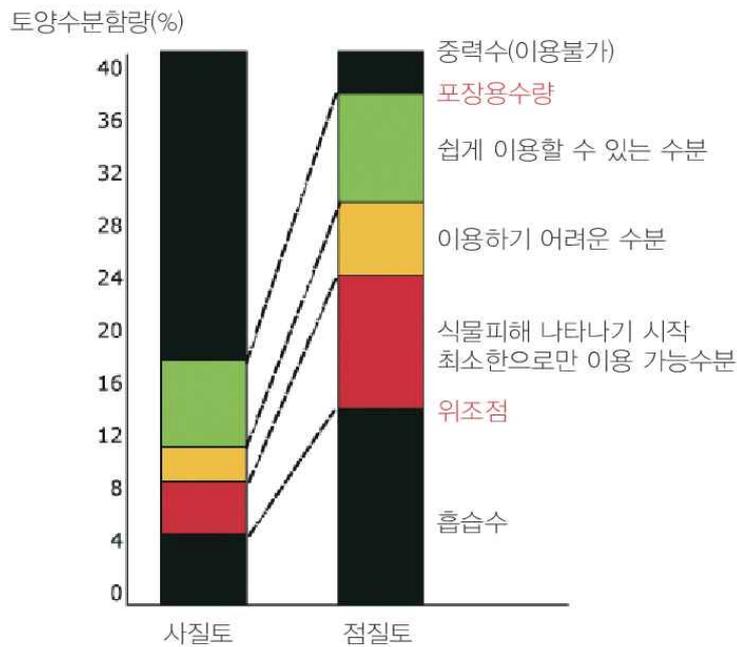


그림 2-2. 토성에 따른 토양수분 종류별 분포 (Boland et al. 2002)

같은 이유로 토성별 토양수분상태의 변화에 따른 식물이 이용할 수 있는 수분의 변화도 매우 다르게 나타난다(그림 2-3). 모래성분이 많아 물빠짐이 좋은 가벼운 토양일수록 토양수분포텐셜이 낮아짐에 따라 빠르게 식물이 이용 가능한 토양수분량이 감소하고 점토의 비율이 높아 물빠짐이 좋지 않고 물을 잘 머금은 무거운 토양일수록 토양수분포텐셜이 떨어짐에도 식물이

흡수할 수 있는 토양수분의 변화폭이 크지 않다. 관수방법에 따라 관수시기가 달라지는데 점적관수의 경우 토양수분이 40~70kPa 범위에서 관수를 시작해야하는 반면, 전면 살수관수의 경우 쉽게 이용할 수 있는 수분이 소모되는 약 200kPa에서 관수를 충분히 하는 것이 바람직하다. 따라서 토양수분상태를 수분포텐셜로 측정하여 관수기준을 삼을 경우에는 점적관수의 경우 텐시오미터를, 살수관수의 경우 수분포텐셜 측정 폭이 현저히 큰 워터마크(Watermark®)를 이용하는 것이 좋다.

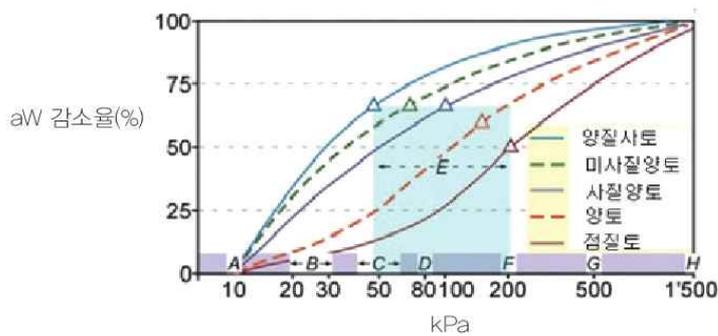


그림 2-3. 토성별 토양수분포텐셜에 따른 이용가능 수분의 변화 (Mooney & Bravin, 2011)

- A : 수분포화토양,
- B : 점적관수에서는 가벼운 토양의 경우 이 범위가 최적의 수분공급을 위한 토양수분 수분장력임
- C : 점적관수에서는 중간~무거운 토양의 경우 이 범위가 최적의 수분공급을 위한 토양수분 수분장력임
- D : 텐시오미터 이용 한계 측정범위

E : 쉽게 흡수할 수 있는 토양수분(raW) 소모, 전면 살수관수의 경우 토양수분 함량을 높이기 위하여 관수

F : Watermak® 센서 이용 한계 측정범위

G : 위조시작

H : 영구위조점

2. 2. 수분흡수와 체내이동

토양의 수분은 식물의 뿌리에서 체내로 흡수되어 이동통로인 물관을 통해 식물체 각 부위로 이동하고 주로 잎 표면에 있는 스킴구멍(기공)을 통해 대기 중으로 날아간다. 이와 같이 수분은 식물체가 존재하는 한 토양-식물-대기 중으로 연결되어(soil-plant-atmosphere continuum) 역동적으로 움직이고 있어서 식물체의 수분상태는 이러한 역동적 수분 이동과정 중 특정시기의 잠정 수분상태라고 할 수 있다. 수분의 이러한 역동적인 이동을 이해하기 위해서는 물의 열역학적 개념인 수분포텐셜을 이해하여야 한다. 즉, 질량을 갖는 모든 물질은 에너지를 갖고 있고 에너지 수준이 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하는 것이 자연법칙인데 물 역시 자유 에너지 수준에 따라 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다. 물의 이러한 에너지 수준을 수분포텐셜(water potential, Ψ)로 표시하는데 단위용적(m^3)의 수분이 갖는 잠재 자유에너지(J)로 압력단위인 파스칼(Pa)로 표시할 수 있다($J/m^3 = N/m^2 = Pa$). Pa은 수분포텐셜을 나타내기에는 너무 낮은 단위라서 이의 1,000,000배 단위인 MPa(메가 파스칼, 10bar)로 나타낸다. 순수한 물의 수분포텐셜은 0MPa이므로 토양이나 식물체 내에 존재하는 물의 수분포텐셜은 항상 -값을 갖는다.

토양수분이 사과나무 체내로의 흡수와 수체 내 이동, 대기 중으로의 증산은 수분포텐셜의 기울기에 의해 일어나는 물리적인 현상이다. 토양의 수분이 뿌리-줄기-잎까지 응집력으로 서로 이어져 있는데 증산에 의해 잎의 수분이 대기 중으로 날아가면 잎 조직의 수분포텐셜이 낮아지고 인접 물관으로부터 수분이 끌려오면서 줄기-뿌리-토양까지 응집력으로 연결되어있는 물

관내의 물기둥에 장력이 걸리고 이 힘의 정도에 따라 수분이 집단적으로 상승해 올라간다. 이와 같이 수분의 흡수와 체내이동의 원동력은 증산이고 증산이 많을수록 식물체내로의 수분흡수는 많아지고 상승도 빨라지게 된다.

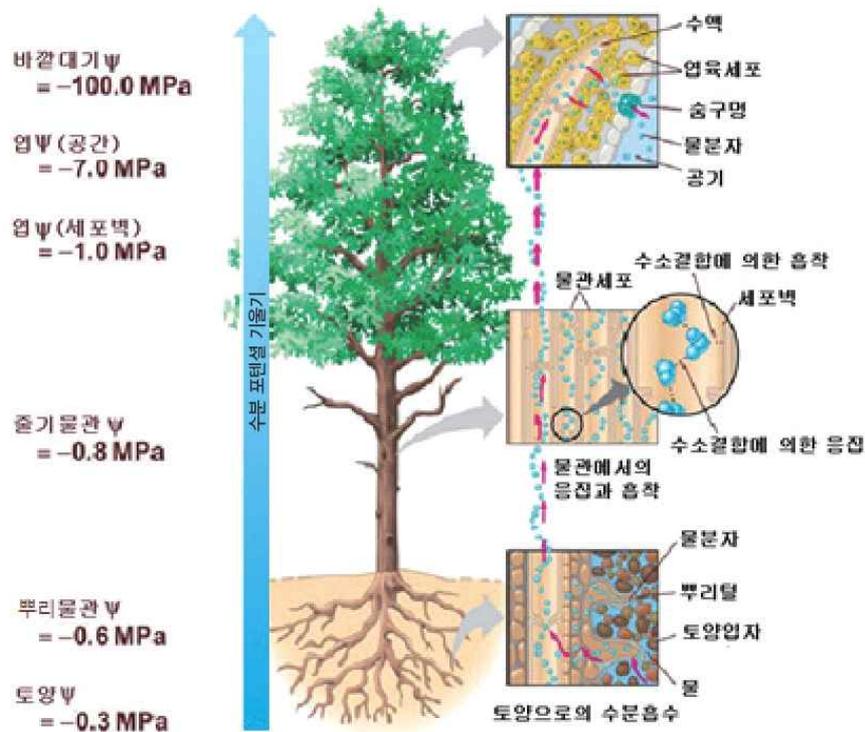


그림 2-4. 토양-식물-대기로의 연속적 수분흐름 모식도(Campell & Reece, 2008)

수분흡수는 뿌리를 통하여 토양으로부터 이루어지기 때문에 토양에 충분한 수분이 일차적으로 존재하여야만 한다. 따라서 많은 수분이 필요한 생육기간 동안에 강우가 충분하면서 고르게 내리는 것이 매우 중요할 뿐 아니라 토양 구조, 토성, 토심과 같은 토양 특성이 빗물을 투수시키지 않고 많이 머금을 수 있어야 한다. 또한 토양으로부터의 수분흡수가 원활하기 위해서는 충분한 뿌리가 토양 깊이까지 뻗어 있어야 한다. 뿌리의 밀도와 분포는 대목의 종류에 따라 차이가 나며 그에 따라 내건성도 다르다.

사과나무의 뿌리는 수관하부 60cm 깊이 내에 80~90% 이상 분포하고 있으나 통기성이 좋은 토양에서는 뿌리분포가 깊은 반면 배수가 불량한 토양에서는 그 분포가 얇고 가뭄 시에 피해를 입기가 심상이다. 흡수된 수분이 얼마만큼 공기 중으로 날아가느냐(증산)하는 것 역시 매우 중요하다. 수분은 대부분이 잎의 스킴구멍을 통해 날아가기 때문에 잎의 크기 모양, 엽면적에 따라 차이가 나고 엽당 스킴구멍의 수, 위치, 여닫힘 특성에 따라 증산 정도는 크게 차이가 난다. 이와 같은 식물적인 요인 뿐 아니라 일사량, 온도, 공중 습도, 바람과 같은 기상적 요인에 따라서 증산량이 크게 좌우된다. 즉 햇빛이 강하게 내리 쬐고 건조하면서 온도가 높은 날에 산들바람까지 불면 증산량이 매우 많아지게 되어 토양수분이 충분하더라도 한낮의 경우 식물의 잎은 일시적인 수분부족 상태에 빠지게 되는 것이다.

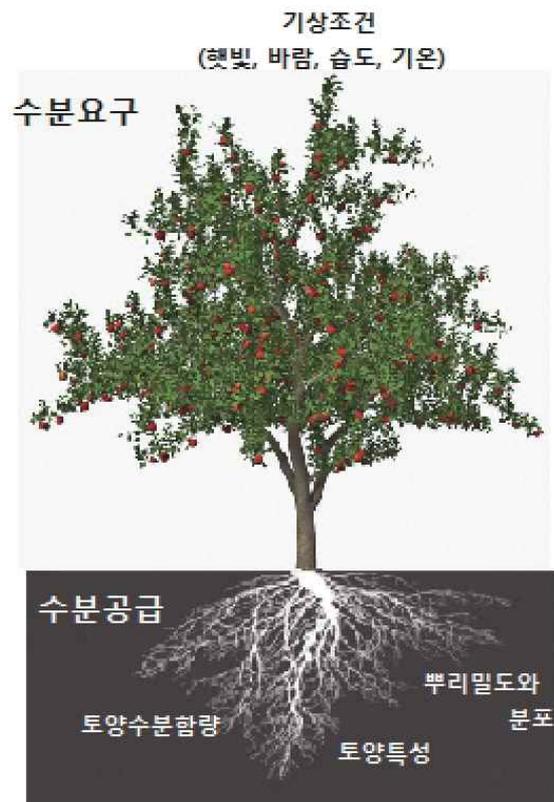


그림 2-5. 사과나무의 수분상태에 영향을 미치는 요인

1) 사과나무 수분흡수의 일변화

어느 초여름날 '골든 딜리셔스' 성목사과나무의 수분관련 요소의 하루 중 변화양상을 관찰한 결과는 그림 2-6에서와 같다. 사과나무 잎의 숨구멍은 비록 잎에 닿는 햇빛이 약하더라도 ($419\mu \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 해가 뜨면서부터 크게 열리고(기공컨덕턴스 $335\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 아직

기온이 낮고 습도가 높음에 따라 증기포화도(VPD)가 낮음에 따라 7시 30분경에 광합성유효일사량(PAR)이 $1040\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 까지 올라가면서 최대로 열렸다($510\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$). 그러나 증기포화도가 빠르게 상승하면서($7.6 \rightarrow 16.9\text{mbar}$) 지나친 증상을 막기 위하여 11시 40분경까지 부분적으로 닫혀 오후 4시 20분까지 비슷한 수준을 유지하였다($215 \sim 266\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$). 이후 오후 5시 20분까지 햇빛이 강하였지만($880\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상) 숨구멍이 더욱 닫혔는데($236 \rightarrow 193\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 이는 오전과 달리 기온과 습도가 높아 증기압차가 여전히 높았기 때문이다(18.7mbar 이상). 그 이후에는 해가 저물면서 숨구멍이 빠르게 닫혔다. 증산량은 해가 떠 광합성을 시작하면서 빠르게 상승하여 숨구멍이 최대로 열렸을 때인 8시 30분경에 최대에 달하여 오후 4시 20분까지 비슷한 수준을 유지하였다($6.3 \sim 7.4\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$). 그 이후에는 해가 기울고 증기압차가 떨어지면서 증산량도 빠르게 떨어졌다. 사과 잎의 수분상태(엽수분포텐셜)는 증산량 변화와 거의 비슷한 양상을 보였다. 새벽녘에는 엽수분포텐셜이 $-0.10 \sim -1.2\text{MPa}$ 로 보이다가 증산량이 늘어나면서 빠르게 떨어져 오후 4시 30분까지 $-1.86 \sim -1.95\text{MPa}$ 범위를 유지하다 증산량이 줄어들면서 떨어지기 시작하여 해가 완전히 진 후에는 -0.35MPa 까지 회복되었다. 사과나무 잎의 팽압은 엽수분포텐셜과 같은 변화를 보여 새벽에는 2.03MPa 이었고 한낮 가장 낮을 때는 0.45MPa 이었다.

