



KCID 한국관개배수 기술정보지

# 세계 농업과 물

Korean National Committee on Irrigation and Drainage

2018 vol. 62



사단  
법인 **한국관개배수위원회**  
Korean National Committee on Irrigation and Drainage





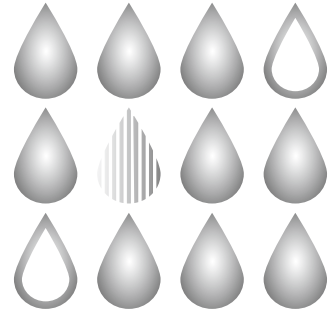
# CONTENTS

2018 vol. 62



02	<b>국제관개배수위원회(ICID) 행사 안내</b>	사무국
05	<b>KCID 소식</b>	사무국
08	<b>ICID 소식</b>	사무국
10	<b>국제회의 소식</b> 2018 ICID 캐나다 총회 참가기	오찬성
17	<b>관개배수 동향</b> 농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 영향·취약성 평가를 위한 실태조사 방안	배승중
39	<b>세계관개배수 기술</b> 합덕제(合德堤) - ICID 관개시설물 유산	김주창
56	<b>국제농업협력 및 개발사례</b> 국제농업협력사업의 현황과 사례	배가영
71	<b>관개배수 논문</b>	
71	관개시설 현대화가 쌀 생산효율성에 미치는 효과 연구	임청룡
83	드론3D모형의 정밀안전진단 활용성 검토	이준구
103	논에서의 시설재배 확대에 대비한 시설재배 작물 단위용수량 산정 고찰	신안국
116	<b>업체탐방</b> 센서로부터 시작·IT 기술과 융합·공헌하는 기업	아이에스테크놀로지(주)
127	<b>도서 소개</b> Remote Sensing of Hydrological Extremes	신용철
128	<b>농정토막 소식</b>	사무국
130	<b>투고안내</b>	사무국
133	<b>학술 및 국제교류 분과위원회 명단</b>	사무국

# 국제관개배수위원회(ICID) 행사 안내



## ICID 행사

### 제9회 국제 미량관개 회의

회의명	9th International Micro Irrigation Conference
개최일	2019년 1월 16일-18일
장소	인도 Aurangabad
담당자	Anuj Kanwal (인도지표수위원회 사무국장)
이메일	incid-cwc@nic.in;
웹사이트	<a href="http://micro-irrigation2019.com">http://micro-irrigation2019.com</a>

### 제3회 세계 관개 포럼 및 제70차 ICID 국제집행이사회

회의명	3rd World Irrigation Forum (WIF3) and 70 <sup>th</sup> IEC Meeting
개최일	2019년 9월 1일-7일
장소	인도네시아, Bali
담당자	Ir. Mohamad Hasan 회장 (인도네시아관개배수위원회)
이메일	inacid_indonesia@yahoo.co.id, mohasan53@yahoo.co.id
웹사이트	<a href="http://www.icid2019.com">http://www.icid2019.com</a>

### 제5차 아프리카 지역 회의 관개 및 배수(ARCID)

회의명	5th African Regional Conference on Irrigation and Drainage
개최일	2020년 3월 16일-19일
장소	모로코, 라바트
담당자	El Houssine Bartali 박사

**이 메 일** bartali.h@gmail.com, anafide.ma@gmail.com  
**웹 사 이 트** <http://www.anafide.net>

### 제24차 ICID 콩그레스 및 제71차 ICID 국제집행위원회

**회 의 명** 24th ICID Congress and 71st IEC Meeting  
**개 최 일** 2020년 9월 22일-24일  
**장 소** 오스트레일리아, Sydney  
**담 당 자** Bryan Ward (호주국립관개공사 CEO)  
**이 메 일** [Bryan.ward@irrigation.org.au](mailto:Bryan.ward@irrigation.org.au)  
**웹 사 이 트** <https://www.icid2020.com.au>

## 기타 행사

### 국제 댐 안전회의

**회 의 명** International Dam Safety Conference (IDSC)  
**개 최 일** 2019년 02월 13일-14일  
**장 소** 인도, Odisha Bhubaneswar  
**담 당 자** Shri P.K. Jena  
**이 메 일** [idsccwc@gov.in](mailto:idsccwc@gov.in)  
**웹 사 이 트** [www.damsafety.in/idsc2019](http://www.damsafety.in/idsc2019)

### 제4차 2019 물 민감 도시 회의

**회 의 명** 4th Water Sensitive Cities Conference 2019  
**개 최 일** 2019년 03월 26일~28일  
**장 소** 오스트레일리아, Brisbane  
**담 당 자** Clare Beeby  
**이 메 일** [admin@crcwsc.org.au](mailto:admin@crcwsc.org.au)  
**웹 사 이 트** <https://watersensitivecities.org.au/content/wsc-conference-2019>

## 2019 세계 식량을 위한 물 회의 by DWFI

- 회 의 명** Water for Food Global Conference 2019 by Daugherty Water for Food Global Institute (DWFI)
- 개 최 일** 2019년 04월 29일~30일
- 장 소** 미국, Lincoln
- 담 당 자** Robert B. Daugherty 회장
- 이 메 일** waterforfood@nebraska.edu
- 웹 사 이 트** <https://waterforfood.nebraska.edu/news-and-events>

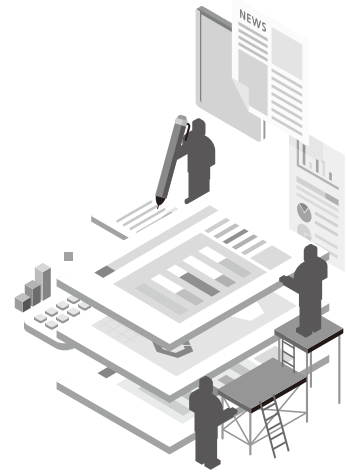
## 국제 댐 안전회의

- 회 의 명** 2019 Floodplain Management Australiav National Conference
- 개 최 일** 2019년 05월 14일~17일
- 장 소** 오스트레일리아, Canberra
- 이 메 일** amy@eastcoastconferences.com.au.
- 웹 사 이 트** <https://floodplainconference.com>

## 국제 관리 대수층 충전 심포지움

- 회 의 명** ISMAR 10: International Symposium on Managed Aquifer Recharge
- 개 최 일** 2019년 05월 20일~24일
- 장 소** 스페인 Madrid
- 이 메 일** info@ismar10.net
- 웹 사 이 트** <http://ismar10.net>

# KCID NEWS



## 캐나다 새스커툰 총회 소식

한국관개배수위원회(KCID)는 2018년 8월12~17(6일간) 캐나다 대초원의 중심부인 새스커툰에서 이루어지는 제 69차 국제집행위원회 회의 및 국제 컨퍼런스에 참석하였다. 이번 회의는 전 세계 41개국에서 500명이 넘는 전문가들이 참여하였다.

캐나다 수자원협회(CWRA)와 캐나다 관개배수위원회(CANCID)의 협력으로 ‘혁신 그리고 지속 가능한 농업용수 관리:변수 적응과 기후변화’의 주제를 바탕으로 6일간 회의가 진행되었다. Felix Reinders 회장은 세계의 수자원은 그대로이나 인구는 증가하고 있기 때문에 지속적인 식량공급을 위한 해결책을 제시해야 한다고 지적하였다. A. B. Pandya 사무총장은 ICID 비전 2030에 대한 2017-21 로드맵, 국제 관개 배수 연구 프로그램(IRPID), 기술 지원 프로그램(TSP)의 역할에 대해 회원들에게 강조하였다.

제 8차 ICID 아시아지역회의에서 논의된 국제 젊은 기술인 교육훈련 프로그램은 2019년 한국에





서 첫 국제 젊은 기술인 교육훈련 프로그램을 전문가 워크숍과 함께 개최하기로 ICID 사무국의 A.B. Pandya 사무총장과 Harish Kumar Varma 사무국장과의 협의를 하였다. 젊은 기술인 교육훈련 프로그램(YP-TP)의 첫 국제 행사인 만큼 기대에 부응할 수 있도록 준비에 여념이 없다.

## 50년사

한국관개배수위원회는 1969년 국제관개배수위원회(ICID)의 59번째 회원국으로 가입하여 2019년 도 창립 50주년을 맞습니다. 2019년 10월 한국관개배수위원회의 역사를 기록한 50년사가 발간될 예정이며, 역사를 만든 전 현직 임직원분들의 노력과 수고를 기념합니다. 앞으로의 한국관개배수위원회의 무궁한 발전을 기대합니다.

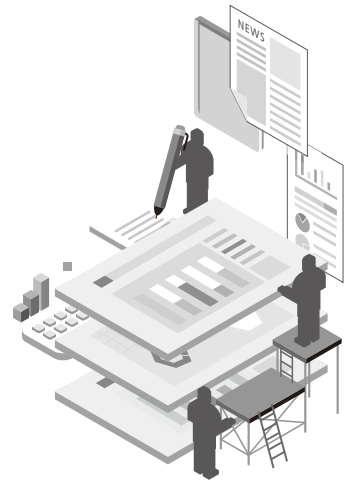


## 당진시 합덕제 연구 완료



당진 합덕제(충청남도 기념물 제70호)가 세계관개시설물유산으로 등재됨에 따라 당진 합덕제에 관한 역사적 가치 발굴을 통해 가치를 후대에 전승하고 미래지향적 정책수립을 위한 기본 자료로서 활용하고자 합니다. 특히, 관개수리시설로서의 향후 합덕제 인근 개발 계획 및 지역의 문화 활성화를 위한 활용방안을 구상하였다. 현재 합덕제를 중심으로 농촌테마공원이 조성되었고, 수리박물관, 연꽃공원 그리고 합덕성당 등 주변에 통합 관광 체계 구축이 가능한 소재가 여러 개 존재하는 바, 이를 당진 합덕의 고유자산으로 활용하고 성당의 종교시설과 합덕제의 역사 스토리, 농촌테마 공원이 통합하여 당진시 지역 힐링 테마 사업으로 발전시킬 수 있을 것입니다. 추후 당진시는 세계관개유산으로 등재된 합덕제를 평야지대에서 쌀농업을 통하여 풍요로운 농촌을 바라던 농심의 시각으로 재조명하고 보다 의미있는 시설로서 보전에만 그칠 것이 아니라 활용할 수 있는 자원으로 발전시키기를 기대합니다.

# ICID NEWS



## 국제관개배수위원회(ICID) 70주년

국제관개배수위원회는 2019년 70주년을 맞아 선구적인 여정과 성과를 기념할 예정이다. 2018년 5월 네팔 카투만두에서 열린 관리위원회(MB-1/18) 회의에서 처음으로 제안되고, 2018년 8월에 새스커튼에서 열린 제 69차 국제집행위원회 및 국제 컨퍼런스는 2019년 6월 70주년을 기념하고 24차 국제관개배수위원회(ICID) 회의를 오스트레일리아 시드니에서 개최할 것을 동의하였다. 인도네시아 발리에서 2019년 9월 1일~7일 제3회 세계 관개 포럼 및 제70차 ICID 국제집행이사회에서 국제관개배수위원회(ICID)의 70주년을 함께 기념한다.

## 2018년도 PAWEES & INWEPF 국제 회의 in Nara



PAWEES와 INWEPF는 논 기반 농업과 수 환경 개선을 목표로 하고 있는 국제 전문기관들의 국제적인 네트워크입니다. 2018년 11월 19일~23일 총 4박5일간 일본 나라에서 이루어지는 PAWEES-INWEPF에서 지속 개발 가능한 개발 목표(SDGs)를 위한 지식 교류 및 논 기반 농업의 중요한 현안에 대한 논의가 이루어졌다.

향후 제 16차 운영위원회 공동개최를 위해 12월 협의의 결과를 반영하여 2019년 국제협력사업의 일정과 기본 방향에 대해 수립할 예정이다.

## 제 1회 카이로 물주간

2018년 9월 17일 인도 뉴델리에서 A.B. Pandya 사무총장과 Dr. Sahdev Singh는 외무장관인 Sushma Swaraj와 회의를 가졌다. 이번 회의에선 역량강화, 기술 이전, 정책 개발 자문, 수자원 인프라 재건축, 수자원 공유 협상 등 다양한 ICID의 회원국들의 활동에 대해 외무장관에게 발표하는 것에 목적을 두었다.



제 1회 카이로 물주간(CWW1)은 이집트 수자원부가 유럽연합(EU), 유엔식량농업기구(FAO), 유네스코(UNESCO), 국제물재휴(GWP), 국제물관리연구소(IWMI)와 공동으로 개최하였다.

제 1회 카이로 물주간(CWW1)은 '지속 가능한 개발을 위한 물 보존'이라는 주제로 물에 대한 인식을 증진하고, 물 관련된 새로운 생각을 함양하여 통합 수자원 관리(IWRM) 및 지속 가능한 개발을 위해 보존한다.

이 행사는 통합 수자원 관리의 체계적인 접근을 통해 형평성 및 지속 가능한 개발에 초점을 맞추어 논의하고 수자원 관련 사안들을 토론하기 위해 제공되었다.

## 제 1회 아프리카 물 관련 젊은 기술인 포럼(AF-YWPF)

2018년 10월 14일부터 16일까지 개최된 제1회 아프리카 물 관련 젊은 기술인 포럼은 젊은 기술인들에게 실습 워크숍, 세미나 및 기술세션을 제공하여 관개 및 농업분야에서 이익을 창출할 수 있는 풍부한 기회를 제공하였다.



국제관개배수위원회(ICID)는 향후 물 문제에 능숙히 대처 가능한 인재를 양성하기 위해 젊은 기술인 포럼(IYPeF)을 활성화 하고 지속적인 활동을 위한 지원을 아끼지 않을 예정이다.

## 2018 ICID 캐나다 총회 참가기

오 찬 성

한국농어촌공사 농어촌연구원

yes\_csoh@ekr.or.kr

### 새스커투

학회 참석을 위해 늦은 오후 인천을 시작으로 장장 10시간의 비행이 끝나고 밴쿠버에 도착, 또 7시간의 대기 후 2시간을 날아 캐나다 서스캐처원(Saskatchewan)주의 Saskatoon 공항에 도착했다. 미리 구글 검색을 통해 개최 도시의 사전정보를 어느 정도 숙지한 필자와는 다르게 입국 수속 데스크에서 발권을 도와주시며 이쪽 방면에서는 웬지 잔뼈가 굵은 듯 보이는 직원분 조차 “거기가 어디인가요?”라고 질문하시던, 그런 이름도 생소한 캐나다 중남부 지역 어디엔가 도착하였다. 수화물을 찾고 Saskatoon 공항을 빠져나오니 제일 먼저 시원한 바람이 필자를 반겨주었다. 일주일 정도지만 폭염이 한창 기승을 부리며 숨 쉬기조차 힘들었던 대한민국을 벗어났다는 행복감이 기내에서의 쪽잠과 불편한 비행 연결편으로 인한 여독을 보상해 주는 느낌이 들었다. 하지만 기쁨도 잠시 공항 도착시간이 밤 11시였기 때문에 주변에 인적도 없고, 칙칙 같은 어둠뿐이라 어김없이 불안감은 엄습해 왔지만 공항에서 숙소가 있는 시내에 다다르며 점차 환해지는 불빛으로 인해 불안감은 이내 안도감과 설렘으로 바뀌며 학회 일정의 첫날밤은 그렇게 지나갔다.

## ICID 캐나다 총회

국제관개배수위원회(ICID, International Commission on Irrigation and Drainage)는 전 세계 96여 개국이 가입하고 매년 학술대회(Conference) 및 집행위원회(IEC, International Executive Council)를 운영하며, 3년마다 세계관개포럼(WIF, World Irrigation Forum)을 개최하는 큰 행사이다. 금회 ICID 회의는 '혁신적이며 지속가능한 농업용수 관리(Innovative and Sustainable Agri-Water Management)'라는 주제로 캐나다 서스캐처원의 Saskatoon에서 개최되었으며 컨퍼런스, 분과위원회의 및 제69차 집행위원회의가 진행되었다(표 1). 회의 일정은 8월 12일부터 17일까지로 6일 동안 매일 집행위원회의가 개최되었으며, 13일부터 15일까지 3일 동안 컨퍼런스와 분과위원회의가 주로 이루어졌다.

대한민국은 ICID 운영에 있어서 가장 큰 영향력을 가지며 또한 양적·질적으로 지원을 아끼지 않는 회원국으로서 집행위원회, 분과위원회 등에 참석하여 주도적인 역할을 수행하고 있다. 이에 한국농어촌공사는 연구 교류, 개발도상국 교육 및 해외사업 등 주요한 역할을 담당하기 위해 매년 전략적으로 참석하고 있다. 본 회의에 한국대표단은 농식품부 조래청 서기관을 비롯하여 한국농어촌공사 14명, KCID 3명, 학계 및 관련기관에서 8명, 총 26명이 참석하였다.

표 1 | 2018 ICID 캐나다 총회 주요 프로그램

Day 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Workshops and ICID meetings</li> <li>• Sub-Committee / Theme / Staff Committee meetings</li> </ul>
Day 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opening Ceremony and International conference plenary session</li> <li>• Technical sessions and IEC meetings</li> <li>• Agricultural greenhouse gases program workshop</li> </ul>
Day 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technical sessions / Forums / Seminar</li> <li>• Various IEC meetings and Working groups</li> <li>• Poster session</li> </ul>
Day 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technical sessions</li> <li>• Various IEC meetings and Working groups</li> <li>• Poster session</li> </ul>
Day 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technical tour #1, 2, 3</li> <li>• YP-Training workshop and IEC meeting</li> </ul>
Day 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IEC and MB (Management Board) meetings</li> </ul>

개회식은 8월 13일 TCU PLACE에서 약 500명이 참석한 가운데 진행되었다. 캐나다관개배수위원회(CANCID) 회장(Roger Hohm), ICID 회장(Eng. Felix B Reinders), Saskatoon 시장(Charlie Clark), Saskatchewan 하원위원(Dustin Duncan) 및 공공안전부 장관(Ralph Goodale)이 개회사, 환영사 및 기조연설을 하였으며, 이후 WatSave Award와 ICID 저널 우수논문상 발표도 함께 진행되어 연구자들 간 학술 업적을 공유하고 고무시킬 수 있는 장이 마련되었다.



그림 1 | Dr. John Pomeroy의 Keynote 발표



그림 2 | 개회식 후 한국대표단 단체 사진

## 대한민국 위상 제고 및 공사 홍보 노력

ICID conference는 “Innovative and Sustainable Agri-Water Management: Adapting to a Variable and Changing Climate” 주제로 ‘Competing Water Demands’, ‘Resilient Agriculture - Adapting Agriculture to Climate Change’ 및 ‘Irrigation and Drainage in Perspective’의 3개의 하위 주제로 발표 및 토론이 진행되었다. 주요 conference 내용 중 ‘기후변화와 이로 인한 농업, 관개 및 배수영향’ 관련 발표에서는 기후변화가 미국, 남아프리카, 우크라이나, 한국 등 각국의 관개배수 관리 및 농업활동에 미치는 영향을 평가하고, 중·소규모 저수지 농업용수 관리 및 적응방안에 대한 연구결과를 토론하였으며, ‘물-에너지-식량 넥서스’ 관련 발표에서는 남아프리카 국가 관개 계획 수립에 있어서 넥서스 활용 전망 및 Saskatoon 지역 대상 WEF 넥서스 평가 모델 개발 등을 발표하고 토론하였다. 그 외에 ‘FAO hydro-economic modeling’을 통한 유역 수준에서의 정책 결정 방안, 수리-경제 모델과 정책 간의 서로 다른 영역을 극복하고 합의점을 도출하는 방안을 모색하였으며, 마지막으로 센서를 이용한 ‘스마트 농업과 혁신 기술’에 대해 소개하고 현장 적용 사례가 발표되었다.

한국농어촌공사에서는 필자를 비롯하여(발표논문: Pollutant load estimation considering the

land-use scenarios of reclaimed agricultural land in Saemangeum, Korea) 장정렬 박사(발표논문: Evaluation on the hydraulic performance of the E-dong reservoir according to the revised dam design standard considering climate change), 최은희 박사(발표논문: Preliminary application experiment of water saving irrigation techniques at the paddy field for the Water-Energy-Food Nexus approach) 및 도종원 과장(발표논문: Optimal irrigation management system based on hydraulic analysis of irrigation canal / A drought early warning system for agricultural reservoirs using real-time water level)이 총 4편의 논문을 발표하였으며 그 동안의 연구결과에 대해 해외연구진들과 의견을 교환함으로써 연구 성과 및 기술력을 홍보할 수 있는 계기가 마련되었다.



그림 3 | 한국농어촌공사 직원 발표 현장 및 기술 홍보

한편 ICID는 전문가로 구성된 분과위원회(Working Group)를 운영하고 있으며, 선출된 회원국별 1명은 해당 분과위 내에서 지정된 업무를 수행하고 있다. KCID에서 참여하고 있는 ICID 분과위원회는 총 9개의 분과로 아시아지역분과 및 물 절약분과(최경숙 교수), 지속가능 농업관계분과(박창언

교수), 지속가능 연안분과(장정렬 박사), 비통상적 수자원 이용분과(이승현 박사), 기후분과(최진용 교수), 관개시스템 현대화 분과(윤광식 교수), 수자원 및 작물분과(남원호 교수), 환경분과(홍은미 교수), 상층적 요구 하의 수질오염관리 분과(조재필 박사)이다.

분과위원회별 매년 의제(agenda)를 정하고 의제별 활동사항 또는 계획에 대해 논의하며 그 결과를 마지막으로 진행되는 IEC 회의에서 보고·처리된다. 필자는 지속가능 연안분과(WG-SDTA)의 Observer로 활동하고 있으며 2018년 주요 회의 결과는 2019년 발리 총회에서 단기훈련 프로그램 (Groundwater(seawater intrusion) and land subsidence in a coastal area) 및 제3차 세계관개포럼(World Irrigation Forum) 부대행사 개최 협의와 KRC 수리시험 교육훈련 프로그램(KRC-YES)의 발표 및 참석요청이었다.

그 외에 한국농어촌공사에서는 학회 기간 중 공사 전시부스를 운영하여 공사의 일반현황 및 주요 사업을 소개하였다. 각국 대표단 및 일반 관람객 41개국 약 500명을 대상으로 스마트물관리, 해외 사업, 신재생에너지 등을 홍보하여 참석자들에게 높아진 한국의 위상을 소개할 수 있었으며, 기념품을 배부하여 많은 호응을 얻어낼 수 있었다. 또한 농어촌연구원에서는 국립 타이난 수리시험소와 기술교류 추진방안을 협의하여 기후변화 대응을 위한 수리시험 R&D, 신재생에너지, 어촌수산 및 해양분야 관련 양 기관 간 MoU(안) 및 11월 서명식을 농어촌연구원에서 추진하기로 하였다.



그림 4 | 지속가능연안분과위원회 회의 전경

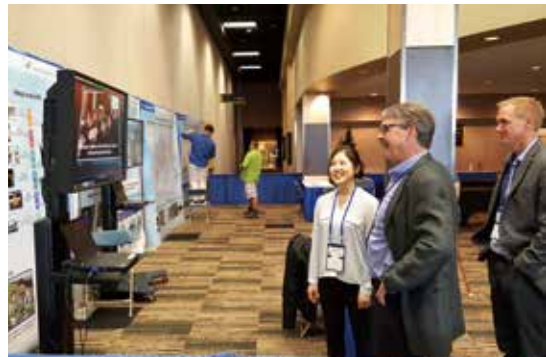


그림 5 | 공사홍보 부스 운영

## 테크니컬 투어

ICID 주최 테크니컬 투어는 총 3가지 프로그램으로 운영되었다. Option 1은 Visit Irrigation District로 Gardiner dam 건설로 형성된 Diefenbaker 호수에서 관개 지역까지 물을 공급하는 시설물을 중심으로 견학하는 것, Option 2는 Visit Irrigation Farm으로 다양한 작물과 시범, 잼



및 진과 같은 부가가치 제품을 생산하는 Saskatoon 지역의 많은 관개 농장을 방문하는 것, 마지막 Option 3은 Visit University of Saskatchewan으로 대학 내 농생명자원 캠퍼스와 연구소를 돌아보는 것이다.

이 중 Option 2에서 방문한 첫 농장은 자연 순환 농법을 이용한 축산농가로 자체 생산한 사료로 가축을 사육하고 발생한 가축분뇨는 사료재배농지에 환원하는 시스템으로 운영되고 있었다. 다음 방문한 농장은 Berry Barn으로 Saskatoon 투어프로그램으로 소개될 정도로 유명한 식당이었다. 자체 생산한 베리로 jam을 만들어 빵이나 와플과 함께 판매를 하는 곳으로 일부 원예소품들도 함께 전시하고 있었다. 마지막은 양조장(Black fox)으로 직접 재배한 밀로 보드카, 진 등 술을 제조·판매하고 있었으며, 이 외에 호박 굴리기 행사, 생화 따기 체험 프로그램 등을 자체적으로 개발·운영하는 6차 산업화의 모델을 국외에서도 확인할 수 있는 좋은 계기가 되었다. 또한 경직된 회의장 분위기에서는 미처 갖지 못한 친밀함과 애정을 다른 회원국 사람들과 함께 나눌 수 있는 좋은 기회가 되었다.



그림 6 | 테크니컬 투어 및 지역 주민의 일상

학회장 학술발표 후 필자는 동반자 투어 프로그램 중 하나인 미와신(Meewasin trail) 산책로를 따라 혼자 걸어 보았다. Meewasin valley는 서스캐처원 남서쪽 파이크 호수에서 북동쪽의 크로스링까지 60km 정도 이어지며 이 중 필자는 유니버시티 다리를 지나 코스모폴리탄 공원, 로테리 공원을 거쳐 회의장인 TCU Place로 돌아오는 코스로 6 km를 걸었다. 산책길을 따라 이어지는 고즈넉하고 아름다운 서스캐처원 강을 바라보니 잠시나마 마음의 안정을 찾은 듯 했으며, 음악에 끌려 광장에서 춤을 추는 행복한 모습의 Saskatoon 주민들 여유가 내심 부러웠다.

## 학회 참가기를 마치며

필자가 ICID를 처음 참석했을 당시(2014년 광주 총회)에는 회의 자체가 집행위원회의, 컨퍼런스, 심포지엄, 워크숍, 분과위원회의 등 너무 복잡한 시스템으로 운영되는 듯 하여 이를 파악하고 이해하는 것이 매우 어려웠다. 하지만 폐회 후 ICID 공식 홈페이지에 집행위원회 회의 결과, 분과위원회의제별 결과, 학술논문 초록 등이 모두 업로드 되어 회의 진행상황 및 그 결과를 전반적으로 파악할 수 있게 되어 있다. 이를 통해 필자 스스로는 연구 관련 아이디어도 얻고 연구 진행 방향을 재정립할 수 있는 기회가 되었으며, 더 나아가 한국농어촌공사는 관개배수 분야의 국제협력활동과 회원국들의 현재 관심사항 및 이슈 등을 파악하여 향후 활동성과를 어떻게 확산시키고 홍보할 것인지에 대해 고민해 볼 수도 있을 것이다. 앞으로도 필자는 ICID에서 더욱 활발한 활동을 통해 관개배수 관련 다양한 토론과 연구자간 생각을 공유할 것을 다짐하며, 내년 인도네시아에서 개최될 발리 총회에서 어떠한 주제로 필자를 설레게 할지 벌써부터 기대가 된다.

# 농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 영향·취약성 평가를 위한 실태조사 방안

배 승 종

서울대학교 그린바이오과학기술연구원 연구교수  
bsj5120@snu.ac.kr

김수진·최진용·유승환·박태선·정경훈

Bae, Seung-jong, Kim, Soo-Jin, Choi, Jin-Yong, Yoo, Seung-Hwan, Park, Tae-seon, Jung, Kyung-Hun

## 요약

본 연구는 법 (농어업·농어촌 및 식품산업 기본법 제47조 2항)에 따라 한국농어촌공사에 위임된 농업·농촌분야(농어촌정비법 제2조 3항에 따른 농어촌용수와 농업생산기반시설 한정)에 대해 기후변화 영향·취약성 평가를 위한 실태조사 방법론을 개발하고자 하였다. 이를 위해, 1) 기후변화 리스크 도출, 2) 리스크 기반 실태조사 항목 설정, 3) 실태조사 항목별 조사 프로토콜 개발, 4) 적용성 검증을 위한 시범조사의 순으로 진행하였다. 기후변화 실태조사 및 영향·취약성평가가 지속적으로 이행될 수 있도록 체계적인 평가틀을 마련하였다는 데 의의를 둘 수 있으며, 농어촌용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 실태조사 및 영향 평가를 안정적으로 추진하여 해당 분야 기후변화 감시·평가체계를 구축하고 기후변화에 선제적으로 대응할 수 있는 기반을 마련한 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 기후변화, 농어촌용수, 농업생산기반시설, 실태조사, 영향평가

## Abstract

This study aims to effective survey on actual condition for impact and vulnerability assessment on climate change in agriculture and rural community (limited to rural water and agricultural infrastructure, Paragraph 3, Article 2 of the Rearrangement of Agricultural and Fishing Villages Act) entrusted to Korea Rural Community Corporation based on the Law (Paragraph 2, Article 47 of the Framework Act on Agriculture, Rural community and Food industry). In order to achieve the goal, this article was conducted as follows. 1) For the rural water, survey items were divided into three categories (abnormal climate, water use, and flood control), and 31 indicators were selected. 2) For the agriculture production infrastructure, survey items of the reservoirs were divided into four categories, 20 indicators were selected. survey items of the pumping stations were divided into two categories, 7 indicators, and survey items of the drainage pump stations were divided into two categories, 5 indicators were chosen. 3) A survey on actual condition of each indicator was conducted and the result of the impact assessment was calculated in study areas and facilities. The results of this research is meaningful that a systematic evaluation framework was provided to ensure that climate change surveys and impacts assessments are continuously implemented.

**Keyword : Climate change, rural water, agricultural infrastructure, survey on actual condition, impact assessment**

## 1. 서론

세계경제포럼(WEF)의 ‘글로벌 리스크(Global Risks) 2018’보고서에서 제시된 발생 가능성과 영향력이 큰 글로벌 위험요인 Top 5 중에서 기상이변, 자연재해, 기후변화 완화 및 적응이 언급된 바 있다. 전 세계적으로 위험·취약지역에 대한 환경피해가 증가하고 있다는 사실은 가까운 미래에 기후변화에 대한 적응 대처방안의 수립과 물 부족, 식량 관리 등에 새로운 패러다임이 필요함을 시사한다.

2016년 여름의 경우, 우리나라에 찾아온 기록적인 폭염으로 인해서 전국 연평균 기온이 1973년 이래 가장 높았으며, 2017년 심각한 봄 가뭄 현상과 5월의 이른 무더위가 발생하였다. 이처럼 지구온난화의 원인물질인 온실가스로 인한 미래 기후변화는 우리나라의 기온 및 강우 발생 시기와 패턴에 영향을 줄 뿐만 아니라 점차 지구상의 물순환 특성을 변화시키고 있는 상황이다.

2018년 10월 '제48차 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 총회에서 '지구온난화 1.5°C 특별보고서(Special Report on Global Warming of 1.5°C)'의 정책 결정자를 위한 요약본(SPM)을 승인하였다. 파리협정을 채택한 기후변화협약(UNFCCC, UN Framework Convention on Climate Change)의 제21차 당사국 회의 결정문에서 IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체)에 "산업화 이전 수준 대비 1.5°C 높은 지구온난화의 영향 및 관련된 온실가스 배출 경로에 대한 특별보고서를 2018년에 제공하도록..."한 요청에 대한 대응으로 IPCC는 2016년 4월 이 요청을 수락하여, 기후변화의 위협, 지속가능한 발전, 빈곤퇴치의 전지구적 대응 강화 측면에서 산업화 이전 수준 대비 1.5°C 높은 지구온난화의 영향과 이에 관련된 온실가스 배출경로에 대한 특별보고서를 준비할 것을 결정하였다. 2015년 채택된 파리 기후협정에 따라 기후 재앙을 막으려면 어떤 조치가 필요한지, 또 이에 실패하면 어떤 일이 벌어지는지에 관해서 세계 최고의 기후 과학자들이 함께 작성한 문건으로 각국 정부에 제공돼 미래에 신속한 행동을 취할 때 가이드 역할을 할 것으로 예상된다.

한편 국내에서는 15년 제1차 국가 기후변화 적응대책 완료에 따라 「제2차 국가 기후변화적응대책(2016~2020)」 마련하였으며, 제1차 대책의 성과를 계승·공유하고 기후환경 및 사회·경제적 변화와 국내·외 정책수요에 대응하는 국민 피부에 와 닿는 대책을 마련하였다. 「제2차 국가 기후변화적응대책(2016~2020)」에서는 주요 추진 과제로 4대 정책, 이행 기반 마련, 점검체계 구축을 중심으로 사업을 추진하도록 하고 있으며, 4대 정책으로는 과학적인 기후변화 위험관리 체계 마련, 기후변화에 안전한 사회 건설, 기후변화를 활용한 산업계 경쟁력 강화, 지속가능한 자연자원 관리 등을 제시하고 있음. 또한, 국내외 적응정책 이행 기반을 마련하기 위하여 기후변화 적응관련 법적기반 강화, 타 정책계획과 기후변화 적응정책 연계방안 수립 등 정책 실효성을 강화하기 위한 방안도 마련되어 있다.

기후변화로 야기되는 문제점을 평가하기 위하여 농업·농촌, 임업·산림, 농어촌용수 및 농업생산기반시설분야에 미치는 기후변화 영향·취약성을 5년마다 조사·평가 공표하고 실태조사를 실시하기 위한 법적 근거를 마련하였으며(농업·농촌 식품산업기본법 제47조의 2), 동법 시행령에 따라 농업·농촌 분야 및 임업분야의 경우, 농촌진흥청 및 산림청에서 기후변화 영향·취약성 평가 세부기준을 수립하여 실태조사를 추진 중에 있다. '18년부터 본격적으로 실시 중인 전제 농어촌용수 및 농업생

산기반시설에 대한 실태조사에 대비하여 조사 및 영향·취약성 평가 플랫폼을 구축할 필요성이 있으며, 해당 플랫폼을 구축하기 위해 사전정보 수집, 기 개발된 영향·취약성 평가지표의 검증 및 보완, 조사·분석·평가 결과에 대한 관리방안 등을 마련함으로써 효율적이고 신뢰성 있는 기후변화 실태 조사 및 영향·취약성 평가의 기초를 마련할 필요성이 있다.

본 연구는 2017년 ‘농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 영향·취약성 평가를 위한 실태(시범) 조사 및 관리방안 수립’의 일환으로 수행되었으며, 그 결과를 요약한 것이다. 연구의 목적은 법(농어업·농어촌 및 식품산업 기본법 제47조 2항)에 따라 한국농어촌공사에 위임된 농업·농촌분야(농어촌정비법 제2조제3호 및 제6에 따른 농어촌용수 및 농업생산기반시설분야 한정)에 대해 기후변화에 대한 영향·취약성 평가를 위한 효율적 실태조사를 수행하기 위한 방안을 마련하는 데 있다. 이를 위해 농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 리스크를 도출하였고, 각 리스크에 따른 실태조사 항목을 설정하였으며 시범지구 및 시설을 대상으로 적용 가능성을 분석하였다.

표 1 | 농어업·농어촌 및 식품산업 기본법 제47조 2항

(법 제47조의 2) ① 기후변화가 농어업·농어촌에 미치는 영향과 기후변화에 따른 취약성을 5년마다 조사·평가·공표하고 정책수립의 기초자료로 활용, ② 기후영향평가 등에 필요한 기초자료 확보 및 통계의 작성을 위하여 실태조사 실시

(시행령 제19조의 2) ①농림축산식품부장관은 농업·농촌 분야(임업 분야, 농어촌용수 및 농업생산기반시설분야 제외)에 관한 권한을 농촌진흥청장에게 위임. ②농림축산식품부장관은 농업·농촌 분야(임업 분야 한정)에 관한 권한을 산림청장에게 위임. ③농림축산식품부장관은 농업·농촌 분야(농어촌정비법 제2조제3호 및 제6에 따른 농어촌용수 및 농업생산기반시설분야 한정)에 관한 권한을 한국농어촌공사에 위임.

1) 영향·취약성평가, 2) 실태조사, 3) 실태조사 협조요청

(시행규칙 제5조~제6조) ① 기후변화 영향평가 등과 실태조사의 시기·대상·방법 등이 포함된 계획 수립 및 실시, ② 기후변화 영향평가 자문위원회 구성·운영에 관한 사항 명시

## 2. 농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 리스크 도출

### 2.1 기존 관련 리스크 조사

제2차 국가기후변화 적응대책에 따르면 1차 적응대책 7개 부문(건강, 물, 산림/생태계, 국토/연안, 산업/에너지, 농축산, 해양/수산(재난/재해부문 리스크는 관련되는 각 부문에 포함)을 고려하여 기후변화 리스크를 식별→분석→평가→우선순위 설정의 4단계 과정으로 진행하여 평가하였다.

