

발 간 등 록 번 호

11-1543000-002935-01



위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 모델개발(I)

Development of an agricultural-drought monitoring model using satellite images(I)



농림축산식품부



한국농어촌공사

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 모델개발(I)” 과제의 2차년도 최종보고서로 제출합니다.

2019년 12월

주관연구기관명 : 농어촌연구원
연구책임자 : 김대의
연구원 : 최강원
 : 감문성
 : 이재주
 : 신안국
 : 신형진
 : 이재남
 : 박종환
 : 김재연

공동연구기관 : 한경대 산학협력단
연구책임자 : 김한중
연구원 : 남원호
 : 방나경
 : 전민기
 : 윤동현
 : 이희진
경상대 산학협력단
연구원 : 장민원
 : 김원균
 : 권혁중
 : 문용일

<요 약 >

연구과제명 : 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 모델 개발(I)

연구기간 : 2019 1월 ~ 2019년 12월

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

1.1.1 배경 및 필요성

- 기후변화 추세에 따라서 강수량의 변동성이 커지고 여름철 단기간에 집중되어 물 자원의 활용도가 저하되고 있으며 최근 30년 평균 강수량의 변동성은 커지고, 기온은 상승하는 추세에 있으며 연 평균 강수량은 평년 대비 큰 폭으로 변동(142%~64.9%)하고 있으며 기온은 평년보다 0.3℃ 높아지고 있음

* 평년(1981~2010) 강수량: 1,307.7mm/최대 강수량(2003) 1,861mm, 최소(1988) 849mm

* 최근 30년(1988~2017) 평균 기온 : 12.8℃/평년(1981~2010) 기온 : 12.5℃

- 국내에서도 기후변화에 따른 자연재해가 지속적으로 증가하고 있으며 1980년 대비 2010년대 기후 관련 재해발생이 2.7배 증가하였고 가뭄 발생 빈도는 86% 증가 하고 있음
- 2000년 이후 가뭄 발생 빈도가 잦아지면서 가뭄 모니터링의 중요성이 대두되고 있으며 최근 동아시아 권역과 미국에서는 가뭄대비 조기 경보체제를 위한 위성영상 기반 가뭄 모니터링 기술이 지속적으로 연구되어 상당히 발전되어 있으나, 국내에서는 아직 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링을 통한 가뭄 판단에 대한 기술은 아직 취약한 상태임
- 원격탐사 기술은 공간적으로 넓게 분포한 대상물에 대해 신속하고 정확한 관측과 해석이 가능하기 때문에 수자원의 추정 및 농업가뭄 문제 등 이수와 관련된 현상들에 대한 모니터링에 유용함

- 원격탐사 분야도 다목적실용위성, 차세대 중형위성, 수문관측 위성 등 고해상도 광학영상, 적외선영상, SAR 레이더 영상 등의 자료 생산이 가능함에 따라 인공위성의 영상을 해석하는 등 최신 기술을 농업가뭄 분야에 활용함으로써 기술력 확보와 공간적인 제한성을 극복 하는 등의 위성영상에 대한 지속적인 모니터링 필요성이 대두되고 있음
- 본 연구에서는 2018년 농업가뭄에 대한 시계열 위성영상 자료를 수집·분석하여 필터링, 분류 및 체계화 방안, 모니터링 방안 등에 관하여 대하여 기존 자료를 정리하였으며 2019년은 적정한 위성영상 및 최신 기술을 농업가뭄 분야에 활용함으로 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 알고리즘을 정립하고 공간적인 제한성을 극복하여 농업 가뭄지도 생성기술을 확보하는데 있음

1.1.2 연구목적

- 위성영상 기반 농업가뭄 자료 축척, 적용 방법 및 도입 방안에 대한 알고리즘을 정립하고 농업가뭄 모니터링을 위한 전처리 기술 확보 및 모듈 적용과 개발, 농업가뭄 지역에 대한 단계별 가뭄지도 생성 기술 확보, 그리고 농업가뭄의 공간적인 변화 추이를 파악 하는 등의 4차 산업혁명 시대를 맞아 위성영상 분석 등 최신 선진 기술을 농업가뭄 분야에 활용함으로써 공간적인 제한성을 극복하고 위성영상 기반 인프라 구축 및 선제적 농업가뭄을 위한 조기경보 시스템 등의 초석 마련에 본 연구의 목적이 있음
- * 글로벌 시대 대외 의존적 자료 활용 부문에서 벗어난 주도적 모니터링 인프라 및 분석력 확보 등을 위한 물관리 기술의 새로운 패러다임 마련

1.2 연구 내용 및 방법

- 2018년 위성영상 기반 농업가뭄 자료 체계 정립(관련 데이터 수집, 자료 정리 방안, 자료 체계 정립 등), 농업가뭄 모니터링 방안 등을 바탕으로 2019년에는 영상기반 농업가뭄 파라미터 추출, 농업가뭄 모니터링 적용, 농업가뭄 지도 생성 등의 알고리즘을 정립하고 적용하는 내용을 주 내용으로 하고 있음
- 위성영상 기반 농업가뭄 파라미터 추출
 - 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링을 위한 위성영상 마인드맵 상세 모식도 작성
 - 국내 적용 농업가뭄 모니터링을 위한 파라미터 추출 알고리즘 개발/적용
 - 농업가뭄 파라미터 추출 모듈 개발 및 적용성 검토 등 기준 정립
- 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 모델 개발
 - 농업가뭄 파악을 위한 위성 영상자료 체계화 모델 기술개발
 - 위성영상 시계열 자료의 농업가뭄 분석을 위한 자료체계화 모듈 개발
 - 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 모델 개발/적용
 - 위성영상 활용 국내 농업가뭄 모니터링을 위한 모듈 개발/적용
 - Test-bed 시험지구 운영(농촌진흥청 관측소 활용)
 - 공간-기반, 지상-기반의 융합을 위한 시험지구 운영
- 위성영상 기반 농업가뭄 지도 생성 기술 개발
 - 농업가뭄 지도 생성 기술 개발 및 가뭄지도 제작(version 1)
 - 위성영상 모니터링을 통한 국내 농업가뭄 파라미터 설정 및 농업가뭄지도 생성기술 개발(SPI6 가뭄지도와 비교 검토)

2. 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링

2.1 농업가뭄 모니터링

2.1.1 가뭄의 분류

- 가뭄은 강수현상과 물의 용도에 따라 현재 통용되고 있는 가뭄은 크게 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄, 사회경제학적 가뭄으로 구분됨

(가뭄의 분류)

분 류	내 용
기상학적 가뭄 (Meteorological Drought)	- 주어진 기간의 강수량이나 무강수 계속일수 등으로 정의되며 기상 현상의 영향을 직접적으로 표현하는 가뭄 (건조의 정도와 지속시간)
수문학적 가뭄 (Hydrological Drought)	- 물 공급에 초점을 맞추고 하천유량, 저수지, 지하수 등 가용 수자원의 양으로 정의한 가뭄 (강우부족에 따른 저수지의 수위는 수개월 후 발생)
농업적 가뭄 (Agricultural Drought)	- 농업에 영향을 주는 가뭄을 언급한 것으로 농작물 생육에 직접 관계되는 토양수분 부족으로 피해가 발생하는 가뭄 (기상학적 가뭄, 수문학적 가뭄과 연결되고 기상학적 가뭄과 농업적 가뭄의 발생 시기/심도/기간 등이 다르기 때문에 분야에 적합한 가뭄지수 필요)
사회경제학적 가뭄 (Socioeconomic Drought)	- 생활용수, 공업용수, 농업용수 수요와 공급의 부족으로 인한 생활 양식 변화, 공업용수 영향, 농업방식 변화 등의 요소가 포함되어 피해 발생(물의 수요와 공급을 기상학적/수문학적/농업적 가뭄의 요소와 관련하여 정의)

2.1.2 가뭄 관련 강우량 분석

- 최근(2012~2019년, 8개년) 가뭄 발생지역 32개소 대상으로 1990~2019년 30일~50일(순별) 연속 발생 강우량 중에서 최저 강우량을 분석하였으며, 또한 전국관측소(72개소)의 1981~2010년까지 30개년에 대한 월평균 강우량 및 빈도별 가뭄강우량을 분석하였음

- 결과는 30일 연속 최저 평균 강우량은 14.4mm로 전국관측소 3월의 30년 빈도 가뭄 강우량 15.5mm와 유사하고
- 40일 연속 최저 평균 강우량 22.9mm는 4월의 30빈도 가뭄 강우량 25.0mm과 비슷하고
- 50일 연속 최저 평균 강우량 32.2mm이고, 5월의 30년 빈도 가뭄 강우량은 41.0mm로 분석되었음
- 이러한 현상은 앞에서 살펴본 바와 같이 기후변화의 영향으로 연중 강수량의 변화 폭이 큰 영향으로 가뭄의 발생 빈도가 증가하고 있는 것으로 판단됨

(전국관측소 월별 가뭄 빈도별 강우량)

빈도별	3월	4월	5월	6월	7월	비고
평균	59.5	83.1	106.7	163.1	292.6	전국관측소 (1981~2010)
10년	32.4	47.3	66.2	109.4	215.2	
20년	21.6	33.0	50.1	88.0	184.3	
30년	15.5	25.0	41.0	75.9	166.9	
40년	11.2	19.4	34.7	67.8	154.9	
50년	8.0	15.1	29.9	61.2	145.6	
연속강우량	20일연속	30일연속	40일연속	50일연속	비 고	
최저강우량 (평균)	1.2	14.4	22.9	32.2	32개 가뭄발생지역 (1990~2019)	

2.1.3 농업가뭄 모니터링

- 일반적으로 농업적 가뭄은 기상학적 가뭄과는 다르게 농작물의 생육에 가장 핵심적인 영향인 토양수분의 결핍현상, 식생의 활력도 및 증발산량 등에 의해서 가뭄의 시기 및 정도가 결정되어야 하나 국내외의 가뭄 상황 모니터링시스템은 관측 지점기반으로 내삽기법(interpolation)을 이용하여 산정한 지도로써 실제적인 적용대상 지역의 지형, 작물 재배력, 기상 특성을 정확하게 고려한 결과는 아님.

- 또한 일정한 공간해상도를 가진 것이 아닌 시·군 범위의 해상도로 제공되고 있어 정확한 가뭄 모니터링을 실시하는데 큰 어려움이 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위하여 광범위한 지역을 관측할 수 있으며, 주기적으로 관측되고 동일한 정확도를 가진 농업적 가뭄 인자와 수문/기상학적 인자를 관측할 수 있다는 측면에서 위성영상을 이용한 가뭄 모니터링을 실시하는 것이 효율적이다. 원격탐사 기법 중 인공위성 관측기술은 접근이 어려운 지역의 조사 및 장기적이고 연속적인 공간적인 변화 관측 등에서 유용하게 사용될 수 있음.
- 그러므로 위성영상을 활용하는 농업가뭄에 대한 꾸준한 모니터링은 공간 기반의 정보와 지상 기반의 정보가 융합되어 지속적인 위성 모니터링이 가능하여 진다. 위성 모니터링 데이터가 축적되고 영상의 가용분석이 가능하다면 농업가뭄의 조기경보 체계 시스템 구축은 다양한 공간 및 시간 척도에 대하여 효율적으로 농업 가뭄 조기 대응하는 중요한 요소일 것임

3. 위성활용 기술 현황

3.1 위성산업 동향 및 환경 분석

- 인공위성 관련 환경을 살펴보면 과거 사후복구 중심의 수재해 관리 정책을 급변하는 수재해 양상에 효과적으로 대응하기 위하여 정보통신기술(ICT), 지리정보시스템(GIS), 인공위성 및 원격탐사(RS), 로봇, 인공지능(AI) 등 첨단 과학기술을 활용한 사전예방 중심의 연구개발이 활성화 되고 있음
- 이러한 물 관리 패러다임은 전 세계적 및 국가별 물관리 상황에 따른 시대적 이슈에 따라 변천되어 왔으며, 70년대는 수질중심, 80년대는 환경 중심, 1992년 리우 정상회담에서 기후변화 등 물 위기 극복을 위한 새로운 패러다임으로 변화하고 있고 있으며 물 관리 패러다임에서 안보 개념이 도입되어 전 세계적으로 물 관리의 중요성이 부각되고 있는 실정임

(물 관리 패러다임의 변화)

구분	1970년대	1980년대	1990년대	2000년대 이후
이슈	수 질	환 경	세계 물 위기 (World Water Crisis)	물 안보 (Water Security)
패러 다임	깨끗한 물 (Clean Water)	지속가능한 개발 (Sustainable Development)	통합물관리 (Integrated Water Resources Management)	
국제 회의	- 1972 스톡홀름회의 - 1974 부카레스트회의 - 1976 밴쿠버회의	- 1977 마르델플라타 회의 - 1987 Brudtland 보고서 - 1992 더블린 컨퍼런스 및 리우 지구정상회담	- 1996 WWC 설치 - 1997 1차 세계물포럼	- 2000 2차 세계물포럼 - 2001 본 컨퍼런스 - 2002 리우+10 회의 - 2003·2006·2009·2012 3~6차 세계물포럼

* 자료출처: 수자원 전용 위성 탑재체 기술 개발 추진을 위한 사전기획(KAIA, 2016)

3.2 국내·외 활용 현황

- 국내 위성센터의 목적은 위성 지상국 운영 및 실시간 모니터링과 기초 활용연구, 방재활동 등이 주목적이고 해외 위성센터의 목적은 위성활용 기술개발 및 활용 촉진, 기후변화 탐지, 위성 정보의 관리/처리/배포 등의 주목적인 것으로 나타남.

	항공우주연구원 국가위성정보활용지원센터	기상청 국가기상위성센터	해양과학기술원 해양위성센터	국립환경과학원 국가환경위성센터
설립 목적	지상국 운영 및 기초 활용 연구	기상위성 지상국 개발 및 운영	해양 환경 (준)실시간 모니터링	지구환경 실시간 모니터링 및 방재활동
기능/ 역할	위성 운영/관제, 수신/ 처리/배포, 영상지도 제작	위성 운영/관제, 수신/ 처리/배포, 기상예보분석	GOCI자료 운영, 수신/ 처리/배포, 해양 활용 연구	대기환경오염, 예/경보 감시, 방재활동 지원
수신 위성	KOMPSAT, STSAT, COMS 등	MTSAT-2, NOAA, MODIS, COMS 등	COMS, MODIS, NOAA, SEAWIFS 등	Sentinel, NOAA MODIS, GEO-CAPE 등
지역	대전시	충북 진천군	경기 안산시	인천시
운영	국가주도형	국가주도형	국가주도형	국가주도형
인력	4개 팀 약 80여명	3개 과, 1개 팀 약 90여명(정규직48)	3개 과 약 30여명(정규직10)	설립 추진 중
설립	2014(위성정보연구소' 07)	2009(2005~2008)	2008(2005~2010)	-

<국내 주요 위성센터 현황>

- 미국, 유럽, 일본 등의 선진국의 위성활용에 대한 시사점은 기후변화 대응과 수자원분야 활용을 위한 위성개발과 확대운영 중이며 그리고 위성을 활용하여 기후변화 대응을 위한 수문인자 즉 전 지구적 물 순환 수문요소(토양수분, 강우, 지하수, 유출, 지표수체, 증발 등)를 측정하고 있으며 현재 수문요소별 다양한 전용 위성을 개발/운영 중이다. 따라서 국내에서 수자원 전용 위성 및 다목적 위성을 지속적으로 개발/운영하여 기후변화에 대응을 위한 수문자료의 지속적 구축이 시급한 실정으로 판단됨

	 요소별로 다양한 수자원 위성 운영중	 기상, 토양수분, 수재해 모니터링 등에 위성 활용	 기상 및 수자원 위성 개발 확대 중
	 	 	 
	미국 	유럽 	일본 
목적	> 전 지구적 물 순환 수문요소 측정 (토양수분, 강우, 지하수, 유출, 지표수체, 증발 등)	> 유럽과 미계측 지역의 수자원 정보 확보 (기상중심) 토양수분, 강우, 지하수, 유출, 지표수체, 증발 등)	> 기후변화 대응을 위한 수문인자 관측 (기상중심) 강우, 수증기, 지표수체 등)
특징	> 수문요소별 다양한 전용위성 개발/운영 ★ 토양수분(SMAP), 지하수(GRACE), 지표수체(SWOT) 등	> 기상, 토양수분, 수재해 모니터링 위성운영 ★ 지표수체(Sentinel3), 기상(Sentinel1), 토양수분(SMOS) 등	> 태풍 등 시간관측 및 수자원위성 개발 확대 ★ 기상(GPM), 수자원(GCOM-W), 기후(GCOM-C)
현황	> 시공간적 위성자료 지속적 확보 > 관측자료기반 물수지 분석을 통해 전지구적 물 순환 과정 예측	> 준 실시간 수문순환 관측 위성 운용 > 유럽, 아프리카 재해관측을 위한 수자원 전용위성 운영	> 물 순환요소 관측용 독자적 위성 운용 > 미국과 공동개발 및 협력을 통한 재해관리 기술선도

<선진국 위성 활용 시사점>

3.3 위성 한계점 및 해결방안

- 첫째, 위성에 대한 근본적인 문제점이 있다. 위성을 활용한 원격탐사는 단순히 어떤 값의 공간적, 분광적, 시간적 정보를 제공하는 것으로써 필요한 모든 정보를 제공할 수 없음에도 불구하고 그 활용성이 너무 지나치게 높이 평가되고 있는 경향이 있음.
- 둘째, 위성 활용에서 발생하는 문제점으로 위성자료는 극단값을 평가하기가 어렵고 이상치에 매우 취약하다. 연구 결과를 도출하기 위해 활용한 지수에 따라 결과 값이 상이하게 바뀔 수

있기 때문에 결과를 도출하기에 앞서 위성 자료로부터 산정 할 수 있는 지표들에 대한 검증이 필요함.

- 셋째, 인공위성 운용에 따른 문제점이다. 위성 자료가 현장 자료와 일치하지 않을 수 있다. 왜냐하면 위성 자료의 분석, 해석 및 활용을 위한 방법의 개발에 있어서 위성을 운영하는 기관의 목적에 부합하는 방향으로 진행될 수밖에 없기 때문에 범용적인 접근방법을 통해 운영될 수밖에 없음.
- 넷째, 국내에서의 위성활용 한계점이다. 동일한 지역에 대한 각 위성별/산출 알고리즘별 자료의 정확도가 상이하므로 우리나라에의 적용을 위해서는 한반도 지역에 특화된 센서와 알고리즘 선별이 필요함.
- 해결 방안으로 첫째, 위성의 특성을 보완하기 위한 보정방법 개발이 필요함.
- 둘째, 위성 자료의 개선이 필요하다. 위성의 분광 해상도를 고려해 연구에 활용할 수 있는 객관적인 지표(지표) 추가 개발, 각 위성의 목적에 맞는 적정 공간해상도를 선정하기 위한 연구 확대 그리고, 생산된 위성자료가 특정 지역뿐만 아니라 범지구적으로 적용가능한 표준화 알고리즘 개발이 필요함.
- 셋째, 위성 운용의 문제점을 개선해야 한다. 다양한 공간해상도, 시간 해상도를 가진 위성들을 개발하여 양질의 위성자료를 확보 할 수 있어야함.

4. 위성영상 기반 농업가뭄 파라미터 추출

4.1 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링

- 농업가뭄은 강수의 부족으로 인한 토양수분의 감소 및 농업용 저수지의 저수량 저하로 농작물 생육 및 수확량에 직·간접적인 영향을 미치는 것으로 발생하며, 실제증발산량과 잠재 증발산량 간의 차이, 지하수위의 저하 등 또한 고려하여 평가함

- 우리나라의 경우 관측과 예측이 용이하지 않고 정량적으로 나타내기도 어려운 자연현상으로, 농업용수 이용량도 많고 이용형태도 다양하기 때문에 강수부족으로 농업가뭄이 발생한다고 해도 실제로 농업현장에서 느끼는 가뭄은 시·공간적으로 다를 수 있음
- 원격탐사 기술은 지역적 한계점을 보완하기 위하여 광범위한 지역을 관측하고, 주기적으로 동일한 정확도를 가진 데이터를 취득할 수 있어 농업가뭄 모니터링에 효율적이며, 농업가뭄 파라미터 추출과 지속적인 농업가뭄 모니터링을 실시하는 것이 중요함

4.2 기존방법과의 차이 및 위성영상 활용 필요성

- 지상관측자료를 기반으로 산정하는 기상학적 가뭄지수(SPI 포함)는 일반적으로 내삽기법을 통한 공간분포로 재산정하여 지도로 나타냄
- 우리나라의 경우, 현재 기상관측소는 산악 지형이 많은 지리적 특성과 관측소 지점 간 미세측 지역에 대하여 정확한 데이터 취득이 어렵고 해상도 측면에서 정확하지 않은 해상도를 갖는다는 한계점을 가지고 있음
- 위성영상을 활용할 경우 격자 기반으로 데이터를 취득할 수 있으며 실측값을 기반으로 미세측 지역에 대한 실제 가뭄 상황 반영이 가능함
- 또한, 장기적인 변화관측이나 환경감시 등에 유용하게 활용할 수 있으며, 재해 발생지역의 진행과 피해정도를 신속히 제공할 수 있음. 또한, 접근이 용이하지 못한 지역 및 광역적인 지역에 대하여 데이터 취득이 가능함



<위성영상 이용 지역(안성시) 가물 분포>

4.3 농업가물 모니터링 로드맵

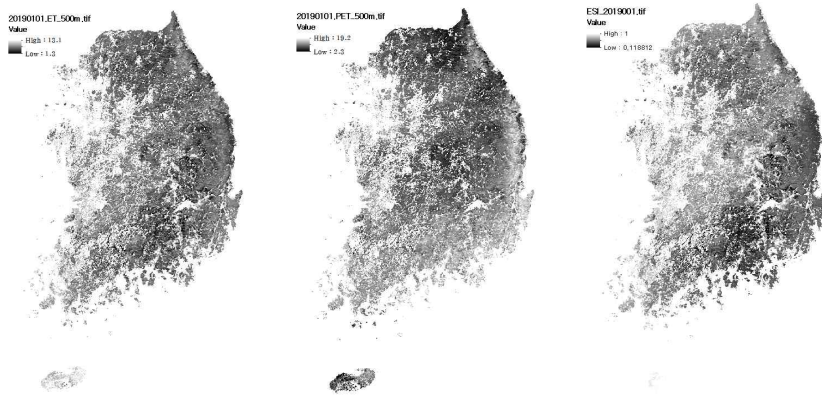
- 일반적인 가물의 가장 기본적인 이유는 강수의 부족으로, 농업가물의 경우 가물 발생의 주요 원인은 강수, 증발산량, 토양수분, 지하수 및 저수량, 식생 등이 있음
- 본 연구에서는 밭 중심의 농업가물요소로 토양수분, 증발산량, 강수량, 식생 네 가지를 설정하여, 이를 취득할 수 있는 위성영상의 종류 및 해상도와 주기 등을 조사하였고 위성영상 기반 농업가물 모니터링 및 가물지도 생성을 위한 로드맵을 작성 하였으며 MODIS 영상의 8일주기 500m 해상도 영상이 적정함



<위성영상 기반 농업가물 모니터링을 위한 로드맵>

4.4 농업가뭄 파라미터 추출 모듈개발

- 본 연구에서는 농업 분야에 영향을 미치는 토양수분, 증발산량, 강수량, 식생 네 가지를 농업가뭄요소로 설정하였으며, 농업가뭄요소를 통하여 농업가뭄을 판단할 수 있는 지표를 농업가뭄(밭 중심) 파라미터로 제시함
- 증발산량을 활용한 위성영상 기반 가뭄지수는 대표적으로 ESI(Evaporative Stress Index)가 있으며, 기상학적 가뭄지수와 비교하여 단기간 급속하게 발생하는 Flash drought에 대하여 민감하게 반응하는 연구 결과가 있음
- 가뭄의 특성상 장기간에 걸쳐 주기적인 데이터 취득이 중요하므로 시간 및 공간해상도에 있어서 준수한 데이터 취득이 가능한 MODIS 영상을 활용하여 농업가뭄 파라미터(ESI, 실제증발산량 및 잠재증발산량)를 선정함

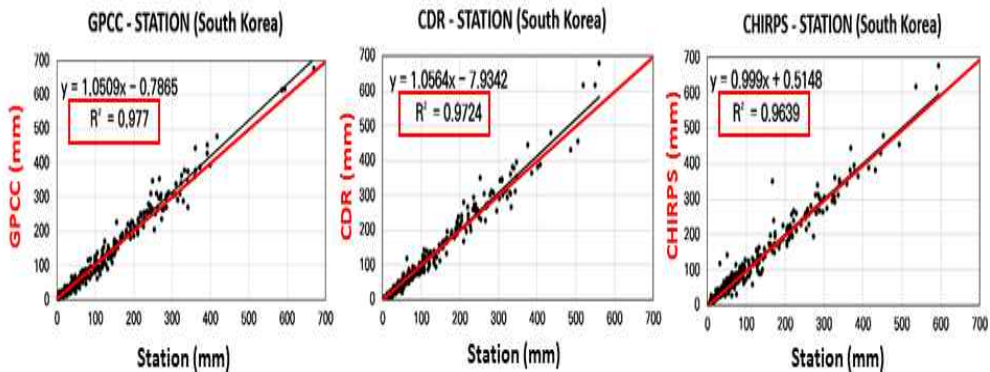


<위성영상 기반 전처리한 농업가뭄요소 및 농업가뭄 파라미터>

5. 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 모델 개발

5.1 위성영상 및 기상영상 자료 융합

- 여러 강우 위성영상 중 가장 높은 해상도를 가지고 있는 CHIRPS(Climat Hazards Group InfraRed Precipitation with Station) 영상을 활용하여 SPI를 산정할 수 있으며 지상 관측자료를 활용하여 산정한 SPI와 비교하여 적용성을 평가할 수 있음
- 강우 위성영상을 활용하여 취득한 강수량과 기상관측소의 강수량 자료와 상관성 분석을 통하여 정밀도가 높다는 것을 알 수 있었으며, 특히 CHIRPS 영상으로 산정한 SPI가 국내 적용성이 더 높다는 것을 확인함

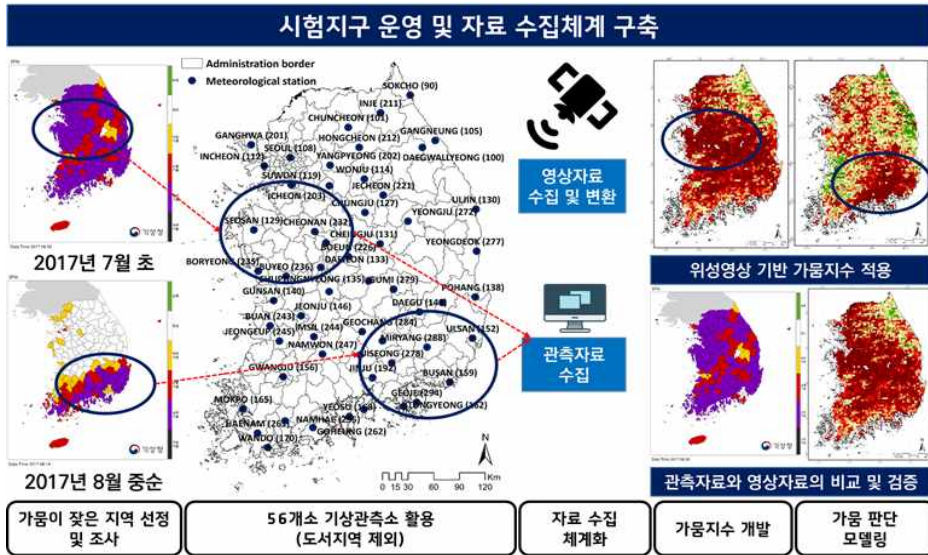


<강우 위성영상별 취득한 강수량 비교(vs. 국내 기상관측소)>

5.2 Test-bed 시험지구 운영

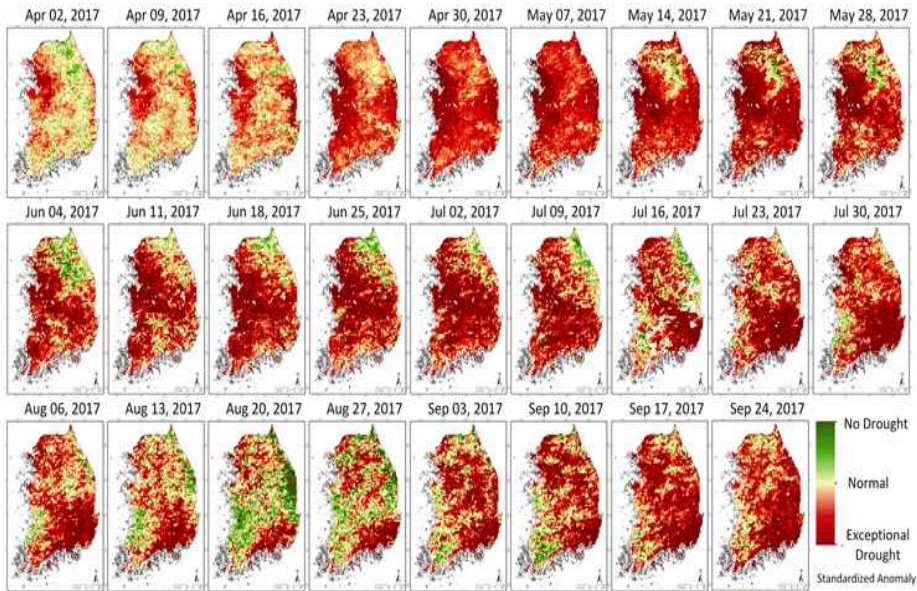
- 본 연구에서는 지상관측자료 수집을 위하여 국내 56개소의 기상관측소를 활용하였으며, 농촌진흥청에서 제공하는 토양수분 취득지점을 이용하여 기상관측과 토양수분 취득이 가능한 지점을 후보지로 선정함

- Test-bed를 선정하여 위성영상을 통해 취득한 데이터의 적합성을 평가하고 이를 이용한 가뭄지수 적용 및 모니터링 모듈 개발로 가뭄 경향을 확인하였음. 또한, Test-bed를 활용하여 다른 가뭄지수에 대한 비교 및 분석을 통해 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 모델의 적용성을 검토할 수 있을 것으로 판단됨



5.3 위성영상 활용 가뭄 분석 방안

- Evaporative Stress Index(ESI)는 증발산량을 활용한 위성영상 기반 가뭄지수이며, 가뭄 판단에 대하여 SPI와 비교하여 더 민감하고 적용성이 높다는 연구결과를 바탕으로 2017년의 국내 실제 가뭄사상과 비교하였음
- 위성영상은 격자 기반이기 때문에 시·군구 단위의 가뭄 경향 확인이 가능하며, 2017년 실제 4월부터 시작한 극심한 가뭄의 주요시기 및 발생지역과 공간분포가 유사한 것으로 판단됨



<2017년 ESI 적용 국내 공간분포>

5.4 농업가뭄 심도 분류

- Percentile은 가뭄 분석에 사용된 모든 매개 변수에 적용이 가능하며, 사용 가능한 모든 데이터를 활용할 수 있고 과거에 발생한 가뭄을 고려하여 지표를 사용할 수 있는 장점이 있음
- ESI를 Percentile 적용하여 수집 가능한 ESI 데이터의 모든 격자 값을 추출하고 NDMC(미국 국립가뭄경감센터)에서 활용하고 있는 USDM 기준 Percentile에 맞추어 Value를 산정하고 산정된 Value에 따라 가뭄 단계를 설정함
- 또한, 국내에서 표현하는 4단계의 가뭄에 맞추어 USDM 기준의 5단계의 가뭄을 4단계(관심, 주의, 경계, 심각)로 바꾸어 적용함



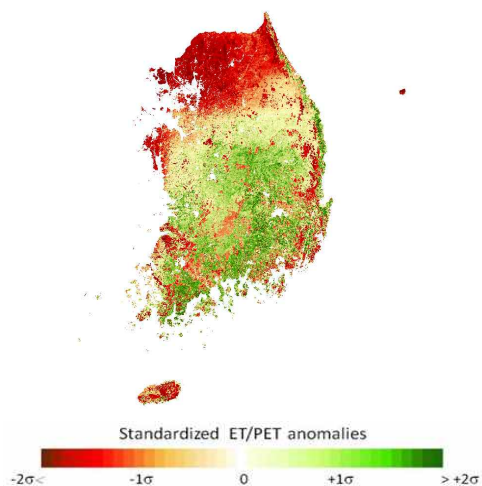
ESI의 percentile 적용

1. 수집 가능한 ESI 데이터의 모든 격자 값을 추출 (2001~2018)
2. USDA 기준 percentile에 맞추어 value 값 산정
3. percentile에 맞추어 적용된 value 값에 따라 가뭄 단계를 설정

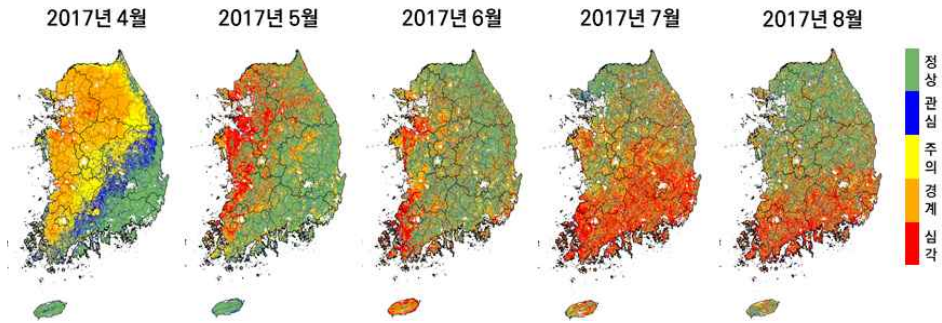
<Percentile 산정 모식도>

5.5 농업가뭄 지수 개발

- MOD16A2 데이터를 취득하여 전 처리 하였으며, 농업가뭄 요소(ET, PET)를 활용하여 농업가뭄 파라미터(ESI)를 산정하고 지수화 하는 작업을 거쳐 농업가뭄지수로서 적용성을 검토한 결과 적정성이 인정되었음



<농업가뭄 파라미터의 지수화(농업가뭄 지수)>



<농업가뭄 심도 분류를 통한 농업가뭄지수 적용 결과>

6. 위성영상 기반 농업가뭄 지도 개발

6.1 농업가뭄 공간정보 생성

- 농업가뭄 공간정보 생성을 위해 단계별로 인자들에 대하여 공간정보 생성 기법을 구현
 - ① 인자별 공간정보 생성 기법은 ESI 영상 생성 → ② ESI 영상 합성(4주간) → ③ 농업가뭄지수 생성 → ④ 농업가뭄지수 등급별 표출 → ⑤ 동일시기 영상 평균/표준편차 계산 → ⑥ 폴더단위 배치프로세싱의 순으로 생성 기법을 구현

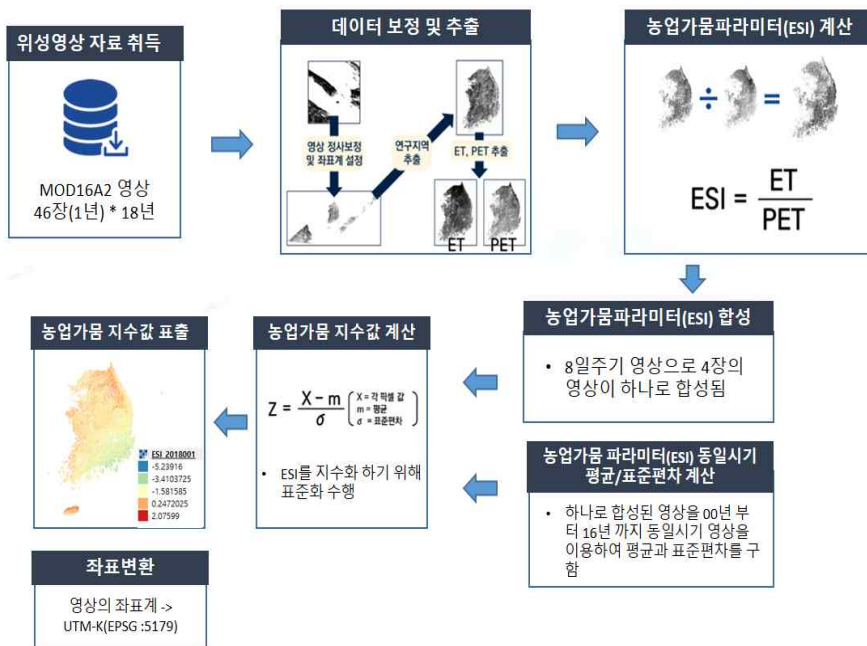
6.2 농업가뭄 지도 생성기술

- 영상 재배열 방법은 Nearest Neighbor, Bilinear Interpolation, Cubic Convolution 방법을 사용

(영상 재배열 기법의 장·단점)

보간 기법	장점	단점
Nearest neighbour	- 계산이 가장 빠르다. - 보정 전 영상자료와 통계적 특징이 보존된다.	- 출력 영상이 거칠다. - 사선으로 존재하는 대상물이 계단처럼 끊어져 보인다.
Bilinear interpolation method	- 계산이 비교적 빠르다. - 출력 영상이 매끈하다.	- 보정 전 자료와 통계치가 달라질 수 있다.
Cubic convolution	- 출력 영상이 가장 매끈하다.	- 보정 전 자료와 통계치 및 특성이 손상된다. - Smoothing 현상이 발생된다.

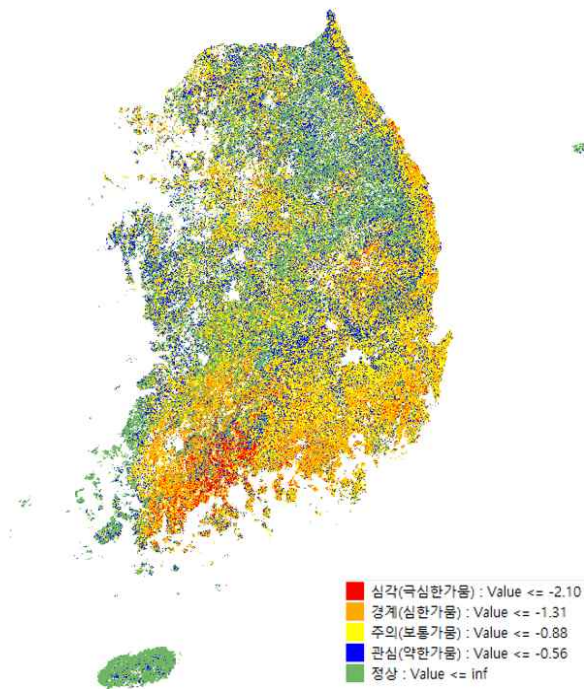
- 농업가뭄 지도를 생성하기 위해 본 연구에서 구현한 알고리즘은 농업가뭄 파라미터(ESI) 계산, ESI 합성 알고리즘, 평균·표준편차 계산, 농업가뭄 지수 값 계산, 좌표변환(UTM-K) 알고리즘으로 구성



<농업가뭄 지도 생성 알고리즘의 구성>

6.3 농업가뭄 지도제작

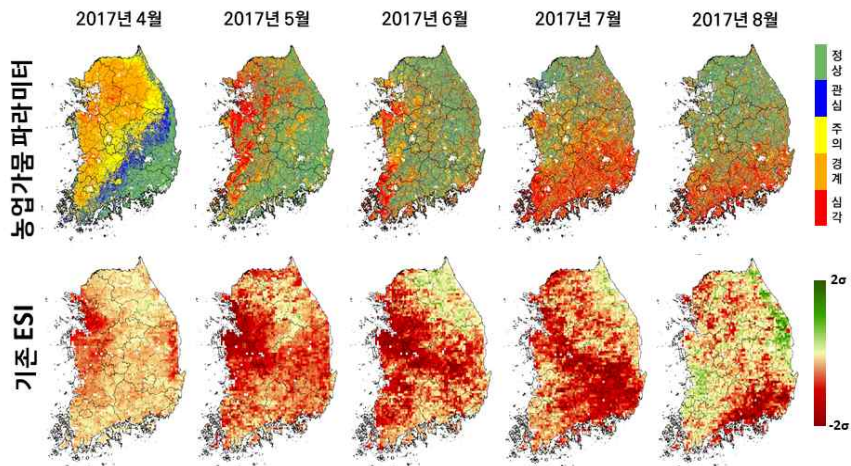
- 지도제작에서 시각화는 특정 주제에 대한 정보의 공간 패턴을 알아보기 위하여 다양한 그래픽 기호를 활용함. 현상을 지도로 표현하는 방법은 GIS 기초기능에 해당하며 많이 활용되고 있는 QGIS, GRASS 등 GIS S/W에서 시각화 기능을 제공
- 지도 표현을 위한 등급도는 지역 데이터를 표현하는 데 있어 가장 흔하게 사용되는 방법으로 지역 간 분포의 차이를 구별되는 색상이나 서로 다른 패턴으로 표현한 지도를 의미하며 본 연구에서 기술적 분류법 내의 단계적 구분법을 사용
 - 단계적 구분법은 표현되는 값의 범위가 결정된 상태에서 구분된 값에 따라서 지도상에 표현되는 색상을 달리하여 연구자나 일반인이 한눈에 수치가 좋고 나쁨을 확인할 수 있는 가장 좋은 분류 기법임



<본 연구의 농업가뭄지도 제작 결과>

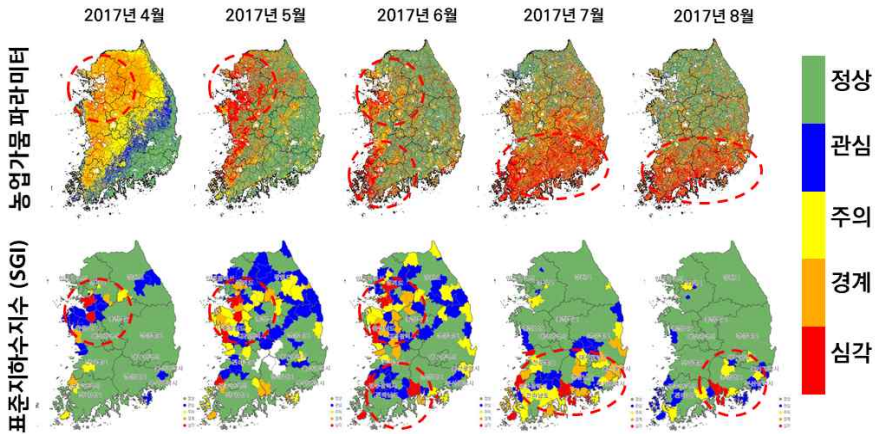
6.4 농업가뭄(발작물 중심) 지도 적용성 평가

- 본 연구에서 개발된 모듈의 정확도를 비교하기 위해 상업용 GIS 소프트웨어의 처리 결과와 결과 비교를 수행하였음
 - 농업가뭄지도 결과 통계 값과 동, 서, 남, 북 4개 위치의 농업가뭄 지수 값에 대하여 비교 검증을 수행하여 상호 결과 값을 비교 검증
 - 각 위치의 농업가뭄 지수 값을 비교한 결과 상업용 소프트웨어 처리 결과와 같은 지수 값을 확인할 수 있었으며, 전체 영상의 통계 값 또한 최대, 최소 범위가 같게 나타남
- 그리고 해상도 500m, 주기 8일의 농업가뭄 지도의 모니터링 적용성을 평가하기 위하여 국내 실제 가뭄과의 비교를 통해 검증하였으며, 검증 방법으로 기존 ESI, 표준지하수지수(SGI), 농업용저수지 저수율, 토지이용도, 토양유효수분율, SPI 등을 활용하여 생성한 농업가뭄지도와 비교하였음
 - 국내 실제 가뭄사상에 대하여 기존 ESI(NASA에서 적용한 방법)와의 지도 비교를 통하여 단순히 가뭄, 비가뭄으로 구분되는 지도가 아닌 명확하게 가뭄 단계가 드러나는 농업가뭄지도로 표현 가능



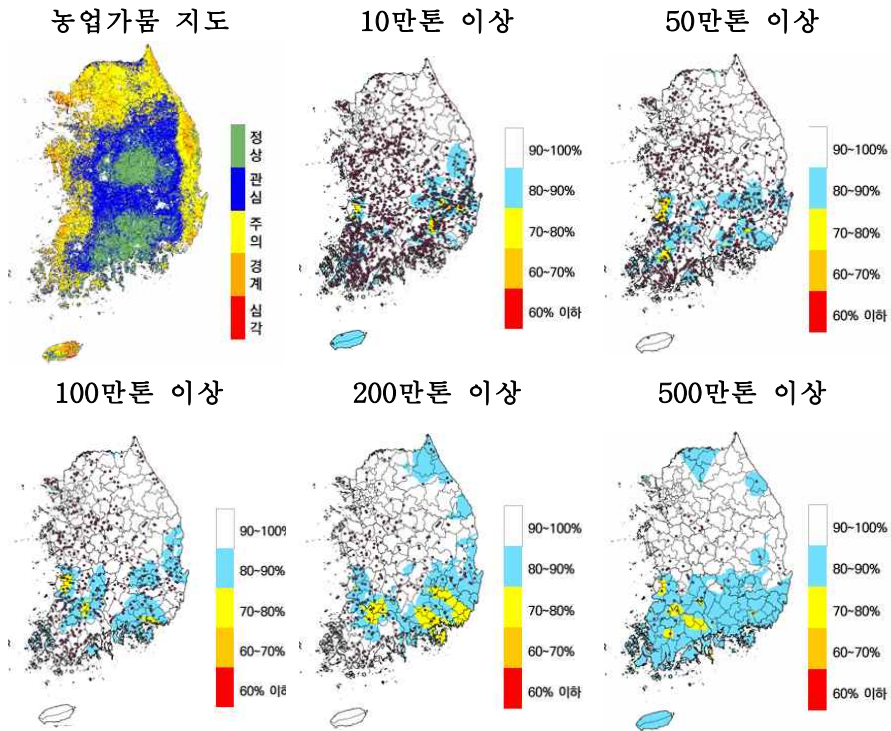
<농업가뭄 지수의 공간분포 비교(기존 ESI)>

- 지하수위를 활용한 가뭄지수 SGI와 비교를 통하여 가뭄 발생 및 가뭄 단계에 대하여 유사한 경향을 나타냈으며, 농업가뭄 지수의 경우 가뭄단계에 대하여 SGI보다 더 심화된 단계로 표현됨



<농업가뭄 파라미터의 공간분포 비교 (SGI)>

- 10만톤 이상의 저수지를 분석하여 일반적으로 관개기가 시작되는 2019년 4월을 기준으로 유효저수량별 저수율을 비교하였음. 경기, 충청, 강원, 경상북도 지역에 대하여 대부분 저수율 90%를 기록하였으며, 남부지방은 상대적으로 적은 70~80 %의 저수율이 나타남. 이는 가뭄의 형태가 발작물 중심의 가뭄지도와 수도작(저수율) 중심의 가뭄지도가 일치하지 않음을 알 수 있음



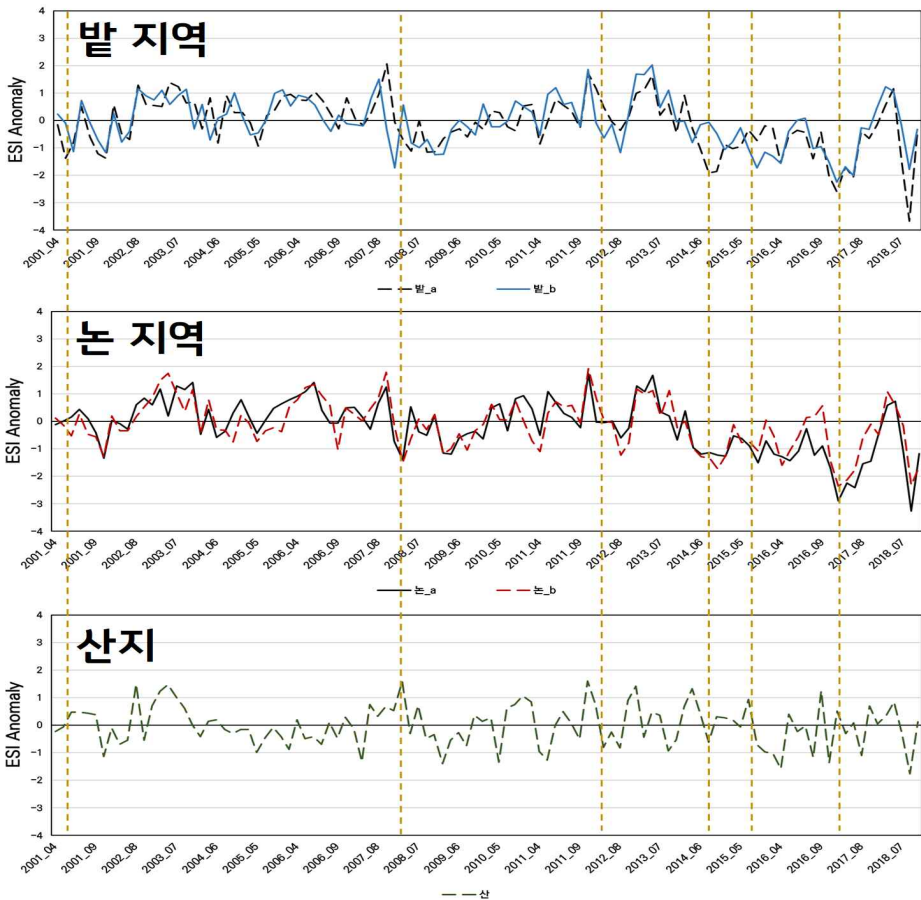
<농업가뭄 지도 저수율 지도와의 비교>

- 2017년 4월에서 2018년 8월까지의 토양유효수분율은 60% 이하 동일 시기의 농업가뭄 지수를 파악하여 추세를 비교하였으나 두 데이터의 상관성을 찾기 어려웠다. 위성영상의 농업가뭄 지수는 지표면(5cm)에 대한 값으로 지표하(60cm) 토양 유효수분과의 상관성에 대한 연구는 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단됨



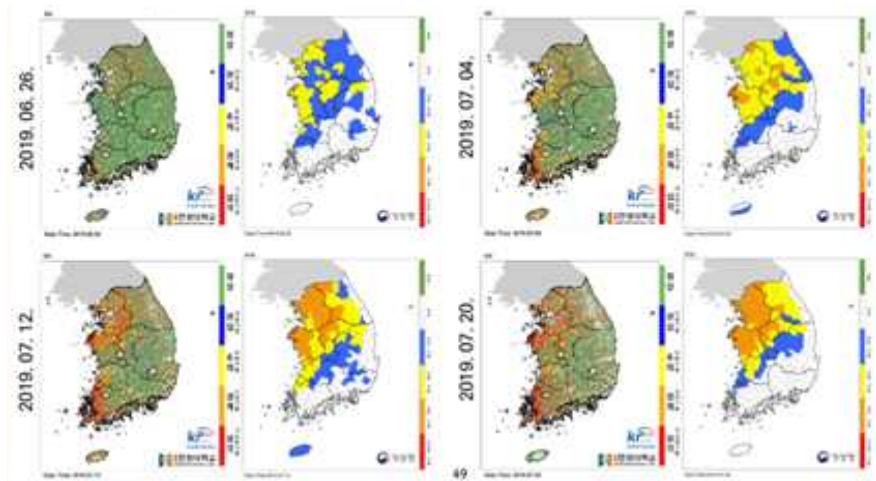
<농업가뭄 파라미터의 추세 비교 (토양유효수분율)>

- 2001년 4월~2018년 7월 사이의 대상지역의 토지피복도와 위성영상의 격자(농업 가뭄지수 값)를 비교한 결과 대지 지역은 제외(가뭄지수 값 범위에서)되고 논, 밭과 같은 작물재배 지역의 구분이 가능하였음. 그리고 대상 지역 내의 2지점의 밭, 2지점의 논, 산지 등에 대한 농업가뭄 지수의 적용성을 분석한 결과 밭지역에 대하여 농업가뭄 지수 Value가 -1 이하인 시기는 대부분 전국적으로 가뭄 발생시기와 일치하므로 밭 가뭄 모니터링에 대하여 적용성은 상당히 좋은 것으로 판단됨



<대상 지역에 대한 농업가뭄 지수 추출 결과>

- 2019년 6월26에서 7월20일까지 8일 주기의 농업가뭇지도와 기상학적 가뭇 추적 방법인 SPI6와 비교에서는 8일 주기의 가뭇 경향은 일치하고 있으나 지역적 정밀한 가뭇현황 및 가뭇 분포에 있어 농업가뭇지도가 정밀하고 가뭇의 분포에 대한 경향 파악에 있어 유리함을 알 수 있음



<농업가뭇지도와 SPI6 지도 비교>

6.5 향후 추진방향

- 단독 실행되는 Standalone 형태의 시스템 구축이 필요
 - 농업가뭇지도 생성에 필요한 요소 기술만을 취합하여 농업가뭇지도 생성에 특화된 별도의 단독 실행이 가능한 시스템 구축이 필요
- 가뭇지도 생성기능 이외에 공간정보 분석기능 추가 필요
 - 현재 구축된 시스템은 ET와 PET 데이터를 이용하여 ESI를 계산하고 합성 영상을 이용하여 단순히 표출된 정보만을 볼 수 있으나, 향후 공간정보 기능 추가 등을 통하여 가뭇 피해 범위, 피해 규모, 피해확산 등 과학적·정량적 정보제공을 위한 공간정보 기능 추가가 필요

- 논스톱(Non Stop), 원고(One-GO) 시스템 구축 필요
 - 연구자가 관심 지역을 설정하면 해당 지역 위성영상을 내려 받아 처리된 결과를 한 번에 볼 수 있도록 구현 필요
 - 위성영상 다운로드 → 영상 전처리 → 파라미터 계산 → 지표 값 표시가 연속적으로 처리되는 논스톱(Non-Stop) 과정과 한 번 클릭으로 처리 결과를 확인할 수 있는 원고(One-GO) 시스템 구축이 필요
- 저수율과 토양수분에 대한 농업가뭄 파라미터의 적용성 검증 필요

7. 위성영상 자료수집 체계 및 표준화

7.1 위성영상 시스템 구축

- 중·저해상도 위성영상은 다양한 위성영상수집 시스템을 통해 무료로 내려받아 연구 등에 활용이 가능
 - USGS EARTH EXPLORER, 코페르니쿠스 오픈 액세스 허브, INPE 이미지 카탈로그 등 미국, 유럽 및 남미에 대표적인 7개 위성영상수집 시스템이 존재
 - 우리나라 KOMPSAT-3 & 3A 영상은 위성활용협의체 구성에 가입하게 되면 무상으로 활용 수 있음
- 본 연구에서 영상수집 활용 시스템은 Landsat, Sentinel 및 MODIS로 구분하여 수집
 - Landsat, Sentinel 영상은 QGIS에서 Plug-in 시스템을 활용 직접 내려 받음
 - MODIS 위성영상자료 구축은 LAADS DAAC 사이트를 통해 내려 받음

7.2 위성영상 수집현황

- 연구 수행에 필요한 Landsat, Sentinel 및 MODIS 위성영상을 수집
 - 수집된 위성영상은 촬영 당시 구름양 및 적설 등의 상태를 고려하여 구름양과 적설이 10% 미만인 위성영상에 대해서만 수집
 - Landsat-7 영상은 28썩, Landsat-8 영상은 23썩, Sentinel-2 영상은 46썩 및 MODIS는 4주 합성영상 782썩 수집

7.3 영상좌표 및 포맷 표준화

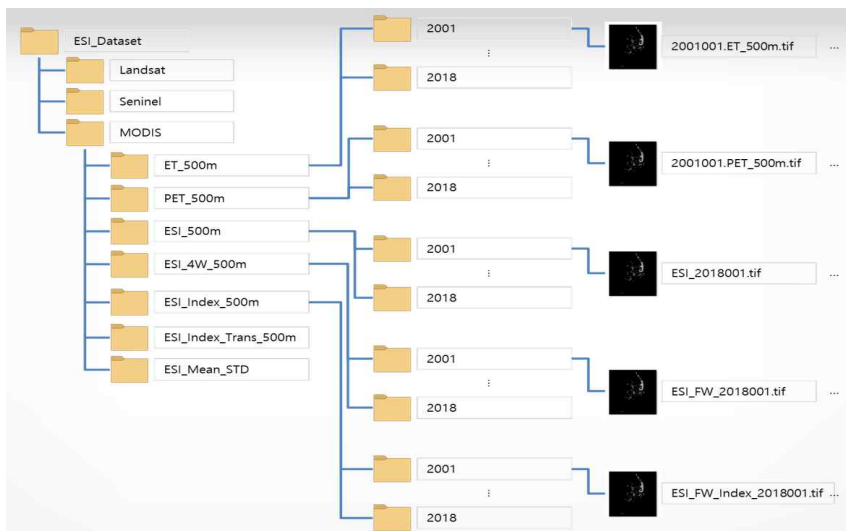
- 우리나라에서 지도 및 위성영상에서 사용되는 좌표계는 다양하여 좌표계에 대한 표준화가 필요
 - 우리나라 좌표계는 4개의 투영원점(동부, 중부, 서부, 동해 원점)을 기준으로 영상지도, 측량, 수치지도 및 국가기본도 제작 등 여러 분야에 사용되고 있음
 - 본 연구처럼 한반도 또는 남한 전체를 대상으로 할 때는 전국을 하나의 좌표계로 표현하는 단일 좌표계가 사용되어야 함
 - UTM-K는 우리나라를 하나의 좌표체계로 관리하기 위해 국토교통부에서 고시한 좌표계로 본 연구에 가장 적합한 영상좌표계로 UTM-K를 좌표계 표준화 대상으로 함
 - 위성영상 데이터 포맷은 영상 종류별로 여러 형태로 제공되므로 포맷 통일을 위하여 데이터 포맷에 대한 표준화를 선행함
 - 본 연구에서는 Geotiff 데이터 포맷을 표준화 대상으로 함
- Geotiff 포맷은 공간정보 산업 분야에서 가장 활발하게 사용되는 포맷이며, OGC(Open Geospatial Consortium) 표준 및 WCS(Web Coverage Service) 필수 사항에 가장 적합한 표준으로 본 연구에서 Geotiff 데이터 자료 포맷을 표준화 대상으로 함

7.4 메타데이터 표준화

- 위성영상 메타데이터 기본 설계를 위해서는 국가표준, 영상정보 특성 및 기타 표준 등을 참고 대상으로 함
 - 국가표준 : KS표준인 공간정보 관리용 메타데이터 표준을 기반으로 하되, 추후 유통을 대비하여 국가 GIS 유통 메타데이터의 표준 항목들은 모두 포함하도록 설계 필요
 - 영상정보 특성 : 정보공유, 유통 및 서비스를 목적으로 하므로, 영상정보 고유의 특성을 반영한 항목으로 구성
 - 기타 표준 : 국토지리정보원 등 기존 공간정보 관련 기관에서 제작한 메타데이터 표준을 참고 표준안 수립에 반영
- 본 연구에서는 메타데이터 기본 설계 항목을 참조하여 5개의 메타데이터 표준화 항목을 도출함
 - 메타데이터 개체 셋 정보, 기준계 정보, 식별정보, 배포정보, 데이터 품질정보

7.5 영상관리 체계

- 영상관리 체계를 위한 데이터 세트는 로컬 디스크 드라이브 최상위 폴더인 root에 위치하여 [ESI_Dataset]의 폴더명을 부여, 하위 폴더로는 수집한 영상을 구분하여 관리하도록 구성
 - MODIS 영상의 경우에는 각각의 데이터 처리 환경에 따라 폴더 구성을 다르게 함. [MODIS] 영상 폴더는 농업가뭄지도 생성 단계에 따라 7개 하위 폴더로 구성



<수집된 영상의 폴더별 관리 체계>

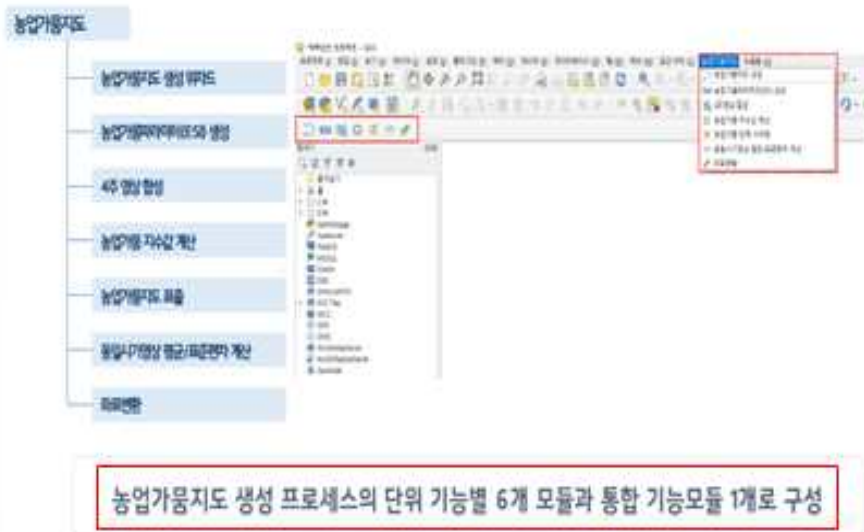
7.6 위성영상 표준화 모듈 개발

- 공개용 GIS 소프트웨어 활용은 OGC(Open Geospatial Consortium)와 ISO와 같은 국제 표준과 국내의 GIS 관련 표준들 제정·적용과 구현에 대한 필요성이 계속해서 제기
- 공개용 GIS 소프트웨어를 이용하여 시스템을 구축하면 저비용, 표준화 연계, 소스 코드 공개를 통하여 수정배포가 가능하다는 점, 다양한 응용 소프트웨어에 접근할 수 있다는 점, 기술적으로 상업용 소프트웨어의 안정성에 근접한다는 장점이 존재
- 공개 GIS 소프트웨어로 구현할 때 고려사항은 데이터 및 질의 표준과 좌표문제가 해결되어야 하며, 한글 호환성 문제가 해결되어야 한다는 고려사항이 존재
- 표준화 모델에 적용할 오픈소스 GIS는 시스템 구현시 고려할 요소를 참고하고, 여러 종류의 오픈소스 GIS 소프트웨어를 분석한 결과 QGIS로 선정

- QGIS는 현재 가장 활발하게 사용되고 있으며, 우리나라 좌표계 지원, 한글 지원 및 래스터 영상 처리 환경 지원 가능
- 또한, 소프트웨어 보급 정도, 개발 언어의 접근성, 개발 사례 및 plug-in 유용성 등을 종합적으로 분석하여 결정

7.7 표준화 모듈 적용

- 좌표변환 표준화 모듈은 전국 단일 좌표계 적용을 위한 UTM-K 좌표계 기준으로 표준화 모듈을 적용
 - 좌표변환은 파일 단위로 좌표변환과 폴더 내에 있는 전체 파일에 대하여 좌표변환을 수행할 수 있는 모듈로 구현
- 데이터 포맷 표준화 모듈은 가장 범용적이고 표준화 기반에 적합한 Geotiff 영상 포맷을 기준으로 표준화 모듈을 적용
 - 처리된 MODIS 영상의 결과값들은 Geotiff 형태로 일괄 저장 되도록 구현

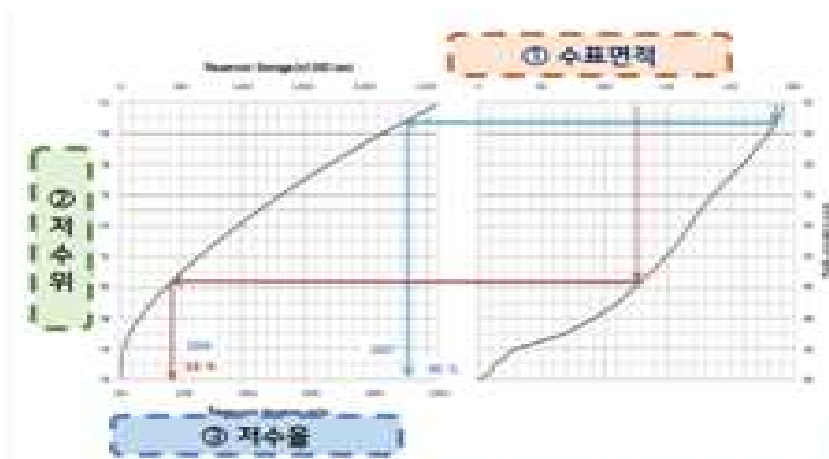


<농업가뭇지도 생성 기능별 모듈>

8. 위성영상 기반 가용수량 분석 방안

8.1 기본원리

- 저수지 수위-수표면적-내용적 조건표를 이용하여 광학 위성영상에서 분류된 수표면적에 해당하는 저수율을 추적함으로써 가용지표수 결정
 - 녹색광 (Green)과 근적외선 (NIR, near infrared) 밴드를 이용하는 정규수분지수 NDWI (Normalized Difference Wetness/Water Index)를 작성해서 수표면 추출



<수표면적-저수율 산정 관계>

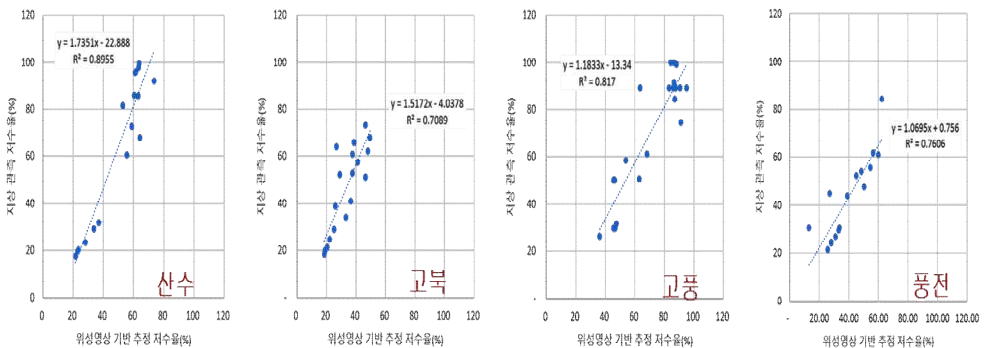
8.2 시험저수지 선정과 자료수집

- 충청남도 태안군과 서산시에 위치한 한국농어촌공사 관할 저수지로서 수위-수표면적-내용적 조건표와 과거 저수율 자료가 있는 28개 저수지를 시험 대상으로 선정
- 시험 저수지에 대한 과거 일저수율(2016~2018년)과 수위-수표면적-내용적 조건표를 수집하고, 각 저수지의 만수면적 경계(polygon) 수치지도를 제작함

- 최대 공간해상도가 10m인 Sentinel-2 위성영상을 2016년 부터 2018년까지 총 27씬(scene)을 수집하고, 레이어 stacking (band 03, band 08)과 좌표계 통일 등 전처리 작업 수행함

8.3 위성영상 활용 저수량 추정

- 전처리가 끝난 Sentinel-2의 Green 레이어(band 03)와 NIR 레이어(band 08)로부터 각 영상의 NDWI 이미지를 생성하고, $NDWI \geq 0.0$ 인 픽셀을 수체로 분류함
- 저수지별로 만수면적 경계 내 수체로 분류된 픽셀의 면적합을 수위-수표면적-내용적 조건표에서 해당 일의 저수율로 변환하고, 지상 계측 자료와 비교함
 - 위성기반과 지상계측 저수율 사이에 결정계수가 0.9에 달하는 저수지도 있었지만, 시험 저수지 대부분은 매우 낮은 상관성을 보였음
 - 구름, 그림자, 박무/연무, 수풀, 수위-내용적 관계의 불확실성 등의 영향이 큰 것으로 추정됨



<위성영상분석 결과와 실제 저수율과의 상관관계>



<저수지 표면의 불확성 관련 자료>

8.4 위성영상 활용의 한계와 향후 추진방향

- 광학 위성영상을 저수량 추정에 이용하는데 있어서 구름, 박무/연무, 결빙/눈, 수풀, 부유물 등이 수표면적 분류의 장애 요인으로 파악하였고, 내용적의 형상이나 불확실한 수위-수표면적-내용적 관계가 저수율 결정에 주효하고 극복해야 하는 과제임을 밝힘
- 위성영상 기반의 가용지표수 분석 기술의 고도화와 실용화를 위해서는 유사한 분광정밀도를 갖는 광학위성을 혼용하고, Radar, Lidar, Altimetry 등 다양한 센서와 융합하는 등 소규모 저수지에서의 수표면적 변화를 모니터링 할 수 있는 영상수집 및 분석 기술의 개발이 요구됨
- 저수지의 내용적 변화를 반영할 수 있도록 기존 수위-수표면적-내용적 관계를 검토하고 최신화 하는 과정과 자료 활용 기반 구축이 추진되어야 함

9. 결론

9.1 결론(2차년도)

- 2000년 이후 가뭄 발생 빈도가 잦아지면서 가뭄 모니터링의 중요성이 대두되고 있으며 최근 동아시아 권역과 미국에서는 가뭄대비 조기 경보체제를 위한 위성영상 기반 가뭄 모니터링 기술이 지속적으로 연구되고 있으며 상당히 발전되어 있으나, 국내에서는 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링을 통한 가뭄 판단에 대한 국내 기술은 아직 취약한 상태임
- 최근(2012~2019년, 8개년) 가뭄 발생지역 32개소 대상으로 1991~2019년 기간의 30일~50일(순별) 연속 발생 강우량을 분석하였다. 또한 전국관측소(72개소)의 1981~2010년까지 30개년에 대한 월평균 강우량 및 빈도별 가뭄강우량을 분석한 결과 가뭄발생지역의 30일 연속 최저 강우량의 평균은 14.4mm로 전국관측소 3월의 30년 빈도 가뭄 강우량 15.5mm와 유사하고, 40일 연속 최저 강우량의 평균은 22.9mm는 4월의 30빈도 가뭄 강우량 25.0mm과 비슷하고 50일 연속 최저 강우량의 평균은 32.2mm이고, 5월의 30년 빈도 가뭄 강우량 41.0mm로 분석되었다.
- 농업가뭄을 판단하는 것에 있어서 중요한 인자를 설정하고 이를 농업가뭄 파라미터로 정의하였다. 농업가뭄 파라미터(실제증발산량, 잠재증발산량)를 활용하여 위성영상 기반 ESI의 가뭄지수를 산정 하였다. 해당 영상의 8일간 주기 및 해상도 500m의 MODIS 영상을 수집 및 농업가뭄 파라미터(ET, PET)를 추출하고 영상을 합성하여 8일 주기의 각 격자 값을 이용 평균, 표준표차를 추출하여 수집된 과거영상 기반의 농업가뭄 지수를 산정하는 방법을 개발하였다.
- 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링을 위하여 기상영상의 활용, 지상관측자료와 영상의 융합에 대하여 살펴보았으며, 농업가뭄요소를 통하여 산정한 농업가뭄 파라미터의 모니터링 모델 개발 과정 및 모듈을 개발하였다. 또한, 농업가뭄 파라미터의 지수화를 통하여 농업가뭄지수를

산정하고 농업가뭄지수의 가뭄 심도별 분류를 Percentile을 이용하여 분류한 후, 국내 기준에 맞추어 4 단계의 가뭄 단계로 제시하였다.

- 농업가뭄 공간정보 생성을 위해 단계별로 인자들에 대하여 공간정보 생성 기법을 구현하고, 위성영상 재배열을 위해 nearest Neighbor, Bilinear Interpolation, Cubic Convolution 방법을 구현하였다. 농업가뭄지도 생성 알고리즘은 농업가뭄 파라미터(ESI) 계산, ESI 합성 알고리즘, 농업가뭄 지수화, 평균·표준편차 계산 알고리즘으로 구성하였으며, 구현된 알고리즘은 상업용 소프트웨어와 비교 검증을 수행하였다. 현 시스템의 발전을 위해서는 단독 실행되는 시스템으로의 개발, 추가적인 공간정보 분석기능 및 논스톱(non-stop), 원고(one-go) 형태로 추가적인 시스템 개발이 필요하다. 또한, 기존 ESI, SGI, 저수율, 토지이용도, 토양유효 수분을 등을 이용하여 농업가뭄 지수의 비교 및 적용성 검증을 하였으며, 향후 소규모 지역에 대하여 세분화한 검증을 통하여 높은 신뢰성을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.
- 농업가뭄 모니터링 및 지도제작을 위해 다양한 위성영상을 수집하였다. 수집된 위성영상들의 표준화를 위해 UTM-K로의 좌표계 표준화, Geotiff 형태의 데이터 포맷 표준화, 영상정보 관리를 위한 메타데이터 표준화 항목을 도출하였다. 위성영상 표준화 모듈을 위해 다양한 오픈소스 GIS 소프트웨어를 분석하여 활용성, 호환성 범용성 면에서 가장 광범위하게 사용되고 있는 QGIS 기반의 표준화 모듈 및 농업가뭄 지도 생성을 위한 알고리즘에 따른 각 모듈을 개발하였다.
- Test-bed 시험지구인 충청남도 서산시 일대를 기준으로 한국농어촌공사 관할 28개 지점의 저수지를 대상으로 Sentinel-2 영상을 활용하여 전처리 후 NDWI를 산정하여 저수량을 추정하고 이를 수위-수표면적-내용적 조건표 자료를 이용하여 저수율로 변환 후 지상계측 자료와 비교하였다. 위성영상을 활용하여 저수량을 추정하는 것은 장애요인이 많기 때문에 영상 분석 기술의 개발 또는 수위-수표면적-내용적 관계에 대한 최적 자료 구축 및 자료 활용을 위한 지속적인 기반이 이루어져야 한다고 판단된다.

9.2 기대효과

농업가뭄에 대한 시계열 위성영상 자료를 수집·분석하여 농업가뭄 파라미터 추출, 농업가뭄지수 산정과 위성 영상의 분류 및 체계화 방안을 통한 영상자료의 DB화와 표준화된 정보체계에 대한 기술을 개발하고 위성영상 기반 농업가뭄 적용방법 및 도입 방안에 대한 알고리즘을 정립하는 등 4차 산업혁명 시대를 맞아 위성영상 등 최신 기술을 농업가뭄 분야에 활용함으로써 기술력 확보와 공간적인 제한성을 극복하는 농업가뭄지도 생성기술을 개발함으로써 위성영상 기반 선제적 농업가뭄 탐지·평가를 위한 기술 개발을 실용화하기 위한 기회가 될 것이다. 이에 대한 기대효과를 정리하면 다음과 같다.

- 경제적 측면
 - 농업가뭄 관리정책의 사전예방 중심으로 방향 전환에 따른 대책 비용 절감
 - 미래 농업/농촌 물산업 핵심 아이টে็ม으로 해외 시장 경쟁력 확보
- 사회문화적 측면
 - 4차 산업혁명과 더불어 최신기술의 농업부문 적용을 통한 사회적 이미지 향상
 - 농업부문의 농업가뭄 예측/평가 기술에 대한 국민신뢰도 향상 및 사회화 기업 이미지 제고
- 기술적 측면
 - 위성영상 기반 농업가뭄 관련 자료수집/분류/체계화 정립 및 DB구축 등 해당 분석 모듈 개발
 - 위성영상 활용 국내 농업가뭄 모니터링 모델 정립 등으로 조기경보(예측) 기술 발전
 - 지역별 정밀한 농업가뭄 심화 정도 및 공간적인 변화 예측 등 모니터링 기술과 타 분야 활용성 기대

Summary

1. **Title** : Study on development of agricultural-drought monitoring model using satellite images
2. **Research Period** : January, 2019 ~ December, 2019
3. **Background & purpose of study**

3.1 Background and Necessity

The fluctuation of precipitation increases with the trend of climate change, and the utilization rate of water resources is declining due to concentration during the summer short term. The variability in average precipitation over the last 30 years has increased and the temperature has risen. The average annual precipitation has fluctuated significantly (142% to 64.9%) compared to normal, and the temperature is 0.3 ° C higher than normal.

- Natural disasters associated with climate change continue to increase in Korea. Compared with 1980, the occurrence of disasters due to climate in the 2010s has increased 2.7 times, and the frequency of droughts has increased by 86%.
- Since 2000, the frequency of drought has increased and the importance of drought monitoring has emerged. Recently, drought monitoring technology based on satellite images for drought ratio early warning system has been continuously researched and developed in East Asia and the United States. However, drought monitoring technology based on satellite images is still vulnerable in Korea.

- Remote sensing technology enables rapid and accurate observation and analysis of spatially distributed objects. Therefore, we will monitor phenomena related to water resource estimation and agricultural drought problems.
- In the field of remote sensing, it will be possible to produce materials such as high-resolution optical images, infrared images, and SAR radar images from multipurpose utility satellites, next-generation medium-sized satellites, and sluce observation satellites. Therefore, the need for continuous monitoring of satellite images has emerged by utilizing the latest technology for analyzing satellite images in the field of agricultural drought to ensure technological capabilities and overcome space constraints.ing.
- Analyze and organize time series satellite image data of agricultural drought studied in 2018. In 2019, appropriate satellite images and the latest technology will be utilized in the field of agricultural drought. And the agricultural drought monitoring algorithm using satellite image is established. As a result, it tries to secure the technology to derive the agricultural drought map by overcoming spatial constraints.

3.2 Research purpose

Establish an algorithm for storing and applying agricultural drought data based on satellite imagery and applying

Secure pre-processing technology for agricultural drought monitoring, apply and develop modules. To secure the technology to create a step drought map in the agricultural drought area, and develop the latest advanced technology such as satellite image analysis, which is the same as

grasping the spatial change of agricultural drought. The purpose of this research is to overcome the spatial limitations of using this technology in the field of agricultural drought, to build an infrastructure based on satellite images, and to create a foundation for an early warning system for agricultural drought.

4. Research content and method

4.1 Research content and method

- Based on 2018 drought data system establishment based on satellite imagery, agricultural drought monitoring plan, etc. In 2019, algorithms such as video-based agricultural drought parameter extraction, agricultural drought monitoring application, and agricultural drought mapping will be established, and the main contents will be applied.
- Extraction of agricultural drought parameters based on satellite images
 - Create detailed schematic diagrams based on satellite images to observe agricultural drought.
 - Parameter extraction and algorithm development / application to apply agricultural drought monitoring domestically
- Study on development of agricultural-drought monitoring model using satellite images
 - Study on development of agricultural-drought monitoring model using satellite images
 - Development / application of a module for domestic agricultural drought monitoring using satellite images

- Test-bed management (using the Rural Development Agency Observatory)
- Developed technology to create agricultural drought maps using satellite images
 - Development of technology capable of creating agricultural drought maps and drought map creation(version 1)
 - Development of technology capable of setting agricultural drought parameters and deriving agricultural drought maps through satellite image monitoring (comparison with SPI6 drought maps)
- Collection and standardization of satellite image data
 - Standardization of satellite image coordinates and format
 - Development of each module for agricultural drought mapping
 - Build a system using published gis software
- Analysis method of available quantity based on satellite image
 - Using the reservoir table, the surface area is classified by the satellite image.

4.2 Expected effect

- Economic aspects
 - Reduce the cost of follow-up measures by changing the policy to manage agricultural droughts to prevent in advance.

- Secured competitiveness in overseas market as a core item of future agriculture / rural water industry.
- Social and cultural aspects
 - Apply the latest technology of the 4th industrial revolution in various ways in agriculture and improve the social image.
 - Improve public confidence in technologies to predict or assess agricultural drought and improve the image of socialized enterprises.
- Technical aspects
 - An analysis module that collects / classifies / systematizes data on agricultural drought based on satellite images and constructs a database is developed.
 - Establish a domestic agricultural drought monitoring model using satellite images and develop early warning (prediction) technology.
 - Expectation of monitoring technology that can predict the degree of regional precise agricultural drought and changes in space and the utility of other fields

5. research result

- Since 2000, the frequency of drought has increased, and the importance of drought monitoring has emerged. Recently, in East Asia and the United States, satellite image-based drought monitoring technology that alerts early is being researched and developed considerably so that it can be prepared for drought. However, agricultural drought monitoring technology based on satellite images is still vulnerable in Korea.

- Rainfall was analyzed in 32 regions where recent droughts occurred (2012-2019). And we analyzed the average rainfall and frequency drought rainfall over 30 years (1981-2010) at national stations (72). As a result, the average 30-day minimum rainfall in the drought-affected area was 14.4 mm, which was similar to the national observation station, 15.5 mm, the 30-year drought rainfall in March. And the average of 40 days of continuous minimum rainfall is 22.9 mm, which is similar to 25.0 mm, which is a drought rainfall of 30 years in April. The average of 50 days of continuous minimum rainfall was 32.2 mm, and the 30-year drought rainfall in May was analyzed at 41.0 mm.
- An important factor in judging agricultural drought was set and defined by agricultural drought parameters. The drought index of ESI based on satellite images was calculated using the agricultural drought parameters (actual Junbar Sanliang, potential Junbar Sanliang). The resolution is 500m, and MODIS images with a period of 8 days are collected to extract agricultural drought parameters (ET, PET). Then, the average and standard deviation are extracted by combining the images and using each grid value of the 8-day cycle. We have also developed a method of calculating agricultural drought index by collecting past images.
- We investigated the use of meteorological images for agricultural drought monitoring based on satellite images and the fusion of ground observation data and images. We also developed an agricultural drought monitoring model and module calculated through the agricultural drought element. In addition, the agricultural drought index was calculated through indexing the

agricultural drought parameters, and the classification by drought depth was classified using Percentile, and then presented in four drought stages according to domestic standards.

- In order to generate spatial information on agricultural drought, the technology to generate spatial information about arguments step by step was implemented, and the nearest neighbor, bilinear interpolation, and cubic convolution methods were implemented to rearrange satellite images. The algorithm to generate agricultural drought map, agricultural drought parameter (ESI) calculation, consisted of ESI synthesis algorithm, agricultural gumm indexing, average drought standard deviation calculation algorithm. The implemented algorithm was verified against commercial software. In order to develop the prefecture system, it is necessary to develop additional systems in the form of non-stop and one-go manuscripts such as independent system development and spatial information analysis function. The applicability of existing ESI, SGI, Josyuru, and land use was verified by comparing the index of agricultural drought using the effective moisture content of the soil. In the future, high reliability can be obtained through verification of small-scale areas.
- Various satellite images were collected to monitor agricultural droughts and produce maps. In order to standardize the collected satellite images, standardization of the coordinate system to UTM-K, standardization of Geotiff data format, standardization items of metadata for video information management were derived. A standardized module based on QGIS and an algorithm module that can produce agricultural drought maps were developed.

- NDWI was calculated using Sentinel-2 video for 28 reservoirs under the jurisdiction of the Korea Rural Corporation, based on the test-bed area of Seosan City, Chungcheongnam-do. As a result, the amount of stored water was estimated and converted to the amount of stored water using water level-surface area-content relations data, and then compared with measured data. There are many obstacles in estimating the amount of stored water using satellite images. So you have to develop image analysis technology, use best material about water level- surface area- content relations.

< 목 차 >

제1장 서론	1
제1절 연구배경 및 목적	1
제2절 연구 내용	3
제3절 연구방법	4
제4절 기대효과 및 실용화방안	19
제2장 농업가뭄	21
제1절 기후변화 영향	21
제2절 가뭄 정의 및 예·경보 기준	25
제3절 가뭄의 분류	28
제4절 가뭄지수	30
제5절 논과 밭 가뭄	42
제6절 가뭄관련 강우량 분석	45
제7절 위성기반 농업가뭄 모니터링	49
제3장 위성영상 기술활용	53
제1절 위성산업 동향 및 환경 분석	53
1. 위성산업 동향	54
2. 내·외 환경 분석	57
제2절 국내·외 활용 현황	60
제3절 목적 및 궤도에 따른 위성 종류	65
1. 목적에 따른 위성 종류	65
2. 궤도에 따른 위성의 종류	67
제4절 위성활용 한계점 및 해결방안	70
1. 활용 한계점	70
2. 해결방안	73
제5절 Remote Sensing 관련 학술대회 및 업무협정	76
1. 2019 ISRS 국제 학술대회	76
2. NDMC & RRI 업무협정	81

제4장 위성영상 기반 농업가뭄 파라미터 추출	85
제1절 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링	85
1. 농업가뭄 모니터링	85
2. 기존(SPI) 방법과의 차이점	102
3. 농업가뭄을 위한 위성영상 활용 필요성	111
제2절 농업가뭄 모니터링을 위한 위성영상 마인드맵	115
제3절 농업가뭄 파라미터 추출 모듈개발	119
1. 농업가뭄 파라미터 정의	119
2. 영상기반 농업가뭄 파라미터 추출	133
3. 파라미터 추출 모듈 개발	146
제5장 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 모델 개발	163
제1절 위성영상 및 기상영상 자료 융합	163
1. 기상영상 분석 방법	163
2. 기상 및 위성영상 융합	168
3. 융합 결과	170
제2절 Test-bed 시험지구 운영	173
제3절 위성영상 활용 농업가뭄 모니터링 모델	176
1. 위성영상 활용 가뭄 분석 방안	176
2. 영상기반 농업가뭄 모니터링 모듈 개발	184
3. 농업가뭄 심도 분류	193
제6장 위성영상 기반 농업가뭄 지도 제작(개발)	205
제1절 농업가뭄 지도 생성	205
1. 위성영상 기반 농업가뭄 공간정보 생성	205
2. 농업가뭄 지도 생성 기술	216
3. 농업가뭄 지도 제작	227
4. 가뭄지역 상황과 농업가뭄지도 적용성 비교(평가)	231
제2절 향후 추진방향	238

제7장 위성영상 자료수집 및 표준화 체계	241
제1절 위성영상 자료수집 체계	241
1. 위성영상 시스템 구축	241
2. 수집영상 현황	254
제2절 위성영상 자료 표준화	259
1. 좌표 및 포맷 표준화	259
2. 메타 데이터 표준화	273
제3절 영상 관리체계	286
제4절 위성영상 표준화 모듈 개발	288
1. 공개 GIS 소프트웨어를 활용한 표준화 모듈	288
2. 표준화 모델 적용	302
제8장 위성영상 기반 가용수량 분석 방안	307
제1절 위성영상 기반의 가용지표수 분석	307
1. 기본원리	307
2. 저수지 내용적 자료 구축	311
3. 위성영상 활용 저수량 추정	316
4. 위성영상 활용의 한계와 과제	345
제2절 향후 추진방향	347
제9장 종합결론	349
<input type="checkbox"/> 참고문헌	371
<input type="checkbox"/> 부 록	377

< 표 차례 >

(표 2-1) 미래의 물 전망	22
(표 2-2) 기후변화와 물	23
(표 2-3) 가뭄 예·경보 기준	27
(표 2-4) 가뭄의 분류	28
(표 2-5) 각종 가뭄지수	31
(표 2-6) 평균치 비율에 따른 가뭄정도	32
(표 2-7) PDSI 지수별 가뭄심도 분류	35
(표 2-8) SPI 지수별 가뭄심도 분류	37
(표 2-9) 평균치 비율에 따른 가뭄정도	38
(표 2-10) EDI에 의한 가뭄의 분류	39
(표 2-11) 작물별 필요수량	45
(표 2-12) 연도별 가뭄 발생 지역	46
(표 2-13) 가뭄 발생지역 중심 가뭄 빈도별 강우량(1999~2019) ..	47
(표 2-14) 주요 가뭄지역 순별 연속 최저 강우량('12~'19년)	48
(표 3-1) 물 관리 패러다임의 변화	58
(표 3-2) 국외 주요 기관 위성영상 활용 연구 현황	63
(표 3-3) 목적 및 궤도별 위성 분류	65
(표 3-4) 포스터 내용 정리	77
(표 4-1) 가뭄 발생영향의 분류 및 가중치 적용	92
(표 4-2) USDM 기준 SPI의 가뭄 단계	100
(표 4-3) 농업가뭄 모니터링에 활용 가능한 위성영상	117
(표 4-4) PDSI 산정에 필요한 구성요소	129
(표 4-5) MODIS 영상 밴드 특성과 주요 활용 분야	136
(표 4-6) MODIS 영상 특성	137
(표 4-7) MOD16A2 영상조합 일자 (8일주기)	152
(표 4-8) MOD16A2 영상조합 일자 (8일주기)(계속)	153
(표 4-9) MOD16A2 dataset 상세 정보	159
(표 4-10) MOD16A2 Fill Value	160

(표 5-1) 국내 과거 가뭄 사례	172
(표 5-2) 강우 위성영상별 RMSE-MAE 분석	173
(표 5-3) 토양수분 취득 가능 지점	175
(표 5-4) 2017년 국내 가뭄 주요시기	178
(표 5-5) ESI의 격자 추출을 통한 지역별 지수 값	180
(표 5-6) 가뭄 심도에 따른 지역별 가뭄 비율	191
(표 5-7) SPI Value에 따른 가뭄 단계 구분 (McKee et al., 1993) ..	195
(표 5-8) SPI Value에 따른 가뭄 단계 구분 (기상청 수문기상가뭄정보시스템) ..	195
(표 5-9) SPI Value에 따른 가뭄 단계 구분 (USDM)	196
(표 5-10) 정부 가뭄 예·경보 기준 (행정안전부, 2019)	197
(표 5-11) 농업가뭄 파라미터 심도별 분류	201
(표 5-12) 국내 기준 농업가뭄 파라미터 가뭄 심도 분류	204
(표 6-1) 영상 재배열 기법의 장·단점	223
(표 6-2) 등급별 지도 표출 방법의 종류와 특징	229
(표 6-3) 검사 지역별 적용성 평가	232
(표 6-4) 전체 지역 통계 값 비교	233
(표 7-1) 상업용 위성영상 종류, 특징 및 가격	249
(표 7-2) Landsat 7 & 8 위성영상 수집 현황	256
(표 7-3) Sentinel-2 위성영상 수집 현황	258
(표 7-4) MODIS 위성영상 수집 현황	259
(표 7-5) 우리나라 좌표계 투영원점	260
(표 7-6) 우리나라 투영 원별점 좌표계	260
(표 7-7) 우리나라 UTM 도법에 사용되는 변수	263
(표 7-8) GRS80 장반경 및 편평률	266
(표 7-9) UTM-K 좌표계 변환요소	266
(표 7-10) 위성영상 포맷별 표준화	272
(표 7-11) 메타데이터 비교(유통형 vs 관리용)	275
(표 7-12) 메타데이터 개체 셋 정보구성	279
(표 7-13) 메타데이터 개체셋 정보 사용 예시	279
(표 7-14) 메타데이터 기준계 정보 구성	280
(표 7-15) 메타데이터 기준계 정보 사용 예시	281

(표 7-16) 메타데이터 식별정보 사용 예시	283
(표 7-17) OpenMap 세부 분석 정보	295
(표 7-18) JUMP 세부 분석 정보	296
(표 7-19) QGIS 세부 분석 정보	297
(표 7-20) gvSIG 세부 분석 정보	297
(표 7-21) uDig 세부 분석 정보	298
(표 7-22) GRASS 세부 분석 정보	299
(표 7-23) 오픈소스 데스크탑 GIS의 기능 지원 테이블	300
(표 7-24) 오픈소스 GIS S/W 비교	301
(표 8-1) Sentinel-2 분광 특성	312
(표 8-2) 시험 저수지 현황	314

<그림 차례>

<그림 2-1> 최근 30년 전국 연강수량 및 평균기온 변화도	24
<그림 2-2> SPI 산정개념도(Mckee et al., 1993)	36
<그림 2-3> 논가뭄(논 물마름) 현상	43
<그림 3-1> 2016년 전 세계 우주산업 분야별 규모	55
<그림 3-2> 최근 10년간 전 세계 위성산업 성장 추이	55
<그림 3-3> 전 세계 위성 산업에서 미국의 점유 추이	56
<그림 3-4> 국내 주요 위성센터 현황	60
<그림 3-5> 해외 주요 위성센터 현황	61
<그림 3-6> 국내·외 수자원 관련 위성운용 현황	62
<그림 3-7> 선진국 위성활용 시사점	64
<그림 3-8> ISRS 2019 국제 학술대회(타이완, 타이페이)	76
<그림 3-9> ISRS 2019 국제 학술대회 포스트 내역	78
<그림 3-10> ISRS 2019 국제 학술대회 발표 포스터(RRI)	81
<그림 3-11> RRI & NDMC 업무협약 내용	83
<그림 4-1> 저수지 가뭄지수 산정 과정 (Nam et al., 2013)	86
<그림 4-2> SPI와 통합농업가뭄지수(IADI)의 상관분석	87
<그림 4-3> DAWAST모델에 의한 예당 저수지 유역에서의 수문학적 반응	88
<그림 4-4> ASWSI 연구흐름도	88
<그림 4-5> 농업가뭄분석모델 개념도	89
<그림 4-6> 가뭄동향분석 연구흐름도	90
<그림 4-7> SMAP을 이용한 지표면 토양수분데이터 흡수체계 연구흐름도	91
<그림 4-8> 가뭄년 연강수량의 등우선도	93
<그림 4-9> ADI 공간분포	93
<그림 4-10> 농업가뭄평가 연구흐름도	94
<그림 4-11> TRMM/GPM 및 MODIS 이미지를 사용한 기상 및 농업가뭄평가 연구흐름도	94
<그림 4-12> 드론을 활용한 데이터 구축 흐름도	95
<그림 4-13> ADMS 농업가뭄지도 예경보 예시	96
<그림 4-14> ADMS 저수율-강수량 현황	96

<그림 4-15> ADMS 저수율지도	97
<그림 4-16> ADMS 강우지도	97
<그림 4-17> ADMS 발토양유효수분지도	98
<그림 4-18> Quick Drought Response Index (QuickDRI)	100
<그림 4-19> 미국 전역 가뭄 모니터링 (NDMC)	101
<그림 4-20> 각 군집별 EOF 공간 패	104
<그림 4-21> 가뭄이 발생 시기 90일 지속기간 SPI	105
<그림 4-22> 서울지점의 3개월 지속기간에 대한 SPI와 SPEI ..	106
<그림 4-23> 3월 NDVI와 SPI별 변동계수 상관관계 유형분류 ..	106
<그림 4-24> 2012년 6월 일 단위 SPI 가뭄 모니터링	107
<그림 4-25> SPI와 SPI-S의 비교	108
<그림 4-26> 지난 30년 가뭄 빈도가 잦은 기상관측소 SPI(윈), PDSI(오) ..	109
<그림 4-27> 기상청 수문기상가뭄정보시스템 - 분포도 비교	110
<그림 4-28> 기상청 수문기상가뭄정보시스템 - SPI 산출 절차 ..	110
<그림 4-29> 특정 지역 (안성시) 가뭄 분포도	111
<그림 4-30> 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링을 위한 로드맵 ..	118
<그림 4-31> 2015년 5월 한반도 SMAP (3 km X 3 km) 영상 ..	121
<그림 4-32> 2006년 9월 MEIRIC 모형을 활용한 공간 증발산 산정 지도 ..	124
<그림 4-33> 다중시기 식생지수와 가뭄지수의 상관계수 맵	126
<그림 4-34> VegDRI-SKorea 방법론 (Nam et al., 2015)	127
<그림 4-35> ESI를 활용한 미국 전역의 가뭄 모니터링 (NDMC) ..	131
<그림 4-36> 2013년 각 가뭄지수별 공간분포	132
<그림 4-37> 북한의 ESI 적용성 평가를 위한 연구흐름도	133
<그림 4-38> 농업가뭄 파라미터 추출을 위한 예시	134
<그림 4-39> MODIS 위성 구성 요소	135
<그림 4-40> MODIS LAI/NDVI 수집 및 수종별 월 대표값 산정 연구흐름도 ..	138
<그림 4-41> 온도에 따른 선형화귀 (a) 북부지역의 MODIS LAI, (b) 중부 지역의 MODIS LAI, (c) 남부지역의 MODIS LAI, (d) 북부지역의 MODIS NDMI, (e) 중부지역의 MODIS NDMI, (f) 남부지역의 MODIS NDMI	139
<그림 4-42> 마늘과 양파의 주요 재배 지역에서 예측시점의 정확도 변동 ..	139
<그림 4-43> VCI 와 SVI를 이용하여 2015년 봄 가뭄 추정	140

<그림 4-44>	다중시기 식생지수와 가뭄지수의 상관 계수 지도	141
<그림 4-45>	DSI와 SPI의 시계열 비교 (a) 동두천, (b) 태백시	142
<그림 4-46>	4월 7일 안성천 유역의 이미지 연산 결과	143
<그림 4-47>	토양수분과 NDVI와의 상관관계 (2000~2008): forest leaf falling(위), forest leaf falling(아래)	143
<그림 4-48>	토양수분 월별 상관관계 그래프 (a: 2014 용담댐 b:2015 용담댐 c: 2014 소양강댐 d: 2015 소양강댐)	144
<그림 4-49>	에디 공분산 기반 일증발산량과 MODIS 기반 일증발산량 비교 ..	145
<그림 4-50>	토지 용도별 MODIS LAI	145
<그림 4-51>	MOD16 ET 알고리즘	147
<그림 4-52>	MODIS로 추출한 ET와 관측된 ET의 산란 도표 ..	148
<그림 4-53>	MODIS 기반 증발산과 플릭스 관측 증발산의 상관성 분석 ..	149
<그림 4-54>	MODIS 영상 다운로드 예시 1 (LAADS DAAC) ..	150
<그림 4-55>	MODIS 영상 다운로드 예시 2 (LAADS DAAC) ..	151
<그림 4-56>	MODIS Sinusoidal “10-degree” tile system	154
<그림 4-57>	MOD16A2 원시영상	154
<그림 4-58>	MRT 프로그램을 이용한 MODIS 영상 가공	155
<그림 4-59>	1차 가공을 통하여 생성된 데이터	156
<그림 4-60>	MODIS 영상 2차 가공 (Extract by Mask)	157
<그림 4-61>	MODIS 영상 2차 가공 (Set Null)	158
<그림 4-62>	MODIS 영상 2차 가공 (Raster Calculator)	160
<그림 4-63>	동일 시기 농업가뭄요소	161
<그림 4-64>	농업가뭄 파라미터 (ESI)	162
<그림 5-1>	대류 및 성층 강우 유형에 대한 레이더 반사율 및 폭풍 높이의 상대적 발생 빈도	165
<그림 5-2>	TRMM/PR 및 ASW 강우량의 GMS-5에 의해 향상된 IR 이미지	166
<그림 5-3>	CRU, PERSIANN-CDR 및 TRMM-3B42V7의 GTCH 방법을 이용한 월간 강수량 소음 추정치 및 SNR 값	167
<그림 5-4>	EA 및 PERSIANN-CDR데이터의 일일 극한 강수의 99th 및 95th 백분위 지수(a), (b)와 EA데이터 세트의 공간 상관 관계	

분포(c) 및 PERSIANN-CDR데이터 지수의 산점도(d)	167
<그림 5-5> GPM IMERG(a-d)와 레이더 강우량 분포(e-h) 비교 ..	168
<그림 5-6> QuickDRI 방법론	170
<그림 5-7> 강우 위성영상과 기상관측소 강수량 비교	171
<그림 5-8> 강우 위성영상으로 산정한 SPI6의 공간지도	172
<그림 5-9> 56개소 기상관측소 및 토양수분 취득 지점	174
<그림 5-10> 위성영상 분석과 지상관측의 검증을 위한 Test-bed 운영 ..	176
<그림 5-11> 2017년 ESI의 국내 공간분포 지도	179
<그림 5-12> ESI의 격자 추출을 통한 지역별 가뭄 특성 확인 ..	181
<그림 5-13> ESI 및 위성 기반 가뭄지수의 2017년 공간분포 지도 ..	182
<그림 5-14> 안성지역에 대한 각 지수별 공간분포 지도	183
<그림 5-15> 농업가뭄 파라미터 산정 및 지수화 연구흐름도	184
<그림 5-16> 2019년 4월 23일 영상 4주 합성 전(좌), 후(우)	185
<그림 5-17> 줄리안일 113 영상의 평균(좌) 및 표준편차(우)	187
<그림 5-18> 2019113 (2019년 4월 23일) 농업가뭄 파라미터 지수화	187
<그림 5-19> 2019113 (2019년 4월 23일) 농업가뭄지수	188
<그림 5-20> 2017년 월별 농업가뭄지수 (4월~8월)	189
<그림 5-21> 2017년 주기별 농업가뭄지수	190
<그림 5-22> 시군구 단위의 안성시 지역 해상도 비교	192
<그림 5-23> 읍면동 단위의 안성시 지역 해상도 비교	192
<그림 5-24> 기존 ESI와 농업가뭄 파라미터의 공간지도	193
<그림 5-25> 국내 가뭄 모니터링 및 가뭄 단계	194
<그림 5-26> 국외 가뭄 모니터링 및 가뭄 단계	194
<그림 5-27> 미국에서 활용하는 ESI 가뭄 모니터링	198
<그림 5-28> Percentile 산정의 예시	199
<그림 5-29> 농업가뭄 파라미터 정규분포	200
<그림 5-30> 농업가뭄 파라미터 누적분포	200
<그림 5-31> 기존 ESI와 USDM 버전 농업가뭄 파라미터 공간분포 비교 ..	202
<그림 5-32> 실제 가뭄 발생 지역과 USDM 버전 농업가뭄 파라미터의 공간분포 비교	202
<그림 5-33> 농업가뭄 파라미터의 가뭄 단계별 누적 비율	203

<그림 5-34> 농업가뭄 파라미터 최종버전 공간지도	204
<그림 6-1> 농업가뭄 지도 생성 순서별 모듈	205
<그림 6-2> 파일단위 ESI 영상 생성	206
<그림 6-3> 폴더단위 ESI 영상 생성	206
<그림 6-4> 파일단위 ESI 영상 합성	207
<그림 6-5> 폴더단위 ESI 영상합성	207
<그림 6-6> 파일단위 ESI 영상 지수화	208
<그림 6-7> 폴더단위 ESI 영상 지수화	208
<그림 6-8> 농업가뭄 단계 시각화 모듈	209
<그림 6-9> 파일단위 동일시기영상 평균/표준편차 계산 모듈 ..	210
<그림 6-10> 폴더단위 동일시기영상 평균/표준편차 계산 모듈 ..	210
<그림 6-11> 폴더단위 배치프로세싱 화면	211
<그림 6-12> 모듈 개발환경	212
<그림 6-13> QGIS 설치 화면	213
<그림 6-14> 농업가뭄지도 생성 모듈 설치 위자드 진행 과정 ..	215
<그림 6-15> 농업가뭄지도 생성 모듈 플러그인 등록	215
<그림 6-16> 농업가뭄지도 생성 모듈 설치 전/후	216
<그림 6-17> Nearest Neighbor 재배열	217
<그림 6-18> Nearest Neighbor 구현 소스 코드의 일부	218
<그림 6-19> Bilinear Interpolation	219
<그림 6-20> Bilinear Interpolation 구현 소스 코드의 일부	220
<그림 6-21> Cubic Convolution	221
<그림 6-22> Cubic Convolution 구현 소스 코드의 일부	222
<그림 6-23> 농업가뭄 생성 알고리즘의 구성	224
<그림 6-24> ESI 계산 알고리즘의 예시(일부)	225
<그림 6-25> ESI 합성 알고리즘의 예시(일부)	226
<그림 6-26> ESI 표준화(평균 계산) 알고리즘의 예시(일부)	227
<그림 6-27> 지도 시각화의 다양한 유형의 예	228
<그림 6-28> 본 연구에서 시각화 단계 구분	230
<그림 6-29> 본 연구에서 농업가뭄지도 시각화 결과	231
<그림 6-30> 적용성 비교 데이터(좌: 본 연구 결과, 우: Arcgis 결과) ..	232

<그림 6-31> 농업가뭄 파라미터의 공간분포 비교 (기존 ESI) ...	234
<그림 6-32> 농업가뭄 파라미터의 공간분포 비교 (SGI)	235
<그림 6-33> 농업가뭄 파라미터의 공간분포 비교 (저수율)	236
<그림 6-34> 농업가뭄 파라미터의 공간분포 비교 (토양유효수분율) ..	237
<그림 6-35> 대상 지역 위성영상 데이터 취득 예시	237
<그림 6-36> 대상 지역에 대한 농업가뭄 파라미터 추출 결과 ...	238
<그림 7-1> USGS Earth Explorer	242
<그림 7-2> LandViewer	243
<그림 7-3> Copernicus Open Access Hub	244
<그림 7-4> 센티널 허브	245
<그림 7-5> NASA Earth data	246
<그림 7-6> Remote Pixel	247
<그림 7-7> INPE 이미지 카탈로그	248
<그림 7-8> QGIS download Plug-in	251
<그림 7-9> 본 연구에서 MODIS 영상 다운로드 및 처리	252
<그림 7-10> MODIS 다운로드 스크립트	253
<그림 7-11> MODIS 영상 전처리 전·후 영상	254
<그림 7-12> Sentinel-2 밴드	257
<그림 7-13> 우리나라 TM 원점 구역	261
<그림 7-14> 우리나라 UTM 원점 구역	263
<그림 7-15> 좌표 표준화	264
<그림 7-16> GRS80 장반경 및 편평률	265
<그림 7-17> 우리나라 UTM-K 좌표계 구역	267
<그림 7-18> Geotiff 자료구조	271
<그림 7-19> 관리용과 유통형 메타데이터의 범위	274
<그림 7-20> 수집된 영상의 폴더별 관리 체계	288
<그림 7-21> 3-tier GIS 시스템에서의 표준과 공개 소프트웨어 시스템의 예 ..	290
<그림 7-22> 파일 단위 좌표변환	302
<그림 7-23> 폴더 단위 좌표변환	302
<그림 7-24> 좌표변환 결과 확인	303
<그림 7-25> 좌표변환 개발 모듈 일부	303

<그림 7-26> Geotiff 포맷 변환 개발 모듈 일부	305
<그림 7-27> Geotiff 형태로 저장된 파일의 예시	306
<그림 8-1> 수위-수표면적-내용적 관계를 이용한 저수율 계산 ..	307
<그림 8-2> 위성영상을 활용한 저수지 저수량 관측 개념	308
<그림 8-3> 토지피복에 따른 분광대별 반사 특성(https://eos.org) ..	309
<그림 8-4> Landsat 시계열 영상의 MNDWI를 이용한 저수량 추정 방법(Ogilvie et al., 2018)	311
<그림 8-5> Sentinel-2(Green & NIR) 영상자료 수집	313
<그림 8-6> 수위-내용적 조건표 상의 만수면적(가로축)과 수치지도 및 영상자료로 추출한 만수면적(세로축) 비교	315
<그림 8-7> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 강수저수지	317
<그림 8-8> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 고남저수지	317
<그림 8-9> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 고북저수지	318
<그림 8-10> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 고평저수지	318
<그림 8-11> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 구들저수지	319
<그림 8-12> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 대야저수지	319
<그림 8-13> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 마룻저수지	320
<그림 8-14> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 모월저수지	320
<그림 8-15> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 미포저수지	321
<그림 8-16> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 반계1호저수지	321
<그림 8-17> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 산수저수지	322
<그림 8-18> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 성암저수지	322
<그림 8-19> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 송현저수지	323
<그림 8-20> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 수룡저수지	323
<그림 8-21> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 승연2저수지	324
<그림 8-22> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 승연3저수지	324
<그림 8-23> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 신두2호저수지	325
<그림 8-24> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 신야저수지	325
<그림 8-25> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 신창저수지	326
<그림 8-26> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 용현저수지	326
<그림 8-27> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 인평저수지	327

<그림 8-28> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 잠홍저수지	327
<그림 8-29> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 장곡저수지	328
<그림 8-30> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 지곡저수지	328
<그림 8-31> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 지포저수지	329
<그림 8-32> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 창기저수지	329
<그림 8-33> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 황락저수지	330
<그림 8-34> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 풍전저수지	330
<그림 8-35> 강수저수지 저수율 추정 결과	331
<그림 8-36> 고남저수지 저수율 추정 결과	331
<그림 8-37> 고북저수지 저수율 추정 결과	332
<그림 8-38> 고평저수지 저수율 추정 결과	332
<그림 8-39> 구들저수지 저수율 추정 결과	333
<그림 8-40> 대야저수지 저수율 추정 결과	333
<그림 8-41> 마룽저수지 저수율 추정 결과	334
<그림 8-42> 모월저수지 저수율 추정 결과	334
<그림 8-43> 미포저수지 저수율 추정 결과	335
<그림 8-44> 반계일호저수지 저수율 추정 결과	335
<그림 8-45> 산수저수지 저수율 추정 결과	336
<그림 8-46> 성암저수지 저수율 추정 결과	336
<그림 8-47> 송현저수지 저수율 추정 결과	337
<그림 8-48> 수룡저수지 저수율 추정 결과	337
<그림 8-49> 승언2저수지 저수율 추정 결과	338
<그림 8-50> 승언3저수지 저수율 추정 결과	338
<그림 8-51> 신두2호저수지 저수율 추정 결과	339
<그림 8-52> 신야저수지 저수율 추정 결과	339
<그림 8-53> 신창저수지 저수율 추정 결과	340
<그림 8-54> 용현저수지 저수율 추정 결과	340
<그림 8-55> 인평저수지 저수율 추정 결과	341
<그림 8-56> 잠홍저수지 저수율 추정 결과	341
<그림 8-57> 장곡저수지 저수율 추정 결과	342
<그림 8-58> 지곡저수지 저수율 추정 결과	342

<그림 8-59> 지포저수지 저수율 추정 결과	343
<그림 8-60> 창기저수지 저수율 추정 결과	343
<그림 8-61> 풍전저수지 저수율 추정 결과	344
<그림 8-62> 황락저수지 저수율 추정 결과	344
<그림 8-63> 구름과 박무/연무의 영향(사창저수지 사례)	345
<그림 8-64> 저수면 결빙과 눈의 영향	345
<그림 8-65> 저수면 수풀 등에 의한 영향	346



제1장 서론



제1장 서론

제1절 연구배경 및 목적

최근 들어 기후변화 영향으로 단순히 기상재해를 통해 우리의 생활에 영향을 끼칠 뿐 아니라, 산업 및 경제 구조의 변화를 통해서도 우리에게 큰 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

그리고 물의 수요는 점차 증가할 것으로 예측하고 있으며 우리가 직면한 물의 위기에 대한 본질은 물 공급이 한계, 강우량이 지역적 불안정적인 점, 지역적 인구의 급격한 증가, 상호 경쟁적인 물 사용처(농업용수, 생활용수, 공업용수)의 상충 되는 점 등은 기후변화에 따른 지역적 편차를 기준으로 보아야 할 것이다.

기후변화 현상에 의해 강수량의 변동성이 커짐에 따라 지역적 가뭄 발생 빈도가 점차 심화되고 농업 및 수자원 관련 분야의 장기 계획 수립에 있어 불확실성이 증가 되고 있는 실정이다. 그리고 기후변화에 의한 지상 관측소의 공간적인 한계성으로 인한 정보의 정확성이 부족하다. 이에 따른 동일 시·군내에서도 지역적인 가뭄의 편차가 심하게 나타나고 있다.

다양한 지상 센서 들이 현장에 확충되고 있지만 여전히 제한적이고 공간적인 편이가 존재하고 있으며 공간 통계학적 기법 즉 공간보정 기법들을 사용하여 지상의 현상을 나타내기 때문에 현실적인 차원에서의 공간적인 분포에 관한 정보의 정확성이 떨어지는 현상이 발생하고 있다.

위성영상 등의 원격탐사기술은 위성의 센서와 분해능, 위성 활용측면에서 해상도에서 발생하는 문제점, 위성 운용 즉 기상이나 대기로 인한 관측의 문제점, 국내에서 위성 정보 활용도 측면에서는 아직 많이 부족한 실정으로 제한성이 있다.

그러나 최근 위성 활용 체계 정비, 위성 자료의 이상치 보정을 위한 다양한 기법 개발, 위성의 분광 해상도를 고려해 연구에 활용할 수 있는 객관적인 지수(지표) 추가 개발 등으로 공간적으로 넓게 분포한 대상물에 대해 신속하고 정확한 관측과 해석이 가능하기 때문에 가뭄 문제 등 이수와 관련된 현상들에 대한 조사에 유용한 측면이 있다.

또한, 인공위성을 이용한 원격탐사분야에 있어서도 다목적실용위성, 차세대 중형위성, 정지궤도복합위성, 수문관측 위성 등 국외 및 국내 자체 기상위성 및 지상관측 위성에 의한 고해상도 광학영상, 적외선영상, SAR 레이더 영상 등의 자료 생산이 가능함에 따라 고품질 인공위성의 영상을 분석함에 있어 지상의 식생분포, 증발산량, 토양수분 등 직접 관측 지점 자료를 이용하여 인공위성 자료를 보정 및 개선한 후에 활용함으로써 자료의 신뢰성 및 정확성을 높일 수 있다.

따라서 본 연구에서는 2018년 농업가뭄에 대한 시계열 위성영상 자료를 수집·분석하여 필터링, 분류 및 체계화 방안, 모니터링 방안 등에 관하여 대하여 기존 자료를 정리하였다. 따라서 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링에 관한 영상자료의 DB화와 표준화된 위성영상 정보체계 및 가뭄 모니터링 방안에 대한 기준을 정립하였다. 2019년은 걱정된 위성영상 및 최신 기술을 농업가뭄 분야에 활용함으로 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 알고리즘을 정립하여 공간적인 제한성을 극복하여 농업 가뭄지도 생성기술을 확보하는데 있다.

다시 정리하면 위성영상 기반 농업가뭄 자료 축적, 적용 방법 및 도입 방안 에 대한 알고리즘을 정립하고 농업가뭄 모니터링을 위한 전처리 기술 확보 및 모듈 적용과 개발, 농업가뭄 지역에 대한 단계별 가뭄지도 생성 기술 확보, 그리고 농업가뭄의 공간적인 변화 추이를 파악 하는 등의 4차 산업혁명 시대를 맞아 위성영상 분석 등 최신 선진 기술을 농업가뭄 분야에 활용함으로써 공간적인 제한성을 극복하고 위성영상 기반 인프라 구축 및 선제적 농업가뭄을 위한 조기경보 시스템 등의 초석 마련에 본 연구의 목적이 있다.

제2절 연구 내용

본 연구는 2018년 위성영상 기반 농업가뭄 자료 체계 정립(관련 데이터 수집, 자료 정리 방안, 자료 체계 정립 등), 농업가뭄 모니터링 방안 등을 바탕으로 2019년에는 영상기반 농업가뭄 파라미터 추출, 농업가뭄 모니터링 적용, 농업가뭄 지도 생성 등의 알고리즘을 정립하고 적용하는 내용을 주 내용으로 하고 있다.

다시 말하면 농업가뭄 영상 분석 알고리즘 개발, 수문학적 농업가뭄 적용 요소 평가 및 알고리즘 설계, 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 모델개발과 적용, 농업가뭄 지도 생성 시스템 설계 및 지도 생성 기술을 개발하는 것이다. 주요 내용은 다음과 같다.

- 위성영상 기반 농업가뭄 파라미터 추출
 - 기존(SPI6) 가뭄 결과와 위성영상 농업가뭄 모니터링 결과 비교
 - 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링을 위한 위성영상 마인드맵 상세 모식도 작성
 - 위성영상 취득 주기, 해상도 등을 고려한 국내 농업가뭄 모니터링을 위한 개념도 작성
 - 데이터 수집 표준화 방안 개발/적용 및 영상자료 정리
 - 위성영상 DB와 단계별 전처리 모듈 적용
 - 국내 적용 농업가뭄 모니터링을 위한 파라미터 추출 알고리즘 개발/적용
 - 농업가뭄 파라미터 추출 모듈 개발 및 적용성 검토 등 기준 정립
- 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 모델 개발
 - 농업가뭄 파악을 위한 위성 영상자료 체계화 모델 기술개발
 - 위성영상 시계열 자료의 농업가뭄 분석을 위한 자료체계화 모듈 개발
 - 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 모델 개발/적용
 - 위성영상 활용 국내 농업가뭄 모니터링을 위한 모듈 개발/적용
 - 영상기반 농업가뭄 탐지기준 마련, 농업가뭄 탐지·평가 모델 설계
 - Test-bed 시험지구 운영(농촌진흥청 관측소 활용)
 - 공간-기반, 지상-기반의 융합을 위한 시험지구 운영
- 위성영상 기반 농업가뭄 지도 생성 기술 개발
 - 농업가뭄 지도 생성 기술 개발 및 가뭄지도 제작(version 1)
 - 위성영상 모니터링을 통한 국내 농업가뭄 파라미터 설정 및 농업가뭄 지도 생성기술 개발(SPI6 가뭄지도와 비교 검토)

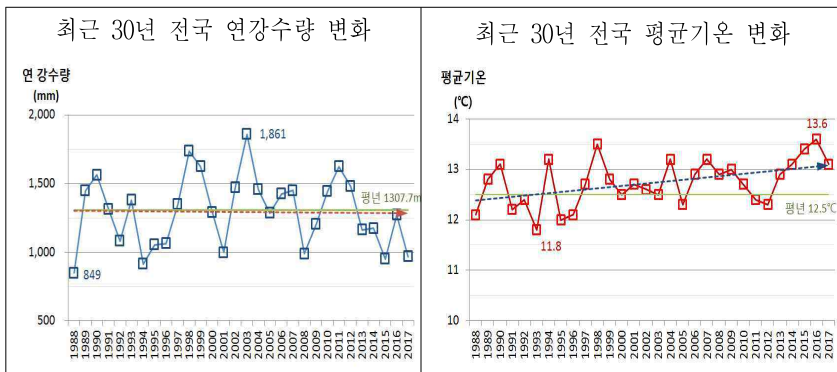
제3절 연구 방법

○ 기후변화 영향

- 기후변화 추세에 따라서 강수량의 변동성이 커지고 여름철 단기간에 집중되어 물 자원의 활용도가 저하되고 있으며 최근 30년 평균 강수량의 변동성은 커지고, 기온은 상승하는 추세에 있으며 연 평균 강수량은 평년 대비 큰 폭으로 변동(142%~64.9%)하고 있으며 기온은 평년보다 0.3℃ 높아지고 있음.

* 평년(1981~2010) 강수량: 1,307.7mm/최대 강수량(2003) 1,861mm, 최소(1988) 849mm

* 최근 30년(1988~2017) 평균 기온 : 12.8℃/평년(1981~2010) 기온 : 12.5℃



- 국내에서도 기후변화에 따른 자연재해가 지속적 증가하고 있으며 1980년 대비 2010년대 기후 관련 재해발생이 2.7배 증가하였고 가뭄 발생 빈도는 86% 증가 하고 있으나 지금까지의 농업가뭄에 대한 대책으로 당해 연도에 막대한 예산을 투입하여 임시적인 관정 개발, 헬기 급수, 하상 굴착 등의 일시적인 대책으로 시행되어 왔다. 따라서, 농업가뭄에 대한 사전에 예측하는 등의 사전 대책이 추진되어야 할 필요성이 있음.

* 1904~2000년 : 0.36회/년, 2000~2015년 : 0.67회 증가

- 2000년 이후 가뭄 발생 빈도가 잦아지면서 가뭄 모니터링의 중요성 대두되고 있으며 최근 동아시아 권역과 미국에서는 가뭄대비 조기 경보 체제를 위한 위성영상 기반 가뭄 모니터링 기술이 지속적으로 연구되고 있으며 상당히 발전되어 있으나, 국내에서는 아직 위성영상

기반 농업가뭄 모니터링을 통한 가뭄 판단에 대한 국내 기술은 아직 취약한 상태임.

○ 가뭄의 분류

가뭄은 강수현상과 물의 용도에 따라 현재 통용되고 있는 가뭄은 크게 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄, 사회경제학적 가뭄으로 구분됨.

분 류	내 용
기상학적 가뭄 (Meteorological Drought)	- 주어진 기간의 강수량이나 무강수 계속일수 등으로 정의되며 기상 현상의 영향을 직접적으로 표현하는 가뭄 (건조의 정도와 지속시간)
수문학적 가뭄 (Hydrological Drought)	- 물 공급에 초점을 맞추고 하천유량, 저수지, 지하수 등 가용 수자원의 양으로 정의한 가뭄 (강우부족에 따른 저수지의 수위는 수개월 후 발생)
농업적 가뭄 (Agricultural Drought)	- 농업에 영향을 주는 가뭄을 언급한 것으로 농작물 생육에 직접 관계되는 토양수분 부족으로 피해가 발생하는 가뭄 (기상학적 가뭄, 수문학적 가뭄과 연결되고 기상학적 가뭄과 농업적 가뭄의 발생 시기/심도/기간 등이 다르기 때문에 분야에 적합한 가뭄지수 필요)
사회경제학적 가뭄 (Socioeconomic Drought)	- 생활용수, 공업용수, 농업용수 수요와 공급의 부족으로 인한 생활 양식 변화, 공업용수 영향, 농업방식 변화 등의 요소가 포함되어 피해 발생(물의 수요와 공급을 기상학적/수문학적/농업적 가뭄의 요소와 관련하여 정의)

○ 가뭄 관련 강우량 분석

- 최근(2012~2019년, 30개년) 가뭄 발생지역 32개소 대상으로 30일 ~ 50일(순별) 연속 발생 강우량 중에서 최저 발생 강우량을 분석하였으며, 또한 전국관측소(72개소)의 1981~2010년까지 30개년에 대한 월평균 강우량 및 빈도별 가뭄강우량을 분석하였다.
- 결과는 30일 연속 최저 평균 강우량은 14.4mm로 전국관측소 3월의 30년 빈도 가뭄 강우량 15.5mm와 유사하고
- 40일 연속 최저 평균 강우량 22.9mm는 4월의 30빈도 가뭄 강우량 25.0mm과 비슷하고

- 50일 연속 최저 평균 강수량 32.2mm, 5월의 30년 빈도 가뭄 강수량 41.0mm로 분석되었음.
- 이러한 현상은 앞에서 살펴본 바와 같이 기후변화의 영향으로 연중 강수량의 변화 폭이 큰 영향으로 가뭄의 발생 빈도가 증가하고 있는 것으로 판단된다.

빈도별	3월	4월	5월	6월	7월	비고
평균	59.5	83.1	106.7	163.1	292.6	전국관측소 (1981~2010)
10년	32.4	47.3	66.2	109.4	215.2	
20년	21.6	33.0	50.1	88.0	184.3	
30년	15.5	25.0	41.0	75.9	166.9	
40년	11.2	19.4	34.7	67.8	154.9	
50년	8.0	15.1	29.9	61.2	145.6	
월별	20일연속	30일연속	40일연속	50일연속	비고	
평균	1.2	14.4	22.9	32.2	가뭄발생지역 (2012~2019)	

○ 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링

- 일반적으로 기상학적 가뭄과는 다르게 농업적 가뭄은 농작물의 생육에 가장 핵심적인 영향인 토양수분의 결핍현상, 식생의 활력도 및 증발산량 등에 의해서 가뭄의 시기 및 정도가 결정되어야 하나 국내의 가뭄 상황 모니터링시스템은 관측 지점기반으로 내삽기법(interpolation)을 이용하여 산정한 지도로써 실제적인 적용대상 지역의 지형, 작물 재배력, 기상 특성을 정확하게 고려한 결과는 아님.
- 또한 일정한 공간해상도를 가진 것이 아닌 시·군 범위의 해상도로 제공되고 있어 정확한 가뭄 모니터링을 실시하는데 큰 어려움이 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위하여 광범위한 지역을 관측할 수 있으며, 주기적으로 관측되고 동일한 정확도를 가진 농업적 가뭄 인자와 수문/기상학적 인자를 관측할 수 있다는 측면에서 위성영상을 이용한 가뭄 모니터링을 실시하는 것이 효율적이다. 원격탐사 기법 중 인공위성 관측기술은 접근이 어려운 지역의 조사 및 장기적이고 연속적인 공간적인 변화 관측 등에서 유용하게 사용될 수 있음.

- 그러므로 위성영상을 활용하는 농업가물에 대한 꾸준한 모니터링은 공간 기반의 정보와 지상 기반의 정보가 융합되어 지속적인 위성 모니터링이 가능하여 진다. 위성 모니터링 데이터가 축적되고 영상의 가용 분석이 가능하다면 농업가물의 조기경보 체계 시스템 구축은 다양한 공간 및 시간 척도에 대한 효율적으로 농업 가물 조기 대응하는 중요한 요소일 것임.

○ 위성산업 동향 및 환경 분석

- 세계 우주산업 세부분야는 위성서비스 분야가 1,277억 달러로 가장 큰 부분을 차지하였으며, 지상 장비 1,134억 달러, 위성 탑재체 제작 139억 달러, 그리고 발사체 분야에 55억 달러 마지막으로 우주탐사, 과학연구 등의 비위성 산업분야가 786달러를 차지하고 있음(2016년).
- 이제 더 이상 강대국들의 전유물이 아니게 된 우주개발 사업에는 동남아, 중남미, 아프리카, 중동 등 개발도상국들의 우주 활동도 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 2010년 이후로도 총 27개의 국가에서 처음으로 위성을 쏘아 올렸다. 급변하는 우주시장에서는 각국은 보다 장기적인 기술 개발과 비전을 가지고 우주개발에 접근해야 할 것이다. 위성개발 신생국들은 아직 자체적인 기술 개발에는 어려움을 겪고 있지만 우주 선진국들과의 공동연구 및 중장기계획을 수립함으로써 앞으로 다가오는 우주시대를 맞이하고 있음.
- 인공위성 관련 환경을 살펴보면 과거 사후복구 중심의 수재해 관리 정책을 급변하는 수재해 양상에 효과적으로 대응하기 위하여 정보통신기술(ICT), 지리정보시스템(GIS), 인공위성 및 원격탐사(RS), 로봇, 인공지능(AI) 등 첨단 과학기술을 활용한 사전예방 중심의 연구개발이 활성화되고 있다.
- 이러한 물 관리 패러다임은 전 세계적 및 국가별 물관리 상황에 따른 시대적 이슈에 따라 변천되어 왔으며, 70년대는 수질중심, 80년대는 환경 중심, 1992년 리우 정상회담에서 기후변화 등 물 위기 극복을 위한 새로운 패러다임으로 변화하고 있고 있으며 물 관리 패러다임에서 안보 개념이 도입되어 전 세계적으로 물 관리의 중요성이 부각되고 있는 실정임.

구분	1970년대	1980년대	1990년대	2000년대 이후
이슈	수 질	환 경	세계 물 위기 (World Water Crisis)	물 안보 (Water Security)
패러다임	깨끗한 물 (Clean Water)	지속가능한 개발 (Sustainable Development)	통합물관리 (Integrated Water Resources Management)	
국제 회의	- 1972 스톡홀름회의 - 1974 부카레스트회의 - 1976 밴쿠버회의	- 1977 마르델플라타 회의 - 1987 Brudtland 보고서 - 1992 더블린 컨퍼런스 및 리우 지구정상회담	- 1996 WWC 설치 - 1997 1차 세계물포럼	- 2000 2차 세계물포럼 - 2001 본 컨퍼런스 - 2002 리우+10 회의 - 2003·2006·2009·2012 3~6차 세계물포럼

* 자료출처: 수자원 전용 위성 탑재체 기술 개발 추진을 위한 사전기획(KAIA, 2016)

○ 국내·외 활용 현황

- 국내 위성센터의 목적은 위성 지상국 운영 및 실시간 모니터링과 기초 활용연구, 방재활동 등이 주목적이고 해외 위성센터의 목적은 위성활용 기술개발 및 활용 촉진, 기후변화 탐지, 위성 정보의 관리/처리/배포 등의 주목적인 것으로 나타남.

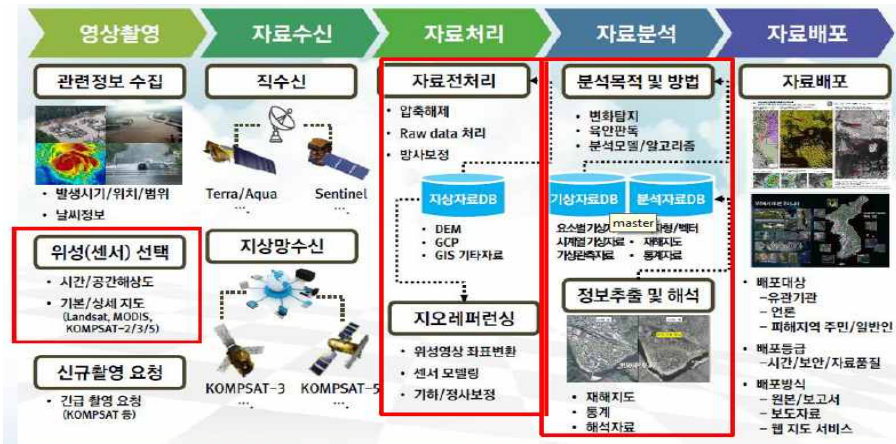
	항공우주연구원 국가위성정보활용지원센터	기상청 국가기상위성센터	해양과학기술원 해양위성센터	국립환경과학원 국가환경위성센터
설립 목적	지상국 운영 및 기초 활용 연구	기상위성 지상국 개발 및 운영	해양 환경 (준)실시간 모니터링	지구환경 실시간 모니터링 및 방재활동
기능/역할	위성 운영/관제, 수신/처리/배포, 영상지도 제작	위성 운영/관제, 수신/처리/배포, 기상예보분석	GOCI자료 운영, 수신/처리/배포, 해양 활용 연구	대기환경오염, 예/경보 감시, 방재활동 지원
수신 위성	KOMPSAT, STSAT, COMS 등	MTSAT-2, NOAA, MODIS, COMS 등	COMS, MODIS, NOAA, SEAWIFS 등	Sentinel, NOAA, MODIS, GEO-CAPE 등
지역	대전시	충북 진천군	경기 안산시	인천시
운영	국가주도형	국가주도형	국가주도형	국가주도형
인력	4개 팀 약 80여명	3개 과, 1개 팀 약 90여명(정규직48)	3개 과 약 30여명(정규직10)	설립 추진 중
설립	2014(위성정보연구소' 07)	2009(2005~2008)	2008(2005~2010)	-

	일본 (JAXA-위성이용추진센터)	미국 (USGS-EROS)	호주 (NEOG)	유럽 (ESA-ESRIN)
설립 목적	<ul style="list-style-type: none"> 위성활용 기술 개발 위성정보 활용 촉진 위성정보 서비스 	<ul style="list-style-type: none"> 국토의 위성/항공 영상 획득의 목적 위성정보활용 생태계 강화 	<ul style="list-style-type: none"> 호주의 급변하는 기후변화 탐지 위성자료 수신/처리/저장/배포 업무 목적 	<ul style="list-style-type: none"> 유럽우주국에서 위성정보의 관리/처리/배포를 위한 목적
기능/ 역할	<ul style="list-style-type: none"> 위성정보 활용 촉진을 위한 홍보/교육 프로모션 활동 위성정보 활성화를 위해 재난/재해, 지리정보, 통신에 대한 연구 	<ul style="list-style-type: none"> 국토관련 원격탐사 자료의 획득/보관/생산/배포 기능 지리학적 활용 연구 국가지형도 제작/유지/배포 	<ul style="list-style-type: none"> 지리정보 사업의 이익 증진을 최대화 호주 전반에 대한 다양한 위성정보 자료 제작 및 배포 	<ul style="list-style-type: none"> 위성정보를 이용한 환경연구 경쟁력 확보 위성정보의 수신/처리/배포 및 ESA의 지구관측 활동을 지원
설립	2006년 (JAXA-지구관측연구센터에서 분리)	1971년	2005년 (전신인 ACRES는 1979년 설립)	1966년
인력	약 50여명 (EORC 약90여명)	약 600여명 (정규직:80명)	약 40여명 (14개 지역사무소 제외)	약 630여명 (정규직:186명)
예산	약 30억	약 670억	약 107억	약 215억원

- 미국, 유럽, 일본 등의 선진국의 위성활용에 대한 시사점은 기후변화 대응과 수자원분야 활용을 위한 위성개발과 확대운영 중이며 그리고 위성을 활용하여 기후변화 대응 위한 수문인자 즉 전 지구적 물 순환 수문요소(토양수분, 강우, 지하수, 유출, 지표수체, 증발 등)를 측정하고 있으며 현재 수문요소별 다양한 전용 위성을 개발/운영 중이다. 따라서 국내에서 수자원 전용 위성 및 다목적 위성을 지속적으로 개발/운영하여 기후변화에 대응을 위한 수문자료의 지속적 구축이 시급한 실정으로 판단됨.

	미국 요소별로 다양한 수자원 위성 운영중	유럽 기상, 토양수분, 수재해 모니터링 등에 위성 활용	일본 기상 및 수자원 위성 개발 확대 중
	SMAP, GRACE	Sentinel, SMOS	GPM, GCOM-W
목적	<ul style="list-style-type: none"> 전 지구적 물 순환 수문요소 측정 (토양수분, 강우, 지하수, 유출, 지표수체, 증발 등) 	<ul style="list-style-type: none"> 유럽과 미계측 지역의 수자원 정보 확보 (기상중심)(토양수분, 강우, 지하수, 유출, 지표수체, 증발 등) 	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 대응을 위한 수문인자 관측 (기상중심)(강우, 수증기, 지표수체 등)
특징	<ul style="list-style-type: none"> 수문요소별 다양한 전용위성 개발/운영 ★ 토양수분(SMAP), 지하수(GRACE), 지표수체(SWOT) 등 	<ul style="list-style-type: none"> 기상, 토양수분, 수재해 모니터링 위성운영 ★ 지표수체(Sentinel3), 기상(Sentinel1), 토양수분(SMOS) 등 	<ul style="list-style-type: none"> 태동 등 시간관측 및 수자원위성 개발 확대 ★ 기상(GPM), 수자원(GCOM-W), 기후(GCOM-C)
현황	<ul style="list-style-type: none"> 시간적 위성자료 지속적 확보 관측자료 기반 물수지 분석을 통해 전지구적 물 순환 과정 예측 	<ul style="list-style-type: none"> 준 실시간 수문순환 관측 위성 운영 유럽, 아프리카 재해관측을 위한 수자원 전용위성 운영 	<ul style="list-style-type: none"> 물 순환요소 관측용 독자적 위성 운용 미국과 공동개발 및 협력을 통한 재해관리 기술선도

○ 인공위성 영상자료의 수신, 처리 분석 흐름도



○ 위성활용 한계점 및 해결방안

- 첫째, 위성에 대한 근본적인 문제점이 있다. 위성을 활용한 원격탐사는 단순히 어떤 값의 공간적, 분광적, 시간적 정보를 제공하는 것으로서 필요한 모든 정보를 제공할 수 없음에도 불구하고 그 활용성이 너무 지나치게 높이 평가되고 있는 경향이 있음.
- 둘째, 위성 활용에서 발생하는 문제점으로 위성자료는 극단값을 평가하기가 어렵고 이상치에 매우 취약하다. 연구 결과를 도출하기 위해 활용한 지수에 따라 결과 값이 상이하게 바뀔 수 있기 때문에 결과를 도출하기에 앞서 위성 자료로부터 산정 할 수 있는 지수들에 대한 검증이 필요함.
- 셋째, 인공위성 운용에 따른 문제점이다. 위성 자료가 현장 자료와 일치하지 않을 수 있다. 왜냐하면 위성 자료의 분석, 해석 및 활용을 위한 방법의 개발에 있어서 위성을 운영하는 기관의 목적에 부합하는 방향으로 진행될 수밖에 없기 때문에 범용적인 접근방법을 통해 운영될 수밖에 없음.
- 넷째, 국내에서의 위성활용 한계점이다. 동일한 지역에 대한 각 위성별/산출 알고리즘별 자료의 정확도가 상이하므로 우리나라에의 적용을 위해서는 한반도 지역에 특화된 센서와 알고리즘 선별이 필요함.

- 해결 방안으로 첫째, 위성의 특성을 보완하기 위한 보정방법 개발이 필요함.
- 둘째, 위성 자료의 개선이 필요하다. 위성의 분광 해상도를 고려해 연구에 활용할 수 있는 객관적인 지수(지표) 추가 개발, 각 위성의 목적에 맞는 적정 공간해상도를 선정하기 위한 연구 확대 그리고, 생산된 위성자료가 특정 지역뿐만 아니라 범지구적으로 적용가능한 표준화 알고리즘 개발이 필요함.
- 셋째, 위성 운용의 문제점을 개선해야 한다. 다양한 공간해상도, 시간 해상도를 가진 위성들을 개발하여 양질의 위성자료를 확보할 수 있어야함.