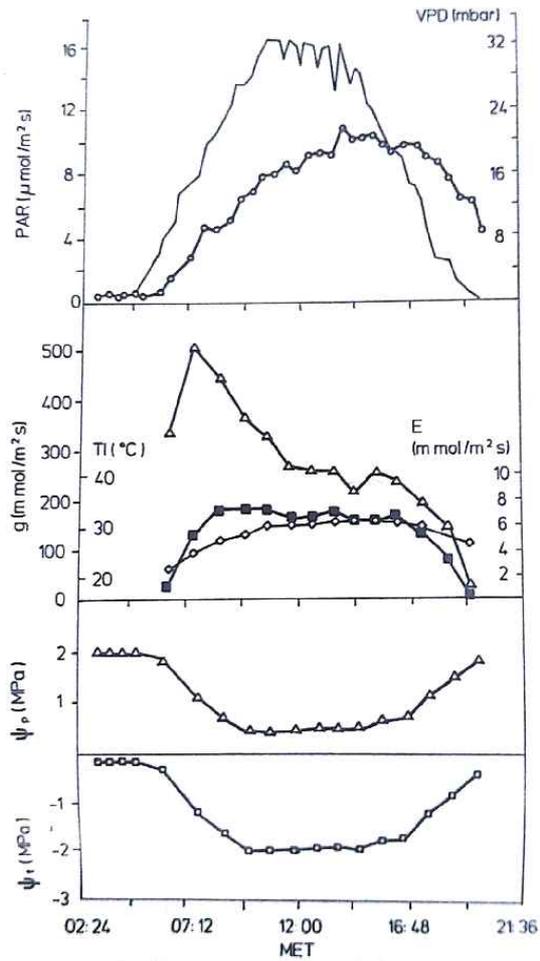


그림 2-6. 광합성유효방사량(PAR, -), 포화증기압차(VPD, ○-○)과 골든 딜리셔스 사과 나무의 기공컨덕턴스(g, △-△), 증산량(E, ■-■), 엽온(TI, ○-○), 엽수분포텐셜(ψ_t , △-△), 팽압포텐셜(ψ_p , □-□)의 일변화(Yoon & Richter, 1991)

M9 대목에 재식거리 3.5×1.5m에 세장방추형으로 키운 재식 7년차 '감홍' 사과나무에서 미기상에 따른 수분흡수의 일변화는 그림 2-7에서 보는 바와 같다. 그림 2-8에서의 증산량 변화양상과 유사하게 해가 뜨면서 수분의 흡수, 이동이 빠르게 증가하여 10시경에 최고수준에 이른 다음 오후 5시까지 0.4리터/시간 이상 유지되었다. 오후에 해가 기울면서 아침 상승 때 보다는 다소 완만하게 수분흡수 이동량이 떨어지는 양상을 보였다. 이는 사과 잎으로부터 증산량이 급증함에 따라 토양-뿌리-잎 간의 수분포텐셜에 기울기가 커지고 그 기울기만큼 수분흡수가 빠르게 증가한다. 스킨구멍의 열린 정도와 증기압차에 의해 증산량이 일정수준을 유지함에 따라 수분의 흡수, 이동도 안정된 상태로 유지되다가 해가 기울고 대기 중의 증기압차도 낮아짐에 따라 증산량이 줄어들고 그에 따라 잎에서의 수분상태가 회복되면서 아침보다는 완만하게 수분흡수량도 감소하는 것을 알 수 있다. 밤이 되어 증산이 거의 일어나지 않은 상태에서 계속된 수분흡수로 토양-뿌리-잎 간의 수분포텐셜 기울기가 적어지면서 수분흡수도 미미하게 된다.

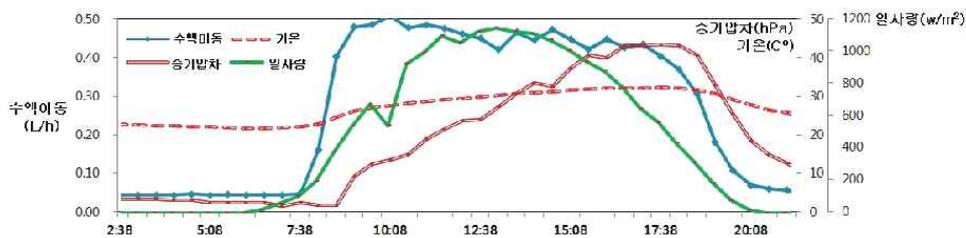


그림 2-7. 2012년 7월 28일 맑은 날의 미기상과 '감홍'/M.9 사과나무의 수액이동의 일 변화. 이날 하루 동안 빨아올린 물량은 9.38리터였음.

2) 사과나무 수분흡수의 계절적 변화

2013년 5월 말부터 10월말까지의 사과원 미기상과 토양수분포텐셜의 변화와 그에 따른 재식 8년차 '감홍' 사과나무의 수분흡수 변화는 그림 2-8에서와 같다. 조사 사과원이 있는 경북 군위지역은 그 해에 7월 중순부터 8월 상순까지 마른장마가 계속되어 강우량이 적었고 이 기간 동안 일사량이나 증기압차의 변화도 다른 해에 비해 적었다. 강우에 더하여 수시로 관수를 하였기 때문에 토양수분포텐셜이 -60kPa 이하로 유지되어 토양수분은 충분하였다. 토양수분이 적정 수준으로 유지되는 조건에서 사과나무의 수분흡수, 이동량 변화양상이 미기상 요소 중 일사량과 증기압차 변화와 비슷한 경향이였다.

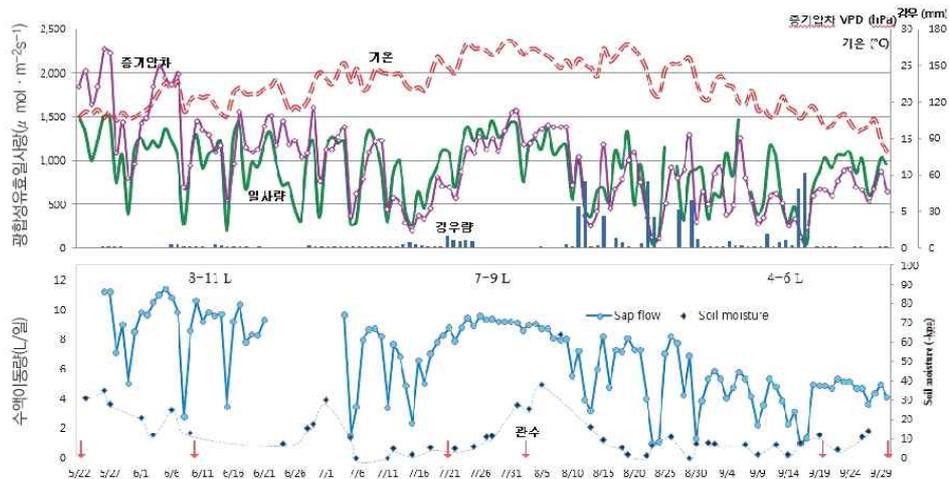


그림 2-8. 재식 8년차 M.9 대목 감홍 사과나무의 기상요소에 따른 수분흡수의 계절적 변화 (2013)

재식 7년차와 8년차 2년간의 수분흡수, 이동의 변화 양상을 보면(그림 2-9) 쾌청한 날의 경우 생육초기인 5, 6월에는 비교적 높아 8~11L/일 범위였고, 7월과 8월은 7~9L/일로 5~6월에 비해 다소 낮았다. 9월의 쾌청한 기간의 일평균 수액 이동량은 4~6L/일로 6~7월에 비해 현저히 떨어졌다. 수액이동의 계절적 변화는 일장기간과 증기압차의 변화와 밀접한 관계가 있어서 5월 중순부터 7월 중순까지는 낮의 길이가 길고 맑으며 기온이 높아 증기압차가 큰 날에는 수분흡수량이 많았다. 그러나 혹서기가 지나면서 기온이 점차 떨어지고 낮의 길이도 짧아지면서 수분흡수량이 꾸준히 떨어지는 양상으로 나타났다.

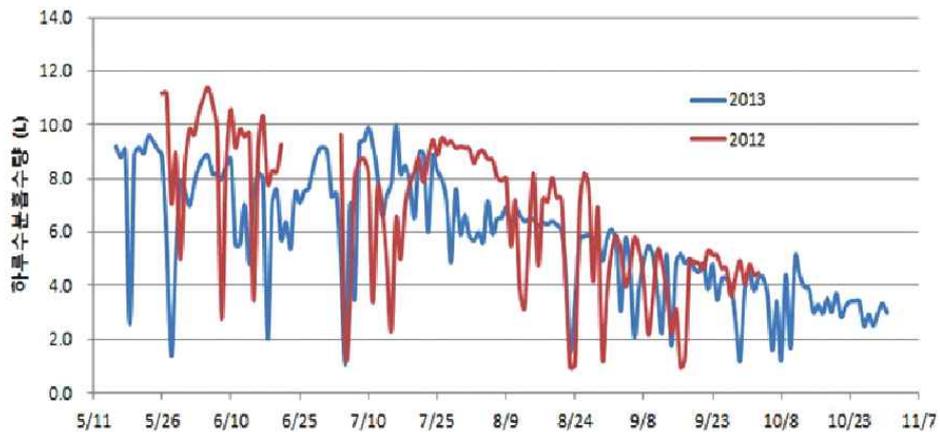


그림 2-9. 재식 7~8년차 M.9 대목 “감홍” 사과나무의 수분흡수량의 계절적 변화

수분부족이
사과나무에
미치는 영향

3

3. 수분부족이 사과나무에 미치는 영향

일정한 기간 비가 내리지 않아 토양수분이 충분하지 못한 상태를 한발이라 하고, 수분부족에 의해 식물의 생리작용에 이상이 초래되는 현상을 수분스트레스라고 한다.

토양 수분이 충분함에도 불구하고 한낮에 기상적인 원인으로 증산량이 흡수량을 초과하여 나타나는 수분부족현상은 오후에 증산량이 줄어들면 해소가 되지만 한발로 토양수분이 부족하게 되면 수분부족현상이 장기화된다. 대부분의 작물에서 한발 시 수분스트레스의 회피 기작으로 1) 세포내 삼투용질의 축적을 통해 삼투포텐셜을 떨어뜨려 팽압을 유지시킴으로서 세포의 비대는 물론 기본 대사작용이 지속적으로 일어나게 하는 삼투적응과, 2) 기공을 닫아 광합성작용을 제한시키면서도 증산작용을 줄여 일정수준의 수분을 유지시키는 두 가지가 있는 것으로 알려져 있다.

본인의 연구결과에 의하면 사과나무의 경우 개체발생학적 삼투포텐셜 변화를 보여 잎이 전개되어 성숙되는 7월 중순까지 수분스트레스와 무관하게 삼투포텐셜이 낮아졌으나 그 이후에는 심한 수준의 수분스트레스 하에서도 삼투적응은 나타나지 않았다. 반면 수분 부족에 대한 기공 반응은 매우 민감하여 토양수분이 충분하여도 공중습도가 낮고 기온이 높아 잎과 대기간의 증기압차가 커 증산이 지나치게 많을 경우 기공이 부분적으로 닫혀 증산을 억제하며 심한 스트레스하에서는 기공을 닫아 증산을 최소화함으로써 팽압을 유지시키는 것으로 나타났다. 이렇게 함으로서 광합성작용에서는 다소 불리하더라도 팽압을 유지시켜 그 외의 대사작용은 정상적으로 진행시켜 한발을 극복하는 것으로 보인다. 따라서 사과나무가 최대의 광합성을 지속하도록 하기 위해서는 충분한 관수가 지속적으로 이루어 져야 한다.

수분스트레스가 장기간 지속되면 사과나무에 다음과 같은 가시적 영향이 나타나게 된다.

영양생장

수분이 부족하게 되면 신초의 생장이 억제된다. 특히 생육 초기에 가뭄이 심하면 자람이 불량하게 되고 잎의 크기도 작아져 후에 충분한 수분이 공급되더라도 수관용적이 작아져 탄소동화 능력도 떨어지게 된다. 여름 이후에 가뭄이 있을 경우 줄기의 비대가 크게 둔화되고 뿌리 발달도 나빠져 양수분 흡수 능력이 저하된다.

착과



개화기 때 수분이 부족하면 꽃이 일찍 지고 꽃가루의 수명도 짧아져 수정율이 떨어진다. 사과는 꽃 하나에 다섯 개의 암술이 있는데 수정이 충분하게 되지 않으면 배의 발육이 지연 또는 정지되어 낙과가 많아진다. 반면 7~8월에 심하지 않은 한발은 새순의 2차 성장을 막아 끝눈에 탄수화물의 축적률을 높여 꽃눈의 분화와 발달을 좋게 하여 그 해에 개화량이 많고 결실도 잘되게 하는 효과가 있다.

과실비대



수분이 부족할 경우에 사과나무에서 가장 먼저 민감하게 영향을 받는 것이 과실 비대이다. 과실 비대에 한발로 인해 일단 비대가 지연되면 후에 관수가 충분히 이루어진다 하더라도 충분한 크기에 도달되기 어렵다. 충실한 과실 비대를 위해서는 후기까지 수분관리를 잘 해주는 것이 좋다.

수확 전 낙과



성숙기에 수분 스트레스가 심하면 성숙이 빨라지면서 수확 전 낙과가 많아진다.

