

수막용수 사용으로 인한 시설재배지역의 지하수 수온과 전기전도도 변화 특성 분석

Analysis of Groundwater Conductivity and Water Temperature Changes in Greenhouse Complex by Water Curtain Cultivation

백미경^a · 김상민^{b,†}

Baek, Mi Kyung · Kim, Sang Min

ABSTRACT

This study aimed to analyze the impact of water curtain cultivation in the greenhouse complexes on groundwater's electric conductivity and water temperature. The greenhouse complexes are mainly situated along rivers to secure water resources for water curtain cultivation. We classified the groundwater monitoring well into the greenhouse (riverside) and field cultivation areas (plain) to compare the groundwater impact of water curtain cultivation in the greenhouse complex. The groundwater observation network in Miryang, Gyeongsangnam-do, located downstream of the Nakdong River, was selected for the study area. As a result of analyzing the electric conductivity and water temperature, the following differences were found in the observed characteristics by region. 1) The electric conductivity and water temperature of the riverside area, where the permeability is high and close to rivers, showed a constant pattern of annual changes due to the influence of river flow and precipitation. 2) The flat land in general agricultural areas showed general characteristics of bedrock observation in the case of water temperature. Still, it seemed more affected by the surrounding well's water use and water quality. The electric conductivity did not show any particular trend and was influenced by the surrounding environment according to the location of each point.

Keywords: Groundwater; water curtain cultivation; greenhouse; electric conductivity; water temperature

1. 서론

기후변화로 인한 가뭄대비가 상시체제가 된 요즘, 농업 용수의 안정적인 공급을 위하여 가뭄 등의 비상시 지표수는 물론이고 지하수의 공급 가능량에 대해서도 국가적 관리가 필요한 실정이다. 지하수관리를 위해 국가 최상위 계획인 ‘지하수관리기본계획 (2022~2031)’이 4차로 수립되었고, 전국 지하수의 수위, 수질변동 현황 및 변화추이 등을 정기적으로 조사 분석하여 정책수립을 위한 기초자료로 활용하기 위한 국가측정망 (국가관리측정망, 국가감시측정망, 농촌관리측정망)과 보조측정망 (보조수위측정망, 보조수질측정망) 등 광역과 지역단위로 크게 나누어 지하수 관측이 이루어지고 있다. 국가측정망은 지하수법에 의거하여 전국의 주요지점 (2022년

기준 1,705개소)에 관측소를 설치하여 수위 및 수질의 변동실태를 광역적으로 분석함이 목적이며, 보조측정망은 국가측정망과 연계하고 보완하기 위한 기능으로서, 지역별 주요 관측 지점의 수위, 수질자료를 획득하며, 2022년 기준 보조수위측정망은 2,918지점에서 수위, 수온, 전기전도도가, 보조수질측정망은 1,232개소에서 생활용수 기준의 수질이 측정되고 있다 (National Groundwater Information Center, 2022).

지하수의 수질은 토지의 이용특성, 개발이용현황, 산업화 및 도시화로 인한 오염원의 종류 등에 따라 다양하게 나타나고, 인위적인 기원뿐만 아니라 기후, 토양, 지질, 지하수의 흐름 등에 따른 자연적인 기원들도 지하수의 수질에 영향을 미친다. 국내에는 지하수의 수질오염을 예방하고 수질을 보전하기 위하여 지하수법 제18조제2항 (수질오염의 측정) 및 지하수의 수질오염 등에 관한 규칙 제9조 (수질측정망 설치 및 수질오염실태 측정 계획의 수립·고시)에 의하여 전국에 지하수 수질측정망이 설치되어 운영되고 있다 (Ji et al., 2013). 그 동안 전국의 지하수 수질측정망 자료를 활용하여 Kim et al. (2010)은 국내 오염우려지역의 지하수 수질 추세 특성을 연구하였고, Bang et al. (2011)은 통계적 분석을 통해 오염우려지역 지하수의 시간적 오염도 추이변화를 분석 연구하였고,

^a Director, Jeju Regional Headquarter, Korea Rural Community Corporation

^b Professor, Department of Agricultural Engineering (Institute of Agriculture and Life Science), Gyeongsang National University

[†] Corresponding author

Tel.: +82-55-772-1931, Fax: +82-55-772-1939

E-mail: smkim@gnu.ac.kr

Received: October 15, 2023

Revised: November 08, 2023

Accepted: November 08, 2023

Ji et al. (2013)은 부산지역 지하수 수질측정망을 이용하여 지하수의 수질특성과 시간에 따른 수질변동 추세에 관해 연구하였으며, Seo et al. (2020)은 경기도 지하수 수질측정망에 대한 수질특성을 연구한 바 있다.

수막재배는 지하수를 비닐하우스 피복재에 살수하여 보온 및 단열 효과를 높여 무가온으로 작물을 재배하는 기술로 현재 우리나라의 많은 농경지에서 채택하고 있다 (Chang and Chung, 2015). 수막재배단지에는 주로 지하수 자원이 풍부한 하천 주변에 대규모 단지의 형태로 집중되어 있다 (Kim et al., 2013; Moon et al., 2015). 겨울철 수막재배를 위한 집중적인 지하수 사용은 인근 하천과 대수층에서의 지하수 흐름에 영향을 미치며 지하수 수질에도 영향을 미칠 수 있다. 겨울철 계절적 양수에 의한 지하수 함양은 해당 하천 주변의 지하수 온도에 큰 영향을 미친다 (Kim et al., 2012). 지하수의 화학적 특성 또한 영향을 받을 수 있다 (Hiscock and Grischek, 2002; Ray et al., 2002).

한국농어촌공사는 농림축산식품부와 함께 2002년부터 2021년까지 20년에 걸쳐 농촌지하수관리를 위한 지하수 관측망 사업을 통해 농어촌 용수구역의 관측공 개발 및 원격 지하수 관측시스템 설치, 실시간 지하수위, 수질 (전기전도도, 수온) 관측 등의 사업을 추진하였다. 전국 농촌지하수관리 관측망의 장기관측 자료의 추세를 분석하여 지하수위저하, 전기전도도 상승 및 수온 변화가 나타난 관정 분석 결과 지하수위저하 135개소 (57%), 전기전도도 증가 83개소 (35%), 지하수위저하 및 전기전도도 증가 19개소 (8%)로 조사되었다 (KRCC, 2021).

