



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

제주 농·축산업이 지하수  
수질에 미치는 영향

제주대학교 대학원

농업경제학과

김 선 아

2021년



# 제주 농·축산업이 지하수 수질에 미치는 영향

지도교수 김 화 년

김 선 아

이 논문을 경제학 석사학위 논문으로 제출함

2021년 6월

의 경제학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 \_\_\_\_\_ 김배성 ㉠

위 원 \_\_\_\_\_ 김화년 ㉠

위 원 \_\_\_\_\_ 조성주 ㉠

제주대학교 대학원

2021년 6월

# Effects of Jeju Agriculture and Livestock Industry on Groundwater Quality

Seona Kim

(Supervised by professor Hwanyeon Kim)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Economics

2021. 06.

This thesis has been examined and approved.

Baesung Kim, Prof. of Agricultural Economics

Hwanyeon Kim, Prof. of Agricultural Economics

Sungju Cho, Prof. of Agricultural Economics

June 2021

Department of Agricultural Economics  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

## 국문 요약

<b>I. 서론</b> .....	1
1. 연구배경 및 문제제기 .....	1
2. 연구목적 및 방법 .....	2
3. 선행연구 검토 .....	2
1) 제주도 지하수의 특징에 대한 선행연구 .....	3
2) 농·축산업이 지하수수질오염에 미치는 선행연구 .....	4
3) 골프장이 지하수수질오염에 미치는 선행연구 .....	6
4) 강수량의 영향으로 인한 수질변화의 선행연구 .....	7
5) 기존 선행연구와의 차별성 .....	8
<b>II. 제주도 지하수수질과 농·축산업의 현황 및 변화</b> .....	9
1. 제주도 지하수관정 현황과 특징 .....	9
2. 제주도 농·축산업의 지역 수질 변화 .....	10
1) 질산성질소에 의한 수질 변화 .....	10
2) 염소이온에 의한 수질 변화 .....	11
3. 제주도 농·축산업의 변화 .....	13
1) 축산업의 사육두수 현황 .....	13
2) 농업현황 : 감귤생산량을 중심으로 .....	15
4. 골프장 면적 현황 .....	18
5. 연평균강수량 .....	19
<b>III. 분석모형 및 결과</b> .....	21
1. 분석자료 .....	21
1) 분석자료 설명 .....	21
2) 변수간의 상관관계 분석 .....	23

2. 분석모형 .....	25
1) 고정효과모형(Fixed Effect Model) .....	25
2) 확률효과모형(Random Effect Model) .....	26
3) 하우스만 검정(Hausman Test) .....	27
3. 분석결과 .....	27
1) 고정효과모형결과 .....	27
2) 확률효과모형결과 .....	28
3) 분석결과모형의 검증 .....	29
IV. 요약 및 시사점 .....	31
참 고 문 헌 .....	33
부록 .....	35

## 표 목 차

<표Ⅱ-1> 읍면동 사육두수 .....	15
<표Ⅱ-2> 읍면동 감귤생산량 .....	17
<표Ⅱ-3> 읍면동 골프장 면적 .....	19
<표Ⅱ-4> 연 평균 강수량 .....	20
<표Ⅲ-1> 변수 설명 .....	22
<표Ⅲ-2> 각 변수의 기초통계량 .....	22
<표Ⅲ-3> 종속변수와 설명변수의 상관분석 .....	24
<표Ⅲ-4> 고정효과모형 분석결과 .....	28
<표Ⅲ-5> 확률효과모형 분석결과 .....	29
<부록 1-1> 수질오염도 pH 평균 .....	36
<부록 1-2> 수질오염도 NO <sub>3</sub> -N 평균 .....	36
<부록 1-3> 수질오염도 Cl <sup>-</sup> 평균 .....	37
<부록 1-4> 수질오염도 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 평균 .....	37
<부록 2-1> 제주시 사육두수자료 .....	38
<부록 2-2> 서귀포시 사육두수자료 .....	41
<부록 3> 제주도전체 골프장 현황과 부지면적 .....	44
<부록 4-1> 제주지역 연평균강수량 .....	47
<부록 4-2> 서귀포지역 연평균강수량 .....	47
<부록 4-3> 고산지역 연평균강수량 .....	48
<부록 4-4> 성산지역 연평균강수량 .....	48

## 그림 목 차

<그림 II-1> 제주도 지하수 부존형태 .....	9
<그림 II-2> 2009년 질산성질소 농도분포도 .....	10
<그림 II-3> 2018년 질산성질소 농도분포도 .....	11
<그림 II-4> 2009년 염소이온 농도분포도 .....	12
<그림 II-5> 2018년 염소이온 농도분포도 .....	12
<그림 II-6> 제주도 총 사육두수 .....	14
<그림 II-7> 제주도 감귤총생산량 .....	17
<그림 II-8> 제주도 골프장 전체면적 .....	18
<그림 II-9> 연평균강수량 .....	20



## 국문요약

본 논문의 목적은 제주도 농·축산업이 지하수 수질에 영향을 미치는지 분석하는 것이다. 이를 위해 종속변수인 지하수 수질과 농축산업 관련 설명변수들을 2010년~2019년 기간 동안 제주도 내 읍면동 단위의 패널데이터로 구축하고 계량경제학 방법론으로 분석하였다. 농축산업 분야 외의 설명변수로 골프장 면적과 강수량 변화가 지하수 수질에 미치는 영향도 고려하였다.

본 논문에서는 제주환경보건연구원이 1,045개 관정에서 측정한 지하수 수질오염도를 12개 읍면동 단위로 재구성하고, 각 읍면동에 속한 관정들의 평균 오염도를 패널데이터의 횡단면 자료로 사용했다. 시계열 축으로는 2010년~2019년의 10년간 연도별 평균 자료를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 지하수 수질오염 변수는 질산성 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 수소이온 농도(pH), 염소이온( $\text{Cl}^-$ )의 4가지이다. 축산업 분야를 대표하는 설명변수로 읍면동별 돼지와 소의 마릿수를 합산한 사육두수를 이용해 수질오염과의 관계를 확인했다. 농업 생산 분야에서는 하우스, 만감류, 노지온주를 합산한 감귤생산량과 수질오염 간의 관계를 파악하였다. 또한 골프장이 수질에 미치는 영향을 확인하기 위해 면적 데이터를 사용하였고, 지하수에 영향을 미칠 기상변수로는 연간 평균 강수량을 사용하였다.

상관관계 분석결과,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 총 사육두수 간에 0.4567의 양(+)의 유의한 상관관계가 도출되었고,  $\text{SO}_4^{2-}$ 와 총 사육두수 간에도 양(+)의 상관관계가 유의하게 나타났다.  $\text{Cl}^-$ 와 골프장 면적 및 감귤생산량 간의 상관관계는 예상과 달리 각각 음(-)의 관계가 나타났다. 이러한 상관관계 결과를 통해 제주 축산업 규모와 일부 지하수 오염 간에 양(+)의 관계가 존재할 가능성이 있음을 확인할 수 있었다.

각 지하수 수질 변수를 종속변수로 하는 패널회귀분석을 위해 고정효과모형(Fixed Effect Model)과 확률효과모형(Random Effect Model)을 이용했고, 둘 모형 중 더 적합한 모형을 확인하기 위해 하우스만 검증(Hausman Test)을 실시하였다. 하우스만 검증 결과에서는  $\text{Cl}^-$ 를 종속변수로 한 모형에서는 확률효과모형이 더 적합한 것으로 분석되었고,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , pH를 각각 종속변수로 한 모형에서는 고정효과모형이 더 적합하다는 결과가 도출되었다.

$\text{NO}_3\text{-N}$ 를 종속변수로 한 모형에서는 총 사육두수가 제주 지하수 수질에 미치는

영향이 1% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 고정효과모형과 확률효과모형 모두에서 유의한 결과가 나타났다. 따라서 제주도 축산 분야의 사육두수가 증가하면  $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 증가하여 지하수 수질 오염이 확대될 것이다.

pH를 종속변수로 한 모형에서는 강수량 변수의 계수 추정치가 고정효과모형과 확률효과모형 모두 10% 유의수준 하에서 양(+)의 부호가 추정되었다. 일반적으로 강수량이 많으면 지하수 수질이 개선될 것으로 생각되나, 강수량이 많을 때 강수에 의한 지표 오염원이 지하로 흡수되어 pH 수치가 상승할 수도 있다고 판단된다. 또한  $\text{Cl}^-$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$ 를 종속변수로 한 확률효과모형에서 골프장 면적이 음(-)의 계수 추정치가 1% 수준에서 유의하게 나타난 것은 예상외의 결과였다. 제주도 골프장의 경우 계속된 환경오염원이라는 비난에서 벗어나기 위해 친환경 비료와 농약 등을 사용하는 노력으로 음(-)의 계수가 도출되었다고 추측되나 추가적인 확인이 필요할 것이다. 이는 평균 데이터의 사용으로 인해 집계 편이(Aggregation Bias) 문제가 있을 가능성과 함께 농축산업의 오염은 비점원(Non-point) 오염이 대부분이라 읍면 단위로 할지라도 그 지역별 영향 범위가 일치되지 못하기 때문인 것으로 추측된다.

농산물 생산 부문의 변수인 감귤생산량은  $\text{NO}_3\text{-N}$ 에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 분석되었으나 통계적으로 유의하지 않았다. 지하수 수질에 영향을 미치는 농업 부문의 변수로 화학비료 사용량이나 밭작물 생산량 등을 사용해야 하나 읍면동 단위의 자료를 얻을 수 없는 한계로 인해 감귤생산량을 사용한 것이 예상외의 결과가 도출된 이유로 추측된다. 이 외의 모형들에서는 각 설명변수들이 제주 지하수 수질에 유의하게 영향을 미치지 못했다.

본 논문은 제주도의 수질오염변수와 수질오염에 영향을 미치는 변수에 대해 읍면동별 패널데이터를 구축하여 계량경제학적으로 분석하였다는 것이 기존 연구와의 차별성이다. 농·축산업의 대표 수질오염 지표인 질산성질소와 축산 사육두수 간에 상관관계와 인과관계의 존재를 계량경제 모형을 통해 확인한 것이 본 논문의 의의이다. 제주도는 축산업이 지하수 수질 등 환경에 미치는 부정적 영향을 최소화하기 위해 사육두수 총량제, 축산폐수 유출지역에 대한 지하수 수질개선 시범 사업 등을 시행했다. 본 연구의 결과에 따르면 이러한 농축산업 부분의 개선 노력으로 사육두수가 감소한다면 제주 지하수 수질지표 중 최소한 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )는 감소하여 수질이 개선될 것이다. 따라서 스마트 분뇨 처리 시설이나 친환경 비료의 사용이 증가한다면 지하수 수질이 개선되고 제주의 청정 이미지가 더욱 확대될 것이다.

# I. 서론

## 1. 연구배경 및 문제제기

제주도는 화산암으로 이루어져 빗물이 잘 스며드는 특징이 있고, 다른 지역의 토질과 차이가 있다. 또한 대부분의 먹는 물과 농업용수 및 생활용수 등이 지하수에 의존하고 있어 지하수 보존이 매우 중요하다. 제주도는 2017년 말 기준으로 약 4800개의 관정이 존재하며, 그중 생활용관정은 1,432공으로 전체관정의 29.7%로 차지하며, 농업용관정은 3,231공으로 67.1%를 차지하고 있다(‘제주특별자치도 수자원관리 종합계획’,2019).

지하수 보존이 중요한 제주도에서 지하수 수질오염은 매우 중요한 문제이다. 지하수는 대부분 생활하수, 공장폐수, 축산폐수, 농업의 비점원오염(농약, 비료등)으로 인해 오염이 된다. 지하수 오염을 나타내는 수질오염지표는 pH, 전기전도도(EC),  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ -N이 있는데, 그중 질산성질소( $\text{NO}_3^-$ -N)는 농·축산업에서 가장 흔한 오염물질로 인간의 건강을 위협하는 요소 중 하나이다.

우리나라 토양 지하수 정보시스템<sup>1)</sup>의 운영 결과 및 분석에 의하면, 2017년 우리나라 전체 지하수 수질 측정망의 수질기준 초과율은 9.7%로 2016년 8.9%에 비해 소폭 상승하였다. 또한 2017년 수질기준 초과율은 2012년에서 2016년까지 5년 동안의 평균인 8.0%보다도 높은 수치이다. 수질기준 초과 항목은 일반오염물질이 89.1%로 전체적으로 큰 비중을 차지한다. 그중 수소이온농도와 염소이온은 주로 물이나 암석반응, 해수침투 등 자연기원의 영향으로 보이며, 질산성질소는 비점오염원 등의 인위적인 영향으로 초과한 것으로 판단된다.

이러한 질산성질소의 오염 현상의 분포는 전국적으로 나타나고 있다. 국내와 제주도의 지하수 질산성질소 연구 사례를 보면 많은 지역에서 상당수 시료가 먹는 물 수질 기준을 초과하고 있다고 보고되었다.<sup>2)</sup> 2018년 기준으로 제주지역의 양돈장 수는 감소하는 반면에, 사육두수는 과거 20년 전보다 2배 이상 증가했다. 가축폐기물 해양투기금지로 부적절한 가축폐기물 처리 및 농지나 목초지에 뿌려지는 양돈액비

1) 토양지하수정보시스템(<http://sgis.nier.go.kr>)

2) 우남철 외(2001), Park 외(2015), 김규범 외(2010), 김호림 외(2018), 송영철 외(2018)

에 의한 지하수 오염이 가속화되면서 사회적 문제로 부각되고 있다.

특히 제주도의 서부지역에는 축산업이 발달하여 축산농가가 밀집된 한림지역을 대상으로 지하수의 오염원을 추적하는 연구들이 다수 수행되었다.<sup>3)4)</sup> 또한, 2007년 세계자연유산등재 이후 관광객이 급증하면서 골프장개발 및 휴양시설의 급격한 증가 등으로 인해 일부지역에서 수질오염의 문제가 나타나고 있다. 이를 방지할 경우 지하수 오염이 심화되고, 확산될 우려가 커질 것으로 예상된다.

## 2. 연구목적 및 방법

본 연구의 목적은 제주의 축산업과 농산물 생산이 지하수 수질에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 이를 위해 제주도의 12개 행정구역을 읍면동 단위로 나누어 2010년부터 2019년까지의 각 관정의 지하수 수질오염 데이터를 구축하여 제주도 지하수 오염현황을 살펴보았다. 현재 문제가 가장 심각한 가축 사육두수 증가와 농업생산으로 인한 지하수 수질오염의 데이터를 구축한 후, 패널데이터 분석을 통해 제주도의 농·축산업이 지하수 수질에 영향을 미치는지에 대해 연구하였다. 또한 골프장개발로 인한 지하수 오염과 강수량 변화로 인한 지하수 수질오염도 고려하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제주의 지하수 현황과 농·축산업의 지하수 수질의 변화를 살펴보았으며, III장에서는 분석모형 및 분석결과를 제시하였고, 마지막으로 IV장에서는 분석결과 요약 및 시사점을 제시한다.

## 3. 선행연구 검토

본 논문에서는 제주도 지하수 수질의 특성과 농·축산업이 지하수 수질오염에 미치는 영향과 관련된 선행연구에 초점을 두었다. 또한 골프장과 강수량도 지하수 수질오염과 관련 있다고 판단되어 이에 관한 선행연구도 살펴보았다. 따라서 종속변수인 수질지표와 각 설명변수에 대하여 제주도내 읍·면·동의 패널데이터를 이용해

---

3) 송영철 외(2019)

4) 현익현 외(2017)

농·축산업 등이 지하수 수질오염에 영향을 미치고 있는지에 대해 분석하고자 한다.