수량 및 품질



수분이 부족하면 소과가 많아지면서 수량이 떨어지고 당도는 높아지나 과즙이 적어 전체적으로 품질도 나빠진다. 착과량이 많아질수록 사과나무의 수분요구량이 증가한다. 과실 비대기에 가뭄이 계속되다가 갑자기 비가 오거나 관수를 할 경우에 열과 발생이 많아져 품질이 나빠진다. 그러나 수확기까지 수분공급이 많으면 질소흡수가 많아져 과실비대는 좋으나 착색이 나빠지고 당도가 낮고 경도가 떨어지며 저장력도 낮아진다.

낙엽 및 동해



가뭄이 오래 지속되면 잎이 황화 되면서 일찍 떨어진다. 생육기 동안 수분스트레스를 받은 사과나무는 저장양분이 부족하고 수세가 떨어져 겨울에서 이른 봄 동안 동해를 받기 쉽다. 수분 부족상태에서 휴면에 들어간 사과나무가 겨울가뭄을 겪게 되면 탈수가 더욱 진전되어 동해와 건조피해를 함께 받기 쉽다.

나무의 영양상태



토양수분이 부족하면 뿌리의 활력이 떨어지고 무기영양의 체내흡수 및 이동도 극히 나빠진다. 특히 붕소나 석회와 같은 무기원소의 흡수가 잘 되지 않으면서 이와 관련된 생리장해가 유발되는 경우가 많다.

사과원 정밀관수 매뉴얼

Irrigation manual for high density
apple orchards

사과나무
생육 시기별
수분관리

4

4. 사과나무 생육 시기별 수분관리

사과나무의 수분 요구는 시기에 따라 다르므로 기상환경의 변화와 함께 생육기간 동안 각 식물기관 간의 수분에 대한 반응과 경합관계를 고려하여 관수를 하면 해거리 없이 품질 좋은 과실을 생산할 수 있고 수세도 안정시킬 수 있다. 사과나무의 생육시기별 수분관리 요령을 정리하면 아래와 같다.



개화 전부터 6월 상순까지 : 이 시기에는 수분 공급이 충분하여야 한다. 토양 유효수분의 80% 수준의 수분상태(텐쇼메터로는 20~30kPa)는 유지되어 수분 스트레스를 받지 않아야 개화 및 착과가 잘 되고 잎의 전개, 발달이 촉진된다. 개화기나 개화직후는 아직 엽면적이 적어 수분 요구가 적지만 이 시기에 수분이 부족하지 않도록 해야 한다. 이 시기에 수분스트레스를 받게 되면 결실율이 떨어질 뿐 아니라 세포분열이 충분하게 되지 않아 소과로 될 여지가 많아진다. 양분의 흡수도 적어져 잎의 발달이 늦어지거나 일찍 정지되고 새순의 길이도 짧아져 엽면적 확보에도 지장이 초래된다.



6월 중순부터 8월 상순까지 : 생육초기와는 달리 과실 비대에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 수분이 다소 부족한 것이 바람직하다. 새순이 제 때에 맺게 하여 지나치게 자라는 것을 막음으로써 꽃눈분화와 착과된 과실의 비대에 좋은 영향

을 미치게 할 수 있기 때문이다. 이때 토양수분은 유효수분의 30~60% 수준의 수분상태(텐쇼미터로 45~60kPa)를 유지시키는 것이 바람직하다. 토양수분이 지나치면 새순의 생장 정지가 늦어지고 자람도 왕성해져서 과실에게는 양분 공급이 오히려 나빠지게 된다.



2차 생장이 거의 없는 8월 중순 이후 : 다시 토양수분이 유효수분의 65~80% 수준(텐쇼미터로 30~40kPa)까지 높여주는 것이 과실의 비대에 유리할 뿐 아니라 분화된 눈의 발달 및 가지의 목질화가 잘 이루어진다. 이 시기에 수분이 부족하게 되면 과실 크기가 작아진다. 그렇다고 너무 많은 관수를 하게 되면 경도가 떨어지고 착색이 나빠지고 저장력도 약해져 과실의 품질이 떨어지게 된다. 과실을 수확한 후라도 기름이 있을 경우는 관수를 해주어야 조기낙엽을 방지할 수 있는데 나무가 지속적으로 영양흡수를 할 수 있고 광합성 작용도 오래 지속되기 때문이다.

사과원 정밀관수 매뉴얼

Irrigation manual for high density
apple orchards

관수 시기와 관수량의 결정

- 5. 1. 텐시오미터를 이용한 토양수분 상태 측정
- 5. 2. 사과원 수분수지에 근거한 관수 모델 개발과 이용

5

5. 관수 시기와 관수량의 결정

사과나무가 수분스트레스를 받는지를 육안으로 관찰할 수 없기 때문에 언제 관수를 시작하고 얼마를 며칠간의 주기로 관수를 할 것인가를 결정하는 것은 매우 어렵다. 가장 확실한 방법은 식물체의 수분상태를 직접 측정하여 부족여부를 확인하고 그 만큼을 관수하면 가장 좋으나 측정 장비가 비싸고 사용이 복잡하며 그 결과의 해석도 쉽지 않아 농업인들이 활용하기는 어렵다. 농가 수준에서 실용적으로 적용할 수 있는 방법은 직접 토양수분상태를 측정하는 방법과 사과주산지의 기상자료를 이용하여 사과원의 증발산량을 산출하고 여기에 같은 기간 강우량과 관수량을 제한 수분수지(水分收支, water balance)를 산출하여 관수기준으로 삼는 방법이 있다.

두 방법 모두 장단점이 있는데 토양수분상태를 측정하여 관수하는 방법은 사과나무가 수분을 공급받는 토양의 수분상태를 정확하게 측정할 수 있는 장점은 있으나 개별 농가가 각각 측정 장치를 갖추고 해당 필지의 수분상태를 측정하여야 하고, 측정결과도 측정지점에 제한되기 때문에 같은 필지라도 토양조건과 지형에 따라 편차가 클 경우에 신뢰도에 한계가 있고 한 필지에서 얻은 결과를 다른 필지에 적용하기에는 적합하지 않은 단점이 있다.

기상자료에 근거한 사과원의 수분수지를 산출하여 관수기준으로 삼는 방법은 개별농가가 독자적인 장비를 갖추고 측정하는 수고를 들이지 않고도 전문가의 추천 관수량을 따르기만 하면 되는 장점이 있다. 그러나 대목, 재식밀도, 결실량, 토양특성 등 여러 가지 재배적 요소를 고려해야 하고 관수량 산출이 정밀하지 못한 단점이 있다.

5. 1. 텐시오미터를 이용한 토양수분상태 측정

텐시오미터는 값싸고 단순하면서도 간단하게 토양의 매트릭포텐셜 즉, 토양수분포텐셜을 비교적 정확하게 측정할 수 있는 장치로 정밀한 수분관리가 필요한 작물재배에서 실용적으로 많이 이용되고 있다.

1) 텐시오미터의 구조와 작용원리

당기는 힘을 의미하는 장력(tension)과 계측기를 뜻하는 미-터(meter)의 합성어인 텐시오미터(tensiometer)는 토양의 수분흡착력을 측정하는 장치이다. 토양이 수분을 강하게 흡착할수록 그만큼 사과나무가 토양으로부터 수분을 뺏어오기 힘들기 때문에 토양의 수분흡착력 정도를 측정하여 관수기준으로 삼을 수 있다. 토양이 수분을 흡착하는 힘을 매트릭포텐셜(matric potential)이라고 하는데 토양의 수분은 삼투포텐셜이나 압력포텐셜이 존재하지 않기 때문에 토양의 매트릭포텐셜은 곧 토양수분포텐셜이 된다.

토양수분장력을 측정하는 텐시오미터의 구조와 원리는 매우 간단하다. 그림 5-1에서 보는 것처럼 투명한 플라스틱 관 끝에 다공질의 세라믹 선단이 끼워져 있고 위쪽으로는 압력계가 연결되어 있다. 투명관에 끓였다 식힌 깨끗한 물을 채우고 고무마개로 막는다. 이를 근권부 토양에 꽂으면 토양의 수분흡착력 정도에 따라 다공질의 선단을 통해 관 속의 물이 토양으로 빠져 나오면 밀폐된 투명한 관 내부에는 그만큼의 부압이 생기고 압력계의 바늘이 움직여 그 값을 읽을 수 있게 된다.

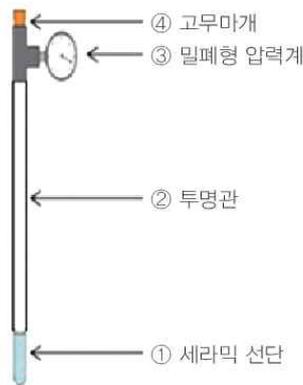


그림 5-1. 텐시오미터의 구조

시판되는 텐시오미터는 수입제품으로 가격이 비쌀 뿐 아니라 매번 측정값을 기록해야 하는 번거로움이 있다. 따라서 본 연구팀은 저렴하면서도 장기간 지속적으로 토양수분장력(토양수분포텐셜)을 기록할 수 있는 자기기록 텐시오미터를 개발하였다. 아두이노, 전자식압력센서, 플라스틱 투명관, 세라믹선단 등을 구입하여 조립하기 때문에 자기기록의 기능을 가지면서도 가격은 상대적으로 저렴하여 농가들이 큰 부담 없이 설치할 수 있다. 또한 휴대폰으로 축적된 데이터를 손쉽게 다운받아 직접 그 결과를 해석하거나 전문가와 통신으로 주고받으면서 도움을 받을 수 있도록 하였다.

제작한 자기기록 텐시오미터로 토양수분 측정에 들어가기 전에 운영에 필요한 간단한 코딩을 입력해야 한다. Arduino 홈페이지(<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>)에 접속하여 Arduino IDE 소프트웨어 Ver. 1.8.7을 다운받아 컴퓨터에 설치한 다음 프로그램을 실행한다. 컴퓨터와 Arduino Uno board를 연결하여 코딩된 프로그램을 입력시키면 되는데 코딩 프로그램은 측정간격마다 순간적으로 10번의 측정을 한 뒤 평균값을 압력단위(hPa)로 변환하여 기록된다.

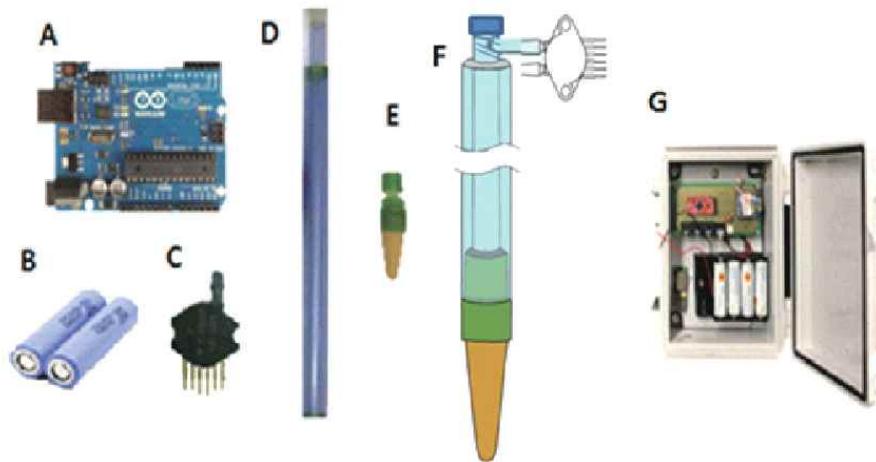


사진 5-1. 자체제작 자기기록 텐시오미터 (A: 전자식 프로그래밍 칩(아두이노 우노), B: 리튬 배터리 C: 압력센서(MXP5100DP), D: 투명 PVC파이프, E: 다공질 세라믹 선단, F: 전자식 압력센서를 장착한 텐시오미터, G: 콘트롤박스 기판에 아두이노와 전원을 조합한 자기기록장치)

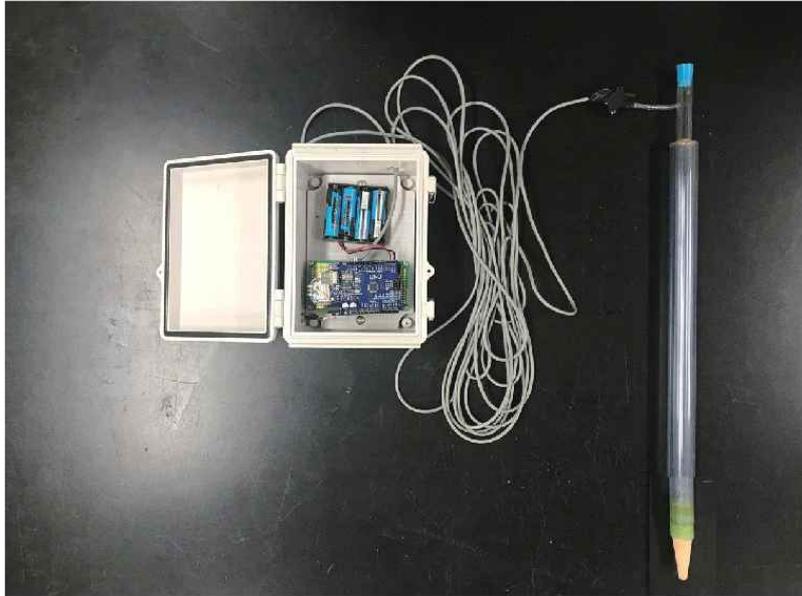


사진 5-2. 조립이 완성된 자동기록 텐시오미터 모습

2) 자기기록 텐시오미터의 설치

토양조건이 균일하여 전체 사과원을 대표하는 지점을 선정하고 지주에 컨트롤 박스를 눈높이로 고정한다. 3~5주 간격을 대표성 있는 건전한 사과나무를 선정하고 원줄기와 30cm, 점적관수의 경우 점적구와 20~30cm 지점에 텐시오미터 투명관 직경보다 약간 더 굵은 쇠파이프를 망치질하여 약 30cm 깊이로 구멍을 낸다. 여기에 고운 흙으로 만든 진흙을 조금채운 다음 부드럽게 텐시오미터 관을 밀어 넣어 세라믹 선단이 25cm 깊이에 이르게 한다. 표토 흙으로 빈틈을 채우고 보다 물을 주어 텐시오미터가 빈틈없이 토양과 완전하게 밀착하게 한다. 투명관에 꿰었

다 식힌 깨끗한 물을 채우고 압력계가 달린 실리콘 마개로 막는다. 자기기록 텐시오미터의 경우 아두이노의 LED가 켜졌는지를 확인하고 컨트롤박스를 채운다음 텐시오미터가 동물이나 작업 중에 손상되지 않도록 안전망을 두른다.