해당 대책에서는 280여개 리스크 예비목록을 작성하였으며, 리스크 및 관련 기후요인, 리스크에 따른 파급영향(2차 리스크)를 구분하였다. 부문별 전문가 자문회의 및 워크숍을 통해 7개 부문 175개 리스크 목록 및 기타부문 6개 리스크 등 총 181개를 도출하였으며, 중점관리가 필요한 우선순위 리스크 설정 및 리스크 관리의 시급성과 복구가능성을 고려하여 최종적으로 87개 우선순위 리스크 목록을 도출하였다.

도출된 87개 우선순위 리스크 목록 중 본 연구과제와 관련이 높은 농어촌용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 리스크와 관련된 항목은 물 부문 17개 및 농축산부문 8개로 조사되었다.

표 2 | 제2차 국가기후변화적응대책에서 제시된 관련 리스크 목록

구분	리스크	
물 부문 (17개 리스크)	가뭄에 의한 하구역 염도증가	기온상승에 따른 조류로 인한 수질악화
	가뭄으로 인한 하천지류 건천화	기온상승에 따른 병원균으로 인한 수질악화
	가뭄으로 인한 생활용수(음용수 등) 부족	용수공급시설(댐, 정수시설 등 상수도 시설물) 파괴
	가뭄으로 인한 공업용수 부족	상수도시설 가동영향(상수도 약품, 인력 이동 등)
	물 부족으로 인한 지하수의 난개발	강우패턴 변화에 의한 수질악화
	가뭄으로 인한 지역간/계층간 물 공급 격차 심화	홍수로 인한 수리시설물(하천제방 등) 파괴
	강우패턴 변화에 의한 수생태 변화	호우 빈도 증가로 댐 안정성 위협
	농작물 증발산량 증가로 인한 물수요 증가	강우패턴 변화로 인한 국가 수자원 공급능력 저하
	기온상승으로 인한 수생태 변화	
농축산부문 (8개 리스크)	집중호우로 인한 비료, 살충제, 축산폐기물 유출 증가	농작물 재배 시기 및 적지 변화
	겨울철 온도 증가로 인한 해충 및 질병 확산, 이로 인한 작물 및 가축 피해 증가	기상재해로 인한 농축산 시설붕괴
	홍수 및 태풍으로 인한 농작물 및 가축 피해 증가	극한 기상으로 인한 가축 스트레스 및 질병, 사망 심화
	강수량 증가로 인한 농경지 침식	농업시설 재배작물 및 가축들의 온도 및 환경 유지를 위한 에너지 및 비용 변화

## 2.2 농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 리스크 도출

앞서 제시된 제2차 국가기후변화적응대책에서 제시된 관련 리스크는 국가 차원의 기후변화 리스크로 보다 직접적인 관련 리스크로 재 도출하여야 하며, 기후변화 실태조사 항목의 경우 농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 리스크에 기반하여 설정되어야 한다. 이에 따라 기존 문헌 고찰 및 전문가 설문조사를 통하여 표 3과 같이 15개의 농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 리스크를 도출하였다.

표 3 | 본 연구에서 도출한 기후변화 리스크 목록

부문	코드	기후변화 리스크	
농업생산 기반시설	W01	폭염 및 한파 등 이상기후현상에 따른 농업생산기반시설의 내구성 저하	
	W02	이상기상 등에 따른 내구성 저하로 인한 농업생산기반시설의 손상 및 유실	
	W03	기후변화에 따른 농업생산기반시설의 안정성 개선 및 보강비용 증가	
	W04	풍수해로 인한 농업생산기반시설의 붕괴 및 유실	
	W05	한해로 인한 농업생산기반시설 확충 및 비상급수 증가	
	W06	기후변화 및 이상기상 등에 따른 저수지 유사 피해 및 준설비용 증가	
농 업 용 수	이수	W07	가뭄으로 인한 지하수의 난개발에 따른 지하수 고갈
		W08	기후변화로 인한 작부체계 및 영농시기 변화
		W09	기온상승으로 인한 증발산량 증가에 따른 필요수량 및 관개량 증가
		W10	기온상승 및 관개량 증가에 따른 저수율 하락
	치수	W11	풍수해 발생으로 인한 토사 발생량 증가에 따른 저수지 내용적 변화
		W12	시설재배 등 불투수면 증가에 의한 농업용지의 홍수조절기능 감소
		W13	용배수로 식생 변화에 따른 통수능 변화
	수질/ 수생태	W14	기온상승 및 강우패턴 변화에 따른 농업용수 수질 악화(저수지 녹조 및 조류 증가, 생태계 변화)
		W15	작부체계 및 영농 변화에 따른 수질 영향 악화(비료·농약, 제초·살충제 변화 증가 등)

## 3. 농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 실태조사 방안

### 3.1 농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 실태조사 항목 설정

기후변화 실태조사 및 영향평가를 위한 조사항목은 농어촌용수 및 농업생산기반시설의 기후변화



리스크에 기반하여 설정되어야 한다. 각 조사항목은 조사의 목적, 축적, 시스템의 형태, 조사자의 주관적 판단, 자료의 접근성에 따라서 달라지므로 명확한 자료 출처 및 분석방법이 결정되어져야 하며, 자료수집 용이성은 물론 해석이 간단하고 조사대상 지역이 바뀌어도 지속적으로 조사가 가능하여야 한다.

이에 관련된 실태조사항목 및 취약성 평가지표 사례를 조사하고, 농촌진흥청 및 산림청에서 제시하고 있는 기후변화 실태조사 항목과 환경부에서 물관리분야 취약성 평가에 활용하고 있는 항목에 대해 조사하였다. 조사항목들을 바탕으로 농어촌용수 및 농업생산기반시설 관리자, 지자체 및 전문가 설문조사 등을 통해 타당성 검증 후 농어촌용수 및 농업생산기반시설에 대한 기후변화 리스크와 관련된 조사항목/지표의 검토를 통해(그림 1 참조) 최종적인 조사대상 및 조사항목을 표 4와 같이 선정하였다.



그림 1 | 기후변화 리스크와 조사항목 관련성 평가(예)  
 - 기온상승으로 인한 증발산량 증가에 따른 필요수량 및 관개량 증가 리스크와 실태조사항목 -

농어촌용수는 3개 영역 (이상기후, 이수, 치수)으로 구분하고, 6개 부문 31개 세부항목을 선정하였다. 먼저, 이상기후 영역은 기온 변화부문에서 연평균 일평균기온, 계절별 평균기온 (3-5, 6-8, 9-11, 12-2월), 폭염일수, 한파일수 등 7개 세부지표와 강수 변화부문의 연평균 강수량, 계절별 강수량 (3-5, 6-8, 9-11, 12-2월), 강수일수 (0.0 mm 포함), 유효강수일수 (5 mm 이상), 일강수량 80 mm 이상일 수, 최대 연속 무강우일수 (5 mm 미만), 10일 연속 무강우일수 (5 mm 미만) 등 10개 세부지표가 선정되었다. 이수 영역은 12개 세부항목을 선정하였으며, 기준증발산량 변화 부문에서 월별 기준증발산량 FAO Penman-Monteith과 수정 Penman, 용수량 변화 부문에서 논면적, 밭면적, 생육기 (5-9월) 강수량, 연평균 유효수량, 필요수량 (논, 밭의 순용수량과 조용수량), 가뭄피해 변화 부문에서 가뭄피해 면적과 가뭄피해 복구비가 해당되었다. 마지막으로 치수 영역은 홍수피해 변화 부문의 홍수피해 면적과 홍수피해 복구비의 세부지표가 선정되었다.

농업생산기반시설은 저수지, 양수장과 배수장에 한정하여 각 시설별 세부항목을 선정하였다. 저수지는 4개 영역 (시설, 이수, 치수, 수질/환경)으로 구분하고 5개 부문 20개 세부항목으로 구성하였다. 시설 영역은 수혜구역 변화의 수혜면적 세부지표와 안정성 변화의 안전점검 등급과 정밀안전진단 등급 세부지표로 구성하였고, 이수 영역은 연평균 저수율, 관개기 직전 저수율, 관개기 종료 후 저수율, 가뭄대책 단계별 관리수위 발생일수 (관심, 주의, 경계, 위험), 관개량, 관개시작일, 관개종료일, 관개일수 등 12개의 세부지표, 치수 영역은 홍수대비 사전 방류일수와 만수위 이상일수 (5-9월) 등 2개 지표, 그리고 수질/환경 영역은 수온, TOC, T-P, COD 등 4개의 세부지표로 구성하였다. 양수장은 시설과 이수 2개 영역으로 구분하고, 수혜면적, 안전점검 등급, 정밀안전진단 등급, 관개량, 관개시작일, 관개 종료일, 관개일수 등 7개 세부지표로 구성하였으며, 배수장은 시설과 치수 2개 영역으로 구분하고, 배수면적, 안전점검 등급, 정밀안전진단 등급, 배수량과 배수일수 등 5개 세부지표로 구성하였다.

표 4 | 농어촌용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 실태조사 항목

구분		자료 및 조사항목		실태조사		
부문	영역	항목	세부항목	자료	시기	주기
농어촌 용수	이상 기후	기온 변화	연평균 일평균기온	일자료	1년	1년
			계절별 평균기온(3-5,6-8,9-11,12-2월)	일자료	3개월	1년
			폭염일수	일자료	1년	1년
			한파일수	일자료	1년	1년

구분		자료 및 조사항목		실태조사			
부문	영역	항목	세부항목	자료	시기	주기	
농어촌 용수	이수	강수 변화	연평균 강수량	일자료	1년	1년	
			계절별 강수량(3-5,6-8,9-11,12-2월)	일자료	3개월	1년	
			강수일수(0.0mm 포함)	일자료	1년	1년	
			유효강수일수(5mm 이상)	일자료	1년	1년	
			일강수량 80mm 이상일 수	일자료	1년	1년	
			최대 연속 무강우일수(5mm 미만)	일자료	1년	1년	
			10일 연속 무강우일수(5mm 미만)	일자료	1년	1년	
	이수	기준 증발산량 변화	월별 기준증발산량(FAO Penman-Monteith)	일자료	1개월	1년	
			월별 기준증발산량(수정 Penman)	일자료	1개월	1년	
		용수량 변화	논면적	일자료	1년	1년	
			밭면적	일자료	1년	1년	
			생육기(5-9월) 강수량	일자료	5개월	1년	
			연평균 유효우량	일자료	1년	1년	
			필요수량 (논, 순용수량)	일자료	1년	1년	
			필요수량 (밭, 순용수량)	일자료	1년	1년	
			필요수량 (논, 조용수량)	일자료	1년	1년	
		가뭄피해 변화	가뭄피해 면적	년자료	1년	1년	
			가뭄피해 복구비	년자료	1년	1년	
		치수	홍수피해 변화	홍수피해 면적	년자료	1년	1년
				홍수피해 복구비	년자료	1년	1년

구분		자료 및 조사항목		실태조사			
부문	영역	항목	세부항목	자료	시기	주기	
농업 생산 기반 시설	저수지	시설	수해구역 변화	수해면적	년자료	1년	1년
			안정성 변화	안전점검	분기자료	3개월	1년
		정밀안전진단		5년	5년	5년	
		이수	관개용량 변화	연평균 저수율	년자료	1년	1년
				관개기 직전 저수율	년자료	1년	1년
				관개기 종료 후 저수율	년자료	1년	1년
				가뭄대책 단계별 관리수위 발생일수	년자료	1년	1년
				관개량	일자료	1년	1년
				관개시작일	년자료	1년	1년
				관개종료일	년자료	1년	1년
		관개일수	년자료	1년	1년		
		치수	홍수량 변화	홍수 대비 사전 방류일수	일자료	1년	1년
				만수위 이상 일수(5-9월)	년자료	5개월	1년
		수질 / 환경	수질환경 변화	수온	분기자료	3개월	1년
	TOC			분기자료	3개월	1년	
	T-P			분기자료	3개월	1년	
	COD			분기자료	3개월	1년	
	양수장	시설	수해구역 변화	수해면적	년자료	1년	1년
			안정성 변화	안전점검 등급	분기자료	3개월	1년
				정밀안전진단 등급	5년	5년	5년
		이수	관개용량 변화	관개량	일자료	1년	1년
				관개시작일	년자료	1년	1년
				관개종료일	년자료	1년	1년
관개일수				년자료	1년	1년	
배수장	시설	배수면적 변화	배수면적	년자료	1년	1년	
		안정성 변화	안전점검	분기자료	3개월	1년	
			정밀안전진단	5년	5년	5년	
	치수	홍수배제량 변화	배수량	일자료	1년	1년	
			배수일수	일자료	1년	1년	

### 3.2 농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 실태조사 방법

앞서 제시한 각 실태조사 항목별 조사방법을 1차 조사와 2차 조사로 구분하여 조사방법을 설정하였으며, 1차 조사에 따른 자료 누락시에도 2차 조사를 통해 자료를 보완할 수 있도록 구성하였다(표 5). 1차 조사는 조사항목에 대한 자료를 수집하고 분석을 위한 기술통계 등 1차 분석을 거치는 단계이며, 2차 조사는 1차 조사된 항목에 대한 모델링, 현장검증 등을 통해 최종 자료로 확정하는 단계이다.

표 5 | 농어촌용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 실태조사 항목별 체크리스트

구분		자료 및 조사항목		1차 조사		2차 조사		
부문	영역	항목	세부항목	자료출처	구득방법	자료출처	구득방법	
농 어 촌 용 수	이상기후	기온 변화	연평균 일평균기온	기상청	기술통계	-	-	
			계절별 평균기온(3-5,6-8,9-11,12-2월)	기상청	기술통계	-	-	
			폭염일수	기상청	기술통계	-	-	
			한파일수	기상청	기술통계	-	-	
		강수 변화	연평균 강수량	기상청	기술통계	-	-	
			계절별 강수량(3-5,6-8,9-11,12-2월)	기상청	기술통계	-	-	
			강수일수(0.0mm 포함)	기상청	기술통계	-	-	
			유효강수일수(5mm 이상)	기상청	기술통계	-	-	
			일강수량 80mm 이상일 수	기상청	기술통계	-	-	
			최대 연속 무강우일수(5mm 미만)	기상청	기술통계	-	-	
		기준 증발산량 변화	월별 기준증발산량(FAO Penman-Monteith)	기상청	모델링	-	-	
			월별 기준증발산량(수정 Penman)	기상청	모델링	-	-	
		이수	용수량 변화	논면적	통계청	조사	1차 구득자료	기술통계
					밭면적	통계청	조사	1차 구득자료
	생육기(5-9월) 강수량			기상청	기술통계	-	-	
	연평균 유효우량			기상청	기술통계	-	-	
	필요수량 (논, 순용수량)			농어촌용수 이용 합리화계획	조사	HOMWRS DB 기상자료	모델링 (HOMWRS)	
	필요수량 (밭, 순용수량)			농어촌용수 이용 합리화계획	조사	HOMWRS DB 기상자료	모델링 (HOMWRS)	
	필요수량 (논, 조용수량)			농어촌용수 이용 합리화계획	조사	HOMWRS DB 기상자료	모델링 (HOMWRS)	
	필요수량 (밭, 조용수량)			농어촌용수 이용 합리화계획	조사	HOMWRS DB 기상자료	모델링 (HOMWRS)	
	가뭄피해 변화		가뭄피해 면적	지자체	조사	-	-	
가뭄피해 복구비			지자체	조사	-	-		
치수	홍수피해 변화	홍수피해 면적	지자체	조사	-	-		
		홍수피해 복구비	지자체	조사	-	-		

구분		자료 및 조사항목		1차 조사		2차 조사			
부문	영역	항목	세부항목	자료출처	구득방법	자료출처	구득방법		
농업생산기반시설	저수지	시설	수혜구역 변화	수혜면적	공사지사	조사	현장	조사/검증	
			안정성 변화	안전점검	공사지사	조사	RIMS	조사/확인	
		정밀안전진단		공사지사	조사	RIMS	조사/확인		
		이수	관개용량 변화	연평균 저수율	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인	
				관개기 직전 저수율	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인	
				관개기 종료 후 저수율	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인	
				가뭄대책 단계별 관리수위 발생일수	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인	
				관개량	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인	
				관개시작일	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인	
				관개종료일	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인	
		치수	홍수량 변화	홍수 대비 사전 방류일수	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인	
				만수위 이상 일수(5-9월)	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인	
		수질/환경	수질환경 변화	수온	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인	
				TOC	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인	
	T-P			공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인		
			COD	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인		
			이수	관개용량 변화	관개량	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인
					관개시작일	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인
	관개종료일	공사지사			일지 조사	RIMS	조사/확인		
	관개일수	공사지사			일지 조사	RIMS	조사/확인		
	양수장	시설	수혜구역 변화	수혜면적	공사지사	조사	현장	조사/검증	
안정성 변화				안전점검 등급	공사지사	조사	RIMS	조사/확인	
정밀안전진단 등급			공사지사	조사	RIMS	조사/확인			
배수장		배수면적 변화	배수면적	공사지사	조사	현장	조사/검증		
			안정성 변화	안전점검	공사지사	조사	RIMS	조사/확인	
			정밀안전진단	공사지사	조사	RIMS	조사/확인		
치수	홍수배제량 변화	배수량	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인			
		배수일수	공사지사	일지 조사	RIMS	조사/확인			

또한, 각 조사항목별 평가지표 및 조사방법을 세부적으로 제시한 프로토콜을 작성함으로써 향후 지속적인 자료 축적 및 조사의 일관성을 유지할 수 있도록 하였으며, 농어촌용수 부문의 “용수량 변화” 지표 및 농업생산기반시설(저수지)의 “관개용량 변화” 지표와 프로토콜을 다음과 같다.

### ● 농어촌용수 부문 : 「용수량 변화」 항목 조사 프로토콜

- 용수량 변화는 논면적, 밭면적, 생육기(5-9월) 강수량, 연평균 유효수량, 필요수량(논, 순용수량)과 필요수량(밭, 순용수량), 필요수량(논, 조용수량)과 필요수량(밭, 조용수량) 등 총 8가지 세부 평가지표로 구성됨
- 논면적 및 밭면적은 농어촌용수구역 내의 논과 밭의 면적을 의미함
  - ※ 농어촌용수구역을 구성하는 시·군의 면적구성비를 구하고 각 시·군의 논면적과 밭면적을 면적구성비율로 농어촌용수구역에 할당
  - ※ 시·군의 논면적 밭면적은 농업면적조사(통계청)의 해당 연도의 면적을 적용
- 일강수량은 하루 동안에 내린 강수량으로 1일 8회(03, 06, 09, 12, 15, 18, 21, 24시) 관측된 강수량의 총강수량을 의미함
  - ※ 보통 00~24시 동안에 내린 양을 일합계로 하지만, 09시 또는 21시를 하루의 경계로 할 때도 있으며, 이와 같은 경우 그날 09시부터 다음날 09시까지, 또는 전날 21시부터 그날 21시까지를 하루로 한다는 것을 분명하게 기재해야 함
- 생육기 강수량은 주요 작물의 생육기간인 5-9월에 내린 총 강수량을 의미함
- 유효수량은 포장에서 필요한 수량 중에서 강우로부터 직접 공급되고 이용되는 수량을 말하며, 강우량이나 토양의 조건 등에 따라 일정하지 않으나 관개계획 기준년을 기준으로 할 경우 관개기간의 유효수량은 논에서는 총강우량의 70~80%, 밭에서는 60~80% 정도를 적용함
- 강수량 대비 유효수량 비율은 1년 동안 내린 총강수량과 유효수량의 비율을 의미함
- 논과 밭에서의 필요수량은 농업용수 수요량을 의미함. 순용수량은 필지(포장)에서 작물의 재배를 위해 인위적으로 공급할 수량을 의미하고, 조용수량은 수원공에서 취수해야할 수량을 의미함
  - ※ 논 순용수량 = 필지용수량 - 유효수량 = 감수심 + 재배관리용수량 - 유효수량
  - ※ 밭 순용수량 = 증발산량 - 유효수량 = 계획일필요수량
  - ※ 논 조용수량 = 순용수량 + 시설관리용수량 = 순용수량 / (1-시설관리손실률)
  - ※ 밭 조용수량 = 순용수량 / 관개효율

## 〈전략과제의 평가 지표 및 프로토콜〉

분야		이수
지표명	용수량 변화	
조사 개요	평가대상	논면적, 밭면적, 생육기(5-9월) 강수량, 연평균 유효수량, 필요수량(논, 순용수량), 필요수량(밭, 순용수량), 필요수량(논, 조용수량), 필요수량(밭, 조용수량)
	기준범위	농어촌용수구역
	기준년도	10년, 5년
조사 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 논면적 밭면적은 농어촌용수구역을 구성하는 시·군의 면적구성비율로 계산하며, 연도별 논면적과 밭면적 자료는 통계청 농업면적조사 자료의 경지면적자료를 활용함</li> <li>• 생육기 강수량은 기상청 기후통계자료의 기상관측소별 일강수량 자료를 활용하여 분석</li> <li>• 유효수량과 필요수량(논/밭)의 경우 한국농어촌공사 수리시설물 모의조작 시스템인 HOMWRS(Hydrological Operation Model for Water Resources System)을 활용하여 산정하고 분석</li> <li>• HOMWRS : 관개계획을 수립하기 위한 유역 유입량 및 관개 필요수량의 산정, 저수지 물수지 분석 및 단위용수량 산정이 일련의 통합된 시스템 내에서 구현되도록 한 원도우용 프로그램</li> <li>• HOMWRS에서 필요수량 산정 시, 논에서의 일별 필요수량은 Penman식, 밭에서의 일별 필요수량은 Penman-Monteith식을 적용하며 밭 필요수량을 산정하기 위해서는 종신속유효수분량(TRAM)이 필요하며 작물계수 및 작부시기는 밭작물별로 DB로 제공됨. 또한 이양재배, 직파재배 및 혼합재배방식의 단위용수량 산정이 가능하며 용수로 및 지선 등의 지배면적에 따른 설계용수량을 결정이 가능함</li> <li>• HOMWRS 구동을 위한 기초자료는 농어촌용수 이용 합리화계획(2015~2024)의 용수구역별 수로손실률, 침투량, TRAM 자료를 활용함. 논 필요수량 산정시, 최대담수심은 80mm, 최소담수심은 20mm 적용하여 산정</li> <li>• 기준값인 10년 및 비교값의 기준이 되는 최근 5년 자료 수집</li> <li>• 영향평가는 '비교값 / 기준값'으로 《5년 / 10년》 적용</li> </ul>	
리스크	<ul style="list-style-type: none"> <li>• W07. 가뭄으로 인한 지하수의 난개발에 따른 지하수 고갈</li> <li>• W08. 기후변화로 인한 작부체계 및 영농시기 변화</li> <li>• W09. 기온상승으로 인한 증발산량 증가에 따른 필요수량 및 관개량 증가</li> <li>• W10. 기온상승 및 관개량 증가에 따른 저수율 하락</li> <li>• W13. 용배수로 식생 변화에 따른 통수능 변화</li> <li>• W15. 작부체계 및 영농 변화에 따른 수질 영향 악화 (비료시비량, 제초·살충제 변화 증가 등)</li> </ul>	



## ● 「관개용량 변화」 지표 세부내용

- 관개용량 변화는 연평균 저수율, 관개기 직전 저수율, 관개기 종료후 저수율, 가뭄대책 단계별 관리수위 발생일수, 관개공급량, 관개시작일, 관개종료일, 관개일수 총 8가지의 세부 평가지표로 구성됨
- 연평균 저수율은 1년 동안의 평균 저수율을 의미하며, 관개기 직전 저수율은 농업용수 공급이 시작되기 직전의 저수율, 관개기 종료후 저수율은 농업용수 공급이 종료된 직후의 저수율을 의미함
- 가뭄대책 단계별 관리수위 발생일수는 한국농어촌공사의 가뭄대책 4단계인 관심, 주의, 경계, 심각단계의 단계별 연간 발생일수를 의미함
  - ※ 가뭄대책 4단계 : 1) 관심단계는 농업가뭄 발생 가능시기(4월-9월) 및 우려가 있을 때로 평상시 단계, 2) 주의단계는 최근 2개월 누적강수량이 평년대비 60% 이상 70% 미만이고, 저수율이 평년대비 60% 이상 70% 미만인 때, 3) 경계단계는 최근 2개월 누적강수량이 평년대비 50% 이상 60% 미만이고, 저수율이 평년대비 50% 이상 60% 미만인 때, 4) 심각단계는 최근 2개월 누적강수량이 평년대비 50% 미만이고, 저수율이 평년대비 50% 미만인 때를 의미함
- 관개량은 해당 수리시설물(저수지)에서 농업용수 수요에 의해 공급되는 용수량을 의미함
- 관개시작일은 해당 수리시설물(저수지)에서 농업용수 수요에 의해 공급을 위한 관개가 시작된 날짜, 관개종료일은 관개가 종료되는 날짜, 관개일수는 관개시작일과 관개종료일의 총 일수를 의미함

### 〈전략과제의 평가 지표 및 프로토콜〉

분야		이수
지표명	관개용량 변화	
조사 개요	평가대상	연평균 저수율, 관개기 직전 저수율, 관개기 종료 후 저수율, 가뭄대책 단계별 관리수위 발생일수, 관개량, 관개시작일, 관개종료일, 관개일수
	기준범위	농업생산기반시설(저수지, 1층시설물)
	기준년도	10년, 5년
조사 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연평균 저수율은 해당연도의 일별 저수율의 평균을 구하여 분석</li> <li>• 관개시작일과 종료일은 급수 시작일과 종료일을 적용하고 관개일수는 해당기간의 총합을 적용</li> <li>• 관개기 직전저수율과 종료 후 저수율은 관개시작일과 종료일을 이용하여 해당일의 저수율 적용</li> <li>• 관개량은 농어촌용수 월별 공급실적을 이용하여 분석</li> <li>• 가뭄대책 단계별 관리수위 발생일수 자료의 경우, 해당일의 직전 2개월의 평년 강수량과 해당일의 평년 저수율을 구하고 해당일의 직전 2개월 누적강수량과 저수율을 비교하여 단계를 분석</li> </ul>	
리스크	<ul style="list-style-type: none"> <li>• W05. 가뭄으로 인한 농업생산기반시설 확충 및 비상급수 증가</li> <li>• W06. 기후변화 및 이상기상 등에 따른 저수지 유사 피해 및 준설비용 증가</li> <li>• W09. 기온상승으로 인한 증발산량 증가에 따른 필요수량 및 관개량 증가</li> <li>• W10. 기온상승 및 관개량 증가에 따른 저수율 하락</li> <li>• W13. 용배수로 식생 변화에 따른 통수능 변화</li> </ul>	
비고	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연평균 저수율 : RIMS-농업용수-저수율-기간별저수율현황-저수율</li> <li>• 관개시작일과 종료일 : RIMS-저수율-급수예고-현황조회-급수 시작일과 종료일</li> <li>• 관개량 : RIMS-농업용수-수자원관리-농어촌용수 공급실적-농어촌용수 월별 공급실적</li> </ul>	

## 4. 시범 적용 및 결과

설정된 조사항목을 바탕으로 적용성을 검토하기 위해 농어촌용수부문에서는 65개 농어촌용수구역, 농업생산기반시설로는 65개 저수지, 11개 양수장, 10개 배수장에 대해서 시범적용하였으며, 자세한 결과는 한국농어촌공사(2017a)에 수록하였다.

### 4.1 농어촌용수 기후변화 실태조사 및 영향평가

농어촌용수부문 실태조사는 농어촌용수구역을 대상으로 앞서 선정된 각 영역별, 부문별 세부조사 항목에 대한 자료를 수집하고 분석을 위한 기술통계 등을 수행하는 1차 조사단계와 1차 조사된 항목에 대한 모델링, 현장검증 등을 통해 최종 자료로 확정하는 2차 조사단계로 구분하여 실태조사를 수행하였다. 영향평가의 경우 아래의 식 (1)과 같이 실태조사의 각 세부항목의 기준값에 대한 비교값으로 표현하였으며, 비교값은 최근 5년(2011-2015), 기준값은 최근 10년(2001-2010) 값을 대상으로 평가하였다. 이 때, 평년(1981-2010) 자료의 구득이 가능한 기온과 강수량, 기준증발산량 세부지표의 경우에는 기준값을 평년(30년)값을 기준값으로 하여 영향평가를 수행하였다.

영향평가 : 실태조사 각 항목의 '비교값 / 기준값' (1)

예시적으로 강도구역에 대한 실태조사 및 영향평가 결과를 살펴보면 그림 2와 같다. 강도용수구역의 5년('11-'15)의 연평균 강수량은 1,320.6mm로 10년('01-'10)에 비하여 4.8mm 감소하였으며, 5년('11-'15)의 기준증발산량(FAO Penman-Monteith)은 평균 850.1mm/yr로 10년('01-'10)에 비하여 58.0mm/yr 감소하였다. 5년('11-'15) 논과 밭의 순용수량은 각각 793.2mm와 1,189.3mm로 10년('01-'10)에 비하여 논은 35.7mm 증가하였고 밭은 4.4mm 감소하는 것으로 조사되었다.

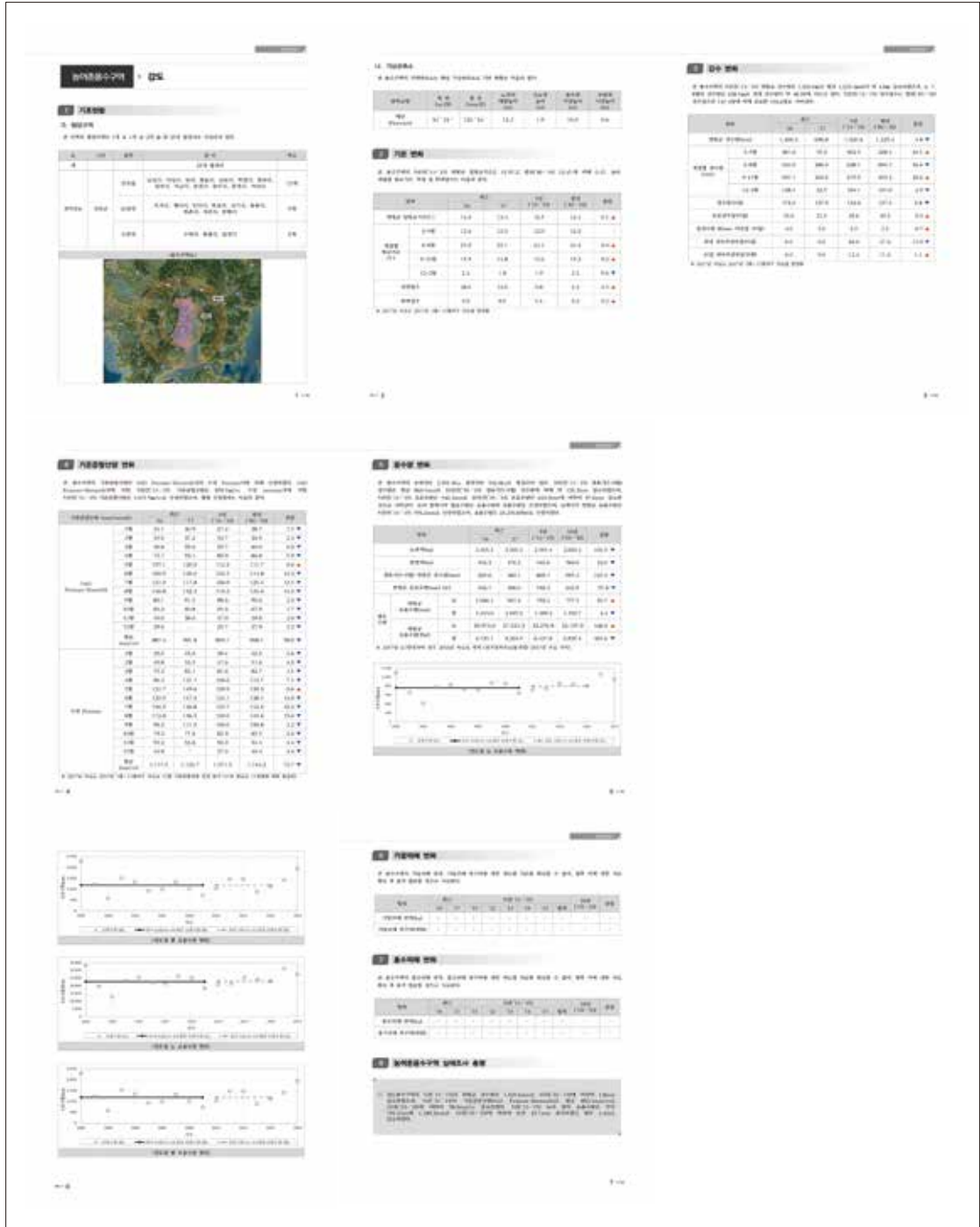


그림 2 | 농어촌용수부문 기후변화 실태조사 및 영향평가 결과(예)

## 4.2 농업생산기반시설 기후변화 실태조사 및 영향평가

농업생산기반시설 실태조사는 1종 시설물을 대상으로 앞서 선정된 세부조사항목에 대한 자료를 수집하고 분석을 위한 기술통계 등을 수행하는 1차 조사단계와 1차 조사된 항목에 대한 모델링, 현장 검증 등을 통해 최종 자료로 확정하는 2차 조사단계로 구분하여 실태조사를 수행하였다. 영향평가의 경우 농어촌용수와 마찬가지로 실태조사의 각 세부항목의 기준값에 대한 비교값으로 표현하였으며, 비교값은 최근 5년 (2011-2015), 기준값은 최근 10년 (2001-2010) 값을 기준으로 영향평가를 수행하였다.

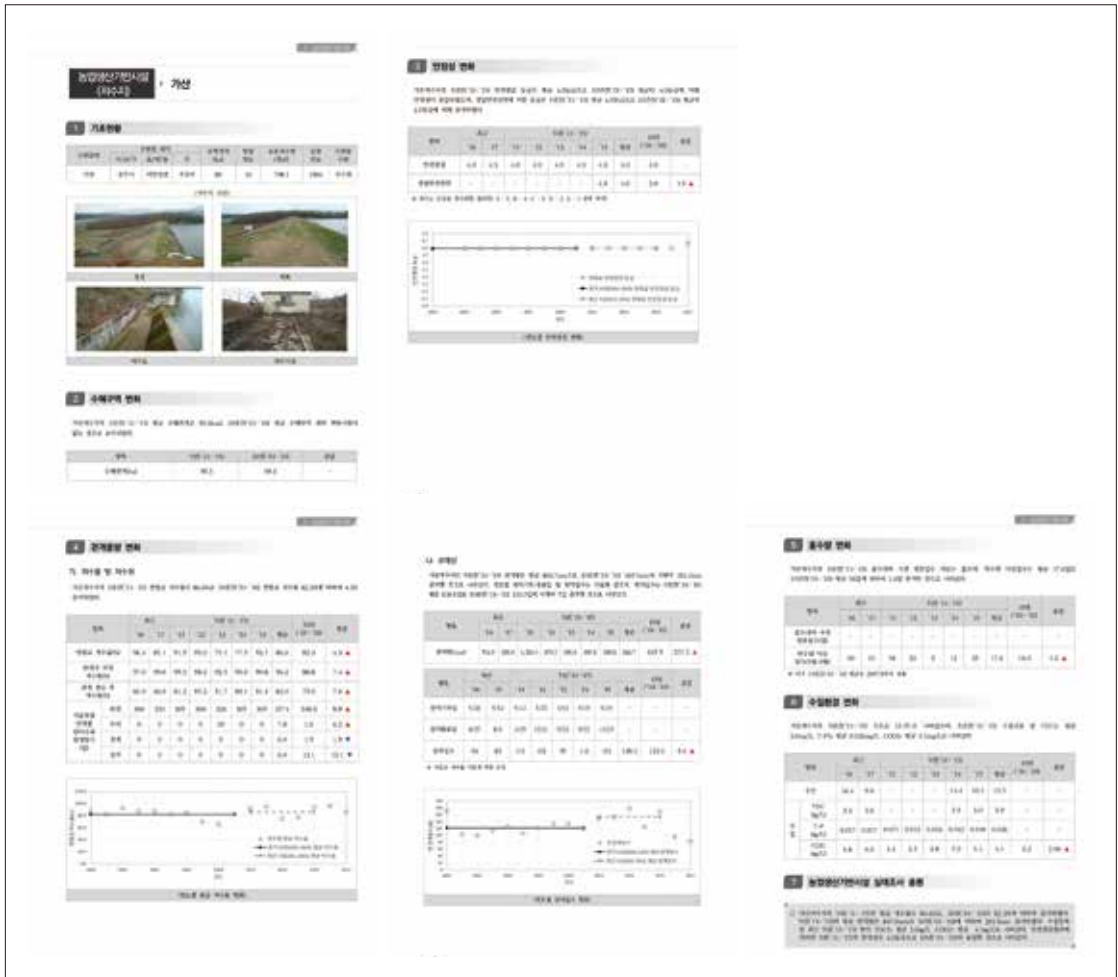


그림 3 | 농업생산기반시설부문 기후변화 실태조사 및 영향평가 결과(예) -저수지



그림 4 | 농업생산기반시설부문 기후변화 실태조사 및 영향평가 결과(예) -양수장

예시적인 결과를 가산저수지, 내이양수장, 계화배수장에 대해 살펴보면 <그림 3> ~ <그림 5>와 같다. 가산저수지의 경우, 5년('11-'15)의 평균 저수율은 86.6%로, 10년('01-'10)의 82.3%에 비하여 증가하였으며, 5년('11-'15)의 평균 관개량은 847.0mm로 10년('01-'10)에 비하여 201.0mm 증가하였다. 또한, 수질항목 중 최근 5년('11-'15) 동안 TOC는 평균 3.0mg/L, COD는 평균 4.1mg/L로 나타났으며, 안전점검결과에 의하면 5년('11-'15)의 안정성은 4.0등급으로 10년('01-'10)과 동일한 것으로 나타났다.

