

116117-3

과  
제  
명

ICT 기반  
농업가뭄  
모니터링  
신기술  
개발

최  
종  
보  
고  
서

2019

농  
림  
축  
산  
식  
품  
부  
  
농  
림  
식  
품  
기  
술  
기  
획  
평  
가  
원

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

첨단생산기술개발사업 제3차 연도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003013-01

# ICT기반 농업가뭄모니터링 신기술 개발

최종보고서

2020. 02. 26.

주관연구기관 / (주)신한항업  
협동연구기관 / (사)한국수계환경연구소  
협동연구기관 / 한경대학교 산학협력단

농림축산식품부  
농림식품기술기획평가원


<제출문>


## 제 출 문


농림축산식품부 장관 귀하


본 보고서를 “ICT기반 농업가뭄모니터링 신기술 개발”(개발기간 : 2016. 11. 29 ~ 2019. 11. 28)과제의 최종보고서로 제출합니다.


2020. 02.


주관연구기관명 : (주)신한항업  (인)

협동연구기관명 : (사)한국수계환경연구소  (인)

협동연구기관명 : 한경대학교 산학협력단  (인)

주관연구책임자 : 김 종 인  (인)

협동연구책임자 : 정 인 균  (인)

협동연구책임자 : 남 원 호  (인)

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>  
**보고서 요약서**

과제고유번호	116117-3	해당단계 연구기간	2018.09.29.~20 19.11.28.	단계구분	3/3
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	ICT 기반 농업가뭄모니터링 신기술 개발			
연구책임자	김종인	해당단계 참여연구원 수	총: 25명 내부: 25명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부:303,000천원 민간:101,000천원 계:404,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 25명 내부: 25명 외부: 0명	총 연구개발비	정부:780,000천원 민간:260,400천원 계:1,040,400천원
연구기관명 및 소속부서명	(주)신한항업			참여기업명 수계환경연구소 한경대학교	
국제공동연구	상대국명: (해당 없음)			상대국 연구기관명: (해당 없음)	
위탁연구	연구기관명: (해당 없음)			연구책임자: (해당 없음)	
※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음					
연구개발성과의 보안등급 및 사유	(해당 없음)				

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	5	1(출원)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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 style="text-align: center;">연구의 목적 및 내용</p>	<p style="text-align: center;">농업가뭄 모니터링 지원을 위한 ICT(드론 및 위성영상) 활용 기술 개발</p> <p>세부 1: 신한항업</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 드론을 활용한 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술 개발</li> <li>○ 가뭄예상지역의 드론을 이용한 초고해상도(GSD 5cm)영상 취득</li> <li>○ 초고해상도 멀티스펙트럴영상, 정사영상, 수치표면자료, 시계열영상, 열화상영상, NIR, 펜사프닝 영상 제작</li> </ul> <p>세부 2: 한국수계환경연구소</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 위성영상을 활용한 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술 개발</li> <li>○ 분광영상을 이용한 가뭄예상지역 영상처리 기술 개발</li> <li>○ 가뭄예상지역 모니터링을 위한 분광영상 D/B 구축</li> </ul> <p>세부 3: 환경대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ ICT를 활용한 가뭄 모니터링 연구 동향 조사 및 자료기반구축</li> <li>○ 무인기를 활용한 토양수분 평가 기술 개발</li> <li>○ 무인기를 활용한 작물수분 스트레스 평가 기술 개발</li> <li>○ 무인기를 활용한 가뭄피해 분석 모형 개발 및 시범지역 적용</li> </ul>				
<p style="text-align: center;">연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 무인기를 활용한 토양수분 평가 기술 개발</li> <li>○ 무인기를 활용한 작물수분 스트레스 평가 기술 개발</li> <li>○ 무인기를 활용한 가뭄피해 분석 모형 개발</li> <li>○ 한국형 식생기반 농업가뭄지수 산정 및 평가 모델 개발</li> </ul>				
<p style="text-align: center;">연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ICT(드론 및 위성영상)기술을 이용한 다양한 농업환경시스템 개발의 선구적 역할</li> <li>○ 기후변화 영향·취약성 평가 및 예측 기술 경쟁력 제고</li> <li>○ 새로운 한국형 가뭄지수 적용을 통한 가뭄 영역도 구축 방안 마련</li> <li>○ 학문통섭(Multidisciplinary collaboration)을 통한 공동연구 촉진</li> </ul>				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p style="text-align: center;">가뭄피해</p>	<p style="text-align: center;">모니터링</p>	<p style="text-align: center;">드론</p>	<p style="text-align: center;">ICT</p>	<p style="text-align: center;">고해상도 영상</p>

# < 목 차 >

<b>제 1 장 연구개발과제의 개요</b> .....	<b>1</b>
제1절 연구개발의 개요 .....	1
1. 연구개발 배경 및 목적 .....	1
2. 연구개발의 목적 .....	2
3. 기대효과 .....	2
제2절 연구 목표 및 내용 .....	4
1. 최종목표 .....	4
2. 연차별 개발목표 및 내용 .....	5
제3절 연구 추진방법 및 체계 .....	11
1. 연구개발 추진전략 및 방법 .....	11
2. 핵심성과 .....	11
<b>제 2 장 연구 수행 내용 및 결과</b> .....	<b>15</b>
제1절 가뭄 모니터링을 위한 드론의 적용기술 분석 및 연구 방법론 정립 .....	15
1. 드론을 활용한 모니터링 기술개발 현황 분석 .....	15
2. 가뭄 모니터링을 위한 드론의 활용범위 및 구축대상자료 설정 .....	35
3. 드론을 활용한 가뭄 모니터링 기술개발방안 수립 .....	44
4. 테스트베드 설정 및 테스트 비행 .....	48
5. 무인항공기 운용 및 광학영상 취득 .....	63
6. 가뭄 모니터링을 위한 드론영상의 가공처리기술 개발 .....	79
7. 가뭄 우심지역의 드론영상 고도화 및 영상처리 기술개발 .....	91
제2절 위성 및 드론영상 활용 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 영상처리기술 개발 .....	105
1. 광역적(Global) RS 영상을 이용한 가뭄지역 분석 현황조사 .....	105

2. 가뭄예상지역 드론영상활용 모니터링을 위한 현장조사 방안 .....	138
제3절 ICT를 활용한 가뭄 모니터링 및 가뭄피해 분석 기술 개발 .....	281
1. 연구개발 관련 선행연구 현황 .....	281
2. 무인기를 활용한 토양수분 모니터링 자료 기반구축 .....	296
3. 무인기를 활용한 작물수분 스트레스 평가 기술 개발 .....	306
4. 가뭄평가를 위한 밭작물 토양수분 모형 개발 및 수분스트레스 라이브리리 구축 .....	307
5. 가뭄피해 면적, 작물 등의 산출을 통한 가뭄피해 분석 기술 개발 .....	335
6. 경제성 분석 등을 고려하여 가뭄피해 대책 우선지구 선정 .....	341
7. 토양수분 평가 기술 개발 .....	341
8. 가뭄피해 분석 모형 개발 및 시범지역 적용 .....	347
9. 가뭄피해 면적, 작물 등의 산출을 통한 경제성 분석 (피해발생시 손실예상액) .....	353
제4절 연구개발 최종성과 .....	355
1. 드론을 활용한 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술 개발 .....	355
2. 위성 및 드론영상 활용 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 영상처리기술 개발 .....	365
3. ICT를 활용한 가뭄 모니터링 및 가뭄피해 분석 기술 개발 .....	368
<b>제 3 장 목표달성도 및 관련분야 기여도 .....</b>	<b>373</b>
제1절 : 목표대비 달성도 .....	373
제2절 : 정량적 성과(논문게재, 특허출원, 기타)를 기술 .....	374
1. 연구개발 성과 및 평가방법 .....	374
2. 연구성과 .....	375
<b>제 4 장 연구 결과의 활용 계획 .....</b>	<b>378</b>
제1절 연구 결과의 활용 계획 .....	378

제2절 기대성과 .....	379
부록 I 참고문헌 .....	381
부록 II 드론 촬영 성과 .....	386



## <표 차례>

[표 1.2.1] 기관별 연차 연구목표 및 성과 .....	7
[표 2.1.1] 드론의 성능기준에 따른 분류 .....	16
[표 2.1.2] 비행/임무 수행에 따른 드론의 분류 .....	17
[표 2.1.3] 크기에 따른 드론의 분류 .....	18
[표 2.1.4] 비행체 형상에 따른 드론의 분류 .....	18
[표 2.1.5] 드론 관련 핵심기술 .....	21
[표 2.1.6] 산업용 무인헬리콥터의 기종별 현황 .....	29
[표 2.1.7] 국내 주요 무인기 현황 .....	31
[표 2.1.8] 국내·외 소형드론 기술·가격 경쟁력 비교 .....	32
[표 2.1.9] 국내 무인기 사업 진행동향 .....	33
[표 2.1.10] 항공사진측량과 드론사진측량의 비교 .....	36
[표 2.1.11] 고정익 드론에 적합한 센서(카메라) 종류 .....	37
[표 2.1.12] 드론 형태에 따른 특징 비교 .....	42
[표 2.1.13] 드론 탑재 센서 및 특징 .....	43
[표 2.1.14] 드론의 사양 가뭄모니터링을 위한 드론 플랫폼 및 탐사센서 도입 .....	43
[표 2.1.15] 가뭄 모니터링을 위한 드론 촬영 조건 .....	45
[표 2.1.16] 소프트웨어별 기능 비교 .....	48
[표 2.1.17] 채소 주산지 지정기준 .....	51
[표 2.1.18] 품목별 농산물전문생산단지 최소단지 규모 .....	52
[표 2.1.19] 가을무 • 배추 .....	52
[표 2.1.20] 고랭지 무 • 배추 .....	52
[표 2.1.21] 마늘 .....	53
[표 2.1.22] 고추 .....	53
[표 2.1.23] 경기 충청권 주요작물 주산지 (※ 2015 주요작물 생산동향(통계청, 2015)) .....	53
[표 2.1.24] 경기 충청권 주요작물 주산지 재배면적과 생산량 .....	54
[표 2.1.25] 테스트베드 후보지역 주소 .....	56
[표 2.1.26] 경기도 안성시 공도읍 승두리 뒤젓골 일대 현지조사 .....	57
[표 2.1.27] 경기도 안성시 보개면 오두리 151 일대 현지조사 .....	58
[표 2.1.28] 경기도 안성시 죽산면 장계리 521 일대 현지조사 .....	59
[표 2.1.29] 경기도 안성시 일죽면 월정리 719번지 일대 현지조사 .....	60
[표 2.1.30] 경기 안성시 일죽면 송천리 609-12 일대 현지조사 .....	61
[표 2.1.31] Trimble R6 GNSS 수신기 사양 .....	68
[표 2.1.32] 월정리 기준점 상세 사진 .....	74
[표 2.1.33] 대상지의 지상기준점의 경위도 좌표 .....	74
[표 2.1.34] 드론 비행 전 체크리스트 .....	77
[표 2.1.35] 드론 성과 내역 .....	79
[표 2.1.36] 드론 열화상 센서 사양 .....	92
[표 2.1.37] 드론 열화상 촬영제원 .....	93
[표 2.1.38] 점검사항 .....	93
[표 2.1.39] 드론 비행 전 체크리스트 .....	93
[표 2.1.40] 드론 열화상 영상 성과 내역 .....	96

[표 2.1.41] 드론 초분광 센서 사양 .....	97
[표 2.1.42] 드론 초분광센서 촬영제원 .....	98
[표 2.1.43] 드론 비행 전 체크리스트 .....	98
[표 2.1.44] 점검사항 .....	99
[표 2.1.45] 드론 초분광 영상 성과 내역 .....	101
[표 2.1.46] Measurement Data of & Soil Moisture .....	102
[표 2.2.1] 아리랑위성 1호 주요제원 .....	106
[표 2.2.2] 아리랑위성 1,2호 비교 .....	107
[표 2.2.3] 아리랑위성 비교(2호~3A호) .....	108
[표 2.2.4] 천리안위성의 기상센서(MI) 제원 및 특징 .....	109
[표 2.2.5] 기상자료처리시스템(CMDPS)제공 분석자료 내용 및 활용분야 .....	110
[표 2.2.6] 천리안위성의 해양관측센서(GOCI) 제원 및 특징 .....	111
[표 2.2.7] AMSR-E 센서 특징 .....	113
[표 2.2.8] NOAA 밴드별 분광해상도 .....	115
[표 2.2.9] NOAA 위성 운영 현황 .....	115
[표 2.2.10] SPI 지수별 가뭄심도 분류 .....	120
[표 2.2.11] PDSI 지수별 가뭄심도 분류 .....	123
[표 2.2.12] EDI 지수별 가뭄심도 분류 .....	124
[표 2.2.13] PN 지수별 가뭄심도 분류 .....	125
[표 2.2.14] 다중시기 식생지수와 가뭄지수를 이용한 상관계수 맵의 평균 .....	128
[표 2.2.15] MODIS 센서 특징 및 위성(Terra, Aqua)현황 .....	138
[표 2.2.16] MODIS 밴드별 구성 및 응용분야 .....	139
[표 2.2.17] MODIS 밴드별 구성 및 응용분야 .....	140
[표 2.2.18] MOD09A1 영상데이터 레이어 특성 .....	140
[표 2.2.19] MOD09Q1 영상데이터 레이어 특성 .....	141
[표 2.2.20] MOD13Q1 영상데이터 레이어 특성 .....	141
[표 2.2.21] MOD11A2 영상데이터 레이어 특성 .....	141
[표 2.2.22] MOD15A2H 영상데이터 레이어 특성 .....	142
[표 2.2.23] MOD16A2 영상데이터 레이어 특성 .....	142
[표 2.2.24] MOD09A1, MOD09Q1, MOD11A2, MOD15A2H, MOD16A2 영상조합 일자(8일주기) .....	142
[표 2.2.25] MOD13Q1 영상조합 일자 (16일주기) .....	144
[표 2.2.26] 식생 및 토양의 상태를 구분하기 위한 MODIS영상 주요 7개 밴드 .....	144
[표 2.2.27] 안성시 인근 기상관측소 연강수량 현황(1987~2016) .....	163
[표 2.2.28] 수원기상관측소 강수량 비교(평년값 vs 2017) .....	165
[표 2.2.29] 이천기상관측소 강수량 비교(평년값 vs 2017) .....	165
[표 2.2.30] 천안기상관측소 강수량 비교(평년값 vs 2017) .....	165
[표 2.2.31] 안성시 인근 기상관측소 30개년 월평균 기온(℃) .....	166
[표 2.2.32] 안성시 인근 기상관측소 30개년 월평균 이슬점온도(℃) .....	166
[표 2.2.33] 안성시 인근 기상관측소 30개년 월평균 상대습도(%) .....	167
[표 2.2.34] 안성시 인근 기상관측소 30개년 월평균 일조시간(hr) .....	167
[표 2.2.35] 안성시 인근 기상관측소 30개년 월평균 풍속(m/s) .....	168
[표 2.2.36] 서산관측소 연강수량 현황(1987~2016) .....	170
[표 2.2.37] 서산관측소 강수량 비교(평년값 vs 2017) .....	171

[표 2.2.38] 서산관측소 30개년 월평균 기온(℃) .....	171
[표 2.2.39] 서산관측소 30개년 월평균 이슬점온도(℃) .....	172
[표 2.2.40] 서산관측소 30개년 월평균 상대습도(%) .....	172
[표 2.2.41] 서산관측소 30개년 월평균 일조시간(hr) .....	172
[표 2.2.42] 서산관측소 30개년 월평균 풍속(m/s) .....	172
[표 2.2.43] 태안군 토지이용현황(km <sup>2</sup> ) .....	172
[표 2.2.44] 서산시 토지이용현황(km <sup>2</sup> ) .....	174
[표 2.2.45] 홍성군 인근 기상관측소 연강수량 현황(1987~2016) .....	175
[표 2.2.46] 서산관측소 강수량 비교(평년값 vs 2017) .....	176
[표 2.2.47] 보령관측소 강수량 비교(평년값 vs 2017) .....	176
[표 2.2.48] 서산관측소 30개년 월평균기온(℃) .....	177
[표 2.2.49] 홍성군 인근기상관측소 30개년 월평균이슬점온도(℃) .....	178
[표 2.2.50] 홍성군 인근기상관측소 30개년 월평균이슬점온도(℃) .....	178
[표 2.2.51] 홍성군 인근기상관측소 30개년 월평균일조시간(hr) .....	179
[표 2.2.52] 홍성군 인근기상관측소 30개년 월평균풍속(m/s) .....	179
[표 2.2.53] 가뭄 예경보 기준 (국가가뭄정보분석센터) .....	181
[표 2.2.54] 2016년도 가뭄 예·경보 현황 .....	182
[표 2.2.55] 2017년도 가뭄 예·경보 현황 .....	183
[표 2.2.56] 2018년도 가뭄 예·경보 현황 .....	185
[표 2.2.57] 2019년도 가뭄 예·경보 현황 .....	186
[표 2.2.58] 수원 가뭄심도별 발생횟수(SPI3) .....	234
[표 2.2.59] 수원 가뭄심도별 발생횟수(SPI6) .....	234
[표 2.2.60] 수원 가뭄심도별 발생횟수(SPI12) .....	234
[표 2.2.61] 수원 가뭄심도별 발생횟수(SPI3) .....	238
[표 2.2.62] 수원 가뭄심도별 발생횟수(SPI6) .....	238
[표 2.2.63] 수원 가뭄심도별 발생횟수(SPI12) .....	238
[표 2.2.64] PN 가뭄심도별 발생횟수(수원) .....	241
[표 2.2.65] PN 가뭄심도별 발생횟수(이천) .....	241
[표 2.2.66] EDI 가뭄심도별 발생횟수(수원) .....	241
[표 2.2.67] EDI 가뭄심도별 발생횟수(이천) .....	241
[표 2.2.68] 드론 영상을 이용한 식생 및 토양 분석에 사용가능한 다양한 지수들 .....	255
[표 2.3.1] 토양수분측정 장비 기본사항(좌) 및 실제 측정사진(우) .....	299
[표 2.3.2] 코어 채취 장비 기본사항 .....	304
[표 2.3.3] 기상관측장비 기본사항 .....	305
[표 2.3.4] 양수분 시료 채취 분석 결과 데이터 .....	311
[표 2.3.5] 토양 성분 채취 분석 결과 데이터 .....	311
[표 2.3.6] 2018년 TDR 장비 토양수분 측정 결과표 (4월, 5월) .....	315
[표 2.3.7] 2018년 TDR 장비 토양수분 측정 결과표 (6월, 7월, 8월) .....	317
[표 2.3.8] 2019년 TDR 장비 토양수분 측정 결과표 (5월, 6월) .....	319
[표 2.3.9] Crop coefficient by corn growth stages .....	347
[표 2.3.10] 토양수분 모형을 위한 인자 및 토양수분 모형 값 .....	348
[표 2.4.1] 가뭄모니터링을 위한 드론 플랫폼 및 탐사센서 도입 .....	356
[표 2.4.2] 가뭄 모니터링을 위한 드론 촬영 조건 .....	357

## <그 립 차 례>

[그림 1.1.1] 가뭄 영향 순서도 .....	1
[그림 1.1.2] 주요 연구내용 및 연구목표 .....	2
[그림 1.1.3] 연구성과 기대효과 .....	3
[그림 1.3.1] 연구 추진체계 .....	11
[그림 1.3.2] 테스트베드 선정방안 .....	12
[그림 1.3.3] 드론 활용 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술개발 .....	12
[그림 1.3.4] 위성 영상 활용 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술개발 .....	13
[그림 1.3.5] 무인기 영상 및 토양수분을 활용한 발작물 가뭄 평가 지수 개발 및 가뭄 피해 분석 방법 .....	14
[그림 2.1.1] 드론의 시대별 발전상 .....	15
[그림 2.1.2] 고정익 드론과 회전익 드론의 예 .....	19
[그림 2.1.3] 드론 시스템 구성도 .....	19
[그림 2.1.4] 소형 드론 구성 요소 .....	20
[그림 2.1.5] 항공기 기술체계 .....	20
[그림 2.1.6] 드론 기술 체계 .....	21
[그림 2.1.7] 드론 세계시장 규모 및 용도별 전망 .....	22
[그림 2.1.8] 세계 드론시장 점유율 추이 .....	23
[그림 2.1.9] 국내 드론시장 전망(단위:\$M) .....	23
[그림 2.1.10] 민간 드론 활용분야 .....	24
[그림 2.1.11] 민간 드론 시장분석 .....	24
[그림 2.1.12] 드론의 활용 분야 .....	25
[그림 2.1.13] 아마존의 배송용 드론 Prime Air(좌)와 주칼의 배송 드론(우) .....	26
[그림 2.1.14] 구글이 인수한 타이탄 무인기(좌)와 페이스북의 통신용 드론 Aquila .....	27
[그림 2.1.15] 드론으로 근접 촬영한 BBC의 다큐 ‘어스플라이트’의 한 장면 .....	27
[그림 2.1.16] 영종대교 106층 추돌사고에 활용된 드론 .....	28
[그림 2.1.17] MBC 오후뉴스 2014.06.06 .....	28
[그림 2.1.18] 일본의 농업용 드론(좌)와 호주의 농업용 드론(우) .....	29
[그림 2.1.19] 글로벌호크 .....	30
[그림 2.1.20] 인명구조에 활용되고 있는 드론 .....	30
[그림 2.1.21] 세계 드론 국가군 분류 .....	32
[그림 2.1.22] 세계 드론 기술순위 .....	32
[그림 2.1.23] 면형 디지털항공사진카메라의 촬영 .....	35
[그림 2.1.24] 선형 디지털항공사진카메라의 촬영 .....	36
[그림 2.1.25] 농업에서 드론의 활용(좌), 토양의 질소 수준 관리에 활용되는 드론(우) .....	38
[그림 2.1.26] UX5 HP .....	39
[그림 2.1.27] TopoDrone .....	39
[그림 2.1.28] SmartOne .....	40
[그림 2.1.29] eBee .....	40
[그림 2.1.30] Q200 .....	40
[그림 2.1.31] Radius .....	40
[그림 2.1.32] DT18 HD PPK .....	40
[그림 2.1.33] Cumulus .....	40

[그림 2.1.34] Geo X10 .....	41
[그림 2.1.35] ZX5 .....	41
[그림 2.1.36] Ablris .....	41
[그림 2.1.37] Fox6 .....	41
[그림 2.1.38] Phantom4 Pro .....	41
[그림 2.1.39] Inspire2 .....	41
[그림 2.1.40] FireFly6 .....	42
[그림 2.1.41] FoxyPro .....	42
[그림 2.1.42] Wingtra One .....	42
[그림 2.1.43] PhotoScan .....	46
[그림 2.1.44] 테스트 베드 설정을 위한 모의실험 분석 .....	46
[그림 2.1.45] UAS Master .....	47
[그림 2.1.46] TBC Aerial Photogrammetry Module .....	47
[그림 2.1.47] 가뭄에 대한 언론보도 .....	48
[그림 2.1.48] 기상청 가뭄정보 시스템 .....	49
[그림 2.1.49] 토양수분량 위성(좌), 기상청(우) .....	49
[그림 2.1.50] 기상청자료 : SPI 산출절차 .....	50
[그림 2.1.51] 가뭄단계 범례 .....	50
[그림 2.1.52] 기상청 표준강수지수 .....	51
[그림 2.1.53] 비행금지구역(좌), 비행제한구역(우) .....	54
[그림 2.1.54] 서울 비행금지구역과 드론 비행장(좌), 관제권 내 비행금지구역(우) .....	55
[그림 2.1.55] 안성시부근 비행가능구역(좌), 서산시부근 비행가능구역(우) .....	55
[그림 2.1.56] 테스트베드 후보지역 위치지도 .....	56
[그림 2.1.57] 월정리, 장계리 촬영 면적 .....	62
[그림 2.1.58] 항공삼각측량 .....	63
[그림 2.1.59] 작업흐름의 비교 .....	63
[그림 2.1.60] 비행모드에 따른 전형적인 영상블럭 형태 .....	64
[그림 2.1.61] 드론 영상에 의한 점군집 생성 .....	65
[그림 2.1.62] 드론 영상에 의한 수치지형도 제작 과정 .....	65
[그림 2.1.63] 정사영상의 생성과정 및 성과물 .....	65
[그림 2.1.64] 드론촬영 프로세스 .....	67
[그림 2.1.65] Trimble 사의 R6 VRS system .....	68
[그림 2.1.66] 대상지 지상기준점 배치도 .....	69
[그림 2.1.67] 사용 드론 eBee .....	74
[그림 2.1.68] 드론 장착 RGB 카메라 .....	75
[그림 2.1.69] NIR 카메라 .....	75
[그림 2.1.70] 월정리 드론 촬영계획 .....	76
[그림 2.1.71] 장계리 드론 촬영계획 .....	76
[그림 2.1.72] Geotagging 작업 .....	80
[그림 2.1.73] 영상의 속성정보 확인(카메라 정보, 좌표 정보) .....	80
[그림 2.1.74] 구글어스를 통한 영상의 위치확인 .....	81
[그림 2.1.75] SIFT 기술의 특징점 추출 방법 .....	81
[그림 2.1.76] 프로젝트 생성 및 영상 입력 .....	82

[그림 2.1.77] 영상정보 및 데이터 입력 .....	82
[그림 2.1.78] Pix4D 옵션 설정 .....	83
[그림 2.1.79] GCP 입력 .....	83
[그림 2.1.80] GCP와 영상의 매칭 .....	84
[그림 2.1.81] Image Processing .....	84
[그림 2.1.82] Point Cloud Densification .....	85
[그림 2.1.83] DSM and OrthoMosaic Generation .....	85
[그림 2.1.84] 결과 품질 보고서 .....	86
[그림 2.1.85] 인덱스 계산 옵션 .....	86
[그림 2.1.86] 월정리 NDVI 영상 .....	87
[그림 2.1.87] 장계리 NDVI 영상 .....	88
[그림 2.1.88] Photo bonding .....	89
[그림 2.1.89] Insert GCP .....	89
[그림 2.1.90] 98 Orthographic .....	89
[그림 2.1.91] 99 DSM creation .....	89
[그림 2.1.92] Pan-sharpening 활용 예시 .....	91
[그림 2.1.93] 열화상 이미지 구성 및 방사량 데이터 취득 과정 .....	91
[그림 2.1.94] Pix4D mapper pro 소프트웨어를 활용한 열화상 영상처리 .....	95
[그림 2.1.95] 실제온도로 변환 .....	95
[그림 2.1.96]. Thermal Image .....	96
[그림 2.1.97] 드론과 유인항공기 및 위성 자료와의 비교 .....	97
[그림 2.1.98] 드론 초분광센서 자동비행 SW .....	98
[그림 2.1.99] 초분광영상 전처리 과정 .....	99
[그림 2.1.100] 방사보정을 위한 Traf 설치 .....	100
[그림 2.1.101] 초분광 영상 방사보정 .....	100
[그림 2.1.102] 초분광 영상 기하보정 .....	101
[그림 2.1.103] 초분광 영상 .....	101
[그림 2.1.104]. Point of Soil Moisture and Drone Data(NDVI&Temperature) .....	102
[그림 2.1.105] Soil Temperature Vs NDVI .....	103
[그림 2.1.106]. NDVI Vs Soil Moisture .....	103
[그림 2.1.107]. Soil Temperature, NDVI and Soil Moisture .....	104
[그림 2.2.1] 아리랑2호 영상을 이용한 아이티 재해지도 .....	107
[그림 2.2.2] 천리안위성 기상영상기의 5채널 영상 .....	109
[그림 2.2.3] 기상자료처리시스템(CMDPS) 개념 .....	110
[그림 2.2.4] 천리안위성영상을 이용한 NDVI 공간분포 .....	111
[그림 2.2.5] MODIS 영상을 이용한 가뭄지도 작성 사례 .....	112
[그림 2.2.6] AMSR2 제공 위성영상 .....	114
[그림 2.2.7] AVHRR 제공 위성영상 .....	116
[그림 2.2.8] MODIS NDVI와 EVI .....	118
[그림 2.2.9] SPI 산정예시(김광섭, 2010) .....	120
[그림 2.2.10] PDSI 산정예시(김광섭, 2010) .....	123
[그림 2.2.11] VCI 지도(좌) 및 실제 가뭄발생지역(우) 비교 .....	127
[그림 2.2.12] 물부족심도 분포도 .....	128

[그림 2.2.13] 다중시기 식생지수와 가뭄지수를 이용한 상관계수 맵 .....	128
[그림 2.2.14] Classification prinipal of CART .....	129
[그림 2.2.15] 남한지역 월별 NDVI(2008) .....	129
[그림 2.2.16] 한반도지역의 가뭄공간특성분석 .....	130
[그림 2.2.17] NDVI(2012년 6월, 충청도) .....	131
[그림 2.2.18] EVI(2012년 6월, 충청도) .....	131
[그림 2.2.19] MODIS NDVI 및 EVI 영상을 활용한 가뭄지도<(a)~(c):NDVI, (d)~(f):EVI> .....	132
[그림 2.2.20] MODIS NDVI, EVI 남한지역 공간분포(2013년, 1~2월) .....	132
[그림 2.2.21] COMS NDVI 와 MODIS NDVI 지점의 상관성 검증결과 .....	133
[그림 2.2.22] 한반도 COMS VCI와 MODIS VCI 공간분포 비교 .....	134
[그림 2.2.23] 한반도 COMS VCI와 MODIS VCI 간의 상관관계 .....	134
[그림 2.2.24] MODIS 위성영상 기반 식생지수 산정결과(소양감댐유역) .....	135
[그림 2.2.25] MODIS Drought Severity Index(2000~2011) .....	136
[그림 2.2.26] MODIS 위성자료를 활용한 한반도 모니터링 .....	137
[그림 2.2.27] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI .....	153
[그림 2.2.28] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI(계속) .....	154
[그림 2.2.29] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VCI 산정결과 .....	157
[그림 2.2.30] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VCI 산정결과(계속) .....	156
[그림 2.2.31] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 SVI 산정결과 .....	157
[그림 2.2.32] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 SVI 산정결과(계속) .....	158
[그림 2.2.33] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VSIA 산정결과 .....	159
[그림 2.2.34] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VSIA 산정결과(계속) .....	160
[그림 2.2.35] 2017-145~161 기간 SPI1, SPI3, SPI6 현황 .....	161
[그림 2.2.36] 안성시 위치도 및 행정구역 현황 .....	162
[그림 2.2.37] 안성시 인근기상관측소 30개년 강수량(1987~2016) .....	164
[그림 2.2.38] 안성시 인근기상관측소 월강수량 비교(평년값 vs 2017) .....	165
[그림 2.2.39] 안성시 인근기상관측소 월평균기온 .....	166
[그림 2.2.40] 안성시 인근기상관측소 월평균이슬점온도 .....	167
[그림 2.2.41] 안성시 인근기상관측소 월평균상대습도 .....	167
[그림 2.2.42] 안성시 인근기상관측소 월평균 일조시간 .....	168
[그림 2.2.43] 안성시 인근기상관측소 월평균 풍속 .....	168
[그림 2.2.44] 태안군 위치도 및 행정구역 현황 .....	169
[그림 2.2.45] 서산관측소 30개년 강수량(1987~2016) .....	170
[그림 2.2.46] 서산관측소 월강수량 비교(평년값 vs 2017) .....	171
[그림 2.2.47] 서산기상관측소 월평균기온 .....	171
[그림 2.2.48] 서산시 위치도 및 행정구역 현황 .....	173
[그림 2.2.49] 홍성군 위치도 및 행정구역 현황 .....	174
[그림 2.2.50] 서산관측소 30개년 강수량(1987~2016) .....	175
[그림 2.2.51] 보령관측소 30개년 강수량(1987~2016) .....	175
[그림 2.2.52] 홍성군 인근기상관측소 월강수량 비교(평년값 vs 2017) .....	176
[그림 2.2.53] 서산기상관측소 월평균기온 .....	177
[그림 2.2.54] 보령기상관측소 월평균기온 .....	177
[그림 2.2.55] 홍성군 인근기상관측소 월평균이슬점온도 .....	178

[그림 2.2.56]	홍성군 인근기상관측소 월평균상대습도 .....	178
[그림 2.2.57]	홍성군 인근기상관측소 월평균일조시간 .....	179
[그림 2.2.58]	홍성군 인근기상관측소 월평균풍속 .....	179
[그림 2.2.59]	당진시 위치도 및 행정구역 현황 .....	180
[그림 2.2.60]	가뭄 예·경보현황지도 (안성지역포함) .....	187
[그림 2.2.61]	가뭄 예·경보현황지도 (안성지역포함)(계속) .....	188
[그림 2.2.62]	가뭄 예·경보현황지도 (안성지역포함)(계속) .....	189
[그림 2.2.63]	가뭄 예·경보현황지도 (안성지역포함)(계속) .....	190
[그림 2.2.64]	가뭄 예·경보현황지도 (안성지역포함)(계속) .....	191
[그림 2.2.65]	가뭄 예·경보현황지도 (안성지역포함)(계속) .....	192
[그림 2.2.66]	2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI .....	193
[그림 2.2.67]	2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI(계속) .....	194
[그림 2.2.68]	2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VCI 산정결과 .....	195
[그림 2.2.69]	2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VCI 산정결과(계속) .....	196
[그림 2.2.70]	2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 SVI 산정결과 .....	197
[그림 2.2.71]	2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 SVI 산정결과(계속) .....	198
[그림 2.2.72]	2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VSIA 산정결과 .....	199
[그림 2.2.73]	2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VSIA 산정결과(계속) .....	200
[그림 2.2.74]	드론촬영 대상지역 및 인접 기상관측소 현황 .....	201
[그림 2.2.75]	일죽 AWS 관측소의 2017년 일강수량 현황 .....	201
[그림 2.2.76]	대상지역의 MOD13Q1 EVI .....	202
[그림 2.2.77]	대상지역의 MOD13Q1 EVI-VCI 분석결과 .....	202
[그림 2.2.78]	대상지역의 MOD13Q1 EVI-SVI 분석결과 .....	203
[그림 2.2.79]	대상지역의 MOD13Q1 EVI-VSIA 분석결과 .....	203
[그림 2.2.80]	대상지역의 MOD13Q1 NDVI .....	204
[그림 2.2.81]	대상지역의 MOD13Q1 NDVI-VCI 분석결과 .....	204
[그림 2.2.82]	대상지역의 MOD13Q1 NDVI-SVI 분석결과 .....	205
[그림 2.2.83]	대상지역의 MOD13Q1 NDVI-VSIA 분석결과 .....	205
[그림 2.2.84]	드론영상의 NIR 밴드 DN값 분포 특성 분석 위치 .....	207
[그림 2.2.85]	월정리 드론영상 주요지점 DN값 특성 .....	208
[그림 2.2.86]	장계리 드론영상 주요지점 DN값 특성 .....	209
[그림 2.2.87]	드론영상의 NDVI분포 및 MOD13Q1 비교를 위한 인덱스 .....	210
[그림 2.2.88]	드론영상의 영역별 NDVI 분포 (월정리) .....	210
[그림 2.2.89]	드론영상의 영역별 NDVI 분포 (장계리) .....	212
[그림 2.2.90]	드론영상의 영역별 평균 NDVI와 MOD13Q1의 NDVI, EVI 비교 .....	213
[그림 2.2.91]	MOD09A1-NDVI .....	214
[그림 2.2.92]	MOD09Q1-NDVI .....	215
[그림 2.2.93]	MOD13Q1-NDVI (산정식에 의함) .....	215
[그림 2.2.94]	MOD13Q1-NDVI (SDS 레이어1) .....	216
[그림 2.2.95]	MOD09A1-EVI .....	216
[그림 2.2.96]	MOD13Q1-EVI (산정식에 의함) .....	217
[그림 2.2.97]	MOD13Q1-EVI (SDS 레이어2) .....	217
[그림 2.2.98]	MOD09A1-SAVI .....	218



[그림 2.2.99] MOD09Q1-SAVI .....	218
[그림 2.2.100] MOD13Q1-SAVI .....	219
[그림 2.2.101] MOD09A1-MSAVI2 .....	219
[그림 2.2.102] MOD09Q1-MSAVI2 .....	220
[그림 2.2.103] MOD13Q1-MSAVI2 .....	220
[그림 2.2.104] MOD09A1-OSAVI .....	221
[그림 2.2.105] MOD09Q1-OSAVI .....	221
[그림 2.2.106] MOD13Q1-OSAVI .....	222
[그림 2.2.107] MOD09A1-NDWI .....	223
[그림 2.2.108] MOD09A1-NMDI .....	223
[그림 2.2.109] MOD09A1 안성지역 영상 (2010-353~2011-041) .....	224
[그림 2.2.110] MOD09A1-NMDI .....	225
[그림 2.2.111] 일죽면 MOD09A1-NDVI 분석결과 비교 .....	225
[그림 2.2.112] 일죽면 MOD13Q1-NDVI 분석결과 비교 .....	226
[그림 2.2.113] 일죽면 MOD09A1-EVI 분석결과 비교 .....	226
[그림 2.2.114] 일죽면 MOD13Q1-EVI 분석결과 비교 .....	226
[그림 2.2.115] 일죽면 MOD09A1-SAVI 분석결과 비교 .....	227
[그림 2.2.116] 일죽면 일죽면 MOD13Q1-SAVI 분석결과 비교 .....	227
[그림 2.2.117] MOD09A1-MSAVI2 분석결과 비교 .....	227
[그림 2.2.118] 일죽면 MOD13Q1-MSAVI2 분석결과 비교 .....	228
[그림 2.2.119] 일죽면 MOD09A1-OSAVI 분석결과 비교 .....	228
[그림 2.2.120] 일죽면 MOD13Q1-OSAVI 분석결과 비교 .....	228
[그림 2.2.121] 일죽면 MOD09A1-NDWI 분석결과 비교 .....	229
[그림 2.2.122] 일죽면 MOD09A1-NMDI 분석결과 비교 .....	229
[그림 2.2.123] 일죽면 MOD09A1-NDDI 분석결과 비교 .....	229
[그림 2.2.124] 가뭄지수 SPI3 (수원) .....	231
[그림 2.2.125] 가뭄지수 SPI6 (수원) .....	232
[그림 2.2.126] 가뭄지수 SPI12 (수원) .....	233
[그림 2.2.127] 가뭄지수 SPI3 (이천) .....	235
[그림 2.2.128] 가뭄지수 SPI6 (이천) .....	236
[그림 2.2.129] 가뭄지수 SPI12 (이천) .....	237
[그림 2.2.130] 가뭄지수 PN1 (수원) .....	239
[그림 2.2.131] 가뭄지수 PN1 (이천) .....	240
[그림 2.2.132] 가뭄지수 EDI (수원) .....	242
[그림 2.2.133] 가뭄지수 EDI (이천) .....	243
[그림 2.2.134] 이천 기상관측소 SPI .....	244
[그림 2.2.135] 일죽면 MOD09A1-NDVI와 이천 기상관측소SPI 비교 .....	245
[그림 2.2.136] 일죽면 MOD13Q1-NDVI와 이천 기상관측소SPI 비교 .....	245
[그림 2.2.137] 일죽면 MOD13Q1-NDVI와 이천 기상관측소SPI 비교 (계속) .....	246
[그림 2.2.138] 일죽면 MOD09A1-EVI와 이천 기상관측소SPI 비교 .....	246
[그림 2.2.139] 일죽면 MOD09A1-EVI와 이천 기상관측소SPI 비교 (계속) .....	247
[그림 2.2.140] 일죽면 MOD13Q1-EVI와 이천 기상관측소SPI 비교 .....	247
[그림 2.2.141] 일죽면 MOD09A1-SAVI와 이천 기상관측소SPI 비교 .....	248

[그림 2.2.142] 일죽면 MOD13Q1-SAVI와 이천 기상관측소SPI 비교 .....	248
[그림 2.2.143] 일죽면 MOD13Q1-SAVI와 이천 기상관측소SPI 비교 (계속) .....	249
[그림 2.2.144] 일죽면 MOD09A1-MSAVI2와 이천 기상관측소SPI 비교 .....	249
[그림 2.2.145] 일죽면 MOD09A1-MSAVI2와 이천 기상관측소SPI 비교 (계속) .....	250
[그림 2.2.146] 일죽면 MOD13Q1-MSAVI2와 이천 기상관측소SPI 비교 .....	250
[그림 2.2.147] 일죽면 MOD09A1-OSAVI와 이천 기상관측소SPI 비교 .....	251
[그림 2.2.148] 일죽면 MOD13Q1-OSAVI와 이천 기상관측소SPI 비교 .....	251
[그림 2.2.149] 일죽면 MOD13Q1-OSAVI와 이천 기상관측소SPI 비교 (계속) .....	252
[그림 2.2.150] 일죽면 MOD09A1-NDWI와 이천 기상관측소SPI 비교 .....	252
[그림 2.2.151] 일죽면 MOD09A1-NDWI와 이천 기상관측소SPI 비교 (계속) .....	253
[그림 2.2.152] 일죽면 MOD09A1-NMDI와 이천 기상관측소SPI 비교 .....	253
[그림 2.2.153] 일죽면 MOD09A1-NDDI와 이천 기상관측소SPI 비교 .....	254
[그림 2.2.154] 식생지수의 컬러매핑 사례 및 적용 .....	257
[그림 2.2.155] VGYRM LUT의 구성 .....	258
[그림 2.2.156] 사료작물 재배 NIR, RGB 영상 .....	258
[그림 2.2.157] 2018년 5월 28일 NIR 영상 분석결과 .....	259
[그림 2.2.158] 2018년 7월 25일 NIR 영상 분석결과 .....	259
[그림 2.2.159] 2018년 5월 28일 RGB 영상 분석결과 .....	260
[그림 2.2.160] 2018년 7월 25일 RGB 영상 분석결과 .....	261
[그림 2.2.161] NIR 및 RGB 기반의 식생지수의 4분위수 분포특성 .....	262
[그림 2.2.162] RG-NIR 영상촬영일의 식생상태 .....	263
[그림 2.2.163] NIR 기반의 식생지수의 시기별 분포특성(촬영영역전체) .....	264
[그림 2.2.164] NIR 기반의 식생지수의 시기별 분포특성(영상중심부(성원목장)) .....	265
[그림 2.2.165] RGB 기반의 식생지수의 시기별 분포특성(촬영영역전체) .....	266
[그림 2.2.166] RGB 기반의 식생지수의 시기별 분포특성(영상중심부) .....	267
[그림 2.2.167] MOD09A1 프로덕트 드론촬영지역 분광반사도(2017-2019) .....	268
[그림 2.2.168] MOD13Q1 프로덕트 드론촬영지역 분광반사도(2017-2019) .....	268
[그림 2.2.169] 월정리 드론촬영 전체영역 드론NIR과 MOD09A1 분광반사도 비교(2018) .....	269
[그림 2.2.170] 월정리 성원목장 경작지역 드론NIR과 MOD09A1 분광반사도 비교(2018) .....	269
[그림 2.2.171] 월정리 드론촬영 전체영역 드론RGB와 MOD09A1 분광반사도 비교(2018) .....	269
[그림 2.2.172] 월정리 성원목장 경작지역 드론RGB와 MOD09A1 분광반사도 비교(2018) .....	270
[그림 2.2.173] MOD13Q1 프로덕트 드론촬영지역 식생지수(2017-2019) .....	270
[그림 2.2.174] 월정리 드론촬영 전체영역 드론NIR과 MOD13Q1 식생지수 비교(2018) .....	270
[그림 2.2.175] 월정리 성원목장 경작지역 드론NIR과 MOD13Q1 식생지수 비교(2018) .....	271
[그림 2.2.176] 월정리 드론촬영 전체영역 드론RGB와 MOD13Q1 식생지수 비교(2018) .....	271
[그림 2.2.177] 월정리 성원목장 경작지역 드론RGB와 MOD13Q1 식생지수 비교(2018) .....	271
[그림 2.2.178] 토양수분 측정지점의 드론식생지수 비교 .....	272
[그림 2.2.179] 중부지역 밭의 사료작물 작부체계 설정 .....	274
[그림 2.2.180] 사료용 옥수수의 주요 성장과정(강원농작물도감) .....	274
[그림 2.2.181] 드론영상의 식생지수 DB 산출을 위한 모듈 프로그램 개요 .....	275
[그림 2.2.182] 안성시 일죽면 드론촬영지역 MODIS 영상 pixel 매칭위치 (250m) .....	275
[그림 2.2.183] 안성지역 MODIS 영상자료 구축 .....	276
[그림 2.2.184] 방사보정된 반사도 영상을 획득하기 위한 보정판 활용 .....	278

[그림 2.2.185] 정밀농업을 위한 실시간 식생지수 관측 드론탑재용 카메라 .....	279
[그림 2.2.186] 드론영상 활용 제한 지역 유형 .....	280
[그림 2.3.1] 객체 기반 분류의 형상 공간 시각화 .....	281
[그림 2.3.2] 무인기를 활용한 벼 생육 모니터링 .....	282
[그림 2.3.3] 꽃거름 재배단지 무인기 촬영 영상 및 필지별 질소 함량 분포지도 .....	283
[그림 2.3.4] 드론 영상 취득 및 처리 .....	283
[그림 2.3.5] 드론을 통한 영상 취득. a) 실제 증발량, b) NDVI, c) SAVI .....	284
[그림 2.3.6] Result of regression analysis between slope and other variables .....	286
[그림 2.3.7] Result of regression analysis between acre range and other variables .....	286
[그림 2.3.8] 왼쪽 위부터 오른쪽 아래 순서대로 연구지역, 기상관측소 지점, water level station 및 소유역, DEM, 토지피복도, 토양도 .....	287
[그림 2.3.9] DEM 및 토지피복에 따른 LSWI 변화율 .....	288
[그림 2.3.10] MODIS NDVI와 SWAT 사이의 토양수분 관계 .....	289
[그림 2.3.11] 2008년 우리나라 전역의 평균 토양수분 .....	289
[그림 2.3.12] 2001년 가뭄지수 지도화 .....	290
[그림 2.3.13] 수분 함유율 (X축) 및 근적외분광분석법 (Y축) 그래프 .....	291
[그림 2.3.14] 2000년도의 사회현상과 연구를 통한 습윤지표와의 연관성 .....	292
[그림 2.3.15] 관측소별 토지피복 구성 .....	294
[그림 2.3.16] 각 지점별 SPI, PDSI, EDI 분석 결과 .....	295
[그림 2.3.17] NDVI와 VCI 값의 비교 (1994 - 2003) .....	296
[그림 2.3.18] VCI와 강수량, 가뭄지수와의 비교 .....	296
[그림 2.3.19] 2001년 6월 3일 토양수분도 (좌측부터 4월, 5월, 6월) .....	297
[그림 2.3.20] 한반도 ESI 분포 .....	297
[그림 2.3.21] 안성시 일죽면 월정리 719(좌) 및 죽산면 장계리 521(우) .....	298
[그림 2.3.22] 안성시 일죽면 월정리(좌) 및 죽산면 장계리(우) 작물 현황 .....	298
[그림 2.3.23] 토양수분측정 센서(GS-1)(좌) 및 출력장치(ProCheck)(우) .....	299
[그림 2.3.24] FDR 센서 구조 .....	300
[그림 2.3.25] FDR 센서 설치 .....	301
[그림 2.3.26] 농경지 토양시료 채취 .....	302
[그림 2.3.27] 일죽면 월정리 일대 토양수분 측정 지점 .....	302
[그림 2.3.28] 토양 시료채취기 .....	303
[그림 2.3.29] 토양시료 채취법 예시 .....	303
[그림 2.3.30] 코어 채취 장비(① 시료원통 ② 채토보조기, ③ 해머) .....	303
[그림 2.3.31] 일죽면 월정리 일대 기상관측장비 설치 .....	304
[그림 2.3.32] 기상관측장비 구조 및 설치 .....	304
[그림 2.3.33] NDVI 센서 작동 모식도 .....	305
[그림 2.3.34] 2018년 4월 17일 NDVI영상 .....	306
[그림 2.3.35] 2018년 5월 9일 NDVI 영상 .....	306
[그림 2.3.36] 2018년 5월 28일 NDVI영상 .....	307
[그림 2.3.37] 2018년 6월 11일 NDVI영상 .....	307
[그림 2.3.38] 2018년 6월 25일 NDVI영상 .....	307
[그림 2.3.39] 2018년 7월 12일 NDVI영상 .....	308
[그림 2.3.40] 2018년 7월 25일 NDVI영상 .....	308

[그림 2.3.41] 2018년 8월 8일 NDVI영상 .....	308
[그림 2.3.42] 월정리 토양수분 분석용 시료 채취 포인트 (6월 22일) .....	309
[그림 2.3.43] 월정리 토양성분 분석용 시료 채취 포인트 (6월 22일) .....	309
[그림 2.3.44] 17번 지역에 대한 토양삼각도 (빨강:5cm, 파랑:15cm, 노랑:30cm) .....	310
[그림 2.3.45] 18번 지역에 대한 토양삼각도 (빨강:5cm, 파랑:15cm, 노랑:30cm) .....	310
[그림 2.3.46] 11번 지역에 대한 토양삼각도 (빨강:5cm, 파랑:15cm, 노랑:30cm) .....	311
[그림 2.3.47] 월정리 토양수분 측정 72개 지점 .....	312
[그림 2.3.48] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.04.03) .....	312
[그림 2.3.49] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.04.12) .....	313
[그림 2.3.50] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.05.09) .....	313
[그림 2.3.51] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.05.28) .....	313
[그림 2.3.52] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.06.11) .....	314
[그림 2.3.53] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.07.12) .....	314
[그림 2.3.54] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.07.25) .....	314
[그림 2.3.55] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.08.08) .....	315
[그림 2.3.56] TDR 토양수분 품질 평가 (2018-2019 취득 데이터) .....	321
[그림 2.3.57] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (10cm) .....	321
[그림 2.3.58] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (20cm) .....	322
[그림 2.3.59] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (30cm) .....	322
[그림 2.3.60] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (40cm) .....	322
[그림 2.3.61] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (50cm) .....	323
[그림 2.3.62] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (60cm) .....	323
[그림 2.3.63] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (70cm) .....	323
[그림 2.3.64] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (80cm) .....	324
[그림 2.3.65] 깊이별 토양 온도 (10cm) .....	324
[그림 2.3.66] 깊이별 토양 온도 (20cm) .....	324
[그림 2.3.67] 깊이별 토양 온도 (30cm) .....	325
[그림 2.3.68] 깊이별 토양 온도 (40cm) .....	325
[그림 2.3.69] 깊이별 토양 온도 (50cm) .....	325
[그림 2.3.70] 깊이별 토양 온도 (60cm) .....	326
[그림 2.3.71] 깊이별 토양 온도 (70cm) .....	326
[그림 2.3.72] 깊이별 토양 온도 (80cm) .....	326
[그림 2.3.73] 깊이별 토양 온도 (10cm - 80cm) .....	327
[그림 2.3.74] 기상 관측 장비를 통해 취득한 풍속 데이터 (2017년 7월) .....	327
[그림 2.3.75] 기상 관측 장비를 통해 취득한 풍속 데이터 (2017년 8월) .....	328
[그림 2.3.76] 기상 관측 장비를 통해 취득한 풍속 데이터 (2017년 9월) .....	328
[그림 2.3.77] 기상 관측 장비를 통해 취득한 일사량 데이터 (2017년 7월) .....	329
[그림 2.3.78] 기상 관측 장비를 통해 취득한 일사량 데이터 (2017년 8월) .....	329
[그림 2.3.79] 기상 관측 장비를 통해 취득한 일사량 데이터 (2017년 9월) .....	330
[그림 2.3.80] 기상 관측 장비를 통해 취득한 NDVI 데이터 (2017년 7월) .....	330
[그림 2.3.81] 기상 관측 장비를 통해 취득한 NDVI 데이터 (2017년 8월) .....	331
[그림 2.3.82] 기상 관측 장비를 통해 취득한 NDVI 데이터 (2017년 9월) .....	331
[그림 2.3.83] 기상 관측 장비를 통해 취득한 온도 데이터 (2017년 7월) .....	332

[그림 2.3.84] 기상 관측 장비를 통해 취득한 온도 데이터 (2017년 8월) .....	332
[그림 2.3.85] 기상 관측 장비를 통해 취득한 온도 데이터 (2017년 9월) .....	333
[그림 2.3.86] 기상 관측 장비를 통해 취득한 상대습도 데이터 (2017년 7월) .....	333
[그림 2.3.87] 기상 관측 장비를 통해 취득한 상대습도 데이터 (2017년 8월) .....	334
[그림 2.3.88] 기상 관측 장비를 통해 취득한 상대습도 데이터 (2017년 9월) .....	334
[그림 2.3.89] 농촌진흥청 정밀토양도 자료 구축 .....	335
[그림 2.3.90] 농촌진흥청 정밀토양도 자료 구축 .....	335
[그림 2.3.91] 농촌진흥청 토양수분 관측망 지점 .....	337
[그림 2.3.92] FDR 토양수분 및 온도 측정 장비 설치 및 장비 구조 .....	338
[그림 2.3.93] 1975년~2016년 발면적 자료 구축 .....	338
[그림 2.3.94] 2017년 월별 평균 토양수분율 분포 .....	339
[그림 2.3.95] 2018년 월별 평균 토양수분율 분포 .....	339
[그림 2.3.96] 기준증발산량 분석 .....	340
[그림 2.3.97] 다양한 인자를 통해 분석한 가뭄 취약 지역 공간분포 지도 .....	341
[그림 2.3.98] Water balance in soil .....	344
[그림 2.3.99] Example of Runs theory in this study .....	347
[그림 2.3.100] Result of actual evapotranspiration simulation .....	351
[그림 2.3.101] Result of effective rainfall and soil moisture simulation .....	351
[그림 2.3.102] Compare of soil moisture content on observed and simulated .....	352
[그림 2.3.103] Compare of soil moisture content in testbed .....	353
[그림 2.3.104] 2015년 시도별 피해면적 및 지원 예산 (채광석 외, 2016) .....	353
[그림 2.4.1] 드론의 활용 분야 .....	355
[그림 2.4.2] 연구개발대상 관련기술의 국내·외 현황 .....	355
[그림 2.4.3] 드론 기반 농업가뭄 모니터링 기술개발 .....	356
[그림 2.4.4] 드론 영상처리 SW 선별 .....	358
[그림 2.4.5] 테스트베드 선정 과정 .....	359
[그림 2.4.6] 장거리 촬영지역 .....	359
[그림 2.4.7] 월정리 촬영지역 .....	360
[그림 2.4.8] 테스트베드 드론촬영 .....	361
[그림 2.4.9] 촬영조건 선정 .....	361
[그림 2.4.10] 드론 영상처리 .....	362
[그림 2.4.11] 드론영상 DB 구축 현황 .....	362
[그림 2.4.12] 분광 대역별 영상 제작 .....	363
[그림 2.4.13] 가뭄 우심지역에 대한 이기종 드론영상 융합 기술개발 .....	364
[그림 2.4.14] 월정리 시험 지역의 드론 기반 NDVI 측정 값 .....	364
[그림 2.4.15] 광역적 위성영상 분석을 통한 모니터링 대상지역 선정 .....	365
[그림 2.4.16] 드론영상 식생지수 산정 및 상호비교를 통한 최적 지수 산정결과 .....	366
[그림 2.4.17] 드론영상의 식생지수 DB 산출을 위한 모듈 프로그램 개요 .....	367
[그림 2.4.18] 연구 동향 조사 및 분석 .....	368
[그림 2.4.19] 토양수분 모니터링 자료 기반구축 .....	368
[그림 2.4.20] 무인기를 활용한 작물수분 스트레스 평가기술 개발 인자 .....	369
[그림 2.4.21] 가뭄피해 분석 인자 구축 .....	369
[그림 2.4.22] 월정리 시험 지역의 TDR 토양수분 측정 값 .....	370
[그림 2.4.23] 드론영상 식생지수별 특성 통계적 비교분석 .....	370

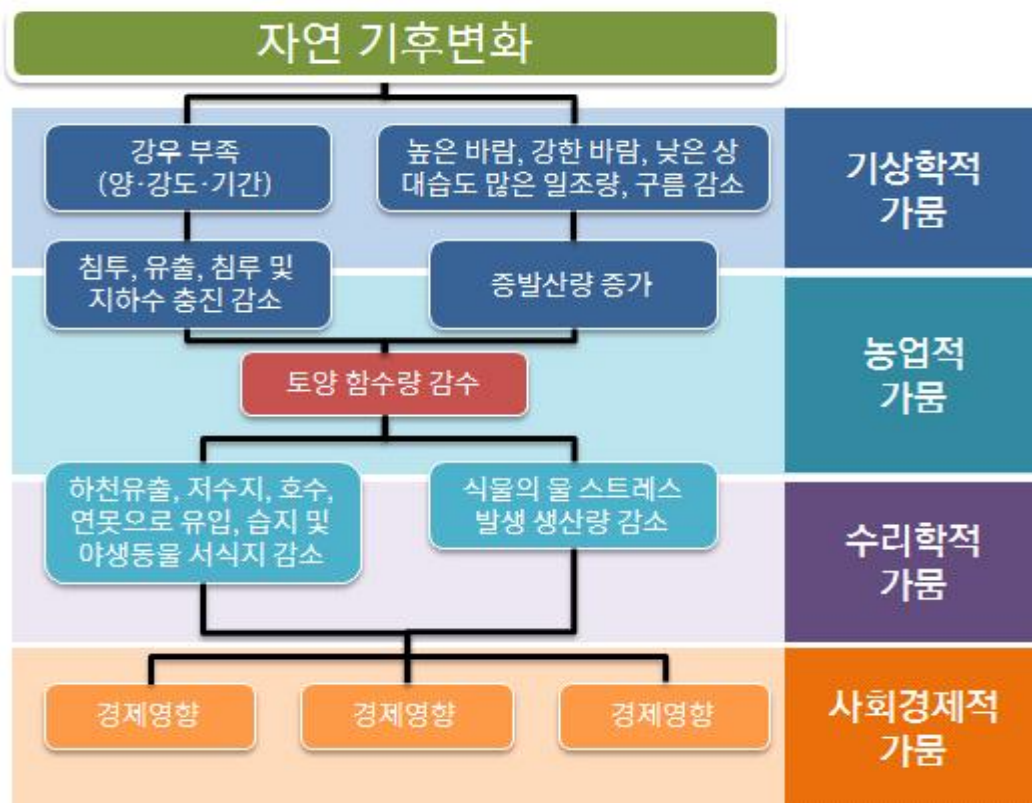
[그림 2.4.24] 광역적 위성영상과 드론영상의 분광, 식생지수, 토양수분 특성 통계적 비교분석 ..... 371

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제1절 연구개발의 개요

### 1. 연구개발 배경 및 목적

가뭄은 일반적으로 예년 평균 강수량보다 적은 강수량인 경우에 발생하는데 그 유형이 크게 기상학적 가뭄, 농업학적 가뭄, 수문학적 가뭄, 사회경제적 가뭄의 4가지의 전문적인 정의를 이용하여 가뭄을 규정한다. 우리나라 2016년 이상기후 보고서에 따르면 2016년 7월과 8월의 경우 폭염을 동반한 가뭄으로 인해 과실 및 농작물 고사 등 농작물 피해와 가축 폐사 피해가 발생하였고 이러한 가뭄이 발생하는 지역에서 농산물 가격의 상승등 동반하게 된다. 최근 기상이변과 지구 온난화로 가뭄 피해는 지속적으로 증가하는 추세이다. 최초 기상학적 가뭄은 농업 분야의 농작물 작황 현황에 직접적으로 영향을 미치는 이와 더불어 사회·인문·경제적 다양한 문제를 야기한다.



[그림 1.1.2] 가뭄 영향 순서도

현재까지 수행된 주요 가뭄 연구는 주로 기상학적 가뭄과 수리학적 가뭄 연구 중심이었으며, 영상정보 및 식생지수와 같은 공간정보에 기반한 가뭄을 예측하고 피해를 과학적으로 산출하는 기법 연구에는 미흡한 실정이다. 최근에는 센서 기술의 발전에 힘입어 위성과 드론에 장착된 광학영상과 근적외선 영상을 이용하여 토양의 함수율과 농작물의 작황 현황을 간접적으로 분석할 수 있는 기술이 개발되었다. 이러한 최신기술을 농업 가뭄 모니터링에 접목한다면

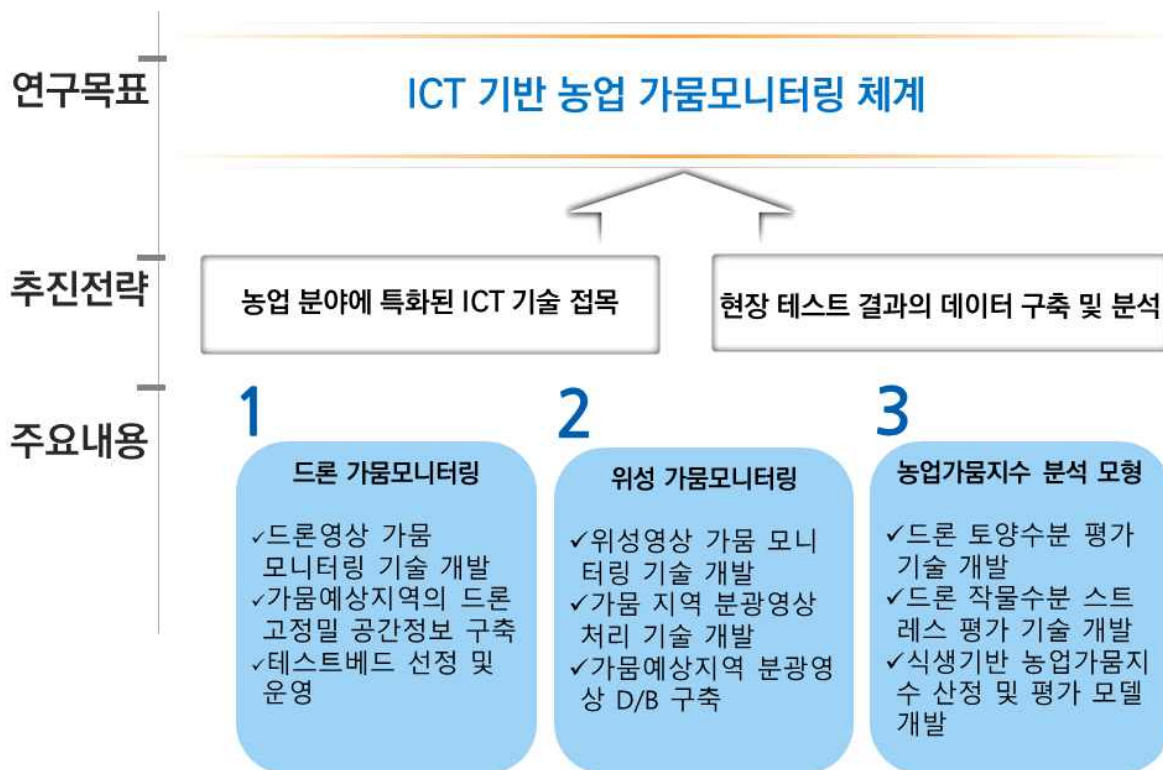
광범위한 지역과 국부지역의 토양함수율과 농작물 작황 현황을 파악할 수 있다.

## 2. 연구개발의 목적

기존 가뭄 시스템과 집중 모니터링 방식은 주로 기상학적 가뭄 모니터링 중심에 국한되었다. 하지만 이러한 시스템과 모니터링 체계는 강수량, 기상환경 파악 중심으로 운영되기 때문에 농작물 작황과 토양 함수율에 직접적인 상관 관계를 제시하기에는 부족한 점이 있다. 또한 최근 드론 및 위성영상을 이용한 원격탐사 기법의 ICT(정보통신기술)의 접목에는 제한적이였다.

이에 본 연구에서는 ICT 기술인 드론 및 위성영상을 활용하여 고정밀 모니터링과 신속한 가뭄예상지역에서 피해 현황 파악하여 농업가뭄에 적합한 모니터링 기술 개발을 목적으로 한다. 이를 선정된 테스트베드에서 취득한 토양 함수율과 드론 정보를 이용하여 현장 중심의 연구성과를 도출하였다. 또한 최신 기술인 드론을 이용한 정보통신기술을 농업 분야에 접목하여 연구를 수행하였다.

구체적인 연구수행 내용으로는 국지적인 가뭄 모니터링 체계 구축을 위해 드론 기술을 접목한 가뭄 모니터링 체계 구축, 광범위한 지역의 가뭄 모니터링을 위해 위성 영상의 분광DB 및 식생지수 산정 기술 개발 마지막으로 토양 수분과 식생지수에 기반한 농업 가뭄 모니터링 지수 산정 및 평가 모델을 개발하였다.



[그림 1.1.3] 주요 연구내용 및 연구목표

## 3. 기대효과

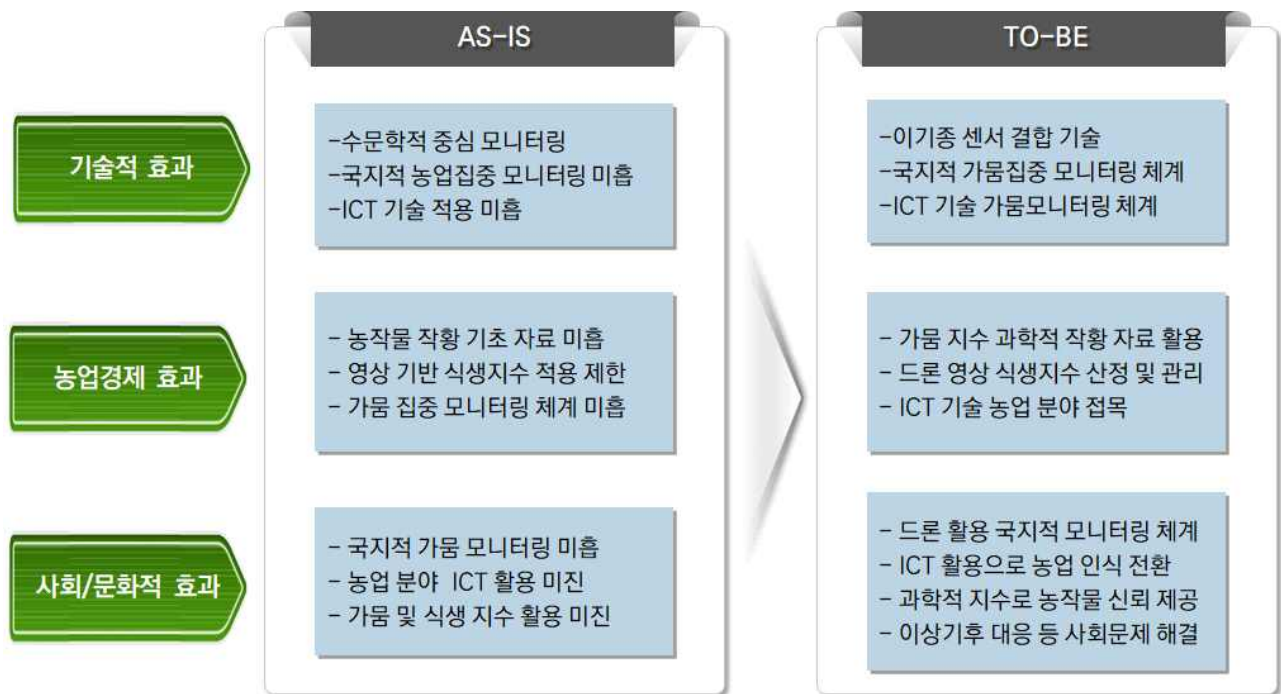
본 연구의 성과로 제시하는 “ICT 기반 농업 가뭄 모니터링 체계 구현”은 국지적인 농작물 작황과 가뭄 모니터링에 효율적으로 사용될 수 있으며, 드론과 위성으로 구축한 다양한 정보를 이용하여 과학적이고 효과적인 농업 가뭄지수 및 평가모델을 제작할 수 있다.



본 연구의 기술적 기대효과는 기존의 기상학적, 수문학적 가뭄에 국한된 농작물 가뭄 모니터링 체계 한계를 극복할 뿐만 아니라 다양한 정보통신과 이기종 센서로 취득한 정보를 취합하고 분석할 수 있는 농작물 가뭄 모니터링 체계의 기술적 기반을 마련하였다. 또한 국지적 농작물 작황과 가뭄 모니터링에 드론 등 최신 기술을 접목하여 실시간 현장 대응과 효과적인 자료 구축에 기여할 것이다.

이러한 기술적 성취는 농업 분야에서 가뭄과 연계된 농작물 작황 기초자료가 부족한 문제를 해결하고 농업 분야에 특화된 가뭄 모니터링 체계 구현에 기여할 것이다. 또한 드론에서 구축한 다양한 정보를 이용하여 국지적인 가뭄 모니터링과 농작물 식생지수를 산정하고 평가하는 기반을 마련하였다. 향후 농업 분야에서 ICT 기술과 접목한 농업 기술 진흥에 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

본 연구는 최신 드론 기술과 정보통신기술을 농업분야에 접목하여 수문학적 중심의 가뭄 모니터링 체계에서 벗어나 실제 농작물의 작황 현황과 가뭄 모니터링 체계 구축을 목표로 하였다. 이러한 연구성과는 농업 분야의 활용 가능성 타진뿐만 아니라 이상기후 대응을 위한 사회 문제 해결방안 제시에도 기여할 것이다. 식생지수에 기반한 농업 가뭄 모니터링 지수 및 평가 모형 개발은 가로수, 도시 녹화 등의 농업 분야 이외에서도 활용가능하며 이러한 과학적 지수 산정 방법론은 기상이변 대응 자료 및 해결방안으로 제시 가능하다.



[그림 1.1.4] 연구성과 기대효과

## 제2절 연구 목표 및 내용

### 1. 최종목표

		코드번호	B-05-01
구분	내용		
최종목표	<p>본 연구개발의 최종 목표는 농업가뭄 모니터링 지원을 위한 ICT 기술인 드론 및 위성영상 활용 기술을 개발하기 위하여 다음과 같은 목표를 달성하는데 있음</p> <p>&lt;1차년도 : 기법 상세정립&gt;</p> <p>&lt;2차년도 : 핵심기술의 개발&gt;</p> <p>&lt;3차년도 : 핵심기술의 구현 및 실증적용을 위한 서비스체계 구축&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 위성영상을 활용한 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술 개발</li> <li>○ 드론을 활용한 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술 개발</li> <li>○ 가뭄피해 면적, 작물 등의 산출을 통한 가뭄피해 분석 기술 개발</li> <li>○ 가뭄모니터링 테스트베드 설치 및 운영/ 적용성 평가</li> </ul>		
세부목표	<p>세부 1: 신한항업</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 드론을 활용한 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술 개발</li> <li>○ 가뭄예상지역의 드론을 이용한 초고해상도(GSD 5cm)영상 취득</li> <li>○ 초고해상도 멀티스펙트럴영상, 정사영상, 수치표면자료, 시계열영상, 열화상영상, NIR, 펜샬프닝영상</li> <li>○ 가뭄모니터링 테스트베드 설치 및 운영/ 적용성 평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 가뭄예상지역 집중 가뭄모니터링 대상지 발굴</li> <li>- 집중 가뭄모니터링 테스트베드 구축</li> <li>- ICT 기술을 활용한 테스트베드 운영 및 적용성 평가</li> </ul> </li> </ul> <p>세부 2: 수계환경연구소</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 위성영상을 활용한 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술 개발</li> <li>○ 분광영상을 이용한 가뭄예상지역 영상처리 기술 개발</li> <li>○ 가뭄예상지역 모니터링을 위한 분광영상 D/B 구축</li> </ul> <p>세부 3: 한경대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 가뭄피해 면적, 작물 등의 산출을 통한 가뭄피해 분석 기술 개발</li> <li>○ 가뭄피해 면적, 작물 등의 산출을 통한 경제성 분석 (피해발생시 손실예상액)</li> <li>○ 경제성 분석 등을 고려하여 가뭄피해 대책 우선지구 선정</li> <li>○ ICT를 활용한 가뭄 모니터링 연구 동향 조사 및 자료기반구축</li> <li>○ 무인기를 활용한 토양수분 평가 기술 개발</li> <li>○ 무인기를 활용한 작물수분 스트레스 평가 기술 개발</li> <li>○ 무인기를 활용한 가뭄피해 분석 모형 개발 및 시범지역 적용</li> <li>○ 한국형 식생기반 농업가뭄지수 산정 및 평가 모델 개발</li> </ul>		

## 2. 연차별 개발목표 및 내용

코드번호	B-05-02
<p><b>가. 1차년도</b></p> <p>① 개발 목표</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 주관연구기관(신한항업) : 가뭄 모니터링을 위한 드론의 적용기술 분석 및 연구 방법론 정립</li> <li>- 협동연구기관(한국수계환경연구소) : 위성 및 드론영상 활용 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 영상처리기술 개발</li> <li>- 협동연구기관(한경대학교) : ICT기술을 활용한 가뭄모니터링 및 가뭄피해 분석 기술 개발</li> </ul> <p>② 개발 내용 및 범위</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 주관연구기관(신한항업) : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 드론을 활용한 모니터링 기술개발 현황 분석</li> <li>• 가뭄 모니터링을 위한 드론의 활용범위 및 구축대상자료 설정</li> <li>• 드론을 활용한 가뭄 모니터링 기술개발방안 수립</li> <li>• 테스트베드 설정 및 테스트 비행</li> <li>• 유·무인 항공기 운용 및 광학영상 취득 <ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 초고해상도 멀티스펙트럴영상, 정사영상, NIR</li> </ul> </li> <li>• 산학연의 기술교류를 통하여 가뭄에 취약한 작물의 선정과 조사</li> <li>• 드론 플랫폼 도입과 관련하여 최적화된 플랫폼 및 센서조사 및 도입방안 검토</li> </ul> </li> <li>- 협동연구기관(한국수계환경연구소) : <ul style="list-style-type: none"> <li>• MODIS등 광역적(Global) RS 영상을 이용한 가뭄지역 분석 기술현황 파악 <ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 데이터 획득주기, 영상처리기법, 가뭄분석 방법</li> </ul> </li> <li>• 드론영상을 활용한 국소적(Local) 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 현장조사 방안 <ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 광역적 분석결과로부터 대상지역의 선정방안</li> <li>▷ 드론영상 분석을 위한 현장조사 병행항목설정 : 기상자료, 토양수분, 관개량, 현장분광측정(복사량) 등</li> </ul> </li> <li>• 국소적(Local) 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 분광드론 영상의 특성분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 기상 및 토양수분 측정자료와 파장대별 영상의 DN(Digital Number) 상관관계 분석</li> <li>▷ 상관관계가 높은 파장대 영상자료 패턴분석</li> </ul> </li> </ul> <p>※ 테스트베드가 선정되고 일정기간의 UAV 영상촬영</p> </li> <li>- 협동연구기관(한경대학교) : ICT를 활용한 가뭄 모니터링 연구 동향 조사 및 자료기반구축 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내외 무인기를 활용한 가뭄 모니터링 연구 동향 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>국내외 무인기 종류 및 영상센서(열화상, 다중분광센서 및 레이더) 기반 밭작물 가뭄모니터링 연구 및 적용 기술 분석 및 평가</li> </ul> </li> <li>• 국내외 영상센서 기반 토양수분 평가모형 조사 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 국내외 영상센서 기반 토양수분 분석모형 조사 및 분석</li> <li>▷ 국내외 토양수분 모형과 무인기 영상센서를 활용한 토양수분 평가 모형 조사 및 분석</li> </ul> </li> <li>• 국내외 영상센서 기반 밭작물 수분스트레스 평가 모형 조사 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 열화상 및 다중분광센서 기반 밭작물 생육기별 분광라이브러리 조사</li> <li>▷ 밭작물 생육기별 분광라이브러리를 활용한 수분스트레스 평가모형 조사 및 분석</li> <li>▷ 분광라이브러리 기반 밭작물 수분스트레스 평가모형 선정 및 세부 분석</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> <p><b>나. 2차년도</b></p>	

① 개발 목표

- 주관연구기관(신한항업) : 가뭄 우심지역의 드론 영상 취득 및 영상처리기술 연구
- 협동연구기관(한국수계환경연구소) : 드론영상 활용 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 영상처리기술 개발
- 협동연구기관(한경대학교) : 무인기를 활용한 토양수분 평가 기술 개발

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(신한항업) :

- 가뭄 모니터링 테스트 베드 선정 및 드론 운용을 통한 영상취득
  - ▷ 초고해상도 멀티스펙트럴영상(5cm급), 정사영상, 수치표면자료, 시계열영상, NIR, 열화상영상
- 가뭄 모니터링을 위한 드론영상의 가공처리기술 개발
  - ▷ 영상집성, 중첩, 정사처리, 수치표면자료 생성, 펜샤프닝 기법, 시계열영상 구축
  - ▷ 드론의 제어기술은 상용화된 소프트웨어를 이용하며, 원격탐사의 효율적 수행과 현장상황 등을 고려하여 경우에 따라서 제어기술을 응용함

- 협동연구기관(한국수계환경연구소) :

- 국소적(Local) 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 분광드론 영상의 특성분석
  - ▷ NDVI, NDWI, MSI 등 식생 및 토양수분관련 지수 분석 및 현장조사자료(토양수분, 기상, 관개량, 현장분광측정 등) 비교를 통한 가뭄모니터링 최적과장대 및 지수선정
    - \* 식생지수(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)
    - \* 수분지수 (NDWI, Normalized Difference Water Index)
    - \* 수분스트레스지수(MSI, Moisture Stress Index)
- 국소적 영상분석결과와 광역적 분석결과와의 관계 분석
  - ▷ 드론영상과 MODIS영상을 이용하여 분석된 가뭄상태의 상관관계 분석
  - ▷ 국소적, 광역적 영상기반 가뭄모니터링의 장단점 비교
- 영상의 패턴분석을 통한 작물 및 토양상태별 가뭄상태판단 영상 D/B구축

- 협동연구기관(한경대학교) :

- 무인기를 활용한 토양수분 모니터링 자료 기반구축
- 무인기를 활용한 작물수분 스트레스 평가 기술 개발
  - ▷ 토양수분모형 입력자료기반(기상관측자료, 토지이용, 토양도 등) 구축
  - ▷ 토성별 토양수분 장력기반 변환을 위한 기본 자료구축
  - ▷ 영상 스펙트럼별 토양수분 평가 라이브러리 구축
- 가뭄평가를 위한 밭작물 토양수분 모형 개발
  - ▷ SMEP기반 토성별 토양수분 분석 모듈 개발
  - ▷ 작물 및 토성별 토양수분 분석 라이브러리 구축
- 지상 토양수분센서를 활용한 무인기 토양수분 분석 기술개발
  - ▷ 토양수분 모형과 무인기 영상 스펙트럼 연계 분석 기술 개발
  - ▷ 아두이노를 활용한 지상 모바일 수분관측기술개발
  - ▷ 지상 토양수분관측자료를 활용한 토양수분 및 무인기 영상활용 기술 개발
- 영상센서 스펙트럼 기반 작물별 수분스트레스 라이브러리 구축
  - ▷ 무인기 영상을 활용한 작물생육 분석을 위한 식생지수 조사 및 구축
  - ▷ 작물별 열화상 및 다중분광영상 활용을 위한 작물생육시기별 스펙트럼 라이브러리 구축
- 무인기 영상센서 기반 작물 수분스트레스 분석모형 개발
  - ▷ 무인기 영상 식생지수를 활용한 밭작물 생육시기별 수분스트레스 분석기술 개발
  - ▷ 무인기 영상 스펙트럼을 활용한 밭작물 생육시기별 수분스트레스 분석기술 개발

- ▷ 식생지수 및 스펙트럼을 연계한 발작물 생육시기별 수분스트레스 분석모형 개발
- 가뭄피해 분석을 위한 작물 수분스트레스 평가모형 개발
  - ▷ 무인기 영상 식생지수에 따른 발작물 수분 스트레스 평가 지표 개발
  - ▷ 무인기 영상 스펙트럼을 활용한 발작물 수분 스트레스 평가 지표 개발
  - ▷ 무인기 영상을 활용한 발작물 수분스트레스 평가 지표 및 모형 개발

**다. 3차년도**

① 개발 목표

- 주관연구기관(신한항업) : 가뭄 우심지역의 드론영상 고도화 및 영상처리기술 적용
- 협동연구기관(한국수계환경연구소) : 드론영상 활용 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 영상처리기술 고도화
- 협동연구기관(한경대학교) : 무인기를 활용한 가뭄피해 분석 모형 개발 및 시범지역 적용

② 개발 내용 및 범위 (시스템 구성도, 구조 등을 그림으로 구체적 표현)

- 주관연구기관(신한항업) :
  - 가뭄 모니터링 테스트 베드 선정 및 드론성과의 고도화
    - ▷ 초고해상도 멀티스펙트럴영상(5cm급), 정사영상, 수치표면자료, 시계열영상, NIR, 열화상영상, 3차원공간정보 구축
- 협동연구기관(한국수계환경연구소) :
  - 국소적(Local) 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 분광드론영상의 특성분석
    - ▷ 추가촬영된 영상을 이용하여 2차년도 연구에서 선정된 가뭄모니터링 최적과장대 및 영상지수 분석방법을 비교하고 보완
  - 영상의 패턴분석을 통한 작물 및 토양상태별 가뭄상태판단 영상 D/B구축
  - 분광드론영상기반 가뭄집중모니터링을 위한 영상처리 운영방안
    - ▷ 가뭄예상지역의 드론영상취득 주기, CCD센서 선정, 현장기록항목 등
  - 테스트베드의 기타작물 재배지역에 대한 드론영상 D/B 구축방안 제시
- 협동연구기관(한경대학교) :
  - 토양수분과 작물 수분스트레스를 고려한 발작물 가뭄피해분석 모형개발
    - ▷ 토양수분과 수분스트레스 지수를 활용한 발작물 가뭄평가 지수 개발
    - ▷ 발작물 토양수분 모형과 수분스트레스 모형을 연계한 가뭄피해분석 모형개발
  - 시범지역 자료기반 구축 및 가뭄피해 분석 모형의 시범 지역 적용
    - ▷ 시범지역 선정 및 토양수분 모형 입력자료 기반 구축
    - ▷ 시범지역 발작물 선정 및 작물별 영상 스펙트럼 라이브러리 구축
    - ▷ 시범지역 가뭄피해 분석 모형 시범 적용, 평가 및 보완

[표 1.2.1] 기관별 연차 연구목표 및 성과

연차	기관명	연구목표	연구성과
1차년도	(주)신한항업	• 드론을 활용한 모니터링 기술개발 현황 분석	▶ 국내외 드론 현황 및 드론 활용 모니터링 기술 현황 조사서
		• 가뭄 모니터링을 위한 드론의 활용범위 및 구축대상자료 설정	▶ 시범대상지역 선정 및 RGB, NIR, 열화상DB 등 구축대상자료 설정
		• 드론을 활용한 가뭄 모니터링 기술개발방	▶ 연구 전체 설계 및 DB 구축 방안

	안 수립	수립
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 테스트베드 설정 및 테스트 비행</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 7개 후보지를 대상으로 현장조사를 실시하여 안성 지역을 테스트베드 지역으로 선정하였으며 시범비행 실시</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유·무인 항공기 운용 및 광학영상 취득</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 초고해상도 멀티스펙트럴영상, 정사영상, NIR</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 산학연의 기술교류를 통하여 가뭄에 취약한 작물의 선정과 조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 테스트베드 지역 선정 및 연구진 협의 결과 작물 선정</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 드론 플랫폼 도입과 관련하여 최적화된 플랫폼 및 센서조사 및 도입방안 검토</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 드론 센서 도입 및 시범운영 실시</li> </ul>
환경대학교	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내외 무인기를 활용한 가뭄 모니터링 연구 동향 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 국내 및 국외 지상데이터 기반 가뭄 모니터링 기술 현황 조사</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내외 무인기 종류 및 영상센서(열화상, 다중분광센서 및 레이더) 기반 발작물 가뭄모니터링 연구 및 적용 기술 분석 및 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 국내 및 국외 위성, 드론 등 영상을 활용한 가뭄 모니터링 현황 조사</li> <li>▶ 국내 무인기의 농업분야 활용 현황을 조사하였으며 이를 토대로 본 연구에 필요한 무인기 스펙 및 해상도 등 조사</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내외 영상센서 기반 토양수분 평가모형 조사 및 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ MODIS, Landsat, NOAA 등을 통한 토양수분, 증발산량, 기상데이터 취득, 이를 활용한 가뭄 평가 모형 조사 실시</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내외 영상센서 기반 발작물 수분스트레스 평가 모형 조사 및 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 위성영상을 활용한 가뭄 모니터링 연구사 조사 및 본 연구과제에 적용성 검토</li> </ul>
한국수계환경연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MODIS등 광역적(Global) RS 영상을 이용한 가뭄지역 분석 기술현황 파악</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 위성영상 특성 및 가뭄분석 활용기술에 관한 사항 조사 검토</li> <li>▶ 기상학적 가뭄지수, 영상기반 가뭄지수 사례조사</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 드론영상을 활용한 국소적(Local) 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 현장조사 방안</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 대상지역 선정을 위한 MODIS 영상의 NDVI, EVI, VCI, SVI, VSIA 분석 검토</li> <li>▶ 기상현황, 가뭄지수 비교</li> <li>▶ 현장조사 병행항목 검토</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국소적(Local) 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 분광드론 영상의 특성분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 드론영상 DN 특성분석</li> <li>▶ 드론과 위성영상 식생지수의 비교를 통한 특성분석</li> </ul>
2차년도 (주)신한항업	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가뭄 모니터링 테스트 베드 선정 및 드론 운용을 통한 영상취득</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 안성 지역 테스트베드 선정</li> <li>▶ 지상기준점(GCP) 측량을 위한 VRS 측량 실시</li> <li>▶ 총 8회 드론 촬영 및 영상 구축</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가뭄 모니터링을 위한 드론영상의 가공처리기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 드론 전용 SW를 이용한 영상 가공처리 및 성과물 도출</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 정사영상, NIR 가공처리기술</li> </ul>
환경대학교	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 무인기를 활용한 토양수분 모니터링 자료 기반구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 시범지역을 대상으로 토양수분 장치 및 TDR을 통한 직접 토양수분 측정 실시</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 무인기를 활용한 작물수분 스트레스 평가 기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 토양수분 모형 입력 자료기반(기상관측자료, 토지이용, 토양도 등) 구축</li> <li>▶ 토성별 토양수분 장력기반 변환을 위한 기본 자료구축</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가뭄평가를 위한 밭작물 토양수분 모형 개발</li> <li>• 지상 토양수분센서를 활용한 무인기 토양수분 분석 기술개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ SMEP기반 토성별 토양수분 분석 모듈 개발</li> <li>▶ 토양수분 모형과 무인기 영상 스펙트럼 연계 분석 기술 방안 수립</li> <li>▶ 지상 토양수분 관측 자료를 활용한 토양수분 및 무인기 영상 활용 방안 수립</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 영상센서 스펙트럼 기반 작물별 수분스트레스 라이브러리 구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 무인기 영상을 활용한 작물생육 분석을 위해 식생지수 조사 및 구축</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 무인기 영상센서 기반 작물 수분스트레스 분석모형 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 무인기 영상 식생지수 및 스펙트럼을 활용한 작물 생육 별 수분스트레스 분석기술 개발 방안 수립</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가뭄피해 분석을 위한 작물 수분스트레스 평가모형 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 무인기 영상을 활용한 식생지수에 따른 밭작물 수분 스트레스 평가 지표 개발</li> </ul>
한국수계환경연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국소적(Local) 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 분광드론 영상의 특성분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 대상지역 기상 및 가뭄현황조사</li> <li>▶ 가뭄모니터링을 위한 영상기반 식생 및 가뭄지수 분석</li> <li>▶ 영상기반 정보와 기상학적 가뭄지수 SPI와 비교 검토</li> <li>▶ 드론 NIR , RGB 영상 지수제시</li> <li>▶ 위성영상과 드론영상을 이용한 가뭄상태 분석결과 비교</li> <li>▶ 영상(드론, 위성)에 따른 가뭄모니터링 특성 분석</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국소적 영상분석결과와 광역적 분석결과 의 관계 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 대상지역 드론영상 DN 및 지수 DB 구축</li> <li>▶ 위성영상 활용 식생 및 가뭄지수 DB 구축</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 영상의 패턴분석을 통한 작물 및 토양상태별 가뭄상태판단 영상 D/B구축</li> </ul>	
3차년도 (주)신한항업	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가뭄 모니터링 드론 성과의 고도화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 드론을 이용한 가뭄 모니터링 실용화 방안 제시</li> <li>▶ 특허 출원 및 등록</li> </ul>

<p>환경대학교</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토양수분과 작물 수분스트레스를 고려한 밭작물 가뭄피해분석 모형개발</li> <li>• 시범지역 자료기반 구축 및 가뭄피해 분석 모형의 시범 지역 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 토양수분과 작물 스트레스 고려 가뭄 피해 모형 개발</li> <li>▶ 시범 지역 자료 분석 및 가뭄피해 분석 모형 개발</li> </ul>
<p>한국수계환경연구원</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국소적 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 분광드론 영상 특성분석</li> <li>• 영상의 패턴분석을 통한 작물 및 토양상태별 가뭄상태판단 영상 D/B 구축</li> <li>• 분광드론영상기반 가뭄집중모니터링을 위한 영상처리 운영방안</li> <li>• 테스트베드외 기타작물 재배지역에 대한 드론영상 D/B 구축방안 제시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 대상지역 기상 및 가뭄현황조사</li> <li>▶ 추가영상에 대한 영상기반 가뭄분석 및 적정밴드 분석과 지수선정 보완</li> <li>▶ 대상지역 드론영상 DN분석 및 가뭄지수 DB 구축</li> <li>▶ 위성영상의 식생 및 가뭄지수 DB구축</li> <li>▶ 카메라 센서의 선정 및 현장기록항목 제안</li> <li>▶ 가뭄예상지역의 드론영상 취득주기에 관한 사항 제안</li> <li>▶ 작물의 재배방식과 드론영상 활용가능성</li> <li>▶ 드론영상을 이용한 식생상태 D/B 구축 방안 제시</li> </ul>



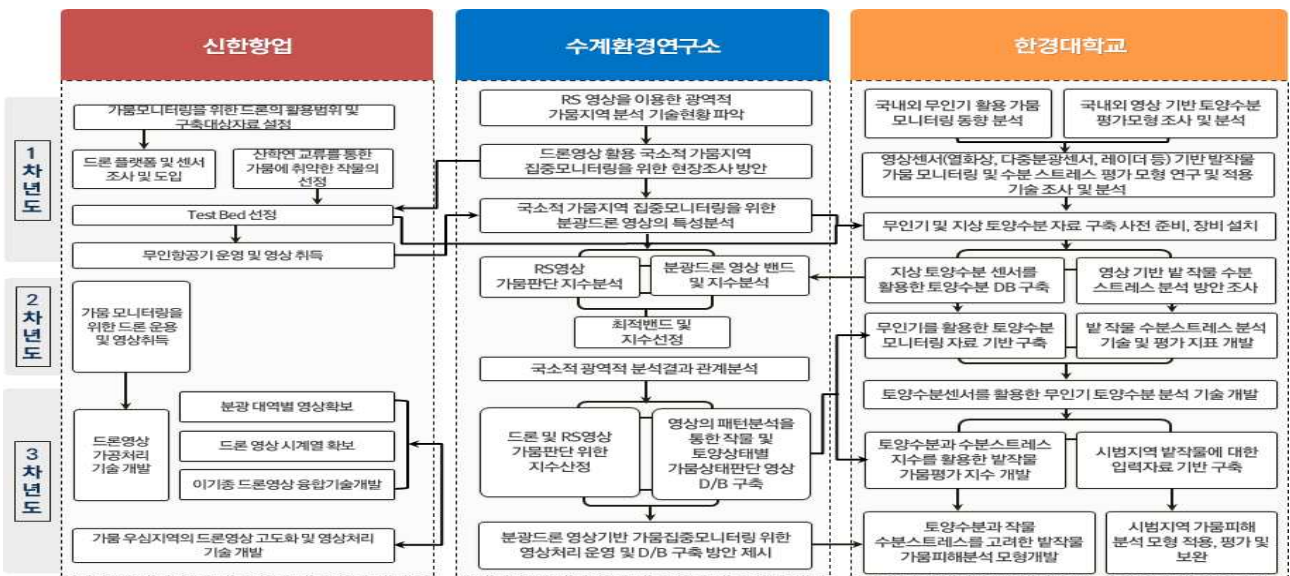
### 제3절 연구 추진방법 및 체계

#### 1. 연구개발 추진전력 및 방법

성공적인 연구추진을 위해 관련 산·학·연의 전담기관으로 연구진을 구성하였다. 드론을 이용한 공간정보 취득 및 분석을 위해 지도제작 전문기업인 (주)신한항업, 위성영상 및 식생지수 분석을 위해서는 수계환경연구소, 마지막으로 농업 분야의 연구 경험이 풍부한 한경대학교가 참여하였다.

각 기관의 전문기술과 경험을 바탕으로 연구를 추진하였으며 1차년도에는 기반 기술 연구 및 현황 조사, 테스트베드 선정 및 기반 연구를 수행하여 연구의 기초를 마련하였다. 2차년도에서는 선정된 테스트베드의 실제 현장 중심의 자료 구축 및 분석을 실시하여 국지적 가뭄 지수 산정 및 평가 모형 개발을 위한 기초 자료 구축 및 분석을 실시하였다. 마지막으로 3차년도에는 분석된 결과를 이용한 드론과 위성영상을 이용한 가뭄 집중 모니터링 기술개발 및 지수 산정 및 평가모형을 개발하였다.

이러한 연구성과는 선정된 테스트베드에서 취득한 실제 데이터를 이용한 현장 적용 가능한 연구추진 및 기관 간의 유기적인 연구성과 공유로 가능하였다.



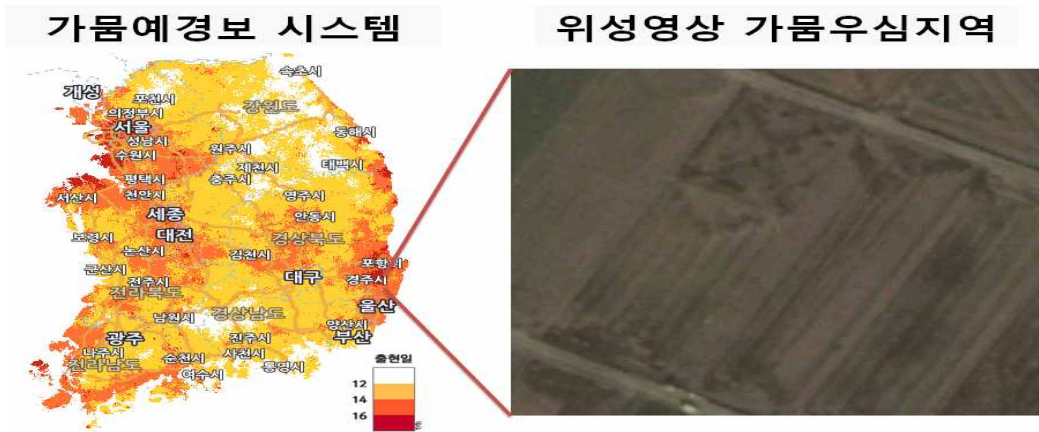
[그림 1.3.1] 연구 추진체계

#### 2. 핵심성과

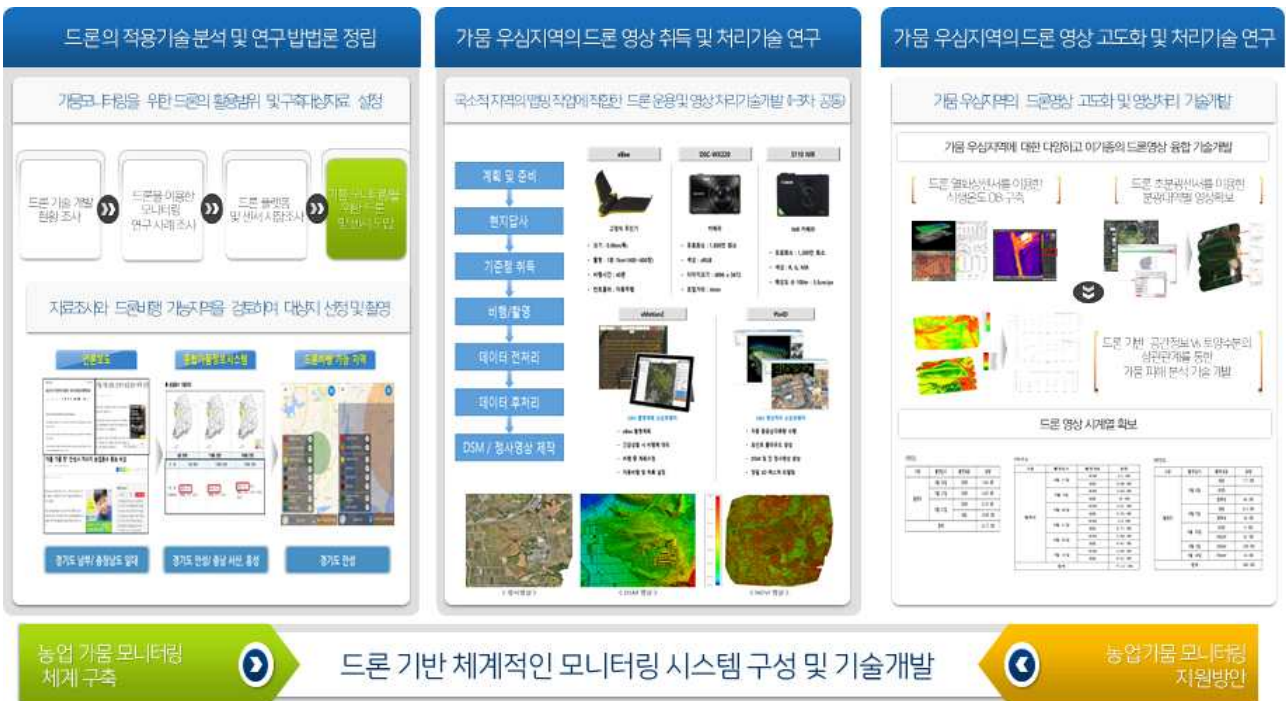
##### 가. 드론영상을 활용한 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술개발

최적의 테스트베드 선정을 위해 기상청의 가뭄 예경보 시스템과 위성영상을 통하여 국내의 전반적인 가뭄현황을 분석하여 가뭄우심지역을 선정하였다. 선정된 테스트지역에서 고해상도 영상구축(5cm급), 정사영상 제작, 수치표면자료 제작, 시계열영상 구축, 열화상영상 구축 등 각종 공간정보를 구축하였다. 구축된 공간정보를 이용하여 입체적 지형분석, 시계열 정보구축, 식생지수 등 지형과 농작물 식생에 관한 종합적인 정보를 구축하여 ICT 기반 농업 가뭄모니터링 기술 개발을 수행하였다. 드론 활용 가뭄 집중 모니터링 기술개발의 핵심성과는 드론 영상에서

취득한 공간정보를 이용하여 식생지수를 산출하고 이를 가뭄 예상지역의 기초자료로 활용하는 것이다.



[그림 1.3.2] 테스트베드 선정방안



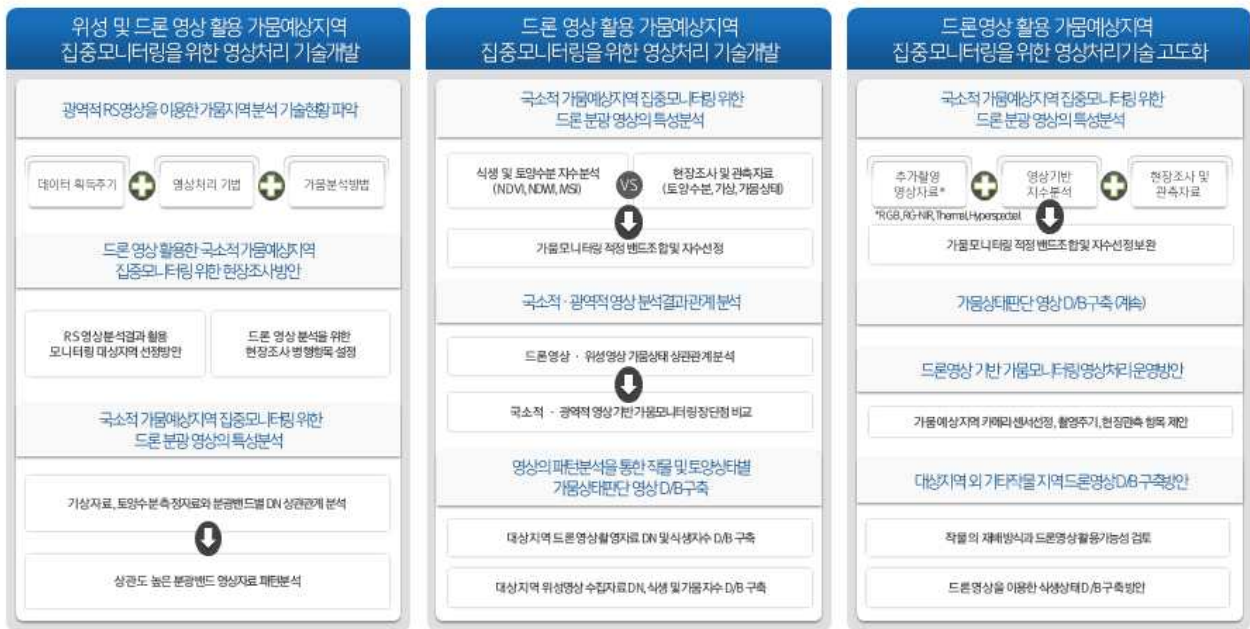
[그림 1.3.3] 드론 활용 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술개발

#### 나. 위성 영상 활용 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술개발

드론영상의 가뭄모니터링 활용에 앞서 다중밴드의 분광정보를 광역적으로 짧은 주기로 제공하는 MODIS 위성영상을 기반으로 드론영상을 활용할 수 있는 지역을 선정하고자 하였다. MODIS의 광역적 다중분광밴드 영상의 정보를 이용, MOD13Q1의 NDVI, EVI외에 MOD09A1의 다중분광밴드 영상을 활용하여 RVI, DVI, IPVI, SAVI, TSAVI, MSAVI, OSAVI, NDWI등 가뭄연구와 관련하여 식생 및 토양, 수분함량과 관련된 지수의 산출 방법을 조사하고 분석하였으며, 산출된 식생지수의 시계열적인 분석을 통해 가뭄을 판단하는 VCI, SVI, VISA를 통해

드론영상 모니터링을 위한 지역을 선정하는데 활용하였다. 드론영상의 가뭄모니터링 활용을 위한 RGB, RGNIR 밴드기반의 식생지수를 조사하였으며, 산출을 통해 가뭄판별에 가장 보편적으로 활용되고 있는 NDVI와의 차이를 비교하였다. MODIS영상의 분광 밴드 및 식생지수의 시계열적 변화 패턴과 드론영상의 분광밴드 및 식생지수를 비교함으로써 고해상도 영상인 드론영상에서 나타나는 차이와 모니터링 장단점을 비교하였다. 연구기간동안 수집된 영상자료와 연구된 방법들을 이용하여 DN 및 식생지수 DB를 구축하였으며 기상, 토양수분자료와 비교하여 적정지수와 밴드를 파악하고자 하였다. 드론영상은 일정한 주기로 생산되고 동일한 지역을 광역적으로 관찰하는 위성영상과 달리 원하는 시기에 원하는 지역을 촬영하여 분석할 수 있다는 점에 장점이 있으나, 고해상도의 고용량의 영상을 다루어야 하므로 분석과정에서 고성능의 장비와 처리시간이 소요될 뿐만 아니라 고가의 장비를 운용해야하는 부담이 있다. 분석결과를 바탕으로 드론영상기반 가뭄모니터링을 위해 필요한 카메라 센서 및 촬영주기, 현장관측항목, 영상기반지수 등 운용방안을 제시하였으며, 본 연구의 대상지역 외 타지역을 대상으로 한 드론 영상 DB 구축방안을 제안하였다.

**수계연구소 위성 및 드론 영상 활용 가뭄예상지역 집중모니터링 기술개발 및 영상 D/B 구축**



[그림 1.34] 위성 영상 활용 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술개발

**다. ICT를 활용한 가뭄 모니터링 및 가뭄피해 분석 기술 개발**

무인기를 활용한 토양수분 평가 및 작물 스트레스 평가를 위해 지상 관측 토양수분 데이터를 검증 데이터로 활용하였다. 토양수분은 TDR, FDR 장비를 통해 취득하였으며, TDR 토양수분은 영상 취득 시기와 동일한 시기에 취득, 분석하였다. 가뭄피해 분석 및 우선지구 선정을 위해 토양수분, 밭 면적, 용수 공급, 증발산량, 강수량 등 가뭄 관련 인자를 취득, 분석하였다.

가뭄피해 분석 및 우선지역 선정 분석을 통해 안성시가 연구 지역에 적합함을 확인하였다. 토양수분 자료 분석을 통해 작물 재배 시기에 따른 토양수분 변화의 유의미한 변화를 확인하

였으며, 이를 바탕으로 NDVI값의 가뭄판단을 위한 검증 자료로서 사용하였다. 연구 기간 동안의 토양수분 변화와 NDVI 변화 경향이 일치하였으며, 상관관계를 도출하였다.

1차년도 ICT활용 가뭄 모니터링 연구 동향 조사 및 자료 기반 구축	2차년도 무인기를 활용한 토양수분 평가 기술 개발	3차년도 무인기를 활용한 가뭄피해 분석 모형 개발 및 시범지역 적용
<p><b>국내외 무인기 활용 가뭄 모니터링 연구 동향 분석</b></p> <p>1-1. 무인기를 활용한 국내외 가뭄 모니터링 연구 동향 조사 1-2. 국내외 무인기 종류 및 영상센서 기반 밭 작물 모니터링 연구 동향 조사</p> <p><b>국내외 영상센서 기반 토양수분 평가모형 조사 및 분석</b></p> <p>1-3. 국내외 영상센서 기반 토양수분 분석 모형 조사 1-4. 국내외 토양수분 모형과 무인기 영상센서를 활용한 토양수분 평가 모형 조사</p> <p><b>국내외 영상센서 기반 밭작물 수분스트레스 평가</b></p> <p>1-5. 밭작물 생육시기별 수분스트레스 평가 방안 조사 1-6. 기상 및 토양수분 측정 장비 설치 및 데이터 DB 구축 준비 1-7. 시범 지역에 대한 토성 분석 및 작물 현황 조사</p> 	<p><b>무인기 기반 토양수분 분석 기술 개발</b></p> <p>2-1. 무인기를 활용한 토양수분 모니터링 자료 기반 구축 2-2. 밭작물 토양수분 모형 개발</p> <p>2-3. 토양수분 모형과 무인기 영상 스펙트럼 연계 분석 기술 개발 2-4. 토양수분관측자료를 활용한 토양수분 및 무인기 영상 활용 기술 개발</p> <p><b>작물 수분스트레스 산정 및 산정모형 개발</b></p> <p>2-5. 작물 수분스트레스 입력자료 (기상, 토지이용 등) 구축 2-6. 영상센서 스펙트럼 기반 작물별 수분스트레스 라이선드리 구축</p> <p>2-7. 무인기 영상 기반 작물 생육시기별 수분스트레스 분석 기술 개발 2-8. 무인기 영상센서 기반 작물 수분스트레스 분석모형 개발</p> <p>✓ 토양수분 모형 인자 구축 및 산정 ✓ SMEP 기반 토양수분 분석 ✓ 토양수분 관련 지수 인자 구축</p>	<p><b>토양수분과 작물수분스트레스를 고려한 밭작물 가뭄피해 분석모형 개발</b></p> <p>3-1. 토양수분을 활용한 밭작물 가뭄평가 지수 개발 3-2. 밭작물 토양수분 모형을 통한 가뭄 평가 지수 개발</p> <div style="text-align: center;"> <math display="block">\Delta S = (P - RO) - ET_c - DP</math>  <p>△S = (P - RO) - ET<sub>c</sub> - DP</p> <p>&lt;강우 유출 모형&gt;      &lt;토양 보수지 모형&gt;</p> </div> <p><b>시범 지역 자료 기반 구축 및 가뭄피해 분석 모형 적용</b></p> <p>3-3. 시범지역 선정 및 토양수분 모형 입력자료 기반 구축 3-4. 시범지역 밭작물 산정 및 작물별 영상 스펙트럼 라이선드리 구축 3-5. 시범지역 가뭄피해 분석 모형 시범 적용, 평가 및 보완</p>
<p>무인기 영상을 활용한 가뭄 모니터링 기술 개발</p>	<p><b>밭작물 가뭄 평가 지수 개발 및 가뭄 피해 분석</b></p>	<p>토양수분을 활용한 밭작물 가뭄 평가 지수 개발</p>

[그림 1.3.5] 무인기 영상 및 토양수분을 활용한 밭작물 가뭄 평가 지수 개발 및 가뭄 피해 분석 방법

## 제 2 장 연구 수행 내용 및 결과

### 제1절 가뭄 모니터링을 위한 드론의 적용기술 분석 및 연구 방법론 정립

#### 1. 드론을 활용한 모니터링 기술개발 현황 분석

##### 가. 드론의 개요

##### (1) 드론의 정의

최근 드론에 대한 관심이 증대함에 따라 건설, 에너지, 물류, 재난안전, 교통관측, 과학연구, 농업, 취재, 취미 등 각종 분야로 활동영역이 사실상 무한대로 넓어졌다. 인터넷 검색을 통해 알아보면 ‘무인항공기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)’ 또는 단순히‘드론(Drone)’이라고 불리며, 조종사를 탑승하지 않고 지정된 임무를 수행할 수 있도록 제작한 비행체로 ‘별이 윙윙거린다’는 것에서 유래되어 무인항공기의 다른 이름으로 드론이라는 명칭으로 지칭되어오고 있다.

국내에서는 한국항공우주연구원과 같은 관련 관·학·연 등의 기관에서는 ‘무인항공기’와 ‘드론’이라는 표현을 혼용하여 사용하며, 일반 시민들 사이에서는 ‘드론’이라는 표현으로 사용되고 있다. 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)에서는 무인항공기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)라는 명칭을 사용하며, 미연방항공청(FAA, Federal Aviation Administration)에서는 UA(Unmanned Aircraft)라는 명칭을 사용한다. 미국에서는 드론을 주로 ‘UAS(Unmanned Aerial System)라는 명칭을 사용하며, 조종사를 태우지 않고 공기역학적 힘에 의해 부양하여 자율적으로 또는 원격조종으로 비행을 하며, 무기 또는 일반화물을 실을 수 있는 일회용 또는 재사용할 수 있는 동력 비행체를 뜻한다. UN산하 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)는 드론을 RPAS(Remotely Piloted Aircraft System)라고 하는 등 통합된 체계(System)을 강조하여 표현하고 있다.

##### (2) 드론의 역사

드론의 역사는 과거 1회용 표적기나 무인폭탄의 용도로 쓰이다가 60년대부터 본격적인 기능이 탑재되어 발전되어 왔으며, 전자통신기술의 발전에 따라 최근 급격한 발전을 이루고 있다. 90년대 이후 위성을 통한 실시간 영상획득과 GPS가 가능해짐에 따라 세계 각지의 분쟁 시 미군의 무인기를 통한 작전 및 정찰이 본격화 되었고 2010년에 들어서 민간용 드론이 각 분야의 이용범위가 확대되고 있는 추세이다.



[그림 2.1.1] 드론의 시대별 발전상

(자료 : 한국산업기술평가관리원, “무인항공기(Drone) 기술동향과 산업전망”, 2015)

2000년대 중반까지는 일반 항공기형 드론이 발전하였다. 무인기가 제조된 초창기에는 활주로를 필요로 하는 비행기 유형의 드론이 주류였으며, 대표적인 것은 미국에서 군사용으로 배치된 Predator 였다. Predator는 미군 및 CIA가 사용하기 위해 고안된 것으로서 1기에 수백만 달러에 이르는 중고도 장시간채공이 가능한 드론이다. 전장 8.22m, 날개폭 14.8cm, 기체중량 512kg, 최대이륙중량 1,020kg으로 정찰·지대공격을 위해 1995년 배치 이후 여러 국가의 작전에 참여하였다.

오늘날 미국의 상공을 뒤덮고 있는 것은 중소형 드론이며 가격은 수백 달러에서 수천 달러로서 단순한 완구 이상으로 고도의 자동조종기능, 카메라 및 열센서 등을 갖추고 있고, 사실상 하늘을 나는 로봇이라고 할 수 있다.

2006년 무렵부터 유럽 및 중국의 벤처기업을 중심으로 소형의 복수 프로펠러를 장착한 헬리콥터(멀티로터형)가 출현하여 오늘날 드론의 주류를 형성 하였다. 프로펠러가 1개인 헬리콥터(싱글로터방식)보다 제어가 용이하고, 수직이착륙과 정지비행(hovering)이 가능하다. 또한, 멀티콥터는 로터(날개)의 각도를 조종하여 움직이는 헬리콥터와 달리 각각의 프로펠러 회전수를 이용해 방향을 전환하기 때문에 구조가 매우 단순하면서도 원하는 방향으로 쉽게 회전하며, 수리 또한 용이하다. 석유연료 대신 배터리를 사용하며 자이로센서와 가속도계를 장착한 개인용 소형 드론의 경우에는 바람이 부는 곳에서도 수평을 유지하기 때문에 조종도 용이하다. Parrot사의 AR Drone 2.0 및 DJI사의 Phantom2는 스마트폰으로 드론이 촬영한 영상을 보거나 직접 조종하는 것도 가능하다.

드론에 미리 GPS 좌표를 입력하거나 명령을 입력해두면 특정 작업을 자동으로 처리하는 장점도 있으며, 현행 기술수준으로는 사람의 개입이 없는 완전한 무인비행은 불가능하지만 자동이착륙, 자동복귀 같은 제한된 상황의 특정 비행 형태는 가능하다. 스포츠나 여행 애호가들 자신의 모습을 공중에서 촬영하기 위한 목적으로 개발중인 AirDroids의 Pocket Drone의 경우 사람이 드론을 조종하지 않아도, 구글맵을 통해 이동경로를 미리 입력하면 드론이 자동으로 따라다니면서 촬영이 가능하다.

### (3) 드론의 종류

드론의 분류는 비행체의 크기, 임무반경, 고도 등 성능기준에 따라 분류하고 있으나 그 기준이 국가별, 지역별로 다소 다르게 분류하고 있다. 우리나라의 항공안전법 시행규칙 제2조 및 14조에서는 연료를 제외한 자체 중량이 150kg 이하인 것은 ‘무인비행장치’로, 150kg을 초과한 것은 ‘무인항공기’로 규정하고 있다. 군용 무인기의 경우 미군은 최대이륙중량, 상승한도, 비행 속도 등을 기반으로 5단계 Group으로, NATO의 경우 3단계 Class로 분류하고 있으며, 우리군의 경우 아래 표와 같은 분류체계를 운용하고 있다.

[표 2.1.1] 드론의 성능기준에 따른 분류

구분	용어	비행거리(km)	비행고도(m)	채공시간(hr)	이륙중량(kg)
초소형	Micro	10 이하	250	1	5 이하
소형	Miniature	10 이하	150 ~ 300	2 이하	30 이하
근거리	Close Range(CR)	10 ~ 30	3,000	2 ~ 4	150
단거리	Short Range(SR)	30 ~ 70	3,000	3 ~ 6	200

중거리	Medium Range(MR)	70 ~ 200	5,000	6 ~ 10	1,250
중거리 체공	Medium Range Endurance(MRE)	500 이상	8,000	10 ~ 18	1,250
저고도 종심침투	Low Altitude Deep Penetration(LADP)	250 이상	9,000	0.5 ~ 1	350
저고도 장기체공	Low Altitude Long Endurance(LALE)	500 이상	3,000	24 이상	30 이하
중고도 장기체공	Medium Altitude Long Endurance(MALE)	500 이상	14,000	24 ~ 28	1,500
고고도 장기체공	High Altitude Long Endurance(HALE)	2,000 이상	20,000	24 ~ 28	4,500

자료 : 국방기술품질원, “2010 국방과학 기술조사서 일반본”, 2010

위와 같이 군에서 사용하는 성능기준에 따른 드론의 분류방식 이외에도, 민간/상업에서 사용하는 드론의 분류 방식에는 ‘비행/임무 수행별 방식별 분류’, ‘이/착륙 방식별 분류’, ‘비행체 형상에 따른 분류’ 등으로 구분할 수 있다. 비행/임무 수행별 방식별 분류에서는 정찰기, 공격기, 폭격기 등으로 구분할 수 있으며 분류에 따른 자세한 내용은 아래 표와 같다.

[표 2.1.2] 비행/임무 수행에 따른 드론의 분류

구분		내용
Drone	정찰기	• 사전에 프로그램된 비행을 따라 비행/촬영 후 녹화된 VCR 테이프를 회수하여 분석
	공격기	• 적 레이더 방공망 파괴에 많이 쓰이는 형태의 무인공격기, 일정 상공에서 비행 중 적 레이더가 작동하면 레이더 신호를 따라가서 자폭
UAV	정찰기	• 실시간에 표적 정보를 수집하기 위한 무인항공기시스템
	폭격기	• 탑재장비로 폭탄을 탑재하여 표적지역에 투하
VTOL	전투기	• 현재의 유인전투기를 대신하기 위해 개발 중인 전술 무인항공기
	표적기	• 방공포나 전투기의 훈련을 위해 표적으로 사용되는 무인항공기
MAV	무인헬리콥터	• 이착륙 장소의 제약을 해소하기 위한 수직 이착륙 무인기
	초소형 비행체	• 소형 비행체로서 휴대용 정찰수단

자료 : 임베디드소프트웨어/시스템산업협회, “KESSIA 드론의 기술 및 시장 트렌드와 무한한 기회”, 2015

이/착륙 방식별 분류는 비행을 위한 이륙 또는 착륙 방식에 의하여 구분과 수동조작이 아닌 자동 이착륙 방식까지 총 3가지로 구분할 수 있다. 이륙 방식에는 핸드런치 이륙, 지상 활주 이륙, 발사대 이륙이 있으며 착륙 방식에는 공중 투하 방식, 지상 활주 착륙, 낙하산 전개 착륙 방식이 있다. 자동 이착륙 방식에는 그물망, 무인헬리콥터(VTOL), 자동 이착륙 시스템이 있다. 이에 대한 자세한 내용은 아래 표와 같다.

[표 2.1.3] 크기에 따른 드론의 분류

구분		내용
이륙 방식	핸드런치 이륙	• 산악지형이나 좁은 지형에서 손으로 던져 이륙
	지상 활주 이륙	• 양호한 활주로가 가용할 경우에만 이륙 가능
	발사대 이륙	• 활주로가 없거나 주변 장애물로 인해 활주 이륙이 불가할 경우 이를 극복하기 위해 고안된 방식
착륙 방식	공중 투하 방식	• 타 수송용 항공기에 의해 일정지역까지 운송된 후 공중에서 투하되는 방식
	지상 활주 착륙	• 양호한 활주로가 가용하고, 주변 지형이나 장애물이 활주 착륙에 적합한 경우에 사용되는 방식으로 착륙 활주거리를 짧게 하기 위해 바퀴에 브레이크 장치를 사용
	낙하산 전개 착륙	• 지형이 활주 착륙에 부적합하거나, 엔진 고장 등의 비상 상황 발생시 사용
자동 이착륙	그물망	• 주로 해군용으로 활주 여건이 안되는 함상에서 착륙시 사용
	무인헬리콥터 (VTOL)	• 이착륙시 무인항공기의 발진과 회수의 어려움을 극복하기 위해 개발
	자동 이착륙 시스템	• 무인항공기에 장착된 자동 이착륙시스템에 의해 외부조종사 없이 자동 회수되는 방식으로 대부분의 시스템이 채택하여 적용되고 있음

자료 : 임베디드소프트웨어/시스템산업협회, “KESSIA 드론의 기술 및 시장 트렌드와 무한한 기회”, 2015

비행체 형상에 따른 분류는 크게 고정익, 회전익, 혼합형으로 구분이 가능하다. 고정익/회전익 드론의 분류 기준은 이/착륙에 방식에 따른 기준으로 분류할 수도 있지만, 외형상의 비행기 형체에 가까운 고정익과 프로펠러가 장착된 헬리콥터 형체의 회전익, 두 형체를 합쳐놓은 혼합형으로 구분할 수 있다. 이와 같은 자세한 내용은 아래 표와 같다.

[표 2.1.4] 비행체 형상에 따른 드론의 분류

구분	내용
고정익형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고속 및 장거리 비행이 가능</li> <li>• 활주로 또는 발사대를 이용하여 이륙</li> <li>• 주로 군수용으로 사용</li> </ul>
회전익형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수직 이착륙 및 제자리 비행이 가능</li> <li>• 속도, 항속거리 등에서 고정익형 대비 불리</li> <li>• 주로 농업방제, 영상촬영, 함상용 등으로 사용</li> <li>• 주로 소형 드론에 적용되는 멀티콥터는 회전익형의 일종</li> </ul>
혼합형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고정익과 회전익의 특성을 동시 보유</li> <li>• 고속 비행과 수직 이착륙 가능</li> <li>• 날개의 양력을 사용한 비행으로 회전익형 대비 연료효율 양호</li> </ul>

고정익 무인항공기는 회전익처럼 프로펠러의 개수가 많지 않아 연료소모가 적어 장기 체공이 가능한 반면 정지비행이 불가하여 저고도에서 대상물을 지속적으로 추적하기가 어려우며, 비행체를 하늘로 띄우기 위한 충분한 양력을 얻기 위해서는 이륙을 위한 충분한 활주로가 확보되어야 하고 수직 이착륙이 불가능한 단점을 가지고 있다. 회전익 드론은 헬리콥터형 무인항



공기 시스템으로서 수직이착륙이 가능하여 좁은 공간에서의 이착륙이 가능하고, 정지비행과 급격한 선회가 가능하여 다수의 영상 취득과 비행경로의 설정에 유리하나, 연료효율이 낮아 장기체공이 제한됨으로써 소규모 지역의 측량 및 영화·영상 등과 같은 단거리 임무에 적합하다.



고정의 드론



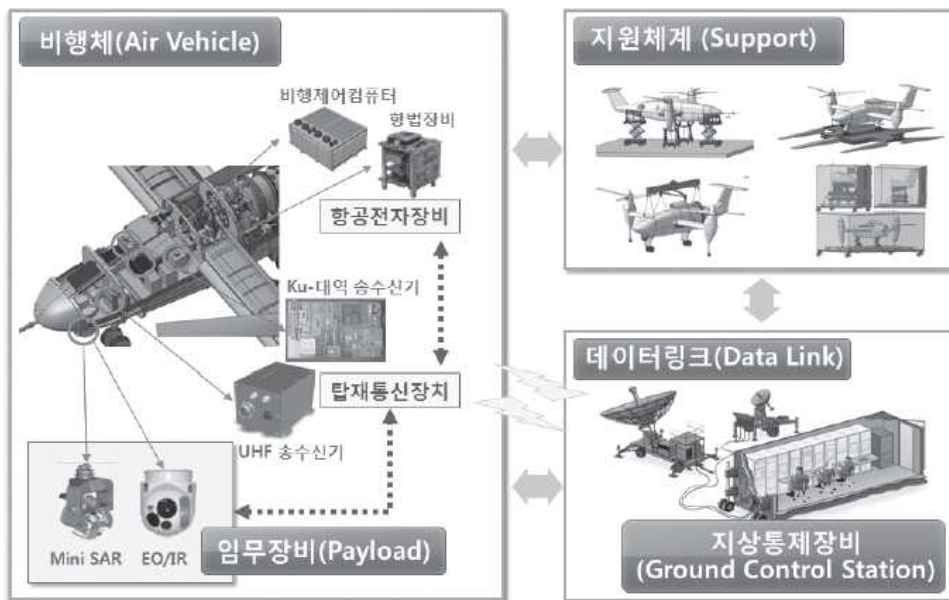
회전의 드론

[그림 2.1.2] 고정의 드론과 회전의 드론의 예

## 나. 드론 기술개발 현황 조사

### (1) 드론의 구성요소 및 기술체계

드론은 비행체, 지상통제장비, 데이터링크, 임무장비, 지원체계 등으로 구성되어 있다. 비행체는 컴퓨터, 항법장비, 추진동력, 연료장치, 통신장치 등으로 구성된 기체이며 지상통제장비는 이륙, 비행, 착륙, 임무수행 등 비행 전반을 제어하는 장비이다. 데이터링크는 비행체와 지상통제장비 간 통신을 위한 장비이며 임무장비는 드론의 사용 목적에 맞게 비행체에 탑재되는 카메라 등의 장비, 지원체계는 드론의 운용에 필요한 정비 설비, 조종 교육 체계 등을 뜻한다.



[그림 2.1.3] 드론 시스템 구성도

(자료 : 한국산업기술평가관리원, “무인항공기(Drone) 기술동향과 산업전망”, 2015)

멀티콥터와 같은 소형드론 또한 비행제어장치를 탑재한 비행체, 제어 및 임무 데이터 송수신을 위한 무선통신장치, 카메라 등의 임무장비, 지상에서 비행과 임무를 통제하기 위한 조종기와 통제장비, 배터리 충전기 등으로 구성되어 있다.



[그림 2.1.4] 소형 드론 구성 요소  
(자료 : 한국산업은행 산은조사월보 제733호, “드론 기술현황 및 기술경쟁력 분석”, 2016)

드론의 기술체계는 비행체, 추진동력, 비행·임무제어, 데이터링크, 지상통제, 소프트웨어 융합, 교통·공역 관리 등 7개 기술로 구성되어 있다. 드론 기술은 항공기 기술인 비행체, 비행제어, 관제기술 등을 포함하고 있으며 항공기 기술의 축소판이라 할 수 있다.



[그림 2.1.5] 항공기 기술체계  
(자료 : 한국산업은행 산은조사월보 제733호, “드론 기술현황 및 기술경쟁력 분석”, 2016)



[그림 2.1.6] 드론 기술 체계

(자료 : 한국산업은행 산은조사월보 제733호, “드론 기술현황 및 기술경쟁력 분석”, 2016)

## (2) 드론관련 주요기술

드론 핵심기술은 항법, 제어 및 하드웨어 설계/제작 기술을 기반으로 한다. 항법 시스템은 무인기의 위치, 속도 및 자세를 내장된 관성 센서 및 GPS 등을 통해 알아내며 다양한 센서 융합 기술이 사용되는 부분이다. 제어 시스템은 무인기의 위치, 속도 및 자세를 사용자의 요구에 따라 동작할 수 있게 하는 부분으로 비행체에 따라 다르며 항법 시스템의 피드백을 통해 작동된다. 군용 무인기의 경우 신뢰성이 높고 정밀한 시스템을 만들기 위해 Jamming을 비롯한 외부 위협 등에 대한 강인한 기술 개발이 필요하며, 민간 무인기의 경우 다양한 응용으로의 적용을 위한 가격, 성능 등의 특성에 대한 유연한 알고리즘 개발이 필요하다. 또한, 장애물 회피 및 충돌방지, 통신 등의 시스템 연계 기술개발이 필요하다.

[표 2.1.5] 드론 관련 핵심기술

항공 무인이동시스템 통신/항법/교통관리 기술
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항공 무인이동시스템의 국가공역으로의 안전한 통합을 위해 필요한 고신뢰도 무인기 제어링크 기술</li> <li>• 항재밍/항기만 항법 및 대체항법 기술</li> <li>• 차세대 항공교통관제와의 통합 및 차세대 항공교통관리 기술</li> </ul>
항공 무인이동체 제어 및 탐지/회피 기술
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항공 무인이동체의 이착륙과 비행제어 및 자율화 향상 기술</li> </ul>

- 안전한 비행과 임무 수행을 위해 다른 비행체나 물체 등의 위험요소를 탐지하고 충돌을 회피하는 탐지회피 기술

항공 무인이동시스템 센서 기술

- 항공 무인이동체의 안전한 운항 지원 및 임무 수행을 위한 센서 기술

항공 무인이동시스템 S/W 및 응용 기술

- 항공 무인이동체의 제어 및 임무 수행을 위한 고신뢰 실시간 OS와 interoperability 지원 개방형 S/W 플랫폼 및 표준 인터페이스 기술
- 무인이동체가 수행하게 될 특정한 임무 수행을 위해 필요한 탑재체 기술 및 빅데이터 처리 등 응용 기술

항공 무인이동체 플랫폼 기술

- 다기능 초경량 소재 및 구조물 기술
- 무인기 actuator 및 기계/전기 기술
- 다학제 설계 기술
- 설계 자동화 기술

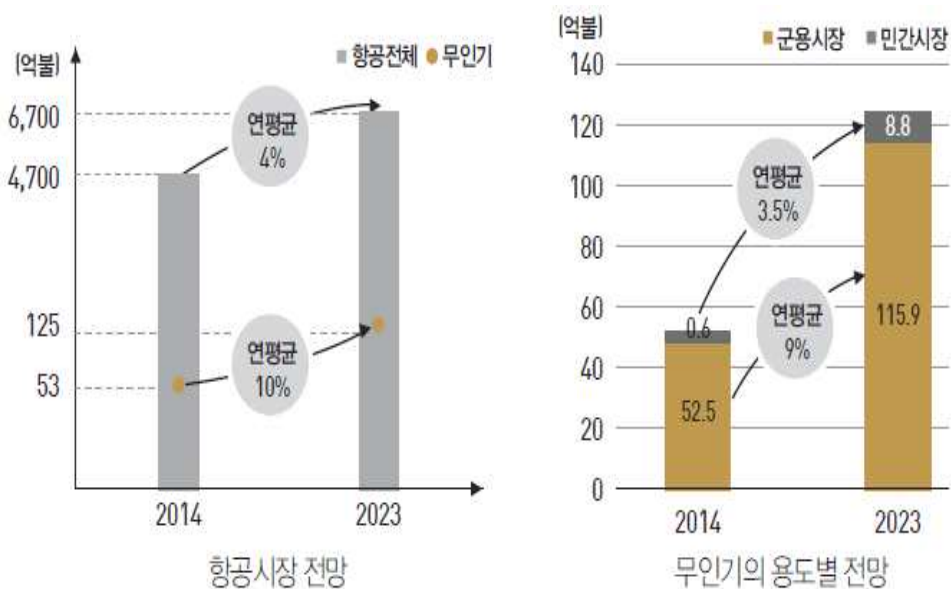
항공 무인이동체 동력원 기술

- 친환경적 고성능·고효율 동력원 기술

자료 : KISA 이슈&트렌드, “드론핵심기술 및 향후과제”, 2015

### (3) 드론시장 규모

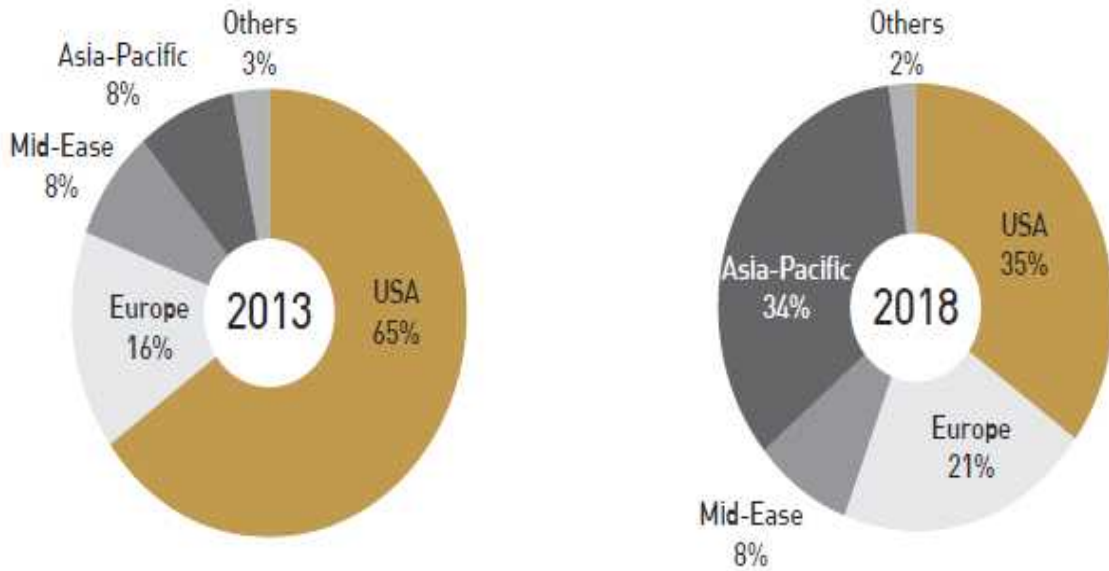
드론 시장은 집계 기관에 따라 다소 그 규모와 범위가 다르나 '14년부터 10년간 매년 10% 씩 빠르게 성장하여 '23년에는 125억 달러 규모에 이를 것으로 전망되고 있다. 민간 드론 시장은 연평균 35% 이상의 급속한 성장세를 이룰 것으로 전망되고 있다.



[그림 2.1.7] 드론 세계시장 규모 및 용도별 전망  
(자료 : Teal Group, “World UAV Forecast”, 2014)

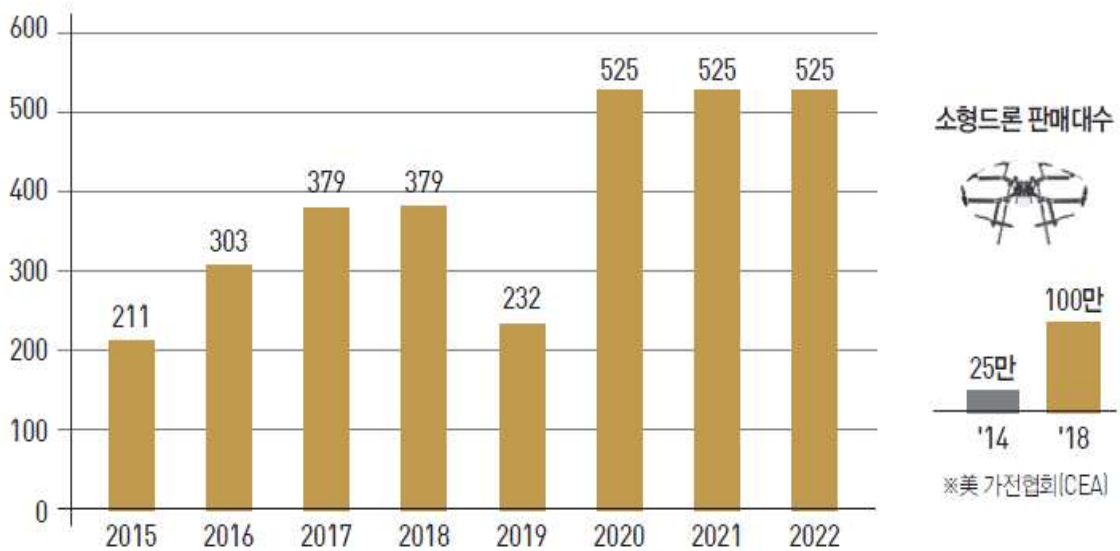
드론 세계 시장은 미국과 유럽의 과점체제로 진행되고 있으나 향후 아시아/태평양 시장이 부상할 것으로 전망되고 있다. 특히, 중국의 드론 생산 기반은 민간분야에서의 세계적 점유율

을 차지하고 있으며 지속적인 투자가 확대되고 있어 기술 분야에서도 성장이 매우 빠르게 진전되고 있다. 중국의 무인기 수준은 시장규모 세계3위, 기술수준 세계9위를 이루고 있다.



[그림 2.1.8] 세계 드론시장 점유율 추이  
(자료 : Teal Group, "World UAV Forecast", 2014)

국내시장의 경우 군수용 중심으로 '14년 100억원 수준에서 '22년까지 연간 5억불, 연평균 22%성장이 전망되고 있다.



[그림 2.1.9] 국내 드론시장 전망(단위:\$M)  
(자료 : Frost&Sullivan, "무인기 세계시장 조사분석연구", 2015)

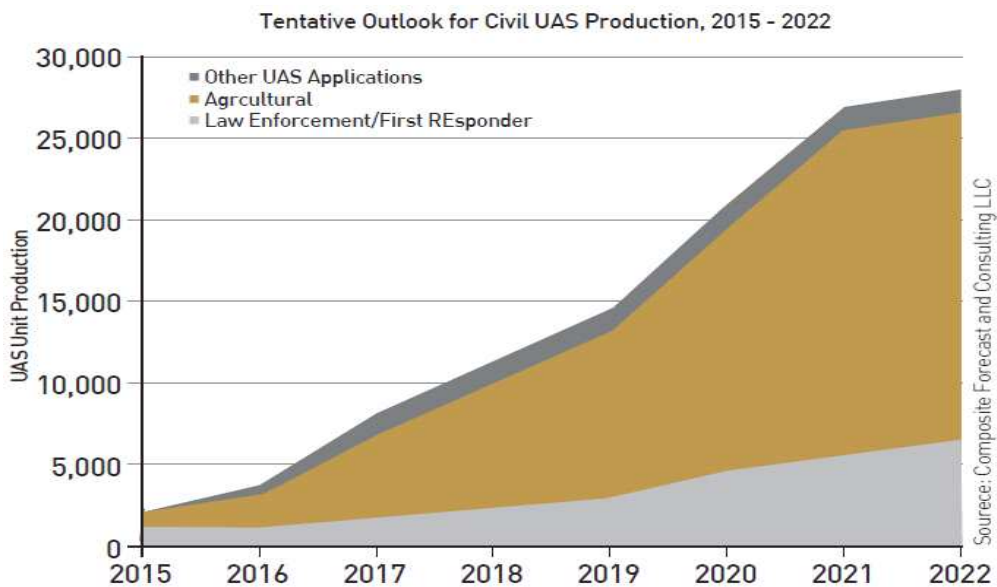
민간시장에서는 기술 성숙에 따른 활용도가 증가되고 있으며 적용분야 또한 아래와 같이 다양한 분야에서 활용되고 있다. 개인소비자의 관심증가에 따라 소형드론의 판매가 급속히 증가될 것으로 전망되고 있다.('14, 25만대→'18 100만대, 미CEA)



택배용 드론	정밀농업용 드론	화물용 무인항공기
- DHL, 아마존, 구글 등이 택배용 드론 개발중	- AUVSI, 2025년 정밀농업용 드론의 세계 민간무인기 시장 80% 이상 점유율 예측	- FedEx 등 물류 회사는 화물용 무인항공기에 대한 수요 지속
- 시계 외 비행을 위한 장거리 통신 항법 기술, 장시간 비행을 위한 동력원 기술, 정밀 비행 제어 기술 등	- 탑재 초분광 카메라 기술, 매핑 기술, 최적비행 기술, UGV 통합 기술 등	- 대형무인기 설계 기술, 무인기 유인공역 비행 기술, cockpit 자동화 기술 등

[그림 2.1.10] 민간 드론 활용분야  
(자료 : KISA 이슈&트렌드, “드론 핵심기술 및 향후과제”, 2015)

민간 시장에서는 향후 10년간 공공분야 수요를 중심으로 발전될 것으로 전망되며 활용도 여하에 따라 시장이 확대될 전망이다. 미국정부는 2012년 이래 드론의 운항을 위한 기존 공역체계와의 통합을 지속적으로 준비 중에 있으며 이 경우 2025년까지 10만명의 일자리와 800억불의 경제효과 창출이 예상된다고 분석하였다. 미국의 E-bay에서의 2014년 드론 판매대수는 127,000대로 1,660만불에 달하며, RC완구 중 드론의 판매비중은 2014년 30%에서 2015년엔 50%까지 상승하였으며 추후 지속적인 증가를 예상하고 있다.



[그림 2.1.11] 민간 드론 시장분석  
(자료 : AUVSI, “The Economic Impact of UAS integration in the United States”, 2013)

#### (4) 드론의 분야별 활용

2015년 미국 라스베이가스에서 열린 CES에서 전시회 최초로 드론을 별도 구역으로 분류하여 하나의 산업 군으로 인정을 받았다. 드론의 활용분야는 군용목적에서 점차 벗어나 상업, 민간

분야에서의 활용으로 그 범위를 넓혀가고 있다. 상업분야에서는 아마존사의 택배/물류분야, 사막이나 오지에서의 인터넷 연결을 위한 정보통신 분야, 재해 예방과 대기관측, 교통정보 수집 및 영화 촬영과 스포츠 중계 분야의 영상/방송분야, 범죄자 추적을 위한 치안용 등으로 활용하고 있다. 민간분야에서는 개인/레저용 드론 분야가 빠르게 성장하고 있으며, 전미가전협회(ICEA)는 군용을 포함한 세계 드론 시장은 '14년 약 7조원에서 10년후 약 100조원을 넘어 TV 시장에 맞먹는 규모로 성장할 것이라 전망하고 있다. 추후 IoT, 스마트카, 웨어러블기기, 가상현실, TV혁명 등의 다양한 화두와 함께 향후 미래 세계에 있어 드론은 가장 많이 사용될 제품으로 거듭날 것으로 예상된다.

<b>물류운송</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>아마존 (프라임에어): 제품배달</li> <li>UAE (아랍에미리트): 정부문서 배송</li> </ul>	<b>범죄자추적</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>뉴욕시의 치안용 CCTV 및 사각지대 관리용 (프로젝트 구상)</li> </ul>
<b>정보통신</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>인터넷 인프라 보급</li> <li>구글(Loon 프로젝트), 페이스북 (엠펙터)</li> </ul>	<b>농업분야</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>농약/비료살포용 (아마하) 일본 농지 전체의 40% 담당</li> </ul>
<b>교통상황 관측</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>고속도로 운행사항확인</li> <li>르노 (크위드:Kwid) - Flying Companion</li> </ul>	<b>자원탐사 및 시설안전</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>유전시스템과 안전점검용 (브리티시페트롤리엄 BP)</li> </ul>
<b>재해관측</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>동일본대지진 (글로벌호크) 발전소 내부상황 확인</li> <li>산불관리 (소방방재청)</li> </ul>	<b>스포츠</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>드론 레이싱</li> </ul>

[그림 2.1.12] 드론의 활용 분야  
(자료 : KISA 이슈&트렌드, “드론 핵심기술 및 향후과제”, 2015)

물류의 역사를 혁신하고 있는 Amazon은 드론을 활용한 물류혁신에 주목하고 있다. 아마존은 2013년 12월 프로펠러가 8기인 Prime Air에 의한 배송계획을 발표하면서, 이 계획을 향후 4~5년 이내에 실현시킬 것이라 발표하였으며, 2015년까지 최대 2.3kg의 물품을 30분 이내에 고객의 현관까지 전달하기 위한 배송 시스템을 목표로 하고, 2014년 7월 11일 드론테스트를 위해 미연방항공청에 미국 내 드론 테스트 금지규칙의 면제청원서를 제출하였다. 2016년 6월 21일 미연방항공청은 상업용(취미용은 예외) 드론 운영 규칙인 ‘소형 무인항공기 규정’을 발표하였고, 업계 추정에 따르면 이 규정으로 인해 향후 10년간 미국 경제효과는 820억 달러(95조원)와 10만개 이상의 새로운 일자리를 만들 수 있다고 밝혔다. 또한 기업, 농민, 연구소 등이 허가 없이 드론을 운행할 수 있게 되어 앞으로 다양한 분야에서 드론 개발을 할 수 있을 것이라 기대되고 있다. 하지만, 상업용으로 55파운드(25kg) 미만의 드론만 날릴 수 있으며, 육안으로 볼 수 있는 시야에서만 운영 등과 같은 규정은 많은 사람들이 기대했던 것보다 한참 모자라는 수준으로 그간 원거리 드론 택배 시스템을 추진한 아마존과 구글 등은 사업 계획을 변경해야 할 처지에 놓이게 되었다.

서적의 배송을 실시하고 있는 호주 교육 포털 사이트 ‘주칼(Zookal)’은 2014년 2월 Flirtey 드론을 이용한 배송시스템을 세계 최초로 실현하였으며 고객 스마트폰의 GPS를 활용, 고객의

현 위치를 인지하고 드론이 직접 그 부근까지 비행하여 물품을 전달하는 방식으로 운영되고 있다. Flirtey 드론은 약 2kg까지 배송이 가능하며, 도난 및 프라이버시 침해 방지를 위해 카메라는 설치하지 않고, 충돌방지장치만을 설치하여 운영하고 있다. 드론에 의한 택배서비스가 합법화되어 있는 호주에서는 당일 배송비용이 최고 약30달러지만 드론 사용시에는 약3달러까지 내릴 수 있다고 주장하고 있다.

아랍에미리트(UAE, United Arab Emirates)에서는 정부기관 최초로 드론의 활용계획을 발표하였다. 두바이 정부는 2014년 2월 드론으로 신분증명서, 약품 등 중요하면서도 가볍고, 일각을 다루는 중요물품의 배송계획을 발표하였고, 정부문서의 배송을 실험한 바도 있으며, 드론사용을 전국으로 확대할 계획을 세워 이를 실현하기 위한 기반 마련을 준비중이다.



[그림 2.1.13] 아마존의 배송용 드론 Prime Air(좌)와 주칼의 배송 드론(우)

구글과 페이스북은 자사의 서비스를 활용하기 위한 가장 중요한 요소인 인터넷을 전 세계에 더욱 확대하기 위하여 드론과 열기구를 사용하여 네트워크를 확장하는 데 활용하고 있다. 구글은 무인기 제작업체인 Titan Aerospace을 인수하였고, 비행선 형태의 무인기를 이용하여 인터넷 및 통신망 구축에 활용하고 있다. Titan은 태양광 패널에 의해 충전되는 배터리를 이용한 잠자리 형태의 ‘olaro 50’과 ‘olaro 60’을 생산하였다.

구글은 ‘룬(LOON) 프로젝트’를 진행하고 있는데, 옥토콥터와 같이 동력을 갖춘 기존의 드론으로 하는 것이 아니라 성층권에 풍선과도 같은 열기구를 띄워 인터넷 인프라가 갖춰져 있지 않은 오지나 극지에 인터넷을 보급하고 있다. 이 열기구는 바람과 날씨의 영향을 거의 받지 않는 성층권에서 전 세계를 비행하며 무선 인터넷을 보급하고 있으며, 특히 인터넷 인프라가 잘 갖추어져 있지 않고, 향후 발전 가능성이 큰 아프리카 지역에 집중하여 계획을 만들고 있다.

이러한 네트워크 장비를 실은 기구나 드론의 충돌 가능성은 거의 없다. 일반적으로 항공사의 비행기들은 10~50km 높이의 성층권 구간 중 9~12km 정도의 높이에서 날아다니지만, 구글의 룬 프로젝트의 열기구와 드론인 Solara50은 20km 구간에서 운행하고 있어 항공기와 부딪히는 등의 사고는 발생하지 않는다. 페이스북은 드론과 인공위성, 레이저빔을 활용해 사막과 같은 오지에서도 인터넷을 할 수 있도록 돕는 기술을 개발하고 있다.

페이스북의 무인기 ‘Aquila’는 태양광 전지를 탑재해 인터넷이 되지 않는 오지 상공에서 머물며 와이파이 공유기 역할을 한다. 앞으로 페이스북은 약 11,000여 대의 드론을 띄운다는 계획을 하고 있다. 주파수 중계 장비를 탑재한 무인기만 띄워놓으면 정글, 사막 등의 오지는 물



론 아프리카처럼 낙후된 지역에서도 인터넷에 손쉽게 연결하는 것이 가능합니다. Aquila는 보잉 737보다 긴 날개를 장착하고 있으며 태양에너지를 이용하여 6만 피트 상공을 수개월간 비행이 가능하며, 인공위성을 대체하여 저렴한 가격으로 세계 네트워크 구축이 가능하다. 이를 활용한 두 회사의 사업 확장에도 크게 도움이 되는 것이기에 실현 가능성이 높을 것으로 기대된다.



[그림 2.1.14] 구글이 인수한 타이탄 무인기(좌)와 페이스북의 통신용 드론 Aquila

현재 가장 활발하게 드론을 활용하고 있는 산업분야는 영상촬영사업으로 이미 많은 드라마, 영화, 쇼핑 등의 다양한 분야에서 활용이 되고 있다. 드론의 손쉬운 접근성을 무기로 취재 영역과 방식의 혁명을 이끌고 있는데 BBC 방송은 2011년 드론을 이용해 200만 마리의 플라밍고 떼의 생태를 관찰한 ‘어스플라이트(Earthflight)’라는 다큐멘터리를 선보였다. 헬기처럼 새들을 자극하는 소음이 없어 대열의 흔들림 없이 근접촬영에 성공하였다.



[그림 2.1.15] 드론으로 근접 촬영한 BBC의 다큐 ‘어스플라이트’의 한 장면

드론을 활용하여 도로 현황을 빠르고 간편하게 모니터링하여 유인헬기의 투입으로 인한 고비용 및 인력사용을 최소화하여 경제성을 확보할 수 있다. 과거 명절 때 각 방송사는 고속도로 행렬을 보도하기 위해 기자와 카메라맨이 동승한 유인헬기를 사용하여 전국을 촬영한 후 보도하였다. 최근, 도로공사에서 드론을 활용하여 LTE로 연동한 후 실시간으로 확인하고 중계하는 방식으로 점차 확대중이다.



[그림 2.1.16] 영종대교 106중 추돌사고에 활용된 드론



[그림 2.1.17] MBC 오후뉴스 2014.06.06

원격농장 관리, 정밀농업 확대, 농가당 영농가능 규모 확대 등 농업생산성 향상 등 드론은 농업 전 분야에 걸쳐 많은 기여를 하고 있다. 농촌의 고령화에 따른 노동력 부족을 드론으로 대체하고 있으며, 일본은같은 경우에는 '13년까지 약 2,500여대의 농업용 드론을 판매했으며 전체 농 40%에 대한 살충제 및 비료 살포에 드론을 이용하고 있다.

[표 2.1.6] 산업용 무인헬리콥터의 기종별 현황

명칭	RMAX	RMAX Type2	FAZER	YH300	AYH-3
제조회사	야마하발동기	야마하발동기	야마하발동기	야마하농기	야마하농기
전장	3.63m	3.63m	3.665m	3.95m	3.63m
전폭	72cm	72cm	77cm	70cm	72cm
전고	1.08m	1.08m	1.078m	1.15m	1.08m
기체+연료	-	74kg	70kg	-	-
최대이륙중량	93kg	93kg	100kg 미만	97.4kg	93kg

호주는 약 100여대의 농업용 드론을 수입해 제초용으로 활용하고 있다. 국내에서도 농협이 농약살포, 작물과중, 산림보호 등을 위해 153여대의 무인비행장치를 보유하고 있다.

드론을 활용하여 농장을 관리하고 문제 발생 시 스마트폰을 통한 신호발생, 농장주는 상태 확인 후 대응이 가능하며, 각 지역의 일조량, 수분, 토양상태, 해충 피해정도, 과실 성숙도 등을 항공사진으로 정밀 측정하여 생산력 극대화할 수 있다. 또한, 드론 활용 시 1인당 돌볼 수 있는 농장 규모가 확대됨에 따라 최소 인력으로 넓은 농장 운영이 가능할 수 있다.



[그림 2.1.18] 일본의 농업용 드론(좌)와 호주의 농업용 드론(우)

드론은 인간이 접근하기 어려운 재해지역, 또는 고압선 등과 같은 시설관리의 접근, 해변이나 화재 발생 시 인명구조를 위해 사용되고 있다. 2011년 동일본 대지진으로 후쿠시마 원전에서 대량의 방사능이 누출됐을 당시 미국의 군사용 무인 항공기 ‘글로벌호크’가 원전시설에 접근해 적외선 카메라로 발전소 내부를 들여다보고 각 시설의 온도를 포함한 정보를 파악하였다. 해변에서 수영을 즐기던 피서객이 물에 빠졌을 때 드론을 투입하여 구명튜브를 해당 지역에 투하함으로써 빠른 시간 내 인명을 구조할 수 있으며, 화재 발생 시 불길의 중심지역을 드론을 활용하여 빠르게 알아내어 집중적으로 화재 진압에 힘을 쏟음으로써 화재를 빠른 시간 내에 진압할 수 있다. 시설물 관리를 위해 고압선에 부착되어 있는 애자의 균열을 검사하고 교량의 균열을 파악하여 유지보수 조치를 신속히 진행하고 추가적인 사고를 예방할 수 있으며, 테러현장 조사, 교통사고 감식, 지도제작, 풍력발전기의 날개 검사, 밀열감시 등 다양한 분야에서 드론을 활용하고 있다. 방재용 헬기는 현재 무인헬기 형태로 200기 가량이 국내 보급되어 사용되고 있으나 전체 방재 수요의 4% 가량만을 담당하고 있는 실정으로 일본의 40% 이상 활용률

대비해서는 상당히 미미한 수준이다. 이를 위해 우리나라 소방방재청에서 열과 연기를 자동으로 인식해 산불 발생 지점을 확인하고 소방대원들에게 이를 알려줘 빠른 초동대처를 할 수 있도록 지능형 CCTV를 장착한 드론 등을 도입할 계획에 있다.



[그림 2.1.19] 글로벌호크



[그림 2.1.20] 인명구조에 활용되고 있는 드론

### (5) 국내 드론 기술동향

국내 무인기 개발은 한국항공우주연구원, 국방과학연구소 등이 주도하는 가운데, 한국항공우주산업, 대한항공, 유콘시스템은 주로 군용 무인기 체계종합을, 그 외 중소기업은 상용 미니·소형 멀티콥터를 제작한다. 한국항공우주연구원이 고속수직 이착륙 틸트로터형 스마트무인기 개발에 세계 두 번째로 성공하면서 첨단기종의 독자개발 단계로 발전하고 있다. 산업통상자원부에서는 산업핵심 및 산업엔진 사업 등으로 재난감시에 활용이 가능한 무인기 시스템 개발을 지속적으로 추진 중이며, 산업통상자원부와 방위사업청에서 공동으로 민군협력 과제로 성층권 장기체공 무인비행체설계 기술을 개발중에 있다. 국가과학기술연구회는 한국항공우주연구원을 중심으로 고고도 장기체공 무인기 기초연구 진행 중이며, 한국항공우주연구원은 스마트무인기는 개발완료 하였으며, 무인헬기(Kmax)성능개량, 고속수직 이착륙 무인항공기 실용화개발을 추진 중이다. 또한, 유무인항공기 자동비행시스템 국내독자개발 기반구축, CFT 무인기 개발완료 및 실용화 추진 중, 고고도 장기체공 전기동력 무인기 핵심기술 개발 및 EAV3 개발 중에

있다. 일반 산업체에서는 고정익 무인기(RemoEye 개발완료 운용 중, 사단급/군단급 무인기 및 중고도 무인기 실용화 개발 중), 회전익 무인기(RemoH 개발완료, 500MD 무인화 개발 중)를 개발중에 있으며 학계에서는 초소형 무인기 기초연구, Ringwing, Quad Tilt Wing 무인기 연구를 수행 중에 있다.

한국전자통신연구원은 2010년부터 2년 6개월간 지식경제부 World BestSoftware (WBS) 과제에서 DO178B Level A 인증요건을 획득한 실시간 운영체제인 QplusAIR를 개발하고 한국항공우주산업(주)의 무인기 비행제어컴퓨터에 탑재하여 국내 최초 비행시험 성공하였다. 차세대 통합모듈형 항공전자시스템 (IMA: Integrated Modular Avionics)을 지원 하고 높은 신뢰성을 제공하기 위한 항공기 SW 국제 표준인 ARINC 653 지원한다. 항공우주연구원의 스마트 무인기에 HILS21) 시험 성공 및 한국항공의 회전 익 무인기 상태감시 컴퓨터에 탑재하여 지속적인 연구를 진행 중이다.

소형 무인기 분야는 최근 수요 증대에 따라 활성화되고 있으나 영세한 기업들이 외국의 부품을 조립 및 판매하는 수준이기 때문에 단기간에 기술지원 및 협력을 통한 경쟁력 확보 방안이 시급하다.

[표 2.1.7] 국내 주요 무인기 현황

무인기명	제작사	동력원	최대이륙중량(kg)	최대체공시간	최대탑재중량(kg)
스마트무인기 (틸트로터)	한국항공 우주연구원	PW206C 엔진	995	5hr	90
EAV-2H	한국항공 우주연구원	전기모터	20	25hr	-
KUS-9	대한항공	피스톤 엔진	150	6hr	20
송골매	한국항공 우주산업	터보 프롭엔진	290	6hr	50
RemoEye-006	유콘시스템	전기모터	6.8	1.5hr	-
Remo-H	성우 엔지니어링	4행정 가솔린 엔진	120	1hr	50
Aris Beetle Octo	네스엔텍	전기모터	10	20min	3
AFOX-1A	카스콤	전기모터	32	12min	10

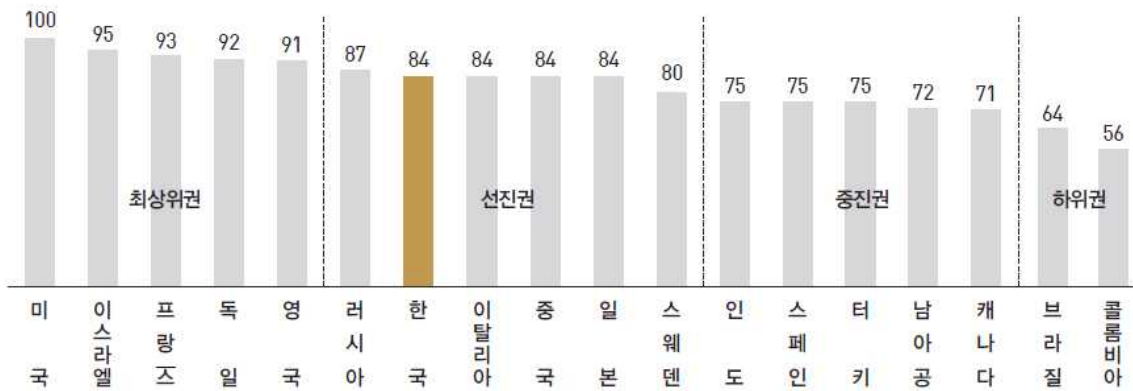
자료 : 미래창조과학부, “국민안전 감시 및 대응 무인항공기 융합시스템 구축 및 운용”, 2015

국내 무인기 기술수준은 세계적으로 Tier 1 수준으로 평가되고 있으며, 국방기술품질원은 우리나라가 약 7위권의 기술경쟁력을 보유한 것으로 평가되고 있다. 무인기 기술 및 체계종합 능력, 부품 공급처 확보 등 전반적인 무인기 독자개발기반을 구축하고 있다. 세계 2번째 틸트로터 무인기 원천기술을 확보하였고, 장기체공기술 개발 추진 등 지속적인 선도기술 확보 추진 중이다. 군수용 무인기는 지능형 자율비행기술, 고밀도 항법운용 및 비행제어기술, 복수무인기 운용기술, 군집비행 기술, 스텔스 기술 등을 요구하며 민수용 무인기는 충돌감지 및 회피 기술,

임베디드 S/W 기반의 IMA 기술, 비행안전 및 성능 제고 기술 등의 기술을 요구한다.



[그림 2.1.21] 세계 드론 국가군 분류  
(자료 : Frost&Sullivan, “무인기 세계시장 조사분석 연구”, 2015)



[그림 2.1.22] 세계 드론 기술순위  
(자료 : 국방기술품질원, “2010 국방과학 기술조사서 일반본”, 2010)

국내 무인기 기술은 우수하나 제품화 시키는 전략이 미흡하고 핵심부품은 수입에 의존하고 있으며 경쟁력이 낮은 편이다. 농업용무인기의 80%는 일본 제품, 취미용 무인기 시장의 50% 이상은 중국제품이 차지하고 있으며 가격은 중국, 기술력은 미국 및 유럽 등에 열위인 상태이다.

[표 2.1.8] 국내·외 소형드론 기술·가격 경쟁력 비교

5kg급 드론	비행시간	조종방식	충돌회피	가격
DJI(중국)	20분 이내	외부조종	-	1,000\$ 내외
Micro-drone(독일)	45분 이내	자동비행	근접센서	50,000\$ 내외
국내기업	20분 이내	외부조종	-	중국 제품대비 높음

자료 : 전북테크노파크, “전북 첨단산업의 융합허브 드론산업”, 2015

국내 무인기 산업기반은 정부주도의 다양한 군수 및 재난안전 무인기 체계개발 사업들을 통해 국내 독자개발 능력을 확보하였다. 이로 인해 비행체, 항공전자, 임무장비, 통신장비, GCS26) 등 무인기 관련 부품 및 서브시스템과 S/W개발 능력을 확보할 수 있게 되었다. 특히, 중소기업들의 참여가 항공 산업 내 유인기 분야에 비해 활발한 편이다.

[표 2.1.9] 국내 무인기 사업 진행동향

분류	민간 R&D 투자동향	정부 투자 방향
무인기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 산·학·연은 무인기 시스템 및 각 부처계에 대한 연구개발 중</li> <li>- (항우연) 틸트로터 무인기, TR60, 전기 무인기</li> <li>- (대한항공/항우연) TR60</li> <li>- (한화) CROW, (성우) Remo-H</li> <li>- (유콘) RemoEye</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 90% 이상 군용 무인기 개발에 집중</li> <li>- (군) 중고도 무인기, 사단급 무인정찰기, 차기 군단급 무인기, 다목적 수직이착륙 무인기 신개념 기술시범 사업</li> <li>- (민) 스마트무인기, 근접감시용 무인기, 다목적 수직이착륙 비행로봇 시스템, 항공부품 정밀비행시험시스템 등</li> </ul>
무인기 핵심부품	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 무인항공기의 비행체 운영과 비행제어 모듈 및 통신모듈 등은 국내 업체가 자사 모델 개발 시 산·학·연 협력 등을 통해 개발</li> <li>• 주요 임무탑재장비는 해외구매를 통해 장착</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 무인기 시스템 개발에 대부분 투자</li> </ul>

자료 : 산업통상자원부, “산업기술 R&D 전략(응북합분야 무인기시스템)”, 2015

## (6) 국외 드론 기술동향

전 세계적으로 조작자가 탑승하지 않고 원격 통제되면서 임무를 수행하는 무인 항공기, 무인선박, 무인차량 등 다양한 무인이동체계가 활발히 개발 중에 있다. 무인항공기는 조종사가 탑승하지 않고 원격으로 통제되는 항공기로서 군용으로 이미 널리 사용되고 있으며, 국제민간항공기구(ICAO)는 무인항공기의 통합운용방안을 이미 활발히 논의하고 있고 법제화를 추진 중에 있다. 무인항공기는 지상의 조종사가 항공기의 통제권을 확보하기 위한 통신체계가 새롭게 구축되어야 하며, 기존 유인기가 운용되는 공역에서 활용하려면 자체적인 충돌회피 능력의 구현이 필요하다. 국제 전기 통신 연합(ITU)에서는 무인항공기 이용의 수요가 늘어남에 따라 장거리 무인항공기의 안전 운항을 목적으로 무인항공기의 통신 기술 및 주파수 대역에 관한 연구를 진행하여 현재 민간 무인기용 주파수로 5.030~5.091GHz를 할당하고 있다. 무인항공기의 경우 현재 주로 군에서 정찰용으로 활용하고 있으며, 민간부문에서는 국경감시, 해상정찰, 기상 관측 등으로 활용이 시작되어 2020년 이후부터는 자원 탐사, 농작물 재배 등 민간영역에서 활용될 것으로 예상하고 있다.

미국의 9.11 테러 이전 서서히 증가하던 무인항공기 시장이 9.11 테러 이후에 미국의 대테러 전략으로 시작된 아프간 및 이라크 전쟁에서 무인항공기의 효용성이 입증됨으로써 군사용 무인항공기의 가치와 활용도가 급격히 증가하였다. 아프간과 이라크 전장에서 미국의 글로벌호크(RQ-4 Global Hawk)와 프레데터(MQ-1 Predator)를 필두로 한 무인항공기들이 연합군의 작전승리에 기여하면서 무인항공기의 역할과 위력이 세상에 널리 알려지게 되었다. 이에 따라 각

국은 무인항공기의 가치와 필요성에 대한 인식을 새로이 하게 되었고 이제는 거의 모든 나라들이 무인항공기를 개발하거나 운용을 준비중에 있다.

미국은 1960년대 군용 표적기인 Firebee의 성공적인 운용 후 지속적으로 무인 항공기를 개발해왔으며, 1980년대 Amber 무인기의 기술에 기반을 둔 General Atomics사의 Predator가 1990년대 말 코소보 분쟁에서 훌륭한 성과를 거두었다(전 세계에서 가장 많은 무인항공기를 보유 및 운용). 차세대 항공교통관리(ATM: Air Traffic Management) 시스템 연구 프로젝트인 NextGen을 진행하고 있으며, 무인항공기를 NAS(National Airspace System)에 완전히 통합하여 운영을 위한 로드맵을 2013년에 발표하여 무인항공기 혼용운용을 위한 연구 및 법제화에 박차를 가하고 있다. 국가공역 시스템(NAS)으로의 무인항공기 시스템 통합을 위한 프로젝트에서는 다섯 개 분야에 대해 세부 연구 목표 수립하였는데, 분리 간격 수립(Separation Assurance), 통신(Communication), 휴먼 시스템 통합(Human System Integration), 인증(Certification), 통합 시험 및 평가(Integrated Test and Evaluation)를 포함하고 있다.

미국 다음으로 무인항공기 산업이 활성화되어있는 유럽의 경우, 세계 시장의 5%정도를 점유하고 있으며 2015년까지 13억 달러 규모의 수요가 예측되고 있다. EUROCONTROL의 SESAR (Single European Sky ATM Research Programme) 프로젝트의 일환으로 무인 항공기 특화 프로젝트인 INOUI(Innovative OperationalUAS Integration)는 7개의 Work Package로 구성되어 있으며, 통합된 무인 항공기 항공관리시스템의 기술 요소를 제시하고 있다. 또한, SINUE (Satellites enabling the Integration in Non-segregated airspace of UAS in Europe) 프로젝트를 통해 2015년까지 유럽공역내의 SATCOM 데이터 링크를 이용하여 UAS의 통합 운영 타당성 조사를 하고 있으며 네덜란드 항공 관련 국립 연구소인 NLR에서 개발한 ATC 시뮬레이터인 NARSIM을 이용하여 분석을 진행하고 있다.

영국의 경우 ASTREA(Autonomous Systems Technology Related Airborne Evaluation & Assessment) 프로젝트를 통해서 영국 공역 내에 무인항공기를 특별한 제약 조건 없이 운영하는 것을 목표로 하고 있으며, ASTREA I은 2006~2008년에 진행되었고, 현재 ASTREA II (2009~2013) 단계를 진행하고 있다. ASTREA II 단계에서는 Separation Assurance & Control 과 Autonomy & Decision making 프로젝트가 진행되고 있다,

프랑스의 경우 항공 관련회사인 THALES에서는 군용 UAS의 민간 영공으로의 통합을 위해 적합한 주파수 영역을 지정하는 연구인 SIGAT(Study on military frequency spectrum allocations for the insertion into General Air Traffic of UAS) 프로젝트를 진행중에 있다.

독일항공센터(DLR)에서 2002년부터 2004년까지 USICO(Unmanned aerial vehicle Safety Issues for civil Operations) 프로젝트를 통해 무인항공기의 감항 기준을 분석하였고 민간 공역 내 운용을 위한 ATM 통합 개념과 충돌회피를 시뮬레이션을 진행하고 있다. 또한, BR&TE(Boeing Research & technology Europe)에서는 ATLANTIDA (Application of Leading Technologies to Unmanned Aerial Vehicles for Research and Development in ATM) 프로젝트를 통해 2007년부터 2010년까지 현대화 항공교통관리시스템의 새로운 운용개념인 TOB(Trajectory-Based Operations)에 무인 항공기의 운용을 통합하기 위한 연구를 진행하고 있다.



## 2. 가뭄 모니터링을 위한 드론의 활용범위 및 구축대상자료 설정

### 가. 농업분야 ICT 적용을 위한 드론 기술동향

#### (1) 농업분야의 무인기 활용 현황

국의 농업에서의 드론 활용은 원격농장 관리, 정밀농업 확대, 농가당 영농가능 규모 확대 등 농업생산성 향상에 기여하며, 농촌의 고령화에 따른 노동력 부족을 드론으로 대체하고 있다.

일본은 '13년까지 약 2,500여대의 농업용 드론을 판매했으며 전체 논 40%에 대한 살충제 및 비료 살포에 드론을 이용하고 있다.

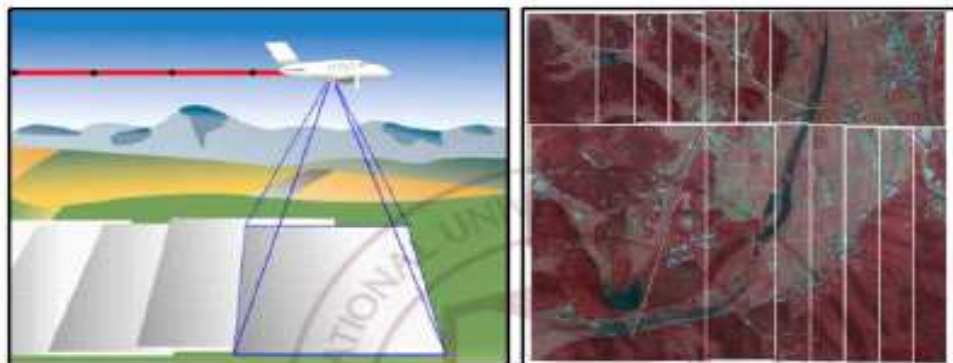
호주는 약 100여대의 농업용 드론을 수입해 제조용으로 활용하여 농장을 관리하고 문제 발생시 스마트폰을 통한 신호발생, 농장주는 상태 확인 후 대응하고 있으며, 정보수집 및 정밀농업 확대로 각 지역의 일조량, 수분, 토양상태, 해충 피해정도, 과실 성숙도 등을 항공사진으로 정밀 측정하여 생산력 극대화하여 영농가능 규모 확대로 드론 활용시 일인당 돌볼 수 있는 농장 규모가 확대됨에 따라 최소 인력으로 넓은 농장 운영이 가능하다.

### 나. 가뭄 모니터링을 위한 드론 및 탐사센서 도입

#### (1) 드론을 이용한 가뭄 모니터링에 적합한 센서

항공사진의 이미지가 지도와 근본적으로 차이가 나는 것은 투영방식 때문이다. 지도는 평면상의 정사투영인데 반해 사진은 렌즈의 중심을 통한 중심투영으로, 투영의 중심점에서는 지도와 같이 정사의 형태를 이루지만 중심에서 멀어질수록 외곽의 지형지물의 상이 높게 된다. 지형의 사진 상 투영 과정에서 기복이 없는 경우는 정사투영인 지도와 별 차이가 없지만 기복이 있는 경우는 지도와 상당히 다르게 표현된다. 이렇게 지형의 기복에 따라 차이가 발생하는 것을 기복변위(relief displacement)라고 하며, 기복변위는 영상처리를 통하여 소거 할 수 있다. 이러한 기복변위를 제거하여 정사영상을 제작하는 과정을 수치미분편위수정이라 한다.

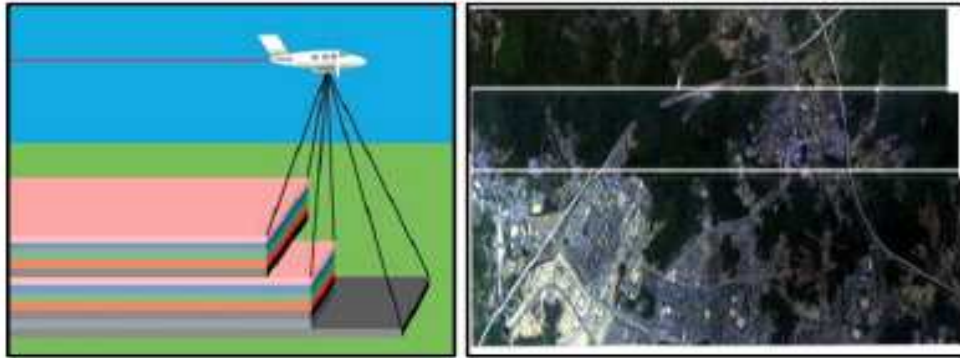
면형 촬영방식의 디지털항공사진은 프레임 단위로 영상을 획득하기 때문에 기존의 아날로그 항공사진카메라 영상과 같이 방사 방향으로 기복변위가 발생하는 특징을 가지고 있으며, 대부분의 수치사진측량장비인 DPW에서 처리가 가능하다.



[그림 2.1.23] 면형 디지털항공사진카메라의 촬영

(자료 : 천병석, 드론 디지털 영상을 이용한 소규모 지형변화 분석, 2017)

선형 촬영방식의 디지털항공사진카메라는 센서요소가 일렬로 배열된 기하학적 형태를 가지고 있으며, 센서를 밀고 가듯이 촬영하기 때문에 Pushbroom Scanner라고도 한다.



[그림 2.1.24] 선형 디지털항공사진카메라의 촬영  
(자료 : 천병석, 드론 디지털 영상을 이용한 소규모 지형변화 분석, 2017)

면형 및 선형 촬영방식의 디지털항공사진카메라는 GSD 0.1m의 고해상도로 디지털항공사진을 촬영할 수 있으며, 다중분광센서를 탑재하여 위성영상과 동일한 적, 청, 록, 근적외선 밴드의 영상을 취득할 수 있으며, 사진측량기법과 영상 처리 기법을 통해 다양한 공간정보의 제작이 가능하다.

정사사진은 원영상의 표정요소와 지형의 수치모델을 이용하여 수치미분편수정(digital differential rectification)을 통해 영상의 왜곡 및 기복변위를 제거하는 기하학적 보정 과정과 폐색 및 이중 도면화 제거, 모자이크 처리와 같은 방사적 과정을 거쳐 제작된 영상으로 사진지도라고도 하며, 지도와 같은 정사투영의 기하학적 특징을 가지고 있어 최근 다양한 분야에서 지형도나 수치지형도를 대체하여 많이 사용되고 있다.

고해상도 디지털항공사진을 이용하여 정사영상을 제작하여 하천복원사업의 기초자료로 이용할 경우 기존에 구축된 수치지형도와 동일한 기하학적특성과 유사한 위치정확도를 가지고 있어 정량적인 분석이 가능하다. 물론 영상을 기반의 공간정보로 가시성이 뛰어나 대상지역의 정성적인 특성을 파악하는데 있어 수치지형도보다 유일할 것으로 판단된다. 또한 기존에 수치지형도에 비해 최신성을 확보할 수 있어 지형의 변화된 사항도 함께 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

[표 2.1.10] 항공사진측량과 드론사진측량의 비교

구분	장점	단점
항공 사진측량 (10cm 급)	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존 구축되어 있는 항공사진 영상의 활용 가능</li> <li>광범위지역에 적합함</li> <li>영상 매칭 작업시 UAV보다 왜곡영향이 덜하고 민형과 선형 방식이 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>촬영에 소요되는 비용이 드론보다 상대적으로 높음</li> <li>촬영은 10cm급 영상제작으로 이루어지나 실제 정확도는 좀 더 낮음</li> <li>촬영에 오류가 있을 경우 재촬영 기간이 많이 소요</li> </ul>





드론 사진측량 (5cm 급)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소규모 지역의 촬영에 적합하고 비행시간이 짧아서 신속한 현황 파악이 가능</li> <li>• 최대 3cm 이내 정확도로 촬영이 가능하기 때문에 요구 정확도의 안정적 확보</li> <li>• 촬영에 오류가 있을 경우 신속한 재촬영 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 영상매칭 시 왜곡 발생 가능성 존재</li> <li>• 지역이 광범위한 경우 촬영시간에 제약이 발생</li> </ul>
-----------------	--	---

자료 : 천병석, “드론 디지털 영상을 이용한 소규모 지형변화 분석”, 2017

드론에 장착하는 카메라가 필수가 되면서 카메라의 고성능화를 이끄는 기업으로는 뛰어난 액션 카메라 브랜드로 고프로(GoPro)와 같은 액션 카메라 기업들이 있으며, 최근에는 농업용 드론으로 병충해가 들었거나 가뭄 등을 쉽게 알 수 있으며, 멀티스펙트럼(multispectral)과 같은 고성능 카메라가 주목받고 있다.

드론을 이용하여 정사사진을 제작하기 위해서는 회전익 드론보다는 고정익 드론을 활용하는 것이 일반적인 사항이며 고정익 드론에 해당하는 카메라 종류는 다음과 같다.

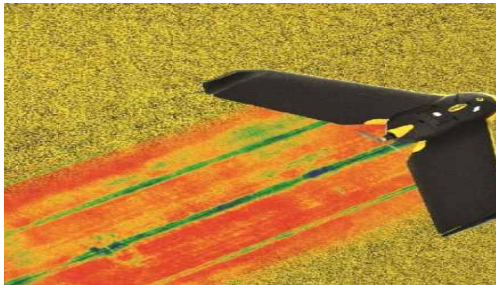
[표 2.1.11] 고정익 드론에 적합한 센서(카메라) 종류

명칭	이미지	특징
SenseFly S.O.D.A		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전문가용 드론 정사영상을 위해 처음 제작</li> <li>• 빛의 조건에 구애받지 않고 놀라울 정도로 선명한 지상 RGB 이미지를 포착하여, 디테일하고 생생한 정사영상과 고정밀도의 디지털 표면 모델을 구현할 수 있음</li> </ul>
G9X RGB		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가시광선에서 규칙적인 이미지 데이터를 취득</li> <li>• 노출 파라미터는 직접 설정하고 RAW 형식 이미지 파일을 출력</li> <li>• 가장 까다로운 장소에서 사용하기에 모래 및 먼지보호 장비가 내장</li> </ul>
MultiSPEC 4C		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 스펙트럴 이미지 중첩 없이 고해상의 4가지 밴드 Green, Red, Red-edge 그리고 NIR 이미지 데이터를 제공</li> <li>• irradiance sensor는 비수평적 반사율을 보이는 햇빛의 변화를 자동적으로 조절</li> </ul>
Parrot Sequoia		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단일비행으로 통합적이고 정밀한 멀티스펙트럴 센서가 RGB 이미지를 포함한 4가지의 스펙트럴 밴드의 데이터를 캡처</li> </ul>
Canon S110 NIR		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 높은 식물 반사율이 발생하는 근적외선(NIR) 대역의 이미지 데이터를 수집</li> <li>• 노즐 매개 변수는 수동으로 설정하며 RAW 파일을 지원하며, NDVI 식생지표 사용에 용이</li> </ul>
SONY WX		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1600만 화소의 RGB 카메라이며, 무인항공기의 자동조정에 의해 제어될 수 있음</li> <li>• 가시 스펙트럼의 일반적인 화상 데이터를 취득하고 파라미터가 자동으로 설정</li> </ul>

## (2) 가뭄모니터링의 드론 기술 적용방안

AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 등 중저해상도 위성영상은 주로 광범위한 유역 또는 지역 규모의 가뭄 연구에 이용되어 왔다 (Dijk, 1986; Johnson et al., 1993; Kogan, 1995; Wang and Qu,

2007). 또한 고해상도 위성영상을 이용한 연구로는 미국과 호주 지역을 대상으로 QuickBird 이미지를 이용하여 가뭄 분포를 상세하게 지도화하고 토지이용 변화 실태를 조사하고 있다. 고해상도 위성영상은 구름 등 촬영 조건에 좌우되므로 피해 지역을 쉽게 촬영할 수 없는 우리나라의 경우 위성의 주기성 문제와 함께 장애 요인으로 작용하여 가뭄 정보 파악에 한계를 가지고 있다 (Park and Park, 2015; Zhang and Kovacs, 2012). 이에 따라 구름 등 기상여건과 주기성에 의존하지 않는 정밀하게 효율적으로 정보를 취득하는 방법 마련이 기대되어 왔다. 최근에 무인항공기의 등장으로 고해상도 영상 활용이 증가되면서 논지역의 정밀 가뭄 피해 상황 파악이 가능해지고 있다. 또한 영상처리 분야에서는 객체지향 분류 기법이 등장하면서 고해상도 무인항공기 영상 활용이 증가하고 있다. 기존의 픽셀 기반 분류 방법은 어느 우점 토지피복 영역에서 다른 토지피복이 깨소금 모양으로 표현되어 영상의 이해가 쉽지 않았다. 객체지향 분류는 이미지를 이미지 객체라는 작은 공간으로 분할 (segmentation)하여 육안판독 분류 결과에 가까운 분류 정확도를 얻을 수 있게 되었다. 그러나 객체지향분류는 이미지 객체 크기를 시행착오 방법으로 반복하는 등 작업 단계의 모호성이 지적되고 정량화 된 절차 확립을 필요로 하고 있다.



[그림 2.1.25] 농업에서 드론의 활용(좌), 토양의 질소 수준 관리에 활용되는 드론(우)

### (가) 토양분석

사용자는 드론을 통해 정확한 3D 맵을 작성, 모종 심는 시기를 계획할 때 도움을 얻을 수 있다. 또한 묘목을 심은 후 토양 분석을 실시하면 3D 맵이 관개(작물의 생육에 필요한 물과 알맞은 토양환경을 만들기 위해 필요한 물을 인공적으로 농지에 공급해 주는 일)와 토양의 질소 수준을 관리하는 데에도 도움을 준다. 즉, 드론을 사용하면 보다 정확한 수확주기를 산출하는 것이 가능해져 효율성이 향상된다.

### (나) 파종에 있어 드론의 활용

드론을 이용한 파종 시스템 개발이 진행중이며, 드론을 활용했을 때 살포율은 75%에 달하며, 파종에 드는 비용은 무려 85%나 줄일 수 있다. 이 시스템은 식물의 씨앗과 식물의 영양소가 들어있는 용기를 드론에서 발사해 식물 성장에 필요한 씨앗과 영양을 동시에 뿌릴 수 있다.

### (다) 농약살포

지형에 따라 적합한 고도에서 비행하거나 장애물을 회피할 수 있는 드론으로 사용자는 비행하는 높이부터 바닥까지의 거리를 측정하고, 적절한 양의 농약을 실시간으로 조절할 수도 있다. 이렇게 되면 기존 기계를 사용한 농약 살포보다 5배나 빨리 농약 살포를 완료할 수 있다. 소비

자용 드론 팬텀 시리즈로 유명한 중국 드론 업체 DJI도 농약 살포 드론을 출시하고 있다. 이 드론은 사람이 하는 것보다 약 60배 정도 효율이 높다.

### (라) 작물 모니터링

농지 수확 효율이 낮은 것은 농업의 큰 장애물이다. 지금까지 작물 모니터링에서 가장 진보된 방법은 위성사진을 사용하는 방법이었지만, 위성 이미지의 정밀도는 그다지 높지 않고 비용 부담 또한 컸다. 그러나 드론을 사용하면 보다 저렴하고 정확하게 작물의 성장 상태를 확인할 수 있다.

### (마) 관개작업

드론은 하이퍼 스펙트럼과 멀티 스펙트럼, 열 감지 센서 등을 탑재하고 있다. 이런 센서를 이용해 분석하면 지상의 어떤 부분이 건조한지를 쉽게 알 수 있다. 드론을 이용하면 관개 작업을 보다 효율적으로 할 수 있다.

### (바) 작황상태파악

작물의 건강 상태와 토양의 박테리아 양, 나무의 곰팡이 감염 유무 등을 예측하는 것은 농업에서 매우 중요하다. 그런데 드론의 가시광선 및 근적외선 기능을 이용하면 이를 확인할 수 있다. 해당 정보로 멀티 스펙트럼 이미지를 만들면 식물의 건강 상태 변화를 관찰하는 데 매우 유용하다.

눈에 보이지 않는 식물의 변화에 신속하게 대응하는 것은 농지를 위협으로부터 지키는 데 도움이 된다. 세계 최대 전문 서비스 팜 PwC는 드론에 의한 농업 솔루션 시장 규모를 324억 달러로 추정하고 있다.

## (3) 드론 플랫폼 및 탐사센서의 적정성 및 시장조사

### (가) 드론 기체 종류

#### ① 고정익 드론

상용 고정익 드론 8종류에 대한 규격, 탑재장비, 측량기법, 제어 및 통신 방법 등의 현황을 조사하였다. 조사한 드론은 Trimble사의 UX5 HP, Dronemetrex사의 TopoDrone, Smartplane사의 SmartOne, Sensefly사의 eBee, Quest사의 q200, joyton사의 Radius, Delair-tech사의 DT18 HD PPK, Sky-watch사의 Cumulus이다.



[그림 2.1.26] UX5 HP



[그림 2.1.27] TopoDrone



[그림 2.1.28] SmartOne



[그림 2.1.29] eBee



[그림 2.1.30] Q200



[그림 2.1.31] Radius



[그림 2.1.32] DT18 HD PPK



[그림 2.1.33] Cumulus

## ② 회전익 드론

상용 회전익 드론 6종류에 대한 규격, 탑재장비, 측량기법, 제어 및 통신 방법 등의 현황을 조사하였다. 조사한 드론은 (주)공간정보사 Geo X10, Trimble사의 ZX5, Sensefly사의 Ablris, Helicio사의 Fox6, DJI사의 Phantom4 Pro 및 Inspire2이다.



[그림 2.1.34] Geo X10



[그림 2.1.35] ZX5



[그림 2.1.36] Abris



[그림 2.1.37] Fox6



[그림 2.1.38] Phantom4 Pro



[그림 2.1.39] Inspire2

### ③ 수직이착륙형 드론

수직이착륙형 3종류에 대한 규격, 탑재장비, 측량기법, 제어 및 통신 방법 등의 현황을 조사하였다. 조사한 드론은 Birdseyeview사의 FireFly6, Helicio사의 FoxyPro, Wingtra사의 WingtraOne이다.