사진 5-3. 자기기록 텐시오미터의 설치사례. 지주에 컨트롤박스를 고정하고 대표적인 나무를 골라 원줄기와 30cm, 점적기와 20~30cm 지점에 쇠파이프로 유도 구멍을 낸 다음 텐시오미터 선단이 25~30cm 깊이로 위치하게 꽂고 표토로 틈새를 채워 빈틈이 없게 하고 투명관에 깨끗한 물을 채우고 압력계가 부착된 실리콘 마개를 끼워 막는다. 컨트롤박스의 LED가 켜지면 작동이 되는 것이므로 컨트롤 박스를 채우고 텐시오미터가 작업 시 손상되는 것을 막기 위해 보호망을 세운다.

토양수분포텐셜이 일정수준을 넘어서면 녹색 LED가 점멸하도록 임계치를 설정할 수 있다. 설정한 임계값에 도달하거나 초과하게 되면 Arduino Uno의 13핀이 점멸하기 시작하는데 관수나 강우를 통해 토양수분포텐셜이 설정한 임계값 아래로 떨어지면 점멸이 멈춘다. 임계값을 변경하는 방법은 명령어 x를 입력한 다음 b(set blink threshold)를 입력하고 희망하는 임계값을 0~600hPa 범위에서 10단위까지 값을 입력하면 된다. 예를 들면 400hPa을 임계치로 입력하고자 할 경우 40을 입력하면 400hPa로 전환되고 토양수분포텐셜이 400hPa을 넘어서면 녹색 LED가 점멸한다.(사진 5-4)



사진 5-4. 자기기록 텐시오미터의 마이크로컨트롤러 보드(Arduino Uno)에는 붉은 색의 전원 LED와 녹색의 임계값 표시 LED가 있다.

3) 텐시오미터 측정값의 획득과 해석

수입 텐시오미터의 경우 설치 3-4일 후부터 계기판에 나타나는 값을 읽고 적정범위 여부를 판단하면 된다.

자기기록 텐시오미터의 경우 스마트폰(애플사의 iPhone은 제외)에 Serial USB Terminal이라는 어플리케이션을 설치 한 후 연결 변환젠더(5핀 단자)로 아두이노와 연결하고 어플리케이션을 실행하면 실시간은 물론 저장된 토양수분장력데이터를 확인하거나 다운로드 받을 수 있다. 어플리케이션을 실행 후 왼쪽의 상단 부분의 버튼을 클릭하고 Setting 부분 값을 표 5-1과 같이 설정하면 어플리케이션과 Arduino Uno가 정상적으로 연결된다. 명령어 x를 입력한 뒤 s를 입력하면 실시간의 토양 수분 포텐셜 수치를 볼 수 있고, 명령어 x를 입력하고 t를 입력하면 세팅을 시작한 시간부터 현재까지의 측정 데이터 전체를 볼 수 있다(사진 5-5). 데이터를 전체선택 한 뒤 스마트폰의 Excel(Microsoft Corporation, USA)의 어플리케이션을 실행하여 데이터를 붙여넣기 한 뒤 드래그를 하여 그래프를 그리면 손쉽게 지난 기간 동안의 토양 수분데이터와 변화를 가시적으로 확인 할 수 있다.(사진 5-6)

| Serial | Receive | Send |
|------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Baud rate : 9600 | Newline : none | Newline : none |
| Data bits : 8 | Display mode : text | Edit mode : text |
| Parity : none | Font size : 14(변경기능) | Macrobuttons : 1row |
| Stop bits : 1 | Font style : normal | Local echo : off |
| | Show connection : message(on) | Clear input on sensor : on |
| | Show time stamps : on | |
| | Stamp format : HH,mm,ss,SSS | |
| | Buffer size : : 10kb | |

표 5-1. Serial USB Terminal 기본 셋팅



5. 명령어 별 사용방법

1. 아래 명령어를 입력하는 부분에 X를 입력하면 명령커맨드가 나타난다.
2. 1번의 작업을 한 뒤 S를 입력하면 실시간 토양 수분 데이터를 보인다.
3. 1번의 작업을 한 뒤 T를 입력하면 누적 토양 수분 데이터를 보인다.
4. 1번의 작업을 한 뒤 E를 입력하여 Y를 입력하면 누적된 데이터를 제거한다.
5. 1번의 작업을 한 뒤 S를 입력하면 실시간 토양 수분 데이터를 보인다.

사진 5-5. 스마트폰에 Serial USB Terminal 어플을 설치 후 아두이노와 연결하면 저장 데이터와 실시간 데이터를 확인, 다운 받을 수 있다.

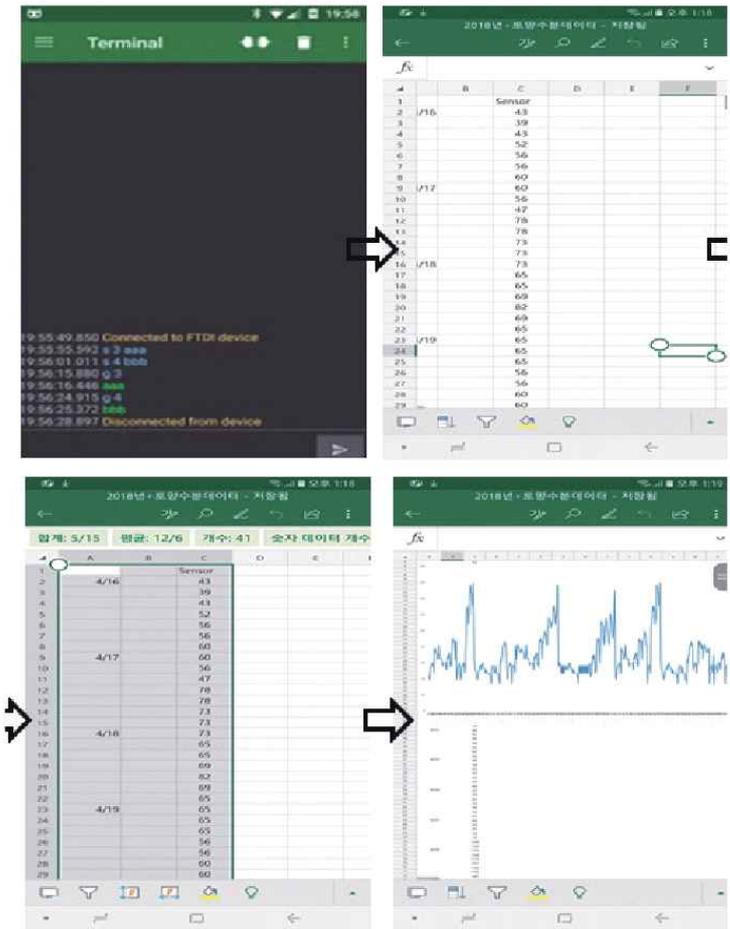
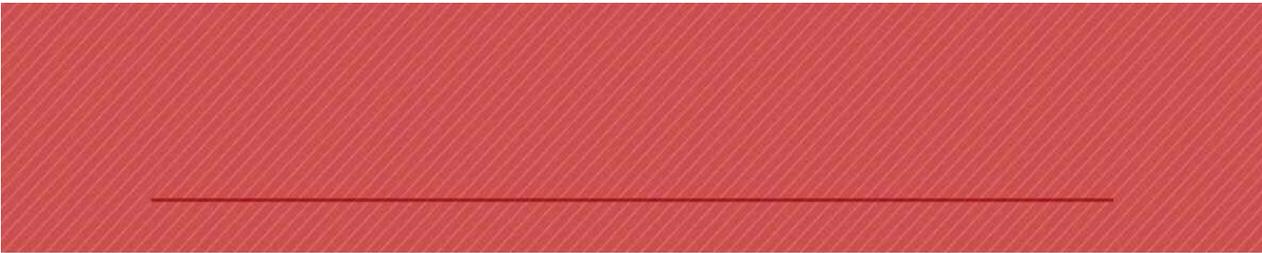


사진 5-6. Serial USB Terminal으로 내려 받은 데이터를 Excel로 옮겨오면 측정결과를 그래프로 읽을 수 있다.

스마트폰을 사용하지 않는 과원주의 경우 노트북으로 데이터를 손쉽게 확인, 다운 받을 수 있다. Terminal(사진 5-5.)이라는 제공된 프로그램을 설치 후 사진 5-7와 같은 방식으로 실행하면 된다.



사진 5-7. 노트북과 연결한 아두이노

시기별 적정 토양수분장력의 범위는 아래 그림 5-2에서 보는 바와 같이 토성에 따라 다소의 차이는 있으나 10~45kPa 범위인 것으로 알려져 있다(※10hPa = 1kPa). 밭아에서 새순이 왕성하게 자라는 시기는 25kPa 정도에서 관수를 시작하고 새순의 자람이 멎어야 하는 6월부터는 점차 관수시점을 30kPa로 높이면서 7월부터 8월 중순까지는 40kPa에서 관수를 시작하는 것이 지나친 신초생장을 막아 이듬해를 위한 꽃눈분화에 유리하다. 8월 중순 이후 2차 생장의 위험이 없어지면 다시 시점을 5월과 같은 수준으로 낮추어 충분하게 토양수분을 유지하게 하면 과실비대에 유리하다.

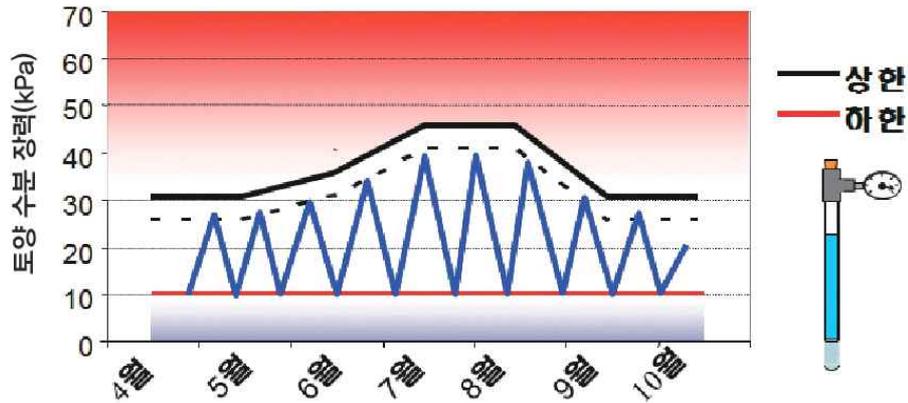


그림 5-2. 밀식 사과원에서의 생육시기별 적정 토양수분장력 범위

점적관수 시간은 토성에 따라 다소 차이가 있는데 사질이 많아 배수가 잘 되는 토양일 경우 매일 1시간 내외로 관수를 하고, 점질이 많은 토양의 경우 2시간 단위로 2일 간격으로 관수를 하고 토양수분의 변화를 보면서 관수기간과 간격을 조절해 나가면 된다.

4) 텐시오미터 사용상의 주의점

- 충격을 가하거나 떨어뜨리는 등 훼손되지 않도록 주의한다.
- 설치 시 무리하게 힘을 가하지 말아야 한다.
- 기온이 영하로 떨어지면 동파의 위험이 있으므로 겨울 전에 반드시 수거하여 실내에 보관한 후 봄에 다시 설치한다.
- 세라믹 선단에 기름(그리스)과 같은 방수성 물질이 묻지 않도록 한다.

- 아두이노에 습기가 차거나 물기가 묻지 않도록 한다.
- 전원 작동 LED가 켜지지 않는다면 즉시 새로운 배터리로 교체해준다.
- 텐시오미터 위의 전자압력센서가 망가지지 않도록 주의한다.
- 시간이 지남에 따라 투명관의 수분이 줄어드는데 공기층이 5~6cm 이상 길어지면 마개를 열고 물(끓이고 식힌 깨끗한 물)을 다시 채워준다.

5. 2. 사과원 수분수지에 근거한 관수모델 개발과 이용

앞에서 언급한 바와 같이 사과나무의 수분상태는 식물체의 저장수분량은 변화폭이 아주 적기 때문에 토양으로부터 흡수하는 수분 총량과 주로 앞에서 증산을 통해 일어나는 손실량 간의 차이에 의해 결정된다. 토양수분은 강수와 관수에 의해 결정되기 때문에 사과원으로 강우 또는 관수량에서 지표면과 사과나무 수체로부터 증발산량을 빼면 사과원의 수분수지(water balance)를 파악할 수 있고 따라서 관수여부를 판단하고 관수량을 추정할 수 있다. FAO/Penman-Monteith식(FAO-56)을 이용하면 기상데이터로부터 표준 증발산 잠재력(ET_0)을 산출하고 여기에 작물계수(K_c)를 곱하면 해당 작물의 잠재 증발산량이 된다. 사과원이라면 기상데이터를 이용하여 아래 식으로 표준증발산량을 산출하고 여기에 사과 작물계수를 곱하여 얻은 값이 사과원의 해당시점 잠재증발산량이다. 잠재증발산량에서 강우에 의해 토양으로 공급되는 양을 뺀 것이 사과원의 수분수지이고 그 값이 -라면 안정적인 수분수지를 위해 그만큼 관수를 통해 보충해 주어야 한다.