내이양수장의 경우, 수혜면적은 변동사항이 없고, 5년간('11-'15) 관개량은 2,655.0천톤으로 나타났으며, 안전점검결과에 의하면 5년('11-'15)의 안정성은 4.0등급으로 10년('01-'10)에 비하여 0.6등급 감소한 것으로 나타났다. 계화배수장의 경우, 수혜면적은 변동사항이 없고, 5년간('11-'15) 배수량은 43,133.0천톤으로 나타났으며, 안전점검결과에 의하면 5년('11-'15)의 안정성은 2.7등급으로 10년('01-'10)에 비하여 1.2등급 감소한 것으로 나타났다.



그림 5 | 농업생산기반시설부문 기후변화 실태조사 및 영향평가 결과(예) -배수장

## 5. 결론

한국농어촌공사에서는 법 (농어업·농어촌 및 식품산업 기본법 제47조 2항)에 따라 한국농어촌공사에 위임된 농업·농촌분야 (농어촌정비법 제2조 3항에 따른 농어촌용수와 농업생산기반시설 한정)에 대해 2017년 「농업·농촌 기후변화 실태조사 마스터플랜」을 수립하였다. 이에 따라 농어촌용수 및 농업생산기반시설의 실태조사 방법론을 개발하고 시범지구에 적용한 「농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 영향·취약성 평가를 위한 실태(시범)조사 및 관리방안 수립」의 연구결과를 요약하여 소개하고자 하였다. 본 연구를 통해 마련된 기후변화 실태조사 및 영향 평가방안은 법적 업무인 농어촌용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 실태조사 및 영향 평가를 안정적으로 추진하여 해당 분야 기후변화 감시·평가체계를 구축하고 기후변화에 선제적으로 대응할 수 있는 기반을 마련한 것으로 판단된다. 또한 기후변화 대응 적응정책 수요에 부응한 맞춤형 농업생산기반 정책 및 사업 추진의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 기후변화 실태조사 및 영향·취약성평가가 지속적으로 이행될 수 있도록 체계적인 평가틀을 마련하였다는 데 의의를 둘 수 있다. 향후 기후변화 실태조사 및 영향·취약성평가가 지속적으로 이행될 수 있도록 자료를 축적하고 관리하여야 하며, 2020년에 예정되어 있는 1주기 영향·취약성 평가결과 공표에 앞서 관련 자료 및 통계의 투명성·정확성·일관성·비교 가능성을 확보하기 위해 지속적으로 노력하여야 할 것이다.

## 사사

※ 본 연구는 한국농어촌공사에서 수행한 ‘농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 영향·취약성 평가를 위한 실태(시범)조사 및 관리방안 수립’의 일환으로 수행되었습니다.

---

## 참고문헌

- 김수진, 배승중, 최진용, 김성필, 은상규, 유승환, 장태일, 고남영, 황세운, 김성준, 박태선, 정경훈, 2018, 농어촌용수 및 농업생산기반시설의 실태조사에 따른 기후변화 영향 분석, 한국농공학회논문집 60(1), pp.1-15
- 한국농어촌공사, 2017a, 농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 영향·취약성 평가를 위한 실태(시범)조사 및 관리방안 수립
- 한국농어촌공사, 2017b, 농업·농촌 분야 기후변화 영향·취약성 평가를 위한 실태조사 마스터플랜
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), 2018, Global Warming of 1.5 °C
- WEF(World Economic Forum), 2018, The Global Risks Report 2018



# 합덕제(合德堤)

## - ICID 관개시설물 유산

### Hapdeokje - ICID Heritage Irrigation Structure

김 주 창 고문

## 1. 서언

2017년 10월에 멕시코 Mexico City에서 개최된 ICID 68차 집행위원회에서 한국의 합덕제(충남 당진시)와 만석거(경기도 수원시)가 ICID 관개시설물 유산으로 인정되고 등재되었다. 이는 2016년에 김제시의 벽골제와 수원시의 축만제가 우리나라 최초로 등재된 이래 연속해서 2건이 더 등재됨으로써 결과적으로 4건의 유산을 확보한 것이다.

이 제도는 Gao Zhanyi ICID 회장이 2012년 6월 28일 오스트레일리아의 Adelaide에서 개최된 63차 집행위원회에서 UNESCO가 인정하는 세계문화유산처럼 ICID가 역사적인 관개시설물을 인정하는 제도를 설치하자고 제안함으로써 논의가 시작되었고, 100년 이상의 수명을 가진 시설물을 대상으로 하여 각 국가위원회의 신청을 받아 2014년 한국 광주 ICID 총

회에서 처음으로 중국, 일본, 파키스탄, 스리랑카, 태국 등 5개국의 17개 관개시설물이 등재되면서 해마다 그 수가 증가하고 있다.

ICID가 이런 사업을 하는 것은 역사적으로 가치가 있는 세계 각국의 관개시설물을 등록시켜 해당 시설물을 더욱 더 잘 보존 관리하도록 도와주는 것을 목표로 하고 있으며, 일단 등재되면 세계적으로 알려져서 그 나라의 농경문화를 널리 알리는데도 도움이 된다.

그리고 합덕제의 세계관개시설물 등재 내용을 확인하는 명판은 다음 그림 1과 같고, 국제관개배수위원회(ICID) 홈페이지에서 그 내용을 확인할 수 있다. ([http://www.icid.org/icid\\_his1.php#HIS](http://www.icid.org/icid_his1.php#HIS)).

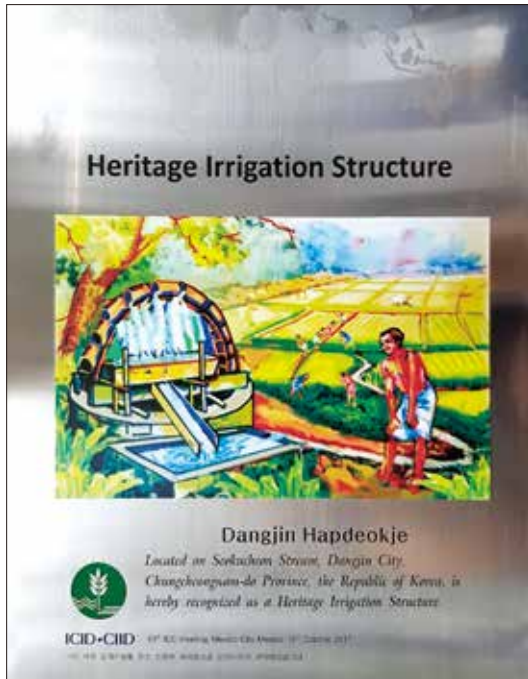


그림 1 | 합덕제 “Heritage Irrigation Structure” 명판

합덕제는 등재된 4건의 우리나라 유산 중에서 벽골제 다음으로 두 번째로 오래 되고, 또 두 번째로 큰 규모로 이를 소개하여 널리 알리고자 한다.

## 2. 등재신청 내용

ICID 관개시설물 유산 등재 요건에 따른 신청 내용은 다음과 같다.

- 1) 영문 이름: Dangjin Hapdeokje
- 2) 설치시기: 900-935 AD
- 3) 관개면적: 720ha

- 4) 위치좌표: 36° 47' 25.2" N, 126° 47' 20.8" E
- 5) 유역하천: 석우천(Seokucheon stream)
- 6) 소유 및 관리자: 당진시(Dangjin City Government)
- 7) 소유 및 관리자 주소: 충남 당진시 시청1로, 1
- 8) 등재요건 충족
  - a) 900-935AD에 건설되어 100년 이상의 역사가 있어야 한다는 조건 충족
  - b) 여러 항목 중 저수 시설물에 해당
- 9) 세부 기준 충족
  - a) 합덕지역에서 식량생산, 생계기회, 농촌 번영 및 빈곤경감에 현저한 기여
  - b) 축제공사에 기술적으로 연약지반 개량을 위해 말뚝과 부엽토 공법을 사용

## 3. 합덕제의 항공사진과 1915 지도

지난 100여 년간의 합덕제의 변동은 항공사진과 지도에서 볼 수 있다. 그림 2와 3은 1977 및 2008년의 항공사진들로, 특히 항공사진에서는 31년간에 합덕제 제방에 거의 변동이 없었음을 보여주고 있다.

그리고 그림 4의 1915년 지도는 합덕제 하류에 석우천의 흔적이 보이는데 이는 합덕제가 석우천을 완전히 차단한 저수지였음을 보여주고, 제방에 이어진 2개의 유로가 있었고 이들이 합하여 하나로 되었다가 다시 둘로 나뉘어져 삼교천으로 들어감을 볼 수 있다.



그림 2 | 항공사진(1977)



그림 3 | 항공사진(2008)

#### 4. 합덕제의 축조 시기

합덕제의 축조 시기는 고려시대 이전의 축조와 현재 위치에 남아있는 합덕제의 축조로 나누어 검토해야 한다. 고려시대 이전의 축조는 각종 역사기록에 근거를 두며, 현재 위치의 합덕제의 축조 시기는 충남대 박물관 팀의 제방 단면 조사와 해석에 근거를 둔 것으로 서로 다르다.

##### 가. 고려시대 이전의 합덕제 축조 시기

합덕제의 축조연대에 대한 역사적 기록은 삼국사기, 삼국유사, 고려사 등에서는 찾을 수 없다. 조선시대에 처음 나타나는 기록은 1454년 세종실록 지리지로 “연지는 합덕에 있고 길이

는 3,060척, 관개면적은 130결(蓮池, 在合德, 池長三千六十尺, 灌溉田一百三十結)”이라는 것이다.

그리고, 1473년에 영사(領事) 홍윤성(洪允成)이 “홍주·합덕의 제방은 고려 때부터 쌓기 시작하였고, 조선조에 이르러 정분(鄭芬)이 감독해서 쌓았는데 길이가 2,700여척이고 일곱 고을이 수리(수리)를 입고 있습니다”라고 보고한 기록에는 고려시대에 축조한 것으로 나타난다.

한편, 『당진군지(唐津郡誌)』에는 “후백제 견훤(甄萱)이 이곳에 둔전(屯田)을 설치해서,

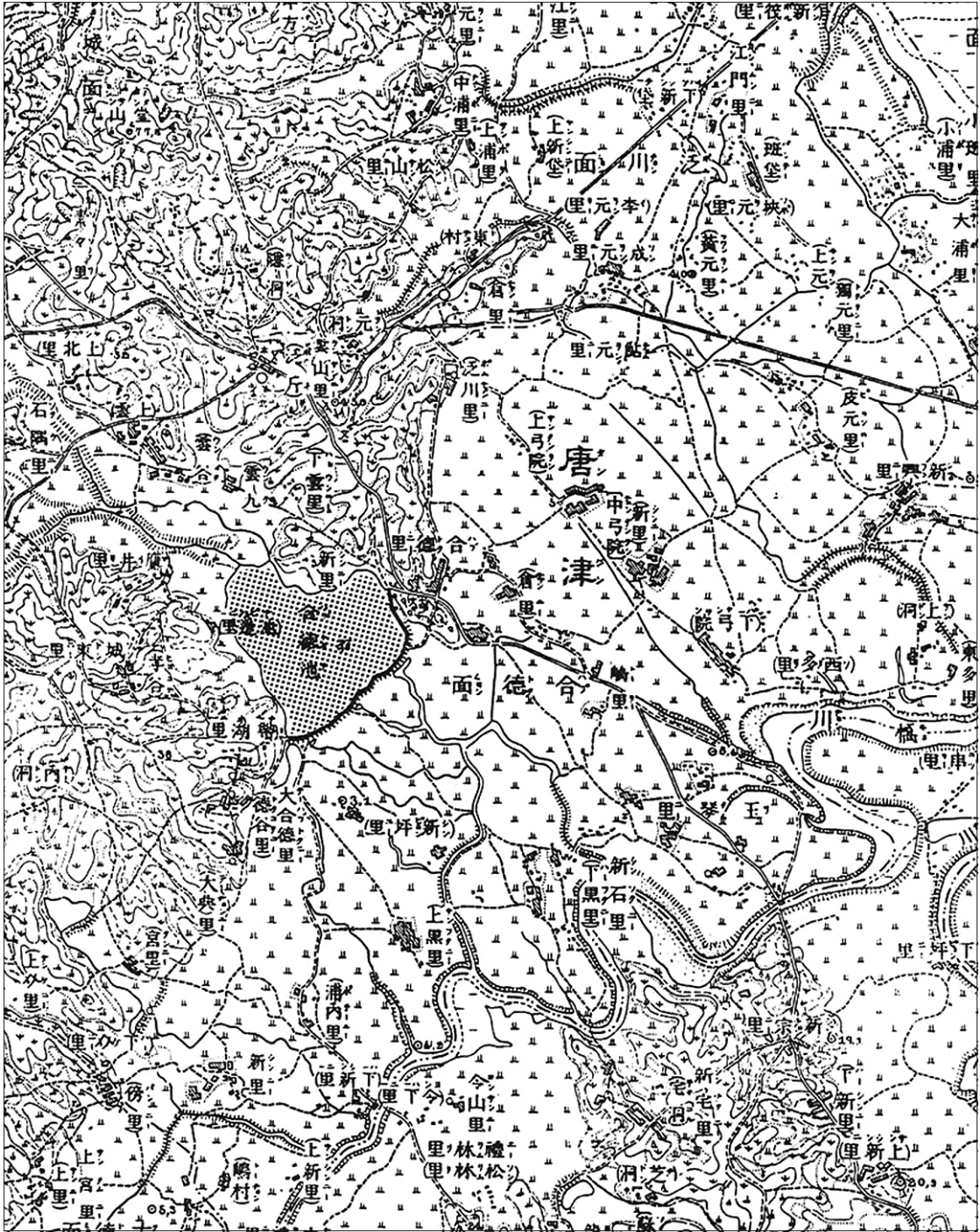


그림 4 | 합덕제 부근 지도(1915년)

12,000명의 군병과 말 600필을 주둔시키면서 이들 군병에 의하여 합덕지가 개설되었다”고 하여 후백제 시대에 축조된 것으로 전하고 있다. 이는 후백제의 견훤이 후고구려의 왕건과 싸우며, 이곳의 성동산성에 주둔했을 때, 바로 앞에 있는 성동리 들판에 둔전을 설치했을 것 이란 추정과 합치된다. 더구나 백제는 이미 김제에서 서기 330년에 벽골제를 만들어 이용하고 있었기 때문에 합덕 둔전에서 가뭄 때도 피해 없이 식량생산을 하기 위하여 합덕제를 축조한다고 계획하기가 쉬웠을 것이다.

이상의 요건들을 맞추어보면 합덕제는 고려시대보다 견훤의 후백제 때 만들어진 것이 더 합리적으로 보이고, 그렇지 않다면 백제시대에 소규모로 만들어졌거나 파괴된 것을 견훤 때에 크게 확장한 것이라고 추정할 수도 있다.

그러나 1943년에 홍병철(洪炳哲)이 쓴 “후백제왕 견훤과 합덕연호(後百濟王 甄萱과 合德蓮湖)[半島史話와 樂土滿洲, p. 129]에 따르면 900년경 견훤이 기병, 보병 9,000명과 군마 500여두를 가지고 합덕 성동산에 임시 주둔하여 있을 때, 산에서 가까운 합덕지 위치의 습지에 군병과 말의 식수를 공급하기 위해 못을 만들었고, 이것을 시작으로 주민들이 근처에 벼농사를 지으면서 후대에 못을 저수지로 크게 만들어갔다는 것이다. 즉, 군대를 동원하여 일시에 만들어진 것이 아니고 시기는 알 수 없지만 점진적으로 제방을 더 쌓고 저수지를 크게 확장했다는 것으로 이것도 설득력이 있다.

이들 이외에도 백제 제27대 위덕왕(554~598) 또는 제30대 무왕(600~641)시대로 보는 견해(홍사준)도 있다.

## 나. 제방단면 조사에 따른 현재 위치의 합덕제 축조 시기

현재의 합덕제 제방의 설치시기는 충남대 박물관 조사팀이 1997년 1월에 단면을 절개하여 조사할 때 채취한 지엽부설층의 지엽과 축제토에서 나온 나무조각에 대한 C14 절대연대 측정결과에 따르면 표 1과 같이 1600년대~1900년대로 나와서 조선 중기에 해당하고 고려까지 올라갈 수 없다. 그러므로 합덕제의 설치연대는 고려 이전까지 올라가는 당초 설치와 현재 남아있는 제방의 실제 설치시기로 나누어 검토하고 연구할 필요가 있다.

합덕제의 수축 기록에서 처음으로 10,000여명의 장정이 동원된 것은 1767년(영조 43년)이고 이는 C14 절대연대 측정결과와 맞으므로 현재의 제방이 1767년에 설치된 것으로 추정할 수 있다. 1778년(정조 2년)에 2개소 제방복구, 1792년(정조 16년)에 3개소 제방 복구가 있어 각각 수천 명이 동원된 기록은 이 때 용천이 생긴 후 복구한 것으로 보아, 현재의 합덕제 제방은 1778년 이전에 설치된 것으로 보는 것이 타당하다. 용천은 제방이 터질 때 생기는 것이므로 현재 위치의 제방을 분석하는데는 용천의 생성시기와 함께 연구하는 것이 필요하며, 따라서 현재의 제방은 영조시대에 축조된 것으로 추정할 수 있다.

표 1 | 당진 합덕제 축조 재료의 C<sup>14</sup> 절대연대 측정결과

시료번호	수습층위와 시료	중심연대	보정연대	
			1σ(68%)	2σ(95%)
Beta-102862	지엽부설층의 枝葉 1	BP 150+50	AD 1670~1780 AD 1795~1945 AD 1890~1905	AD 1655~1950
Beta-102863	지엽부설층의 枝葉 2	BP 80+60	AD 1690~1735 AD 1815~1925	AD 1670~1780 AD 1795~1945
Beta-102864	축제토 중의 木質	BP 180+50	AD 1665~1695 AD 1725~1815 AD 1920~1950	AD 1650~1950

주) 미국 Beta 연구소 측정치

## 5. 축조된 제방의 크기

합덕제의 축조 내용, 즉 제방의 세부적인 위치, 길이, 높이, 저수지 면적 등은 현재 남아있는 제방과 역사 기록에서 찾아볼 수 있지만 현재의 제방형태가 언제 만들어졌는지에 대한 기록은 없다.

그리고 1501년(연산군 7년)의 연산군실록 기록에 따르면 “합덕(合德) 제방은 세 방축(防築)이 있는데, 윗 방축과 가운데 방축은 그 양쪽의 거민이 물을 터놓아 이익을 입고, 아랫 방축은 제방 아래쪽의 거민이 그 이익을 입는다(合德堰有三築, 上築, 中築則 兩旁居民決水而蒙其利, 下築則堰下之民蒙其利)”라는 기록에서 현재 위치의 제방과 예전의 제방 위치가 다를 수 있음을 알 수는 있지만 더 이상의 내용은 찾을 수가 없다.

다음 표 2.에서 보면 제방 길이가 과거와 현재가 크게 다르고 어떤 경향도 보이지 않는다. 제방길이가 세종실록지리지에서 약 942m(세종실록지리지 원문은 堤長이 아니고 池長)인데 1964년에는 1,770m로 해석하기가 곤란하다.

그리고 ICID 관개시설물 유산등재 신청에 기록된 제방의 크기는 제방길이 1,770m, 제방 높이 4.0m, 제방 상면 너비 6.5m, 제방 기반 너비 11~18m이고, 저수지 둘레는 8~9km, 만수면적은 102ha, 관개면적은 720ha로 되어 있다.

표 2 | 합덕제의 시기별 규모

시기	규모	비고
1454(단종 2년)	제방길이(池長) 3,060척(약 942m)	世宗實錄地理志
1473(성종 4년)	제방길이 2,700여척(약 831m)	成宗實錄, 홍윤성 보고
18세기 중엽	둘레 11,829척(약 3,643m)	輿地圖書(1757~1765)
19세기 중엽	제방길이 500여보(618m), 둘레 20리	大東地志(1861~1866)
20세기 초	제방길이 300(371m), 둘레 20리	增補 文獻備考(1903~1908)
1915	제방길이 약 1,700m, 둘레 약 4.5km	1915년 지도
1964(합덕제 폐지시)	제방길이 1,770m, 둘레 8~9km	

주) 충남대 박물관, 2002, 唐津 合德堤

## 6. 합덕제의 발굴조사

합덕제의 제방 발굴조사는 충남대학교 박물관 팀에 의하여 1997~1998 기간에 실시되었으며 제방의 2개 단면에 대한 조사 위치는 다음 그림

5와 같다.

발굴조사에서 확인된 내용들은 다음과 같고, 이는 기존의 여러 기록이나 각종 백과사전 등

표 3 | 합덕제의 제방 발굴 조사내용

구분	1차 조사	2차 조사
시기	1997. 1. 21 ~ 31	1997. 12. 27 ~ 1998. 1. 8
위치	본동수문과 왜목수문 사이	고평수문 동북 30m
제방절개 폭	6m	8m
제방 상하류 절개 길이	23m	20m
제방 상면 너비	8m	10m
제방 기반 너비	19m	20m
제방 높이	4.2m(생토층에서 위로 측정)	4.2m(생토층에서 위로 측정)

주) 충남대 박물관, 2002, 唐津 合德堤



그림 5 | 합덕제 수문 및 제방 발굴조사 위치도(충남대 박물관, 2002, 唐津 合德堤)



에 있는 오류들을 수정하는데 사용될 수 있으며, 특히 합덕제의 제방 높이가 7~8m라는 기록은 반드시 수정되어야 할 것이다.

그리고 발굴조사에서 발견된 주요 내용들은 다음과 같다.

#### 1) 축제 단면은 여러 층으로 이루어져 있었다.

- A 절개단면에서는 석축부분을 제외하고 내측은 1~3차, 외측은 1~2차 축조로 구분이 되었다.
- B 절개단면에서는 석축부분을 제외하고 내측과 외측 모두 1~2차 축조로 구분이 되었다.
- A, B 단면 모두 1~2차 축조 높이만으로도 물을 저수할 수 있는 상태로 나타났다.

#### 2) 축제단면의 높이와 너비를 확인할 수 있었다.

- A 절개단면에서 제외부를 기준으로 생토부터의 제방 높이는 4.2m 정도이고, 상단의 너비는 8m 정도, 하단의 너비는 19m 정도로 확인되었다.
- B 절개단면에서 제외부를 기준으로 생토부터의 제방 높이는 4.2m 정도이고, 상단의 너비는 10m 정도, 하단의 너비는 20m 정도로 확인되었다.

#### 3) 축제단면의 내측과 외측을 비교하여 퇴적 높이를 추정할 수 있었다.

- A, B 절개단면에서 내외측의 지면을 비교한바 1m 정도의 차이가 있고 이는 퇴적으로 내측이 높아진 것으로 해석할 수 있

었다.

#### 4) 축제시기가 조선조 후반기임이 확인되었다.

- 2개소의 제방 발굴 장소에서 발견되는 기와, 토기 등의 출토유물들로 축제시기를 추정할 수 있었다.
- 발굴지층에서 채집된 지엽(枝葉)과 목질(木質)의 C14 절대연대 측정결과에서 축제연대를 추정할 수 있었다.

#### 5) 저습지와 같은 연약지반에 적합한 공법이 적용되었다.

- 제방 설치공사에서 이토(泥土) 사이에 지엽(枝葉)을 부설하는 압밀침하배수공법(壓密沈下排水工法)이 사용되었다.
- 작은 말뚝들을 제방의 방향에 따라 생토(生土) 깊이까지 박는 무리말뚝공법이 사용되었다.

## 7. 합덕제의 수문

합덕제의 수문은 북동방향에서 남서방향으로 뻗은 제방에 4개는 북동부에, 나머지 4개는 남서부에 아래 그림 6에서 보는바와 같이 배치되어 있다. 표 4는 수문의 이름과 관련되는 마을을 나타낸 것이다. 제방 중앙부에서 1.2km에서 2.4km 거리에 있는 마을의 이름을 사용한 것은 2~3km 거리까지의 구역에 관개용수를 공급했다는 것을 의미한다.

그런데 그림 6에 있는 수문들은 석축을 하고 콘

표 4 | 수문의 이름과 위치

No.	1차 조사	위치(동쪽에서)	비고(제방 중앙부에서의 거리)
1	도리(島里)	1번째	발굴되었던 수문, 도리는 동으로 1.7km 정도 거리의 마을
2	옥금(玉琴)	2번째	은폐 수문, 옥금은 남동동으로 2.4km 정도 거리의 마을
3	제출	3번째	은폐 수문, 이것은 간이수문이다.
4	하흑(下黑)	4번째	은폐 수문, 하흑은 남동으로 1.8km 정도 거리의 마을
5	고평(高平)	5번째	은폐 수문, 고평은 남남동으로 1.2km 정도 거리의 마을
6	상흑(上黑)	6번째 </td <td>은폐 수문, 상흑은 남으로 1.8km 정도 거리의 마을</td>	은폐 수문, 상흑은 남으로 1.8km 정도 거리의 마을
7	왜목(*)	7번째	노출된 수문
8	본동(本洞)	8번째	발굴되었던 수문

주) 왜목과 제출은 한자를 알 수 없음. 합덕제에서 북서방향으로 직선거리 38km 정도에 왜목마을(당진시 석문면 교로리), 왜목항 등이 있어 관련이 있을 것으로 추정되며, 왜목마을의 이름은 왜가리의 목처럼 바다에 불쑥 튀어나온 지형에서 유래한다고 함(두산백과사전)



그림 6 | 수문의 위치

크리트를 사용한 시기에 만들어진 것들이고 그 이전의 수문들의 위치는 알 수 없다. 물론 각 수문의 이름으로 보아 해당 마을과 관련되기 때문에 콘크리트와 석축으로 수문을 개수할 때도 대부분 종전의 수문 위치에서 했을 것으로 추정할 수는 있다.

## 8. 합덕제의 수축 및 준설 역사

고려시대 이전에는 합덕제의 수축 및 준설에 대한 기록이 없고, 조선시대의 기록에는 수축과 준설로 구분되어 나온다. 수축(修築)은 제방이 파괴되어 물을 저수하기 어려운 상태에서 제방을 복구함으로써 저수 기능을 회복시키는 것이고, 준설(浚濬, 疏濬이라고도 함)은 저수지 내부의 흙을 파내어 수심을 깊게 하고 저수용량을 증가시키는 것이다. 주요 작업이 전자는 제방에 흙을 쌓는 것이고 후자는 저수지 바닥에서 흙을 파내는 것으로 다르지만 가뭄 때는 바닥에서 파낸 흙으로 제방을 쌓을 수 있어 수축과 준설을 동시에 하는 경우도 있었다.

역사에서 처음으로 합덕제를 수축한 기록은 1473년(성종 4년)에 제언별감(堤堰別監)을 파견해 수축하였고, 1765년(영조 41년)에 군민 3,030명, 인근주민 8,600명을 동원하여 준설하였고, 1767년(영조 43년)에는 홍주목사 홍양호가 장정 10,000여명을 동원하여 제방 확장 및 준설을 하였다.

### 홍주목사 홍양한(홍양호)의 합덕제 제방 확장 및 준설 연도와 동원 인원의 수정

한국수리사(p. 19)에 따르면 “1768년 홍주목사 홍양호에 의해 11,000명의 장정을 동원 준설 및 보수”라고 기록되고, 충남대학교 마을연구단의 당진 합덕마을(p. 40)에 의하면 “영조 44년(1768)에는 홍주 목사 홍양호가 11,000명의 장정을 동원하여 보수 및 준설공사를 시행하였다”고 기록되어 있으나 이는 그 근거를 찾아보면 다음의 이유로 오류이고, 영조 44년(1768년)은 영조 43년(1767년)으로, 11,000명은 10,000여명으로 수정되어야 한다.

- 1) 홍양호의 문집인 이계집(耳溪集)에는 洪州有合德大池。三郡仰漑。近久湮廢。申報方伯。發萬餘丁。疏鑿而增堤。民至今賴之。立石以紀功。라고 써어있어 10,000여명의 기록은 있지만 11,000명은 아니고 영조 44년인지는 알 수 없다.
- 2) 조선왕조실록 등에서는 영조 44년 홍양호가 보수한 기록을 찾을 수 없다.
- 3) 현지의 비석에는 1767년(영조 43)에 홍양한(홍양한은 후에 홍양호로 개명)이 보수했다고 기록되어 있다.
- 4) 홍양호는 1760년(영조 36)에 임명되어 1767년(영조 43)까지 홍주목사로 있었기 때문에 홍양호의 재직기간, 비석의 글, 이계집의 기록 등을 비교검토하면 한국수리사 등에 있는 1768년은 1767년으로 수정함이 타당하다.

그리고 1778년(정조 2년)에는 군민 4,553명, 인근주민 3,500명을 동원하여 결궤된 2개소의 제방을 수축하였고, 1792년(정조 16년)에는 군민 3,000명, 인근주민 3,500명을 동원하여 결궤된 3개소의 제방을 수축하였고, 1851년(철

종 2년)에는 준설을 하였다.

20세기에 들어와서는 1913년에 제방 내측 비탈면을 석축으로 보강하고 수문을 콘크리트로 만들었으며 1925년에는 물넘이 수문을 콘크리트로 만들었고, 1956~1959 기간에는 많은 제방 내측부분을 석축으로 보강하였다. 그러나 1964년에 예당저수지가 완공되고 합덕지의 저수지 터와 관개지역이 예당지의 관개구역으로 통합되면서 합덕지는 제방만 남겨두고 용도폐지되어 농지로 개발되었다.

결론적으로 합덕제의 수축 및 준설기록이 성종, 영조, 정조, 철종, 고종대에만 나타나고, 성종에서 영조까지 약 290년 동안 비어 있는 것은 연산군의 통치, 임진왜란, 병자호란 등으로 국력이 쇠퇴하여 농업과 저수지에 정부가 관심을 두지 못했고 세도가들이 저수지 터에서 모경을 하였기 때문에 합덕제는 물론이고 많은 저수지가 그 기능을 제대로 하지 못했다는 것으로 해석할 수 있다.

표 5 | 합덕제의 수축 및 준설 기록

시기	주요내용	기록
1473(성종 4년) 성종실록	홍윤성 수축	영사(領事) 홍윤성(洪允成)이 아뢰기를, "홍주(洪州)·합덕(合德)의 제방(堤堰)은 고려(高麗) 때부터 쌓기 시작하였고, 조선조(朝鮮朝)에 이르러 정분(鄭芬)이 또 감독해서 쌓았는데, 길이가 2,700여 척이고 일곱 고을이 수리(水利)를 입고 있습니다. 그러나 독이 본래 낮고 약해서 이제 또 비로 인하여 터져서 무너졌으니, 청컨대 제언 별감(堤堰別監)을 보내어 쌓게 하소서." 하니 전교하기를, "좋다." 하였다.
1474(성종 5년) 성종실록	수축 효과	영사(領事) 홍윤성(洪允成)이 아뢰기를, "제언(堤堰)은 농가(農家)에 참으로 유리합니다. 홍주(洪州)·합덕(合德)의 제언이 전에 터져 무너졌기 때문에 썩밭이 되었으므로, 지난해에 신이 명을 받고 가서 살피고는 다시 수축(修築)하였는데, 올해에는 비가 근년에 없이 무성하다 하니, 잘 재량하여 성취시키고 도운 도리가 참으로 헛되지 않았습니다."
1762(영조 38년) 승정원일기 비변사등록	수축 건의	이번 5월 13일 대신과 비변사 당상을 인견하여 입시하였을 때에 병조판서 김양택(金陽澤)이 아뢰기를, "홍주(洪州 : 홍성(洪城))의 합덕 제언(合德堤堰)은 우리나라 3대 제언입니다. 신이 연전(年前)에 호서(湖西)를 다녀올 적에 지나는 길에 그 형세를 살펴보았습니다. 제언 아래 네 고을 민전(民田)이 합하여 수 천여 석 지기인데 모두 이 제언의 힘을 입었습니다. 그런데 중간에 수축하지 않아 고 상신(相臣) 이종성(李宗城)이 도백(道伯)으로 있을 때에 크게 수리하여 저수를 잘해 백성들이 그 혜택을 입었습니다. 지금은 세월이 오래되어 제언이 깎이어 떨어져 나간 곳이 많아 물결이 거의 막혀 있으니 정말 애석한 일입니다. 이는 공언(公堰)이라 하더라도 백성들이 그 혜택을 입으니 수축할 때에 백성들이 자기 일처럼 생각하여 즐겁게 역사에 달려올 것입니다. 도신에게 신칙하여 민력을 내어 수리하게 하는 것이 좋을 듯합니다."

시기	주요내용	기록
1765(영조 41년) 승정원일기(을유년)	준설	합덕연제는 수천석의 몽리구역으로 지난 을유년 가을에 저수지를 준설했는데 덕산 등 12읍 주민 8,600명과 본읍 주민 3,030명을 동원하여 완공했다.
1767(영조 43년) 연제중수비	준설 보수	홍주목사 洪良漢이 중수 (洪良漢은 후에 洪良浩로 개명)
1767(영조 43년)* 耳溪集 권 8, 太史氏自序 (태사씨자서)	준설 제방증설	홍주에 합덕 큰 방죽이 있어 3군에 관개를 하였는데 근래 폐지되자 방백에게 알려져서 만여 명의 장정을 동원하여 준설 및 제방확장을 하니 백성들이 지금까지도 덕을 보고 있음으로 비를 세워서 공적을 기록하였다. ○ 洪州有合德大池。三郡仰溉。近久湮廢。申報方伯。發萬餘丁。疏鑿而增堤。民至今賴之。立石以紀功。 * 1) 耳溪集은 홍주목사 홍양호(홍양한)의 문집 2) 이 기록은 1768년(영조 44년)으로 된 것이 있지만 이는 오류임으로 1767년(영조 43년)으로 수정함
1778(정조 2년) 승정원일기(무술년)	제방 2개소 복구	덕산 등 3읍 주민 3,500명과 본읍 주민 4,553명을 동원하여 파괴된 제방 부분 2개소 복구
1792(정조 16년) 승정원일기(임자년)	제방 3개소 복구	덕산 등 3읍 주민 3,500명과 본읍 주민 3,000명을 동원하여 파괴된 제방 부분 3개소 복구
1798(정조 22년) 정조실록	준설 건의	副司果 金羲淳이 아뢰기를, - - 홍주(洪州) 고을의 합덕제(合德堤)는 부지런히 파내지 않아서 매년 조금만 가뭄이 들어도 물이 말라버리곤 합니다. 본 고을 수령이 다시 개축하고자 하더라도 한 고을의 힘만으로는 공사를 마치기가 어렵습니다. 감사에게 신칙하여 부근의 여러 고을에 통보해서 힘을 합쳐 파낸 뒤에 독을 개축하게 하소서. 그리고 다른 도나 다른 고을의 제방 중 이와 비슷한 곳에 대해서도 모두 붐이 되기를 기다려서 파내라는 뜻으로 각별히 신칙하소서.
1799(정조 23년) 승정원일기	1765(을유), 1778(무술), 1792(임자) 기록	○ 徐英輔, 以備邊司言啓曰, 卽見忠淸監司李泰永報本司辭緣, 則枚舉洪州牧使牒呈以爲, 合德蓮堤, 自是屢千石蒙利之處, 去乙酉秋堤內疏濬時, 調發附近德山等十二邑民八千六百名, 竝與本州民三千三十名, 合力完役, 去戊戌年, 堤岸潰缺二處修築時, 德山等三邑民三千五百名與本州民四千五百五十三名, 竝力畢役, 壬子年潰缺三處修築時, 又動德山等三邑民五千五百名及本州民三千名, 同爲完築, 而疏濬年久, 湮塞日甚. 姑依戊戌·壬子兩年例, 只就附近蒙利邑, 以天安·德山·沔川三邑, 從略分排與本州民, 趁農歇, 先從最急處修築, 其餘則更待明年, 另加疏濬云矣. 本堤以蒙利最多之地, 其所修築, 不容少忽. 而所謂修築之有效無效, 專係名實之副不副, 徒有其名, 則雖發十二邑民丁, 難期遠效. 苟有其實, 則雖用附近數三邑役夫, 亦當責效. 依所報, 就附近蒙利邑天安·德山·沔川三邑民, 從略分排, 與本州民, 趁農歇修築之意, 分付. 如或不善經紀, 空費民力, 則不待按廉之考察, 有效無效, 自可立判於明年, 時牧使焉追其責? 以此意竝爲嚴飭, 何如?