○ 위성영상 활용 필요성

- 지상관측자료를 기반으로 산정하는 기상학적 가뭄지수(SPI 포함)는 일반적으로 내삽기법을 통한 공간분포로 재산정하여 지도로 나타냄
- 위성영상을 활용할 경우 격자 기반으로 데이터를 취득할 수 있으며 실측값을 기반으로 미세측 지역에 대한 실제 가뭄 상황 반영이 가능함
- 또한, 장기적인 변화관측이나 환경감시 등에 유용하게 활용할 수 있으며, 재해 발생지역의 진행과 피해정도를 신속히 제공할 수 있음. 또한, 접근이 용이하지 못한 지역 및 광역적인 지역에 대하여 데이터 취득이 가능함

○ 농업가뭄 모니터링 로드맵

- 본 연구에서는 밭 중심의 농업가뭄요소로 토양수분, 증발산량, 강수량, 식생 네 가지를 설정하여, 이를 취득할 수 있는 위성영상의 종류 및 해상도와 주기 등을 조사하였고 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 및 가뭄지도 생성을 위한 로드맵을 작성함

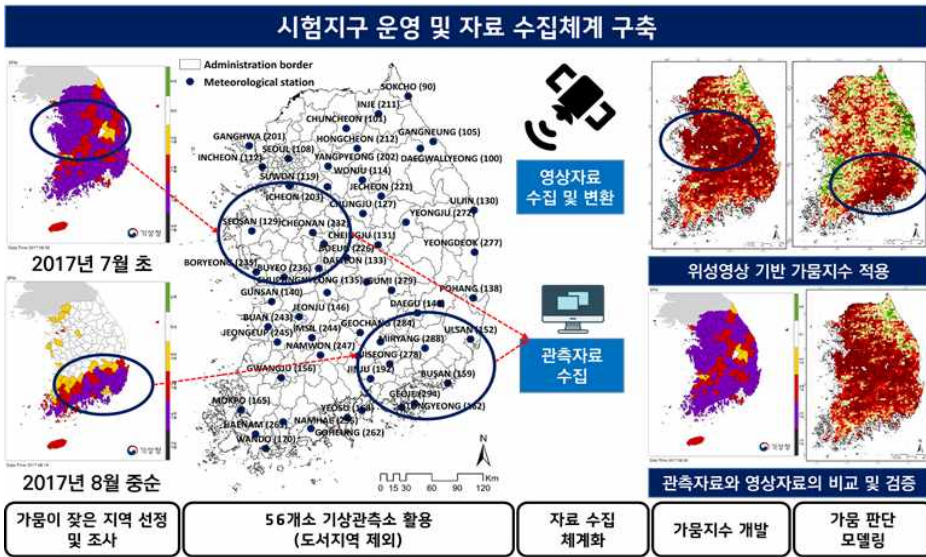


○ 농업가뭄 파라미터 추출 모듈개발

- 증발산량을 활용한 위성영상 기반 가뭄지수는 대표적으로 ESI(Evaporative Stress Index)가 있으며, 기상학적 가뭄지수와 비교하여 단기간 급속하게 발생하는 Flash drought에 대하여 민감하게 반응하는 연구 결과가 있음
- 가뭄의 특성상 장기간에 걸쳐 주기적인 데이터 취득이 중요하므로 시간 및 공간해상도에 있어서 준수한 데이터 취득이 가능한 MODIS 영상을 활용하여 농업가뭄 파라미터(ESI, 실제증발산량 및 잠재증발산량)를 선정함

○ Test-Bed 시험지구 운영

- 본 연구에서는 지상관측자료 수집을 위하여 국내 56개소의 기상관측소를 활용하였으며, 농촌진흥청에서 제공하는 토양수분 취득지점을 이용하여 기상관측과 토양수분 취득이 가능한 지점을 후보지로 선정함

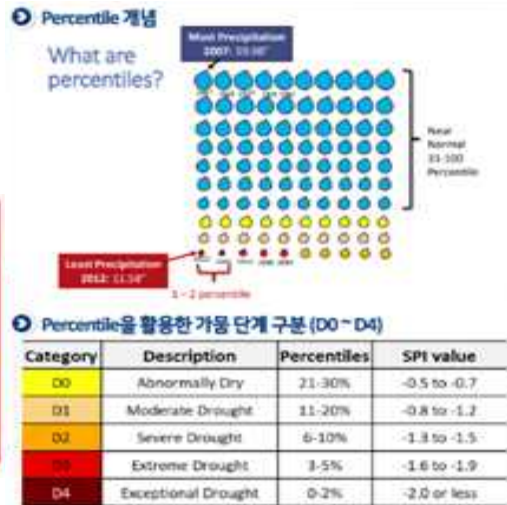


○ 농업가뭄 심도 분류

- ESI를 Percentile 적용하여 수집 가능한 ESI 데이터의 모든 격자 값을 추출하고 NDMC에서 활용하고 있는 USDM 기준 Percentile에 맞추어 Value를 산정하고 산정된 Value에 따라 가뭄 단계를 설정함 또한, 국내에서 표현하는 4단계의 가뭄에 맞추어 USDM 기준의 5 단계의 가뭄을 4단계(관심, 주의, 경계, 심각)로 바꾸어 적용함

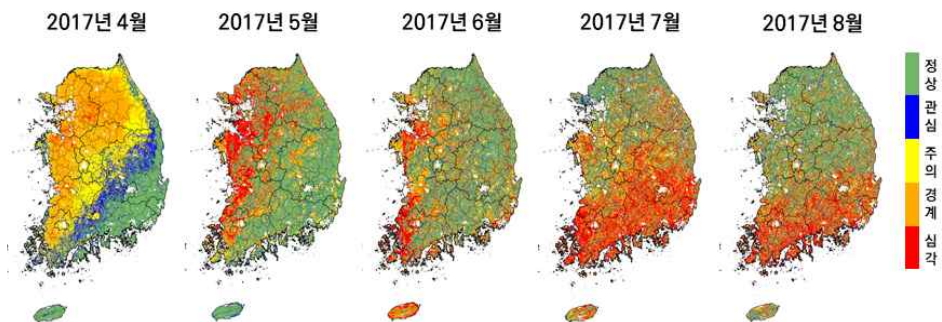
○ ESI의 percentile 적용

1. 수집 가능한 ESI 데이터의 모든 격자 값을 추출 (2001~2018)
2. USDA 기준 percentile에 맞추어 value 값 산정
3. percentile에 맞추어 적용된 value 값에 따라 가뭄 단계를 설정



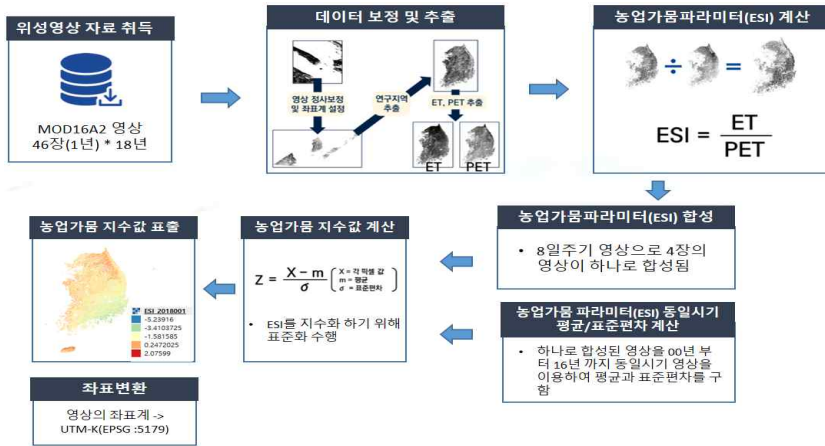
○ 농업가뭄 지수 개발

- MOD16A2 데이터를 취득하여 전 처리 하였으며, 농업가뭄 요소 (ET, PET)를 활용하여 농업가뭄 파라미터(ESI)를 산정하고 지수화 하는 작업을 거쳐 농업가뭄지수로서 적용성을 검토한 결과 적정성이 인정되었음



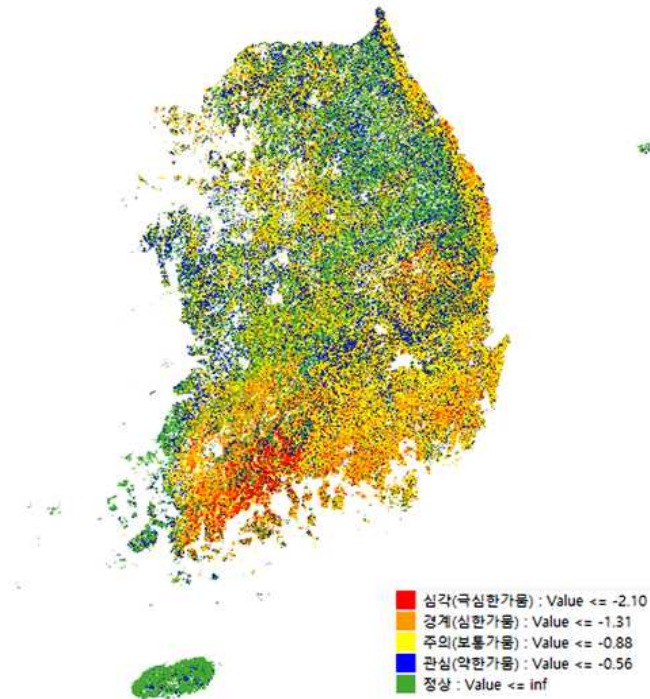
○ 농업가뭄 지도 생성기술

- 농업가뭄 지도를 생성하기 위해 본 연구에서 구현한 알고리즘은 농업가뭄 파라미터(ESI) 계산, ESI 합성 알고리즘, 평균·표준편차 계산, 농업가뭄 지수 값 계산, 좌표변환(UTM-K) 알고리즘으로 구성



○ 농업가뭄 지도제작

- 지도 표현을 위한 등급도는 지역 데이터를 표현하는 데 있어 가장 흔하게 사용되는 방법으로 지역 간 분포의 차이를 구별되는 색상이나 서로 다른 패턴으로 표현한 지도를 의미하며 본 연구에서 기술적 분류법 내의 단계적 구분법을 사용
- 단계적 구분법은 표현되는 값의 범위가 결정된 상태에서 구분된 값에 따라서 지도상에 표현되는 색상을 달리하여 연구자나 일반인이 한눈에 수치가 좋고 나쁨을 확인할 수 있는 가장 좋은 분류 기법임



○ 향후 추진방향

- 농업가뭄지도 생성에 필요한 요소 기술만을 취합하여 농업가뭄지도 생성에 특화된 별도의 단독으로 실행이 가능한 시스템 구축이 필요
- 현재 구축된 시스템은 ET와 PET 데이터를 이용하여 ESI를 계산하고 합성 영상을 이용하여 단순하게 표출된 정보만을 볼 수 있으나, 향후 공간정보 기능 추가 등을 통하여 가뭄 피해 범위, 피해 규모, 피해확산 등 과학적·정량적 정보제공을 위한 공간정보 기능 추가가 필요

○ 위성영상 시스템 구축

- 중·저해상도 위성영상은 다양한 위성영상수집 시스템을 통해 무료로 내려받아 연구 등에 활용이 가능

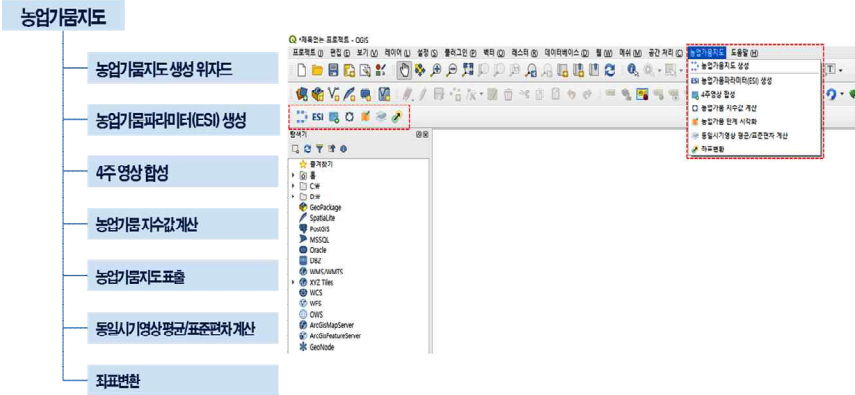
- USGS EARTH EXPLORER, 코페르니쿠스 오픈 액세스 허브, INPE 이미지 카탈로그 등 미국, 유럽 및 남미에 대표적인 7개 위성 영상수집 시스템이 존재
- 우리나라 KOMPSAT-3 & 3A 영상은 위성활용협의체 구성에 가입하게 되면 무상으로 활용 수 있음

○ 영상좌표 및 포맷 표준화

- 본 연구처럼 한반도 또는 남한 전체를 대상으로 할 때는 전국을 하나의 좌표계로 표현하는 단일 좌표계가 사용되어야 하며 UTM-K는 우리나라를 하나의 좌표체계로 관리하기 위해 국토교통부에서 고시한 좌표계로 본 연구에 가장 적합한 영상좌표계로 UTM-K를 좌표계 표준화 대상으로 함
- Geotiff 포맷은 공간정보 산업 분야에서 가장 활발하게 사용되는 포맷이며, OGC(Open Geospatial Consortium) 표준 및 WCS(Web Coverage Service) 필수 사항에 가장 적합한 표준으로 본 연구에서 Geotiff 데이터 자료 포맷을 표준화 대상으로 함

○ 표준화 모듈 적용

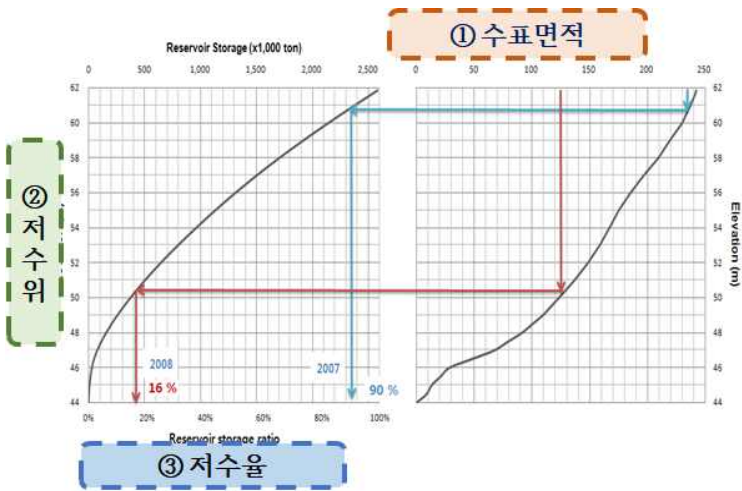
- 좌표변환 표준화 모듈은 전국 단일 좌표계 적용을 위한 UTM-K 좌표계 기준으로 표준화 모듈을 적용
- 처리된 MODIS 영상의 결과값 들은 Geotiff 형태로 일괄 저장 되도록 구현



농업기름지도 생성 프로세스의 단위 기능별 6개 모듈과 통합 기능모듈 1개로 구성

○ 위성영상 기반 가용수량 분석 기본원리

- 저수지 수위-수표면적-내용적 조건표를 이용하여 광학 위성영상에서 분류된 수표면적에 해당하는 저수율을 추적함으로써 가용지표수 결정



○ 시험저수지 선정과 자료수집

- 충청남도 태안군과 서산시에 위치한 한국농어촌공사 관할 저수

지로서 수위-수표면적-내용적 조건표와 과거 저수율 자료가 있는 28개 저수지를 시험 대상으로 선정

- 시험 저수지에 대한 과거 일저수율(2016~2018년)과 수위-수표면적-내용적 조건표를 수집하고, 각 저수지의 만수면적 경계 (polygon) 수치지도를 제작함

○ 위성영상 활용 저수량 추정

- 위성기반과 지상계측 저수율 사이에 결정계수가 0.9에 달하는 저수지도 있었지만, 시험 저수지 대부분은 매우 낮은 상관성을 보였음, 그러나 구름, 그림자, 박무/연무, 수풀, 수위-내용적 관계의 불확실성 등의 영향이 큰 것으로 추정됨

○ 위성영상 활용의 한계와 향후 추진방향

- 위성영상 기반의 가용지표수 분석 기술의 고도화와 실용화를 위해서는 유사한 분광정밀도를 갖는 광학위성을 혼용하고, Radar, Lidar, Altimetry 등 다양한 센서와 융합하는 등 소규모 저수지에서의 수표면적 변화를 모니터링 할 수 있는 영상수집 및 분석 기술의 개발이 요구됨
- 저수지의 내용적 변화를 반영할 수 있도록 기존 수위-수표면적-내용적 관계를 검토하고 최신화 하는 과정과 자료 활용 기반 구축이 추진되어야 함

제4절 기대효과 및 실용화방안

기후변화에 따른 강수량의 변동성이 커짐에 따라 지역적 가뭄 발생

빈도가 점차 심화되면서 농업 및 수자원 관련 분야의 장기 계획 수립에 있어 불확실성이 증가 되고 있는 실정이다.

이에 따른 농업가뭄에 대한 현재의 공간적 한계성을 극복하고 가뭄 분포의 변화 추이를 분석 할 수 있는 기술과 가뭄 정보의 정확성을 기하기 위한 새로운 기술개발과 더불어 농업 가뭄관리를 위한 조기경보 체계를 확립하고 물 관리 기술에 대한 새로운 패러다임 마련에 대한 논리가 절실히 요구되고 있다.

따라서 농업가뭄에 대한 시계열 위성영상 자료를 수집·분석하여 농업가뭄 파라미터 추출 등 필터링, 분류 및 체계화 방안을 통한 영상자료의 DB화와 표준화된 정보체계에 대한 기술을 개발하고 위성영상 기반 농업가뭄 적용방법 및 도입 방안에 대한 알고리즘을 정립하는 등 4차 산업혁명 시대를 맞아 위성 영상 등 최신 기술을 농업가뭄 분야에 활용함으로써 기술력 확보와 공간적인 제한성을 극복하는 농업 가뭄지도 생성기술을 개발함으로써 위성영상 기반 선제적 농업가뭄 탐지·평가를 위한 기술 개발을 실용화하기 위한 기회가 될 것이다. 이에 대한 기대효과를 정리하면 다음과 같다.

- 경제적 측면에서는 농업가뭄 관리정책의 사전예방 중심으로 방향 전환에 따른 대책 비용 절감 및 미래 농업/농촌 물 산업 핵심 아이템으로 해외 시장 경쟁력 확보
- 사회·문화적 측면으로는 4차 산업혁명과 더불어 최신기술의 농업부분 적용을 통한 사회적 이미지 향상과 농업부문의 농업가뭄 예측/평가 기술에 대한 국민신뢰도 향상 및 사회화 기업 이미지 제고
- 기술적으로는 위성영상 기반 농업가뭄 관련 자료수집/분류/체계화 정립 및 DB구축 등으로 조기경보(예측) 및 위성영상 활용 국내 농업가뭄 모니터링 모델 정립 등 기술 발전, 그리고 지역별 정밀한 농업가뭄 심화 정도 및 공간적인 변화 예측 기술 개발 및 발전으로 모니터링 기술과 공간적인 변화분석 등 기술의 타 분야 활용성 기대



제2장 농업가뭄



제2장 농업가뭄

제1절 기후변화 영향

산업혁명 이후 인류의 화석연료 사용 증가로 대기 중 온실가스 농도가 증가해 지구의 평균기온이 상승하고 있으며 인위적 온실가스 배출량은 1970년 대비 2004년 약 70% 증가 하였으며, 특히 이산화탄소는 약 80% 증가하였다. IPCC 제4차보고서에 따르면 지난 100년(1906~2005년)간 전 지구 평균온도는 약 0.74(0.56~0.92)℃ 정도 상승하고 지구 평균해수면은 1961년 이후 연간 1.8mm, 1993년 이후 3.1mm 상승하였다. 기후 변화는 단순히 기상재해를 통해 우리의 생활에 영향을 끼치는 것이 아니라, 산업 및 경제 구조의 변화를 통해서도 우리에게 큰 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

기후변화에 따른 자연재해 지속적 증가하고 있으며 1980년 대비 2010년에는 기후 관련 재해 발생율이 2.7배 증가하였고, 가뭄발생 빈도는 1904~2000년까지는 0.36회/년, 2000~2015년까지는 0.67회/년로 약 86%가 증가한 것으로 기후변화 영향이 나타나고 있다.

물의 수요는 1950~1990년 사이에 3배나 증가했고, 앞으로 35년 이내에 현재보다 2배나 증가할 것으로 예측하고 있으며 우리가 직면한 물의 위기에 대한 본질을 파악하려면 물 공급이 한계에 이르러 더 이상 늘 수 없는 곳, 강우량이 불안정적 이거나 불충분한 곳, 인구가 급격히 증가하고 있는 곳, 상호 경쟁적인 물 사용처(농업용수, 생활용수, 공업용수)가 상충되고 있는 곳 등 기후변화에 따른 지역적 편차를 기준으로 보아야 할 것으로 판단된다. 이에 대한 물에 대한 미래 전망에 대하여 (표 2-1)에 정리하여 나타내었다.

2008년 IPCC의 관측과 예측은 담수자원이 기후변화에 강하게 영향을 받을 것이라는 잠재성과 인간사회와 생태계에도 광범위한 영향을 주리라는 많은 증거를 제시하고 있다. 물 관련 주요내용은 건조지역 증가에 따른 식량의 안정성에 대한 위협성과 물 공급의 신뢰성 감소, 사회·경제적 영향 등 이다. 이를 정리하여 (표 2-2)에 나타내었다.

(표 2-1) 미래의 물 전망

기 관	미 래 물 전 망 내 용
국제인구행동연구소 (PAI:Population Action International)	- 오늘날 5억5천만명이 물압박 국가나 물기근 국가에 살고 있고 2025년까지 24억~34억명의 사람들이 물압박 또는 물부족 국가에 살게 될 것임
미국 NIC (National Intelligence Council : 미CIA산하기구)	- 2015년에는 세계 인구의 절반이 넘는 30억명 이상이 물 부족국으로 분류되는 나라에 살게 될 것임
세계기상기구 (WMO)	- 2025년 6억5천3백만명 내지 9억4백만명이, 2050년에는 24억3천만 명이 물 부족을 겪을 것임
앤더슨 국제식량기구연구소장	- 앞으로 25년 이내에 5개국 중 한 나라가 심각한 물부족 사태에 직면할 것임
산드라 포스텔 (Sandra Postel) World Watch Institute	- 향후 30년에 걸쳐 지구상의 인구는 약 24억명이 더 늘어 날 것임. 그런데 식량생산에 필요한 물의 40%만 강에서 가져온다 해도 농업용수가 매년 1천750km ³ 씩 증가해야 하며, 이 양은 대략 20개의 나일강 또는 97개의 콜로라도강의 규모와 맞먹음
국제원자력연구소 (IAEA, 2002. 3.)	- 현 추세로라면 2025년 약 27억명이 담수부족에 직면, 현재 약 11억 명이 안전한 식수원에 접근하지 못하고, 약 25억명이 비위생적인 환경에 놓여 있으며, 500만명 이상이 수인성 질병으로 사망. 비위생적인 물로 인한 사망자는 전쟁으로 인한 사망자의 10배에 달함
UN 세계 수자원개발 보고서(2003.3.)	- 지구의 1인당 담수공급량은 앞으로 20년 안에 1/3으로 줄어들 것. 2050년까지 적게는 48개국 20억명 많게는 60개국 70억명이 물부족 겪을 것. 2050년까지 인구는 93억명으로 늘고, 오염된 담수원 면적은 현재 관개용 수자원 면적의 9배에 달할 것
UN 요하네스버그 정상회담(2002)	- 2050년 세계 인구는 90억명에 이를 전망. 11억명이 안전한 마실 물 부족에 직면할 것이며, 개발도상국 질병 원인의 10%는 안전한 식수 부족 또는 물 부족에 기인함

참고자료 : 박희경, 최동진 번역, 물의 위기(2001)

(원본 : "Water, The fate of our most precious resource" by Marq de Villiers, 1999)

(표 2-2) 기후변화와 물

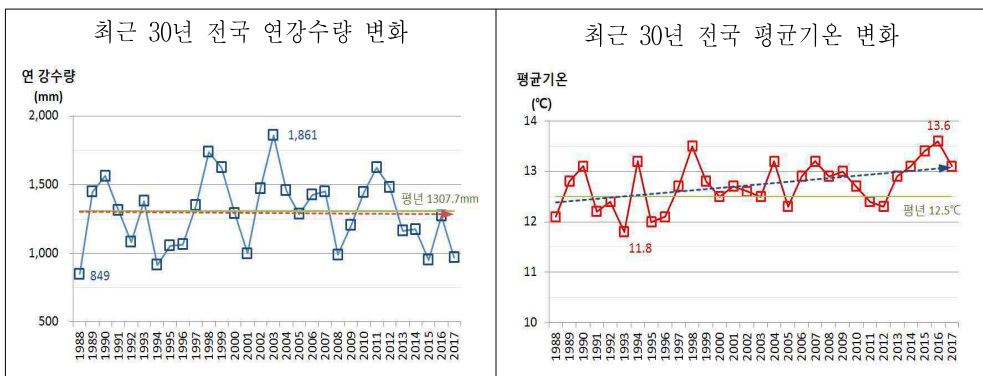
구 분	기 후 변 화 내 용
온난화 영향의 수문학적 변화	<ul style="list-style-type: none"> ○ 강수패턴과 강도 및 극치의 변화(공간적, 시간적 변동) <ul style="list-style-type: none"> - 20세기 북반구 고위도 강수량 증가, '70년 이후 남위 10°~30°사이 강수량 감소 - 호우사상의 빈도 증가(가뭄, 홍수 위험 증가) ○ 토양수분과 유출의 변화 <ul style="list-style-type: none"> - 지구상 건조지역 분류지역 토지면적 2배 이상 증가
기후변화로 인한 수질과 수량 변화	<ul style="list-style-type: none"> ○ 여러 형태의 수질오염 악화 <ul style="list-style-type: none"> - 퇴적, 영양물질, 용존유기탄소, 병원균, 살균제와 염분 유지관리 비용 증가 - 온도상승 영향으로 생태계, 인류건강과 물 시스템 의존성과 유지관리 비용 증가 ○ 물 스트레스 <ul style="list-style-type: none"> - 2050년대까지 물 스트레스 증가 우려 ○ 식량가용성, 안정성, 접근성 및 활용성 영향 <ul style="list-style-type: none"> - 식량 안정성 감소(반건조 열대 및 아시아/아프리카 삼각주 지대)
기후변화의 구조적 관계 시스템의 기능과 운영에 영향	<ul style="list-style-type: none"> ○ 담수시스템의 영향 <ul style="list-style-type: none"> - 인구성장, 경제활동 변화, 토지이용변화 및 도시화 등으로 스트레스 악화 ○ 관개용수의 변화 원인 <ul style="list-style-type: none"> - 향후 10년간 물 수요 증가 ○ 현재 물관리 방법의 기후변화에 대한 안정성 미비 <ul style="list-style-type: none"> - 물 공급 신뢰성, 홍수위험, 건강, 농업, 에너지 및 수생태계 등에 영향
수자원관리 적응 전략	<ul style="list-style-type: none"> ○ 에너지, 건강, 식량안정 및 자연보전 등의 분야에 영향 ○ 개발과 환경, 위생 정책의 관계에서 설계
기후변화와 물과 관련된 관측 및 연구 필요	<ul style="list-style-type: none"> ○ 관측자료의 접근은 관리를 위한 적응 조건 <ul style="list-style-type: none"> - 의사결정과 관련하여 수문학적 순환과 관련된 기후 변화에 대한 이해와 모델링 개선 필요 ○ 기후변화의 물 관련 정보 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - 수질, 수생태계와 지하수 관련된 영향과 사회경제적 영향에 미치는 정보 부족 ○ 현재 물 의존 부문들에 대한 적응, 경감조건 등을 종합적으로 평가하는 수단이 미비

참고자료 : IPCC(Technical Paper VI, 2008)

기후변화 추세에 따라서 강수량의 변동성이 커지고 여름철 단기간에 집중되어 물 자원의 활용도가 저하되고 있다. 최근 30년 평균 강수량의 변동성은 커지고, 기온은 상승하는 추세에 있으며 연 평균 강수량은 평년 대비 큰 폭으로 변동(14%~64.9%)하고 있으며 기온은 평년보다 0.3℃ 높아진 결과를 <그림 2-1>에서 볼 수 있다.

* 평년(1981~2010) 강수량: 1,307.7mm/최대 강수량(2003) 1,861mm, 최소(1988) 849mm

* 최근 30년(1988~2017) 평균 기온 : 12.8℃/평년(1981~2010) 기온 : 12.5℃



<그림 2-1> 최근 30년 전국 연강수량 및 평균기온 변화도

그리고 2016년 IPCC 제5차 평가보고서에서도 전 세계적 기후변화 전망 결과 기온은 '86~'05년 평균에 비해 지구 표면온도가 '16~'35년에 0.3~0.7℃ 상승되고 강수량은 국지적 불균형으로 국지적 호우와 가뭄 빈도가 높아질 것으로 전망하고 있다. 기후변화로 인해 앞으로 가뭄 위험성이 증대되고 있는 실정으로 극단적 과우현상 발생은 하천 유출량 감소와 댐 저수량 저하 등을 초래하여 농업가뭄의 전반적인 부문에서 심각한 과급 효과가 발생할 것으로 추정된다.

국내에서도 기후변화에 따른 자연재해가 지속적 증가하고 있으며 1980년 대비 2010년대 기후 관련 재해발생이 2.7배 증가하였고 가뭄 빈도는 86% 증가하였다.

* 1904~2000년 : 0.36회/년, 2000~2015년 : 0.67회 증가

따라서 기후변화는 안정적인 물 공급을 위한 수자원 계획 수립의 불확실성을 증대시키고 홍수나 가뭄 등과 같은 극심한 자연재해의 대비책 마련에 어려

움을 가중시키고 있어 기후변화에 따른 국가 차원의 농업부문 가뭄 계획 수립 필요성이 커지고 있다.

가뭄에 의한 직접적인 피해와 3배 이상의 간접적인 타 산업에 미치는 경제적 손실과 영향력이 막대함에도 불구하고 가뭄에 대해서는 종합적인 사전대책보다는 응급복구 위주로 진행되어온 가뭄대책의 문제점이 있다. 지금까지의 농업가뭄에 대한 대책으로 당해 연도에 막대한 예산을 투입하여 임시적인 관정 개발, 헬기 급수, 하상 굴착 등의 일시적인 대책으로 시행되어 왔다. 따라서, 농업가뭄에 대한 사전에 예측하는 등의 사전 대책이 추진되어야 할 필요성이 있다.

2000년 이후 가뭄 발생 빈도가 잦아지면서 가뭄 모니터링의 중요성 대두되고 있으며 최근 동아시아 권역과 미국에서는 가뭄대비 조기 경보체제를 위한 위성영상 기반 가뭄 모니터링 기술이 지속적으로 연구되고 있으며 상당히 발전되어 있으나, 국내에서는 아직 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링을 통한 가뭄 판단에 대한 국내 기술은 아직 취약한 상태이다.

제2절 가뭄 정의 및 예·경보 기준

통상 가뭄이란 강수 등의 자연현상으로 인해 인위적인 물의 공급과 수요 간의 인위적인 상호작용에 불균형을 초래하는 현상을 말한다.

가뭄에 대한 정의는 가뭄이 다루어지는 목적에 따라 각기 다르게 해석하기 때문에 명확하게 구분할 필요가 있으며, 일반적인 가뭄의 정의는 크게 일반적으로 기상학적 가뭄, 수문학적 가뭄, 농업적 가뭄, 사회 경제적 가뭄으로 정의 할 수 있다.

농업적 가뭄이란 어느 지역의 작물 성장이나 물 공급에 영향을 줄 정도로 물수지(water balance)에 심각한 불균형을 초래하는 비정상적인 날씨가 장기간 지속되는 현상을 말한다. 그리고 미국 기상국은 어느 지역의 동식물 생육에 저해를 가져올 수 있을 정도로 강수의 부족이 심각하게 장기간 지속되는 상태이거나 생활용수와 수력발전에 필요한 용수를 정상적으로 확보하지 못한 상태를 가뭄으로 정의하고 있다.

기상학적인 관점에서 가뭄은 강우가 오랫동안 발생하지 않거나 적게 발생하는 기간이 지속되는 현상으로 정의되며, 수문학적인 관점에서 가뭄은 강우량의 부족으로 인한 하천유출 및 저수량 등의 결핍을 의미하게 된다.

농업적인 관점에서 가뭄은 강우의 부족으로 인하여 토양수분의 감소 및 농업용 저수지의 저수량 저하로 농작물 생육 및 수확량에 직접적인 영향을 미치는 것으로, 기상 또는 수문학적 가뭄이 농업에 미치는 영향을 고려하여 정의된다.

사회경제적 측면은 사회 및 생활상의 문제가 발생하고, 수요공급 시장에 피해가 발생하는 경우를 말한다.

현재 국내 가뭄 예·경보 기준을 (표 2-3)에 나타내었다. 이를 살펴보면 가뭄 예·경보 기준은 생활 및 공업용수, 농업용수, 기상상황(SPI6)으로 구분되며 관심(약한 가뭄), 주의(보통 가뭄), 경계(심함 가뭄), 심각(극심한 가뭄)으로 4 단계로 구분 되어져 있다.

(표 2-3) 가뭄 예·경보 기준

구 분	가뭄 예·경보 기준
<p style="text-align: center;">관 심 (약한가뭄)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 생활 및 공업용수 : 하천 및 수자원시설의 수위가 평년에 비해 낮아 정상적인 용수공급을 위해 생활 및 공업용수의 여유량을 관리하는 등 가뭄대비가 필요한 경우 • 농업용수 : [논]영농기 평년 저수율의 70% 이하인 경우, [밭]영농기 토양 유효 수분율이 60% 이하
<p style="text-align: center;">주 의 (보통가뭄)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 생활 및 공업용수 : 하천 및 수자원시설의 수위가 낮아 하천의 하천유지용량이 부족하거나 댐·저수지에서 하천유지용수 공급 등의 제한이 필요한 경우 • 농업용수 : [논]영농기 평년 저수율의 60% 이하, 비영농기 저수율이 다가오는 영농기 모내기 용수공급에 물 부족이 예상되는 경우, [밭]영농기 토양 유효 수분율이 45% 이하 • 기상현황 : 최근 6개월 누적강수량을 이용한 표준강수지수 -1.5 이하(평년대비 약 55%이하)로 기상가뭄이 지속될 것으로 예상되는 경우로 하되, 지역별 강수 특성을 반영할 수 있음
<p style="text-align: center;">경 계 (심한가뭄)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 생활 및 공업용수 : 하천 및 수자원시설에서 생활 및 공업용수 부족이 일부 발생하였거나 발생이 우려되어 하천유지용수, 농업용수 공급의 제한이필요한 경우 • 농업용수 : [논]영농기 평년 저수율 50% 이하, [밭]영농기 토양 유효 수분율 30% 이하 • 기상현황 : 최근 6개월 누적강수량을 이용한 표준강수지수 -2.0 이하(평년대비 약 45%이하)로 기상가뭄이 지속될 것으로 예상되는 경우로 하되, 지역별 강수 특성을 반영할 수 있음
<p style="text-align: center;">심 각 (극심한 가뭄)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 생활 및 공업용수 : 하천 및 수자원시설에서 생활 및 공업용수 부족이 확대되어 하천 및 댐·저수지 등에서 생활 및 공업용수 공급 제한이 발생하였거나 필요한 경우 • 농업용수 : [논]영농기 평년 저수율 40% 이하, [밭]영농기 토양 유효 수분율 15% 이하 • 기상현황 : 최근 6개월 누적강수량을 이용한 표준강수지수 -2.0이하(평년대비 약 45%이하)가 20일 이상 지속되어 전국적인 가뭄피해가 예상되는 경우로 하되, 지역별 강수 특성을 반영할 수 있음

제3절 가뭄의 분류

가뭄은 강수현상과 물의 용도에 따라 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄, 사회경제학적 가뭄으로 구분된다.

이런 다양한 가뭄의 영향은 시간적인 차이를 가지고 발생한다. 먼저 기후변화에 따라 강수량이 감소하거나 증발산량이 증가하는 등은 기상학적 가뭄에 영향을 미치게 되고, 기상학적 가뭄이 지속되면 토양 함수량의 감소로 이어져 작물 생산량 감소 등 동식물의 삶에 영향을 주게 되어 농업적 가뭄이 발생하게 된다. 이후 하천유출 감소나 저수지, 댐 등의 유입량 감소로 이어지는 수문학적 가뭄이 발생하게 되고, 최종적으로 환경 및 지역의 경제에 영향을 미치게 되는 사회경제적 가뭄이 발생하게 된다. 이러한 이유로 인해 약한 가뭄의 경우는 농촌지역은 피해를 느끼기 시작하지만 도시에서는 가뭄의 피해를 느끼지 못하고 지나가는 경우가 생기게 된다(한국기후변화대응연구센터, 2015).

현재 통용되고 있는 여러 가지 가뭄을 크게 분류하면 네 가지 종류로 요약 할 수 있으며 이를 (표 2-4)에 정리하여 나타내었다.

(표 2-4) 가뭄의 분류

분 류	내 용
기상학적 가뭄 (Meteorological Drought)	주어진 기간의 강수량이나 무강수 계속일수 등으로 정의되며 기상현상의 영향을 직접적으로 표현하는 가뭄 (건조의 정도와 지속시간)
수문학적 가뭄 (Hydrological Drought)	물 공급에 초점을 맞추고 하천유량, 저수지, 지하수 등 가용 수자원의 양으로 정의한 가뭄 (강우부족에 따른 저수지의 수위는 수개월 후 발생)
농업적 가뭄 (Agricultural Drought)	농업에 영향을 주는 가뭄을 언급한 것으로 농작물 생육에 직접 관계되는 토양수분 부족으로 피해가 발생하는 가뭄 (기상학적 가뭄, 수문학적 가뭄과 연결되고 기상학적 가뭄과 농업적 가뭄의 발생 시기/심도/기간 등이 다르기 때문에 분야에 적합한 가뭄지수 필요)
사회경제학적 가뭄 (Socioeconomic Drought)	생활용수, 공업용수, 농업용수 수요와 공급의 부족으로 인한 생활양식 변화, 공업용수 영향, 농업방식 변화 등의 요소가 포함 되어 피해 발생(물의 수요와 공급을 기상학적/수문학적/농업적 가뭄의 요소와 관련하여 정의)

먼저 기상학적 가뭄은 주어진 기간의 강수량이나 무강수 계속일수 등으로 정의하는 가뭄으로 일반적으로 건조의 정도와 지속시간으로 정의된다.

주로 예년 치와의 비교로 이루어지며 보통 1개월 이상의 기간에 걸쳐 강수량이 감소하여 발생하는 것을 의미 한다. 해당지역의 독립적인 개념으로서 다른 지역과의 직접적인 비교는 어려우며 해당지역에서 증발량은 큰 차이가 없으나 강수량은 변동 폭이 크므로 주로 강수량에 따라 기상학적 가뭄이 발생하게 된다. 하지만 최근 IPCC 보고서에 따르면 기온 상승으로 인해 증발량이 증가하여 가뭄에 미치는 영향이 커질 것으로 예측된다. 따라서 장기적인 관점에서는 기상학적 가뭄을 판단할 때 증발량을 고려할 필요가 있다.

둘째, 농업적 가뭄이란 농작물 생육에 직접 관계되는 토양수분이 부족하여 농작물에 피해가 생기는 경우를 의미 한다. 농업적 가뭄은 가뭄이 시작될 때 저수지의 저수량 의존도가 크기 때문에 일반적으로 가장 먼저 영향을 받는다. 기상학적 가뭄 또는 수문학적 가뭄의 강수의 부족, 실제 증발산량과 잠재 증발산량의 차이, 토양내 수분결핍, 저수지 수위 및 지하수위 하강 등의 현상들과 연결된다. 농작물의 종류, 생육단계, 토양의 물리학적·생물학적 특성 등에 따라 물 수요량이 다르므로 일률적으로 판단하기는 어렵고 성장단계 별로 가뭄 영향정도를 표현하는 것이 필요하다.

타 분야에서의 가뭄지수들은 각 분야별에 따른 가뭄 특성을 나타내고 있기 때문에, 각 분야에서는 적합하지 않는 경우가 빈번하다. 특히, 기상학적 가뭄과 농업적 가뭄의 발생 시기 및 심도, 기간 등이 다른 형태를 나타내기 때문에 각 분야에 맞는 가뭄지수를 설정하는 것이 중요하다.

셋째, 수문학적 가뭄이란 하천, 저수지, 지하수 등의 가용 수자원의 양과 기준이 되는 수치와의 비교로 정의하는 가뭄으로 강수의 부족으로 인해 지표수 또는 지하수의 양이 줄어드는 것을 말한다. 수문학적 가뭄은 일반적으로 기상학적 및 농업적 가뭄의 발생시기와 어느 정도 시간적인 지체를 가지게 된다. 강우부족이 토양수분, 하천유출, 지하수와 저수지 저수량과 같은 수문학적 요소에서 나타나기 까지는 시간이 더 걸린다.

따라서 여러 서로 다른 용수의 사용 분야는 그들의 용수 공급에 대한 근원에 의지하기 때문에 가뭄의 영향은 다른 경제적인 분야와 시기가 다르다. 예를 들어 강우부족은 농업에서 즉각적으로 인식할 수 있는 토양 수분의 급격한 감소를 야기할 수 있지만 저수위에 있어서는 이러한 강우 부족의 영향은 수개월 동안 영향을 주지 않을 수 있다.

또한, 기후가 수문학적 가뭄의 주된 원인 제공자이지만 토지이용 및 이에 따른 산림훼손, 토지침식, 댐 건설과 같은 모든 것이 유역의 수문학적 특성에 영향을 미친다. 상류에서의 토지이용 변화는 침투, 유출율과 같은 수문학적 특성을 변화시킬 수가 있으므로 하천유출을 더욱 변화시키며 하류의 수문학적 가뭄의 발생을 높이기도 한다.

넷째, 사회경제적 가뭄이란 다른 측면의 가뭄을 모두 고려한 넓은 범위의 가뭄 정의로 물의 수요와 공급을 기상학적, 수문학적, 그리고 농업적 가뭄의 요소와 관련시켜 정의한다. 따라서 물 부족으로 인해 사회 및 생활상의 문제가 발생하고, 경제적인 상품의 수요·공급 시장에 피해가 발생하는 것을 의미한다. 특히 물 부족으로 인해 상품 생산에 필요한 물의 수요에 비해 공급이 미치지 못할 때 발생한다. 그리고 사회경제적 가뭄은 강우가 부족 할 뿐만이 아니라 생활양식의 변화, 공업의 발달, 농업방식의 변화 등 수요변화 요소가 포함되므로 정확한 원인을 밝히는 것은 어려울 수 있다.

제4절 가뭄지수

가뭄지수는 강우, 강설, 유출 그리고 다른 물 공급을 나타내는 여러 가지의 자료들을 이해하기 쉬운 숫자 및 그림으로 나타내기 위해 사용되며, 가뭄지수 값은 일반적으로 하나의 숫자로 나타내는데 실제의 기본 자료보다 정책결정에 있어 대단히 유용하다. 가뭄지수 산정방법들은 모든 가뭄 상황에 대해서 효율적이지는 못하나, 특정한 용도에 있어서 적정하게 적용될 수 있는 것으로 (표 2-5)는 여러 국가에서 사용되는 가뭄지수의 종류에 따른 가용자료와 장·단점을 정리한 것이다.

(표 2-5) 각종 가뭄지수

가뭄지수	가용자료	장 점	단 점
정상강우백분율 (PNP) (평균치비율)	- 강수량	- 단일지역 또는 계절을 비교함에 있어 상당히 유효함	- 극치강우의 영향이 크게 나타남 - 정규분포형을 보장할 수 없음
십진분류 (Deciles) (강수량십분위)	- 강수량	- 강우에 대한 정확한 통계치 제공	- 정확한 계산을 위해 장기간의 강우 지표 필요
파머가뭄심도 지수(PDSI) (파머가뭄지수)	- 강수량 - 기온 - 유효토양 수분량	- 지역의 기후적 상이성을 고려	- 가뭄의 출현 시기가 지체될 수 있음 - 산악지역이나 극한 기후상태가 빈번한 지역은 정확도가 떨어짐 - 복잡, 불명확하고 주·월 지속기간에 국한
표준화강수지수 (SPI) (표준강수지수)	- 강수량	- 다양한 지속기간에 대해 산정 될 수 있음 - 가뭄의 조기 경보 제공 - 타 방법에 비해 간단함	- 강수량(입력자료)만 고려 - 이전에 산정된 지수 값이 변할 수 있음
작물수분지수 (CMI) (작물지수)	- 강수량 - 기온	- 잠재적인 농업가뭄 정의	- 농업가뭄에 국한
전국강우지수 (RI)	- 강수량	- 국가규모의 생산량과 상관 시키는데 유용	- 전반적인 가뭄상태를 알 수 없음 - 농업가뭄에 국한
강수량 효과비	- 강수량 - 증발량 - 월평균기온	- 식물성장의 판단에 유용	- 기후적 특성에 지배됨
유효가뭄지수 (EDI)	- 강수량 - 강수집중도 (시간)	- 가뭄의 기간 정의 가능 - 수자원 부족량 및 잉여량 까지 알 수 있음	- 월 단위는 가뭄 기간을 정의 할 수 없음 - 위협에 대한 대비가 어려움
식생지수 (VI)	-식생의 특징 (위성영상)	-NDVI : 동일한 위치, 시기에서의 픽셀 값의 변화를 통한 가뭄 판단 -EVI : 식생의 활력도 및 농작물 생산량 추정	-
수문학적 가뭄지수 (MSWSI)	- 수자원량	- 강수량, 댐저수위, 하천수위 및 지하수위의 변동 특성 고려 가뭄평가	-
저수지공급지수 (WADI)	- 실제 용수 공급량	- 실제 사용하고 있는 용수 공급 시설물의 고려한 가뭄지수	-
표준강수증발산 지수(SPEI)	- 증발산량	- SPI와 PDSI의 단점을 보완한 가뭄지수	-

- 정상강우백분율(Percent of Normal Precipitation)/평균치 비율
가뭄을 판단하는 가장 간단한 방법 중의 하나로 단일지역이나 특정한

기간에 대해 적용가능하며 평균치 비율 = (실제강수/평균강수) × 100로 산정하는 방법이다.

(표 2-6) 평균치 비율에 따른 가뭄정도

단계	지수범위	가뭄 상황
매우가뭄	55미만	○ 작물손실, 광범위한 물 부족, 제한급수 고려 필요
가뭄	55~80	○ 작물에 다소 피해 발생, 물 부족 시작, 자발적 절수 요구
정상	80~100	○ 식물 성장에 필요한 정도로 강수가 충분함
습함	110이상	○ 충분한 강수로 인해 가뭄상황 없음

출처 : 피해액 산정기준 마련 등 제도화 방안연구, 소방방재청

○ 십진분류(Deciles)/강수량 십분위

30년 이상의 특정기간(1개월, 3개월 등)에 대한 강수량을 적은 것부터 나열하여 10등급(10% 간격)으로 구분한 후 실제 같은 기간의 강수량이 나열된 10등급에 속하는 범주에 따라 가뭄정도 판단하는 방법이며 상대적으로 계산하기 쉽고 파머지수보다 자료도 적게 요구하면서 가정치도 적기 때문에 호주 가뭄시스템이 가뭄의 기상학적 측정도구로 사용되고 있으며 정확하게 산정하기 위해서는 장기 기상자료가 필요하다는 단점이 있다.

○ 파머가뭄심도지수(Palmer Drought Severity Index)/파머가뭄지수

파머가뭄지수(PDSI, Palmer Drought Severity Index)는 표준강우지수(PSI)와 더불어 전 세계적으로 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 산정 시 미국 지역의 특성을 반영한 계수를 사용하여 국내 적용시 계수에 대한 조정이 필요하다.

더불어 파머가뭄지수는 지수 산정시 입력 자료의 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 (배덕효 등, 2013).

PDSI는 크게 수분수지 해석과 가뭄지수 산정으로 나눌 수 있으며, 주요 입력 자료는 월별 강수량과 기온, 위도별 일조시간, 보정계수, 상부 및 하부토층의 토양유효용량 등이 있으며, 개략적인 산정 절차는 다음과 같다.

- 기상자료(강수량, 기온)자료 수집
- 물 수지모형(water budget model)이용 실제 및 잠재성분 산출
 - 증발산량, 수분함양량, 유출량, 수분 손실량
 - Thornthwaite(1942) 월 열지수법 등으로 잠재증발산량 산정
- 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	γ : 유출량계수
α : 증발산량계수	δ : 손실량계수
β : 함양량계수	I : 1,2,3 ... 12월

- 잠재성분과 실제성분의 비율을 계산하여 4개의 성분에 대한 계수 산정
- 물수지 모형으로 계산된 월별 잠재성분을 대입하여 CAPEC 강수량 산정
- 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 : 실제 강수량 d : 수분편차

- PDSI 산정공식에 의해 결과 도출
 - 매개변수 a, b는 이전 월의 상황과 현재 수분상황의 영향 정도를 의미하는 매개변수
 - Palmer 제시값 : a = 0.897, b = 0.333

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

X : 파머가뭄지수 Z : 수분이상지수

- 기후특성인자를 이용한 시간, 지역 편차 보정후 PDSI 결정
 - 수분편차의 지역적 보정을 위한 기후특성인자(K)의 경험계수 c
 - Palmer 제시 값 : 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 (표 2-7)에 정리하여 나타내었다.

(표 2-7) PDSI 지수별 가뭄심도 분류

지수범위	상태
≥ 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)
≤ -4.00	극심한 가뭄(Extreme drought)

○ 표준화강수지수(Standardized Precipitation Index)/표준강수지수

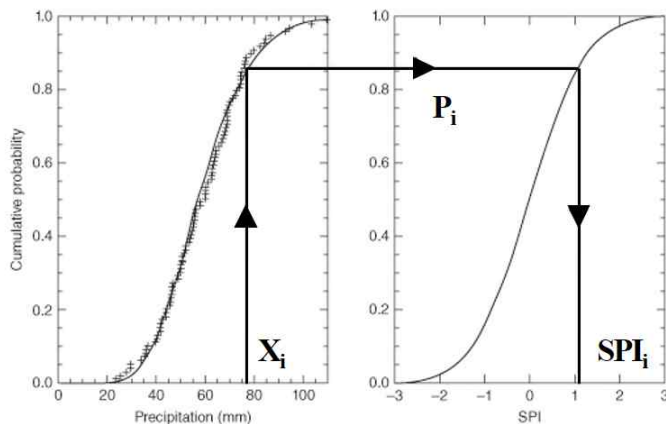
가뭄지수 중 기상과 직접적으로 관련 있는 가뭄지수는 표준강수지수, 파머가뭄지수, 강수년평년비, 유효가뭄지수 등 4가지 가뭄지수가 있으며 이중 가장 널리 활용되고 있는 지수는 표준강우지수(SPI)이다. 표준강우지수(SPI)는 수개월의 기간에 대한 강수량에 적정 확률분포형을 선정하여 강수 부족량을 표현한 지수로 산출기간에 따라 SPI1, SPI3, SPI6, SPI12 등으로 표현한다.

표준강우지수(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 표준강우지수를 산정 할 때에는 누적강수량의 확률분포를 추정하는 과정이 필요하며, 일반적으로 Gamma 분포, Pearson Type3 (PE3)를 많이 활용한다. 표준강우지수는 다양한 시간간격에 대하여 산정이 가능하며 가뭄을 초기에 인지 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 더불어 많은 선행연구를 통하여 표준강우지수는 가뭄분야에 활용성이 높은 것으로 평가 되었으며, WMO(세계기상기구)의 공식 기상학적 가뭄판단 지수로 현재 활용되고 있다. 하지만, 표준강우지수의 신뢰성

있는 결과를 도출하기 위해서는 30년 이상의 장기간의 강수량자료를 필요로 한다. 표준강우지수(SPI)의 개략적인 산정방법은 다음과 같다.

- 기상자료(강수량)수집: 최소 30년이상
- 산출한 표준강우지수(SPI)의 시간척도를 결정 : SPI1, SPI3, SPI6, SPI12 등 ex) 30일(1개월), 90일(3개월), 180일(6개월), 360일(12개월)
- 결정한 시간척도에 대하여 일자별 이동 누적시계열 365세트를 구성
- 각 세트별 연별 이동누적시계열을 작성하여 Xmmdd 시계열을 구축
- 각 일자에 따라 구성된 365개의 시계열에 적합한 365개의 확률분포 추정
- 각 이동누적시계열 Xmmdd을 추정된 확률분포에 따라 누적확률값으로 변환
- 변환된 누적 확률 값에 대한 표준정규분포의 Z(SPI)값을 산출



<그림 2-2> SPI 산정개념도(Mckee et al., 1993)

SPI 지수에 따른 가뭄심도 분류는 SPI가 2이상인 경우 극심한 심윤(Extremely wet), $-0.99 \sim +0.99$ 인 경우 정상상태(Near normal), -2 이하인 경우 극심한 가뭄(Extremely drought)로 구분하며, 세부 분류는 (표 2-8)과 같다.

(표 2-8) SPI 지수별 가뭄심도 분류

지수 범위	상태
≥ 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)
≤ -2.00	극심한 가뭄(Extreme drought)

- 작물수분지수(Crop Moisture Index)/작물지수
 CMI는 수분의 변화 상태에 빠르게 반응하고 지역과 시간으로 가중되어 일반적으로 서로 다른 지역에서의 수분상태를 비교하는데 사용될 수 있으며, 주요 작물 생산지역에 걸친 단기간의 수분공급량을 반영하며 잠재적인 농업 가뭄을 확인할 수 있다.
 특히, 성장하는 곡물에 영향을 주는 단기간 수분상태를 관측하기 위하여 제안되었기 때문에 장기간의 가뭄관측의 적용은 곤란하다.
- 전국강우지수(National Rainfall Index)
 NRI는 모든 개별 관측고의 장기간 강우 평균치에 의해 가중되어진 전국 연 강우량 평균치를 취함으로서 계산되어지며, 강우와 국가규모의 생산량과 상관시키는 목적으로써는 매우 유용한 방법이지만, 가뭄 상태나 전반적인 가뭄으로부터 발생하는 수문학적 및 환경학적 그리고 사회학적 영향을 고려할 경우에는 도움이 안 될 수 있다.
- 강수량효과 비 및 증발량
 Thornthwaite가 기후분류를 위해 사용한 방법으로 연강수량을 연증발량으로 나눈 비로 이 지수는 식물의 성장, 발육상태 및 기준일로 부터 과거 한 달간의 기후특성을 파악하는데 활용하는데 유용하다.

(표 2-9) 평균치 비율에 따른 가뭄정도

단계	지수범위	가뭄 상황
사막기후	0.25미만	· 토지가 늘 건조해서 사막이 됨
사바나 기후	0.25~0.5	· 토지가 건조해 있는 시기가 길어 건조에 강한 풀만이 자랄 수 있는 사바나 기후가 됨
초지기후	0.5~1.0	· 비가 올 때 물이 지표에 고이지만 증발하여 건조해지는 시기가 발생하므로 나무는 자라기 어렵고 풀만이 살 수 있는 정도의 초지기후가 됨
산림기후	1.0이상	· 강수가 증발량보다 많은 것으로 토지는 늘 습하고 나무가 자랄 수 있기 때문에 산림기후가 됨.

출처 : 피해액 산정기준 마련 등 제도화 방안연구, 소방방재청

○ 유효가뭄지수(Effective Drought Index)

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.

- 기상자료(강수량)자료 수집
- 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 2-10) EDI에 의한 가뭄의 분류

가뭄지수의 범위	수분상태
< -0.7	보통가뭄 (Moderate Drought)
< -1.5	심한가뭄 (Severe Drought)
< -2.5	극한가뭄 (Extreme Drought)

출처 : 피해액 산정기준 마련 등 제도화 방안연구, 소방방재청

○ 식생지수

식생지수는(Vegetation Index)는 단위가 없는 복사 값으로 식물의 양과 반비례를 나타내는 적색광 영역의 엽록소 흡수현상과 식물의 양과 비례 관계를 나타내는 근적외선 영역에서의 잎의 산란효과를 기초로 위성 영상의 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 수행 중이다.

식생지수는 식물 분광반사율의 특징을 살려서 위성 데이터의 밴드를 조합하여 간단한 연산에 의해 식생의 특성을 추출하는 지수로 여러 연구자들에 의해 약 50여 종류가 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 식생 활력의 변화를 기상요소의 변화에 따른 영향으로 한정하여 동일한 위치와 시기에서의 픽셀 값의 변화를 통해 가뭄을 판별한다.

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

ρ_{NIR} : 근적외선 밴드의 분광반사도

ρ_{RED} : 적외선 밴드의 분광반사도

EVI(Enhanced Vegetation Index)지수는 생체량이 많은 지역에서 식물의 신호값을 효과적으로 파악하기 위해 개발되었으며 NDVI와 함께 널리 사용되고 있는 대표적인 식생지수이다. 청색광, 적색광, 근적외선을 함께 사용하여 대기효과 보정상수, 토양효과 보정상수, 에어로졸 제거를 위한 유효계수 등을 사용하여 식물의 반사값에 영향을 주는 토양의 배경 효과와 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

○ 수문학적 가뭄지수(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 결핍 상태, 즉 기 확보된 가용 수자원의 부족현상을 말한다. 즉, 수문학적 가뭄 지수는 하천, 지하수, 저수지 등 수문학적 인자들을 사용하여 가뭄 정도를 판단하는 지수이다. Shafer & Dezman은 1982년 용설량, 저류량, 하천유량, 강수량을 입력인자로 하여 가뭄을 평가하는 수문학적가뭄 지수인 SWSI(Surface Water Supply Index)지수를 개발하였다. 이를 기반으로 국내에서는 복잡한 지형조건과 다양한 물공급 특성을 반영하여 SWSI를 보완한 MSWSI(Modified SWSI)를 개발하였다.

앞서 설명 하였듯이 MSWSI는 수문학적 가뭄평가를 위해서 강수량, 댐저수위, 하천수위 및 지하수위(하천 인근 지점)의 변동 특성도 고려하여 가뭄평가를 시도한 지수로 우리나라 수자원단위지도의 표준유역 단위로 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 (안국현, 2010).

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

PN : 비초과확률

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

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

○ 저수지 공급지수(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 개발된 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 극복하기 위해 전국 취수원의 용수공급까지 고려하고 있다.

○ 표준강수증발산지수 (SPEI)

표준강수 증발산지수(SPEI, Standardized Precipitation Evaporation Index)는 SPI와 PDSI의 단점을 상호 보완한 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.

$$D_i = P_i - PET_i$$

제5절 논·밭 가뭄

논·밭에서 작물 측면의 가뭄은 기상학적 가뭄과 관계가 있지만 일반적으로 기상학적 가뭄 형태와 다르게 나타난다.

통상 가뭄은 기상재해이다. 즉 수자원량이 평균보다 부족한 것을 의미하기 때문에 반드시 단기간의 물 부족이 논·밭작물에 있어 가뭄을 발생하지는 않는다. 논·밭작물은 담수심 및 토양수분의 영향으로 작물이 생육하기 때문에 담수심 및 토양수분은 작물의 생육에 중요한 요소이다.

논에서 모내기 필요수량이 부족한 경우 1년 농사 망친다는 말이 있다. 이는 농업적 가뭄을 의미하며 농작물 성장에 필요한 담수심이 확보 되지 못한 것을 뜻한다. 시기별, 지역별, 작물별 적정 필요수량이 있으며 이것이 부족할 경우 국지적 가뭄 현상으로 통상 농업적으로 물 부족이라 한다. 심각한 물 부족은 작물의 품질이 떨어지고 때론 고사한다. 그리고 논바닥이 썩썩 갈라지는 등 논 물 마름 현상을 가져오게 된다.

논에서의 물소모량은 작물의 생육단계 혹은 경작방법에 따라 필요한 용수량이 다르므로 동일한 기상조건과 수문 조건이라도 시기에 따라 다른 의미로 해석되어야 한다. 못자리기간이나 모내기 기간 동안 동일한 강우량이 발생하더라도 증발산량과 못자리 면적, 모내기 면적이 적은 지역보다 일반적으로 재배 면적이 넓은 지역에서는 상대적으로 물이용에 제약이 클 수밖에 없다.

이상에서 살펴본 바와 같이 논 작물에 있어 가뭄이란 농경지 내에서 재이용 용수의 부족 및 담수심의 부족 등으로 작물의 생육에 지장을 초래하는 경우와 농경지 주변 수리시설물의 용수공급 능력이 부족하여 작물 생육 불량 및 수확량이 감소되는 것을 논에서의 가뭄이라 판단된다.



<그림 2-3> 논가뭄(논 물마름) 현상

밭 가뭄은 작물의 잎이 까맣게 타들어 가거나, 토양의 유효 수분율이 떨어지는 것을 말한다. 통상 밭 가뭄은 토양 유효 수분량이 부족할 경우 잎 시들음 현상이 일어나고 밭 토양이 건조하여 먼지가 날리는 현상이 일어나는 것을 말한다. 우리나라 밭 토양에서는 토양의 보수력이 낮기 때문에 무강우 일수가 15일 정도만 계속되어도 유효수분의 부족으로 정상적인 작물의 생육이 어렵다.

따라서 농업적 가뭄은 기상학적, 수문학적 가뭄의 중간 형태로 작물의 생육에 직접 관계되는 담수심 유지, 토양의 유효수분량 등이 중요한 요소이고 농경지 주변 수리 시설물의 용수공급 능력 등에 따라서도 좌우되기 때문에 일반적인 강수량 부족 즉 물 부족이 농업적 가뭄을 뜻하지는 않는다. 그러므로 농업적 가뭄을 판단하기에는 많은 어려움이 따른다.

그리고 통계학적으로 논 물 마름 면적 및 밭 시들음 면적 파악에 있어 현장 조사자의 개인적인 의향에 따라 면적 집계에 오류가 발생하기도 하므로 이에 대한 명확한 기준이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 논 물 마름 현상에 대한 논바닥의 실금 또는 갈라지는 정도에 대한 토양 종류별 어느 정도까지 판단 할 것인지에 대한 기준을 명확히 하여야 할 것이다. 또한 밭 작물에 있어 시들음 면적 파악에 있어도 현장 조사자에 따른 오류가 발생하므로 시기별, 종류별 작물에 대한 시들음에 대한 가이드라인이 필요할 것으로 판단된다.

현행 농업용수 가뭃의 예·경보 판단 기준은 4단계로 구분되며 먼저 관심(약한 가뭃)단계는 논 작물에 있어 영농기(4월~10월)에 평년 저수율의 70% 이하인 경우, 밭작물은 영농기(4월~10월) 토양 유효 수분율이 60% 이하인 경우이다. 그리고 주의(보통가뭃) 단계는 영농기(4월~10월) 평년 저수율의 60% 이하, 비영농기 저수율(11월~익년 3월)이 다가오는 영농기 모내기 용수공급에 물 부족이 예상되는 경우, 밭작물은 영농기(4월~10월) 토양 유효 수분율이 45% 이하인 경우이다.

경계(심한가뭃)단계는 영농기(4월~10월) 평년 저수율의 50% 이하인 경우, 밭작물의 경우 영농기(4월~10월) 토양 유효 수분율이 30% 이하인 경우이고 심함(극심한 가뭃) 단계는 영농기(4월~10월) 평년 저수율의 40%이하인 경우, 밭작물의 경우 영농기(4월~10월) 토양 유효 수분율이 15% 이하인 경우로 구분되어 있다.

제6절 가뭄 관련 강수량 분석

한국농어촌공사 가뭄센터의 자료 중에서 밭작물별 재배기간별 필요 수량을 정리한 결과는 (표 2-11)에 정리하여 나타내었다.

(표 2-11) 작물별 필요수량

작물	지역 별			재배 기간(월)	평균필요수량 (월, mm)	평균필요수량 (일, mm)
	북부	중부	남부			
상추	205	208	195	2	101.3	3.4
봄배추	216	226	215	2	109.5	3.7
무	235	253	237	2	120.8	4.0
감자	223	234	222	2.5	90.5	3.0
옥수수	367	397	398	4	96.8	3.2
콩	330	360	376	4	88.8	3.0
고구마	332	373	379	4	90.3	3.0
고추	408	446	481	5	89.0	3.0
사과	536	537	577	6	91.6	3.1
가을배추	155	142	161	2	76.3	2.5
보리	424	376	340	7	54.3	1.8
밀	352	303	249	7	43.0	1.4
배	552	597	594	6	96.8	3.2

재배기간 중 월 평균 필요수량이 가장 적은 작물은 밀과 보리로 43.0mm~54.3mm이다. 필요수량이 가장 많은 작물은 무와 봄배추로 109.5mm~120.8mm로 나타났다. 작물별 차이는 있지만 (표 2-11)에서 밭작물의 월평균 필요수량(보리, 밀 제외)은 85.7mm로 나타났다. 이를 순별(10일)로 산술 평균하면 28.6mm이다.

따라서 작물별 시기별 차이는 있지만 토양의 수분 보유율이 15일 정도라는 가정 하에 밭작물의 필요수량 기준으로 가뭄 판단을 위한 강수량은 42.9mm/15일로 판단 할 수 있을 것이다(밭작물의 유효토양수분(TRAM)을 고려하지 않은 경우).

또한 현재 가뭄 발생지역은 기상 관측소 중심의 시·군 단위로 현재 추정되고 있으며 가뭄 발생 빈도가 높은 지역의 기상 관측소 중심으로 강우 자료를 분석하였다. 가뭄이 발생한 대표지역을 연도별 3월~7월까지 정리하여 (표 2-12)에 나타내었다.

(표 2-12) 연도별 가뭄 발생 지역

연도	대표적 가뭄발생 지역(3월 ~ 7월)	비고
2019	강화, 파주, 강릉, 철원, 속초, 천안, 서산, 안성, 고창, 해남, 봉화, 포항, 경주,	
2018	안성, 화성, 평창, 진천, 음성, 천안, 경주	
2017	안성, 서산	
2016	완도, 강화, 평창, 속초, 울진, 문경, 안동	
2015	강화, 파주, 강릉, 횡성, 속초, 울진, 상주, 봉화, 진천	
2014	-	
2013	완도, 경주, 포항, 울진, 영덕, 의성, 울산 거제, 남해, 고성	
2012~2016	강릉, 양구, 철원, 정읍, 김제, 고창, 남해, 강진, 무안군, 진도, 해남, 경주, 봉화, 영덕, 울진, 상주	

2012년~2019년까지의 최근 8개년 동안 가뭄이 발생한 32개 지역 중심으로 1991년~2019년까지 30개년 기간 동안 3월~7월까지의 강우량 및 전국 관측소의(72개소) 1981~2010년까지 30개년 기간의 강우량 자료도 (표 2-13)에 정리하여 나타내었다.

이를 살펴보면 가뭄 발생지역의 3월 평균 강우량은 56.91mm, 4월 평균 강우량은 92.43mm, 5월 평균 101.1mm, 6월 평균 141.3mm, 7월 평균 278.9mm로 분석되었다. 이는 7월부터는 집중 호우 영향으로 월 평균 강우량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 그리고 전국관측소 30개년(1981~2010년) 평균 월평균 강우량은 3월 59.5mm, 4월 83.1mm, 5월 106.7mm, 6월 163.1mm, 7월 292.6mm로 최근 가뭄발생 지역 중심의 월 평균 강우량(1991~2019년, 30개년)과 조금은 차이가 있지만 유사한 값으로 분석되어 30개년 평균의 월강우량은 가뭄 지역과 전국 관측소(72개소)의 평균값이 비슷한 값으로 나타나는 것을 알 수 있다.

(표 2-13)에서 3월 평균 강우량의 10년 빈도 가뭄 강우량은 28.16mm, 20년 빈도가뭄 강우량은 16.67mm로 분석되었다. 4월 평균 강우량의 20년 빈도 가뭄 강우량은 34.74mm, 50년 빈도 가뭄 강우량은 14.60mm이고, 5월 평균 강우량의 20년 빈도 가뭄 강우량은 43.6mm, 50년 빈도 가뭄 강우량은 21.09mm로 나타났다.

(표 2-13) 가뭄 발생 지역 중심 가뭄 빈도별 강우량(1999~2019)

빈도별	3월	4월	5월	6월	7월	비고
평균	56.91 (59.5)	92.43 (83.1)	100.1 (106.7)	141.3 (163.1)	278.9 (292.6)	() : 전국 관측소 (1981~2010)
10년	28.16 (32.4)	51.45 (47.3)	57.88 (66.2)	94.74 (109.4)	186.28 (215.2)	
20년	16.67 (21.6)	35.07 (33.0)	40.98 (50.1)	76.14 (88.0)	149.26 (184.3)	
30년	10.21 (15.5)	25.87 (25.0)	31.49 (41.0)	65.69 (75.9)	128.48 (166.9)	
40년	5.73 (11.2)	19.48 (19.4)	24.90 (34.7)	58.44 (67.8)	114.05 (154.9)	
50년	2.31 (8.0)	14.60 (15.1)	19.86 (29.9)	52.90 (61.2)	103.02 (145.6)	

최근 가뭄 발생지역의 1991년~2019년(30개년)사이의 3월에서 7월까지 각 관측소의 순별(10일) 강우량 자료는 부록에 수록 하였으며 순별(10일) 강우량 자료를 바탕으로 20일~50일 연속 강우량이 최저를 기록한 자료를 정리하여 (표 2-14)에 정리하였다.

지역별 강우량의 편차는 발생하지만 20일 연속 강우량의 평균은 1.2mm, 30일 연속 강우량은 14.4mm, 40일 22.9mm, 50일 연속은 32.3mm로 나타났다. 이는 상기에서 살펴본 작물 월 필요수량인 85.7mm의 1.4%, 26.7%, 37.7%에 해당하는 값이다.

가뭄 발생지역의 30일 연속 최저 평균 강우량 14.4mm은 (표 2-13)의 3월의 30년 빈도 가뭄 강우량 10.21mm와 유사하고, 40일 연속 최저 평균 강우량 22.9mm는 4월의 30빈도 가뭄 강우량 25.87mm, 50일 연속 최저 평균 강우량 32.2mm은 5월의 30년 빈도 가뭄 강우량 31.49mm와 비슷한 값으로 나타났으며 또한 가뭄지역의 30일 및 40일, 50일 연속 최저 평균 강우량은 전국 관측소(72개소)의 3월과 4월, 5월의 30년 빈도 가뭄 강우량과도 유사한 값의 범위를 보이고 있는

것으로 나타났다.

이러한 현상은 제2장 1절에서 살펴본 바와 같이 기후변화의 영향으로 연중 강수량의 변화 폭이 큰 영향으로 가뭄의 발생 빈도가 증가하고 있는 것으로 판단된다.

(표 2-14) 주요 가뭄지역 순별 연속 최저 강우량('12~'19년, mm)

관측소	20일연속	30일연속	40일연속	50일연속	비고
강화	0.8	3.5	7.0	7.0	
파주	0.4	3.3	10.2	12.3	
안성(천안)	0.7	6.5	13.0	19.8	
화성(수원)	0.0	5.0	16.8	16.8	
강릉	1.0	2.9	3.1	6.6	
철원	1.5	4.8	9.1	9.6	
속초	1.7	5.7	9.2	11.2	
평창(원주)	0.8	17.8	30.2	43.2	
양구(인제)	1.2	10.1	23.8	25.8	
진천(청주)	0.8	8.9	11.9	21.0	
음성(충주)	0.7	11.9	23.9	33.2	
서산	0.0	4.8	17.4	17.6	
고창	0.0	17.4	22.7	22.9	
정읍	0.2	12.7	24.3	41.3	
김제(부안)	0.0	11.0	18.9	31.8	
완도	0.0	31.7	33.1	49.1	
강진(해남)	0.0	9.6	10.0	24.0	
무안(목포)	0.0	14.0	18.7	28.5	
진도	0.0	14.5	15.0	29.2	
경주	12.0	20.9	55.5	55.5	
울진	0.9	8.0	8.2	12.2	
문경	0.0	20.0	25.0	52.6	
안동	0.3	22.0	22.5	36.7	
포항	0.4	12.8	13.2	13.2	
봉화	0.5	21.6	33.0	34.0	
상주	1.4	18.1	18.9	28.2	
영덕	1.0	9.0	12.1	18.2	
의성	0.6	16.0	27.2	30.7	
울산	1.2	26.3	26.6	50.0	
거제	6.5	30.5	71.4	81.6	
남해	3.0	27.1	49.9	89.9	
고성(통영)	1.7	32.6	52.2	77.8	
평균	1.2	14.4	22.9	32.2	

제7절 위성기반 농업가뭄 모니터링

일반적으로 기상학적 가뭄과는 다르게 농업적 가뭄은 농작물의 생육에 가장 핵심적인 영향인 토양수분의 결핍현상, 식생의 활력도 및 증발산량 등에 의해서 가뭄의 시기 및 정도가 결정되어야 한다.

농업지역에서 농업적 가뭄 모니터링을 위한 수문/기상학적인 인자를 관측할 수 있는 여건이 마땅하지 않고, 토양 내 수분량을 계측하거나 모의하여 농업지역의 가뭄을 파악하는 방안에도 정확성이 떨어지고 있다.

국내의 가뭄상황 모니터링시스템은 지점기반으로 내삽기법(interpolation)을 이용하여 산정한 지도로써 실제적인 적용대상 지역의 지형, 작물 재배력, 기상 특성을 정확하게 고려한 결과는 아니다. 또한 일정한 공간해상도를 가진 것이 아닌 시·군 범위의 해상도로 제공되고 있어 정확한 가뭄 모니터링을 실시하는데 큰 어려움이 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위하여 광범위한 지역을 관측할 수 있으며, 주기적으로 관측되고 동일한 정확도를 가진 농업적 가뭄 인자와 수문/기상학적 인자를 관측할 수 있다는 측면에서 위성영상을 이용한 가뭄 모니터링을 실시하는 것이 효율적이다. 원격탐사 기법 중 인공위성 관측기술은 접근이 어려운 지역의 조사 및 장기적이고 연속적인 공간적인 변화 관측 등에서 유용하게 사용될 수 있다.

해외에서는 인공위성 영상 직/수신, 자체적인 분석 자료들을 이용하여 가뭄에 대한 분석을 실시하고 있으며 미국의 국가통합가뭄정보 시스템은 물론 미국농무성(USDA)에서는 각 분야별 가뭄지수의 산정과 여러 수문 기상학적 인자들을 이용하여 다양한 가뭄지수를 산정하여 가뭄 단계를 나타내고 있으며 시스템을 구축하여 웹을 통한 주기적으로 상황을 알려주고 있다. 그리고 건조지역인 호주의 경우에도 농림수산식품부에서 가뭄 및 자연재해에 대비하기 위하여 가뭄에 따른 농업 정책을 실시하고 수자원 정보연구소에서 개발한 모델을 통해 식생의 성장에 핵심적인 인자인 토양 수분의 함량을 모니터링하고 있다. 이 뿐만 아니라 여러 국가에서도 인공위성의 시공간적인 분포자료를 활용한 농업적 가뭄 분석은 세계적으로 많이 실시되고 있다.

우리나라의 농업적 가뭄을 실시하기 위해서는 먼저 기존의 다른 분야에서 제공하는 가뭄들과의 차이를 파악하여야 한다.

둘째, 지점 자료에 벗어난 원격탐사 기법인 인공위성 영상을 활용하여 수문기상학적 인자들을 파악하고 분석하는 작업이 선행 되어야 할 것이다.

셋째, 농업적 가뭄에 대한 정확성을 높이기 위하여 지점과 인공위성 자료간의 융합을 통한 자료의 정확도 향상이 필요하다.

네 번째로 각 수문기상학적 인자인 토양수분, 증발산량, 강우와 Land cover에 따른 정밀한 분석 등을 실시함으로써, 지형 및 기상 조건에 따른 농업적 가뭄을 정립함으로써, 독립적인 농업에 적합한 가뭄인자 산출 및 시스템을 구축할 필요가 있다. 따라서 기상청의 기상학적 가뭄, 기타 타 기관에서의 시행한 일부 토양수분, 식생지수 등은 농업가뭄에 복합적으로 적용 가능하며 해당 분야의 가뭄에 국한된 것이라 판단된다.

가뭄 대비책의 성공 여부는 가뭄 발생, 진단 및 공간적 범위에 대한 실시간 정보에 달려 있습니다. 그러나 지상 관측 네트워크 위치 문제는 가뭄 모니터링을 위한 부적절한 공간 범위, 데이터 품질 및 접근 용이성 등의 문제를 초래한다.

그러므로 위성영상을 활용하는 농업가뭄에 대한 꾸준한 모니터링은 공간 기반의 정보와 지상 기반의 정보가 융합되어 지속적인 위성 모니터링이 가능하여 진다. 위성 모니터링 데이터가 축적되고 연상의 가용분석이 가능하다면 농업가뭄의 조기경보 체계 시스템 구축은 다양한 공간 및 시간 척도에 대한 효율적으로 농업 가뭄 조기 대응하는 중요한 요소일 것이다.

본 연구에서 농업적 가뭄을 판단하기 위해서는 토양수분, 증발산량, 농업용 저수지 저수율 등을 요소로 하는 작물 생육에 필요한 수분함양을 판단하여야 하며 기상영상과 지상영상을 복합적으로 분석/판단하여 농업적 가뭄을 예보(조기경보 체계)하는 기술개발과 농업가뭄 지도를 생성하는 기술을 개발하는데 목적이 있다. 그리고 이러한 목적 달성을 위해 지상자료(토양수분, 식생지수)를 참고하여 정확성을 높이는 영상분석 모듈과 고도화 작업이 필요하다.

위성영상의 농업가뭄 모니터링을 실시하기 위해서는 위성영상 자료의 목적에 맞는 분류, 체계화 등의 작업과 병행하여 자료의 체계적인 DB화 구축 또한 필요하다. 그리고 지속적인 농업가뭄 모니터링을 위해 영상의 목적에 알맞은 위상자료의 분류와 농업가뭄 분석을 위한 적정 해상도 및 전처리 모듈 개발 및 모니터링을 위한 모델 개발 등도 상당한 중요한 작업 요소이다.

또한, 지상과 영상의 정확도를 높이기 위한 지속적인 지상 관측소 지점의 측정(토양수분, 증발산량, 저수율) 데이터 자료가 구축되어야만 위성영상의 보정/검증에 대한 정밀도와 정확성을 높일 수 있기 때문에 지상의 Test-bed도 병행하여 연구를 수행하여야 할 것이다.



제3장 위성영상 기술활용



제3장 위성영상 기술활용

제1절 위성산업 동향 및 환경 분석

전 세계 위성산업은 2007년 1,220억 달러에서 2016년 2,605억 달러로 지난 10년간 약 2배 이상의 성장을 하고 있다. 이제는 더 이상 강대국들의 전유물이 아닌 우주개발 사업에는 동남아, 중남미, 아프리카, 중동 등 개발도상국들의 우주 활동도 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 우리나라를 포함한 전 세계에서 지금까지 쏘아올린 인공위성은 약 6,000여기로 추정하고 있으며, 이 중에서 약 850여기 정도가 현재 운용되는 것으로 추정된다.

인공위성 중에는 날씨에 관계없이 이미지를 전송 할 수 있는 레이더로 육지와 바다를 관측하고 있다. 코페르니쿠스는 가장 야심찬 지구관측 프로그램으로 현재 진행이다. 유럽 위성 기구는 프로젝트를 위해 총 6대의 센터럴 위성을 띄울 예정에 있다.

육지와 해양의 환경 및 대기과 기후의 변화를 관측하는 총 6대의 위성 센터럴 위성이 발사 될 예정이며 각각 다른 관측 임무를 수행 하게 된다. 센터럴1은 긴급 상황에 대한 대처 임무에 적합한 위성이고, 센터럴2는 육지관측에 적합한 위성, 센터럴3과 센터럴6은 담수와 해수 관측임무 이고, 센터럴4와 5는 대기관측 임무 맡게 될 것이다.

그리고 구름과 에어로졸 관측 장비인 ‘캣츠’ 가 일본의 실험 모듈에 설치되어 있으며 NASA의 위성 클리리오는 태양의 방사조도와 지구의 에너지 흐름을 관측하게 된다.

* 방사조도(Irradiance) : 태양으로부터 방사되는 에너지 중에서 지구에 도달하는 에너지의 크기
토양수분 관측 위성인 ‘스맵’은 지표면의 수분과 동결 용해 상태를 관측하는 임무를 맡게 될 것이다.

위성의 또 다른 기능은 홍수와 가뭄의 예측, 허리케인과 폭풍의 예보와 더불어 기후변화로 인한 수지원량과 식량 생산변화 그리고 사회에 영향을 미치는 다른 변화들에 관해서도 예측 하게 될 것이다.

선진국에 대한 위성산업에 대한 환경 변화는 첫째, 기후변화에 대응하고 있다. 예를 들어 글로벌 수문 순환, 홍수/가뭄, 토양수분/증발산, 엘니뇨,

대기 순환 등 지속적 관측을 통한 자국의 물 안보 확보 및 기후변화를 대비하고 있다

둘째, 물 산업 기술경쟁력 강화 방안으로 위성, 항공 등 관측 인프라 기반 글로벌 Information GRID 및 물 정보-Hub 구축 추진하고 있다.

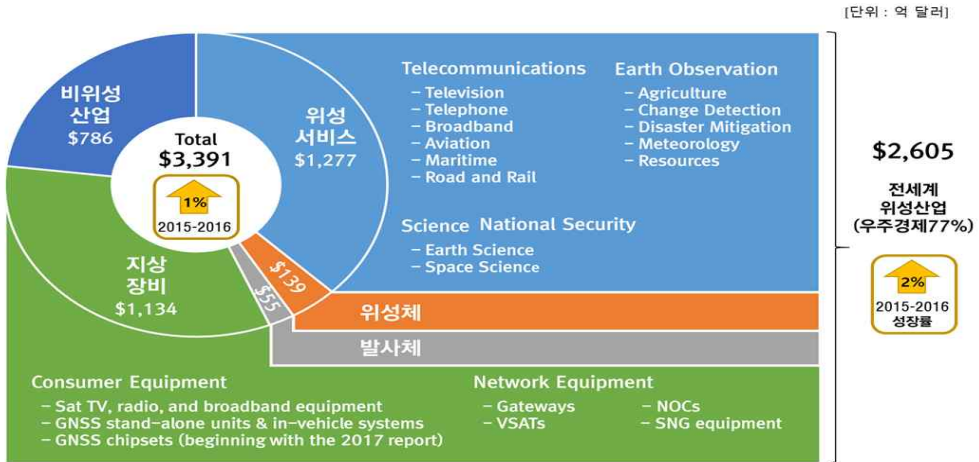
셋째, 우주 강국 건설을 위해 우주산업 활성화를 통한 신규시장 선점 및 우주산업 선도, 국가 위상 제고에 노력하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 향후 글로벌 물 산업 강국은 인프라 확보/확장, 정보력 강화, 인적/물적 네트워크 확장, 과학적 의사결정 체계 구축을 통해서만 가능할 것이다.

1. 위성산업 동향

2016년 세계 우주산업 분야별 규모 대한 내용을 정리하여 <그림 3-1>에 나타내었다.

세부분야 별로는 위성서비스 분야가 1,277억 달러로 가장 큰 부분을 차지하였으며, 지상 장비 1,134억 달러, 위성 탑재체 제작 139억 달러, 그리고 발사체 분야에 55억 달러 마지막으로 우주탐사, 과학연구 등의 비위성 산업 분야가 786달러를 차지하고 있다.

전 세계 위성산업은 전체 우주산업 경제의 77%를 차지하고 있으며, 규모는 2,605억 달러로 2015년에 비하여 약 2% 증가한 수치이다. 향후 위성수요를 살펴보면 2015년부터 2024년까지 향후 10년간 총 1,410기의 위성이 발사될 예정으로 지난 10년간 발사된 위성보다 약 60%증가한 것이다.

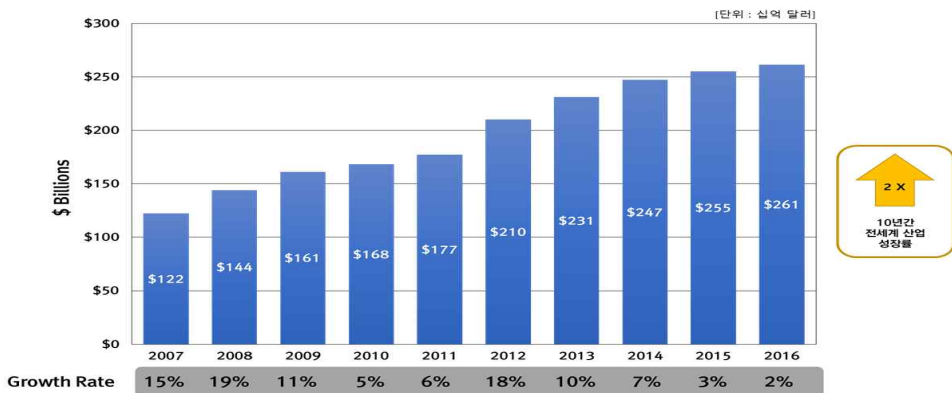


출처: State of the Satellite Industry Report(2017)

<그림 3-1> 2016년 전 세계 우주산업 분야별 규모

<그림 3-2>에서는 전 세계 위성산업은 2007년 1,220억 달러에서 2016년 2,605억 달러로 지난 10년간 약 2배 이상의 성장을 하고 있는 결과를 보여 주고 있다.

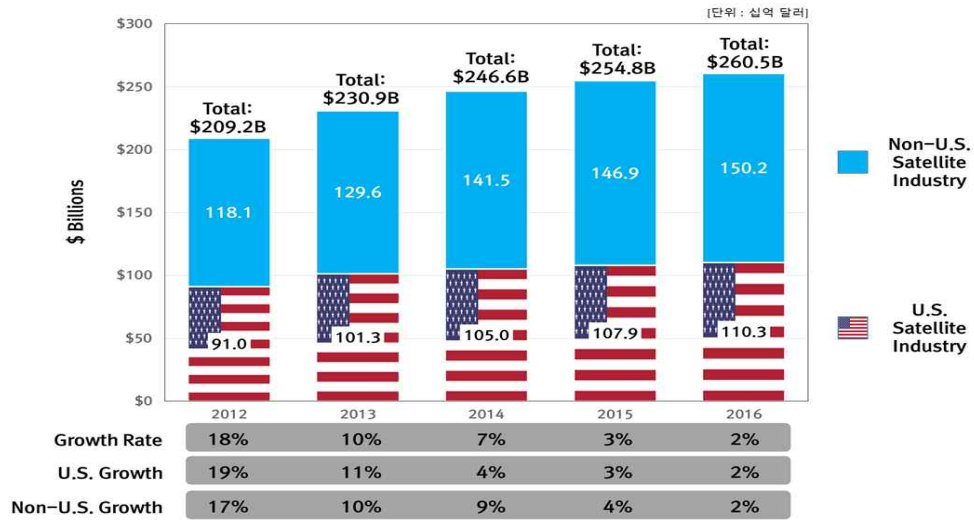
또한 미국 외 국가의 우주 산업 투자 금액이 증가함에 따라 이러한 성장세는 앞으로도 지속될 것으로 전망하고 있다. 향후 발사 예정인 통신 위성 프로젝트 중 28%가 중국 주도하에 진행되고 있고, 지구관측 위성 분야의 경우도 유럽이 54%를 차지하는 등 미국 외 국가의 위성개발 활동이 활발히 진행되고 있음을 알 수 있다.



출처: State of the Satellite Industry Report(2017)

<그림 3-2> 최근 10년간 전 세계 위성산업 성장 추이

<그림 3-3>에서 알 수 있듯이 신흥 우주 강국의 등장과 미국의 투자 감소로 인하여 전체 시장에서 미국의 점유율이 점진적으로 감소하고 있는 것을 확인할 수 있다.



출처: State of the Satellite Industry Report(2017)

<그림 3-3> 전 세계 위성 산업에서 미국의 점유 추이

최근 전 세계적으로 우수 시장에 대한 관심이 증가하면서 과거 소수 선진국 중심으로 진행되던 우주개발이 이제는 다양한 국가 및 기관들에 의해 수행되고 있다. 과거에는 정부중심에서 민간 회사들이 뛰어들면서 이전과는 다른 새로운 우주개발 패러다임이 제시되고 있다.

먼저 미국, 러시아, 유럽으로 대표되는 우주선진국들은 앞으로도 우주탐사를 위한 연구개발과 증가하는 우수시장에 대한 수요를 선점하기 위한 산업 경쟁력 강화에 치중하고 있다. 미국은 Worldview, GeoEye 등 저궤도 관측위성 63기, 통신위성 285기, 항법위성 31기 및 과학기술위성 35기 등 총 414기의 상용위성을 운용하는 막강한 위성 인프라를 구축하고 있다. 유럽의 경우도 Pleiades, TerraSAR-X 등 저궤도 관측위성 22기, 통신위성 116기, 항법위성 44기, 과학기술위성 28기 등 총 212기의 상용위성을 운영 중이다. 미국과 유럽은 달·소행성·화성의 유·무인 탐사를 장기적인 계획을 수립하고 현재 수행하고 있고, 러시아는 최근 10개년 우주개발계획이 수립되면서 과거의 영광을 되찾기 위해 박차를 가하고 있다.

2000년대 이후 동아시아의 눈부신 성장이 눈에 띈다. 중국, 일본, 인도의 활약이 두드러지면서 미국, 러시아, 유럽과는 다른 독자적인 우주개발을 진행하고 있다. 특히 중국의 경우 대국의 위상을 드높인다는 명분으로 이전까지 우주 선진국들의 전유물이라 할 수 있는 유인 우주 및 행성 탐사 활동 계획을 수립 및 추진하고 있으며, 자체기술 개발에 성공하면서 우주 개발의 새로운 흐름을 주도하고 있다. 천공 2호의 발사 성공을 통해 자국의 우주 정거장을 구성하기 위한 첫발을 내딛음으로서 우주강국으로서의 면모를 드러냈다. 인도는 2013년 11월에 성공적으로 발사되어 2014년 9월 화성 궤도에 진입해 임무를 수행하고 있는 화성 탐사선 Mangalyaan 성공을 통해 세계 두 번째로 화성에 탐사선을 보낸 국가가 되면서 우주강국으로서의 위상을 높였다. 일본은 관측위성 20기, 통신위성 15기, 항법위성 1기, 과학기술위성 22기 등 총 58개 상용위성을 운용하고 있으며, 혜성 탐사선인 Hayabusa의 성공에 이어 2014년 화성·달 탐사에 대한 계획을 공개하면서 지속적인 우주탐사를 시사했다. 최근에 개발위주에서 위성정보 이용·활용 중심으로 정책기조를 전환하는 분위기다. 한편, 한국은 한국형 발사체 KSLV(나로호)를 개발 및 발사에 성공하면서 우주개발에 박차를 가하고 있으며, 다가오는 우주시대를 대비하고 있는 것으로 나타났다.

더 이상 강대국들의 전유물이 아니게 된 우주개발 사업에는 동남아, 중남미, 아프리카, 중동 등 개발도상국들의 우주 활동도 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 2010년 이후로도 총 27개의 국가에서 처음으로 위성을 쏘아 올렸다. 급변하는 우주시장에서는 각국은 보다 장기적인 기술 개발과 비전을 가지고 우주개발에 접근해야 할 것이다. 위성개발 신생국들은 아직 자체적인 기술 개발에는 어려움을 겪고 있지만 우주 선진국들과의 공동연구 및 중장기 계획을 수립함으로써 앞으로 다가오는 우주시대를 맞이하고 있다.

2. 내·외 환경 분석

인공위성 관련 환경을 살펴보면 과거 사후복구 중심의 수재해 관리 정책을 급변하는 수재해 양상에 효과적으로 대응하기 위하여 정보통신기술(ICT), 지리정보시스템(GIS), 인공위성 및 원격탐사(RS), 로봇, 인공지능(AI) 등 첨단 과학기술을 활용한 사전예방 중심의 연구개발이 활성화 되고 있다.

이러한 물 관리 패러다임은 전 세계적 및 국가별 물관리 상황에 따른 시대적 이슈에 따라 변천되어 왔으며, 70년대는 수질중심, 80년대는 환경중심, 1992년 리우 정상회담에서 기후변화 등 물 위기 극복을 위한 새로운 패러다임으로 변화하고 있고 있으며 물 관리 패러다임에서 안보 개념이 도입되어 전 세계적으로 물관리의 중요성이 부각되고 있는 실정이다. 70년대 이후 물관리 패러다임의 변화를 (표 3-1)에 정리하였다.

(표 3-1) 물 관리 패러다임의 변화

구분	1970년대	1980년대	1990년대	2000년대 이후
이슈	수 질	환 경	세계 물 위기 (World Water Crisis)	물 안보 (Water Security)
패러 다임	깨끗한 물 (Clean Water)	지속가능한 개발 (Sustainable Development)	통합물관리 (Integrated Water Resources Management)	
국제 회의	- 1972 스톡홀름 회의 - 1974 부카레스트 회의 - 1976 밴쿠버 회의	- 1977 마르델플라타 회의 - 1987 Brudtland 보고서 - 1992 더블린 컨퍼런스 및 리우 지구정상회담	- 1996 WWC 설치 - 1997 1차 세계물포럼	- 2000 2차 세계물포럼 - 2001 본 컨퍼런스 - 2002 리우+10 회의 - 2003·2006·2009·2012 3~6차 세계물포럼

* 자료출처: 수자원 전용 위성 탑재체 기술 개발 추진을 위한 사전기획(KAIA, 2016)

ICT, 위성, GIS 등의 첨단기술을 접목하여 유역전체를 하나의 유기체로 통합 관리함으로써 효율성, 공정성, 지속가능성 측면의 시너지를 극대화 되도록 유역 단위로 물을 관리하기 위한 통합 물관리 체계 구축이 본격화 되었다. UN-Water 보고서(2012)에 의하면 전 세계 국가의 68% 이상이 통합물관리를 도입 중에 있으며, 점차 확산 되고 있는 추세라 볼 수 있다.

주요 특징은 4가지 이며 이를 살펴보면 물에 대한 원칙 정립을 위한 물 기본법 등 법·제도 정비, 유역단위 물관리 계획의 수립 및 시행, 물안보 차원 국가 주도, 유역중심 참여·합의형 통합 거버넌스 운영이다. 최근 급속히 이용이 확산되고 있는 스마트폰·태블릿 등의 모바일 기기와 소셜 미디어가 가진 특성과 함께 위성정보 기반 수재해 대응 시스템의 유용한 도구로 부상하고 있다. 일본 대지진, 아이티 지진, 국내 발생한 침수피해 및

지진 등 소셜미디어를 활용한 신속한 경보발송, 대피경로, 피해 정보공유 등으로 국민 참여가 활발히 이뤄지고 있다.

글로벌 물산업 국가에서는 글로벌 위성자료를 기반으로 수문 순환, 홍수/가뭄, 지하수, 엘리뇨, 대기 순환 등 지속적 관측을 통한 자국의 물안보 확보 및 기후변화에 대비해 나가고 있다.

다수의 국가들이 위성 관련 정책 및 활용기술 개발을 추진하고 있으며, 수자원 관리에 접목을 확대하는데 노력하고 있다. 이제 우리나라도 이제 우주산업 활성화를 통한 신규시장 선점 및 우주산업에 있어서 기술을 선도에 힘써야 한다. 신뢰성 높은 글로벌 관측자료 기반 글로벌 관측 인프라 확보 및 확장, 물 관련 정보력 강화, 인적·물적 네트워크 확장, 과학적 의사결정 체계 구축 등을 통하여 물 산업 리더 및 물 정보 강국으로 국가 위상을 제고 할 필요가 있다.

제2절 국내·외 활용 현황

국내 대표적인 위성센터의 위성 활용 현황을 살펴보면 항공우주연구원의 국가위성정보 활용지원 센터에서는 KOMPSAT, STSAT, COMS 등의 위성 운영/관제, 수신/처리/배포 및 영상지도 제작 등의 기능이 있으며, 기상청은 국가기상위성센터는 NOAA, COMS, MTSAT-2 등의 위성 운영/관제, 데이터 수신/처리/배포, 기상예보 분석 등의 업무를 하고 있다.

그리고 해양과학기술원 해양위성센터는 실시간 위서를 모니터링 하면서 GOCI자료 운영, 수신/처리/배포, 해양 활용구 등의 업무를 하고 있고, 국립환경과학원은 국가환경위성센터에서는 Sentinel, NOAA, GEO-CAPE 등의 위성 데이터를 수신하여 대기환경오염, 예/경보감시, 방재활동 지원 등의 업무를 하는 것으로 조사되었다. 그 결과를 정리하여 <그림 3-4>에 나타내었다. 국내 위성센터의 목적은 위성 지상국 운영 및 실시간 모니터링과 기초 활용연구, 방재활동 등이 주목적이다.

	항공우주연구원 국가위성정보활용지원센터	기상청 국가기상위성센터	해양과학기술원 해양위성센터	국립환경과학원 국가환경위성센터
설립 목적	지상국 운영 및 기초 활용 연구	기상위성 지상국 개발 및 운영	해양 환경 (준)실시간 모니터링	지구환경 실시간 모니터링 및 방재활동
기능/역할	위성 운영/관제, 수신/처리/배포, 영상지도 제작	위성 운영/관제, 수신/처리/배포, 기상예보분석	GOCI자료 운영, 수신/처리/배포, 해양 활용 연구	대기환경오염, 예/경보 감시, 방재활동 지원
수신 위성	KOMPSAT, STSAT, COMS 등	MTSAT-2, NOAA, MODIS, COMS 등	COMS, MODIS, NOAA, SEAWIFS 등	Sentinel, NOAA, MODIS, GEO-CAPE 등
지역	대전시	충북 진천군	경기 안산시	인천시
운영	국가주도형	국가주도형	국가주도형	국가주도형
인력	4개 팀 약 80여명	3개 과, 1개 팀 약 90여명(정규직48)	3개 과 약 30여명(정규직10)	설립 추진 중
설립	2014(위성정보연구소' 07)	2009(2005~2008)	2008(2005~2010)	-

<그림 3-4> 국내 주요 위성센터 현황

해외의 대표적인 위성센터의 위성 활용 현황을 살펴보면, 일본 JAXA-위성이용추진센터에서는 위성정보 활용 촉진을 위한 홍보/교육 프로모션 활동, 위성정보 활성화를 위해 재난/재해, 지리정보, 통신에 관한 연구 등의 업무를 추진하고 있으며, 미국 USGS-EROS에서는 국토관련 원격 탐사 자료의 획득/보관/생산/배포 기능, 지리학적 활용 연구, 국가지형도 제작/유지/배포

등의 업무를 하고 있는 것으로 나타났다.

호주 NEOG의 경우 지리정보 사업의 이익증진 최대화, 호주 전반에 대한 다양한 위성정보 자료 제작 및 배포를 하고 있으며, 유럽의 ESA-ESRIN의 경우는 위성정보를 이용한 환경연구 경쟁력 확보, 위성정보의 수신/처리/배포 및 ESA의 지구관측 활동을 지원하고 있는 것으로 나타났다. 이를 정리하여 <그림 3-5>에 나타내었다.

해외 위성센터의 목적은 위성활용 기술개발 및 활용 촉진, 기후변화 탐지, 위성 정보의 관리/처리/배포 등의 주목적인 것으로 조사되었다.

	일본 (JAXA-위성이용추진센터)	미국 (USGS-EROS)	호주 (NEOG)	유럽 (ESA-ESRIN)
설립 목적	<ul style="list-style-type: none"> 위성활용 기술 개발 위성정보 활용 촉진 위성정보 서비스 	<ul style="list-style-type: none"> 국토의 위성/항공 영상 획득의 목적 위성정보활용 생태계 강화 	<ul style="list-style-type: none"> 호주의 급변하는 기후변화 탐지 위성자료 수신/처리/저장/배포 업무 목적 	<ul style="list-style-type: none"> 유럽우주국에서 위성정보의 관리/처리/배포를 위한 목적
기능/역할	<ul style="list-style-type: none"> 위성정보 활용 촉진을 위한 홍보/교육 프로모션 활동 위성정보 활성화를 위해 재난/재해, 지리정보, 통신에 대한 연구 	<ul style="list-style-type: none"> 국토관련 원격탐사 자료의 획득/보관/생산/배포 기능 지리학적 활용 연구 국가지형도 제작/유지/배포 	<ul style="list-style-type: none"> 지리정보 사업의 이익 증진을 최대화 호주 전반에 대한 다양한 위성정보 자료 제작 및 배포 	<ul style="list-style-type: none"> 위성정보를 이용한 환경연구 경쟁력 확보 위성정보의 수신/처리/배포 및 ESA의 지구관측 활동을 지원
설립	2006년 (JAXA-지구관측연구센터에서 분리)	1971년	2005년 (전신인 ACRES는 1979년 설립)	1966년
인력	약 50여명 (EORC 약90여명)	약 600여명 (정규직:80명)	약 40여명 (14개 지역사무소 제외)	약 630여명 (정규직:186명)
예산	약 30억	약 670억	약 107억	약 215억원

<그림 3-5> 해외 주요 위성센터 현황

국외 연구개발 현황을 살펴보면 위성영상을 활용하는 미국은 국방·안보 분야뿐만 아니라 전 지구적인 기상 및 기후, 환경변화 등과 같은 지구과학 연구를 주도하고 있으며 위성영상을 처리 및 제공하고 위성운동을 통한 자료수집과 관리, 연구를 담당하는 기관들이 체계적으로 나누어져 있다.

유럽은 위성영상을 재해재난 피해국가에 지원하기 위한 활동 수행하고 있으며 내용을 살펴보면 MARS(Monitoring Agriculture with Remote Sensing)와 IES(Institute for Environment and Sustainability)를 통해 작황과 수재해 예측을 위해 위성관측과 공간분석모델을 기반으로 유럽지역의 강수

및 토양수분의 공간분포 제공하고 있다. 그리고 EFAS(European Flood Awareness System)와 GFDS/GloFAS (Global Flood Detection System/Global Flood Awareness System)은 실시간 위성자료와 지상기상자료, 수문모형을 이용한 홍수 감지와 예측, 예·경보 정보를 생산하고 있다.

일본의 경우에도 공간정보, 통업, 해양, 재해분야 등에 대한 솔루션 개발 및 지원 사업에 주력하고 있으며 우주개발 프로젝트, 전 세계 사용자들이 위성영상을 활용할 수 있도록 연구 프로그램 지원, 전 지구 모니터링 등을 시행하고 있는 것을 정리하여 (표 3-2)에 나타내었다.

국내·외 수자원 관련 위성운용 현황을 정리하여 <그림 3-6>에 나타내었다. 해외의 경우 미국, 유럽에서는 지구환경, 기후변화, 전지구 관측 등 시공간적 위성자료 지속적 확보 및 전 지구적 물순환 과정 평가/분석/예측 등을 업무를 수행하고 있으며 이들 자료를 기초로 하여 자료동화 및 지표면 모델 등 연계를 통한 재해 모니터링과 예측도 향상을 도모하고 있다. 국내는 하천지도 전산화 작업 시작으로 위성활용 기술 R&D사업을 추진 중인 것으로 나타났다.

	미국				일본	유럽	한국				
위성	Terra/Aqua	SNPP	Landsat-8	SMAP (CSA공통)	GPM (JAXA공통)	GCOM-W	SMOS	Sentinel-2	COMS	KOMPSAT-3	KOMPSAT-5
발사일	1999/2002	2011	2013	2015	2014	2012	2009	2015	2010	2012/2015	2013
재방문 주기	16일	16일	16일	9일	95분	1-2일	23일	5일	정지궤도	1일	1일
주요임무	지구환경, 기후변화	기상 및 기후변화	전지구 관측	토양수분	강우 및 기후변화	기온, 강수	토양수분	지표관측, 기후변화	기상, 해양	지구관측 (광학영상)	지구관측 (SAR영상)
부가 관측인자	적설, 수온, 해빙, 복사에너지 등	습도, 적설, 복사에너지	열적외, 복사에너지	습도, 구름정보	강우, 적설	토양수분, 적설, 구름 등	구름정보	식생, 적설, 연안 모니터링	적설, 구름정보	열적외, 트루컬러 등	지형정보, 토양수분
위성 이미지											

<그림 3-6> 국내·외 수자원 관련 위성운용 현황

(표 3-2) 국외 주요 기관 위성영상 활용 연구 현황

국가	기관명	활용분야
미국	NASA	- 우주탐사, 항공 및 지구과학 분야에 대한 연구를 중점적으로 수행 - ESDIS는 위성운영을 통한 자료획득, 자료처리, 저장관리 운영
	USGS	- 국토자원탐사, 자연재해관측, 지형도 및 지질도 제작 담당
	NOAA	- 기후 및 기상변화, 해안 및 해안 생태계와 자원 보존 연구 - GOES-R 시리즈와 JPSS개발 및 자료 활용 연구 - 위성 운영에서부터 자료처리 및 제공을 통해 기상예측 등을 지원
	USDA	- 미국의 대표적인 농업 공공기관으로 통계, 세계농업모니터링, 농업과 자연보전 등 다양한 영역에서 위성자료를 활용
	NASS	- 경작지 데이터 레이어 프로그램을 통해 위성영상과 재배면적 통계를 연결하여 활용 - 위성으로 촬영된 식생지수와 기상위성을 통해 얻은 기상정보도 함께 활용함으로써 수확예측에 좀 더 정확성을 기함
	NDMC	- 미국 전역의 350곳 이상의 기상관측자료와 현지 피드백을 거쳐 격주 단위로 미국가뭄지도(United State Drought Monitor)를 제작, 공포 - 가뭄 정도를 5단계로 나누어 서비스하고 있으며, 식물 가뭄 반응 지수, 작물 수분지수, 가뭄 영향지수, 산불위험도 등을 함께 제공
유럽	ESA/ESPIN	- 우주개발 프로젝트, 전 세계 사용자들이 위성영상을 활용할 수 있도록 연구 프로그램 지원, 전 지구 모니터링 - 위성영상을 재해재난 피해국가에 지원하기 위한 활동 수행
	ECJRC	- MARS (Monitoring Agriculture with Remote Sensing)와 IES (Institute for Environment and Sustainability)를 통해 작황과 수확예측을 위해 위성관측과 공간분석모델을 기반으로 유럽지역의 강수 및 토양수분의 공간분포 제공 - 실시간 유럽연합 가뭄관측 시스템 (European Drought Observatory, EDO)은 관측 결과와 수문모델링을 통한 가뭄예측지도 제공 - EFAS (European Flood Awareness System)와 GFDS/GloFAS (Global Flood Detection System/Global Flood Awareness System)은 실시간 위성자료와 지상기상자료, 수문모형을 이용한 홍수 감지와 예측, 예경보 정보 생산
	EMSA	- 기름유출 사고 등 환경과피와 경제적 손실을 사전에 효과적으로 대비하기 위한 모니터링 및 해상정보 제공
	DLR	- 위성에 대한 촬영계획 수립, 관제뿐만 아니라 전 지구에 대한 DEM 생성 담당, 다양한 자료처리, 분석 및 활용기술 개발
일본	JAXA	- 항공우주 개발과 이용에 관한 지원 전담
	RESIEX	- 원격탐사 장비 및 기술개발 원격탐사 자료수집, 각종 활용솔루션 개발, 위성영상 판매

미국, 유럽, 일본 등의 선진국의 위성활용에 대한 시사점을 <그림 3-7>에 나타내었다. 선진국의 위성 활용은 기후변화 대응과 수자원분야 활용을 위한 위성개발과 확대운영 중으로 조사 되었다. 그리고 위성을 활용하여 기후변화 대응 위한 수문인자 즉 전지구적 물순환 수문요소(토양수분, 강우, 지하수, 유출, 지표수체, 증발 등)를 측정하고 있으며 현재 수문요소별 다양한 전용 위성을 개발/운영 중이다. 지속적으로 시공간적 위성자료를 확보하고 실시간 수문관측 위성을 운용 중이다.

따라서 국내에서 수자원 전용 위성 및 다목적 위성을 지속적으로 개발/운용하여 기후변화에 대응을 위한 수문자료의 지속적 구축이 시급한 실정으로 판단된다.

	 요소별로 다양한 수자원 위성 운영중	 기상, 토양수분, 수재해 모니터링 등에 위성 활용	 기상 및 수자원 위성 개발 확대 중
	 	 	 
	 미국	 유럽	 일본
목적	<ul style="list-style-type: none"> 전 지구적 물 순환 수문요소 측정 (토양수분, 강우, 지하수, 유출, 지표수체, 증발 등) 	<ul style="list-style-type: none"> 유럽과 미계측 지역의 수자원 정보 확보 (기상중심)(토양수분, 강우, 지하수, 유출, 지표수체, 증발 등) 	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 대응을 위한 수문인자 관측 (기상중심)(강우, 수증기, 지표수체 등)
특징	<ul style="list-style-type: none"> 수문요소별 다양한 전용위성 개발/운영 ★ 토양수분(SMAP), 지하수(GRACE), 지표수체(SWOT) 등 	<ul style="list-style-type: none"> 기상, 토양수분, 수재해 모니터링 위성운영 ★ 지표수체(Sentinel3), 기상(Sentinel1), 토양수분(SMOS) 등 	<ul style="list-style-type: none"> 태풍 등 시간관측 및 수자원위성 개발 확대 ★ 기상(GPM), 수자원(GCOM-W), 기후(GCOM-C)
현황	<ul style="list-style-type: none"> 시공간적 위성자료 지속적 확보 관측자료기반 물수지 분석을 통해 전지구적 물 순환 과정 예측 	<ul style="list-style-type: none"> 준 실시간 수문순환 관측 위성 운용 유럽, 아프리카 재해관측을 위한 수자원 전용위성 운영 	<ul style="list-style-type: none"> 물 순환요소 관측용 독자적 위성 운용 미국과 공동개발 및 협력을 통한 재해관리 기술선도

<그림 3-7> 선진국 위성활용 시사점

제3절 목적 및 궤도에 따른 위성 종류

위성은 사용목적과 궤도에 따라 종류를 구분 할 수 있다. 사용 목적에 따라 위성의 종류를 구분하면 과학위성, 군사위성, 원격탐사위성, 항법위성, 통신위성, 기상위성 등으로 나눌 수 있다. 또한 궤도에 따라서 정지궤도 위성, 저궤도 위성, 극궤도 위성, 타원궤도 위성으로 구분되며, 이를 정리하여 (표 3-3)에 나타내었다.

(표 3-3) 목적 및 궤도별 위성 분류

구분	위성의 종류
사용목적별	군사위성, 과학위성, 원격탐사위성, 항법위성, 통신위성, 기상위성
궤도별	타원궤도, 원궤도(저·중·정지·극·태양동기·지구동기궤도)

1. 목적에 따른 위성 종류

가. 군사위성

군사위성(Military Satellite)은 첩보위성이라고도 불리며, 정찰, 통신, 정보, 항해 등 군사적 목적으로 사용되고 있는 인공위성을 말한다. 냉전체제였을 당시 미국과 소련이라는 두 강대국에 의해서 많이 발사되었다. 적의 상공에서 사진 촬영을 하고, 상대의 미사일 발사를 탐지하여 알리기도 하며, 군사용 통신에 사용되기도 하고, 군사용 GPS(미 항법위성)를 위해 사용되기도 한다. 또한 목적이 밝혀지지 않은 비밀 위성도 많이 있는 것으로 알려져 있다. 대부분의 인공 위성들이 군사적 목적으로 개발되었지만 경쟁적인 군사위성의 발사는 인공위성을 비약적으로 발전시켰다고 볼 수 있다. 또한 현재는 그 기술력을 바탕으로 통신위성, 과학위성, 지구관측위성, 기상위성 등 인간의 삶에 필요한 정보를 제공하기 위해 개발하고 있다.

나. 과학위성

과학위성(Scientific Satellite)은 지구와 지구 주변의 환경을 관측하고 각종 우주과학 실험을 수행하는 인공위성을 말한다. 과학기

술위성 1호(우리별 4호)는 기존의 우리별 1, 2, 3호의 개발경험을 바탕으로 기술 습득과 독자 개발의 단계를 거쳐 기술의 최적화와 동시에 천문학적 관측을 시도하는 최초의 국내 위성이다. 과학기술위성 1호는 은하 전반에서 분포해 있는 고온의 플라즈마에서 방출되는 자외선을 검출하고, 태양 활동 극대기에 방사되어 지구의 극지방에서 일어나는 태양과 지구 자기장의 상호 작용을 조사한다. 원자외선 분광기와 더불어 탑재되는 우주 과학 탑재체는 지구의 상층대기로 투입되는 높은 에너지의 하전 입자를 동시에 관측함으로써 지구의 상층대기에서 일어나는 여러 가지 물리적 현상에 대한 정보를 얻는다.

다. 원격탐사위성

원격탐사위성(Remote Sensing Satellite)은 지구관측 위성으로도 불리며, 지구표면과 대기 및 해양 관측 등을 목적으로 사용된다. 정밀지도를 제작하기 위해서 관측할 때에는 주로항공기를 이용하지만 빠른 시간에 넓은 범위를 관측하기 위해서는 인공위성이 효율적이다. 원격탐사위성으로 인해 전 세계가 하나로 연결된 세계 전도가 등장하였으며, 해저지형도도 작성할 수 있게 되었다. 현재는 기후 변화를 비롯한 각종 지구 환경을 관측하는 데 이용되고 있다.

라. 항법위성

항법위성(Navigation Satellites)은 위치정보를 담은 전파를 발사하여, 선박, 비행기, 자동차 심지어는 개인까지 현재의 정확한 위치를 알려 주는 위성이다. 우리에게 잘 알려진 GPS(미 항법위성) 역시 항법위성의 일종이다. GPS(미 항법위성)는 처음엔 군사적 목적으로 개발되었지만 현재는 일반인은 물론, 항공기 관제, 지진감시, 구조 등에 활용되고 있다.

마. 통신위성

통신위성(Telecommunication Satellite)은 실생활에 아주 밀접한 관련이 있는 위성이다. 우주 전파중계소 역할을 하는 인공위성으로 TV신호나 음성신호 등을 한 지점에서 다른 지점으로 보내게 된다.

지상에서 수신탑을 이용하면 빌딩과 산 등의 장애물에 의해 간섭을 받을 수 있다. 하지만 위성은 우주에서 전파를 쏘아주기 때문에 난시청지역을 줄일 수 있다. 또한 통신위성을 통해서 지구 반대편에서 진행하고 있는 운동 경기를 깨끗한 화면으로 실시간으로 볼 수 있다.

바. 기상위성

기상위성(Meteorological Satellite)은 좁은 의미로 기상관측을 주목적으로 설계하여 발사된 인공위성을 말한다. 최근 기상위성을 이용한 기상 관측은 여러 국가에 커다란 영향을 미치고 있으며 태풍이 만들어지는 것과 이동 경로를 미리 알아내어 피해를 줄이는 것과 같이 중요한 역할을 하기 때문이다. 기상위성은 주로 자체 카메라로 구름을 촬영하고 그 영상을 기초자료로 날씨를 예측할 수 있으며, 온도측정, 습도, 복사열 등을 측정하기도 한다.

2. 궤도에 따른 위성의 종류

가. 타원궤도 위성(Elliptical orbit)

위성궤도가 타원형인 궤도로, 장 타원궤도(HEO, Highly Elliptical Orbit)로도 불린다. 적도평면에 대해 64° 경사각으로, 고도는 원지점 약 40,000km 근지점 약 500~24,000km이며, 원지점을 지날 때 더 많은 시간이 걸린다. 유럽 및 러시아 등 고위도 지방에서 HEO가 사용되기도 하며, 위도가 높은 지방을 주로 관측된다.

나. 원 궤도 위성(Circular orbit)

지구 중심에서 위성까지의 거리가 일정한 궤도로써 고도의 높이에 따라 저궤도, 중궤도, 지구동기궤도, 정지궤도로 구분된다.

1) 저궤도 위성(LEO, Low Earth Orbit)

저궤도 위성은 지구 표면에서 200km~2,000km 높이의 상공을 말하며, 지구 한 바퀴 선회하는데 약 90분(2,000km 높이에서는 약 2시간) 소요하게 된다. 저궤도 중 지구의 남극과 북극 주변을 교대로 통과하는 극궤도가 있는데, 극궤도 중 하나인 태양동기

궤도에서 대부분의 영상촬영 위성이 운영되고 있다. 태양동기 궤도(위성 궤도면(orbit plate)과 태양간의 각도가 동일하게 유지 되기 때문에 붙여진 이름)위성은 매번 동일한 시간(local time)에 적도를 통과하기 때문에, 일정한 방향, 즉 목표물의 그림자 방향과 길이가 항상 동일한 조건에서 영상을 촬영 할 수 있다. 참고로, 다목적실용위성 3A호 위성의 경우 고도 528km 태양동기궤도로 낮에 한반도 오후 1시 30분(±1시간30분, 한국시간 기준)경 통과 하게 된다. 기상위성·정찰위성(스파이위성) 등이 극궤도 위성인 이유는 극궤도 위성이 한 바퀴 돌 때 지구도 자전하므로 지구의 모든 곳을 볼 수 있기 때문이다. 또 같은 지역을 하루에 두 번 지나므로 자주 관측할 수 있다는 장점도 있다.

2) 중궤도 위성(MEO, Medium Earth Orbit)

저궤도와 정지궤도 사이 약 2,000km~35,800km 높이의 상공의 위성들을 말하며, 궤도 주기는 2시간에서 24시간 사이로서, 특히 12시간 주기의 GPS와 같은 위성항법시스템의 운영되는 궤도이다. 중궤도 위성은 경사각이 약 50° 정도이며, 약 10~15개 위성으로 전 지구 커버가 가능하다.

3) 정지궤도 위성(GEO, Geostationary Earth Orbit)

정지궤도 위성은 적도 궤도이며, 적도 평면과의 경사각이 0°로 경사각이 없는 원 궤도이다. 지구의 자전주기와 동일한 공전주기를 가지고 약 35,786km 고도에서 지구 주위를 돌게 된다.

하지만 지구의 자전 주기와 정지궤도 위성의 공전주기가 같기 때문에 항상 같은 지역의 위에 떠있어 정지한 것처럼 보인다. 이러한 정지궤도 위성은 통신위성, 기상 위성 등의 목적으로 사용된다. Clarke(1945)는 정지 궤도가 통신위성의 궤도로 유용하다는 논문을 발표하였고 이때 이 궤도가 대중에게 널리 알려지게 되었다. 이런 이유로, 정지 궤도는 클라크 궤도로 부르기도 한다.

4) 극궤도 위성(Polar Orbit)

남북 양극의 상공을 주회하며 궤도 경사각이 적도 평면과 90°인

궤도를 말한다. 지구 자전을 고려하면 지구상의 모든 상공을 통과하므로 각종 관측 위성에 적합한 궤도로 많이 사용된다.

5) 태양동기궤도 위성(Sun Synchronous Orbit)

궤도면과 태양방향이 이루는 각이 항상 일정한 궤도를 말한다. 동일 위도상을 매일 같은 시간대에 통과하므로 선박 위치측정, 각종 관측에 적합한 궤도로 많이 사용된다.

6) 지구동기궤도 위성(GSO, Geostationary Synchronous Orbit)

고도 36,000km에 위치하는 궤도로서, 정지궤도와 마찬가지로 지구를 일주하는 시간이 지구의 자전주기와 같으나. 적도평면과의 경사각이 존재한다.

제4절 위성활용 한계점 및 해결방안

1. 활용 한계점

인공위성의 활용에 대한 한계점은 기상 및 대기 영향이 크고 자료 획득이 쉽지 않고, 저해상도 영상은 지표 및 지형 특성을 반영 하지 못하는 등의 문제점을 가지고 있다. 즉 위성정보 활용에 대한 4대 이슈는 위성 자료가 3~7일 이내 보급되는 적시성이 미흡하고, 해상도에 따른 영상 품질의 문제점, 영상의 배포 등에 대한 인프라가 부족하고, 구매비용 부담에 따른 활용기반이 빈약하다는 문제점이 있다. 위성활용에 대한 한계점에 대하여 자세히 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 위성에 대한 근본적인 문제점이 있다. 위성을 활용한 원격탐사는 단순히 어떤 값의 공간적, 분광적, 시간적 정보를 제공하는 것으로서 필요한 모든 정보를 제공할 수 없음에도 불구하고 그 활용성이 너무 지나치게 높이 평가되고 있는 경향이 있다.

위성자료는 특성상 기상상태나 대기상태(흡수, 산란, 반사 등)에 대한 영향을 많이 받으며, 해상도와 자료 획득 주기에 문제가 있다. 광학센서가 탑재되어 있는 위성(MODIS 등)의 경우, 센서의 고유 특성에 따라서 외부적인 요인(눈, 비, 구름 등)에 제약을 많이 받게 되어 연속적인 관측자료 취득에 한계가 있다.

저해상도의 영상은 영상의 획득주기가 짧아 많은 양의 자료를 확보 할 수 있지만, 해상도가 낮아 분석에 활용하기엔 어려움이 있고, 고해상도의 영상은 분석에 용이하나 영상의 획득 주기가 1년에 2~3영상 정도만 활용할 수 있어 단기간의 분석에는 한계가 있다.

레이저나 레이더와 같은 스스로 전자기에너지를 쓰는 강력한 능동형 센서 시스템의 경우, 조사 대상 현상에 파고들어 영향을 미칠 수 있다는 문제점이 있다.

자료를 수집할 센서와 분해능, 센서 보정, 센서 탑재용 플랫폼, 자료 수집 시기 수집된 자료의 처리방법 등이 주관적으로 선택되므로 인간에 의한 오차가 개입될 수 있다는 원론적인 문제점이 있다.

둘째, 위성 활용에서 발생하는 문제점이다. 우선 해상도에 있어서 고해상도 영상이 아닌 중·저해상도 위성 자료로 소규모 유역을 분석할 경우

유역의 특성을 정확히 분석할 수 없어 부적합하다. 이러한 이유 때문에 대부분의 위성 연구는 광범위 공간분포 특성을 활용해 미세측 유역이나 접근이 어려워 제대로 조사가 이루어지지 못하는 지역을 대상으로 적용하고 있다. 이러한 지역에 대한 명확한 지식이나 자료가 없어 위성 자료로부터 추정된 결과에 대한 신뢰성을 얻기가 어렵거나 결과에 대한 원인규명이 어렵다.

위성자료는 극단값을 평가하기가 어렵고 이상치에 매우 취약하다. 연구 결과를 도출하기 위해 활용한 지수에 따라 결과 값이 상이하게 바뀔 수 있기 때문에 결과를 도출하기에 앞서 위성 자료로부터 산정할 수 있는 지수들에 대한 검증이 필요하다.

식생을 대표할 수 있는 위성자료는 가뭄, 토양수분, 증발산량 산정 등 많은 연구의 주요한 인자로 활용되나, 가뭄 및 홍수 등 재해에 대한 식물 반응의 오차를 야기 시킴으로 실제 식생 성장 및 분포 모니터링에 부족한 면이 있다. 마찬가지로, 연구목적 및 범위에 따른 적정 공간해상도에 대한 연구가 미비하여 최적해상도 설정이 어려워 해상도에 따른 불확실성이 높게 나타날 수 있다.

인공위성이 가진 센서 고유의 오차와 각 산출물을 산정하는 특정 알고리즘의 불확실성이 존재하므로 현장관측 토양수분 자료를 기준자료(reference data)로 인공위성 자료의 검증이 필수적으로 수반되어야 한다. 하지만, 지점자료가 모든 관측 영역의 위성 토양수분을 검증할 수 없기 때문에 보다 정확한 검증을 위해 전체 위성 표출 지역을 검증할 수 있는 기준 자료가 절실하다.

셋째. 인공위성 운용에 따른 문제점이다. 위성 자료가 현장 자료와 일치하지 않을 수 있다. 정지궤도 위성 자료의 경우 해당 지역에 대한 연속된 관측이 가능하기 때문에 이러한 문제가 발생하더라도 보정이 가능하나, 태양동기궤도 위성의 경우 local 지역에 대한 관측이 하루에 1~2번 이루어지고 있으며, 기상이나 대기로 인한 결측 시 해당 지역에 대한 자료를 아예 얻기 힘들 수도 있다. 위성 자료에 대한 정교한 변환 절차가 필요하며, 자료의 수신, 처리를 위한 별도의 시설이 필요할 수 있다.

위성 자료가 특정한 목적을 필요로 하는 사람들에게는 유용하지 않을 수 있다. 다시 말해 특정 목적을 위해 위성 자료를 활용하고자 하는 사람

에게는 별도의 자료 생산 비용이나 기술적인 어려움이 발생할 수 있다는 것이다. 왜냐하면 위성 자료의 분석, 해석 및 활용을 위한 방법의 개발에 있어서 위성을 운영하는 기관의 목적에 부합하는 방향으로 진행될 수밖에 없기 때문에 범용적인 접근방법을 통해 운영될 수밖에 없다.

또한, 향후 위성 정책 및 설계에 영향을 줄 수 있는 기회를 얻지 못할 수도 있다. 새로운 자료의 형태나 작업 방식이 필요할 경우 기존의 관행 및 절차 조정에 상당한 자원이 소요될 수 있고 새로운 변화에 대한 기존의 작업의 관성이 매우 강할 수 있다.

넷째, 국내에서의 위성활용 한계점이다. 고해상도 위성체 개발과 탑재체 개발과 같은 하드웨어 부분은 선진국의 기술 수준에 많이 접근 했지만, 위성 정보 활용도 측면에서는 아직 많이 부족한 것이 국내 실정이다.

식생지수, 증발산 및 토양수분 등 수자원 관련 인자 추출 정도의 연구는 수행 중에 있으나 현재까지 수자원 관리에 및 홍수, 가뭄 등의 수재해 감시/대응에 필요한 수문인자들을 관측하는 물 관리 전용 위성이 없다. 또한, 현재 제공되고 있는 위성정보를 수자원 관리에 활용 할 수 있는 자료로 적절히 처리할 수 있는 인력 및 시스템에 절대적으로 부족한 상황이다. 정부 기관을 중심으로 공공부분에 대한 위성정보 활용 사업을 증대하고 있지만 국내 위성정보 활용 사업 혹은 연구가 범 기관적인 컨트롤 타워 없이 산발적/개별적으로 진행되고 있음에 따라 표준영상을 활용하기 위한 부가처리를 하는데 인력과 비용이 중복 지출되고 있을 뿐만 아니라 표준화된 위성영상 자료 전처리의 부재로 인한 기관별 산출 결과물에 대한 검증이 어렵다는 문제점이 있다.

동일한 지역에 대한 각 위성별/산출 알고리즘별 자료의 정확도가 상이하므로 우리나라에의 적용을 위해서는 한반도 지역에 특화된 센서와 알고리즘 선별이 필요하다. 한반도는 국토의 70%가 산지지형으로 이뤄져 있으며, 경사도(slope)가 5도 이하의 평탄한 지역이 약 23%에 그치는 등 복잡한 지리적 특성을 가지므로 저해상도의 인공위성 자료만으로는 정확한 토양수분 산출이 어려움이 있다.

토양수분은 잘 알려진 대로 각 식생 조건 및 지질 조건에 따라 다양한 특성을 가지고 있는데, 한반도는 국토의 70%정도가 혼합림으로 구성되어 있는 복잡한 식생/지형을 가지므로 인공위성 원 자료를만 이용하여 국토

전반의 토양수분을 판단하기에는 어려움이 있다. 따라서 침투, 침수 및 수문학적 기작을 고려한 후처리 작업을 통한 자료와 reanalysis 자료가 필요하다.

현재 NASA, ESA, JAXA, NSMC에서 다양한 위성에서 관측된 토양수분 데이터를 준 실시간으로 제공하고 있으나, 각 위성에 탑재되어 있는 센서의 종류와 동일한 지역을 관측하는 시간이 일정하지 않아 위성별 관측 데이터 간 차이가 있다. 또한, 각 위성별 운용기간이 상이하게 다르고 위성관측이 시작된 지 불과 십여 년 정도 밖에 되지 않아 장기간의 인공위성 자료가 부족하다. 위성관측을 통해 얻을 수 있는 토양수분은 지표면으로부터 0~2cm 정도 깊이에서의 값으로, 식생의 생장에 직접적으로 영향을 미치는 뿌리층 토양수분 (RZSM; Root Zone Soil Moisture)을 관측할 수 없다는 한계점이 있다.

2. 해결방안

위성영상 활용에 대한 해결방안으로 활용 체계 정비, 활용기술 연구 개발 강화, 서비스 질 향상(사용 중심), 활용기반 확대 등으로 대별 할 수 있으며 자세한 해결방안을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 위성의 특성을 보완하기 위한 보정방법 개발이 필요하다. 위성 자료의 복사량 보정 방법을 활용해 자료를 보정하고, 다양한 플랫폼(궤도, 센서 해상도, 분광 해상도 등)의 위성을 개발, 발사하여 자료의 획득률 향상시켜야 한다.

둘째, 위성 자료의 개선이 필요하다. 소규모 구역의 적용 가능한 중·저 해상도 위성자료의 Down-scaling 기법 개발, 현장관측 지점 확대를 통한 실측자료 개선 및 위성자료의 검·보정 지점 확보, 위성 자료의 이상치 보정을 위한 다양한 기법 개발, 위성의 분광 해상도를 고려해 연구에 활용할 수 있는 객관적인 지수(지표) 추가 개발, 각 위성의 목적에 맞는 적정 공간해상도를 선정하기 위한 연구 확대 그리고, 생산된 위성자료가 특정 지역뿐만 아니라 범지구적으로 적용가능한 표준화 알고리즘 개발이 필요하다.

셋째, 위성 운용의 문제점을 개선해야 한다. 다양한 공간해상도, 시간 해상도를 가진 위성들을 개발하여 양질의 위성자료를 확보 할 수 있어야 한다. 각 위성 자료에 맞는 최적의 변환 알고리즘을 개발하고, 주기적인 심포지움, 전문가 자문을 통한 위성 자료의 사용 환경 개선에 노력하고, 해외 사례 분석 및 비교를 통해 효율적인 자료 제공 시스템 구축할 필요가 있다. 하늘뿐만 아니라 지상에 관측지점도 충분히 확보가 되어야 한다. 밀도 높은 관측망을 설계 및 운영하여 충분한 지점자료를 획득하고, 통일된 QC(Quality Control) 방법을 이용하여 검증·보정함으로써 고품질의 직접 관측 자료를 산출하고 이를 기준자료(reference)로서 활용할 수 있다. 지점 자료와 함께 NASA에서 제공하는 GLDAS(Global Land Data Assimilation systems) 자료를 활용하여 위성 토양수분의 전체 표출 지역에 대한 검증을 수행할 수 있다.

높은 공간 및 시간해상도(Sentinel-1, Sentinel-2, 10m 공간 해상도)로 약 5일 단위로 제공되며 전천후 및 주야간 촬영이 가능하여 연속적인 자료 수집이 가능한 SAR(한반도 실정에 맞는 고해상도 토양수분 자료 제공 가능)자료를 활용 할 수 있다.

Sentinel SAR 영상 자료는 지금까지 한반도에 약 1,600장 정도의 영상이 확보되어 있으며, 무료로 제공하고 있다. 한반도의 복잡한 지형적 특성을 잘 고려할 수 있는 수문기상인자 산출 알고리즘이나 보정 기법을 개발함으로써 정확도 높은 자료를 산출할 수 있다.

신뢰도와 자료 수집을 모두를 만족시킬 수 있는 최적의 전파간섭방해(RFI; Radio Frequency Interference) 한계 값을 결정하고 이를 적용함으로써 특정 지역에 나타나는 저조한 자료 수집율을 보완할 수 있을 것이다. 또한, 인공지능이나 통계학적 기법을 활용하여 저해상도 인공위성 자료를 공간 상세화함으로써 고해상도 자료를 산출하여 지역적 분석에 활용할 수 있다.

인공위성 및 현장 관측 토양수분 자료의 연계 및 융합을 통하여 넓은 지역에 대한 공간적인 분포 관측이 가능하고, 긴 기간 축적된 자료가 존재한다는 각 자료의 장점을 유지하고 단점을 보완 할 수 있는 자료를 산출하거나, 직접 관측 지점 자료를 이용하여 인공위성 자료를 보정 및 개선한 후에 활용함으로써 자료의 신뢰성 및 정확성을 높일 수 있다.

지수함수모델(exponential filter) 등을 적용하여 위성자료를 기반으로 산출된 지표면 토양수분으로부터 뿌리층 토양수분(RZSM)을 계산할 수

있으며, 서로 다른 장·단점을 갖는 다양한 위성 데이터들의 융합/보정을 통하여 위성 데이터의 공백을 최소화 시킬 수 있으며, 신뢰성 높은 고품질의 데이터를 획득할 수 있다.

제5절 Remote Sencing 관련 학술대회 및 업무협정

1. 2019 ISRS 국제 학술대회

ISRS 2019 국제 학술대회를 타이완 타이페이에서 4월 17~19일까지 개최 되었다. 학술대회 주관은 대만 원격탐사학회, 대한 원격탐사학회, 일본 원격탐사학회, 타이페이 국립중앙대학교 원격탐사 연구소 등 이었다.

<그림 3-8>은 타이완 타이페이 국제학술대회 포스터이다



<그림 3-8> ISRS 2019 국제 학술대회(타이완, 타이페이)

12개 워크샵 섹션을 포함하여 61개 포스타 발표회를 10국 이상 참여하여 행사를 가졌다. 섹션의 전반적인 주제는 대기/해양부문 원격탐사, 영상 분석에 대한 알고리즘, 무인항공기(UAV) 응용, 위성 관련 빅 데이터 처리, 레이더영상(SAR) 응용, DEM(거리 측정, 지표면 해석) 생성 등 응용 모델, 모바일 지도 등 이었다.

포스터 발표 내용을 정리 하여 (표 3-4)에 나타내었다. 이를 살펴보면 다중스펙트럼을 활용 초 고해상도 알고리즘 개발, 위성기반 디지털 지형/고도/지형변화 모델 개발, 위성영상 기반 작물 생산량 파악 해양 쓰레기 모니터링, 센터럴 위성을 활용한 가뭄피해 평가, 홍수 분석, 맹그로브 숲 탁도 분포 등에 관한 연구 발표가 있었다. 그러므로 동아시아 국가에서

위성을 활용한 다양한 분야에서 연구가 시행되고 기술개발 및 실용화 단계에 있음을 알 수 있었다. <그림 3-9>는 섹션별 발표된 포스터 내역들이다.