대규모 시설재배단지에서 동절기 에너지원으로 사용되는 수막용수 공급을 위해 강변에 위치한 지하수의 집중적인 사용은 시설재배단지 일대의 지하수위를 낮추고 전기전도도와 수온 및 기타 수질에 영향을 주고 있으나 이에 대한 장기적인 모니터링 결과를 바탕으로 한 연구는 부족한 편이다. 본 연구에서는 시설재배 밀집지역의 수온과 전기전도도 특성을 분석하기 위하여 밀양지역 낙동강 인근에 위치한 대규모 시설재배지역의 보조측정망 관측자료를 활용하였으며 시설재배단지 아닌 일반농업지역의 수질특성과 비교분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지역

본 연구의 대상구역은 경상남도 밀양시 하남읍과 상남면의 하남들과 상남들 일대로 낙동강 인근에 위치한 대규모 시설 농업이 발달한 지역이다. 이 지역은 동절기 수막재배를 위해 대부분 지하수를 개발하여 이용 중에 있으며, 진주의 수곡, 단목지구와 함께 경남의 대표적인 대규모 시설재배 지역이다. 여름에는 감자, 벼 등을 재배하고 겨울에는 비닐하우스 시설을 설치하여 딸기, 고추 등의 다양한 시설작물을 재배하고 있다.

낙동강과 밀양강 인근의 상남면, 하남면, 삼량진읍의 강변 지역에는 총 2,306공의 관정이 설치되어 있으며 설치심도는 평균 34~36 m로 대부분 충적지하수를 이용하는 충적관정이다. 시설재배단지 규모가 가장 큰 하남들의 경우 지하수 관정은 총 1,031공이고 그중 92.6%인 955공이 농업용으로 사용되고 있다 (Miryang, 2020). Table 1은 대상지역의 시설재배 및 수막재배 현황을 정리한 것으로, 시설재배면적 비율은 30.9~45.3%, 수막재배율은 85.9~86.4%를 보여주고 있다.

2. 지하수 관측공

밀양지역의 보조측정망은 총 31개소가 운영 중이며, 지하수관리기본계획의 하부계획인 ‘경상남도 지하수관리계획 (2017~2023)’에 의거 2012년에 6개소의 관측공 설치를 시작으로, 2013년 7개소, 2014년 10개소, 2015년 8개소를 설치하였고, 2016년부터 2019년 현재까지 관측·운영 중이다 (Miryang, 2019). 지하수 관측공은 태양전지판을 설치하여 자료수집 및 송신전원으로 사용하며, 관측정을 보호하기 위해 가드와 팬스가 설치되어 있다. 관측항목은 수위, 수온, 전기전도도 (EC)이며, 한 시간 단위로 관측되며 원격송신으로 서버에 수집된다. 관측정 심도별로는 암반대수층을 관측하기 위한 암반관측정과 지표수의 영향이 빠른 충적대수층을 관측하기 위한 충적관측정으로 구분된다.

대상지역을 농업유형별로 강변에 위치한 시설재배지역 (Greenhouse cultivation)과 평야부에 위치한 일반농업지역 (Field cultivation)으로 구분하고 31공의 관측공 중 시설재배

Table 1 Greenhouse area and water curtain cultivation area percentage in study area

Location	Total area (a, ha)	Greenhouse area (b)		Water curtain cultivation area (c)		
		Area (ha)	Percent	Area (ha)	Percent to total area (b/a)	Percent to greenhouse area (c/a)
Hanam-ddeul	1,933	666	34.5%	572	29.6%	85.9%
Jeojok-ddeul	179	81	45.3%	70	39.0%	86.4%
Sangnam-ddeul	1,699	525	30.9%	451	26.5%	85.9%

지역은 강변에 위치한 15개소, 일반농업지역은 평지에 위치한 10개소로 분류하고 특성을 분석하였다. 산악에 위치한 관측정은 이번 연구에서는 비교하지 않았다. 다음의 Fig. 1은 대상지역의 유형별 지하수 관측공을 분류한 결과를 보여주고 있다. 수막용수 사용을 위한 시설재배단지의 농업용 지하수 사용은 주로 강변에 위치한 시설재배단지에서 집중적으로 발생하며 이를 분석하기 위해 강변 시설재배단지 인근에 위치한 15개소의 측정망의 수온과 전기전도를 분석하였다. 15개 지점 중 2개 지점은 동일 위치에 설치된 층적관정과 암반관정

중 암반관측정에 다중심도 관측자료를 사용하였다. Fig. 1의 관측정은 설치된 순서대로 세자리 숫자의 번호로 표현하였으며 번호 앞의 MYM은 생략하여 표기하였다. MYM-002, 003과 MYM-008, 009는 각각 다중심도 관측지점으로 층적관정과 암반관정을 동시에 설치하여 관측중인 곳이다 (Baek and Kim, 2023).

Table 2는 관측정의 설치연도, 소재지, 대수층의 구분, 심도, 센서 설치심도, 인근 하천과 이격거리, 관측정의 고도를 유형별로 구분하여 보여주고 있다.

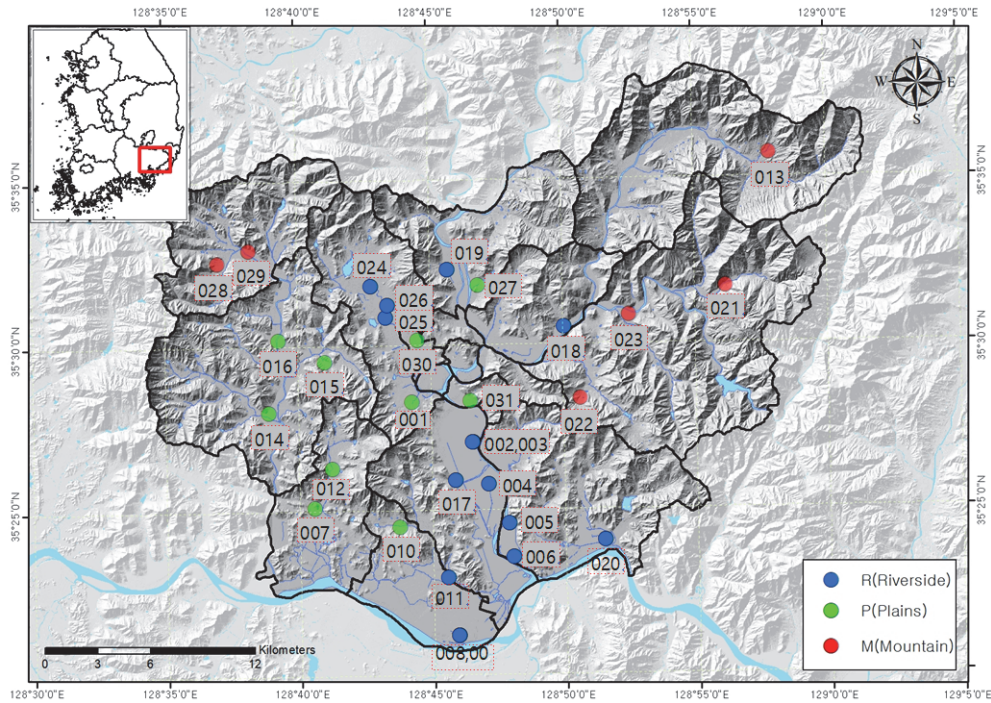


Fig. 1 The location of 31 groundwater monitoring wells categorized by agricultural type