[그림 2.1.40] FireFly6



[그림 2.1.41] FoxyPro



[그림 2.1.42] WIngtra One

드론 H/W는 형태별로 고정익, 회전익, 수직이착륙형으로 구분할 수 있다. 고정익은 회전익에 비해 비행속도가 빠르고 운용 시간이 길기 때문에 넓은 지역의 데이터 취득에 유리하다. 하지만 이륙과 착륙에 필요한 공간이 크다는 단점이 있다. 반면 회전익은 수직 이·착륙이 가능하기 때문에 이·착륙에 필요한 공간이 작고, 지상해상도가 고정익에 비해 높다. 수직이착륙형은 고정익과 회전익의 특징을 모두 가지고 있어 각각의 단점을 보완할 수 있을 것으로 판단된다. 고정익과 회전익의 상대적 특징을 정리하면 다음과 같다.

[표 2.1.12] 드론 형태에 따른 특징 비교

구분	고정익	회전익
1회 운용 시간	大	小
촬영 속도	大	小
1회 촬영 면적	大	小
지상해상도	小	大
이착륙필요 공간	大	小
장점	- 넓은 촬영면적 - 바람 저항이 강함	- 좁은 이착륙 공간 - 높은 지상 해상도
단점	- 이착륙 공간 확보 필요 - 낮은 지상 해상도	- 1회 촬영면적이 좁음 - 바람 저항이 약함



본 과업에서는 비교적 넓은 발지역의 촬영이 요구됨에 따라 1회 운용 시간이 길고 넓은 지역을 포괄하여 촬영이 가능한 고정익 드론을 선정하여 농업가뭄 모니터링에 활용하였다.

이에 따른 고정익 드론에 탑재할 수 있는 센서는 한정적이며 농업 가뭄 모니터링에 적합한 센서의 특징을 요약하면 다음과 같다.

[표 2.1.13] 드론 탑재 센서 및 특징

구분	특징
RGB	Green, Red, Blue 의 일반적인 band data 제공
NIR	Green, Red, NIR band data를 제공하며, NDVI 산출 용이
RED-edge	각종 대상물의 열화상 자료를 취득, 열영상 공간 분포도 작성 가능
Multi-spectral	고정밀 대역(Green, Blue, Red-edge, NIR) band data 제공
LiDAR	레이저를 대상물에 투사하여 대상물의 형상정보 취득

#### (4) 가뭄모니터링을 위한 드론 플랫폼 및 탐사센서 도입


##### (가) 드론 플랫폼


최근 센서 기술이 첨단화 됨에 따라 소형화, 초경량화 등 기술적 발전 힘입어 드론에 탑재한 드론 기반 원격탐사가 정밀농업(Precision Agriculture)을 중심으로 활발히 적용되고 있다. 적용분야를 개발함에 따라 드론에 의한 원격탐사의 적용범위는 무궁무진할 것으로 전망된다. 배터리로 작동되는 드론에 있어 비행시간은 매우 중요하며, 따라서 센서의 무게를 줄이는 것은 매우 중요한 기술적 요소이다.

본 연구에서의 드론은 스위스 Sensefly사의 고정익 eBee를 사용하였다. 이 무인항공기는 자동 무인비행으로 안전한 비행의 고정익 UAV 시스템이다. 조립식 비행체로 휴대가 간편하며 자동이착륙과 비행, 장애물 충돌회피, 풍속센서, 자동비상복귀 기능 내장으로 언제나 안전한 비행이 가능하다.

탑재센서는 Canon사의 S110 NIR로써 Green, Red 및 NIR 밴드 데이터를 제공하여 초목 해상도를 고감도로 계산할 수 있습니다. NIR 데이터는 높은 수준의 반사율로 NDVI를 산출하여 농작물의 바이오매스 및 식물 건강을 평가할 수 있다.

[표 2.1.14] 드론의 사양 가뭄모니터링을 위한 드론 플랫폼 및 탐사센서 도입

	Hardware		Operation	
	무게(카메라 포함) 날개폭	700g 96cm	최대 비행 시간	50분
소재	EPP 폼/탄소 구조 및 복합 부품	순항 속도	40~90km/h	
		무선 송수신 링크	최대범위 3km	

	원동력	전기 프로펠러/160W 브러시라스 DB모터	최대범위(Single Flight)	12km <sup>2</sup>
	배터리	11.1V/2,150mAh	바람저항	45km/h
	카메라(공급)	16MP IXUS/ELPH	지상 샘플링 거리(GSD)	픽셀당 1.5cm까지
	카메라(옵션)	S110 RGB/theromoMAP	상대 정사영상/3D모델 의 정확성	1-3x GSD
	휴대용 케이스	55*45*25cm	절대 수평/수직 정확도(W/GCP)	3~5cm
			절대 수평/수직 정확도(No GCP)	1~5m(3.3~16.4 ft)
			멀티운용	가능(공중충돌회 피 포함)
			자동비행계획	가능
			선형 착륙 정확도	5m(16.4 ft)

### 3. 드론을 활용한 가뭄 모니터링 기술개발방안 수립

#### 가. 가뭄모니터링에 적합한 드론제어 및 운영 기술

##### (1) 가뭄 모니터링을 위한 드론 촬영조건 및 운용방안

드론 촬영은 촬영고도에 가장 많은 영향을 받는다. 촬영고도는 지상해상도, 촬영면적, 비행시간 등 결과물에 직접적인 영향을 미친다. 특히, 농작물 가뭄모니터링의 경우에는 넓은 지역을 대상으로 하기 때문에 촬영고도는 최대 비행시간에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 요인이다. 본 연구에서는 항공법 등 관련 법령을 준수하여 고도 120 m로 촬영하였다.

촬영고도 다음으로 중요한 요소로 촬영중복도이다. 종중복도와 횡중복도는 정사영상 제작에서 영상의 왜곡현상의 최소화와 항공삼각측량의 정밀도를 높이는 중요한 요소이다. 본 연구에서는 중중복도는 80%, 횡중복도는 70%로 비교적 높게 촬영하였다.

다음으로 지상기준점(GCP) 선점 및 측량이다. GCP는 사진상의 좌표와 지상의 좌표를 일치시키는 중요한 인자로 해당 대상지의 블록에 전체에 균등하게 분포되어야 한다. 특히 블록 외곽으로 GCP 분포가 필요하며 중앙에 일부 포함되어야 한다. 최근 국토지리정보원에서는 드론을 이용한 공공측량 작업규정을 제정하였으며 여기에서 GCP는 최소 9점 이상 분포되어야 하는 것으로 정의된다.

[표 2.1.15] 가뭄 모니터링을 위한 드론 촬영 조건

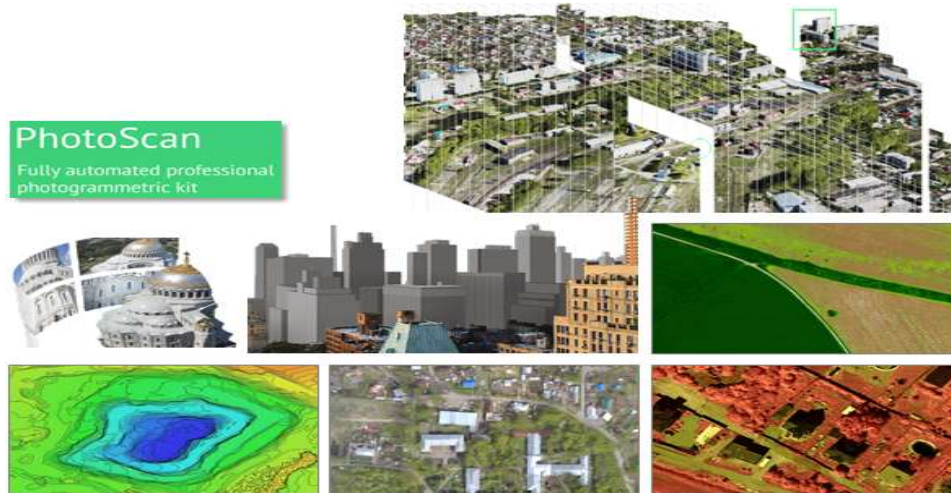
구분	내용	비고
촬영 고도	150km	항공법 등 관련 법령 준수
중복도	중중복도 80% 횡중복도 50%	기존 연구사례에서는 중중복도를 70%를 제시하고 있으나, NDVI 등 부가정보 생성을 위해 고정밀 촬영 필요
지상기준점	최소 9점 이상	공공측량작업규정 근거
적용 기체	고정익	회전익보다 넓은 지역을 단일 촬영가능한 고정익 유리
탑재 카메라	RGB카메라, NIR 카메라, 멀티스펙트럴 카메라(초분광)	NDVI 등을 위한 다양한 카메라 적용 가능
이동속도	풍속 10m/s 이상 (회전익 5m/s 이상)	효율적 드론 운영 방안 제시
중간성과물	기본정보(고도, 중복도, 카메라정보, GCP 성과 등), 촬영영상, 정사영상, DSM	Raw data, 상용 SW 결과물
최종성과물	수치지도, 영상지도, NIR, NDVI	농업 가뭄모니터링을 위한 산출물

(2) 농업 가뭄모니터링에 적합한 영상처리 기법 선정

드론 S/W는 촬영계획을 위한 미션플랜과 후처리로 구분할 수 있다. 촬영계획 S/W는 구글 어스를 기반으로 촬영 영역 설정, 비행고도, 중복도 등을 설정할 수 있으며, 자동촬영을 할 수 있는 기능과 위급상황에서 드론을 착륙시키거나 돌아오게 하는 기능을 탑재하고 있다. 후처리 소프트웨어는 제조사 별로 다양한 기능을 탑재하고 있다. 각 소프트웨어별 기능 비교는 다음과 같다.

(가) PhotoScan Professional

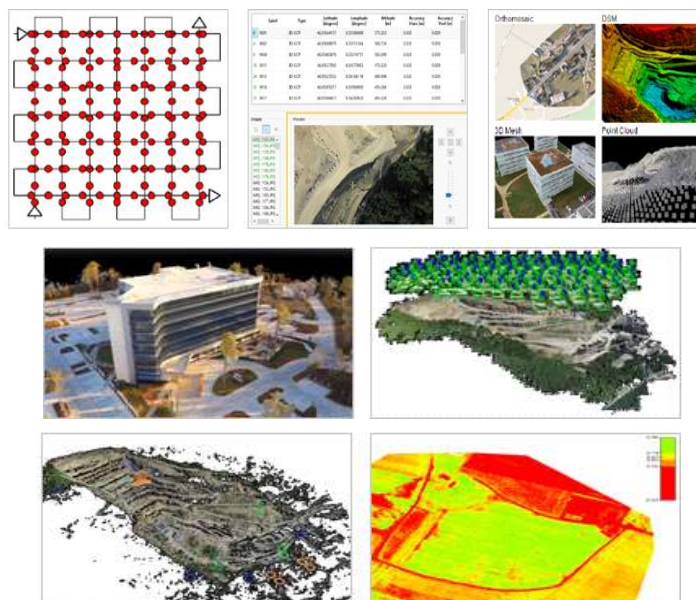
- 항공삼각측량(Aerial Triangulation) 수행
- 고밀도 포인트클라우드 생성
- 3차원 객체 모델링 및 텍스처링
- 특수카메라 (panorama, fisheye, spherical, cylindrical camera) 영상지원 및 모자이크 생성
- 정규식생지수 (NDVI) 및 기타 다양한 식생지수 계산
- High LoD DEM 생성
- Python scripting 및 프로그래밍 지원



[그림 2.1.43] PhotoScan

(나) Pix4D Mapper pro

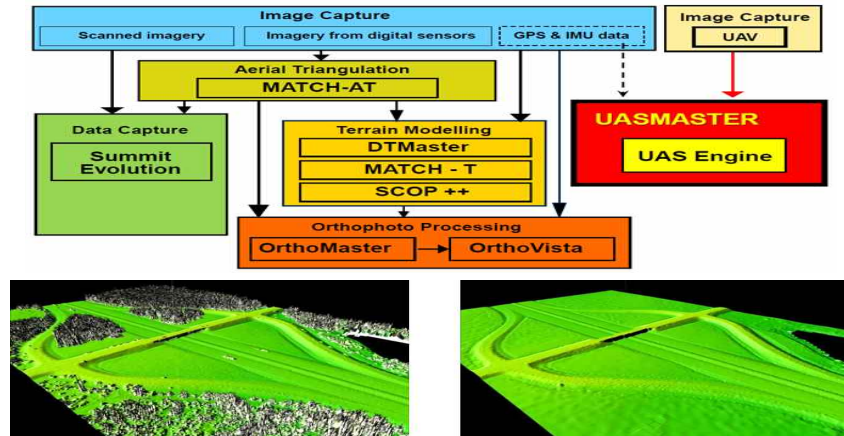
- Cloud 처리
- 촬영계획
- 항공삼각측량
- Flythrough 동영상 제작
- 정사영상 모자이크 생성
- DSM/DTM 생성
- 3D 점군집 데이터 생성 및 처리
- 3D 객체 텍스처 모델링
- 2차원 및 3차원 체적 측정
- 2D 벡터 등고선 지도 생성
- Web sharing



[그림 2.1.44] 테스트 베드 설정을 위한 모의실험 분석

(다) UAS Master

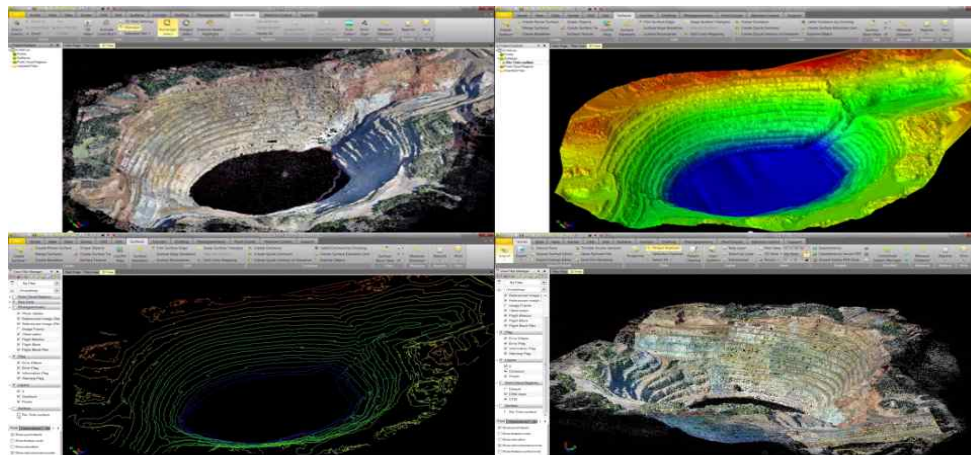
- 항공삼각측량
- 정사영상 모자이크 생성(classic ortho, true ortho)
- DSM/DTM 생성 및 편집
- 3D 점군집 데이터 생성 및 처리
- 2D 벡터 등고선 지도 생성



[그림 2.1.45] UAS Master

(라) TBC(Trimble Business Center) Aerial Photogrammetry Module

- 항공삼각측량
- 정사영상 모자이크 생성(classic ortho, true ortho)
- DSM/DTM 생성 및 편집
- CAD 및 GIS 데이터 변환 및 export 기능
- 3D 점군집 데이터 생성 및 처리
- 2D 벡터 등고선 지도 생성
- 2차원 및 3차원 체적 측정



[그림 2.1.46] TBC Aerial Photogrammetry Module

[표 2.1.16] 소프트웨어별 기능 비교

구분	(1)	(2)	(3)	(4)
외부표정요소 누락 사진 처리	X	제한적	제한적	O
True ortho 생성	O	O	O	O
DSM과 정사영상 중첩	X	O	X	X
컬러 포인트클라우드	O	O	X	O
CAD 라인 작업	X	O	X	X
모든 드론 데이터 처리	O	X	O	O
PPK 처리	X	O	X	X
체적계산	O	O	O	O
포인트클라우드 편집	O	O	X	X
정확한 기하보정	O	O	O	O

본 과제에서는 다양한 센서의 영상처리가 가능하고 산업에 많이 활용되어지는 Pix4d 소프트웨어를 선정하여 취득한 드론영상을 처리하여 농업 가뭄모니터링에 적극 활용하였다.

#### 4. 테스트베드 설정 및 테스트 비행

##### 가. 테스트베드 선정 사전조사

##### (1) 언론보도를 통한 우심지역 파악

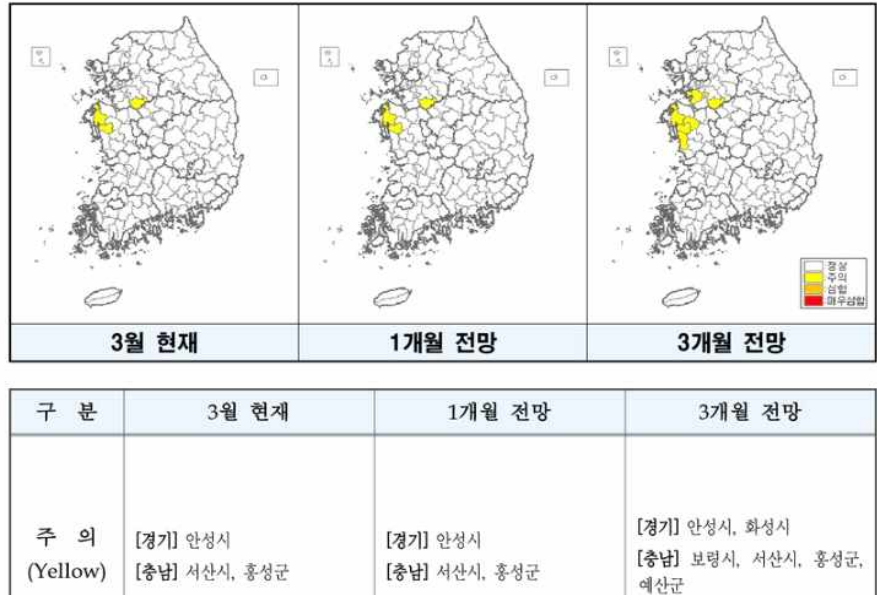
올해 일부 지역에서는 극심한 가뭄으로 농업 용수 공급에 비상이 걸렸으며, 가뭄에 대한 우려는 2월부터 대두되어 많은 언론보도가 되었다.



[그림 2.1.47] 가뭄에 대한 언론보도

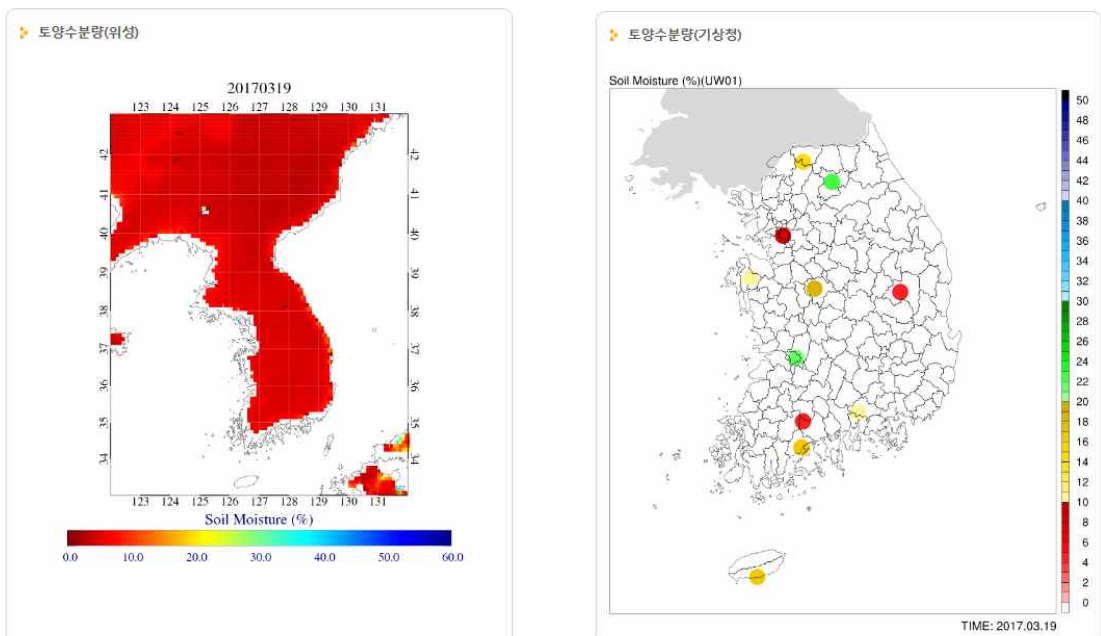
국민재난안전포탈에서 제공하는 가뭄예경보시스템에서 농업용수 가뭄의 심각성을 확인하였으며, 3월 현재 경기도 안성시와 충청남도 서산시, 홍성군이 가뭄 주의 단계에 있었다.

■ 농업용수 가뭄지도



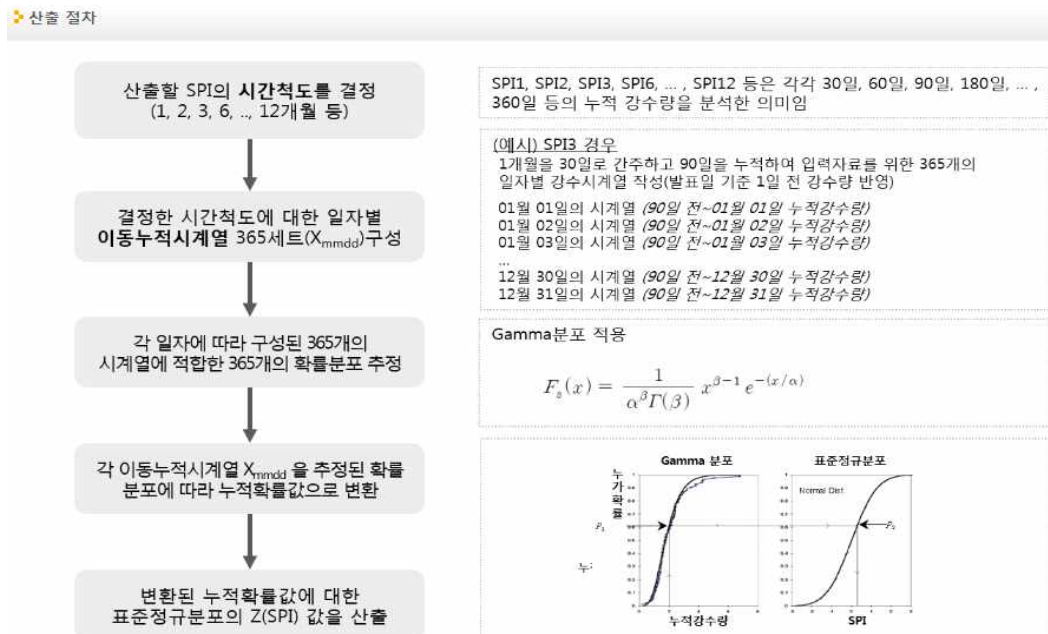
[그림 2.1.48] 기상청 가뭄정보 시스템

기상청에서 서비스하고 있는 수문기상 가뭄정보 시스템의 위성영상을 활용한 토양수분량을 통해 가뭄의 정도를 확인할 수 있으며, 위성영상에서는 전국의 대부분이 토양수분량 부족으로 나타나고 기상청에서 분석한 자료에 따르면 화성, 용인, 안성부분은 심각한 지역이라고 표시되어 있었다.



[그림 2.1.49] 토양수분량 위성(좌), 기상청(우)

또한 표준강수지수(SPI)는 일정기간 누적강수량을 이용하여 가뭄을 평가하는 지수로 강수량의 누적 기간에 따라 SPI1(1개월), SPI3(3개월), SPI6(6개월)등으로 나타내며, 강수량만을 이용하여 가뭄 심도를 산정하며 각 시간 단위에 따른 강수량의 과잉 혹은 부족을 나타내기 때문에 시간 단위에 따라 장·단기가뭄을 유연하게 나타낼 수 있다. 표준강수지수는 시간 단위를 선택하여 산정이 가능하고 가뭄 초기 인지가 가능하고 전 세계적인 보편적인 가뭄 지수로 활용성이 높으며, 단기간의 농업분야와 장기간의 수문분야에 모두 적용 가능하다.



[그림 2.1.50] 기상청자료 : SPI 산출절차

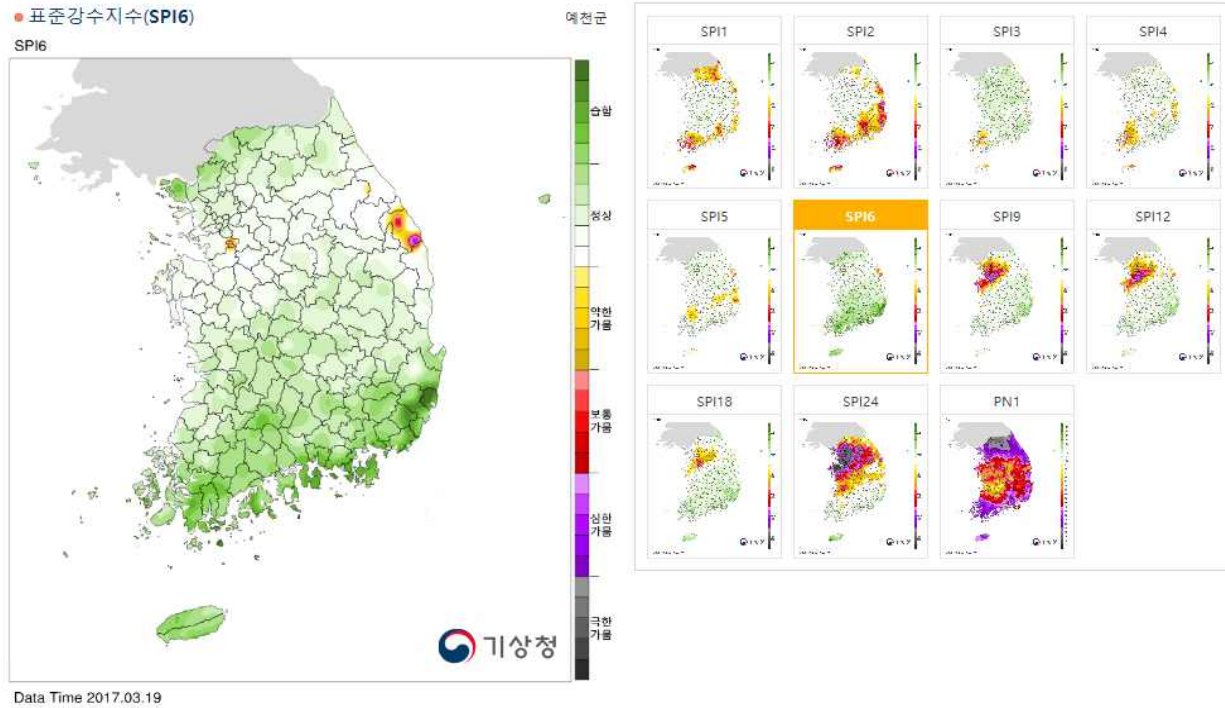
기상청에서는 6개월 누적강수량을 기준으로 기상가뭄을 평가하고 있다. SPI6의 자료에서도 안정지역은 가뭄 우심지역으로 나타나고 있으며, 가뭄 단계는 보통가뭄으로 나타났다.

**가뭄 단계**

가뭄단계	지수범위	평균 재현기간(년)
습함	1.0 이상	-
정상	-1.0 초과 ~ 1.0 미만	-
약한가뭄	-1.5 초과 ~ -1.0 이하	1.4~2.0
보통가뭄	-2.0 초과 ~ -1.5 이하	2.0~3.7
심한가뭄	-2.0 이하	3.7~17.8
극한가뭄	-2.0 이하가 20일 이상 지속	17.8 이상

[그림 2.1.51] 가뭄단계 범례





[그림 2.1.52] 기상청 표준강수지수

기상청 자료의 분석을 통해 안성시와 서산시 지역을 후보지로 선정하였고, 채소류 주산지와의 드론 비행의 적합성을 조사하였다.

## (2) 채소류 주산지 조사

농림축산 식품부 고시(제2014-68호)에 따르면, 채소류 주산지 지정기준은 다음과 같다.

[표 2.1.17] 채소 주산지 지정기준

품 목	단 지 지 정 기 준		
	지 역	면 적	출하량(생산량)
봄배추	시·군·구	150ha 이상	12,840t 이상
여름배추	시·군·구	450ha 이상	15,850t 이상
가을배추	시·군·구	300ha 이상	30,860t 이상
겨울배추	시·군·구	500ha 이상	32,350t 이상
봄 무	시·군·구	70ha 이상	6,020t 이상
여름무	시·군·구	250ha 이상	7,060t 이상
가을무	시·군·구	150ha 이상	11,110t 이상
겨울무	시·군·구	1,500ha 이상	92,350t 이상
고 추	시·군·구	700ha 이상	1,620t 이상
마 늘	시·군·구	1,000ha 이상	12,530t 이상
양 과	시·군·구	800ha 이상	52,600t 이상
대 과	시·군·구	250ha 이상	6,740t 이상
생 강	시·군·구	100ha 이상	1,280t 이상
당 근	시·군·구	100ha 이상	3,600t 이상
참 깨	시·군·구	250ha 이상	100t 이상
땅 콩	시·군·구	100ha 이상	240t 이상

버섯류	시·군·구	(연면적) 30ha 이상	-
특작류	시·군·구	50ha 이상	-

또한 품목별 농산물전문 생산단지 최소단지 규모는 “농산물전문생산단지 관리지침 (2016.07)”의 제4조 제3항에 다음과 같이 제시되어 있다.

[표 2.1.18] 품목별 농산물전문생산단지 최소단지 규모

부류	품목	최소단지규모	부류	품목	최소단지규모
과실류 (ha)	배	30	화훼류 (ha)	백합	5
	사과	20		장미	5
	유자	20		국화	1
	단감	20		동서양린(분화)	1
	포도	10		선인장	1
	복숭아	10		수국	1
채소류 (ha)	파프리카	5		심비디움	1
	토마토	5		프리지아	1
	딸기	5		호접란	1
	들깨잎	5		버섯류 (병/일)	팽이버섯
	참외	5		새송이버섯	30,000
	양배추	5		만가닥버섯	20,000
	배추	5	* 명시된 항목 이외 항목은 기타과실(10ha), 기타채소(10ha), 기타화훼(1ha), 기타버섯(1만병/일)기준 적용 (기타부류는 지정평가 시 별도로 정함) * 친환경 재배품목의 경우는 예외를 인정할 수 있다.		
	멜론	5			
	청양고추	1			
	오이	1			

경기 충청권의 주요품목에 대한 주산지 현황은 농림축산식품부의 고시내용(2014-68)을 조사하였으며, 조사한 표는 다음과 같다.

[표 2.1.19] 가을무·배추

시·도	시·군	단지수	단지명
경 기	평택시	1	진위
	양주군	2	은현, 광적
	연천군	2	연천, 군남
충 북	청원군	1	강의
	영동군	1	심천

[표 2.1.20] 고랭지 무·배추

시·도	시·군	단지수	단지명
충 북	제천시	1	백운
	단양군	1	대강

[표 2.1.21] 마늘

시 · 도	시 · 군	단지수	단 지 명
충 북	제천시	1	덕산
	진천군	1	초평
	괴산군	1	칠성
	단양군	3	매포, 영춘, 적성

[표 2.1.22] 고추

시 · 도	시 · 군	단지수	단 지 명
경 기	이천시	7	장호원, 대월, 모가, 설성, 울, 백사, 부발
	용인시	2	원삼, 백암
	안성시	4	금광, 일죽, 죽산, 삼죽
	화성시	5	남양, 송산, 팔탄, 우정, 장안
	여주군	3	대신, 북내, 가남
	양평군	2	용문, 양동
충 북	충주시	13	살미, 상모, 이류, 주덕, 신니, 노은, 양성, 가금...
	제천시	7	금성, 청풍, 수산, 덕산, 백운, 봉양, 송학
	청원군	7	낭성, 미원, 가덕, 남이, 문의, 오창, 내수
	보은군	6	보은, 마로, 수한, 회북, 내북, 산외
	옥천군	1	청성
	영동군	1	용산
	진천군	2	덕산, 백곡
	괴산군	11	괴산, 감물, 장연, 연풍, 칠성, 문광, 청천, 청안...
	음성군	9	음성, 금왕, 소이, 원남, 맹동, 대소, 삼성, 생극...
	단양군	6	매포, 대강, 가곡, 영춘, 어상천, 적성

또한 경기 충청권의 주요품목에 대한 주산지 현황을 통계청자료를 조사하여 정리한 표는 다음과 같다.

[표 2.1.23] 경기 충청권 주요작물 주산지 (※ 2015 주요작물 생산동향(통계청, 2015))

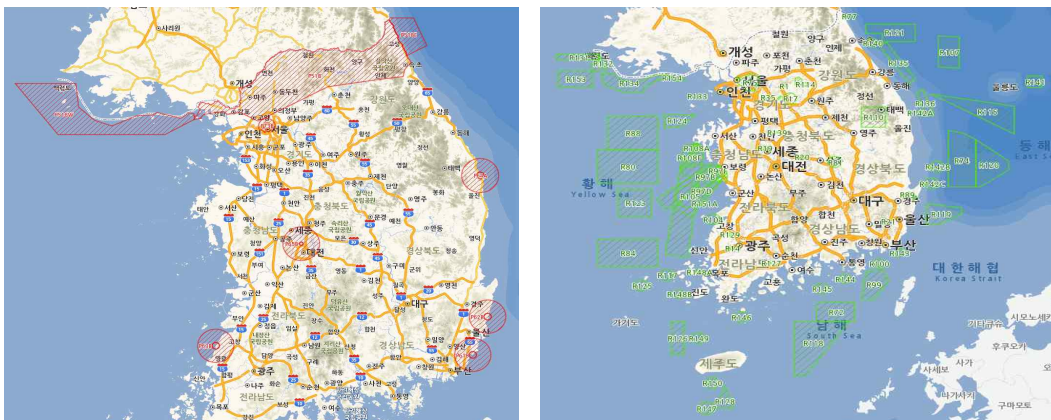
품목	시군별 주산지
마늘	충남(태안, 서산)
봄감자	충남(서산, 당진)
고추	경기(화성), 충북(단양, 괴산, 제천), 충남(청양, 태안)
참깨	충북(충주)
가을배추	충북(제천), 충남(당진, 홍성)
가을무	충남(당진)
사과	충북(충주, 제천, 괴산, 영동), 충남(예산)
배	경기(안성, 평택, 남양주), 충북(영동), 충남(아산, 예산, 연기)

[표 2.1.24] 경기 충청권 주요작물 주산지 재배면적과 생산량

품목	시	군	재배면적	10a당수량(kg)	생산량(ton)
마늘	전국		20,638	1,290	266,272
	충남	태안군	742	1,537	11,408
		서산시	551	1,330	7,326
봄감자	전국		18,015	6,072	1,093,932
	충남	서산시	485	3,176	15,402
		당진시	602	2,539	15,288
고추	전국		34,514	283	97,697
	경기	화성시	427	243	1,037
	충북	단양군	604	271	1,638
		괴산군	527	254	1,337
		제천시	434	269	1,168
	충남	청양군	506	311	1,575
태안군		418	356	1,490	
참깨	전국		25,139	46	11,678
	충북	충주시	406	57	230
가을배추	전국		12,724	11,286	1,436,075
	충북	제천시	64	10,460	6,695
	충남	당진시	319	10,456	33,355
		홍성군	255	11,482	29,279
가을무	전국		5,769	8,999	519,178
	충남	당진시	641	11,057	70,875

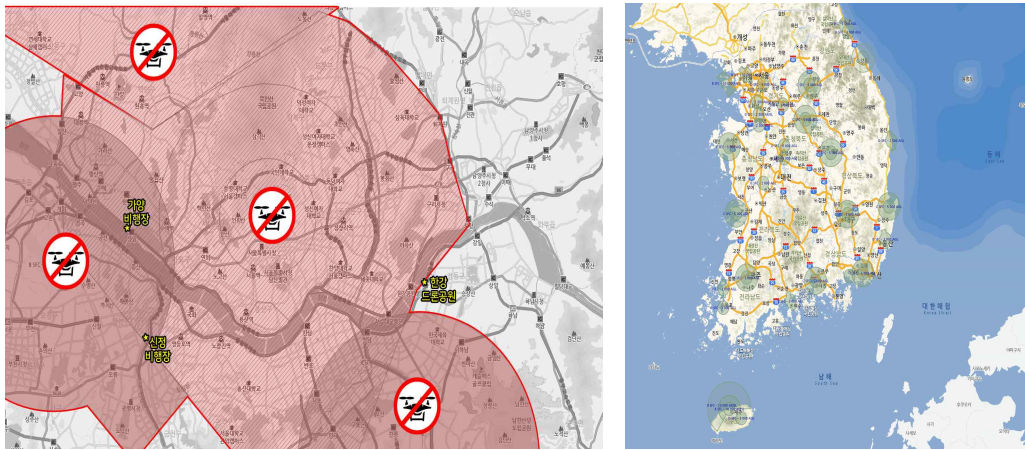
### (3) 드론 비행금지구역 확인

비행금지구역은 휴전선 인근과 서울도심 상공 일부 등 붉은색으로 표시된 지역이다. 국가보안 및 국방상의 이유로 비행승인 없이는 비행불가하다.



[그림 2.1.53] 비행금지구역(좌), 비행제한구역(우)

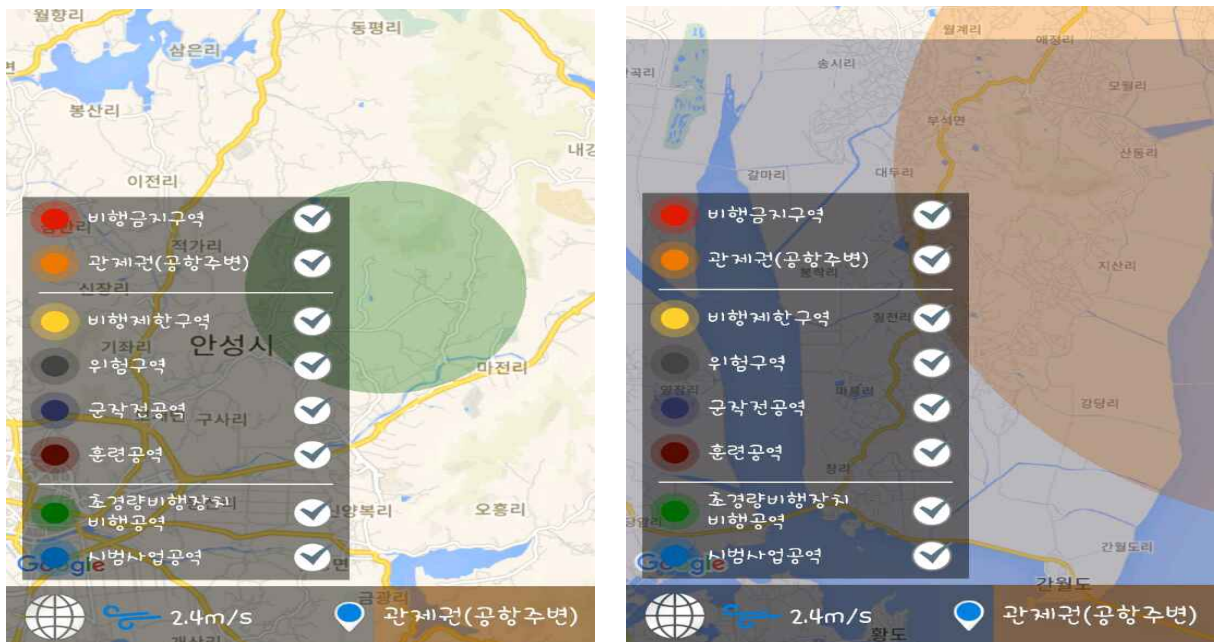
비행제한구역은 고도 150m 미만, 시계거리 내에서는 허가 없이 비행가능하다. 그러나 서울 내 비행제한구역은 무조건 비행승인을 필요로 한다. 또한 서울은 비행금지구역과 비행제한구역이 공존하는 곳으로 사실상 드론 비행장을 제외하면 전 지역의 드론 비행이 어려운 실정이다.



[그림 2.1.54] 서울 비행금지구역과 드론 비행장(좌), 관제권 내 비행금지구역(우)

항공기의 이착륙을 위한 관제권 영역은 충돌위험 때문에 비행금지구역으로 설정되어 있다. 공항 및 비행장으로부터 반경 9.3km 이내인 곳은 비행이 불가하다. 또한 비행승인을 얻었다 할 지라도 모든 지역에서 150 이상의 고도로 비행할 수 없다. 인구밀집지역 또는 사람이 많이 모인 곳도 비행이 금지된다.

이런 사항들을 고려하여 국토교통부와 (사)한국드론협회에서는 드론 비행가능 지역을 알려주는 어플을 배포하였으며, 이를 통해 테스트 베드 후보지인 안성시와 충청남도 서산시의 비행가능 여부를 조사하였다.



[그림 2.1.55] 안성시부근 비행가능구역(좌), 서산시부근 비행가능구역(우)

안성시 부근은 초경량비행장치 비행공역으로 선정되어 드론 운영에 문제가 없으나 서산시의 경우 관제권, 위험구역 등의 존재로 드론 운영에 어려움이 있다.

### 나. 현지답사를 통한 최종 테스트베드 선정

기상청 자료, RS영상, 드론 촬영의 적합성 등을 고려하여 테스트베드는 안성지역으로 결정하였으며, 산/논을 제외한 밭 지역 위주로 촬영지역을 선정하였다. 항공영상과 지적도를 이용하여 안성시에 7개의 테스트베드 후보지역을 선정하였으며, 위치와 주소는 그림과 표와 같다.

[표 2.1.25] 테스트베드 후보지역 주소





구분	주소
테스트베드 후보 1	경기도 안성시 공도읍 송두리 뒤젓골 일대
테스트베드 후보 2	경기도 안성시 대덕면 삼한리 123 일대
테스트베드 후보 3	경기도 안성시 보개면 오두리 151 일대, 북평리 191 일대
테스트베드 후보 4	경기도 안성시 죽산면 장계리 521 일대
테스트베드 후보 5	경기도 안성시 일죽면 월정리 719번지 일대
테스트베드 후보 6	경기도 안성시 일죽면 죽림리 702-2번지일대
테스트베드 후보 7	경기 안성시 일죽면 송천리 609-12 일대 밭 밀집







[그림 2.1.56] 테스트베드 후보지역 위치지도

7개의 테스트베드 후보지역은 현지답사를 통해 최종 테스트베드 지역을 선정하였다. 현지답사는 드론을 활용한 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술을 테스트하기 위해 테스트베드의 드론 비행 가능성을 조사하고 테스트베드의 밭 재배지역 조사와 작물의 종류 등을 조사하였다. 또한 드론의 이·착륙이 용이한 개활지를 찾고 드론 비행 장애요소인 전봇대, 건물 등의 위치를 조사와 지적도 상의 용도지역과 실제 밭 재배가 이루어지는 조사하였다.

[표 2.1.26] 경기도 안성시 공도읍 승두리 뒤젓골 일대 현지조사

위치도	
소재지	① 경기도 안성시 공도읍 승두리 뒤젓골 일대
	
항공사진	지적도
대상현지조사사진	
소재지	경기도 안성시 공도읍 승두리 뒤젓골 일대
	
입지환경 분석	
소재지	경기도 안성시 공도읍 승두리 뒤젓골 일대
주변환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 작은 밭 위주로 조성되어 있음</li> <li>- 도로를 따라 건물과 밭이 같이 존재</li> </ul>
지적도 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일반주거지역 일부 존재</li> <li>- 농림지역 및 자연녹지 지역으로 분류</li> </ul>
대상지 장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 접근성이 좋으며, 드론 이착륙이 용이함</li> </ul>
대상지 단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 여러 작물을 혼용하여 재배</li> <li>- 밭농사 보다는 논농사가 주로 이루어짐</li> </ul>

[표 2.1.27] 경기도 안성시 보개면 오두리 151 일대 현지조사


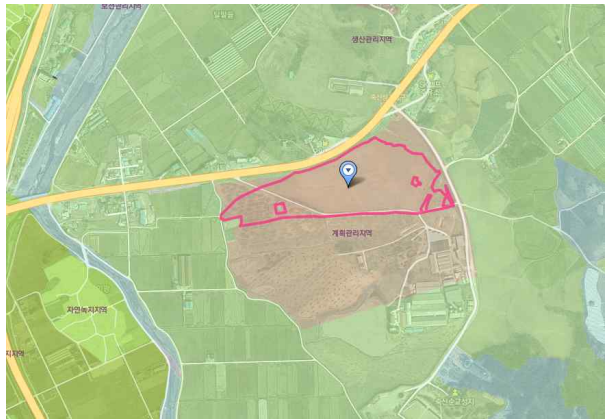


위치도	
소재지	③경기도 안성시 보개면 오두리 151 일대, 북평리 191
	
항공사진	지적도
대상현지조사사진	
소재지	경기도 안성시 보개면 오두리 151 일대, 북평리 191
	
입지환경 분석	
소재지	경기도 안성시 보개면 오두리 151 일대, 북평리 191
주변환경	- 밭이 일부 존재하나 주로 논농사가 이루어짐
지적도 분석	- 생산관리지역, 보전관리지역, 계획관리지역이 함께 존재하고 있음
대상지 장점	- 접근성이 좋으며, 드론 이착륙이 용이함
대상지 단점	- 지하수 공급이 풍부하여 가뭄 발생 확률이 낮음




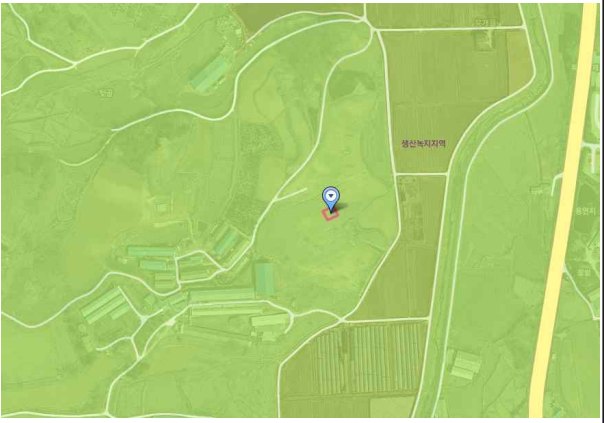


[표 2.1.28] 경기도 안성시 죽산면 장계리 521 일대 현지조사

위치도	
소재지	④ 경기도 안성시 죽산면 장계리 521
	
항공사진	지적도
대상현지조사사진	
소재지	경기도 안성시 죽산면 장계리 521
	
입지환경 분석	
소재지	경기도 안성시 죽산면 장계리 521
주변환경	- 주변에 축사 존재
지적도 분석	- 농림지역 및 생산관리지역으로 분류되어 있음
대상지 장점	- 밭 재배면적이 넓음 - 드론 이착륙이 용이함
대상지 단점	- 상류층에 농어촌공사 관리 저수지 있음 - 용수로가 잘 갖추어져 있음

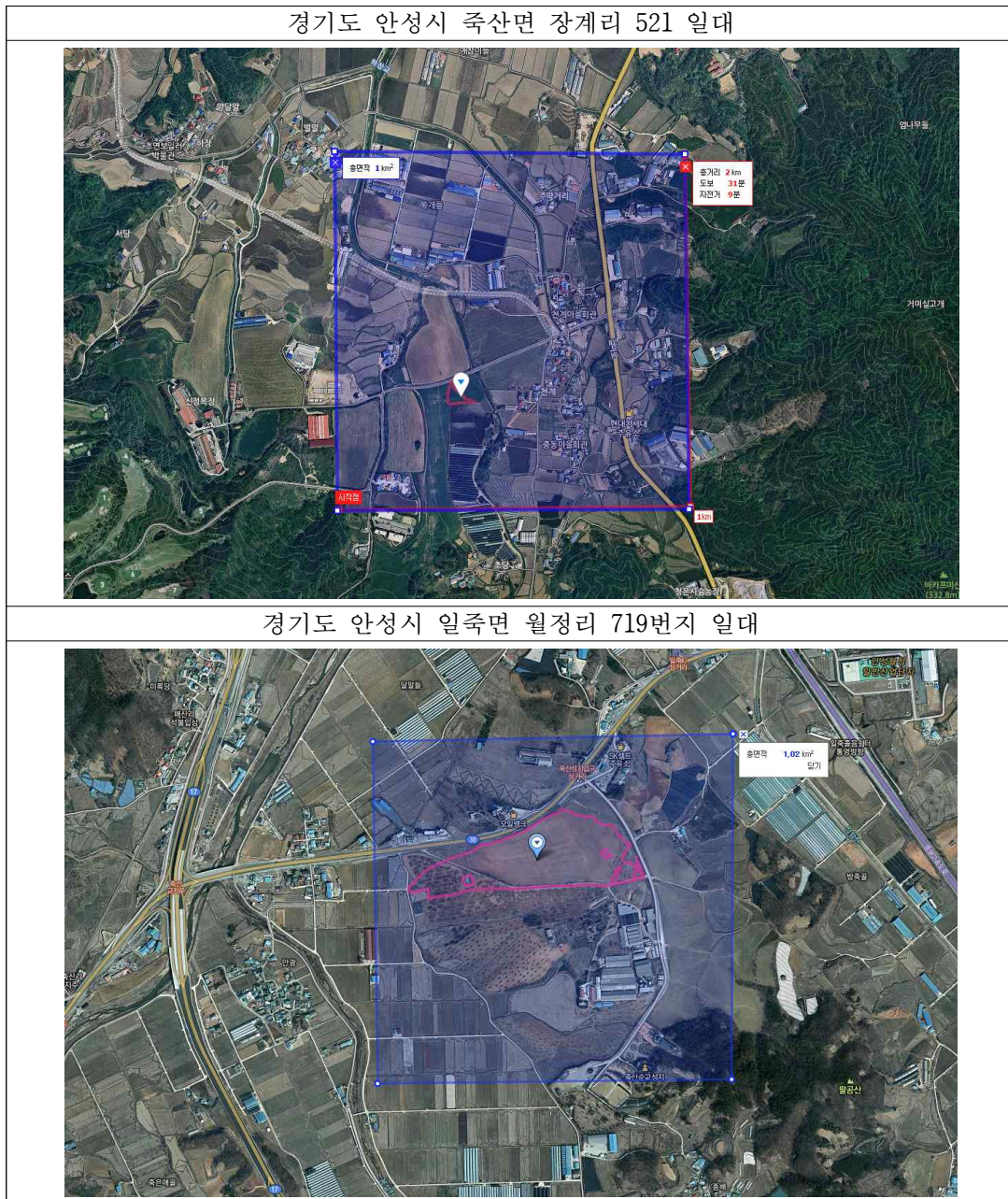
[표 2.1.29] 경기도 안성시 일죽면 월정리 719번지 일대 현지도사

위치도	
소재지	⑤,⑥ 경기도 안성시 일죽면 월정리 719번지
	
항공사진	지적도
대상현지도조사사진	
소재지	경기도 안성시 일죽면 월정리 719번지
	
입지환경 분석	
소재지	경기도 안성시 일죽면 월정리 719번지
주변환경	- 주변에 축사가 존재
지적도 분석	- 일부 계획관리지역 존재, 농림지역 및 생산관리지역으로 분포
대상지 장점	- 개활지가 많이 분포되어 있으며, 대규모의 밭이 존재 - 드론의 이,착륙이 용이한 곳이 다수 존재
대상지 단점	- 중간에 계획관리 지역의 존재로

[표 2.1.30] 경기 안성시 일죽면 송천리 609-12 일대 현지조사

위치도	
소재지	⑦ 경기 안성시 일죽면 송천리 609-12
	
항공사진	지적도
대상현지조사사진	
소재지	경기 안성시 일죽면 송천리 609-12
	
입지환경 분석	
소재지	경기 안성시 일죽면 송천리 609-12
주변환경	- 축사 존재 - 경사지 이며, 대부분 밭농사가 이루어짐
지적도 분석	- 생산녹지지역으로 이루어짐
대상지 장점	- 대규모 밭농사 지역
대상지 단점	- 축사가 있으며, CCTV가 존재

후보지 모두 밭작물은 규모가 작은 것이 산포되어 있거나 시설작물이었으며, 7개 후보지 중 양호한 입지조건을 가진 경기도 안성시 일죽면 월정리 719번지 일대와 죽산면 장계리 521번지 일대 두 지역을 선정하였다. 일죽면 월정리 719번지 일대의 재배작물은 배추로 추정되며, 재배면적은 약 15ha ~ 20ha로 추정되었다. 죽산면 장계리 521번지 일대의 재배작물은 무로 추정되며, 재배면적은 약 20ha로 추정된다. 드론 촬영은 밭의 영역이 포함되도록 설정하며, 테스트베드 후보지 두 곳은 위성영상의 픽셀사이즈인 250m × 250m를 고려하여 4개 픽셀이상 계산이 가능하도록 약 1km × 1km의 면적으로 촬영계획을 수립하였다.



[그림 2.1.57] 월정리, 장계리 촬영 면적

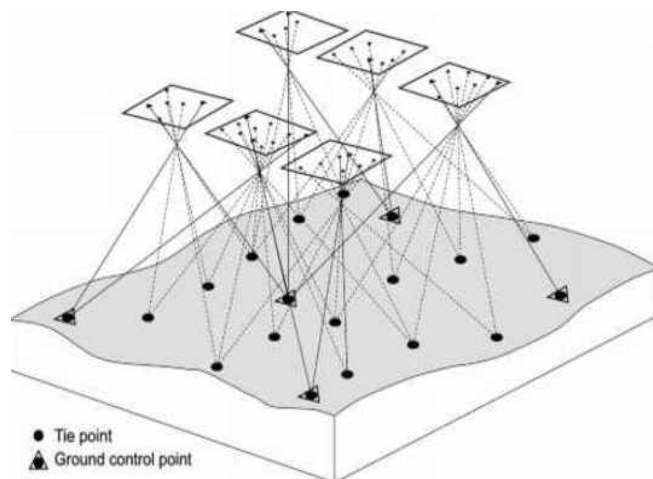
## 5. 무인항공기 운용 및 광학영상 취득

### 가. 드론 운용을 통한 영상 취득

#### (1) 지상기준점(GCP) 측량 실시

##### (가) 지상기준점 원리 및 활용

측량용 드론은 일반 항공사진측량과 같이 항공삼각측량에 의해 사진상의 위치를 결정하게 된다. 사진 상에서 무수한 접합점을 관측하고, 지상기준점 성과를 이용하여 사진 상 점들의 좌표를 계산하게 된다.



[그림 2.1.58] 항공삼각측량

지상기준점은 항공사진측량 성과의 정확도 향상을 위해 반드시 필요하지만 설치 및 별도의 측량이 필요하다. 최근에는 무인항공사진측량 업무의 효율성을 향상시키기 위해 지상기준점을 줄일 수 있는 RTK, PPK와 같은 기술이 드론에 적용되고 있다. 일반적인 항공사진측량과 RTK 또는 PPK 기술을 적용한 작업흐름은 아래와 같다. RTK나 PPK 기술은 드론 데이터의 후처리 과정에 필요한 GCP의 숫자를 줄일 수 있기 때문에 촬영 시 GCP 준비 및 측량, 후처리 시 GCP 측정에 소요되는 시간을 줄일 수 있다.

구분	일반	RTK, PPK
작업계획	Yes	Yes
GCP 준비	Yes	⊘
GCP 측량	Yes	⊘
항공사진촬영	Yes	Yes
GCP 측정	Yes	⊘
자료처리	Yes	Yes

[그림 2.1.59] 작업흐름의 비교

항공사진측량에 의한 수치지형도 제작 및 공간정보 구축의 기본 기술은 입체영상의 3차원 수치도화이므로 드론에서 촬영한 영상으로부터 3차원 수치도화 가능성과 도화성과 품질이 중요한 관건이다.

사진측량의 기술적 측면에서 영상촬영 시 유인항공기와 드론의 근본적인 차이점은 비행 안정성이다. 드론의 비행은 기체의 사양 및 탑재 장비에 따라 일반적으로 가지권 수동비행, 반자동 비행 및 자율비행 모드가 가능하다. 드론과 같은 소형의 경량 비행체는 안정성이 결여되어 급격한 움직임에 의한 카메라의 촬영위치 및 촬영방향(외부표정요소)에 불규칙한 변화가 발생할 경우에는 아래 그림 (b)와 같이 입체영상간에 축척과 회전 변화가 심한 경우에는 완전한 입체모델 형성이 불가능하기 때문에 입체시(stereo viewing)의 필수조건인 중시차가 제거되지 않으므로 입체시에 의한 3차원 수치도화가 어렵고 도화성과의 정확도가 보장되지 않는다.

(a) 수동비행 (b) 저사양 내비게이션 반자동 비행 (c) 고사양 내비게이션 자율비행



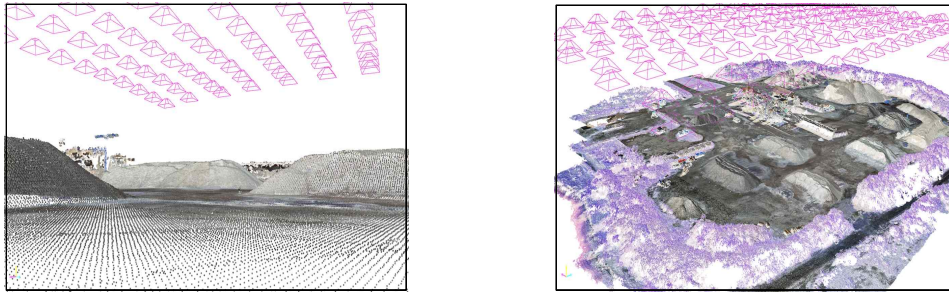
[그림 2.1.60] 비행모드에 따른 전형적인 영상블럭 형태

그러므로 외부표정요소의 변화가 허용범위를 만족하는 안정적인 비행조건에서 수치도화시스템인 DPW(Digital Photogrammetric Workstation)상에서 입체시에 의한 3차원 수치도화가 제한적으로 가능하다.

GPS와 INS가 탑재된 드론의 경우에는 GPS/INS 데이터를 초기 근사값으로 설정하고 지상 기준점을 사용하여 번들조정법에 의해 영상의 외부표정요소의 정확도를 향상시킬 수 있다. 이와 같은 입체시각에 의한 3차원 수치도화는 수동적인 방법이므로, 공간정보 생성의 자동화를 위한 대부분의 드론 영상처리 전용 소프트웨어는 비행체와 영상의 특수 상황과 특성을 고려하여 축척과 회전에 불변한 영상정합(scale and rotation invariant image matching) 기법을 적용하여 연결점의 자동생성 및 3차원 위치계산, 외부표정요소 계산, 3차원 점군집 데이터 생성 등의 처리과정을 수행하며 이를 기반으로 다양한 성과물을 도출하고 있다.

일반적으로 수치지형도는 2D 기반이므로 입체 시각화가 어렵고 촬영 면적이 작아서 많은 입체모델이 요구되므로 비효율적인 3차원 수치도화를 수행하지 않고, <그림 2.48>에서 보여주는 것처럼 드론 영상으로 항공삼각측량을 수행하고 영상정합에 의해 점군집 데이터를 생성하는 것은 가장 중요한 과정이다. <그림 2.49>는 드론에서 촬영한 영상의 처리과정을 보여주고 있으며, 점군집 데이터에 의한 DSM 형성하고, 이를 기반으로 정사영상을 생성하고 2D 디지털 방법으로 수치지형도를 제작한다.

(a) 촬영한 영상으로부터 생성한 점군집 (b) 점군집 데이터로부터 생성한 DSM



[그림 2.1.61] 드론 영상에 의한 점군집 생성



[그림 2.1.62] 드론 영상에 의한 수치지형도 제작 과정

드론을 이용한 정사영상의 생성과정은 영상촬영, 항공삼각측량, 지형모델생성 및 정사영상 생성으로 나눌 수 있으며, 각 과정에서의 결과물은 아래 그림과 같다.



[그림 2.1.63] 정사영상의 생성과정 및 성과물

### ① 카메라 검증 및 항공삼각측량

영상촬영에서 얻어지는 결과물은 촬영된 영상파일로 raw data는 \*.jpg 형식으로 압축된 낱장의 영상과 텍스트 형식의 영상 촬영위치(N, E, H) 및 촬영 시 기체의 자세(yaw, pitch, roll)이다.

사진측량에서 카메라 검증(camera calibration)과 항공삼각측량은 성과물을 생성하기 위해 요구되는 필수 과정이다. 일반적으로 이 두 과정을 서로 분리하여 수행함으로써 최적의 결과를 얻을 수 있지만, 높은 정밀도가 요구되지 않은 대부분의 경우에는 자체검증 번들조정(self-calibrating bundle adjustment)으로 카메라 검증과 표정을 동시에 수행할 수 있다.

카메라 검증은 비행 중에 수행(in-flight calibration) 하기도 하지만 일반적으로 실내에서 수행한다. 카메라 검증 및 영상표정 작업은 가능하면 많은 영상에서 공통적으로 보이는 객체를 추출하는 것이 요구되며, 이 과정은 자동항공삼각측량(AAT) 방법에 의해 수행된다. 근거리 사진측량에서는 영상의 축척이 크고 축척이 자주 변하며, 수렴 촬영, 불규칙한 중복도, 영상의 기하학적 변화와 밝기 변화가 심하기 때문에 항공삼각측량을 자동화하는 것은 더욱 어려운 문제이다.

많은 경우에 드론에 의해 획득한 영상 블록은 항공사진 블록보다 근거리 지상사진 블록과 유사하기 때문에 표준 AAT 과정이 제대로 수행되지 않고, 수동으로 접합점을 식별하거나 대공표지를 사용하기도 한다. 최근에는 지상에서 촬영한 영상 또는 드론에서 촬영한 영상에서 대공표지를 사용하지 않고 충분한 수의 접합점을 자동으로 추출하는 방법이 개발되어 상용 소프트웨어에서 기능을 지원하고 있다. 상용 소프트웨어는 자동으로 접합점을 추출하고 촬영된 영상의 직접 지상좌표 등록을 가능하게 한다. 외부표요소의 근사값을 이용한 번들 조정법으로부터 더욱 정밀한 카메라의 촬영 위치와 촬영방향(또는 카메라 자세)을 계산할 수 있다.

항공삼각측량 과정에서는 raw data 및 GCP 성과를 이용하여 tie point 추출, GCP 관측, 표정의 과정을 거치게 되며, 상용 소프트웨어에서는 GCP 관측을 제외한 모든 공정이 자동으로 이루어진다.

### ② 카메라 검증 및 항공삼각측량

지형모델 생성 과정에서는 점군 형태의 DSM 또는 DTM을 얻게 된다. 후처리 소프트웨어에서는 점군자료인 \*.las 형태의 데이터가 생성되며, DEM을 자동으로 생성할 수 없기 때문에 DEM을 얻기 위해서는 다른 소프트웨어를 이용하여 DSM 또는 DTM 데이터를 기반으로 격자 자료를 생성해야 한다.

### ③ 정사영상 생성

정사영상제작 단계에서는 점군형태의 지형모델을 이용하여 \*.tif 형태의 정사영상을 얻게 된다. 정사영상의 생성은 후처리 S/W를 통해 대부분 자동으로 이루어지며 촬영된 영상 및 GPS/INS데이터, GCP 측량성과 등의 raw data 이외에 다른 데이터를 입력하는 것이 불가능한 경우가 많다.

#### (나) 지상기준점 선점 및 관측

드론의 촬영은 [그림 2.1.64]와 같이 기준점 취득부터 비행계획 설계, 드론 촬영, 데이터 전처리, 후처리의 순서로 진행된다. 계획 및 준비 단계와 현지답사는 테스트베드 선정과정에서 드론의 비행까지 고려하여 기준점 선점 위치와 나무, 전봇대 등 드론 비행 시 장애요소를 확인했으며, 드론 촬영 수행에 반영하여 촬영 계획을 수립하였다.





[그림 2.1.64] 드론촬영 프로세스

영상의 절대좌표화를 위한 지상 기준점의 취득 방법은 1차년도에서는 영상좌표를 이용한 지상좌표값을 추출하였다. 하지만 2차년도에서는 보다 높은 정밀위치결정을 위해 GNNS를 이용한 지상기준점(GCP) 측량을 실시하여 사진상의 좌표와 지상의 좌표를 일치시켰다.

사용된 장비는 정밀 측지용으로 사용되는 Trimble사의 R6 GNSS 수신기를 이용하였으며, 측량방식은 VRS방식 측량방식을 이용하였다.

GCP 분포 밀도는 최근에 국토지리정보원에서 고시한 드론을 이용한 공공측량작업규정을 최대한 준수하여 9점 이상을 현장에서 관측하였으며, 이와 더불어 검사점을 현장에 선점하여 향후 측량성과의 정확도 검증에 활용하였다.



(a) VRS 설치



(b) GNSS 안테나 및 수신기



(c) VRS 통신 모듈

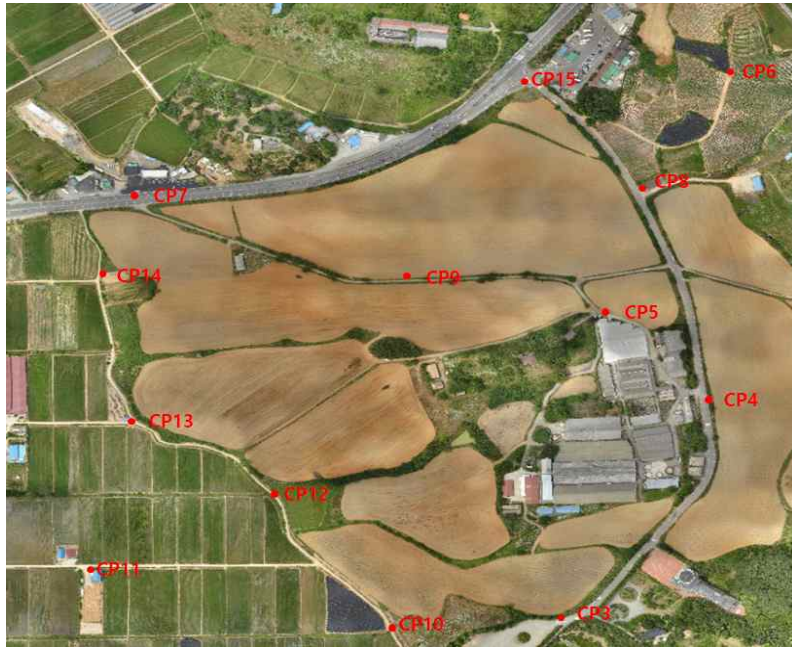
[그림 2.1.65] Trimble 사의 R6 VRS system

사용된 Trimble 사의 R6 GNSS 수신기는 72채널의 멀티채널 수신기로 RTK 측량 모드에서 수평정확도가 10mm+1ppm RMS, 수직정확도가 10mm+1ppm RMS의 고성능의 GNSS 관측이 가능한 장비이다.

[표 2.1.31] Trimble R6 GNSS 수신기 사양

구 분		R6 GNSS	구 분		R6 GNSS
성 능	채 널	72채널	통 신	UHF 모뎀	450MHz Rx/Tx
	Static and FastStatic	수평 : 3mm + 0.1ppm RMS		포 트	7-pin Lemo, RS-232
		수직 : 3.5mm + 0.4ppm RMS		블루투스	2채널
	RTK	수평 : 10mm + 1ppm RMS	전 원	배 터 리	7.4V, 2.4AH 리튬
수직 : 20mm + 1ppm RMS		사용시간		이동국 사용시 5.8시간 기준국 사용시 3.7시간	
데이 터	입, 출력	CMR+, CMRx, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1	사 양	무 게	1.34kg, 배터리 포함
				출 력	16 NMEA, GSOFF, RT17, RT27
	저장능력	302시간, 6개 위성 15초 간격 저장시			습 도
				총 격	2M 콘크리트 바닥에서 낙하테스트 통과

현장에서는 최소 10분 이상을 관측하여 안정적인 성과값을 획득하였다. 지상기준점의 분포는 항공사진측량작업규정과 공공측량작업규정을 최대한 적용하여 테스트 지역의 외곽 중심으로 균등하게 분포하였으며, 대상지 중앙 부분에도 적절히 배치하여 전체 블록에서 균등한 지상기준점 성과를 도출하였다. 선점은 촬영된 영상에 쉽게 식별 가능한 차선, 시설물, 태양전지판 등을 대상으로 선점하여 GNSS 측량을 실시하였다.



[그림 2.1.66] 대상지 지상기준점 배치도

영상의 절대좌표 변환작업에 이용한 각 기준점에 대한 경위도 좌표 및 상세 위치를 아래 표에서 나타내었다.

[표 2.1.32] 월정리 기준점 상세 사진

대상지 기준점 상세 사진	
원경	근경









[표 2.1.33] 대상지의 지상기준점의 경위도 좌표

Station ID	Latitude (DMS)	Longitude (DMS)	Ellipsoidal Height
CP3	37° 04 ' 33.76 "	127° 26 ' 54.39 "	105.974m
CP4	37° 04 ' 44.80 "	127° 27 ' 01.45 "	107.023m
CP5	37° 04 ' 48.56 "	127° 26 ' 56.49 "	105.642m
CP6	37° 05 ' 01.32 "	127° 27 ' 06.90 "	89.533m
CP7	37° 04 ' 54.22 "	127° 26 ' 32.62 "	93.426m
CP8	37° 04 ' 54.66 "	127° 26 ' 58.00 "	98.871m
CP9	37° 04 ' 50.31 "	127° 26 ' 46.72 "	103.852m
CP10	37° 04 ' 33.63 "	127° 26 ' 46.31 "	95.692m
CP11	37° 04 ' 36.07 "	127° 26 ' 31.31 "	89.469m
CP12	37° 04 ' 39.83 "	127° 26 ' 40.26 "	92.681m
CP13	37° 04 ' 43.06 "	127° 26 ' 33.25 "	92.023m
CP14	37° 04 ' 49.91 "	127° 26 ' 31.54 "	91.732m
CP15	37° 05 ' 00.07 "	127° 26 ' 52.00 "	95.031m

## (2) 드론 비행 및 테스트베드 촬영

본 연구에서 사용한 드론은 eBee로 스위스의 Sensefly사의 제품이며, eBee 전용 소프트웨어인 eMotion을 이용하여 지상 조정, 모니터링, 촬영계획을 수립하였다. eBee의 상세사양은 아래 [그림 2.1.67]와 같다.

구 분	세부내용
크기 및 무게	폭 (96cm) 초경량(0.7kg)
비행고도	100~750m
비행속도	최대 57 km/h
비행시간	45분
이착륙	이륙(수동), 착륙(반자동,수동)
비행 및 촬영	Autonomous, 약1km <sup>2</sup>
중속	촬영속도에 따라 초속 10~16m 까지
GSD/카메라	3cm(H 100m)/Canon IXUS 127 HS(16MP)
S/W	Emotion2, Terra 3D



[그림 2.1.67] 사용 드론 eBee



테스트베드에 사용된 카메라는 sony사의 DSC-WX220를 이용하여 촬영하였으며, 카메라의 화소는 1,800만 화소로 영상 1장의 크기는 4,896 × 3,672, 초점거리는 4mm의 카메라이다.

- 유효화소 : 1,800만 화소
- 색상 : sRGB
- 이미지크기 : 4896 x 3672
- 초점거리 : 4mm



[그림 2.1.68] 드론 장착 RGB 카메라

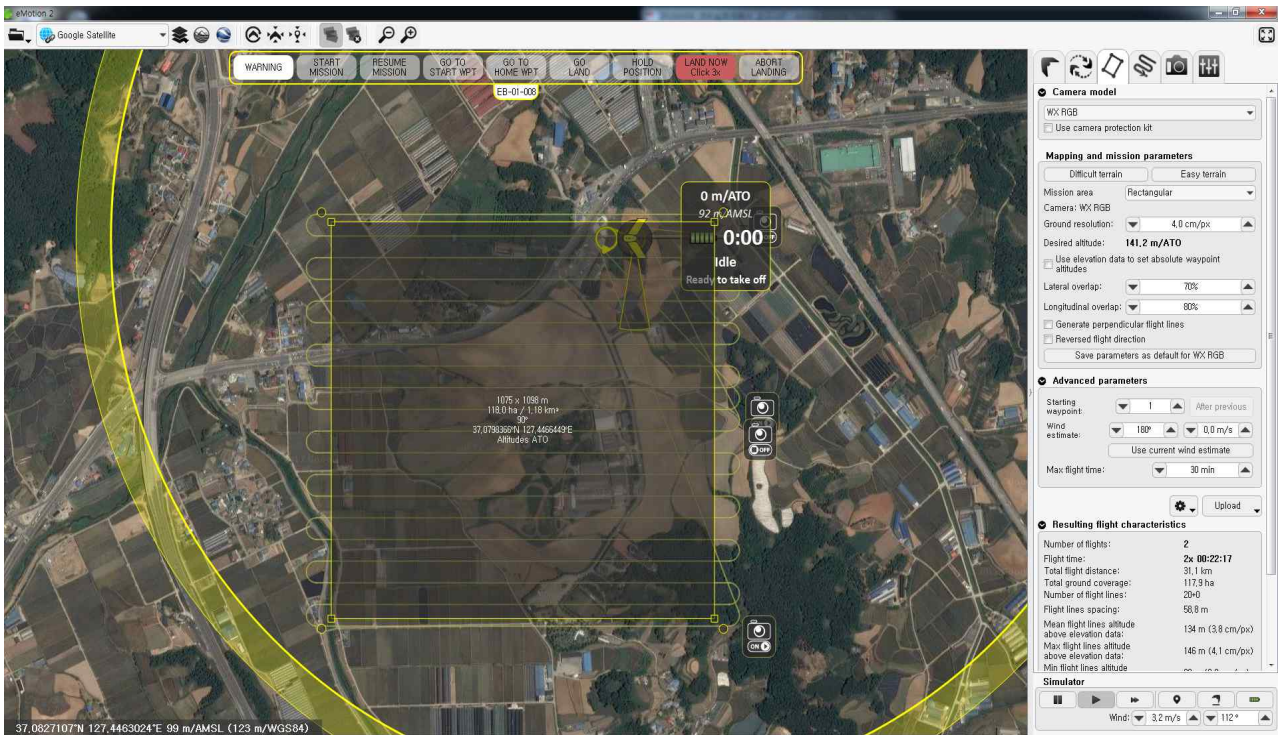
NIR 센서 카메라는 canon사의 S110 NIR 카메라를 이용하였으며, 유효화소는 1,200만 화소로 해상도는 100미터거리에서 촬영 시 3.5cm/px, 취득밴드는 R, G, NIR 세 개의 밴드를 취득한다.

- 유효화소 : 1,200만 화소
- 색상 : R, G, NIR
- 해상도 @ 100m : 3.5cm/px

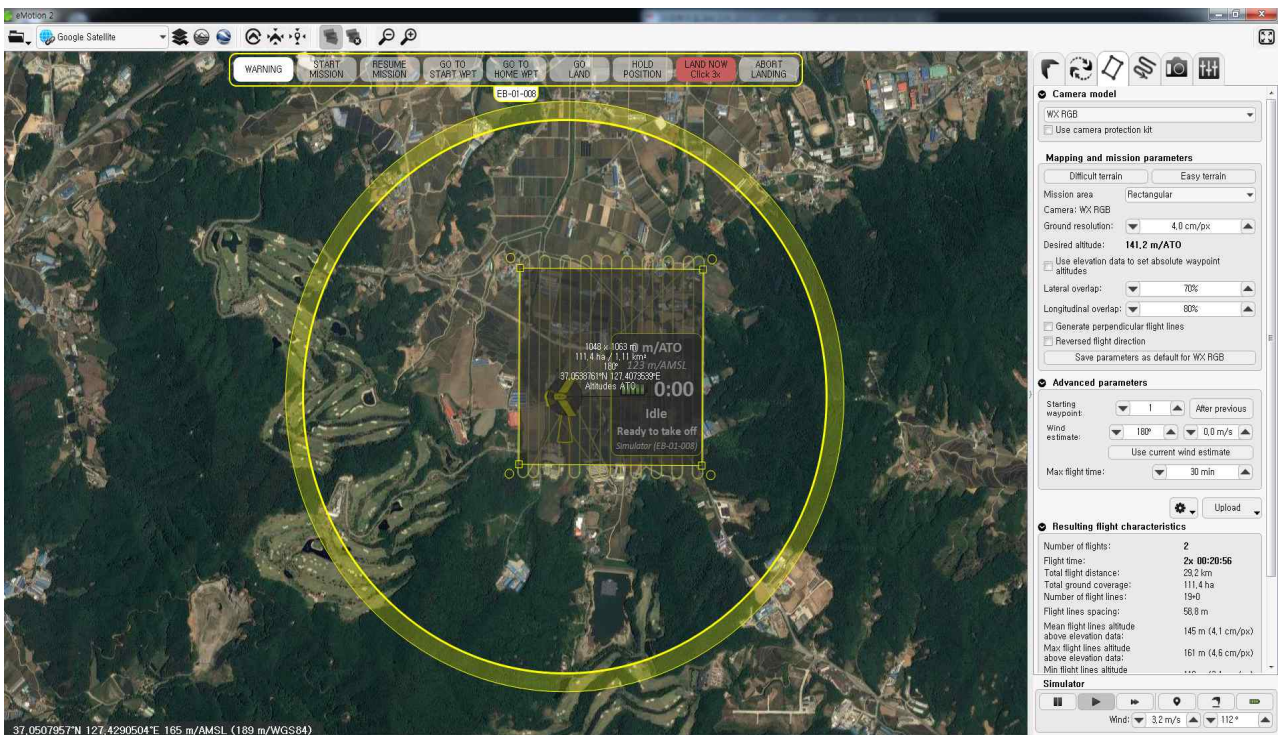


[그림 2.1.69] NIR 카메라

eMotion2를 이용하여 [그림 2.1.70], [그림 2.1.71]과 같이 월정리와 장거리의 비행계획을 수립하였으며, GSD 5cm의 정사영상 제작을 위해 촬영 해상도는 4cm로 설정하였다. 테스트베드 모두 촬영 중복도는 70% × 80%로 설정하여 촬영을 실시하였다.



[그림 2.1.70] 월정리 드론 촬영계획



[그림 2.1.71] 장계리 드론 촬영계획

드론 촬영계획은 2차 3차 촬영 시 위치, 면적, 중복도, 해상도가 동일하게 촬영되도록 파일을 저장하여 관리하였다. 또한 드론 발사 전 체크리스트를 작성하여 비행에 문제가 발생하지 않도록 하였다.

[표 2.1.34] 드론 비행 전 체크리스트

항목	점검사항	비고
<input type="checkbox"/> UAV조립	UAV조립	
<input type="checkbox"/> 바람방향	바람방향 및 풍속 체크	지상바람과 상층부 바람점검
<input type="checkbox"/> UAV 셋업	①바람방향으로 놓기(바람이 부는 방향) ②프로펠러 장착 ③후방에 안전삼각대 설치	
<input type="checkbox"/> 배터리 장착	배터리 고정(전원 연결)	
<input type="checkbox"/> UAV외관점검	①보조날개 ②감락(고정플라스틱) ③모터상태 ④윙팁 ⑤안테나 장착여부확인	
<input type="checkbox"/> UAV 모듈장착	카메라장착, 트리거	
<input type="checkbox"/> 날개 결속점검	수평방향, 수직방향	
<input type="checkbox"/> 환경점검	풍속, 조도, 햇빛방향, 주파수방해요소, 런치라인주변	
<input type="checkbox"/> 조종기 세팅	①스위치 리셋 ②메뉴얼 모드 ③안전핀 장착 ④스위치 켜기 ⑤모델명 확인	
<input type="checkbox"/> 동력점검	①프로펠러 반대방향에 서기 ②배터리 연결 ③UAV알림 확인(날개, 모터) 소리확인 ④조종기 확인 ⑤배터리 12.2V이상 ⑥ECS온도변화 체크 ⑦조종기 5.0V이상 ⑧UAV앞을 잡고 15%까지 스로틀 UP	
<input type="checkbox"/> 보조날개	윙팁마크 체크(좌, 우)	
<input type="checkbox"/> 무선교신기	GCS연결(컴퓨터 플랜S/W 실행)	
<input type="checkbox"/> GCS 플랜설정	①Open Plan, 최대화 ②웨이포인트 블러오기 ③경로 점검 ④위치, 고도 ⑤착륙 위치 ⑥Plan 세팅확인 ⑦안전서클 점검 ⑧홈 고도 ⑨자동이륙 점검 ⑩자동착륙 점검 ⑪플랜 업로드(UAV 활성화) ⑫Confirm버튼 누르기	

항목	점검사항	비고
	⑬Info 확인 ⑭플랜 닫기	
<input type="checkbox"/> UAV 균형체크	UAV 균형 체크	
<input type="checkbox"/> GCS S/W 점검	①Flight S/W 열기 ②수평 확인 ③컨트롤패널 확인 ④경로 확인⑤	
<input type="checkbox"/> 자동항법 점검	①위성수(5이상) ②Start음성 확인 ③UAV 앞뒤로 ④UAV 좌우로 ⑤카메라 점검	
<input type="checkbox"/> 카메라 짐벌점검	①짐벌 움직임 확인	
<input type="checkbox"/> GCS S/W점검	①고도 +-10피트 ②방향 +-20도 ③속도 +-10노트	
<input type="checkbox"/> GCS S/W점검(진동)	①모터 작동에 대비해 앞부분 잡기, 경고 ②모터 50%작동 ③S/W에서 진동 확인	
<input type="checkbox"/> GCS S/W점검	버튼 점검(SAFE)	
<input type="checkbox"/> GCS S/W	긴급착륙지점 점검	
<input type="checkbox"/> UAV 덮개	UAV 덮개(해치) 닫기	
<input type="checkbox"/> 비디오체크	발사 상황 녹화	
<input type="checkbox"/> 운행계획	스탯(CREW)들에게 운행계획 브리핑	
<input type="checkbox"/> 착륙지점	착륙지점, 방법 브리핑	
<b>발사 단계</b>		
<input type="checkbox"/> 발사준비		
<input type="checkbox"/> 컴퓨터 발사준비	비행기 이륙 버튼 클릭	
<input type="checkbox"/> 조종기 준비	①조종기 작동 확인	
<input type="checkbox"/> 스탯(CREW)	주변점검, 발사해도 좋을지 확인	
<input type="checkbox"/> 발사	카운트다운, 전방으로 던지기	

농업 가뭄모니터링을 위한 드론 촬영 시 위치, 면적, 중복도, 해상도를 동일하게 촬영하였으며 주기적인 촬영을 통한 발작물의 시계열 DB 구축을 수행하였으며, 구축 내용은 [표 2.1.35]와 같다.

[표 2.1.35] 드론 성과 내역

구분		촬영일시	촬영내용	용량
1차년도	월정리	04월 24일	RGB	1.97 GB
		05월 12일	RGB	1.91 GB
		06월 22일	RGB	1.96 GB
	NIR		2.52 GB	
	장계리	04월 24일	RGB	1.82 GB
		05월 12일	RGB	1.91 GB
06월 22일		RGB	1.92 GB	
	NIR	2.48 GB		
2차년도	월정리	04월 17일	RGB	1.83 GB
			NIR	1.03 GB
		05월 09일	RGB	1.67 GB
			NIR	1.07 GB
		05월 28일	RGB	1.65 GB
			NIR	1.01 GB
		06월 11일	RGB	1.63 GB
			NIR	1.02 GB
		06월 25일	RGB	1.71 GB
			NIR	1.00 GB
		07월 12일	RGB	1.60 GB
			NIR	1.00 GB
		07월 25일	RGB	1.75 GB
			NIR	1.01 GB
08월 08일	RGB	1.75 GB		
	NIR	1.02 GB		
3차년도	월정리	05월 08일	NIR	1.73 GB
		06월 05일	NIR	1.00 GB
		06월 20일	RGB	1.26 GB

## 6. 가뭄 모니터링을 위한 드론영상의 가공처리기술 개발

### 가. 드론 촬영 영상처리

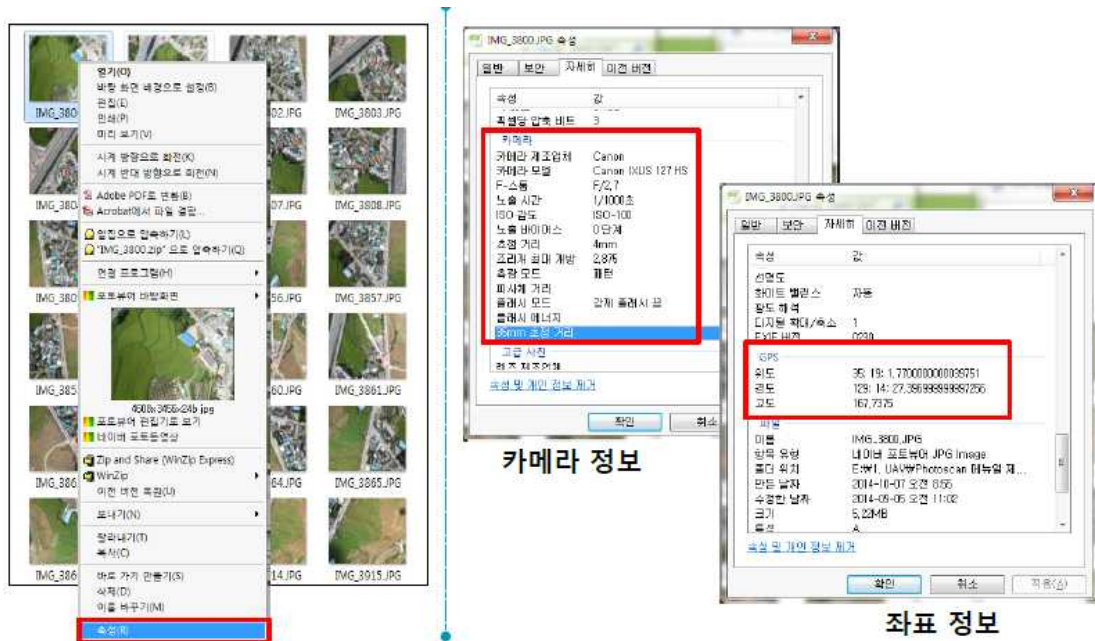
#### (1) R, G, B 영상처리

영상의 전처리는 영상에 GNSS 궤적정보를 입력하는 Geotagging 작업이며, Geotagging은 eBee의 촬영계획 소프트웨어인 eMtion을 사용하여 실시한다.



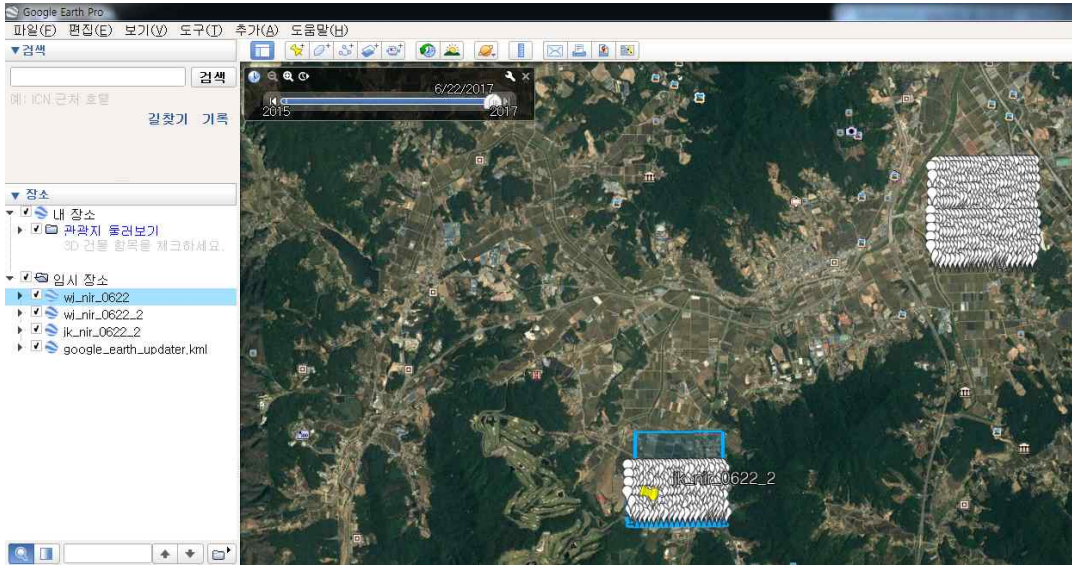
[그림 2.1.72] Geotagging 작업

Geotagging 작업이 끝나면 영상은 각각의 카메라 정보와 위치정보를 갖게 되며 정보는 영상의 속성을 통해 확인이 가능하다.



[그림 2.1.73] 영상의 속성정보 확인(카메라 정보, 좌표 정보)

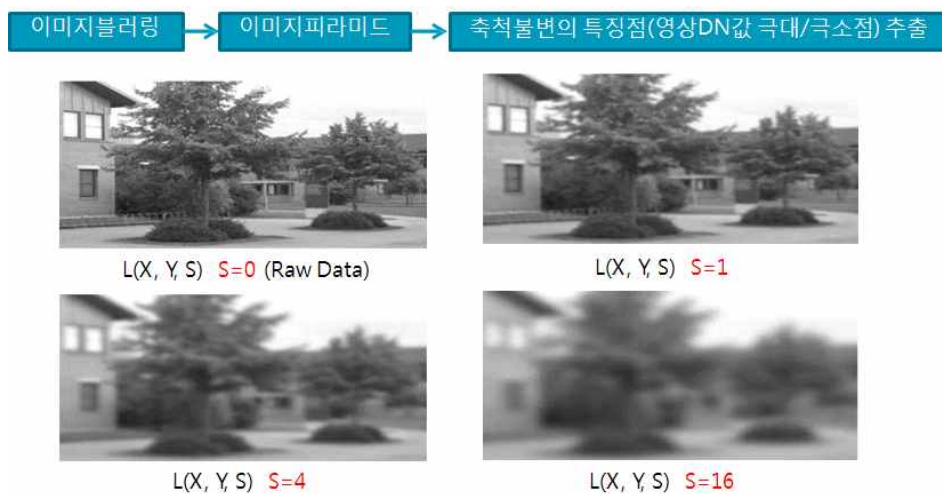
또한 kml을 생성하여 구글어스를 통해 촬영된 영상의 위치의 확인이 가능하며, 위치마다 영상의 ID와 연동되어 원하는 지점이 촬영된 영상의 번호 확인이 가능하다.



[그림 2.1.74] 구글어스를 통한 영상의 위치확인

Geotagging이 완료된 영상은 상용소프트웨어인 Pix4Dmapper를 사용하였으며, 주요기능은 Auto Tie/Pass, DSM, Orthoimage, 3D 모델, Point Cloud 등의 제작이 가능하며, UAV 프로그램중 가장 안정적이고 고품질의 데이터 생산이 가능하다. Pix4Dmapper를 이용한 작업공정은 영상 데이터 확인(GNSS 정보), 프로젝트 생성, 데이터 입력, 작업 환경(옵션) 설정, GCP 입력, 자동처리, 정확도 및 오류검수, 결과 데이터 생성으로 이루어지며, 대부분의 작업은 자동 처리 방식으로 이루어진다.

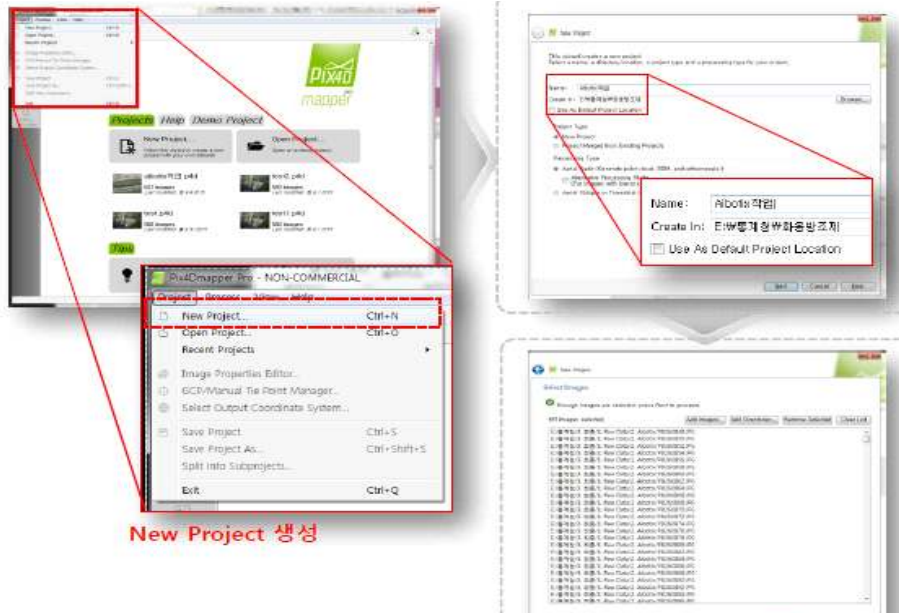
Pix4Dmapper의 영상정합은 SIFT 기술을 이용하여 처리되며, SIFT는 2004년에 David G.Lowe교수가 개발하였다. SIFT기술은 수치영상데이터를 회전, 축척, 명암, 카메라 위치 등에 불변하는 특징점으로 변화하여 자동영상매칭을 수행하는 기술이며, [그림 2.1.75]과 같은 방식으로 특징점을 추출하게 된다.



[그림 2.1.75] SIFT 기술의 특징점 추출 방법

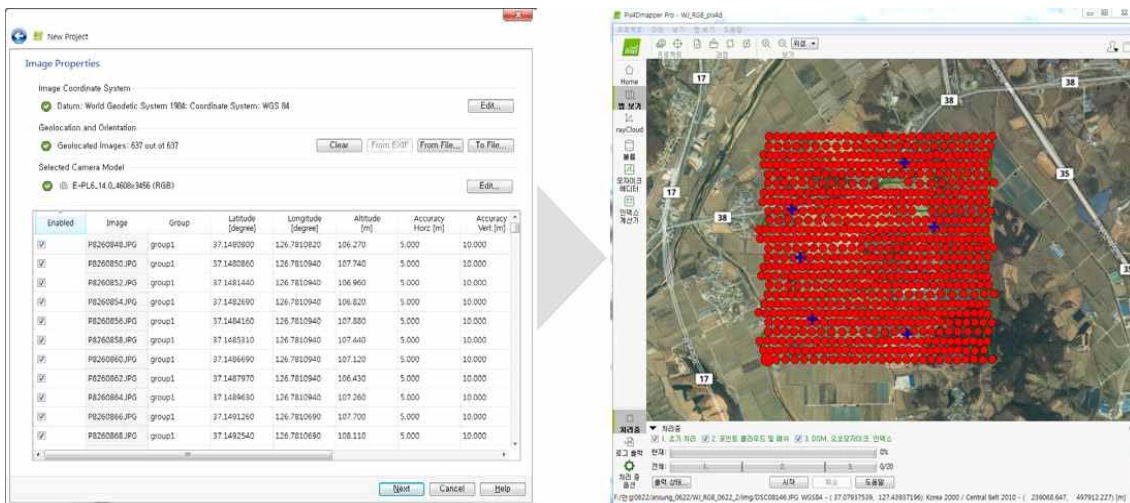
영상의 처리는 프로젝트 생성 및 데이터 입력부터 시작되며, 프로젝트 생성 시 작업이 이루어

어질 경로를 설정하고 프로젝트 파일의 이름을 설정하며, 생성된 프로젝트에 UAV로 촬영된 영상을 선택하여 입력하였다.



[그림 2.1.76] 프로젝트 생성 및 영상 입력

입력된 영상의 GNSS 정보를 확인하고 영상의 초점거리 등 카메라 정보를 자동으로 업로드 하게 되며, UAV GNSS 정보와 부합되도록 좌표계를 설정하였다. 데이터의 입력이 완료되면 화면에 촬영 위치와 궤적이 나타나게 된다.

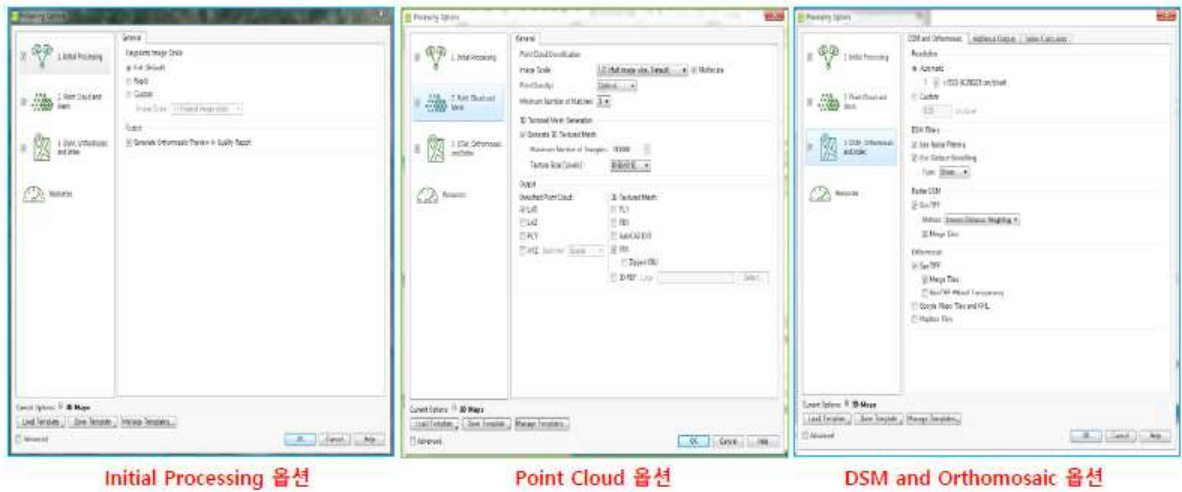


[그림 2.1.77] 영상정보 및 데이터 입력

데이터 입력을 완료 후 영상 처리 및 최종데이터 포맷에 대한 옵션을 설정하였다. 옵션의 설정은 3가지로 Initial Processing, Point Cloud, DSM and Orthomosaic 옵션이 있으며, Initial Processing은 촬영방법, Tie Point 정도에 대한 옵션 설정을 하고 Point Cloud에서는 Dense cloud 생성과 3D 모델 정보에 대한 옵션을 설정, DSM and Orthomosaic에서는 DSM과

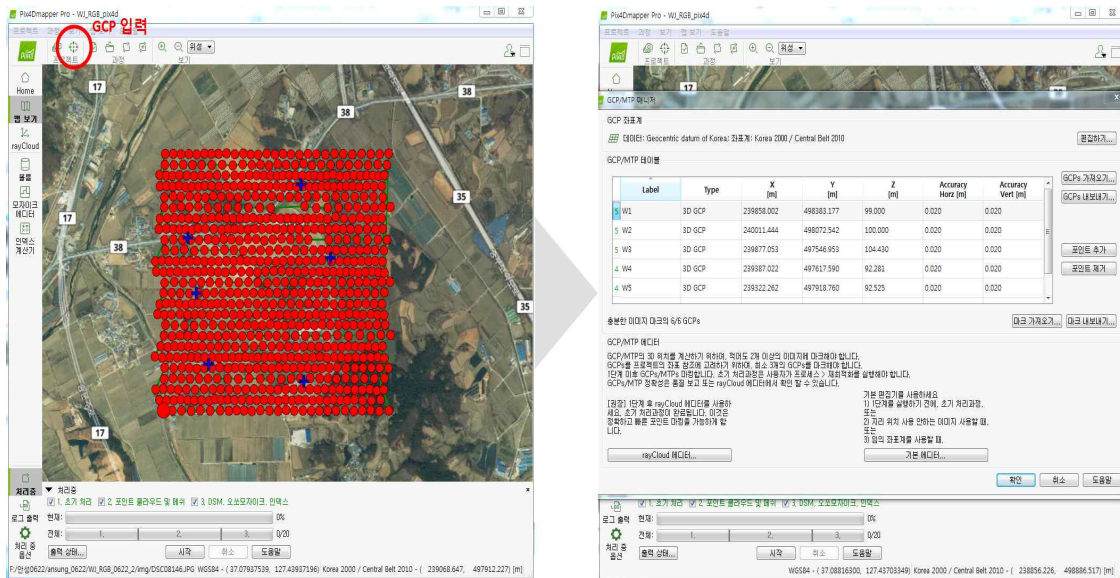


OrthoImage의 포맷 및 형식에 대한 옵션을 설정하였다.



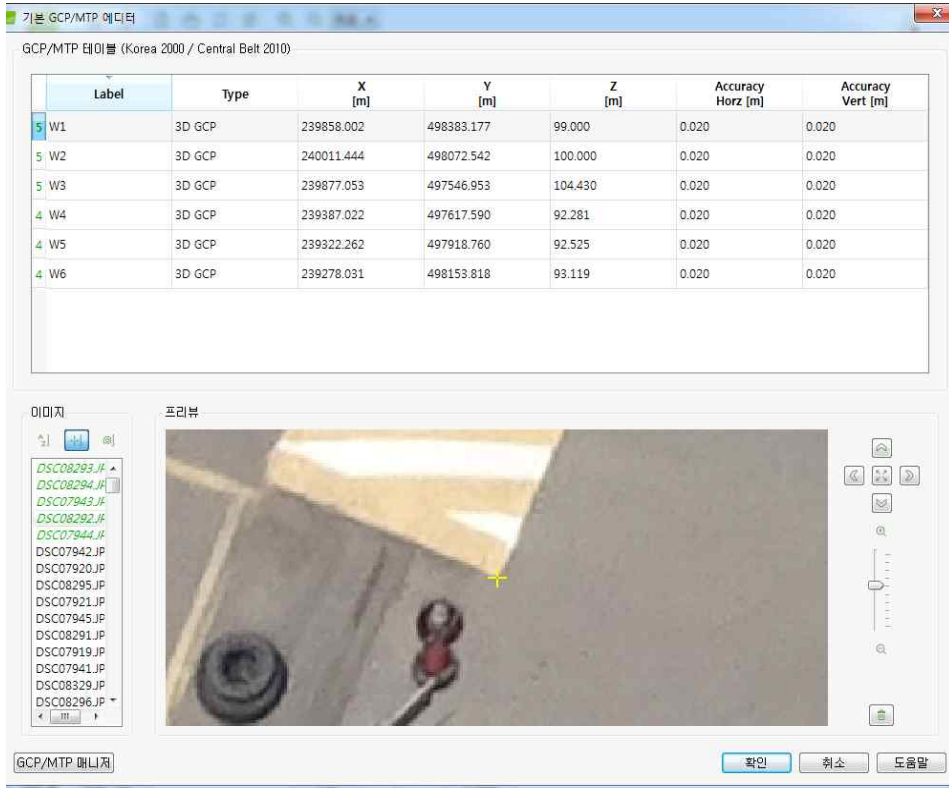
[그림 2.1.78] Pix4D 옵션 설정

옵션 설정 완료 후 정확도 향상을 위하여 수치지도 및 항공영상을 이용하여 취득한 지상기 준점을 입력하였으며, 영상의 좌표계는 지상기준점과 동일한 좌표계로 설정하였다. 지상기준점의 입력은 '파일명', 'X, Y, Z' 형식으로 된 txt 파일을 입력하였다.



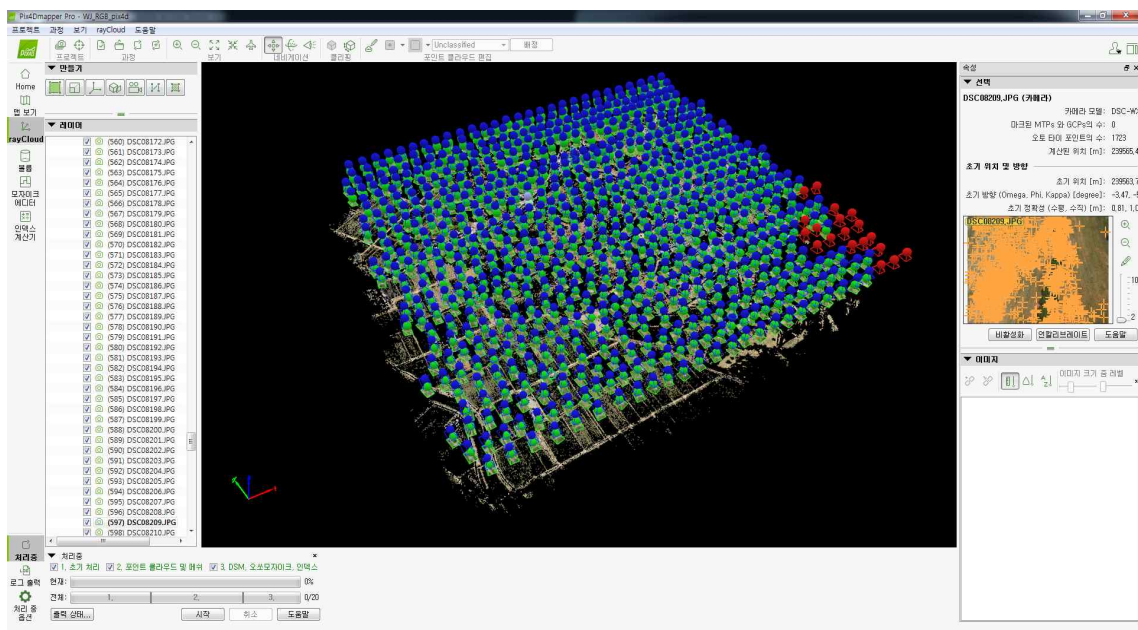
[그림 2.1.79] GCP 입력

입력된 GCP를 이용하여 영상의 기준점을 입력하여야 하며, 최소 4개의 영상에서 GCP의 매칭을 시켰다. 같은 방식으로 월정리와 장계리의 모든 기준점을 4~5개의 영상과 매칭시켰다.

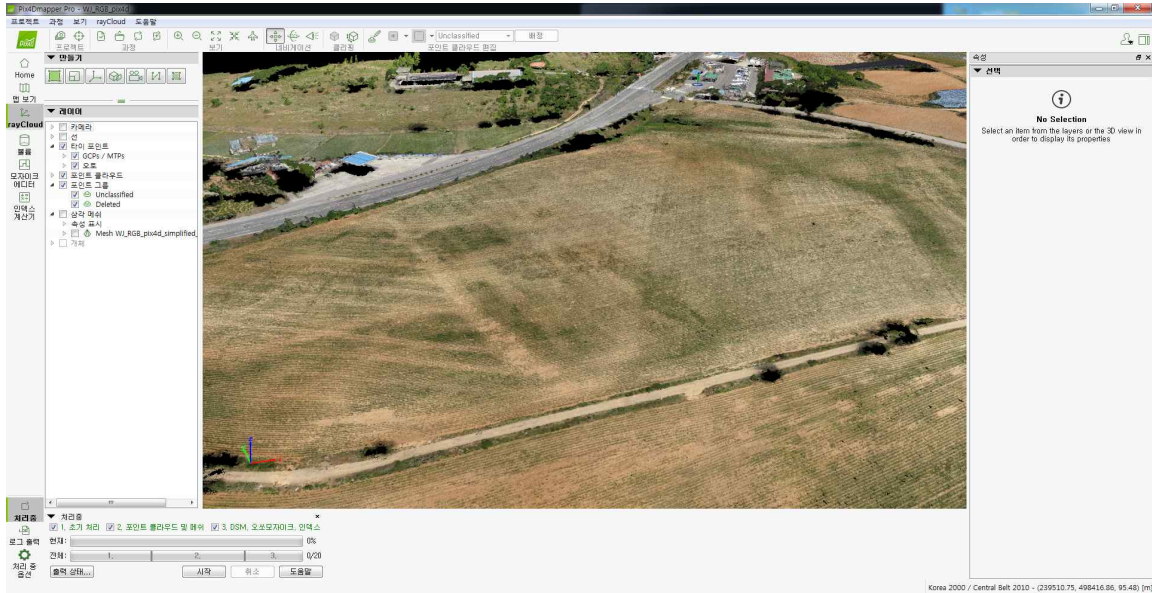


[그림 2.1.80] GCP와 영상의 매칭

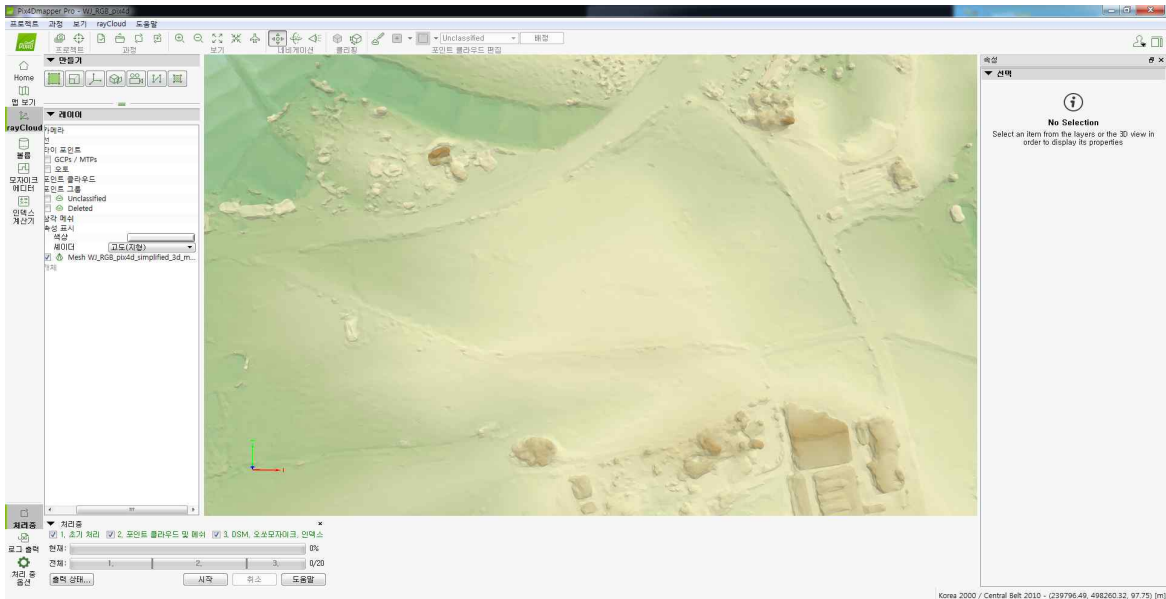
GCP와 영상의 매칭까지 완료되면 영상의 처리를 실시하게 되며, 이 과정은 'Image Processing, Point Cloud Densification, DSM and OrthoMosaic Generation' 3단계로 이루어지고 모두 설정된 옵션을 바탕으로 자동으로 이루어진다.



[그림 2.1.81] Image Processing

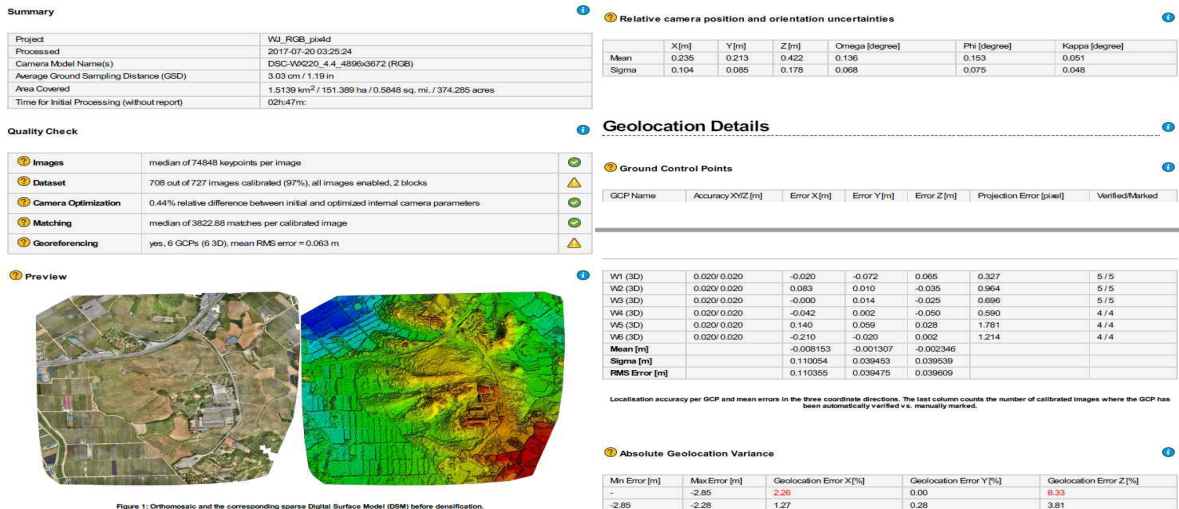


[그림 2.1.82] Point Cloud Densification



[그림 2.1.83] DSM and OrthoMosaic Generation

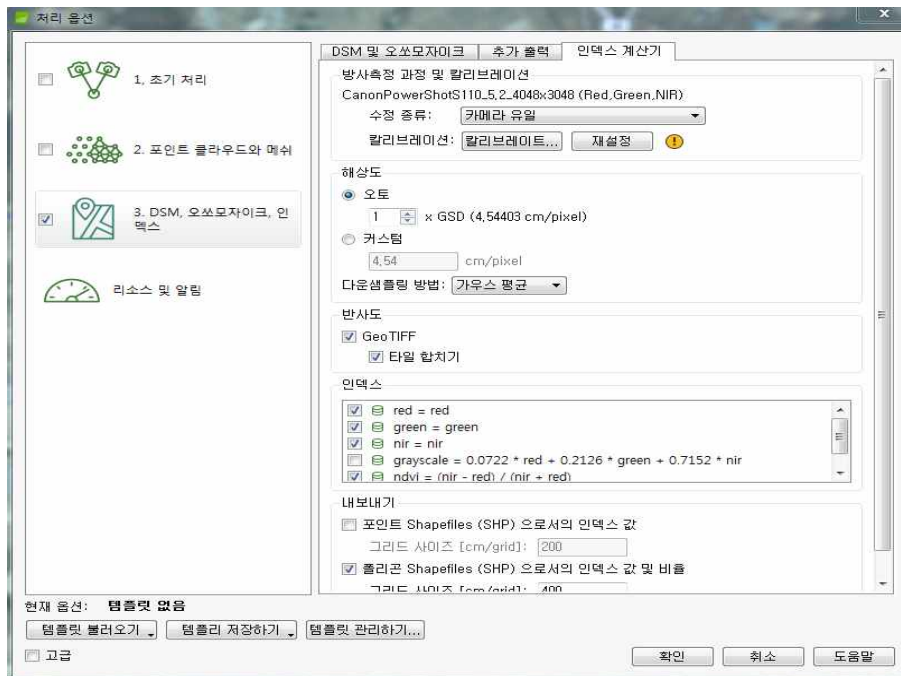
영상의 처리가 완료되면 품질 보고서를 생성하여 DSM 및 정사영상(OrthoImage)의 이상유무 판단과 지상기준점의 RMSE의 검수를 통해 결과 데이터의 품질을 판단하였다. DSM과 정사영상의 이상은 나타나지 않았고, RMSE는 X는 0.11m, Y는 0.04m, Z는 0.04m로 양호하게 나타났다.



[그림 2.1.84] 결과 품질 보고서

## (2) NIR 영상 처리 및 분석 방법

NIR 영상의 처리는 R, G, B 영상의 처리와 같이 Pix4Dmapper를 이용하고 처리과정 또한 유사하며, 일부 옵션의 차이를 통해 R, G, NIR의 밴드별 영상을 추출하게 된다. 밴드별 영상 추출은 인덱스 계산기를 이용해 밴드별 영역을 계산하여 추출하였다.



[그림 2.1.85] 인덱스 계산 옵션

식생지수는 단위가 없는 복사 값으로 식물의 상대적 분포량과 활동성 및 엽면적 지수, 광합성 흡수 복사량 등과 관련된 지표로 사용된다. 식생지수중 하나인 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index: 정규화식생지수)는 식생의 활성도를 나타내는 지표로 원격탐사에 널리 사용되는 지표중 하나이다(Rouse, 1974). 정규식생지수는 식생의 반사율이 가시영역에서 낮고 근적외선 영역에서 높은 성질을 이용한 단순 계산으로 나타내며 아래 식과 같으며,

$\rho_{NIR}$ 는 근적외선 영역에서의 반사율이며,  $\rho_{RED}$ 는 가시광선 영역 중 적색광 영역에서의 반사율을 나타낸다.

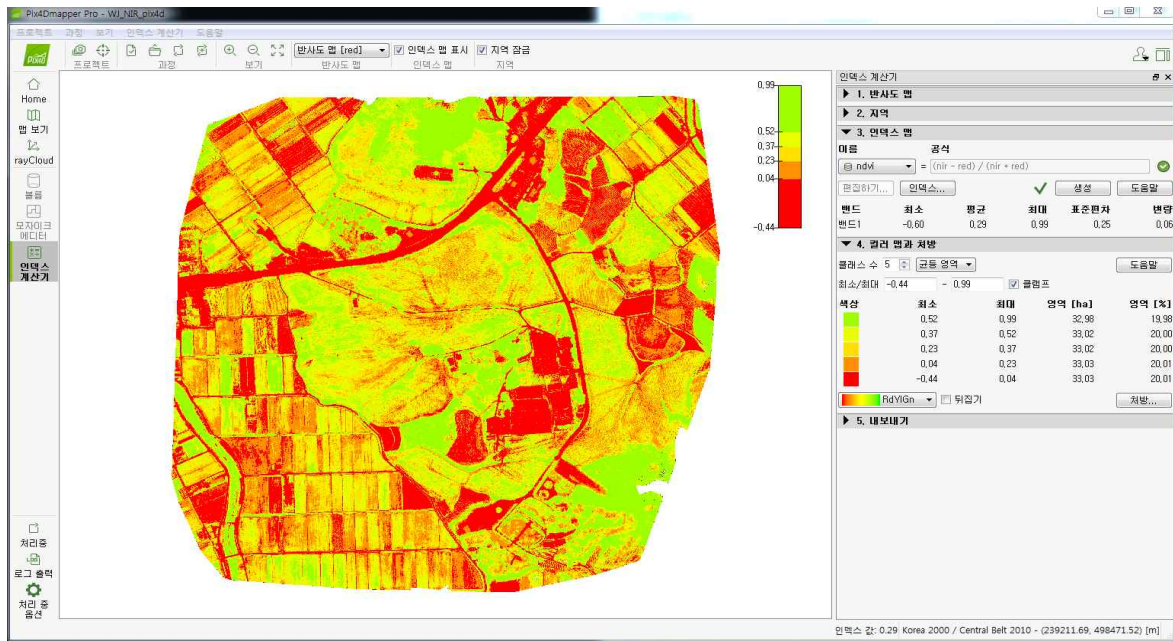
정규식생지수는 -1~1사이의 값을 가지며, 식생의 건강상태 및 농작물 생산량 추정 등에 효과적으로 사용되어 진다. 식생지역은 근적외선 반사율이 가시광선 영역의 반사율보다 높으며, 물, 눈, 구름은 근적외선 반사율이 가시광선 영역의 반사율보다 낮은 반사율을 가진다. 이에 따라 NDVI의 양수는 식생지역을 나타내며, 음수는 물, 눈, 구름을 나타낸다.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

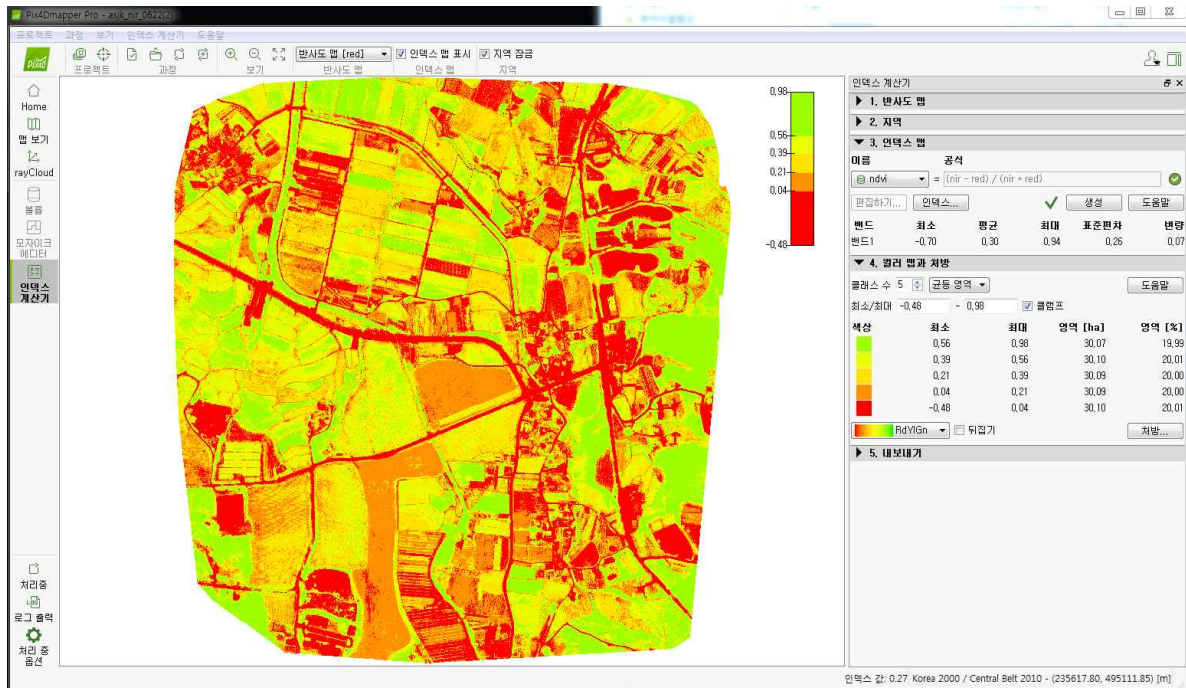
$\rho_{NIR}$ : 근적외선 밴드의 분광반사도

$\rho_{RED}$ : 적외선 밴드의 분광반사도

위의 식을 이용하여 월정리와 장계리의 R값과 NIR값을 이용하여 NDVI를 계산하여 결과를 추출하였다. 계산결과 월정리 NDVI의 최소값은 -0.6, 최대값은 0.99, 평균 0.29, 표준편차 0.25로 계산되었고, 장계리 NDVI의 최소값은 -0.7, 최대값은 0.94, 평균 0.3, 표준편차 0.26으로 나타났다.



[그림 2.1.86] 월정리 NDVI 영상



[그림 2.1.87] 장계리 NDVI 영상

### (3) UAV를 이용한 DSM 생성

#### (가) 지상기준점 측량

UAV를 이용하여 정밀도 높은 지형모델 제작을 위해서는 GPS를 활용한 지상기준점 (GCP) 측량을 수행한 후 GPS/IMU 처리결과에 적용하여 소정의 정확도를 확보 하여야 한다. 지상기준점 배치 간격은 지형모델 정확도를 고려하여 정하는데, 이때 GPS/IMU 통합계산 결과의 위치와 더불어 자세 측정 정확도를 충분하게 확보할 수 있도록 결정한다. UAV 촬영을 위한 지상기준점의 선정 시에는 입체 영상자료를 이용한 사진측량용 공액점으로 활용하기에 적합하고 영상에서 명확한 위치 파악이 가능하여야 하며, 지형·지물을 이용한 GCP점은 외부 환경에 위치 변동이 없어야 한다.

#### (나) 무인항공 영상자료 수집

UAV를 이용하여 현장에서 촬영을 수행할 때에는 사전에 계획된 노선을 따라서 비행하되 모든 계획노선에 대하여 영상자료를 수집하도록 한다. 특히 GPS/IMU 자료와 항공영상 자료는 연속적으로 수집하여야 하며 상호 시각적으로 동기화 되어야 한다. UAV 촬영 중 카메라의 셔터속도는 선명도 저하현상이 발생하지 않도록 3 ms (milli second) 이하로 한다. 정해진 코스의 비행이 완료되면 지정된 장소로 자동 착륙을 하고 촬영 작업이 완료된다. 촬영이 완료된 UAV로부터 컴퓨터를 링크시켜 무인비행자료 GPS/IMU 데이터를 다운로드 받고, 디지털카메라로 수집한 수치영상자료도 함께 다운로드 받는다. 영상처리를 위한 영상자료가 컴퓨터로 완료되면 무인비행 촬영자료 수집과정은 완료된다.

#### (다) 사진접합 및 지상기준점 삽입

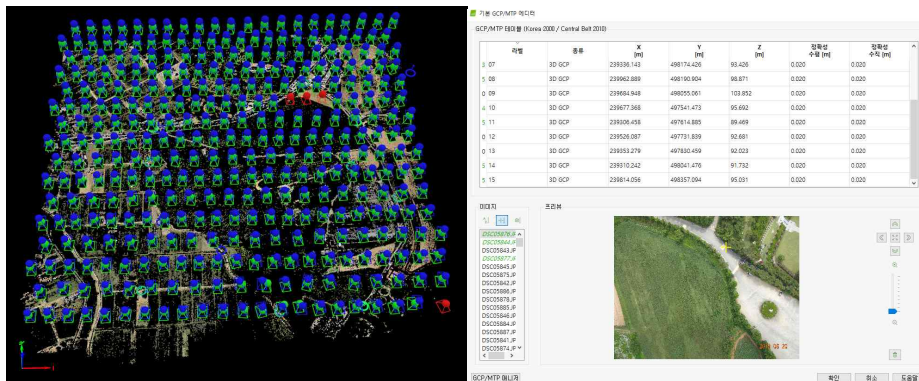
사진접합 및 지상기준점 삽입 작업은 일반적으로 UAV 영상 매칭이라 하며, UAV 촬영을

통하여 취득된 영상들을 기하학적 방법에 의해 지상의 모습을 생성시키기 위한 작업으로 영상 좌표를 지상좌표로 바꾸는 작업을 말하며, 지상기준점은 현장측량을 통해 3차원 좌표를 취득하고 이러한 지상기준점 성과와 UAV의 GPS를 통해 얻은 외부표정요소를 바탕으로 영상의 모든좌표를 지상 좌표화로 교체한다.

본 연구에서는 SenseFly사에서 제공하는 UAV로 영상 매칭을 수행하였으며, Initial Processing으로 촬영영상을 입력하게 되면 자동적으로 UAV 촬영 시 관측된 GPS값이 연계 입력되어진다. 두번째로 촬영영상의 좌표계를 입력하며, 마지막으로 촬영 시 설치해둔 지상기준점이 포함된 영상마다 동일점을 선택하여 준다. 위의 설정이 완료되며 Initial Processing을 실행한다

**(라) 정사영상과 DSM생성**

정사영상과 DSM (Digital Elevation Model)을 제작하기 위해 Initial Processing을 진행한 영상과 Point cloud Densification을 이용하여 DSM and Orthomosaic Generation을 실행한다. 이때 DSM은 GeoTiff 형식의 Raster Data와 입력된 격자간격에 따라 텍스트 형식의 Grid Data를 생성하며, 정사영상은 GeoTiff 파일로 생성한다. 초기에 추출된 정사영상은 위치별로 색상과 명암차이를 보이게 되며, 특히 영상 접합선 (Seam Line)을 따라 영상경계가 확연히 드러나므로 이에 해당하는 영상보정 작업이 필요하다.

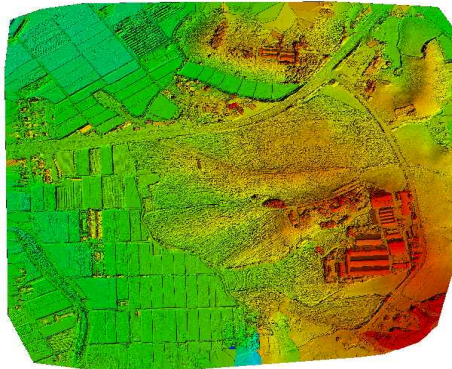


[그림 2.1.88] Photo bonding

[그림 2.1.89] Insert GCP



[그림 2.1.90] 99 Orthographic



[그림 2.1.91] 100 DSM creation

**(마) 수치지형도를 이용한 정밀 DEM 제작**

수치지형모델 (DEM, Digital Elevation Model)은 간단하게 지형의 표고를 수치적 형태로

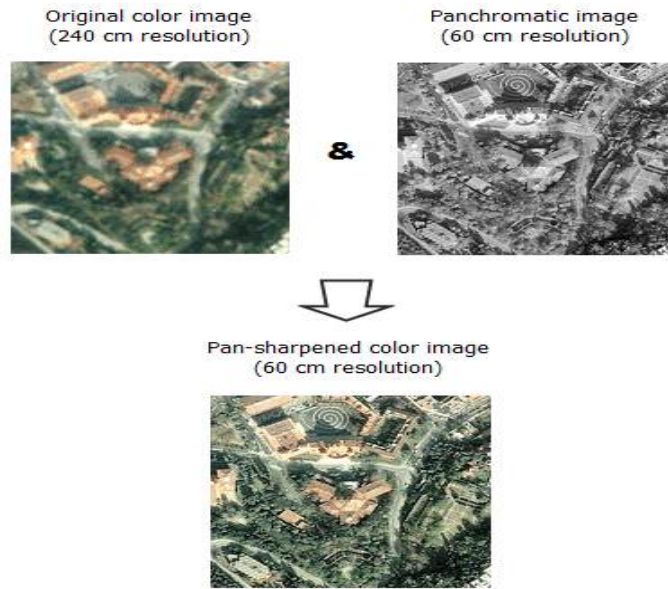
표현하는 것으로서 규칙적인 격자행렬을 통해 공간상에 나타나있는 지형기복의 변화를 연속적으로 나타낸 것이다. 보통 식생과 인공지물을 제외한 지형만의 높이를 의미하며 강과 호수의 DEM 높이 값은 수표면을 나타낸다. DEM은 주로 수문해석에서 지형의 경사를 분석하여 수량을 예측할 수 있으므로 수리시설물의 안정도 해석에서 중요한 역할을 하고 있으며, DEM을 활용한 수문해석은 정밀도 (격자크기)의 영향을 받고 있다. 하지만 현재 국내에서 주로 사용하고 있는 DEM 데이터는 국토지리정보원에서 제공하는 1:5,000의 수치지형도를 사용하고 있다. 여러 지리정보 데이터 중 무인항공시스템을 이용하여 생성된 정밀 수치지형도를 이용하여 DEM을 제작하였으며, 이를 위하여 다양한 공간 분석과 표현기능을 갖고 있어 토목, 건축 등과 같은 공학 분야의 지리정보 분석을 위해 널리 활용되고 있는 Pix4dmapper 프로그램을 활용하였다. DEM을 생성하는 방법에는 수치지형도의 등고선에서 직접 DEM을 추출하는 방식과 불규칙 삼각망 (Triangulated Irregular Networks, TIN)을 이용하는 방법이 있다. 불규칙 삼각망 (TIN)은 불규칙하게 등고선의 점을 추출하여 이들의 위치를 삼각형의 형태로 표현하는 방법으로 적은 양의 자료를 사용하여 복잡한 지형을 상세하고 자연스럽게 나타낼 수 있으므로 등고선에서 직접 DEM을 추출하는 방식에 비해 TIN 생성과정을 거쳐서 DEM을 만드는 것이 가장 이상적이라 할 수 있다. DEM을 생성하기 전 수치지형도에 TIN의 이용 유무에 따른 수치지형도를 비교한 결과 TIN의 생성과정을 거치지 않은 즉, 등고선에서 직접 DEM을 추출한 수치지형도의 경우 일부 지점에서 지형 왜곡현상이 발생하였으나, TIN의 생성과정을 거친 수치지형도의 경우에는 왜곡된 지형이 없이 자연스럽게 지형을 표현할 수 있었다. 무인항공시스템을 이용하여 수집된 정밀 수치지형도를 TIN 생성과정을 거쳐 DEM을 생성하였다.

### (3) 펜샤프닝 영상처리 기법

원격탐사 분야에서 고해상도 컬러영상 획득을 위한 방법으로 공간해상도가 높은 흑백영상과 가시성이 뛰어난 멀티스펙트럴 영상을 융합하여 고해상도 다중밴드 영상을 제공하는 Pan-sharpening 영상융합 기법이 있다. Pan-sharpening 기법은 주로 고해상도 흑백센서와 저해상도 멀티스펙트럴 센서가 부착된 위성에서 이종센서 영상융합을 통하여 고해상도 다중밴드 영상을 제작하고 구글맵과 같은 가시성이 필요한 위성 지도를 만들 때 사용된다.

일반적으로 영상융합 기법은 크게 MAR(Multi-Resolution Analysis) 기반 기법과 CS(Component-Substitution) 기반 기법으로 나뉜다. MAR과 CS 기법의 차이점은 고주파 영상을 추출하는 방법에서 나타난다. MAR 기법은 고해상도 흑백영상에서 고주파 정보를 추출하여 멀티스펙트럴 영상과 융합한다. CS 기법은 멀티스펙트럴 영상에서 생성한 가상의 흑백영상과 고해상도 흑백영상을 차분하여 추출한 고주파 정보를 멀티스펙트럴 영상과 융합한다. MAR 기반 기법들은 고해상도 흑백영상에서 직접 추출된 고주파 정보를 사용하기 때문에 멀티스펙트럴 분광정보 왜곡이 적지만 공간해상도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 반면, CS 기반 기법들은 공간해상도가 뛰어나지만 멀티스펙트럴 분광정보 왜곡이 크게 발생한다. 최근에는 속도 처리가 빠르고 공간해상도 보존이 뛰어난 CS 기반 기법 중심으로 분광정보 왜곡을 적게 만드는 연구 방향으로 진행되고 있다.





[그림 2.1.92] Pan-sharpening 활용 예시

## 7. 가뭄 우심지역의 드론영상 고도화 및 영상처리 기술개발

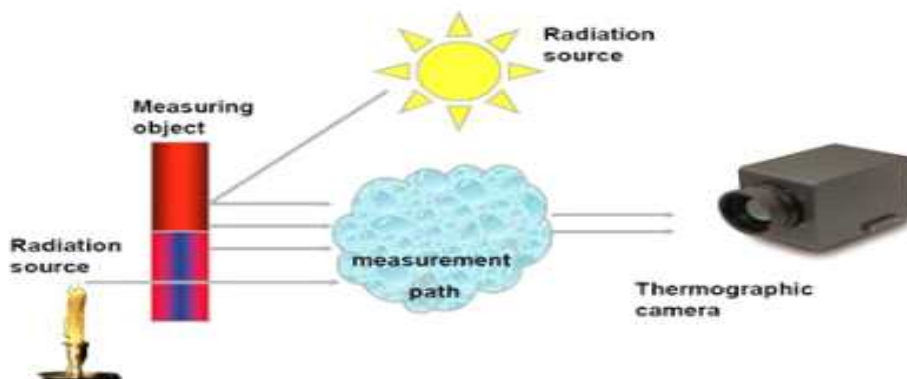
### 가. 가뭄 우심지역에 대한 다양하고 이기종의 드론 영상 구축

#### (1) 열화상 영상 취득 및 분석

##### (가) 열화상 드론

##### ① 열화상 카메라의 원리

적외선 영상장치의 주요 특징은 열전대와 달리 대상물에 접촉할 필요가 없이 떨어진 장소에서 계측이 가능하며, X선 등과 달리 대상물이 자연적으로 복사하는 적외선을 받기 때문에 대상물에 해를 가하지 않고 계측이 가능하다. 또한 열전대 및 점 복사온도계와 같이 점의 열에너지가 아닌 2차원 정보와 같이 한번에 넓은 면적을 계측 가능하다.



[그림 2.1.93] 열화상 이미지 구성 및 방사량 데이터 취득 과정

② 드론 일체형 열화상 센서

드론용 센서는 640/30fps의 고감도(50mk) 열화상 촬영이 가능하며 방사 분석, 원격 측정을 통해 정확한 온도를 측정할 수 있는 FLIR Duo Pro R을 이용하였으며 드론 기체는 중국 DJI의 회전익 드론 Matrice 600을 이용하였다. 열화상센서의 세부적인 제원은 [표 2.1.36]와 같다.

[표 2.1.36] 드론 열화상 센서 사양



구분	Duo Pro R
Thermal Imager	Uncooled VOx Microbolometer
Spectral Band	7.5 - 13.5 μm
Thermal Sensitivity	< 50 mK
Thermal Sensor Resolution	640 x 512
Options	
Thermal Lens Options	13mm : 45° x 37°
Thermal Frame Rate	30Hz



**FLIR Duo Pro R**  
High-Resolution Thermal and Visible-Light Imager for sUAS

**dji MATRICE 600**

Overview	Duo Pro R 640	Duo Pro R 512
Thermal Imager	Uncooled VOx Microbolometer	
Spectral Band	7.5 - 13.5 μm	
Thermal Sensitivity	< 50 mK	
Thermal Sensor Resolution Options	640 x 512	256 x 256
Thermal Lens Options	13mm 45° x 37°	8mm 20° x 27°
	18mm 32° x 26°	18mm 20° x 18°
	25mm 20° x 20°	18mm 17° x 12°
Thermal Frame Rate	30Hz	
Video Sensor Resolution	4000 x 3000	
Video Camera FOV's	98° x 45°	98° x 45°
Radiometry		
Measurement Accuracy	±1.5°C @ 5% of readings in the 20°C to +135°C range ±2.0°C @ 20% of readings in the -40°C to +150°C range	
Physical Attributes		
Size	95 x 81 x 65 mm	85 x 66.5 x 63.5 mm (AS25 mm version)
Weight	325g	325g
Image Processing & Display Controls		
Imaging Modes	Multi, Stereo, Picture-in-Picture (PiP) & On	
ISO Image Enhancement?	Yes	
Multiple Color Palettes?	Yes - Adjustable in App and via PWM	
IMU Sensor		
GPS	Yes (GPS, GLONASS)	
Other Sensors	Accelerometer, Gyroscope, Magnetometer, Barometer	
Interfaces		
USB 3.0	Power in, USB Mass Storage	
10-Pin Accessory Port	Power in, Analog Video Out, PWM, MQLink	
Micro-HDMI	Digital Video Out	
Input Voltage	5.5-28.0 VDC (10-pin, 27 Pins)	
	5.5 VDC (USB-C Port)	
Power Dissipation (avg)	10 W	10 W
Remote Control?	Yes - PWM (3 channels), MQLink	
MQLink interface?	Yes	
Digital Video Output	1080p60, 1080p30, 720p60	
Mounting Features	14°-20° Tilt, Top Mount, 1/2, bottom surface	
Environmental		
Operating Temperature Range	-20°C to +50°C	
Storage Temperature Range	-20°C to +60°C	
Operational Altitude	+38,000 feet	

Diagonal wheelbase	1183mm
Dimensions	1608 mm x 1518 mm x 727 mm with propellers; frame arms and GPS mount unfolded (including landing gear); 437 mm x 402 mm x 553 mm with propellers; frame arms and GPS mount folded (excluding landing gear)
Weight (with six TB475 batteries)	9.5 kg
Max Takeoff Weight Recommended	15.5 kg
Hovering Accuracy (R-GPS)	Vertical: ±0.5 m, Horizontal: ±1.5 m
Max Angular Velocity	Pitch: 300°/s, Yaw: 150°/s
Max Pitch Angle	25 degrees
Max wind resistance	8 m/s
Max ascent speed	5 m/s
Max descent speed	3 m/s
Max service ceiling above sea level	2170R propellers: 2500 m 219S propellers: 4500 m
Max speed	40 mph / 65 kph (no wind)
Flight time	Depends on payload and flying conditions
Retractable landing gear	Standard
Gimbal	Custom and stabilized for hyperspectral imaging
Standard battery	4500mAh

\* Information above based on DJI published specifications extracted from <http://www.dji.com/matrice600/pro/info#specs> on 13 March 2017.

(나) 드론 열화상센서 운용을 통한 영상 취득

드론 열화상센서는 건물의 열손실 분석, 화재진압, 수색구조, 점검과 같은 시설물 관리 모니터링에 활용되고 있다. 최근 농업 분야에서도 열화상 센서를 이용하여 농작물 작황 현황정보과 기초자료를 획득하고 있다. 열화상센서를 이용하는 가장 큰 장점은 농작물의 온도와 주변의 공기 온도를 비교분석하여 작물의 증산 정도를 파악할 수 있으며, 이는 농작물의 작황과 고온 스트레스 관리에 활용되고 있다. 열적외선 센서로 취득된 영상은 토양 열 속성과 관련된 변수를 통해 토양수분을 유도할 수 있으며, 광학센서 및 열화상 센서를 통해 취득한 데이터를 결합하여 토양수분을 추정하면 단일 센서로부터 취득된 성과보다 더 많은 정보를 활용할 수 있다.

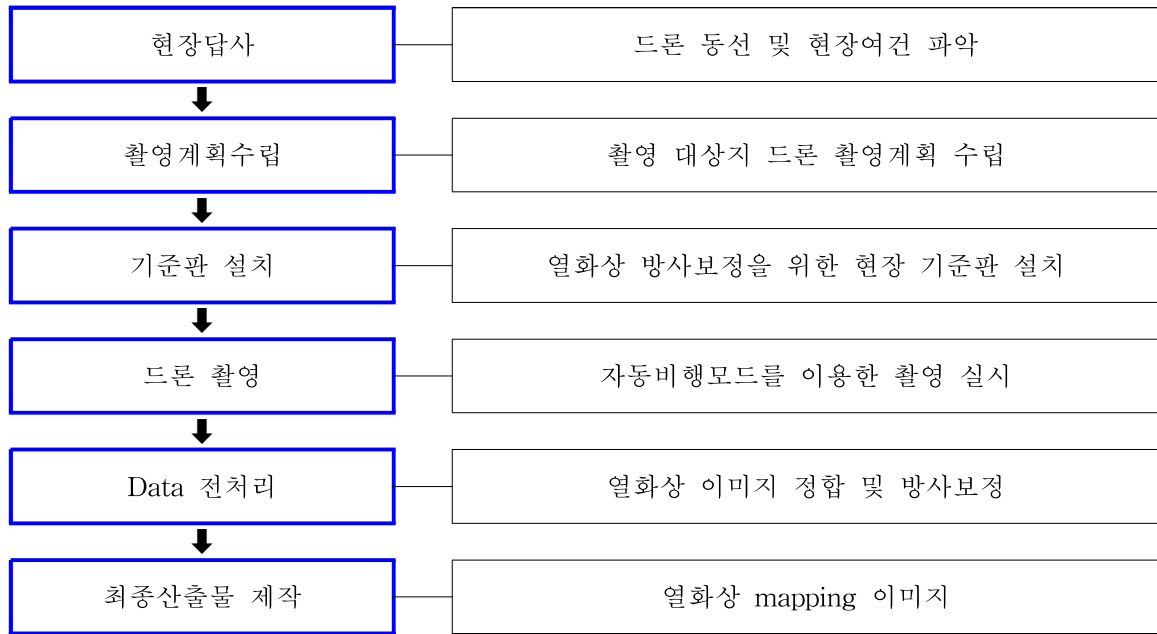
본 연구에서 드론 원격정보를 활용하여 농업가뭄 모니터링 체계 구축을 위해 선정된 대상지에서 Pix4Dcapture SW를 활용하여 고도 약 150m에서 GSD 21cm급으로 촬영하였다.

[표 2.1.37] 드론 열화상 촬영제원

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 촬영 일시 : 시계열 영상 구축</li> <li>● 촬영 고도 : 150m</li> <li>● 중 복 도 : 90%</li> <li>● 촬영모드 : 자동비행모드</li> <li>● 자동비행 SW : Pix4D사의 Pix4Dcapture</li> <li>● 촬영 이·착륙 지점 : 안전을 고려하여 공터에서 이·착륙 실시</li> </ul>
---	---

가뭄 우심지역의 열화상 영상 DB 구축을 위해 다음과 같은 공정에 따라 진행하였으며, 매 회 촬영마다 기계점검 및 안전점검을 수행하였으며 점검사항은 아래 [표 2.1.38]와 같다.

[표 2.1.38] 점검사항



[표 2.1.39] 드론 비행 전 체크리스트

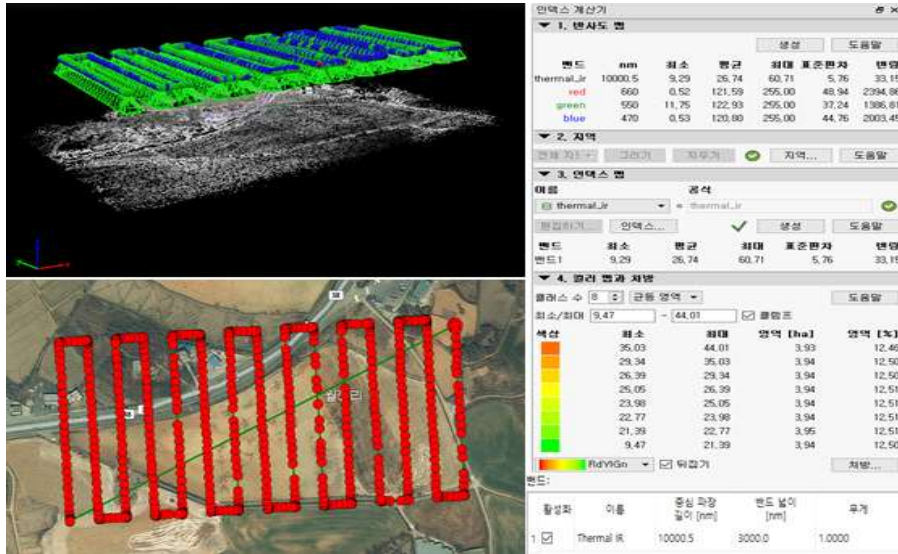
항목	점검사항	비고
<input type="checkbox"/> UAV조립	UAV조립	
<input type="checkbox"/> 바람방향	바람방향 및 풍속 체크	지상바람과 상층부 바람점검
<input type="checkbox"/> UAV 셋업	①바람방향으로 놓기(바람이 부는 방향) ②프로펠러 장착 ③후방에 안전삼각대 설치	
<input type="checkbox"/> 배터리 장착	배터리 고정(전원 연결)	
<input type="checkbox"/> UAV 외관점검	①보조날개	

항목	점검사항	비고
	②감락(고정플라스틱) ③모터상태 ④윙팁 ⑤안테나 장착여부확인	
<input type="checkbox"/> UAV 모듈장착	카메라장착, 트리거	
<input type="checkbox"/> 날개 결속점검	수평방향, 수직방향	
<input type="checkbox"/> 환경점검	풍속, 조도, 햇빛방향, 주파수방해요소, 런치라인주변	
<input type="checkbox"/> 조종기 세팅	①스위치 리셋 ②메뉴얼 모드 ③안전핀 장착 ④스위치 켜기 ⑤모델명 확인	
<input type="checkbox"/> 동력점검	①프로펠러 반대방향에 서기 ②배터리 연결 ③UAV 알림 확인(날개, 모터) 소리확인 ④조종기 확인 ⑤배터리 점검 ⑥ECS 온도변화 체크 ⑦조종기 5.0V이상 ⑧UAV앞을 잡고 15%까지 스로틀 UP	
<input type="checkbox"/> 무선교신기	자동항법 SW 연결	핸드폰 플랜S/W 실행
<input type="checkbox"/> 자동항법 SW 플랜설정	①Open Plan, 최대화 ②웨이포인트 불러오기 ③경로 점검 ④위치, 고도 ⑤착륙 위치 ⑥Plan 세팅확인 ⑦안전서클 점검 ⑧홈 고도 ⑨자동이륙 점검 ⑩자동착륙 점검 ⑪플랜 업로드(UAV 활성화) ⑫Confirm버튼 누르기 ⑬Info 확인 ⑭플랜 닫기	핸드폰 플랜S/W 실행
<input type="checkbox"/> UAV 균형체크	UAV 균형 체크	
<input type="checkbox"/> 자동항법 점검	①위성수(5이상) ②Start음성 확인 ③UAV 앞뒤로 ④UAV 좌우로 ⑤카메라 점검	
<input type="checkbox"/> 카메라 짐벌점검	①짐벌 움직임 확인	
<input type="checkbox"/> 운행계획	스텝(CREW)들에게 운행계획 브리핑	
<input type="checkbox"/> 착륙지점	착륙지점, 방법 브리핑	

(다) 드론 열화상센서를 이용한 식생 온도 DB 구축

① 전용 SW 통한 열화상 이미지 처리

본 연구에서 드론 원격정보를 활용하여 농업가뭄 모니터링 체계 구축을 위해 선정된 대상지에서 Pix4Dcapture SW를 활용하여 고도 약 150m에서 GSD 21cm급으로 촬영하였다. 그리고 드론으로 촬영한 사진에 대해 Pix4D mapper pro 소프트웨어를 이용하여 처리하였다.

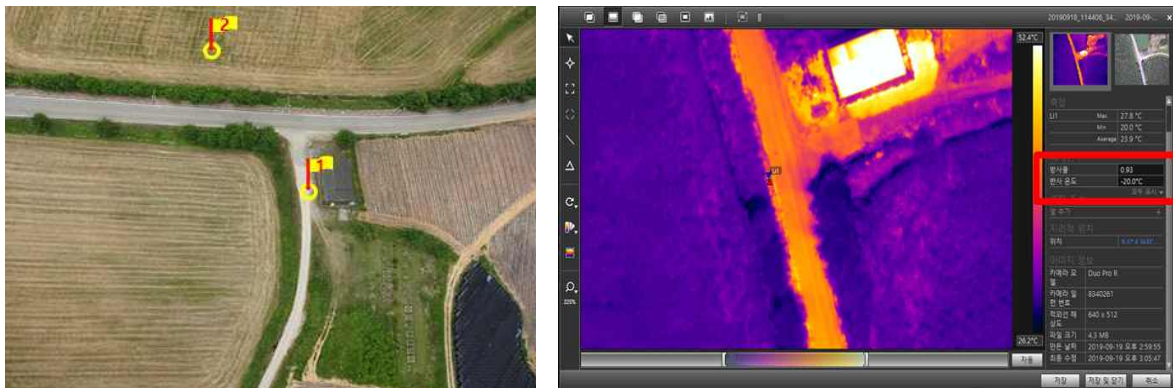


[그림 2.1.94] Pix4D mapper pro 소프트웨어를 활용한 열화상 영상처리

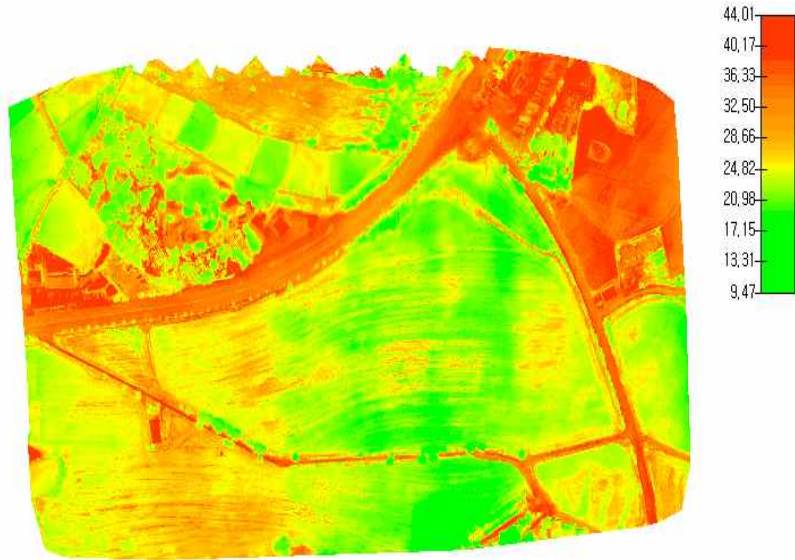
## ② 실제 온도로 변환

열화상 드론 플랫폼으로 촬영된 영상은 저장방식에 따라 JPEG(8bit)의 그레이스케일로 저장되거나 Tiff(16bit)로 저장된다. 이러한 열화상 이미지는 두 가지 방식으로 도출할 수 있으며, 첫 번째는 상대적인 온도 분포를 보는 방식, 두 번째는 온도변환을 통해 실제온도를 도출할 수 있다. 전자의 경우 자료처리 및 현장처리가 간략하여 빠른 결과를 도출할 수 있지만 실제 온도를 알 수 없다는 단점이 있다. 반면 후자의 경우는 실제온도를 취득할 수 있지만 드론과 같은 운용시기의 현장온도 취득하여 내업이 추가적으로 수행되어지는 단점이 있다.

본 과제의 열화상 데이터는 상대적인 온도분포로 나타나며 온도가 높아질수록 녹색에서 적색으로 표시된다. 하지만 본 과제에서는 대상지의 실제 토양온도가 필요하므로 온도변환 과정이 필요하다. 이는 현장에서 휴대용 온도계에 의한 대상지 실제 온도 취득 후 실내자료처리 과정이 추가로 발생한다. 실제온도로 변환하기 위해 농경지, 주변도로에서 촬영시점의 온도를 측정하였으며, 그의 표시된 2지점의 온도는 21~40.5°C의 범위에 분포한 것으로 나타났으며, 온도 값 보정을 위해 FLIR 社의 FLIR tools SW를 활용하여 취득한 대상지의 토양 온도를 절대값으로 변환하여 산출하였다.



[그림 2.1.95] 실제온도로 변환



[그림 2.1.96]. Thermal Image

[표 2.1.40] 드론 열화상 영상 성과 내역

구분		촬영일시	촬영내용	용량
3차년도	일정리	05월 08일	열화상	23.4 MB

## (2) 초분광 영상 취득 및 분석

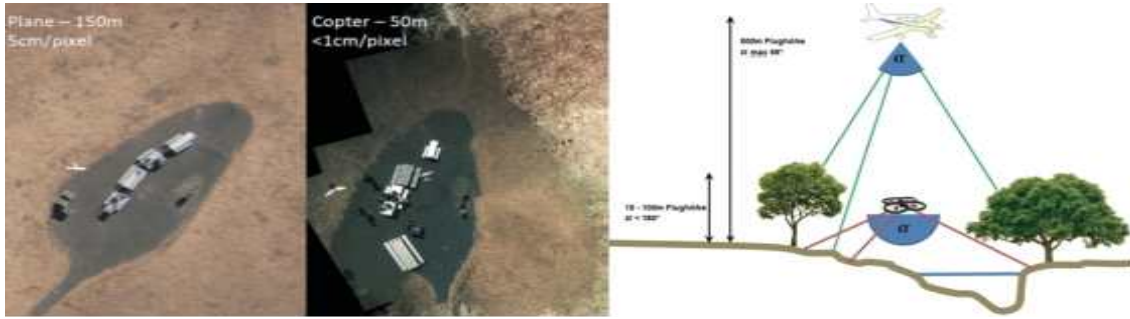
### (가) 농업 가뭄 모니터링을 위한 드론 초분광센서

#### ① 초분광센서 개요

초분광 영상은 빛의 파장 대역을 다수의 밴드로 나누어 대상체가 가지는 고유의 스펙트럼 형상을 추출하여 지표상 물체의 연속적이고 좁은 파장역으로 수백 개의 분광 정보를 취득하므로 대상 물체마다 존재하는 고유의 광학적 성질 및 반사 특징을 분석할 수 있어 토지피복, 식생 등 대상물체 구별에 주로 활용되어진다. 또한 최근 농업분야에서 초분광 영상은 농작물의 분광반사특성을 통해 식물의 종류와 상태에 대한 정보를 제공할 수 있으며, 특히 수분 또는 양분 부족에 의한 스트레스, 잎의 함수량 및 화학적 특성 등을 정규식생지수(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)로 산출하여 정량적 분석이 가능하다.

#### ② 드론 초분광센서 장점

초분광센서를 이용하기 위한 촬영고도와 촬영폭 등의 차이가 발생하므로, 고비용이 수반되는 유인항공기보다 본 과업과 같이 비교적 적은 면적의 단일 지역에서는 UAV 활용가치가 높다.



[그림 2.1.97] 드론과 유인항공기 및 위성 자료와의 비교

### ③ 드론 일체형 초분광 센서

드론 초분광센서는 Nano-Hyperspec 모델로 400nm ~ 1,000nm의 파장영역에서 영상 획득이 가능하며, 최대 270개의 분광밴드를 취득할 수 있다. 제원은 [표 2.1.41]와 같다. 드론 기체는 중국 DJI의 회전익 드론인 Matrice 600 pro를 결합한 드론 플랫폼을 사용하였다.

#### (나) 드론 초분광센서 운용을 분광 대역별 영상 취득

드론 초분광센서는 촬영 대상 지표물의 연속적이고 완전한 분광정보를 취득할 수 있어 농작물의 분광특성을 통해 식물의 종류와 상태에 대한 정보를 제공할 수 있으며, 특히 수분 또는 양분 부족에 의한 스트레스, 잎의 함수량 등 정규식생지수로 산출하여 분석이 가능하다.

[표 2.1.41] 드론 초분광 센서 사양



구분	Nano-Hyperspec
Wavelength Range	400 - 1,000 nm
number of Bands	270
Dispersion/Pixel(nm/pixel)	2.2
Storage capacity	480GB

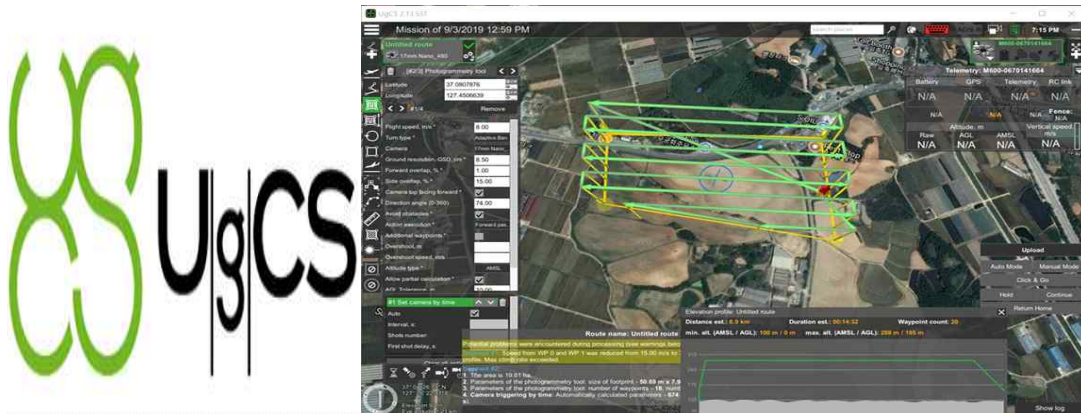


DJI MATRICE™ M600 Pro*		Nano-Hyperspec®	
Diagonal wheelbase	1133mm	Wavelength range	400-1000 nm
Dimensions	1665 mm × 1518 mm × 727 mm with propellers, frame arms and GPS mount unfolded (including landing gear), 497 mm × 402 mm × 555 mm with propellers, frame arms and GPS mount folded (excluding landing gear)	Spatial bands	640
Weight (with six TB47S batteries)	9.5 kg	Spectral bands	270
Max. Takeoff Weight Recommended	15.5 kg	Dispersion/Pixel (nm/pixel)	2.2
Hovering Accuracy (P-GPS)	Vertical: ±0.5 m, Horizontal: ±1.5 m	FWHM Slit Image	6 nm
Max Angular Velocity	Pitch: 300°/s, Yaw: 150°/s	Integrated 2 <sup>nd</sup> order filter	Yes
Max Pitch Angle	25 degrees	IR	2.5
Max wind resistance	8 m/s	Layout	Aberration-corrected concentric
Max ascent speed	5 m/s	Entrance Slit width	20 µm
Max descent speed	3 m/s	Camera technology	CMOS
Max service ceiling above sea level	2170R propellers: 3500 m 219S propellers: 4500 m	Slit depth	12-bit
Max speed	40 mph / 65 kph (no wind)	Max Frame Rate (Hz)	350
Flight time	Depends on payload and flying conditions	Detector pixel pitch	7.4 µm
Retractable landing gear	Standard	Max Power (W)	13
Gimbal	Custom and stabilized for hyperspectral imaging	Storage capacity	480GB (~130 minutes at 100 fps)
Standard battery	4800mAh	Weight without lens, GPS (lb / kg)	1.2 / 0.5
		Operating Temperature	0°C to 50°C
		<b>Nano-Hyperspec®</b> • 270 spectral bands • 480GB on-board storage • Max. Frame Rate: 350Hz • Small size, weight, power • Aberration-corrected optics	

\* Information above based on DJI published specifications extracted from <http://www.dji.com/matrice600-pro/info/hyperspec> on 13 March 2017.

① 촬영 시나리오

분광 대역별 영상 취득을 위해 400~1,000 nm 범위의 파장영역에 대한 촬영이 가능한 초분광센서를 촬영을 시행하였으며, 촬영은 미국 Headwall의 자동비행 SW Ugcs 및 초분광센서 설정 SW인 HyperSpec III를 통해 촬영하였으며, 촬영 제원은 [표 2.1.42]와 같다.



[그림 2.1.98] 드론 초분광센서 자동비행 SW

[표 2.1.42] 드론 초분광센서 촬영제원

촬영제원	
촬영고도	200m
횡중복도	20%
촬영모드	자동비행모드
자동비행SW	Headwall 사의 전용 SW(Ugcs)

② 작업절차

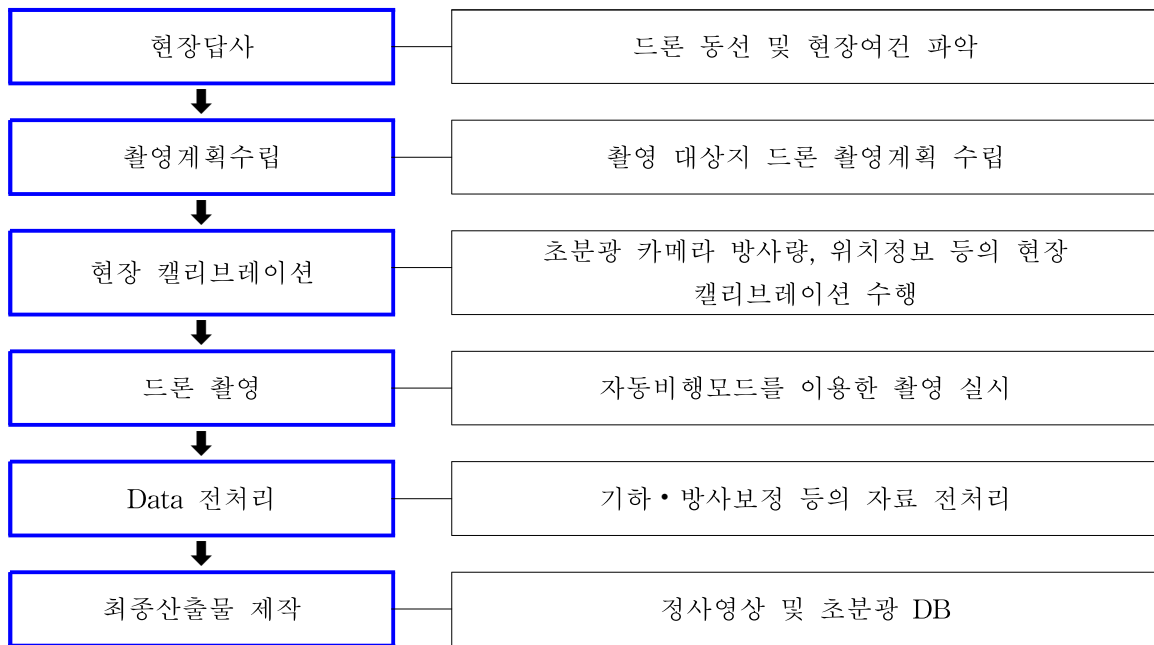
가문 우심지역의 초분광 영상 DB 구축을 위해 다음과 같은 공정에 따라 진행이 되며, 초분광센서는 다른 RGB, 열화상 센서와 달리 현장 캘리브레이션을 실시하는데, 이는 초분광센서의 영상처리 과정에서 방사보정과 기하보정을 위한 필수 과정으로 영상 품질과 직결되는 문제이므로 철저히 실시해야한다.

[표 2.1.43] 드론 비행 전 체크리스트

항목	점검사항	비고
하이퍼 전용 GPS 캘리브레이션	전용 SW(Spectral III)를 이용한 GPS 연결상태 확인	Spectral III 이용
하이퍼 전용 IMU 캘리브레이션	수평축, 수직축 캘리브레이션 실시	Spectral III 이용
Black 밸런스 점검	카메라 렌즈 덮개를 막고 Black 밸런스 점검	Spectral III 이용
White 밸런스 점검	카메라 렌즈를 풀고, 반사도 95% 순백지를 이용하여 점검 실시	Spectral III 이용



[표 2.1.44] 점검사항



(다) 분광 대역별 영상 DB 구축

① 전용 SW 통한 초분광 이미지 처리

초분광센서로부터 획득된 자료는 분석에 활용하기 위해 오차를 보정하는 전처리과정을 반드시 수행하여야 한다.



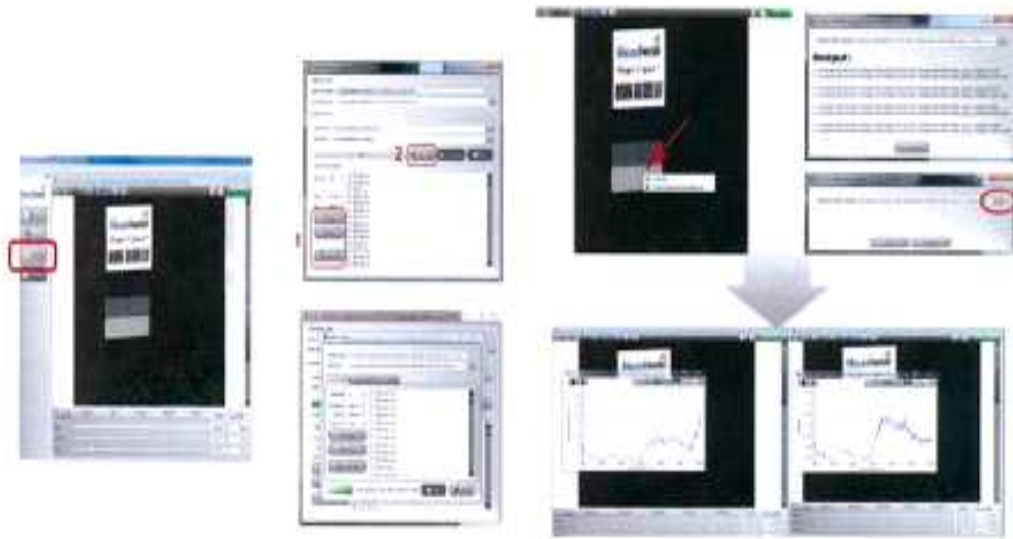
[그림 2.1.99] 초분광영상 전처리 과정

㉞ 방사보정

방사보정은 태양의 고도각, 탐측기의 응답 특성, 대기의 상태, 지형적 용인에 의한 영상의 밝기값 변화로 나타나는 왜곡을 보정하기 위해 실시하는 과정으로 현장에 방사량이 일정한 TRAF를 현장에 설치하여 방사보정을 실시하였다.



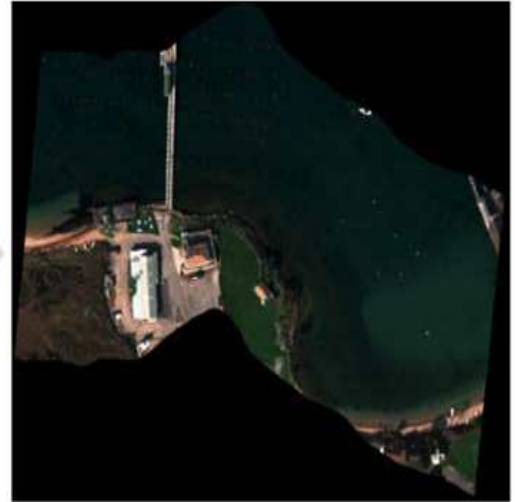
[그림 2.1.100] 방사보정을 위한 Traf 설치



[그림 2.1.101] 초분광 영상 방사보정

### ㊤ 기하보정

초분광 데이터를 취득 할 때 지구와 드론 기체 및 센서의 특징으로 인한 기기적 한계로 인해 초분광데이터 영상의 공간적 왜곡이 발생하게 되며 이를 기하오차라고 한다. 이런 기하오차를 보정하기 위해서 위성 영상의 픽셀좌표와 지상의 지리좌표를 대응하여 초분광 데이터영상을 적절한 실제 위치에 위치 할 수 있도록 프로세스를 진행해줘야 하는데 이를 기하보정이라고 한다.



[그림 2.1.102] 초분광 영상 기하보정

초분광 영상은 기하보정, 방사보정의 전처리 과정을 가진 후 다음과 같이 분광 대역별 영상 취득이 가능하다. 식생의 특성에 따라 파장대 650nm 이상부터 반사율 값이 높게 나타나는 걸 볼 수 있으며, 분광 대역별 영상을 통해 식생이 잘 자라는 시기에 특정 파장대(적외선, 625 nm)의 반사도 값이 낮게 나타나며, 반대로 식생상태가 불량할 때 특정 파장대의 반사도값은 높게 나타나는 것을 확인하였다. 따라서 분광 대역별 영상을 통해 작황상태를 판단할 수 있는 간접적 지표로 활용 가능할 것으로 판단된다.



[그림 2.1.103] 초분광 영상

[표 2.1.45] 드론 초분광 영상 성과 내역

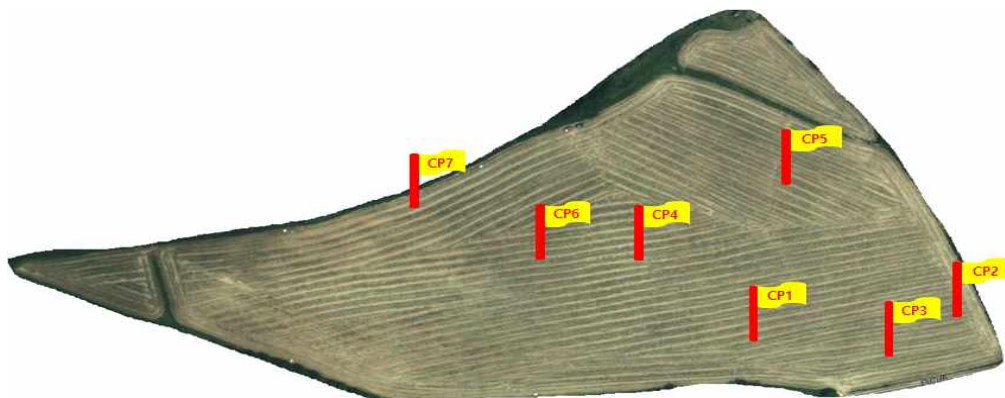
구분		촬영일시	촬영내용	용량
3차년도	월정리	06월 20일	Hyper	41.7 GB
		09월 03일	Hyper	79.4 GB
		09월 18일	Hyper	34.0 GB

## 나. 가뭄 우심지역에 대한 이기종 드론영상 융합 기술개발

드론 농업가뭄 모니터링 기술 적용성 판단을 위해 가뭄 우심지역을 대상지로 열화상과 NIR 센서 기반 드론 농업가뭄 모니터링 DB를 구축하였으며 측정 시점을 동기화한 토양수분을 측정하여 토양수분과 드론 농업가뭄 모니터링 DB와의 비교 분석하였다.

드론을 활용한 가뭄 모니터링 데이터와 토양수분의 상관성 분석을 위해 [그림 2.1.103]과 같이 토양수분값을 알고 있는 CP 7점의 온도 및 NDVI를 도출하여 [표 2.1.45]에 요약하였다. 선정된 CP에서 토양 온도가 높은 곳은 대체적으로 NDVI 지수가 낮은 경향성을 가지는 반비례 관계를 나타낸다. 이는 토양 온도가 높을수록 식생의 활력도가 떨어지는 것으로 온도가 식생 성장에 직접적인 영향을 미친다. 이러한 토양 온도 및 NDVI의 상관성을 통해 가뭄 예상지역으로 추정할 수 있다. 상기 취득한 가뭄 예상지역의 검증은 객관적인 지표인 토양의 수분 함수율을 기준으로 분석을 하였다. 그 결과 토양수분이 많이 함유된 지점에서는 NDVI가 높게 산정되며 토양수분값이 감소함에 따라 NDVI도 낮게 산출되는 것을 보아 토양의 수분 함수량이 식생에 직접적인 영향을 미치며, 이는 반대로 말해 NDVI를 근거로 토양 수분 즉 가뭄의 정도 파악이 가능할 것으로 사료된다.

본 과업을 통해 드론을 활용한 농업 가뭄 모니터링 체계 구축하여 드론 영상을 활용하여 밭 지역의 토양수분 및 가뭄상황을 파악할 수 있을 것으로 기대된다.



[그림 2.1.104]. Point of Soil Moisture and Drone Data(NDVI&Temperature)

[표 2.1.46]. Measurement Data of & Soil Moisture

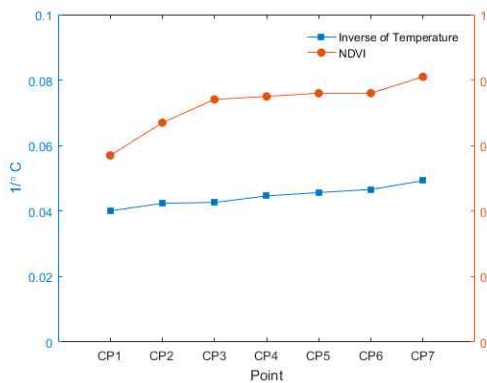
Point number	Temperature (°C)	NDVI	Soil moisture (%)
CP1	24.96	0.57	0.9
CP2	23.60	0.67	1.7
CP3	23.45	0.74	4.1
CP4	22.41	0.75	5.0
CP5	21.90	0.76	5.0
CP6	21.46	0.76	5.7
CP7	20.29	0.81	6.8

드론 농업모니터링 적용 가능성을 분석하기 위해 농작물의 작황현황을 알 수 있는 NDVI를 기준으로 토양의 온도와 실제 토양 수분과의 관계를 살펴보았다. 가장 먼저 드론 열화상센서를

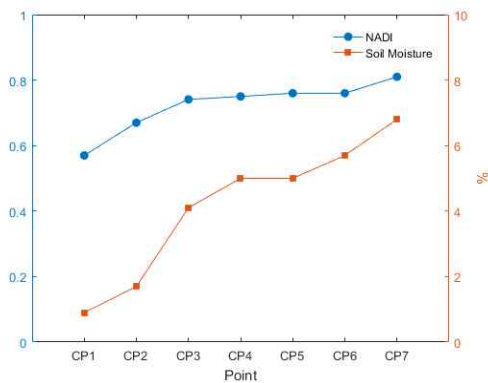
이용한 토양의 온도와 NIR센서를 이용한 NDVI 결과값을 비교분석하였다. 농업가뭄 현황을 파악하기 위해서는 토양의 실제 수분을 확인하는 것이 가장 확실한 방법이지만, 드론 열화상센서를 통한 상대적인 토양수분 파악을 위해 드론 열화상센서를 이용하여 토양 온도를 측정하였다. 측정된 토양온도는 농작물 NDVI와 상관관계가 있으며, 토양수분과도 일정 부분 상관관계가 있음을 확인하였다. 토양온도가 높아 질수록 NDVI값이 떨어지며 이는 농작물의 활력지수가 떨어짐을 확인하였다. 토양온도와 농작물 활력지수는 반비례 관계가 있으므로 이를 표현하기 위해 아래 그림에서는 토양 온도를 역수로 표현하여 상관관계를 표현하였다.

[그림 2.1.106]에서는 NIR센서에서 취득한 NDVI와 GS-1에서 취득한 토양 수분과의 상관관계를 나타낸 그림이다. 토양 수분이 풍부할수록 식생의 활력지수가 높아지는 현상을 드론 초분광센서를 이용하여 확인하였다. CP1~CP4까지 토양 수분이 증가한 구간에 대해서 NDVI 역시 다른 구간에 비해 가파른 상승세를 보임을 확인하였다. 또한 전체적인 경향에서 토양 수분이 증가함에 따라 NDVI 역시 증가함을 확인하였다.

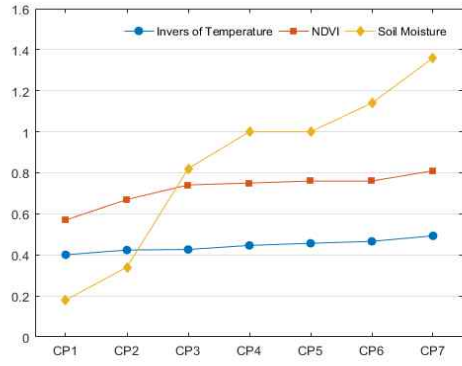
본 연구에서 제시하는 드론 농업 가뭄 모니터링은 원격탐사 기법을 적용한 간접적인 농업 가뭄을 파악을 목적으로 한다. [그림 2.1.107]에서는 토양온도, NDVI, 토양 수분과의 전체적인 경향을 도식화한 것이다. 토양 온도와 토양 수분과의 비교분석을 통한 결론은 토양온도가 높은 지점에서는 증산 효과에 따라 상대적으로 토양 수분이 낮음을 확인하였다. 이는 드론 열화상센서를 이용한 토양 온도 측정으로 실제 토양 수분을 간접적으로 측정가능함을 확인하였다. 다음으로 드론 NIR센서를 이용하여 NDVI를 산출한 결과 토양 수분과 상관관계가 있음을 확인하였다. 이는 드론 초분광센서에서 취득한 NDVI가 토양 수분과 상관관계가 있으며, 농업 가뭄 모니터링의 지표로 활용 가능함을 확인하였다.



[그림 2.1.105] Soil Temperature Vs NDVI



[그림 2.1.106]. NDVI Vs Soil Moisture



[그림 2.1.107]. Soil Temperature, NDVI and Soil Moisture

## 제2절 위성 및 드론영상 활용 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 영상처리기술 개발

### 1. 광역적(Global) RS 영상을 이용한 가뭄지역 분석 현황조사

NOAA(미국해양기상청)에서 발표한 20세기 최대 자연재해에는 4개의 가뭄 피해가 포함되어 있으며, 이는 대부분 아시아 지역에서 발생하였다. 가뭄은 매년 세계 수백만의 사람들에게 영향을 미치는 자연재해로서, NDMC(미국국립가뭄경감센터)에서 발표한 자료에 따르면 자연재해 피해 중 가뭄에 의한 피해가 가장 큰 것으로 나타났다. 이러한 가뭄은 지구온난화 및 기후변화 등으로 지속적으로 증가할 것으로 예상되어진다. 가뭄에 대한 예방책을 수립하기 위해서는 가뭄에 대한 정량적인 시·공간적 분석이 우선시 되어야 한다. 이는 가뭄의 특성 자체가 공간적인 측면을 가지고 있기 때문이며, 홍수와 비교해 보았을 때, 영향면적이 상대적으로 넓으며, 시간적으로도 장기간 영향을 미치기 때문이다. 이러한 가뭄에 대응하기 위하여 전세계적으로 가뭄을 정량화하기 위한 노력이 지속적으로 진행되어 왔으며, 다양한 가뭄지수(Drought Index)가 개발되었고, 다음과 같은 대표적인 가뭄지수가 있다.

- 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)
- 수문학적 가뭄지수 파머가뭄지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI)
- 지표수공급지수(Surface Water Supply Index, SWSI)
- 용수공급 가뭄지수(Water supply Drought Index, WADI)

이러한 가뭄지수들은 관측기반의 수문 및 기상자료 등을 활용한 지수로서 가뭄을 정량적으로 분석하는데 유효한 결과를 도출하였다. 각각의 지수가 가지는 장단점에 따라 활용될 경우 가뭄분석은 효과적인 것으로 분석되었지만, 다양한 가뭄지수들은 관측자료가 없는 지역에는 적용하기 어려운 시·공간적 한계점을 가지고 있다.

최근 2000년대 이후의 가뭄연구는 앞서 언급된 시·공간적 한계점을 극복하기 위하여 위성영상을 활용한 가뭄연구가 시작되어 다양한 연구가 현재까지도 진행중에 있다. 위성영상은 광범위한 지역에 대한 정보를 주기적으로 제공하여 보대 객관적인 분석이 가능한 시·공간적 장점을 가지고 있다. 국내에서는 천리안 위성을 통한 가뭄연구가 최근 진행되고 있으며, 국외에서는 MODIS 위성 관측센서가 탑재된 NASA의 Aqua/Terra 위성, AVHRR 센서가 탑재된 위성 등 다양한 위성 영상을 활용한 가뭄연구가 진행중이다.

본 연구에서는 드론을 이용한 가뭄지역 집중모니터링에 앞서 광역적 공간 측면에서 드론을 이용한 모니터링 대상지역을 탐색하기 위하여 광역적 RS영상을 이용한 가뭄지역분석에 관한 기술현황 및 연구사례를 조사하였다.

## 가. 광역적 위성영상을 활용한 가뭄분석 기술

전세계적으로 MODIS, AVHRR, Landsat TM/ETM+, RADARSAT SAR, HJ-1 등 다양한 위성영상을 이용한 가뭄연구가 있어왔으며, 최근 국내에서는 우리나라의 천리안위성자료를 이용한 가뭄모니터링 분석 연구가 진행되고 있다. 이와 같이 다양한 위성영상 중 가뭄을 공간적으로 파악하기 위하여 가장 많이 활용된 영상은 MODIS 와, AVHRR 센서에 의한 영상으로 나타났으며, 다양한 국내외 위성현황 및 제원, 특징 등을 조사한 내용은 다음과 같다.

### (1) 국내 위성영상현황

국내의 대표적인 위성으로는 아리랑위성과 천리안 위성이 있다. 아리랑 위성은 다목적 실용 위성으로 1999년 12월 최초로 발사되어 8년동안 임무를 수행하였다. 아리랑 2호, 3호를 거쳐 현재는 아리랑 7호(2021년 발사 목표)를 개발 중에 있다. 한편 정지궤도 위성인 천리안 위성은 현재 1호가 운영중이며, 천리안 2A, 2B는 현재 개발중이다. 각 위성별 특징 및 제원, 자료제공 형태는 다음과 같다.

#### (가) 아리랑위성(다목적실용위성)

아리랑위성 1호는 국내 최초의 지구관측용 다목적 실용위성으로, 지도제작, 국토조사, 재해조사, 해양관측, 과학실험 등 다양한 분야에 사용되었으며, 1999년 발사 이후 2008년 임무종료시 까지, 고도 685km 궤도에서 지구를 4만 3,000여 회 선회하며 약 47만 장의 위성영상을 촬영해 우리나라로 전송했다.

[표 2.2.1] 아리랑위성 1호 주요제원

제 원	내 용
개발기간	1995 ~ 1999년
크 기(cm)	253(H) × 134(D) × 690(L)
무 게(kg)	470
궤 도	고도(685km), 태양동기궤도, 궤도주기(98분), 재방문주기(28일)
탑재체	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EOC(전자광학 카메라): 지도제작, 국토조사, 재해조사(해상도 6.6m, 관측폭 17km)</li> <li>• LRC(저해상도 카메라): OSMI(해양지도제작, 해상도 1km, 관측폭 800km)</li> </ul>

※자료: 한국항공우주연구원(www.kari.re.kr)

아리랑위성 2호는 해상도 1m급의 전자광학카메라를 탑재한 지구관측위성으로 아리랑위성 1호에 비하여 상대적으로 높은 수준의 위성이었다. 발사 후 2015년 10월까지 9년간 성공적으로 임무를 수행한 뒤 연구용으로 전환됐다. 아리랑위성 2호는 고해상도 카메라를 이용하여 대규모 자연재해 감시, 각종 자원의 이용 실태 조사, 지리정보시스템, 지도제작 등과 같은 분야에서 활용되었으며, 국내 약 7만 5,400장, 해외 약 244만 8,300장의 영상을 확보해 국가 위성 영상 자산을 확대하는데 핵심적인 역할을 했다.



[표 2.2.2] 아리랑위성 1,2호 비교

제 원	아리랑 1호		아리랑 2호
	OSMI	EOC	
공간해상도	1km	6.6m	• 1m(pan) • 4m(mutli)
분광해상도	6band(0.4~0.9 $\mu$ m)	0.51~0.73 $\mu$ m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.50~0.90<math>\mu</math>m(pan)</li> <li>• 0.45~0.52<math>\mu</math>m(blue)</li> <li>• 0.52~0.60<math>\mu</math>m(green)</li> <li>• 0.63~0.69<math>\mu</math>m(red)</li> <li>• 0.76~0.90<math>\mu</math>m(near-infrared)</li> </ul>
방사해상도	11bit	8bit	10bit
관측폭	800km	17km	15km
궤도	Daily	28day	28day

※자료: 한국항공우주연구원(www.kari.re.kr)



[그림 2.2.117] 아리랑2호 영상을 이용한 아이티 재해지도

※자료: 한국항공우주연구원(www.kari.re.kr)

아리랑위성 3호는 해상도 70cm급의 전자광학카메라가 장착되어 국내 최초 서브미터급 해상도가 장착된 위성으로 2012년 발사되어 고도 685km에서 지구관측을 수행중에 있다. 아리랑 위성 5호는 국내 최초로 전천후 영상레이더(SAR, Sythetic Aperture Radar)가 탑재된 지구관측 위성으로 2013년 8월 발사되어 고도 550km에서 지구관측을 수행 중에 있다.

아리랑위성 5호는 하루 4번 한반도를 관측할 수 있으며, 전송된 영상정보는 공공안전, 재난·재해 예측, 국토관리, 환경감시 등에 활용된다. 이후 가장최근 발사된 아리랑위성 3A호는 공개된 위성으로는 세계최초로 중적외선 센서를 탑재한 위성으로, 광학영상도 미국에 이어 세계 2번째로 50cm이하의 영상을 제공하고 있다.