(표 3-4) 포스터 내용 정리

구 분	내 용
다중 스펙트럼 활용	<ul style="list-style-type: none"> - 다중스펙트럼 이미지를 사용하기 위한 유사성 초 고해상도 알고리즘 - 기하학적 정확도 분석(komsat-3a) 이미지 기반
디지털 지형/고도/변화 모델 추출	<ul style="list-style-type: none"> - GIS 우주 과학 기술을 통합한 우주 지능 기술 - 경사(slope)에 대한 조기 경보시스템과 실시간 모니터링 - 반복된 스트레오 위성 데이터를 사용한 도시 변화 감지 - 글로벌 매칭을 이용한 디지털 고도 위성 스테레오 이미지 추출 - UAV 데이터의 가중 DEM 영역 증가를 사용한 디지털 지형 모델 추출 - 다양한 UAV 이미지에 대한 1 : 1000 스케일 맵 생성 타당성 조사 - 지구 관측 산업 기반의 산업 분석 - 위성을 이용한 동 북극 캠펠 빙하와 데이비드 빙하의 계절 및 지역별 속도 변화 분석 - SAR기반 디지털 고도 모델 평가
위성기반 작물 생산량 및 해양 쓰레기 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> - 위성 영상 데이터를 통한 일본해의 해양 쓰레기 모니터링 - 위성 관측을 통한 논작물 수확률 예측 및 손실 평가 - 원격 제어 시스템 기반 이미지로 동화 된 작물 모델을 사용하여 보리 및 생산성 모니터링 - 중국에 있어 망그로브 생태계의 위성 분석 - MODIS 이용한 남부 베트남의 대기 질에 대한 바이오매스 연소 영향 평가 - 대두 재배 계절에 의한 가뭄 및 가속 특성 분석
센터럴 위성 활용	<ul style="list-style-type: none"> - 스펙트럼 라이브러리와 센터럴2의 기계학습을 통한 나무 종 분류 - 센터럴1을 이용 남한의 논 재배에서 가뭄으로 인한 피해 평가 - 센터럴2 활용 인도네시아 맹글로브 숲 탁도 분포 평가 - 센터럴1을 이용 2018년 8월 남 타이완 홍수 분석 - 센터럴 위성 영상을 활용한 남타이완의 홍수 분석

Poster Session

• April 17, 2019 16:30 ~ 18:00

Paper #	Author	Title
005	Min-Lung Cheng, Masashi Matsuoka	Combining Human Retina Operation and Binary-String Feature Descriptors for Image Matching Enhancement
008	Heejeong Seo, Hyangsun Han, Hoonyol Lee	Analysis of seasonal and regional variation of the flow velocity on Campbell Glacier and David Glacier, East Antarctica, by using DInSAR technique
013	Junho Yeom, Youkyung Han, Taeheon Kim	Digital Terrain Model Extraction Using Weighted DEM Region Growing of UAV Data
014	Yeseul Kim, Geun-Ho Kwak, No Wook Park	Area-to-area filtered kriging for error correction of satellite-based products
017	Feng-Tai Hwang, Chian Chian Liou	An Industrial Analysis of Space-based Earth Observation Industry
018	Jin-Ki Park, In-Youl Baek, Kang-Su Kwak, Won-Young Han, Jin-Woo Bae, Jong-Soo Ryu	ANALYSIS OF SPECTRAL CHARACTERISTICS BASED ON DROUGHT AND HUMIDIFICATION BY SOYBEAN GROWING SEASON
020	Wan-Chi Chang, Jee-Cheng Wu	Factor and Spatial Analyses of College Motorcyclist Accident in Yilan County
026	Chun-Ta Wei, Chung-Yu Liu, Ming-Ta Tsai	Using Geographic Information System (GIS) to Integrate the space science techniques of military Intelligence Preparation of the Battlefield (IPB)
033	Jaehong Oh, Changro Lee	Extraction of Digital Elevation Model from Satellite Stereo Imagery Using Semi Global Matching
039	TaeHwan Shin, Jonghan Ko, Kyung Do Lee, Seungtaek Jeong, Ashifur Rahman Shauon, Kyu Ho So, Sang In Shim	Monitoring of Barley and Wheat Productivity using a Crop Model Assimilated with Remote-controlled Aerial System-based Images
049	Young-Sik Mun, Won-Ho Nam, Min-Gi Jeon, Taegon Kim, Dae-Eui Kim, Tsegaye Tadesse	Evaluation and comparison of satellite-derived rainfall products for hydroclimate extremes in East Asia
051	Chia-Hsiang Wang, Chia-Hsiang Lin, Kuo-Hsin Tseng	Patch Similarity Guided Super-resolution Algorithm for Fusing Panchromatic and Multispectral Images
060	Po-Yuan Hsiao, Kuo-Wei Lan	Observations of marine environmental variations in upwelling areas, frontal areas, non-upwelling areas around the Taiwan Bank
067	NGUYEN Thi Quynh Trang, Wataru TAKEUCHI	Assessment of biomass burning impact on air quality in Southern Vietnam with WRF-Chem model and MODIS observations
074	Han-Hsia Wu, Jee-Cheng Wu	Slope real-time monitoring and early warning system
080	Dong-Hyun Yoon, Won-Ho Nam, Hee-Jin Lee, Eun-Mi Hong, Dae-Eui Kim, Mark D. Svoboda	Assessing the remotely sensed drought risk characteristics for agricultural drought monitoring using Evaporative Stress Index (ESI) in South Korea
081	Dae-Eui Kim, An-Kook Shin, Hyung-Jin Shin, Jaenam Lee, Won-Ho Nam	Development of satellite-based agricultural drought early warning system in South Korea
082	Yeongjae Jang, Jaehong Oh	Urban Change Detection Using Repeated Stereo Satellite Data
085	Pyeong-Chae Lim, Junghoon Seo, Jonghwan Son, Taejung Kim	Feasibility Study for 1:1000 Scale Map Generation from various UAV images
086	Takashi Aoyama	Monitor of marine debris in the Sea of Japan using satellite image data
095	Noel Iván Ulloa, Shou-Hao Chiang	HOTSPOT ANALYSIS OF FLOOD EVENTS IN SOUTH TAIWAN USING SENTINEL 1 IMAGERY AND GOOGLE EARTH ENGINE

<그림 3-9(1)> ISRS 2019 국제 학술대회 포스트 내역

Paper #	Author	Title
097	Hee-Jin Lee, Won-Ho Nam, Dong-Hyun Yoon, Taegon Kim, Eun-Mi Hong, Dae-Eui Kim, Tsegaye Tadesse	Building the vegetation drought response index for North Korea (VegDRI-NKorea) to monitor drought-related vegetation stress
098	Pei-Hsuan Wei, Kuo-Hsin Tseng	Yield Forecast and Loss Assessment of Paddy Rice from Satellite Observations
104	Yuhan Zheng, Wataru Takeuchi	Remote sensing analysis of the mangrove ecosystem at Zhejiang province in China
113	Chun-Kai Hung, Peter T.Y. Shih	Mapping with Sentinel-1 for 20180823 Southern Taiwan Flood
117	DooChun Seo	GEOMETRIC ACCURACY VERIFICATION OF KOMPSAT-3A IMAGE BASE ON KARI GEO-CAL/VAL SITE
121	Yuji Sakuno, Ayu Lana Naitisyah, Kazuhiko Koike	Estimation of turbidity distribution flowing out of Indonesian mangrove forest by Sentinel-2 data - September 2017
125	Joongbin Lim, Kyoung-min Kim	Classification of major tree species based on machine learning using Sentinel 2 and spectral library
134	Yen-Yi Wu, Shih-Yuan Lin	Assessment of interferometric SAR-based Digital Elevation Model
138	Seungtaek Jeong, Jonghan Ko, Jong-Min Yeom	Nationwide Projection of Rice Yield Using a Crop Model Integrated with Geostationary Satellite Imagery: A Case Study in South Korea
142	Kwanchul Kim	Effects of aerosols on the Korean Peninsula Caused by Fireworks in China during Chinese Lunar New Year
143	Sujung Lee, Sungeun Cha, Eunbeen Park, Hyunwoo Jo, Hangan Yu, Moonil Kim, Wookyun Lee	Detection and Comparison of Forest Cover Change using Vegetation Index(VI) and time-series satellite imagery - Focusing on Gangwon-do between South and North Korea
148	Cholho Song, Jiwon Kim, Eunbeen Park, Dongfan Piao, Mina Hong, Youngjin Ko, Woo-Kyun Lee	Land Neutralization Assessment Using Changes of Land Covers and Net Primary Productivity in Northeast Asia
151	Yoshinobu Kato	An attempt to discriminate between Asian dust and PM2.5 using MCDIS data
170	Sungjae Park, Chang-Wook Lee	Monitoring of ice dynamics on caldera lake Chun-ji using TerraSAR-X Imagery
198	Donghan Kim, Sang-Wan Kim	Ship detection based on Kompsat-5 and AIS for operational ship surveillance
203	Heeran Ahn, Sungwoo Jung, Soohm Rhee	Analysis of vertical accuracy of DEMs generated from KOMPSAT-3A imagery
204	Seung-Chul Lee, Duk-Jin Kim, Ki-Mook Kang	Generation of SAR ATI data and extraction of moving target velocity using EM simulator
207	Young Cheol Kim, Duk-jin Kim, Seung-Chul Lee	MONITORING THE DISPLACEMENT OF HONG KONG-ZHUHAI-MACAO BRIDGE BY TIME-SERIES INTERFEROMETRY USING SENTINEL-1 DATA
208	Minyoung Jung, Minkyung Chung, Yongil Kim	Assessing drought-induced damage in rice fields during planting season in Korea using Sentinel-1 data
216	Chiho KANG, Mi-Ri KIM, Ho-Il CHO	Ocean surfaces under typhoons and hurricanes observed using KOMPSAT-5 wide swath SAR

<그림 3-9(2)> ISRS 2019 국제 학술대회 포스트 내역

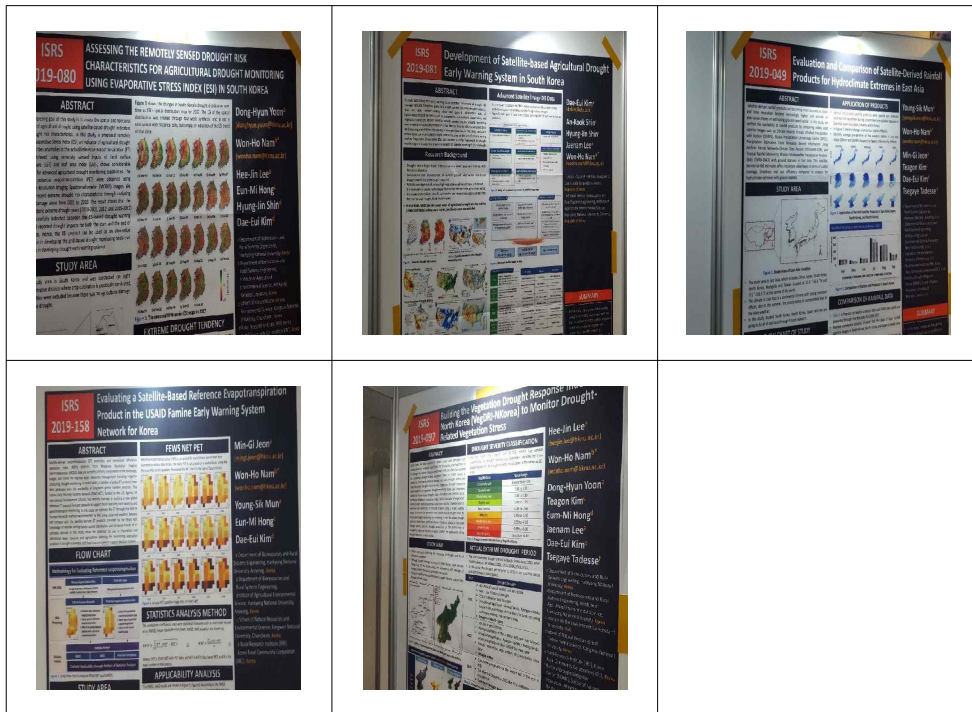
• April 18, 2019 15:30 ~ 17:00

Paper #	Author	Title
012	Jhe-Syuan Lai, Fuan Tsai	Adjusting the machine learning based classification decision boundary for improvement of landslice susceptibility models
030	Hang T. Do, Venkatesh Raghavan, Go Yonezawa	MEDIUM AND LOW SPATIAL RESOLUTIONS REMOTE SENSING DATA FOR MULTI-SCALE TERRACE CLASSIFICATION
035	Chieh-Ting Chou, Yi-Shan Li, Chi-Shun Hsueh, Yen-Te Li	Investigation of the Jamming Interference of Global Navigation Satellite Positioning System
040	Ching-Te Lin, Jun-Hong Wu, Ming-An Lee	Compared two different <i>Lroteuthis edulis</i> ' HSI models in the northern waters, Taiwan
054	Pei-Cheng Chen, Tee-Ann Teo	AUTOMATED ROAD-OBJECT EXTRACTION FOR HIGH-DEFINITION MAP FROM MOBILE MAPPING SYSTEM
057	Shao-Wei Huang, Tee-Ann Teo	AUTOMATED ROADMARK EXTRACTION FOR HIGH-DEFINITION MAP FROM MOBILE LIDAR SYSTEM
063	Chung-Chi Yang, Yu-Ting Zeng, Chi-Da Wu	Land-use Regression Models for Predicting the Spatial-temporal Variability of NOx in Taiwan
068	Yong-Suk Lee, Sung-Hwan Park, Hyung-Sup Jung	Forest Vertical Structure Mapping in Gongju city, Korea from Sentinel-2 Images Using Artificial Neural Network
087	Hyun Yang	Deep Learning-based Methodology to Predict Abnormally High Water Temperatures using Satellite Big Data
099	Guanyu Yan, Wataru Takeuchi	Thermal Infrared Assisted Optical Pattern Recognition for Human Detection
100	Young-Sil Kwak, Jaeheung Park, Jinwook Han, Jae-Woo Park, Terry Bullett, Mamoru Ishii	Ionospheric oblique sounding observations between Korea and Japan using VIPIRS: Preliminary results
106	Chien-Hui Chen, Pai-Hui Hsu	OBJECT-BASED CHANGE DETECTION METHOD APPLIED TO HIGH RESOLUTION AERIAL ORTHO IMAGERY
112	Honglyun, Park, Jaewan, Choi, Mira, Jeong, Hoseong, Choi, Doochun, Seo	Spatial resolution enhancement of KOMPSAT-3A IR image by fusing IR and multispectral images
124	Min-A KIM, Gabho Jeon, Daewon Chung, Jamiyoung Koo, Seunghyun Jeon	Developed prototype of automation system for satellite image cloud analysis based on Artificial Intelligence
132	Chul-Soo Ye	Feature weight determination based on class separability
137	Won-Woo Seo, Hwa-Seon Lee, Kyu-Sung Lee	Evaluation of the potential of High Spatial Resolution Satellite Imagery for Detecting Oak Wilt Infected Trees
139	Ahram Song, Jaewan Choi, Yonggil Kim, Kanghyeok Choi, Hunsoo Song	Change Detection of Multi-temporal High Resolution Satellite Images Using Transfer Learning and Recurrent Fully Convolutional Network
140	Sungeun Cha, Hyun-Woo Jo, Moonil Kim, Cholho Song, Woo-Kyun Lee	The estimation of growing stock volume (GSV) using remotely sensed data
158	Min-Gi Jeon, Won-Ho Nam, Young-Sik Mun, Eun-Mi Hong, Dae-Eui Kim	Evaluating a satellite-based reference evapotranspiration product in the USAID Famine Early Warning System Network for Korea
159	JungNam Jun, EunA Cho, EunSuk Lim, DaeWon Chung	Technology development of automatic scheduling Based on constellation operation for Earth Observation Satellite

<그림 3-9(3)> ISRS 2019 국제 학술대회 포스트 내역

그리고 이번에 학술대회에 참가한 농어촌연구원에서는 5개의 포스터를 발표하였으며 위성기반 가뭄 모니터링으로 가뭄 특성 및 조기경보 체계에

대한 내용이 전반적이었다. 5건의 발표 포스터 제목은 위성을 활용한 강우 평가 및 비교, 증발스트레스 지수(ESI)를 활용 가뭄 모니터링으로 농업 가뭄 위험 특성 평가, 위성 기반 농업가뭄 조기 경보 시스템 개발, 식물스트레스 모니터링을 활용 초목 가뭄 대응 지수 구축 등이다. 발표한 포스터는 <그림 3-10>에 나타내었다.



<그림 3-10> ISRS 2019 국제 학술대회 발표 포스터(RRI)

2. NDMC & RRI 업무협정

미국국립가뭄경감센터(NDMC)와 RRI(농어촌연구원)과의 업무협약을 2019년 10월 29일~11월1일 사이에 이루어졌다. 농어촌연구원의 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 모델 개발과 관련하여 위성영상 관련(처리/분석) 모니터링 등 신규분야에 대한 선진 기술 습득 및 인프라 구축 등을 위한 상호간의 연구협정(RECORD OF DISCUSSION) 추진되었다.

미국국립가뭄경감센터(NDMC, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, USA)는 네브라스카-링컨대학(University of Nebraska-

Lincoln)은 1995년 미연방정부와 협력하여 국립가뭄경감센터(NDMC)를 설립하고 미국의 가뭄관리에 중추적인 역할을 담당하고 있다.

그리고 미국 전역의 350곳 이상의 기상관측자료와 현지 피드백을 거쳐 격주 단위로 미국가뭄지도(United State Drought Monitor)를 제작, 공포하고 있으며 가뭄 정도를 5단계로 나누어 서비스하고 있으며, 식물 가뭄 반응 지수, 작물 수분지수, 가뭄 영향지수, 산불위험도 등을 함께 제공하고 있는 기관이다.

양 기관의 업무협정 배경은 최근 이상기후 현상에 의해 강수량의 변동성이 커짐에 따라 지역적 가뭄발생 빈도 심화되면서 농업가뭄 및 수자원 관련 분야의 장기 계획 수립에 있어 불확실성 증가하고 있으며 또한 4차 산업혁명 시대를 맞아 위성영상 분석 등 최신 선진기술을 농업가뭄 분야에 활용함으로써 공간적인 제한성을 극복하고 위성영상 기반 인프라 구축 및 선제적 농업가뭄 대응을 위한 초석 마련을 위해서 추진되었다.

업무협정 내용은 농업가뭄지도 생성에 관한 영상 분석 등에 관한 선진기술 협력 방안 마련 및 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링에 대한 각 부문별 (영상 전처리, 합성, 영상 모니터링, 예측 등) 기술 교류 등 향후 지속적인 협력 방안 마련을 위해 아래와 같은 내용으로 추진되었다.

- 2019년 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 결과(농업가뭄지도)에 대한 자문
 - 농업가뭄 위성영상 모니터링의 개선, 평가 방안
 - 결과(농업가뭄지도)에 대한 적정성 및 검증 방법
- 농업가뭄에 대한 위성영상의 최적 모니터링 방안에 대한 협의 및 활발한 기술 전수
- 최근 모니터링에 대한 기술현황 및 각 부문별 알고리즘과 모듈 등에 대한 기술
- 향후 위성영상 기반 농업가뭄에 대한 공공 또는 위촉 연구 등의 협력 관계 구성 방안 등
- 농업가뭄 관리를 위한 최첨단 의사결정 시스템에 대한 지속적 기술 교류 등

상기와 같은 지속적인 업무협정으로 선진기술을 습득으로 위성영상 수신·처리·관리·분석 등의 원천기술 및 알고리즘 발전, 시·공간적 농업

가뭄 모니터링 기술에 의한 가뭄분포 변화추이 및 정보제공 기술 고도화와
 글로벌 시대 대외 의존적 부문에서 벗어난 독립적·주도적 농업가뭄 모니터링
 인프라 구축 및 분석력 확보 등으로 물관리 기술의 새로운 패러다임 마련
 에 대한 효과를 가져 올 것으로 판단된다.

RECORD OF DISCUSSION
 BETWEEN
 NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER;
 AND CENTER FOR ADVANCED LAND MANAGEMENT INFORMATION
 TECHNOLOGIES
 ON BEHALF OF THE UNIVERSITY OF NEBRASKA-LINCOLN BOARD OF
 REGENTS, U.S.A.
 AND
 RURAL RESEARCH INSTITUTE, KOREA RURAL COMMUNITY CORPORATION;
 AND HANKYONG NATIONAL UNIVERSITY, REPUBLIC OF KOREA

Wednesday, October 30, 2019
 Lincoln, NE, USA

The National Drought Mitigation Center (NDMC) and Center for Advanced Land Management Information Technologies (CALMIT) of the University of Nebraska-Lincoln (UNL) and the Rural Research Institute (RRI) of Korea and Hankyong National University (HKNU), considering the significance of jointly implementing a technical cooperation program, as shown in the DOCUMENT attached hereto, should be implemented.

Desiring to facilitate a collaborative program of research, training, institutional development, information dissemination, and exchange of scientists and staff;

Recognizing that such cooperation shall promote mutual interest in the field of water resources research, natural resources management, and drought studies; and

The linkage hereby formed shall further help to reach each partner institution's objectives as well as strengthen the mutual relationship between the Parties.

We agree to foster technical collaboration for sustainable agricultural drought mitigation in Korea working in concert with the NDMC and CALMIT as follows;

1. Explore methods of improving the monitoring of critical climatic, hydrological, and agricultural parameters through satellite remote sensing with the development of remote sensing-based variables to improve assessment and early warning systems for drought and other extreme climatic and hydrological events.
2. Collaborate in conducting studies that focus on remote-sensing based drought monitoring/early warning, policy and planning research.
3. Discuss the development of state-of-the-art decision support systems for drought management for local stakeholders and the general public.
4. Improve the application of remote sensing-based information in the development of drought and water management tools and policies to reduce the economic, environmental, and social impacts of abnormal climate events.

5. Discuss the development of a new remote sensing drought index for agricultural drought management and the validation of remote sensing drought index.
6. Discuss the development systems for the exchange of information between the Parties on successful drought risk management strategies.
7. Participate as partners in technical proposals in applications for national and international grants.
8. Provide training activities and research exchanges to assist research scientists in the Parties in drought management and planning.

Discussion Attendees



Choi, Kangwon, Rural Research Institute, Head of Water Resources & Environment Research Group



Kang, Mun-Sung, Rural Research Institute, Principal Researcher



Nam, Won-Ho, Hankyong National University, Assistant Professor



Mark Svoboda, National Drought Mitigation Center, Director



Brian Wardlow, Center for Advanced Land Management Information Technologies, Director

<그림 3-11> RRI & NDMC 업무협약 내용



제4장 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링



제4장 위성영상 기반 농업가뭄 파라미터 추출

제1절 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링

1. 농업가뭄 모니터링

가뭄이라 함은 일반적으로 강수의 부족을 의미하며, 비정상적인 수분부족이 상당 기간동안 계속되는 현상으로 인하여 각종 용수공급이 부족해짐에 따라 경제적으로 겪는 직접적 피해와 정신적인 고통, 생활 불편을 수반하는 간접적 피해를 가져올 경우 가뭄으로 정의한다.

일반적으로 가뭄은 우리가 느끼지 못할 정도로 서서히 다가오는 자연재해이며, 하천바닥이 마르고 식물이 시들며 고사할 때까지 확실히 인식하기가 어렵기 때문에 시기를 정확하게 말하기 매우 어렵다.

또한, 가뭄은 진행 속도가 늦어 수개월 이상 걸리거나 수 년, 심지어 수십 년까지 지속되기도 한다. 10년 빈도로 발생하는 가뭄은 메가가뭄으로 정의하여 국내외에서 이에 대한 연구도 진행하고 있다.

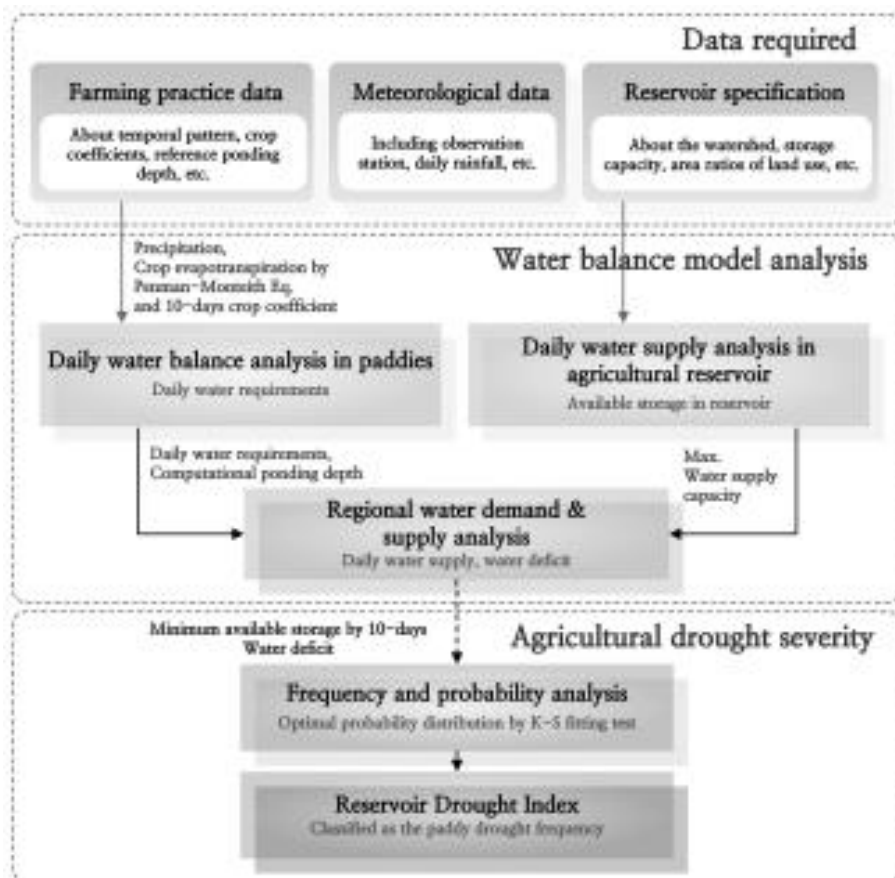
이러한 가뭄은 비용의 손실이 순식간에 발생하는 재해에 의한 손실에 못지 않게 크며, 미국 국립가뭄경감센터 (National Drought Mitigation Center, NDMC)에서는 여러재해 (홍수, 지진, 화산 등)중에서 가뭄피해의 손실이 가장 크다고 발표한 바 있다.

농업가뭄은 강수의 부족으로 인한 토양수분의 감소 및 농업용 저수지의 저수량 저하로 농작물 생육 및 수확량에 직접적인 영향을 미치는 것으로 발생하며, 실제증발산량과 잠재증발산량 간의 차이, 지하수위의 저하 등 또한 고려하여 평가한다. 논 관개지역은 농업용 저수지의 가용저수용량에 의한 농업용수 공급가능여부를 기준으로 가뭄상황을 판단할 수 있으며, 기존의 기상학적인 가뭄과는 가뭄 판단 과정의 상이한 기작을 나타낸다. 우리나라의 경우 관측과 예측이 용이하지 않고 정량적으로 나타내기도 어려운 자연현상이며, 농업용수 이용량도 많고 이용형태도 다양하기 때문에 강수부족으로 농업가뭄이 발생한다고 해도 실제로 농업현장에서 느끼는 가뭄은 시·공간적으로 다를 수 있다. 과거부터 주기적인 농업가뭄의 발생으로 많은 피해가 있었고 가뭄피해를 극복하기 위한 항구적인 가뭄대책이 추진되어왔으며, 재해 예방적 차원에서 농업가뭄에 대한 많은 연구도 지

속되어 왔다.

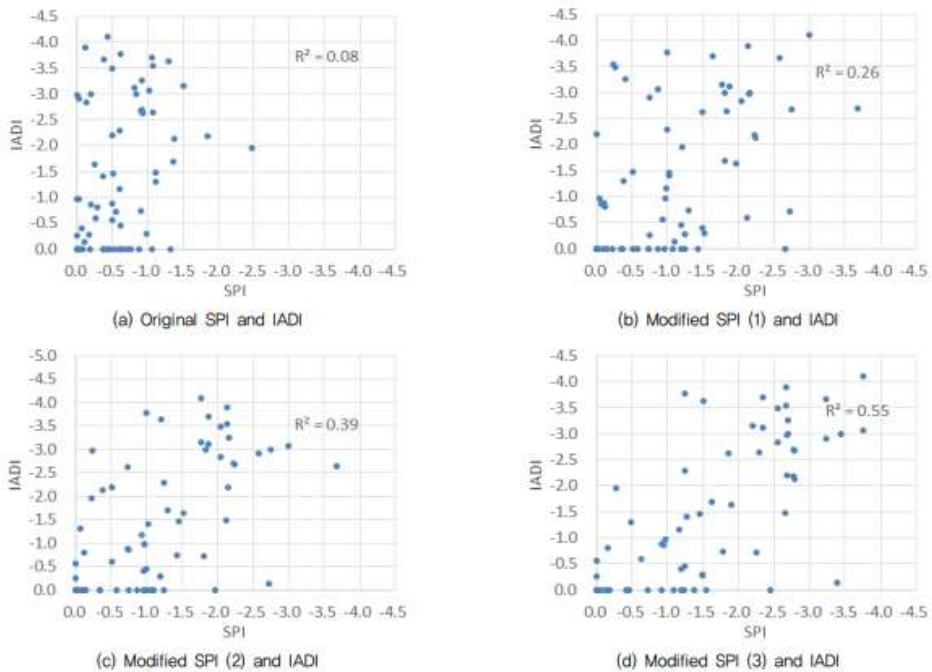
농업가뭄에 대한 일반적인 연구로 박민우 등(2005)은 농업가뭄지표 실용화 및 정보제공방안 연구를 통해서 표준강수지수 (Standardized Precipitation Index, SPI) 위주로 다양한 농업가뭄지표 개발방안을 제시하였다.

남원호 등(2013)은 저수지 관개지구의 농업가뭄을 분석하기 위하여 관개지역 논벼의 필요수량과 저수지의 용수공급능력을 파악하여 시기별로 발생할 수 있는 용수부족의 위험을 가뭄 단계로 평가하는 단일 저수지의 농업가뭄 평가모형을 활용하였다. 저수지 가뭄지수의 산정을 통하여 농업가뭄을 표현하고 농업가뭄 위험도를 평가하였다.



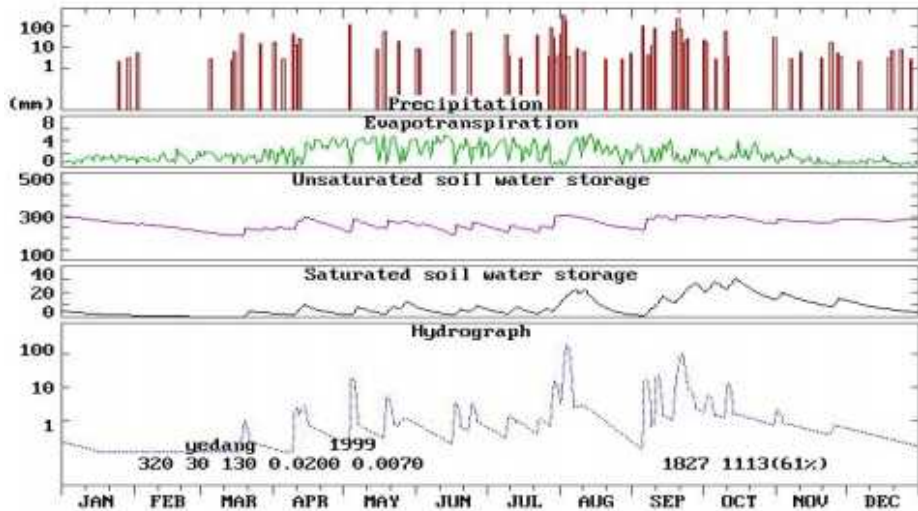
<그림 4-1> 저수지 가뭄지수 산정 과정(Nam et al., 2013)

박민우 등(2017)은 기상학적 가뭄과 농업가뭄의 특성을 분석하고 전국적으로 계측되고 있는 강우자료를 바탕으로 기상학적 가뭄지수를 산정하여 농업가뭄의 발생시기, 심도, 시간 등의 차이를 정량적으로 분석하여 저수율 및 토양수분과 같은 농업가뭄인자 미계측 지역에 대해서도 기상학적 가뭄지수를 이용하여 농업가뭄을 추정하였다.



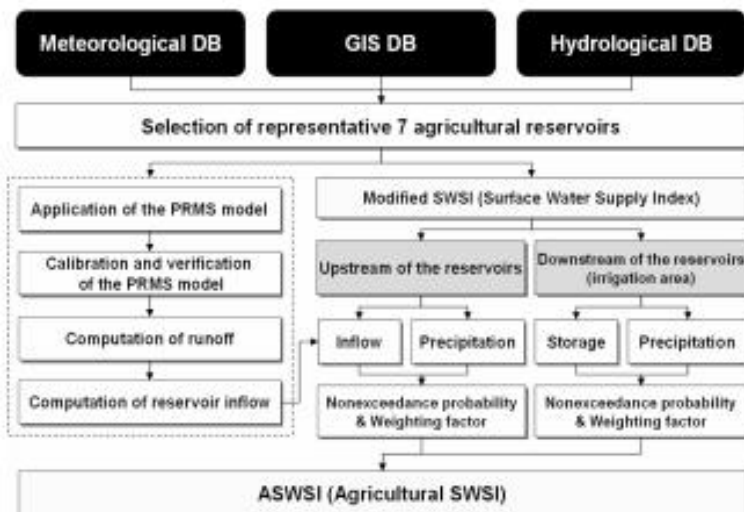
<그림 4-2> SPI와 통합농업가뭄지수(IADI)의 상관분석

김태철 등(2002)은 1971~2001년의 강수량, 저수위, 계기증발량 등의 기상·수문자료를 이용하여 누가강수량방법, 유역토양수분량 방법, 저수율 방법, 급수제한강도 방법으로 예당저수지의 가뭄을 평가하였고 과거 자료와 유사한 누가강수량, 저수율 패턴을 찾아내어 가뭄추이를 예측한 바 있다.



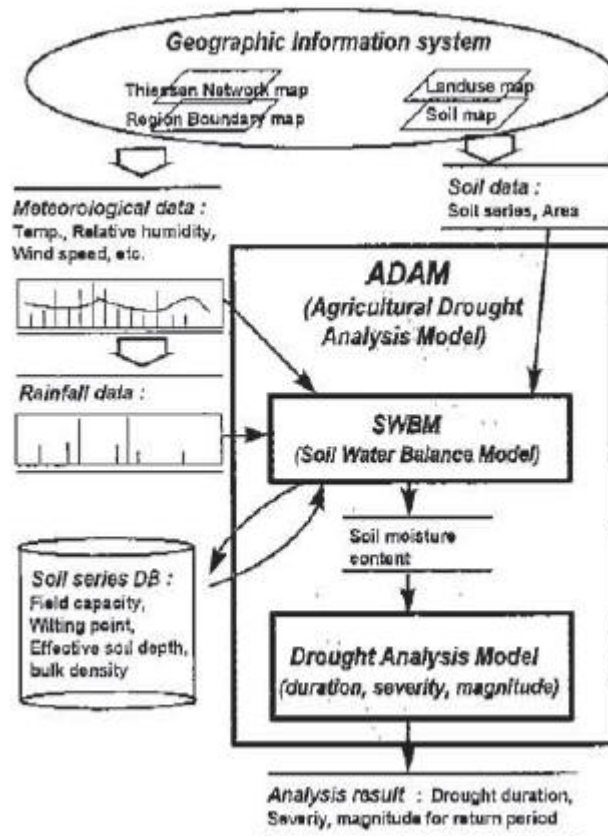
<그림 4-3> DAWAST모델에 의한 예당 저수지 유역에서의 수문학적 반응

안소라 등(2009)은 금강유역 인근의 1991~2006년의 저수지 유입량 및 저수량, 강수량 자료를 이용하여 수문학적 가뭄평가 방법인 SWSI (Surface Water Supply Index)으로 농업지역의 가뭄을 평가하였고 산정된 농업가뭄지수를 토대로 다중회귀분석을 실시하여 금강유역의 농업가뭄 지도를 작성하였다.



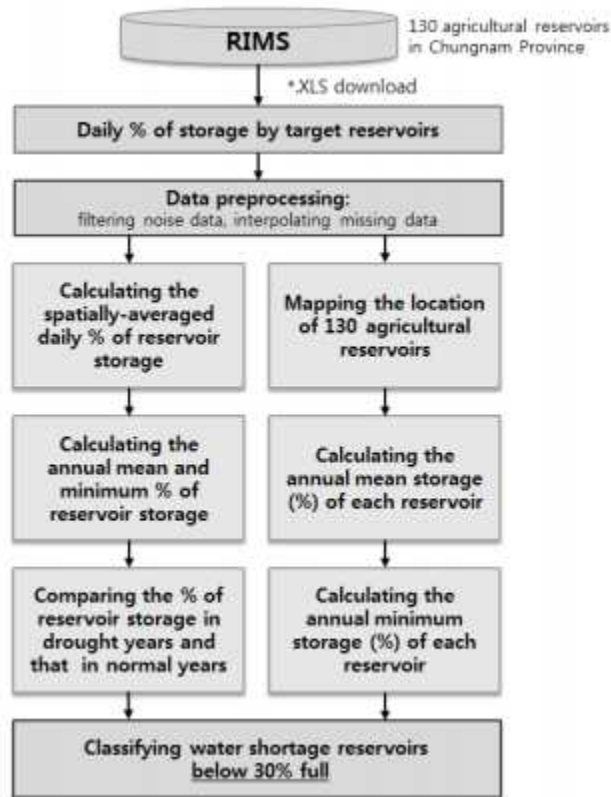
<그림 4-4> ASWSI 연구흐름도

배승중 등(1999)은 농업가뭄의 변량인 토양수분의 부족을 정량·정성적으로 분석하기 위하여 토양수분모형을 적용, 토양수분의 변화를 추정하고, 이를 기초자료로 삼아 가뭄의 특성치인 크기, 기간, 강도에 대해 분석을 실시할 수 있는 농업가뭄분석모형(ADAM)과 지리정보시스템을 통합 운영하여 지역별 농업가뭄을 분석하였다.



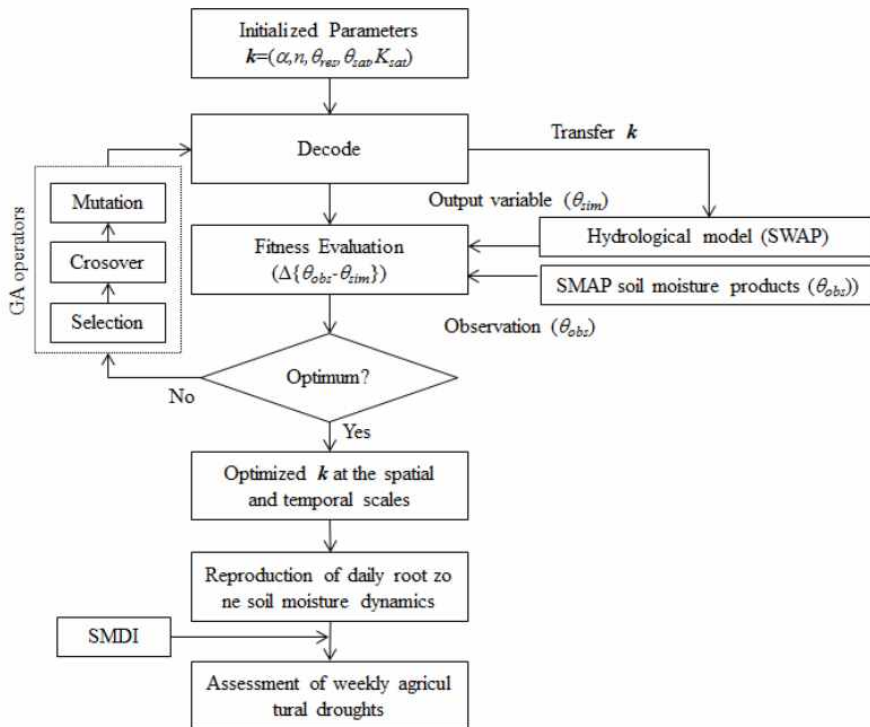
<그림 4-5> 농업가뭄분석모델 개념도

김소래 등(2017)은 2015년 극심한 가뭄을 경험했던 충남지역을 대상으로 가뭄의 전개와 심각성을 살펴보고자 하였으며 이를 위해 충남지역 농업용 저수지의 저수율 자료로부터 과거 가뭄 기록과 2015년 가뭄의 시공간적 분석을 비교하였다.



<그림 4-6> 가뭄동향분석 연구흐름도

신용철 등(2017)은 SMAP 기반의 (3Km × 3Km) 고해상도에서의 토양 수분 이미지 자료의 불확실성 및 적용성 평가, 약 3일 간격으로 3Km 해상도에서 제공되는 SMAP 자료와 수문모형 기반의 토양수분자료동화기법을 연계한 일별 토양 수분 산정 및 산정된 일별 토양수분을 이용한 농업 가뭄 평가를 수행하였다.



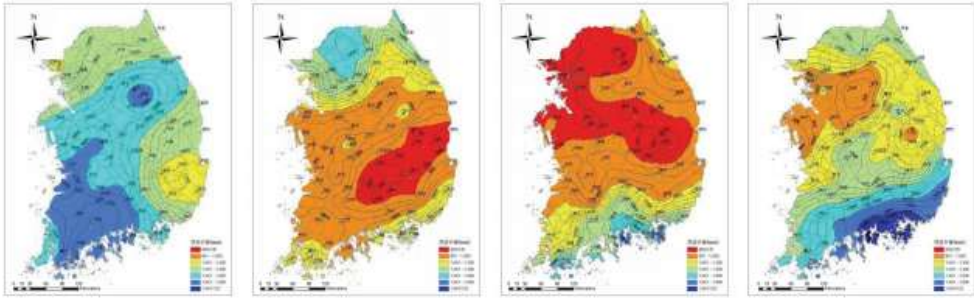
<그림 4-7> SMAP을 이용한 지표면 토양수분데이터 흡수체계 연구흐름도

박기욱 등(2006)은 농업가뭄의 감시 및 예보를 지속적이고 효율적으로 수행하기 위한 농업가뭄지표를 개발하고, 과거 가뭄상황과의 비교를 통하여 설정된 농업가뭄단계 및 농업가뭄지표의 적용성을 평가하였다.

(표 4-1) 가뭄 발생영향의 분류 및 가중치 적용

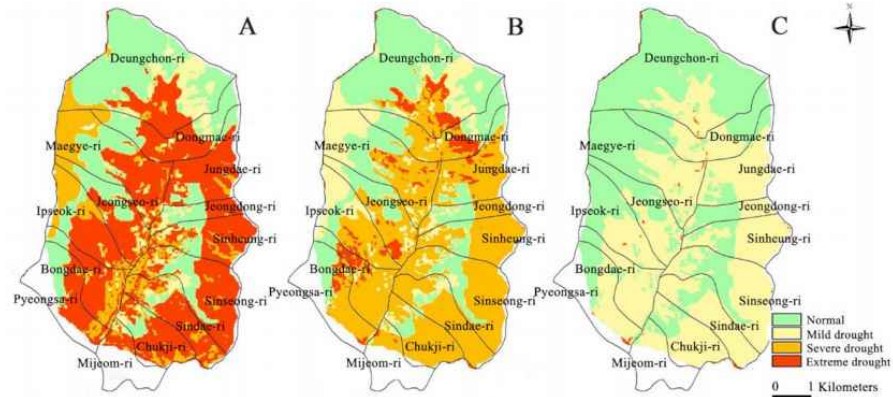
Agricultural		Economic		Environmental	
Event	Value	Event	Value	Event	Value
Delay of transplanting	10	Refugee	10	Drinking water shortage	7
Wilting	10	Income decline	10	Power limit	7
Lack of storage	7	Dispute	8	Power generation	6
Water contamination	6	Yield decrease	7	Other industry	4
Crop damage	6	Short of provision	6	Grain price	4
Water supply	5	Alternation crop	5	Desease	4
Auxiliary water source	4	Drought mitigation	4	Forest fire	2
Lack of rainfall	4	Livestock damage	3		
Lower river flow	4	Relieve from drought	2	etc	1

장중석 (2019)은 전국단위의 방대한 분량의 기상자료 및 저수율 등 수문기상학적 자료를 토대로 기상학적, 수문학적, 수문기상학적 가뭄지수 산정 방법론을정립하고, 강수량기준의 농업가뭄 분석 및 평가를 위해서 전국적으로 표준강수지수(Standatdized Precipitation Index, SPI) 산성, 저수지 저수율 기준 농업가뭄 분석 및 평가를 위해서 실측저수율 자료를 토대로 저수지가뭄지수(Agricultural Reservoir Drought Index, ARDI), 농업용수 공급을 고려한 물수지분석을 통해서 모의저수지가뭄지수(Agricultural Reservoir Drought Index Simulation, ARDIs)를 산정하여 수문학적 농업가뭄의 특성과 시·공간적인 분포특성을 규명하였다.



<그림 4-8> 가뭄년 연강수량의 등우선도

김대준 (2014)은 강수량, 지면유출, 경기 증발산 등을 종합적으로 고려함으로써 토양 중 식물가용수분을 추정하는 방식의 새로운 가뭄지수를 제시하고, 상세 전자기후도와의 결합을 통해 농업가뭄의 진행상황을 필지단위로 파악할 수 있는지 검토하였다.



<그림 4-9> ADI 공간분포

이석주 등(2018)은 논·밭 등에서 범용적으로 활용할 수 있도록 수요자인 농업인의 판단에 의한 농업가뭄 평가를 위해 가뭄평가항목을 설정하여, 농업인과 전문가를 대상으로 설문조사한 후 계층분석법(AHP)을 이용하여 두 그룹간의 가중치를 비교분석 하고, 평가항목별 평가기준을등급화하였다.

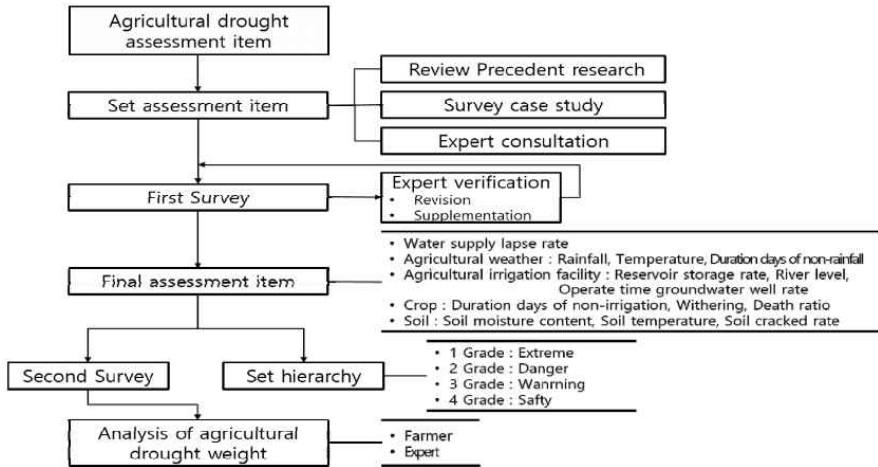
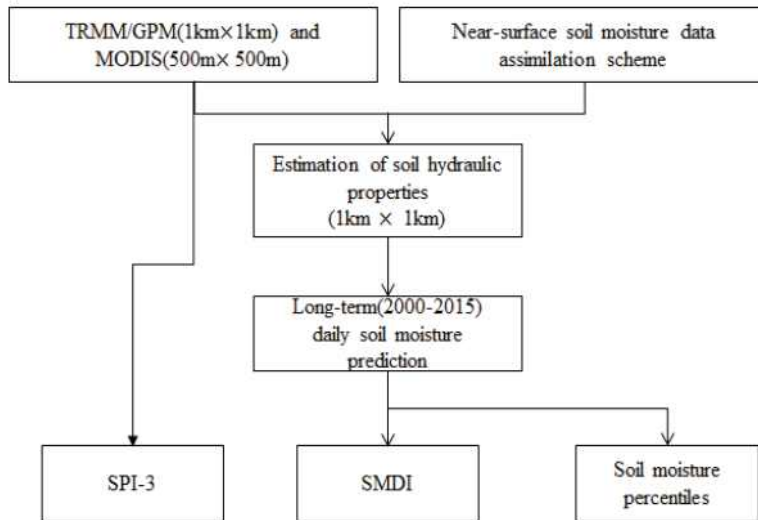


Figure 1. Process of study promotion for agricultural drought assessment

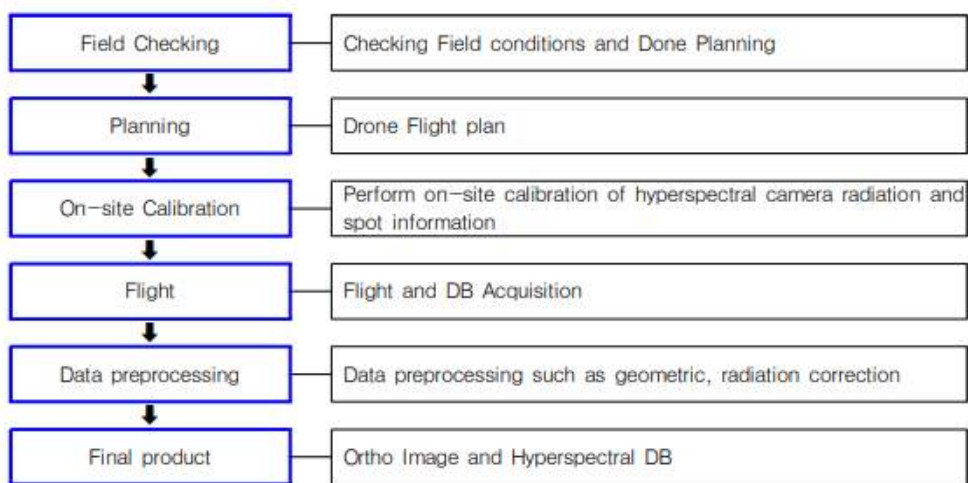
<그림 4-10> 농업가뭄평가 연구흐름도

이태화 등(2018)은 인공위상 기반의 TRMM/GPM 강우 및 MODIS 지표특성 이미지 자료를 토양수분자료동기화기법과 연계하여 최근 심각한 가뭄피해가 발생하고 있는 충청북도 지역을 대상으로 농업가뭄을 평가하였다.



<그림 4-11> TRMM/GPM 및 MODIS 이미지를 사용한 기상 및 농업가뭄평가 연구흐름도

함건우 등(2019)는 드론을 이용한 농업가뭄 모니터링 적용 가능성을 제시하기 위해 대상 지역과 작물에 대하여 드론 열화상 및 초분광센서를 이용하여 과학적인 데이터를 구축하였다. 구축된 열화상데이터와 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 데이터의 농업가뭄 모니터링 적용 가능성을 분석하기 위해 실제 대상지에 설치된 토양수분 측정센서를 이용하여 공간정보 데이터와 토양수분과의 상관성을 분석하여 가뭄 모니터링에 활용할 수 있는 개발 방향을 제시하였다.



<그림 4-12> 드론을 활용한 데이터 구축 흐름도

가. 국내 농업가뭄 모니터링

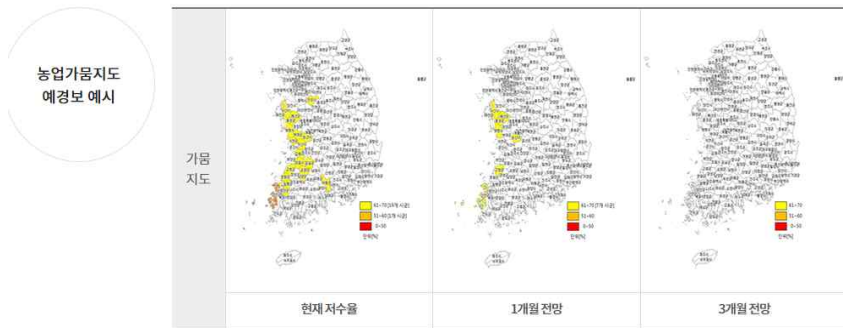
국내에서는 농업가뭄 관리 시스템 (ADMS)에서 농업가뭄에 대한 정의, 농업가뭄정보, 지도서비스 등 농업가뭄 관련 정보들을 제공하고 있다. 가뭄 예경보에서는 통합운영 흐름 및 예경보 기준과 농업가뭄지도 예경보 예시를 보여주고 농업가뭄정보로는 저수율-강수량 현황, 강우캘린더, 발토양수분현황을 제공한다.

저수율-강수량 현황은 행정구역 또는 공사지사별 전국 저수율, 전국 강수량, 전국 누적 강수량 그래프를 보여준다. 1980년부터 연별로 조회가 가능하며 평년과 함께 나타낸다.

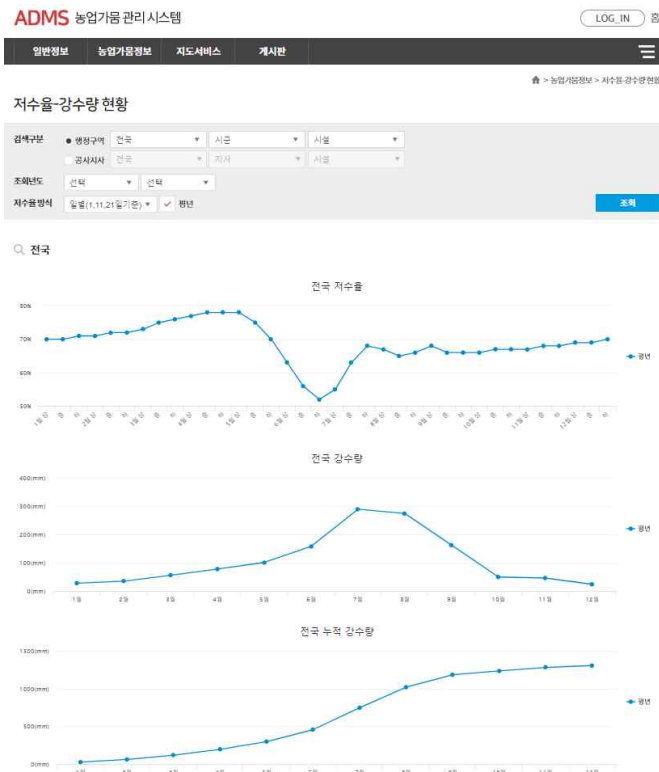
강우캘린더는 시도별 누적 강수량, 시도별 무강우 현황, 시군별 무강우 현황을 제공한다. 무강우의 경우 5 mm 이하의 강우는 무강우로 포함한다.

밭토양유효수분현황은 시군구단위로 토양유효수분을 퍼센트로 나타내며, 2017년 3월 16일 이후 날짜로 조회가 가능하다.

농업가뭄 관리 시스템 (ADMS)에서는 농업가뭄정보 데이터를 기준으로 지도 서비스를 제공하고 있다.

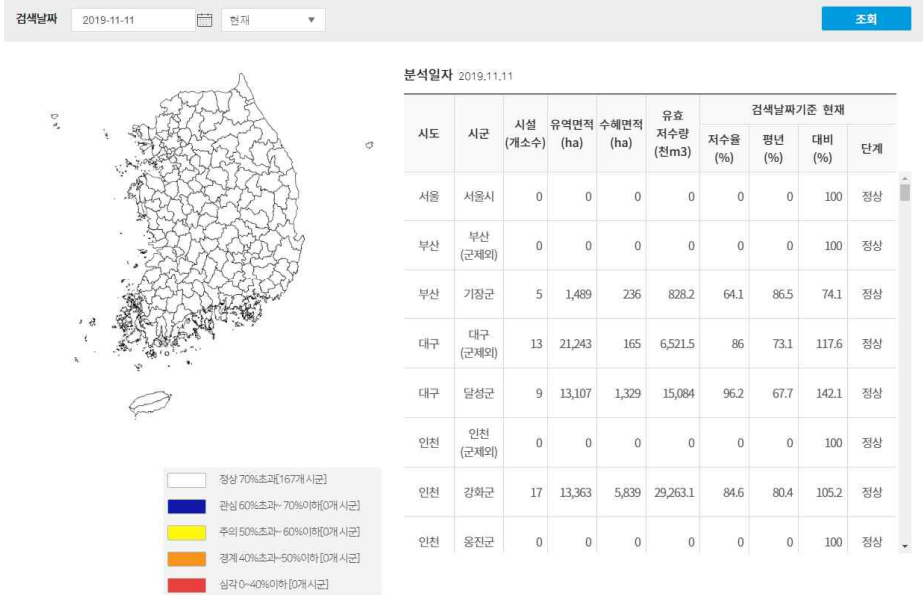


<그림 4-13> ADMS 농업가뭄지도 예경보 예시



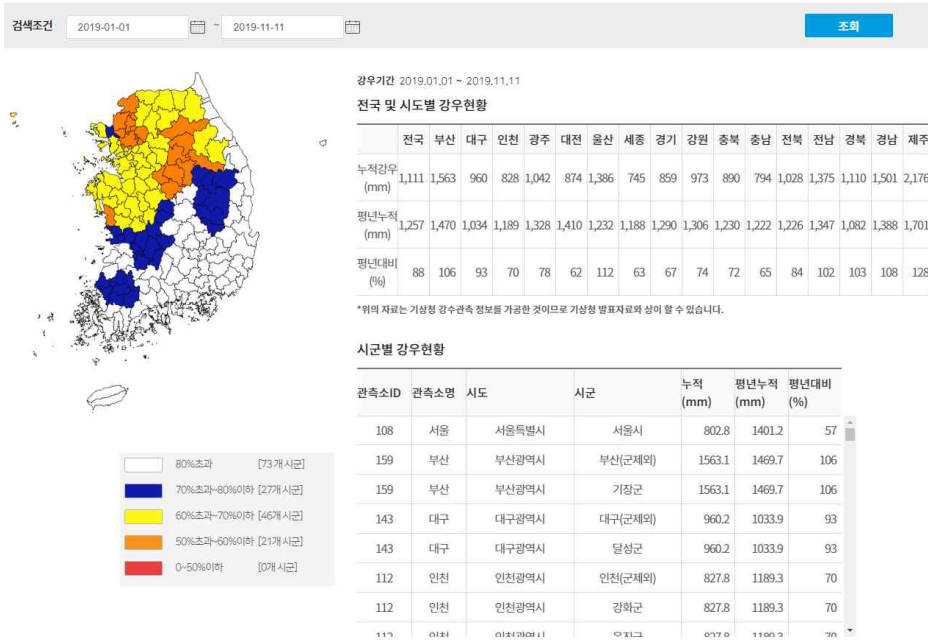
<그림 4-14> ADMS 저수율-강수량 현황

저수율지도



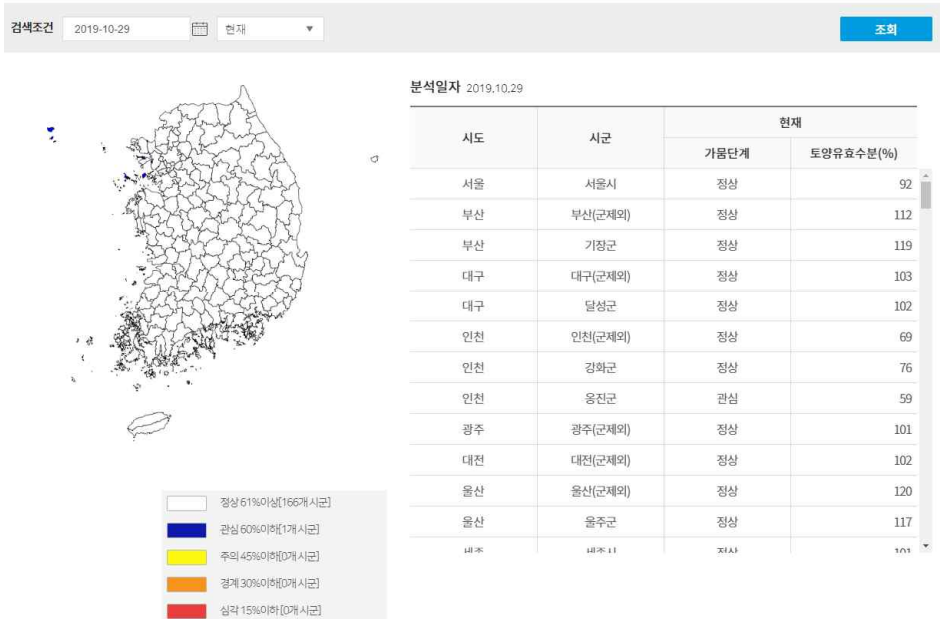
<그림 4-15> ADMS 저수율지도

강우지도



<그림 4-16> ADMS 강우지도

발토양유효수분지도



<그림 4-17> ADMS 발토양유효수분지도

나. 국외 농업가뭄 모니터링

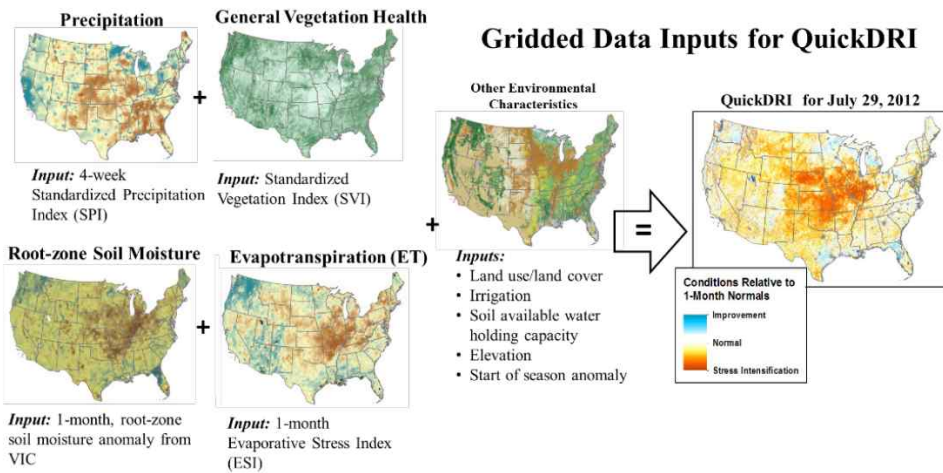
국외의 경우, 미국 국립가뭄경감센터 (NDMC)에서 가뭄 모니터링에 대하여 지도로 제공하고 있다. 위성영상을 기반으로 한 가뭄 모니터링과 가뭄지수별 결합, 또는 관측 데이터를 이용한 모니터링 결과를 지도로 제공하며, 유형은 다음과 같다.

- USDM (U.S. Drought Monitor)
 - NDMC에서 개발한 가뭄지표이며, SPI를 미국의 지역적 특성 및 가뭄 발생빈도에 대하여 산정한 기준
- QuickDRI (Quick Drought Response Index)
 - 단기간 건조 및 가뭄에 대하여 나타내는 지표로 위성 및 모델 기반으로 분석
 - 여러 가뭄지수 및 인자들을 결합
 - Standardized Precipitation Index (SPI)

- Standardized Vegetation Index (SVI)
 - Root-zone soil moisture
 - Evaporative Stress Index (ESI)
 - Vegetation health
 - Environmental landscape characteristics : soils, land use, land cover, elevation
- VegDRI (Vegetation Drought Response Index)
 - NDMC와 미국 지질조사국 (United States Geological Survey, USGS)에서 개발한 식생 가뭄 모니터링 지표
 - 위성영상 기반의 단일 자료를 활용한 가뭄 분석의 한계점을 극복하기 위하여 개발
 - 여러 가뭄지수 및 인자들을 결합
 - 기상학적 가뭄지수 (SPI, PDSI)
 - 위성영상 기반 가뭄지수 (NDVI)
 - 토지피복 및 생태지역 등의 생물물리학적정보
 - 2주 간격으로 미국 전역의 가뭄상황을 제공
- ESI (Evaporative Stress Index)
 - 실제증발산량과 잠재증발산량의 비를 이용하여 산정
 - 위성영상 기반의 가뭄지수로 Flash Drought와 같은 단기 가뭄에 활용 가능
- GRACE
 - 위성영상 기반 지하수 및 토양수분을 관측하여 1948년부터 현재까지의 기간 내에 가뭄 발생확률을 백분위 수로 표시
- SPI (Standardized Precipitation Index)
 - 강수량을 기반으로 산정한 가뭄지수
 - 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24개월 시간 단위 SPI를 제공

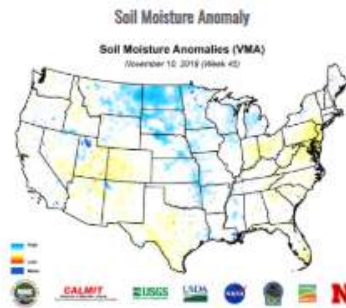
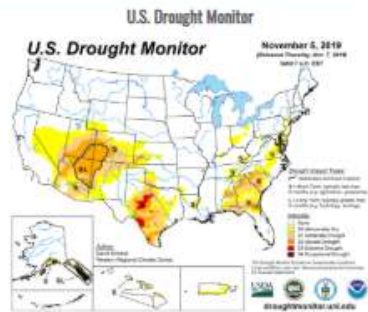
(표 4-2) USDM 기준 SPI의 가뭄 단계

Category	Description	Percentiles	SPI value
D0	Abnormally Dry	21-30%	-0.5 to - 0.7
D1	Moderate Drought	11-20%	-0.8 to - 1.2
D2	Severe Drought	6-10%	-1.3 to - 1.5
D3	Extreme Drought	3-5%	-1.6 to - 1.9
D4	Exceptional Drought	0-2%	-2.0 or less



<그림 4-18> Quick Drought Response Index (QuickDRI)

Select a date: Nov 10, 2019



<그림 4-19> 미국 전역 가뭄 모니터링 (NDMC)

국내외 농업가뭄 모니터링의 가장 큰 차이점은 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링이다. 국내의 경우 기상관측자료를 활용한 모니터링이 대부분인 반면, 국외의 경우 기상관측자료 뿐만 아니라 위성영상 기반 가뭄지수를 활용한 농업가뭄 모니터링이 활발하게 이루어지고 있다. 또한, 기상관측자료와 위성영상 요소를 결합하여 복합적인 가뭄지수를 개발함으로써 농업가뭄 분석 및 모니터링에 대하여 높은 신뢰성을 가질 수 있다.

2. 기존(SPI) 방법과의 차이점

가. 표준강수지수 (Standardized Precipitation Index, SPI)

Mckee et al. (1993)은 강수량이 부족하면 용수공급원인 지하수량, 적설량, 저수지의 저류량 등이 상대적으로 수요에 비해 물의 부족을 유발하는 강수량의 감소에 의해 시작된다는 것에 착안하여 SPI를 개발하였다.

SPI는 특정한 시간에 대한 강수량의 평균치와 강수량의 차를 표준편차로 나눈 것이며, 평균치와 표준편차는 과거의 강수량 자료로부터 결정된다. 보통 시간 단위를 3, 6, 9, 12개월로 설정하고 시간 단위별로 강수부족량을 산정하여 각각의 용수공급원이 가뭄에 미치는 영향을 판단하는 지수이다.

일반적으로 지속기간이 짧은 1개월 및 3개월 시간 단위는 단기간의 극심한 강수부족으로 발생하는 단기가뭄을 평가하는데 사용되어 기상학적 가뭄 및 농업적 가뭄을 위하여 이용될 수 있으며, SPI12 등과 같은 장기간 지속기간의 지수는 오랜 기간의 연속적인 강수부족으로 야기되는 장기가뭄을 평가하는 수문학적 가뭄에 효율적으로 활용되고 있다.

또한, 빈도해석을 실시하여 재현기간을 제시하거나 지역적인 가뭄의 특성을 판단할 수 있으며, 다른 지수들과 달리 강수 자료만을 사용하여 비교적 제약 조건이 적고 각 시간 단위에 따라 강수부족량을 측정하여 강수량이 가뭄에 미치는 영향을 산정할 수 있는 장점을 가지고 있다.

SPI는 세계기상기구 (World Meteorology Organization, WMO)에서 권장하는 가뭄지수이며, NDMC에서 가뭄을 판단하는 가장 기본적인 지수이다. 산정 공식은 다음과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left(-\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x}{\alpha}\right)$$

$$F(x) = \int_0^x f(x)dx = \int_0^x \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left(-\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x}{\alpha}\right)$$

x : 강수량 관련 확률 변수

α : 축척매개변수

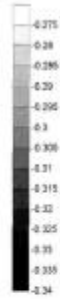
β : 형상매개변수

$\Gamma(\beta)$: Gamma 함수

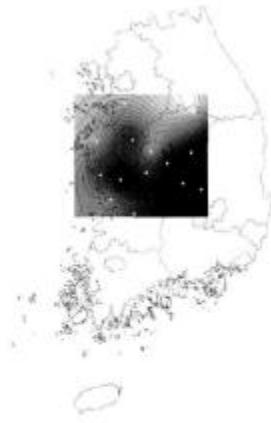
SPI를 산정하기 위해서는 우선 시간 단위별 누가강수시계열을 구하여야 하며, 각 월을 기준으로 하여 시간 단위에 해당하는 누가강수시계열을 산정하여 지속기간별 시계열을 구한다. 지속기간별 시계열이 구성되면 이 시계열을 월 별로 분석하고 적절한 확률분포형을 산정한 후 이를 이용하여 개개 변량의 누가확률을 산정한 후, 표준정규분포에 적용시켜 산정한다.

Gamma 확률 밀도 함수의 매개변수 α, β 는 지점별, 시간 축척별 (1, 3, 6, 9, 12개월 등)으로 추정된다 (Lee et al., 2011).

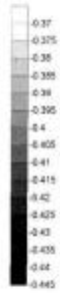
SPI를 활용한 가뭄에 대한 연구에서 경민수 등(2007)은 기상청 산하 58개 기상관측소를 대상으로 지속시간 1, 3, 6, 9, 12개월의 SPI를 이용하여 군집별로 SAD (Severity-Area-Depth)곡선을 작성하였다.



(a) 1st Eof of Cluster A



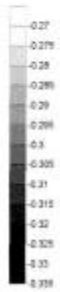
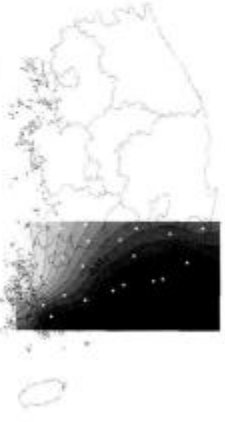
(b) 1st Eof of Cluster B



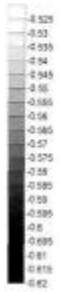
(c) 1st Eof of Cluster C



(d) 1st Eof of Cluster D



(e) 1st Eof of Cluster E



(f) 1st Eof of Cluster F

<그림 4-20> 각 군집별 EOF 공간 패턴

장연구 등(2004)은 강우량 자료를 이용하여 가뭄심도를 나타내는 여러 가뭄지수 중의 하나인 SPI를 산정한 후 산정된 SPI자료를 이용하여 EOF 분석을 통하여 가뭄의 공간적인 특성을 도출하였다. 가뭄의 공간적 특성은 SPI지수 산정에 이용된 강우량과 밀접한 관계가 있으므로, 우리나라 강우량의 공간적 특성도 함께 설명하고 있음을 알 수 있다. 또한 SPI의 EOF 시계열이 과거 가뭄사상과 일치하는 모습을 보여주고 있어 가뭄심도 비교, 분석에 있어 효과적인 방법중에 하나임을 확인하였다.

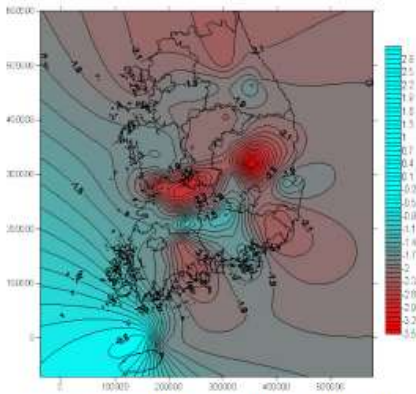


그림 2. 2001년 6월 9일 지속기간 SPI

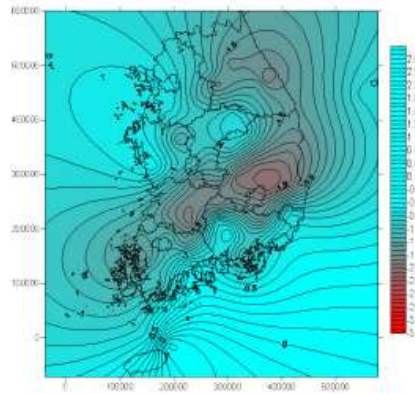
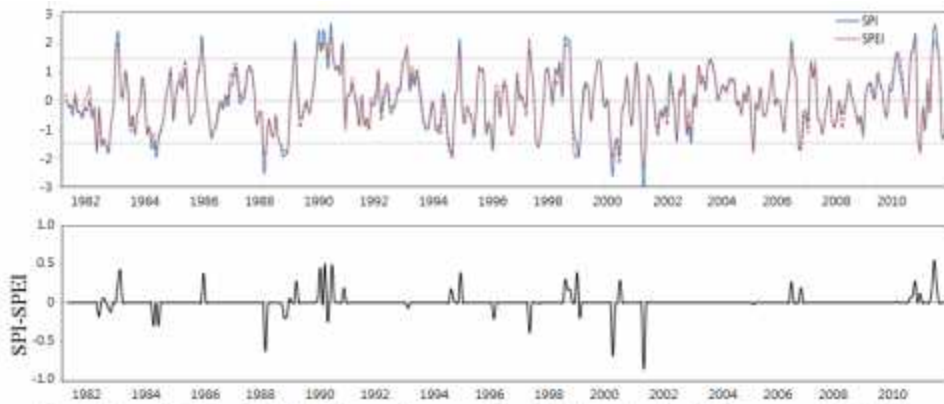


그림 3. 1994년 5월 9일 지속기간 SPI

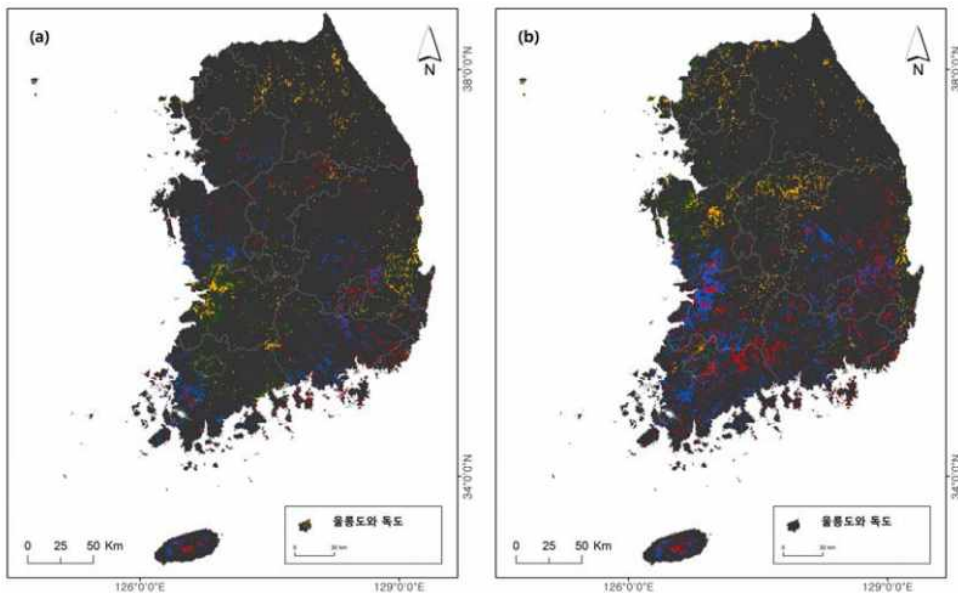
<그림 4-21> 가뭄이 발생 시기 90일 지속기간 SPI

남지은 등(2012)은 SPI와 SPEI 가뭄지수 비교를 통한 가뭄에 미치는 증발산량 효과 분석을 연구하였다. 기상학적 가뭄지수인 SPI와 이를 보완하여 개발된 SPEI의 시계열 비교를 통해 증발산량이 가뭄에 미치는 효과를 살펴보고, 이를 통해 증발산량이 극심한 습윤 및 건조상태를 완충하는 경향을 확인하였다.



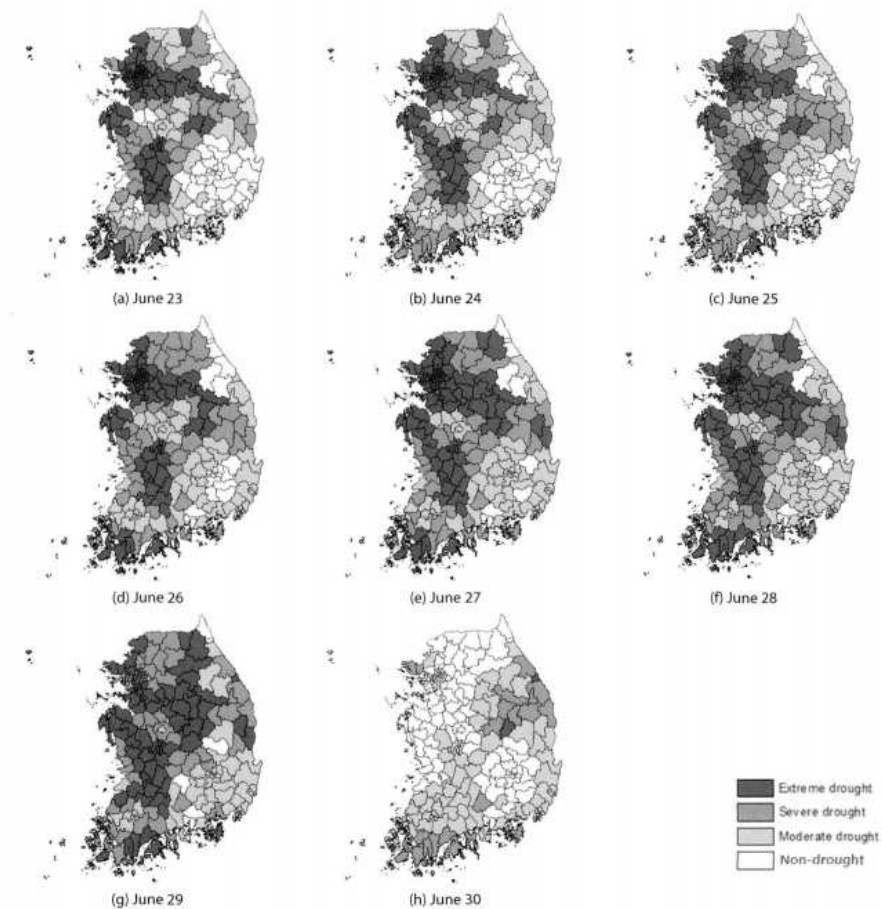
<그림 4-22> 서울지점의 3개월 지속기간에 대한 SPI와 SPEI

김동우 등(2017)은 NDVI와 SPI의 상관관계에 따라 유형을 분류하여 단기, 중기, 장기 가뭄 중 봄철 NDVI의 변화를 가장 잘 설명할 수 있는 가뭄 유형은 무엇인지를 지역별로 제시하고자 하였다. 두 지수의 상관관계가 나타난 지점은 전체의 약 12% 미만인 지점들로 이중 산지지역의 식생이 기상학적 가뭄에 민감하게 반응하는 것을 확인하였다.



<그림 4-23> 3월 NDVI와 SPI별 변동계수 상관관계 유형분류

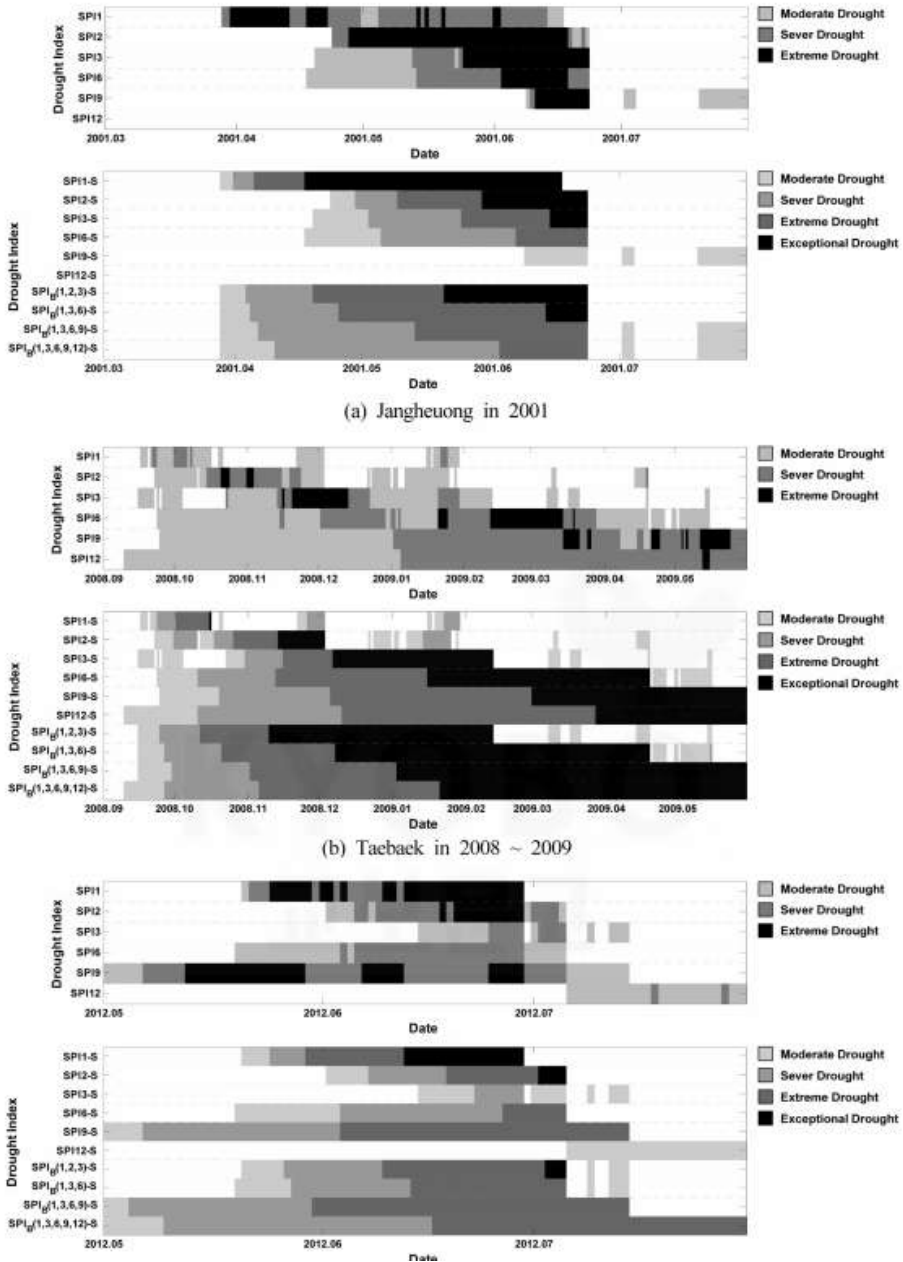
유지영 등(2013)은 단기 가뭄을 평가하기 위하여 일 단위의 누적강수량을 기반으로 강수 부족분을 계산하여 일 단위 SPI를 개발하였다. 또한, 다양한 시간 척도별 일 단위 SPI에 대한 적용상의 효율성을 검토하기 위해 ROC 분석을 하였다. 기존의 3개월, 6개월 등의 누적강수량을 기반으로 산정된 월 단위 SPI를 이용하여 실제 단기적인 강수 부족으로 인해 발생한 가뭄을 진단하고 평가하는 데에는 실질적인 한계점이 있는 것으로 판단된다.



<그림 4-24> 2012년 6월 일 단위 SPI 가뭄 모니터링

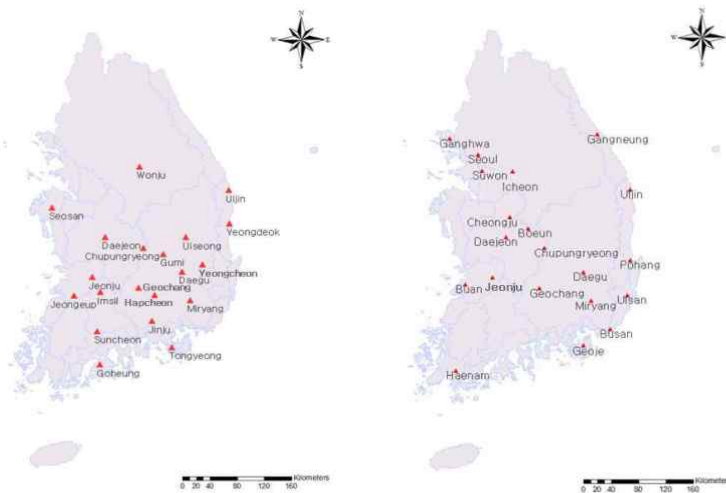
권민성 등(2015)은 SPI 가뭄심도와 함께 다양한 강수누적 기간의 SPI 최솟값을 혼합한 SPI_m의 가뭄심도를 산정하고, 이를 통해 SPI의 심도를 활용한 가뭄지수인 SPI-S를 제안하고 가뭄사례를 통해 적용성을 평가하

였으며, 가뭄의 지속시간과 강도를 반영한 SPI_B-S 는 단계적 가뭄 대비와 대응의 기준으로 활용도가 높을 것으로 판단된다.



<그림 4-25> SPI와 SPI-S의 비교

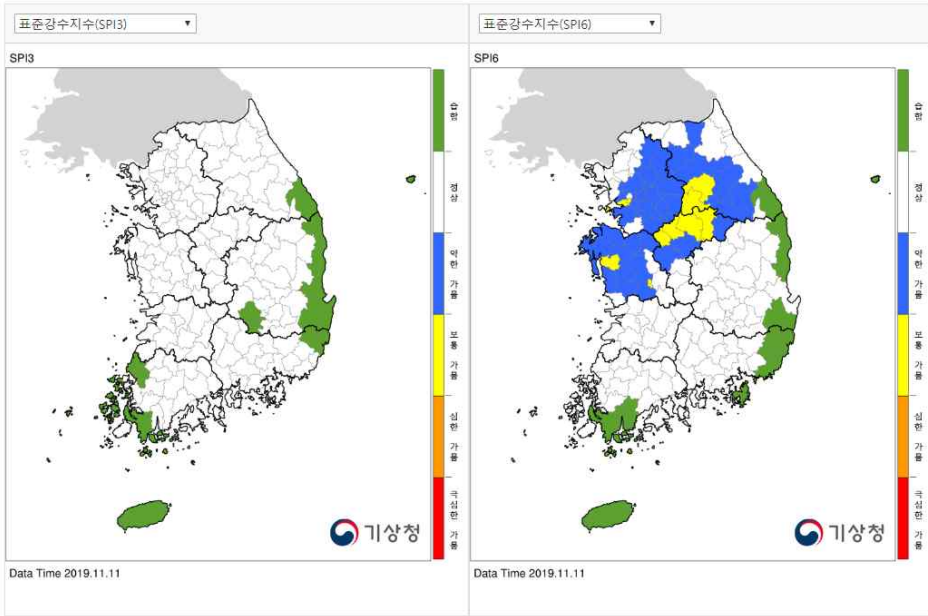
이주현 등(2012)은 과거에 발생했던 국내 가뭄의 주기성 경향성 및 발생빈도 등과 같은 가뭄의 통계학적 특성을 파악하고자 서로 다른 이론적 배경을 갖고있는 SPI 및 PDSI 가뭄지수를 활용하였다. 가뭄 발생에 대한 주기성 분석결과 1~3년 정도 길게는 6년 정도의 주기성이 나타났으며 관측소별 가뭄기간 및 심도를 조사한 결과로는 SPI와 SPSI에서 공통적으로 낙동강, 금강 유역에서 심한 가뭄 이상의 가뭄 발생빈도가 높았다.



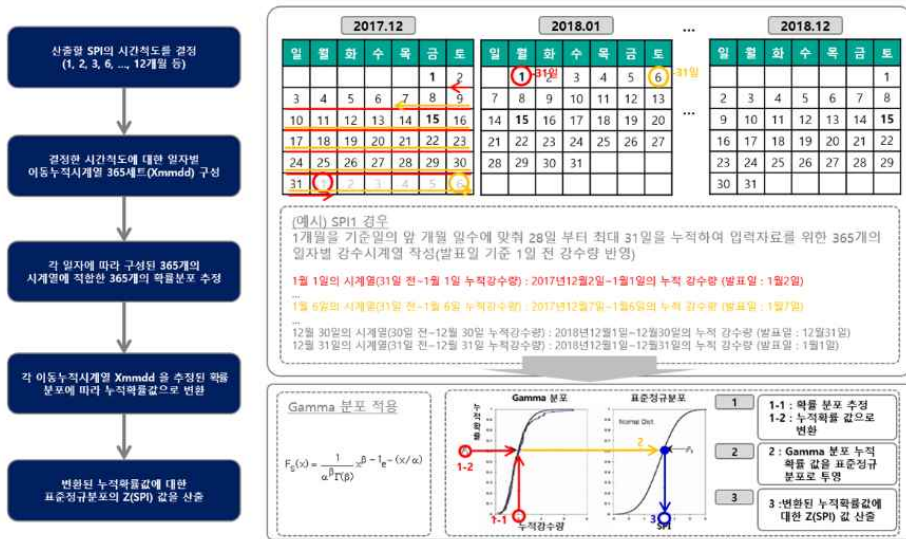
<그림 4-26> 지난 30년 가뭄 빈도가 잦은 기상관측소 SPI(원), PDSI(오)

기상청 수문기상가뭄정보시스템에서는 6개월 시간 단위 SPI인 SPI6를 기본적으로 제공하고 있으며, SPI1 / SPI2 / SPI3 / SPI4 / SPI5 / SPI6 / SPI9 / SPI12 / SPI18 / SPI24 또한 조회할 수 있다.

기상관측소 47개소를 이용하여 SPI 값을 산정하고 행정구역별, 유역별로 지도를 제공하며, 2017년 6월 10일 (2017년 6월 9일 기준) 이후부터 일별로 조회가 가능하다.



<그림 4-27> 기상청 수문기상가뭄정보시스템 - 분포도 비교



<그림 4-28> 기상청 수문기상가뭄정보시스템 - SPI 산출 절차

나. SPI와 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링의 차이

지상관측자료를 기반으로 산정하는 SPI 포함 기상학적 가뭄지수는 일반적으로 내삽기법을 통한 공간분포로 재산정하여 지도로 나타낸다.

우리나라의 지리적 특성과 기상관측소 지점 간 미계측 지역에 대하여 정확한 데이터 취득이 어려우며, 해상도 측면에서 조악한 해상도를 갖는다는 한계점이 있다.

반면, 위성영상은 격자 기반으로 데이터를 제공하고 있으며, 실측값을 기반으로 활용하기 때문에 미계측 지역에 대한 실제 가뭄 상황 반영이 가능하다.

<그림 4-29>와 같이 지상관측자료를 기반으로 공간보간을 활용한 SPI의 가뭄 분포와 위성영상을 기반으로 한 가뭄 분포의 차이를 보면, 안성시 지역에 대하여 SPI는 1개의 값을 가지며, 위성영상 기반 가뭄 분포는 32개 격자 (그림 기준) 값을 갖는다. 안성시 전체에 대하여 1개의 값으로 표현하는 것은 도심지, 논, 밭, 산지 등을 구분하지 못하기 때문에 신뢰성 있는 가뭄 판단을 하기 어렵다. 위성영상 기반 가뭄 분포의 경우 32개의 값으로 안성시를 표현할 수 있으며, SPI의 가뭄 분포보다 세분화된 가뭄 판단이 가능하다.

고해상도 위성영상을 활용할 경우 격자의 개수는 많아지고, 격자 개수가 많아질수록 소규모 지역에 대한 가뭄 판단에 신뢰성을 가질 수 있다.



<그림 4-29> 특정 지역 (안성시) 가뭄 분포도

3. 농업가뭄을 위한 위성영상 활용 필요성

전 세계적 온난화 현상과 기후변화로 인한 극심한 가뭄의 발생 빈도가 높아지고 사회적, 경제적, 환경적 피해가 대형화되어가는 추세이

다. 가뭄은 농업에 직접적인 피해를 주는 자연 재해로 전 지구적 차원의 농업 생산 시스템 및 수확량에 큰 영향을 미치고 있다. 이러한 가뭄을 판단할 때에는 시간적인 가뭄의 발생과 공간적인 가뭄의 분포를 파악해야 하며, 가뭄을 정량화하고 대상 가뭄 지역의 특성을 파악하여 반영하는 것이 중요하다.

농업분야에 위성영상을 활용할 경우, 주기적이고 동일한 정확도로 지상 자료의 획득이 가능하고 장기적인 변화관측이나 환경감시 등에 유용하게 활용할 수 있다. 해상도 측면에서 지상관측자료의 한계점을 보완할 수 있으며, 원격탐사기술은 재해 발생지역의 진행과 피해정도를 신속히 제공할 수 있다. 또한, 접근이 용이하지 못한 지역 및 광역적인 지역에 대한 데이터 취득이 가능하다. 가뭄의 특징에 따른 위성영상 활용의 필요성은 다음과 같다.

- 느리게 진행되는 가뭄의 진행속도
 - 위성영상은 일 단위 이상의 데이터로 시계열 자료 구축이 가능하며 느린 진행속도에 대한 분석에 유용함
- 장기간에 걸쳐 발생
 - 주기적으로 데이터 취득이 가능한 위성영상을 활용하여 장기간에 걸쳐 발생하는 가뭄의 발생, 심화, 해갈 등을 판단할 수 있음
- 광범위한 피해
 - 가뭄의 피해는 어느 한 지역에 국한되어있지 않으며, 가뭄을 모니터링 하기 위해서는 광범위한 지역의 데이터 취득이 필요함
 - 위성영상의 경우 전 지구적으로 데이터 취득이 가능함
- 미계측 지역에 대한 대책 수립
 - 지상관측자료를 취득할 수 있는 포인트 지점 이외에 미계측 지역에 대한 가뭄 대응이 어려움
 - 원격탐사 기술은 접근이 용이하지 못한 지역에 대하여 데이터 취득이 가능하므로 지점 데이터의 한계 극복 가능함

위성영상을 활용한 가뭄 판단에 대한 연구는 지속적으로 진행되어 왔으며, 전 세계적으로 가뭄을 정량화하기 위한 노력이 있었다. 다음은 위성영상을 활용하여 산정하는 대표적인 가뭄지수이다.

○ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

정규식생지수 NDVI는 가장 대표적인 위성영상 기반의 식생지수이다. 식생의 유무나 지표의 녹색도를 정량화하기 위하여 사용되는 식생지수의 하나로써, 광역적인 식생 특성을 파악하기 위한 방법으로 사용된다. 위성영상의 가시광선 영역 (Red)과 근적외선 영역 (NIR)에서 취득한 스펙트럼 반사율의 계산을 통하여 산정된다. 건강한 조건에서, 엽록소는 빛을 흡수하여 적색파장의 반사도가 낮으며, 적색파장의 반사도가 낮을수록 NDVI는 높은 값을 나타낸다. 반대로 식생의 상태가 좋지 않은 경우 적색 파장의 반사도는 높아지고 NDVI는 낮은 값을 나타낸다. NDVI는 다양한 연구에서 가뭄 평가 지표로 활용되었으며, -1에서 1사이의 무차원 값으로 나타낸다.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

위성영상 자료는 LP DAAC에서 제공되고 있으며, MODIS Terra 위성의 MOD13Q1 센서를 통하여 250 m 해상도, 16일 주기의 NDVI 영상 자료를 활용할 수 있다.

○ Enhanced Vegetation Index (EVI)

EVI는 높은 밀도의 식생이 존재할 때 NDVI의 포화 문제를 보완하기 위하여 제안된 지수이다. EVI는 대기 및 토양의 영향을 보정하기 위하여 청색밴드를 포함하여 개발되었으며, 대기 에어로졸과 토양 반사의 영향을 감소시켜 식생밀도가 조밀한 곳에서 NDVI보다 민감한 반응을 보인다.

$$EVI = G \frac{(NIR - Red)}{(L + NIR + C1Red - C2Blue)}$$

여기서 L은 1 (캐노피 조정계수), C1은 6, C2는 7.5 (에어로졸 보정계수), G는 2.5이다 (Liu et al., 1995). EVI의 위성영상 자료는 LP DAAC에서 제공되며, MODIS 영상의 MOD13Q1 센서를 통하여 250

m 해상도, 16일 주기의 EVI 영상 자료를 활용할 수 있다.

○ Vegetation Health Index (VHI)

NDVI에 기반을 둔 위성영상 기반 가뭄지수인 VHI는 전자기적 스펙트럼의 가시적인 부분과 근적외선 부분의 결합을 통하여 산출되는 VCI (Vegetation Condition Index)와 열 적외선을 통하여 정의되는 TCI (Thermal Condition Index)의 결합을 통하여 산정된다. VHI의 산정은 녹색 식물의 특성으로 인한 가시광선 반사와 태양열 복사를 통하여 이루어진다. 식물이 성장할 경우 스펙트럼의 가시광선 부분에 거의 영향을 미치지 않으며, 근적외선 부분에서 열 방사선을 적게 방출한다. 이는 NDVI의 증가 및 밝기 온도의 감소를 말하며, VHI 지수의 증가를 의미하고 반대의 경우 건조 상태를 의미한다.

$$VHI = \alpha VCI + (1 - \alpha) TCI$$

여기서 α 는 일반적으로 0.5로 설정된 가중치 매개 변수를 의미한다. VHI 산정은 녹색 식물의 특성으로 인한 가시광선 반사와 태양열 복사를 통하여 이루어진다. 식물이 성장할 경우 스펙트럼의 가시광선 부분에 거의 영향을 미치지 않으며, 근적외선 부분에서 열 방사선을 적게 방출한다. 이는 NDVI의 증가 및 밝기 온도의 감소를 말하며, VHI 지수의 증가를 의미한다. 반대의 경우 VHI 지수는 감소하며, 지수가 낮아질수록 건조 상태를 의미한다. NOAA의 Center for Satellite Applications and Research (STAR)를 통하여 전 지구단위의 4 km 해상도, 8일 주기의 데이터를 활용할 수 있다.

○ Leaf Area Index (LAI)

LAI는 차원이 없는 변수이며, 단위 지표면적 당 식생 면적으로 정의된다. 잎 면적에 영향을 받는 LAI는 잎이 평평하지 않거나 구부러졌을 경우, 원통형 및 반원통형일 경우 등 식생 종류에 따른 상이한 연구 결과가 있다. 이러한 점을 반영하여 LAI를 정의하기 위한 다양한 연구들이 진행되었으며, LAI는 단위 면적당 총 잎 면적의 절반으로 정의된다.

$$LAI = \frac{\text{leaf area}}{\text{ground area}}$$

LAI의 위성영상 자료는 LP DAAC에서 제공되는 MODIS Terra/Aqua 영상의 MCD15A2 센서를 통하여 취득가능하며, 500 m의 해상도와 8일 주기 데이터이다.

2000년대 이후 기존의 가뭄 모니터링에 대한 한계를 극복하기 위하여 다양한 연구가 진행되었으며, 위성영상을 활용한 연구는 전 세계적인 추세이다. 국내에서는 KOMPSAT (Korea Multi-Purpose Satellite) 위성으로 식생지수를 산정하여 가뭄을 판단하는 연구가 진행되었으며, 국외에서는 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), SMAP (Soil Moisture Active Passive) 등과 같은 다양한 위성영상을 활용한 연구가 진행중이다.

본 연구에서는 작물 상태 및 다양한 지표, 기상 인자를 고려해야하는 농업 가뭄 판단에 있어 위성영상을 활용하는 것이 적합하다고 판단하였다.

제2절 농업가뭄 모니터링을 위한 위성영상 마인드맵

가뭄은 학문적인 의미로 크게 기상학적, 수문학적, 농업적, 사회경제적 가뭄으로 구분하고 있으며, 의미는 다음과 같다.

- 기상학적 가뭄
 - 일정기간 평균 강수량보다 적은 강수로 인해 건조한 날이 지속되는 것을 기상학적 가뭄이라고 하며, 정상 상태와 비교하여 건조 정도 및 건조 상태의 지속 기간을 기초로 정의됨
 - 기상학적 가뭄은 강수 부족을 초래하는 대기 상태가 지역에 따라 상이하므로 각 지역에 따라 고려되어야 함
- 수문학적 가뭄
 - 전반적인 수자원 공급의 부족을 수문학적 가뭄이라고 하며, 특히 댐이나 저수지, 하천 등의 수량 부족을 의미함
 - 하천수, 저수지 및 지하수 공급원에 해당되는 강수 부족량과 그 기간에 의해 가뭄의 빈도와 심도가 결정되며 인간의 물 수요에 따른 공급 부족이 수문학적 가뭄을 야기하기도 함

- 일반적으로 수문학적 가뭄은 기상학적 가뭄이나 농업적 가뭄의 발생 시기보다 시간적으로 지체되는 특성을 갖음

○ 농업적 가뭄

- 작물의 생육에 필요한 수분 부족을 농업적 가뭄이라고 하며, 농업 분야에 영향을 미치는 강수량 부족, 실제증발산량과 잠재증발산량의 차, 토양수분 부족, 지하수 및 저수지량 부족 등과 같은 기상 수문 인자들과 관련되어 있음
- 일반적으로 농업적 가뭄은 기상학적 가뭄 후에 따르며 농업적 가뭄 이후에는 수문학적 가뭄이 발생함

○ 사회경제적 가뭄

- 사회적으로 물의 수요가 증가하여 공급량을 초과하여 발생하는 농업·공업·생활용수 등의 부족을 사회경제적 가뭄이라고 하며, 기상·농업·수문학적 가뭄인자와 함께 경제적인 물의 수요 공급과 연관되어 있음

일반적으로 가뭄은 기상학적-농업적-수문학적 가뭄 순으로 전이되며, 농업 분야에 영향을 미치는 인자는 강수, 증발산량, 토양수분, 지하수 및 저수지량, 식생 등이 있다.

본 연구에서는 농업가뭄 모니터링을 위한 주요 인자로 토양수분, 증발산량, 강수량, 식생 네 가지를 설정하였다. 2018년 위성영상 기반 농업가뭄 자료 체계 정립을 바탕으로 농업가뭄요소에 해당하는 네 가지 인자를 활용할 수 있는 위성영상 종류를 조사하였다. <그림 4-30>과 같이 농업가뭄요소별 활용 가능한 위성영상과 그에 맞는 취득 주기, 해상도를 분류하였고 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 및 농업가뭄 지도 생성을 위한 로드맵을 작성하였다.

(표 4-3) 농업가뭄 모니터링에 활용 가능한 위성영상

취득 데이터	센서명	사용 위성명	격자단위	취득주기	취득기간
NDVI, EVI	Modis13a1	Terra/ MODIS	500m	16day	2000-현재
NDVI, EVI	Modis13q1	Terra/ MODIS	250m	16day	2000-현재
ESI	ESI	NOAA Satellite	0.5 degree	4week, 12week	2001-현재
Rainfall	TRMM_3B42_V7 (L3)	TRMM	0.25 degree	Daily	2001-현재
Rainfall	TRMM_3B42_V7 (L3)	TRMM	0.25 degree	Month	2001-현재
Rainfall (total)	TRMM_3B43D	TRMM	0.25 degree	Daily, 1month	1998-2016
VHI	AVHRR	NOAA Satellite	4km	1week	1981-현재
LST	MODIS	Terra/ MODIS	0.1 degree	1 or 8day, 1month	2000-2017
LAI	MODIS	Terra/ MODIS	0.1 degree	8day, 1month	2000-2017
NDVI	MOD13C1 and MOD13C2 (L3)	Terra/ MODIS	0.1 degree	16day, 1month	2000-현재



<그림 4-30> 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링을 위한 로드맵

제3절 농업가뭄 파라미터 추출 모듈개발

1. 농업가뭄 파라미터 정의

본 연구에서는 농업 분야에 영향을 미치는 인자 (토양수분, 증발산량, 식생, 강수량)를 농업가뭄요소로 설정하고, 농업가뭄요소를 통하여 농업가뭄을 판단할 수 있는 지표를 농업가뭄 파라미터로 제시하였다.

농업가뭄 파라미터를 통하여 농업가뭄을 판단하기 위하여 활용할 수 있는 농업가뭄요소의 정의 및 국내 연구 및 적용성 평가 등을 다음과 같이 정리하였다.

가. 토양수분

토양수분은 대기와 토양층을 연결하는 매개체 역할을 수행하며, 농업과 식생에 깊은 연관관계를 가지고 있다. 농업적 가뭄을 표현하기 위한 대표적인 인자이며, 대기의 순환, 지표 유출 및 지하수 등에 영향을 미치는 매우 중요한 수문인자이다.

지상관측을 통한 토양수분 측정 방법은 중량 측정법, 원자력 방법, 시간영역반사계 (Time Domain Reflectometry, TDR) 방법, 토양수분장력측정법 등이 있다. TDR 장비를 이용한 시간영역반사계 방법은 직접측정법으로 분류되며, 직접측정법으로 측정된 토양수분은 정확도가 높고 불확실성이 낮은 장점이 있지만, 많은 인력과 비용이 요구되는 단점이 있다. 또한 직접측정법은 관측지점 (point scale)을 기반으로 토양수분을 측정하기 때문에 넓은 유역을 대표할 수 있는 공간분포를 제공하지 못한다 (Shin et al., 2017).

국내에서는 농업기상정보시스템을 통하여 토양수분 지상관측자료를 제공하고 있으나, 관측기간이 짧고 보유한 관측자료 역시 장비 노후화로 인해 결측된 지점이 많아 신뢰할 수 있는 토양수분 관측자료가 부족한 실정이며, 이를 이용한 한반도 전체의 토양수분 변화를 분석하기에도 매우 비효율적이다 (Park and Kim, 2011).

넓은 지역에 대하여 토양수분을 이용하여 가뭄을 나타내는 것은 보편적이지 못하며, 이는 토양수분이 공간적, 시간적으로 변화가 커서 넓은 지역의 토양수분을 측정하기가 쉽지 않기 때문이다. 또한 토양수분의 시·공간적 다양성은 토양의 구성, 토지 피복, 지형적 요인, 불균일한 강우와 증발

산량의 이질성에 기인한 것이므로 토양수분을 이용하여 넓은 지역에 대하여 농업적 가뭄을 판단하는 지수를 산정하기 위해서는 그 지역에 대한 토양 특성 자료, 토지 피복자료, 강우와 증발산량 자료 등이 필요하게 되어, 국내에서는 넓은 지역에 대한 토양수분모의 자료가 미흡한 실정이다 (Kim et al., 2007).

이러한 단점을 보완하기 위하여 인공위성을 활용한 원격탐사 기반 토양수분 이미지 자료가 제시되어 운영되고 있으며, 궤도 위성을 활용한 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 인공위성은 전 지구적으로 토양수분을 관측하기 때문에 저해상도 자료를 제공하고 있으며, 지표 피복 정도에 따라 지표면의 약 0~10⁵ cm 정도의 토양층만 투과하여 관측된 토양수분을 제공하고 있다 (Shin et al., 2017). 그러나 실제 자연현상과 농업 활동 등은 수 미터에서부터 수 킬로미터 단위까지 매우 다양한 해상도에서 발생하기 때문에 저해상도 자료를 지표특성이 복잡한 유역에 적용할 경우 불확실성이 증가하게 된다 (Engman, 1991). 저해상도에 대한 해결을 위하여 상세화 기법들이 개발되었으며, 불확실성을 최소화하기 위한 연구들이 수행되었으나 여전히 위성영상 기반 토양수분 이미지의 현장 적용성 및 이용성을 높이기 위하여 시·공간적 해상도를 더욱 높이는 연구의 필요성이 제기되고 있다.

신용철 등(2016)은 지하수의 시계열 변동성을 고려하여 원격탐사된 토양수분으로부터 토양의 수리학적 매개변수를 도출하는 토양수분자료동화 기법을 향상하였다. Merlin et al. (2005; 2012)은 저해상도 SMOS (Soil Moisture Ocean Salinity) 토양수분 이미지의 해상도를 높이기 위하여 고해상도의 광학자료를 이용하여 SMOS 자료를 상세화 하였다. 미국 항공우주국 (National Aeronautics and Space Administration, NASA)에서는 위성영상 기반 토양수분 이미지 자료의 단점을 최소화하기 위하여 2014년에 SMAP (Soil Moisture Active and Passive) 위성을 발사하였다. SMAP 위성은 Active radar 및 Passive radiometer를 장착하고 고·저해상도 (3~40 km)의 지표면 토양수분 공간분포를 관측할 수 있으며, 지표토층 0~5 cm의 토양수분을 제공한다 (Shin et al., 2017).

일반적으로 원격탐사된 토양수분 자료는 전 지구적으로 지표와 대기층의 에너지와 물 순환을 이해하고 넓은 평야지역의 농업, 산림, 자연재해 등을 관측할 경우 매우 유용하게 사용될 수 있으나, 경사지에서는 상대적

으로 높은 불확실성을 보인다 (Shin and Mohanty, 2013). 우리나라의 경우 지역적 특성상 산악지형이며, 위성영상 기반 토양수분 이미지 자료의 신뢰성이 낮아지게 된다. 또한, 설마천, 청미천, 용담댐 유역, 해남 등과 같이 제한된 지점에서 일별 토양수분이 관측되고 있어 위성영상 기반 토양수분 자료의 평가는 어렵다.



<그림 4-31> 2015년 5월 한반도 SMAP (3 km X 3 km) 영상

나. 증발산량

전 지구적인 기후변화로 인해 이상기상 현상이 심화되고 있으며, 이러한 이상기상 현상으로 인하여 전 세계적으로 물 순환 불균형현상이 심화되고 있다. 우리나라의 경우 산림이 많은 지형적 특성으로 인하여 수자원의 효율적인 이용이 불가피하며, 이를 위해서는 수문 현상의 정량적인 해석이 필요하다.

수문 순환에 관련된 여러 인자 중 증발산은 전 지구적 관점에서 대규모의 물을 이동시키는 중요한 요소로 지표, 수면의 물이 공기 중으로 기화하는 증발과 식생의 기공을 통하여 개체로 방출되는 증산과정을 통칭하는 인자이다 (Sur et al., 2012).

증발산은 물이 식생의 기공을 통해서 기체로 방출되는 증산과 지면이나 식생 표면의 물이 수증기로 변화하는 증발의 합을 의미한다 (Jeong et al., 2009). 시간적으로 식물의 성장 상태와 기후 등에 따라 달라지며, 공간적으로는 강우의 공간분포, 토질, 토지피복 등에 민감하게 반응한다. 또한, 지역에 서식하는 식물의 종류와 분포 밀도 등은 증산에 큰 영향을 주며, 이로 인해 총 증발산량에 큰 변화를 준다. 증발산은 순복사 에너지를 사용하여 잠열의 형태로 수증기를 대기로 수송하고, 응결과정을 통해 다

시 잠열을 방출함으로써 지구상의 에너지 순환을 담당하는 중요한 요소의 하나이며 (Hong et al., 1997), 기후 변화, 생태계 생산성, 홍수, 가뭄 등과 밀접한 관계가 있다 (Nishina et al., 2003).

이러한 증발산을 추정하기 위한 대표적인 방법으로 크게 물수지 방법과 에너지 수지 방법이 있다. 물수지 방법은 강우량과 증발산량, 유출 및 침투 등의 모든 가능한 방향의 수문 성분의 이동에 대한 균형을 이용하는 방법으로 년 단위의 장기간의 증발산량 산정에 적합하다. 이에 반하여 에너지 수지 방법은 유입 및 유출되는 단파복사량 (Shortwave radiation, RS)과 장파복사량 (Longwave radiation, RL)과의 균형을 이용하여 증발산을 산정하는 방식으로 각 인자에 대한 계산이 가능할 경우 단기간의 증발량 산정에도 적합하다.

에너지 수지 방법을 통하여 증발산을 산정하는 방식으로는 플럭스 타워 (Flux tower)를 통한 관측과 인공위성 데이터를 기반으로 한 원격탐사 산정 방법이 있다 (Jeong et al., 2009). 플럭스 타워를 이용하는 방법으로는 에디 공분산 (eddy covariance) 방법을 기반으로 한 기상학적 인자를 이용함으로써 대기와 지표와의 에너지 및 물질의 교환을 직접적으로 측정하는 방식으로 증발산을 산정한다 (Lee et al., 2004). 국내의 경우 광릉, 해남, 설마천, 청미천 유역의 네 개의 플럭스 타워가 설치되어 광릉, 해남의 플럭스 타워는 2004년부터 2008년까지, 설마천 플럭스 타워는 2007년부터, 청미천에 위치한 플럭스 타워는 2008년부터 현재까지 관측이 이루어지고 있다. 플럭스 타워를 이용하여 증발산을 산정하는 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 하지만 플럭스 타워를 이용할 경우 설치되어 있는 지점의 기후, 지형적 특성에 큰 변동성을 지니고 있으므로 넓은 지역에 대한 대표성을 가질 수 없다.

이에 반해, 위성영상을 사용할 경우 동일한 관측 장비를 통하여 넓은 지역에 대한 균질한 수준의 관측값을 산정할 수 있으므로 공간적인 경향성 분포를 산정하기 용이하다 (Choi et al., 2009). 원격탐사를 이용한 방법은 에너지 수지 방법 이외에도 Penman-Monteith 방법을 이용할 수 있다. 에너지 수지 방법은 가시광선과 극적외선 영역에서의 지표면 반사율과 열대역에서의 지표면 온도를 이용하여 공기동역학적 저항과 에너지 수지를 통하여 증발산을 산정하는 방법이며, Penman-Monteith 모형으로 대표되는 기준 증발산 산정 모형은 원격탐사를 이용하여 얻어진 식생 정보

를 이용하여 임관 전도도를 산정, 이를 이용하여 기준 증발산을 산정하는 방법이다 (Kalma et al., 2008).

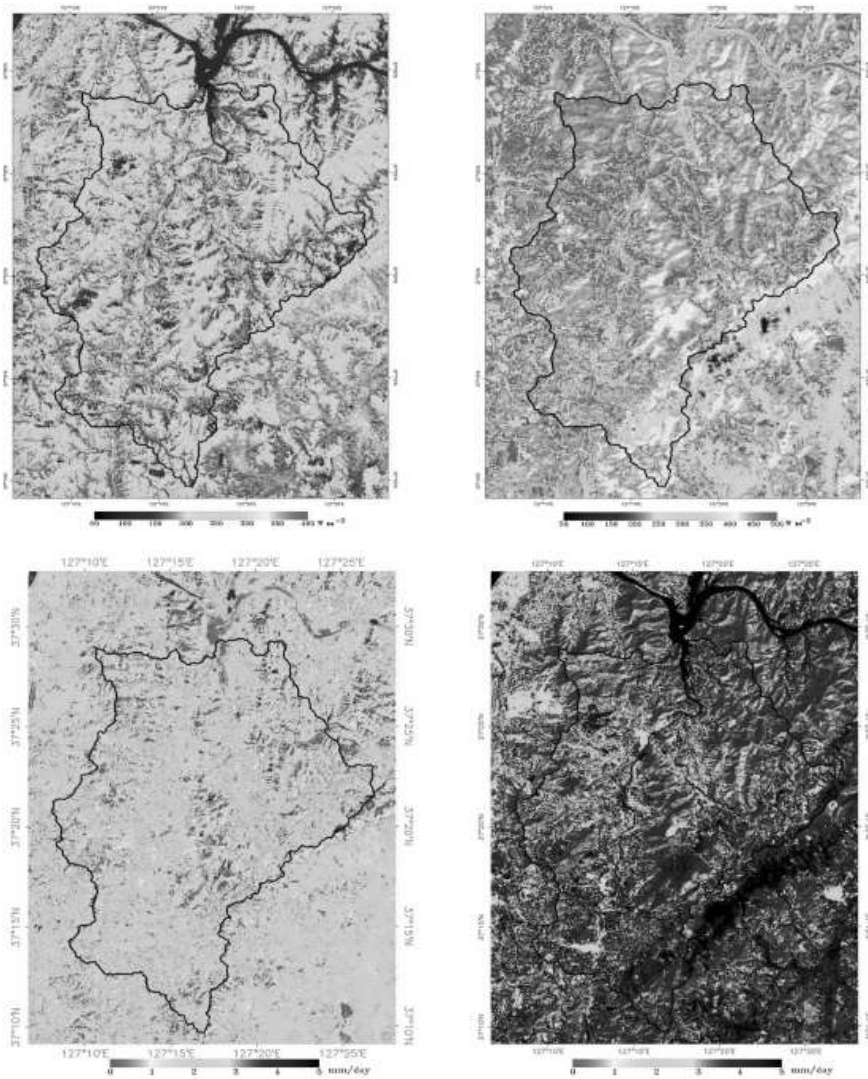
20세기 후반부터 원격탐사 기법이 향상되면서 증발산량을 추정하기 위한 다양한 방법들이 연구되었다. 그 중에서 Bastiaanssen et al. (1998)이 제안한 Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 모형은 유역 내 지표상태가 불균일한 지역에서 최소한의 지상관측자료를 이용해 증발산량을 산정할 수 있어 유용성이 높고, Lysimeter를 이용한 실측 증발산량과의 상관성이 높아 정확성 측면에서도 높은 평가를 받고 있다. 본래 SEBAL 모형은 30 m 공간해상도와 16일 주기의 시간해상도를 가진 고해상도의 Landsat 위성영상을 이용하여 지역적인 범위에 적용하기 위하여 개발되었으나, 하루 혹은 이틀에 걸쳐 250 m부터 1000 m의 해상도로 전 지구를 관측하는 MODIS 위성과 같은 새로운 지구 관측 체계가 개발됨에 따라 중저해상도 위성을 SEBAL 모형에 적용하여 증발산량을 산정하는 연구가 다양하게 수행되고 있다.

2007년에 발표된 Mapping EvapoTranspiration with Internalized Calibration (METRIC) 모형은 SEBAL 모형을 개선하여 미국 내 적용성을 높이기 위한 목적으로 개발되었다 (Allen et al., 2007). 이 모형은 기본적으로 지표와 대기 사이의 물리적 관계를 기반으로 하고 있어 모형의 정확도가 항상 높은 수준으로 보장되고, 경험상수, 경험적으로 유도된 인자 사이의 관계 등을 이용하여 모형 내부에서 자동으로 보정하게 설계되었기 때문에 높은 신뢰도를 유지할 수 있도록 하였다 (Allen et al., 2007). 또한 에너지 수지 방법을 이용하여 증발산을 산정하므로 식생의 종과 분포 정보를 알고 있어야 할 필요가 없으며, 증발산에 의해 소비된 에너지는 에너지 수지식을 이용하여 구할 수 있다.

$$LE = R_N - G - H$$

여기서 LE 는 증발산으로 인하여 소비된 잠열 에너지 플럭스 (Wm^{-2}), R_N 은 순복사 에너지 플럭스 (Wm^{-2}), G 는 토양으로 전도되는 에너지 플럭스 (Wm^{-2}), H 는 대류현상을 통하여 공기중으로 전달되는 현열 에너지 플럭스 (Wm^{-2})이다. METRIC 모형이 SEBAL 모형과 비교하여 보이는 큰 차이 중 하나가 바로 H 를 산정하는 과정이다.

최민하 등(2011)은 Landsat 7 ETM, Landsat 5 TM 위성 이미지를 이용하여 증발산 산정 모형인 METRIC 모형에 적용, 한강의 지류인 경안천에 대한 공간 증발산을 산정하여 이를 지도의 형태로 나타내었고 관측값과 통계분석을 실시하여 METRIC 모형의 높은 적용성을 확인하였다.



<그림 4-32> 2006년 9월 METRIC 모형을 활용한 공간 증발산 산정 지도

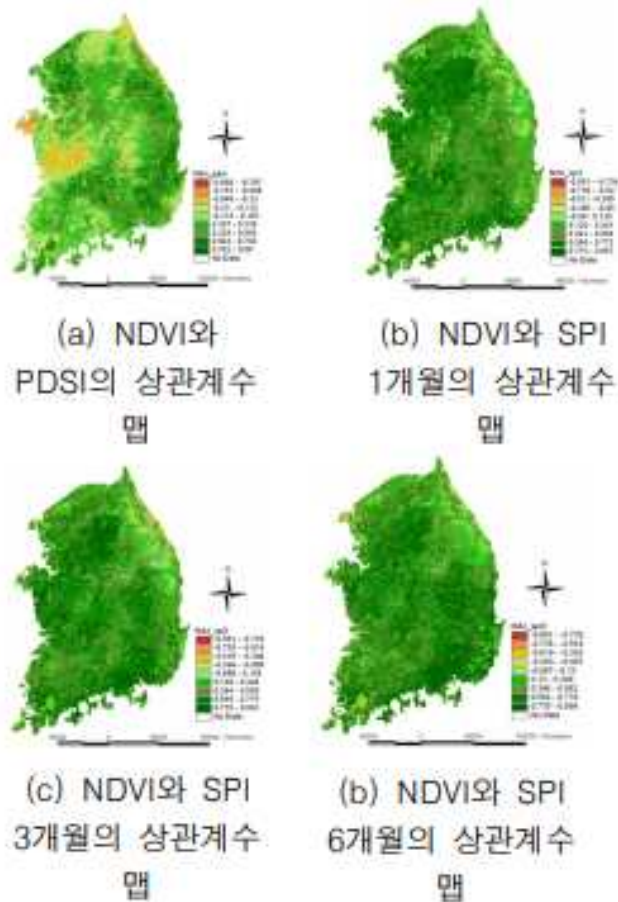
다. 식생기반

식생의 활력은 농업가뭄을 분석하는 데 있어 중요한 부분이며,

광역적 위성영상을 활용한 가뭄 분석 사례에 대하여 식생지수를 기반으로 하는 가뭄 분석 연구가 다양하게 수행되고 있다.

식생지수는 단위가 없는 복사값으로 식물의 양과 반비례를 나타내는 적색광 영역의 엽록소 흡수현상과 식물의 양과 비례 관계를 나타내는 근적외선 영역에서의 잎의 산란효과를 기초로 위성영상의 밴드조합을 통하여 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 있다 (Huete et al., 1999). 수문학 분야에서는 LAI (Leaf Area Index)나 증발산량과 같은 수문모형의 입력 인자의 추정을 위하여 사용되기도 한다. 현재까지 약 20여 종류의 식생지수가 사용되고 있는 가운데 가장 널리 사용되는 정규식생지수 (NDVI)는 Rouse et al. (1974)이 제안한 식생지수로, 작물의 파장대별 분광반사특성 조사를 위하여 가시광대의 Red 파장과 근적외선 파장을 선택 조합하여 사용하고 있다. NDVI가 식생 조사에 널리 사용되고 있는 이유는 식물 고유의 분광반사 특성 때문으로 식물의 잎에 함유되어 있는 클로로필은 $0.45 \mu\text{m} \sim 0.67 \mu\text{m}$ 의 파장대를 강하게 흡수한다. 그 결과 가시영역의 적외선밴드에서의 반사율이 낮아지게 되며, $0.97 \mu\text{m} \sim 1.3 \mu\text{m}$ 의 근적외선영역에서의 강한 반사 특성을 갖게 된다 (Shin et al., 2015). NDVI를 이용한 가뭄평가는 식생 활력의 변화를 기상요소의 변화에 따른 영향으로 한정하여 동일한 위치와 시기에서의 픽셀 값의 변화를 통하여 가뭄을 판별한다. NDVI 이외에 대표적인 식생지수로는 EVI와 VHI 등이 있으며, 모두 국내에서 활발히 연구되어 왔다.

박정술 등(2009)은 NOAA AVHRR NDVI에 비해 향상된 MODIS NDVI를 활용하여 기상학적 가뭄지수인 SPI와 PDSI와의 상관성 분석을 수행하여 한반도 온대기후대에서 가뭄 모니터링을 진행하였다. 2000년부터 2007년까지의 4월을 대상으로 SPI와 PDSI는 53개의 기상관측소 지점을 통하여 비교하였으며, NDVI는 물 부족에 의한 SPI의 변화를 효과적으로 반영하는 것으로 나타났다. 또한, 6개월 시간 단위인 SPI6와 가장 높은 상관성을 보였다.

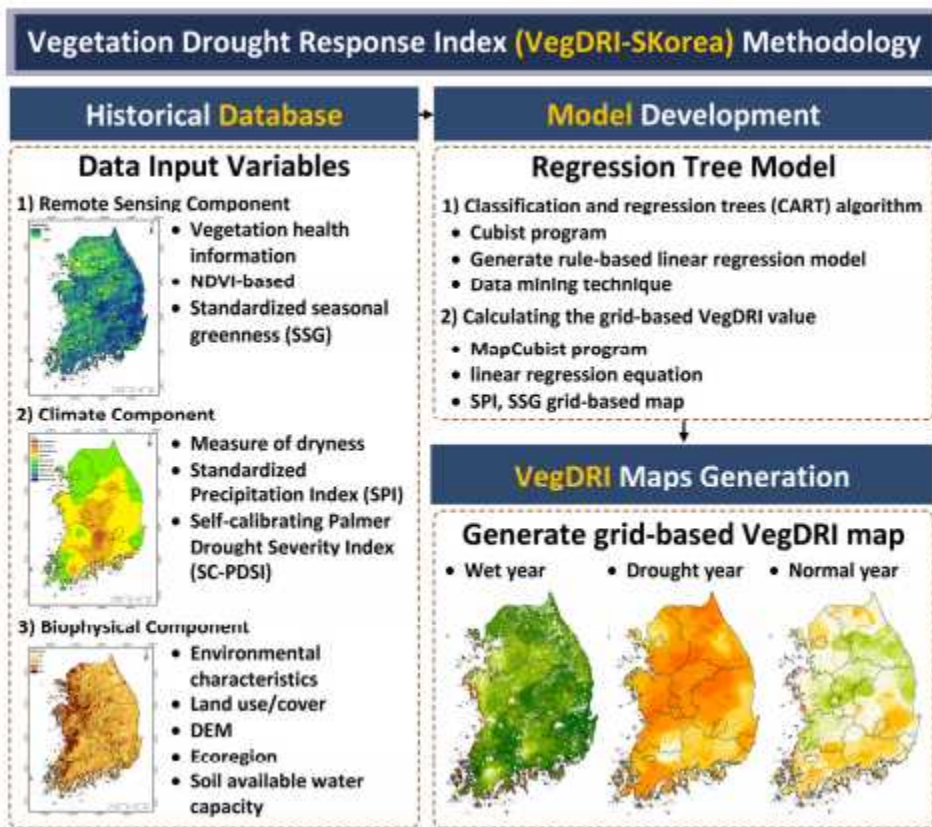


<그림 4-33> 다중시기 식생지수와 가뭄지수의 상관계수 맵

신형진 등(2015)은 Terra MODIS 위성영상의 NDVI를 구축하여 식생상태지수 (Vegetation Condition Index, VCI)와 표준화된 표준정규식생지수 (Standardized Vegetation Index, SVI)를 이용하여 가뭄 지역의 추정 기법을 제시하였다.

최근에는 식생지수만으로 가뭄을 판단하는 것이 아닌, 위성 기반의 식생지수와 지상관측자료와의 결합을 통한 통합적인 가뭄지수를 활용하여 가뭄을 분석하는 연구가 진행되고 있다. 미국 국립가뭄경감센터 (NDMC)에서는 위성영상 요소로 식생지수를 활용하여 기상관측소 데이터로 산정한 SPI와 PDSI, 지역적 특성을 고려할 수 있는 토지 피복, 생태지도, 수치표고모델 (Digital Elevation Model), 토양유효수분이용량 등을 결합하

여 VegDRI (Vegetation Drought Response Index)를 제시하였다. 남원호 등(2015)은 VegDRI를 국내에 적용하여 새롭게 개발한 VegDRI-SKorea를 제시하고 2012년 국내 실제 가뭄사상에 대하여 시·공간적 가뭄 상황을 분석하여 적용성을 검증하였다. 또한, QuickDRI (Quick Drought Response Index)는 SPI, SVI, 토양수분, 증발산, 생물물리화학적 요소를 모두 결합하여 격자 기반 데이터로 나타내는 가뭄지수이며, Flash drought와 같은 단기 가뭄에 대하여 빠르게 디텍팅할 수 있는 지표이다.



<그림 4-34> VegDRI-SKorea 방법론 (Nam et al., 2015)

라. 강수량

최근 지구온난화로 인한 강수의 편중이나 이상기온현상 등이 자주 나타나면서 심각한 자연재해가 빈번히 발생되고 있다. 강수의 부족으로 인한 피해는 일반적인 가뭄에 대한 정의이며, 사용 가능한 물로 전환

된 강수량이 기후학적 평균에 미달하는 것을 기후학적 가뭄이라고 한다. 세계기상기구 (WMO)에서 권장하며, 국내 기상청에서도 기본적으로 사용하고 있는 기상학적 가뭄지수 SPI는 강수량을 이용하여 산정한다.

이와 함께 대표적인 기상학적 가뭄지수로는 파머가뭄심도지수 (Pamer Drought Severity Index, PDSI)가 있다. Palmer (1965)는 가뭄을 장기간의 이상 습윤 부족이라 정의하였으며, 습윤 부족은 정상적인 기후에서 현저하게 벗어난 비정상적인 습윤 부족기간이라 정의된다. 수분의 부족이 심하여 인명 또는 재산의 손실을 야기하는 현상으로써 최소한 2~3개월에서 일반적으로 1년 이상 장기간의 수분 부족이 지속되는 것을 의미한다. 이러한 가뭄의 정의를 통하여 Palmer는 가뭄의 심도를 수분의 부족량과 부족기간의 함수로 나타내었고, 통계적으로 시간과 공간의 일관된 비교를 통하여 얻어지는 가뭄지수 개발을 위하여 기후가 상이한 두 지역에 대하여 기후의 편차를 고려해 서로 다른 지역에 대해 비교 가능한 가뭄지수를 개발하였다. PDSI는 강수량, 기온 및 일조 시간뿐만 아니라 유효토양수분량에 근거하여 산정된다. 입력 자료들로부터 증발산량, 함양량, 유출량 및 손실량을 포함하여 물수지방정식의 모든 기본적인 사항들이 결정되며 PDSI 산정을 위한 기본 요소는 (표 4-4)과 같다.

(표 4-4) PDSI 산정에 필요한 구성요소

구분	설명	
AWC	Available Water Holding Capacity	토양 유효용량
PE	Potential Evapotranspiration	잠재증발산량
PR	Potential Recharge	잠재함양량
PRO	Potential Runoff	잠재유출량
PL	Potential Loss	잠재손실량
ET	Evapotranspiration	증발산량
Ss	Surface Soil Moisture Content	상부 층 수분함량
Su	Underlying Soil Moisture Content	하부 층 수분함량
L	Loss	손실량
RO	Runoff	유출량
R	Recharge	함양량

최근 지상관측자료 대신 위성영상을 통하여 취득하는 데이터로 다양한 연구가 진행되고 있으며, 강수량 또한 위성영상을 통하여 취득이 가능하다. Simpson et al. (1996)이 제시한 강우 인공위성 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)은 기상관측소 지점의 공간적인 한계를 고려하기 위하여 활용되고 있다. TRMM 위성에 탑재된 관측 기기인 TMI (TRMM Microwave Imager)와 PR (Precipitation Radar)은 각각 독립적

인 강수량을 제공하고 있기 때문에 서로 간의 강수량을 비교하고 평가하는데 매우 유용하다. 특히 강우 추정 알고리즘인 GRPOF (Goddard PROFiling)은 베이시언 정리를 이용하여 관측된 TMI 밝기온도에 인접한 수치 모의된 밝기온도에 해당하는 강우강도를 찾아 비중을 다르게 주어 강우강도를 추정한다 (Kummerow et al., 2001). TRMM은 NASA의 열대 강우 측정 임무를 가지고 발사되었으며, 육지와 해양에서의 강수 관측을 목적으로 두고 있다.

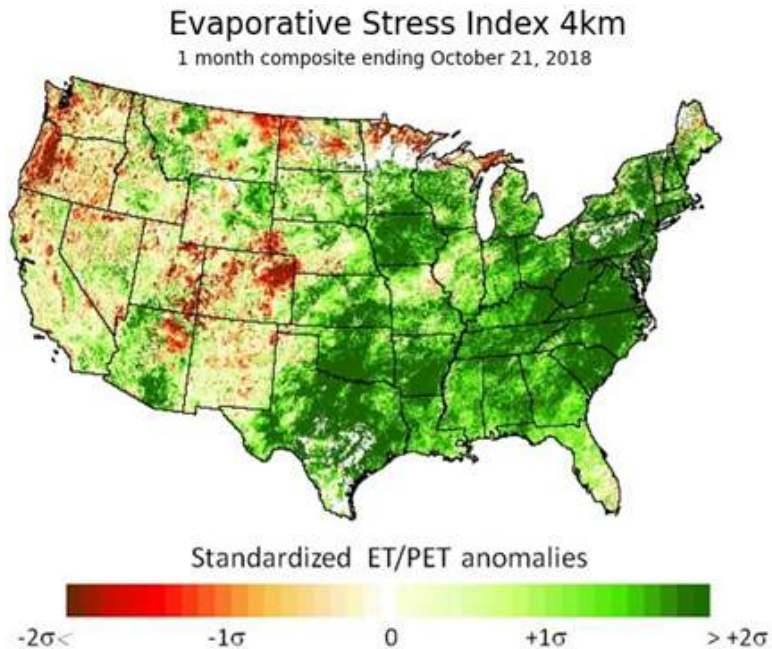
차기 위성으로 2014년 2월에 GPM (Global Precipitation Measurement)이 발사되어 전 지구적으로 광범위한 영역에서의 강우를 관측하고 있으며, 여러 지역에서의 정확도 검증 및 보정을 위하여 많은 연구가 진행되고 있다 (Wang and Lu, 2016). GPM은 NASA와 일본 우주항공연구개발기구 (Japanese Aerospace Exploration Agency, JAXA)의 협력을 통해 발사되었다. 핵심 센서는 NASA에서 개발한 마이크로파방사계측기 (GPM Microwave Imager, GMI)와 JAXA가 일본의 정보통신 연구기구 (National Institute of Information and Communications Technology, NICT)에서 제작된 이중파 강우 레이더 (Dual-frequency Precipitation Radar, DPR)센서를 탑재하고 있다 (Jin, 2015). 이 인공위성의 특징은 기존의 TRMM 위성자료보다 더 높은 관측 주기를 가지고 있으며, 10개의 위성군집 위성들과 함께 전 지구 규모의 강우 관측 시스템을 구축하고 있다.

본 연구에서는 농업가뭄요소로서 농업가뭄을 판단할 때 중요한 토양수분, 증발산량, 식생, 강수량을 설정하였다. 본 연구의 목적인 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 및 농업가뭄 지도 생성에 있어서 토양수분은 현재까지 위성 기반 토양수분자료에 대한 검증이 어렵고, 활용 가능한 위성영상의 시·공간적 해상도가 국내 모니터링에 적합하지가 않다. 또한, 강수량을 취득할 수 있는 위성영상도 저해상도라는 단점이 있어 국내에 적용하기 어려우며, 넓은 지역을 대상으로 분석하는 것이 활용성이 높다.

식생기반 위성영상 자료는 국내외에서 다양한 연구가 진행되었으며, 위성영상 기반 가뭄을 판단할 때 가장 널리 쓰이는 가뭄 요소이지만, 최근에는 식생 뿐만 아니라 기상학적 요소와 대상 지역의 지역적 특성을 고려하는 지표들이 개발되는 만큼 당장의 농업가뭄 모니터링에 활용보다는 국

내 기준에 맞추어 지표를 개발하고 적용성을 확인하는 깊이있는 연구가 필요하다.

증발산량을 활용한 위성영상 기반 가뭄지수는 대표적으로 ESI (Evaporative Stress Index)가 있다. 단기간 급속하게 발생하는 Flash drought에 대하여 SPI, PDSI 등 일반적인 기상학적 가뭄지수를 사용하여서는 식별하기 어렵고, 원격으로 감지된 열적외선 (Thermal InfraRed, TIR) 영상을 통하여 관측되는 LST (Land-Surface Temperature)로 초기 가뭄 스트레스가 전달될 수 있기 때문에 이를 이용한 ESI가 가뭄조기경보에 활용될 수 있다 (Oktin et al., 2013; 2014). 또한 ESI는 LST와 LAI (Leaf Area Index)의 원격 감지 입력을 사용하여 에너지 균형을 통한 증발산량 비율의 아노말리를 표현하며, 미국에서는 강수량 또는 식생 기반 지수와 비교하여 작물 수분 상태에 대한 조기경보를 제공하고 있다 (Anderson et al., 2011; 2013; 2016).

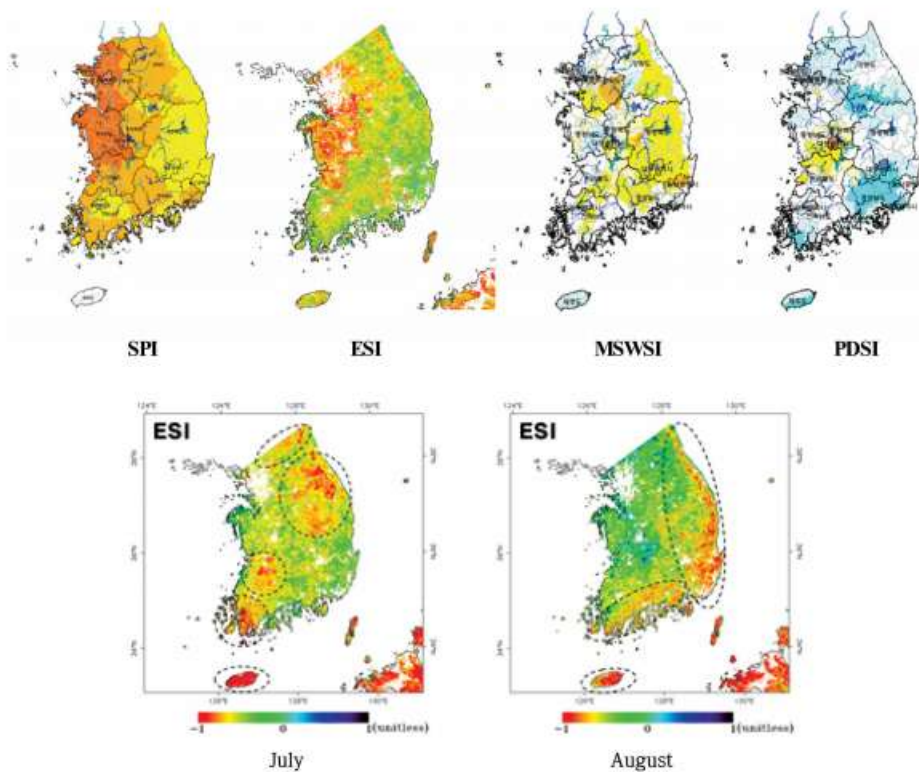


<그림 4-35> ESI를 활용한 미국 전역의 가뭄 모니터링 (NDMC)

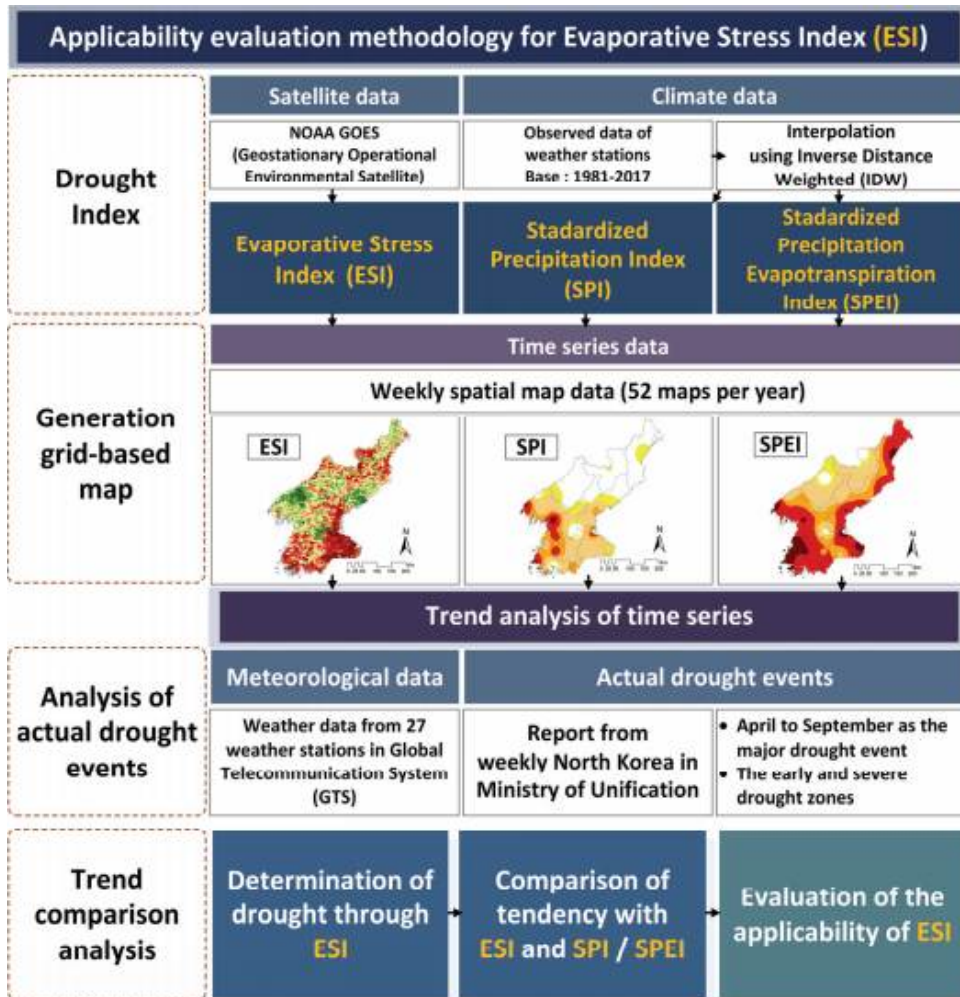
국내에서는 서찬양 등(2014)이 SPI, PDSI, MSWSI와 ESI의 비교를 통하여 2013년 한반도 남부지방 가뭄을 대상으로 위성기반 가뭄지수의 적용성을 검증하였다.

윤동현 등(2018)은 국내 가뭄에 대하여 NDVI, EVI, LAI, VHI 등 위성영상 기반 가뭄지수들과 비교하여 ESI가 가뭄 시작 시기가 빠르고 민감하며, 특히, VHI의 경우 ESI에 비해 가뭄 시작 시기가 약 40일 늦은 반응을 보인다는 결과를 확인하였다.

이희진 등(2019)은 가뭄피해에 대하여 알 수 있는 정보가 제한적이고 외국의 정보에 의존하는 북한 지역에 대한 가뭄 판단을 위성영상을 활용하여 가뭄 모니터링을 하고자 ESI를 적용하였다. 표준강수지수 SPI와 더불어 표준강수증발산지수 (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI)와 비교하여 ESI의 적용성을 검증하였다.



<그림 4-36> 2013년 각 가뭄지수별 공간분포



<그림 4-37> 북한의 ESI 적용성 평가를 위한 연구흐름도

2. 영상기반 농업가뭄 파라미터 추출

위성영상을 활용하여 농업가뭄 모니터링을 위해서는 영상으로 농업가뭄요소를 추출하여 파라미터로 산정하여야 한다. 국내에서는 가뭄 뿐만 아니라 다양한 주제의 연구로 위성영상을 활용하였으며, 그 중에서도 Landsat, Sentinel, MODIS 등의 위성영상을 통해 토양수분, 증발산량 등을 산출하고 평가 및 검증하였다. 또한, 근적외선을 이용한 식생지수의 산정으로 작물의 생육과 이를 통한 가뭄의 판단에 대하여 많은 연구가 이루어졌다.

그 중에서 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer)는 준수한 시간 및 공간 해상도를 가지고 있어 시계열 자료 확보가 가능한 영상이다. 가뭄에 대한 판단을 위하여 위성영상을 활용할 때, 고해상도의 위성영상과 주기가 일정한 시계열 데이터의 구축이 반드시 이루어져야 하기 때문에 MODIS 영상을 활용한 농업가뭄 모니터링이 적합하다고 판단하였다.



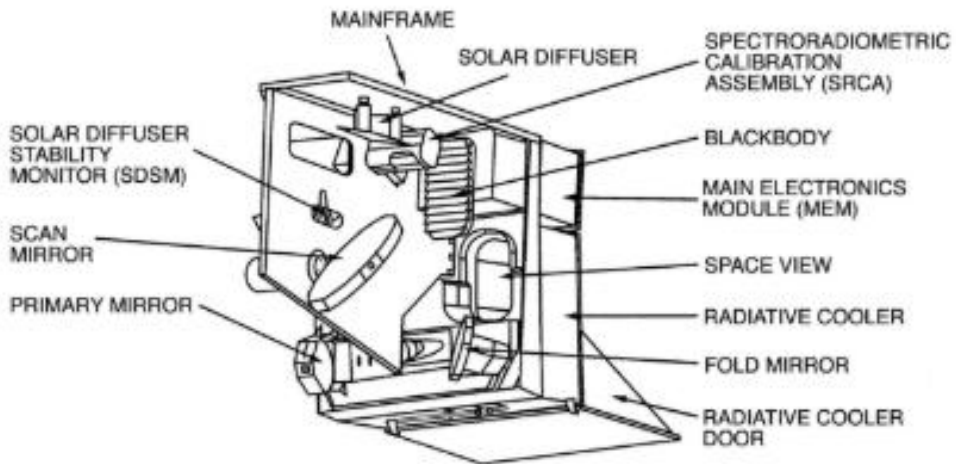
<그림 4-38> 농업가뭄 파라미터 추출을 위한 예시

가. MODIS 개요

MODIS 영상은 시·공간적 해상도가 높은 편으로 NASA의 지구 감시계획 (Earth Observation System, EOS)에 의해 1999년 12월에 발사된 지구 관측 위성 Terra 및 2002년 5월에 발사된 Aqua 위성에 탑재된 센서이다. 장기간 관측이 가능하며, 지구 표면의 전 지구적인 거동과 그 변화과정에 대하여 향상된 정보를 수집한다. Terra 위성의 궤도는 아침에 적도를 가로질러 북쪽에서 남쪽으로 지나가는 반면, Aqua 위성은 오후에 적도를 통해 남쪽에서 북쪽으로 지나간다. Terra 및 Aqua 위성은 하루 또는 이틀에 한 번씩 전 지구의 표면을 관측하며 36개의 스펙트럼 대역

또는 파장대에서 데이터를 수집한다. $0.4\sim 3\mu m$ 사이의 파장 영역에서 20개 밴드와 $3\sim 15\mu m$ 파장 영역에서 16개 밴드에 대한 자료 획득이 가능하다. MODIS 영상을 이용하여 가뭄을 분석하는 방법에는 식생과 관련된 지수, 수문과 관련된 지수, 산출된 지수의 통계적 특성을 이용하거나 조합이나 연산 등을 통하여 새로운 지수를 산출하는 방법이 있다.