시기	주요내용	기록
1800(정조 24년) 비변사등록	중수 완료	비변사에서 기사하기를 “작년 제도(諸道)에서 제언(堤堰)과 방보(防洩)를 수축하는 형세에 대해 비국랑(備局郎)을 파견하여 먼저 양호(兩湖)에 가서 심지를 뽑아[抽牲] 적간(摘奸)하였는데 그 수본(手本)을 가져다 보니 홍주(洪州)의 합덕제축(合德堤築)은 이미 완성되었고 실지 소통한 것도 또한 깊고 넓었습니다. - - - 또한 해마다 과제로 하라는 뜻으로 거듭 밝혀 신칙을 하였는데 나주목사(羅州牧使) 임욱(任燾), 순천전부사(順天前府使) 이동식(李東植), 화순현감(和順縣監) 박우원(朴右源), 홍주전목사(洪州前牧使) 김이호(金履鎬)는 마음을 다하여 거행해서 실효를 기할만한 자들이라서 비록 매우 가상(嘉尙)하였다.
1800(정조 24년) 연제중수비	중수	金履鎬가 연제를 중수
1851(철종 2년) 김유연영세불망비	준설	어사 김유연(金有淵)이 480兩의 기부금을 가지고 연호를 준설
1863(철종 14년) 대동지지 총청 홍주 목	현황	합덕제는 합덕고현 동쪽에 있는데 제장이 500여보, 둘레가 20리(약 8km), 물이 가득 차면 큰 저수지로 남쪽에 넓은 들이 있고 흙이 깊고 비옥하며 넓은 면적에 관개를 한다.
1885(고종 22년) 심상훈영세불망비	중수	沈相薰이 중수
1885(고종 22년) 김문제영세불망비	중수	金文濟가 중수
1911 유치흥연구기념비	중수	俞致興이 중수
1911 연제중수비	중수	金基性이 중수
1913 연제석축비	석축 호안보수	풍파로 제방의 사면 침식이 심해서 석축으로 호안을 하였다.
1925	왜목수문 콘크리트	콘크리트로 왜목수문(물넘이)을 개축하였다.
1956~59	호안 석축	많은 부분의 호안 석축을 경사지게 개축하였다.
1964~	용도 폐지	예당저수지(유역: 37,360ha, 만수면적: 1,008ha, 총저수량: 4,710만m <sup>3</sup> )가 1964년에 완공, 합덕지 관계면적 720ha 포함

## 9. 합덕제의 중수비

합덕읍 성동리로 들어가는 마을 입구에 합덕 방죽의 수축과 관련된 비석 8기가 있는데 이중 가장 오래 된 것은 1767년(영조 43년)에 세

운 연제중수비(蓮堤重修碑)이고, 다음은 1800년(정조 24년)에 건립한 연제중수비), 그리고 1911년에 김기성이 중수한 것을 기념하는 연



그림 7 | 8개의 비석 (2018년 7월 사진)

표 6 | 보존된 비석(시대 순)

이름(크기)	설치연월	내용	비석 상단	위치
蓮堤重修碑 (115x51x15cm)	1767 [영조 43년]	목사 洪良漢 수축	반원형	6
蓮堤重修碑 (88x44x14cm)	1800 [정조 24년]	목사 金履鎬가 수축	반원형	8
暗行御史 金公有淵 永世不忘碑 [220x60x29cm]	1851. 4 [철종 2년]	김유언이 보수에 사용한 자금 모금 기념	지붕형	1
巡察使 沈公相薰 永世不忘碑 [120x44x17cm]	1885. 12 [고종 22년]	심상훈의 공적 기념, 보수 참가 고을 이름 기록	반원형	5
牧使 金公文濟 永世不忘碑 [118x44x17cm]	1885. 12 [고종 22년]	김문제의 공덕 기념, 고을 이름 3개 기록	반원형	7
蓮堤重修碑 (141x49x20cm)	1911.10	金基성의 공적을 기록	반원형	2
從二品 俞公致興 永久紀念碑 [135x45x22cm]	1911. 10	유치흥이 중수한 것을 기념	반원형	4
蓮堤石築碑 (190x53x24cm)	1913. 10	석축 보강 기념	지붕형	3

주) 위치번호는 그림 7의 좌측으로부터 매긴 것임. 2) 크기는 2018. 8. 9. 저자가 직접 측정함

제중수비가 있다.

연제중수비가 3개이고, 각자의 이름이 있는 비석이 4개, 가장 나중에 건립된 연제석축비 1개를 포함하여 8기가 된다. 연제중수비라는 같은 명칭의 비는 3기로 특히 영조 43년의 비는 마모되어 내용을 알기 어렵다.

## 10. 곡선 제방

합덕제의 제방에는 곡선 부분이 그림 8처럼 3개소에 존재한다. 그림에서 No. 1과 No. 3의 검은 부분은 용천이 있던 자리이며, No. 2 위치는 용천이 있던 자리를 메워서 흔적이 없는 것이다

곡선 제방은 당초에 제방을 쌓을 때 만든 것이 아니고 제방이 터진 부분을 복구할 때, 전처럼 직선으로 하려면 세굴된 깊은 부분(용천)을 통



그림 8 | 3개소의 곡선 부분

과해야 함으로 성토량이 많아지기 때문에 상류 측의 지반이 세굴되지 않은 부분에 성토를 하여 반원형 또는 원호형 곡선이 된 것이다. 곡선 제방은 복구공사에서 성토량을 줄이기 위한 것이지 공학적으로 어떤 의를 갖는 것은 아니다.

## 11. 결론

당진시 합덕제의 축조에 대해서는 여러 가지 설이 있으나 후백제 건원 때에 세워졌다는 추정이 가장 타당해 보인다. 그리고 조선시대의 수축 및 준설기록 합덕제가 1960년대까지 계속 사용되는 저수지였음이 증명되고 있다.

비록 지금은 예당저수지의 건설에 따라 1964년에 저수지로서의 기능은 잃었지만, 합덕제, 합덕방죽, 연제, 연지, 등등의 이름으로 불리던 합덕제는 1960년대 이전의 세대에게는 따뜻한 이름으로 기억에 남아있다고 할 수 있다.

앞으로 합덕제의 남아있는 제방을 잘 보존하고 그 유산의 가치를 이어가는 것은 필요한 일이라고 보며, 합덕제 저수지의 동쪽 부분에 당진시가 이미 당진합덕수리민속박물관을 개관했고, 연못을 만들고 기념공원을 세워 당진 시민은 물론이고 전 국민이 찾아와 지난 역사를 돌아보게 하려는 노력은 계속되어야 할 것이다.



지금 존재하는 제방에 대해서는 앞으로 더 많은 발굴조사가 필요하겠지만 기존의 발굴조사로부터 제방의 축조시기가 조선의 영조시대에 해당한다는 추정에도 지속적인 연구 조사가 더 많이 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

- 습덕방죽에 대한 綜合的 考察, 唐津郷土史의 照明 (학남 洪奭杓 선생 정년기념문집)
- 洪炳哲, 1943, 後百濟王 甄萱과 습덕蓮湖 (半島史話와 樂土滿洲), 滿鮮學海社 발행
- 한국관개배수위원회, 1996, 한국수리사
- 충남대 박물관, 2002, 唐津 습덕堤
- 충남대 마을연구단, 2014, 당진 합덕마을, 마을의 역사
- KCID, 2001, History of Irrigation in Korea
- 朝鮮王朝實錄
- 承政院日記
- 備邊司臚錄
- 합덕읍사무소, 1997, 합덕읍지 제7편
- 1767(영조 43년) 耳溪集 권 8, 太史氏自序

# 국제농업협력사업의 현황과 사례

배 가 영

한국농어촌공사 국제협력처 차장

## 1. 국제농업협력사업 현황

### 가. 사업개요

우리나라는 국제협력 분야에서 원조 수원국에서 공여국으로 변화한 유일한 나라로 해방이후부터 90년대 후반까지 수혜받은 금액은 120억 불에 달한다. 우리나라가 경제협력개발기구 개발원조위원회(OECD DAC)에 가입한 이후 국제사회는 우리나라 경제규모에 걸맞게 국제개발협력에 더 많이 기여해 줄 것을 요청하고 있는 상황이며, 우리 정부는 이 같은 국제사회의 요구에 부응하여 2020년까지 공적개발원조(ODA : Official Development Assistance) 규모를 국민총소득(GNI) 대비 0.20%까지 확대할 계획이다.

국제개발협력에서 농업·농촌개발 분야는 빈곤 퇴치와 경제 개발에 있어 가장 중요한 분야로

알려져 있다. 개도국 인구의 약 70%이상, 빈곤 인구의 90% 이상이 농촌에 거주하고 있어 국제농업개발협력은 빈곤 해소와 기아 해결에 중요한 분야이며, 세계은행은 농업 성장을 통한 빈곤 감소가 타 산업에 의한 빈곤 감소보다 2~4배 효과적이라 평가한 바 있다.

우리나라에서 추진하고 있는 국제농업협력사업은 우리나라 농업·농촌개발 경험을 개도국에 전수하여 개도국의 농가소득 향상과 지속가능한 농업발전에 기여하고, 사업을 통해 개도국과의 호혜적 협력기반 구축으로 우리 농림축산 식품산업의 해외시장 개척에 우호적 분위기를 조성하기 위한 목적으로, 2006년부터 ODA사업의 일환으로 추진되었다.

### 나. 사업형태

국제농업협력 사업형태는 일반적으로 프로젝트 형태이며 크게 기획협력사업, 공동협력사업, KAPEX(Korea Agricultural Policy

표 1 | 국제농업협력사업의 지원형태

No.	비고(제방 중앙부에서의 거리)
기획협력 (양자원조)	국가별 협력전략(CPS)에 따라 개도국 농업농촌개발을 위해 인적·물적 수단을 결합하여 농촌종합개발, 관개 시설, 영농기술전수 등을 지원
공동협력 (다자원조)	농림수산식품 유통구조 개선 등 국제기구 및 NGO단체 등과 함께 글로벌 이슈에 공동 대응
농업정책 컨설팅 (KAPEX)	공동조사, 정책 워크숍, 초청연수 등 개도국 농업농촌 개발을 위해 한국의 농정경험을 전수

Experiences for Food Security) 사업 3가지로 분류된다.

기획협력사업은 사업발굴부터 사후관리까지 프로젝트 사이클 전 과정을 기획·추진하는 사업이다. 과거에는 대부분의 원조사업이 시설구축 등 하드웨어 지원에 집중되어 있었다면 최근에는 협력국의 자립 역량개발을 위한 사업이 포함된 하드웨어 및 소프트웨어가 결합된 사업으로 기획되고 있다. 예를 들어 우리나라에서 협력사업으로 추진한 인도네시아 벼농사 기계화단지 조성사업은 기계화단지에 사후 운영 컨설팅 및 영농교육시스템을 구축해주는 등 패키지 방식의 중장기 지원에 초점을 맞춰 지원되었다.

공동협력사업은 식량안보, 녹색성장 등 글로벌 이슈에 공동 대응하기 위한 협력사업으로 FAO, IFAD, WFP 등 국제기구, 공여선진국 및 민간원조단체 등과 국제 파트너십을 바탕으로 추진되고 있다.

2013년부터 추진된 KAPEX사업은우리나라의

농정성과를 확산시켜 개도국의 농업·농촌개발 역량강화 및 식량안보를 위한 컨설팅사업으로 협력대상국가와의 공동조사, 농정성과 확산 연수, 장기 초청연수, 정책워크숍 등을 추진하고 있다.

우리나라 정부에서는 이러한 개도국의 농림분야 지원의 중요성을 착안하여 2006년부터 국제개발협력기본법 및 농업·농촌 및 식품산업기본법 제13조, 57조 및 해외농업·산림자원개발협력법 제30조(국제농업협력사업의 촉진·지원)의 관련 근거에 따라 지원하고 있으며, 2011년부터는 사업의 본격적인 추진 및 전문성 확보를 위해 한국농어촌공사를 시행·관리기관으로 지정하여 사업을 추진하고 있다. 한국농어촌공사는 오랜 농업·농촌분야 전문성을 바탕으로 개발도상국의 경제개발 및 복지증진에 기여하기 위해 농촌개발, 수자원개발, 관개배수 분야의 기술지원을 중심으로 ODA조의 한 형태로 국제농업협력사업을 시행하고 있다.

#### 다. 사업 추진체계 및 시행절차

국제농업협력사업의 효율적 추진을 위해 사업

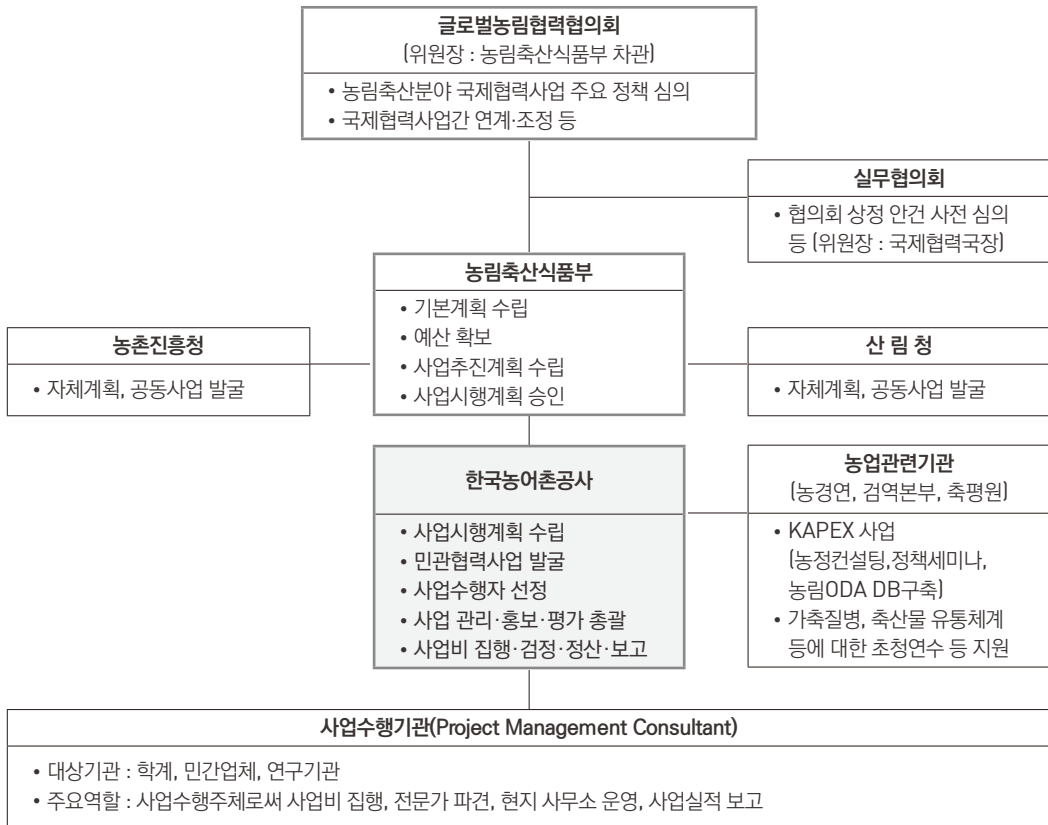


그림 1 | 국제농업협력사업 추진체계

발굴에서부터 사업종료 후 사후관리까지 ODA 사업추진절차를 수립하여 사업단계별 역할 분담 및 사업심의회 등을 규정하여 농림분야 ODA사업을 체계적으로 추진하고 있으며, 농림축산식품부는 농림분야 ODA사업 추진과 관련된 전체적인 기획과 예산 확보 등의 업무를 담당하고, 사업관리 및 집행은 한국농어촌공사에서 총괄 시행하고 있다.

신규사업 선정 등은 농림분야 대외협력사업 추

진에 관한 협의체인 글로벌농림협력협의회를 통하여 지원국가 결정, 지원범위 심의함으로써 양청, 소속기관에서 수행하는 농림분야 ODA 사업에 대한 총괄조정 및 연계협력을 강화하도록 하고 있다.

또한, 이러한 국제농업협력사업의 시행절차는 사업발굴, 대상사업선정, 협의의사록 체결, 사업발주, 사업시행, 사후관리의 6단계로 나눌 수 있다.

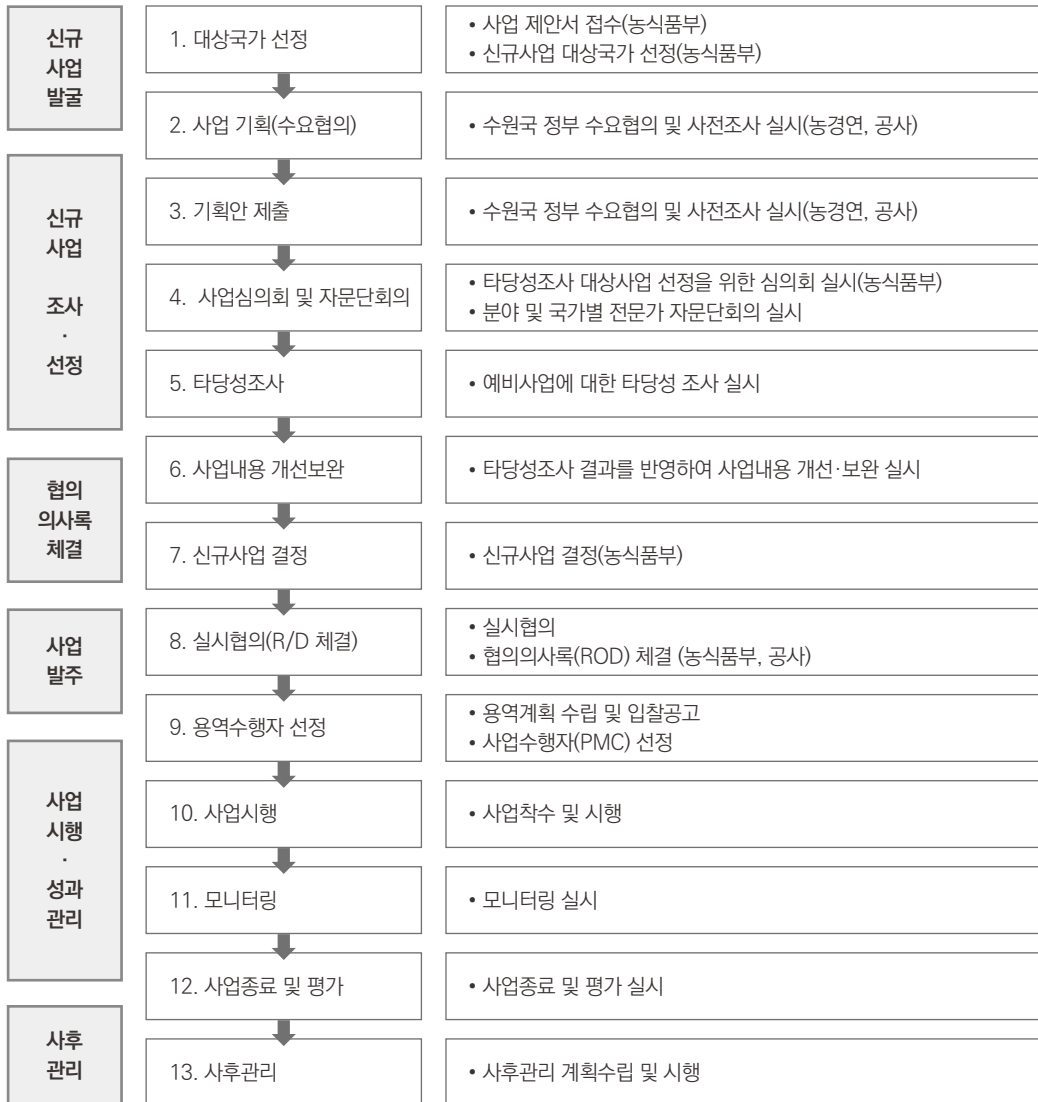


그림 2 | 국제농업협력사업 추진절차

가장 우선적으로 농식품부 및 한국농어촌공사는 사업시행 2년 전에 수원국 정부 및 국내외 농업관련기관, 단체, 민간사업자 등으로부터 사업 제안을 받아 수요조사를 실시하며, 국가 별협력전략과의 부합성, 국제농업협력사업 추

진방향과의 일치성 및 수원국 개발정책과의 부합성 등을 고려하여 협의대상사업을 선정한다.

제안서를 바탕으로 수원국 정부와의 수요협의를 실시하며, 구체적인 사업내용과 수요를 파

악하고 예비대상지 사전조사를 거쳐 예비타당성이 있다고 판단할 경우 수원국 정부로부터 사업요청서를 접수받는다.

접수된 사업요청서에 대해서는 사업심의회를 개최하는데 국내 농업분야 및 국제협력전문가로 심의단을 구성하여 공정성, 전문성을 확보하고 향후 발생할 수 있는 문제점을 예방한다는 측면에서 매우 중요한 절차 중의 하나이다.

사업시행년도에는 수원국과 사업추진상의 협조사항 및 준비기간 동안 발생할 수 있는 상황변화를 사업내용에 반영하는 실시협의를 거친 후 협의의사록을 상호 교환한다.

일반적인 사업시행기간은 3~5년을 기준으로 하고 있으며, 사업 착수 후 중간시점에 중간 모니터링을 실시하여 기존 사업의 목표 및 계획에 맞게 추진되고 있는지 점검하고, 문제가 있을 경우 수원국 담당자와 공동으로 대안을 마련한다.

평가는 사업 설계 시 작성된 PDM(Project Design Matrix)을 바탕으로 설정 목표 대비 성과를 측정함으로써 이루어지며, 사업 완료 시 종료평가, 완료 후 2년 내에 사후평가를 실시하

고 평가 결과를 바탕으로 사후관리를 추진한다.

### 라. 지원현황

국제농업협력사업은 개도국과 농업협력을 통하여 우리나라의 발전경험과 정책을 전수하고, 현지에서 시범사업을 통해 성과를 확산시켜 나가는 데 사업의 목표가 있다.

이 사업은 OECD 개발원조위원회에서 정한 공적개발원조사업의 적격 수원국인 146개 개도국의 개발을 지원하는 사업으로, 2006~2017년까지 23개국에서 97개 사업을 추진하여 71개 사업을 완료하고, 26개 사업을 진행중에 있다. 2018년에는 기획협력사업 19개사업(아시아 6개국 9개사업, 아프리카 4개국 4개사업)을 추진하고 있고, 농정성과확산사업(KAPEX)으로 필리핀, 르완다, 파라과이 3개국을 대상으로 농업정책 컨설팅을 추진, 이외 신규사업 타당성조사, 평가 및 사후관리를 추진하고 있으며, 2015년 추진현황은 다음 <표 3>과 같다.

지원규모는 2006년 309백만 원에서 2014년 14,100백만 원으로 7년 사이에 약 45배 이상 성장하였는데, 정부 정책은 2011년 기준 0.13%의 ODA/GNI 비율을 2015년까지 0.25% 수준까지 늘려나가는 것을 목표로 하고

표 3 | 2015년 국제농업협력사업 추진현황

기획협력	KAPEX사업	타당성조사	사후평가
10개국 13개 사업	5개국 3회차 실시	6개국 6개 사업	2개국 2개사업

표 4 | 년도별 집행예산(기획협력사업)

(단위 : 백만원)

구분	2010년까지	2011	2012	2013	2014
사업비	9,596	10,030	10,510	12,816	13,991
사업수	33	21	18	21	20
국가수	17	15	13	12	12

있어 이러한 공적개발원조 증가 추세는 계속될 것으로 예상된다. 세부적인 지원현황과 관련해서는 원조 효과성을 높이기 위해 프로젝트 수는 축소하는 반면 프로젝트 당 지원 규모를 확대하고 있는데, 2011년 예산은 약 100억으로 21개 프로젝트를 통해 지원한 반면, 2014년의 경우 총 예산은 139억 원으로 당초의 절반인 20개로 프로젝트로 줄임으로써 프로젝트 당 연간 평균 사업비를 9억으로 확대·지원하고 있다.

2011년 이후 기획협력 ODA사업으로 추진 중인 33개 사업을 대상으로 사업 성과를 분석한 결과는 농업·농촌개발 13개(39%), 시설운영 11개(33%), 농업정책·산림·기술교육 등 9개(28%) 사업으로 특정 사업 유형에 집중되지 않고 다양한 분야의 사업을 시행하고 있는 것으로 나타났다.

성공적인 사례로는 ‘필리핀 농촌종합개발(10~13)’, ‘모잠비크 영농기술센터 구축(10~13)’, ‘베트남 채소계약 재배(11~15)’, ‘가나 농업관개시설(11~13)’, ‘에티오피아 관개시설 개보수(11~14)’, ‘몽골 축산물 가공 및 위생관리시스템 지원(12~15)’, ‘미얀마 농

촌개발(13~16)’ 사업 등을 들 수 있으며, 이들 사업의 공통점은 시설운영의 명확한 주체(정부기관, 연구소, 주민조합 등)가 존재하고, 수원국의 운영 의지와 활용능력이 높으며, 자체예산 배정을 통해 시설유지관리 등을 하고 있어 사업의 지속가능성이 높은 것으로 분석되었다.

## 2. 성공사례\_ 베트남 채소 계약재배 시범단지 조성사업 (2011~2015)

### 가. 추진배경

한국과 베트남은 지난 1992년에 외교관계를 수립하여 수교 이후 양국 간의 교역량은 약 10배, 한국의 베트남에 대한 투자는 55배 이상 증가하였다. 투자가 급속히 증가하여 2006년에는 한국이 베트남에 투자를 가장 많이 한 국가가 되었으며, 2007년 7월부터는 누적 투자 규모 1위 국가로 부상하게 되었다.

농업에 있어서는 최근 들어 농작물의 생산량이

두 배 이상 늘어났다고는 하나 아직까지 낙후된 기계화영농과 늪지화되어 있는 농지 여건상 기계화 영농이 제한될 수밖에 없어 경쟁력을 갖추기 어려운 실정이다.

그렇기 때문에 베트남 정부에서는 2010-2020년 새로운 농촌 건설을 위해 2015년까지 전체 마을의 20%, 2020년까지 50%를 새로운 농촌 마을로 바꾸는 농업농촌개발 프로그램을 시행하게 되었다. 농촌지역 및 농업분야의 현대화와 산업화를 목표로 농촌경제사회 인프라 구축, 농촌 사회·경제 구조 전환, 농촌지역의 효과적인 생산조직 구축, 빈곤감소 및 사회보호,

식수 공급 등 위생 여건 개선을 주요내용으로 담고 있다.

베트남은 한국의 농촌개발 모델인 새마을 운동을 자국의 실정에 맞게 응용하여 도입하고, 한국의 선진 영농기술 전수를 통해 농촌지역의 소득을 향상시키고자 사업을 요청하였다. 베트남 채소 계약재배 시범단지 조성사업은 농촌진흥청 해외농업기술개발(KOPIA) 베트남 센터에서 수행한 “신선채소 재배기술개발” 사업 결과, 우리나라의 우수한 채소 종자가 베트남 현지 환경에 적합한 것으로 나타남에 따라 우리의 선진 농업기술을 베트남에 이전할 경우 베

표 5 | 사업대상지 현황

구분	하이증(Hai Duong) 사업지구	호아빈(HoaBinh) 사업지구
일반 현황	<ul style="list-style-type: none"> <li>인구 171만 명의 성으로 베트남에 있는 64개의 성 중 10번째로 큰 규모</li> <li>수도 하노이와 항구도시인 하이퐁의 중간지점에 위치, 베트남 북부지역의 주요 경제지역 중 하나임.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>인구 79만 명의 성으로, 수도 하노이로부터 74km 떨어진 곳에 위치하고 있으며 Muong족, Thai족 등 소수민족이 살고 있는 전형적인 농촌마을임</li> </ul>
농업 현황	<ul style="list-style-type: none"> <li>벼 2기작 재배를 주로 하고 있으며, 일부 채소재배 기술을 보유한 농민은 벼 1기작 재배 후 마늘, 땅콩, 파, 고추, 토마토등의 채소재배</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>일반적으로 옥수수 등의 작물을 재배하고 있음</li> </ul>
농업 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>현재 채소재배를 하고 있어 기초적인 채소재배 기술을 보유하고 있으나, 채 소육묘기술이 부족하여 생산성이 낮음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>현재 경험에 의한 채소 재배를 하고 있는 실정으로 생산성 향상을 위한 채소 재배 기술에 대한 전반적인 교육이 필요한 현황임</li> </ul>
유통 체계	<ul style="list-style-type: none"> <li>농산물 수확 후 소규모 유통업체를 통하여 인근마을의 재래시장에 판매하는 구조임</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>인근 재래시장에 직접 판매를 하거나 소규모 유통·가공업체와 계약재배를 통하여 농산물을 판매하는 구조임</li> </ul>
특이 사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>인구 밀집지역에 위치하여 사업의 홍보 및 파급효과가 큼</li> <li>소도시와 인접하여 사업수행 및 파견 전문가의 근무환경이 양호하고 노동력 확보가 용이함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>채소재배를 위한 천혜의 자연환경 보유</li> <li>도시 지역에 비하여 인건비가 약 30% 저렴하여 채소계약재배시 생산비 절감이 가능한 지역임</li> </ul>



트남 농업발전에 큰 도움이 될 것으로 판단하여 추진하게 된 사업이다.

### 나. 사업개요

이 사업은 수도인 하노이 인근에 있는 하이증성과 호아빈성에 추진되었는데, 하이증성과 호아빈성은 농업에 적합한 자연환경을 가지고 있

고, 수도인 하노이로의 교통 접근성이 용이하여 해외농업개발 전략 요충지로 인식되고 있음에도 불구하고 낙후된 농업기술 및 불확실한 유통구조로 인해 농업생산성이 낮고 농가소득이 불안정한 지역으로 인식되고 있었다. 이에 베트남 농업부는 2010-2020년 농업농촌개발 프로그램의 주요 목표인 농촌경제사회 인프라



그림 3 | 사업지구 위치도

구축, 농촌사회 경제구조 전환 및 효과적인 생산조직 구축 등의 달성을 위해 “베트남 채소재배 기술력 향상 및 유통체계 개선”사업을 요청하였고, 한국농어촌공사는 채소재배 기술 이전 및 채소 계약재배를 통한 농가 소득 증대와 베트남 농촌지역 개발을 도모하고, 나아가 계약재배의 성공을 통해 민관협력사업(PPP사업)의 성

공모델로 정착시키고자 이 사업을 추진하였다.

### 다. 사업내용

이 사업은 2011년 12월부터 2015년 12월까지 4년간 추진되었으며, 주요 사업내용은 하이증 및 호아빈성에 각 1.5ha씩 2개소에 총3ha의 시범포를 건립하고, 하이증에 육묘용 하우스 1

표 6 | 프로젝트 주요 추진일정

일 자	호아빈(HoaBinh) 사업지구
2011. 1월	농림수산 분야 협력사업 수요조사
2011. 4월	베트남 현지 사업발굴 협의를 위한 조사 실시
2011. 5월	베트남 농업과학원(VAAS)측에서 사업요청서 제출
2011. 7월	요청사업 타당성조사 실시
2011. 9월	실시험의 및 협의의사록(R/D)체결(KRC-VAAS)
2011. 12월	사업시행업체(PMC) 선정(단국대학교), 베트남 채소시범단지 조성
2012. 1월	2012~2013년 시범포장 운영시험설계 / 베트남 하이증지역 농업인의 작목별 조직화, 작목반 구성
2012. 8월	채소계약재배농가 선정협의 및 농가방문 현장지도
2013. 6월	국내초청연수(베트남 채소재배 및 농촌개발정책과정)
2013. 7월	하이증성 2개군 시범포 2개소 운영협의
2013. 10월	[주]오리온 업체와 계약재배 협약(1800농가, 70ha)
2013. 12월	한-베트남 채소협력센터 기공식 및 워크숍 개최
2014. 1월	호아빈성 엔투이현 ‘한국채소품종 생산현장’ 워크숍 개최
2014. 9월	국내초청연수(베트남 채소재배 및 수확 후 관리과정)
2014. 12월	하이증성 똑끼현, 호아빈성 엔투이현에서 채소계약재배 워크숍 개최
2015. 1월	계약재배 농가 경제성 분석 실시
2015. 7월	하이증성 12시장, 군수 초청 농업발전 방안 워크숍 개최
2015. 8월	하이증성, 호아빈성 20개 군, 간이 육묘장 설치 및 채소육묘 기술 확대전수
2015. 11월	사업추진 최종 워크숍 개최
2015. 12월	사업인계

개소, 영농교육 및 농기계 보관용 창고 및 작업장 구축, 농업용수용 중형관정 설치, 34종의 기자재지원, 영농교육을 위한 전문가 파견과 연수생 초청, 그리고 이를 통한 채소류 계약재배 등을 추진하는 내용으로 구성되었다.

선진 채소기술 이전 및 농민 역량강화를 위하여 시범포 운영 및 계약재배 농가에 대한 기술지원과 워크숍 등을 실시하였는데, 시범포는 채소재배 농민, 농업공무원 등을 대상으로 선진 영농기술 전수를 위한 전시포장과 한국 채소작물의 적응성 검정 등을 교육하였다. 영농교육은 채소재배 농민, 농업공무원(연구직, 지도직)을 대상으로 선진 영농기술 전수 및 기술보급을 위해 실시하였으며, 채소재배기술(파종, 육묘, 물관리), 병해충 방제, 수확 후 관리 등에 대한 교육실시 및 현장평가를 통한 기술전수를 추진하였다. 현지농민의 경우에는 기존에 해오던 전통방식을 고수하려는 경향이 강하므로 전수받은 선진재배기술에 대해 실질적인 적용이 낮을 수 있고, 한국품종 영농재배시 현지에 적합한 영농자료가 없는 애로사항은 시범포에 작목별(무, 배추, 고추, 파, 감자)로 베트남 품종과 한국품종을 함께 조성하여 실질적으로 농민들의 현장에서 직접 비교하고 체험할 수 있게 함으로써 극복하였으며, 육묘 및 재배기술을 현지농민, 시범농가 및 농업관련 공무원이 함께 전수받음으로써 실질적인 활용도를 높였다.

계약재배지원은 “고품질 채소 연중생산기술 보급으로 농가소득증대 촉진 도모”를 목적으로

추진되었는데, 현지에서 활동 중인 한국의 농산업체(오리온, 삼원 등) 전문가가 계약재배를 시행하고 있는 농가를 방문하여 한국산감자 및 대파 재배에 필요한 기술교육을 실시하였다.

이러한 영농기술교육 결과, 농민들은 비료 및 화학약품 등의 사용방법을 익혔으며, 베트남 기후와 한국 기후의 차이로 인한 한국종자 재배의 어려움도 극복하게 되었다. 특히, 베트남 측은 한국의 우수한 종자를 보급해도 초기에는 현지 기후와의 차이로 한국산 우수종자를 제대로 활용하지 못하였으나, 기술교육을 통해 한국산 종자의 우수성을 인식하는 한편, 나아가 베트남 기후에 맞는 새로운 종자를 개발하기도 하여 채소재배기술 이전 및 농민 역량강화 교육의 효과가 컸다.

또한, 계약재배를 확대하기 위해 지역 농민들을 대상으로 작목별 팀을 조직하고 지속적인 회의와 방문지도를 통해 선진영농기술을 지도하였는데, 이러한 지속적인 영농교육과 농자재(우수종자, 농약, 비료) 보급은 베트남 농가로 하여금 채소계약재배가 농가의 생산성 향상과 소득증대를 이루게 해 줄 뿐 아니라, 한국 농산업체와 지역주민 간에 상생할 수 있는 우수한 사업(PPP사업) 모델이란 점도 인식시켜 주었다.

## 라. 사업효과

이 사업은 채소 시범단지 운영을 통한 현장실습교육과 영농장비 활용에 대한 기술교육, 그리고 선진채소재배기술 이전 등 각종 농작물

표 7 | 시범포 및 육묘시설 구축 현황

구분	설치 수량	목적	주요시설	주요작목
시범포	총 2개소 3ha (하이증 1개소, 호아빈 1개소)	현지 주산작물 중심으로 시범포를 통한 선진기술 전수	경작지, 점적관개시설, 액비혼합기 등	고추, 배추, 무, 감자, 파
				
	하이증성 시범포 전경		호아빈성 시범포 전경	
육묘용 하우스	1개소(20m×50m), 바닥(콘크리트), 천장(비닐피복)	우량 묘 생산, 작기 단축	천장 및 측창 개폐장치, 차광시설, 스프링클러, 배수시설 등	
				
	육묘장 전경	육묘장 내부	육묘장 입간판	
창고 및 작업장	1개소(17m×40m), 바닥(콘크리트)	영농교육, 농기자재 보관 등	농기계 및 농자재 보관창고, 작업장 및 교육장 겸용	
				
	관리사 전경	관리사 내부 회의실	창고 및 작업장	
중형 관정	총 2공 (하이증1개소, 호아빈1개소)	원활한 농업용수 공급	물탱크 저장시설, 전력양수기, 디젤엔진 등	

재배 교육은 지역 농민들의 역량강화와 농업생산성 향상에 커다란 도움을 주었으며, 이러한 이론과 실무가 병행된 시범단지 교육방법 및 결과에 대해서도 대다수 농민들이 높은 만족도를 보였다.