국내 기술로 개발된 다목적실용위성 3A호의 고해상도 전자광학카메라 AEISS-A(Advanced Earth Imaging Sensor System-A)는 국내 위성 중 최고 해상도인 50cm급 광학 촬영이 가능하며, 적외선 센서를 통해 야간이나 기상상황에 상관없이 지상의 열을 탐지해 화재, 화산활동, 도심 열섬현상 등을 관측할 수 있다.

선진국에 비하여 우주시장에 뒤늦게 뛰어든 우리나라는 짧은 기간 비약적인 발전을 이루었으며, 아리랑3호부터는 순수 국내기술로 개발을 하였다. 이중 선진국과 견주어 대등한 기술력 수준으로 올라선 것은 아리랑위성 3A호 부터이다. 현재 아리랑위성은 3호·5호·3A호가 상호 보완적으로 운용되며 국가 위성정보 활용 수요를 충족시키고 있으며, 위성 정보의 민간 활용과 위성산업 촉진을 위한 핵심기술 개발 등에 기여하고 있다. 이 외 영상레이더 성능을 향상시킨 아리랑위성 6호, 초정밀광학 및 적외선센서를 탑재하는 7호가 현재 2020년, 2021년 발사를 목표로 개발 중에 있다.

[표 2.2.3] 아리랑위성 비교(2호~3A호)

구분	아리랑 2호	아리랑 3호	아리랑 5호	아리랑 3A호
발사시기	2006. 07	2012. 05	2013. 08	2015. 03
제원	직경 2.0m 높이 2.8m	직경 2.0m 높이 3.0m	직경 2.6m 높이 3.9m	직경 2.0m 높이 3.8m
중량(kg)	800kg	980kg	1,315	1,100
궤도	고도 685km	고도 685km	고도 550km	고도 528km
공간해상도	1m	0.7m	1m	0.55m
특징	해상도 1m급 고해상도 MSC탑재	국내 최초 서브미터급 해상도카메라 탑재	국내 최초 전천후 영상레이더 탑재	50cm급 광학해상도 및 최초 적외선 센서 탑재

※자료: 한국항공우주연구원(www.kari.re.kr)

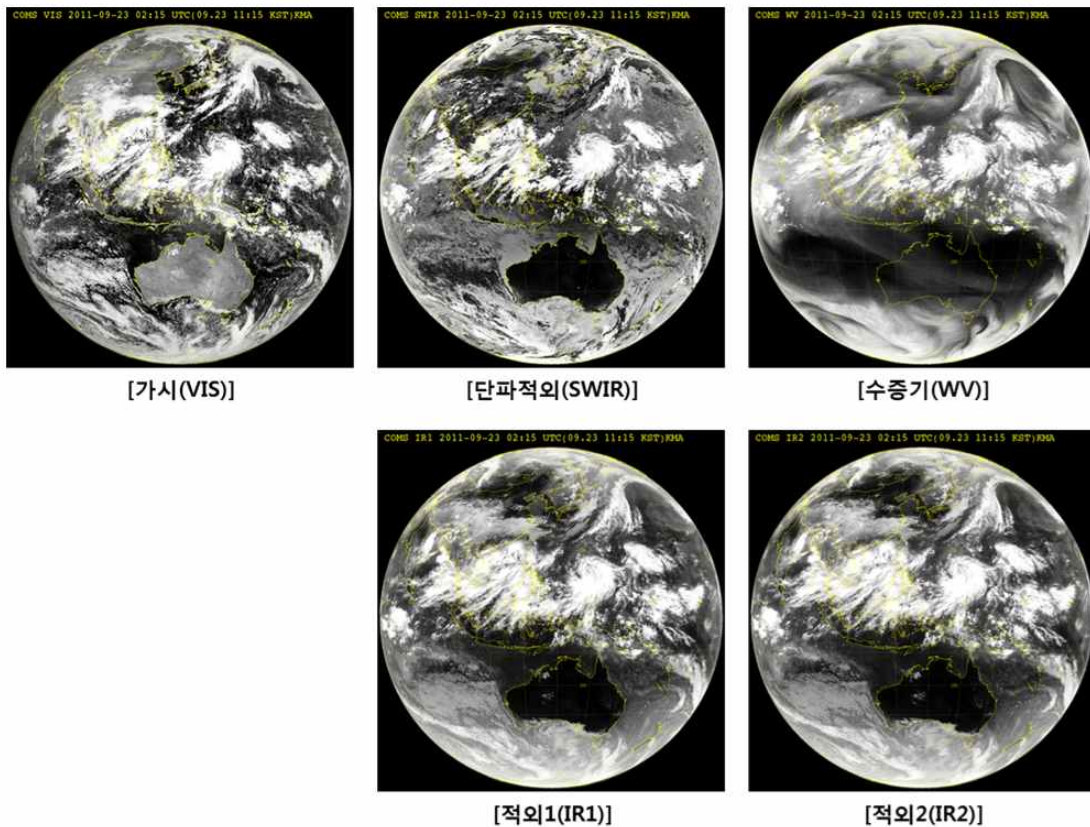
#### (나) 천리안위성(정지궤도위성)

정지궤도위성인 천리안위성(COMS)는 지구적도 상공 36,000km 고도, 동경 128.2도에 위치하여 기상관측, 해양관측 통신서비스 임무를 수행하는 우리나라 최초의 정지궤도 복합 위성이다. 천리안위성은 지구 자전속도와 같은 시속 1만1,000km의 속도로 지구를 선회할 수 있도록 설계되었으며, 지구의 한 방향을 넓게 바라볼 수 있어 기상관측이나 통신 중계 등에 주로 활용된다. 천리안위성은 고해상도의 다중채널을 이용하여 기상현상을 연속적으로 감시하고 기상요소를 산출 분석한다. 태풍, 집중호우, 황사 등의 기상현상을 조기에 탐지할 수 있으며, 장기간의 해수면 온도, 구름 자료를 통한 기후변화를 분석할 수 있다. 천리안위성에 탑재된 위성 기상센서(MI, Meteo Imager)는 15분 간격으로 자료가 생성되며, 해양관측 센서인 GOCI센서는 하루 8회 관측이 이루어진다. 아래표는 천리안위성에 탑재된 기상센서의 제원 및 특징이다.

[표 2.2.4] 천리안위성의 기상센서(MI) 제원 및 특징

채널	파장( $\mu\text{m}$ )	공간해상도(km)	활용분야
가시광선	0.67	1	주간 구름영상, 황사·산불·연무관측, 대기운동벡터
단파적외	3.7	4	야간안개 및 하층운, 산불감지, 지면온도 추출
수증기	6.7	4	중상층 대기 수증기량, 상층대기 운동과약
적외1	10.8	4	구름정보, 해수면온도, 황사관측
적외2	12.0	4	구름정보, 해수면온도, 황사관측

※자료: 국가위성센터(<http://nmsc.kma.go.kr>)



[그림 2.2.118] 천리안위성 기상영상기의 5채널 영상

※자료: 국가위성센터(<http://nmsc.kma.go.kr>)

천리안위성에서 획득된 자료는 국가기상위성센터의 기상자료처리시스템(CMDPS)에서 기상예보 및 수치예보 입력에 활용되는 16종류의 분석자료를 산출하고 있다. 기상자료처리시스템에서는 각각의 연구에 적합하게 관측범위를 영역별로 분류하여 제공한다.

[표 2.2.5] 기상자료처리시스템(CMDPS)제공 분석자료 내용 및 활용분야

분석자료	내용	활용
구름탐지	구름 유무 정보	날씨 및 수치예보
청천복사휘도	구름이 없는 지역의 복사량 추정	날씨 및 수치예보
대기운동벡터	수증기의 이동경로 추적	수치예보
해수면온도	바다의 표면온도	수치예보 및 기후감시, 해양
지표면온도	동아시아 지역의 지면온도	수치예보 및 기후감시
해빙/적설역탐지	극지방의 해빙과 눈이 쌓인 지역 추정	수치예보 및 기후감시, 황사예측
표면도달일사량	지면에 도달하는 태양에너지	농업기상, 기후연구
상층수증기량	대류권 상층부의 수증기량	수치예보 및 기후감시
가강수량	대류권이 수증기 총량	수치예보 및 기후감시
구름분석	구름형태 및 양, 구름입자의 특성 추정	수치예보 및 기후감시
운정온도 및 고도	구름 정상부의 높이 및 온도 추정	수치예보 및 기후감시
안개	하층운과 안개를 구분하여 안개 탐지	항공기상
강우강도	구름의 종류에 따른 강우강도	날씨 및 수치예보
지구방출복사	대기상한에서의 지구장과 복사량 추정	수치예보 및 기후감시
에어로솔탐지	대기 중에 떠있는 황사 관측	황사예보 및 환경감시
에어로솔광학두께	에어로솔에 의한 대기 혼탁정도 추정	황사예보, 환경감시 및 기후연구

※자료: 국가위성센터(<http://nmsc.kma.go.kr>)



[그림 2.2.119] 기상자료처리시스템(CMDPS) 개념

※자료: 국가위성센터(<http://nmsc.kma.go.kr>)

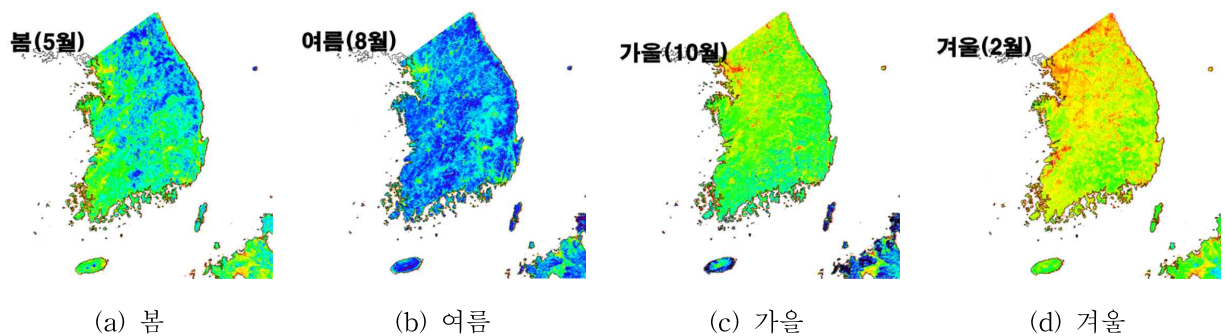
천리안 위성에 탑재된 해양관측센서 GOCI센서는 한반도 주변 해양생태계의 실시간 모니터링을 수행하고 있으며, 장·단기 해양환경 및 기후변화 모니터링, 연안/해양 환경 감시 및 자원 관리, 해양/수산 정보생산 등의 임무를 수행하고 있다. GOCI센서의 촬영영역은 2,500km×2,500km의 범위를 촬영할 수 있으며, 공간해상도는 500m×500m이다.

[표 2.2.6]은 천리안위성은 GOCI센서 채널 및 특징으로 B1~B8의 8개 채널은 황색물질과 탁도, 클로로필, 탁도, 부유물질, 형광신호, 대기보정, 에어로졸의 광학적 두께 등 다양한 분야 관측에 활용되고 있다. GOCI센서의 B8채널의 경우 식생지수를 관측할 수 있어, 최근 국내에서는 B8채널의 식생지수를 활용하여 NDVI를 산정하여 가뭄분석을 실시하고 있다.

[표 2.2.6] 천리안위성의 해양관측센서(GOCI) 채널 및 특징

채널	파장(nm)	파장대역폭(nm)	관 측 분 야
B1	412	20	황색물질과 탁도
B2	443	20	클로로필 흡광 최대치
B3	490	20	클로로필과 다른 색소
B4	555	20	탁도, 부유물질
B5	660	20	형광신호, 클로로필, 부유물질
B6	680	10	대기보정, 형광신호
B7	745	20	대기보정과 형광신호 산출에 사용
B8	865	40	에어로졸의 광학적 두께, 식생지수, 해상의 수증기량 계산에 활용

※자료: 인공위성 기반 가뭄대응 기술 개발(2014, 국립재난안전연구원)



[그림 2.2.120] 천리안위성영상을 이용한 NDVI 공간분포

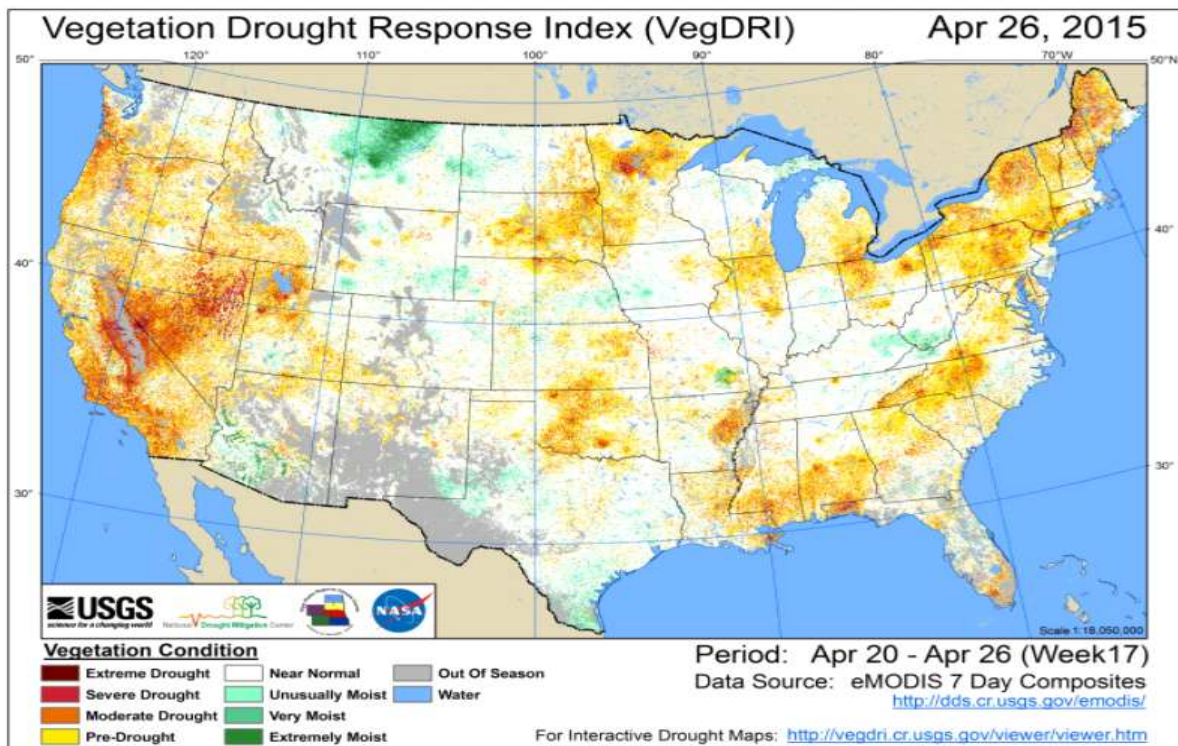
※자료: 인공위성 기반 가뭄대응 기술 개발(2014, 국립재난안전연구원)

(2) 국외 위성영상현황

국외의 경우 MODIS, AVHRR, Landsat TM/ETM+, RADARSAT SAR, HJ-1, AMSR-E 등 다양한 위성영상을 이용한 가뭄연구가 진행되었다. 이러한 위성영상 중 가뭄관련 연구가 가장 많이 진행된 위성영상은 MODIS, AVHRR 위성영상으로 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

(가) MODIS

MODIS(Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer)는 미국 항공 우주국(NASA)에서 지구감시계획(EOS, Earth Observation System)를 목표로 발사한 고 분해능 기상센서로, 1999년 12월 발사된 Terra위성과, 2002년 5월 발사된 Aqua위성에 탑재되어 해양, 표면온도, 구름, 수증기량 등을 관측하고 있다. MODIS를 탑재한 Terra위성은 경사각 98.3°로 한반도를 10시30분에 지나간다. Terra위성은 MODIS외에, ASTER, CERES, MISR, MOPITT 등 총 5개의 센서를 탑재하고 있다. 한편 MODIS를 탑재한 Aqua위성은 경사각 98°로 한반도를 오후 1시 30분에 지나가며, AIRS, AMSU, AMSR-E, CERES, HSB 등 총 6개의 센서를 장착하고 있다. 이 두위성은 모두 태양동기궤도 위성으로 고도 705km에서 자료를 획득하며, 밴드별로 250~1,000m의 공간해상도 자료를 제공한다. MODIS 센서는 0.405nm~14.385µm의 파장영역에서 총 36개의 밴드로 구성되어 있다. MODIS 자료는 모두 HDF\_EOS(Hierarchical Data Format)형태로 무료로 웹상에서 제공되며, HDF자료는 HDF 포맷을 지원하는 범용 영상처리소프트웨어를 사용 자료를 확인할 수 있다. Terra위성의 MODIS센서 에서 획득된 자료는 MOD의 약자가 붙으며, Aqua위성의 MODIS센서 에서 획득된 자료는 MYD로 표현된다.



[그림 2.2.121] MODIS 영상을 이용한 가뭄지도 작성 사례

※ 자료: USGS Monitoring Vegetation Drought Stress (www.usgs.gov/land-resources/eros/droughtstress)

(나) AMSR-E 및 AMSR2

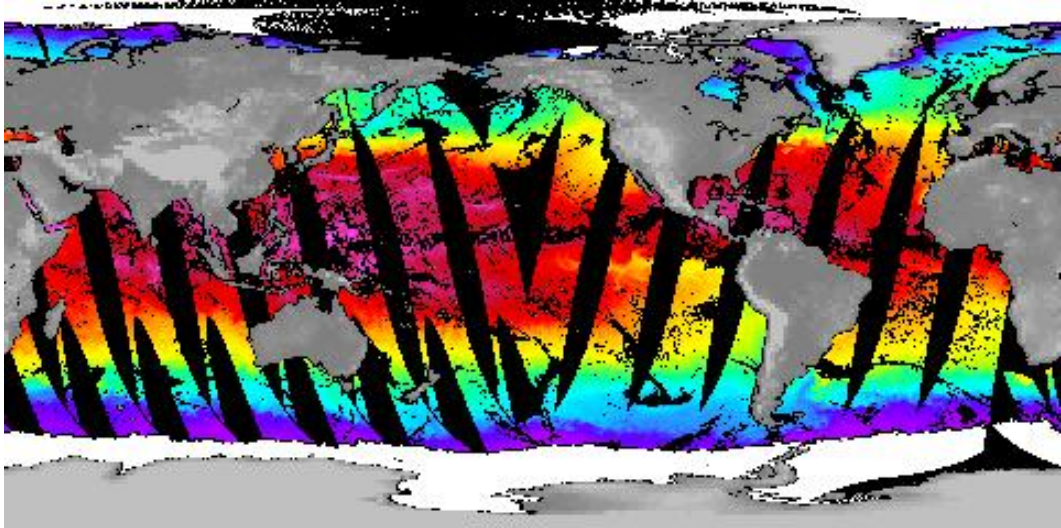
AMSR-E(Advanced Microwave Scanning Radiometer E)는 MODIS가 탑재된 Aqua 위성  
의 토란 센서로 6개의 다른 주파수 채널을 통해 관측을 수행한다. AMSR-E에서 제공하는 데  
이터는 밝기온도, 지표 토양수분, 누적 강우, SWE(Snow Water Equivalent)등이 있다. 다양한  
식생 피복조건에서 토양수분을 측정하기에 매우 유용하며, 토양수분을 이용한 가뭄분석에 활용  
될 수 있다. [표 2.2.9]는 AMSR-E 센서의 특성이다.

[표 2.2.7] AMSR-E 센서 특징

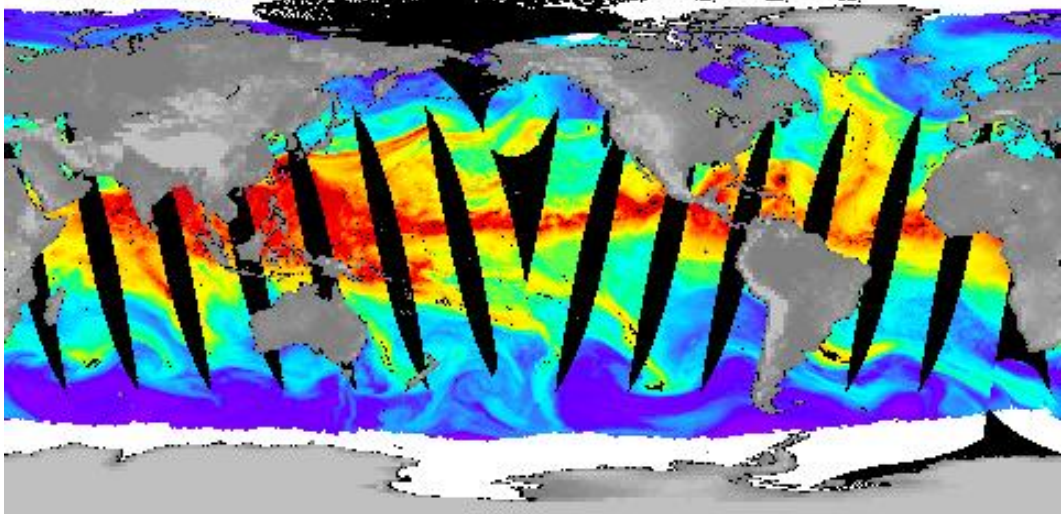
Item	Characteristics					
Polarization	Horizontal and Vertical					
Incidence angle	55°					
Cross-polarization	Less than -20dB					
Swath	1445km					
Dynamic Range(K)	2.7 to 340					
Precision	1K					
Quantifying Bit Number	12bit	10-bit				
Center Frequency(GHz)	6.925	10.65	18.7	23.8	36.5	89.0
Bandwidth(MHz)	350	100	200	400	1000	3000
Sensitivity(K)	0.3	0.6				1.1
Mean Spatial Resolution(km)	56	38	21	24	12	5.4
IFOW(km)	74×43	51×30	27×16	31×18	14×8	6×4
Sampling Interval(km)	10×10					5×5
Intergration Time(msec)	2.6					1.3
Main Beam Efficiency(%)	95.3	95.0	96.3	96.4	95.3	96.0
Beamwidth(degrees)	2.2	1.4	0.8	0.9	0.4	0.18

※자료: NASA DAAC NSIDC, nsidc.org/data/amsre

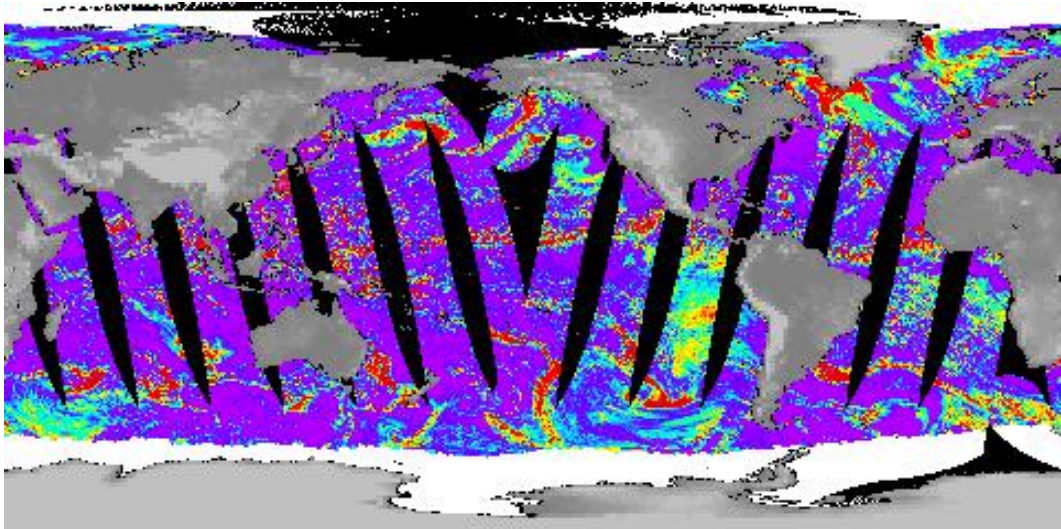
AMSR2는 AMSR-E센서의 한계점을 극복하기 위하여 개선이 이루어진 센서로, 기존  
6.9GHz 채널의 단점을 극복한 7.3GHz채널이 추가된 센서이다. 이러한 센서의 발전으로 보다  
향상된 밝기 온도 관측이 가능하게 되었으며, 토양수분과 식생관측의 정확도가 증가되었다.



(a) Sea Surface Temperature(°C)



(b) Atmospheric Water Vapor (mm)



(c) Cloud Liquid Water (mm)

[그림 2.2.122] AMSR2 제공 위성영상

※ 자료: EMDC RSS, [images.remss.com/amsr/amsr2\\_data\\_daily.html](http://images.remss.com/amsr/amsr2_data_daily.html)



(다) AVHRR

AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)센서는 미국의 연구기관인 USGS에서 운영하는 NOAA 위성에 탑재된 센서이다. 2000년대 이후 자료가 있는 MODIS보다 이른 1970년대 후반부터 자료가 축적되어 있으며 현재까지도 운영 중에 있다. NOAA AVHRR은 태양 동기궤도위성으로 경사각 98°, 고도 840km, 관측폭 2,400km로 MODIS와 유사하나 공간해상도 1.1km로 MODIS보다 낮은 해상도를 제공하고 있으며, 온라인을 통하여 자료를 제공 받을 수 있다. NOAA AVHRR은 1978년 TIROS-N 위성이 최초로 발사되어 1980년 까지 운영되었으며, 그 이후 NOAA-6, 7 NOAA-7을 거쳐 NOAA-19, Metop-B에 이르기까지 총 16개의 위성이 발사되었으며 현재는 5기가 운영중에 있다. AVHRR은 총 5개의 밴드로 구성되어 있으며, 0.58~12.50 $\mu$ m의 분광해상도를 가지고 있다.

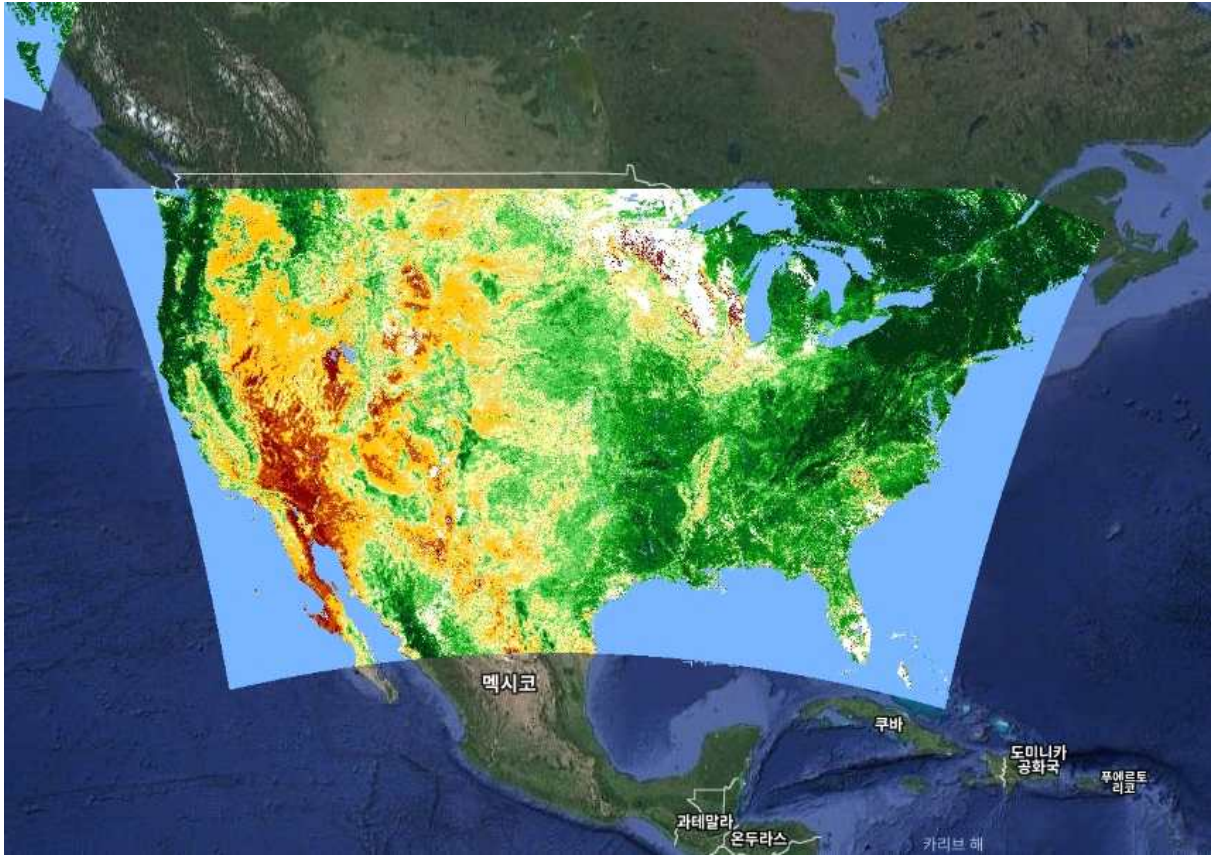
[표 2.2.8 ] NOAA 밴드별 분광해상도

구분	1	2	3A	3B	4	5
분광해상도( $\mu$ m)	0.58 ~0.68	0.725 ~1.00	1.58 ~1.64	3.55 ~3.93	10.30 ~11.30	11.50 ~12.50

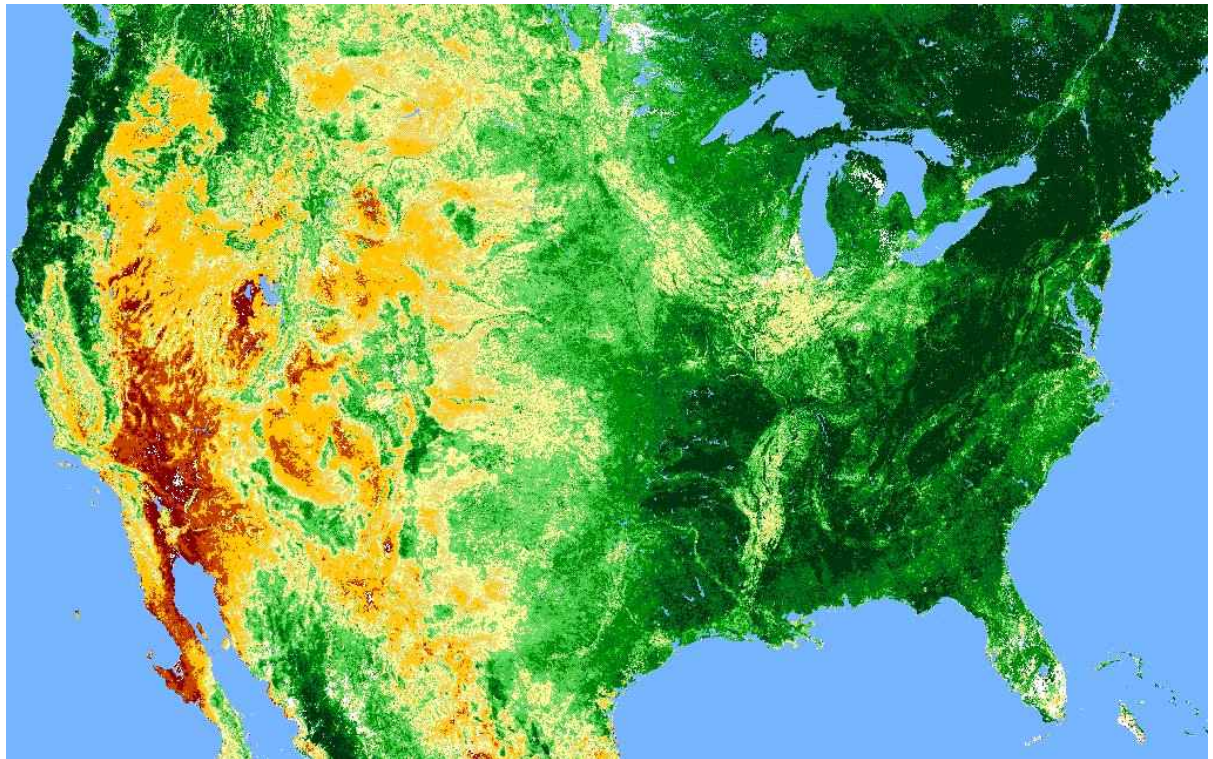
[표 2.2.9 ] NOAA위성 운영 현황

구분	위성명	발사일	서비스시작일	서비스종료일
1	TIROS-N	1978.10.13	1978.11.05	1980.01.30
2	NOAA-6	1979.06.27	1979.06.30	1983.03.04
3	NOAA-7	1981.06.23	1981.08.24	1985.02.01
4	NOAA-8	1983.03.28	1983.05.04	1985.10.14
5	NOAA-9	1984.12.12	1985.02.25	1988.11.07
6	NOAA-10	1986.09.17	1986.11.17	1991.09.16
7	NOAA-11	1988.09.24	1988.11.08	1994.12.31
8	NOAA-12	1991.05.14	1991.09.16	1998.12.20
9	NOAA-14	1994.12.30	1995.01.01	2002.10.15
10	NOAA-15	1998.05.13	1998.10.26 2001.01.29	2000.11.27 운영중
11	NOAA-16	2000.09.21	2000.12.18	2006.05.14
12	NOAA-17	2002.06.24	2002.08.24	2004.10.13
13	NOAA-18	2005.05.20	2005.05.17	운영중
14	NOAA-19	2002.06.09	2009.04.14	운영중
15	Metop-A	2006.10.19	2007.05.21	운영중
16	Metop-B	2012.09.17	2013.01.15	운영중

※자료: NOAA AVHRR, [www.class.noaa.gov/release/data\\_available/avhrr/index.htm](http://www.class.noaa.gov/release/data_available/avhrr/index.htm)



(a) AVHRR Composites 제공화면



(b) AVHRR Composite(2016/09/20~2016/09/26)

[그림 2.2.123] AVHRR 제공 위성영상

※자료: earthexplorer.usgs.gov

## 나. 광역적 위성영상을 및 가뭄지수를 활용한 가뭄분석 사례

광역적 위성영상을 활용한 가뭄분석 사례에 대하여 조사한 결과, 식생지수(Vegetation Index)를 기반으로 하는 가뭄분석 연구가 다양하게 수행되었으며, 이 결과들을 대표적인 가뭄지수 산정결과와 비교 평가하는 사례를 찾아볼 수 있다. 식생지수와 가뭄지수에 관련된 사항들을 다음과 같이 정리하였다.

### (1) 식생지수(Vegetation Index)

식생지수(Vegetation Index)는 단위가 없는 복사값으로 식물의 양과 반비례를 나타내는 적색광 영역의 엽록소 흡수현상과 식물의 양과 비례 관계를 나타내는 근적외선 영역에서의 잎의 산란효과를 기초로 위성영상의 밴드조합을 통해 계산된다. 식생지수는 식생의 시공간적 변화탐지를 효과적으로 수행할 수 있는 도구로 지구 기후 감시와 생물권의 상호작용 모델링 및 천연자원 관리, 농업작물 감시 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며(Huete et al., 1999) 최근 식생지수의 변화를 분석하여 가뭄을 추정하는 다양한 연구가 수행중이다. 식생지수는 식물 분광반사율의 특징을 살려서 위성 데이터의 밴드를 조합하여 간단한 연산에 의해 식생의 특성을 추출하는 지수로 여러 연구자들에 의해 다양한 공식이 개발되어 제안되었으며, 이중 가장 많이 활용되고 있는 식생지수는 Rouse 등(1974)이 제안한 정규화 식생지수(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)가 있다. NDVI는 작물의 파장대별 분광반사특성 조사를 위해 가시광대의 빨강(Red)파장과 근적외선 파장을 선택 조합하여 사용하고 있다. NDVI를 이용한 가뭄평가는 식생활력의 변화를 기상요소의 변화에 따른 영향으로 한정하여 동일한 위치와 시기에서의 픽셀값의 변화를 통해 가뭄을 판별한다.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

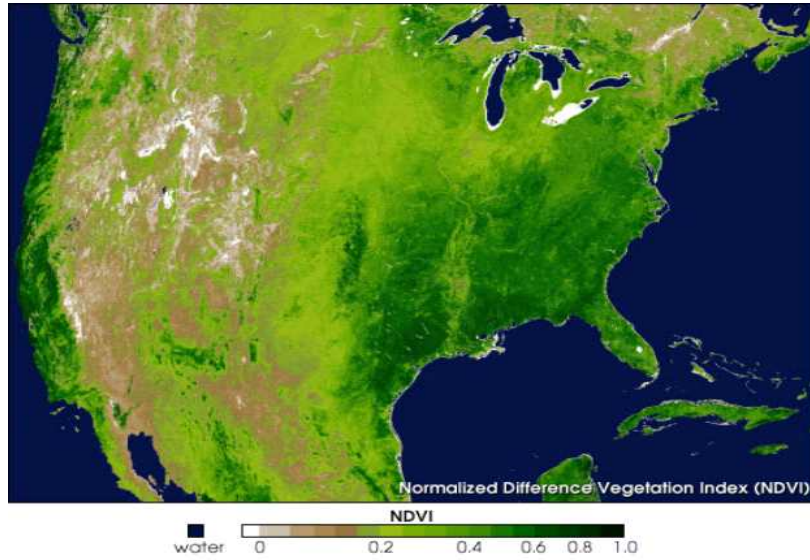
$\rho_{NIR}$  : 근적외선 밴드의 분광반사도

$\rho_{RED}$  : 적외선 밴드의 분광반사도

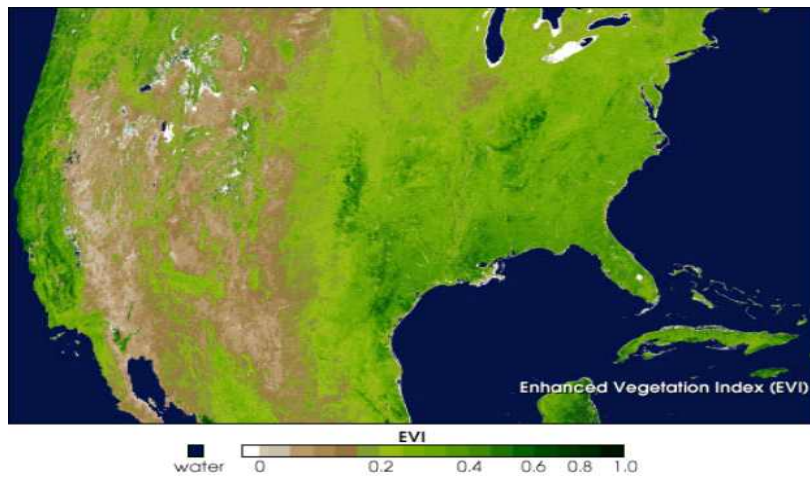
EVI(Enhanced Vegetation Index)지수는 생체량이 많은 지역에서 식물의 신호값을 효과적으로 파악하기 위해 개발되었으며 NDVI와 함께 널리 사용되고 있는 대표적인 식생지수 이다. 청색광, 적색광, 근적외선을 함께 사용하여 대기효과 보정상수, 토양효과 보정상수, 에어로졸 제거를 위한 유효계수 등을 사용하여 식물의 반사값에 영향을 주는 토양의 배경효과와 대기영향을 감소시켜 향상된 식생 모니터링을 가능하게 한다(Liu and Huete, 1995). NDVI와 EVI는 모두 -1에서 1 사이의 값을 가지며 식생의 활력도 및 농작물 생산량 추정 등에 효과적으로 사용되어진다. 양수의 값은 식생지역을 나타내며, 음수의 값은 물, 얼음, 눈, 구름 등 식생이 없는 지역을 나타낸다.

$$EVI = 2.5 \left( \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{L + \rho_{NIR} + C_1 \rho_{RED} - C_2 \rho_{BLUE}} \right)$$

L: Canopy 조정계수, C1, C2: 에어로졸 보정계수



(a) NDVI



(b) EVI

[그림 2.2.124] MODIS NDVI와 EVI

## (2) 가뭄지수개요

가뭄의 정량적인 평가를 위한 대표적인 가뭄지수로는 표준강수지수(SPI), 파머가뭄지수(PDSI), 강수평년비(PN), 유효가뭄지수(EDI), 수문학적가뭄지수(MSWSI), 저수지공급지수(WADI), 표준강수증발산지수(SPEI), 토양수분지수(SMI)등이 있으며, 각 가뭄지수의 세부내용을 다음과 같이 정리할 수 있다.

### (가) 표준강수지수(SPI)

가뭄지수 중 기상과 직접적으로 관련있는 가뭄지수는 표준강수지수, 파머가뭄지수, 강수년 평년비, 유효가뭄지수 등 4가지 가뭄지수가 있으며 이중 가장 널리 활용되고 있는 지수는 표준강수지수(SPI)이다. 표준강수지수(SPI)는 수개월의 기간에 대한 강수량에 적정 확률분포형을 선정하여 강수 부족량을 표현한 지수로 산출기간에 따라 SPI1, SPI3, SPI6, SPI12 등으로 표현한다. 표준강수지수(SPI)는 단기간의 농업분야와 장기간의 수문분야에 모두 적용 가능한 대표적인 기상학적 가뭄지수로 1993년 Mckee, Doesken & Kleist에 의하여 개발되었으며, 가뭄은 강수량의 부족에서 시작된다는 것에 착안하여 가뭄빈도를 산정하였다.

일반적으로 표준강수지수를 산정할때에는 누적강수량의 확률분포를 추정하는 과정이 필요하며, 일반적으로 Gamma 분포, Pearson Type 3(PE3)를 많이 활용한다. 표준강수지수는 다양한 시간간격에 대하여 산정이 가능하며 가뭄을 초기에 인지 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 더불어 많은 선행연구를 통하여 표준강수지수는 가뭄분야에 활용성이 높은 것으로 평가되었으며, WMO(세계기상기구)의 공식 기상학적 가뭄판단 지수로 현재 활용되고 있다. 하지만, 표준강수지수의 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해서는 30년 이상의 장기간의 강수자료를 필요로 한다. 표준강수지수(SPI)의 개략적인 산정방법은 다음과 같다.

- ① 기상자료(강수량)수집: 최소 30년이상
- ② 산출한 표준강수지수(SPI)의 시간척도를 결정: SPI1, SPI3, SPI6, SPI12 등  
ex) 30일(1개월), 90일(3개월), 180일(6개월), 360일(12개월)
- ③ 결정한 시간척도에 대하여 일자별 이동 누적시계열 365세트를 구성
- ④ 각 세트별 연별 이동누적시계열을 작성하여 Xmmdd 시계열을 구축

ex) 시간척도 1개월(30일인 경우)

- 1월 1일의 시계열 X0101(30일전 ~ 1월1일 누적강수량)  
: x01011986, x01011987, x01011988 …… x01012015, x01012016, x01012017
- 1월 2일의 시계열 X0101(30일전 ~ 1월2일 누적강수량)  
: x01021986, x01021987, x01021988 …… x01022015, x01022016, x01022017
- 12월 30일의 시계열 X0101(30일전 ~ 12월30일 누적강수량)  
: x12301986, x12301987, x12301988 …… x12302015, x12302016, x12302017
- 12월 31일의 시계열 X0101(30일전 ~ 1월2일 누적강수량)  
: x12311986, x12311987, x12311988 …… x12312015, x12312016, x12312017

- ⑤ 각 일자에 따라 구성된 365개의 시계열에 적합한 365개의 확률분포 추정

ex) Gamma distribution, Pearson Type 3 등  
- Gamma distribution

$$F_s(x) = \frac{1}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} x^{\beta-1} e^{-(x/\alpha)}$$

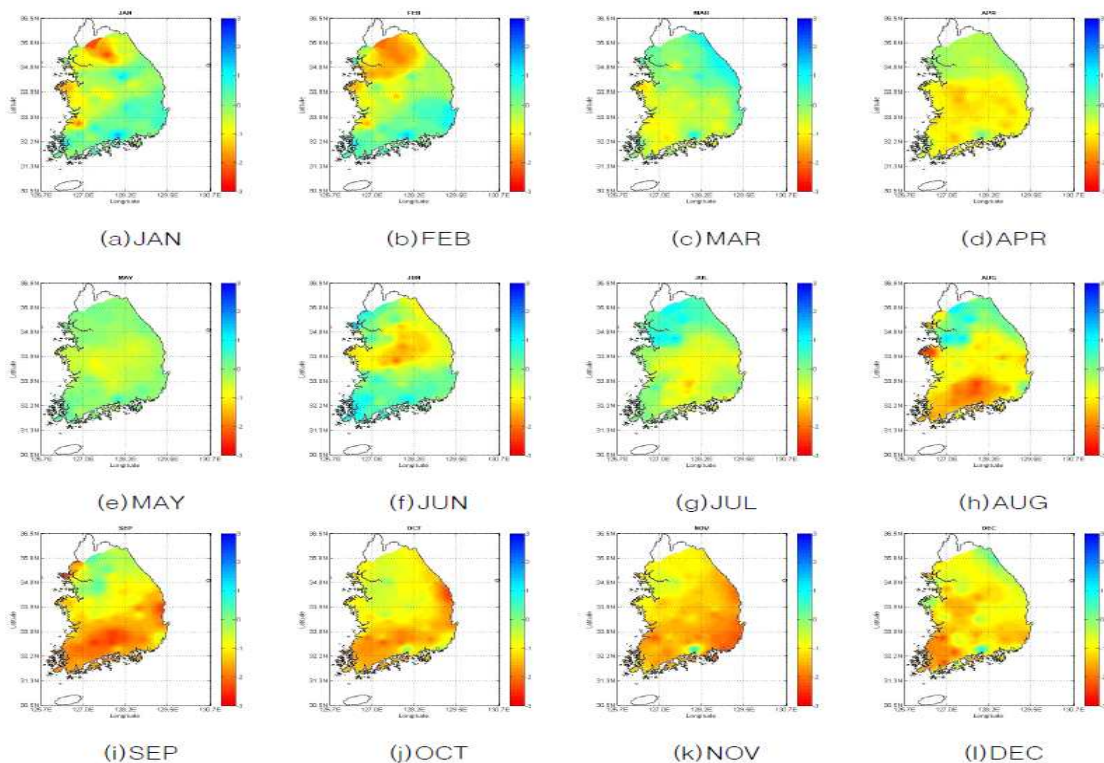
$\alpha$  : shape parameter,  $\beta$ : scale parameter

- ⑥ 각 이동누적시계열 Xmmdd를 추정된 확률분포에 따라 누적확률값으로 변환
- ⑦ 변환된 누적확률값에 대한 표준정규분포의 Z(SPI)값을 산출

SPI 지수에 따른 가뭄심도 분류는 SPI가 2이상인 경우 극심한 습윤(Extremely wet), -0.99~+0.99인 경우 정상상태(Near normal), -2이하인 경우 극심한 가뭄(Extremely drought)로 구분하며, 세부 분류는 아래 표와 같다.

[표 2.2.10] SPI 지수별 가뭄심도 분류

SPI	Condition
$\geq 2.00$	극심한 습윤(Extremely wet)
+1.50 ~ +1.99	심한 습윤(Very wet)
+1.00 ~ +1.49	보통 습윤(Moderate wet)
-0.99 ~ +0.99	정상 상태(Near normal)
-1.49 ~ -1.00	보통 가뭄(Moderate drought)
-1.99 ~ -1.50	심한 가뭄(Severely drought)
$\leq -2.00$	극심한 가뭄(Extreme drought)



[그림 2.2.15] SPI 산정예시(김광섭, 2010)

(나) 파머가뭄지수(PDSI)

파머가뭄지수(PDSI, Palmer Drought Severity Index)는 표준강우지수(PSI)와 더불어 전세계적으로 가장 널리 활용되고 있는 가뭄지수로 1965년 Palmer에 의하여 개발되었다. 파머가뭄지수는 기후적으로 필요한 강수량과 실제 강수량의 비교를 통해 가뭄을 정량적으로 판단하는 지수로 강수량 및 기온 자료를 이용하여 산정한다.

PDSI는 농업분야와 같이 토양수분조건에 민감한 분야에 효과적인 것으로 알려져 있다. 하지만 산악지형이나 빈번하게 이상기후가 나타나는 지역에는 적용하기 어려운 단점을 가지고 있으며, 지수 산정시 미국지역의 특성을 반영한 계수를 사용하여 국내 적용시 계수에 대한 조정이 필요하다. 더불어 파머가뭄지수는 지수산정시 입력자료의 차이에 따라 PDSI 값이 달라지게 된다. 즉, PDSI 산정에 입력된 기상자료(강수량 및 기온)의 입력기간과 관측소 개수에 따라 PDSI 값이 달라지게 된다. 이러한 이유로 국내에서 PDSI 지수를 제공하는 3개 기관의 PDSI를 살펴보면 SPI와는 달리 기관별 산정지수가 다른 것을 확인할 수 있다(배덕호 등, 2013). PDSI는 크게 수분수지 해석과 가뭄지수 산정으로 나눌 수 있으며, 주요 입력자료는 월별 강수량과 기온, 위도별 일조시간, 보정계수, 상부 및 하부토층의 토양유효용량 등이 있으며, 개략적인 산정절차는 다음과 같다.

- ① 기상자료(강수량, 기온)자료 수집
- ② 물수지모형(water budget model)이용 실제 및 잠재성분산출
  - 증발산량, 수분함양량, 유출량, 수분손실량
  - Thornthwaite(1942) 월열지수법 등으로 잠재증발산량 산정
- ③ 정상상태 기후조건 유지를 위한 필요한 CAFEC 강수량 산정
  - CAFEC 강수량 : 정상상태 기후조건 유지를 위한 강수량

$$\bar{P} = \alpha_i PE + \beta_i PR + \gamma_i PRO - \delta_i PL$$

$\bar{P}$ : CAFEC 강수량	PR : 잠재함양량
PE : 잠재증발산량	PL : 잠재손실량
PRO : 잠재유출량	$\gamma$ : 유출량계수
$\alpha$ : 증발산량계수	$\delta$ : 손실량계수
$\beta$ : 함양량계수	I : 1,2,3 ... 12월

- 잠재성분과 실제성분의 비율을 계산하여 4개의 성분에 대한 계수 산정
- 물수지모형으로 계산된 월별 잠재성분을 대입하여 CAPEC 강수량 산정

- ④ CAFEC 강수량과 실제 발생한 강수량을 비교하여 수분편차 산정

$$d = P - \bar{P}$$

$$= P - (\alpha_i PE + \beta_i PR + \gamma_i PRO - \delta_i PL)$$

P : 실제강수량	d : 수분편차
-----------	----------

⑤ PDSI 산정공식에 의해 결과 도출

- 매개변수 a, b는 이전 월의 상황과 현재수분상황의 영향정도를 의미하는 매개변수
- Palmer 제시값 : a = 0.897, b = 0.333

$$X_i = aX_{i-1} + bZ_i$$

X : 파머가뭄지수                      Z : 수분이상지수

⑥ 기후특성인자를 이용한 시간, 지역 편차 보정후 PDSI 결정

- 수분편차의 지역적 보정을 위한 기후특성인자(K)의 경험계수 c
- Palmer 제시값 : c = 17.67

$$Z_i = K_i d$$

$$K_i = \frac{cK'_i}{\sum_{j=0}^{12} D_j K_j}$$

$$K'_i = 1.5 \log \left[ \frac{T_i + 2.8}{D_i} \right] + 0.5$$

$$T_i = \left( \frac{\overline{PE}_i + \overline{R}_i + \overline{RO}_i}{\overline{P}_i + \overline{L}_i} \right)$$

$K_i$  : 기후특성인자

$K'$  : 기후특성인자의 중간추정치

$D_i$  : 수분편차(d) 절대값의 월별평균

$T_i$  : 수분요구량과 수분공급량의 비

$R$  : 실제함양량,

$RO$  : 실제유출량

$L$  : 실제손실량

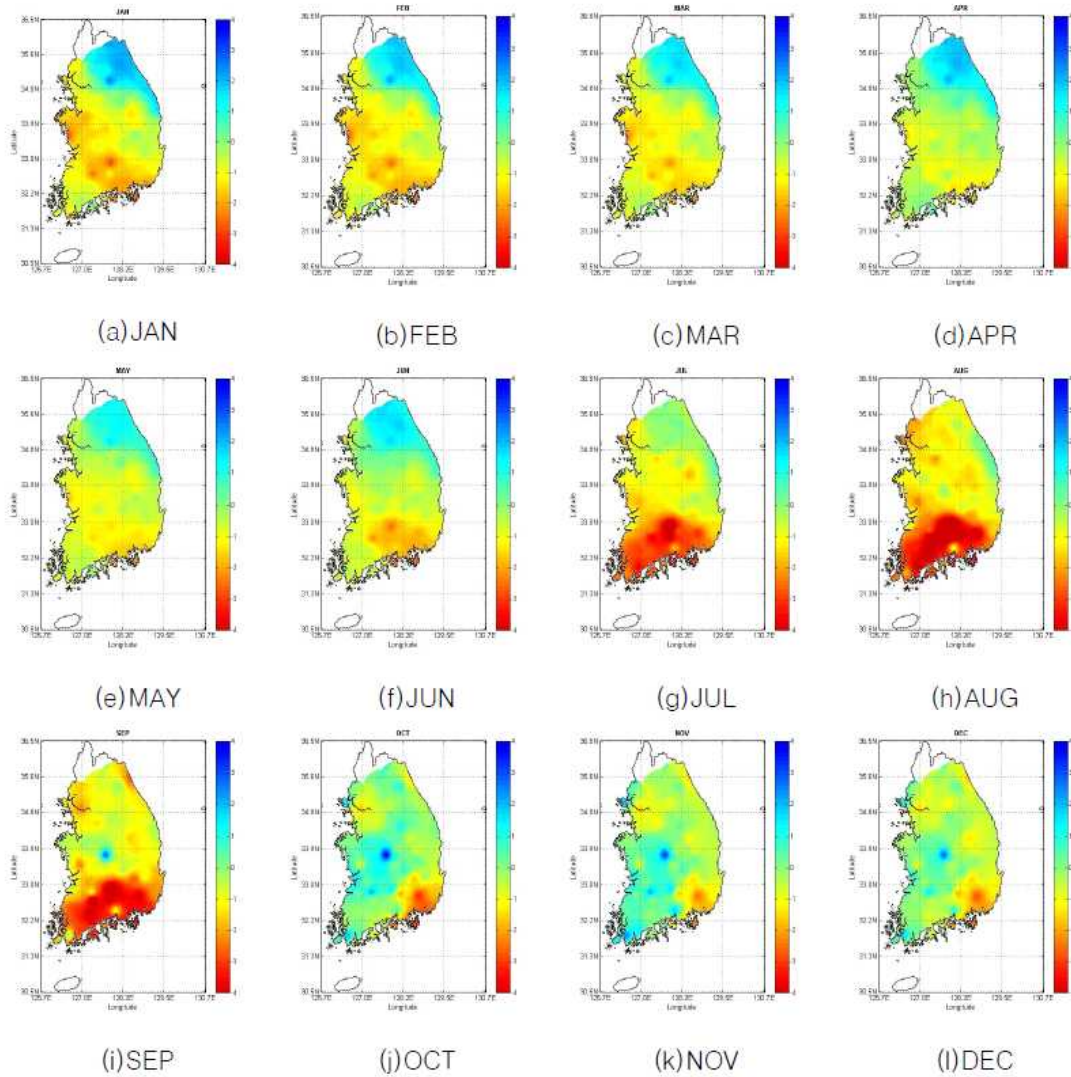
d : 수분편차



PDSI 지수에 따른 가뭄심도 분류는 4.00이상인 경우 극심한 습윤으로, -4.00 이하인 경우 극심한 가뭄으로 나뉘며 구간별 세부심도는 아래표와 같다.

[표 2.2.11] PDSI 지수별 가뭄심도 분류

SPI	Condition
$\geq 4.00$	극심한 습윤(Extremely wet)
+3.00 ~ +3.99	심한 습윤(Very wet)
+2.00 ~ +2.99	보통 습윤(Moderate wet)
+1.00 ~ +1.99	약한 습윤(Slightly wet)
+0.50 ~ +0.99	습윤기간 시작(Incipient wet)
-0.49 ~ +0.49	정상 상태(Near normal)
-0.99 ~ -0.50	가뭄기간 시작(Incipient drought)
-1.99 ~ -1.00	약한 가뭄(Mild drought)
-2.99 ~ -2.00	보통 가뭄(Moderate drought)
-3.99 ~ -3.00	심한 가뭄(Severely drought)
$\leq -4.00$	극심한 가뭄(Extreme drought)



[그림 2.2.126] PDSI 산정예시(김광섭, 2010)

**(다) 유효가뭄지수(EDI)**

유효가뭄지수(EDI, Effective Drought Index)는 기존의 다른 가뭄지수들과는 달리 일단위의 가뭄을 평가할 수 있도록 1999년 Byun&Wilhite에 의해서 제안된 가뭄평가지수이다. 장기와 단기가뭄을 모두 판단할 수 있는 장점이 있으며, 갈수로 인한 수자원을 시간에 따른 손실을 감안하여 1년 이상기간동안 누적하여 이를 평년치와 비교하는 방법으로 가뭄강도를 산출한다. 유효가뭄지수는 가뭄의 지속된 기간과 매일의 강도변화를 객관적이고 정밀한 수치로 제시가능하고, 가뭄의 시작과 끝을 알 수 있어 가뭄기간 정의가 가능하다. 하지만 여름철 강수량이 적으면 가뭄을 과도하게 감지하는 단점도 가지고 있다. 유효가뭄지수의 개략적인 산정절차는 아래와 같다.

- ① 기상자료(강수량)자료 수집
- ② 특정일로부터 365일 누적 유효강수량 산정 및 EDI 산정
  - 특정일로부터의 누적유효강수량(EP) 산정
  - EP의 30개년 평균(MEP) 및 편차(DEP) 산정을 통한 EDI 산정

$$EP_i = \sum_{n=1}^i \left[ \left( \sum_{m=1}^n P_m \right) / n \right]$$

$$DEP = EP - MEP$$

$$EDI = DEP / SD(DEP)$$

$P_m$  : 특정일로부터의 m일전의 일 강수량

EP : 특정일로부터 365일동안의 누적 유효강수량

MEP : EP의 30년 평균

DEP : EP의 편차

i : 365

[표 2.2.12] EDI 지수별 가뭄심도 분류

EDI	Condition
<-0.7	보통가뭄 (ModerateDrought)
<-1.5	심한가뭄 (SevereDrought)
<-2.5	극한가뭄 (ExtremeDrought)

**(라) 강수평년비(PN)**

강수평년비(PN)은 어느 기간동안의 누적 강수량값에 대한 평년값의 비를 나타내며 일반적으로 백분율로 나타낸다. 평년값은 1971~2000년, 1981~2010년 등과 같이 고정된 30년간의 평균값을 기후표준평년값이라 한다. 강수평년비(PN)은 강수량자료만을 이용하므로 계산방법이 가장 단순하며, 수개월 및 수년 기간 등 다양한 시간간격에 대하여 계산이 가능한 장점이 있다. 이러한 강수평년비는 강수량의 기간으로만 산정한 비율로 단일지역이나 단일계절에 대해 적용할 수 있으며, 다른 지역과는 비교가 불가능하다.

[표 2.2.13] PN 지수별 가뭄심도 분류

단계	PN	가뭄상황
매우가뭄	< 55	• 작물손실, 광범위한 naf 부족, 제한급수 고려
가뭄	55 ~ 80	• 작물에 다소 피해 발생, 물 부족 시작, 자발적 절수 요구
정상	80 ~ 110	• 식물 성장에 필요한 정도로 강수가 충분함
습함	> 110	• 충분한 강수로 인해 가뭄상황 없음

**(마) 수문학적가뭄지수(MSWSI)**

기상학적 가뭄지수인 SPI, PDSI는 기상자료를 중심으로 가뭄을 평가하여 지표 수문량에 영향을 받는 수문학적 가뭄평가에 어려움이 있다. 수문학적인 관점에서의 가뭄은 기상학적인 관점의 가뭄과는 달리 강우량의 부족으로 인한 유역의 토양수분 감소로 하천유량 및 저수량 등의 결핍상태, 즉 기 확보된 가용 수자원의 부족현상을 말한다.

즉, 수문학적가뭄지수는 하천, 지하수, 저수지 등 수문학적 인자들을 사용하여 가뭄 정도를 판단하는 지수이다. Shafer & Dezman은 1982년 용설량, 저류량, 하천유량, 강수량을 입력인자로 하여 가뭄을 평가하는 수문학적가뭄지수인 SWSI(Surface Water Supply Index)지수를 개발하였다.

이를 기반으로 국내에서는 복잡한 지형조건과 다양한 물공급 특성을 반영하여 SWSI를 보완한 MSWSI(Modified SWSI)를 개발하였다(권형중 등, 2006). 앞서 설명하였듯이 MSWSI는 수문학적 가뭄평가를 위해서 강수량, 댐저수위, 하천수위 및 지하수위(하천 인근 지점)의 변동 특성도 고려하여 가뭄평가를 시도한 지수로 우리나라 수자원단위지도의 표준유역단위로 유역별 수문학적 가뭄지수를 산정할 수 있어, 전국의 수문학적 가뭄상황을 한눈에 파악할 수 있는 장점이 있지만, 가중치 산정에 있어 애매함이 존재하며 변수들의 특성상 중복 계산되는 단점을 가지고 있다.

$$MSWSI = \frac{a \times PN_{pcp} + b \times PN_{sf} + c \times PN_{rs} + d \times PN_{gw} - 50}{12}$$

PN: 비초과확률

a, b, c, d: 각 수문인자의 가중계수 (\*a+b+c+d=1)

pcp: 강수인자, sf: 하천유출인자, rs: 댐유입량인자, gw: 지하수위인자

**(바) 저수지공급지수(WADI)**

WADI(Water Supply Drought Index) 실제 용수공급에 따른 가뭄을 정의하기 위해 개발된 가뭄지수로 수리시설물별 표준화를 통하여 산정된다. 전국의 수리시설물 및 하천을 유량 및 댐 및 저수지 등 실제 사용하고 있는 용수공급 시설물의 공급 능력을 고려하여 2011년 개발(박민지 등, 2011)된 신규 가뭄지수이다.

WADI의 입력정보는 전국 용수공급 수리시설물인 취수원(다목적댐, 용수전용댐, 하천), 지하수, 농업용 저수지, 하천유량의 현황자료이며, 시설물의 수자원 확보량에 따라 다르게 나타날 수 있는 가뭄상황의 한계를 극복하기위해 전국 취수원의 용수공급까지 고려하고 있다.

**(사) 표준강수증발산지수(SPEI)**

표준강수 증발산지수(SPEI, Standardized Precipitation Evaporation Index)는 SPI와 PDSI의 단점을 상호보완한 가뭄지수로서 강수량과 기온의 변화를 반영한 증발산량의 변동성을 고려할 수 있는 장점이 있으며, 가뭄의 양상을 분리할 수 있는 가뭄지수이다. SPEI는 월단위로 계산되며 강수와 PET차이를 나타내는 지수이다. PET 계산은 월평균 기온 자료를 이용하여 구하며, 계산식은 다음과 같다.

$$PET = 16K \left( \frac{10T}{I} \right)^m$$

T: 월평균기온, I: 열지수(heat index)

SPEI는 임의의 월(i)에서 강수와 산정된 PET의 차이로 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$D_i = P_i - PET_i$$

**(아) 토양수분지수(SMI)**

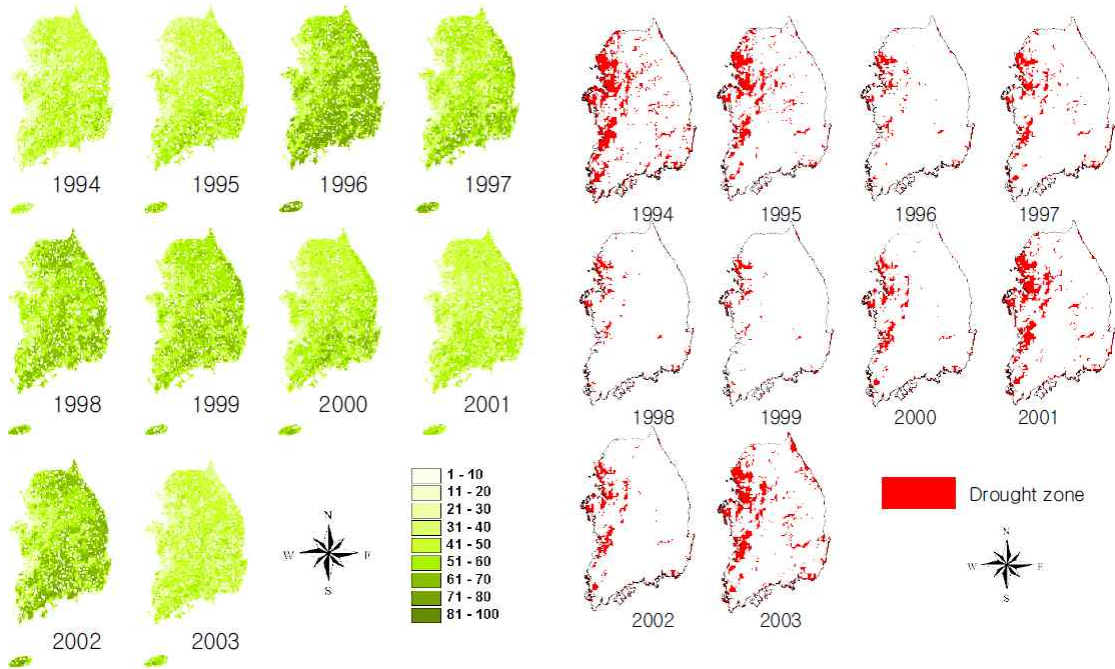
토양수분지수는 농업적 가뭄의 평가에 효과적인 지표로 토양수분 물수지 모형과 Runs이론을 이용하여 산정한다. 토양수분 물수지 모형은 기상자료(강수량, 기온, 습도, 풍속 등)와 포장요수량, 위조점, 유효토층 등의 토양물리적 특성을 사용하여 토양내에서 물의 유입 및 유출량을 나타내는 물수지식으로부터 각 토양별 토양수분을 추정할 수 있도록 개발되었다. 유효호수분은 유효토층내에서 포장 용수량에서 위조점까지의 이용가능한 총 수분량을 의미하며, 가뭄의 시작은 유효수분이 50%이하로 내려가는 시점으로, 가뭄의 종료는 강우에 의해 충분한 수분이 공급되어 유효수분이 50%이상일 때로 정의한다.

**(3) 주요연구사례**

신사철 등(2003)은 우리나라의 가뭄 발생지역 판별을 위한 식생지수(NDVI)의 적용성에 대하여 연구를 수행했다. NOAA 위성에 탑재되어 있는 AVHRR 센서로부터 얻은 NDVI자료를 이용하여 식생상태지수(VCI, Vegetation Condition Index)를 산정 가뭄 분석을 실시한 결과, VCI 지수는 가뭄으로부터 기인된 식생 스트레스를 파악하는데 유용하게 이용될 수 있음을 알 수 있었으며, 가뭄의 시·공간적 특성파악에 위성자료가 유용하게 이용될 수 있음을 제시하였다.

김경탁 등(2004)은 AVHRR의 NDVI 자료를 활용 VCI지수를 산정하였으며, VCI를 이용 기상변화에 따른 식생활력도를 정량적으로 파악하여 광역적 규모의 가뭄현상을 평가하였으며, 낮은 식생활력도를 분석하여 가뭄 발생지역에 대한 분석역시 실시하였다.

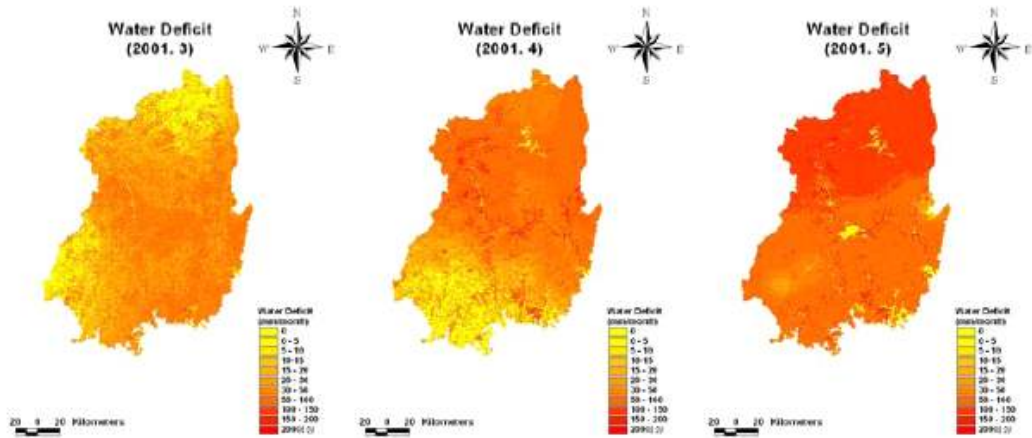
박정술 등(2005)은 MODIS 식생지수를 이용하여 경안천 상류유역을 대상으로 2000년 2001년 봄가뭄을 대상으로 가뭄심도를 판별하였으며, 식생지수와 누적강우량과의 상관분석을 통해 가뭄탐지를 위한 MODIS 식생지수의 활용가능성을 모색하였다. MODIS 식생지수를 토지피복에 따라 누적강우량과 비교한 결과, 누적강우량은 가뭄 심도를 판단할 수 있는 도구이며 가뭄지속 기간에 따라 식생지수는 누적강우량과 높은 상관성을 갖고 있음을 확인하였으며, 장기간의 자료가 축적된다면 보다 효과적인 분석결과를 얻을 수 있을것이라고 제안하였다.



[그림 2.2.127] VCI 지도(좌) 및 실제 가뭄발생지역(우) 비교

신수현(2005)은 다중시기 정규식생지수를 이용한 가뭄지수의 한반도 적용성에 대한 연구를 수행하였다. 한반도를 대상으로 다중시기 AVHRR NDVI를 사용하여 가뭄모니터링을 시도하였으며, PDSI, SPI 등 대표적인 가뭄지수와 상관관계를 분석하여 NDVI를 이용한 가뭄지수의 활용성을 분석하였다. 분석결과 PDSI, SPI에서 나타나는 가뭄시기보다 NDVI를 이용한 분석에서는 1~2개월정도 늦게 가뭄이 탐지되었으며, 이는 기상학적 가뭄과 그 영향으로 토양수분이 감소하여 나타나는 식생가뭄과는 시기적 차이가 있기 때문이다.

신사철 등(2006)은 증발산량과 식생지수(NDVI)과 밀접한 상관성이 있는 점에 착안하여 MODIS 영상으로부터 얻어진 NDVI와 기상자료중 기온자료를 이용하여 증발산량을 산정하였으며, 산정된 증발산량과 기후학적 물수지 모형에 의해 부족수분량을 산정하였다. 산정된 부족수분량은 물부족심도를 파악하였으며, 이러한 연구결과는 가뭄 분석에 있어 위성영상이 활용될 수 있음을 보여주었다.

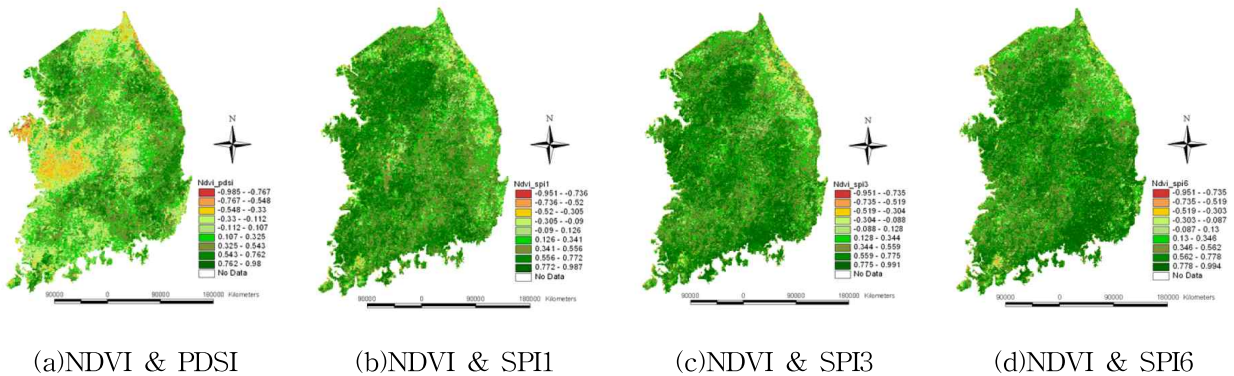


[그림 2.2.128] 물부족심도 분포도

박정술 등(2009)은 가뭄모니터링을 위하여 MODIS NDVI의 활용성 평가 연구를 수행하였다. MODIS NDVI를 이용하여 기상학적 가뭄지수인 PDSI, SPI와 비교하여 이들간의 상관성 분석을 실시하였다. 2000년~2007년을 대상으로 한 연구결과 NDVI는 물 부족에 의한 SPI의 변화를 효과적으로 반영하는 것으로 나타났으며, SPI-6와 가장높은 상관성을 나타내는 것으로 분석되었다.

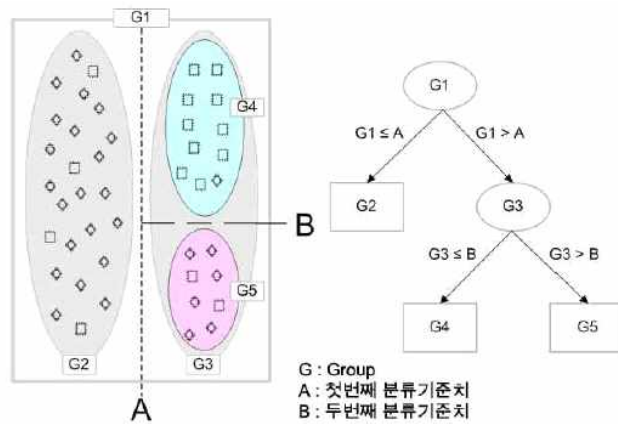
[표 2.2.14] 다중시기 식생지수와 가뭄지수를 이용한 상관계수 맵의 평균

2000~2007	NDVI & PDSI	NDVI & SPI1	NDVI & SPI3	NDVI & SPI6
상관계수 맵평균	0.19	0.47	0.50	0.52

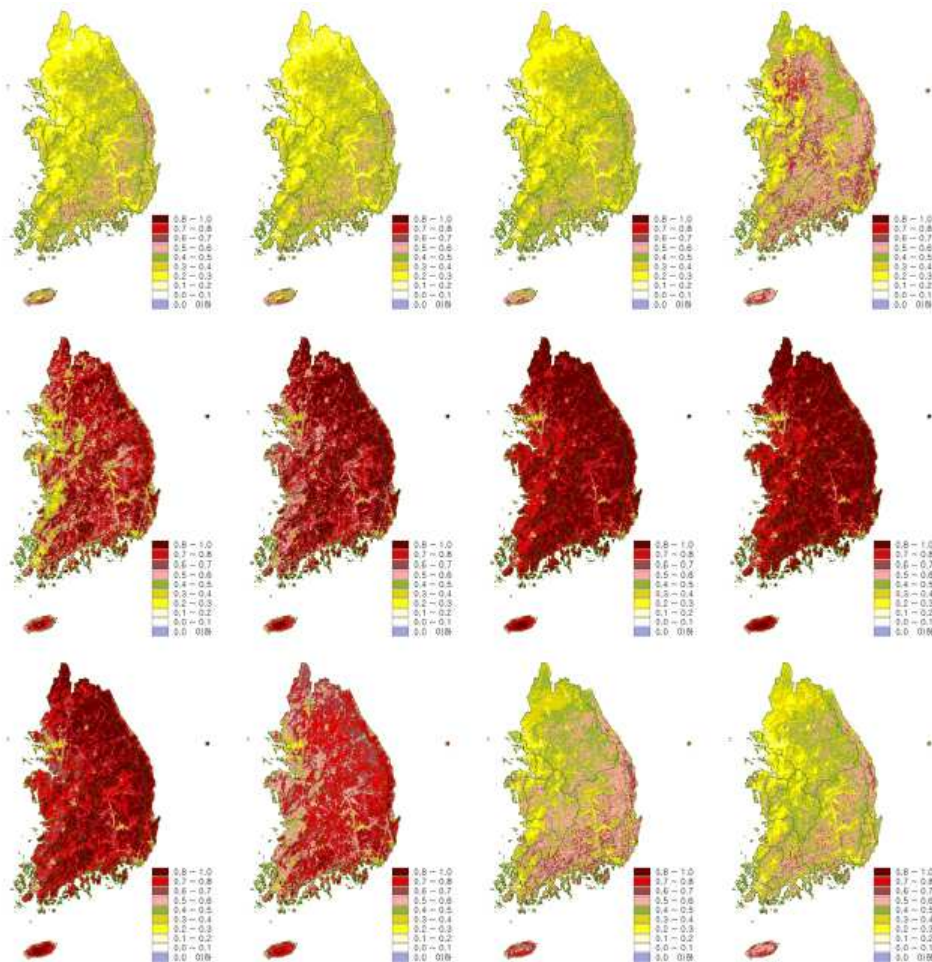


[그림 2.2.129] 다중시기 식생지수와 가뭄지수를 이용한 상관계수 맵

김광섭 등(2010)은 데이터마이닝 기법인 CART기법과 MODIS NDVI, MODIS LST, 토지피복, 강우량, 평균기온 및 지상관측망 자료로부터 산정한 표준강수지수(SPI) 및 파머가뭄지수(PDSI)자료를 이용하여 기존 가뭄지수보다 향상된 공간해상도를 가진 가뭄지수를 산정하였다. 데이터마이닝 기법을 활용한 상세 가뭄정보 생산은 가뭄 현황파악과 예측개선에도움을 줄 것으로 분석하였다.



[그림 2.2.130] Classification prinipal of CART

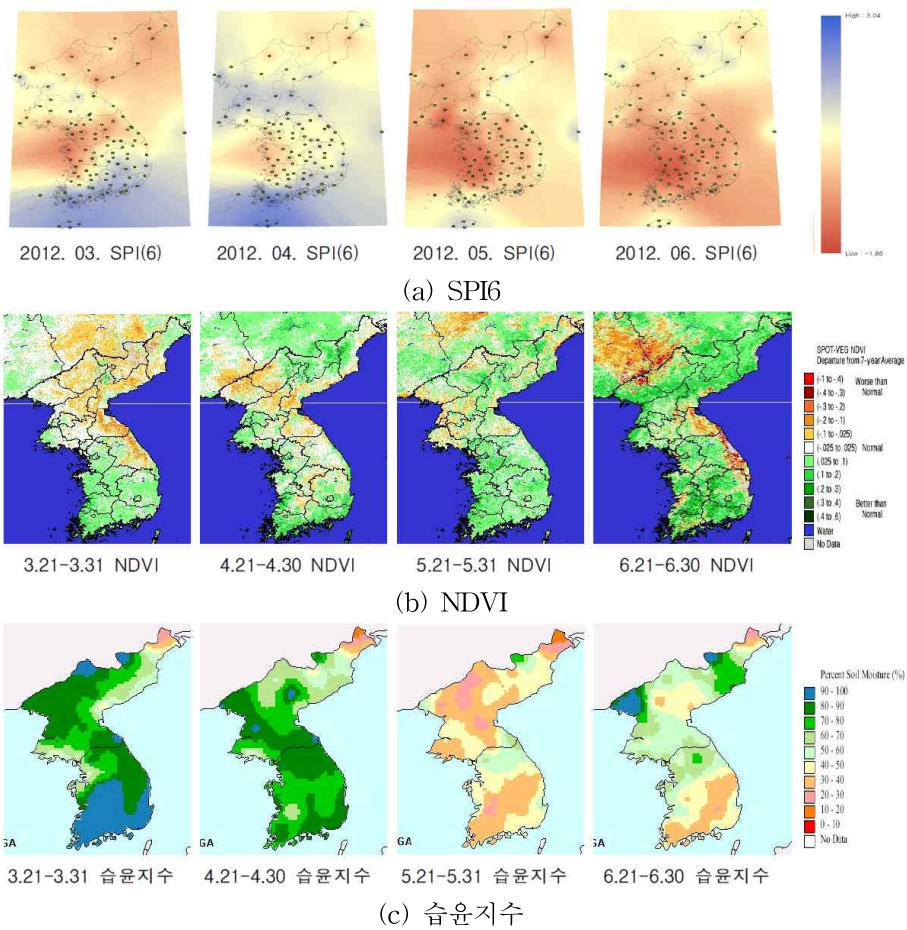


[그림 2.2.131] 남한지역 월별 NDVI(2008년)

김호성 등(2010)은 현재 및 미래 기후에서의 가뭄심도-영향면적-지속기간 곡선의 비교를 통하여 극한 가뭄 사상에 대한 기후변화의 영향을 분석하였다. 가뭄심도는 표준강수지수(SPI)를 이용하여 산출하였으며, 강수량은 기상청에서 지역기후모형에서 제공하는 자료를 활용하였다. 분석 결과, 농업가뭄에 대한 위험성은 특히 단기간의 지속기간의 경우에 현재보다 심화될 수 있는 것으로 분석되었으며, 수문학적 가뭄의 경우는 가뭄지속기간에 상관없이 모두 현재보다는 미래에 가뭄심도가 더 깊어질 가능성이 있는 것으로 예측되었다.

은정(2012)는 최근가뭄연구에 많이 활용되는 식생지수인 MODIS NDVI와 AVHRR NDVI의 연계방법에 대하여 연구를 수행하였다. 높은 공간해상도의 장점을 보유한 MODIS NDVI와 장기간 자료를 보유하고 있는 AVHRR NDVI의 장점을 연계하여 장기간 한반도 NDVI 시계열 영상을 활용할 수 있는 연계방법을 제안하였다.

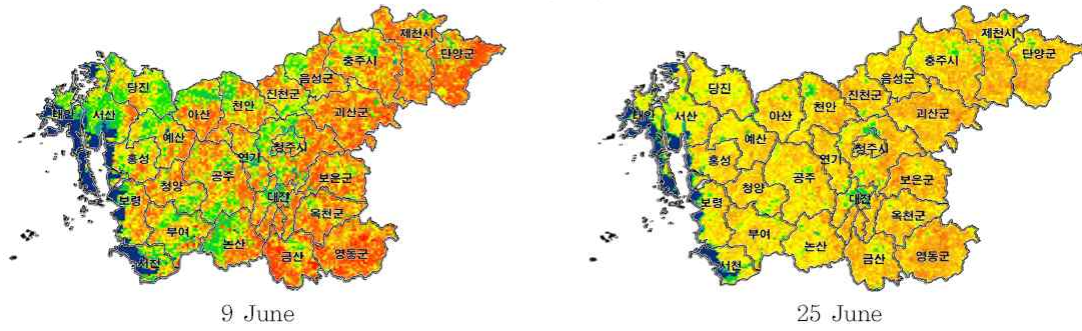
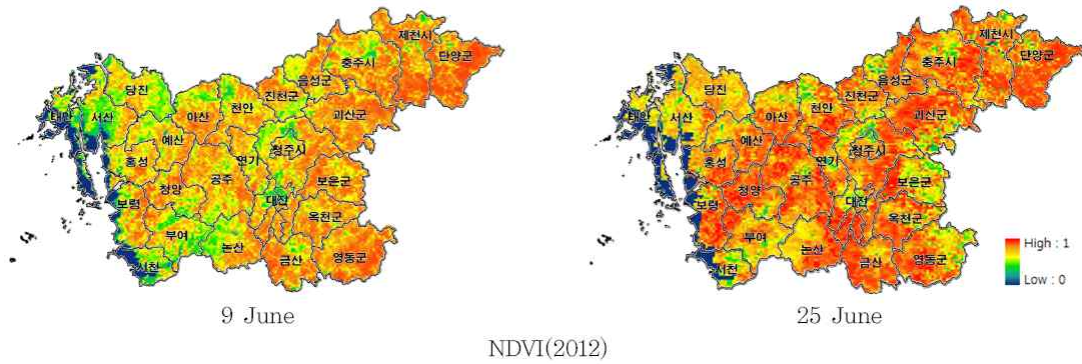
김민석 등(2012)는 표준강수지수(SPI)와 위성영상을 활용한 한반도 가뭄의 공간특성에 대하여 분석을 실시하여, 남한지역과 더불어 위성영상을 활용한 북한지역의 가뭄재해 모니터링 가능성을 분석하였다. 강수량 자료를 활용한 SPI3, SPI6의 경우 강우부족에 의한 가뭄을 공간적으로 잘 표현하는 것으로 나타났지만, 위성영상자료로부터 추출된 NDVI 및 습윤지수의 경우 자료의 획득이 어려운 지역에 대한 피해범위를 살펴보는 데는 유용하나 단독으로 가뭄상황을 판단하는 자료로 활용되기엔 다소 무리가 있다고 판단하였다.



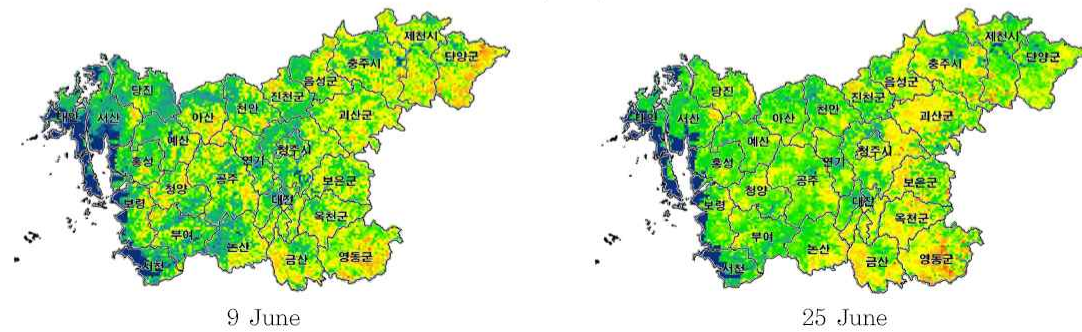
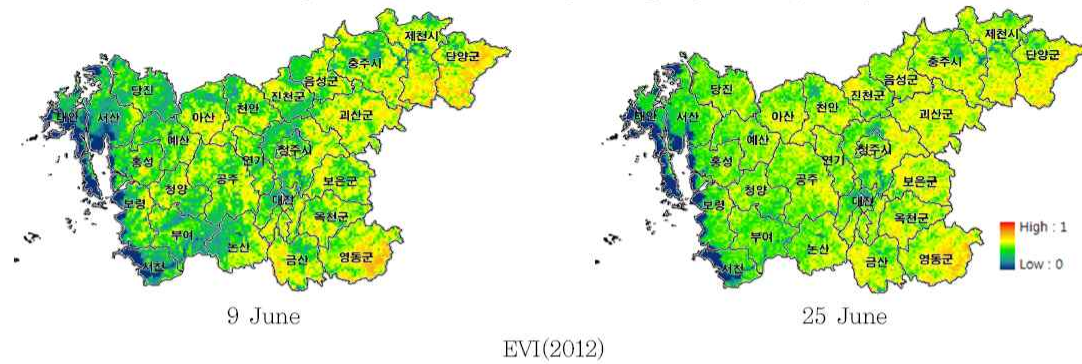
[그림 2.2.132] 한반도지역의 가뭄공간특성분석

안소라 등(2012)는 기상 및 수문학적 가뭄지수인 SPI와 WADI와 위성영상 식생지수(MODIS NDVI)를 활용한 2012년 봄 가뭄 분석을 실시한 결과, 가뭄지수를 활용한 가뭄분석의 경우 지수들의 장점 및 한계점을 파악하여 적용대상지역의 수문, 기상 특성이나 수자원 공급시설 등을 고려하여 이용할 것을 제안하였으며, 위성영상을 통한 가뭄 분석은 관측자료가 부족한 곳에는 일부 활용이 가능하나, 정확한 가뭄표현에는 한계가 있는 것으로 분석하였다.





[그림 2.2.133] NDVI(2012년 6월, 충청도)



[그림 2.2.134] EVI(2012년 6월, 충청도)

국립재난안전연구원(2013)은 미계측 유역 풍수해 대응기술 개발의 일환으로 원격탐사기반 선진형 홍수관리 및 가뭄대응 기반기술 개발에 대하여 연구를 수행하였다. 가뭄 모니터링에 유리한 인공위성 자료 선정하여, 인공위성 기반 수문기상학적 인자를 이용한 가뭄지수 공간지도를 통해 가뭄모니터링 방안을 제시하였다. 더불어 다양한 종류의 인공위성들을 조사하여 국내지형 및 상황에 맞는 위성은 NASA의 Aqua/Terra 위성의 MODIS 센서를 사용하는 것이 가장 유용성을 나타내는 것으로 분석하였다.



(a) 2012년 4월 6일



(b) 2012년 5월 8일



(c) 2012년 6월 25일



(d) 2012년 4월 6일

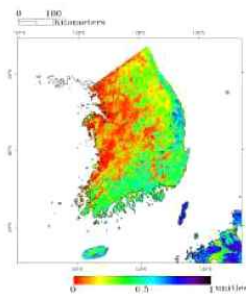


(e) 2012년 5월 8일

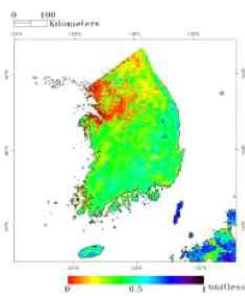


(f) 2012년 6월 25일

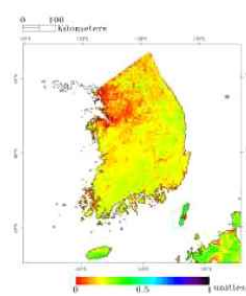
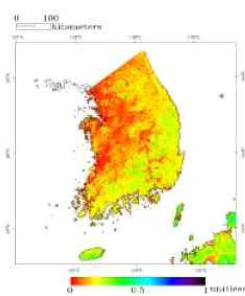
[그림 2.2.135] MODIS NDVI 및 EVI 영상을 활용한 가뭄지도<(a)~(c):NDVI, (d)~(f):EVI>



(a) NDVI



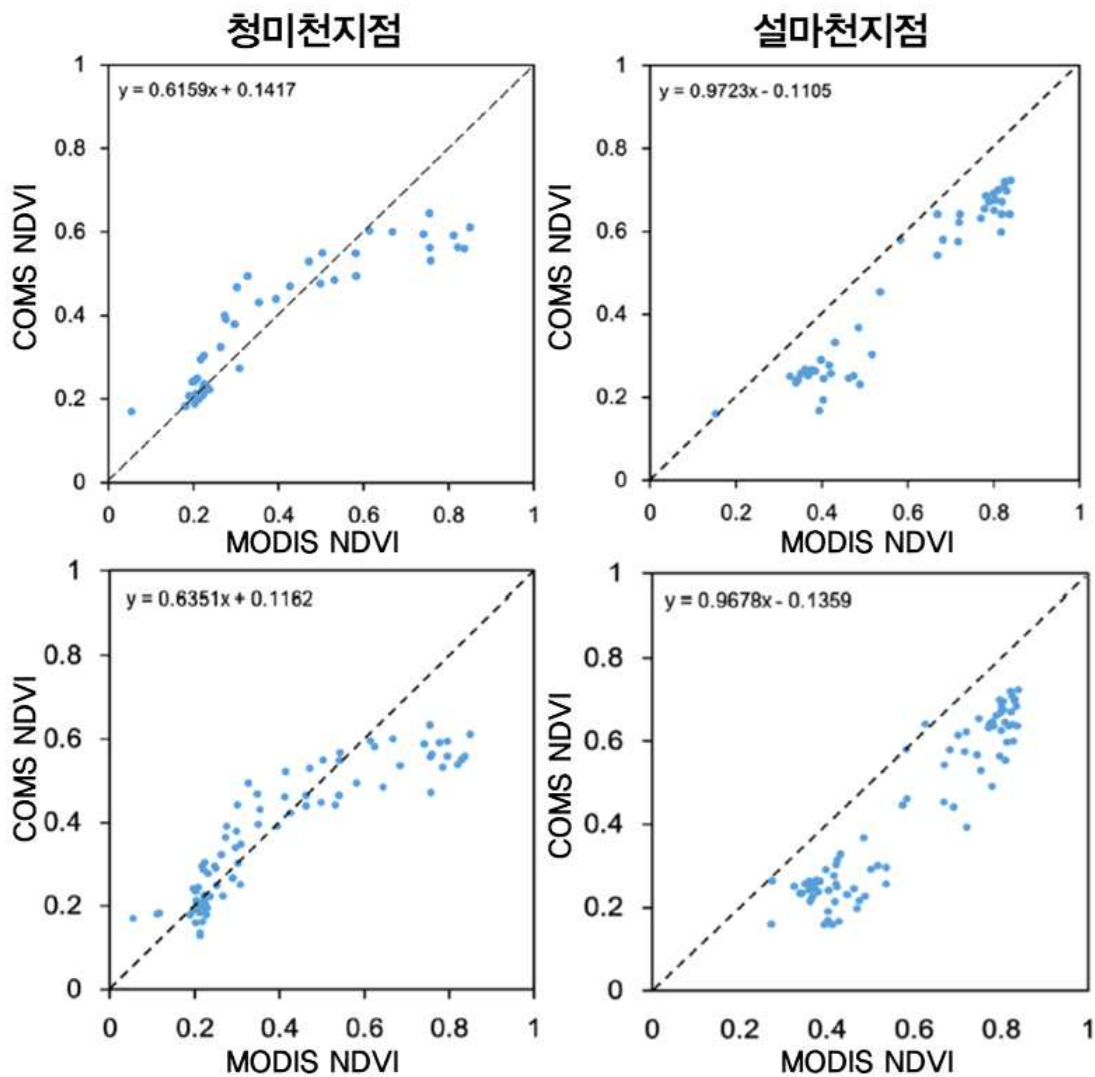
(b) EVI



[그림 2.2.136] MODIS NDVI, EVI 남한지역 공간분포(2013년, 1~2월)

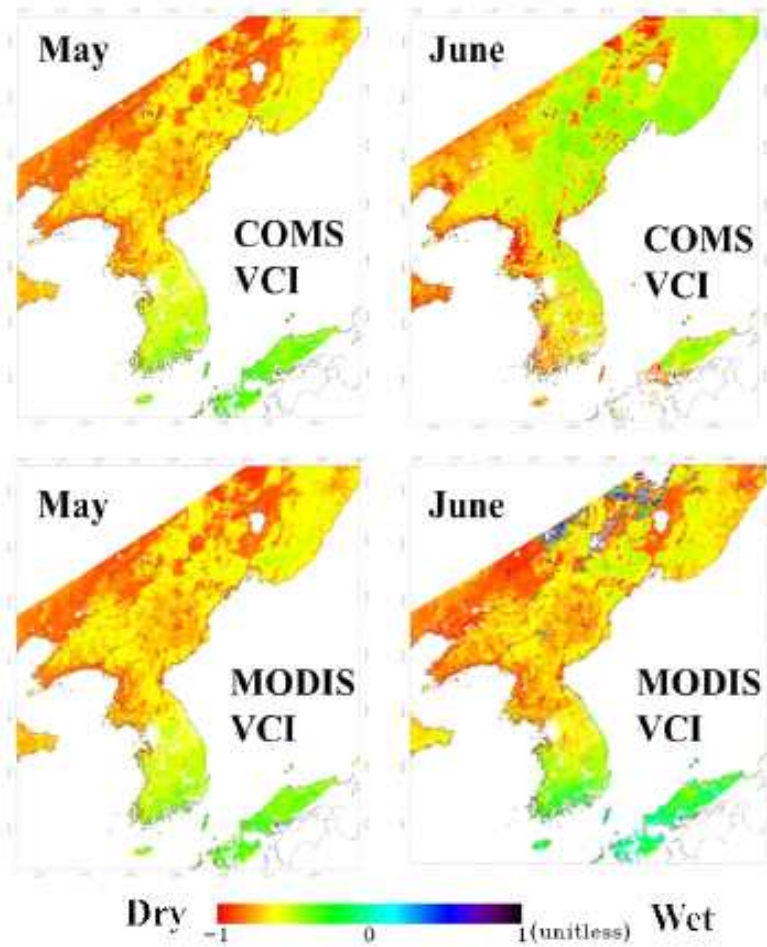
김광진 등(2013)은 최근 기후변화로 인한 가뭄빈도 증가 및 사막화가 급격히 진행되고 있는 내몽골지역을 대상으로, NDVI, 정규화수분지수(NDWI), 정규화가뭄지수(NDDI)를 이용하여 분석을 실시하였다. 이진영 등(2014)는 미계측 지역의 수문학적 가뭄 평가 및 감시를 위하여 원격탐사의 활용에 대한 연구를 수행하였다. 주요 수문 변수인 유출량, 저수위, 유량 등의 관측자료가 없는 미계측 지역에 대하여 가뭄 평가 및 감시를 위하여 MODIS 위성자료 및 TRMM 위성자료를 활용하였으며, 연구결과 원격탐사자료를 이용 개발도상국 및 관측자료가 없는 지역에 대하여 수문학적 가뭄 평가 및 감시를 수행하여 가뭄으로 인한 피해를 최소화 하기 위한 의사결정의 자료로 활용될 수 있다고 제시하였다.

국립재난안전연구원(2014)은 인공위성 기반 가뭄대응 기술 개발을 목표로 재난 위험도 평가 및 대응 기반기술 구축 연구를 수행하였다. 천리안 위성에서 제공하는 식생지수 기반의 가뭄지수를 산정하였으며, 국내적용성을 검증하였으며, MODIS 위성 기반 가뭄지수(ESI)산정 방법 고도화 하였다. 또한 천리안위성과 MODIS 위성 산출물을 공동으로 활용 할수 있는 방안연구를 유역 단위에서 수행하였다.

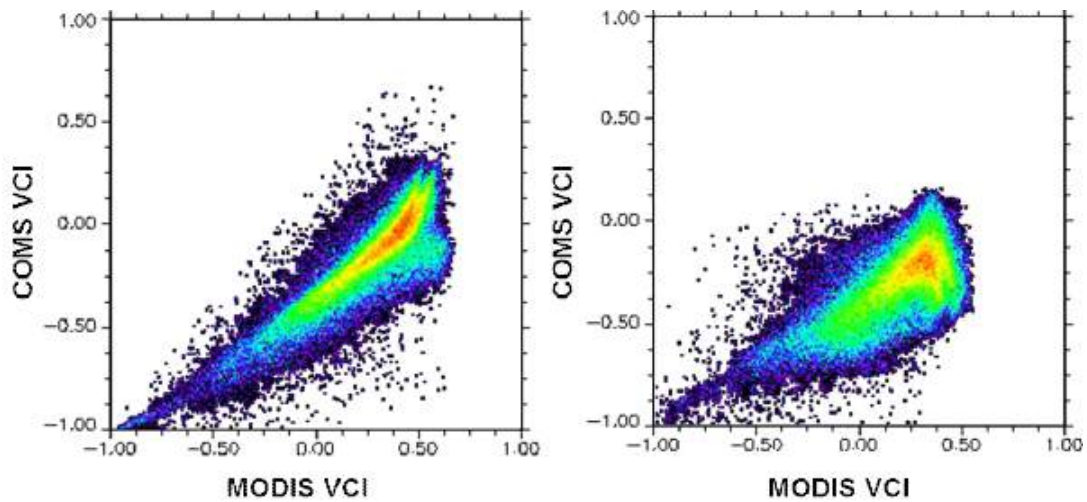


[그림 2.2.137] COMS NDVI 와 MODIS NDVI 지점의 상관성 검증결과

국립재난안전연구원(2015)는 인공위성 기반 가뭄 모니터링 기술 고도화에 대한 연구를 한반도 지역에 대하여 수행하여, 북한지역에 대하여 천리안 위성(COMS) 기반 가뭄지수(VCI)를 개발하였으며, 한반도 MODIS-COMS 통합 가뭄지수를 개발하였다. 더불어 시나리오 입력자료를 활용한 위성 기반의 단기 가뭄 예측방안을 제시하였다.



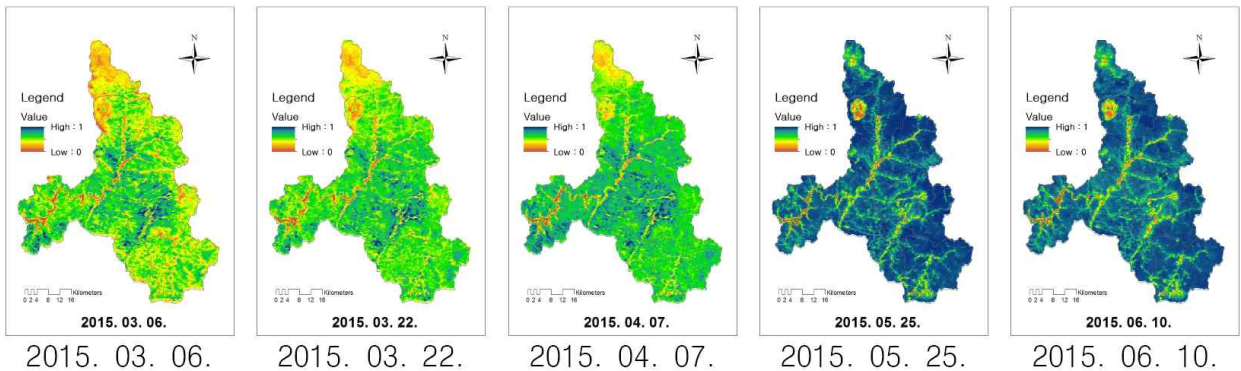
[그림 2.2.138] 한반도 COMS VCI와 MODIS VCI 공간분포 비교



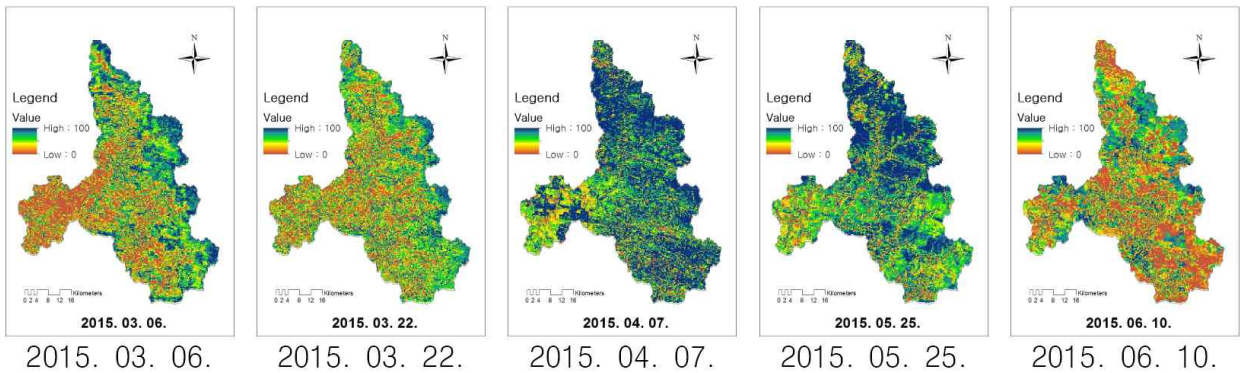
[그림 2.2.139] 한반도 COMS VCI와 MODIS VCI 간의 상관관계

최민하 등(2015)은 시공간적인 연속성을 가지는 인공위성을 활용하여 작물 계수를 산정하였으며, 지점 기반 작물 계수와와의 비교를 통해 검증을 실시하였다. 더불어, 인공위성 기반의 작물 계수와 가뭄 분석에 널리 쓰이고 있는 식생상태지수 (Vegetation Condition Index) 와의 비교를 통하여 작물 계수를 통한 광범위한 지역에서의 가뭄 분석의 가능성을 분석하였다.

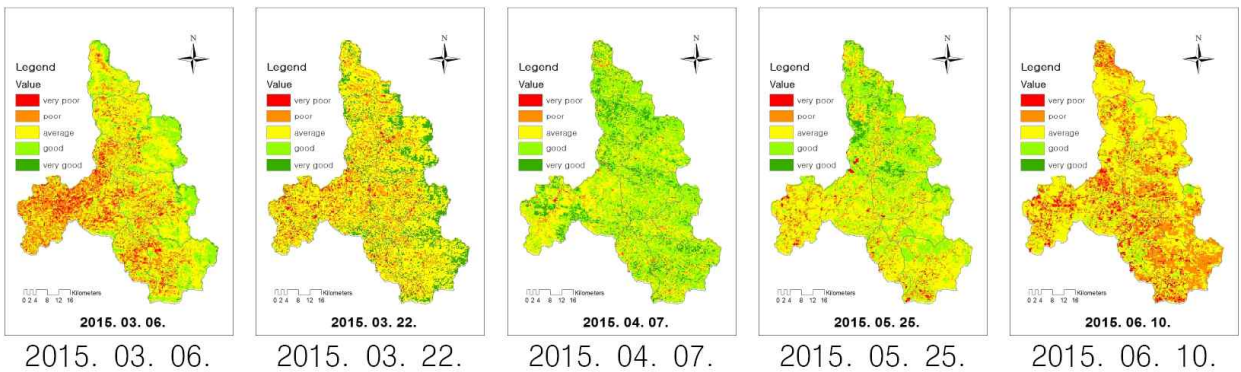
신형진 등(2015)은 소양감댐유역을 대상으로 Terra MODIS 위성영상을 이용하여 봄 가뭄 연구를 수행하였다. MODIS 영상으로부터 식생지수(NDVI)를 구축하였으며, 식생지수를 이용하여 식생상태지수(VCI)와 표준정규 식생지수(SVI)를 이용하여 가뭄지역의 추정기법을 제시하였다. 연구결과 MODIS 자료를 이용한 시공간적 가뭄지역 탐지에 대한 가능성을 분석하였다.



(a) NDVI



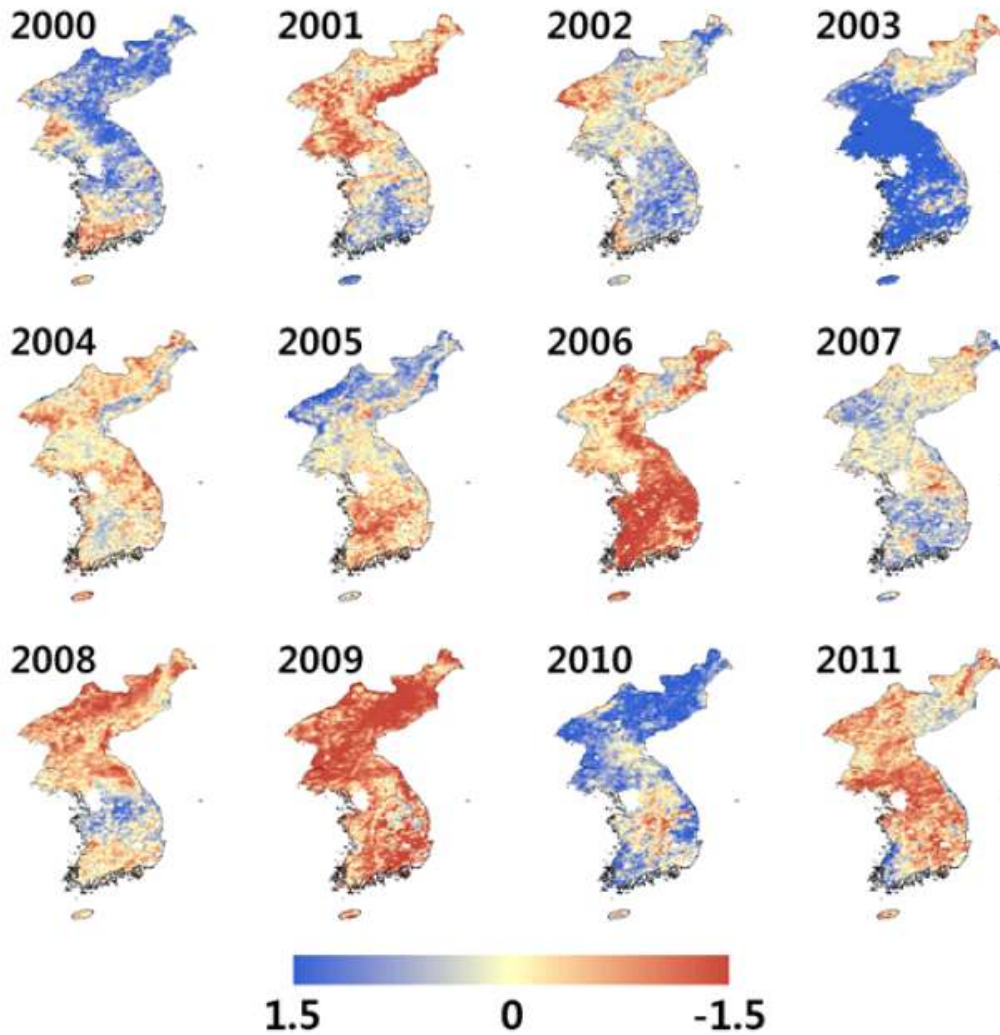
(b) VCI



(c) SVI

[그림 2.2.140] MODIS 위성영상 기반 식생지수 산정결과(소양감댐유역)

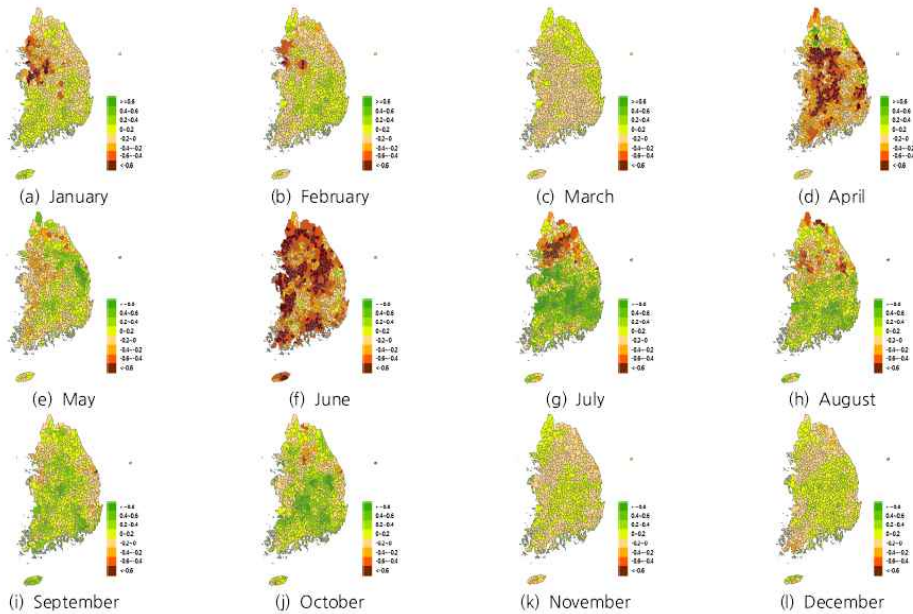
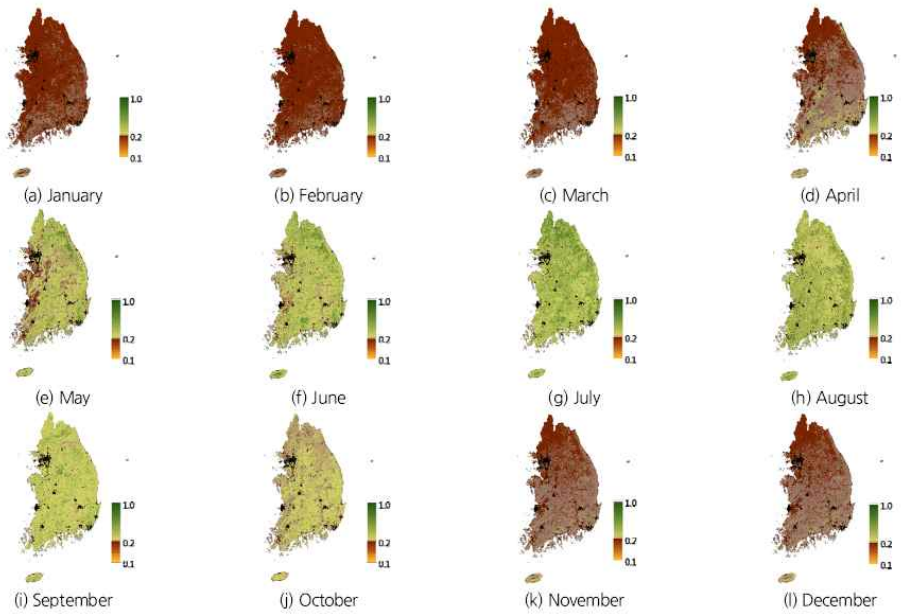
박혜선 등(2015)는 우리나라의 지역 가뭄 평가를 위한 MODIS DSI(Drought Severity Index) 활용방안에 대한 연구를 수행하여, 위성영상자료 기반 가뭄지수인 DSI와 기상학적 가뭄지수인 SPI의 상관성을 일부 제시하였으며, 실제 관측자료의 검증을 통하여 국내 가뭄연구에서의 활용 가능성을 확인하였다.



[그림 2.2.141] MODIS Drought Severity Index(2000~2011)

이근상 등(2016)은 드론 원격정보를 활용한 실제증발산량의 산정에 관한 연구를 수행하였다. 실제증발산량계산에 필요한 식생정보를 드론을 이용하여 수집하였으며, 수집된 NDVI와 SAVI를 실제 증발산량 매개변수와 연동한 결과 매우 효과적임을 밝혀내었다.

백슬기 등(2016)은 MODIS 위성기반의 식생지수를 활용하여 농업적 가뭄감시 연구를 수행하였다. 다양한 위성영상중 식생상태 변화가 관찰되는 MOD13A3 영상을 통하여 NDVI와 EVI를 선정하였다. NDVI와 EVI는 토지피복분류를 이용 중권역별로 산정하여 분석한결과 계절적인 성향이 크게 나타났다. 이러한 부분을 보완하고자 EVI의 표준화 지수인 VSIA를 산정하여 가뭄분석을 실시하여, VSIA의 시공간적 분석을 통한 한반도 농업가뭄 평가 활용성 및 적용가능성 연구를 수행하였다.



[그림 2.2.142] MODIS 위성자료를 활용한 한반도 모니터링

앞서 조사한 바와 같이 국내에서는 다양한 위성영상을 활용하여 가뭄에 대하여 분석을 실시하였다. 주된 연구내용으로는 위성영상으로부터 획득하는 식생지수를 활용한 연구가 대부분으로, 산출된 식생지수 단독으로 가뭄을 분석하기 보다는 기존의 가뭄을 평가하는 가뭄지수(PDSI, SPI 등)과의 연관성을 분석을 통하여 가뭄분석에 적용하는 연구가 주를 이루고 있다. 이러한 가뭄분석 연구에 가장 많이 활용된 위성영상으로는 MODIS에서 제공하는 위성영상으로, 이는 시공간적 분포에 대한 분석이 중요한 가뭄연구에 있어 다른 위성영상에 비하여 높은 해상도와 가뭄분석과 관련하여 주요한 공간 자료를 제공하기에 보다 신뢰성 있는 분석 결과를 얻을 수 있기 때문으로 판단된다.

## 2. 가뭄예상지역 드론영상활용 모니터링을 위한 현장조사 방안

### 가. 광역적 위성영상 분석에 의한 가뭄예상지역 선정방안

#### (1) MODIS 개요

MODIS(Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer)는 미국 항공 우주국(NASA)에서 지구감시계획(EOS, Earth Observation System)를 목표로 발사한 고 분해능 기상센서로, 1999년 12월 발사된 Terra위성과, 2002년 5월 발사된 Aqua위성에 탑재되어 해양, 표면온도, 구름, 수증기량 등을 관측하고 있다. MODIS를 탑재한 Terra위성은 경사각 98.3°로 한반도를 10시30분에 지나간다. Terra위성은 MODIS외에, ASTER, CERES, MISR, MOPITT 등 총 5개의 센서를 탑재하고 있다. 한편 MODIS를 탑재한 Aqua위성은 경사각 98°로 한반도를 오후 1시 30분에 지나가며, AIRS, AMSU, AMSR-E, CERES, HSB 등 총 6개의 센서를 장착하고 있다. 이 두위성은 모두 태양동기궤도 위성으로 고도 705km에서 자료를 획득하며, 밴드별로 250~1,000m의 공간해상도 자료를 제공한다.

[표 2.2.15] MODIS 센서 특징 및 위성(Terra, Aqua)현황

구분	Terra	Aqua
주기	<ul style="list-style-type: none"> <li>Repeat Cycle : 16days</li> <li>Period : 98.88min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Altitude : 705km</li> <li>Type : Near-polar, sun-synchronous</li> </ul>
촬영폭	2,330km	
Quantization	12bit	
Inclination	98.3°	98.1°
한반도통과시간	10:30	13:30
Mass	228.7kg	
Power	162.5W(single orbit average)	
Dimension	2.7m × 3.3m × 6.8m	2.7m × 2.5m × 6.5m
위성발사일	1999년 12월 18일	2002년 5월 4일
서비스시작일	2000년 2월 24일	2002년 7월 4일
해상도	250m(band 1~2), 500m(band 3~7), 1000m(band 8~36)	

MODIS 센서는 0.405nm~14.385 $\mu$ m의 파장영역에서 총 36개의 밴드로 구성되어 있으며 각 밴드별 용도는 나뉘어져 있으며, 밴드별 세부내용은 [표 2.2.18]와 같다. MODIS 자료는 모두 HDF\_EOS(Hierarchical Data Format)형태로 무료로 웹상에서 제공되며, HDF자료는 HDF 포맷을 지원하는 범용 영상처리소프트웨어를 사용 자료를 확인할 수 있다. Terra위성의 MODIS 센서에서 획득된 자료는 MOD의 약자가 붙으며, Aqua위성의 MODIS센서에서 획득된 자료는 MYD로 표현된다.



[표 2.2.16] MODIS 밴드별 구성 및 응용분야

Band	분광해상도( $\mu\text{m}$ )	공간해상도(m)	응용분야
1	0.620 ~ 0.670	250	토지피복 분류
2	0.841 ~ 0.876	250	클로로필 흡수
3	0.459 ~ 0.479	500	토지, 구름 및 에어로졸 특성 분석
4	0.545 ~ 0.565	500	
5	1.230 ~ 1.250	500	
6	1.628 ~ 1.652	500	
7	2.105 ~ 2.155	500	
8	0.450 ~ 0.420	1,000	
9	0.438 ~ 0.448	1,000	
10	0.483 ~ 0.493	1,000	
11	0.526 ~ 0.536	1,000	
12	0.546 ~ 0.556	1,000	
13	0.662 ~ 0.672	1,000	
14	0.673 ~ 0.683	1,000	
15	0.743 ~ 0.753	1,000	
16	0.862 ~ 0.877	1,000	
17	0.890 ~ 0.920	1,000	대기 중 수증기
18	0.931 ~ 0.941	1,000	
19	0.915 ~ 0.965	1,000	
20	3.660 ~ 3.840	1,000	구름 표면 온도
21	3.929 ~ 3.989	1,000	
22	3.929 ~ 3.989	1,000	
23	4.020 ~ 4.080	1,000	대기온도
24	4.433 ~ 4.498	1,000	
25	4.482 ~ 4.549	1,000	구름
26	1.360 ~ 1.390	1,000	
27	6.535 ~ 6.895	1,000	
28	7.175 ~ 7.475	1,000	
29	8.400 ~ 8.700	1,000	오존
30	9.580 ~ 9.880	1,000	
31	10.780 ~ 11.280	1,000	구름 표면 온도
32	11.770 ~ 12.270	1,000	
33	13.185 ~ 13.485	1,000	구름의 고도
34	13.485 ~ 13.785	1,000	
35	13.785 ~ 14.085	1,000	
36	14.085 ~ 14.385	1,000	

※ 자료: [modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php](http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php)

## (2) MODIS 영상자료의 수집

MODIS 영상을 이용하여 안성시 전역에 대하여 가뭄지역을 파악하기 위하여 LAADS DAAC에서 MOD09A1, MOD09Q1, MOD13Q1, MOD11A2, MOD15A2H, MOD16A2 영상을 조회하고 수신하였다. 기존 MODIS 버전5 영상은 더 이상 새로운 영상이 제공되지 않으며 현재는 MODIS 버전6가 제공되고 있다. 특정한 지수의 경우 과거부터의 통계값 계산이 필요하므로 동일한 버전의 자료를 활용하는 것이 유리하므로 2000년부터 최신까지의 자료를 수집하였다. 수집된 영상은 전용처리프로그램인 MRT (MODIS Reprojection Tool)를 이용하여 좌표계(WGS84 UTM 52N) 및 영상파일형식을 변환하였다. 각 영상의 해상도는 250m ~ 1000m로 다양하므로 안성시 영역의 분석을 위해 최대공간해상도인 250m로 동일하게 구축하고 분석에 사용하였다. 각 영상자료의 특성은 다음과 같다. (NASA, modis.gsfc.nasa.gov)

[표 2.2.17] MODIS 밴드별 구성 및 응용분야

항목	MOD09A1	MOD09Q1	MOD13Q1	MOD11A2	MOD15A2H	MOD16A2
자료기간	2000/02~현재	2000/02~현재	2000/02~현재	2000/02~현재	2000/02~현재	2000/02~현재
자료간격	8일	8일	16일	8일	8일	8일
좌표계	Sinusoidal	Sinusoidal	Sinusoidal	Sinusoidal	Sinusoidal	Sinusoidal
자료형식	HDF	HDF	HDF	HDF	HDF	HDF
공간 해상도	500m	250m	250m	1000m	500m	500m
행/열개수	2400×2400	4800×4800	4800×4800	1200×1200	2400×2400	2400×2400
지리적 범위	1200×1200km	1200×1200km	1200×1200km	1200×1200km	1200×1200km	1200×1200km
레이어수	12	4	12	12	12	12

[표 2.2.18] MOD09A1 영상데이터 레이어 특성

레이어명	내용	단위	자료형식	범위	축적계수
Sur_refl_b01	Surface reflectance Band1	Reflectance	16bit int	-100~16000	0.0001
Sur_refl_b02	Surface reflectance Band2	Reflectance	16bit int	-100~16000	0.0001
Sur_refl_b03	Surface reflectance Band3	Reflectance	16bit int	-100~16000	0.0001
Sur_refl_b04	Surface reflectance Band4	Reflectance	16bit int	-100~16000	0.0001
Sur_refl_b05	Surface reflectance Band5	Reflectance	16bit int	-100~16000	0.0001
Sur_refl_b06	Surface reflectance Band6	Reflectance	16bit int	-100~16000	0.0001
Sur_refl_b07	Surface reflectance Band7	Reflectance	16bit int	-100~16000	0.0001
Sur_refl_qc_500m	Surface reflectance 500m band quality control flags	Bit Field	32bit int	N/A	N/A
Sur_refl_state_500m	Surface reflectance 500m state flags	Bit Field	16bit int	N/A	N/A
Sur_refl_szen	MODIS solar zenith angle	Degrees	16bit int	0-18000	0.01
Sur_refl_vzen	MODIS view zenith angle	Degrees	16bit int	0-18000	0.01
Sur_refl_raz	MODIS relative azimuth angle	Degrees	16bit int	±18000	0.01
Sur_refl_day_of_year	Day of the year for the pixel	Julian day	16bit int	1~366	N/A

[표 2.2.19] MOD09Q1 영상데이터 레이어 특성

레이어명	내용	단위	자료형식	범위	축적계수
Sur_refl_b01	Surface reflectance Band1	Reflectance	16bit int	-100~16000	0.0001
Sur_refl_b02	Surface reflectance Band2	Reflectance	16bit int	-100~16000	0.0001
Sur_refl_state_250m	Surface reflectance 250m state flags	Bit Field	16bit int	0~57343	N/A
Sur_refl_qc_250m	Surface reflectance 250m band quality control flags	Bit Field	16bit int	0~32767	N/A

[표 2.2.20] MOD13Q1 영상데이터 레이어 특성

레이어명	내용	단위	자료형식	범위	축적계수
250m_16_days_NDVI	16 day NDVI average	NDVI	16bit int	-2000~10000	0.0001
250m_16_days_EVI	16 day EVI average	EVI	16bit int	-2000~10000	0.0001
250m_16_days_VI_Quality	VI quality indicators	Bit Field	16bit int	0~65534	N/A
250m_16_days_red_reflectance	Surface reflectance Band1	Reflectance	16bit int	-100~10000	0.0001
250m_16_days_NIR_reflectance	Surface reflectance Band2	Reflectance	16bit int	-100~10000	0.0001
250m_16_days_blue_reflectance	Surface reflectance Band3	Reflectance	16bit int	-100~10000	0.0001
250m_16_days_MIR_reflectance	Surface reflectance Band7	Reflectance	16bit int	-100~10000	0.0001
250m_16_days_view_zenith_angle	View zenith angle of VI pixel	Degrees	16bit int	0~18000	0.01
250m_16_days_sun_zenith_angle	Sun zentih angle of VI pixel	Degrees	16bit int	0~18000	0.01
250m_16_days_relative_azimuth_angle	Relative azimuth angle of VI pixe	Degrees	16bit int	±18000	0.01
250m_16_days_composite_day_of_the_year	Day of year of VI pixel	Julian day	16bit int	1~366	N/A
260m_16_days_pixel_reliability	Quality reliability of VI pixel	Rank	8bit int	0~3	N/A

[표 2.2.21] MOD11A2 영상데이터 레이어 특성

레이어명	내용	단위	자료형식	범위	축적계수
LST_Day_1km	Day Land Surface Temperature	Kelvin	16bit int	7500~65535	0.02
QC_Day	Daytime LST Quality Indicators	Bit Field	8bit int	0~255	N/A
Day_view_time	Local time of day observation	Hours	8bit int	0~240	0.1
Day_view_angle	View zenith angle of day observation	Degree	8bit int	0~130	1.0
LST_Night_1km	Night Land Surface Temperature	Kelvin	16bit int	7500~65535	0.02
QC_Night	Nighttime LST Quality indivators	Bit Field	8bit int	0~255	N/A
Night_view_time	Local time of night observation	Hours	8bit int	0~240	0.1
Night_view_angle	View zenith angle of night observation	Degree	8bit int	0~130	1.0
Emis_31	Band 31 emissivity	None	8bit int	1~255	0.002
Emis_32	Band 32 emissivity	None	8bit int	1~255	0.002
Clear_day_cov	N/A	None	16bit int	1~65535	0.0005
Clear_night_cov	N/A	None	16bit int	1~65535	0.0005

[표 2.2.22] MOD15A2H 영상데이터 레이어 특성

레이어명	내용	단위	자료형식	범위	축적계수
Fpar_500m	Fraction of photosynthetically active radiation	Percent	8bit int	249~255	0.01
Lai_500m	Leaf area index	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	8bit int	249~255	0.1
FparLai_QC	Quality for Lai and Fpar	Class-flag	8bit int	0~254	N/A
FparExtra_QC	Extra detail Quality for Lai and Fpar	Class-flag	8bit int	0~254	N/A
FparStdDev_500m	Standard deviation of Fpar	Percent	8bit int	0~100	0.01
LaiStdDev_500m	Standard deviation for Lai	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	8bit int	0~100	0.1

[표 2.2.23] MOD16A2 영상데이터 레이어 특성

레이어명	내용	단위	자료형식	범위	축적계수
ET_500m	Total Evapotranspiration	kg/m <sup>2</sup> /8day	16bit int	-32767~32760	0.1
LE_500m	Average Latent Heat Flux	J/m <sup>2</sup> /day	16bit int	-32767~32760	10000
PET_500m	Total Potential Evapotranspiration	kg/m <sup>2</sup> /8day	16bit int	-32767~32760	0.1
PLE_500m	Average Potential Latent Heat Flux	J/m <sup>2</sup> /day	16bit int	-32767~32760	10000

MODIS 영상은 매일 동일한 지역이 영상이 촬영되고 있으나 대기의 산란 및 흡수, 구름 및 구름에 의한 그림자 등의 영향을 최대한 제거하여 8일 또는 16일 영상이 합성된 자료를 제공하며 분석에 사용한다. 8일 주기의 MOD09A1, 16일 주기의 MOD13Q1 영상에 포함된 합성일자 레이어를 분석한 결과 획득일자가 001일 영상은 8일주기의 경우 1~8일, 16일 주기의 경우 1~16일 영상이 합성된 것이다. Julian일은 고정되어 있으므로 윤년이 있는 해에는 합성영상의 기간이 1일 씩 차이가 난다.

[표 2.2.24] MOD09A1, MOD09Q1, MOD11A2, MOD15A2H, MOD16A2 영상조합 일자(8일주기)

획득일자	영상조합일자				
	Julian일	평년		윤년	
		시작	종료	시작	종료
001	1~8	01월 01일	01월 08일	01월 01일	01월 08일
009	9~16	01월 09일	01월 16일	01월 09일	01월 16일
017	17~24	01월 17일	01월 24일	01월 17일	01월 24일
025	25~32	01월 25일	02월 01일	01월 25일	02월 01일
033	33~40	02월 02일	02월 09일	02월 02일	02월 09일
041	41~48	02월 10일	02월 17일	02월 10일	02월 17일
049	49~56	02월 18일	02월 25일	02월 18일	02월 25일
057	57~64	02월 26일	03월 05일	02월 26일	03월 04일
065	65~72	03월 06일	03월 13일	03월 05일	03월 12일
073	73~80	03월 14일	03월 21일	03월 13일	03월 20일
081	81~88	03월 22일	03월 29일	03월 21일	03월 28일

획득일자	영상조합일자				
	줄리안일	평년		윤년	
		시작	종료	시작	종료
089	89~96	03월 30일	04월 06일	03월 29일	04월 05일
097	97~104	04월 07일	04월 14일	04월 06일	04월 13일
105	105~112	04월 15일	04월 22일	04월 14일	04월 21일
113	113~120	04월 23일	04월 30일	04월 22일	04월 29일
121	121~128	05월 01일	05월 08일	04월 30일	05월 07일
129	129~136	05월 09일	05월 16일	05월 08일	05월 15일
137	137~144	05월 17일	05월 24일	05월 16일	05월 23일
145	145~152	05월 25일	06월 01일	05월 24일	05월 31일
153	153~160	06월 02일	06월 09일	06월 01일	06월 08일
161	161~168	06월 10일	06월 17일	06월 09일	06월 16일
169	169~176	06월 18일	06월 25일	06월 17일	06월 24일
177	177~184	06월 26일	07월 03일	06월 25일	07월 02일
185	185~192	07월 04일	07월 11일	07월 03일	07월 10일
193	193~200	07월 12일	07월 19일	07월 11일	07월 18일
201	201~208	07월 20일	07월 27일	07월 19일	07월 26일
209	209~216	07월 28일	08월 04일	07월 27일	08월 03일
217	217~224	08월 05일	08월 12일	08월 04일	08월 11일
225	225~232	08월 13일	08월 20일	08월 12일	08월 19일
233	233~240	08월 21일	08월 28일	08월 20일	08월 27일
241	241~248	08월 29일	09월 05일	08월 28일	09월 04일
249	249~256	09월 06일	09월 13일	09월 05일	09월 12일
257	257~264	09월 14일	09월 21일	09월 13일	09월 20일
265	265~272	09월 22일	09월 29일	09월 21일	09월 28일
273	273~280	09월 30일	10월 07일	09월 29일	10월 06일
281	281~288	10월 08일	10월 15일	10월 07일	10월 14일
289	289~296	10월 16일	10월 23일	10월 15일	10월 22일
297	297~304	10월 24일	10월 31일	10월 23일	10월 30일
305	305~312	11월 01일	11월 08일	10월 31일	11월 07일
313	313~320	11월 09일	11월 16일	11월 08일	11월 15일
321	321~328	11월 17일	11월 24일	11월 16일	11월 23일
329	329~336	11월 25일	12월 02일	11월 24일	12월 01일
337	337~344	12월 03일	12월 10일	12월 02일	12월 09일
345	345~352	12월 11일	12월 18일	12월 10일	12월 17일
353	353~360	12월 19일	12월 26일	12월 18일	12월 25일
361	361~3(2)	12월 27일	01월 03일	12월 26일	01월 02일

[표 2.2.25] MOD13Q1 영상조합 일자 (16일주기)

획득일자	영상조합일자				
	출리안일	평년		윤년	
		시작	종료	시작	종료
001	1~16	01월 01일	01월 16일	01월 01일	01월 16일
017	17~32	01월 17일	02월 01일	01월 17일	02월 01일
033	33~48	02월 02일	02월 17일	02월 02일	02월 17일
049	49~64	02월 18일	03월 05일	02월 18일	03월 04일
065	65~80	03월 06일	03월 21일	03월 05일	03월 20일
081	81~96	03월 22일	04월 06일	03월 21일	04월 05일
097	97~112	04월 07일	04월 22일	04월 06일	04월 21일
113	113~128	04월 23일	05월 08일	04월 22일	05월 07일
129	129~144	05월 09일	05월 24일	05월 08일	05월 23일
145	145~160	05월 25일	06월 09일	05월 24일	06월 08일
161	161~176	06월 10일	06월 25일	06월 09일	06월 24일
177	177~192	06월 26일	07월 11일	06월 25일	07월 10일
193	193~208	07월 12일	07월 27일	07월 11일	07월 26일
209	209~224	07월 28일	08월 12일	07월 27일	08월 11일
225	225~240	08월 13일	08월 28일	08월 12일	08월 27일
241	241~256	08월 29일	09월 13일	08월 28일	09월 12일
257	257~272	09월 14일	09월 29일	09월 13일	09월 28일
273	273~288	09월 30일	10월 15일	09월 29일	10월 14일
289	289~304	10월 16일	10월 31일	10월 15일	10월 30일
305	305~320	11월 01일	11월 16일	10월 31일	11월 15일
321	321~336	11월 17일	12월 02일	11월 16일	12월 01일
337	337~352	12월 03일	12월 18일	12월 02일	12월 17일
353	353~3(2)	12월 19일	01월 03일	12월 18일	01월 02일

식생 및 토양의 상태를 구분하기 위해 분석에 필요한 주요 7개 밴드의 분광과장범위를 정리하면 다음과 같다.

[표 2.2.26] 식생 및 토양의 상태를 구분하기 위한 MODIS영상 주요 7개 밴드

밴드	구분	과장범위(nm)	MOD09A1	MOD09Q1	MOD13Q1
Sur_refl_b01	Red	620~670	○	○	○
Sur_refl_b02	NIR	841~876	○	○	○
Sur_refl_b03	Blue	459~479	○		○
Sur_refl_b04	Green	545~565	○		
Sur_refl_b05	SWIR1	1230~1250	○		
Sur_refl_b06	SWIR2	1628~1652	○		
Sur_refl_b07	MIR	2105~2155	○		○

### (3) MODIS 영상을 이용한 가뭄분석 방법

위성영상을 이용하여 가뭄의 공간적인 분포를 파악하는 방법으로는 식생, 토양, 수분과 관련된 적색, 녹색, 적외선 파장대의 영상밴드간의 연산을 통해 식생상태 등 특정한 요소를 강조하는 지수화된 이미지를 산출하거나, 산출된 지수의 통계적 특성이나 조합을 통하여 새로운 지수값 이미지를 산출하여 그 값이 나타내는 범위를 통해 분석할 수 있다.

MODIS 영상의 경우 MOD13Q1의 경우 대표적인 식생지수인 NDVI, EVI값을 산출하여 제공하고 있으나 16일 간격의 자료이므로 본 연구에서는 MOD09A1의 7개 밴드 영상을 활용하여 식생 및 토양, 수분함량과 관련된 지수값들을 산출하여 분석에 이용하고자 하였다. MODIS 영상으로부터 산정할 수 있는 주요 지수들을 다음과 같이 정리할 수 있다.

#### (가) 기본적인 식생지수

##### ① RVI (Ratio vegetation index, or Simple Ratio)

비율식생지수(RVI)는 Jordan (1969)에 의해 처음 제안되어 가장 광범위하게 사용되었던 것으로 녹색식물의 반사율이 적색영역에서 대체로 작고 근적외선 영역에서는 다소 높다는 것을 이용하여 두 분광대 영상이 가진 화소간의 비율을 구하며, 식생의 밀집도 등을 나타내기 위한 지수이다. 식생은 높은 값을 나타내며, 토양, 얼음, 물에 대하여 낮은 값을 나타낸다.

$$RVI = R_{NIR} / R_r$$

##### ② DVI (Difference Vegetation Index)

식생차이지수(DVI; Difference Vegetation Index)는 녹색식물이 반사율이 높은 근적외선 파장대와 반사율이 낮은 적색파장대의 반사도의 차이를 구하여 녹색식물의 반사특성을 강조한다. Richardson and Everitt (1992)의 논문에서는 DVI로 제시되어 있으나 Lillesand and Kiefer (1987)의 논문에서는 VI(Vegetation Index)로 제시되어 있다. DVI는 식생과 토양을 구분하나 대기 또는 그림자에 의한 반사도와 복사휘도의 차이를 다루지 않는다. 식생등각선(vegetation isoline)은 토양선에 평행하고, 토양선은 임의의 기울기를 가지며 원점을 통과한다.

$$DVI = R_{NIR} - R_r$$

##### ③ NDVI (Normalized difference vegetation index)

정규식생지수(NDVI)는 가장 대표적인 원격탐사 기반의 식생지수이다. 적색과 근적외선 밴드의 반사도 값으로부터 식생이 건강한지 아니면 가뭄이나 병충해에 영향으로 인해 상태가 좋지 않은지를 판별하는데 사용된다. 건강한 조건에서, 엽록소는 빛을 흡수하여 적색파장의 반사도가 낮으며, 적색파장의 반사도가 낮을수록 NDVI는 높은 값을 나타낸다. 반대로 식생의 상태가 좋지 않은 경우 적색파장의 반사도는 높아지고 NDVI는 낮은 값을 나타낸다. 즉, 비율식생지수(RVI)가 0에서 무한까지의 범위인 반면, NDVI는 -1에서 1의 범위로 산출된다. NDVI는 Kogan(1990)의 식생상태지수 (VCI; Vegetation Condition Index)와 같이 식생의 조건을 측정하는 다수의 원격탐사 지수의 기반이 되는 지수로서 널리 사용되고 있다.

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_r}{R_{NIR} + R_r}$$

④ IPVI (Infrared Percentage Vegetation Index)

Crippen (1990)는 정규식생지수(NDVI) 식의 분자에서 적색파장을 빼는 것이 불필요하다고 주장하였으며, 적외선비율식생지수(IPVI)를 제안하였다. IPVI는 NDVI와 기능적으로 동일하며 0에서 1.0 사이의 값을 나타낸다.

$$IPVI = \frac{R_{NIR}}{R_{NIR} + R_r} = \frac{NDVI + 1}{2}$$

⑤ EVI (Enhanced Vegetation Index)

EVI (Liu and Huete, 1995)는 MODIS 시스템에서 새로 도입된 식생지수로 적색파장 에너지의 반사와 토양 반사에 미치는 대기 에어로졸의 영향을 최소화시키기 위해서 청색파장밴드를 추가로 적용하였다. 청색광, 적색광, 근적외선 밴드와 함께 대기효과 보정상수, 토양효과 보정상수, 에어로졸 제거를 위한 유효계수 등을 사용하여 식물의 반사값에 영향을 주는 토양의 배경효과와 대기영향을 감소시켜 향상된 식생 모니터링을 가능하게 한다. 엽면적지수(leaf area index, or LAI)가 3이상에 이르는 삼림환경에서는 식물 생물량 또는 광합성 활동을 가리키는 NDVI의 효용이 크게 떨어지는데, EVI는 에어로졸과 토양반사의 영향을 감소시켜 전체적으로 식생밀도가 조밀한 곳에서 NDVI보다 식생변화에 더 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다 (Townshend et al., 1991).

$$EVI = G \frac{R_{NIR} - R_r}{R_{NIR} + C_1 R_r - C_2 R_b + L}$$

여기서 L은 캐노피의 배경효과를 조정하기 위한 매개변수로 L=1.0, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>는 적색광의 에어로졸 저항을 교정하기 위한 계수로서 각각 6.0과 7.5를 적용한다. G는 gain factor로 2.5(Huete et al. 2002)를 적용한다.



(나) 토양의 반사특성을 고려한 식생지수

토양은 반사특성이 고유하며, 서로 다른 토양들은 서로 다른 반사특성을 가진다. 식생피복이 낮은 경우 토양에 의한 간섭은 매우 민감하다. 이에 다음과 같이 토양의 간섭을 최소화하기 위한 지수들이 개발되었다.

① SAVI (Soil adjusted vegetation index)

토양보정식생지수(SAVI)는 토양명도보정계수를 사용하여 토양명도의 영향을 최소화한 식생지수이다. 이 지수는 식생피복이 낮은 건조한 지역에 주로 사용된다.  $R_{NIR}$ 과  $R_r$ 은 이들과 관련된 파장대의 밴드를 나타낸다. L 값은 식생의 녹색의 식생피복의 양에 따라 달라진다. 일반적으로 식생이 없는 지역의 L=1, 적당히 식생이 피복된 지역의 L=0.5, 식생 피복이 매우 높은 지역에서 L=0 (이때, 정규식생지수 NDVI와 같아진다)이다. SAVI는 -1에서 1.0 사이의 값을 산출한다. (일반적으로 L=0.5적용)

$$SAVI = \frac{R_{NIR} - R_r}{R_{NIR} + R_r + L}(1+L)$$

토양보정식생지수(SAVI)와 관련된 변형식들이 개발되었으며 다음과 같다.

② TSAVI (Transformed Soil adjusted vegetation index)

변형토양보정식생지수(TSAVI)은 Baret et al. (1989), Naret and Guyot(1991)에 의해 제안되며, 토양선이 임의의 기울기와 절편을 가졌음을 가정하고 이를 식생지수의 보정에 사용하는 방법이다.

Baret et al. (1989) 식

$$TSAVI_1 = \frac{\gamma(R_{NIR} - \gamma)(R_r - i)}{R_r + \gamma R_{NIR} - \gamma i}$$

Naret and Guyot(1991) 식

$$TSAVI_2 = \frac{\gamma(R_{NIR} - \gamma R_r - i)}{\gamma R_{NIR} + R_r - \gamma i + X(1 + \gamma^2)}$$

여기서  $\gamma$ 는 토양선의 기울기 (soil line slope),  $i$ 는 절편, X는 토양간섭을 최소화하기 위한 보정변수로 경험적인 수치가 사용되고 있으며, 문헌에 따르면 0.08을 적용한다.

③ MSAVI (Modified Soil adjusted vegetation index)

Qi(1994)등은 수정토양보정식생지수(MSAVI; Modified Soil Adjusted Vegetation Index)를 제안하였다. SAVI의 L을 정규식생지수(NDVI)와 가중차이식생지수(WDVI; Weighted Difference Vegetation Index)를 조합한 식으로 결정한다.

$$MSAV = SAVI = \frac{R_{NIR} - R_r}{R_{NIR} + R_r + L}(1+L)$$

여기서  $L = 1 - 2\gamma NDVI \times W DVI$ ,  $\gamma$ 는 토양선 매개변수 이다.  $W DVI$ 는 Clevers (1988), Richardson and Wiegand (1977) 에 의하여 개발되었으며  $W DVI = R_{NIR} - \gamma R_r$  와 같고  $\gamma$ 는 토양선의 기울기이다.

Qi(1994)등은 나지토양에 대한 영향을 최소화하기 위하여 MSAVI를 수정한 MSAVI2 (Second Modified soil adjusted vegetation index)를 제시하였다.

$$MSAVI_2 = (1/2) \left[ 2 \cdot R_{NIR} + 1 - \sqrt{(2 \cdot R_{NIR} + 1)^2 - 8(R_{NIR} - R_r)} \right]$$

#### ④ OSAVI (Optimized soil adjusted vegetation index)

토양과 대기의 영향에 대한 정규식생지수(NDVI)의 민감도는 SAVI (soil-adjusted vegetation index), TSAVI (transformed soil-adjusted vegetation index), ARVI (atmospherically resistant vegetation index), GEMI (global environment monitoring index), MSAVI (modified soil-adjusted vegetation index)와 같이 외부영향에 덜 민감한 새로운 지수의 개발에 대한 관심을 증가시켰다. 이들 지수들은 많이 이용되지는 않지만 이론적으로 NDVI 보다 더 신뢰할 수 있다(Rondeaux et al., 1996). Rondeaux (1996) 등은 토양배경효과에 대한 NDVI, SAVI, TSAVI, MSAVI, GEMI의 민감도를 테스트하여 비교하였다. 모래, 점토, 이탄토를 포함하고 부가적으로 수분과 거칠기의 변화를 유발한 넓은 범위의 토양 반사도에 대해 SAIL 모델로 지수들을 시뮬레이션 하였다. SAVI 계열의 일반적인 공식들을 재검토하여 최적화된 SAVI의 매개변수를 다음과 같이 제안하였다.

$$OSAVI = \frac{R_{NIR} - R_r}{R_{NIR} + R_r + X}$$

여기서 X는 토양의 영향을 최소화하는 결정적인 매개변수로서, X=0.16을 최적화된 값으로 제시하였다.

### (다) 식생의 수분상태, 가뭄을 모니터링하기 위한 지수

#### ① NDWI (Normalized Difference Water Index)

정규화식생지수(NDVI)는 식생에 대한 원격탐사에 널리 사용되어 왔다. NDVI는 적색과 근적외선 밴드의 복사 또는 반사율을 사용하는데, 적색과 근적외선은 식생 캐노피에 대하여 매우 다른 깊이를 감지한다. 이에 Gao (1996)는 식생의 수분상태를 감지하기 위하여 860nm와 1240nm 파장대 밴드를 이용하여 정규화수분지수(NDWI)를 제안하였다. 두 파장대 모두 식생 캐노피의 고반사대에 위치하여 비슷한 깊이를 감지한다. NDWI는 식생 캐노피의 수분함량에 민감하며, 사용하는 파장대에서 대기의 에어로졸 산란효과가 약하므로 NDWI는 NDVI보다 대기영향에 덜 민감하다. 단, NDVI와 같이 토양 반사에 따른 영향을 완전히 제거하지는 못하며, NDWI는 NDVI와 보완적인 관계를 갖는다. 결과 값은 -1에서 1사이의 값으로 산출되며 가뭄 정도를 모니터링 하는데 이용된다. 일반적으로 양의 값을 가지며, 0에 가까울수록 건조한 지면 상태 및 가뭄 정도를 의미한다.

$$NDWI = \frac{R_{NIR} - R_{SWIR1}}{R_{NIR} + R_{SWIR1}}$$

### ② NMDI (Normalized Multi-band Drought Index)

정규화다중밴드가뭇지수(NMDI)는 토양과 식생의 수분 모니터링을 목적으로 Wang과 Qu (2007)에 의해 제안되었다. NDWI와 유사하지만 NDWI는 액체상태의 수분을 흡수하는 하나의 채널을 사용하는 반면, NMDI는 토양과 식생의 수분에 민감한 1640nm와 2130nm의 2개의 수분흡수 채널의 차이를 이용하는데 중점을 두었다. Wang과 Qu (2007)는 근적외와 단파적외 파장대를 결합함으로써 가뭇강도에 대한 민감도가 향상되고 토양 및 식생의 수분을 평가하는데 적합하다고 제시하였다. 그러나 보통의 식생이 피복된 지역에 대해서는 추가적인 조사가 필요하다고 제시하였다.

$$NMDI = \frac{R_{NIR} - (R_{SWIR2} - R_{MIR})}{R_{NIR} + (R_{SWIR2} - R_{MIR})}$$

### ③ NDDI (Normalized Difference Drought Index)

Gu 등은 (2007) 초지지역의 가뭇을 조사하기 위하여 NDVI와 NDWI를 이용한 정규화가뭇지수 NDDI를 개발하였다. -1에서 1사이의 값을 가지며, 0.5 이상이면 가뭇의 정도가 심한 것으로 파악한다. NDDI는 NDVI와 NDWI 사이의 관계가 뚜렷하게 나타나는 초지에 적용하기 적합하며 여름철가뭇을 두드러지게 반영한다.

$$NDDI = \frac{NDVI - NDWI}{NDVI + NDWI}$$

## (라) 시계열적인 분석을 통해 가뭇을 판단하는 지수

### ① VCI (Vegetation Condition Index)

Kogan (1990, 1995)은 가뭇의 평가를 위하여 식생상태지수 VCI를 제안하였다. 다양한 연구들이 NDVI가 식생의 순일차생산량(NPP) 및 작물의 수확량을 추정할 수 있을 뿐만 아니라 토지피복, 강우감시, 가뭇감시 및 지도작성에 효과적으로 이용될 수 있다는 것을 제시하고 있다. 어떠한 기상요소의 변화에 의해 식물의 생태학적 변화가 초래되었다고 가정할 때 이와 같은 변화에 영향을 주는 기상요소의 변화를 지상관측자료로부터 검출한다는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서, 생태학적 변화로부터 이에 영향을 준 기상요소의 변화를 간접적으로 추정하는 방법을 생각할 수 있다. 그러므로 생태학적 변화로부터 검출되는 NDVI의 변화로부터 추정된 기후의 변화는 다양한 기상조건을 반영한다고 볼 수 있다. 그러나 NDVI의 변화는 인위적 혹은 자연적인 식생조건에 다른 영향과 기상요소의 변화에 다른 영향으로 나누어 생각할 수 있다. 예를 들어 열대우림지역에서 높은 NDVI는 우거진 열대림에 의한 것이며 사막지역에서 낮은 NDVI는 기후의 영향이 아닌 지역적, 지형적 차이로부터 발생한다는 것을 알 수 있다. 반면에 동일지역, 즉 지역 및 지형의 변화가 발생되지 않는 지역에서 NDVI의 변화가 발생되었다면 기상요소의 영향에 의한 것으로 생각할 수 있다. Kogan은 이러한 식생에 영향을 주는

기상요소의 변화를 검출하기 위하여 각 화소별로 몇 년에 걸쳐 NDVI의 최대값과 최소값을 계산하여 이용하는 방법을 제안하였다. 식생의 양이 최대를 보인다는 것은 최상의 기상조건이 주어졌다는 것을 의미하며, 이러한 조건에서의 기후는 토양 속의 영양분 흡수를 촉진시켜 생태자원의 활력도를 증진시킨다. 반면에 식생의 양이 최소일 때는 생태자원의 활력을 저하시키고 식생의 성장을 직접적으로 억제하는 가장 최악의 기상조건에서 나타날 것이다(신사철 등, 2003). 즉, Kogan은 지역생태계 변수의 영향을 줄임으로써 NDVI 신호의 변화를 상대적으로 평가할 수 있도록 시간의 경과에 따른 NDVI의 최소, 최대값을 기반으로 각 필셀에 대하여 NDVI를 정규화 하는 방법을 개발하였으며, 다음과 같다.

$$VCI_{ijk} = 100 \times \frac{NDVI_{ijk} - NDVI_{i,\min}}{NDVI_{i,\max} - NDVI_{i,\min}}$$

여기서  $i$ 는 화소,  $j$ 는 월,  $k$ 는 년을 의미하며,  $j$ 는 영상의 합성에 주기에 따라 달라질 수 있는데, MOD09A1의 경우 8일, MOD13Q1의 경우 16일 간격이 될 수 있다.  $NDVI_{i,\min}$ 과  $NDVI_{i,\max}$ 는 화소  $i$ 의 다년도 NDVI의 최소, 최대 값을 의미한다.

VCI는 NDVI에서 특히 기후변동과 관계하며, 0에서 100까지 변화한다. 즉, VCI가 0에 가까울수록 식생의 활력에 문제가 발생하고 있음을 나타낸다. VCI는 토지피복 및 식생의 시공간적 변화뿐만 아니라 식생에 미치는 기상적 영향을 정량화하기 위하여 사용될 수 있다. 또한 더욱 중요한 것은 VCI를 통하여 서로 다른 생태학적 특징을 갖는 지역에서 기상의 영향을 비교할 수 있다는 점이다. 이러한 VCI를 통하여 기상조건에 따른 식생 활력의 증가 혹은 감소에 대한 정보를 정략적으로 파악할 수 있다. Kogan은 가뭄분석을 위한 VCI의 범위를 결정하기 위하여 농작물 생산성과의 상관관계를 분석하였으며, 그 결과 VCI값이 0에서 35사이의 값으로 나타날 경우 가뭄에 의해 농작물의 생산성이 20% 감소하는 것으로 보고하고 있다. 따라서, VCI로부터 가뭄을 판별하기 위한 지표로서 35%사이를 추천하고 있다.

Kogan (1995, 1997)은 VCI와 동일한 방법으로 밝기온도(brightness temperature)를 정규화한 TCI (Temperature Condition Index)를 다음과 같이 개발하였으며, VCI와 TCI를 조합한 VH (Vegetation Health Index)를 개발하였다.

$$TCI_{ijk} = 100 \times \frac{BT_{ijk} - BT_{i,\min}}{BT_{i,\max} - BT_{i,\min}}, \quad VH_{ijk} = 0.5 VCI_{ijk} + 0.5 TCI_{ijk}$$

## ② SVI (Standardized Vegetation Index)

Peters et al.(2002)은 미 대평원을 중심으로 동일한 시기의 12년(1989~2000)간 NOAA AVHRR NDVI를 표준정규분포에 적용시켜, 평균값으로부터 식생조건 편차를 통해 각각의 변량을 표준화 시키는 방법으로 다음과 같이 표준가뭄지수를 개발하였다.

$$Z_{ijk} = \frac{NDVI_{ijk} - \overline{NDVI_{ij}}}{\sigma_{ij}}$$

여기서,  $Z$ 는 화소값,  $k$ 는 년,  $j$ 는 주,  $i$ 는 화소를 의미하며  $Z_{ijk}$ 는  $k$ 년,  $j$ 주의 화소  $i$ 의 값이다.  $NDVI_{ijk}$ 는  $k$ 년,  $j$ 주의 화소  $i$ 의 NDVI,  $\overline{NDVI_{ij}}$ 는 몇 년간  $j$ 주 화소  $i$ 의 평균 NDVI,  $\sigma_{ij}$ 는 몇 년간  $j$ 주 화소  $i$ 의 NDVI의 표준편차이다.  $Z_{ijk}$ 는 평균이 0이고 표준편차가 1인 표준정규분포를 따르며, 이 값에 확률밀도함수를 반영, 최종적으로 SVI를 산정할 수 있다. 표준정규분포를 취하는 SVI는 0~1사이의 범위로 분포하며 화소별로 현재의 식생상태에서 일어날 수 있는 확률을 산정한 것으로서, 0.0~0.05는 very poor, 0.05~0.25는 poor, 0.25~0.75는 average, 0.75~0.95는 good, 0.95~1.00은 very good으로 분류된다.

### ③ NDVIA (Anomaly of Normalized Difference Vegetation Index)

Anyamba 등(2001)은 NDVI의 이상치를 사용하였다. 이것은 NDVI값이 특정한 월에 대한 장기적인 평균값을 이탈하는 것으로, 어떠한 기간 동안의 평균과 비교하여 가뭄의 상태를 나타내는 것이다.

$$NDVIA_{ijk} = \overline{NDVI_{ij}} - NDVI_{ijk}$$

여기서  $\overline{NDVI_{ij}}$ 는 몇 년간  $j$ 주 화소  $i$ 의 평균값으로,  $j$ 는 자료에 따라 8일, 16일을 취할 수 있다. NDVIA가 양의 값을 나타내면 식생의 활력이 평균보다 작다는 것이고 음의 값을 나타내면 식생의 활력이 평균보다 높다는 것을 의미한다.

### ④ VSIA (Vegetation Stress Index Anomaly)

Zhang 등(2012)은 2009년9월~2010년3월까지 중국 남서부지역에 발생한 심각한 가뭄이 식생에 미치는 영향을 측정하기 위하여 MODIS의 EVI를 기반으로 하는 VIA(Vegetation Index Anomaly)를 개발하였다. Zhang 등은 2가지 식을 검토하였는데, 첫 번째는 현재의 EVI와 다년간 EVI평균의 차이를 비교하는 것으로, VIA가 0보다 크거나 같으면 식생의 상태가 정상이거나 더 좋은 상태임을 나타내며 가뭄이 식생에 아무런 영향을 미치지 않는 상태이고, 0보다 작으면 가뭄이 식생의 성장에 영향을 미치며 절대 값이 커질수록 더욱 악화되는 것으로 판단하였다.

$$VIA = EVI - \overline{EVI}$$

그러나 가뭄이 발생하지 않더라도 식생의 생장은 해마다 다르기 때문에 이와 같은 연간의 변화를 배제하기 위하여 다년간의 평균치가 아닌 최근의 건조하지 않은 시기의 EVI를 참고자료로 선택할 필요가 있다. 강우와 기온을 반영하여 de Martonne aridity index 계산을 통해 기상학적 건조 상태를 평가하고 가뭄이 식생에 미치는 영향을 분석하기 위한 EVI 기준년을 선택하여 다음 식을 적용하기도 하였다.

$$VIA = EVI_{year} - EVI_{ref.year}$$

백슬기 등 (2016)은 Zhang 등(2012)의 연구에 착안하여 식생지수의 강한 계절적 영향을 제거함으로써 월별 농업적 가뭄의 공간적인 분포를 파악하기 위하여 해당 월의 EVI 값에서 전체 관측기간에 대한 평균치와의 차이를 계산하여 VSIA (Vegetation Stress Index Anomaly)를 산정한 바 있다.

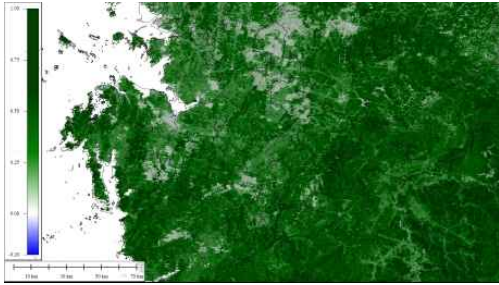

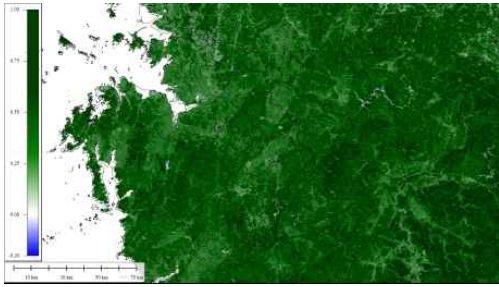

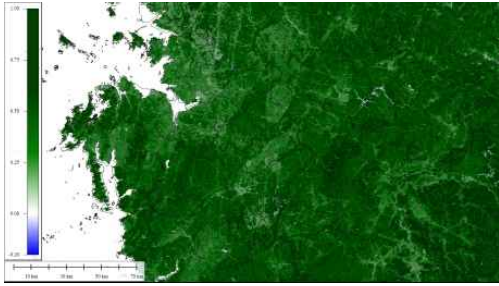

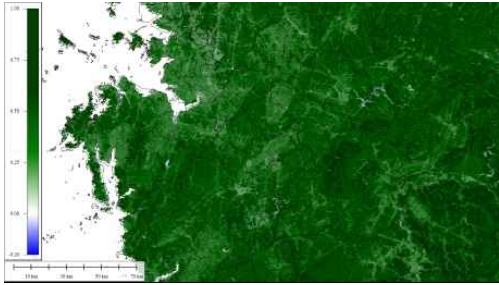

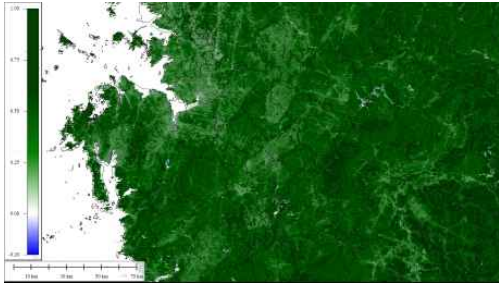
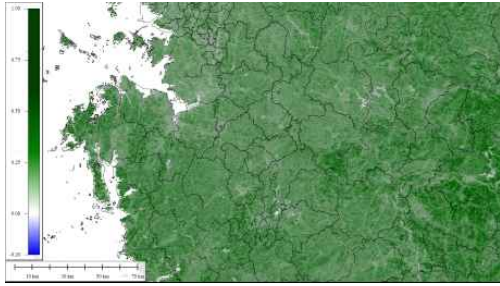
$$VSIA = EVI_{month} - \overline{EVI}_{month}$$

본 연구에서는 영상의 자료주기에 맞추어 8일, 16일 간격으로 VISA를 산정하였다.

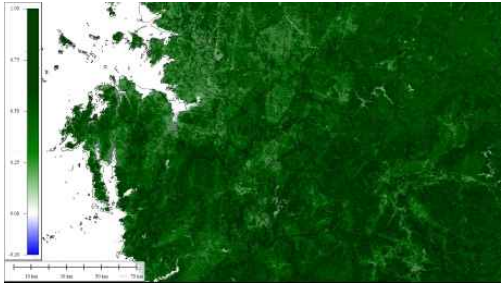

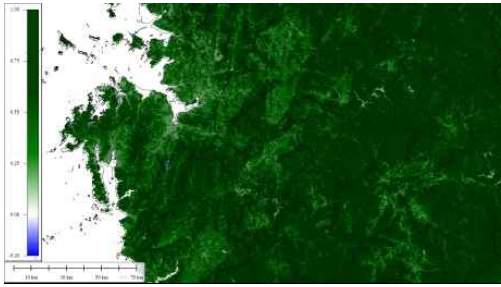
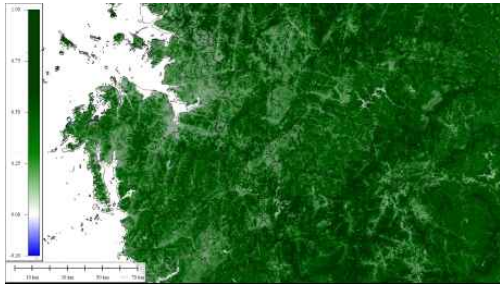
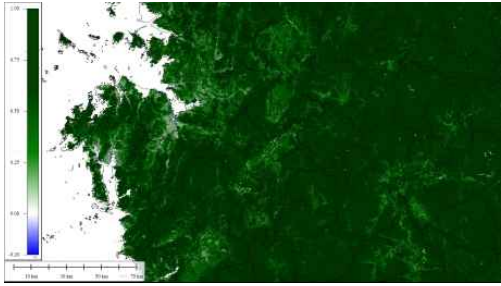
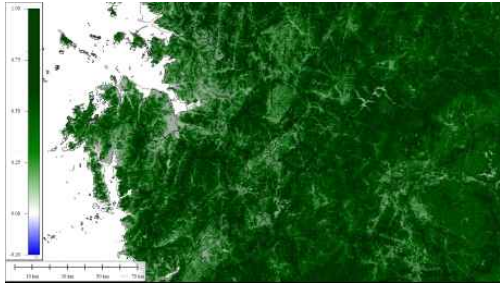
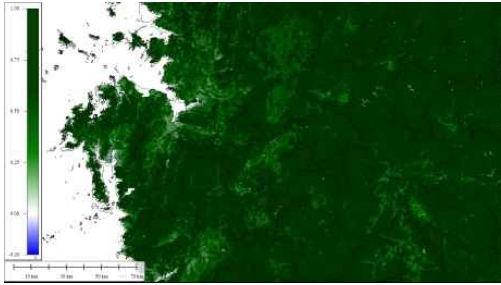
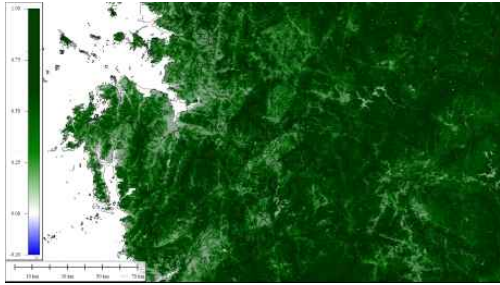
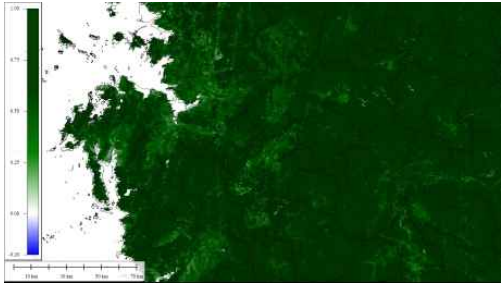
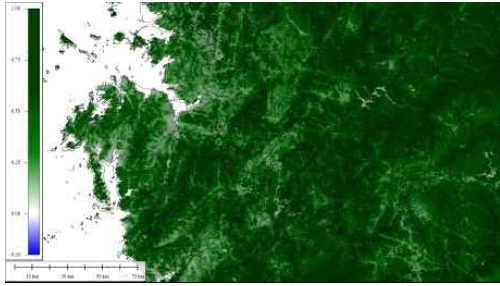
#### (4) MODIS 시계열 가뭄판단 지수 분석결과 및 후보지역 선정

위와 같이 MODIS 버전6 영상을 이용하여 분석 가능한 식생, 토양, 수문 및 시계열 가뭄판별 지수중에서 마지막에 제시한 시계열 분석을 통해 가뭄을 판별하는 VCI(Vegetation Condition Index), SVI(Standardized Vegetation Index), VSIA(Vegetation Stress Index Anomaly)는 과거의 통계적 특성을 활용함으로써 가뭄지역을 파악하는 방법으로 대상을 선정하는데 합리적인 방법으로 판단하였다.

MODIS MOD13Q1을 이용하여 2017년도 VCI, SVI, VSIA를 산정하기 위하여 2000년도~2016년도 까지의 산출일자별 화소의 최소, 최대, 평균, 표준편차를 산정하였으며, 대상영역은 금년도 중부지방의 봄가뭄 상황을 고려하여 경기, 충청지역을 중심으로 하였다. VCI, SVI는 NDVI, VSIA는 EVI를 이용하여 산출되나, NDVI와 EVI를 적용한 결과의 차이를 파악하기 위하여 NDVI, EVI 구분 없이 VCI, SVI, VSIA를 산정하였다. VSIA의 경우 월단위로 산정할 수 있으나 원본자료의 활용차원에서 월평균 대신 원본자료의 날짜를 기준으로 산출하였다.

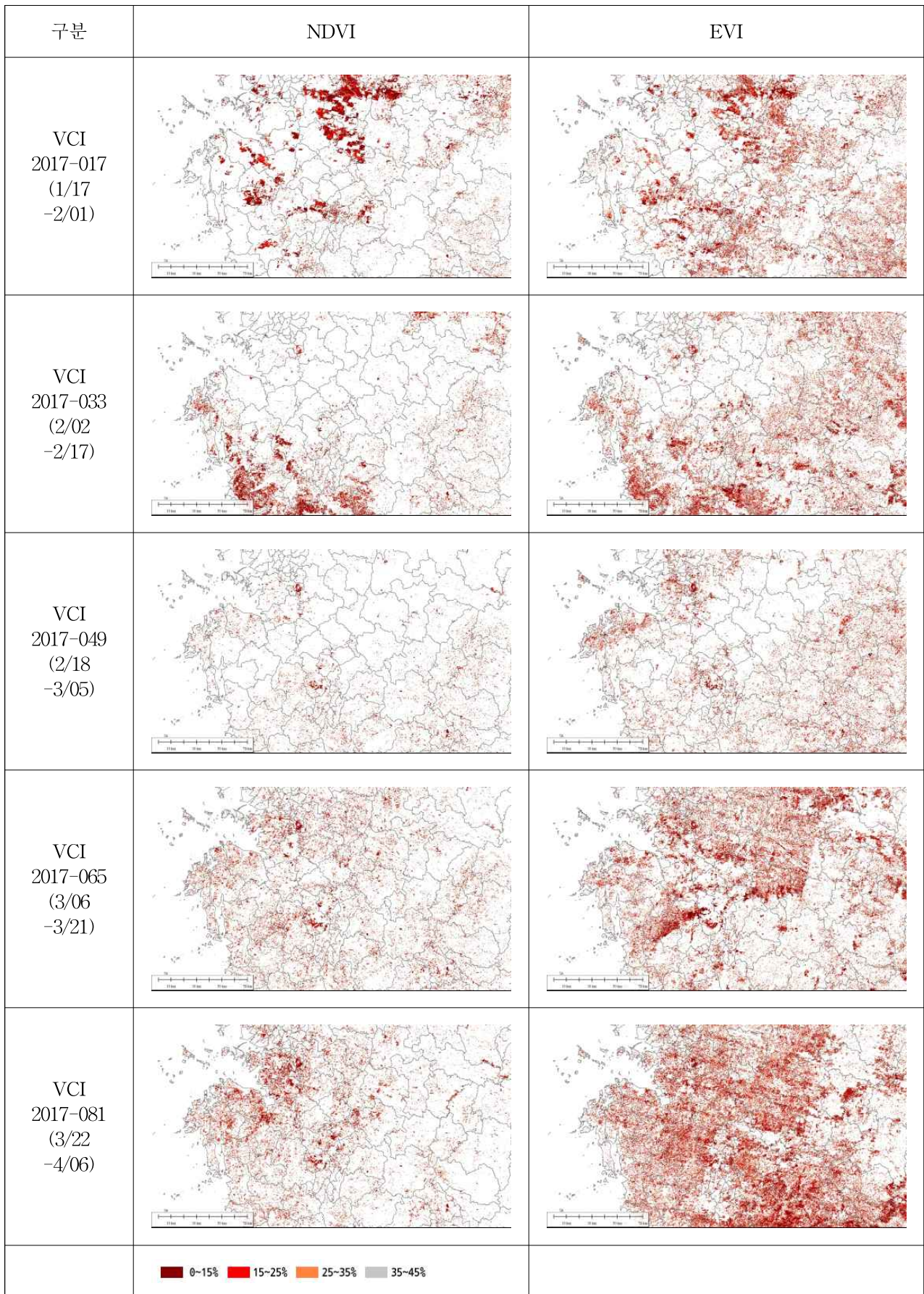
구분	NDVI	EVI
2017-017 (1/17 -2/01)		
2017-033 (2/02 -2/17)		
2017-049 (2/18 -3/05)		
2017-065 (3/06 -3/21)		
2017-081 (3/22 -4/06)		

[그림 2.2.143] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI

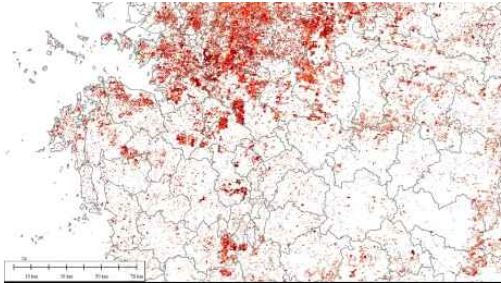
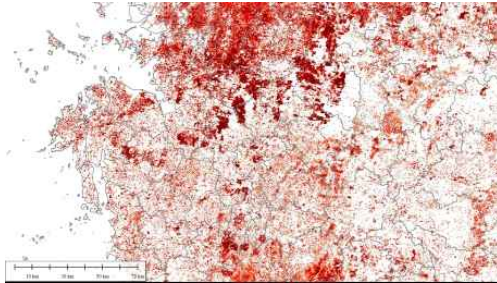
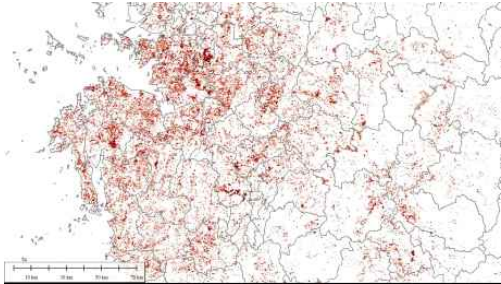
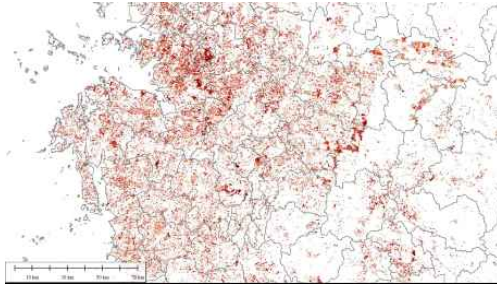
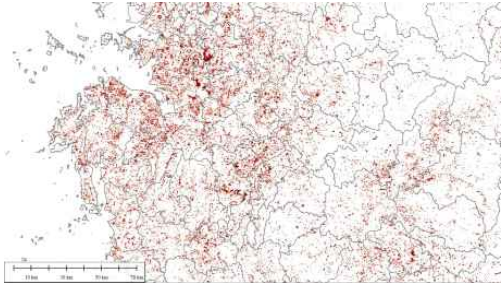
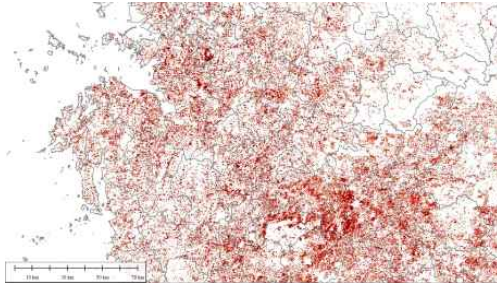
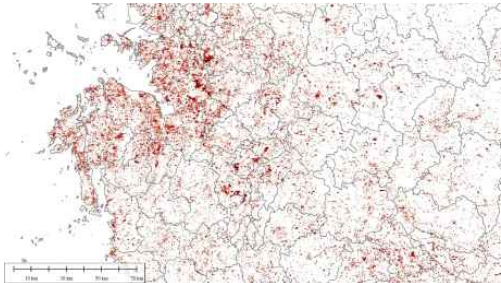
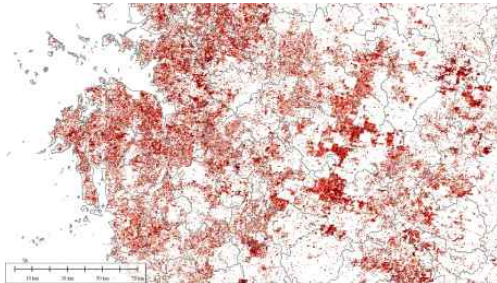
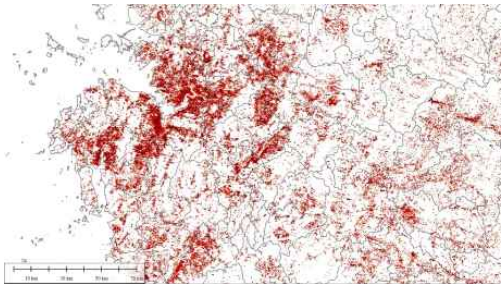
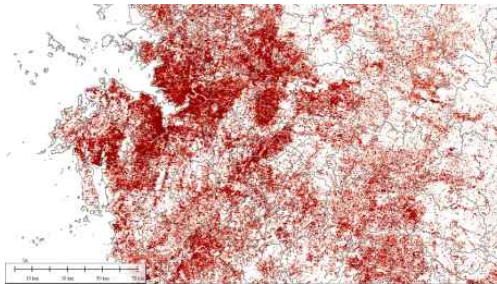

구분	NDVI	EVI
2017-097 (4/07 -4/22)		
2017-113 (4/23 -5/08)		
2017-129 (5/09 -5/24)		
2017-145 (5/25 -6/10)		
2017-161 (6/11 -6/26)		

[그림 2.2.31] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI(계속)

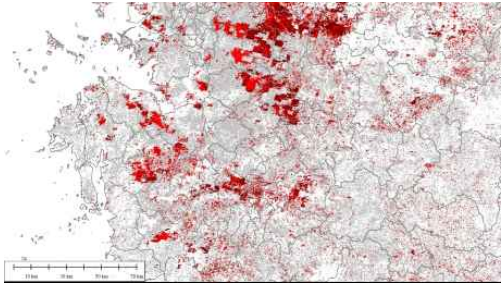
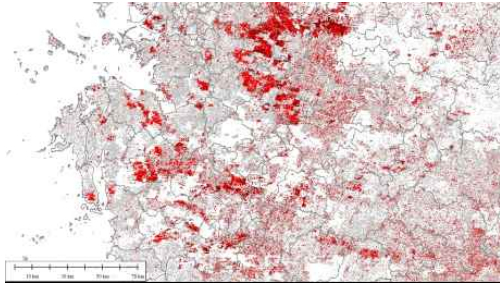
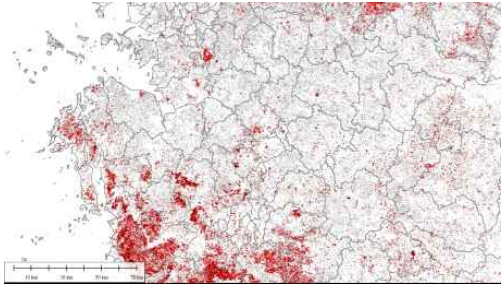
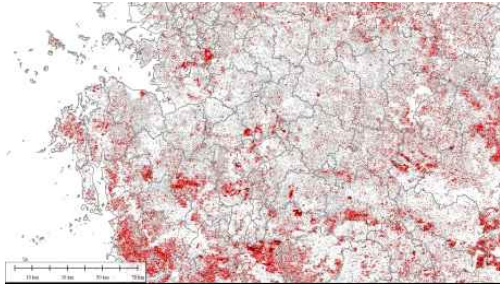
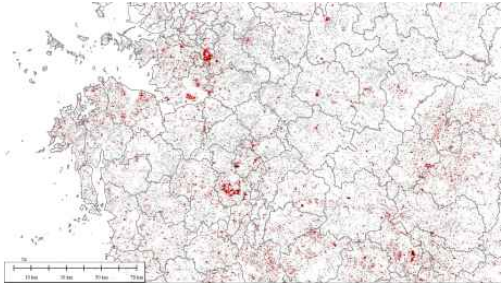
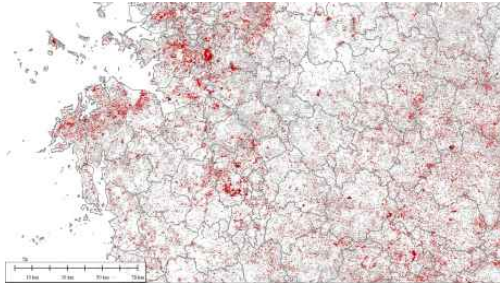
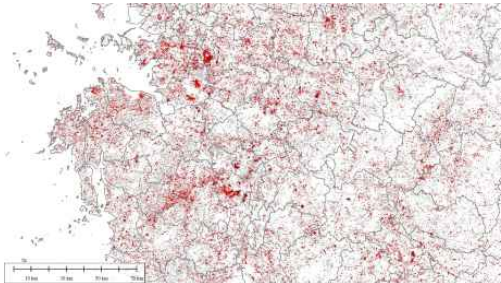
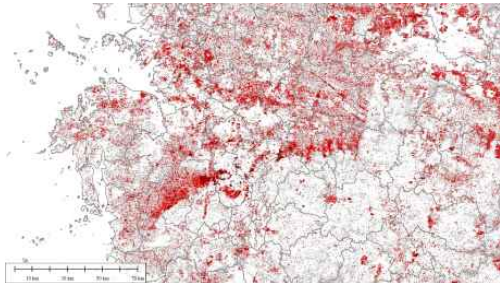
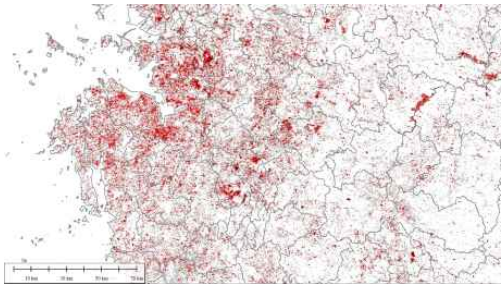
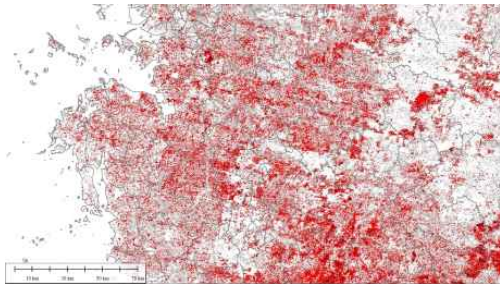





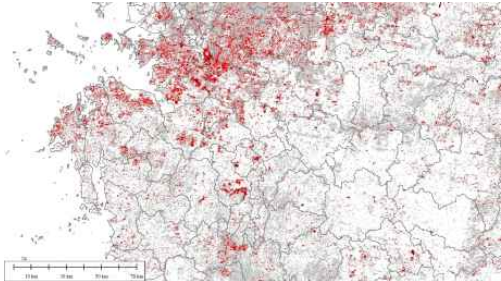
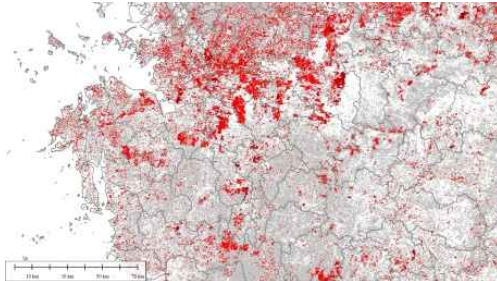
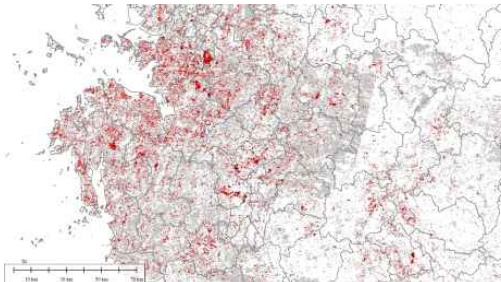
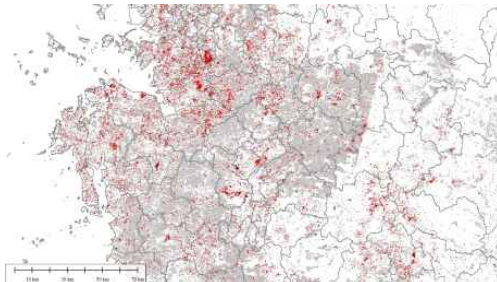
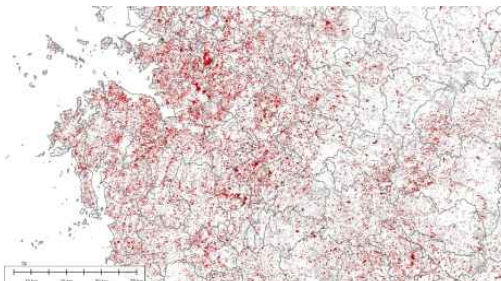
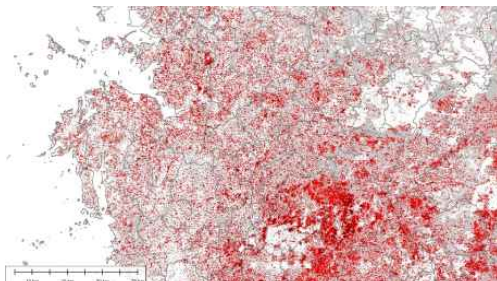
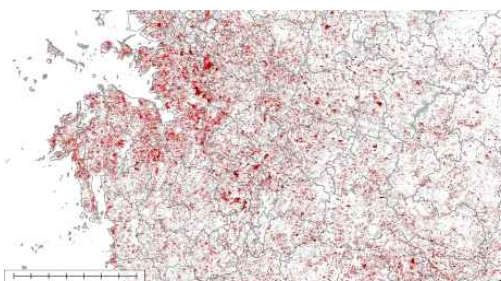
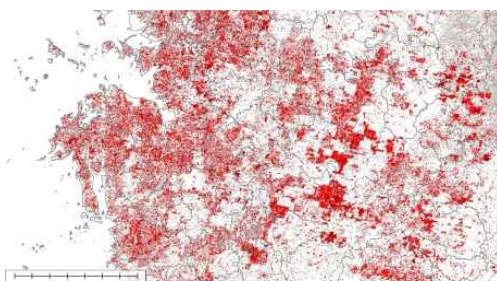
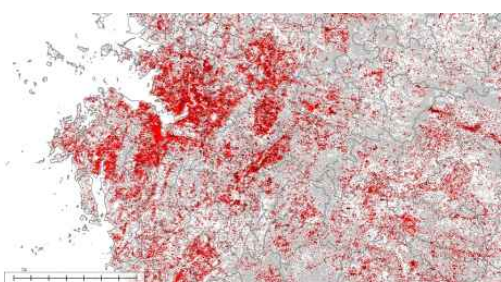
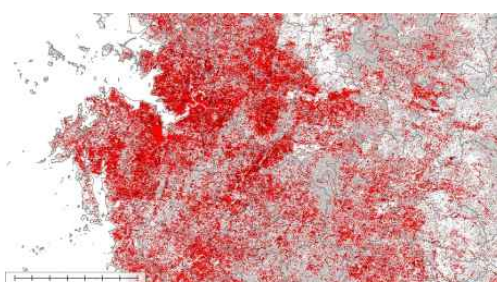

[그림 2.2.144] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VCI 산정결과

구분	NDVI	EVI
VCI 2017-097 (4/07 -4/22)		
VCI 2017-113 (4/23 -5/08)		
VCI 2017-129 (5/09 -5/24)		
VCI 2017-145 (5/25 -6/10)		
VCI 2017-161 (6/11 -6/26)		
범례		

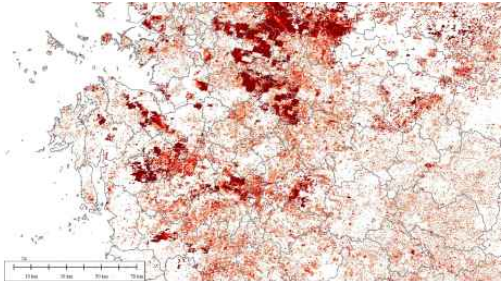
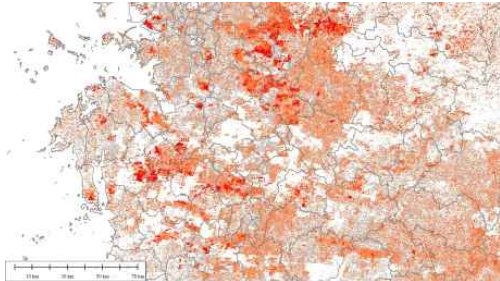
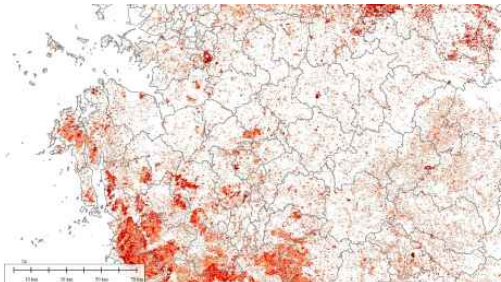
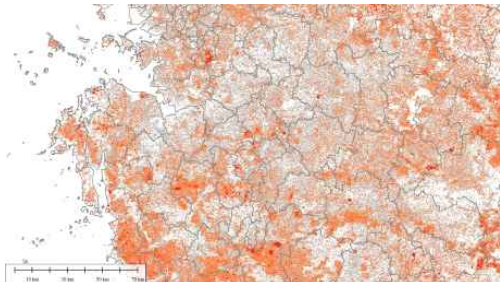
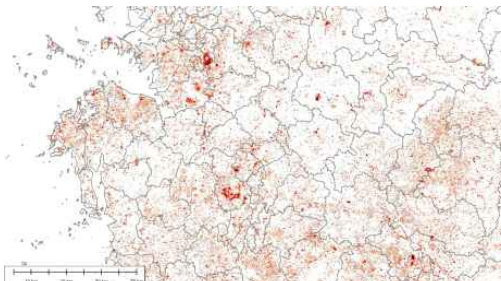
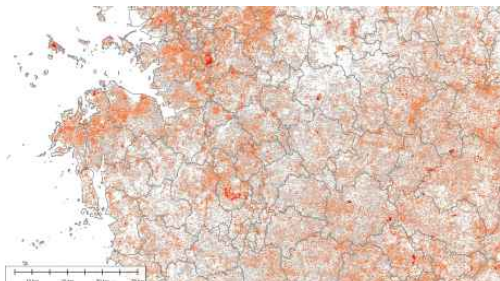
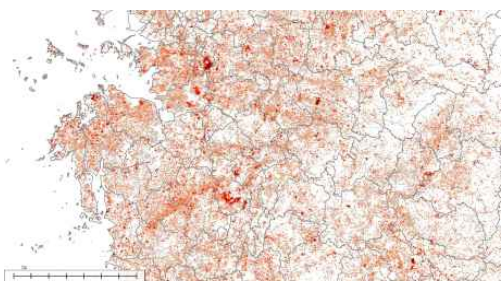
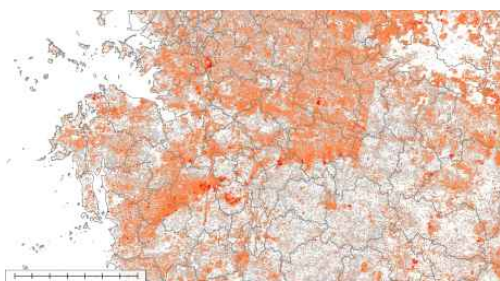
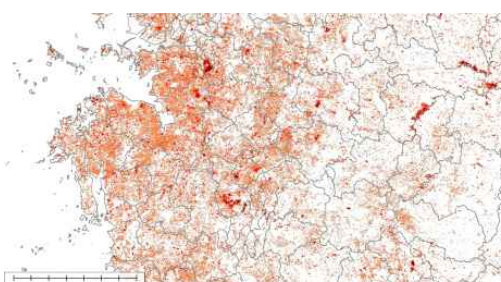
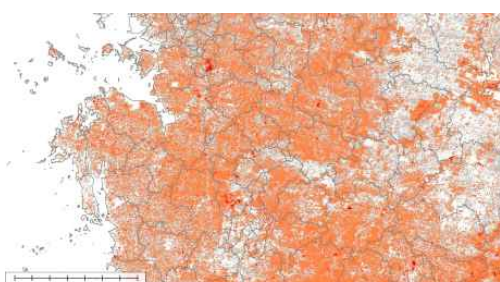

[그림 2.2.32] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VCI 산정결과(계속)

구분	NDVI	EVI
SVI 2017-017 (1/17 -2/01)		
SVI 2017-033 (2/02 -2/17)		
SVI 2017-049 (2/18 -3/05)		
SVI 2017-065 (3/06 -3/21)		
SVI 2017-081 (3/22 -4/06)		
범례		

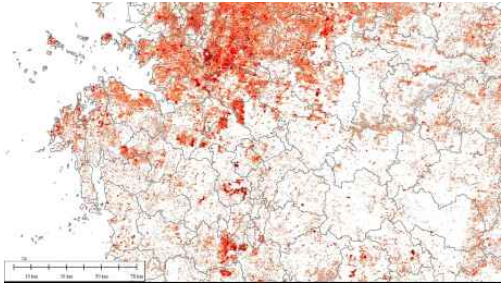
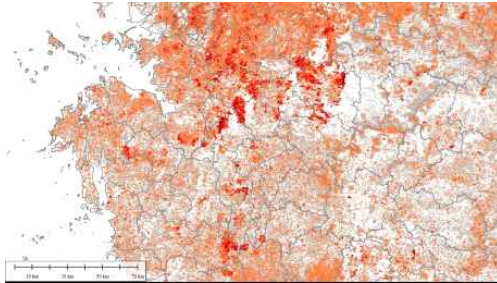
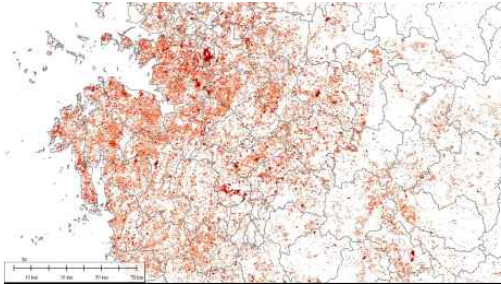
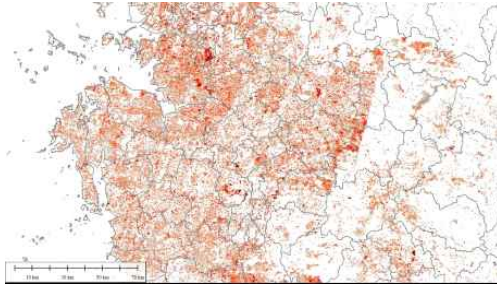
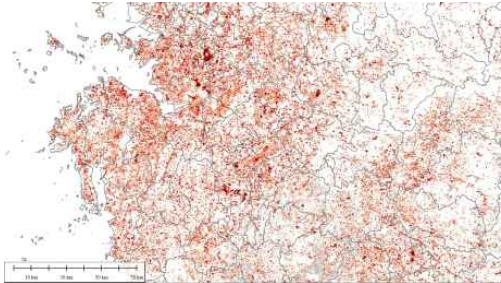
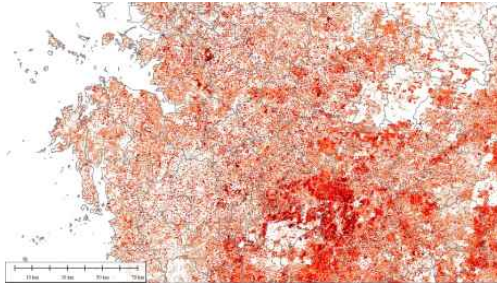
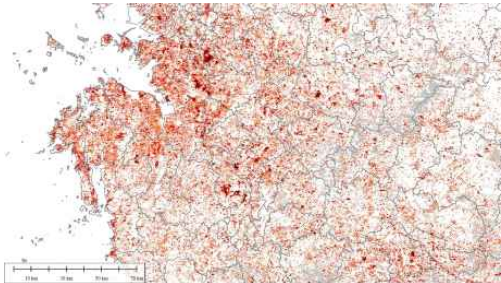
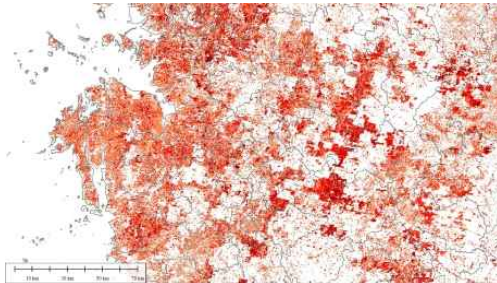
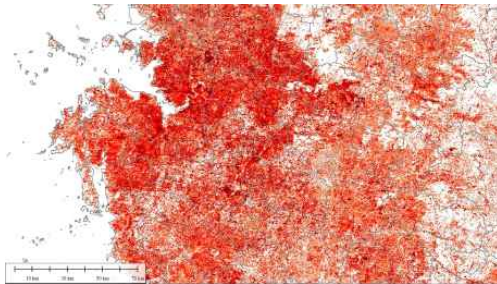

[그림 2.2.145] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 SVI 산정결과

구분	NDVI	EVI
SVI 2017-097 (4/07 -4/22)		
SVI 2017-113 (4/23 -5/08)		
SVI 2017-129 (5/09 -5/24)		
SVI 2017-145 (5/25 -6/10)		
SVI 2017-161 (6/11 -6/26)		
범례		

[그림 2.2.33] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 SVI 산정결과(계속)

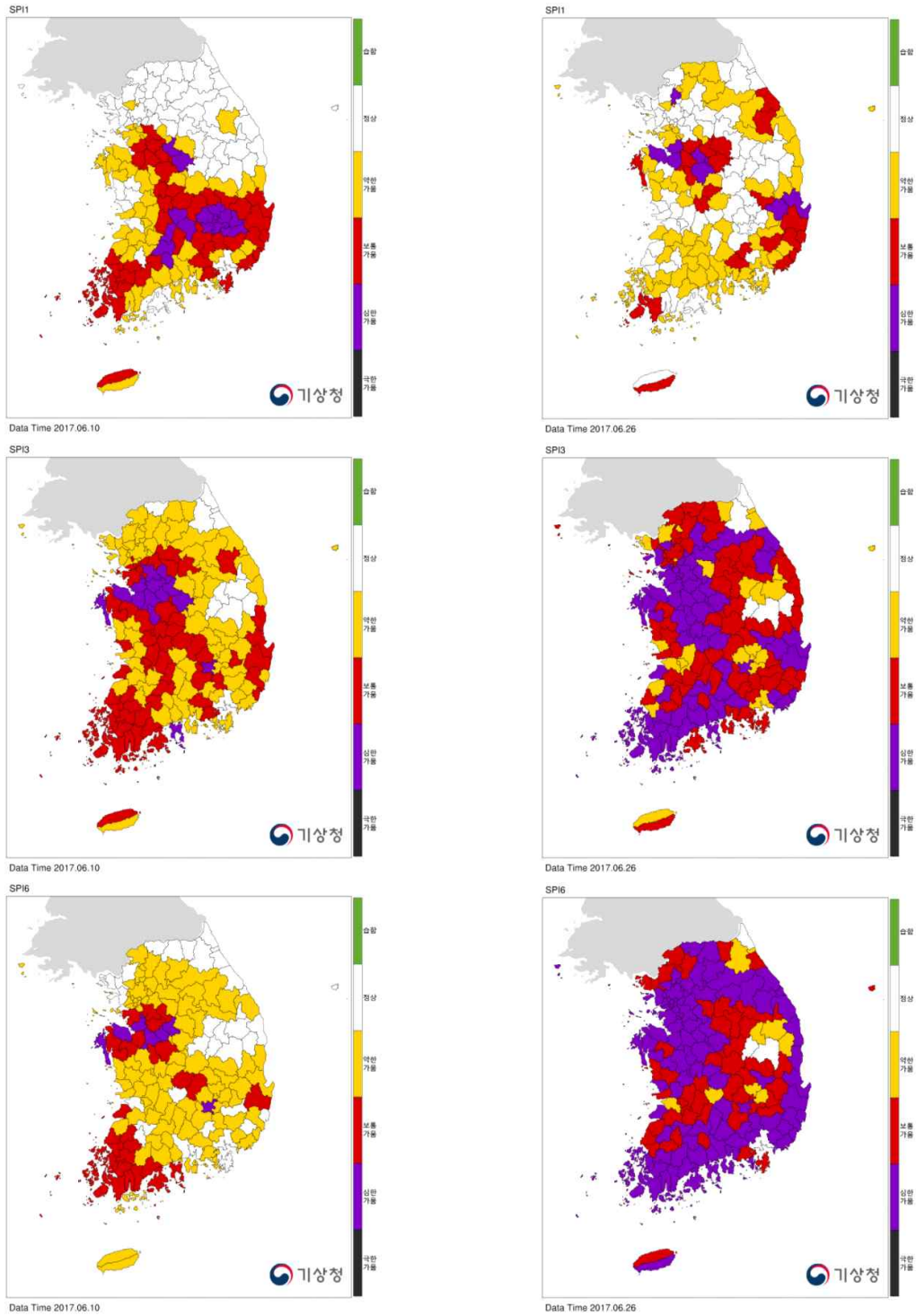
구분	NDVI	EVI
VSIA 2017-017 (1/17 -2/01)		
VSIA 2017-033 (2/02 -2/17)		
VSIA 2017-049 (2/18 -3/05)		
VSIA 2017-065 (3/06 -3/21)		
VSIA 2017-081 (3/22 -4/06)		
범례		

[그림 2.2.146] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VSIA 산정결과

구분	NDVI	EVI
VSIA 2017-097 (4/07 -4/22)		
VSIA 2017-113 (4/23 -5/08)		
VSIA 2017-129 (5/09 -5/24)		
VSIA 2017-145 (5/25 -6/10)		
VSIA 2017-161 (6/11 -6/26)		
범례		

[그림 2.2.34] 2017년 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VSIA 산정결과(계속)

분석결과에서는 MOD13Q1의 EVI가 NDVI보다 식생지수를 보다 뚜렷하게 나타내고 있으나, NDVI를 이용한 VCI, SVI, VSIA의 결과 값이 EVI를 이용한 산정결과 보다 가뭄지역을 잘 나타내고 있는 것으로 나타났다. 분석결과를 기상청 수문가뭄정보시스템에서 제공하는 표준강우지수(SPI)를 비교한 결과 VCI, SVI, VSIA가 가뭄예상지역을 판단하는데 유용하게 활용될 수 있음을 파악할 수 있다.