국내 전역에 대하여 가뭄 지역을 파악하기 위하여 LAADS DAAC 또는 EARTHDATA에서 MODIS 영상을 취득할 수 있다. 또한, 취득한 MODIS 영상은 NASA에서 제공하는 전용처리프로그램인 MRT (MODIS Reprojection Tool)을 이용하여 영상파일형식을 변환할 수 있다.



<그림 4-39> MODIS 위성 구성 요소

(표 4-5) MODIS 영상 밴드 특성과 주요 활용 분야

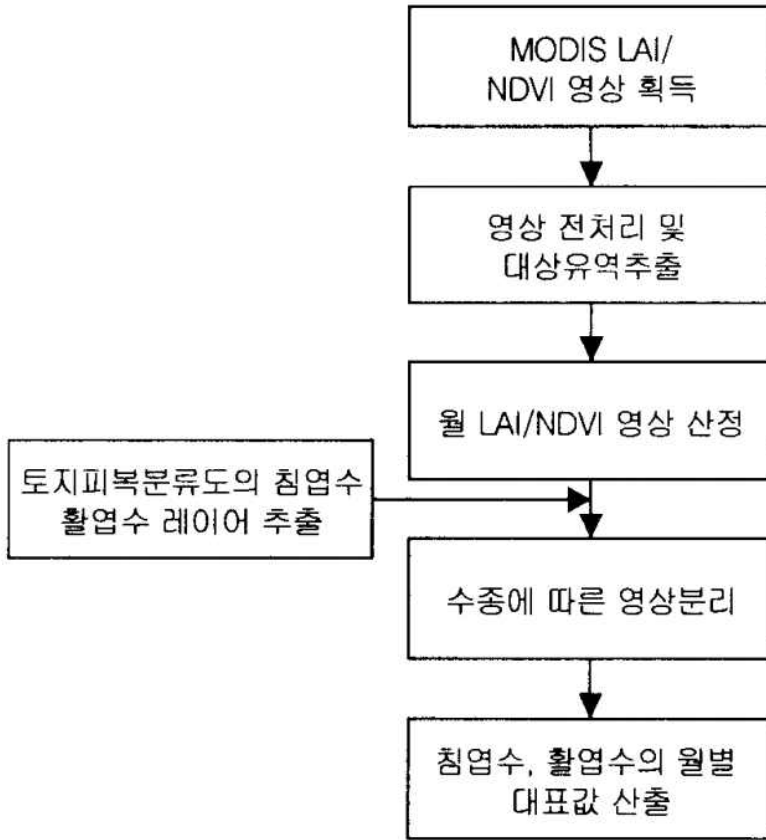
주요 활용	밴드	분광해상도(μm)	공간해상도	스펙트럼 광도
토지, 구름, 에어로졸 경계	1	0.620 ~ 0.670	250 × 250m	21.8
	2	0.841 ~ 0.876	250 × 250m	24.7
토지, 구름, 에어로졸 특성 분석	3	0.459 ~ 0.479	500 × 500m	35.3
	4	0.545 ~ 0.565	500 × 500m	29
	5	1.230 ~ 1.250	500 × 500m	5.4
	6	1.628 ~ 1.652	500 × 500m	7.3
	7	2.105 ~ 2.155	500 × 500m	1
바다색 구별, 식물성 플랑크톤 생화학 분야	8	0.405 ~ 0.420	1 × 1km	44.9
	9	0.438 ~ 0.448	1 × 1km	41.9
	10	0.438 ~ 0.493	1 × 1km	32.1
	11	0.526 ~ 0.536	1 × 1km	27.9
	12	0.546 ~ 0.556	1 × 1km	21
	13	0.662 ~ 0.672	1 × 1km	9.5
	14	0.673 ~ 0.683	1 × 1km	8.7
	15	0.743 ~ 0.753	1 × 1km	10.2
대기중 수증기	16	0.862 ~ 0.877	1 × 1km	6.2
	17	0.890 ~ 0.920	1 × 1km	10
	18	0.931 ~ 0.941	1 × 1km	3.6
표면, 구름 온도	19	0.915 ~ 0.965	1 × 1km	15
	20	3.660 ~ 3.840	1 × 1km	0.45(300K)
	21	3.929 ~ 3.989	1 × 1km	2.38(335K)
	22	3.929 ~ 3.989	1 × 1km	0.67(300K)
대기 온도	23	4.020 ~ 4.080	1 × 1km	0.79(300K)
	24	4.433 ~ 4.498	1 × 1km	0.17(250K)
구름, 수증기	25	4.482 ~ 4.549	1 × 1km	0.59(275K)
	26	1.360 ~ 1.390	1 × 1km	6
	27	6.535 ~ 6.895	1 × 1km	1.16(240K)
구름 특성	28	7.175 ~ 7.475	1 × 1km	2.18 (250K)
오존	29	8.400 ~ 8.700	1 × 1km	9.58 (300K)
표면, 구름 온도	30	9.580 ~ 9.880	1 × 1km	3.69 (250K)
	31	10.780 ~ 1.280	1 × 1km	9.55 (300K)
구름 고도	32	11.770 ~ 2.270	1 × 1km	8.94 (300K)
	33	13.185 ~ 3.485	1 × 1km	4.52 (260K)
	34	13.485 ~ 3.785	1 × 1km	3.76 (250K)
	35	13.785 ~ 4.085	1 × 1km	3.11 (240K)
	36	14.085 ~ 4.385	1 × 1km	2.08 (220K)

(표 4-6) MODIS 영상 특성

항목	내용
궤도	705km, 태양동기, 극궤도
재방문 주기	16일
촬영 면적	연직 촬영시 2,330km × 10km
무게	228.7kg
공간 해상도	250m (1 ~ 2 밴드)
	500m (3 ~ 7 밴드)
	1000m (8 ~ 36 밴드)
데이터 전송률	10.6 Mbps/sec
방사 해상도	12 bits
영상 촬영각	110 deg
밴드	36 밴드
	1~19 밴드 : 620 ~ 965nm
	20~36 밴드 : 3.66 ~ 14.28 microns
설계 수명	6년
운영 여부	운영 중

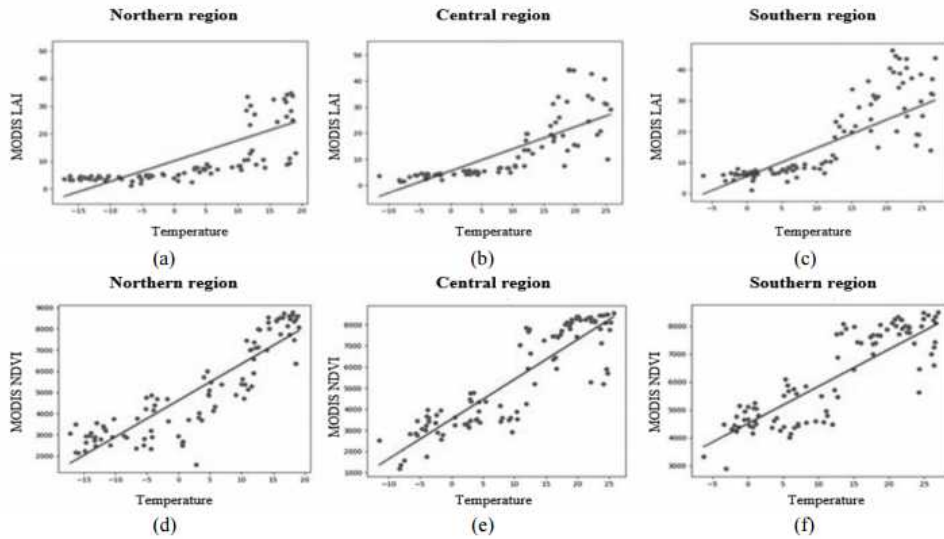
나. MODIS 영상을 활용한 주요 연구 사례

김병식 등(2006)은 인공위성 자료를 이용하여 수문모형에 적용될 수 있는 지역적 규모의 LAI를 추정하는 현실적인 방법론을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 MODIS 위성영상을 이용하여 제작한 NDVI와 LAI를 SLURP 모형의 LAI 입력인자로 활용하여 각각의 입력 자료가 물 순환과정에 어떠한 영향을 미치는 지를 파악하였다.



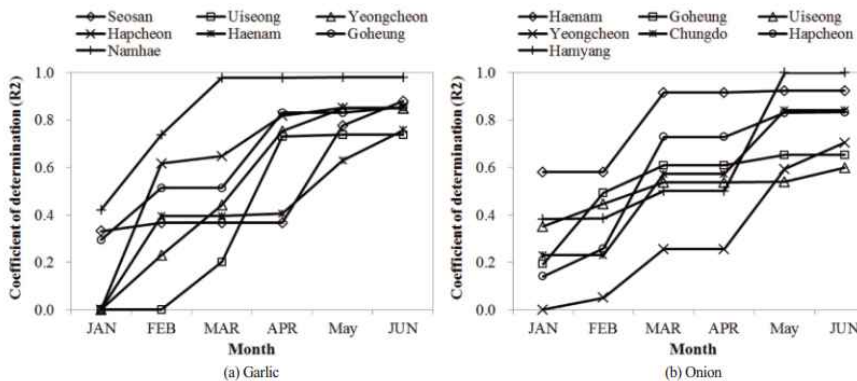
<그림 4-40> MODIS LAI/NDVI 수집 및 수종별 월 대표값 산정 연구흐름도

서대교 등(2017)은 2006년도에서 2013년까지의 MODIS LAI 및 MODIS NDVI 영상을 landcover 데이터를 활용하여 활엽수만을 추출한 뒤, Timesat 프로그램을 사용하여 시계열 분석을 하여 년도별 식물의 계절적 변화특성을 살펴보고 기후변화, 강수량, 기온 등 기상변화에 따른 MODIS LAI 및 MODIS NDVI 변화를 분석하였으며, 실험지역을 나누어 추출한 뒤 지역별 특성을 분석하였다.



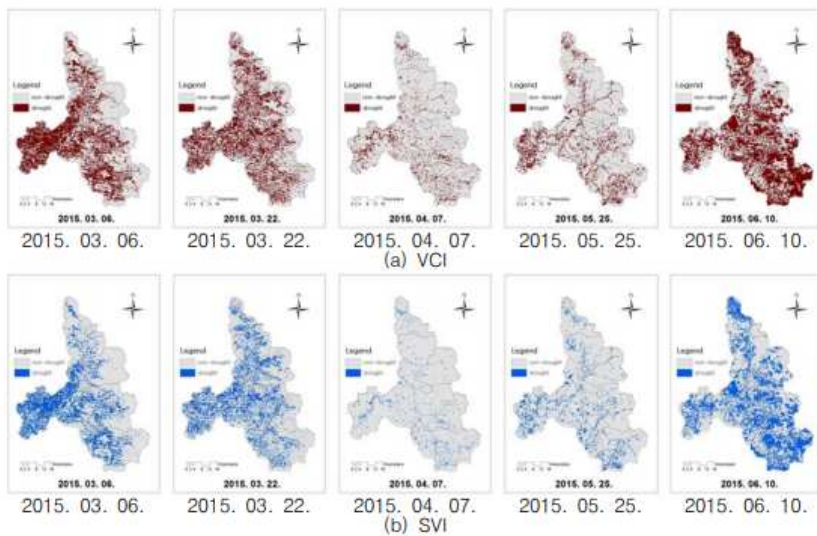
<그림 4-41> 온도에 따른 선형회귀 (a) 북부지역의 MODIS LAI, (b) 중부지역의 MODIS LAI, (c) 남부지역의 MODIS LAI, (d) 북부지역의 MODIS NDVI, (e) 중부지역의 MODIS NDVI, (f) 남부지역의 MODIS NDVI

나상일 등(2017)은 마늘과 양파의 7개 주산지를 대상으로 생육기간 동안 시계열 MODIS NDVI와 기상요인을 이용하여 마늘 및 양파 시군단위 단수예측 모형을 개발하고, 예측시기별 정확도를 산정하여 적용성을 검토하였다. 예측 시기별 정확도가 지역에 따라 차이가 큰 것으로 나타나 각 모형별 예측시점에 따른 정확도를 고려하여 주산지별 예측시점을 결정해야 할 것으로 판단하였다.



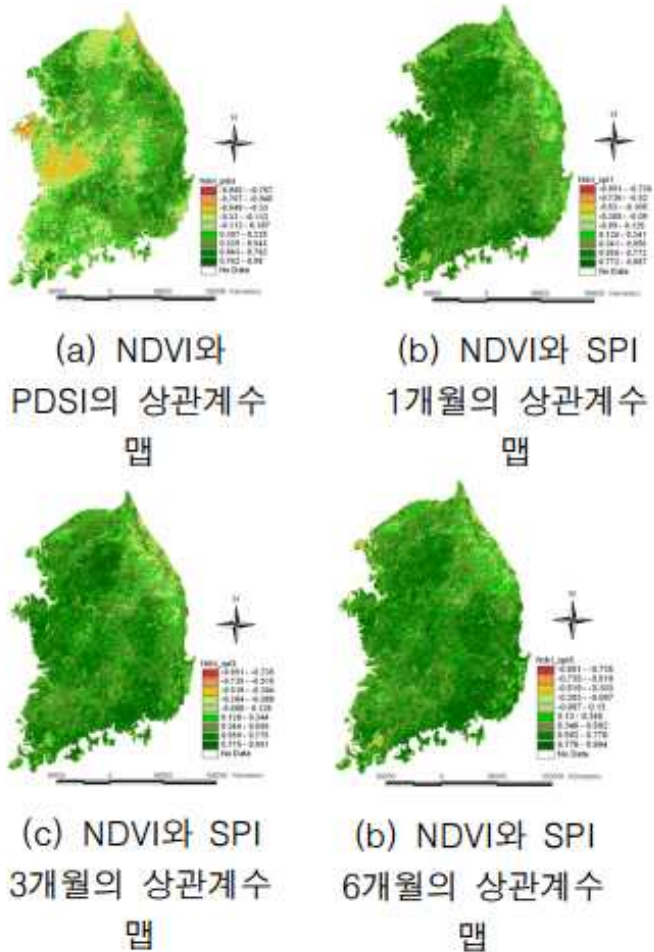
<그림 4-42> 마늘과 양파의 주요 재배 지역에서 예측시점의 정확도 변동

신형진 등(2015)은 소양강댐 유역을 대상으로 Terra MODIS 위성영상의 식생지수인 NDVI를 이용하여 식생상태지수(VCI)와 표준화된 표준정규 신생지수(SVI)를 이용하여 2010년부터 2015년까지의 봄기간 동안의 가뭄지역을 댐유입량과 강수량을 이용하여 분석하였다. 또한 Terra MODIS 위성영상을 이용하여 소양강 댐 유역의 가뭄 위험지역을 구축하고 가뭄 피해지역의 공간적 범위를 분석하였다.



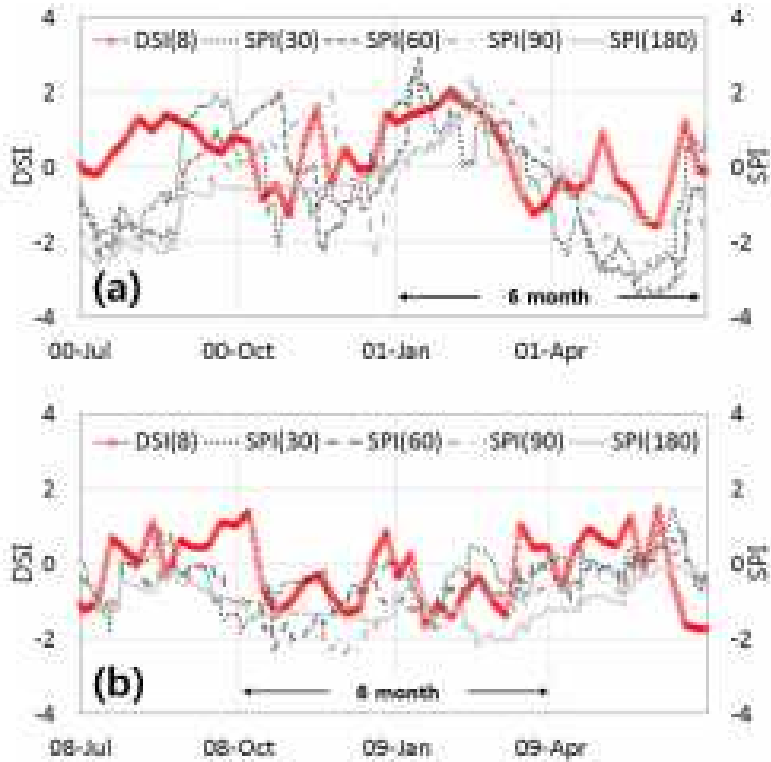
<그림 4-43> VCI 와 SVI를 이용하여 2015년 봄 가뭄 추정

박정술 등(2009)은 MODIS NDVI를 활용하여 대표적인 가뭄분석 도구인 SDSI 및 SPI와의 상관성 분석을 수행하였으며 이를 통한 한반도 온대기후대에서 가뭄모니터링을 위한 MODIS NDVI의 활용성과 효과적인 활용방안을 제시하여, 가뭄평가를 위해 가장 광범위하게 활용되고 있는 가뭄지수와의 비교를 통해 식생지수를 이용한 가뭄 분석의 객관성을 확보하였다.



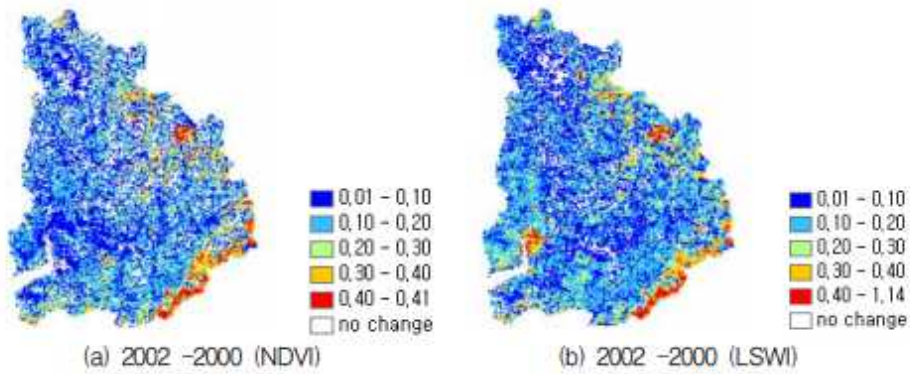
<그림 4-44> 다중시기 식생지수와 가뭄지수의 상관 계수 지도

박혜선 등(2015)은 지역적 분석을 실시하고, 지역의 실제 가뭄 사례와의 상관성을 분석하고자 하여 MODIS DIS를 활용하여 시군구 수준의 지역 단위를 대상으로 분석하였으며, SPI 및 수위 관측 자료와의 상관관계 분석을 실시하여 DSI 자료의 활용성을 검토하였고, 최근 개발된 위성영상 자료의 기반의 전 지구적 가뭄지수인 DSI와 가상학적 가뭄지수인 SPI의 상관성을 제시할 수 있었다.



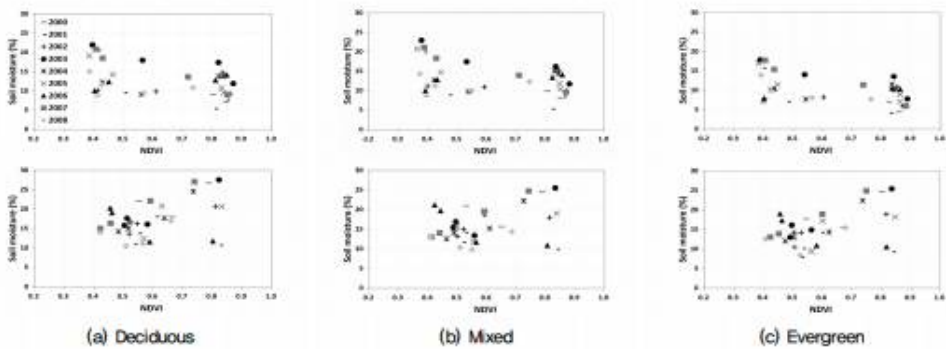
<그림 4-45> DSI와 SPI의 시계열 비교 (a) 동두천, (b) 태백시

박정술 등(2006)은 MODIS 위성영상자료를 이용하여 2000년 이후 주기적으로 발생하고 있는 한반도의 봄 가뭄을 탐지하고 평가하고 가뭄 발생 지역의 공간분포와 위성영상자료간의 상관성을 정량적으로 분석하였으며, 이를 토대로 공간적 변이를 고려한 위성영상자료의 활용성을 제시하였다.



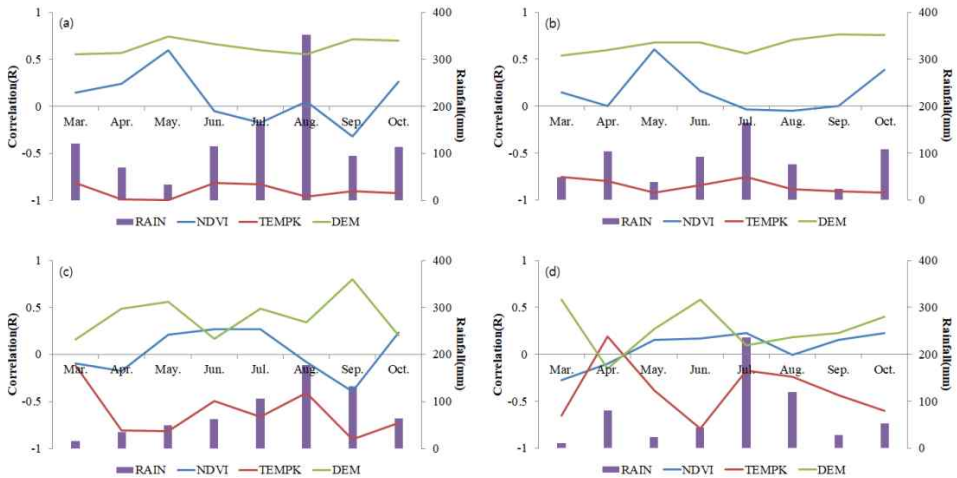
<그림 4-46> 4월 7일 안성천 유역의 이미지 연산 결과

박종윤 등(2016)은 소양강댐 유역을 대상으로 MODIS NDVI와 LST의 토양수분 재현능력을 평가하였다. 토양수분은 식생상태(NDVI)와 지표온도(LST)에 의해 설명될수 있으며, 특히 강우에 따른 토양수분의 큰 변동성은 변동성이 작은 NDVI와 LST와의 상관성을 저하하는 요인이 될 수 있다.



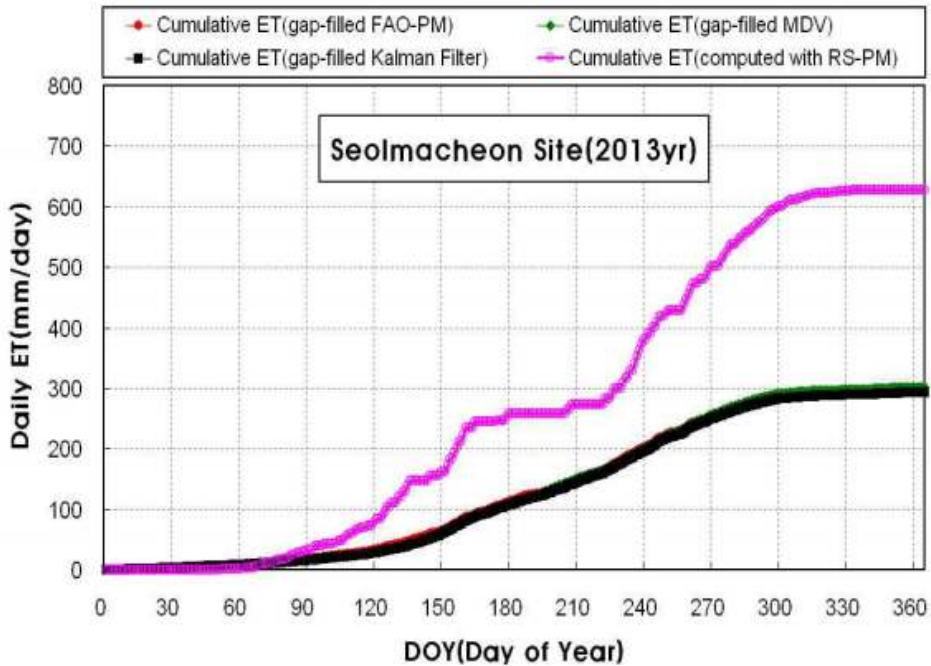
<그림 4-47> 토양수분과 NDVI와의 상관관계 (2000~2008): forest leaf falling(위), forest leaf falling(아래)

김상우 등(2017)은 MODIS 위성 이미지 자료를 이용하여 용담댐 및 소양강댐 지역의 시·공간적으로 연속적인 토양수분을 산정하였으며, 지표특성 (정규식생지수, 지형 및 온도)이 토양수분에 미치는 영향을 분석하기 위하여 토양수분과 지표특성의 공간적 상관성을 분석하였다.



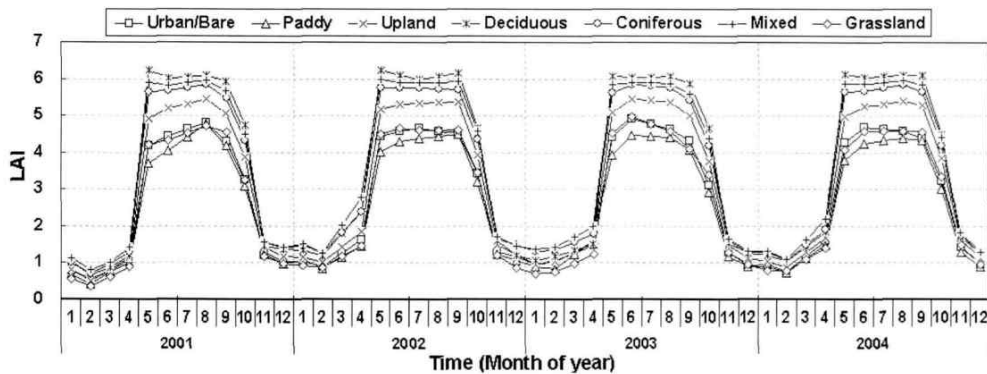
<그림 4-48> 토양수분 월별 상관관계 그래프 (a: 2014 용담댐 b:2015 용담댐 c: 2014 소양강댐 d: 2015 소양강댐)

이연길 등(2015)은 MODIS 위성 기반 공간 증발산량의 적정성을 평가하기 위해 플릭스 타워가 위치하는 지점에서 산정된 MODIS 기반의 증발산량(1 Km× 1 Km)과 3가지 방법으로 보충된 에디 공분산 기반의 증발산량을 서로 비교·분석하였다. 또한, 전적비교 지점을 출구로 하는 유역평균 증발산량을 MODIS 위성 기반의 증발산량 지도에서 산정한 후 물수지 특성을 분석하였다.



<그림 4-49> 에디 공분산 기반 일증발산량과 MODIS 기반 일증발산량 비교

하림 등(2008)은 증발산량 추정을 위해 식생 관련 입력 매개변수로 사용된 MODIS LAI의 활용성 및 영향력을 평가하고자 하였다. 수문 모의는 위성영상 자료와 지형데이터를 이용하기에 효과적은 모형으로 잘 알려져 있는 일 단위 장기강수 유출모형인 SLURP 모형을 적용하였다.



<그림 4-50> 토지 용도별 MODIS LAI

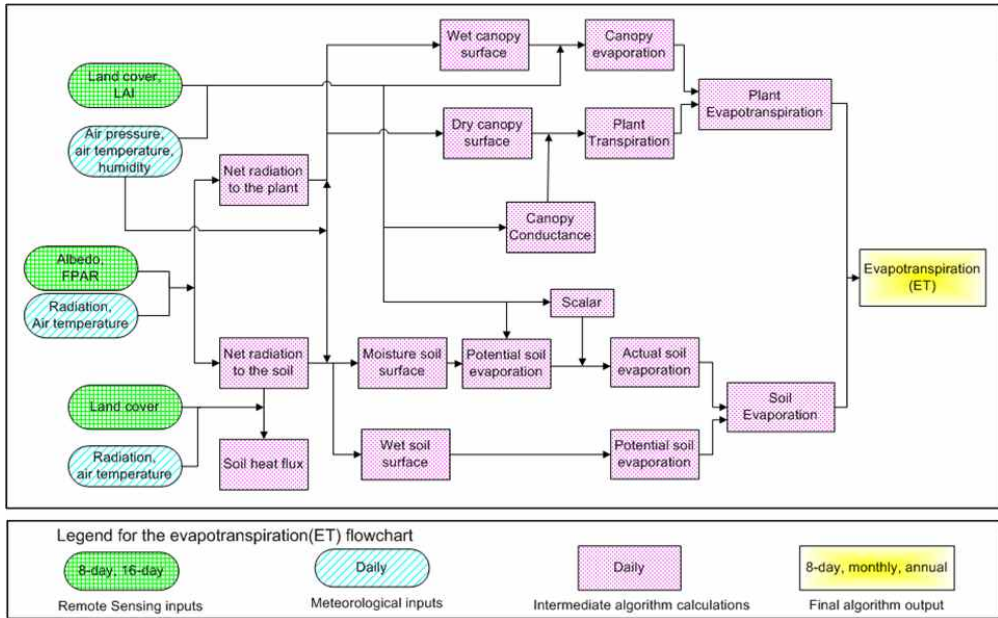
3. 파라미터 추출 모듈 개발

농업가뭄 파라미터를 산정하기 위한 농업가뭄요소로 토양수분, 증발산량, 식생, 강수량을 설정하였으며, 그 중에서 증발산량을 활용한 위성영상 기반 가뭄지수 ESI를 통하여 국내의 농업가뭄 모니터링 및 농업가뭄 지도를 제작하고자 하였다. 또한, 농업가뭄요소인 증발산량을 활용하여 산정한 ESI를 농업가뭄 파라미터로 설정하였다.

농업가뭄 파라미터 (ESI)를 산정하기 위하여 필요한 요소는 실제증발산량과 잠재증발산량이다. 기존 ESI는 0.05 degree 해상도로, 상대적으로 고해상도인 MODIS 영상을 활용하였으며, MODIS 영상으로 농업가뭄요소를 추출하여 파라미터를 산정하는 과정은 다음과 같다.

가. 농업가뭄요소 검증

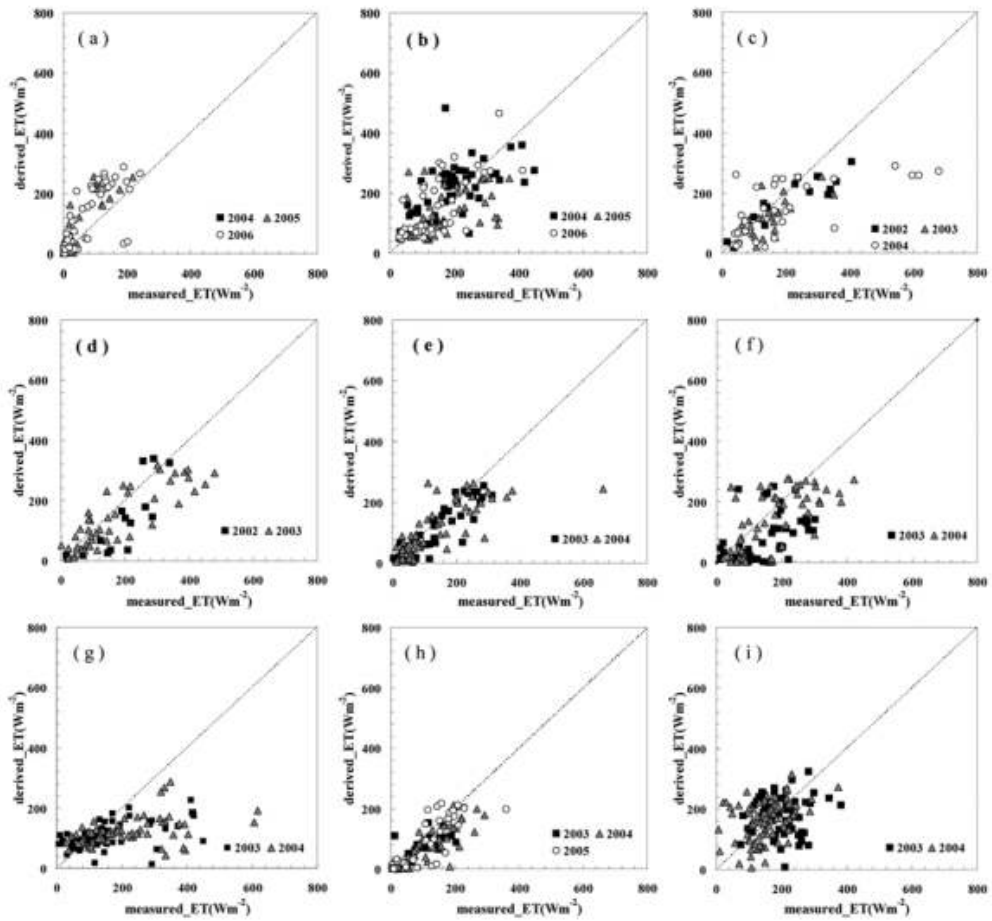
36개의 다중 분광 센서를 이용한 MODIS는 장파, 단파 및 순복사량을 추정하기 위한 각종 기상 인자를 관측함으로써 증발산을 산정하기에 적합하며, 이와 관련된 여러 연구가 진행되었다. MOD16 ET 알고리즘은 Penman-Monteith (Monteith, 1965) 식을 기반으로 하며 ET는 건식 캐노피 표면에서 토양 증발, 습식 캐노피 증발 및 식물의 증산으로 인한 수증기 플럭스의 합이다. 알고리즘의 처음은 Land cover, Leaf area Index (LAI), Albedo, FPAR 등을 기반으로 하며, 위성영상 요소와 기상학적 입력자료, 알고리즘 계산을 통하여 증발산을 산정한다. MODIS 8일 주기 데이터의 FPAR (the Fraction-of-Photosynthetically Active Radiation)은 토양과 식물 사이에 얼마나 많은 표면 순복사량이 할당되는지를 정량화하기 위하여 vegetation cover fraction을 사용하며, albedo와 일일 지표면 태양복사 및 일일 기상 재분석 데이터의 온도는 지표면 순복사 및 토양열 플럭스를 산정하기 위해 사용된다. 또한, LAI를 활용하여 공기역학적 저항, 습식 캐노피, 토양열 플럭스 및 기타 환경 변수를 추정한다.



<그림 4-51> MOD16 ET 알고리즘

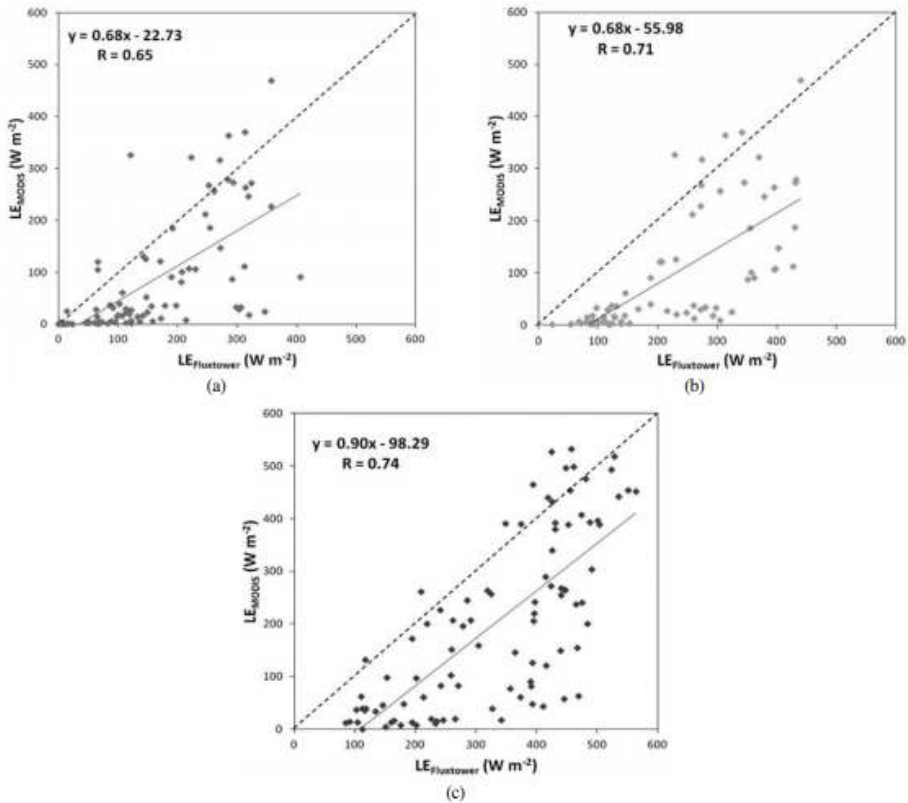
MOD16 ET 알고리즘은 에디 플릭스 타워 (Eddy flux tower)에서 측정된 ET와 232 개의 유역에서 추정된 ET로 검증되었다. 평균 2000~2010년 동안 식생에 대한 지표면에서의 전세계 연간 ET는 $63.4 \times 10^3 km^3$, 평균 $569 \pm 358 mm yr^{-1}$ 이며, 최근의 지구 추정치와 비교된다. 국내에서도 MODIS를 통하여 추출할 수 있는 증발산량을 검증하기 위한 다양한 연구가 진행되었다.

정승택 등(2009)은 동아시아 지역을 대상으로 MODIS 위성영상 기반의 증발산량을 산정하여 플릭스 타워 관측지에 대한 검증을 하였다. 연구에서 선정한 대상 지역 중 대부분의 지역에서 MODIS로부터 산출된 증발산과 플릭스 관측 값의 결정계수가 높게 나왔으며, 전체적으로 양호한 일치도를 보였다.



<그림 4-52> MODIS로 추출한 ET와 관측된 ET의 산란 도표

서찬양 등(2012)은 지상관측의 단점을 보완하기 위하여 MODIS 영상을 활용하여 원격탐사 기술을 적용한 Penman-Monteith 기반 증발산을 산정하고 이를 설마천/청미천 플럭스 타워의 증발산 관측치와 비교하였다. MODIS 기반 증발산 산정값과 비교를 통해 각각 0.69, 0.74의 높은 상관계수를 보여 산정 방법의 적용성을 검증하였다.



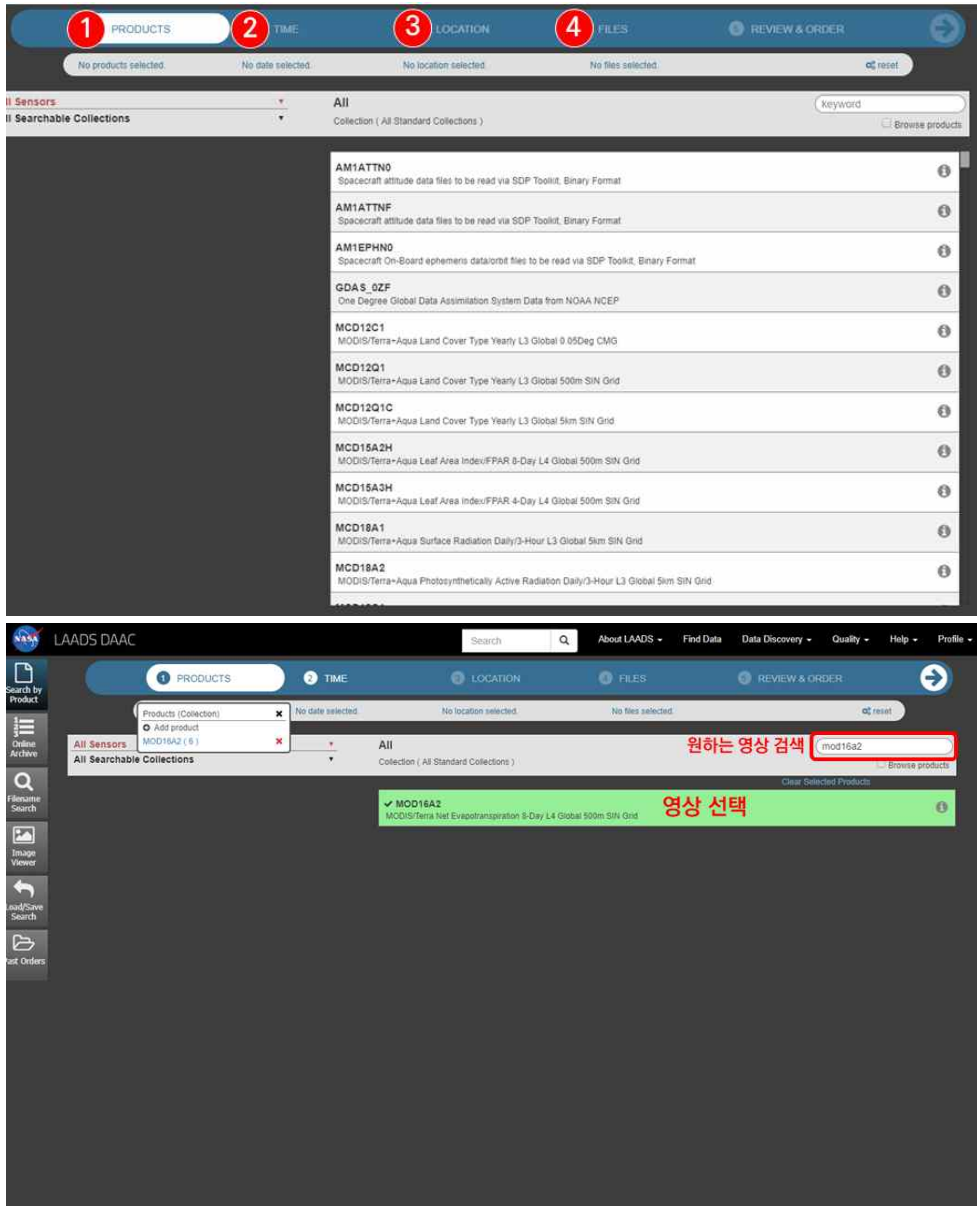
<그림 4-53> MODIS 기반 증발산과 플럭스 관측 증발산의 상관성 분석

나. MODIS 영상을 활용한 농업가뭄요소 추출

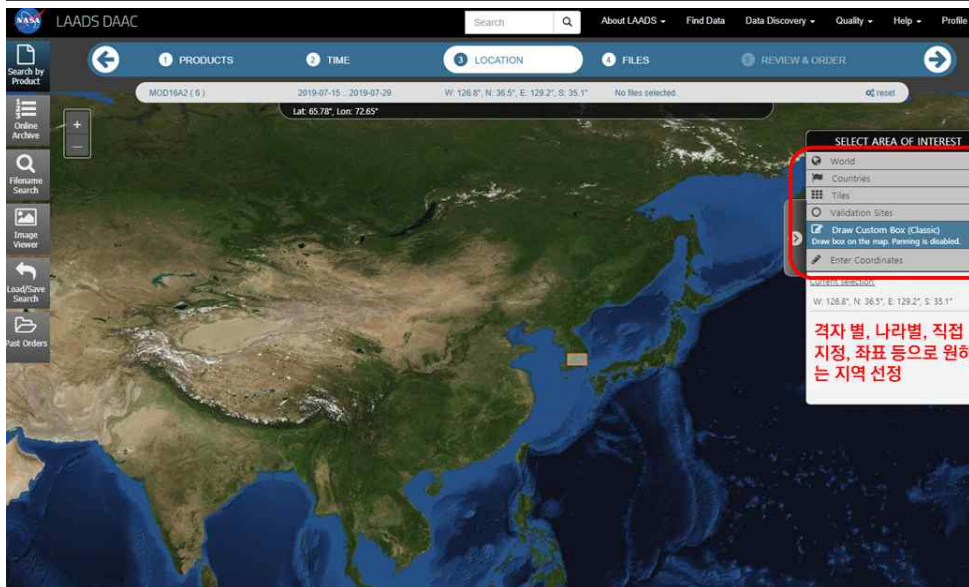
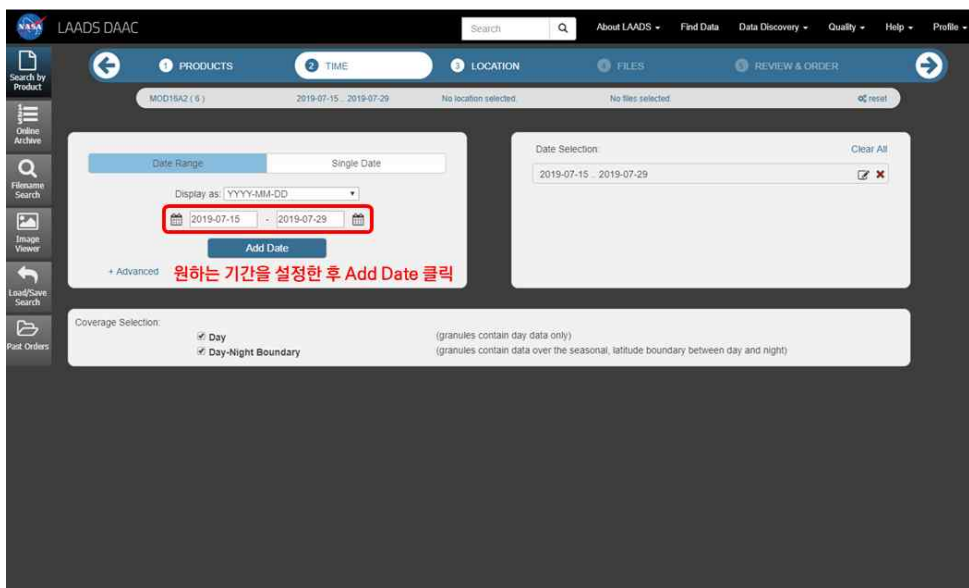
농업가뭄 모니터링에 있어 중요한 것은 고해상도의 영상을 짧은 주기로 제공하는 것이다. MODIS 영상 중 증발산량을 취득할 수 있는 MOD16A2 센서는 500 m 해상도의 영상을 8일 주기로 제공한다. MOD16A2 데이터를 취득하고, MRT를 이용하여 좌표계 및 영상파일형식을 변환하고 ArcGIS를 통하여 농업가뭄 파라미터로 활용할 수 있는 데이터로 가공하는 과정은 다음과 같다.

- MODIS 영상 다운로드
 - NASA의 LAADS DAAC를 통해 취득 가능함
 - <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>
 - MODIS 영상의 다양한 영상 중 원하는 영상을 선택 (MOD16A2)
 - MOD16A2의 경우 2000년 2월 이후부터 현재까지 데이터 취득이 가

- 능하며, 사이에 원하는 취득 기간 설정
- 원하는 취득 지역 및 국가 등을 설정
 - 설정한 조건에 맞는 데이터 확인 및 다운로드



<그림 4-54> MODIS 영상 다운로드 예시 1 (LAADS DAAC)



<그림 4-55> MODIS 영상 다운로드 예시 2 (LAADS DAAC)

- 취득하는 영상은 HDF 파일
- 다운로드 가능한 파일의 파일명에 설정한 조건이 입력되어 있음 (ex. filename : MOD16A2.A2019193.h28v05.006.2019208234316.hdf)
- 선택한 MODIS 영상의 센서, 줄리안 데이터, MODIS Sinusoidal이

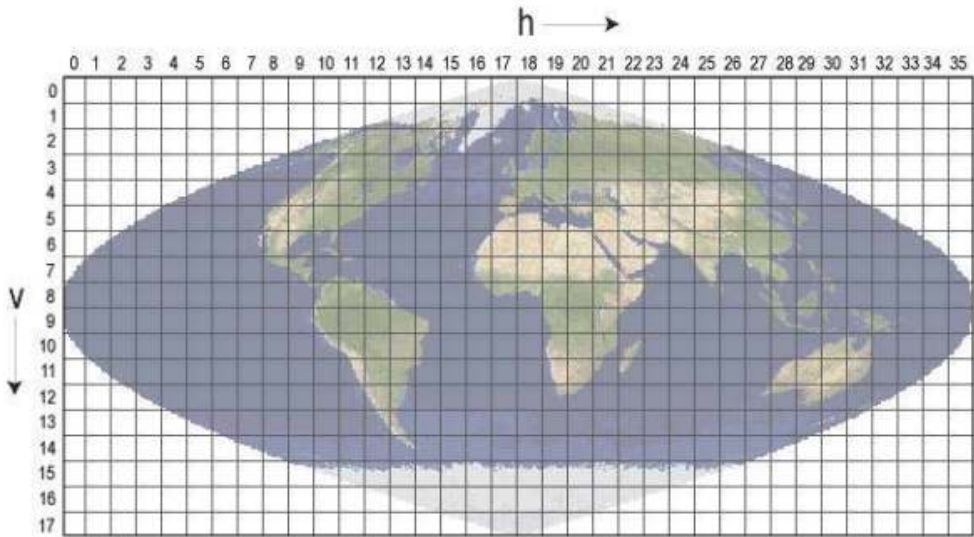
입력되어 있으며, 우리나라의 경우 h27v05, h27v06 파일이 국내 전역을 포함하고 있음

(표 4-7) MOD16A2 영상조합 일자 (8일주기)

획득일자	영상조합일자				
	줄리안일	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
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

(표 4-8) MOD16A2 영상조합 일자 (8일주기)(계속)

획득일자	영상조합일자				
	줄리안일	평년		윤년	
		시작	종료	시작	종료
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

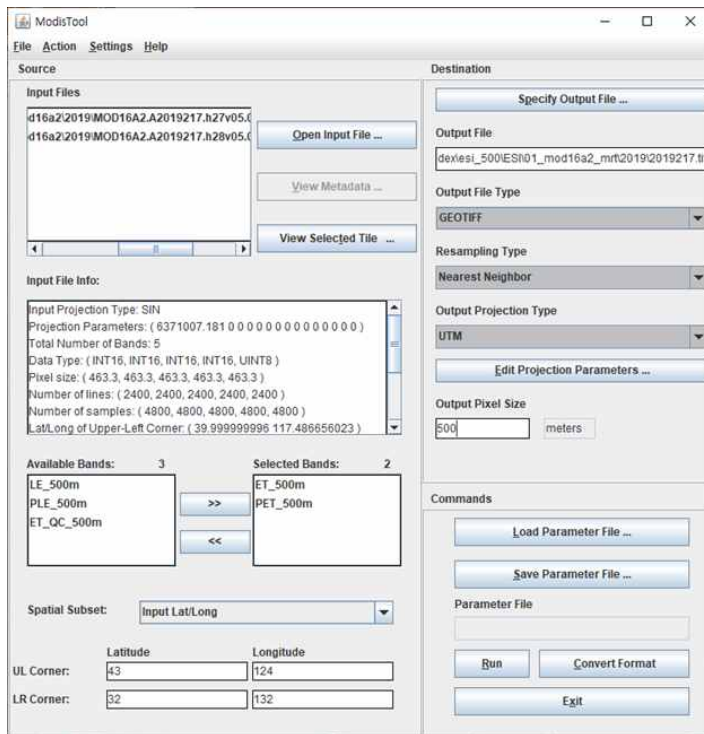
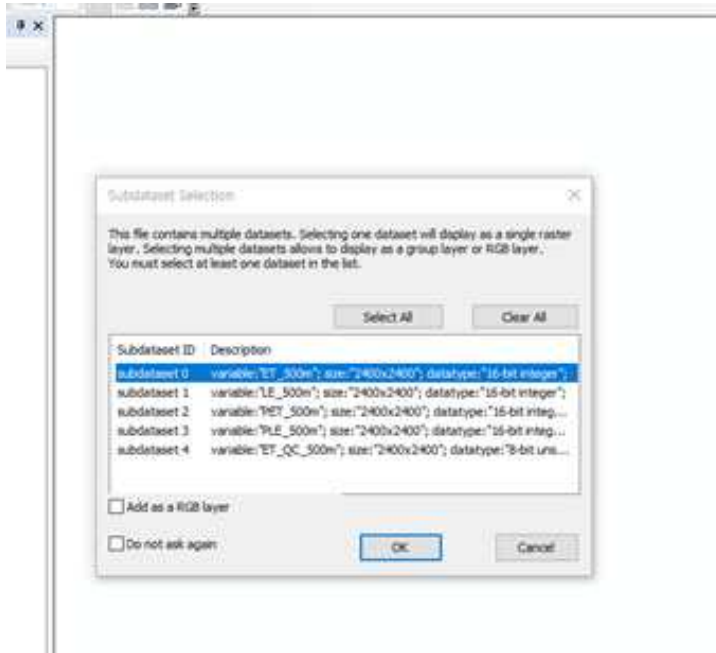


<그림 4-56> MODIS Sinusoidal “10-degree” tile system

- MODIS 영상 전처리 (1차 가공)
 - 취득한 데이터의 원시자료 영상은 좌표계 설정이 되어있지 않음
 - MRT 프로그램을 이용하여 좌표계 설정과 영상파일형식을 변환하는 1차 가공을 진행

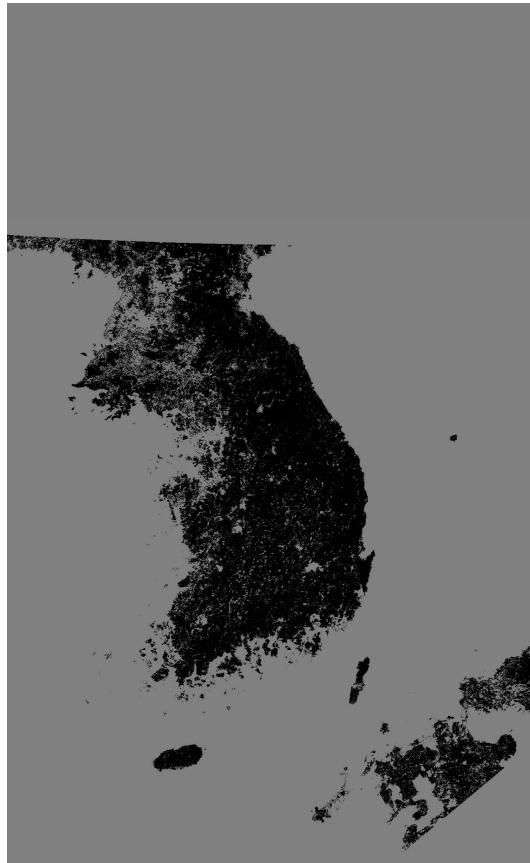


<그림 4-57> MOD16A2 원시영상



<그림 4-58> MRT 프로그램을 이용한 MODIS 영상 가공

- 다운로드한 HDF 파일은 5개의 dataset를 가지고 있음
- dataset 0은 ET, dataset 2는 PET
- h27v05, h28v05 두 개의 HDF 파일을 합쳐야 국내 전역을 나타내는 하나의 영상이 나타남
- 두 개의 HDF 파일을 불러와 dataset 0, dataset 2를 선택
- MRT 프로그램 작업 후 표현될 지도의 경위도 좌표를 입력
- Output File Type을 통하여 HDF 파일을 TIF 파일로 변환
- Output Projection Type에서 UTM을 설정한 후 Edit Projection Parameters에서 WGS84 UTM 52 Zone으로 좌표계를 설정
- 기존 MOD16A2는 500 m의 공간해상도를 가지고 있으므로 Output Pixel Size는 500 m로 입력



<그림 4-59> 1차 가공을 통하여 생성된 데이터

- MODIS 영상 전처리 (2차 가공)
 - 1차 가공한 MODIS 영상은 좌표체계만 갖춰졌을 뿐, value range에 대한 조정이 없기 때문에 농업가뭄 파라미터로 활용할 수 없음
 - ArcGIS Tool을 이용하여 2차 가공을 진행
 - Extract by Mask (Spatial Analyst)
 - Set Null (Spatial Analyst)
 - Raster Calculator (Spatial Analyst)



<그림 4-60> MODIS 영상 2차 가공 (Extract by Mask)

- 1차 가공한 데이터를 이용하여 우리나라 경계선에 맞추어 Extract by Mask를 실행
- 우리나라 시군구 또는 시도 광역시 shp 파일을 활용



<그림 4-61> MODIS 영상 2차 가공 (Set Null)

- MODIS 영상은 불필요한 Value를 가지고 있기 때문에 이상값 제거를 해야함
- MOD16A2의 경우 유효한 데이터 값인 - 32767~32700 이외에, 실제

- 로는 ET를 계산하지 않은 픽셀에 대한 값이 있음 (Fill Value)
- Fill Value를 Set Null 하여 Valid Range를 제외한 값들은 제거
 - <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2v006/>
 - 위 사이트에서 MOD16A2에 대한 상세 정보를 확인한 후 이상값 제거

(표 4-9) MOD16A2 dataset 상세 정보

SDS Name	Description	Units	Data Type	Fill Value	No Data Value	Valid Range	Scale Factor
ET	Total Evapotranspiration	$kg/m^2/day$	16-bit signed integer	32761 to 32767	N/A	-32767 to 32700	0.1
LE	Average Latent Heat Flux	$J/m^2/day$	16-bit signed integer	32761 to 32767	N/A	-32767 to 32700	10000
PET	Total Potential Evapotranspiration	$kg/m^2/day$	16-bit signed integer	32761 to 32767	N/A	-32767 to 32700	0.1
PLE	Average Potential Latent Heat Flux	$J/m^2/day$	16-bit signed integer	32761 to 32767	N/A	-32767 to 32700	10000
ET_QC	Evapotranspiration Quality Control flags	Bit Field	8-bit signed integer	255	N/A	0 to 254	N/A

(표 4-10) MOD16A2 Fill Value

Description	Fill Value
Out of the Earth	32767
Water body	32766
Barren or Sparsely vegetated	32765
Permanent snow and ice	32764
Permanent wetland	32763
Urban or Built-up	32762
Unclassified	32761



<그림 4-62> MODIS 영상 2차 가공 (Raster Calculator)

- MODIS 영상은 파일의 용량을 작게 유지하고 정밀도를 높이기 위하여 Scale Factor를 활용
- 제공하는 MODIS 영상은 Scale Factor를 곱해야 실제 데이터 값을 얻을 수 있음
- Raster Calculator를 이용하여 MOD16A2 중 ET, PET에 해당하는 Scale Factor 0.1을 각 격자별로 곱하여줌

다. 농업가뭄 파라미터 산정

농업가뭄에 중요한 인자인 증발산량을 취득하기 위해 MOD16A2 데이터를 활용하여 농업가뭄요소 (ET, PET)를 추출하였다. 농업가뭄 파라미터 (ESI)를 산정하는 식은 다음과 같다.

$$ESI = \frac{ET}{PET}$$

동일 시기의 농업가뭄요소의 비를 이용하여 농업가뭄 파라미터 (ESI)를 산정할 수 있으며, 산정된 농업가뭄 파라미터 (ESI)는 0 이상의 값을 갖는다.



<그림 4-63> 동일 시기 농업가뭄요소

ESI_2019001.tif
Value
High : 1
Low : 0,118812



<그림 4-64> 농업가뭄 파라미터 (ESI)



제5장
위성영상 기반 농업가뭄 모니터링
모델 개발



제5장 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 모델 개발

제1절 위성영상 및 기상영상 자료 융합

1. 기상영상 분석 방법

가뭄의 가장 기본적인 원인은 강우의 장기간 부족으로 생기는 현상이다. 기상영상 중 강우 위성영상을 활용하여 기상관측소를 활용한 지점 데이터의 한계를 보완하고 미계측 지역에 대한 강수량을 관측하는 것이 가뭄을 효율적으로 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

강우 위성영상 중 주로 사용하는 위성영상은 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)이 있다. TRMM 위성은 열대 지역과 아열대 지역을 관측하는 저궤도 위성으로 약 400 km 상공에서 약 250 km의 스캔폭을 가지고 저위도의 강우를 관측하고 있다. 특히, 이 위성에 탑재된 강수레이더 PR (Precipitation Radar)은 세계 최초로 우주에 올려진 기상레이더이다. Ku-밴드 레이더로 1.8GHz의 주파수 대역을 사용하고 있다 (Iguchi and Meneghini, 1994). 이것의 민감도는 약 17dBZ이며, 이는 약 0.7 mm/h의 강우 강도에 해당한다. PR의 수평분해능은 최하점에서 수평 4.3 km, 연직 250 m의 해상도를 가지며, 고도 20 km까지 관측한다. 레이더 반사도는 Hitschfeld-Bordan과 지면 반사 모두를 이용한 방법에 의해 수정되었다.

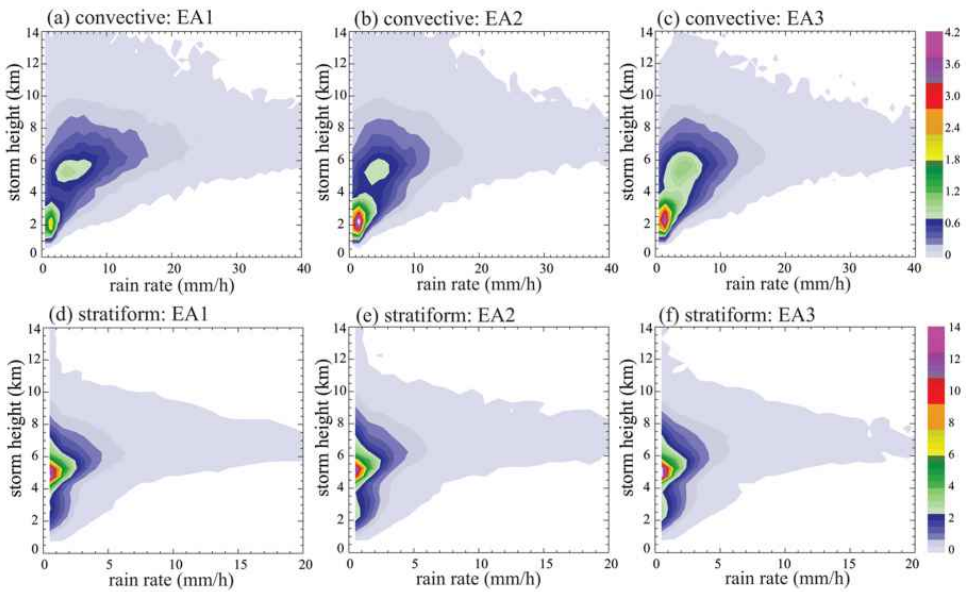
CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations) 위성영상은 가뭄 및 지구 환경 변화 모니터링을 위해 설계된 일별, 월별 및 연별 강수량 데이터 세트이다 (Funk et al., 2015). 미국국제개발기구 (United States Agency for International Development, USAID), 미국항공우주국 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 및 국립해양대기관리국 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)의 지원을 받은 미국지질조사국 (United States Geological Survey, USGS)이 1999년 데이터가 희박한 지역의 강우 지도를 생성하는 기술을 개발하였다. 초기 연구는 보간된 관측소 데이터와 지형 강수 모델을 결합하는 데 중점을 두었으며, 최근에는 NASA와 NOAA의 격자 기반 위성 강수량 추정을 통해 고해상도 격자형 강수량 기후를 구축하였다. CHIRPS는 1981년부터 현재까지 전지구 강우 자료를 0.05 degree 해상도로 제공하고 있으며, USAID 가뭄조기경보시스

템 네트워크 (Famine Early Warning Systems Network, FEWS NET)에 의한 가뭄 모니터링에 활용되고 있다. CHIRPS는 CHPClim (Climate Hazards Group Precipitation Climatology), 준 세계 열적외선 위성관측, TRMM 3B42, NOAA CFS (Climate Forecast System)의 대기 모델 강수량 필드 및 지역적 기상 서비스를 포함한 다양한 출처로부터 강수를 관측하고 취득한다. 여러 강수 위성이 존재함에도 불구하고 CHIRPS 데이터베이스와 기존의 다른 강수 데이터베이스의 주요 차이점은 다른 위성들과 비교하여 고해상도 영상을 제공하기 때문이다. 이용 가능한 전지구 강수 자료 데이터의 대부분은 0.05 degree 이하의 해상도를 갖는다. 지금까지의 CHIRPS 자료를 기반으로 한 연구는 문헌이 제한적이며, 주로 아프리카에 초점을 두고 있다.

GPCC (Global Precipitation Climatology Center) v6 위성은 1982년부터 현재까지 모든 경도에 걸쳐 강수 데이터를 관측한다. 약 1.0 degree의 지구 기후 모니터링 및 연구를 위한 지구 강수 분석이 가능하며, 7000~9000개의 스테이션 품질 관리 월간 데이터를 기반으로 제공한다.

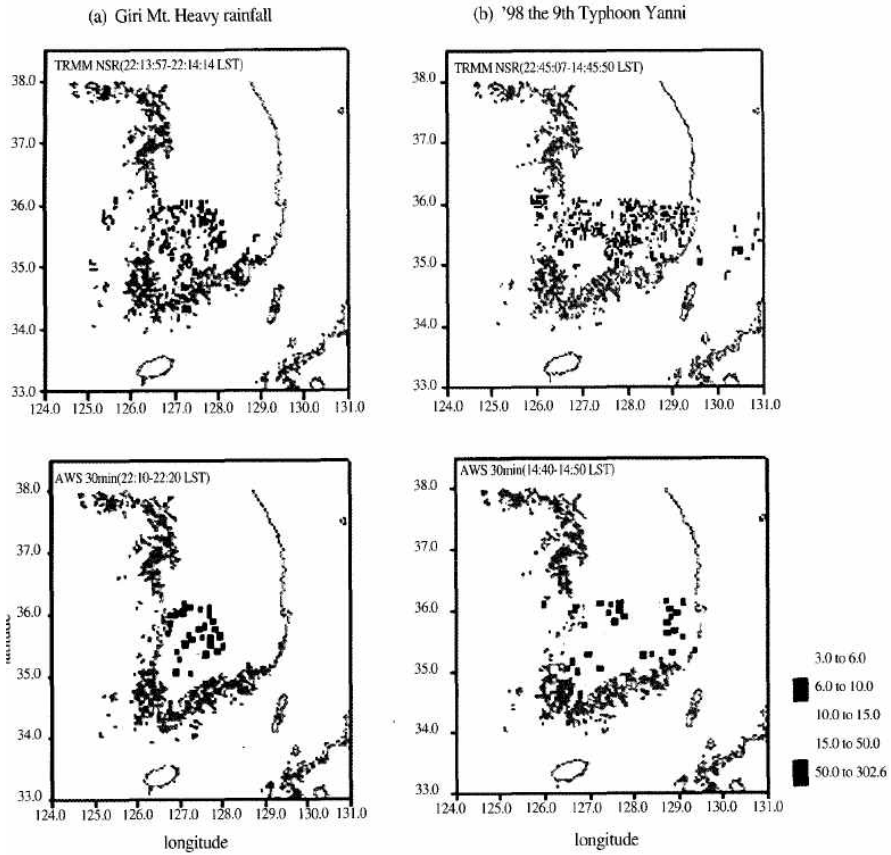
PERSIANN-CDR (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial neural Networks-Climate Data Record) 위성은 1983년부터 현재까지 60°S-60°N에 걸쳐 데이터를 제공한다. 0.25 degree의 해상도로 전 세계 강수량 추정치를 분석하며, 전세계 및 지역 강수의 장기 추세와 변동 분석에 이용된다.

서은경 (2011)은 관측자료가 희박한 해상 강수계의 강수 특성을 장기간 파악하기 위하여 TRMM 위성의 강수레이더인 PR의 5년간 (2002-2006년) 6월부터 8월 동안의 산출물을 분석하여 한반도 주변 지역과 동아시아의 아열대 및 열대 지역의 강우와 강우구름의 연직 구조 특성을 강우유형별로 분류하여 조사하였다.



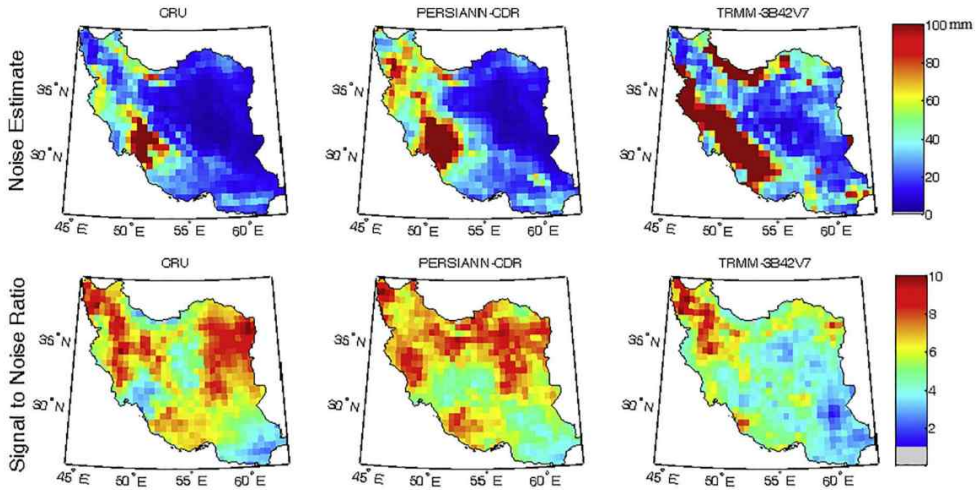
<그림 5-1> 대류 및 성층 강우 유형에 대한 레이더 반사율 및 폭풍 높이의 상대적 발생 빈도

박혜숙 등(20<그림 5은 열대 강우 관측 위성(TRMM :Tropical Rainfall Measuring Mission)에서 관측된 자료가 한반도에서 발생한 호우 특성을 얼마나 잘 나타내 주는지를 알아보기 위하여 1998년과 1999년 여름철 호우 사례에 대하여 분석하였다. TRMM/PR 관측 강우 강도와 지상에서 관측된 자동기상관측 장비(AWS : Automatic Weather System)에서 관측된 값을 비교하였다.



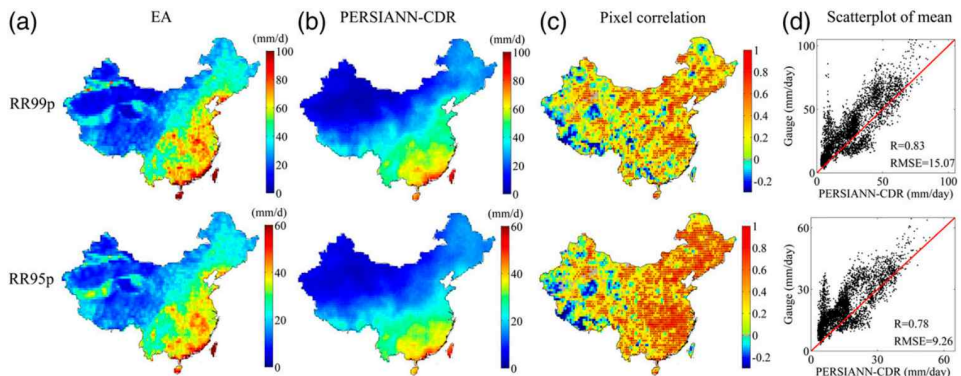
<그림 5-2> TRMM/PR 및 ASW 강우량의 GMS-5에 의해 향상된 IR 이미지

Pari-Sima Katiraie-Boroujerdy et al., (2017)은 GTCH 방법을 사용하여 위성 기반 강수데이터 세트인 PERSIANN-CDR 및 TRMM 3B42V7와 게이지 기반 강수 데이터 세트(CRU)를 월별 비교하였다. 적어도 3개의 데이터 시리즈가 필요하며, 연구기간은 게이지 데이터를 이용할 수 있는 기간인 1998-2007년으로 하였다. GTCH 방법에 기초하여 각 픽셀의 각 데이터 세트에 대한 월 강수량의 평균 차이, 루트 평균 제곱 차이 및 SNR을 계산하였다.



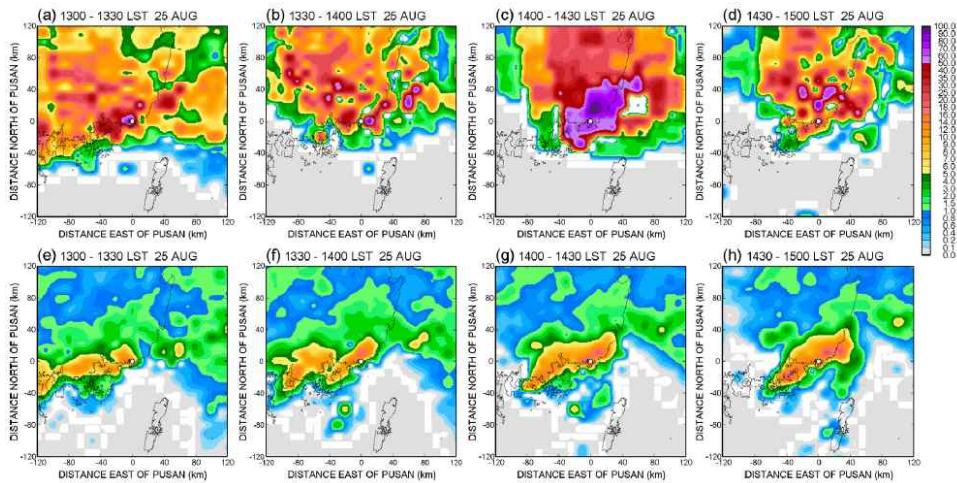
<그림 5-3> CRU, PERSIANN-CDR 및 TRMM-3B42V7의 GTCH 방법을 이용한 월간 강수량 소음 추정치 및 SNR 값

CHIYUAN MIAO et al., (2015)은 1983-2006년 기간 동안 중국에서 발생한 일별 극한 강수 사건을 포착하기 위해 인공 신경망-기후데이터 기록인 PERSIANN-CDR을 사용하여 원격으로 감지된 정보로부터 강수량 추정이라 불리는 새로 개발된 일별 강수 기후 데이터 기록의 성능을 평가하였다. 지상 기반 격자 EA의 일 강수 데이터 세트를 기준 관측 세트로 사용하였다.



<그림 5-4> EA 및 PERSIANN-CDR데이터의 일일 극한 강수의 99th 및 95th 백분위 지수(a), (b)와 EA데이터 세트의 공간 상관 관계 분포(c) 및 PERSIANN-CDR데이터 지수의 산점도(d)

장상민 등(2017)은 GPM IMERG 강우 자료를 지상관측 및 레이더로 추정된 강우자료와 비교 검토하여 정확도를 분석하고 이를 바탕으로 한반도를 대상으로 강우량만을 입력자료로 활용하는 가뭄지수 SPI(Standardized Precipitation Index)를 산출하여 GPM IMERG 자료의 활용성 및 적용성을 검토하였다.



<그림 5-5> GPM IMERG(a-d)와 레이더 강우량 분포(e-h) 비교

2. 기상 및 위성영상 융합

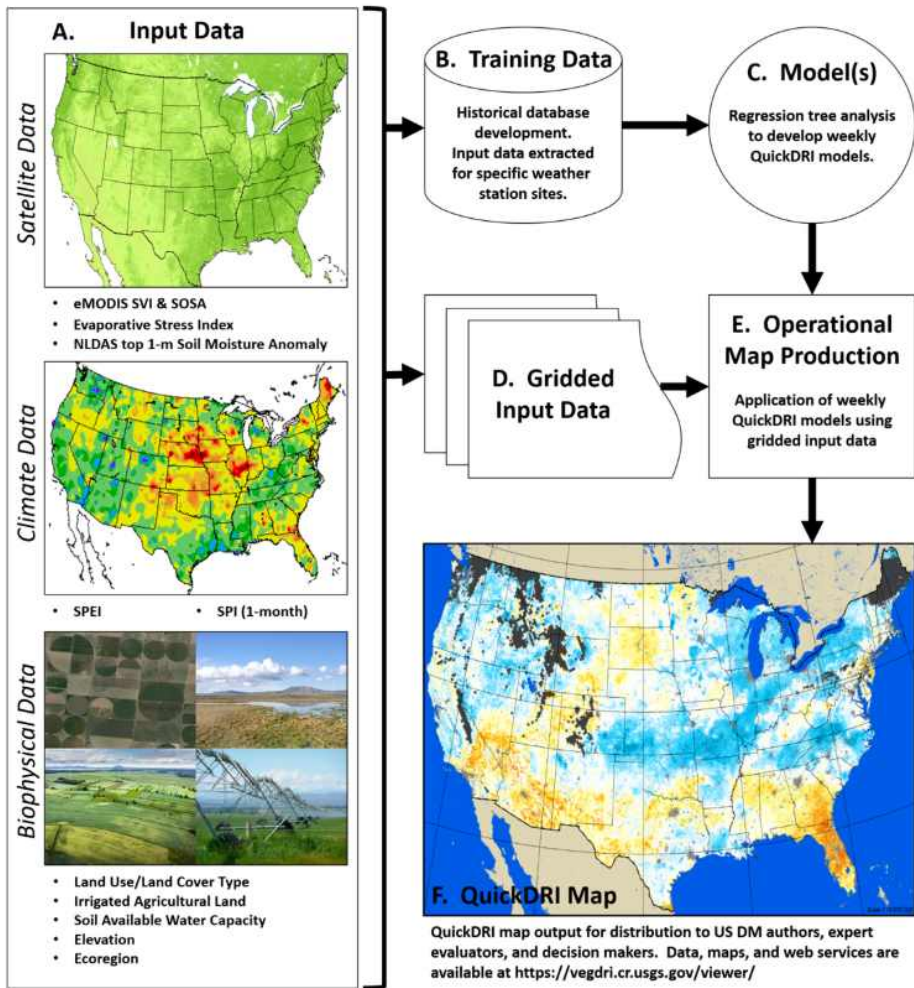
최근에는 기상학적 요소와 위성영상 요소 및 지역적 특성을 고려한 생물물리학적 요소를 고려한 지표가 개발되었다. 지상관측자료만을 활용하여 가뭄을 판단할 경우, 미계측 지역에 대한 공간보간 및 재산정을 통한 지수는 한계점을 가지고 있기 때문에 위성영상의 필요성이 대두되었지만, 위성영상 또한 단일 자료를 활용한 가뭄 분석에 대하여 한계가 있기 때문에 이를 극복하기 위하여 복합적인 가뭄지표들이 연구되고 있다.

VegDRI (Vegetation Drought Response Index)는 NDMC와 USGS에서 개발한 식생가뭄모니터링 지표로써 기상학적 가뭄지표 SPI, PDSI와 NDVI, SSG (Standardized Seasonal Greenness)와 같은 식생기반 위성영상 요소 및 토지피복도, 수치표고모델, 토양수분이용가능량, 생태구역도 등 생물물리학적 정보를 활용한 가뭄지표이다. 종속변수로서 가뭄 심도에 대한 다양한 기준을 갖고 있는 SC-PDSI (Self Calibration-Palmer

Drought Severity Index)를 사용하여 동일한 가뭄 심도 분류 기준을 가진다. 가뭄지수 산정에 필요한 데이터가 많기 때문에 데이터 마이닝 기술을 이용하여 VegDRI 값을 산정한다.

강수량, 식생, 토양수분, 증발산량 등과 생물물리학적 요소를 포함한 다양한 요소를 복합하여 개발한 QuickDRI (Quick Drought Response Index)는 토양수분과 증발산량 인자를 합성하여 단기간 가뭄 판단 및 분석에 적합한 가뭄지수이다. 1 km의 해상도와 4주 합성한 공간지도를 주단위로 제공하며 가뭄 모니터링이 가능하다. QuickDRI는 단기간 급격하게 발생하고 변화하는 Flash drought를 감지하도록 설계되었으며, 이는 농업부문에 경제적으로 치명적인 영향을 미칠 수 있기 때문에 빠르게 디텍팅하는 것이 중요하다. 일반적으로 사용되는 가뭄 모니터링에 수문학적 및 식생 관련 지표가 결합되어 있으며, QuickDRI의 목표는 가뭄이 발생하는 것을 디텍팅하는 것 뿐만 아니라 가뭄의 심화 및 지속되는 영역을 식별하고 이에 대한 조기경보의 역할을 하는 것이다.

기상 및 위성영상의 융합을 통하여 다른 지표와 비교하여 민감하게 반응할 수 있으며, 가뭄의 실시간 감시를 위하여 원격탐사의 활용 및 다양한 정보를 통합하여 복합적으로 반영하는 격자 기반의 고해상도 가뭄 정보를 제공함으로써 행정구역별 가뭄 방재 재해 대책을 세울 수 있을 것으로 사료된다. 향후 위성영상 자료의 장기적인 자료를 축적하여 활용한다면 가뭄 분석의 신뢰성 있는 결과를 도출할 것으로 판단된다.



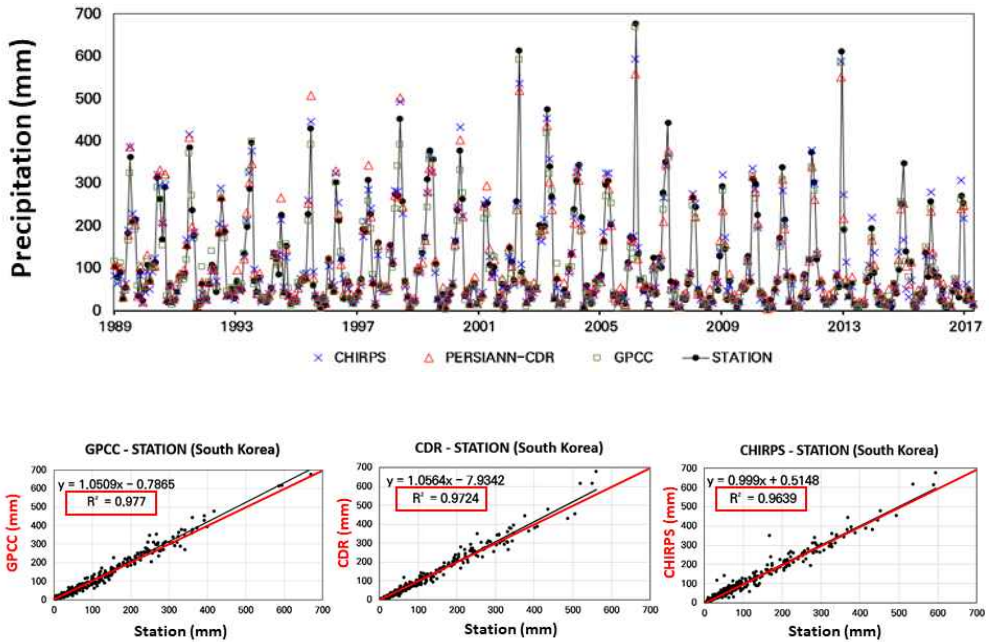
<그림 5-6> QuickDRI 방법론

3. 융합 결과

강우 위성영상 중 CHIRPS, GPCC v6, PERSIANN-CDR을 활용하여 기상관측소의 강수량 자료와 비교하였으며, 각 강우 위성영상의 강수량 자료를 활용한 SPI 산정을 통해 국내 가뭄을 분석함으로써 미세측지 지역에 대한 가뭄을 분석하였다.

국내 강수량 자료와 각 위성영상 별 강수량 자료를 비교한 결과, 대부분 유사한 경향을 보였으며, 정밀도 분석을 통하여 GPCC v6는 R square 값이 0.977, PERSIANN-CDR 0.9724, CHIRPS 0.9639로 모두 0.9 이상의 결정계수 값을 나타냈다. 위성영상 기반 강수량자료와 기상관측소의 강수량

료의 잔차의 크기가 매우 작고, 예측되는 값의 정밀도가 매우 높다는 것을 알 수 있다.



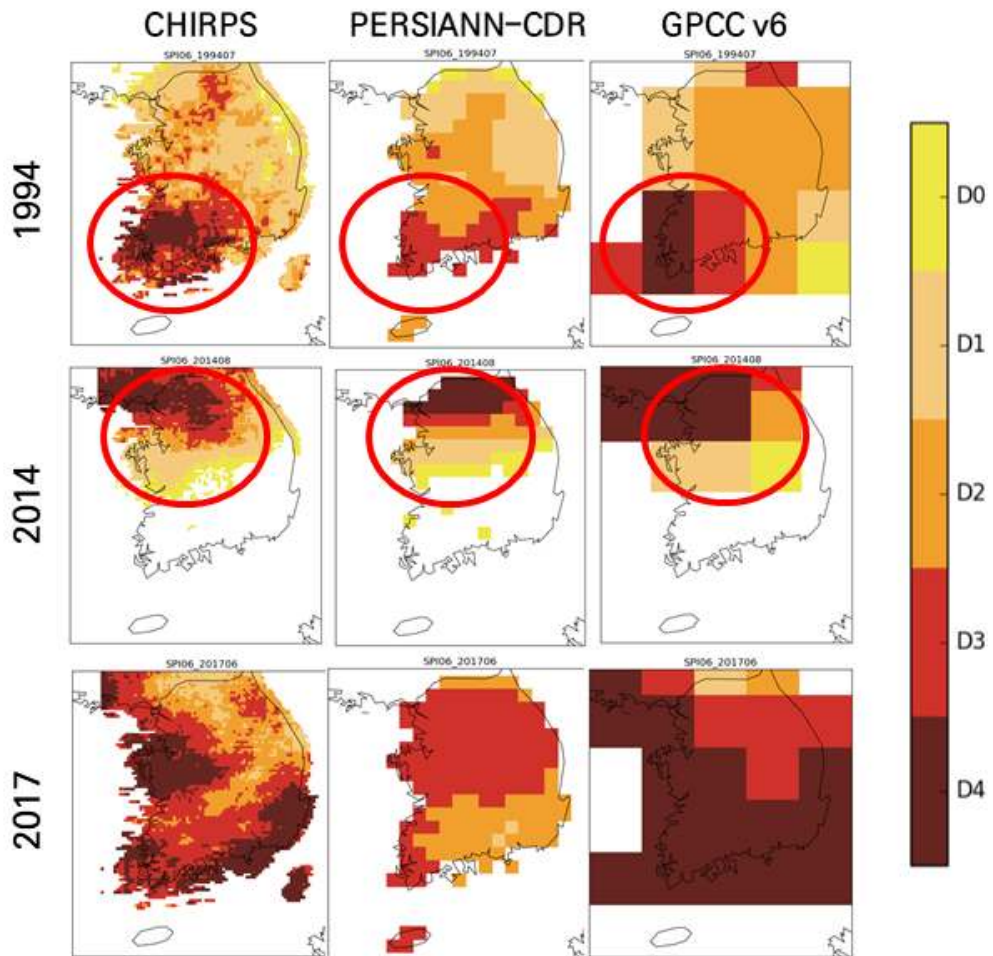
<그림 5-7> 강우 위성영상과 기상관측소 강수량 비교

강우 위성영상을 통하여 6개월 시간 단위의 SPI6를 산정하였으며, 산정한 SPI6의 검증을 위하여 국내에서 발생했던 가뭄 시기 및 피해 지역을 조사하였다. 실제 가뭄 시기 SPI 공간지도를 나타냈으며, 과거 가뭄 사례와 비교하여 1994, 2014, 2017년 강우 위성영상 기반의 SPI6를 나타낸 결과, 실제 가뭄 지역을 D4 단계로 나타냈으며, PERSIANN-CDR의 경우 D3의 비교적 낮은 가뭄 단계를 보였다.

RMSE-MAE 분석 결과 PERSIANN-CDR의 경우 낮은 정확성 (RMSE 0.6, MAE 0.5)을 보였으며, CHIRPS와 GPCC v6는 다소 높은 정확성 (RMSE 0.5, MAE 0.4)을 보였다. 하지만 CHIRPS와 GPCC v6는 격자 크기에서 약 20배로 큰 차이가 있으며, CHIRPS 위성이 가장 고해상도 위성 영상이므로써 강우 위성영상을 통한 SPI 가뭄지수를 산정하여 가뭄 판단 및 분석에 대하여 활용성이 높다고 사료된다.

(표 5-1) 국내 과거 가뭄 사례

가뭄 발생 시기	피해 지역	기타
1994년 7월	호남(남부) 지역	평년 27% 강수량
2001년 5월	경기, 충청 지역	평년 대비 45%
2014년 8월	경기, 충청 일부 지역	평년 대비 50%
2017년 6월	전국	전국 평년 69%



<그림 5-8> 강우 위성영상으로 산정한 SPI6의 공간지도

(표 5-2) 강우 위성영상별 RMSE-MAE 분석

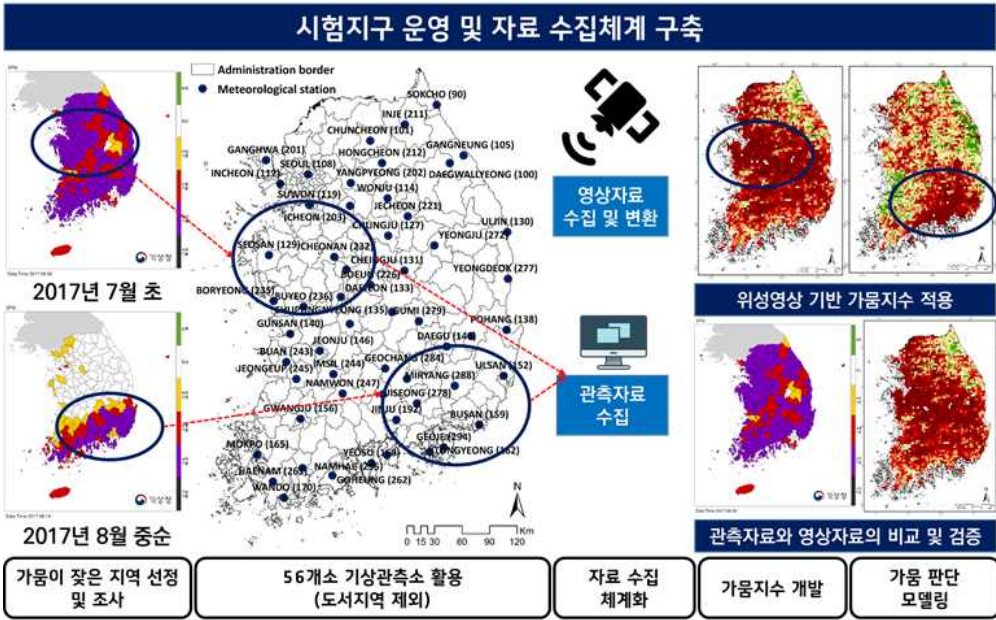
	1994년 7월		
	CHIRPS	PERSIANN-CDR	GPCC v6
RMSE	0.567	0.639	0.475
MAE	0.457	0.498	0.360
2001년 5월			
RMSE	0.530	0.566	0.563
MAE	0.431	0.472	0.468
2014년 8월			
RMSE	0.472	0.634	0.466
MAE	0.372	0.542	0.354
2017년 6월			
RMSE	0.511	0.675	0.498
MAE	0.427	0.549	0.375

제2절 Test-bed 시험지구 운영

Test-bed 시험지구 선정을 위하여 후보지 분석이 필요하다. 농업 가뭄 모니터링을 위한 시험지구이므로 기상관측소 활용이 가능한 지역, 농촌진흥청의 토양수분 취득 지점, 국내 가뭄 경향을 나타내며 가뭄 발생 시기, 피해 지역 등을 상세히 파악할 수 있는 곳이 시험지구의 조건이다. 논, 밭 면적분포와 토양수분 관측지점을 고려하였으며, 토양수분 취득 지점 중 농업가뭄 발생 이력이 있는 지역을 활용한다. 시험지구 선정 지역

(표 5-3) 토양수분 취득 가능 지점

지역	위치	지역	위치	지역	위치
경기도	고양시 구산동	전라남도	무안군 현경면	충청남도	논산시 광석면
	김포시 월곶면		신안군 압해읍		계룡시 두마면
	안산시 단원구		해남군 삼산면		부여군 규암면
	안산시 상록구		해남군 옥천면		예산군 신암면
	수원시 서둔동		진도군 군내면		태안군 태안읍
	화성시 봉담읍		보성군 웅치면		경산시 자인면
	남양주 진건읍		고흥군 풍양면		칠곡군 약목면
	양평군 양평읍		여수시 주삼동		구미시 선산읍
	양주시 광적면		화천군 화천읍		상주시 초산동
인천광역시	옹진군 영흥면	속초시 대포동	경상북도	문경시 흥덕동	
전라북도	완주군 고산면	원주시 흥업면		봉화군 석포면	
	진안군 진안읍	황성군 공근면		예천군 예천읍	
	김제시 부량면	영월군 영월읍		안동시 송천동	
	정읍시 정우면	평창군 여만리		영양군 영양읍	
	무주군 무주읍	평창군 운교리		영덕군 병곡면	
	남원시 이백면	평창군 진부면		영천시 오미동	
	순창군 구림면	동해시 북평동		포항시 북구	
	장수군 장수읍	삼척시 근덕면		밀양시 상남면	
전라남도	영광군 군서면	인제군 인제읍	경상남도	통영시 광도면	
	장성군 장성읍	양구군 만대리		사천시 용형면	
	화순군 한천면	청주시 남일면		거창구거창읍	
	함평군 학교면	영동군 심천면		합천군 용주면	
	영암군 덕진면	옥천군 옥천읍			
	장흥군 장흥읍	제천시 봉양읍			



제3절 위성영상 활용 농업가뭄 모니터링 모델

1. 위성영상 활용 가뭄 분석 방안

본 연구에서는 농업가뭄 요소 중 증발산량을 활용하여 농업가뭄에 대한 판단 및 분석을 진행하였으며, 증발산량으로 산정하는 위성영상 기반 농업가뭄지수 Evaporative Stress Index (ESI)를 적용하여 국내 농업가뭄 모니터링에 대한 적용성을 평가하였다.

가. Evaporative Stress Index (ESI)

ESI는 기상인자 (대기 온도, 대기압, 태양복사량, 상대습도 등)에 의해 발생하는 실제증발산 (Evapotranspiration, ET)과 잠재증발산 (Reference evapotranspiration, ET_0)의 비를 이용하여 표준화된 아노말리 (Standardized anomalies)를 지수화한 지표이며 (Anderson et al., 2015), 가뭄 모니터링 및 토양수분 기반 가뭄지수 산정에 있어 적합하다 (Anderson et al., 2013). ESI를 산정하는 방법은 다음과 같다.

$$ESI = \frac{ET}{ET_0}$$

잠재증발산량의 경우, Allen et al. (1998)에 의해 기술된 바와 같이 FAO-56 Penman-Monteith (FAO PM)를 사용한다. PM 공식은 다음과 같다.

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

ET₀는 잠재증발산량 (mm day⁻¹)이고, R_n은 순복사량 (net radiation, MJ m⁻² day⁻¹), G는 토양 열 유속 밀도 (soil heat flux density, MJ m⁻² day⁻¹), T_{mean}은 2 m 높이에서의 일평균기온 (°C), u₂는 2m 높이에서의 풍속 (m s⁻¹), e_s-e_a는 포화증기압에서 실제증기압 (kPa)을 감한 포화 결손량, Δ은 증기압 곡선의 기울기 (kPa °C⁻¹), 그리고 γ은 건습계상수 (psychrometric coefficient, kPa °C⁻¹)이다.

잠재 증발산량을 사용하는 경우 계절에 따른 지표면 순복사량의 영향을 최소화 할 수 있으며, 증발 요구량 및 태양 복사에너지에서 검출되는 변화와 관련된 증발산량을 고려하기 때문에 식물의 수분 스트레스 판단에 있어서 실제 증발산량만을 고려했을 때 보다 높은 신뢰도를 보여준다 (Otkin et al., 2018). 실제 증발산량의 추정에는 위성영상 기반 Thermal Infrared (TIR) 원격 탐지 모델인 Atmosphere Land Exchange Inverse (ALEXI)를 활용한다 (Anderson et al., 1997; Mecikalski et al., 1999). ALEXI는 Norman et al. (1995)에 의해 제안 된 two-source energy balance model과 지표면 초목지역의 잠열 및 지열 플럭스, 민감성 등을 계산하기 위해 사용되는 위성영상 이미지, Land Surface Temperature (LST)를 활용한다. 합성된 ESI는 미국항공우주국 (National Aeronautics and Space Administration, NASA)과 미국국제개발처 (United States Agency for International Development, USAID)가 합작해 개발한 SERVIR를 통해 4주 및 12주 단위의 0.05 degree 해상도로 제공되고 있다.

나. ESI를 활용한 국내 가뭄 판단 적용성 확인

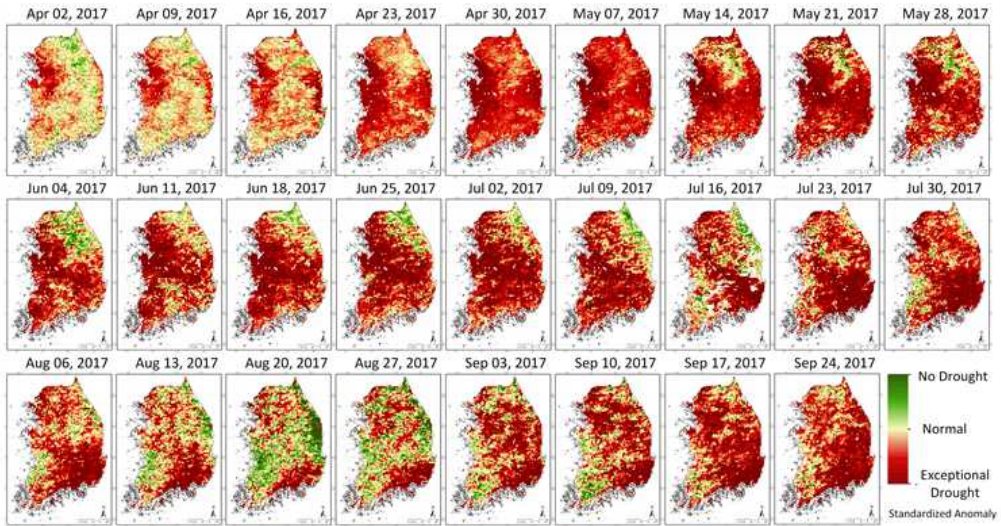
2017년 기상청 보도 자료에 의하면, 5월과 6월의 전국 평균 강수량이 29.5mm와 60.7mm로 평년 대비 각각 29%, 38%였으며 가뭄은 경기,

충청도, 전남 지역을 중심으로 시작하여 전국으로 진행되었다. 6월 24일부터 7월 29일까지 장마가 있었지만, 강수량은 평년의 81%로 적었고, 잦은 국지성 집중호우로 지역 간 강수량 편차가 컸다. 특히 남부와 중부지방의 강수량 차이는 254.9mm로 평년 17.8mm에 비해 매우 컸으며, 장마에도 불구하고 남부지방의 8월 말 강수량은 평년 대비 40%에서 60%로 가뭄이 지속되었다. 본 연구에서는 2017년 가뭄 판단 시기로 5월 초 가뭄 시작 시기, 7월 해갈 시기, 9월 초 남부지방의 가뭄 지속 시기로 (표 5-11)과 같이 구분하여 지수별 가뭄 현황 판단에 활용하였다.

(표 5-4) 2017년 국내 가뭄 주요시기

Drought period	Date	Drought areas
Drought start	From late April to early May	Start in Gyeonggi, Chungcheong and Jeolla provinces and expand nation wide
Drought relief	From June 24 to July 29	A lot of precipitation in the central area and shortage of precipitation in the southern area
After relief	Since the end of August	Extreme severe drought in the southern area

<그림 5-11>는 2017년 ESI의 공간지도로써 가뭄 상황의 공간 분포 변화 양상을 나타낸 것이다. 가뭄 시작 시기 판단에 있어서 ESI는 4월 16일에서 4월 23일 사이에 뚜렷한 가뭄 경향이 나타났다. 우리나라 전반에 걸쳐 가뭄 경향이 나타났기 때문에 공간지도를 통한 특정 지역의 가뭄 시작, 심도 등을 확인하기는 어려웠다. 6월 말 장마 이후 7월 16일 전남지역과 중부지역에 가뭄이 감소하는 경향이 나타나고 있으며, 8월까지 전국적으로 가뭄이 해소되는 경향이 나타났다. 하지만, 남부지역에서는 여전히 가뭄이 지속되고 있는 경향을 보였으며, 9월 초를 기점으로 다시 극심한 가뭄 심도를 보였다. ESI의 공간 분포 경향을 확인한 결과 2017년 실제 극심한 가뭄의 주요시기 및 발생지역과 유사한 것으로 판단된다.

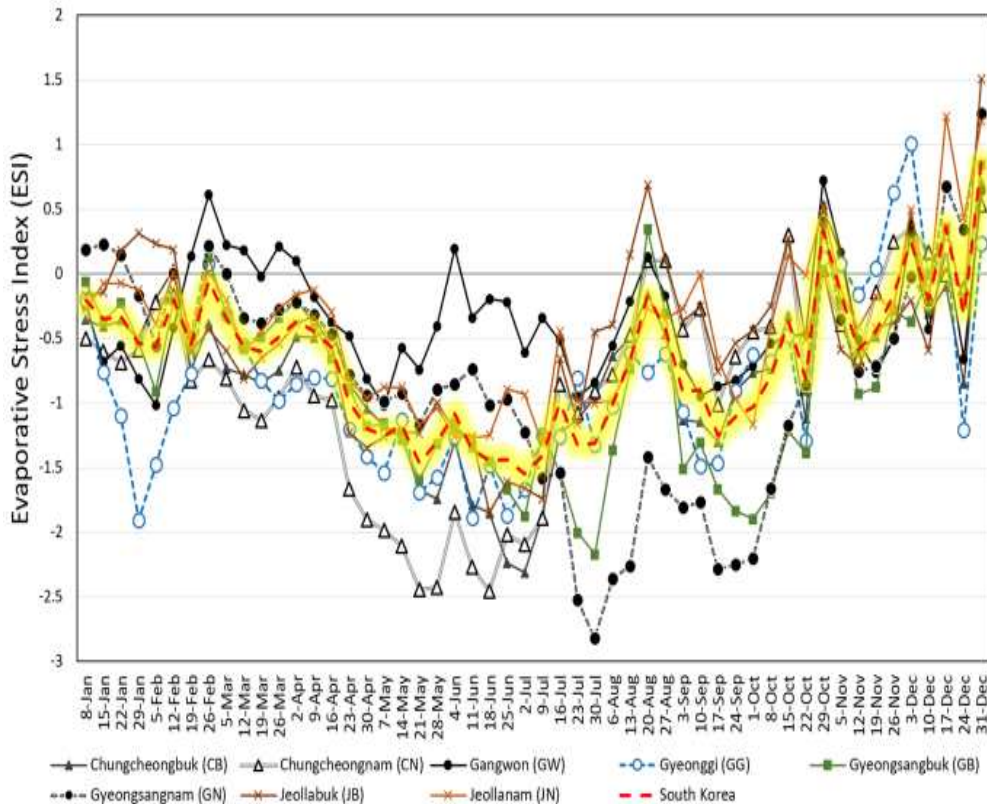


<그림 5-11> 2017년 ESI의 국내 공간분포 지도

ESI를 통한 시도 단위의 가뭄 특성 파악을 위해 전국 격자 데이터를 시도 단위에 맞게 추출한 후 평균값을 사용하여 분석하였다. ESI의 전국적인 경향은 4월 16일을 기점으로 급격히 감소하는 경향을 보이지만 지역에 따라 양상이 크게 상이하다는 것을 알 수 있다 ((표 5-5)와 <그림 5-12>). 2017년 보도 자료를 통해 가뭄 시작 지역으로 나타난 경기남부, 전라도, 충청도 지역에서는 4월 16일 이후 전국 평균에 비해 낮은 ESI 값을 보였으며, 강원도, 경상도 지역에서는 전국 평균을 상회하는 값을 보였다. 7월 30일을 기점으로 전국 ESI 값이 증가하는 경향을 보이며 가뭄이 해갈되지만, 경상도의 경우 장마로 인한 회복 없이 2017년 7월 ESI 값이 전체 최저값을 보이며 극심한 가뭄 경향을 보였다. 또한 경상남도의 경우 8월 전국적인 가뭄 해갈 시기에도 여전히 극심한 가뭄 경향을 보이며, 9월 다른 지역들에 비해 낮은 ESI 값을 보였다.

(표 5-5) ESI의 격자 추출을 통한 지역별 지수 값

Month	South Korea	Chungcheongbuk (CB)	Chungcheongnam (CN)	Gangwon (GW)	Gyeonggi (GG)	Gyeongbuk (GB)	Gyeongnam (GN)	Jeollabuk (JB)	Jeollanam (JN)
1	-0.36	-0.41 (-0.05)	-0.59 (-0.23)	-0.57 (-0.21)	-0.99 (-0.63)	-0.29 (+0.07)	0.10 (+0.46)	0.05 (+0.41)	-0.14 (+0.22)
2	-0.34	-0.32 (+0.02)	-0.47 (-0.13)	-0.17 (+0.17)	-0.80 (-0.46)	-0.39 (-0.05)	-0.20 (+0.14)	-0.15 (+0.19)	-0.22 (+0.12)
3	-0.50	-0.78 (-0.28)	-0.99 (-0.49)	0.15 (+0.65)	-0.67 (-0.17)	-0.43 (+0.07)	-0.25 (+0.25)	-0.65 (-0.15)	-0.38 (+0.12)
4	-0.71	-0.66 (+0.05)	-1.24 (-0.53)	-0.35 (+0.36)	-1.02 (-0.31)	-0.66 (+0.05)	-0.55 (+0.16)	-0.77 (-0.06)	-0.47 (+0.24)
5	-1.30	-1.46 (-0.16)	-2.24 (-0.94)	-0.69 (+0.61)	-1.48 (-0.18)	-1.34 (-0.04)	-0.99 (+0.31)	-1.18 (+0.12)	-0.99 (+0.31)
6	-1.33	-1.79 (-0.46)	-2.15 (-0.82)	-0.14 (+1.19)	-1.62 (-0.29)	-1.40 (-0.07)	-0.89 (+0.44)	-1.48 (-0.15)	-1.17 (+0.16)
7	-1.32	-1.50 (-0.18)	-1.37 (-0.05)	-0.65 (+0.67)	-1.26 (+0.06)	-1.77 (-0.45)	-1.94 (-0.62)	-1.13 (+0.19)	-0.94 (+0.38)
8	-0.57	-0.44 (+0.13)	-0.26 (+0.31)	-0.20 (+0.37)	-0.76 (-0.19)	-0.51 (+0.06)	-1.93 (-1.36)	0.14 (+0.71)	-0.57 (+0.00)
9	-1.04	-1.12 (-0.08)	-0.59 (+0.45)	-0.84 (+0.20)	-1.23 (-0.19)	-1.58 (-0.54)	-2.03 (-0.99)	-0.48 (+0.56)	-0.48 (+0.56)
10	-0.53	-0.48 (+0.05)	-0.28 (+0.25)	-0.30 (+0.23)	-0.59 (-0.06)	-1.17 (-0.64)	-1.10 (-0.57)	-0.18 (+0.35)	-0.19 (+0.34)
11	-0.34	-0.29 (+0.05)	-0.24 (+0.10)	-0.40 (-0.06)	0.15 (+0.49)	-0.58 (-0.24)	-0.58 (-0.24)	-0.53 (-0.19)	-0.25 (+0.09)
12	0.19	-0.03 (-0.22)	0.19 (+0.00)	0.01 (-0.18)	0.04 (-0.15)	0.12 (-0.07)	0.41 (+0.22)	0.17 (-0.02)	0.63 (+0.44)

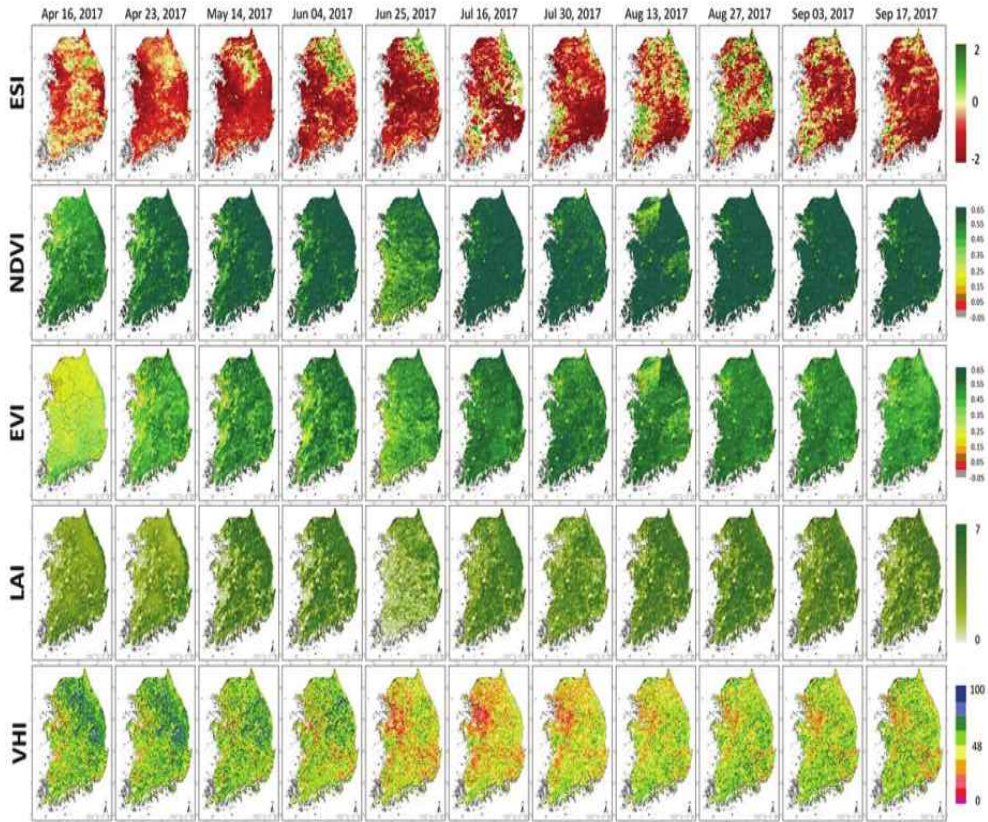


<그림 5-12> ESI의 격자 추출을 통한 지역별 가뭄 특성 확인

다. 위성영상 기반 식생지수와와의 비교를 통한 ESI의 차별성 확인

위성영상 기반 식생가뭄지수인 NDVI, EVI, LAI, VHI와 ESI의 공간 변동성 비교를 통해 가뭄 지수로써 ESI의 차별성을 확인했다. 위성 취득 주기가 영상에 따라 각각 다르기 때문에 동일한 시점의 비교를 위해 16일 단위의 NDVI와 EVI의 주기를 고려하여 월 1장 또는 2장의 공간지도를 비교하였다. 비교 결과는 <그림 5-6>과 같으며, NDVI, EVI 및 LAI의 경우 4월 23일을 기점으로 지수 값이 높아지는 경향을 보였다. 이는 식생기반 지수의 특징인 식물 성장 시기에 따른 포화도의 영향을 받은 것으로 판단되며, 2017년 전 기간에 있어서 특정한 가뭄 경향을 보이지 않았다. 반면 식생과 함께 지표면 온도를 기반으로 한 지수인 VHI의 경우 6월 4일을 시작으로 극심한 가뭄 사상이 나타났다. 가뭄 시작, 해갈, 지속

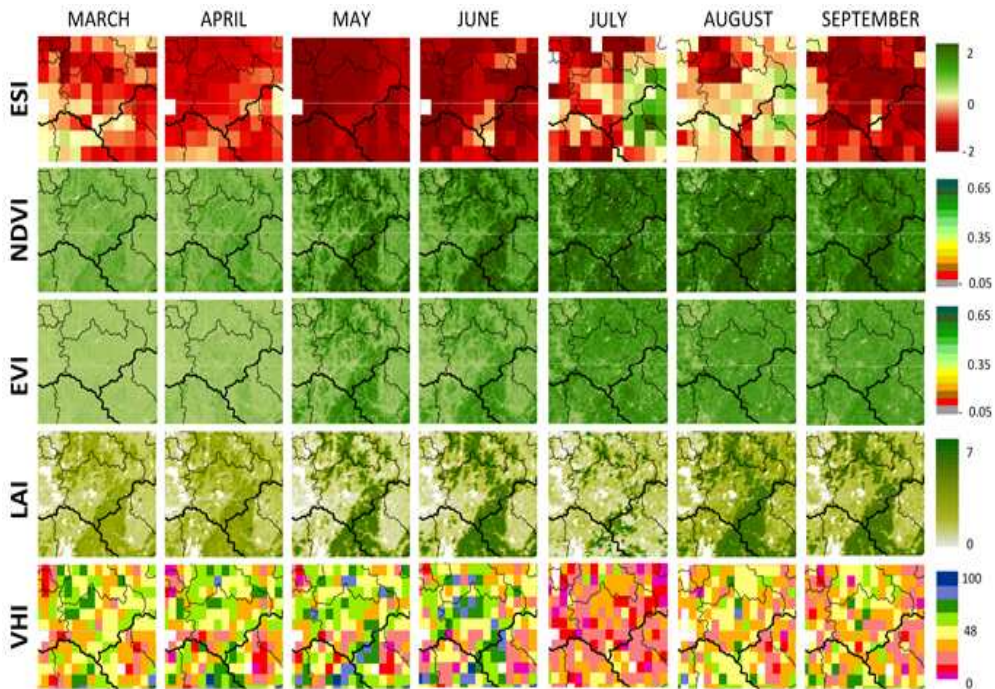
시기에 대한 경향이 명확하게 나타나지는 않았지만 6월을 시작으로 8월 27일, 9월 3일, 9월 17일 공간지도에서도 중부지방과 남부지방을 중심으로 가뭄 경향이 나타났다. 즉, 식생을 기반으로 한 지수들보다 증발산을 고려한 ESI는 단기적인 가뭄 판단에 민감하고 즉각적인 가뭄 현상을 판단할 수 있다.



<그림 5-13> ESI 및 위성 기반 가뭄지수의 2017년 공간분포 지도

라. ESI를 활용한 국소지역 가뭄 경향 파악

시군구 단위의 비교적 소규모 지역의 가뭄 경향을 확인하고자, 2017년 극심한 가뭄을 겪었던 경기 남부 지역인 안성시를 대상으로, 월별 가뭄 경향을 비교하였다. ESI는 4월 안성시 전 지역에 가뭄 경향이 나타났으며 5월, 6월 가뭄 상황이 심화되고, 7월과 8월에 해갈되는 경향이 나타났다. NDVI, EVI, LAI에서는 가뭄 경향을 확인 할 수 없었으며, VHI의 경우 7월 극심한 가뭄 경향을 보였다. 가뭄 경향을 확인할 수 있었던 ESI와 VHI의 경우 격자 해상도가 각각 약 5km와 4km로, 안성시의 경우 각각 약 25개와 40개의 격자를 포함하고 있다. 정밀한 해상도 영상의 문제로 인해 시군구 단위의 가뭄 경향 확인은 가능했지만, 실제 가뭄 피해가 발생하는 들녘단위 및 작물재배 지역에 대한 가뭄 판단에는 한계점이 있는 것으로 판단된다.

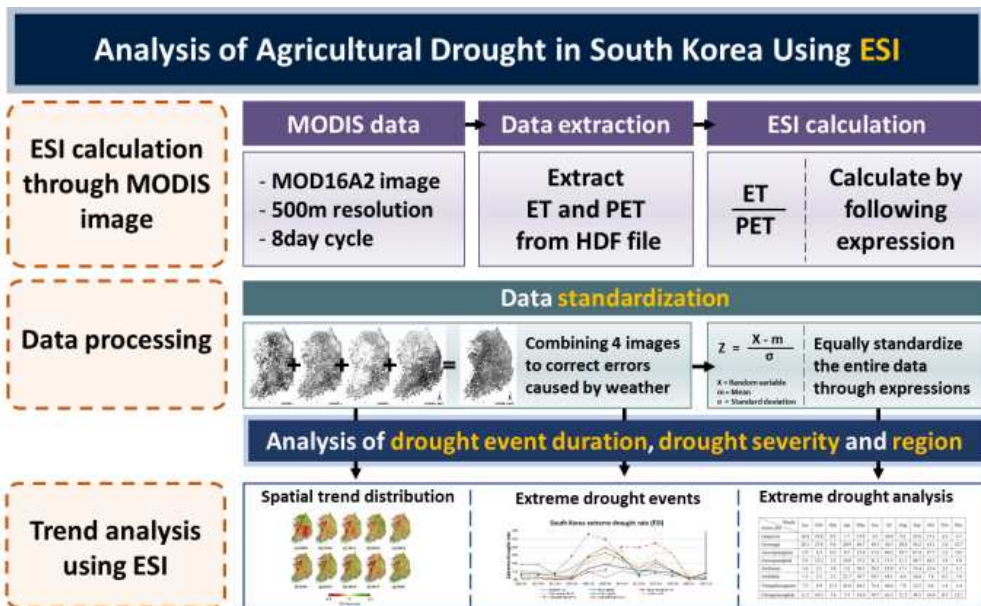


<그림 5-14> 안성지역에 대한 각 지수별 공간분포 지도

2. 영상기반 농업가뭄 모니터링 모듈 개발

SERVIR를 통해 제공하는 ESI는 국내 가뭄 판단에 적용성이 높지만, 실제 농업가뭄의 피해가 발생하는 들녘단위 및 작물재배 지역에 대한 가뭄 판단 및 분석에는 한계점이 있다. 0.05 degree 해상도는 국내 농업가뭄 모니터링에 적용하기에는 큰 격자를 가지고 있어 고해상도 위성영상을 통한 ESI 산정이 필요하다.

본 연구에서는 농업가뭄 모니터링을 위하여 시·공간적으로 높은 해상도를 갖는 MODIS 영상을 활용하여 ESI를 산정할 때 필요한 증발산량 데이터를 취득하였다. 또한, 농업가뭄요소로 분류한 ET, PET의 전처리를 통하여 새롭게 제시하는 농업가뭄 파라미터 (ESI)를 산정하였다. <그림 5-15>는 농업가뭄 파라미터 산정 및 지수화에 대한 연구흐름도이다.



<그림 5-15> 농업가뭄 파라미터 산정 및 지수화 연구흐름도

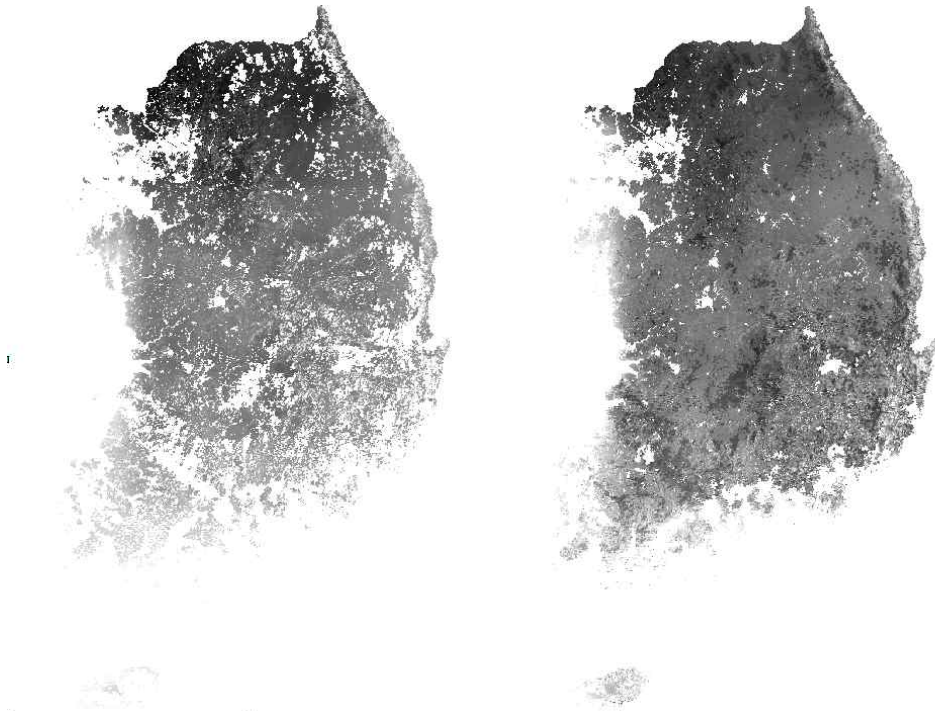
가. 농업가뭄 파라미터 (ESI)의 영상 합성

MODIS 영상의 MOD16A2는 8일 주기의 데이터로, 이를 활용하여 산정된 농업가뭄 파라미터 (ESI)도 8일 주기로 모니터링이 가능하다. 하지만 기상 상태와 다른 변수들로 인하여 촬영되지 않은 지역들이 존재할 수 있으므로 이를 보완하기 위하여 영상 합성을 진행한다. 기존

SERVIR에서 제공하는 ESI는 4주 합성과 12주 합성을 통하여 데이터를 제공하였으므로 MODIS 영상을 통하여 산정한 농업가뭄 파라미터 (ESI) 도 4주 합성을 진행하였다.

4주 합성의 정의는 기준일 포함 4개의 영상을 이동평균한 것으로, MOD16A2 데이터의 주기 (8일)를 약 7일 주기로 간주하여 4개의 영상을 활용하였다. 기준일 포함 4개 영상의 이동평균은 다음 예와 같다.

- 2019113 (2019년 4월 23일)의 영상 4주 합성
 - 기준일 포함 4개 영상이므로 기준일의 이전 영상 3개를 이동평균함
 - 예시의 영상 이전 영상은 2019089, 2019097, 2019105 이므로 기준일 영상을 포함하여 총 4개의 영상을 이동평균하여 2019113_4W를 생성



<그림 5-16> 2019년 4월 23일 영상 4주 합성 전(좌), 후(우)

나. 농업가뭄 파라미터 (ESI) 지수화

ESI의 Value는 일반적으로 0 이상의 값을 가지며 대부분 최대값

이 1 이하를 갖는다. 0~1 사이의 값으로 가뭄을 표현하는 것에 대하여 판단하기 어려우며, 농업가뭄요소의 단순 계산 값만으로는 정확한 가뭄 판단이 어렵다. 이를 보완하기 위하여 ESI 값을 아노말리 값으로 지수화하기 위한 표준화가 필요하다.

표준화를 통한 농업가뭄 파라미터 (ESI)의 지수화는 다음과 같다.

○ 표준화 (Z-score)

- Z-score 식을 이용하여 표준화 진행

$$Z = \frac{X - m}{\sigma}$$

X = 각 픽셀 값

m = 평균

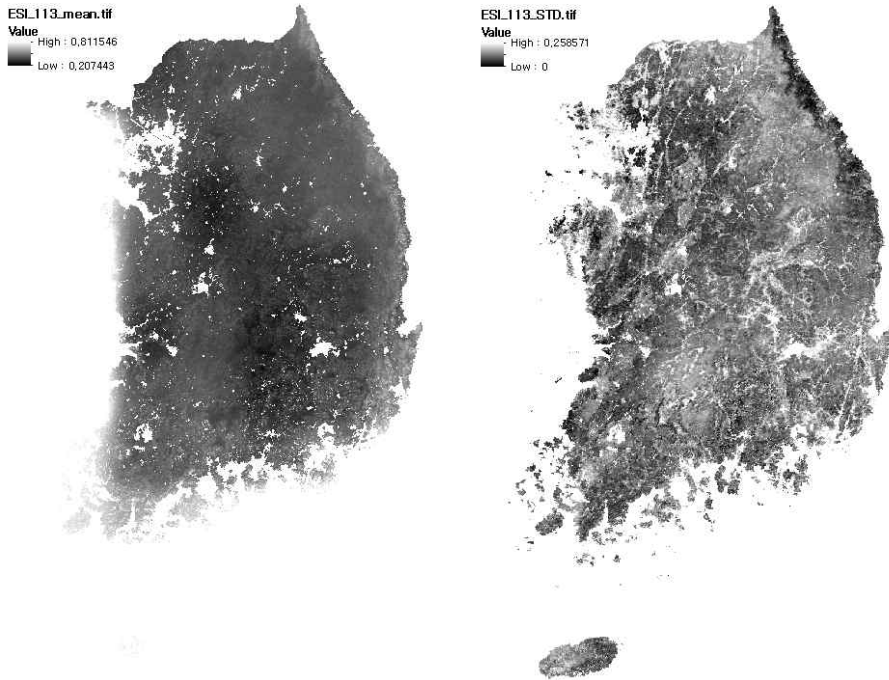
σ = 표준편차

○ 동일시기 영상

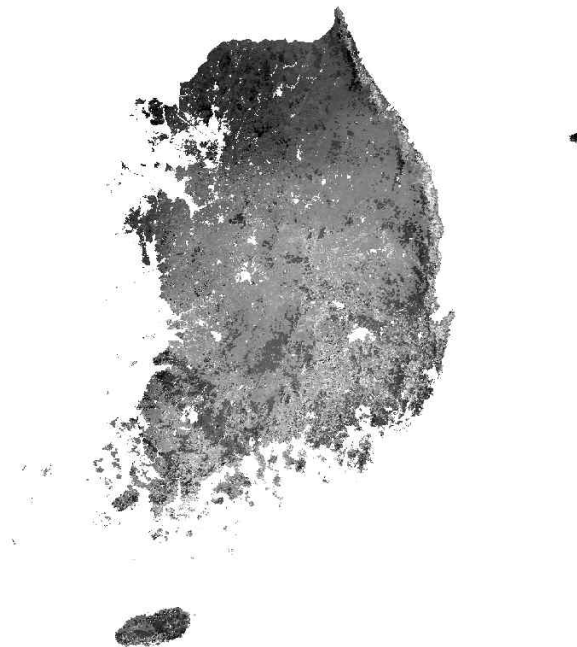
- MODIS 영상은 줄리안일 (ex. 001, 009, 017, ..., 361))로 구성되어 제공하며, 동일시기를 기준으로 평균과 표준편차를 사용
- 2000년 2월 이후부터 데이터 취득이 가능하므로 온전한 데이터를 가지고 있는 2001년 데이터를 활용하여 2001001, 2002001, 2003001 과 같이 연별 동일한 줄리안일 데이터의 Z값을 계산함

○ 농업가뭄지수

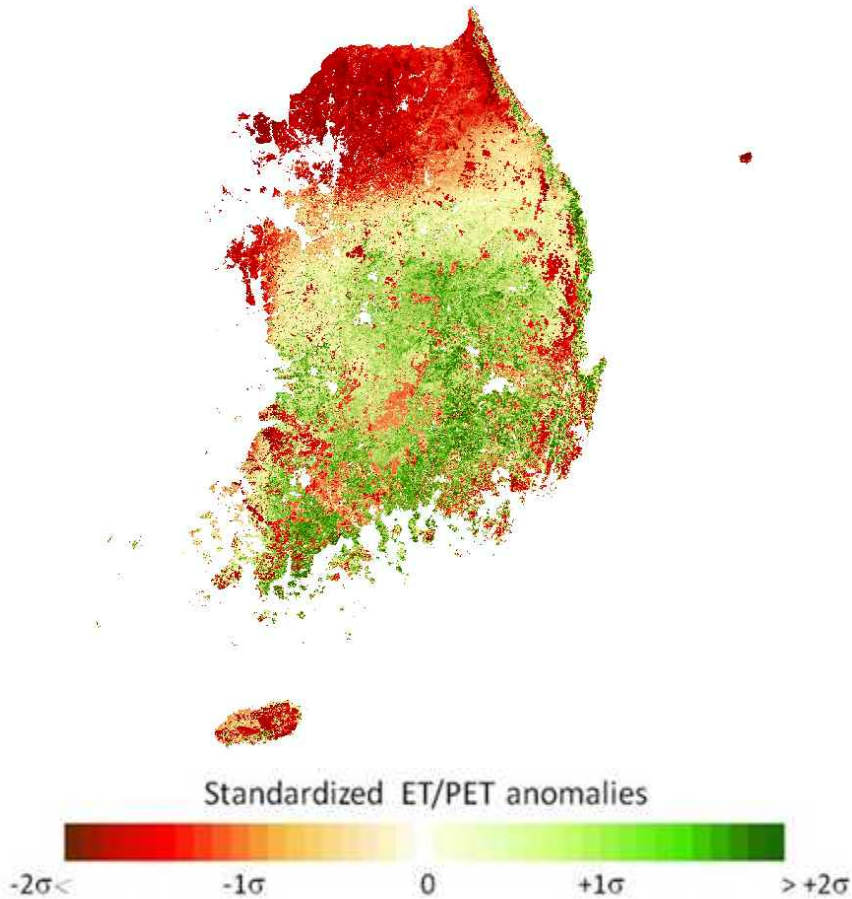
- Z값을 통하여 산정된 ESI는 일반적으로 $-2\sigma \sim 2\sigma$ 에 해당하는 Value 를 가짐
- 국내 전역을 대상으로 데이터를 취득하므로 도서 지역에 대하여 이상값이 발생하는 경우가 있음
- 울릉도 등과 같은 지역을 제외하고 활용하는 것이 적정함
- 0을 기준으로 음수의 값은 가뭄으로 빨간색으로 나타내고, 0 이상의 양수는 비가뭄으로 초록색으로 나타냄



<그림 5-17> 줄리안일 113 영상의 평균(좌) 및 표준편차(우)



<그림 5-18> 2019113 (2019년 4월 23일) 농업가뭄 파라미터 지수화



<그림 5-19> 2019113 (2019년 4월 23일) 농업가뭄지수

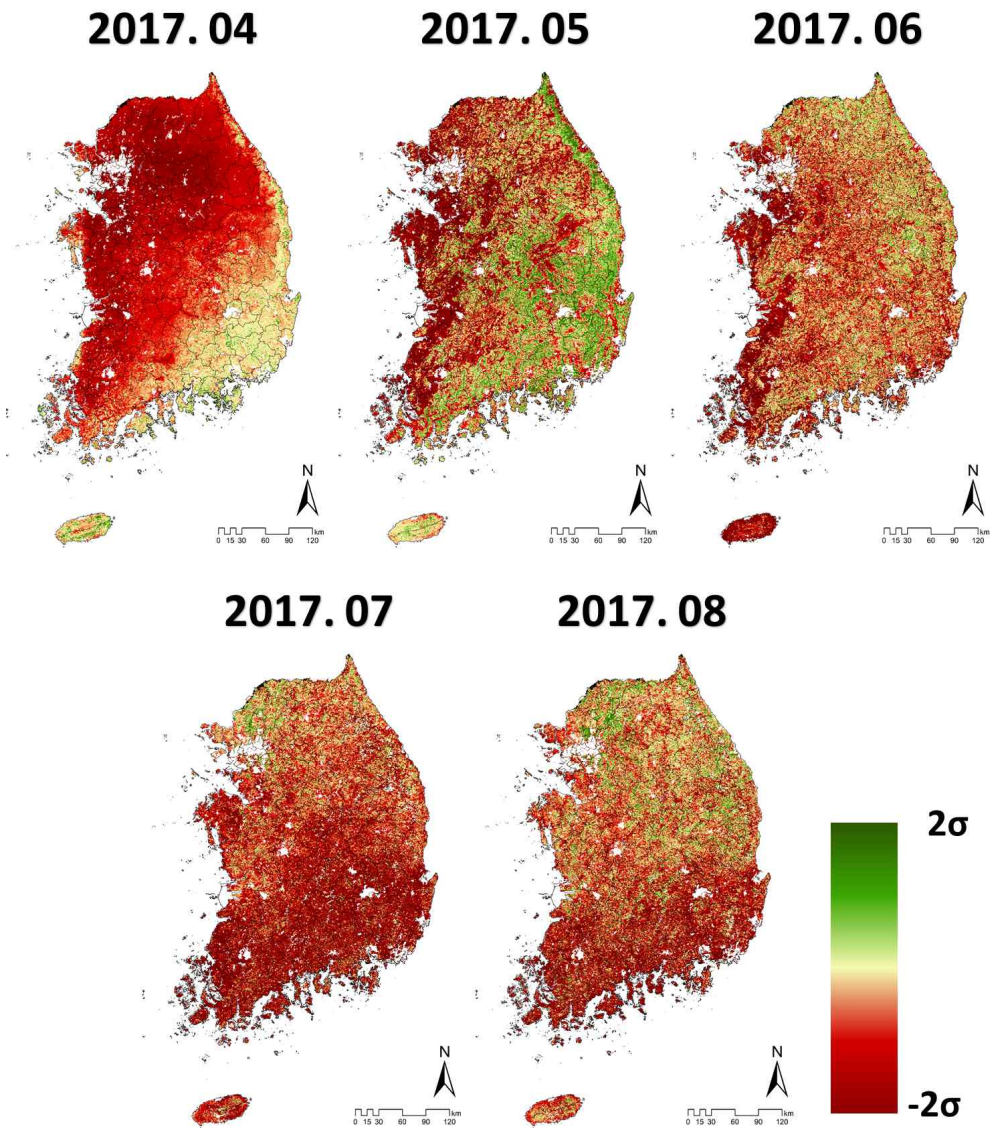
다. 농업가뭄지수를 활용한 가뭄 판단

MODIS 영상으로 산정한 ESI가 지수화를 통하여 농업가뭄지수로서 적용성이 높은 지 확인하였다.

최근 주요한 국내 가뭄사상은 2017년이며, 2017년의 가뭄 발생 시기 및 지역에 대해서는 (표 5-6)과 같다. 경기, 충청 지역을 중심으로 4월 말부터 가뭄이 발생하며, 5월과 6월은 전국적으로 가뭄이 심화되었다. 또한, 7월에는 중부지방에 장마전선이 형성되면서 가뭄이 해갈되어가고 8월은 남부지방 가뭄이 지속되면서 극심한 가뭄 경향을 나타냈다.

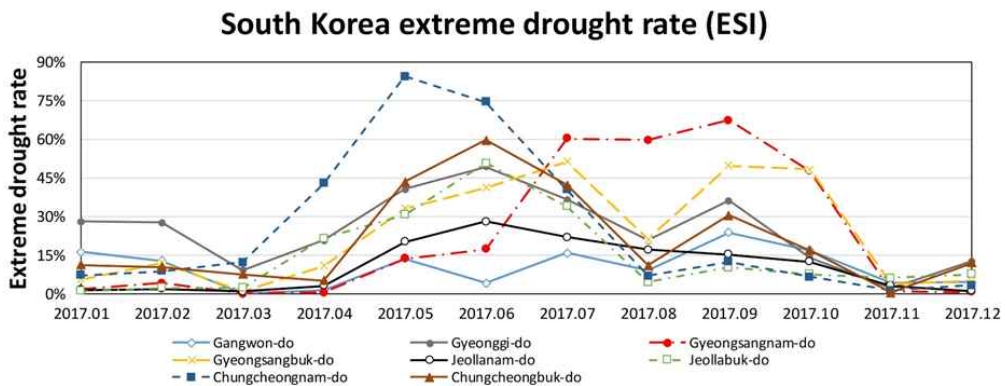
2017년 4월부터 8월까지 사이에 주기를 가지고 있는 농업가뭄지수를 월별로 평균하여 <그림 5-20>와 같이 나타냈다. 4월 경기, 충청, 강원, 전

북, 전남 지역까지 대부분 가뭄을 나타냈으며, 5월과 6월에는 경상도 지역까지 Value가 0 이하의 값을 보이며 가뭄이 심화되는 것을 보였다. 중부지방 중심으로 가뭄이 심화되는 것과 달리 7월에는 남부지방을 중심으로 가뭄이 심화되었으며, 8월에는 중부지방의 가뭄 표현이 약해지고 남부지방은 가뭄 경향이 지속되는 것을 확인하였다.



<그림 5-20> 2017년 월별 농업가뭄지수 (4월~8월)

지역별 가뭄 경향을 확인하기 위하여 극심한 가뭄 심도를 알아보고자 농업가뭄지수가 -2 이하인 값만 추출하여 분석을 하였다. <그림 5-20>을 보면, 4월부터 극심한 가뭄의 비율이 상승하였으며, 5월 또한 1, 2, 3월과 다르게 높은 비율을 보였다. 6월에는 경상남도, 경상북도를 제외한 대부분 지역들의 비율이 감소하였으며, 7월 이후로는 경상도 지역의 비율이 지속적으로 높음을 확인하였다.



<그림 5-21> 2017년 주기별 농업가뭄지수

또한, (표 5-3)을 통하여 2017년 전체 년도에 대한 지역별 가뭄 심도에 따른 가뭄 비율을 확인하였다. 일반적 관개기인 4월부터 9월까지 중 극심한 가뭄 심도의 비율이 20 % 이상인 지역을 위주로 살펴보았다. 4월 경기, 충남, 전남 지역의 극심한 가뭄의 비율이 20 % 이상이었으며, 5월부터 7월까지의 대부분 지역에서 비율이 높아졌다. 또한, 7월 이후로도 경상도 지역의 극심한 가뭄 비율이 높은 것을 알 수 있다.

(표 5-6) 가뭄 심도에 따른 지역별 가뭄 비율

Area (do)	Month											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Gangwon	16.4	13.0	0.2	1.7	13.8	4.2	16.0	9.2	23.8	17.1	4.3	4.7
Gyeonggi	28.1	27.8	9.4	20.9	40.7	49.3	36.5	20.8	36.2	14.1	2.4	12.7
Gyengsan gnam	1.9	4.3	0.3	0.7	13.8	17.4	60.2	59.7	67.4	47.7	1.3	0.8
Gyengsan gbuk	5.6	12.2	1.2	10.9	33.2	41.2	51.3	21.2	49.7	48.3	3.8	5.0
jellanam	1.6	2.1	1.0	3.2	20.3	28.2	22.0	17.1	15.4	12.4	3.2	1.3
Jeollabuk	1.3	2.5	2.3	21.7	30.7	50.7	34.1	4.6	10.4	7.6	6.2	7.6
Chungche ongnam	7.2	8.9	12.3	43.0	84.3	74.4	40.4	7.0	12.5	6.6	1.4	3.4
Chungche ongbuk	11.2	10.5	7.6	5.6	43.6	59.7	42.3	11.2	30.5	16.9	0.5	12.1

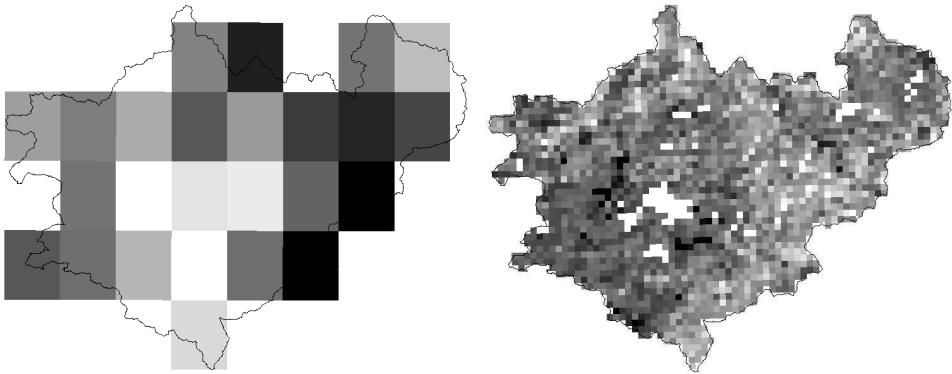
라. 기존 ESI와의 비교

기존에 SERVIR에서 제공하는 0.05 degree 해상도의 ESI가 국내 가뭄 판단에 대하여 신뢰할 수 있다는 연구결과가 있지만, 국내 농업가뭄 모니터링에 적용하기에는 해상도적인 측면에서 한계가 있다. 농업가뭄에 대한 판단을 하기 위해서는 논, 밭과 같은 들녘단위의 소규모 지역에 대한 모니터링이 가능해야하며, 작물재배지역에 대한 가뭄 판단을 할 수 있어야 한다.