특히, 프로젝트 추진기간 동안 작물별·년도별 채소재배 현황을 보면 “작물 재배면적-수확량-판매량-재배농가”가 매년 증가하여 2015-2016 기간 중에는 총 재배면적이 335.2ha,

참여 농가수가 3,320농가로 증가하였고, 감자 계약재배 물량도 2013-2014 대비 2014-2015기간에는 약 5배 정도 증가한 것으로 나타나, 농민 역량강화 교육이 농업 생산성 향상과 농가 소득 증대에 직접적인 파급효과를 가져왔다.

베트남정부의 MDGs 달성에도 기여했다고 볼 수 있었다. 이 사업을 통해 지원된 한국산 우수종자는 베트남 채소종자에 비해 월등한 생산량

표 8 | 작물별, 연도별 채소재배 실적

작물	연도	재배면적(Ha)	수확량(Ton)	계약판매량(Ton)	농가수
감자	2013~2014	20.5	286	245	509
	2014~2015	94.4	1402	1208	1319
	2015~2016	179.5	-	-	1,601
고추	2013~2014	1	17	11.3	15
	2014~2015	0.5	8	5	7
	2015~2016	62.7	-	-	668
배추	2013~2014	1	50	42	13
	2014~2015	0.6	30	23	7
	2015~2016	2	-	-	30
파	2013~2014	0.1	5	4	9
	2014~2015	2.1	44	18.5	33
	2015~2016	59	-	-	585
무	2013~2014	0.3	17	12	9
	2014~2015	2	100	80	42
	2015~2016	32	-	-	436
합계 (2015~2016기간)		335.2	-	-	3,320

※ 채소작물 경작 및 계약판매량이 매년 증가하였는데, 특히 계약재배 작물인 감자 재배가 월등히 증가하였음.

을 보이고 있는데, 실제로 베트남 채소를 심을 경우 360㎡당 100만동의 이윤을 창출하지만, 한국산 채소를 심을 경우 360㎡당 250만동의 이윤을 가져와 한국의 우수종자가 베트남 종자보다 2.5배 소득 효과를 가져왔다.

또한, 동 사업은 농한기 베트남 농가의 소득을 증대시킬 수 있는 고부가가치 사업으로 “양국정부-베트남농가-현지진출 우리 기업”이 참여하는 민관협력사업(Public-Private Partnership, PPP)의 성공적 모델로도 인식되어 향후 PPP 사업의 확대 가능성을 높게 하였다.

### 3. 국제농업협력의 과제 및 추진전략

지금까지 수행 중이거나 완료된 사업을 통해 도출한 국제농업협력사업의 과제는 다음과 같다.

첫째, 현재 추진 중인 대부분의 기획협력사업 발굴은 농식품부 유관기관, 수원국, 학계, 해외농업개발 업체 등으로 부터의 상향식 사업수요 발굴 및 추진으로 국가별 지원 방향성 및 전략 없이 국지적·단기성 위주의 사업추진에 따라 사업 성과제고에 한계가 있다.

둘째, 농식품부, 농진청, 산림청, 소속기관 등 각 기관별로 자체적으로 사업을 발굴하여 추진함에 따라 관련기관 사업간 유기적인 연계협력이 어려워 사업의 분절성이 심화되고 있는 실정이다. 이렇게 복잡한 추진 주체가 유지되는 것은 농업 유관기관들이 독자적으로 예산을 확보

하는 구조를 갖고 있기 때문이다. 이러한 사업의 분절성을 해소하기 위해 “글로벌농림협력회의”를 운영하고 있으나, 실제 사업추진 과정에서 협의는 소극적 연계에 불과하여 시너지 효과를 기대하기 다소 어렵다.

셋째, 현재 사업이 완료되는 기획협력사업은 증가하고 있으나, 사후관리 체계가 미흡하고, 사업 평가 및 환류를 통한 사업 발전 노력이 부족하다.

넷째, 수원국 정부 및 지역주민 등의 사업 참여가 미흡하거나 지원된 기자재 및 농기계 등의 소모품 부족 등으로 사업 완료 후 지원시설 및 장비 등의 방치 우려가 상존하고 있다. 이로 인해 사업 완료 후 지원시설의 유지관리 및 지속성에 책임을 져야 함에도 누구도 책임을 지지 않는 결과를 초래하는 현상이 일어나고 있다.

다섯째, 국제농업협력사업에 참여하는 국내의 관련기관 및 전문가의 인력풀 및 인적네트워크 형성이 미흡하여 사업추진 경험·지식 축적 및 정보공유 체계가 미흡하다.

그동안 수행해온 국제농업협력사업으로부터 제기된 문제점을 해결하고 앞으로 추진해야 할 방향은 다음과 같이 몇 가지로 정리할 수 있다.

첫째, 개도국들로부터 가장 수혜받기를 원하는 분야로 뽑힌 농업분야에 대해 적극적인 국제협력과 국제적 위상에 맞는 역할 수행을 위해 사업의 지원규모의 확대가 요청된다. 이러한 수요에 적극적으로 대응하기 위해 농업관련 원조사업의 재원 확충 노력이 필요하다. 특히 농업관련

협력사업의 규모 확대를 위해 외교부, 기획재정부의 국가별협력전략 수립 시 저개발국, 개도국의 농업종사 및 농촌거주 인구비중이 높고 농업이 국가경제에서 차지하는 비중이 커 농업분야 원조 수요가 많다는 점을 적극적으로 강조하여 사업 규모 확대의 필요성을 지속적으로 설득할 필요가 있다. 이를 위해 정부 간 협의 및 정책결정에 농림축산식품부 관련 기관이 관심을 가지고 적극 참여할 필요가 있다.

둘째, 국제농업협력사업은 다양한 추진 주체별로 농업, 임업, 어업 분야별로 개별적, 분산적으로 추진되고 있어 사업별 연계 방안 마련을 통해 효율성과 효과성 제고가 필요하다. 국제농업협력사업의 효과성을 증진시키고, 체계적으로 국가별 농업협력사업을 추진하기 위해서는 무엇보다 농림축산식품부와 한국국제협력단, 수출입은행 등과의 공식적 의견조정 및 협력연계체계 강화가 필요하다.

셋째, 농업분야의 전문성과 차별성을 부각시킬 수 있는 사업을 발굴하여 추진하는 것이 중요하다. 우리나라 농업관련 기관들의 전문성을 활용하면서 국가전체의 협력사업과 연계하여 사업을 수행하기 위해서는 사업의 형성과정에서 현지조사를 통한 타당성 조사나 부문별 지원전략의 수립에 참여하거나 사업종료 후 지속가능성 확보를 위한 사후 관리와 운영 등을 전담하는 기관을 독립적으로 만드는 것을 고려할 필요가 있다. 사업의 발굴 및 추진과정에 있어서 협력 대상국의 국별, 분야별, 단계별 원조전략을 수립하고, 관련 사업들을 유기적으로 추진함으로써 효

과성을 제고한다. 대상국의 특성에 따라 농업 인프라 구축 등 물적 수단과 농업기술 전수 등 인적 수단을 결합하고, 농촌개발 등 상호 관련있는 프로젝트를 연계하여 추진함으로써 사업비 절감, 사업의 시너지 효과, 사업 추진의 효율성 증가를 도모할 필요가 있다.

넷째, 양자적 원조 성격의 국제농업협력사업과 해외투자 성격의 해외농업개발사업이 긴밀히 연계 추진되는 전략이 필요하다. 협력사업을 통해 협력 대상국의 농업발전에 기여하면서 우리나라 농식품기업들이 효과적으로 해외로 진출하여 에너지, 광물, 식량 등 필요 자원을 확보하는 윈윈전략이다. 즉 저개발국의 빈곤과 기아, 식량안보 해결, 농업생산성 증대, 농가소득원 개발, 농촌개발이라고 하는 국제농업협력사업의 목표와 국내 부족한 식량 등 농업자원의 확보라고 하는 해외농업개발사업의 목표 간 효과적 연계가 필요하다.

## 4. 결론

농업·농촌분야 국제농업협력사업은 개발도상국 및 저개발국의 빈곤탈피와 기아해방을 달성하기 위한 가장 효과적인 수단이 된다. 따라서 OECD 등 국제기구와 미국, 일본 등 주요 선진국에서는 농업·농촌분야 협력사업의 기본 목표와 방향도 빈곤해소와 기아해방에 두고 있는 실정이다.

한국의 농업·농촌분야 국제농업협력사업도 UN이 제시한 새천년개발목표와 같이 개발도상국 및 저개발국의 빈곤 타파와 지속적으로 농업성장과 농촌발전을 이루어나갈 수 있도록 지원하는 것을 기본 목표와 방향으로 설정하여야 한다.

농림축산식품부가 추진하는 국제농업협력사업은 국제적인 규범과 한국 정부의 국제협력 기본 목표와 방향을 존중하는 선에서 추진하는 것이 바람직하며 동시에 농림축산식품부 고유의 기능과 목적 달성을 위해 불가피하게 추진되어야 하는 한국 농업의 국제화와 해외 농업 자원 개발을 고려해서 추진되어야 한다.

한국의 농업과 농촌발전 성과는 국제기구와 개발도상국 사이에서 성공적인 사례로 평가되고 있기 때문에 농업분야 협력사업 수요가 지속적으로 증대되고 있다. 따라서 농림축산식품부는 한국 농업과 농촌개발 경험에 대한 개발도상국 지원 수요에 부응하고 국제농업협력사업을 효율적으로 추진하기 위한 세부기준 마련과 추진 체제의 정비가 필요하며 개발도상국의 개발 협력 수요 파악과 한국이 전수해줄 수 있는 농업 분야에 대한 국제적 수준의 체계적인 연구가 요망된다.



# 관개시설 현대화가 쌀 생산효율성에 미치는 효과 연구

임 청 룡 \_ 한국농어촌공사 농어촌연구원(kordet@ekr.or.kr)

## Abstract

In this study, we attempt to confirm the effect of irrigation facilities modernization on production efficiency. In order to analysis, we using regional yearly data of paddy field. As a result of the analysis as follow. firstly, the overall productivity in rice farming has been steadily increasing, but there has been a difference by region. It was confirmed that the factor that led to the increase of the production efficiency through the decomposition of the Malmquist productivity index was technological change. Secondly, from estimation results for the stochastic frontier model, it is show that the rise in temperature increases rice inefficiency, and the increase in the supply canal structures ratio reduces the inefficiency. From these results, the following implications can be drawn. First, modernization of irrigation facilities needs to be continued to enhance competitiveness of the rice industry in the future. Second, it is necessary to modernize the facility with the facility suitable for climate change.

## 1. 서론

한국 쌀 산업은 WTO 가입과 FTA 체결 등 농산물시장의 지속적인 개방과 국내 소비자들의 소비패턴 변화로 여러 측면에서 어려움을 겪고 있다. 이러한 내외부적인 어려움 속에서 한국 쌀 산업의 경쟁력을 강화하기 위해서는 생산효율성 증대가 필수적인 것이다. 쌀 생산성 제고를 위해 여러 측면에서 다양한 노력들이 이루어지고 있으며, 지속적인 기후 변화 하에서 쌀 생산성 제고를 위해 관개 시설에 대한 지속적인 현대화 사업이 이루어지고 있다. 그러나 현재까지 이루어지고 있는 관개시설 현대화가 쌀 생산성에 미치는 효과와 어떠한 요인이 쌀 생산성에 영향을 미치는 가를 확인해볼 필요가 있다.

효율성의 개념이 Farrell(1957)에 의해 정립된 이후, 효율성 측정 방법은 비모수적 접근인 자료포락분석(data envelopment analysis)과 모수적 접근인 확률적 프런티어 분석(stochastic frontier analysis)으로 나누어 발전되었다. 모수적 추정방법을 이용하여 분석한 연구를 요약하면 쌀 생산 농가의 효율성 변화요인을 분석한 이병기(2000), 확률적 생산함수를 이용하여 한국 쌀 생산의 기술적 효율성을 분석한 박종은·안인찬(2001), 쌀 생산농가의 생산효율성에 미치는 요인을 분석한 권오상(2002) 및 마늘 생산농가의 기술적 효율성을 분석한 홍승지·박재홍(2008) 등의 연구들이 있다. 비모수적인 분석방법을 이용한 연구들에는 쌀 농업의 효율성 관련요인을 분석한 김정호·위용석(1997), 미작농업의 생산기술을 분석한 권오상(1997), 양돈산업의 생산성 변화에 관한 연구를 진행한 최규섭·권용덕(2000) 및 콩 생산의 효율성 요인분석을 수행한 이순석·조성주·정호근(2003) 등이 있다.

본 논문은 다음과 같이 5장으로 구성된다. 제2장에서는 우리나라 쌀 생산 및 관개시설 현대화 현황을 살펴본다. 제3장에서는 효율성 분석을 위한 맘퀴스트 생산성분석 및 확률적 프런티어 분석모형을 설정하고, 효율성 결정요인을 선정하고, 자료수집 과정을 설명한다. 제4장에서 효율성 추정결과와 효율성에 미치는 요인들을 제시한다. 그리고 마지막 장에서 결과를 요약하고 함의를 제시한다. 이 연구의 결과는 관개시설 현대화 효과에 대한 입증을 통해 관개시설 현대화 추진 필요성을 확인하는 기초자료로 활용될 수 있다.

## 2. 쌀 생산 및 시설현대화 현황

### 1. 쌀 재배현황

국내 쌀 재배면적은 1998년 1,058,927ha에서 2017년의 754,713ha로 20년간 28.7% 감소하는 것으로 나타났으며, 쌀 생산량은 1998년의 5,096,879톤에서 2017년의 3,972,468톤으로 동기간 22.1% 감소하였다. 반면 쌀 단위 생산성은 1998년의 10a당 481kg에서 526kg로 동기간 9.4% 증가한 것을 알 수 있다(Fig. 1).

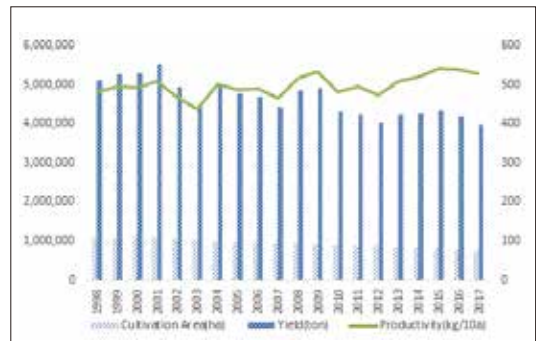


Fig. 1 | Rice Production Status  
Source: kosis.kr

지역별 쌀 재배면적을 8개 도 지역을 중심으로

살펴보면, 모든 지역의 쌀 재배면적이 시간에 따라 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 지역별 재배 면적 중에서 전라남도의 재배면적이 8개 쌀 주요 재배지역 중에서 제일 넓은 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 2).

지역별 쌀 생산량을 8개 도 지역을 중심으로 살펴보면, 모든 지역의 쌀 생산량 역시 재배면적과 같이 시간에 따라 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 지역별 재배면적 중에서 전라남도의 생산량이 8개 쌀 주요 재배지역 중에서 제일 많은 것으로 나타났다(Fig. 3).

지역별 쌀 단위 생산성에 있어서는, 쌀 재배면적과 변화 추이와 다른 패턴을 보이고 있었다. 8개 주요 재배지역 중에서 전라북도의 쌀 단위생산성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 다음으로 경상북도인 것으로 나타났다(Fig. 4).

## 2. 기상요인 변화 추이

기상요인 또한 농업생산에 있어서 아주 중요한 요인이므로 이 연구에서는 평균 기온과 강수량에 대한 지역별 변화 추이를 살펴보았다. 평균기온에 대한 지역별 변화 추이를 살펴보면, 지역별 평균온도 값에서는 차이를 보이지만 변화패턴은 비슷하게 나타났다. 특히 2012년부터 모든 지역의 평균 기온이 지속적으로 상승하고 있음을 알 수 있었다(Fig. 5).

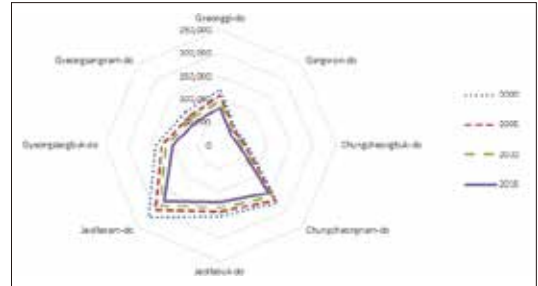


Fig. 2 | Regional Rice Cultivation Area  
Source: kosis.kr

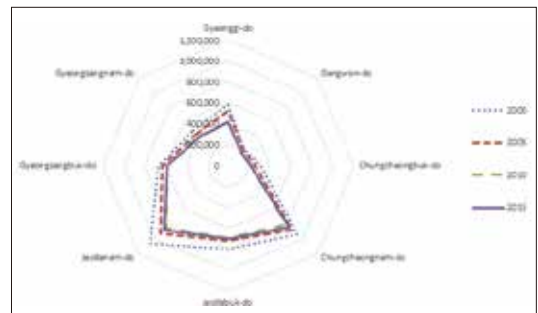


Fig. 3 | Regional Rice Production  
Source: kosis.kr

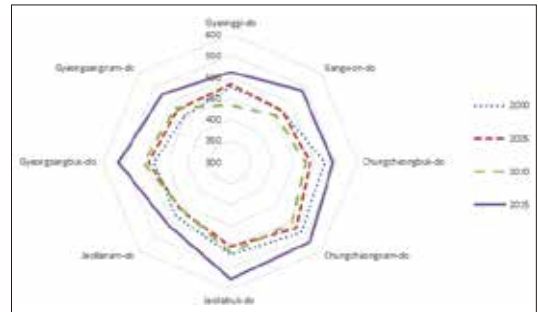


Fig. 4 | Regional Rice productivity  
Source: kosis.kr

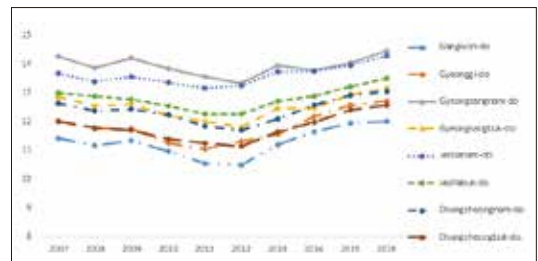


Fig. 5 | Change in Regional Average Temperature  
Source: kosis.kr



### 3. 분석방법 및 자료

#### 1. 맘퀴스트 생산성 지수

생산성이란 성과를 나타내는 지표의 하나로 투입량에 비해 산출량이 어느 정도 인지를 나타내며 동일 시점이나 서로 다른 시점간의 경제성과를 비교할 수 있게 하는 일종의 상대적인 지표이다(권오상·김용택, 2000). 시간이 지남에 따라 달라진 기술 수준 하의 투입과 산출관계를 분석하는 것을 생산성 분석이라고 하며 많은 공공기관이나 조직에서 성과측정을 위하여 생산성 분석을 이용하고 있다(김윤희·하헌구, 2010).

생산성의 변화는 기술변화와 기술효율성변화로 분해할 수 있다. 기술변화는 기술혁신에 의한 생산성 증대로써 총생산함수가 이동하는 것이다. 이는 동일한 투입수준에서도 생산량이 증가하는 것이다. 기술효율성변화는 생산 활동에 있어서 효율적인 생산 경계면에 어느 정도 접근해 가고 있는 정도를 나타내며, 경영주체 내부의 비효율적인 요소들을 얼마나 제거하였는가에 의한 효율화 정도를 나타낸다. 기술변화를 순수기술변화와 규모기술변화로, 기술효율성변화를 순수기술효율성변화와 규모효율성변화로 각각 분해하여 측정할 수 있다.

1953년 Malmquist에 의하여 제안된 맘퀴스트 지수는 Caves et al.(1982)에 의해 정의된 이후 생산성 변화 측정에 많이 활용되었다. Färe et al.(1994)는 자료포락분석을 이용하여 맘퀴스트 생산성 지수의 측정과 분해 방법을 개발하였다. 즉 다른 시점간의 생산성의 변화 정도를 종·횡단면적으로 분석하기 위하여 거리함수(distance function)를 사용하여 자료포락분석 모형을 개발하였다.

먼저  $t$ 기와  $t+1$ 기의 프런티어에서 측정한 맘퀴스트 생산성 지수는 아래 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며,  $M > 1$ 이면 생산성이 향상되었음을 의미하고,  $M < 1$ 이면 생산성이 감소되었음을 의미한다.

$$M^t(X_t, Y_t, X_{t+1}, Y_{t+1}) = \frac{C_d^t(X_{t+1}, Y_{t+1})}{C_d^t(X_t, Y_t)} \quad (1)$$

$$M^{t+1}(X_t, Y_t, X_{t+1}, Y_{t+1}) = \frac{C_d^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{C_d^{t+1}(X_t, Y_t)}$$

식(1)에서  $X$ 는 투입부문행렬을 나타내고  $Y$ 는 산출부문행렬을 나타낸다. 또한 아래첨자  $a$ 는 거리함수를 나타내고 첨자  $t$ 와  $t+1$ 는 각각 년도를 나타내며,  $C_d$ 는 규모에 대한 수익불변(constant returns

to scale; CRS) 가정하에서 거리함수를 나타낸다. 자의적인 프런티어 선택을 피하기 위하여 식 (1)에서  $t$ 기와  $t+1$ 기 지수의 기하평균을 이용하여 맘퀴스트 생산성 지수를 나타낼 수 있으며 다음의 식 (2)와 같다.

$$M(X_t, Y_t, X_{t+1}, Y_{t+1}) = \left[ \frac{C_d^t(X_{t+1}, Y_{t+1})}{C_d^t(X_t, Y_t)} \times \frac{C_d^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{C_d^{t+1}(X_t, Y_t)} \right]^{1/2} \quad (2)$$

Färe et al.(1992)에서 맘퀴스트 생산성 지수를 기술효율성 변화지수(technical efficiency change index: TECI)와 기술변화지수(technological change index: TCI)로 분해하여 측정하였으며 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$M(X_t, Y_t, X_{t+1}, Y_{t+1}) = \frac{C_d^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{C_d^t(X_t, Y_t)} \times \left[ \frac{C_d^t(X_{t+1}, Y_{t+1})}{C_d^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})} \times \frac{C_d^t(X_t, Y_t)}{C_d^{t+1}(X_t, Y_t)} \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$MPI = TECI \times TCI$$

## 2. 확률적 프론티어 모형

확률적 프론티어 분석을 활용한 효율성 분석은 Aigner et al.(1977)과 Meeusen and van den Broeck(1977)에 의해 제시되었으며, 그 후 Parikh et al.(1995), Battese and Coelli(1995), 김정호·위용석(1989), 이병기(2000), 박종은·안인찬(2002) 등 여러 연구에서 사용하였다. 본 연구에서는 생산효율성을 추정하고 동시에 효율성에 영향을 미치는 요인들을 분석하기 위해 확률적 프론티어 분석을 이용하며, 분석모형은 다음과 같이 설명된다.

쌀 생산농가  $i$ 농가의 생산을 위한 투입요소를  $x_i$ 로 표시하였으며, 생산요소 투입을 통한 생산물의 산출량을  $y_i$ 로 나타냈으며, 요소투입과 산출물 사이에는 다음의 식(4)와 같은 관계가 성립한다 (Battese, 1992; Kumbhakar and Lovell, 2003).

$$y_i = f(x_i; \beta) \cdot PE_i \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

여기에서  $PE_i$ 는 농가  $i$ 의 생산효율성을 의미이며,  $\beta$ 는 생산함수 파라미터 벡터이다. 쌀 생산농가들의 생산효율성에 확률적 프론티어의 개념을 적용하여 확률 잔차항을 추가하면, 다음의 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$PE_i = \frac{y_i}{f(x_i; \beta) \exp(v_i)}, \quad v_i \sim N(0, \sigma_v^2) \quad (5)$$

생산효율성( $PE_i$ )추정을 위해 식(5)를 다음의 식(6)과 같이 나타낼 수 있으며, 식(6)에서  $PE_i \leq 1$ 이므로  $v_i \geq 0$ 의 값을 가지게 된다.

$$y_i = f(x_i; \beta) \cdot \exp(v_i) \cdot \exp(-u_i) \quad (6)$$

식(6)에서 생산함수  $f(x_i; \beta)$ 를 Cobb-Douglas 함수의 형태로 가정하고, 투입요소에 있어서 단위면적당 평균 투입자본이 같다는 가정 하에 지역별 농지와 노동을 대변할 수 있는 농가 수 등 2가지 변수로 구분하였으며, 로그선형변환을 하게 되면 다음의 식(7)과 같이 유도된다.

$$\ln y_{it} = \beta_0 + \beta_l \ln l_{it} + \beta_m \ln m_{it} + v_{it} - u_{it} \quad (7)$$

식(7)에서  $l_{it}$ 는 생산을 위한 재배면적이고,  $m_{it}$ 는 지역별 농가 수이를 의미한다. 비효율성과 연관된 비효율성의 확률변수  $v_{it}$ 의 기대치는 다음의 식(8)과 같이 기온과 및 관개시설 현대화 관련 요인( $w_{it}$ )에 영향을 받는다.

$$\mu = \delta w_{it} \quad (8)$$

여기에서  $\delta$ 는 파라미터 벡터이고,  $w_{it}$ 는 지역별 평균기온, 수리답비율 및 용수로 구조화비율 등 변수들로 이루어진 벡터이다. 모형은 최우추정법(maximum likelihood estimation)에 의해 추정될 수 있다(Battese and Coelli, 1992).

### 3. 분석자료

이 연구에서는 쌀 산업에 있어서 관개시설 현대화가 쌀 생산성에 미치는 영향을 계량적으로 분석하기 위해 2010년부터 2016년까지 8개 도 지역을 중심으로 생산량, 재배면적, 농가 수, 평균기온, 수리답비율, 용수로 구조화 비율 등 변수들을 활용하였다.

맘퀴스트(Malmquist) 생산성 분석을 수행하기 위해 우선 투입변수와 산출변수를 구분하여야 하며,

이 연구에서는 투입변수로는 재배면적, 농가 수, 평균 기온, 수리답 비율, 용수로 구조화율 등을 사용하였고 산출변수로는 생산량을 사용하였다(Table 1).

Table 1 | Input and Output Variables Setting

Input Variables	Output Variables
Area (ha)	Yield (ton)
Farmers	
Temp. (°C)	
Benefitted ratio	
Structures ratio	

## 4. 분석결과 및 해석

### 1. 맘퀴스트 생산성 분석결과

맘퀴스트 지수를 활용한 생산성분석 결과 2010년부터 2016년 까지 맘퀴스트 생산성 지수 전체 평균은 1.004로 나타났으며, 이것은 연 평균 생산성 증가율이 0.4%라는 것을 의미한다. 또한 지역별로는 강원도가 생산성 지수가 1.0072로 가장 높게 나타났고, 경북이 0.9979로 가장 낮게 나타났음을 확인할 수 있다(Table 2).

Table 2 | Change in Malmquist Productivity Index

Year	Chungbuk	Chungnam	Gyeongbuk	Gyeonggi	Gyeongnam	Gangwon	Jeonbuk	Jeonnam	Mean
2010~2011	0.9921	0.9940	0.9979	0.9999	1.0037	1.0100	0.9998	0.9930	0.9988
2011~2012	1.0045	1.0050	1.0004	1.0270	0.9935	1.0054	1.0090	1.0123	1.0071
2012~2013	0.9959	1.0103	0.9970	1.0360	1.0192	1.0133	1.0007	1.0020	1.0093
2013~2014	0.9966	1.0001	0.9985	1.0124	0.9963	0.9975	0.9999	1.0062	1.0009
2014~2015	0.9973	1.0121	0.9946	1.0126	1.0032	1.0065	0.9961	0.9969	1.0024
2015~2016	1.0025	1.0070	0.9991	1.0013	1.0165	1.0107	1.0014	1.0038	1.0053
Mean	0.9981	1.0048	0.9979	1.0149	1.0054	1.0072	1.0012	1.0024	1.0040

맘퀴스트 생산성지수를 분해하여 유도된 기술효율성변화지수를 살펴보면, 2010년부터 2016년 까지 기술효율성변화지수의 전체 평균은 0.9999로 기술효율성에는 거의 변화가 존재하지 않음을 알



수 있다. 지역별로는 전북의 기술효율성 지수가 1.0002로 가장 높게 나타났고, 충북이 0.9995로 가장 낮게 나타났다(Table 3).

Table 3 | Change in Technical Efficiency Change Index

Year	Chungbuk	Chungnam	Gyeongbuk	Gyeonggi	Gyeongnam	Gangwon	Jeonbuk	Jeonnam	Mean
2010~2011	1.0009	0.9940	0.9986	0.9999	1.0037	1.0100	0.9988	0.9930	0.9999
2011~2012	0.9986	1.0050	1.0006	1.0270	0.9935	1.0054	1.0057	1.0123	1.0060
2012~2013	1.0008	1.0118	0.9953	1.0360	1.0192	1.0133	1.0017	1.0020	1.0100
2013~2014	0.9973	0.9987	1.0005	1.0124	0.9963	0.9975	0.9992	1.0062	1.0010
2014~2015	0.9968	1.0121	0.9941	1.0126	1.0032	1.0065	0.9987	0.9969	1.0026
2015~2016	0.9973	1.0070	0.9998	1.0013	1.0165	1.0107	1.0015	1.0038	1.0047
Mean	0.9986	1.0048	0.9981	1.0149	1.0054	1.0072	1.0009	1.0024	1.0040

맘퀴스트 생산성지수를 활용한 분석결과, 지역별 평균 생산성은 증가하였음을 확인하였으며, 이러한 생산성 증대는 기술효율성이 아닌 기술변화로 기인한 것임을 확인할 수 있었다. 이것은 최근 들어 경영주체 내부의 비효율적인 요소들을 얼마나 제거하였는가에 의한 효율화 정도에는 분석주체 별로 큰 차이를 보이지 않고 있다. 그러나 기술혁신에 의한 생산성 증대로서 총생산함수가 이동시키는 기술변화지수는 동일한 투입수준에서도 생산량을 증가시킬 수 있으므로, 관개시설 현대화로 인해 이러한 효과가 나타난 것으로 여겨진다.

그러나 비모수적 통계기법인 맘퀴스트 생산성 분석은 생산성변화를 비롯한 기술효율성변화 및 기술변화를 확인할 수 있지만, 어떠한 변수들이 효율성에 어떠한 영향을 미치는가를 확인할 수 없는 한계점을 가지고 있다. 따라서 다음 절에 확률적 프론티어 분석을 활용하여 효율성에 미치는 변수들을 확인하고자 한다.

## 2. 확률적 프론티어 분석결과

생산효율성에 미치는 변수들을 확인하기 위해 수행한 확률적 프론티어 분석결과 생산함수에 있어서는 재배면적에 대한 추정계수가 (+)로 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하게 나타났으며, 이것은 재배면적이 증가할수록 생산량이 증가하는 것을 의미한다(Table 5).

비효율성 모형에 대한 추정결과 평균기온에 대한 추정계수가 (+)로, 용수로 구조화비율에 대한 추정계수가 (-)로 1% 유의수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 이것은 기온이 상승할수록

쌀 생산에서의 비효율성이 증가하게 되며, 용수로 구조화 비율이 상승할수록 비효율성이 감소하게 됨을 의미한다(Table 5).

Table 5 | Results of Stochastic Frontier Model Estimation

	Var.	Coef.	Std. Err.	z	P> z
Frontier	Log (Area)	1.044***	0.017	59.690	0.000
	Log (Farmers)	0.011	0.022	0.490	0.625
Usigma (inefficiency)	Temp.	2.569***	0.736	3.490	0.000
	Benefitted ratio	4.447	4.684	0.950	0.342
	Stuctures ratio	-39.482***	14.702	-2.690	0.007
	Constant	-23.462***	7.680	-3.060	0.002
Vsigma	Constant	-7.553***	0.342	-22.070	0.000
	sigma_v	0.023***	0.004	5.840	0.000

\*\*\* : 1% 유의수준에서 통계적으로 유의함.

## 5. 결론

이 연구에서는 관개시설 현대화가 쌀 생산효율성에 미치는 영향을 비모수적 통계기법인 맘퀴스트 생산성 분석과 모수적 통계기법인 확률적 프론티어 모형을 활용하여 계량적으로 계측하였으며, 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 맘퀴스트 생산성지수를 활용한 분석결과, 지역별 평균 생산성은 증가하였음을 확인하였으며, 이러한 생산성 증대는 기술효율성이 아닌 기술변화로 기인한 것임을 확인할 수 있었다. 이것은 지속적인 관개시설 현대화로 인해 이러한 효과가 나타난 것으로 여겨진다.

둘째, 생산효율성에 미치는 변수들을 확인하기 위해 수행한 확률적 프론티어 분석결과 재배면적이 증가할수록 생산량이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 비효율성 모형에 대한 추정결과 기온이 상승할수록 쌀 생산에서의 비효율성이 증가하게 되며, 용수로 구조화 비율이 상승할수록 비효율성이 감소하게 됨을 확인 할 수 있었다.

이러한 분석결과로부터 다음과 같은 시사점을 도출 할 수 있다. 첫째, 관개시설 현대화가 쌀 생산성 향상에 긍정적인 영향을 미치므로, 향후 쌀 산업 경쟁력 강화를 위해 관개시설 현대화가 지속적으로 이루어질 필요가 있다. 둘째, 평균기온 등 기후요인이 쌀 생산효율성에 부정적인 영향을 미치므로, 기후변화에 적합한 시설 중심으로 시설 현대화가 이루어질 필요가 있다.

이 연구에서는 관개시설 현대화가 쌀 생산에 영향을 미치는 효과를 분석함에 있어서 분석에 활용한 자료가 충분하지 못한 부분과 분석에 활용한 변수들이 한정적이라는 한계점을 가진다. 따라서 보다 정확한 효과를 계측하기 위한 연구가 지속될 필요가 있다.

## 사사

※ 본 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행하는 '농어촌 자원의 효율적 이용을 위한 농지이용계획 수립'의 일환으로 수행 되었습니다

## 참고문헌

- 권오상, 1997, 한국 미작농업의 생산기술분석: 비모수적 방법을 이용한 효율성 분석을 중심으로, 경제학연구, 45(4), pp. 4251-4270.
- 권오상, 김용택, 2000, 한국 농업의 생산성 변화 요인 분석, 농업경제연구, 41(2), pp. 25-49.
- 권오상, 2002, 쌀 생산능가의 생산효율성에 미치는 요인분석, 2002 경제학 공동학술대회 발표연구집, pp. 3-30.
- 김석현, 위용석, 1996, 수도작 대규모 영농을 위한 적정 농기계선정, 농업경제연구, 37(1), pp. 123-144.
- 김윤희, 하헌구, 2010, DEA-Malmquist Productivity Index를 이용한 국내공항의 생산성 변화 분석, 한국항공경영학회지, 8(1), pp. 15-28.
- 박종은, 안인찬, 2002, 확률적 프런티어 생산함수에 의한 한국 쌀 생산의 기술적 효율성 분석, 충북개발연구, 13(2), pp. 123-143.
- 이병기, 2000, 쌀 생산능가의 효율성 변화요인과 정책적 시사점, 농업경영·정책연구, 27(3), pp. 1-17.
- 최규섭, 권용덕, 2000, 양돈산업에서 생산성 변화가 가격에 미치는 영향, 농촌경제, 23(2), pp. 33-48.

- 홍승지, 박제홍, 2008, 마늘 생산농가의 기술적 효율성 분석, 농업생명과학연구, 42(4), pp. 59-68.
- Aigner, D., C. A. K. Lovell, and P. Schmidt, 1977, Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models, *Journal of Econometrics*, Vol. 6, pp.21-37.
- Battese, G. E. and T. J. Coelli, 1992, Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India, *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 3, pp. 153-169.
- Battese, G. E. and T. J. Coelli, 1995, A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data, *Empirical Economics*, Vol. 20, pp. 325-332.
- Caves, D., L. Christensen and E. Diewert. 1982, The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity, *Econometrica*, Vol. 50, pp. 1393-1414.
- Farrell, M. J., 1957, The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, Vol. 120, pp. 253-290.
- Kumbhakar, S. C. and C. A. K. Lovell, 2003, *Stochastic Frontier Analysis*, Cambridge University Press.
- Meeusen, W. and J. van den Broeck, 1977, Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composite Error, *International Economic Review*, Vol. 18, pp. 435-444.
- Parikh, A., F. Ali, and M. K. Shah, 1995, Measurement of Economic Efficiency in Pakistani Agriculture, *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 77, pp. 675-685.