※ 출처 : <https://hydro.kma.go.kr/drought/obsAdm.do>

[그림 2.2.147] 2017-145~161 기간 SPI1, SPI3, SPI6 현황

## 나. 드론영상 모니터링 대상지역 선정

### (1) 광역적 위성영상 분석에 의한 후보지역의 현황

#### (가) 안성시

안성시는 동경 127°06' ~ 127°31', 북위 36°53' ~ 37°09' 사이에 위치하고 있으며, 행정구역으로는 안성 1동, 2동, 3동 및 공도읍 등 총 1개읍 11면 3동으로 이루어져 있다. 전체적으로는 동북이 높고 서남의 경사가 완만하며, 남북으로 형성된 차령산맥은 지역을 동·서 양부로 나누는 분수령이 되어 동쪽으로는 청미천이 흐르고 서쪽으로는 안성천과 조령천, 한천이 합류하여 서해로 흘러 나간다. 남쪽으로 서운산(547m)이 충남북과 도계를 이루며 솟아있고 관내 전역에 크고 낮은 산들이 병풍처럼 에워싸고 있으며 남·서쪽으로 장년기 및 노년기의 구릉지이며 하천의 발달로 평야가 넓게 자리하고 있다.

충북 진천과 접경에 있는 차령산맥줄기의 덕성산에서 세지맥으로 나누어 서쪽으로는 서운산(547m) 동쪽으로는 백운산(345m), 마이산(471m)과 연결되고 나머지 하나는 북쪽으로 뻗어 시내 한복판에 우뚝서있는 비봉산(230m)을 이룬 다음 시궁산(514m), 천덕산(355m), 덕암산(163m), 고성산(298m), 백련봉(239m)을 형성하고 있다. 산지의 면적은 안성시 전체 면적의 약 52%를 차지하고 있다.

안성시 행정구역 현황  
(2016년 기준)



[그림 2.2.148] 안성시 위치도 및 행정구역 현황



① 기상현황

안성시는 우리나라의 중부지방에 위치하고 있어 북부와 남부 사이의 접이성 기후 형태로 나타나고 있으며 차령산맥에서 이어져 내려와서 드넓은 평야지대를 이르는 지형적 조건은 이곳 기후의 특색을 나타내 준다. 안성시의 강수량은 벼농사 및 기타 작물재배에 적당하며 벼의 본격적인 생육기간인 6, 7, 8월에 집중되어 있기 때문에 양질의 경기미가 생산되고 있다. 기상현황과 관련하여 안성시 인근 기상관측소인 수원, 이천, 천안 기상관측소의 자료를 조사하였다.

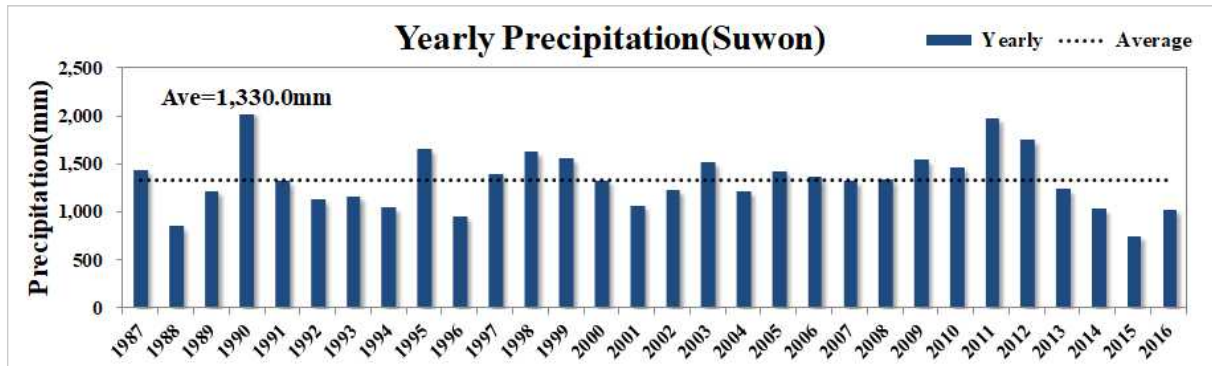
㉠ 강우량

안성시 인근 기상관측소인 수원, 이천, 천안 기상관측소의 30개년(1987~2016)자료를 조사하여 정리하였다.

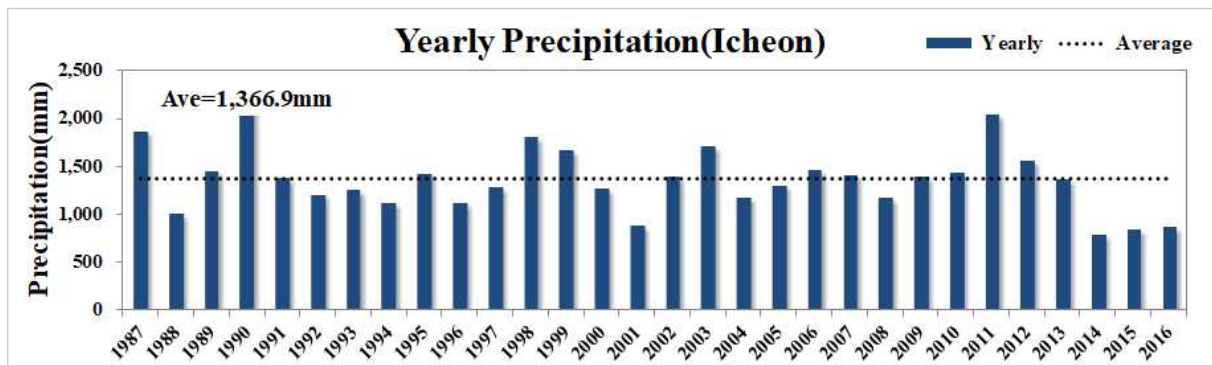
[표 2.2.27] 안성시 인근 기상관측소 연강수량 현황(1987~2016)

연도	관측소			연도	관측소		
	수원	이천	천안		수원	이천	천안
1987	1,439.1	1,870.1	1,785.8	2002	1,231.7	1,394.6	1,312.5
1988	849.8	1,005.3	711.5	2003	1,514.8	1,715.2	1,628.3
1989	1,217.7	1,452.2	1,223.7	2004	1,217.0	1,177.4	1,363.3
1990	2,043.6	2,313.3	1,512.5	2005	1,427.7	1,303.3	1,309.3
1991	1,320.4	1,379.1	1,104.0	2006	1,362.7	1,464.8	1,043.3
1992	1,129.4	1,207.0	933.6	2007	1,325.0	1,414.8	1,562.4
1993	1,162.9	1,251.8	1,080.7	2008	1,342.9	1,170.7	870.1
1994	1,045.6	1,118.8	1,170.2	2009	1,541.2	1,401.5	999.9
1995	1,653.3	1,423.9	1,586.0	2010	1,470.6	1,429.6	1,378.3
1996	952.1	1,122.1	967.5	2011	1,975.9	2,045.0	1,845.8
1997	1,394.3	1,282.9	1,268.8	2012	1,748.3	1,559.2	1,336.7
1998	1,626.9	1,807.5	1,583.7	2013	1,240.1	1,366.6	1,095.6
1999	1,556.1	1,675.3	1,365.1	2014	1,029.1	791.5	1,020.5
2000	1,328.8	1,264.9	1,408.1	2015	751.1	842.5	728.0
2001	1,067.2	884.9	838.2	2016	1,023.4	870.2	1,004.8
평균(30개년)	수원 1,333.0mm / 이천 1,366.9mm / 천안 1,234.6mm						

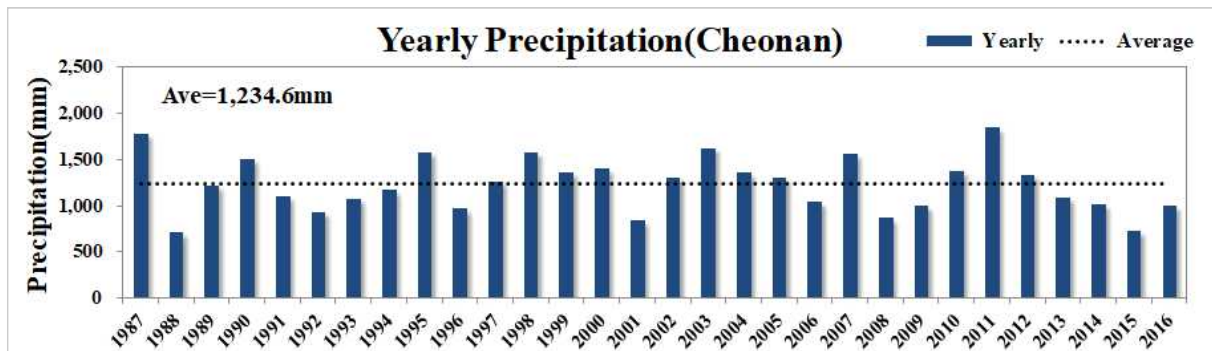
※출처 : 제시된 기상자료는 기상청 날씨누리 자료 활용(www.weather.go.kr), 이하동일



(a) 수원



(b) 이천



(c) 천안

[그림 2.2.149] 안성시 인근기상관측소 30개년 강수량(1987~2016)

수원관측소의 2017년 월강수량을 평년값(1987~2016)과 비교한 결과 6월까지의 월 강수량은 평년값의 약 38.7%(19.9~92.4%) 수준의 강수량을 나타내는 것으로 조사되었으며, 7월이후는 집중호우의 영향으로 평년대비 156.1%의 강수가 내린 것으로 조사되었다. 이천관측소 역시 2017년 월강수량은 6월까지의 평년대비 37.6%(25.1~69.8%)의 수준을 나타내었으나, 7월이후 평년의 113.7%에 해당하는 강수가 내린 것으로 조사되었다. 천안관측소의 2017년 월강수량은 6월까지의 평년강수량의 32.7%(11.1~115.9%)수준 이었으나, 7월이후 평년의 115.9%로 조사되었다. 이렇듯 2017년 안성시의 월강수량은 6월까지의 평년값의 30~40%수준의 가뭄형태를 나타내었으나, 7월이후 집중호우 등의 영향으로 평년수준으로 회복된 것으로 조사되었다. 각 관측소별 세부조사결과는 아래와 같다.

[표 2.2.28] 수원기상관측소 강수량 비교(평년값 vs 2017)

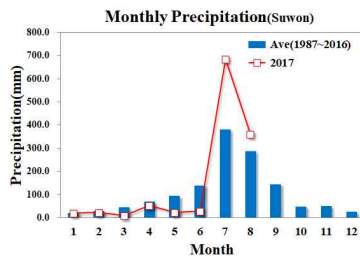
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
A (평년값)	21.0	28.0	45.0	70.3	93.3	138.6	381.3	287.6	145.1	48.5	49.7	24.7	1,333.0
B (2017)	19.4	22.5	9.0	52.5	22.5	27.6	684.5	359.7	-	-	-	-	-
B/A(%)	92.4	80.4	20.0	74.6	24.1	19.9	179.5	125.1	-	-	-	-	-

[표 2.2.29] 이천기상관측소 강수량 비교(평년값 vs 2017)

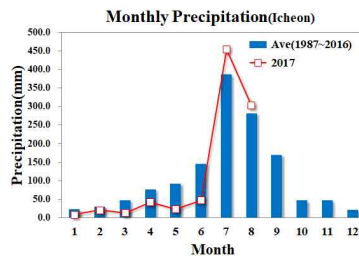
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
A (평년값)	22.8	29.9	47.3	77.0	92.4	145.7	386.1	281.4	169.6	46.1	46.7	21.9	1,366.9
B (2017)	8.7	20.9	13.6	42.3	23.2	47.2	454.9	303.8	-	-	-	-	-
B/A(%)	38.2	69.8	28.7	54.9	25.1	32.4	117.8	108.0	-	-	-	-	-

[표 2.2.30] 천안기상관측소 강수량 비교(평년값 vs 2017)

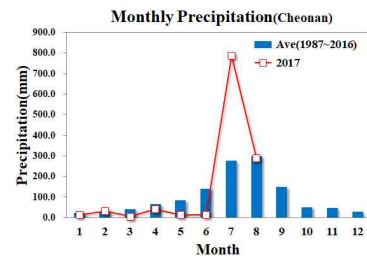
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
A (평년값)	22.6	27.8	41.9	66.9	83.3	141.1	275.8	298.1	149.7	51.6	47.5	28.2	1,234.6
B (2017)	13.9	32.2	6.5	42.9	14.3	15.6	788.1	291.5	-	-	-	-	-
B/A(%)	61.6	115.9	15.5	64.1	17.2	11.1	285.8	97.8	-	-	-	-	-



(a) 수원



(b) 이천



(c) 천안

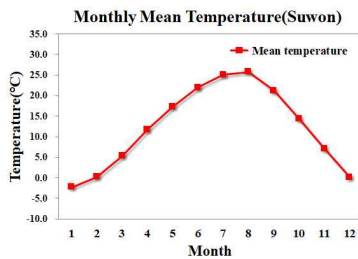
[그림 2.2.150] 안성시 인근기상관측소 월강수량 비교(평년값 vs 2017)

㉔ 기온

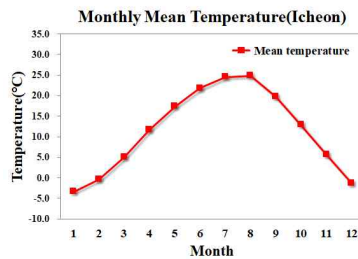
수원관측소의 월평균 기온은 -2.2~25.8℃의 분포를 나타내고 있는 것으로 조사되었으며, 이천관측소는 -3.2~24.9℃, 천안관측소는 -2.4~25.2℃의 분포를 나타내고 있다. 조사기간 월평균 최고기온은 수원 30.1℃, 이천 30.1℃, 천안 30.2℃로 조사되었으며, 월평균 최저기온은 수원 -6.7℃, 이천 -8.5℃, 천안 -7.4℃로 조사되었다. 관측소별 세부 기온현황은 아래표와 같다.

[표 2.2.31] 안성시 인근 기상관측소 30개년 월평균 기온(℃)

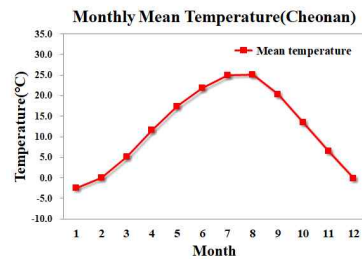
구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
수원	평균	-6.7	-4.5	0.4	6.2	12.2	17.8	21.9	22.4	16.9	9.2	2.4	-4.2
	최고	-2.2	0.3	5.4	11.8	17.4	22.0	25.1	25.8	21.2	14.4	7.1	0.2
	최저	2.6	5.5	10.9	18.0	23.3	27.2	29.0	30.1	26.3	20.4	12.4	5.0
이천	평균	-8.5	-5.9	-0.9	4.9	11.1	16.7	20.9	21.0	15.0	7.0	0.3	-6.2
	최고	-3.2	-0.3	5.2	11.9	17.5	21.8	24.6	24.9	19.8	13.0	5.8	-1.1
	최저	2.5	5.9	11.8	19.2	24.3	27.7	29.2	30.1	25.9	20.3	12.0	4.5
천안	평균	-7.4	-5.2	-0.9	4.9	11.4	16.9	21.2	21.2	15.3	7.4	1.2	-4.9
	최고	-2.4	0.1	5.1	11.6	17.4	21.8	24.9	25.2	20.2	13.5	6.6	-0.1
	최저	2.9	5.8	11.5	18.7	24.0	27.4	29.5	30.2	26.2	20.6	12.8	5.4



(a) 수원



(b) 이천



(c) 천안

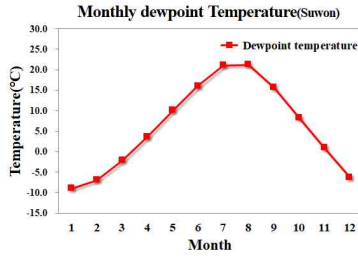
[그림 2.2.151] 안성시 인근기상관측소 월평균기온

㉔ 이슬점온도

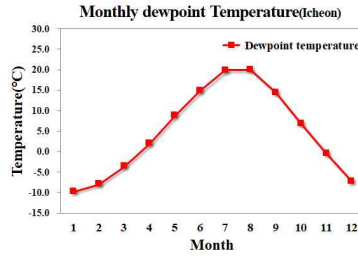
수원관측소의 30개년 월평균 이슬점온도는 -8.9~21.3℃의 분포를 나타내고 있으며, 이천관측소는 -9.6~20.1℃, 천안관측소는 -7.5~20.7℃의 분포를 나타내는 것으로 조사되었다. 각 관측소별 세부 조사결과는 아래표와 같다.

[표 2.2.32] 안성시 인근 기상관측소 30개년 월평균 이슬점온도(℃)

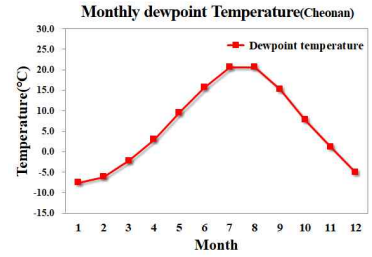
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
수원	-8.9	-6.8	-2.1	3.8	10.1	16.1	21.1	21.3	15.7	8.3	1.0	-6.1
이천	-9.6	-7.8	-3.5	2.1	8.9	14.9	20.0	20.1	14.5	7.0	-0.3	-7.1
천안	-7.5	-6.1	-2.1	3.0	9.6	15.7	20.7	20.7	15.2	7.8	1.3	-5.0



(a) 수원



(b) 이천



(c) 천안

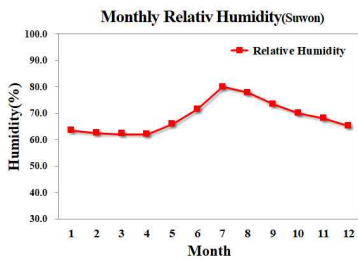
[그림 2.2.152] 안성시 인근기상관측소 월평균이슬점온도

㉔ 상대습도

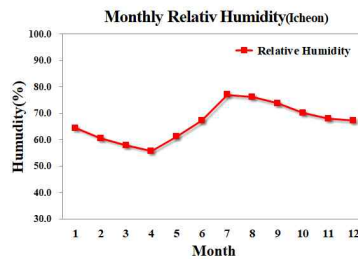
수원관측소의 30개년 월평균 상대습도는 62.2~80.1%의 분포를 나타내었으며, 이천관측소는 55.8~77.0%, 천안관측소는 60.3~78.5%의 분포를 나타내는 것으로 조사되었다. 각 관측소별 세부 조사결과는 아래표와 같다.

[표 2.2.33] 안성시 인근 기상관측소 30개년 월평균 상대습도(%)

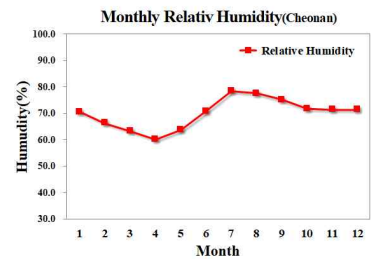
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
수원	63.7	62.7	62.6	62.2	66.1	71.7	80.1	77.9	73.4	70.1	68.2	65.4
이천	64.5	60.5	57.9	55.8	61.2	67.3	77.0	76.1	73.7	70.1	68.0	67.2
천안	70.7	66.5	63.5	60.3	63.9	70.9	78.5	77.7	75.3	71.8	71.5	71.5



(a) 수원



(b) 이천



(c) 천안

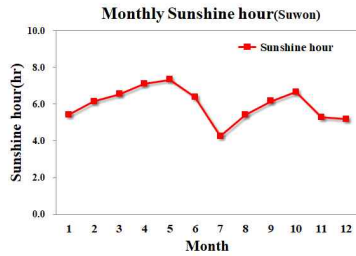
[그림 2.2.153] 안성시 인근기상관측소 월평균상대습도

㉕ 일조시간

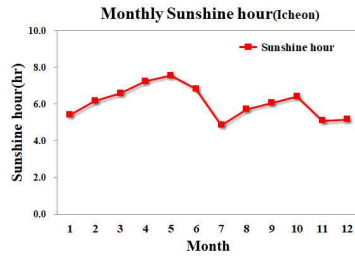
수원관측소의 30개년 월평균 일조시간을 조사한 결과 4.3~7.3hr으로 조사되었으며, 이천 4.9~7.6hr, 천안 5.0~7.9hr의 일조시간을 나타내는 것으로 조사되었다. 일반적으로 일조시간은 봄, 가을에 높게 나타나며 강수량이 집중되는 여름과 해가 짧은 겨울은 짧게 나타난다.

[표 2.2.34] 안성시 인근 기상관측소 30개년 월평균 일조시간(hr)

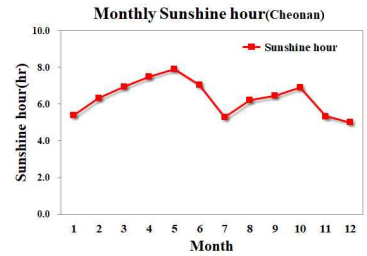
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
수원	5.4	6.2	6.5	7.1	7.3	6.4	4.3	5.4	6.2	6.7	5.3	5.2
이천	5.4	6.2	6.6	7.3	7.6	6.8	4.9	5.7	6.1	6.4	5.1	5.2
천안	5.4	6.3	6.9	7.5	7.9	7.0	5.3	6.2	6.4	6.9	5.3	5.0



(a) 수원



(b) 이천



(c) 천안

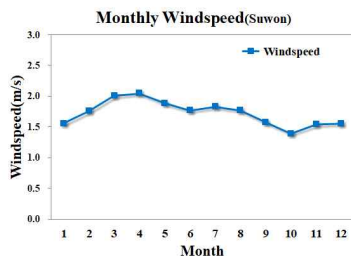
[그림 2.2.154] 안성시 인근기상관측소 월평균 일조시간

㉞ 풍속

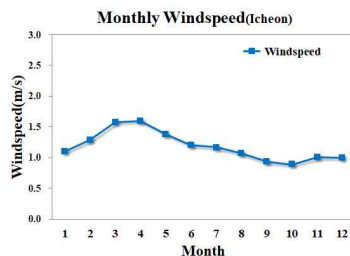
수원관측소의 30개년 월평균 풍속을 조사한 결과 1.4~2.1m/s로 조사되었으며, 이천관측소 0.9~1.6m/s, 천안관측소 1.4~2.1m/s의 풍속을 나타내는 것으로 조사되었다. 관측소별로는 이천 관측소의 풍속이 수원, 천안에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 조사되었다. 관측소별 세부 조사결과는 아래표와 같다.

[표 2.2.35] 안성시 인근 기상관측소 30개년 월평균 풍속(m/s)

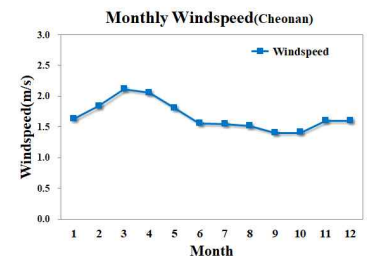
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
수원	1.6	1.8	2.0	2.1	1.9	1.8	1.8	1.8	1.6	1.4	1.5	1.6
이천	1.1	1.3	1.6	1.6	1.4	1.2	1.2	1.1	0.9	0.9	1.0	1.0
천안	1.6	1.8	2.1	2.1	1.8	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.6	1.6



(a) 수원



(b) 이천



(c) 천안

[그림 2.2.155] 안성시 인근기상관측소 월평균 풍속

㉟ 토지이용현황

안성시 총면적은 553.41km<sup>2</sup>이며, 이중 임야면적이 265.33km<sup>2</sup>(47.9%)로 가장높은 토지이용률을 나타내고 있다. 안성시내 농경지 면적은 29.5%(논 20.4%, 밭 9.1%)로 임야를 제외한 토지이용 현황중 가장높은 비율을 나타내는 것으로 조사되었다. 한편 대지면적은 전체면적의 3.6%(19.73 km<sup>2</sup>)로 제일 낮은 토지이용현황을 나타내고 있다.

(나) 태안군

태안군은 충청남도의 서북부에 위치하고 있으며 동시에 한반도의 최서단에 해당하는 지역이다. 태안군의 동쪽 끝은 126° 26'로 태안읍 인평리이고 서쪽 끝은 126° 25'로 근흥면 가의도리의 격렬비열도이다.

북단은 북위 36° 58'으로 이원면 내리이며, 남단은 36° 23'으로 고남면 고남리이다. 태안군은 동쪽을 제외하고는 3면이 모두 바다로 둘러싸인 반도로써 국내 유일한 해안국립공원이 위치하고 있는 지역으로 해안선의 길이가 559.3km이며 곳곳마다 절경을 이루고 있고, 또한 114개의 크고작은 섬들이 분포되어 있다.

내륙은 저산성 구릉지로서 많은 산지가 개간지로 개발되어 논과 밭으로 이용되고 있고 리아시스식 해안은 만곡이 심하여 간척지가 잘 개발되어 있으며, 안면도 천연송림과 아름다운 해안을 있는 30개의 해수욕장과 전설을 간직한 수많은 섬들로 이루어져 있다. 행정구역별로는 태안읍, 안면읍, 고남면, 남면, 근흥면, 소원면, 원북면, 이원면 등 총 2개읍 8개면 188개리로 이루어져 있다.

태안군 행정구역 현황  
(2016년 기준)



□ 행정구역별 면적(km<sup>2</sup>)

태안읍	안면읍	고남면	남면
87.60	91.40	27.80	60.70
근흥면	소원면	원북면	이원면
53.00	69.40	76.50	49.70

※ 자료: 2016년 태안 통계연보

[그림 2.2.156] 태안군 위치도 및 행정구역 현황

① 기상현황

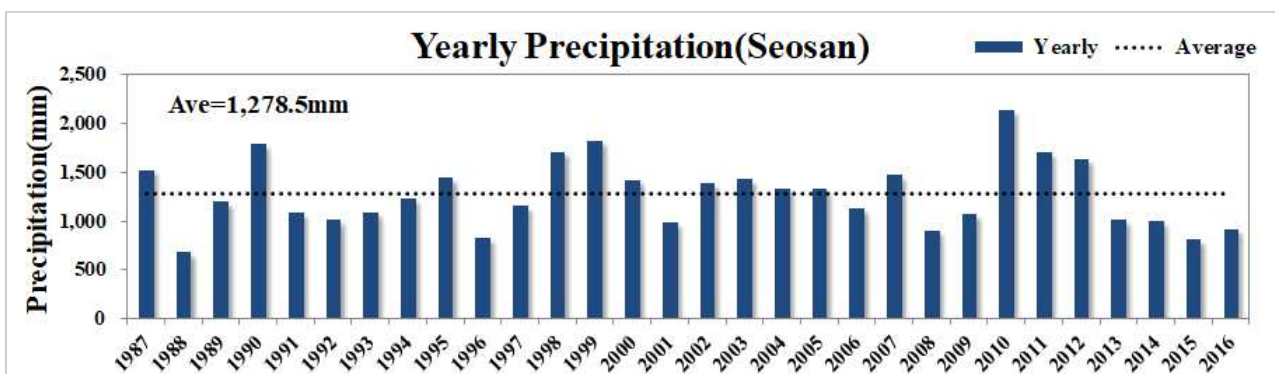
태안군은 우리나라의 최서단에 위치하고 있으며, 3면이 바다와 접해 있으므로 저절로 바다의 영향을 받고 있으나. 겨울철에는 북서 계절풍의 관계로 같은 위도상에 있는 동해안 지역보다 오히려 추운 편이다. 기상현황과 관련하여 태안군 인근 기상관측소인 서산관측소의 30개년(1987~2016) 기상자료를 조사하였으며, 세부내역은 아래와 같다.

㉞ 강우량

태안군 인근 기상관측소인 서산관측소의 30개년(1987~2016)자료를 조사하여 [표 2.2.39]에 나타내었다.

[표 2.2.36] 서산관측소 연강수량 현황(1987~2016)

연도	서산관측소	연도	서산관측소	연도	서산관측소
1987	1,527.8	1997	1,156.9	2007	1,471.1
1988	685.6	1998	1,711.6	2008	909.6
1989	1,197.7	1999	1,826.6	2009	1,074.3
1990	1,788.3	2000	1,424.8	2010	2,141.8
1991	1,088.6	2001	986.8	2011	1,704.4
1992	1,017.6	2002	1,387.6	2012	1,642.6
1993	1,093.6	2003	1,433.4	2013	1,018.7
1994	1,234.5	2004	1,340.9	2014	1,000.2
1995	1,448.3	2005	1,334.2	2015	815.9
1996	830.1	2006	1,139.2	2016	922.1
평균(30개년)	1278.5mm				



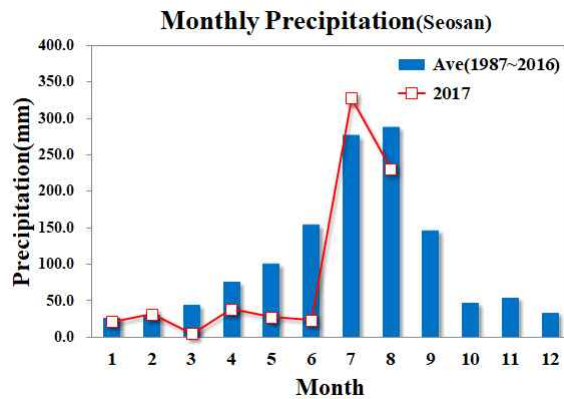
[그림 2.2.157] 서산관측소 30개년 강수량(1987~2016)

서산관측소의 2017년 월강수량을 평년값(1987~2016)과 비교한 결과 6월까지의 월 강수량은 평년값의 약 34.2%(10.8~103.7%) 수준의 강수량을 나타내는 것으로 조사되었으며, 7월이후는 평년대비 98.9%의 강수가 내린 것으로 조사되었다. 월별 세부조사결과는 [표 2.2.40]과 같다.



[표 2.2.37] 서산관측소 강수량 비교(평년값 vs 2017)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
A (평년값)	27.1	30.3	44.3	75.4	100.2	154.1	276.6	288.6	146.7	46.8	54.4	34.0	1,278.5
B (2017)	21.3	31.4	4.8	38.9	27.9	23.3	327.8	231.3	-	-	-	-	-
B/A(%)	78.5	103.7	10.8	51.6	27.8	15.1	118.5	80.2	-	-	-	-	-



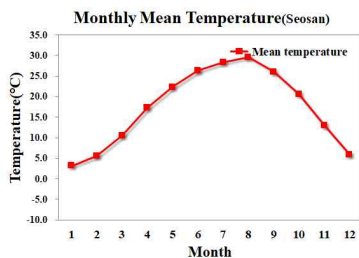
[그림 22158] 서산관측소 월강수량 비교(평년값 vs 2017)

㉔ 기온

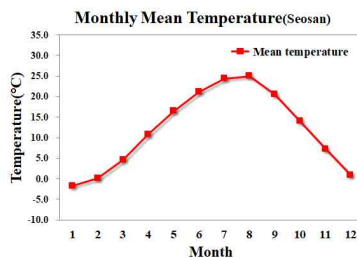
서산관측소의 월평균 기온은  $-1.6\sim 25.1^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 나타내고 있는 것으로 조사되었다. 조사 기간 월평균 최고기온은  $29.7^{\circ}\text{C}$ , 최저기온은  $-6.1^{\circ}\text{C}$ 로 조사되었다. 관측소별 세부 기온현황은 [표 2.2.38]와 같다.

[표 2.2.38] 서산관측소 30개년 월평균 기온( $^{\circ}\text{C}$ )

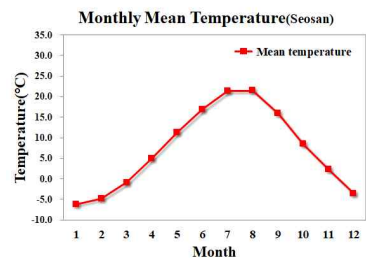
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
서산	평균	-1.6	0.1	4.6	10.9	16.5	21.2	24.5	25.1	20.6	14.1	7.3	0.9
	최고	3.2	5.6	10.6	17.3	22.4	26.3	28.4	29.7	26.1	20.6	13.0	5.9
	최저	-6.1	-4.8	-0.8	5.0	11.3	16.9	21.4	21.5	16.0	8.5	2.3	-3.6



(a) 최고기온



(b) 평균기온



(c) 최저기온

[그림 2.2.159] 서산기상관측소 월평균기온

㉕ 이슬점온도

서산관측소의 30개년 월평균 이슬점온도는  $-6.7\sim 21.6^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 나타내고 있는 것으로 조사되었으며, 월별 세부조사결과는 아래표와 같다.

[표 2.2.39] 서산관측소 30개년 월평균 이슬점온도(℃)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
서산	-6.7	-5.6	-1.6	4.1	10.6	16.4	21.5	21.6	16.2	9.0	2.4	-3.9

㉔ 상대습도

서산관측소의 30개년 월평균 상대습도는 67.6~84.4%의 분포를 나타내고 있는 것으로 조사되었으며, 월별 세부 조사결과는 아래표와 같다.

[표 2.2.40] 서산관측소 30개년 월평균 상대습도(%)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
서산	71.2	68.8	67.9	67.6	71.6	76.7	84.4	82.4	78.4	74.7	73.7	72.8

㉕ 일조시간

서산관측소의 30개년 월평균 일조시간을 조사한 결과 4.5~7.7hr으로 조사되었다. 서산관측소의 세부 조사결과는 아래표와 같다.

[표 2.2.41] 서산관측소 30개년 월평균 일조시간(hr)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
서산	4.9	6.0	6.6	7.3	7.7	6.5	4.5	5.9	6.4	6.6	5.0	4.6

㉖ 풍속

서산관측소의 30개년 월평균 풍속을 조사한 결과 1.9~2.9m/s 풍속을 나타내는 것으로 조사되었다. 서산관측소의 세부 조사결과는 아래표와 같다.

[표 2.2.42] 서산관측소 30개년 월평균 풍속(m/s)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
서산	2.3	2.4	2.8	2.9	2.7	2.3	2.6	2.2	2.0	1.9	2.2	2.3

나. 토지이용현황

태안군 총면적은 515.78km<sup>2</sup>이며, 이중 임야면적이 235.09km<sup>2</sup>(45.6%)로 가장높은 토지이용률을 나타내고 있다. 태안군내 농경지 면적은 34.3%(논 21.8%, 밭 12.5%)로 조사되었다.

[표 2.2.43] 태안군 토지이용현황(km<sup>2</sup>)

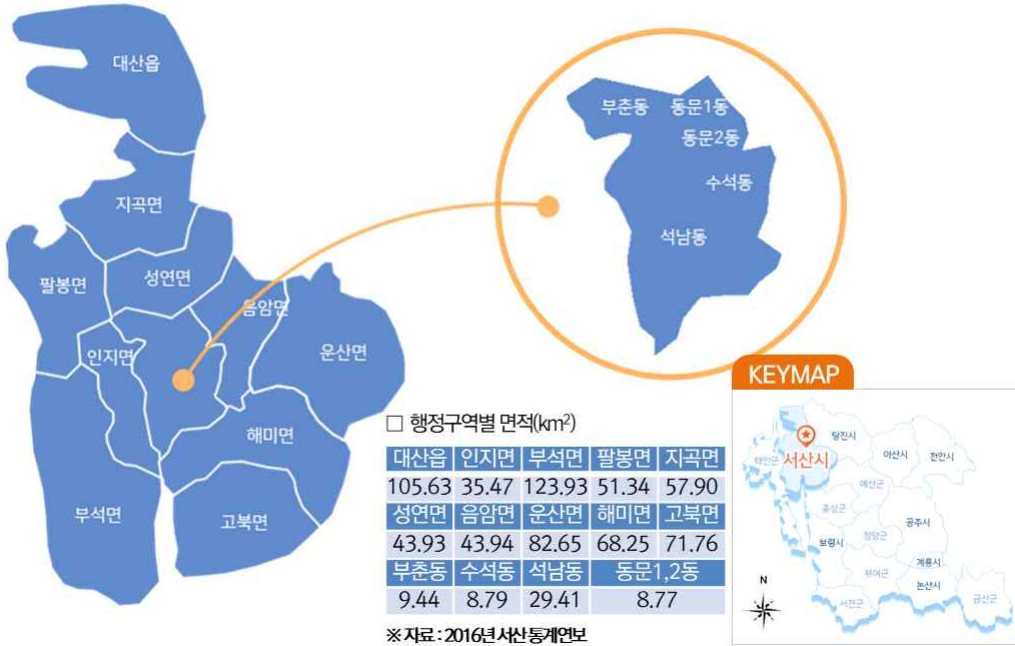
구분	합계	전	답	대지	임야	기타	비고
태안군	515.78	64.22	112.62	12.31	235.09	91.54	2015.12.31.기준

※자료: 태안군청 홈페이지(<https://www.taean.go.kr>)

(다) 서산시

서산시는 한반도중앙서부에 위치하고 있다. 동쪽 끝은 126° 39'로 운산면 와우리이고, 서쪽 끝은 126° 22'로 팔봉면 진장리이다. 북쪽 으로는 북위 37° 00'에 대산읍 화곡리가, 남쪽으로는 북위 36° 36'에 부석면 간월도리가 시경계를 이루고 있다. 행정구역별로는 1개읍(대산읍)과, 지곡면, 성연면, 팔봉면, 인지면, 음암면, 운산면, 해미면, 고북면, 부석면 등 9개면, 동문1동, 동문2동, 수석동, 석남동, 부춘동 등 총 1읍 9면 5동으로 이루어져 있다. 서산시는 대규모의 간척사업과 대산 임해공업지역 등 서해안 개발의 붐을 타고 급격하게 발전하고 있다. 최근에는 서산 테크노벨리 등 대규모 산업단지 조성이 활발히 진행되고 있으며 석유화학 산업과 더불어 자동차산업의 메카로 새롭게 부상하고 있다. 또한 서산 대산항 건설과 당진-대전간 고속도로 대산 연장이 가시화됨에 따라 중국과의 활발한 교역이 기대되는 등 서해안 시대의 주역으로 떠오르고 있다.

**서산시 행정구역현황**  
(2016년 기준)



[그림 2.2.160] 서산시 위치도 및 행정구역 현황

① 기상현황

서산시는 기후는 사계절이 뚜렷하고, 기온이 온화한 중위도 온대 계절풍 기후대에 속하며 겨울에 북서계절풍이 두드러진 특징을 가지고 있다. 기상현황 조사를 위하여 인근 기상관측소(서산)지점의 30개년(1987~2016) 기상자료를 조사하였으며, 조사결과는 앞절 태안군 인근기상관측소(서산) 기상현황 조사결과에 수록하였다.

② 토지이용현황

서산시 총면적은 741.19km<sup>2</sup>이며, 이중 임야면적이 292.02km<sup>2</sup>(39.4%)로 가장높은 토지이용률을 나타내고 있다. 서산 시내 농경지 면적은 37.1%(논 26.4%, 밭 10.7%)로 조사되었다. 서산시의 세부 토지이용현황은 [표 2.2.47]과 같다.

[표 2.2.44] 서산시 토지이용현황(km<sup>2</sup>)

구분	합계	전	답	대지	임야	기타	비고
태안군	741.19	78.97	195.85	18.92	292.02	155.43	2015.12.31.기준

※자료: 서산시청 홈페이지(<https://www.taean.go.kr>)

### (라) 홍성군

홍성군은 옛 홍주군과 결성군을 합한 군이다. 홍주는 본래 고려의 운주로 995년에 도단련사를 두었고, 1012년에는 지주사로 되었다. 이후 홍주로 개칭되었다. 1358년에 목으로 승격된 후 1368년 지주사로 되었다가, 조선시대에는 여러 차례의 변혁을 거쳐 1895년에 군이 되었고, 1914년 옛 결성군을 합쳐 홍성군이 되었다. 홍성군은 충남서해안의 중심지로 교통의 요충지에 위치하고 있으며, 동북쪽에는 예산군, 서북쪽에는 서산시, 동쪽에는 청양군, 남양쪽에는 보령시가 접합하고 있다. 지형은 동쪽 봉수산(484m), 서쪽 백월산(394m), 남쪽 오서산(790m), 북쪽 용봉산(374m)을 중심으로 구릉을 형성하여 비교적 평탄하며 천수만과 접하고 있다. 행정구역 별로는 1941년 홍주면이 홍성읍으로, 1942년 광천면이 읍으로 되었으며, 1983년 2월 전국 행정구역 조정에 따라 서산군 고북면 대사리와 결성면 와리를 갈산면에, 홍동면 월림·대평·운용리를 광천읍에, 결성면 중리를 서부면에, 홍북면 내법리, 홍동면 구룡리를 홍성읍에 각각 편입하여 현재와 같이 홍성읍·광천읍·홍북읍, 갈산·결성·구향·금마·서부·은하·장곡·홍동면 등 3개읍 8개면으로 개편되었다. 홍성군의 행정구역 총 면적은 443.98km<sup>2</sup>이다.



[그림 2.2.161] 홍성군 위치도 및 행정구역 현황

#### ① 기상현황

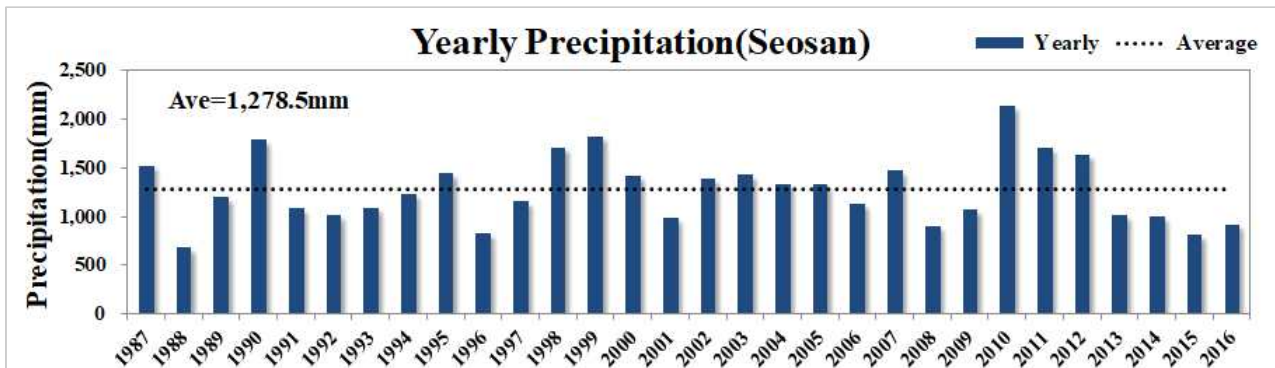
홍성군은 충청남도 중서부에 위치하며, 동쪽에는 봉수산(484m), 서쪽에는 백월산(394m), 남쪽에는 오서산(790m), 북쪽에는 용봉산(374m)을 중심으로 구릉을 형성하여 비교적 평탄하며 천수만과 접한다. 기후는 뚜렷한 대륙성기후의 특색을 나타내고 있으며, 여름철에는 남서풍, 겨울철에는 북서풍이 많이 나타나는 지역이다. 기상현황과 관련하여 홍성군 인근 기상관측소인 서산, 보령관측소의 30개년(1987~2016) 기상자료를 조사하였으며, 세부내역은 아래와 같다.

㉔ 강수량

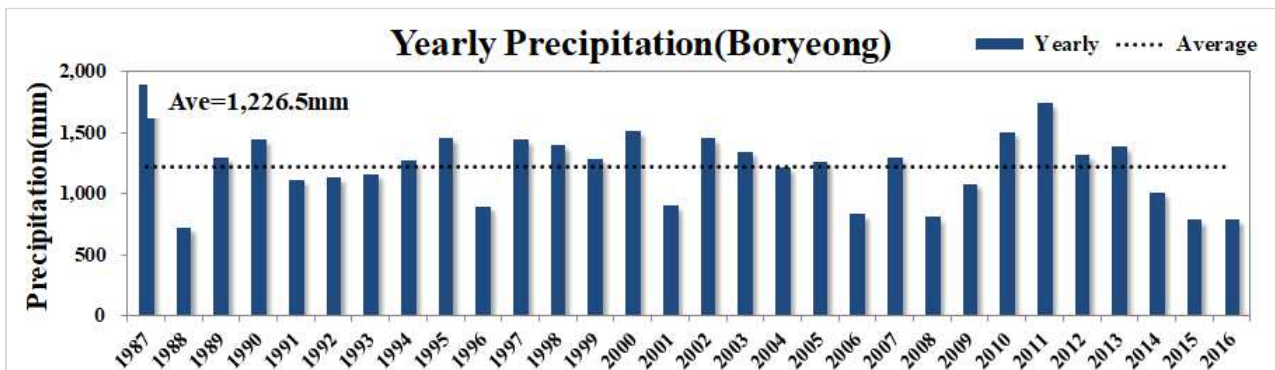
홍성군 인근 기상관측소인 서산, 보령관측소의 30개년(1987~2016)자료를 조사하여 [표 2.2.45]에 나타내었다.

[표 2.2.45] 홍성군 인근 기상관측소 연강수량 현황(1987~2016)

연도	관측소		연도	관측소	
	서산	보령		서산	보령
1987	1,527.8	1,897.5	2002	1,387.6	1,453.2
1988	685.6	725.0	2003	1,433.4	1,343.7
1989	1,197.7	1,298.5	2004	1,340.9	1,216.2
1990	1,788.3	1,451.0	2005	1,334.2	1,266.5
1991	1,088.6	1,116.9	2006	1,139.2	831.4
1992	1,017.6	1,132.3	2007	1,471.1	1,295.8
1993	1,093.6	1,162.1	2008	909.6	813.5
1994	1,234.5	1,269.0	2009	1,074.3	1,081.4
1995	1,448.3	1,459.5	2010	2,141.8	1,502.3
1996	830.1	899.6	2011	1,704.4	1,743.0
1997	1,156.9	1,442.3	2012	1,642.6	1,319.0
1998	1,711.6	1,397.2	2013	1,018.7	1,387.7
1999	1,826.6	1,284.1	2014	1,000.2	1,010.1
2000	1,424.8	1,515.4	2015	815.9	785.4
2001	986.8	903.7	2016	922.1	792.8
평균(30개년)	서산 1,278.5mm / 보령 1,226.5mm				



[그림 2.2.162] 서산관측소 30개년 강수량(1987~2016)



[그림 2.2.163] 보령관측소 30개년 강수량(1987~2016)

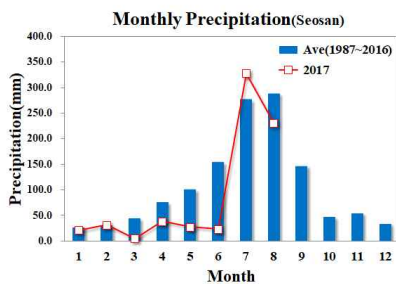
서산관측소의 2017년 월강수량을 평년값(1987~2016)과 비교한 결과 6월까지의 월 강수량은 평년값의 약 34.2%(10.8~103.7%) 수준의 강수량을 나타내는 것으로 조사되었으며, 7월이후는 평년대비 98.9%의 강수가 내린 것으로 조사되었다. 월별 세부조사결과는 [표 2.2.49~50]와 같다. 보령관측소의 2017년 월강수량을 평년값(1987~2016)과 비교한 결과 6월까지의 월 강수량은 평년값의 약 48.4%(14.5~97.1%) 수준의 강수량을 나타내는 것으로 조사되었으며, 7월 이후는 평년대비 90.2%의 강수가 내린 것으로 조사되었다.

[표 2.2.46] 서산관측소 강수량 비교(평년값 vs 2017)

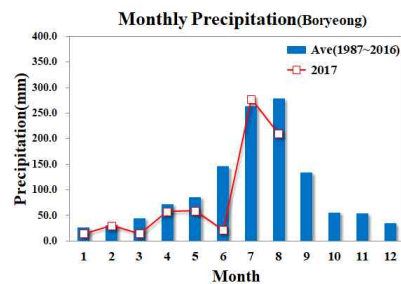
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
A (평년값)	27.1	30.3	44.3	75.4	100.2	154.1	276.6	288.6	146.7	46.8	54.4	34.0	1,278.5
B (2017)	21.3	31.4	4.8	38.9	27.9	23.3	327.8	231.3	-	-	-	-	-
B/A(%)	78.5	103.7	10.8	51.6	27.8	15.1	118.5	80.2	-	-	-	-	-

[표 2.2.47] 보령관측소 강수량 비교(평년값 vs 2017)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
A (평년값)	26.9	31.1	44.9	72.3	86.3	145.7	262.8	278.4	133.9	55.8	54.2	34.2	1,226.5
B (2017)	14.8	30.2	14.4	57.6	58.9	21.1	278.1	210.0	-	-	-	-	-
B/A(%)	55.1	97.1	32.1	79.6	68.3	14.5	105.8	75.4	-	-	-	-	-



(a) 서산



(b) 보령

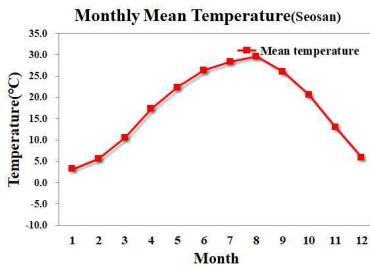
[그림 2.2.164] 홍성군 인근기상관측소 월강수량 비교(평년값 vs 2017)

㉔ 기온

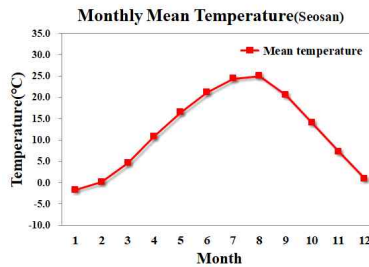
서산관측소의 월평균 기온은 -1.6~25.1℃로 조사되었으며, 보령관측소의 월평균 기온은 -0.4~25.6℃로 조사되었다. 관측소별 월평균 최저기온은 서산 -6.1℃, 보령 -4.5℃로, 월평균 최고기온은 서산, 보령모두 29.7℃로 조사되었다. 관측소별 세부 기온현황은 아래표와 같다.

[표 2.2.48] 서산관측소 30개년 월평균기온(℃)

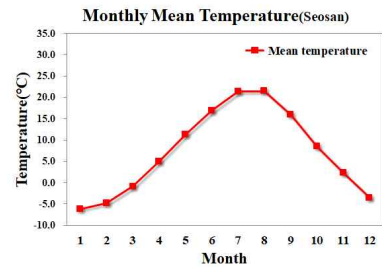
구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
서산	평균	-1.6	0.1	4.6	10.9	16.5	21.2	24.5	25.1	20.6	14.1	7.3	0.9
	최고	3.2	5.6	10.6	17.3	22.4	26.3	28.4	29.7	26.1	20.6	13.0	5.9
	최저	-6.1	-4.8	-0.8	5.0	11.3	16.9	21.4	21.5	16.0	8.5	2.3	-3.6
보령	평균	-0.4	1.2	5.3	11.1	16.5	21.0	24.7	25.6	21.1	15.0	8.6	2.2
	최고	4.1	6.2	10.6	16.8	21.8	25.7	28.4	29.7	26.2	20.8	13.6	6.8
	최저	-4.5	-3.3	0.2	5.5	11.5	17.0	21.8	22.1	16.7	9.8	3.9	-2.0



(a) 최고기온

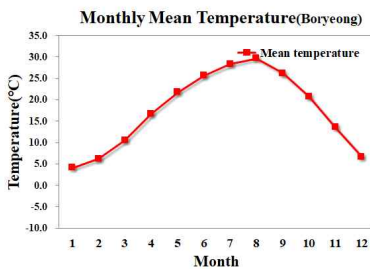


(b) 평균기온

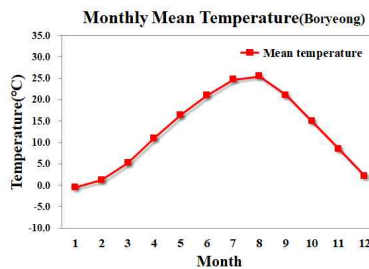


(c) 최저기온

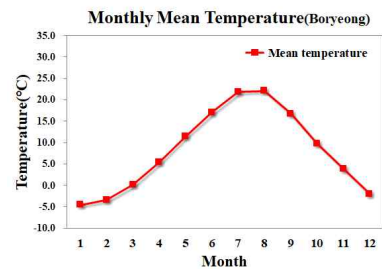
[그림 2.2.165] 서산기상관측소 월평균기온



(a) 최고기온



(b) 평균기온



(c) 최저기온

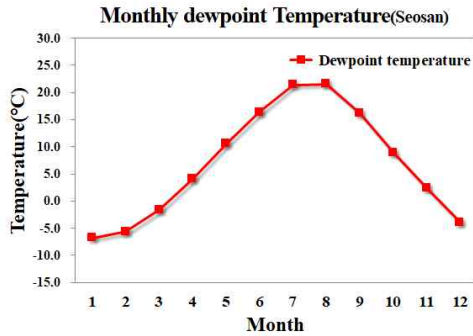
[그림 2.2.166] 보령기상관측소 월평균기온

㊤ 이슬점온도

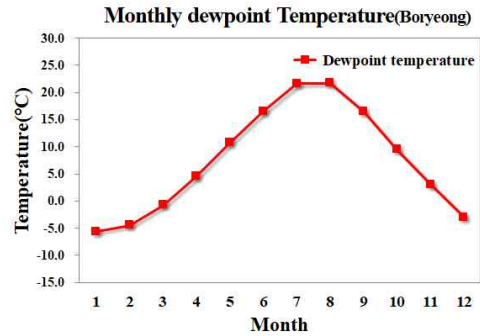
서산관측소의 30개년 월평균 이슬점온도는 -6.7~21.6℃의 분포를, 보령관측소의 30개년 월평균 이슬점온도는 -5.5~21.8℃의 분포를 보이는 것으로 조사되었으며, 월별 세부조사결과는 아래표와 같다.

[표 2.2.49] 홍성군 인근기상관측소 30개년 월평균이슬점온도(℃)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
서산	-6.7	-5.6	-1.6	4.1	10.6	16.4	21.5	21.6	16.2	9.0	2.4	-3.9
보령	-5.5	-4.4	-0.7	4.6	10.9	16.6	21.7	21.8	16.5	9.5	3.1	-3.0



(a) 서산



(b) 보령

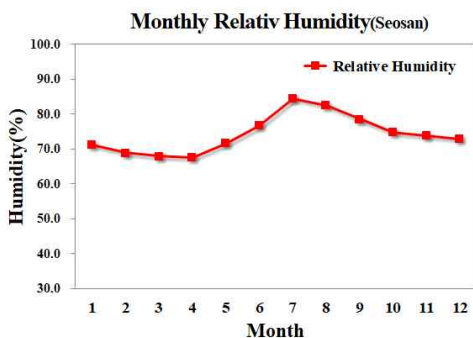
[그림 2.2.167] 홍성군 인근기상관측소 월평균이슬점온도

㉔ 상대습도

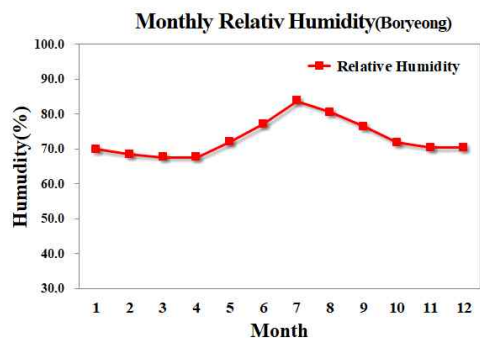
서산관측소의 30개년 월평균 상대습도는 67.6~84.4%의 분포를 나타내고 있는 것으로 조사되었으며, 보령관측소는 67.7~83.8%의 분포를 나타내는 것으로 조사되었다. 각 관측소의 월별 세부 조사결과는 아래표와 같다.

[표 2.2.50] 홍성군 인근기상관측소 30개년 월평균이슬점온도(℃)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
서산	71.2	68.8	67.9	67.6	71.6	76.7	84.4	82.4	78.4	74.7	73.7	72.8
보령	69.9	68.5	67.8	67.7	72.1	77.2	83.8	80.6	76.4	71.9	70.4	70.4



(a) 서산



(b) 보령

[그림 2.2.168] 홍성군 인근기상관측소 월평균상대습도

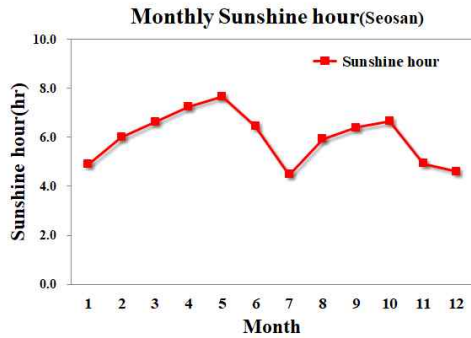
㉕ 일조시간

서산, 보령관측소의 30개년 월평균 일조시간을 조사한 결과 서산관측소의 일조시간은 4.5~7.7hr, 보령관측소의 일조시간은 5.0~8.0hr로 각각 조사되었다. 각 관측소의 세부 조사결과는 아래표와 같다.

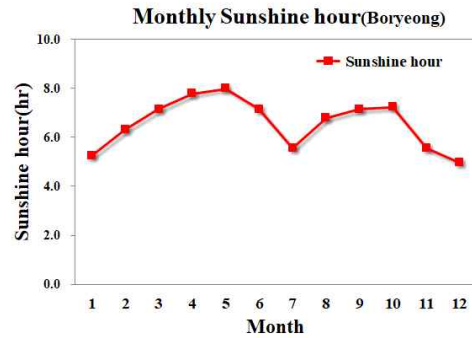


[표 2.2.51] 홍성군 인근기상관측소 30개년 월평균일조시간(hr)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
서산	4.9	6.0	6.6	7.3	7.7	6.5	4.5	5.9	6.4	6.6	5.0	4.6
보령	5.2	6.3	7.2	7.8	8.0	7.2	5.6	6.8	7.2	7.2	5.6	5.0



(a) 서산



(b) 보령

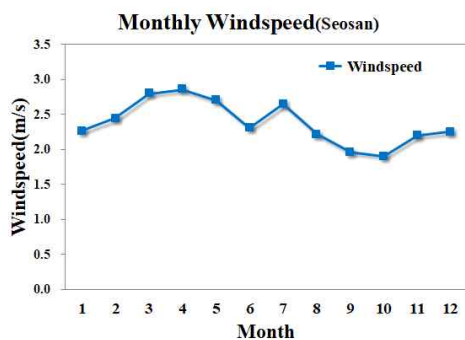
[그림 2.2.169] 홍성군 인근기상관측소 월평균일조시간

(6) 풍속

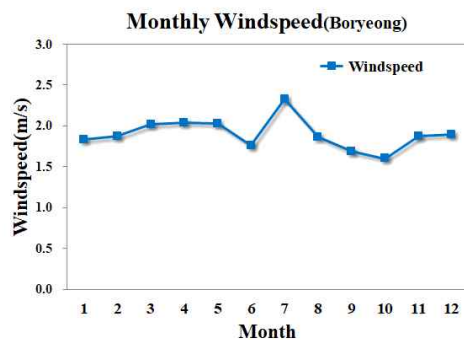
서산, 보령관측소의 30개년 월평균 풍속을 조사한 결과 서산관측소의 월평균풍속은 1.9~2.9m/s, 보령관측소의 월평균풍속은 1.6~2.3m/s로 조사되었다. 각 관측소별 세부 조사결과는 아래표와 같다.

[표 2.2.52] 홍성군 인근기상관측소 30개년 월평균풍속(m/s)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
서산	2.3	2.4	2.8	2.9	2.7	2.3	2.6	2.2	2.0	1.9	2.2	2.3
보령	1.8	1.9	2.0	2.0	2.0	1.8	2.3	1.9	1.7	1.6	1.9	1.9



(a) 서산



(b) 보령

[그림 2.2.170] 홍성군 인근기상관측소 월평균풍속

② 토지이용현황

홍성군 총면적은 443.98km<sup>2</sup>이며, 이중 임야면적이 197.42km<sup>2</sup>(44.5%)로 가장높은 토지이용률을 나타내고 있다. 홍성군내 농경지 면적은 36.2%(논 22.5%, 밭 13.7%)로 조사되었다.

(마) 당진시

당진시는 충청남도의 최북단에 위치하며, 4극점으로 볼 때 직사각형형태로 남북보다는 동서가 긴 모양으로 북위 36°45' ~ 37°04' 과 동경 126°25' ~ 126°51' 사이에 위치한다. 지리적으로는 당진시의 2/3가 바다와 접하고 있는 특징을 지니고 있다.

송산면, 송악읍, 석문면 등이 서해와 아산만을 경계로 평택시 포승읍, 화성시 우정읍에 접해 있으며, 동쪽으로는 신평면, 우강면 그리고 함덕읍이 삽교천을 경계로 아산시 인주면과 선장면에 접해있고 남쪽으로 함덕읍은 예산군 신암면과 접하고 면천은 예산군의 고덕, 봉산면과 접하며 정미면은 서산시 음암면, 운산면과 경계를 이루며고 있다. 행정구역별로는 송악읍, 함덕읍 등 2개 읍과 석문면, 고대면 등 총 2읍9면3동으로 이루어져 있다.

① 기상현황

당진시의 기후는 한반도의 기후형인 온대계절풍 및 대륙성 기후권에 속하고 있다. 그러므로 당진지역은 온순기후에 해당되어 4계절이 뚜렷하고, 기후형으로 겨울철에는 북서계절풍의 영향을, 여름에는 남서계절풍의 영향을 받는 기후적 위치에 속하고 있다. 기상현황 조사를 위하여 인근 기상관측소(서산)지점의 30개년(1987~2016) 기상자료를 조사하였으며, 조사결과는 앞절 태안군 인근기상관측소(서산) 기상현황 조사결과에 수록하였다.



[그림 2.2.171] 당진시 위치도 및 행정구역 현황

② 토지이용현황

당진시 총면적은 704.25km²이며, 이중 임야면적이 233.89km²(33.2%)로 가장높은 토지이용률을 나타내고 있다. 서산시내 농경지 면적은 40.4%(논 30.4%, 밭 10.0%)로 조사되었다.

(2) 후보지역의 가뭄예경보 현황

후보지역의 가뭄현황을 파악하기 위하여 국가가뭄정보분석센터의 가뭄예경보자료를 조사하였다. 국가가뭄정보분석센터에서는 2016년 3월부터 행정안전부, 농식품부, 환경부, 국토부, 기상청 합동으로 가뭄지도를 제공하고 있다. 가뭄예경보의 기준은 다음 표와 같다.

[표 2.2.53] 가뭄 예경보 기준 (국가가뭄정보분석센터)

구분	가뭄예경보 기준
주의	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 기상가뭄 최근 6개월(봄철 3개월) 누적강수량이 1973년 이후 같은 기간의 누적강수량을 많은 순으로 나열한 것과 비교하였을 때 하위 6.5%에 해당하는 경우</li> <li>● 농업용수 영농기(4~9월)에 저수지 저수율이 평년의 70% 이하 또는 밭 토양 유효수분이 60% 이하에 해당되는 경우</li> <li>● 생활 및 공업용수 하천여유수량을 감량 공급하는 상황에서 현재 하천유지수량이 고갈되거나, 장래 1·3개월 후 하천 및 댐 등에서 농업용수 공급이 어려울 것으로 판단되는 경우</li> </ul>
심함	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 기상가뭄 최근 6개월(봄철 3개월) 누적강수량이 1973년 이후 같은 기간의 누적강수량을 많은 순으로 나열한 것과 비교하였을 때 하위 2%에 해당하는 경우</li> <li>● 농업용수 영농기(4~9월)에 저수지 저수율이 평년의 60% 이하 또는 밭 토양 유효수분이 40% 이하인 상황에서 가뭄피해가 발생하였거나 예상되는 경우</li> <li>● 생활 및 공업용수 하천유지수량 감량 공급하는 상황에서 현재 하천 및 댐 등에서 농업용수 공급이 부족하거나, 장래 1, 3개월 후 생활 및 공업용수 공급이 어려울 것으로 판단되는 경우</li> </ul>
매우심함	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 기상가뭄 최근 6개월(봄철 3개월) 누적강수량이 1973년 이후 같은 기간의 누적강수량을 많은 순으로 나열한 것과 비교하였을 때 하위 2%에 해당하는 가뭄 심함단계가 40일 이상 지속되는 경우</li> <li>● 농업용수 영농기(4~9월)에 저수지 저수율이 평년의 50% 이하 또는 밭 토양 유효수분이 30% 이하에 해당되는 경우</li> <li>● 생활 및 공업용수 현재 하천 및 댐 등에서 농업용수, 생활 및 공업용수 공급이 부족하거나, 장래 1, 3개월 후 하천유지수량, 농업용수 뿐만 아니라 생활 및 공업용수 공급에도 차질이 발생한 경우. 위와 같은 상황에서 대규모 가뭄피해가 발생하였거나 예상되는 경우 관계부처 협의를 통해 결정</li> </ul>

(가) 가뭄예경보 현황

국가가뭄정보분석센터에서는 2016년 3월부터 제공되는 기상가뭄, 농업용수 가뭄지도를 조사 하였으며 1차년도 연구시 활용한 자료에 추가적으로 3차년도 현재까지 제공된 가뭄예경보 현황을 다음과 같이 정리하였다.

[표 2.2.54] 2016년도 가뭄 예·경보 현황

구분	기상가뭄	농업용수 가뭄	
2016	3월	<ul style="list-style-type: none"> <li>주의</li> <li>- 강화, 문경, 영양</li> </ul>	
	4월	<ul style="list-style-type: none"> <li>주의</li> <li>- 강화군, 문경시</li> </ul>	
	5월		
	6월	<ul style="list-style-type: none"> <li>주의</li> <li>- 평창군</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>주의</li> <li>- 속초시, 삼척시, 영월군, 평창군, 양양군, 영양군, 울진군, 문경시</li> </ul>
	7월		
	8월		
	9월	<ul style="list-style-type: none"> <li>주의</li> <li>- 이천시, <u>안성시</u>, 여주시, 보령시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>주의</li> <li>- <u>안성시</u>, 보령시, 서산시, 논산시, 부여군, 서천군, 홍성군, 예산군, 익산시, 정읍시, 김제시, 임실군, 순창군, 고창군, 담양군, 무안군, 함평군, 영광군, 하동군</li> </ul>
	10월	<ul style="list-style-type: none"> <li>주의</li> <li>- 이천시, <u>안성시</u>, 여주시, 원주시 횡성군, 보령시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>주의</li> <li>- <u>안성시</u>, 화성시, 보령시, 서산시 청양군, 홍성군, 예산군</li> </ul>
	11월	<ul style="list-style-type: none"> <li>주의</li> <li>- 인천광역시, 부천시, 시흥시, 이천시, <u>안성시</u>, 여주시, 원주시, 횡성군 보령시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>주의</li> <li>- <u>안성시</u>, 보령시, 서산시, 홍성군 예산군</li> </ul>
	12월	<ul style="list-style-type: none"> <li>주의</li> <li>- 서울특별시, 인천광역시, 강화군 용진군, 수원시, 성남시, 의정부시 안양시, 부천시, 광명시, 동두천시 안산시, 고양시, 과천시, 구리시 남양주시, 시흥시, 군포시, 의왕시 하남시, 용인시, 파주시, 이천시 김포시, 화성시, 양주시, 여주시 원주시, 횡성군, 보령시, 서산시 당진시, 홍성군, 예산군, 태안군</li> <li>심함</li> <li>- 오산시, <u>안성시</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>주의</li> <li>- <u>안성시</u>, 화성시, 보령시, 서산시 청양군, 홍성군, 예산군</li> </ul>

[표 2.2.55] 2017년도 가뭄 예·경보 현황

구분	기상가뭄	농업용수 가뭄
2017	<p>1월</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 서울특별시, 인천광역시, 성남시 광명시, 평택시, 과천시, 구리시 남양주시, 시흥시, 군포시, 의왕시, 하남시, 용인시, 이천시, <b>안성시</b> 화성시, 여주시, 양평군, 괴산군 보령시, 아산시, 당진시, 예산군</li> </ul> </li> <li>● 심함                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 오산시</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>안성시</b>, 보령시, 서산시, 홍성군 예산군</li> </ul> </li> </ul>
	<p>2월</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 서울특별시, 광명시, 평택시, 구리시 남양주시, 오산시, 시흥시, 하남시 용인시, 이천시, <b>안성시</b>, 화성시 여주시, 양평군, 괴산군, 보령시 아산시, 당진시, 예산군</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>안성시</b>, 서산시, 홍성군</li> </ul> </li> </ul>
	<p>3월</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 오산시</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>안성시</b>, 서산시, 홍성군</li> </ul> </li> </ul>
	<p>4월</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 심함                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 오산시</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>안성시</b>, 화성시, 서산시, 홍성군</li> </ul> </li> </ul>
	<p>5월</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평택시, 화성시, 연천군, 원주시, 홍성군, 장성군</li> </ul> </li> <li>● 심함                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 오산시</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>안성시</b>, 서산시</li> </ul> </li> </ul>
	<p>6월</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 광주광역시, 세종특별자치시, 평택시, 오산시, <b>안성시</b>, 화성시, 여주시, 연천군, 음성군, 천안시, 아산시, 당진시, 홍성군, 태안군, 목포시, 여주시, 나주시, 고흥군, 보성군, 장흥군, 강진군, 해남군, 영암군, 무안군, 함평군, 영광군, 장성군, 완도군, 진도군, 신안군, 경주시, 김천시, 영덕군</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 세종특별자치시, 용인시, 보령시</li> </ul> </li> <li>● 심함                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평택시, <b>안성시</b>, 화성시, 서산시, 홍성군, 예산군, 광양시</li> </ul> </li> </ul>
	<p>7월</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 부산광역시, 광주광역시, 대구광역시, 동해시, 고창군, 남원시, 무안군, 정읍시, 고흥군, 곡성군, 영광군, 장성군, 장흥군, 화순군, 구미시, 김천시, 청도군, 칠곡군, 거창군, 밀양시, 함안군, 함양군, 합천군</li> </ul> </li> <li>● 심함                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기장군, 달성군, 울산광역시, 울주군, 강진군, 광양시, 나주시, 목포시, 무안군, 보성군, 순천시, 신안군, 여주시, 영암군, 완도군, 진도군, 해남군, 경산시, 경주시, 고령군, 군위군, 성주군, 영덕군, 영천시, 울진군, 포항시, 고성군, 김해시, 남해군, 사천시, 산청군, 양산시, 의령군, 진주시, 창녕군, 창원시, 하동군, 서귀포시, 제주시</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 울주군, <b>안성시</b>, 보령시, 서산시, 태안군, 광양시, 진도군, 함평군, 영광군, 포항시, 사천시, 남해군, 하동군</li> </ul> </li> <li>● 심함                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 무안군, 신안군</li> </ul> </li> </ul>

[표 2.2.55] 2017년도 가뭄 예·경보 현황(계속)

구분	기상가뭄	농업용수 가뭄
2017 8월	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- 대구광역시, 광주광역시, 동해시, 삼척시, 남원시, 곡성군, 구례군, 고흥군, 무안군, 장성군, 김천시, 영천시, 군위군, 영덕군, 칠곡군, 울진군, 거창군, 합천군, 서귀포시</li> <li>● 심함</li> <li>- 부산광역시, 기장군, 달성군, 울산광역시, 울주군, 목포시, 여주시, 순천시, 나주시, 광양시, 보성군, 화순군, 장흥군, 강진군, 해남군, 영암군, 완도군, 진도군, 신안군, 포항시, 경주시, 경산시, 청도군, 고령군, 성주군, 창원시, 진주시, 통영시, 사천시, 김해시, 밀양시, 거제시, 양산시, 의령군, 함안군, 창녕군, 고성군, 남해군, 하동군, 산청군, 함양군, 제주시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- 울주군, 보성군, 무안군, 진주시, 밀양시, 창녕군, 고성군</li> <li>● 심함</li> <li>- 광양시, 진도군, 신안군, 포항시, 경주시, 사천시, 양산시, 함안군, 남해군, 하동군</li> </ul>
2017 9월	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [대구] 대구시 [전북] 남원시 [전남] 목포시, 순천시, 나주시, 곡성군, 구례군, 고흥군, 화순군, 장흥군, 영암군, 장성군 [경북] 김천시, 영천시, 군위군, 칠곡군, 울릉군 [경남] 의령군, 창녕군, 고성군, 하동군, 함양군, 거창군, 합천군 [제주] 제주시, 서귀포시</li> <li>● 심함</li> <li>- [부산] 부산시, 기장군 [대구] 달성군 [울산] 울산시, 울주군 [전남] 여주시, 광양시, 보성군, 강진군, 해남군, 완도군, 진도군 [경북] 포항시, 경주시, 경산시, 청도군, 고령군, 성주군 [경남] 창원시, 진주시, 통영시, 사천시, 김해시, 밀양시, 거제시, 양산시, 함안군, 남해군, 산청군</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [울산] 울주군 [전남] 나주시, 보성군, 강진군 [경북] 경주시 [경남] 밀양시, 양산시, 하동군, 합천군</li> </ul>
2017 10월	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [대구] 달성군 [울산] 울산시 [전남] 광양시, 보성군, 강진군, 해남군 [경북] 포항시, 영천시, 경산시, 군위군, 청도군, 고령군, 성주군, 울릉군 [경남] 창원시, 진주시, 사천시, 김해시, 의령군, 함안군, 창녕군, 고성군, 산청군 [제주] 제주시</li> <li>● 심함</li> <li>- [부산] 기장군 [울산] 울주군 [경북] 경주시 [경남] 밀양시, 양산시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [울산] 울주군 [경북] 경주시 [경남] 밀양시</li> </ul>
2017 11월	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [광역]달성군, 울산광역시, 제주시 [전남]보성군, 강진군 [경북]포항시, 경산시, 청도군, 고령군, 성주군, 울릉군 [경남]창원시, 진주시, 사천시, 김해시, 함안군, 산청군</li> <li>● 심함</li> <li>- [광역]기장군, 울주군 [경북]경주시 [경남]밀양시, 양산시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [광역]울주군 [경남]밀양시</li> </ul>
2017 12월	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [광역]달성군, 울주군, 제주시 [경북]포항시, 경산시, 청도군, 성주군, 울릉군 [경남]진주시, 사천시, 김해시, 밀양시, 양산시, 산청군</li> <li>● 심함</li> <li>- [광역]기장군 [경북]경주시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [광역]울주군 [경북]경주시 [경남]밀양시</li> </ul>

[표 2.2.56] 2018년도 가뭄 예·경보 현황

구분	기상가뭄	농업용수 가뭄
2018	<p>1월</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [광역] 기장군, 울주군 [경북] 울릉군 [경남] 김해시, 밀양시, 양산시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [광역] 울주군 [경북] 경주시 [경남] 밀양시</li> </ul>
	<p>2월</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [경북] 울릉군</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [광역] 울주군 [경북] 경주시 [경남] 밀양시</li> </ul>
	<p>3월</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [경기] 평택시, 동두천시, 구리시, 남양주시, 파주시, 이천시, <b>안성시</b>, 화성시, 양주시, 포천시, 연천군, 양평군 강원 태백시, 삼척시, 홍천군, 횡성군, 영월군, 평창군, 철원군, 화천군, 양구군 [충북] 충주시, 진천군, 괴산군, 음성군 [충남] 천안시, 홍성군</li> <li>● 심함</li> <li>- [경기] 오산시, 여주시 [강원] 원주시, 정선군</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [광역] 울주군 [경북] 경주시 [경남] 밀양시</li> </ul>
	<p>4월</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [경기] 오산시, 양주시</li> </ul>	
	<p>5월</p>	
	<p>6월</p>	
	<p>7월</p>	
	<p>8월</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주의</li> <li>- [전남] 나주시, [충북] 영동군, [전남] 무안군, 장성군, 완도군, 신안군, [경북] 안동시, [경남] 거창군, [제주] 제주시, 서귀포시</li> </ul>
	<p>9월</p>	
	<p>10월</p>	
	<p>11월</p>	
	<p>12월</p>	

[표 2.2.57] 2019년도 가뭄 예·경보 현황

구분	기상가뭄	농업용수 가뭄	
2019	1월		
	2월		
	3월		
	4월		
	5월	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주의</li> <li>- [경기] 연천, [제주] 서귀포</li> </ul>	
	6월	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주의</li> <li>- [광역] 서울, 인천, 강화, 세종, [경기] 부천, 광명, 평택, 동두천, 안산, 고양, 구리, 남양주, 오산, 시흥, 군포, 하남, 용인, 파주, 이천, 안성, 김포, 화성, 광주, 양주, 포천, 여주, 연천, 가평, [강원] 춘천, 원주, 강릉, 태백, 홍천, 횡성, 평창, 화천, 양구, 인제, [충북] 청주, 충주, 증평, 음성, [충남] 천안, 보령, 아산, 서산, 당진, 홍성, 예산, [경북] 포항, 봉화</li> <li>• 심함</li> <li>- [강원] 철원, [충북] 진천, [충남] 태안</li> </ul>	
	7월		
	8월	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주의</li> <li>- [경기] 광주, 군포, 성남, 수원, 시흥, 안산, 안성, 여주, 오산, 용인, 이천, 화성, [강원] 원주, [충북] 음성, 제천, 진천, 충주, [충남] 계룡, 당진, 보령, 서산, 예산, 청양, 태안, [경북] 영주</li> <li>• 심함</li> <li>- [충남] 홍성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주의</li> <li>- [경기] 안성</li> </ul>

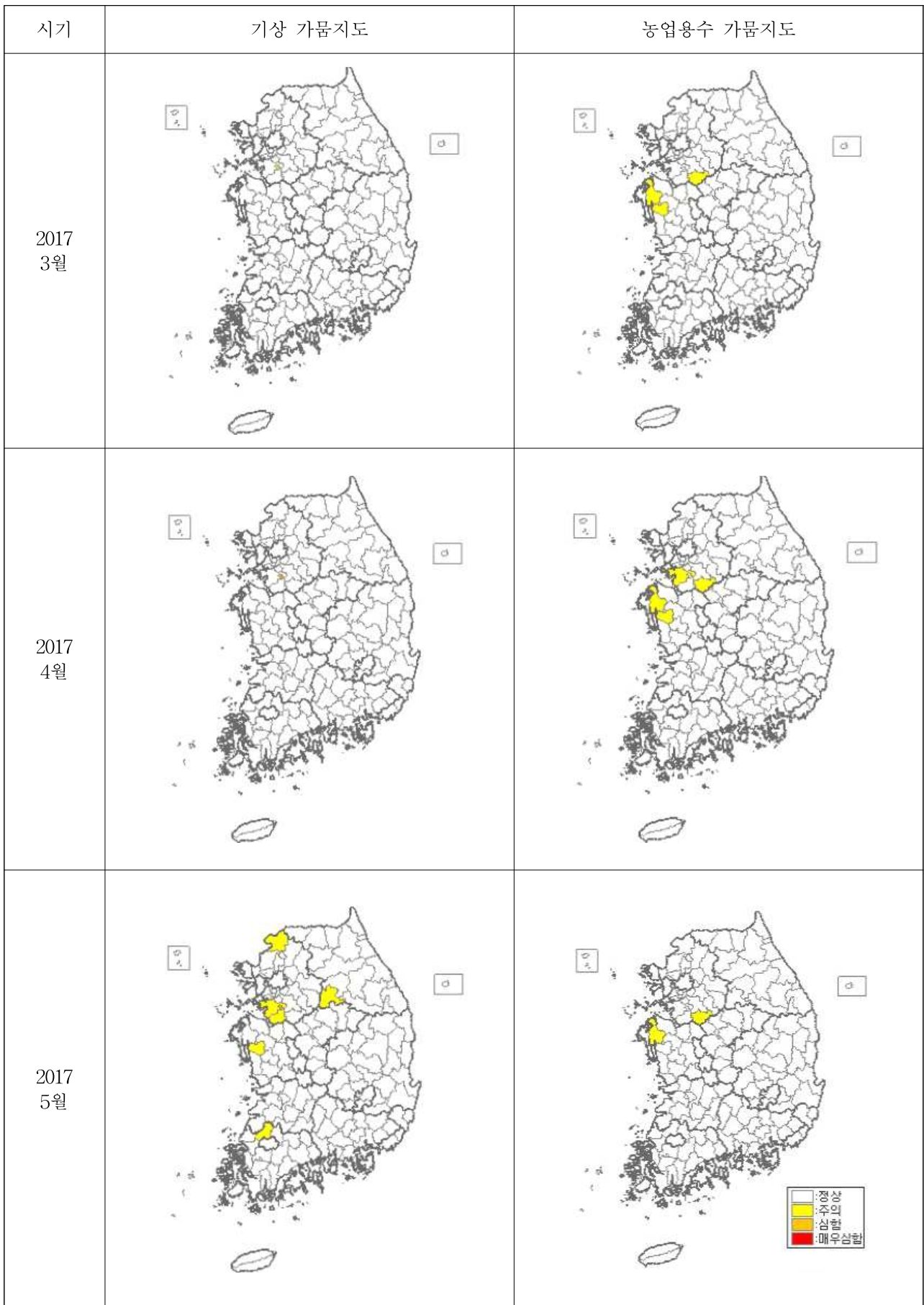


시기	기상 가뭄지도	농업용수 가뭄지도
2016 9월		
2016 10월		
2016 11월		

[그림 2.2.172] 가뭄 예·경보현황지도 (안성지역포함)

시기	기상 가뭄지도	농업용수 가뭄지도
2016 12월		
2017 1월		
2017 2월		

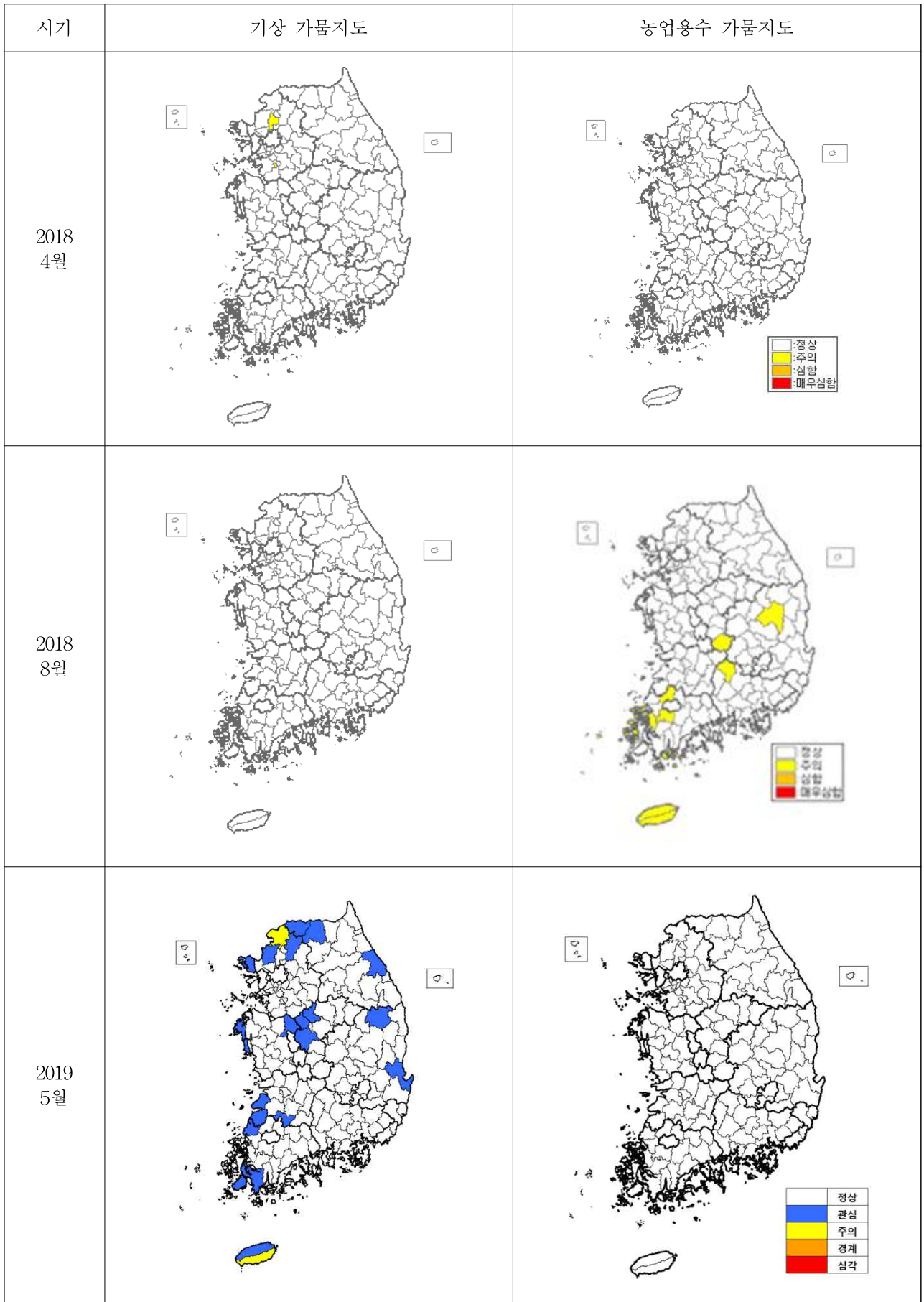
[그림 2.2.60] 가뭄 예·경보현황지도 (안성지역포함)(계속)



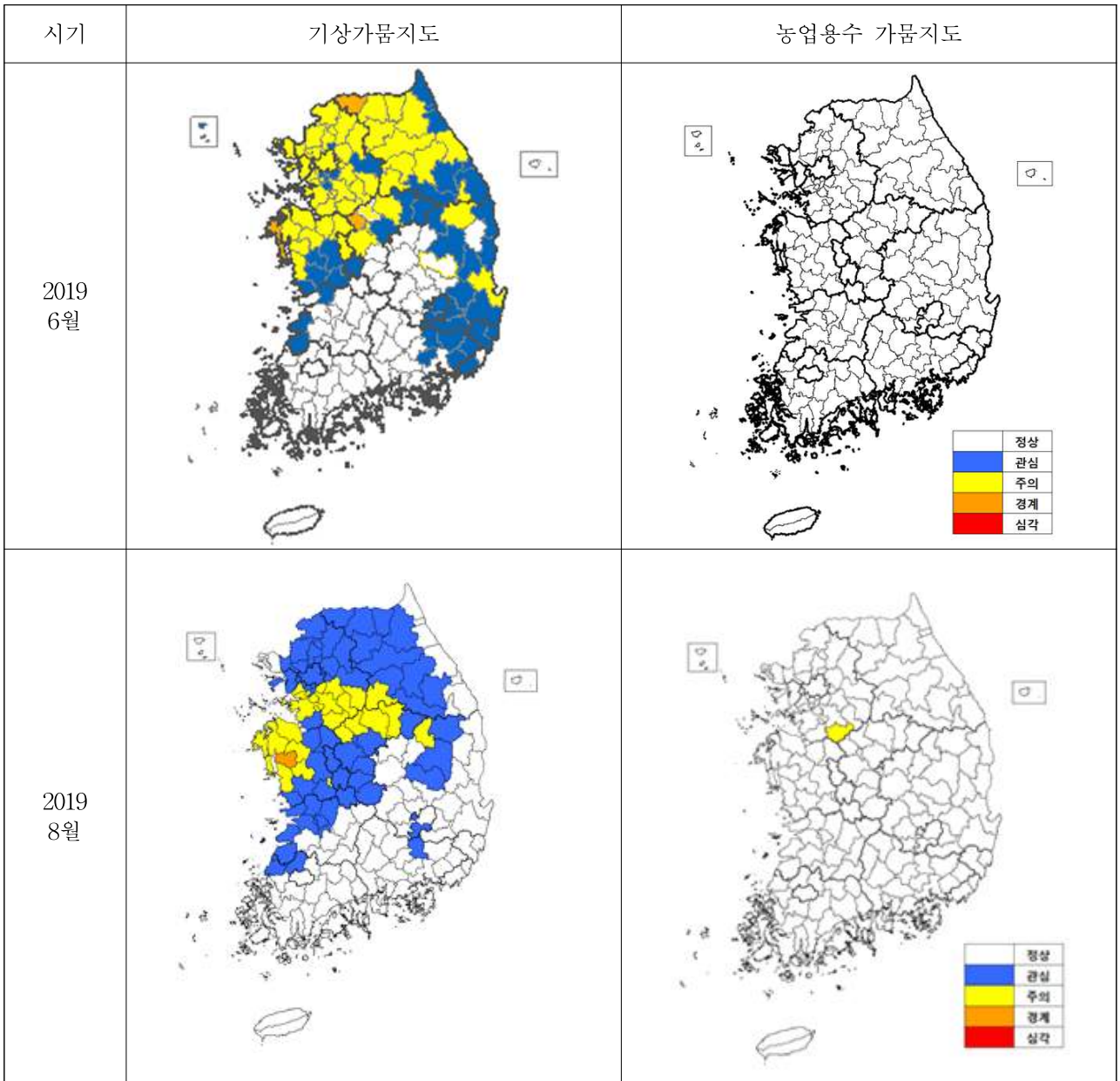
[그림 2.2.60] 가뭄 예·경보현황지도 (안성지역포함)(계속)

시기	기상 가뭄지도	농업용수 가뭄지도
2017 6월		
2017 7월		
2018 3월		

[그림 2.2.60] 가뭄 예·경보현황지도 (안성지역포함)(계속)













[그림 2.2.60] 가뭄 예·경보현황지도 (안성지역포함)(계속)













[그림 2.2.60] 가뭄 예·경보현황지도 (안성지역포함)(계속)

### (3) 대상지역의 광역적 RS 영상분석 결과비교

드론영상 촬영지역은 2017년 봄철 극심한 가뭄으로 문제가 되었던 안성시 지역을 대상으로 후보지를 선정하고 현장조사를 통해 일정면적 이상의 밭 지역 이면서 토양수분 등 지상관측장비의 운용 및 영상촬영이 가능한 지역으로 선정하였다. 대상지역 선정시 MODIS MOD13Q1의 NDVI, EVI로부터 공간적으로 가뭄을 판단할 수 있는 VCI, SVI, VSIA 분석결과를 참고하였으나, 후보지로 선정된 지역이 사유지인 바, 본 연구의 광역적 RS영상에서 가뭄예상지역으로 판단되는 지역을 포함하여 선정하는 데는 한계가 있었다.

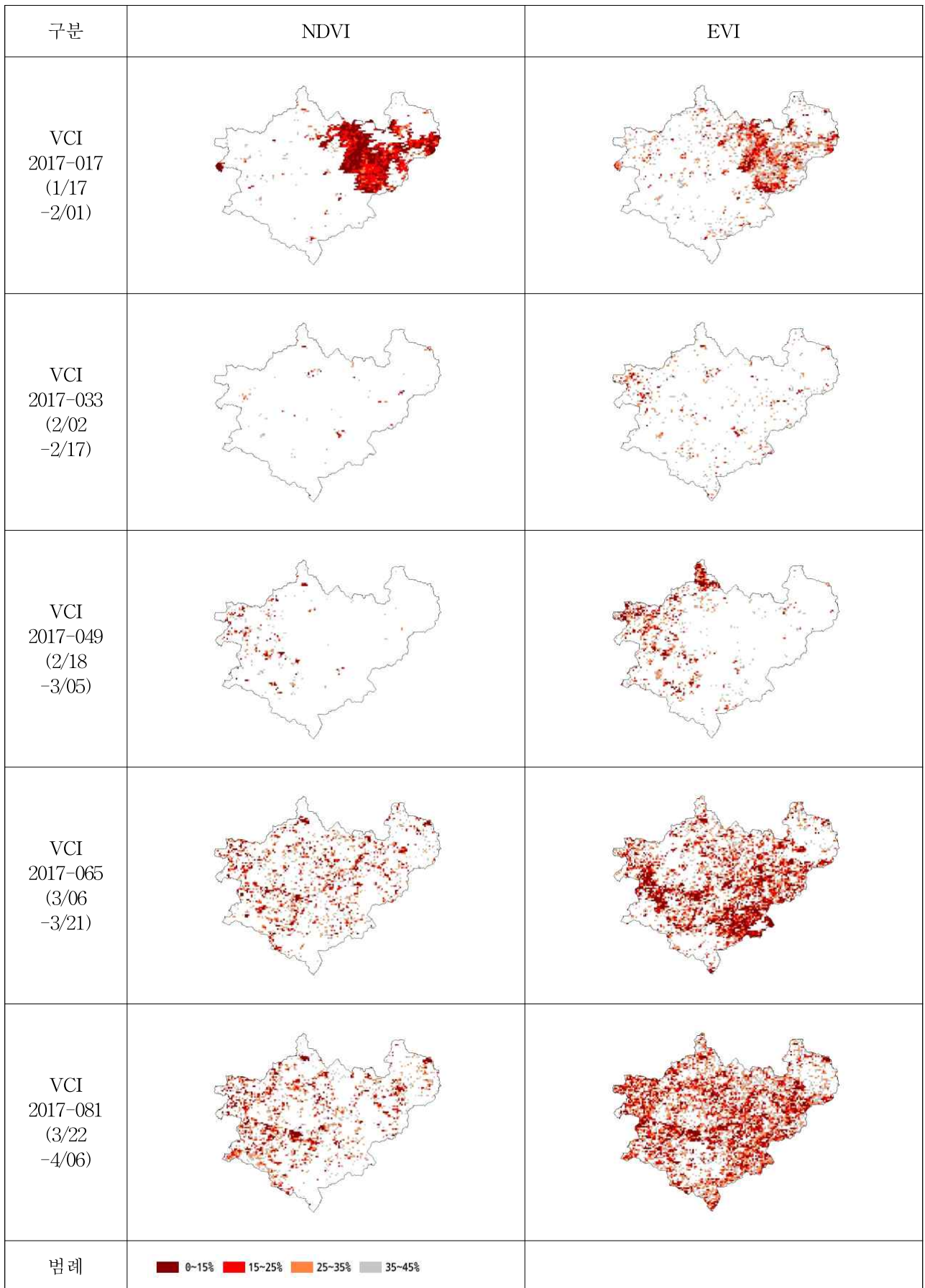
구분	NDVI	EVI
2017-017 (1/17 -2/01)		
2017-033 (2/02 -2/17)		
2017-049 (2/18 -3/05)		
2017-065 (3/06 -3/21)		
2017-081 (3/22 -4/06)		

[그림 2.2.173] 2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI







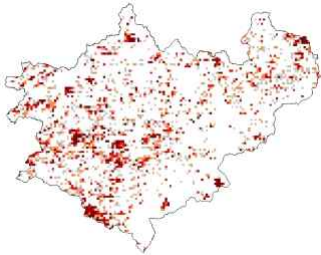
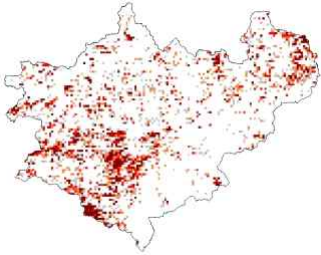



구분	NDVI	EVI
2017-097 (4/07 -4/22)		
2017-113 (4/23 -5/08)		
2017-129 (5/09 -5/24)		
2017-145 (5/25 -6/10)		
2017-161 (6/11 -6/26)		

[그림 2.2.61] 2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI(계속)




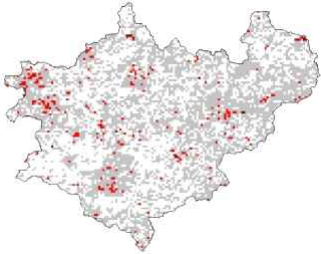
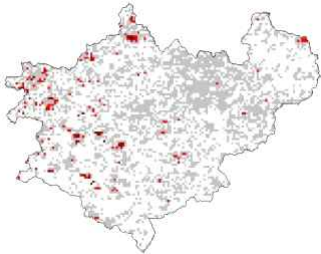
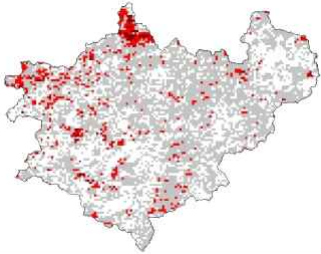


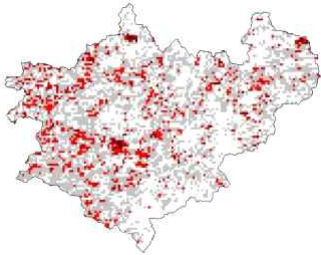







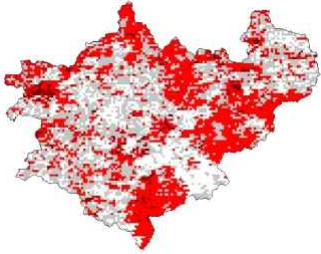





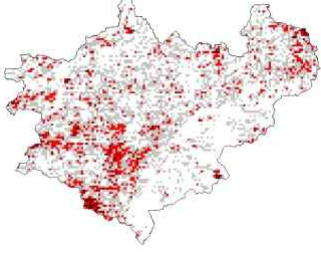



[그림 2.2.174] 2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VCI 산정결과

구분	NDVI	EVI
VCI 2017-097 (4/07 -4/22)		
VCI 2017-113 (4/23 -5/08)		
VCI 2017-129 (5/09 -5/24)		
VCI 2017-145 (5/25 -6/10)		
VCI 2017-161 (6/11 -6/26)		
범례		

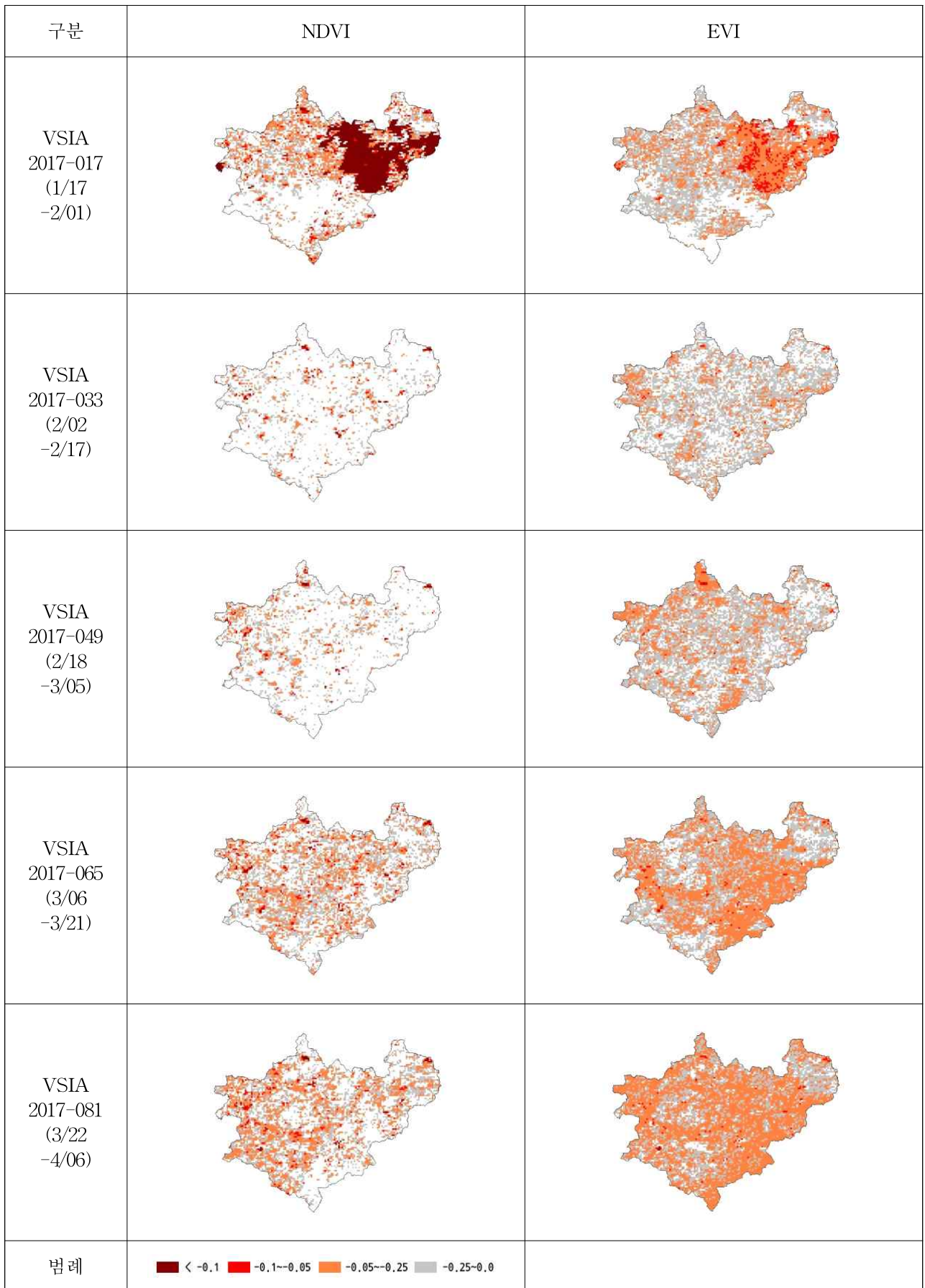
[그림 2.2.62] 2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VCI 산정결과(계속)

구분	NDVI	EVI
SVI 2017-017 (1/17 -2/01)		
SVI 2017-033 (2/02 -2/17)		
SVI 2017-049 (2/18 -3/05)		
SVI 2017-065 (3/06 -3/21)		
SVI 2017-081 (3/22 -4/06)		
범례		

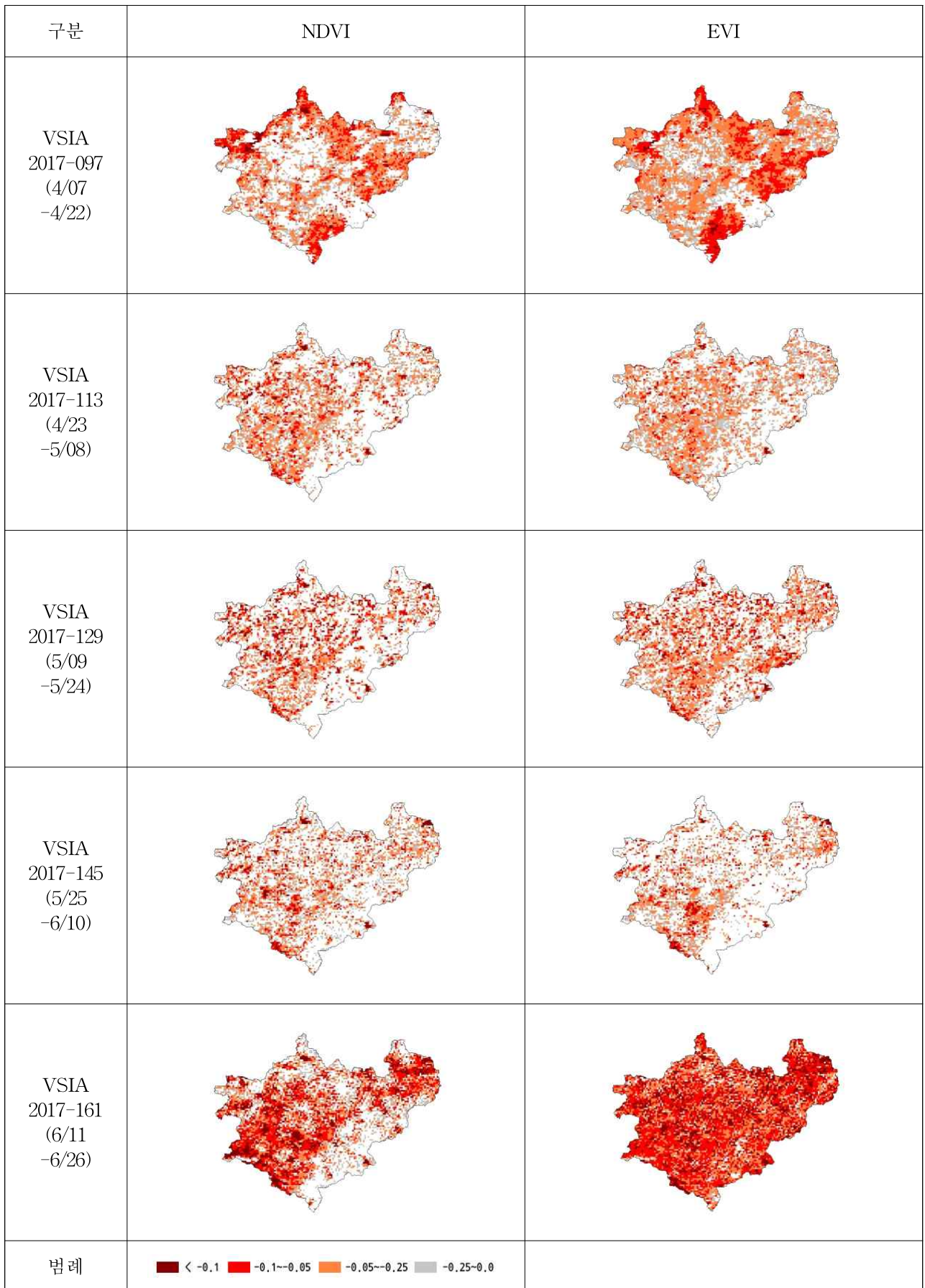
[그림 2.2.175] 2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 SVI 산정결과

구분	NDVI	EVI
SVI 2017-097 (4/07 -4/22)		
SVI 2017-113 (4/23 -5/08)		
SVI 2017-129 (5/09 -5/24)		
SVI 2017-145 (5/25 -6/10)		
SVI 2017-161 (6/11 -6/26)		
범례		

[그림 2.2.63] 2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 SVI 산정결과(계속)



[그림 2.2.176] 2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VSIA 산정결과

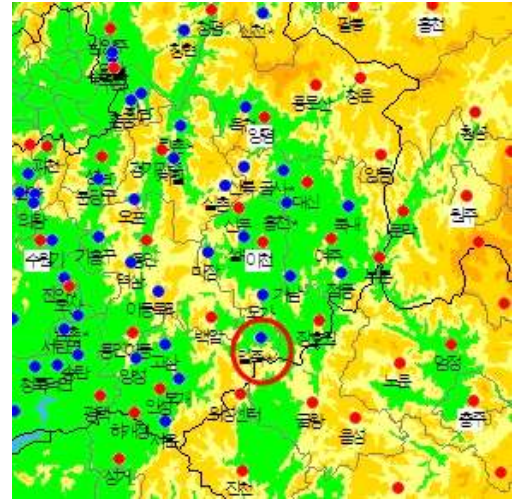


[그림 2.2.64] 2017년 안성 MOD13Q1 NDVI, EVI에 의한 VSIA 산정결과(계속)

MODIS 영상분석결과와 참고 및 현장조사를 통해 선정된 2개 지점의 위치와 인근 강우관측소(AWS)의 위치, 2017년 1월부터 7월까지의 일강수량 현황은 다음과 같다.

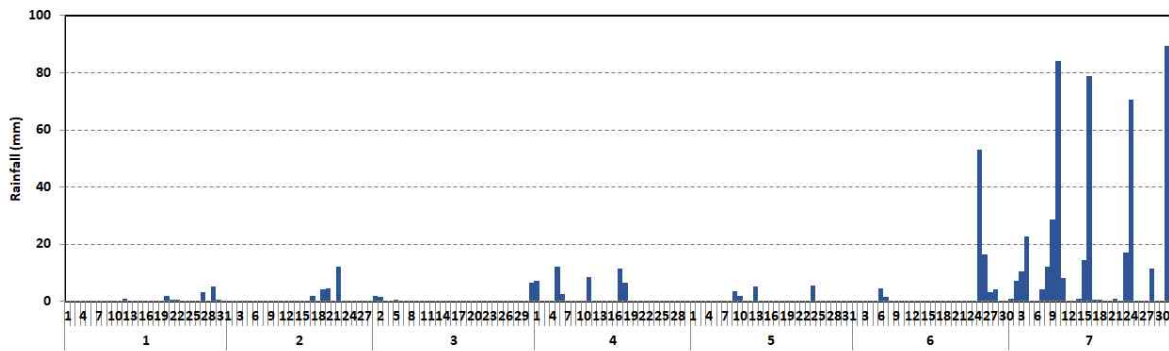


드론영상 촬영 대상지역 (장계리, 월정리 일원)



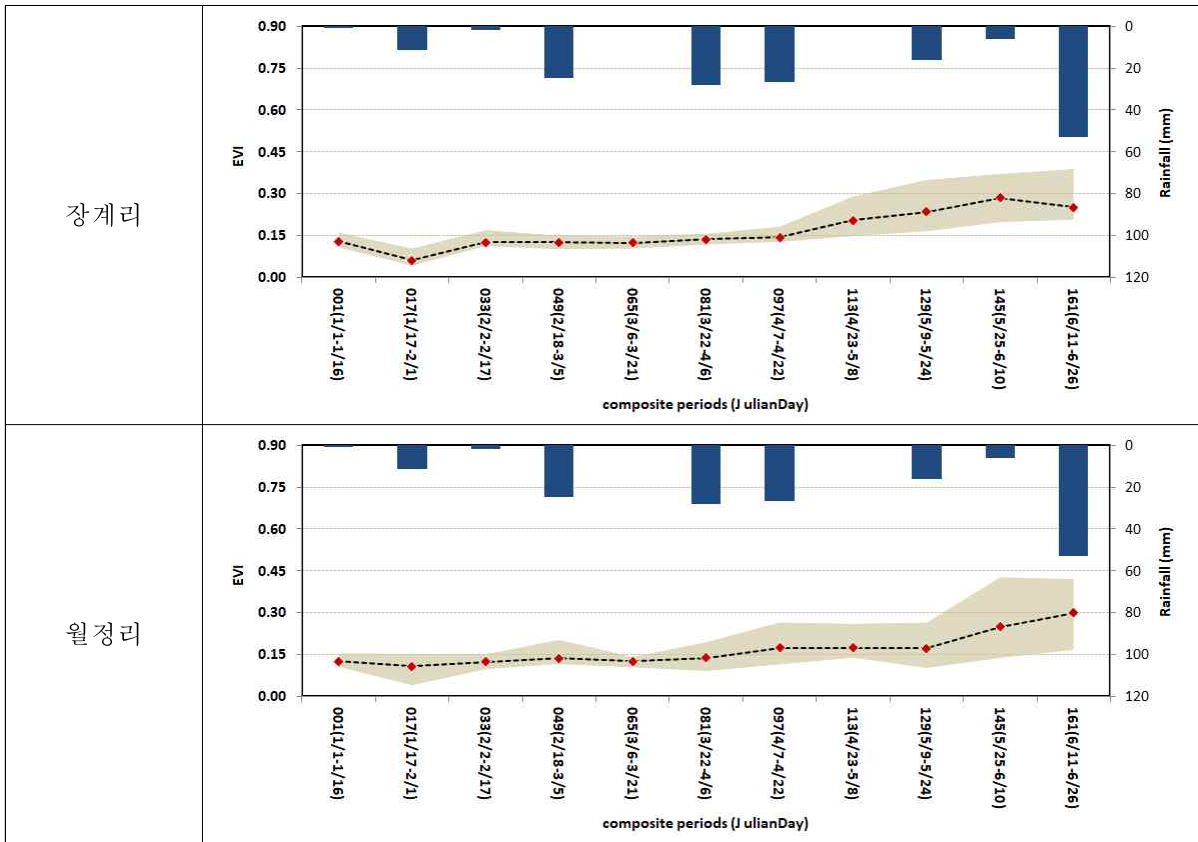
가장 근접한 AWS 관측소(일죽)

[그림 2.2.177] 드론촬영 대상지역 및 인접 기상관측소 현황

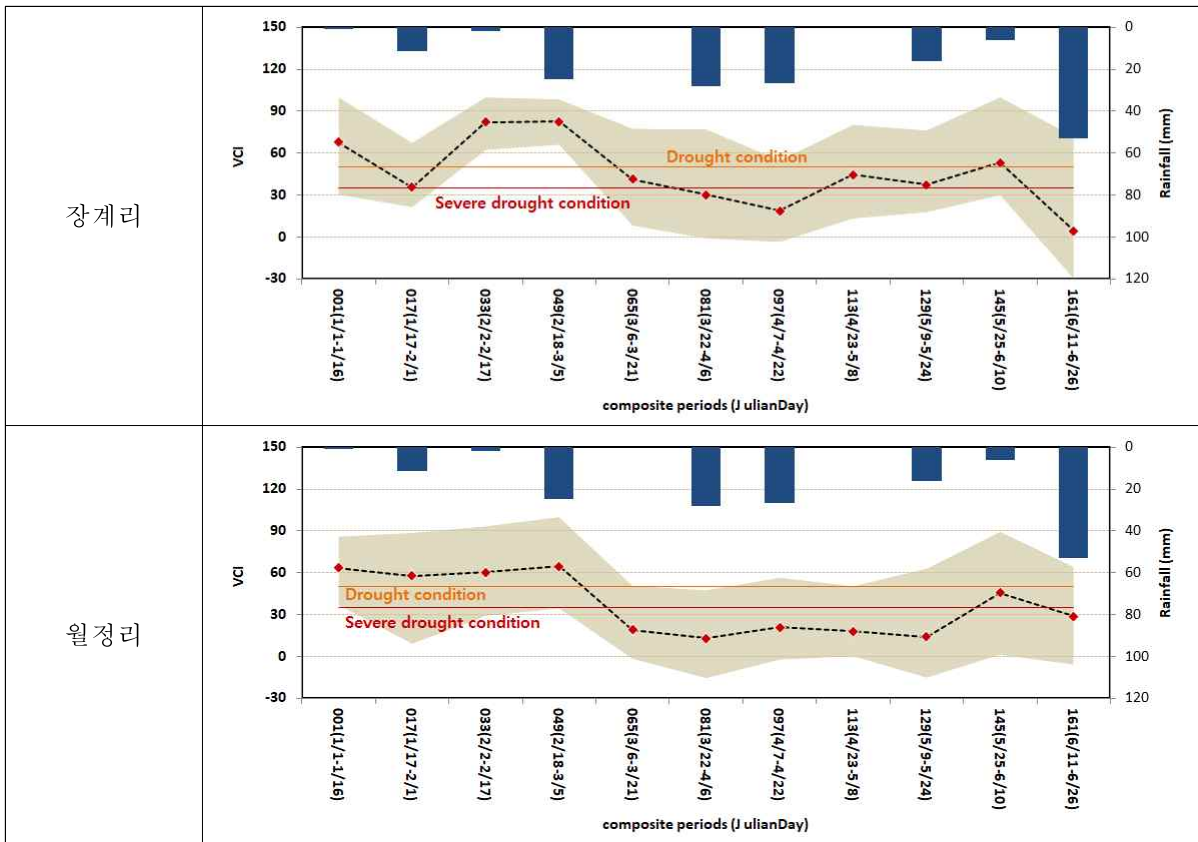


[그림 2.2.178] 일죽 AWS 관측소의 2017년 일강수량 현황

드론촬영지역과 일치하는 MODIS MOD13Q1의 셀은 장계리, 월정리 일원 각각 16개 셀 (1km×1km)으로, MODIS MOD13Q1의 EVI, NDVI 및 산출된 VCI, SVI, VSIA 결과를 해당기간별 16개셀의 평균, 최소, 최대, 누적강우량을 비교하여 나타낸 결과는 다음 그래프와 같다.

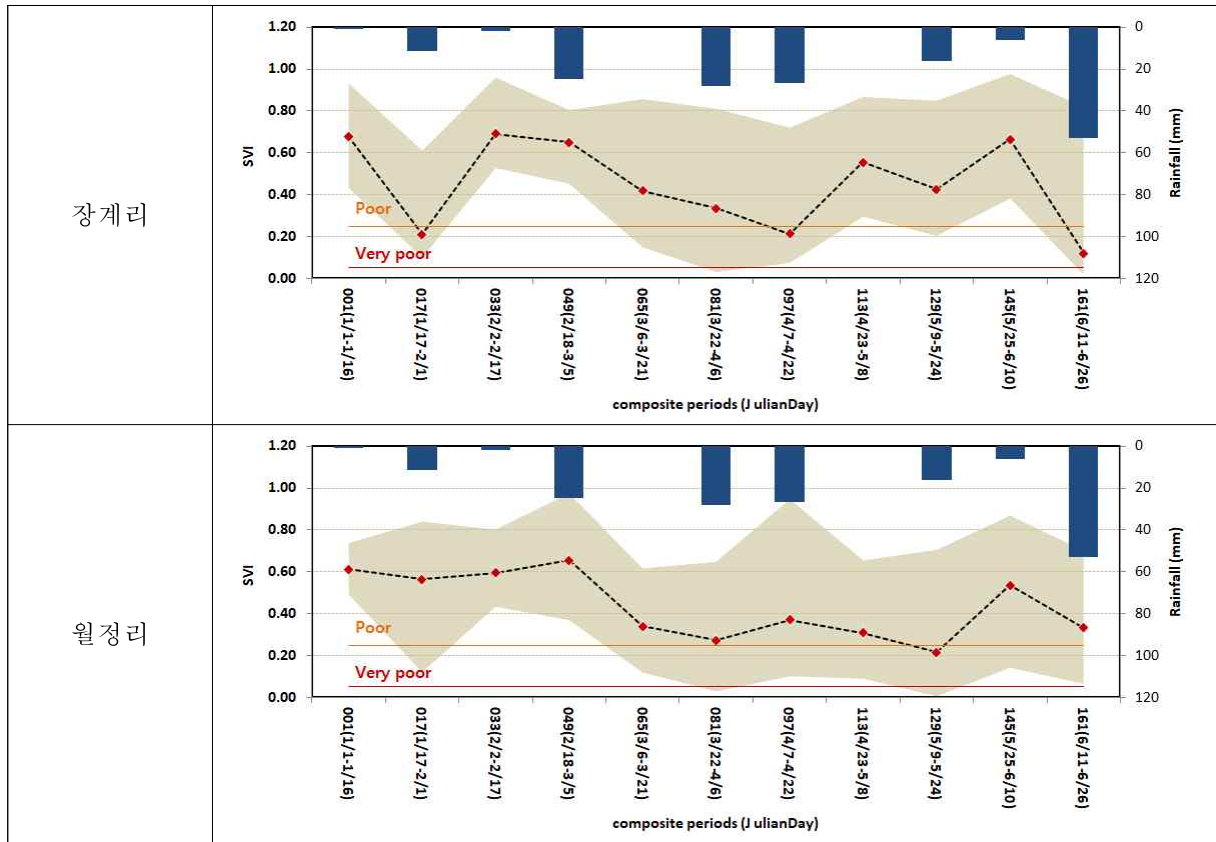


[그림 2.2.179] 대상지역의 MOD13Q1 EVI

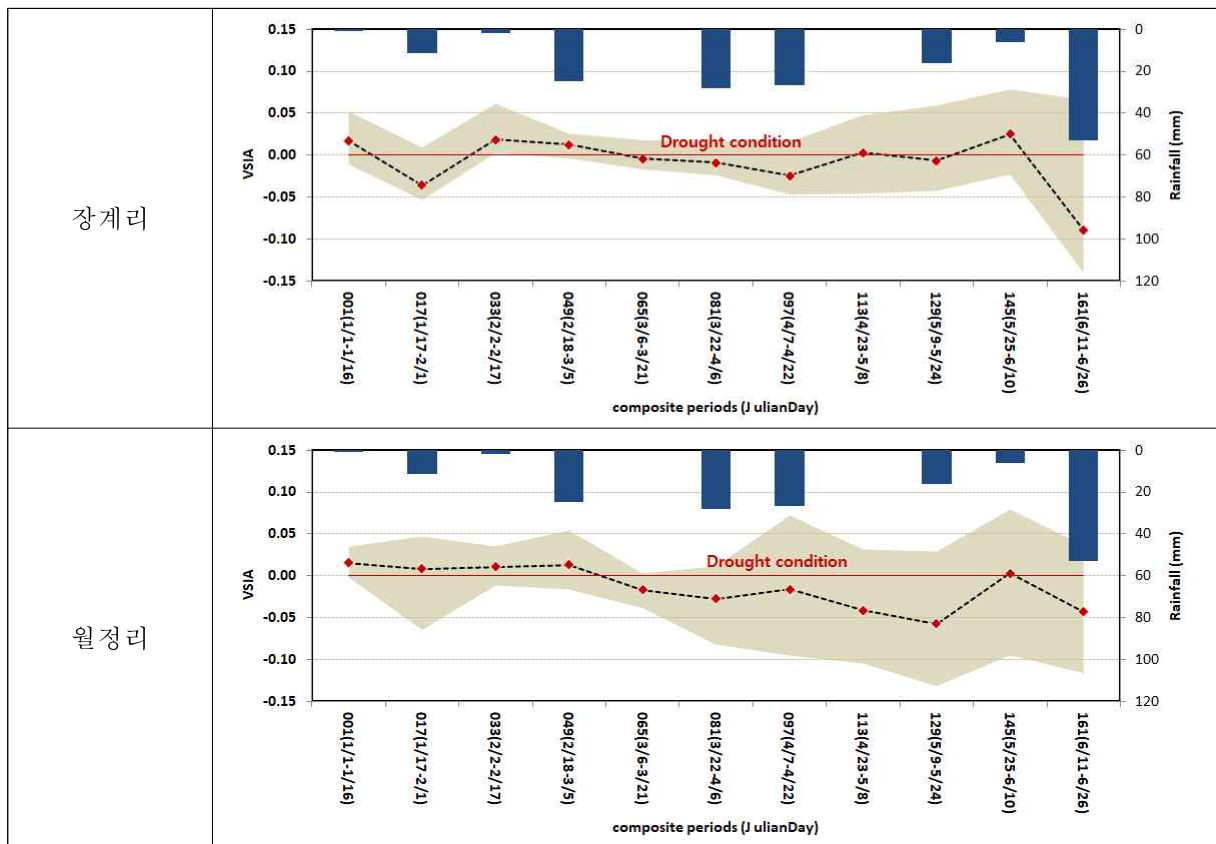


[그림 2.2.180] 대상지역의 MOD13Q1 EVI-VCI 분석결과

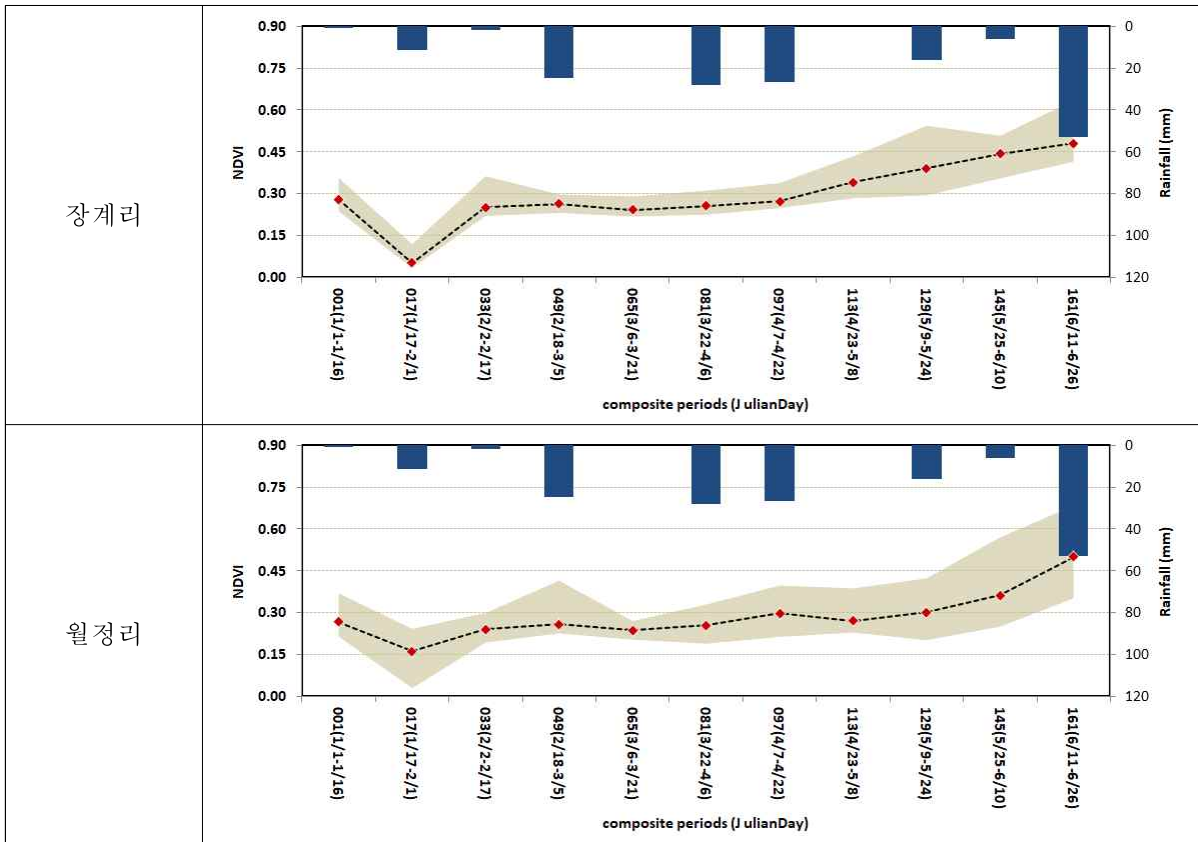




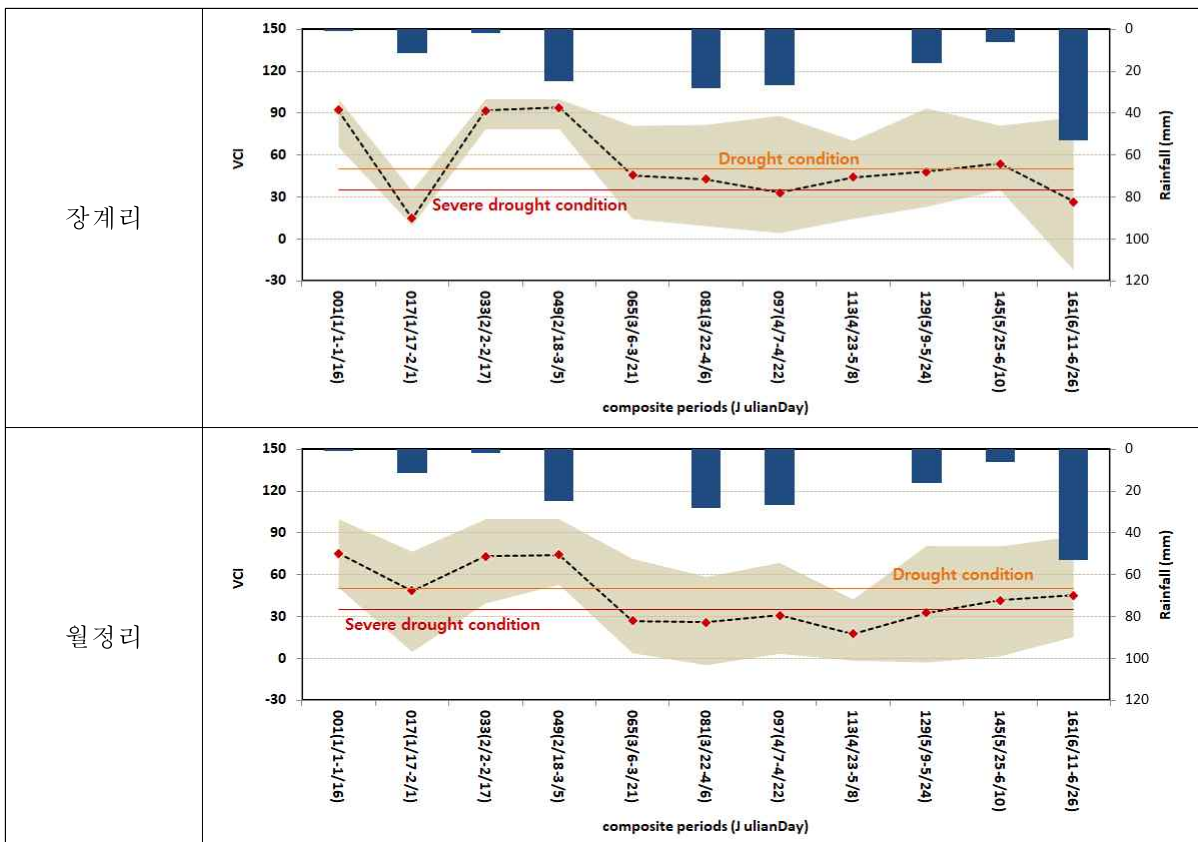
[그림 2.2.181] 대상지역의 MOD13Q1 EVI-SVI 분석결과



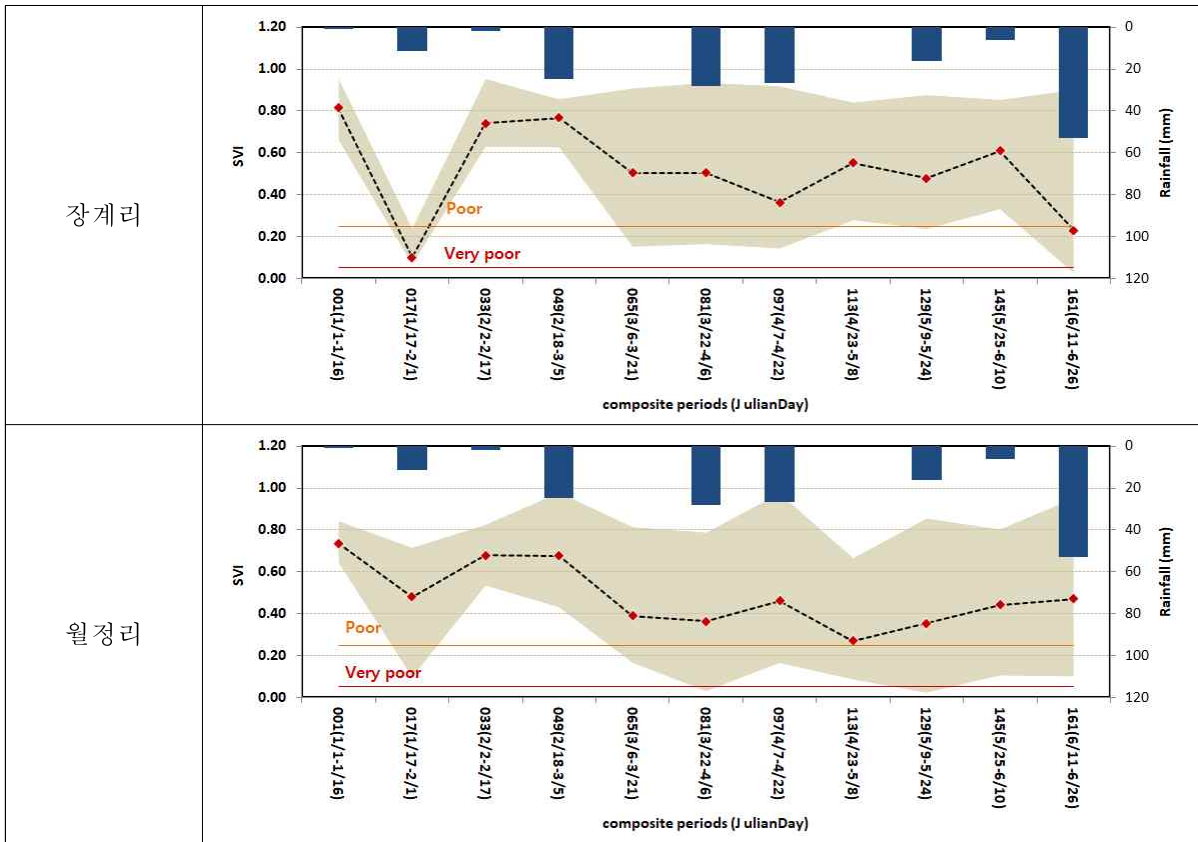
[그림 2.2.182] 대상지역의 MOD13Q1 EVI-VSIA 분석결과



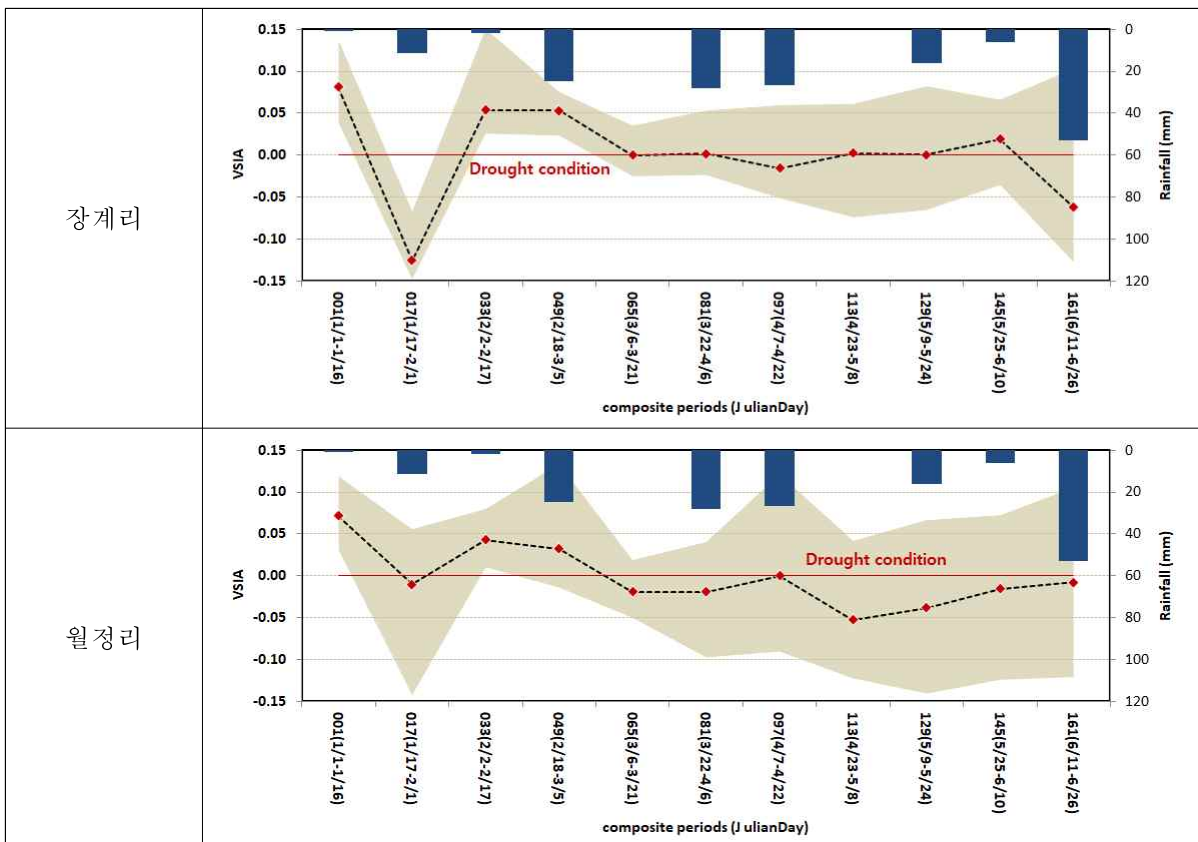
[그림 2.2.183] 대상지역의 MOD13Q1 NDVI



[그림 2.2.184] 대상지역의 MOD13Q1 NDVI-VCI 분석결과



[그림 2.2.185] 대상지역의 MOD13Q1 NDVI-SVI 분석결과



[그림 2.2.186] 대상지역의 MOD13Q1 NDVI-VSIA 분석결과

NDVI와 EVI는 시간이 경과함에 따라 점차 증가하는 추세이며, NDVI가 EVI보다 큰 값을 나타내고 있다. 두 지역의 NDVI, EVI로부터 산출된 VCI, SVI, VSIA 산정결과는 유사한 추세를 나타내고 있다. 경기 및 충청권을 대상으로한 공간적인 분포에서는 EVI로부터 산정된 지수들이 가뭄발생영역을 뚜렷하게 나타내지 못하는 것처럼 보였으나 대상지역의 셀 값을 표현한 결과에서는 EVI를 이용한 결과가 NDVI에 의한 결과보다 강수발생 현황을 조금더 반영하고 있음으로 145일 161일차 결과에서 확인할 수 있다. 참고로 161일차의 경우 마지막날 일죽 AWS에 53mm의 강수가 발생하였기 때문에 영상에 반영되지 못하였을 것으로 추정된다. 161일차의 지수값이 떨어진 이유는 5월부터의 기온상승, 무강우 및 유의미한 강우가 발생하지 못한 기간이 길어짐에 따라 식생의 활력도가 과거 평균값에 비해 낮게 나타난 것이 주요원인인 것으로 추정된다. 위의 분석결과로부터 광역적 RS영상의 결과를 참고하는 방안은 대상지역선정에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

#### (4) 드론영상 분석을 위한 현장조사 병행항목 설정

드론영상의 획득과정은 높은 고도에서 넓은 폭을 일괄적으로 촬영하는 위성영상과는 달리 소형카메라로 저고도에서 수십m 간격으로 촬영된 여러장의 사진을 접합하고 보정하는 과정을 거치게 되므로 원래의 영상정보가 변형될 가능성이 있다. 이를 고려하여 분광정보를 균일하게 반영할 수 있도록 분광계를 이용하여 촬영당시의 분광특성을 수집하는 방법이나, 영상으로부터 식생지수와 같이 식생의 상태를 파악하는 경우라면 현장NDVI 측정장치를 통해 촬영당시의 NDVI값을 접합된 영상으로부터 산출한 NDVI와 비교하여 보정하는 방법도 고려할 수 있다. 그러나 영상의 취득과정에서 매번 분광정보를 수집하는 것은 현장의 어려움이 따르므로 이를 보완하기 위한 방법으로 보정판을 활용할 수 있다. 일부 카메라 제조사에서는 드론촬영 시작전 후에 보정판을 지상에서 촬영하고 처리소프트웨어에 입력하면 DN값을 반사도값으로 변환 처리하는 패키지를 제공하고 있기도 하다. 영상기반의 가뭄 분석은 식생지수를 기본으로 하기 때문에 반사도 값을 획득할 수 있는 정보를 획득하는 것이 필요하다. 추가적으로, 드론영상을 이용한 가뭄분석과 관련하여 현장에서 수집할 수 있는 자료로서 강수량, 기온, 토양수분, 실제의 밭 관개수량 등이다. 그 중 실제의 밭 관개수량은 관개일자가 일정하지 않고 농민의 주관적인 판단이 우선하므로 자료의 획득이 쉽지 않은 것이 현실이다. 이것은 토양수분측정기를 설치하여 자료를 수집함으로써 분석에 활용가능하다고 판단된다. 가뭄분석과 관련된 자료들을 획득하기 위하여 다양한 기기를 설치하는 것은 관리와 비용문제 뿐만 아니라 대상지역이 대부분 사유지이므로 설치에 따른 협의 문제가 있음을 고려해야 할 것이다.

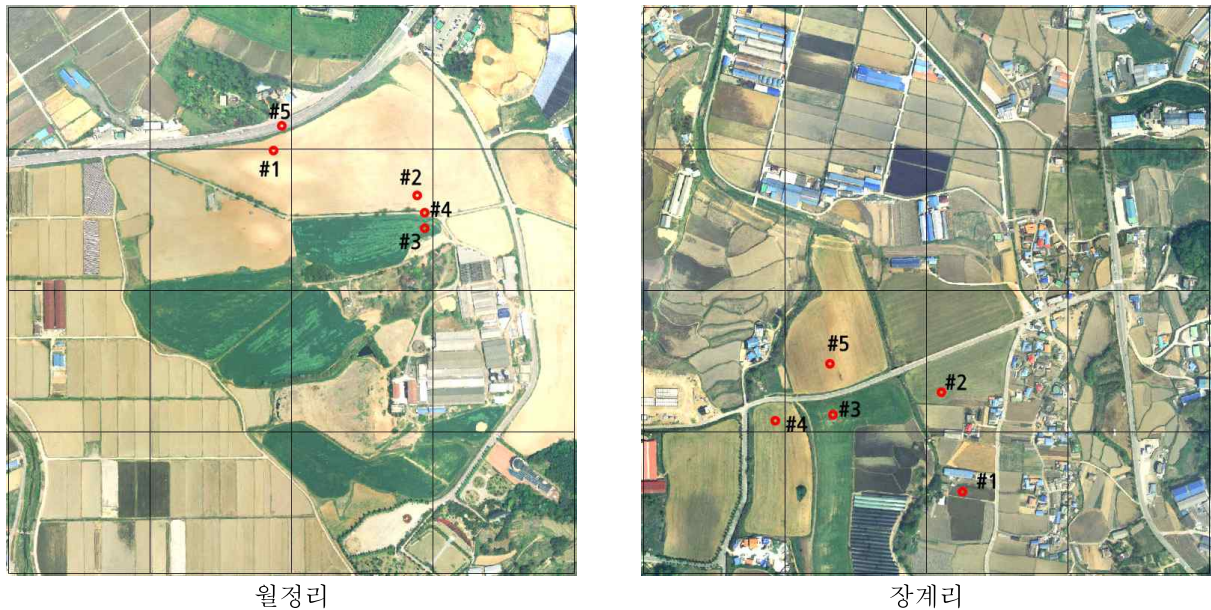
### 3. 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 영상 특성 분석

#### 가. 드론촬영 영상의 DN 및 식생지수 분포특성

##### (1) 드론영상의 DN 분포 특성

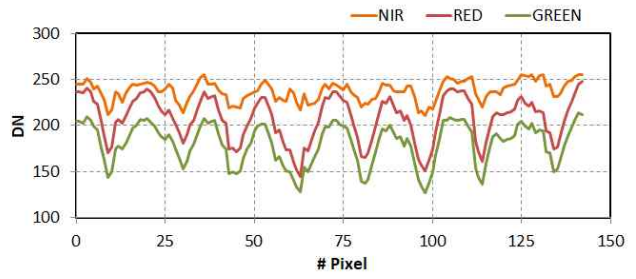
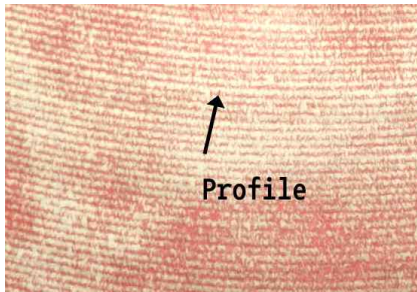
2017년 모니터링 대상지역 중 장계리는 감자를 주로 재배하며 일부 필지는 목초지 상태를 유지하고 있었다. 대규모 감자재배 필지 외에 소규모로 다양한 작물을 재배하고 있는 상황이다. 월정리는 성원목장을 중심으로 대규모로 옥수수를 재배하고 있으며, 일부필지에서는 과를 재배하고 있는 상황이다.

영상자료를 이용한 가뭄모니터링에서 NIR(근적외) 대역은 식생의 분포현황과 스트레스 정도를 구분하는데 가장 유용한 정보로 활용된다. 2017년 6월 촬영된 R-G-NIR 영상으로부터 주요 밭작물 재배지역에 대하여 DN값이 나타나는 특성을 파악해 보았으며 영상의 프로파일을 생성한 지점은 다음과 같다.

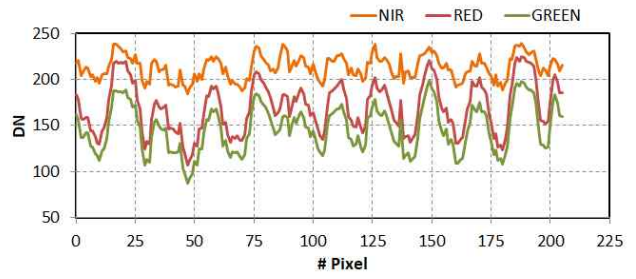
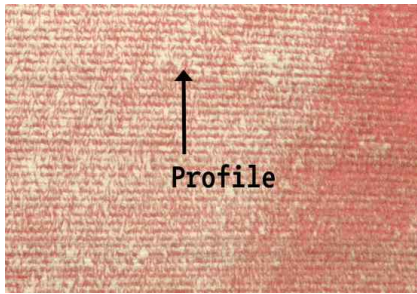


[그림 2.2.187] 드론영상의 NIR 밴드 DN값 분포 특성 분석 위치

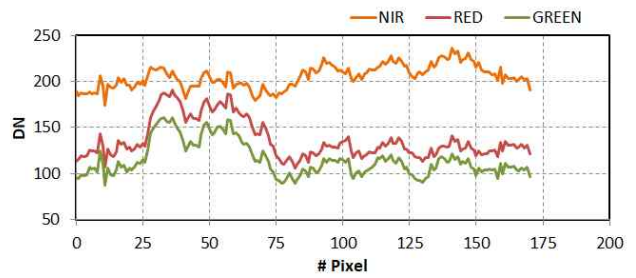
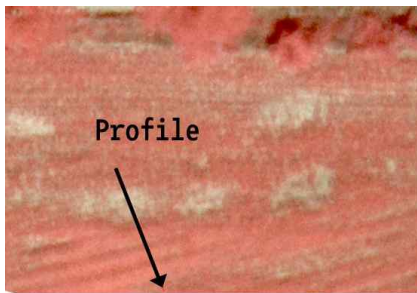
#1  
옥수수



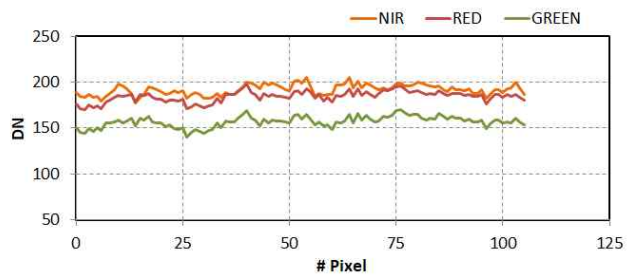
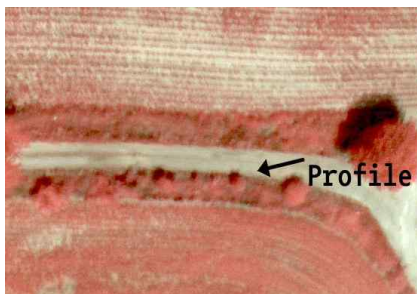
#2  
옥수수



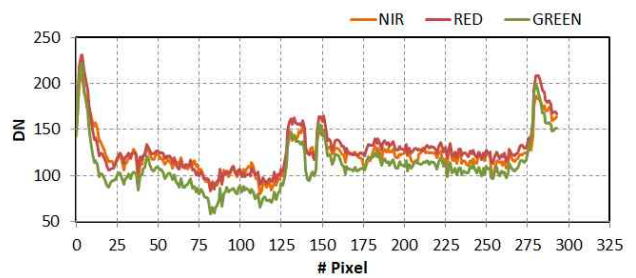
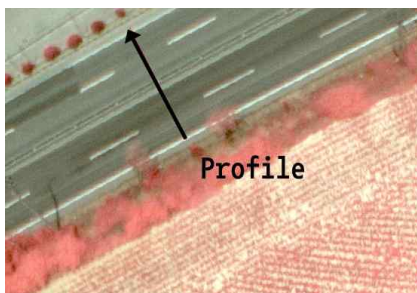
#3  
옥수수



#4  
비포장도로  
(자갈+흙)

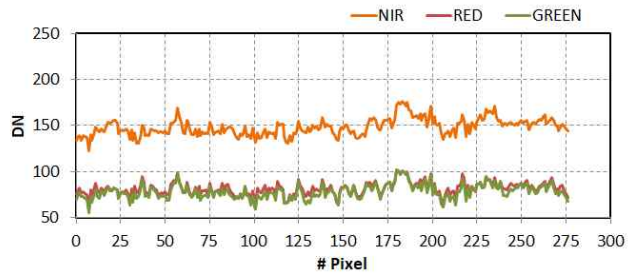
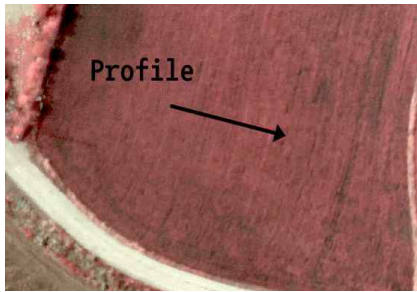


#5  
포장도로  
(아스팔트)

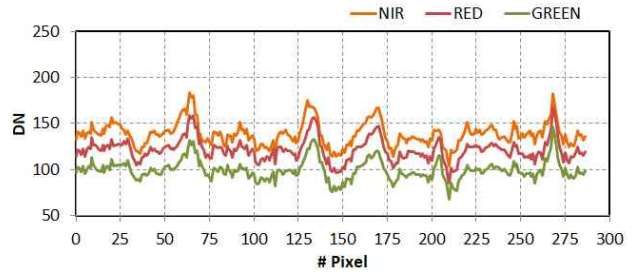
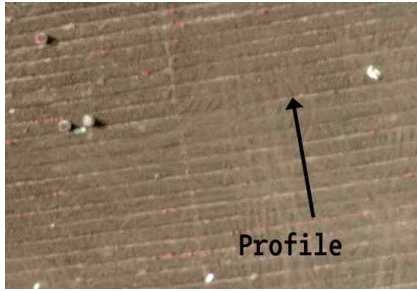


[그림 2.2.188] 위성리 드론영상 주요지점 DN값 특성

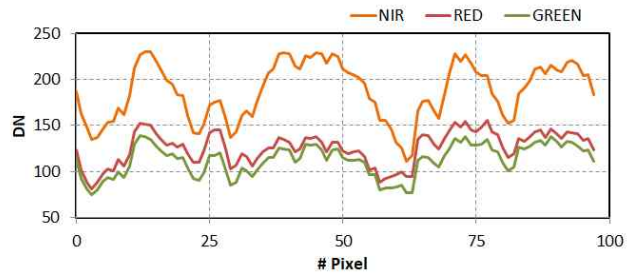
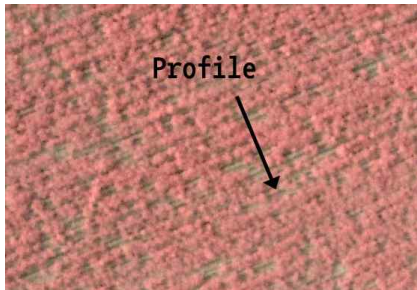
#1  
관개논



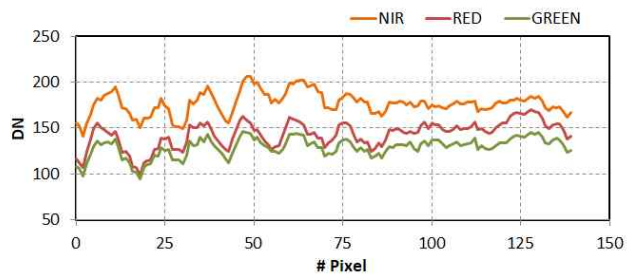
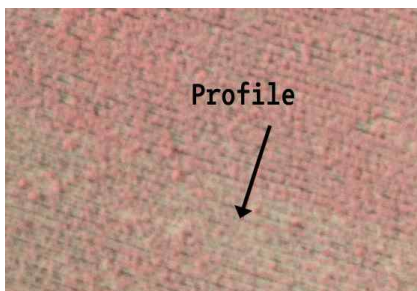
#2  
밭  
(파종 중)



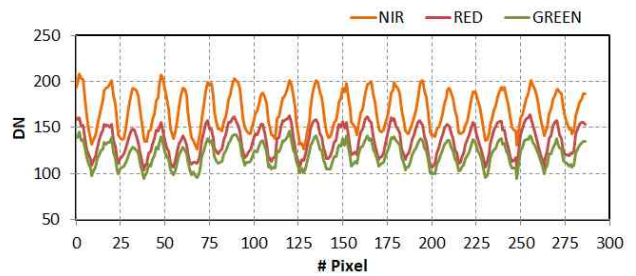
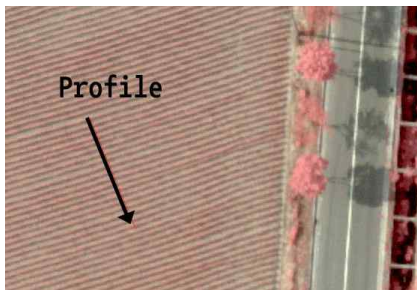
#3  
감자



#4  
감자



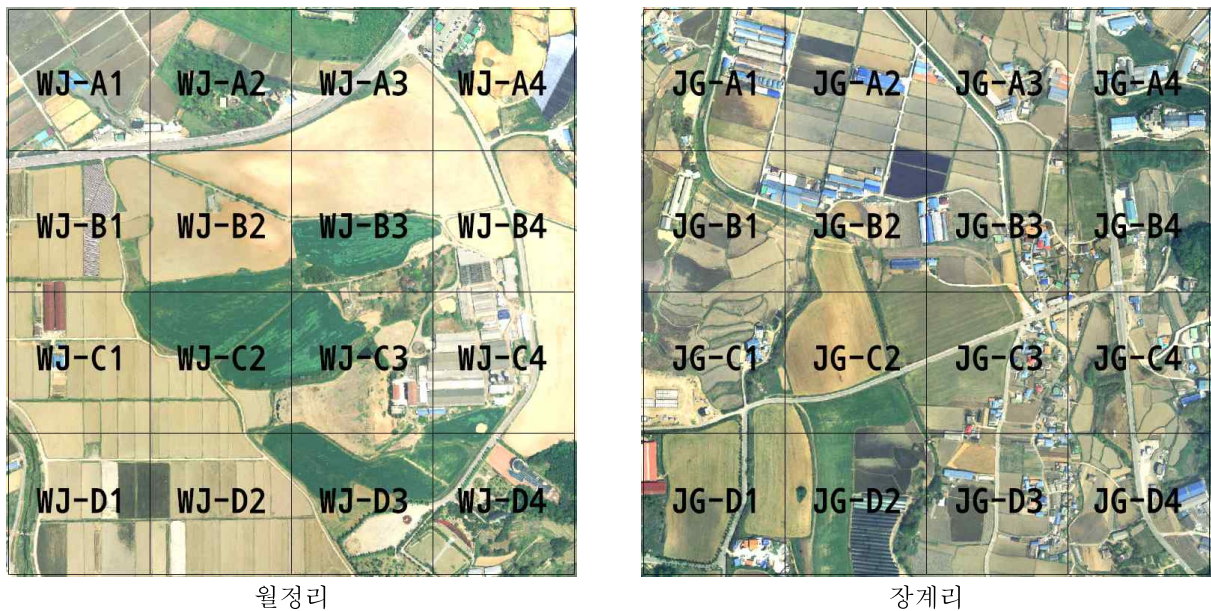
#5  
감자



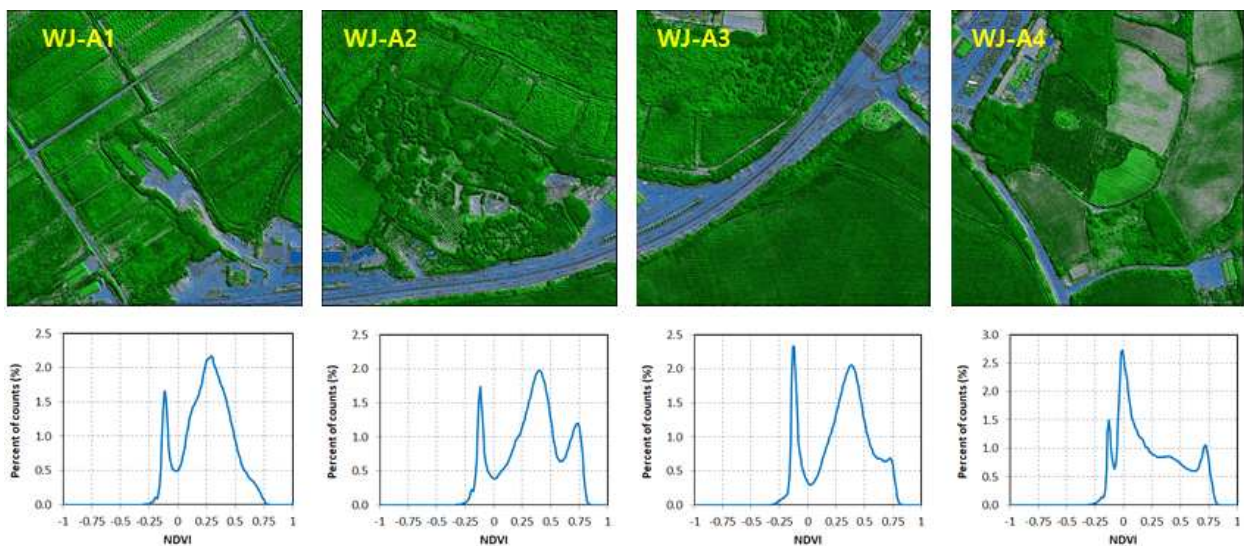
[그림 2.2.189] 장계리 드론영상 주요지점 DN값 특성

## (2) 드론영상의 식생지수 분포 특성

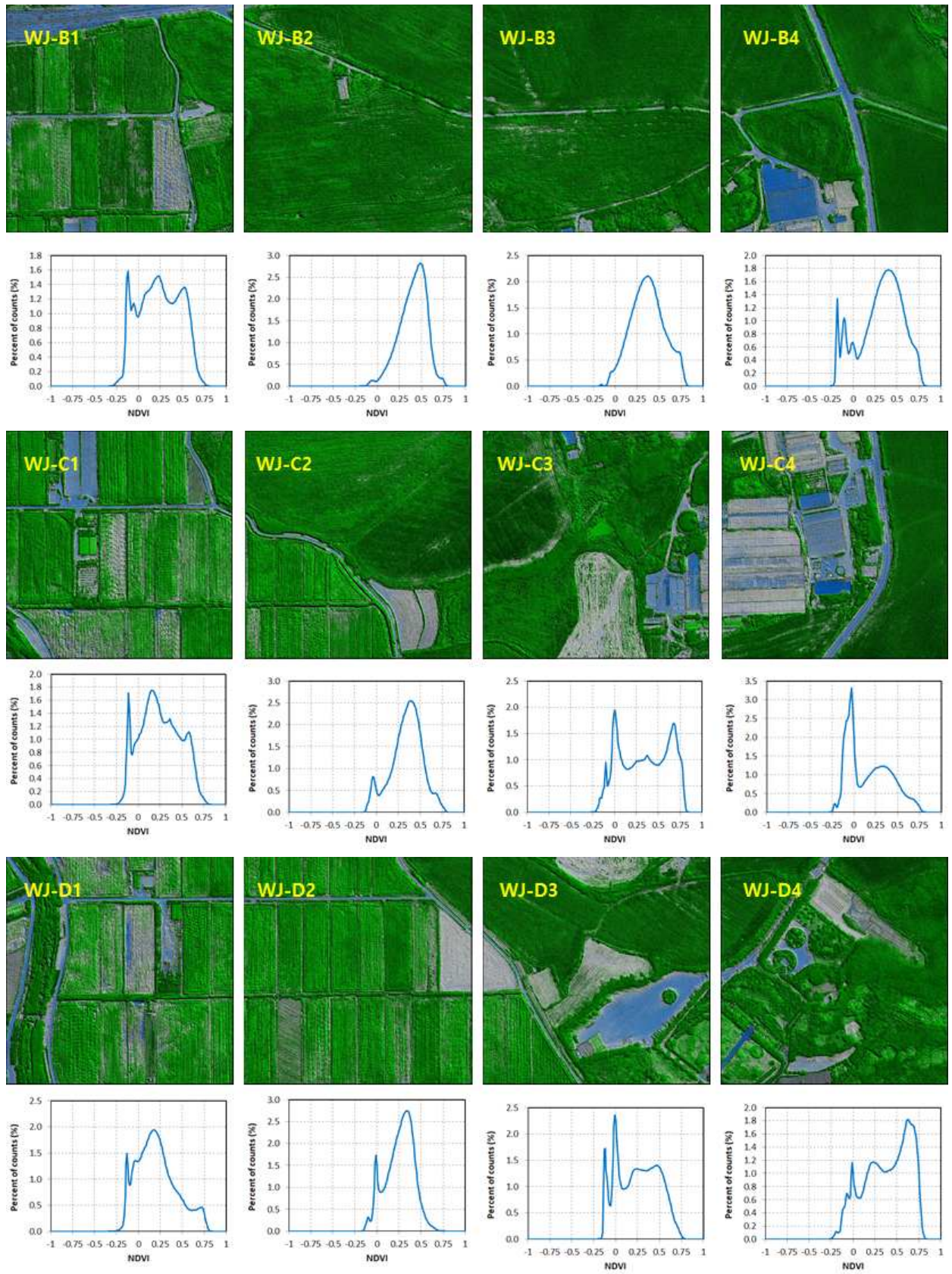
장계리와 월정리 일원에 대하여 R-G-NIR 영상을 촬영한 바 있으며, 이로부터 고해상도 NDVI 영상을 생성하였다. MODIS MOD13Q1을 이용한 NDVI 또는 EVI의 경우 공간해상도가 250m로 도로, 토양, 식생, 건물 등 다양한 공간적인 정보들을 상세하게 표현할 수 없고 평균적인 특성으로 나타날 수 밖에 없다. 그러나 드론을 이용하여 촬영된 영상으로부터 생성된 식생지수는 다양한 공간적인 정보들에 따라 값의 범위가 명확하게 구분될 수 있는 것으로 파악되었다. 식생지수는 -1~1의 범위를 나타내며, 드론에 근적외선 카메라(S110-NIR)를 탑재하여 촬영된 6월 영상으로부터 산정된 NDVI에서 공간적인 정보들이 나타내는 값의 범위를 파악하고 MOD13Q1영상값과 비교하기 위하여 1km×1km의 16개(4×4) 셀로 동일한 구역을 잘라내어 NDVI값의 분포와 평균값을 산정하였다. MOD13Q1영상을 기준으로 하는 영역의 위치는 다음과 같다.



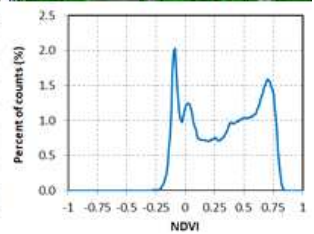
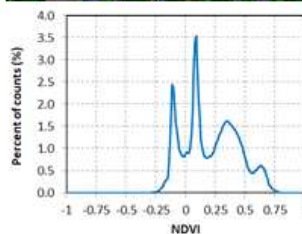
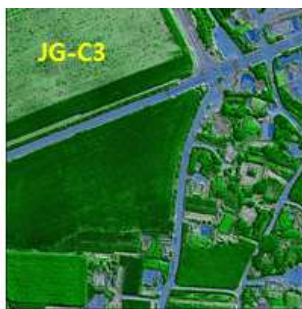
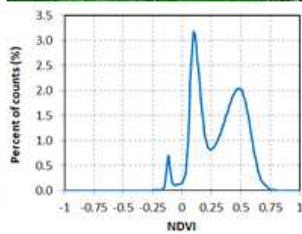
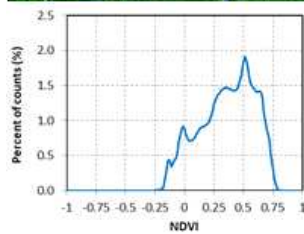
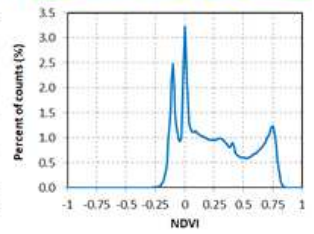
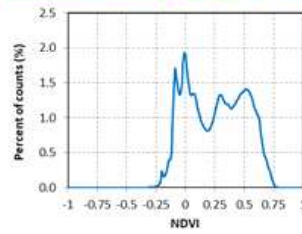
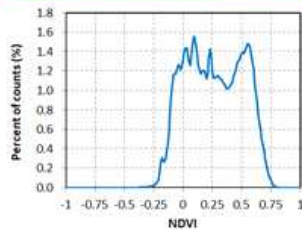
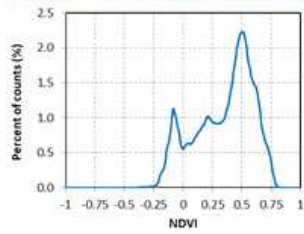
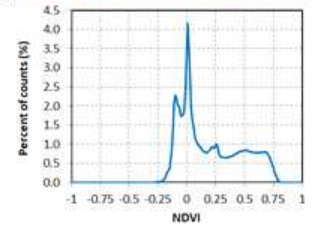
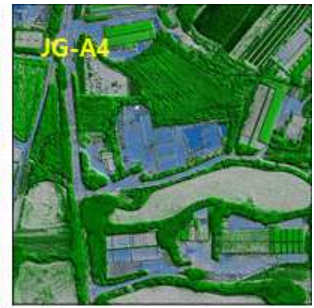
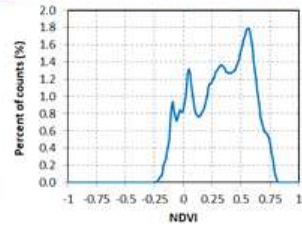
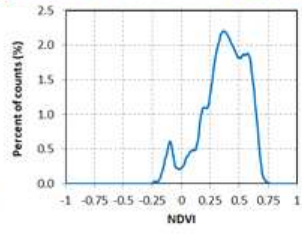
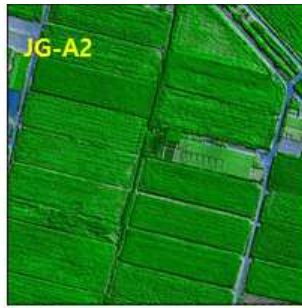
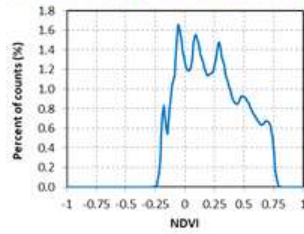
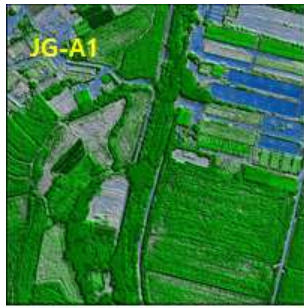
[그림 2.2.190] 드론영상의 NDVI분포 및 MOD13Q1 비교를 위한 인덱스

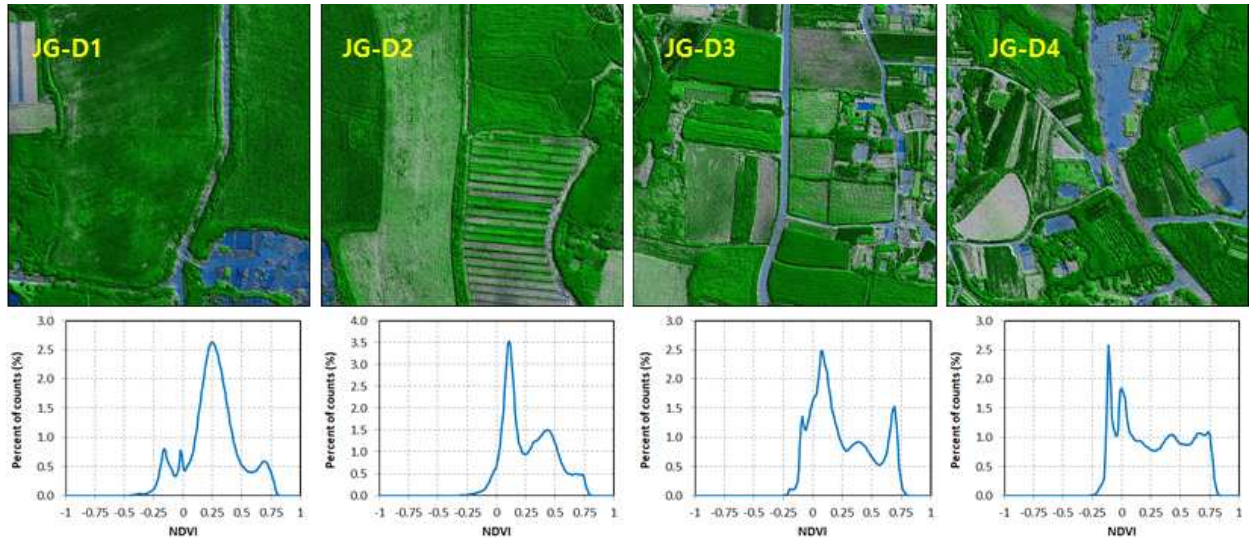






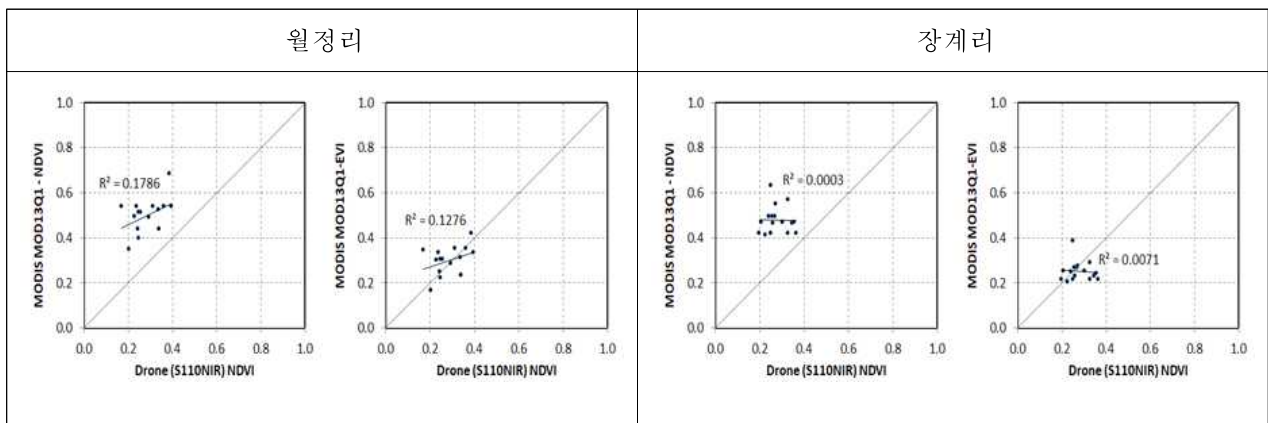
[그림 2.2.191] 드론영상의 영역별 NDVI 분포 (월정리)





[그림 2.2.192] 드론영상의 영역별 NDVI 분포 (장계리)

드론으로 촬영된 4.5cm 해상도의 R-G-NIR영상으로부터 생성한 식생지수는 중저해상도 영상을 이용한 식생지수보다 지형지물의 특성과 식생의 상태를 보다 명확하게 나타낼 수 있는 것으로 파악되었다. 인덱스 영역내 식생이 많이 포함 되어 있을수록 0값을 기준으로 양의 값이 나타나며, 아스팔트로 포장된 도로는 -0.1부근의 값을, 식생이 없는 나대지, 콘크리트 포장면은 0에 가까운 음의 값을 나타내었다. JG-D2 영역과 같이 작물이 초장을 이루고 있는 경우 0.1에 가깝게 나타나며 논과 밭에 따라 식생지수가 나타내는 값의 범위가 차이가 있는 것으로 파악된다. 드론영상으로부터의 NDVI의 영역별 평균값과 MOD13Q1의 NDVI, EVI 셀 값을 비교한 결과 드론영상의 NDVI 평균값이 MOD13Q1의 NDVI보다 작은 값을 나타내고 있으며, EVI는 비슷한 범위를 나타내고 있다. 이 값들의 상관관계를 파악해 본 결과 월정리의 경우 추세선이 나타나기는 하나 상관성은 매우 낮게 평가되었으며, 장계리의 경우 상관관계를 형성하지 못하는 것으로 평가되었다. 월정리의 장계리 보다 토지이용이 단순하고 건물이 많지 않으며 동일 작물의 재배면적이 넓은 특성을 타나내기 때문에 낮지만 상관성이 나타나는 것으로 판단된다.