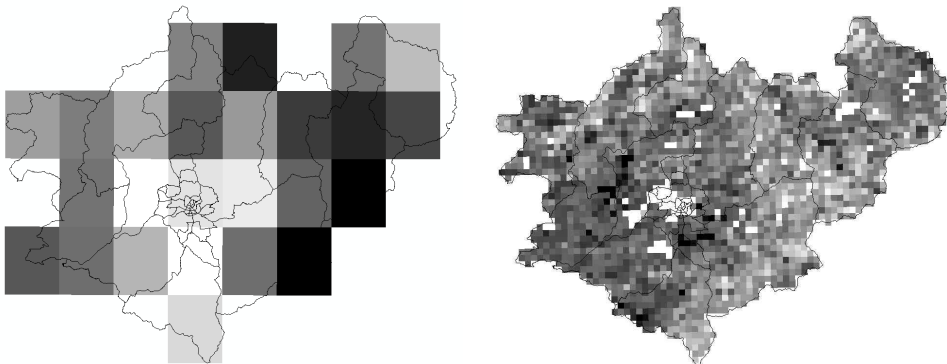
기존 ESI와 본 연구에서 산정한 농업가뭄 파라미터의 해상도 측면 차이를 알아보기 위하여 안성시를 포함하는 격자의 개수를 비교해보았다. 기존 ESI는 안성시를 표현할 수 있는 격자의 개수가 약 25개이며, 25개의 격자 값을 통하여 시군구 단위의 안성시 지역에 대한 가뭄을 나타낼 수 있다. 하지만 읍면동 단위, 들녘단위로 세분화될수록 기존 ESI의 격자가

크기 때문에 정확한 가뭄 판단에 활용하기가 어렵다.

반면, 농업가뭄 파라미터는 500 m의 해상도로 안성시를 표현할 수 있는 격자의 개수는 약 2200여개이다. 기존 ESI의 격자 개수의 약 88배이며, 시군구 / 읍면동 / 들녘단위까지 공간적으로 가뭄의 분포를 확인할 수 있다.

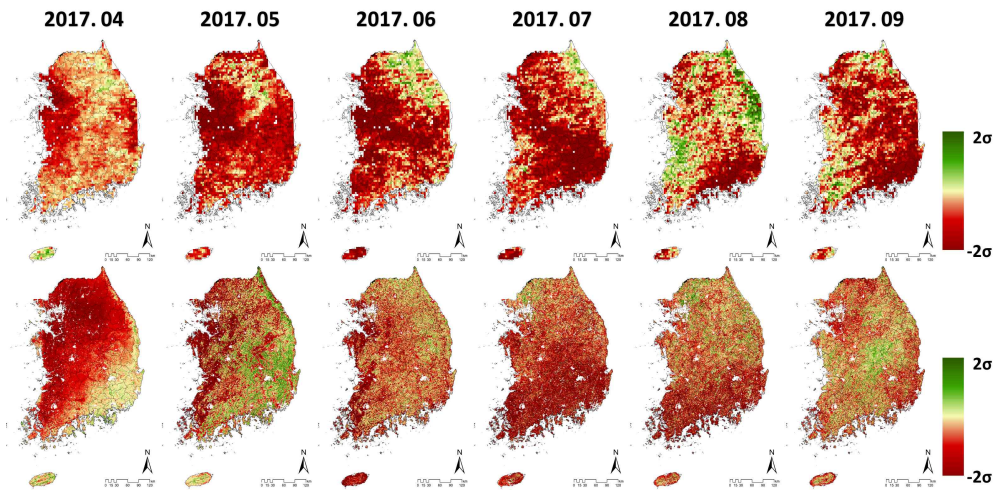


<그림 5-22> 시군구 단위의 안성시 지역 해상도 비교



<그림 5-23> 읍면동 단위의 안성시 지역 해상도 비교

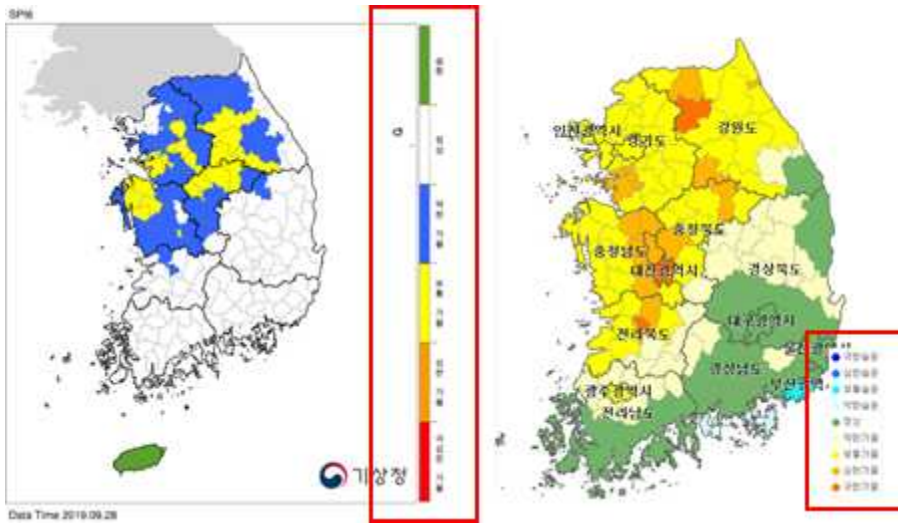
2017년 발생한 실제 국내 가뭄사상에 대하여 월별로 기존 ESI와 농업가뭄 파라미터를 비교해보았다. 전체적으로 가뭄을 나타내는 빨간색의 분포가 유사한 경향을 나타냈으며, 농업가뭄 파라미터를 통하여 소규모 지역에 대한 농업가뭄 모니터링이 가능하다.



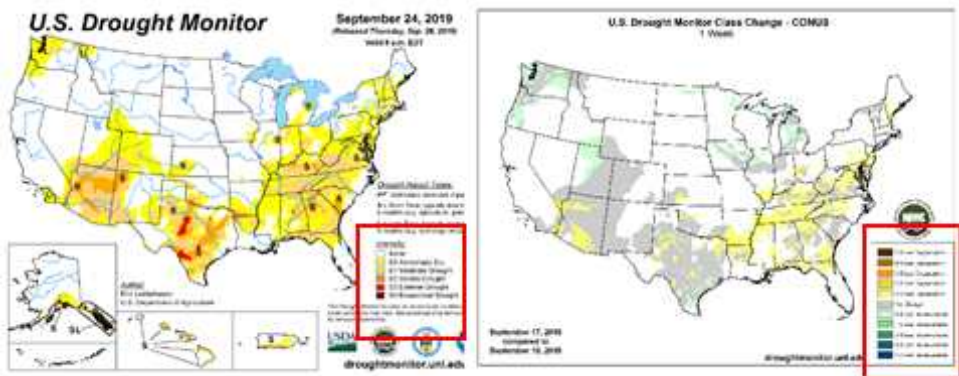
<그림 5-24> 기존 ESI와 농업가뭄 파라미터의 공간지도

3. 농업가뭄 심도 분류

일반적으로 가뭄을 해석하기 위해서는 가뭄을 정량화하는 것이 중요하며, 가뭄을 정량화하여 판단하는 지표가 가뭄지수이다. 다양한 가뭄지수들은 가뭄 심도별 가뭄 단계가 있으며, 이에 맞추어 가뭄 단계를 구분하여 가뭄 판단에 활용되고 있다. 국내외 유관기관에서는 가뭄지수에 맞는 가뭄 심도별 가뭄 단계를 제시하고 이를 활용하여 가뭄 모니터링을 진행하고 있다.



<그림 5-25> 국내 가뭄 모니터링 및 가뭄 단계



<그림 5-26> 국외 가뭄 모니터링 및 가뭄 단계

가. SPI의 가뭄 심도 분류

가장 널리 활용되고 있는 가뭄지수인 SPI는 다양한 가뭄 심도 분류 기준을 가지고 있다. McKee et al. (1993)은 (표 5-7)와 같이 가뭄 심도 분류 기준을 나타냈으며, 3 단계의 가뭄으로 표현하였다. 우리나라 기상청 수문기상가뭄정보시스템에서는 SPI의 공간분포에 대한 가뭄 단계를 기존 SPI의 가뭄 단계와 같은 Value 범위를 활용하지만, 가뭄의 단계를 4 단계로 구분하여 색의 표현이 다르다.

(표 5-7) SPI Value에 따른 가뭄 단계 구분 (McKee et al., 1993)

SPI Value	Class	Percentage of time (%)
≥ 2.0	Extremely wet	2.3
1.5 to 1.99	Very wet	4.4
1.0 to 1.49	Moderately wet	9.2
-0.99 to 0.99	Near normal	68.2
-1.49 to -1.0	Moderately dry	9.2
-1.99 to -1.5	Very dry	4.4
≤ -2.0	Extremely dry	2.3

(표 5-8) SPI Value에 따른 가뭄 단계 구분 (기상청 수문기상가뭄정보시스템)

가뭄 단계	지수 범위	평균 재현기간(년)
습함	$1.00 \leq SPI$	-
정상	0.99 ~ -0.99	-
약한 가뭄	-1.00 ~ -1.49	1.4 ~ 2.0
보통 가뭄	-1.50 ~ -1.99	2.1 ~ 3.7
심한 가뭄	$-2.00 \geq SPI$	3.8 ~ 17.8
극심한 가뭄	-2.0 이하가 20일 이상 지속	17.9 이상

미국 국립가뭄경감센터 (NDMC)에서는 가뭄의 빈도와 미국의 지역적 특성을 고려한 Percentile 방법으로 가뭄 모니터링 (United States Drought Monitor, USDM)을 진행하며, 기존 SPI와 다르게 SPI의 가뭄 단계를 구분하였다. 가뭄 단계는 5 단계로 구분하였고, SPI Value -1.0 이

하부터 가뭄으로 판단하는 기존 가뭄 단계 구분과 달리 USDM은 -0.5 이하의 SPI Value를 가뭄의 시작으로 판단하였다.

(표 5-9) SPI Value에 따른 가뭄 단계 구분 (USDM)

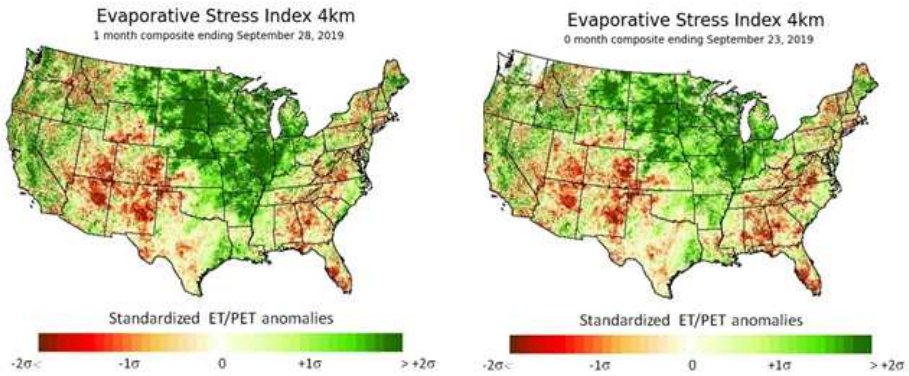
Category	Description	Percentiles	SPI value
D0	Abnormally Dry	21-30%	-0.5 to -0.7
D1	Moderate Drought	11-20%	-0.8 to -1.2
D2	Severe Drought	6-10%	-1.3 to -1.5
D3	Extreme Drought	3-5%	-1.6 to -1.9
D4	Exceptional Drought	0-2%	-2.0 or less

나. 농업가뭄 파라미터의 농업가뭄 심도 분류

현재 미국에서 제공하는 ESI를 활용한 가뭄 모니터링은 7일 주기의 주, 1개월, 2개월, 3개월 합성으로 미국 전역의 가뭄지도를 제공하고 있다. 하지만 ESI는 표준화된 아노말리를 지수화한 지표이며, 명확한 가뭄 단계의 부재로 단순히 0 이하의 Value는 가뭄으로 판단하고 있다. 이러한 가뭄 판단은 가뭄의 추세 및 경향성은 파악할 수 있지만, 가뭄의 단계가 없기 때문에 단계별 대응이 어렵다. 국내에서는 가뭄 예·경보 기준을 발표하여 관심 (약한가뭄), 주의 (보통가뭄), 경계 (심한가뭄), 심각 (극심한가뭄)에 대한 기준을 제시하였으며, 농업가뭄 파라미터의 가뭄 심도별 가뭄 단계를 구분하여 정부의 예·경보 기준과 함께 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

(표 5-10) 정부 가뭄 예·경보 기준 (행정안전부, 2019)

구 분	가뭄 예·경보 기준
<p style="text-align: center;">관 심 (약한가뭄)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 생활 및 공업용수 : 하천 및 수자원시설의 수위가 평년에 비해 낮아 정상적인 용수공급을 위해 생활 및 공업용수의 여유량을 관리하는 등 가뭄대비가 필요한 경우 • 농업용수 : [논]영농기 평년 저수율의 70% 이하인 경우, [밭]영농기 토양 유효 수분율이 60% 이하
<p style="text-align: center;">주 의 (보통가뭄)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 생활 및 공업용수 : 하천 및 수자원시설의 수위가 낮아 하천의 하천유지용량이 부족하거나 댐·저수지에서 하천유지용수 공급 등의 제한이 필요한 경우 • 농업용수 : [논]영농기 평년 저수율의 60% 이하, 비영농기 저수율이 다가오는 영농기 모내기 용수공급에 물 부족이 예상되는 경우, [밭]영농기 토양 유효 수분율이 45% 이하 • 기상현황 : 최근 6개월 누적강수량을 이용한 표준강수지수 -1.5이하(평년대비 약 55%이하)로 기상가뭄이 지속될 것으로 예상되는 경우로 하되, 지역별 강수 특성을 반영할 수 있음
<p style="text-align: center;">경 계 (심한가뭄)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 생활 및 공업용수 : 하천 및 수자원시설에서 생활 및 공업용수 부족이 일부 발생하였거나 발생이 우려되어 하천유지용수, 농업용수 공급의 제한이필요한 경우 • 농업용수 : [논]영농기 평년 저수율 50% 이하, [밭]영농기 토양 유효 수분율 30% 이하 • 기상현황 : 최근 6개월 누적강수량을 이용한 표준강수지수 -2.0이하(평년대비 약 45%이하)로 기상가뭄이 지속될 것으로 예상되는 경우로 하되, 지역별 강수 특성을 반영할 수 있음
<p style="text-align: center;">심 각 (극심한 가뭄)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 생활 및 공업용수 : 하천 및 수자원시설에서 생활 및 공업용수 부족이 확대되어 하천 및 댐·저수지 등에서 생활 및 공업용수 공급 제한이 발생하였거나 필요한 경우 • 농업용수 : [논]영농기 평년 저수율 40% 이하, [밭]영농기 토양 유효 수분율 15% 이하 • 기상현황 : 최근 6개월 누적강수량을 이용한 표준강수지수 -2.0이하(평년대비 약 45%이하)가 20일 이상 지속되어 전국적인 가뭄피해가 예상되는 경우로 하되, 지역별 강수 특성을 반영할 수 있음



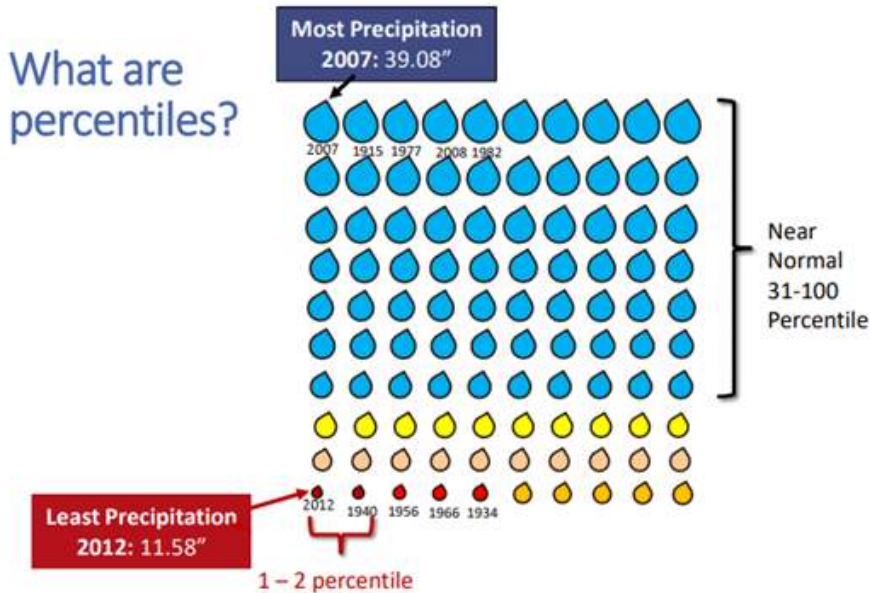
<그림 5-27> 미국에서 활용하는 ESI 가뭄 모니터링

미국에서는 지역적 특성과 가뭄 발생확률을 고려하여 USDM을 개발하였으며, D0부터 D4까지 5 단계의 가뭄을 Percentile을 적용하여 (표 5-9) 과 같이 구분하였다. Percentile은 백분위수로 데이터를 백분율로 나타내어 특정 위치의 값을 나타내는 방법으로 USDM에서 활용한 Percentile의 특징은 다음과 같다.

○ Percentile의 특징

- 가뭄 분석에 사용되는 모든 매개 변수에 적용 가능
- 사용 가능한 모든 데이터를 활용할 수 있음
- 과거에 발생한 가뭄을 고려하여 지표를 사용할 수 있음

USDM에서는 강수량을 활용하여 Percentile을 활용하는 방법에 대한 예시를 <그림 5-28>과 같이 표현하였다. 100년치의 연별 강수량 데이터를 나열하면 2%에 해당하는 가장 강수량이 적은 2 개년도는 D4 (Exceptional Drought)에 해당하며, 그 다음으로 적은 연별 강수량을 가진 3 개년도가 D3 (Extreme Drought) 순으로 산정한다.

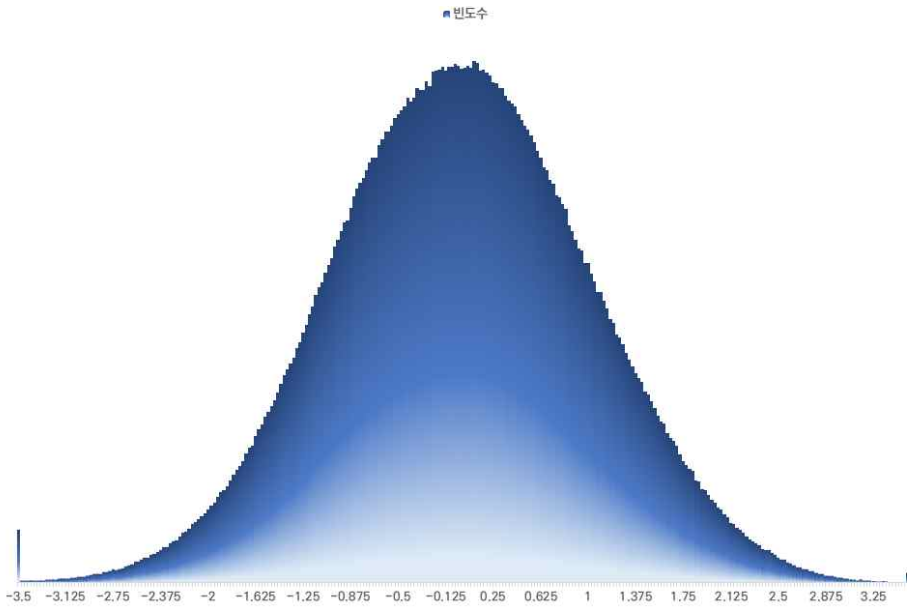


<그림 5-28> Percentile 산정의 예시

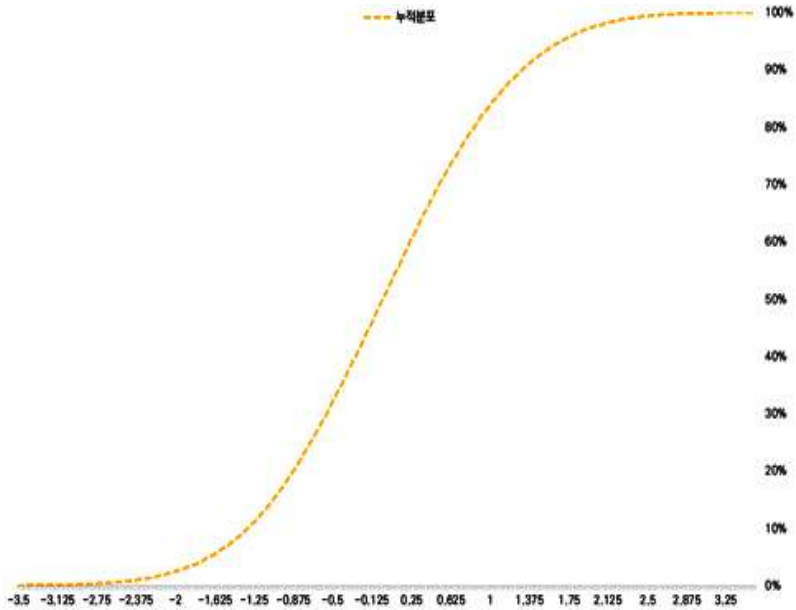
SPI 또한 USDM의 Percentile 기준에 맞추어 산정하여 활용하고 있고, 국내에서도 USDM의 기준에 맞추어 산정한 SPI의 적용성에 대한 연구결과가 있으며, 신뢰성이 높은 결과를 도출하였다. 본 연구에서 제시한 농업가뭄 파라미터에 Percentile을 적용하는 방법은 다음과 같다.

- 농업가뭄 파라미터의 농업가뭄 심도 분류
 - 활용 가능한 농업가뭄 파라미터의 모든 격자 값을 추출 (2001년부터 2018년까지, 총 18년)
 - 기존 USDM 기준 Percentile에 맞추어 Value 산정
 - Percentile에 맞추어 적용된 Value에 따라 가뭄 단계를 설정 (D0~D4)
 - 국내 가뭄 예·경보 기준에 맞추어 4 단계의 가뭄 단계로 구분

SPI와 마찬가지로 농업가뭄 파라미터는 표준화를 통하여 지수화를 하였기 때문에 표준정규분포를 나타낼 수 있으며, 모든 격자 값을 통한 누적분포를 이용하여 Percentile을 적용할 수 있다. USDM 기준 2 %, 5 %, 10 %, 20 %, 30 %에 해당하는 격자 값을 나타내면 (표 5-11)과 같다.



<그림 5-29> 농업가뭇 파라미터 정규분포

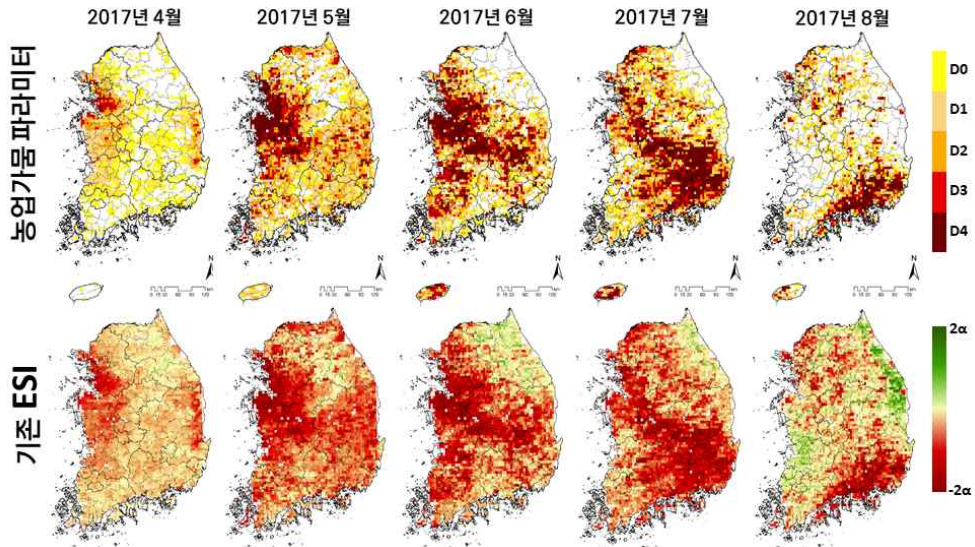


<그림 5-30> 농업가뭇 파라미터 누적분포

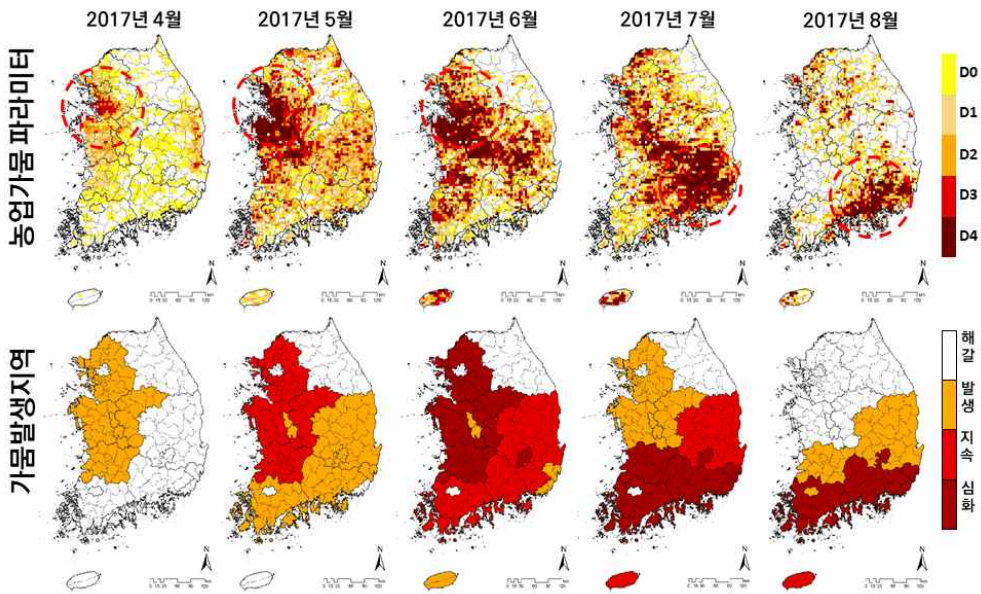
(표 5-11) 농업가뭄 파라미터 심도별 분류

Category	Description	Percentiles	ESI Value
D0	Abnormally Dry	21-30%	-0.563 to -0.879
D1	Moderate Drought	11-20%	-0.880 to -1.316
D2	Severe Drought	6-10%	-1.317 to -1.683
D3	Extreme Drought	3-5%	-1.684 to -2.107
D4	Exceptional Drought	0-2%	-2.108 or less

USDM 기준에 맞추어 농업가뭄 파라미터의 Percentile에 따른 Value를 산정하였으며, 새로운 가뭄 심도별 분류 기준을 제시하였다. 기존 ESI는 가뭄의 경향 및 추세에 대하여 판단이 가능하지만, 명확한 가뭄 단계가 없기 때문에 가뭄의 심도를 파악하기 어려웠다. USDM 버전의 농업가뭄 파라미터 중 -0.563 이상의 Value는 비가뭄으로 설정하였으며, 기존의 아노말리로 표현되는 공간지도보다 가뭄과 비가뭄 지역에 대한 더 명확하게 구분이 가능하다. 2017년 실제 가뭄 발생 지역에 대하여 시도별로 구분하였으며, 가뭄의 해갈, 발생, 지속, 심화에 대하여 공간지도로 표현하였다. USDM 기준으로 제시한 농업가뭄 파라미터의 공간분포와 실제 가뭄 발생 지역의 공간분포가 유사한 양상으로 나타났으며, 특히 가뭄의 발생 지역 (경기, 충청)과 중부지방을 중심으로 이어지는 가뭄의 지속, 7월 장마전선 이후에 중부지방의 가뭄 해소와 남부지방의 가뭄이 심화되는 8월에 대한 가뭄의 변화가 보이면서 농업가뭄 파라미터의 실제 가뭄 판단에 대한 적용성을 평가하였다.



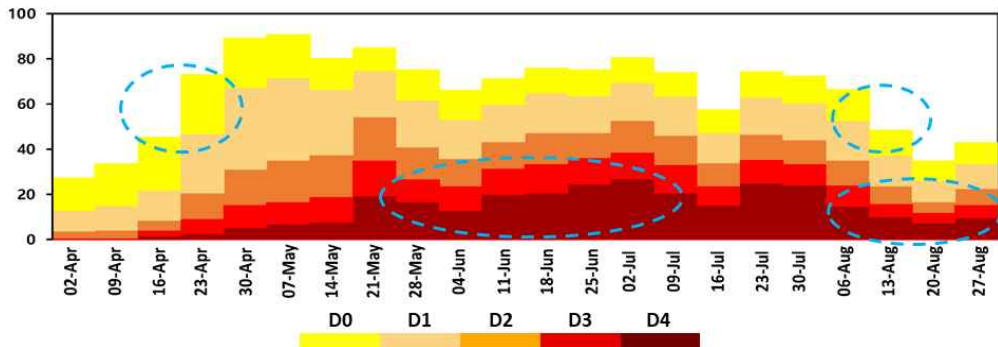
<그림 5-31> 기존 ESI와 USDM 버전 농업가뭄 파라미터 공간분포 비교



<그림 5-32> 실제 가뭄 발생 지역과 USDM 버전 농업가뭄 파라미터의 공간분포 비교

2017년 4월부터 8월까지 농업가뭄 파라미터의 가뭄 단계별 누적 비율을 보면, 가뭄 시작 시기인 4월 말부터 가뭄 누적 비율이 급격하게 높아졌으

며, 가뭄이 심화되는 5, 6월에는 Exceptional Drought에 해당하는 D4 단계의 가뭄 비율이 높아졌다. 2017년의 전체적인 가뭄 시기인 4월부터 8월까지 농업가뭄 파라미터의 가뭄 단계별 누적 비율이 높은 것을 알 수 있으며, 7월 이후 전체적으로 누적 비율이 감소하는 것으로 보아 중부지방의 가뭄 해소를 보여주는 것으로 판단된다. 또한, 남부지방의 가뭄 지속 및 심화로 인해 8월 D4 단계의 누적 비율은 계속 유지되었다.



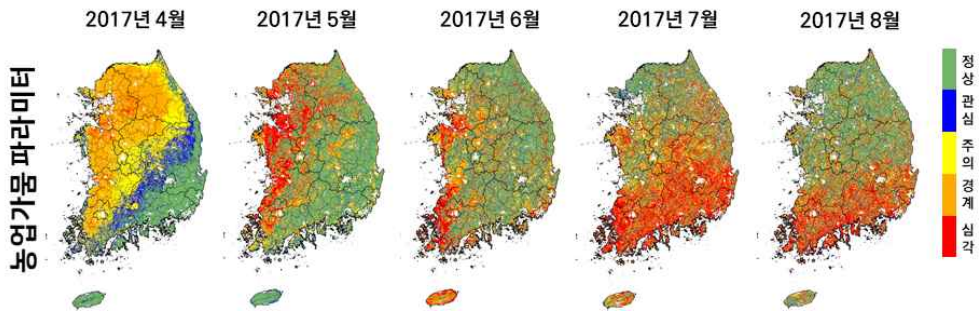
<그림 5-33> 농업가뭄 파라미터의 가뭄 단계별 누적 비율

다. 국내 기준 농업가뭄 파라미터의 가뭄 심도 분류

USDM 기준에 맞추어 산정한 농업가뭄 파라미터의 가뭄 단계는 5 단계로 구분되었으며, 정부에서 제시한 가뭄 예·경보 기준에 따라 4 단계의 가뭄 단계로 재설정하였다. 국가가뭄정보분석센터와 기상청 수문기상가뭄정보시스템에서 제공하는 가뭄 모니터링의 가뭄 단계에서 포함하는 ‘정상’에 대한 단계를 추가하고, USDM의 5 단계 가뭄 중 D2와 D3를 통합하여 경계 (심한가뭄)으로 설정하였다. 국내 가뭄단계에 맞추어 새롭게 제시하는 농업가뭄 파라미터의 가뭄 단계는 (표 5-12)와 같으며, 공간지도로 나타냈다.

(표 5-12) 국내 기준 농업가뭄 파라미터 가뭄 심도 분류

Category	Description	Percentile	ESI Value
-	정상	31-100%	-0.56 or more
D0	관심 (약한가뭄)	21-30%	-0.56 to -0.88
D1	주의 (보통가뭄)	11-20%	-0.88 to -1.31
D2-D3	경계 (심한가뭄)	3-10%	-1.31 to -2.10
D4	심각 (극심한가뭄)	0-2%	-2.10 or less



<그림 5-34> 농업가뭄 파라미터 최종버전 공간지도



제6장
위성영상 기반 농업가뭄
지도 제작(개발)



제6장 위성영상 기반 농업가뭄 지도 제작(개발)

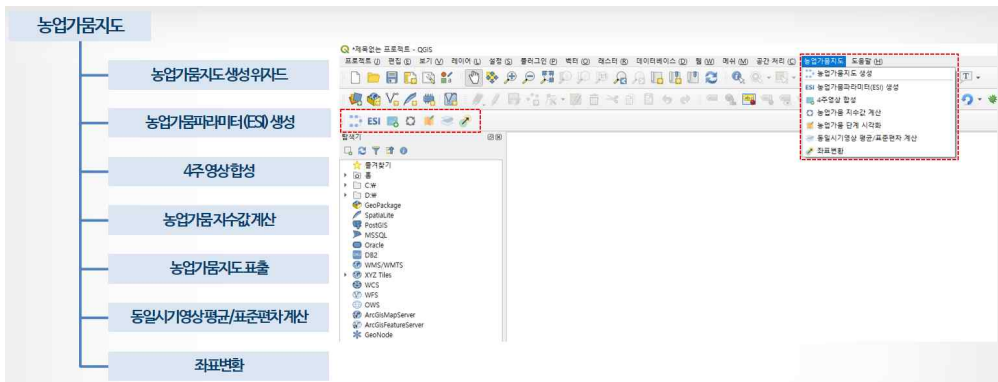
제1절 농업가뭄 지도 생성

1. 위성영상 기반 농업가뭄 공간정보 생성

가. 인자별 공간정보 생성 기법

1) 공간정보 생성 순서

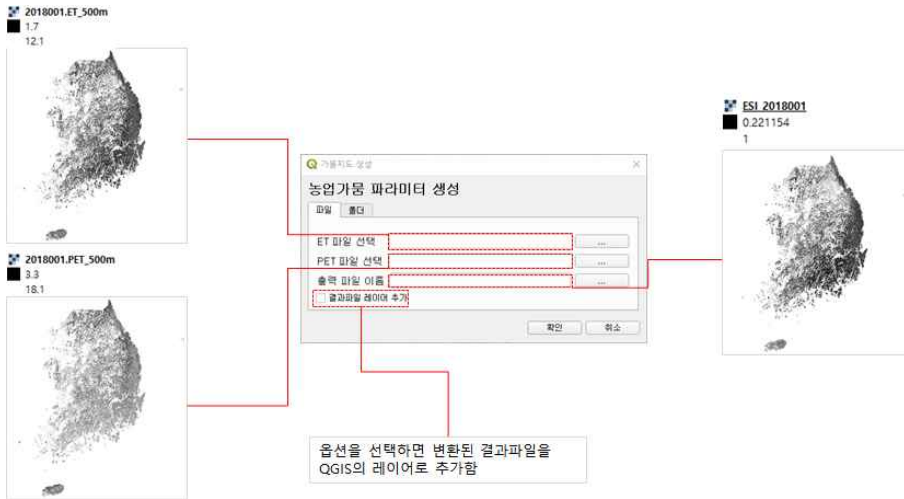
농업인자별 생성은 농업가뭄파라미터 생성 → 4주 영상합성 → 농업가뭄 지수값 계산 → 농업가뭄 지도 표출 → 동일시기 영상의 표준·표준편차 계산 → 좌표변환의 순서로 생성된다.



<그림 6-1> 농업가뭄 지도 생성 순서별 모듈

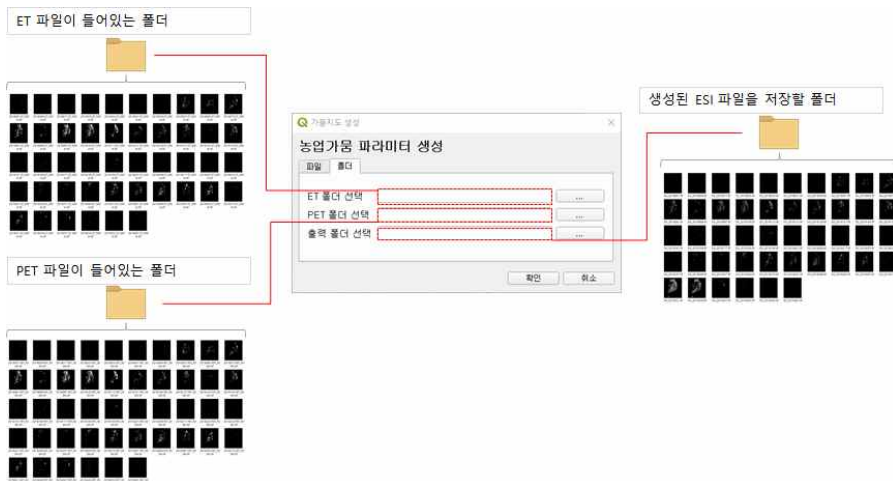
2) ESI 영상 생성

농업가뭄파라미터 생성은 다이얼로그에서 파일 탭을 선택하고 ET 파일선택 버튼을 클릭하여 파일 검색 다이얼로그에서 증발산량(ET) 파일을 선택한다. 잠재증발산량인 PET 파일도 동일한 방법은 선택한다. 이후 저장될 경로와 파일 이름을 지정하여 농업가뭄파라미터(ESI) 생성 모듈을 수행하게 되면 ESI 파일이 생성된다.



<그림 6-2> 파일단위 ESI 영상 생성

본 연구에서는 파일 단위 처리뿐만 아니라 사용자의 편의를 위해서 사용자가 하나의 폴더를 지정하게 되면 폴더 내의 모든 파일을 일괄 배치처리할 수 있도록 폴더단위 ESI 영상을 생성할 수 있도록 기능을 구현하였다.



<그림 6-3> 폴더단위 ESI 영상 생성

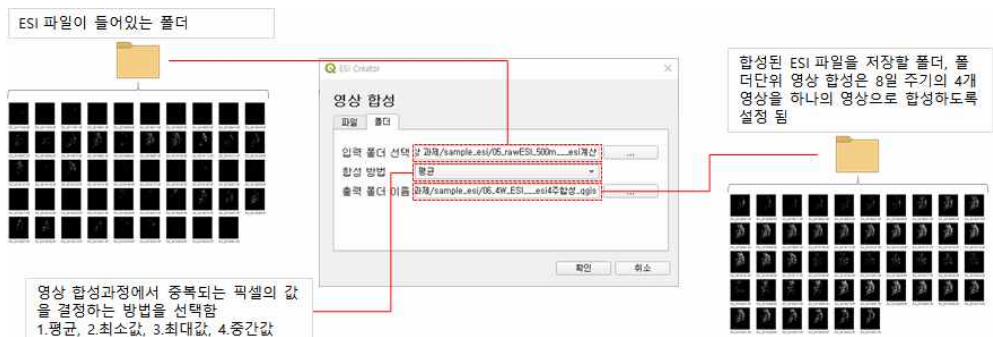
3) ESI 영상 합성(4주간)

영상합성 다이얼로그에서 파일탭을 선택하고 입력 파일선택 버튼을 클릭하고, 활성화된 파일 검색 다이얼로그에서 합성을 수행할 농업가뭄파라미터(ESI) 파일을 여러 개 선택한다. 선택한 여러 개 파일의 각 픽셀을 합성하는 방법을 선택한 후 경로와 파일 이름을 지정한 후 모듈을 실행하게 되면 4주간 ESI 합성 영상이 생성된다.

4주간 ESI 합성 영상도 파일 단위로 처리뿐만 아니라 폴더단위의 일괄 배치 생성이 가능하도록 하였다.



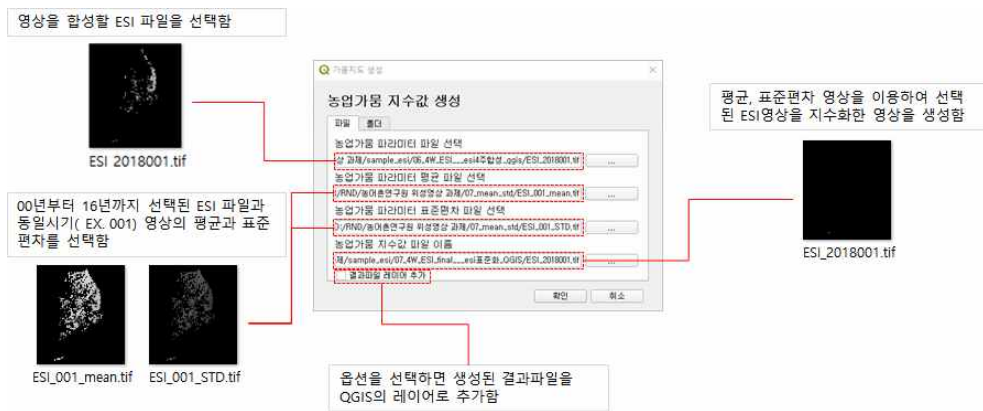
<그림 6-4> 파일단위 ESI 영상 합성



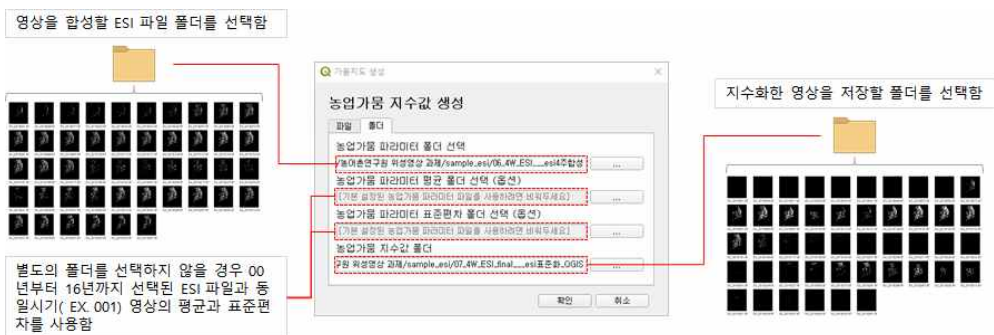
<그림 6-5> 폴더단위 ESI 영상합성

4) 농업가뭄지수 생성

농업가뭄 지수값 생성 다이얼로그에서 파일탭을 선택하고 농업가뭄 파라미터 파일선택의 파일 검색 버튼을 클릭함, 활성화된 파일 검색 다이얼로그에서 지수 값 생성에 사용할 합성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일을 선택한다. 농업가뭄 지수 값 계산에 사용할 평균 파일과 표준편차 파일을 평균 파일 검색 다이얼로그와 표준편차 파일 검색 다이얼로그를 사용하여 선택한다. 이때 파일 단위 지수 값 생성 모듈의 경우 입력받은 농업가뭄파라미터(ESI) 파일과 평균 및 표준편차 파일의 시기가 같은지 확인하지 않고 그대로 사용한다.



<그림 6-6> 파일단위 ESI 영상 지수화



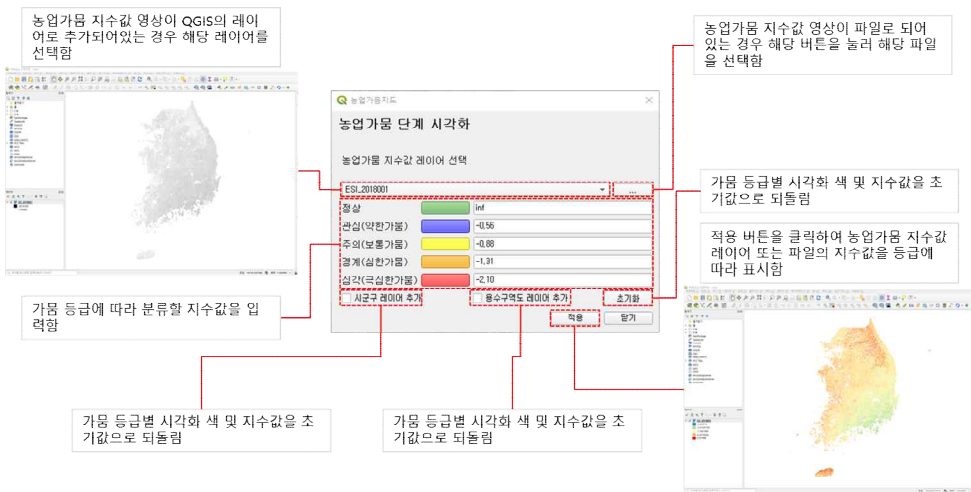
<그림 6-7> 폴더단위 ESI 영상 지수화

5) 농업가뭄지수 등급별 표출

초기의 농업가뭄지수 등급은 0에서 1 사이의 값을 갖는 단일밴드 자료로 생성이 된다. 하지만 이러한 단일밴드 영상은 흑백으로 표현되기 때문에 결과물의 직관적인 해석이 어렵다. 따라서 결과의 직관적인 해석을 도울 수 있도록 의사 색채(pseudo color)와 배경 이미지를 이용해 가뭄지수를 가시화하였다.

지수 값의 등급은 사전에 정의된 값과 색상을 이용하여 표현할 수 있도록 하였다.

또한, 농업가뭄지수의 공간적 위치 파악에 도움을 주기 위해 RGB 합성과 배경 이미지 등록뿐만 아니라 시·도별 행정구역을 함께 표출하게끔 구현되었다.

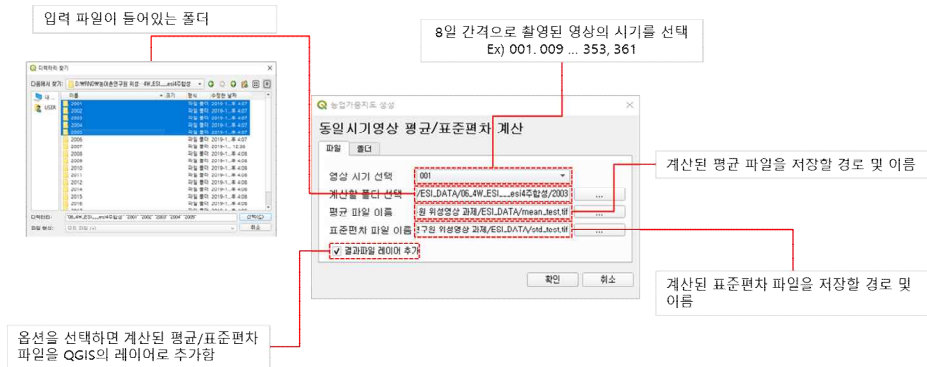


<그림 6-8> 농업가뭄 단계 시각화 모듈

6) 동일시기 영상 평균·표준편차 계산

동일시기 평균·표준편차 계산을 위해서는 다이얼로그에서 파일탐을 선택하고 평균 및 표준편차를 계산할 영상 시기를 콤보 박스에서 선택한다. 계산할 폴더 선택하기 위해 버튼을 클릭하여 폴더 검색 다이얼로그를 활성화하고 평균 및 표준편차를 계산할 폴더를 선택한다. 계산된 평균과 표준편차를 저장할 경로와 이름을 지정한다. 계산된 결과를 QGIS의 레이어로 추가할 때는 결과 파일 레이어 추가를 체크한다. 실행 버튼을

클릭하면 입력한 폴더 내 합성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일 중 선택한 영상 시기에 해당하는 평균과 표준편차를 계산하는 모듈이 수행되고 입력 받은 경로 및 이름으로 저장되게 된다.



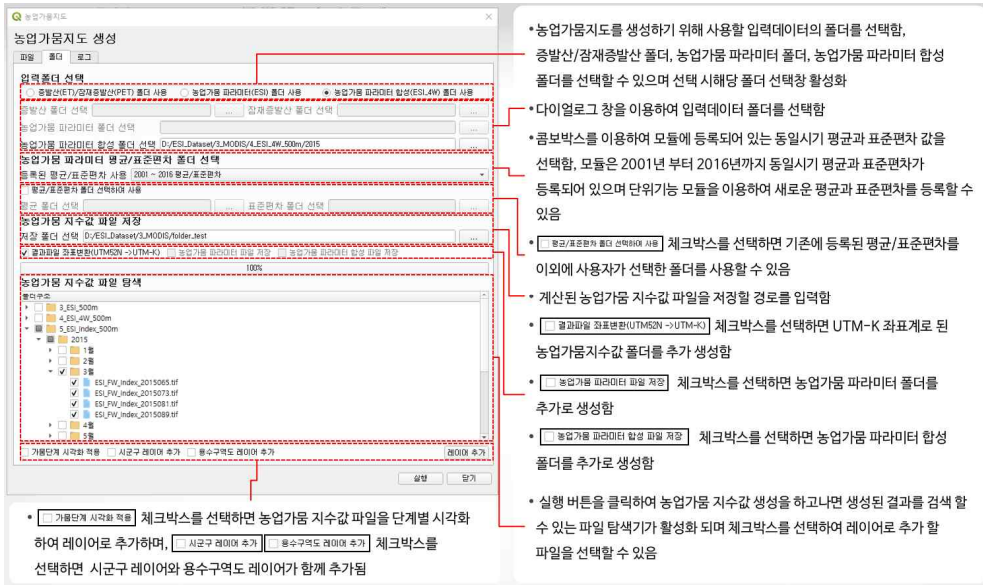
<그림 6-9> 파일단위 동일시기영상 평균·표준편차 계산 모듈



<그림 6-10> 폴더단위 동일시기영상 평균·표준편차 계산 모듈

7) 폴더단위 배치프로세싱

QGIS 기반의 농업가뭄 생성 모듈은 위에서 설명한 함수를 이용한 단계별 처리 동작 외에도 농업가뭄지도 생성을 위한 일괄적인 처리를 하나의 폴더 내의 전체 파일에 대하여 배치처리 기능을 수행할 수 있다.



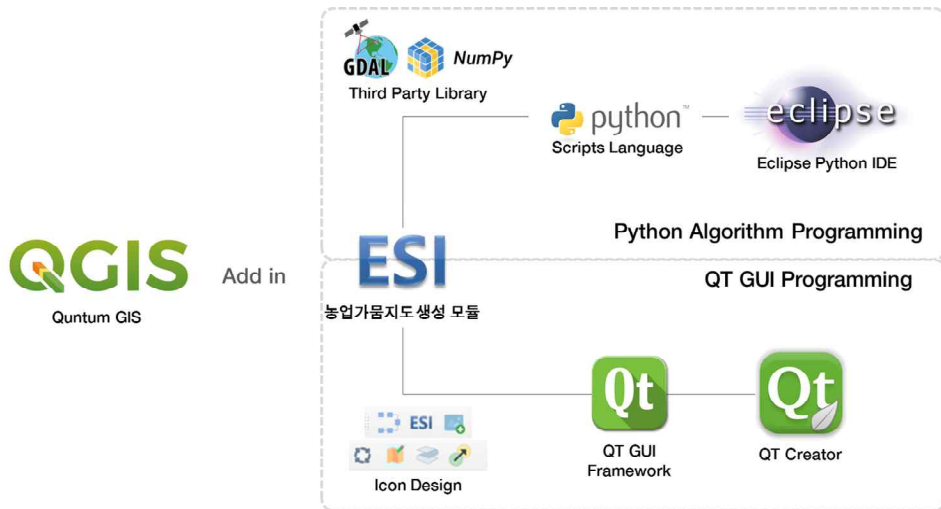
<그림 6-11> 폴더단위 배치프로세싱 화면

나. QGIS 기반 모듈 실행 방법

1) 개발환경

본 연구의 농업가뭄지도 생성 모듈개발은 알고리즘 개발과 GUI(Graphic User Interface) 개발로 구성되어 있다. 각각의 알고리즘은 스크립트 언어인 Python 3.x 버전으로 Eclipse python IDE를 사용하여 작성 되었으며 GDAL과 Numpy 라이브러리를 사용하여 매트릭스 연산 및 GeoTIFF 파일의 변환을 수행하도록 설계하였다.

GUI는 QT 5.X 버전을 Python 3.x로 포팅된 버전을 사용하였으며 QT Creator를 사용하여 다이얼로그 배치, 버튼과 메뉴 구성 등의 인터페이스를 설계 및 작성하였다.



<그림 6-12> 모듈 개발환경

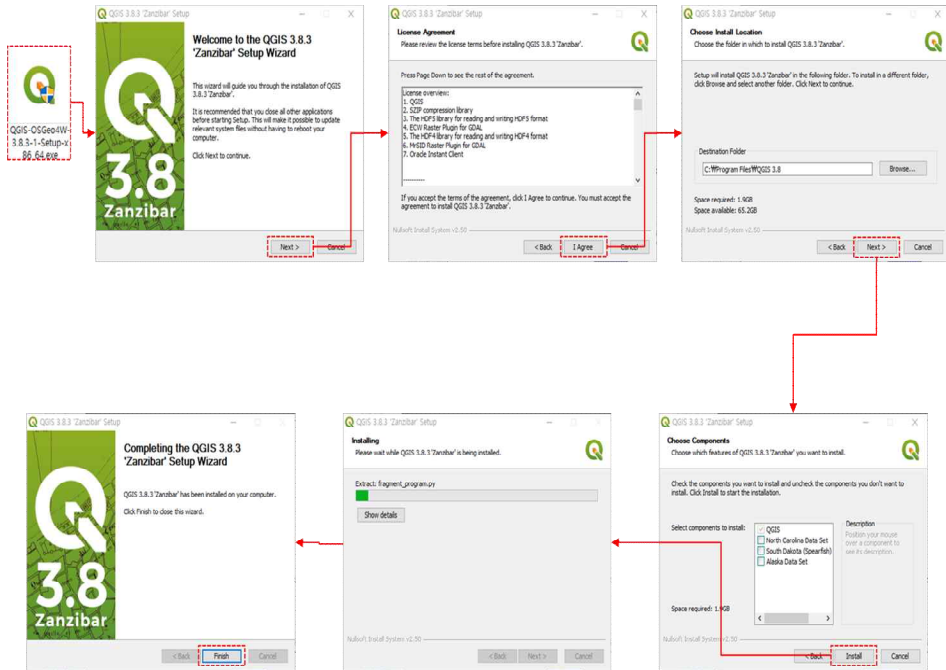
2) 실행 방법

본 모듈을 설치하기 위해 시스템 요구사항은 다음과 같다.

- Central Processing Unit(CPU) 요구사항
 - 인텔 코어 i3 이상 필요
- Random Access Memory(RAM) 요구사항
 - 8GB 이상의 메모리 용량 필요
- Hard Disk Drive 요구사항
 - 100GB 이상의 ESI 데이터 세트 및 농업가뭄지도 저장공간 필요
- Operating System 요구사항
 - Windows 계열의 운영체제로 7 이상 버전 필요
- Software 요구사항
 - QGIS 3.x 버전에 농업가뭄지도 생성 모듈 설치 필요

(1) QGIS 설치

QGIS를 설치하기 위해서는 www.qgis.org 사이트에 접속하여 다운로드 사이트에 접속 후 'QGIS 독립 설치 관리자 버전 64bit' 설치파일을 다운로드 후 설치를 진행하면 된다.



<그림 6-13> QGIS 설치 화면

(2) 농업가뭄지도 생성 모듈 설치

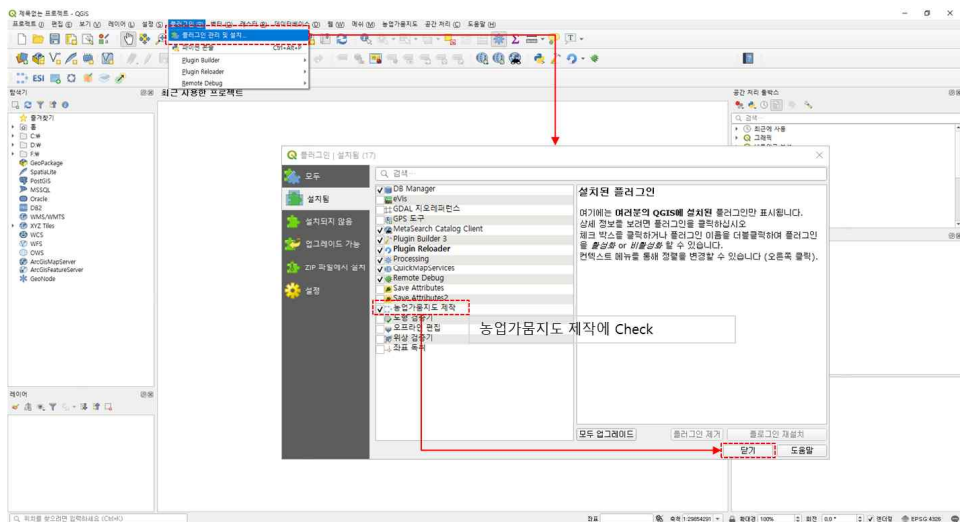
농업가뭄지도 모듈을 설치하기 위해서는 QGIS 소프트웨어 설치 이외에 별도의 생성 모듈을 설치해야 한다. 본 연구에서는 사용자 편의를 위해 모듈 설치시 위자드(마법사) 형식으로 설치가 진행되도록 하였다. 따라서 관련 설치파일을 실행한 후 별도의 세팅 작업 없이 진행 버튼을 클릭하게 되면 모듈 설치가 완료되도록 구현하였다.

- 제공받은 농업가뭄지도 생성 모듈 설치파일을 더블클릭하여 농업가뭄지도 생성 모듈 설치 위자드를 실행한다.
- 설치 위자드 첫 페이지는 농업가뭄지도 생성 모듈의 버전 정보 및 설치시 유의사항을 확인할 수 있으며 [다음] 버튼을 클릭하여 다음 페이지로 진행한다.
- 설치 위자드 두 번째 페이지는 농업가뭄지도 생성 모듈 설치를 위한 라이선스 정보를 확인할 수 있으며 [동의함] 버튼을 클릭하여 다음 페이지로 진행된다.
- 설치 위자드 세 번째 페이지는 농업가뭄지도 생성 모듈이 설치될 경로를 설정할 수 있으며 [설치] 버튼을 클릭하여 다음 페이지로 진행한다.
- 설치 위자드 네 번째 페이지는 농업가뭄지도 생성 모듈을 설치함, 설치가 완료되면 [다음] 버튼이 활성화되며 버튼을 클릭하여 다음 페이지로 넘어갈 수 있다.
- 설치 위자드 다섯 번째 페이지는 농업가뭄지도 생성 모듈이 정상적으로 설치되었다는 메시지를 확인할 수 있으며 [마침] 버튼을 클릭하여 설치 위자드를 종료한다.



<그림 6-14> 농업가뭄지도 생성 모듈 설치 워자드 진행 과정

- 앞서 설치한 QGIS를 실행하고 상단의 메뉴 중 플러그인 메뉴에서 플러그인 관리 및 설치 메뉴를 클릭한다.
- 활성화된 플러그인 다이얼로그 창에서 왼쪽 메뉴 중 설치됨을 선택하고 목록 중 농업가뭄지도 제작의 체크 박스를 체크 상태로 설정 후 단기를 선택한다.



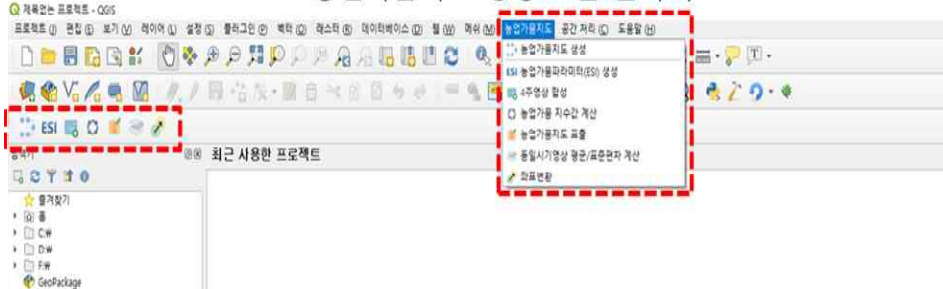
<그림 6-15> 농업가뭄지도 생성 모듈 플러그인 등록

설치가 완료되면 농업가뭄지도 생성 모듈 설치 후 상단의 메뉴 메뉴와 공간처리 메뉴 사이에 농업가뭄지도 메뉴가 생성된 것을 볼 수 있으며, 하단의 툴바 모음에 농업가뭄지도 툴바가 추가된 것을 확인할 수 있다.

농업가뭄지도 생성 모듈 설치 전



농업가뭄지도 생성 모듈 설치 후



<그림 6-16> 농업가뭄지도 생성 모듈 설치 전·후

2. 농업가뭄 지도 생성기술

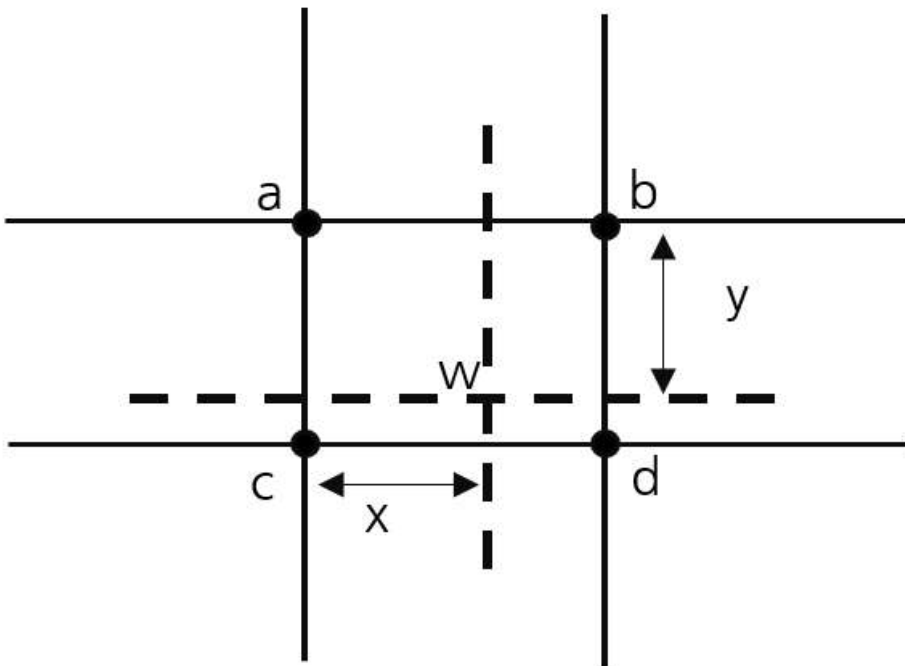
가. 영상 재배열

변환식에 의해 변환된 좌표에 맞추어 원래의 영상데이터를 재배열함으로써 위성영상이 지도로서의 가치를 갖게 된다. 이러한 보정을 거친 다음, 새로운 영상에 있는 각각의 화소에 새로운 DN(Digital Number) 혹은 밝기 값(brightness)을 결정하는 영상 재배열 과정을 실시하게 된다. 변환된 화소의 값을 원 영상의 값과 유사하도록 결정하는 방법은 크게 Nearest Neighbor, Bilinear Interpolation, Cubic Convolution의 3가지로 나누어진다.

1) Nearest Neighbor

재배열 방법은 Nearest Neighbor 입력 영상의 화소 크기와 출력 영상의 화소의 크기가 비슷할 때 많이 쓰이는 기법으로 원래 영상과 좌표 변환된 영상을 겹쳤을 때 가장 가까운 화소의 값을 좌표 변환된 영상의 화소 값으로 정하는 방법이다.

<그림 6-17>에서 W 는 좌표 변환된 영상의 화소이고 a, b, c, d 는 원래 영상의 화소이다. 이 방식의 장점은 처리 속도가 빠르고, 원 영상에 화소의 DN 값을 그대로 유지하고 있어서 후에 분류 작업이 가능하다. 반면 좌표 변환된 영상을 보면 화소가 한 개 정도 어긋나 있어 부드럽게 보이지 않고 거칠어 보인다는 단점이 있다.



<그림 6-17> Nearest Neighbor 재배열

```

def write_values_from_nn():
    source_layer_index = QgsSpatialIndex(source_layer.getFeatures())
    source_layer_features = {feature.id(): feature for (feature) in
source_layer.getFeatures()}
    target_layer_features = target_layer.getFeatures()

    target_layer.startEditing()

    for f in target_layer_features:
        nearest = source_layer_index.nearestNeighbor(f.geometry().asPoint(), 1)[0]
        value = source_layer_features[nearest].attribute("value")
        target_layer.changeAttributeValue(f.id(), 1, value)

    target_layer.commitChanges()

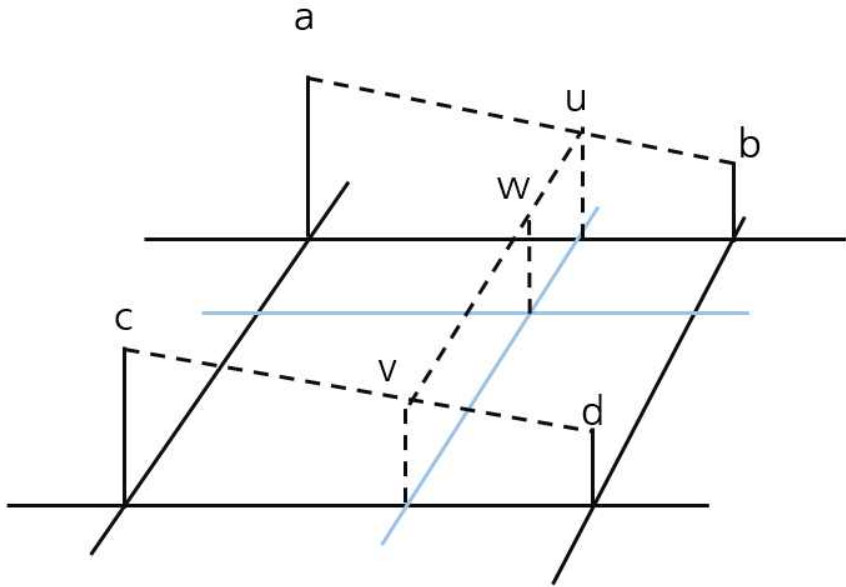
write_values_from_nn()

```

<그림 6-18> Nearest Neighbor 구현 소스 코드 일부

2) Bilinear Interpolation

거리에 반비례하게 각각의 값에 가중치를 달리하여 값을 결정한다. <그림 6-19>에서 u 는 a 와 b 를 평균한 값이고, v 는 c 와 d 를 평균한 값이다. 이 두 값 u 와 v 를 다시 평균한 값이 좌표 변환된 화소 W 의 DN 값이 된다.



<그림 6-19> Bilinear Interpolation

```

import numpy as np
from scipy.misc import imread, imshow
from scipy import ndimage

def GetBilinearPixel(imArr, posX, posY):
    out = []

    modXi = int(posX)
    modYi = int(posY)
    modXf = posX - modXi
    modYf = posY - modYi
    modXiPlusOneLim = min(modXi+1,imArr.shape[1]-1)
    modYiPlusOneLim = min(modYi+1,imArr.shape[0]-1)

    #Get pixels in four corners
    for chan in range(imArr.shape[2]):
        bl = imArr[modYi, modXi, chan]
        br = imArr[modYi, modXiPlusOneLim, chan]
        tl = imArr[modYiPlusOneLim, modXi, chan]
        tr = imArr[modYiPlusOneLim, modXiPlusOneLim, chan]

        b = modXf * br + (1. - modXf) * bl
        t = modXf * tr + (1. - modXf) * tl
        pxf = modYf * t + (1. - modYf) * b
        out.append(int(pxf+0.5))

    return out

if __name__=="__main__":

    im = imread("test.jpg", mode="RGB")
    enlargedShape = list(map(int, [im.shape[0]*1.6, im.shape[1]*1.6,
im.shape[2]]))
    enlargedImg = np.empty(enlargedShape, dtype=np.uint8)
    rowScale = float(im.shape[0]) / float(enlargedImg.shape[0])
    colScale = float(im.shape[1]) / float(enlargedImg.shape[1])

    for r in range(enlargedImg.shape[0]):
        for c in range(enlargedImg.shape[1]):
            orir = r * rowScale #Find position in original image
            oric = c * colScale
            enlargedImg[r, c] = GetBilinearPixel(im, oric, orir)
    imshow(enlargedImg)

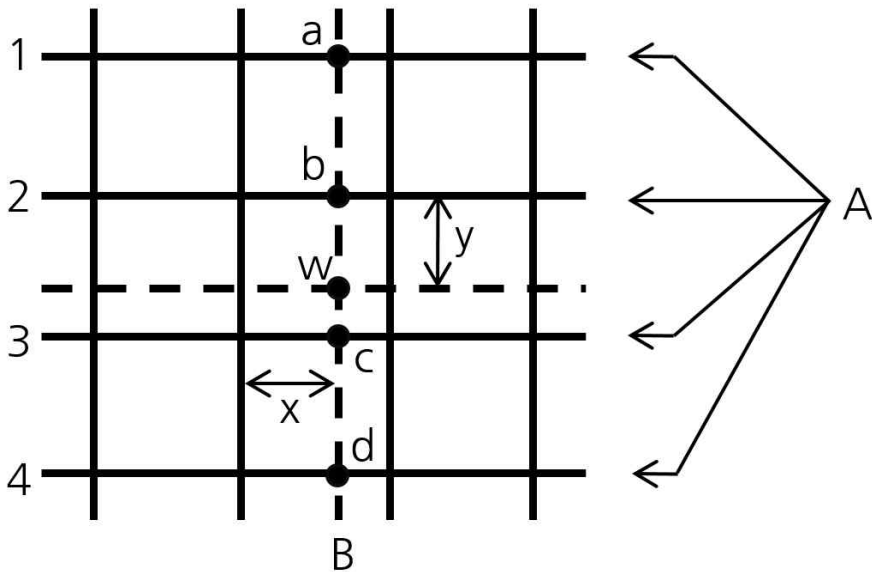
```

<그림 6-20> Bilinear Interpolation 구현 소스 코드 일부

이 방법은 재배열된 영상을 보면 상당히 부드럽게 보이지만 원 영상의 화소값을 잃어버리기 때문에 분류 작업에 적용하기가 곤란하다. 이러한 단점을 해결하기 위해 먼저 분류를 해놓고 재배열을 하는 때도 있다. 또한, 경계가 확실히 구분되지 않는 단점이 있다.

3) Cubic Convolution

단순히 주변의 4개의 화소 즉, 동서남북 방향뿐만 아니라 8방향, 16방향의 화소의 값까지 고려하여 값을 결정하는 기법이다.



<그림 6-21> Cubic Convolution

```

print('Start bicubic interpolation')
print('It will take a little while...')
inc = 0
for c in range(C):
    for j in range(dH):
        for i in range(dW):
            x, y = i * h + 2, j * h + 2
            x1 = 1 + x - math.floor(x)
            x2 = x - math.floor(x)
            x3 = math.floor(x) + 1 - x
            x4 = math.floor(x) + 2 - x
            y1 = 1 + y - math.floor(y)
            y2 = y - math.floor(y)
            y3 = math.floor(y) + 1 - y
            y4 = math.floor(y) + 2 - y

            mat_l = np.matrix([[u(x1,a),u(x2,a),u(x3,a),u(x4,a)]])
            mat_m =
np.matrix([[img[int(y-y1),int(x-x1),c],img[int(y-y2),int(x-x1),c],img[int(y+y3),int
(x-x1),c],img[int(y+y4),int(x-x1),c]],

[img[int(y-y1),int(x-x2),c],img[int(y-y2),int(x-x2),c],img[int(y+y3),int(x-x2),c],i
mg[int(y+y4),int(x-x2),c]],

[img[int(y-y1),int(x+x3),c],img[int(y-y2),int(x+x3),c],img[int(y+y3),int(x+x3),c],i
mg[int(y+y4),int(x+x3),c]],

[img[int(y-y1),int(x+x4),c],img[int(y-y2),int(x+x4),c],img[int(y+y3),int(x+x4),c],i
mg[int(y+y4),int(x+x4),c]])
            mat_r = np.matrix([[u(y1,a)], [u(y2,a)], [u(y3,a)], [u(y4,a)]])
            dst[j, i, c] = np.dot(np.dot(mat_l, mat_m), mat_r)

            inc = inc + 1
            sys.stderr.write('\r\033[K' + get_progressbar_str(inc/(C*dH*dW)))
            sys.stderr.flush()

sys.stderr.write('\n')
sys.stderr.flush()
return dst

```

<그림 6-22> Cubic Convolution 구현 소스 코드 일부

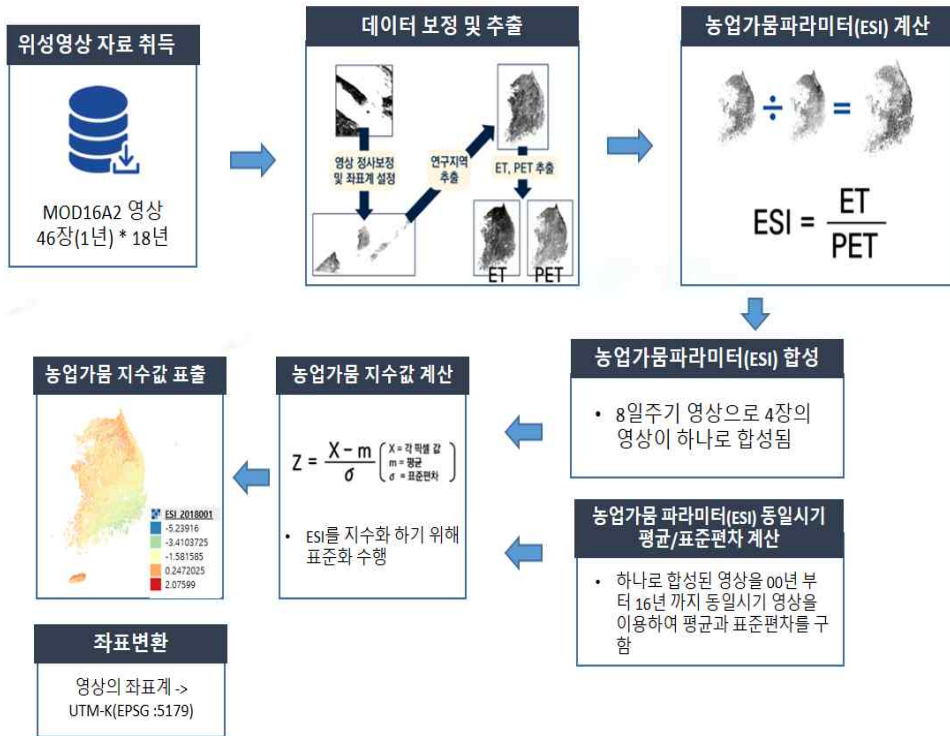
이 방법의 장점은 Nearest Neighbor처럼 영상이 거칠어 보이지 않고, Bilinear Interpolation처럼 경계가 무더 보이지도 않는다. 즉위 두 방법의 단점을 해결한 방법이다. 반면 처리 속도가 느리고, 이 방법도 원시 영상의 화소 값이 변형되기 때문에 후에 있는 분류과정에 적용하기 곤란하다.

(표 6-1) 영상 재배열 기법의 장·단점

보간 기법	장점	단점
Nearest neighbour	<ul style="list-style-type: none"> - 계산이 가장 빠르다. - 보정 전 영상자료와 통계적 특징이 보존된다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 출력 영상이 거칠다. - 사선으로 존재하는 대상물이 계단처럼 끊어져 보인다.
Bilinear interpolation method	<ul style="list-style-type: none"> - 계산이 비교적 빠르다. - 출력 영상이 매끈하다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 보정 전 자료와 통계치가 달라질 수 있다.
Cubic convolution	<ul style="list-style-type: none"> - 출력 영상이 가장 매끈하다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 보정 전 자료와 통계치 및 특성이 손상된다. - Smoothing 현상이 발생된다.

나. 생성 알고리즘

농업가뭄 지도를 생성하기 위해 본 연구에서 구현한 알고리즘은 농업가뭄 파라미터(ESI)계산, ESI 합성 알고리즘, 평균·표준편차 계산 알고리즘으로 구성되어 있다.



<그림 6-23> 농업가뭄 생성 알고리즘의 구성

1) ESI 계산 알고리즘

ESI 계산 알고리즘은 PET 영상을 ET 영상으로 나눈 것을 의미한다. 해당 알고리즘은 QGIS Raster Calculation 기능을 활용하여 구현하였다.

```

import qgis
from qgis.analysis import QgsRasterCalculatorEntry,
QgsRasterCalculator

# Get layer object
layer = processing.getObject(lyr)
lddLrs = qgis.utils.iface.legendInterface().layers()
for lyr in lddLrs:
    entries = []
    ras = QgsRasterCalculatorEntry()
    ras.ref = 'PET'
    ras.raster = ET
    ras.bandNumber = 1
    entries.append( ras )
    calc = QgsRasterCalculator( ("ET" / "PET")",+lyr.name() +
    "_ESI.tif", 'GTiff', lyr.extent(), lyr.width(), lyr.height(), entries )
    calc.processCalculation()

```

<그림 6-24> ESI 계산 알고리즘의 예시(일부)

2) 합성 알고리즘

합성 알고리즘은 월별 합성과 연별 합성으로 나뉘어 구현하였다. 월별 합성은 4장의 MODIS 영상을 8일 주기 영상으로 3~4장의 영상을 한 달로 묶어서 각 격자 값들을 계산하여서 한 달 ESI로 합성하였다. 연별 합성은 365일을 기준으로 총 46장의 영상을 취득할 수 있으며 각 격자 값들을 계산하여 1년 단위의 ESI 영상을 합성하였다. 이처럼 합성이 필요한 이유는 구름 등 기상 상태 등의 원인으로 인하여 촬영되지 않는 지역을 보완하기 위해서이다.

```

import os
for subfolder in os.listdir(folder):
    rasterGrid = ""
    mosaicGrid = folder + "/MODIS ESI 500m_" + subfolder + ".tif"
    rNum = 0
    rLim = len(glob.glob(folder + "/" + subfolder + "/*.tif"))
    for raster in glob.glob(folder + "/" + subfolder + "/*.tif"):
        rNum = rNum + 1
        if rNum < rLim:
            rasterGrid = rasterGrid + raster + ";"
        else:
            rasterGrid = rasterGrid + raster
    processing.runalg("saga:mosaicrasterlayers", rasterGrid, None, 7,
0, 1, 10, 0, 0, "124, 132, 33, 43", mosaicGrid)
    addRasterLayer(mosaicGrid, subfolder)

```

<그림 6-25> ESI 합성 알고리즘의 예시(일부)

3) ESI 표준화

ESI 표준화는 단순 계산 값만으로는 가뭄에 관한 판단이 어려우므로 ESI를 아노말리 값으로 지수화하기 위해 표준화가 필요하다. 표준화를 위해서는 표준편차를 각 픽셀값에서 평균으로 뺀 값으로 나눠준다.

이때 장기 가뭄 분석(2001~2018)을 할 때는 시간의 흐름에 따라 가뭄 양상을 분석하기 위해 전체 기간에 대해 픽셀당 평균과 표준편차 값을 구해 표준화를 구하고, 단기(특정 시점) 가뭄 분석은 2001년부터 2018년까지 해당 시점(일 또는 월)에 해당하는 픽셀값만으로 평균, 표준편차를 계산하여 표준화한다.

$$z = \frac{X - m}{\sigma}$$

```

from osgeo import gdal
import numpy as np
from glob import glob
import os

data_dir = '/home/'
file_list = glob(os.path.join(data_dir, '*.tif'))
raster = [ os.path.split(item)[1] for item in file_list ]

for i, file in enumerate(file_list):
    dataset = gdal.Open(file)
    band = dataset.GetRasterBand(1)
    data = band.ReadAsArray()

    print raster[i], ", mean: ", np.mean(data)

```

<그림 6-26> ESI 표준화(평균 계산) 알고리즘 예시(일부)

3. 농업가품 지도제작

가. 지도 시각화

시각적으로 공간문제를 발견하는 방법은 주제도와 시각적 공간분석이다. 주제도는 특정 주제에 대한 정보의 공간 패턴을 알아보기 위하여 다양한 그래픽 기호를 활용하여 제작하는 지도이다. 시각적 분석(visual analytics)은 ‘동적 상호작용이 가능한 시각적 인터페이스를 이용해서 분석적 추론을 수행하는 과학’으로 정의된다. 디지털 데이터의 경우 공간범위와 해상도, 범례의 급간 등을 연구자가 수시로 조정하면서 다양한 측면으로 살펴보는 것이 가능하다.

현상을 지도로 표현하는 것은 GIS의 기초기능에 해당한다. 많이 활용되고 있는 QGIS, GRASS 등 전통적인 GIS SW는 시각화기능을 제공하고 있다.



<그림 6-27> 지도 시각화의 다양한 유형의 예
(datavizcatalogue.com)

나. 등급도

등급도란 지역의 데이터를 표현하는 데 있어 가장 흔하게 사용되는 방법으로 지역 간 분포의 차이를 구별되는 색상이나 서로 다른 패턴으로 표현한 지도를 의미한다. 다른 말로 단계구분도라고도 한다. 대상이 되는 데이터를 일정한 간격으로 계급을 구분하여 계급별로 다른 기호나 색상을 부여하여 지도화하는 것으로 지역별로 가뭄지도를 상대적으로 표현하기 위해서는 등급도가 필요하다. 등급도의 경우 등급분류법에 따라서 표현되는 지도패턴이 매우 다르게 나타나며, 단계구분도를 구축하는 데 있어 가장 핵심적인 요소이다.

등급별 지도 표출 방안으로 자연적 구분법, 등간격법, 표준편차법, 시분법 등의 방법이 존재한다. 각 등급의 구간을 등간격으로 나누는 방법인 등간격 방법을 활용하여 단계 구분도를 구축하는 경우 동일한 범위로 값을 나누기 때문에 지도를 해석하기 매우 쉬우며, 비전문가가 이해하기도 쉬운 장점이 있다.

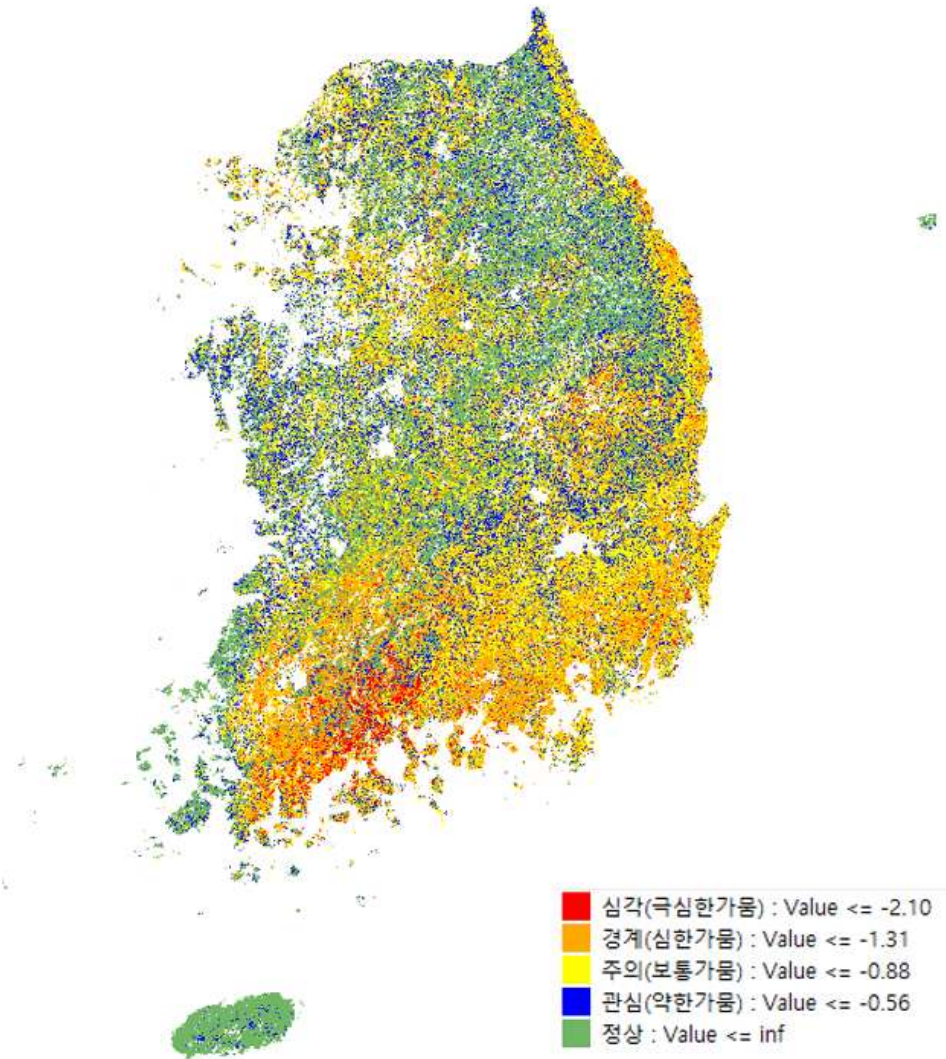
(표 6-2) 등급별 지도 표출 방법의 종류와 특징

분류 방법	내용	
외인적 자료 분류	- 외부적으로 이미 보편화하여 있는 결정치를 기준으로 분류	
임의적 자료 분류	- 어떤 특별한 의미나 기준 없이 임의로 편의상 분류하는 방법	
개성 기술적 분류법	자연적 구분	- 자료의 도수분포도를 토대로 자연적으로 구분될 수 있는 지점들을 중심으로 하여 분류
	단계적 구분	- 누적적 도수분포도 선상에서 기울기의 변화가 나타나는 점을 중심으로 하여 분류
	상관 관계적 구분	- 주어진 지도에서의 유사성을 극대화하기 위해 상관관계를 토대로 하여 분류
	사분법	- 각 계급에 같은 수의 관측지가 포함되도록 분류
	포섭된 평균 계급 구간법	- 도수분포평균을 두 계급으로 구분하기 위해 임계치를 정하여 분류한 후 나누어진 각 계급 구간의 평균을 중심으로 하여 다시 또 두 그룹으로 분류
연속적 분류법	정규비율법	- 가정된 정상 곡선상에서 같은 빈도계급으로 나누는 법
	표준편차법	- 정규분포하는 자료집단의 경우 평균을 중심으로 하여 표준편차의 크기에 따라 구분하는 법
	등간격법	- 도수분포상의 자료배열이 사각형 모양으로 나타나고 행정구역도와 거의 같은 크기일 때 사용하는 분류법
	산술급수적 누진법	- 자료집단이 배열이 누진적 형상으로 나타날 때 주로 사용하는 방법으로 변수적, 체계적, 수학적인 계급 구간의 체계
	기하급수적 누진법	- 자료의 배열이 기하급수의 누진적 형상으로 나타날 때 주로 사용하는 방법으로 대부분의 지리적 자료의 경우에 이런 현상으로 나타남.
최적 분류법	- 자연적 구분법을 보완한 것으로 계급 구간 내에서 동질성을, 계급 구간에서는 이질성을 최대화하도록 고안한 것으로 계급 구간은 불규칙하고 계급 간에 경계도 비조직적일 때 사용	

본 연구에서 농업가뭄 단계를 가장 시각적으로 잘 표현하기 위해서 등급별 지도 표현 방법 중 개성 기술적 분류법 내의 단계적 구분법을 사용하였다. 단계적 구분법은 표현되는 값의 범위가 결정된 상태에서 구분된 값에 따라서 지도상에 표현되는 색상을 달리하여 연구자가 일반인이 한눈에 수치가 좋고 나쁨을 확인할 수 있는 가장 좋은 분류 기법이라고 할 수 있다.



<그림 6-28> 본 연구에서 시각화 단계 구분



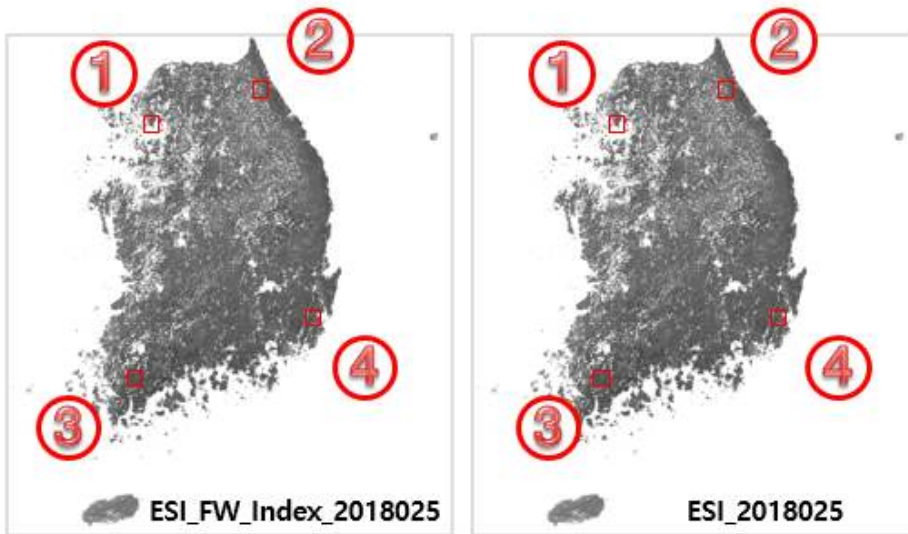
<그림 6-29> 본 연구에서 농업가뭄지도 시각화 결과

4. 가뭄지역 상황과 농업가뭄지도 적용성 비교(평가)

본 연구에서 개발된 모듈의 알고리즘의 적정성을 평가하기 위해 상업용으로 가장 많이 사용되고 있고, 알고리즘의 적정성과 안정성이 확인된 Arcgis 소프트웨어를 사용하여 결과의 적용성을 평가하였다.

결과의 비교를 위하여 농업가뭄지도 생성 모듈을 사용한 농업가뭄지도 (ESI_FW_Index_2018025)와 ArcGIS를 사용한 농업가뭄지도(ESI_2018025)

결과의 통계값과 4개 위치의 농업가뭄 지수 값에 대하여 비교 검증을 수행하였고 비교 대상 지역은 동, 서, 남, 북의 4개 지점에 대하여 상호 결과 값을 비교 검증하였다. 1~4번까지 각 위치의 농업가뭄 지수값을 비교한 결과 동일한 지수 값을 확인할 수 있었으며 전체 영상의 통계값을 비교한 결과 최대, 최소, 범위는 동일하게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 적용한 알고리즘과 알고리즘을 구현하기 위한 개발 소스가 농업가뭄지도 생성을 위해 적합하다는 것을 알 수 있다.



<그림 6-30> 적용성 비교 데이터(좌: 본 연구 결과, 우: Arcgis 결과)

(표 6-3) 검사 지역별 적용성 평가

검사 지역	본 연구 결과	Arcgis
1	-1.318542	-1.318542
2	-1.354056	-1.354056
3	-1.718099	-1.718099
4	-1.867203	-1.867203

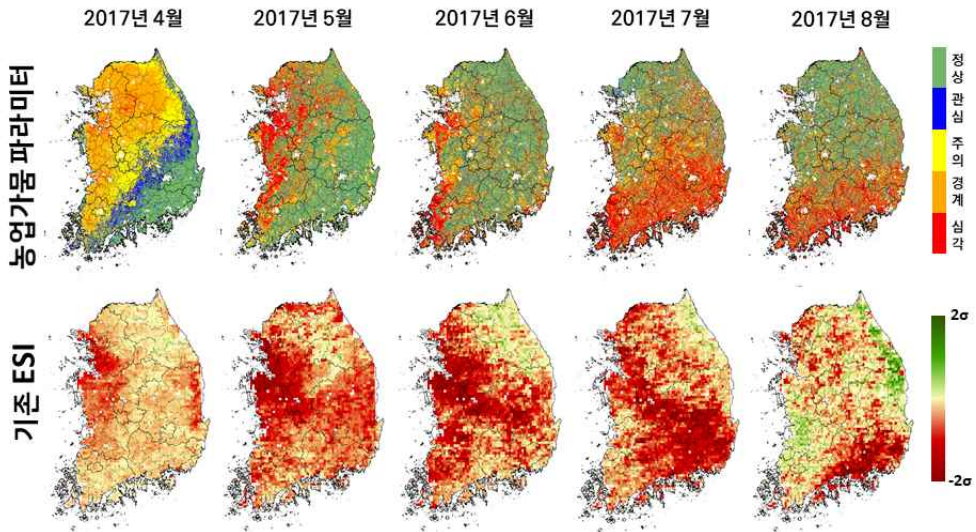
(표 6-4) 전체 지역 통계 값 비교

항목	본 연구 결과	Arcgis
최소값	-28.358020	-28.358020
최대값	11.0059823	11.0059823
범위	39.3640031	39.3640031
합	-259155.6933	-259278.4559
평균치	-0.7914286	-0.79182050
표준편차	0.81642805	0.815170729

국내 기준에 맞추어 새롭게 제시한 농업가뭄 파라미터를 농업가뭄 모니터링 모델로 활용할 수 있을지 적용성을 평가하기 위하여 기존 ESI, 표준 지하수지수 (Standardized Groundwater Level Index, SGI), SPI, 그리고 저수율 데이터와 공간분포를 비교하였으며, 토지이용도를 활용하여 논, 밭과 같은 들녘단위의 가뭄 판단이 가능한지 분석하였다.

○ 기존 ESI와 농업가뭄 파라미터

아노말리로 표현되는 기존 ESI는 단순히 가뭄 (빨간색), 비가뭄 (초록색)으로 나타냈으며, 농업가뭄 파라미터는 국내 가뭄 예·경보 기준에 맞추어 4 단계로 가뭄을 단계별로 구분하였다. 공간지도를 통하여 단순히 가뭄을 표현하는 것이 아닌 심도별로 가뭄의 심각성을 파악할 수 있다.

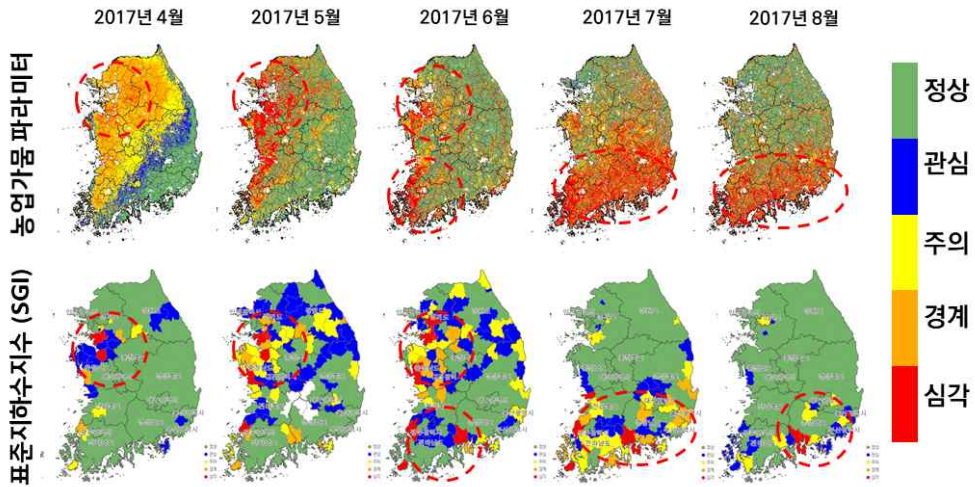


<그림 6-31> 농업가뭄 파라미터의 공간분포 비교 (기존 ESI)

○ 표준지하수지수 (SGI)와 농업가뭄 파라미터

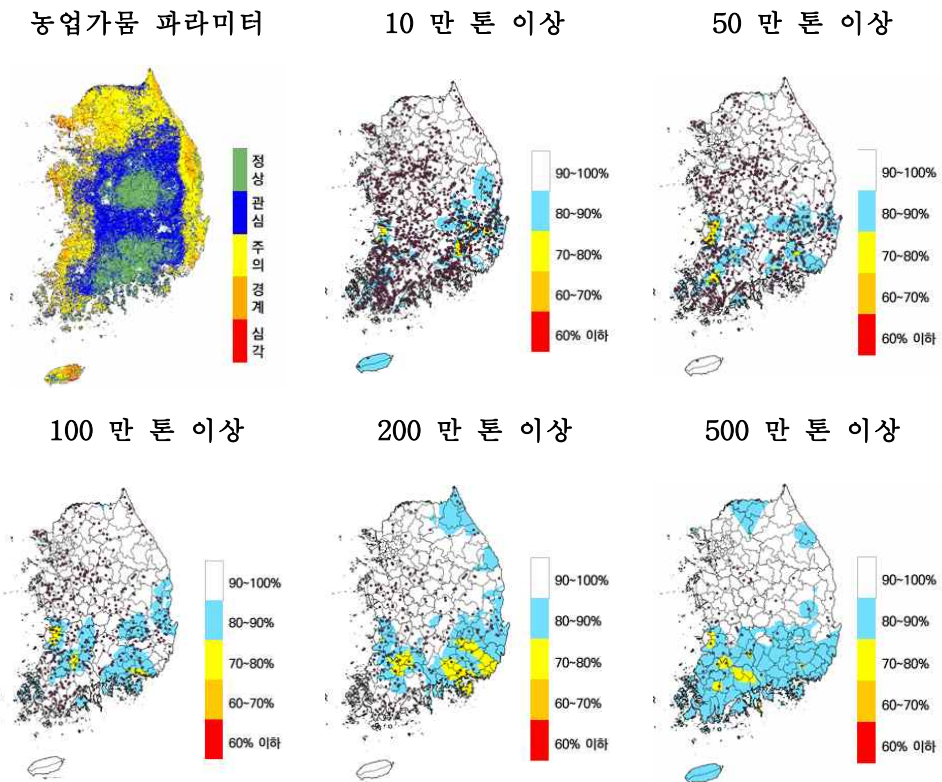
지하수위는 농업을 판단하는 것에 있어서 중요한 지표로 이용가능한 물의 유무는 가뭄과 밀접하기 때문에 지하수위를 활용한 표준지하수 지수를 비교하였다. 표준지하수지수 SGI는 지하수위를 이용한 가뭄 모니터링 기법으로, 장기간 관측자료 기반의 지하수위 분포와 현재의 지하수위를 비교하는 개념이다. 전체 지하수 관측소 402 개 중 10년 이상의 관측자료를 보유한 288 개 관측소를 우선 선별하고, 관측자료는 K-WATER 국가지하수정보센터의 데이터베이스 (NGWIS)를 활용하였으며, 국가가뭄정보분석센터에서 공간지도를 시군구 단위로 제공하고 있다. 실제 가뭄사상과 마찬가지로 4월 경기, 충청을 중심으로 가뭄이 나타났으며, 농업가뭄 파라미터의 경우 경기, 충청, 강원 지역을 중심으로 주의, 경계 단계를 보이면서 가뭄이 전국적으로 발생할 것을 알 수 있다. 5, 6월은 두 지수 모두 경기, 충청 지역의 가뭄이 심화되어 주의, 경계, 심각 단계까지 표현하였으며, 7월 중부지방의 장마전선으로 인하여 가뭄이 어느정도 해소되지만 남부지방의 가뭄은 지속, 심화되며, 두 지수 모두 남부지방의 가뭄을 주의, 경계, 심각 위주로 표현하였다. SGI와 가뭄 발생에 대한 경향이 유사하게 나타나며, 농업가뭄 파라미터는 시군구 단위보다 세밀하게 가뭄을 분석할 수 있고 SGI보다 심각 단계의 가뭄을 표현하여 2017년 가뭄이 심각

했음을 표현하였다.



<그림 6-32> 농업가뭄 파라미터의 공간분포 비교 (SGI)

- 저수율 데이터와 농업가뭄 파라미터
 농업가뭄에 중요한 지표는 지하수위 뿐만 아니라 저수량도 연관이 있으며, 일반적으로 관개기가 시작되는 4월의 저수율과 비교하기 위하여 농업가뭄 파라미터의 주기적으로 4월 첫 번째 데이터인 4월 7일을 기준으로 농업가뭄 파라미터와 저수율을 산정하였다. 저수율은 유효저수량별로 구분하였으며, 10 만 톤 이상의 1657 개소 저수지를 분석하였다. 2019년 4월 7일 농업가뭄 파라미터는 내륙은 정상과 관심 단계 위주로 표현하였으며, 경기, 강원 북부, 동해안, 서해안 지역에 대하여 주의 단계를 보였다. 유효저수량별 저수율은 10 만 톤, 50 만 톤, 100 만 톤, 200 만 톤, 500 만 톤 이상을 표현하였으며, 대부분 70 % 이상의 저수율을 보였다. 경기, 충청, 강원, 경상북도 지역에 대하여는 저수율이 대부분 90 %을 기록하였으며, 남부지방은 상대적으로 적은 7~80 %의 저수율을 기록하였다.



<그림 6-33> 농업가뭄 파라미터의 공간분포 비교 (저수율)

○ 토양유효수분율과 농업가뭄 파라미터

토양수분의 감소는 농업가뭄과 직접적으로 연관이 있으며, 농촌진흥청에서 제공하는 토양유효수분율 데이터를 활용하여 2017, 2018년의 토양유효수분율을 비교하였다. 토양수분 취득 가능 지점인 충청남도 서산 지역의 가뭄사상과 비교하였으며, 대상 지역의 콩, 보리 후작을 기준으로 RUNS 이론을 활용하여 토양유효수분율 60 % 이하의 시기만을 선별하였으며, 동일 시기의 농업가뭄 파라미터와 비교하여 같은 기간의 추세를 파악하였다. 농업가뭄 파라미터는 토양유효수분율 60 % 이하의 시기와 동일 시기의 Value를 파악하고 Value에 해당하는 Percentile을 활용하여 그래프를 표현하였다. 토양유효수분율의 추세와 농업가뭄 파라미터의 추세 간의 상관성을 찾기 어려웠으며, 두 데이터를 활용하여 검증을 하는 것은 추후 연구가 필요한 것으로 사료

된다.

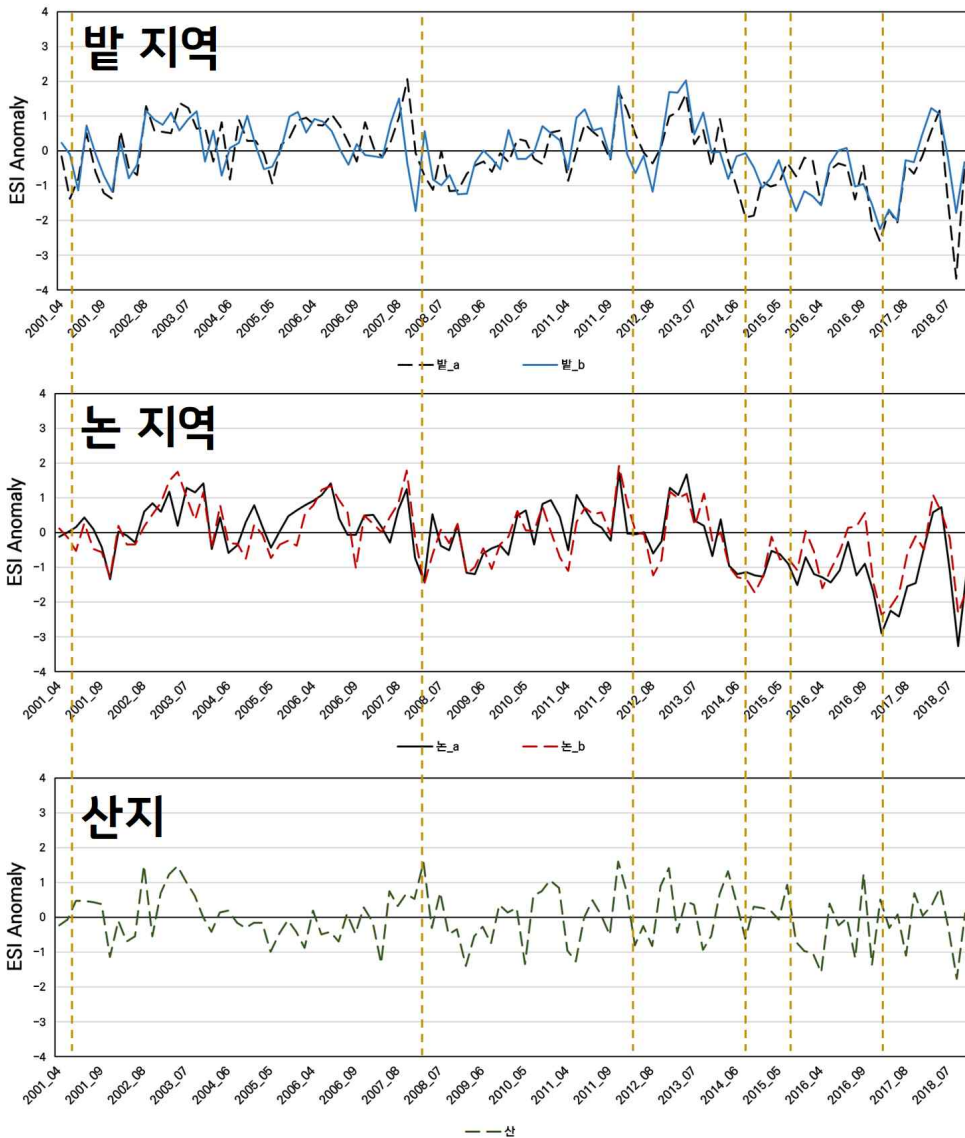


<그림 6-34> 농업가뭇 파라미터의 공간분포 비교 (토양유효수분율)

- 토지이용도와 농업가뭇 파라미터
 토지이용도를 이용하여 농업가뭇 파라미터를 통한 논, 밭과 같은 작물재배 지역의 구분이 가능한 지를 파악하였으며, 안성시를 대상으로 2 개의 밭, 2 개의 논, 1 개의 산지를 선정하여 농업가뭇 파라미터의 적용성을 분석하였다. 대상 지역에 부합하는 농업가뭇 파라미터의 격자는 약 10~20 개를 포함하여 추출하였으며, 토지이용도를 이용하여 농업가뭇 파라미터를 통한 논, 밭과 같은 작물재배 지역의 구분이 가능한 지를 파악하였다. 2001년부터 2018년까지 대상 지역에 대하여 농업가뭇 파라미터 격자 값을 추출하여 그래프로 나타냈으며, 연별 안성시 가뭇 시기에 대하여 표현하였다. 전체적으로 가뭇 시기일 때 밭 지역의 농업가뭇 파라미터 Value는 대부분 -1 이하의 값을 나타내어 밭 가뭇 모니터링에 대하여 활용할 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 6-35> 대상 지역 위성영상 데이터 취득 예시



<그림 6-36> 대상 지역에 대한 농업가뭄 파라미터 추출 결과

제2절 향후 추진 방향

본 연구를 통하여 오픈소스 기반의 QGIS를 이용하여 Plug-in 형태의 농업가뭄 생성지도를 생성할 수 있는 표준모듈을 개발하였다. 비록 오픈소스 기반이 상업용 소프트웨어와는 다르게 누구나 제한 없이 사용할 수 있는 장점과 GIS 및 영상처리 알고리즘을 구현하는 데 있어 처

음부터 끝까지 하나하나의 알고리즘과 모듈을 개발할 필요가 없어 모듈개발에 필요한 시간적·경제적 효과를 누릴 수 있다는 장점이 있으나, 해당 모듈을 실행하기 위해서는 GIS S/W 운영에 관한 일부 지식이 필요하다는 점, 농업가뭄지도 만을 활용하고자 하는 사용자에게는 농업가뭄지도 이외의 불필요한 다수의 기능이 어쩔 수 없이 설치되어 프로그램 설치 및 데이터 용량을 차지한다는 단점을 가지고 있다.

따라서 향후 농업가뭄지도 시스템은 오픈소스 기반이나 별도의 plug-in 형태가 아닌 하나의 별도 시스템으로 구축되어야 한다.

본 연구를 통해서 농업가뭄지도 생성 고도화를 위한 방안을 다음과 같이 제언하고자 한다.

- 단속 실행되는 Standalone 형태 시스템 구축
 - 농업가뭄지도 생성에 필요한 요소 기술 만을 취합하여 농업가뭄지도 생성에 특화된 별도의 단속으로 실행이 가능한 시스템 구축이 필요하다.
 - 구축된 시스템은 농어촌연구원뿐만 아니라 농업가뭄에 관심이 있는 관계 기관에 배포하여 활용성할 수 있는 가능성이 크다. 다양한 기관에서의 사용은 향후 사용자의 활용에 따른 피드백(Feed back)을 받아 고도화에 참고자료로 활용할 수 있다.

- 가뭄지도 생성의 공간정보 기능 추가
 - 현재 구축된 시스템은 ET와 PET 데이터를 이용하여 ESI를 계산하고 합성 영상을 이용하여 단순하게 표출된 정보만을 볼 수 있다.
 - 향후 공간정보 기능 추가 등을 통하여 가뭄 피해 범위, 피해 규모, 피해확산 등 과학적·정량적 정보제공을 위한 공간정보 기능 추가가 필요하다.

- 논스톱(Non Stop), 원고(One-GO) 시스템 구축
 - 가뭄지도 시스템을 효과적으로 활용하기 위해서는 연구자의 관심 지역 설정과 해당하는 지역 위성영상을 내려받고 처리된 결과를 한번에 볼 수 있도록 위성영상 다운로드 → 영상 전처리 → 파라미터 계산 → 지표 값 표출이 끊김 없이 진행되는 논스톱(Non-Stop) 처

리 과정과 한 번의 클릭으로 처리 결과를 알 수 있는 원고 (One-GO) 시스템 구축이 필요하다.



제7장

위성영상 자료수집 체계 및 표준화



제7장 위성영상 자료수집 체계 및 표준화

제1절 위성영상 자료수집 체계

1. 위성영상 시스템 구축

가. 영상수집 시스템 현황

전 세계적으로 위성영상을 발사하고 운영하는 국가는 10여 개국 미만으로 위성영상 기술은 고도의 기술과 한 국가의 기술적·경제적 능력이 뒷받침돼야 발전할 수 있는 최첨단 분야라고 할 수 있다.

다만, 다행스러운 것은 공간해상도 5m 이하의 고해상도 상업용 위성영상을 제외하고 중·저해상도 위성영상의 경우는 미국, 유럽 등에서 운영하는 위성영상의 경우 간단한 정보를 입력하고 해당 사이트에 가입하게 되면 무료로 다운로드(download)하여 사용할 수 있어 비록 해당 위성영상을 운영하지는 않지만, 위성영상을 활용하여 다양한 활용 분야에 적용하기에는 문제가 없다는 점이다.

본 연구처럼 가뭄 등에 활용할 수 있는 중·저해상도 위성영상을 다운로드할 수 있는 대표적인 인터넷 사이트나 시스템은 대략 7개 정도인 것으로 파악되었다.

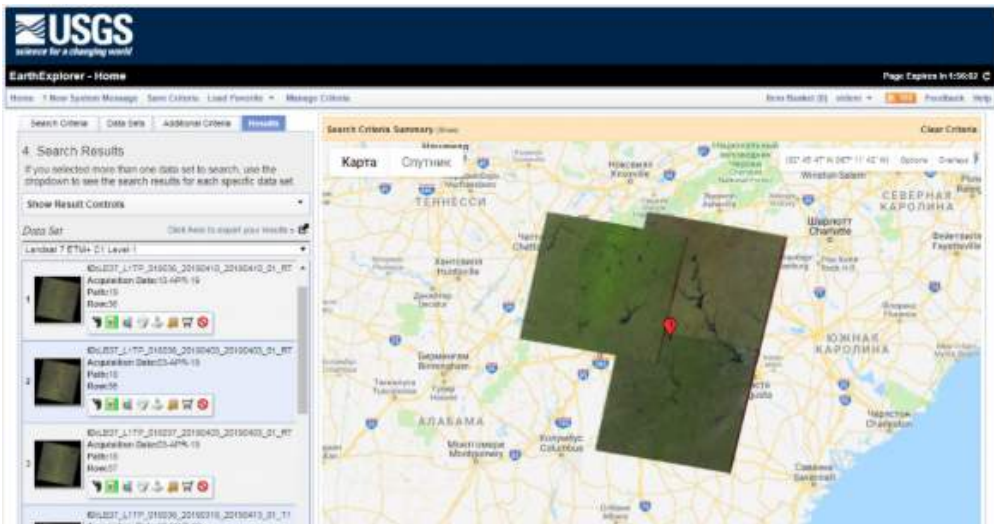
1) USGS EARTH EXPLORER

Earth explorer은 미국 USGS(United States Geological Survey)에서 운영하는 위성영상 다운로드 시스템이다. EarthExplorer에서 무료 위성영상 선택은 광학 및 레이더 데이터부터 기상 위성영상, 디지털 고도 자료에 이르기까지 다양한 종류의 위성영상을 제공하고 있다. 특히, USGS-NASA(National Aeronautics and Space Administration) Landsat 위성영상의 경우 40년 동안 무료 위성 이미지와 다른 Terra 및 Aqua MODIS, ASTER, VIIRS 등 다양한 데이터를 제공 받을 수 있다. 또한, ISRO(Resourcesat-1 및 2), ESA(Sentinel-2) 및 일부 상용 고해상도 위성 데이터 (IKONOS-2, OrbView-3, 과거 SPOT 데이터)와 공동으로 제공되는 오픈소스 데이터 세트도 제공한다.

EarthExplorer를 사용하면 지역, 날짜, 구름양(% 기준)을 기준으로 무료 위성 이미지 검색 범위를 좁히고 원하는 수의 센서를 포함할 수 있다. 찾은 모든 타일을 한 번에 하나씩 또는 모두 편리하게 미리 보기 기능을 제

공하고 있다.

사용자의 관심 영역 선택 옵션(주소, 좌표, 파일 업로드 또는 그림) 이외에도 인터페이스는 기능 기반 검색을 제공하므로 쉽게 이용할 수 있다. 다운로드를 웹사이트를 통해 다운로드가 가능하며, 만약 대량으로 다운로드를 수행할 때는 별도의 응용 프로그램을 설치해야 한다.



<그림 7-1> USGS Earth Explorer

2) LANDVIEWER

LandViewer는 인터페이스가 쉬운 무료 GIS 데이터베이스로 가장 널리 사용되는 위성 이미지를 다운로드할 수 있으며 고해상도 위성 이미지 무료 미리 보기 및 주문을 할 수 있으며 이미지 분석을 위한 많은 기능이 있다.

LandViewer는 다양한 무료 글로벌 위성 이미지를 제공한다. 사용자가 얻을 수 있는 최신의 위성영상은 Sentinel-1 & 2, CBERS-4, MODIS, 항공사진 자료 등이다. 해당 시스템은 검색 및 미리 보기가 가능한 SPOT 5-7, Pleiades-1, Kompsat-2, 3, 3A, SuperView-1 등 고해상도 위성 이미지 목록을 제공하며 구매할 수 있다. 다만 고해상도 위성영상의 경우 한 반도 검색 및 구매는 제한이 있다.

LandViewer의 검색 기능은 매우 간편하고 간단하다. 여러 옵션(파일 업로드 포함) 중 하나를 사용하여 관심 영역을 설정한 후 위성영상 유형을

선택하고 날짜를 선택하면 된다. 또한, 구름양(%), 태양 고도 및 관심 지역 범위를 퍼센트(%)로 필터링할 수 있다.

위성영상을 데이터를 다운로드할 때 먼저 전체 또는 수동으로 자른 천연 색상 Landsat 이미지를 JPEG, KMZ 또는 GeoTIFF 데이터 형태로 내려받을 수 있다. 또한, 특정 스펙트럼 밴드만 필요한 경우에는 옵션 처리를 통하여 특정 밴드의 영상만 다운로드할 수 있다.

LandViewer의 경우 대부분의 무료 위성영상을 제공하는 것과는 다르게 찾은 데이터를 즉시 시각화하고 분석할 수 있다. NDVI, NBR, SAVI, 래스터 계산기와 같은 사용자 정의 인덱스 빌더, 시계열 분석, 클러스터링 및 기타 도구와 같은 20개 이상의 기본 밴드 조합 및 인덱스는 위성 이미지에서 값을 추출하는 데 도움을 준다.



<그림 7-2> LandViewer

3) 코페르니쿠스 오픈 액세스 허브

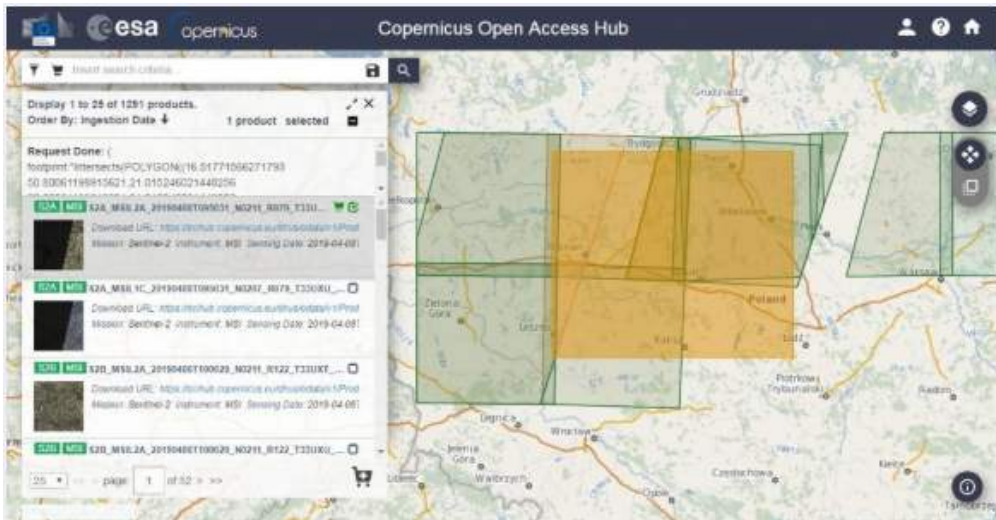
코페르니쿠스 오픈 액세스 허브(Copernicus Open Access Hub)는 유럽의 ESA(European Space Agency)에서 운영하는 무료 위성영상 다운로드 시스템이다.

현재 Copernicus Open Access Hub는 Sentinel-1(SAR 영상), Sentinel-2(광학 영상), 환경 모니터링을 위한 Sentinel-3 등 유럽 ESA에서 운영하는 Sentinel과 관련된 위성영상을 무료로 다운로드할 수 있다.

Copernicus Hub의 인터페이스는 매우 간결해서 검색이 필요한 것은 아

니다. 사용자가 관심 지역의 파일을 업로드할 수 없으며 영상 좌표로 검색을 실행하려면 특정 연산자를 사용하여 텍스트 질문을 수행해야 하는 불편함이 있다.

영상을 다운로드하려면 카트에 추가하면 된다.



<그림 7-3> Copernicus Open Access Hub

4) 센티널 허브

Sentinel Hub는 EO Browser 와 Sentinel Playground의 두 가지 서비스를 통해 광범위한 오픈소스 위성 이미지에 액세스할 수 있다.

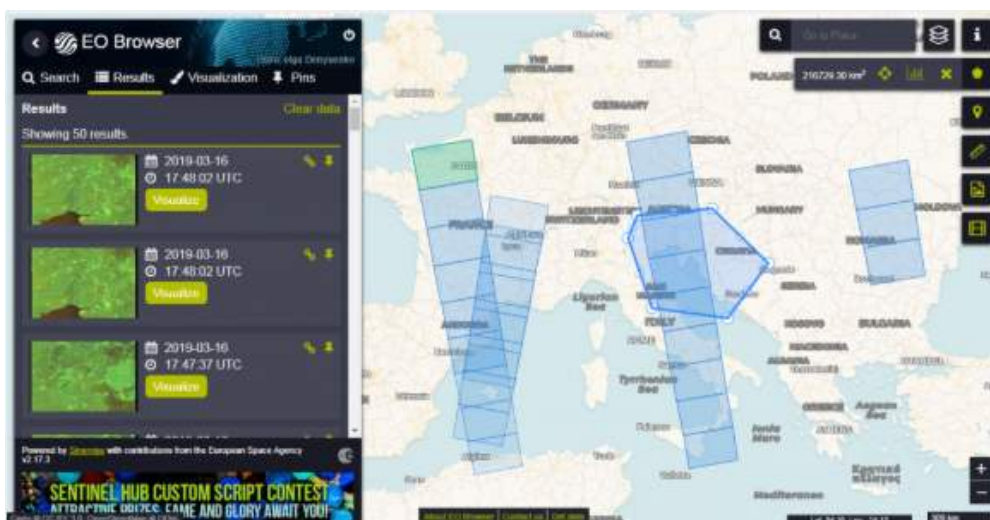
EO 브라우저에는 모든 Sentinel 위성영상(1, 2 & 3), Landsat 5-7, 8, MODIS, Envisat Meris, Proba-V 및 GIBS 제품의 전체 저장 영상을 포함하여 약 12개의 중·저해상도 위성영상을 다운로드할 수 있다. Sentinel Playground에는 Sentinel-2, Landsat 8, MODIS 또는 DEM에서 파생된 지구의 위성영상 모자이크 영상이 포함되어 있다.

검색 방법을 살펴보면 두 서비스 모두 직관적인 인터페이스와 편리한 검색 기능을 갖추고 있다. 광학영상 브라우저는 영상 검색을 쉽게 하도록 모든 기본 검색 필터를 제공하지만, Landsat 이미지의 경우 20km 줌까지 표시되지 않는다.

Sentinel Playground를 사용하면 모자이크(JPEG 형태) 일부를 얻을 수 있다. 광학영상 브라우저를 사용하면 다양한 형식(JPEG, KMZ, GeoTIFF)

또는 별도의 밴드와 밴드 조합으로 전체 해상도 이미지를 다운로드할 수 있다.

EO 브라우저에는 위성 이미지 시각화 및 분석 도구가 포함되어 있어 Sentinel-2 이미지의 경우 8개의 밴드 조합 및 인덱스 중 하나를 선택하고 자신만의 이미지를 만들 수 있습니다. 또한, 시계열을 생성할 수 있지만 모든 영상을 시각화할 수 없다는 단점이 있다.



<그림 7-4> 센티널 허브

5) NASA ERATH DATA

NASA의 Earthdata Search는 NASA의 EOSDIS(Earth Observing System Data and Information System) 데이터의 다양한 수집 데이터에 대하여 온라인 액세스를 제공한다.

Earthdata 검색에는 위성, 항공기, 다른 프로그램을 포함한 현장 측정 등 다양한 소스의 NASA 지구 과학 데이터가 존재한다. 무료로 제공되는 영상은 Aqua Terra, ENVISAT, GOES, NOAA 위성, METEOSAT 등 다양한 데이터와 무료 GIS 데이터를 제공하여 대기, 환경, 해양 및 바다, 지표, 식물, 얼음 덮개 및 지형에 관한 연구에 도움을 준다.

Earthdata Search를 사용하여 무료 위성영상을 탐색하고 찾는 방법을 배우려면 다소 복잡한 과정을 거쳐야 한다. 모든 GIS 자료수집에 대한 튜토리얼과 자세한 설명이 있지만 원하는 것을 정확히 알지 못하면 크게 도

움이 되지 않는다.

다운로드 방법은 데이터 세트에 따라 특정 응용 프로그램을 승인하기 위해 몇 번의 추가 설정이 필요할 수 있다. 해당 시스템은 내장된 분석 도구는 제공하지 않는다.



<그림 7-5> NASA Earth data

6) Remote Pixel

Remote Pixel은 전체 기능 목록에 접근하기 위해 로그인 정보를 요청하지 않는 목록의 유일한 위성영상 시스템이다. 해당 시스템은 Vincent Sarago 개인 만듦이 일종의 인디 프로젝트이다.

Remote Pixel은 Landsat 8, Sentinel-2 및 CBERS-4의 세 가지 위성영상 데이터 세트만 제공한다.

검색 기능의 활용은 원격 픽셀 위성 검색을 사용하여 이미지를 찾으려면 3~4회 클릭이 필요하다. 관심 지역 자료, 날짜 또는 구름양에 관한 필터는 제공하지 않는다. 다운로드할 위성영상을 선택하고 위성 궤도의 행 그리드에서 타일을 클릭하기만 하면 된다.

다운로드를 위해서는 자신의 계정으로 링크를 열고 AWS에서 데이터를 다운로드할 수 있다.

Remote Pixel Viewer를 통해 기본 밴드 조합 목록과 다양한 베이스 맵과 함께 추가 위성영상 도구를 제공한다.

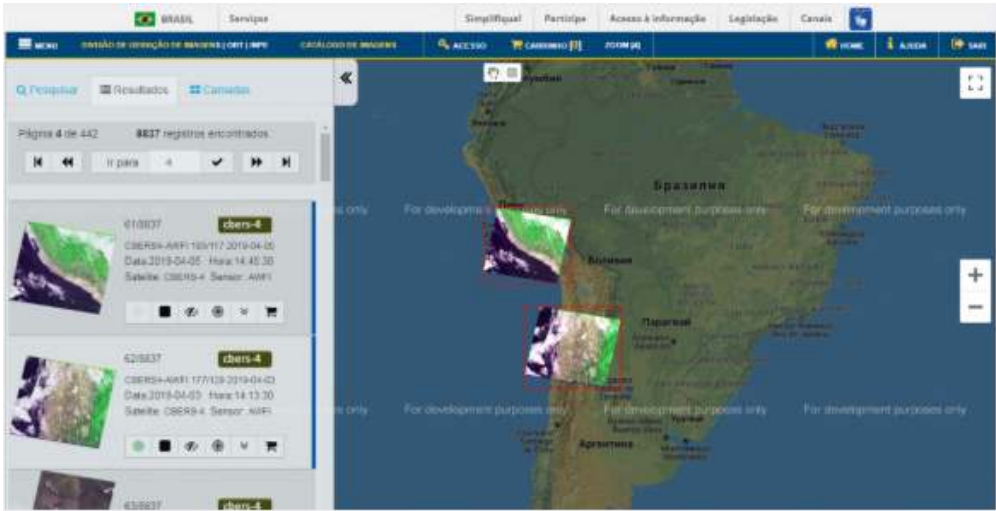


<그림 7-6> Remote Pixel

7) INPE 이미지 카탈로그

INPE(National Institute for Space Research) 이미지 카탈로그는 브라질 국립 우주 연구소에서 운영하는 자체 무료 위성 이미지 온라인 카탈로그이다. INPE Image Catalog는 지표 관측, 초목, 수자원 모니터링 및 기상 관측을 위해 AQUA, TERRA, S-NPP, UK-DMC-2, LANDSAT-1, LANDSAT-2, LANDSAT-3, LANDSAT-5, LANDSAT-7, LANDSAT-8, CBERS-2, CBERS-2B, CBERS-4, RESOURCESAT-1, RESOURCESAT-2 등 12개의 위성 이미지 수집 기능을 갖추고 있다.

INPE 이미지 카탈로그는 전 세계를 대상으로 하지는 않고, 중남미 및 아프리카 지역에서만 제공되는 무료 위성영상이다. 미국, 영국 및 인도의 지구 관측 위성과 함께 브라질과 중국의 공동 임무 CBERS-4 위성 이미지를 제공한다.



<그림 7-7> INPE 이미지 카탈로그

8) 상업용 위성영상

공간해상도 5m 이하의 고해상도 위성영상은 무료로 공개하지 않고 상업용으로 구매해야 한다. 대표적인 상업용 위성영상 종류, 특징 및 가격은 (표 7-1)과 같다.

(표 7-1) 상업용 위성영상 종류, 특징 및 가격

인공위성 종류	공간 해상도	가격(원:VAT별도)	촬영면적	밴드수
KOMPSAT-3 (한)	0.7m	신규 : 10,000/km ² 저장영상 - 2달 이내 : 7,500/km ² - 2달 이상 : 5,100/km ²	16km × 16km	5개 밴드 (P,R,G,B,NIR)
Pleiades(프)	0.5m	신규 : 120,000/km ² 저장영상 : 55,000/km ²	20km × 20km	5개 밴드 (P,R,G,B,NIR)
Geoeye-1(미)	0.5m	신규 : 55,000/km ² 저장영상 : 35,000/km ²	15.2km × 15.2km	5개 밴드 (P,R,G,B,NIR)
Worldview-2 (미)	0.5m	신규 : 55,000/km ² 저장영상 : 35,000/km ²	16.4km × 16.4km	8개 밴드 (P, Coastal, B, G, Y, R, RE, NIR1,2)
SPOT-6(프)	1.5m	신규 : 100,000/km ² 저장영상 : 48,000/km ²	60km × 60km	5개 밴드 (P,R,G,B,NIR)
Rapid eye(독)	5.0m	신규 : 1,500/km ² 저장영상 : 1,500/km ²	77km × 77km	5개 밴드 (B,G,R,RE,NIR)

9) 우리나라 위성영상(KOMPSAT-3, 3A)

우리나라에서 운영하는 KOMPSAT-3, 3A의 경우 항공우주연구원에서 위성영상 공급협의체에는 무료로 제공하고 있다. KOMPSAT-3, 3A 위성영상을 무료로 활용하기 위해서는 농어촌연구원의 상위 기관이 농림축산식품부를 통하여 공급할 수 있는지 확인이 필요하다.

위성영상활용협의체의 가입의 ‘위성영상활용협의체구성및운영지침(미래창조과학부훈령 제42호)’에 의하여 가입이 가능하다.

[위성정보활용협의체 구성 현황(‘18년 1월 현재 27개 기관)]

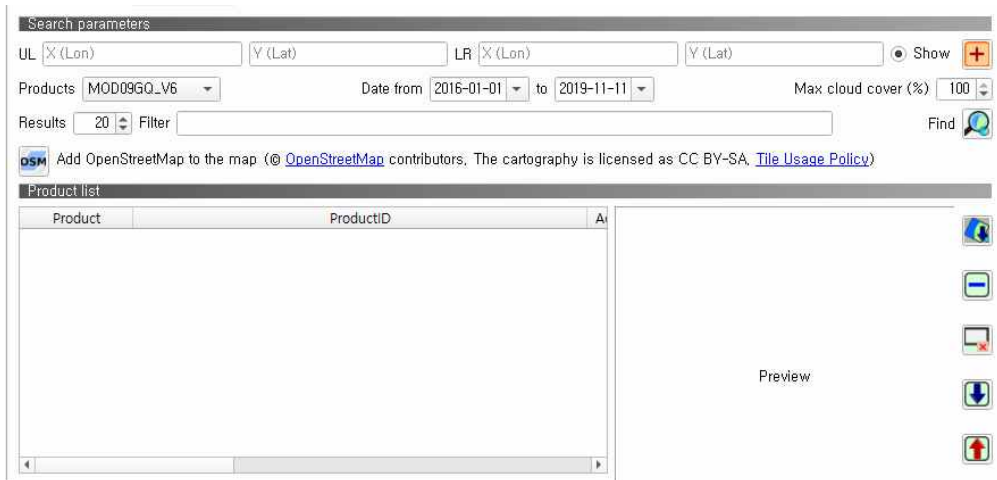
기획재정부, 통일부, 외교부, 산업통상자원부, 환경부, 해양수산부, 농림축산식품부, 국토교통부, 통계청, 문화재청, 산림청, 원자력안전위원회, 행정중심복합도시건설청, 국가기상위성센터, 질병관리본부, 국토지리정보원, 국립해양조사원, 국립수산과학원, 국립재난안전연구원, 국립환경과학원, 국립산림과학원, 국립농업과학원, 감사원 감사연구원, 중앙소방본부, 해양경비안전연구센터, 화학물질안전원, 국립기상과학원

나. 영상수집 활용 시스템

본 연구에서 위성영상 영상수집 시스템은 크게 두 가지의 수집 시스템을 활용하여 구축하였다. 본 연구에서 다운로드한 영상의 종류는 Landsat 7 & 8, Sentinel-2, MODIS 영상으로 3종류의 위성영상을 내려받았다.

먼저 Landsat, Sentinel 영상의 경우에는 QGIS에서 Plug-in 기능을 활용하여 해당 웹사이트에 접속하지 않고 직접 다운로드할 수 있는 방법을 사용하였다.

QGIS에서 제공하는 위성영상 다운로드 plug-in인 SCP의 경우 Landsat 계열과 Sentinel-2 의 영상을 다운로드받을 수 있으며 QGIS와 연동이 가능하므로 사용자가 지도를 보고 지역을 설정하여 구름양 등의 조건을 통하여 다운로드할 수 있다.

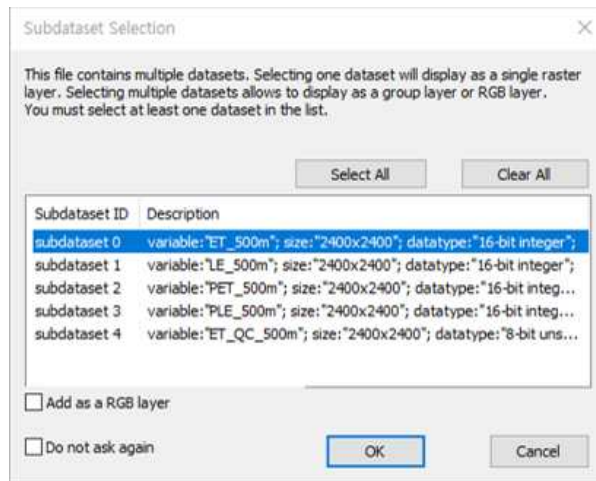
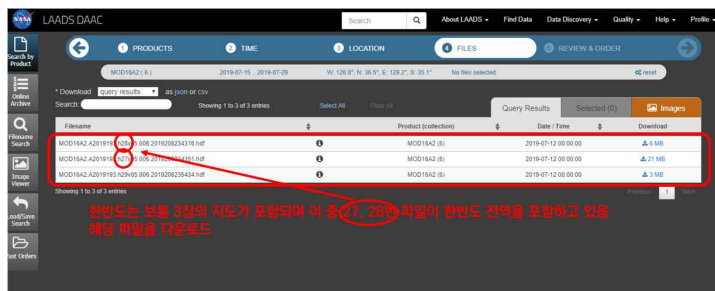


<그림 7-8> QGIS download Plug-in

MODIS 위성영상자료 구축은 LAADS DAAC(Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System Distributed Active Archive Center, <https://earthdata.nasa.gov/eosdis/daacs/laads>) 사이트를 통해 다운로드 하였다. 본 연구에 필요한 MODIS 영상은 전체 밴드에 해당하는 영상이 필요한 것이 아니고, ESI를 계산하기 위하여 ET 영상과 PET 영상만 필요하므로 해당 영상을 다운로드할 수 있는 시스템을 활용하였다.

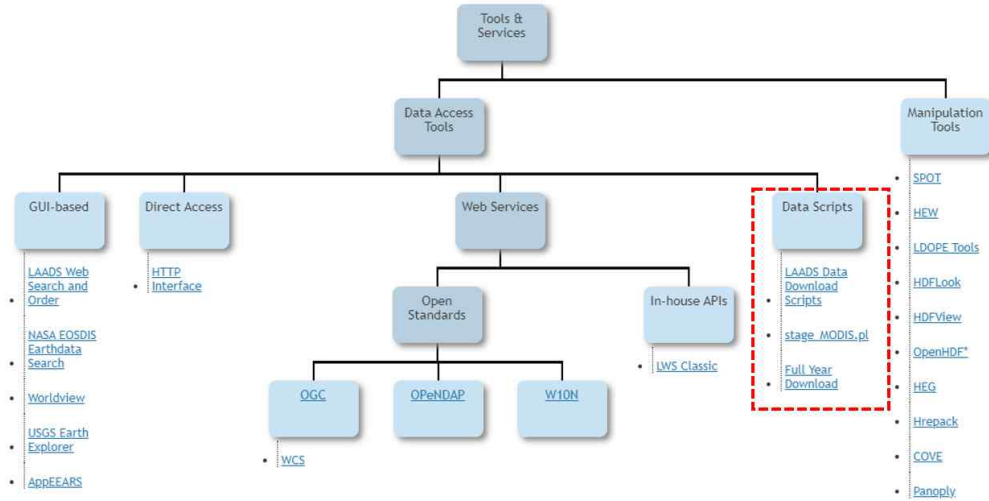
LAADS DAAC 사이트를 통하여 격자별, 나라별, 좌표 지정 등을 통하여 남한 지역을 선택하여 다운로드를 수행한다. 이때 한반도는 보통 3장의 지도가 포함되며 이 중 27 및 28번 파일이 한반도 전역을 포함하고 있는 파일로 해당 파일을 다운로드 한다.

영상을 다운로드하면 ESI 계산에 필요한 자료인 0번 ET와 2번 PET 자료를 선택하여 처리한다.



<그림 7-9> 본 연구에서 MODIS 영상 다운로드 및 처리

향후 MODIS 영상만을 수집하기 위해서는 LAADS DAAC 사이트에서 하는 Data Scripts API를 활용하여 MODIS 영상을 수집할 수 있는 시스템 구축에 활용할 수 있다.



<그림 7-10> MODIS 다운로드 스크립트

본 연구에서는 다운로드된 MODIS 영상의 전처리를 위해 별도의 시스템을 구축하지 않고, NASA의 MODIS MRT 프로그램을 이용하여 1차 영상 전처리 과정을 수행하였다. 전처리 과정을 통하여 데이터의 이상값을 제거하고 각 영상 간에 규모 원인을 조정하는 과정을 거쳤다.



(a) 영상 처리 전 영상

(b) 영상 처리 후 영상

<그림 7-11> MODIS 영상 전처리 전·후 영상

2. 수집 영상 현황

본 연구에서 수집된 영상은 Landsat7 & 8, Sentinel-2 및 MODIS 위성영상 크게 4가지 영상에 대하여 영상을 수집하였다. 수집대상 지역은 본 연구의 테스트베드(Test-bed) 지역인 충청남도 아산 및 경상남도 밀양 지역을 대상으로 하였다.

수집된 영상들은 광학영상으로 위성영상에 구름이나 적설 등이 있을 때는 데이터의 활용이 어렵다. 따라서 수집된 영상들이 데이터로 적정하게 활용될 수 있도록 영상의 검색 조건에서 구름양과 적설량 등은 10% 미만으로 설정하였다.

가. Landsat

Landsat은 인공위성을 사용하여 지구를 지속해서 관찰하기 위한 목적에 따라 USGS와 NASA가 공동으로 개발한 프로그램이다. Landsat 프로그램은 지표면을 우주에서 가장 오랫동안 지속해서 기록한 대장정으로서,

1972년 Landsat 1 위성부터 시작되었다. Landsat 4부터 시작하여 각 위성은 다중 스펙트럼 및 열 계측기를 사용하여 지표면을 2주에 한 번씩 30m 해상도로 촬영한다.