Table 2 The characteristics of 31 groundwater monitoring wells classified by cultivation type and location (Baek and Kim, 2022)

Classification of monitoring wells		No.	Installation year	Location (eup, myeon)	Well type	Well depth (m)	Depth of sensor (m)	Adjacent river	Distance to river (m)	Elev. (m)
Greenhouse cultivation	Riverside (15)	MYM-002	2013	Sangnam	Alluvial	20	17	Miryang	184	9
		MYM-003	2013	Sangnam	Bedrock	100	40	Miryang	184	9
		MYM-004	2013	Sangnam	Alluvial	18	18	Miryang	430	2
		MYM-005	2013	Samrangjin	Bedrock	100	70	Miryang	213	2
		MYM-006	2013	Samrangjin	Bedrock	130	40	Miryang	40	2
		MYM-008	2014	Hanam	Alluvial	33	25	Nakdong	370	11
		MYM-009	2014	Hanam	Bedrock	120	60	Nakdong	370	11
		MYM-011	2014	Hanam	Bedrock	100	40	Nakdong	2,700	4

Classification of monitoring wells	No.	Installation year	Location (eup, myeon)	Well type	Well depth (m)	Depth of sensor (m)	Adjacent river	Distance to river (m)	Elev. (m)	
	MYM-017	2015	Sangnam	Bedrock	100	40	Miryang	1,600	8	
	MYM-018	2015	Sanoi	Bedrock	100	40	Danjang	250	39	
	MYM-019	2015	Sangdong	Alluvial	32	30	Miryang	676	28	
	MYM-020	2015	Samrangjin	Bedrock	100	40	Nakdong	74	6	
	MYM-024	2016	Bubuk	Bedrock	100	40	Jaedae	10	35	
	MYM-025	2016	Bubuk	Bedrock	65	40	Jaedae	15	24	
	MYM-026	2016	Bubuk	Alluvial	30	30	Jaedae	128	29	
	Mean	-				76.5	38.0	-	-	14.6
Field cultivation	Plain (10)	MYM-001	2013	Bubuk	Bedrock	100	40	-	-	21
		MYM-007	2014	Chodong	Bedrock	66	40	Nakdong	4,200	22
		MYM-010	2014	Hanam	Bedrock	100	50	Nakdong	4,300	33
		MYM-012	2014	Sangnam	Bedrock	72	50	-	-	32
		MYM-014	2015	Muan	Bedrock	100	40	-	-	13
		MYM-015	2015	Muan	Bedrock	100	40	-	-	49
		MYM-016	2015	Muan	Bedrock	100	40	-	-	24
		MYM-027	2016	Sangdong	Bedrock	100	40	-	-	30
		MYM-030	2016	Naei	Bedrock	100	40	Jaedae	555	22
		MYM-031	2016	Gagok	Bedrock	100	40	Miryang	206	7
	Mean	-				93.8	42.0	-	-	25.3
	Mountain (6)	MYM-013	2014	Sannae	Alluvial	70	40	-	-	628
		MYM-021	2015	Danjang	Bedrock	100	40	Sijeon	85	139
		MYM-022	2015	Danjang	Alluvial	100	40	-	-	115
		MYM-023	2015	Danjang	Bedrock	100	40	-	-	59
		MYM-028	2016	Chungdo	Bedrock	80	40	-	-	90
		MYM-029	2016	Chungdo	Alluvial	100	40	-	-	62
	Mean	-				91.7	40.0	-	-	182.2

III. 결과 및 고찰

1. 강변 시설재배지역 지하수의 전기전도도, 수온특성

강변지역에 위치한 시설재배지역의 지하수 관측공은 15개로 전기전도도와 수온에 대한 2013년부터 2019년까지의 관측 결과를 정리하였다. 연구지역의 시설재배지역 강변지하수 특성상 심도가 깊어지면 전기전도도가 증가하는 특성을 분석하기 위해 심도별 관측을 하였다. 2017년 7월 이전에는 각 관측정의 지표하 30 m에 1개의 센서가 설치되어 있었으나, 2017년 이후에는 지하수 심도에 따른 전기전도도의 변화를 고려하여 4개의 관측정을 선정 (MYM-003, 006, 009, 020)하여 관측정에 심도별로 3개의 센서를 설치하였다.

가. 전기전도도 (EC)

다음의 Fig. 2는 강변에 위치한 15개 지점 지하수 관측정의 전기전도도 변화를 보여주고 있다. 시설재배지역은 상대적으로

로 투수계수가 크고 하천에 가까워 하천유량과 강수량의 변화에 영향을 받아 전기전도도가 대체로 일정한 패턴의 연변화를 보이고 있으나, 일부 지역의 경우 경향성이 없는 것으로 나타났다. 추후 추가적인 모니터링과 분석을 통해 각 지점별 특성과 경향성을 보이는 지역과 그렇지 않은 지역의 차이점을 분석할 필요가 있다.