# 드론3D모형의 정밀안전진단 활용성 검토

이 준 구(Lee, Joon Gu) \_ 한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원(leejk@ekr.or.kr)

김 석 구(Kim, Suk Gu) \_ (주)공간정보 대표이사(gpskorea@hanmail.net)

서 동 욱(Seo Dong Uk) \_ 한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원(duseo@ekr.or.kr)

장 중 석(Jang, Joong Suk) \_ 한국농어촌공사 농어촌연구원 원장(jjs@ekr.or.kr)

## 요약

본 연구에서는 접근이 어렵고 상세한 외관조사가 필요한 농업기반시설물인 저수지의 정밀안전진단업무에 드론3D모형의 적용성을 검토하였다. 사이폰이 설치된 콘크리트댐 1개소와 존형 필댐 2개소를 대상으로 적용하였다. 콘크리트댐체, 물넘이, 방수로, 취수탑의 3D모형을 제작하고 구조체 변형, 균열, 박리·박락, 백태, 철근부식 등을 도출하는데 적용하였다. 3D모형의 장점은 시계열 영상 DB작성, 외관조사결과와 체계적 관리, 항공뷰에 의한 넓은 시야확보 등이 있었다. 단점으로는 3D모델 제작 S/W의 한계로 인한 하늘과 물의 반사를 극복하는데 아직 한계가 있다는 점이다. 따라서 이러한 한계를 극복하기 위해 전문가의 노력과 시간이 수반되고 있었다.

## Abstract

In this study 3D drone model was applied to detail diagnosis of reservoir which is one of irrigational infrastructures to be needed close inspection under bad accessibility. A concrete dam included siphon as an emergency spillway and two zoned filldams were built with 3D model. Structure deformation, concrete crack, exfoliation, efflorescence, rebar corrosion and etc. were driven on the 3D model of dam structure, weir, spillway, and intake tower. The merits of 3D model were time series image data base building, appearance examination result systematic management, wide view acquiring with aerial image over structure and etc. The demerit of 3D model was limits of image mapping S/W (Pix4D, etc.) on treating sky and water on still cut. Therefore excessive time and effort of expert were expected to correct them manually.

**Key words: 3D model, Drone, Detail diagnosis, Concrete dam, Crack**

## 1. 서론

주로 군사용을 대상으로 형성되었던 드론시장이 항공정찰 등 민간 상업용과 취미용으로 확대되었고, 미국의 아마존, 중국의 알리바바 등의 기업들은 물류·유통분야에서 드론을 활용한 배송서비스를 시범 운영하고 있다. 농업, 건설, 재난, 환경, 의학, 기상, 자원 분야 등 다양한 분야에서 드론의 수요가 급증하고 있다. 일본 야노경제연구소 세계 무인기 시장 사업규모예측 자료(2016.8)에 따르면 민간 드론 서비스 분야인 엔터테인먼트, 수송·배송, 관찰·정찰, 농업, 측량, 점검·검사, 영상·촬영영중 가장 크게 성장할 것으로 예측한 분야는 점검·검사로 2020년 약90억원으로 추정하였다.

본 연구에서는 드론의 점검·검사분야의 활용을 위해 농업생산기반시설 중 가장 큰 부분을 차지하고 있는 저수지에 대한 정밀안전진단업무에 드론을 적용하였다.

최근 국내 지도서비스 포털인 카카오맵에서는 도심을 3차원영상으로 제공하고 있다. 드론에 의한 항공뷰가 보편화 됨에 따라 3차원 영상의 활용이 늘고 있는 상황이다.

본 연구에서는 저수지의 제체, 취수탑, 물넘이, 방수로 등의 구조물에 대한 3차원 모델을 구축하여 정밀안전진단과업중 중심선 측량, 콘크리트 구조물 외관조사 등에 시범적용함으로써 그 활용성을 검토하였다.

### 1.1 국내 드론활용사례

세계 각국은 산업부문뿐만 아니라 미래형 드론 개발 및 활용분야도 강화하고 있으나 각국의 규제여부가 상용화에 큰 영향을 미치고 있다. 최다 드론 보유국인 미국은 120여종 11,000여대의 드론을 보유하고 있다. 미국 외에도 이스라엘, 프랑스, 영국, 중국 등이 드론개발 및 운영 중이다.

우리나라는 2030년 자율차, 드론, 무인선박 등 무인이동체 기술경쟁력을 세계 3위, 시장점유율 10%를 목표로 성장하고자 R&D사업에 120억원을 우선 지원하고, 향후 10년간 5천500억원의 지원 확대를 위한 예비타당성 조사에 나설 계획임을 밝힌 바 있다(2017.12).

공공분야에서 이미 적용되거나 적용추진 중인 드론의 용도는 재난안전, 환경, 해양, 농업, 시설물관리, 측량, 교육 등의 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 표 1과 같이 정리할 수 있었다.

3차원 모형 제작분야의 활용 사례로는 서울시의 3D건물 모형의 도시계획심의 활용, 대한토지주택

공사(LH)의 3차원 BIM(Building Information Modeling)설계, 한국국토정보공사(LX)의 토공량 산정 사례 등이 조사되었다.

표 1 | 공공분야 드론활용 사례

분야	내 용		활용기관
재난 안전	• 화재 구조, 산불 감시, 실종자수색		국립재난안전연구원, 서울특별시, 부산광역시, 해양경찰청, 산림청
농업	• 농약살포, 작황정보확인, 생육상태확인, 직불금점검, 일필지조사		국립농업과학원, 농촌경제연구원, 한국농어촌공사 기술안전품질원, 농산물품질관리
환경	• 기상관측, 소나무병충해, 동물개체수파악, 환경조사		기상청, 산림청, 국립생태원, 국립환경과학원, 국립공원관리공단
해양	• 해안선조사, 적조감시, 간출암측량, 해양쓰레기추적		국립해양조사원, 부산광역시, 한국해양과학기술원
시설물 관리	• 전력설비진단, 배전설비점검, 가스누출검사, 시설물안전점검		한국전력공사, 서울도시가스, 한국시설, 안전공단

※ 출처 : 각종 언론보도자료(중앙일보, 등)

### 가. 서울특별시

전국의 지자체 중에서 가장 활발히 드론관련 업무를 추진중에 있다. 드론 활용기반 조성을 위한 R&D, 조례제정 및 공간정보 실증사업 등을 꾸준히 수행하고 있다. 공간정보담당관에서 2016년에 진행하였던 『드론 공간정보 실증 및 활용 용역』을 통해 드론기반 3D모형과 3D건물 모형을 제작하여 현황조사, 기본계획수립, 입체조감도 작성, 정책결정 참고, 도시계획심의 등에 활용하고 있다.

### 나. 한국토지주택공사

LH는 2016년『LH 무인비행장치(드론)활용계획 수립』용역을 통하여 공사의 주요 업무에 드론 적용 방안 및 세부 계획을 수립하였고, 시범지역 3D모형 제작을 통해 후보지조사, 보상, 설계, 시공, 안전점검 등의 분야에 활용성을 검토하였다. 금년 초 5개분야 12개 업무에서 드론을 우선활용할 계획을 밝히기도 하였다. 해당 5개 분야는 계획(후보지조사, 공람공고, 보상), 설계(현황조사측량, 토목



그림 1 | 서울특별시 공간정보 활용 사례



그림 2 | 한국토지주택공사 공간정보 활용 사례

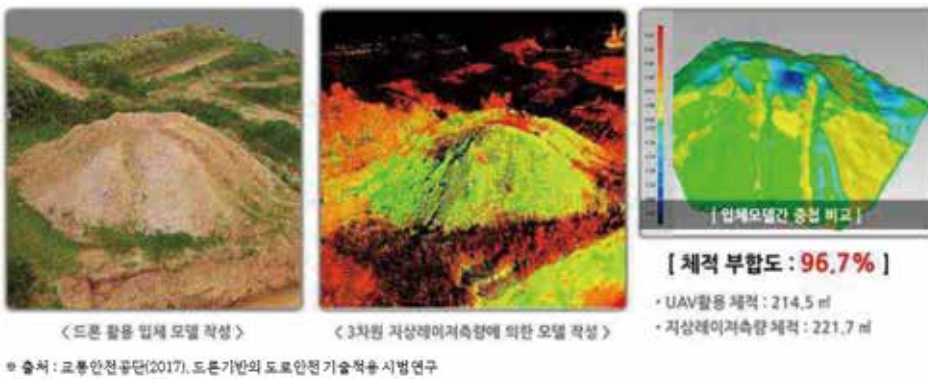


그림 3 | 한국국토정보공사 공간정보 활용 사례



BIM설계, 건축설계), 시공(단지공사, 도로공사, 건물공사, 안전진단), 자산·유지관리, 홍보 등이다. 단지 설계처에서는 드론 3D모형을 활용하여 3차원 BIM설계를 추진하고 있다.

#### 다. 한국국토정보공사

LX에서는 드론을 도입하여 도시개발사업, 재개발사업, 지적재조사사업, 산업단지조성사업, 문화재, 체적산출, 도서 정위치 사업 등에 활용하고 있다. 기존에는 GNSS나 Total station 등을 통해 지형자료를 구축한 후 단면도 작성으로 토공량을 산출하여 시간이 많이 소요되고, 정확한 토공량 산정에 시간과 비용이 많이 소요되었으나 드론 3D모형을 통해 실제 사업에 활용하여 경제성을 확보하고 있다.

### 1.2 국외 드론3D모델 활용 사례

유럽연합 규제기관인 유럽항공안전국(European Aviation Safety Agency)은 위험 카테고리에 따라 3개의 드론 영역을 구별하고, 영역별 차별화된 규제정책을 제시하고 있다. 나아가 촬영, 농업, 택배 등 드론을 용도에 따라 구별하고 서로 다른 규제를 적용하고 있다. 이에 유럽은 위험 카테고리 영역을 제외하고 대부분의 드론 활용 영역을 허용하는 추세이다.

캐나다의 'BlackHawk Aeronautical Solutions'사는 드론을 활용하여 부동산 고객에 정보를 제공할 목적으로 주택에 대한 3D모형을 제작하여 서비스를 하고 있다. 주요 고객은 부동산 판매자로서 잠재적인 구매자의 눈을 사로잡기 위해 주택과 주변 환경에 대한 최신 3D모형을 제작하여 정보를 제공하고 있다. 이미지가 충분하지 못하거나 지붕, 나무와 같은 장애요소 부분을 제외하고는 주택의 최신의 정보와 강, 호수, 공원, 기타 편의 시설 등을 확인할 수 있고, 전체의 처리과정 또한 빨라 고객의 수요가 꾸준히 늘고 있다.



그림 4 | 캐나다 'BASI'사의 부동산 활용

스위스 'Electricité de la Lienne SA'사는 Valais에 있는 156m 높이의 Tseuzier댐을 드론을 활용하여 안전점검에 활용하였다. 주된 목적은 3D모형을 제작하고, 입면정사영상을 추출하여 영상기반 조사망도를 구축하는데 있었다. 미세 균열을 측정하기 위해 0.6mm급의 해상도의 이미지를 획득하고, 최소 60%이상의 중복도로 데이터를 수집했다. 약 7일간 50회의 비행으로 7,000여장의 영상을 획득하였고, 2주간의 영상처리 과정을 거쳐 19,100㎡에 대한 정밀한 3D모형을 구축하였다. 그리고 균열, 누수, 백태 등의 외관조사 항목들에 대한 정보를 도면화 하였다. 드론활용으로 인하여 안전한 조사를 할 수 있었고, 안전사고 예방, 정밀한 측정, 기록물로서의 가치 등을 종합해보면 앞으로의 오래된 댐에 더욱 많은 활용이 있을 것으로 전망된다.

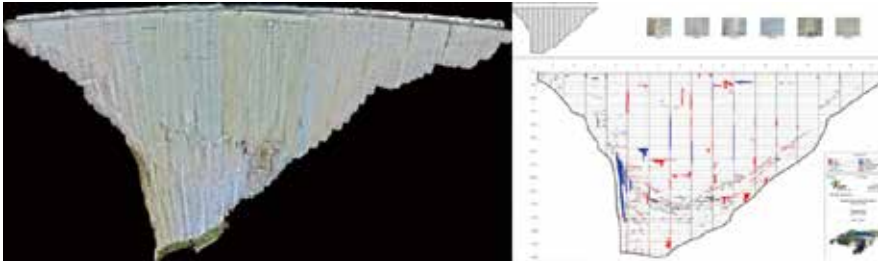


그림 5 | 스위스 'Electricité de la Lienne SA' 안전진단 활용

끝으로, 일본의 경우에는 드론측량을 일반 측량과 같이 정규 측량으로 인정하고 있으며 작업자들의 고령화로 인한 인력부족을 드론을 투입하여 측량, 설계 등에 효율성을 높이고 공사기간을 단축한다는 방침을 수립하였다. 이를 위해 2016년도에 도입된 3차원 조사/측량, 설계, 시공, 검사의 새로운 기준을 정비하였다. 3차원 측량→3차원 설계데이터 작성→ICT건설 기계에 의한 시공→3차원 시공 관리→3D 데이터 납품→3D모형에 의한 검사의 과정으로 진행되어 보다 간편한 측량이 가능하고, 정밀한 데이터 확보를 할 수 있으며 검사에도 시간을 단축하는 등 인력과 비용의 절감에 효율적으로 활용하고 있다.

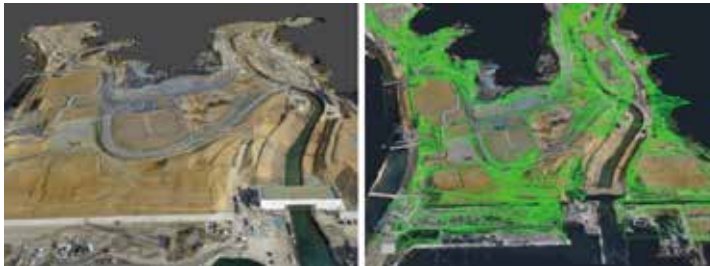


그림 6 | 일본 'Aerosense'사의 건설현장 활용

## 2. 본론

### 2.1 대상지 선정

대상지는 한국농어촌공사 기술안전품질원 진단업무 담당 부서와 협의하여 2017년 정밀안전진단 대상지구중 물넘이 언체 및 방수로 웅벽고가 높아 조사자의 접근이 어려운 지구를 표2와 같이 선정하였다. 콘크리트 댐의 경우 내·외측 사면이 급하고 높이가 높아 인력에 의한 조사가 어려운 시설로서 대표지구로 미호저수지를 선정하였다.

대상지의 촬영여건을 고려하여 저수지 전경은 고정익 드론으로, 시설물은 회전익 드론으로 촬영하였으며, 지상기준점 관측도 수행하였다. 미호저수지는 1985년 12월에 준공되었으며 진천군 및 청원군 6개 면에 물을 공급한다. 총 저수량은 13,871.7천m<sup>3</sup>으로 유역면적이 13,330ha에 이르며 콘크리트 댐 형식이다. 제방, 취수시설과 방수로, 복통이 구성되어 있고, 물넘이는 사이펀으로 구성되어 있다. 목계저수지는 1983년 1월에 준공되었으며 악양면 일대의 한해 상습지에 안정적인 농업용수 공급과 횡천강의 홍수 조절 목적으로 설립되었다. 총 저수량은 2,467.54천m<sup>3</sup>이고, 유역면적은 2,250ha으로 2,882m의 취수 터널을 이용하여 악양면의 농지에 농업용수를 공급하고 있다. 필댐 형식의 제체, 취수시설과 방수로, 여수로, 복통이 구성되어 있다. 지소저수지는 1996년 12월에 준공되었고, 제당의 높이를 5m 더 높이고, 제당 길이도 늘리는 공사를 통해 2012년도에 보수공사가 마무리 되었다. 이로 인하여 총 저수량은 3,280천m<sup>3</sup>이고, 유역면적은 1,380ha으로 303ha에 농업용수를 공급하고 있다. 필댐 형식의 제방, 취수시설과 방수로, 여수로, 복통이 구성되어 있다.

표 2 | 3D모형 제작 시범적용 대상지구

저수지명	댐체높이	여·방수로	홍수면적	취수시설
미호(초평)	19.4m(콘크리트)	9기×2조(슈트식사이폰)	327ha	34m(탑높이)
목계	50.8m(존형필댐)	4.5m(물넘이언체측벽고), 5.0m(방수로웅벽고)	16.41ha	36.6m(탑높이)
지소(양역)	49.8m(존형필댐)	4.0m(물넘이언체측벽고), 5.5m(방수로웅벽고)	20ha	34.5m(탑높이)

## 2.2 영상촬영

### 가. 사용장비

촬영에 사용된 드론은 표 3과 같이 총 3대이며 저수지 전경촬영용 고정익 드론과 시설물 근접촬영용 회전익 드론을 사용하였다. 고정익 드론인 ‘eBee Plus’의 무게는 1.1kg이며 길이는 110cm, 최대비행시간은 59분, 비행속도는 초당 10~16m이다. 1회 비행 시 촬영면적은 0.5~10.0km<sup>2</sup>이고 이·착륙 방식은 수동 이륙, 자동 착륙 방식이며 비행경로를 입력하면 자동으로 비행 및 촬영을 수행한다.

회전익 드론인 ‘Albris’의 무게는 1.8kg이며 길이는 80cm, 최대비행시간은 22분, 비행속도는 0~12m/s이다. 이·착륙은 모두 자동으로 가능하며 사전에 입력된 경로정보에 의한 비행 및 촬영이 가능하다. 또한 일정고도에서 정지비행이 가능하여 경사사진 또는 동영상 촬영을 할 수 있다. ‘Albris’는 근접경고센서 및 자동항해모드가 내장되어 있어 균일한 해상도를 유지하며 시설물을 촬영할 수 있는 큰 장점이 있다.

표 3 | 투입장비 제원

종 류	고정익 드론	회전익 드론	
사진			
제품명	eBee Plus	Albris	Phantom 4 Pro
제조사	SenseFly, 스위스	SenseFly, 스위스	DJI, 중국
무게	1.1kg	1.7kg	1.4kg
길이	110cm	80cm	60cm
비행시간	59분	22분	30분
비행속도	10 ~ 16m/s	0 ~ 12m/s	0 ~ 8m/s
수신거리	3km	0.7km	1km
이·착륙	수동이륙, 자동착륙	자동 이·착륙	자동 이·착륙
카메라	20MP(S.O.D.A)	38MP	20MP
비행형식	자동경로비행	자동경로비행(수동비행)	자동경로비행(수동비행)
촬영면적(5cm해상도)	2km <sup>2</sup>	-	-

회전의 드론인 ‘Phantom 4 Pro’의 무게는 1.4kg이며 길이는 60cm, 최대비행시간은 30분, 비행속도는 0~8m/s이다. 이·착륙은 모두 자동으로 가능하며 사전에 입력된 경로정보에 의한 비행 및 촬영이 가능하다. 정지비행 기능 및 경사사진촬영, 동영상 촬영이 가능하다.

저수지 전경은 비교적 비행 면적이 넓고, 비행시간이 긴 고정익 드론을 활용하였고, 시설물은 경사면과 옆면촬영이 가능한 회전의 드론을 사용하여 영상을 획득하였다.

#### 나. 촬영계획수립

촬영계획은 현장답사, 비행 및 촬영계획 수립, 촬영허가 및 비행승인, 비행 및 촬영 단계로 구분되며 각 단계별 과정을 거쳐 수행하였다.



그림 7 | 촬영계획 흐름도

대상지는 저수지로 비교적 경사가 급한 산지에 위치하여 있어 고정익 드론을 운용하기 위해서는 이·착륙 공간의 확보가 필요하다. 현장답사를 통해 대상지 주변의 공터, 밭, 추수가 끝난 논 등을 확보하여 이·착륙 공간으로 활용하였고, 주변의 장애물 유무 등을 파악하여 계획을 수립하였다.

저수지 전경과 시설물은 성과물의 목적에 차이가 있으므로 성과물 유형별로 비행계획을 수립하였다. 저수지 전경은 공간해상도 5cm급의 3D모형을 제작하기 위하여 격자형태로 중복촬영을 계획하였지만 미호저수지를 제외한 목계저수지, 지소저수지는 주변 산의 높은 고도로 인한 중복촬영이 불가능하여 4cm, 5cm로 고도를 달리하여 단방향 형태로 중복촬영계획을 수립하였다. 시설물은 1mm 이하의 균열까지 탐지하도록 5m이내의 이격거리로 비행계획을 수립하였다.

촬영계획을 바탕으로 비행 전 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 예상 비행횟수, 비행시간, 사진매수 등을 확인하여 촬영에 대한 안정성을 확보하였다.

### 다. 항공사진 촬영허가 신청 및 비행승인

대상지는 비행금지구역이나 비행제한구역이 아닌 일반 공역으로 비행승인 신청은 필요 없으며 항공촬영에 대한 허가신청을 득한 후 촬영을 진행하였다. 항공촬영신청은 원스톱 민원서비스(www.onestop.go.kr/ drone)에서 신청하며 최장 1개월까지 촬영기간을 허가 받을 수 있다. 대상지 모두 항공촬영 허가를 받았고, 보안조치 후 데이터를 확보하였다.

### 라. 항공촬영

저수지 전경 3D모형 제작용 고정익 드론과 시설물 3D모형 제작용 회전익 드론을 사용하여 표 4와 같이 영상촬영을 실시하였다. 저수지 전경은 5cm급 해상도를 유지하도록 촬영하였고, 중복도는 횡방향 65%, 종방향 80%로 비행하였고, 3개의 저수지에 대해 총 96분 비행으로 2,345장의 사진을 취득하였다. 시설물은 회전익드론을 사용하여 0.1cm이하의 해상도로 촬영을 하였고, 중복도는 종·횡 모두 80%로 비행하였으며 총 1,011분의 비행으로 12,383장의 사진을 취득하였다.



그림 8 | 영상 촬영

표 4 | 대상지별 촬영 성과

구분	미호저수지		묵계저수지		지소저수지	
	고정익	회전익	고정익	회전익	고정익	회전익
촬영일	'17.7.5	'17.7.5~6	'17.9.13	'17.9.13~14	'17.9.22	'17.9.21~22
해상도	5cm	0.1cm	5cm	0.1cm	5cm	0.1cm
유효면적	0.5km <sup>2</sup>	0.1km <sup>2</sup>	0.6km <sup>2</sup>	0.1km <sup>2</sup>	0.6km <sup>2</sup>	0.1km <sup>2</sup>
중복도(횡/종)	65%, 80%	80%	65%, 80%	80%	65%, 80%	80%
비행시간	25분	289분	40분	340분	31분	382분
사진매수	503장	2,679장	1,092장	4,664장	750장	5,040장
지상기준점	5점	2점	8점	2점	8점	2점

### 마. 지상기준점 측량

3D모형의 정확도를 높이기 위하여 지상기준점(GCP, Ground Control Point) 측량을 실시하였다. 지상기준점은 대상지의 면적에 따라 최소 5점에서 최대 8점으로 관측하였고, 위치는 항공사진에서 식별이 가능한 지형·지물 및 대공표지판을 이용하였다. 시설물의 경우 지상기준점 2점으로 위치를 보정하고, 스타프 및 줄자를 이용하여 시설물에 대한 길이 및 높이 값을 보정하였다. 미호지의 좌표 값을 대표로 표 5와 같이 제시하였다.

표 5 | 지상기준점 성과(미호저수지)

구분	미호저수지(GRS80 중부)		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
GCP1	244217.174	469124.108	88.608
GCP2	244169.102	468643.583	50.433
GCP3	244433.091	468808.003	65.016
GCP4	244728.575	468664.681	67.926
GCP5	244408.327	468951.700	64.974

### 바. 3D모형 제작

고정의 드론과 회전익 드론으로 취득된 영상자료를 이용하여 3D모형을 제작하기 위해 Pix4D Mapper S/W를 사용하였다. Pix4D Mapper는 상용화된 영상정합 소프트웨어 중 3D모형을 가장 빠르고 정확하게 제작할 수 있는 소프트웨어로 영상의 편집 및 품질개선에 뛰어난 기능을 가지고 있다. 해당 소프트웨어를 이용하여 취득한 자료를 각각 처리하였다. 영상처리 시간은 컴퓨터의 성능에 따라 편차가 발생하였지만 사진 1,100장을 기준으로 Pix4D Mapper의 경우 30시간이 소요 되었다.

Pix4D Mapper의 영상처리 작업 순서는 그림 9에 나타난 것과 같이 ① 사진정렬 ② 지상기준점 매칭 ③ 포인트클라우드 생성 ④ 포인트클라우드 밀도화 ⑤ DSM 제작 ⑥ 정사영상 제작을 포함 총 6 단계 과정으로 구분되지만, 3D모형만 제작 할 경우 ⑤ DSM 제작 ⑥ 정사영상 제작 과정은 생략해도 된다.

① 사진정렬은 항공사진에 대한 위치정보 및 자세정보를 이용하여 실제 촬영된 지점으로 이동시켜 정렬하는 과정이다. ② 지상기준점 매칭은 영상의 정확도를 향상시키기 위한 필수작업으로 지상기

준점측량의 3차원 좌표를 항공사진에 매칭하여 정확도를 개선하는 과정이다. ③ 포인트 클라우드 생성은 항공사진 간 매칭을 통해 동일지역에 대한 무수히 많은 3차원 포인트 데이터를 획득하는 과정으로 공간에 대한 측정 정보를 포인트 형태로 제공한다. ④ 포인트 클라우드 밀도화는 생성된 포인트 클라우드의 스케일 및 점군을 밀집시키는 단계이다. ⑤ DSM 제작은 밀도화가 완료된 포인트 클라우드에서 각 포인트들을 매쉬 형태로 구축하는 단계로, 격자 형태로 이루어져 있으며 각 격자는 X, Y, Z 좌표를 가지고 있다. ⑥ 정사영상 제작은 기하 보정된 항공사진에 DSM을 보간하여 생성된다. 이때 영상의 형태 및 색상을 보정할 수 있으며 왜곡이 심한 경우 수동으로 편집 작업을 실시할 수 있다.

각 단계별 처리과정은 고정익의 경우 도면제작 검토를 위해 ⑥단계까지 완료하였고, 회전익의 경우 3D모형 제작과 입면정사영상 제작을 위해 ④단계까지 처리하여 성과물을 제작하였다. 그림 10에 고정익의 성과물 제작 결과를 제시하였고, 그림 11 ~ 그림 13에 회전익의 성과물을 도시하였다.



그림 9 | 3D모형 제작 작업과정



그림 10 | 고정익드론 저수지 전경 영상처리 결과





(a) 제체(콘크리트댐) 전경



(b) 사이폰 전경



(c) 취수탑 전경



(d) 입면정사영상활용 상세외관조사



(a) 제체외제사면 전경



(b) 방수로 전경



(c) 취수탑 전경



(d) 3D모형 활용 열화손상 위치 관리

그림 11 | 미호저수지 회전익드론 3D모형 제작결과

그림 12 | 목계저수지 회전익드론 3D모형 제작결과



(a) 제체 외제사면 전경



(b) 방수로 전경



(c) 취수탑과 연락교 전경

그림 13 | 지소저수지 회전익드론 3D모형 제작결과

## 2.4. 정밀안전진단 활용성 검토

### 가. 정밀안전진단 업무 검토

저수지의 정밀안전진단업무에 드론의 3D영상의 활용방안을 검토하기 위해 현재 적용되고 있는 진단업무실무 세부요령을 검토하였다. 저수지의 정밀안전진단은 경험과 기술을 갖춘 자가 육안이나 점검기구 등으로 농업생산기반시설의 결함 등을 조사하는 안전점검을 실시한 저수지에서 물리적·기능적 결함 등이 있을 시 실시하고, 그에 대한 조치를 신속하고 적절하게 하기 위하여 시설의 구조적 안정성 및 결함의 원인 등을 조사, 측정 및 평가하여 보수, 보강 등의 방안을 제시하는 것을 말한다. 정밀안전진단은 사전조사, 현장조사, 검토 및 분석, 상태평가 및 안전성평가, 종합평가 및 안전등급, 보고서 작성 순으로 진행된다.

저수지의 현장조사는 표 6과 같이 외관조사, 토질조사 시험, 재료조사 시험, 지질조사 시험이 있으며 이 중 외관조사는 시설물제원, 유지보수상태, 시설물 현황측량, 제체 균열 및 세굴, 누수조사 등으로 구성되어 있다. 따라서 본 연구에서 제작된 3D모형을 바탕으로 정밀안전진단 외관조사의 항목 중 측량과 상세외관조사부분에서 적용가능성을 검토하였다.

표 6 | 저수지 현장조사 내용

외관조사	토질조사 시험		재료조사 시험		지질조사
	현장조사	실내시험	현장조사	실내시험	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시설물 제원</li> <li>• 유지보수상태</li> <li>• 시설물 현황측량</li> <li>• 제체 중·횡단측량</li> <li>• 여수로 측량</li> <li>• 균열 및 세굴, 누수조사</li> <li>• 구조물 외관결함 및 균열상태</li> <li>• 부대시설물 상태</li> <li>• 현장사진촬영</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시굴조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 물리성 시험</li> <li>• 삼축압축 시험</li> <li>• 투수시험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 반발경도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 압축강도</li> <li>• 물리성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 쌍극자배열 전기 비저항시험</li> <li>• 시추조사</li> <li>• 표준관입조사</li> <li>• 현장투수시험</li> </ul>

※ 출처 : 농업생산기반시설 정밀안전진단실무 세부요령(한국농어촌공사, 2011)

### 나. 측량업무 적용성 검토

정밀안전진단에서 측량업무는 크게 수준측량과 현황측량으로 나뉘며 수준측량은 수준측량과 기준점 설치로 작업이 구분되어지고, 현황측량은 중심선 측량, 중·횡단 측량, 지형측량으로 세분화 된다. 드론의 측량분야 도입에 관련된 사항은 최근 국토교통부 보도자료('18.2.26)「공공측량분야 드

론 뜬다」를 통해 도로·철도·공항·택지개발 등 공공측량 분야에 드론을 이용한 측량의 본격화를 예고하고 있으며, 국토지리정보원은 고시 제2018-1075호(‘18.3.30)호로「무인비행장치 이용 공공측량 작업지침 제정」을 고시하였다. 종전 항공측량 전문업체만이 할 수 있었던 항공측량을 이제는 누구나 손쉽게 할 수 있는 길이 열린셈이다.

하지만 아직까지는 드론으로 구축된 3D 모형에 대한 평가기준이나 지침 등이 전무하므로 정밀진단 업무에 활용하려면 관련법과 규칙, 평가기준과 작업 지침 등이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

드론으로 제작한 3D 모형은 실제 입력한 좌표형태로 존재하여 어느 곳에서나 위치 및 고도정보를 점, 선, 면 형태로 추출하여 도면제작이 가능하다. 이를 통해 초기 안전점검의 기초자료로서 사용이 가능하며, 시설물의 현황파악의 용도, 기본계획 수립단계에서 유용한 자료로 사용이 가능하다. 이 정보를 추출하기 위해서 Virtual Surveyor라는 S/W를 활용하여 도면제작을 검토하였다. Virtual Surveyor는 지형 및 이미지의 빠른 시각화와 수평, 수직, 직선거리계산, 단면추출 및 도화기능, 동영상제작, 3D모델링 등 다양한 기능을 가진 소프트웨어이다.



그림 14 | Virtual Surveyor를 활용한 도화

#### 다. 외관조사 업무 적용성 검토

상세외관조사는 시설물의 손상상태를 정확하게 파악하기 위하여 양안부의 접속상태와 시설물의 표면 균열, 누수, 침하, 변위, 토사유실, 풍화, 함몰, 박리·박락, 세굴, 철근노출, 기타사항 등과 같은 손상상태를 부재별로 작성된 조사망도에 조사·기록하는 업무이다. 시설물은 크게 제체, 여수로, 취수 시설로 구분된다.

현행의 상세외관조사는 숙련된 전문가의 육안과 경험을 바탕으로 계측장비를 이용하여 조사망도를 작성한다. 주요 시설물에 대한 점검사항을 조사망도로 기록하는 방법은 현행보다 드론을 활용하면 영상자료의 확보를 통하여 정량적 분석 및 객관적인 분석을 할 수 있다.

회전익 드론을 이용하여 취득된 3D모형을 바탕으로 특정한 축을 기준으로 입면정사영상을 추출하였다. 입면정사영상은 평면으로 구성된 제방이나, 여수로, 취수탑 접근로 등에는 실제 크기와 맞게 스케일을 재현할 수 있다. Pix4D Mapper에서 대상지에 대한 입면정사영상을 추출하여 오토캐드로 이미지 정보를 불러들이는 과정을 거치게 되는데 이 때 원본이미지는 Geotiff 파일로 용량을 많이 차지하게 되므로 ArcGIS, Global Mapper, QGIS 등의 상용 GIS S/W를 이용하여 JPG 형태로 변환과정을 거쳐야 한다. Pix4D에서 내보낸 정보(경사, 이미지크기)를 바탕으로 오토캐드에 이미지 삽입과 스케일 기능 등으로 실제 시설물에 대한 경사, 스케일 보정 등을 거치게 되면 조사망도 작성에 대한 준비가 완료된다.

이 때 드론영상은 균열, 백태, 박리·박락, 누수, 철근노출 등의 점검사항 기준에 맞추어 2mm 이상의 해상도를 확보하여야 한다.

대상지에 대한 3D모형 제작 결과 드론영상으로부터 콘크리트 시설물에 대한 균열, 백태, 박리·박락, 누수, 철근노출 등 일부 상세외관조사 점검항목들을 추출할 수 있었다.

균열 및 백태 박리·박락은 대상지 3곳 모두에서 확인할 수 있었고, 누수와 철근노출은 목계저수지와 지소저수지에서 확인할 수 있었다.

## 2.5 활용성 검토 결과

### 가. 문제점 및 개선방안

3D모형 적용은 영상촬영 및 영상처리, 3D 모형을 통한 조사방법 검토로 진행되었으며 각 연구단계 별로 표 7과 같이 도출된 문제점과 이에 대한 개선방안을 제시하였다.

영상 촬영은 주로 저수지의 특성, 주변의 환경, 인위적 요소들에 의한 문제점이 발생하였으며 개선 방안은 촬영시기의 조절과 많은 경험을 통한 전문 조종기술 확보가 요구되었다.

영상처리는 시설물 촬영의 특성상 많은 사진데이터로 인한 고사양의 H/W가 요구되었고, 저수지 영상의 특징인 물과 하늘을 포함한 이미지가 많아 S/W의 영상처리 한계에 의한 문제가 발생되었다. 대부분은 영상처리 S/W의 수동처리 기능으로 보정이 가능하였지만 이는 영상처리 기술습득이 요구되고, 처리 시간의 증가로 이어져 기술습득, 부분처리, 우선처리 등 작업 효율화 방안마련이 필

요한 것으로 사료된다.

3D모형을 통한 조사방법 역시 S/W와 영상처리 한계로 인한 문제점이 발생하였고, 주변의 환경적 요인들에 의한 문제점이 발견되었다. 또한 현재는 해상도가 높고, 정밀화하여 구축된 3D모형에서 바로 3차원 도화가 가능한 S/W가 전무하므로 진단항목의 정확한 위치 및 고도 정보를 3차원적으로 표현이 불가능한 한계를 가지고 있다. 또한 균열, 누수, 백태 등에 대한 영상에서의 명확한 판독 기준이 모호하므로 체계적이고, 객관적인 분석 방법이 요구된다.

표 7 | 문제점 및 개선방안

외관조사	문제점	개선방안
영상촬영	• 이차록 장소확보 및 안전	• 충분한 사전답사로 대상지 주변 및 인근 안전공간 확보
	• 식생, 수위로 인한 근접촬영불가	• 식생, 수위가 없는 시기촬영, 또는 벌목, 벌초 후 촬영
	• 취수탑 주변 전파방해	• 취수탑 주변 안테나 전원차단 후 촬영
	• 높은 기온에 의한 연속비행 불가	• 드론 온도 확인 후 적절한 온도에서 촬영
	• 추락으로 인한 장비손실 위험	• 전문 조종기술 습득
영상처리	• 물, 하늘에 의한 영상처리 오류	• 시설물을 제외한 나머지부분 포인트 클라우드 삭제
	• 카메라 촬영각, 해상도 차이에 의한 품질저하	• 수작업으로 타이포인트 입력하여 품질 개선
	• 많은 사진매수에 의한 영상처리 S/W 다운	• 고사양 워크스테이션 사용 및 분할 영상처리
	• 굴곡진 구조물 폐색영역 발생	• 입면정사영상 추출 시 간격을 최소화 하여 추출
	• 수동처리 보정에 의한 영상처리 시간 증가	• 부분별 영상처리, 우선처리구역 선정 등 작업효율화 모색
3D모형 조사방법	• 식생, 수목, 구조물 등에 의한 정확한 데이터 취득 불가	• 촬영시기 조절 및 수목, 잡풀에 대한 높이 보정으로 정확도 보정
	• 정사영상 크기로 인하여 도면에 불러오기가 힘들	• 영상분할 및 조사망도별로 파일 분할
	• 상세외관조사 항목들에 정량적 분석은 가능하지만 3차원 위치정보는 부족	• 3차원 도화가 가능한 S/W모색
	• 상세외관조사 항목들을 정량화 하고, 객관적으로 정립할 규정 필요	• 상세외관조사에 대한 표준화되고, 객관적인 기준 마련

### 나. 활용성 검토 결과

드론을 이용하여 제작된 3D모형을 측량업무에 적용하기에는 관련법과 규칙, 평가기준, 작업 지침 등이 전무하여 직접적인 적용은 불가능 하지만 수치지형도 제작을 통해 기초자료로서 사용이 가능하며, 시설물의 현황파악의 용도, 추가시설물의 기본계획 수립단계에서 유용한 자료로 사용이 가능한 것으로 판단된다.