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

ET₀ : 표준증발산량(mm)

R_n : 작물표면에서의 순 일사량 (MJ m⁻²/일)

G : 토양의 열유동밀도 (MJ m⁻²/일)

T : 2m 높이에서의 일평균 기온 (°C)

u₂ : 2m 높이에서의 풍속 (m s⁻¹)

e_s : 포화증기압 (kPa)

e_a : 현재 증기압 (kPa)

e_s - e_a : 포화증기압차 (kPa)

Δ : 증기압곡선기울기 (kPa °C⁻¹)

γ : 건습구 상수 (kPa °C⁻¹)

특정작물의 추정증발산량 = ET₀ × Kc

미국, 독일, 이탈리아 등 선진국의 사과과주산지에서는 국지 기상관측소에서 획득한 기상데이터로부터 잠재증발산량을 산출하고 여기에 재식밀도 및 수형 등에 따른 사과나무의 작물계수를 곱하는 방법으로 사과원증발산산출모델을 개발하여 관수의 기준으로 삼고 있다.

FAO-56에서 Allen 등(1998)이 제시한 관행 사과작물계수는 청경재배 시 생육초기 0.6, 생육성기 0.95, 낙엽 전의 생육 후기는 0.75이고 열간 초생의 경우 각각 0.8, 1.15, 0.85이다. 미국 코넬대에서 연구한 결과에 따르면 여름철 비가 많고 습도가 높은 뉴욕의 기후조건에서 키 큰방추형의 사과원에서는 수분요구량이 과다하게 산출되는 문제점을 발견하고 수액이동측정장치와 수관전체의 가스교환을 측정하는 방법으로 사과나무의 증산량을 실측하여 얻은 데이터



에 근거한 'Cornell Apple ET Model' 을 개발하였다. 이 프로그램을 역산하여 사과작물계수를 산출해 본 바 생육기는 0.95, 수확기는 0.75였고 호주의 "사과, 서양배 재배자를 위한 관수 지침"에서도 발아에서 개화기까지는 0.45, 신초생장과 과일비대기는 0.95, 수확기는 0.7인 점을 참고하여 본 모델에서는 미국에서와 같이 생육초기 0.6, 신초생장 및 과일비대기는 0.95, 낙엽전 수확기에는 0.75를 작물계수로 대입하였다.

한정된 연구기간과 인력 때문에 한국형 사과원 관수 초기모델 적용지역은 경북 사과주산지 로 제한하여 개발하였다. 경북대학교 사과연구소의 사과원관수모델 밴드에 접속하여 사과원 소재지, 재식거리와 함께 날짜를 삽입하면 사과원에 인접한 시군기상관측소의 실측 기상데이터로부터 최근 1주 일간의 사과원 수분수지를 계산해 준다. 표시 값이 +이면 증발산량에 비해 강우가 많아 과수할 필요가 없고 -라면 그만큼 관수가 필요하다는 의미이다. 만약 해당 기간에 관수를 하였다면 관수량을 입력하고 하지 않았다면 0월 넣으면 추천 관수량을 나타내 준다.

그림 5-3은 경북대 사과연구소에 접속하여 사과원관수모델을 열었을 때의 모습으로 다음과 같은 순서로 해당사항을 입력하면 된다.

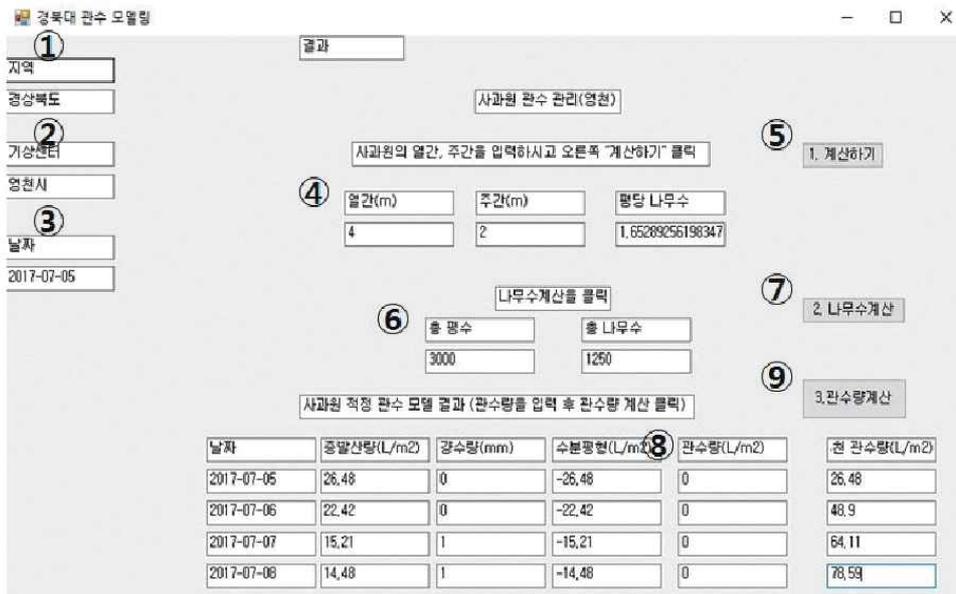


그림 5-3. 관수모델을 열었을 때의 화면모습

- ① 에서 경상북도 내에 과수원을 운영하고 있는 지역을 선택
- ② 에서 가장 가까운 지역의 기상센터를 선택
- ③ 에서 현재 날짜 입력
- ④ 에서 열간(m)과 주간(m)의 재식거리를 입력하고
- ⑤ 를 클릭
- ⑥ 에 과수원의 면적을 입력한 후 ⑦을 클릭
- ⑦ 에서 과원주가 관수한 량을 입력한 후
- ⑧ 를 클릭하게 되면 m2당 추천관수량이 제시된다.

사과원 정밀관수 매뉴얼

Irrigation manual for high density
apple orchards

관수 방법

- 6. 1. 미니스프링클러 관수
- 6. 2. 점적관수

6

6. 관수 방법

과수원에 관수하는 방법으로는 과수원 전면을 관수하는 방법과 부분을 관수하는 방법이 있다. 전면을 관수하는 방법으로는 스프링클러 관수법이 있는데 설치비용이 많이 들뿐 아니라 소요 물량이 많고 관수기간 동안과 관수 후 일정기간 작업이 불가능한 등의 문제점이 있어 우리나라에서는 거의 이용되지 않고 있다. 우리나라에서는 설치비가 적게 들고 소요물량도 적은 부분관수방법으로 미세살수관수(미니스프링클러 관수)와 점적관수 방법이 주로 이용되고 있으므로 이 두 방법에 대해 구체적으로 소개하고자 한다.



사진 6-1. 미니스프링클러와 점적관수 방법

6. 1. 미니스프링클러 관수

수관 하부 일정 높이에 미니스프링클러를 설치하여 살수직경이 2~3m정도 되게 수관하부에 원형으로 물을 뿌리면서 관수하는 방법이다. 우리나라에서는 시간당 70리터 살수노즐을 재식 열을 따라 2m 간격으로 설치하는 경우가 대부분인데 열간거리 3.5m라면 시간당 약 100톤/

ha, 열간거리 4m라면 약 87톤의 물량이 소요되어 시간당 소요 물량은 점적관수에 비해 현저히 많다.

미니스프링클러의 노즐당 살수량은 색깔에 따라 다른데 파랑 40L/시간, 분홍 70L/시간, 노랑 100L/시간 등이 있다. 시간 당 살수량이 많을수록 관수시간은 짧으나 수원이 풍부해야 하는데 우리나라는 수원이 풍부한가, 그렇지 않은가에 따라 40 또는 70L노즐을 주로 사용한다. 살수직경이 2~3m라면 살수 노즐 한 개가 차지하는 살수면적이 3~7㎡이므로 점적에 비해 넓으므로 관수주기는 시간과 토양에 따라 다르기는 하나 3~5일 주기로 관수하는 것이 바람직하다.

1주일간 사과원의 주당 잠재증발산량에 따른 시간당 살수용량과 노즐과 살수반경에 따른 잠재증발산에 따른 관수량 산출 사례

- 재식거리 4×2m의 성목사과원으로 1,250주/ha 재식의 경우

증발산량이 1주일간 잠재증발산량이 15mm라고 가정하면 $15\text{mm} \times 10,000\text{m}^2 = 150,000\text{L}$ 의 물량에 해당된다. 이를 주당 소요 물량으로 계산하면 $150,000\text{L}/1,250\text{주} = 120\text{L}/\text{주}$ 의 물이 증발산된다는 얘기가 된다.

시간당 40L의 살수노즐을 4~2m 간격으로 설치하여 관수하는 경우 미니스프링클러의 관수 효율이 약 70%로 가정했을 때 $(120\text{L}/40\text{L}) \times (100/70) = 4\text{시간 } 20\text{분}$ 이 된다. 3일 간격으로 관수하는 경우 1시간 50분, 4일 간격으로 관수하면 2시간 30분 관수하면 된다.

- 재식거리 3.5×1.5m의 성목사과원으로 1,900주/ha 재식의 경우

잠재증발산량을 주당 소요물량으로 계산하면 $150,000/1,900\text{주} = 79\text{L}/\text{주}$ 가 된다. 시간당 40L의 물이 살수되는 노즐을 3.5×1.5m간격으로 설치하여 관수하는 경우 $(79\text{L}/40\text{L}) \times$

$(100/70) = 2$ 시간 50분 관수하면 되는데 3일 간격으로 관수하는 경우 1시간 10분, 4일 간격으로 관수하는 경우 1시간 40분 관수하면 된다.

- 재식거리 3.5×1.0m의 성목사과원으로 2,850주/ha 재식의 경우

잠재증발산량을 주당 소요물량으로 계산하면 $150,000/2850\text{주} = 53\text{L}/\text{주}$ 가 된다. 시간당 40L의 물이 살수되는 노즐을 3.5×2m간격으로 설치하여 관수하는 경우 $(53\text{L} \times 2)/40\text{L} \times (100/70) = 3$ 시간 50분이 된다. 3일 간격으로 관수하는 경우 1시간 40분, 4일 간격으로 관수하는 경우 2시간 10분 관수하면 된다.

6. 2. 점적관수

관수의 뿌리가 분포하는 부분에 지속적으로 관수하는 방법으로 적은 양의 물로 뿌리 부분의 토양을 최적수분상태로 유지할 수 있어 가장 효과적으로 관수할 수 있는 방법이다. 관수 시에도 수관 내 습도가 올라가지 않아 병 발생이 적은 장점이 있고 점적부위 외에는 지표면이 말라 있으므로 잡초발생이 적고 관수 중이나 직후에도 농기계 이용이 가능하다. 또한 비료를 관수하는 물에 녹여 시비할 수 있으므로 시비의 노동력을 경감하면서 비료의 효율을 높일 수도 있다. 단점으로는 여과장치가 필수이긴 하나 불순물이 많은 물의 경우 노즐이 막히는 경우가 생기고 점적 호스를 지면에 깔거나 40~50cm 높이에 설치하여야 하는데 작업에 불편한 경우가 있다. 모래땅에서는 수분의 수평이동이 적어 관수효과가 떨어질 염려가 있으나 2열로 점적라인을 깔면 크게 문제되지 않는다.

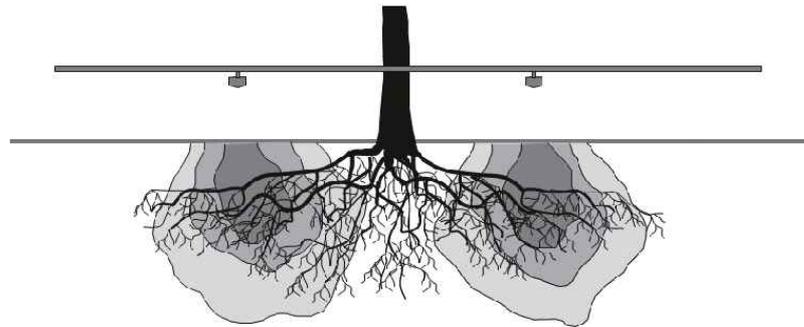


그림 6-1. M9 대목 사과나무의 뿌리분포와 주당 점적구를 두 개 설치했을 때의 물의 분포모습

점적관수는 넓은 살수면적이 위에서부터 젖어 들어가는 살수관수와는 달리 점적구에서 지표면으로 떨어진 수분이 토양에 흡수되어 토성에 따라 계란 또는 양파모양으로 수분이 확산되므로 지표면을 통한 증발량은 현저히 적다고 할 수 있다. 관수량은 사과원 전체의 증발산량보다 한 그루당 수분흡수량을 기준으로 관수하는 것이 옳다고 판단된다.

재식거리 $3.5 \times 1.5\text{m}$ 의 7~8년차 '감홍' 사과나무의 하루 수분흡수량이 5~6월에는 8~11L, 7~8월은 7~9L, 9~10월은 4~6L였으므로 점적관수효율을 약 90%로 본다면 주당 관수량이 5~6월에는 9~12L, 7~8월은 8~10L, 9~10월은 4~7L정도가 소요된다. 2L 점적구가 0.5m 간격인 점적라인 1열을 설치하였다면 주당 3개의 점적구를 갖게 되므로 5~6월은 하루 최대 1시간 30분 ~ 2시간, 7~8월은 하루 최대 1시간 20분 ~ 1시간 40분, 9~10월은 이틀에 한번 하루 최대 1시간 20분 ~ 2시간 20분간의 관수가 적당한 것으로 추정된다. 흐린 날은 수분흡수량이 현저히 떨어지므로 날씨에 따라서 상응하게 관수시간을 줄일 필요가 있다.

2L 점적구가 0.3m 간격인 점적라인 1열을 설치하였다면 주당 5개의 점적구를 갖게 되므로

5월부터 8월까지 하루 최대 50분~1시간 20분, 9-10월은 이틀에 50분 ~ 1시간 20분씩 관수하는 것이 적당할 것으로 추정된다.