#### 1) 제주도 지하수의 특징에 대한 선행연구

제주도의 지하수는 육지의 지하수와 다른 수문지질학적인 특징이 있어, 제주도의 지하수에 대한 조사와 연구들이 많이 있다. 이병대(2017)는 한국수자원공사의 16개 수역기준에서 93년도에 설정된 지하수 관정 38개소를 선정하여 제주도 지하수 수질의 특성을 파악한 결과, 지하수는 한라산 중심으로 한 고산지대 및 중 산간지대에서 발달한 지하수가 해안저지대로 이동하면서 지하수 수질이 변화하였다. 또한, 남·북쪽 방향이 동·서쪽에 비해 수계의 발달이 좋고, 지형의 경사가 급해 지하수의 수질오염이 빠른 속도로 유출되고, 시기별로 지하수를 연구한 결과, 고도별로 많은 차이를 보여주고 있다.

이용두(2001)는 제주도의 지하수공 중 150공을 선정하여 기술통계량으로 물리·화학적 특성을 요인분석(Factor Analysis)을 이용하여 제주도가 가진 수문지질학적인 특징 중 하나인 고도에 따른 수질 특성을 연구하였다. 그 결과, 물리·화학적 특성에서 pH는 표고 100m 이상에서 가장 높게 나타나고 있고,  $\text{SO}_4^{2-}$ 는 50~100m 지역,  $\text{Cl}^-$ 은 50m 이하 지역,  $\text{NO}_3^-$ 는 50m 이하 지역에서 높게 나타나 오염도수치가 고도에 따라 다르다는 것을 볼 수 있었다. 고도에 따라 요인분석으로 분석한 결과, 표고 50m 이하 지역, 50~100m 지역, 100m 이상 지역 모두에서 본 논문과 공통으로 설정한 오염지표인 pH,  $\text{NO}_3^-$ 의 요인으로 수질에 영향을 받는 것으로 나타났고, 이는 인위적 오염물질로 보고 있다.

윤정수·박상운(1994)은 제주도 내 지역별 지하수위 변동양상을 논의하였다. 1972년부터 1992년에 농어촌진흥공사에 의해 개발된 335개의 지하수개발관정을 대상으로 표고별·심도별·양수별 및 절대수위를 분석한 결과, 표고가 높아지면, 양수량이 전반적으로 감소하는 것으로 나타났다. 제주도 지하수의 특징이 여러 가지 있는데, 그중 조석간만에 변화로 지하수 수위 변동이 영향을 미치고 있다. 대부분 동부지역에서 영향이 있고, 서부지역인 고산과 대정지역에서는 강수량에 따라 지하수위 변동이 일어나고 있다. 그리고 1983년에서 1993년까지의 수질분석자료에서 대표적인 수질오염지표인 질산성질소에 의해 영향을 받는 지역은 제주시내, 한림읍, 한경면,

서귀포시내, 표선읍, 구좌읍, 조천읍, 애월읍, 안덕면 지역이고, 염소이온에 영향을 받는 지역은 앞에 지역에서 애월읍과 안덕면 지역은 제외되고 남원지역이 그 영향을 받고 있다.

김봉상 외(2011)은 제주도의 지하수공 시추자료와 지하수위 자료를 이용해 지역별 수리지질 지하수위 분포 특성을 고찰하였고, 지하수위와 저투수층 출혈심도에 대해서 상관분석을 하였다. 먼저 지역별 대수층 분포 특성의 결과에서 동부지역은 해수면 아래에 두꺼운 포화대를 갖는 기저지하수 및 하부 준기저지하수가 나타났다. 서부지역은 동부지역과 대수층의 특징은 다르지만, 지하수는 주로 기저지하수와 하부 준기저지하수의 형태를 보인다고 나왔다. 남부지역은 주로 준기저지하수와 상위 지하수의 형태로 나타났고, 북부지역도 남부지역과는 대수층의 특징은 약간 다르지만, 지하수는 준기저지하수와 상위지하수의 형태로 나타났다. 저투수층의 출혈심도에 대한 상관분석결과는 해안에서 한라산 방향 갈수록 지하수위 상승에 따라 저투수층의 출혈고도가 같이 상승하는 모습이 분석됐다. 즉, 서부지역이 가장 낮고 동부, 북부, 남부지역으로 높아지는 것으로 나타났다.

## 2) 농·축산업이 지하수 수질오염에 미치는 선행연구

현익현 외(2017)은 가축분뇨 유출지역의 지하수 오염원을 추적하기 위해 조사대상지역인 한림읍 대상으로 지하수 하류 지역을 포함한 14개의 관정을 대상으로 조사하였다. 수질분석은 2017년 8월부터 12월까지 강우 전·후의 수질시료 등 총 430건에 대하여 실시하였다. 동위원소 분석결과에 따르면 축산분뇨의 영향지역과 농경지 영향지역으로 구분되었다. 오염원은 지하수 흐름 방향을 따라 상류에서 하류로 이동하면서 좌·우 일정 지역까지 확산하는 것으로 분석되었다.

제주도는 감귤농업에 농약이 사용되는데 이러한 농약사용이 제주도 지하수 수질오염에 영향이 미칠 수 있다고 생각되어 농약과 지하수 수질오염에 관련된 선행연구를 살펴보았다. 이정환 외(2009)는 부산광역시 농업지역에서 농약성분으로 인해 지하수 수질에 대해 분석하였다. 그 결과, 1,2,3차 통틀어 2차 조사 때 농약의 무기성분 농도가 가장 높게 나왔다. 이는 2차 조사 때 강수량이 다른 조사 시기에 비해 많아져 오염물질이 지하로 유입되어 지하수오염이 증가한 것으로 판단했다. 그리고



지하수 수질 기원의 공간적 분포 특성을 규명하기 위해 두 가지 요인분석을 실시한 결과, 요인1과 그룹1에서 염수의 영향과 인위적인 오염에 속한 화학비료, 퇴비, 축산폐수, 생활하수 등의 영향에 양(+)의 값을 갖고 농도가 높게 나타난 것으로 분석되었다. 현해남 외(1994)는 제주지역에서 친환경농업의 필요성 강조하기 위해 제주도 지하수 농약 오염에 대해 살펴보았고, 제주도의 지하수 특징과 분해되지 않는 농약의 성분으로 인해 지하수가 오염 될 가능성이 있다고 판단했다.

김연태·우남철(2003)은 경기도 안성시의 농촌지역에서 지하수의 의존도가 높아 지하수의 오염에 민감하고, 인간 활동에 의한 질산성질소 오염이 생활용수 공급에 농경활동과 축사가 운영되고 있는 천부지하수에 대해 질산염 연구를 하였다. 그 결과, 인위적 오염물질 유입이 예상되는 지점이 77%로 질산성질소의 농도가 높아졌으며, 먹는 물 수질기준을 초과하는 지점이 32~42%로 나타났다. 질소동위원소 분석결과, 연구지역 천부지하수의 질산성질소 주 오염 원인은 밀집된 축사로 밝혀졌으며, 운영이 종료된 축사라도 오랫동안 지하수질에 영향을 미치는 것으로 분석됐다.

송영철 외(2019)는 한림지역 지하수의 질산성질소 변화에 따른 수질 특성을 연구하였다. 제주도는 일부 지하수에서 질산성질소농도에 대한 심각한 문제를 야기하고 있는데, 이러한 현상은 농업, 축산업 및 오수처리 등 오염배출원이 집약되면서 오염이 가속화 되는 현상을 나타내고 있다. 그래서 제주도 지역 중에서 지하수 수질오염도가 가장 높은 한림지역을 대상으로 수질특성, 강우량에 의한 수질변화, 해발고도별 질산성질소 농도변화 및 질산성질소 등농도선도를 작성하여 오염변화를 심도 있게 분석하였다. 그 결과, 첫 번째, 한림지역의 상반기 질산성질소 농도는 평균치가 점점 높아져 수질오염이 많이 진행된 것으로 나타났다. 두 번째, 고도별 수질 변화를 파악한 결과, 해발 200m 이내에서 질산성질소에 의한 오염이 상당부분 진행되었다. 세 번째, 질산성질소와 염소이온의 관계는 고도가 높아질수록 상관관계도 높아지고 있었다. 따라서 해변과 가까운 지역은 해염에 의한 영향을, 해변과 멀어지고 고도가 높아짐에 따라 지표면에 존재하는 유기성 오염 물질에 의한 영향을 받는 것으로 보여주고 있다. 또한, 질산염에 의한 질소 안정동위원소비의 관계도 각각 증가하고 있어 고도가 높아짐에 따른 질산성질소 농도 증가와 동물성 유기물질 유입과는 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 나타났다. 마지막으로 질산성질소 등농도선도에서 해안선 가까운 곳과 고도가 200m 이상인 곳에서는 낮은 농도를 그사이 중간 지역에서는 높은 농도를 보이는 지역적인 수질 특성을 가지고 있었다. 이러한

현상은 해안선 가까이에 있는 지하수와 그 상위 쪽에 있는 지하수와는 다른 형태의 지하수로 판단됐다.

오윤근·현익현(1997)은 제주도의 지하수관정 중 질산성질소 농도가 먹는 물 수질 기준(10mg/L)을 초과한 적이 있거나 오염이 우려가 있다고 판단되는 지역을 선정하여 질산성질소를 포함한 각종 이온농도 및 질소 안정동위원소의 자연존재비를 측정분석 함으로써 지하수 오염원 및 오염원별 특성을 파악하여 오염원을 분석하였다. 그 결과, 질산성질소와 질소동위원소자연존재비의 관계를 비교하면 5개의 그룹 중 두 번째 그룹은 질산성질소농도가 먹는 물의 수질기준(10mg/L)을 초과하고  $\delta^{15}N$  값이 4‰ 정도로서 토양에 사용되는 화학비료의 영향을 받는 것으로 추정되는 지역으로 나왔다. 세 번째 그룹은 질산성질소농도가 먹는 물의 수질기준 내외고  $\delta^{15}N$  값이 5‰ 정도로서 사용된 화학비료와 토양질소로부터 유리되는 것으로 추정되는 지역, 다섯 번째 그룹은 질산성질소의 농도는 인위적 오염 수준이 3.0mg/l 정도이나  $\delta^{15}N$  값이 9‰로 자연토양이나 가축분뇨(퇴비)등의 영향을 받는 것으로 추정되는 지역이다.

$\delta^{15}N$ (‰) 및  $NO_3-N$ (mg/L)에 의한 오염원별 기여율에서는 산천단 지역을 자연토양 유래로 하여 구한 결과, 월산지역은 축산·생활하수유래의 분포비가 다른 분포비에 비해 높아 축산·생활하수에서 유래하는 것으로 사료 된다. 금능, 고산, 사계, 하효, 신촌지역은 다른 기원물질보다 화학비료 구성비가 높은 비율을 나타내고 있어 화학비료에서 유래하는 질산성질소로 추정된다. 서귀포시 지역은 화학비료와 축산·생활하수의 영향을 받는 것으로 나타났지만, 토지이용이나 지역적인 위치를 고려했을 때 축산분뇨·생활하수에 유래하는 것으로 사료 된다. 상도지역은 자연토양에서의 질산성질소의 농도 범위가 0.45~0.9 mg/L에 거의 같은 농도를 나타내고 있어 질산성질소는 자연토양에서 유래한다고 사료 되었다.

### 3) 골프장이 지하수 수질오염에 미치는 선행연구

앞에 농·축산업이 지하수 수질오염에 미치는 선행연구에서 제주도는 감귤농업에 농약이 사용된다고 하였지만, 그 이외에 골프장에서도 농약을 사용한다. 농약이 지하수에 영향을 미치므로(현해남 외, 1994) 제주도 지역의 골프장과 지하수에 관한



선행연구를 살펴보았다. 원종옥(2013)은 국내 골프장의 농약 사용량 및 잔류에 관한 연구를 하였는데, 다른 지역에서는 50% 이상의 골프장 면적에 농약을 사용하고 있는데, 제주도는 70% 이상의 농약 사용 면적 비율을 나타내고 있었다. 지역별 농약 사용량에서 또한 제주도 지역이 농약사용량이 증가한 것으로 분석되었다.

송영옥(2011)은 제주지역의 골프장 현황 및 잔디관리에 대해서 2010년 4월부터 2011년 1월까지 조사연구를 하였다. 먼저 골프장 현황은 2002년에 조사한 결과에 비해 2011년에 조사했을 때 3.1배 증가하였다. 골프장의 농약 사용량은 전국 평균보다 1.7배~2.9배 높게 나타났지만, 점차 줄어드는 경향을 보이는 것으로 분석되었다. 이는 2004년 이후 골프장 건설 시 적용된 환경영향평가 매뉴얼 중 농약 사용량 총량 제한에 의한 것으로 판단하고 있다.

#### 4) 강수량의 영향으로 인한 수질 변화의 선행연구

김태현 외(2002)는 1993년부터 2001년까지 지하수 144개 공에 대한 수질추정망의 관측자료를 토대로 지역별, 고도별, 연도별 수질의 변화를 살펴보고, 질소안정동위원소 분석결과를 통하여 질산성질소의 오염 원인을 연구하였다. 그중 강수량에 따른 수질 변화 특성도 있었는데, 표고 200m 이상인 고지대와 상류지역 중 오염원이 없는 저지대에 위치한 지하수로 강수량에 따른 수질의 변화가 거의 없었다. 하지만, 상류지역에 오염원이 있어 오염 우려가 있는 서부와 남부 및 북부지역에는 건기인 11월~2월에는 성분의 함량변화가 낮고, 우기인 6월~8월에는 높게 나타났다. 이를 통해 강수에 의하여 지표의 물질도 는 토양 내 물질이 빠른 속도로 지하로 유입되어 지하수에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다.

이용두 외(2001)는 제주도 전역에 분포한 지하수 150개의 관정을 대상으로 건기와 우기 2회에 걸쳐 실시하여 고도와 지역에 따른 수질 특성을 Piper Diagram과 통계적 기법을 이용하여 분석한 결과, 제주도 지하수 주요 성분과 EC는 해발 50m 이하 지역에서의 지하수가 다른 지역보다 용존물질 함량이 높게 나타나고 있다. 그리고 우기에서가 건기 때 보다 많은 용존이온의 함량분포를 보이는데 이는 강우 시 지표상의 오염물질이 지하로 유입된 결과라고 판단하고 있다.

김연태 외(2005)는 밀집된 축사에서 질산성질소로 인해 소유역 하천에 대해 수

질의 계절 변화를 연구하였다. 그 결과로 하천에서 질산성질소의 영향이 있다는 것이 확인되었으며, 이는 오염된 지하수로부터 수질변화가 나타났다. 오염된 지하수는 건기에 직접적인 하천수질에 크게 영향을 미치고 있다. 또한, 우기에는 강수에 의한 희석효과에도 불구하고 질산성질소의 농도가 증가하여 이로 인해 오염된 지하수 유입량이 증가로 인한 영향이 크게 미치고 있는 것으로 판단되고 있다.

#### 5) 기존 선행연구와의 차별성

대부분의 선행연구는 제주도 전 지역이나 제주도내 한 지역만 선정하여 수질 변화를 자연과학적으로 접근하였다. 그러나 본 논문에서는 읍, 면, 동 기준으로 종속 변수인 수질오염지표를 설정하였고, 설명변수로는 축산 사육두수, 농업생산, 골프장 면적 등을 2010년부터 2019년까지 패널데이터를 구축하여 경제학적으로 분석하였다. 또한 본 논문에서는 보건환경연구원에서 측정한 수질 관측자료를 사용하여 읍, 면, 동별로 구분한 패널데이터를 구축한 후 계량경제학적 방법론을 이용하였다.

