

<Short Note>

양구군 해안분지 내 지하수, 하천수 및 토지이용에 대한 특성 평가

윤성찬^{1,2} · 박창현¹ · 조인형¹ · 이재훈¹ · 박준완¹ · 홍중락^{1,2} ·

이호건^{1,2} · 전우현^{1,2} · 윤상웅^{1,2} · 이진용^{1,2,*}

¹강원대학교 지질학과

²강원대학교 크리티컬존선도연구실

요 약

본 연구는 농경지인 강원도 양구군 해안분지의 관정의 분포와 시기별 지하수위 및 하천 수질 · 탁도의 변화와 토지이용도를 파악하여 분석 · 평가하기 위해 수행되었다. 이를 위해 2016년 4월부터 2017년 8월까지 11차례의 현장조사를 통해 연구지역의 지하수 관정 위치를 파악하고 건기 · 우기별 수위를 측정하였다. 또한 하천의 건기 · 우기별 현장수질과 탁도를 측정하였으며 토양의 이용도를 파악하였다. 연구결과 연구지역의 지하수와 하천수는 농업 관개수로서 적합하지만 지하수 관정의 수가 급속도로 증가하고 있으며 이에 지하수 이용량 또한 증가하는 것으로 나타났다. 토지이용의 경우 주거지를 제외한 분지내부는 밭(71.8%), 논(9.8%), 과수원(4.2%)순으로 이용된다. 기존에 조사되었던 밭의 분포보다 7%이상의 증가를 보였다.

주요어: 지하수, 하천, 토지이용, 해안분지

Sung Chan Yoon, Chang Hyun Park, In hyeong Jo, Jae hoon Lee, Jun Wan Park, Jung Rak Hong, Ho Geon Lee, Woo-Hyun Jeon, Sang Woong Yun and Jin-Yong Lee, 2018, Evaluation of Characteristic for Groundwater, Stream and Land Use in Haeon basin, Yanggu Country. Journal of the Geological Society of Korea. v. 54, no. 2, p. 193-203

ABSTRACT: This study was conducted to identify and assess the distribution of groundwater wells and changes in the groundwater level and the water quality and turbidity of streams by season and to analyze land use in the Haeon basin of Yanggu. For this purpose, we conducted field surveys 11 times from April 2016 to August 2017 to record the location of wells and to measure the groundwater level of each dry and rainy season. Also, water quality and turbidity are measured by dry and rainy season in stream and recorded the properties and land use of soil. As a result of the study, groundwater and stream water in research areas were suitable as agricultural irrigation, but the number of groundwater well is growing rapidly and so is the use of groundwater. For land use, the inside of the basin, excluding residential areas, is used in the order of farm (71.8%), rice paddies (9.8%) and orchard (4.2%). It showed an increase of more than 7% over the previous distribution of the farm.

Key words: groundwater, stream, land use, Haeon basin

(Sung Chan Yoon, Chang Hyun Park, In hyeong Jo, Jae hoon Lee, Jun Wan Park, Jung Rak Hong, Ho Geon Lee, Woo-Hyun Jeon, Sang Woong Yun and Jin-Yong Lee, Department of Geology, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea; Sung Chan Yoon, Jung Rak Hong, Ho Geon Lee, Woo-Hyun Jeon, Sang Woong Yun and Jin-Yong Lee, Critical Zone Frontier Research Laboratory, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea)

1. 서 론

강원도 양구군 해안분지는 농촌지역으로 고랭지 밭과 논농사가 주를 이루며 농업용수의 대부분을 지

하수와 하천수에 의존한다. 한국수자원공사에서 발행한 지하수 연보에 따르면 해안분지 내에 지하수 관정은 2004년 기준 40개, 2010년 125개, 2017년에는 총 319개의 관정이 누적신고 되었다. 이와 관련해 지

* Corresponding author: +82-33-250-8551, E-mail: hydrolee@kangwon.ac.kr

하수 이용량은 2004년 $313,380 \text{ m}^3/\text{yr}$, 2010년 $388,713 \text{ m}^3/\text{yr}$, 2017년 $607,549 \text{ m}^3/\text{yr}$ 로 2004년에 비해 약 두 배 가까이 증가하였다(Lee and Han, 2013). 지하수 이용량은 토지이용률에도 영향을 주기 때문에 작물별 및 토양특성별 적절한 지하수 이용량 관리가 필요하다(Ryu *et al.*, 2012). 또한 수질오염에 취약한 하천수를 대체하기 위한 지하수의 사용량이 증가하는 경향을 보이고 있다(Won *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2014).