[그림 2.2.193] 드론영상의 영역별 평균 NDVI와 MOD13Q1의 NDVI, EVI 비교

## 나. 가뭄모니터링 활용을 위한 영상별 적정 분광밴드 및 지수선정

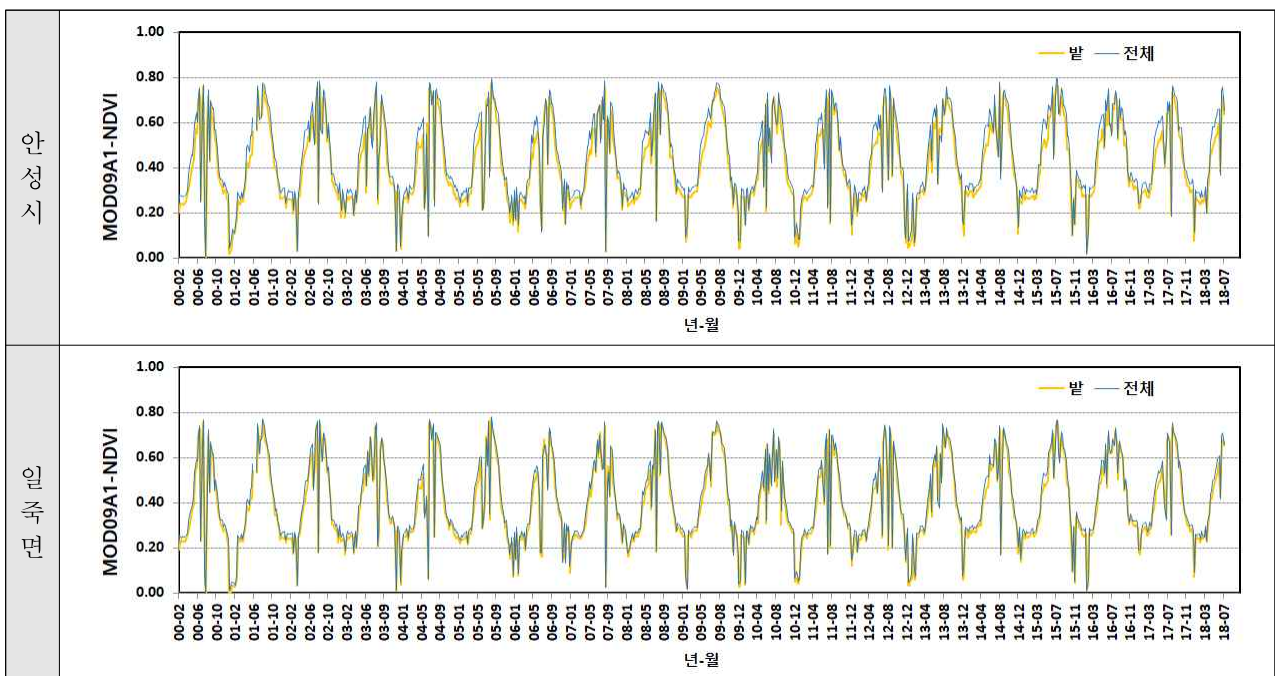
### (1) MODIS를 이용한 광역적 모니터링

앞서 MODIS 영상을 이용한 가뭄분석 방법에서 광역적 가뭄모니터링에 활용 가능한 다양한 지수들에 대하여 제시한 바 있다. 제시된 지수들의 산정방법에 따라 대상지역이 포함되는 안성시, 일죽면을 대상으로 지수를 산정하고 전체 및 밭에 대한 평균값을 분석하여 어떠한 특징들이 나타나는지를 파악하고자 하였다.

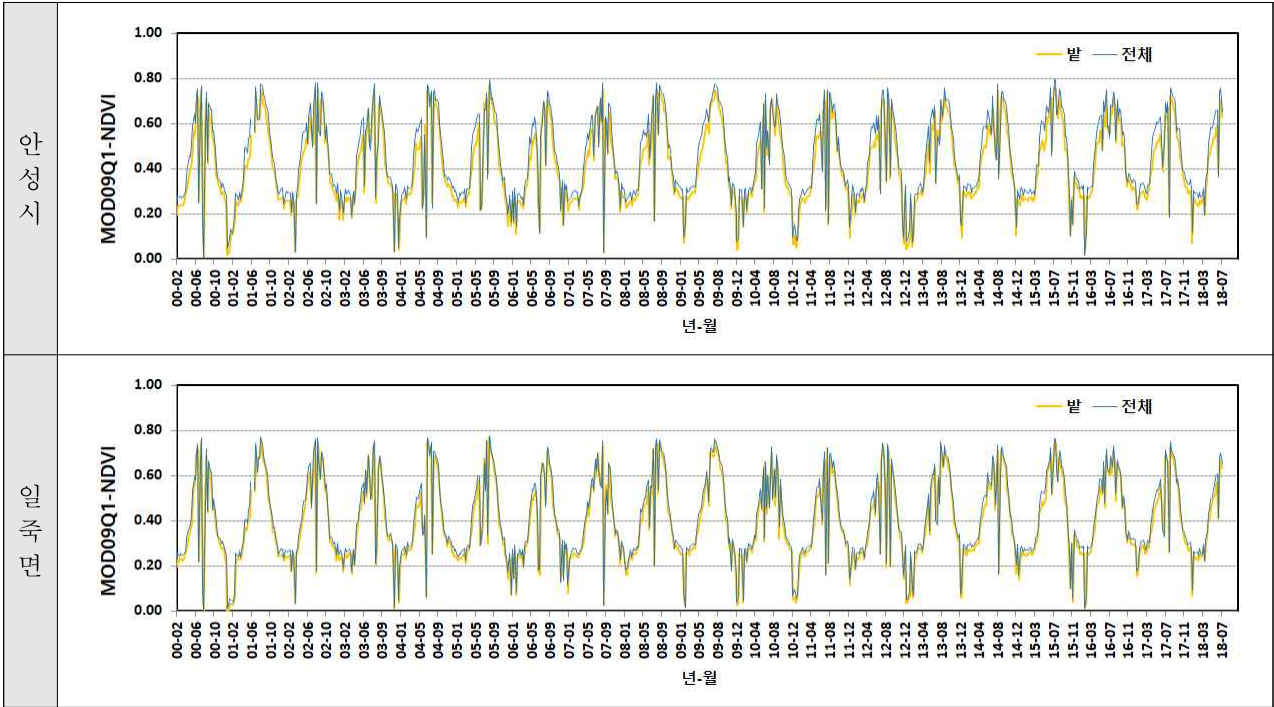
#### (가) MODIS 지수분석결과

##### ① NDVI

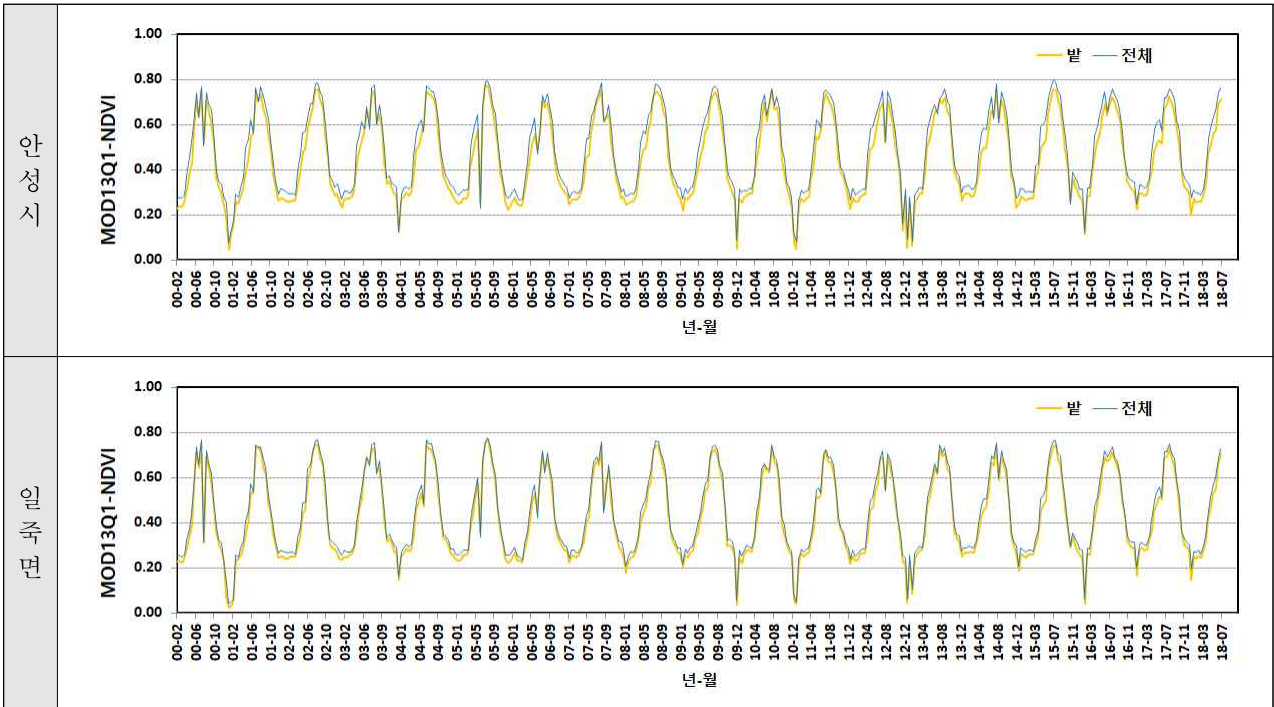
NDVI는 MOD09A1, MOD09Q1, MOD13Q1 영상으로부터 산정가능하며, MOD13Q1의 경우 16일 NDVI 값이 제공된다. 안성시와 일죽면 행정구역 토지피복 전체와 밭에 대한 평균을 산정하여 도시한 결과 값의 차이가 크게 나타나지는 않았다. NDVI값은 전체적으로 식생의 생육 시기에는 높은 값을 나타내고 늦가을에서 봄철에는 낮은 값을 나타내는 경향을 보이고 있으나, 8일 합성된 MOD09A1, MOD09Q1 영상을 이용한 분석결과는 16일 합성된 MOD13Q1 영상에 비해 값의 진동이 크게 나타나고 있다. MOD13Q1영상의 경우 레이어1로 제공되는 NDVI와 계산식에 의한 결과에 큰 차이를 보이고 있지 않으므로 MOD13Q1을 이용하는 경우 안정적인 분석을 위해 레이어1로 제공되는 값을 사용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.



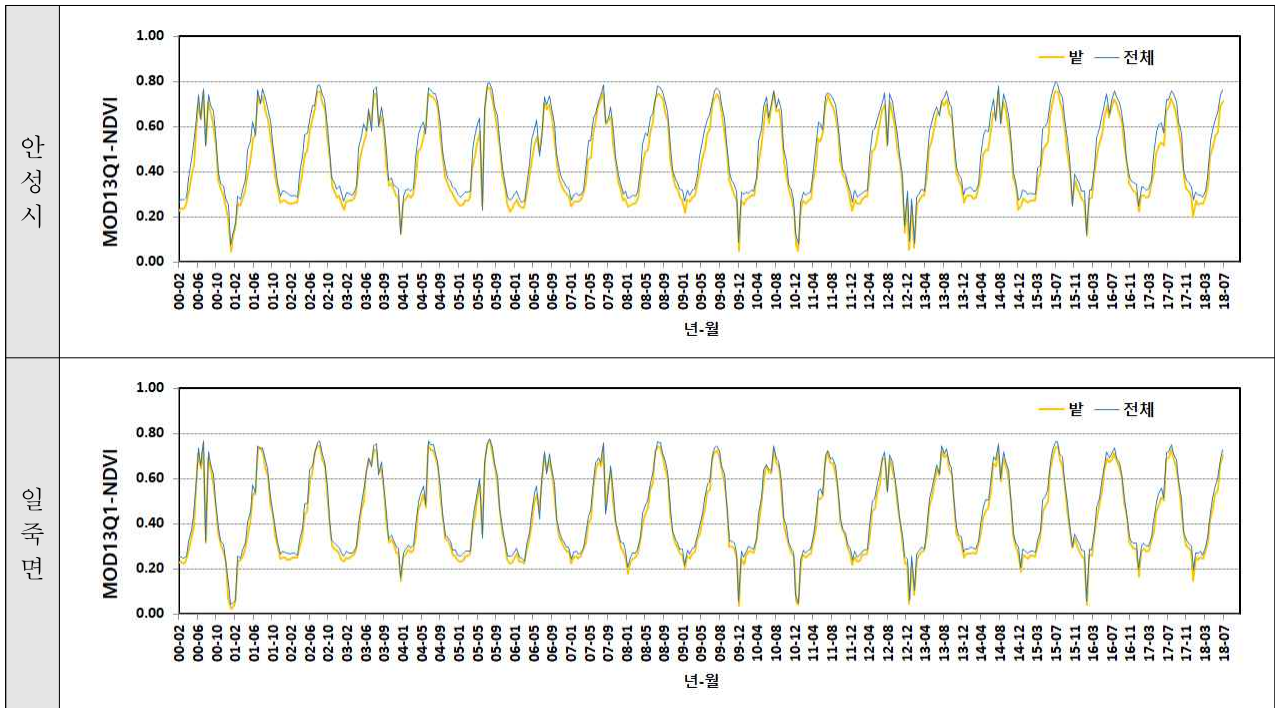
[그림 2.2.194] MOD09A1-NDVI



[그림 2.2.195] MOD09Q1-NDVI



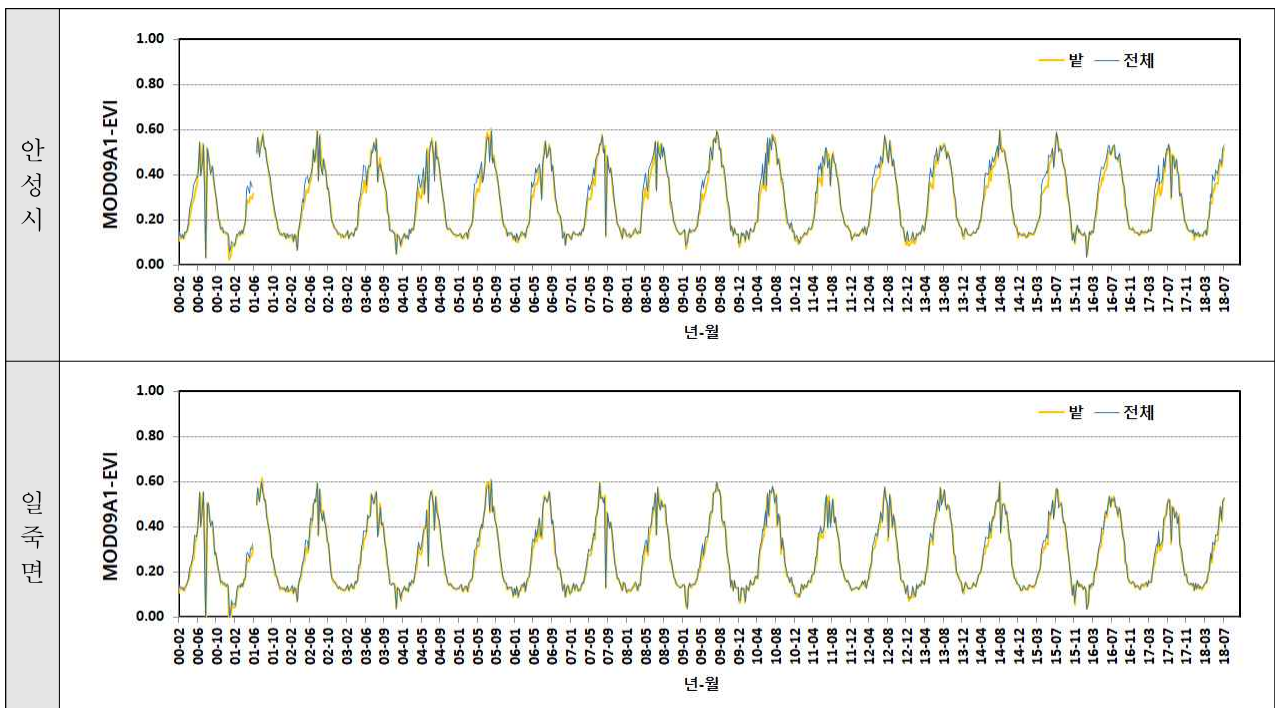
[그림 2.2.196] MOD13Q1-NDVI (산정식에 의함)



[그림 2.2.197] MOD13Q1-NDVI (SDS 레이어1)

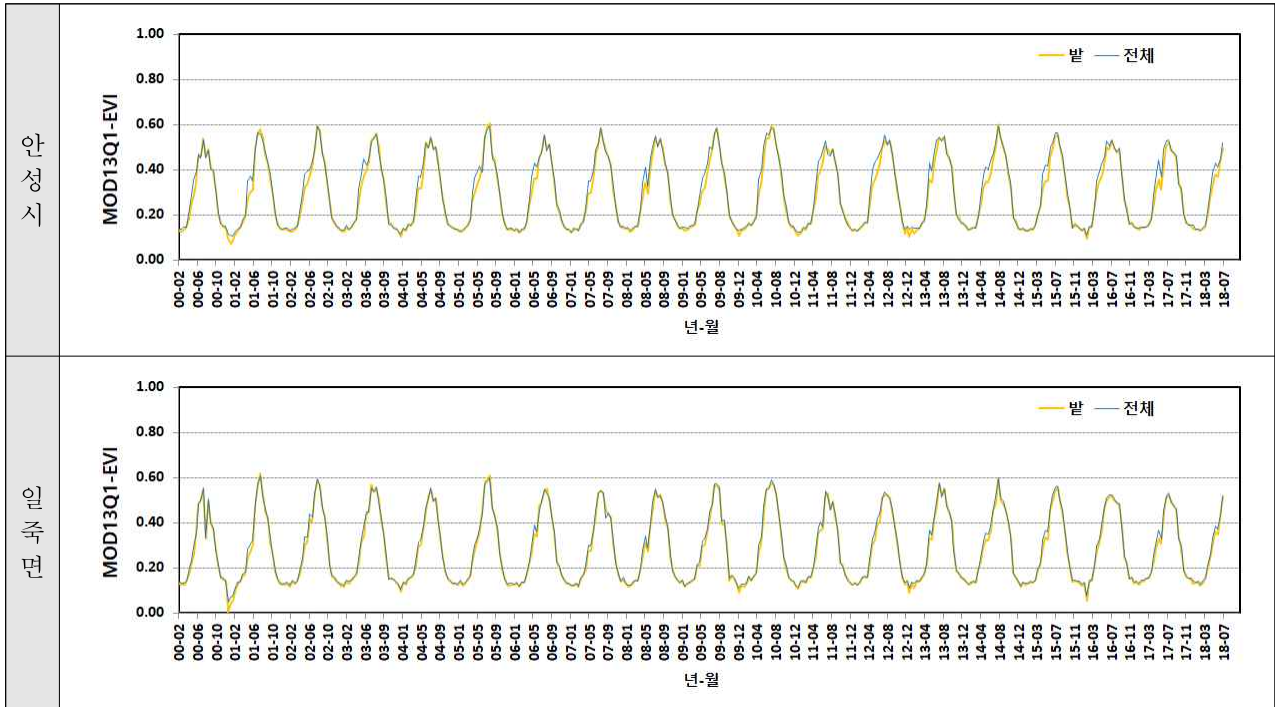
② EVI

NDVI는 MOD09A1, MOD13Q1 영상으로부터 산정가능하며, MOD13Q1의 경우 16일 EVI 값이 제공된다. 산정된 결과는 다음과 같고 NDVI와 같이 토지이용 전체와 밭의 차이는 미미하였다.

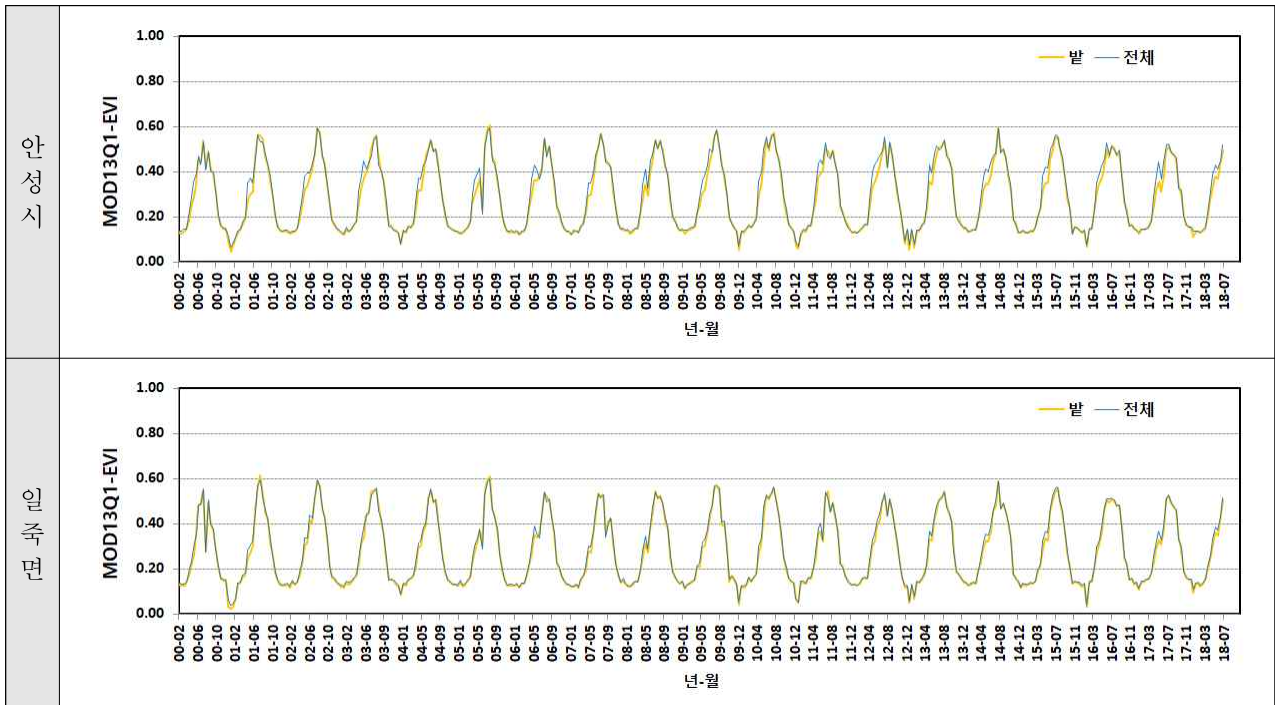


[그림 2.2.198] MOD09A1-EVI

8일 합성된 MOD09A1 영상의 NIR, RED, BLUE 밴드를 이용하여 EVI를 산정한 결과 NDVI와 비교하여 값의 진동 폭이 작으며 안정적인 결과를 나타내고 있다. MOD13Q1영상의 경우 레이어2로 제공되는 EVI와 계산식에 의한 결과에 큰 차이를 보이고 있지 않으며 안정적인 분석을 위해 레이어2로 제공되는 값을 사용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.



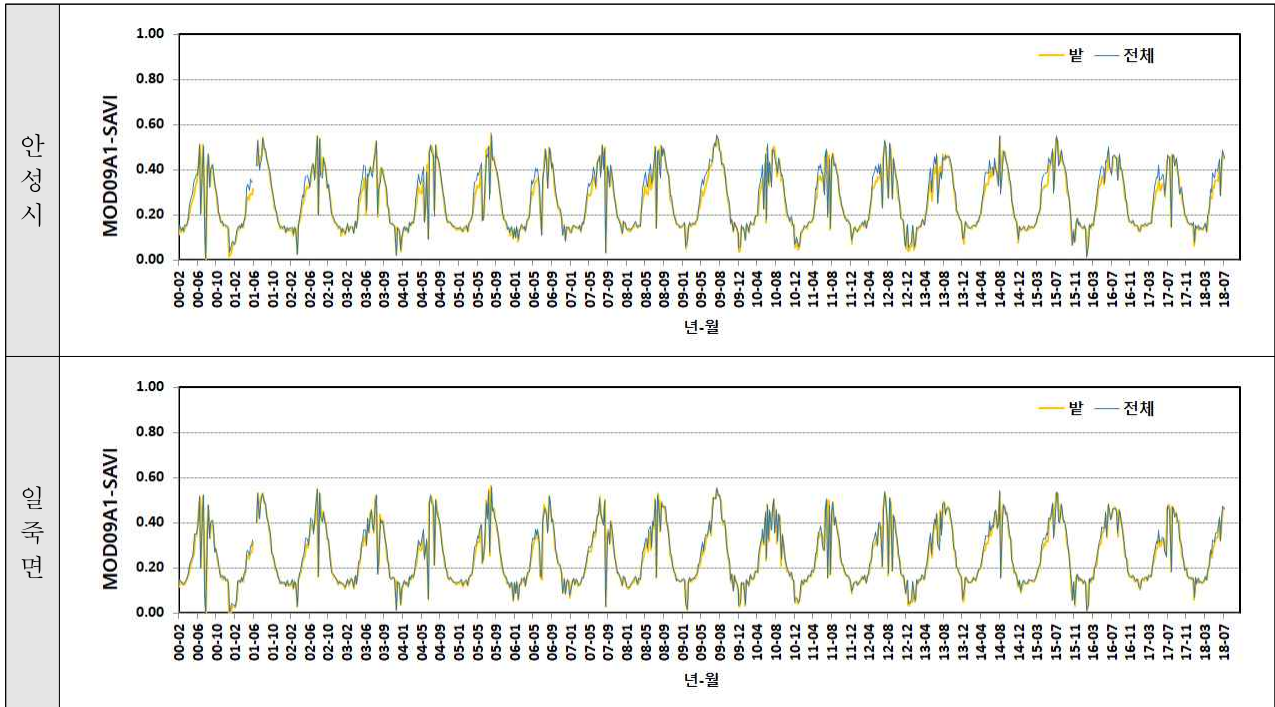
[그림 2.2.199] MOD13Q1-EVI (산정식에 의한)



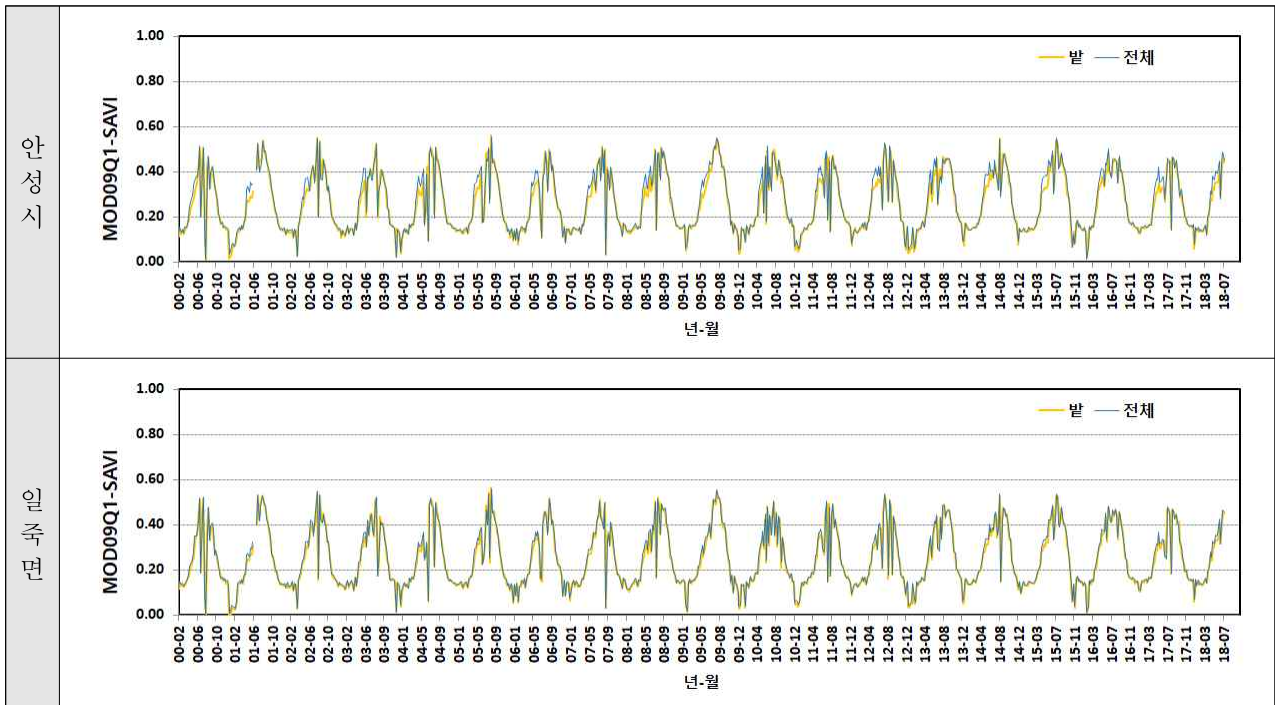
[그림 2.2.200] MOD13Q1-EVI (SDS 레이어2)

### ③ SAVI

SAVI는 MOD09A1, MOD09Q1, MOD13Q1 영상으로부터 산정가능하며, 안성시, 일죽면 결과의 다음과 같고 토지이용 전체와 밭의 차이는 미미하였다.

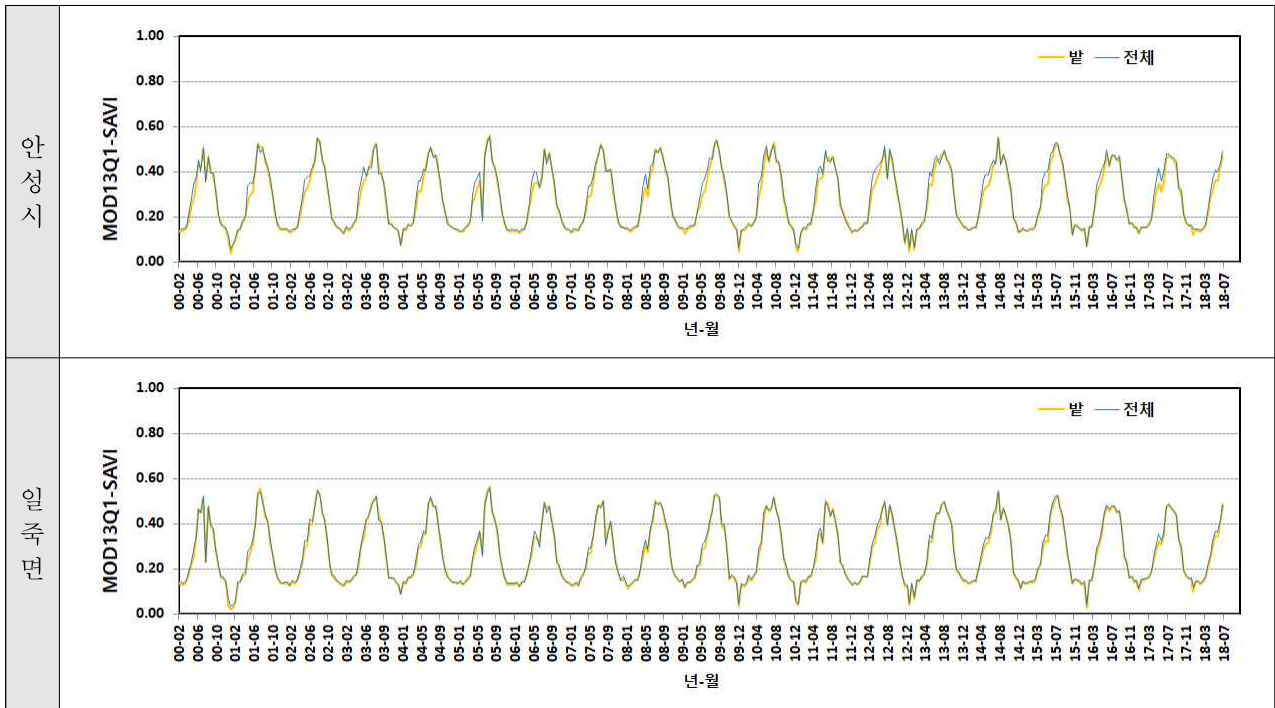


[그림 2.2.201] MOD09A1-SAVI



[그림 2.2.202] MOD09Q1-SAVI

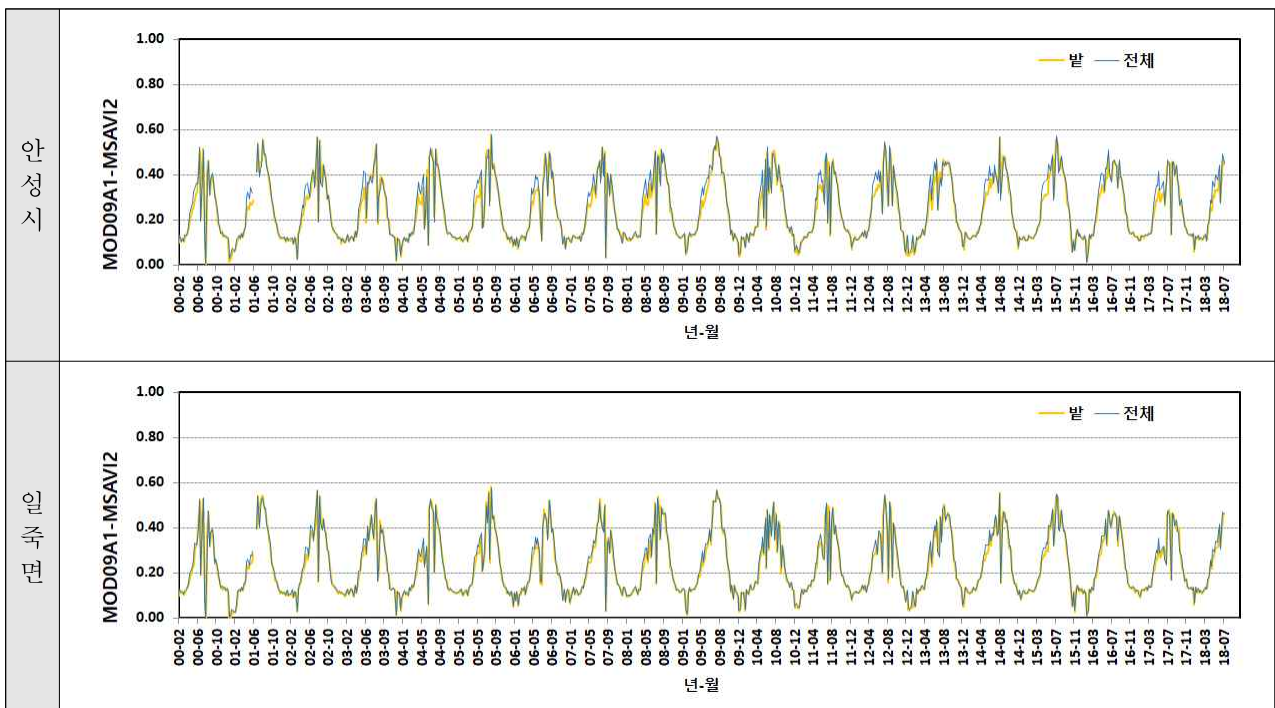




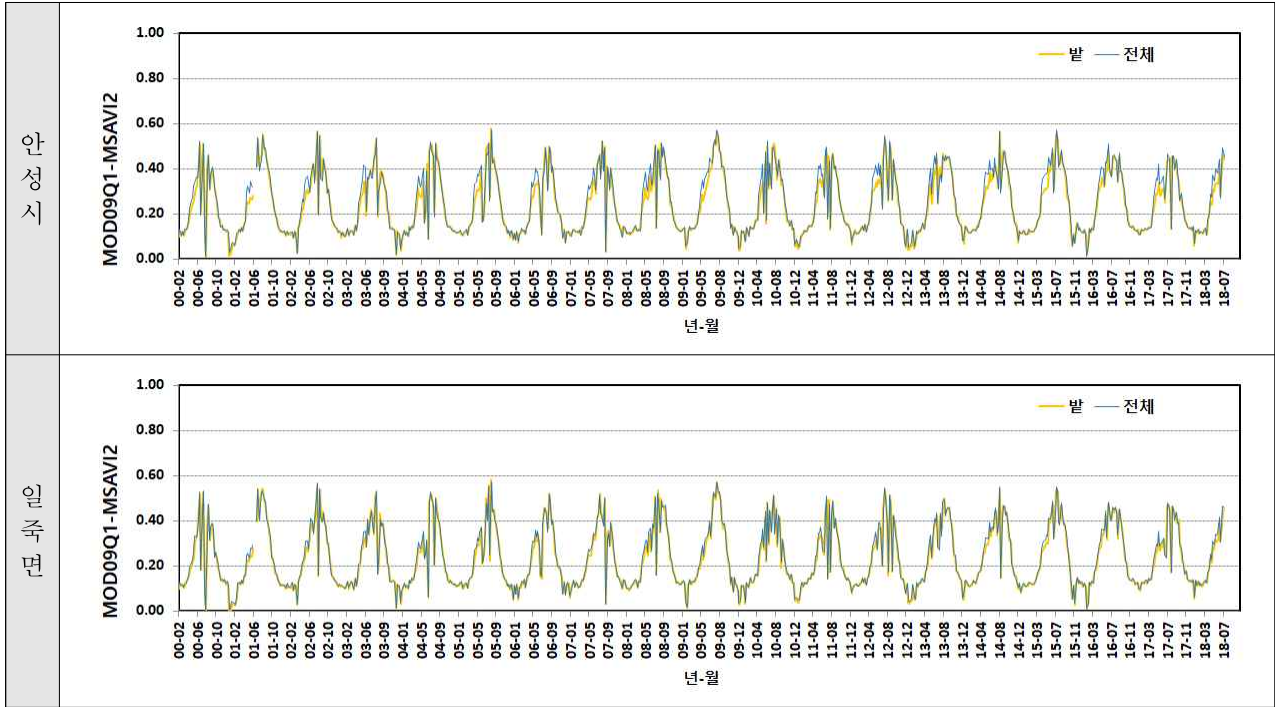
[그림 2.2.203] MOD13Q1-SAVI

④ MSAVI2

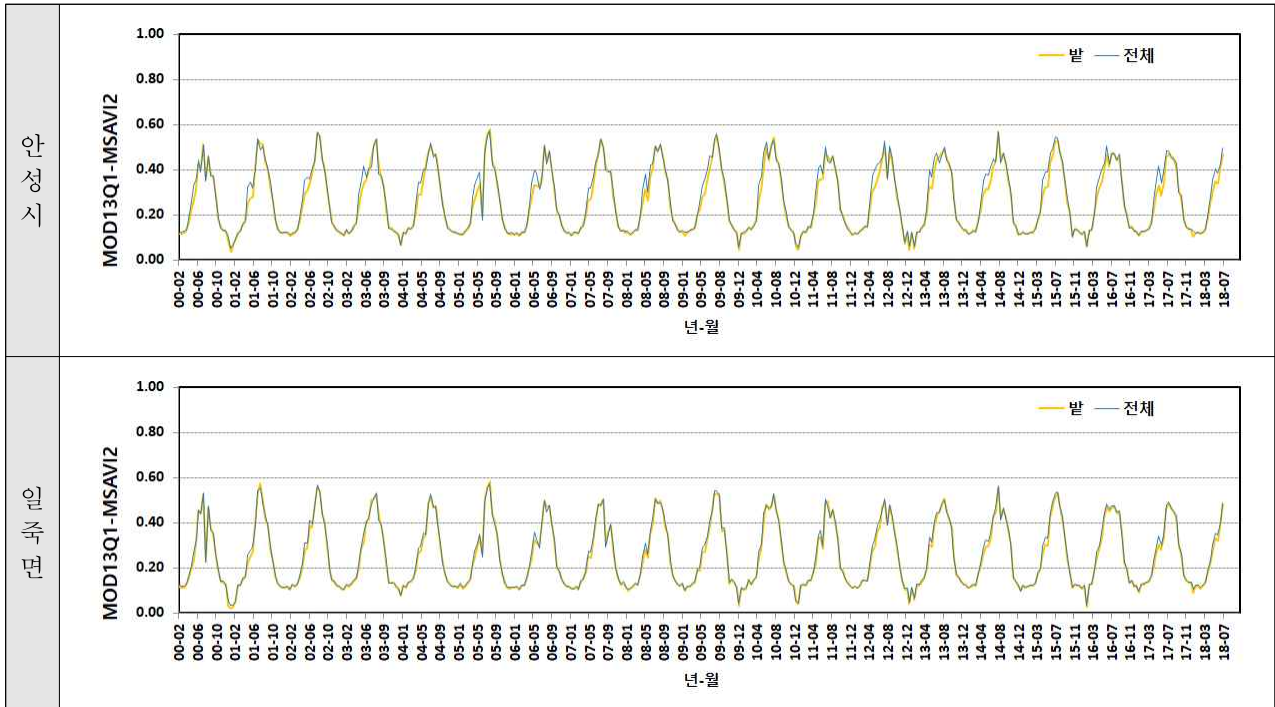
MSAVI2는 MOD09A1, MOD09Q1, MOD13Q1 영상으로부터 산정가능하며, 산정된 결과는 다음과 같고 토지이용 전체와 밭의 차이는 미미하였다.



[그림 2.2.204] MOD09A1-MSAVI2



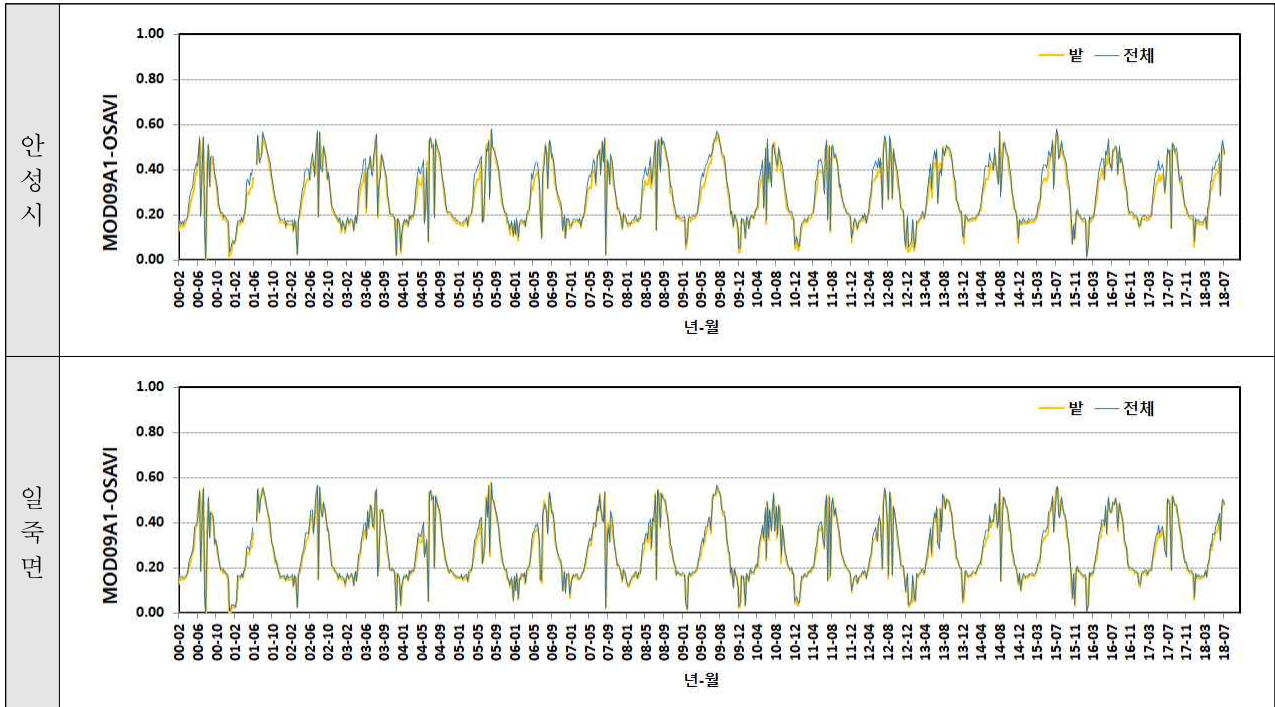
[그림 2.2.205] MOD09Q1-MSAVI2



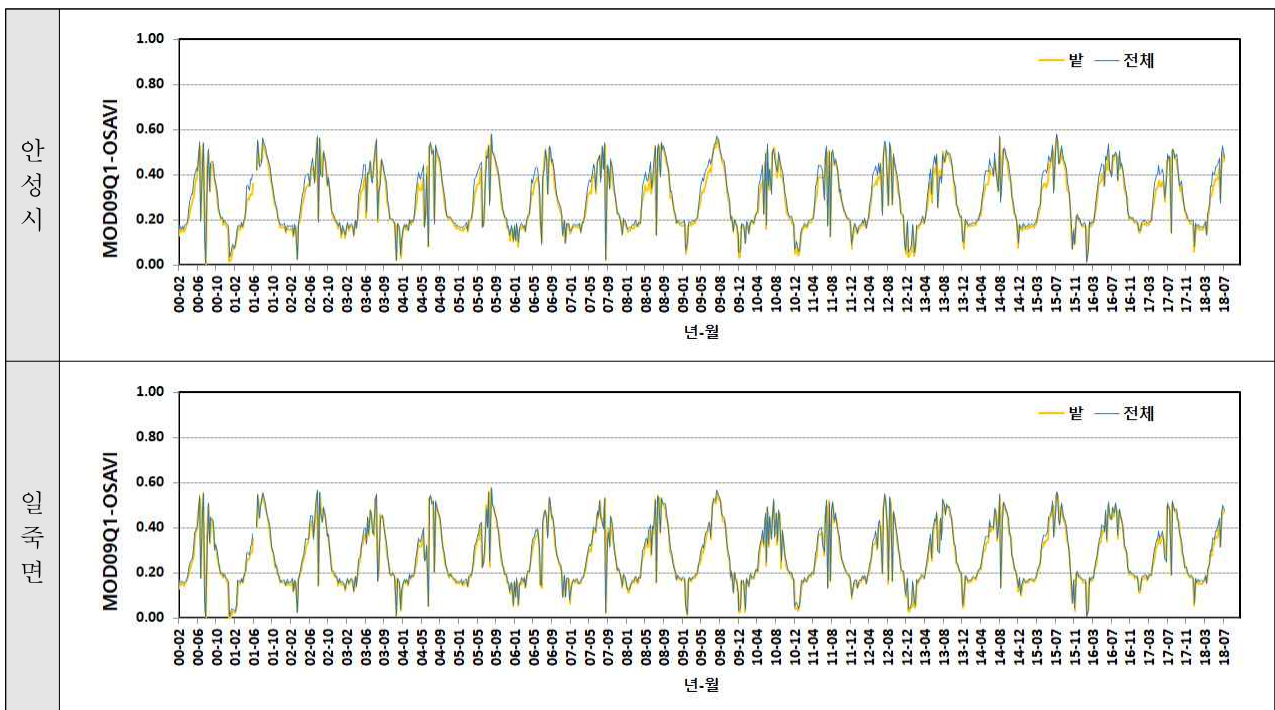
[그림 2.2.206] MOD13Q1-MSAVI2

⑤ OSAVI

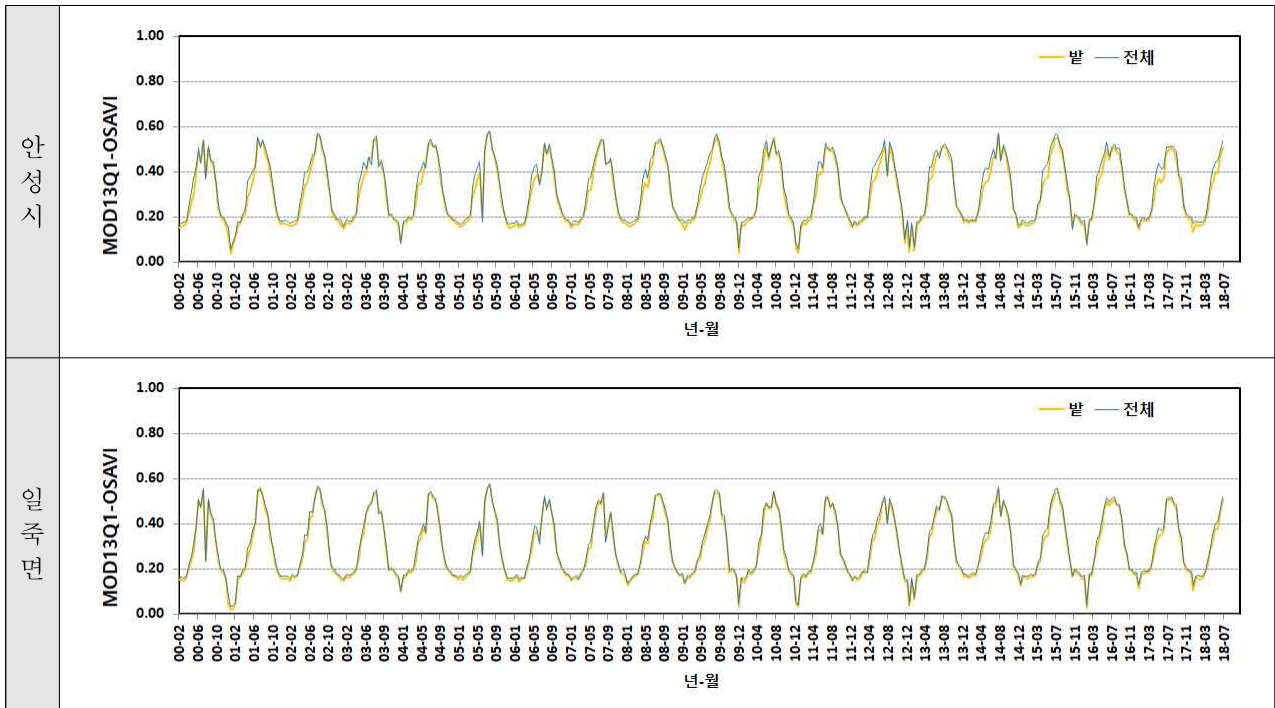
OSAVI는 MOD09A1, MOD09Q1, MOD13Q1 영상으로부터 산정가능하며, 각 영상으로부터 산정된 안성시, 일죽면 결과는 다음과 같고 토지이용 전체와 밭의 차이는 미미하였다.



[그림 2.2.207] MOD09A1-OSAVI



[그림 2.2.208] MOD09Q1-OSAVI

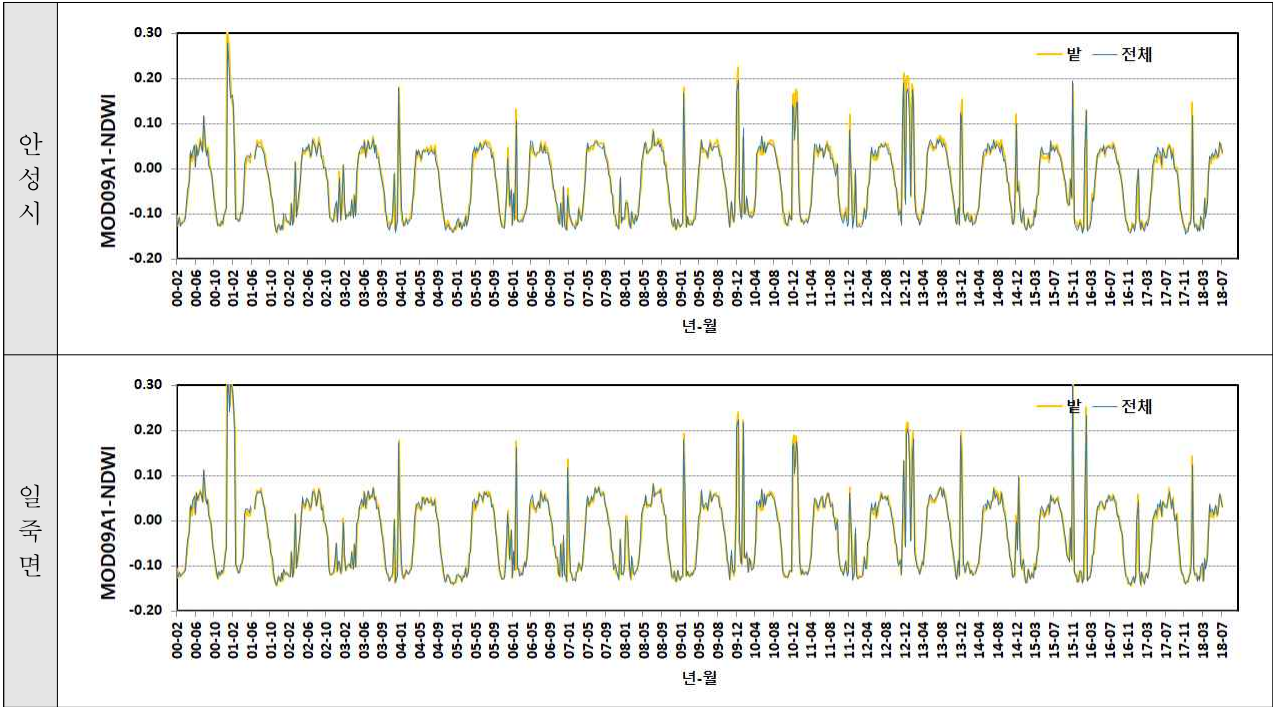


[그림 2.2.209] MOD13Q1-OSAVI

SAVI, MSAVI2, OSAVI 산정결과 시계열 그래프 상으로는 큰 차이점을 발견할 수 없었으나, NDVI 및 EVI와 같이 일정한 범위로 잘 산정되는 것을 확인할 수 있었다. 식생의 생육시기에는 높은 값을 나타내고 늦가을에서 봄철에는 낮은 값을 나타내는 경향을 보이고 있으며, 8일 합성된 MOD09A1, MOD09Q1 영상을 이용한 분석결과는 16일 합성된 MOD13Q1 영상에 비해 값의 진동이 비교적 크게 나타났다.

#### ⑥ NDWI

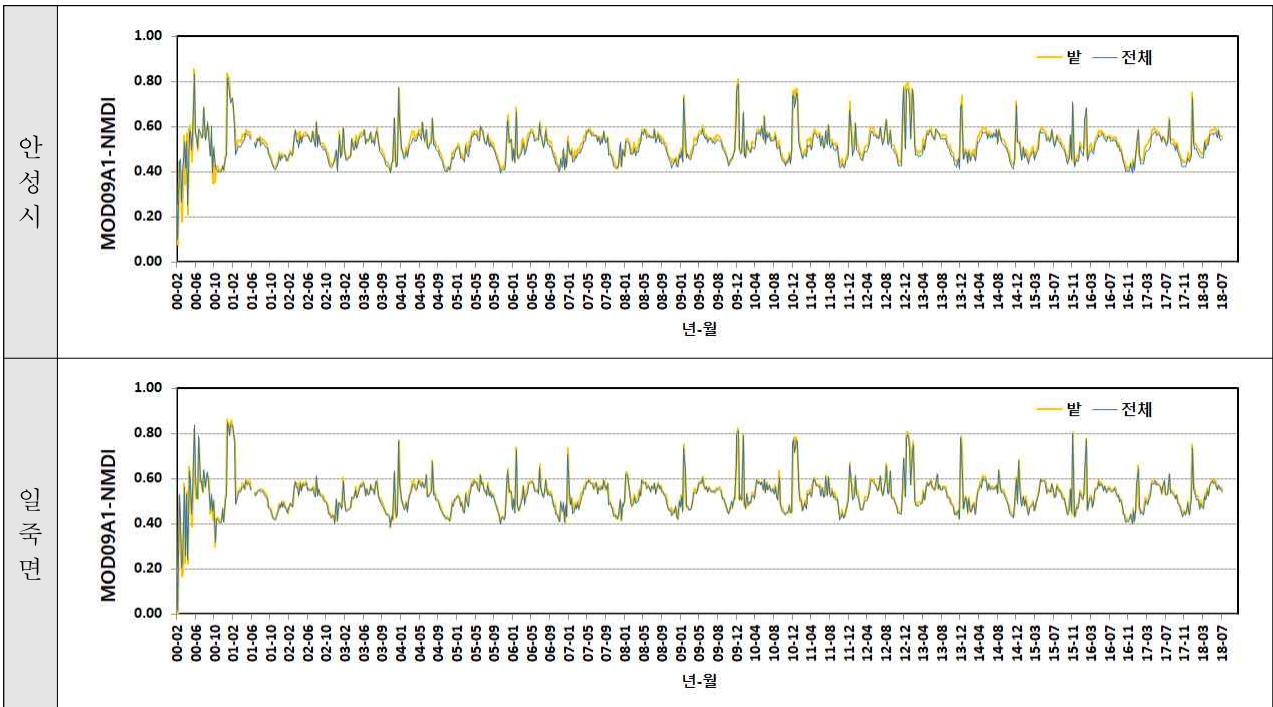
NDWI는 MOD09A1 영상으로부터 산정가능하며, 각 영상으로부터 산정된 결과는 다음과 같고 토지이용 전체와 밭의 차이는 미미하였다. 안성시와 일죽면의 산정결과 -0.15~0.30 범위 내에 결과 값이 나타나고 있으나, 전체적인 추세에 반하여 동절기 기간에 불규칙하게 높은 값이 산출되고 있다. 주요 원인으로 구름이나 지면에 쌓인 눈으로 인한 영향을 추정해 볼 수 있다.



[그림 2.2.210] MOD09A1-NDWI

⑦ NMDI

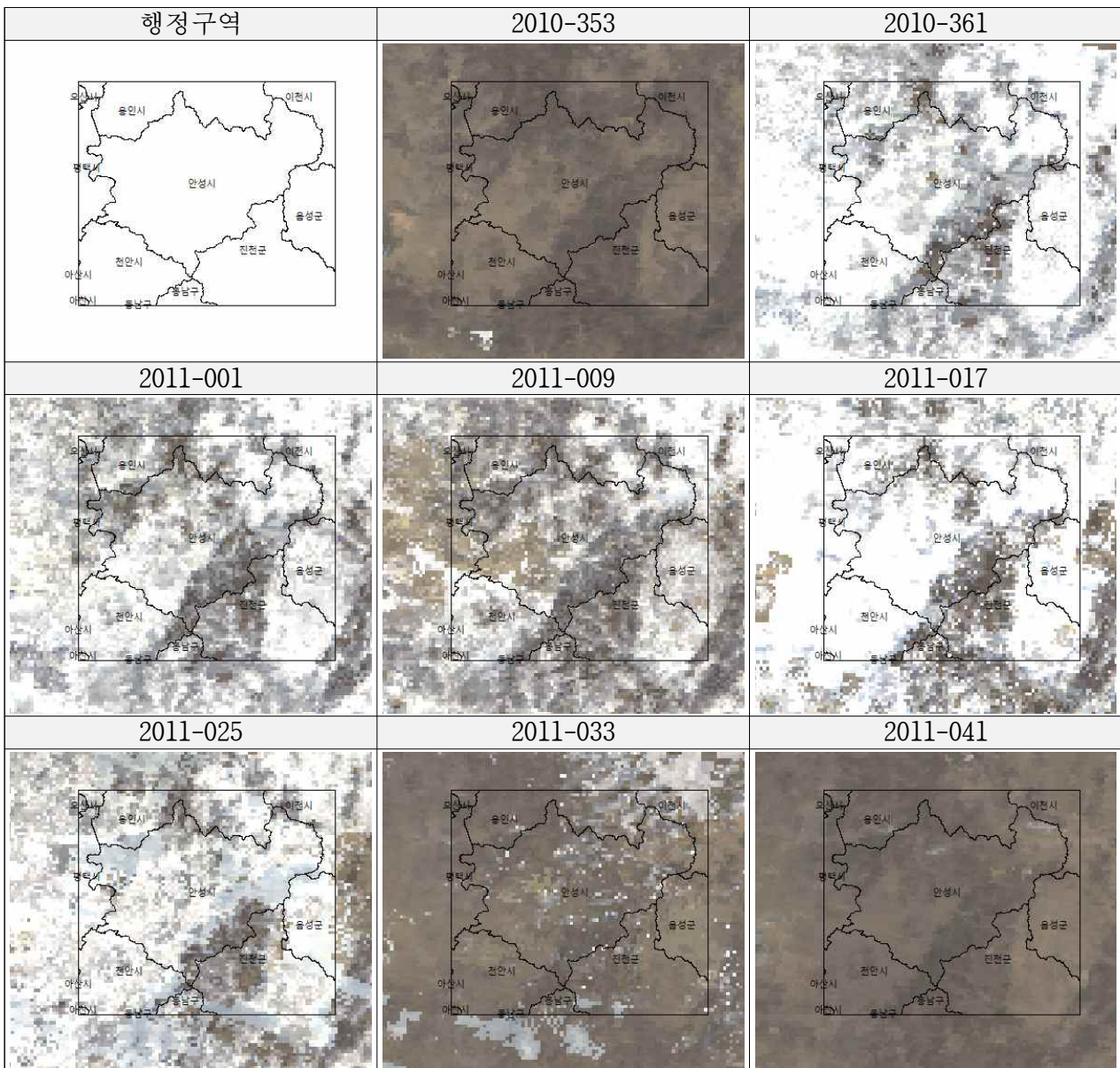
NMDI는 MOD09A1 영상으로부터 산정가능하며, 각 영상으로부터 산정된 결과는 다음과 같고 토지이용 전체와 밭의 차이는 미미하였다. 2000년 영상의 분석결과는 매우 불안정한 결과를 나타내었다.



[그림 2.2.211] MOD09A1-NMDI

위에서 조사된 바와 같이, NMDI는 토양과 식생의 수분 모니터링을 목적으로 제안되었고, 토양과 식생의 수분에 민감한 채널의 차이를 이용하는데 중점을 두었으며, 가뭄강도에 대한 민감도가 향상되고 토양 및 식생의 수분을 평가하는데 적합하다고 제시되었다.

그러나, NDWI 산정결과와 같이 식생의 활동이 활발하지 않은 동절기 부분에서 높은 값들이 나타나고 있다. 이와 같은 결과의 주요 원인으로 구름이나 지면에 쌓인 눈으로 인한 영향을 추정해 볼 수 있다. 2010년12월~2월 사이 튀는 형태의 값이 나타난 시기의 영상에는 눈이 장기간 쌓여있던 것으로 확인된다.

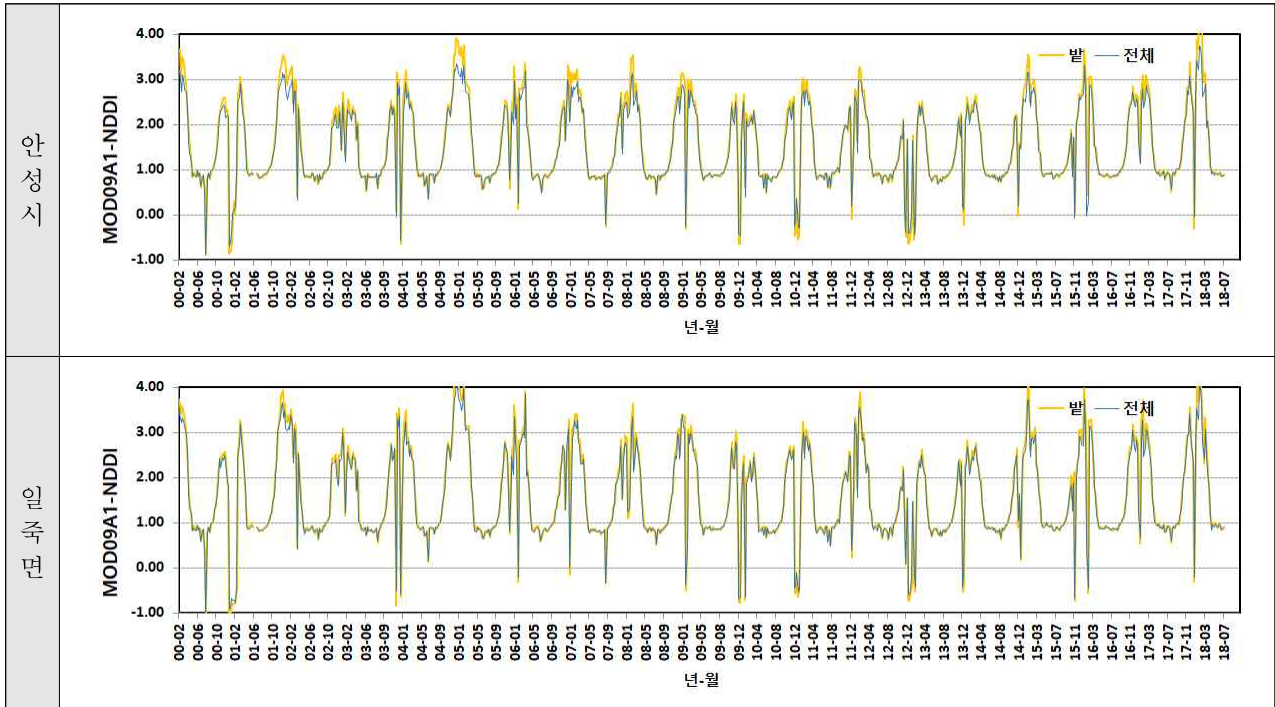


[그림 2.2.212] MOD09A1 안성지역 영상 (2010-353~2011-041)

### ⑧ NDDI

NDDI는 MOD09A1 영상으로부터 산정가능하며, 각 영상으로부터 산정된 결과는 다음과 같고 토지이용 전체와 밭의 차이는 미미하였다. NDDI는 NDVI와 NDWI를 정규화하여 -1에서 1의 값을 가지며 0.5 이상이면 가뭄정도가 심한 것으로 파악한다고 설명되었다. 산정결과에서

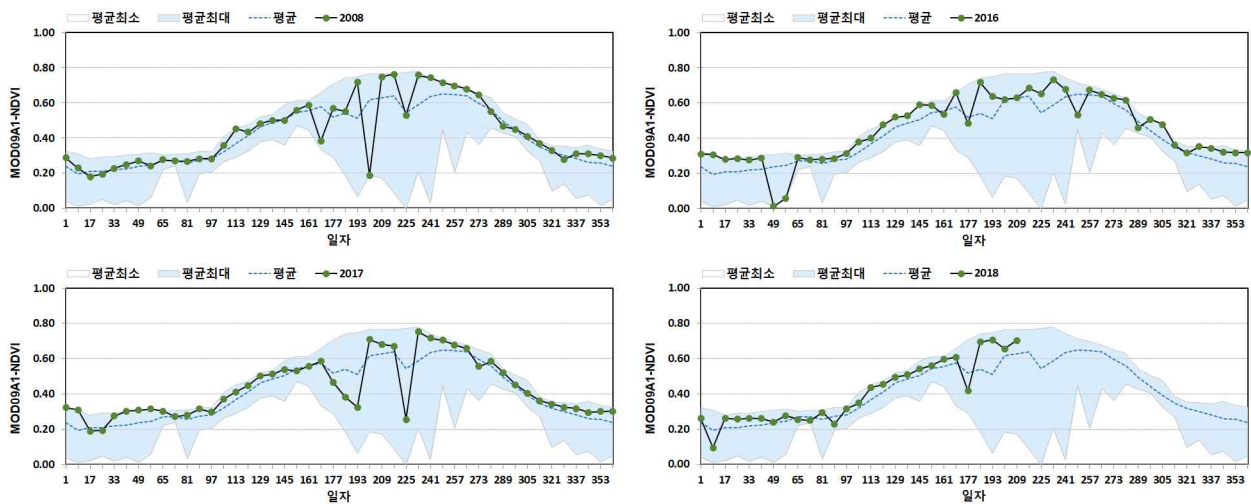
도 하절기 기간에는 낮고 가을~봄 사이에는 높은 값을 나타내고 있다. 그러나, 동절기 적설에 따른 NDWI 산정결과에 따라 추세가 단절되는 형태가 나타나며, 이 영향을 배제하더라도 최저값이 0.8 범위에서 출현하고 있고, 이 식이 초지지역에 적용하기 위해 개발된 것이므로 NDDI 적용을 위한 기준은 0.5보다 높아져야 할 것으로 판단된다.



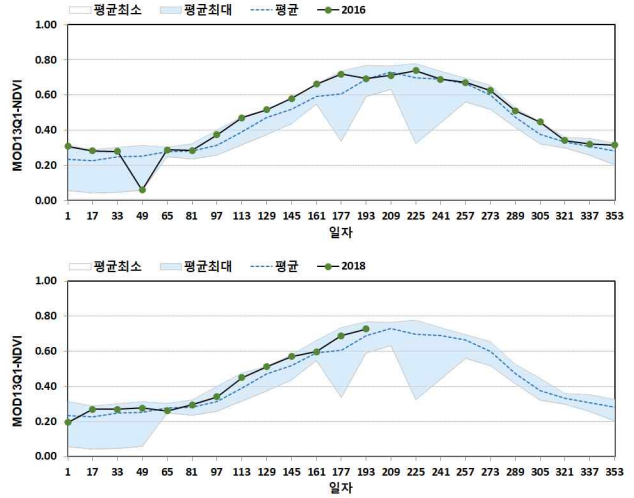
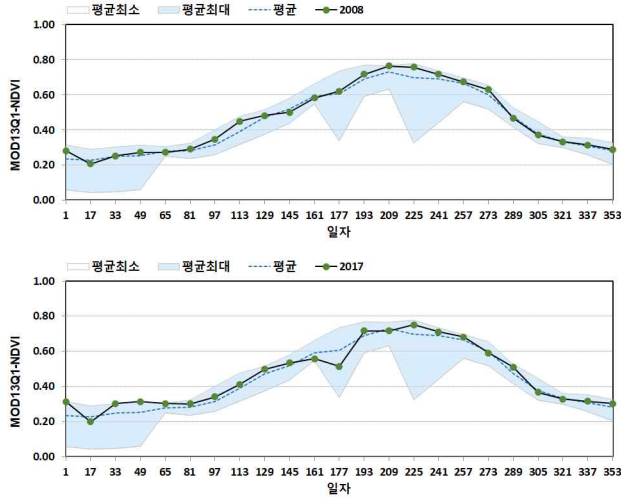
[그림 2.2.213] MOD09A1-NNDI

(나) 지수간 통계적 결과비교

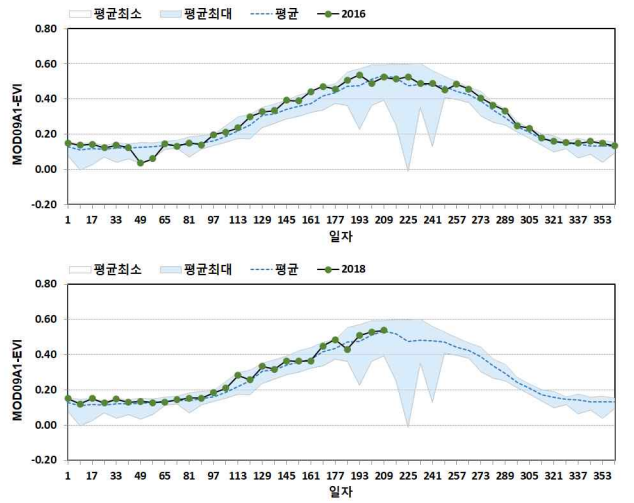
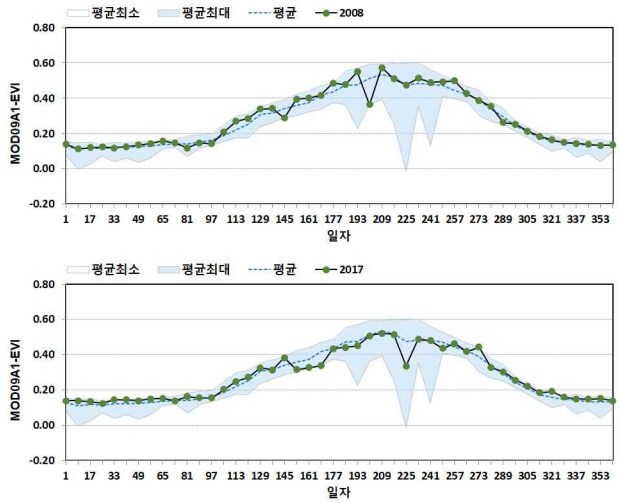
광역적인 가뭄을 분석하는데 적합한 방법을 파악하고자 동일기간 최소, 최대, 평균값을 산정하고 가뭄이 발생하였던 2008, 2016, 2017년 그리고 2018년 7월까지의 분석결과를 비교하였다.



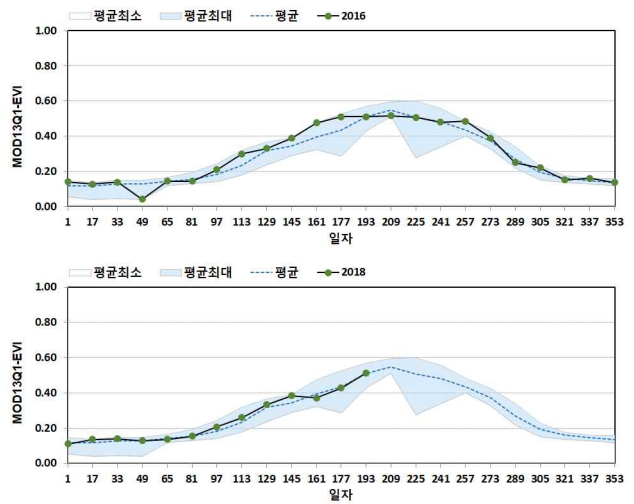
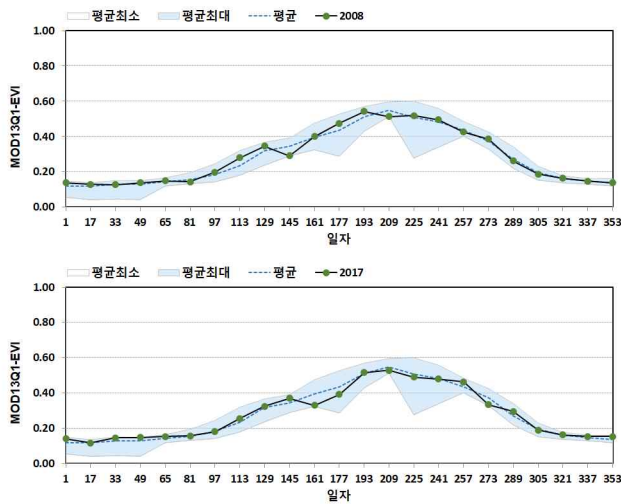
[그림 2.2.214] 일죽면 MOD09A1-NDVI 분석결과 비교



[그림 2.2.215] 일죽면 MOD13Q1-NDVI 분석결과 비교

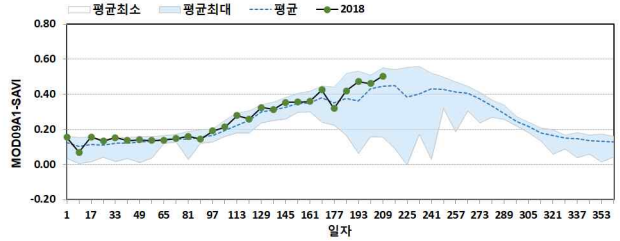
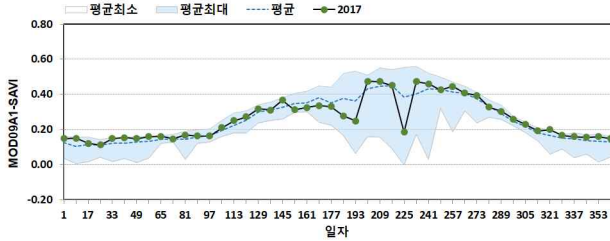
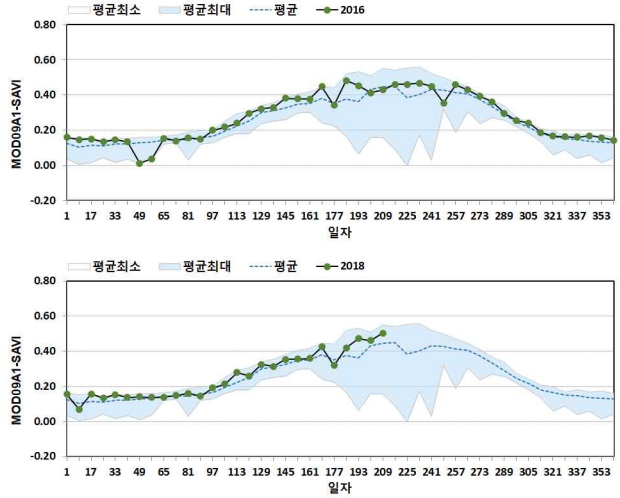
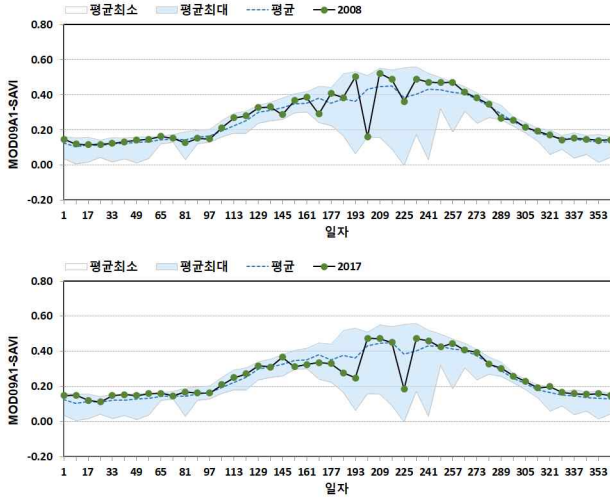


[그림 2.2.216] 일죽면 MOD09A1-EVI 분석결과 비교

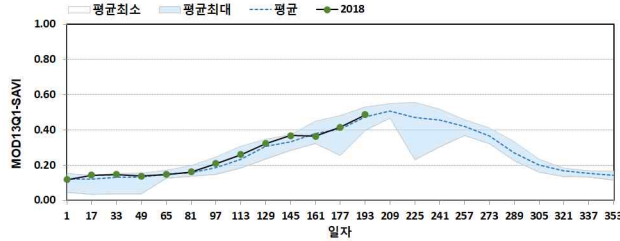
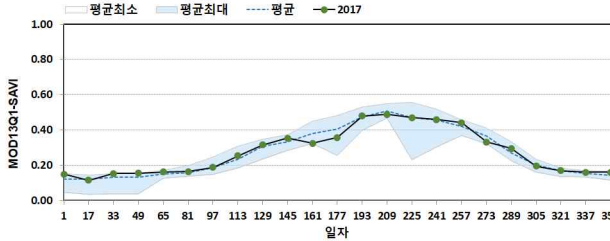
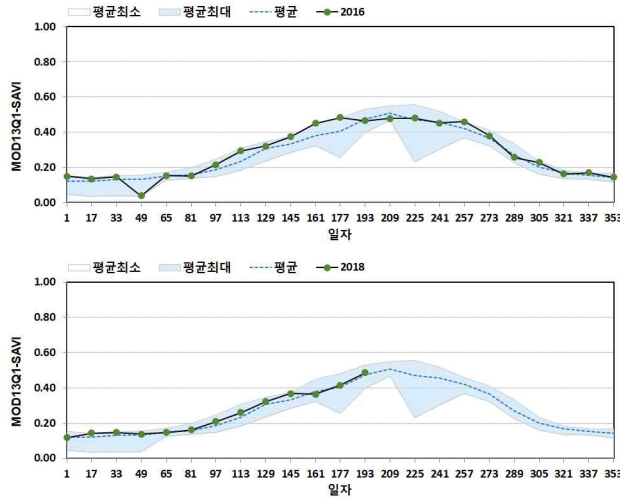
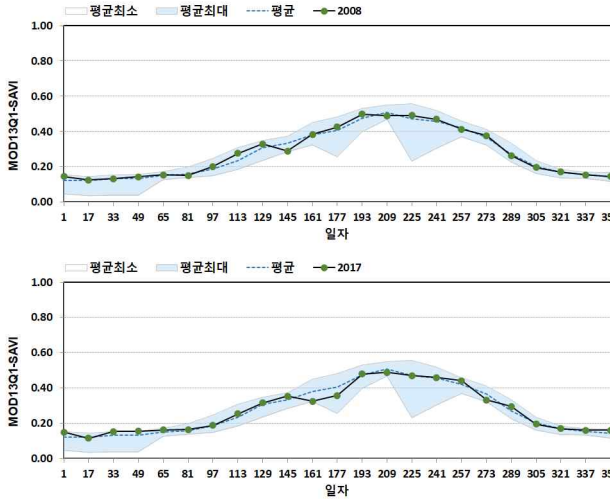


[그림 2.2.217] 일죽면 MOD13Q1-EVI 분석결과 비교

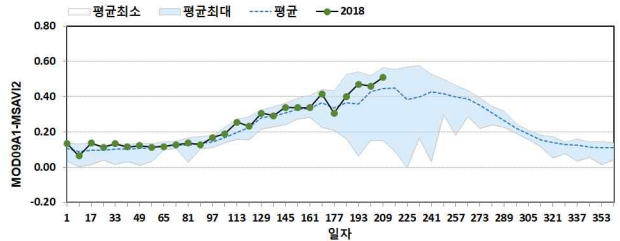
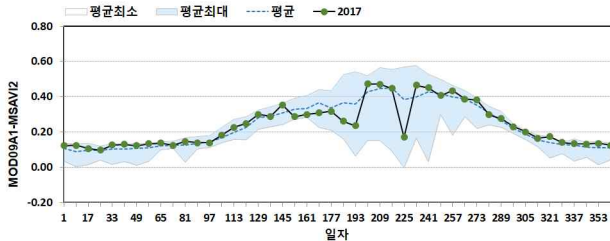
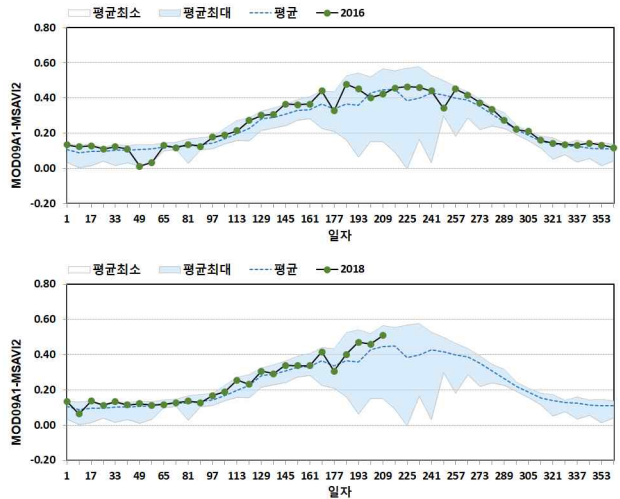
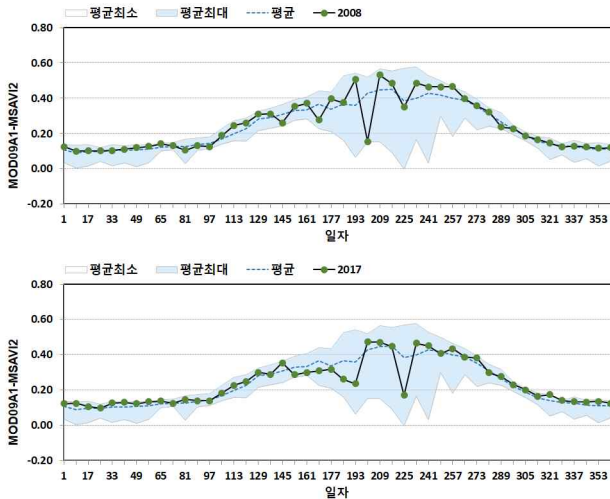




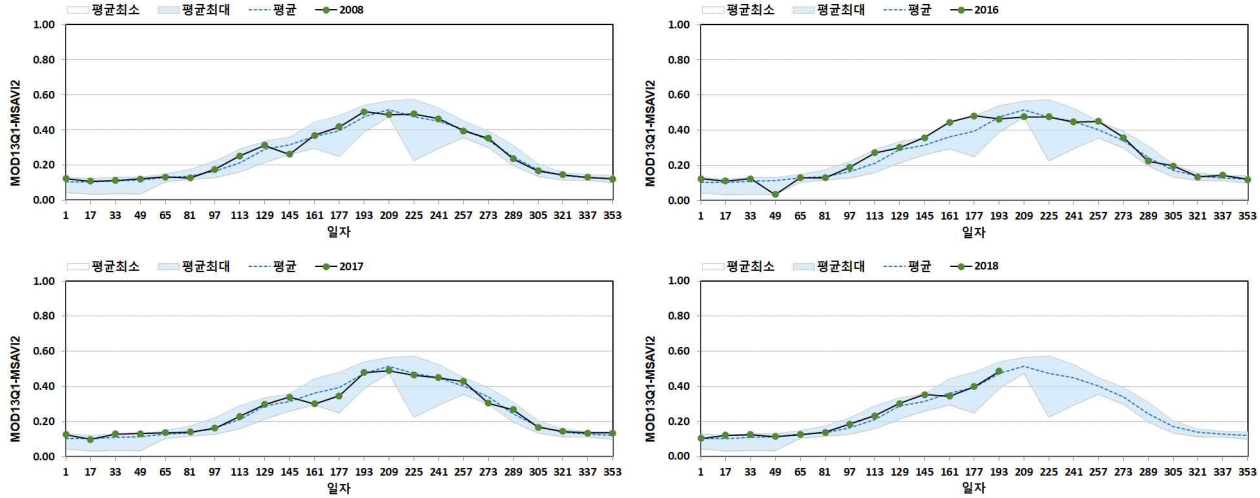
[그림 2.2.218] 일측면 MOD09A1-SAVI 분석결과 비교



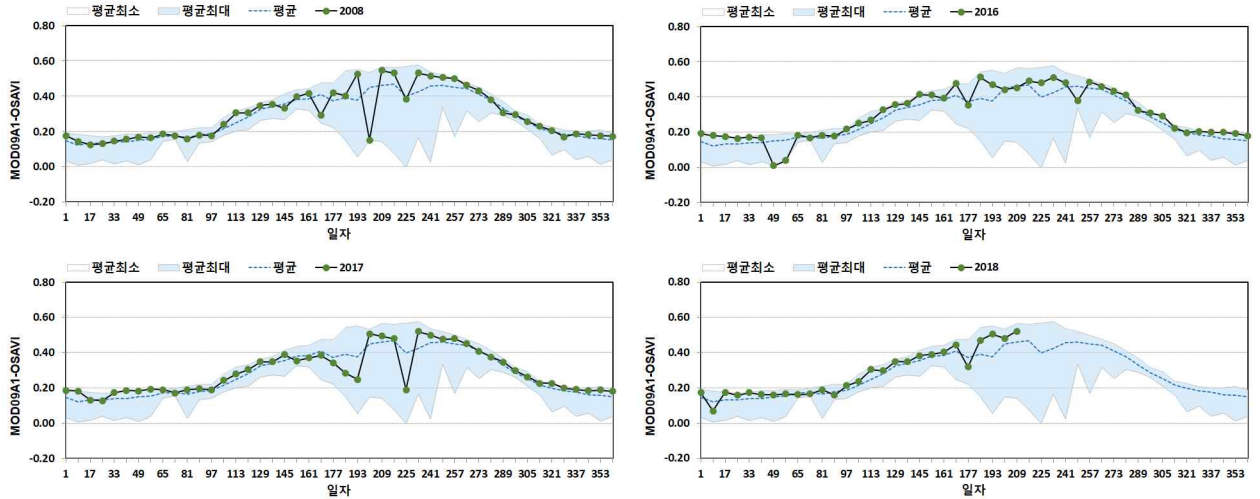
[그림 2.2.219] 일측면 일측면 MOD13Q1-SAVI 분석결과 비교



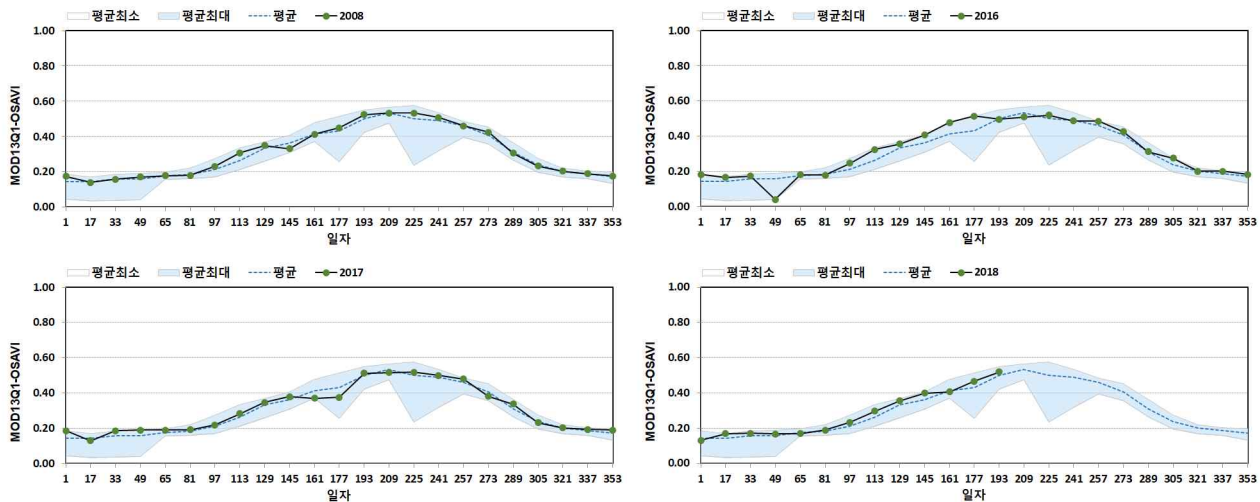
[그림 2.2.220] MOD09A1-MSAVI2 분석결과 비교



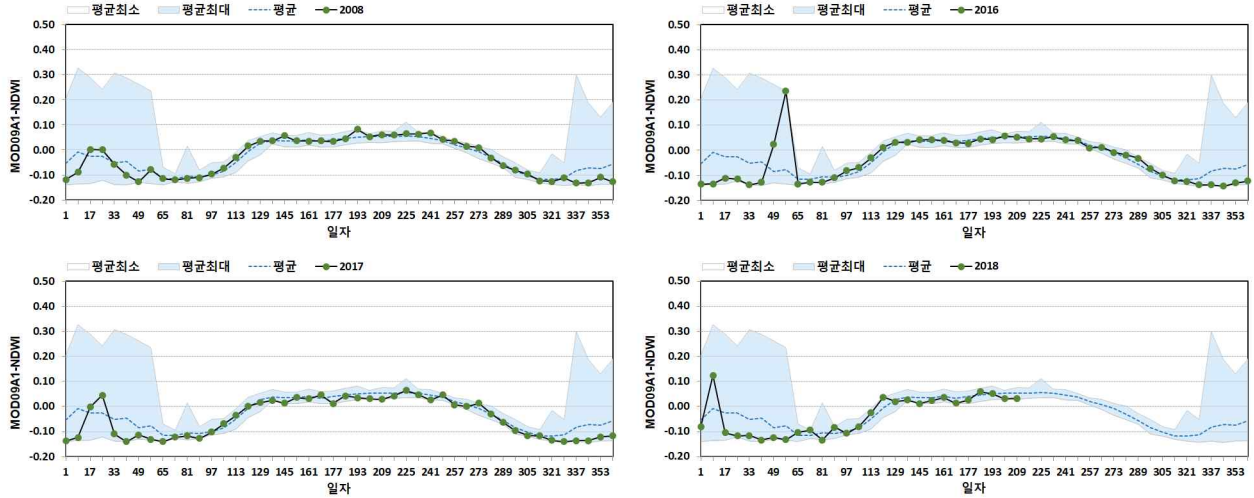
[그림 2.2.221] 일죽면 MOD13Q1-MSAVI2 분석결과 비교



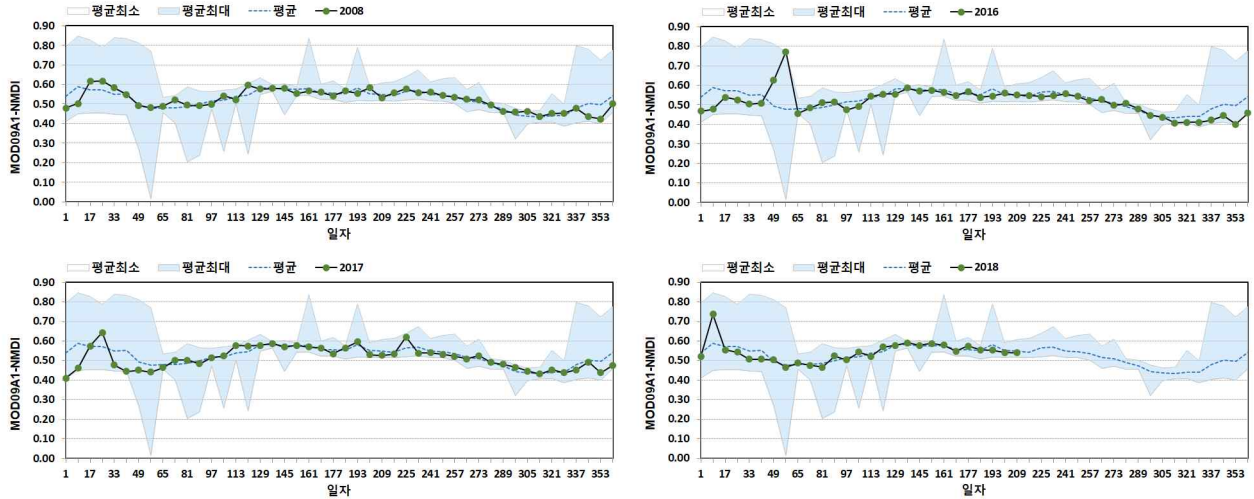
[그림 2.2.222] 일죽면 MOD09A1-OSAVI 분석결과 비교



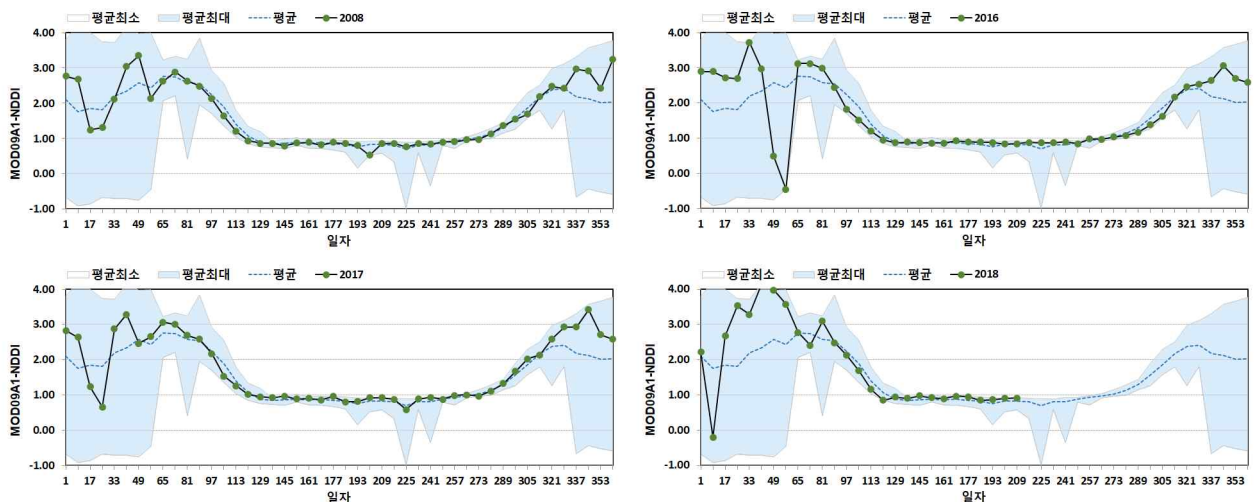
[그림 2.2.223] 일죽면 MOD13Q1-OSAVI 분석결과 비교



[그림 2.2.224] 일죽면 MOD09A1-NDWI 분석결과 비교



[그림 2.2.225] 일죽면 MOD09A1-NNDI 분석결과 비교



[그림 2.2.226] 일죽면 MOD09A1-NDDI 분석결과 비교

NDVI, EVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI는 동절기 보다는 하절기에 최소, 최대값의 차이가 크게 나타났으며 140일~280일 사이의 구간에는 하절기동안 가뭄의 영향으로 식생의 상태가 좋지 않게 나타난 이력이 있었음을 간접적으로 확인할 수 있다. 각 방법별로 2017년 140~190일 사이의 분석 값이 감소하는 경향을 일시적으로 나타내고 있는데 이것이 2016년 가을부터의 강수부족이 이 기간의 식생지수가 평균보다 작게 산정된 원인일 가능성도 있다. NDWI, NMDI, NDDI는 동절기에서 최소, 최대값의 차이가 크게 나타났으며, 그 외의 기간에 대해서는 평균과 큰 차이를 보이지 않는 범위에서 결과가 나타났다. 앞에서 설명한 바와 같이 눈에 의한 영향으로 보이며 그래프를 통해 확인할 수 있었다. 분석된 결과를 통하여 추세상으로 MOD09A1의 NDVI, EVI, OAVI, MOD13Q1의 NDVI, EVI의 적용성이 높으며, NDWI, NMDI, NDDI는 대상지역 분석에 적합하지 않은 것으로 보인다. 16일 간격으로 합성된 MOD13Q1 영상은 구름, 눈, 대기의 영향을 최대한 제거할 수 있는 기간이 확보되며 자료의 품질적인 측면에서 유리하다고 판단되나 자료의 신속성을 고려하면 8일 간격의 MOD09A1 영상의 활용이 더 부각될 수 있다. 이와 같은 검토를 바탕으로 MOD09A1의 NDVI, EVI, OAVI, MOD13Q1의 NDVI, EVI 및 이를 활용하여 산출할 수 있는 가뭄지수 분석영상을 작성하고 통계적 특성을 분석하여 광역적 분석결과에 대한 D/B를 구축할 것이다.

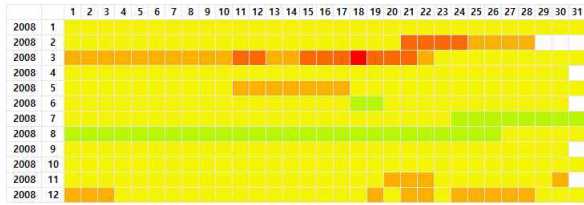
#### (다) 가뭄지수 비교

##### ① 가뭄지수와 비교를 위한 자료수집

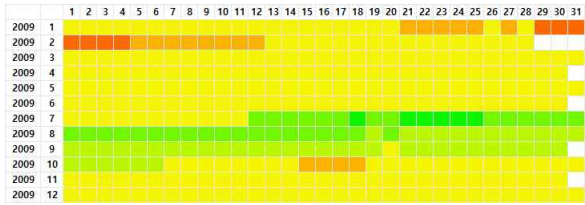
광역적 분석결과와 가뭄지수를 비교하기 위하여 기상청 수문기상가뭄 정보시스템(hydro.kma.go.kr) 가뭄지수 자료를 인용하였다. 그러나 기상청의 가뭄지수 자료는 종관기상관측 지점만을 제공하여 연구대상 지점에서 가까운 수원과 이천에 대하여 자료를 수집하였다. 수집된 가뭄지수는 표준강우지수(SPI), 강수평년비(PN), 유효가뭄지수(EDI)이다.

##### ㉔ 표준강우지수(SPI)

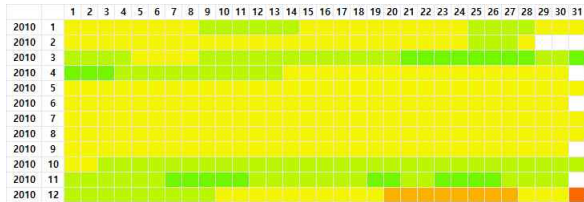
표준강우지수(SPI)를 수집하였으며, 표준강우지수(SPI)에서 주로 사용되는 SPI3, SPI6, SPI12를 도출하였다. 수원지역의 경우 2014-2017년 장기간 가뭄이 발생하였으며 특히 2015년에 가장 심한 것으로 조사되었다.



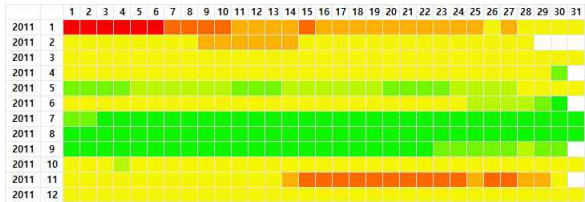
(2008)



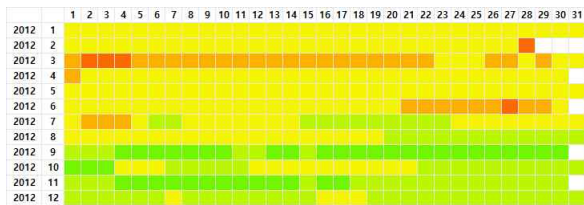
(2009)



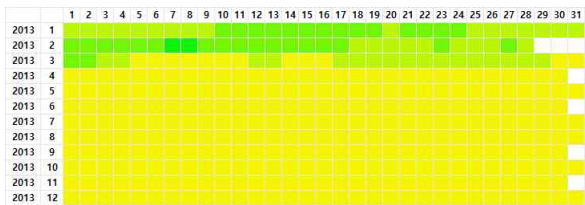
(2010)



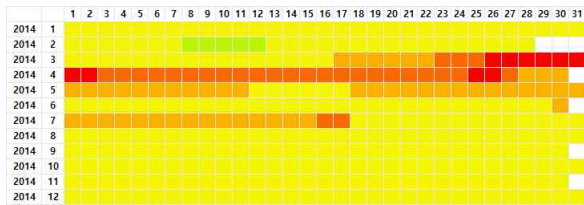
(2011)



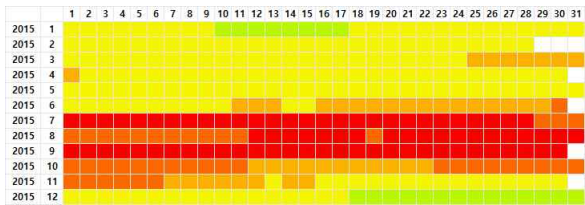
(2012)



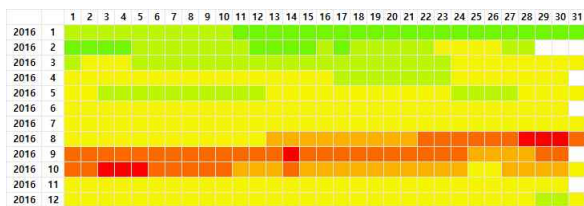
(2013)



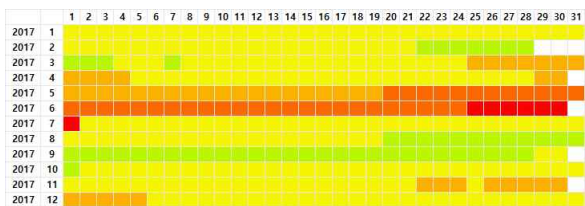
(2014)



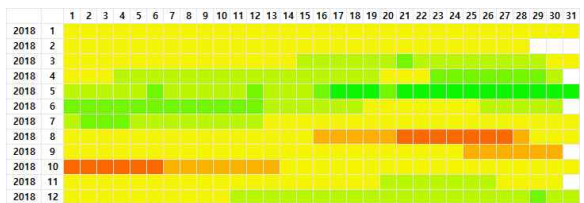
(2015)



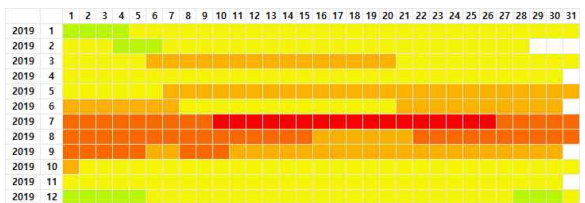
(2016)



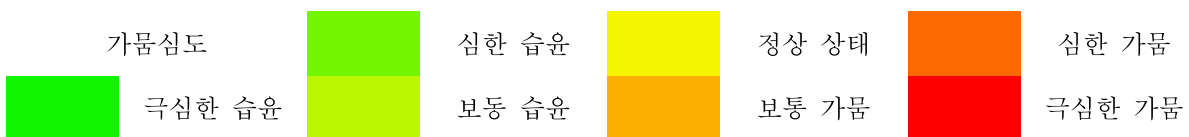
(2017)



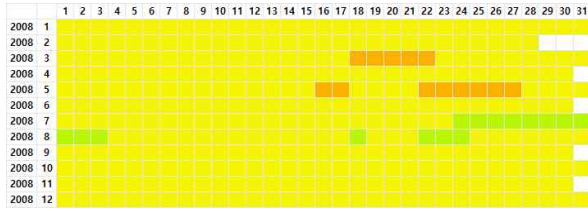
(2018)



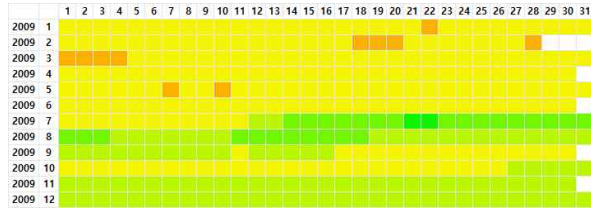
(2019)



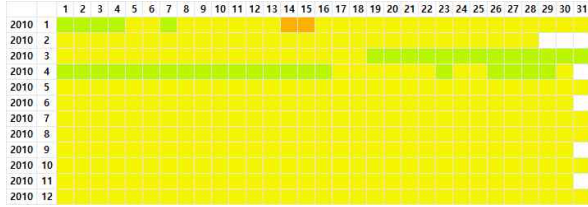
[그림 2.2.227] 가뭄지수 SPI3 (수원)



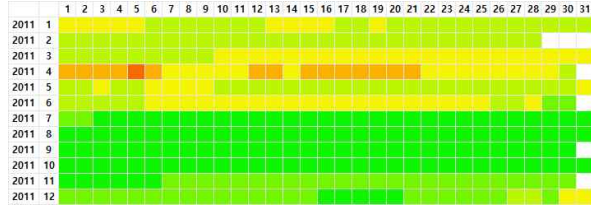
(2008)



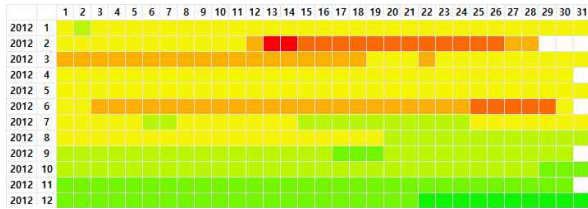
(2009)



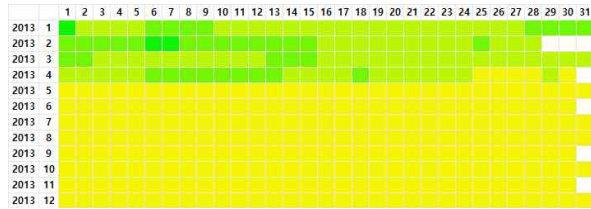
(2010)



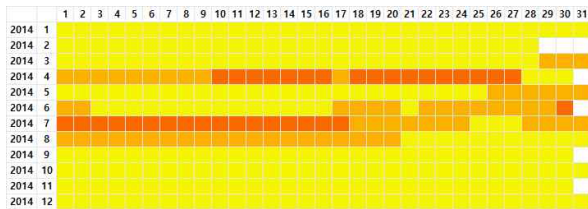
(2011)



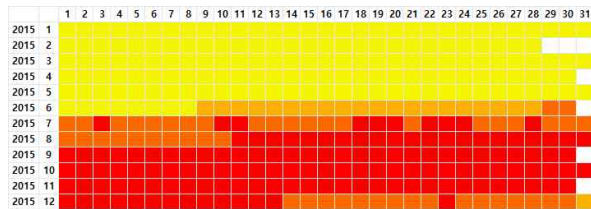
(2012)



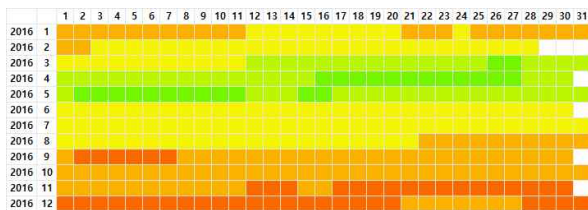
(2013)



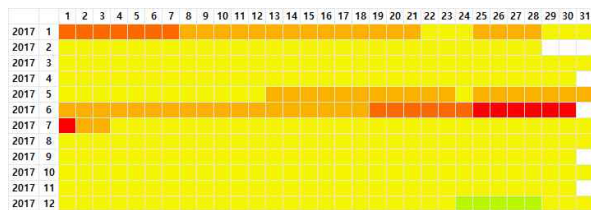
(2014)



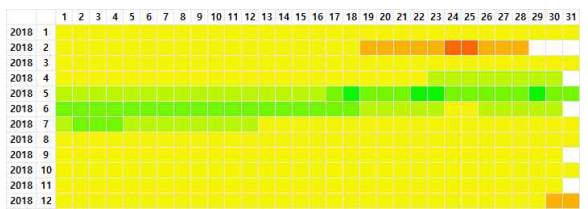
(2015)



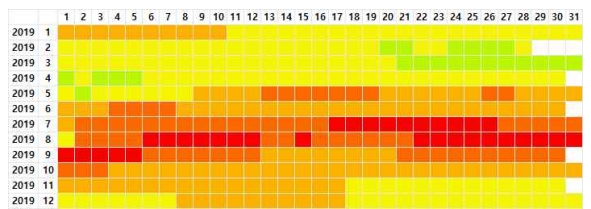
(2016)



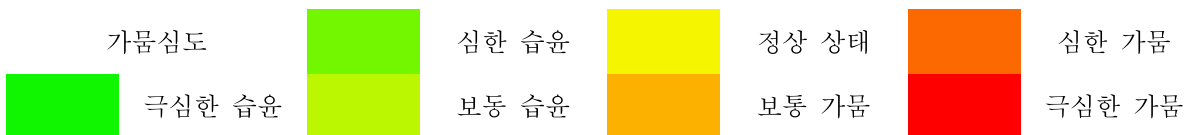
(2017)



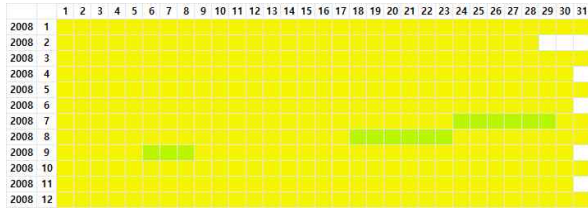
(2018)



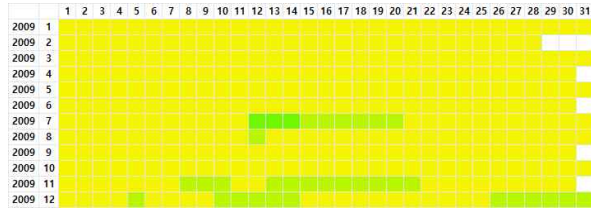
(2019)



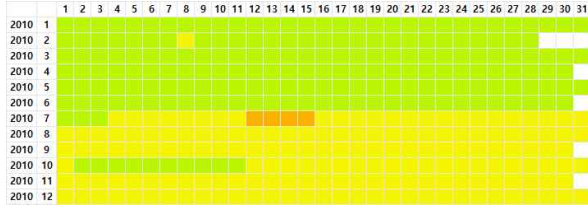
[그림 2.2.228] 가뭄지수 SPI6 (수원)



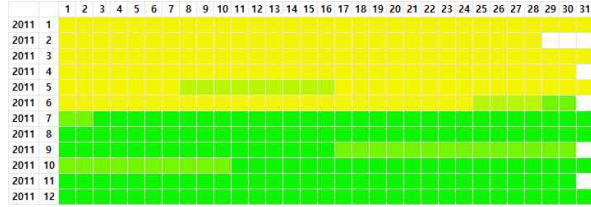
(2008)



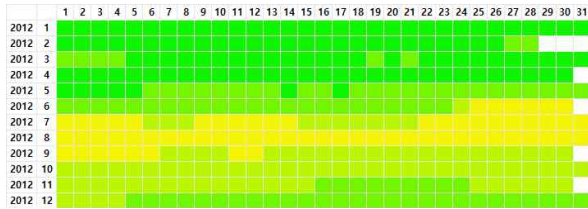
(2009)



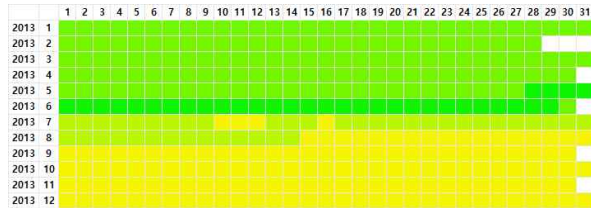
(2010)



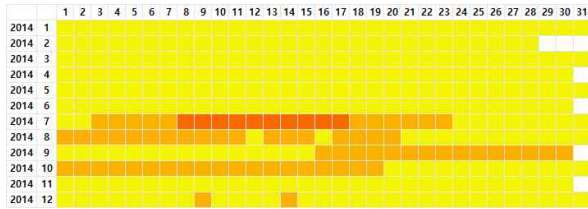
(2011)



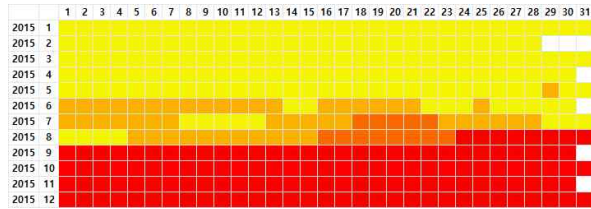
(2012)



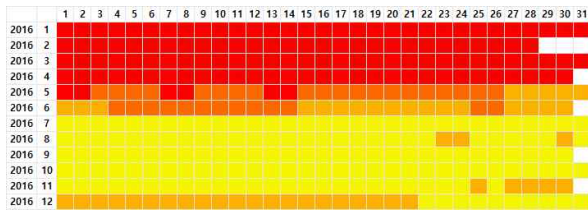
(2013)



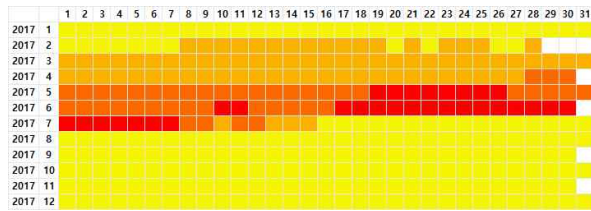
(2014)



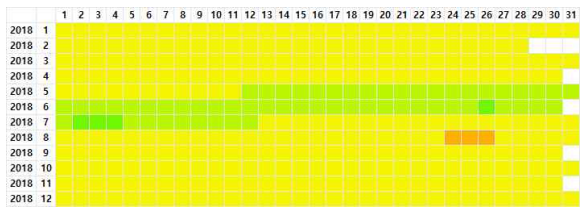
(2015)



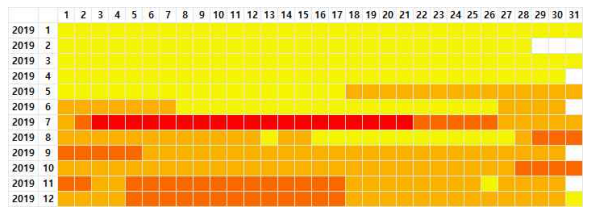
(2016)



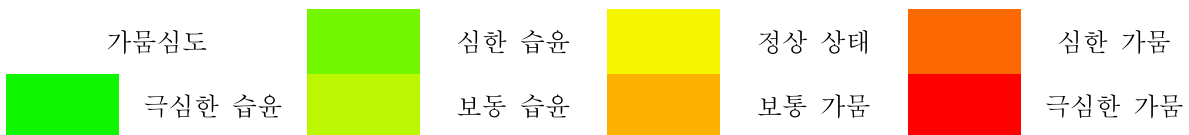
(2017)



(2018)



(2019)



[그림 2.2.229] 가뭄지수 SPI12 (수원)

수원의 표준강우지수(SPI) 심도별 발생횟수는 다음과 같다. 2014년부터 2017년까지와 2019년에 가뭄이 발생하였다.

[표 2.2.58] 수원 가뭄심도별 발생횟수(SPI3)

SPI3	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
극심한 습윤	0	6	0	83	0	2	0	0	0	0	14	0
심한 습윤	0	33	23	22	40	33	0	0	30	0	28	0
보통 습윤	36	47	98	22	88	43	5	22	68	52	91	15
정상 상태	277	254	235	190	198	287	272	180	190	225	200	200
보통 가뭄	39	18	8	25	34	0	50	44	30	45	19	86
심한 가뭄	12	7	1	17	5	0	28	42	40	36	13	47
극심한 가뭄	1	0	0	6	0	0	10	77	7	7	0	17

[표 2.2.59] 수원 가뭄심도별 발생횟수(SPI6)

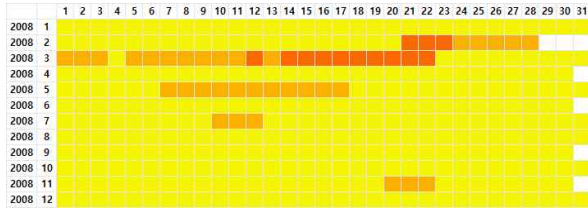
SPI6	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
극심한 습윤	0	2	0	132	10	3	0	0	0	0	4	0
심한 습윤	0	27	0	50	57	36	0	0	26	0	32	0
보통 습윤	15	103	39	93	80	76	0	0	55	5	43	22
정상 상태	337	222	324	75	155	250	266	159	129	284	274	130
보통 가뭄	13	11	2	14	44	0	64	21	108	56	10	114
심한 가뭄	0	0	0	1	17	0	35	49	47	13	2	66
극심한 가뭄	0	0	0	0	2	0	0	136	0	7	0	33

[표 2.2.60] 수원 가뭄심도별 발생횟수(SPI2)

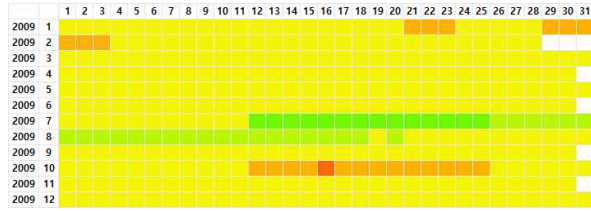
SPI2	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
극심한 습윤	0	0	0	158	119	33	0	0	0	0	0	0
심한 습윤	0	3	0	28	91	148	0	0	0	0	4	0
보통 습윤	15	31	193	13	89	41	0	0	0	0	58	0
정상 상태	350	331	168	166	66	143	290	172	155	211	300	171
보통 가뭄	0	0	4	0	0	0	65	50	51	79	3	129
심한 가뭄	0	0	0	0	0	0	10	13	33	44	0	46
극심한 가뭄	0	0	0	0	0	0	0	130	126	31	0	19

이천지역의 SPI는 다음과 같다. 이천지역도 수원과 마찬가지로 2014-2017년, 2019년에 가뭄이 발생하였다.

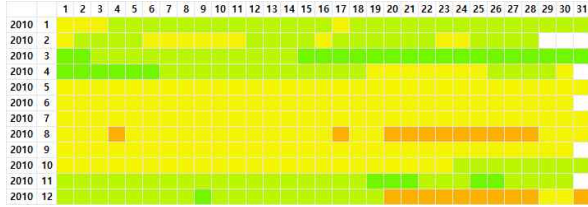




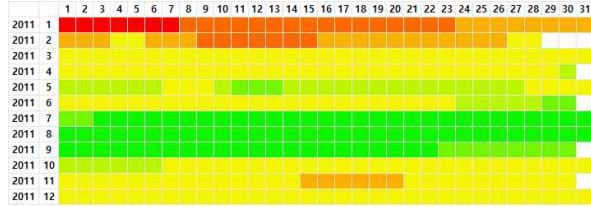
(2008)



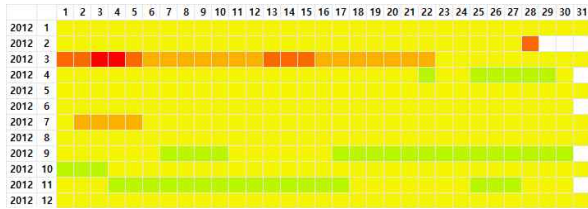
(2009)



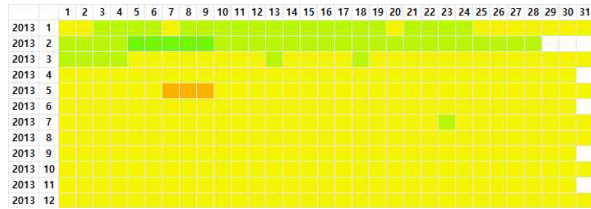
(2010)



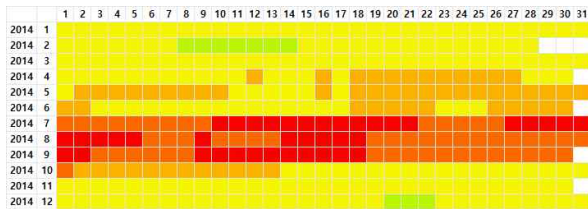
(2011)



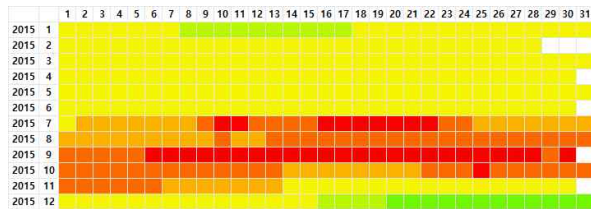
(2012)



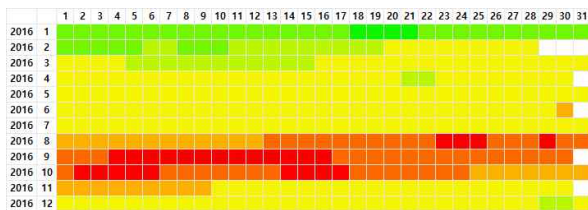
(2013)



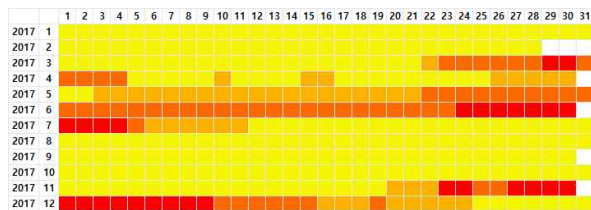
(2014)



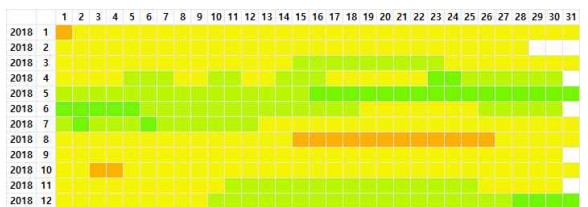
(2015)



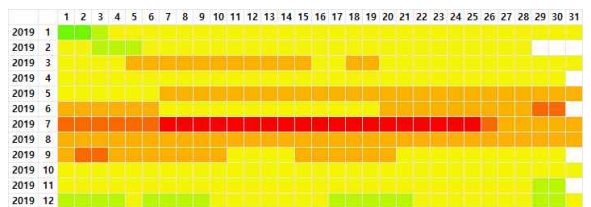
(2016)



(2017)



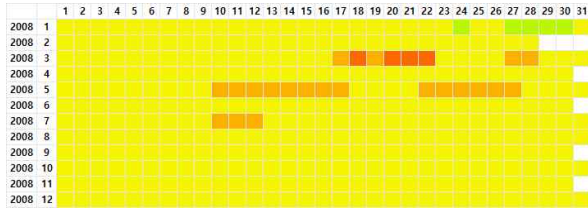
(2018)



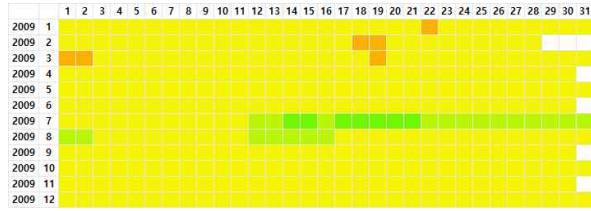
(2019)



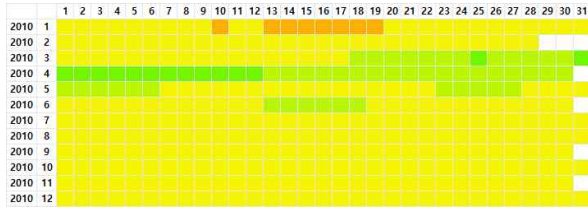
[그림 2.2.230] 가뭄지수 SPI3 (이천)



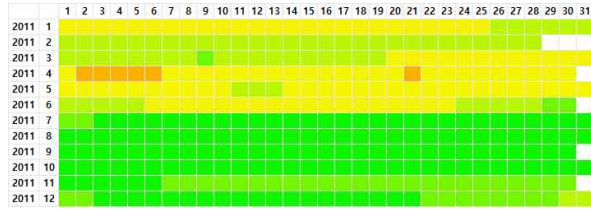
(2008)



(2009)



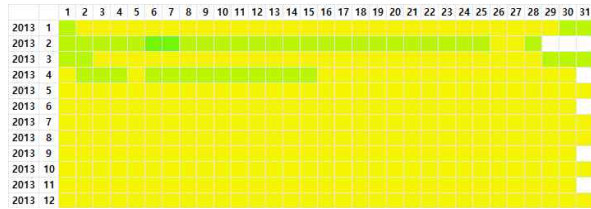
(2010)



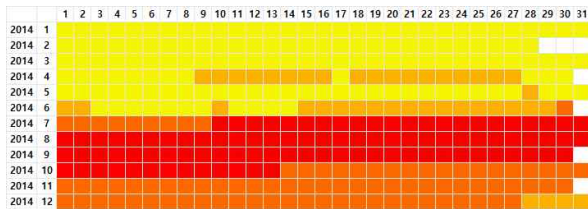
(2011)



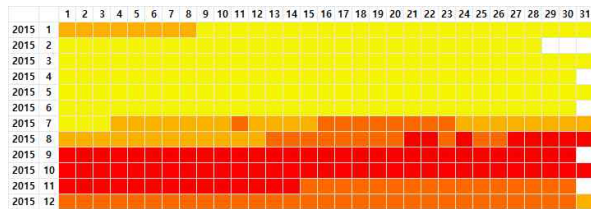
(2012)



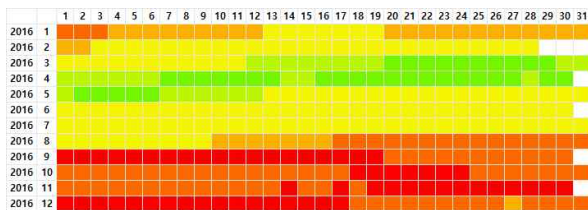
(2013)



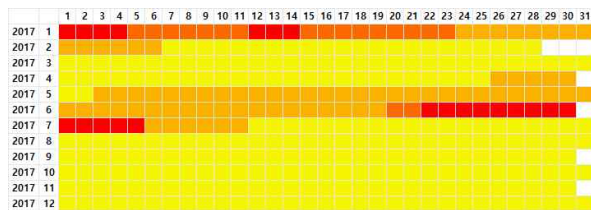
(2014)



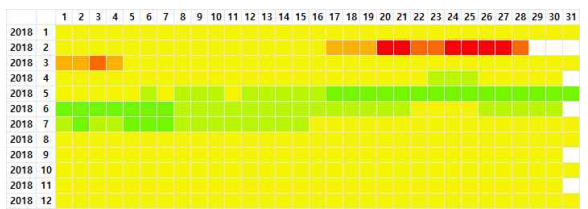
(2015)



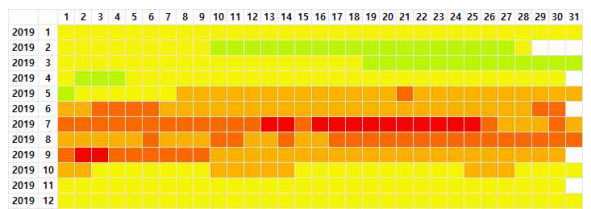
(2016)



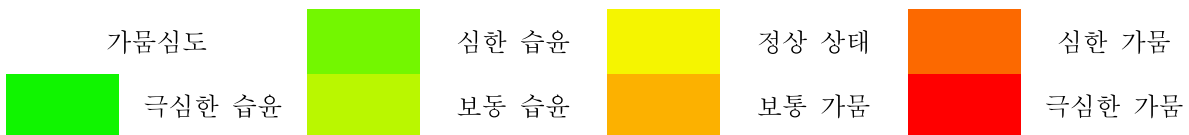
(2017)



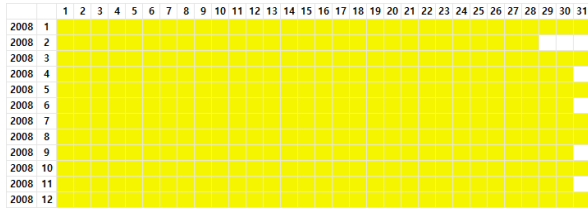
(2018)



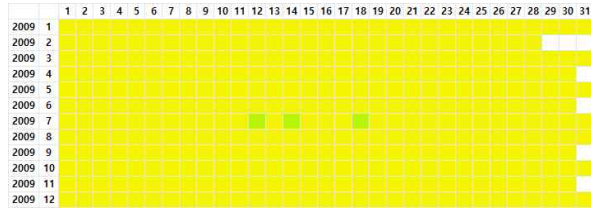
(2019)



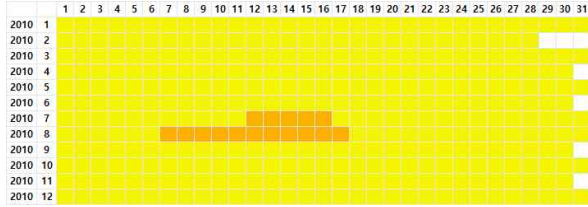
[그림 2.2.231] 가뭄지수 SPI6 (이천)



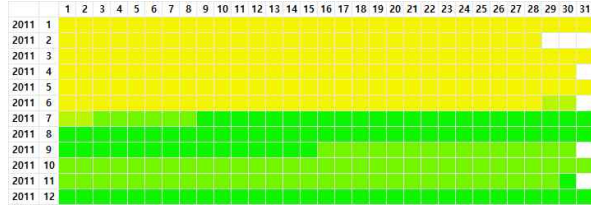
(2008)



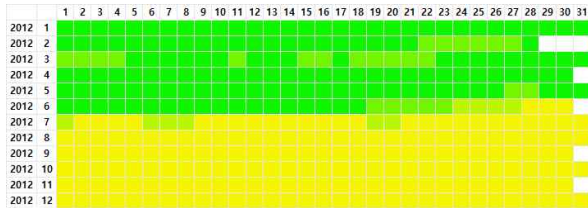
(2009)



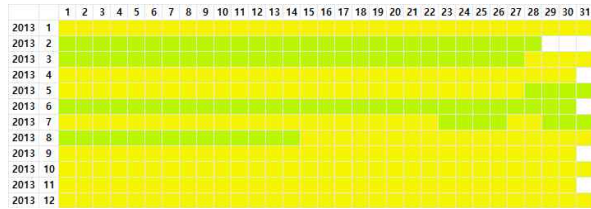
(2010)



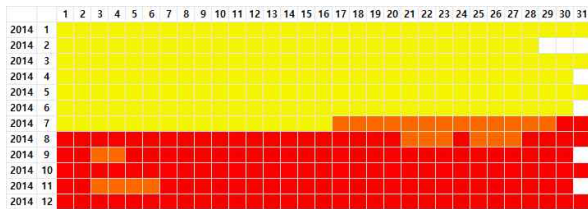
(2011)



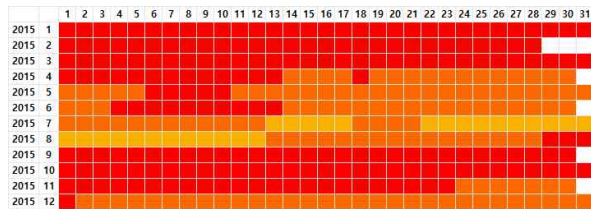
(2012)



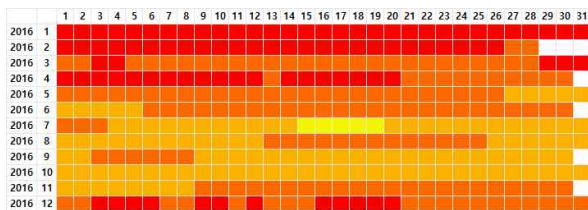
(2013)



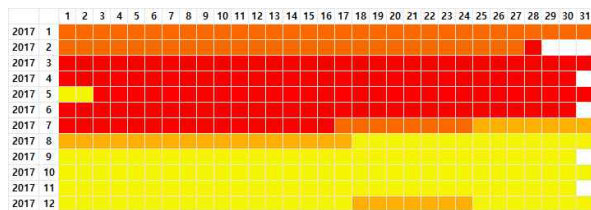
(2014)



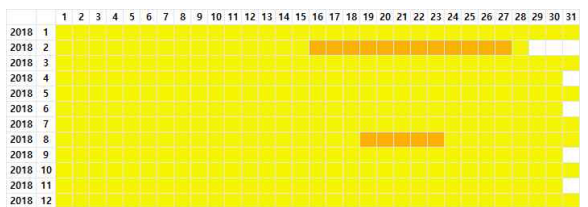
(2015)



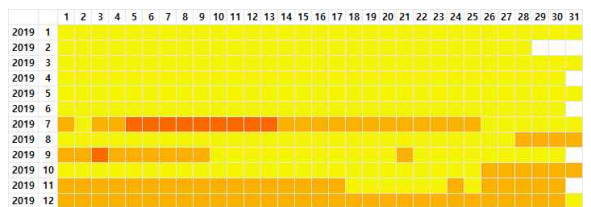
(2016)



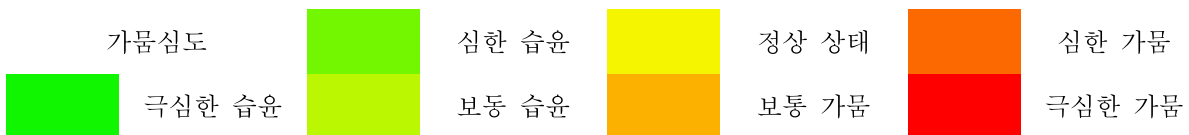
(2017)



(2018)



(2019)



[그림 2.2.232] 가뭄지수 SPI12 (이천)

[표 2.2.66~68]에는 수원의 표준강우지수(SPI) 심도별 발생횟수를 나타내었다. 2014년부터 2017년까지 가뭄이 발생하였고 2015년에 가뭄이 가장 극심하였다.

[표 2.2.61] 수원 가뭄심도별 발생횟수(SPI3)

SPI3	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
극심한 습윤	0	0	0	82	0	0	0	0	4	0	0	0
심한 습윤	0	14	31	15	0	5	0	12	35	0	29	2
보통 습윤	0	25	124	33	44	50	10	14	26	0	99	21
정상 상태	319	303	189	174	294	307	202	204	198	238	222	209
보통 가뭄	33	22	21	31	18	3	60	40	29	45	15	103
심한 가뭄	13	1	0	23	7	0	53	61	47	54	0	11
극심한 가뭄	0	0	0	7	2	0	40	34	26	28	0	19

[표 2.2.62] 수원 가뭄심도별 발생횟수(SPI6)

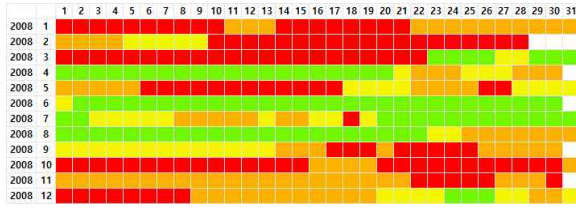
SPI6	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
극심한 습윤	0	0	0	146	0	0	0	0	0	0	0	0
심한 습윤	0	7	14	39	0	2	0	0	36	0	26	0
보통 습윤	5	20	47	67	31	45	0	0	26	0	42	35
정상 상태	335	332	296	107	326	318	143	176	133	253	281	174
보통 가뭄	21	6	8	6	8	0	41	40	31	73	6	94
심한 가뭄	4	0	0	0	0	0	85	66	82	18	4	48
극심한 가뭄	0	0	0	0	0	0	96	83	57	21	6	14

[표 2.2.63] 수원 가뭄심도별 발생횟수(SPI12)

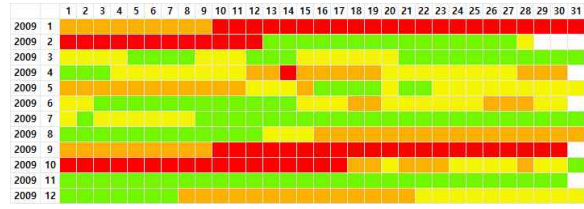
SPI12	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
극심한 습윤	0	0	0	101	149	0	0	0	0	0	0	0
심한 습윤	0	0	0	81	25	0	0	0	0	0	0	0
보통 습윤	0	3	0	4	10	110	0	0	0	0	0	0
정상 상태	365	362	349	179	181	255	197	0	5	131	348	268
보통 가뭄	0	0	16	0	0	0	0	27	114	31	17	87
심한 가뭄	0	0	0	0	0	0	25	131	153	66	0	10
극심한 가뭄	0	0	0	0	0	0	143	207	93	137	0	0

㉔ 강수평년비(PN)

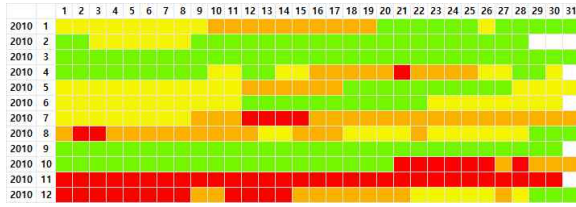
강수평년비(PN)는 다음 그림과 같고, 수원과 이천의 가뭄지수 PN1을 도시하였다. 수원과 이천 모두 비슷한 양상을 보였으며 SPI와 마찬가지로 PN의 경우에도 2014-2017년에 가뭄상황이 많이 나타났으며 2008년과 2012년, 2019년에도 높은 수준을 보였다.



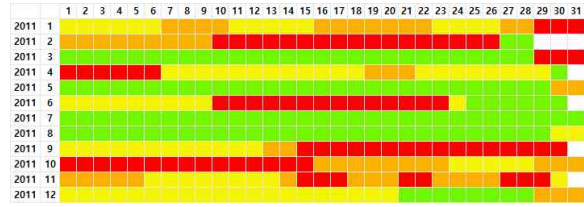
(2008)



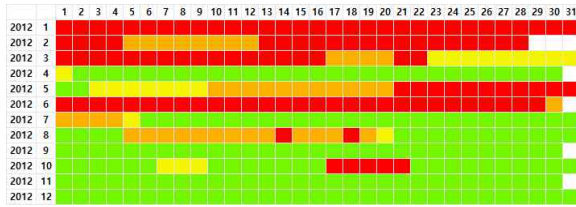
(2009)



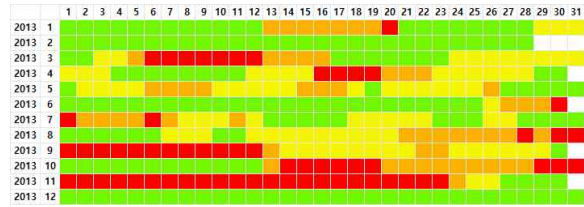
(2010)



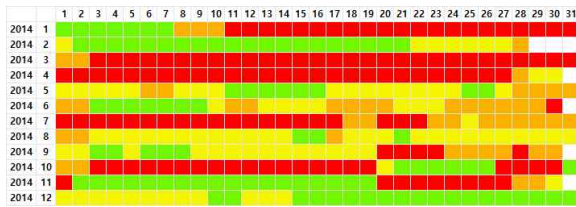
(2011)



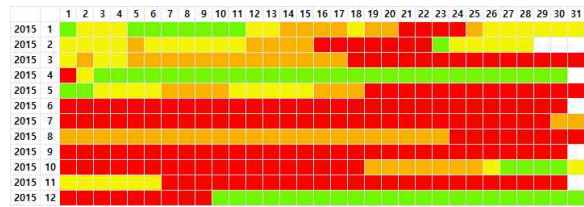
(2012)



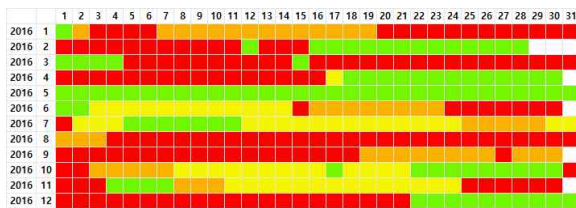
(2013)



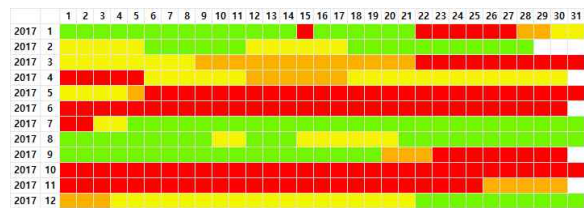
(2014)



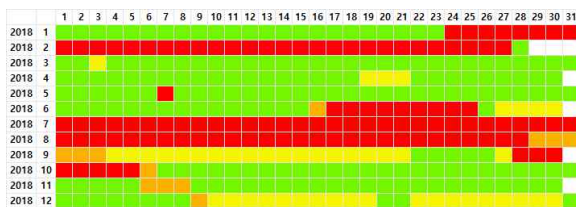
(2015)



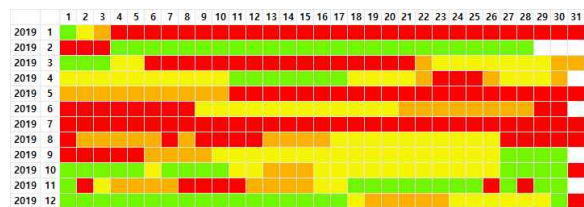
(2016)



(2017)



(2018)



(2019)

가뭄심도

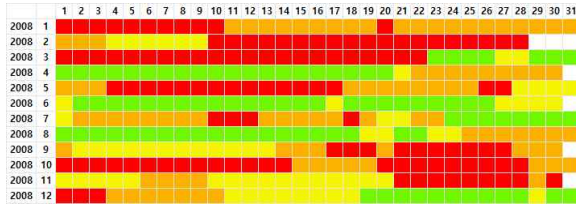


습함  
정상

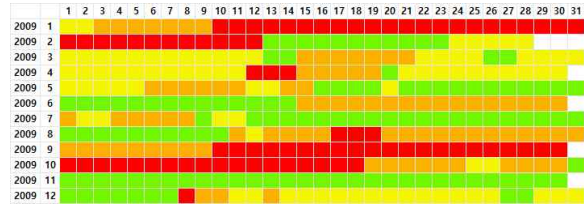


가뭄  
매우 가뭄

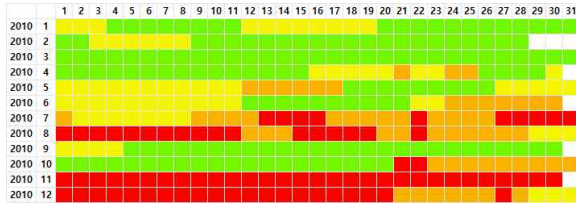
[그림 2.2.233] 가뭄지수 PN1 (수원)



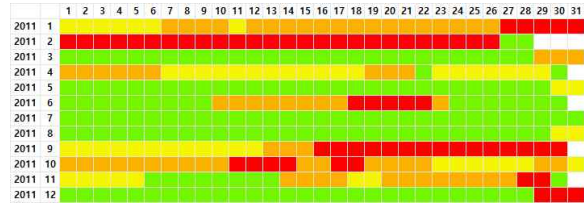
(2008)



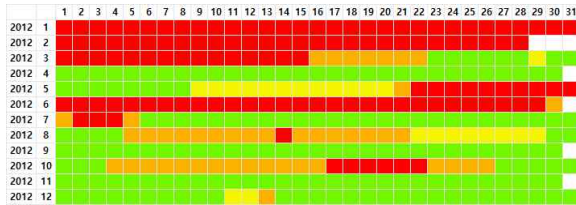
(2009)



(2010)



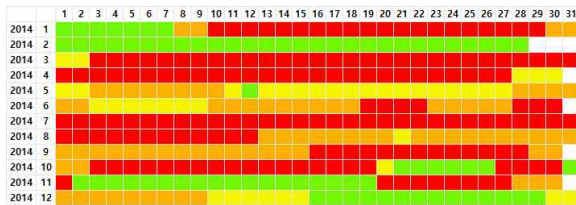
(2011)



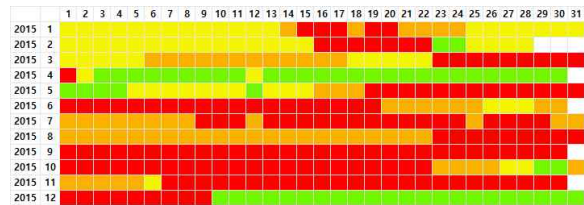
(2012)



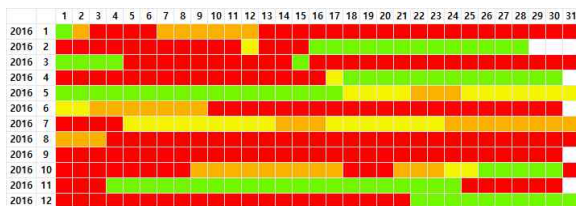
(2013)



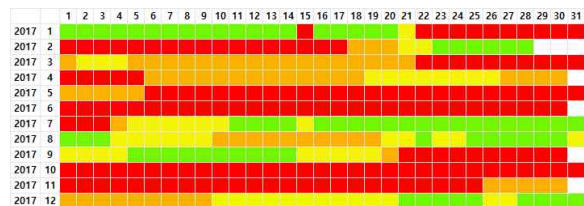
(2014)



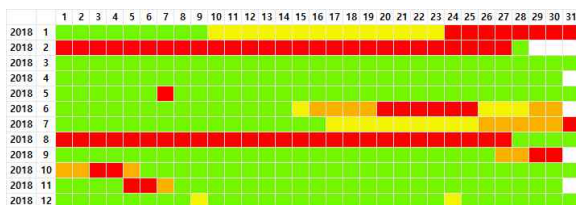
(2015)



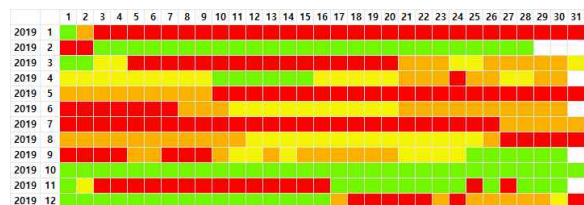
(2016)



(2017)



(2018)



(2019)

가뭄심도



습함  
정상



가뭄  
매우 가뭄

[그림 2.2.234] 가뭄지수 PN1 (이천)

[표 2.2.69~70]에는 수원과 이천의 PN 가뭄 심도별 발생횟수를 제시하였다. 수치상으로 보면 가뭄발생 빈도가 가장 적은 해는 수원시의 경우 2010, 2011년 순이었고 이천시의 경우에는 2011, 2013년 순으로 나타났다. 반면에 가뭄발생 빈도가 가장 높은 해는 수원시의 경우 2015, 2016년이었고 이천시의 경우 2016, 2014년 순으로 분석되었다.

[표 2.2.64] PN 가뭄심도별 발생횟수(수원)

수원	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
매우가뭄	122	73	56	82	116	62	133	187	161	144	112	137
가뭄	98	81	72	56	41	54	50	67	49	33	11	55
정상	51	83	83	93	22	82	88	48	58	72	46	90
습함	95	128	154	134	186	167	94	65	97	116	195	83

[표 2.2.65] PN 가뭄심도별 발생횟수(이천)

이천	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
매우가뭄	117	80	80	62	123	73	169	167	204	168	76	138
가뭄	94	90	56	73	45	59	81	72	44	69	17	72
정상	63	81	71	56	23	81	40	67	33	54	29	54
습함	91	116	157	174	174	154	75	58	85	74	243	101

㉔ 유효가뭄지수(EDI)

아래 그림에는 수원과 이천의 가뭄지수 EDI을 나타내었다. 수원과 이천 모두 비슷한 양상을 보였으며 앞의 두 가뭄지수와 마찬가지로 2014-2017년에 가뭄현상이 두드러지게 나타났다. 두 지점 모두 2015년에 가장 높은 빈도에 가뭄을 보였으나 이천시에서는 2017년에 극한의 가뭄 수치가 더 많이 나타났다.

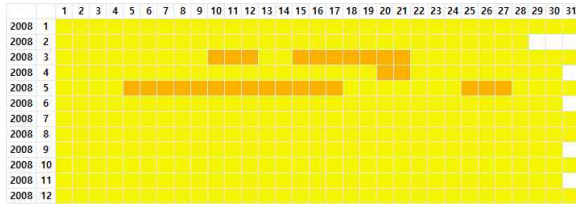
수원과 이천의 EDI 가뭄 심도별 발생횟수는 아래 표와 같다. 2011년의 경우에는 수원시와 이천시 모두 단 하루도 가뭄이 발생하지 않았다. 그러나 2015년의 경우 이천시에서 정상인 날은 1년 중 단 25일에 불과하였으며 수원시의 경우에도 42일만이 정상상태를 보였다.

[표 2.2.66] EDI 가뭄심도별 발생횟수(수원)

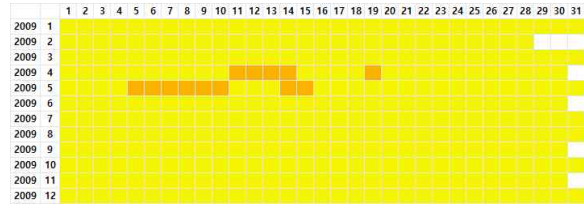
수원	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
정상	338	354	345	365	333	341	126	42	126	181	319	103
보통가뭄	27	11	20	0	32	24	229	146	133	92	43	186
심한가뭄	0	0	0	0	0	0	10	155	106	84	3	76
습함	0	0	0	0	0	0	0	22	0	8	0	0

[표 2.2.67] EDI 가뭄심도별 발생횟수(이천)

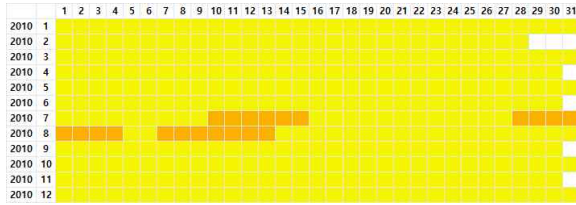
이천	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
정상	310	266	324	365	352	365	110	25	98	65	275	164
보통가뭄	55	99	41	0	13	0	106	95	80	117	90	170
심한가뭄	0	0	0	0	0	0	149	245	187	159	0	31
극한가뭄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0



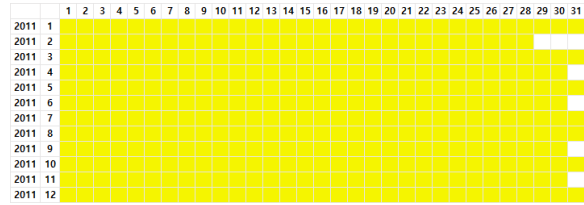
(2008)



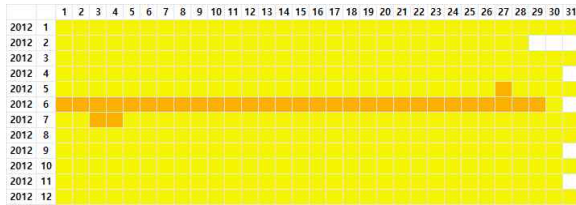
(2009)



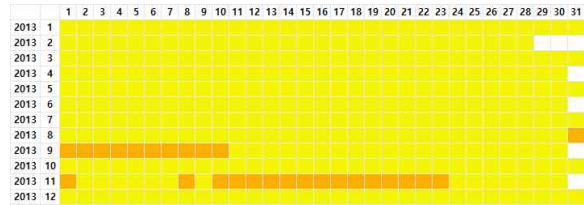
(2010)



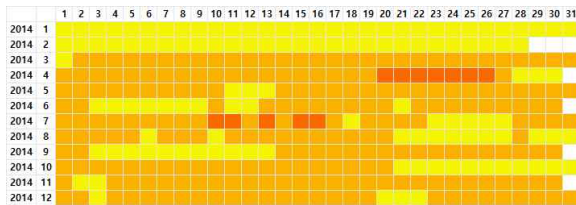
(2011)



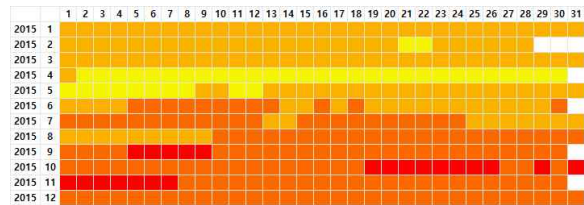
(2012)



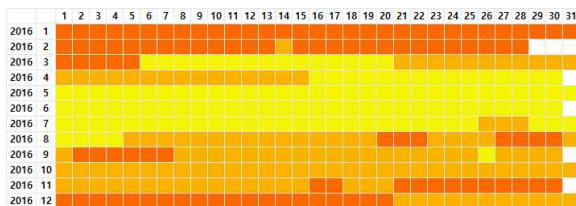
(2013)



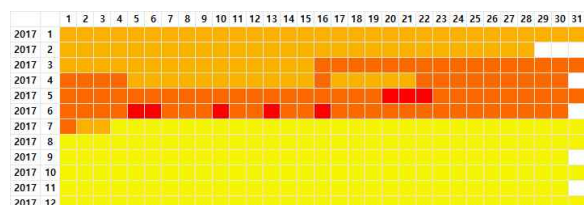
(2014)



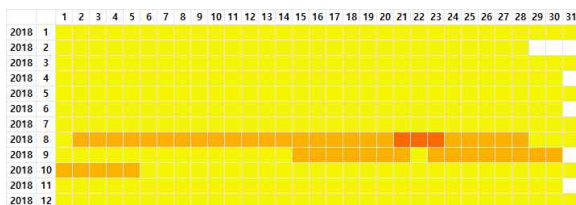
(2015)



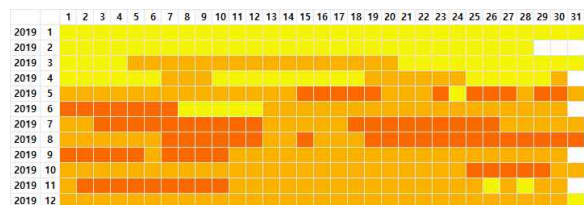
(2016)



(2017)



(2018)



(2019)

가뭄심도



정상

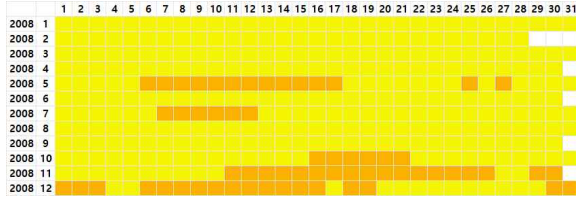
보통가뭄

심한가뭄

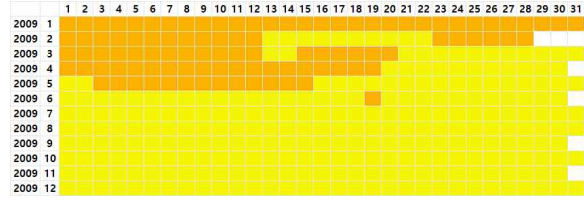
극한가뭄

[그림 2.2.235] 가뭄지수 EDI (수원)

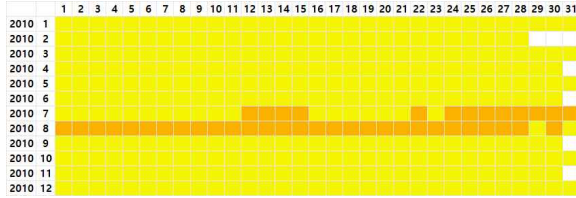




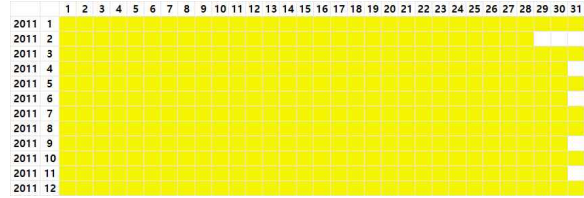
(2008)



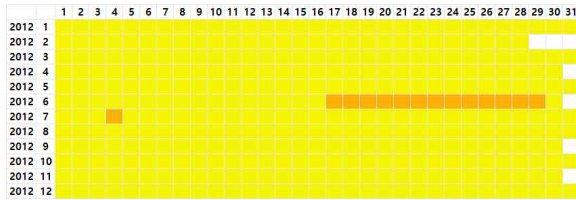
(2009)



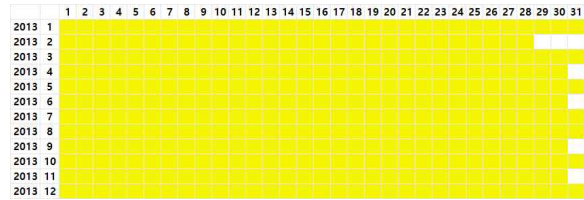
(2010)



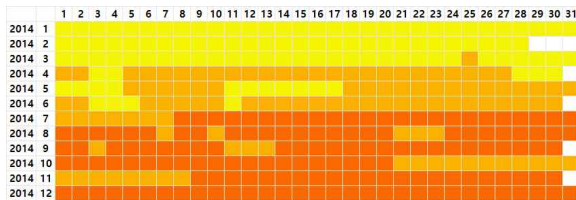
(2011)



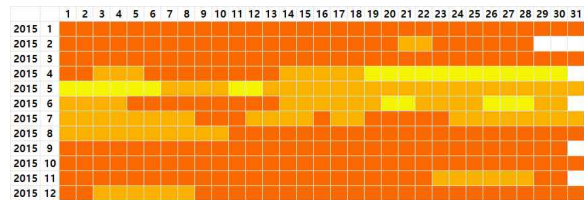
(2012)



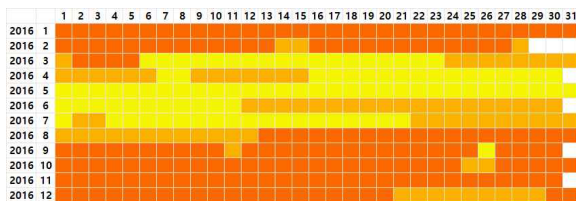
(2013)



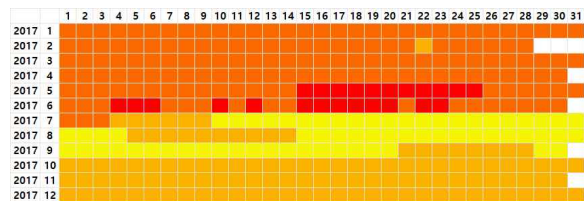
(2014)



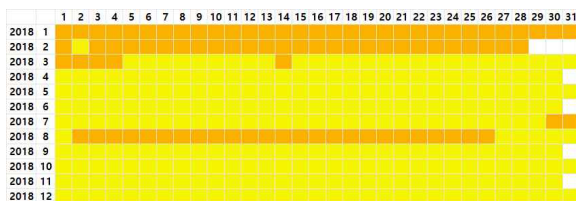
(2015)



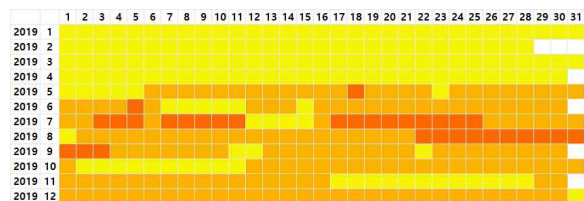
(2016)



(2017)



(2018)



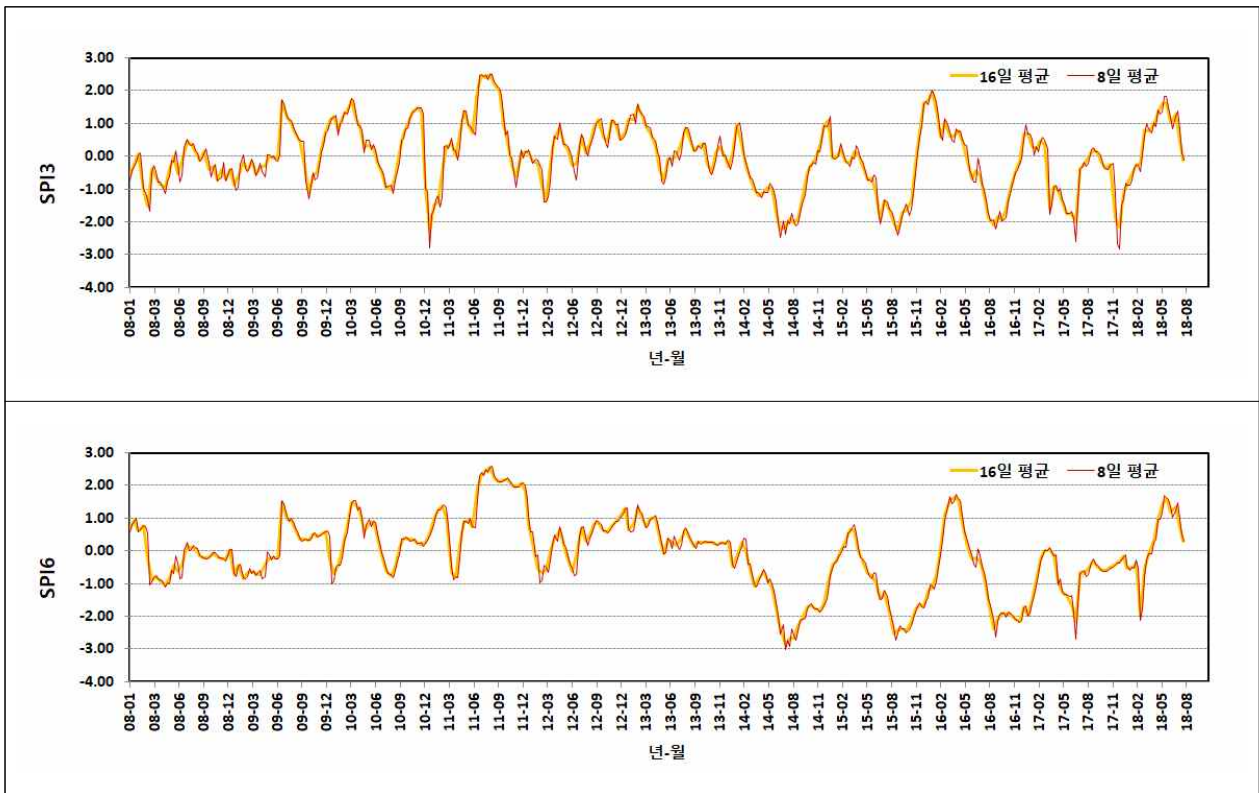
(2019)



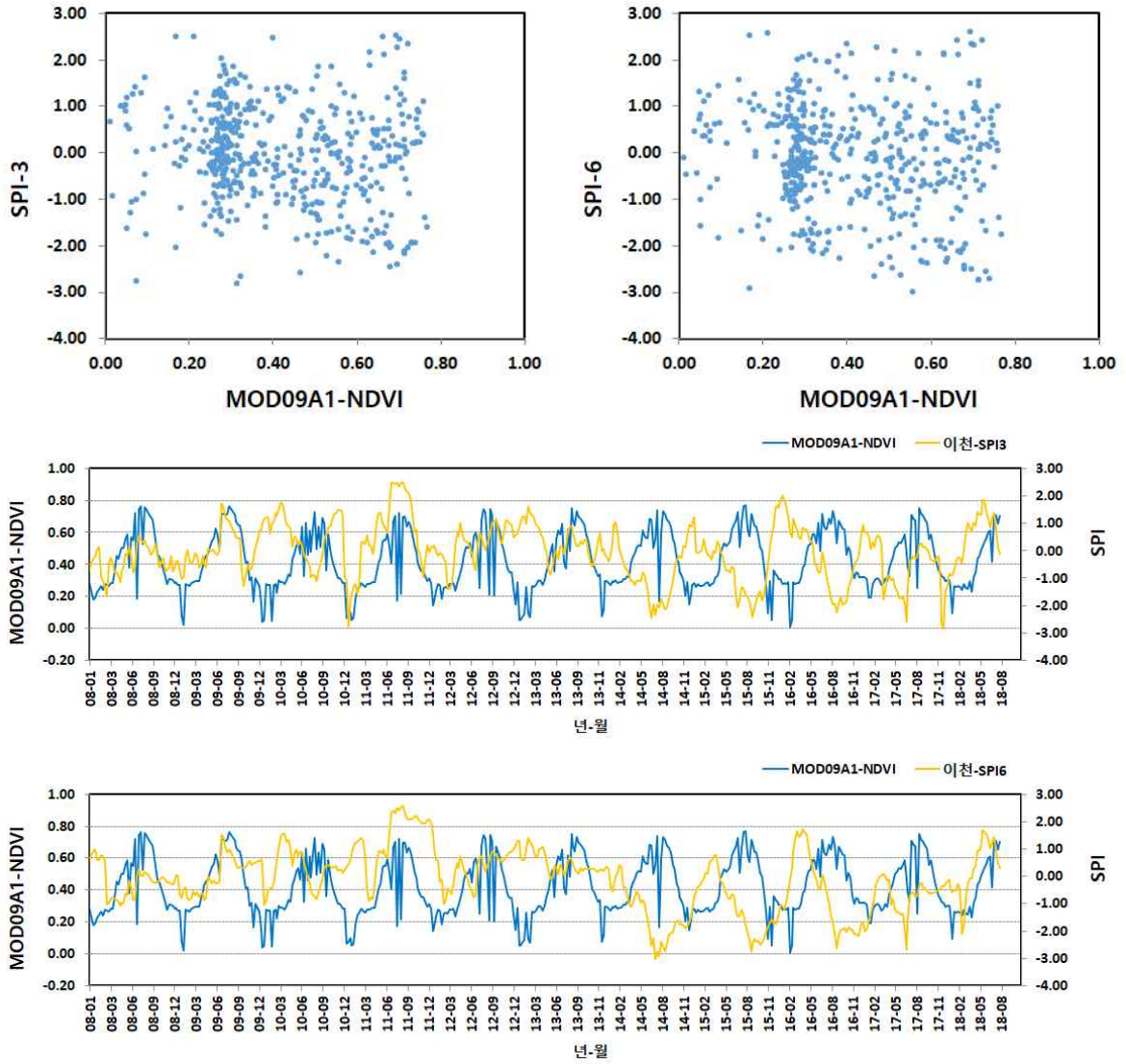
[그림 2.2.236] 가물지수 EDI (이천)

② 광역적 분석결과와 가뭄지수비교

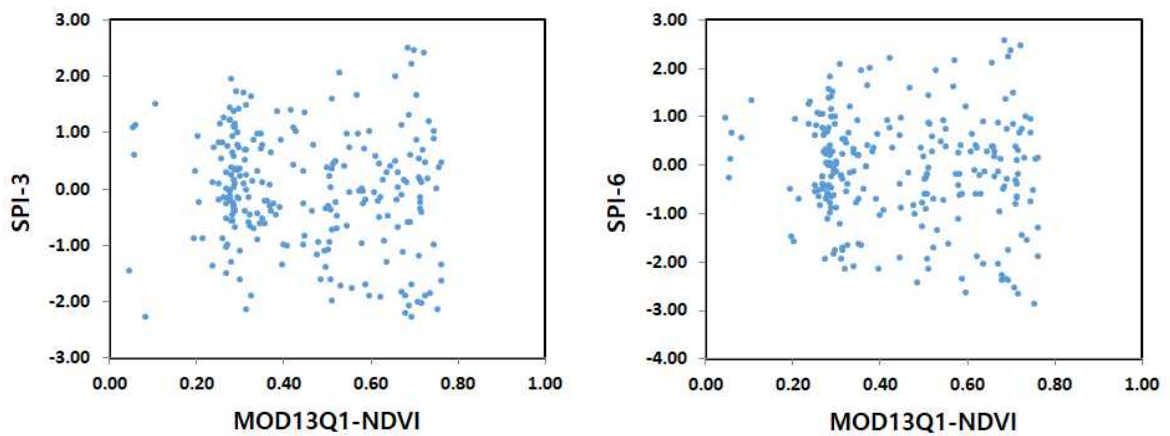
조사된 가뭄지수로는 SPI, PN, EDI가 있으며, MODIS 영상으로부터 산정된 NDVI, EVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI, NDWI, NMDI, NDDI는 기상학적 가뭄지수인 SPI3, SPI6(기상청 수문기상 가뭄정보시스템)와 비교하였다. 영상을 이용한 지수값을 산정한 결과 안성시와 드론촬영지역이 있는 일죽면의 결과가 유사한 범위를 나타내고 있으므로 일죽면의 NDVI, EVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI, NDWI, NMDI, NDDI 산정결과와 일죽면과 가장 가까운 이천기상관측소의 가뭄지수를 비교하였다. MOD09A1과 MOD09Q1의 산정결과는 크게 차이가 나지 않으므로 MOD09Q1은 비교에서 제외하였다. SPI는 일별로 산정되므로 MODIS 영상과의 비교를 위해 동일 기간의 자료로 평균하였다. 8일 합성인 MOD09A1의 경우 001일은 1일~8일의 결과값이므로 SPI값도 동일한 기간으로 평균하였으며, 16일 합성인 MOD13Q1도 16일 간격으로 평균하여 준비하였다. SPI는 극한습함(2.0이상), 심한습윤(2~1.5), 보통습윤(1.5~1.0), 정상상태(1.0~-1.0), 보통가뭄(-1.0~-1.5), 심한가뭄(-1.5~-2.0), 극한가뭄(-2.0이하)의 7단계로 가뭄을 구분하고 있다. 이천기상관측소의 8일, 16일 평균 표준강우지수는 다음과 같다.