## II. 제주도 지하수수질과 농·축산업의 현황 및 변화

### 1. 제주도 지하수관정 현황 특징

제주도는 투수성이 좋은 화산암류로 이루어져 있어, 대수층의 산출능력이 국내에서 가장 좋다. 1개 관정에서 3,000m<sup>3</sup>/일을 계속 양수하여도 지하수위는 1m도 떨어지지 않는다. 제주도는 지하수 부존형태가 다양한 섬으로 기저지하수, 준기저지하수, 상위지하수 크게 3가지로 나뉜다. 첫 번째, 기저지하수는 해수 상부에 담수 지하수가 분포하는 형태이며 깊게 뚫으면 지하수와 바닷물이 섞이는 지역으로 구좌읍, 성산읍의 해변 근처와 한림읍, 한경면, 대정읍의 해안가 쪽이다. 두 번째, 준기저지하수는 지하에 투수성이 낮은 퇴적층의 분포로 인해 지하수가 바닷속에서 흐르지만, 지층이 바닷물이 침투하는 것을 막아주어 전혀 바닷물과 섞이지 않는 지역이다. 해안가보다 안쪽에 있는 지역으로 제주시 전체와 애월읍 해안가 쪽과 한림읍, 한경면, 대정읍, 안덕면, 조천읍, 표선면, 남원읍, 서귀포시 동부의 해안가 근처이다. 세 번째, 상위지하수는 해수면보다 높은 위치에서 지하수가 흐르는 지역으로 주로 서귀포와 한라산 고지대 지역에 분포하고 있다. 서귀포시는 전체 대부분이 상위지하수이고 나머지 지역은 한라산과 가까운 지역에 분포하고 있다(제주 물박물관).

<그림 II-1> 제주도 지하수 부존형태



자료 : 제주 물박물관 (<http://www.jpdc.co.kr/watermuseum/kr/resource/underground.htm>)

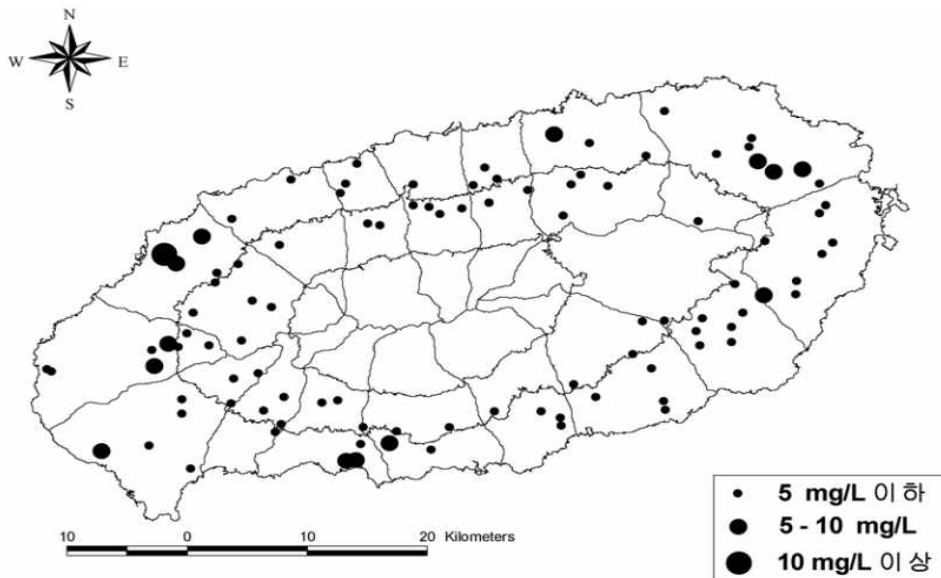
## 2. 제주도 농·축산업 지역의 수질 변화<sup>5)</sup>

### 1) 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )에 의한 지역 수질 변화

<그림 II-2>는 2009년의 제주도 지역의 질산성질소 농도의 분포도를 나타낸 지도이고, <그림 II-3>은 2018년의 질산성질소 농도분포도를 나타낸 지도이다. 2009년에 비해 2018년에 질산성질소의 농도가 높아지고 확장되어있는 것을 볼 수 있다. 2009년에는 100개소 검사를 4월, 8월, 10월로 3차시기로 나누어 조사하였다. 서부지역은 4.1mg/l, 동부지역은 2.7mg/l, 북부와 남부지역은 각각 2.1mg/l, 1.8mg/l로 모든 지역에서 먹는 물 수질기준을 초과하는 관정이 없었다.

2018년에는 133개 관정을 2월, 5월, 9월, 11월 4차시기로 나누어 조사한 결과, 동, 서, 남, 북 지역 각각 2.7mg/l, 6.7mg/l, 2.2mg/l, 1.8mg/l로 관측됐다. 이중 서부지역의 8개 관정과 남부지역 2개 관정에서 먹는 물 수질기준(10mg/l)에 초과한 것으로 관측됐다. 이러한 서부지역에 질산성질소의 농도가 증가하고 있는 원인은 양돈장, 액비살포지, 화학비료 시비량이 많은 지역의 하류지하수인 것으로 나타났다.

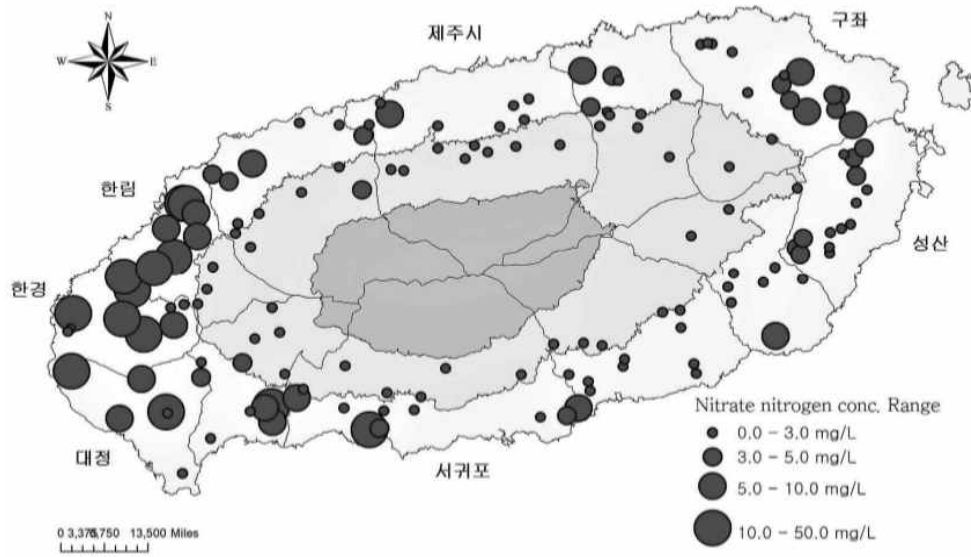
<그림 II-2> 2009년 질산성질소 농도분포도



자료: 보건환경연구원보 제29권(수질연구과)

5) <부록 1-1>,<부록 1-2>,<부록 1-3>,<부록 1-4>의 읍면동 연평균 수질오염도의 변화 참조

<그림 II-3> 2018년 질산성질소 농도분포도



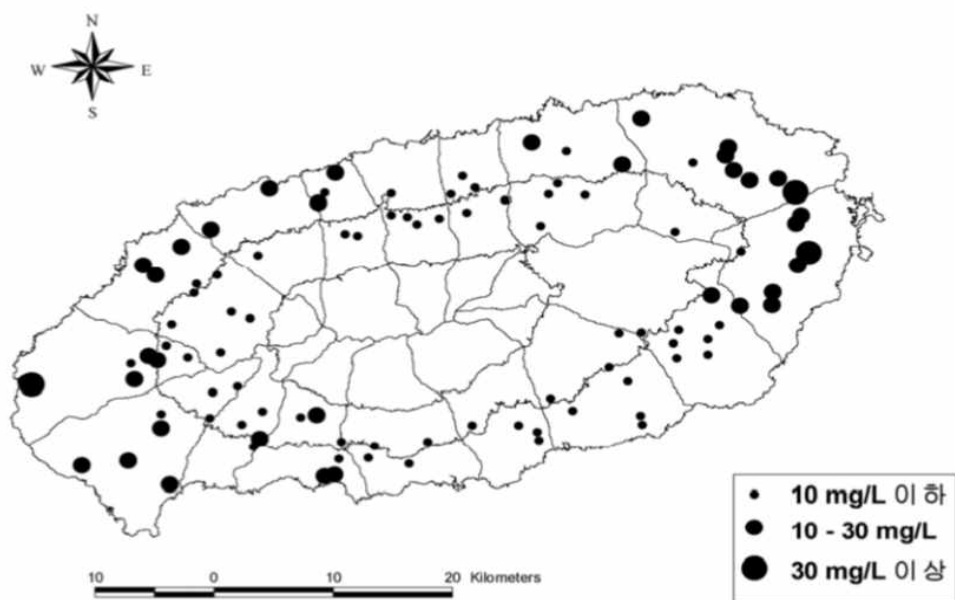
자료: 보건환경연구원보 제29권(수질연구과)

## 2) 염소이온(Cl<sup>-</sup>)에 의한 지역 수질 변화

<그림 II-4>는 2009년 제주도 지역의 염소이온 농도의 분포도를 나타낸 지도이고, <그림 II-5>는 2018년 염소이온 농도의 분포도를 나타낸 지도이다. 2009년에는 서부지역에 비해 동부지역의 염소이온의 농도가 짙고 많이 분포되어있지만, 2018년에는 서부지역까지 염소이온의 농도 분포도가 넓어지고 높아졌다. 2009년에 조사한 관정은 모든 지역에서 먹는 물 수질기준을 초과하는 관정이 없었고, 모든 지역 중 동부지역에서 가장 높은 수치를 보이고 있었다. 2018년에 조사한 관정에서도 모든 지역에서 수질기준을 초과하는 관정이 없었다.

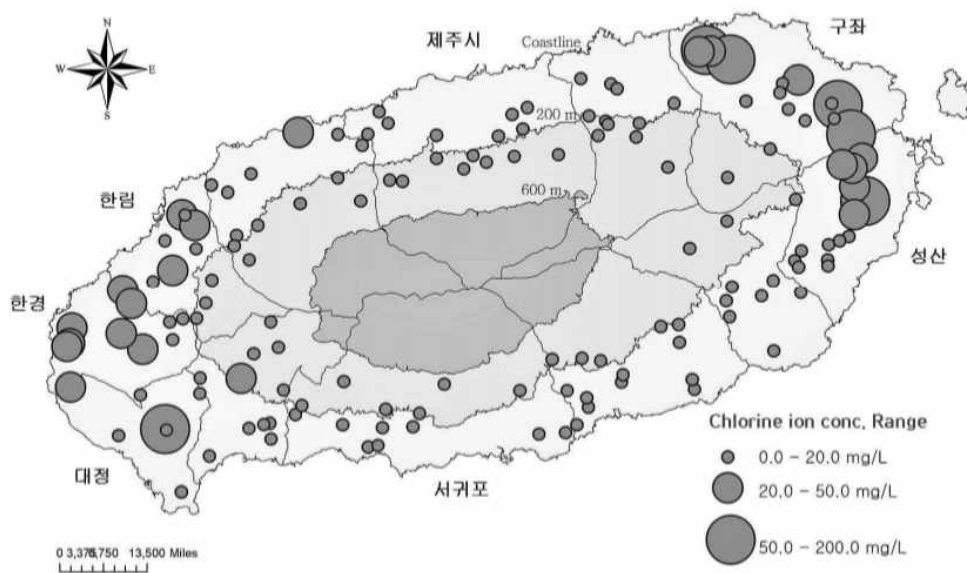
조사한 관정에서는 동부지역과 서부지역이 가장 높았는데, 서부지역은 양돈장 밀집과 양돈액비살포의 집중지역으로 나타났다. 염소이온은 해수침투로 인해 자연기원의 영향을 받게 되는 수질오염지표이므로 2009년과 2018년의 동부지역 해안가 근처에 많은 양의 농도가 분포되어있는 모습이 공통으로 나타났다.

<그림 II-4> 2009년 염소이온 농도분포도



자료: 보건환경연구원보 제29권(수질연구과)

<그림 II-5> 2018년 염소이온 농도분포도



자료: 보건환경연구원보 제29권(수질연구과)



### 3. 제주도 농·축산업의 변화

#### 1) 축산업의 사육두수 현황

제주도 총 사육두수는 <그림Ⅱ-6>을 보면 2010년 때보다 2019년에 사육두수가 증가했다는 것을 확인할 수 있다. 2011년에 줄어들다가 점차 2014년까지 증가했고, 2015년 이후부터 점차 증가하다가 2018년에 잠깐 내려갔는데, 이는 2017년에 발표한 ‘사육두수 총량제’ 도입에 영향이 있어 보인다.<sup>6)</sup> <표Ⅱ-1>에서는 12개의 읍면동 지역별로 구분하여 나타냈다. 순서대로 구좌읍, 성산읍, 표선면이 동부지역, 대정읍, 한경면, 한림읍이 서부지역, 안덕면, 남원읍, 서귀포 시내를 남부지역, 애월읍, 제주 시내, 조천읍을 북부지역으로 본다. 동부지역인 구좌읍에서 2011년에 사육두수가 감소하는 모습을 보였고, 이후 2015년에는 증가하였다. 2016년과 2018년에 줄어들었다가 마지막 2019년에는 다시 증가하는 모습을 보였다. 성산읍의 경우 2012년에 가장 높은 사육두수를 나타내고 있고, 2014년에는 가장 낮은 사육두수를 나타내고 있다. 2014년 이후 2019년까지 증가하는 모습을 나타내고 있다. 표선면의 사육두수는 2010년에 비해 2011년에 급격히 감소하였지만 2012년부터 다시 증가했다. 2014년에 근소하게 감소하였지만, 그 이후 2018년까지 증가하는 모습을 나타내고 있다. 서부지역인 한림읍은 제주도 전체지역 중 가장 많은 사육두수를 보유하고 있다. 2014년까지 증가하였고, 2015년에 감소하였지만 2018년까지는 다시 증가하는 모습을 보인다. 한경면의 경우 2011년과 2012년에 증가했지만, 2016년을 제외한 나머지 연도에서는 감소하는 모습을 나타내고 있다. 대정읍의 총 사육두수는 2014년까지 증가하였고, 2017년까지는 감소했다. 이후 2018년부터 다시 증가하고 있다.

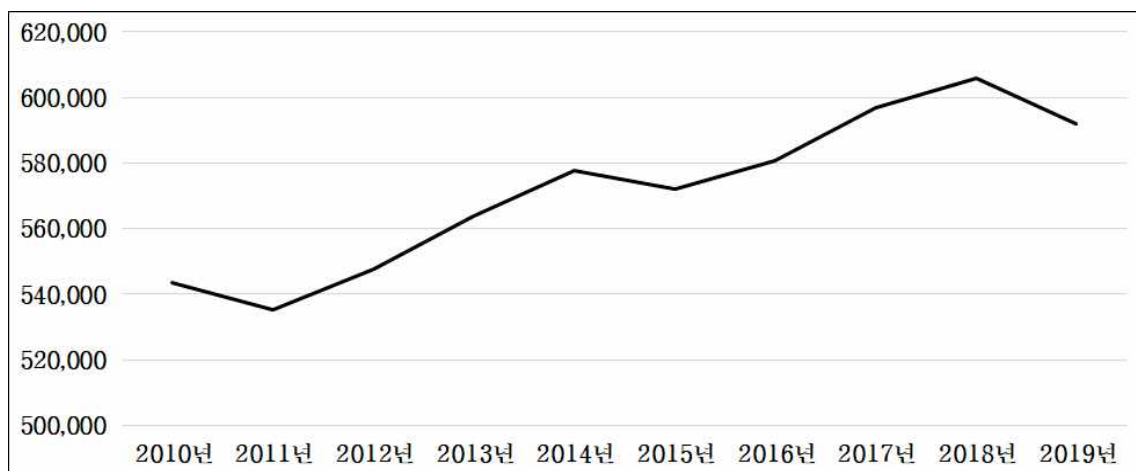
남부지역인 안덕면의 경우 2011년에 증가했고, 2012년에는 감소했다. 그 후 2015년 이후로 증가와 감소가 반복하고 있는 모습을 보이다가 2019년에는 증가하였다. 서귀포시 지역의 사육두수는 2014년까지 감소하였고, 2015년과 2016년에 증가하였다. 그리고 이후에 다시 감소했고, 2019년에 다시 증가하는 모습을 보였다. 남원읍에서는 감소와 증가가 반복적인 형태였다가 2016년 이후로는 감소하는 모습을 보였다. 마지막 북부지역 중 조천읍은 2012년까지 감소했고, 2013년과 2016년에 증가한 것 외에 나머지 연도에서 감소하는 모습을 보였다. 제주시 지역의 경우 2011년에

6) 노컷뉴스, 2017, “제주 양돈 사육두수 총량제 도입” 참조

증가했고, 2012년에 감소했지만 바로 2013년에 다시 증가했다. 그 이후 2017년에 증가한 것 이외에 감소하는 모습을 보였다. 애월읍은 2011년에 감소했지만, 2014년까지는 증가하는 모습을 보였다. 그 이후로 2016까지 감소하였다가 2017년과 2018년에 감소와 증가가 반복되었고, 2019년에는 증가한 모습을 보였다. 연도별의 사육두수 현황을 보면 구좌읍, 성산읍, 표선면, 한림읍, 안덕면, 남원읍, 애월읍이 2010년에 비해 2019년에 사육두수가 증가했다는 것을 확인하였다. 읍면동별의 사육두수 현황에서는 서부지역이 동부, 남부, 북부지역보다 많다는 것을 알 수 있었고, 서부지역 중에서도 한림면, 대정읍 지역에 축산업이 다른 지역들보다 밀집되어있는 것을 확인했다.