MYM-002 (충적)와 MYM-003 (암반), MYM-008 (충적)과 MYM-009 (암반) 지점은 충적지하수와 암반지하수 관측정을 세트로 설치한 지점의 결과이며, MYM-003, 006, 009, 020 지점은 다중심도 관측지점의 결과를 보여주고 있다. 같은 위치에 설치된 충적지하수와 암반지하수 관측정의 전기전도도 변화를 살펴보면, MYM-002 (충적)는 최저 174.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ~ 최대 439.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 265 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 차이를 보이고, MYM-003 (암반)은 최저 수치가 1,235.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 충적관측정의 최고치보다 크고, 최대 3,200.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 1,965.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 큰 폭의 차이를 보

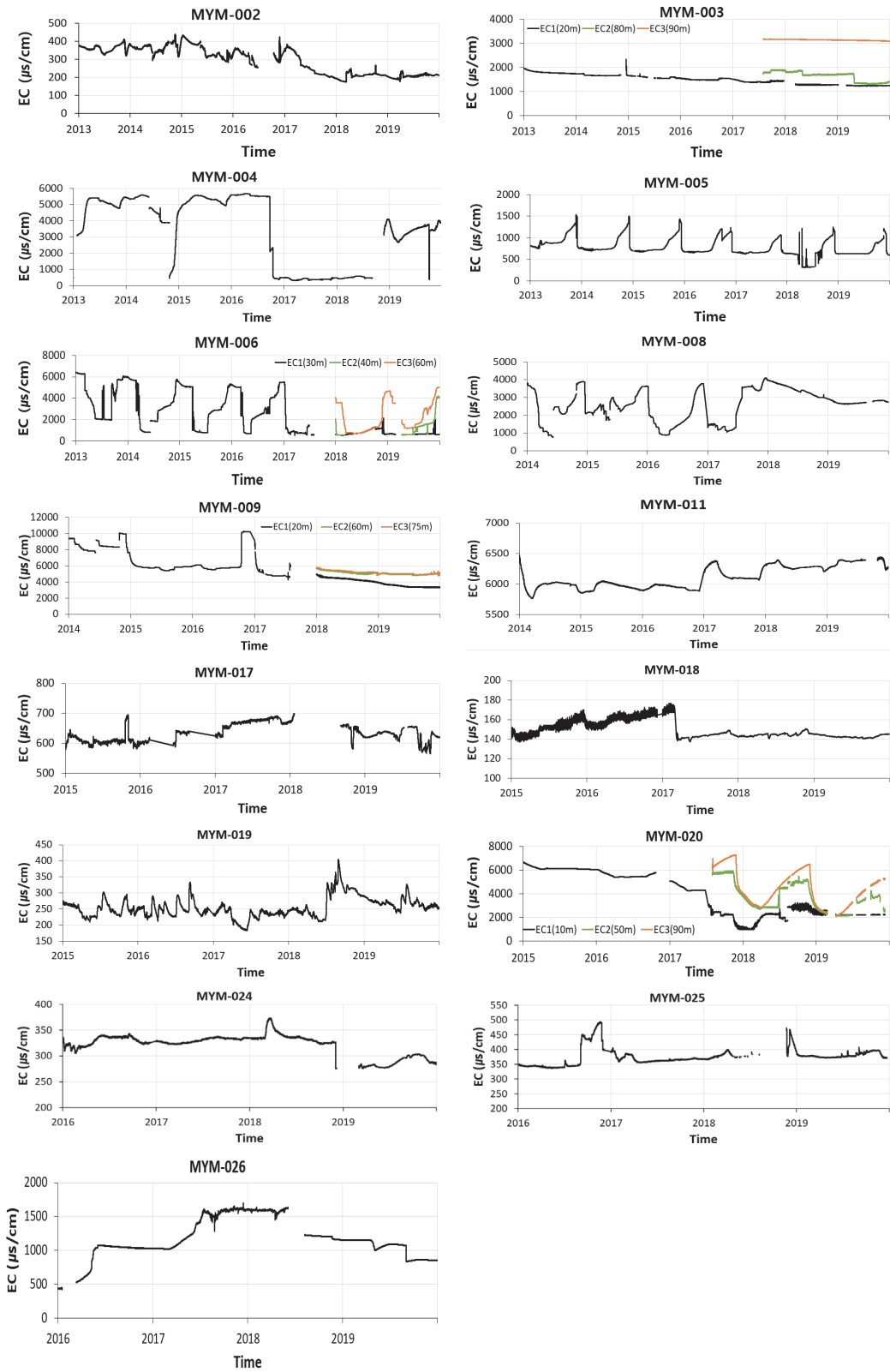


Fig. 2 Groundwater EC changes of 15 monitoring wells in riverside

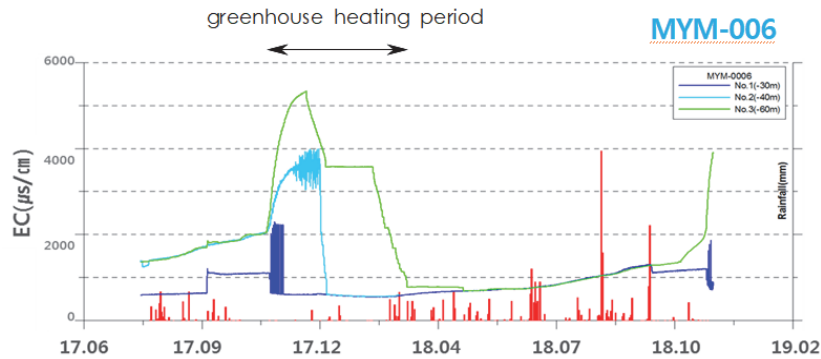


Fig. 3 Multi-depth EC monitoring result of MYM-006

였다. MYM-008 (층적)과 MYM-0009 (암반)의 결과도 층적관 측정이 낮은 수치를 보이고 (769.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ~4,103.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$) 암반관 측정이 높은 수치를 가지며 상대적으로 큰 변화폭 (3,265.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ~10,964.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$)을 보여주고 있다.

다중심도 관측을 위해 설치된 MYM-003, 006, 009, 020 지점의 전기전도도 변화를 살펴보면, 대체로 심도가 깊을수록 전기전도도의 값이 커지는 경향을 보였다. 강과의 이격거리가 상대적으로 먼 MYM-003 (184 m), 009 (370 m)의 경우 수막재배기간에 전기전도도의 변화가 크지 않은 것으로 나타났으며, 강과의 이격거리가 상대적으로 가까운 MYM-006 (40 m), 020 (74 m)의 경우 수막재배기간에 주기적인 변화가 있는 것으로 나타났다. MYM-006은 평소 약 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 정도의 전기전도를 보이나 동절기 수막재배 시기에 최고 6,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상의 높은 수치상승을 보이고 수막재배 종료 후 수치가 낮아지는 변화를 보였다. MYM-020의 경우 가장 심도가 얇은 EC1 (10 m) 지점은 수막재배에 따른 주기적인 변화를 보이지 않고 있으며, EC2 (50 m)와 EC3 (90 m) 지점은 수막재배기간에 006지점과는 다르게 전기전도도가 오히려 하강하고 이후 다시 서서히 증가하는 경향을 보였다. 006지점과 020지점은 인접한 하천이 밀양강과 낙동강으로 서로 다른 위치에 있으며, 동절기 수막재배 기간동안의 지하수위 하강시 인접한 하천에서의 지표수 유입 등에 따른 영향을 분석해야 할 것으로 보인다.