상세외관조사 업무에서는 그림 11 (d)와 같이 제작된 3D모형에서 추출된 입면정사영상으로부터 균열, 박리·박락, 백태, 누수 등의 항목을 추출할 수 있었고, 정량적인 값도 추출할 수 있었다. 하지만 위 항목들을 추출하기 위해서는 전문가적인 시각에서 영상을 판별할 수 있는 표준화 되고, 객관적인 기준 마련이 필요하다. 또한 굴곡진 여수로, 원형의 취수탑에 대한 3차원적 진단 및 정확한 위치에 대한 정보 취득이 개선되면 더욱 효과적이고 다각적인 업무 활용이 가능할 것으로 판단된다. 영상처리 과정은 사진매수, 해상도 차이, 물과 하늘 처리 등과 같은 S/W적인 한계가 있으므로 기본

표 8 | 기존 육안조사와 드론활용 상세외관조사 비교

항 목	육안조사	드론활용 조사
조사방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>인력과 조사장비로 구조물의 상태변화 및 균열폭과 길이 등의 조사망도 작성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>영상촬영으로 3D모형을 제작하고, 입면정사영상을 추출하여 캐드 등을 활용한 조사망도 작성</li> </ul>
이미지		
안전성	<ul style="list-style-type: none"> <li>밧줄, 사다리, 보트 등을 이용하여 직접 조사하므로 안전사고 위험에 항상 노출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>인력의 접근이 힘든 시설물에 대한 영상촬영으로 안전성 확보</li> </ul>
경제성	<ul style="list-style-type: none"> <li>많은 인력투입 및 조사시간으로 경제성이 낮음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>최소인원 투입 및 단기간 조사로 경제성 있음</li> </ul>
신속성	<ul style="list-style-type: none"> <li>저수지 규모가 클수록 조사에 많은 인력투입과 시간이 요구됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>외업 및 내업에 소모되는 시간이 1~2주 이내로 빠름</li> </ul>
정확성	<ul style="list-style-type: none"> <li>정밀한 계측장비 사용으로 정확도는 우수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>지상기준점, 스케일바 등을 활용한 보정으로 정확도 개선이 가능함</li> </ul>
가시성	<ul style="list-style-type: none"> <li>조사망도 도면 및 현장사진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>시설물별 3D영상 제공 및 도면상에서도 영상 중첩이 가능하여 업무에 효율적 적용</li> </ul>
접근성	<ul style="list-style-type: none"> <li>기상 및 주변환경에 큰 영향을 받지 않음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>바람, 비, 눈, 햇빛 등 기상의 영향을 많이 받으며 나무, 수풀, 등 외부환경에 제약을 많이 받음</li> </ul>

적인 처리과정으로는 상세외관조사에 적용하기엔 미흡한 부분이 있으며, 수동 처리로 보완작업을 해야 하는 부분이 많은 것으로 조사되었다.

기존 조사방식인 인력에 의한 육안조사와 본 연구에서 적용한 드론 활용 상세외관조사방식의 비교를 표 8과 같이 정리하였다.

### 3. 결론

농업기반시설물 정밀안전진단업무에서 드론 3D모형의 적용성 검토를 위해 3개 저수지에 시범적용함으로써 발견한 문제점 및 개선방안, 그 활용성 검토 결과를 간략히 요약하였다.

드론을 이용하여 제작된 3D모형을 측량업무에 적용하기에는 관련법과 규칙, 평가기준, 작업 지침 등이 전무하여 직접적인 적용은 불가능 하지만 수치지형도 제작을 통해 기초자료로서 사용이 가능하며, 시설물의 현황파악의 용도, 추가시설물의 기본계획 수립단계에서 유용한 자료로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

상세외관조사 업무에서는 제작된 3D모형에서 추출된 입면정사영상으로부터 콘크리트표면의 균열, 박리·박락, 백태, 누수 등의 항목을 추출할 수 있었고, 정량적인 값도 추출할 수 있었다. 하지만 위 항목들을 추출하기 위해서는 전문가적인 시각에서 영상을 판별할 수 있는 표준화 되고, 객관적인 기준 마련이 필요할 것으로 사료된다. 또한 여수로의 측수로 옹벽, 방수로 옹벽 등 육안으로 관측하기 어려운 기울음, 침하 등 변형을 시설물 전체모형을 3차원으로 관찰할 수 있어 일정크기 이상의 변형은 관측됨을 확인하였다. 방수로의 경우 경사가 급하고 물이 흐르고 있어 인력에 의한 측량이 어려운 경우가 많은데, 이러한 경우 3D모형의 활용이 가능할 것이다.

수면으로 둘러싸인 원형의 취수탑을 3차원 모형으로 만드는 것은 물과 수면의 영상처리에 소요되는 노력과 시간에 비하여 그 효용성이 낮지만 정지영상을 함께 활용할 경우 인력으로 조사하기 어려운 중대결함을 찾아낼 수 있으며, 그 위치를 정확히 기록할 수 있는 장점이 있는 것으로 분석되었다.

끝으로, 최근 첨단장치의 경향이 비주얼하고 신속하며, 전산화가 가능한 특징을 보이고 있듯이 3D 모형 역시 시계열적 자료에 의한 장기적 분석이 가능하다는 장점이 있는 것으로 판단된다.

## 사사

※ 본 자료는 한국농어촌공사 “드론의 공사사업활용성검토 및 시범적용(Ⅱ)”의 일환으로 수행되었고 미계재 자료를 활용한 연구결과입니다.

---

## 참고문헌

- 국토지리정보원[2018], 고시 제 2018-1076호 공공측량 작업규정
- 국토지리정보원[2018] ‘무인비행장치 이용 공공측량 작업지침, 고시 제2018-1075호
- 농림축산식품부 한국농어촌공사[2017], 2016년농업생산기반정비사업 통계연보
- 김석구[2014], 무인비행시스템을 이용한 공간정보 구축 및 활용에 관한 연구, 목포대학교 박사학위 논문
- 대한지적공사[2013], 고해상도 영상기반의 실감지적 콘텐츠 구축 및 지적재조사 활용 연구
- 한국농어촌공사[2011], 농업생산기반시설 정밀안전진단실무 세부요령
- 한국토지주택공사[2016], LH 무인비행장치(드론) 활용계획 수립
- 한국농어촌공사[2017], 드론의 공사사업 활용성 검토 및 시범적용(Ⅱ)
- 교통안전공단[2017], 드론기반의 도로안전기술적용 시범연구



# 논에서의 시설재배 확대에 대비한 시설재배 작물 단위용수량 산정 고찰

신 안 국(An-Kook Shin) \_ 한국농어촌공사 농어촌연구원 주임연구원(2070161@ekr.or.kr)

정 광 옥(Kwang-Wook Jung) \_ 사단법인 한국수계환경연구소 연구소장(cck30@nate.com)

정 인 균(In-Kyun Jung) \_ 사단법인 한국수계환경연구소 연구책임(nemoik@nate.com)

## 요약

논에서 시설재배가 확대됨에 따라 기존 관개시설의 개선을 통한 시설재배지 관개용수 공급방안 마련이 필요한 시점이며, 관개용수 공급을 위해서는 시설재배작물의 단위용수량 산정에 대한 고찰이 선행되어야 한다. 이와 관련하여 시설재배용수량 산정방법들을 조사하였으며, 각 방법별 단위용수량 산정에 대해 고찰하였다. 본 연구에서는 대상작물로 토마토를 선정하였고 시설재배토마토의 주산지인 충남 부여를 대상지역으로 선정하였다. 기상자료로부터 노지재배, 시설축성재배, 시설억제재배 용수량을 산정하였고, 일본의 관비재배 조사결과로부터 완속토마토와 방울토마토의 용수량을 산정하였다. 배지경 양액재배의 재배특성을 조사하고 용수량을 산정하였다. 통계에 의하면 토마토는 현재 전량 시설재배로 생산되고 있으며, 시설재배는 생육시기, 재배방법, 재식밀도, 재배작물의 종류, 용수공급 방법, 관개시간 등 다양한 조건에 따라 용수량의 차이가 크게 나타날 수 있다. 수리시설물 개선방안 검토에서 시설재배용수량 결정함에 있어 관비재배, 양액재배와 같이 기상자료에 의해 용수량을 계산할 수 없는 방법들에 대하여 산정기준을 정리할 필요가 있다.

**핵심용어:** 시설재배 토마토, 단위용수량, 관비재배, 양액재배

## Abstract

As the cultivation under structure grows in the paddy field, it is necessary to prepare an irrigation water supply plan through the improvement of existing irrigation facilities. In order to supply irrigation water, consideration should be given to the estimation of the unit water amount of the cultivated crops. This study investigated the methods for estimating water requirements of greenhouse cultivation to design of a multi-purpose agricultural water supply system using existing irrigation facility. Target crop and region were selected as tomato and Buyeo county in South Chungcheong province. The water requirement for open field, forcing and retarding culture in the greenhouse was estimated using the weather data at Buyeo ASOS. The water requirement of greenhouse tomato and cherry tomato with fertigation was estimated from the case study of Japan. Characteristics of Nutriculture were investigated and water requirement was estimated. According to the statistics (MAFRA, 2018), tomatoes are currently produced only in the greenhouse culture. The water requirement of greenhouse crops depends on the growth environment factors, such as growth stage, cultivation methods, planting density, irrigation method and time. In the remodeling design plan of irrigation facility, research is needed to develop standard methods for estimating water requirement of fertigation and nutriculture that is not using weather data.

**Key words:** Greenhouse tomato, Unit water requirement, Fertigation, Nutri

## 1. 서론

쌀 생산 면적은 매년 감소하고 있는 추세로 통계청의 2018년 쌀 생산량조사 결과에 의하면 2018년 전국 벼 재배면적은 738천ha로 2009년 924천ha대비 186천ha(-20.1%) 감소한 것으로 조사된 바 있다. 식생활 다양화, 고령화, 저출산 등으로 1인당 연간 쌀 소비량이 장기 감소추세를 나타내고 있는 상황에서 쌀 생산면적 및 생산량의 감소에도 불구하고 쌀 생산량은 쌀 수요량보다 많으며 쌀 재배농가의 수익성은 악화되고 있는 실정이다. 쌀 생산이 구조적인 과잉상태를 지속함에 따라 농림축산식품부에서는 쌀 적정생산 유도를 위해 쌀 생산조정제(논 타작물 재배지원사업)를 실시하고 있다. 반면 과채류 등의 소비가 증가추세이고 타 작물이 쌀 생산과 비교하여 소득이 높은 상황으로 논에서 타 작물로 전환하는 영농 환경이 변화되고 있으며, 시설작물재배를 늘리는 추세에 있다. 특히, 작물의 생산이나 유통이 편리하고 농업기반시설이 잘 갖춰진 경지정리된 논에서의 시설작물재배가 증가하고 있다. 그러나 기존 농업생산기반시설은 벼농사를 중심으로 구성되어 있기 때문에 밭 또는 시설작물 용수공급에 적합하지 않은 부분이 있으며, 이로 인해 지하수 사용이 증가하고 지하수 수량 부족 및 수질악화의 문제가 발생하기도 한다. 벼농사 중심의 생산기반시설에서 쌀 생산면적 감소는 농업용수와 농업생산기반시설의 생산성 감소로 이어지는 바, 작물 전환으로 인한 용수이용량 변화 등을 고려하여 농업용수 이용을 다변화할 수 있는 방안이 요구된다. 논에서의 타작물 재배 시 지하수의 의존도를 줄이고 기존 논 농업용수를 효율적으로 활용할 수 있도록 기존 농업생산기반 시설물의 구조적 개선을 통해 논에서 벼와 타작물에 용수를 공급할 수 있는 수리시설물 리모델링은 하나의 방안이 될 수 있을 것이다.

논에서의 시설작물재배를 위한 수리시설물 개선방안을 검토하기에 앞서 밭 또는 시설재배 용수량의 산정이 필요하다. 밭 용수량 산정의 경우 기온, 상대습도, 일조시간, 풍속 등의 기상자료로부터 Penman-Monteith식에 의한 잠재증발산량을 계산하고 작물계수를 적용하여 실제증발산량으로 계산하는 과정을 거친다. 일련의 과정들은 HOMWRS(수리시설물모의조작시스템) 모형을 이용하여 밭 용수량을 산정할 수 있다. 그러나 시설재배의 경우 재배방법(관비, 양액) 및 작형(축성, 반축성, 억제)에 따라 용수량의 차이가 있고 외부 환경에 노출되지 않은 채 시설 내부에서 재배됨에 따라 기존 논 기상자료를 반영한 용수량 산정 방식과는 다른 특성을 나타낼 수 있다.

본 연구에서는 7대 과채류중 하나인 토마토를 대상으로 단위용수량을 분석하고자 한다. 토마토 농업기술길잡이(농촌진흥청, 2017)에 따르면, 토마토 재배지역은 전국적으로 골고루 분포하고 있으며, 토마토가 다른 과채류에 비해 생육한계농도가 비교적 낮고 재배가 비교적 용이한 이유로 전국적으로 확대된 것으로 파악된다. 채소류 생산실적 통계(농림축산식품부, 2018)에 의하면 국내 토

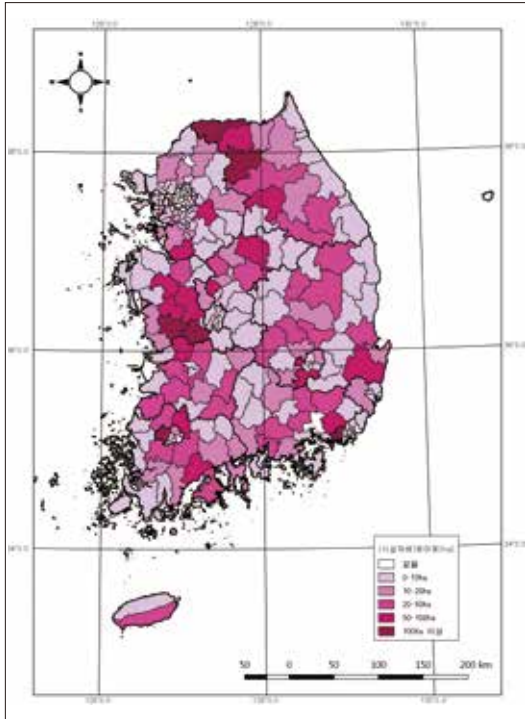


그림 1 | 시설재배(토마토) 분포도(시군구)

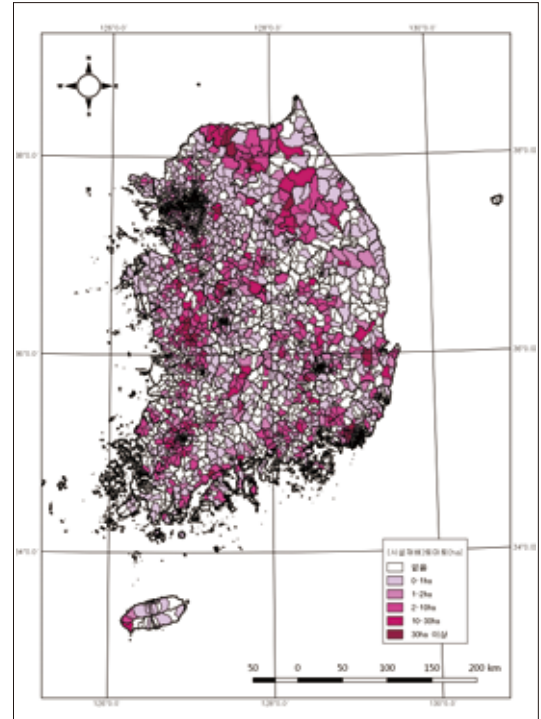


그림 2 | 시설재배(토마토) 분포도(읍면동)

마토는 전량 하우스 등 시설재배로 생산되고 있는 것으로 조사되었으며, 통계청의 농림어업총조사 (2015) 자료를 근거로 시설재배 토마토 분포를 살펴보면 위 그림과 같다.

시설재배용수량을 토마토를 기준으로 산정함에 있어서, 기상자료를 이용한 산정방법, 재배방법 및 작형에 따른 산정방법의 결과들을 비교해 보고자 한다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1 토마토재배

토마토 시설재배는 물관리 방법에 따라 관비재배와 양액재배로 구분할 수 있다. 관비재배는 관수와 시비를 동시에 수행하여 작물의 생육에 필요한 양분과 수분을 적정하게 공급하는 재배방법으로 관

수와 시비를 자동화 할 수 있기 때문에 노동력과 생산비 및 시비량의 절감이 가능하며 생육 촉진 및 수량 증대가 가능한 장점이 있으며, 주로 점적관수를 이용한다. 염류직접의 경우 작물이 양분을 필요로 하는 시기에 필요한 만큼을 공급하기 때문에 경감시킬 수 있으나, 비료액이 고루 분산되지 않으면 부분적으로 양분과다 피해가 쉽기 때문에 정확한 양수분의 관리가 필요하며, 관비량이 과다할 경우 지하수 오염을 초래하거나 비료에 따라 관수시스템이 막힐 염려가 있는 단점이 있다. 농촌진흥청 농사로 홈페이지의 영농활용정보에 제시된 토마토의 작형은 축성재배, 반축성재배, 조숙재배, 노지역제재배로서 작형별 파종, 정식, 수확, 성출하기는 표 1과 같다. 작형은 작부체계를 의미한다. 축성재배(forcing culture)는 작물의 수확시기를 기존 보다 앞당겨 재배하는 방식으로 온실 등을 통해서 가온 또는 보온을 하여 재배한다. 수확시기를 앞당김으로써 시장에서의 경제성을 높일 수 있다. 토마토 축성재배의 경우 9월 상순~10월 상순에 파종하여 11월경에 정식하고 익년 1월 중순부터 5월 상순까지 과실을 수확하는 배재방법으로 추운 겨울동안 재배된다. 반축성재배(semiforcing culture)는 보통재배와 축성재배의 중간이 되는 배재방식이다. 토마토 반축성재배의 주기는 11월 상순~12월 하순에 파종하여 12월 하순~2월 상순에 정식하고 3월 상순~6월 상순에 수확하며, 하우스 외부를 2~3중으로 피복하여 가온하지 않고 보온재배를 원칙으로 하는 방식으로 토마토재배의 대부분을 차지한다. 조숙재배(maturation culture)는 씨를 온상에 뿌려서 늦서리에 의한 피해 위험이 없는 시기에 본 밭으로 옮겨 심은 후 보통재배보다 일찍 수확하는 방식이며, 토마토의 경우 2월상순경 파종을 시작하여 5월 상순까지 온상에서 육묘하여 5월 상순경에 정식을 시작, 6월 중순~7월 하순까지 수확하는 배재방법이다. 억제재배(retarding culture)는 농작물의 발아나 생장을 인공적인 방법으로 억제하여 수확시기를 조절하는 배재 방식으로, 토마토의 경우 출하량이 감소하는 8월부터의 출하를 목표로 하는 배재방법이다. 토마토의 재식밀도는 3.3㎡당 일반토마토 축성재배 9주, 일반토마토 억제재배 8주, 방울토마토는 8~9주를 기본으로 한다.

양액재배는 토양이 아닌 물이나 고형 배지에 생육에 필요한 무기양분을 골고루 녹인 배양액을 공급하면서 작물을 재배하는 방식으로 토양을 사용하지 않기 때문에 연작장해를 회피할 수 있고 계절이

표 1 | (방울)토마토 작형별 파종, 정식, 수확기

작형	파종기	정식기	수확기	성출하기
축성재배	9상~10상	10하~11하	1중~5상	2상~4중
반축성재배	11상~12하	12하~2상	3상~6상	4상~6중
조숙재배	2상~3상	5상~5하	6중~7하	6상~7중
억제재배	4상~4하	5중~5하	7하~10상	8상~9중

나 기후, 토양조건에 구해 받지 않기 때문에 다수확, 고품질 생산이 가능하다. 양액재배는 배지사용 여부에 따라 순수수경과 고행배지경으로 분류된다. 순수수경은 배지를 사용하지 않고 배양액에 직접 뿌리를 노출시켜 재배하는 방식이며, 고행배지경은 작물을 지지할 수 있는 소량의 배지에 필요량의 양수분을 배양액으로 공급하면서 작물을 재배하는 방식이다. 양액재배에는 압면, 펄라이트가 주로 사용되어 왔으나 압면 폐기문제 등으로 인하여 코코넛피트 등 유기배지사용이 증가하고 있다.

## 2.2 시설재배 토마토 물소모량

시설재배작물의 생육시기별 작물계수 및 증발산량 조사자료(94, 농과원시험연보)에 의하면 토마토의 일평균 증발산량은 3.33mm으로 조사된바 있다. 일본의 시설재배 완숙토마토와 방울토마토의 축성 및 억제재배 작형에 대하여 생육단계별 물소모량을 측정한 자료에 의하면, 완숙토마토는 1일 1주당 0.2~2.0L, 방울토마토는 1일 1주당 0.5~2.5L의 물이 필요한 것으로 조사된 바 있다. 재식 밀도를 고려하여 mm로 환산하면 완숙토마토 축성재배시 1일 최대 3.14mm, 일평균 2.03mm, 억제재배시 1일 최대 2.71mm, 일평균 1.80mm, 방울토마토 축성재배시 1일 최대 3.80mm, 일평균 2.40mm, 억제재배 1일 최대 4.06mm, 일평균 3.26mm이다.

토마토 농업기술길잡이(농촌진흥청, 2017)에 따르면, 양액재배에서는 배양액공급방식, 배드구조, 재식밀도, 수분센서, 생육단계, 기후 등에 따라 물소모량이 달라진다. 배지경 양액재배는 통풍채광 및 작업의 편리성으로 고려하여 150~180cm×25~30cm 간격으로 정식한다. 압면은 규산질 암석인 현무암, 석회암, 백운석, 코크스를 혼합하여 1,600°C의 고온에서 1~8 $\mu$ m 정도의 섬유로 만들고 점착제를 이용해 다양한 형태로 성형한 배지이며, 토양재배에 가까운 특성을 지닌다. 압면배지경의 1주당 1회 공급량은 150~200mL이고 1일 공급횟수는 겨울철에는 7~8회, 여름철에는 10~13회로 표 3과 같다. 펄라이트는 규산질이 많은 진주암을 잘게 부순 후 1,000°C 정도의 고온에서 가열하여 팽창시킨 배지이며, 가볍고 배수성이 좋아 양액재배에 많이 이용되어 왔다. 최근에는 천연 유기재료인 코코넛피트의 사용이 증가하고 있다. 코코넛피트의 배양액 공급량은 1일 1주당 1~2L정도이며, 생육초기 또는 겨울재배에서는 1L이하이고 생육 최성기나 여름재배에서는 2L정도로 광도, 온도, 생육상태에 따라 공급량이 달라진다. 한편, 시설농업을 위한 기반정비 설계지침(농어촌연구원, 2009)에서는 시설 배지경 양액재배와 관련하여 작물별 필요수량을 제시하고 있으며, 그 중 토마토는 표 4와 같다.

표 2 | 토마토 시설재배 생육단계별 물소모량(일본)

구 분	생육단계	월일	일수	1일 관수량		
				L/주	L/10a	
완숙토마토 시설축성재배 (1,570주/10a)	정식 1단계화	10.20~10.26	7	0.4	628	
		10.27~11.09	14	0.2	314	
		11.10~11.23	14	0.4	628	
	3단계화	11.24~12.07	14	0.8	1,256	
		4단계화	12.08~12.21	14	1	1,570
	수확개시	12.22~12.31	10	1	1,570	
		01.01~01.31	31	1	1,570	
		02.01~02.28	28	1.2	1,884	
		03.01~03.31	31	1.5	2,355	
		04.01~04.30	30	2	3,140	
		적심	05.01~05.31	31	2	3,140
			06.01~06.15	15	1.8	2,826
			06.16~06.30	15	1.5	2,355
정식			07.25~07.03	7	0.4	542
완숙토마토 시설억제재배 (1,355주/10a)		정식	08.01~08.18	18	0.2	271
	08.19~08.24		6	0.4	542	
	3단계화		08.25~09.05	12	0.8	1,084
	4단계화	09.06~09.17	12	1.2	1,626	
		수확개시	09.18~09.24	7	1.8	2,439
	09.25~10.10		16	2	2,710	
	10.11~10.25		15	2	2,710	
	적심		10.26~11.09	15	1.8	2,439
			11.10~11.30	21	1.6	2,168
		12.01~12.20	20	1.5	2,033	
		12.21~12.30	10	1.3	1,762	
	방울토마토 시설축성재배 (1,520주/10a)	정식	09.10~09.14	5	1	1,520
			09.15~10.15	31	1.5	2,280
10.16~11.15			31	1.8	2,736	
수확개시		11.16~12.15	30	1.5	2,280	
		12.16~01.15	31	1	1,520	
		01.16~02.15	31	0.5	760	
		02.16~03.15	28	1.2	1,824	
		03.16~04.15	31	1.8	2,736	
		04.16~05.15	30	2.5	3,800	
		05.16~06.15	31	2.5	3,800	

구 분	생육단계	월일	일수	1일 관수량	
				L/주	L/10a
방울토마토 시설억제재배 (2,030주/10a)	정식	08.07~08.13	7	1	2,030
		08.14~08.31	18	1.2	2,436
		09.01~09.06	6	1.2	2,436
	수확개시	09.07~09.18	12	1.4	2,842
		09.19~09.30	12	1.8	3,654
		10.01~10.16	16	2	4,060
		10.17~10.31	15	2	4,060
		11.01~11.30	30	1.8	3,654
		12.01~12.21	21	1.6	3,248
12.22~12.31	10	1.2	2,436		

표 3 | 토마토 암면재배시 월별 배양액 공급량(L/주/일)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
공급량	0.79	0.74	0.84	1.14	1.52	1.33	1.64	1.85	1.48	1.05	0.81	0.67
표준면차	0.28	0.25	0.25	0.27	0.46	0.38	0.41	0.33	0.14	0.23	0.22	0.23

※ 참고 : 토마토 농업기술잡지(농촌진흥청, 2017)

표 4 | 토마토 시설 배치경 양액재배 용수량

작물	최대관수량 (L/주/일)	재식밀도 (주/10a)	시기별 최대용수량(톤/ha/일)		
			고온기 (5~9월)	저온기 (10~4월)	평균용수량
토마토	4	2,400	96.0	57.6	76.8

※ 참고 : 시설농업을 위한 기반정비 설계지침(농어촌연구원, 2009)

## 2.3 기상자료를 이용한 토마토 용수량 산정

밭 용수량은 국제식량농업기구(FAO)에서 추천하고 있는 식(1)의 Penman-Monteith (Allen et al., 1998) 방법을 적용하여 잠재증발산량을 산정하고 대상작물의 작물계수를 곱하여 구한 실제증발산량을 식(2)와 (3)의 Gumbel-Chow의 방법으로 빈도분석 하여 산정할 수 있다.

$$ET_p = \frac{0.408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_a + e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

여기서,  $ET_p$ : 잠재증발산량(mm/day)

$R_n$ : 순일사량(mm/day)

$(e_a + e_d)$ : 포화수증기압과 공기의 평균 실제 수증기압과의 차

$T$ : 평균온도

$U_2$ : 높이 2m에서 측정된 풍속(m/s)

$\Delta$ : 수증기압 곡선

$\gamma$ : 습도상수(kPa/°C)

$G$ : 토양으로 흡수되는 열 유동량(MJ/m<sup>2</sup>/day)

$$X_T = \bar{X} + \sigma K_T \quad (2)$$

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \quad (3)$$

여기서,  $\bar{X}$ : 수문 량의 평균치

$\sigma$ : 표준편차

$T$ : 재현기간

$K$ : 빈도계수로서 재현기간 10년 빈도의  $K_{10}$  값은 1.304임.

HOMWRS의 발관개 필요수량 분석을 통해 단위용수량을 산정할 수 있으나 노지재배를 대상으로 하는 한계가 있기 때문에, 시설재배 단위용수량을 산정하기 위해서는 시설내부의 환경을 고려할 수 있도록 기상자료의 보정이 필요하다. 제주도 발관개 용수량 산정법 정립에 관한 연구(농어촌연구원, 2003)에서는 시설재배용수량 산정을 위한 기상자료 보정기준을 표 5와 같이 제시한 바 있다. HOMWRS에서의 작물계수는 토마토의 경우 역제재배기간의 값만 반영되어 있어서 다양한 작형에 대한 분석을 위해 작물계수 자료를 조사하였다. 논에서의 안정적인 시설작물 재배를 위한 용수공급 체계 구축방안 연구(농어촌연구원, 2017)에서는 시설원에 작물의 작부시기 및 작물계수를 제시한 바 있으며, 토마토는 표 6과 같다.

기존 논에서 대규모로 시설 토마토 재배가 이루어지고 있는 충남 부여를 대상으로 기상자료에 의한



토마토 단위용수량을 산정하였다. 기상청 관할 부여 관측소는 충청남도 부여군 부여읍 가탑리에 위치하고 있으며, 1972년 1월부터 관측이 되었으나, 잠재증발산량 산정에 필요한 기상자료는 1973년부터 활용가능하며 2017년까지 45개년의 자료를 적용하여 단위용수량을 산정하였다. 본 연구에서는 기상자료를 보정하지 않고 5~9월 작물계수를 반영한 것을 노지재배, 기상자료를 보정하고 5~9월, 9~6월 작물계수를 반영한 것을 각각 시설억제재배, 시설축성재배로 하였다.

표 5 | 하우스내 기상데이터 보정 방법

일사량	일사량 투과율 70%					
기온	1월, 2월	3월, 12월	4월, 11월	5월, 10월	6월, 9월	7월, 8월
	외기온 +15℃	외기온 +12℃	외기온 +8℃	외기온 +5℃	외기온 +3℃	외기온 +1℃
풍속	노지의 15% (보정)					
습도	포화증기압과 실제수증기압의 차가 노지와 비슷함(미보정)					

※ 참고 : 제주도 발관개 용수량 산정법 정립에 관한 연구(농어촌연구원, 2003)

표 6 | 토마토 작형에 따른 작물계수

구분	순	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
토마토 (축성)	상	1.15	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75			0.5	0.5	1.15	1.15
	중	1.15	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75			0.5	0.5	1.15	1.15
	하	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75				0.5	1.15	1.15	1.15
토마토 (노지) (억제)	상						0.35	0.96	1.05	0.75			
	중					0.35	0.52	1.05	1.05	0.6			
	하					0.35	0.69	1.05	0.9				

※ 참고 : 논에서의 안정적인 시설작물 재배를 위한 용수공급체계 구축방안 연구(농어촌연구원, 2017)

표 7 | 부여 기상관측소의 기상요소별 기초통계

관측소	단위	평년	평균	표준편차	왜곡도	변동계수	
부여	연강수량	mm	1,349.20	1,318.00	319.9	0.55	0.24
	연평균기온	℃	12.2	12.2	0.6	-0.32	0.05
	평균풍속	m/s	1.16	1.24	0.21	-0.8	0.17
	평균습도	%	73.3	73.8	3.9	-0.06	0.05
	일조시간	hr	2,488.90	2,537.60	463.9	0	0.18

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 기상자료에 의한 증발산량 산정결과

시설재배용수량 산정을 위해 부여관측소의 기상자료(기온, 풍속, 일사량)를 보정하여 산정한 Penman-Monteith 잠재증발산량은 그림 3과 같이 분석되었고 연간 잠재증발산량이 점차 감소하는 추세를 확인할 수 있다. 토마토 작형별(노지, 억제, 축성) 연 최대치 순 증발산량은 그림 4와 같다. 1973년부터 2017년까지 45년간 최대 증발산량은 노지재배 65.21mm/10day, 시설억제재배 47.41mm/10day, 시설축성재배 31.27mm/10day이며, 평균값은 각각 50.76mm/10day, 36.93 mm/10day, 26.72mm/10day로 분석되었다.

증발산량 분석결과로부터 단위용수량 산정을 위한 재현기간 10년빈도 최대증발산량은 노지재배 6.01mm/day, 시설억제재배 4.40mm/day, 시설축성재배 2.94mm/day로 분석되었다. 기상자료에 의한 산정결과와 표 2의 일본 사례의 최대 물소모량을 비교하면 시설억제재배 조건에서의 방울 토마토 4.06mm/day와, 시설축성재배 조건에서의 완숙토마토 3.14mm/day에 근접한 값을 나타내었다.

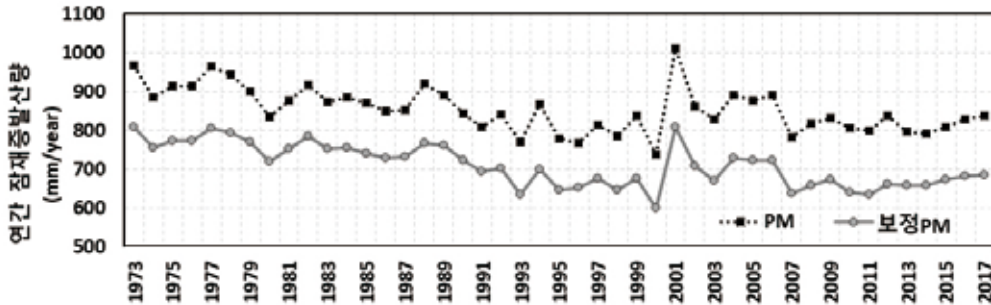


그림 3 | Penman-Monteith 잠재증발산량 산정결과(부여)

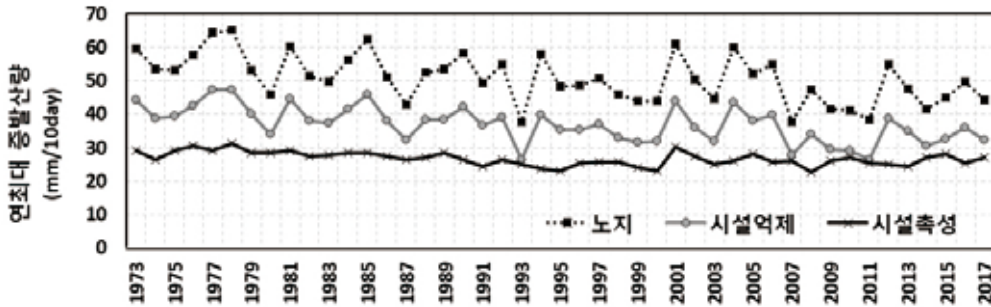


그림 4 | 토마토 작형별 연최대 증발산량 산정결과

기상자료의 보정을 통해 시설재배 작물에 대한 증발산량을 산정한 결과 실제 계측 자료와 비교했을 때 유사한 결과가 도출됨을 확인할 수 있었으며, 시설재배지에 대한 단위용수량 산정에 앞서 기상자료의 보정이 선행되어야 함을 보여주고 있다.

### 3.2 자료, 작형, 재배방식에 따른 단위용수량 산정결과

앞 절에서 살펴본 바와 같이 기상자료와 작물계수를 반영한 증발산량 결과 값과 일본의 완숙 및 방울토마토 관비재배사례, 배지경 양액재배 조건 등 각각의 방식에 따른 단위용수량을 산정하고 비교하였다. 양액재배는 정식간격 150~180cm×25~30cm을 고려할 때 1,850~2,670주/10a의 재식밀도이나 표 4를 고려하여 2,400주/10a의 재식밀도를 반영하였고, 용수공급 관행, 생육시기, 재식밀도, 관개시간, 재배작물의 종류 등 다양한 조건에 따라 용수량의 차이가 발생하므로 용수 최대 필요시기의 공급량을 적용하였다. 양액재배의 관개효율은 고려하지 않았으며, 다른 방법들의 관개효율은 농업생산기반정비사업계획설계기준(농림부, 1998)의 밭 관개효율을 참고하여 점적관개로 가정하고 85%를 반영하였다. 또한 재배관리용수량 등의 다목적용수량은 반영하지 않았다. 단위용수량 산정결과는 표 8과 같으며, A는 기상자료를 보정하여 분석한 결과로서 A1은 노지재배, A2는 시설축성재배, A3는 시설억제재배이다. B는 일본의 사례를 기준한 결과로 B1은 완숙토마토 시설축성재배, B2는 완숙토마토 시설억제재배, B3는 방울토마토 시설축성재배, B4는 방울토마토 시설억제재배이다. C는 배지경 양액재배 조건으로 C1은 농업기술 길잡이의 암면배지 양액재배, C2는 펠라이트배지 양액재배, C3는 시설농업을 위한 기반정비 설계지침의 관수량을 기준으로 산정한 결과이다.