<그림 II-6> 제주도 총 사육두수

(단위: 두(수)수)



자료 : 정보공개청구(제주시, 서귀포시)



<표Ⅱ-1> 읍면동 사육두수

(단위: 두(수)수)

읍면동 연도	읍면동											
	구좌읍	성산읍	표선면	대정읍	한경면	한림읍	안덕면	남원읍	서귀포시	에월읍	제주시	조천읍
2010	46,051	14,688	25,904	66,722	24,269	226,282	8,324	23,841	23,761	44,711	15,505	23,548
2011	32,777	14,708	16,565	71,842	25,566	237,127	9,329	21,964	23,645	43,556	16,062	22,280
2012	37,073	16,032	19,958	72,506	26,898	242,216	8,774	22,997	22,953	45,079	12,328	20,767
2013	42,519	15,005	20,218	73,886	26,582	251,188	8,899	19,716	21,792	47,491	12,551	23,877
2014	51,824	6,328	19,507	82,243	24,806	252,913	9,137	25,684	19,250	48,845	14,303	22,748
2015	55,648	14,930	19,523	71,645	24,468	246,509	9,175	27,850	21,700	46,965	13,685	19,956
2016	54,827	15,350	20,341	67,105	25,450	260,355	8,722	26,514	22,410	45,064	12,179	22,303
2017	59,516	14,152	24,719	64,608	24,500	269,994	9,286	25,522	19,514	51,225	12,444	21,381
2018	58,711	14,788	28,124	66,248	21,944	283,178	8,848	25,108	18,343	50,054	12,439	18,235
2019	59,922	14,841	27,550	66,635	22,666	265,517	8,709	25,108	21,156	50,131	11,944	17,911

자료 : 정보공개청구(제주시, 서귀포시)

2) 농업현황 : 감귤생산량을 중심으로

제주도의 농업은 주로 밭작물과 감귤로 이루어져 있다. 감귤의 생산량에 따라 농약 등과 같은 농업화학물질로 인해 지하수 수질에 영향을 미칠 수 있어 감귤의 생산량을 알아보았다. 감귤생산량의 데이터는 연산데이터를 사용하여 동일한 해에 농업생산 활동으로 인한 오염 배출이 지하수 수질오염에 영향을 미칠 수 있다는 가정을 하였다. <그림Ⅱ-7>은 제주도 전체 감귤생산량을 살펴보고, <표Ⅱ-2>는 읍면동별 감귤생산량을 파악하였다. 먼저 제주도 전체 감귤생산량은 2010년부터 높은 수치로 증가하고 있다가 2013년에 근소하게 감소하였다. 2014년도에 가장 높은 수치를 기록했지만, 그 이후로 점점 감소하다 2017년에는 관측한 연도 중 가장 낮은 수치를 보였다. 최근 2018년부터 다시 점차 증가한 모습을 보인다.

읍면동별 감귤생산량을 살펴보면 동부지역인 구좌읍은 2011년과 2012년에 증가하였고, 2013년에 감소하였지만 2014년에 다시 증가하였다. 하지만 2018년 증가한 것 이외에 2015년부터 2019년까지는 감소하는 추세를 보여주고 있다. 성산읍의 경우 2011년부터 2013년까지는 증가하는 모습을 보였고 2014년부터 2016년까지는 감소하는 모습을 보였다. 그 후에는 다시 증가하는 모습을 보여주고 있다. 표선면은 2011년에 증가하고 2012년 감소하였다. 그 후 2013년에 다시 증가하였지만 2017년까지 계속 감소하는 형태를 보이다가 2018년부터 2019년까지 증가하는 형태를 보였다.

서부지역인 대정읍은 2011년에 증가하여 2012년에 감소하였고, 2013년에 다시 증가하였는데 2015년을 제외한 이러한 증가추세는 2019년까지 꾸준히 보여주고 있다. 한경면의 경우 2011년에서 2012년까지는 증가하였고, 2013년에 감소하였지만, 2014년에 다시 증가하였는데 2019년까지 이러한 반복적인 증감형태를 보여주고 있다. 한림읍은 2011년에 감소하여 2012년에 다시 증가하였는데, 2017년까지 반복적인 추세를 보이다가 2018년에 이어 2019년까지 다시 증가하였다.

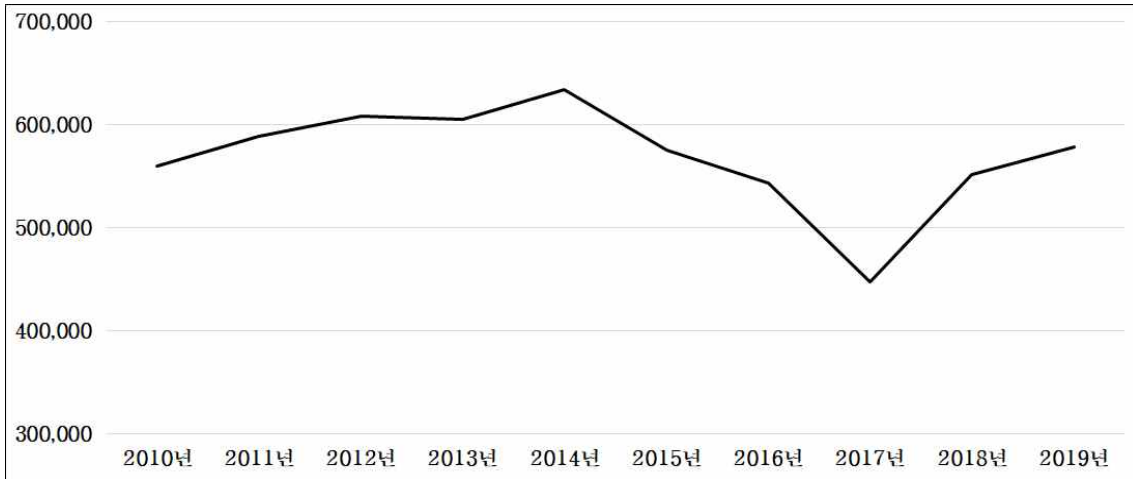
남부지역인 안덕면은 2011년에 증가하고 2012년에 감소하였다. 그 이후 2013년과 2014년에 다시 증가하였고, 2015년, 2016년에 다시 감소하였다. 2017년 이후에 다시 증가하는 반복적인 모습을 보인다. 12개 행정구역 중 감귤생산량이 가장 많은 남원읍은 2010년부터 2013년까지 증가하였고, 그 후에는 반복적인 증감추세를 보여주고 있다. 서귀포의 경우 2011년에 증가하여 2012년에 감소하였지만, 2013년에 다시 증가 하였다. 그 이후에 2017년까지 지속적인 감소하는 모습을 보이다가 2018년 이후에 다시 증가하였다.

북부지역 중 애월읍은 2011년에 감소하는 모습을 시작으로 꾸준한 증감추세를 보여주고 있다. 제주시는 2011년에 증가하는 모습으로 2012년까지 증가하였다가 2013년부터 감소하였고, 그 이후 증감이 반복하는 모습이 나타나고 있다. 조천읍은 2011년에 감소하고, 2012년에 다시 증가 하였다. 2018년까지 증가와 감소를 반복하다가 2019년에는 감소하였다. 연도별의 감귤생산량 현황을 보면 성산읍, 표선면, 대정읍, 한경면, 한림읍, 안덕면, 서귀포시, 조천읍이 2010년에 비해 2019년에 생산량이 증가했다는 것을 확인하였다. 읍면동별의 감귤생산량 현황에서는 남부지역이 동부, 서부, 북부지역보다 많다는 것을 알 수 있었다. 그리고 남부지역 중에서도 남원읍과 서귀포시 지역의 감귤생산량이 다른 지역들보다 높아 감귤농업이 밀집되어있는 것

을 확인했다.

<그림 II-7> 제주도 감귤총생산량

(단위: 톤)



자료 : 정보공개청구(제주시, 서귀포시)

<표 II-2> 읍면동 감귤생산량

(단위: 톤)

읍면동 연도	구좌읍	성산읍	표선면	대정읍	한경면	한림읍	안덕면	남원읍	서귀포시	애월읍	제주시	조천읍
2010	1,908	30,161	45,509	19,939	23,463	15,433	28,240	162,903	101,542	50,638	36,802	43,455
2011	1,953	33,440	46,076	21,245	24,095	12,800	29,892	177,407	114,279	49,708	38,108	39,761
2012	2,741	34,617	45,300	20,405	28,067	16,072	29,619	181,205	104,986	50,592	45,038	49,303
2013	2,544	34,954	47,195	22,114	23,660	13,971	31,357	204,174	105,068	39,825	36,621	43,278
2014	3,304	33,364	45,493	22,495	31,908	18,521	31,477	186,374	105,068	52,377	48,220	55,062
2015	2,998	28,554	42,571	17,197	21,742	13,389	24,908	186,908	98,149	45,319	44,214	48,851
2016	1,239	23,809	39,496	18,848	30,311	16,730	22,740	153,019	90,762	53,474	45,375	47,636
2017	825	23,839	34,873	19,597	5,365	14,510	22,889	176,415	73,236	45,020	24,292	6,988
2018	2,496	33,085	46,112	26,138	27,083	17,534	32,640	132,318	90,800	49,196	40,899	52,689
2019	799	38,432	52,373	26,923	26,145	17,666	38,062	159,857	102,188	49,018	21,860	44,500

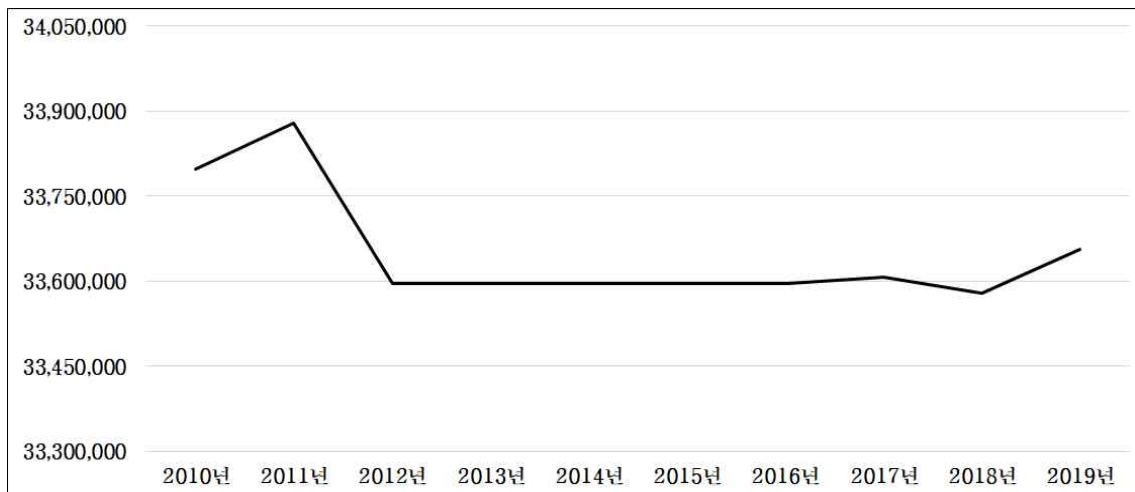
자료 : 정보공개청구(제주시, 서귀포시)

#### 4. 골프장 면적 현황

골프장에서 잔디관리 목적의 농약사용으로 인한 지하수 오염을 유발할 수 있다고 판단되어, 수질오염 변화를 알아보기 위해 골프장 면적을 조사하였다. <그림 II-8>에서 제시된 제주도 골프장 전체면적은 2010년과 2011년에 면적이 가장 넓었고, 2012년부터 급격히 감소한 후 변화가 없었다가 2018년에 조금 상승하는 것으로 나타났다. <표 II-3>은 읍면동별로 골프장 면적을 나타내었는데, 전체적인 변화는 크지 않지만, 제주도 골프장 전체면적에 영향을 주는 지역은 구좌읍과 한림읍으로 판단된다.

<그림 II-8> 제주도 골프장 전체면적

(단위: m<sup>2</sup>)



자료 : 제주도청 자료실(도시건설과)

<표 II-3> 읍면동 골프장 면적

(단위: m<sup>2</sup>)

읍면동 연도	읍면동											
	구좌읍	성산읍	표선면	대정읍	한경면	한림읍	안덕면	남원읍	서귀포시	애월읍	제주시	조천읍
2010	1,728,257	-	2,305,326	-	1,293,050	2,147,608	4,577,381	3,777,213	4,895,742	3,688,614	5,675,615	3,709,658
2011	1,723,700	-	2,310,213	-	1,293,050	2,156,378	4,577,381	4,059,573	4,895,742	3,681,528	5,471,815	3,709,658
2012	1,723,700	-	2,310,213	-	1,293,050	2,156,378	4,577,381	4,059,573	4,895,742	3,681,528	5,188,295	3,709,658
2013	1,723,700	-	2,310,213	-	1,293,050	2,156,378	4,577,381	4,059,573	4,895,742	3,681,528	5,188,295	3,709,658
2014	1,723,700	-	2,310,213	-	1,293,050	2,156,378	4,577,381	4,059,573	4,895,742	3,681,528	5,188,295	3,709,658
2015	1,723,700	-	2,310,213	-	1,293,050	2,156,378	4,577,381	4,059,573	4,895,742	3,681,528	5,188,295	3,709,658
2016	1,723,700	-	2,310,213	-	1,293,050	2,156,378	4,577,381	4,059,573	4,895,742	3,681,528	5,188,295	3,709,658
2017	1,723,700	-	2,310,213	-	1,293,050	2,156,378	4,577,381	4,071,046	4,895,742	3,681,528	5,188,295	3,709,658
2018	1,723,700	-	2,308,213	-	1,293,050	2,156,378	4,577,381	4,049,461	4,891,551	3,681,528	5,188,295	3,709,658
2019	1,723,700	-	2,304,096	-	1,292,392	2,147,608	4,588,927	4,049,461	4,936,291	3,681,528	5,224,749	3,708,645

자료 : 제주도청 자료실(도시건설과)

5. 연평균강수량(Average Annual Precipitation)

제주기상청에서 2010년부터 2019년까지의 제주도 전체 강수량 데이터를 구할 수 있었지만, 본 논문에서 정의한 제주도 읍, 면, 동 12개 행정구역별로는 강수량 데이터가 제공되지 않았다. <그림 II-9>를 보면 제주도 연간 평균 강수량은 서귀포지역과 성산지역이 높다. 2010년부터 2019년까지의 현황을 살펴보면 2013년도에 전체적으로 평균 강수량이 내려갔고, 2014년에는 성산지역과 서귀포지역 눈에 띄게 높아진 것을 볼 수 있다. 그 이후로 점점 내려가다 2017년에는 2013년 다음으로 평균 강수량이 낮았지만, 그이후로는 다시 점점 높아지는 것으로 나타났다.