다중심도 관측결과를 좀 더 자세히 살펴보기 위해 MYM-006 지점의 관측 시작 시기인 2017년 관측결과를 확대해 보면 수막재배 시기의 주변 지하수의 집중 양수로 인해 최소 542.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 에서 최고 6,417.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 수치가 증가하고, 심도가 깊을수록 변화폭이 커진다. 지표 아래 30 m에 설치된 센서는 최저 542.63 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 에서 최고 2,295.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 40 m는 최저 548.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 에서 최고 3,994.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 60 m는 최저 758.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 에서 최고 5,337.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 까지 수치가 증가하며 심도가 깊을수록 수

치 증가 폭도 커진다. 또한, 수막재배 시작과 동시에 모든 심도의 EC가 증가하는데 투수성이 심도 전체에 걸쳐 비슷하고 주변 시설단지 밀집으로 동시에 지하수의 사용량이 많아지는 영향으로 판단된다. 최하부인 60 m는 가장 높은 수치를 오랜 기간 지속하며, 40 m인 중심부는 수막재배시기에 일변화를 보이는데 지하수의 이동이 활발한 주 대수층으로 보이며 30 m인 최상부는 초기에 작게 상승하다 수막재배가 종료되기도 전에 원 수치로 빨리 회복되는데 높은 투수성으로 인한 밀양강의 빠른 희석이 원인으로 판단된다 (Fig. 3).

나. 수온

다음의 Fig. 4는 강변에 위치한 15개 지점 지하수 관측정의 수온 변화를 보여주고 있다. 지하수는 일반적으로 주변의 영향이 없을 때 일정온도를 유지하고 심도가 깊을수록 수온이 높아지는데, 수막재배 밀집지역의 관측결과 인근 관정의 집중 사용시기인 동절기에 수온이 증가하고 비수기에 평온으로 회복하는 일정한 연변화를 보인다.

관정 밀집 지역의 관측정인 MYM-002와 004는 수막재배 집중 기간인 동절기에 양수로 인해 상대적으로 심부의 고온의 영향으로 수온이 증가하며 재배기간 종료 후 수온이 하강하는 일정한 연변화 양상을 보이나, 일반적인 지하수의 특성과 같이 1~2 $^{\circ}\text{C}$ 차이에 그친다. MYM-005의 경우 강에 가깝고 (213 m), 투수성이 커 수온의 일변화를 보인다.

다중심도 관측을 실시한 MYM-003, 006, 009, 020의 수온을 살펴보면 최저 12.07 $^{\circ}\text{C}$ 에서 최고 19.44 $^{\circ}\text{C}$ 의 범위를 보였으며, 대부분 심도가 깊어질수록 수온이 높았으며, 연변화는 2 $^{\circ}\text{C}$ 를 넘지 않았다. MYM-003의 경우 지하수의 일반적인 특징과 같이 심도가 깊을수록 수온이 높아지는 경향을 보인다. 그러나, 20 m에 설치된 센서의 수온이 수막재배 기간 동안 상승하여 층적지하수와 암반지하수가 혼합으로 상승과 하락을 반복하는 특징을 보인다. MYM-006, 009, 020은 심도가

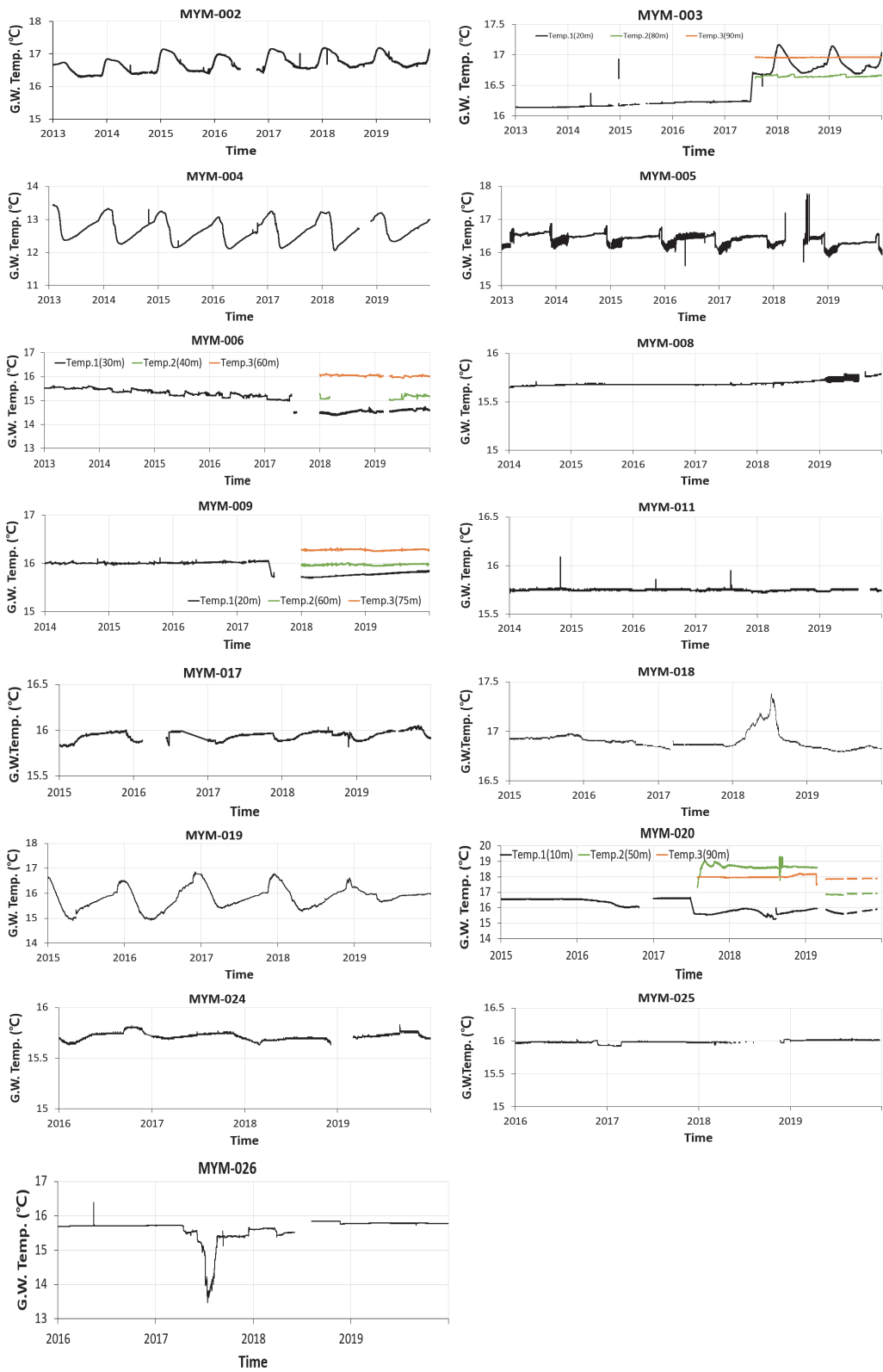


Fig. 4 Groundwater temperature changes of 15 monitoring wells in riverside

깊어지면 수온이 높아지는 지하수의 일반적인 특성을 보이는데 동절기 수막재배에 지하수위와 전기전도도의 변화가 큰 것에 비해 지하수온은 심도에 따른 온도변화 자체가 크지 않아 동절기 하부의 지하수가 상승하더라도 수온의 변화에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