이 컬렉션에는 Landsat 4, 5, 7, 8을 통해 얻은 전체 USGS 기록 자료가 포함되어 있습니다. 여기에는 전체 운영 기간 35년에 걸쳐 400만 장 이상의 고유 장면을 촬영한 데이터가 포함되어 있다.

- Landsat 7 : 1999 ~ 현재

- Landsat 8 : 2013 ~ 현재

Landsat 데이터는 프로그램을 진행해 온 기간과 다중 스펙트럼 센서에서 제공된 풍부한 데이터로 인해 지구 관찰 데이터의 기준이 되었으며 Landsat 데이터는 농업, 지질학, 삼림학, 지역 계획, 교육, 지도제작, 지구 변화 추적에서 소중한 자료로 활용되고 있다. Landsat 이미지는 또한 긴급 대응과 재난 복구에도 소중하게 활용된다.

(표 7-2) Landsat 7 & 8 위성영상 수집 현황

위성영상	영상 촬영 날짜		비고
	년도	월일	
Landsat-7	2019	02.13, 01.28, 04.02 02.13, 03.01	28편
	2018	12.27, 10.24, 09.22 06.02, 03.14, 06.02 07.20, 02.26, 04.15	
	2017	09.03, 12.08, 10.21 05.14, 04.28, 06.15 05.14, 06.15	
	2016	04.25, 03.24, 05.11 02.21	
Landsat-8	2019	02.21, 02.05, 06.13	23편
	2018	05.09, 11.17, 11.01 02.02, 03.06, 03.22 12.19	
	2017	06.23, 03.19, 03.03 11.14, 02.15, 01.14	
	2016	09.24, 05.19, 12.29 04.01	

나. Sentinel-2

Sentinel-2는 유럽연합 집행위원회의 야심 찬 코페르니쿠스 지구 관측 프로그램의 하나로 유럽우주기구의 지시하에 개발된 두 개의 지구 관측 위성 그룹이다. 몇 가지 Sentinel 임무로 구성된 코페르니쿠스 프로그램은 2030년까지 지속해서 육지, 해양, 대기 관측을 제공하는 가장 포괄적이며 체계적인 지구관측 프로그램이라고 할 수 있다. Sentinel-2 위성의 폭넓은 다중 스펙트럼 이미지 처리 기능은 전 지구의 육지, 큰 섬, 수로를 총망라한 전례 없는 지구 경관을 제공한다.

Sentinel-2 데이터는 농업, 임업, 기타 토지 관리 용도에 이상적인 위성 영상이라고 할 수 있다. 예를 들어 엽록소와 수분 함량뿐만 아니라 잎 면

적을 연구하는 데 사용할 수 있으며 지표 식생과 토양의 지도 작성, 내륙 수로와 연안 지역을 관찰하는 데도 사용할 수 있다. 홍수 및 화산 분출과 같은 자연재해 이미지는 재난지도 작성 및 인도주의 구호 활동에 사용될 수 있다.

Sentinel-2 임무는 2개의 같은 위성으로 구성된다(2015년 6월 23일 발사된 Sentinel-2A와 2017년 발사 예정인 Sentinel-2B). 두 위성이 모두 발사되면 5일마다 지구 표면의 각 지점을 재방문하게 된다. 각 위성은 다중 스펙트럼 장치(MSI)를 탑재하고 있어 가시광선과 적외선 사이의 13개 대역에 걸쳐 너비가 290km에 달하는 시야를 확보하고 픽셀당 10m 공간 해상도로 지구 이미지를 생성한다.

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (µm)	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

<그림 7-12> Sentinel-2 밴드

(표 7-3) Sentinel-2 위성영상 수집 현황

위성영상	영상 촬영 날짜		비고
	년도	월일	
Sentinel-2	2019	0403, 0113, 0503 0408	46편
	2018	0113, 0217, 0222 0202, 0314, 0528 0523, 0418, 0602 0717, 0727, 0801 0806, 0905, 1025 1104, 1020, 0910 0925, 1209, 1114 1219	
	2017	1030, 0831, 0811 0503, 0413, 0304 0212, 0202, 0103 1114, 1104, 0925	
	2016	0806, 0720, 0610 0518, 0411, 0312 0309, 0208	

다. MODIS

MODIS는 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer의 약자로 중간 해상도 이미지 스펙트럼 복사계를 의미한다.

MODIS는 1999년 12월에 발사된 미국의 TERRA 위성에 탑재된 센서로서 36개의 채널과 해상도 250m, 500m, 1km를 가진다. MODIS를 통해 과학자들은 지구의 해수면 온도에 대한 보다 상세한 측정값을 얻을 수 있게 되었다. 우주에 있는 온도계 역할을 한다고 말할 수 있다.

MODIS는 다섯 개의 다른 파장을 통해 SST를 측정하게 된다. 밤낮으로 12마이크론 파장대와 11마이크론 파장대의 열적외선에너지를 측정, 비교해서 대기의 영향을 고려한 SST를 결정하게 되는데 열대지방의 경우 수증기가 미치는 영향이 크기 때문에 이의 영향을 배제하기 위해 MODIS 3.5 ~ 4마이크론 사이의 파장도 측정한다. 그래서 MODIS는 이전의 센서에 비해 대기의 상태를 더욱 잘 파악할 수 있으며 이것이 SST를 보다

정확하게 측정할 수 있는 이유이다.

MODIS 영상은 육상·해양의 표면 온도, 해양 색상(퇴적물, 식물 플랑크톤)과 해류의 흐름, 지구 식물 분포도와 그 변화의 감시, 구름의 특성 및 온도와 습도 등의 표면과 특성을 잘 나타낸다.

MODIS 영상은 2000년부터 2018년도까지 4주 합성 영상 782편을 생성하고 수집하였다.

(표 7-4) MODIS 위성영상 수집 현황

위성영상	영상 촬영 날짜		비고
	년도	영상번호	
MODIS 4W 영상	2001 ~ 2018	1, 9, 17, 25, 33 41, 49, 57, 65, 73 81, 89, 97, 105, 113 121, 129, 137, 145, 153 161, 169, 185, 193, 201 209, 217, 225, 233, 241 249, 257, 265, 273, 281 289, 297, 305, 313, 321 329, 337, 345, 353, 361	782편

제2절 위성영상자료 표준화

1. 좌표 및 포맷 표준화

가. 좌표계 표준화

1) 우리나라 좌표계

현재 우리나라에서 사용하고 있는 투영법 및 좌표계는 TM 투영과 평면직각좌표계를 사용하고 있다. 이 좌표계는 4개의 투영원점(동부, 중부, 서부, 동해 원점)을 기준으로 영상지도, 측량, 수치지도 및 국가기본도 제작 등 여러 분야에 사용되고 있으며 이러한 투영법과 좌표계는 종이 지도 제작 시대부터 사용되어온 것이다.

그러나 본 연구처럼 한반도 또는 남한 전체를 대상으로 하는 연구의 경우에는 전국을 하나의 좌표계로 표현하는 단일 좌표계가 사용되어야 한다.

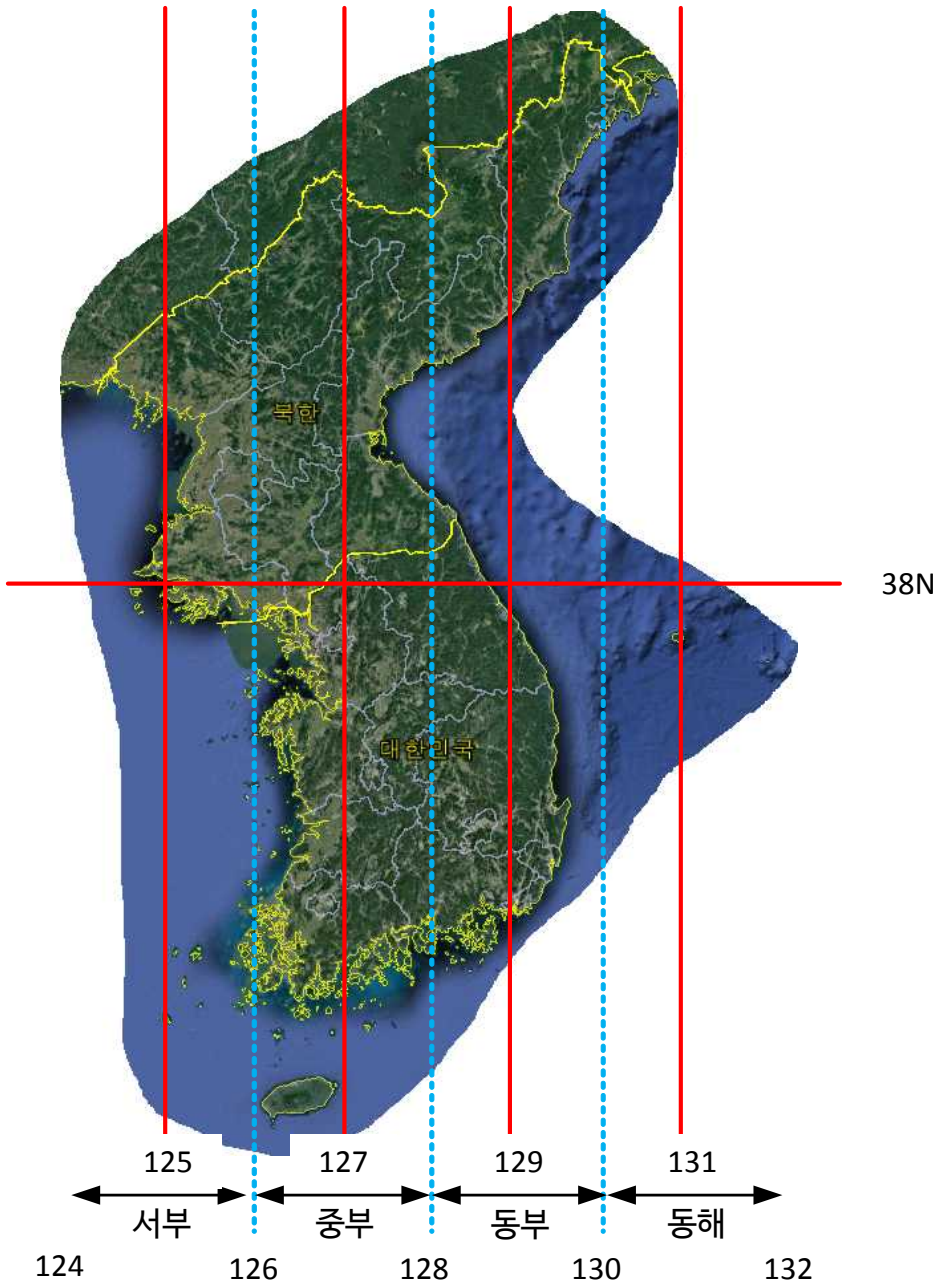
현재 우리나라에서 사용 중인 좌표계에 관한 현행법령상 정의를 살펴보면 다음과 같다. 공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률 제5조(측량의 기준)에 위치는 지리학적 경위도와 평균해면으로부터의 높이를 표시한다. 다만, 지도제작 등에 필요한 경우에는 직각좌표 및 평균해면으로부터의 높이, 극좌표 및 평균해면으로부터의 높이 또는 지구중심직교좌표를 표시할 수 있다고 되어있다.

(표 7-5) 우리나라 좌표계 투영원점

항목	활용 내용
타원체	GRS1980(ITFR2000) 회전타원체 장반경 : 6,378,137.13700 m 편평율 : 1 / 298.257222101
데이텀	Korea 2000 데이텀(KGD2002 데이텀)
투영법	TM

(표 7-6) 우리나라 투영 원별점 좌표계

명칭	원점의 경위도	투영원점의 가산수치	원점축척 계수	적용구역
서부 좌표계	경도 : 동경 125°00′ 위도 : 북위 38°00′	X(N) 600,000m Y(E) 200,000m	1.0000	동경 124° ~ 126°
중부 좌표계	경도 : 동경 127°00′ 위도 : 북위 38°00′	X(N) 600,000m Y(E) 200,000m	1.0000	동경 126° ~ 128°
동부 좌표계	경도 : 동경 129°00′ 위도 : 북위 38°00′	X(N) 600,000m Y(E) 200,000m	1.0000	동경 128° ~ 130°
동해 좌표계	경도 : 동경 131°00′ 위도 : 북위 38°00′	X(N) 600,000m Y(E) 200,000m	1.0000	동경 130° ~ 132°



<그림 7-13> 우리나라 TM 원점 구역

그러나 앞서 서술한바 와 같이 남한 또는 한반도 전체를 대상으로 하는

위성영상 데이터 또는 공간정보 데이터의 경우 투영원점별로 좌표계를 사용하는 것은 부적절하고 사용할 수 없으므로 전국을 단일 원점으로 사용해야 한다.

2) UTM 좌표계

본 연구에 사용된 MODIS 영상 및 기타 위성영상은 전 세계를 기준으로 하므로 미국에서 전 세계를 대상으로 사용하고 있는 UTM 좌표계를 사용하고 있다.

UTM 투영은 TM 투영과 같이 세계에서 많이 사용되는 투영법 중 하나다. 하지만, 동일한 UTM 투영이라 해도 각국의 특성에 맞게 수정하여 사용하고 있다. 일반적으로 UTM이라 하면 세계를 하나의 통일된 좌표로 표시하기 위한 목적으로 2차 세계 대전 말기에 미육군 측지부에 의해 고안된 것을 말한다. 이 좌표계는 위도 80°S부터 84°N까지의 전역을 경도 6° 간격으로 총 60개의 좌표 지역대로 나누어 평면직각좌표인 UTM 좌표로 표시한다.

좌표 지역대의 분할은 경도 180°W~174°W 구간을 1번으로 하여 동서 방향으로 6°씩 60등분 하였고 남북으로는 적도를 기준으로 위도 8°씩 남북으로 각각 10등분 하여 전 세계를 60 × 20의 격자망을 형성하여 각각 고유 번호를 부여하였다. 다만 북극지방에 가장 가까운 최북단 지역의 마지막 좌표 지역대는 위도 8° 대신에 위도 12° 간격을 하나의 좌표 지역대로 하였다.

UTM 좌표는 TM 투영에 따라 얻어진 직각좌표이며, 투영의 형태는 투영면이 두 곳에서 지구 표면과 교차하는 투영방법이다.

한반도의 경우 종대 51(120°E ~ 126°E)과 52(126°E ~ 132°E), 횡대 S(32°N ~ 40°N)와 T(40°N ~ 48°N)에 속하므로 51S, 51T, 52S, 52T의 4 구역으로 나타내진다. UTM 투영에 의한 평면직각좌표는 좌표의 음수(-) 표기를 피하기 위하여, 횡좌표(E)에는 500,000 m를 가산하고, 종좌표(N)에는 남반구에서만 10,000,000 m를 가산한다.

(표 7-7) 우리나라 UTM 도법에 사용되는 변수

항목	변수	영문표기
타원체	WGS84(GRS80)	Spheroid Name
축척 계수	0.9996	Scale factor
위도 원점	-	Latitude of origin of projection
경도 원점	123, 129(선택 사용)	Longitude of origin of projection
동서방향 가산원점	500000.000 m	False easting
남북방향 가산원점	0 m	False northing



<그림 7-14> 우리나라 UTM 원점 구역

3) 좌표계 표준화

좌표계 표준화를 위해서는 좌표변환 수행 과정이 필요하다. 좌표 변환이란 하나의 좌표계에 나타난 어떤 점의 위치를 다른 좌표계로 나타내는 것을 말하는 것으로 한 좌표계에서 기술된 식을 다른 좌표계에 의한 기술 및 요소로 변환하는 작업을 말하며, 지도에서 좌표값을 어떤 시스템으로부터 다른 시스템의 수치로 변화하는 것이다.

본 연구에서는 전국 단일좌표체계인 UTM-K 좌표계를 사용하여 MODIS 위성영상의 UTM 좌표체계를 하나의 일관성 있는 좌표체계로 구성하였다.



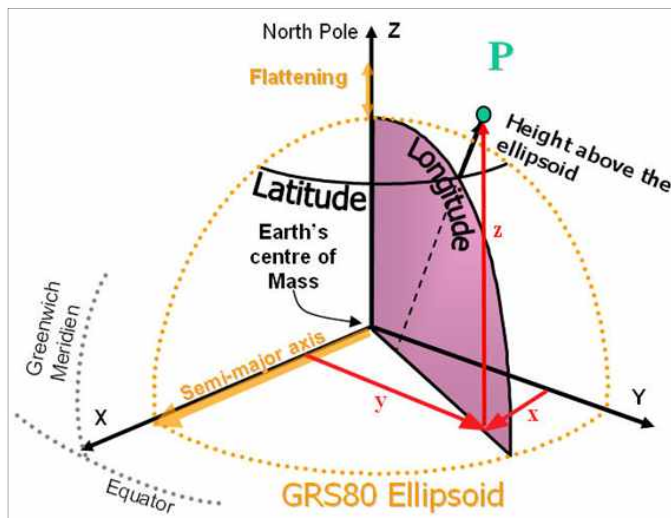
<그림 7-15> 좌표 표준화

세부작업절차는 UTM52 구역으로 제작된 MODIS 영상에 대하여 UTM-K 좌표계로 변환하는 작업을 아래와 같이 수행하였다.

4) GRS80 타원체

타원의 한 축을 중심으로 회전하여 생기는 입체를 회전타원체라 하며, 부피와 모양이 실제 지구와 가장 가까운 회전타원체를 지구타원체라고 부른다. 지구타원체는 지구의 부피, 표면적, 반경, 표준중력 삼각측량, 경위도 결정, 지도제작 등에 사용된다.

세계 각국은 관용적으로 각기 다른 지구타원체를 사용했는데, 이 때문에 전 세계적으로 일관된 대지측량값을 사용하기 곤란하므로, 1924년 국제측지학·지구물리학연합(IUGG) 총회에서는 국제적인 측량 및 측지 작업에는 하나의 통일된 지구타원체 값을 사용하기로 의결하였다.



<그림 7-16> GRS80 장반경 및 편평률

GRS80(Geodetic Reference System 1980)은 IAG(international Association of Geodesy) 및 IUGG(International union of Geodesy and Geophysics)가 1979년에 채택한 타원체이며 GRS67을 개정한 것으로서 국제적으로 승인된 지구타원체이다.

이 타원체에서는 지구를 기하학 및 물리학적으로 통일하여 표현하였으므로 기하학적인 장반경 a 와 편평률 f 인 2개의 기하정수 외 자구의 자전 각 속도 및 지구의 지심 인력 정수를 추가하여 4개의 정수를 사용하고 있다. 또한, 지구를 단순한 기하학적인 타원체에 근사하지 않고 물리적 시점도 중시하여 지구타원체면을 등포텐셜면으로써 취급을 하였으며 타원체의

중심은 지구중심과 일치하고 그 단축은 지구자전축에 평행한 타원체이다.

(표 7-8) GRS80 장반경 및 편평률

타원체	GRS80
장반경	6,378,137.0m
편평률	1/298.257222101

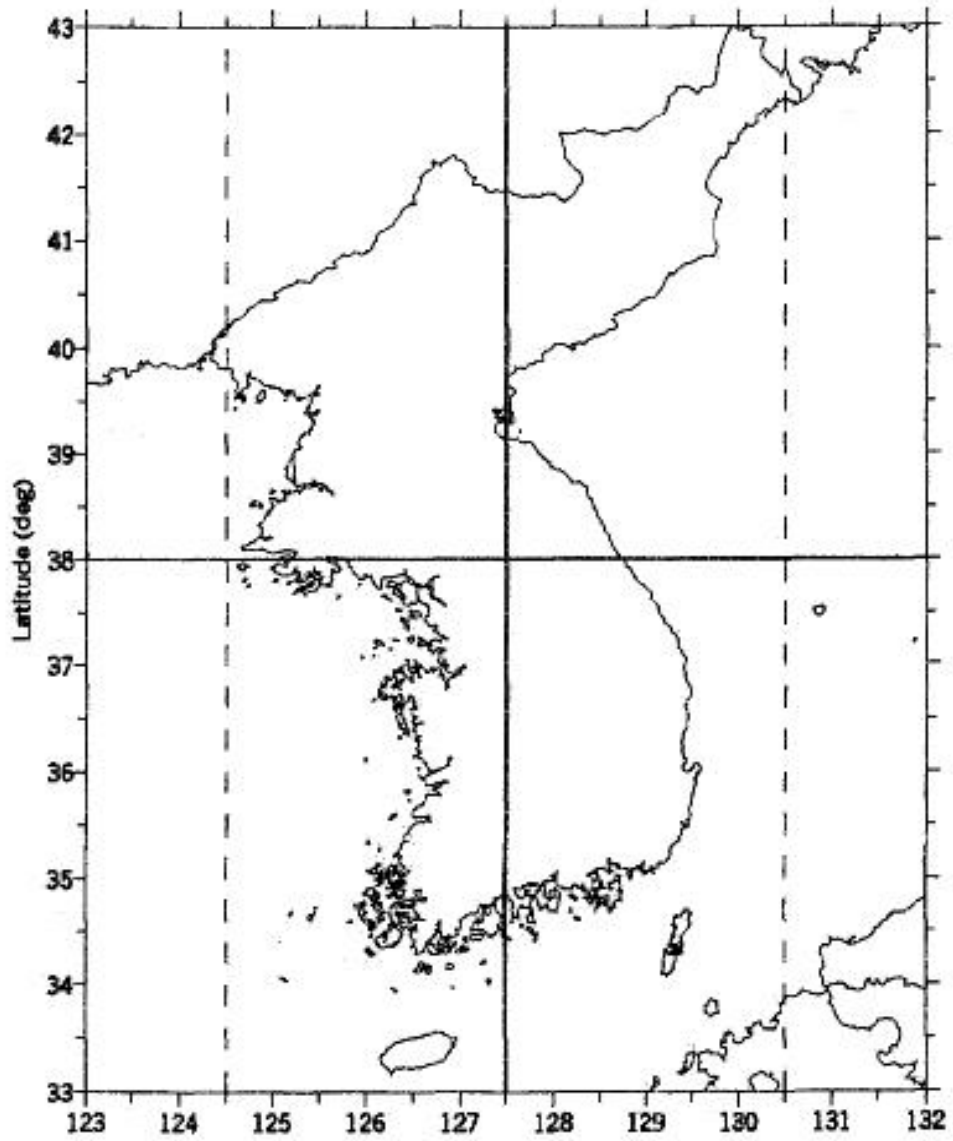
5) UTM-K 좌표계

UTM-K 좌표계는 ‘기본공간정보구축규정(국토교통부고시 제 2013-193호)’의 규정되어 있다. UTM-K는 우리나라를 하나의 좌표체계로 관리하기 위한 것으로 타원체는 GRS80 타원체로 하고 기준계는 UTM 좌표계로 하고 있으며, TM 투영법을 사용하여 한반도 전역이 포함될 수 있도록 하고 있다.

투영원점은 경도 127° 30′ 을 중앙자오선으로 하고 위도 38°와 만나는 점을 투영정점으로 하는 단일 투영좌표계로써 N = 2,000,000m, E = 1,000,000m로 신의주, 선봉, 울릉도의 일부 지역도 모두 포함한다.

(표 7-9) UTM-K 좌표계 변환요소

타원체	GRS80
원점축척계수	0.9996
투영원점	경도 127° 30′ , 위도 38°
가상원점	N = 2,000,000m, E = 1,000,000m



<그림 7-17> 우리나라 UTM-K 좌표계 구역

나. 포맷 표준화

1) MODIS HDF5 포맷

HDF5(Hierarchical Data Format version 5)은 대용량 데이터를 저장하기 위한 파일 포맷이다. 1987년 National Center for Supercomputing Applications(NCSA)에서 대용량 복합 데이터를 저장하기 위한 도구로 개발되어 주로 대용량의 이미지 데이터나 항공기, 선박 등의 운항 기록 저장용으로 쓰이다가 NASA의 Earth Observing System(EOS)의 저장 포맷으로 채택되었다.

hdf5는 다음과 같은 특징을 가진다.

- 플랫폼 독립적으로 모든 시스템에 사용 가능
- 플랫 파일(flat file) 형태
- 대용량의 복합 데이터 사용 가능
- 계층적 트리와 내장 스키마(schema)
- 유연하고 빠른 입출력
- 서브셋 접근, out-of-core 연산, 노드별 압축

hdf5는 다른 데이터베이스 시스템과 달리 데이터베이스 관리 시스템(DBMS: database management system)을 제공하지 않고 플랫 파일(flat file) 포맷과 라이브러리의 형태로 제공하는 일종의 내장 데이터베이스(embedded database)라고 할 수 있다.

다만 기록-후-읽기(save-and-read-only) 형태의 사용 방식을 목표로 개발되었기 때문에 데이터 일부를 자주 갱신하는 사용 형태에는 맞지 않는다.

hdf5 파일 구조를 살펴보면 hdf5 파일은 파일 시스템과 유사한 트리(tree)구조를 이루고 있다. 가장 상위에는 "/" 라는 문자열로 표시되는 루트(root) 노드가 존재하며 루트 노드의 아래로 그룹(Group)이라는 객체와 데이터 세트(Dataset)라는 객체가 있다. 그룹은 복수의 자식 그룹과 데이터 세트를 가질 수 있다.

2) GeoTIFF 포맷

GeoTIFF는 Aldus-Adobe사에서 제작한 Tagged-Image File Format(TIFF)에 지리참조 데이터(georeference or geocoded)를 사용하기 위한 태그들을 첨가하여 정의한 영상 포맷이다. 지리정보를 포함하는 영

상데이터 포맷은 여러 종류가 있으나 GeoTIFF를 주시하는 것은 산업 분야에서 활용이 가장 활발하기 때문이다. 일례로 GeoTIFF Working Group의 참여자들을 살펴보면, ESRI, Intergraph, ERDAS, Mapinfo, SoftDesk, SPOT Image Corp 등의 대규모 영상 관련 업체들이 대부분 참여하고 있다. 이러한 상용 GIS 소프트웨어 회사들이 대거 참여하는 것은 GeoTIFF가 TIFF의 장점인 범용성과 GeoTIFF의 Geo가 의미하는 지리좌표정보와 관련 사항을 함께 갖고 있기 때문이다.

GeoTIFF의 개발은 1992년 GeoTIFF 개발을 위한 포럼이 개최되고, 1995년 3월 Working Group이 결성되어 1995년 6월 최초의 베타 버전(버전 0.1)의 규약이 발표되었다. 이후 버전 0.2가 발표되고 1995년 9월 GeoTIFF 갱신 버전 1.0 이 발표되었다. 당시의 계획으로는 매년 갱신 버전을 발표하려고 하였으나 현재 널리 배포되고 있는 버전은 갱신 버전 1.0이다.

(1) 자료 특징

GeoTIFF 포맷은 TIFF 버전 6.0의 규약을 준수하므로 TIFF 포맷의 장점을 그대로 갖는다고 볼 수 있다. TIFF 포맷은 현재 다수의 GIS 응용 소프트웨어사에서 지원하고 있으며, 오랫동안 범용적으로 활용됨으로써 안정성을 갖고 있다. 또한 공용태그(public tag)와 사용자 정의 태그(private tag)구조를 통해 확장성을 부여하고 있으며 영상을 임의 나눌 수 있는 타일링(tiling) 기능과 영상 압축을 지원하고 있다.

GeoTIFF는 6개의 GeoTag로 구성되어 있다. 주요 대상 자료는 위성영상 데이터, 스캐닝된 항공사진, 스캐닝된 지도, DEM(Digital Elevation Model) 및 지리정보분석의 결과물 등이며, 이러한 영상데이터의 좌표체계나 투영법과 같은 정보를 나타내기 위해 GeoTag가 추가된 것이다. GeoTIFF는 기존의 USGS의 SDTS와 FGDC(Federal Geographic Data Committee)의 메타데이터 표준과 같은 중간표준포맷을 대신하는 것이 아니라 일반적으로 널리 알려진 영상데이터 포맷에 좌표 참조시스템과 지리좌표의 코딩을 목적으로 한다.

GeoTIFF는 방대한 좌표체계 정보(geographically projected coordinate system)를 수용하면서도 적은 수의 공용 TIFF 태그 집합을 이용한다. GeoTIFF가 지원하는 대표적인 투영법은 UTM, US State Plane,

National Grids와 기본적인 투영인 TM(Transverse Mercator), Lambert Conformal Conic 등을 들 수 있다. GeoTIFF 내에서 정의한 이러한 투영 정보는 사용자 정의 항목이나 IFD(Image File Directory) 혹은 TIFF 응용 소프트웨어에 정보를 숨기는 저장 방식을 통해 저장되고, TIFF의 표준규약을 준수하므로 일반 영상 출력 소프트웨어에서도 화면 출력이 가능하다.

GeoTIFF는 수십 개의 태그 정보를 6개의 태그로 관리하기 위하여 "Meta-tag"(GeoKey)를 사용하는데, 이러한 태그의 사용으로 특정 시스템에 종속되지 않는 TIFF의 장점을 살릴 수 있다. GeoTIFF에서 사용되는 태그는 TIFF의 태그와 구조 및 규약 사항이 거의 같다.

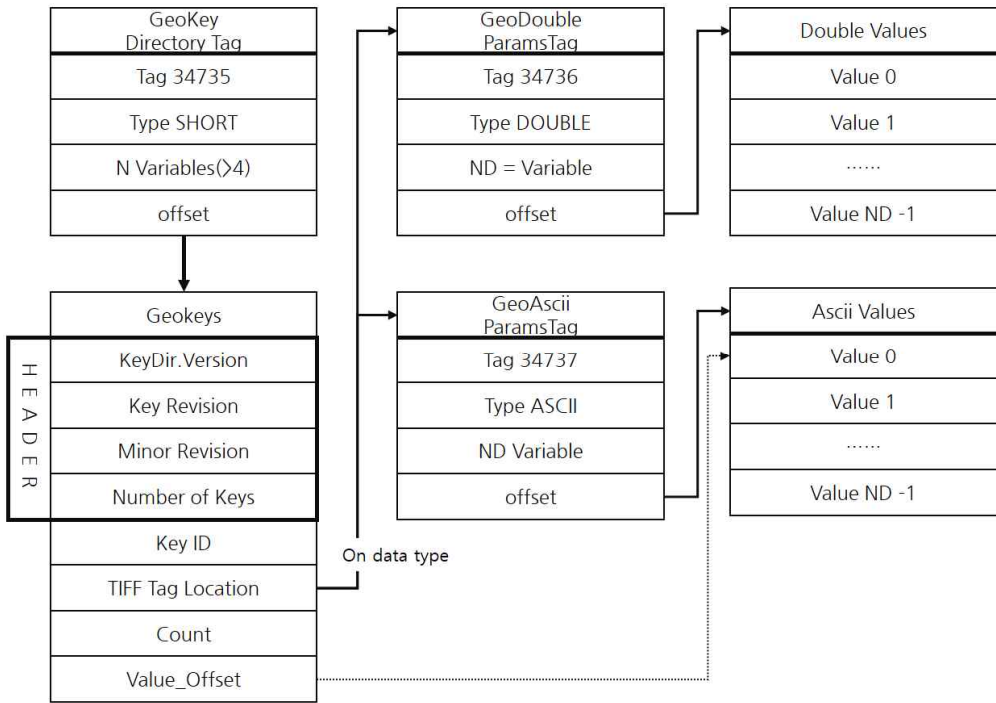
GeoTIFF는 프로젝션의 종류, 좌표시스템, 기준계(datum), 타원체 등을 표현하기 위해서 고유의 번호체계를 갖고 있다. 이러한 번호체계(프로젝션, 기준계, 타원체 번호)는 POSC(Petrotechnical Open Software Corporation)에서 편찬한

EPSG(European Petroleum Survey Group) 목록에서 인용하였고, 추가할 국제적인 투영, 기준계, 타원체에 대한 추가 방법을 정의하고 있다. GeoTIFF에 사용된 정보들은 미국의 FGDC의 NSDI(National Spatial Data Infrastructure)의 데이터 해독과 호환성을 유지하도록 설계되었다.

GeoTIFF는 다양한 투영좌표체계를 정의하여 추가할 수 있는 구조로 되어있어, 국부적인 투영정보를 지원할 수는 있다. 그러나 독자적인 좌표 정보 사용의 문제점 때문에 나온 GeoTIFF와 같은 표준규약의 취지와 어긋나는 것인 관계로 이러한 국부적인 투영정보의 사용은 권장되지 않는다.

(2) 자료구조

GeoTIFF 파일은 일종의 TIFF version 6.0 파일이다. 즉 TIFF 파일의 구조를 따르며, 공용태그 안에 6개의 태그가 첨가된 것이다. 이때 더욱 다양한 지리정보를 나타내기 위해 가상적인 TIFF Tag로 볼 수 있는 GeoKey를 사용한다. 그러므로 GeoKey는 TIFF Tag의 하위 Tag인 셈이다. <그림 7-18>은 GeoTIFF 자료구조를 나타낸다.



<그림 7-18> GeoTIFF 자료구조

(3) GeoTIFF 표준화

GeoTIFF 자료 표준은 OGC(Open Geospatial Consortium) 표준에 의한다.

KOPSS의 웹 서비스는 OGC의 표준인 Web Map Service(WMS), Web Feature Service(WFS), Web Coverage Service(WCS), Web Processing Service(WPS) 인터페이스를 준수하여 구현된 서비스를 말하며, 각 서비스의 지원 버전은 현재 버전(2010년 1월)을 기준으로 하며 상위 버전을 점진적으로 적용한다. 따라서 본 연구에서 GeoTIFF 데이터 자료 포맷 표준은 WCS의 필수 사항에 의해 가장 적합한 표준 포맷이라고 할 수 있다.

(표 7-10) 위성영상 포맷별 표준화

구분	OCG 포맷	버전	비고
지원포맷	GeoTIFF	-	WCS 필수, WPS
	Geography Markup Language(GML)	3.1/3.2	WFS, WPS
	Portable Network Graphics(PNG)	-	WMS 필수
	Graphics Interchange Format(GIF)	-	WMS 필수
	Joint Photographic Experts Group(JPG)	-	WMS 필수
	Bitmap(DIB) File Format(BMP)	-	WMS 선택
	JPEG2000	-	WCS 선택, WPS 선택

2. 메타데이터 표준화

가. 메타데이터 정의

그리스어 “metamorphosis”와 어원을 같이하는 메타데이터는 “데이터에 대한 데이터” 즉, 데이터에 대한 정보를 의미하는 것으로 데이터 변화의 근원과 변화의 흐름을 기술한다. 메타데이터라는 용어는 WWW(World Wide Web)의 보편화에 따라 널리 알려지게 되었다. 지리 정보 분야의 경우, 지도의 범례는 메타데이터의 한 표현으로, 지도의 출판사, 지도의 출판날짜, 지도의 유형, 지도의 축척과 정확도, 공간적 참조 등을 포함하고 있다. 이러한 것은 지리공간 데이터를 기록하거나 활용하는 경우 사용하는 일반적인 용어와 정의들을 나타낸다. 메타데이터는 일반적으로 데이터에 대한 육하원칙(What, Who, Where, Why, When, and How of Data)을 일반 사용자들에게 제공하고 있다.

즉 메타데이터는 어떠한 사상에 대한 정보 즉, 사용자가 원하는 것을 검색하고 획득할 수 있도록 도와주는 것이라고 할 수 있다.

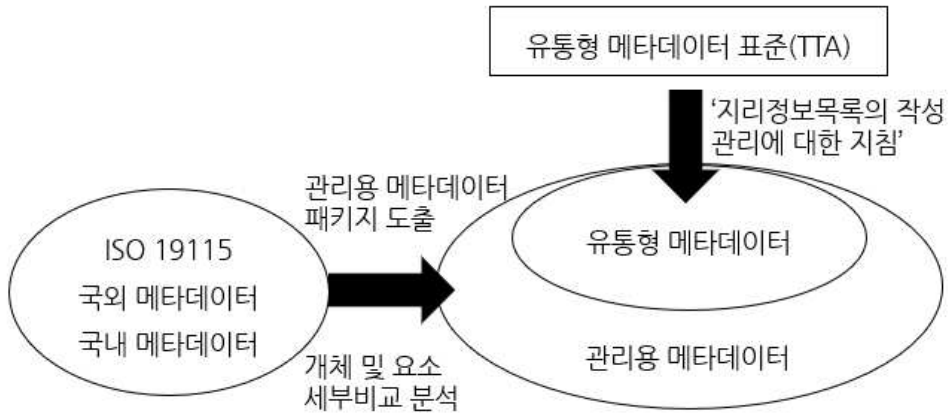
나. 메타데이터 개발현황

메타데이터와 관련된 표준으로는 ISO19115(국제표준), KSXISO19115(국가표준)이 있으며, 단체표준(TTA)으로는 유통목록 메타데이터 표준(TTAS.KO-10.0139)과 관리용 메타데이터 표준(TTAS.IS-19115)이 있다.

- 지리정보 유통목록 메타데이터 정의 : 인터넷상에서 지리공간 정보의 검색과 위치 확인에 필수적인 메타데이터 내용 표준을 제시함으로써 지리공간 정보의 효율적인 유통을 지원함을 목적으로 함.
- 지리정보 관리용 메타데이터 정의 : 공간정보사용자의 효율적인 공간정보 유통과 관리를 위해서 유통용 및 관리용 통합 메타데이터의 내용 표준을 제시함으로써 공간정보의 효율적인 생산, 관리, 유통 및 활용의 지원을 목적으로 함.

위에서 이미 언급한 바와 같이, 유통용 메타데이터는 정보의 효율적인 유통을 지원함을 목적으로 하며, 관리용 메타데이터는 공간정보의 효율적인 생산, 관리, 유통 및 활용의 지원을 목적으로 한다. 따라서, 관리용 메타데이

터는 <그림 7-19>와 같이 유통을 포함하여 더 많은 메타데이터 패키지를 포함한다.



<그림 7-19> 관리용과 유통형 메타데이터의 범위

다. 메타데이터 항목 분석

메타데이터는 크게 유통용과 관리용으로 구분할 수 있으며, 위의 메타데이터 개발현황에서 이미 설명한 바와 같이, 관리용 메타데이터는 유통용을 포함한다. 메타데이터는 섹션 및 개체 중심으로 설계가 이루어지므로, 용도에 맞는 메타데이터 선택을 위해 2가지 종류의 메타데이터의 각 섹션을 비교하면 (표 7-11)과 같다. 유통용 메타데이터는 총 7개의 섹션을 가지고 있으며, 관리용 메타데이터는 유통용을 포함하면서 내용 정보 등 7개의 추가 섹션을 가지고 있음을 알 수 있다.

(표 7-11) 메타데이터 비교(유통형 vs 관리용)

순서	섹션	관리용	유통형
1	메타데이터 개체 셋 정보	○	○
2	식별정보	○	○
3	데이터 품질정보	○	○
4	기준계정보	○	○
5	배포정보	○	○
6	범위정보	○	○
7	참고자료 및 책임담당자 정보	○	○
8	내용정보	○	
9	공간표현정보	○	
10	유지관리정보	○	
11	묘화 카탈로그 정보	○	
12	계약정보	○	
13	메타데이터 확장정보	○	
14	응용스키마 정보	○	

- ① 메타데이터 개체 셋 정보 : 개체 셋 정보는 개체 MD_메타데이터로 구성되며, 메타데이터의 개체에 대한 정보를 정의한다. 식별정보, 데이터품질정보, 기준계 정보, 배포정보, 내용 정보, 공간표현정보, 유지관리정보, 묘화 카탈로그 정보, 제약정보, 메타데이터 확장정보, 응용스키마 정보를 포함한다.
- ② 식별정보 : 데이터 세트를 고유하게 식별하는 정보. 공간정보에 대한 참조, 요약, 목적, 신용, 연락처와 연락 상황에 대한 정보이며 필수 사항이다.
- 데이터 포맷(MD_Format)
 - 데이터 개관도(MD_BrowseGraphic)
 - 데이터의 명확한 용도(MD_Usage)
 - 영상정보에 대한 제약조건(MD_Constraints)

- 영상정보를 설명하는 주제어(MD_Keywords)
- 데이터 갱신 주기 및 갱신 범위에 대한 정보 (MD_MaintenanceInformation)
- 영상정보를 설명하는 주제어(MD_AggregateInformation)
- ③ 데이터 품질정보 : 데이터 세트의 품질에 대한 일반적인 평가정보를 담고 있으며, 데이터 세트를 만드는데 사용된 영상정보와 제작과정에 대한 정보.
- ④ 기준계 정보(시간, 좌표, 지리식별자 사용포함) : 데이터 세트에 사용된 시·공간적 참조에 관한 내용
- ⑤ 배포정보 : 영상정보를 획득하는데 필요한 선택사항들과 배포자와 관련된 정보를 담고 있으며 선택사항임
- ⑥ 범위 정보 : 참조하는 개체의 시·공간적 범위를 나타내는 메타데이터 요소들의 집합으로 데이터 유형(Data Type) 정보를 가진다. 메타데이터 개체 셋과 같이 메타데이터의 개체에 대한 정보를 포함함.
- ⑦ 참조자료 및 책임담당자 정보 : 책임담당자 정보뿐만 아니라 영상정보를 언급하는 데 있어 표준화된 방법을 제공하며 데이터 유형(Data Type) 정보를 가진다. 메타데이터 개체 셋과 같이 메타데이터의 개체에 대한 정보를 포함함.
- ⑧ 내용 정보 : 벡터 데이터 세트에 사용된 지형지물을 식별하는 정보나 커버리지 데이터 세트에 관한 내용을 기술하는 정보.
- ⑨ 공간표현 정보 : 데이터 세트 내의 공간정보를 표현하는데 사용되는 메커니즘과 관련된 정보
- ⑩ 유지관리 정보 : 데이터를 갱신하는 범위와 주기에 대한 정보
- ⑪ 묘화 카탈로그 정보 : 사용된 묘화 카탈로그를 식별하는 정보를 담고 있으며 선택사항임.
- ⑫ 제약정보 : 데이터상의 제한과 관련된 정보
- ⑬ 메타데이터 확장정보 : 사용자가 구체화한 확장에 대한 정보
- ⑭ 응용 스키마 정보 : 데이터 세트를 만드는데 사용된 응용 스키마에 대한 정보를 담고 있으며 선택사항

라. 위성영상 메타데이터 기본 설계 방향

1) KXSISO19115 국가표준을 기반으로 설계

위성가뭄 관련 영상정보는 농어촌연구원에서 생산하고 향후 유관 기관에서 활용을 예상할 수 있다. 따라서 전국적인 관리와 유통에 대한 고려가 필요하므로, KS표준인 공간정보 관리용 메타데이터 표준을 기반으로 하되, 추후 유통을 대비하여 국가 GIS 유통 메타데이터의 표준 항목들은 모두 포함하도록 설계할 필요가 있다. 이를 통해, 앞으로는 국가지리정보유통기구와의 연계가 가능할 것이다.

2) 영상정보의 특성을 고려하여 설계

영상정보 메타데이터는 정보공유, 유통 및 서비스를 목적으로 하므로, 영상정보 고유의 특성을 반영한 항목으로 구성되어야 한다. 즉, 정보 고유의 특성이라고 할 수 있는 생산기관과 관리기관의 상이함, 다양한 공간해상도와 기준점 좌표계, 잦은 갱신, 데이터의 정확성 등의 특성이 고려되어야 할 필요가 있다.

3) 기존 메타데이터 표준을 참고

국가 유통 메타데이터 표준 외에 국내외 사례와 국토지리정보원, 서울시의 등 기존 공간정보 관련 기관에서 제작한 메타데이터 표준을 참고하여 영상정보 메타데이터 표준안 수립에 반영하도록 하였다.

마. 상세 설계

가뭄위성정보 메타데이터 패키지는 총 9개의 섹션(클래스)으로 구성되어 있다. 상세 설계를 통해 각 클래스를 정확히 정의하고, 하위의 개체를 설정하도록 한다. 그리고, 개체 항목별 의무/조건 항목의 조정을 통해 영상정보 메타데이터(안)을 수립하고 이를 반영하도록 하였다.

1) 메타데이터 개체셋 정보

본 클래스는 영상정보 데이터 세트에 대한 정보를 포함하는 클래스로서 MD_메타데이터로 정의한다.

개체셋 패키지는 하나의 클래스로 구성되어 있으며, 하위 개체 항목은 아래와 같다.

- ① MD_Metadata : 영상에 대한 메타데이터를 정의하는 루트 개체(M)

- 메타데이터 파일식별자(fileIdentifier) : 메타데이터 파일에 대한 유일한 식별자
- 메타데이터 언어(language) : 메타데이터를 기록하는데 사용된 언어
- 메타데이터 문자셋(characterSet) : 메타데이터 세트에 사용된 ISO 문자 코딩 표준(C-ISO10646-2가 사용되지 않고 인코딩 방식이 정의되지 않았을 경우 사용) 예시 : eucKR, UTF8 등
- 메타데이터 적용계층대상(hierarchyLevel) : 메타데이터가 적용되는 수준
- 메타데이터 적용계층대상명(hierarchyLevelName) : 메타데이터의 기준이 되는 계층 레벨의 실제 명칭
- 메타데이터 연락처정보(contact) : 메타데이터의 내용에 대한 책임을 지고 있는 담당자 또는 기관의 정보
- 메타데이터 생성일자(dateStamp) : 메타데이터가 구축된 일자(M)
- 메타데이터 표준명(metadataStandardName) : 메타데이터 구축시 기준이 되는 메타데이터 표준 명칭
- 메타데이터 표준버전(metadataStandardVersion) : 메타데이터 구축시 기준이 되는 메타데이터의 표준 버전

위의 각 섹션 및 개체의 정의를 바탕으로 영상정보에 적합한 개체 셋 항목을 선택하면 아래의 (표 7-12)와 같다. KSXISO19115에서 제공하는 하위 개체 중 영상정보에 적합한 항목으로서 언어, 문자셋, 연락처정보, 생성 일자, 표준명, 표준 버전을 포함하여 설계하였다. 언어와 문자셋 항목을 제외한 나머지 항목은 반드시 입력하도록 의무/조건 항목을 필수로 설정하였다.

(표 7-12) 메타데이터 개체 셋 정보구성

섹션	개체	선택	의무/조건
메타데이터			의무사용
	파일식별자		○
	언어	○	C
	문자셋	○	C
	적용계층대상		C
	적용계층대상명		C
	연락정보	○	M
	생성일자	○	M
	표준명	○	M
	표준버전	○	M

(표 7-13) 메타데이터 개체셋 정보 사용 예시

클래스	개체	정보
메타데이터 개체셋 정보	언어	한국어
	문자셋	UTF-8
	연락정보	농어촌연구원 홍길동
	생성일자	2019. 11. 13
	표준명	영상정보 메타데이터 표준
	표준버전	Ver1.0

2) 기준계 정보

- ① MD_기준계(MD_ReferenceSystem) : 데이터 세트에 적용된 시간과 공간 기준계의 정보
 - 기준계식별자(rsID) : 기준계의 명칭
- ② MD_좌표참조체계(RS_CRS) : 데이터 세트에 사용된 시공간 참조시스템에 관한 기술

- 투영(projection) : 사용된 투영의 식별
 - 타원체(ellipsoid) : 사용된 타원체의 식별
 - 수평데이텀(datum) : 사용된 수평데이텀의 식별
 - 기준원점(referenceOrigin) : 사용된 기준원점의 식별
- ③ MD_타원체파라미터(MD_EllipsoidParameters)
- 장반경(semiMajorAxis) : 타원체의 적도축의 반경
 - 편평도비율분모(denominatorOfFlatteningRatio) : 적도반경과 극반경의 차이 비율의 분모(C-회전타원체가 아닌 경우)
- ④ RS_식별자(RS_Identifier) : 참조시스템에 사용된 식별자
- 식별코드(code) : 명칭 공간에 실재를 식별하는 숫자 문자결합의 값

기준계정보 클래스는 다음의 (표 7-14)와 같이 4개의 클래스에 9개 하위 개체로 구성되어 있다. 영상정보에 적합한 기준계 정보 항목으로서 투영, 타원체, 기준원점, 식별 코드의 4개의 하위 개체로 구성하였다.

(표 7-14) 메타데이터 기준계 정보구성

섹션	개체	선택	의무/조건
기준계			의무/조건 사용
	기준계식별자		C
좌표참조체계			의무/조건 사용
	투영	○	M
	타원체	○	M
	수평데이텀		O
	기준원점	○	O
타원체 매개변수			의무/조건 사용
	장반경		O
	편평도 비율 분모		C
식별자			의무/조건 사용
	식별코드	○	M

사용 예시는 다음의 (표 7-15)와 같다. 모든 항목은 반드시 입력하도록 의무/조건 항목을 필수로 설정하였다.

(표 7-15) 메타데이터 기준계 정보 사용 예시

섹션	개체	정보
좌표참조체계	투영	UTM-K
	타원체	GRS80
	기준원점	단일원점
식별자	식별코드	UTM-K 좌표계

3) 식별정보

본 클래스는 핵심메타데이터의 의무사항인 데이터 세트 제목, 참고 일자, 유형, 요약설명, 연락처, 차원 포맷, 검색정보 등 다양한 정보가 기술되어 있으며, MD_식별정보로 정의한다.

- ① MD_식별(MD_Identification) : 영상정보를 식별하는데 필요한 기본적인 정보
 - 참고자료(citation) : 메타데이터로 표현된 영상정보에 대한 참고 정보
 - 요약설명(abstract) : 메타데이터가 표현하고 있는 영상정보의 내용에 대한 간략한 설명
 - 영상정보 연락처(pointOfContact) : 데이터 세트와 관련된 기관이나 개인을 확인하고 정보를 교환하기 위한 수단
- ② MD_데이터식별(MD_DataIdentification) : 데이터 세트를 식별하는데 필요한 정보
 - 공간표현방식(spatialRepresentationType) : 데이터 세트에서 영상정보를 표현하기 위해 사용된 방식
 - 공간해상도(spatialResolution) : 데이터 세트에 영상데이터의 밀도에 대한 일반적인 이해를 제공하는 인자
 - 자원언어(language) : 영상정보 내에 사용된 언어

- 자원문자셋(characterSet) : 영상정보에 사용된 문자코딩표준
 - 주제분류(topicCategory) : 영상정보 데이터 세트의 분류 및 검색을 위해 영상자료의 주제분류
 - 범위(extent) : 영상데이터 세트의 경계 폴리곤, 수직 및 시간 범위를 포함하여 부가적인 범위 정보
 - 지리경계(geographicBox) : 영상데이터가 이용 가능한 최소한의 장방향 경계
 - 지리설명(geographicDescription) : 영상데이터가 이용 가능한 지리영역의 기술
 - 검색정보(searchInformation) : 영상정보를 검색하는데 필요한 일반적인 정보
- ③ DT_자료구조(DT_DataStructure) : 데이터 세트의 자료 위치
- 데이터제공자 종류(dataProviderstyle) : 영상정보 제공기관에 관한 정보에 접근하기 위해 사용할 데이터제공자 종류
 - 주제명(themeName) : 영상정보 제공기관의 정보를 보유하고 있는 데이터베이스 이름(M)
 - 레이어명(layerName) : 영상정보 제공기관의 데이터베이스에 저장된 데이터베이스 테이블 이름
 - 파일경로(filepath) : 영상데이터 파일의 경로 및 이름
- ④ DT_유통정보 : 영상정보 유통을 위한 추가 정보 항목
- 지역범위(regionalExtent) : 시/도에 해당하는 일반적인 행정영역명
- ⑤ MD_주제어정보 : 핵심어, 그 유형과 참조원 정보 항목
- 주제어(keyword) : 주제를 기술하는데 사용된 공통 사용 단어나 문구

위의 각 섹션 및 개체의 정의를 바탕으로 영상정보에 적합한 식별정보 항목을 선택하면 아래와 같다. 자료구조 섹션 3개의 개체와 유통정보 섹션의 모든 개체는 국제표준에는 포함되지 않은 항목으로 유통용 표준으로 우리나라에서 활용되는 국가표준 항목이다. 영상정보에 적합한 항목으로서 위의 자료구조 및 유통정보 클래스는 반드시 포함하고, 기타 요약설명, 영상정보 연락처, 공간표현방식, 공간해상도, 자원언어, 자원 문자셋, 지리경계, 주제어의 하위 개체는 모두 포함하여 설계하였다.

(표 7-16) 메타데이터 식별정보 사용 예시

섹션	개체	정보	
식별정보	요약설명	2019년 11월 농어촌연구원에서 제작한 자료 임	
	영상정보 연락처	책임기관명	농어촌연구원
		직위	차장
		성명	홍길동
		전화번호	031-123-3456
		기관주소	경기도 안산시 상록구 해안로 870
		우편번호	15634
		국가	대한민국
데이터식별	공간표현방식	래스터	
	공간해상도	500m	
	자원언어	한국어	
	자원문자셋	UTF-8	
	지리경계	동쪽경도	127.732803
		서쪽경도	127.727803
		남쪽위도	37.937758
		북쪽위도	37.975899
자료구조	데이터제공자 종류	정부/공공기관	
	영상명	MODIS	
	파일경로	MODIS_1975.tif	
유통정보	지역범위	남한	
주제어정보	주제어	가뭄위성지도	

4) 배포정보

본 클래스는 영상정보의 배포를 위해 필요한 항목으로서 MD_배포정보로 정의된다. 배포정보는 데이터를 획득하는데 필요한 사항들과 배포자와 관련된 정보를 제공한다.

- ① MD_디지털전송옵션(MD_DigitalTransferOptions) : 배포자로부터 데이터 세트이 획득되는 기술적 방법과 매체
 - 배포단위(unitOfDistribution) : 영상정보의 이용 가능한 단위, 타일, 레이어, 지리영역 등
 - 전송 크기(transferSize) : 메가바이트로 표현된 상세 전송 포맷에서 단위의 추정된 크기로서 전송 크기는 0보다 크다.
 - 온라인(onLine) : 영상정보를 획득할 수 있는 온라인 원시 자료에 대한 정보
 - 오프라인(offLine) : 영상정보를 획득할 수 있는 오프라인 원시 자료에 정보
- ② MD_배포자(MD_Distributor) : 배포자에 대한 정보
 - 배포자연락(distributorContact) : 영상정보를 배포하는 담당자(M)
- ③ MD_포맷정보(MD_Format) : 레코드, 파일, 메시지, 저장도구, 전송 채널에서 데이터객체의 표현을 상세하는 컴퓨터 언어 구조의 기술
 - 포맷 명(name) : 영상정보가 전송되는 포맷의 명칭(M)
 - 포맷 버전(version) : 배포 포맷의 버전(M)
 - 포맷명세(specification) : 배포의 부분집합, 프로파일, 생산품 명세의 명칭
 - 파일압축해제기술(fileDecompressionTechnique) : 압축해제기술이 적용되는 영상정보를 읽거나 확장하는데 적용될 수 있는 알고리즘이나 처리 과정의 권고

영상정보에 적합한 항목으로서 디지털 전송 옵션 클래스의 배포단위, 온라인, 오프라인, 배포자 클래스의 배포자 연락처를 포함한다. 그리고, 포맷 정보 클래스의 포맷 명, 포맷 버전과 매체 정보 클래스의 매체 명칭, 매체 노트, 매체 주문 절차의 이용료, 주문지침, 소요시간의 모든 하위 개체를 포함하여 설계하였다.

5) 데이터 품질정보

본 클래스는 데이터 자체의 품질에 대한 일반적인 평가정보로서 MD_데이터품질정보로 정의하고 있다. 현재 국가에서 운영하는 국가지리정보유통망의 데이터 품질정보는 소비자들에게 다양한 정보를 제공하지 못하는 실정이다. 그것은 품질에 대한 정량적, 정성적 평가, 적합성 평가 등의 항목을 설정하는 데 어려움이 있는 것으로 판단되는바, 영상분야에서는 향후 이에 관한 추가적인 연구를 통해 필요한 정보를 도출할 필요가 있다.

- ① DQ_데이터품질(DQ_DataQuality) : 데이터 품질적용대상에 의해 설명된 영상데이터의 품질정보
 - 데이터품질적용대상(scope) : 영상데이터 품질정보가 적용되는 구체적인 데이터
- ② LL_연혁(LL_Lineage) : 이력에 대한 정보의 부족이나 범위에 의해 상세된 데이터를 만드는데 사용된 이벤트나 원시 자료에 대한 정보
 - 서술문(statement) : 데이터 세트의 이력에 대한 영상데이터 생산자의 지식 부족 설명
- ③ DQ_요소(DQ_Element) : 데이터품질 범위에 의해 상세된 데이터에 적용되는 테스트 유형
 - 데이터품질측정결과(result) : 영상데이터 품질 측정 결과 값 혹은 구체적인 허용 가능 품질 레벨에 획득한 값을 평가한 결과
- ④ DQ_적합성 결과(DQ_conformanceResult) :
 - 평가기준문서(specification) : 영상정보를 평가할 때 기준이 되는 제품명세서나 기준 문서 또는 사용자 요구사항
 - 결과설명(explanation) : 적합성을 산출하는 테스트 및 방법에 대한 설명
 - 통과 여부(pass) : 0=실패, 1=통과를 나타내는 적합성 결과
- ⑤ DQ_정량적 결과(QuantitativeResult)
 - 자료품질 값(value) : 품질정보 적용대상에 테스트를 수행한 정량적 결과 혹은 사용된 평가과정에 의해 결정된 값
- ⑥ DQ_범위(DQ_Scope) : 범위에 의해 상세된 데이터의 설명

- 적용대상(level) : 품질평가 대상이 데이터 세트가 아닐 경우, 품질정보가 적용되는 작업 그룹(예 : 속성, 시리즈, 대상물 등)
- 적용 범위(extent) : 범위에 의해 상세된 데이터의 공간, 수직, 시간적 범위에 대한 정보
- 적용대상설명(levelDescription) : 범위에 의해 상세된 데이터의 레벨에 대한 상세한 설명

위의 각 섹션 및 개체의 정의를 바탕으로 영상정보에 적합한 메타데이터를 선택하면 아래와 같다. 영상정보에 적합한 항목으로서 데이터품질적용대상, 이력 정보 클래스의 서술문, 데이터품질 측정결과, 평가 기준 문서, 결과설명, 통과 여부, 자료품질 값, 적용대상의 개체는 모두 포함하여 설계하였다.

제3절 영상관리 체계

수집된 영상은 <그림 7-20>과 같이 폴더 구성을 하여 본 연구에서 개발된 시스템에 적용할 수 있도록 구성하였다.

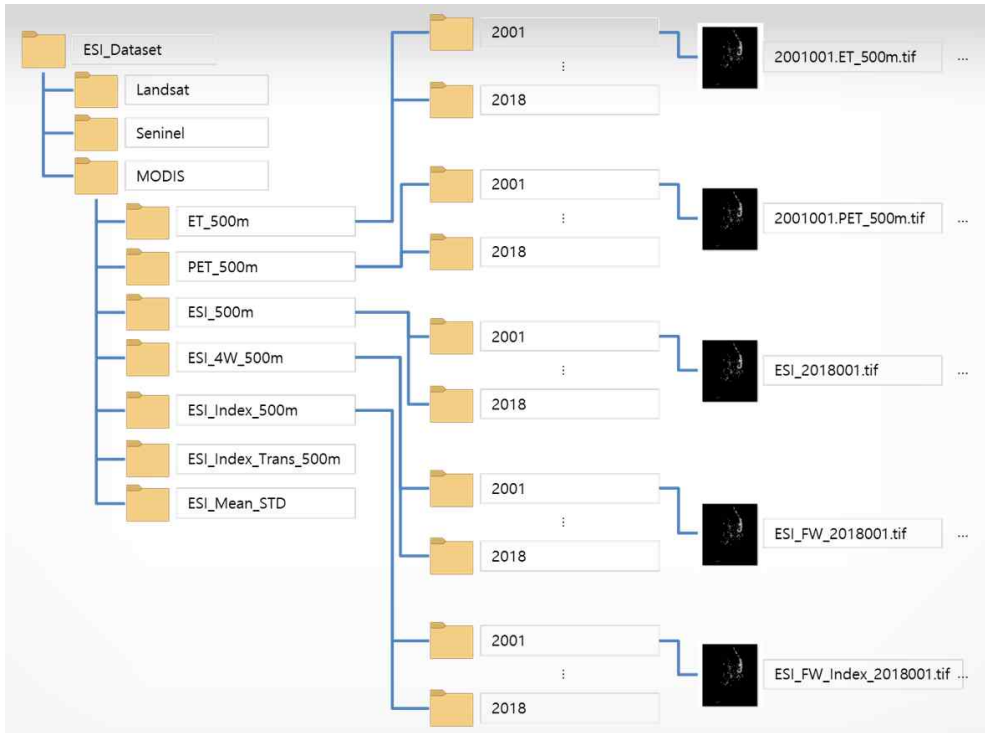
영상관리 체계를 위한 데이터 세트는 로컬 디스크 드라이브의 최상위 폴더인 root에 위치하여 [ESI_Dataset]의 폴더명을 부여하였으며, 밑에 하위 폴더로는 수집한 영상의 종류에 따라 [Landsat], [Sentinel] 및 [MODIS] 관리체계로 구성되어 있다.

[Landsat]과 [Sentinel] 영상은 영상 촬영연도별로 하위 폴더를 설정하여 촬영 날짜별로 쉽게 구분할 수 있도록 하였다.

MODIS 영상의 경우에는 각각의 데이터 처리 환경에 따라 폴더 구성을 다르게 하였다. [MODIS] 영상 폴더는 농업가뭄지도 생성 단계에 따라 7개의 하위 폴더를 가지고 있다.

- [ET_500m] 폴더는 연도별 정리된 증발산량(ET) 파일이 포함되어 있으며 증발산량(ET) 파일 이름은 촬영 시기의 연도 4자리와 1월1일부터 경과된 일수를 표현하는 촬영 시기 3자리를 결합한 7자리 숫자와 파일의 종류를 구분할 수 있는 고유 명칭 ET_500m로 구성되어 있다.(ex. 2001001.ET_500m.tif)
- [PET_500m] 폴더는 연도별 정리된 증발산량(ET) 파일이 포함되어

- 있으며 증발산량(ET) 파일 이름은 촬영 시기의 연도 4자리와 1월1일부터 경과된 일수를 표현하는 촬영 시기 3자리를 결합한 7자리 숫자와 파일의 종류를 구분할 수 있는 고유 명칭 ET_500m로 구성되어 있다.(ex. 2001001.ET_500m.tif)
- [ESI_500m] 폴더는 연도별 정리된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일이 포함되어 있으며 농업가뭄파라미터(ESI) 파일 이름은 파일의 종류를 구분할 수 있는 고유 명칭 ESI_와 촬영 시기의 연도 4자리와 1월1일부터 경과된 일수를 표현하는 촬영 시기 3자리를 결합한 7자리 숫자로 구성되어 있다.(ex. ESI_2001001.tif)
 - [ESI_4W_500m] 폴더는 연도별 정리된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일이 포함되어 있으며 농업가뭄파라미터(ESI) 파일 이름은 파일의 종류를 구분할 수 있는 고유 명칭 ESI_와 촬영 시기의 연도 4자리와 1월1일부터 경과된 일수를 표현하는 촬영 시기 3자리를 결합한 7자리 숫자로 구성되어 있다.(ex. ESI_2001001.tif)
 - [ESI_Index_500m] 폴더는 연도별 정리된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일이 포함되어 있으며 농업가뭄파라미터(ESI) 파일 이름은 파일의 종류를 구분할 수 있는 고유 명칭 ESI_와 촬영 시기의 연도 4자리와 1월1일부터 경과된 일수를 표현하는 촬영 시기 3자리를 결합한 7자리 숫자로 구성되어 있다.(ex. ESI_2001001.tif)
 - [ESI_Index_Trans_500m] 폴더는 앞선 농업가뭄 지수값 파일을 UTM-K(EPSSG:5179)로 변환한 파일이 포함되어 있으며 농업가뭄 지수값 파일과 같은 이름을 사용하였다.
 - [ESI_Mean_STD] 폴더는 동일시기 평균/표준편차 모듈을 사용하여 계산된 각 촬영시기(001, 009...)별 평균과 표준편차 파일 중 농업가뭄지도 생성 모듈에서 사용할 수 있도록 등록된 평균과 표준편차 파일이 포함되어 있다.(ex. ESI_001_mean.tif, ESI_001_STD.tif)



<그림 7-20> 수집된 영상의 폴더별 관리 체계

제4절 위성영상 표준화 모듈개발

1. 공개 GIS 소프트웨어를 활용한 표준화 모듈

가. 공개 GIS 소프트웨어 활성화 배경

공개 소프트웨어(open source software, 이하 오픈소스)의 활용이 활성화됨으로써 IT 산업에서 공개 소프트웨어의 도입과 활용이 활발히 진행되고 있으며, GIS 분야에서도 공개 GIS를 이용한 시스템 구축이 점차 증가하는 추세에 있다.

현재 전 세계적으로 280개 이상의 GIS 관련 오픈소스 소프트웨어 프로젝트가 활동 중이며, 기술적인 수준에서도 일반 상업용 GIS 시스템에 준하는 수준에 올라있는 소프트웨어도 상당한 수에 이른다. 예를 들면, 공개 GIS 소프트웨어 재단 중의 하나인 OSGeo.org는 재단에서 지원하는 공개 GIS 소프트웨어들을 이용하여 지리정보 서비스 S/W 및 기반 데이터에

대한 전반적인 시스템이 구현 가능하다는 다양한 사례를 보여주었다. 또한, 지리공간 데이터 개발용 공개 라이브러리 중 하나인 GDAL은 이미 Google Earth와 같은 선도적인 상업용 시스템에서 사용 중이다.

이 외에도 Java 기반 맵핑 S/W인 GeoTools, 미 육군에서 만든 GIS S/W인 GRASS 등은 모두 공개 GIS 소프트웨어들이다. 특히 오토데스크(AutoDesk)는 자사의 지도 서버인 MapGuide를 오픈소스로 전환한 바 있으며, 이러한 공개 GIS 소프트웨어에 대한 활발한 사용은 향후 GIS 구축 기술 발전에 큰 영향을 끼칠 것으로 기대되고 있다.

나. 오픈소스 GIS 소프트웨어와 표준의 관계

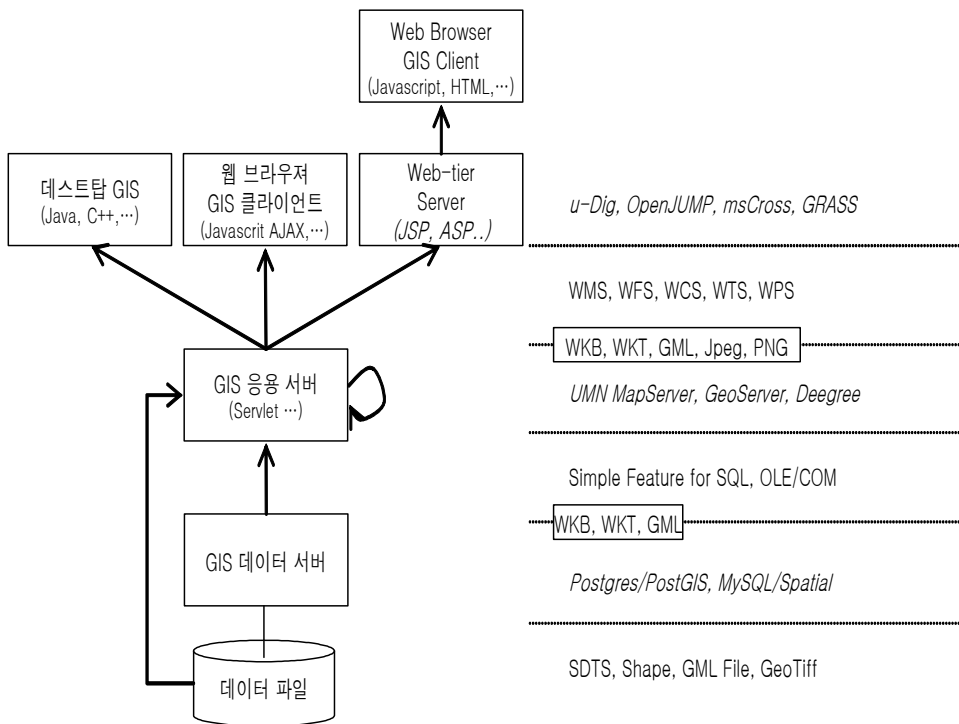
GIS 시스템과 데이터 인프라를 구축하는 것은 데이터 조직화에 대한 문제임과 동시에 기술적인 과제이다. 기술적인 면에서 표준화된 컴포넌트를 사용하는 것은 GIS 판매상의 중립적 구조에 기인한 안정성을 보장받을 수 있게 하며, 서로 다른 판매상들의 제품을 유연하게 확장하거나 접근할 수 있도록 함으로써 전체적인 GIS 데이터 및 시스템 인프라 구축의 비용적·시간적 효율성을 증진할 수 있게 한다. 이러한 이유로 GIS 분야에서는 OGC(Open Geospatial Consortium)와 ISO와 같은 국제 표준과 국내의 GIS 관련 표준들의 제정과 적용과 구현 대한 필요성이 계속적으로 제기되어 왔으며 실제 많은 상업용 GIS 시스템과 구축 GIS 시스템들이 국내/국제표준을 준수하고 있다.

최근 오픈소스 GIS 소프트웨어 개발과 활용의 활성화는 이러한 GIS 분야에서의 잘 구성된 표준 인프라 환경에 기인한다. 오픈소스 GIS 소프트웨어들은 OGC와 ISO 등의 표준들을 적극적으로 지원하도록 구현되고 있으며, 표준의 지원으로 다른 상업적 판매상들의 GIS 소프트웨어 제품들과도 연동되어 동작할 뿐만 아니라 쉽게 대체사용 될 수 있는 장점을 갖고 있다.

또한, GIS 시스템 인프라를 구성하는 다양한 소프트웨어 컴포넌트의 스펙트럼 측면에서도 공개 GIS 소프트웨어는 데스크탑용 GIS부터 웹 서비스용 서버와 GIS 데이터베이스 시스템에 이르기까지 GIS 전 분야의 구성요소들을 포함하고 있으며, 공개 소프트웨어 간에는 표준 인터페이스를 준수하고 있으므로 쉽게 통합되고 연동될 수 있도록 개발되고 있다. 이것은 현재까지 개발된 공개 GIS 소프트웨어들만을 사용해서 상업용 GIS 수

준의 GIS 시스템을 완전히 대체하여 구축할 수 있음을 의미한다.

<그림 7-21>은 데스크탑 GIS와 웹 GIS를 동시에 지원할 수 있는 3-tier GIS 서버 시스템을 공개 소프트웨어들만을 이용하여 구축할 수 있는 시스템의 예를 보여준다. Oracle/Spatial, DB2 Spatial과 같은 GIS 데이터 서버는 PostgreSQL/PostGIS, MySQL/Spatial과 같은 공개 DBMS 소프트웨어의 GIS 확장 시스템에 의해 대체될 수 있으며, ArcGIS Server와 같은 GIS 응용 서버는 MapServer와 GeoServer, Deegree와 같은 공개 GIS 소프트웨어로 대체할 수 있다. 또한, 데스크탑 GIS 클라이언트와 웹 클라이언트들도 u-Dig, OpenJump와 msCross 등 다양한 공개 소프트웨어가 존재하며 사용자의 운영 환경에 맞게 적절하게 선택할 수 있다.



<그림 7-21> 3-tier GIS 시스템에서의 표준과 공개 소프트웨어 시스템의 예

다. 오픈소스 소프트웨어 기반 GIS 구축의 장·단점

현재의 GIS 구축 환경에서 GIS 소프트웨어들은 ESRI, Intergraph, MapInfo, AutoDesk 등과 같이 좋은 품질과 검증된 성능, 사후 관리 등이 보장된 상업용 제품들에 의해 거의 의존하고 있다. 이러한

상업용 GIS 소프트웨어들은 GIS 소프트웨어 판매상들이 소프트웨어와 소스 코드에 대한 소유권을 갖고 있으며, 대부분 특정한 수의 컴퓨터에서 구동 가능한 컴파일 된 소프트웨어 라이선스를 구매하는 형태로 이루어진다. 구매한 GIS 소프트웨어들을 다시 팔거나 다른 사람들과 공유할 수 없으며, 단지 프로토타입용 GIS 시스템을 구축하거나 GIS 데이터에 대한 테스트를 위해서도 제품을 반드시 먼저 구매해야만 한다. 또한, GIS 시스템 구동 환경에서 성능을 향상하기 위하여 소스 코드를 최적화하거나 공공기관 GIS에 적용될 경우 보안 등의 특수성을 보완하는 등의 수요자 지향적 확장도 불가능하다.

공개 GIS 소프트웨어는 무료이며 소스 코드가 공개되어 있어 소프트웨어 자체에 대한 확장이 자유롭게 가능하다. 이러한 장점들은 일반적인 공개 소프트웨어를 사용하는 데 따른 장점과 유사하다. 그러나 공개 GIS 소프트웨어는 GIS 분야의 데이터와 시스템의 특수성으로 인해 훨씬 더 큰 장점이 있다. 세부적으로 서술하면 다음과 같다.

1) 저비용

공개 소프트웨어에 기반한 데스크탑용 리눅스 운영체제를 사용하면 상업용 MS 제품을 사용하는 것보다 50% 이상의 초기 비용을 절약할 수 있다고 알려져 있다. 그러나 일반적인 상업용 GIS 데스크탑 시스템은 상업용 MS 제품보다 훨씬 높은 가격을 형성하고 있으며 그만큼 공개 GIS 소프트웨어를 사용했을 때 감소하는 비용은 훨씬 크다. 또한, 필수적으로 데스크탑 시스템당 설치되어야 하는 운영체제에 비하여 GIS 시스템은 개발과 업무상의 목적으로 일시적인 사용을 해야 하는 경우가 상당수 존재하며, 이러한 일시적 사용 목적에 필요한 비용을 추가로 상당 부분 감소시킬 수 있다.

2) 상업용 소프트웨어에 대한 의존성 감소

오픈소스 소프트웨어를 사용함으로써 많은 정부 기관들이 소수의 중요한 상업용 소프트웨어 판매상들에게 좌우되는 것으로부터 독립적으로 될 수 있는 장점이 있는 것으로 알려져 있다. 운영체제 등의 시스템의 독립 시스템에서의 사용이 대부분인 데 비하여, GIS 시스템은 GIS 데이터의 통합과 연계 운용의 비율이 훨씬 높으며 상업용 GIS 소프트웨어 전용

의 GIS 시스템의 구축으로 인해 데이터 및 응용의 연계에 있어서 항상 문제가 되어 왔다. 그러므로 표준에 기반한 표준을 충실하게 구현한 공개 GIS 소프트웨어의 사용은 상업용 GIS 소프트웨어에 대한 의존성을 감소시킬 뿐만 아니라 GIS 데이터와 시스템 인프라 간의 통합과 연계성을 증진시킬 수 있는 장점을 추가적으로 갖는다.

3) 수정과 배포의 용이성

소스 코드가 공개되어 있고 자유롭게 수정배포가 가능한 공개 소프트웨어는 사용자나 개발자의 필요 때문에 쉽게 확장되고 수정될 수 있으며, 수정된 버전에 대한 배포에 제한이 없다. GIS 시스템의 경우 데이터 처리 성능의 향상이나 기존 GIS 시스템과의 연동을 위해 불가피하게 사용자가 부분적인 수정을 해야 하는 경우가 상당수 존재하며 이러한 요구사항을 갖는 공공기관 등의 GIS 사용자는 자체적으로 GIS 소프트웨어를 개발하는 경우가 종종 있었으며, 상업용 GIS 시스템을 일부 수정하여 개발했을 때도 배포에 있어서 많은 제한을 받아왔다. 공개 GIS 소프트웨어는 시스템을 새로 개발할 필요가 없이 부분적인 수정을 통하여 사용자에게 특화된 GIS 시스템을 구축할 수 있으며 이를 자유롭게 배포할 수 있다.

4) 효율적이며 작은 비용을 갖는 다양한 응용 소프트웨어

오픈소스 소프트웨어의 활용성이 증가함에 따라 운영체제와 웹 응용 서버 등의 기반 소프트웨어뿐만 아니라 공개 소프트웨어를 활용하여 개발한 다양한 응용 소프트웨어들과 예제 프로그램들을 쉽게 구할 수 있다. GIS 분야의 경우 다양한 사용 형태에 따라 다양한 응용을 개발하여야 하며 각각의 응용에 대한 개발에 상당한 비용이 필요하다. 활발한 개발 커뮤니티를 갖는 오픈소스 GIS 소프트웨어의 경우에는 기존의 개발자나 사용자들이 이미 개발해 놓은 다양한 GIS 응용 소프트웨어들과 유틸리티, 예제 프로그램들을 쉽게 구할 수 있으며 이를 기반으로 GIS 시스템의 사용자 최적화에 드는 비용을 감소시킬 수 있다.

위와 같이 오픈소스 GIS 소프트웨어들이 갖는 많은 장점에도 불구하고 공개 GIS 소프트웨어를 적용하는 것은 다음과 같은 단점을 갖는다.

5) 기존 상업용 GIS 제품으로부터의 전환 비용

국내 GIS 분야는 상업용 GIS 시스템들을 계속적으로 사용해 왔으며 많은 데이터가 기존의 시스템에 축적되어 있다. 공개 GIS 소프트웨어의 장점에도 불구하고 이러한 기존의 데이터와 서비스들을 중단하거나 기존의 시스템과 연동되도록 공개 소프트웨어 기반의 시스템을 별도로 개발하는 것은 오히려 추가적인 비용을 초래할 수 있다.

6) 공개 GIS 소프트웨어의 다양성

공개 GIS 소프트웨어는 기술적으로 상당한 안정성을 보장하는 단계까지 도달해 있으며, PostgreSQL/PostGIS, MySQL/Spatial, UMN MapServer 등 몇몇 소프트웨어의 경우에는 상업용 소프트웨어에 근접하는 성능과 안정성을 지원한다. 그러나 오픈소스 GIS 소프트웨어는 다양한 분야에 다양한 소프트웨어들이 존재하며 사용자의 목적과 사용 용도에 따라 적절한 안정성과 성능을 만족시키는 소프트웨어를 선택하기 위해서는 철저한 사전 조사와 분석이 필요하다.

라. 오픈소스 GIS 소프트웨어의 구현 시 고려사항

공개 GIS 소프트웨어를 이용하여 실제 구현할 때 국내의 환경과 국외의 공개 GIS 소프트웨어 개발환경의 차이에 의해 발생하는 다양한 구현 문제가 존재한다. 가장 큰 문제들은 데이터와 질의에 사용되는 좌표 체계의 문제와 한글 구현 문제 등이 있다.

1) 데이터 및 질의 표준 좌표 문제

아직 국내에서 구축된 대부분의 GIS 데이터들은 TM 또는 UTM 좌표체계에 의해 구축됐으며, 대부분의 GIS 시스템들의 TM/UTM 좌표계를 지원하고 있다. 그러나 많은 공개 GIS 소프트웨어들이 EPSG 표준에 따른 WGS84(EPSG 4326)만을 내부적으로 지원하거나 시스템 간 인터페이스로 사용하고 있다. 그러므로 때에 따라서 이미 구축된 데이터를 변환하여 EPSG 4326으로 전환하거나 좌표체계를 변환해주는 루틴을 추가로 수정해야 하는 경우가 발생할 수 있다. 특히 본 연구에는 UTM-K 좌표계를 사용하기 때문에 해당 공개용 소프트웨어서 UTM-K 좌표계 지원이 중요하다.

2) 한글 호환성 문제

우리나라에서 컴퓨터상에 한글을 표현하는 방법은 조합형에서 현재 리눅스 등에서 사용되는 KSC5601(EUC-KR)로, 다시 윈도우 운영체제에서 사용하는 UHC와 CP949, 그리고 Java 등에서 지원하는 국제표준인 UNICODE에 기반한 UTF-8과 UTF-16 등이 존재한다. 한글 표준의 다양성으로 인해 한글을 지원하는 공개 GIS 소프트웨어들에서도 특정 한글 인코딩만을 지원하는 때도 있으며 이럴 때 이미 구축된 데이터에 대한 재변환 작업이 필요할 수 있다. 이것은 공개 GIS 소프트웨어뿐만 아니라 상용 GIS 시스템에서도 종종 발생하는 문제이다. 대부분 PC에서 구축된 GIS 데이터를 리눅스 또는 자바 등의 시스템에서 사용하고자 할 때 발생하거나, PC에서 한글 이름으로 된 Shape 파일 등을 윈도우 등에서 사용하거나 그 반대의 경우에 종종 발생한다. 대부분 국제적으로 활발한 커뮤니티를 가진 공개 GIS 소프트웨어들에서는 이러한 문제에 대한 해결책을 제시하고 있으므로 문제 발생시 참고하여 구현하여야 한다.

마. 표준화 모델에 적용할 오픈소스 GIS 소프트웨어 세부 분석

다양한 오픈소스 GIS 소프트웨어를 분석하여 본 연구의 표준화 모듈에 가장 적합한 오픈소스 GIS 소프트웨어를 선택하기 위해 기존의 오픈소스 GIS 소프트웨어를 분석하였다.

1) OpenMap

BBN 테크놀로지라는 회사에 의해 JavaBeans로 개발된 오픈소스 소프트웨어로, 기존 데이터베이스 또는 응용들로부터 데이터를 액세스하기 위한 응용과 애플릿을 제공하고 있다. OpenMap은 소스를 공개하고 있긴 하나, GPL 라이선스는 아니며 자체 라이선스 규정을 통하여 서비스하고 있다.

OpenMap은 자바로 공간 응용을 구축하기 위한 컴포넌트 라이브러리이다. 그것은 원래 설비회사들 및 전화 통신 회사들과 함께 프로젝트들을 진단하기 위한 BBN 기술들에 의해 개발되었으며, 그 이후 지속적인 확장을 통해 현재 모습을 갖추게 되었다. OpenMap은 제품의 일부 또는 다른 조합으로서 OpenMap을 사용하기 원하는 회사들을 위한 지원 계약을 제공하고 있는 BBN에 의해 여전히 활발하게 개발되고 있다.

OpenMap은 입력 데이터 소스로서 Shape 파일을 제공하지만, 다른 데이터 소스들도 확장 형태로 대부분 코드화되어 있다. OpenMap에서 레이어 개념은 대부분의 어떠한 데이터 소스도 OpenMap 응용 안으로 종속될 수 있을 만큼 충분히 일반적이다. 예를 들면, OpenMap은 항상 최근의 지진 정보를 현재 지도에 제공하도록 계속적으로 공공 지진 정보 HTML 페이지를 갱신하는 “EarchQuakes” 레이어를 로드시킬 수 있게 되어있다.

(표 7-17) OpenMap 세부 분석 정보

홈페이지	openmap.bbn.com
프로그램 구분	2D Map Viewer Desktop(Standalone/Client)
구현언어	Java
운영체제	OS 독립적
사용 표준	Shape
라이선스	OpenMap License

2) JUMP

JUMP(Jump Unified Mapping Platform)는 원래 데이터 통합 알고리즘들을 위한 사용자 인터페이스 래퍼로서 작성된 가시화와 사용자 인터페이스 도구상자다. JUMP는 공간 데이터 융합을 위해 요구되는 복잡한 알고리즘들이 일반적이며 접속 가능한 환경으로 내장 구현될 수 있도록 설계되어 있다. 공간 데이터 융합은 보통 인간의 입력 요소를 요구한다. 그 결과, JUMP는 다음과 같이 수많은 일반적인 사용자 인터페이스와 GIS 뷰어 특징을 갖도록 구축되었다.

- JUMP는 공간 데이터 세트를 뷰잉, 편집, 처리하기 위해 대화식의 Workbench를 제공한다.
- JUMP는 I/O, 특징기반 데이터 세트, 가시화, 모든 공간 연산을 포함하는 모든 함수에의 완전한 프로그램 접근을 지원하는 API를 제공한다.

- JUMP는 상당히 모듈러하며 확장성이 있다.
- JUMP는 GML, OpenGIS Consortium 공간 객체 모델과 같은 중요한 산업 표준을 제공한다.
- JUMP는 100% 순수한 Java으로 작성되어 있다.
- JUMP는 GML, Shape, RDBMS 데이터 소스들을 지원한다.

(표 7-18) JUMP 세부 분석 정보

홈페이지	www.jump-project.org
프로그램 구분	2D Map Viewer Desktop(Standalone)
구현언어	Java
운영체제	OS 독립적
사용 표준	OGC Spatial Object Model, GML
라이선스	GPL

3) QGIS

Quantum GIS(이하 QGIS)는 Linux 데스크탑을 위해 구축된 GIS 뷰잉 환경이다.

QGIS는 인기 있는 리눅스용 KDE 데스크탑 환경에 의해 사용된 같은 위젯 셋인 Qt위젯 셋에 의존한다. 그러나 Qt는 다른 플랫폼(Win32, OS/X, Solaris)을 위해 이용할 수 있도록 이식되어 있다. 따라서 QGIS 데스크탑은 다중 플랫폼 환경에서의 사용을 위해 구축될 수 있다.

QGIS는 PostGIS와 벡터 데이터 소스로서 Shape 파일들을 지원한다. QGIS는 데이터 импорт 브리지로서 OGR을 사용한다. 따라서 모든 OGR 포맷의 지원 또한 이용할 수 있다. QGIS는 DEM, ArcGrid, ERDAS, SDTS, GeoTIFF 래스터 포맷들을 지원한다.

(표 7-19) QGIS 세부 분석 정보

홈페이지	qgis.org
프로그램 구분	2D Map/ RS/ GPS Viewer/ Editor Desktop(Standalone)
구현언어	Python
운영체제	Windows, Linux
사용 표준	Shape, GeoTIFF, NMEA
라이선스	GPL

4) gvSIG

gvSIG는 스페인 남동부의 발렌시아 지방의 프로젝트이다. 프로젝트의 목표는 공개 표준을 활용하고 플랫폼에 독립적인 오픈소스 도구를 제공하는 것이다. gvSIG는 GeoTools와 JTS를 포함하여 수많은 자바 라이브러리들을 이용하여 구현되었다. gvSIG의 설계 목표는 모듈성, 상호운용성, 오픈소스, 표준 기반, 낮은 배치 비용, 다중 플랫폼에 이식성이다.

(표 7-20) gvSIG 세부 분석 정보

홈페이지	www.gvsig.es
프로그램 구분	2D Map/Feature Viwer Desktop
구현언어	Java
운영체제	OS 독립적
사용 표준	WMS, WFS, Shape
라이선스	GPL

5) uDig

uDig는 "User-friendly Desktop Internet GIS"의 약자로 목표는 보통의 GIS 사용자 데스크탑에서 투명하게 WMS와 WFS와 같은 인터넷 매핑 기술을 사용할 수 있도록 하는 것이다. uDig는 설계, 데이터 구조,

표준 등의 GeoTools 프로젝트의 강점과 UI, 렌더러, 상호운용성 등의 JUMP 프로젝트의 강점, Eclipse Rich Client Platform의 강점을 결합한 소프트웨어로써, 지역적 범위, 네트워크, 인터넷 데이터 소스들과 상호작용할 능력이 있는 새로운 데스크탑 에디터로 결합하기 위한 프로젝트이다. uDig는 아래의 기능을 지원한다.

(표 7-21) uDig 세부 분석 정보

홈페이지	udig.refrations.net
프로그램 구분	2D Map/Editor Desktop
구현언어	Java, SWT
운영체제	Windows, Linux
사용 표준	WMS, WFS, Shape
라이선스	GPL

6) GRASS

GRASS GIS는 Geographic Resources Analysis Support System의 약자이며, 래스터(raster), 벡터(vector) 자료를 이용한 분석과 원격탐사(Remote sensing & Image Processing)를 위한 시스템이다. GRASS는 미국의 Baylor대학에서 주도적으로 개발되었으나 GRASS를 이용하는 사용자가 급속히 증가하게 되자 세계 곳곳의 프로그래머들이 다국적 팀을 형성하여 GRASS를 발전시키고 있다. 현재 미국과 독일 두 곳의 대학(Baylor Univ. 와 Hannover Univ.)이 개발 본부 역할을 하고 있다.

GRASS는 분명 가장 오래된 오픈소스 GIS 소프트웨어 제품이다. 그것은 원래 상업용 GIS 부문에 존재하지 않는 능력을 제공하기 위해 1982년에 시작된 미 육군의 종료된 프로젝트였다. 육군은 1992년까지 활발한 개발 하에 GRASS를 유지 보수했고, 1995년까지 수정과 패치를 계속했다. GRASS는 1997년에 학술적인 커뮤니티에 의해 인수되었고, Baylor 대학이 개발을 통합하기 시작했을 때, GPL하에 1999년에 공식적으로 오픈소스가 되었다. 2001년 이래로, GRASS 프로젝트는 이탈리아 북부의 ITC에 본부를 두고 있다.

주로 X-window를 바탕으로 한 UNIX 환경에서 구동되며, GPL에 의한 공개 프로그램이다. 원래 래스터 분석 시스템으로서 작성된 GRASS는 벡터 분석 능력이 추가되었다. GRASS는 데이터를 가져오기 위하여 GDAL과 OGR 라이브러리들 양쪽을 사용하여 광범위한 포맷들을 가져온다. GRASS는 또한 PostGIS/PostgreSQL로부터 속성과 공간 데이터를 직접 읽을 능력을 갖추고 있다.

(표 7-22) GRASS 세부 분석 정보

홈페이지	grass.itc.it
프로그램 구분	2D/3D/RS Viewer/Editor/Analysis Desktop
구현언어	C
운영체제	Windows, Linux
사용 표준	None
라이선스	GPL

바. 표준모듈에 적합한 오픈소스 선택

오픈소스 데스크탑 GIS 소프트웨어들을 운용 가능한 운영체제별로 살펴보면 uDig과 OpenJump가 Java로 구현되어 운영체제 독립적으로 사용할 수 있으며, QGIS는 python으로 구현되어 있으나 Windows에서 사용가능하도록 포팅되어 있다. MapWindow GIS의 경우에는 C#과 VB.Net으로 구현되어 Windows에서만 사용할 수 있으나 국내에서 GIS 응용 프로그램 개발을 위해 많이 사용되는 ActiveX OCX 컨트롤 기능을 제공하는 장점이 있다.

(표 7-23) 오픈소스 데스크탑 GIS의 기능 지원 테이블

S/W	운영체제	벡터 파일	래스터 파일	편집 기능	구현언어 /비고
QGIS	Windows	Shape, SDTS, MapInfo, GML	GeoTIFF, Erdas Imagine, Arc/Info Ascii Grid, SDTS Raster, DTED, Jpeg 2000, USGS Ascii DEM	O	Python
uDig	Windows Linux	Shape	Tiff, gif, png, jpg	O	Java
OpenJump	Windows Linux	Shape, GML, FME, GML, WKT	MrSID	O	Java (SVG 저장지원)
MapWindow GIS	Windows	Shape, USU Binary, SDTS,	ESRI BIL, ESRI Ascii Grid, GeoTIFF, ESRI Grid, ESRI FLT, PAux, DTED, ArcInfo Grid, Jpeg 2000, Erdas, BCW, SID, ECW	O	C# VB.Net (OCX 지원)

벡터 파일 보여주기 기능면에서 네 개의 데스크탑 GIS 모두가 Shape 파일을 기본적으로 지원하고 있으며 추가적으로 SDTS나 GML 파일 등을 지원한다. 래스터 파일의 경우에는 QGIS와 MapWindow GIS가 다양한 래스터 파일 포맷을 지원하는 데 비하여 uDig와 OpenJump 등은 소수의 포맷만을 지원하고 있다.

오픈소스 데스크탑 GIS 소프트웨어 중에서 현재 QGIS, uDig, MapWindow, OpenJump GIS 등의 소프트웨어가 비교적 안정적인 기능을 지원하는 것으로 알려져 있다. 현재의 개발 상태에서 추천할 만한 데스크탑 GIS 시스템은 uDig와 MapWindow이다. uDig는 Eclipse 기반의 Java로 개발되어있어 Windows 또는 Linux 운영체제상에 설치한 후 쉽게 사용할 수 있으며 편집기능 등 다양한 기능을 지원한다, MapWindow GIS의 경우에는 Windows 운영체제만을 지원하고, Net의 설치 등을 추가적으로 요구하나, Windows 시스템에 최적화되어 빠른 성능을 보이며 PC에서 다양한 응용을 개발할 수 있도록 ActiveX OCX를 지원하고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 가장 활발하게 사용되고 있으며, 우리나라

좌표계 지원, 한글 지원 및 래스터 영상 처리 환경, 보급 정도, 개발 언어의 접근성, 개발 사례, 기반 도구 자체의 기능 수준 및 plug-in 등을 종합적으로 분석하여 QGIS를 표준화 모델 개발을 위한 오픈소스로 선정하였다.

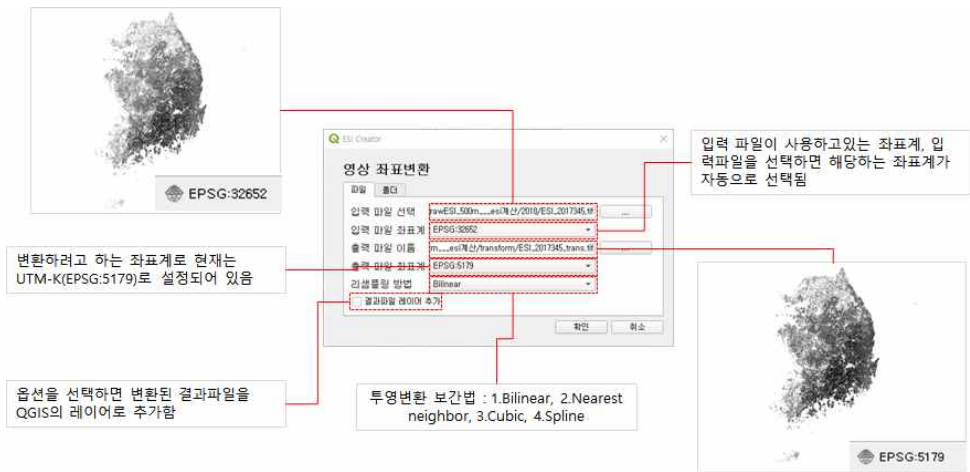
(표 7-24) 오픈소스 GIS S/W 비교

구분	QGIS	uDig	MapWidow	gvSIC	GRASS
지원 운영 체제	Windows, Linux	Windows, Linux	Windows	Windows, Linux	Windows, Linux
한국어 지원	한국어 메뉴/매뉴얼 지원	한국어 메뉴/간략 매뉴얼 존재	한국어 메뉴/매뉴얼 없음	한국어 메뉴/매뉴얼 없음	한국어 메뉴/간략 매뉴얼 존재
커뮤니티	매우 활발	활발	보통	보통	활발
주요 특징	다중 운영체제 지원 확장/통합 좋음 실시간 좌표변환	다중 운영체제 지원 확장/통합 좋음 속도 느림 상업적 지원 부족	Windows 운영체제에 최적화 추가 개발/확장 가능 수리수문학 분야에 많이 이용 winows 환경플러그인만 개발 인터넷 기능 미진	다양한 운영체제 지원 확장/통합 좋음 SDI 클라이언트 특화 속도 느림 적용사례가 많지 않음	분석기능 많음 UI 불편 구조, 명령어 어려움 연구소나 대학에서 주로 사용

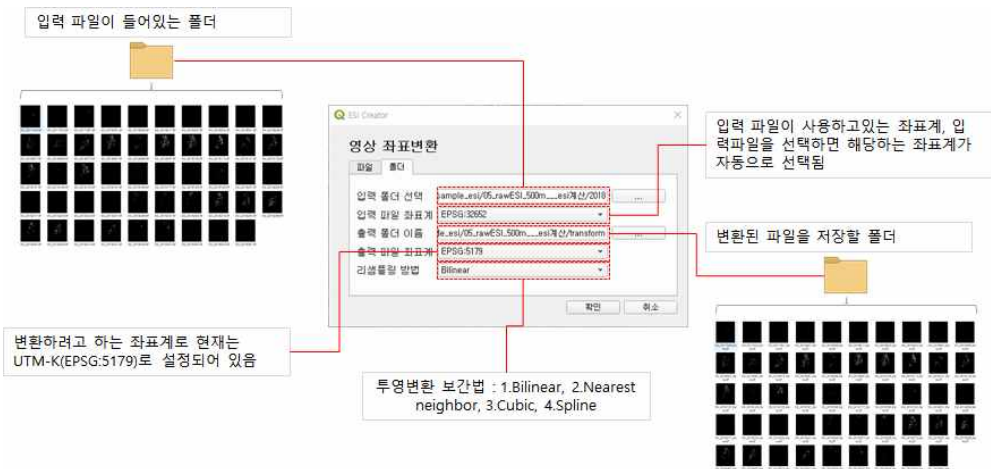
2. 표준화 모듈 적용

가. 좌표변환 표준화 모듈 적용

UTM 및 경위도 형태의 좌표계를 우리나라 단일직각좌표계인 UTM-K로 변환하는 모듈을 개발하였다. 좌표변환 방법은 파일 단위로 좌표변환을 수행하는 방법과 하나의 폴더 내에 있는 전체 파일에 대하여 좌표변환을 수행할 수 있는 모듈로 구현하였다.



<그림 7-22> 파일 단위 좌표변환



<그림 7-23> 폴더단위 좌표변환

적으로 사용되고 있으며, 헤더 파일에 좌표정보를 가지고 있으므로 별도의 좌표계 정의 데이터가 필요 없어 사용자가 쉽게 활용될 수 있다.

GeoTIFFwrite 함수는 앞서 생산한 합성 영상 등을 GeoTIFF 파일형식으로 저장하는 기능을 수행한다. GeoTIFF 파일 자료를 생성하기 위해 입력변수로서 생성된 합성 영상과 공간참조정보가 사용된다. GeoTIFF 생성에 필요한 데이터필드 값은 입력 자료(MODIS 자료)의 데이터 필드값을 참조하여 새로 생성되는 GeoTIFF 파일에 입력된다.

```

from osgeo import gdal
import numpy as np

def hdf_subdataset_extraction(hdf_file, dst_dir, subdataset):
    """unpack a single subdataset from a HDF5 container and write to
    GeoTIFF"""

    hdf_ds = gdal.Open(hdf_file, gdal.GA_ReadOnly)
    band_ds = gdal.Open(hdf_ds.GetSubDatasets()[subdataset][0],
gdal.GA_ReadOnly)

    band_array = band_ds.ReadAsArray().astype(np.int16)

    band_array[band_array == -28672] = -32768

    band_path = os.path.join(dst_dir,
os.path.basename(os.path.splitext(hdf_file)[0]) + "-sd" +
str(subdataset+1) + ".tif")

    out_ds = gdal.GetDriverByName('GTiff').Create(band_path,
band_ds.RasterXSize,
band_ds.RasterYSize,
1, #Number of
bands
gdal.GDT_Int16,
['COMPRESS=LZW',
'TILED=YES'])
    out_ds.SetGeoTransform(band_ds.GetGeoTransform())
    out_ds.SetProjection(band_ds.GetProjection())
    out_ds.GetRasterBand(1).WriteArray(band_array)
    out_ds.GetRasterBand(1).SetNoDataValue(-32768)

    out_ds = None

```

<그림 7-26> GeoTIFF 포맷 변환 개발 모듈 일부



<그림 7-27> GeoTIFF 형태로 저장된 파일의 예시



제8장 위성영상 기반 가용수량 분석 방안

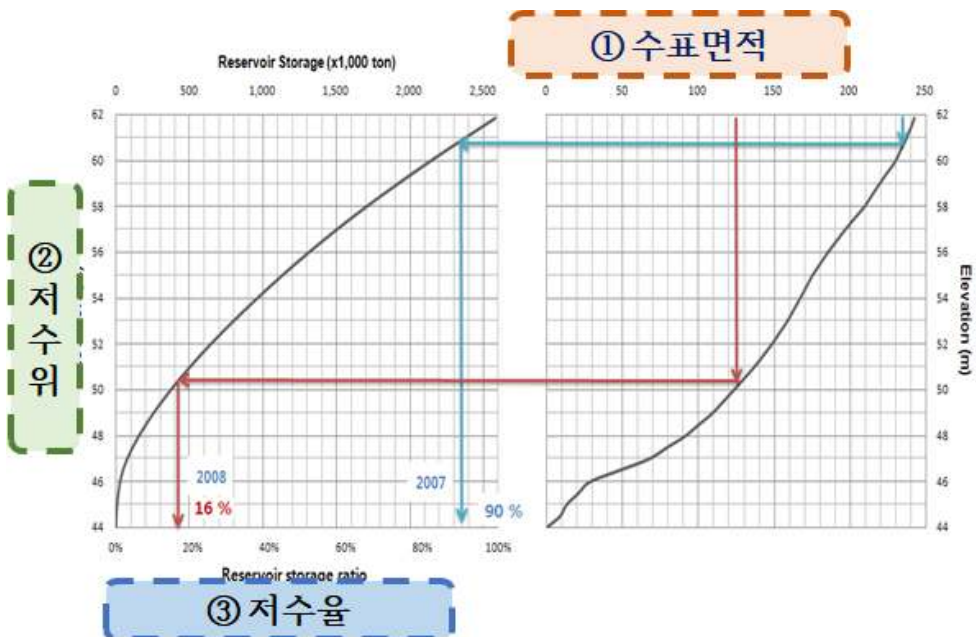


제8장 위성영상 기반 가용수량 분석 방안

제1절 위성영상 기반의 가용지표수 분석

1. 기본원리

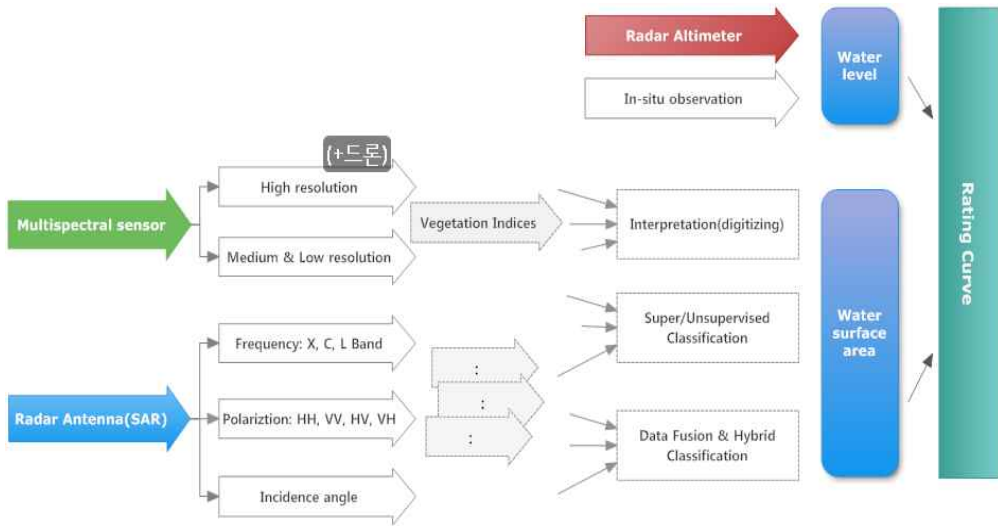
대표적인 지표수자원 이용 시설물인 저수지는 전국적으로 약 18,000여 개소가 산재하고 있고 전체 관개면적의 약 57%에 농업용수를 공급하고 있다. 한국농어촌공사 관할의 농업용 저수지를 중심으로 자동수위계 측기를 설치하고 물관리 담당자에 의한 저수위 기록의 정확성을 높이는 노력이 진행되고 있지만, 대부분 저수지는 저수용량이 적은 소규모이기 때문에 측기 설비는 물론이고 유지관리 업무도 제대로 이뤄지지 못하는 실정이다.



<그림 8-1> 수위-수표면적-내용적 관계를 이용한 저수율 계산

저수지 저수율의 지상계측을 보완하거나 대체하는 방안으로 위성영상을 활용하는 방법이 국내외에서 시험되어 왔다. 지상에선 저수위를 계측하고 수위-내용적 조건표에 따라 저수율로 환산하지만, 위성영상을 이용하는

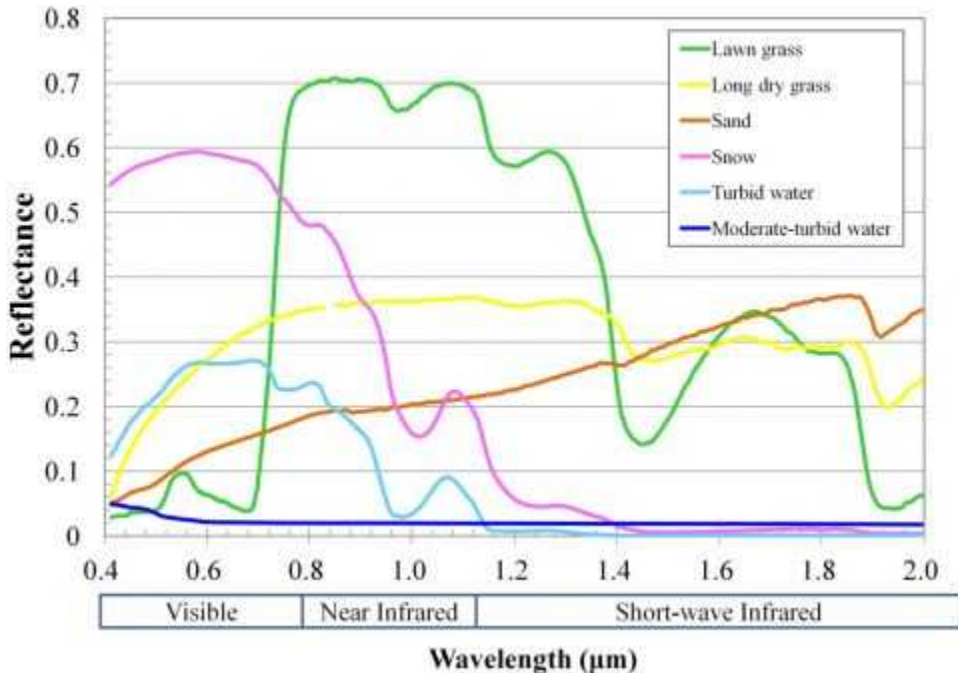
경우엔 수표면적을 분류하고 저수지의 수위-수표면적-내용적 관계에서 저수율을 결정하는 것이 일반적이다 <그림 8-1>. 저수지 수표면적을 분류하는 것은 기존의 광학영상 (Landsat, Kompsat, Rapideye 등)에서 토지 피복을 분류하는 방법론과 다르지 않다 <그림 8-2>.



<그림 8-2> 위성영상을 활용한 저수지 저수량 관측 개념

가. 광학 위성영상을 이용한 수표면 분류 원리

광학 위성영상에서 수체 (water body)는 태양 복사에너지 대부분을 흡수하거나 정반사 (specular reflection)하면서 보통 매우 어두운 색채로 나타난다. 이같이 수체의 매우 낮은 반사 (reflectance) 특성 때문에 <그림 8-3>의 파장대별 토지피복별 분광 특성을 이용하여 다른 토지피복과 수체를 분리할 수 있다. 광학영상 기반의 원격탐사는 주로 가시광선과 적외선 영역에서 지표물을 식별하는데 물체에 대한 직관적인 인지가 쉬운 장점이 있다. 반면, 야간 촬영이 어렵고 구름, 안개 등 기상상태와 지형조건에 따라 오차가 발생하거나 영상의 품질이 떨어지는 단점이 있다.



<그림 8-3> 토지피복에 따른 분광대별 반사 특성 (<https://eos.org>)

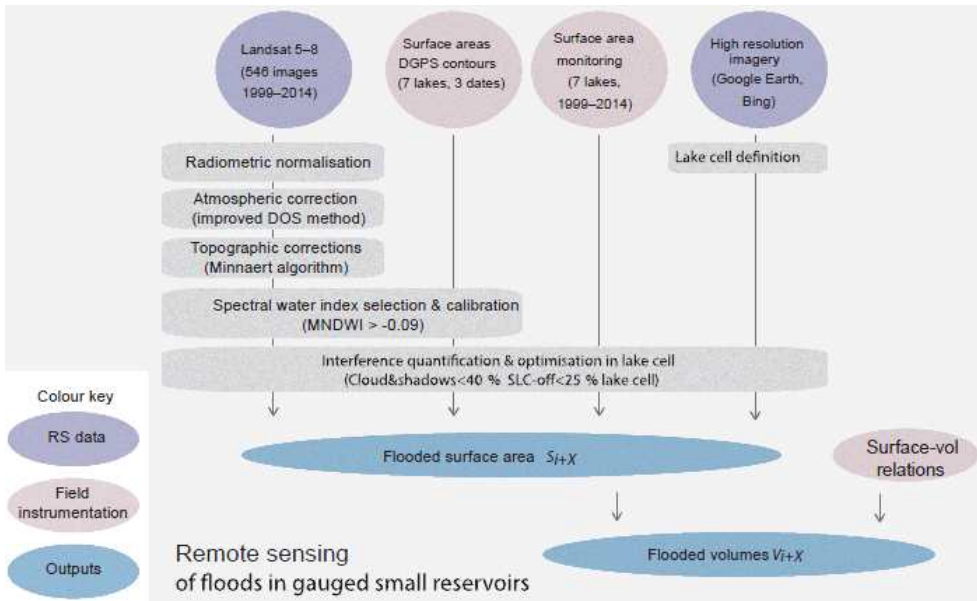
광학 위성영상을 이용한 저수지 수표면적 추정에 있어 위성영상의 선택은 기본적으로 수표면 경계를 정밀하게 분류할 수 있는 공간해상도와 분광해상도에 좌우된다. 국내 농업용 저수지의 대부분이 중소규모이고 시군관할의 저수지는 더 열악하므로 공간해상도에 따라 수표면적 분류의 정확도에 차이가 클 수 있다. 전국적인 저수지 관측 업무 측면에서 고려하면 공간해상도가 높을수록 한 영상의 관측폭 (swath)은 좁아지므로 고해상도 (<10m res.)보다는 중·저해상도 영상이 더 적절하다. 대신, 공간해상도가 낮아지기 때문에 저수표면적 분류의 오차가 커질 수 있어 실효성이 떨어질 우려도 있다. 그러므로 위성영상의 선택과 수집에 있어서 영상의 가용성과 더불어 수표면적 경계 추출의 가독성과 자료 분량을 종합적으로 고려해야 한다. 고해상도 위성영상의 사용은 주요한 관심지역에 한정한다거나 수위-내용적 관계의 조사, 분석결과의 검증 목적으로 하고, 전국 단위나 지역 단위에서는 공간해상도는 낮지만 주기해상도가 좋고 관측폭이 넓은 위성영상을 사용하는 것도 방안이 될 수 있다.

광학 위성영상에서 수표면의 분류는 기하보정 (geometric correction)과 대기보정 (atmospheric correction)의 전처리와 필터링 (filtering)을 비롯

한 영상향상 (image enhancement)으로 수체의 경계를 강화하고 감독분류, 무감독분류, 하이브리드 (hybrid)분류, 그리고 머신러닝 (machine learning) 등 인공지능 기법 등 다양한 방법으로 가능하다. 그리고 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)나 NDWI (Normalized Difference Wetness/Water Index)와 같은 지수들로 보완하거나 현장측량이나 Lidar로 조사한 수치고도자료와 연동하는 기술들도 연구되고 있다. 고해상도 위성영상의 경우에는 픽셀기반 해석보다는 항공사진처럼 판독 (interpretation)으로 수표면적 경계를 추출할 수 있다.

나. NDWI를 이용한 수표면 분류

위성영상의 녹색광과 근적외선 밴드를 이용하여 계산하는 정규수분지수 NDWI는 식생이나 지표면에 포함된 수분 함유량을 나타내는 지수로 널리 이용되고 있으며, NDWI 지수는 하천, 호수, 습지 등 수분을 다량으로 함유한 지형지물을 위성영상에서 탐지하기 위해 주로 사용된다 (박주성 등, 2016). 예철수 (2016)는 Kompsat-2 영상으로 작성한 NDWI와 근적외선 (NIR, near infrared) 영상을 이용하여 약 99.5%의 분류 정확도 (overall accuracy)로 수표면을 분류한 바 있다. Ogilvie et al. (2018)은 수표면 10ha 이하, 저수량 1백만톤 이하 저수지의 저수량 분석에서 시계열 Landsat영상으로 계산한 MNDWI (Modified Normalized Difference Wetness/Water Index)를 사용함으로써 수표면적 분류 오류를 15% 이하로 개선하였다 <그림 8-4>. Avisse et al. (2017)은 시리아와 요르단 지역의 저수량 백만톤 이하 무계측 저수지들에 대하여 Landsat 위성의 NDVI와 MNDWI를 사용하여 저수량을 추정된 결과 최대 15%의 오차가 있었고 Landsat보다는 공간 및 주기 해상도가 높은 Sentinel-2 위성의 활용이 오차를 개선할 수 있을 것으로 제안하였다. 국립재난안전연구원 (2016)은 재난분석을 위한 위성영상 활용 기술 개발 연구에서 한반도 전역의 수계면적 분석을 위해 Landsat을 이용한 NDWI를 적용하였다.



<그림 8-4> Landsat 시계열 영상의 MNDWI를 이용한 저수량 추정 방법 (Ogilvie et al., 2018)

2. 시험 저수지 선정과 자료수집

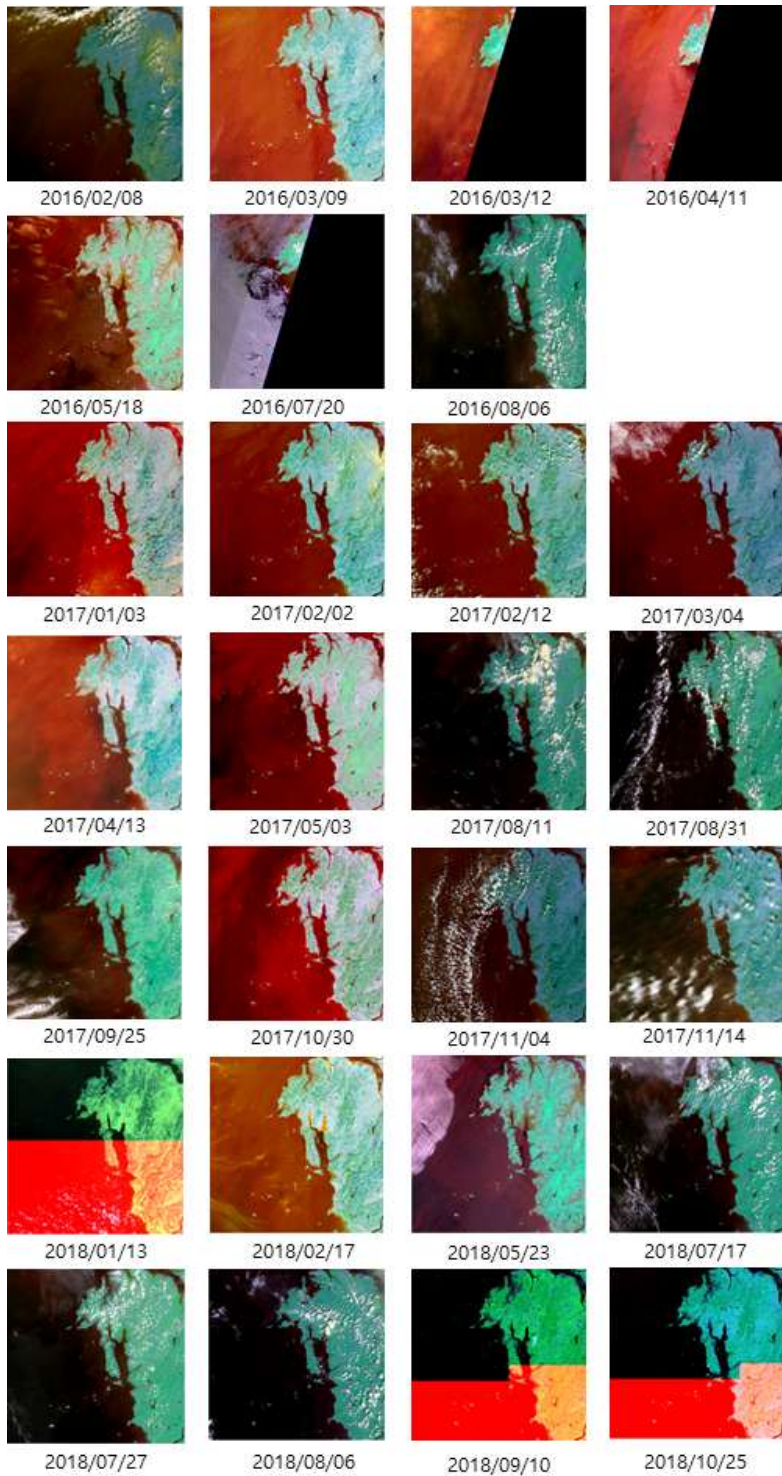
본 연구에서 대부분 소규모인 농업용 저수지의 특성을 고려하여 고해상도 위성영상 중 하나인 Sentinel-2를 사용하였다. Sentinel-2 위성 영상의 최대 공간해상도는 컬러 10m로 Landsat 위성영상에 비해 고해상도의 영상이며 높은 시간해상도 (5일)를 가지고 있다. Sentinel-2호 (2015년 6월 발사)는 유럽연합집행위원회 EC (European Commission)가 추진하는 코페르니쿠스 전지구환경안보감시시스템 (GMES: Global Monitoring for Environment and Security) 구축 사업의 일환으로 유럽우주국 (ESA)에서 개발 중인 Sentinel 위성군 중에 2번째 시리즈에 해당한다. 코페르니쿠스 프로그램은 2030년까지 지속해서 육지, 해양, 대기 관측을 제공하는 가장 포괄적이며 체계적인 지구관측 프로그램으로 알려져 있다. 특히, 전 세계적으로 지구관측에 가장 보편적으로 이용되어온 Landsat의 밴드와 유사한 파장대를 관측하도록 설계되었기 때문에 연속성을 가지고 장기 시계열 이미지 세트를 구축하기에 용이한 장점이 있다.

가. 위성영상 수집

수표면 분류를 위해 충남지역을 중심으로 2016년부터 2018년 사이에 촬영되고 NDWI 작성에 필요한 분광밴드 (Green과 NIR)가 있는 27개 영상 자료를 수집하였다 <그림 8-5>. 공간해상도는 10 m이고, 국가표준좌표체계 (ITRF/GRS80)로 통일하였다.

(표 8-1) Sentinel-2 분광 특성

Band	Description	Wavelength (μm)	Resolution (m)
1	Coastal aerosol	0.433 - 0.453	60
2	Blue	0.458 - 0.523	10
3	Green	0.543 - 0.578	10
4	Red	0.650 - 0.680	10
5	Vegetation Red Edge	0.698 - 0.713	20
6	Vegetation Red Edge	0.733 - 0.748	20
7	Vegetation Red Edge	0.773 - 0.793	20
8	NIR	0.785 - 0.900	10
8A	Narrow NIR	0.855 - 0.875	20
9	Water vapour	0.935 - 0.955	60
10	SWIR - Cirrus	1.365 - 1.385	60
11	SWIR-1	1.565 - 1.655	20
12	SWIR-2	2.100 - 2.280	20



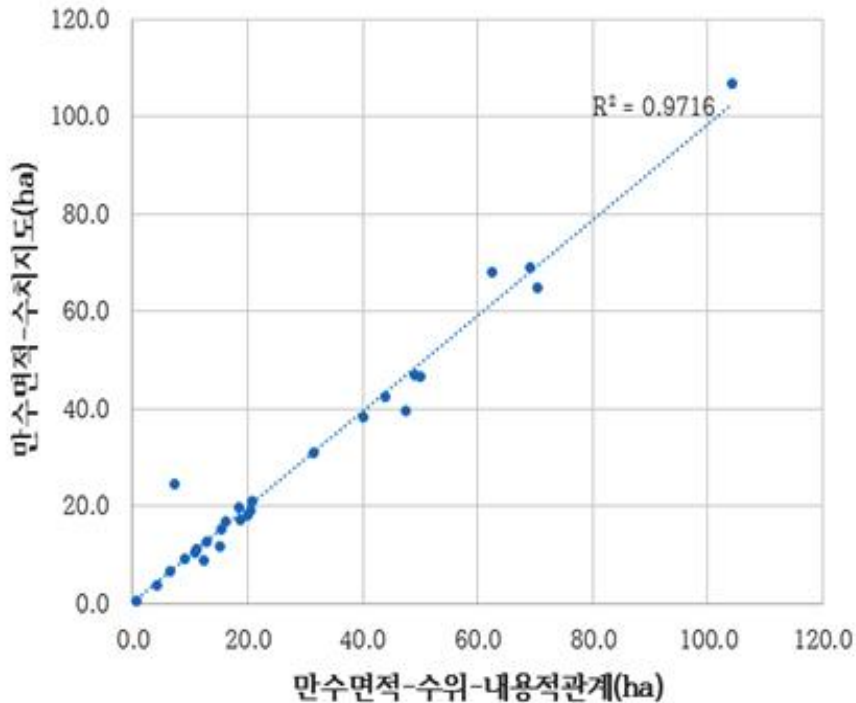
<그림 8-5> Sentinel-2 (Green & NIR) 영상자료 수집

(표 8-2) 시험 저수지 현황

저수지명	수혜면적 (ha)	유역면적 (ha)	만수면적 (ha)	총저수량 (천m ³)
강수	37.0	140.0	4.3	96.0
고남	92.6	430.0	20.4	1,072.6
고북	376.8	680.0	47.5	3,220.2
고풍	1,193.8	2,590.0	62.4	8,360.0
구들	4.1	32.0	0.8	7.6
대야	282.5	124.8	40.2	2,086.1
마룡	39.8	114.0	20.0	350.1
모월	108.8	262.0	31.5	601.0
미포	156.5	590.0	20.8	1,221.4
반계	44.0	642.0	7.4	37.0
사창	57.7	215.0	15.5	446.1
성암	574.1	1,936.0	104.2	3,757.2
송현	88.3	258.0	11.2	220.9
수룡	268.8	750.0	50.0	1,286.7
승언2	97.9	282.8	48.9	617.9
승언3	40.7	104.0	16.3	229.4
신두2호	36.8	138.0	13.0	182.3
신야	73.8	386.0	12.4	265.0
신창	189.1	440.0	18.7	1,835.4
용현	33.2	123.0	6.5	357.3
인평	192.9	1,062.0	43.8	970.0
잠홍	333.4	1,129.0	69.1	1,509.0
장곡	46.7	74.0	9.0	395.3
지곡	44.6	135.0	15.2	306.6
지포	70.8	127.0	18.5	269.2
창기	32.9	88.4	11.1	309.0
풍전	605.1	1,110.0	70.3	2,622.8
황락	77.1	420.0	10.9	1,038.5

나. 시험 저수지의 선정과 수위-내용적 자료 수집

수집한 Sentinel-2 위성영상의 커버리지 (coverage)를 고려하여 충청남도 서산시와 태안군에 위치한 농업용 저수지 28개를 선정하였다 (표 8-2). 한국농어촌공사에서 보유한 저수지 수위-내용적 조건표와 일저수율 자료를 모두 사용할 수 있는 저수지로 한정하였다. 가장 적은 규모인 구들저수지의 만수면적은 0.8 ha였고, 성암저수지는 104.2 ha로 만수면적이 최대였다. 총저수량은 고풍저수지가 약 836만톤으로 최대였고, 구들저수지는 7.6천톤에 그쳤다.



<그림 8-6> 수위-내용적 조건표 상의 만수면적 (가로축)과 수치지도 및 영상자료로 추출한 만수면적 (세로축) 비교

저수지 저수율 모니터링을 위한 위성영상의 활용은 신뢰할 수 있는 수위-수표면적-내용적 관계가 기반이 되어야 한다. 한국농어촌공사에서 제공하는 28개 농업용 저수지별 수위-수표면적-내용적 관계를 수집하여 저수율 추정의 기준으로 사용하였다 <그림 8-35 ~ 8-65>. 저수지 만수면적 경계에 한정하여 수표면적을 분류하고, 기존 작성된 수위-수표면적-내용적 관계로부터 영상에서 분류한 수표면적에 해당하는 저수율을 찾았다.

신규 저수지 외에는 대부분의 저수지에서 만수면적에 대한 정확한 측량과 지도 정보가 없는 실정이기 때문에 환경부중분류토지피복지도, 고해상도 항공 및 위성영상, 수계지도 등을 참조하여 시험 저수지별 만수면적 경계 (polygon) 지도를 작성하였다. 수위-수표면적-내용적 조건표 상의 만수면적과 비교한 결과, 결정계수 R^2 가 0.97로 매우 높은 상관관계를 보인 반면에 RMSE는 4.15 ha로 대상 저수지의 평균 만수면적 기준 약 14%의 오차를 보였다 <그림 8-6>.

3. 위성영상 활용 저수량 추정

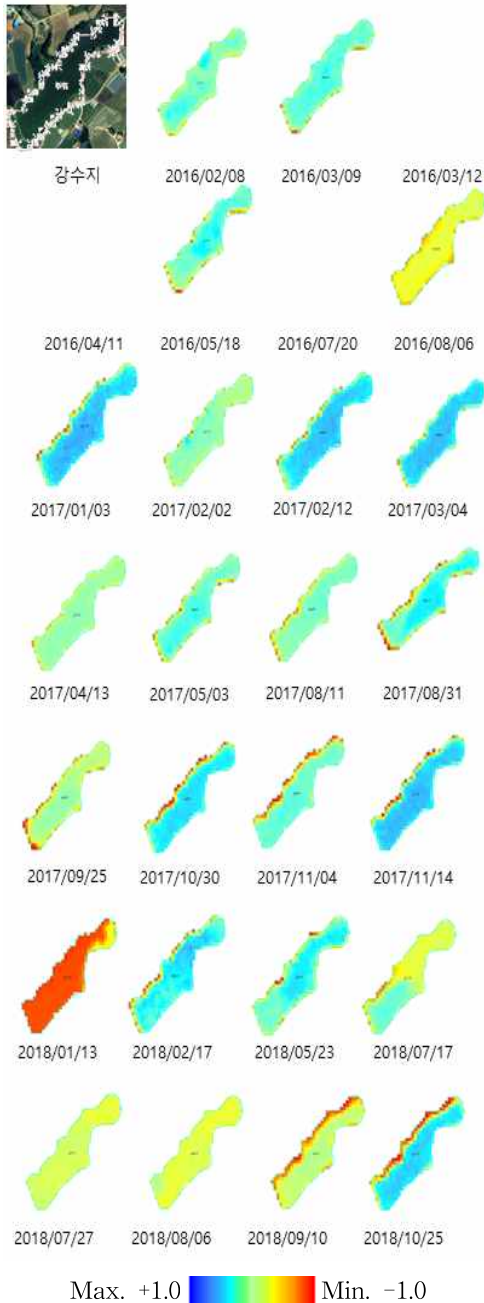
가. 정규수분지수 NDWI

NDWI는 지표 수분 함량에 따른 분광특성을 이용한 것으로, NIR 영역의 반사도와 SWIR 또는 Green 영역의 반사도 차이를 이용한 지수다 (Gao, 1996). Sentinel-2 센서에서 Green 파장대인 밴드 3과 NIR 영역의 밴드 8을 (식 8-1)로 계산하였다 <그림 8-7 ~ 8-34>.

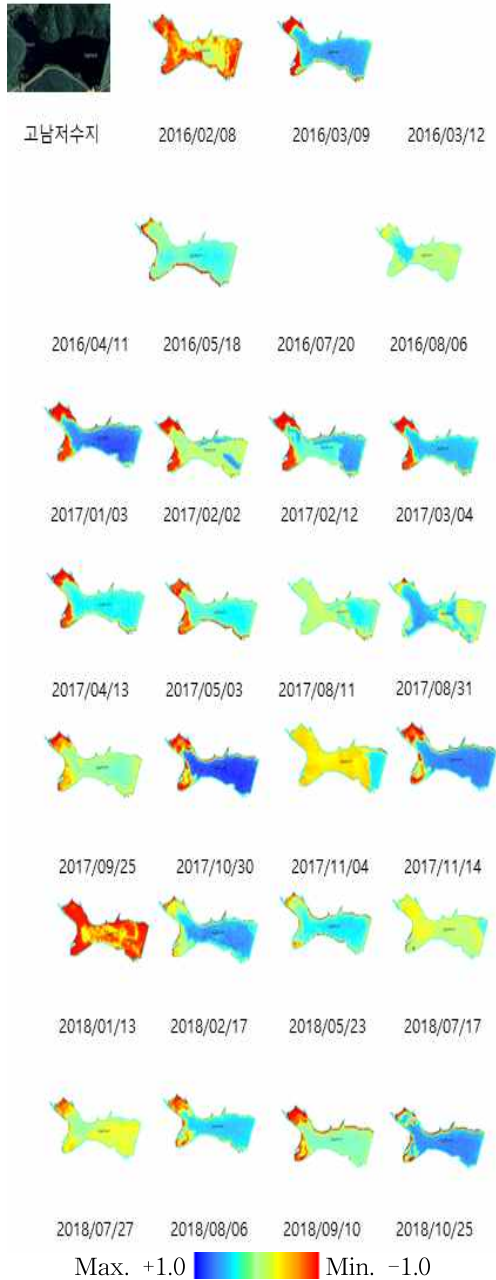
$$NDWI = \frac{[Green]-[NIR]}{[Green]+[NIR]} = \frac{band03 - band08}{band03 + band08} \quad (\text{for Sentinel-2}) \quad (\text{식 8-1})$$

나. 수표면적 분류

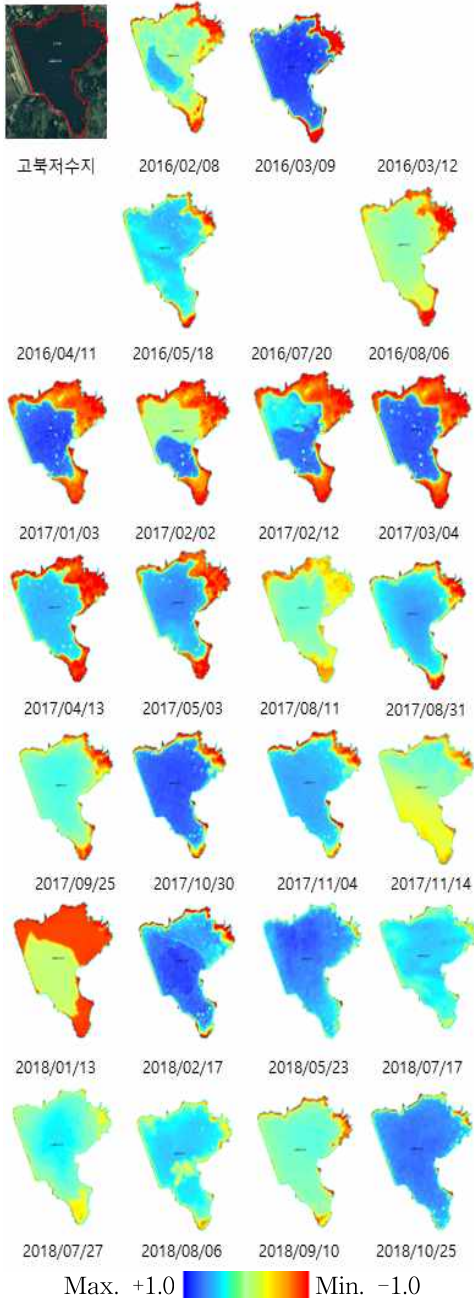
각 NDWI 영상에 Threshold법을 적용하여 $NDWI \geq 0.0$ 인 픽셀을 수표면으로 판별하였다. 저수지별 촬영시기별 수표면적을 계산하고, 수위-수표면적-내용적 관계에서 각각의 저수율로 찾았다. 한국농어촌공사 농촌용수종합정보시스템 RAWRIS (Rural Agricultural Water Resource Information System)에서 제공하는 계측 저수율과 비교한 결과가 <그림 8-35> ~ <그림 8-62>과 같다. 현장 계측 저수율과 위성영상으로 추정된 저수율 사이에 최고 0.90에서 최저 0.0005까지 결정계수를 보였다. 풍전, 산수, 고평, 고북 등은 결정계수 0.7이상의 높은 상관성을 보였지만, 잠흥, 미포, 마룽, 구들, 고남 저수지 등은 결정계수가 0.1에도 미치지 못했다.