<표 II-4> 연 평균 강수량

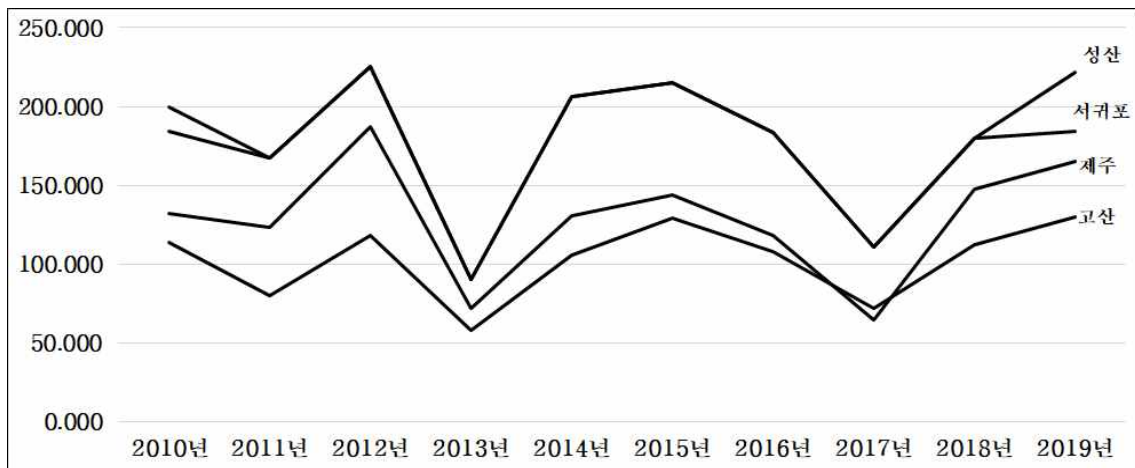
(단위: mm)

	제주	서귀포	고산	성산
2010년	104.9	156.6	94.0	165.3
2011년	98.4	142.3	74.8	142.2
2012년	150.1	194.7	100.8	194.7
2013년	69.6	105.9	60.2	105.9
2014년	94.2	185.9	96.0	185.9
2015년	118.0	212.8	113.9	212.8
2016년	92.2	137.8	84.7	137.8
2017년	59.2	106.6	66.7	106.6
2018년	133.8	157.0	101.1	157.0
2019년	136.6	165.3	118.4	210.3

자료: 제주지방기상청

<그림 II-9> 연 평균 강수량

(단위: mm)



자료: 제주지방기상청

### Ⅲ. 분석모형 및 결과

#### 1. 분석자료

##### 1) 분석자료 설명

본 연구에 사용된 자료의 종속변수인 지하수 수질데이터는 ‘보건환경연구원보’에서 구축했다. 설명변수인 사육두수와 감귤의 면적은 제주시청, 서귀포시청의 ‘정보공개청구’ 자료로 사용하였다. 모든 데이터를 제주도의 12개의 읍면동별로 조사하였는데, 이를 구좌읍, 성산읍, 표선면, 한림읍, 한경면, 대정읍, 안덕면, 남원읍, 애월읍, 조천읍, 제주시내와 서귀포시내로 구분하였다. 그리고 제주시와 서귀포시의 경우 보건환경연구원에서 조사한 지하수관정을 기준으로 설정하였다. 제주시는 노형동, 외도동, 봉개동, 이호동, 아라동, 오라동이 포함되어있고, 서귀포시는 중문동, 영천동, 대천동, 송산동, 예래동이 포함되어있다. 제주보건환경연구원보의 지하수 수질을 11개월 기간 동안 1차, 2차, 3차로 나누어 검사하였다.<sup>7)</sup> 검사한 관정은 총 1,113개 관정이고, 그중 읍면동별에 적합한 관정으로 1,045개의 관정을 대상으로 데이터를 구축하였다. 또한, 보건환경연구원에서 실시한 수질검사를 평균으로 구하여 수질오염 변수에 사용하였다. 수질 오염도 검사 항목에는 기본항목과 휘발성물질, 중금속물질, 농약성분으로 총 60개 정도의 항목을 측정하였지만, 본 논문에서는 환경부의 먹는 물 수질기준<sup>8)</sup>에서 빗물과 해수의 혼입, 분뇨, 비료 사용 등으로 영향력이 있는 무기물질에 속한 수질 항목인 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )과, 심미적영향물질에 속한 수소이온농도(pH), 염소이온( $\text{Cl}^-$ ), 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ )만 분석에 이용하였다.

7) 수질연구과, ‘지하수 수질 모니터링 결과’, 보건환경연구원보 제21권-제30권

8) 질산성질소 10mg/l, 수소이온농도(pH) 5.8~8.5, 염소이온 250mg/l, 황산이온 200mg/l

<표Ⅲ-1> 변수 설명

변수	변수설명	
구분	변수명	비고
종속변수	$Y_{it}$	pH, Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
설명변수	$Total_{it}$	돼지와 소의 총 사육두수
	$product_{it}$	감귤생산량
	$cc_{it}$	골프장 면적
	$aap_{it}$	연평균강수량

\* 주 : 보건환경연구원보 제21권-제30권, 정보공개청구(제주시, 서귀포시), 제주도청 자료실(도시건설과), 제주지방기상청

\*  $i=(1,2,\dots,12)$  읍면동 데이터,  $t=(1,2,\dots,10)$  2010년부터 2019년까지의 시간데이터,  $n=120$

<표Ⅲ-2> 각 변수의 기초통계량

Variable	Mean	Std.Dev.	Min	Max
pH	7.7	0.18	7.2	8.1
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	12.8	5.68	5.9	38.3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N(mg/l)	21.6	16.33	1.2	88.7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	3.9	3.04	1.1	25.7
총 사육두수 (두수)	48071.7	66144.99	6328	283178
감귤생산량 (톤)	47319.74	44994.80	798.8	204174
골프장 면적 (m <sup>2</sup> )	2804156	1753390.00	0	5675615
연평균강수량 (mm)	146.5	49.11	58.1	225.1

<표Ⅲ-1>은 본 논문에 사용되는 변수이고, <표Ⅲ-2>는 전체 변수에 대한 기초통계량을 제시했다. 각 읍면동의 총 사육두수는 돼지와 소를 합산한 두수이며 제주시청과 서귀포시청의 정보공개포털에 청구하여 제주도 전체 읍, 면, 동으로 돼지와 소의 사육두수와 농가 수 자료를 수집했다. 지하수 오염에 있어 축산업으로 인한 오염과 농업의 오염이 있는데, 농업 쪽에서는 주로 발작물에 비료를 사용한 지하수 오염자료들이 있다(오윤근 외 1997, 유훈선 외 2010). 본 논문에 발작물 데이터를



사용하려 했지만, 제주시와 서귀포시의 자료는 있으나 읍, 면, 동으로 구성된 데이터를 확보함에 어려움이 있어 제주도에 수확량이 많은 감귤의 생산량을 이용하였다. 감귤생산량은 사육두수와 같은 행정구역으로 나뉘어 2010년부터 2019년까지 노지온주와 하우스, 만감류 전체 포함한 데이터를 이용하였다. 골프장은 제주도 행정구역 기준으로 각 골프장의 면적을 사용하였다. 연평균강수량은 제주기상청사이트에 제주지역, 서귀포지역, 고산지역, 성산지역의 데이터로 나와 있어 애월읍, 조천읍, 제주시내에 각각 제주지역 강수량을 대입하였고 서귀포시내, 안덕면, 남원읍에는 서귀포지역 강수량을 대입하였다. 그리고 서부지역인 한림읍, 한경면, 대정읍은 고산지역의 강수량데이터를 적용하였고, 동부지역인 구좌읍, 성산읍, 표선면에는 성산지역의 강수량데이터를 적용하여 각 지역의 연간 평균 강수량을 구하여 사용하였다.

## 2) 변수 간의 상관관계 분석

종속변수인 수질오염도가 서로 상관관계가 존재하고 있는지, 수질오염도와 설명변수인 총 사육두수, 감귤생산량, 골프장 면적, 연평균강수량 사이의 상관관계분석을 실시하여 두 변수 간의 상관관계를 <표Ⅲ-3>과 같이 분석하였다. 그 결과, 먼저 종속변수인 수질오염도 간의 분석을 살펴보았을 때 Cl<sup>-</sup>의 상관관계 분석에서 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이 r=0.783 p=0.0000으로 종속변수 간의 상관관계 중 가장 높은 양(+)의 상관관계를 나타내고 있다. 다음으로 NO<sub>3</sub>-N가 두 번째로 높은 양(+)의 상관관계로 보여주고, 두 가지 변수 모두 1% 유의확률에서 만족하고 있다. 반대로 pH의 상관분석에서는 NO<sub>3</sub>-N은 가장 낮은 양(+)의 상관관계를 나타내고 있고 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 관계에서는 음(-)의 값을 보여주고 있다. 하지만 모든 변수가 유의확률을 만족하지 못하고 있다.

종속변수 간의 상관관계분석에서 Cl<sup>-</sup>이 증가하면 NO<sub>3</sub>-N와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>도 증가하는 것을 확인했다. 종속변수와 설명변수 간의 분석에서는 농·축산업에 대표적인 오염물질인 NO<sub>3</sub>-N와 총 사육두수가 r=0.4567, p=0.0000으로 가장 높은 양(+)의 상관관계를 보인다. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>와 총 사육두수 사이의 상관관계는 r=0.3044, p=0.0000로 두 번째로 높은 양(+)의 상관관계를 나타내고 있다. 반대로 Cl<sup>-</sup>와 골프장 면적의 상관관계는 -0.7395, p=0.000로 가장 높은 음(-)의 관계를 갖고 있다. Cl<sup>-</sup>와 감귤생산량은 가장

낮은 음(-)의 관계이고, 유의확률은 1% 미만에서 만족하고 있다. 이러한 종속변수와 설명변수의 상관관계분석결과, 질산성질소와 황산이온이 총 사육두수와 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 확인됐다.

<표Ⅲ-3> 종속변수와 설명변수의 상관분석

	pH	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-n</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	총 사육두수	감귤생산량	골프장 면적	연평균 강수량
pH	1							
Cl <sup>-</sup>	0.0661	1						
NO <sub>3</sub> <sup>-n</sup>	0.0265	0.5341***	1					
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.0199	0.7283***	0.5047***	1				
총 사육두수	-0.1056	0.2660***	0.4567***	0.3044***	1			
감귤생산량	-0.3348***	-0.5632***	-0.2489***	-0.3761***	-0.2705***	1		
골프장 면적	0.0052	-0.7395***	-0.3627***	-0.5099***	-0.2345***	0.4544***	1	
연평균 강수량	-0.014	-0.1099	-0.1704*	-0.2679***	-0.3237***	0.2711***	0.1481	1

\* 주 : 보건환경연구원보 제21권-제30권, 정보공개청구(제주시, 서귀포시), 제주도청 자료실(도시건설과), 제주지방기상청

\* 유의수준 \*p<0.1, \*\*p<.05, \*\*\*p<0.01

## 2. 분석모형

본 연구에 사용되는 모형은 패널데이터를 통하여 실증분석을 할 것이다. 패널데이터는 횡단면 자료의 특성과 시계열 자료의 특성을 동시에 갖고 있어 이를 이용한 분석이 선호되고 있다. 먼저, 기본적인 식(1)과 같은 선형회귀모형을 통해 PooledOLS(Ordinary Least Squares) 모형을 추정할 수 있으나 자료의 집단이나 시간에 대한 이분산성을 고려하지 못한다.

그러므로 식(1)의 오차항  $\epsilon_{it}$ 의 가정에 따라 고정효과모형과 확률효과모형으로 나눌 수 있으며, 그전에 식(1)의 오차항으로 고정효과모형과 확률효과모형을 추정할 수 있다. 식(1)의 오차항  $u_i$ 는 패널개체에 따라서 이분산성이 나타나지만 하나의 패널개체 내에서 시간에 따라 변하지 않는 특성을 갖고 있다. 오차항  $\epsilon_{it}$ 은 패널개체와 시간에 따라 변하는 순수한 오차항(Idiosyncratic Error Term)을 뜻하고 있다.

$$Y_{it} = \alpha + \beta x_{it} + u_i + \epsilon_{it} \quad (1)$$

### 1) 고정효과모형(Fixed Effect Mode)

위 식(1)에서 오차항  $u_i$ 를 확률변수가 아니라 추정해야하는 파라미터(Parameter)로 간주하여 고정효과모형으로 추정할 수 있다. 하지만, 그전에 고정효과모형을 구하려면 먼저 평균효과모형(Between Effect Model)을 구해야 하는데, 이는 패널개체 간의 변동을 고려하는 모형으로 식(1)을 식(3)로 변환하였다. 이는 각 개체의 시계열 관측치 그룹의 평균값을 이용하여 계수를 추정한다(민인식·최필선, 2018).

고정효과모형에 대해서는 식(1)을 식(2)과 같이 표현할 수 있다. 이 모형을 추정하기 위해서 첫 번째 방법은  $u_i$ 를 모형에서 제외하는 변환(Transformation)을 사용하는 것이다. 식(2)에서 평균효과모형인 식(3)를 빼주면 Within Transformation을 적용한 식(4)의 추정모형 된다. 식(4)를 보면  $u_i$ 가 사라진 것을 볼 수 있다. 따라서  $cov(x, u_i) \neq 0$  이더라도 OLS 추정으로  $\beta$ 에 대한 일치추정량을 구할 수 있고, 추정결과를 이용해 각 패널 개체별 특성인  $u_i$ 를 사후적으로 계산할 수 있다. 그 외 두 번째로는  $u_i$ 를 직접 추정하는 방법이 있다.

$$Y_{it} = (\alpha + u_i) + \beta x_{it} + \epsilon_{it} \quad (2)$$

$$\bar{Y}_i = \alpha + \beta \bar{x}_i + u_i + \bar{\epsilon}_i \quad (3)$$

$$(Y_{it} - \bar{Y}_i) = \beta(x_{it} - \bar{x}_i) + (\epsilon_{it} - \bar{\epsilon}_i) \quad (4)$$

## 2) 확률효과모형(Random Effect Model)

고정효과모형은 식(1)의 오차항  $u_i$ 를 확률변수(Random Variable)로 가정하는 것을 확률효과모형이라고 한다. 확률효과모형에서 오차항  $u_i$  분포는 일반적으로  $u_i \sim N(0, \sigma_u^2)$ ,  $\epsilon_{it} \sim N(0, \sigma_\epsilon^2)$ 으로 가정된다. 확률효과모형에서는 식(2)의  $(\alpha + u_i)$ 를 확률변수로 설정한다. 식(1)의 확률효과모형을 OLS로 추정하게 된다면, 오차항의 1계 자기상관문제가 발생하게 되면서 효율적인 추정량을 구할 수 없게 된다. 효율적인 추정량을 얻기 위해서는 일반최소자승법(GLS : Generalized Least Squares)을 적용해야 한다.

확률효과모형에서 얻은 추정량은 평균효과모형 추정량보다 효율적이다. 왜냐하면 평균효과모형에서는 그룹별 평균만을 변수로 사용하여 추정하는데, 확률효과모형은 그룹 간(between) 정보와 그룹 내(within) 정보를 모두 사용하는 장점이 있기 때문이다. 그리고  $cov(x_{it}, u_i) = 0$  가정이 성립하게 된다면 고정효과 추정량에 비해 확률효과모형의 추정량이 더 효율적인 추정량으로 볼 수 있다.<sup>9)</sup> 하지만, 반대로  $cov(x_{it}, u_i) \neq 0$ 이 성립하지 않는다면 확률효과모형의 추정량은 일치추정량이 되지 못한다는 단점이 있어 이 같은 경우 고정효과를 더 선호한다. 이런 선택을 결정하는 방법이 하우스만 검정(Hausman Test)이다.