2. 일반농업지역 지하수의 전기전도도, 수온특성

본 연구에서는 시설재배지역과의 비교를 위해 평야에 위치한 일반농업지역 10개 지점의 전기전도도와 수온자료를 이용하였으며, 2013년부터 2019년까지의 관측결과를 정리하였다.

가. 전기전도도 (EC)

다음의 Fig. 5는 일반농업지역 평야에 위치한 10개 지점 지하수 관측점의 전기전도도 변화를 보여주고 있다. 일반농업지역 평야의 전기전도도는 67.9 $\mu\text{S/cm}$ ~1251.8 $\mu\text{S/cm}$ 의 범

위를 보였으며 평균은 370.0 $\mu\text{S/cm}$ 였다. MYM-007, 012지점은 비슷한 경우를 보였는데, MYM-007의 경우 일정한 전기전도도 (575 $\mu\text{S/cm}$)를 계속 유지하다가 2018년 4월 이후 미약한 일변화를 보이다가 11월 이후 점차 하락하기 시작하여 9월과 11월 계단식 하강 후 2019년 1월 중순 이후 급격히 하락하여 2020년 3월 후반 이후 170 $\mu\text{S/cm}$ 까지 급락하고 이후 서서히 증가하였으며, MYM-012도 일정한 값을 유지하다가 2018년 6월 이후 수치가 하락하기 시작하여 142 $\mu\text{S/cm}$ 까지 떨어졌다. 이 지점의 경우, 지하수위가 2017년 11월 이후 급격히 떨어지며 일변화를 보였고, 전기전도도가 2018년 이후 점차 하락하는 것으로 나타났다. 이는 인근에 수막재배를 위한 지하수 신규 개발 등으로 인한 수위 변화에 따라 전기전도도가 상대적으로 낮은 주변 지하수의 충전에 영향을 받은 것으로 보인다. MYM-014의 앞서 살펴본 MYM-007, 012의 경우와 반대로 2018년 4월 이후 서서히 수치가 증가하여 287.8 $\mu\text{S/cm}$ 의 수치가 1,240 $\mu\text{S/cm}$ 까지 상승하고 2019년 7월 이후 다시 원래의 수치로 회복하게 되는데 이후 상승 하강 등의 변화가 없었다.

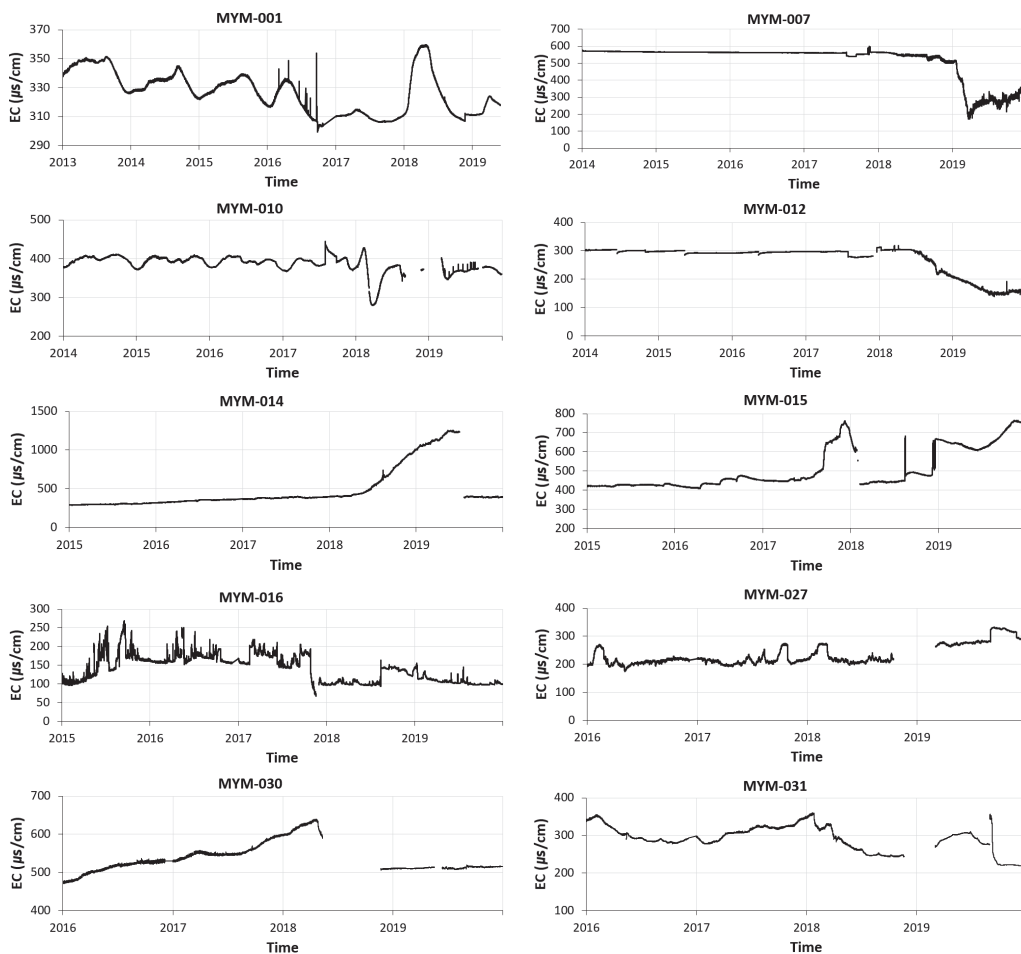


Fig. 5 Groundwater EC changes of 10 monitoring wells in plain area

MYM-001, 010의 경우 연도별로 주기적인 변화의 특성을 보였으며, MYM-001의 경우 2013년부터 2017년까지 주기적인 변화를 보이며 점차 감소하다 2018년 다시 증가하였다. 그 외 나머지 지점은 특별한 경향이나 특징이 발견되지 않았다.