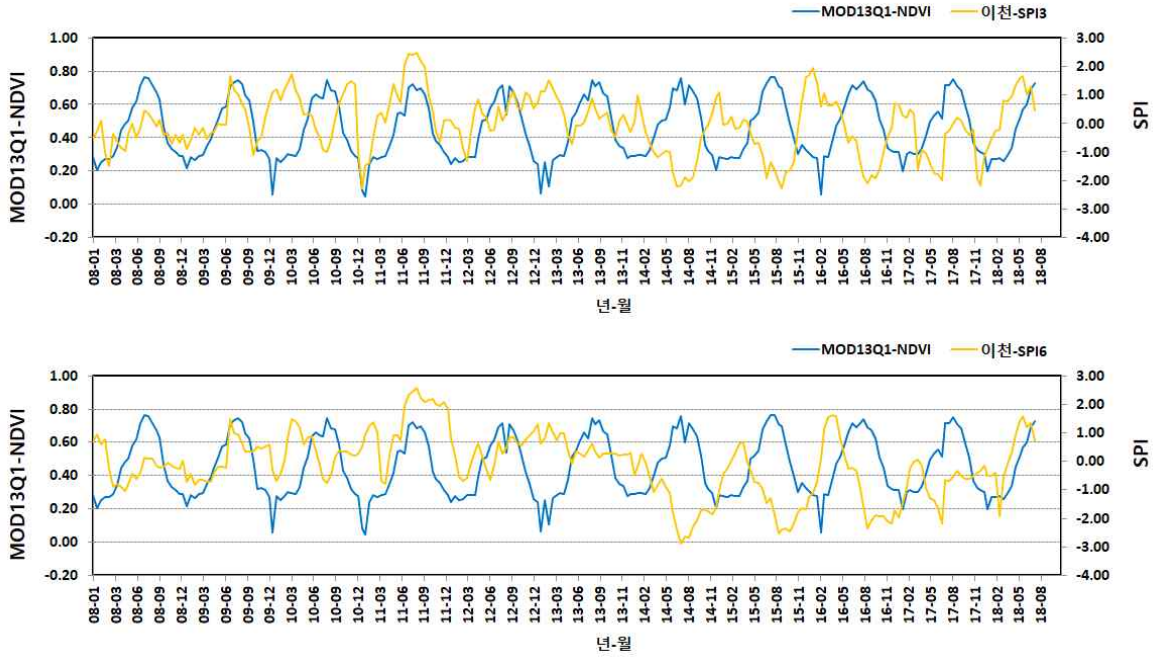
[그림 2.2.237] 이천 기상관측소 SPI



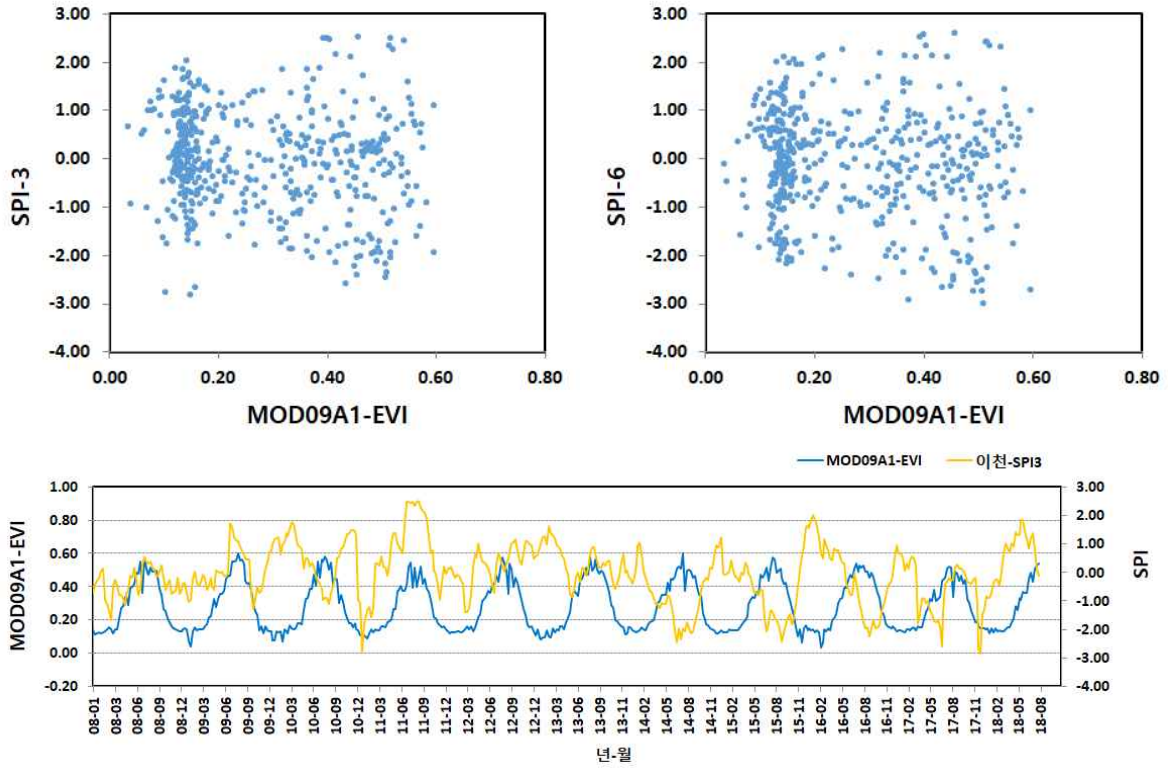
[그림 2.2.238] 일측면 MOD09A1-NDVI와 이천 기상관측소SPI 비교



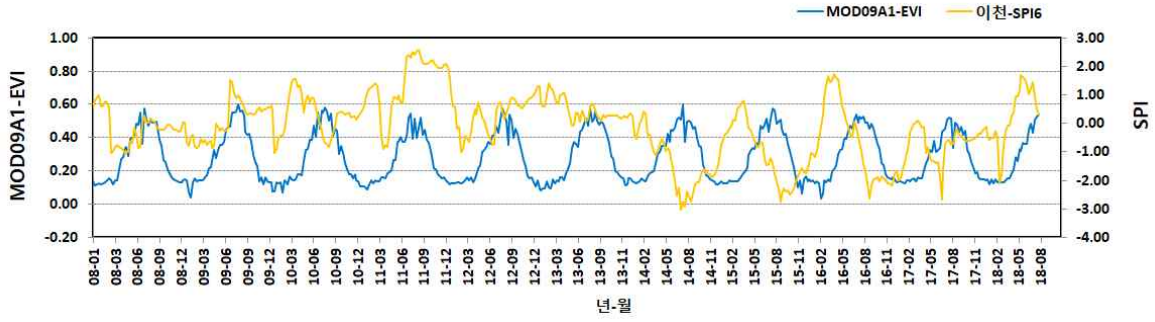
[그림 2.2.239] 일측면 MOD13Q1-NDVI와 이천 기상관측소SPI 비교



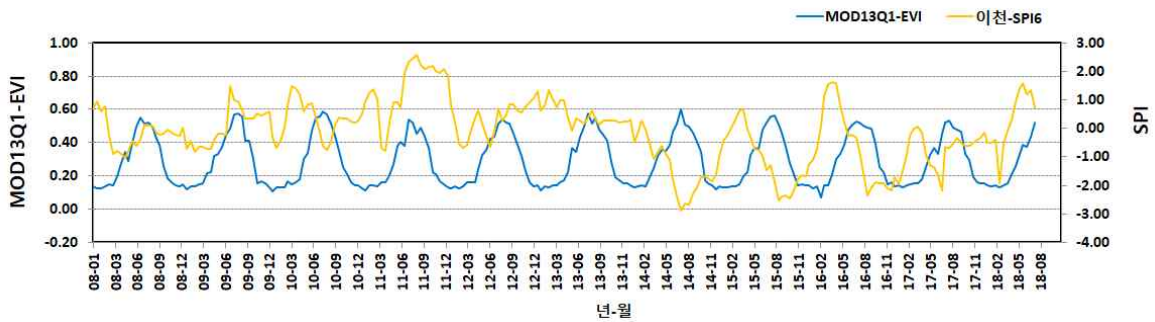
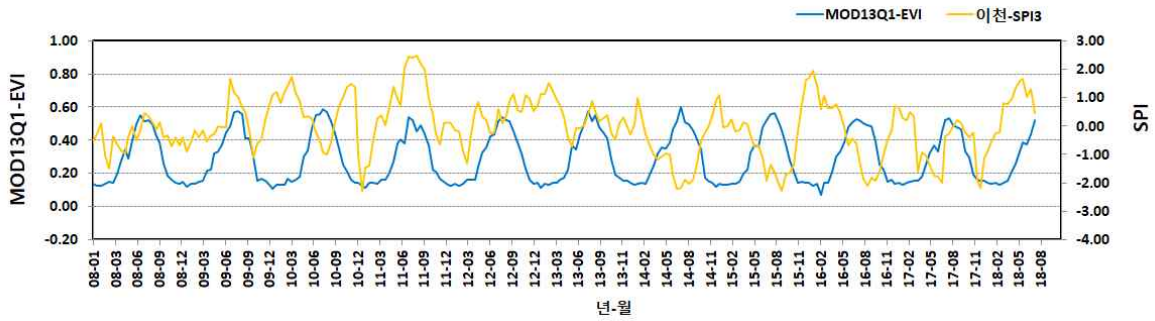
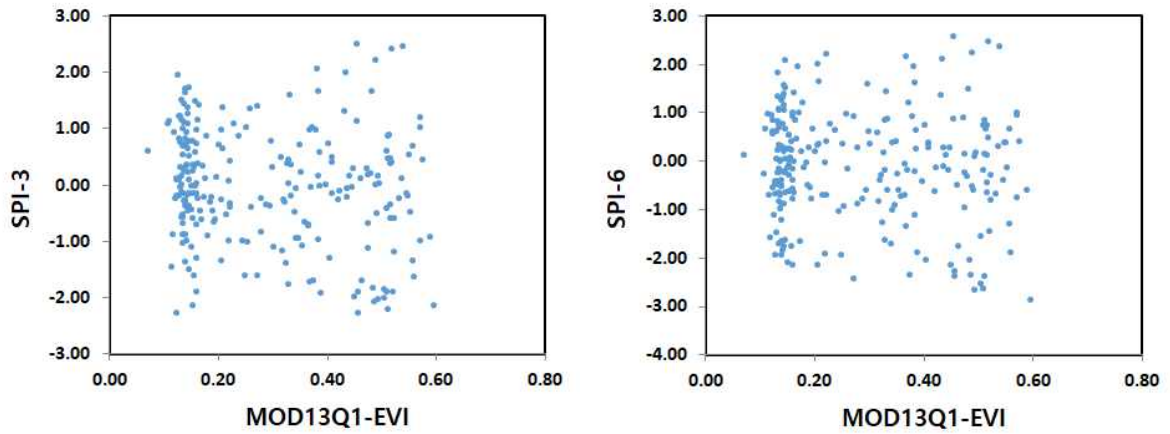
[그림 2.2.130] 일죽면 MOD13Q1-NDVI와 이천 기상관측소SPI 비교 (계속)



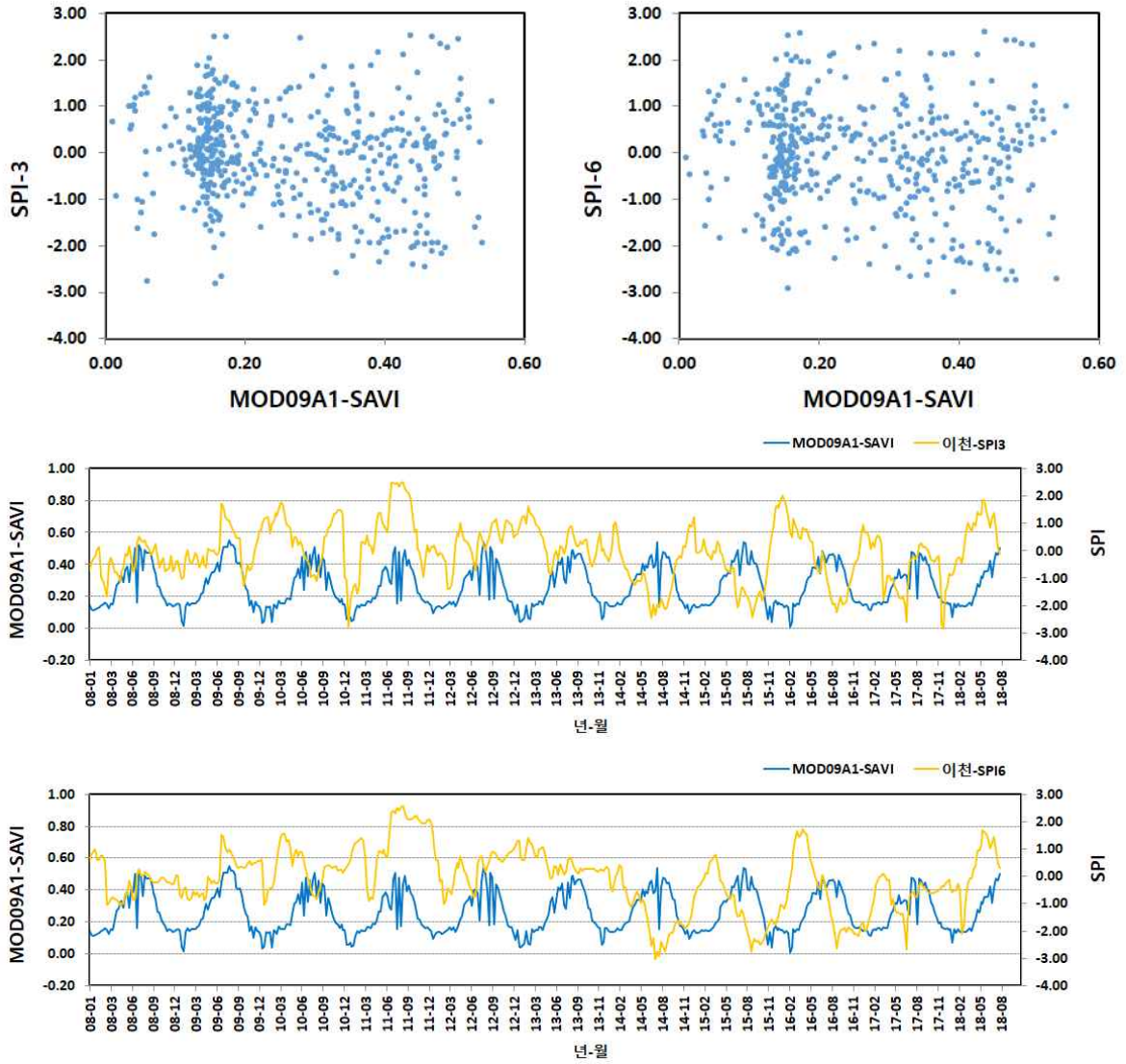
[그림 2.2.240] 일죽면 MOD09A1-EVI와 이천 기상관측소SPI 비교



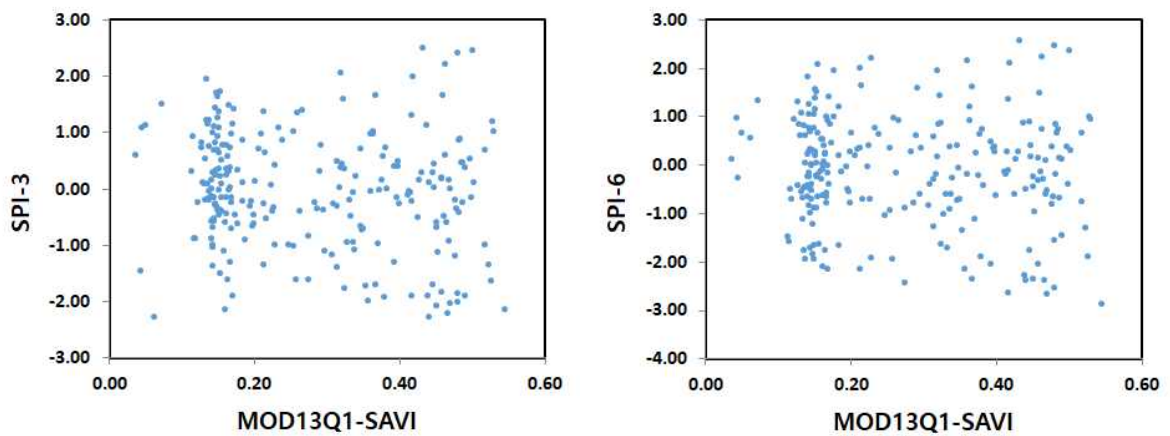
[그림 2.2.131] 일주면 MOD09A1-EVI와 이천 기상관측소SPI 비교 (계속)



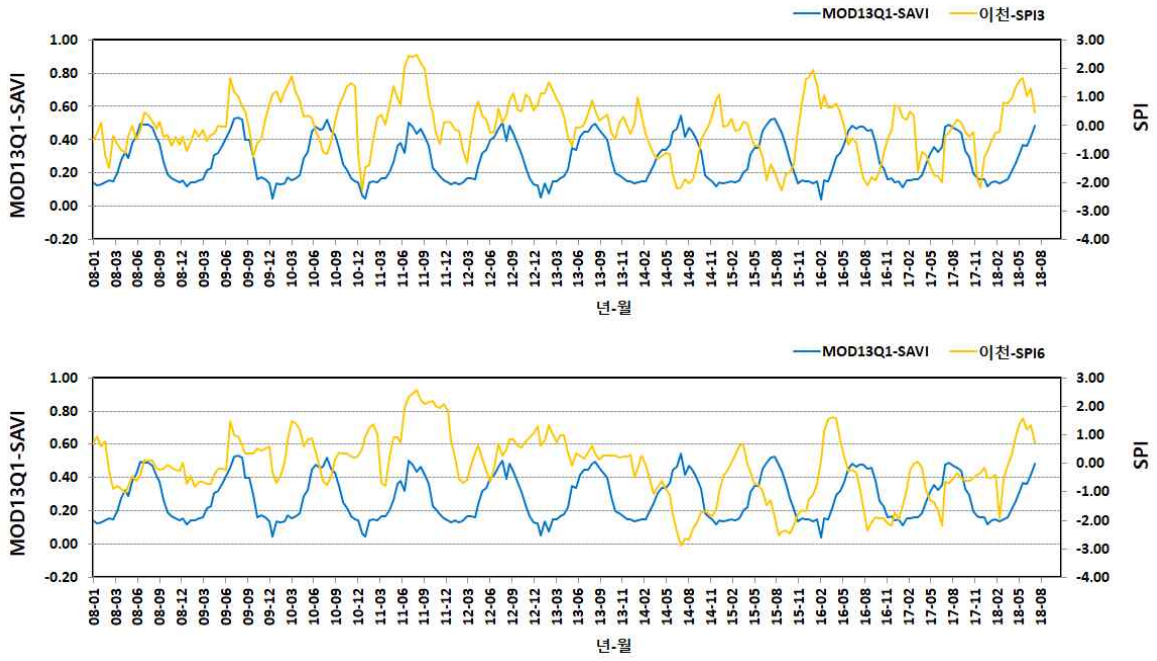
[그림 2.2.241] 일주면 MOD13Q1-EVI와 이천 기상관측소SPI 비교



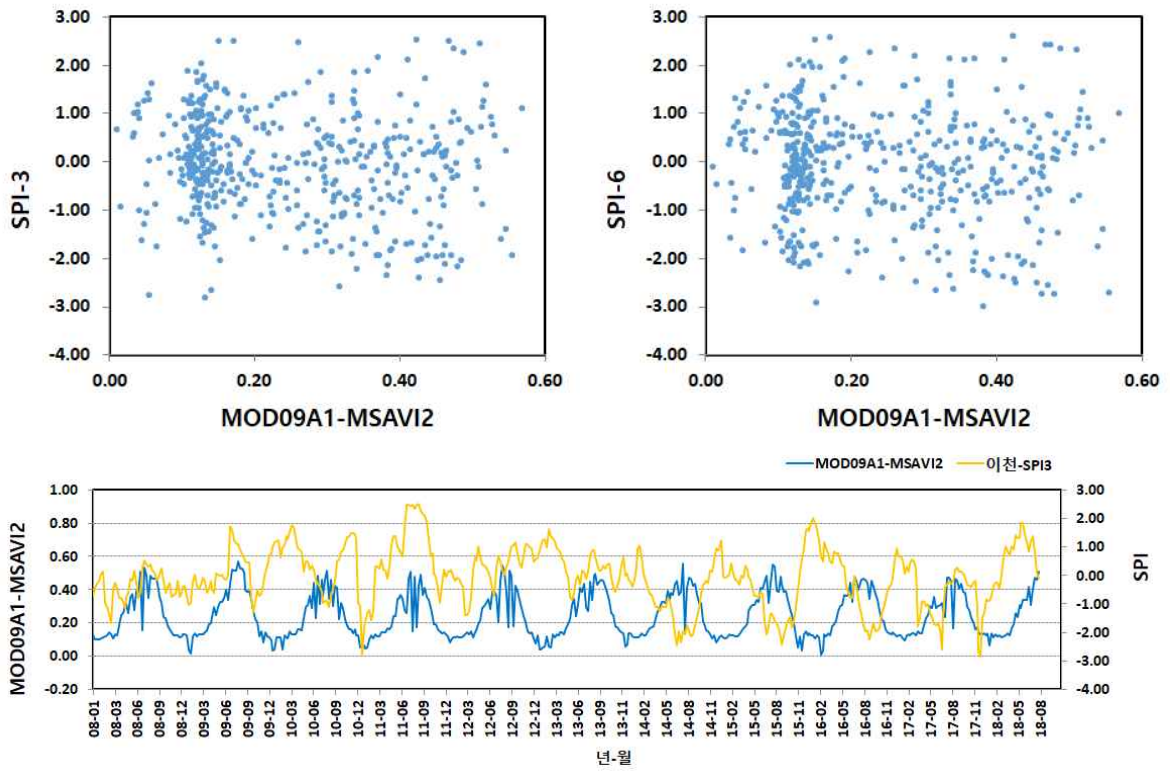
[그림 2.2.242] 일측면 MOD09A1-SAVI와 이천 기상관측소SPI 비교



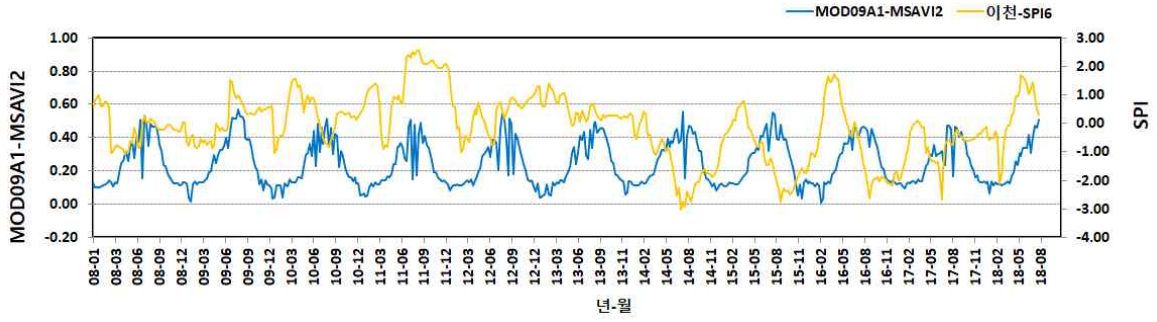
[그림 2.2.243] 일측면 MOD13Q1-SAVI와 이천 기상관측소SPI 비교



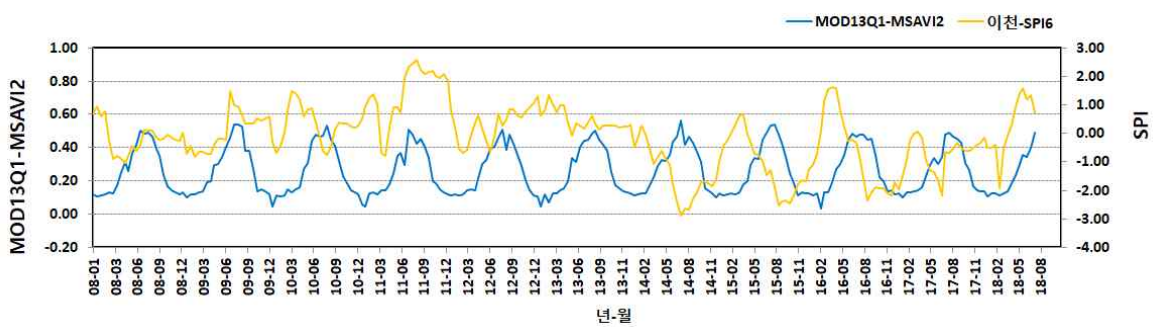
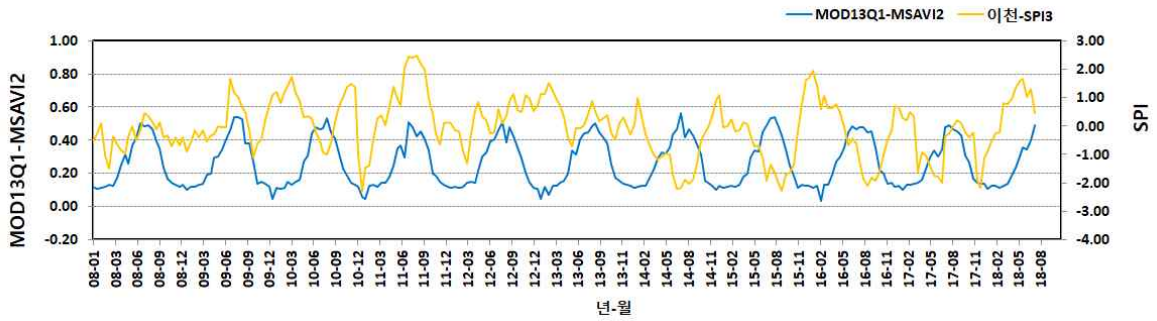
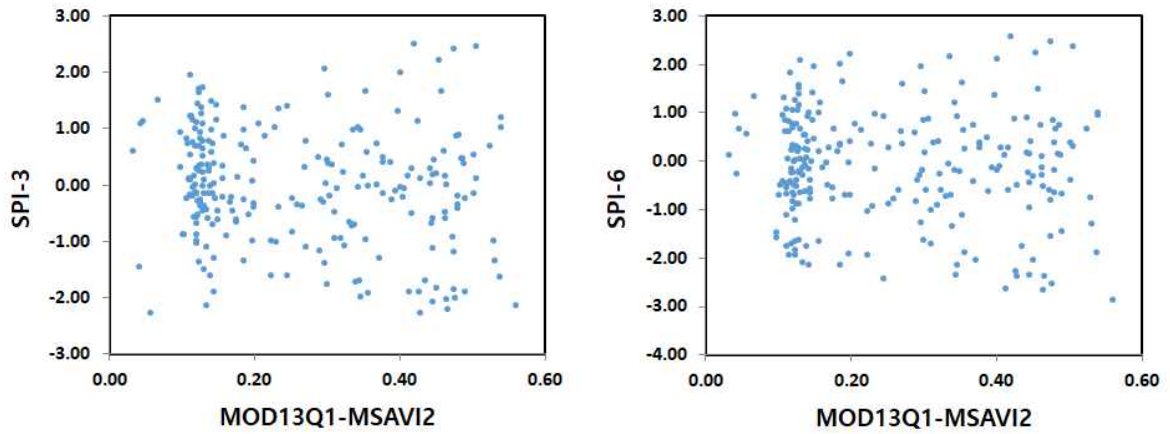
[그림 2.2.134] 일측면 MOD13Q1-SAVI와 이천 기상관측소SPI 비교 (계속)



[그림 2.2.244] 일측면 MOD09A1-MSAVI2와 이천 기상관측소SPI 비교

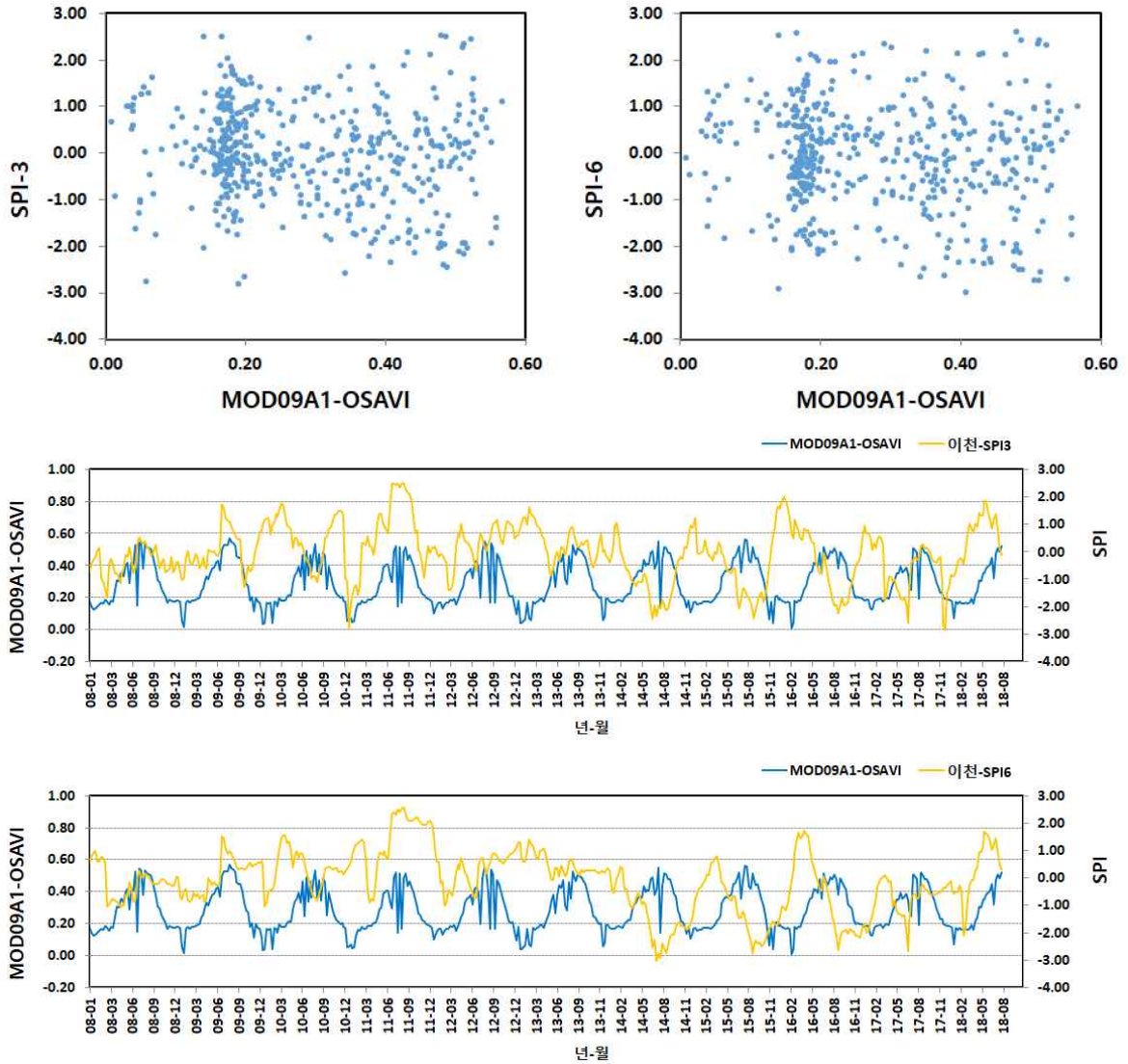


[그림 2.2.135] 일측면 MOD09A1-MSAVI2와 이천 기상관측소SPI 비교 (계속)

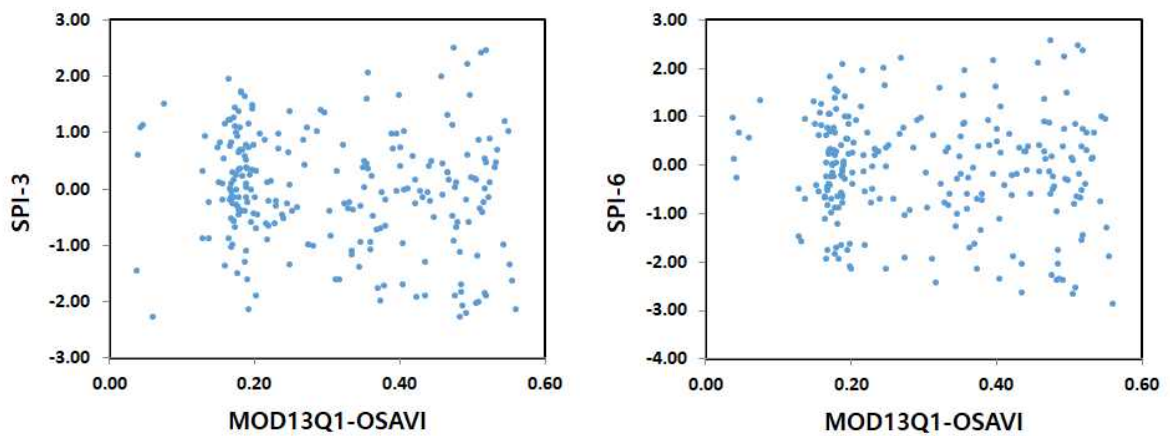


[그림 2.2.245] 일측면 MOD13Q1-MSAVI2와 이천 기상관측소SPI 비교

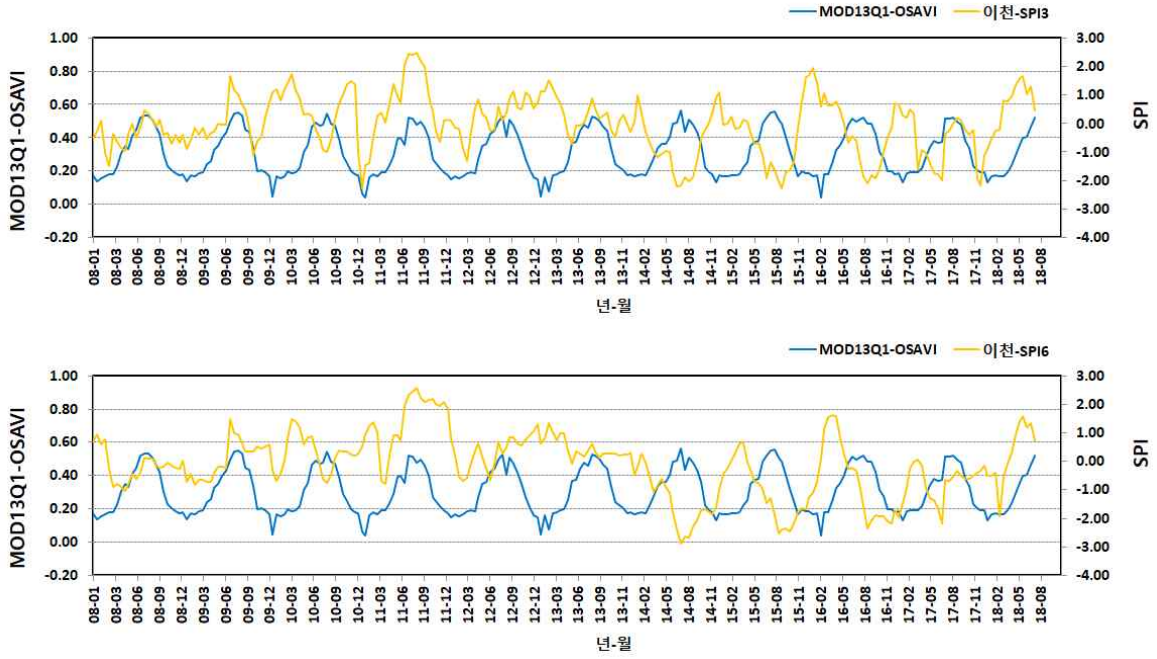




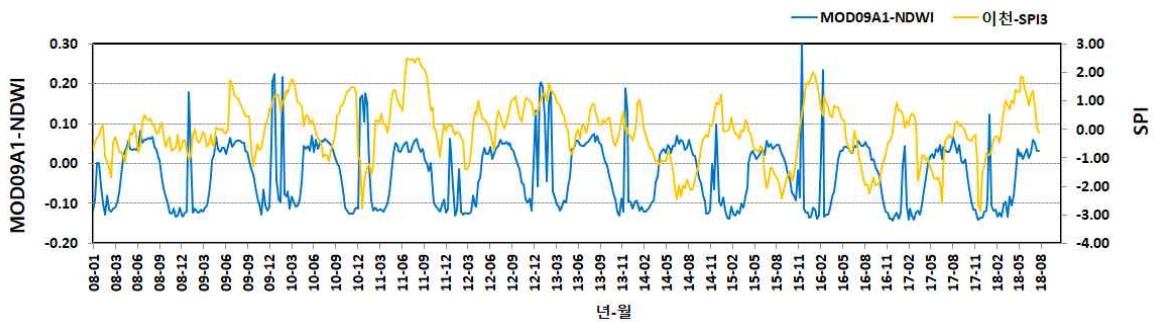
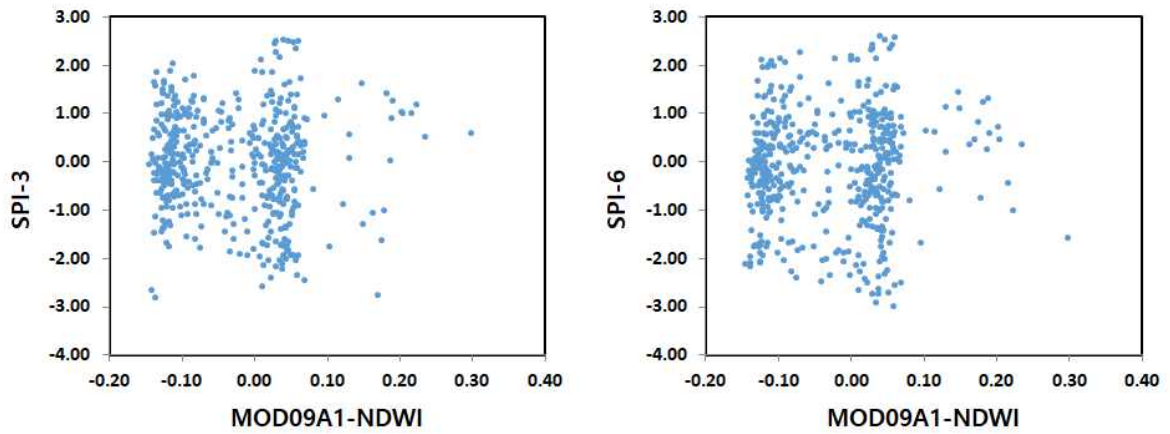
[그림 2.2.246] 일죽면 MOD09A1-OSAVI와 이천 기상관측소SPI 비교



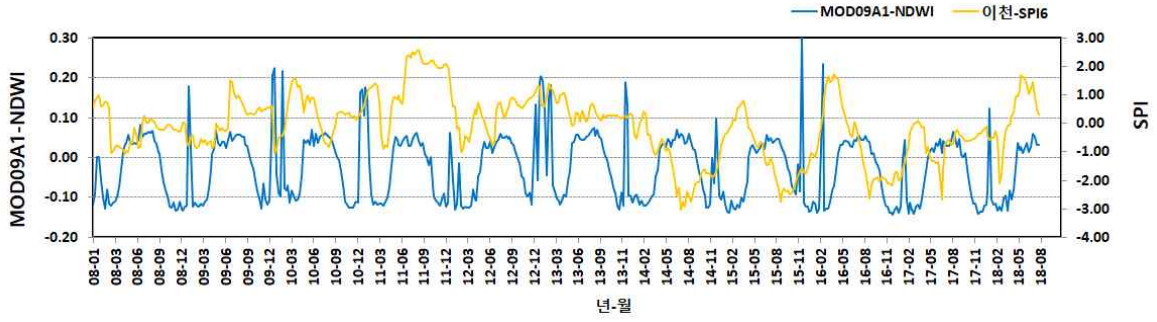
[그림 2.2.247] 일죽면 MOD13Q1-OSAVI와 이천 기상관측소SPI 비교



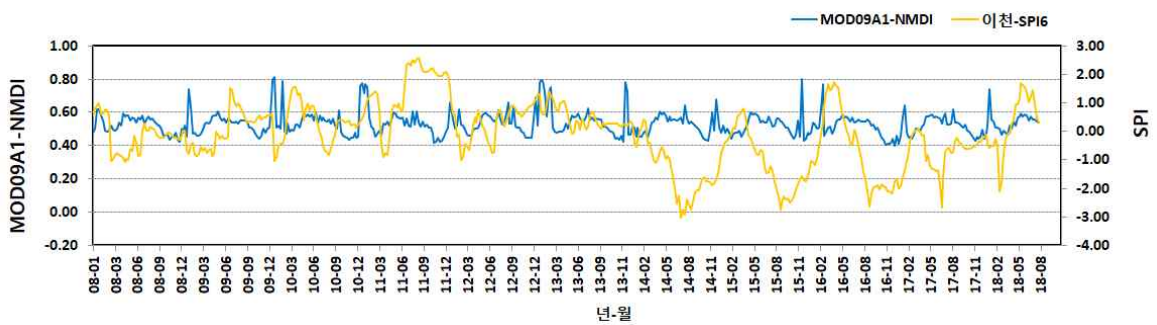
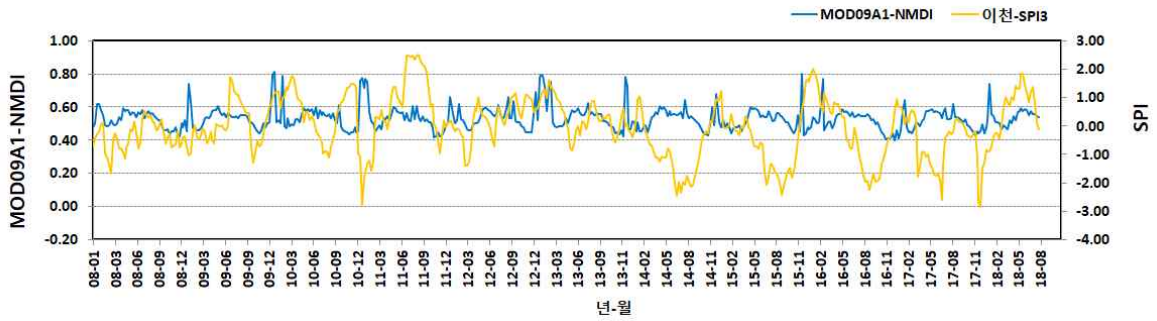
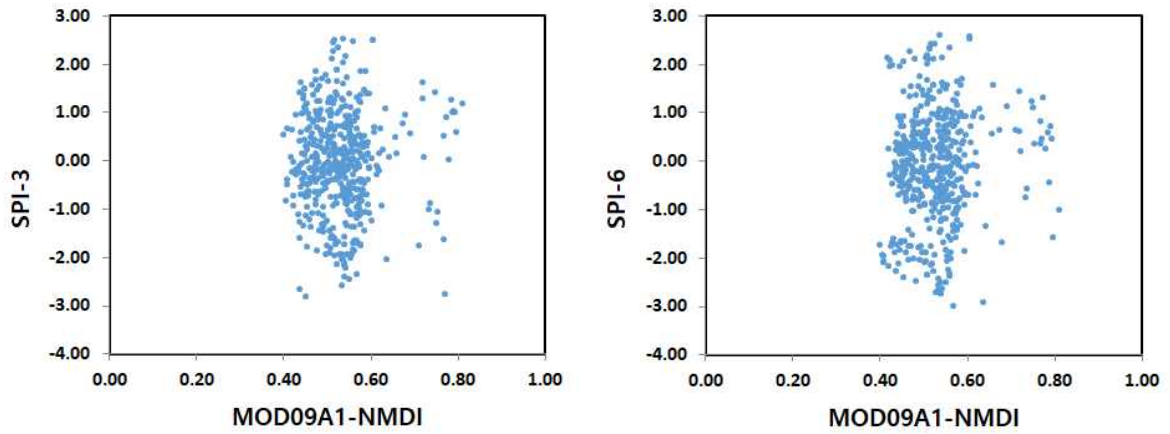
[그림 2.2.138] 일주면 MOD13Q1-OSAVI와 이천 기상관측소SPI 비교 (계속)



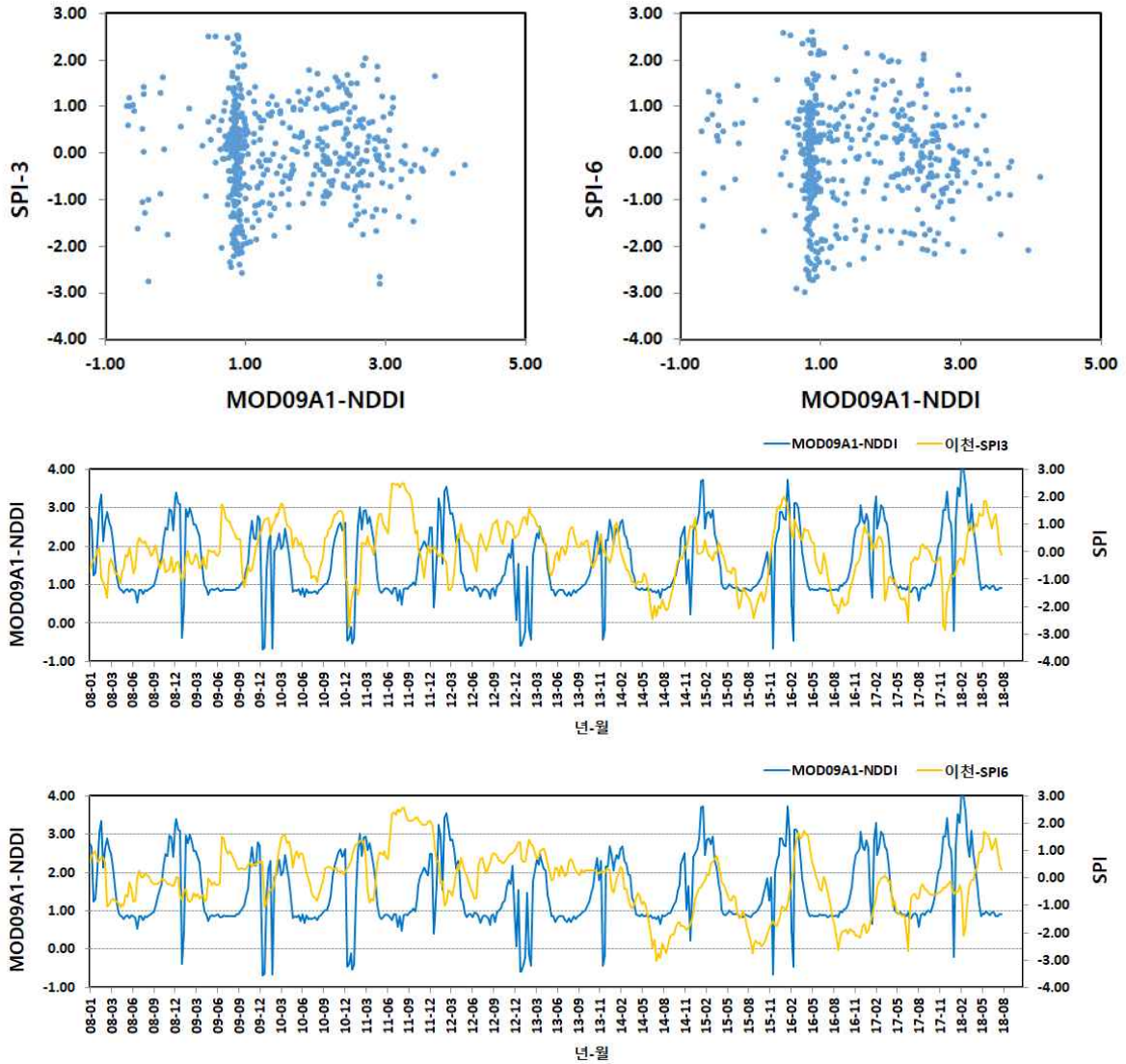
[그림 2.2.248] 일주면 MOD09A1-NDWI와 이천 기상관측소SPI 비교



[그림 2.2.139] 일주면 MOD09A1-NDWI와 이천 기상관측소SPI 비교 (계속)



[그림 2.2.249] 일주면 MOD09A1-NMDI와 이천 기상관측소SPI 비교



[그림 2.2.250] 일측면 MOD09A1-NDDI와 이천 기상관측소SPI 비교

NDVI, EVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI, NDWI, NMDI, NDDI와 표준강우지수 SPI3, SPI6를 비교한 결과 특별한 상관관계가 나타나지는 않은 것으로 판단된다. SPI는 강우량을 이용하여 산정되는 기상학적 가뭄을 나타내는 지표로서, 토양수분, 저수지의 저수율, 인위적인 용수공급 상황 등 식생 및 작물과 관련된 요소들을 고려하지 않는 것도 관련이 있을 것이다.

## (2) 드론영상을 이용한 국소적 모니터링

### (가) 드론영상에 분석에 활용 가능한 식생지수

농업 모니터링을 위해서 적색, 녹색, 적외선 파장을 촬영한 영상이 유용하게 사용될 수 있다. 특히 적외선 파장대는 식생의 활력도를 파악하기 위해 매우 중요한 영상정보가 된다. 일반적으로 드론영상 촬영에는 RGB의 카메라를 주로 이용하며, 농업 모니터링용으로 RG-NIR 또는 RedEdge 파장대를 포함하여 3~4개 분광밴드를 촬영할 수 있는 카메라들이 탑재될 수 있다. 또한 여러 파장대를 한번에 촬영할 수 있는 초분광센서를 탑재한 카메라 또는 열적외선 파장의 영상을 촬영할 수 있는 카메라 등이 있다.

그러나 일반적으로 많이 사용되는 RGB카메라 이외의 특수한 파장대를 촬영하는 능력이 우수한 카메라일수록 비용이 고가이고 운용에 더 많은 주의가 요구될 수 있으며, 처리용량이 증가하거나 분석방법이 더 복잡해진다. 결과적으로 드론영상의 경우 원하는 지역에 원하는 시기의 고해상도 영상을 획득할 수 있는 장점이 있지만 촬영에 사용되는 광학카메라의 분광파장범위에 따라 식생의 상태를 파악할 수 있는 방법과 다양성에 차이가 발생할 수밖에 없다. 이러한 이유에서 몇몇 연구에서는 저비용으로 식생의 상태를 파악하는 방법으로 RGB영상으로 식생을 파악하거나 RGB 카메라의 필터를 개조하여 NIR-GB형태의 영상을 획득하는 등의 방법을 제시하고 있다. 드론영상을 활용하는 연구에서 가시광선, 적색경계, 근적외선 파장대의 영상을 이용하여 식생을 모니터링 할 수 있는 지수들을 정리하면 다음 표와 같다.

[표 2.2.68] 드론 영상을 이용한 식생 및 토양 분석에 사용가능한 다양한 지수들

지 수	밴드대역	약어	산정공식	참고문헌
Ratio vegetation index (Simple Ratio)	Red-NIR	RVI	$R_n/R_r$	Jordan, 1969; Pearson and Miller, 1972
Normalized difference vegetation index	Red-NIR	NDVI	$(R_n - R_r)/(R_n + R_r)$	Rouse et al., 1974; Tucker, 1979
Soil adjusted vegetation index	Red-NIR	SAVI	$(1 + 0.5) (R_n - R_r) / (R_n + R_r + 0.5)$	Huete, 1988
Modified soil adjusted vegetation index	Red-NIR	MSAVI	$0.5 \{2 \times R_n + 1 - \sqrt{[(2 \times R_n + 1)^2 - 8 (R_n - R_r)]}\}$	Qi et al., 1994
Optimized soil adjusted vegetation index	Red-NIR	OSAVI	$(1 + 0.16) (R_n - R_r) / (R_n + R_r + 0.16)$	Rondeaux et al., 1996
Enhanced vegetation index	Vis-NIR	EVI	$2.5(R_n - R_r)/(R_n + 6 \times R_r - 7.5 \times R_b + 1)$	Huete et al., 2002
Triangular vegetation index	Vis-NIR	TVI	$0.5[120(R_n - R_g) - 200(R_r - R_g)]$	Broge and Leblanc, 2001
Second modified triangular vegetation index	Vis-NIR	MTVI2	$1.5[2.5(R_n - R_g) - 2.5(R_r - R_g)] / \sqrt{[(2 \times R_n + 1)^2 - 6 \times R_n - 5 \times \sqrt{(R_r) - 0.5}]}$	Haboudane et al., 2004

[표 2.2.68] 드론 영상을 이용한 식생 및 토양 분석에 사용가능한 다양한 지수들(계속)

지 수	밴드대역	약어	산정공식	참고문헌
Chlorophyll vegetation index	Vis-NIR	CVI	$R_n \times R_r / R_g^2$	Vincini et al., 2008
Green normalized difference vegetation index	Green-NIR	gNDVI	$(R_n - R_g) / (R_n + R_g)$	Gitelson et al., 1996
Chlorophyll index-Green	Green-NIR	CI-G	$R_n / R_g - 1$	Gitelson et al., 2003
normalized green red difference index	Vis	NGRDI	$(R_g - R_r) / (R_g + R_r)$	Tucker, 1979
Green leaf index	Vis	GLI	$(2 \times R_g - R_r - R_b) / (2 \times R_g + R_r + R_b)$	Louhaichi et al., 2001
Visible atmospherically resistant index	Vis	VARI	$(R_g - R_r) / (R_g + R_r - R_b)$	Gitelson et al., 2002
Normalized difference red edge index	RE-NIR	NDREI	$(R_n - R_{re}) / (R_n + R_{re})$	Gitelson and Merzlyak, 1994
Chlorophyll index - Red Eedge	RE-NIR	CI-RE	$R_n / R_{re} - 1$	Gitelson et al., 2003
MERIS total chlorophyll index	RE-NIR	MTCI	$(R_{750} - R_{710}) / (R_{710} - R_{680})$	Dash and Curran, 2004
Modified chlorophyll absorption reflectance index	Red-RE	MCARI	$[(R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})] / (R_{700} / R_{670})$	Daughtry et al., 2000
Transformed chlorophyll absorption reflectance index	Red-RE	TCARI	$3[(R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})] / (R_{700} / R_{670})$	Haboudane et al., 2002
Triangular chlorophyll index	Red-RE	TCI	$1.2(R_{700} - R_{550}) - 1.5(R_{670} - R_{550}) \times \sqrt{R_{700} / R_{670}}$	Haboudane et al., 2008
Combined index with TCARI	Red-RE-NIR		TCARI/OSAVI	Haboudane et al., 2004
Combined index with MCARI	Vis-RE-NIR		MCARI/MTVI2	Eitel et al., 2007
Triangular greenness index	Vis	TGI	$-0.5 [( \lambda_r - \lambda_b)(R_r - R_g) - (\lambda_r - \lambda_g)(R_r - R_b)]$	Hunt et al., 2011

※ 자료 Hunt et al.(2011, 2013)

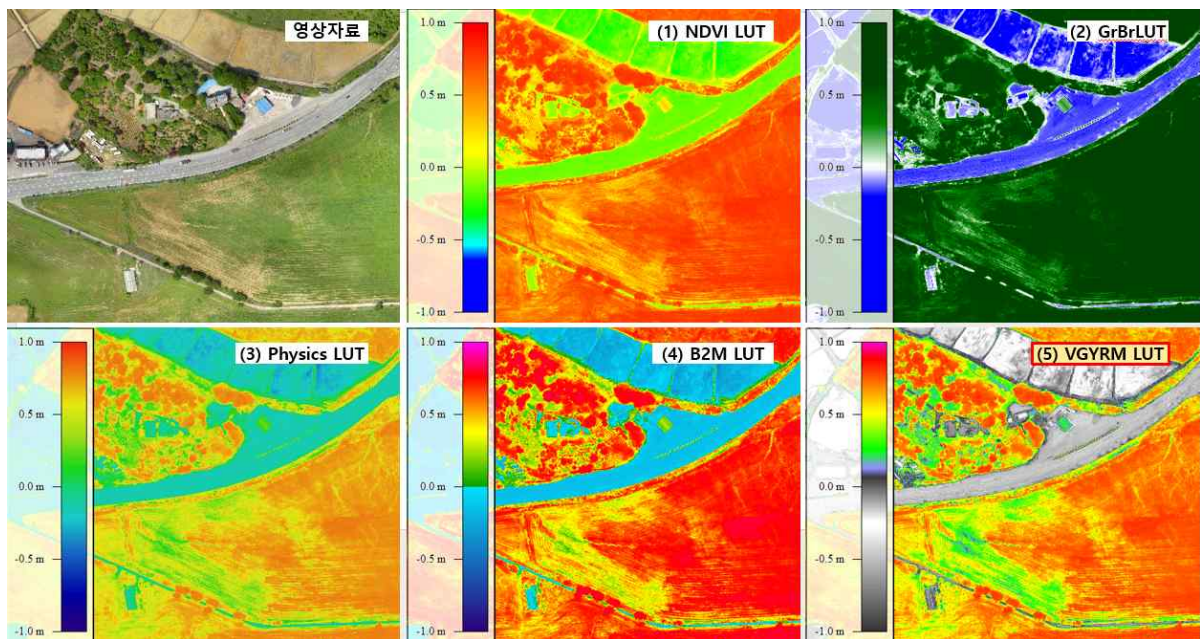
※ near infrared (NIR) (subscript n, 760 - 900 nm), red edge (RE) of chlorophyll absorption (re, 700 - 730 nm), red (r, 630 - 690 nm), green (g, 520 - 600 nm), blue (b, 450 - 520 nm), and visible (Vis, 450 - 690 nm). Red-RE and RE-NIR indices typically use narrow bands, whereas Red-NIR and Vis indices may use either broad or narrow wave bands.

대상지역 촬영에 사용된 카메라는 RGB (Sony DSC-WX220), RG-NIR (Canon Powershot S110) 파장대를 촬영하며, 영상처리 소프트웨어(Pix4d Mapper)에 탑재된 알고리즘을 반영하여 융합된 영상의 DN값 및 반사도 값을 저장한다. 2차년도 부터는 일죽면 죽림리 460번지 일원을 중심으로 드론영상을 촬영하였으며 반사도 값과 지상기준점의 매칭 등 후보정한 영상을 구축하였다. RGB와 NIR 밴드를 이용하여 분석 할 수 있는 NDVI, IPVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI, GLI, VARI, GRVI, MGRVI, RGBVI, TGI, ExG, ExR, ExGR, MExG 지수들을 검토하였다.

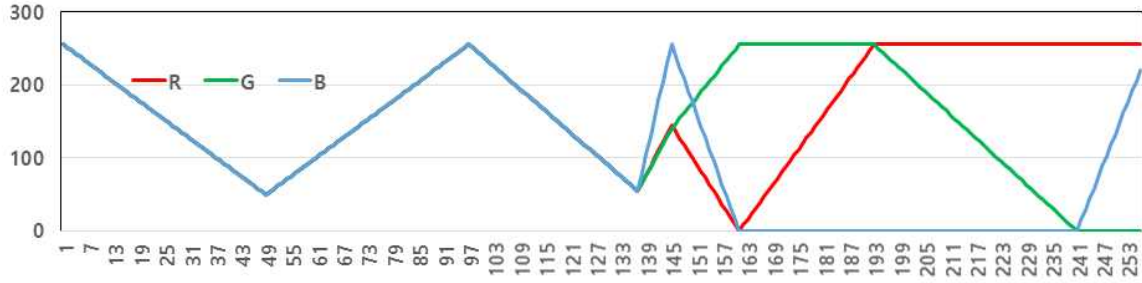
특히, RGB 영상만 확보된 경우, 예를 들어 적외선 카메라의 고장으로 인하여 RGB 영상만 촬영이 가능한 경우를 대비하여, 동일한 영역에 대하여 분석된 결과의 비교를 통하여 RGB 영상만으로 산출된 식생지수가 적외선 파장대를 포함한 결과와 어떠한 특성을 나타내는지를 중점적으로 비교하였다. 드론영상 촬영구역과 MODIS 영상의 픽셀을 매칭하여 해당영역에서의 분광특성(DN, 반사도 범위)도 비교함으로써 MODIS 영상을 이용한 식생지수와 차이를 파악하였다.

### (나) 드론영상의 식생지수 컬러매핑

드론영상을 이용한 식생지수는 일반적으로 -1에서 1사이의 값으로 표현되며 단일밴드로 구성된다. 그레이 스케일의 분석결과 각 픽셀값에 컬러를 매핑하여 RGB값으로 표현함으로써 채색된 공간정보를 표출할 수 있는데 여기에 룩업테이블을 이용할 수 있다. 룩업테이블이란 주어진 연산에 대해 미리 계산된 결과들의 집합을 의미하며 일반적으로 GIS/RS 소프트웨어의 palette color lookup table 또는 shader를 의미한다. 식생지수의 표현을 위한 컬러룩업테이블의 유형을 조사하였으며, 일반적으로 (1)(3)번의 LUT를 많이 사용하고 있다. (5)번의 VGYRM LUT는 영상처리 소프트웨어 Fiji에서 식생을 강조하기 위한 컬러매핑방법으로 제안된 바 있으며, 0 값을 기준으로 식생과 식생이 아닌 부분을 구분하면서 식생활력 정도를 나타낼 수 있는 룩업테이블로 본 연구의 RGB, NIR 영상 기반의 식생지수 산정의 표출에 적용하였다.



[그림 2.2.251] 식생지수의 컬러매핑 사례 및 적용

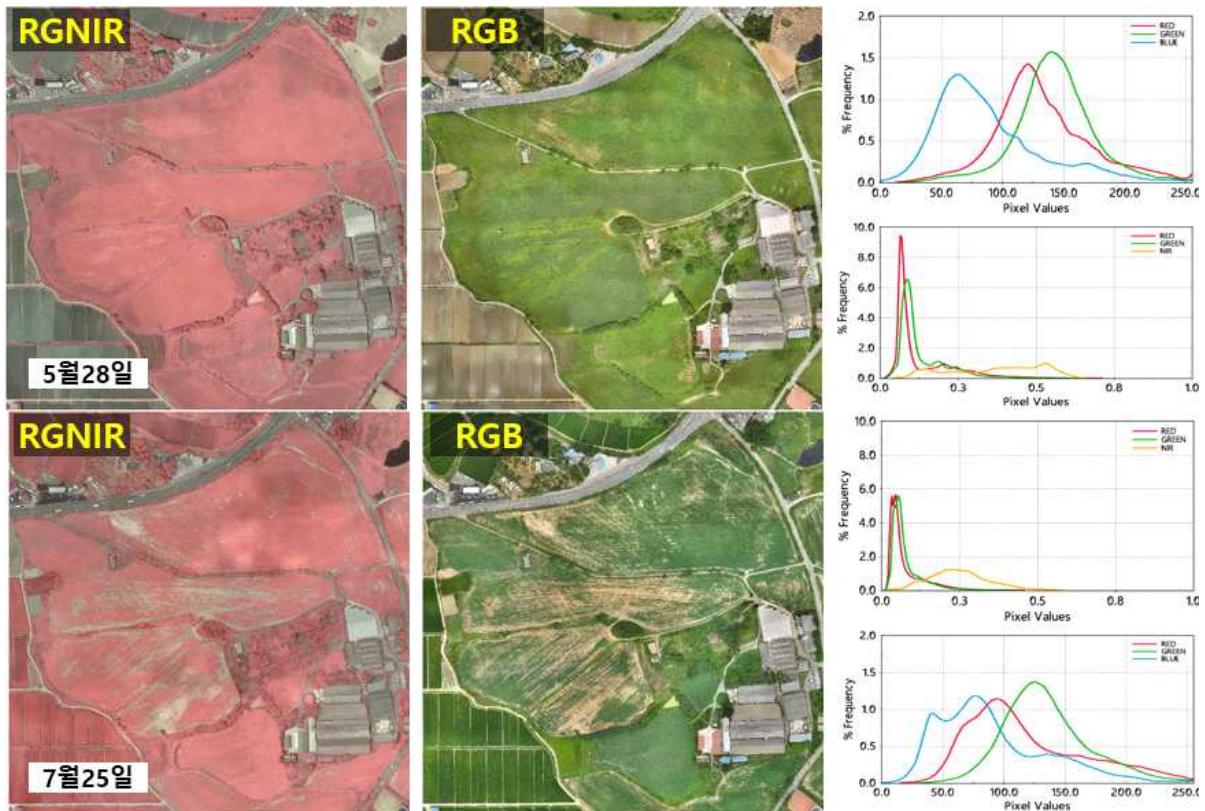


[그림 2.2.252] VGYRM LUT의 구성

(다) 드론영상을 이용한 국소적 모니터링 분석결과

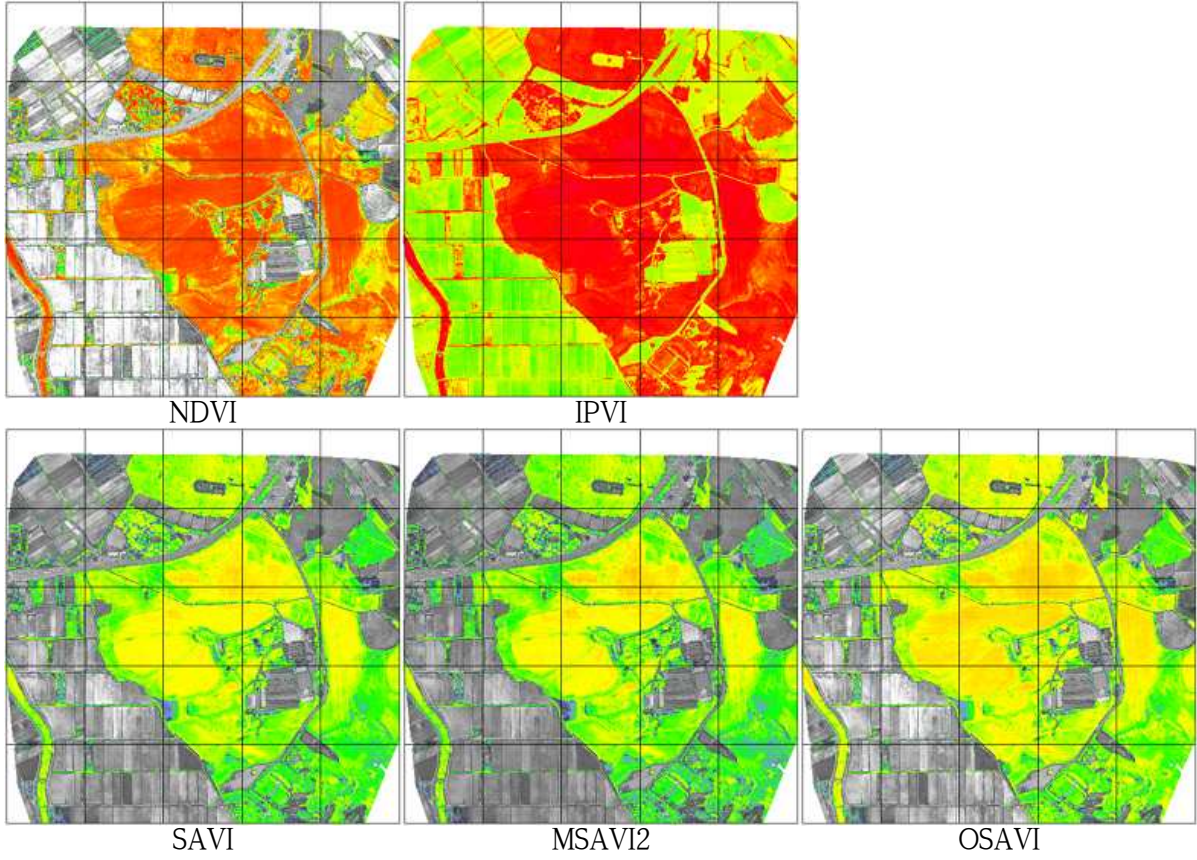
드론영상 취득을 위하여 사용되는 카메라의 센서는 RGB가 보편적이며, 농업가뭀이나 식생의 상태를 파악하기 위하여 NIR 밴드의 촬영이 가능한 RG-NIR, 또는 RE(Red Edge)-NIR 등의 카메라가 활용되고 있다. 동시에 4개 또는 5개 밴드를 촬영할 수 있는 다중분광 센서의 카메라도 활용되고 있으나 일반적으로 RG-NIR 카메라가 많이 이용되고 있으며, 본 연구에서도 RGB와 RG-NIR 밴드의 영상을 취득하여 분석에 활용하였다.

주기적으로 촬영하여 후처리한 NIR과 RGB 영상을 이용하여 앞서 제시된 NIR의 NDVI, IPVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI, 5개 공식, RGB의 GLI, VARI, GRVI, MGRVI, RGBVI, TGI, ExG, ExR, ExGR, MExG 10개 공식의 산정공식을 적용하여 영상을 분석하였으며, 이탈리아라이그라스가 재배중인 2018년 5월 28일과 사료용 옥수수 재배중인 2018년 7월 25일 영상의 분석결과는 아래 그림과 같다.

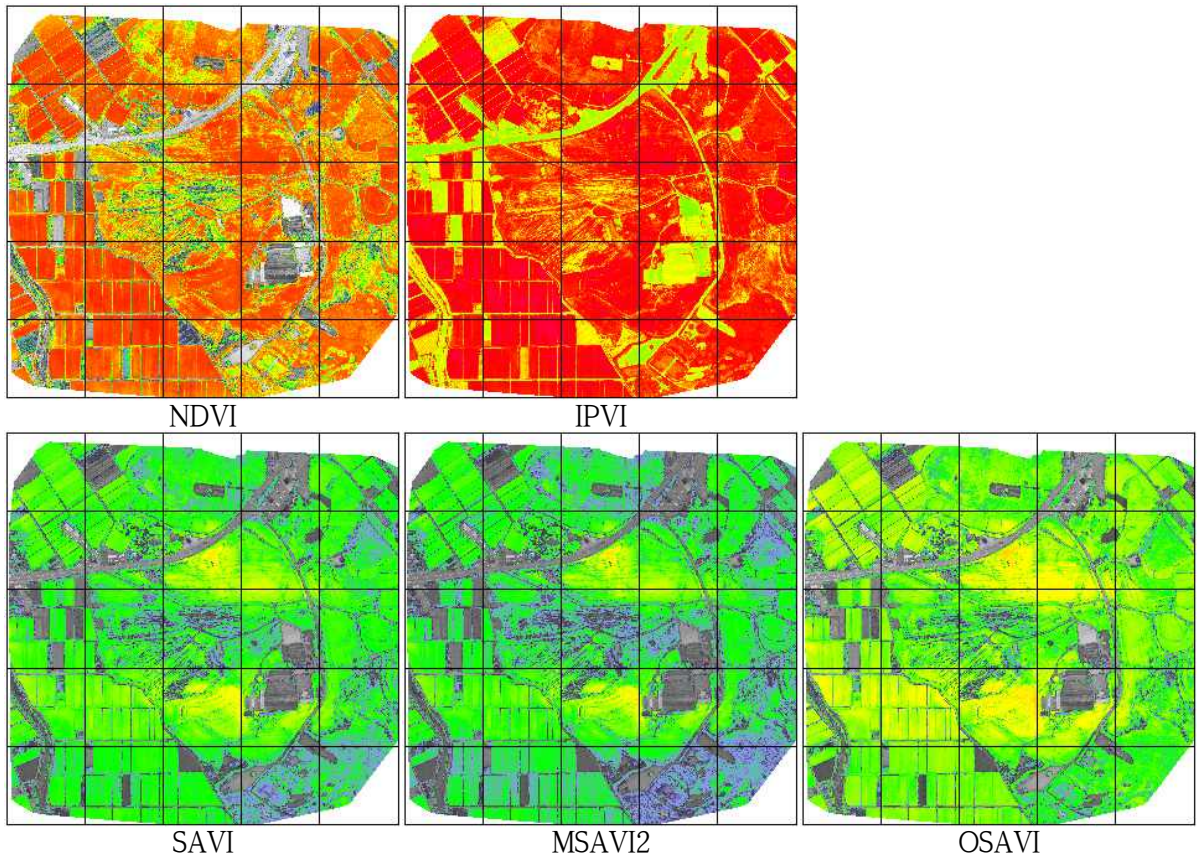


[그림 2.2.253] 사료작물 재배 NIR, RGB 영상

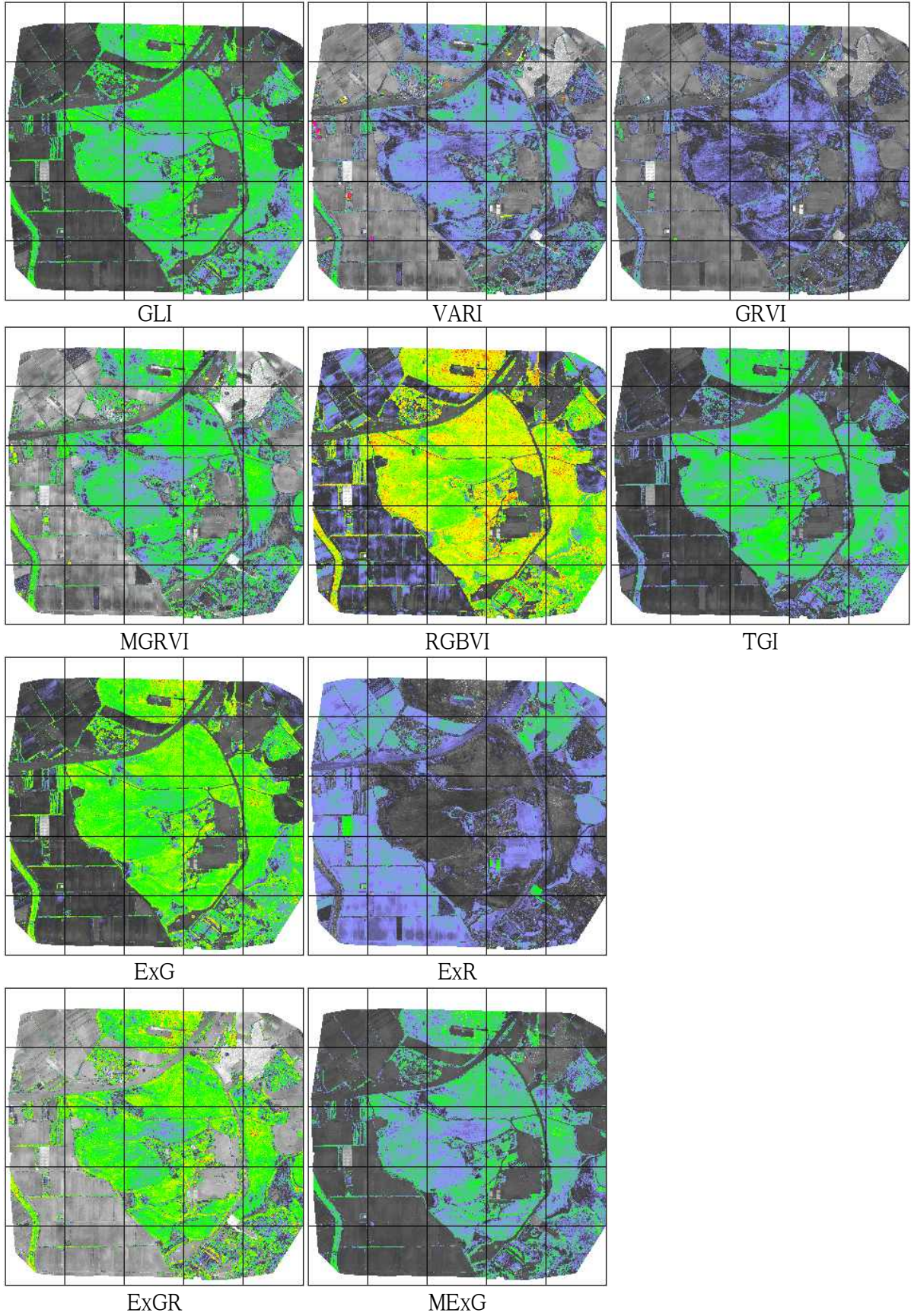




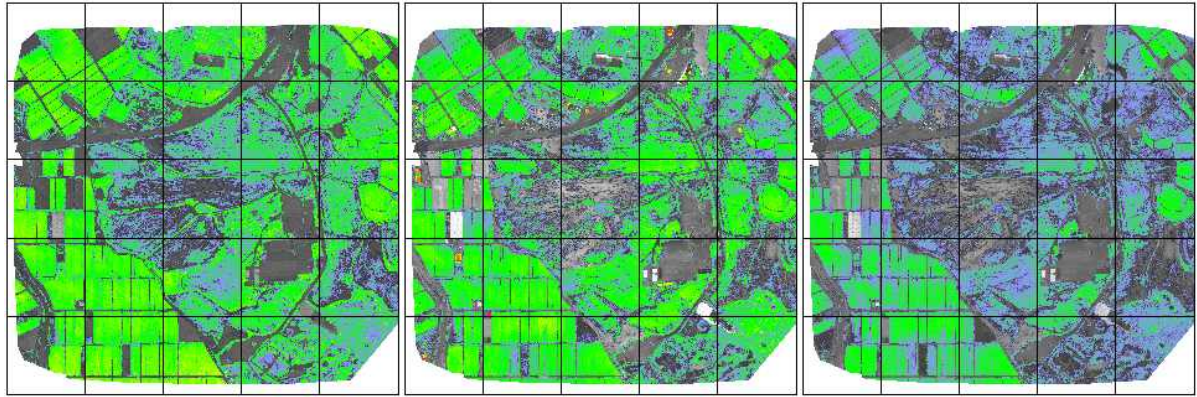
[그림 2.2.254] 2018년 5월 28일 NIR 영상 분석결과



[그림 2.2.255] 2018년 7월 25일 NIR 영상 분석결과



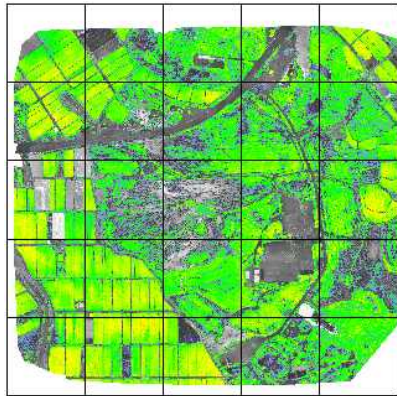
[그림 2.2.256] 2018년 5월 28일 RGB 영상 분석결과



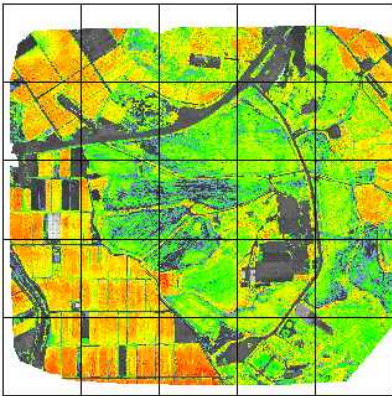
GLI

VARI

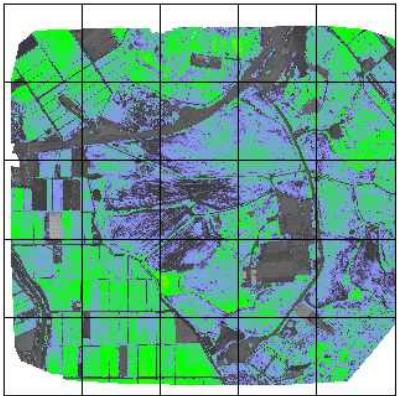
GRVI



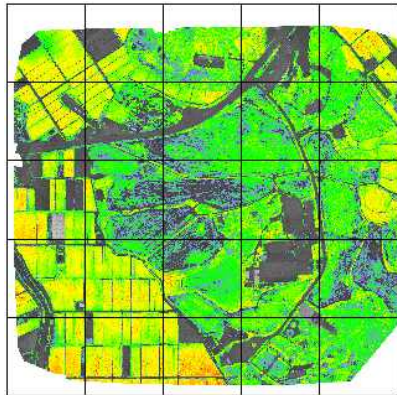
MGRVI



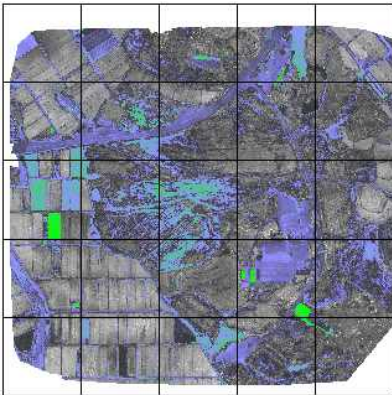
RGBVI



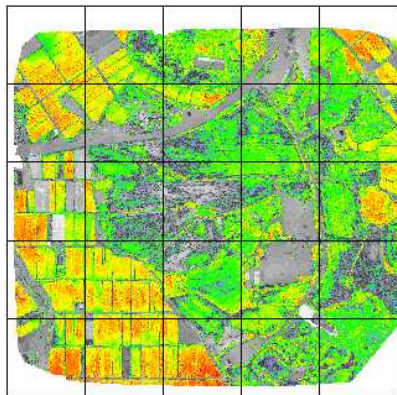
TGI



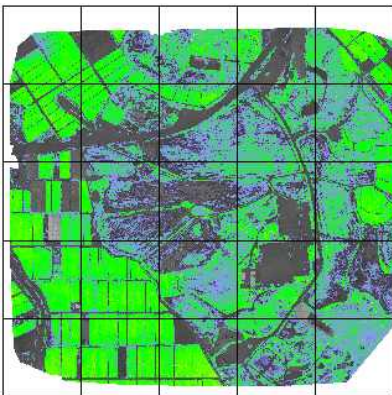
ExG



ExR



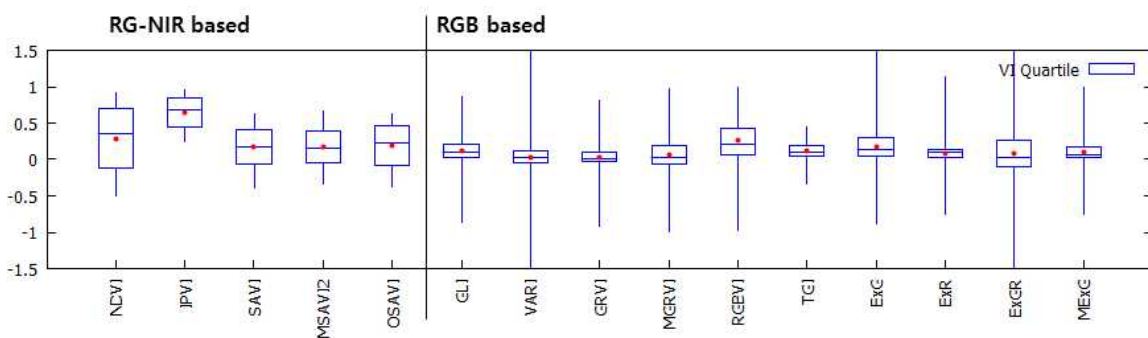
ExGR



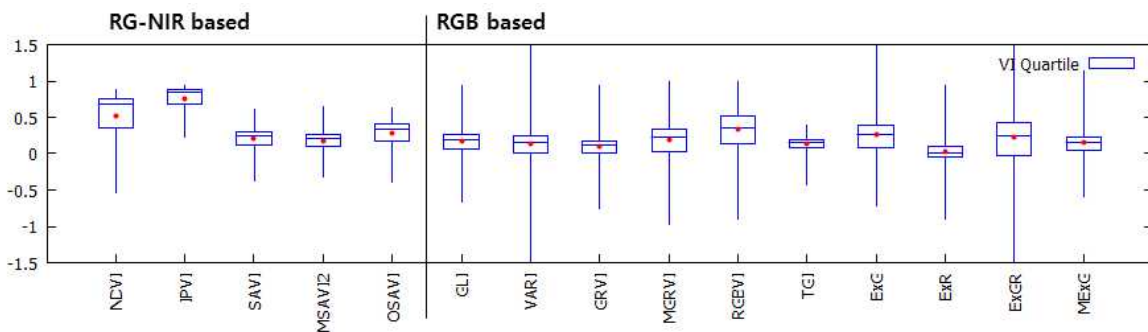
MExG

[그림 2.2.257] 2018년 7월 25일 RGB 영상 분석결과

두 시기의 분석결과가 통계적으로 나타나는 특성을 파악하기 위하여 식생지수별로 사분위수를 분석하여 도시하였다. NIR영상으로부터 산정된 식생지수는 -0.5~1.0 범위로 같이 분포하고 있으며, NDVI는 다른 지수에 비해 치우침의 정도가 크지 않은 것으로 나타났다. IPVI는 양의 값으로 식생의 상태를 나타내고 있으나 정규화된 식생지수인 NDVI에 비해 정보판별이 좋지 않은 것으로 평가된다. SAVI, MSAVI2, OSAVI는 유사한 분석결과를 제공하고 있으나 원영상과의 상태를 비교하면 OSAVI가 유용할 것으로 판단된다. RGB기반의 식생지수는 RGBVI, ExGR의 사용성이 있을 것으로 판단된다. RGBVI는 BR밴드와 G밴드사이의 관계를 반영한 것으로 적외선 파장대가 사용되지 않는 것으로 식생영역이 잘 나타나는 것으로 분석되었다. ExGR은 복합적인 산출식으로 녹색을 강조한 지수인 ExG와 적색밴드로 식생이 아닌 지역을 강조한 영상을 조합한 것으로 기타의 RGB 식생지수에 비해 적용성이 있을 것으로 판단된다.



2018년 5월 28일 사료작물 IRG



2018년 7월 25일 사료작물 옥수수

[그림 2.2.258] NIR 및 RGB 기반의 식생지수의 4분위수 분포특성

상기 제시된 영상 외에 모든 촬영 영상에 대하여 식생지수를 산정하였고 NDVI를 기준으로 변화추세를 파악하였다. 전체영상에서는 2018년 4월부터 식생지수가 증가하기 시작하고 6월초 감소하며, 6월25일 이후 증가되는 양상을 보이고 있다, 도로, 건물 등 다양한 피복이 포함되었으나 경작상태에 따른 영향을 나타내고 있다. 보다 세부적으로 상기 영상의 정 가운데 눈금에 해당하는 영역을 대상으로 사분위수를 분석한 결과는 성원목장의 IRG경작과 옥수수 경작의 시기에 따라 식생지수가 증감하는 추세를 명확하게 나타내고 있다. 참고로 6월25일은 완전 나대지 상태이다. RGB 기반 식생지수는 전체영역에 대하여 통계적인 특성만으로는 변화의 정도가 크게 나타나지 않았으나 식생이 집중된 목장영역에 대해서는 경작상태에 따른 변화를 시공간적으로 파악할 수 있는 것으로 분석되었다.



2018/04/17

2018/05/09

2018/05/28



2018/06/11

2018/06/25

2018/07/12



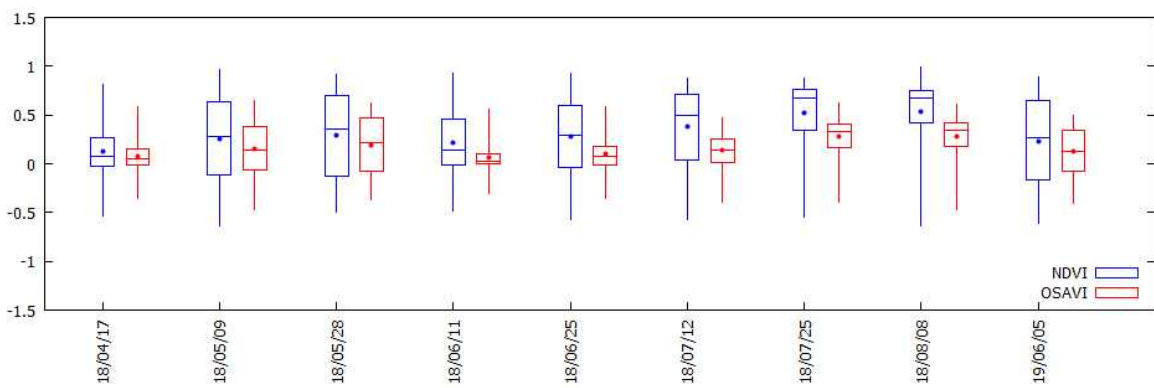
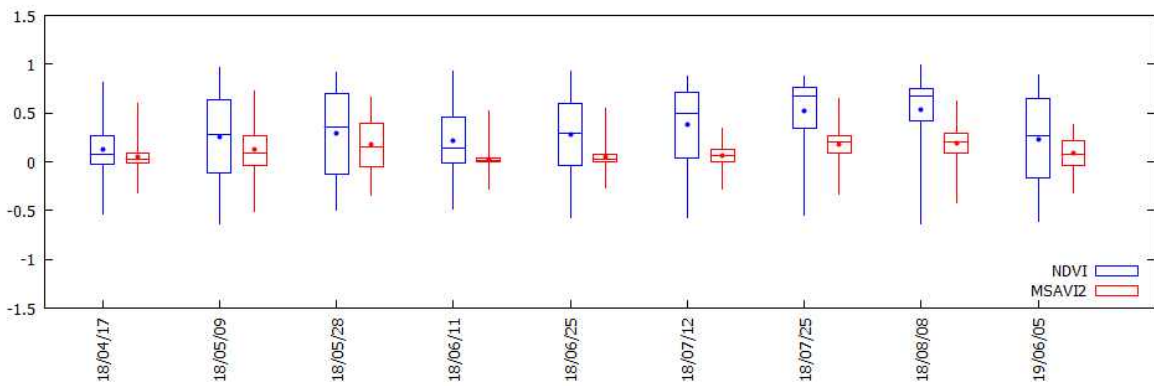
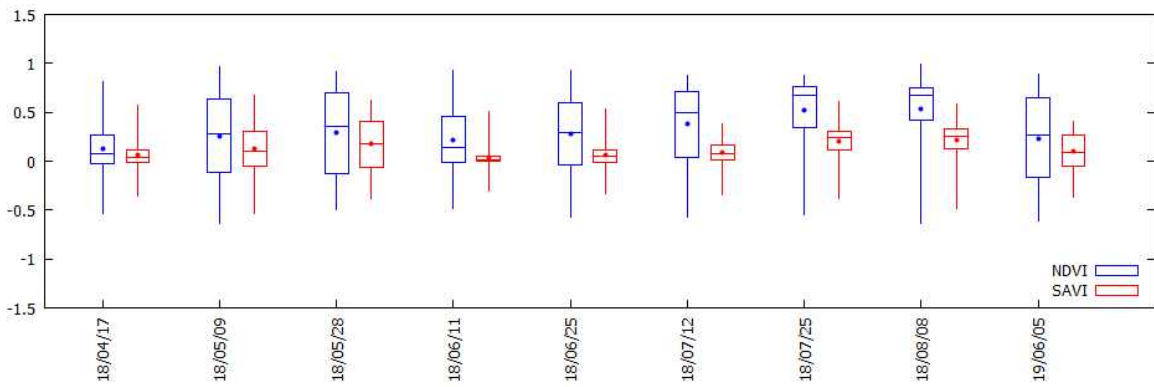
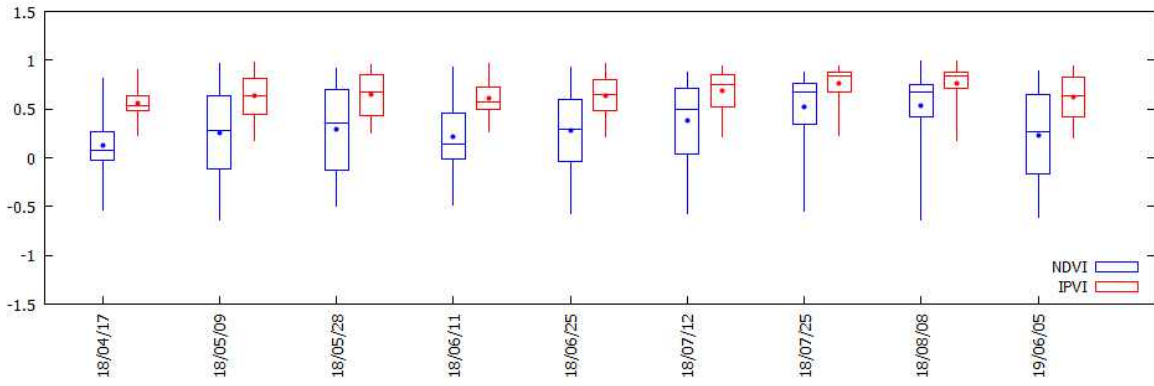
2018/07/25

2018/08/08

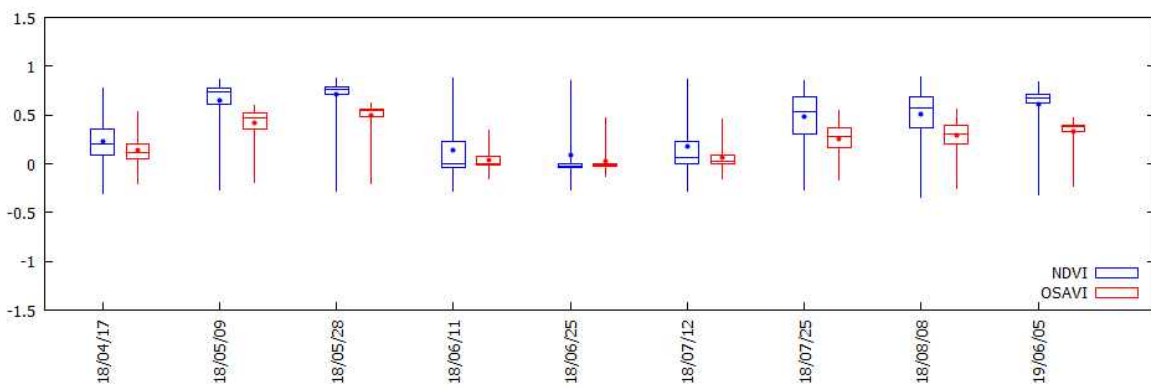
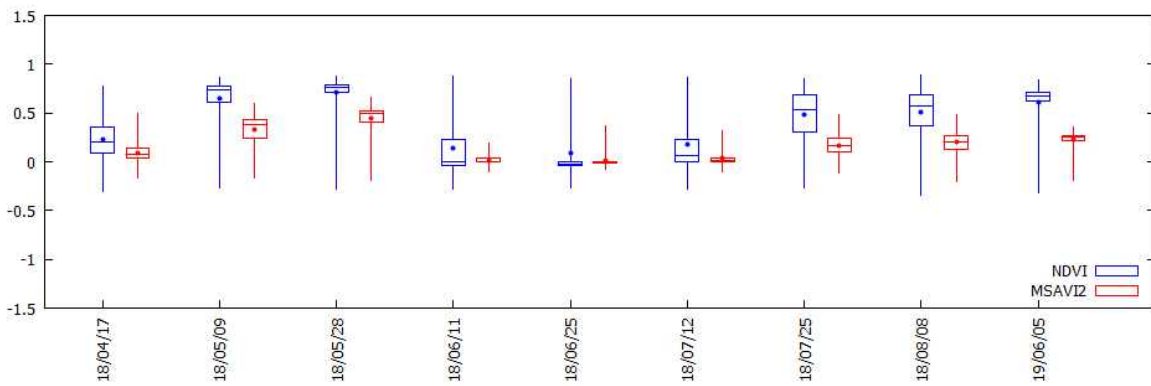
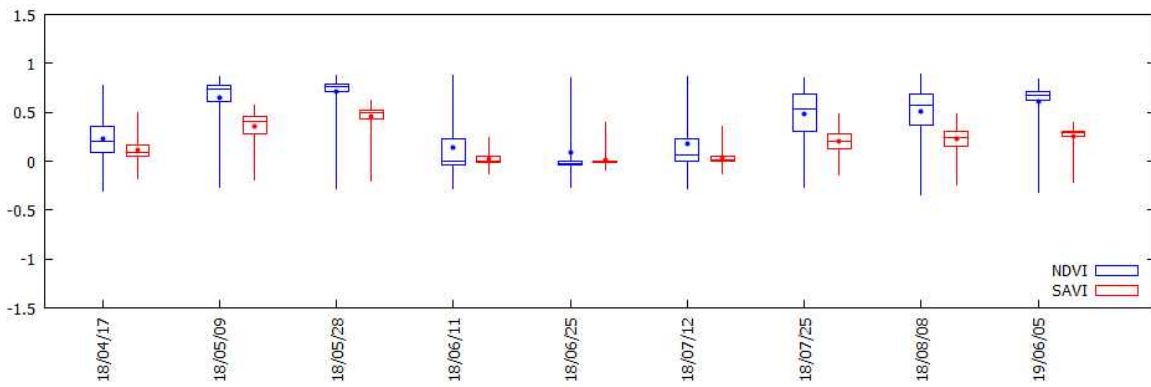
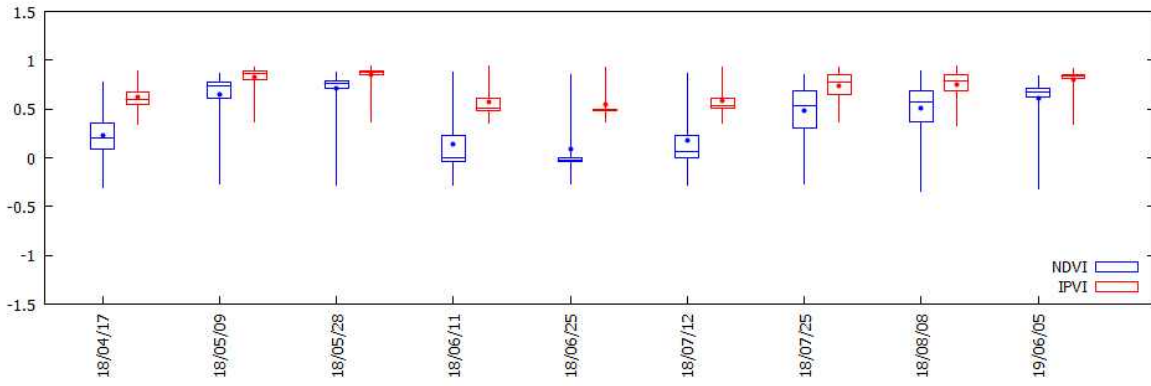
2019/06/05

[그림 2.2.259] RG-NIR 영상촬영일의 식생상태

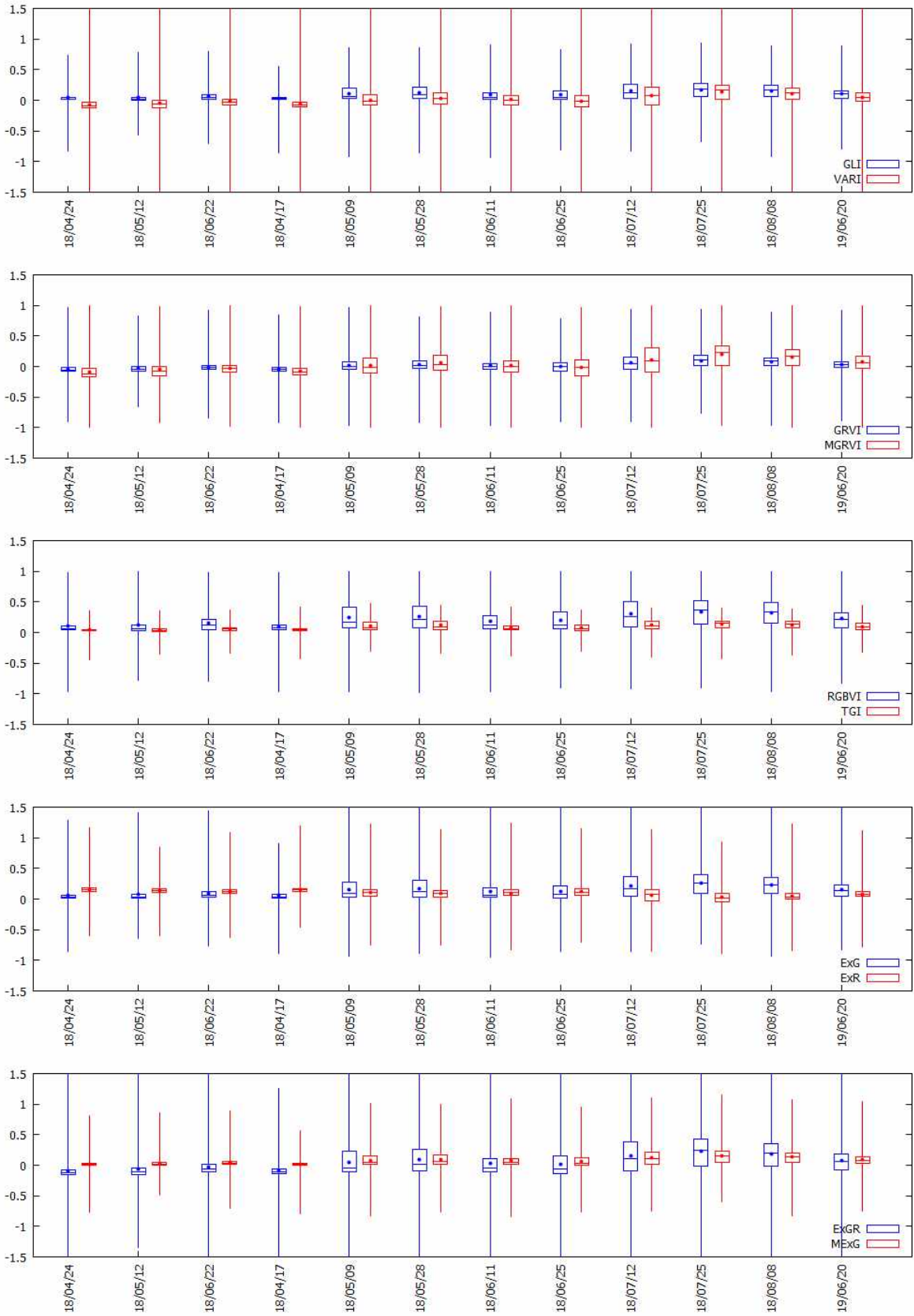
2019년도의 촬영영상은 기기문제로 인하여 NIR 2회(5월8일, 6월5일), RGB 1회(6월20일)촬영 가능하였으며, 처리영상의 위상오차, 반사도값 이상치 등 영상품질문제로 인하여 활용 가능한 영상이 제한적인 상황으로 6월5일 NIR영상, 6월20일 RGB 영상에 대해서만 분석이 가능하였다. 영상처리 오류 문제를 전용처리소프트웨어 적용시 다수 보완하고자 시도하였으나, 원시 촬영 영상에 기록된 정보의 오류로 인한 것으로 보완처리가 어려웠다. 따라서 본 연구의 결과는 2018년도를 중심으로 제시하고자 하였다.



[그림 2.2.260] NIR 기반의 식생지수의 시기별 분포특성(촬영영역전체)

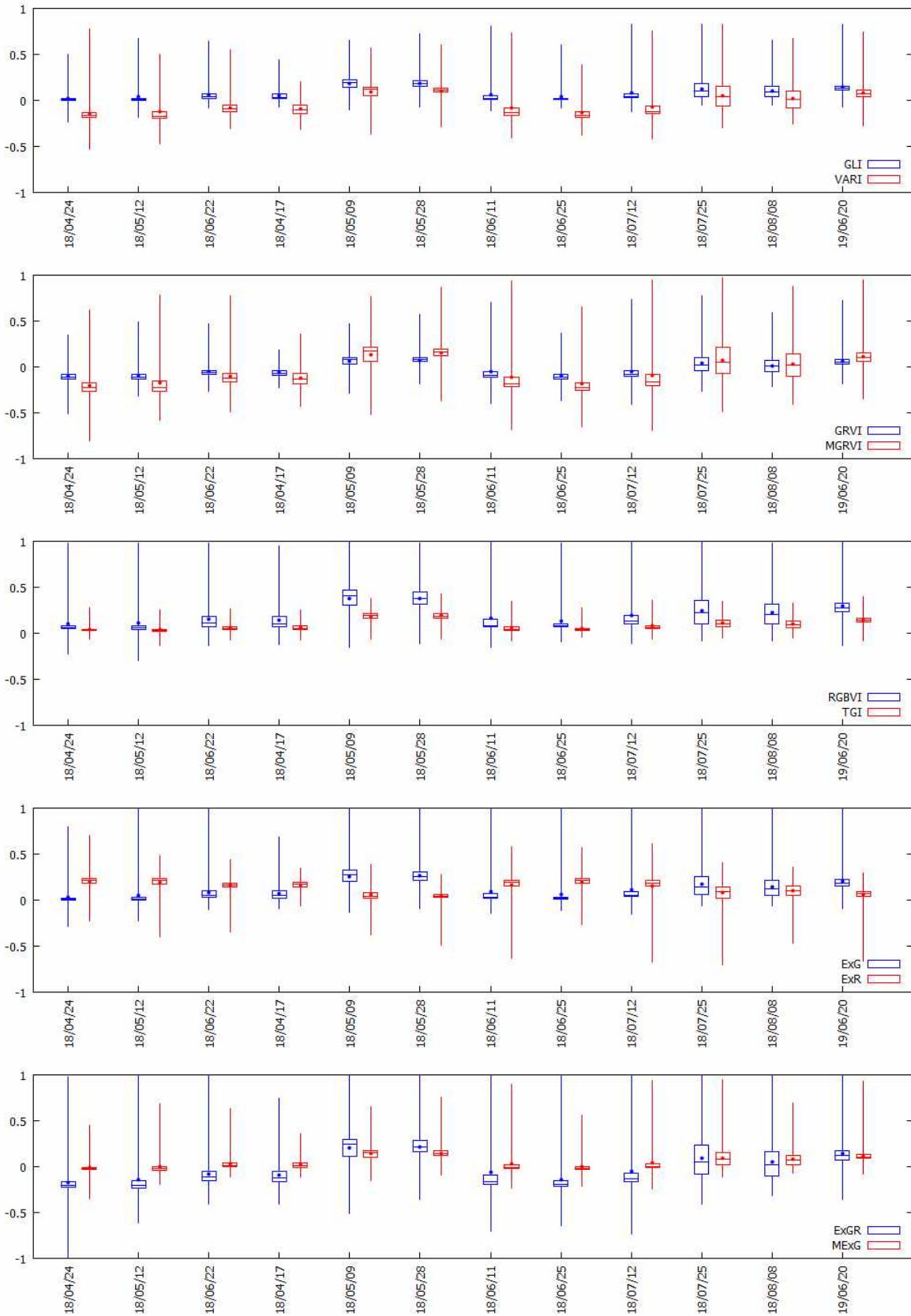


[그림 2.2.261] NIR 기반의 식생지수의 시기별 분포특성(영상중심부(성원목장))



[그림 2.2.262] RGB 기반의 식생지수의 시기별 분포특성(촬영영역전체)





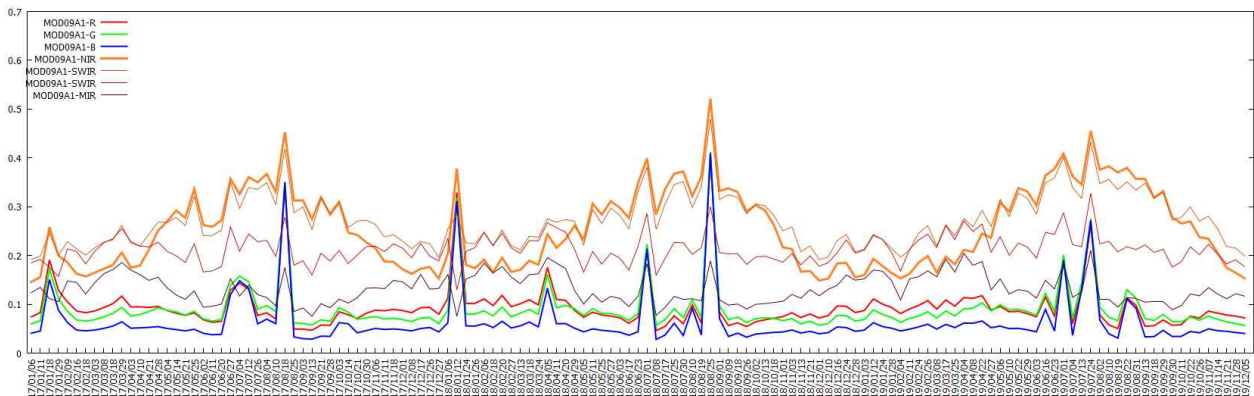
[그림 2.2.263] RGB 기반의 식생지수의 시기별 분포특성(영상중심부)

## 다. 위성영상(광역적)과 드론영상(국소적)의 분석결과 비교

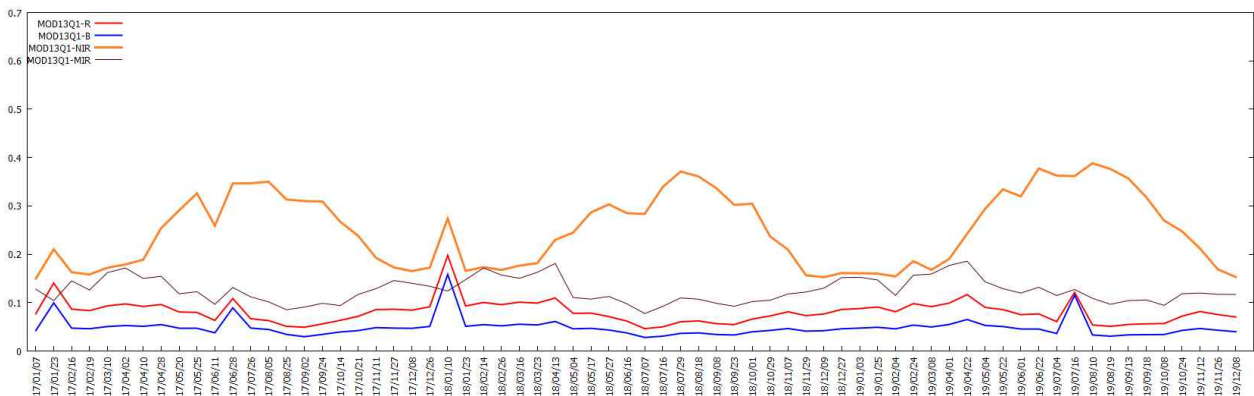
### (1) 위성영상과 드론영상을 이용한 가뭄상태 분석결과와의 비교

드론영상의 경우 해상도를 수cm 까지 표현할 수 있으므로 MODIS와 같이 중저해상도 위성 영상 1픽셀에 포함되는 영역에 대해 정보의 개수가 상당히 많다. 대상지역은 250m로 구성된 MODIS 영상 5×5 셀 영역에 포함되며, 드론영상의 해상도를 10cm로 설정할 경우 1셀 (250×250m)에 625만개의 셀이 포함된다. 드론영상간의 식생지수의 특성은 위에서 분석결과를 제시하였으며, 여기에서는 가뭄분석에 주로 이용되고 있는 MODIS영상의 프로덕트 중에서 MOD09A1의 분광밴드 R, G, NIR, MOD13Q1의 NDVI, EVI를 드론영상의 분광반사도 및 NDVI 분석결과와 비교하였다. MODIS영상의 비교를 위하여 MOD09A1와 MOD13Q1의 밴드 중 영상획득시기를 추출하였으며, 드론영상 촬영영역의 평균값을 출력하여 적용하였다.

MOD09A1의 반사도는 B 영역대가 낮고 NIR영역대가 높은 반사도를 나타내고 있다. 겨울의 반사도는 낮고 6~9월 사이는 높은 값을 나타내는 패턴을 보인다. 2018년 1월의 경우 겨울임에도 높은 반사도를 나타내는 경우가 있는데, 이것은 눈으로 인한 영향일 수 있다. 16일간격으로 제공되는 MOD13Q1영상의 R, B, NIR, MIR 밴드의 경우에도 유사한 경향을 보인다.

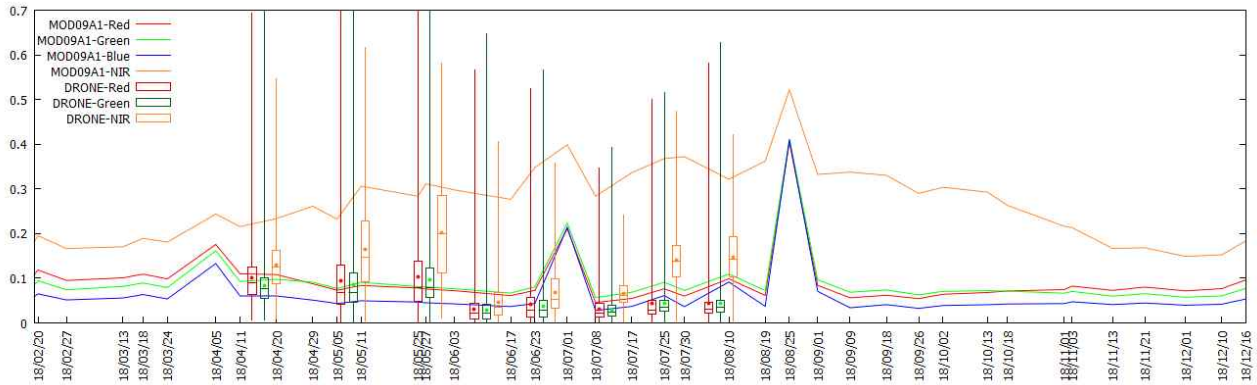


[그림 2.2.264] MOD09A1 프로덕트 드론촬영지역 분광반사도(2017-2019)

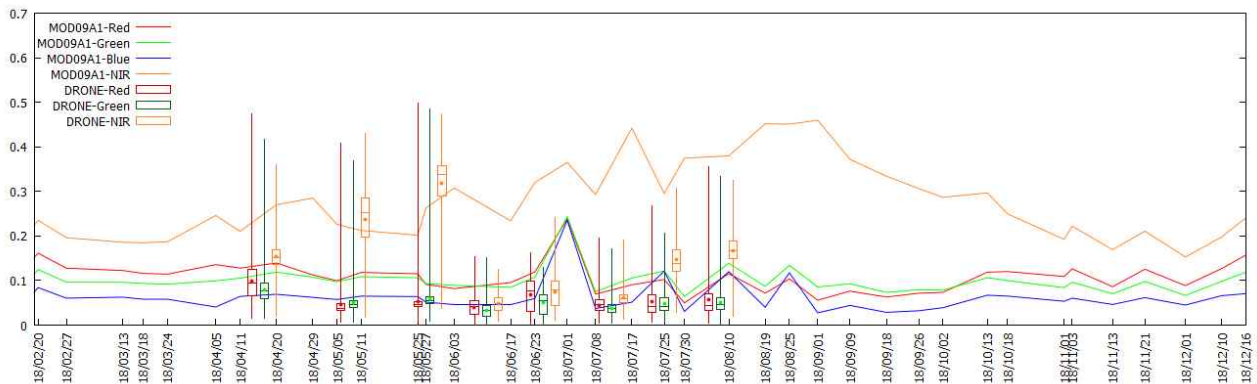


[그림 2.2.265] MOD13Q1 프로덕트 드론촬영지역 분광반사도(2017-2019)

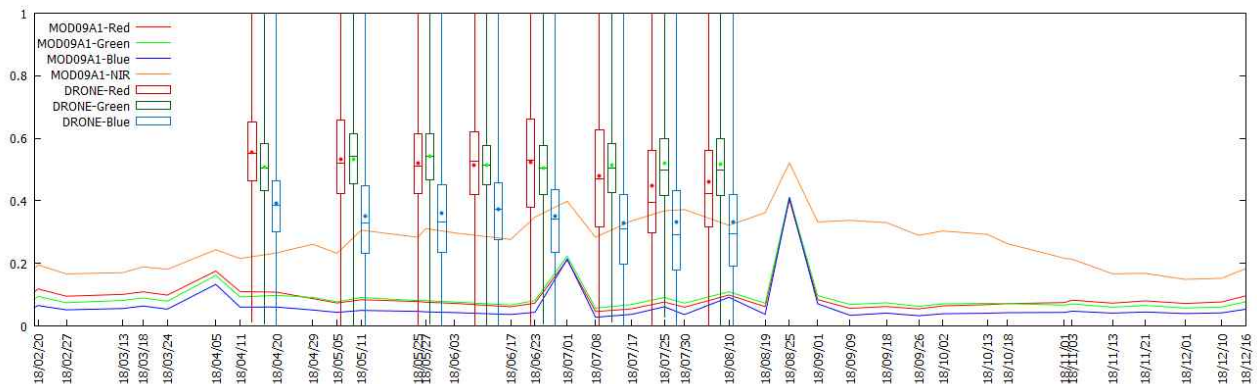
MOD09A1과 드론NIR영상의 평균 반사도 값은 차이를 나타내고 있으나 변동하는 양상이나 R-G-NIR밴드 간의 반사도 관계에 대해서는 유사한 경향을 나타내고 있는 것으로 분석된다. 촬영환경, 카메라센서의 분광 파장대 및 DN을 반사도로 처리하는 과정에서 나타나는 차이로 판단된다. NIR영상을 이용한 가뭄모니터링에서 MOD09A1 영상의 반사도 값의 처리를 고려한 영상분석을 생각할 수 있겠으나 해상도의 차이가 상당하므로 향후 데이터를 더 구축한 후 드론영상 식생지수의 보정계수로 활용하는 방안의 연구를 고려해 볼 수 있을 것이다.



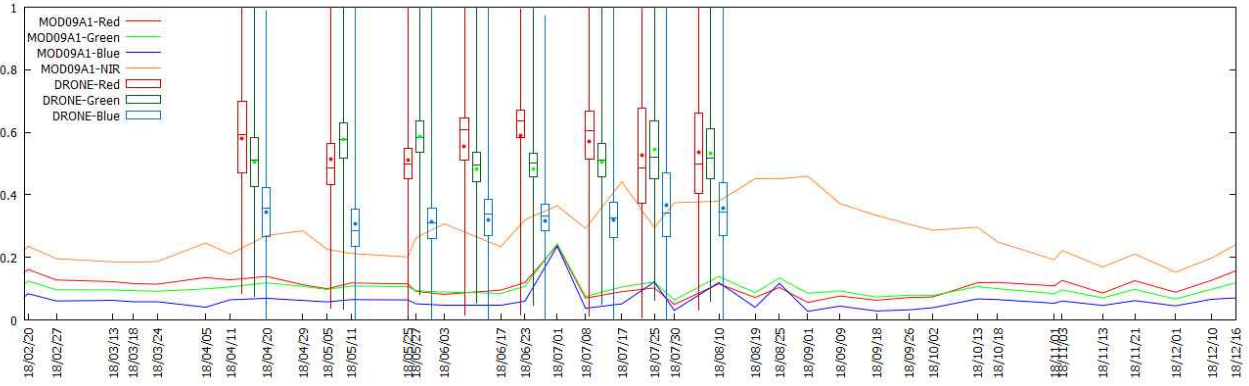
[그림 2.2.266] 월정리 드론촬영 전체영역 드론NIR과 MOD09A1 분광반사도 비교(2018)



[그림 2.2.267] 월정리 성원목장 경작지역 드론NIR과 MOD09A1 분광반사도 비교(2018)



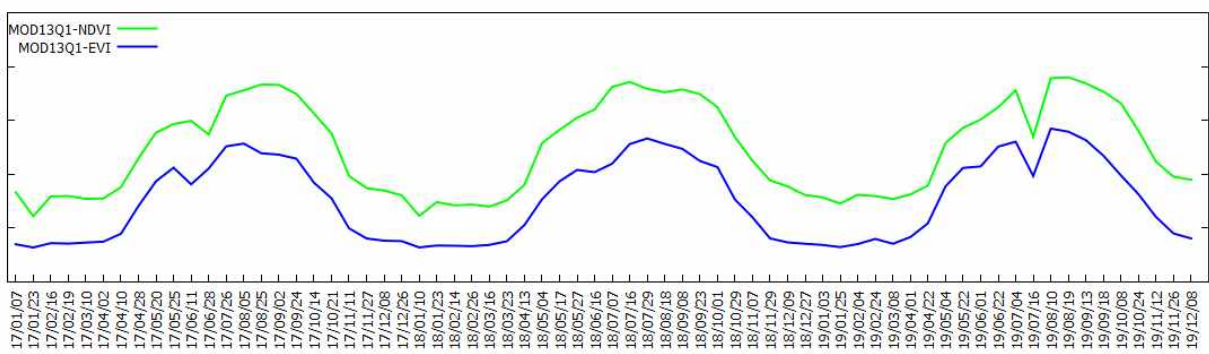
[그림 2.2.268] 월정리 드론촬영 전체영역 드론RGB와 MOD09A1 분광반사도 비교(2018)



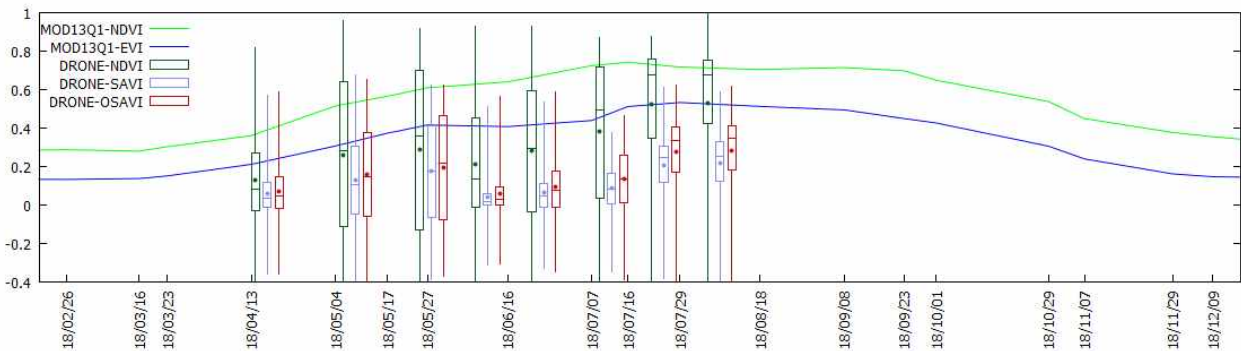
[그림 2.2.269] 월정리 성원목장 경작지역 드론RGB와 MOD09A1 분광반사도 비교(2018)

RGB 영상은 DN을 정규화한 값과 비교하였으며 특별한 경향성을 나타내고 있지는 않지만 밴드간 값의 높낮이가 MODIS09A1과 유사한 것으로 파악된다. 이와 같은 특성으로 반사도 값으로 환산하지 못하는 경우 정사 보정된 RAW DN 값으로도 식생의 분석이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구의 RGB기반 식생지수 공식들은 TGI를 제외하고 반사도 또는 RAW DN값의 적용이 가능한 공식들이다.

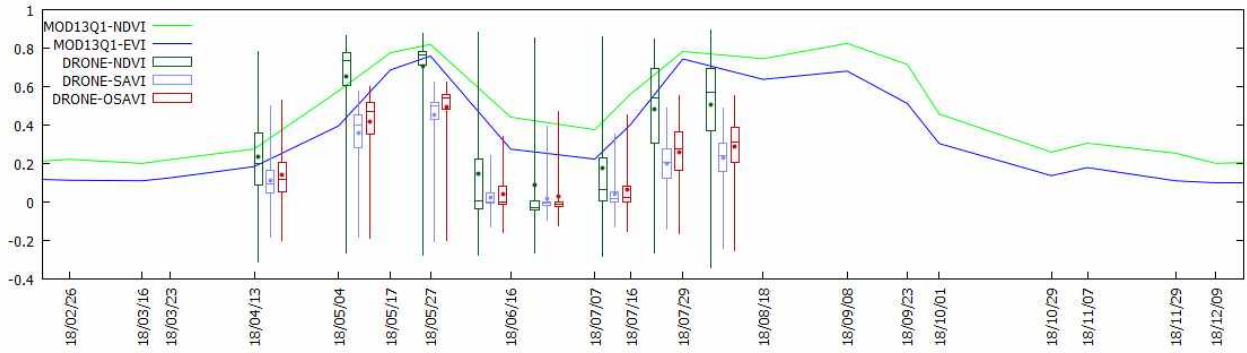
드론촬영지역에 대한 MOD13Q1 프로덕트의 식생지수는 계절에 따른 식생의 상태변화를 잘 반영하고 있으며 EVI는 NDVI보다 낮은 값을 나타내고 있다. 식생지수의 분포범위는 0~0.8을 나타내고 있으며 저해상도이므로 상대적으로 많은 부분을 차지하고 있는 식생 및 투수영역 상태가 고려된 결과로 판단해 볼 수 있다.



[그림 2.2.270] MOD13Q1 프로덕트 드론촬영지역 식생지수(2017-2019)

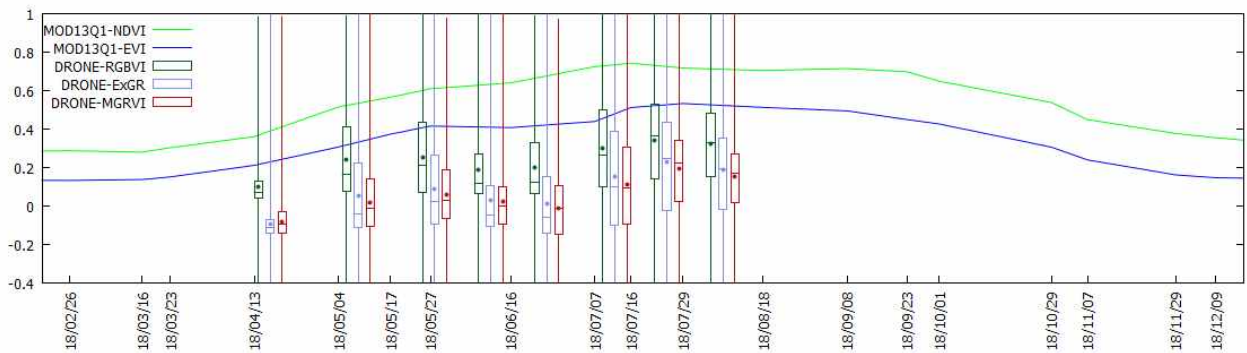


[그림 2.2.271] 월정리 드론촬영 전체영역 드론NIR과 MOD13Q1 식생지수 비교(2018)

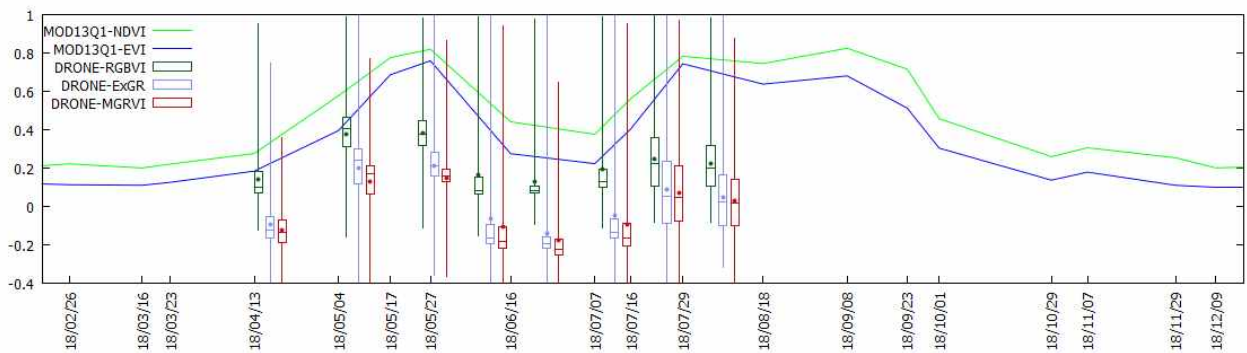


[그림 2.2.272] 월정리 성원목장 경작지역 드론NIR과 MOD13Q1 식생지수 비교(2018)

MOD13Q1 프로덕트와 NIR영상기반 식생지수를 비교한 결과, 드론촬영 전체영역에서는 드론 NDVI가 MOD13Q1 EVI에 가까운 특성을 나타내었으며, 성원목장 경작지역에 대해서도 경향성을 잘 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 토양과 관련된 지수인 SAVI의 경우 MOD13Q1의 식생지수에 비해 낮은 값을 보이고 있으나 유사한 변화추세를 나타내고 있다. RGB영상기반 식생지수로 위에서 드론NDVI와 유의미한 결과를 나타내었던 RGBVI, ExGR, MGRVI 를 비교한 결과 드론촬영 전체영역과 성원목장 경작지역 모두에서 RGBVI가 EVI와 통계적으로 가까운 값을 나타내었으며, 경작지역에서는 뚜렷한 변화를 나타내고 있어 대상지역에 대하여 가장 적용성이 높은 RGB기반 식생지수로 분석되었다. 본 연구의 영상획득 및 처리과정에 따른 드론영상의 식생지수가 광역적 위성영상과 유의미한 관계를 나타냄을 의미하며, 앞서 분광특성 비교 결과를 통해 언급한 드론영상 처리의 보정계수로 활용하는 방안의 가능성을 나타내었다.



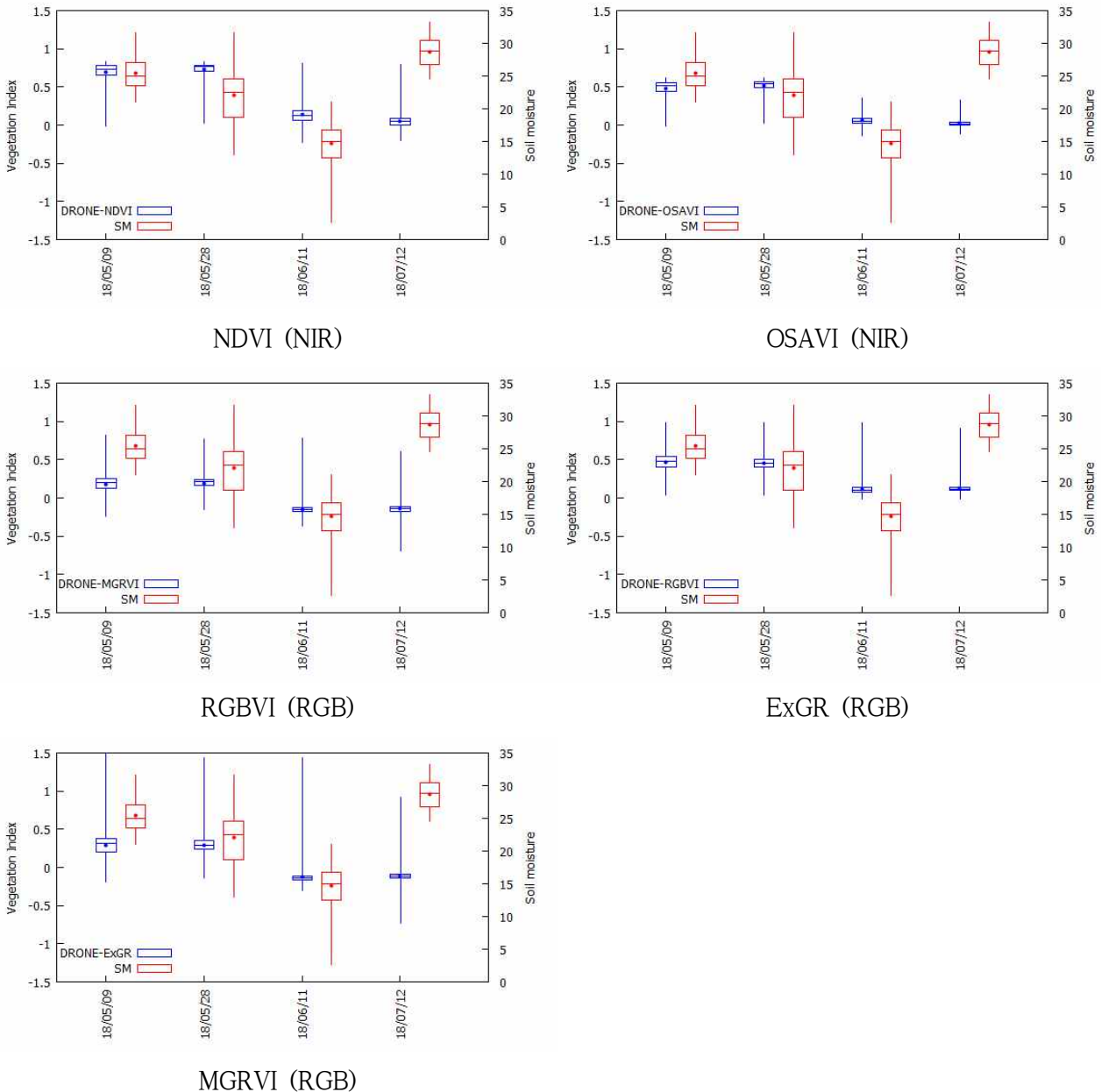
[그림 2.2.273] 월정리 드론촬영 전체영역 드론RGB와 MOD13Q1 식생지수 비교(2018)



[그림 2.2.274] 월정리 성원목장 경작지역 드론RGB와 MOD13Q1 식생지수 비교(2018)

## (2) 드론영상기반 모니터링 자료와 토양수분 측정자료 비교

드론 NIR 및 RGB 영상으로부터 산정된 식생지수 중에서 유용성이 있다고 판단된 NDVI, OSAVI, RGBVI, ExGR, MGRVI와 토양수분 측정자료의 공간적 분포특성을 비교하였다. 공간적 범위는 토양수분측정 72개 지점이 위치한 필지이다. 지수별로 차이가 있으나 분석값의 출현 범위가 토양수분과의 경향성을 나타냄에 따라 동일시기에 현장에서 취득한 토양수분측정자료의 활용가능성을 파악하였다.



[그림 2.2.275] 토양수분 측정지점의 드론식생지수 비교

## (2) 영상자료에 따른 가뭄모니터링의 특성

원격탐사를 통하여 획득된 지상의 영상자료는 가뭄을 공간적으로 파악하는데 유용하게 활용되고 있다. MODIS와 같은 중저해상도 위성영상자료는 한번에 넓은 지역을 파악할 수 있으며 3개의 가시광선 밴드와 4개의 적외선 밴드를 영상으로 다양한 연구를 통해 개발된 지수들

을 분석하여 활용할 수 있다는 장점이 있다. 해상도 측면에서는 주로 사용하는 영상들이 250~1000m로 1개의 점을 표현하는데 그 안에는 다양한 지물들이 포함되므로 정밀도가 높지 않은 단점이 있다. 거의 매일 동일한 지역이 영상이 촬영되고 있으나 대기의 산란 및 흡수, 구름 및 구름에 의한 그림자 등의 영향이 최대한 제거되어야 지상의 상태를 분석하는데 정확도가 높아지므로 8일 또는 16일 기간 동안 촬영된 영상 중에서 최상의 상태를 반영할 수 있는 데이터를 처리한 Level-3영상을 분석에 주로 사용하고 있다. 시간적인 측면에서 일정한 기간에 동일한 영상을 획득할 수 있는 부분에서는 장점이 될 수 있으나 영상촬영과 보정을 거쳐 최종적인 영상이 제공되기까지 8일 주기 영상은 10~20일, 16일 주기영상은 17일~31일정도 소요되는 것을 데이터파일에 기록된 사항들로부터 확인할 수 있다. 따라서 최근 20일에서 1개월 이전까지의 영상자료를 활용한 분석이 가능하므로 최신자료 업데이트에 시간이 다소 소요되는 것을 알 수 있다. 그러나 MODIS영상은 동일지역에 대하여 과거부터 현재까지 오랜기간 동안 통계적 특성을 이용할 수 있는 상당한 자료(8일 간격의 경우 현재까지 800장 이상)가 구축되어 있는바 데이터의 활용 측면에서 드론영상보다 유리하다.

드론과 광학카메라를 이용한 분석은 필요한 일자에 고해상도의 지상영상자료를 획득할 수 있다는 부분이 위성영상과 비교하여 가장 큰 장점이 될 수 있다. 동시에 B-G-R-NIR, 또는 B-G-R-RE-NIR 파장을 촬영할 수 있는 다중분광카메라, 분광파장 500~950nm 구간을 50밴드로 나누어 촬영할 수 있는 초분광카메라의 활용도 가능하다. 그러나 다중분광 또는 초분광카메라의 경우 가격이 수백에서 수천만원에 이르는 고가장비로서 드론의 비행 중 추락 또는 착륙시 충격 등을 고려하면 운용을 하는데 부담이 될 수 있으므로 일반적으로 R-G-B, R-G-NIR 카메라를 이용하여 번갈아가며 영상을 촬영하는 것이 부담이 적다고 할 수 있다.

드론의 체공시간에 따라 1회 비행시 촬영 가능한 면적이 제한적이고 공간해상도를 어떻게 설정하는가에 따라 촬영된 영상의 개수와 용량에 차이가 크다. 대상지역과 같이 1200m×1200m (144ha)의 영역에 대하여 10cm의 공간해상도를 가지는 R-G-B, R-G-NIR 영상을 산출하기 위하여 영상의 개수는 각각 약280장, 약240장 촬영되어야 하며, 영상의 용량은 각각 약2GB, 약10GB 정도가 된다. 영상의 처리를 위하여 고성능, 고용량의 시스템을 이용하더라도 영상의 정합과 보정에 많은 시간이 소요되며, 공간해상도가 늘어날수록 처리시간은 더 많이 증가한다. 처리된 영상의 용량은 DN값의 경우 약200MB, 반사도값의 경우 약1GB이상이므로 고용량이며 영상의 처리를 위한 특정소프트웨어도 필요할 뿐만 아니라 영상의 분석에도 고사양의 시스템과 시간이 필요하다. 즉, 원하는 일자의 고해상도 영상을 획득할 수 있다는 장점도 있지만 위성영상자료 분석에 비해 고사양의 분석시스템과 처리기술이 요구되는 점에서 차이가 있다고 할 수 있다. 드론의 가뭄모니터링 활용과 관련하여, 특정한 대상지역의 정밀한 촬영은 가능하지만 과거의 자료가 충분하지 않아 현재는 과거 영상특성을 반영한 분석보다는 촬영시기별로 영상분석을 적용할 수밖에 없는 상황이다. MODIS영상을 활용한 분석은 매우 장기간의 데이터를 축적함으로써 다양한 분석이 가능하였다. 따라서 드론영상의 활용과 관련하여 동일 장소 또는 특정 작물에 대하여 주기적이고 장기적인 모니터링 자료를 구축해나가는 것이 중요할 것으로 판단된다.

라. 가뭄상태 판단을 위한 영상 DB구축

(1) 대상지역 경작지 드론영상 DN 및 지수 DB구축

안성시 일죽면 죽림리 460번지 일원의 목장에는 사료용작물을 재배하여 축산에 활용하는 지역으로 이탈리아 라이그라스(IRG)와 사료용 옥수수를 번갈아 재배하고 있다. 5월 또는 6월에 서 9월까지의 사료용 옥수수를 재배한다.

구분	월											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
					옥수수(만생)			귀리(조생)				
경기남부, 충북, 충남	호밀(조생)			옥수수(중생)						호밀(조생)		
평야지역	IRG(극조생)			옥수수(중생)						IRG(극조생)		
(1월 최저평균 기온 -9°C 이상)	IRG(조생)			수수류 (중생, 2회 수확)			IRG(조생)					
	청보리(조생)			수수류 (중생, 2회 수확)			청보리(조생)					
	열동귀리 및 TC(조생)			수수류 (만생, 1회 수확)			열동귀리 및 TC(조생)					
	IRG(극조생)			수수류 (만생, 1회 수확)			귀리+IRG(극조생)		귀리 수확	IRG 재배		

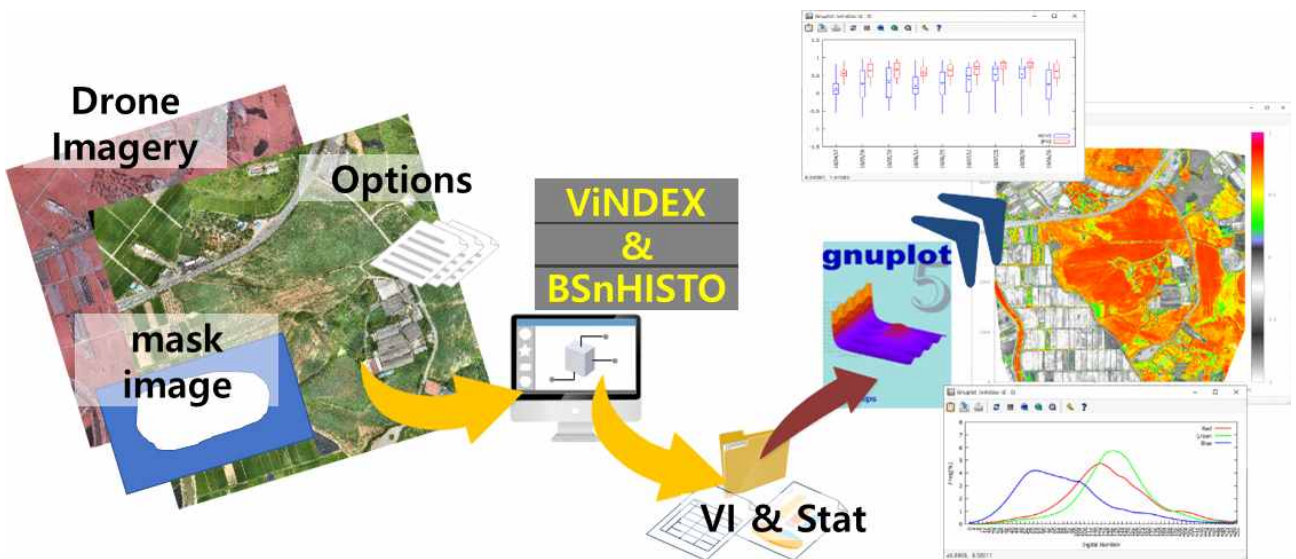
[그림 2.2.276] 중부지역 밭의 사료작물 작부체계 설정



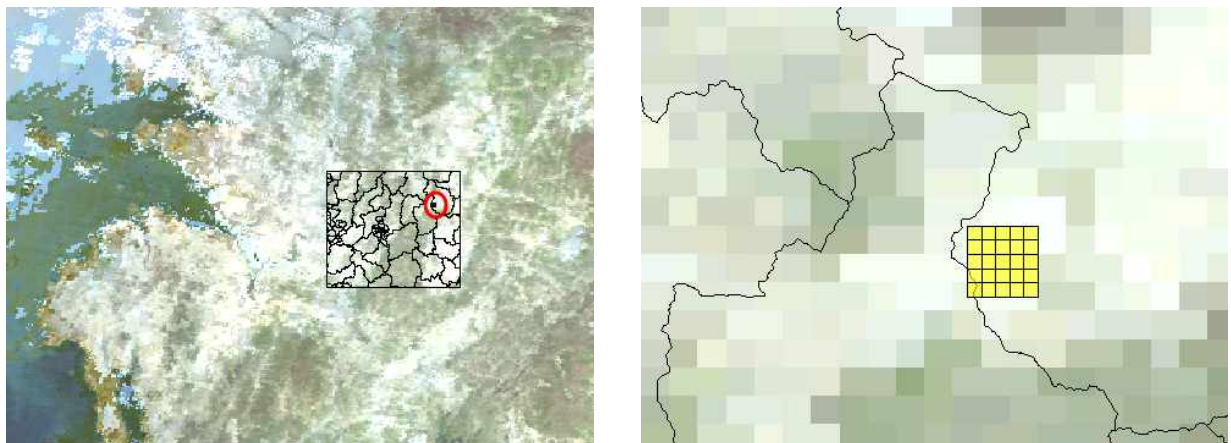
[그림 2.2.277] 사료용 옥수수의 주요 성장과정(강원농작물도감)



획득된 영상의 가뭄모니터링 활용가능 분석처리방법들을 검토하였고 NIR의 NDVI, IPVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI 5개 공식, RGB의 GLI, VARI, GRVI, MGRVI, RGBVI, TGI, ExG, ExR, ExGR, MExG 10개 식생지수 산정공식을 선정하였으며, 분광특성, MODIS영상과의 분광 및 공간적 분포특성을 분석하였다. 활용가능성이 높은 식생지수로서 NDVI, OSAVI를 선정하였고 반드시 NIR 밴드가 포함되어야만 식생분포의 분석이 가능한 것이 아니라 RGBVI, ExGR, MGRVI와 같이 RGB 밴드를 이용한 분석도 유용함을 파악하였다. 최종적으로 선정된 5개 식생지수 뿐만 아니라 다른 식생지수들도 신속하게 분석이 가능하도록 모듈프로그램을 개발하여 드론영상 DB구축에 활용하였다. 첫 번째 모듈프로그램 ViINDEX는 RGB 또는 RG-NIR 영상을 입력함으로써, NIR 5종, RGB 10종의 식생지수이미지를 산출하도록 프로그램 되었다. 두 번째 모듈프로그램은 생산된 자료의 기본적인 통계를 분석하는 BSnHISTO 이며, 최소, 최대, 평균, 표준편차, 4분위수, 영상의 히스토그램을 계산한다. 모듈프로그램의 산출 결과물은 오픈소스기반의 그래프 프로그램인 gnuplot을 이용하여 출력하거나 QGIS를 활용할 수 있는 구조로 구성하였다. 3차년의 연구기간 동안에 촬영된 RGB, NIR 영상들은 최종적으로 두 개의 모듈프로그램에 의해 식생지수 DB를 구축하고 통계적인 특성을 파악한 것이다.



[그림 2.2.278] 드론영상의 식생지수 DB 산출을 위한 모듈 프로그램 개요

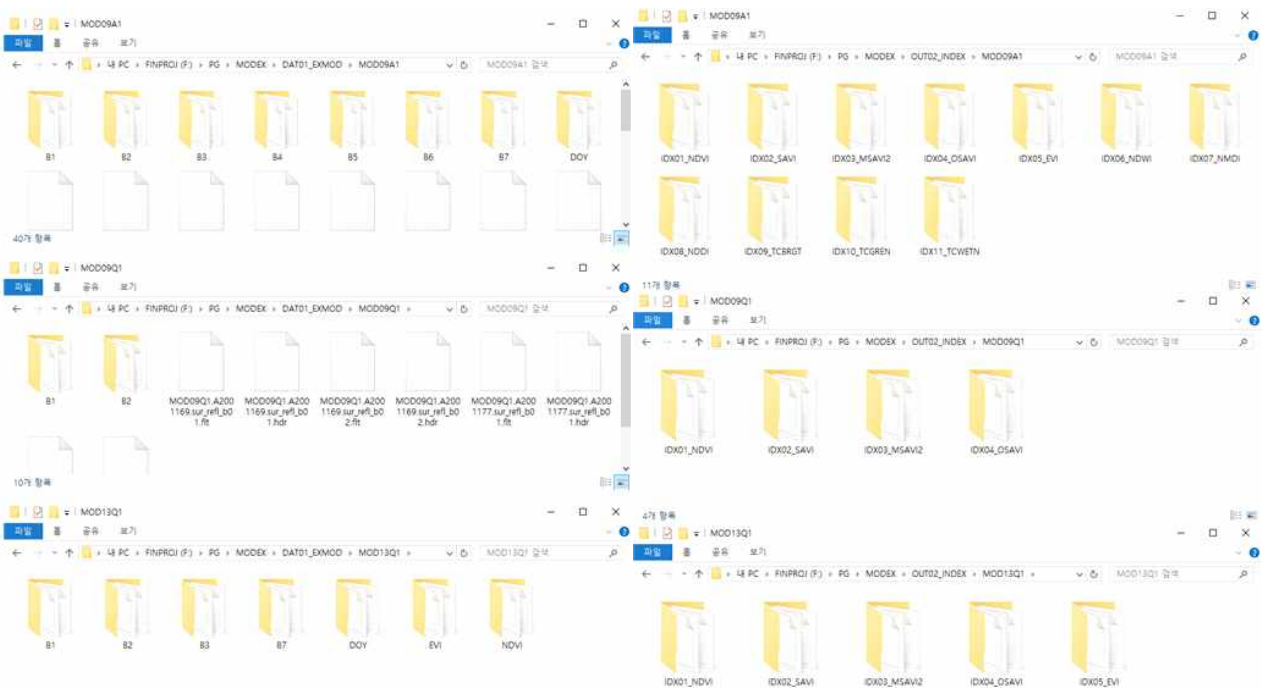


[그림 2.2.279] 안성시 일죽면 드론촬영지역 MODIS 영상 pixel 매칭위치 (250m)

## (2) 위성영상 활용 식생 및 가뭄지수 DB 구축

위성영상은 가뭄예상지역의 파악, 모니터링 대상지역 선정에 활용할 수 있는 보조자료로서 본 연구에서는 드론영상의 추가확보 및 타지역의 활용성을 고려하여 영상을 활용한 가뭄연구에 많이 활용하고 있으며 본 연구에서도 분석한 바 있는 MODIS 버전6의 MOD09A1, MOD09Q1, MOD13Q1 데이터를 중심으로 2017년 극심한 가뭄이 있었던 안성시 지역을 대상으로 영상, 식생 및 가뭄지수 DB를 구축하였다.

LAADS DAAC MODIS영상 조회 사이트로부터 남한지역이 포함되는 H28-V5, H27-V6 영역의 영상을 다운로드 하고, 전용소프트웨어 MRT를 이용하여 원시데이터인 HDF를 좌표변환하고 저장한 WGS84 UTM 52N 좌표의 GeoTiff 파일을 남한영역으로 구축하였다. 표준화된 처리과정에 의하여 대상지역(안성시)의 범위로 영상을 잘라내어 구축하고 본문에서 제시한 지수들을 반영하여 영상종류별로 분석할 수 있는 식생지수자료들을 산출하였다. 각각의 영상에서 제공하는 과장대 범위가 다르므로 MOD09A1은 NDVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI, EVI, NDWI, NMDI, NDDI, tasseled cap(brightness greenness wetness)의 11개 지수를, MOD09Q1은 NDVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI의 4개 지수를, MOD13Q1은 NDVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI, EVI의 5개 지수를 주기적으로 구축하였다. 이들 중 NDVI와 EVI 식생지수의 경우 영상기반 가뭄지수인 SVI, VCI, VSIA를 함께 구축하였다.



[그림 2.2.280] 안성지역 MODIS 영상자료 구축

## (3) 드론 및 위성영상 식생 및 가뭄지수 DB 품질기준

식생 및 가뭄지수 DB 구축을 위한 드론 및 위성영상 자료 및 2차 산출(식생 및 가뭄지수) DB는 이진데이터로 구성되며 정형화 할 수 있는 텍스트 데이터와 달리 비정형 데이터로 볼 수 있다. 비정형 데이터는 디지털화된 콘텐츠를 지칭하며, 이를 세분하면 비정형 콘텐츠 자체와 메타데이터로 구분할 수 있다. 비정형 콘텐츠 자체에 대한 품질기준은 콘텐츠 유형에 따라

다소 다를 수 있으며, 일반적으로 비정형 콘텐츠를 구분하는 기준은 여러 학자나 연구내용, 활용목적 등에 따라 다를 수 있는데 DB구축 관점에서 본 연구의 영상을 근간으로 하는 DB들은 영상의 이진자료를 표준포맷으로 전환하여 구축하는 DB의 형태를 가진다고 할 수 있다(한국 데이터베이스 진흥원, 2009).

이와 같은 비정형데이터의 품질기준을 주요 특성별로 구분하면, 기능성(Functionality), 신뢰성(Reliability), 사용성(Usability), 효율성(Efficiency), 이식성(Portability)의 5개 유형으로 분류할 수 있다. 기능성은 해당 콘텐츠가 특정 조건에서 사용될 때 명시된 요구와 내재된 요구를 만족하는 기능을 제공하는 정도이며, 신뢰성은 해당 콘텐츠가 규정된 조건에서 사용될 때, 규정된 신뢰수준을 유지하거나 사용자로 하여금 오류를 방지할 수 있도록 하는 정도이다. 사용성은 해당 콘텐츠가 규정된 사용조건에서 사용될 때, 사용자에게 이해되고 선호될 수 있게 하는 정도이며, 효율성은 해당 콘텐츠가 규정된 조건에서 사용되는 자원의 양에 따라 요구된 성능을 제공하는 정도이다. 이식성은 해당 콘텐츠가 다양한 환경과 상황에서 실행될 수 있는 가능성의 정도를 의미한다. 일반적으로 공간데이터에 대한 품질기준은 기능성에 중점을 부여하며, 적절성(Suitability), 완전성(Completeness), 해상도(Resolution), 정확성(Accuracy), 일관성(Consistency), 준수성(Compliance), 기능순응성(Functionality Compliance) 등의 추가적인 특성을 가지며, 활용적인 측면에서 이식성을 고려할 수 있다. 이식성의 추가적인 특징으로는 적응성(Adaptability), 공존성(Co-Existence), 이식순응성(Portability Compliance) 등이 있다.

본 연구의 드론영상기반의 식생지수, 가물지수 및 이를 산출하기 위한 위성영상 및 드론영상의 품질기준은 가물평가 활용을 고려할대 기능적 특성으로 적절성, 정확성, 기능순응성이 확보되어야하며, 이식성의 특성으로 적응성 및 공존성이 확보되어야 한다.

적절성은 목적에 대한 내용의 부합여부, 운용상의 적절성(사이즈, 파일 포맷, 해상도 등), 저장방법, 정확성은 규격에 따른 구현의 정확성(메타데이터 정확성 및 일치여부), 기능순응성은 명명규칙, 기준값 준수에 관한사항이 포함된다. 적응성은 운영환경 및 뷰어의 호환성, 공존성은 다른 소프트웨어 동작에 영향여부가 포함된다. 이와 같은 특성들을 고려하여 데이터 구축은 표준화된 포맷과 처리절차를 부여함으로써, 수계산으로 인한 공간연산의 오류와 데이터의 일관성이 유지되지 못할 가능성이 있는 사항을 배제하였으며, 위에서 설명한 바와 같이 드론 및 위성영상 전용분석·표출 프로그램을 개발하여 이를 통한 일정한 품질의 데이터가 생산될 수 있도록 하였다.

표준처리 프로그램은 데이터 구축 날짜를 기준으로 폴더를 자동 생성하며, 위치정보와 값없음을 표출할 수 있는 헤더파일과 영상의 값을 이진으로 저장하는 표준포맷인 bil, bsq, flt형식으로 DB를 구축함으로써 다양한 처리프로그램을 통해 표출할 수 있고 위성영상 및 관련 산출물은 최고해상도인 250m, 드론영상 및 관련 산출물은 데이터의 크기 및 분석의 효율성을 고려하여 지상 10cm로 구축하며, 동일한 공간범위를 갖도록 하였다. 분광반사도 및 식생지수의 경우 해당데이터가 갖는 적정범위를(데이터 누락영역 - 9999, 분광반사도 0이상 1.0이하, 식생지수 - 1.0 이상 1.0 이하 등) 검사하는 과정을 포함하여 품질기준에 부합하지 않는 경우 데이터의 활용성유무를 메타데이터로 산출할 수 있도록 하였다. 즉, 표준화된 프로세스를 통해 데이터를 생산하고 저장함으로써 품질이슈를 점검할 수 있다. 이 과정을 통하여 2019년 드론영상의 경우 설정값 범위를 벗어나는 특성을 나타내어 분석에 활용이 어려운 자료로 분류된 바 있다.

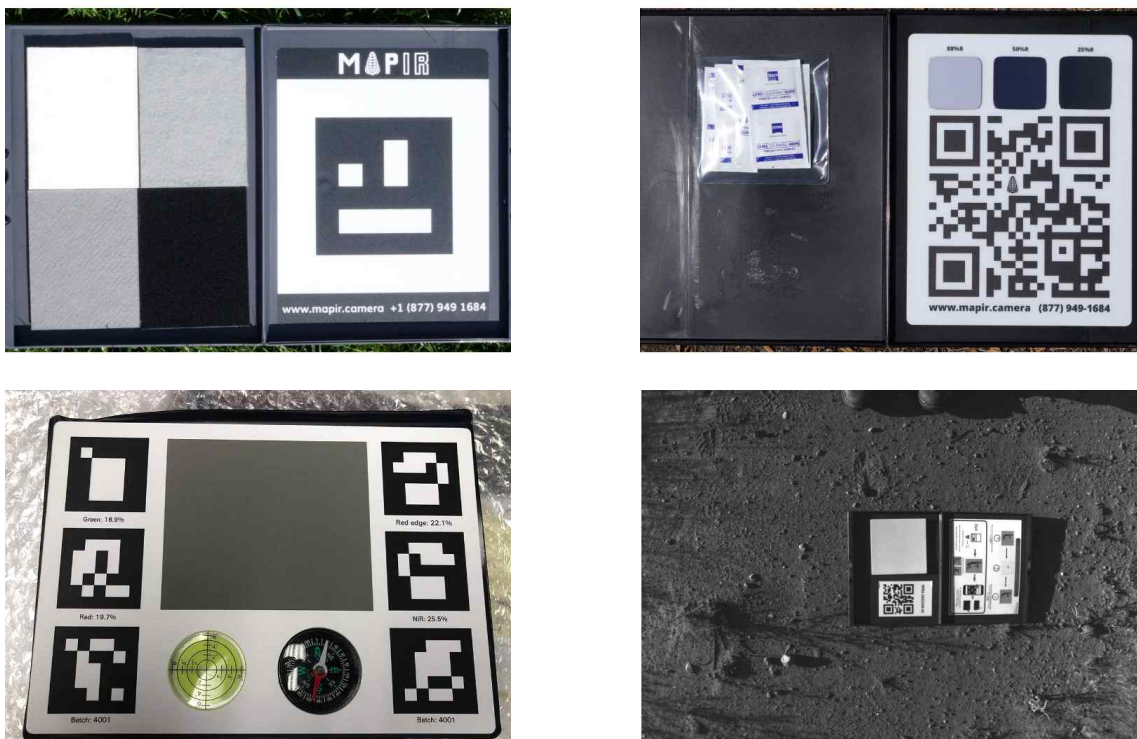
### 3. 드론영상기반 가뭄 집중모니터링을 위한 영상처리 운영방안

#### 가. 영상획득 및 처리 운영

##### (1) 카메라 센서의 선정 및 현장기록 항목

본 연구를 통해 분석된 결과로 식생의 활력도는 가뭄과 연관이 있으며, 식생의 상태를 보다 명확하게 파악하기 위해서는 되도록 적외선 파장대의 촬영이 가능한 카메라를 활용하는 것이 유리하다고 할 수 있다. 또한 카메라가 수집한 영상의 DN 값을 식생 상태를 분석하는데 활용하기 위해서는 기하학적인 보정도 중요하나 방사보정과정도 필수적이며, Calibration target 또는 Pannel을 지원하는 카메라 센서를 선정하는 것이 일정한 품질의 영상을 획득하는데 도움이 된다. 적외선 파장대의 영상자료를 반영하는 식생지수들은 DN값이 아닌 반사도(Reflectance) 값을 입력하는 것이 필수인 이유도 있다. Calibration target을 지원하는 카메라 센서는 드론촬영 전후 보정판을 촬영하고 후처리 소프트웨어에 입력하는 과정만으로도 방사보정이 가능하기 때문에 촬영시 매번 분광계를 이용한 측정을 하지 않아도 되며, 전문적인 지식이 없이도 영상처리 소프트웨어가 자동으로 보정된 영상을 산출할 수 있기 때문이다.

한편으로 초분광영상등을 활용하는 방안에 대한 연구들이 최근 들어 증가하고 있지만, 1회 촬영범위가 협소하고 영상처리에 상당한 시간과 고성능의 장비가 필요하다. 가뭄 모니터링에서는 보다 신속하게 관심지역의 영상을 취득하고 확인을 할 수 있도록 NIR 및 RedEdge 파장대를 촬영할 수 있는 카메라를 선정하는 것이 적절하다고 할 수 있다. 최근에는 열화상카메라를 통한 식생의 상태파악이나, 수문스트레스 지수 카메라 등이 활용된 사례가 있다.



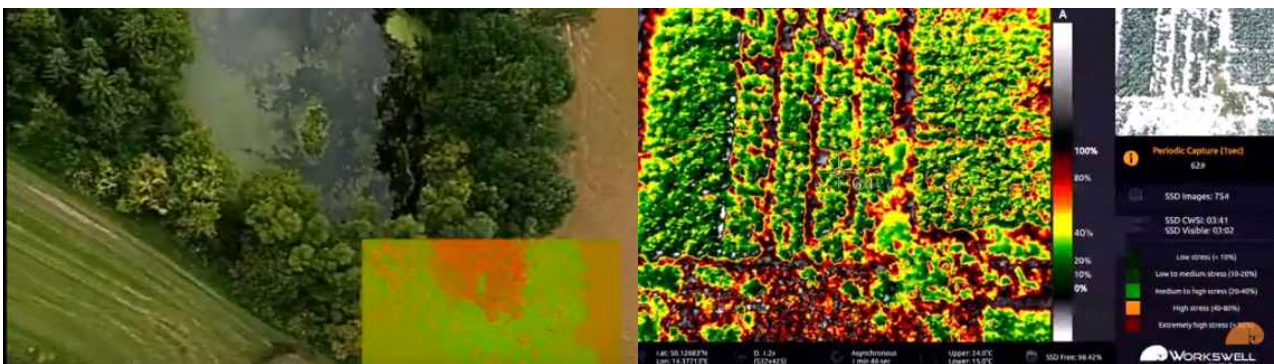
[그림 2.2.281] 방사보정된 반사도 영상을 획득하기 위한 보정판 활용

## (2) 가뭄예상지역의 드론영상 취득 주기 및 현장기록 항목

광역적 위성영상을 통해 가뭄이 예상되는 지역이나 가뭄예경보 등의 정보를 통해 가뭄이 우려되는 지역의 경우 가뭄에 취약한 작물의 경작지를 대상으로 영상을 촬영할 수 있다. 단, 상공에서 작물의 상태를 파악하므로 노지작물이 주요대상이 되며, 필요에 따라 저수지 수원공의 저수용량 파악을 위해 주기적인 관측을 할 수 있다.

수원공을 대상으로 하는 경우 월2회 정도의 일정으로 영상을 촬영하여 저수율 변화를 파악하는 것을 고려할 수 있으며 노지작물의 경우 영상촬영과 분석의 과정, 농사정보제공(주간)의 상황을 고려할 때 주당 1회 정도가 적정할 것으로 판단된다. 작물의 시듦과 같이 가뭄으로 인한 생육장애 영역을 모니터링하고 대책을 반영하기 위해서는 낮은 고도로 고해상도 영상을 수집하기 보다는 1회에 넓은 지역을 모니터링 할 수 있는 적정고도의 촬영계획도 중요하다고 할 수 있다.

최근에는 실시간으로 작물의 수분스트레스를 파악하거나 식생지수를 확인할 수 있도록 전용 프로세서를 탑재한 드론용 카메라가 출시되고 있는바 이와 같은 카메라 보급이 확대되는 경우 드론모니터링에서 고용량으로 많은 시간이 소요되는 영상 후처리과정이 생략될 수 있기 때문에 활용주기는 더욱 짧아 질수 있으며 현장에서는 상태를 바로 확인하고, 취득된 영상은 피해면적 파악 등 사후 대책 용도의 세부적인 분석에 더 많이 활용될 가능성이 높다.



S사의 실시간 NDVI 카메라 LiveNDVI

A사의 실시간 수분스트레스 지수 카메라

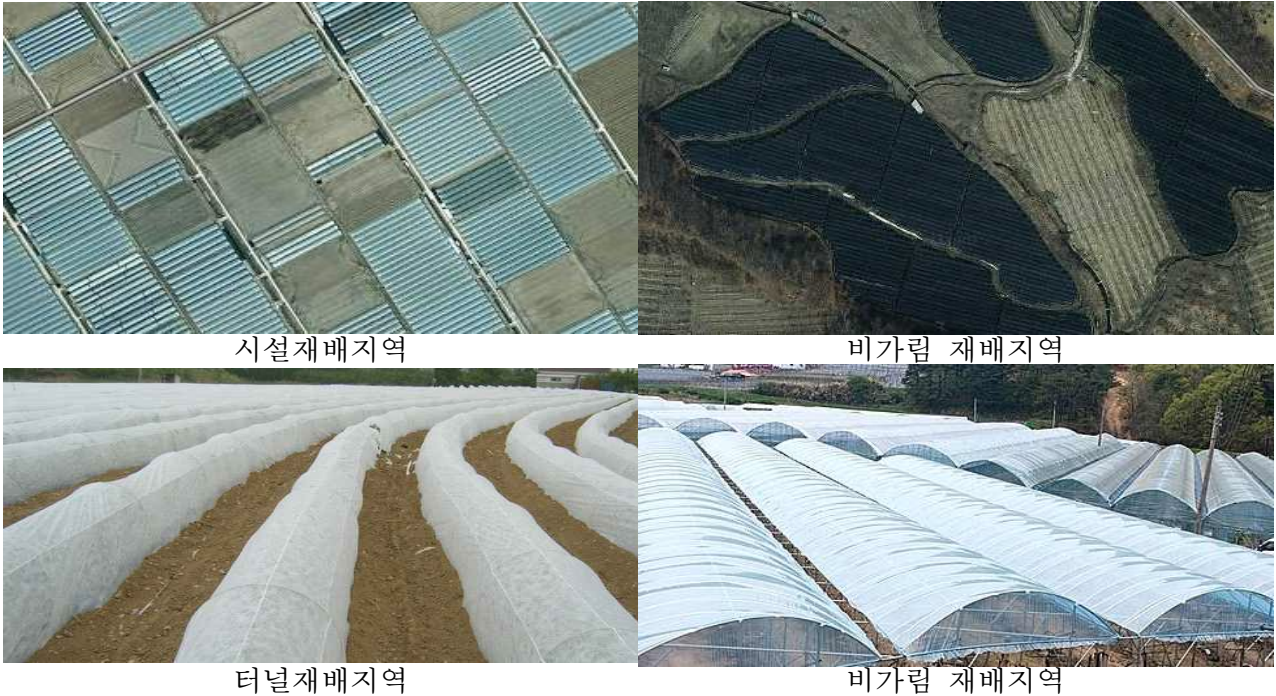
[그림 2.2.282] 정밀농업을 위한 실시간 식생지수 관측 드론탑재용 카메라

촬영 현장에서는 당일 현지의 기상상황 및 주변상황을 사진으로 기록하며, 특히 작물의 크기 및 상태를 기록하는 것은 분석에 유용하게 활용될 수 있다. 논인 경우 천수답을 제외하고 수리시설물을 통하여 용수를 공급하고 있지만, 밭작물의 경우 지하수, 하천수 등을 활용하는 경우가 있으므로 대상지 주변의 농민을 통해 정보를 얻는 것도 중요하다. 대상작물의 재배력과 관수방법 등의 영농정보를 참고하여 대상지역의 작물이 가뭄에 강한 작물인지 파악하는 것도 참고할 수 있다. 주기적인 드론영상의 모니터링이 요구되는 지역에 대해서는 기상자료 및 토양 수분을 일정한 시간간격으로 측정하는 장비를 설치하여 운용할 수 있다.

## 가. 드론영상의 활용 및 DB구축 방안

### (1) 작물 재배 방식에 따른 드론영상 활용가능성

드론을 이용하여 가뭄에 따른 작물의 작황을 파악하는 것은 일정규모의 노지재배면적을 대상으로 하는 것이 적합할 수 있으며, 드론기기의 운용이 원격탐사기술이므로 이를 고려할 때 활용이 불가능한 지역으로는 시설재배가 집단화되었거나 포도와 같이 비가림재배를 하는 지역 등에 대해서는 드론을 활용한 모니터링 적용이 어렵다고 할 수 있다. 즉, 차폐되지 않은 환경에서 경작하는 과수원이나 노지채소 재배지역을 대상으로 모니터링이 가능하다.



시설재배지역

비가림 재배지역

터널재배지역

비가림 재배지역

[그림 2.2.283] 드론영상 활용 제한 지역 유형

### (2) 드론영상을 활용한 식생상태 DB구축 방안

드론영상을 이용하여 가뭄을 판별하는 기초자료를 구축하기 위해서는 대표작물을 선정하고 가뭄유무와 상관없이 작물의 재배력을 고려한 주기적인 영상촬영 및 분석자료 구축이 중요하다고 판단할 수 있다. MODIS영상과 같이 위성영상을 활용한 가뭄분석이 가능한 이유 중의 하나는 동일한 지역에 대한 자료가 상당기간 누적되어 있기 때문에 가능하며, 과거의 자료를 포함하여 분석을 함으로써 현재의 영상이 가뭄상태를 나타내고 있는 것인지를 판단하는 분석에 활용되는 것으로 생각해 볼 수 있다. 현재 드론영상을 이용한 식생상태 분석에 적용되고 있는 공식들은 새로운 것보다는 위성영상 기반에서 연구된 분석방법이 다수를 차지한다고 할 수 있다. 본 연구에서 분석한 바와 같이 위성영상과 드론영상의 분석에는 차이가 존재하며 이 중에는 해상도 차이로 인한 영향도 상당한 부분을 차지할 것으로 생각된다. 드론영상을 이용한 식생상태의 모니터링은 오래되지 않았으며 개별적으로 이루어지고 있는 상황에서 고해상도 드론영상을 활용한 통계적, 확률적 가뭄의 예측과 관리의 활용, 고해상도 기반의 식생지수 및 수분스트레스 지수를 고도화 할 수 있는 방안으로 드론영상을 공유할 수 있는 플랫폼 개발과 공동연구를 지속하여 다양한 유형의 시계열 영상데이터가 구축되어야 할 것이다.

# 제3절 ICT를 활용한 가뭄 모니터링 및 가뭄피해 분석 기술 개발

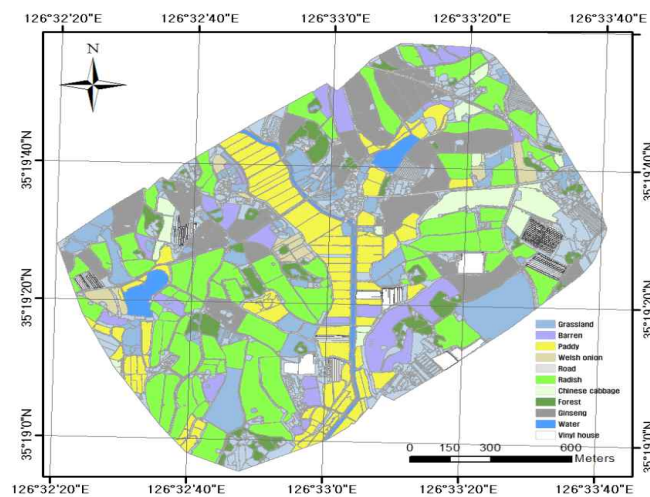
## 1. 연구개발 관련 선행연구 현황

### 가. 국내외 무인기를 활용한 가뭄 모니터링 연구 동향 분석

#### (1) UAV 활용 농작물 분류

무인기 (Unmanned Aerial Vehicle; UAV)의 초고해상도 영상을 활용하여 재배중인 농작물의 분류를 실시하였다 (박진기 외, 2015). 기존 MODIS(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer), Landsat ETM (Enhanced Thematic Mapper), AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 등 중저해상도 위성 영상은 시가지, 농경지, 산림, 초지, 나지, 습지, 수역 등 대분류는 가능하지만 공간해상도의 문제점으로 농작물의 분류가 어려웠음. 또한 KOMPSAT(아리랑 2호) 및 항공 영상 등 1m × 1m 이하 급 고해상도 영상은 논, 밭, 시설, 과수원, 기타 재배지 등의 세분류를 하기에는 가능하지만 재배 작물을 분류하기에는 공간해상도가 낮은 단점이 있다. 따라서 국내와 같은 소규모 작물재배 지역의 영상취득을 위해서 초고화질 정밀영상 취득이 가능한 무인기를 이용한 영상취득을 제안함. 무인기를 통해 앞선 영상들의 해상도 문제를 해결했으며 소규모 지역에서의 초고해상도 영상 취득이 가능해졌다. 영상은 RGB영상과 NIR영상을 취득할 수 있으며, 두 센서 영상의 기하보정을 통해 영상을 분할하여 작물 확인이 가능해졌다. 정확도 평가 결과 전체 정확도 85%로 무인기 영상을 통해 위성 및 항공영상으로 불가능한 정확한 분류와 측정이 가능했다.

이러한 결과는 무인기 영상을 이용한 농작물 분류가 기존의 조사방법보다 신뢰성 있는 재배 면적 추출이 가능할 것으로 판단되며 필요한 시기에 주기적으로 신속하게 영상을 분석할 수 있는 무인기 영상의 장점을 활용한다면 기존 농업 분야의 원격탐사 자료 취득과 활용의 어려움을 해소할 수 있을 것으로 판단된다.

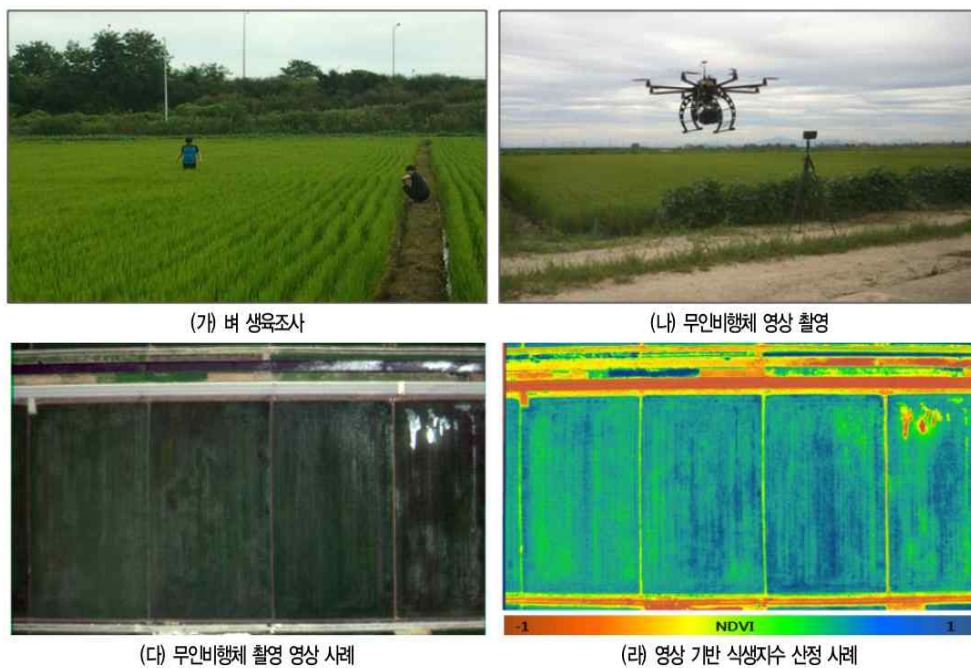


[그림 2.3.1] 객체 기반 분류의 형상 공간 시각화

#### (2) 무인기영상을 통한 벼 생육시기 및 거름 질소량 추정

4차 산업혁명과 함께 무인항공 기술이 발전하고 상용화되었다. 무인기에 대한 규제가 원만해 지며 앞으로 더욱 활용 가능한 분야는 증가하고 발전할 것으로 예상된다. 특히 농업분야에서의 활용성이 높을 것으로 예상된다. 국립농업과학원은 2014년부터 원격탐사 기술의 새로운 플랫폼으로서 무인기를 연구하였다 (이경도 외, 2015).

무인기 영상을 통한 벼 생육 모니터링, 질소량 추정 등의 연구가 진행되었다. 첫 번째 사례인 벼 생육 모니터링을 위해 고정익 무인기를 활용하여 벼의 주요한 생육시기에 맞추어 시계열 항공영상을 촬영하였다. 또한, 영상 촬영과 함께 plant height, dry weight, LAI 등을 조사하여 무인 비행체 영상 분석을 통한 식생지수(Vegetation Index : NDVI, GNDVI 등)의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, 2014년 현장 조사를 통해 얻어진 벼 생육인자와 식생지수 값 사이의 높은 상관관계를 확인하였다. 이러한 결과는 추후 더 많은 자료를 확보한다면 벼 작황분석에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.



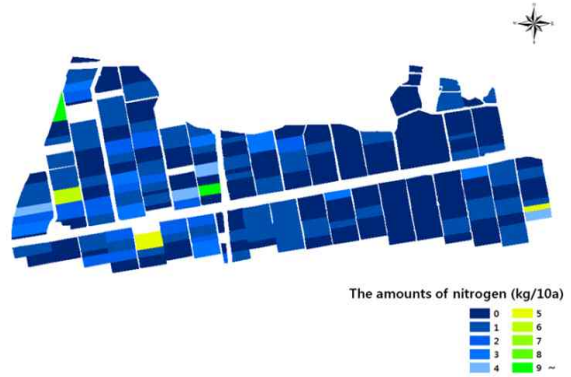
[그림 2.3.2] 무인기를 활용한 벼 생육 모니터링

두 번째 사례는 화학비료 사용 절감을 위한 논 풋거름의 질소량을 추정하였다. 이를 위해 벼 이앙 전에 고정익 무인 비행체를 활용하여 헤어리베치를 풋거름으로 활용하고 있는 단지 약 100ha를 해상도 4cm로 촬영하였다. 논에서 대표되는 지점의 풋거름을 채취하고 질소량을 분석하여 무인비행체의 식생지수와 풋거름의 질소량 상관관계를 분석하였다. 이를 활용하여 단지 전체의 풋거름 질소량 분포지도를 필지 별로 작성하였다. 이러한 결과는 농업인들이 벼 이앙 전에 양분을 얼마나 추가로 사용해야 하는지 결정할 때 활용할 수 있을 것으로 기대된다.





(가) 풋거름 재배단지 전경



(나) 필지별 풋거름 질소량 분포 지도

[그림 2.3.3] 풋거름 재배단지 무인기 촬영 영상 및 필지별 질소 함량 분포지도

### (3) 드론의 농업분야 활용

드론의 농작물 모니터링을 위해서는 다음과 같은 조건을 충족시켜야함. 먼저 GPS를 이용하여 자동 이착륙이 가능하도록 자율비행대응 시스템이 있어야 한다. 또한 자동비행 시 임의의 위치 및 고도정보가 명확하게 표시될 필요가 있다. 따라서 위치정보, 고도, 시각, 비행자세 등에 관한 로그가 기록되어 정확한 위치정보 파악이 가능해야 한다. 또한 WiFi 기능과 같은 무선 텔레미터를 탑재하여 기체의 비행위치 및 고도 등을 표시하고 기록할 필요가 있다.

드론의 농업분야 활용은 그 동안 제시되었던 정밀농업을 한층 가속화하는 역할을 한다. 정밀 농업이란 농경지 농작물의 상태를 잘 관찰하고 치밀하게 제어하여 농작물의 수확량 및 품질 향상을 도모하고, 그 결과에 따라 다음 연도의 계획을 세우는 일련의 농업관리 기술을 말한다.



[그림 2.3.4] 드론 영상 취득 및 처리

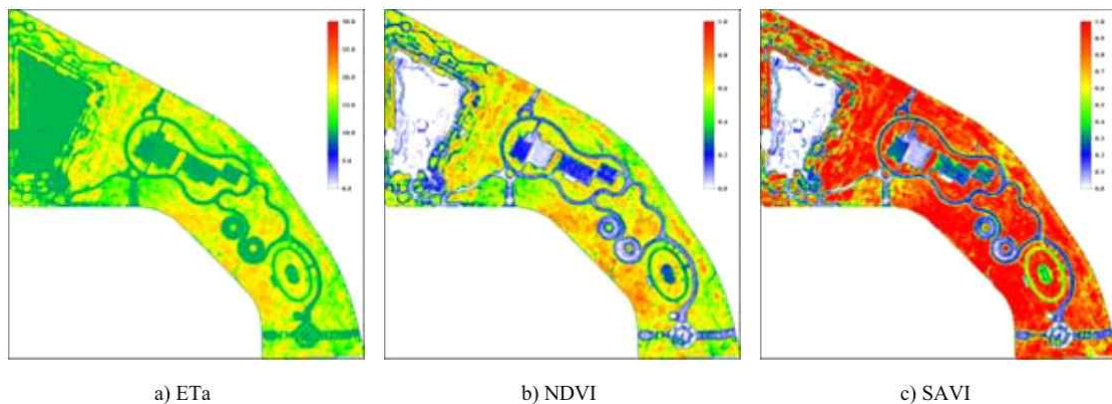
### (4) 드론 원격정보를 활용한 실제증발산량 산정

기상 데이터와 드론영상으로 취득한 NDVI (normalized difference vegetation index)와

SAVI (soil-adjusted vegetation index) 원격정보를 PT (priestley-taylor) - JPL(Jet Propulsion Laboratory)방법을 사용하여 실제증발산량을 계산하였다(이근상 외, 2016). 실제증발산량을 계산하기 위해서는 토양함수나 건조한 정도를 나타내는 수문학적 매개변수, 식생의 건강한 정도나 식생온도를 나타내는 생태학적 매개변수, 식생이 흡수한 복사에너지 정도를 나타내는 광학적 매개변수를 필요로 한다.

일단 기상자료와 드론을 이용하여 수집한 NDVI와 SAVI자료를 입력하면 PT-JPL은 구조적인 상호연동으로 인하여 위에서 언급한 매개변수를 계산하였다. 매개변수가 결정되면 실제증발산량을 계산할 수 있다. 범위가 좁은 지역의 실제증발산량 산정의 경우 고해상 위성 관측자료가 요구되며 자연재해와 같이 분석 자료가 즉시 필요한 경우에는 인공위성은 주기에 따른 한계를 가진다.

이에 반해 드론을 활용할 경우 공간적 시간적 제약을 받지 않고 사용자가 원하는 시점의 자료를 즉시 획득할 수 있다. 드론을 활용한 식생원격정보는 실제증발산량을 계산하는데 있어 합리적인 결과를 보여준다. 원격정보를 통한 증발산량 산정은 즉각적인 데이터 취득과 시기, 장소에 상관없이 활용가능한 점 등에서 앞으로 식생은 물론 다양한 기상 분야에서 활용이 기대된다.



[그림 2.3.5] 드론을 통한 영상 취득. a) 실제 증발량, b) NDVI, c) SAVI

## 나. 국내의 영상센서 기반 토양수분 평가모형 조사 및 분석

### (1) 토양수분 및 공간정보를 고려한 가뭄민감도 분석

각 지표의 특성을 그대로 감지하는 위성영상을 가뭄 분석에 이용한다. 작물이 성장하는 초기 단계에 용수부족으로 인한 가뭄 피해는 각 경작지의 지표면 특성에 반영되기 때문에 이를 위성영상으로 분석하여 국지적 공간 패턴과 가뭄의 정도를 상대적으로 비교하였다(박은주 외, 2002). 특히 논외의 경우 수분이 가장 필요로 되는 이앙시기에 작물의 발아를 돕는 적정 수분공급은 가뭄 극복을 위해 가장 중요시 되는 조건이기 때문에 이앙시기의 영상에서 토양수분 정보를 추출함으로써 직접적인 분석이 가능하다.

가뭄 심도에 중요한 역할을 하는 토양수분을 통해 봄철 농업가뭄을 탐지해 보고 이후 가뭄의 정책 행위와의 관계를 평가해 봄으로써 국지적 가뭄연구의 타당성을 검토하였다. 연구 분석 방법으로는 각 지점의 지표특성을 그대로 반영해 주는 Tasseled cap 변환을 사용하였다. 단일

시기의 Landsat ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) 영상으로 분석하여 토양수분으로 가뭄의 공간적 분포를 연구함으로써, 지속적인 고찰을 통해 일반적인 가뭄 연구로 발전시킬 가능성을 보여주었다. 앞으로 지속적인 Tasseled cap 지수에 대한 연구와 다양한 사례 적용 및 비교를 통해 좀 더 정확하고 일반화가 가능한 가뭄 분석 기법의 모형이 개발된다면 국지적 차이가 심각한 우리나라의 가뭄 대책과 정책적 의사결정에 도움을 줄 수 있다.

## (2) Landsat ETM+ 영상을 활용한 경작지역내 가뭄민감도의 연구

농작물 생육과 성장에 가장 큰 영향을 주는 토양수분을 지표로 2001년 봄가뭄의 가뭄심도를 탐지하여 농업적 가뭄에 대해 분석하였다(박은주 외, 2003). 우리나라에 매년 피해를 주는 봄가뭄이 주로 기상학적 가뭄지수에 의해 모니터링 되기 때문에 미시적 차원에서의 가뭄 현황 파악이 어려움에 착안하여 각 경지에 대한 지표특성을 반영해주는 가뭄의 국지적 연구가 필요하다.

태슬 모자형 (Tasseled cap)변환과 지형적 요인들을 이용하여 가뭄의 정도와 공간적 분포를 탐지하였다. 연구지역의 가뭄분석에서 Landsat 7 ETM+ 영상의 태슬 모자형 변환을 통해 추출된 수분 지수가 농경지의 가뭄 민감도를 잘 나타내었다. 수분지수는 타양한 토양수분의 정도를 잘 표현해 주기 때문에, 수분 지수로 가뭄의 심도를 확인 할 수 있다. 각 지점에 대한 지표특성을 그대로 반영해 주는 태슬 모자형 변화과 지형적 요인들은 가뭄의 국지적 연구에 대한 가능성을 열어주었고 Landsat ETM+ 영상의 태슬 모자형 변환을 통해 추출된 수분 지수는 농경지의 가뭄파악에 유용함을 보여주었다.

## (3) Landsat TM 영상을 이용한 교목연령 추정

원격탐사를 활용한 식생분석에 관한 연구 중 산림지역의 교목연령을 추정함에 있어서 가장 영향력 있는 식생지수를 회귀분석 모델을 통하여 결정하는 방법을 연구하였다(이정빈 외, 2008). SRTM과 NED의 차이를 교목연령 추정에 가장 영향력이 있는 요소로 판단하여 연구를 진행하였다. 미국 테네시지역 Landsat TM 영상과 같은 지역의 SRTM영상, NED 영상, 산림조사 자료가 연구에 사용되었다. 1990년, 1994년, 1998년의 시기가 다른 세장의 영상이 사용되었고 영상의 획득 시기는 9~10월의 영상이다. 식생지수 영상은 Landsat TM 영상의 영상처리를 통하여 각각의 밴드를 추출하고 밴드연상에 따른 여러 가지 식생지수를 나타내는 영상을 추출하였다. 이렇게 추출된 영상자료와 산림조사 자료를 회귀분석을 통하여 결정계수값과 추정치의 표준오차(SEE)를 비교하였으며 교목연령을 추정하는데 가장 많은 영향을 주는 요소를 결정하였다.

회귀분석 결과 교목연령 추정에 가장 많은 영향을 미치는 식생지수로 적외선지수(II), 태슬 모자형 변환 토양수분지수, 식생상태지수(VCI)임을 보였으며 이에 대한 결과로 높은 결정계수값을 가지는 이들 식생지수를 이용하는 것이 교목연령 추정에 가장 효율적임을 알 수 있다. 연구가 진행된 대상 지역외 다른 지역에서도 본 연구와 같은 연구결과가 나오는지에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

테네시 NO.	경사도	NDVI		TC2		TC3		Band4		Band5		Band7		II		VCI		SAVI	
		R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE
1	0~5	0.719	2.822	0.644	3.175	0.825	2.228	0.430	4.017	0.822	2.242	0.780	2.499	0.827	2.216	0.803	2.362	0.718	2.824
2	5~7	0.696	3.023	0.635	3.315	0.786	2.538	0.505	3.861	0.766	2.655	0.736	2.816	0.791	2.508	0.766	2.656	0.696	3.024
3	7~9	0.741	2.965	0.672	3.338	0.828	2.420	0.556	3.888	0.824	2.444	0.794	2.646	0.829	2.408	0.804	2.584	0.741	2.968
4	9~12	0.739	3.145	0.658	3.600	0.837	2.489	0.523	4.255	0.820	2.612	0.796	2.783	0.842	2.448	0.824	2.583	0.739	3.147
5	12~	0.709	3.252	0.589	3.866	0.808	2.642	0.425	4.570	0.771	2.884	0.763	2.931	0.824	2.530	0.806	2.656	0.708	3.256

\* 종속변수: 교목연령, 독립변수: 해당 경사도 범위에 따른 1990, 1994, 1998년의 영상밴드 및 식생지수 영상값, SRTM-NED 차분값

[그림 2.3.6] Result of regression analysis between slope and other variables

테네시 NO.	면적	NDVI		TC2		TC3		Band4		Band5		Band7		II		VCI		SAVI	
		R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE	R <sup>2</sup>	SEE
1	0~5	0.587	3.742	0.488	4.166	0.716	3.099	0.319	4.805	0.713	3.119	0.667	3.358	0.720	3.079	0.691	3.234	0.586	3.745
2	5~15	0.711	3.087	0.617	3.554	0.817	2.457	0.428	4.343	0.786	2.657	0.754	2.849	0.827	2.387	0.804	2.544	0.710	3.090
3	15~30	0.765	3.022	0.696	3.437	0.831	2.558	0.544	4.208	0.808	2.728	0.794	2.829	0.844	2.463	0.830	2.568	0.764	3.024
4	30~60	0.789	2.672	0.713	3.120	0.862	2.163	0.587	3.744	0.849	2.263	0.835	2.365	0.867	2.121	0.850	2.259	0.789	2.675
5	60~	0.809	2.360	0.757	2.662	0.877	1.897	0.652	3.187	0.865	1.986	0.850	2.090	0.882	1.855	0.865	1.982	0.809	2.360

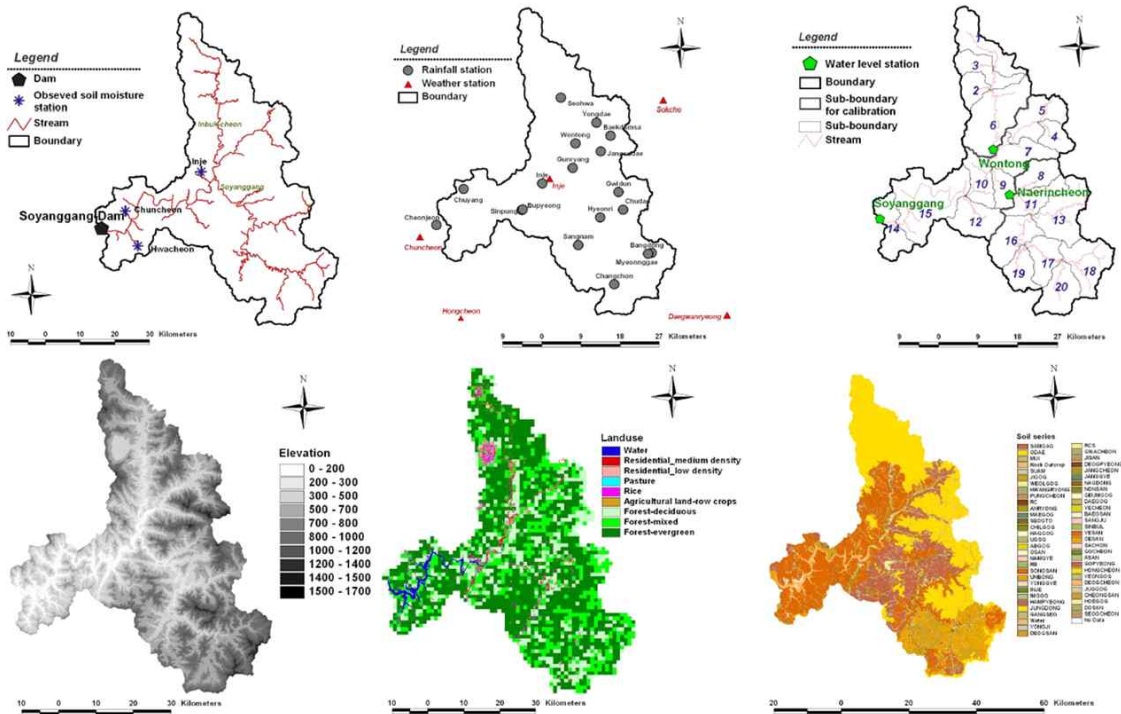
\* 종속변수: 교목연령, 독립변수: 해당 면적 범위에 따른 1990, 1994, 1998년의 영상밴드 및 식생지수 영상값, SRTM-NED 차분값

[그림 2.3.7] Result of regression analysis between acre range and other variables

#### (4) SWAT모형과 MODIS 위성영상을 이용한 토양수분 평가

SWAT에 의해 충주댐 유역을 대상으로 소양강댐 유역에서 토양수분과 NDVI와의 상관성 여부를 판단하여 NDVI를 이용하여 모의된 토양수분의 신뢰성을 판단할 수 있는지를 검토하고자 하였다(박근애 외, 2010). 이를 위해 Terra MODIS NDVI와 LST를 이용하여 SWAT 모형에서 모의된 토양수분과의 상관성을 분석하였다.

토양수분을 모의하기 위하여 SWAT 모형을 선정하였다. SWAT으로부터 보다 신뢰성 있는 토양수분을 모의하기 위하여 유역의 유출량 자료를 이용하여 모형을 보정 하였으며, 유역의 특성에 따른 효과적인 보정을 위하여 상류와 하류 세 지점을 보정하였다. SWAT에 의하여 모의된 토양수분을 HRU 단위로 공간내삽 시켜 NDVI, LST 분포도와 공간적 상관성을 분석해본 결과 상관성은 유역의 토양과 토지이용 특성에 따라 다르게 나타났다. 이는 배수능과 같은 토양이나 토지이용의 특성이 토양수분의 변동성에 영향을 미치고, 그에 따른 토양수분의 변동이 두 변수의 상관관계에 영향을 끼치기 때문이라 판단된다.



[그림 2.3.8] 왼쪽 위부터 오른쪽 아래 순서대로 연구지역, 기상관측소 지점, water level station 및 소유역, DEM, 토지피복도, 토양도

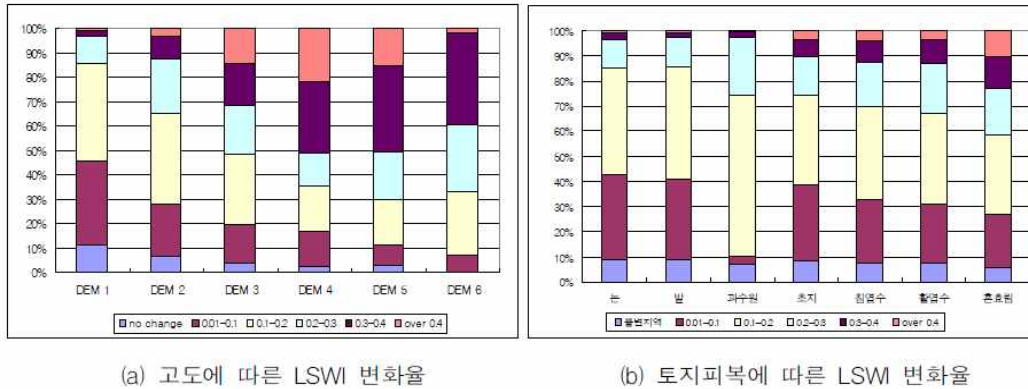
### (5) 봄 가뭄 평가를 위한 다중시기 MODIS 영상의 적용성 분석

한반도 봄가뭄을 효과적으로 탐지하고 평가하기 위해서는 식생의 미세한 변화를 관찰할 수 있는 분해능과 공간해상도를 보유한 영상 자료의 활용이 요구되었다. 이에 NOAA AVHRR에 비해 향상된 공간/분광/방사 해상도를 갖는 MODIS 위성영상자료를 이용하여 2000년 이후 주기적으로 발생하고 있는 한반도의 봄가뭄을 탐지하고 평가하였다(박정술 외, 2006). 또 가뭄발생지역의 공간분포와 위성영상자료간의 상관성을 정량적으로 분석하였으며 이를 토대로 공간적 변이를 고려한 위성영상자료의 활용성을 제시하였다.

2000년 들어 남부지방을 중심으로 심화되고 있는 봄가뭄을 탐지하고 평가하기 위하여 안성천유역과 남한강상류 유역을 대상으로 다중시기의 MODIS 영상과 누가강우량의 변화를 비교하였으며 가뭄발생년도와 평년의 변화탐지결과를 다양한 지형공간 자료와 비교하였다. 이를 위하여 일강우량 및 MODISNDVI, LST, LSWI 등의 위성영상자료와 DEM, 토지피복도 등의 지형공간자료를 활용하였다. 2000년 이후 발생하고 있는 남한의 봄가뭄이 단기간의 강우부족에 의한 기상학적 가뭄임을 고려하여 강우량 및 누가강우량과 MODIS 영상자료간의 상관성을 비교하였다. 그 결과 약 2개월 64일의 누가강수량이 MODIS NDVI, LSWI와 가장 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났다.

안성천유역의 상관계수가 0.78 내외 남한강상류유역이 0.58 내외로 상관성이 높게 나타나는 않았으나 2000년~2005년의 변화추이는 유사하게 나타났다. MODIS 영상자료를 이용한 가뭄 발생 년도와 평년의 가뭄평가 결과 MODIS NDVI, LSWI는 가뭄시기의 판별에는 유효하나 가뭄사상별 심도와 지속기간을 판단하기에는 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다. 또한 MODIS LST의 경우 한반도 온대기후대에서 봄 가뭄을 판별하기 위한 도구로 활용성이 크지 않은 것으로 나타났다. 유역의 공간적 특성을 MODIS 영상자료들의 변화탐지 결과와 비교한

결과 식생을 기초로 한 MODIS 영상자료들의 경우 고도 및 토지피복에 따라 가뭄심도가 달라지는 것으로 나타났다. 농경지 및 밭의 경우 변화가 크지 않은 반면, 산림의 변화는 큰 것으로 확인됨. 또한 동일피복의 경우 일정고도까지는 고도가 높아짐에 따라 가뭄심도가 커지는 것으로 나타났다. 이를 토대로 위성영상자료를 이용한 가뭄평가 시식생의 시공간적 특성을 고려하여 동일시기 및 동일공간에 대한 분석이 요구된다.



(a) 고도에 따른 LSWI 변화율

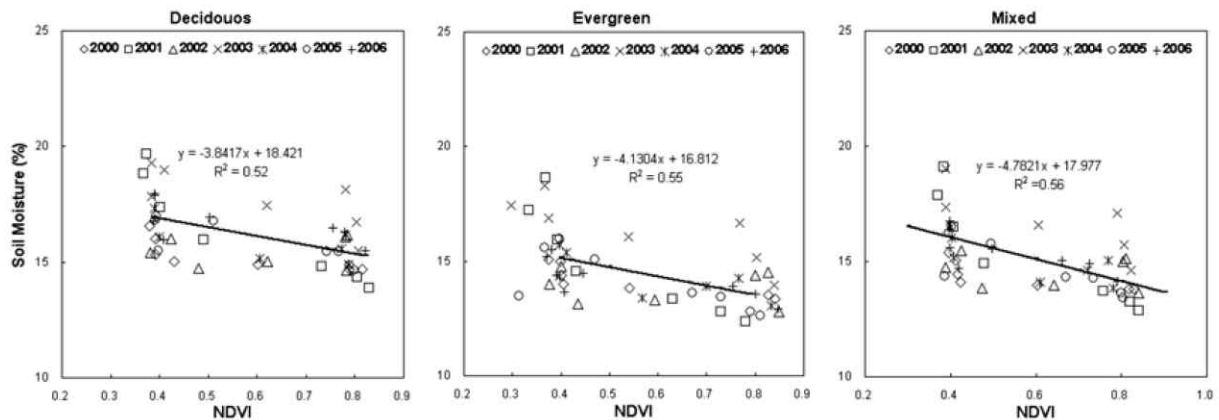
(b) 토지피복에 따른 LSWI 변화율

[그림 2.3.9] DEM 및 토지피복에 따른 LSWI 변화율

#### (6) 봄철 SWAT 모형의 산림 토양수분과 Terra MODIS 위성영상 NDVI와의 상관성 분석

Narasimhan 등 (2005)이 연구한 SWAT으로 목초지의 토양수분을 모의하여 NDVI와의 상관관계를 이용하여 모형을 보정한 연구를 바탕으로 우리나라 충주댐 유역에서 토양수분과 NDVI의 상관성 및 모의된 토양수분의 신뢰성을 판단할 수 있는지를 검토하고자 하였다(홍우용 외, 2009). 이를 위해 공간해상도 250 m, 시간해상도 16 day인 Terra MODIS 위성영상 Product와 SWAT 모형에서 모의된 토양수분을 사용하여 두 변수의 상관성을 분석하였다.

SWAT으로부터 토양수분을 모의하기 위하여 유역의 유출량 자료를 이용하여 모형을 보정하였으며, 유역의 특성에 따른 효과적인 보정을 위하여 상류와 하류 두 지점을 보정하였다. SWAT에 의하여 모의된 토양수분을 HRU 단위로 공간내삽 시켜 NDVI 분포도와 공간적 상관성을 분석해본 결과 상관성은 유역의 토양과 토지이용 특성에 따라 다르게 나타났다. 이는 배수능과 같은 토양이나 토지이용의 특성이 토양수분의 변동성에 영향을 미치고, 그에 따른 토양수분의 변동이 두 변수의 상관관계에 영향을 끼치기 때문이라 판단된다. 2000년부터 2006년 까지 봄 기간의 토양수분과 NDVI를 16일 단위로 분석한 결과, 토양수분과 NDVI는 반비례 관계를 나타내고, 토양수분은 NDVI에 의해 약 55% 설명될 수 있었다. 두 변수사이의 상관성은 상관관계수 0.8로 가뭄기간에 가장 크게 나타났으며, 이것은 강우에 따른 토양수분의 큰 변동성은 변동성이 작은 NDVI와의 상관성을 저해하는 요인이기 때문이라 판단된다. 그러므로 우리나라 산림에서 가뭄기간이나 비교적 건조한 기간의 NDVI는 토양수분을 추정하는 것이 가능하다고 판단되나 비가 많이 온 해나 여름의 NDVI는 토양수분을 추정하는데 어려움이 있을 것이라 보여진다.