9) 고정효과모형에서 패널개체 더미변수를 포함하고 추정하여 패널개체 수만큼 자유도 손실이 발생하게 되어 효율성에 영향을 미칠 수 있다.

### 3) 하우스만 검정(Hausman Test)

하우스만 검정의 귀무가설과 대립가설은 다음과 같다.

$$H_0 : cov(x_{it}, u_i) = 0, H_1 : cov(x_{it}, u_i) \neq 0$$

귀무가설이 성립하면 확률효과모형이 더 효율적이고, 그렇지 않다면,  $H_1$  하에서 일치추정량을 얻을 수 있는 고정효과 모형을 선택하게 된다. 하우스만 검정통계량을 다음과 같이 제시하였다.  $var(\hat{\beta}_{FE})$ 와  $var(\hat{\beta}_{RE})$ 는 각각 고정효과모형의 계수( $\hat{\beta}_{FE}$ )의 점근적 분산과 확률효과모형의 추정계수( $\hat{\beta}_{RE}$ )의 점근적 분산을 나타내고 있다. 이때  $var(\hat{\beta}_{FE}) - var(\hat{\beta}_{RE})$ 는 점근적으로 양정부호(Positive Definite)를 취해야 한다(민인식·최필선, 2018). 검정통계량은 카이제곱 분포를 따르고, 이때 분포의 자유도는 상수항을 제외한 설명변수의 개수가 된다.

$$H = (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE})' [var(\hat{\beta}_{FE}) - var(\hat{\beta}_{RE})]^{-1} (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE})$$

## 3. 분석결과

### 1) 고정효과모형결과

<표Ⅲ-4>은 종속변수가  $Cl^-$ ,  $NO_3-n$ ,  $SO_4^{2-}$ , pH이고 독립변수가 총 사육두수, 감귤생산량, 골프장 면적, 강수량일 때 고정효과모형 추정결과이다. 총 두 가지 변수에서 유의한 영향이 나타났다. 첫 번째로 질산성질소에 유의하게 영향을 주는 변수는 총 사육두수이므로 총 사육두수가 증가할수록 지하수 수질의 오염지표인 질산성질소도 증가하게 되며 유의수준 1% 하에서 통계적으로 유의미하다. 그리고 pH에서 연평균강수량이 10% 수준에서 통계적으로 유의하다는 결과가 도출되었다. 즉, 고정효과모형 분석결과 총 사육두수가 증가할수록 질산성질소 오염에 원인이 되고, pH는 연평균강수량에 의해 오염이 되는 것으로 분석되었다.

<표Ⅲ-4> 고정효과모형 분석결과

	pH			Cl <sup>-</sup>		
	계수	표준오차	t통계량	계수	표준오차	t통계량
총 사육두수	4.50E-07	2.2	0.20	2.64E-05	48.7	0.54
감귤생산량	2.13E-06	1.41	1.51	2.54E-05	31.3	0.81
골프장 면적	1.25E-07	0.228	0.55	-3.73E-08	5.06	-0.01
연평균강수량	0.000624	328.9	1.90*	0.008412	7286	1.15
_cons	7.124942	645450.9	11.04***	9.211545	14298380	0.64
	NO <sup>3</sup> -N			SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		
	계수	표준오차	t통계량	계수	표준오차	t통계량
총 사육두수	0.000862	211.8	4.07***	-1.2E-05	35.9	-0.34
감귤생산량	-2.9E-05	136.1	-0.21	1.88E-05	23	0.82
골프장 면적	-1.6E-05	22	-0.74	2.09E-06	3.72	0.56
연평균강수량	0.02283	31666.1	0.72	0.008827	5362.7	1.65
_cons	23.84547	62143100	0.38	-3.56473	10524060	-0.34

\* 주 : 보건환경연구원보 제21권-제30권, 정보공개청구(제주시, 서귀포시), 제주도청 자료실(도시건설과), 제주지방기상청

\* 유의수준 \*p<0.1, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

## 2) 확률효과모형결과

<표Ⅲ-5>는 종속변수가 Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub>-n, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, pH이며 독립변수가 총 사육두수, 감귤생산량, 골프장 면적, 강수량일 때 확률효과모형의 분석결과이다. 종속변수인 제주도 지하수 수질지표에 적어도 한 개 이상의 설명변수가 유의한 영향을 미치는 결과를 나타내고 있다. pH에 영향을 주는 변수는 연평균강수량으로 10% 유의수준에 유의한 영향을 주고 있다. 염소이온은 골프장 면적에 1% 유의수준으로 음(-)의 영향을 받는 것으로 분석되었다. 염소이온의 변수는 해수침투로 인한 자연기원의 오염물질이기 때문에 골프장 면적이 염소이온에 대해 음(-)의 영향으로 미치는 것으로 판단된다. 농·축산업의 대표적인 수질오염지표인 질산성질소에 영향을 주는 변수

는 총 사육두수에만 나타났다. 총 사육두수가 증가할수록 지하수 수질의 오염지표인 질산성질소가 증가하여 이는 유의수준 1% 하에서 통계적으로 유의미하다. 이는 고정효과모형의 유의수준과 같다. 황산이온에서는 골프장 면적이 황산이온에 대해 음(-)의 영향을 주는 것으로 보이고 있고, 1% 유의수준에서 유의하다는 결과가 나왔다.

<표Ⅲ-5> 확률효과모형 분석결과

	pH			Cl-		
	계수	표준오차	z통계량	계수	표준오차	z통계량
총 사육두수	-1.86E-07	0.574	-0.32	9.96E-06	12.5	0.80
감귤생산량	-8.02E-07	0.811	-0.99	-1.9E-05	17.6	-1.06
골프장 면적	6.76E-09	0.0235	0.29	-2.11E-06	0.511	-4.14***
연평균강수량	0.000616	324.3	1.90*	0.009654	7023.7	1.37
_cons	7.626122	95368.3	79.96***	17.72312	2071821	8.55***
	NO <sup>3</sup> -N			SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		
	계수	표준오차	z통계량	계수	표준오차	z통계량
총 사육두수	0.000115	37	3.10***	8.61E-06	6.19	1.39
감귤생산량	-5.31E-06	56.4	-0.09	-6.99E-06	9.45	-0.74
골프장 면적	-2.39E-06	1.49	-1.60	-7.34E-07	0.25	-2.94***
연평균강수량	0.016023	30588.1	0.52	0.003066	5179.8	0.59
_cons	20.66441	6891819	3.00***	5.415424	1158490	4.67***

\* 주 : 보건환경연구원보 제21권-제30권, 정보공개청구(제주시, 서귀포시), 제주도청 자료실(도시건설과), 제주지방기상청

\* 유의수준 \*p<0.1, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

### 3) 분석결과모형 검증

pooled OLS모형과 고정효과모형, 확률효과모형 중 어떤 모형이 적합한지 보기 위해 각 종속변수 기준으로 분석하였다. 먼저 pooled OLS와 고정효과 모형을 F-test



를 통해 비교하였다. pH, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-n</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 모두 1% 유의수준에서 귀무가설을 기각하게 되어 고정효과모형을 권장하고 있다. 다음 확률효과모형과 pooled OLS 중 어느 모형이 적합한지에 대해서 Breush-Pagan LM test로 비교해보았다. 그 결과, 앞에 F-test와 같은 결과가 나왔다. 모든 수질오염변수에서 1% 유의수준에 유의하므로 귀무가설을 기각하여 확률효과모형이 적합하다.

마지막으로 고정효과모형과 확률효과모형 중 어느 것이 적합한지에 대해서 Hausman Test를 하였다. Cl<sup>-</sup> 경우 p값이 0.4823으로 1, 5, 10%의 모든 유의수준에서 유의한 값을 갖지 못하므로 귀무가설을 기각하지 못한다. 그러므로 확률효과모형이 더 적합한 것으로 나타나고 있다. NO<sub>3</sub><sup>-n</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, pH는 모든 유의수준에 유의하게 되므로 고정효과모형을 사용하는 것이 적합하다 분석되었다. NO<sub>3</sub><sup>-n</sup>의 p값은 0.0059로 나타나고 있고, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 결과의 p값은 0.0000, pH의 p값은 0.0078로 나타났다. 위 결과 모두 모든 유의수준에 유의한 값을 갖게 되어 귀무가설을 기각하게 되어 고정효과모형이 적합하다.

즉, 하우스만 검정의 분석결과에서 염소이온은 확률효과모형을 사용하는 것이 더 적합하고, pH와 질산성질소, 황산이온은 고정효과모형을 사용하는 것이 더 적합하다고 분석되었다. 하지만 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>은 고정효과모형 결과에서 유의하지 않는 결과로 나와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>은 설명변수의 영향으로 오염이 되지 않는 것으로 나타나므로 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>에 대한 수질오염 영향변수는 추후 분석이 필요하다.

## IV. 요약 및 시사점

본 연구에서는 제주도를 12개의 행정구역으로 나뉘어 2010년부터 2019년까지의 각 관정의 지하수 수질 오염데이터를 구축하여 제주도 지하수 오염현황을 분석하였다. 현재 문제가 가장 심각한 가축 사육두수 증가와 농업으로 인한 지하수 수질 오염의 데이터를 구축한 후, 패널데이터 모형을 이용해 제주도의 농·축산업이 지하수 수질에 영향을 미치는지에 대해 분석하였다. 또한 골프장의 개발로 인한 지하수 오염과 강수량으로 인한 지하수 수질 오염에 대해서도 함께 분석하였다. 상관관계분석과 패널데이터 분석을 통한 분석결과는 다음과 같다.

농·축산업에 대표적인 오염물질인  $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 총 사육두수 사이의 상관관계는  $r=0.4567$ ,  $p=0.0000$ 로 가장 높은 양(+)의 상관관계를 보였다. 이는 사육두수가 증가할수록 질산성질소도 증가한다는 의미로 수질오염과 관계가 있는 것으로 확인됐다.

고정효과모형과 확률효과모형을 분석한 후, 하우스만 검정(Hausman Test)을 통해 염소이온은 확률효과모형이 더 적합하고, pH와 질산성질소, 황산이온은 고정효과모형이 적합하다는 결과가 나왔다. 확률효과모형의 결과에서 지하수 수질지표 중 질산성질소는 총 사육두수가 증가하면, 질산성질소에 영향을 주는 변수인 것을 확인했다. 이는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하다는 것을 보여줬다. 골프장 면적은 염소이온과 황산이온에 대해 각각 1%의 유의수준 하에서 유의한 영향을 미치고 있다. pH의 경우 10% 수준에서 연평균강수량에 유의한 영향을 받는 것으로 분석되었다.

고정효과모형과 확률효과모형의 분석결과는 차이가 있었으나 총 사육두수가 질산성질소에 영향을 주고 있다는 결과는 공통으로 나타났다. 고정효과모형에서도 1% 유의수준에서 총 사육두수가 질산성질소에 유의한 영향을 주고 있는 것이 확인되었다. 이러한 제주 축산업의 사육두수와 질산성질소에 대한 분석결과는 기존 농·축산업이 지하수 수질에 미치는 영향에 관한 선행연구들과 유사한 결과를 보였다.

본 논문에서는 제주 농·축산업이 일부 수질오염지표에 영향을 미치고 있다는 분석결과를 얻었다. 축산분야에서 한림읍에 있는 가축분뇨 처리시설이 확대되면 가축분뇨 처리가 수월해질 것으로 예상된다. 또한, 제주도는 2017년에 ‘양돈장 적폐 청산 및 재발 방지 대책’ 발표하였다. 대책안 중 ‘사육두수 총량제’는 농가별 가축 사

육두수를 조사하고, 가축분뇨 배출량만큼 사육두수를 인정하는 제도이다. 그리고 국립환경과학원과 제주특별자치도가 협약을 맺어 한림지역을 대상으로 스마트 물 관리인 ‘축산폐수 유출지역에 대한 지하수 수질개선 시범사업’을 계획했다. 이 협약은 시범사업지역 수질개선과 관련한 연구자료 및 결과공유와 축산시설 현황 및 지하수 자료 등 환경정부 공유 등과 같은 계획을 추진할 예정이다. 이러한 여러 가지 정책에 대해 제주도의 사육두수가 감소한다면, 지하수 수질의 향상에도 도움이 될 것이다.

본 논문의 한계점은 농업 분야에서 농약 대신 화학비료로 인한 발작물에 관련된 자료가 공개되지 않아 농업 분야의 오염도를 정확히 파악할 수 없다는 것이다. 따라서 제주도 읍, 면, 동의 발작물 생산량이나 재배면적뿐만 아니라 화학비료 사용량에 대한 데이터가 공개되었으면 한다. 또한 선행연구에서는 농·축산업 분야에서 질산성질소를 질소동위원소자연존재비로 나누어 조사했지만, 본 논문에서는 이를 나누지 않아 정확성이 낮아질 수 있다.

그동안 지하수 수질오염 현황에 대해 과학적으로 접근하는 연구들은 많이 있었으나, 제주도내 축산 및 농업생산과 지하수 수질과의 상관관계와 인과관계를 계량경제학적으로 분석하는 연구는 없었다. 또한, 제주도 지하수 수질에 있어서 읍면동의 패널데이터로 통계적 분석을 한 연구는 제한적이다. 2021년 현재 제주도에서 개인하수처리장으로 인한 지하수 수질오염에 대해서도 많은 문제가 있어 이에 정확한 조사연구가 필요하다. 그리고 제주도 지하수의 특성인 고도별 차이를 반영하고 앞서 언급한 농업환경 데이터가 읍면동 별로 구축된다면 추가적인 연구를 수행할 수 있을 것이다. 이러한 농업환경과 지하수 수질에 관한 연구가 제주도의 청정 이미지를 지켜내는데 기여할 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 김규범, 최두형, 윤필선, 김기영. (2010). ‘국내 오염우려지역의 지하수 수질 추세 특성’, 『한국지반환경공학회 논문집』, 11(3), 5-16
2. 김봉상, 함세영, 이충모, 옥순일, 차은지, 고은지. (2011). ‘제주도 화산암의 광역적 수리 지질과 지하수활용 특성’, 『지질학회지』, vol.47 No.3, 263-276
3. 김연태, 우남철. (2003). ‘축사가 밀집된 농촌지역 천부지하수의 질산염 오염특성’, 『한국지하수토양환경학회지』, vol.8 No.1, 57-67
4. 김연태, 우남철, 이광식, 송윤구. (2005). ‘질산성질소로 오염된 소유역 하천 수질의 계절변화’, 『한국지하수토양환경학회지』, vol.10 No.2, 20-27
5. 김태현, 김성홍, 김길성, 김세라, 광인철, 고용구. (2002). ‘제주도 지하수 수질특성’, 제주특별자치도 보건환경연구원보 제13권, 125-141
6. 김호림, 오준섭, 도현권, 이경진, 현익현, 오상실, 김상규, 윤성택. (2018). ‘제주도 지하수 질산염 농도의 시·공간적 변화 특성 : 장기(1993-2015)모니터링 자료평가’, 『자원환경지질』, 제51권 제1호, 15-26
7. 민인식, 최필선.(2018). ‘stata패널데이터분석’, 지필미디어
8. 송영옥. (2011). 제주지역 골프장 현황 및 잔디관리에 관한 조사연구. 제주대학교 석사학위논문
9. 송영철, 김수정, 서병원, 오현정, 양민영, 현영실. (2018). ‘양돈단지 하류지역 지하수의 오염원평가 - I.질산성질소를 중심으로-’, 제주특별자치도 보건환경연구원보 제29권, 117-132
10. 송영철, 김수정, 서병원, 김병현, 양민영, 현영실. (2019). ‘한림지역 지하수의 질산성질소 변화에 따른 수질특성’, 제주특별자치도 보건환경연구원보 제30권, 123-136
11. 수질연구과. ‘지하수수질 모니터링결과’, 보건환경연구원보 제21권-제30권.
12. 오윤근, 현익현. (1997). ‘ $\delta^{15}\text{N}$ 값을 이용한 제주도 지하수중의 질산성질소오염원에 관한 연구’, 『한국지하수토양환경학회』, vol.4.n.1, 1-4
13. 우남철, 김형돈, 이광식, 박원배, 고기원, 문영석. (2001). ‘지하수 수질관측에 의한 제주도 대정수역의 지하수계 및 오염특성 분석’, 『자원환경지질』, 제34권 제5호, 485-498