나. 수온

다음의 Fig. 6은 일반농업지역 평야에 있는 10개 지점 지하수 관측정의 수온 변화를 보여주고 있다. 일반농업지역 평야의 지하수온은 15℃~17.9℃로 시설재배지역에 비해 상대적으로 높은 온도를 보이고 연변화, 일변화를 거의 보이지 않았다. MYM-001의 경우 온도상승의 추세를 보이며, 7년 동안 15.01℃~16.16℃로 1℃ 이상 꾸준한 증가추세를 보였다. MYM-030 지점도 001지점과 마찬가지로 조금씩 상승하는 추세를 보였다. MYM-007, 012, 016의 경우 특별한 변화 없이 연중 일정한 값을 보였으며, MYM-010 지점의 경우 겨울철마다 수온이 하락하고 회복되는 주기성을 보였다. MYM-014,

027, 031 지점의 경우 2019년 결측치 전후의 자료가 다른 양상을 보여 보다 장기적인 관측이 필요할 것으로 판단된다.

3. 지하수의 전기전도도, 수온특성 비교

다음의 Table 3은 강변에 위치한 시설재배지역과 평야부에 위치한 일반농업지역의 전기전도도와 수온의 대표적인 지점을 비교하여 보여주고 있다. 시설재배단지과 일반농업지역에서 측정된 많은 지점들은 주변의 여건과 각 지점별 특성에 따라 변화를 보이지만 가장 대표적인 특징을 요약하면 다음과 같다. 강변에 위치한 시설재배지역의 경우 수막재배를 위한 동절기 지하수 사용으로 인해 전기전도도와 수온은 주기적인 변화를 보인다. 평야부에 위치한 일반농업지역의 경우 주기적인 변동없이 일정한 값을 유지하며 외부 여건의 변화에 따라 일정한 변화를 보인다.

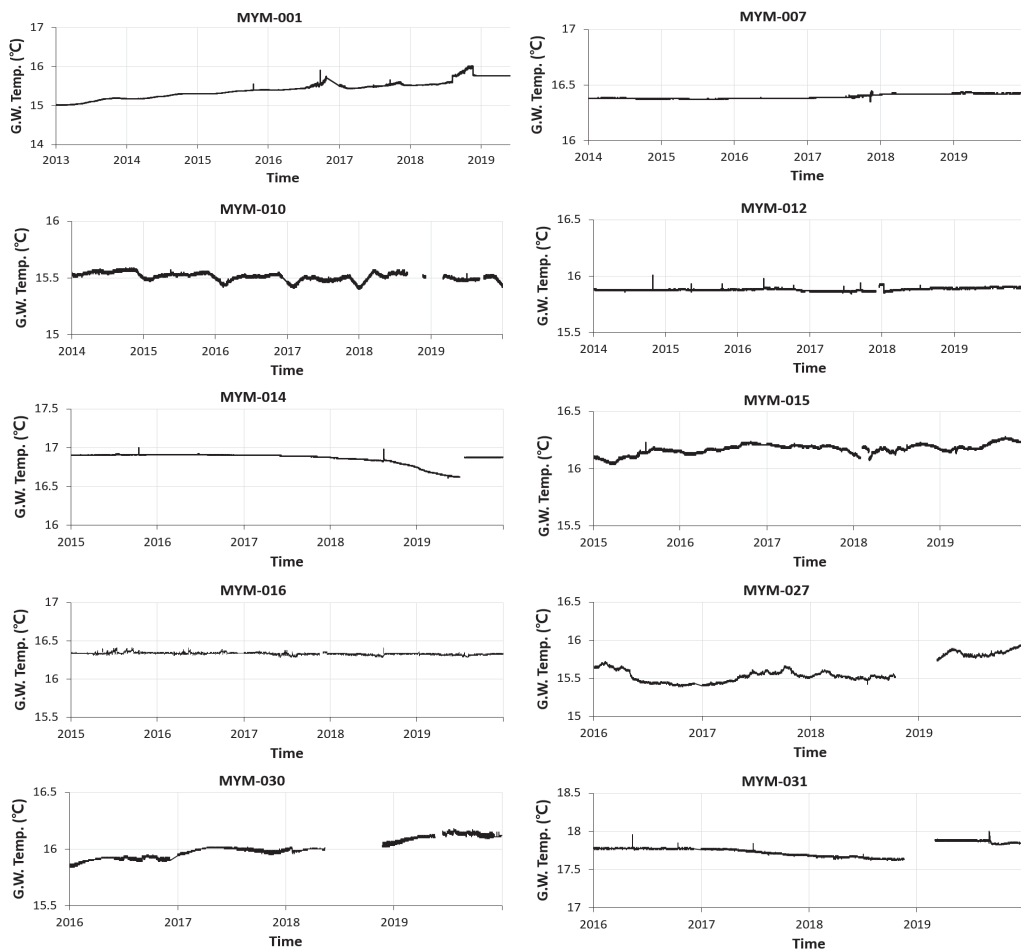
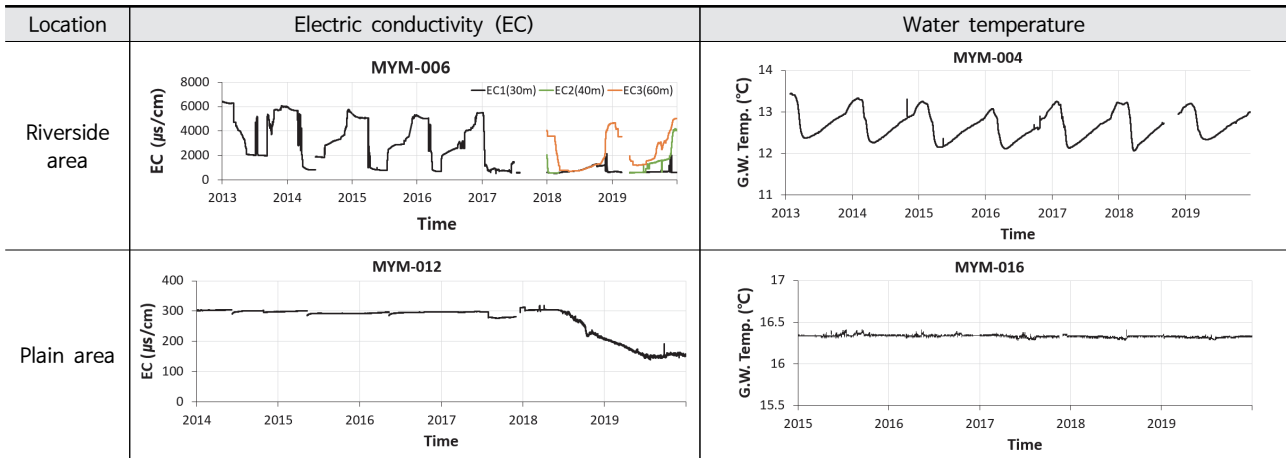