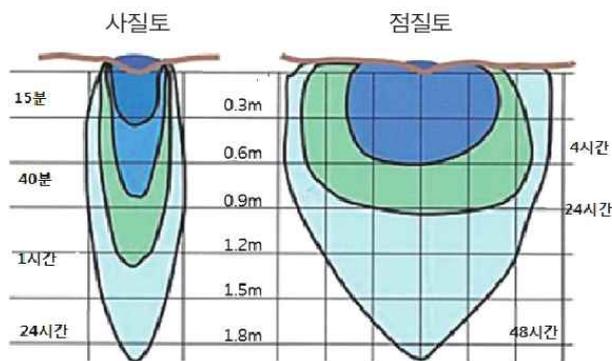


그림 6-2. 점적관수 시 토성에 따른 관수시간별 토양 내 물의 분포

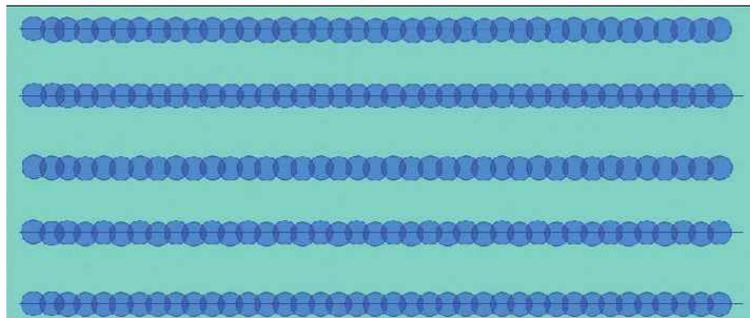


그림 6-3. 토성에 따라 점적구 바로 아래에 토성에 따라 직경 60~80cm의 땅이 젖기 때문에 점적구 30cm 또는 50cm 간격의 점적호스를 설치한다면 수관 직하에 최소 폭 60cm의 젖은 띠가 형성되어 사과나무가 수분을 흡수하는데 문제가 되지 않는다. 대부분의 근권부 토양이 젖어 있도록 오래 관수하는 것이 아니라 자주하는 것이 핵심이다.

관수시설을 이용한 재해예방

- 7. 1. 수관상부 미세살수를 통한 서리 피해 방지
- 7. 2. 고온기 수관상부 미세살수를 통한 일소방지

7

7. 관수시설을 이용한 재해예방

7. 1. 수관상부 미세살수를 통한 서리피해 방지

살수를 통한 서리피해 예방은 물만 충분하게 확보된다면 효과가 확실하여 세계적으로 많이 적용하는 서리방지대책이다. 물이 어는 과정에서 리터당 335J의 응결열이 방출되는데 이 엄청난 열이 민감한 사과꽃이 서리피해를 입는 것을 막아준다(사진 7-1). 예를 들면 시간당 평균 3.5mm의 물량을 10시간 동안 야간 살수했을 때 뿌려진 물이 모두 언다면 방출되는 열량은 ha당 117백만KJ이나 된다. 이는 11kg들이 프로판 통 230개를 연소시켰을 때 나오는 열량과 같다. 전기로 환산하면 약 32,500kw로 4인 가족이 10개월간 사용하는 전기량과 같다.

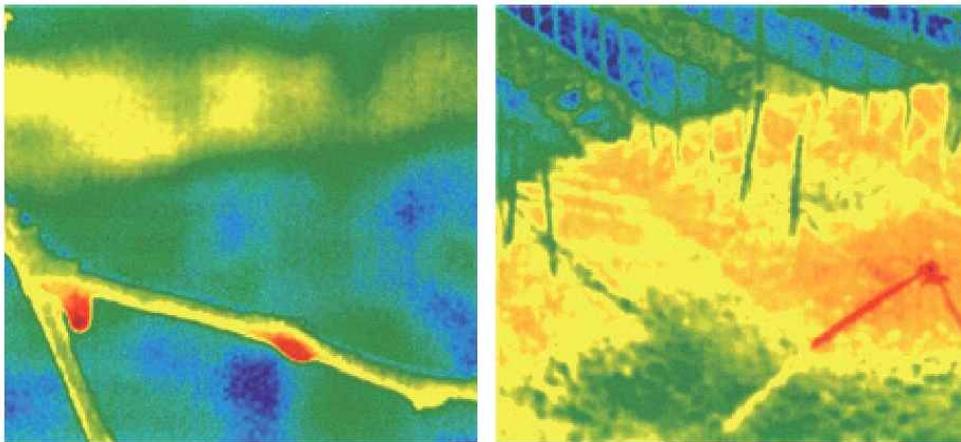


사진 7-1. 사과나무 가지에 뿌린 물이 얼거나 고드름이 만들어지면서 이 부분의 온도가 높아진 모습(왼쪽). 사과원에 스프링클러를 작동시켰을 때 물이 뿌려지는 부분의 온도가 높아진 모습(오른쪽). 푸른색에서 붉은 색으로 갈수록 온도가 높다.

중요한 것은 식물체 온도가 한계 온도 이하로 떨어지기 전에 살수가 시작되어야 하는데 건구가 아니라면 습구온도 기준으로 0℃이하로 떨어지면 살수를 하는 것이 안전하다.

풍속이 초당 1m를 넘어서면 살수를 하지 말아야 하는데 증발에 의한 열 손실이 급격하게 증가할 뿐만 아니라 바람으로 살수하는 물이 과수원에 불규칙하게 뿌려지기 때문이다. 산술적으로는 뿌려지는 물의 약 15%만 증발하여도 이에 의한 열손실이 응결열을 통해 얻어지는 열을 다 무효화시켜 버린다.



사진 7-2. 살수 중인 과수원에서 바람으로 인해 얼음이 고르지 않게 만들어진 모습

끊임없이 열에너지가 방출 될 수 있게 하기 위해서는 물이 지속적으로 얼어야만 한다. 이때 요구되는 물의 양은 서리 정도에 달려 있어서 서리가 많이 내려 온도가 낮아질수록 더 많은 물이 뿌려져야 한다. 뿌려지는 물량이 충분하지 않다는 확실한 징표는 고드름이 만들어지지 않고 나무에 얼음이 자란다는 것이다(사진 7-3). 왜냐하면 기온이 낮아 물방울이 식물체에 닿자

마자 순식간에 얼어 버리기 때문이다. 따라서 물이 지속적으로 얼지 않으므로 열 방출도 계속 되지 않는다. 이 경우에는 시간당 살수량을 늘여 고드름이 만들어지도록 해야 한다.



사진 7-3. 기온이 영하로 내려가는 동안 계속 살수를 하여 물이 고드름을 만들며 계속 얼도록 하여야 꽃이 0℃로 유지되어 서리피해를 입지 않는다.

살수를 마칠 때에도 나무를 잘 관찰하여야 한다. 물을 너무 늦게 끄면 물 소비를 불필요하게 많이 하여 다음날 물이 모자랄 수도 있고, 과수원을 과습하게 만들 수도 있다. 그렇다고 너무 일찍 물을 끄면 서리피해를 받을 수 있으므로 기온이 확실하게 영상으로 올라갔을 때 끄도록 한다.



사진 7-4. 살수량이 부족하여 고드름이 아니라 가지 위로 얼음이 자란 모습

7. 2. 고온기 수관상부 미세살수를 통한 일소방지

일소는 기온이 높은 환경에서 강한 햇빛에 과일이 직접 노출될 때 과피 온도가 한계를 넘어 서면서 나타나는 손상을 말한다. 사과의 일소는 우리나라에서 장마 이후부터 초가을까지 일어나는 중요한 경제적 손실 원인중의 하나이다. 특히 최근에 지구온난화의 영향으로 여름철 온도

가 높아지고 한발이 잦아지는 상황에도 밀식재배체계의 확대로 사과가 햇빛에 노출되는 비율이 높아지면서 일소피해는 과거에 비해 더욱 심해지고 있는 양상이다.



사진 7-5. 사과일소의 유형. 광산화일소(왼쪽), 일소갈변(가운데), 일소괴사(오른쪽)

사과일소의 유형은 과일표면의 색소가 햇빛에 의해 탈색되어 황백색으로 변하는 광산화일소, 햇빛에 노출된 부위가 탈색을 넘어 갈색을 띠는 일소갈변, 일소 부분이 완전히 괴사되면서 갈색 또는 흑갈색으로 함몰되는 일소괴사가 있다. 광산화일소는 햇빛에 적응하지 못한 사과가 갑자기 햇빛에 노출되면 온도와 크게 관련 없이 발생하는데 성숙되면서 본격적으로 착색이 되면 묻히기도 한다. 그러나 계속해서 강한 자외선에 노출되거나 과피온도가 50℃를 넘어서면 일소괴사로 발전한다. 일소갈변은 강한 햇빛에 노출되고 과피온도가 45~49℃에 달하여 과피가 갈색 또는 구리빛으로 변한 것으로 세포가 열사한 것은 아니다. 일소괴사는 햇빛 노출정도에 크게 관계없이 과피온도가 52℃ 이상 상승하면 열사하면서 발생되는데 일소부분이 흑갈색으로 변하고 함몰되어 상품가치가 떨어져 생과로 판매할 수 없게 된다.

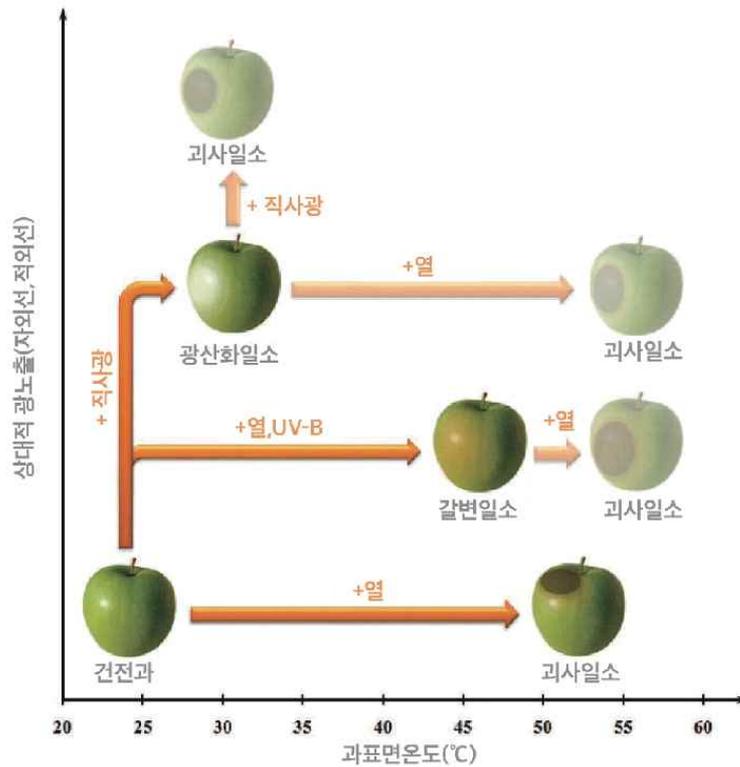


그림 7-1. 햇빛 노출정도와 사과 과피 온도에 따른 일소발생 양상(Racsco & Schrager 2012)

수관상부에 미세살수장치를 하고 고온기에 기온이 임계온도를 넘어설 때 살수를 하여 수체 온도를 떨어뜨리면 일소피해를 경감시킬 수 있다. 과실표면에 묻은 물이 기화하면서 과피온도를 떨어뜨려 일소피해를 막는 원리이다. 일소를 효과적으로 경감시킬 수 있으나 수관상부에 살수장치를 설치하는데 적지 않은 비용이 발생하며 물속의 염류가 과피와 잎면에 축적되어 독성

을 보일 수 있으므로 염류농도가 낮은 깨끗한 수질의 물이 충분히 확보되어야 한다. 또한 수관의 습도를 높여 병과 해충의 발생을 조장할 수 있는 것도 주요 단점중의 하나이다. 고온기에 살수냉각을 하다 갑자기 중단하면 일소피해를 더 심하게 입을 수도 있다.

대기온도가 36~40℃, 과실표면온도가 45℃까지 올라가서 일소피해가 발생하기 좋은 조건의 날에 수관상부의 미니스프링클러를 3분 또는 4분 작동하고 15분간 정지시키는 방법으로 살수한 경우와, 4구 미스트노즐로 4분 살수, 15분 정지 하는 경우, 그리고 무살포 대조의 대기온 및 과실표면 온도변화는 그림 7-2에서와 같다. 미스트살수에 비해 미세살수가 과피온도 하강 효과가 컸고, 미세살수 3분 살수, 15분 정지보다는 4분 살수, 15분 정지가 무살포에 비해 사과 표면 온도를 최고 11℃까지 떨어뜨려 온도저하 효과가 크게 나타났다.

원예특작과학원에서의 연구결과를 보면 10분 살수, 10분 휴식의 경우 무살수에 비해 탄저병 등 병 발생이 많고 착색과 경도도 떨어지는 결과를 보였다고 한다. 살수동결에 의한 서리피해 방지 때와는 달리 살수냉각을 이용한 수체온도 하강 유도는 살수한 물이 기화하면서 과실표면의 온도를 45℃ 이상 올라가지 못하도록 하는 것이므로 지속적인 살수를 할 필요가 없다. 살수시간이 길어 수관이 오래 젖고 물이 흘러내리면 탄저병이나 부패병의 감염을 유발하고 토양 과습으로 뿌리 활력이 떨어지고 지나친 질소흡수로 착색과 성숙이 지연될 수 있다. 따라서 청명하여 자외선이 강하고 기온이 31℃ 이상 올라가서 일소위험이 있을 경우 수관상부 미니스프링클러 또는 미세살수장치를 5분 작동, 15분 정지하는 방법으로 간헐적으로 살수하는 것이 사과표면온도를 일소한계 이하로 유지시키면서 수관이나 토양이 과습해지는 것을 막아 일소 피해를 효과적으로 막을 수 있다.