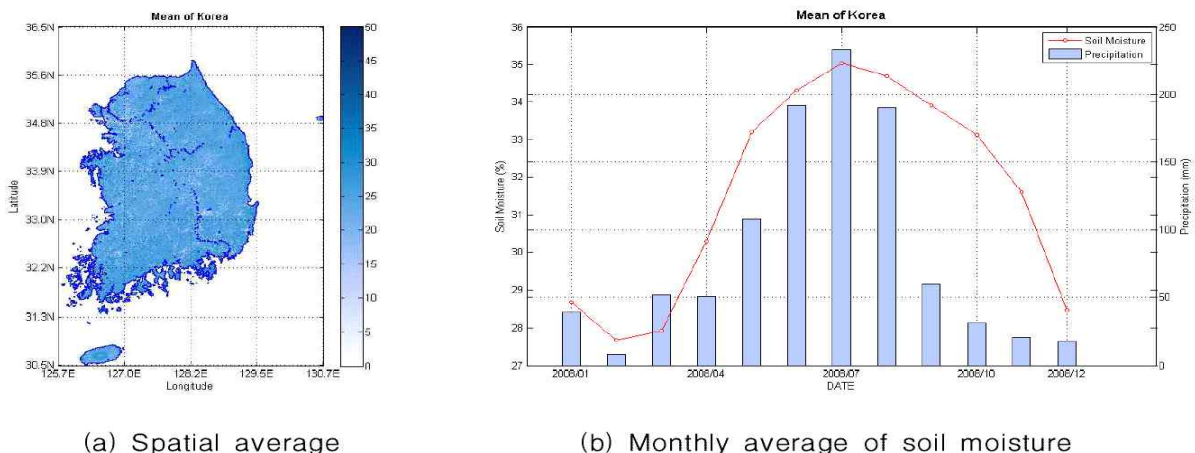


[그림 2.3.10] MODIS NDVI와 SWAT 사이의 토양수분 관계

### (7) 위성영상과 데이터 마이닝 기법을 이용한 토양수분 산정

토양수분 산정을 위하여 2003년 1월부터 2008년 12월까지의 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 위성관측 자료로부터 획득한 정규식생지수(NDVI : Normalized Difference Vegetation Index)자료와 지표면 온도자료, 우리나라 76개소 기상관측소 중 자료의 보유기간이 30년 이하인 관측소와 섬 지역들을 제외한 57개 지점의 강수량, 토양온도 자료 및 우리나라 전역에 대한 토지피복, 유효토심자료를 이용하여 데이터 마이닝(Data Mining) 기법의 하나인 CART(Classification And Regression Tree) 기법을 이용하여 토양수분을 산정하였다(김광섭 외, 2010).

신뢰성 높은 토양수분 관측 자료를 가진 용담댐 유역의 6개 지점에 대하여 토양수분을 산정하여 적용 가능성을 분석하였다. 3개 지점의 토양수분 관측치는 토양수분 산정 모형 수립에 사용하였으며 검증에 사용된 1개 지점의 토양수분의 관측치와 추정치 간의 상관계수를 확인한 결과 전체적인 토양수분의 거동을 잘 나타내고 있어 토양수분 추정 모형의 적용가능성을 확인하였다. 이를 이용하여 용담댐 유역의 토양수분 분포와 우리나라 전역에 대한 토양수분 분포도를 추정하였으며, 신뢰할 수 있는 지상관측 토양수분 관측치가 다양한 지상조건에 대하여 존재하지 않는 한계가 있음에도 불구하고 제시된 토양수분산정 방법은 제한된 가용자료를 사용한 우리나라 전역의 토양수분 산정에 있어 합리적인 접근법이라 판단된다.

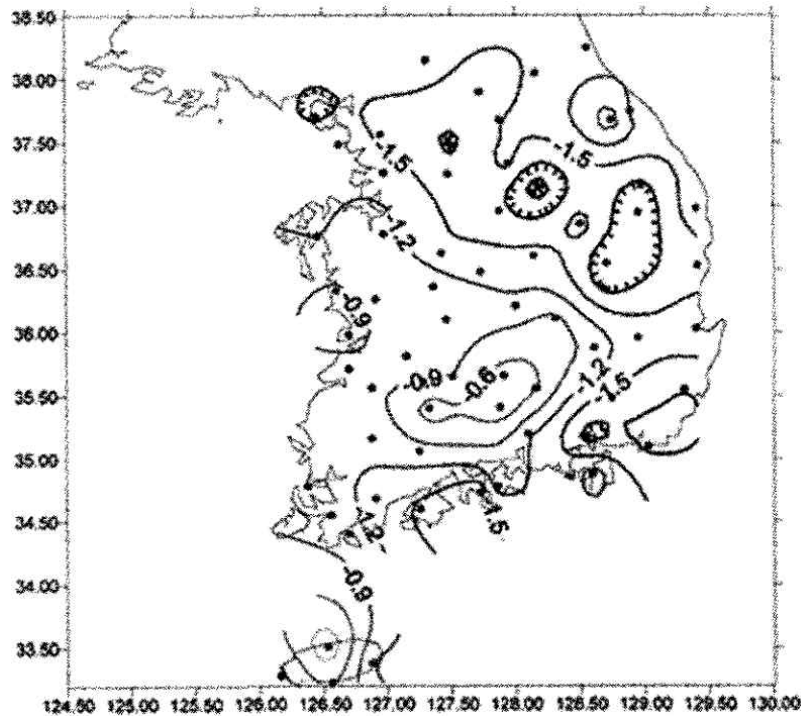


[그림 2.3.11] 2008년 우리나라 전역의 평균 토양수분

### (8) 위성영상을 활용한 가뭄지수 지도제작

안성지역을 중심으로 하여 다중 시기의 ETM 위성영상을 이용하여 토양습도를 분석하였다 (장은미 외, 2004). Landsat 위성영상은 다목적 실용위성과 융합하여 용수구역도의 배경으로 사용되는 것을 목적으로 하였으나 세 시기에 걸친 영상분석의 결과를 통해 보다 높은 해상도의 토양수분도를 작성할 수 있었다. 2001년 4월의 영상분석결과 논은 인공지물과 같이 매우 낮은 반사도 값을 보여준 반면에 5월과 6월에 촬영된 영상의 습도지수는 상당히 높게 나타남. 이는 이앙기를 지나면서 토양의 습도의 변화를 반영한 것으로 해석된다.

산지지역의 경우에는 습윤지수의 변화는 거의 나타나지 않고 있으며 호수와 하천의 경우 보유유량에 따라 매우 급격한 변화값을 보여준다. 위의 결과를 토대로 농업지역의 토양의 습도 상태에 대한 지도제작을 수행하고 가뭄에 민감한 정도가 시간의 변화에 따라 상이한 정도로 표시되는 주제도를 작성하였다. 이로 인해 ETM영상과 다목적 실용위성영상의 융합을 통한 습윤지수 지도는 경제적이면서도 빠른 의사결정을 지원할 수 있으며 수문학적 가뭄과 기후학적 가뭄 자료와 더불어 가뭄 민감도 지도생성을 통한 합리적인 용수 배분에 기여할 것으로 사료된다.



[그림 2.3.12] 2001년 가뭄지수 지도화

### 다. 국내외 영상센서 기반 발작물 수분스트레스 평가 모형 조사 및 분석

#### (1) 근적외분광분석법을 이용한 작물 수분 측정

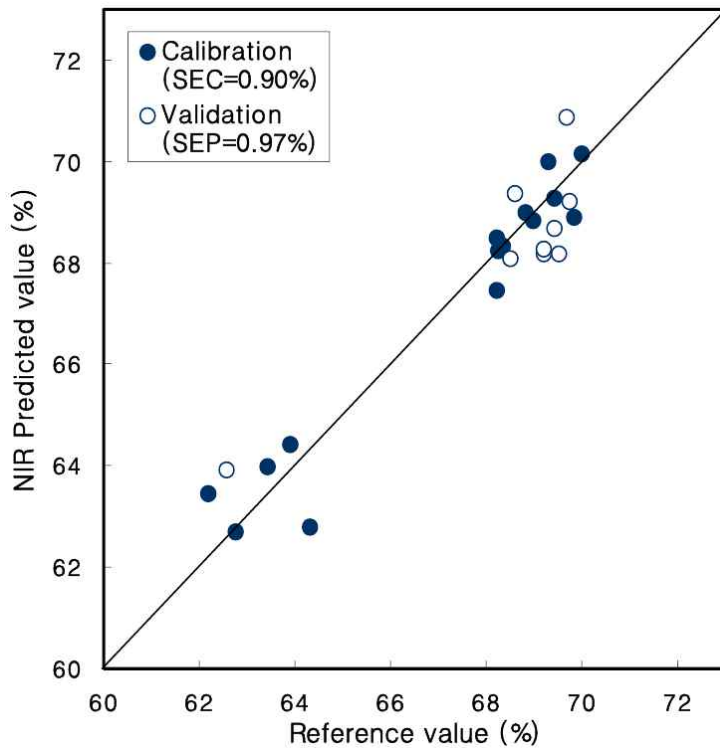
원형 상태의 감귤잎에서 수분 함유율을 측정하기 위해 비파괴적이면서 동시에 간편하다는 장점을 갖추고 있는 근적외분광분석법 (NIRS)을 이용한 새로운 수분스트레스 측정법을 개발하기 위해 수행되었다(서은정 외, 2003). 근적외선을 감귤잎에 조사시켜 비파괴적으로 간편하게



감귤의 수분 함유율을 측정하고자 한다. 근적외분광분석법은 전처리가 최소화되기 때문에 신속하게 반복적으로 측정할 수 있어, 정량의 재현성 증가, 현장에서의 직접 적용 가능, 측정 시간 및 비용의 절감 등 많은 이점이 있다.

근적외분광분석법은 Karl Norris에 의해 농업분야에서 농산물의 수분, 지방, 단백질의 분석에 사용된 이후로 많은 분야에서 활용되었다. Jaren 등은 포도의 당도를 근적외분광분석법을 사용하여 분석하였다. Munehiro Tanaka와 Takayuki Kojima는 배의 당도에 관한 연구에서 근적외분광분석법을 이용하였다. 그밖에 곡류, 육류 및 유제품의 수분, 지방, 단백질, 탄수화물과 섬유질의 신속한 정량에 널리 사용됨.

감귤잎에 근적외선을 직접 조사 하여 얻은 흡광도와 감귤잎의 수분함유율의 상관성을 부분 최소제곱법 (PLSR)을 이용하여 상관성을 검증하였다. 근적외분광분석법을 이용한 감귤잎의 수분 측정 결과가 높은 상관성을 보였으며 실제 개발 모델을 다른 감귤잎에 적용했을 때에도 오차범위내의 높은 상관성을 보인다. 이를 통해 근적외분광분석법을 이용하여 신속하고 비파괴적으로 감귤잎의 수분 함유율을 측정할 수 있음을 확인하였다.



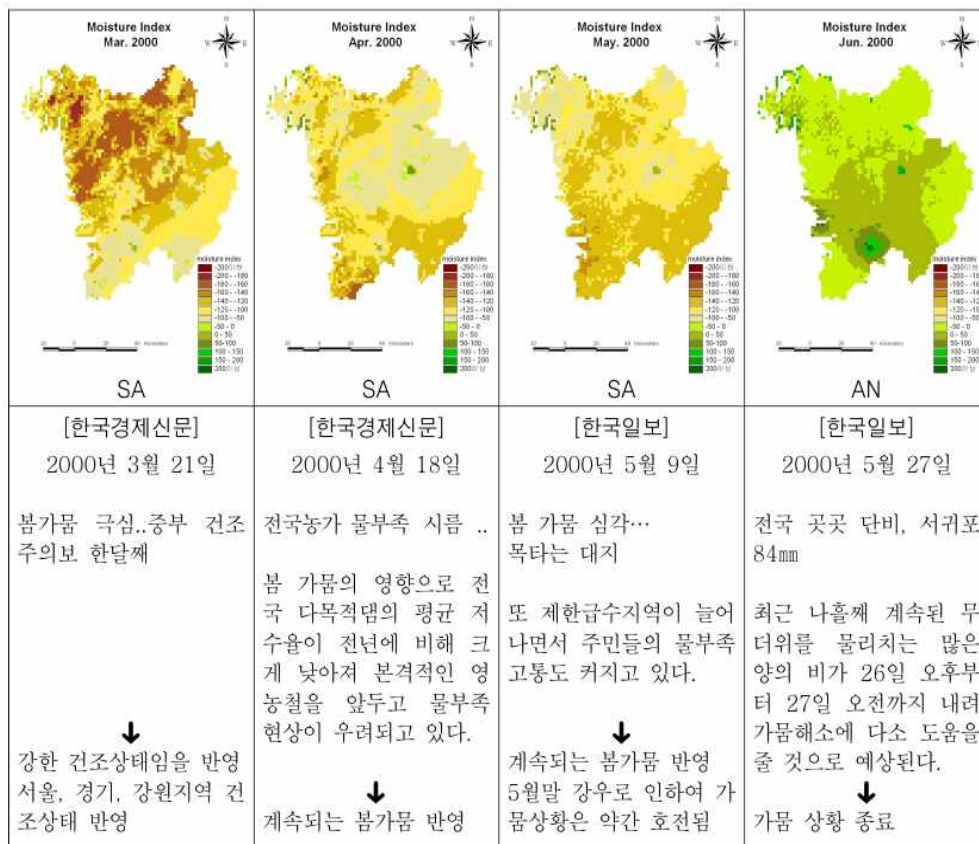
[그림 2.3.13] 수분 함유율 (X축) 및 근적외분광분석법 (Y축) 그래프

## (2) NDVI를 이용한 습윤 및 건조상황 분류

습윤지표를 통계학적 분포특성에 따라 지역의 습윤 및 건조 상황으로 분류하는 방법을 제안하였으며, 이를 바탕으로 가뭄을 평가하는 방법을 제안하였다(김주철 외, 2009). 연구 지역은 국토해양부의 수자원단위지도에 근거한 금강권역을 대상 지역이며, 해당 권역은 20개의 중권역으로 구성되어 있고 총 지역면적은 17,537.00km<sup>2</sup>이다. 위성영상 자료로 미국의 해양대기청 (NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration)에 의해 운영되고 있는

NOAA/AVHRR 기상위성 자료를 이용하였다. 사용한 자료는 1998년부터 2004 년까지 7개년간 이며, 구름이 적고 왜곡이 없는 자료를 선별하여 3월부터 11월의 자료를 대상으로 월단위 분석 함. 위성자료를 활용한 가뭄 판단을 위해 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 식 생지수를 선정하였다. 분석 결과 영상 분석값을 통한 습윤지표를 취득할 수 있었으며 해당기간 사회현상과의 비교를 통해 연구결과가 가뭄을 판단하는데에 적합한지 평가하였다.

NDVI를 이용하여 기후학적 물수지 방법을 통한 습윤지표는 지역의 습윤상황 뿐만 아니라 건조상황 까지도 고려할 수 있으며, 이로부터 금강유역의 습윤 및 건조상황을 분류하였다. 그 결과 2000년과 2001년의 연 전반에 걸친 건조 상황이 잘 묘사되며 이 습윤지표가 실제 현상을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다. 그러나 매우 복잡하게 나타나는 가뭄현상의 전부를 포착한다는 것은 불가능한일이므로 결과의 정확성 검증을 위한 다각도의 노력을 통해 가뭄 조기경보를 위한 효과적인 도구로서 활용될 수 있다.



[그림 2.3.14] 2000년도의 사회현상과 연구를 통한 습윤지표와의 연관성

### (3) 지형요소에 따른 NDVI 변화

NDVI를 통해 지형단위의 분류를 연구하였다(성춘자 외, 2003). 위성영상이나 DEM 자료를 이용하면 정확한 지형계측이 가능하기 때문에 합리적 기준만 설정될 수 있다면 신속하고 정확한 방법으로 광역적 지형분류가 가능하다. 특히 위성영상자료를 바탕으로 분석이 가능한 NDVI는 지형적 효과, 토양 변이 등의 요인에 따라 나타날 수 있는 배경효과를 정규화하는 지표로 사용되기 때문에, 다양한 지형요소를 지표로 동질단위를 설정하는데 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 사료되었다. 사례지역을 대상으로 고도, 사면경사, 사면방향 등 지형요소에 따

른 NDVI의 차이와 변화를 분석하고, 지형단위의 분류 지표로 NDVI의 활용 가능성을 진단하였다.

#### (4) 우리나라의 지상관측 토양수분 데이터

우리나라 지상관측 토양수분 데이터의 현황과 앞으로의 전망에 대해 정리하였다(김성균 외, 2015). 토양 데이터 취득에 있어 항공관측 및 인공위성을 이용한 원격탐사기법 등의 선진 기술이 적용되어 광범위한 토양수분 산정이 가능해 지면서, 토양수분의 활용도가 농업과 생태학에서 수자원 관리 및 기후 모델링의 영역까지 확대되었다. 하지만 센서의 오차와 산출 알고리즘의 불확실성으로 인해 현장관측 토양수분 자료를 기준 자료로 하여 이를 검증하는 과정이 필요하다.

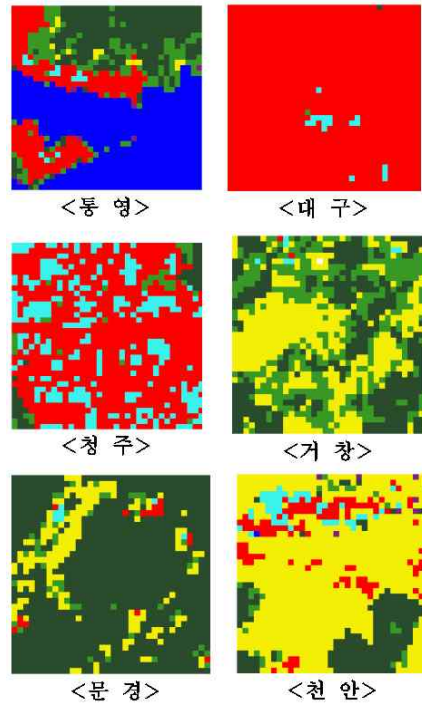
현장관측 토양수분자료와 인공위성 기반 토양수분 자료를 비교, 검증하는 것은 양측 관측 자료의 신뢰성을 높인다는 점에서 의미가 있다. 국·내외적으로 이용 중인 현장 관측 토양수분 측정 방법들을 소개하고 우리나라 현장관측 토양수분 자료 현황과 함께 앞으로의 지점 기반 토양수분 연구 전망을 분석하였다.

### 라. 가뭄판단 및 가뭄지수 관련 선행연구 현황

#### (1) MODIS 식생지수와 기상학적 가뭄지수의 상관성 분석

MODIS 위성영상과 기상학적 가뭄지수의 상관성을 분석하여 식생지수를 통한 가뭄 모니터링 방안을 제시하였다(박정술 외, 2008). 가뭄모니터링에 활용 가능한 다양한 식생지수를 Palmer 가뭄지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI), 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI), 정상강우백분율(Percent of Normal Precipitation)등 기존의 기상학적 가뭄지수와 비교하였으며 이들 지수와의 상관성을 정량적으로 제시함으로써 식생지수를 이용한 가뭄모니터링의 객관성을 확보하였다. 사용된 식생지수는 월 단위로 제작된 MODIS Vegetation Index product로 NDVI와 대기효과 보정을 위해 청색광 영역이 사용된 EVI(Enhanced Vegetation Index)를 포함한다. 해상도는 1Km이며 자료 수집 기간은 2000년 3월~2007년 6월로 NDVI를 이용하여 VCI와 SVI를 제작하여 활용하였다.

강우관측소 지점을 포함하는 영상 화소에 포함된 환경부 토지피복 분류를 토대로 1 Km 해상도의 식생지수 화소를 식생 화소와 비 식생 화소로 구분하였다. 또한, 해수면에서 반경 20 Km 내의 지역을 해안지역으로 구분하여 해수에 영향 받는 식생값을 별도로 분류하여 비교하였다. 8개년 자료에 대한 NDVI, EVI, VCI, SVI 등 4개의 식생지수를 SPI(지속기간 1개월~6개월), 정상강우백분율(1개월~6개월 누가), PDSI와 비교한 결과 NDVI, EVI가 SPI, 정상강우백분율과 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 또한 식생지수를 이용한 가뭄 모니터링은 대체로 3개월 이상의 물 부족 현상을 반영함을 제시하였다. 또한, 피복상태 및 지리적인 위치를 고려할 때 식생피복의 내륙지역에서 식생지수를 이용한 가뭄분석의 활용성이 가장 높은 것으로 나타났다.

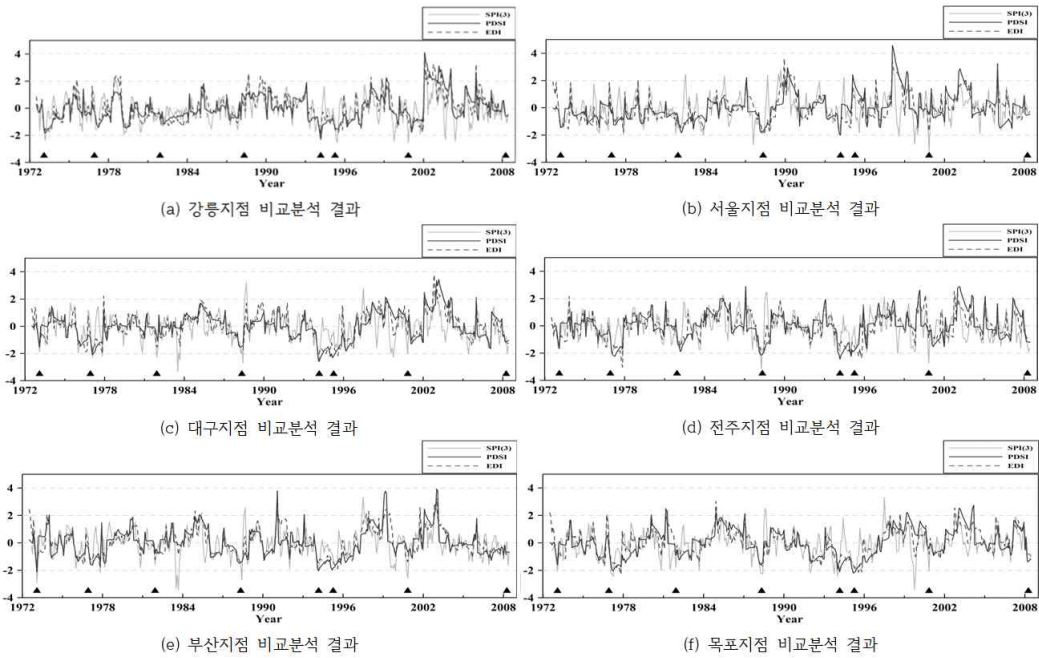


[그림 2.3.15] 관측소별 토지피복 구성

## (2) 기상학적 가뭄지수 비교분석

대표적인 가뭄지수인 표준강수지수 (Standardized Precipitation Index, SPI), 팔머 가뭄심도지수 (Palmer Drought Severity Index, PDSI), EDI (Effective Drought Index)을 선정하여 가뭄지수의 산정 및 비교분석을 수행하였다(김민석 외, 2009). 대상지역은 강우 자료의 확보가 용이하고 과거로부터의 관측 자료의 신뢰성이 확보 되어 있는 기상청에서 관측한 자료를 이용하여 분석하였으며 분석 지점은 강릉, 서울, 대구, 전주, 부산, 목포로 선정하였다. 각각 가뭄지수를 분석한 후 하나의 결과로 종합하여 비교분석하였다.

연구 결과 SPI(3개월), PDSI, EDI지수는 과거 우리나라에 발생한 가뭄연도와 거의 일치하면서 가뭄을 잘 표현해 주는 것으로 분석하였다. 표준화를 통한 비교분석에서는 SPI(3개월)지수는 독립적인 지수의 변화를 보였으나, PDSI지수와 EDI지수는 가뭄의 심도에서 PDSI지수가 EDI지수보다 가뭄의 심도가 크게 나오는 차이가 있지만 변화경향은 대부분 일치하는 것으로 분석된다. 대표적인 기상학적 가뭄지수의 비교분석을 결과, 각각의 가뭄지수를 종합함으로써 좀 더 명확하게 기상학적 가뭄을 판단할 수 있을 뿐만 아니라, 미래의 가뭄을 전망할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

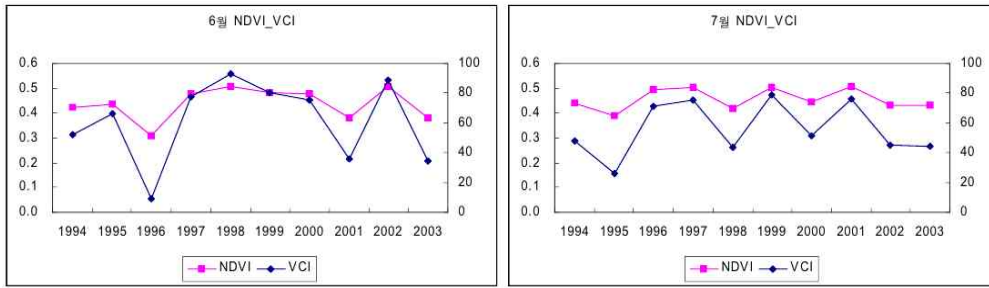


[그림 2.3.16] 각 지점별 SPI, PDSI, EDI 분석 결과

### (3) 식생지수와 가뭄지수의 상관성 분석

식생지수와 가뭄지수의 상관성 분석을 연구하였다(김격탁 외, 2006). 가뭄지수로는 PDSI (Palmer Drought Severity Index), SWSI (Surface Water Supply Index) 및 SPI (Standard Precipitation Index)를 식생지수로는 위성자료로부터 쉽게 얻을 수 있는 정규식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)를 이용하여 정량적으로 표현하였다. 인위 적인 조건 및 지형의 변화가 발생되지 않는 지역 에서 NDVI의 변화가 발생했다면 이를 기상요소의 영향에 의한 것으로 간주하는 Kogan(1995)의 식생상태지수(Vegetation Condition Index, VCI)를 이용하여 기상조건에 의한 식생 활력의 증가 및 감소에 대한 정보를 정량적으로 파악하였다.

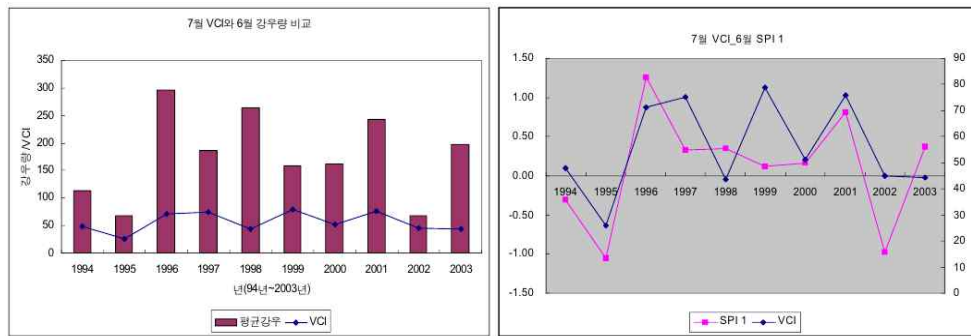
가뭄지수를 이용하여 가뭄심도를 파악한 후, 인공위성에 의해 획득되는 식생정보를 가뭄평가를 위한 객관적 지표인 가뭄지수와 비교하였다. 이를 통하여 식생자료를 통한 정량적인 가뭄심도 파악을 시도하였으며 식생활력도를 이용하여 광역적 규모의 가뭄현상 파악에 활용성을 검토하였다. VCI는 동일한 식생조건에서 기상학적인 영향에 의한 식생지수의 변화를 탐지하는 것이므로 년 VCI를 정량적인 식생값으로 나타내기엔 어려움이 있다. 따라서 그림과 같이 NDVI가 선형관계에 있음을 기인하여 선정 연도의 식생지수와 강수량 및 가뭄지수의 상관성을 분석하였다.



(a) NDVI\_VCI 비교 (6월)

(b) NDVI\_VCI 비교 (7월)

[그림 2.3.17] NDVI와 VCI 값의 비교 (1994 - 2003)



(a) 7월 VCI와 6월 강수량 비교

(b) 7월 VCI와 6월 SPI 지속기간 1개월

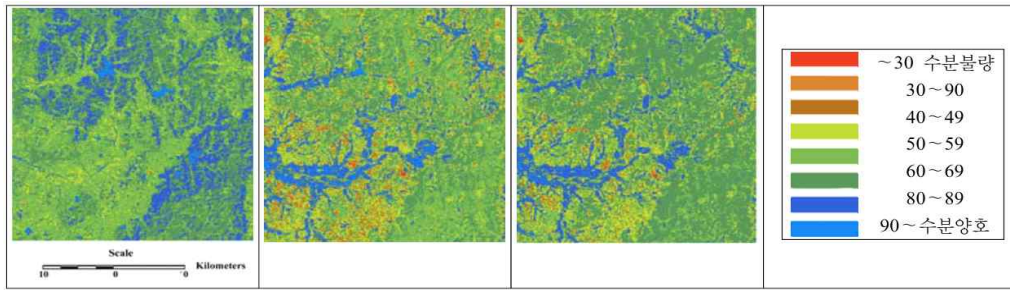
[그림 2.3.18] VCI와 강수량, 가뭄지수와의 비교

#### (4) 위성영상을 활용한 가뭄지도

위성영상분석을 통한 해당 영상의 도시, 물, 습지의 구분과 나아가 이를 통해 가뭄수치 지도 제작 가능성을 검토하였다(장은미 외, 2004). 과거 위성영상분석 기술이 등장한 이래로 Landsat TM (Thematic Mapper) 자료를 이용하면서부터 좀 더 많은 밴드와 분광대의 특성을 반영한 Tasseled cap 변환 연구가 수행하였다. 6개의 TM 밴드는 토양축과 식생축으로 구분되고 그 사이에 변이지역으로 나타냄으로서 상세한 결과를 제공한다.

중적외선 밴드를 이용하여 토양내의 습기함유 정도를 나타내는 세 번째 성분과 연무(煙霧)를 나타내는 네 번째 성분을 확인하였으며, 이 성분을 이용한 합성영상으로 도시, 물, 습지를 구분함. Landsat 영상은 해상도가 매우 떨어지기 때문에 다목적실용위성1호의 영상과의 융합을 통해 고화질 영상을 취득하였으며 DN (Digital Number)값으로 표현되는 8 bit의 일반 영상은 많은 잡음 (noise)을 포함하고 있기 때문에 보정을 통한 영상 표준화를 실시하였다.

2001년 농번기 3회의 토지가뭄 지수의 변화상을 보정한 영상을 통해 진행하였고 Tasseled Cap 변환에 의한 습윤 지수의 지도화 방법을 적용하였다. 해당 자료의 정확도는 기상분야의 모델링 기법을 통해, 기상청의 보고 자료에 의해 평가될 수 있을 것이며, 한국전자통신연구원의 다양하게 확보된 Landsat 위성영상을 통한 시계열적인 분석도 가능할 것으로 기대된다.

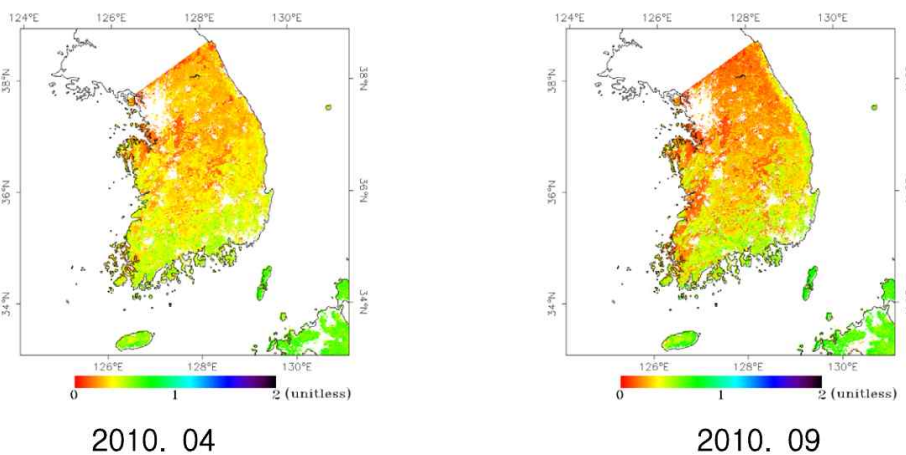


[그림 2.3.19] 2001년 6월 3일 토양수분도 (좌측부터 4월, 5월, 6월)

#### (4) 원격탐사 기반 가뭄지수 산정

고해상도의 위성 데이터를 사용하여 국내 가뭄우심지역에 대한 가뭄지도 작성을 제안하였다(최민하 외, 2012). 현재 다양한 분야에서 사용되고 있는 위성 중 데이터 해상도가 ~1km인 Aqua와 Terra에 탑재된 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)의 자료를 통하여 연구 지역에 대한 증발산 지도 및 가뭄지도를 제작함. 또한 원격탐사 기반의 새로운 가뭄지수인 ESI (Evaporative Stress Index)를 개발하여 좀 더 정확한 가뭄정보를 시·공간적으로 제공하여, 효율적인 가뭄관리 및 대책 수립에 대해 검토하였다.

토양에서 일어나는 증발을 고려한 Revised RS-PM 증발산 산정 모형을 적용하여 한반도 전 지역에 대한 증발산을 산정하였다. 이러한 과정을 통하여 산정된 실제증발산과 잠재증발산을 이용하여 Evaporative Stress Index (ESI)를 산정 및 지도화하였다. ESI는 널리 알려져 있는 Revised Penman-Monteith 알고리즘을 이용하여 실제 증발산을 산정하였고, Priestley-Taylor 방법을 이용하여 잠재 증발산을 산정한 뒤 두증발산 값의 비로 표현하였다. 이처럼 원격탐사 기반의 가뭄지수를 산정하게 됨으로써, 유역 단위나 시군구 단위 이상의 지역적인 가뭄정도를 파악할 수 있으며, 지점 관측 자료를 기반으로 산정된 기존의 가뭄지수인 SPI, PDSI 등과의 비교를 통하여 지역적인 적용성이 기대된다.

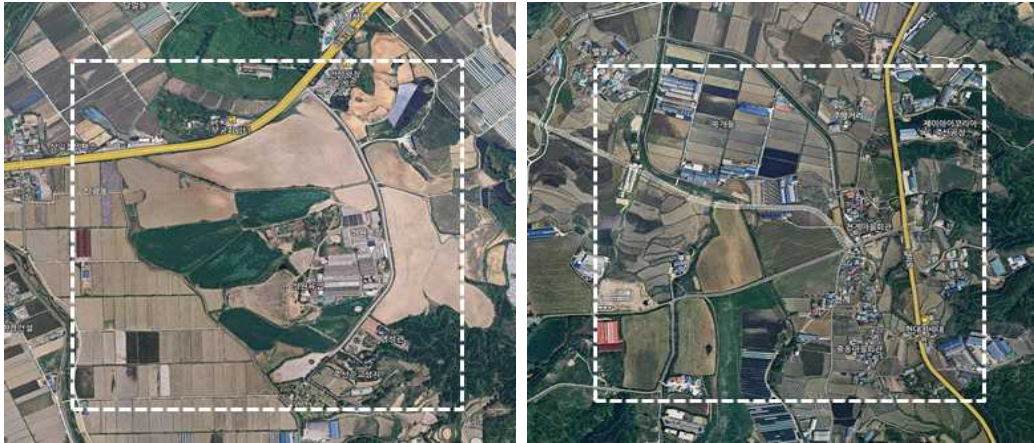


[그림 2.3.20] 한반도 ESI 분포

## 2. 무인기를 활용한 토양수분 모니터링 자료 기반구축

### 가. 연구 대상지역

연구 대상지는 아래 그림과 같이 안성시에 소재한 일죽면 월정리와 죽산면 장계리를 테스트 베드로 선정하였다. 두 곳 모두 드론을 이용한 영상 촬영을 실시하고, 지역마다 2곳의 밭내 토양 시료 채취 및 토양 수분 측정을 실시하였다. 대상 면적은 영상 촬영으로 취득 가능한 약 1 km<sup>2</sup>이며, 그 구간 내 존재하는 토양의 수분을 측정하였다.



[그림 2.3.21] 안성시 일죽면 월정리 719(좌) 및 죽산면 장계리 521(우)

아래 그림은 연구 대상지로 선정된 안성시 일죽면 월정리 719일대 농작지이며 촬영 당시 경작 농작물은 옥수수, 월정리 일대 농작물은 감자임을 확인하였다



[그림 2.3.22] 안성시 일죽면 월정리(좌) 및 죽산면 장계리(우) 작물 현황

### 나. 토양수분 및 기상자료 취득

#### (1) TDR(Time Domain Reflectometry)

영상 자료와의 비교를 위해 직접 토양 수분을 측정하기 위하여 아래와 같은 3가지 방법으로 토양수분을 측정하였다. 선정된 지점에서 깊이별로 직접 토양 수분도를 측정하기 위하여 Decagon Devices, Inc의 GS-1을 이용하였다. 이 장치는 TDR (Time Domain Reflectometry) 방식을 이용하며 토양 내에 고주파를 송출하여 되돌아오는 반사파의 시간 차이를 이용하였다.



전기전도도의 영향을 받지 않아 안정적인 측정이 가능하다.



[그림 2.3.23] 토양수분측정 센서(GS-1)(좌) 및 출력장치(ProCheck)(우)

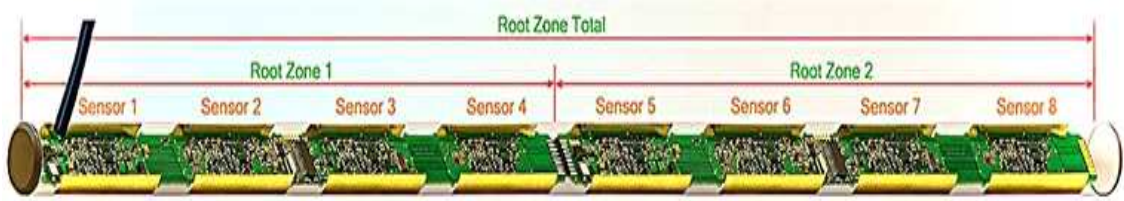
[표 2.3.1] 토양수분측정 장비 기본사항(좌) 및 실제 측정사진(우)

장비종류	GS-1	
측정범위	0 ~ 100% VWC	
측정시간	약 10ms	
정확도	일반토양에서 ±0.003 m <sup>3</sup> VWC 최대 8 ds/m (보정 ±0.001 ~ 0.002m <sup>3</sup> )	
해상도	무기토양에서 +0.001 m <sup>3</sup> VWC	
작동환경	-40 ~ 50 °C	

## (2) FDR(Frequency Domain Reflectometry)

층위별 토양 수분을 측정하기 위하여 FDR 센서를 이용함. 전기용량 (capacitance)을 이용한 방법으로 공명 진동수의 변화를 측정하며, 발진기로 불리는 전자회로에 의해 반복적인 파장을 생성하며 사인파의 형태가 일반적인 파장이며 다른 형태로는 삼각파나 바늘형태의 침파, 사각파 등이 있다.

FDR의 파장대역은 직류전원의 유도효과를 피하기 위해 100 kHz 보다 커야 하며 축전판 사이의 매질을 토양으로 하고 토양수분 함량에 따라 변화하는 주파수의 변화를 탐지하도록 되어 있다. 아래 그림은 FDR 센서의 내부 센서 구조와 외부를 나타낸다.



[그림 2.3.24] FDR 센서 구조

연구에 사용한 FDR 센서는 EnviroPro 사의 SoilProbes 을 이용하였다. 이 장치는 토양 내 수분변화에 따른 유전율 변화를 측정회로 내에 걸리는 주파수 세기 변화에 따라 콘덴서에서 정전용량 (capacitance) 변화 값을 전압차로 읽어낸다. 토양 내에 고주파를 송출하여 되돌아오는 반사파의 세기에 따른 정전용량 변화를 이용하여 유전율의 변화를 이용하여 층위별 토양 수분 값을 측정할 수 있다. 측정은 1시간 단위로 데이터를 수집하였고, 총 17개의 포트를 사용하여 토양수분 (단위 %), 토양 온도 (단위 °C), 강수량 (단위 mm)의 자료를 측정하였으며 측정 위치는 10cm 간격으로 지표면으로부터 80cm 까지 지점이다.



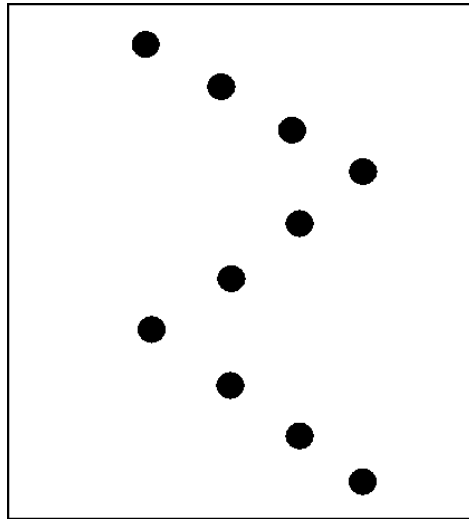
[그림 2.3.25] FDR 센서 설치

### (3) 토양 시료 채취

토양 시료채취는 간단한 작업이지만 수직, 수평적으로 균일하지 않으므로 채취한 시료가 대상지역의 토양을 대표해야 한다는 점에서 세심한 주의를 기울여야 한다. 시료채취 후 시료의 취급 또는 분석을 아무리 정확히 하더라도 시료채취 오차는 분석측정 오차 보다 항상 크기 때문에 토양시료는 신중하고 정확하게 채취해야 한다. 다음 환경부가 고시한 토양오염공정시험기준의 토양 시료 채취 시 유의사항을 참고하여 토양시료 채취를 실시하였다.

- 토양은 모종삽, 끌 등을 이용하여 채취 (한번 사용한 도구는 세척 후 사용)
- 최소 5곳에서 시료 채취 (깊이, 넓이, 색상 등 유물 표면을 고려)
- 표면토를 5cm 정도 제거한 후 채취 (오염 토양의 제거로 오차 범위 최소화)
- 주변의 대조 토양(control soil)도 채취 (대조 토양도 최대 5곳에서 시료 채취)
- 용기는 알루미늄 포일, 유리병을 권장 (현장에서는 비닐 팩 사용 가능)
- 토양시료의 채취기록지 부착 (밭갈지, 위치, 일자, 채취자명 등 기록)
- 시료는 저온, 음지 보관 (그늘진 저장고나 4℃ 냉장 보관)

시료 채취 지점의 선정은 대상지역을 대표할 수 있는 토양시료를 채취해야 하며, 농경지의 경우는 아래 그림과 같이 대상지역 내에서 지그재그형으로 선정함을 기본으로 하나, 본 연구에서는 대상지 내 일정 간격을 기준으로 임의의 지점에서 채취를 실시하였다.



[그림 2.3.26] 농경지 토양시료 채취

항공 촬영 영상과의 비교를 위해 직접 토양 수분을 측정하기 위하여 아래와 같이 토양수분 측정 지점을 선정하였다. 연구 진행 초기 단계에서 선정한 측정 대상지는 안성시 일죽면 월정리 719 일대이며, 측정 지점 간격은 30m x 30m의 격자로 설정하였다.

측정 시기에 작물(옥수수)의 상태를 고려하여 실제 측정한 지점은 총 20곳이며 아래 그림에 별도로 표시하였다. 모든 지점에서 지표면으로부터 5 cm, 15 cm, 30 cm의 깊이에서 TDR 장치를 이용하여 토양 수분을 측정하였고, 토성분석을 위한 토양의 채취는 약 300~500g 정도로 a와 b 지점에서 실시하였다. A ~ C 지점에서는 토양 수분 분석을 위한 코어 시료를 채취하였고, D 지점에는 FRD를 이용한 토양 수분의 측정과 기상관측을 위한 장비를 설치하였다. 측정 지점은 GPS장비를 통해 사전에 임의로 선정한 20개 지점에 대한 경도와 위도 좌표를 바탕으로 진행하였다.

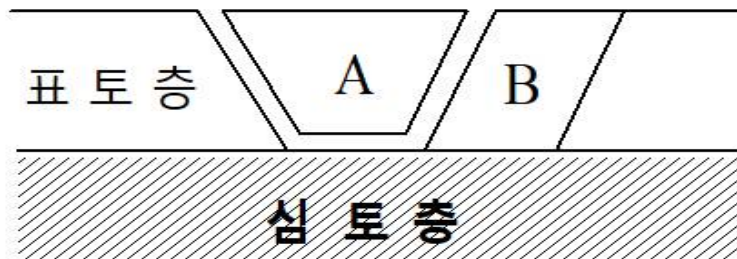


[그림 2.3.27] 일죽면 월정리 일대 토양수분 측정 지점

토양표면의 잡초나 유기물 등 이물질을 제거한 후 아래 그림과 같은 토양 시료채취기 (Sampler)로 채취 및 측정을 실시하였다. 다만, 토양이 단단하거나 바위가 많아 토양시료 채취기의 사용이 어려운 경우 삽 등의 기구를 사용하여 그림 106과 같이 A 부분의 흙을 제거한 후 B부분의 흙을 채취, 측정하였다.

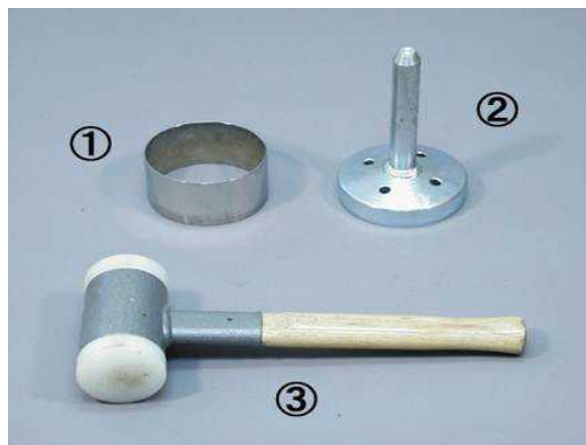


[그림 2.3.28] 토양 시료채취기



[그림 2.3.29] 토양시료 채취법 예시

채취한 토양 시료의 보관은 서스 및 스테인레스 재질의 시료보관통을 이용하였으며 입구를 테이핑하여 밀봉하였다. 시료 용기에는 채취 지점, 깊이 등 토양정보를 기입함. 채취한 시료는 농업기술실용화재단의 종합분석검정센터를 통해 시료의 토성 및 토양수분 분석을 의뢰하였다.



[그림 2.3.30] 코어 채취 장비(① 시료원통 ② 채토보조기, ③ 해머)

[표 2.3.2] 코어 채취 장비 기본사항

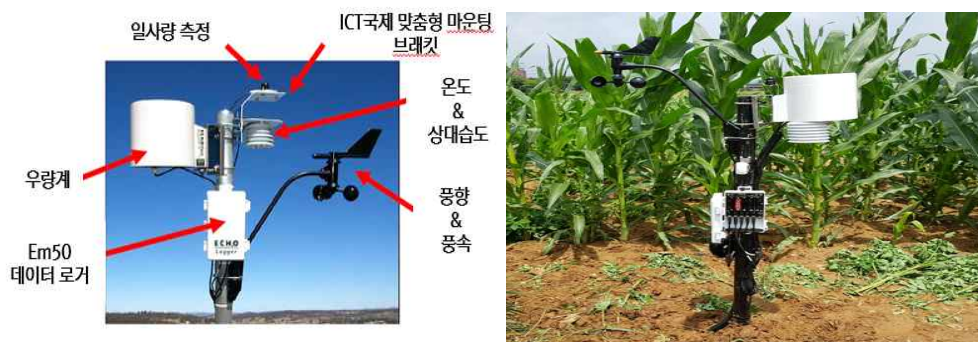
Core sampler	Ø 53 mm
채토보조기	Ø 53, H 190 mm
Hammer	D 5 cm, 길이 30 cm

(4) 기상관측 장비

기상관측장비는 Decagon 사의 DAVIS CUP ANEMOMETER EM 50을 사용하였다. 풍향, 풍속, 일사량, 우량, 온도, 습도 등의 기상 자료를 관측할 수 있다. 1분 간격으로 평균 풍향을 측정하고, 풍향의 값과 펄스 수(크기)는 바람 방향을 X와 Y 벡터로 나눈 후 관독 값과 함께 합산된다. 전력공급을 위해 100W의 태양광 전지 패널을 함께 설치하였다.



[그림 2.3.31] 일죽면 월정리 일대 기상관측장비 설치



[그림 2.3.32] 기상관측장비 구조 및 설치

[표 2.3.3] 기상관측장비 기본사항

WIND SPEED ACCURACY	± 5%
WIND DIRECTION ACCURACY	7°
WIND SPEED RESOLUTION	1 mph (0.45 m/s, 1.6 km/hr)
WIND DIRECTION RESOLUTION	1° (0 to 355°)
WIND SPEED RANGE	0 - 129 mph (58 m/s, 209 km/hr)
START THRESHOLD	3 mph (1.3 m/s, 4.8 km/hr)
WIND DIRECTION RANGE	0 to 360°
MATERIAL	Wind Vane and Control Head: UV-resistant ABS
	Wind Cups: Polycarbonate
	Anemometer Arm: Black-anodized aluminum
DIMENSIONS	18.5 in. long x 7.5 in. high x 4.75 in. wide (470 mm x 191 mm x 121 mm)
WEIGHT	2 lbs. 15 oz. (1.332 kg)
DATA LOGGER COMPATIBILITY (NOT EXCLUSIVE)	Decagon Em50 Series

### (5) 식생지수 관측 장비

식생의 분류 및 분석에 있어 분광반사특성은 식물의 종류와 상태에 대한 정보를 제공하였다. 특히 열화상 영상은 기존의 다중분광영상에서 불가능하던 종의 분류, 수분 또는 양분 부족에 의한 스트레스, 잎의 함수량 및 화학적 특성 등 정략적 분석이 가능하다. 드론 원격탐사에 의한 분광분석이 본격화되면서 정규식생지수 (NDVI) 등의 식생지수 분석에 의한 정밀농업이 주목을 받고 있다.

정규 식생지수는  $NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$  의 식으로 주어지며, 여기서, NIR은 근적외선 대역의 반사도이고 Red는 적색과장 대역의 반사도를 의미한다.

NDVI는 가시광선의 적색과장대역과 근적외선의 합과 차의 비율로서, 적색과장대역과 근적외선대역에서 녹색식물의 반사율 차이가 크게 나타나는 것을 이용하였다. NDVI는 -1에서 1사이에 분포하며, 수분을 포함하는 구름, 물, 눈 등은 음수로 나타나고 녹색 식물인 경우는 양수, 암석, 마른토양 등은 0에 가깝게 나타난다. NDVI는 식생의 양과 건강상태 및 농작물 생산량 추정 등에 효과적으로 사용되고 있으며, 환경 변수나 현상에 대해서도 안정적인 결과를 도출할 수 있다.

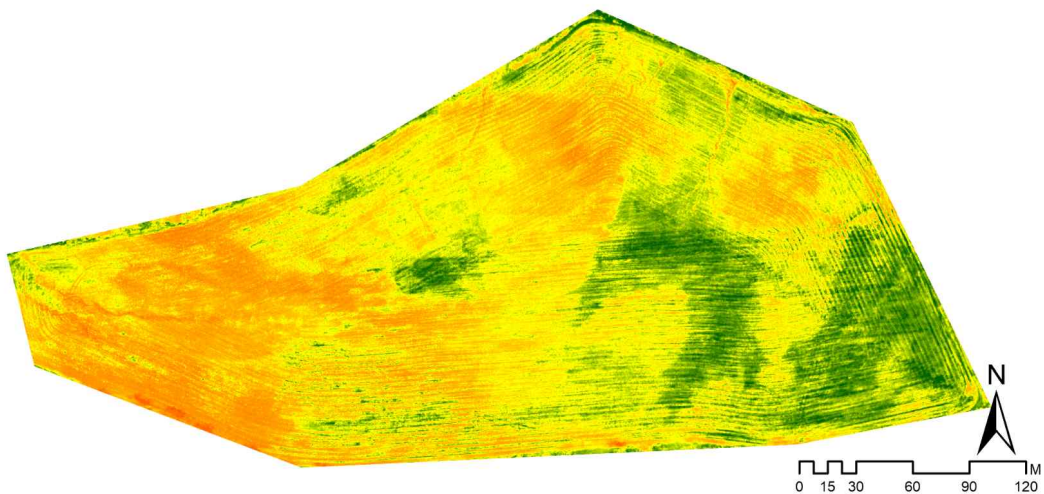


[그림 2.3.33] NDVI 센서 작동 모식도

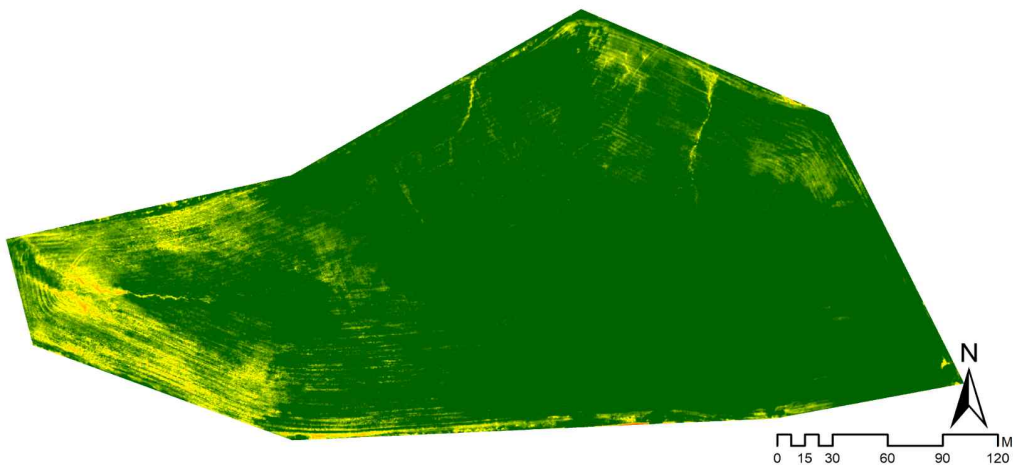
### 3. 무인기를 활용한 작물수분 스트레스 평가 기술 개발

#### 가. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

식생지수는 단위가 없는 복사 값으로 식물의 상대적 분포량과 활동성 및 엽면적 지수, 광합성 흡수 복사량 등과 관련된 지표로 사용되었다. 식생지수 중 하나인 NDVI는 식생의 활성도를 나타내는 지표로 원격탐사에서 널리 사용되는 지표중 하나이다. 정규식생지수는 식생의 반사율이 가시영역에서 낮고 근적외선 영역에서 높은 성질을 이용한 단순 계산으로 나타낸다. 정규 식생지수는 -1에서 1 사이 값을 가지며, 식생의 건강상태 및 농작물 생산량 추정 등에 효과적으로 사용된다. 식생지역은 근적외선 산사율이 가시광선 영역의 반사율보다 높으며, 물, 눈, 구름은 근적외선 반사율이 가시광선 영역의 반사율보다 낮은 반사율을 가진다. 이에 따라 NDVI의 양수는 식생지역을 나타내며, 음수는 물, 눈, 구름을 나타냄. 본 연구에서는 물, 눈, 토지 등의 값을 제외한 0부터 1까지의 범위를 기준으로 촬영한 영상을 NDVI지도로 만들었다. 2018년 총 8개 시기, 2019년 1개 시기에 대해 데이터를 구축하였다.

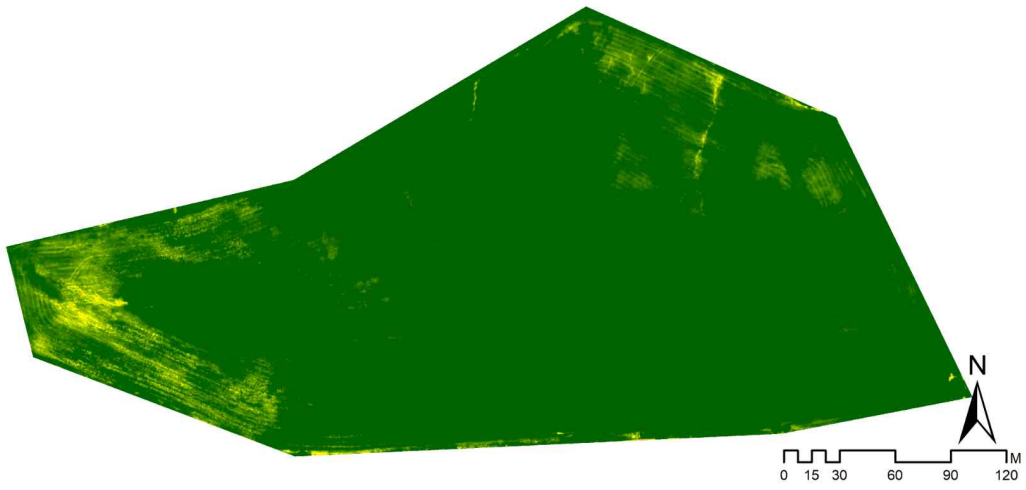


[그림 2.3.34] 2018년 4월 17일 NDVI영상

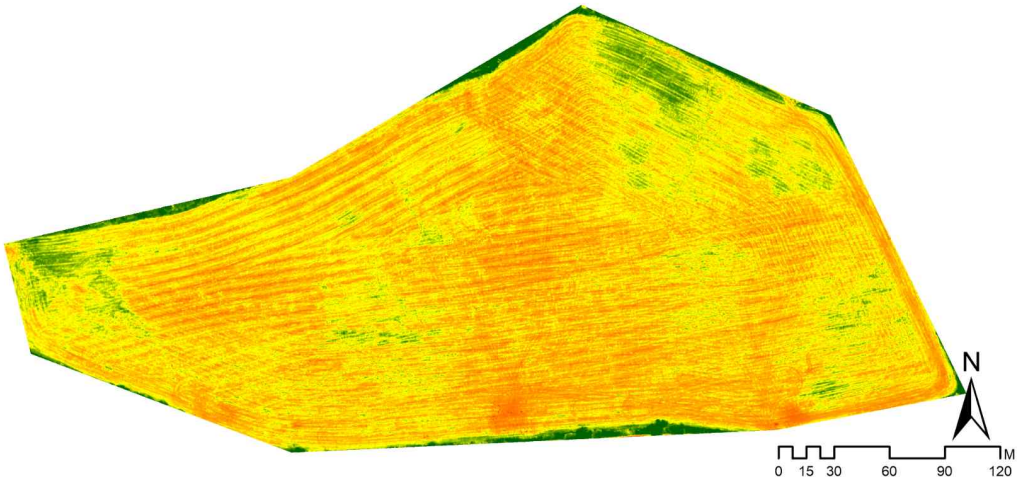


[그림 2.3.35] 2018년 5월 9일 NDVI 영상

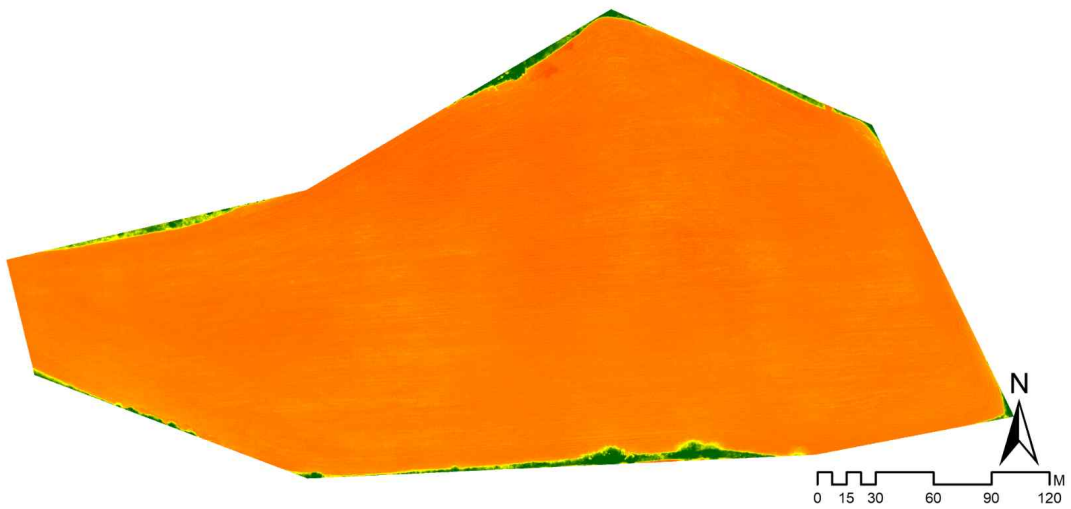




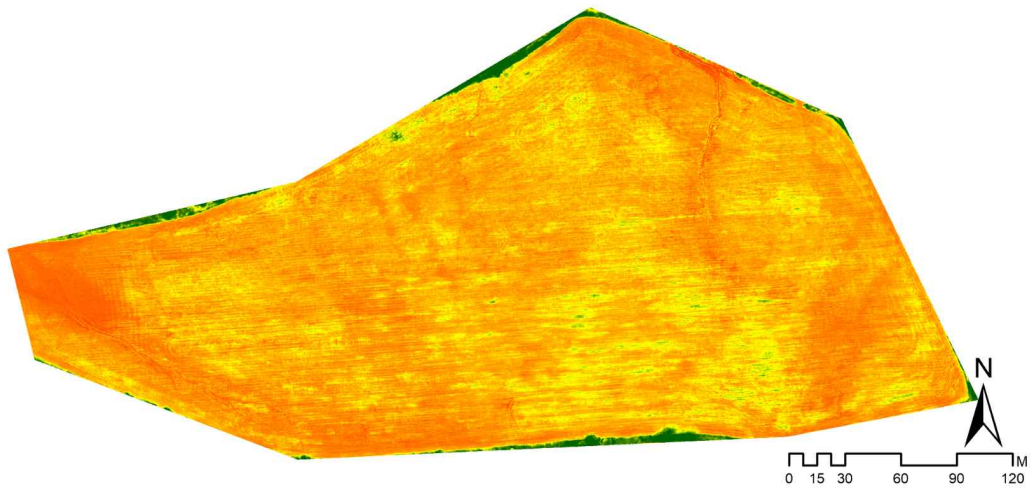
[그림 2.3.36] 2018년 5월 28일 NDVI영상



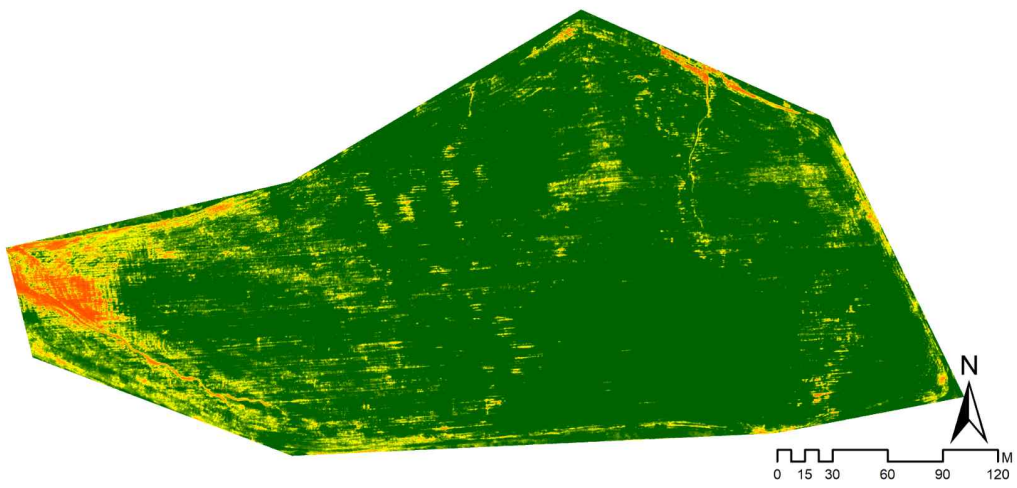
[그림 2.3.37] 2018년 6월 11일 NDVI영상



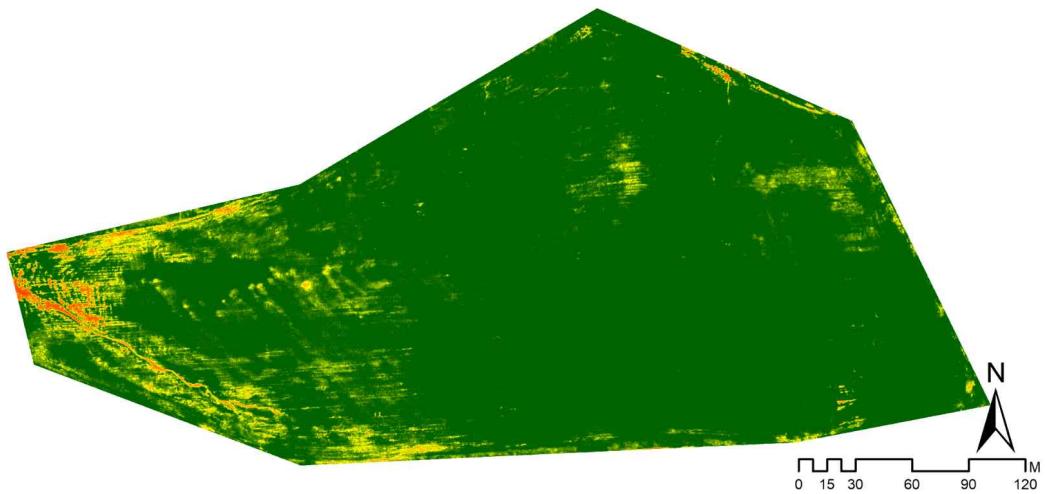
[그림 2.3.38] 2018년 6월 25일 NDVI영상



[그림 2.3.39] 2018년 7월 12일 NDVI영상



[그림 2.3.40] 2018년 7월 25일 NDVI영상



[그림 2.3.41] 2018년 8월 8일 NDVI영상

#### 4. 가뭄평가를 위한 발작물 토양수분 모형 개발 및 수분스트레스 라이브러리 구축

##### 가. 토양시료 채취 분석

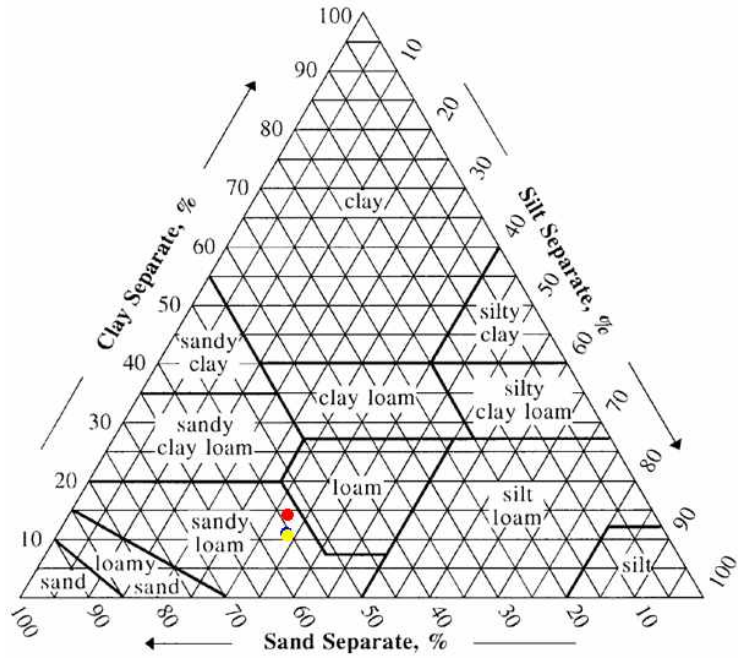
TDR 장비를 이용한 토양시료 채취는 6월 22일에 5cm, 15cm, 30cm에 대해 진행하였으며 토양 시료분석을 위한 채취는 월정리 A 지역에서 3곳, 토양수분 분석을 위한 채취는 월정리 A 지역의 같은 지점에서 3곳, 장계리 A 지역에서 1곳, 총 9개, 12개 시료를 채취하였다. 측정된 데이터의 정확도를 확인하기 위해 토양시료를 채취해 농업기술실용화재단 (<https://lab.fact.or.kr>)에 분석을 맡겼다. 분석을 통해 해당지점의 깊이별 토양수분 값을 확인하였다. 이를 통해 미국 농무부 (<https://www.nrcs.usda.gov>, United States Department of Agriculture)에서 제공하는 토양삼각도를 이용해 도식화하였다.



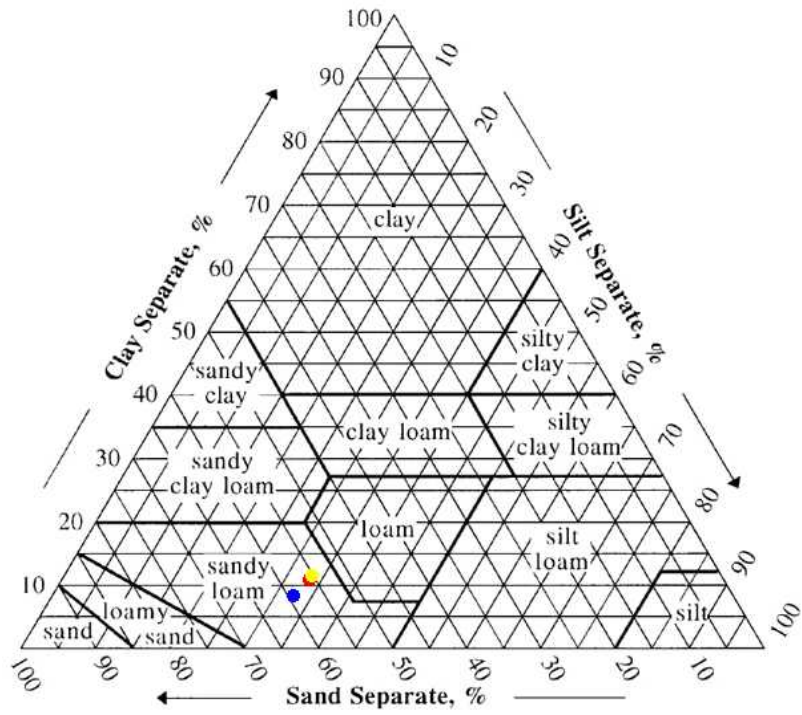
[그림 2.3.42] 월정리 토양수분 분석용 시료 채취 포인트 (6월 22일)



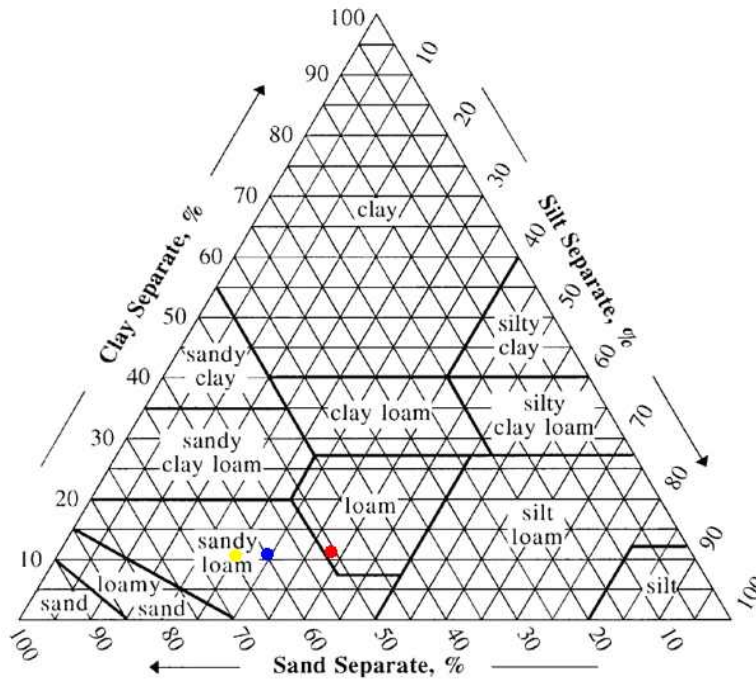
[그림 2.3.43] 월정리 토양성분 분석용 시료 채취 포인트 (6월 22일)



[그림 2.3.44] 17번 지역에 대한 토양삼각도 (빨강:5cm, 파랑:15cm, 노랑:30cm)



[그림 2.3.45] 18번 지역에 대한 토양삼각도 (빨강:5cm, 파랑:15cm, 노랑:30cm)



[그림 2.3.46] 11번 지역에 대한 토양삼각도 (빨강:5cm, 파랑:15cm, 노랑:30cm)

[표 2.3.4] 양수분 시료 채취 분석 결과 데이터

Regions	point	Soil Moisture (%)		
Area		5cm	15cm	30cm
월정리 (A area)	12	10.32	10.33	9.49
	14	8.38	11.19	11
	16	7.5	9.22	12.77
장계리 (B area)	1	7.85	9.55	10.93

[표 2.3.5] 토양 성분 채취 분석 결과 데이터

Regions	point	deep	Soil component
Area			
월정리 (A area)	17	5 cm	사양토(sand 54.9%, silt 31.5%, clay 13.7%)
		15 cm	사양토(sand 56.6%, silt 32.7%, clay 10.6%)
		30 cm	사양토(sand 56.8%, silt 33.1%, clay 10.1%)
	18	5 cm	사양토(sand 56.9%, silt 32.7%, clay 10.3%)
		15 cm	사양토(sand 60.3%, silt 31.8%, clay 7.9%)
		30 cm	사양토(sand 56.2%, silt 32.7%, clay 11.1%)
	11	5 cm	양토(sand 51.7%, silt 37.6%, clay 10.7%)
		15 cm	사양토(sand 60.8%, silt 28.8%, clay 10.4%)
		30 cm	사양토(sand 65.5%, silt 24.2%, clay 10.2%)

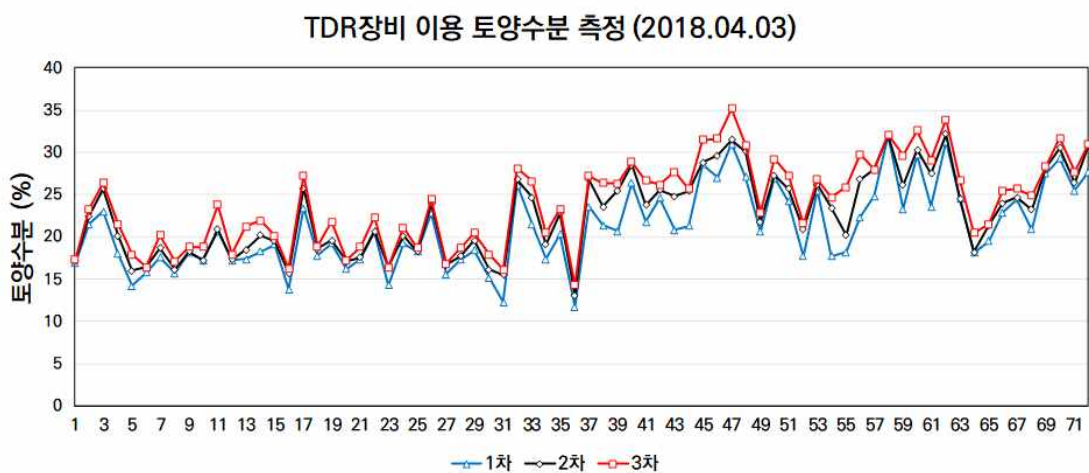
### 나. TDR장비 이용 토양수분 측정

무인기 촬영 영상을 통해 취득한 테스트 베드 지역의 NDVI값과 토양수분의 상관성을 분석하기 위해 해당 지역의 실제 토양수분 값을 측정하였다. TDR 장비를 이용하여 측정하였으며 2018년부터는 총 72개 지점의 토양수분 값을 측정하였다. 측정은 무인이 영상이 토심 10cm 정도 까지를 판단할 수 있다는 것에 근거하여 10cm 깊이에서 3번 측정하여 1차, 2차, 3차 측정값으로 정리하여 데이터를 구축하였다. 72개 포인트는 다음과 같다.



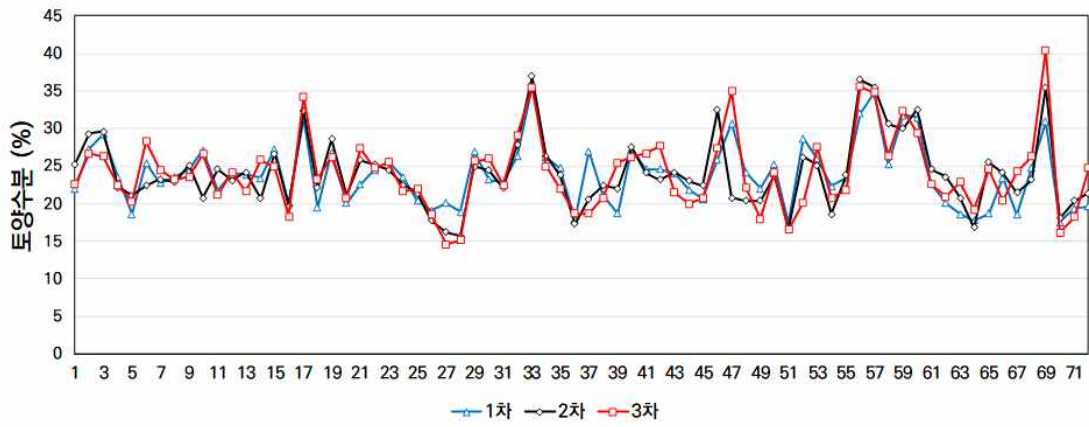
[그림 2.3.47] 월정리 토양수분 측정 72개 지점

2018년 토양수분은 4월 3일, 4월 12일, 5월 9일, 5월 28일, 6월 11일, 7월 12일, 7월 25일, 8월 8일로 총 8개시기에 대한 데이터를 구축하였다.



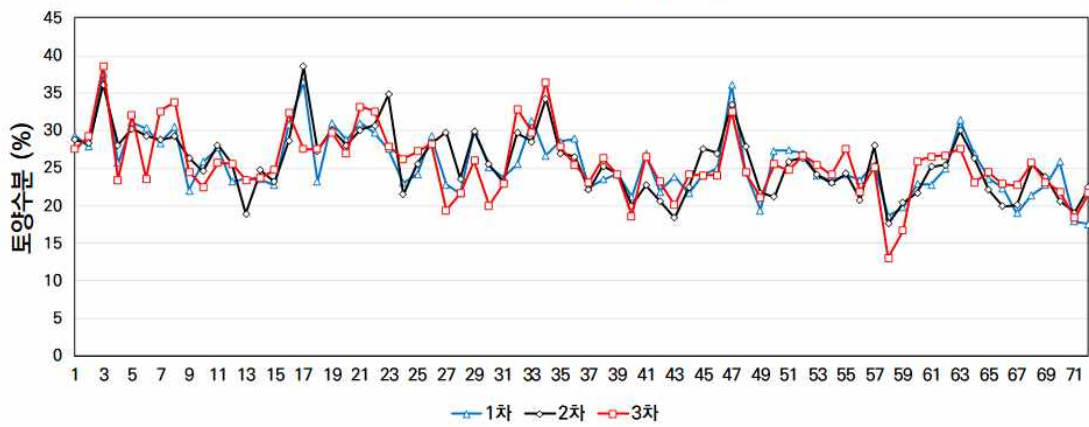
[그림 2.3.48] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.04.03)

TDR장비 이용 토양수분 측정 (2018.04.12)



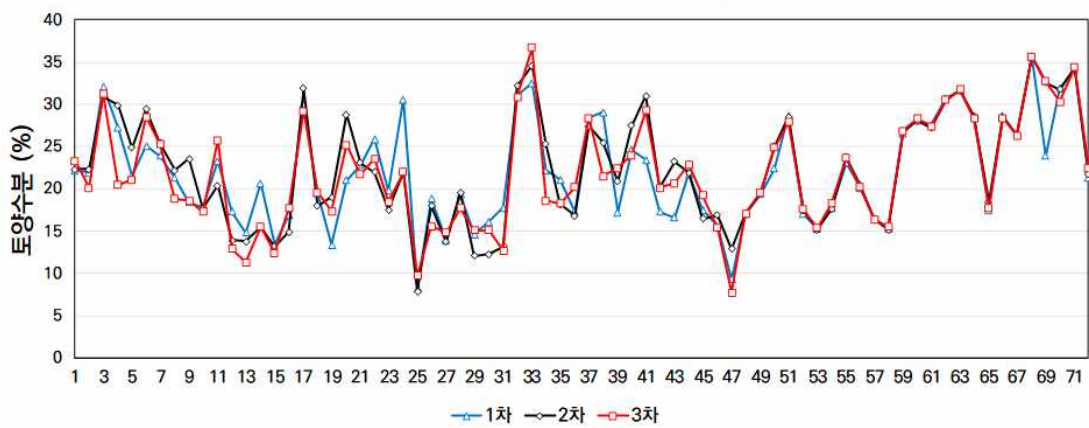
[그림 2.3.49] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.04.12)

TDR장비 이용 토양수분 측정 (2018.05.09)



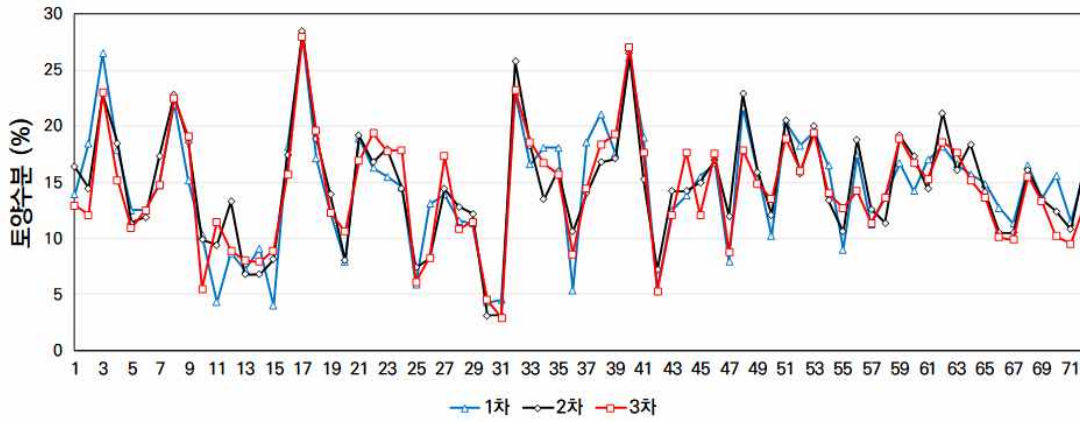
[그림 2.3.50] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.05.09)

TDR장비 이용 토양수분 측정 (2018.05.28)



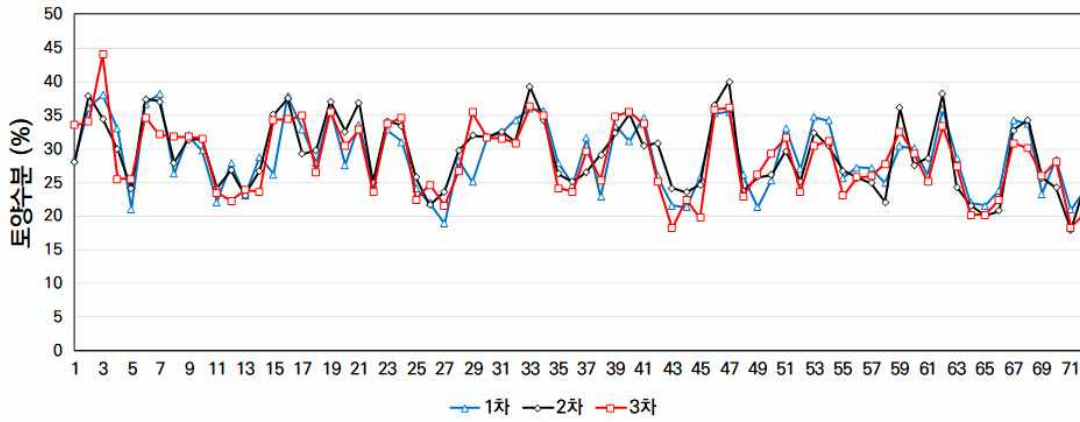
[그림 2.3.51] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.05.28)

TDR장비 이용 토양수분 측정 (2018.06.11)



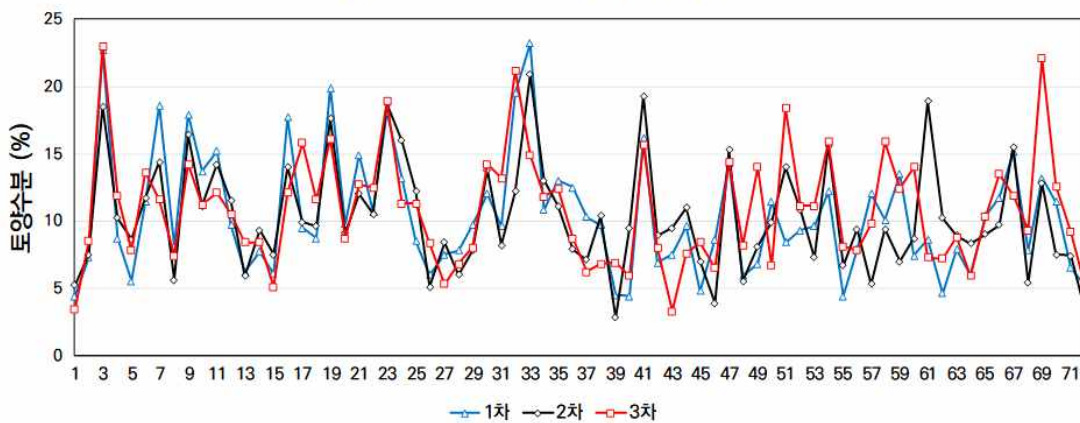
[그림 2.3.52] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.06.11)

TDR장비 이용 토양수분 측정 (2018.07.12)



[그림 2.3.53] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.07.12)

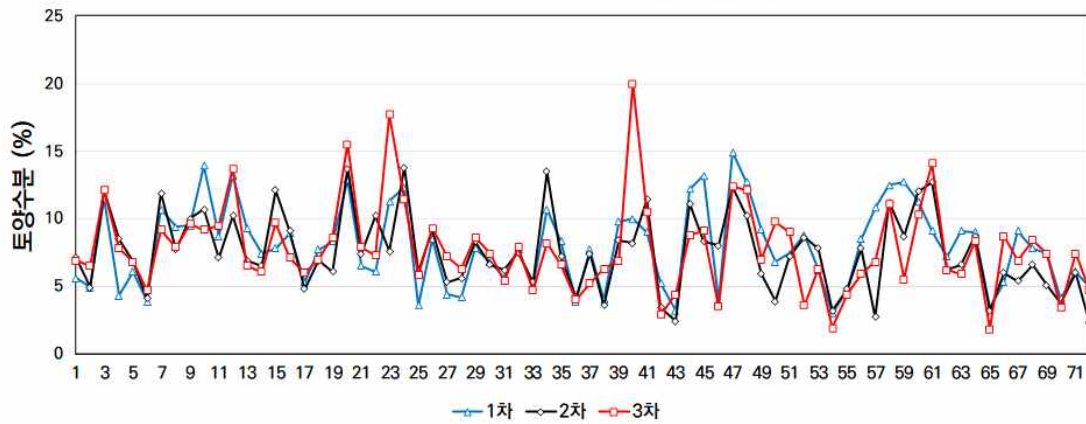
TDR장비 이용 토양수분 측정 (2018.07.25)



[그림 2.3.54] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.07.25)



TDR장비 이용 토양수분 측정 (2018.08.08)



[그림 2.3.55] TDR 장비 토양수분 측정 결과 (2018.08.08)

[표 2.3.6] 2018년 TDR 장비 토양수분 측정 결과표 (4월, 5월)

	2018.04.03			2018.04.12			2018.05.09			2018.05.28		
지점	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차
1	16.9	17.1	17.3	22	25.3	22.6	29.3	28.8	27.5	22.2	22.3	23.3
2	21.5	22.5	23.3	27.3	29.3	26.7	27.8	28.3	29.3	21.9	22.3	20.1
3	23	25.7	26.4	29.2	29.6	26.3	37.6	36.1	38.6	32.1	30.9	31.3
4	18	20.1	21.5	23.5	22.2	22.4	25.7	28.1	23.4	27.2	29.9	20.5
5	14.2	16	17.9	18.6	21.1	20.3	31.1	30.2	32.1	21.5	24.9	21.1
6	15.8	16.4	16.4	25.4	22.4	28.3	30.3	29.3	23.6	25.1	29.4	28.5
7	17.6	18.7	20.2	22.7	23.3	24.5	28.4	28.8	32.6	23.9	25.4	25.3
8	15.7	16.1	17.1	23.6	22.9	23.2	30.5	29.2	33.8	21.3	22.2	18.8
9	18.1	18.3	18.8	24.5	25.1	23.6	22	26.4	24.5	18.4	23.6	18.6
10	17.2	17.2	18.8	27.1	20.8	26.6	25.8	24.6	22.5	17.8	17.7	17.3
11	20.7	20.9	23.8	21.7	24.6	21.2	27.7	28.1	25.7	23.3	20.4	25.8
12	17.2	17.3	17.9	24.1	23.1	24.2	23.2	25.6	25.6	17.3	13.9	12.9
13	17.4	18.5	21.2	23.9	24.2	21.6	23.6	18.9	23.4	14.8	13.8	11.3
14	18.3	20.2	21.9	23.4	20.7	25.8	23.5	24.7	23.7	20.7	15.5	15.5
15	19.1	19.5	20.1	27.3	26.7	24.9	22.7	23.2	24.7	13.4	13.2	12.4
16	13.8	15.7	16.3	20.1	19.7	18.3	30.8	28.6	32.3	16.9	14.9	17.7
17	23.4	25.8	27.3	31.4	32.3	34.3	36.5	38.5	27.5	30	31.9	29.2
18	17.8	18.6	18.9	19.5	22.1	23.3	23.2	27.3	27.5	19.5	18	19.6
19	19.2	19.6	21.8	26.8	28.6	26.2	31	30.1	29.8	13.4	19	17.4
20	16.2	17.1	17.2	20.1	21.1	20.8	28.8	28.1	26.9	21	28.8	25.2
21	17.4	17.6	18.8	22.6	25.8	27.4	31	30.1	33.2	22.8	23.1	21.7
22	20.6	20.7	22.3	24.5	25.2	24.7	29.7	30.7	32.6	25.9	22	23.6
23	14.3	16.4	16.4	25.7	24.5	25.5	27.5	34.8	27.9	19.8	17.5	18.5
24	19.2	20.1	21.1	23.5	22.5	21.6	23	21.5	26.2	30.6	21.9	22
25	18.3	18.3	18.7	20.4	21.4	22	24.2	25.6	27.2	8.3	7.9	9.7

26	22.8	23.9	24.5	19.1	17.8	18.5	29.2	28.3	28.2	18.8	18	15.6
27	15.6	16.7	16.8	20.1	16.2	14.6	22.8	29.8	19.4	13.9	13.7	14.8
28	17.3	17.7	18.7	18.9	15.7	15.1	21.6	23.6	21.6	19.4	19.6	17.7
29	18.4	19.6	20.5	26.9	25	25.7	29.9	29.9	26	14.6	12.1	15.1
30	15.2	16.1	17.9	23.2	24.4	26	25.1	25.5	20	16.1	12.3	15.1
31	12.3	15.5	16.1	22.8	22.1	22.5	23.7	23.2	22.9	17.8	13.2	12.7
32	26.2	26.8	28.1	26.3	27.8	29.1	25.5	29.7	32.9	31	32.2	30.9
33	21.5	24.7	26.6	35.6	37	35.5	31.3	28.5	29.8	32.5	34.6	36.7
34	17.4	19.1	20.5	26.2	26.4	25	26.7	34.3	36.4	22.2	25.3	18.6
35	20.3	22.8	23.3	24.7	23.8	22	28.5	27	27.8	21.1	18.2	18.3
36	11.7	13.1	14.3	17.9	17.3	18.7	28.9	26.5	25.4	17.3	16.8	20.2
37	23.6	26.8	27.2	27	20.6	18.7	22.4	22.1	23.1	28.4	27.4	28.4
38	21.4	23.6	26.4	21.2	22.4	20.8	23.5	25.3	26.3	29.1	25.5	21.5
39	20.7	25.5	26.3	18.7	22	25.4	24.2	24.2	24.1	17.2	20.9	22.5
40	26.4	28.5	28.9	27.3	27.5	26.2	21.2	20	18.6	24.6	27.5	24
41	21.8	23.8	26.7	24.6	24.1	26.7	26.9	22.7	26.5	23.4	31	29.3
42	24.6	25.6	26.2	24.6	23.2	27.7	21.9	20.6	23.2	17.3	20.1	20.1
43	20.8	24.8	27.7	24	24.2	21.5	23.9	18.4	20.1	16.6	23.2	20.7
44	21.3	25.4	25.7	21.9	23	20	21.6	22.4	24.1	21.8	21.9	22.9
45	28.6	28.8	31.5	20.6	22.4	20.7	24	27.6	24	17.5	16.5	19.2
46	27	29.6	31.6	25.9	32.5	27.4	25	27	24	15.6	16.9	15.4
47	31	31.5	35.2	30.7	20.8	35	36.1	33.5	32.6	9.3	12.9	7.7
48	27.1	30.1	30.9	24.2	20.4	22.2	24.5	27.9	24.4	17	17.1	17.1
49	20.6	21.8	22.9	22	20.4	18	19.4	21.7	21.1	19.4	19.5	19.6
50	27	27.3	29.2	25.2	23.7	24.2	27.3	21.2	25.5	22.4	25	24.9
51	24.2	25.7	27.3	17.4	16.6	16.5	27.4	25.9	24.7	28.7	28.5	27.9
52	17.7	20.9	21.6	28.7	26.2	20.2	27	26.4	26.7	17	17.5	17.6
53	25.5	26.2	26.8	26	25.1	27.5	24	24.1	25.4	15.3	15.2	15.4
54	17.7	23.4	24.7	22.3	18.6	20.8	23.3	23	24.1	17.7	17.6	18.3
55	18.2	20.2	25.9	23.4	23.8	21.8	24.1	24.3	27.6	23.1	23.8	23.7
56	22.3	26.8	29.8	32	36.5	35.6	23.4	20.8	21.9	20.1	20.5	20.2
57	24.8	28	28	34.7	35.5	34.8	25.4	28	25.1	16.5	16.4	16.4
58	32	32	32.1	25.2	30.6	26.4	18.6	17.6	13	15.3	15.2	15.5
59	23.3	26.1	29.6	31.8	30	32.4	19.8	20.4	16.7	26.6	26.8	26.9
60	29.7	30.3	32.6	31.5	32.6	29.5	22.9	21.7	25.9	28.1	28.1	28.3
61	23.6	27.5	29.1	22.7	24.6	22.6	22.8	25.2	26.5	27.6	27.2	27.4
62	31.3	32.2	33.9	20.1	23.6	20.9	25	25.4	26.7	30.7	30.5	30.5
63	24.5	24.5	26.7	18.6	20.8	22.9	31.4	30	27.6	31.6	31.7	31.8
64	18.1	18.2	20.5	17.8	16.8	19.2	27	26.4	23.1	28.6	28.5	28.3
65	19.5	21.4	21.5	18.7	25.5	24.6	23.6	22.1	24.4	17.5	18.5	17.8
66	22.9	24	25.5	23.4	24.1	20.4	22.3	19.9	22.9	28.6	28.5	28.4
67	24.5	24.7	25.7	18.5	21.5	24.3	19	20.1	22.7	26.4	26.3	26.3

68	20.9	23.2	24.9	24.8	23.2	26.3	21.4	25.5	25.7	35.6	35.7	35.7
69	27.5	28.1	28.3	30.9	35.5	40.5	22.7	23.8	23.1	23.9	32.6	32.7
70	29.3	30.5	31.7	17.5	18.1	16.1	25.8	20.6	21.9	31.9	31.8	30.3
71	25.5	26.4	27.7	19.4	20.4	18.2	17.9	19.1	18.4	34.2	34.3	34.4
72	27.7	30.9	31	19.6	21.4	24.7	17.5	22.4	21.6	21.4	21.7	22.4

[표 2.3.7] 2018년 TDR 장비 토양수분 측정 결과표 (6월, 7월, 8월)

지점	2018.06.11			2018.07.12			2018.07.25			2018.08.08		
	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차
1	13.9	16.4	12.9	28.4	28.1	33.5	4.4	5.2	3.4	22.2	22.3	23.3
2	18.5	14.5	12.1	36.2	37.9	34	7.3	7.5	8.5	21.9	22.3	20.1
3	26.5	22.9	23	38	34.5	44	22.7	18.5	23	32.1	30.9	31.3
4	17.9	18.5	15.2	33	29.9	25.5	8.7	10.2	11.9	27.2	29.9	20.5
5	12.5	11.4	10.9	21	24	25.5	5.5	8.6	7.8	21.5	24.9	21.1
6	12.5	11.9	12.5	36.7	37.4	34.6	11.4	11.7	13.6	25.1	29.4	28.5
7	14.8	17.3	14.8	38.2	37	32.1	18.6	14.4	11.6	23.9	25.4	25.3
8	22	22.8	22.5	26.3	27.9	31.8	8.1	5.6	7.4	21.3	22.2	18.8
9	15.2	18.6	19.1	32	31.4	31.8	17.9	16.4	14.2	18.4	23.6	18.6
10	10.3	9.9	5.5	29.7	31.4	31.5	13.7	11.1	11.2	17.8	17.7	17.3
11	4.3	9.4	11.5	22.1	24.1	23.4	15.2	14.2	12.1	23.3	20.4	25.8
12	8.7	13.3	8.9	27.8	26.8	22.2	9.7	11.5	10.5	17.3	13.9	12.9
13	7.2	6.8	8	23	23.1	23.9	6.2	5.9	8.4	14.8	13.8	11.3
14	9.1	6.8	7.9	28.8	26.7	23.6	7.7	9.3	8.4	20.7	15.5	15.5
15	4	8.1	8.9	26.2	35.1	34.3	6.1	7.5	5.1	13.4	13.2	12.4
16	18.2	17.4	15.7	37.8	37.5	34.4	17.7	14	12.1	16.9	14.9	17.7
17	28.1	28.5	28	32.9	29.2	34.9	9.5	9.9	15.8	30	31.9	29.2
18	17.1	18.9	19.6	27.8	29.8	26.5	8.7	9.6	11.6	19.5	18	19.6
19	12.3	13.9	12.3	36	37	35.5	19.9	17.6	16.1	13.4	19	17.4
20	7.9	8	10.6	27.6	32.6	30.4	9.8	9.1	8.7	21	28.8	25.2
21	18.9	19.2	16.9	33.6	36.9	32.8	14.9	12	12.7	22.8	23.1	21.7
22	16.3	16.8	19.4	24.7	25	23.5	10.7	10.5	12.5	25.9	22	23.6
23	15.5	18	17.8	32.8	34.1	33.7	18.1	18.7	18.9	19.8	17.5	18.5
24	14.6	14.5	17.9	31	33.4	34.6	13.2	16	11.3	30.6	21.9	22
25	5.9	7.4	6.1	24.1	25.8	22.4	8.5	12.2	11.3	8.3	7.9	9.7
26	13.1	8.2	8.3	22	21.6	24.6	6	5.1	8.3	18.8	18	15.6
27	13.9	14.4	17.3	18.9	23.6	21.5	7.5	8.4	5.3	13.9	13.7	14.8
28	11.6	12.8	10.8	28.3	29.7	26.6	7.8	6	6.8	19.4	19.6	17.7
29	11.3	12.2	11.5	25.1	32	35.4	9.7	7.8	8	14.6	12.1	15.1
30	4.3	3.1	4.5	31.8	31.7	31.6	12	13.8	14.2	16.1	12.3	15.1
31	4.5	3.1	2.9	32.2	32.6	31.5	9.6	8.2	13.2	17.8	13.2	12.7
32	23	25.8	23.2	34.3	31.1	30.8	19.5	12.2	21.2	31	32.2	30.9
33	16.6	18.3	18.6	35.9	39.2	36.3	23.2	20.9	14.9	32.5	34.6	36.7

34	18.1	13.5	16.7	35.7	34.3	35	10.8	13	11.8	22.2	25.3	18.6
35	18.1	16	15.7	27.9	26.3	24.1	13	11.1	12.4	21.1	18.2	18.3
36	5.4	10.6	8.6	24.6	25.1	23.6	12.5	7.9	8.7	17.3	16.8	20.2
37	18.6	14	14.5	31.6	26.5	29.6	10.3	7.1	6.2	28.4	27.4	28.4
38	21.1	16.8	18.4	22.8	29.1	25.3	9.7	10.4	6.8	29.1	25.5	21.5
39	17.5	17.1	19.3	33.4	32.3	34.8	4.5	2.8	6.9	17.2	20.9	22.5
40	26.1	26.5	27.1	31.1	35.2	35.5	4.4	9.5	5.9	24.6	27.5	24
41	19	15.3	17.7	34.6	30.4	33.7	16.2	19.3	15.7	23.4	31	29.3
42	5.5	7.2	5.3	25.9	30.8	25.2	6.9	8.9	8	17.3	20.1	20.1
43	12.5	14.2	12.1	21.5	24.1	18.2	7.5	9.5	3.3	16.6	23.2	20.7
44	13.8	14.2	17.7	21.3	23.5	22.4	9.6	11	7.6	21.8	21.9	22.9
45	15.5	15	12.1	25.8	24.6	19.7	4.8	7	8.4	17.5	16.5	19.2
46	16.7	17	17.6	35.2	36.5	35.8	8.6	3.9	6.5	15.6	16.9	15.4
47	7.9	12	8.8	35.5	40	36.1	14.3	15.3	14.4	9.3	12.9	7.7
48	21.7	22.9	17.9	26.1	23.7	22.9	5.9	5.5	8.2	17	17.1	17.1
49	15.8	15.9	14.9	21.3	25.8	26.2	6.8	8.1	14	19.4	19.5	19.6
50	10.2	12.1	13.5	25.3	26.1	29.3	11.4	9.9	6.7	22.4	25	24.9
51	20.4	20.5	18.9	33.1	29.6	31.6	8.4	14	18.4	28.7	28.5	27.9
52	18.3	15.8	16	27	25.2	23.6	9.3	10.8	11.1	17	17.5	17.6
53	19.6	20	19.4	34.7	32.4	30.4	9.6	7.3	11.1	15.3	15.2	15.4
54	16.5	13.4	14	34.2	30.4	31.2	12.2	15.6	15.9	17.7	17.6	18.3
55	9	10.6	12.7	25.7	26.7	23	4.4	6.7	8.1	23.1	23.8	23.7
56	17.4	18.8	14.2	27.2	25.7	25.8	7.9	9.4	7.8	20.1	20.5	20.2
57	11.2	12.6	11.4	27.1	24.9	25.9	12	5.3	9.8	16.5	16.4	16.4
58	13.8	11.4	13.6	24.9	22.1	27.7	10.1	9.4	15.9	15.3	15.2	15.5
59	16.7	19.2	18.9	30.4	36.1	32.6	13.5	7	12.4	26.6	26.8	26.9
60	14.2	17.3	16.7	30.1	27.6	29.3	7.4	8.7	14	28.1	28.1	28.3
61	17	14.4	15.3	26	28.6	25.1	8.6	18.9	7.3	27.6	27.2	27.4
62	18.2	21.2	18.6	35.9	38.2	33.3	4.6	10.2	7.2	30.7	30.5	30.5
63	16.6	16.1	17.7	28.6	24.3	27.4	7.9	8.9	8.8	31.6	31.7	31.8
64	15.7	18.4	15.2	22	21.5	20.2	6	8.3	5.9	28.6	28.5	28.3
65	14.9	14.1	13.6	21.5	20.1	20.2	10.4	9	10.3	17.5	18.5	17.8
66	12.7	10.5	10.1	23.8	20.8	22.4	11.7	9.7	13.5	28.6	28.5	28.4
67	11.3	10.5	9.9	34.3	32.7	30.8	15.1	15.5	11.9	26.4	26.3	26.3
68	16.5	16.1	15.5	33.7	34.3	30.1	7.8	5.4	9.3	35.6	35.7	35.7
69	13.6	13.5	13.3	23.3	25.7	25.9	13.2	12.8	22.1	23.9	32.6	32.7
70	15.6	12.4	10.2	28.4	24.2	28.1	11.4	7.5	12.6	31.9	31.8	30.3
71	11.5	10.8	9.5	20.9	17.9	18.3	6.5	7.4	9.2	34.2	34.3	34.4
72	16.2	16.6	13.1	23.9	24.5	20.4	5.2	3.4	5.2	21.4	21.7	22.4

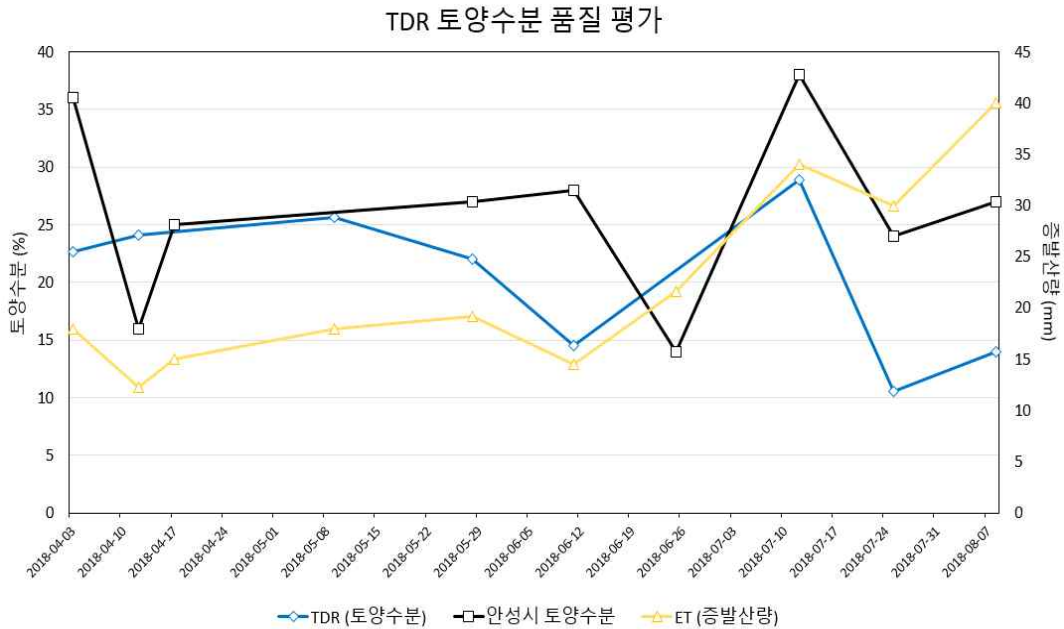
[표 2.3.8] 2019년 TDR 장비 토양수분 측정 결과표 (5월, 6월)

지점	2018.06.11			2018.07.12		
	1차	2차	3차	1차	2차	3차
1	8.9	7.8	7	2.3	1.3	1.4
2	5.6	6.1	5.5	2.2	4.7	5.3
3	2.8	2.3	2.9	1.6	0.7	3.1
4	2.1	2.3	2.6	5.2	3.3	4.9
5	1.7	2.4	2.7	1	0.6	1.2
6	4.2	6.3	3.6	0.6	3.2	1.4
7	5.9	6.4	2.5	1.4	2.5	6.4
8	3.6	1.1	2.4	2.7	2.5	4
9	3.7	6.3	2.8	4.2	3.8	1.8
10	1.9	2.1	3.6	2.2	1.4	2.1
11	1.8	4.8	2.3	2	2.8	3.7
12	12.5	15.5	9.7	4.1	3.6	2.3
13	3.5	1.1	1.1	2.6	0.9	2
14	6.8	6.4	5.6	3.6	0.7	2.1
15	2.8	1.7	3.4	2.7	3.8	4.7
16	4.1	4.8	2.1	1.9	5.8	4.6
17	3.7	3	1	4.5	3.4	4.8
18	2.7	2.8	2.5	2.5	4	4.4
19	2.8	3.8	1.5	4.2	3.2	3.1
20	6.5	4.6	2.8	3.1	2.7	2
21	3.5	1.3	2.8	2.1	1.9	1.2
22	4.9	2	7.6	2.9	3.3	2.1
23	4.1	3.2	2.7	4	1.5	2.8
24	4.5	6.7	6.2	3.7	3	3.2
25	0.3	0.6	0.5	2.7	2.5	1.5
26	2.8	1.4	2.4	1.6	2.8	1.5
27	3.1	4.3	1.8	2.7	1.6	1.8
28	3.7	3	2.7	3.2	1.8	1.4
29	6.2	3.6	3.4	3.5	4.4	5.2
30	1.6	3.8	3.9	3.4	4.4	4.1
31	3.7	4.8	4.2	2.1	1.9	1.2
32	10.6	4.8	6.6	4.4	2.8	2.5
33	13.9	6.5	15.4	5	6.9	4.5
34	9.2	15.5	16.1	6.1	4.5	3.4
35	7.3	9	5.9	3	2.5	2.2
36	7.2	15.3	12.9	4.4	4.5	3
37	6.3	5.9	5.3	3.6	3.4	4
38	5.1	4	6.4	5.4	4.8	4.8
39	3.7	2.9	4	3.9	3.8	1.9

40	3.7	4.5	7.9	4.2	7	5.9
41	6.1	5.9	5.2	2.7	2.8	4.3
42	7.3	4	5.7	2.8	4.4	3.2
43	13.7	9.6	9.5	2.7	2.6	3
44	5	5.2	4.9	6.2	4.9	6.5
45	2.4	3.8	2.5	1.7	2.7	3
46	3.4	4.1	5.5	10.2	10.7	6.4
47	2.7	4	2.5	4.6	5	3.6
48	4	7.1	7.6	6.9	4.5	5.5
49	7.7	6.8	4	6.1	6.4	5.1
50	5.9	6.3	6.8	5.3	4.3	3.9
51	25	20.1	24.6	2.3	2.1	1.8
52	13	11.3	9.2	3.9	3.6	4
53	4.4	4.1	3.4	5.6	3.9	3.8
54	3.4	4	4.3	2.6	2.9	2.1
55	6.4	5.7	8.3	3.3	2.9	2.6
56	15	14.2	17.3	5.3	7.2	7.4
57	10	7.9	12.7	3.8	2.8	4.4
58	10.6	8	12.5	5.9	7.6	7
59	5.8	5.3	5.6	4.1	4.3	5.1
60	11	10.7	12.8	4.7	4.1	4.8
61	6.2	7.9	5.7	4	3.8	3.6
62	14	12.2	6.4	4.1	7	3.9
63	6.1	7.3	5	3.2	5.5	3.6
64	7.4	4.9	6	2.1	1	0.5
65	7.1	11.5	7.8	3.4	2.8	4.4
66	4.6	7.2	4.2	2.6	3	1.9
67	6.3	7.5	8	2.6	3.7	3.3
68	9.4	6.1	6.1	3.7	5.6	4.1
69	7.8	8.4	8.5	3.4	4	4.4
70	6.5	10.8	6.9	5.6	4.5	3.3
71	7.6	6.4	7.2	2.5	1.6	1.2
72	4.6	4.3	4.7	4.6	7.3	5.7

구축된 TDR 토양수분 값을 검증하기 위해 농촌진흥청의 토양수분 자료와 MODIS 위성영상을 통해 취득한 증발산량과 비교하였다. 농촌진흥청 토양수분의 경우 본 연구에서 취득한 날짜와 동일한 시기의 안성시 토양수분 자료를 사용하였으며, 취득 불가능한 날짜를 제외한 12개 날짜 데이터를 구축하였다. 또한, 시험지역의 면적이 작아 위성영상과 비교할 경우 최소 250m의 해상도가 필요하였다. 토양수분 위성영상의 경우 1km 이하의 해상도를 갖고 있어 본 연구에서는 250m 해상도의 증발산량 영상을 사용하였다. 그 결과 농촌진흥청의 안성시 토양수분

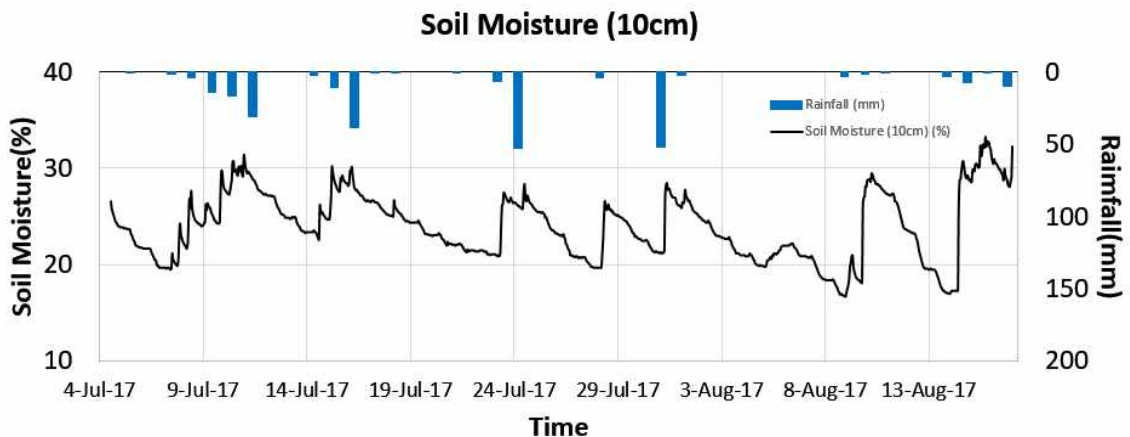
자료가 전반적으로 비슷한 경향을 보였으며, MODIS위성의 증발산량과도 비슷한 경향을 보였다. 증발산량의 경우 기후에 영향을 많이 받지만 비교 날짜의 경우 무인기 영상촬영이 같이 진행되었기 때문에 운량과 강수량 등에 큰 영향을 받지 않았다고 판단하여 두 자료를 비교하였다.



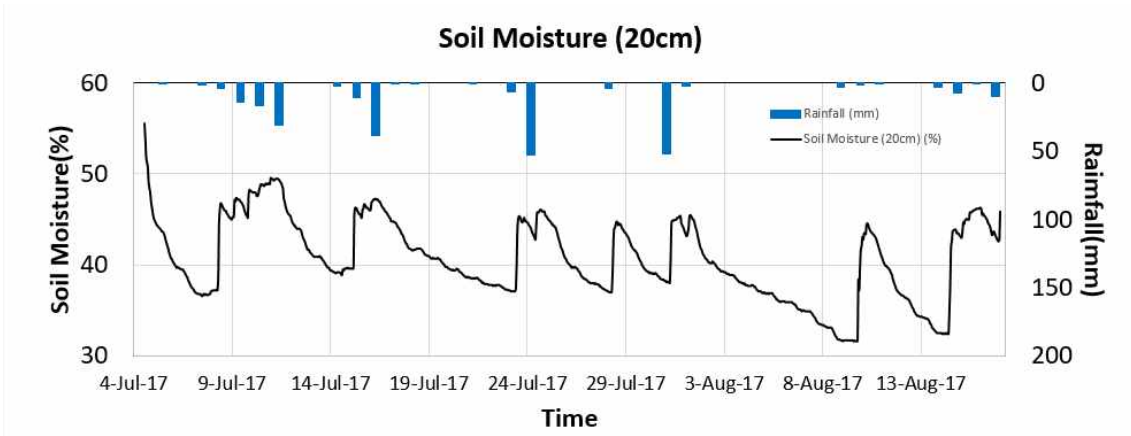
[그림 2.3.56] TDR 토양수분 품질 평가 (2018-2019 취득 데이터)

#### 다. FDR 토양수분 측정 장비 및 기상관측 장비

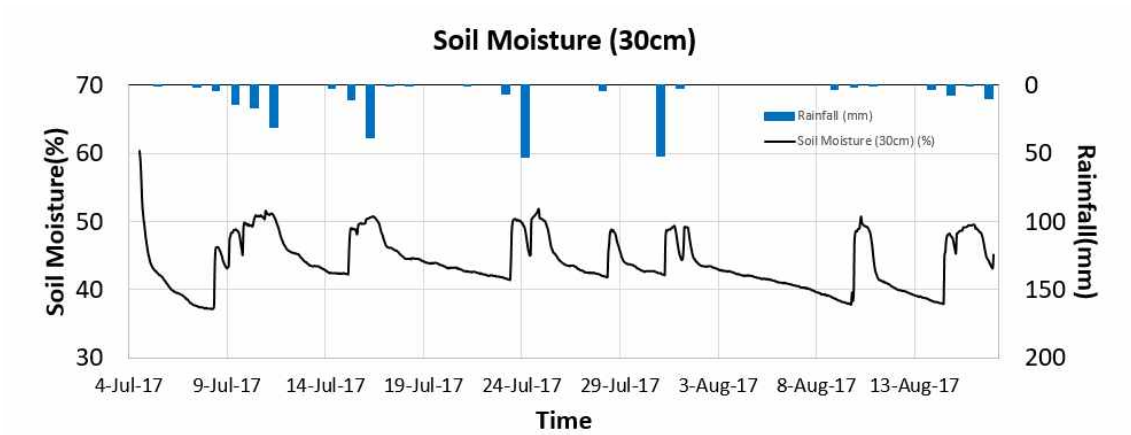
현장에서 실제 측정한 토양수분 값과 함께 지속적인 데이터 취득을 위하여 토양수분 및 온도 측정 장비와 NDVI, 강수량, 일사량 등의 기상 측정 장비를 설치 운영함. 사용한 데이터는 2017년 7월 18일 부터 2019년 12월까지 구축하였다. 장비를 통해 얻은 데이터를 종합하여 정리하여 토양수분과 강수량의 관계 파악, 깊이별 토양온도 데이터, 월 별 일사량 변화, 월 별 NDVI 변화, 월 별 온도 변화, 월 별 상대습도 변화 등의 데이터를 취득하였다. 해당 데이터는 월별 토양수분, 토양온도, 월별 기상데이터로 종합하였다.



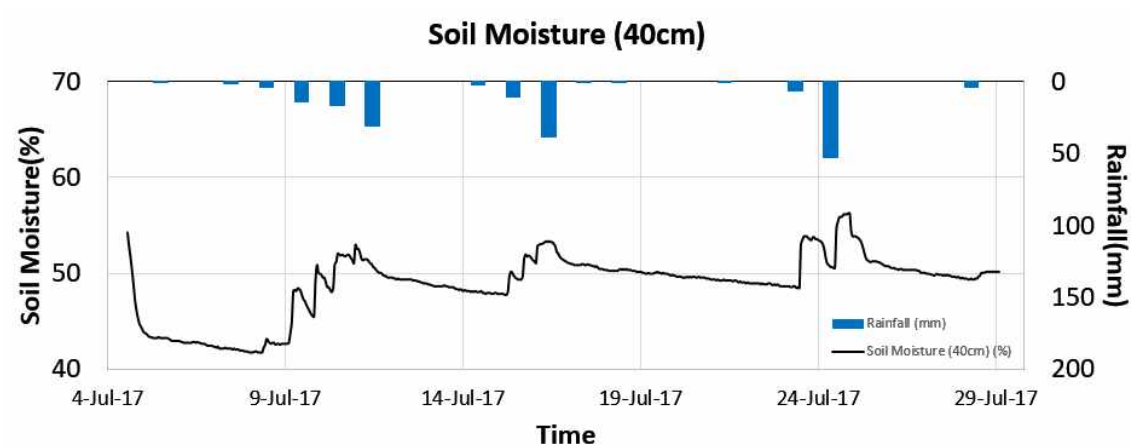
[그림 2.3.57] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (10cm)



[그림 2.3.58] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (20cm)

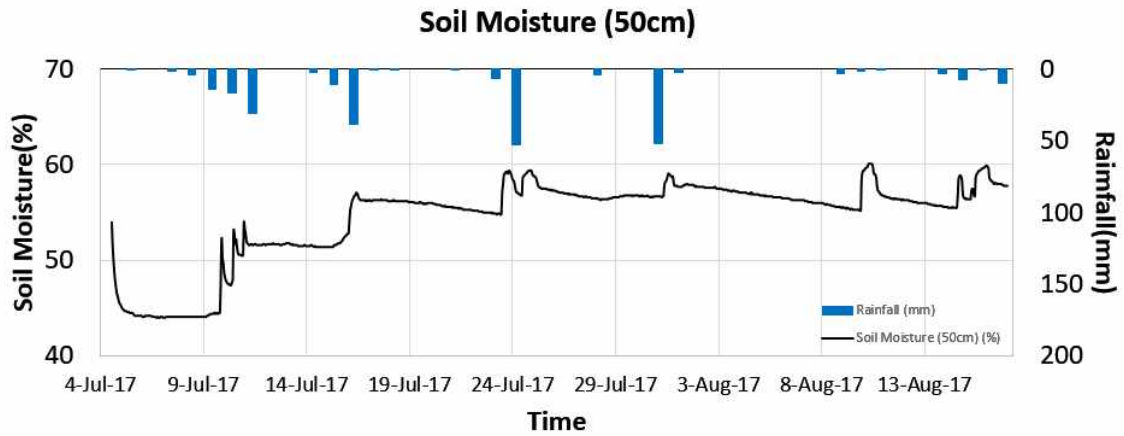


[그림 2.3.59] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (30cm)

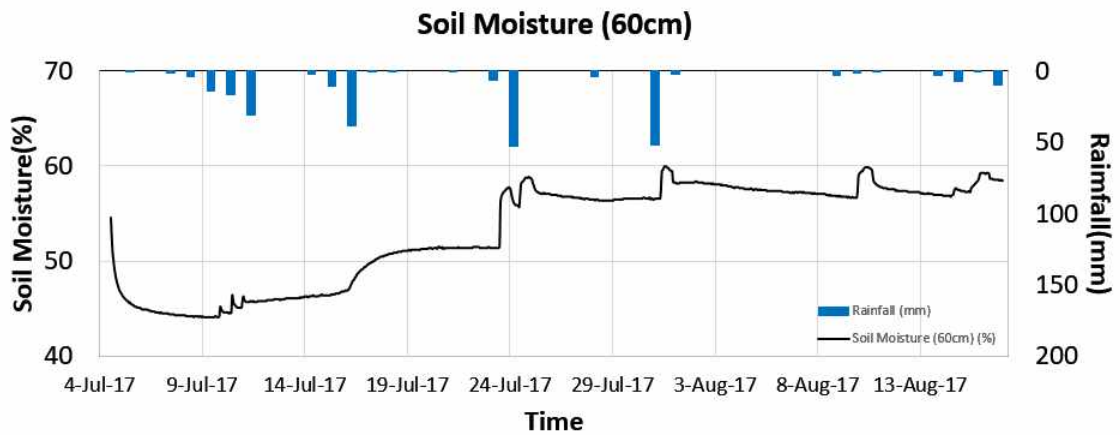


[그림 2.3.60] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (40cm)

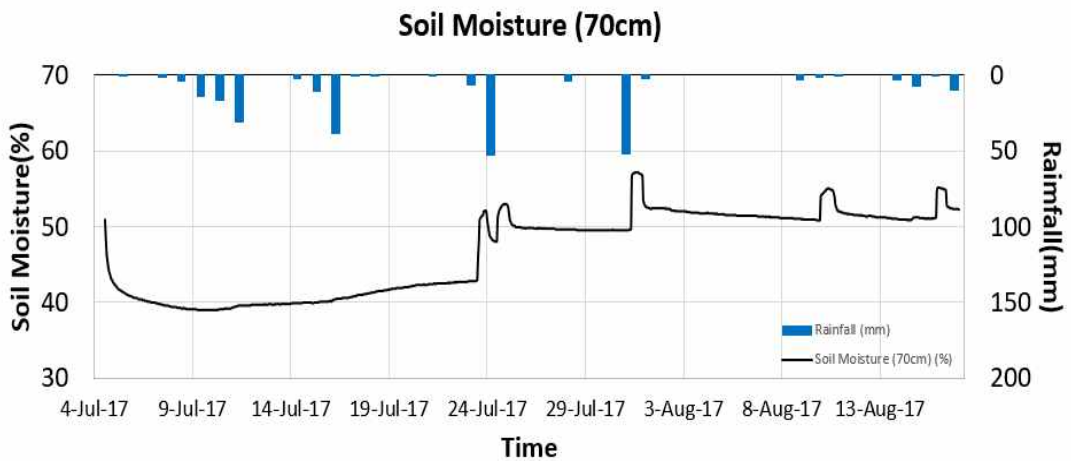




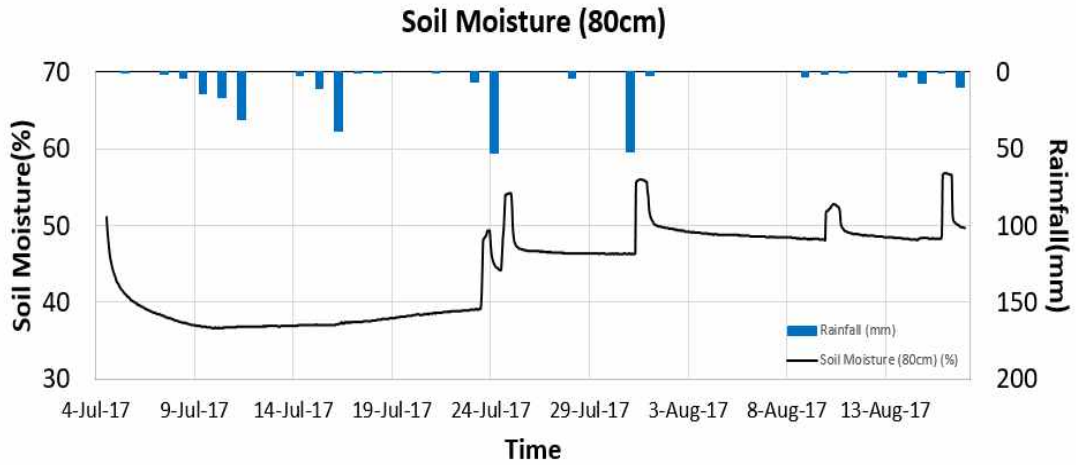
[그림 2.3.61] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (50cm)



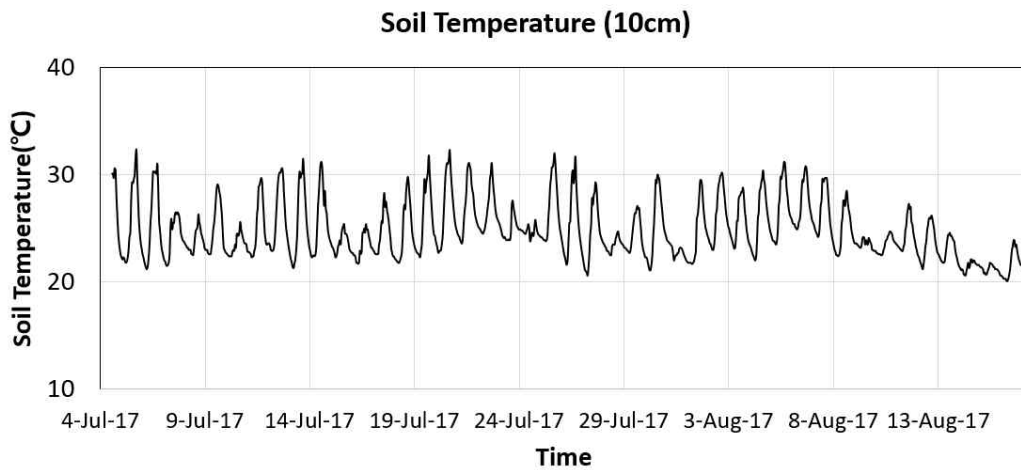
[그림 2.3.62] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (60cm)



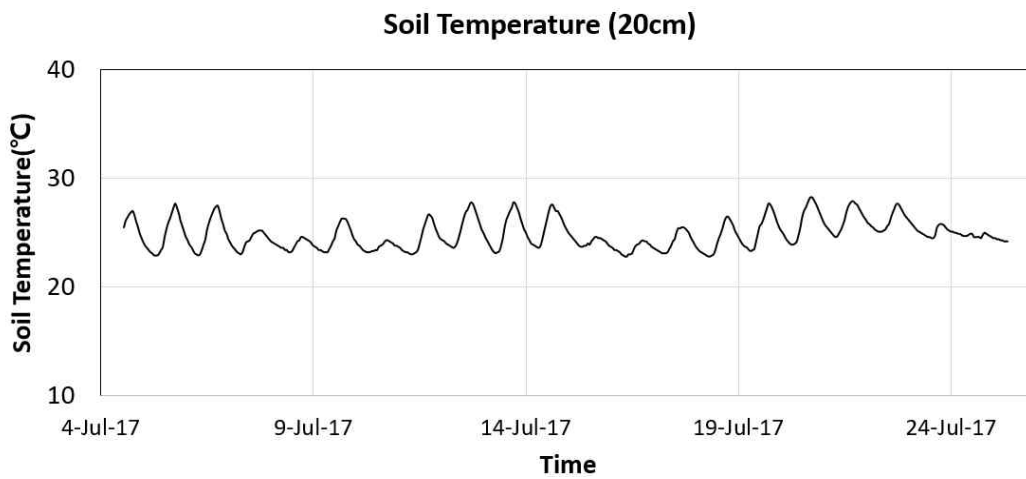
[그림 2.3.63] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (70cm)



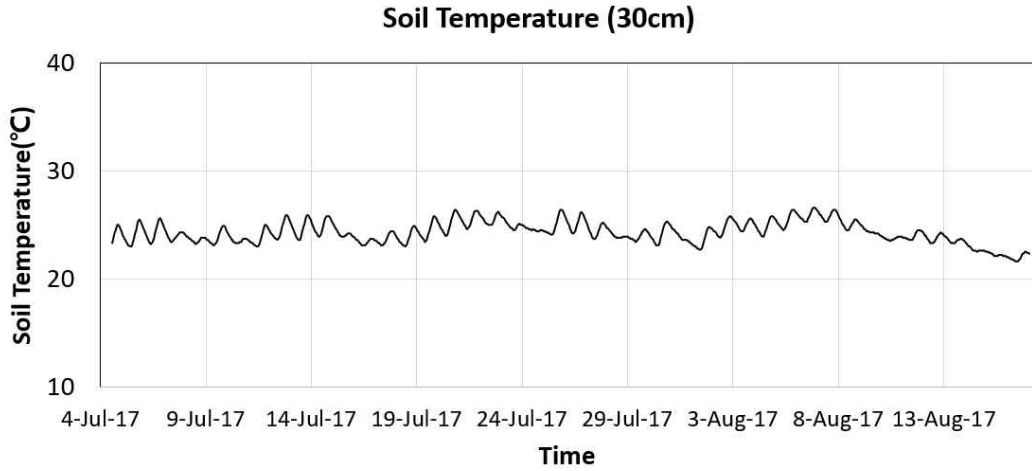
[그림 2.3.64] 강수량 및 깊이별 토양수분 데이터 비교 (80cm)



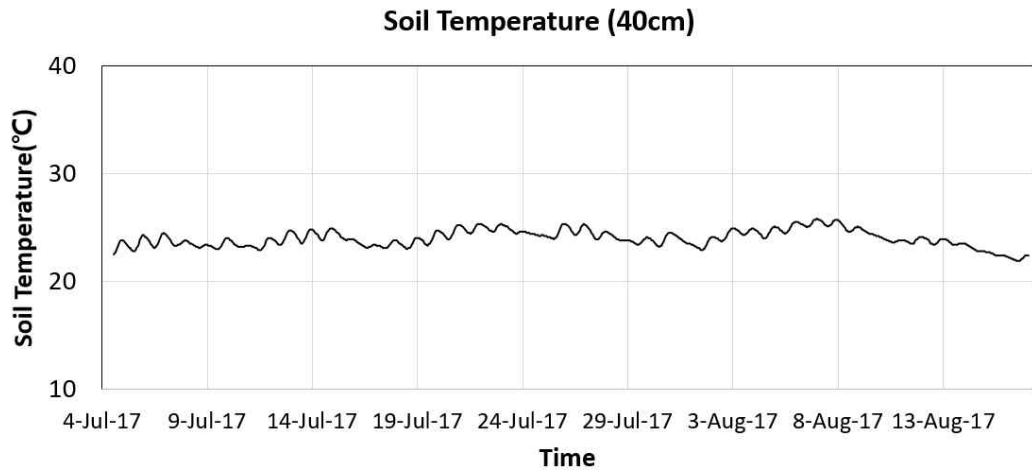
[그림 2.3.65] 깊이별 토양 온도 (10cm)



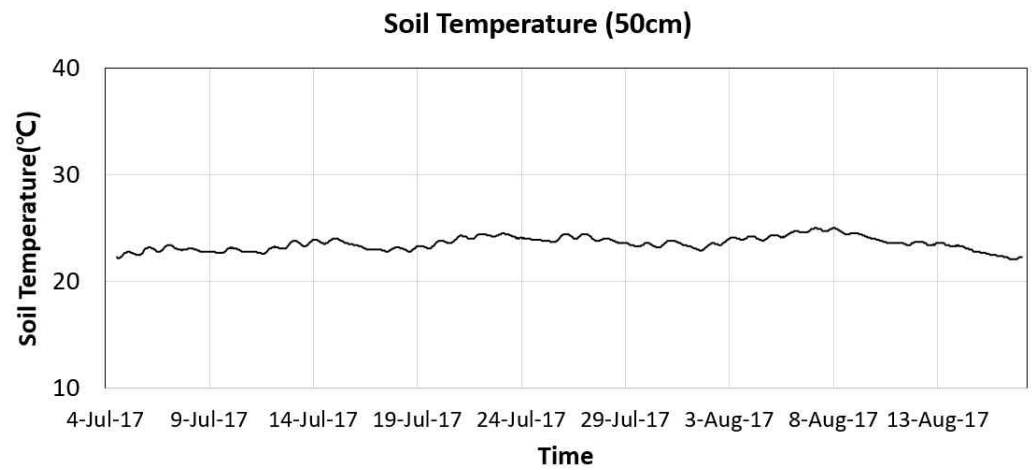
[그림 2.3.66] 깊이별 토양 온도 (20cm)



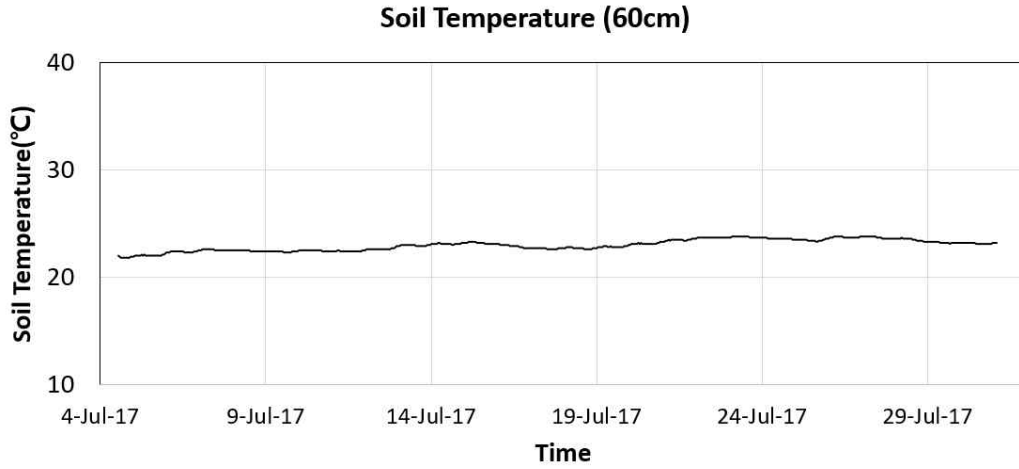
[그림 2.3.67] 깊이별 토양 온도 (30cm)



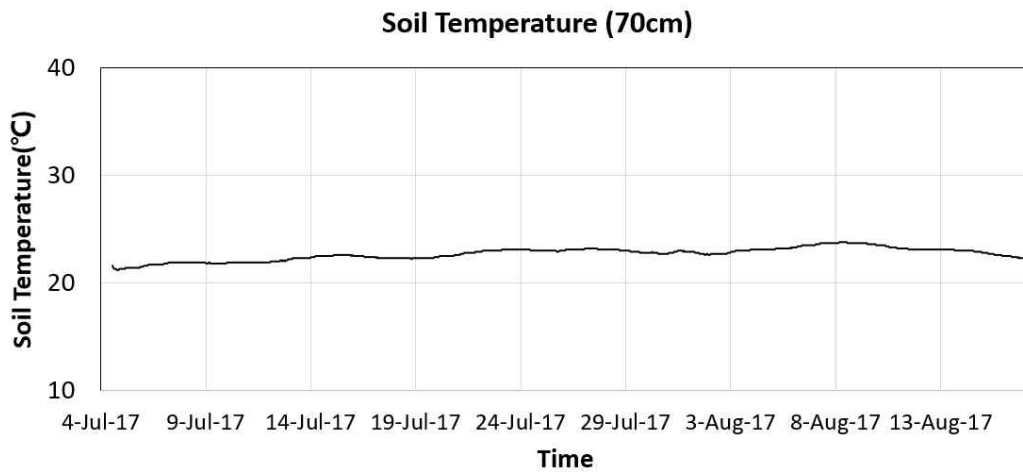
[그림 2.3.68] 깊이별 토양 온도 (40cm)



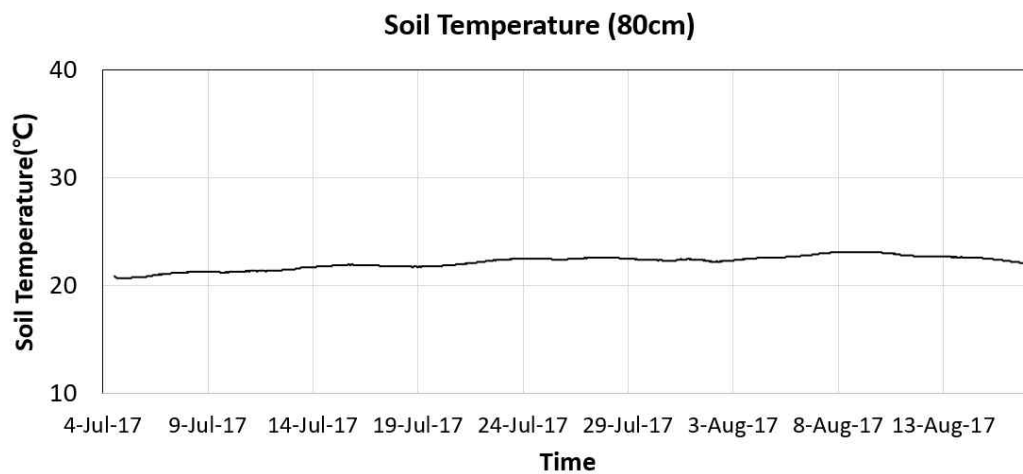
[그림 2.3.69] 깊이별 토양 온도 (50cm)



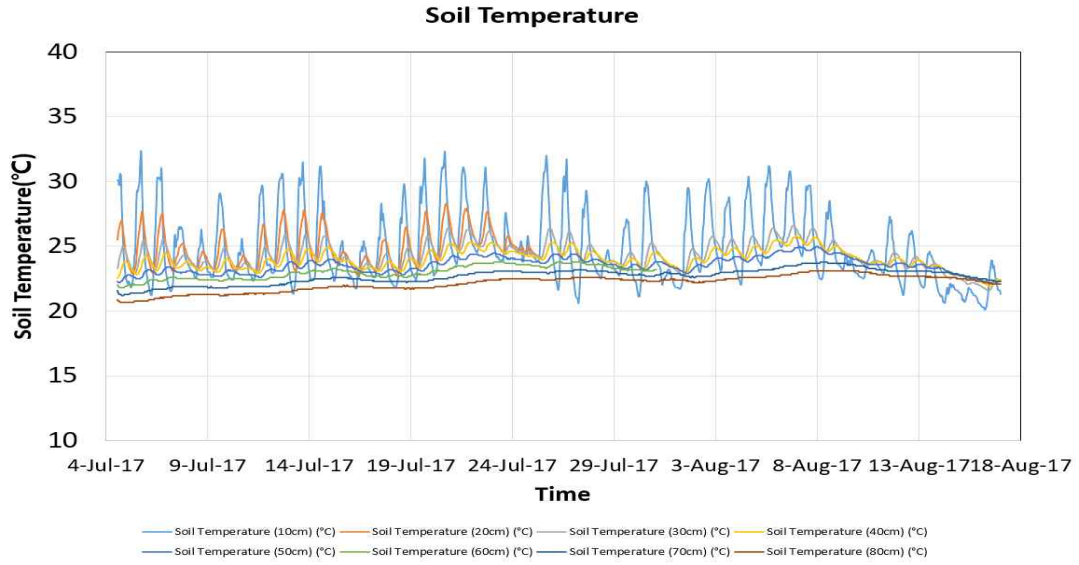
[그림 2.3.70] 깊이별 토양 온도 (60cm)



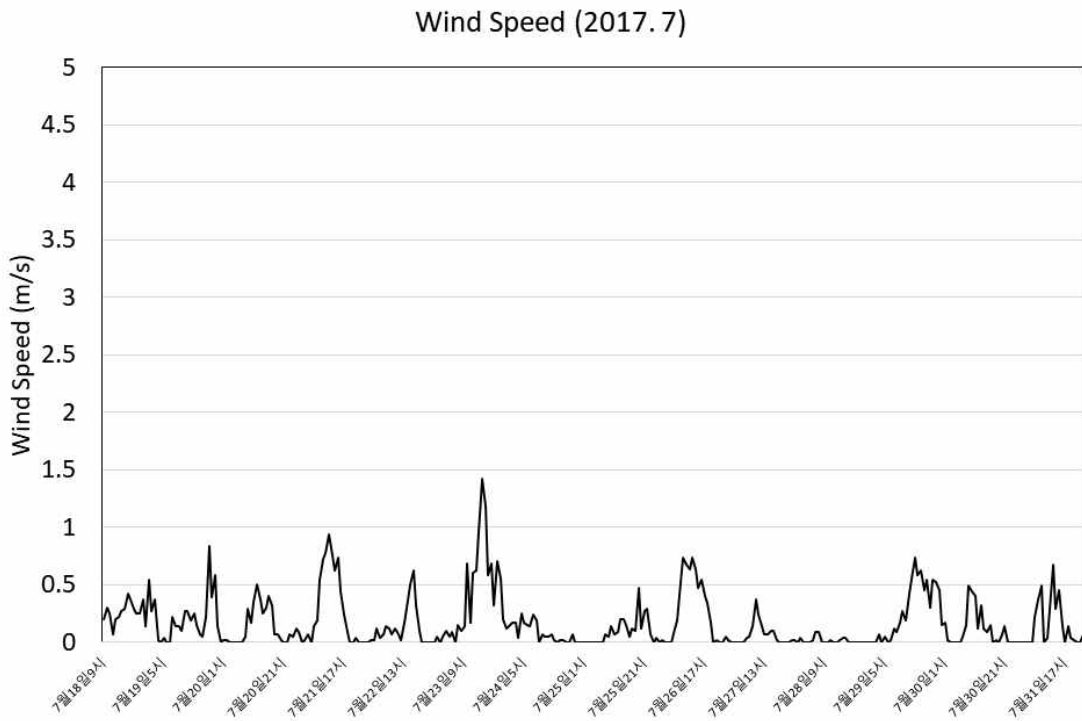
[그림 2.3.71] 깊이별 토양 온도 (70cm)



[그림 2.3.72] 깊이별 토양 온도 (80cm)

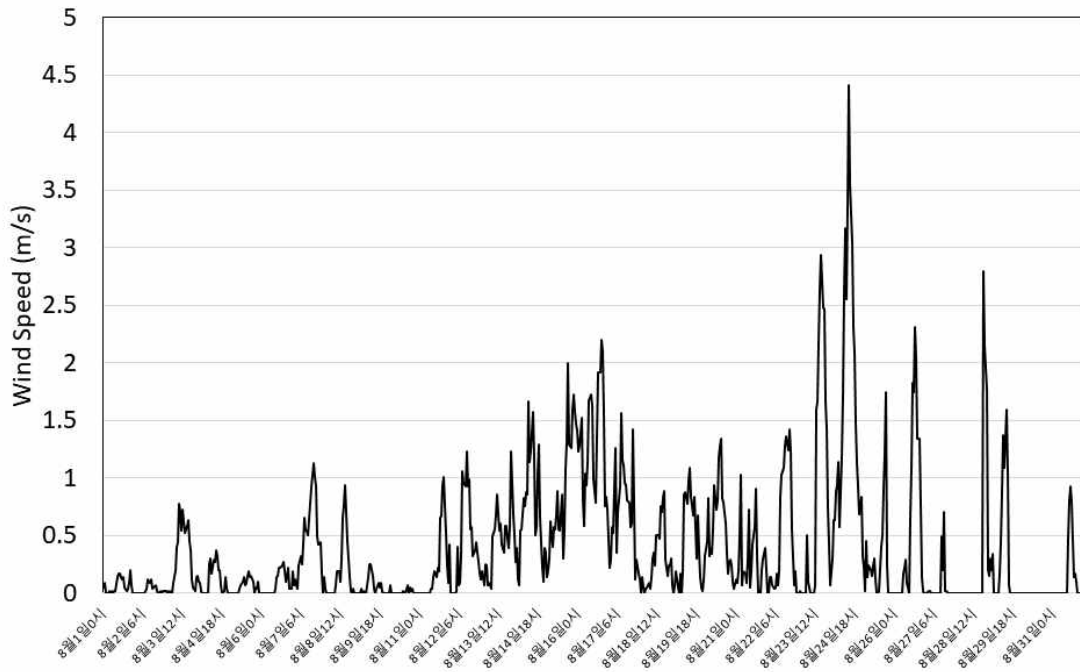


[그림 2.3.73] 깊이별 토양 온도 (10cm - 80cm)



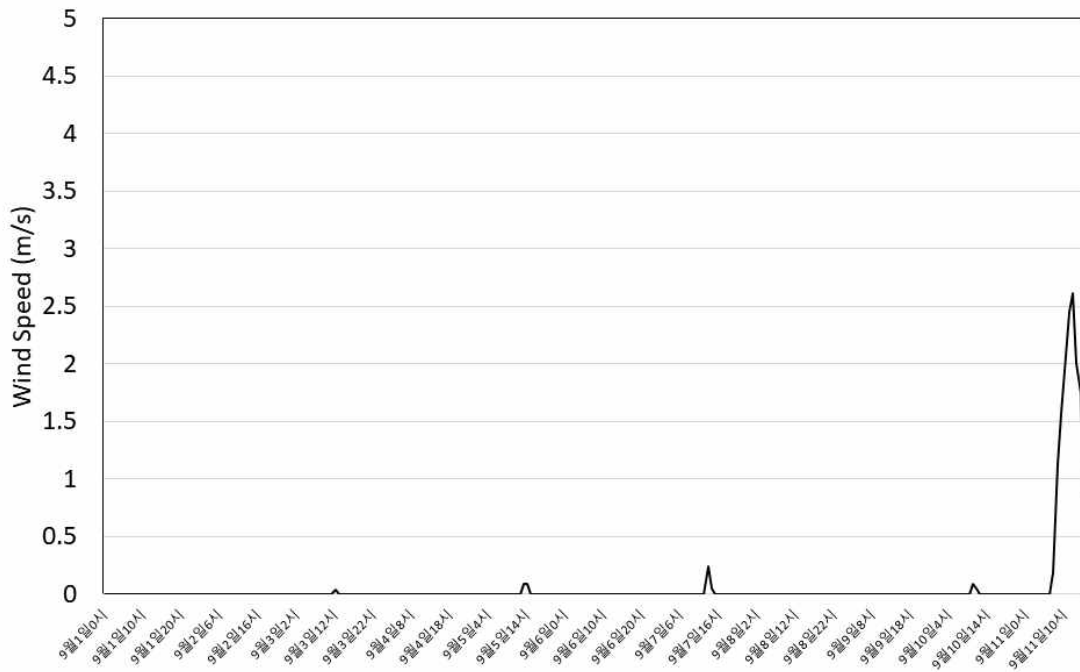
[그림 2.3.74] 기상 관측 장비를 통해 취득한 풍속 데이터 (2017년 7월)

Wind Speed (2017. 8)

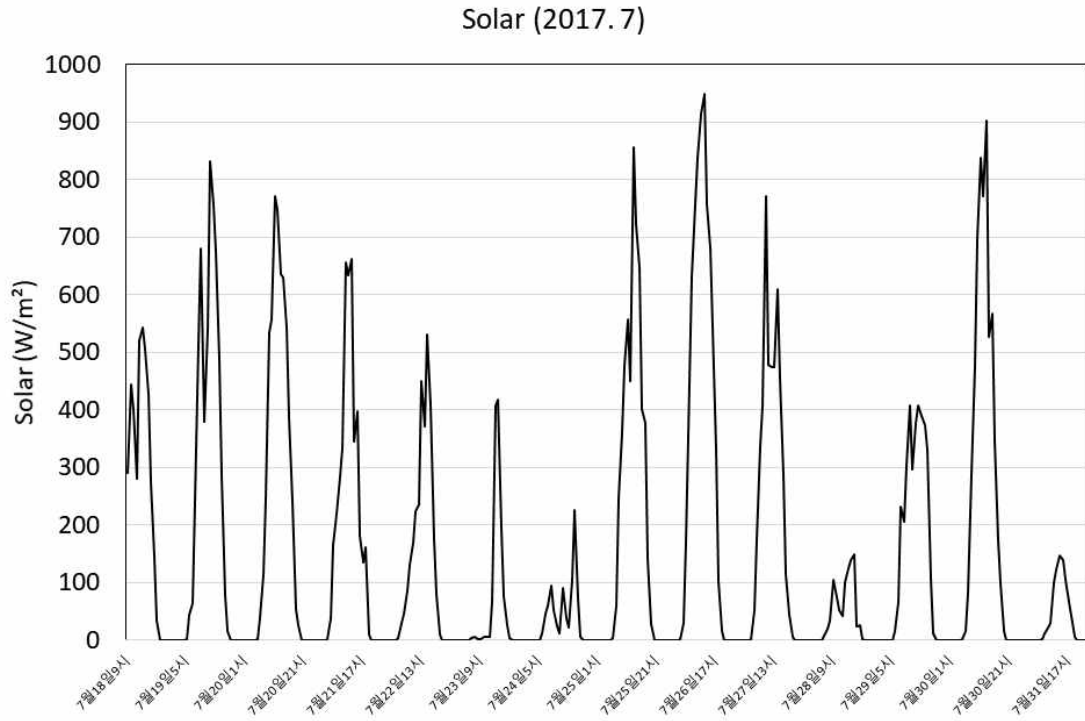


[그림 2.3.75] 기상 관측 장비를 통해 취득한 풍속 데이터 (2017년 8월)

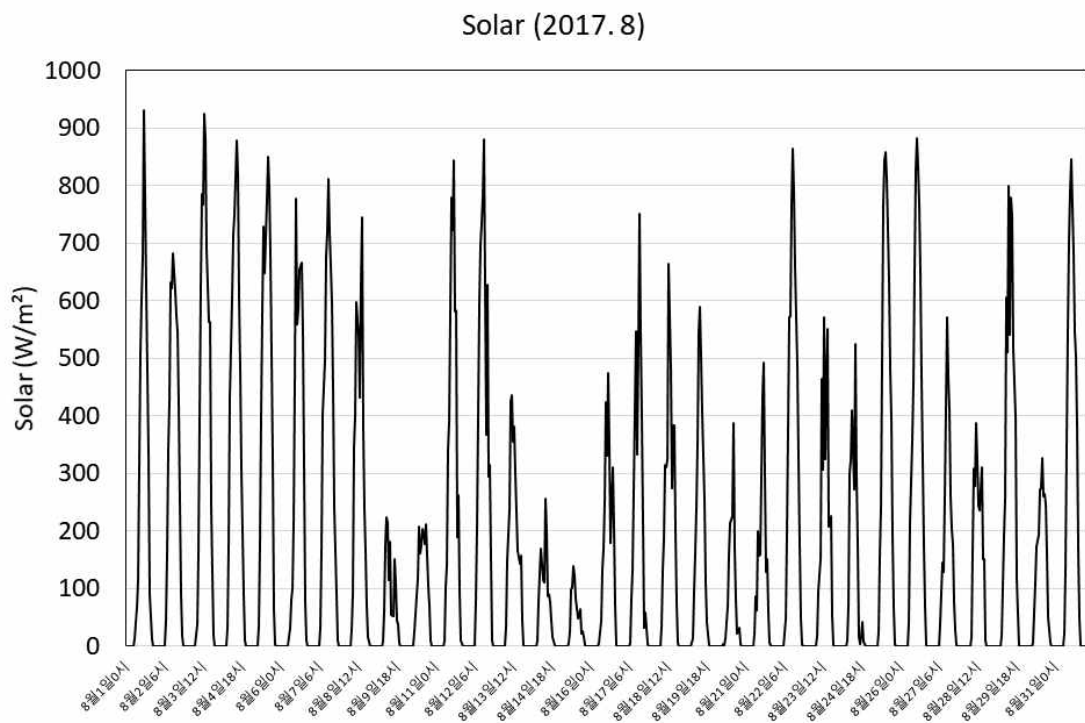
Wind Speed (2017. 9)



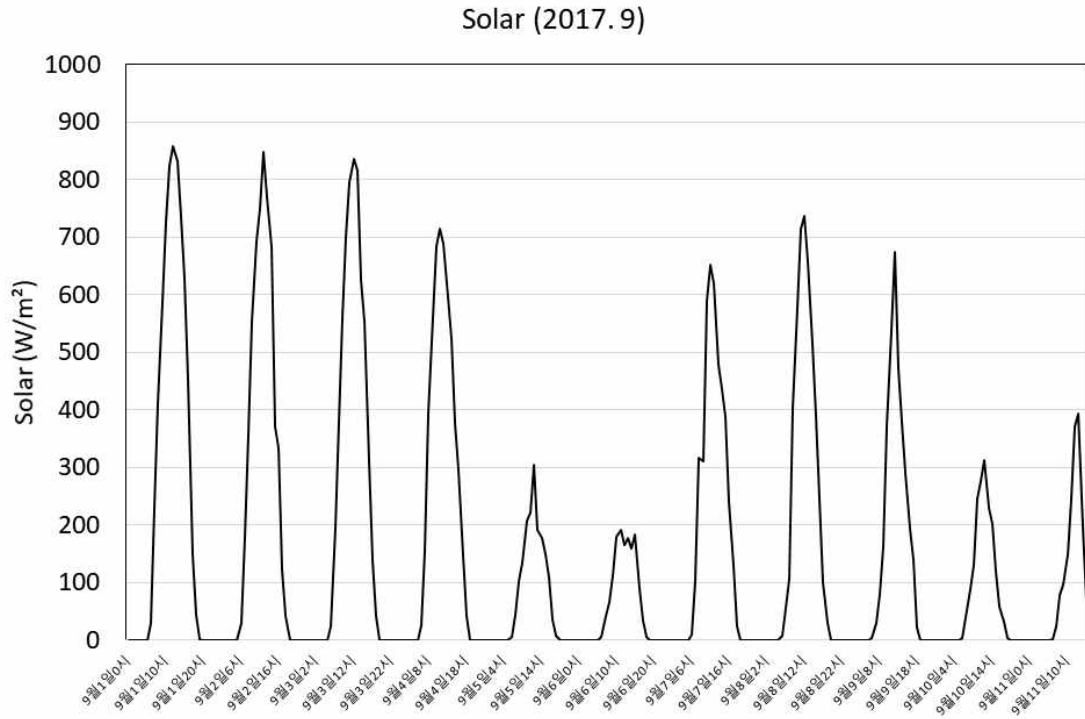
[그림 2.3.76] 기상 관측 장비를 통해 취득한 풍속 데이터 (2017년 9월)



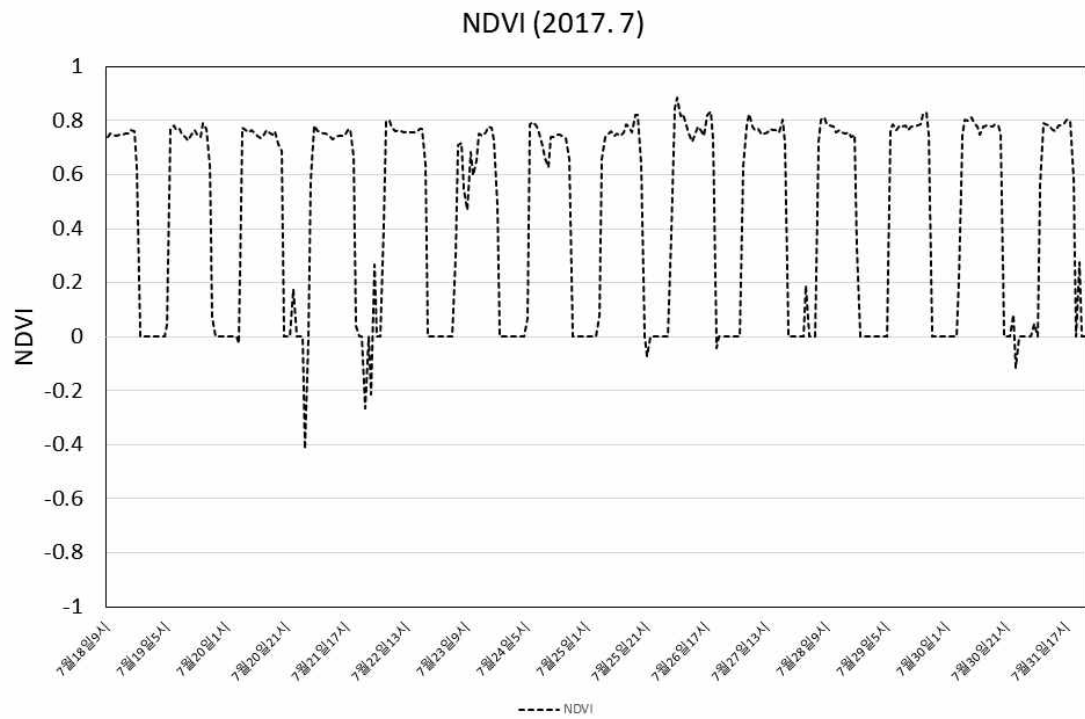
[그림 2.3.77] 기상 관측 장비를 통해 취득한 일사량 데이터 (2017년 7월)



[그림 2.3.78] 기상 관측 장비를 통해 취득한 일사량 데이터 (2017년 8월)

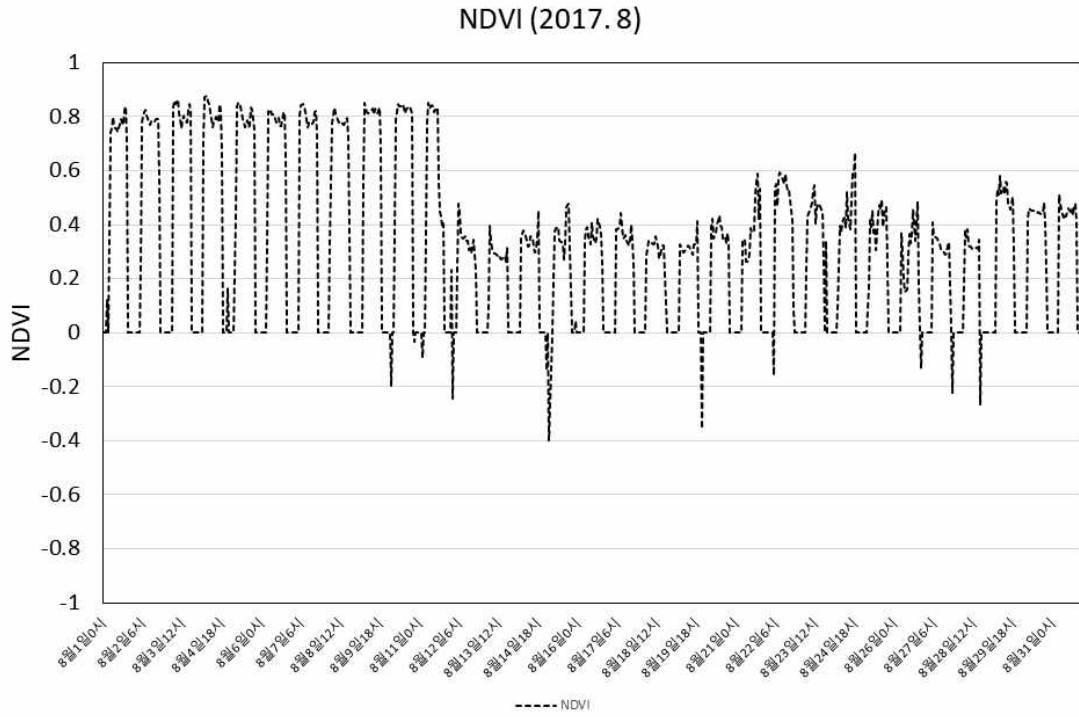


[그림 2.3.79] 기상 관측 장비를 통해 취득한 일사량 데이터 (2017년 9월)

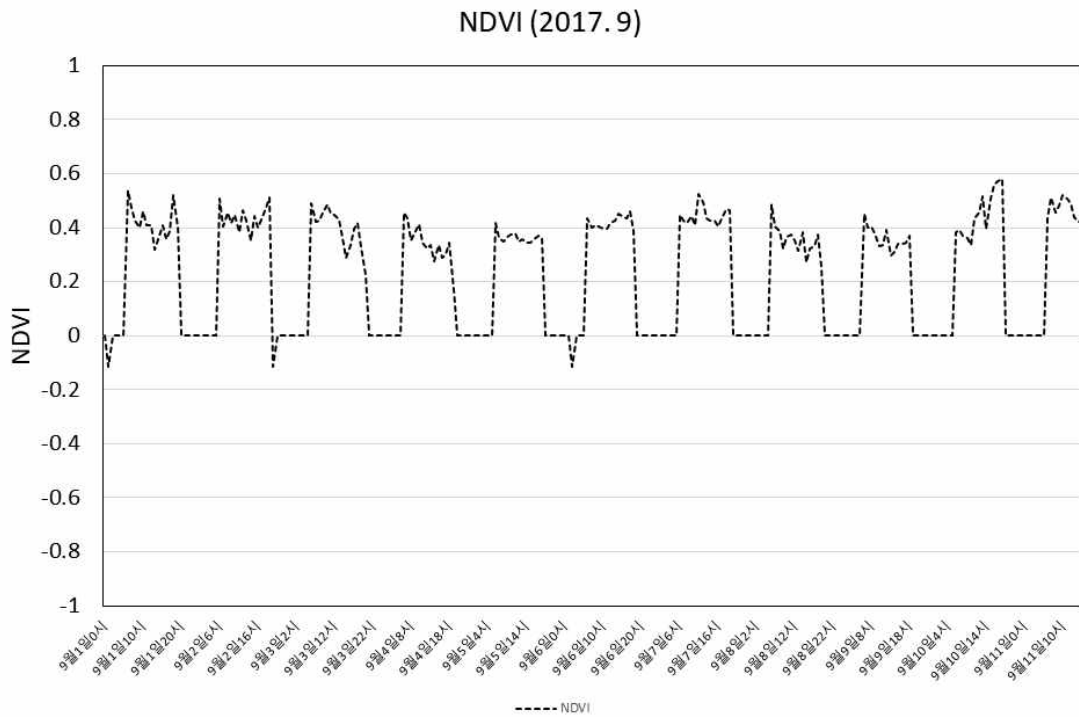


[그림 2.3.80] 기상 관측 장비를 통해 취득한 NDVI 데이터 (2017년 7월)

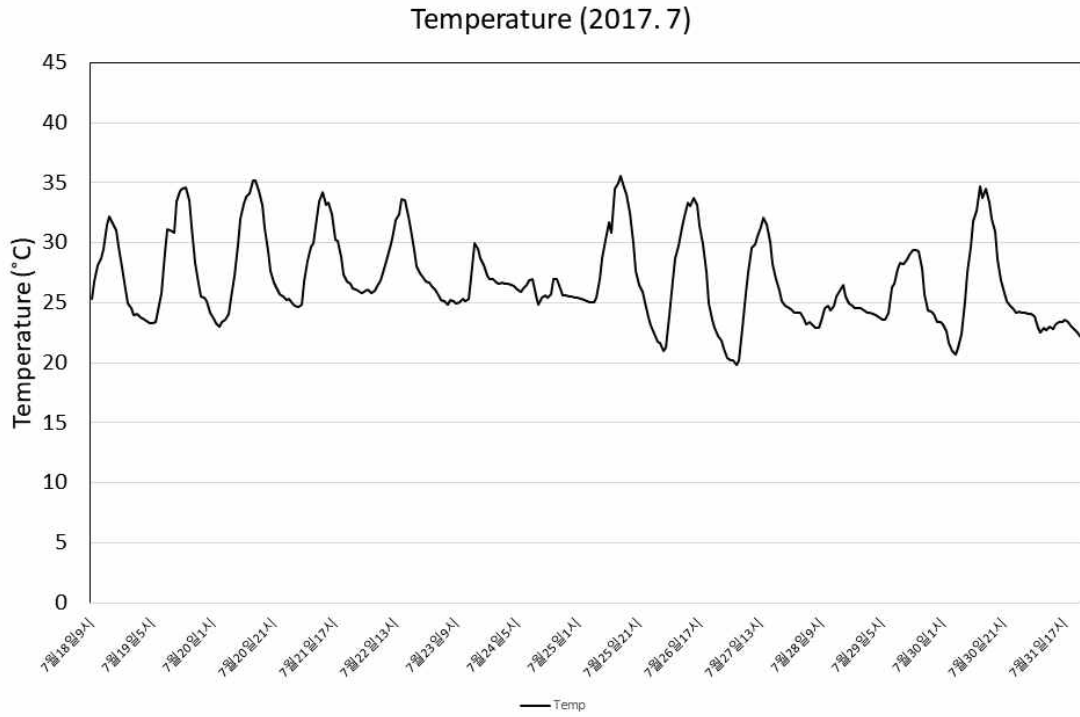




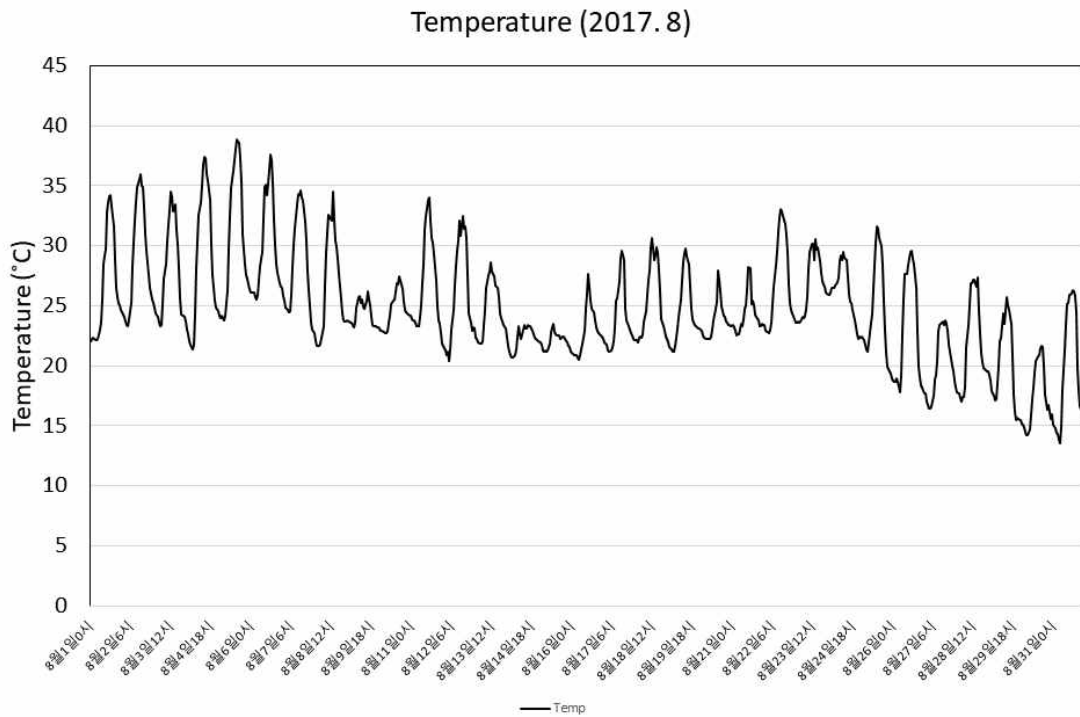
[그림 2.3.81] 기상 관측 장비를 통해 취득한 NDVI 데이터 (2017년 8월)



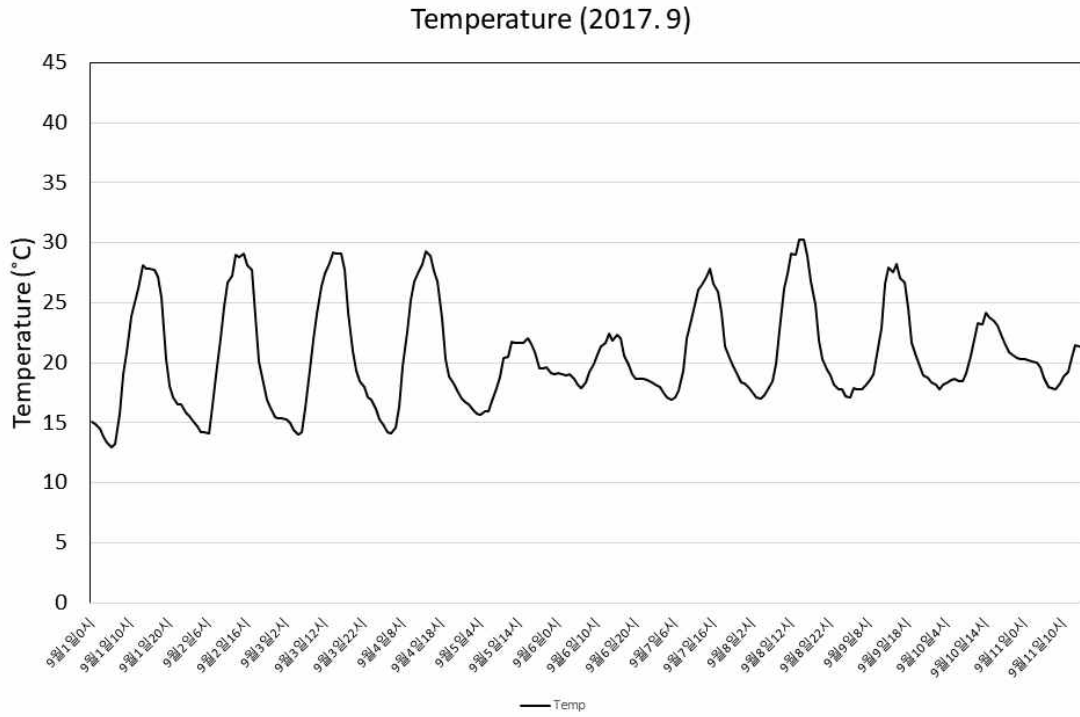
[그림 2.3.82] 기상 관측 장비를 통해 취득한 NDVI 데이터 (2017년 9월)



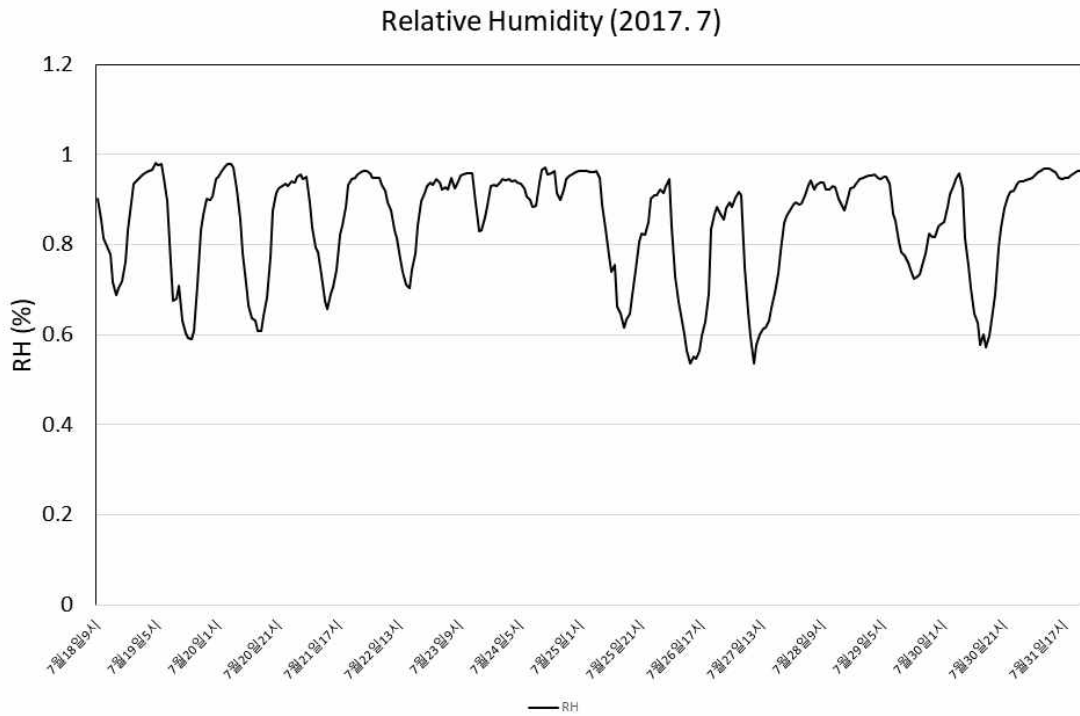
[그림 2.3.83] 기상 관측 장비를 통해 취득한 온도 데이터 (2017년 7월)



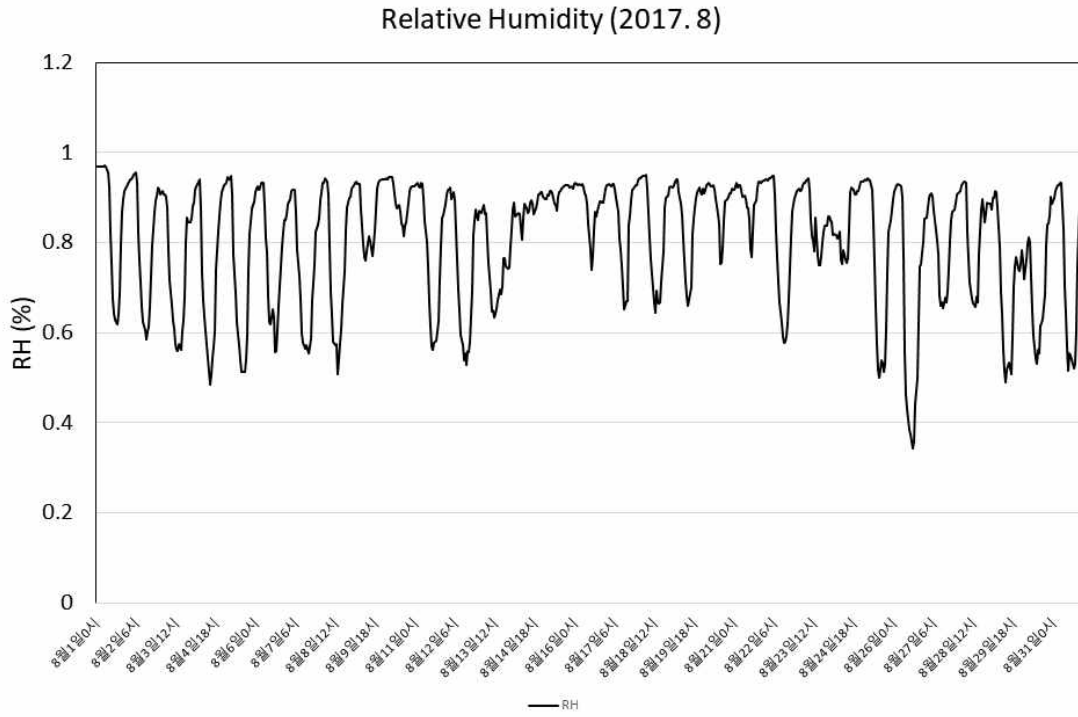
[그림 2.3.84] 기상 관측 장비를 통해 취득한 온도 데이터 (2017년 8월)



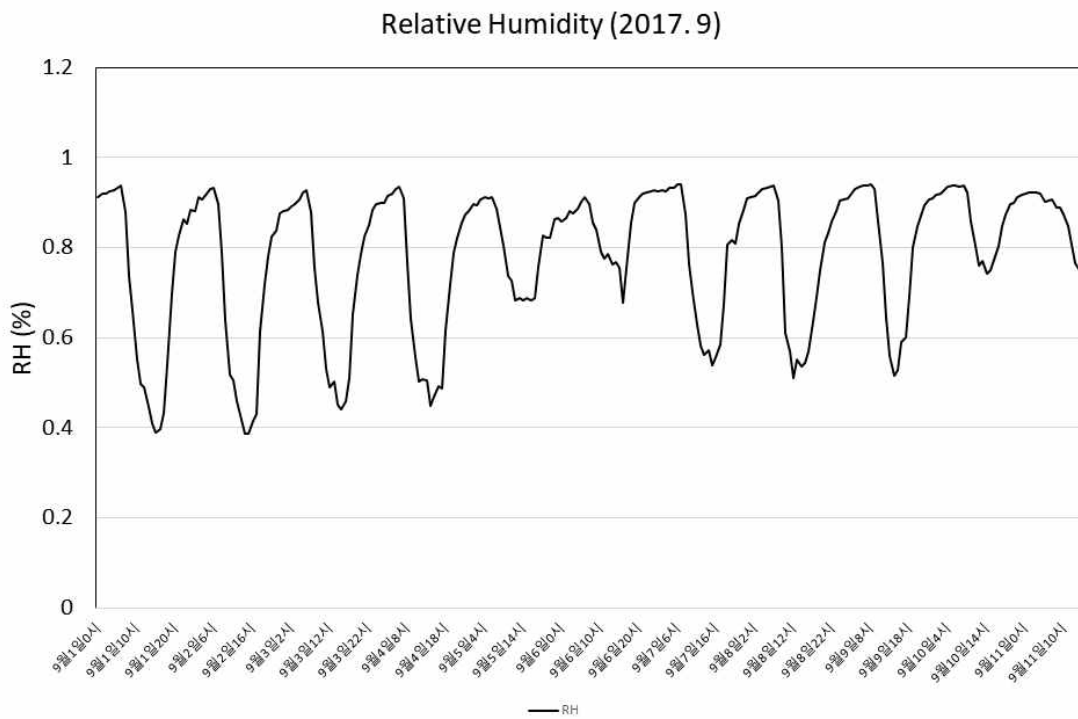
[그림 2.3.85] 기상 관측 장비를 통해 취득한 온도 데이터 (2017년 9월)



[그림 2.3.86] 기상 관측 장비를 통해 취득한 상대습도 데이터 (2017년 7월)



[그림 2.3.87] 기상 관측 장비를 통해 취득한 상대습도 데이터 (2017년 8월)



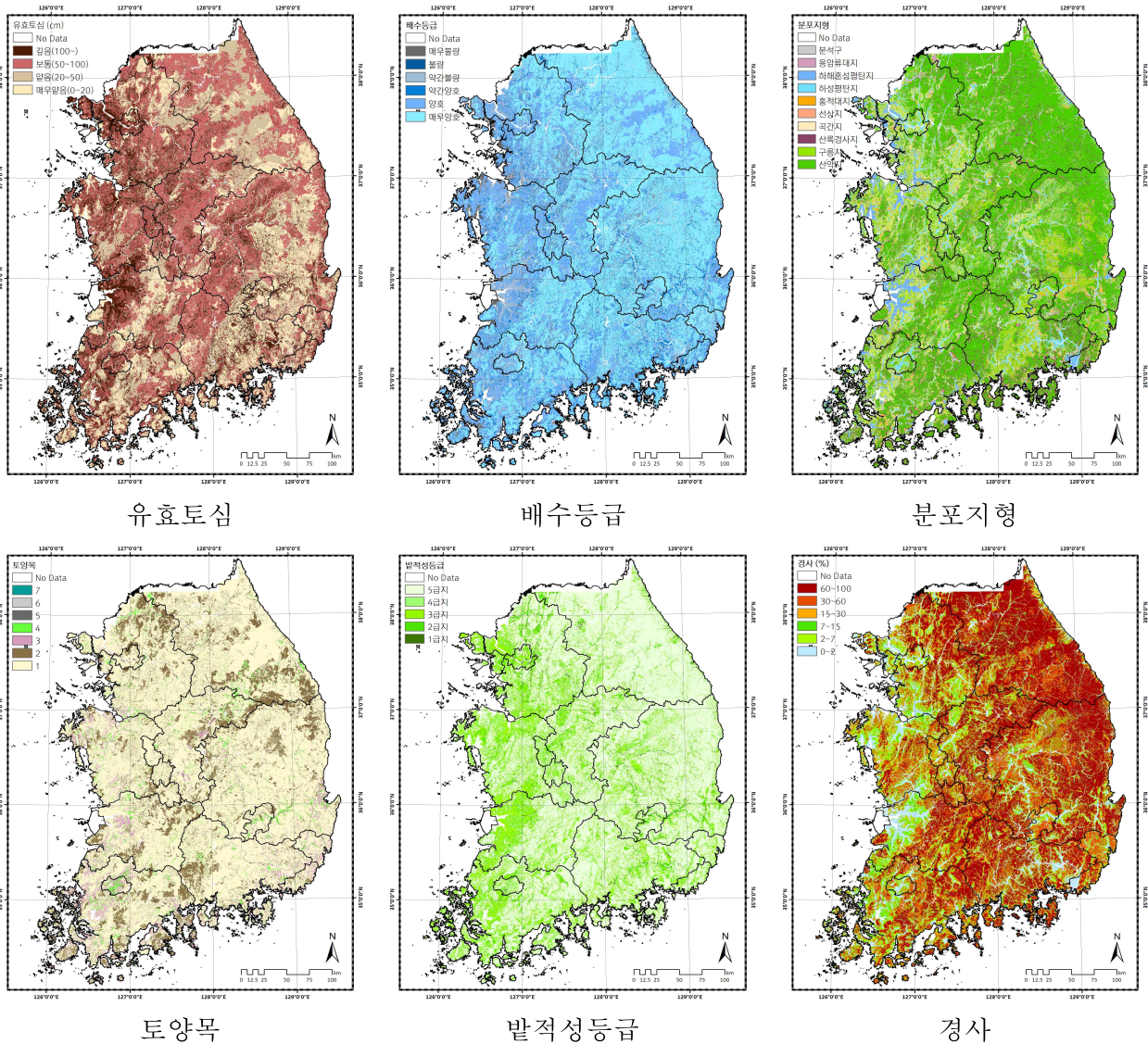
[그림 2.3.88] 기상 관측 장비를 통해 취득한 상대습도 데이터 (2017년 9월)

## 5. 가뭄피해 면적, 작물 등의 산출을 통한 가뭄피해 분석 기술 개발

### 가. 가뭄피해 분석 기술 개발을 위한 가뭄 취약성 분석

#### (1) 가뭄 취약성 평가요소 구축 : 지형학적 요소 구축

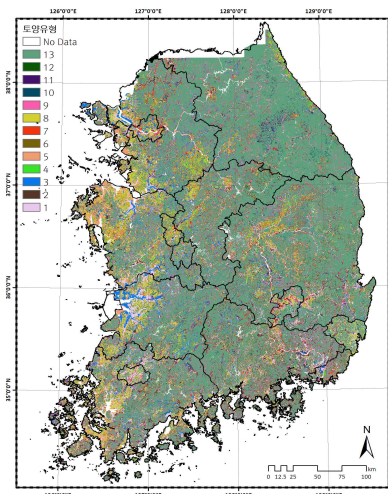
지형학적 요소 자료로서 농촌진흥청 정밀토양도 자료를 활용하여 밭작물 가뭄 피해대책 우선지구 파악을 위한 인자로 활용하였다.



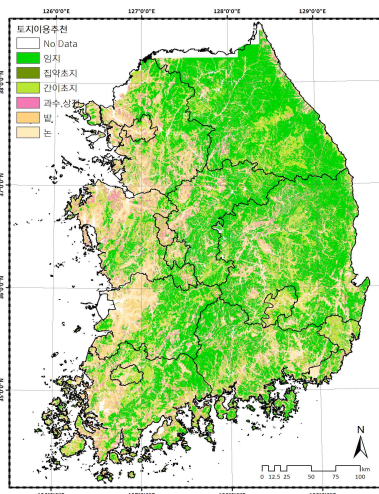
[그림 2.3.89] 농촌진흥청 정밀토양도 자료 구축

#### (2) 가뭄 취약성 평가요소 구축 : 지형학적 요소 구축

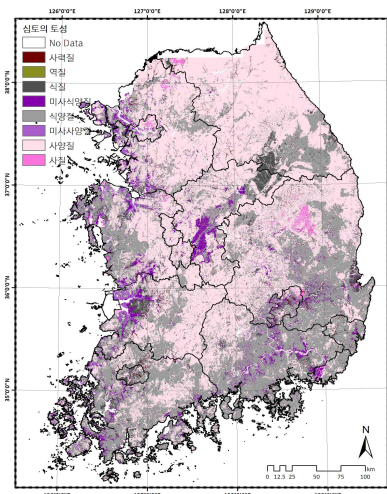
토양수분 모니터링 자료로서 농촌진흥청 농업기상 관측소의 자료를 활용하여 구축하였다.