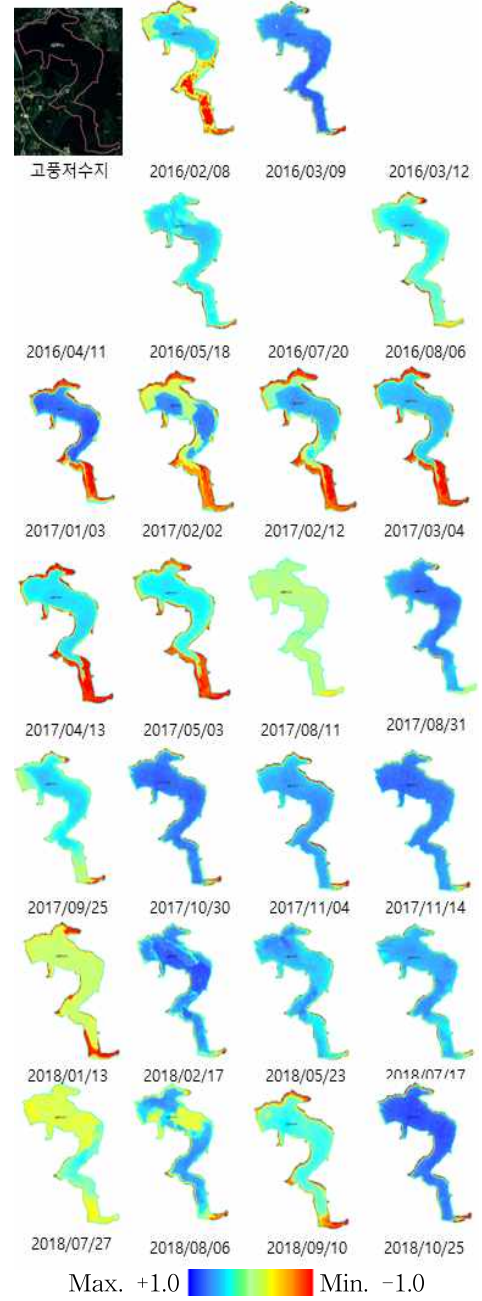
<그림 8-7> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 강수저수지



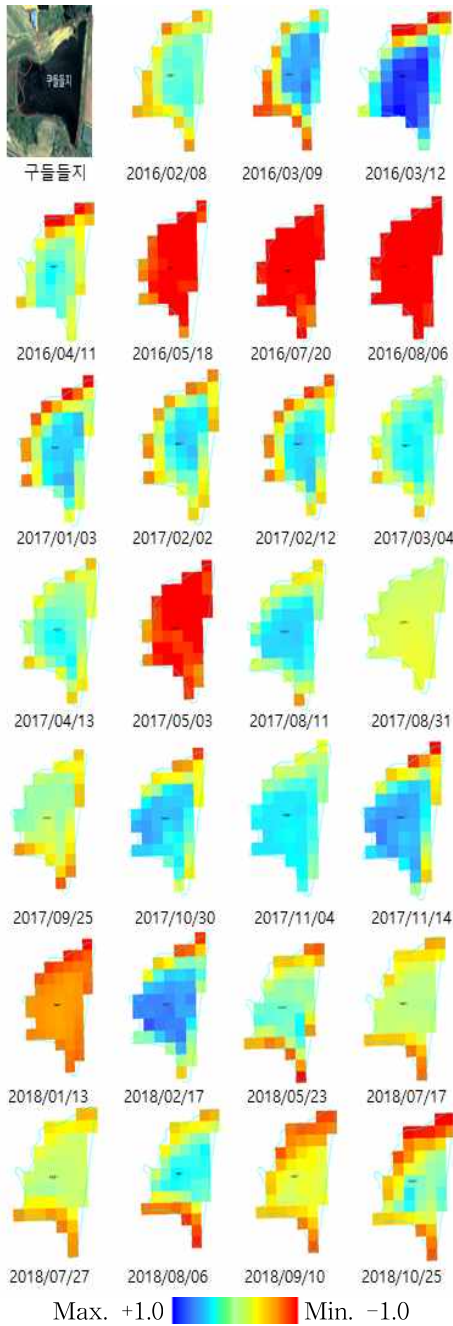
<그림 8-8> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 고남저수지



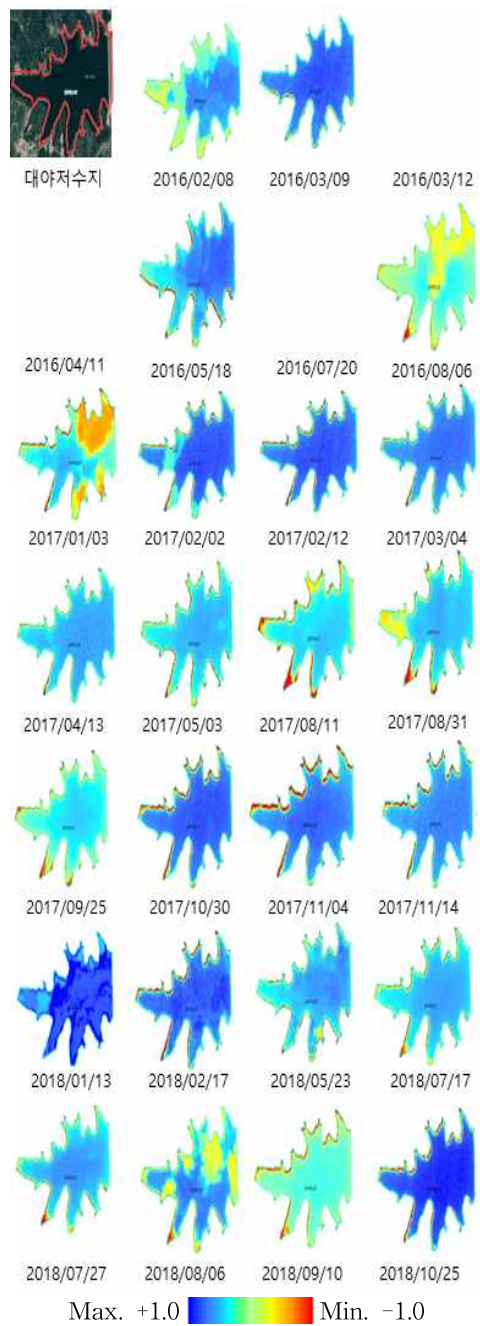
<그림 8-9> 시기별 Sentinel-2 NDWI -고북저수지



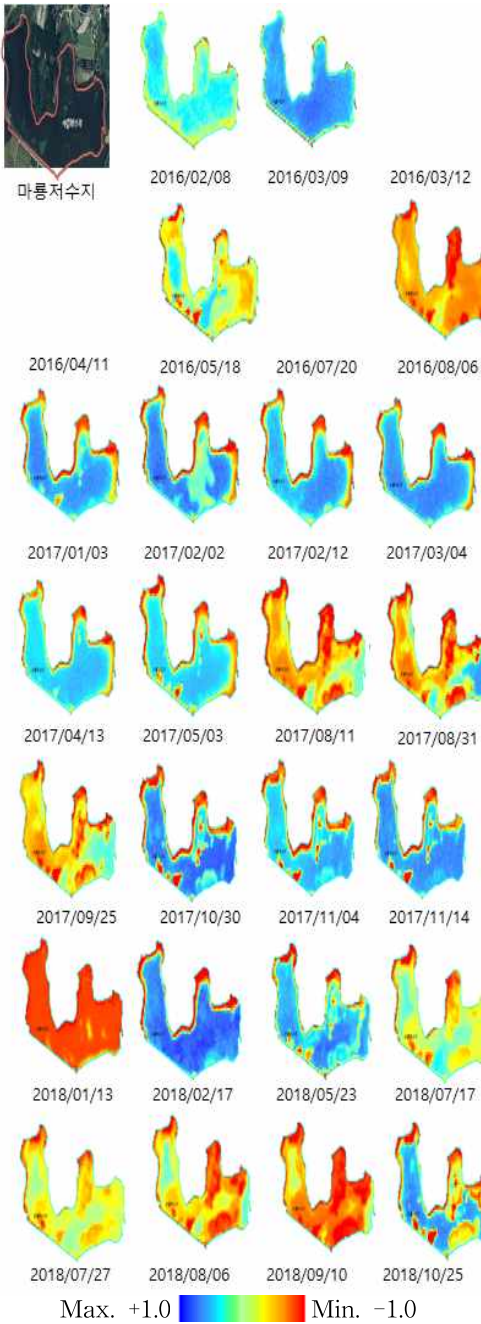
<그림 8-10> 시기별 Sentinel-2 NDWI -고풍저수지



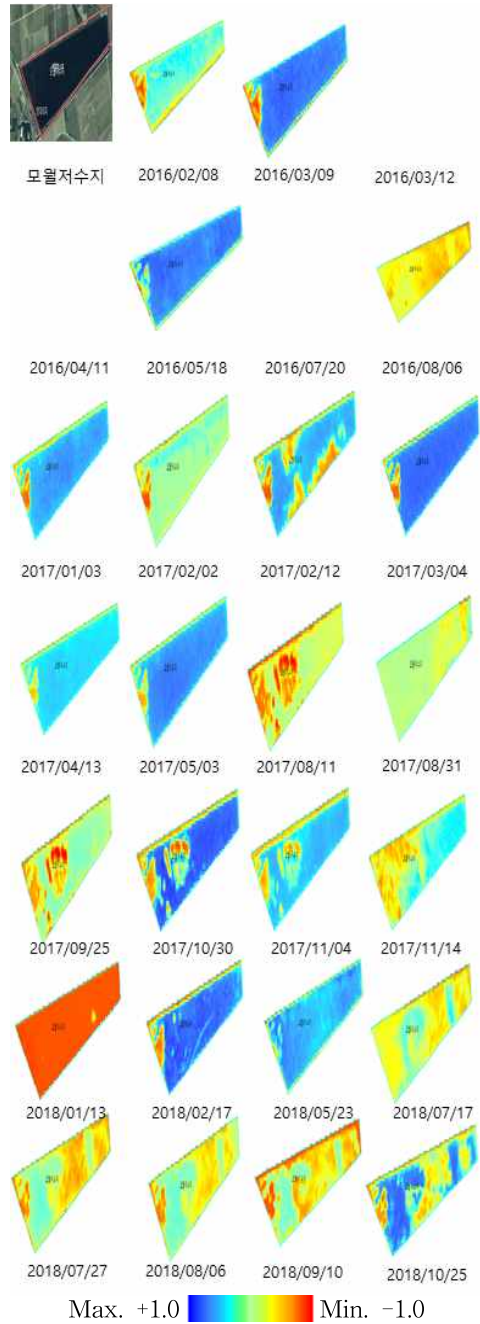
<그림 8-11> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 구들저수지



<그림 8-12> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 대야저수지



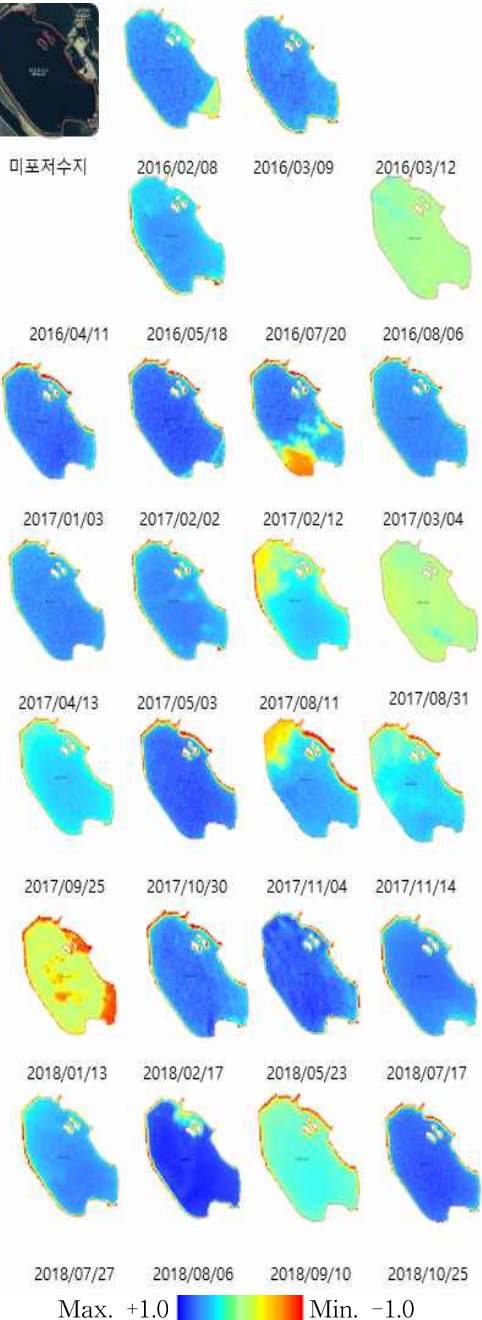
<그림 8-13> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 마룡저수지



<그림 8-14> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 모월저수지



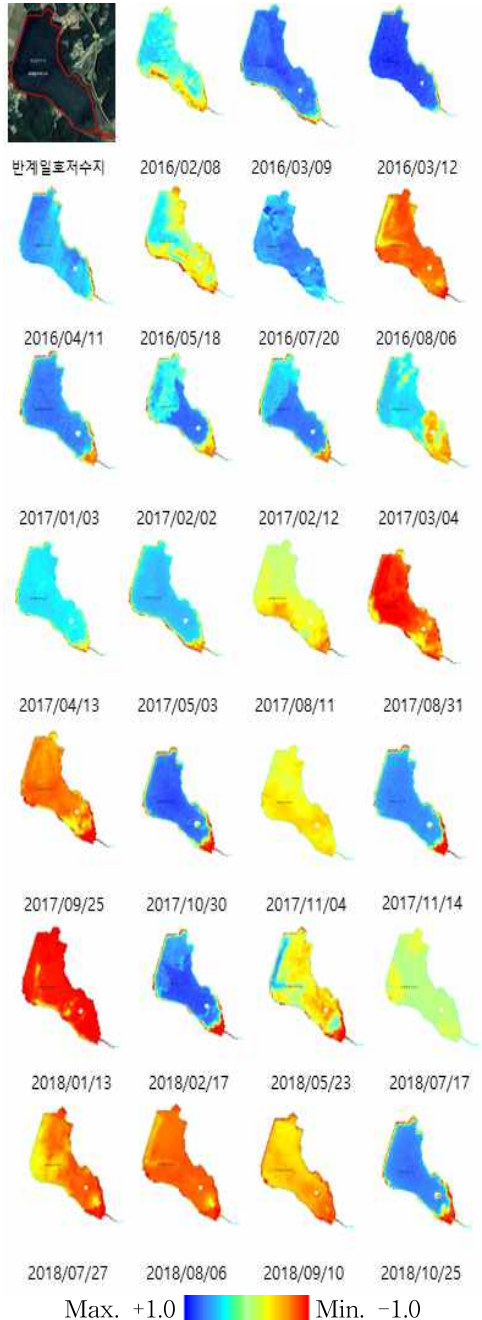
미포저수지



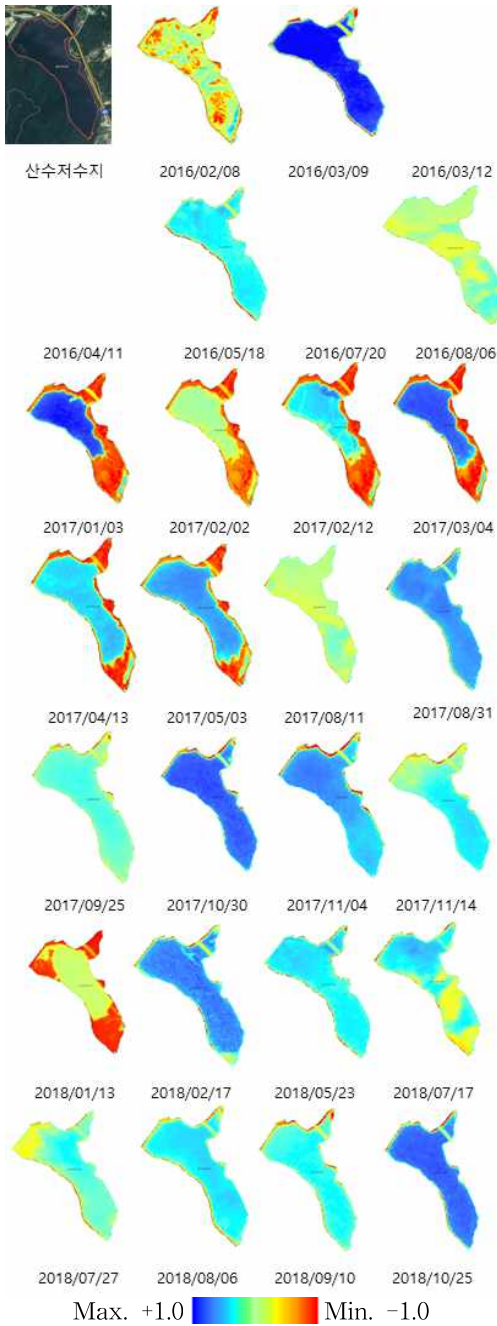
<그림 8-15> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 미포저수지



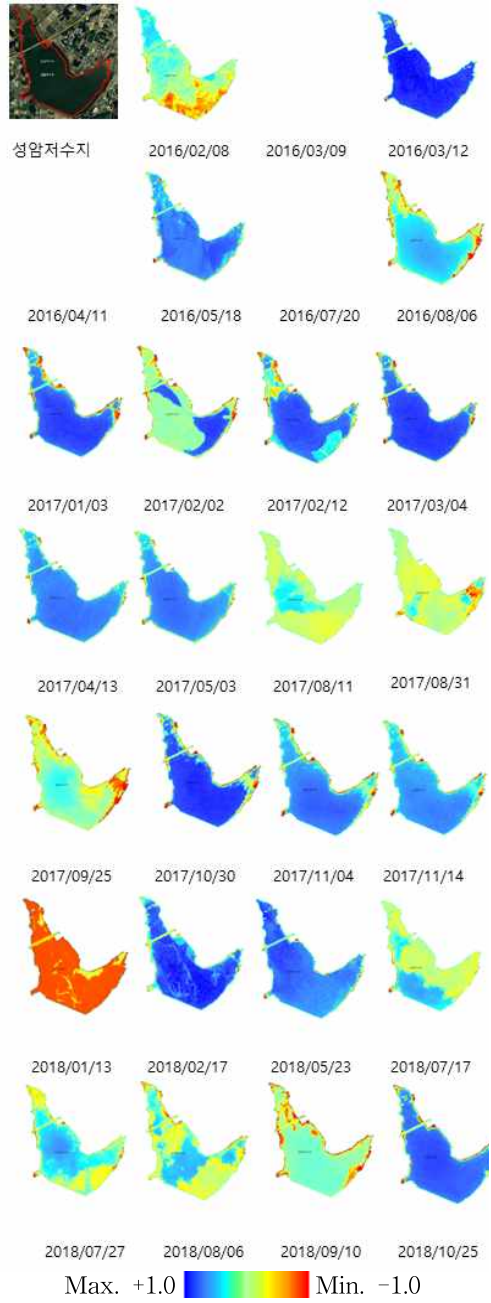
반계말호저수지



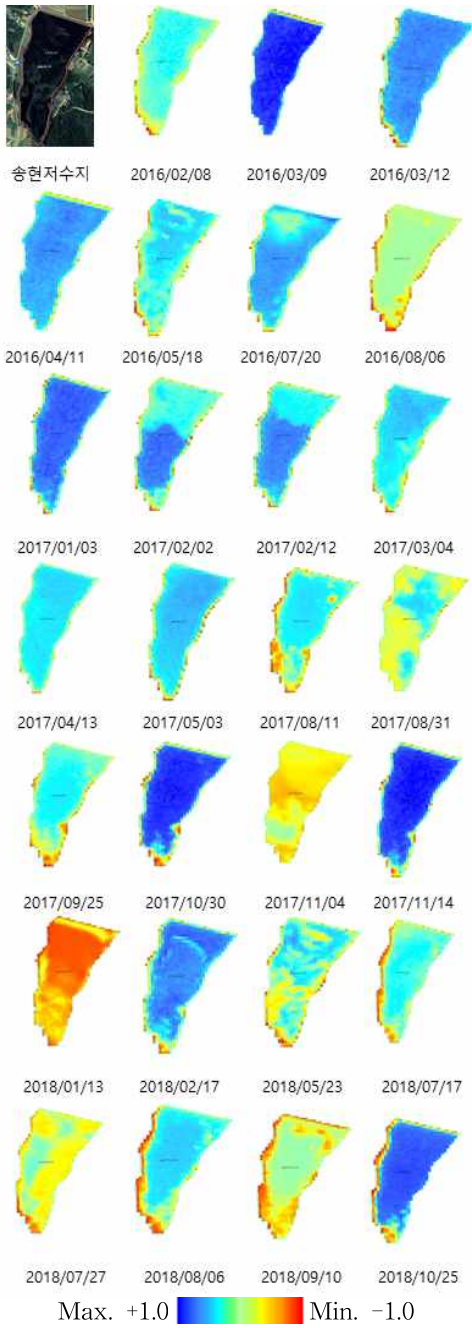
<그림 8-16> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 반계1호저수지



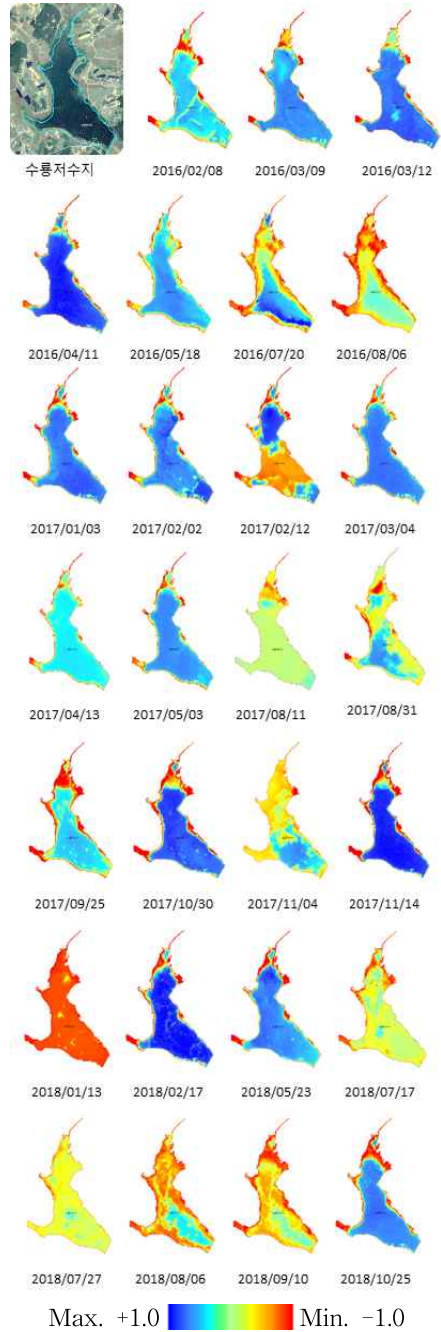
<그림 8-17> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 산수저수지



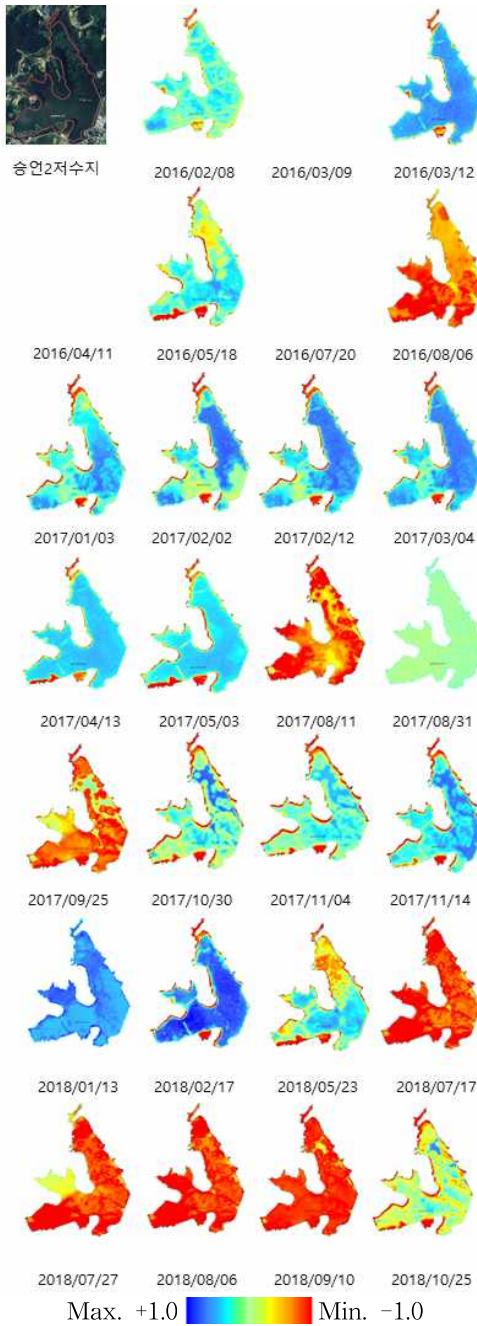
<그림 8-18> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 성암저수지



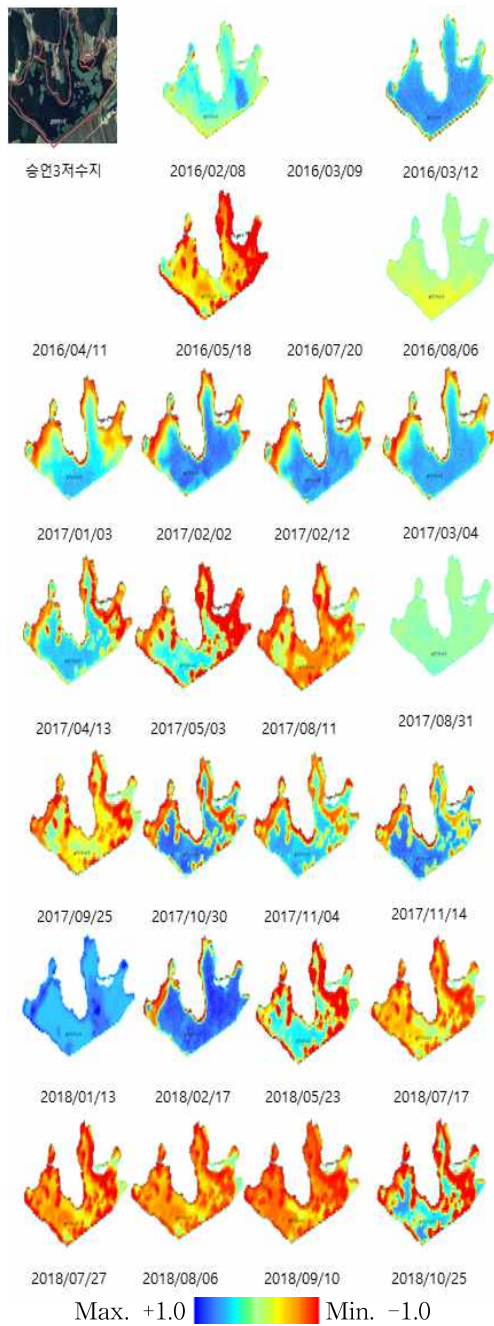
<그림 8-19> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 송헌저수지



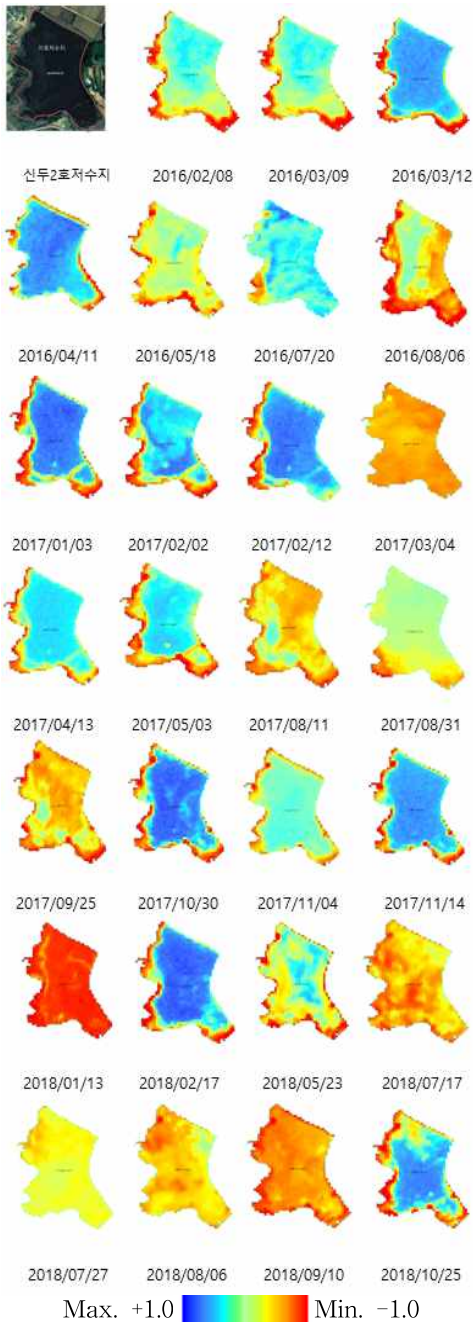
<그림 8-20> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 수룡저수지



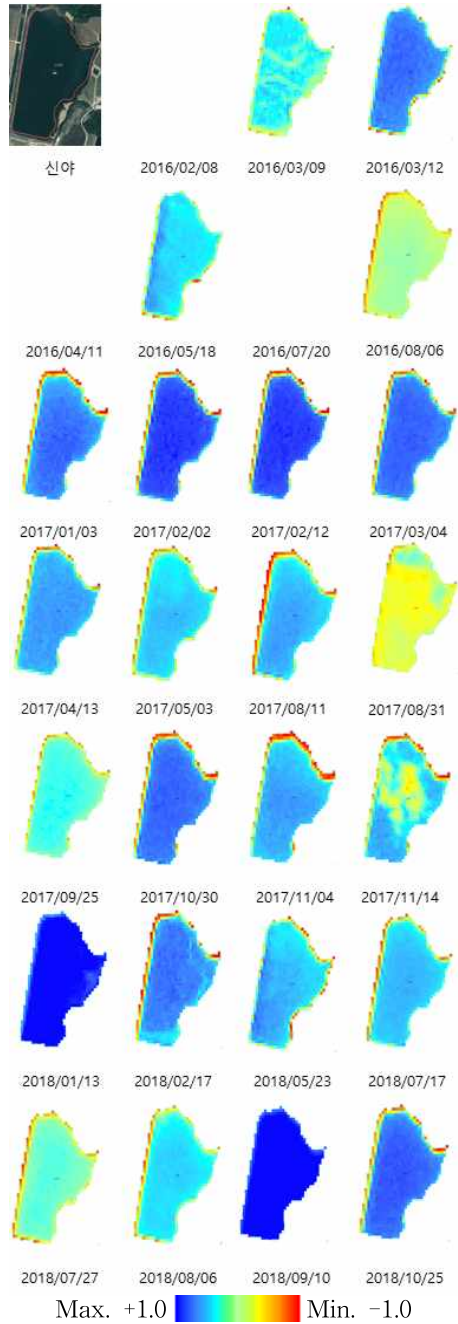
<그림 8-21> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 송연2저수지



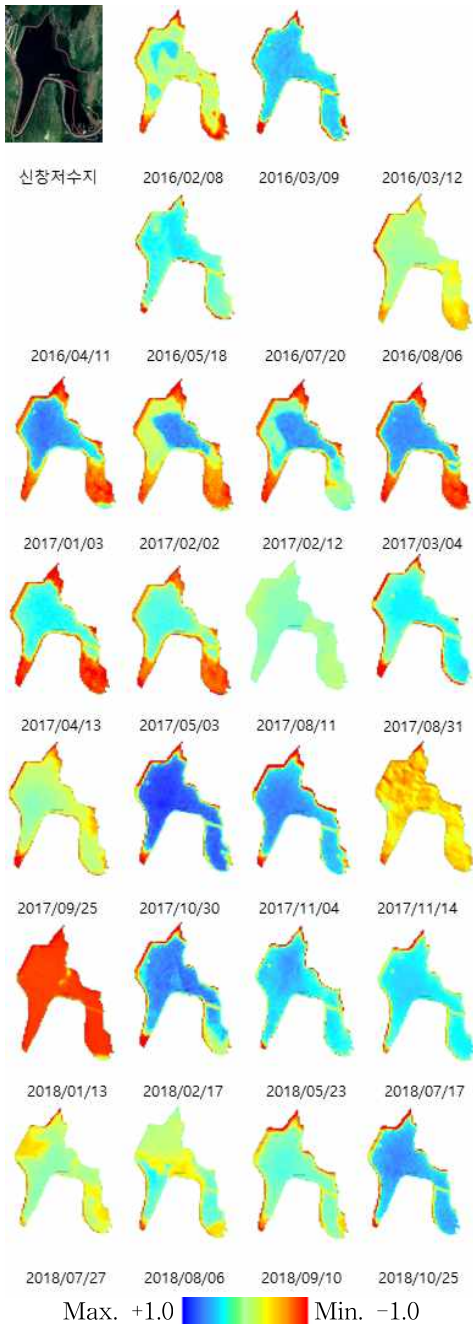
<그림 8-22> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 송연3저수지



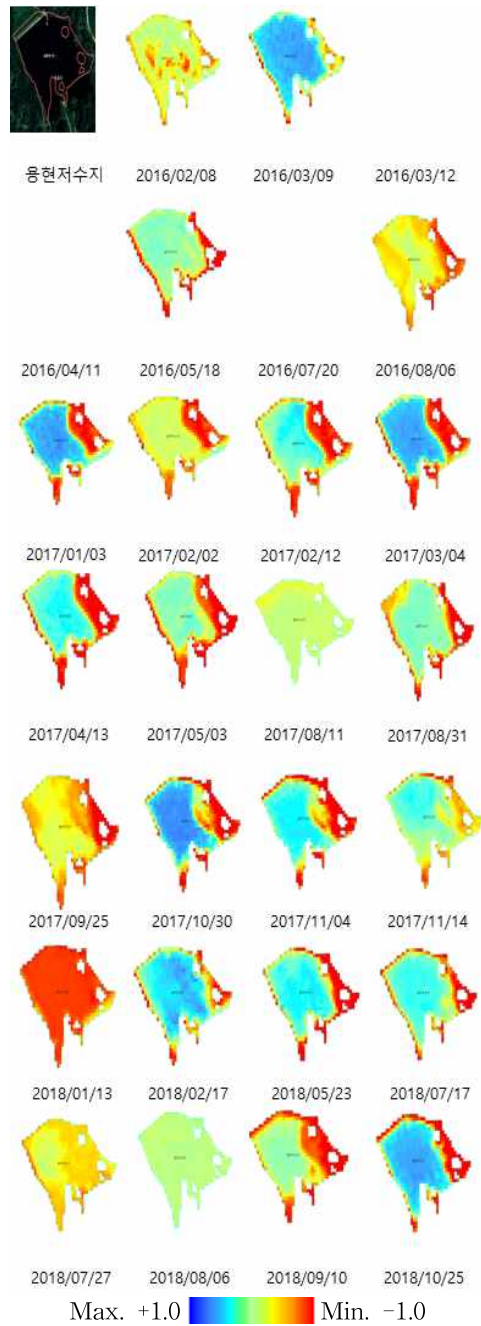
<그림 8-23> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 신두2호저수지



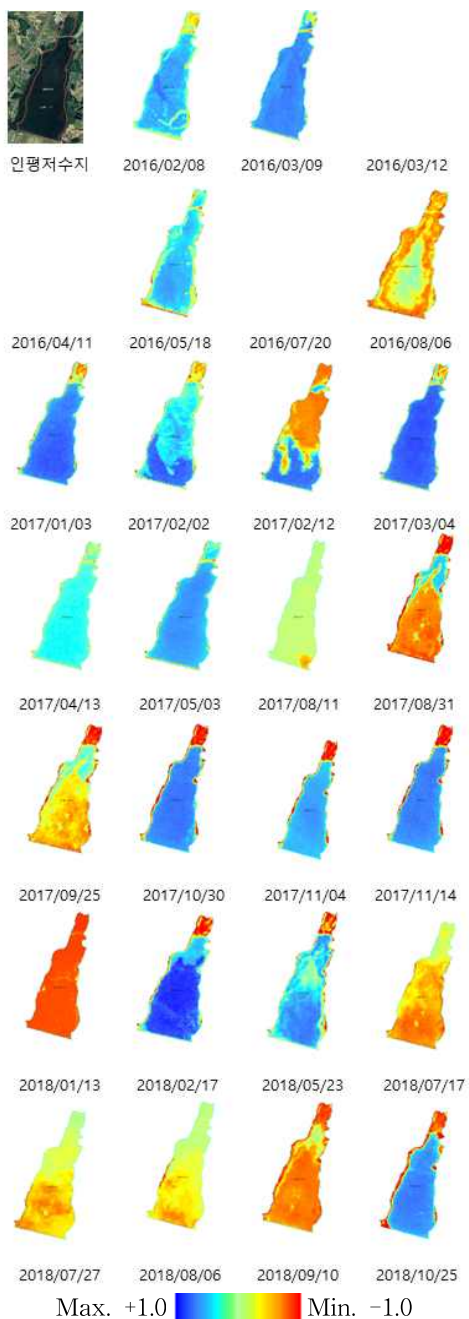
<그림 8-24> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 신야저수지



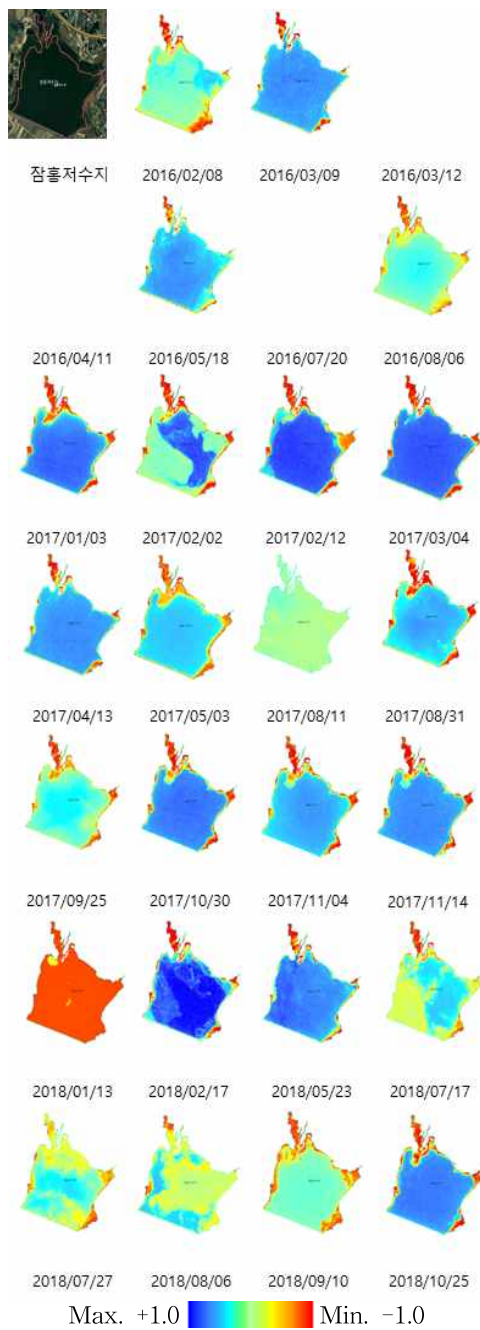
<그림 8-25> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 신창저수지



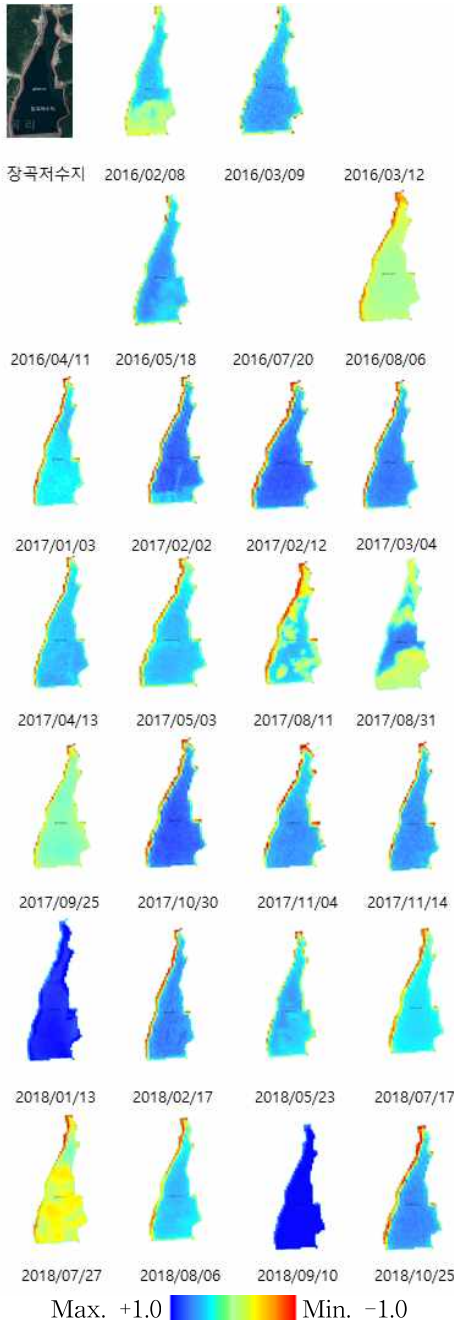
<그림 8-26> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 용현저수지



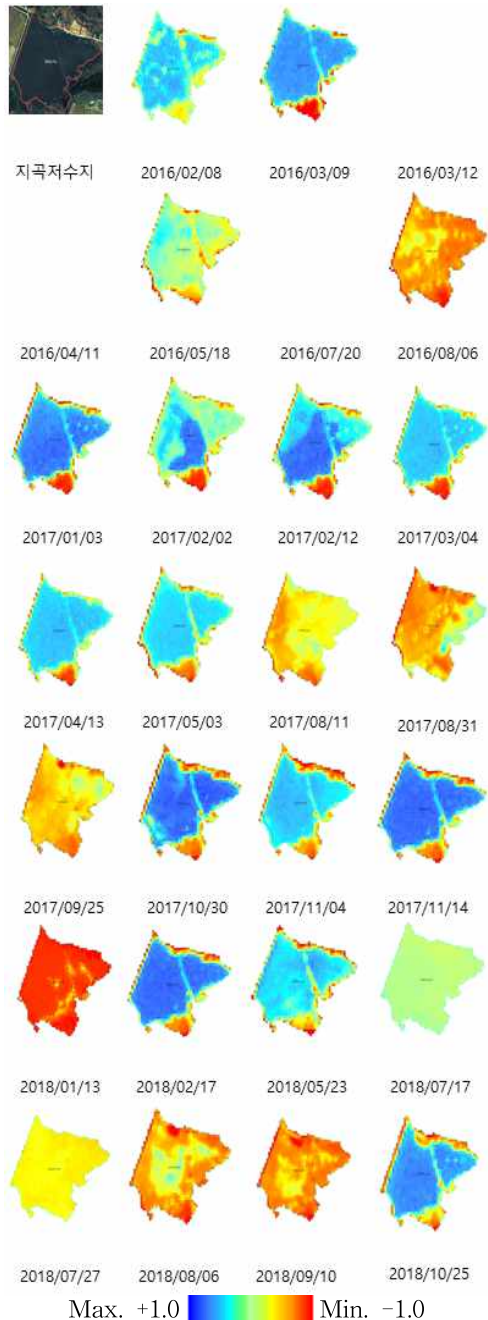
<그림 8-27> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 인평저수지



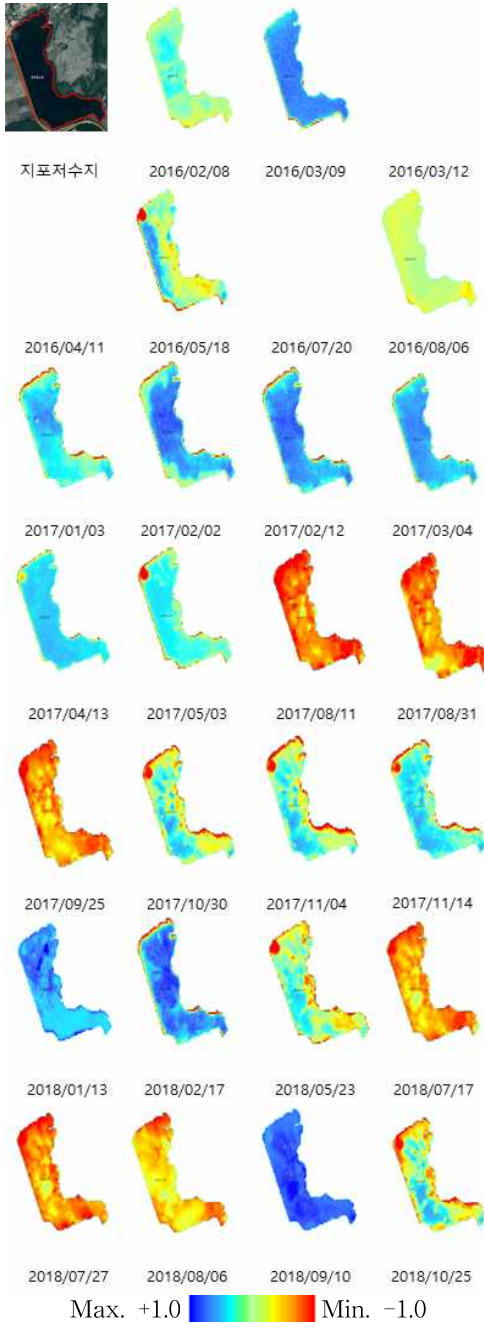
<그림 8-28> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 잠흥저수지



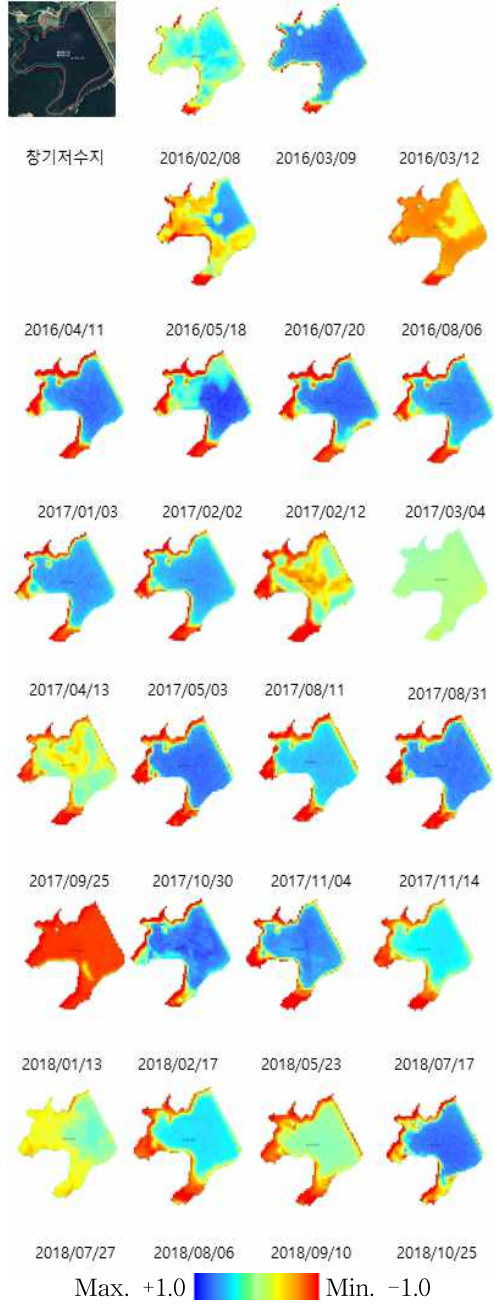
<그림 8-29> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 장곡저수지



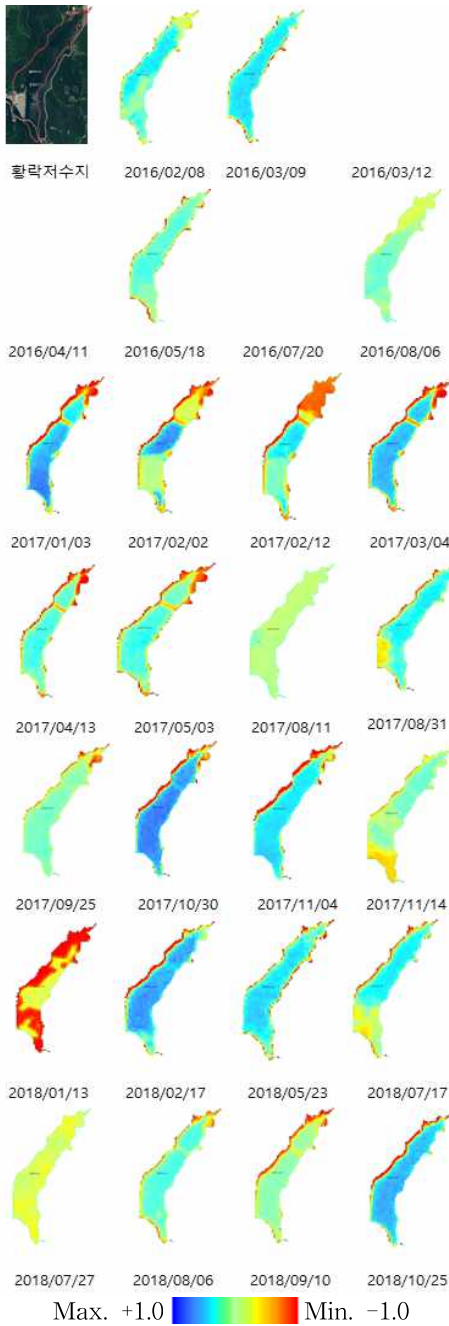
<그림 8-30> 시기별 Sentinel-2 NDWI - 지곡저수지



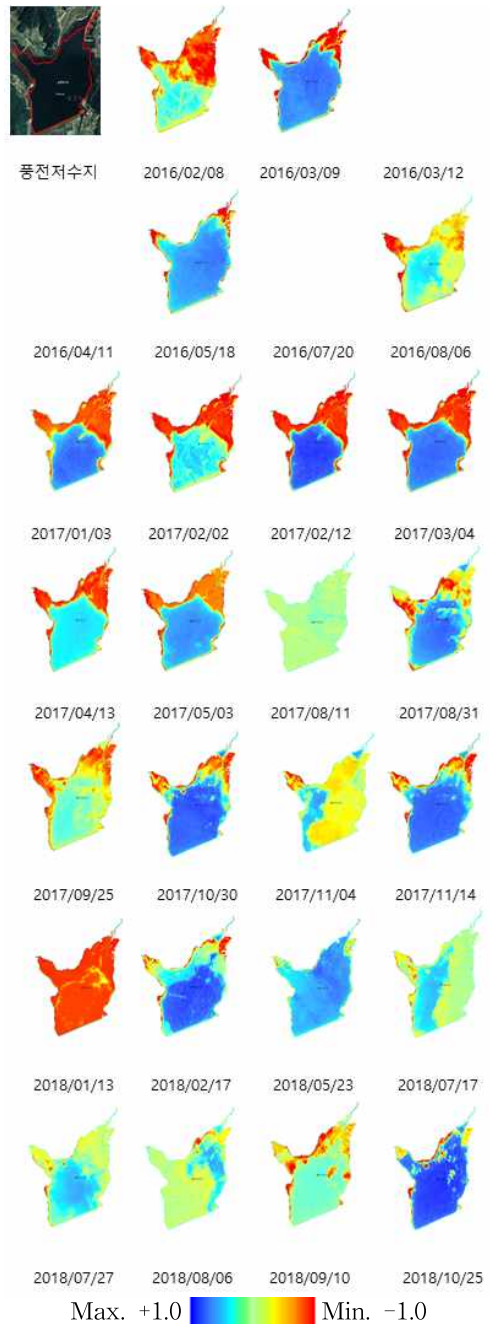
<그림 8-31> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 지포저수지



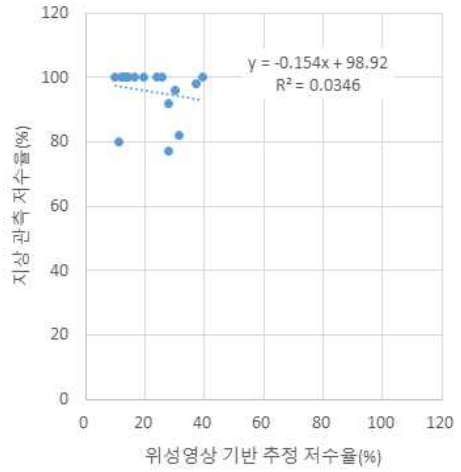
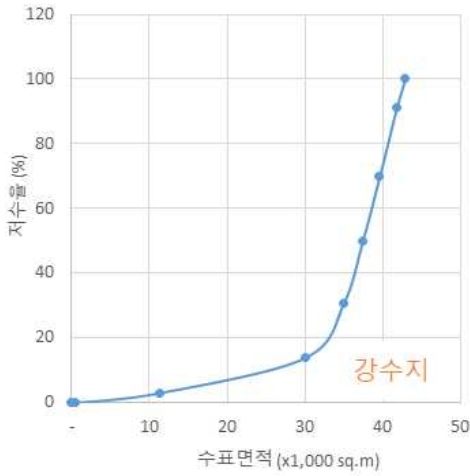
<그림 8-32> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 창기저수지



<그림 8-33> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 황락저수지

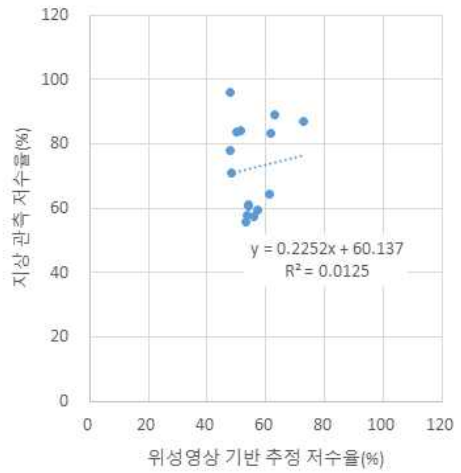
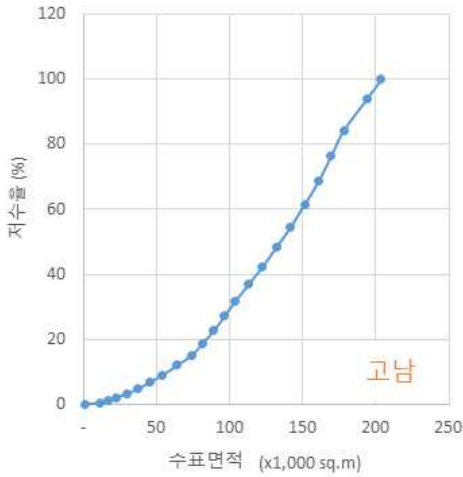


<그림 8-34> 시기별 Sentinel-2
NDWI - 풍전저수지



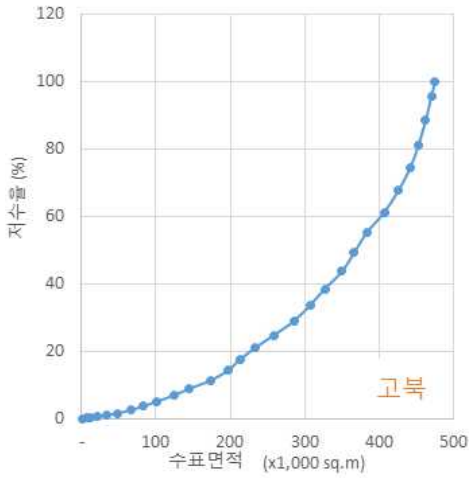
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-35> 강수저수지 저수율 추정 결과

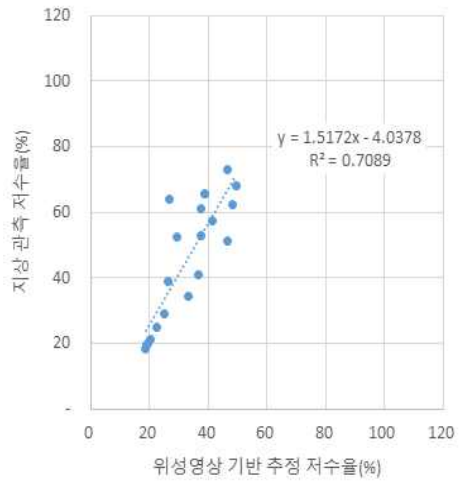


(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-36> 고남저수지 저수율 추정 결과

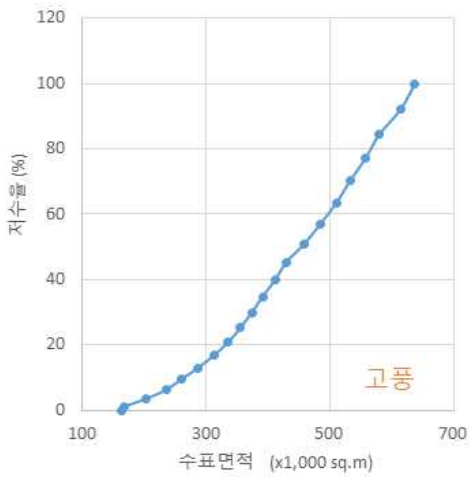


(a) 수표면적-저수율 관계 곡선

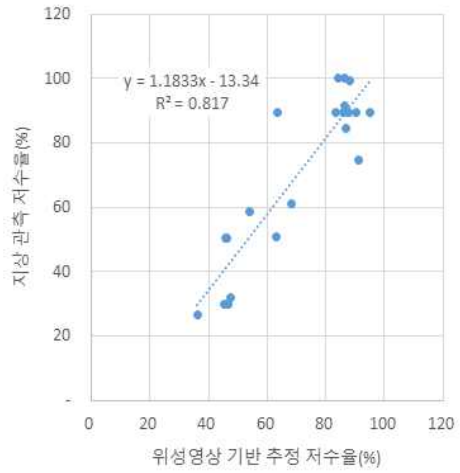


(b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-37> 고북저수지 저수율 추정 결과

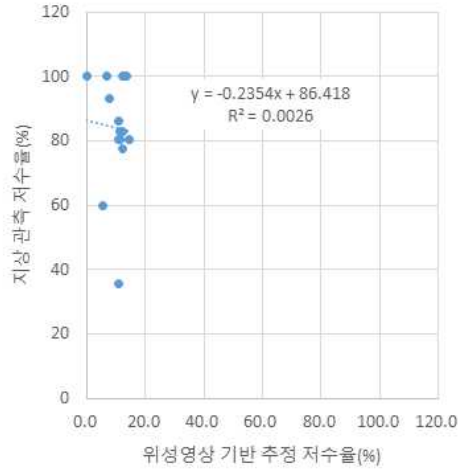
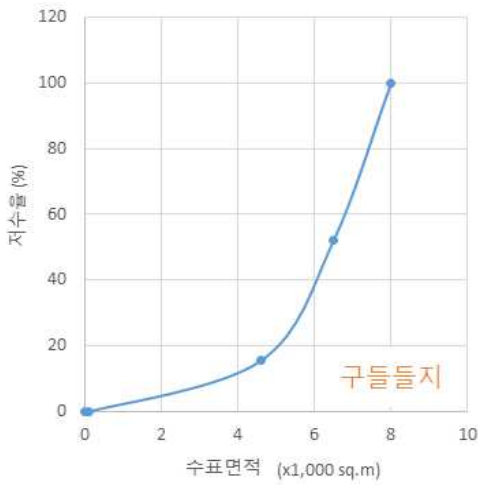


(a) 수표면적-저수율 관계 곡선



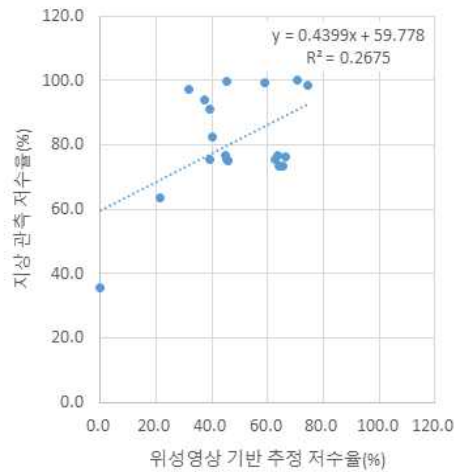
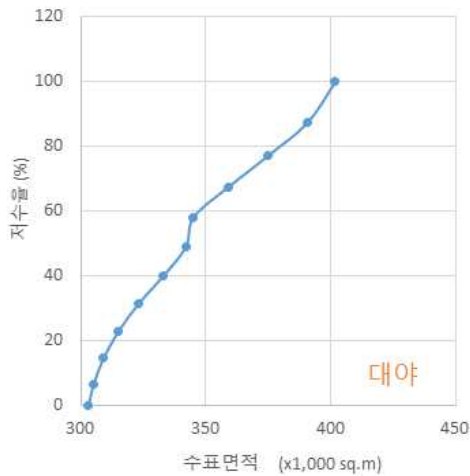
(b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-38> 고평저수지 저수율 추정 결과



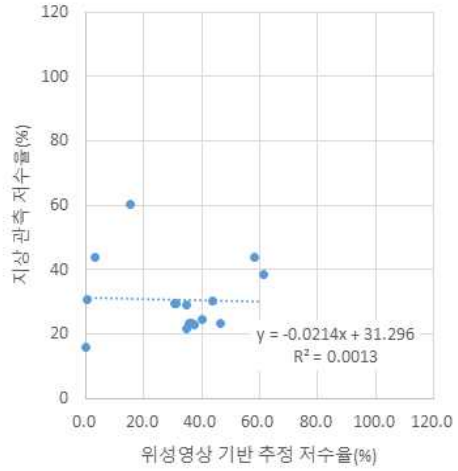
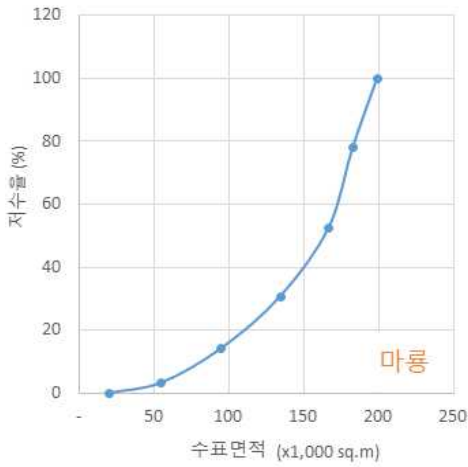
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-39> 구들저수지 저수율 추정 결과



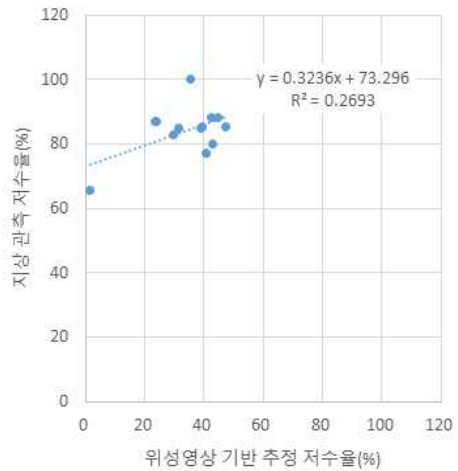
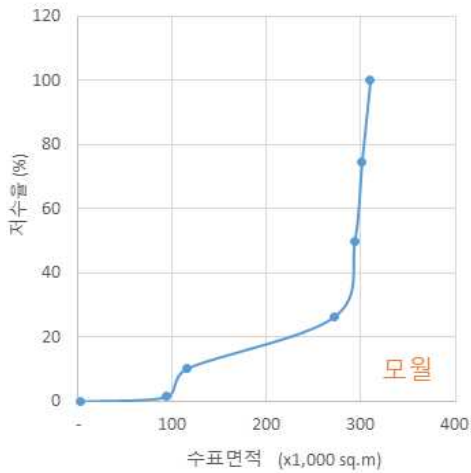
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-40> 대야저수지 저수율 추정 결과



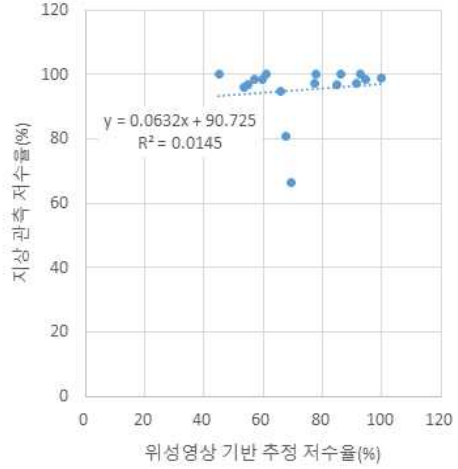
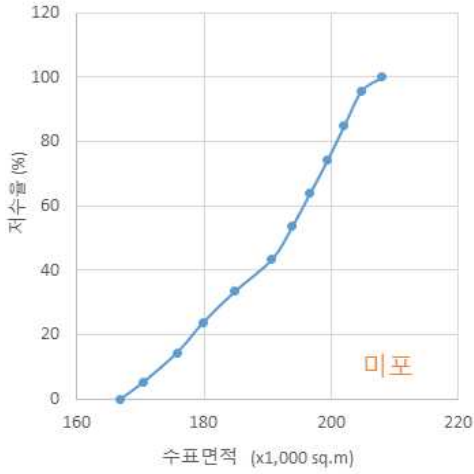
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-41> 마룡저수지 저수율 추정 결과



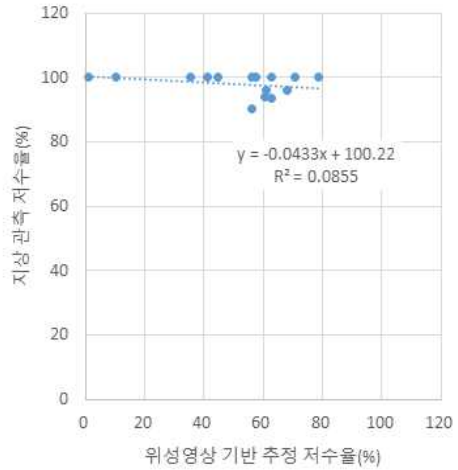
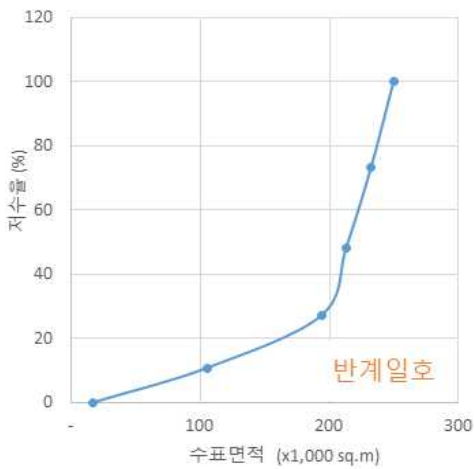
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-42> 모월저수지 저수율 추정 결과



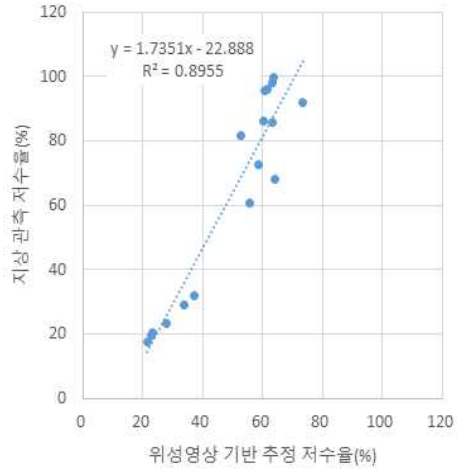
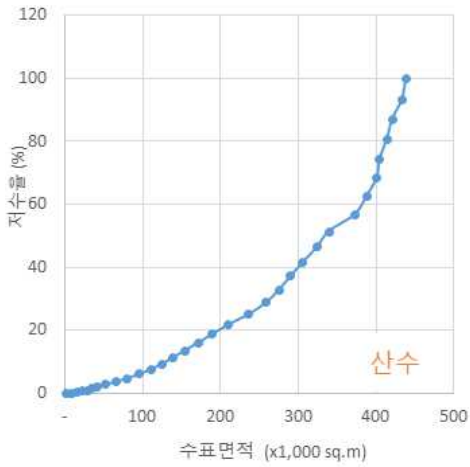
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-43> 미포저수지 저수율 추정 결과



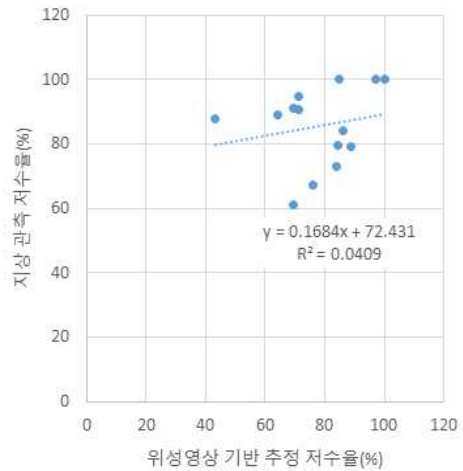
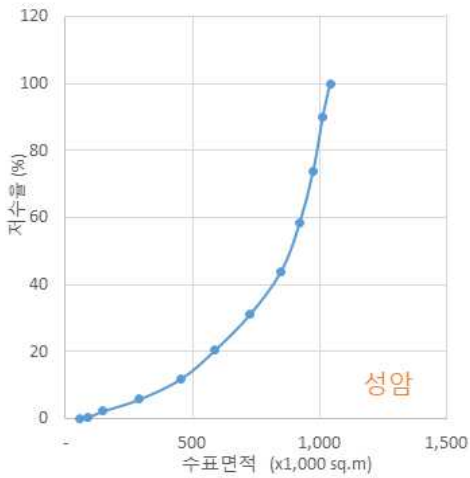
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-44> 반계일호저수지 저수율 추정 결과



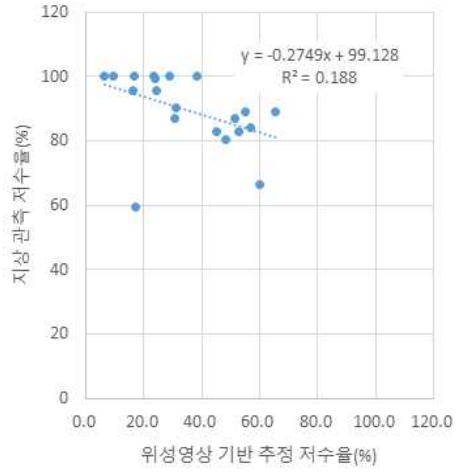
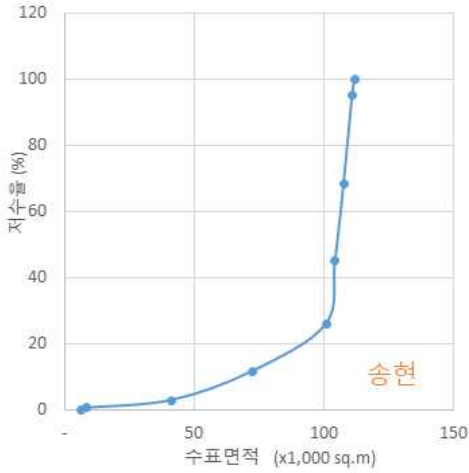
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-45> 산수저수지 저수율 추정 결과



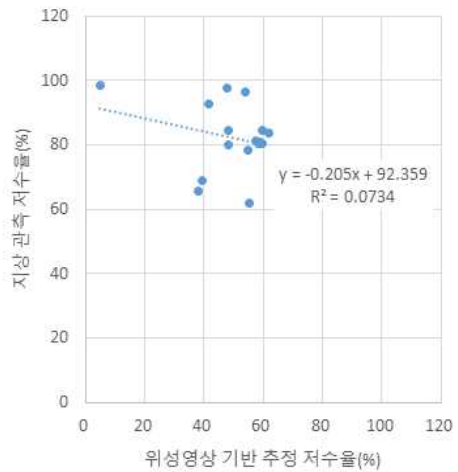
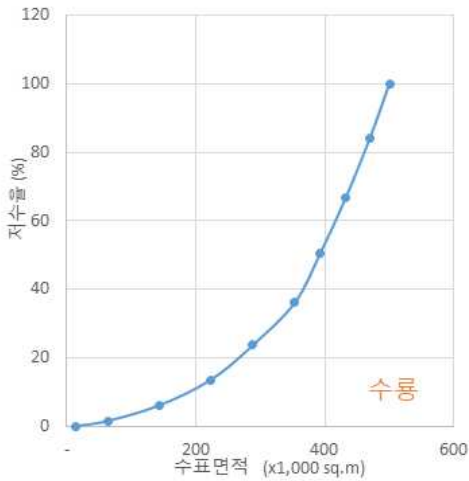
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-46> 성암저수지 저수율 추정 결과



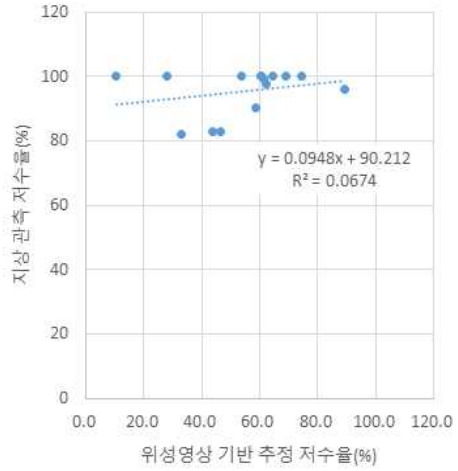
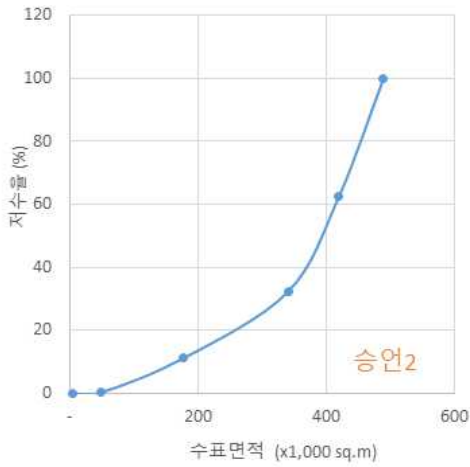
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-47> 송현저수지 저수율 추정 결과



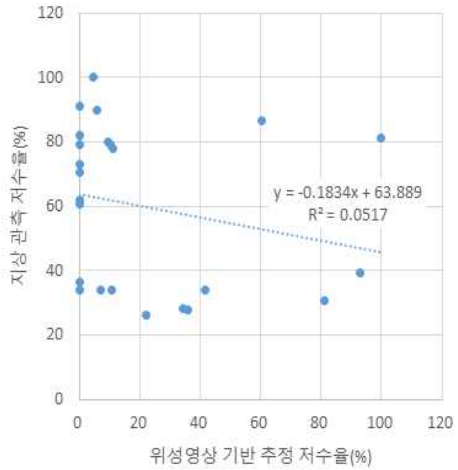
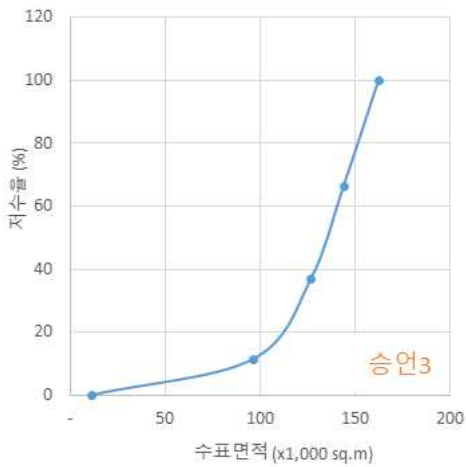
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-48> 수룡저수지 저수율 추정 결과



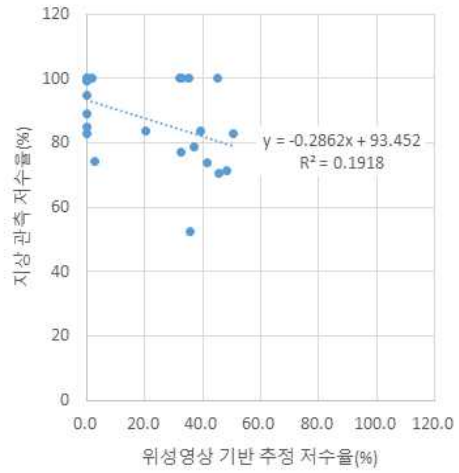
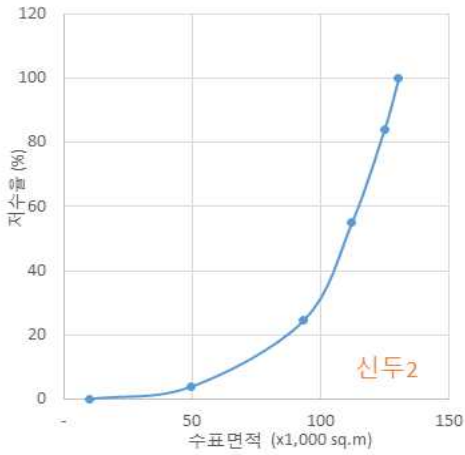
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-49> 승언2저수지 저수율 추정 결과



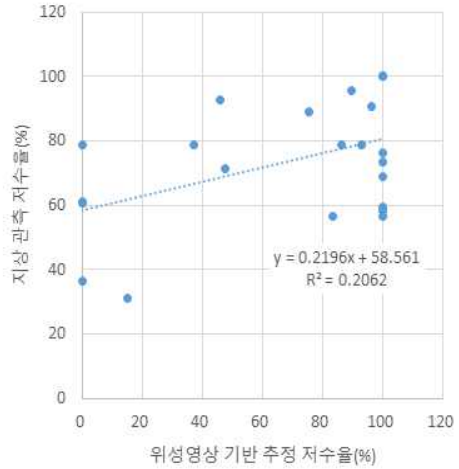
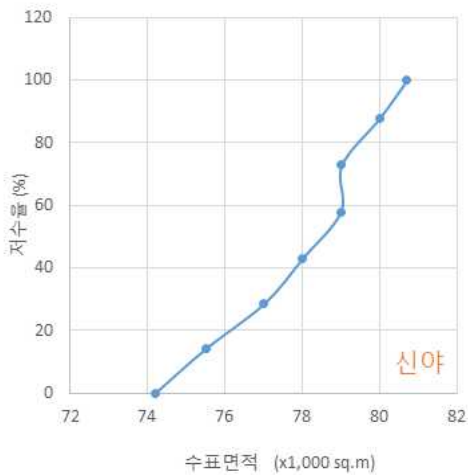
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-50> 승언3저수지 저수율 추정 결과



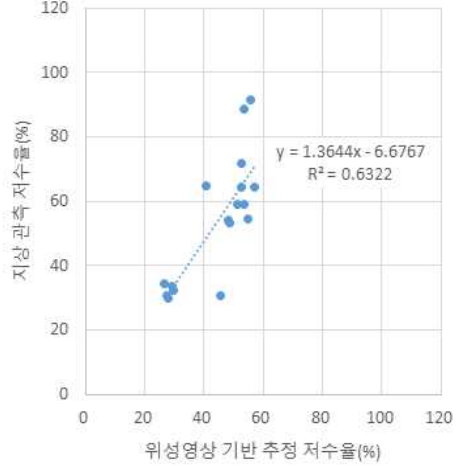
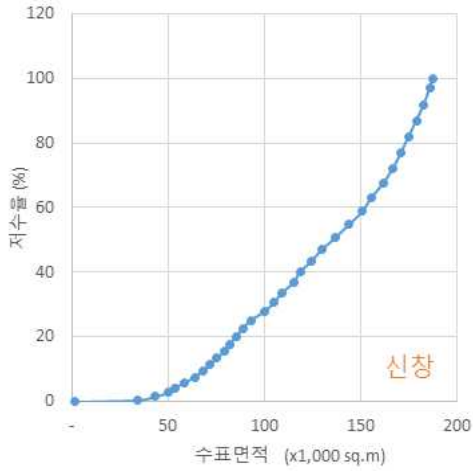
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-51> 신두2호저수지 저수율 추정 결과



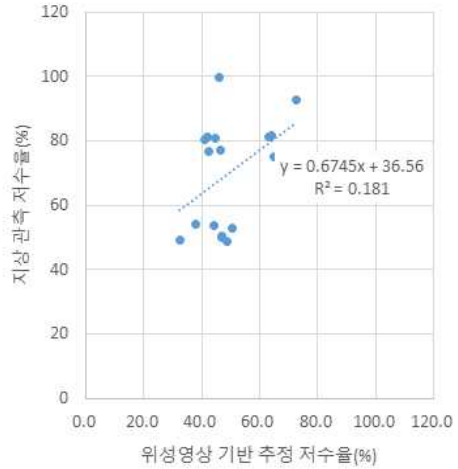
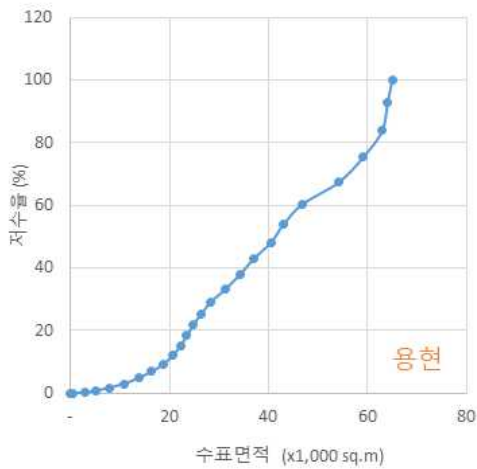
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-52> 신야저수지 저수율 추정 결과



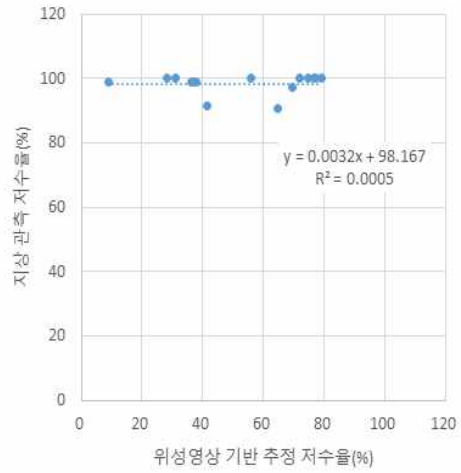
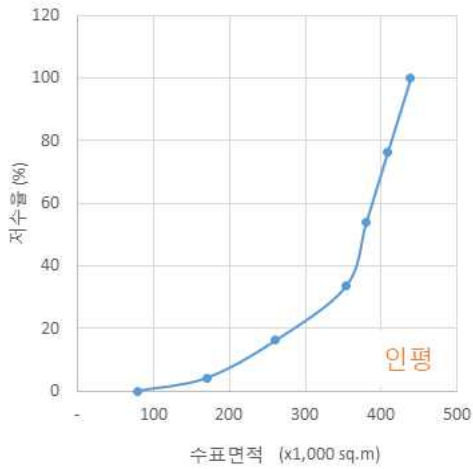
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-53> 신창저수지 저수율 추정 결과



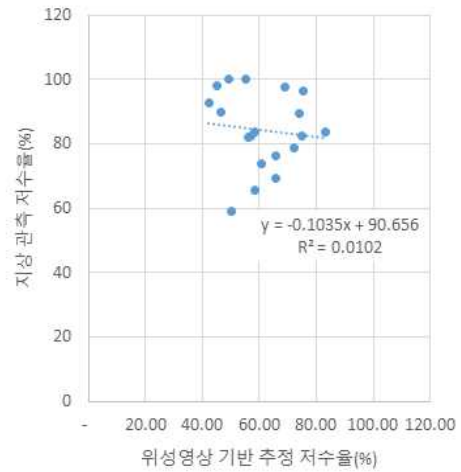
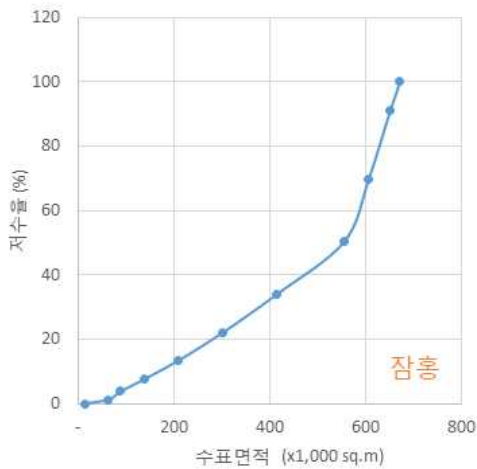
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-54> 용현저수지 저수율 추정 결과



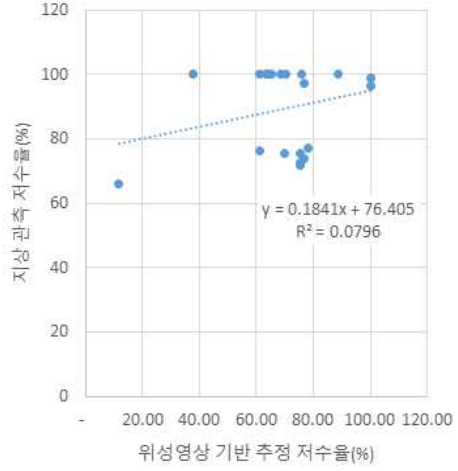
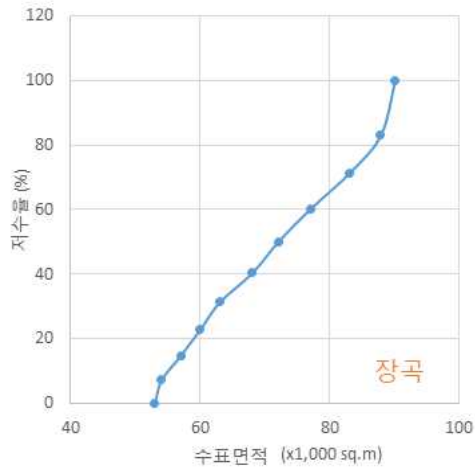
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-55> 인평저수지 저수율 추정 결과



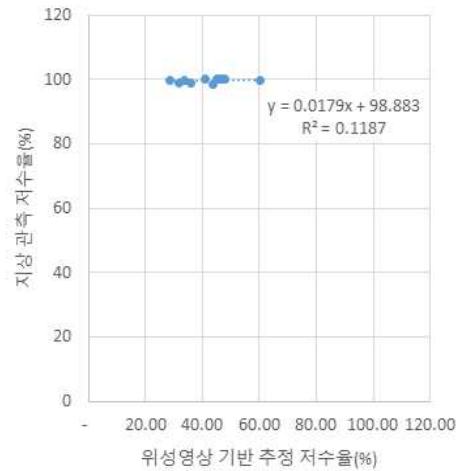
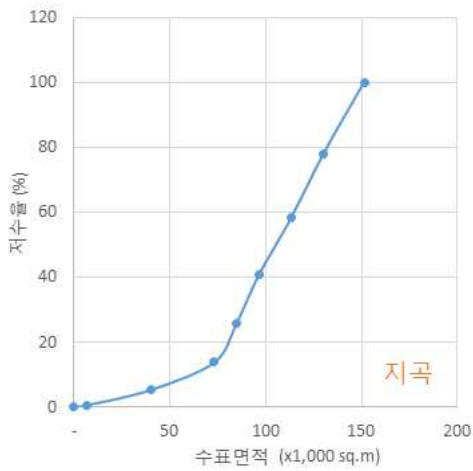
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-56> 잠흥저수지 저수율 추정 결과



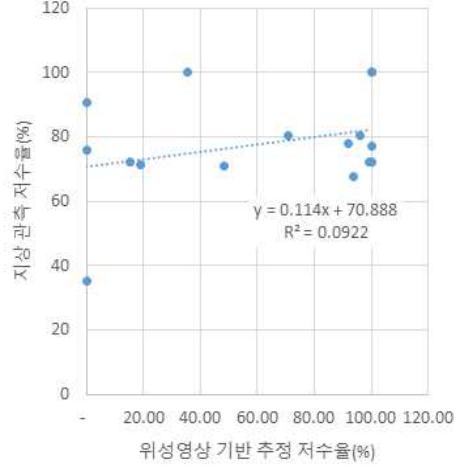
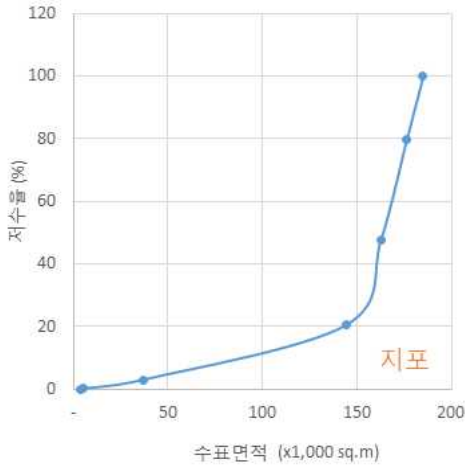
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-57> 장곡저수지 저수율 추정 결과



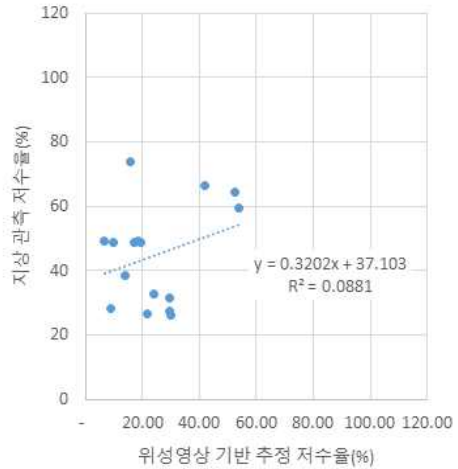
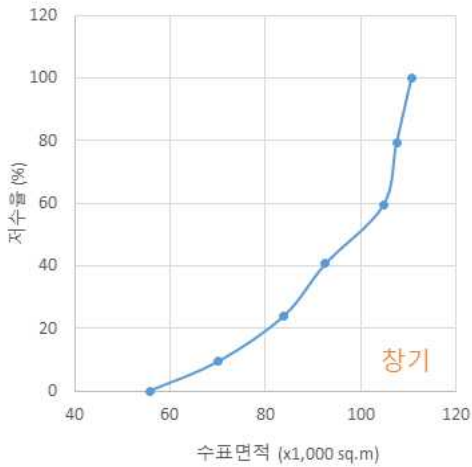
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상관측-위성관측 저수율 관계

<그림 8-58> 지곡저수지 저수율 추정 결과



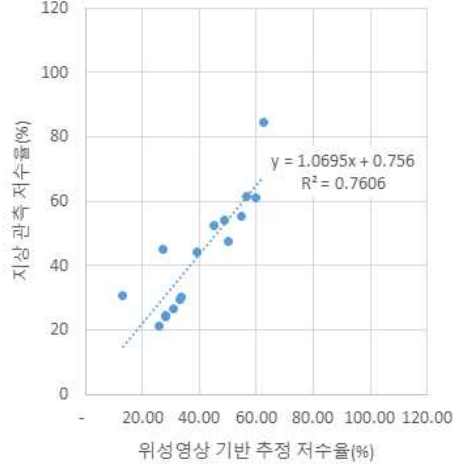
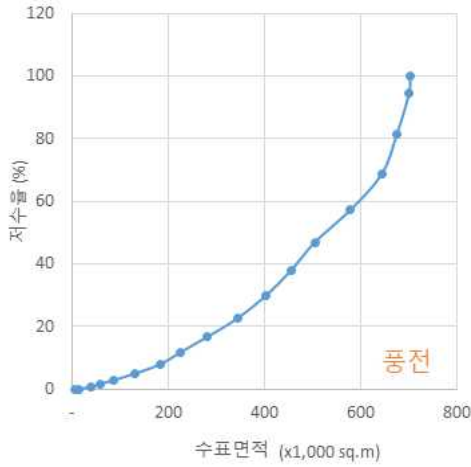
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-59> 지포저수지 저수율 추정 결과



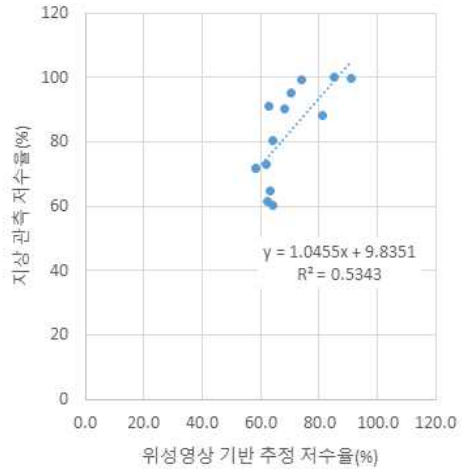
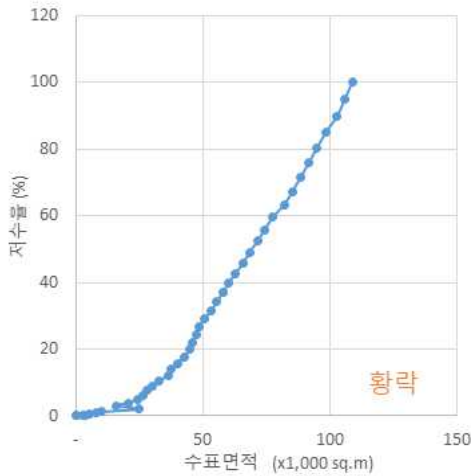
(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-60> 창기저수지 저수율 추정 결과



(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-61> 봉전저수지 저수율 추정 결과



(a) 수표면적-저수율 관계 곡선 (b) 지상계측과 위성기반 저수율 관계

<그림 8-62> 황락저수지 저수율 추정 결과

4. 위성영상 활용의 한계와 과제

광학 위성영상으로부터 분류한 수표면적을 이용하여 추정된 저수율과 지상 관측된 저수율 사이에 상관관계가 있음을 일부 저수지에서 확인할 수 있었지만, 대부분의 저수지에선 상관성이 전혀 보이지 않거나 추정치와 관측치 사이에 큰 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 이는 개별 저수지의 현장 여건을 반영하지 못하거나 가용자료의 부재나 불확실성 때문으로 판단되며, 이들 문제를 극복하지 않고는 위성영상을 이용한 저수율 조사 기술의 실용화를 기대하기 어렵다.

○ **구름, 박무 혹은 연무 등에 의한 영향:** 광학 위성영상을 사용하는데 있어서 피할 수 없는 문제가 지표 반사에 영향을 주는 기상학적 요인이다. 구름과 구름에 의한 그림자, 지표 가까이 발생하는 박무나 연무가 발생한 경우에는 영상을 사용할 수 없다 <그림 8-67>. 구름의 경우는 대부분 분명하게 식별되지만, 박무나 연무는 관측지점의 지상 관측기록이 없어서 발생 여부도 확인할 수 없다. 그러므로 해당 영상을 분석에서 배제하기가 어렵고 수표면적을 과소 산정하기 쉽다.



<그림 8-63> 구름과 박무/연무의 영향 (사창저수지 사례)



<그림 8-64> 저수면 결빙과 눈의 영향

○ **결빙, 눈 등에 의한 영향:** 구름, 박무/연무 등의 영향이 없더라도 저수지 수표면이 결빙되거나 눈으로 덮이면 수표면 식별이 어렵다 <그림 8-68>. 동절기의 저수율 관측은 농업용 저수지라는 측면에서 관심 범위가 아니지만, 다음 해로 이어지는 극심한 가뭄 상황에서는 필요한 정보이기 때문에 영상분석에 있어서 눈과 결빙의 영향을 검토해야 한다.

○ **수풀, 부유물, 구조물 등의 영향:** 저수지 내부 혹은 인접 부분에 식생이나 다른 토지피복이 혼재할 때는 수표면적을 과소평가할 수 있다. 저수지 내외의 수면을 덮는 식생이나 그 그림자, 지형, 구조물 (수상좌대, 도로, 건물 등) 등에 의해 수표면이 가려지거나 다른 토지피복과 유사한 분광특성을 보이면 수표면적 분류의 정확도가 낮아진다. 특히, 농업용 저수지와 같이 수심이 깊지 않은 소규모 저수지에서 주로 나타난다 <그림 8-69>.



(a) 승연3호저수지



(b) 지포저수지

<그림 8-65> 저수면 수풀 등에 의한 영향

○ **저수지 내용적 형상 및 수위-수표면적-내용적 관계의 불확실성에 의한 영향:** 위성영상에서 분류된 수표면적은 저수지 고유의 수위-수표면적-내용적 관계에 따라 저수량과 저수율로 변환되는데, 대부분 저수지가 내용적의 변동이 있더라도 갱신을 못하고 설계시의 기준을 그대로 사용하고 있는 실정이다. 저수지 수위-수표면적-내용적 관계가 정확하지 않으면 위성영상에서 수표면적을 정확하게 분류하더라도 저수량을 정확히 산정하기 어렵다. 그리고 저수지 형상에 따라 수표면적 변화에 따른 저수량 변화의 민감도가 높은 경우에는 위성영상만으론 그 변화를 구분하기 어렵다. 특히, 평야부에 있는 저수지에서 자주 보이는데, 예를 들어 송현저수지는 만수면적 대비 수표면적 10% 차이에도 저수율은 약 74% 차이가 나는 내용적 형태를 가졌고, 저수율 추정 결과도 계측기록과 역비례로 나타났다 <그림 8-51>.

○ **저수율 계측기록의 불확실성에 의한 영향:** 실제 계측된 저수율 기

록은 위성영상 기반 저수량 추정 결과의 검증과 정확도 개선에 절대적으로 필요하다. 자동화된 수위관측시설이 없는 저수지의 저수위/저수율 자료는 해당 물관리 담당자의 수기에 의존하는데, 애매한 목측과 누락뿐만 아니라 극심한 가뭄이 진행되고 있음에도 저수율이 변하지 않거나 오히려 높아지는 사례들이 빈번하게 발견된다. 계측시설이 설치되어 있어도 품질에 대한 검증이 없는 자료도 주의가 필요하다.

○ **위성영상의 공간해상도와 주기해상도에 의한 영향:** 수표면적이 변화를 유의하게 추적할 수 있는 공간해상도의 위성영상을 사용하지 않으면, 농업용 저수지와 같이 규모가 작은 저수지일수록 저수율 오차가 커질 수밖에 없다. 반대로, 충분히 고해상도인 위성영상을 사용하는 경우엔 넓은 지역의 저수지를 동시에 관측하기 어렵고 영상처리 부담도 늘어난다. 계절성을 갖는 농업용 저수지의 특성상 위성의 주기해상도도 저수율 변화를 반영할 수 있는 수준으로 짧을수록 실효성 활용이 가능하다. 더욱이 광학 위성센서의 경우엔 대기 영향으로 지표 촬영이 불가능한 경우가 많으므로 촬영주기가 짧을수록 그만큼 양질의 위성영상을 얻을 확률이 높아진다.

제2절 향후 추진방향

우리나라에는 전국적으로 약 18,000여 개의 저수지가 있지만, 수위나 저수량 관측은 매우 제한적이다. 일부 저수지에 대한 자동계측시설이 운영되고 있지만, 대부분의 저수지는 관리범위 밖에 있어 가뭄이나 홍수 등 위급상황뿐만 아니라 평상시에도 정확한 저수량을 파악하고 관리하기 어려운 실정이다. 따라서 광범위한 지역에 산재한 저수지의 저수량을 추정하는 방법으로 위성영상을 활용하는 기술이 현장실측을 대체하거나 적어도 보완할 수 있는 대안으로 검토됐다. 이를 현장에서 실제 구현하기 위해서는 몇 가지 기술적 제도적 문제들이 해결되어야 한다.

○ **광학센서 외 레이더 (SAR), 레이저 (Lidar), 고도계 (Altimeter) 등을 이용한 저수지 저수량 추정 기술 개발 및 고도화:** 광학영상 외에도 다양한 센서를 이용하여 저수량 추정이 가능하다. 광학영상의 한계를

극복하는 방안으로 전천후로 사용할 수 있는 레이더영상을 활용하거나, 정밀한 수심 혹은 수위를 측정할 수 있는 라이더 (Lidar) 혹은 Altimeter 를 이용해서 직접 저수심을 추정하는 방법도 적용할 수 있다. 이를 통해 구름, 박무/연무, 수초 등이 분류정확도에 미치는 영향을 최소화할 수도 있다. 그러므로 최근 개발되고 있는 기술들이 우리나라 농업용 저수지 특성을 고려해 적합한 기술인지 검토하고 활용하는 기반을 구축할 필요가 있다.

○ **적정 공간/주기해상도의 다시기 위성영상 확보 및 활용 방안:** 저수지 모니터링의 목적에 부합하는 공간해상도와 시간해상도를 갖는 위성영상을 확보하기 위해서는 단일 위성만으론 어렵다. 최근 고해상도이지만 관측 공백 시간을 최소화하는 RapidEye, PlanetScope, Skysat 등 저궤도 위성군 (constellation) 체계가 구축되면서 영상촬영 기회가 높아지고 있지만, 여전히 양호한 품질의 위성영상을 확보하는 것은 가장 큰 과제다. 특정 인공위성에 한정하기보다는 가득할 수 있는 다양한 위성영상을 보완하며 사용하는 것이 합리적이며, 실제로 많은 연구에서 서로 다른 해상도와 관측방식의 영상을 합성 (fusion)하거나 보완하는 기술을 제시하고 있다. 예를 들어, 전천후 관측이 가능한 SAR는 기상조건과 주야와 관계없이 촬영할 수 있기 때문에 광학영상과 더불어 정보의 양과 수준을 개선하는데 기여할 수 있다. 농업용 저수지 모니터링에 적합한 공간해상도 (≥ 5 m)를 가지면서 시의성 있는 영상자료 확보를 위해서 이를 처리하고 해석할 수 있는 기술의 구현이 필요하다.

○ **저수지 수위-수표면적-내용적 관계의 재구축 방안 연구:** 저수지 저수율 모니터링을 위한 위성영상의 활용은 신뢰할 수 있는 수위-수표면적-내용적 관계가 기반이 되어야 한다. 저수지의 정확한 저류량을 파악하기 위해서는 수위-내용적 곡선이 매우 중요함에도 우리나라 대부분의 저수지는 수위-내용적 곡선이 없는 실정이다. 또한, 저수지 내 내용적은 상류로부터의 퇴사와 저수지 내 준설 등으로 바뀌기 때문에 저수지 수위-내용적 곡선을 다시 작성해야 하고, 이를 이용할 수 있는 자료활용 기반도 같이 구축되어야 한다.



제9장 종합결론



제9장 종합결론

최근 들어 기후변화 영향으로 단순히 기상재해를 통해 우리의 생활에 영향을 끼칠 뿐 아니라, 산업 및 경제 구조의 변화를 통해서도 우리에게 큰 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

기후변화 현상에 의해 강수량의 변동성이 커짐에 따라 지역적 가뭄 발생 빈도가 점차 심화되고 농업 및 수자원 관련 분야의 장기 계획 수립에 있어 불확실성이 증가 되고 있는 실정이다. 그리고 기후변화에 의한 지상 관측소의 공간적인 한계성으로 인한 정보의 정확성이 부족하다. 이에 따른 동일 시·군내에서도 지역적인 가뭄의 편차가 심하게 나타나고 있다.

2000년 이후 가뭄 발생 빈도가 잦아지면서 가뭄 모니터링의 중요성이 대두되고 있으며 최근 동아시아 권역과 미국에서는 가뭄대비 조기 경보체제를 위한 위성영상 기반 가뭄 모니터링 기술이 지속적으로 연구되고 있으며 상당히 발전되어 있으나, 국내에서는 아직 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링을 통한 가뭄 판단에 대한 국내 기술은 아직 취약한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 2018년 농업가뭄에 대한 시계열 위성영상 자료를 수집·분석하여 필터링, 분류 및 체계화 방안, 모니터링 방안 등에 관하여 대하여 기존 자료를 정리하였다. 따라서 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링에 관한 영상 자료의 DB화와 표준화된 위성영상 정보체계 및 가뭄 모니터링 방안에 대한 기준을 정립하였다. 2019년은 적절한 위성영상 및 최신 기술을 농업가뭄 분야에 활용함으로써 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 알고리즘을 정립하여 공간적인 제한성을 극복하여 농업 가뭄지도 생성기술을 확보하는데 있다.

다시 정리하면 위성영상 기반 농업가뭄 자료 축적, 적용 방법 및 도입 방안에 대한 알고리즘을 정립하고 농업가뭄 모니터링을 위한 전처리 기술 확보 및 모듈 적용과 개발, 농업가뭄 지역에 대한 단계별 가뭄지도 생성 기술 확보, 그리고 농업가뭄의 공간적인 변화 추이를 파악 하는 등의 4차 산업혁명 시대를 맞아 위성영상 분석 등 최신 선진 기술을 농업가뭄 분야에 활용함으로써 공간적인 제한성을 극복하고 위성영상 기반 인프라 구축 및 선제적 농업가뭄을 위한 조기경보 시스템 등의 초석 마련에 본 연구의 목적이 있다.

1. 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링

가. 가뭄은 강수현상과 물의 용도에 따라 현재 통용되고 있는 가뭄은 크게 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄, 사회경제학적 가뭄으로 구분된다.

분 류	내 용
기상학적 가뭄 (Meteorological Drought)	- 주어진 기간의 강수량이나 무강수 계속일수 등으로 정의되며 기상 현상의 영향을 직접적으로 표현하는 가뭄 (건조의 정도와 지속시간)
수문학적 가뭄 (Hydrological Drought)	- 물 공급에 초점을 맞추고 하천유량, 저수지, 지하수 등 가용 수자원의 양으로 정의한 가뭄 (강우부족에 따른 저수지의 수위는 수개월 후 발생)
농업적 가뭄 (Agricultural Drought)	- 농업에 영향을 주는 가뭄을 언급한 것으로 농작물 생육에 직접 관계되는 토양수분 부족으로 피해가 발생하는 가뭄 (기상학적 가뭄, 수문학적 가뭄과 연결되고 기상학적 가뭄과 농업적 가뭄의 발생 시기/심도/기간 등이 다르기 때문에 분야에 적합한 가뭄지수 필요)
사회경제학적 가뭄 (Socioeconomic Drought)	- 생활용수, 공업용수, 농업용수 수요와 공급의 부족으로 인한 생활 양식 변화, 공업용수 영향, 농업방식 변화 등의 요소가 포함되어 피해 발생(물의 수요와 공급을 기상학적/수문학적/농업적 가뭄의 요소와 관련하여 정의)

나. 최근(2012~2019년, 8개년) 가뭄 발생지역 32개소 대상으로 1991~2019년 30일~50일(순별) 연속 발생 강우량 중에서 최저 강우량을 분석 하였으며, 또한 전국관측소(72개소)의 1981~2010년까지 30개년에 대한 월평균 강우량 및 빈도별 가뭄강우량을 분석하였다.

결과는 30일 연속 최저 평균 강우량은 14.4mm로 전국관측소 3월의 30년 빈도 가뭄 강우량 15.5mm와 유사하고, 40일 연속 최저 평균 강우량 22.9mm는 4월의 30빈도 가뭄 강우량 25.0mm, 50일 연속 최저 평균 강우량 32.2mm이고, 5월의 30년 빈도 가뭄 강우량은 41.0mm로 분석되었다.

빈도별	3월	4월	5월	6월	7월	비고
평균	59.5	83.1	106.7	163.1	292.6	전국관측소 (1981~2010)
10년	32.4	47.3	66.2	109.4	215.2	
20년	21.6	33.0	50.1	88.0	184.3	
30년	15.5	25.0	41.0	75.9	166.9	
40년	11.2	19.4	34.7	67.8	154.9	
50년	8.0	15.1	29.9	61.2	145.6	
연속강우량	20일연속	30일연속	40일연속	50일연속	비 고	
최저강우량 (평균)	1.2	14.4	22.9	32.2	32개 가뭄발생지역 (.1991~2019)	

다. 일반적으로 기상학적 가뭄과는 다르게 농업적 가뭄은 농작물의 생육에 가장 핵심적인 영향인 토양수분의 결핍현상, 식생의 활력도 및 증발산량 등에 의해서 가뭄의 시기 및 정도가 결정되어야 하나 국내의 가뭄 상황 모니터링시스템은 관측 지점기반으로 내삽기법(interpolation)을 이용하여 산정한 지도로써 실제적인 적용대상 지역의 지형, 작물 재배력, 기상 특성을 정확하게 고려한 결과는 아니다.

그러므로 위성영상을 활용하는 농업가뭄에 대한 꾸준한 모니터링은 공간 기반의 정보와 지상 기반의 정보가 융합되어 지속적인 위성 모니터링이 가능하여 진다. 위성 모니터링 데이터가 축적되고 영상의 가용 분석이 가능하다면 농업가뭄의 조기경보 체계 시스템 구축은 다양한 공간 및 시간 척도에 대하여 효율적으로 농업 가뭄 조기 대응하는 중요한 요소일 것이다.

2. 위성활용 기술 현황

가. 인공위성 관련 환경을 살펴보면 과거 사후복구 중심의 수재해 관리 정책을 급변하는 수재해 양상에 효과적으로 대응하기 위하여 정보통신

기술(ICT), 지리정보시스템(GIS), 인공위성 및 원격탐사(RS), 로봇, 인공지능(AI) 등 첨단 과학기술을 활용한 사전예방 중심의 연구개발이 활성화 되고 있다.

이러한 물 관리 패러다임은 전 세계적 및 국가별 물관리 상황에 따른 시대적 이슈에 따라 변천되어 왔으며, 70년대는 수질중심, 80년대는 환경 중심, 1992년 리우 정상회담에서 기후변화 등 물 위기 극복을 위한 새로운 패러다임으로 변화하고 있고 있으며 물 관리 패러다임에서 안보 개념이 도입되어 전 세계적으로 물 관리의 중요성이 부각되고 있는 실정이다.

나. 국내 위성센터의 목적은 위성 지상국 운영 및 실시간 모니터링과 기초 활용연구, 방재활동 등이 주목적이고 해외 위성센터의 목적은 위성 활용 기술개발 및 활용 촉진, 기후변화 탐지, 위성 정보의 관리/처리/배포 등의 주목적인 것으로 나타났다.

	항공우주연구원 국가위성정보활용지원센터	기상청 국가기상위성센터	해양과학기술원 해양위성센터	국립환경과학원 국가환경위성센터
설립 목적	지상국 운영 및 기초 활용 연구	기상위성 지상국 개발 및 운영	해양 환경 (준)실시간 모니터링	지구환경 실시간 모니터링 및 방재활동
기능/역할	위성 운영/관제, 수신/처리/배포, 영상지도 제작	위성 운영/관제, 수신/처리/배포, 기상예보분석	GOCI자료 운영, 수신/처리/배포, 해양 활용 연구	대기환경오염, 예/경보 감시, 방재활동 지원
수신 위성	KOMPSAT, STSAT, COMS 등	MTSAT-2, NOAA, MODIS, COMS 등	COMS, MODIS, NOAA, SEAWIFS 등	Sentinel, NOAA MODIS, GEO-CAPE 등
지역	대전시	충북 진천군	경기 안산시	인천시
운영	국가주도형	국가주도형	국가주도형	국가주도형
인력	4개 팀 약 80여명	3개 과, 1개 팀 약 90여명(정규직48)	3개 과 약 30여명(정규직10)	설립 추진 중
설립	2014(위성정보연구소 07)	2009(2005~2008)	2008(2005~2010)	-

다. 미국, 유럽, 일본 등의 선진국의 위성활용에 대한 시사점은 기후변화 대응과 수자원분야 활용을 위한 위성개발과 확대운영 중이며 그리고 위성을 활용하여 기후변화 대응 위한 수문인자 즉 전 지구적 물 순환 수문요소(토양수분, 강우, 지하수, 유출, 지표수체, 증발 등)를 측정하고 있으며 현재 수문요소별 다양한 전용 위성을 개발/운영 중이다. 따라서 국내에서 수자원 전용 위성 및 다목적 위성을 지속적으로 개발/운영하여 기후변화에 대응을 위한 수문자료의 지속적

구축이 시급한 실정으로 판단된다.

	 요소별로 다양한 수자원 위성 운영중	 기상, 토양수분, 수재해 모니터링 등에 위성 활용	 기상 및 수자원 위성 개발 확대 중
	 	 	 
	미국 	유럽 	일본 
목적	<ul style="list-style-type: none"> 전 지구적 물 순환 수문요소 측정 (토양수분, 강우, 지하수, 유출, 지표수체, 중발 등) 	<ul style="list-style-type: none"> 유럽과 미계측 지역의 수자원 정보 확보 (기상중심)(토양수분, 강우, 지하수, 유출, 지표수체, 중발 등) 	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 대응을 위한 수문인자 관측 (기상중심)(강우, 수증기, 지표수체 등)
특징	<ul style="list-style-type: none"> 수문요소별 다양한 전용위성 개발/운영 ★ 토양수분(SMAP), 지하수(GRACE), 지표수체(SWOT) 등 	<ul style="list-style-type: none"> 기상, 토양수분, 수재해 모니터링 위성운영 ★ 지표수체(Sentinel3), 기상(Sentinel1), 토양수분(SMOS) 등 	<ul style="list-style-type: none"> 태풍 등 시간관측 및 수자원위성 개발 확대 ★ 기상(GPM), 수자원(GCOM-W), 기후(GCOM-C)
현황	<ul style="list-style-type: none"> 시공간적 위성자료 지속적 확보 관측자료기반 물수지 분석을 통해 전지구적 물 순환 과정 예측 	<ul style="list-style-type: none"> 준 실시간 수문순환 관측 위성 운용 유럽, 아프리카 재해관측을 위한 수자원 전용위성 운영 	<ul style="list-style-type: none"> 물 순환요소 관측용 독자적 위성 운용 미국과 공동개발 및 협력을 통한 재해관리 기술선도

라. 위성활용 한계점은 첫째, 위성에 대한 근본적인 문제점이 있다. 위성을 활용한 원격탐사는 단순히 어떤 값의 공간적, 분광적, 시간적 정보를 제공하는 것으로써 필요한 모든 정보를 제공할 수 없음에도 불구하고 그 활용성이 너무 지나치게 높이 평가되고 있는 경향이 있다. 둘째, 위성 활용에서 발생하는 문제점으로 위성자료는 극단값을 평가하기가 어렵고 이상치에 매우 취약하다. 연구 결과를 도출하기 위해 활용한 지수에 따라 결과 값이 상이하게 바뀔 수 있기 때문에 결과를 도출하기에 앞서 위성 자료로부터 산정 할 수 있는 지수들에 대한 검증이 필요하다. 셋째, 인공위성 운용에 따른 문제점이다. 위성 자료가 현장 자료와 일치하지 않을 수 있다. 왜냐하면 위성 자료의 분석, 해석 및 활용을 위한 방법의 개발에 있어서 위성을 운영하는 기관의 목적에 부합하는 방향으로 진행될 수밖에 없기 때문에 범용적인 접근방법을 통해 운영될 수밖에 없다. 넷째, 국내에서의 위성활용 한계점이다. 동일한 지역에 대한 각 위성별/산출 알고리즘별 자료의 정확도가 상이하므로 우리나라에의 적용을 위해서는 한반도 지역에 특화된 센서와 알고리즘 선별이 필요하다.

마. 해결 방안으로 첫째, 위성의 특성을 보완하기 위한 보정방법 개발이 필요하다. 둘째, 위성 자료의 개선이 필요하다. 위성의 분광 해상도를 고려해 연구에 활용할 수 있는 객관적인 지수(지표) 추가 개발, 각 위성의 목적에 맞는 적정 공간해상도를 선정하기 위한 연구 확대 그리고, 생산된 위성자료가 특정 지역뿐만 아니라 범지구적으로 적용가능한 표준화 알고리즘 개발이 필요하다. 셋째, 위성 운용의 문제점을 개선해야 한다. 다양한 공간해상도, 시간 해상도를 가진 위성들을 개발하여 양질의 위성자료를 확보 할 수 있어야 한다.

3. 위성영상 기반 농업가뭄 파라미터 추출

가. 원격탐사 기술은 지역적 한계점을 보완하기 위하여 광범위한 지역을 관측하고, 주기적으로 동일한 정확도를 가진 데이터를 취득할 수 있어 농업가뭄 모니터링에 효율적이며, 농업가뭄 파라미터 추출과 지속적인 농업가뭄 모니터링을 실시하는 것이 중요하다.

나. 우리나라의 경우, 현재 기상관측소는 산악 지형이 많은 지리적 특성과 관측소 지점 간 미계측 지역에 대하여 정확한 데이터 취득이 어렵고 해상도 측면에서 정확하지 않은 해상도를 갖는다는 한계점을 가지고 있다. 위성영상을 활용할 경우 격자 기반으로 데이터를 취득할 수 있으며 실측값을 기반으로 미계측 지역에 대한 실제 가뭄 상황 반영이 가능하며 장기적인 변화관측이나 환경감시 등에 유용하게 활용할 수 있으며, 재해 발생지역의 진행과 피해정도를 신속히 제공할 수 있음. 또한, 접근이 용이하지 못한 지역 및 광역적인 지역에 대하여 데이터 취득이 가능하다.

다. 본 연구에서는 발 중심의 농업가뭄요소로 토양수분, 증발산량, 강수량, 식생 네 가지를 설정하여, 이를 취득할 수 있는 위성영상의 종류 및 해상도와 주기 등을 조사하였고 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 및 가뭄지도 생성을 위한 로드맵을 작성한 결과 MODIS 영상의 8일주기 500m 해상도 영상이 적절하였다.

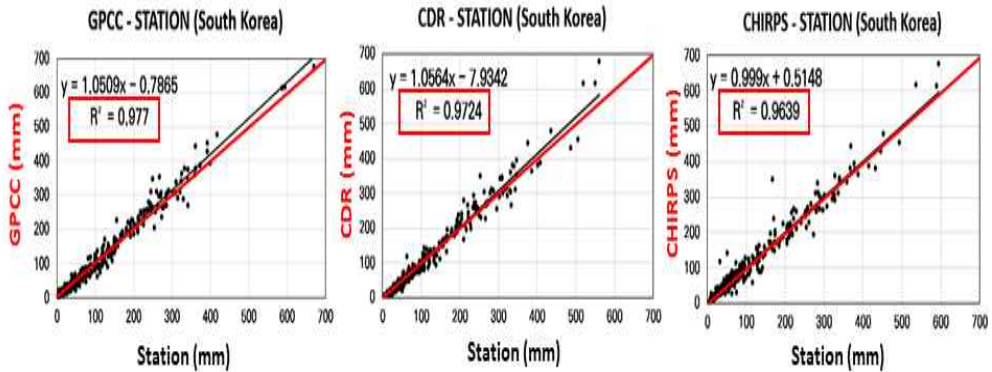


라. 농업 분야에 영향을 미치는 토양수분, 증발산량, 강수량, 식생 네 가지를 농업가뭄요소로 설정하였으며, 농업가뭄요소를 통하여 농업가뭄을 판단할 수 있는 지표를 농업가뭄(밭 중심) 파라미터로 제시하였다. 가뭄의 특성상 장기간에 걸쳐 주기적인 데이터 취득이 중요하므로 시간 및 공간해상도에 있어서 준수한 데이터 취득이 가능한 MODIS 영상을 활용하여 농업가뭄 파라미터(ESI, 실제증발산량 및 잠재증발산량)를 선정하였다.

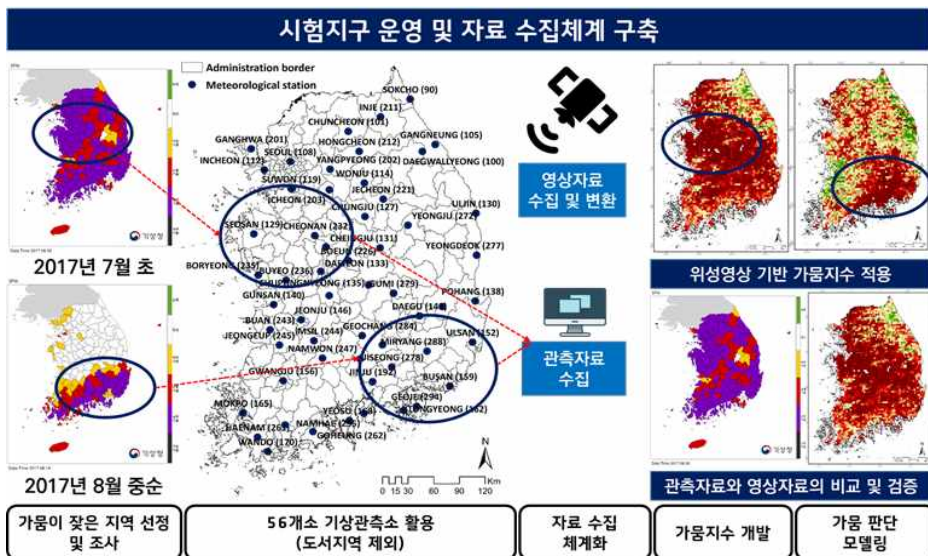
4. 위성영상 기반 농업가뭄 모니터링 모델 개발

가. 여러 강우 위성영상 중 가장 높은 해상도를 가지고 있는 CHIRPS(Climatology Hazards Group InfraRed Precipitation with Station) 영상을 활용하여 SPI를 산정할 수 있으며 지상 관측자료를 활용하여 산정한 SPI와 비교하여 적용성을 평가할 수 있다.

강우 위성영상을 활용하여 취득한 강수량과 기상관측소의 강수량 자료와 상관성 분석을 통하여 정밀도가 높다는 것을 알 수 있었으며, 특히 CHIRPS 영상으로 산정한 SPI가 국내 적용성이 더 높다는 것을 확인하였다.

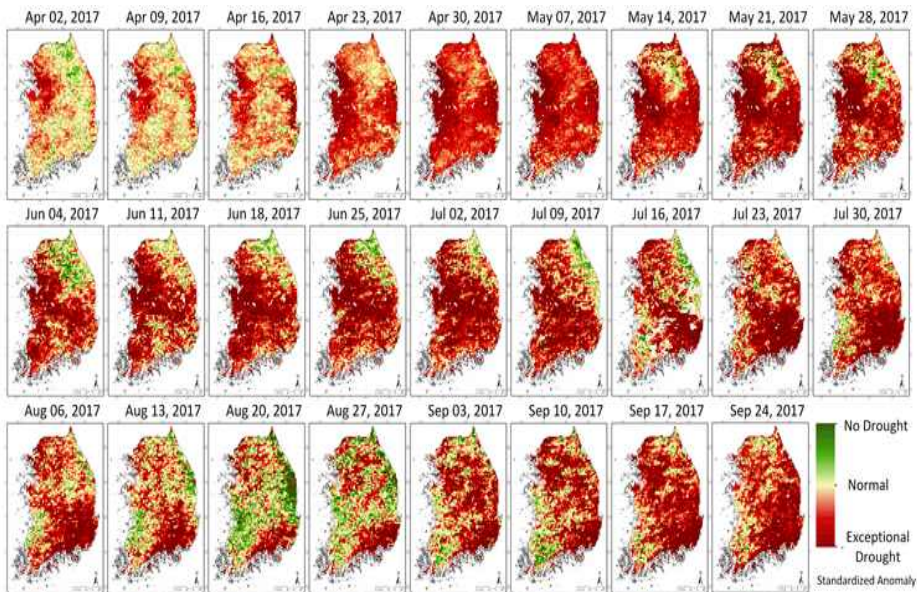


나. 본 연구에서는 기상관측자료 수집을 위하여 국내 56개소의 기상관측소를 활용하였으며, 농촌진흥청에서 제공하는 토양수분 취득지점을 이용하여 기상관측과 토양수분 취득이 가능한 지점을 후보지로 선정하였다. Test-bed를 선정하여 위성영상을 통해 취득한 데이터의 적합성을 평가하고 이를 이용한 가뭄지수 적용 및 모니터링 모듈 개발로 가뭄 경향을 확인하였음. 또한, Test-bed를 활용하여 다른 가뭄지수에 대한 비교 및 분석을 통해 위성영상 기반 농업 가뭄 모니터링 모델의 적용성을 검토할 수 있을 것으로 판단된다.



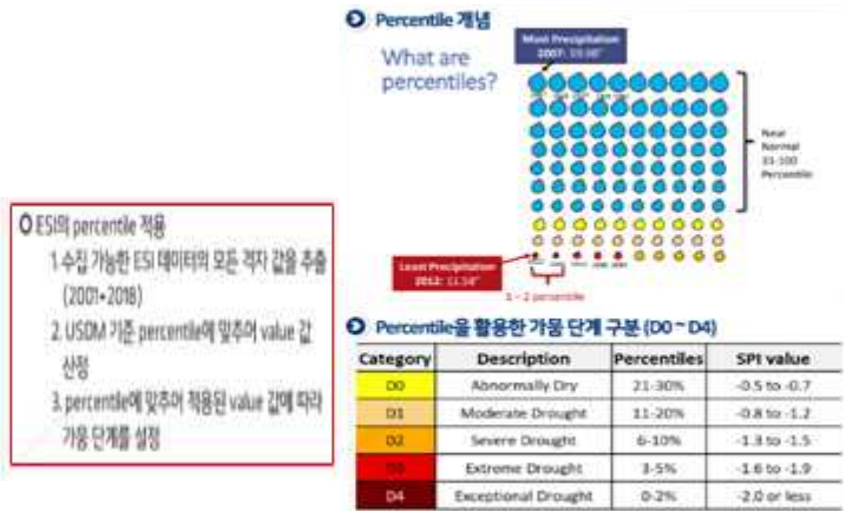
다. Evaporative Stress Index(ESI)는 증발산량을 활용한 위성영상 기반 가뭄지수이며, 가뭄 판단에 대하여 SPI와 비교하여 더 민감하고 적용성이 높다는 연구결과를 바탕으로 2017년과 국내 실제 가뭄사상과 비교하였다.

위성영상은 격자 기반이기 때문에 시·군구 단위의 가뭄 경향 확인이 가능하며, 2017년 실제 4월부터 시작한 극심한 가뭄의 주요 시기 및 발생지역과 공간분포가 유사한 것으로 판단된다.

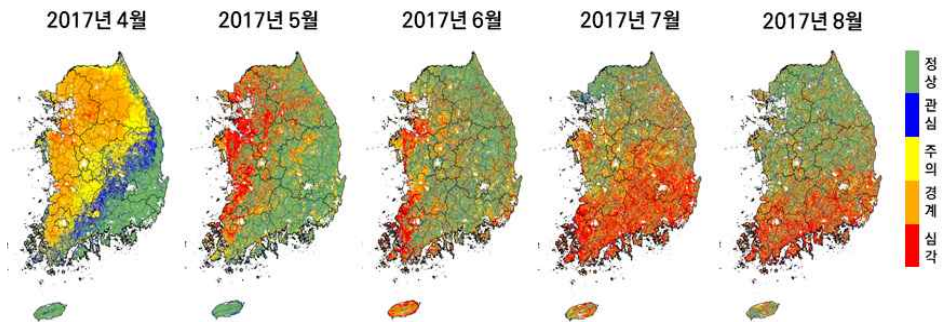


라. Percentile은 가뭄 분석에 사용된 모든 매개 변수에 적용이 가능하며, 사용 가능한 모든 데이터를 활용할 수 있고 과거에 발생한 가뭄을 고려하여 지표를 사용할 수 있는 장점이 있다. ESI를 Percentile 적용하여 수집 가능한 ESI 데이터의 모든 격자 값을 추출하고 NDMC에서 활용하고 있는 USDM 기준 Percentile에 맞추어 Value를 산정하고 산정된 Value에 따라 가뭄 단계를 설정하였다. 또한, 국내에서 표현하는 4단계의 가뭄에 맞추어 USDM 기준의 5단계의

가뭄을 4단계(관심, 주의, 경계, 심각)로 바꾸어 적용하였다.

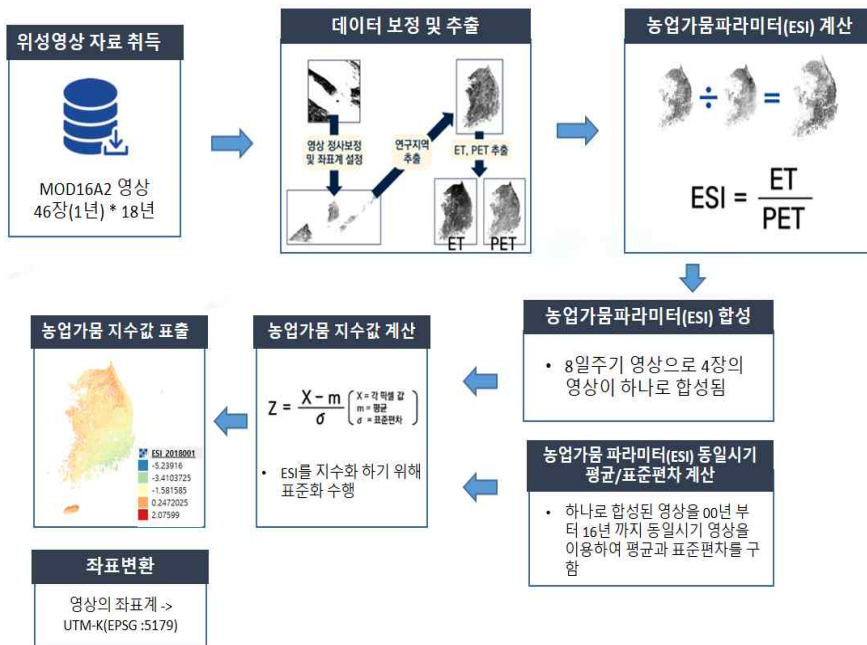


마. MOD16A2 데이터를 취득하여 전 처리 하였으며, 농업가뭄 요소 (ET, PET)를 활용하여 농업가뭄 파라미터(ESI)를 산정하고 지수화 하는 작업을 거쳐 농업가뭄지수로서 적용성을 검토한 결과 적정성이 인정되었다.



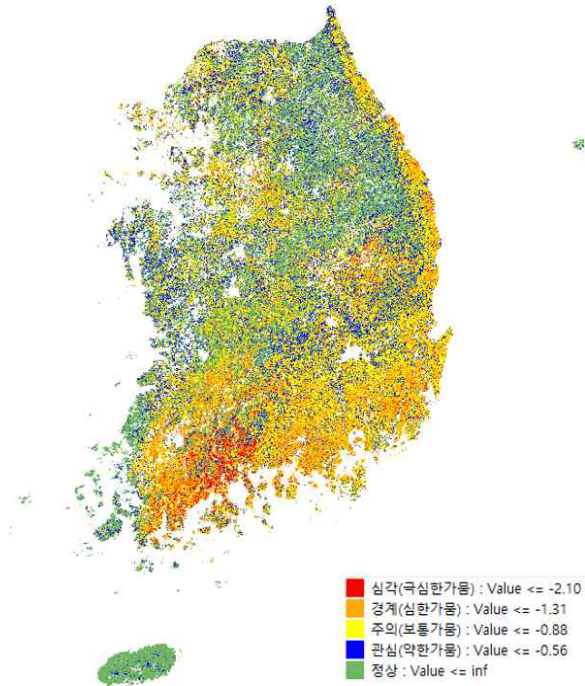
5. 위성영상 기반 농업가뭄 지도 개발

- 가. 농업가뭄 공간정보 생성을 위해 단계별로 인자들에 대하여 공간정보 생성 기법을 구현하였다. ① 인자별 공간정보 생성 기법은 ESI 영상 생성 → ② ESI 영상 합성(4주간) → ③ 농업가뭄지수 생성 → ④ 농업가뭄지수 등급별 표출 → ⑤ 동일시기 영상 평균/표준편차 계산 → ⑥ 폴더단위 배치프로세싱의 순으로 생성 기법 구현
- 나. 농업가뭄 지도를 생성하기 위해 본 연구에서 구현한 알고리즘은 농업가뭄 파라미터(ESI) 계산, ESI 합성 알고리즘, 평균·표준편차 계산, 농업가뭄 지수 값 계산, 좌표변환(UTM-K) 알고리즘으로 구성하였다.



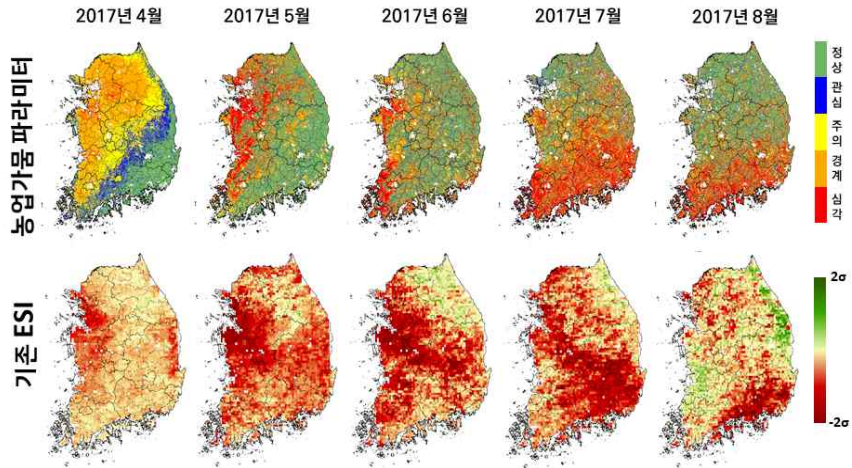
- 다. 지도 표현을 위한 등급도는 지역 데이터를 표현하는 데 있어 가장 흔하게 사용되는 방법으로 지역 간 분포의 차이를 구별되는 색상이나 서로 다른 패턴으로 표현한 지도를 의미하며 본 연구에서 기술적

분류법 내의 단계적 구분법을 사용하였다. 단계적 구분법은 표현되는 값의 범위가 결정된 상태에서 구분된 값에 따라서 지도상에 표현되는 색상을 달리하여 연구자나 일반인이 한눈에 수치가 좋고 나쁨을 확인할 수 있는 가장 좋은 분류 기법이다.

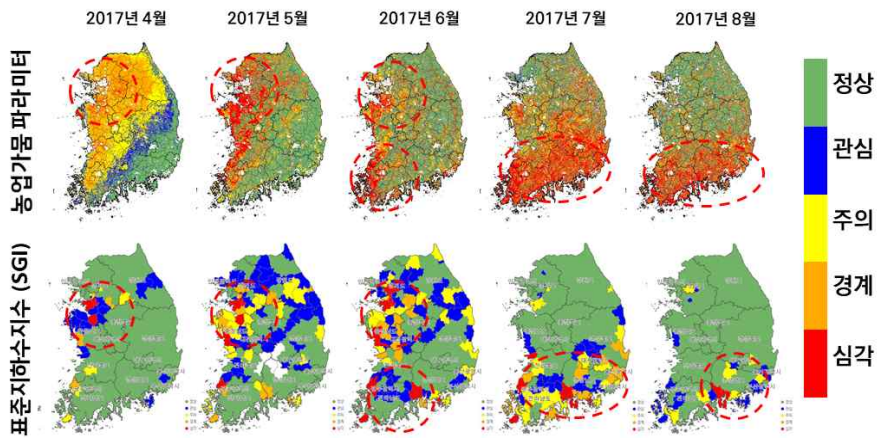


라. 해상도 500m, 주기 8일의 농업가뭄 지도의 모니터링 적용성을 평가하기 위하여 국내 실제 가뭄과의 비교를 통하여 검정하였으며, 검증 방법으로 기존 ESI, 표준지하수지수(SGI), 농업용저수지 저수율, 토지이용도, 토양유효수분율, SPI 등을 활용하여 생성한 농업가뭄지도와 비교하였다.

마. 국내 실제 가뭄사상에 대하여 기존 ESI(NASA에서 적용한 방법)와의 지도 비교를 통하여 단순히 가뭄, 비가뭄으로 구분되는 지도가 아닌 명확하게 가뭄 단계가 드러나는 농업가뭄지도로 표현 가능하다.

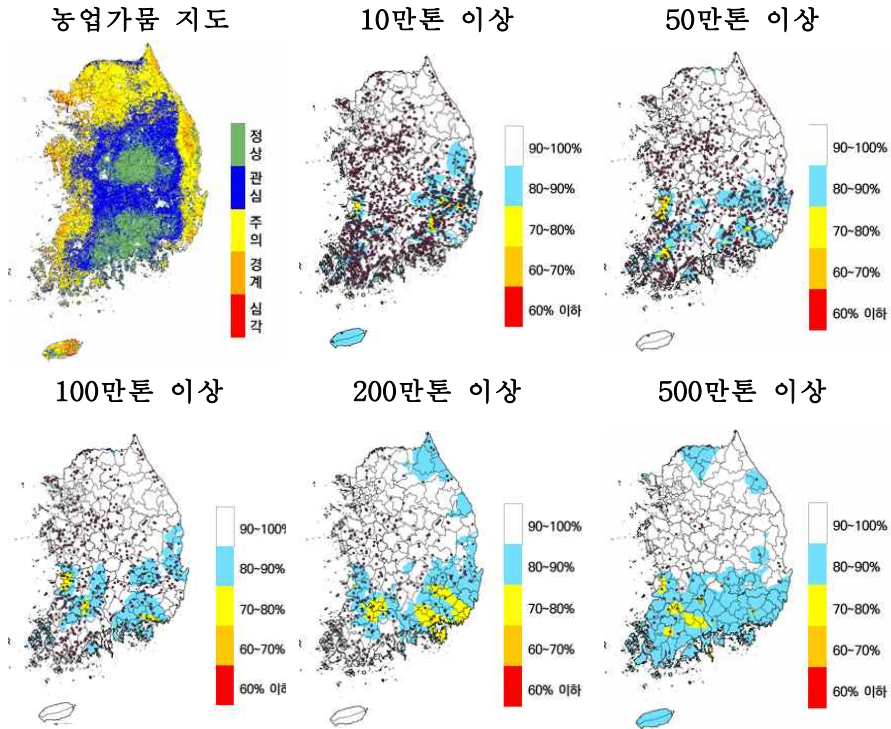


바. 지하수위를 활용한 가뭄지수 SGI와 비교를 통하여 가뭄 발생 및 가뭄 단계에 대하여 유사한 경향을 나타냈으며, 농업가뭄 지수의 경우 가뭄단계에 대하여 SGI보다 더 심화된 단계로 표현된다.



사. 10만톤 이상의 저수지를 분석하여 일반적으로 관개기가 시작되는 2019년 4월을 기준으로 유효저수량별 저수율을 비교하였음. 경기, 충청, 강원, 경상북도 지역에 대하여 대부분 저수율 90%를 기록하였으며, 남부지방은 상대적으로 적은 70~80 %의 저수율이 나타남.

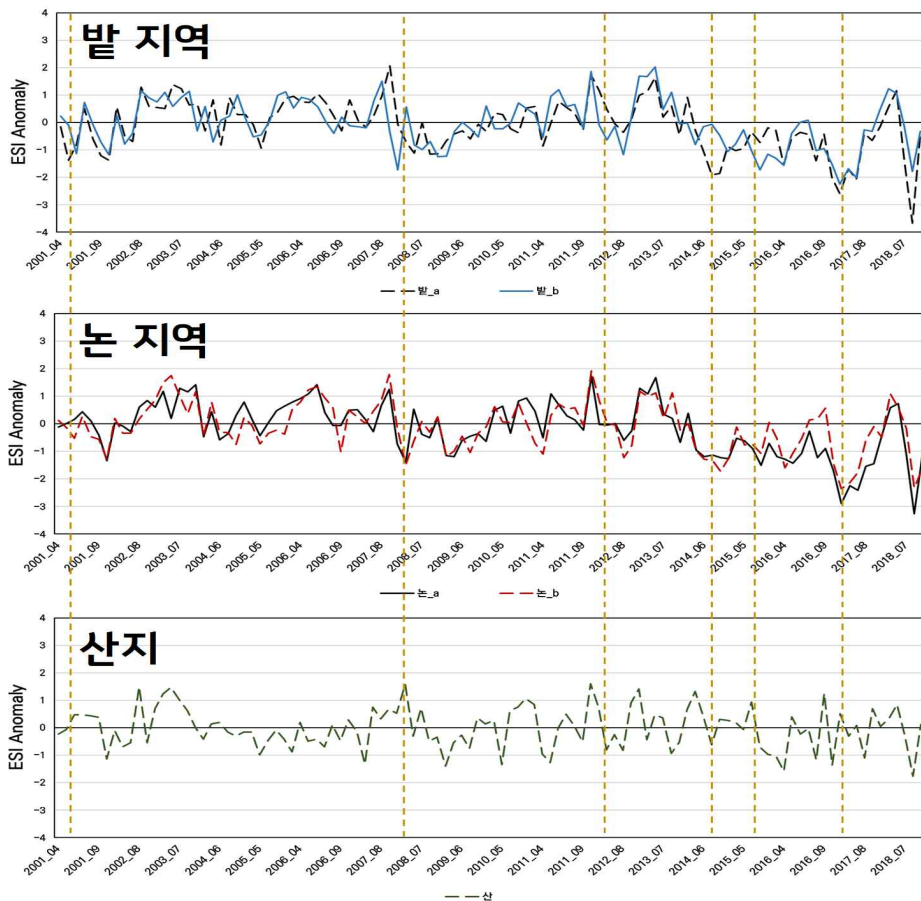
이는 가뭄의 형태가 발작물 중심의 가뭄지도와 수도작(저수율) 중심의 가뭄지도가 일치하지 않음을 알 수 있다.



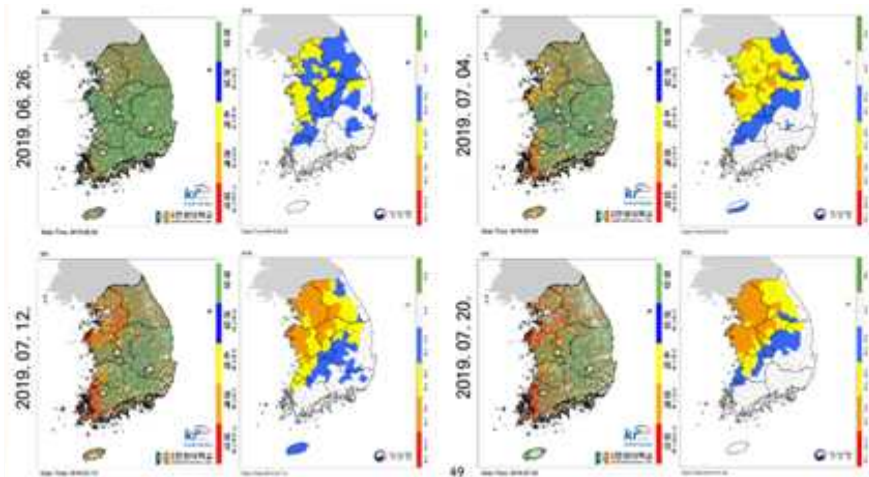
아. 2017년 4월에서 2018년 8월까지의 토양유효수분율은 60% 이하 동일 시기의 농업가뭄 지수를 파악하여 추세를 비교하였으나 두 데이터의 상관성을 찾기 어려웠다. 위성영상의 농업가뭄 지수는 지표면(5cm)에 대한 값으로 지표하(60cm) 토양 유효수분과의 상관성에 대한 연구는 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.



자. 2001년 4월~2018년 7월 사이의 대상지역의 토지피복도와 위성영상의 격자(농업 가뭄지수 값)를 비교한 결과 대지 지역은 제외(가뭄지수 값 범위에서)되고 논, 밭과 같은 작물재배 지역의 구분이 가능하였음. 그리고 대상 지역 내의 2지점의 밭, 2지점의 논, 산지 등에 대한 농업 가뭄 지수의 적용성을 분석한 결과 밭지역에 대하여 농업가뭄 지수 Value가 -1 이하인 시기는 대부분 전국적으로 가뭄 발생시기와 일치하므로 밭 가뭄 모니터링에 대하여 적용성은 상당히 좋은 것으로 판단된다.



차. 2019년 6월26에서 7월20일까지 8일 주기의 농업가뭄지도와 기상학적 가뭄 추적 방법인 SPI6와 비교에서는 8일 주기의 가뭄 경향은 일치하고 있으나 지역적 정밀한 가뭄현황 및 가뭄 분포에 있어 농업가뭄지도가 정밀하고 가뭄의 분포에 대한 경향 파악에 있어 유리함을 알 수 있었다.

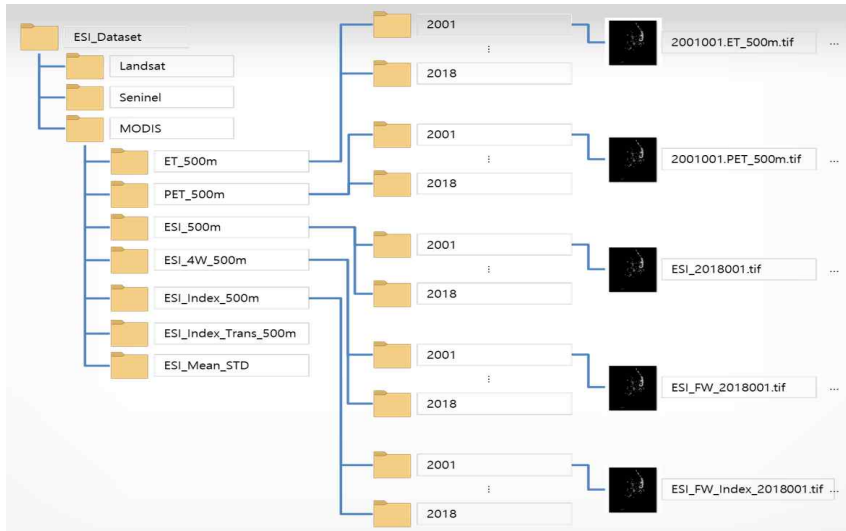


카. 농업가뭄지도 생성에 필요한 요소 기술만을 취합하여 농업가뭄지도 생성에 특화된 별도의 단독으로 실행이 가능한 시스템 구축이 필요하다. 그리고 현재 구축된 시스템은 ET와 PET 데이터를 이용하여 ESI를 계산하고 합성 영상을 이용하여 단순하게 표출된 정보만을 볼 수 있으나, 향후 공간정보 기능 추가 등을 통하여 가뭄 피해 범위, 피해 규모, 피해확산 등 과학적·정량적 정보제공을 위한 공간정보 기능 추가가 필요하며 그리고 논스톱(Non Stop), 원고(One-GO) 시스템 구축 필요하다.