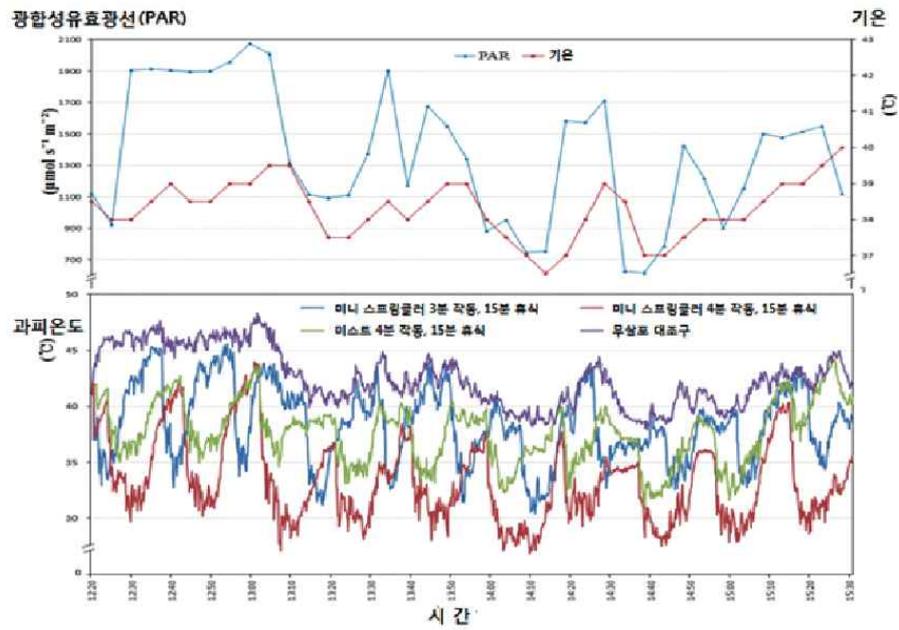


그림 7-2. 수관 상부살수방법에 따른 과실표면온도 변화(2016년 8월 21일)



사진 7-6. 고온기에 수관상부의 미세살수장치를 5분 살수, 15분 정지하는 방법으로 작동 시키면 수관과 토양의 과습을 막으면서 일소피해를 효과적으로 막을 수 있다.

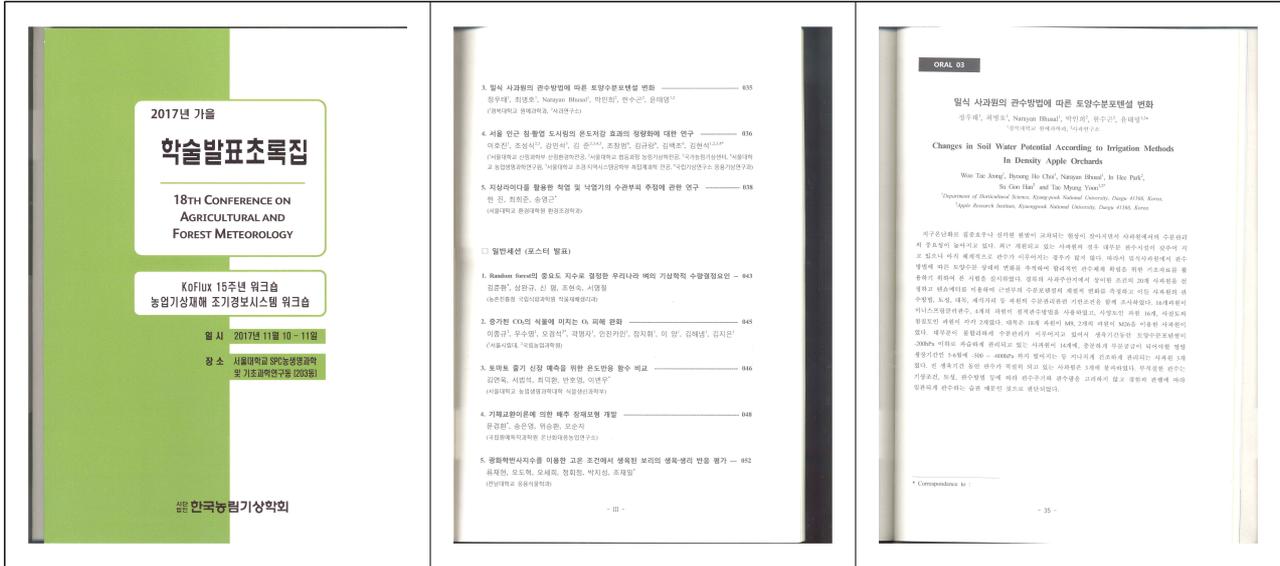
사과원 정밀관수 매뉴얼

※ 본 매뉴얼은 농림축산식품부와 (사)한국사과연합회의 지원으로 경북대학교 사과연구소에서 「ICT연계 사과원 정밀관수 매뉴얼 개발」 과제 수행을 통해 개발한 매뉴얼로 무단 복제 및 배포를 금지합니다.

2-6. 연구성과 목표 대비 실적

1) 국내 및 국제학술회의 발표

| No | 회의명칭 | 발표자 | 발표일시 | 장소 | 국명 |
|----|----------|-----|----------|-------|------|
| 1 | 한국농림기상학회 | 정우태 | 2017.11. | 서울대학교 | 대한민국 |



2) 교육지도

| No | 교육내용 | 교육대상자 | 교육일시 | 장소 |
|----|-------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|------------------|
| 1 | 사과원 정밀 수분관리 방안 (고밀식 사과원 관리 및 병해충 방제기술 교육) | 전국 사과재배농가 1,000여명 | 2018.02.13. 12:30~17:20 | 경북도청 동락관 |
| 2 | 사과원 수분관리의 중요성 및 관리 | 경북농민사관학교 수출과실 안전생산과정 교육생 20명 | 2018.04.17. 13:30~16:00 | 경북대 친환경농업교육 연구센터 |
| 3 | 사과나무의 생육단계별 수분 관리 | 죽장영농조합법인 소속농가 50여명 | 2018.07.13. 14:00~17:00 | 죽장영농조합법인 회의실 |
| 4 | 고품질 사과 생산을 위한 여름철 관리 | 2018 고밀식 사과원 하계현장투어 및 워크샵 참석자 120여명 | 2018.07.23. 20:20~21:10 | 산림조합중앙회 임업인종합연수원 |

(1) 사과원 정밀 수분관리 방안(고밀식 사과원 관리 및 병해충 방제기술 교육)

| | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>사과원의 수분관리의 중요성 및 관리</p> <p>국립농업과학기술원 농업생명공학연구소</p> |  <p>Contents</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 수분의 중요성 2. 관수시기결정 3. 사과원 관수기반 실태 4. 생육기 토양수분의 변화 5. 센서데이터의 설치와 이용 | <p>1. 수분의 중요성</p> | <p>토양수분의 중요성</p> <ul style="list-style-type: none"> 수분 부족 시 사과 나무의 생장 저하 수분 과다 시 사과 나무의 생장 저하 수분 부족 시 사과 나무의 생장 저하 수분 과다 시 사과 나무의 생장 저하 | <p>기본에 중심한 시기제별 관리</p>  |
| <p>관수시기결정</p>  | <p>수분 부족시 일어나는 증상</p> <ul style="list-style-type: none"> 세포의 팽대기, 기공의 폐쇄, 광합성 저하 등 여러 기본적인 대사 작용이 저하되고 많은 생리장애가 발생-고사 수분 스트레스 발생 경우 시들기-고사 세포내 삼투압 유지 촉진을 통해 삼투압을 유지하여 생장을 유지 가뭄을 잘 견디는 품종은 생장 초기부터 생리장애를 줄여 일찍 수확할 수 있음 | <p>수분이 과다할 시 일어나는 증상</p> <ul style="list-style-type: none"> 토양에 물이 과다할 경우 뿌리가 썩어 죽고 토양내의 공기과 대가 물과 공기의 교환도 곤란해 질 수 있음 수분 과다 시 사과 나무의 생장 저하 수분 과다 시 사과 나무의 생장 저하 | <p>수분스트레스가 장기간 일어날 경우</p> <ul style="list-style-type: none"> 수분 스트레스가 장기간 일어날 경우 수분 스트레스가 장기간 일어날 경우 | <p>수분스트레스가 장기간 일어날 경우</p> <ul style="list-style-type: none"> 수분 스트레스가 장기간 일어날 경우 수분 스트레스가 장기간 일어날 경우 |
| <p>수분스트레스가 장기간 일어날 경우</p> <ul style="list-style-type: none"> 수분 스트레스가 장기간 일어날 경우 수분 스트레스가 장기간 일어날 경우 | <p>2. 관수시기결정</p> | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>생육 시기별 수분관리</p> <ul style="list-style-type: none"> 생육 시기별 수분관리 생육 시기별 수분관리 |
| <p>수분 관리</p>  | <p>3. 사과원 관수기반 실태</p> | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 |
| <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>4. 생육기 토양수분의 변화</p> | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 |
| <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 |
| <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 |
| <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 |

(3) 사과나무의 생육단계별 수분 관리(죽장영농조합법인)

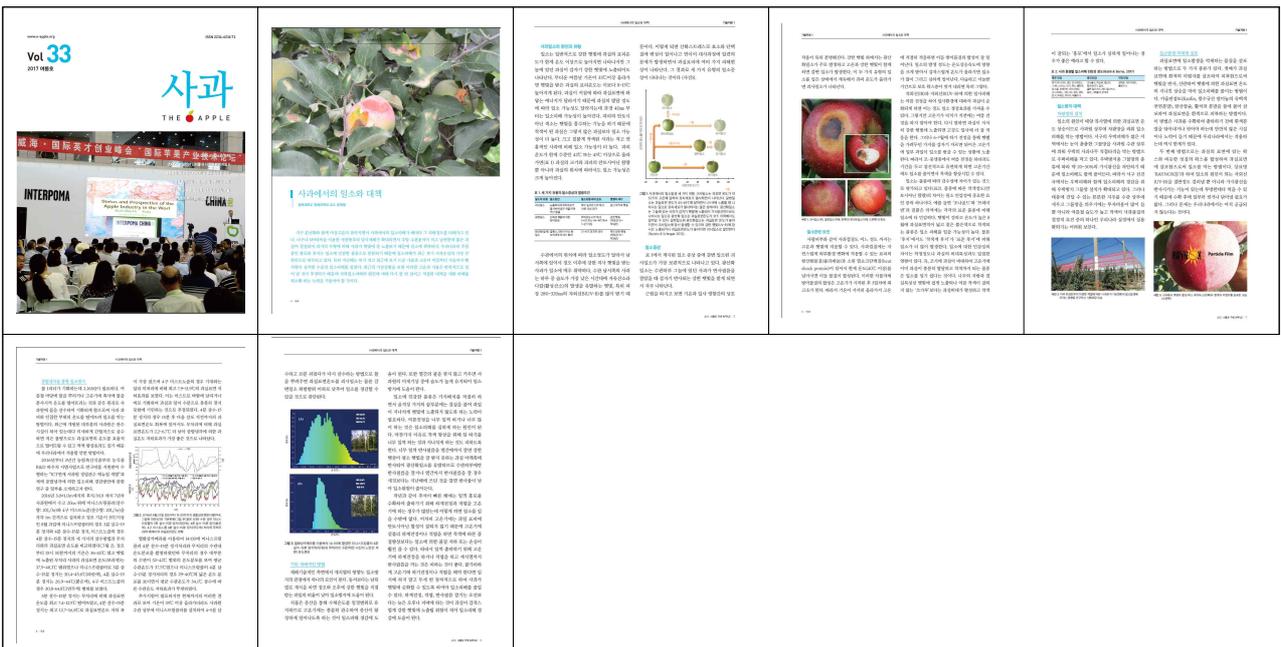
| | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>사과나무의 생육단계별 수분 관리</p>  | <p>사과나무에서 수분의 역할</p> <ul style="list-style-type: none"> 사과나무 생육에 필요한 수분 사과나무 생육에 필요한 수분 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>관수방법</p> <ul style="list-style-type: none"> 관수 방법 관수 방법 | <p>사과나무의 수분 관리</p> <ul style="list-style-type: none"> 사과나무 수분 관리 사과나무 수분 관리 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|



3) 기타

| No | 내용 | 출판물명 | 발간일 | 등록번호 |
|----|------------------------------|---------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 사과에서의 일소와 대책 | 사과 2017 여름호(vol.33) | 2017.08.07. | ISSN 2234-6236 72 |
| 2 | 사과원별 토양수분상태 추적을 통한 적정관수방법 설정 | 사과 2018 봄호(vol.36) | 2018.03.30. | ISSN 2234-6236 81 |
| 3 | 텐시오미터를 활용한 사과원 정밀관수 | 사과 2018 봄호(vol.36) | 2018.03.30. | ISSN 2234-6236 81 |
| 4 | 사과원 정밀관수 매뉴얼 | 사과원 정밀관수 매뉴얼 | 2018.08.30. | - |

(1) 사과에서의 일소와 대책(사과 2017 여름호)



(2) 사과원별 토양수분상태 추적을 통한 적정관수 방법 설정(사과 2018 봄호)



(3) 텐시오미터를 활용한 사과원 정밀관수(사과 2018 봄호)



4) 전문 연구 인력 양성

| No | 분류 | 기준 년도 | 현 황 | | | | | | | | | | | |
|----|------|----------|-----|----|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|----|--|
| | | | 학위별 | | | | 성별 | | 지역별 | | | | | |
| | | | 박사 | 석사 | 학사 | 기타 | 남 | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 | |
| 1 | 농학석사 | 2018 | 1 | | | | ✓ | | | | | | ✓ | |

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

- 1) 텐시오미터를 이용한 정밀관수 매뉴얼 개발
 - 자기기록 텐시오미터 제작 및 현장 적용시험
 - 기상환경, 토양조건 및 재배환경에 따른 토양수분변화 모니터링 및 분석
 - 사과원 수분수지에 근거한 관수모델 개발과 이용
 - 생육시기별 점적관수와 살수관수 최적화를 위한 관수 매뉴얼 개발

- 2) 증산냉각을 통한 사과 일소피해 경감기술 체계화
 - 증발냉각 효과 최적화를 위한 적정 살수주기 구명
 - 수관 및 토양 내 과습방지를 위한 적정 살수량 구명

3-2. 목표 달성여부

| 목표명 | 세부연구목표 | 수행내용 및 달성 | 달성도 |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|------|
| 텐시오미터를 이용한 정밀관수 매뉴얼 개발 | 자기기록 텐시오미터 제작 및 현장 적용시험 | ○ 자기기록 텐시오미터 제작 완료 ○ 현장적용시험을 통한 텐시오미터 개선 | 100% |
| | 기상환경, 토양조건 및 재배환경에 따른 토양수분 모니터링 및 분석 | ○ 2017~2018년(2년)도에 19개 사과원에서 생육기 토양수분 모니터링 및 분석 실시 | 100% |
| | 사과원 수분수지에 근거한 관수 모델 개발과 이용 | ○ 수분수지에 근거한 관수모델 개발 완료 | 100% |
| | 생육시기별 점적관수와 살수관수 최적화를 위한 관수 매뉴얼 개발 | ○ 사과원 정밀관수 매뉴얼 개발 완료 | 100% |
| 증산냉각을 통한 사과 일소 피해 경감 기술 체계화 | 증발냉각효과 최적화를 위한 살수주기 구명 | ○ 적정 살수 주기 구명 | 100% |
| | 수관 및 토양 내 과습방지를 위한 적정 살수량 구명 | ○ 적정 살수량 구명 | 100% |

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

1) 후속연구의 필요성

- 최근에 추위, 서리, 가뭄, 우박, 고온, 폭염 및 폭우, 태풍 등 기상재해가 빈번하게 발생함.
- 이러한 기상재해는 과수 뿐만 아니라 농업 전반에 생산성과 품질을 떨어뜨리는 요인으로 작용하고 있음.
- 특히 과수에서는 이러한 기상재해로 인해 서리, 낙과, 일소, 착색지연 등이 2차적인 문제점을 일으켜 과실의 품질을 떨어뜨리는 요인으로 작용하고 있음.
- 이번 연구에서 수관상단 미세살수 장치 설치후 증산냉각 효과를 검증하여 일소피해를 줄이는데 연구목표를 맞춰 시행되었음.
- 후속연구에는 일소 이외에도 서리, 낙과, 착색 등 기상재해 경감을 위한 연구가 선행되어 앞으로 빈번하게 발생하는 기상재해에 효과적으로 대처할 수 있는 방안을 마련해야 할 필요가 있음.