14. 유훈선, 강동환, 권병혁, 고동호, 황종환. (2010). ‘합천지역 농촌지하수의 질산성 질소 오염 기원 규명’, 『KSEG Conference』, 391-396
15. 윤정수, 박상운. (1994). ‘제주도 지하수의 지역별 수질특성과 수위변화’, 『해양과환경연구소 연구논문집』, 18:59~84
16. 원정옥. (2013). 국제 골프장의 농약 사용량 및 잔류에 관한 연구. 광운대학교 석사학위논문.
17. 이병대. (2017), ‘제주도 지하수 및 용천수의 수질특성’, 『한국환경과학회 정기 학술대회 발표논문집』, 제26권, p.111
18. 이용두. (2001). ‘고도에 따른 제주도 지하수 수질 특성’, 『한국토양환경학회지』 Vol.5, No.3, 65-75
19. 이정환, 함세영, 김광성, 정재열, 류상민, 김득호, 김현지. (2009). ‘요인분석과 농약성분 특성에 의한 농업지역의 지하수 수질 평가’, 『자원환경지질』, 제42권 제3호, 217-234
20. 현익현, 서병원, 김태현, 송봉협, 강승규, 김수정, 윤성택, 오상실. (2017). ‘가축분뇨 유출지역 지하수의 오염원 추적’, 제주특별자치도 보건환경연구원보 제28권, 111-124
21. 현해남, 고승혁, 오상실. (1994). ‘제주도 지하수중 오염물질의 농도와 토양중 그의 행동에 관한연구 II.서부지역 양돈단지 주변 지하수중의 NO<sub>3</sub> -N농도와 다른 이온과의 관계’, 『Korean J. Environ. Agric』, Vol.13 No.2, 151-159
22. Park, H.-R., Kim, M.-K., & Hong, S.-P. (2015). ‘지하수의 질산염 오염 특성 -옥천지역 사례 연구-’. 『환경영향평가』, 24(1), 87 - 98.
23. 정보공개포털(<https://www.open.go.kr>)
24. 제주 물박물관(<http://www.jpdc.co.kr/watermuseum/kr/resource/underground.htm>)
25. 제주특별자치도. (2019). ‘제주특별자치도 수자원관리 종합계획’
26. 제주도청(<https://www.jeju.go.kr>)
27. 제주지방기상청(<https://www.kma.go.kr/jeju/>)
28. 토양지하수정보시스템, “지하수통계자료”, (<http://sgis.nier.go.kr>)
29. 노컷뉴스(2017.10.19.), <https://www.nocutnews.co.kr/news/4863062>
30. 노컷뉴스(2019.03.20.), <https://www.nocutnews.co.kr/news/5120781>

31. 노컷뉴스(2019.11.08.), <https://www.nocutnews.co.kr/news/5240565>

## 부록

### <부록 1-1> 수질오염도 pH 평균

(단위 :mg/L,pH제외,EC :uS/cm)

읍면동 /년도	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
구좌읍	7.5	7.8	7.8	7.8	7.7	7.8	7.8	7.6	7.7	7.8
성산읍	7.5	7.5	7.8	7.6	7.7	7.6	7.7	7.6	7.6	7.8
표선면	7.4	7.5	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.5	7.5	7.7
대정읍	7.4	7.4	7.7	7.6	7.9	7.6	7.6	7.6	7.6	7.7
한경면	7.6	7.9	7.9	7.7	8.0	7.9	7.7	8.0	7.7	7.8
한림읍	7.6	7.6	7.8	7.6	7.6	7.7	7.6	7.5	7.5	7.6
안덕면	7.7	7.8	7.9	7.9	8.0	7.9	7.7	7.7	7.7	8.0
남원읍	7.2	7.4	7.5	7.6	7.6	7.7	7.6	7.4	7.4	7.4
서귀포시	7.5	7.6	7.6	7.5	7.6	7.7	7.7	7.5	7.5	7.5
애월읍	7.8	7.6	8.0	7.9	8.0	8.1	8.0	7.7	7.7	8.0
제주시	7.6	7.5	7.8	7.5	7.7	7.7	7.5	7.6	7.5	7.7
조천읍	7.8	7.5	8.0	8.0	8.1	8.1	8.0	7.8	7.7	7.9

### <부록 1-2> 수질오염도 NO<sub>3</sub>-N 평균

(단위 :mg/L,pH제외,EC :uS/cm)

읍면동 /년도	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
구좌읍	2.9	5.6	2.8	4.0	5.1	3.5	3.5	3.6	4.1	6.0
성산읍	2.9	6.2	2.1	2.2	2.5	2.7	2.7	3.2	5.2	5.6
표선면	1.6	3.2	1.4	1.2	1.3	1.4	1.4	1.6	1.8	3.2
대정읍	8.6	7.9	5.0	5.9	7.0	9.2	7.4	6.6	11.8	25.7
한경면	5.7	7.3	4.3	5.5	5.4	7.2	7.0	5.3	8.6	11.8
한림읍	4.3	6.5	3.0	3.7	6.6	5.8	5.3	5.3	7.1	10.6
안덕면	2.4	4.4	2.5	1.9	2.5	2.9	2.5	2.3	2.9	4.3
남원읍	1.7	2.9	1.2	1.1	1.2	1.2	1.6	1.2	1.2	1.7
서귀포시	1.9	4.3	1.5	1.7	1.6	1.5	1.5	1.7	2.1	2.9
애월읍	2.3	5.7	2.0	1.6	2.6	2.5	2.1	2.6	2.8	3.8
제주시	3.3	4.5	2.9	1.8	2.8	1.9	2.8	2.2	2.4	4.2
조천읍	2.7	4.9	2.3	2.2	2.3	2.6	2.6	2.2	2.7	4.7

<부록 1-3> 수질오염도 Cl<sup>-</sup> 평균

(단위 :mg/L,pH제외,EC :uS/cm)

읍면동/ 년도	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
구좌읍	19.1	21.5	18.4	25.7	20.7	18.5	16.9	21.5	25.2	23.0
성산읍	23.3	21.5	13.6	15.6	17.1	18.1	17.7	19.0	19.8	25.2
표선면	8.9	8.0	8.5	7.8	7.8	7.6	8.2	8.0	9.0	11.8
대정읍	17.9	16.2	13.2	14.9	14.4	15.1	14.9	14.1	18.6	38.3
환경면	17.3	14.7	14.2	18.4	17.6	18.4	19.8	18.9	22.2	21.2
한림읍	15.4	13.1	10.6	12.7	18.4	15.4	16.7	16.9	19.4	19.9
안덕면	8.7	9.5	8.6	8.2	9.9	10.2	10.2	8.4	10.5	11.9
남원읍	7.6	6.4	6.3	6.1	6.6	6.1	6.4	5.9	6.1	6.8
서귀포 시	8.1	7.8	7.6	8.8	7.9	7.2	7.5	8.1	7.9	10.0
애월읍	11.0	12.3	9.8	8.8	11.4	11.5	11.4	9.0	10.8	9.6
제주시	8.5	8.3	8.4	7.1	7.6	7.6	8.3	6.9	8.0	10.4
조천읍	11.0	12.5	10.5	8.9	9.4	9.4	10.0	9.3	10.4	12.1

<부록 1-4> 수질오염도 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 평균

(단위 :mg/L,pH제외,EC :uS/cm)

읍면동/ 년도	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
구좌읍	26.4	49.0	17.0	27.9	21.8	24.7	24.8	32.5	40.3	26.1
성산읍	26.3	38.9	17.0	23.7	28.3	32.4	35.0	44.4	48.1	25.2
표선면	9.3	29.1	10.0	8.7	9.6	9.9	9.5	13.7	17.7	10.75
대정읍	25.8	23.8	15.0	23.5	34.9	46.0	37.2	26.2	58.6	55.55
환경면	21.1	36.7	34.3	27.5	32.4	35.9	45.7	42.3	77.5	68.2
한림읍	26.0	38.9	24.7	21.9	33.2	34.9	29.2	53.2	61.6	88.7
안덕면	9.7	39.5	23.3	15.1	21.3	25.7	22.9	25.2	31.0	14.8
남원읍	16.6	26.6	14.3	12.2	13.0	13.7	16.3	15.1	16.9	14.45
서귀포 시	21.4	43.3	16.0	18.5	17.0	13.7	14.5	22.2	28.2	28.7
애월읍	18.4	49.4	17.3	14.2	23.4	22.9	19.0	31.3	30.1	23.9
제주시	21.6	45.8	18.7	20.3	21.7	22.5	24.9	21.9	25.5	10.95
조천읍	16.4	42.3	23.3	17.8	19.8	26.3	26.2	25.6	30.0	18.7



<부록 2-1> 제주도 사육두수자료(2010년~2019년)

연도	2010년			2011년			2012년			2013년		
	계	소	폐지	계	소	폐지	계	소	폐지	계	소	폐지
가축 읍면동	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수
계	1,734,363	22,064	356,442	2,374,340	27,881	357,680	2,383,823	29,131	376,361	2,544,061	27,770	389,081
한림읍	799,701	6,249	230,878	1,147,423	7,614	234,602	1,203,188	7,990	243,198	1,231,913	7,140	245,773
에월읍	216,703	3,272	40,284	242,995	4,412	40,667	276,691	4,486	43,005	263,045	4,272	44,573
구좌읍	262,436	3,697	29,080	407,549	4,685	32,388	494,019	4,689	37,830	623,624	5,084	46,740
조천읍	250,126	3,783	18,497	327,697	4,625	16,142	315,617	5,477	18,400	326,331	5,236	17,512
한경면	151,102	1,646	23,920	196,122	2,338	24,560	78,582	2,337	24,245	82,006	2,046	22,760
봉개동	6,754	1,384	21	7,879	1,778	62	1,967	1,782	115	2,455	1,836	99
아라동	12,049	752	1,554	16,279	1,035	1,828	2,991	955	2,036	1,855	655	1,200
오라동	1,736	65	30	1,672	56	19	243	46	77	138	20	73
노형동	16,258	852	11,336	11,219	836	6,683	8,116	845	6,683	10,940	775	9,629
외도동	1,889	66	-	551	30	-	12	12	-	16	16	-
이호동	70	2	-	84	1	-	-	-	-	-	-	-

연도 가축 읍면동	2014년			2015년			2016년			2017년		
	계	소	돼지	계	소	돼지	계	소	돼지	계	소	돼지
	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수
계	2,223,758	25,875	382,499	2,401,039	23,811	396,870	2,600,966	24,921	414,444	2,711,385	22,131	422,759
한림읍	965,009	6,942	239,567	1,171,955	6,495	253,860	1,175,994	6,374	263,620	1,306,878	6,078	277,100
애월읍	273,465	3,710	43,255	258,564	3,572	41,492	236,025	4,053	47,172	184,114	4,095	45,959
구좌읍	555,248	4,803	50,845	554,442	3,937	50,890	804,481	4,139	55,377	845,911	4,094	54,617
조천읍	326,506	5,161	14,795	313,403	4,793	17,510	311,281	5,595	15,786	300,135	3,508	14,727
한경면	87,468	1,890	22,578	88,750	1,649	23,801	59,550	1,709	22,791	59,744	1,959	19,985
봉개동	1,967	1,560	92	2,024	1,624	100	2,049	1,799	50	1,594	1,294	-
아라동	1,507	507	1,000	1,439	439	1,000	1,721	461	1,200	2,399	421	1,536
오라동	170	14	106	38	17	1	50	13	7	117	17	-
노형동	10,922	736	9,650	9,475	768	8,216	9,431	464	8,441	9,659	333	8,835
외도동	20	20	-	14	14	-	9	9	-	3	3	-
이호동	3	-	-	-	-	-	-	-	-	43	-	-

연도	2018년			2019년		
가축 읍면동	계	소	돼지	계	소	돼지
	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수
계	2,698,402	22,226	406,210	2,634,563	22,231	414,146
한림읍	1,307,217	6,353	259,164	1,283,421	6,291	264,430
애월읍	224,081	4,169	45,962	198,309	3,810	49,582
구좌읍	834,922	4,004	55,918	828,221	4,198	55,143
조천읍	295,661	3,491	14,420	285,502	3,582	15,330
한경면	23,016	1,721	20,945	22,715	1,745	20,970
봉개동	1,272	1,254	18	6,065	1,495	45
아라동	2,348	408	1,660	912	386	396
오라동	10	-	-	12	12	-
노형동	9,047	481	8,123	231	231	8,250
외도동	-	-	-	-	-	-
이호동	-	-	-	-	-	-

<부록 2-2> 서귀포시 사육두수자료(2010년~2019년)

연도 가축 읍면동	2010년			2011년			2012년			2013년		
	계 두(수)수	소 두(수)수	돼지 두(수)수	계 두(수)수	소 두(수)수	돼지 두(수)수	계 두(수)수	소 두(수)수	돼지 두(수)수	계 두(수)수	소 두(수)수	돼지 두(수)수
계	158,053	16,170	163,220	163,220	16,944	147,169	163,220	16,944	16,408	422,120	14,063	146,334
대정읍	71,842	2,820	72,506	72,506	2,896	69,610	72,506	2,896	2,896	105,601	2,826	71,060
남원읍	21,964	2,964	22,997	22,997	3,187	19,810	22,997	3,187	3,187	25,766	104	19,612
성산읍	14,708	1,912	16,032	16,032	2,464	13,568	16,032	2,464	2,464	196,505	2,665	12,340
안덕면	9,329	4,747	8,774	8,774	4,272	4,502	8,774	4,272	4,112	9,059	4,429	4,470
표선면	16,565	1,867	19,958	19,958	2,274	17,684	19,958	2,274	1,898	56,711	2,217	18,001
송산동	35	35	39	39	39	-	39	39	39	32	32	-
영천동	609	9	566	566	10	556	566	10	10	-	-	-
대천동	1,303	233	1,068	1,068	218	850	1,068	218	218	5,087	187	800
중문동	18,326	1,156	18,219	18,219	1,170	17,049	18,219	1,170	1,170	18,148	1,172	16,976
예래동	3,372	266	3,061	3,061	261	2,800	3,061	261	261	2,785	275	2,350

연도 가축 읍면동	2014년			2015년			2016년			2017년		
	계	소	돼지	계	소	돼지	계	소	돼지	계	소	돼지
	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수
계	493,684	15,426	149,561	486,257	15,134	145,829	452,239	15,883	142,301	458,618	17,882	143,999
대정읍	96,045	2,318	69,327	92,105	2,002	65,103	68,488	2,011	62,597	89,593	2,190	64,058
남원읍	59,361	3,385	24,465	39,529	3,327	23,187	52,027	4,055	21,467	51,613	3,804	21,304
성산읍	226,930	1,696	13,234	217,350	1,585	13,765	207,219	1,722	12,430	184,670	1,937	12,851
안덕면	9,216	4,675	4,500	8,746	4,622	4,100	9,435	4,686	4,600	8,848	4,601	4,247
표선면	75,558	1,988	17,535	98,285	1,950	18,391	88,985	1,970	22,749	102,073	4,053	24,071
송산동	-	-	-	35	35	-	17	17	-	-	-	-
영천동	407	7	200	407	7	200	231	7	200	304	5	265
대천동	5,363	83	780	5,978	78	900	3,867	60	750	-	-	-
중문동	18,171	1,101	17,070	18,710	1,097	17,613	15,963	1,153	14,795	15,541	1,080	14,461
예래동	2,469	159	2,300	2,581	280	2,200	2,544	145	2,387	2,544	145	2,387