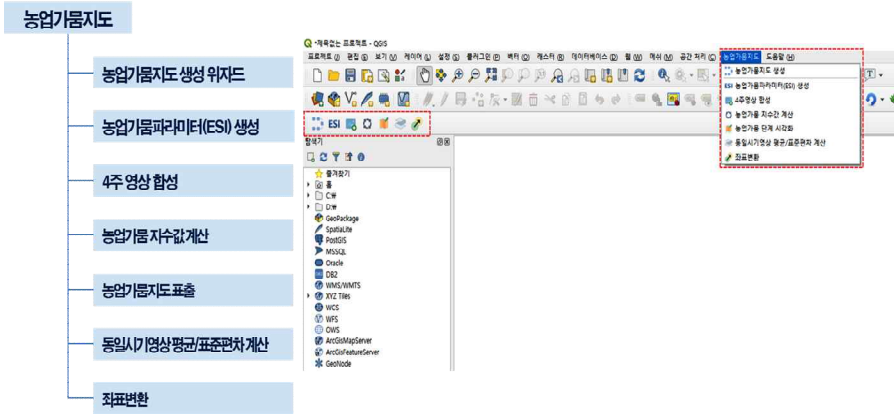
6. 위성영상 자료수집 체계 및 표준화

- 가. 중·저해상도 위성영상은 다양한 위성영상수집 시스템을 통해 무료로 내려 받아 연구 등에 활용이 가능하다. 본 연구에서 영상수집 활용 시스템은 Landsat, Sentinel 및 MODIS로 구분하여 수집하였다.
- 나. 연구 수행에 필요한 Landsat, Sentinel 및 MODIS 위성영상을 수집하였으며 Landsat-7 영상은 28썸, Landsat-8 영상은 23썸, Sentinel-2 영상은 46썸 및 MODIS는 4주 합성영상 782썸 수집하였다.
- 다. 우리나라에서 지도 및 위성영상에서 사용되는 좌표계는 다양하여 좌표계에 대한 표준화가 필요하다. 본 연구처럼 한반도 또는 남한 전체를 대상으로 할 때는 전국을 하나의 좌표계로 표현하는 단일 좌표계가 사용되어야 하며 UTM-K는 우리나라를 하나의 좌표체계로 관리하기 위해 국토교통부에서 고시한 좌표계로 본 연구에 가장 적합한 영상좌표계로 UTM-K를 좌표계 표준화 대상으로 하였다.
- 라. 위성영상 데이터 포맷은 영상 종류별로 여러 형태로 제공되므로 포맷 통일을 위하여 데이터 포맷에 대한 표준화를 선행하였다. 여기서는 Geotiff 데이터 포맷을 표준화 대상으로 함 Geotiff 포맷은 공간 정보 산업 분야에서 가장 활발하게 사용되는 포맷이며, OGC(Open Geospatial Consortium) 표준 및 WCS(Web Coverage Service) 필수 사항에 가장 적합한 표준으로 본 연구에서 Geotiff 데이터 자료 포맷을 표준화 대상으로 하였다.
- 마. 위성영상 메타데이터 기본 설계를 위해서는 국가표준, 영상정보 특성 및 기타 표준 등을 참고 대상으로 하였다. 본 연구에서는 메타데이터 기본 설계 항목을 참조하여 5개의 메타데이터 표준화 항목을 도출하였다.
- 바. 영상관리 체계를 위한 데이터 세트는 로컬 디스크 드라이브 최상위 폴더인 root에 위치하여 [ESL_Dataset]의 폴더명을 부여, 하위 폴더로는 수집한 영상을 구분하여 관리하도록 구성하였으며 MODIS 영상의 경우에는 각각의 데이터 처리 환경에 따라 폴더 구성을 다르게 하고 MODIS

영상 폴더는 농업가뭄지도 생성 단계에 따라 7개 하위 폴더로 구성하였다.



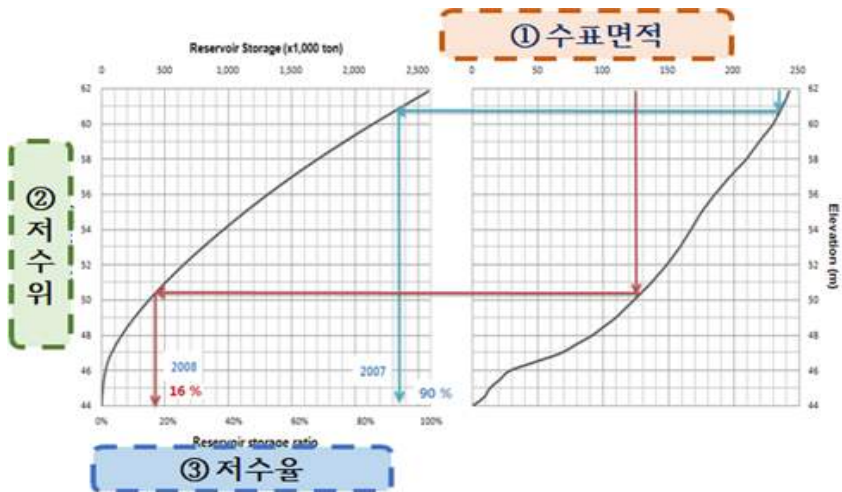
- 사. 표준화 모델에 적용할 오픈소스 GIS는 시스템 구현시 고려할 요소를 참고하고, 여러 종류의 오픈소스 GIS 소프트웨어를 분석한 결과 QGIS로 선정하였다. QGIS는 현재 가장 활발하게 사용되고 있으며, 우리나라 좌표계 지원, 한글 지원 및 래스터 영상 처리 환경 지원 가능하며 또한, 소프트웨어 보급 정도, 개발 언어의 접근성, 개발 사례 및 plug-in 유용성 등을 종합적으로 분석하여 결정하였다.
- 아. 좌표변환 표준화 모듈은 전국 단일 좌표계 적용을 위한 UTM-K 좌표계 기준으로 표준화 모듈을 적용하였으며 데이터 포맷 표준화 모듈은 가장 범용적이고 표준화 기반에 적합한 Geotiff 영상 포맷을 기준으로 표준화 모듈을 적용하였다.



농업가뭄지도 생성 프로세스의 단위 기능별 6개 모듈과 통합 기능모듈 1개로 구성

7. 위성영상 기반 가용수량 분석 방안

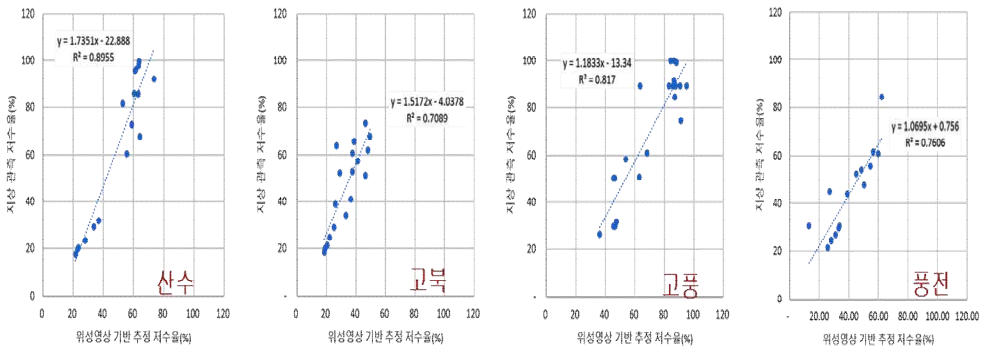
가. 저수지 수위-수표면적-내용적 조건표를 이용하여 광학 위성영상에서 분류된 수표면적에 해당하는 저수율을 추적함으로써 가용지표수 결정 하였으며 녹색광 (Green)과 근적외선 (NIR, near infrared) 밴드를 이용하는 정규수분지수 NDWI (Normalized Difference Wetness/Water Index)를 작성해서 수표면을 추출하였다.



나. 충청남도 태안군과 서산시에 위치한 한국농어촌공사 관할 저수지로서 수위-수표면적-내용적 조건표와 과거 저수율 자료가 있는 28개 저수지를 시험 대상으로 선정하였으며 시험 저수지에 대한 과거 일저수율(2016~2018년)과 수위-수표면적-내용적 조건표를 수집하고, 각 저수지의 만수면적 경계(polygon) 수치지도를 제작하였다.

다. 전처리가 끝난 Sentinel-2의 Green 레이어(band 03)와 NIR 레이어(band 08)로부터 각 영상의 NDWI 이미지를 생성하고, $NDWI \geq 0.0$ 인 픽셀을 수체로 분류하고 저수지별로 만수면적 경계 내 수체로 분류된 픽셀의 면적합을 수위-수표면적-내용적 조건표에서 해당 일의 저수율로 변환하고, 지상 계측 자료와 비교하였다.

라. 위성기반과 지상계측 저수율 사이에 결정계수가 0.9에 달하는 저수지도 있었지만, 시험 저수지 대부분은 매우 낮은 상관성을 보인 결과는 구름, 그림자, 박무/연무, 수풀, 수위-내용적 관계의 불확실성 등의 영향이 큰 것으로 추정된다.





- 마. 광학 위성영상을 저수량 추정에 이용하는데 있어서 구름, 박무/연무, 결빙/눈, 수풀, 부유물 등이 수표면적 분류의 장애 요인으로 파악하였고, 내용적의 형상이나 불확실한 수위-수표면적-내용적 관계가 저수율 결정에 주효하고 극복해야 하는 과제이다.
- 사. 또한 위성영상 기반의 가용지표수 분석 기술의 고도화와 실용화를 위해서는 유사한 분광정밀도를 갖는 광학위성을 혼용하고, Radar, Lidar, Altimetry 등 다양한 센서와 융합하는 등 소규모 저수지에 서의 수표면적 변화를 모니터링 할 수 있는 영상수집 및 분석 기술의 개발이 요구되며 저수지의 내용적 변화를 반영할 수 있도록 기존 수위-수표면적-내용적 관계를 검토하고 최신화 하는 과정과 자료 활용 기반 구축이 추진되어야 할 것이다.



참고문헌



1. 국립지리원, 2003, 메타데이터 표준화 연구
2. 국립재난안전연구원, 2016, 중해상도 위성영상을 활용한 재난분석 활용 기반기술 개발(I), 국립재난안전연구원 연구보고서
3. 국토연구원, 2015, 연구 및 교육용 공간정보기술 통합플랫폼 개발 최종 보고서
4. 남원호, Tadesse, T., Wardlow, B.D., 장민원, 홍석영, 2015. 식생가뭇반응지수 (VegDRI)를 활용한 위성영상 기반 가뭇 평가. 한국농공학회논문집, 57(4): 1-9.
5. 남원호, 최진용, 장민원, 홍은미, 2013, 저수지 가뭇지수를 활용한 농업 가뭇 위험도 평가. 한국농공학회논문집, 55(3): 41-49.
6. 농림축산식품부, 2011, 기후변화에 따른 농림산업의 영향
7. 박주성, 이원희, 조명희, 2016, Landsat-8 OLI 영상과 식생 및 수분지수를 이용한 하천유역 토지피복분류 정확도 개선, Vol.19(2): 98-106. <http://dx.doi.org/10.11108/kagis.2016.19.2.098>
8. 박민우, 김선주, 권형중, 김필식, 강승목, 이재혁, 2017, 농업가뭇인자 미세측 지역의 농업가뭇 추정을 위한 기상학적 가뭇지수의 활용성 평가, 한국농공학회논문집, 59(5): 127~136.
9. 서찬양, 이종진, 박재영, 최민하, 2012, MODIS 인공위성 이미지를 이용한 Priestley-Taylor 기반 공간 잠재 증발산 산정: 낙동강 유역을 중심으로, 대한원격탐사학회 제28권 제2호, pp. 521-529.
10. 서찬양, 한승재, 이정훈, 최민하, 2012, 인공위성 데이터 기반의 공간 증발산 산정 및 에디 공분산 기법에 의한 플럭스 타워 자료 검증, 대한원격탐사학회 제28권 제4호, pp. 435~448.
11. 수문기상협력센터, 2018, 위성활용 농업용수관리 통합 모니터링 체계 구축
12. 신용철, 최경숙, 정영훈, 양재의, 임경재, 2016, 원격탐사자료를 이용한 시·공간적으로 분포되어 있는 토양수분산정 및 가뭇평가: (I) 토양수분, 한국물환경학회지, 32(1): 60-69.
13. 신용철, 이태화, 김상우, 이현우, 최경숙, 김종건, 이기하, SMAP 토양수분 이미지를 이용한 농업가뭇 평가 기법 개발, 한국농공학회논문집, 59(1): 57-70.

14. 장중석, 2019, 농업가뭄의 수문기상학적 특성 및 공간적 분포에 관한 연구, 한국농공학회논문집, 61(2): 105~115.
15. 예철수, 2016, 블록 기반의 영상 분할과 수계 경계의 확장을 이용한 수계 검출 대한원격탐사학회지 Vol.32(5): 471-482 <http://dx.doi.org/10.7780/kjrs.2016.32.5.6>
16. 정승택, 장근창, 강신규, 김준, 2009, 동아시아 지역의 플릭스 타워 관측지에 대한 MODIS 위성영상 기반의 증발산 평가, 한국농림기상학회지 제11권 제4호, pp. 174~184.
17. 한국정보사회진흥원, 2006, Opens Source 기반의 GIS 구축 지침 개발에 관한 연구
18. 2019년 가뭄종합대책 2019.1 관련부처합동(행안부, 농식품부, 환경부, 기상청)
19. Avisse, N., A. Tilmant, M. F. Muller, and H. Zhang, 2017, Monitoring small reservoirs' storage with satellite remote sensing in inaccessible areas, Hydrology and Earth System Sciences, Vol.21: 6445-6459. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6445-2017>.
20. Gao, B., 1996, NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, Remote Sensing of Environment, Vol.58(3): 257-266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3).
21. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*, Food and Agriculture Organization, Rome.
22. Anderson, M. C., J. M. Norman, G. R. Diak, W. P. Kustas, and J. R. Mecikalski, 1997. A two-source time-integrated model for estimating surface fluxes using thermal infrared remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 60(2): 195-216. [doi:10.1016/S0034-4257\(96\)00215-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00215-5).
23. Anderson, M. C., J. M. Norman, J. R. Mecikalski, J. A. Otkin, and W. P. Kustas, 2007. A climatological study of evapotranspiration and moisture stress across the continental U.S. based on thermal

- remote sensing: I. model formulation. *Journal of Geophysical Research* 112: D10117. doi:10.1029/2006JD007506.
24. Anderson, M. C., C. Hain, J. Otkin, X. Zhan, K. Mo, M. Svoboda, B. Wardlow, and A. Pimstein, 2013. An intercomparison of drought indicators based on thermal remote sensing and NLDAS-2 simulations with U.S. drought monitor classifications. *Journal of Hydrometeorology* 14: 1035-1056. doi:110.1175/JHM-D-12-0140.1.
 25. Anderson, M. C., C. A. Zolin, C. R. Hain, K. Semmens, M. T. Yilmaz, and F. Gao, 2015. Comparison of satellite-derived LAI and precipitation anomalies over Brazil with a thermal infrared-based Evaporative Stress Index for 2003-2013. *Journal of Hydrology* 526: 287-302. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.01.005.
 26. Anderson, M. C., C. A. Zolin, P. C. Sentelhas, C. R. Hain, K. Semmens, M. T. Yilmaz, F. Gao, J. A. Otkin, and R. Tetrault, 2016. The Evaporative Stress Index as an indicator of agricultural drought in Brazil: An assessment based on crop yield impacts. *Remote Sensing of Environment* 174(1): 82-99. doi:10.1016/j.rse.2015.11.034.
 27. Brown, J.F., Wardlow, B.D., Tadesse, T., Hayes, M.J. Reed, B.C., 2008. The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A new Integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GIScience & Remote Sensing*, 45(1): 16-46.
 28. datavizcatalogue.com
 29. Geospatial World, 2009, GeoTIFF - A standard image file format for GIS applications
 30. <https://eos.com/blog/7-top-free-satellite-imagery-sources-in-2019/>
 31. <https://portal.hdfgroup.org/display/HDF5/Introduction+to+HDF5>
 32. Nam, W.H., Tadesse, T., Wardlow, B.D., Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Hong, E.M., Pachepsky, Y.A., Jang, M.W., 2018. Developing the vegetation drought response index for South Korea (VegDRI-SKorea) to assess the vegetation condition during drought

- events. *International Journal of Remote Sensing* 39(5): 1548-1574.
33. Ogilvie, A., G. Belaud, S. Massuel, M. Mulligan, P. L. Goulven, and R. Calvez, 2018, Surface water monitoring in small water bodies: potential and limits of multi-sensor Landsat time series, *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol.22: 4349-4380. <https://doi.org/10.5194/hess-22-4349-2018>.
 34. Otkin, J. A., M. C. Anderson, C. Hain, and M. Svoboda, 2014. Examining the relationship between drought development and rapid changes in the Evaporative Stress Index. *Journal of Hydrometeorology* 15: 938-956. doi:10.1175/JHM-D-13-0110.1.
 35. Otkin, J. A., M. Svoboda, E. D. Hunt, T. W. Ford, M. C. Anderson, C. Hain, and J. B. Basara, 2018. Flash droughts: A review and assessment of the challenges imposed by rapid-onset droughts in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 99(5): 911-919. doi:10.1175/BAMS-D-17-0149.1.
 36. Reed, B. C., M. D. Schwartz, and X. Xiao, 2009. Remote sensing phenology: Status and the way forward. *Phenology of Ecosystem Processes* 231-246. doi:10.1007/978-1-4419-0026-5_10.
 37. Rowhani, P., M. Linderman, and E. F. Lambin, 2011. Global interannual variability in terrestrial ecosystems: Sources and spatial distribution using MODIS-derived vegetation indices, social and biophysical factors. *International Journal of Remote Sensing* 32(19): 5393-5411. doi:10.1080/01431161.2010.501042.
 38. Wikipeida, Geotiff



부 록

1. 기상자료
2. 농업가뭄지도 생성 모듈 사용자 설명서



부 록

부록-기상자료

관측소	구분	3월			4월			5월			6월			7월			계				
		상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순					
경기 강화	2012	13	3.1	12	28.1	39.5	1	81.1	121.6		8.8	1.2	10	0.2	80	80.2	129.6	115.7	38.5	283.8	
경기 강화	2013	0.3	22.3		22.6	19	6.4	21.6	47.0	34.5	44.1	94.5	173.1	0.3	28.6	30.3	176.3	216.5	174.1	566.9	
경기 강화	2014	1	0.5	2	3.5	0	0.5	22	22.5	7	58.5	24	89.5	29	2	33	7.5	0	158	165.5	
경기 강화	2015	3	0	2	5	9.7	31.5	0.2	41.4	4	22.5	0.5	27	1.5	28	52.4	0	96.5	75.8	172.3	
경기 강화	2016	51.5	0.7	0.1	52.3	7	64.1	22	93.1	106.5	53	32.3	191.8		15.8	3.6	19.4	193.3	59.5	73.6	326.4
경기 강화	2017	5.1		6.6	11.7	42.6	22.8	0	65.4	5.5	17.1	4	26.6	35.5	0.5	5.6	41.6	172.5	50.2	76.2	298.9
경기 강화	2018	25	6.4	0.2	31.6	25.6	6	82	113.6	29	104.7	17	150.7	11.9	19.5	100.1	126	5.7	19	150.7	
경기 강화	2019		15.5	5.2	20.7	13.1	1.5	13.7	28.3	0	65	67.3	132.3	30	10.1	3.3	4.5	2.2	301.2	307.9	
경기 강화	1990 ~ 2019				33.7				68.9								126.8				358.5
경기 파주	2012	14.5	3.5	14.4	32.4	43.5	3	75	121.5		23.5	2.9	26.4	0	0.4	80.8	63	207	23	293	
경기 파주	2013	1	25		26	24.5	8.8	25	58.3	29.1	25.5	85	139.6	0.3	30.9	33.9	193	299	200	692	
경기 파주	2014	0.9	3.2	1	5.1	2.1	1.1	15.5	18.7	4.2	41.3	25.2	70.7	46.1	1.2	12.1	36.8	0.1	127.7	164.6	
경기 파주	2015	4.6	0.1	3	7.7	28.5	34.4	0.5	63.4	3.5	22.6	0.7	26.8	3.7	56.1	23	82.8	62.9	157.2	220.1	
경기 파주	2016	56.2	1.2	0	57.4	5.1	64.9	19.3	89.3	86.3	39.5	31.9	157.7	0.3	25.9	2.4	28.6	282.2	50.2	45.5	377.9
경기 파주	2017	5.1	0	3.9	9	33.9	31.8	0	65.7	10.8	15.6	17.7	44.1	26.7	1.7	14.3	208.1	56.5	99.7	364.3	
경기 파주	2018	29.3	7	0	36.3	45	9.7	67.7	122.4	45.3	144.1	18.8	208.2	10	34.5	92.5	111.3	16	0.1	127.4	
경기 파주	2019		19.9	5.6	25.5	15.5	3.6	19.5	38.6		29.3	7.8	37.1	37.8	23.6	0.8	62.2	31.8	218.8	259.6	
경기 파주	2002 ~ 2019				32.6				77.3				100.3								404.3

관측소	구분	3월			4월			5월			6월			7월			계				
		상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순					
경기 안성(천안)	2012	13.3	6.5	25.1	44.9	38	0.6	43	81.6	0.3	16	0.5	16.8	1	21.6	52.5	87	150.5	15	252.5	
경기 안성(천안)	2013	6.5	32	1.5	40	18	15.8	22.5	56.3	24	29	70.5	123.5		93.6	8.5	63.6	106.1	138.5	308.2	
경기 안성(천안)	2014	5.8	24.8	10.3	40.9	3	5.6	53.5	62.1	3.1	25	6.5	34.6	49.5	16	8.4	55	140	44	239	
경기 안성(천안)	2015	1.3	19.5	2.5	23.3	35.1	44.5	8	87.6	6.5	20	1	27.5	0.5	37.5	48	10.8	30	96	136.8	
경기 안성(천안)	2016	15.5	1		16.5	19.8	70.4	28.1	118.3	53.4	35.5	18.3	107.2	0	0.7	35.5	251.8	31.2	81.3	364.3	
경기 안성(천안)	2017	3.5	0.1	2.9	6.5	13.6	29.3	0	42.9	7	1.7	5.6	14.3	5.5		10.1	347.1	279.9	161.1	788.1	
경기 안성(천안)	2018	33.6	24.9	3.7	62.2				0.0				0							0	
경기 안성(천안)	2019	0	19.4	7.5	26.9	23.8	0.8	19.3	43.9	23.5	19.3	42.8	80.4	0	4.5	84.9	10.5	31	193.2	234.7	
경기 안성(천안)	1990 ~ 2019				39.6				69.3				79.7								280.1
경기 화성(수원)	2012	16.1	6.5	20.5	43.1	66.5	1.5	57.5	125.5		11.8	4.7	16.5	0.3	0	100.5	331.5	234.5	6.3	572.3	
경기 화성(수원)	2013	7.5	39.7	1	48.2	22.5	14	33	69.5	26.5	36	66.5	129	0	68	1.6	91	170.5	144.4	405.9	
경기 화성(수원)	2014	5.6	3.6	1.7	10.9	1.2	5.2	49.3	55.7	9.4	40.7	14.3	64.4	46.7	7	14.4	25.2	116.7	122.1	264	
경기 화성(수원)	2015	3.6	7	1.9	12.5	46	47.1	6.1	99.2	5.1	26.4	1.1	32.6	0.3	13.5	16.4	1.1	47.5	177.2	225.8	
경기 화성(수원)	2016	54.8	0	0	54.8	12.4	54.7	12.1	79.2	79.8	42.5	34.1	156.4	0.2	29.1	8.1	188.4	60.1	69.2	317.7	
경기 화성(수원)	2017	7.8		1.2	9	36.7	15.8	0	52.5	7.5	4	11	22.5	12.6	0.3	14.7	318.2	156.2	210.1	684.5	
경기 화성(수원)	2018	32.6	51.3	2.1	86	45.9	9.6	73.3	128.8	26.8	134.8	34.8	196.4	1.5	4	101.5	214.4	4.3	4	222.7	
경기 화성(수원)	2019		28.3	11.3	39.6	20.9	0.7	22	43.6	0	18.7	8	26.7	60.7	3.2	4.9	12.1	4.7	174.1	190.9	
경기 화성(수원)	1990 ~ 2019				42.8				73.8				95.6								381.2

관측소	구분	3월			4월			5월			6월			7월								
		상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계					
강원	강릉	49.5	25.7	51.5	126.7	52	4	61.7	117.7	10.6	19.6	25	55.2	0.4	13.1	17.1	30.6	119.2	162.7	3	284.9	
강원	강릉		64.4	17.4	81.8	39	11.1	7.9	58.0	25.7	36.5	16.5	78.7	0.2	30	5.8	36	10	181	50.9	241.9	
강원	강릉	27.7	23.1	4.5	55.3	34.5	2.7	152.1	189.3	7.5	2	0.4	9.9	20	12.2	23.5	55.7	59.5	6	44	109.5	
강원	강릉		19.1	3	22.1	39.8	37		76.8	1	1.9	0.2	3.1	3.5	9.5	162.5	175.5	37.9	5.6	19.4	62.9	
강원	강릉	16.8	2	10.5	29.3	27	25.5	20.5	73.0	29	4.5	0.1	33.6	0.2	17.3	23.2	40.7	252.1	152	20.1	424.2	
강원	강릉	19	7.5	22	48.5	20	19.5	0.3	39.8	2.5	8.5	14	25	18.2	1	8	27.2	162.7	26.5	48.9	238.1	
강원	강릉	72	19.5	2.5	94	43.3	27.1	81	151.4	36	123	3.9	162.9	0.6	0.5	37.5	38.6	179.5	12	4	195.5	
강원	강릉	11.5	20.1	18	49.6	36		49.5	85.5	2	2	0.5	4.5	85	39.5	7.7	132.2	61.7	130.5	28.6	220.8	
강원	강릉				66.9				82.4				78.6				116					242.7
강원	철원	13.8	3.3	16.3	33.4	57	7.5	82	146.5	0.2	21.9	2.2	24.3	13.6	0.6	94.5	108.7	41.5	153.6	32.6	227.7	
강원	철원	2.5	21.5		24	26.1	6.5	32	64.6	19.5	11.6	53.5	84.6	0.4	11.8	11.1	23.3	219.7	489	300.5	1009.2	
강원	철원	0	7	0.1	7.1	2	0.5	11.5	14.0	17.1	41.5	23	81.6	37.6	12	26	75.6	56.5	11.2	119	186.7	
강원	철원	3.3	0	1.5	4.8	46.8	51.5	0	98.3	4.5	31	0.3	35.8	1.5	36.6	41.5	79.6	1.9	83.1	373	458	
강원	철원	44.7	0.5	0	45.2	4.5	69.6	14.7	88.8	82.5	37.7	29.7	149.9	0.1	23.7	3.3	27.1	282.8	57.5	120.2	460.5	
강원	철원	3.6	0.9	17	21.5	27.5	36.1	0	63.6	16.3	14.9	4.8	36	28.9	5.7	39.6	74.2	334.6	32.8	207.8	575.2	
강원	철원	22.6	11		33.6	53.1	11	75.3	139.4	48.4	196.1	18.6	263.1	0.5	22.5	99.3	122.3	135.1	36.8	2.3	174.2	
강원	철원		13.5	9.8	23.3	11.1	2.6	14.3	28		22.4	4	26.4	27.4	28.3	1.4	57.1	5.7	42.8	256.8	305.3	
강원	철원				33.2				71.05				100.7				129.4				413.9	

관측소	구분	3월			4월			5월			6월			7월								
		상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계					
강원 속초	2012	31.2	19.8	34.3	85.3	45.0	2.5	85.5	133.0	17.5	14.2	14.4	46.1	0	50.5	25.7	76.2	71.5	168.1	4.7	244.3	
강원 속초	2013	0.5	49.2	16.5	66.2	40.8	6	2.2	49.0	14.1	23	43	80.1	0.6	9	22.4	32	49.7	189.5	53.5	292.7	
강원 속초	2014	26.6	8.6	5.2	40.4	40.5	0.3	58	98.8	11	12	2	25	16.1	16.7	9.1	41.9	65.2	0	61.7	126.9	
강원 속초	2015		2.5	5.5	8	34.1	40.1		74.2	4	5.1	0.1	9.2	2	6.7	119	127.7	33	38	92.1	163.1	
강원 속초	2016	29.7		2.1	31.8	12.7	54.9	9.9	77.5	28.1	5.6	2	35.7	1.3	41.1	19.8	62.2	339.2	122.9	15.7	477.8	
강원 속초	2017	16.3	8.3	24.1	48.7	22.6	23.7	0.5	46.8	3.8	9.8	11.6	25.2	47.6	3.1	19	69.7	148	14	108.3	270.3	
강원 속초	2018	50.4	4.6		55	49	19.1	73.6	141.7	37.6	82.8	3.2	123.6	8.5	3	35	46.5	158.5	23.2	3.7	185.4	
강원 속초	2019	6.5	15	22.9	44.4	39.3	1	40.6	80.9	0.9	0.8	4	5.7	56.5	33.8	7.5	97.8	31.3	125.6	77.5	234.4	
강원 속초	1990 ~ 2019				53.9				76				83				118.8					261.8
강원 평창 (원주)	2012	10	10.5	30.4	50.9	72.5	2	50.6	125.1	4.5	17.7	5.5	27.7	13	2.5	55	70.5	286.6	159	4	449.6	
강원 평창 (원주)	2013	8	39.5	1.6	49.1	34.3	13.7	34	82.0	23	27	32.6	82.6	0.2	96	103	199.2	73.5	229.5	339.2	642.2	
강원 평창 (원주)	2014	2.7	12.6	2.5	17.8	21.5	4	22.2	47.7	10.1	15.6	9.5	35.2	14	5.1	21	40.1	23.3	3.5	91	117.8	
강원 평창 (원주)	2015	2.5	19.5	1	23	57.6	47	2	106.6	8.1	23.5	0.4	32	9.5	66.5	101	177	3.3	21.2	171.8	196.3	
강원 평창 (원주)	2016	35.7	0.8	0	36.5	20.3	36.9	14.3	71.5	41	24	22.4	87.4	0.2	26.5	9.1	35.8	271.8	62.6	25.7	360.1	
강원 평창 (원주)	2017	8.9	0	13.8	22.7	17	21	0.1	38.1	4.3	11.2	14.6	30.1	18.3	46	50.8	73.7	235.9	188.3	81.4	505.6	
강원 평창 (원주)	2018	27.3	26.3	0	53.6	47.8	18.7	46.1	112.6	49.9	129.9	31.5	211.3	0	0	131.8	131.8	117.1	4.6	0.8	122.5	
강원 평창 (원주)	2019	0.2	27	15.6	42.8	17.7	0.6	27.4	45.7		5.5	4.9	10.4	53.1	11.4	3.4	67.9	9.1	47.5	80.5	137.1	
강원 평창 (원주)	1990 ~ 2019				46				75.1				85.9				149.3					364.6

관속소	구분	3월			4월			5월			6월			7월								
		상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순						
		계	계	계	계	계	계	계	계	계	계	계	계	계	계	계						
강원	횡성(원주)	10	10.5	30.4	50.9	72.5	2	50.6	125.1	4.5	17.7	5.5	27.7	13	2.5	55	70.5	286.6	159	4	449.6	
강원	횡성(원주)	8	39.5	1.6	49.1	34.3	13.7	34	82.0	23	27	32.6	82.6	0.2	96	103	199.2	73.5	229.5	339.2	642.2	
강원	횡성(원주)	2.7	12.6	2.5	17.8	21.5	4	22.2	47.7	10.1	15.6	9.5	35.2	14	5.1	21	40.1	23.3	3.5	91	117.8	
강원	횡성(원주)	2.5	19.5	1	23	57.6	47	2	106.6	8.1	23.5	0.4	32	9.5	66.5	101	177	3.3	21.2	171.8	196.3	
강원	횡성(원주)	35.7	0.8	0	36.5	20.3	36.9	14.3	71.5	41	24	22.4	87.4	0.2	26.5	9.1	35.8	271.8	62.6	25.7	360.1	
강원	횡성(원주)	8.9	0	13.8	22.7	17	21	0.1	38.1	4.3	11.2	14.6	30.1	18.3	4.6	50.8	73.7	235.9	188.3	81.4	505.6	
강원	횡성(원주)	27.3	26.3	0	53.6	47.8	18.7	46.1	112.6	49.9	129.9	31.5	211.3	0	0	131.8	131.8	117.1	4.6	0.8	122.5	
강원	횡성(원주)	0.2	27	15.6	42.8	17.7	0.6	27.4	45.7		5.5	4.9	10.4	53.1	11.4	3.4	67.9	9.1	47.5	80.5	137.1	
강원	횡성(원주) 1990~2019				46				75.1				85.9				149.3					364.6
강원	양구(인제)	6.2	5.8	15.6	27.6	63	4.5	55	122.5	3.5	15.1	2.5	21.1	14.1	0.1	57.5	71.7	67.8	150.5	12	230.3	
강원	양구(인제)	7.9	32.2	3.1	43.2	13.8	10	34	57.8	18.5	23	32.5	74	0.1	16.7	79.9	96.7	145	351	137.8	633.8	
강원	양구(인제)	0.3	12.5	3	15.8	21.6	1.2	12.2	35.0	12.5	29.5	7	49	3.9	3.4	56	63.3	29.1	1	76.8	106.9	
강원	양구(인제)	2.5	2.6	5	10.1	43.4	37	0.1	80.5	6	17.4	0.3	23.7	2	11.5	30.4	43.9	30.5	39.1	166.6	236.2	
강원	양구(인제)	40.1		1.2	41.3	15.5	64.7	13	93.2	43.4	23.3	21.6	88.3	8.2	21.6	22	51.8	431.5	72.5	42.5	546.5	
강원	양구(인제)	3.5	0	21.9	25.4	27.5	28	4	59.5	0.5	18.6	14	33.1	33	5.5	67	105.5	325.5	28	170.5	524	
강원	양구(인제)	23.5	7.5		31	47.7	16	63.5	127.2	35	132.5	12.5	180	0	1.4	69.9	71.3	248.5	30		278.5	
강원	양구(인제)	4.5	17.7	13	35.2	13	4.2	26.7	43.9		11.1	6.9	18	40.5	34	22.5	97	6.5	16.4	115.5	138.4	
강원	양구(인제) 1990~2019				33.4				70.7				91.9				124					338.8

판속소	구분	3월			4월			5월			6월			7월								
		상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순						
충북 진천(청주)	2012	17.5	6.1	41.5	65.1	63	0.3	43.5	106.8	9.9	19.3	2	31.2	7.7	39.5	46.5	93.7	114	116.4	27	257.4	
충북 진천(청주)	2013	8	36	2.8	46.8	19	20.5	25.5	65.0	24.2	24	49.7	97.9		183	46.9	229.9	117.1	117.1	55	81.5	253.6
충북 진천(청주)	2014	2.6	30	18.5	51.1	4.1	7.1	32.5	43.7	1	25	9	35	54.6	22.9	15.1	92.6	22	22	51.6	51.5	125.1
충북 진천(청주)	2015	1	39.5	3.6	44.1	41	54.5	13.6	109.1	4	19.4	1	24.4	0.3	18.5	64.5	83.3	29.6	29.6	13.2	98.6	141.4
충북 진천(청주)	2016	9.4	3.8		13.2	23.3	70	38.8	132.1	42.8	23.4	18.2	84.4	1.1	6.5	32.3	39.9	271.7	271.7	27.4	20.9	320
충북 진천(청주)	2017	3.5	0	5.4	8.9	24.9	36.8	0	61.7	5.5	0.5	5.9	11.9	9.1		8.4	17.5	326.2	326.2	313	149.9	789.1
충북 진천(청주)	2018	45.8	33.1	2.8	81.7	52.8	31.7	48.5	133.0	26.7	42.9	22.4	92	0	0.8	62.5	63.3	267.4	267.4	0	57.5	324.9
충북 진천(청주)	2019		14	6.3	20.3	29.6	0.2	31	60.8		7	13.3	20.3	70.6	0	11.9	82.5	13.9	13.9	29.1	161.8	204.8
충북 진천(청주)	1990 ~ 2019				44.2				77.5				83.2				144.5					289.7
충북 음성(충주)	2012	21.5	9.8	35.1	66.4	32	1	51.5	84.5	8	26	27	61	7.6	2	49.2	58.8	156.6	156.6	83.1	26	265.7
충북 음성(충주)	2013	5.5	39.5	3	48	35	19.2	30.5	84.7	22	24	46.5	92.5		93	33.6	126.6	44	44	87.5	109.2	240.7
충북 음성(충주)	2014	3	24.3	10.4	37.7	10.5	6.2	22.9	39.6	2.5	13.2	10.6	26.3	6.6	10.4	46.3	63.3	15	15	41.7	35.9	92.6
충북 음성(충주)	2015	0.7	29.4	1.6	31.7	38.8	40.8	9.3	88.9	0.5	21.4	1.1	23	0.9	27.4	46.7	75	18.1	18.1	9.2	154.3	181.6
충북 음성(충주)	2016	11.2	0.6	0.1	11.9	21.7	50.2	25.4	97.3	37.4	15	17.6	70	0.9	12.4	25.6	38.9	258.2	258.2	72.4	43.8	374.4
충북 음성(충주)	2017	4.1		18.4	22.5	30.5	40.9		71.4	5.3	18.2	8.7	32.2	8.3	1.9	33.5	43.7	181.6	181.6	119.7	163	464.3
충북 음성(충주)	2018	37.3	34.9	2.9	75.1	49.8	19.4	38.7	107.9	41.5	102.9	35.6	180	2	0.1	61.6	63.7	146.8	146.8	1.3	1	149.1
충북 음성(충주)	2019	0.2	17.7	10	27.9	26.6	0.9	31	58.5		5.3	10.1	15.4	49.2	2.7	7.7	59.6	10.5	10.5	53.5	97.4	161.4
충북 음성(충주)	1990 ~ 2019				43.2				75.8				86.3				142.9					292.6

관측소	구분	3월				4월				5월				6월				7월				
		상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	
충남 천안	2012	13.3	6.5	25.1	44.9	38	0.6	43	81.6	0.3	16	0.5	16.8	1	21.6	52.5	75.1	87	150.5	15	252.5	
충남 천안	2013	6.5	32	1.5	40	18	15.8	22.5	56.3	24	29	70.5	123.5		93.6	8.5	102.1	63.6	106.1	138.5	308.2	
충남 천안	2014	5.8	24.8	10.3	40.9	3	5.6	53.5	62.1	3.1	25	6.5	34.6	49.5	16	8.4	73.9	55	140	44	239	
충남 천안	2015	1.3	19.5	2.5	23.3	35.1	44.5	8	87.6	6.5	20	1	27.5	0.5	37.5	48	86	10.8	30	96	136.8	
충남 천안	2016	15.5	1		16.5	19.8	70.4	28.1	118.3	53.4	35.5	18.3	107.2	0	0.7	35.5	36.2	251.8	31.2	81.3	364.3	
충남 천안	2017	3.5	0.1	2.9	6.5	13.6	29.3	0	42.9	7	1.7	5.6	14.3	5.5		10.1	15.6	347.1	279.9	161.1	788.1	
충남 천안	2018	33.6	24.9	3.7	62.2	48	22.5	46.5	117.0	29	35.7	18	82.7	0.2	2.6	86.1	88.9	185	0.8	0	185.8	
충남 천안	2019	0	19.4	7.5	26.9	23.8	0.8	19.3	43.9		23.5	19.3	42.8	80.4	0	4.5	84.9	10.5	31	193.2	234.7	
충남 천안	1990 ~ 2019				39.6				77.3				100.3				106.1					404.3
충남 서산	2012	20	5.2	16.4	41.6	56.5	2	55	113.5	0	13.5	1	14.5	2.9	0.2	88	91.1	97.8	163.1	5.9	266.8	
충남 서산	2013	11.1	47.4	2.3	60.8	19.9	15.5	26.4	61.8	19.9	32.4	62.6	114.9		94.4	0	94.4	41.6	90	82.2	213.8	
충남 서산	2014	2.6	21.9	6.7	31.2	1.1	5.9	78.6	85.6	5.9	40.7	6.1	52.7	52.5	13.8	3	69.3	31.7	31.3	88.7	151.7	
충남 서산	2015	1	14.7	4.9	20.6	53.5	42.6	20.7	116.8	5.6	32.2	2.8	40.6	0	25.3	38.8	64.1	2.7	61.7	94.1	158.5	
충남 서산	2016	23.8	0.5		24.3	11.5	52.1	23.4	87.0	73.7	40.4	39.6	153.7	1	5.1	30.7	36.8	107	46.9	141.7	285.6	
충남 서산	2017	4.8		0	4.8	24.6	14.3	0	38.9	11	7.3	9.6	27.9	8	0.2	15.1	23.3	178.3	36.7	112.8	327.8	
충남 서산	2018	43	27	6.6	76.6	43.3	17.9	71.6	132.8	39.6	87.5	20.6	147.7	15	2.7	144.6	162.3	152.6	0.3	0	152.9	
충남 서산	2019		40	3.7	43.7	27.8	1.7	14.4	43.9	0	12.3	7.8	20.1	50.9	0.1	5.3	56.3	12.1	70	92.4	174.5	
충남 서산	1990 ~ 2019				43				77.3				100.9				148					272.1

관측소	구분	3월			4월			5월			6월			7월									
		상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계						
전북 고창	2012	27	0.5	44.3	71.8	17	7.1	58.4	82.5	18.5	20.5	1.5	40.5	7.2	2.1	34.6	43.9	96.4	202			298.4	
전북 고창	2013	3.9	78.1	0	82	20.6	9.1	26.2	55.9	13.3	10.4	70.9	94.6	0	56.8	9.7	66.5	320.4	1.2			426.9	
전북 고창	2014	5.2	34.2	46.8	86.2	0.1	24	43.8	67.9	3.7	38.6	0.8	43.1	17.3	2.8	7.1	27.2	121.1	130.3			267.1	
전북 고창	2015	3.1	33	0	36.1	43	21	46.6	110.6	9	21.4	3.7	34.1	1.9	95.7	59	156.6	27.7	133.4			181.4	
전북 고창	2016	3.6	16.4		20	53.3	40.9	82	176.2	56.7	21	28.1	105.8	16.9	12.8	44.7	74.4	156.3	26.4			198.5	
전북 고창	2017	7.6	6.8	7.8	22.2	16.6	26.4	5.8	48.8	25	0.2	5	30.2	9.1	0	8.6	17.7	84.9	130.5			277.8	
전북 고창	2018	26.6	41.6	9.4	77.6	47	21.6	33.4	102.0	33.6	15.1	15.5	64.2	0.3	3.2	164.9	168.4	183.7				183.7	
전북 고창	2019	5.3	10.1	2	17.4	37	2.1	40	79.1		32.7	25.2	57.9	16.1	0	56.1	72.2	19.5	88			142.9	
전북 고창	1990 ~ 2019				47.5				89.3				66.2				83.7						265.8
전북 정읍	2012	27	1.1	44.5	72.6	16	5.6	35.5	57.1	11.6	17	3.5	32.1	7.2	2	65	74.2	64	179.1				243.1
전북 정읍	2013	5.5	71.2		76.7	23.4	10.5	48.5	82.4	21	16	38.3	75.3	9.5	29.2	10.9	49.6	250	2			324.1	
전북 정읍	2014	5	42.2	37.5	84.7	0.2	32.5	46	78.7	9.5	29.8	0.7	40	29	6.8	9.7	45.5	82.6	105.8			250.4	
전북 정읍	2015	4.5	30.5	1	36	38.5	31.5	45.5	115.5	16.5	15	5.5	37	1	67.7	66.5	135.2	18	116.5			186	
전북 정읍	2016	58.6	18.5		77.1	67.5	49.3	74.5	191.3	50.6	33.3	29	112.9	8.8	11	31.9	51.7	181.5	22.5			205.1	
전북 정읍	2017	9.1	4.7	8.1	21.9	18.5	29.7	7.9	56.1	44	3.6	53.9	101.5	6.7		10.2	16.9	65.1	148			258.2	
전북 정읍	2018	43.7	46.2	10.7	100.6	53.9	28.4	35.4	117.7	36.5	18.8	30.6	85.9	0.1	1.2	149	150.3	145.6				145.8	
전북 정읍	2019	4.3	14.6	5.6	24.5	48.1	3.5	44	95.6		37.1	26.6	63.7	21.3	0	50.5	71.8	18.8	77.2			258.8	
전북 정읍	1990 ~ 2019				56.6				83.8				88.1				143.1						277.1

관측소	구분	3월			4월			5월			6월			7월										
		상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계							
전북 김제 (부안)	2012	31.5	2.5	33	67	16	2.9	54.5	73.4	0.7	20.1	5	25.8	5.9	0.1	44.1	50.1	89	149.5				238.5	
전북 김제 (부안)	2013	4.5	52.5		57	16.6	11.2	50	77.8	21	19	93.3	133.3		59	10.4	69.4	195.5	1.5	137.5			334.5	
전북 김제 (부안)	2014	2	35.6	41	78.6	0.2	21.6	53	74.8	7.5	33	3	43.5	51.5	12.8	1	65.3	75.5	47.5	40.1			163.1	
전북 김제 (부안)	2015	2.5	36	2.5	41	37.5	29.5	62.2	129.2	20.1	19	5	44.1	0	54.2	66.1	120.3	26	74	23.6			123.6	
전북 김제 (부안)	2016	36	16		52	55	53	71.5	179.5	52	24.6	23.3	99.9	3	13	26	42	189	28.6	3.1			220.7	
전북 김제 (부안)	2017	8	3.5	10.4	21.9	26	34	1.1	61.1	30.8		7.5	38.3	11.4		13.8	25.2	103.6	181.1	87.9			372.6	
전북 김제 (부안)	2018	51	40	7.5	98.5	61.1	31	32.5	124.6	68	17.5	27	112.5	1.5	2	101.5	105	258.2					258.2	
전북 김제 (부안)	2019	1.5	23.1	5.8	30.4	47.6	1.9	55	104.5		24.9	19.3	44.2	26.5	0.5	62	89	15.5	81	129			225.5	
전북 김제 (부안)	1990 ~ 2019				48.3				81.7				83.8				134.5						267.6	
전남 완도	2012	42	16.6	142.5	201.1	31.5	13	270.4	314.9	23.5	28.1	1.5	53.1	1.5	23.5	30.6	55.6	41.9	206.7	0.1				248.7
전남 완도	2013	17	108	0.4	125.4	52	3.5	36.9	92.4	36	53	160.5	249.5	1.2	50.9	49.7	101.8	175.2		2				177.2
전남 완도	2014	16	45.5	64.5	126	0	36.5	112.5	149.0	0.4	139	32	171.4	91.3	18	3.7	113	93.6	116.2	23.1				232.9
전남 완도	2015	3.2	73.5	4.5	81.2	87.5	61.6	197.5	346.6	45.9	113.5	5	164.4	20.5	20.9	138.1	179.5	70.6	150.5	18				239.1
전남 완도	2016	50.7	19.5		70.2	64.5	83.4	121	268.9	68.4	12.1	28.4	108.9	13.1	29.3	98.5	140.9	153.1	71	0.8				224.9
전남 완도	2017	1.4	8.8	27.8	38	52.1	16	0.3	68.4	27.7	3.7	1.4	32.8	64.7	6.3	59.5	130.5	112.1	8.6	1.7				122.4
전남 완도	2018	72.9	103	5.9	181.8	29.6	47.5	123.3	200.4	66.6	29.5	23.9	120	11.8	12.2	168.2	192.2	47.8		0				47.8
전남 완도	2019	38.9	32.9	0.6	72.4	46.4	1.9	43.4	91.7		100.9	91.2	192.1	103.1	8.2	184.6	295.9	35.5	242.4	39.7				317.6
전남 완도	1990 ~ 2019				104.7				144.3				144.1				206.3							258.3

관측소	구분	3월			4월			5월			6월			7월								
		상순	중순	취순	계	상순	중순	취순	계	상순	중순	취순	계	상순	중순	취순	계					
전남	강진(해남)	31.5	7.6	111.5	150.6	15	14.5	157.1	186.6	23.5	6.3	0.6	30.4	1	11.5	42	54.5	63.9	172.5	236.4		
전남	강진(해남)	10.5	92	0.5	103	38.5	3.1	21.5	63.1	27	22.5	96.3	145.8	0.6	56.6	17.6	74.8	198.5	0.1	13.6	212.2	
전남	강진(해남)	10.3	29.5	45.5	85.3		12.1	63	75.1	0.4	94.5	7.6	102.5	51.2	13.5	2.5	67.2	41.2	43.1	32.2	116.5	
전남	강진(해남)	1.6	27.5	0.4	29.5	56.9	35.7	80.5	173.1	23.9	67.5	4	95.4	3.7	76.6	84.8	165.1	27.2	185.3	11.8	224.3	
전남	강진(해남)	83.3	10.4		93.7	34.1	51.5	90.1	175.7	61.4	13.3	36.9	111.6	12.1	22	69.4	103.5	144.8	60.4	205.4		
전남	강진(해남)	2.2	5.4	16.4	24	26.3	16	0.4	42.7	9.6	0	0	9.6	12.3	4.5	7.6	24.4	99.9	53.2	9.6	162.7	
전남	강진(해남)	53.6	86.1	7.9	147.6	50.9	22.3	46.9	120.1	46.9	18.3	10.1	75.3	2.2	16.9	219.8	238.9	18.8		0	18.8	
전남	강진(해남)	27.6	20.8	0.6	49	29.3	3.2	28.6	61.1		83.5	62.4	145.9	29.3	1.3	14.5	45.1	1.9	170.5	9.5	181.9	
전남	강진(해남) 1990~2019				79.5				98.1				100.1				161.3					224.5
전남	무안(목포)	40.1	8	88.5	136.6	17	12.5	77.7	107.2	17.1	9.8	0	26.9	1	20.5	30.2	51.7	97.1	222.3		319.4	
전남	무안(목포)	7.6	59.5	1.8	68.9	21.1	4.3	16.2	41.6	22	22.9	95.8	140.7	0.8	72.3	11.3	84.4	196.9	0.1	27.9	224.9	
전남	무안(목포)	5.3	35.9	51.1	92.3		15.7	55.7	71.4	1.1	64.3	7.4	72.8	47.9	20	2	69.9	47.5	60.1	29.2	136.8	
전남	무안(목포)	3.9	30.3	0.2	34.4	49.7	30.2	79.7	159.6	24.8	40.8	12.2	77.8	6.2	36.2	75.4	117.8	29.2	112.9	17.5	159.6	
전남	무안(목포)	41.2	13.7		54.9	31.7	54.2	106.1	192.0	81.9	11.8	26.2	119.9	11.4	33.1	89.1	133.6	188.8	59.6	0.8	249.2	
전남	무안(목포)	3.1	9.3	16.1	28.5	24.5	17.3	4.7	46.5	13.7	0.2	0.1	14	9.8	9.7	9	28.5	54.1	49.2	34.9	138.2	
전남	무안(목포)	38	104.3	10.4	152.7	59.2	20.6	89.2	169.0	51.8	27.7	9.8	89.3	0.3	9.1	152.6	162	67.6		0	67.6	
전남	무안(목포)	14.3	24	0.2	38.5	42.5	0.9	42.9	86.3		67.9	55	122.9	69	5.9	97.4	172.3	24.6	113.6	28.8	167	
전남	무안(목포) 1990~2019				54.6				69.9				96.8				140.9					193.3

관측소	구분	3월			4월			5월			6월			7월									
		상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순							
전남 진도	2012	44	11	93.4	148.4	30.5	16.5	195.5	242.5	30.7	28.3	0.5	59.5	0.9	18.5	52.4	71.8	63	267.1	0.2	330.3		
전남 진도	2013	10.5	90	0.5	101	31.5	3.6	28.6	63.7	42	46.5	146.7	235.2	2	65	31	98	174.5			1.2	175.7	
전남 진도	2014	10.5	46.2	70.2	126.9		29	152.5	181.5	0.1	107	27.5	134.6	87.5	13.5	3.5	104.5	80.5	42.9		43.5	166.9	
전남 진도	2015	0.9	33.5	1	35.4	68	51.4	146	265.4	45.4	88.5	5	138.9	9.5	6.7	104.5	120.7	38.6	125.8		12.2	176.6	
전남 진도	2016	89	9.1		98.1	34.6	81.1	119.5	235.2	110.7	11.5	36.2	158.4	20.6	42.5	100	163.1	149.6	123.8		4	277.4	
전남 진도	2017	2	6	16.5	24.5	31.5	16	0.5	48.0	13.5	1		14.5	23	0	5.2	28.2	64.7	39		9.5	113.2	
전남 진도	2018	48	69	9.5	126.5	42	37.5	91.5	171.0	67.9	23	14.1	105	3.6	20.5	178.5	202.6	52.6				52.6	
전남 진도	2019	26	16.5	0.5	43	29	3.5	33.3	65.8		74.2	78.2	152.4	91.9	14	134.6	240.5	56.8	167		20.7	244.5	
전남 진도	1990 ~ 2019				65.5				157.1				119.1				151						172.9
전남 해남	2012	31.5	7.6	111.5	150.6	15	14.5	157.1	186.6	23.5	6.3	0.6	30.4	1	11.5	42	54.5	63.9	172.5				236.4
전남 해남	2013	10.5	92	0.5	103	38.5	3.1	21.5	63.1	27	22.5	96.3	145.8	0.6	56.6	17.6	74.8	198.5	0.1		13.6		212.2
전남 해남	2014	10.3	29.5	45.5	85.3		12.1	63	75.1	0.4	94.5	7.6	102.5	51.2	13.5	2.5	67.2	41.2	43.1		32.2		116.5
전남 해남	2015	1.6	27.5	0.4	29.5	56.9	35.7	80.5	173.1	23.9	67.5	4	95.4	3.7	76.6	84.8	165.1	27.2	185.3		11.8		224.3
전남 해남	2016	83.3	10.4		93.7	34.1	51.5	90.1	175.7	61.4	13.3	36.9	111.6	12.1	22	69.4	103.5	144.8	60.4		0.2		205.4
전남 해남	2017	2.2	5.4	16.4	24	26.3	16	0.4	42.7	9.6	0	0	9.6	12.3	4.5	7.6	24.4	99.9	53.2		9.6		162.7
전남 해남	2018	53.6	86.1	7.9	147.6	50.9	22.3	46.9	120.1	46.9	18.3	10.1	75.3	2.2	16.9	219.8	238.9	18.8			0		188
전남 해남	2019	27.6	20.8	0.6	49	29.3	3.2	28.6	61.1		83.5	62.4	145.9	29.3	1.3	14.5	45.1	1.9	170.5		9.5		181.9
전남 해남	1990 ~ 2019				79.5				98.1				100.1				161.3						224.5

관측소	구분	3월			4월			5월			6월			7월							
		상승	중승	하승	계	상승	중승	하승	계	상승	중승	하승	계	상승	중승	하승	계				
경북	경주				115.6				45.8				73.7				165.4				
경북	경주				83.5				77.2				57.9				144.5				
경북	경주				86.5				42.5				57				78.3				
경북	경주				110.3				41.6				77.7				224.7				
경북	경주				159.6				50.5				40.9				168.1				
경북	경주				66.4				31.1				25.6				125.3				
경북	경주				115.3				69.3				124.6				216.1				
경북	경주	18	6.5	5.5	30	25.5	0	60.2	85.7	14	9	23	45.5	15.5	114	175	27.5	128.2	3.5	159.2	
경북	경주				63.6				100.9				57				168.8				
경북	울진	36.5	9.5	34.5	80.5	23.5	1	105	129.5	5.5	21.1	14	40.6	5.5	21.6	7.7	34.8	110.2	123.9	1	235.1
경북	울진	0.2	44.5	2.1	46.8	23.5	13.5	6.5	43.5	15.5	30.5	43.5	89.5	1.2	144	0.9	146.1	16.9	110	19.5	146.4
경북	울진	3	36.5	22.9	62.4	17.2	5.9	213.8	236.9	1.2	3.9	2.3	7.4	39.4	11.2	26.5	77.1	40.2	0.1	11.3	51.6
경북	울진	0.5	28.6		29.1	34.7	43.9	0.2	78.8	1.8	5.6	0.6	8	4	10.3	84.8	99.1	73.5	29.9	16.8	120.2
경북	울진	13.6	3.2	10	26.8	46.3	18.3	39.2	103.8	17.1	0.5	0.4	18	2	0.6	42.8	45.4	225.1	56.4	42.4	323.9
경북	울진	2.8	7.6	20.1	30.5	12.4	42.8	0.3	55.5	12.6	1.7	14.2	28.5	20.8	1.4	0.2	22.4	68.2	21.8	41.2	131.2
경북	울진	73.9	40.6	16.1	130.6	51.4	33.6	82.1	167.1	26.2	15.8	4.2	46.2	2.9	5.6	18.5	27.0	224.3	3.7	1	229.0
경북	울진	14	22.7	11.2	47.9	55.4	0.2	50.6	106.2	0.2	8.6	8.7	17.5	96.5	9.5	36.1	142.1	27	88.8	20.1	135.9
경북	울진				57.5				77.3				70.7				106.9				190.7

관측소	구분	3월			4월			5월			6월			7월								
		상술	중술	하술	계	상술	중술	하술	계	상술	중술	하술	계	상술	중술	하술	계					
경북 문경	2012	23.5	13	61	97.5	24.6	2.2	87	113.8	2.5	27.1	12.5	42.1	7.5	6.1	52	65.6	85.5	162.4	22	269.9	
경북 문경	2013	5	37.3	3.5	45.8	32.5	19.8	42	94.3	30.5	45.5	82	158	14.6	184.2	30	228.8	105	66.5	60.5	232	
경북 문경	2014	2.2	42.5	32.5	77.2	2.6	8.5	41.5	52.6	1.5	33	22	56.5	13	40.1	50.4	103.5	34	19	10.5	63.5	
경북 문경	2015	1	43.1	4	48.1	31	44.6	7.6	83.2	12.5	30.5	1	44	1	18.9	72.2	92.1	50	29	29	108	
경북 문경	2016	36.1	6		42.1	45	67.5	55.5	168.0	56	7	10	73	2	9.5	38	49.5	334.1	57.5	16	407.6	
경북 문경	2017	0.8		23.5	24.3	42.5	38.1		80.6	15	6	4	25	31.8	2.1	28.8	62.7	265	127.1	286.6	678.7	
경북 문경	2018	65	47.5	3.5	116	57.6	38.5	61.5	157.6	66.5	40	21.6	128.1	3	0.6	59.3	62.9	174.2	0	0	174.2	
경북 문경	2019	0.4	13.5	15	28.9	43.1	0.4	57	100.5		15.5	42.5	58	56	0	26.5	82.5	18	87.8	129	234.8	
경북 문경	1990 ~ 2019				49.7				91.6				107.2				158					297.2
경북 안동	2012	19	11	28.4	58.4	17.6	2.1	61.1	80.8	4.5	27.1	5.5	37.1	17.5	10.6	30.5	58.6	94.6	78	1	173.6	
경북 안동	2013	4.5	38.8	0.5	43.8	38.5	14.5	27.6	80.6	22	30.8	44	96.8		158	29.2	187.2	77.3	40	12.9	130.2	
경북 안동	2014	0.4	31	49.5	80.9	12.5	9.5	38	60.0	0.9	16	6	22.9	15	12	22.5	49.5	22.2	23.9	23.3	69.4	
경북 안동	2015	2	33.3	4	39.3	22	41	3.5	66.5	4	20.6	1.5	26.1	3.5	47	84.9	135.4	84.5	16.4	22.6	123.5	
경북 안동	2016	39.8	6	0	45.8	39.9	32	54.4	126.3	24.2	14.7	12.5	51.4	3.5	16.7	23.2	43.4	252.8	16.7	5	274.5	
경북 안동	2017	0	1.2	26.2	27.4	25.1	57.4	0.5	83.0	5.6	9.8	6.6	22	13.6	1.1	9.3	24	178.7	78.4	197.3	454.4	
경북 안동	2018	54.4	36.4	2.7	93.5	61.8	30.7	56.2	148.7	43.1	34.5	20.5	98.1	3.1	2.4	43	48.5	153.7	0	0.3	154.0	
경북 안동	2019	4.5	15.7	13	33.2	38.8	0	47.4	86.2		27.2	22.3	49.5	35.5	0.5	52.7	88.7	11.2	32.4	63.1	106.7	
경북 안동	1990 ~ 2019				45.8				75.9				86.3				127.7					229

관측소	구분	3월			4월			5월			6월			7월								
		상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계					
경북 포항	2012	61	5.9	50	116.9	28.6	1.7	97.5	127.8	8.3	26.2	0.1	34.6	11.5	45.2	14	70.7	73	136.5	0.3	209.8	
경북 포항	2013	2	63.5	3.6	69.1	35	15.7	20.3	71.0	11	28.5	48	87.5	0.5	39.5	20.3	60.3	136.6	19.5	9.4	165.5	
경북 포항	2014	9.4	67.9	52.6	129.9	23.9	19	78.7	121.6	0	14	6.4	20.4	44.1	6.4	37.9	88.4	61.7	26.1	2.2	90	
경북 포항	2015	2.2	47.8	0	50	30.7	83.1	2.5	116.3	7.7	21.5	1.4	30.6	11.5	19.9	71.1	102.5	102.7	28.8	0.8	132.3	
경북 포항	2016	51.4	14.9	3.5	69.8	65	11.9	78.3	155.2	24.1	7.8	7.5	39.4	4	28.3	20.2	52.5	105.3	5.3	2.6	113.2	
경북 포항	2017	4.3	4.7	4.4	13.4	17.6	58.4	3.6	79.6	19.4	0	0.4	19.8	8.8	2.1	1.9	12.8	17.2	2.9	54.1	74.2	
경북 포항	2018	67.1	48.1	38.5	153.7	29.7	28.3	48.5	106.5	32.1	11.7	27.8	71.6	0.3	13.6	75.2	89.1	163	0	1.1	164.1	
경북 포항	2019	16.5	6.2	4.9	27.6	34.9	0	60.5	95.4	0	9.2	5.5	14.7	57	14.7	118.4	190.1	26.5	67.6	0.8	94.9	
경북 포항	1990 ~ 2019				61.2				82.3				85.9				128.7					194.9
경북 봉화	2012	11.1	13.5	42.5	67.1	48.5	1	65	114.5	6.5	20	13.5	40	3.5	6.5	82.2	92.2	147.5	185.6			333.1
경북 봉화	2013	3.5	45.5	2.5	51.5	21	16	25.5	62.5	23.5	31.9	66.5	121.9	5.5	137.1	17.4	160	99.5	118.7	39	257.2	
경북 봉화	2014	2.5	22.1	16.3	40.9	9	7.5	34.5	51.0	3.5	17	58.6	79.1	22.2	2.9	81.7	106.8	22.7	12.5	45.8	81	
경북 봉화	2015	1.6	27	1	29.6	19.5	45.5	1	66.0	3	28	1	32	3	45	44.9	92.9	40.1	21.1	23.9	85.1	
경북 봉화	2016	34	2.5	1.9	38.4	38.5	50.9	35.1	124.5	32.2	12	12	56.2	1	20	25	46	341	37.1	38.4	416.5	
경북 봉화	2017	0	0.5	21.1	21.6	46	40	4.5	90.5	3.2	3.6	11.5	18.3	32.9	1	3.2	37.1	143.8	59	52.5	255.3	
경북 봉화	2018	35	39.7	0.5	75.2	63.5	41.5	60	165.0	50.2	68	22	140.2	3.1	0.3	66.5	69.9	225.6	0.1	3	228.7	
경북 봉화	2019	0.5	19.7	13.5	33.7	37		21	58		70	108.5	178.5	36	22.7	98.2	156.9	4	87.6	105.5	197.1	
경북 봉화	1990 ~ 2019				48.2				83.2				101.8				149.3					275.6

관측소	구분	3월			4월			5월			6월			7월								
		상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계					
경북 상주	2012	21	11	42	74	16.4	2.8	62.2	81.4	1.7	22.5	39.6	63.8	17.1	10.6	28	55.7	132	104.8	35	271.8	
경북 상주	2013	5.5	37.2	0.4	43.1	28.5	12.9	30	71.4	18.5	41.5	45.6	105.6	2.5	108.7	14.5	125.7	93.2	25.5	38.5	157.2	
경북 상주	2014	1.9	43.2	43.1	88.2	0.7	10.6	62	73.3	2.1	20.2	3.4	25.7	3.7	23.8	52.4	79.9	47.5	52.5	7.1	107.1	
경북 상주	2015	1.3	37.7	4.5	43.5	31.7	49	9.3	90.0	5.5	9.9	2.7	18.1	0.8	55	69.4	125.2	99.8	15.8	35.1	150.7	
경북 상주	2016	46.1	9.1	1.1	56.3	52.9	39.1	72.4	164.4	33.1	8.8	10.9	52.8	2.3	15	29.7	47	287.6	25.4	0.6	313.6	
경북 상주	2017	0.6	0.9	18.7	20.2	20.4	39.8	0.6	60.8	11.8	0.7	7.7	20.2	23.9	1	38.5	63.4	208.9	61.3	134.6	404.8	
경북 상주	2018	64.7	40.8	17.6	123.1	63.9	26.6	50.9	141.4	55.2	26.2	23.7	105.1	0.3	1.1	75.5	76.9	123.7		7.6	131.3	
경북 상주	2019	2.6	11.1	13.1	26.8	46.6	0.2	65.4	112.2		25.5	20.8	46.3	60.2	5.1	44.2	109.5	28.1	90.3	102.8	221.2	
경북 상주	1990 ~ 2019				48.8				89.4				86.6				110.9					288.9
경북 영덕	2012	42.6	8.5	28	79.1	19.5	2.9	108.6	131.0	6.2	18.6	2	26.8	15.2	26.5	31.4	73.1	92.5	67.5	0.2	160.2	
경북 영덕	2013		46.5	1.5	48	27.4	15.6	22	65.0	15.5	22	61	98.5	1.5	111.7	2.2	115.4	53.7	20.8	11	85.5	
경북 영덕	2014	1.9	51.4	29.6	82.9	16	9.3	135.9	161.2	1	7	3.9	11.9	68.5	7	31	106.5	45.2	14.1	1	60.3	
경북 영덕	2015	1	35.5		36.5	28	57.5		85.5	3.5	7.6	1	12.1	6.1	3	94.5	103.6	58.5	29.5	10	98	
경북 영덕	2016	18.4	7	1.7	27.1	65.5	15.5	77.5	158.5	18.1	4	5	27.1	0.5	28.8	27	56.3	149.6	21.1	2.5	173.2	
경북 영덕	2017	0	1	8	9	11	46	0	57.0	11	0.4	4.5	15.9	27.3	2.5	5	34.8	41.5	24.2	106.7	172.4	
경북 영덕	2018	56.4	36.1	13	105.5	46.6	21	82	149.6	41.5	12.7	17.2	71.4	2.5	11.7	15.1	29.3	210.5	0.1	1	211.6	
경북 영덕	2019	8.5	5	5.1	18.6	57.5	0	46	103.5	0	15.5	20.5	36	100	23.1	119.1	242.2	25.2	85	20.5	130.7	
경북 영덕	1990 ~ 2019				50.5				80.6				76				112.7					182.4

관측소	구분	3월			4월			5월			6월			7월							
		상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계				
경북 의성	2012	17.5	6	33.3	56.8	11	3.3	55	69.3	6.2	27	15.2	48.4	23.1	12.1	52.5	87.7	155.6	92.1	0.2	247.9
경북 의성	2013	2	43.5	0	45.5	41.5	12	28.5	82.0	20.5	32.8	47.6	100.9	6.5	123	9.6	139.1	91.5	26.1	24.5	142.1
경북 의성	2014	0.6	40.5	33.5	74.6	4	11	38.6	53.6	1.2	17	5	23.2	9.5	15.5	21.6	46.6	21	16	1.9	38.9
경북 의성	2015	3	36.2	1.5	40.7	20.5	37.2	3.5	61.2	2	18.5	2	22.5	4.7	40.5	42.5	87.7	61.8	11.1	2.1	75
경북 의성	2016	44.4	8	0.2	52.6	55.5	30.1	61.5	147.1	25	23.5	14.5	63	3.6	9.5	29.7	42.8	185	24	23.8	232.8
경북 의성	2017		0.7	20.4	21.1	49.7	7	78.2	9.3	25	6	40.3	7.4	2.6	18.2	28.2	57.3	39.2	146.3	242.8	
경북 의성	2018	60	39.6	12	111.6	63	20	38.5	121.5	52.5	25.5	26.5	104.5	2.5	13	54.9	70.4	197		0.6	197.6
경북 의성	2019	6.6	7	9	22.6	37.5	0.1	45.5	83.1	0	7.4	17.5	24.9	31.5	0.5	68.6	100.6	11.5	36.1	55.7	103.3
경북 의성	1990~2019				42.4				74.8				79.7				117.5				216.2
울산 울산	2012	46	8.5	48.7	103.2	18	16.5	116	150.5	17.5	20.4	0.2	38.1	12.5	54.5	9.4	76.4	31	190	0	221
울산 울산	2013	6.5	69.5	2	78	52	4.5	30	86.5	23.1	35.5	96.5	155.1	0	60.9	19	79.9	104.1	13	13	130.1
울산 울산	2014	2.7	67.9	51.8	122.4	9.4	19.2	62.6	91.2	0.5	33.9	11.3	45.7	31.8	6.8	35	73.6	64.5	32.4	0	96.9
울산 울산	2015	9.5	42.2	0	51.7	44.7	73.1	5.1	122.9	24.1	73.6	0.6	98.3	9.5	9	58.5	77	100.6	68.3	7.4	176.3
울산 울산	2016	50.7	26.7	14.8	92.2	72.6	42.7	63.9	179.2	61.4	13.4	11.3	86.1	17.1	11.7	41.3	70.1	121.5	14.2	91.2	226.9
울산 울산	2017	11.2	6.7	9.7	27.6	54.4	57.2	0.3	111.9	19.6	6.4	0.3	26.3	20.4	11.7	6.4	38.5	39.5	0.4	64.7	104.6
울산 울산	2018	70.9	42.4	42	155.3	30	24.5	68.8	123.3	36.6	13.3	45.5	95.4	4.4	28.1	95.1	127.6	159.1		1.2	160.3
울산 울산	2019	22.6	13.3	4.8	40.7	25.4	1	62.5	88.9	0	15.9	19.1	35	46.2	24.8	176.5	247.5	27.8	171.3	7.4	206.5
울산 울산	1990~2019				68.8				99.1				109.2				158				224

관측소	구분	3월				4월				5월				6월				7월				
		상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	
경남	거제	35.3	14.5	123.3	173.1	64.5	14.2	170.5	249.2	30.5	29.5	5	65	8.5	68.7	23	100.2	76	342.8			418.8
경남	거제	8.9	100.3	0.2	109.4	50.5	6.1	58	114.6	26.5	47.5	123	197	0	138.6	27.8	166.4	126.2	6.1	1.4		133.7
경남	거제	6	118.5	98	222.5		45.5	121.5	167.0	0.8	144.5	65.5	210.8	30	21.5	4.5	56	132	86.6	20		238.6
경남	거제	11.5	73.3	14.5	99.3	134.7	149	83.5	367.2	29.5	147	5	181.5	11.8	7.6	81.5	100.9	132.1	82.5	51.6		266.2
경남	거제	78.1	46.5	2.1	126.7	90.5	80.5	112.7	283.7	99.2	18	44	161.2	15.2	65.5	71.6	152.3	263.5	55.6			319.1
경남	거제	9.5	4	17	30.5	134.7	62	24	220.7	33.6	10.2		43.8	35.9	11	24.5	71.4	221.5	11.5	2		235
경남	거제	109.5	149.5	15	274	37.5	59	146.9	243.4	147	131	45.8	323.8	10	61.7	319	390.7	227.6		6.5		234.1
경남	거제	30	42.5	5.4	77.9	55.5	0.9	72.8	129.2		82.7	37.6	120.3	136	13	279	428	44.5	373.5	94.2		512.2
경남	거제				112.9				180.8				205.1				233.5					350.3
경남	남해	47.5	20.2	118.5	186.2	51.5	11.3	203.5	266.3	27.2	44.2	6	77.4	6.5	45	24	75.5	59.9	226.1	5		291
경남	남해	7.5	90.5	0.5	98.5	36	3.6	130.3	169.9	30	50.5	221.5	302	0	111	37.7	148.7	169.9	3.1	5		178
경남	남해	5	94	85	184		47.6	80	127.6	0.8	123.5	31	155.3	36	46.5	12.1	94.6	140.7	78.5	12		231.2
경남	남해	16	98	14	128	105	101	141	347.0	62.5	138.3	6.5	207.3	18	6.6	77	101.6	203.6	112	28.1		343.7
경남	남해	77.3	41	0.1	118.4	139.5	149	122	410.5	158.4	10	35.2	203.6	13.7	55.5	91.5	160.7	149.4	17.7			167.1
경남	남해	2	4.5	20.6	27.1	112	26.4	2.1	140.5	39	8.5	0.3	47.8	40	13	27.6	80.6	104.8	12.5	16.5		133.8
경남	남해	101.5	181	11.5	294	50	46.5	84.6	181.1	110.1	33.5	44.8	188.4	15	32.1	284.9	332.0	198		3		201.0
경남	남해	31.8	46	1.4	79.2	60	1.2	69.2	130.4	0.1	58.5	99.5	158.1	82.1	13.5	346.5	442.1	55.9	319.5	63.5		438.9
경남	남해				114.9				186.7				197.6				246.9					337

관측소	구분	3월			4월			5월			6월			7월								
		상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계	상순	중순	하순	계					
경남 (고성 (통영))	2012	29.2	17	91.2	137.4	35.5	6.6	202	244.1	25.5	29	5	59.5	4.5	52.5	13.5	70.5	57.9	215.7	0.3	273.9	
경남 (고성 (통영))	2013	9.4	72	0.2	81.6	40.5	3.5	68	112.0	22.5	39.5	153.5	215.5	0	162.6	23.3	185.9	137.5	8.5	1	147	
경남 (고성 (통영))	2014	4.9	82.4	90.4	177.7	0	40.3	66.8	107.1	0.4	104.4	37.7	142.5	12.2	48.5	6.6	67.3	101.1	89.4	2.6	193.1	
경남 (고성 (통영))	2015	15.3	70.2	15.9	101.4	110.6	106.8	83.6	301.0	35.7	119.1	5.3	160.1	11.7	5	69.1	85.8	101.6	43.2	36.1	180.9	
경남 (고성 (통영))	2016	82.7	48.5	1.9	133.1	86	81	95.9	262.9	73.7	5.9	27.2	106.8	10.7	39.3	62.7	112.7	156.5	78.7	0.3	235.5	
경남 (고성 (통영))	2017	9.4	3.6	19.6	32.6	87.4	43.7	17.4	148.5	25.4	9.3	0.1	34.8	32.9	12.9	22.6	68.4	195.1	7.5	20.7	223.3	
경남 (고성 (통영))	2018	79.4	120.4	22.5	222.3	35.5	38	96.9	170.4	119.7	47.8	59.7	227.2	9.4	52.7	244.4	306.5	137.5		1.7	139.2	
경남 (고성 (통영))	2019	28.3	35.7	1.6	65.6	54	0.4	51.2	105.6	0.1	48	47.1	95.2	117.7	13.5	280.1	411.3	26.4	257.5	45.4	329.3	
경남 (고성 (통영))	1990 ~ 2019				93.1				142.5				160.4				190.3					271.8

**농업가뭄지도 생성 모듈
사용자 설명서**

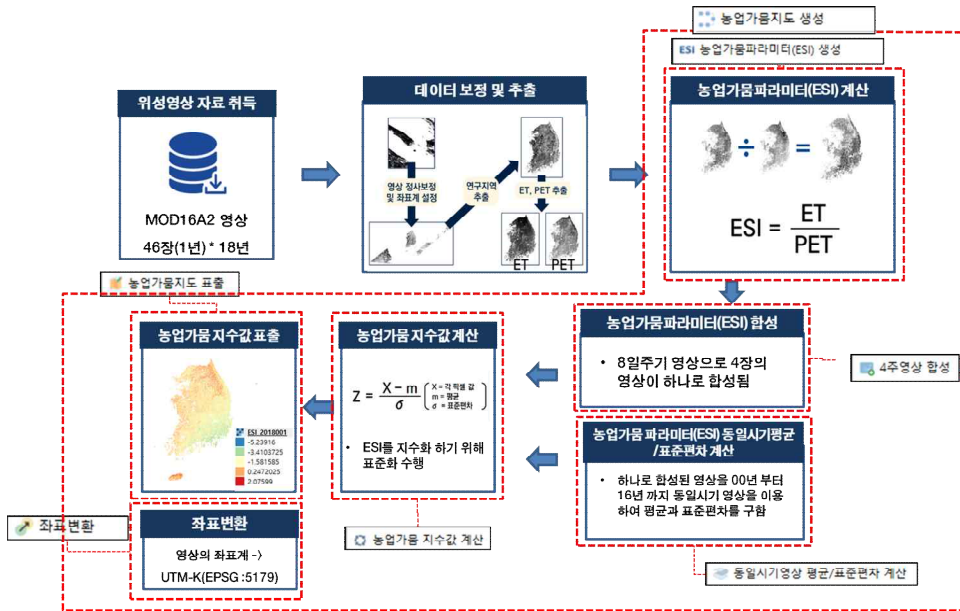
2019. 12

목 차

제 1 장 모듈구성	399
제 1 절 농업가뭄지도 생성 모듈 구성	399
제 2 절 농업가뭄지도 생성 모듈 시스템 요구사항	401
제 3 절 농업가뭄지도 데이터셋 구성	402
제 2 장 농업가뭄지도 생성	405
제 1 절 농업가뭄지도 생성 모듈 설치하기	405
1. Quntum GIS 설치	405
2. 농업가뭄지도 생성 모듈 설치	408
제 2 절 단위기능모듈 사용하기	411
1. 농업가뭄파라미터(ESI) 생성 모듈	411
2. 4주영상 합성 모듈	413
3. 농업가뭄 지수값 생성 모듈	415
4. 농업가뭄 단계 시각화 모듈	417
5. 동일시기영상 평균/표준편차 계산 모듈	418
6. 좌표변환 모듈	420
제 3 절 통합기능모듈 사용하기	422
1. 농업가뭄지도 생성 모듈(파일)	422
2. 농업가뭄지도 생성 모듈(폴더)	424

제1장 모듈구성


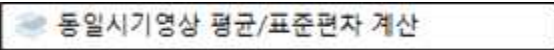


제1절 농업가뭄지도 생성 모듈 구성



<그림 1-1 농업가뭄지도 생성 프로세스별 모듈 명칭

- 농업가뭄지도 생성 모듈은 프로세스 단위기능별 6개 모듈과 통합기능모듈 1개로 구성되어있음
- **ESI 농업가뭄파라미터(ESI) 생성** 모듈은 증발산량(ET)파일 또는 폴더와 잠재증발산량(PET)파일 또는 폴더를 입력받아 농업가뭄파라미터(ESI) 파일 또는 폴더를 생성함
- **4주영상 합성** 모듈은 선택된 농업가뭄파라미터(ESI)파일들을 하나의 영상으로 합성하거나 폴더 내에 있는 파일을 순차적으로 4개씩 묶어서 마지막 파일의 이름으로 합성함
- **농업가뭄 지수값 계산** 모듈은 합성된 농업가뭄파라미터(ESI)파일을 지수화 하기 위해 표준화를 수행함, 이를 위해 각 픽셀별 계산된 평균과 표준편차로 구성된 파일을 사용해야 하며

2001년부터 2016년까지 영상으로 계산된 평균 및 표준편차 영상이 기본값으로 제공됨

-  모듈은 계산된 농업가물 지수값을 정상, 관심(약한가물), 주의(보통가물), 경계(심한가물), 심각(극심한가물)의 5단계로 구분하여 시각적으로 표현함
-  모듈은 사용자가 임의로 설정한 연도범위에 따라 농업가물 지수값을 계산하기 위해 필요한 픽셀별 평균 및 표준편차 파일을 생성함
-  모듈은 입력받은 파일 또는 폴더의 좌표계를 UTM-K(EPSSG:5179)로 변환하여 새로운 파일을 생성함
-  모듈은 앞서 설명한 6개 단위기능별 모듈을 통합하여 하나의 통합기능으로 구성한 모듈로 사용자가 증발산량(ET)/잠재증발산량(PET), 농업가물파라미터(ESI), 합성된 농업가물파라미터 중 하나를 선택하고 농업가물 지수값 계산에 사용할 평균 및 표준편차를 선택하면 파일 또는 폴더 단위로 농업가물 지수값을 계산하여 파일을 생성하며, 사용자가 선택한 옵션에 따라 농업가물 단계 시각화, 결과 파일의 좌표변환 등을 수행함

제2절 농업가뭄지도 생성 모듈 시스템 요구사항

- Central Processing Unit(CPU) 요구사항
 - 인텔 코어 i3 이상 필요

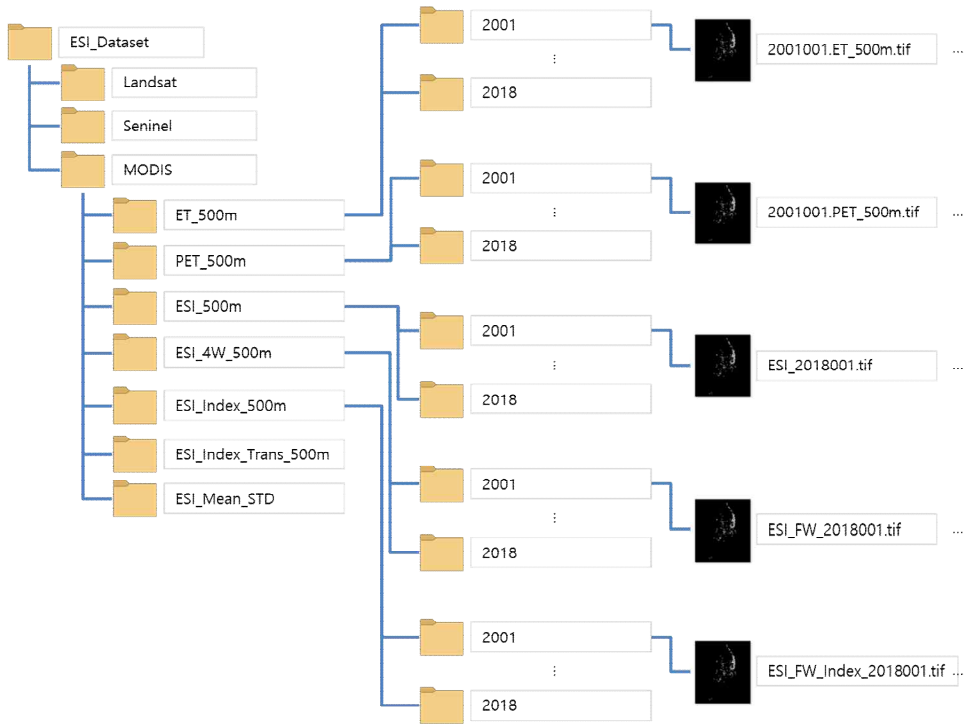
- Random Access Memory(RAM) 요구사항
 - 8GB 이상의 메모리 용량 필요

- Hard Disk Drive 요구사항
 - 100GB 이상의 ESI 데이터셋 및 농업가뭄지도 저장공간 필요

- Operating System 요구사항
 - Windows 계열의 운영체제 7 이상 버전 필요

- Software 요구사항
 - QutumGIS 3.x 버전에 농업가뭄지도 생성 모듈 설치 필요






제3절 농업가뭄지도 데이터셋 구성




<그림 1-2> 농업가뭄지도 데이터셋 구성

- 농업가뭄지도 데이터셋은 로컬 디스크 드라이브 root에 위치하여 폴더명을 갖고 있으며 하위 폴더로 영상을 촬영한 위성 종류에 따라 3개의 폴더 , , 로 구성되어 있음
- 현재 버전의 농업가뭄지도 생성 모듈은 MODIS 영상만 활용하고 있으며 농업가뭄지도 데이터셋 또한 MODIS 영상만 포함하고 있음
- 폴더는 농업가뭄지도 생성 단계에 따라 7개의 하위 폴더를 갖고 있음
- 폴더는 연도별 정리된 증발산량(ET) 파일이

포함되어 있으며 증발산량(ET) 파일 이름은 촬영 시기의 연도 4자리와 1월1일부터 경과된 일수를 표현하는 촬영시기 3자리를 결합한 7자리 숫자와 파일의 종류를 구분할 수 있는 고유 명칭 ET_500m으로 구성되어 있다. (ex. 2001001.ET_500m.tif)

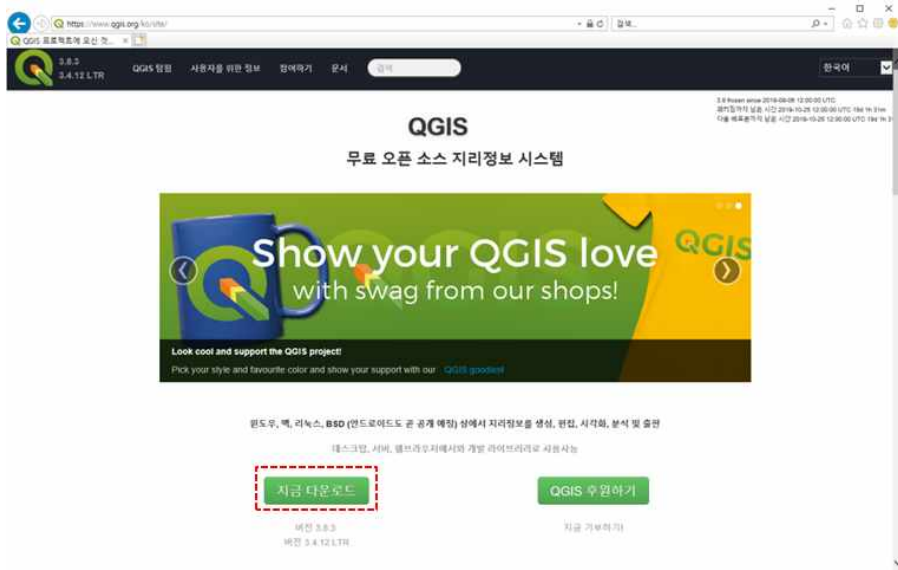
-  PET_500m 폴더는 연도별 정리된 잠재증발산량(PET) 파일이 포함되어 있으며 잠재증발산량(PET) 파일 이름은 촬영 시기의 연도 4자리와 1월1일부터 경과된 일수를 표현하는 촬영시기 3자리를 결합한 7자리 숫자와 파일의 종류를 구분할 수 있는 고유 명칭 PET_500m으로 구성되어 있다. (ex. 2001001.PET_500m.tif)
-  ESI_500m 폴더는 연도별 정리된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일이 포함되어 있으며 농업가뭄파라미터(ESI) 파일 이름은 파일의 종류를 구분할 수 있는 고유 명칭 ESI_와 촬영 시기의 연도 4자리와 1월1일부터 경과된 일수를 표현하는 촬영시기 3자리를 결합한 7자리 숫자로 구성되어 있다. (ex. ESI_2001001.tif)
-  ESI_4W_500m 폴더는 연도별 정리된 합성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일이 포함되어 있으며 합성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일 이름은 파일의 종류를 구분할 수 있는 고유 명칭 ESI_FW_와 촬영 시기의 연도 4자리와 1월1일부터 경과된 일수를 표현하는 촬영시기 3자리를 결합한 7자리 숫자로 구성되어 있다. (ex. ESI_FW_2001001.tif)
-  ESI_Index_500m 폴더는 연도별 계산된 농업가뭄 지수값 파일이 포함되어 있으며 계산된 농업가뭄 지수값 파일 이름은 파일의 종류를 구분할 수 있는 고유 명칭 ESI_FW_Index와 촬영 시기의 연도 4자리와 1월1일부터 경과된 일수를 표현하는 촬영시기 3자리를 결합한 7자리 숫자로 구성되어 있다. (ex. ESI_FW_Index_2001001.tif)
-  ESI_Index_Trans_500m 폴더는 앞선 농업가뭄 지수값 파일을 UTM-K(EPGS:5179)로 변환한 파일이 포함되어 있으며 농업가뭄 지수값 파일과 동일한 이름을 사용함

-  ESI_Mean_STD 폴더는 동일시기 평균/표준편차 모듈을 사용하여 계산된 각 촬영시기(001, 009, ...)별 평균과 표준편차 파일 중 농업가뭄지도 생성 모듈에서 사용할 수 있도록 등록된 평균과 표준편차 파일이 포함되어 있음(ex. ESI_001_mean.tif, ESI_001_STD.tif)
- 각 폴더 내 파일의 이름은 파일의 종류와 촬영시기에 따라 서로 다른 명명 규칙을 갖고 있으며 파일의 명명 규칙을 따르지 않을 경우 모듈이 정상적으로 수행되지 않을 수 있음

제2장 농업가뭇지도 생성

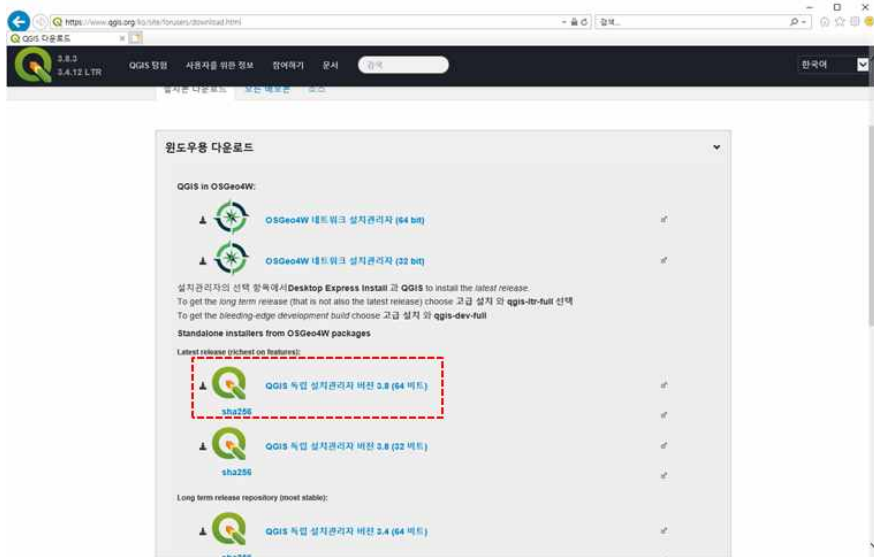
제1절 농업가뭇지도 생성 모듈 설치

1. Quntum GIS 설치



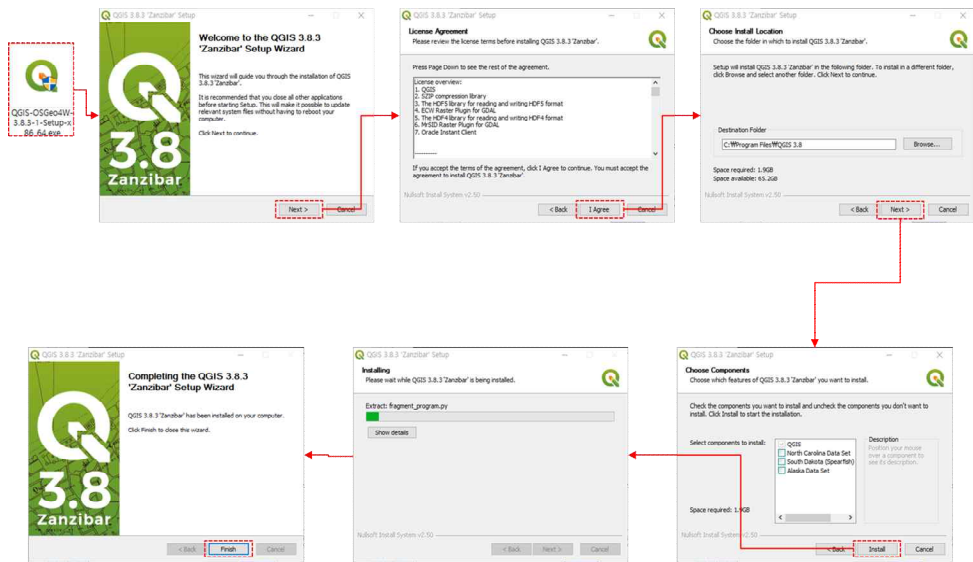
<그림 2-1> QGIS 홈페이지

- ① 웹브라우저 주소창에 <https://www.qgis.org>을 입력하여 Quntum GIS 웹사이트로 이동하고 왼쪽 하단의 “지금다운로드” 버튼을 클릭함

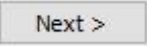
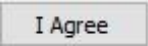
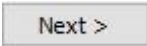
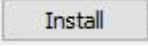
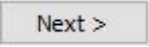
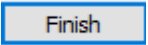


<그림 2-2> QGIS 설치파일 다운로드 페이지

② 설치본 다운로드 화면에서 윈도우용 다운로드 중 “QGIS 독립 설치 관리자 버전 3.8(64비트)”를 선택하여 설치파일을 다운로드 받음



<그림 2-3> QGIS 설치 위자드 진행 과정

- ③ 다운로드받은 설치파일을 더블클릭하여 QGIS 설치 위자드를 실행함
- ④ 설치 위자드 첫 페이지는 QGIS 버전 정보를 확인할 수 있으며  버튼을 클릭하여 다음 페이지로 넘어감
- ⑤ 설치 위자드 두 번째 페이지는 QGIS 설치를 위한 라이선스 정보를 확인할 수 있으며  버튼을 클릭하여 다음 페이지로 넘어감
- ⑥ 설치 위자드 세 번째 페이지는 QGIS가 설치될 경로를 확인하거나 사용자 임의의 경로를 지정할 수 있으며  버튼을 클릭하여 다음 페이지로 넘어감
- ⑦ 설치 위자드 네 번째 페이지는 QGIS와 함께 설치할 컴포넌트를 선택할 수 있으며, 기본적으로 QGIS만 설치 되도록 선택되어 있으나 사용자 임의로 추가 컴포넌트를 선택할 수 있음,  버튼을 클릭하면 다음 페이지로 넘어감
- ⑧ 설치 위자드 다섯 번째 페이지는 QGIS 및 선택된 컴포넌트를 설치함, 설치가 완료되면 Next 버튼이 활성화 되며  버튼을 클릭하여 다음 페이지로 넘어갈 수 있음
- ⑨ 설치 위자드 여섯 번째 페이지는 QGIS가 정상적으로 설치 되었다는 메시지를 확인할 수 있으며  버튼을 클릭하여 설치 위자드를 종료함

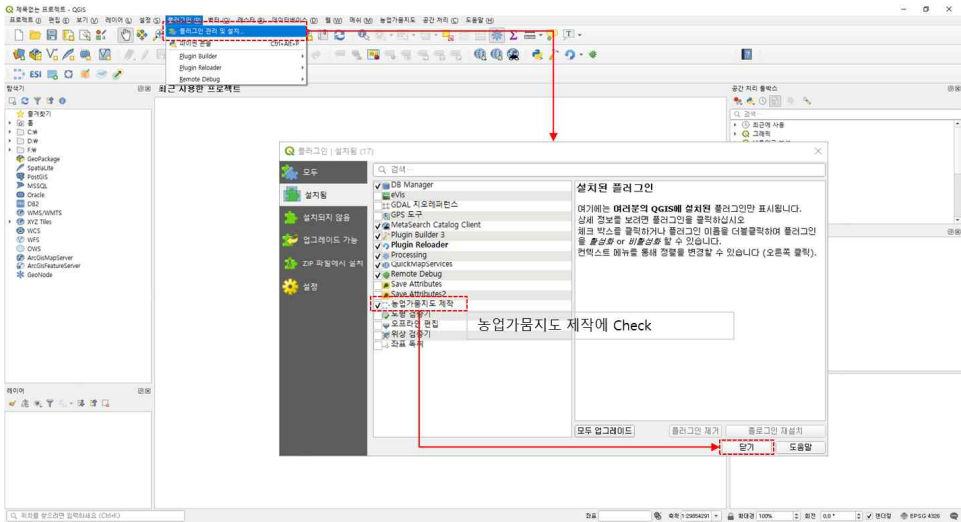
2. 농업가뭄지도 생성 모듈 설치



<그림 2-4> 농업가뭄지도 생성 모듈 설치 위자드 진행 과정

- ① 제공받은 농업가뭄지도 생성 모듈 설치파일을 더블클릭하여 농업가뭄지도 생성 모듈 설치 위자드를 실행함
- ④ 설치 위자드 첫 페이지는 농업가뭄지도 생성 모듈의 버전 정보 및 설치시 유의사항을 확인할 수 있으며 **다음 >** 버튼을 클릭하여 다음 페이지로 넘어감
- ⑤ 설치 위자드 두 번째 페이지는 농업가뭄지도 생성 모듈 설치를 위한 라이선스 정보를 확인할 수 있으며 **동의함** 버튼을 클릭하여 다음 페이지로 넘어감
- ⑥ 설치 위자드 세 번째 페이지는 농업가뭄지도 생성 모듈이 설치될 경로를 설정할 수 있으며 **설치** 버튼을 클릭하여 다음 페이지로 넘어감
(앞서 QGIS를 먼저 설치하고 농업가뭄지도 생성 모듈 설치를 진행하고 있으면 별도의 설치 경로를 변경할 필요가 없도록 자동으로 경로가 설정되어 있음)
- ⑦ 설치 위자드 네 번째 페이지는 농업가뭄지도 생성 모듈을 설치함, 설치가 완료되면 **다음 >** 버튼이 활성화 되며 버튼을 클릭하여 다음 페이지로 넘어갈 수 있음
- ⑧ 설치 위자드 다섯 번째 페이지는 농업가뭄지도 생성 모듈이 정상적

으로 설치 되었다는 메시지를 확인할 수 있으며 **마침** 버튼을 클릭하여 설치 위자드를 종료함



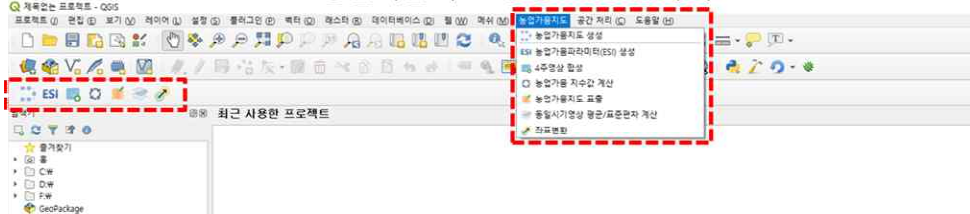
<그림 2-5> 농업가뭄지도 생성 모듈 플러그인 등록

- ⑨ 앞서 설치한 QGIS를 실행하고 상단의 메뉴 중 플러그인 메뉴에서 플러그인 관리 및 설치 메뉴를 클릭함
- ⑩ 활성화된 플러그인 다이얼로그 창에서 왼쪽 메뉴 중 설치됨을 선택하고 목록 중 농업가뭄지도 제작의 체크박스를 체크 상태로 설정 후 단기를 선택함

농업가뭄지도 생성 모듈 설치 전



농업가뭄지도 생성 모듈 설치 후

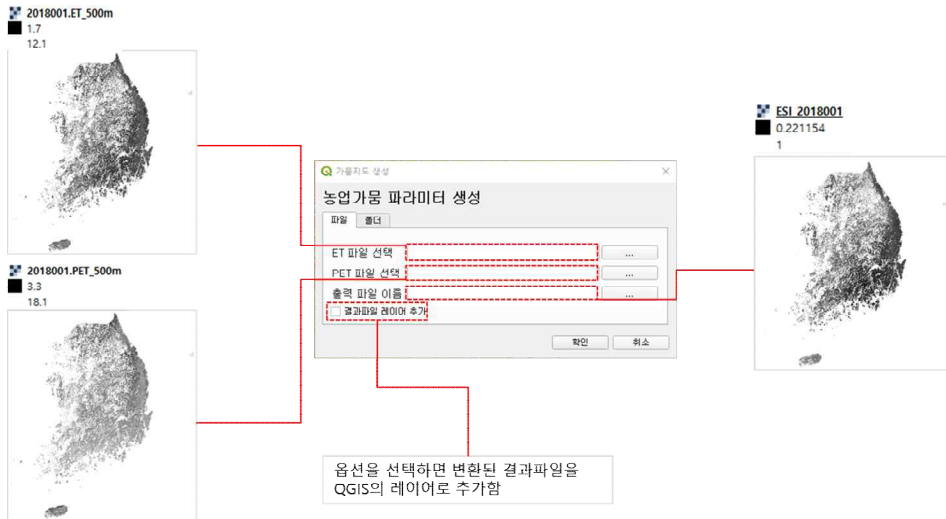


<그림 2-6> 농업가뭄지도 생성 모듈 설치 전·후

- ⑪ 농업가뭄지도 생성 모듈 설치 후 상단의 메뉴 메뉴와 공간처리 메뉴 사이에 농업가뭄지도 메뉴가 생성된 것을 볼 수 있으며, 하단의 툴바 모음에 농업가뭄지도 툴바가 추가 된 것을 볼 수 있음

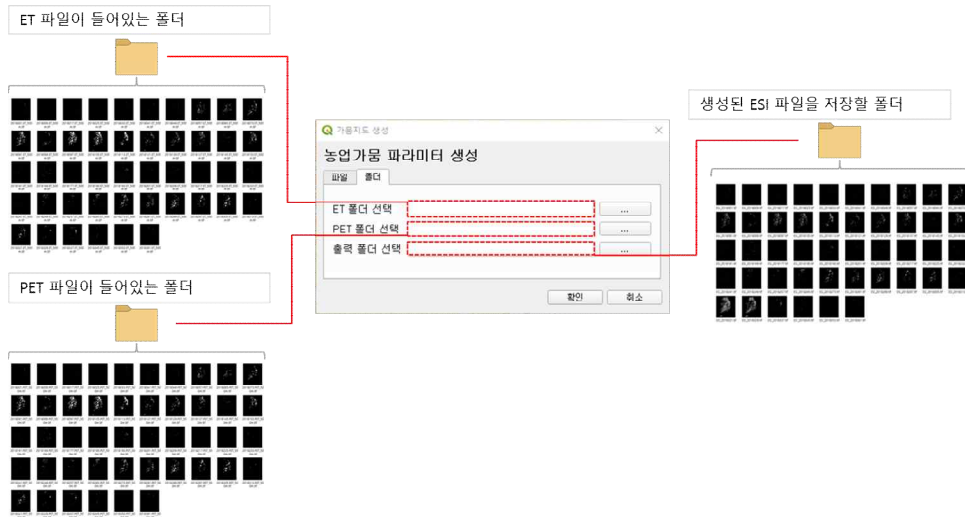
제2절 단위기능모듈 사용하기

1. 농업가뭄파라미터(ESI) 생성 모듈



<그림 2-7> 파일 단위 농업가뭄파라미터(ESI) 생성 모듈

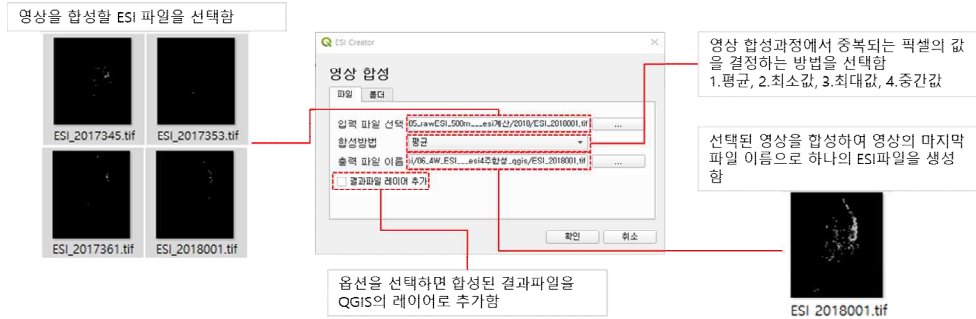
- ① 농업가뭄파라미터 생성 다이얼로그에서 파일탐을 선택하고 ET파일 선택 버튼을 클릭하여 파일 검색 다이얼로그에서 증발산량(ET) 파일을 선택함
- ② 같은 방법으로 잠재증발산량(PET) 파일을 선택함
- ③ 입력받은 증발산량(ET) 파일과 잠재증발산량(PET) 파일을 이용하여 생성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일을 저장할 경로 및 파일 이름을 지정함
- ④ 저장된 결과를 레이어로 추가할 경우 결과파일 레이어 추가를 체크함
- ⑤ 확인 버튼을 클릭하면 농업가뭄파라미터(ESI) 생성 모듈이 수행 되고 입력받은 경로 및 이름으로 저장 됨



<그림 2-8> 폴더단위 농업가뭄파라미터(ESI) 생성 모듈

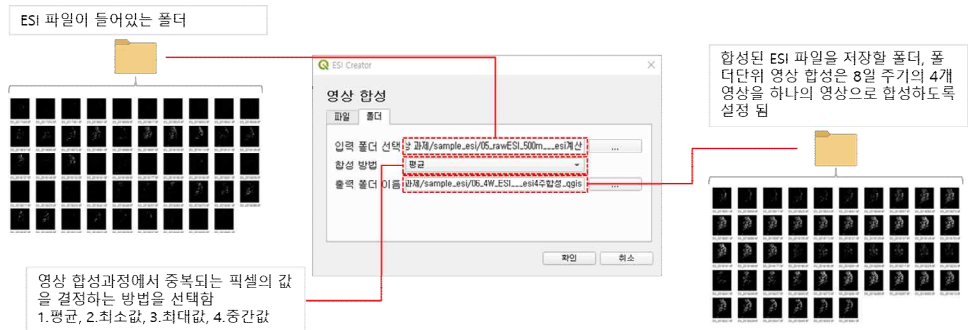
- ① 농업가뭄파라미터 생성 다이얼로그에서 폴더탭을 선택하고 ET폴더 선택 버튼을 클릭하여 폴더 검색 다이얼로그에서 증발산량(ET) 파일이 들어있는 폴더를 선택함
- ② 같은 방법으로 잠재증발산량(PET) 파일이 들어있는 폴더를 선택함
- ③ 입력받은 폴더에서 증발산량(ET) 파일과 잠재증발산량(PET) 파일을 이용하여 생성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일을 저장할 폴더를 폴더 검색 다이얼로그를 이용하여 지정함
- ④ 확인 버튼을 클릭하면 농업가뭄파라미터(ESI) 생성 모듈이 수행 되고 입력받은 폴더에 잠재증발산량과 같은 이름으로 저장 됨

2. 4주 영상합성 모듈



<그림 2-9> 파일단위 4주 영상 합성 모듈

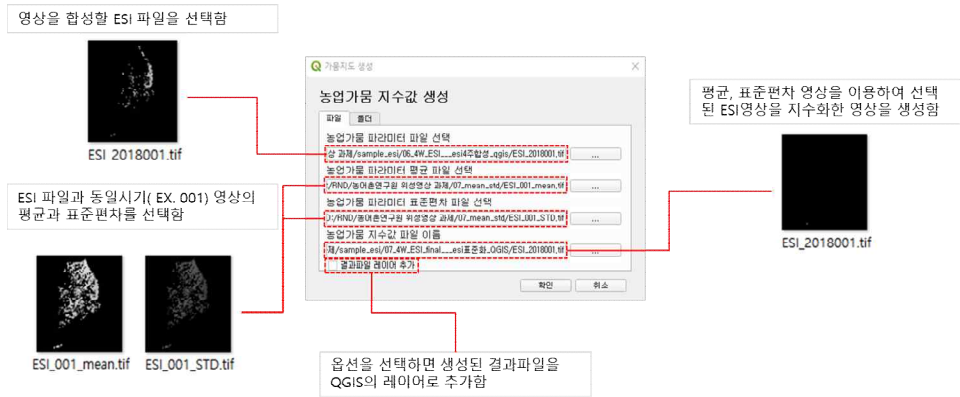
- ① 영상합성 다이얼로그에서 파일탭을 선택하고 입력파일 선택 버튼을 클릭함, 활성화 된 파일 검색 다이얼로그에서 합성을 수행할 농업가뭇파라미터(ESI) 파일을 여러개 선택함(파일 검색 다이얼로그 창에서 키보드 Ctrl 버튼을 누른 후 여러개 파일을 선택)
- ② 선택한 여러개 파일의 각 픽셀을 합성하기 위한 방법을 선택함(현재 버전에서는 평균만 사용 가능함)
- ③ 합성된 파일을 저장할 경로 및 파일 이름을 지정함
- ④ 저장된 결과를 레이어로 추가할 경우 결과파일 레이어 추가를 체크함
- ⑤ 확인 버튼을 클릭하면 선택한 여러개의 농업가뭇파라미터(ESI) 파일을 합성하는 모듈이 수행 되고 입력받은 경로 및 이름으로 저장 됨



<그림 2-10> 폴더단위 4주영상 합성 모듈

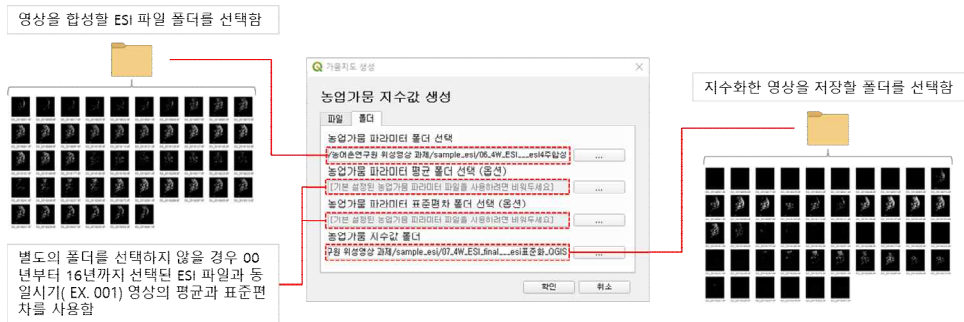
- ① 영상합성 다이얼로그에서 폴더탭을 선택하고 입력폴더 선택 버튼을 클릭함, 활성화 된 폴더 검색 다이얼로그에서 합성을 수행할 농업가뭄파라미터(ESI) 파일이 들어있는 폴더를 선택함
- ② 입력받은 폴더 내 농업가뭄파라미터(ESI) 파일의 각 픽셀을 합성하기 위한 방법을 선택함(현재 버전에서는 평균만 사용 가능하며 폴더단위 영상합성의 경우 파일의 개수와 상관없이 순차적으로 4개의 영상을 합성함)
- ③ 합성된 파일을 저장할 폴더를 지정함
- ④ 확인 버튼을 클릭하면 폴더 내 농업가뭄파라미터(ESI) 파일을 순차적으로 4개씩 합성하는 모듈이 수행 되고 입력받은 폴더에 합성에 사용된 4개 파일 중 가장 마지막 파일의 이름으로 저장 됨

3. 농업가뭄 지수값 생성 모듈



<그림 2-11> 파일단위 농업가뭄 지수값 생성 모듈

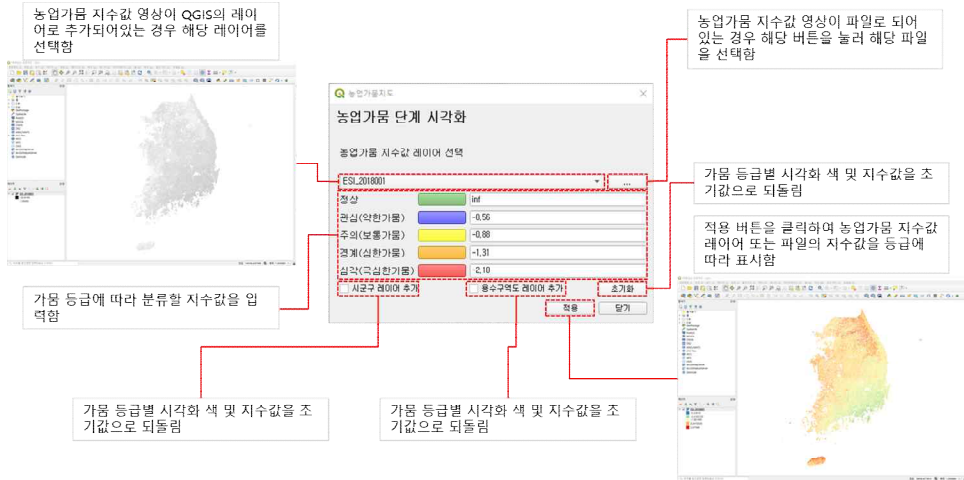
- ① 농업가뭄 지수값 생성 다이얼로그에서 파일탭을 선택하고 농업가뭄 파라미터 파일 선택의 파일 검색 버튼을 클릭함, 활성화 된 파일 검색 다이얼로그에서 지수값 생성에 사용할 합성된 농업가뭄파라미터 (ESI) 파일을 선택함
- ② 농업가뭄 지수값 계산에 사용할 평균 파일과 표준편차 파일을 평균 파일 검색 다이얼로그와 표준편차 파일 검색 다이얼로그를 사용하여 선택함 (파일단위 지수값 생성 모듈의 경우 입력받은 농업가뭄파라미터(ESI) 파일과 평균 및 표준편차 파일의 시기가 동일한지 확인하지 않고 그대로 사용함)
- ③ 계산된 농업가뭄 지수값 파일을 저장할 경로 및 파일 이름을 지정함
- ④ 저장된 결과를 레이어로 추가할 경우 결과파일 레이어 추가를 체크함
- ⑤ 확인 버튼을 클릭하면 선택한 합성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일 사용하여 농업가뭄 지수값을 계산하는 모듈이 수행 되고 입력받은 경로 및 이름으로 저장 됨



<그림 2-12> 폴더 단위 농업가뭄 지수값 생성 모듈

- ① 농업가뭄 지수값 생성 다이얼로그에서 폴더탭을 선택하고 농업가뭄 파라미터 폴더 선택의 검색 버튼을 클릭함, 활성화 된 폴더 검색 다이얼로그에서 지수값 생성에 사용할 합성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일이 들어있는 폴더를 선택함
- ② 평균과 표준편차 폴더를 선택하지 않고 기본 설정된 평균과 표준편차를 사용하면 농업가뭄 지수값 계산에서 2001년부터 2016년까지 동일시기 별로 계산된 평균과 표준편차 파일을 사용함, 사용자가 임의로 평균과 표준편차 폴더를 선택할 경우 입력받은 평균과 표준편차 파일을 사용하여 농업가뭄 지수값을 계산함(폴더단위 지수값 생성 모듈의 경우 입력받은 폴더 내 농업가뭄파라미터(ESI) 파일의 시기와 동일한 평균 및 표준편차 파일을 사용함)
- ③ 계산된 농업가뭄 지수값 파일을 저장할 폴더를 지정함
- ④ 확인 버튼을 클릭하면 입력한 폴더 내 합성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일 사용하여 농업가뭄 지수값을 계산하는 모듈이 수행 되고 입력받은 폴더에 저장 됨

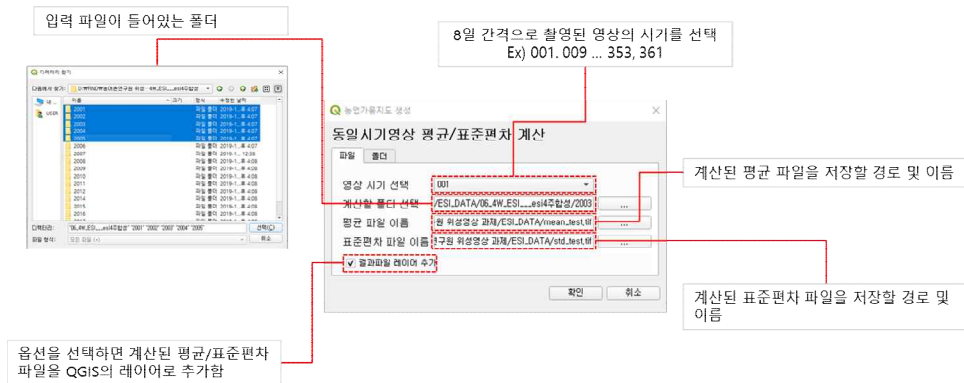
4. 농업가뭄 단계 시각화 모듈



<그림 2-13> 농업가뭄 단계 시각화 모듈

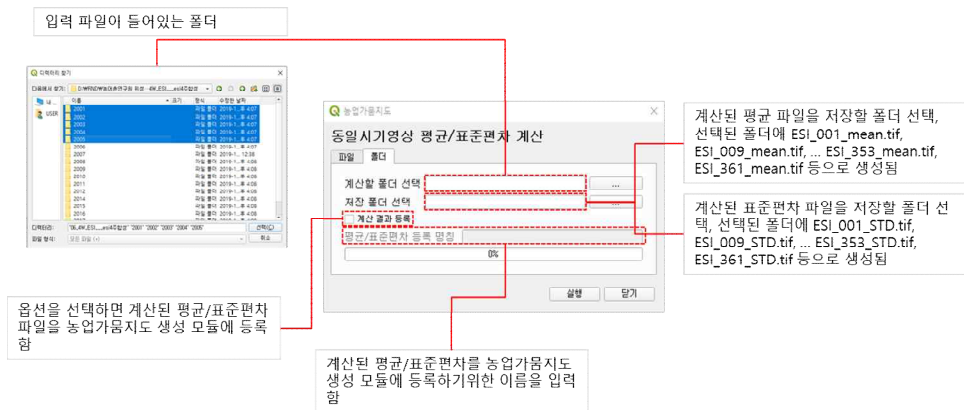
- ① 농업가뭄 단계 시각화 다이얼로그에서 농업가뭄 지수값 레이어 및 파일을 선택함, 현재 프로젝트에 추가된 레이어를 사용하여 농업가뭄 단계를 시각화 할 경우 콤보박스에서 원하는 레이어를 선택함, 새로운 파일을 레이어에 추가하고 농업가뭄 단계를 시각화할 경우 파일 검색 버튼을 클릭하여 파일 검색 다이얼로그에서 농업가뭄 지수값 파일을 선택함
- ② 가뭄 단계별 시각화할 색상과 각 단계를 구분하는 지수값을 설정하고 시군구 레이어 추가 및 용수구역도 추가 여부를 선택함, 가뭄단계별 색상과 지수값을 기본값으로 초기화 하려면 초기화 버튼을 클릭함
- ③ 적용 버튼을 클릭하면 선택한 레이어 또는 입력한 농업가뭄 지수값 파일을 가뭄단계별 설정한 값과 생상에 따라 시각화 하여 표현함

5. 동일시기영상 평균/표준편차 계산 모듈



<그림 2-14> 파일 단위 동일시기영상 평균/표준편차 계산 모듈

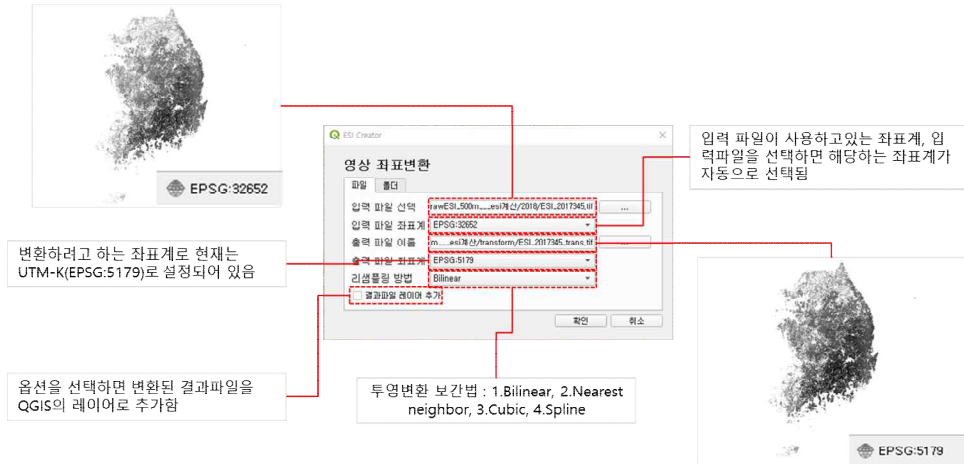
- ① 동일시기 평균/표준편차 계산 다이얼로그에서 파일탭을 선택하고 평균 및 표준편차를 계산할 영상시기를 콤보박스에서 선택함
- ② 계산할 폴더 선택하기 위해 버튼을 클릭하여 폴더 검색 다이얼로그를 활성화 하고 평균 및 표준편차를 계산할 폴더를 선택함
- ③ 계산된 평균과 표준편차를 저장할 경로와 이름을 지정함
- ④ 계산된 결과를 레이어로 추가할 경우 결과파일 레이어 추가를 체크함
- ⑤ 확인 버튼을 클릭하면 입력한 폴더 내 합성된 농업가뭄파라미터 (ESI) 파일 중 선택한 영상시기에 해당하는 평균과 표준편차를 계산하는 모듈이 수행 되고 입력받은 경로 및 이름으로 저장 됨



<그림 2-15> 폴더 단위 동일시기영상 평균·표준편차 계산 모듈

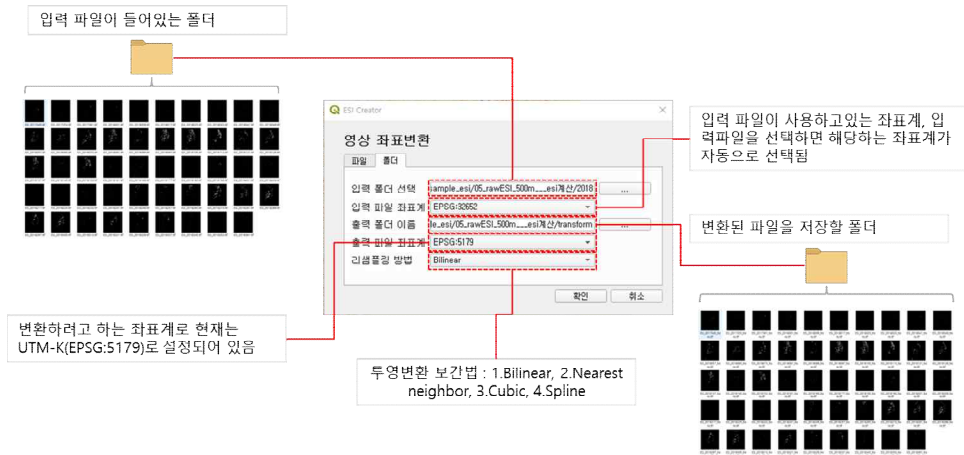
- ① 동일시기 평균/표준편차 계산 다이얼로그에서 폴더탭을 선택하고 계산할 폴더선택 버튼을 클릭함, 폴더 검색 다이얼로그가 활성화되면 평균 및 표준편차를 계산할 합성된 농업가뭄과라미터(ESI) 폴더를 선택함
- ② 계산된 평균과 표준편차를 저장할 폴더를 지정함
- ③ 계산된 평균과 표준편차를 농업가뭄지도 생성 모듈에서 사용할 수 있도록 등록하려면 계산결과 등록을 체크함
- ④ 평균/표준편차 등록 명칭 입력창이 활성화 되면 농업가뭄지도 생성 모듈의 평균/표준편차 콤보박스에서 사용할 명칭을 입력함
- ⑤ 실행 버튼을 클릭하면 선택한 합성된 농업가뭄과라미터(ESI) 폴더를 시기별로 평균과 표준편차를 계산하는 모듈이 수행 되고 입력받은 평균 및 표준편차 폴더에 시기별 이름으로 저장 됨

6. 좌표변환 모듈



<그림 2-16> 파일단위 영상 좌표변환 모듈

- ① 영상 좌표변환 다이얼로그에서 파일탭을 선택하고 입력파일 선택 버튼을 클릭함, 활성화된 파일 검색 다이얼로그에서 좌표변환을 수행할 영상파일을 선택함
- ② 출력파일 이름 버튼을 클릭하여 파일 검색 다이얼로그를 활성화 하고 변환된 영상을 저장할 경로와 이름을 지정함
- ③ 출력파일 좌표계 콤보박스에서 변환결과로 설정할 좌표계를 선택함 (현재버전에서는 사용자 요청에 의해 UTM-K(EPSG:5179)로 변환만 가능하도록 지원하고 있음)
- ④ 리샘플링 방법 콤보박스에서 좌표계 변환과정에서 사용할 투영변환 보간법을 선택함(현재버전에서는 Bilinear가 디폴트로 설정되어 있음)
- ⑤ 변환된 결과를 레이어로 추가할 경우 결과파일 레이어 추가를 체크함
- ⑥ 확인 버튼을 클릭하면 입력한 영상파일 좌표계를 선택한(UTM-K) 좌표계로 변환하는 모듈이 수행 되고 입력받은 경로 및 이름으로 저장 됨



<그림 2-17> 폴더 단위 영상 좌표변환 모듈

- ① 영상 좌표변환 다이얼로그에서 폴더탭을 선택하고 입력폴더 선택 버튼을 클릭함, 활성화된 폴더 검색 다이얼로그에서 영상파일이 포함된 폴더를 선택함
- ② 출력폴더 이름 버튼을 클릭하여 폴더 검색 다이얼로그를 활성화 하고 변환된 영상을 저장할 폴더를 지정함
- ③ 출력파일 좌표계 콤보박스에서 변환결과로 설정할 좌표계를 선택함 (현재버전에서는 사용자 요청에 의해 UTM-K(EPSG:5179)로 변환만 가능하도록 지원하고 있음)
- ④ 리샘플링 방법 콤보박스에서 좌표계 변환과정에서 사용할 투영변환 보간법을 선택함(현재버전에서는 Bilinear가 디폴트로 설정되어 있음)
- ⑤ 확인 버튼을 클릭하면 선택한 폴더 내 영상파일 좌표계를 선택한 (UTM-K) 좌표계로 변환하는 모듈이 수행되고 입력받은 폴더에 저장 됨

제3절 통합기능모듈 사용하기

1. 농업가뭄지도 생성 모듈(파일)

- 농업가뭄지도 생성하기 위해 사용할 입력데이터를 선택함, 증발산/잠재증발산파일, 농업가뭄 파라미터 파일, 농업가뭄 파라미터 합성 파일을 선택할 수 있으며 선택 시 해당 파일 선택창 활성화
- 파일 다이얼로그 창을 이용하여 입력데이터를 선택함
- 콤보박스를 이용하여 모듈에 등록되어 있는 동일시기 평균과 표준편차 값을 선택함, 모듈은 2001년부터 2016년까지 동일시기 평균과 표준편차가 등록되어 있으며 단위기능 모듈을 이용하여 새로운 평균과 표준편차를 등록할 수 있음
- 평균/표준편차 파일 선택하여 사용 체크박스를 선택하면 기존에 등록된 평균/표준편차를 이외에 사용자가 선택한 파일을 사용할 수 있음
- 계산된 농업가뭄 지수값 파일을 저장할 경로 및 이름을 입력함
- 결과파일 지표변환(UTMSN -> UTM-K) 체크박스를 선택하면 UTM-K 좌표계로 된 농업가뭄지수값 파일을 추가 생성함
- 결과파일 레이아웃 추가 체크박스를 선택하면 계산된 농업가뭄 지수값 파일이 레이아웃에 추가됨
- 농업가뭄 파라미터 파일 저장 체크박스를 선택하면 농업가뭄 파라미터 파일을 추가로 생성함
- 농업가뭄 파라미터 합성 파일 저장 체크박스를 선택하면 농업가뭄 파라미터 합성 파일을 추가로 생성함
- 가뭄단계 시각화 적용 체크박스를 선택하면 농업가뭄 지수값을 입력된 값에 따라 구분하여 단계를 시각화함
- 시군구 레이아웃 추가 읍수구역도 레이아웃 추가 체크박스를 선택하면 시군구 레이아웃과 읍수구역도 레이아웃이 농업가뭄 지수값 파일과 함께 레이아웃에 추가됨

<그림 2-18> 파일 단위 농업가뭄지도 생성 모듈

- ① 농업가뭄지도 생성 다이얼로그에서 파일탭을 선택하고 입력파일 선택 영역에서 라디오 버튼을 사용하여 입력파일 종류를 선택함
- ② 선택한 입력파일 종류에 해당하는 입력파일 선택 인터페이스가 활성화 되면, 파일선택 버튼을 클릭하여 파일 검색 다이얼로그를 활성화함
- ③ 입력파일 종류가 증발산(ET)/잠재증발산(PET) 파일 또는 농업가뭄 파라미터(ESI) 파일인 경우 영상의 합성 단계를 고려하여 파일 검색 다이얼로그에서 합성에 사용할 영상의 개수만큼 파일을 선택해야함
- ④ 입력파일 종류가 합성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일인 경우 농업가뭄 지수값 생성에 사용할 하나의 영상만 선택해야함
- ⑤ 입력받은 영상파일을 이용하여 농업가뭄 지수값을 계산하기 위해 평균/표준편차 파일을 선택해야 함, 2001년부터 2016년까지 평균/표준편차를

사용하거나 모듈에 등록되어 있는 평균/표준편차를 사용할 경우 콤보박스를 사용하여 선택할 수 있으며, 평균/표준편차 파일 선택하여 사용을 체크하여 평균 및 표준편차 파일을 사용자가 선택하여 사용할 수 있음

- ⑥ 저장폴더 선택 버튼을 클릭하여 폴더 검색 다이얼로그를 활성화 하고 계산된 농업가뭄 지수값 파일을 저장할 폴더를 지정함
- ⑦ 결과파일 좌표변환 항목을 체크하면 계산된 농업가뭄 지수값 파일을 UTM-K 좌표계로 변환하여 추가로 저장함
- ⑧ 입력파일 종류가 증발산(ET)/잠재증발산(PET) 파일인 경우 농업가뭄파라미터(ESI) 파일 저장 항목과 농업가뭄파라미터 합성 파일 저장 항목이 활성화 되며 해당 항목을 체크하면 증발산(ET)/잠재증발산(PET) 파일을 이용해 생성한 농업가뭄파라미터(ESI) 파일과 합성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일이 추가로 저장됨
- ⑨ 입력파일 종류가 농업가뭄파라미터(ESI) 파일인 경우 농업가뭄파라미터 합성 파일 저장 항목이 활성화 되며 해당 항목을 체크하면 합성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일이 추가로 저장됨
- ⑩ 결과파일 레이어 추가 항목을 체크하면 전체 프로세스 실행 후 계산된 농업가뭄 지수값 파일이 레이어로 추가되며, 가뭄단계 시각화 적용, 시군구 레이어 추가, 용수구역도 레이어 추가 항목이 활성화 됨
- ⑪ 가뭄단계 시각화 적용 항목을 체크하면 농업가뭄 지수값을 입력한 값에 따라 색상으로 구분할 수 있는 인터페이스가 활성화 되며 사용자는 단계별 색상 및 기준값을 편집할 수 있음
- ⑫ 시군구 레이어 추가 항목을 체크하면 프로세스 종료 후 계산된 농업가뭄 지수값을 레이어로 추가할 때 시군구 레이어를 함께 추가함
- ⑬ 용수구역도 레이어 추가 항목을 체크하면 프로세스 종료 후 계산된 농업가뭄 지수값을 레이어로 추가할 때 농업용수구역도 레이어를 함께 추가함
- ⑭ 실행 버튼을 클릭하면 선택한 영상파일과 평균/표준편차를 이용하여 농업가뭄 지수값을 계산하는 모듈이 수행되고 계산된 결과가 입력받은 폴더에 파일로 저장 되며, 선택한 옵션 항목에 따라 중간 계산 결과 저장 및 레이어 추가가 수행됨

2. 농업가뭄지도 생성 모듈(폴더)

가뭄단계 시각화 적용 체크박스를 선택하면 농업가뭄 지수값 파일을 단계별 시각화 하여 레이아웃에 추가하며, 시군구 레이아웃 추가 용수구역도 레이아웃 추가 체크박스를 선택하면 시군구 레이아웃과 용수구역도 레이아웃이 함께 추가됨

- 농업가뭄지도 생성을 위해 사용될 입력데이터의 폴더를 선택함, 증발산/잠재증발산폴더, 농업가뭄 파라미터폴더, 농업가뭄 파라미터 합성폴더를 선택할 수 있으며 선택 시 해당 폴더 선택창 활성화
- 다이얼로그 창을 이용하여 입력데이터 폴더를 선택함
- 콤보박스를 이용하여 모듈에 등록되어 있는 동일시기 평균과 표준편차 값을 선택함, 모듈은 2001년부터 2016년까지 동일시기 평균과 표준편차가 등록되어 있으며 단위기능 모듈을 이용하여 새로운 평균과 표준편차를 등록할 수 있음
- 평균/표준편차 폴더 선택하여 사용 체크박스를 선택하면 기존에 등록된 평균/표준편차를 이외에 사용자가 선택한 폴더를 사용할 수 있음
- 계산된 농업가뭄 지수값 파일을 저장할 경로를 입력함
- 결과파일 경로변환(UTM50N -> UTM-K) 체크박스를 선택하면 UTM-K 좌표계로 된 농업가뭄지수값 폴더를 추가 생성함
- 농업가뭄 파라미터 파일 저장 체크박스를 선택하면 농업가뭄 파라미터 폴더를 추가로 생성함
- 농업가뭄 파라미터 합성 파일 저장 체크박스를 선택하면 농업가뭄 파라미터 합성폴더를 추가로 생성함
- 실행 버튼을 클릭하여 농업가뭄 지수값 생성을 하고나면 생성된 결과를 검색할 수 있는 파일 탐색기가 활성화되며 체크박스를 선택하여 레이아웃에 추가할 파일을 선택할 수 있음

<그림 2-19> 폴더 단위 농업가뭄지도 생성 모듈

- ① 농업가뭄지도 생성 다이얼로그에서 폴더탭을 선택하고 입력폴더 선택 영역에서 라디오 버튼을 사용하여 입력폴더 종류를 선택함
- ② 선택한 입력폴더 종류에 해당하는 입력폴더 선택 인터페이스가 활성화 되면, 폴더선택 버튼을 클릭하여 폴더 검색 다이얼로그를 활성화 함
- ③ 활성화 된 다이얼로그에서 선택한 입력폴더 종류에 따라 증발산(ET)/잠재증발산(PET), 농업가뭄파라미터(ESI), 합성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일이 들어있는 폴더를 선택함
- ④ 선택한 폴더 내 영상파일을 이용하여 농업가뭄 지수값을 계산하기 위해 평균/표준편차 파일을 선택해야 함, 2001년부터 2016년까지 평균/표준편차를 사용하거나 모듈에 등록되어 있는 평균/표준편차를 사용할 경우 콤보박스를 사용하여 선택할 수 있으며, 평균/표준편차 파일 선택하여 사용을 체크하여 평균 및 표준편차 파일이 들어있는 폴더를 사용자가 선택하여 사용할 수 있음

- ⑥ 저장폴더 선택 버튼을 클릭하여 폴더 검색 다이얼로그를 활성화 하고 계산된 농업가뭄 지수값 파일을 저장할 폴더를 지정함
- ⑦ 결과파일 좌표변환 항목을 체크하면 계산된 농업가뭄 지수값 파일을 UTM-K 좌표계로 변환하여 추가로 저장함
- ⑧ 입력파일 종류가 증발산(ET)/잠재증발산(PET) 파일인 경우 농업가뭄파라미터(ESI) 파일 저장 항목과 농업가뭄파라미터 합성 파일 저장 항목이 활성화 되며 해당 항목을 체크하면 증발산(ET)/잠재증발산(PET) 파일을 이용해 생성한 농업가뭄파라미터(ESI) 파일과 합성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일이 추가로 저장됨
- ⑨ 입력파일 종류가 농업가뭄파라미터(ESI) 파일인 경우 농업가뭄파라미터 합성 파일 저장 항목이 활성화 되며 해당 항목을 체크하면 합성된 농업가뭄파라미터(ESI) 파일이 추가로 저장됨
- ⑩ 실행 버튼을 클릭하면 선택한 폴더 내 영상파일과 평균/표준편차를 이용하여 농업가뭄 지수값을 계산하는 모듈이 수행되고 계산된 결과가 입력받은 폴더에 파일로 저장 되며, 선택한 옵션 항목에 따라 중간 계산 결과가 저장됨
- ⑪ 농업가뭄 지수값 계산 및 저장 후 농업가뭄 지수값 파일 탐색 인터페이스가 활성화 되며 저장 폴더로 지정된 경로에 해당하는 폴더 및 파일을 구조화 하여 제공함
- ⑫ 농업가뭄 지수값 파일 탐색 인터페이스에서 폴더 및 파일을 선택하고 레이어추가 버튼을 클릭하면 해당 폴더 내 파일 및 선택한 파일이 레이어로 추가됨
- ⑬ 가뭄단계 시각화 적용 항목을 체크하면 기본적으로 설정된 농업가뭄 단계 및 색상에 따라 레이어 추가시 단계별 시각화가 적용됨
- ⑭ 시군구 레이어 추가 항목을 체크하면 프로세스 종료 후 계산된 농업가뭄 지수값을 레이어로 추가할 때 시군구 레이어를 함께 추가함
- ⑮ 용수구역도 레이어 추가 항목을 체크하면 프로세스 종료 후 계산된 농업가뭄 지수값을 레이어로 추가할 때 농업용수구역도 레이어를 함께 추가함

▣ 참여연구원

목 차		소속	참여자
1장. 서론		농어촌연구원	김대의
2장. 농업기름	기름 정의 및 예경보 기준	농어촌연구원	김대의, 최강원
	기름의 분류 및 지수		김대의, 강문성
	기름관련 강우량 분석		김대의, 박종환
3장. 위성활용 기술 현황	위성산업 동향 및 활용 현황	농어촌연구원	이재주, 신안국
	목적 및 궤도에 따른 위성 종류		신형진, 이재남
	위성활용 한계점 및 해결방안		박종환, 김재연
4장. 위성영상 기반 농업기름 파라미터 추출	위성영상 기반 농업기름 모니터링	한경대학교 공간인소프트	김한중 남원호 방나경 전민기 윤동현 이희진 장민원 김원균 권혁중 문용일
	농업기름 모니터링을 위한 위성영상 마인드맵		
	농업기름 파라미터 추출 모듈개발		
5장. 위성영상 기반 농업기름 모니터링 모델 개발	위성영상 및 기상영상 자료 융합	경상대학교	
	est-bed 시험지구 운영		
	위성영상 활용 농업기름 모니터링 모델		
6장. 위성영상 기반 농업기름 지도 제작(개발)	농업기름 지도 생성	경상대학교	
	향후 추진방향		
7장. 위성영상 자료수집 및 표준화 체계	위성영상 자료수집 체계	경상대학교	
	위성영상 자료 표준화		
	영상 관리체계		
	위성영상 표준화 모듈 개발		
8장. 위성영상 기반 가용수량 분석 방안	위성영상 기반의 가용지표수 분석 및 추진방향	경상대학교	
9장. 종합결론		농어촌연구원	김대의

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부로부터 연구비를 지원받아 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행한 연구보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용은 연구원의 공식견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.

■ 발 행 처

연구과제명 : 위성영상기반 농업가뭄 모니터링 모델 개발(I)	
발 행 일	2019. 12
발 행 인	유 전 용
발 행 처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 해안로 870 전 화 031 - 400 - 1727 FAX 031 - 400 - 1680
■ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다. 단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.	