Fig. 6 Groundwater temperature changes of 10 monitoring wells in plain area

Table 3 Comparison of EC and water temperature between groundwater observation well in riverside and plain area



IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 시설재배지역의 수막용수 사용으로 인한 지하수 수온과 전기전도도의 변화를 분석하기 위하여 낙동강 하류에 있는 경남 밀양지역의 지하수 측정망 자료를 이용하여 지형별 지하수위 변화를 분석하고 그 특징을 고찰하였다. 시설재배지역은 수자원 확보가 용이한 강변에 주로 위치하고 있으며, 시설재배단지의 지하수 사용에 따른 지하수의 전기전도도와 수온의 변화특성을 비교 분석하기 위해 지하수 관측공의 위치에 따라 유형별로 강변에 위치한 시설재배지역과 평야부에 위치한 일반농업지역으로 분류하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

밀양지역에 위치한 보조지하수측정망의 관측자료를 시설농업단지가 주로 분포하는 강변과 일반농업지역인 평지의 전기전도도와 수온을 분석한 결과 다음과 같은 지역별 관측 특성의 차이를 보였다. 1) 강변에 위치한 시설재배지역은 수막재배를 위한 동절기 지하수 사용으로 인해 지하수위가 주기적으로 낮아지며 전기전도도와 수온은 이에 영향을 받아 주기적인 변화를 보였다. 2) 평야부에 위치한 일반농업지역의 경우 주기적인 변동없이 일정한 값을 유지하며 외부 여건의 변화에 따라 일정한 변화를 보였다. 대상지역에 대한 유형별 지하수 관측공을 분류하고 장기간의 모니터링 결과를 살펴보면 뚜렷한 특징을 보이지 않는 경우가 있으며, 갑자기 관측값이 상승하거나 하강하는 등 특정시기에 변화를 보이는 경우에는 그 지역의 지하수에 영향을 미치는 외부요인은 함께 분석할 필요가 있다.

시설재배지역에서는 농업용수 및 수막용수 사용을 위해 많은 양의 지하수를 사용하고 있으며, 일부 지역에서는 과도한 사용으로 인해 지하수 고갈과 수질 문제가 나타나고 있다. 지

속적인 지하수 모니터링을 통해 시설재배단지에서의 지하수 위와 수질변화를 관찰하고 그 원인을 분석하고 관리방안을 마련해야 할 것이다. 모니터링 결과를 토대로 시설재배지역에서의 지속가능한 지하수 이용을 위해 물순환 과정을 분석하고 체계적인 관리방안을 마련할 필요가 있다.

감사의 글

이 성과는 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020R1F1A1048261).

REFERENCES

- Kim, G. B., E. J. Cha, H. G. Jeong, and K. H. Shin, 2013. Comparison of time series of alluvial groundwater levels before and after barrage construction on the lower Nakdong river. *The Journal of Engineering Geology* 23: 105-115. (in Korean with English abstract).
- Moon, S. H., Y. C. Kim, and J. Hwang, 2015. Water quality in a drainage system discharging groundwater from Sangdae-ri water curtain cultivation area near Musimcheon stream, Cheongju, Korea. *Economic and Environment Geology* 48(5): 409-420. (in Korean).
- Baek, M. K., and S. M. Kim, 2022. Analysis of groundwater level changes near the greenhouse complex area using groundwater monitoring network. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 64(6): 13-23. (in Korean).
- Baek, M. K., and S. M. Kim, 2023. Time-series analysis

- and prediction of future trends of groundwater level in water curtain cultivation areas using the ARIMA model. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 65(2): 1-11. (in Korean).
5. Bang, S. R., K. J. Yoo, and J. H. Park, 2011. Temporal trend analysis of contamination using groundwater quality monitoring network data. *Journal of Korean Society on Water Quality* 27(1): 120-128. (in Korean).
 6. Chang, S., and I. Chung, 2015. An Analysis of groundwater budget in a water curtain cultivation site. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 35(6): 1259-1267. (in Korean).
 7. Hiscock, K. M., and T. Grischek, 2002. Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. *Journal of Hydrology* 266: 139-144.
 8. Ji, H. S., G. J. Cho, K. W. Jung, C. I. Kim, and K. S. Lee, 2013. Characteristics of groundwater quality from groundwater monitoring network in Busan using multivariate statistical analysis. *The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment* 23(1): 160-175. (in Korean).
 9. Kim, G. B., D. H. Choi, P. S. Yoon, and K. Y. Kim, 2010. Trends of groundwater quality in the areas with a high possibility of pollution. *Journal of the Korean Geoenvironmental Society* 11(3): 5-16. (in Korean).
 10. Kim, N. W., J. Lee, I. M. Chung, and C. H. Kim, 2012. Change of groundwater-streamflow interaction according to groundwater abstraction in a green house land. *Journal of Korea Water Resources Association* 45(10): 1051-1067. (in Korean with English abstract).
 11. Korea Rural Community Corporation (KRCC), 2021. Annual Report on the Rural Groundwater Management Network in Korea. (in Korean).
 12. Miryang, 2019. Report on the observation network of supplementary wells, Gyeongnam, Korea. (in Korean).
 13. Miryang, 2020. Report on the additive installment of monitoring wells and detailed inspection, Gyeongnam, Korea. (in Korean).
 14. National Groundwater Information Center, 2022. <https://www.gims.go.kr/> (in Korean)
 15. Ray, C., T. W. Soong, Y. Q. Lian, and G. S. Roadcap, 2002. Effect of flood-induced chemical load on filtrate quality at bank filtration sites. *Journal of Hydrology* 266: 235-258.
 16. Seo, I. S., Y. H. Choi, T. H. Kim, S. J. Guen, J. H. Song, H. K. Lee, S. H. Jung, C. L. Kim, H. C. Yoon, and T. H. Kim, 2020. Water quality characteristics of the Gyeonggi-do groundwater quality monitoring network. *Journal of Environmental Analysis, Health and Toxicology* 23(3): 141-154. (in Korean).