해안분지의 하천과 토양의 관계를 보면 하천수질은 주로 비료, 농약, 고랭지 밭에서의 토사유출 등으로 오염에 쉽게 노출되어있다(Lee *et al.*, 2014). 연구지역의 대부분이 논과 밭으로 개발되어 있고 경사가 심한 산간 지역에는 고랭지 채소밭으로 이용되고 있

어 비가 오면 토사유출이 심해져 소양강에서 나타나는 탁수의 주요 원인중 하나이다(Lee, 2009). 주로 고랭지 및 인삼 밭은 고도가 높고 경사가 심한 곳에서 경작되어 토사유출이 자주 발생하며 하천의 주 오염원이다(Lee, 2008). 이에 환경부와 양구군에서는 탁도를 저감시키기 위해 2014년부터 침사지를 설치하는 등 비점오염저감 사업을 추진하고 있으며 2017년까지 비점오염저감시설 2곳과 42개의 수로를 설치하였다.

본 연구에서는 해안분지의 지하수 관정과 하천의 분포를 조사하였으며 건기 및 우기에 따른 고도별 지하수위와 하천의 수질 및 탁도 변동을 측정하고 비교하였다. 또한 토지이용도를 파악하고 토양의 전기전도도, 수분과 용적밀도를 측정하여 분석하였다. 양구

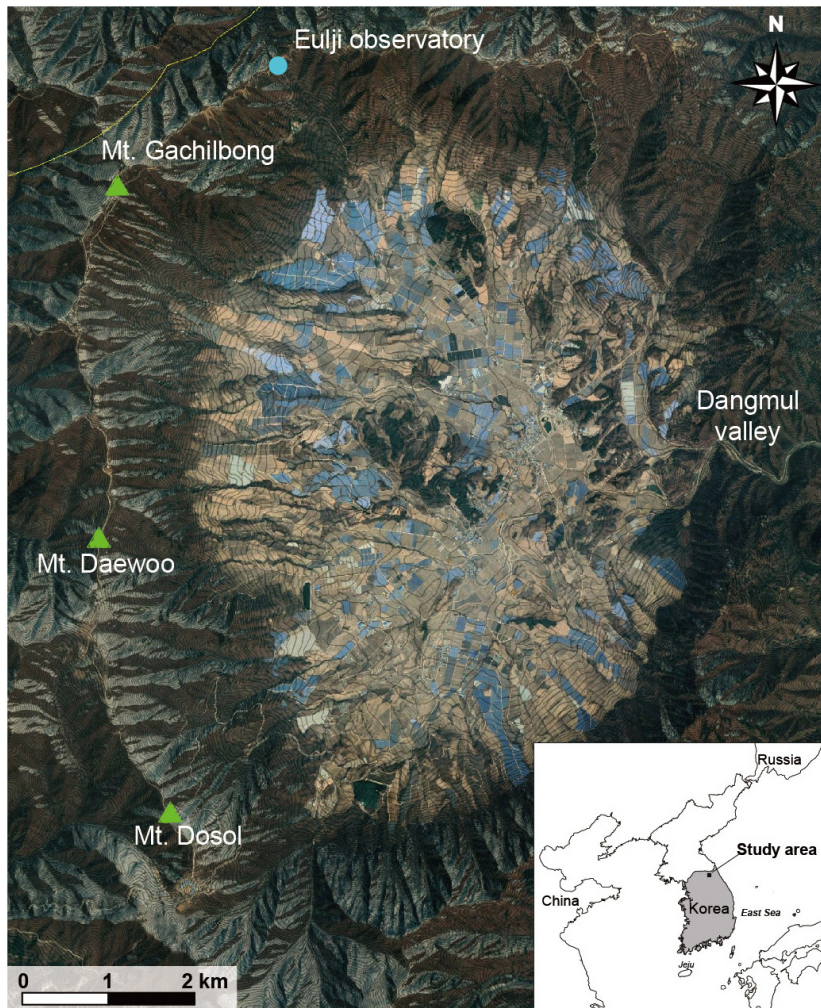


Fig. 1. Location map of the study area, Hae-an basin.

해안분지의 경우 신고가 미흡한 지하수 관정의 현황과 하천의 수질 및 탁도 변화 그리고 재배 작물에 따른 토양 환경의 변화에 대한 정확한 파악이 어렵다. 이러한 요인들의 통합적인 관리 방안을 제안하기 어려운 상태이므로 향후 지하수 관정의 분포 및 하천수의 현황을 파악해두는 것이 중요하다. 이를 통해 본 연구의 결과는 양구군 해안분지의 기초 정보로 활용될 것으로 예상된다.