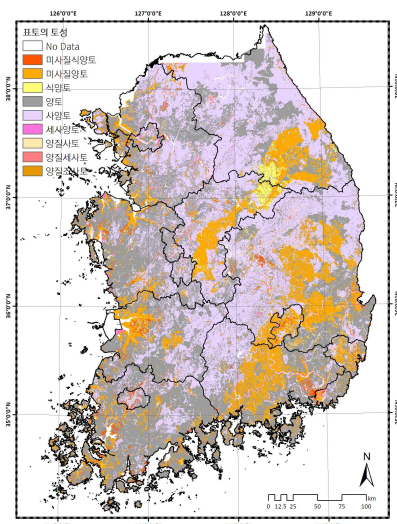
토양유형



토양이용추천



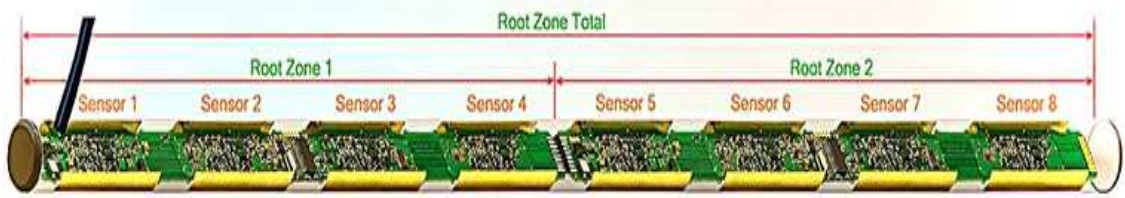
심토의 토성



표토의 토성

[그림 2.3.90] 농촌진흥청 정밀토양도 자료 구축

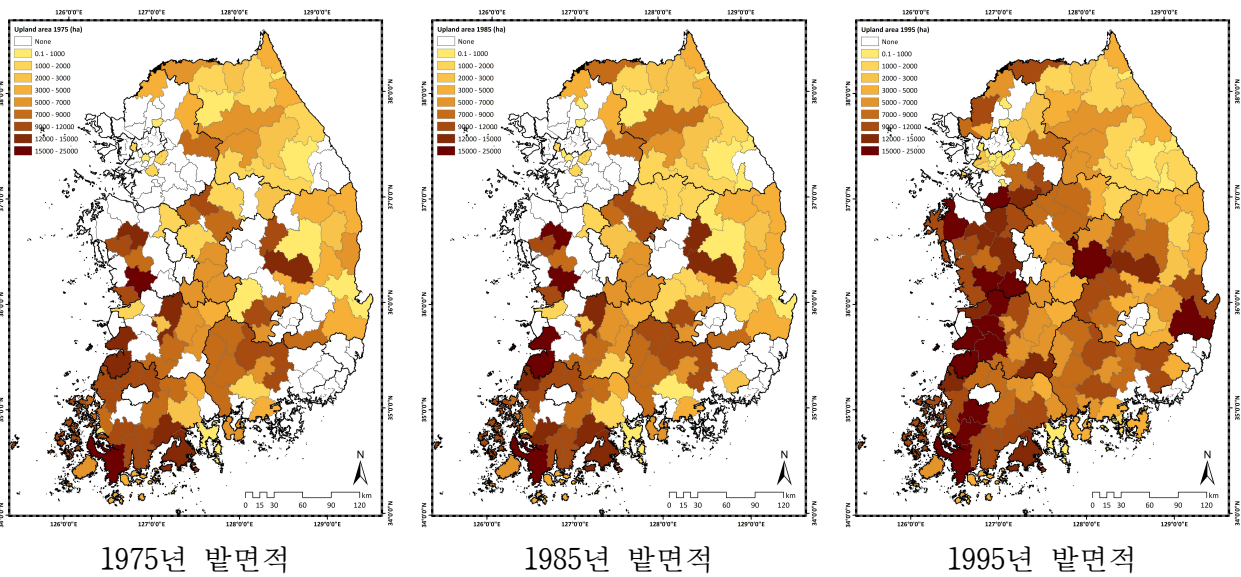




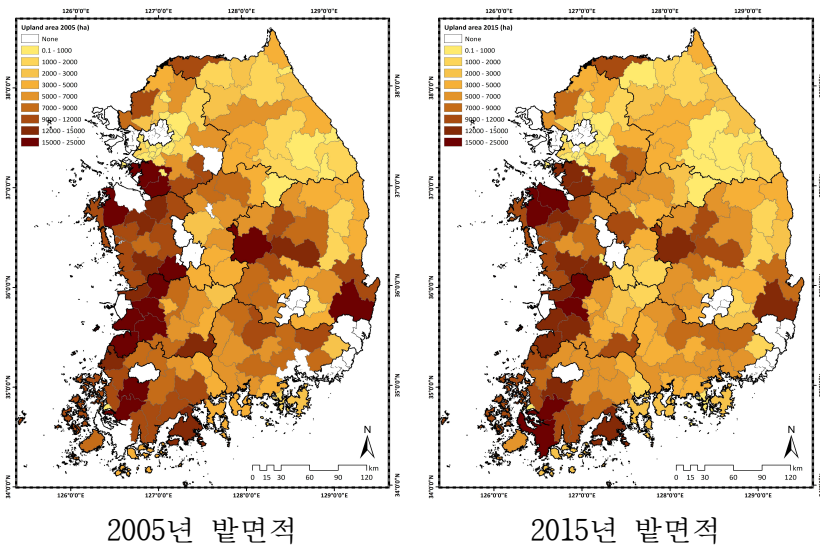
[그림 2.3.92] FDR 토양수분 및 온도 측정 장비 설치 및 장비 구조

#### (4) 우리나라 시군구 단위 발면적 자료 수집

우리나라 시군구 단위의 발 면적 자료를 수집하여 분포 지도를 작성하였다. 이때, 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시와 같은 특별시 및 광역시는 제외하였다. 발 면적 자료를 통해 면적이 넓은 지역이 적은 지역보다 상대적으로 우선시되어야 한다고 판단하였다.



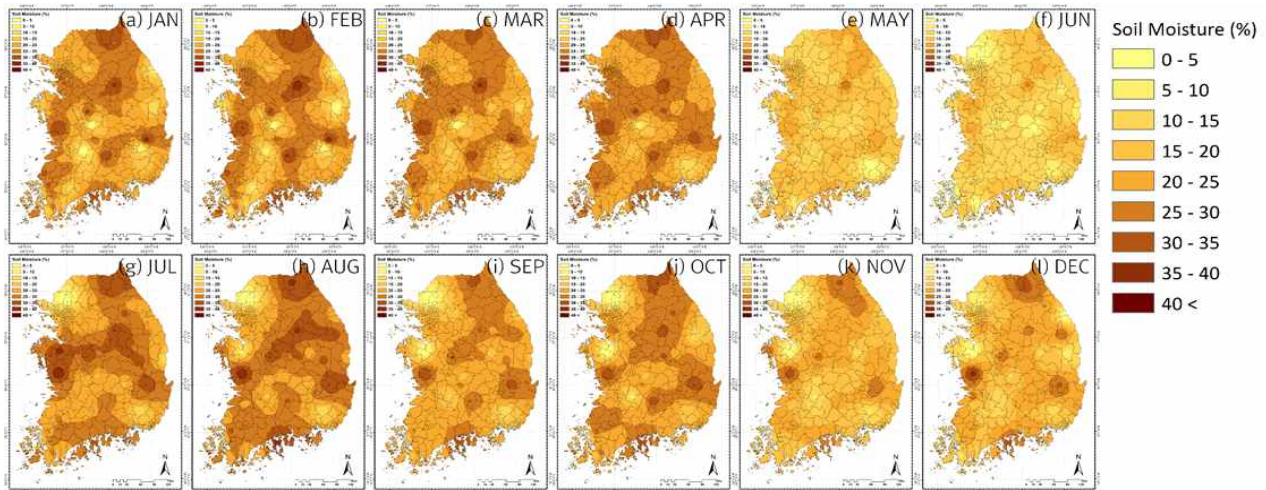




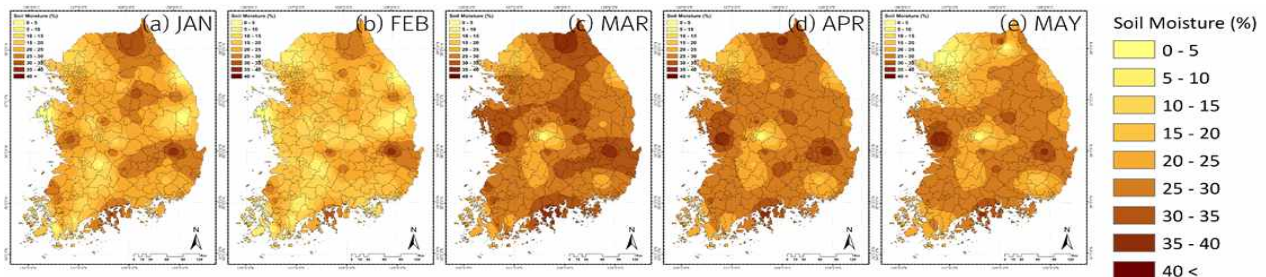
[그림 2.3.93] 1975년~2016년 발면적 자료 구축

(5) 토양수분을 분포

농촌진흥청 농업기상관측 토양수분 지점 자료를 수집하여 지점별 토양수분 자료를 공간보간을 통해 우리나라 전국 공간 지도로 작성하였다. 해당 데이터는 시험 지역인 월정리 토양수분 자료와 비교 분석에도 활용되었으며, 가뭄피해 대책 우선지구 선정에도 활용되었다.



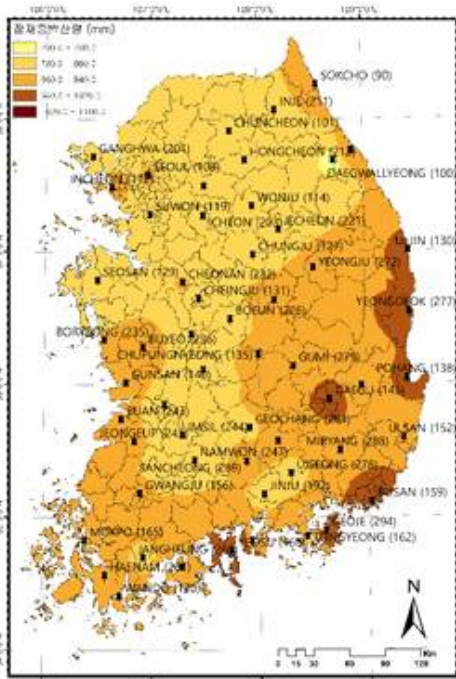
[그림 2.3.94] 2017년 월별 평균 토양수분을 분포



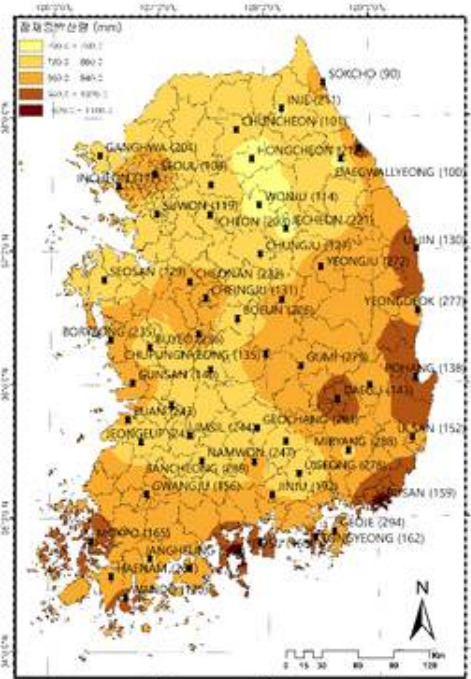
[그림 2.3.95] 2018년 월별 평균 토양수분을 분포

(6) 기준 증발산량 분석

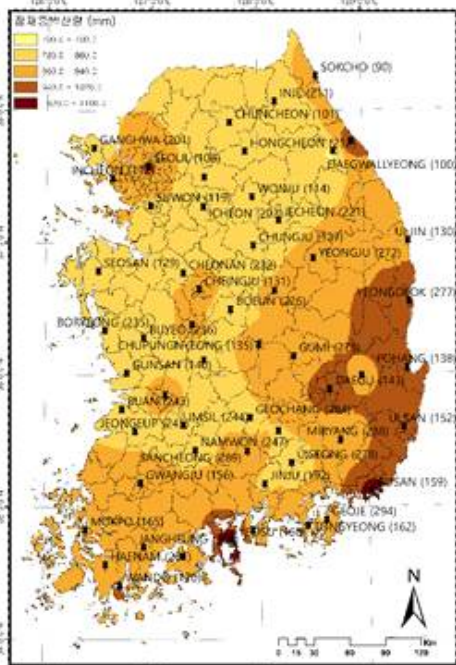
기준증발산량은 해당 지역의 토양수분과 작물의 상태 등을 판단할 수 있는 지표로 사용할 수 있다. 시간 변화에 따른 증발산량 변화를 확인하여 지역에 따른 변화 경향을 확인하였다.



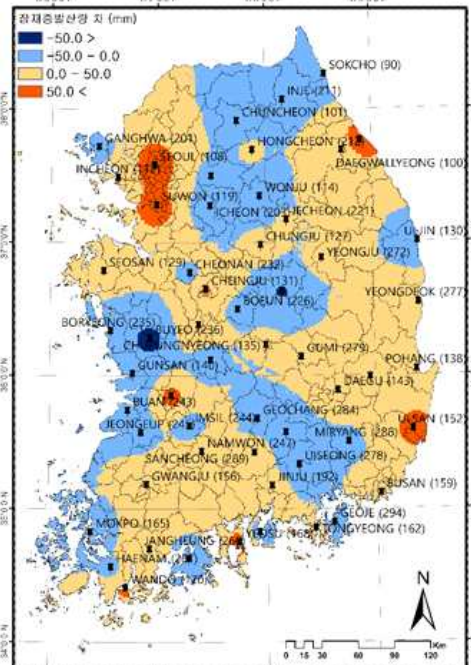
1973~1987년 평균 기준증발산량



1988~2002년 평균 기준증발산량



2003~2017년 평균 기준증발산량



2003~2017년 평균 기준증발산량 -  
1973~1987년 평균 기준증발산량 차이

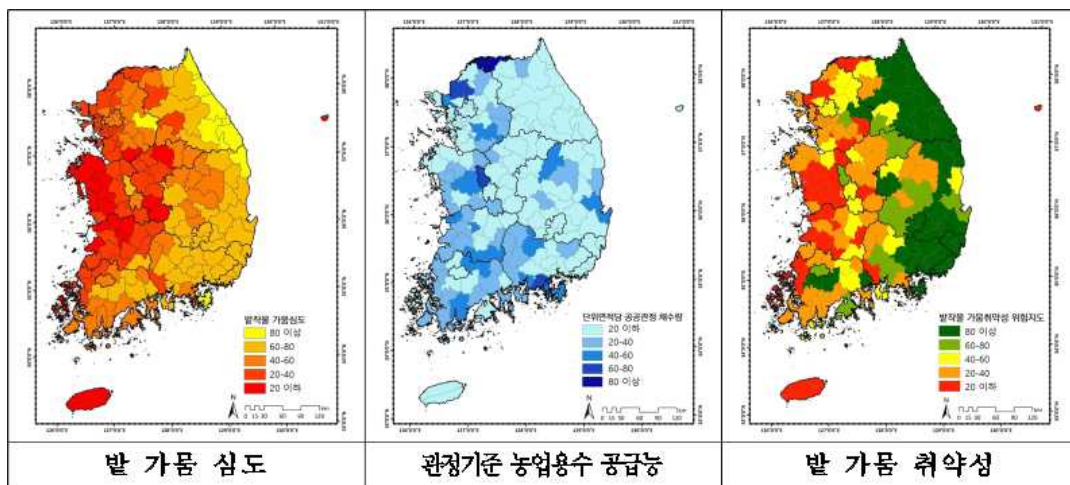
[그림 2.3.96] 기준증발산량 분석

### (7) 가뭄피해 분석을 위한 취약성 평가

취약성은 분석하려는 목적에 따라 개념적 정의에 차이가 발생한다. UNDP(2005)에서 정의하는 취약성은 민감도와 적응능력의 함수로 정의되며, IPCC에서 정의하는 취약성은 적응조치가 취해진 연후의 기후변화 잔여 영향으로 정의하고 있다. 본 연구에서는 가뭄피해 분석을 위해 토양수분, 밭 면적, 토양도, 기준증발산량 등을 분석하였다.

### 6. 경제성 분석 등을 고려하여 가뭄피해 대책 우선지구 선정

본 연구에서는 강수량, 토양수분, 증발산량, 저수율, 관개용수 등을 고려하여 가뭄피해 대책 우선지구를 선정하고자 하였다. 하지만 무인기를 활용한 가뭄피해 분석이라는 본 연구 범위에 부합하지 않아 기초적인 연구만 진행하였다. 토양유효수분율을 기준으로 밭 가뭄 심도를, 밭 작물 재배 면적당 공공관정의 물 공급 가능량을 기준으로 용수 공급 능력을 판단하였으며, 이를 종합하여 밭 가뭄 취약 지도를 작성하였다. 취약 지도의 예시는 다음 그림과 같다.



[그림 2.3.97] 다양한 인자를 통해 분석한 가뭄 취약 지역 공간분포 지도

해당 가뭄 취약지도를 통해 본 연구에서 연구하고자 한 안성시를 다른 시군구와 비교하였다. 안성시의 경우 토양수분율, 용수 공급능력, 강수량 등 다양한 지표를 종합한 결과 매우 취약한 지역이라고 판단하였다.

### 7. 토양수분 평가 기술 개발

#### 가. 토양수분 모형 산정 관련 선행연구

작물 생육의 중요한 요소 중 하나인 토양수분은 농업 생산성 및 물관리 계획 등에 활용되며, 토양수분을 측정 및 추정하는 연구가 많이 이루어졌다. 토양수분의 직접적인 측정은 현장 실측 데이터를 통해 수집되지만 이러한 데이터 수집의 경우 비용과 시간, 노동력 등 많은 비용이 요구되며, 넓은 지역을 실측하는 것에는 많은 어려움이 있다. 따라서 간접적 토양수분 추정 방법을 활용한 토양수분 추정 연구가 활발히 이루어지고 있다.

해외연구에서 초기 토양수분모의연구는 토양 내 수분 이동을 중점적으로 다루었다. Briggs

(1897)는 토양입자 및 토양구조별 토양수분의 이동을 분석하였으며, Buckingham (1907)은 토양 내 모세관 잠재력을 활용하여 토성 별 수분량에 따른 수리전도도의 변화를 분석하였다. Gardner (1919)는 토양 입자 별 토양수분 이동을 편미분 방정식을 적용하여 분석하였다. Richards (1931)는 불포화 다공성 매질에서 액체의 흐름을 연속방정식과 Darcey의 법칙을 이용하여 액체의 운동을 분석하였으며, 유동방정식으로 모세관전도도를 산정하였다.

후속 연구로는 토양의 물리적 작용으로 인한 수분의 이동과 작물을 고려하여 토양수분을 모의하는 연구가 이루어졌다. Baier and Robertson (1966)은 토양을 여러 토층 (layer)로 구분하고 각 토층의 유효수분함량, 강수량, 작물증발산량 등을 이용해 일별 토양수분을 추정하는 경험식을 개발하였다. Molz (1971)는 Molz and Remson (1970)이 개발한 수학적 모델을 단순화하여 뿌리분포를 가정하여 토양수분을 산정하였으며, 후속연구로 작물의 증산이 포함된 1차원 토양수분이동 모형을 제시하였다 (Molz and Remson, 1971). Jensen 등 (1971)은 토양을 단일 토층으로 가정하여 토양수분 유효수량, 증발산량, 관개량을 고려한 단순 토양수분 모형을 개발하였다. Aase 등 (1973)은 영구위조점, 포장용수량, Penman 공식과 작물계수를 활용하여 산정한 작물증발산량을 이용해 단일 토층에서의 토양수분을 추정하였다. Belmans 등 (1983)은 강수량, 증발산량, 지하수 수위 자료를 사용하여 토양수분 이동 모형인 SWATRE를 개발하였음. Feyen 등 (1986)은 개선된 SWATRE 모형을 제시하였다. Alley (1984)는 미국 뉴저지 지역 50년 기간의 물순환 데이터를 수집하여 Thornthwaite-Mather 모형, Palmer 모형, Thomas abcd 모형 등 여러 토양수분모형들을 검토하였다. Huang 등 (1995)은 60년 기간의 물수지 방정식을 모의하여 미국 전역의 월별 토양수분을 산정 및 변화를 분석하였다. Yamaguchi and Shinoda (2002)은 나이지리아의 실측된 토양수분 데이터와 물수지 방정식을 기반으로 모의된 토양수분 데이터를 비교하여 물수지 방정식을 검증하였다. Panigrahi and Panda (2003)은 토양을 2개의 토층으로 나누어 강수량, 관개량, 증발산량, 침투량, 유출량과 작물계수, 근근역 깊이 등과 같은 작물의 특성을 활용하여 토양수분을 추정하는 식을 제안하였다.

국내연구의 경우 토양수분모형을 기반으로 토양수분을 추정하는 연구가 활발히 이루어졌다. 안병기 등 (1987)은 Penman 공식으로 산정한 증발산량을 기반으로 토양수분의 변화를 분석하였다. 임정남 등 (1988)은 기상자료를 바탕으로 배추의 생육시기별 토양수분, 증발산량, 수량을 추정하는 모델을 제시하였으며, 김태철 등 (1991)은 토양수분을 일별로 추정하여 일 유출량을 모의하는 일 유출 모형을 개발하였다. 후속연구로 일 유출 모형을 기반으로 홍수예측모형을 개발하였다 (김태철 등, 1995). 배승중 등 (1999)은 토양수분모형을 적용하여 토양수분의 변화를 분석하였으며, 분석한 토양수분을 기반으로 농업가뭄분석모형과 지리정보시스템을 통합하여 지역별 농업가뭄을 분석하였다. 김성준과 채효석 (1999)은 격자 물수지 기법을 이용한 분포형 토양수분추적모형을 개발하고 지리정보 소프트웨어를 이용하여 분포형 토양수분추적모형의 입력 자료를 추출하는 모형의 전처리 과정과 모형의 결과를 시간적·공간적으로 표현해주는 후처리 과정을 개발하였다. 개발한 토양수분추적모형은 이평교 유역을 대상으로 적용성을 검토하였다. 이광야와 김선주 (2001)는 토양수분 물수지 방정식을 기반으로 밭 토양수분을 산정하여 농업용수 수요량을 산정하는 시스템을 개발 및 적용성을 검토하였다. 서영제와 이광야 (2002)는 물수지 방정식 기반으로 산정한 토양수분을 기반으로 밭용수량 산정 방법을 제시하였다. 김옥경 등 (2006)은 중권역 크기의 유역별로 토양수분모형을 적용하여 토양수분지수 (Soil Moisture Index, SMI)를 개발하여 토양수분을 기반으로 가뭄을 평가하였다. 황태하 등 (2006)은 SWAT (Soil and Water Assessment Tool)모형을 이용하여 토양수분을 산정하였다. 산정한 토양수분

을 기반으로 토양수분지수를 산정하여 가뭄지수와 비교를 통해 적용성을 확인하였다. 김광섭과 박정아 (2011)는 인공신경망모형과 CART (Classification And Regression Tree)기법을 연계하여 토양수분을 산정하는 기법을 제시하였다. 남원호 (2014)등은 토양수분 물수지 모형을 기반으로 식량작물인 콩, 옥수수, 감자와 채소작물인 고추, 봄배추, 가을배추를 대상으로 소비수량 및 관개용수량을 추정하였다. 김상우 (2019)등은 위성영상 자료를 활용하여 고해상도 토양수분을 산정하였고 산정한 토양수분을 농촌진흥청에서 제공하는 51개 지점의 실측한 토양수분과 비교하여 우리나라 적용성을 분석하여 회귀식을 도출하였다. 도출한 회귀식을 이용하여 우리나라 토양수분 공간분포를 산정하였음다.

## 나. 토양수분 활용 가뭄 취약성 평가 선행연구

최근 통합방재계획 (integrated disaster mitigation planning) 혹은 지속가능한 방재계획 (sustainable disaster mitigation planning)의 필요성이 대두되고 있다. 통합방재계획은 지역별 취약성 평가 (vulnerability assessment)를 시작으로 연구가 진행되었다. 미래 예측 위험의 크기를 선정 및 우선순위를 매겨 효율적인 자원배분과 재해경감을 위한 자료 제공을 목적으로 취약성 평가가 이루어졌다. 재해에 대한 지역별 취약성 평가는 지역별 방재능력과 재해의 진척, 발생시기와 장소, 기술의 발전, 인구, 정책 등에 의해 영향을 받았다. 미국 해양대기청 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)의 CVAT (Community Vulnerability Assessment Tool), 세계식량계획 (World Food Programme, WFP)의 VAM (Vulnerability Analysis and Mapping), 인도 계획위원회 (Planning Commission), 유럽의 SWURVE (Sustainable Water: Uncertainty, Risk and Vulnerability in Europe) 등이 지역별 재해 취약성 평가를 다루고 있다 (장민원, 2004). 현재 국제적으로 널리 사용되고 있는 수자원 분야의 취약성 지수로 WPI (Water Poverty Index), SWSI (Social Water Stress Index) 등이 있다 (Sullivan, 2002).

Wu and Wilhite(2004)와 Wu 등 (2004)은 미국 네브라스카 지역의 농업적 가뭄위험을 다변량 기법 기반으로 가뭄위험 평가를 하여 농업적 가뭄 위험지역을 GIS를 통해 도시하였다. 장민원 (2004)은 농업가뭄과 관련된 다양한 인자들을 고려하는 지역 취약성 평가 기법인 VAMRAD (Vulnerability Assessment Methodology for Regional Agricultural Drought)을 제안하였으며, 지역 취약성을 객관적으로 비교할 수 있는 지표인 취약성 주성분별 농업가뭄 취약성 지수 (Componential Agricultural Drought Vulnerability Index, CADVI)와 지역별 농업가뭄 취약성 지수 (Regional Agricultural Drought Vulnerability Index, RADVI)를 개발하였다. Shahid and Behrawan (2008)은 3, 6 개월 단위의 SPI를 이용하여 가뭄 발생확률을 산정하고, 가뭄으로 인한 영향범위를 사회, 건강, 경제, 환경으로 구분하여, 가뭄 위험지도를 작성하였다. 정지웅 등 (2010)은 수자원 관련 현상 및 영향요인을 정량적인 시공간 자료로 나타내는 과정을 분석하여, 극한현상에 대한 물관리 분야에 대한 취약성을 평가하였다. 박종용 등 (2011)은 기후학적 인자를 고려한 가뭄지수인 가뭄노출성 지수 (Drought Hazard Index, DHI)와 재해에 취약한 사회경제적 요소인 가뭄위험지수 (Drought Risk Index, DRI)를 고려하여 산정한 가뭄위험지수로 가뭄위험도를 평가하였다. 양정석 등 (2012)은 가뭄취약성 지수 개발에 10개의 지표를 선정하여 경향성 분석을 통해 지표를 검증하였고 취약성 지수를 산정하였다. 후속연구로 가뭄에 영향을 주는 10개의 지표를 선정하고 각 지표의 연 자료를 수집하여 이를 세 가지 경향성 검정을 통해 취약성 지수를 산정하는 연구가 진행되었다 (양정석과 김일환, 2013). 이용호 등

(2013)은 우리나라 봄 가뭄 취약성 평가를 위해 환경부 국립환경과학원에서 개발한 CCGIS (Climate Change adaptation program based on GIS)를 이용하여 취약성지수 (Vulnerability index)를 도출하였다. Thomas 등 (2016)은 취약한 지역을 공간적으로 식별하기 위해 여러 지표를 사용한 통합 접근법인 다중 지표 접근법을 개발하여 가뭄 취약지역을 산정하였다. 김지은 등 (2019)은 주성분 분석 및 엔트로피 기법을 적용하여 객관적인 사회·경제적 가뭄 취약성 지수를 산정 및 적용성을 분석하였다.

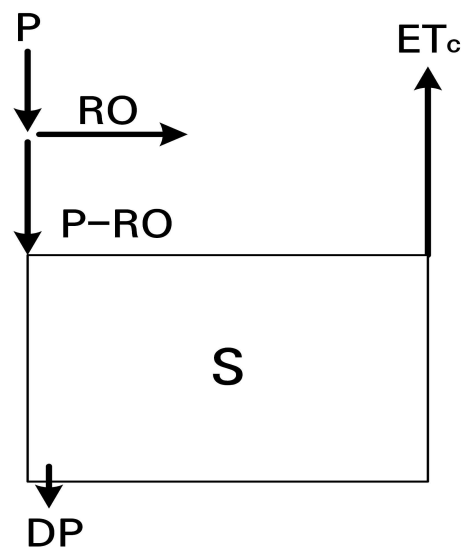
#### 다. 물수지 방정식

물수지란 수문순환 과정에서의 변화를 계산하는데 강수와 같이 유역 내에 유입과 증발산, 온도 등의 유출을 나타내 유입량과 유출량에 관한 물의 균형을 의미한다. 이러한 물수지는 지형학적 요인, 토성, 작물 및 작물의 생육 등에 의해 좌우되며 토양수분의 변화, 관개용수량의 추정, 가뭄분석 등 수문순환을 통한 물관리 분야의 다양한 연구 및 정책분야에 활용되어왔다. 본 연구에서는 토양수분모형의 모의는 물수지 방정식을 기반으로 하였으며, 토양을 한 개의 토층으로 간주하였고 물수지 방정식은 아래 식과 같다.

$$\Delta S = (P + IR + CR + HI) - (RO + ET_c + DP + HO) \quad (1)$$

이때,  $\Delta S$ 는 토양수분 변화량 (mm),  $P$ 는 강수량 (mm),  $IR$ 은 관개량 (mm),  $CR$ 은 모관력에 의한 수분상승량 (mm),  $HI$ 는 횡방향 수분유입량 (mm),  $RO$ 는 지표유출량 (mm),  $ET_c$ 는 작물증발산량 (mm),  $DP$ 는 유효토층 하부에서의 지하배수량 (mm),  $HO$ 는 횡방향 수분유출량 (mm)이다. 물수지 방정식에서 모관력에 의한 수분상승량은 상대적으로 적은 양을 차지하여 배제하였고, 횡방향 유출입을 상호 상쇄되는 값으로 가정하여 물수지 방정식을 아래 식으로 단순화 하였으며, 토양 내에서의 물수지를 다음 그림에 도식화하여 나타내었다.

$$\Delta S = (P - RO) - ET_c - DP \quad (2)$$



[그림 2.3.98] Water balance in soil

#### 라. 유효우량 산정

유효우량은 강우량 중에서 토양으로 침투되는 우량을 의미하며, 지표배수량은 토양 속으로 침투한 우량을 제외하고 지표와 토양층을 통해 경지를 벗어나는 유출량을 의미한다 (남원호 외, 2014). 본 연구에서는 강우량에서 지표유출량을 뺀 값을 유효우량으로 정의함. 유효우량 및 지표유출량을 산정하기 위하여 미국자연자원보호청 (Natural Resources Conservation Service, NRCS) CN (Curve Number) 방법을 사용하였으며, 지표유출량은 아래 식들을 이용하여 산정하였다.

$$\begin{cases} Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} & (P \geq 0.2S) \\ Q = 0 & (P < 0.2S) \end{cases} \quad (3)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

$Q$ 는 지표유출량 (mm),  $P$ 는 강우량 (mm),  $S$ 는 최대잠재보유수량 (mm),  $CN$ 은 선행토양함수조건 (Antecedent soil Moisture Condition, AMC)에 따라 산정한 유출곡선지수를 의미한다.

#### 마. 지하배수량 산정

지하배수량은 유효토층 하부에서 토양수분 중 중력수가 아래로 이동되는 양을 의미하며, 본 연구에서는 남원호 (2014)등의 선행연구를 기준으로 강우시 토양수분함량이 포장용수량을 초과할 경우 포장용수량 이상의 토양수분은 모두 지하배수 되는 것으로 간주하였다.

#### 바. 작물증발산량 산정

증발산량(evapotranspiration)은 기상학과 수문학에 사용되는 주요한 농업기상 매개 변수이며, 수문순환과 강우-유출모형의 검증과 개발, 기후예측 및 기상예측모형 등의 기초자료로 활용되었다 (Allen et al., 1998; Sentelhas et al., 2010; 임창수 외, 2011; 김대식 외, 2018). 또한 작물의 성장에 필요한 물 수요 및 관개 용수를 산정하는데 중요한 역할을 한다 (Allen et al., 2011a; Nam et al., 2015; Hong et al., 2016; Djaman et al., 2017; Nam et al., 2017; 이규민과 김윤형 2017). 증발산량의 관측방법은 측정기기를 통해 실측하는 방법과 구조화된 알고리즘을 이용하여 산출하는 방법이 있다. 증발산량을 실측하는 방법에는 증발산계 (lysimeter)를 이용하여 관측하거나 물수지 기법 혹은 기상변수를 이용하여 추정하였다. 그러나 우리나라의 경우 증발산계가 전국적으로 분포되어 있지 않아 이용하기 어려움이 있으며, 물수지 기법이나 기상 변수를 이용한 추정 방법은 정확하고 정밀한 실험을 통해 도출한 값들이 요구되었다 (정대일과 강재원, 2009; 임창수, 2010). 또한 증발산량은 기상, 식생, 토지 피복 등 다양한 요인들에 의해 영향을 받기 때문에, 이를 실측하는 것은 현실적으로 어려움이 있다 (윤질일 외, 2004; 이길하 외, 2008). 따라서 증발산량과 밀접한 관련이 있는 기상 또는 식생 변수를 이용한 간접적인 추정이 현실적이며, 기상자료를 기초로 하는 경험적인 접근법이 증발산량을 추정하는데 일반적으로 사용되고 있다 (Allen et al., 1989; Allen et al., 2011b).

구조화된 알고리즘을 이용한 방식으로는 식생 인자의 영향을 포함한 잠재증발산량 (Potential EvapoTranspiration, PET) 모형이 소개되었고, 이를 기준으로 실제증발산량 (Actual EvapoTranspiration, AET)을 추정하는 연구가 수행되고 있다 (Pereira et al., 1999). 잠재증발산량은 주어진 기상조건에서의 단위면적당, 단위시간당 자유 수면에서의 가능한 증발량으로 (Penman, 1948; Thornthwaite, 1948; Jensen et al., 1990), 토양함수가 포화된 상태에서의 가능한 증발량으로 정의될 수 있으며, 이때 피복 작물이 alfafa나 grass일 경우의 잠재증발산량을 기준증발산량 (Reference EvapoTranspiration, RET)이라 한다. 과거에는 실제증발산량을 직접 추정하는 방식으로 접근하였으나, 식생 인자의 중요성이 부각되면서 이를 포함한 모델이 주를 이루고 있다 (문장원 외, 2013; 전민기 외, 2019)

본 연구에서는 세계관개배수위원회 (International Commission on Irrigation & Drainage, ICID), 세계기상기구 (World Meteorological Organization, WMO)에서 추천하는 FAO-56 Penman-Monteith 공식을 기반으로 기준증발산량 (reference evapotranspiration)을 산정하였으며 (Chiew et al., 1995; Allen et al., 1998; Garcia et al., 2004; Cai et al., 2007; Suleiman et al., 2009), 기준증발산량 산정 공식은 아래 식과 같다.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \left[ \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T_{mean} + 273} \right]}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 U_2)} \quad (5)$$

이때,  $ET_0$ 는 FAO-56 PM 공식으로 산정된 기준증발산량 (mm),  $\Delta$ 는 포화증기압과 온도곡선의 기울기 ( $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ ),  $R_n$ 은 이용가능 복사열 ( $\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ),  $G$ 는 토양열 플럭스 ( $\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ),  $\gamma$ 는 건습계상수 ( $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ ),  $U_2$ 는 2m 높이에서의 풍속 (m/s),  $T_{mean}$ 는 일평균기온 ( $^\circ\text{C}$ ),  $e_s$ 는 포화증기압 (kPa),  $e_a$ 는 실제증기압 (kPa)이다. 산정한 기준증발산량과 작물의 작물계수 (crop coefficient)를 고려하여 작물증발산량 (crop evapotranspiration)을 다음 식과 같이 산정한다.

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (6)$$

$ET_c$ 는 작물증발산량 (mm),  $K_c$ 는 작물계수를 의미한다. 선행 연구에서 작물계수를 표면 토양의 습윤 상태와의 관계를 공식으로 유도하였으나 (Jensen et al., 1971) 본 연구에서는 농촌진흥청 국립농업과학원에서 제공하는 작물 생육단계별 작물계수를 사용하였다. 본 연구에서 작물은 후술할 시범지구의 재배작물인 옥수수로 선정하였다. 옥수수의 생육단계는 유묘기 (G1), 경엽신장기 (G2), 개화기 (G3), 결실기 (G4), 등숙기 (G5)로 구분되며, 생육별 작물계수는 아래 표에 나타내었다.

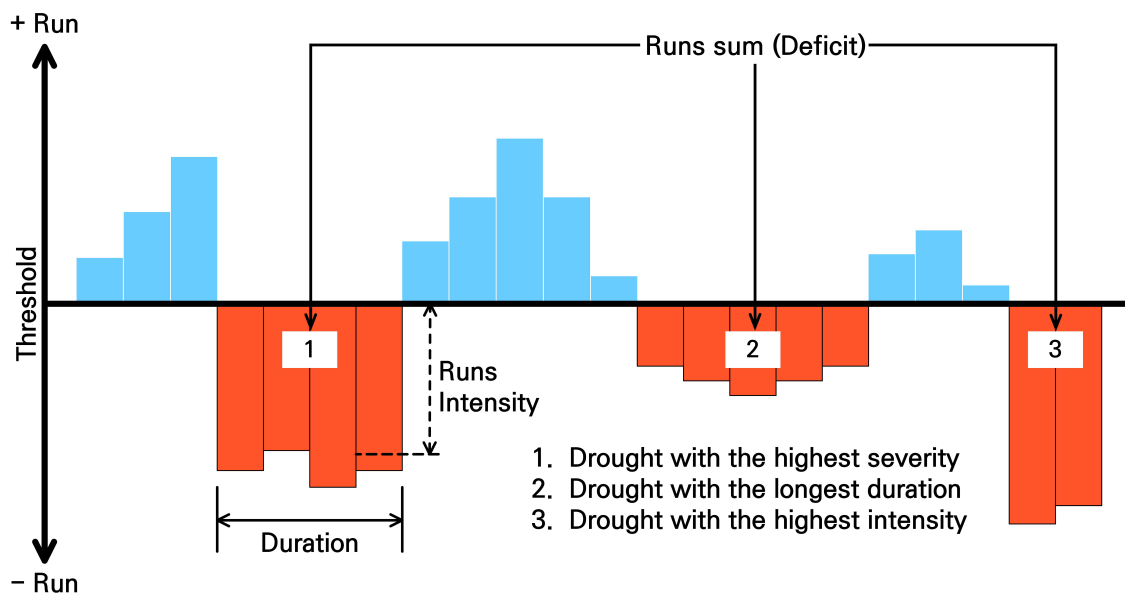


[표 2.3.9] Crop coefficient by corn growth stages

Growth Stages	Start Day	End Day	$K_c$
G1	4/25	5/20	0.68
G2	5/21	6/20	1.09
G3	6/21	7/10	1.20
G4	7/11	7/25	1.20
G5	7/26	8/20	0.75

#### 사. 필요수량 산정

필요수량 (Water Requirement, WR)은 작물의 정상적인 생육 조건에서 논과 밭의 토층에서 소비되는 수량으로 논에서는 감수심을 말하며 밭에서는 유효토층 내에서 소비되는 수분량, 밭 물수지 분석에서 필요수량은 작물이 수분 부족으로 인한 스트레스를 받지 않도록 관개해야 하는 수량으로써 관개 방식 및 관개계획에 따라 다르게 산정한다 (김수진, 2014; 홍민기, 2014). 본 연구에서는 필요수량을 Runs 이론을 적용하여 토양수분 60%를 기준으로 토양수분이 60% 이하인 구간에서의 토양수분 결핍을 필요수량으로 정의하였다.



[그림 2.3.99] Example of Runs theory in this study

### 8. 가뭄피해 분석 모형 개발 및 시범지역 적용

#### 가. 입력 데이터 구축 및 토양수분 모형 값

앞서 설명한 물수지 방정식을 적용하기 위해 토양수분 값과 유효수량, 작물 증발산량을 산정하였다. 토양수분은 시험 지구인 월정리 지역에 설치한 FDR 토양수분 장치의 값을 사용하였으며, 데이터 취득 문제 상 2018년을 대상으로 하였으며, 작물 재배 시기 및 드론 영상 촬영 시기를 고려하여 4월~9월 데이터를 활용하였다. 유효수량은 강수량으로 산정하였으며, 강수량

은 시험지역에 설치한 기상관측 장비를 통해 취득하였다. 작물 증발산량 또한 시험 지역에 설치한 기상 관측 장비의 취득 인자들을 통해 계산하였다.

[표 2.3.10] 토양수분 모형을 위한 인자 및 토양수분 모형 값

년	월	일	실제 토양수분 값	유효우량	작물증발산량 (MJm-2day-1)	토양수분 모형 값
2018	4	25	37.71	0	0.881616	42.45
2018	4	26	35.78	0	0.881621	41.41
2018	4	27	34.37	0	0.6722	40.37
2018	4	28	33.11	0	0.755819	39.25
2018	4	29	31.93	0	0.930425	38.16
2018	4	30	30.89	0	0.699881	37.13
2018	5	1	26.86	0	0.534878	20.19
2018	5	2	32.55	15.2	0.37006	39.75
2018	5	3	35.99	4	1.275287	38.93
2018	5	4	36.00	0	2.126304	37.70
2018	5	5	31.14	0	1.314065	24.88
2018	5	6	41.90	17.5	0.213106	44.42
2018	5	7	39.04	0	0.382921	43.52
2018	5	8	36.78	0	1.469526	42.60
2018	5	9	35.18	0	1.017083	41.48
2018	5	10	33.79	0	0.709473	40.34
2018	5	11	30.91	0	0.874925	30.93
2018	5	12	39.03	11	0.201012	37.47
2018	5	13	40.05	1.2	0.366075	36.53
2018	5	14	36.18	0	0.398262	33.61
2018	5	15	34.48	0	0.572152	33.71
2018	5	16	39.48	22.7	0.281794	46.99
2018	5	17	44.44	15.8	0.161987	49.11
2018	5	18	45.41	10.2	0.326127	48.54
2018	5	19	40.41	0	1.550051	47.06
2018	5	20	38.13	0	1.244592	46.04
2018	5	21	36.73	0	2.05826	45.15
2018	5	22	36.14	8.2	0.629374	44.81
2018	5	23	40.26	8.2	1.701905	42.41
2018	5	24	36.42	0	2.101914	40.08
2018	5	25	34.41	0	1.342454	37.96
2018	5	26	32.71	0	1.367058	35.54
2018	5	27	31.44	0	1.069577	34.20
2018	5	28	30.14	0	1.339675	31.78
2018	5	29	30.79	4.4	1.032312	39.36
2018	5	30	30.75	4	0.691731	37.46

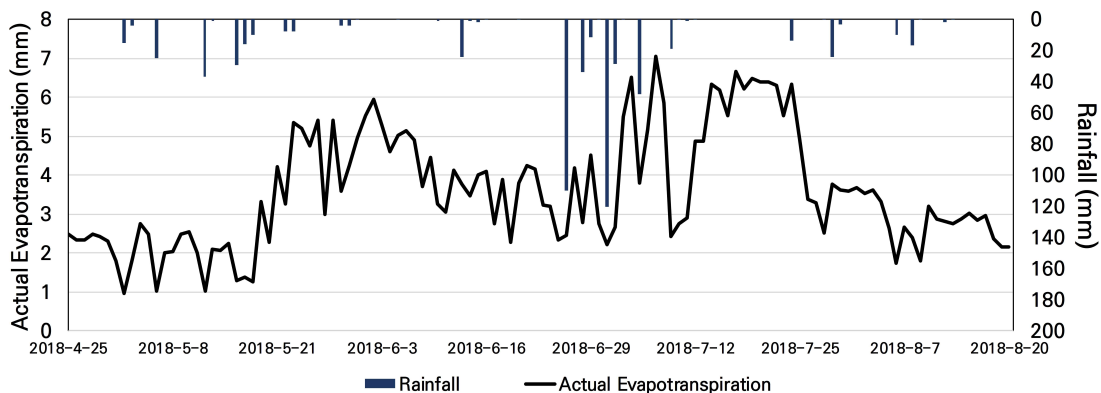
2018	5	31	29.95	0.2	0.658043	35.23
2018	6	1	28.87	0	1.721674	32.76
2018	6	2	27.50	0	1.827747	30.09
2018	6	3	26.18	0	1.080517	27.72
2018	6	4	25.09	0	1.264625	25.65
2018	6	5	24.22	0.4	1.362137	23.41
2018	6	6	23.30	0	1.158012	21.10
2018	6	7	22.40	0	0.862918	18.91
2018	6	8	21.71	0	1.073544	17.25
2018	6	9	20.99	0	2.37152	15.26
2018	6	10	20.40	0.8	3.079852	13.79
2018	6	11	20.05	0	1.537789	13.14
2018	6	12	19.50	0	1.140525	11.30
2018	6	13	22.92	24	0.814212	29.61
2018	6	14	22.51	1	1.999982	28.06
2018	6	15	21.99	1.8	2.222252	26.26
2018	6	16	21.41	0.2	1.831531	24.43
2018	6	17	21.00	0	0.846082	23.20
2018	6	18	20.55	0	1.238385	21.46
2018	6	19	20.21	0	0.846842	20.44
2018	6	20	19.79	0.4	1.454301	18.73
2018	6	21	19.24	0	2.446489	16.82
2018	6	22	18.69	0	2.152661	14.96
2018	6	23	18.18	0	2.867976	13.51
2018	6	24	17.79	0	2.155749	12.07
2018	6	25	20.65	0	1.184731	27.04
2018	6	26	34.21	100.6	0.677773	25.95
2018	6	27	38.39	0	1.166727	25.64
2018	6	28	42.46	29.6	0.478659	44.40
2018	6	29	43.74	11.8	0.822346	42.38
2018	6	30	40.33	0.4	0.413638	40.33
2018	7	1	47.18	117.2	0.524987	49.60
2018	7	2	48.64	29	0.645229	49.60
2018	7	3	44.29	0.2	1.549296	48.24
2018	7	4	42.06	0	1.233674	49.60
2018	7	5	43.62	38.2	0.759202	49.60
2018	7	6	44.40	0	2.295092	49.60
2018	7	7	41.56	0	2.994731	49.60
2018	7	8	40.34	0	2.546021	49.60
2018	7	9	43.60	9.4	0.769734	49.60
2018	7	10	44.54	0.4	0.787178	49.60
2018	7	11	42.92	1.2	0.531947	49.60

2018	7	12	42.20	0.2	1.033914	49.60
2018	7	13	41.27	0	1.171	48.94
2018	7	14	39.94	0	1.120526	46.10
2018	7	15	38.49	0	0.931645	43.33
2018	7	16	37.05	0	1.222582	40.85
2018	7	17	35.41	0	1.03485	37.86
2018	7	18	33.90	0	8.225325	35.08
2018	7	19	32.28	0	7.546291	32.18
2018	7	20	30.74	0	7.682063	29.31
2018	7	21	29.31	0	6.459666	26.45
2018	7	22	27.98	0	4.946437	23.62
2018	7	23	26.79	0	2.478385	21.14
2018	7	24	29.64	13.8	2.25564	38.30
2018	7	25	28.76	0	7.502646	36.10
2018	7	26	28.12	0	6.080733	34.59
2018	7	27	24.56	0	4.202332	18.58
2018	7	28	24.05	0.6	1.043056	17.45
2018	7	29	27.47	19	4.01891	35.76
2018	7	30	26.89	3	5.666575	34.14
2018	7	31	26.49	0	1.744673	32.53
2018	8	1	25.92	0	5.050947	30.88
2018	8	2	25.36	0	5.251779	29.30
2018	8	3	24.82	0	6.313842	27.68
2018	8	4	24.34	0	5.907851	26.19
2018	8	5	24.00	0	5.493835	25.02
2018	8	6	26.55	9.8	4.232051	24.24
2018	8	7	26.79	0	5.337359	24.13
2018	8	8	27.91	16.8	4.40692	32.47
2018	8	9	27.31	0.4	1.790891	31.67
2018	8	10	26.67	0	2.239288	30.23
2018	8	11	26.01	0	5.105435	28.94
2018	8	12	25.38	2.2	5.914667	27.68
2018	8	13	25.11	0.2	3.241356	26.45
2018	8	14	24.55	0	1.962632	25.16
2018	8	15	23.98	0	1.991049	23.80
2018	8	16	23.43	0	4.354475	22.53
2018	8	17	22.90	0	5.8783	21.20
2018	8	18	22.43	0	4.349105	20.15
2018	8	19	22.06	0	3.386884	19.18
2018	8	20	21.68	0	2.54267	18.21

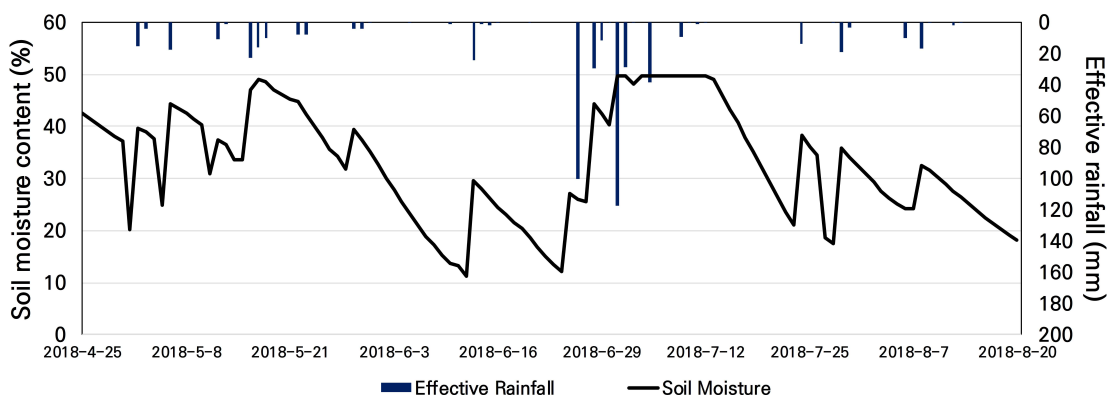
## 나. 시험 지구 토양수분 데이터 구축 결과

토양수분모형의 검증을 위해 자료 수집기간인 2018년 4월 25일부터 2018년 8월 20일까지 시험지구에서 측정된 실측 데이터를 수집하여 아래 표에 나타내었다. 수집한 기상자료의 경우 전처리 과정을 거쳐 토양수분모형에 적용하였으며, 실제증발산량과 강수량의 모의 결과를 아래 그림에 토양수분과 유효우량의 모의 결과를 나타내었다.

모의한 토양수분의 경우 관측 기간이 짧은 4월을 제외하면 5월 1일 20.2%, 6월 12일 11.3%, 7월 28일 17.5%, 8월 20일 18.2%로 월별 가장 낮은 토양수분을 기록하였다. 모의기간 동안 무강우가 지속되는 환경에서 토양수분이 점차 감소하며 낮은 토양수분 값이 모의되었으며, 6월 12일과 7월 23일 모두 14일 동안 무강우가 진행되어 모의기간 동안 가장 긴 무강우일수를 기록하였다. 이 두 기간의 토양수분 감소량을 보면 6월 12일의 경우 무강우가 시작된 시기인 5월 30일 37.5%에서 6월 12일 11.3%로 26.2% 감소하였으며, 일별 약 1.9% 씩 감소하였음. 7월 23일의 경우 7월 10일 무강우가 시작되었고 49.6%의 토양수분이 나타났으며, 7월 23일 토양수분이 21.1%로 28.5% 감소하여 일별 약 2.0% 씩 토양수분이 감소하였다. 토양수분의 경우 강우시에만 토양수분이 증가하였으며, 이는 본 연구에서 사용한 토양수분모형의 경우 강우에 의해서만 물공급을 받는다는 것을 보여 준다.



[그림 2.3.100] Result of actual evapotranspiration simulation



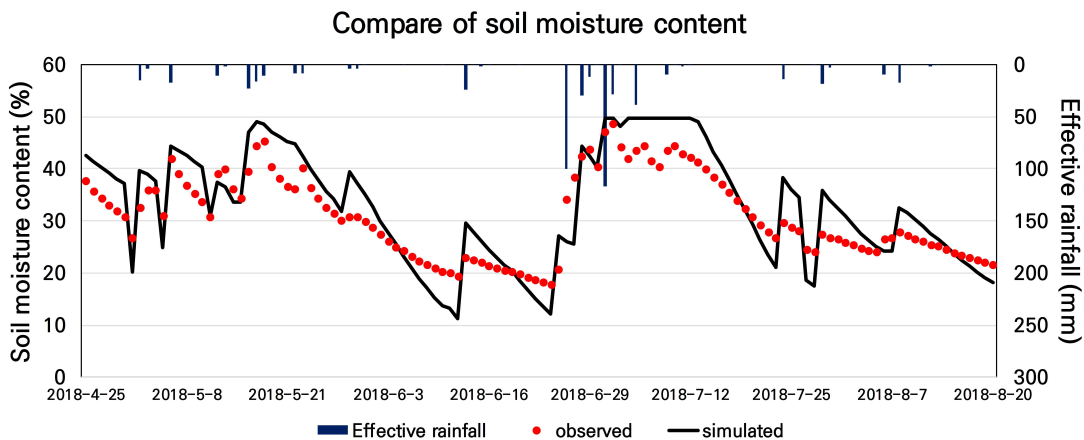
[그림 2.3.101] Result of effective rainfall and soil moisture simulation

#### 다. 토양수분 모형 검증 결과

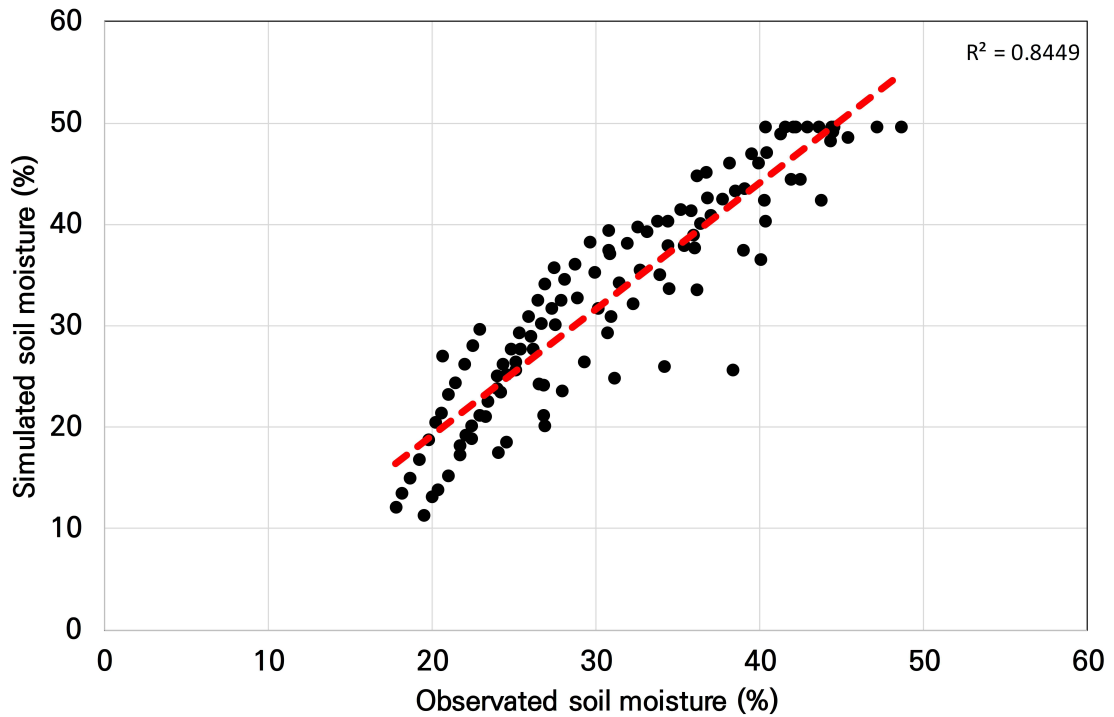
본 연구에서는 시범지구에서 수집한 기상관측 데이터를 기반으로 토양수분모형에 적용하여 토양수분 모의값을 산정하였다. 산정한 토양수분 모의값과 실측한 토양수분값을 비교하여 토양수분모형의 적용성을 결정계수와 RMSE를 산정하여 분석하였으며, 아래 그림에 토양수분 실측값과 모의값을 나타내었다. 분석결과 결정계수는 약 0.84, RMSE 5.04%로 기존의 토양수분모형의 결정계수가 단일 토층에 대하여 0.4 ~ 0.6 사이의 값을 갖는 점을 고려했을 때 본 연구에서 사용한 토양수분모형의 토양수분 모의 능력 역시 유효하다고 판단하였다.

토양수분모의 결과데이터와 토양수분 관측 데이터를 비교해보면 강우 시 두 데이터 모두 증가하는 것으로 나타났다. 토양수분모형을 통해 모의한 토양수분 데이터가 실측한 토양수분 데이터보다 강우량에 민감하게 반응하여 강우 시 증가하는 토양수분량이 더 컸다. 5월 2일에 유효강우량이 15.2 mm 발생하였고 이때 모의한 토양수분은 약 19.6%, 실측된 토양수분은 약 5.7% 증가하였다. 5월 6일의 경우 유효강우량이 17.5 mm 발생하였고 이때 모의한 토양수분은 약 19.5%, 실측된 토양수분은 약 10.8% 증가하였다. 유효강우량 발생 시의 토양수분모형 및 실측한 토양수분의 변화량을 아래 Table 4.2에 나타내어 본 연구에서 사용한 토양수분모형이 실측한 토양수분보다 유효강우량 발생 시 더 민감하게 변화하는 것이 나타났다. 이때 연구에서 설정한 포장용수량 지점에서의 토양수분 변화를 제외하여 토양수분이 최대치인 경우 토양수분이 유지되어 변화가 없는 기간을 제외하였다. 한편 실측한 토양수분 데이터를 보면 강우 시에만 토양수분이 증가하였으며, 이는 발작물의 경우 관정을 이용한 지하수 공급 또는 기타 물공급 시설이 없을 경우 강우로만 물공급이 가능한 밭의 취약성을 나타낸다.

토양수분 감소량의 경우 무강우일수가 가장 큰 5월 30일부터 6월 12일은 모의한 토양수분이 26.2% 감소한 것에 비해 실측한 토양수분이 11.6% 감소에 그쳤으며, 7월 10일부터 7월 23일의 경우 모의한 토양수분이 28.6% 감소하였으나 실측한 토양수분은 17.8% 감소하는 것에 그쳤다. 이는 본 연구에서 사용한 토양수분모형에서 토양수분 산정 시 토양수분 감소에 영향을 끼치는 증발산량이 과대산정 되었음을 의미하며, 증발산량 산정 시 토양수분이 낮은 지점에서의 작물 생육이 활발하게 이루어지지 않으며 작물의 하루 소비 증발산량의 경우 최대치를 선정하여 오차를 줄이는 추가적인 연구가 필요하다.



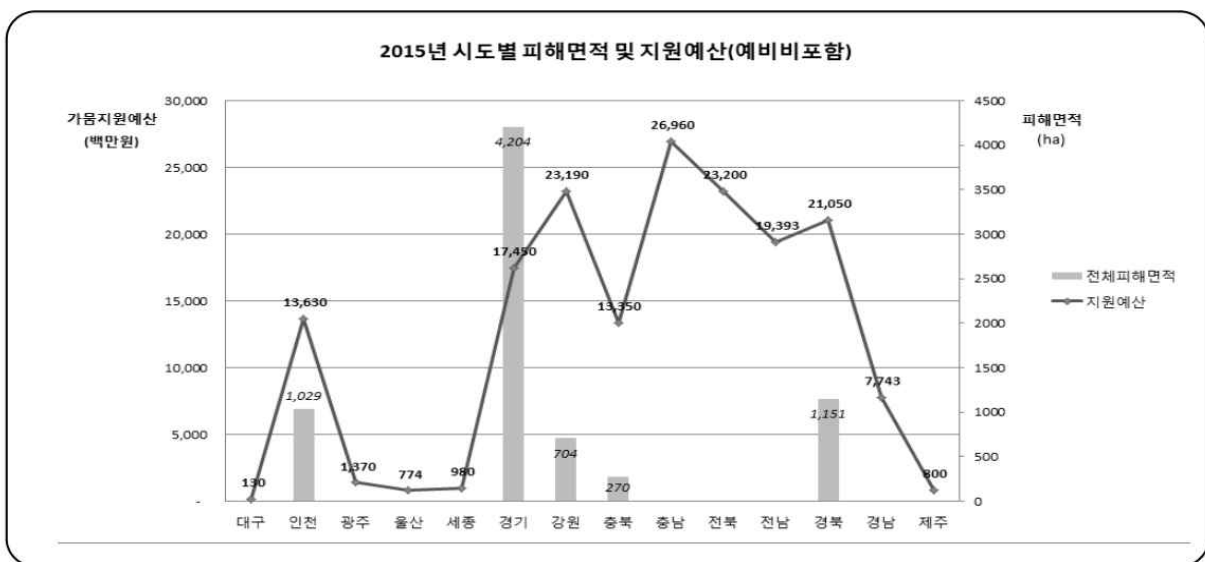
[그림 2.3.102] Compare of soil moisture content on observed and simulated



[그림 2.3.103] Compare of soil moisture content in testbed

### 9. 가뭄피해 면적, 작물 등의 산출을 통한 경제성 분석 (피해발생시 손실예상액)

현재 농업가뭄 예산투입이 어떤 항목에서 얼마나 투입됐는지 정확한 통계자료가 미비한 상황이다. 한국농촌경제연구원 정책연구보고서 채광석 외(2016)에 따르면 2015년 시도별 지원예산 및 피해 면적은 아래와 같다. 이에 따라 가뭄 발생 시 손실예상액은 선행연구에 따르면 피해량에 각 농작물의 단가를 곱해서 산출하는 방식으로 나타낸다. 가뭄 면적, 작물 등의 피해발생시 손실예상액을 순편익의 증가 또는 감소를 평가하는 경제성 분석을 활용하여 산출한다면 보다 효율적으로 손실예상액을 산정 할 수 있을 것이라 판단된다.



[그림 2.3.104] 2015년 시도별 피해면적 및 지원 예산 (채광석 외, 2016)

## 가. 경제성분석

경제성분석은 비용(cost)과 편익(benefit)을 측정하고, 이에 따라 경제적 수익률(economic rate of return) 또는 손실 예상액 등을 계산함으로써 타당성의 여부를 결정하는 분석방법이다. 즉 편익과 비용의 증가분을 각각 측정하여 전체적으로 볼 때 순편익의 증가 또는 감소를 가져오는 지 평가하는 작업을 의미한다. 경제성분석은 크게 비용편익비율(benefit-cost ratio)과 순현재가치(net present value, NPV) 및 내부수익률(internal rate of return, IRR) 등의 방법이 사용되고 있다. 한 가지 판정기준에 의존하고 않고, 각각 장단점이 있는 판정기준을 모두 고려한다면 본 연구에서 합리성을 부여할 수 있을 것이라 판단된다.

## 나. 가뭄 피해액 산정

밭작물 생산량의 시도 단위는 1980년도부터 조사되었고, 시군구 자료는 2011년도부터 수집하고 있지만 품목별로는 자료가 없어 구체적인 밭작물 농업 피해 및 피해액 계측이 어려운 상황이다. 논에서 재배되는 쌀의 경우 농업가뭄 피해액 계측과 관련 자료가 어느 정도 DB화되어 있지만, 밭작물의 경우 DB가 구축되지 않아 계량적인 분석 방법론을 사용하여 피해액을 계측하기 어렵다. 이에 현재 국내에서 가뭄피해 면적, 작물 등의 피해액 산출 방법 중 윤용남 외(2002)에서 발간한 '2001년 가뭄기록조사 보고서'에서는 해당 지역의 특작물, 과수의 피해자료를 이용하여 조사하였다. 또한 채소 및 특작물에 대한 품목별 피해액 추정 산정 식은 피해면적, 피해율, 평균단수, 가격의 곱을 통해 가뭄 피해액을 나타내었다. 본 연구에서는 기존의 선행 연구를 바탕으로 경제성 분석을 통해 가뭄피해 면적, 작물 등의 피해 손실예상액을 산출한다.

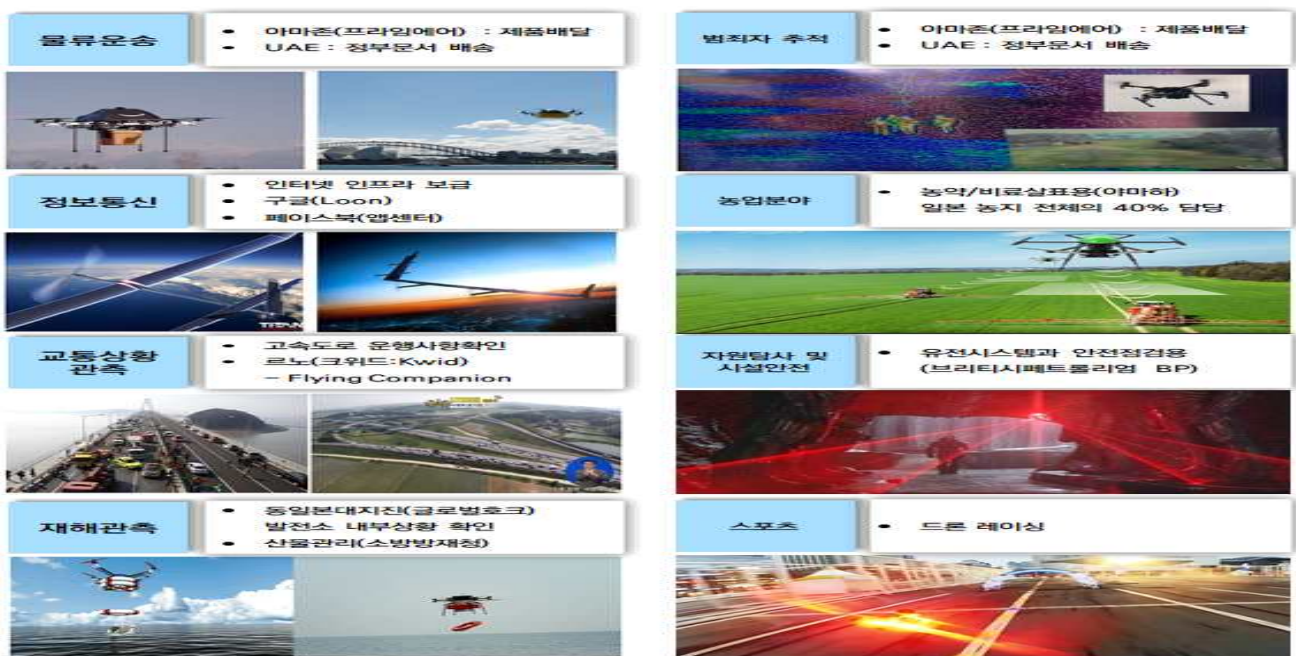


## 제4절 연구개발 최종성과

### 1. 드론을 활용한 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술 개발

#### 가. 드론을 활용한 모니터링 기술개발 현황 분석

농업에서의 드론 활용은 원격농장 관리, 정밀농업 확대, 농가당 영농가능 규모 확대 등 농업생산성 향상에 기여하고 있으며, 농촌의 고령화에 따른 노동력 부족으로 드론으로 대체하고 있다. 또한 최근 ICT 기술과 융합기술의 발달에 힘입어 기체에 다양한 센서장착이 가능하여 농업 분야에서도 많은 변화와 혁신이 추구하고 있다. 따라서 아래와 같은 다양한 농업 관련연구가 진행되어지고 있는 국내외 드론 기반 모니터링 기술현황을 조사하였다.



[그림 2.4.1] 드론의 활용 분야

### 1 국내 연구 현황

농업용 드론, 무인항공기 등의 응용기술을 연구하는 국립농업과학원, 한국국토정보공사 등에서 정밀농업을 중심으로 기술 생태계가 구축되어 가고 있으며, 아래와 같은 다양한 연구가 진행됨.

- 가뭄 관리 모니터링 체계수립 연구(국토교통부, 한국수자원공사)
- 위성기반의 식생지수를 활용한 가뭄감시 기술 개발(중부대학교)
- 가뭄 모니터링을 위한 MODIS NDVI의 활용성 평가: 가뭄지수와 의 비교를 중심으로(한국건설기술연구원)
- 통계청 "항공영상 활용 원격조사 방법 개발" 연구용역과제를 통해 항공영상 활용 배추, 무 등 19개 작물 재배면적 산출 가능성 시도
- 농촌경제연구원 농업관측센터에서는 엽근채류, 양념류 등에 대해 재배면적, 작황, 가격동향, 기상예보가 포함된 관측월보 발행
- 원격탐사, GIS기술을 이용한 작물생산 및 생태계 변동 예측 기술 개발(국립농업과학원 농업환경부 토양비료관리과)

2015년 12월 농림부 농업·농촌 부문 가뭄대응 종합대책을 마련하고 가뭄을 사전에 예측하여 가뭄발생은 줄이고 피해는 최소화하는 상시 가뭄대응체계를 확립

### 2 국외 연구 현황

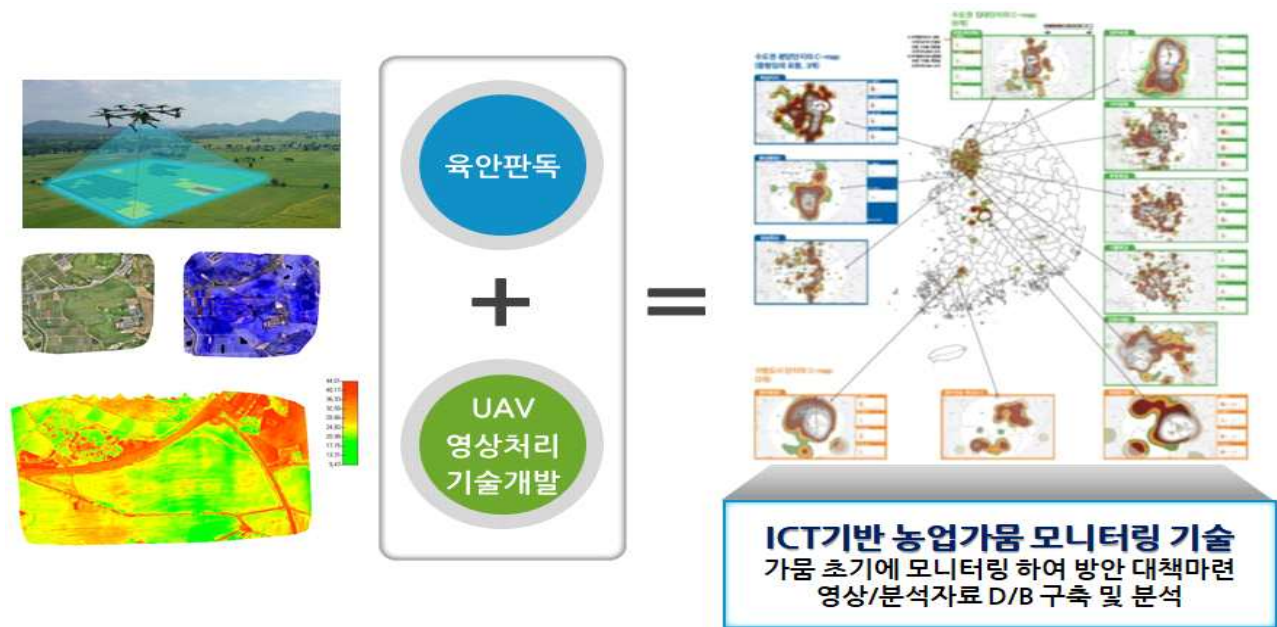
국의 농업에서의 드론 활용은 원격농장 관리, 정밀농업 확대, 농가당 영농가능 규모 확대 등 농업생산성 향상에 기여하고 있음. 또한 농촌의 고령화에 따른 노동력 부족으로 드론으로 대체하고 있으며, 아래와 같은 다양한 농업 관련연구가 진행됨.

- UAV-based remote sensing for evaluation of drought tolerance in forage grasses(ILVO, US)
- Applications of Thermal Remote Sensing in Agriculture Drought Monitoring and Thermal Anomaly Detection(2013, Huajun Tang)
- Advance Research on Monitoring Of Soil & Remote Sensing of Vegetation by Various Techniques for Proper Drip Irrigation(2014, Aniket H. Hade, Department of EEE)

[그림 2.4.2] 연구개발대상 관련기술의 국내·외 현황

**나. 가뭄 모니터링을 위한 드론의 활용범위 및 구축대상자료 정의**


최근 센서 기술이 첨단화 됨에 따라 소형화, 초경량화 등 기술적 발전 힘입어 드론에 탑재한 드론 기반 원격탐사가 정밀농업(Precision Agriculture)을 중심으로 활발히 적용되고 있다. 원격탐사(Remote sensing)는 태양 복사에너지에 의한 전자기스펙트럼(Electromagnetic spectrum)이 물체에 가해질 때 대상체의 정보를 접촉 없이 비 파괴적으로 얻어내는 기술로서 흡수(Absorption), 반사(Reflectance), 투과(Transmittance), 방사(Emission), 산란(Scattering)하는 물리적 특성 정보를 영상으로 취득할 수 있다. 특히 농업 분야에서 많이 이용되는 과장영역은 인간이 눈으로 인지할 수 있는 가시광선을 비롯하여, 근적외선, 중간적외선 및 열적외선 영역으로 이들 과장영역을 감지할 수 있는 분광 및 열센서를 이용해야 한다. 또한 과거에는 인공위성과 유인 비행선을 이용하여 수천 km의 높이에서 고가의 영상 센서를 이용하여 작물 생육과 농업 환경을 수집하였으나, 최근에는 드론을 이용해서 300m 이내의 저고도에서 일반 디지털 카메라는 물론 분광카메라, 열화상카메라 등 지상에서 사용하는 다양한 영상 센서를 이용하여 고해상도 영상 정보를 통해 모니터링이 가능하다. 따라서 가뭄모니터링에 적합한 드론 플랫폼 및 탐사센서 선정하여 연구를 수행하였다.



[그림 2.4.3] 드론 기반 농업가뭄 모니터링 기술개발

[표 2.4.1] 가뭄모니터링을 위한 드론 플랫폼 및 탐사센서 도입

	Hardware		Operation	
		무게(카메라 포함)	700g	최대 비행 시간
날개폭		96cm	순항 속도	40~90km/h
소재		EPP 폼/탄소 구조 및 복합 부품	무선 송수신 링크	최대범위 3km
원동력		전기 프로펠러/160W 브러시라스 DB모터	최대범위(Single Flight)	12km <sup>2</sup>

	배터리	11.1V/2,150mAh	바람저항	45km/h
	카메라(공급)	16MP IXUS/ELPH	지상 샘플링 거리(GSD)	픽셀당 1.5cm까지
	카메라(옵션)	S110 RGB/theromoMAP	상대 정사영상/3D모델 의 정확성	1-3x GSD
	휴대용 케이스	55*45*25cm	절대 수평/수직 정확도(W/GCP)	3~5cm
			절대 수평/수직 정확도(No GCP)	1~5m(3.3~16.4 ft)
			멀티운용	가능(공중충돌회 피 포함)
			자동비행계획 선형 착륙 정확도	가능 5m(16.4 ft)

#### 다. 드론을 활용한 가뭄 모니터링 기술개발 체계 수립

##### (1) 가뭄 모니터링을 위한 드론 촬영조건 및 운용방안

드론영상의 품질은 촬영조건에 따른 영향을 크게 받으며, 특히 농작물 가뭄모니터링의 경우 높은 공간해상도를 통한 작황상태 관찰 및 식생상태 분석을 위해서는 적절한 운용방안을 필요하다. 따라서 본 연구에서는 아래 표와 같이 촬영조건을 설정하여 가뭄예상지역의 드론영상을 구축하였다.

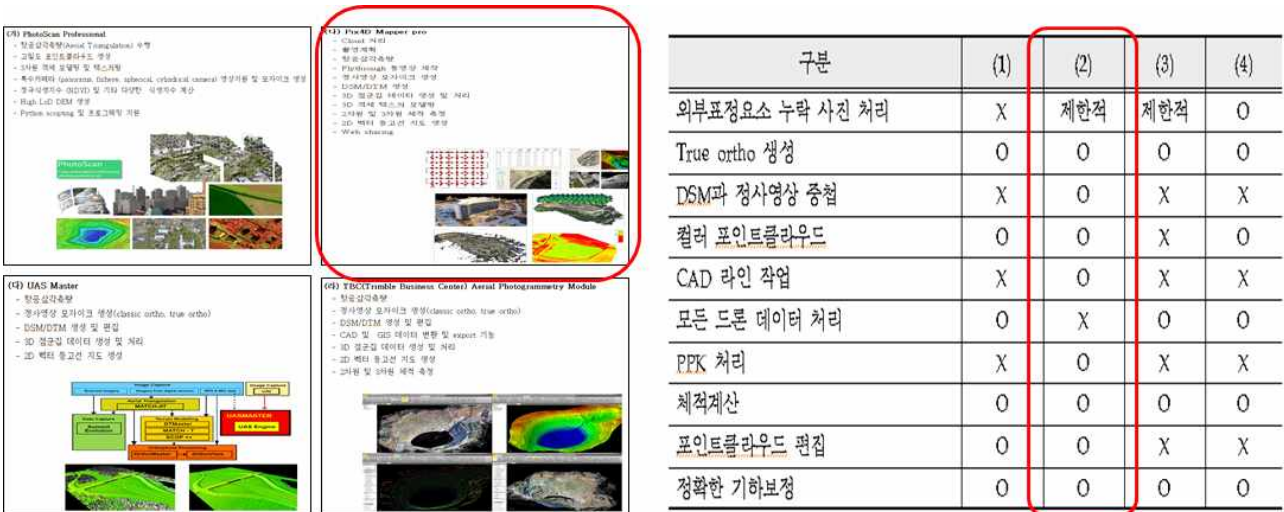
[표 2.4.2] 가뭄 모니터링을 위한 드론 촬영 조건

구분	내용	비고
촬영 고도	150m	항공법 등 관련 법령 준수
중복도	중중복도 80% 횡중복도 50%	기존 연구사례에서는 중중복도를 70%를 제시하고 있으나, NDVI 등 부가정보 생성을 위해 고정밀 촬영 필요
지상기준점	최소 9점 이상	공공측량작업규정 근거
적용 기체	고정익	회전익보다 넓은 지역을 단일 촬영가능한 고정익 유리
탑재 카메라	RGB카메라, NIR 카메라, 멀티스펙트럴 카메라(초분광)	NDVI 등을 위한 다양한 카메라 적용 가능
이동속도	풍속 10m/s 이상 (회전익 5m/s 이상)	효율적 드론 운영 방안 제시
중간성과물	기본정보(고도, 중복도, 카메라정보, GCP 성과 등), 촬영영상, 정사영상, DSM	Raw data, 상용 SW 결과물
최종성과물	수치지도, 영상지도, NIR, NDVI	농업 가뭄모니터링을 위한 산출물

## (2) 농업 가뭄모니터링에 적합한 영상처리 기법 선정

드론에서 취득한 영상데이터는 위치 및 자세정보데이터, 지상기준점 데이터를 이용하여 영상처리를 실시하며 영상처리과정을 거쳐 고정밀 정사영상, DSM, NDVI 등의 성과물을 취득할 수 있다. 본 과제에서는 신뢰성 있는 드론영상 제작을 위해 상용되는 후처리 SW별 기능을 비교하여 과업에 적합한 SW를 선별 후 적용하였다.

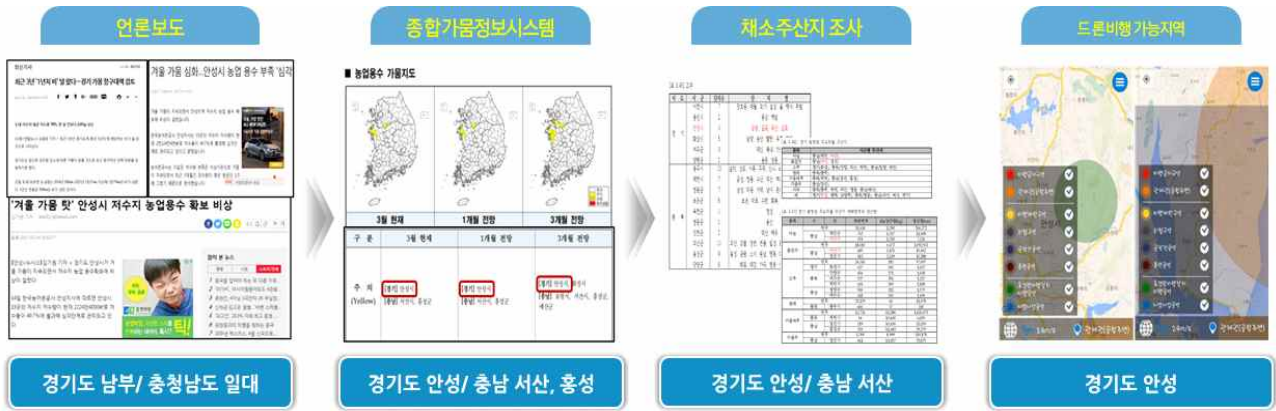
Pix4d는 사진정합 후 완성된 모델링 데이터를 기반으로 Line, Polyline, Polygon, Vertex를 기존 상용프로그램(AutoCAD 등)에서 사용하기 용이하도록 각종 개체를 추출하는 기능을 지원하며, 또한 Pix4D가 스위스업체에서 제작한 프로그램으로 스위스 드론업체에서 제작하고 있는 드론용 프로그램과의 연계성도 우수합니다. 예를 들면 드론 자동경로 프로그램을 이용하여 촬영한 사진들을 Pix4D를 통해 후처리하는 경우 해당사진이 어떤 기종 어떤 카메라 센서에 의해 촬영된 것인지가 자동으로 인식되고 보유중인 DB데이터를 참조하여 최적의 설정값을 제공합니다. 따라서 본 과제에서는 다양한 센서의 영상처리가 가능하고 산업에 많이 활용되어지며 농업용 NDVI 데이터를 분석하고 결과물을 생성하는 기능에서 선도적인 역할을 하고 있는 Pix4d 소프트웨어를 선정하여 취득한 드론영상을 처리하여 농업 가뭄모니터링에 적극 활용하였다.



[그림 2.4.4] 드론 영상처리 SW 선별

### 라. 테스트베드 설정 및 드론촬영 실시

이 연구는 가뭄 모니터링에 적용되는 기술로 실제 우심 지역에서 거시적 가뭄지역 파악과 더불어 드론 영상과 같은 고정밀 성과를 적용하여 구축 DB가 실제 가뭄지역에서 어느 정도로 모니터링 효과를 발휘할 수 있는지를 검증할 수 있는 장소로 선정되어야 하며, 가뭄피해를 추정하고 예측할 수 있는지에 대한 적용성을 평가하고 연구기간 동안 지속적인 기술의 개선을 통하여 최적의 연구결과 및 성과품을 개발할 수 있도록 접근이 용이한 지역을 대상으로 하여야 한다. 따라서 이 연구에서는 언론 및 기상청의 가뭄예경보시스템에서 지목하는 우심지역과 위성영상의 가뭄지역을 1차적으로 선정 후 농작물 주산지와의 드론 비행의 적합성을 조사하여 테스트베드를 선정 후 다양한 조건에 대한 드론 영상을 취득하는 형태로 진행하였다.



**테스트 베드 선정과정 - 테스트 베드 최종 후보지**

- ▶ 최종 후보지 선정을 위해 한경대학교, 한국수계환경연구소와 협의를 통해 주요 발작물, 접근성 등을 고려하여 **최종 후보지 7지역 선정** 후 현장답사 실시
- ▶ 최종 후보지 7지역의 현장답사 실시 후 **고정익 드론의 비행에 적합한 개활지** 장계리, 월정리 2곳 선정



- ▶ 경기도 안성시 테스트 베드 최종 후보지
  - ① 공도읍 송두리 뒤젓골 일대
  - ② 대덕면 삼한리 123 일대
  - ③ 보개면 오두리 151, 복평리 191일대
  - ④ 죽산면 장계리 521 일대
  - ⑤ 일죽면 월정리 719 일대
  - ⑥ 일죽면 죽림리 702-2 일대
  - ⑦ 일죽면 송천리 609-12 일대

[그림 2.4.5] 테스트베드 선정 과정

**테스트 베드 선정과정 - 최종 테스트 베드 선정**

**장계리 지역**

- 대상 지역 : 안성시 죽산면 장계리 521일대
- 대상 면적 : 약 1km<sup>2</sup>
- UAV 종류 : eBee(고정익 무인기)
- 촬영 일시 : 2017년 4월 24일, 5월 12일, 6월 22일
- 촬영고도 : 120m
- 공간해상도 : 약 3.4cm(중80% 횡70% 중복)
- 사진매수 : 약 600장
- 후처리 작업 : 정사영상, DSM



장계리 촬영지역

[그림 2.4.6] 장계리 촬영지역

## 테스트 베드 선정과정 - 최종 테스트 베드 선정

### 월정리 지역

- 대상 지역 : 안성시 일죽면 월정리 719일대
- 대상 면적 : 약 1km<sup>2</sup>
- UAV 종류 : eBee(고정익 무인기)
- 촬영 일시 : 2017년 4월 24일, 5월 12일, 6월 22일
- 촬영고도 : 120m
- 공간해상도 : 약 3.4cm(증80% 횡70% 중복)
- 사진매수 : 약 700장
- 후처리 작업 : 정사영상, DSM



월정리 촬영지역

[그림 2.4.7] 월정리 촬영지역

## 마. 유·무인 항공기 운용 및 광학영상 취득

### (1) 지상기준점(GCP) 측량

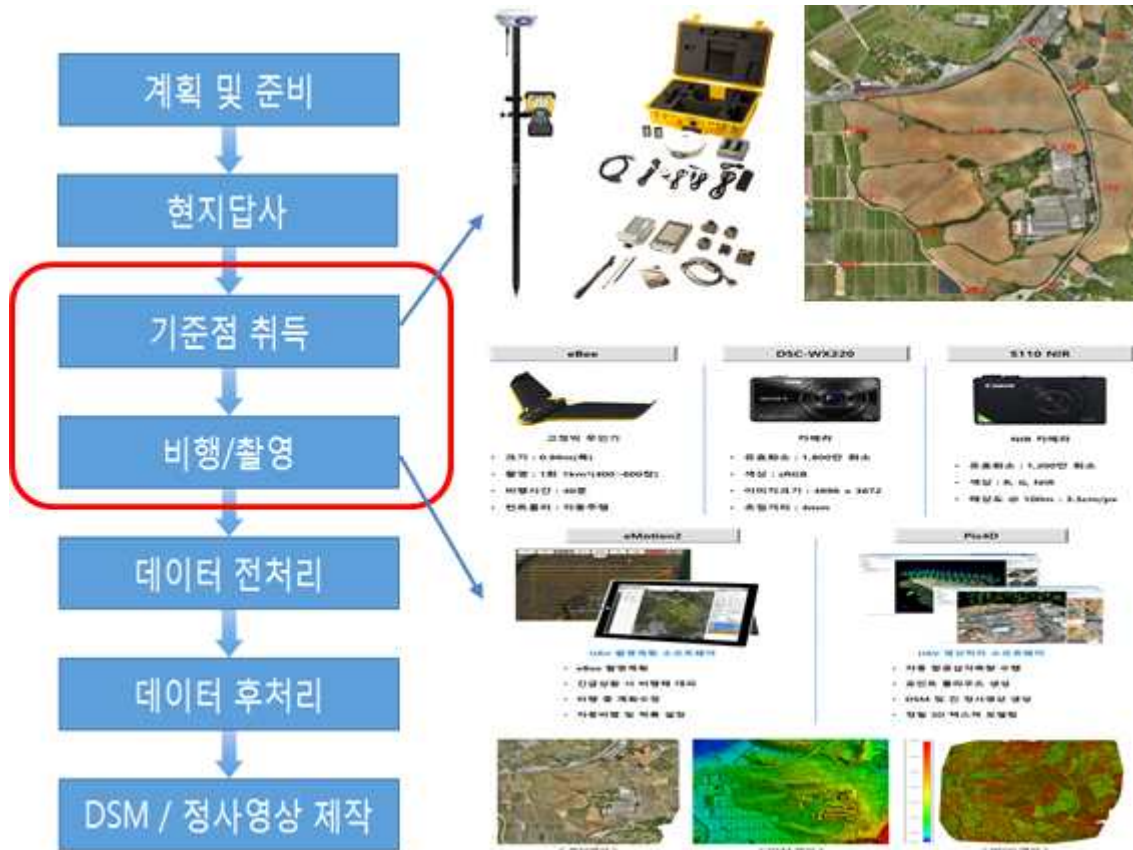
지상기준점은 항공측량시 무인기체의 고속이동, 자세의 불안정 및 기체에 장착된 GPS 위치 오차에 따른 측량성과 오류를 보완하기 위하여 설치하는 지상기준점을 말하며, 특히 바람의 영향을 많이 받고 상대적으로 적가의 GPS센서를 장착한 드론 측량에서는 중요도가 매우 높은 작업이다.

사용된 장비는 정밀 측지용으로 사용되는 Trimble사의 R6 GNSS 수신기를 이용하였으며, 측량방식은 VRS방식 측량방식을 이용하였으며, GCP 분포 밀도는 최근에 국토지리정보원에서 고시한 드론을 이용한 공공측량작업규정을 최대한 준수하여 9점 이상을 현장에서 관측하였으며, 이와 더불어 검사점을 현장에 선점하여 향후 측량성과의 정확도 검증에 활용하였다.

### (2) 농업 가뭄모니터링을 위한 드론 영상취득

지금까지 작물 모니터링에 있어 가장 진보적인 방법은 위성사진을 사용하는 방법이지만, 위성 이미지의 정밀도는 그다지 높지 않고 높은 비용문제를 가지고 있다. 반면에 드론을 활용한 극소지역에서는 보다 저렴하게 정확한 작물의 성장 상태를 육안으로 확인이 가능하다. 또한 최근 센서 기술의 발달로 인해 고성능 센서들의 경량화를 통한 무인기 탑재가 가능하게 되었으며, 이를 통해 육안으로 확인이 불가능 했던 식생의 활력도, 건강상태를 관찰해 드론을 이용한 농작물 작황상태과악이 활발하게 이루어지고 있다. 따라서 본 과제에서는 드론을 기반한 농업 가뭄모니터링 기술 개발을 위해 가뭄예상지역의 드론 촬영 시 위치, 면적, 중복도, 해상도를 동일하게 촬영하였으며 주기적인 촬영을 통한 밭작물의 시계열 DB 구축을 수행하였으며, 이를 통해 작물의 종류, 작물의 생육정도 및 작황상태를 분석하였다. 2차년도부터 촬영대상지는 수분스트레스 관련 데이터 수집이 필요한 환경대와 협의를 통해 일원화 하여 봄, 여름 주요작물

이 파종이 많이 되는 3~6월 촬영을 집중하였다.



[그림 2.4.8] 테스트베드 드론촬영

중부지방 주요작물	봄 ~ 여름 주요작물
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 식량작물, 채소류, 유지작물 등 재배면적이 넓은 작물 선정</li> <li>• 콩, 옥수수, 감자, 고구마, 고추, 마늘, 양파, 대파, 사료 옥수수</li> <li>• 정식, 아주심기 등 4~5월 기간에 가뭄이 발생하면 작황에 영향을 미칠 수 있어 지난 회의때 나왔던 감자도 포함이 가능할 것으로 판단</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 콩, 옥수수, 감자, 고구마, 봄배추, 봄무, 고추, 대파, 참깨, 들깨 등은 봄~초여름 파종</li> <li>• 마늘, 양파는 가을파종 후 초여름 수확</li> <li>• 3~6월 촬영이 집중되는 것을 고려하여 촬영 대상 선정</li> </ul>

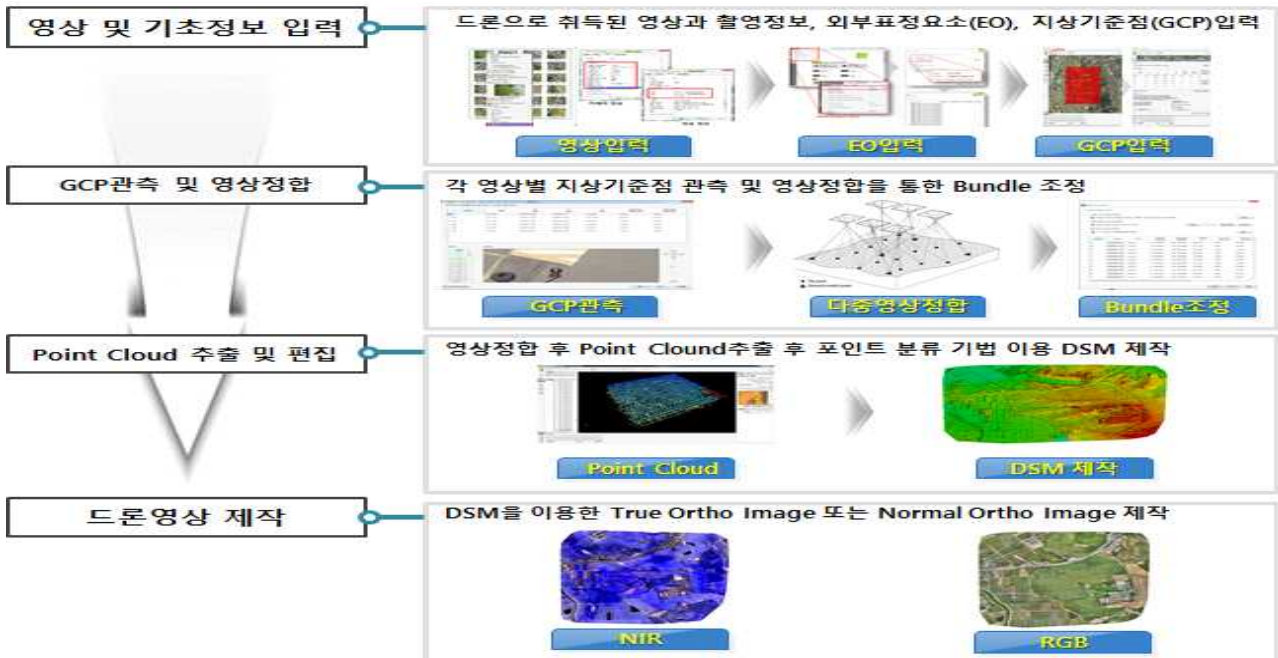
[그림 2.4.9] 촬영조건 선정

바. 가뭄 모니터링을 위한 드론영상의 가공처리기술 개발

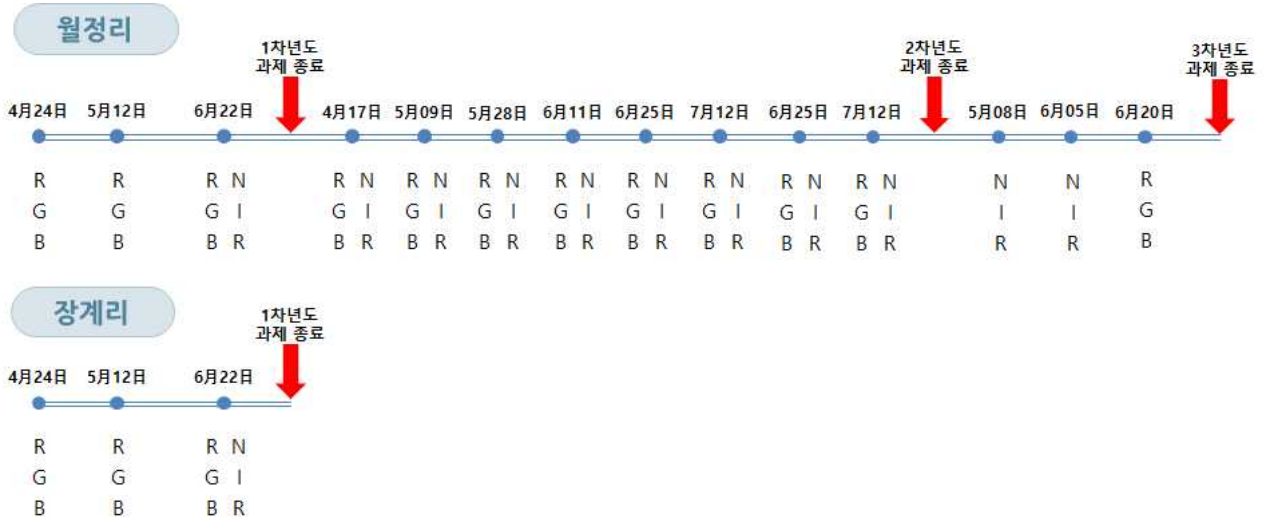
본 과제에서는 드론을 활용하여 고정밀 모니터링과 신속한 가뭄예상지역에서 피해 현황 파악하여 농업가뭄에 적합한 모니터링을 위해 초고해상도(5cm급)영상, NDVI, 수치표고자료, 시

계열영상 등 드론 기반 DB 구축을 통해 농작물 분석 가뭄 판단 등 분석에 활용하였다.

특히 NDVI는 식생의 나타내는 지수로서 대상 농작물의 작황 상태와 활력도를 나타내는 지수이며, 근적외선 파장대와 R 밴드 파장대의 분광값의 차이가 클수록 활력도가 낮아지는 점을 감하여 식생지수를 산정할 수 있다. 이러한 식생지수는 간접적인 가뭄지수로 토양센서의 토양 데이터와 조합하여 가뭄의 피해정도를 파악할 수 있다.



[그림 2.4.10] 드론 영상처리



[그림 2.4.11] 드론영상 DB 구축 현황



## 사. 가뭄 모니터링 드론 성과의 고도화

### (1) 분광 대역별 영상 DB 구축

초분광 영상은 빛의 파장 대역을 다수의 밴드로 나누어 대상체가 가지는 고유의 스펙트럼 형상을 추출하여 지표상 물체의 연속적이고 좁은 파장역으로 수백 개의 분광 정보를 취득하므로 대상 물체마다 존재하는 고유의 광학적 성질 및 반사 특징을 분석할 수 있어 토지피복, 식생 등 대상물체 구별에 주로 활용되어진다. 또한 최근 농업분야에서 초분광 영상은 농작물의 분광반사특성을 통해 식물의 종류와 상태에 대한 정보를 제공할 수 있으며, 특히 수분 또는 양분 부족에 의한 스트레스, 잎의 함수량 및 화학적 특성 등을 분광특성을 통해 정량적 분석이 가능하다.

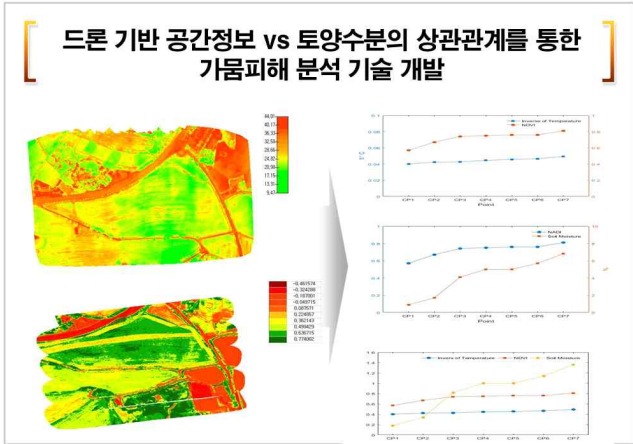
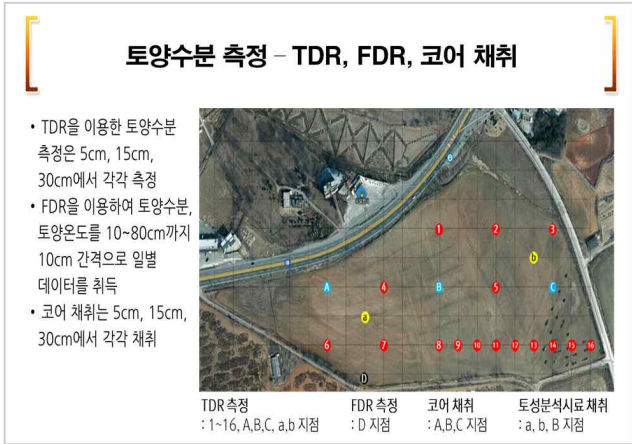
분광 대역별 영상을 통해 식생이 잘 자라는 시기에 특정 파장대(적외선, 625nm)의 반사도 값이 낮게 나타나며, 반대로 식생상태가 불량할 때 특정 파장대의 반사도값은 높게 나타나는 것을 확인하였다. 따라서 분광 대역별 영상을 통해 작황상태를 판단할 수 있는 간접적 지표로 활용 가능할 것으로 판단된다.



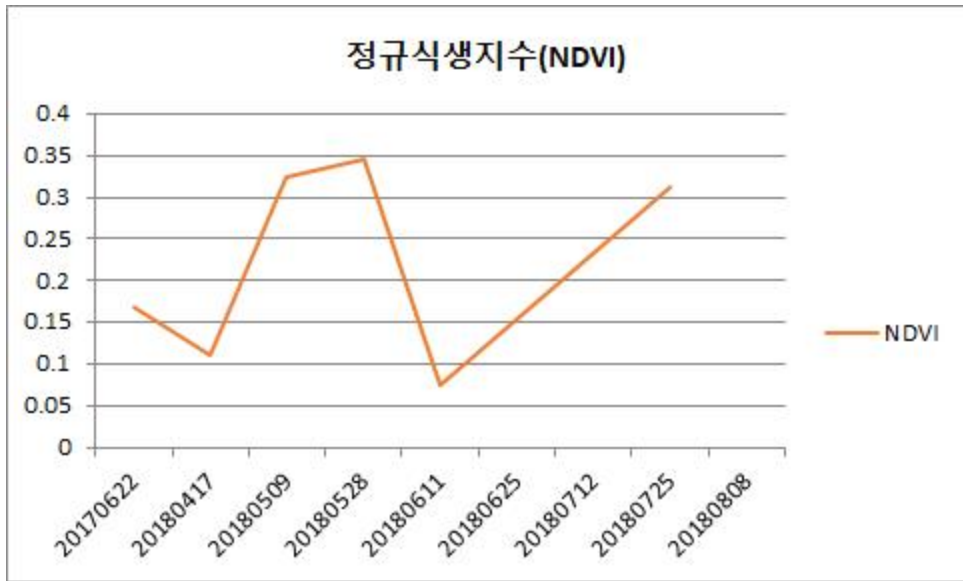
[그림 2.4.12] 분광 대역별 영상 제작

### (2) 가뭄 우심지역에 대한 이기종 드론영상 융합 기술개발

드론 농업 가뭄 모니터링은 원격탐사 기법을 적용한 간접적인 농업 가뭄을 파악을 목적으로 토양온도, NDVI, 토양 수분과의 전체적인 경향을 분석하였다. 이를 통해 토양 온도와 토양 수분과의 비교분석을 통한 결론은 토양온도가 높은 지점에서는 증산 효과에 따라 상대적으로 토양 수분이 낮음을 확인하였다. 이는 드론 열화상센서를 이용한 토양 온도 측정으로 실제 토양 수분을 간접적으로 측정 가능함을 확인하였다. 다음으로 드론 NIR센서를 이용하여 NDVI를 산출한 결과 토양 수분과 상관관계가 있음을 확인하였다. 이는 드론으로 취득한 NDVI가 토양 수분과 상관관계가 있으며, 농업 가뭄모니터링의 지표로 활용 가능함을 확인하였다. 따라서 본 과업에서 1-3차년동안 구축한 드론 기반 NDVI와 동일시기에 현장에서 직접 취득한 토양수분과 상관성 분석을 통해 드론 기반의 공간정보를 활용한 가뭄모니터링 기법을 검증하였다.



[그림 2.4.13] 가뭄 우심지역에 대한 이기종 드론영상 융합 기술개발



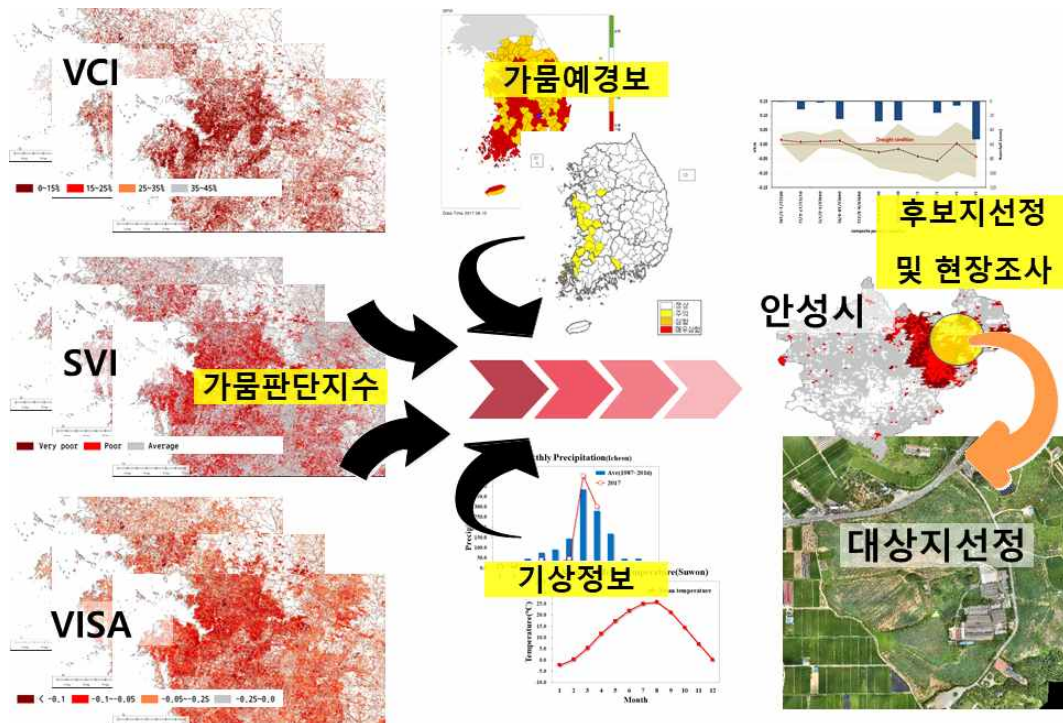
[그림 2.4.14] 월정리 시험 지역의 드론 기반 NDVI 측정 값

## 2. 위성 및 드론영상 활용 가뭄예상지역 집중모니터링을 위한 영상처리기술 개발

### 가. 위성영상을 활용한 가뭄예상지역 집중모니터링 기술개발

광역적 위성영상을 활용한 가뭄지역 분석 기술을 조사하였다. 국내의 위성영상으로 아리랑 위성, 천리안위성의 활용사례를 조사하였고, 국외의 위성영상의 현황으로 MODIS, AMSR-E, AMSR2, AVHRR의 사례를 조사하였다. 광역적 위성영상을 이용한 가뭄분석 사례를 조사한 결과 식생지수를 기반으로 가뭄을 판단하는 연구가 다양하게 수행되었으며, 가뭄판별을 위한 지수 및 연구사례를 정리하였다.

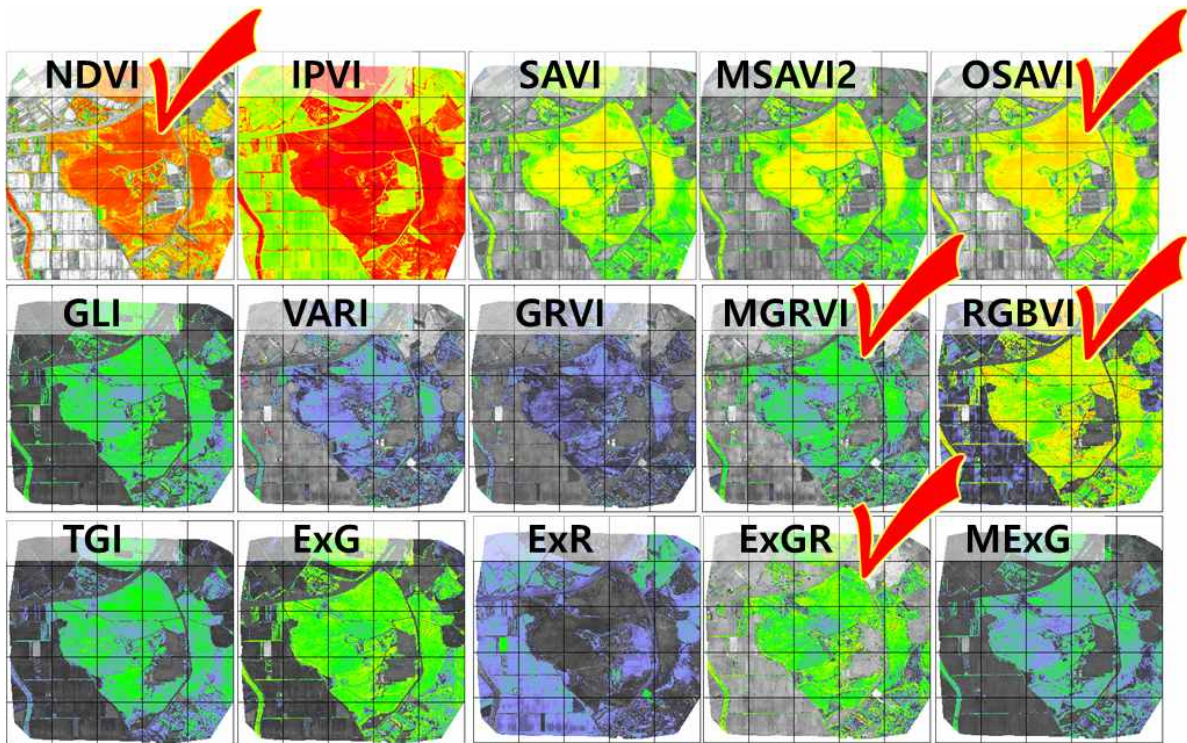
드론을 이용한 가뭄모니터링 필요지역, 즉, 가뭄예상지역을 선정하기 위한 방안으로 광역적 위성영상 분석을 활용하고자 하였으며, 영상이용 가뭄분석 연구사례 조사 결과를 바탕으로 MODIS영상을 분석에 활용하였다. LAADS DAAC 웹사이트로 부터 MOD09A1, MOD09Q1, MOD13Q1, MOD11A2, MOD15A2H, MOD16A2 프로덕트 영상자료를 2000년부터 수집하였고 MRT 등의 처리과정을 통해 경기 중부 및 서해안 지역의 영상자료를 구축하였다. MODIS 영상을 이용하여 가뭄의 공간적인 분포를 파악하는데 이용되는 식생지수를 조사하였으며, NDVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI, EVI, NDWI, NMDI, NDDI, tasseled cap(brightness greenness wetness), SVI, VCI, VSIA를 분석하였다. 최종적으로 과거의 통계적 특성을 활용하여 가뭄을 판단하는 지수인 VCI(Vegetation Condition Index), SVI(Standardized Vegetation Index), VSIA(Vegetation Stress Index Anomaly)를 이용한 분석결과를 활용하여 후보지역을 선정하고 안성시, 태안군, 서산시, 홍성군, 당진시의 가뭄예경보 현황과 기상상황을 종합적으로 검토하여 안성시 지역을 세부 검토지역으로 선정하였다. 안성시 지역내 조사대상 후보지를 선정하고 추가분석 및 현장조사를 통해 장계리, 월정리 지역을 최종적으로 선정하였다. 2차년도 부터는 영상자료 수집과 현장측정이 일관적으로 이루어 질 수 있도록 월정리를 집중 모니터링 하였다.



[그림 2.4.15] 광역적 위성영상 분석을 통한 모니터링 대상지역 선정

**나. 분광영상을 이용한 가뭄예상지역 영상처리 기술 개발**

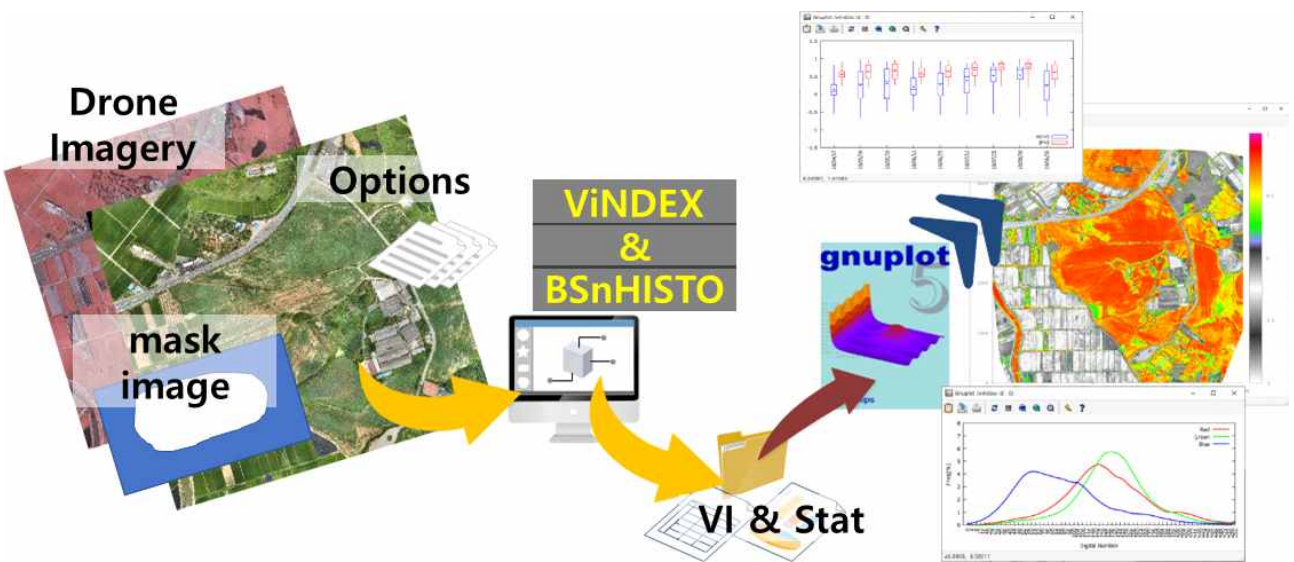
드론영상을 활용한 가뭄예상지역의 집중모니터링에 필요한 영상처리 기술 개발을 위해 광역적 가뭄연구에 사용되는 MODIS영상과 드론촬영을 통해 수집된 RGB, NIR영상의 분석결과 및 분광특성들을 상호 비교하였다. 비교를 위해 드론촬영 영역과 동일한 면적에 대해 대상지역 선정시의 MODIS 분석 자료를 추출하여 구축하고 는, 밭에서의 분석결과 차이, 통계적 특성, 가뭄지수와의 차이를 추가분석 하였다. 드론영상에 대해서는 다양한 식생지수 산출방법 중에서 연구에 사용된 RGB와 NIR 밴드를 이용하여 분석 할 수 있는 NDVI, IPVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI, GLI, VARI, GRVI, MGRVI, RGBVI, TGI, ExG, ExR, ExGR, MExG 지수들을 검토 하였다. 특히, RGB 영상만 확보된 경우, 예를 들어 적외선 카메라의 고장으로 인하여 RGB 영상만 촬영이 가능한 경우를 대비하여, 동일한 영역에 대하여 분석된 결과의 비교를 통하여 RGB 영상만으로 산출된 식생지수가 적외선 파장대를 포함한 결과와 어떠한 특성을 나타내는 지를 중점적으로 비교하였다. 드론영상 촬영구역과 MODIS 영상의 픽셀을 매칭하여 해당영역에서의 분광특성(DN, 반사도 범위) 및 분석결과의 차이 비교를 통해 가뭄분석에서 드론영상 활용시 적정밴드 및 지수에 대한 사항을 파악하고자 하였다. 분석결과 RAW RGB DN을 사용하여 분석가능한 지수로 RGBVI, ExGR, MGRVI가 가능하며, NIR영상의 분광값을 이용하여 식생지수들을 산정하고 비교한 결과에서는 NDVI, OSAVI 영상이 식생의 상태를 잘나타내고 있는 것으로 검토되었다. 드론영상과 MODIS영상의 분광특성과 산정된 지수값을 상호 비교한 결과에서는 해상도 및 센서의 파장대, 획득 및 후처리 방법, 시기의 불일치의 원인에 따른 결과의 차이가 나타나고 있으나 통계적인 특성은 추세를 반영하고 있어 드론활용의 유의미한 결과를 나타내었다. 토양수분측정결과와 드론의 식생지수를 분석한 결과 유사한 경향을 보이고 있어 연계활용의 가능성을 나타내었다.



[그림 2.4.16] 드론영상 식생지수 산정 및 상호비교를 통한 최적 지수 산정결과

**다. 가뭄예상지역 모니터링을 위한 분광영상 D/B 구축**

NIR의 NDVI, IPVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI 5개 공식, RGB의 GLI, VARI, GRVI, MGRVI, RGBVI, TGI, ExG, ExR, ExGR, MExG 10개 식생지수 산정공식산정결과 및 MODIS 영상과의 분광 및 공간적 분포특성을 분석한 결과를 바탕으로 NDVI, OSAVI, RGBVI, ExGR, MGRVI의 5개 RGB, NIR 밴드 활용의 식생지수를 선정하였으며 분광영상을 신속하게 분석이 가능할 수 있도록 2개의 모듈프로그램을 개발하였다. ViINDEX는 RGB 또는 RG-NIR 영상을 입력함으로써, NIR 5종, RGB 10종의 식생지수이미지를 산출하며, 생산된 자료의 기본적인 통계를 분석하는 BSnHISTO 이며, 최소, 최대, 평균, 표준편차, 4분위수, 영상의 히스토그램을 계산한다. 산출 결과물은 오픈소스기반의 그래프 프로그램인 gnuplot을 이용하여 출력하거나 QGIS를 활용할 수 있는 구조로 개발하였고 3차년의 연구기간 동안에 촬영된 RGB, NIR 영상들은 최종적으로 두 개의 모듈프로그램에 의해 식생지수 DB를 구축하고 통계적인 특성을 파악하는데 사용되었다.



[그림 2.4.17] 드론영상의 식생지수 DB 산출을 위한 모듈 프로그램 개요

광역적 위성영상은 가뭄예상지역의 파악, 모니터링 대상지역 선정에 활용할 수 있는 보조자료로서 지속적인 수집구축이 필요하다. MODIS 버전6의 MOD09A1, MOD09Q1, MOD13Q1 데이터를 중심으로 2017년 극심한 가뭄이 있었던 안성시 지역을 대상으로 영상, 식생 및 가뭄지수 DB를 구축하였다. 일련의 처리과정을 통해 분광자료를 구축하였고, 영상종류별로 분석할 수 있는 식생지수자료들을 산출하였다. MOD09A1은 NDVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI, EVI, NDWI, NMDI, NDDI, tasseled cap(brightness greenness wetness)의 11개 지수를, MOD09Q1은 NDVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI의 4개지수를, MOD13Q1은 NDVI, SAVI, MSAVI2, OSAVI, EVI의 5개 지수를 주기적으로 구축하였다. 이들 중 NDVI와 EVI 식생지수의 경우 영상기반 가뭄지수인 SVI, VCI, VSIA를 함께 구축하였다.

이밖에도 드론영상기반 가뭄 집중모니터링을 위한 영상처리 운영방안으로 영상의 획득 및 처리운영, 드론영상 활용 및 DB구축방안에 대하여 간략히 제시하였다.

### 3. ICT를 활용한 가뭄 모니터링 및 가뭄피해 분석 기술 개발

#### 가. ICT를 활용한 가뭄 모니터링 연구 동향 조사 및 자료기반 구축

본 연구를 진행하기 위해 기존의 연구 동향을 조사, 분석하였다. 무인기 활용 가뭄 판단 방법론을 제시하기 위해 기존의 무인기 활용 생육시기 추정, 증발산량 추정, 농작물 분류 등의 연구 방법을 조사하였으며, 토양수분 기반 가뭄 분석 방안 수립을 위해 기존의 토양수분을 활용한 가뭄 민감도 분석, NDVI와 상관성 분석, 영상 기반 토양수분 추정 등의 연구를 조사하였다.



[그림 2.4.18] 연구 동향 조사 및 분석

#### 나. 무인기를 활용한 토양수분 모니터링 자료 기반구축

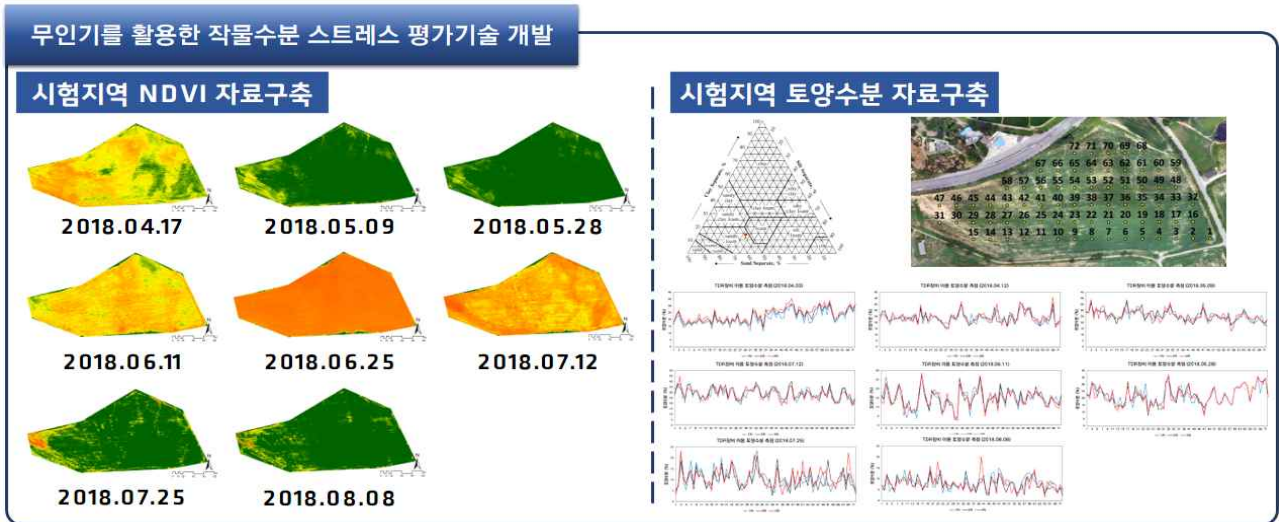
무인기를 활용한 토양수분 모니터링 자료 구축을 위해 시험지구 선정을 선정하였다. 해당 시험 지구에 토양수분 관측 장비와 기상관측 장비를 설치하여 데이터를 수집하였으며, TDR 토양수분 장비를 사용하여 영상 취득일과 동일한 시기에 토양수분 자료를 추가 취득하였다.



[그림 2.4.19] 토양수분 모니터링 자료 기반구축

#### 다. 무인기를 활용한 작물수분 스트레스 평가기술 개발

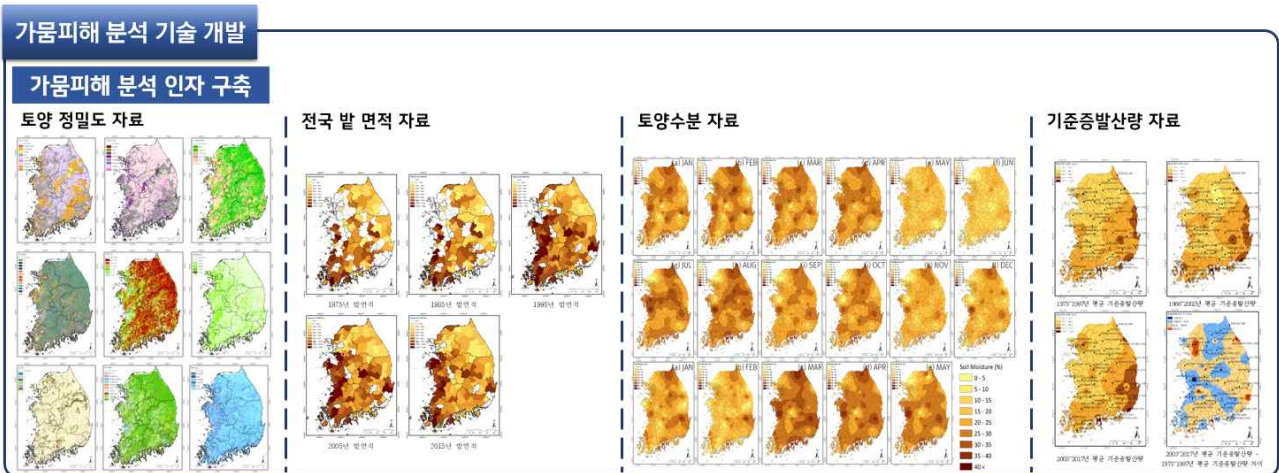
작물수분 스트레스를 분석하기 위해 우선 해당 시험 지역의 토질, 토양수분 등의 데이터를 구축하였다. 또한, 이러한 토양수분 자료와 비교 및 작물의 수분 상태, 성장 상태 등을 모니터링 하기 위해 무인기를 통해 NDVI 값을 취득하였다. 시험지역은 작물의 관리 및 용수 공급이 원활하게 진행되고 있었기 때문에 토양수분 자체 값만으로는 가뭄을 판단하기 어려웠다. 72개 지점에서 취득한 토양수분 값을 그래프화하여 시기별 경향을 확인하였으며, 해당 경향은 공간 분포 지도로 제작된 NDVI와 비교하였다. 그 결과, 두 값 간의 유의미한 경향을 보였다.



[그림 2.4.20] 무인기를 활용한 작물수분 스트레스 평가기술 개발 인자

#### 라. 가뭄피해 면적, 작물 등의 산출을 통한 가뭄피해 분석기술 개발

가뭄피해분석 및 우선지구 선정 등을 위해 관련 인자를 조사, 구축하였다. 사용한 인자로는 토양 정밀도, 밭 면적, 토양수분, 기준증발산량을 비롯해 시군구별 관정자료, 용수 공급 자료 등 다양한 자료를 활용하였다. 본 연구 주제와 상이하여 기초적인 연구를 진행하였으며, 이를 통해 본 연구의 시험지역인 안성지역이 가뭄피해 위험성이 높은 지역임을 확인하였다.

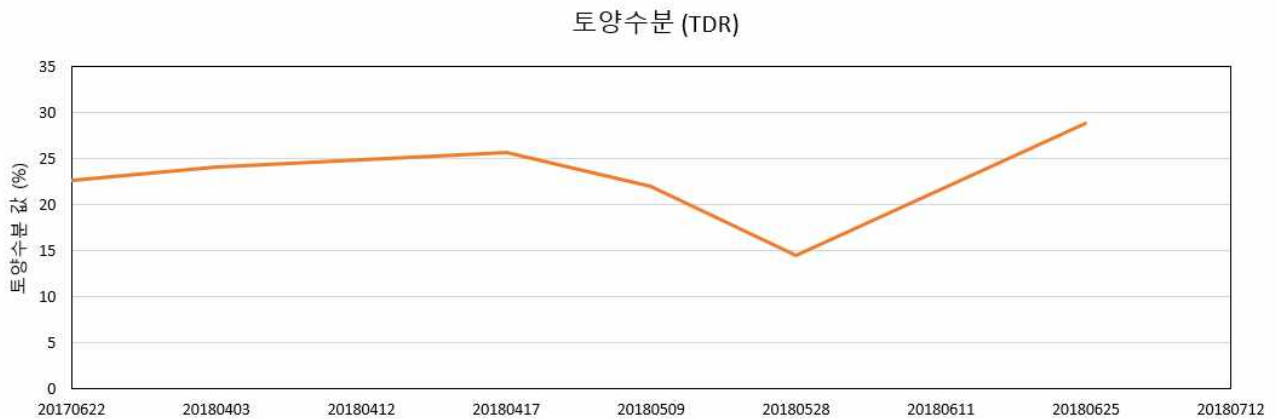


[그림 2.4.21] 가뭄피해 분석 인자 구축

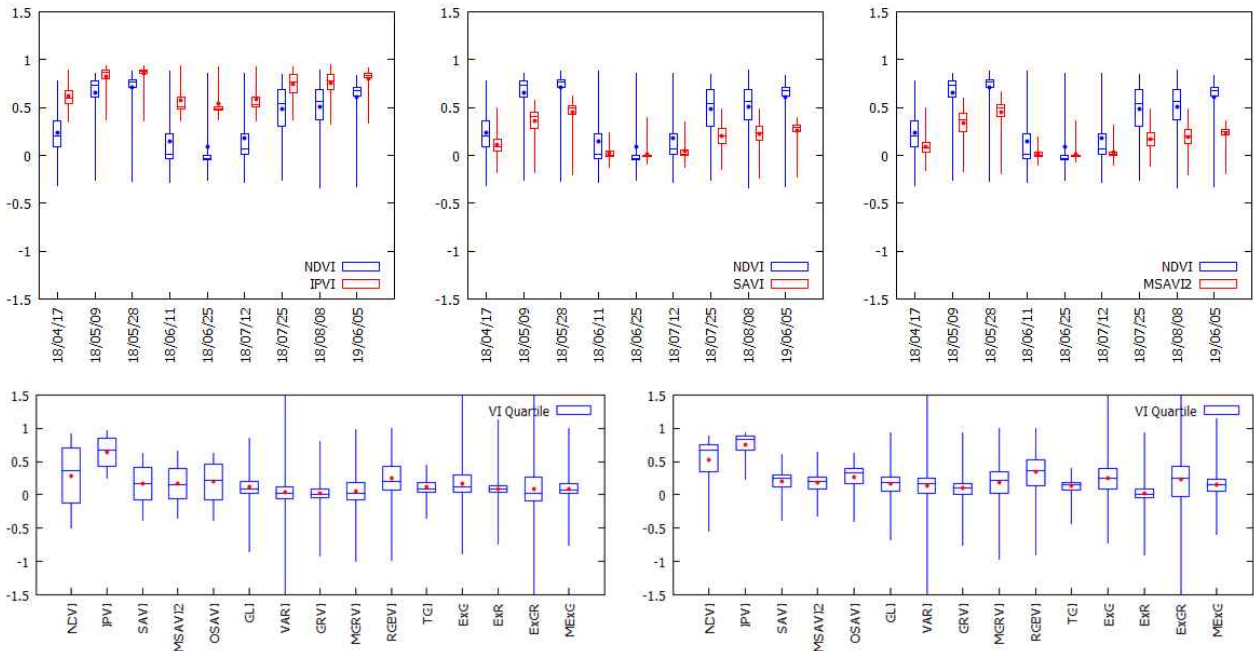
## 마. 한국형 식생기반 농업가뭄지수산정 및 평가 모델 개발

### (1) 토양수분 데이터를 통한 영상 자료 검증

본 연구의 농업가뭄 지수 산정을 위해 우선적으로 토양수분 경향을 확인하였다. 토양수분은 작물의 성장 및 가뭄을 판단하는 주요한 인자이며, 지상관측 데이터로 취득 가능하다는 점에서 영상을 통해 취득한 인자를 검증하는 자료로서 사용하였다.



[그림 2.4.22] 월정리 시험 지역의 TDR 토양수분 측정 값



[그림 2.4.23] 드론영상 식생지수별 특성 통계적 비교분석

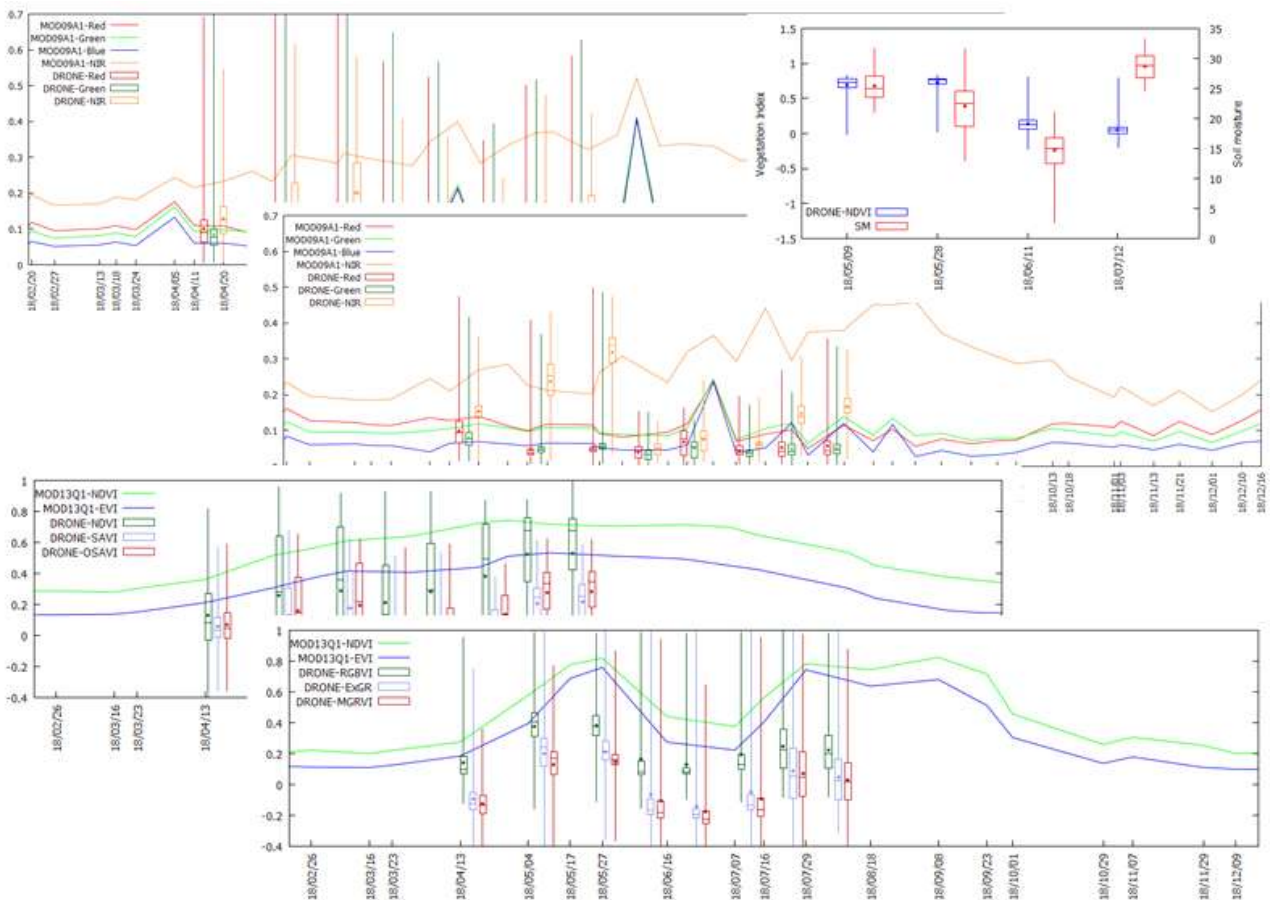
토양수분과 드론영상과 위성영상과의 상관관계 분석을 위하여 테스트베드에 구축한 개별적인 자료를 동기화하고 이를 시계열 정보로 구축하였다. 개별적인 자료는 분석이 가능한 지수 혹은 통계값으로 변환하여 분석하였으며, 이를 시계열정보화하여 아래 그림과 같이 도식화하였



다.

성과로 토양수분과 비교하여 드론영상의 NDVI과는 매우 유사한 상관관계를 보였으며, 토양수분과 드론영상과 위성영상과의 상관관계 분석을 위하여 테스트베드에 구축한 개별적인 자료를 동기화하고 이를 시계열 정보로 구축하였다.

개별적인 자료는 분석이 가능한 지수 혹은 통계값으로 변환하여 분석하였으며, 이를 시계열 정렬로 도식화하였다. 아래 그림의 우측은 드론 NDVI와 토양수분의 상관관계를 나타내는 것으로 토양수분에 따른 식생의 활력도 즉, NDVI가 유사한 경향을 보임을 확인하였다. 또한 아래 그림은 위성영상과 드론영상의 식생지수, 토양수분을 전체적으로 분석한 그림이다. 그래프에서도 알 수 있듯이 전체적인 경향이 일치하며, 토양수분에 따른 농작물의 NDVI는 상관관계가 있음을 확인하였다. 따라서 드론 및 위성영상을 활용한 ICT 기반 가뭄모니터링은 가능하며, 정보통신기술을 활용한 식생지수 산정은 가뭄지수 산정에 중요한 원천데이터로 활용가능함을 확인하였으며, 정보통신기술을 적용한 한국형 가뭄지수산정 및 평가모형을 개발하였다.



[그림 2.4.24] 광역적 위성영상과 드론영상의 분광, 식생지수, 토양수분 특성 통계적 비교분석

본 연구에서는 발작물 수분스트레스 모형 개발을 위해 기상 자료를 기반으로 한 토양수분 모형을 산정하였다. 이를 기존의 토양수분 자료, 토양수분 관련 위성영상과 비교하여 검증하였으며, 높은 상관성을 확인하였다. 기상 자료를 기반으로 시험 지역에 대한 토양수분 시계열 자료를 구축하였으며, 이를 다양한 영상 기반 식생 지수 (NDVI, SAVI, IPVI, GRVI, TGI 등)와 비교 검증한 결과 NDVI값이 토양수분과 가장 높은 상관성을 보였다. 이를 통해 NDVI를 활용

할 경우 밭작물 재배 지역에서 토양수분 상태를 유추할 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서는 기상 자료를 사용한 토양수분 값 산정, 영상을 기반으로 한 지수와 토양수분과의 상관성 분석을 통해 밭작물 수분스트레스를 평가하기 위한 지상 및 영상 자료를 산정 및 검증하였다.

### 제 3 장 목표달성도 및 관련분야 기여도

#### 제1절 : 목표대비 달성도

##### 1. 목표대비 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
위성영상을 활용한 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술 개발	25	100	기상청의 가뭄 예경보 시스템과 위성영상을 통하여 국내의 전반적인 가뭄현황을 분석하였으며, 위성영상정보를 이용하여 가뭄지수 및 식생지수를 산정하여 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술을 개발하였음
드론을 활용한 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술 개발	25	100	드론을 이용한 고해상도영상(5cm), 정사영상, 수치표면자료, 시계열영상, 열화상, NDVI 등을 구축하여 작물의 생육정도 및 작황상태를 분석하여 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술을 개발하였음
가뭄피해 면적, 작물 등의 산출을 통한 가뭄피해 분석 기술 개발	20	100	드론 및 위성영상을 이용하여 작물의 식생지수를 산정하여 가뭄 피해 정도를 분석하여 가뭄예상지역 집중 모니터링 기술을 개발하였음
가뭄모니터링 테스트베드 설치 및 운영/ 적용성 평가	30	100	현장 적용 가능한 연구 수행을 위해 최적의 테스트베드를 선정하여 장기간에 거친 드론 촬영 및 토양데이터를 취득하였음, 이러한 현장중심 연구는 향후 연구성과의 실용화에 크게 기여할 것임
합계	100%	100%	

## 제2절 : 정량적 성과(논문게재, 특허출원, 기타)를 기술

### 1. 연구개발 성과 및 평가방법

#### 가. 연구개발 성과 및 평가방법

○ 사업화 지표
- 지식재산권 : 특허출원 1건, 특허등록 1건
- 기술실시 : 이전 1건
- 고용창출 : 고용창출 3명
○ 연구기반 지표
- 학술성과 : 11건(SCI 건, 비SCI 6건, 학술발표 5건)
- 인력양성 : 인력 양성 3명
- 정책활용 및 홍보 : 정책활용 건, 홍보전시 건

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용-홍보		기 타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SC I	비 SC I						
단위	건	건	건	건	백만 원	백만 원	백만 원	백만 원	명	백만 원	건	건	건	건	명	건	건		
가중치	20	20		20				20				10		6		4			
최종목표	1	1		1	1			3				6		5		3			
연구기간내 달성실적	1	0		2				4				1	3	14		4			
달성율(%)	100	0		200				130				67		280		130			

#### 나. 성과목표에 대한 자체평가

성과목표	자 체 평 가
특허 출원/등록	- 특허 출원 1건 달성
기술실시(이전)	- (주)신한항업 기술이전 2건 달성
고용창출	- (주)신한항업 고용창출 4명
논문 (비SCI) 3편 (SCI) 1편	- 연구기간 내에 6편(SCI급 2편, 비SCI급 4편) 투고 - 현재 비SCI 2편의 논문을 1월 중 게재 확정 - 미달성 논문성과에 대해 연구과제 종료 후 2건의 추가 논문 투고 예정
학술발표 14편	- 학술발표 13건 발표 달성
인력양성 4명	- (주)신한항업 인력양성 1명 - 한경대학교 인력양성 3명

## 2. 연구성과

### 가. 국내·외 논문게재

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관 명	역할	논문게재지/ 특허등록국가	Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기항 (SCI여부/인 용횟수등)
1	논문	Developing the vegetation drought response index for South Korea (VegDRI-SKorea) to assess the vegetation condition during drought events	한경대학교	1저자	International journal of remote sensing	1.724	2017.12.19	단독사사	SCI
2	논문	위성기반 Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS)를 활용한 한반도 지역의 기상학적 가뭄지수 적용	한경대학교	1저자	한국농공학회	0	2019.03.31	단독사사	비SCI
3	논문	Evaporative Stress Index (ESI)를 활용한 북한의 위성영상기반 농업가뭄 평가	한경대학교	1저자	한국농공학회	0	2019.05.31	단독사사	비SCI
4	논문	드론 열화상 및 초분광 센서를 이용한 농업가뭄 모니터링 적용 연구	(주)신한항업	1저자	한국지리정보학회	0	2019.09.30	단독사사	비SCI
5	논문	다중 위성영상 기반 강우자료를 활용한 동아시아 지역의 기상학적 가뭄지수 비교 분석	한경대학교	1저자	한국농공학회	0	2020.01.31.	중복사사	비SCI
6	논문	Agricultural Drought Assessment in East Asia Using Satellite-Based Indices	한경대학교	1저자	Remote Sensing(an Open Access Journal by MDPI)	4.118	2020.01.30.	중복사사	SCI

나. 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표일 시	장소	국명
1	무인항공기 (UAV) 영상을 이용한 밭가뭄 모니터링 기술 개발	윤동현	2017.10. 17	라마다프라자 제주호텔	대한민국
2	드론영상과 토양수분 비교분석을 통한 가뭄모니터링 기술 개발방향	박준민	2018.04. 20	용인 한화리조트	대한민국
3	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station	전민기	2018.05. 24	경주화백컨벤 션센터(HICO)	대한민국
4	위성영상기반 농업가뭄 모니터링을 위한 Evaporative Stress Index (ESI)의 적용	윤동현	2018.05. 24	경주화백컨벤 션센터(HICO)	대한민국
5	농업가뭄모니터링을 위한 Terra MODIS NDVI와 드론 NDVI의 비교	정인균	2018.05. 25	경주화백컨벤 션센터(HICO)	대한민국
6	Evaporative Demand Drought Index (EDDI)를 활용한 2015-2017년 극한가뭄사상의 시·공	방나경	2018.05. 25	경주화백컨벤 션센터(HICO)	대한민국
7	다양한 가뭄지수(SPI, SC-PDSI, SPEI, EDDI, EDI)를 활용한	남원호	2018.05. 25	경주화백컨벤 션센터(HICO)	대한민국
8	무인기 영상 및 지상관측 자료를 활용한 소규모 밭 지역의 가뭄 모니터링 적용성 평가	윤동현	2018.11. 01.	리솜스파캐슬 덕산	대한민국
9	위성영상 기반 강수량을 활용한 동아시아 지역의 기상학적 가뭄지수 적용	문영식	2019.05. 30	여수컨벤션센 터	대한민국
10	식생가뭄반응지수 (Vegetation Drought Response Index, VegDRI)를 활용한 북한지역의 농업가뭄 특성 분석	이희진	2019.05. 30	여수컨벤션센 터	대한민국
11	무인기 영상을 활용한 NDVI영상과 토양수분 자료를 통한 소규모 밭지역의 가뭄 특성 분석	윤동현	2019.10. 10	강원도 홍천군	대한민국
12	드론 다중센서를 활용한 가뭄 모니터링 기술 개발 연구	함건우	2019.11. 01.	제주대학교 아라컨벤션홀	대한민국
13	Application of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) multispectral remote sensing to precision agriculture: Evapotranspiration, vegetation condition, crop wat	윤동현	2019.11. 07	서울 인터컨티넨탈 코엑스 호텔	대한민국
14	A Study on Agricultural Drought Monitoring Using Drone and Satellite Imagery	배경호, 함건우, 이정민	2019.11. 16	대만 가오슝( IMETI 2019 국제학술회)	대만

다. 지식재산권(특허, 실용신안, 디자인, 상표, 신제품 등)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록					기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록번호*	등록인	등록일	등록번호	등록번호*		
1	초분광센서와 토양 함수용 센서를 이용한 토양 가뭄 모니터링 방법	대한민국	(주)신한 항업	19.11.27	10-2019- 0153884							100%

\* 추후 특허출원을 특허등록으로 연계할 예정임

라. 전문연구 인력양성

No	분류	기준 년도	현 황											
			학위별				성별		지역별					
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타	
1	연구인력 양성	2017	✓				✓			✓				
2	연구인력 양성	2019			✓		✓		✓					
3	연구인력 양성	2019			✓		✓		✓					
4	연구인력 양성	2019			✓		✓		✓					

마. 고용창출

No	분류	기준 년도	현 황											
			학위별				성별		지역별					
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타	
1	고용창출 (가뭄모니 터링 드론 전문가)	2016			✓		✓		✓					
2	고용창출 (가뭄모니 터링 드론 전문가)	2016			✓		✓		✓					
3	고용창출 (가뭄모니 터링 드론 전문가)	2016			✓		✓		✓					
4	고용창출 (가뭄모니 터링 드론 전문가)	2017			✓		✓		✓					

## 제 4 장 연구 결과의 활용 계획

### 제1절 연구 결과의 활용 계획

본 연구는 기존의 수문학적 가뭄 모니터링 체계에서 벗어나 최신 기술인 드론 및 위성정보의 ICT 기술을 접목하여 가뭄예상 집중 모니터링 기술을 개발하였다. 개발 기술은 국지적 가뭄 파악이 가능하며, 가뭄과 농작물 작황과의 상관관계 분석이 가능하게 한다. 이러한 분석 기법 개발은 최신 정보통신기술의 농업 분야 적용의 기술적 진보와 더불어 기상이변과 같은 사회·환경 문제 해결에 많은 기여가 예상된다.

드론 및 위성영상을 이용한 식생지수 산출은 과학적인 데이터에 기반한 가뭄 지수 산출이 가능하며, 이러한 과학적 데이터는 농작물별 관리 및 피해 예측의 기초자료로 활용될 것이다. 본 연구는 선정된 테스트베드 지역에서 현장 중심형 및 실무형 연구로 추진되었기 때문에 현장 적용 가능성이 높고 향후 농업 분야에서 실무 적용 가능성이 높을 것으로 판단된다. 또한 농업 분야 적용을 시작으로 가로수, 도심 녹화 등 최근 기상이변에 따른 환경문제 대응 및 해결방안에도 기여할 것으로 예상된다.

연구 결과는 농업 분야에서 다양한 분야로 활용 가능하며 활용 계획은 아래와 같다.

- 농작물 관리 활용 계획 : 드론 및 위성 영상을 이용한 식생지수 산출 및 가뭄지수 산정은 향후 농작물 작황 및 활력도 평가의 기초 자료로 활용될 수 있다.
- 가뭄 모니터링 활용 계획 : 개발기술을 이용하여 국지적이고 가뭄예상지역에 대한 집중 가뭄 모니터링이 가능하다.
- 도시 시설물 관리 활용 계획 : 가로수, 공원 등 도심 녹화 지역에 대한 식생지수 및 가뭄 지수 산정으로 도시 시설물 관리에 활용 가능하다.
- 공간정보 분야 활용 계획 : 드론 및 위성영상에 구축된 축적된 공간정보는 시계열정보로 관리되어 연도별, 지역별, 시설물별 변화정보를 추출하여 문제점 도출 및 원인 규명에 기초 자료로 활용 가능하다.

이 외에도 식생지수 및 가뭄지수를 이용하여 농작물별로 가뭄 취약 정도 및 관리 방안 도출, 위성을 이용한 광역적 가뭄 모니터링 방안, 식생지수를 이용한 농작물 활력도 및 추수 시기 결정 등 다양한 농업 분야에서 활용 가능하다.

또한 최근 인공지능 기술의 급격한 기술진전에 따라, 구축된 기초자료를 바탕으로 가뭄 예상 지역과 시기 결정이 가능하며, 이에 따른 선제적 예방 및 관리가 가능할 것이다.



## 제2절 기대성과

지구온난화 등으로 기상이변이 속출하고 있으며 가뭄 피해는 사회·경제적 손실을 유발하고 있으며 피해는 광범위한 지역에 오랜 기간 지속되는 특징이 있다. 특히 농작물은 가뭄에 직접적으로 피해를 받기 때문에 많은 관찰과 관리가 필요하다. 하지만 현재의 가뭄 모니터링 체계는 수문학적 중심이기 때문에 농작물의 직접적인 피해 및 가뭄과의 상관 관계 규명에는 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 최신 기술인 드론 및 위성영상을 이용한 “ICT 기반 가뭄 모니터링 기술개발”을 구현하였다. 연구결과로 드론 가뭄 모니터링 기술개발, 위성 가뭄 모니터링, 농업가뭄지수 및 분석 모형을 개발하였으며, 개발된 “ICT 기반 가뭄 모니터링 기술”은 농업 분야뿐만 아니라 다양한 식생 및 도시시설물 등에 활용 가능하다. 이러한 연구성과는 다음과 같은 분야에 기여가 예상된다.

### 1. 기술 기대효과

최신 기술인 드론 및 위성영상을 활용한 식생지수 및 가뭄지수 산정은 국지적 가뭄 집중 모니터링을 실시하여 가뭄과 농작물의 직접적인 상관 관계 규명에 기여할 것이다. 이는 대상 농작물에 대한 과학적인 기초자료 생성으로 농작물의 관리 등에 기여할 것이다.

또한 드론과 위성영상을 이용한 식생지수 및 가뭄지수 산정은 1차적으로 농작물의 작황 현황과 활력도 분석에 중요한 자료로 활용 가능하며, 2차적으로 가뭄과 농작물 작황과의 상관관계를 파악하여 가뭄 예상지역의 집중 모니터링 체계를 가능하게 한다.

최근 드론 기술은 4차산업혁명의 핵심기술로 크게 각광받고 있다. 이러한 드론 기술은 정보통신 및 공간정보 기술과 접목하여 고정밀 3차원 지형정보를 구축하고 이를 바탕으로 다양한 식생지수, 활력도 등의 부가적인 정보를 창출한다. 따라서 농업 분야에서도 이러한 정보통신기술과 접목된 최신 기술은 농업 가뭄 모니터링뿐만 아니라 농작물 파종, 작황, 수확 등의 농업 관리분야에서도 많은 기여가 예상된다.

### 2. 사회적 기대효과

가뭄피해는 광범위한 지역에서 장시간에 거친 자연재해로 주로 수문학적 모니터링 및 관리에 중점되었다. 하지만 최근에는 잦은 기상이변 및 예측 불가능한 형태로 우리 사회에 영향을 미치고 있다. 따라서 기존의 광범위하고 수문학적 가뭄 모니터링 체계는 원하는 대상 객체에 대한 직접적이고 효율적인 가뭄 모니터링에는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서 개발한 “ICT 기반 가뭄 모니터링 기술”은 국지적인 가뭄 예상 집중 모니터링에 효율적으로 사용될 것이다. 또한 가로수, 공원 등의 도심 시설물에 대한 식생지수와 가뭄지수를 적용하여 도시 시설물 관리에 기여할 수 있다. 이러한 사회적 기여는 탄소저감 및 환경정책에 주요한 원천 데이터로 활용되며 국민생활에 간접적으로 기여할 것이다.

### 3. 산업적 기대효과

국내 농업에 있어서의 고령화, 노동력 문제로 인해 체계적 생장관리 요구가 증대되고 있으며, 이에 본 연구에서는 센서, 통신, 관리 및 제어기기를 기반으로 하는 노지 스마트 농업기술에 위성&드론을 이용한 영상정보로부터 분석된 가뭄지수를 제공함으로써 한국형 새로운 가뭄지수 적용을 통한 가뭄 영역도 구축 방안 마련, 가뭄이 식생에 미치는 효율적 영향 평가 방안 마련하였다. 이는 시공간적으로 통합된 종합 노지영농관리시스템을 구성할 수 있게 되며 보다 과학적인 물 관리, 노동력 절감, 생산성 향상 등을 통해 체계적인 농업 재해율 산정 및 농가 보상 방향 설정이 가능하다. 따라서 초고정밀 해상도의 가뭄 모니터링 기반 자료 구축을 통하여 농림부뿐만 아니라 정부 및 지자체에서 가뭄 모니터링을 위해 다양한 정책을 구상하고 실행에 옮길 수 있다고 판단된다.

## 부록 I 참고문헌

1. 국가가뭄정보분석센터, [www.drought.go.kr](http://www.drought.go.kr) (가뭄예정보자료)
2. 국가위성센터, [nmsc.kma.go.kr](http://nmsc.kma.go.kr)
3. 국립재난안전연구원(2013). 원격탐사기반 선진형 홍수관리 및 가뭄대응 기반기술 개발
4. 국립재난안전연구원(2014). 국내위성자료를 이용한 재난관리 활용방안 연구
5. 국립재난안전연구원(2014). 재난 위험도 평가 및 예측 기반기술 구축(I): 인공위성 기반 가뭄대응 기술 개발
6. 국립재난안전연구원(2015). 재난 위험도 평가 및 예측 기반기술 구축(II): 인공위성 기반 가뭄 모니터링 기술 고도화
7. 국립재난안전연구원(2016). 중해상도 위성영상을 활용한 재난분석 활용 기반기술개발(I)
8. 국립재난안전연구원(2017). 가뭄 예정보 평가 기술 개발(I)
9. 권형중, 박현진, 홍대의, 김성준(2006). SWSI 가뭄지수를 보완한 준분포형 수문학적 가뭄평가 연구, 한국수자원학회논문집, 39(8): 645-658
10. 기상청 날씨누리, [www.weather.go.kr](http://www.weather.go.kr) (기상자료)
11. 기상청 수문기상 가뭄정보 시스템, [hydro.kma.go.kr](http://hydro.kma.go.kr) (가뭄지수자료)
12. 김경탁, 김주훈, 박정술, 최윤석(2004). 식생지수를 이용한 가뭄 감시 가능성 분석, 2004 대한토목학회 정기학술대회, 2173-2176
13. 김경탁, 박정술(2006). 식생지수와 가뭄지수의 상관성 분석, 한국습지학회, 8(1):49-58
14. 김광섭, 박정아(2011). 의사결정나무 분류와 인공신경망을 이용한 토양수분 산정모형 개발. 대한토목학회논문집 제31집 2호, pp. 155-163. doi: 10.12652/Ksce.2011.31.2B.155.
15. 김광섭, 박한균(2010). CART기법과 위성자료를 이용한 향상된 공간가뭄지수 산정, 한국지리정보학회지, 13(1): 128-141
16. 김광진, 김대선, 조재일, 홍성욱, 이양원(2013). 위성기반 가뭄지수의 EOF분석: 내몽골지역을 사례로, 기후연구, 8(4): 309-319
17. 김민석, 오태석, 문영일, 권현환(2009). 기상학적 가뭄지수의 비교분석, 대한토목학회, 3406-3409
18. 김민석, 문장원, 문영일, 이미란(2012). SPI지수와 위성영상을 활용한 한반도 가뭄의 공간특성분석, 2012 대한토목학회 정기학술대회, 964-967
19. 김상우, 이태화, 신용철(2019). Sentinel-1A/B SAR 센서 기반 고해상도 토양수분 산정. 한국농공학회논문집 제61집 5호, pp. 89-99. doi: 10.5389/KSAE.2019.61.5.089.
20. 김성균, 김형록, 최민하(2016). 위성기반 토양수분 자료의 한반도 지역 적용성 평가: AMSR2 LPRM 알고리즘과 지점관측 자료를 이용하여, 한국수자원학회, 49(5):423-429
21. 김옥경(2007). 토양수분가뭄지수의 개발과 유역단위 가뭄평가, 서울대학교대학원, 석사학위논문
22. 김옥경, 최진용, 장민원, 유승환, 남원호, 이주현, 노재경(2006). 토양수분지수를 이용한 유역단위 가뭄 평가. 한국농공학회논문집, 48(6): 3-13.
23. 김지은, 박지연, 이주현, 김태웅(2019). 주성분 분석 및 엔트로피 기법을 적용한 사회·경제적 가뭄 취약성 평가. 한국수자원학회논문집, 52(6): 441-449
24. 김태철, 노재경, 박승기(1991). 유역 토양 수분 추적에 의한 유출 모형. 한국농공학회논문집 제33집 4호, pp. 61-72.
25. 김태철, 박승기, 문종필(1995). 유역토양수분 추적에 의한 실시간 홍수예측모형. 한국농공학회논문집, 37(5): 81-89.
26. 김호성, 박진혁, 윤재영, 김상단(2010). 극한가뭄의 시공간적 특성에 대한 기후변화의 영향을 평가하기 위한 SAD 곡선의 적용, 대한토목학회논문집, 30(6B): 561-569

27. 남원호, 홍은미, 장민원, 최진용(2014). 토양수분모형을 이용한 미래 주요 발작물 소비수량 및 관개용수량 전망. 한국농공학회논문집, 56(5): 77-87.
28. 당진시(2017). 2016년도 당진 통계연보
29. 당진시청 홈페이지, [www.dangjin.go.kr](http://www.dangjin.go.kr)
30. 박민지, 신형진, 최영돈, 박재영, 김성준(2011). 수자원 가용능력을 고려한 수문학적 가뭄지수 개발, 한국농공학회논문집, 53(6): 165-170
31. 박정술, 김경탁(2009). 가뭄모니터링을 위한 MODIS NDVI의 활용성 평가: 가뭄지수와 비교를 중심으로, 한국공간정보학회, 17(1): 117-129
32. 박정술, 김경탁, 김주훈, 최윤석(2005). MODIS 식생지수를 이용한 봄가뭄 분석, 2005 대한토목학회 정기학술대회, 2470-2473
33. 박종용, 유지영, 최민하, 김태웅(2011). EDI를 이용한 경상도 지역의 가뭄위험도 평가, 대한토목학회논문집, 31(3B): 243-252
34. 박혜선, 엄명진, 김정빈, 김연주(2015). 우리나라의 지역 가뭄 평가를 위한 MODIS DSI 활용, 대한토목학회논문집, 35(6): 1209-1218
35. 배덕효, 손경환, 김현경, 이주현, 이동률, 안재현, 김태웅(2013). 국내 가뭄관리 기관별 PDSI 산정방법의 표준화 및 평가, 한국기상학회 대기, 23(4): 539-547
36. 배승중, 정하우, 최진용(1999). 지리정보시스템과 토양수분모형을 이용한 농업가뭄분석. 한국농공학회논문집, 41(6): 33-43.
37. 백슬기, 장호원, 김종석, 이주현(2016). 위성기반의 식생지수를 활용한 농업적 가뭄감시, 한국수자원학회 논문집, 49(4): 305-314
38. 서산시(2017). 2016년도 서산 통계연보
39. 서산시청 홈페이지, [www.seosan.go.kr](http://www.seosan.go.kr)
40. 서영제, 이광야(2002). 발용수량 산정방법. 한국농공학회지, 44(1): 25-34.
41. 서은정, 우영아, 임현량, 김효진, 문두경, 최영훈(2003). 근적외분광분석법을 이용한 감귤잎의 수분측정, 한국분석과학회, 16(4):277-282
42. 성춘자, 정종철(2003). 지형요소에 따른 NDVI의 변화에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 6(2):92-100
43. 신사철, 김철준(2003). 우리 나라에서의 가뭄 발생 지역 판별을 위한 식생지수(NDVI)의 적용성에 관한 연구, 한국수자원학회논문집, 36(5): 839-849
44. 신사철, 정수, 김경탁, 김주훈, 박정술(2006). NDVI를 이용한 가뭄지역 검출 및 부족수량량 산정, 한국지리정보학회지, 9(2): 104-114
45. 신수현(2005). 다중시기 정규식생지수(NDVI)를 이용한 가뭄지수의 한반도 적용성 분석, 인하대학교 대학원, 석사학위논문
46. 신형진, 박민지, 황의호, 채효석, 김성준(2015). Terra MODIS 위성영상을 이용한 봄 가뭄 연구: 소양감댐유역을 대상으로, 한국지리정보학회지, 18(4): 145-157
47. 안병기, 김태철, 정상인(1987). 발작물의 계획관개 모형 - 토양수분 변화를 중심으로. 충남대학교 농업과학연구소논문집, 14(1): 68-80.
48. 안성시(2017). 2016년도 안성 통계연보
49. 안성시청 홈페이지, [www.anseong.go.kr](http://www.anseong.go.kr)
50. 안소라, 이준우, 김성준(2014). 기상 및 수문학적 가뭄지수와 위성 식생지수를 활용한 2012년 봄 가뭄 분석, 한국관개배수논문집 21(1): 78-88
51. 양정석, 김일환(2013). 낙동강 유역의 기후변화를 고려한 경향성 분석과 Delphi 기법을 이용한 가뭄 취약성 지수 개발. 대한토목학회논문집, 33(6): 2245-2254.
52. 양정석, 박진혁, 김남기(2012). 경향성 분석을 통한 가뭄취약성 지수의 개발. 대학토목학회논문집

제32집 3B호, pp. 185-192.

53. 은정(2012). MODIS NDVI와 AVHRR NDVI의 연계방법 개발, 인하대학교 대학원, 석사학위논문
54. 이광야, 김선주(2001). 농업용수 수요량 산정 시스템 개발. 한국농공학회논문집, 43(1): 53-65.
55. 이근상, 김성욱, 함세영, 이길하(2016). 드론 원격정보를 활용한 실제증발산량의 산정: 가뭄지수를 위한 사전테스트, 한국환경과학회지, 25(12): 1653-1660
56. 이용호, 오영주, 나채선, 김명현, 강기경, 윤성탁(2013). 농업지대 봄 가뭄에 대한 취약성 평가. 한국기후변화학회지, 4(4): 397-407.
57. 이진영, 임정호, 김종필(2014). 미계측유역의 수문학적 가뭄평가 및 감시를 위한 원격탐사의 활용, 대한원격탐사학회지, 30(4): 525-536
58. 임정남, 류순호(1988). 기상자료에 의한 배추 생육시기별 토양수분, 증발산량 및 수량의 추정모형. 한국토양비료학회논문집, 21(4): 386-408.
59. 장민원(2004). 농업가뭄에 대한 지역별 취약성의 평가 기술에 관하여(GIS를 이용한 농업가뭄에 대한 지역 취약성 평가 기법의 개발). 한국농공학회논문집 제46집 4호, pp. 21-24.
60. 장은미, 박은주(2004). 위성영상을 활용한 가뭄지수 지도제작, 대한공간정보학회, 12(4):3-12
61. 정지웅, 이우균, 최계선, 이상철, 최성호, 최현아(2010). 수자원 기후변화 취약성 평가모형의 공간 및 유역규모별 적용 연구. 한국기후변화학회지 1(1): 21-30.
62. 최민하, 박종민, 정재환, 백종진(2015). MODIS 기반 작물계수를 통한 가뭄 분석 가능성, 2015 한국수자원학회 학술발표회, 524
63. 태안군(2017). 2016년도 태안 통계연보
64. 태안군청 홈페이지, [www.taeon.go.kr](http://www.taeon.go.kr)
65. 한국데이터베이스진흥원(2009). 데이터 품질관리 시리즈4, 데이터 품질진단 절차 및 기법.
66. 한국항공우주연구원, [www.kari.re.kr](http://www.kari.re.kr)
67. 한국환경정책·평가연구원(1999). 생태자연도 작성 및 활용을 위한 원격탐사기법 연구(II)-식생분류도 작성을 중심으로
68. 홍성군(2017). 2016년도 홍성 통계연보
69. 홍성군청 홈페이지, [www.hongseong.go.kr](http://www.hongseong.go.kr)
70. Aase, J. K., Wight, J. R., and Siddoway, F. H. (1973). Estimating soil water content on native rangeland. *Agricultural Meteorology* 12, 185-191.
71. Alley, W. M. (1984). On the treatment of evapotranspiration, soil moisture accounting, and aquifer recharge in monthly water balance model. *Water Resource Research* 20(8), 1137-1149.
72. Amin Zargar, Rehan Sadiq, Bahman Naser and Faisal I. Khan, (2011). A review of drought indices, *Environmental Reviews*, 19:333-349
73. Baier, W., and Robertson, G. W. (1966). A new versatile soil moisture budget. *Canadian Journal of Plant Science* 46(3), 299-315.
74. Bannari, A., Morin, D., Bonn, F. and Huete, A. R. (1995). A review of vegetation indices, *Remote Sensing Reviews*, 13(1): 95-120
75. Bayarjargal, Y., Karnieli, A., Bayasgalan, M., Khudulmur, S., Gandush, C., Tucker, C. (2006). A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis, *Remote Sensing of Environment*, 105(1): 9-22
76. Bendig J, Yu K, Aasen H, Bolten A, Bennertz S, Broscheit J, Gnyp ML, Bareth G. (2015). Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *Int J Appl Earth Obs Geoinf.* (39): 79-87.
77. Briggs, L. J. (1897). The mechanics of soil moisture. *USDA Bureau of Soils Bull* 10.

78. Buckingham, E. (1907). Studies on the movement of soil moisture. USDA Bureau of Soils No. 38.
79. Byun, H.R. and Wilhite, D.A. (1999). Objective quantification drought severity and duration, *Journal of Climate*, Vol.12(9): 2747-2756.
80. Earth Microwave Data Center(EMDC) Remote Sensing System(RSS), [www.remss.com](http://www.remss.com)
81. Esmael Hamuda, Martin Glavin, Edward Jones, (2016). A survey of image processing techniques for plant extraction and segmentation in the field, *Computers and Electronics in Agriculture* 125: 184-199
82. Gardner, W. R. (1919). The movement of soil moisture in soil by capillarity. *Soil Science* 7(4), 313-317.
83. Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R., Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80: 76-87.
84. Huang, J., Dool, H. M., and Georganakos, K. P. (1995). Analysis of model-calculated soil moisture over the United States (1931 - 1993) and application to long-range temperature forecasts. *Journal of Climate* 9, 1350-13620. doi: 10.1175/1520-0442(1996)009<1350:AOMCSM>2.0.CO;2.
85. Hunt, E.R., Daughtry, C.S.T., Eitel, J.U.H., Long, D.S. (2011). Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. *Agronomy Journal*, 103: 1090-1099.
86. Hunt, E.R., Doraiswamy, P.C., McMurtrey, J.E., Daughtry, C.S.T., Perry, E.M., Akhmedov, B. (2013). A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21: 103-112
87. Jensen, M. E., Wright, J. L., and Pratt, B. J. (1971). Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. *Transaction of the ASAE* 14(5), 954-959.
88. Louhaichi, M., Borman, M.M., Johnson, D.E., 2001. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, 16: 65-70
89. Molz, F. J. (1971). Interaction of water uptake and root distribution. *Agronomy Journal* 63(4), 608-610.
90. Molz, F. J., and Remson, I. (1970). Extraction term models of soilmoisture use by transpiring plants. *Water Resource Research* 6(5), 1346-1356.
91. Molz, F. J., and Remson, I. (1971) Application of an extraction-term model to the study of moisture flow to plant roots. *Agronomy Journal* 63(1), 72-77.
92. NASA, Distributed Active Archive Center (DAAC) NSDIC, AMSR-E, [nsidc.org/data/amsre](http://nsidc.org/data/amsre)
93. NASA, Moderate resolution imaging spectroradiometer(MODIS), [modis.gsfc.nasa.gov](http://modis.gsfc.nasa.gov)
94. NASA, The Level-1 and Atmosphere Archive & Distribution System (LAADS) Distributed Active Archive Center (DAAC), [ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/](http://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/)
95. NOAA, Comprehensive Large Array-data Stewardship System (CLASS), Detailed information on the AVHRR, [www.class.noaa.gov/release/data\\_available/avhrr/index.htm](http://www.class.noaa.gov/release/data_available/avhrr/index.htm)
96. Panigrahi, B., and Panda, S. N. (2003). Field test of a soil water balance simulation model. *Agricultural Water Management* 58(3), 223-240.
97. Peter A.J., Water-shea E.A., Ji L. Vina A., Hayes M., and Svododa M.D. (2002). Drought Monitoring with NDVI-Based Standardized Vegetation Index, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 68(1): 71-75
98. Richards, L. A. (1931). Capillary conduction of liquids in porous mediums. *Journal of Applied*


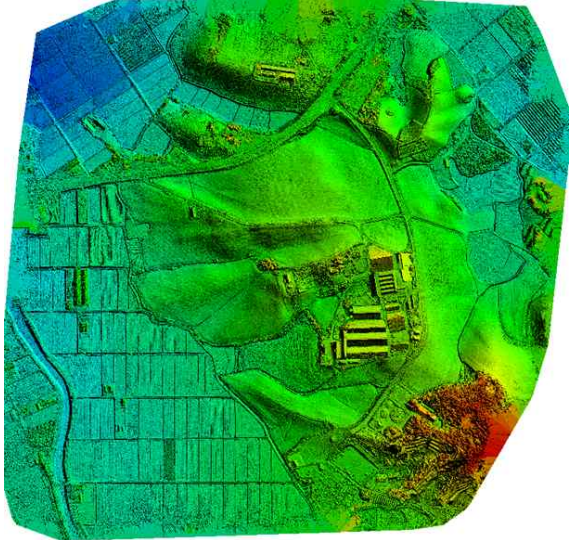

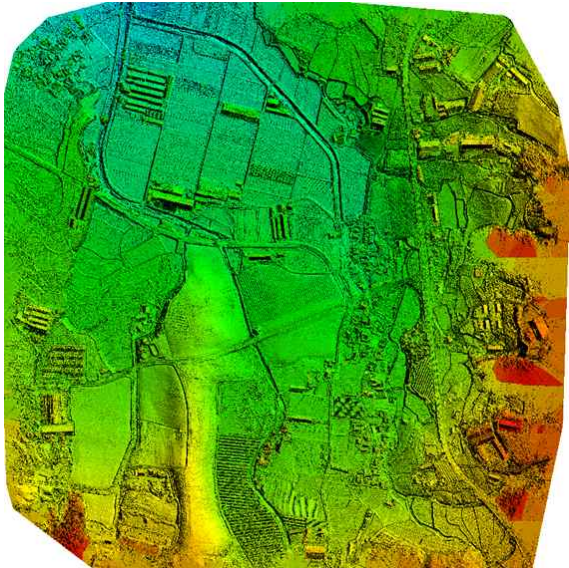
Physics 1(5), 318-333.

99. Shahid, S. and Behrawan, H. (2008). Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Natural Hazards* 46(3), 391-413.
100. Sullivan, C. A. (2002). Calculating a water poverty index. *World Development* 30(7), 1195-1210.
101. Thomas, T., Jaiswal, R. K., Galkate, R., Nayak, P. C., and Ghosh, N. C. (2016). Drought indicators-based integrated assessment of drought vulnerability: a case study of Bundelkhand droughts in central India. *Natural Hazards* 81(3), 1627-1652
102. Tucker CJ. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sensing. Environ.* 8: 127-150.
103. U.S. Geological Survey, Earth Explorer, [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov)
104. U.S. Geological Survey, Monitoring Vegetation Drought Stress  
[www.usgs.gov/land-resources/eros/droughtstress](http://www.usgs.gov/land-resources/eros/droughtstress)
105. Vicente-Serrano, S.M. Begueria, S. Lopez-Moreno, 2010, A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23: 1696-1718
106. Wenzhu Yang, Sile Wang, Xiaolan Zhao, Jingsi Zhang, Jiaqi Feng, (2015) Greenness identification based on HSV decision tree, *Information Processing In Agriculture*, (2): 149-160
107. Wu, H. and Wilhite, D. A. (2004). An operational agricultural drought risk assessment model for Nebraska. *Natural Hazards* 33(1), 1-21.
108. Wu, H., Hubbard, K. G. and Wilhite, D. A. (2004). An agricultural drought risk-assessment model for corn and soy beans. *International Journal of Climatology* 24(6), 723-741.
109. Yamaguchi, Y., and Shinoda, M. (2002). Soil moisture modeling based on multiyear observations in the sahel. *Journal of applied meteorology* 41, 1140-1146.

## 부록 II 촬영 성과


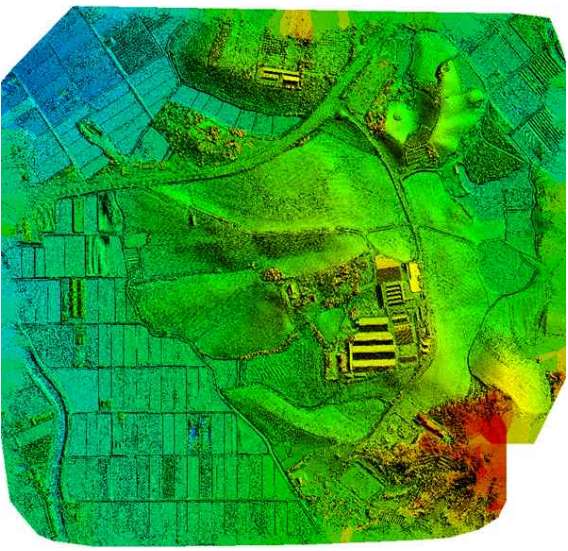

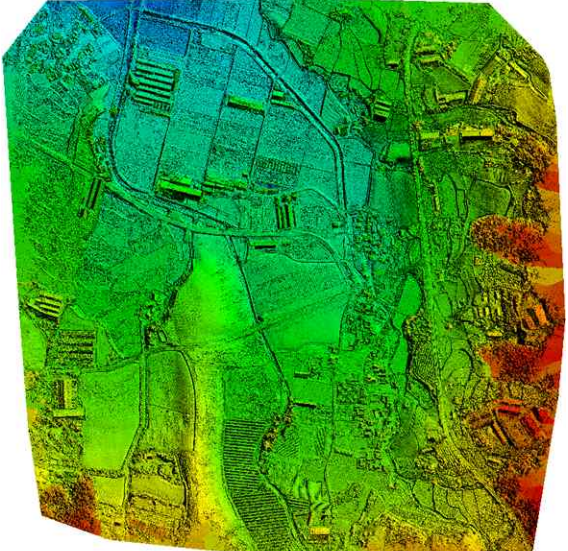
### 1. 1차년도

[표 1] 테스트베드 1차 촬영 결과


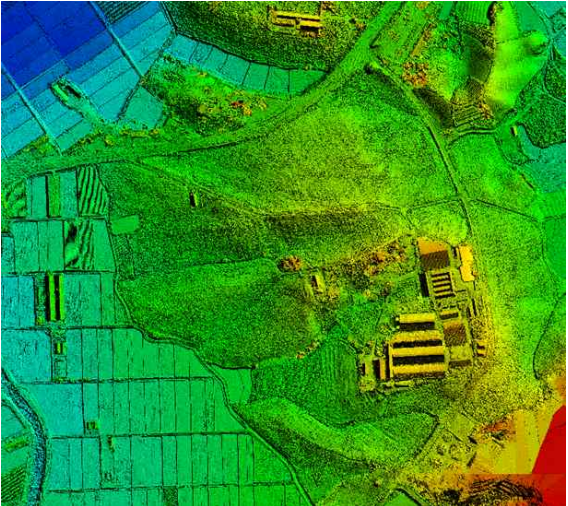

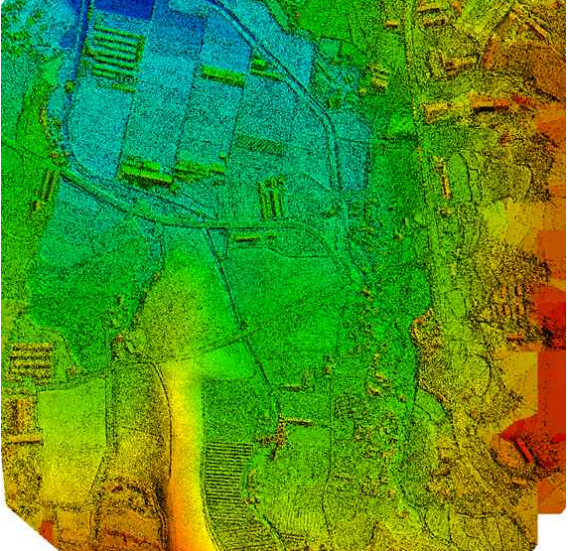
4월 24일 1차 촬영	
월정리	
정사영상	DSM
	
장계리	
정사영상	DSM
	



[표 2] 테스트베드 2차 촬영 결과


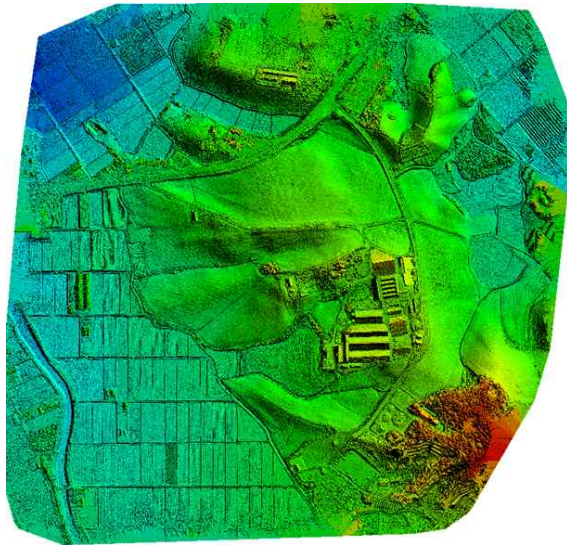

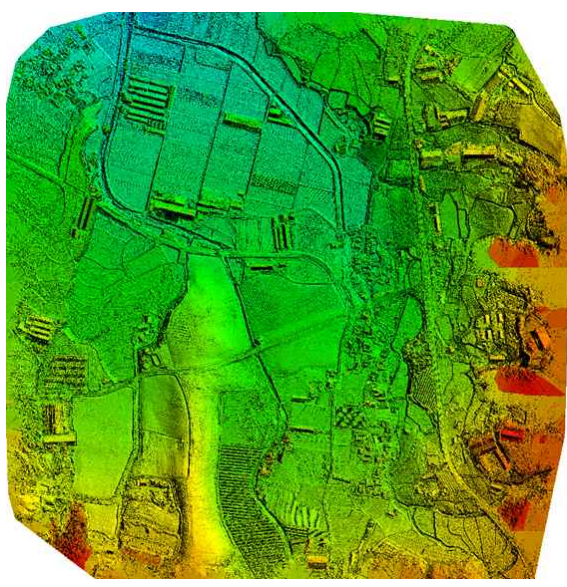
5월 12일 2차 촬영	
월정리	
정사영상	DSM
	
장계리	
정사영상	DSM
	

[표 3] 테스트베드 3차 촬영 결과


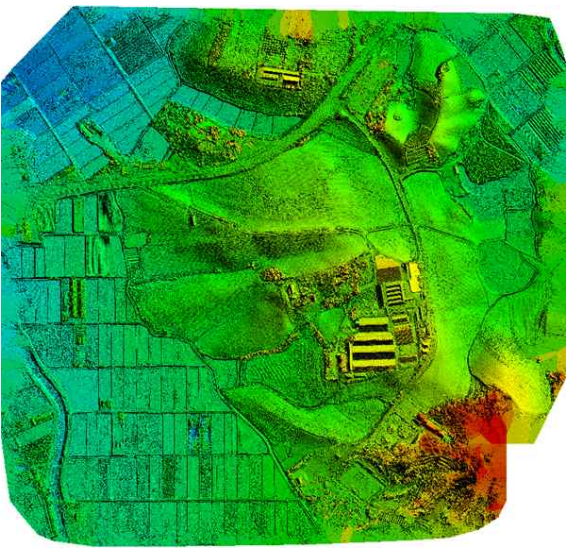

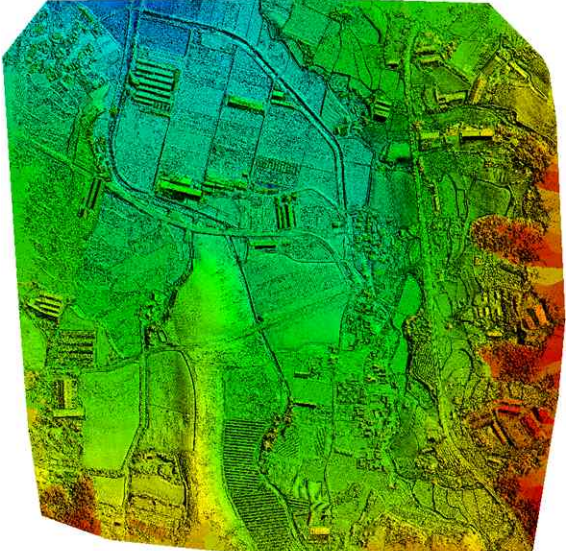
6월 22일 3차 촬영	
월정리	
정사영상	DSM
	
장계리	
정사영상	DSM
	

## 2. 2차년도


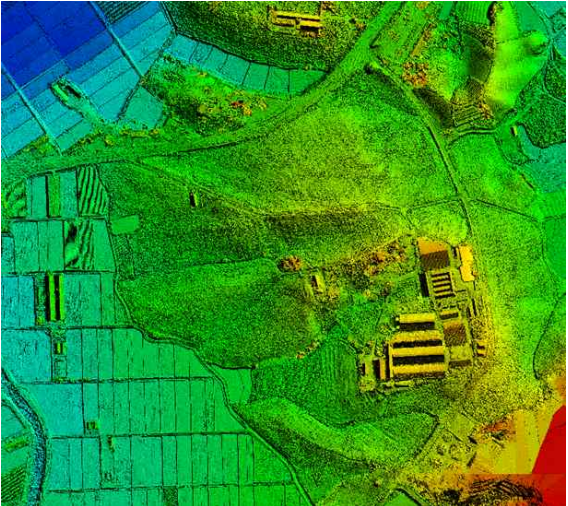

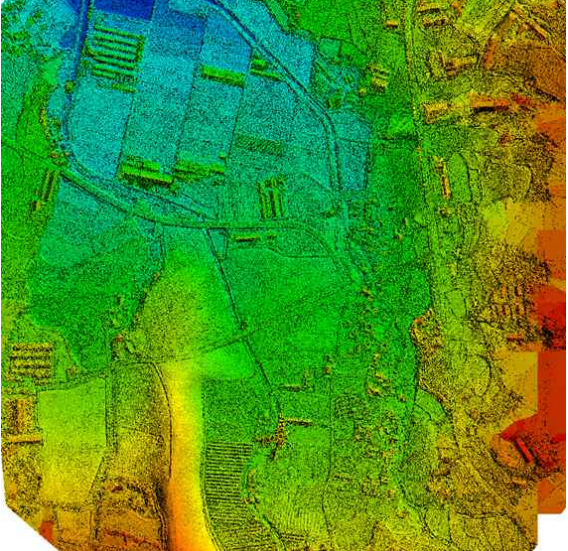
[표 4] 테스트베드 1차 촬영 결과

4월 24일 1차 촬영	
월정리	
정사영상	DSM
	
장계리	
정사영상	DSM
	

[표 5] 테스트베드 2차 촬영 결과


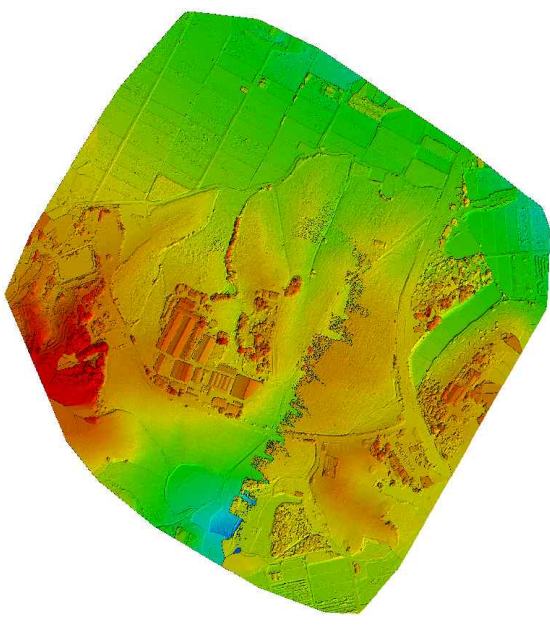
5월 12일 2차 촬영	
월정리	
정사영상	DSM
	
장계리	
정사영상	DSM
	

[표 6] 테스트베드 3차 촬영 결과

6월 22일 3차 촬영	
월정리	
정사영상	DSM
	
장계리	
정사영상	DSM
	

### 3. 3차년도

[표 7] 테스트베드 1차 촬영 결과

6월 5일 1차 촬영	
월정리	
정사영상	DSM
	

[표 8] 테스트베드 2차 촬영 결과

6월 20일 2차 촬영	
월정리	
정사영상	DSM