방식에 따라 최소 0.00028m<sup>3</sup>/s/ha에서 최대 0.00111m<sup>3</sup>/s/ha의 단위용수량이 산정되었다. 즉, 수문자료, 작형, 재배방식에 따라 단위용수량이 크게 달라짐을 확인할 수 있었으며, 이런 차이는 향후

표 8 | 토마토 암면재배시 월별 배양액 공급량(L/주/일)

구분	기상자료 이용			일본 시설 관비재배				배지경 양액재배		
	노지	시설재배		완숙토마토		방울토마토		암면	펠라이트	배지재배
		축성	억제	축성	억제	축성	억제			
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3
최대증발산량(mm/day)	6.01	2.94	4.4	3.14	2.03	3.8	4.06	4.44	4.8	9.6
관개효율(%)	85	85	85	85	85	85	85	-	-	-
관개시간(hr)	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
단위용수량(m <sup>3</sup> /s/ha)	0.00098	0.0004	0.0006	0.00043	0.00028	0.00052	0.00055	0.00051	0.00056	0.00111

시설재배지에 대한 관개계획을 수립하는데 있어서 대상 지구의 재배 방식을 구체적으로 조사하고 반영하여 단위용수량을 산정해야 함을 보여주고 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 기존 관개시설의 개선을 통한 다목적 농업용수 공급방안을 검토함에 있어 밭 또는 시설재배 용수량의 산정과 관련하여 시설재배 토마토를 대상으로 문헌상의 다양한 산정방안을 조사하고 단위용수량을 산정해보았다.

부여관측소의 기상자료와 작물계수를 이용한 결과에서는 노지재배, 시설억제재배, 시설축성재배의 10년빈도 최대증발산량을 산정한 결과 각각 6.01mm/day, 4.40mm/day, 2.94mm/day로 분석되었으며, 단위용수량을 산정한 결과 각각 0.00098m<sup>3</sup>/s/ha, 0.00060m<sup>3</sup>/s/ha, 0.00040m<sup>3</sup>/s/ha로 산정되었다. 시설재배 토마토의 재식밀도가 8~9주/3.3m<sup>2</sup>(2,400~2,700주/10a), 겨울철과 여름철 물소비량이 각각 1L/주/일, 2L/주/일 이라고 하면, 물소비량은 2.7~4.8mm/day 범위로 추정할 수 있다. 기상자료의 보정을 통해 산정한 결과는 이와 유사한 범위의 결과를 나타내고 있는 것으로 파악된다. 일본의 시설 관비재배 측정자료에 의한 결과에서는 방울토마토의 산정결과가 완숙토마토에 비해 크게 산정되었으며, 완숙토마토 축성재배는 기상자료에 의한 축성재배와 유사한 결과를 나타내고 있고 방울토마토 억제재배와 기상자료에 의한 억제재배가 유사한 결과를 나타내고 있다. 그러나 일본 측정자료의 재식밀도는 1,355~2,030주/10a의 범위로 재식밀도가 다소 낮아 물 소모량이 더 적게 산정된 것으로 추정해 볼 수 있다. 배지경 양액재배의 경우 농업기술 길잡이(농촌진흥청, 2017)에서 제시하고 있는 암면, 펄라이트에 관한 사항을 반영하여 산정한 결과와 시설농업을 위한 기반정비 설계지침(농어촌연구원, 2009)에서 제시하고 있는 산정결과가 약2배의 차이가 나는 것으로 나타났으나 후자의 경우 어떠한 배지를 사용하는 조건인지 제시되어 있지 않아 직접적인 비교는 어렵다.

채소류 생산실적 통계(농림축산식품부, 2018)에 따르면 토마토는 2010년부터 전량 시설재배로 재배되고 있다. 시설재배 채소류의 관수방법의 약45.7%가 점적관수, 약22.8%가 분무호스를 사용하고 있으며, 전채시설재배에서 양액재배 면적은 약10%에 불과하나 고품배지를 이용하는 양액재배의 약69.5%가 코코넛피트와 같은 유기배지를 사용하고 있다. 시설재배는 생육시기(작형), 재배방법, 재식밀도, 재배작물의 종류, 용수공급 관행, 관개시간 등 다양한 조건에 따라 용수량의 차이가

크게 나타남을 분석을 통해 파악하였다. 기존 농업생산기반시설물의 개선방안 적용을 위한 시설재배작물 용수량결정과 관련하여 관비재배, 양액재배 용수량과 같이 기상자료에 의해 단위용수량을 산정할 수 없는 방법들에 대하여 산정기준을 조사하여 정리할 필요가 있다고 판단된다.

시설재배지의 단위용수량은 논에서의 단위용수량과는 다르게 시설재배의 특성, 재배방식 등의 영농여건에 따라 그 값이 다양하게 산정되고 있음을 확인할 수 있었으며, 타작물 용수공급 계획을 수립하는데 있어서 다양한 경우의 수를 바탕으로 분석이 필요함을 알 수 있었다. 또한, 향후에는 작물별, 관개방식별 단위용수량에 대한 계측 연구를 통해 기준 값의 제시가 필요할 것으로 판단된다.

## 사사

※ 본 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행하는 '용수이용 다변화를 위한 수리시설물 리모델링 연구'의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 농림부, 1998. 농업생산기반정비사업계획설계기준 관개편(기준 및 편람)
- 농림부, 2003. 농공기술 용어사전
- 농림축산식품부, 2018. 2017 시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적
- 농어촌연구원, 2003. 제주도 발관개 용수량 산정법 정립에 관한 연구(II)
- 농어촌연구원, 2009. 미래성장농업을 위한 농업시설 활성화방안-시설농업을 위한 기반정비 설계지침
- 농어촌연구원, 2017. 논에서의 안정적인 시설작물 재배를 위한 용수공급체계 구축방안
- 농촌진흥청 국립원예특작과학원, 2015. 시설채소 관수호스 사용 및 토양 현장진단 기술 [시설토양환경연구회 Workshop]
- 농촌진흥청 농사로 홈페이지(www.nongsaro.go.kr). 농작업일정, 토마토, 방울토마토
- 농촌진흥청 농사로 홈페이지(www.nongsaro.go.kr). 작목기술정보, 토마토 양액재배기술
- 농촌진흥청, 2017. 토마토 농업기술길잡이 106(개정판)
- 통계청, 2015. 농림어업총조사

# 아이에스테크놀로지(주)

## 센서로부터 시작

1993년 초음파센서전문기업으로 창업한 아이에스테크놀로지(주)는 현재 해군용 소나(Sonar) 소자, 의료용 집속초음파(Hifu)소자, 수자원계측센서(비접촉식 수위 수량) 및 스마트 수도미터(초음파식) 등 전문 센서를 국산화하여 전 세계에 공급하는 회사로 성장하였습니다.

## IT 기술과 융합

4차 산업혁명으로 전환하는 환경에서 아이에스테크놀로지(주)는 미래의 성장을 위하여 외부 연구 기관 R&D 네트워크 연계 및 타 센서 업체들과의 융합을 토대로 사물인터넷(IoT)과 인공지능(AI)기술이 접목된 수자원 의사결정 솔루션과 상수도 스마트 검침 등 신제품을 출시하고 있으며, 물산업과 관련된 IT기술을 지속적으로 개발, 공급하고 있습니다.

## 공헌하는 기업

아이에스테크놀로지(주)는 센서 국산화 및 세계수출경험을 바탕으로 다양한 계측정보 및 소프트웨어 기술을 융합하여 현장으로부터 의사결정소프트웨어까지 제공하는 통합솔루션 회사로 발전하고자 하며, 이를 통해 인류사회에 공헌하는 기업이 되고자 합니다.



그림 1 | 아이에스테크놀로지(주) 수자원사업분야

## 사업분야

아이에스테크놀로지는 2000년 이후 센서 기술을 기반으로 센서와 타 기술간의 융합을 필요로 하는 세계시장을 무대로 IT융합이라는 솔루션을 제공하고 있으며, 독자적인 기술 기반의 센서 제품과 산학연 R&D 네트워크를 연계한 기술 융합을 통해 소재부품으로부터 계측센서, 스마트검침, 수자원 IT 관리솔루션 분야로 기술영역을 넓혀가고 있습니다

**PIEZOCORE**

압전세라믹 소재부품

**SONDAR**

계측센서

**CHECK ALL**

스마트 검침 솔루션

**SWaN**  
Smart Water solution

수자원IT 관리 솔루션

## 압전세라믹 분야

아이에스테크놀로지(주)의 압전세라믹기술은 PZT[Pb(ZrTi)O<sub>3</sub>] 계 합성화합물로 이루어진 압전물질(Piezoelectric Materials)을 활용하여 사업초기 수중음향센서로 시작하여, 온도, 기계적 안정성을 기반으로하는 의료용, 특수산업분야로 확대하고 있습니다.

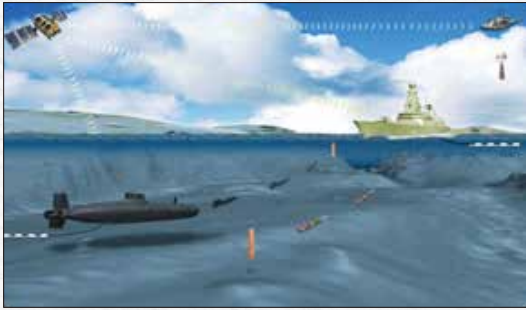


그림 2 | 수중무기체계



그림 3 | 방산용 트랜스듀서

### ○ 방산용 트랜스듀서

아이에스테크놀로지(주)의 압전세라믹기술은 활용한 적용분야 중 방산용 트랜스듀서 분야는 가장 대표적인 기술 적용분야로 해군 수중무기체계의 음향탐지 및 유도제어의 핵심 센서 제품으로 수상함, 잠수함 등에 사용하는 어뢰, 기만기, 예인배열소나시스템에 장착하는 주요 부품을 생산하고 있습니다. 아이에스테크놀로지(주)의 방산 트랜스듀서는 수음음향 송수신폭성이 뛰어나며, 특히 수중이라는 환경에서 사용환경에 적합한 음향 송수신 센서를 개발 생산하고 있으며, 다양한 고성능 수중센서 시스템에 적합한 트랜스듀서를 개발 양산하고 있습니다.

### ○ 산업용 트랜스듀서

아이에스테크놀로지(주)의 압전세라믹기술은 의료용 소자 및 산업용 분야에 적용되고 있으며, 의료용분야는 초음파 에너지를 한 곳에 집중하여 집중된 초음파 고에너지를 이용하여 제작된 HIFU 장비의 압전세라믹소자 및 트랜스듀서를 공급하고 있으며, 특히 특히 10Mhz 용 트랜스듀서는 국내에서는 당사만이 제작가능하고, 전세계에서 두번 째로 양산체계를 갖추고 있습니다. 또한 산업용분



그림 4 | 수자원계측센서



그림 5 | 수자원계측센서 수출현황



아에 Tonpilts Type의 트랜듀서를 공급하여 고효율 초음파에너지 구현을 통해. 세정기, 용착기, 컷터 등에 적용하고 있습니다.

## 수자원 계측센서 분야

수자원 계측기기(LEVEL & FLOW, DENSITY, SCOUR-METER)는 다양한 수리시설(상하수처리장, 오수처리장, 폐수처리장, 정수장, 저수지, 하천, 저장탱크, 양배수장 등)에 설치 되어 수위 및 유량을 측정합니다. 정확하게 계측된 정보들은 사용자들의 수리시설의 운영과 관리를 용이하게 해주며, 현재 산업체, 공사, 지자체 등에서 사용하고 있으며 또한 전세계 25여 개국으로 수출되어, 세계 일류기업과 경쟁하고 있습니다.



그림 6 | 수자원계측센서 설치 현장 및 운영

## 스마트 검침솔루션 분야

### ○ 상수도관망 최적관리시스템

상수도 관망 최적관리시스템(Oasis+)은 상수도관망의 선진 현대화 체계를 구축하고, 상수도 운영 DB구축 및 실시간 운영관리 및 유수율 분석과 관망관리 분석시스템의 전문체계 구축을 위한 시스템이며, 효율적인 상수도 관망운영관리 체계 확립과 체계적인 유수율 제고를 통한 통합관리시스템 구축을 통한 정보수집체계를 위한 시스템입니다. 현재, 부천시청 및 시흥시에 시스템 도입이 진행되었습니다. 차세대 지능형 상수관망 기술개발 사업(GBEST, 환경부)에 참여하여 상수관망 에너지 최적운영, 회수 및 지능형 플랫폼 개발을 진행하였습니다.



그림 7 | 아이에스테크놀로지(주) 수자원사업분야

### ○ 스마트검침솔루션

스마트검침솔루션은 사물 인터넷(IoT) 통신을 이용한 수도미터 원격검침과 인공지능(AI) 기능을 활용한 사용량 수지분석과 부가 서비스를 제공하여 상수도 공급자의 합리적 수자원 관리를 위한 의사결정지원 제공을 위한 제품입니다.



그림 8 | 스마트검침솔루션 구성

### 수자원IT 솔루션 분야

수자원IT 솔루션은 댐, 저수지, 하천 및 수로의 수위, 유속, 유량, 수질, 기상 등 다양한 계측기기와 측정값을 자동측정하고 전송하기 위한 USN 기술, 그리고 이를 운영하기 위한 웹/모바일 기반의 솔루션을 제공하기 위한 기술로, 저전력 계측 알고리즘 기술과 태양광 전원 운영 기술 및 무선 통신기술을 적용한 녹색기술 기반의 시스템입니다. 수자원IT 시스템의 구성은 현장에서 계측정보 취득을

위한 장비(Smart Water Station)과 측정된 데이터를 취득하고 관리하기 위한 상위 솔루션(Smart Water Management System)으로 구성됩니다.

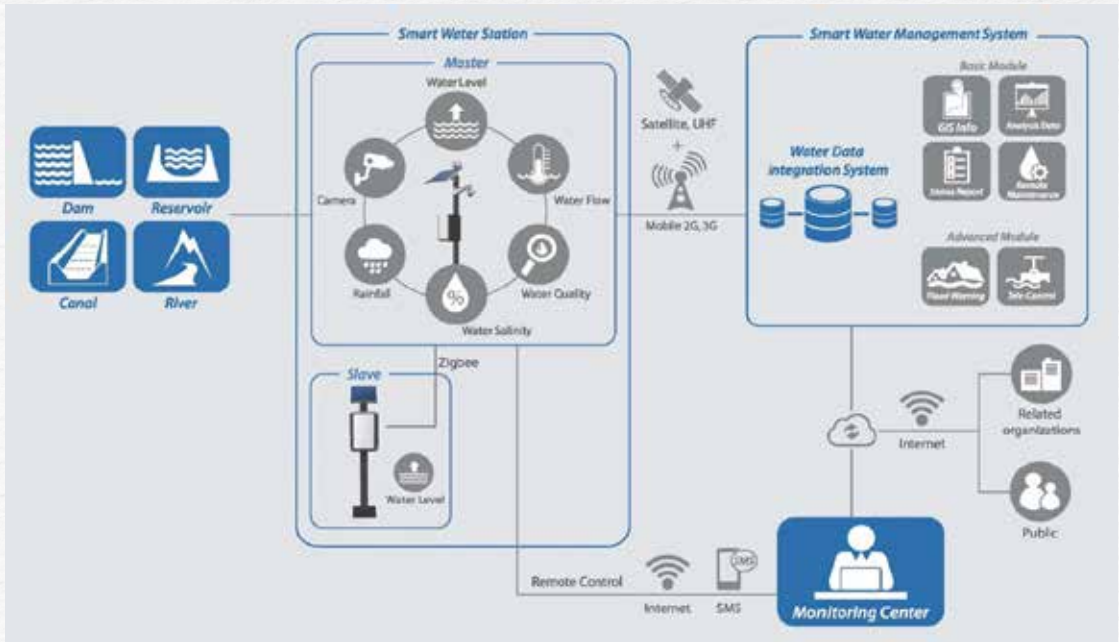


그림 9 | 수자원IT 시스템 구성도

수자원IT시스템의 현장계측장비는 그동안 관련 기술 특허 및 인증(녹색인증, NEP, 중기청성능인증 등)을 취득을 통해 현재 우리나라 수자원의 약 48%에 해당하는 농촌용수 분야에 주요 수리시설물 3,000개소에 적용되어 웹/모바일을 통해 실시간으로 관리되고 있으며, 지자체 및 국가 수리시설 현장에 다양하게 적용되어 운영되고 있습니다.



그림 10 | 현장설치 현황(주요 수리시설물 3,000개소 설치 운영 중)



그림 11 | 수자원IT 웹/모바일 운영시스템 예시

또한 아이에스테크놀로지(주)는 그동안 외산장비로 현장에 적용되어 왔던 레이더유속측정시스템을 국산화하여 현장에 적용을 시작하였습니다. 현장에 적용되는 레이더 유속측정시스템은 국토해양부 유량조사사업단의 성능시험을 검증하였으며, 계측센서의 국산화는 물론, 양방향 원격관리(원격업데이트 등) 기능과 Iot기술과 태양광을 이용한 무선 계측시스템으로 구성되어 있으며, 정확한 유량계측을 위한 현장 보정기능을 포함하고 있습니다. 특히 기존에 수위계가 설치된 현장에 확장이 가능한 구조로 구성되어 있습니다. 이를 통해 보다 적은 비용과 쉽고 간편한 유지관리를 통해 적정용수의 관리 및 운영이 가능합니다.



그림 12 | 레이더유속계 설치 현장[용수공급/하천방류]

수자원IT 현장계측기술과 더불어, 지속적으로 확보되어온 주요 기술로 사용자 중심의 수자원통합관리시스템은 평상시 현황관리와 가뭄,홍수등 재해시 의사결정을 지원하며, 최근 빅데이터 처리를 기반으로하는 예측시스템으로 확대되고 있습니다. 또한 주요 수자원 시설의 통합관리와 더불어 수자원 관리업무를 기반으로하는 사용자 중심의 모바일 시스템과 다양한 CCTV 영상을 통합한 정보제공과 시설제어 및 운영에 따른 보고서 출력의 업무 지원 기능을 제공하고 있습니다.

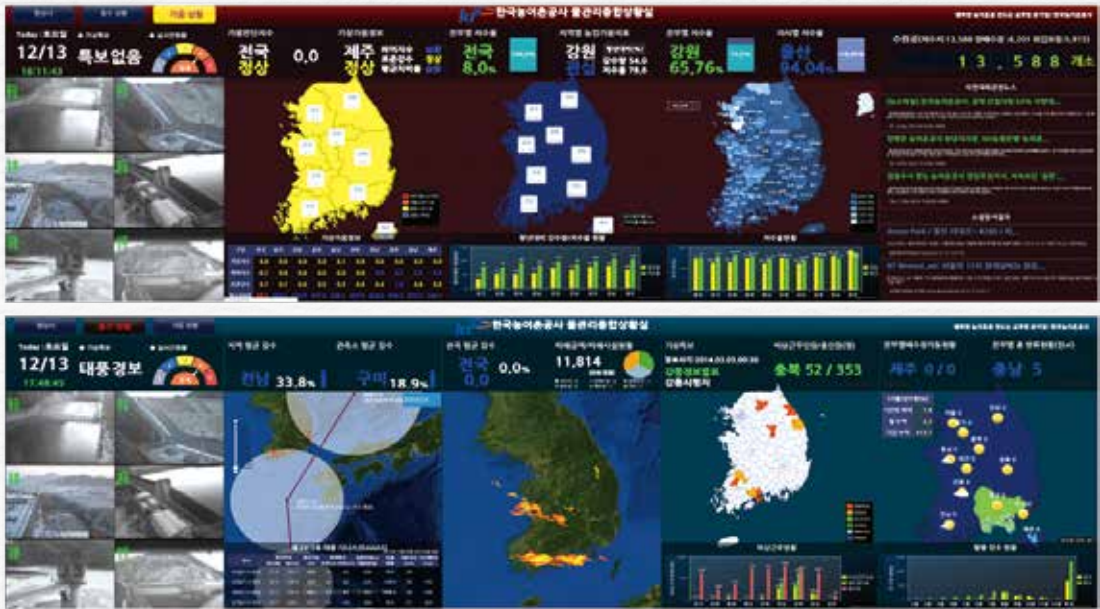


그림 13 | 재해종합상황실 운영시스템 구축 사례



그림 14 | 가뭄홍수 의사결정지원 시스템 구축 사례

## 해외사업분야

아이에스테크놀로지(주)는 2012년부터 국내 수자원계측시스템 구축 실적과 기술을 바탕으로 해외 사업을 추진중에 있으며, 태국, 베트남, 미얀마, 인도네시아, 파키스탄, 이란 등의 해외사업 수행을 통해 글로벌 수자원통합관리솔루션 기업으로 성장하고 있습니다.



그림 15 | 해외사업 추진 현황

특히 태국의 경우, 한국농어촌공사와 협업을 통해 태국 왕립관개청(RID)와 지속적인 파트너십을 구성하고, 현장의 요구를 반영한 시스템 구축과 운영을 지원하고 있으며, 태국내에서도 성공적인 사업으로 평가를 받고 있습니다.



그림 16 | 태국내 자체사업 수행 결과 발표 및 현장 견학(태국왕립관개청 청창 외)

해외계측시스템 구축과 관련하여, 현지에 적합한 무선네트워크망을 이해하고, 최적화하여 안정적인 운영을 지원하는 아이에스테크놀로지(주) 계측시스템은 댐, 하천, 수로 등 다양한 환경에서 설치되어 수위, 유량, 수질, 강우 정보를 실시간 계측하고 있습니다.



그림 17 | 태국, 베트남, 미얀마, 이란, 파키스탄 현장설치 사진

또한, 아이에스테크놀로지(주)는 현장계측시스템을 관리, 운영하기 위한 시스템을 구축하여 사용자 요건을 분석하고 이를 기반으로 웹/모바일 시스템으로 제공하고 있습니다.



그림 18 | 해외운영시스템 구축 예시

해외사업에 있어서 무엇보다도 중요한 것은 시스템의 신뢰성과 안정성이며, 아이에스테크놀로지(주)는 국내 3000개소를 비롯한 다수의 현장 계측시스템 구축과 운영 기술을 기반으로 예측하기 어려운 해외 환경에서 신뢰성있고, 지속가능한 시스템 성능을 제공하고 있습니다.



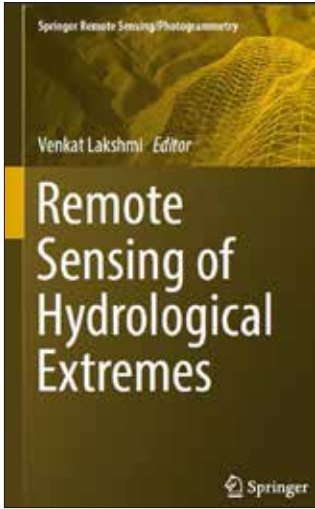
그림 19 | 해외 신뢰성 시험 결과 리포트 예시

아이에스테크놀로지(주)는 지난 24년동안 변함없이 그래왔듯 현재에 안주하지 않고, 지속적인 연구 개발과 현장 적용을 통해 세계무대에서 경쟁하는 수자원IT 전문기업으로 더욱 성장할 것입니다.



Thank you





BOOK NEWS

# Remote Sensing of Hydrological Extremes

신용철

경북대학교 농업생명과학대학 농업토목생물산업공학부 조교수

제목 | Remote Sensing of Hydrological Extremes

저자 | Venkat Lakshmi

과다한 물은 홍수를 야기하여 도로 유실, 건물 침수, 산 사태, 농경지 침수 등 심각한 피해를 야기한다. 또한 가뭄은 작물 생산량 감소에 영향을 미치기 때문에 농업지역에 관계가 불가능하거나 물공급을 자연강우에만 의존할 경우 작물 생산에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 홍수와 가뭄 발생과정은 매우 상이한 특성을 가진다. 홍수는 집중강우 발생 시 짧은 시간 안에 급격하게 발생하는 반면에, 가뭄은 장기간에 걸쳐 발생하기 때문에 가뭄의 시작과 끝을 명확히 정의하기 어려운 특성이 있다. 홍수의 경우 대기모형 기반 강우예측을 통한 조기경보시스템을 이용하여 단기간에 홍수예보를 하는 반면에 가뭄은 짧게는 몇 주에서 길게는 몇 년 동안 지속적으로 발생할 수 있다.

급격히 발전하고 있는 IT기술 및 관측시스템과 함께 가뭄과 홍수 관측 신뢰도 역시 향상하고 있다. 지표모형

(Land Surface Models-LSMs)은 다양한 해상도에서 수문순환을 모의할 수 있으나, 이를 위해서는 필수 입력자료 구축이 선행되어야 한다. 강수, 토양수분, 지표온도, 증발산 등 수문인자들의 관측을 위한 실측 장비들이 설치되어 원격으로 자료의 수집이 가능하며, 특히 인공 위성 기반의 원격탐사기술은 수 킬로미터(km)에서 10 킬로미터(km) 공간해상도에서 지표 관측이 가능하다. 지금 소개하는 『Remote Sensing of Hydrological Extremes』은 홍수와 가뭄 예측 기술에 관해 소개하고 있다. 홍수와 가뭄 예측을 위한 다양한 수문모형, 인공 위성 기반의 원격탐사자료 및 활용방안 등 Chapter 별로 설명되어 있다. 최근까지 국내에서도 관측정보와 위성자료를 활용한 자연재해 대응에 관한 다양한 연구가 수행되고 있다. 『Remote Sensing of Hydrological Extremes』은 자연재해 관측, 대응 및 대책 수립을 위한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 국내 농업 소식



### 농림분야 온실가스 감축사업 활성화를 위한 『국민생각함』 실시하다

온실가스 감축사업(배출권거래제 외부사업): 온실가스 배출이 많은 기업에 대해 정부가 배출허용량을 제한하고 있는 \*할당대상업체가 아닌 배출시설 또는 배출활동 등으로 온실가스를 감축, 흡수 또는 제거하는 경우 감축실적을 정부로부터 인증 받는 사업입니다. 온실가스 감축실적은 배출권거래시장에서 판매가 가능합니다.

\*할당대상업체: 연평균 온실가스 배출량이 125,000톤 이상인 업체 또는 25,000톤 이상인 사업장

이에 온실가스 감축사업 활성화를 위해 유관 기관, 전문가, 일반 국민들의 창의적인 아이디어와 의견수렴을 위해 『국민생각함』을 활용하였고, 1단계: 생각의 탄생(토론)/2단계: 생각의 발전(투표)/3단계: 생각의 완성(종합)을 통해 단계적으로 실시함에 따라 도출된 개선 방안에 대한 정리 및 추진 가능성 검토, 향후 추진계획 수립하였다.

『국민생각함』을 통해 수렴된 의견을 종합 정리 후 제도개선이 필요한 경우 부처 협의 추진과

배출권거래제 외부사업 전문가 자문회의를 개최하여 외부사업 지침(고시) 및 사업 추진계획 반영 여부를 검토하여 농림분야 온실가스 감축사업의 활성을 추구하였다.

### 2019년도 사회적 농업 활성화를 위해 지원하다

「농어업인의 삶의 질 향상 및 농어촌지역 개발촉진에 관한 특별법」 제19조의 4(농어업인 등의 일자리 창출 기여 등 단체에 대한 지원) 법령에 따라 농업 활동을 통해 돌봄·교육·고용 등 다양한 서비스를 공급하는 사회적 농업 실천조직을 육성하여 사회적 농업의 확산 도모하고, 취약계층의 자활과 고용을 유도하여 사회 통합을 실현하고 관련된 일자리 창출과 농촌 지역경제 및 공동체 활성화에 기여하기 위한 지원 사업입니다. 농식품부와 지자체의 반기 별 사업점검 결과에 따라 최대 5년간 지원되며, 사회적 농업 활동 운영비, 지역사회와의 네트워크 구축비, 사회적 농업 활동에 따른 시설비가 지원됩니다.

지원 대상은 2018년 12월에 선정되어 2019년도 사회적 농업 활성화를 위한 지원을 받아 활동합니다.

## 스마트팜 청년농 해외전문가에게 선진기술 배운다

스마트팜 청년인력 양성을 위해 시범운영 중인 '스마트팜 청년창업 보육사업'의 교육생을 대상으로 해외전문가 특강이 실시되었다. 2018년 10월 16일~18일 3일간 농식품공무원교육원(전남 나주시 소재)에서 진행되었으며, 해외 초청강사(Elly Nederhoff)는 네덜란드 와게닝 대학 원예학 박사로서 작물생육, 수확관리, 데이터분석 분야에서 전문가로 활동하고 있다.

스마트팜 해외 전문가 특강을 통해 생산성이 높은 선진국의 전문기술과 노하우를 습득하여 국내에서 적용 가능한 방안을 모색할 수 있는 기회가 될 것으로 기대한다.

농식품부가 시범운영 중인 스마트팜 보육사업은 청년들이 스마트팜에 취·창업할 수 있도록 기초부터 경영실습까지 전 과정을 교육하는 장기(최대 1년 8개월) 보육프로그램으로 농업분야 청년들의 참가가 확대되길 기대한다.

## 농업분야 국제개발협력(ODA) 추진 방식을 전환하다

농림축산식품부는 11. 5~6일 양일간, 「제2회 국제개발협력(이하, ODA\*) 라운드테이블」 및 「한-네덜란드 식량안보 컨퍼런스」 개최를 통해 아시아 7개국\*\*의 농업 개발협력 전략을 마련하고, 아시아 지역의 식량안보 위기 극복을 모색한다.

「제2회 ODA 라운드테이블」은 지난 해 시행한 국가별 ODA 성과를 점검하고, 향후 농업분야 협력사업에 대해 구체적으로 논의하고, 한-네덜란드 식량안보 컨퍼런스포럼은 “국제농업 개발협력을 통한 식량안보 강화”를 주제로 네덜란드 농업부, 아시아 7개국, 국제기구, 연구기관 등과 ODA를 통한 식량안보 강화에 대한 협력체계 구축에 대해 논의한다.

앞으로 농식품부는 한국농촌경제연구원(이하, KREI)과 함께 ODA 라운드테이블과 식량안보 컨퍼런스를 통해 우리 농업 ODA의 전략수립을 위한 플랫폼으로 발전시켜 나갈 계획이다.





# 세계농업과 물 투고안내

## 원고 작성 방법

- 아래한글 프로그램 사용(한글 '07 이상)
- 용 지 : A4(210mm×297mm)
- 여 백 : 상15, 하10, 좌25, 우25
- 서 체 : 신명조
- 글자크기 : 제목 : 견고딕 18Point                      본문 : 신명조 10 Point
- 자 간 : 0
- 장 평 : 100%
- 줄 간 격 : 200%
- 본문 하단에 페이지 번호 매김

## 원고집필 및 체제

한글 작성을 원칙으로 하고, 한글 원고는 내용 이해상 한자나 영문을 써야 할 경우( )속에 표시하여 주십시오. 예) 가뭄지수(Drought index), 비와꼬(琵琶湖) 등

- 제목, 저자명, 본문, 참고문헌 순서로 작성한다.
- 모든 원고의 제목과 저자 이름은 국문과 영문으로 적는다.  
(영문 표기는 먼저 성을 쓰고, “,”를 찍은 다음 이름을 쓴다.)
- 저자는 소속은 각 저자명에 위첨자로 \*, \*\*, \*\*\* 등을 표시한다  
(저자는 원고의 첫 페이지 하단 좌측에 “\*” 표시에 상응하는 소속 및 E-mail 주소를 기입한다.)
- 논문의 경우 초록(Abstract) 및 Keyword를 필히 작성한다.

(초록은 300단어 정도, 15행 이내로 한다.)

- 국문 논문의 요지는 영문으로, 영문논문의 요지는 국문으로 작성한다.
- 4명 이상의 공저의 경우 2열로 나누어 적는다.

### 집필 번호 체계

다음의 순서로 한다.

- 논문 : I., 1., 가., 1), 가), (1), (가), ①
- 논문 외 : 1., 가., 1), 가), (1), (가), ①
- I., 1., 가. 등 상위 3단계의 제목들은 고딕체 굵은 글씨를 사용한다.

### 그림 및 사진

- 그림은 그대로 제판원고로 사용할 수 있어야 하며, 그림, Fig., 사진, Picture의 번호와 제목은 그림 하단에, 표, Table의 번호와 제목은 표의 상단에 좌측정렬로 국문 또는 영문으로 표기한다.
- 각각의 표기는 국문으로 작성 시 그림 1, 사진 1, 표 1, 영문으로 작성 시 Fig. 1, Picture 1, Table 1의 형식으로 다음의 예와 같이 표기한다.  
예) Fig. 1. Raindrop Characteristics  
Picture 1. Hydrologic Characteristics of a Paddy Field  
Table 1. Average Daily Infiltration Rate of Paddy Fields
- 원고에 삽입된 그림, 사진 및 표의 제목과 내용은 국문 또는 영문으로 통일한다.
- 본문에서 그림, 사진 및 표를 인용 시에는 캡션이 국문일 경우 그림 1, 사진 1, 표 1, 영문일 경우 Fig. 1, Picture 1, Table 1의 형식으로 표기한다.
- 사진의 제목은 생략할 수 있다.
- 그림은 그림.jpg 형식으로 작성한다.

### 용 어

- 사용 언어는 국문을 원칙으로 하며, 필요시 한자, 영문자, 일문자 등을 병기할 수 있다.
- 기술 용어는 한국농공학회에서 발행한 기술용어집의 용어와 이에 준하는 용어를 사용하고 필요한 경우 괄호 안에 영문 등의 원문을 삽입한다.

- 국문 논문의 본문 중 영어 단어는 인명 지명 등 고유명사 이외에는 소문자를 사용한다.
  - 장, 절의 제목에 영어 단어를 사용 시에는 각 단어의 첫 자는 대문자로 한다. 단, 컴퓨터 프로그램과 이와 유사한 성격의 약자는 모두 대문자로 한다.  
예) 제목 : Derivation of Design Low Flows  
컴퓨터 프로그램 : DO, PATH, Q, RUNOFF, SMEMAX 변환법
- 

### 참고문헌

- 원고 끝에 순서에 따라, 논문일 경우 저자명, 발행연도, 논문명, 게재지명, 게재 페이지를 기재하고, 단행본일 경우는 저자명, 발행연도, 책명, 발행처명, 인용 페이지를 기재하여 주십시오.  
예) - 이근후, 윤용철, 서원명, 2001, 온실재배 풋고추의 필요수량, 한국관개배수회지 7(2), pp.26-33.  
- Hedrich, F, 1994, Rehabilitation of Mafeteng Dam - Kingdom of Lesotho, Geosynthetics World, Vol.4, No.4, pp.15-17  
- 인용 문헌 표기는 국문 문헌, 영문 문헌, 일문 문헌 및 기타 언어 문헌 순으로 한다.
- 

### 송부방법

- 원고파일 1부를 KCID 사무국에 이메일(kcidkr@gmail.com)로 제출한다.
- 

### 기 타

- 원고는 성과품 최고 12페이지를 초과하여 게재하지 못한다.
- 

### 연 락 처

- 한국관개배수위원회 사무국
- 주소 : 경기도 안산시 상록구 해안로870,  
한국농어촌공사 농어촌연구원 303호 KCID사무국
  - Tel : 031-400-1675,1676
  - Fax: 05053000471
  - E-mail : kcidkr@gmail.com

# 학술 및 기술교류 분과위원회 명단

위원장	최진용 (서울대학교 조경·지역시스템공학부 교수)
부위원장	송인홍 (서울대학교 농업생명과학대학 교수)
간사	남원호 (한경대학교 지역자원시스템공학과 교수)
위원	장태일 (전북대학교 농생대 지역건설공학과) 김현수 (한국농어촌공사 농어촌연구원 연구기획부장) 박창언 (신구대학교 토목공학과 교수) 최경숙 (경북대학교 농업토목공학과 교수) 유승환 (전남대학교 교수) 임경재 (강원대학교 농업생명과학대학 교수) 장민원 (경상대학교 지역환경기반공학과 교수) 이성희 (한국농어촌공사 인재개발원) 박기욱 (한국농어촌공사 해외사업처) 황세운 (경상대학교 지역환경기반공학과 교수) 장정렬 (한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원) 윤남규 (농촌진흥청 연구운영과 연구관) 엄한용 (한국농어촌공사 농어촌연구원 수석연구원) 서동욱 (한국농어촌공사 농어촌연구원 주임연구원)

# 세계 농업과 물

K C I D 관 개 배 수 기 술 정 보 지  
Korean National Committee on Irrigation and Drainage

---

등록번호    경기 사-0009  
등록일자    1994. 7.11

---

발 행 일    2018년 12월 31일  
발 행 인    최 규 성  
발 행 처    사단법인 한국관개배수위원회  
              경기도 안산시 상록구 해안로 870,  
              한국농어촌공사 농어촌연구원 303호  
              KCID 사무국  
              Tel. 031) 400-1675~6  
              E-mail kcidkr@gmail.com  
              www.ekcid.org

---

은행계좌    농협 317-0009-1157-21

---

※ 비매품입니다.





생명산업의 뿌리, 농어촌용수

# 물길이 생명길입니다

국토의 생명물길, 농어촌용수  
건강한 물순환을 변함없이 지켜가겠습니다

국토의 물길을 관리하는 것은 인체의 혈관처럼 생명을 주관하는 가치있는 일입니다.  
미래세대에게 아름답고 풍요로운 농어촌을 물려주는 일, 한국농어촌공사가 함께 합니다.