2. 연구지역 및 방법

2.1 연구지역

연구지역은 우리나라 최북단에 위치한 강원도 양

구군 해안면으로 북위 $38^{\circ}15' \sim 38^{\circ}19'$, 동경 $128^{\circ}14' \sim 128^{\circ}10'$ 에 위치한다(그림 1). 외륜부의 북쪽 지역의 경우 군사분계선과 약 600 m 가량 떨어진 곳으로 4땅굴과 을지전망대가 위치하고 있으며, 군사 보안과 지뢰의 위험으로 인해 민간인 출입이 통제되고 있다. 실제로 2016년 4·5월에 하천과 서쪽 산악지대에서 민간인이 지뢰를 밟아 중상을 입는 사고가 발생하여 행동에 각별한 주의가 필요하다.

해안분지의 외곽 부는 약 $40\text{--}50^{\circ}$ 의 경사를 가지는 해발 1,000 m 이상의 대암산, 대우산으로 둘러싸여 있으며 이러한 지형적 특성으로 해안분지내의 수계는 방사상의 형태를 보인다(Yun *et al.*, 2009). 또한 해안분지는 깊게 파인 접시 모양이며 남북방향으로 길게

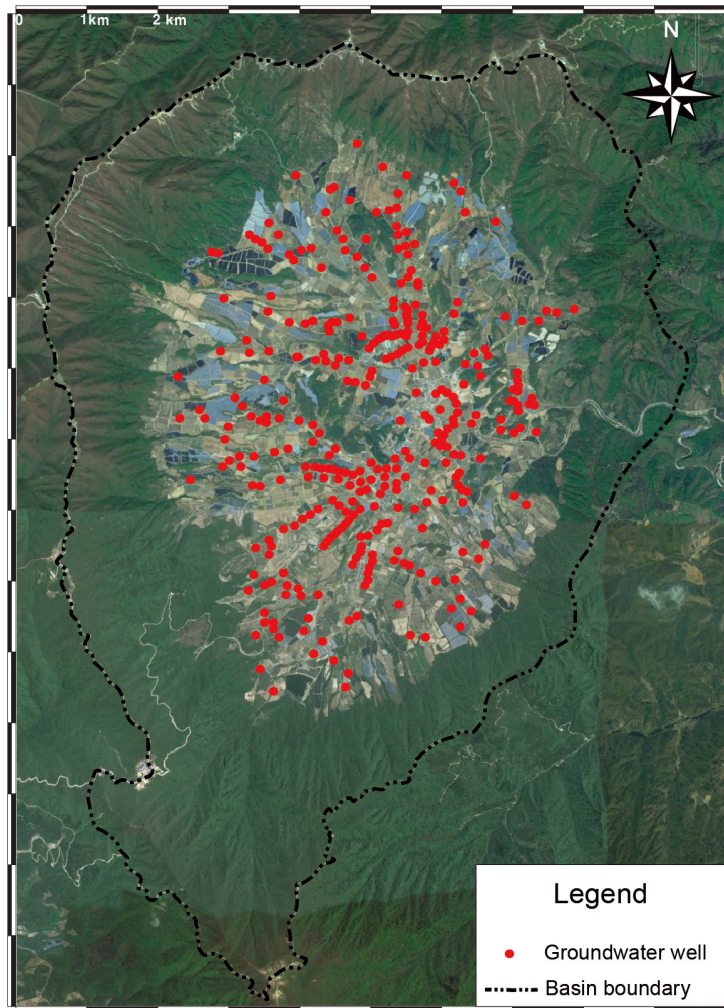


Fig. 2. Distribution of groundwater wells in the Hae-an basin.

늘어져있는 타원형이다. 우리나라의 침식분지들은 대부분 작은 하천을 끼고 형성하는데 해안분지는 작은 하천이 최상류에 발달한 분지 유형이다(Chang, 1997). 이러한 형태의 수계로 인해서 높은 산지에서 낮은 지대로 강우가 이동하여 하천수계를 형성하고 하나의 하천으로 합류한다(Won *et al.*, 2006; Yun *et al.*, 2009).

2.2 지하수 관정 분포 및 지하수위 모니터링

지하수 관정의 기초 자료를 수집하기 위해 양구군청과 국가지하수정보센터에서 제공하는 해안분지 지하수 관정 허가 및 신고시설 현황자료를 수집하였다. 기존 신고된 자료와 현장조사를 통해 신고가 미흡했던 지하수 관정을 조사하였다. 이를 통해 해안분지 내에 기존에 조사된 관정의 위치와 현황을 파악하고 현장조사를 통해 신고가 미흡했던 농업용 지하수 관정

을 조사하였다(그림 2).