4. 연구결과의 활용 계획 등

- 저비용의 자기기록 텐시오미터를 자체개발하여 현장 적용하면서 문제점을 해결함으로써 비용을 절감하였고 추후 농가보급을 확대할 수 있을 것임.
- 본 연구결과로 획득된 수분관련 데이터를 기반으로 전국 사과주산지로 확대시켜 주산지별 수분관련 데이터를 축적시킨 빅데이터를 수집, 분석하여 생육시기와 토양에 따른 과수원 자동관수시스템 개발의 기초자료로 활용할 것임.
- 기상환경, 토양조건 및 재배환경에 따른 토양수분 모니터링 및 정밀분석을 통해 얻어진 밀식사과원 관수 매뉴얼은 소책자로 발행하여 한국사과연합회를 통해 현장에 보급 및 교육할 계획임.

붙임. 참고문헌

Abadi M., et. al, "TensorFlow: A System for Large-Scale Machine Learning," In roceedings of 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation(OSDI 16), pp.265-283, 201

Ahmadi S. H. et al. 2010. Effects of irrigation strategies and soil on field grown potatoes: Yield and water prodctivity. Agr Water Management 97:1923-1930.

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO -

Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome

- Antonio Roberto Pereira, Steve Greem and Nilsonm Augusto Villa Nova. 2006. Penman-Monteith reference evapotranspiration adapted to estimate irrigated tree transpiration. Vol 83. Issues 1-2.
- Arzani, K., Lawes, G. S. and Wood, D. 2000. The water relations of mature 'Sundrop' apricot trees in reponse to different vigour control techniques. Acta Hort. 537:237-239.
- Bhutta, W.M., M.Ibrahim, Tahira. 2006. Comparison of water relations and drougth related flag leaf traits in hexaploid spring Wheat(*Triticumaestivum* L.)Plant Soil Envrion. 52, (5):234-238.
- Blanke, M. M., 2008: Perspectives of fruit research and apple orchard management in Germany in a changing climate. Acta Horticulturae 772, 441-446.
- Buwalda J.G. and F.Lenz. 1992. Effects of cropping, nutrition and water supply on accumulation and distribution of biomass and nutrients for apple tees on 'M9' root systems. Physiologia plantarum 84:21-28.
- Cohen S.,Naor A. 2002. The effect of three rootstocks on water use, canopy conductance and hydraulic parameters of apple trees and predicting canopy from hydraulic conductance. Blackwell Science 25:17-28.
- Comaniciu, V.Ramesh and P. Meer, "Kernel-based object tracking", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 25, no. 5, pp.564-577, May 2003.
- Ebel R.C. Proebsting E.L. Evans. R.G. 2001. Appe Tree and Fruit Responses to Early Termination of Irrigation in a Semi-arid Environment. HortSciecne 36(7):1197-1201.
- Elias Fereres and Maria Auxiliadora Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany, Vol. 58, pp. 147-159.
- Esmail Fallahi. 2012. Influence of Rootstock and Irrigation Methods on Water use, Mineral

Nutrition, Growth, Fruit Yield, and Quality in 'Gala'Apple. HortTech. Vol 22. pp.731-737.

Fallahi E. Neilsen D. Neilsen G. H. Fallahi B. Shafii B. 2010. Efficient Irrigation for Potiumum Fruit Quality and Yield in Apples. HortScience 45(11):1616-1619.

Ferree, D. C. 1989. Growth and carbohydrate distribution of young apple trees in reponse to root pruning and tree density. HortScience 24:62-65.

Forshey, C.G. and D.A. Elfving 1989. The relationship between vegetative growth and fruiting in apples. Hort. Rev. 11:229-287.

Gi-Beom Song, Yong-Jun Yang, Sang-Gu Lee, "An Object Tracking Technique on OpenCV-based CMT Algorithm Using Raspberry Pi", 2017 KIPS Autumn Conference roceedings, 2017. 11.

Gindaba, J., and S. J. E. Wand, 2005: Comparative effects of evaporative cooling, kaolin particl film, and shade net on sunburn and fruit quality in apples. HortScience 40(3), 592-596.

Glenn, D. M., and G. Puterka, 2004: Particle film technology: An overview of history, concepts and impact in horticulture. Acta Horticulturae 636, 509-511.

Glenn, D. M., E. Prado, A. Erez, J. McFerson, and G. J. Puterka, 2002: A reflective, processed-kaolin particl film affects fruit temperature, radiation reflection and solar injury in apple. Journal of the American Society for Horticultural Science 127(2), 188-193.

Glenn, D. M., and G. Puterka, 2004: Particle film technology: An overview of history, concepts and impact in horticulture. Acta Horticulturae 636, 509-511.

Gregory M. Peck, Preston K. Andrews, John P. Reganold, John K. Fellman. 2006. Apple Orchard Productivity and Fruit Quallity under Organic, Conventional, and Intergrated Management. HortSci 41(1):99-107

Hamlyn G. Jones. 2004. Irrigation scheduling: advantage and pitfalls of plant based methods. Journal of Experimental Botany, Vol. 55. pp. 2427-2436.

- Haynes R.J. 1980. Influence of soil management practice on the orchard agro-ecosystem. *Agro-Ecosystems*, 6. 3-32.
- Helena S, Micael T, Dieter G, Franc B. 2007. Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiology parameters. *Scientia Horticulture* 113:362-369.
- Iglesias, I., J. Salvia., L. Torguet, and C. Cabus, 2001: Orchard cooling with overtree microsprinkler irrigation to improve fruit colour and quality of 'Topred Delicious' apples. Estacio Experimental de Lleida, Institut de Recerca I Tecnologies Agroalimentaries (IRTA), Avda, Rovira Roure, 177, 25198-Lleida, Spain
- Iglesias, I., J. Salvia, L. Torguet, and R. Montserrat, 2005: The evaporative cooling effects of overtree microsprinkler irrigation on 'Mondial Gala' apples. *Scientia Horticulturae* 103, 267-287.
- Jaleel et al. 2009. Drought stress in plant: a review on morphological characteristics and pigments composition. *int. J. Agric Biol.*, 11:100-105
- Kang S. Zhang J. 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. *Water-Saving Agr Special Issue*. pp 2437-2446.
- Kim, J. W., 2015, *A Smart Home Prototype Implementation Using Raspberry Pi*, The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences Vol. 10, Issue 10, 1139~1144.
- Kullaj. E et al . 2017. Modeling canopy transpiration and stomatal conductance of young apples using a parameterized Penman-Monteith equation.
- Lee, C.H. A. Sugiura, and T.Tomana. 1982. Effect of flooding on the growth and some physiological changes of young apple rootstocks. *SocHort. Sci* 51(3):270-277.
- Neilsen. D, Parchomchuk. P, Neilsen G.H. and E.J. Hogue. 1998. Using Soil Solution

Monitoring to Determine the Effects of Irrigation Management and Fertigation on Nitrogen Availability in High-density Apple Orchards. *SocHort. Sci.* 123(4):706-713.

Palmer, J.W. 1989. Canopy manipulation for optimum utilization of light. pp.245-262. In: C.J. Wright (ed), *Manipulation of fruiting*, 47th DeNottingham Easter school, Butterworths, London.

Palmer, J. W., J. P. Prive, and D. S. Tustin, 2003: Temperature. Apples; botany, production and uses, D. C. Ferree and I. J. Warrington (Eds.), CABI Publishing, Cambridge, MA, USA, 217-236.

Parchomchuk, P., and M. Meheriuk, 1996: Orchard cooling with pulsed overtree irrigation to prevent solar injury and improve fruit quality of 'Jonagold' apples. *HortScience* 31(5), 802-804.

Park, J. G., S. K. Kim, J. Y. Lee, S. H. Kim, and Y. U. Shin, 2004: Seasonal and daily patterns of xylem sap transportation in 'Fuji'/M.9 apple trees. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 22(3), 310-314.

Piskolczi, M., C. Varga, and J. Racsko, 2004: A review of the meteorological causes of sunburn injury on the surface of apple fruit (*Malus domestica* BORKH). *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 12, 245-252.

Racsko, J. and L. E. Schrader, 2012: Sunburn of Apple Fruit: Historical Background, Recent Advances and Future Perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 31:455-504.

Raspberry Pi, <https://www.raspberrypi.org/>.

Raspberry Pi webiopi, <http://cosmosjs.blog.me/220701682432>

Robert C. Ebel and Edward L. Proebsting. 1993. Regulated deficit Irrigation May Alter Apple Maturity, Quality, and Storage Life. *HortSci* 28(2): 141-143.

Robert C. Ebel, Edward L. Proebsting, and Robert G. Evans. 1995. Deficit Irrigation to Control Vegetative Growth in Apple and Monitoring Fruit Growth to Schedule Irrigation.

HortSci. 30(6):1229–1232.

Robinson T.L. et al. 2017. Precision irrigation management of apple with an apple-specific Penman–Monteith model.

Robinson T.L. and Lackso A.N. 2017. Precision Irrigation : The New Cornell Orchard Irrigation Website.

Rom, C.R, Ken Kupperman, Joseph Naraguma and R. Andy Allen. 1994. Establishing A Replant High Density Apple Orchard: A study of replant Soil Preparation and Fertilizer Practtices. Compact fruit tree. Vol 27. 62–72.

Rom, C.R. 1994. Pomology 101. Balancing growth and cropping: Which comes first, The canopy or the crip. Compact fruit tree. Vol 27. 53–59

Schrader, L., J. Sun, J. Zhang, D. Felicetti, and J. Tian, 2008: Heat and light-induced apple skin disorders: Causes and prevention. *Acta Horticulturae* 772, 51–58.

Schupp, J., E. Fallahi, and I.J. Chun, 2002: Effect of particle film on fruit sunburn, maturity and quality of ‘Fuji’ and ‘Honeyscrisp’ apples. *Hort Technology* 12, 87–90.

Song, Y. Y., M. Y. Park, S. J. Yang, and D. H. Sagong, 2009: Influence of air temperature during midsummer on fruit sunburn occurrence in ‘Fuji’/M9 apple tree. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 11(4), 127–134.

Song, Y. Y., Park, M. Y., Yang, S. J., Nam, J. C., Sagong, D. H. 2010: Research Articles : Effects of Microspraying of Water and Coating by White Materials on Fruit Sunburn Occurrence for “Fuji”/M.9 Apple Tree. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 12(2), 76–82.

Thalheimer, M. 2013. A low-cost electronic tensiometer system for continuous monitoring of soil water potential. *Agr Engineering*. 45:114–119.

Theodore C.H., Pasquale S, Elias F. 2007. A systematic and quantitative approach to

improve water use efficiency in agriculture. Irrig Sci 25:209-231.

NEWA. <http://newa.cornell.edu>

Mpelasoka B.S., Behboudian M.H., Green S.R.. 2001. Water use, yield and fruit quality of lysimeter-grown apple trees: responses to deficit irrigation and to crop load. Irrig Sci. 20: 107-113.

Yoon, T.M. 1995. Effect of water stress on water relation parameter and stomatal conductance of 'Fuji'

Yoon, T.M. 2001. Water Relations of 'Fuji' apple trees in soil water controlled orchard. J. Kor. Soc. Hort. Sci.

Wright, Derek. 2011. Efficient Water Use in Ontario Apple Orchards Through Evapotranspiration-based Irrigation Scheduling and Drought Tolerant Rootstocks. Theses & Dissertations.

기상청 2016~2018 국내기후자료(우리나라 기후 자료)

박응용. 2016. 점프 투 파이썬

심교문, 김건엽, 정현철, 이정택. 2008. 지구온난화에 따른 한반도의 농업환경 영향평가와 적응. 한국생물환경조절학회 학술발표논문집, 17(1):78-81.

윤태명. 1998. 제36차 정기총회 및 1998년도 춘계 학술 발표회 심포지움 / 과수분과 - IMF 시대의 고품질 저비용 과실생산을 위한 사과재배연구현황 : 심포 6 : 외국의 사과 밀식 재배

장혜영, 조성제. 2008. 비주얼 C++ 소스코드를 위한 obfuscator 구현

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농식품 R&D 바우처 시범사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농식품 R&D 바우처 시범사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.