연도	2018년			2019년			
	가축 읍면동	계	소	돼지	계	소	돼지
	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수	두(수)수
계	492,729	17,814	146,630	485,100	16,341	144,159	
대정읍	123,210	2,242	64,393	121,829	2,079	62,450	
남원읍	51,613	3,804	21,304	44,235	3,629	19,819	
성산읍	187,909	1,990	12,851	190,399	1,771	13,320	
안덕면	8,749	4,266	4,443	8,529	4,101	4,388	
표선면	94,288	4,216	23,334	94,315	3,305	23,088	
송산동	-	-	-	26	26		
영천동	225	-	200	211		200	
대천동	3,407	73	277	3,131	74		
중문동	18,028	990	17,038	19,668	1,211	18,457	
예래동	2,753	141	2,437	2,757	145	2,437	

<부록 3> 제주도 전체 골프장 현황과 부지면적(2010년~2019년)

2010년	부지면적(m <sup>2</sup> )	2011년	부지면적(m <sup>2</sup> )	2012년	부지면적(m <sup>2</sup> )
오 라CC	2,012,304	오 라CC	2,012,304	오 라CC	2,012,304
제 주CC	1,726,914	제 주CC	1,726,914	제 주CC	1,443,394
중 문GC	917,764	제주힐CC	283,520	제주힐CC	283,520
캐슬렉스제주GC	1,143,969	중 문GC	917,764	중 문GC	917,764
크라운CC	990,692	캐슬렉스제주GC	1,143,969	캐슬렉스제주GC	1,143,969
SK핑크스GC	1,244,848	크라운CC	990,692	크라운CC	990,692
해비치CC	1,567,152	SK핑크스GC	1,244,848	SK핑크스GC	1,244,848
나인브릿지CC	1,211,169	해비치CC	1,567,152	해비치CC	1,567,152
레이크힐스CC	1,168,124	나인브릿지CC	1,211,169	나인브릿지CC	1,211,169
봉개프라자	442,376	레이크힐스CC	1,168,124	레이크힐스CC	1,168,124
라운GC	1,293,050	봉개프라자	442,376	봉개프라자	442,376
엘리시안제주	1,545,143	라운GC	1,293,050	라운GC	1,293,050
스카이힐 제주CC	1,717,934	엘리시안제주	1,538,057	엘리시안제주	1,538,057
타미우스CC	1,164,583	스카이힐 제주CC	1,717,934	스카이힐 제주CC	1,717,934
블랙스톤	1,446,128	타미우스CC	1,164,583	타미우스CC	1,164,583
샤인빌	627,862	블랙스톤	1,446,128	블랙스톤	1,446,128
사이프러스	1,677,464	샤인빌	632,749	샤인빌	632,749
제피로스GC	959,076	사이프러스	1,677,464	사이프러스	1,677,464
에버리스CC	978,888	제피로스GC	959,076	제피로스GC	959,076
라헨느	1,137,357	에버리스CC	978,888	에버리스CC	978,888
한라산	643,347	라헨느	805,730	라헨느	805,730
테디벨리	977,395	한라산	643,347	한라산	643,347
세인트 포	1,728,257	테디벨리	977,395	테디벨리	977,395
부영CC	1,483,474	세인트 포	1,723,700	세인트 포	1,723,700
우리들메디칼	1,091,920	부영CC	993,803	부영CC	993,803
더 클래식	726,587	우리들메디칼	1,091,920	우리들메디칼	1,091,920
에코랜드	1,317,514	더 클래식	726,587	더 클래식	726,587
그랑블제주R&G	701,480	에코랜드	1,317,514	에코랜드	1,317,514
		아텐힐	710,250	아텐힐	710,250
		스프링테일	772,031	스프링테일	772,031
소계	40,724,375	소계	33,595,518	소계	33,595,518

2013년	부지면적(m <sup>2</sup> )	2014년	부지면적(m <sup>2</sup> )	2015년	부지면적(m <sup>2</sup> )
오 라CC	2,012,304	오 라CC	2,012,304	오 라CC	2,012,304
제 주CC	1,443,394	제 주CC	1,443,394	제 주CC	1,443,394
제주힐CC	283,520	제주힐CC	283,520	제주힐CC	283,520
중 문GC	917,764	중 문GC	917,764	중 문GC	917,764
캐슬렉스제주GC	1,143,969	캐슬렉스제주GC	1,143,969	캐슬렉스제주GC	1,143,969
크라운CC	990,692	크라운CC	990,692	크라운CC	990,692
SK핑크스GC	1,244,848	SK핑크스GC	1,244,848	SK핑크스GC	1,244,848
해비치CC	1,567,152	해비치CC	1,567,152	해비치CC	1,567,152
나인브릿지CC	1,211,169	나인브릿지CC	1,211,169	나인브릿지CC	1,211,169
레이크힐스CC	1,168,124	레이크힐스CC	1,168,124	레이크힐스CC	1,168,124
플라자CC 제주	442,376	플라자CC 제주	442,376	플라자CC 제주	442,376
라운GC	1,293,050	라운GC	1,293,050	라운GC	1,293,050
엘리시안제주	1,538,057	엘리시안제주	1,538,057	엘리시안제주	1,538,057
스카이힐 제주CC	1,717,934	스카이힐 제주CC	1,717,934	스카이힐 제주CC	1,717,934
타미우스CC	1,164,583	타미우스CC	1,164,583	타미우스CC	1,164,583
블랙스톤	1,446,128	블랙스톤	1,446,128	블랙스톤	1,446,128
샤인빌	632,749	샤인빌	632,749	샤인빌	632,749
사이프러스	1,677,464	사이프러스	1,677,464	사이프러스	1,677,464
제피로스GC	959,076	제피로스GC	959,076	제피로스GC	959,076
에버리스CC	978,888	에버리스CC	978,888	에버리스CC	978,888
라헨느	805,730	라헨느	805,730	라헨느	805,730
한라산	643,347	한라산	643,347	한라산	643,347
테디벨리	977,395	테디벨리	977,395	테디벨리	977,395
세인트 포	1,723,700	세인트 포	1,723,700	세인트 포	1,723,700
부영CC	993,803	부영CC	993,803	부영CC	993,803
우리들메디칼	1,091,920	우리들메디칼	1,091,920	우리들메디칼	1,091,920
더 클래식	726,587	더 클래식	726,587	더 클래식	726,587
에코랜드	1,317,514	에코랜드	1,317,514	에코랜드	1,317,514
아덴힐	710,250	아덴힐	710,250	아덴힐	710,250
스프링테일	772,031	스프링테일	772,031	스프링테일	772,031
소계	33,595,518	소계	33,595,518	소계	33,595,518



2016년	부지면적 (m <sup>2</sup> )	2017년	부지면적 (m <sup>2</sup> )	2018년	부지면적 (m <sup>2</sup> )	2019년	부지면적 (m <sup>2</sup> )
오 라CC	2,012,304	오 라CC	2,012,304	오라CC	2,012,304	오라CC	2,047,105
제 주CC	1,443,394	제 주CC	1,443,394	제주CC	1,443,394	제주CC	1,443,394
제주힐CC	283,520	제주힐CC	283,520	제주힐CC	283,520	제주힐CC	283,520
중 문GC	917,764	중 문GC	917,764	중문GC	917,764	중문GC	917,764
캐슬렉스 제주GC	1,143,969	캐슬렉스 제주GC	1,143,969	캐슬렉스 제주GC	1,143,969	캐슬렉스제주GC	1,155,515
크라운CC	990,692	크라운CC	990,692	크라운CC	990,692	크라운CC	989,679
S K 핀 크 스 GC	1,244,848	S K 핀 크 스 GC	1,244,848	S K 핀 크 스 GC	1,244,848	SK핀크스GC	1,244,848
해비치CC	1,567,152	해비치CC	1,567,152	해비치CC	1,567,152	해비치CC	1,567,152
나인브릿지 CC	1,211,169	나인브릿지 CC	1,211,169	나인브릿지 CC	1,179,895	나인브릿지 CC	1,211,169
레이크힐스 CC	1,168,124	레이크힐스 CC	1,168,124	레이크힐스 제주GC	1,168,124	레이크힐스 제주GC	1,213,904
플라자CC 제주	442,376	플라자CC 제주	442,376	플라자CC 제주	442,376	플라자CC 제주	442,376
라운GC	1,293,050	라운GC	1,293,050	라운GC	1,293,050	라운GC	1,292,392
엘리시안 제주	1,538,057	엘리시안 제주	1,538,057	엘리시안 제주	1,538,057	엘리시안제주CC	1,538,057
스카이힐 제주CC	1,717,934	스카이힐 제주CC	1,717,934	스카이힐 제주CC	1,717,934	롯데스카이힐 제주CC	1,717,934
타미우스CC	1,164,583	타미우스CC	1,164,583	타미우스CC	1,164,583	타미우스골프	1,164,583
블랙스톤	1,446,128	블랙스톤	1,446,128	블랙스톤	1,446,128	블랙스톤리조트CC	1,446,128
샤인빌	632,749	샤인빌	632,749	샤인빌	632,749	샤인빌파크CC	632,749
사이프러스	1,677,464	사이프러스	1,677,464	사이프러스	1,675,464	사이프러스	1,671,347
제피로스GC	959,076	제피로스GC	959,076	제피로스GC	959,076	그린필드CC	959,076
에버리스CC	978,888	에버리스CC	978,888	에버리스CC	978,888	에버리스CC	978,888
라헨느	805,730	라헨느	805,730	라헨느	805,730	라헨느	807,383
한라산	643,347	한라산	643,347	한라산	643,347	한라산CC	643,347
테디벨리	977,395	테디벨리	977,395	테디벨리	977,395	테디벨리	977,395
세인트 포	1,723,700	세인트 포	1,723,700	세인트 포	1,723,700	세인트 포CC	1,723,700
부영CC	993,803	부영CC	993,803	부영CC	993,803	부영CC	993,803
우리들메디칼	1,091,920	우리들메디칼	1,091,920	우리들메디칼	1,087,729	우리들CC	1,086,689
더 클래식	726,587	더 클래식	726,587	더 클래식	726,587	더 클래식CC	726,587
에코랜드	1,317,514	에코랜드	1,317,514	에코랜드	1,317,514	에코랜드	1,317,514
아덴힐	710,250	아덴힐	710,250	아덴힐	710,250	아덴힐GC	701,480
스프링데일	772,031	스프링데일	783,504	스프링데일	761,919	스프링데일	761,919
소계	33,595,518	소계	33,606,991	소계	33,547,941	소계	33,657,397

<부록 4-1> 제주지역의 월/연평균강수량(2010년~2019년)

(단위: mm)

제주	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
1월	2.2	1.0	1.8	1.3	5.0	5.2	7.4	3.0	2.9	1.9
2월	5.8	3.5	5.5	3.6	6.9	2.7	2.4	3.6	6.2	3.4
3월	9.5	4.1	14.3	6.9	5.9	6.7	8.8	3.7	10.7	4.6
4월	13.2	5.7	12.7	10.5	4.0	8.2	8.1	4.7	10.2	4.6
5월	4.2	5.5	16.5	7.5	9.6	10.0	7.1	4.3	6.6	4.3
6월	13.4	24.9	7.5	8.9	3.8	9.8	8.6	5.1	15.1	14.6
7월	15.5	4.6	14.8	2.1	12.6	23.6	9.0	3.5	4.9	36.4
8월	15.2	19.2	28.7	5.7	19.2	17.8	7.6	10.6	25.1	16.2
9월	11.2	4.8	33.3	6.8	6.2	15.7	8.2	6.4	8.9	27.8
10월	9.3	6.1	6.0	9.5	11.6	4.4	15.7	11.6	34.7	17.1
11월	0.4	15.4	4.3	4.6	7.2	8.7	5.9	1.5	2.9	2.0
12월	5.2	3.5	4.9	2.3	2.1	5.3	3.5	1.3	5.6	3.7

<부록 4-2> 서귀포지역의 월/연평균강수량(2010년~2019년)

(단위: mm)

서귀포시	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
1월	5.3	0.4	0.5	8.0	5.7	7.3	4.7	3.5	4.2	2.2
2월	5.5	3.1	4.9	9.6	6.5	25.8	13.0	7.4	0.4	3.1
3월	12.9	7.6	16.8	8.5	15.9	16.7	12.6	2.0	13.8	4.6
4월	23.2	12.4	39.7	12.5	19.8	15.5	15.5	18.5	24.0	8.1
5월	9.2	7.8	13.7	20.1	34.5	35.5	12.7	5.9	17.0	37.7
6월	29.8	29.2	14.9	8.2	25.1	14.3	11.7	19.0	21.7	14.5
7월	21.9	10.0	10.9	3.8	20.7	27.9	10.7	4.0	1.9	23.8
8월	23.4	11.7	48.8	12.2	26.4	12.1	15.5	16.6	12.3	22.7
9월	8.1	14.0	16.1	5.8	12.8	32.8	9.7	6.9	26.3	21.9
10월	10.4	14.2	8.4	9.6	5.8	6.8	22.8	21.0	26.3	15.1
11월	0.9	28.8	11.1	5.0	9.6	11.3	3.7	0.7	5.6	3.1
12월	6.1	2.9	9.0	2.5	3.0	6.8	5.1	1.0	3.5	8.5

<부록 4-3> 고산지역의 월/연평균강수량(2010년~2019년)

(단위: mm)

고산	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
1월	2.0	0.3	0.4	1.4	3.1	3.5	3.5	1.2	2.3	1.2
2월	3.1	3.5	3.7	5.2	4.6	5.2	4.0	4.0	5.0	2.6
3월	7.2	3.6	9.7	5.5	9.1	7.0	7.4	2.1	8.4	4.2
4월	11.4	7.8	16.6	7.9	6.5	10.2	10.5	7.1	14.6	4.0
5월	5.5	2.9	6.4	10.6	23.1	16.6	9.0	3.5	16.0	10.2
6월	17.8	17.6	10.1	7.1	8.5	13.2	10.2	11.5	12.6	15.7
7월	10.3	3.8	13.0	1.2	11.9	12.9	11.7	1.8	3.1	13.7
8월	19.1	9.5	16.0	5.5	11.9	6.0	5.9	17.5	10.4	18.9
9월	4.5	0.4	12.5	7.9	5.6	24.8	6.8	4.2	7.9	22.2
10월	10.0	11.8	1.5	2.3	6.3	2.2	6.8	12.7	13.5	18.2
11월	0.3	11.8	6.9	4.8	4.0	6.5	3.4	0.5	4.2	1.5
12월	2.9	1.7	4.0	0.8	1.5	5.9	5.6	0.8	3.1	6.0

<부록 4-4> 성산지역의 월/연평균강수량(2010년~2019년)

(단위: mm)

성산	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
1월	2.2	0.4	0.5	8.0	5.7	7.3	4.7	3.5	4.2	1.5
2월	3.1	3.1	4.9	9.6	6.5	25.8	13.0	7.4	0.4	8.6
3월	4.6	7.6	16.8	8.5	15.9	16.7	12.6	2.0	13.8	13.4
4월	8.1	12.4	39.7	12.5	19.8	15.5	15.5	18.5	24.0	12.0
5월	37.7	7.8	13.7	20.1	34.5	35.5	12.7	5.9	17.0	27.5
6월	14.5	29.2	14.9	8.2	25.1	14.3	11.7	19.0	21.7	15.5
7월	23.8	10.0	10.9	3.8	20.7	27.9	10.7	4.0	1.9	34.4
8월	22.7	11.7	48.8	12.2	26.4	12.1	15.5	16.6	12.3	27.0
9월	21.9	14.0	16.1	5.8	12.8	32.8	9.7	6.9	26.3	32.3
10월	15.1	14.2	8.4	9.6	5.8	6.8	22.8	21.0	26.3	26.0
11월	3.1	28.8	11.1	5.0	9.6	11.3	3.7	0.7	5.6	3.6
12월	8.5	2.9	9.0	2.5	3.0	6.8	5.1	1.0	3.5	8.6