지하수위 조사의 경우 기상청에서 제공하는 강수량 자료를 활용하여 25.4 mm로 최저 강수량을 보인 3월을 건기로 설정하고 524 mm로 최대 강수량을 보인 8월을 우기로 설정하였다. 지하수위 측정에는 수위계(Solinst, Model 102)를 이용하였으며 건기·우기별로 2016년 4월~2017년 8월 까지 11회에 걸쳐 총 132개 관정에서 수위를 측정하였다.

2.3 하천 수질 및 탁도 모니터링

하천의 수질, 탁도 측정의 경우 하천의 폭, 수위를 측정하고 집수역을 고려하여 건기에는 35개 우기에는 31개의 지점에서 현장수질측정기(Horiba, D-53, 54, 55)를 이용해 각 지점마다 수온, 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC), 용존산소(DO), 산화환원전위(ORP)를

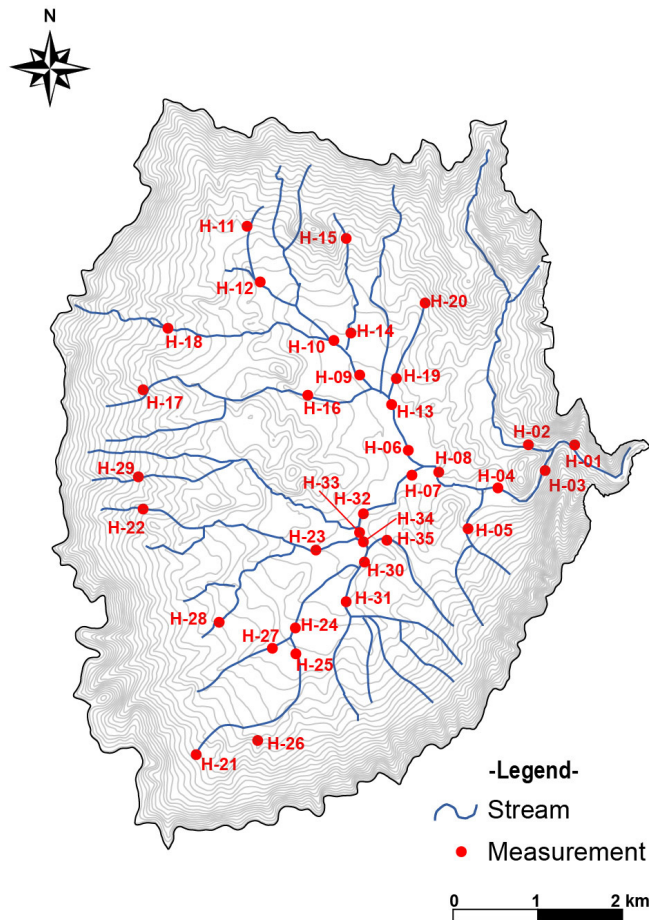


Fig. 3. Location of measurements for stream water quality in the basin.

측정하였으며 탁수는 탁도측정기(Thermo, AQ4500)를 이용하여 탁도(NTU)를 측정하였다. 지하수 조사와 동일하게 기간에 수행하였으며 건기와 우기의 하천현황, 수질 및 탁도를 비교하였다. 이를 통해 강우가 수질 및 탁도에 미치는 영향과 하천현황을 파악하였다. 또한 수집한 자료를 통해 연구지역 하천의 수계를 기재하고 측정위치를 표시하였다(그림 3).

2.4 토지이용도 현황

연구지역의 토지이용현황과 토양의 전기전도도 및 수분의 현장 자료를 얻기 위해 도로로 이동하여 측정

했다(그림 4). 밭, 과수원, 논, 비닐하우스, 인삼밭을 대분류로 지정하여 측정하였으며 약 0.1 ha 규모 이상의 연속된 토지를 연결하여 기재하였다. 또한 전기전도도 및 토양수분을 측정한 토양사이트의 수는 총합 36개 지점이며 토양수분측정기기(DECAGON, Procheck)를 이용한 토양의 전기전도도와 수분측정을 하였다.

토양의 용적밀도를 측정하기 위해 각기 다른 작물별 7개(논, 콩밭, 무밭, 배추밭, 인삼밭, 감자밭) 지점에서 시료채취를 진행하였다. 비교적 환경이 흡사한 지역을 선정하여 조사하였으며 고도차이가 약 30 m 정도이며 지점 당 2~3회 측정 및 기록을 하여 오차를 줄였다.

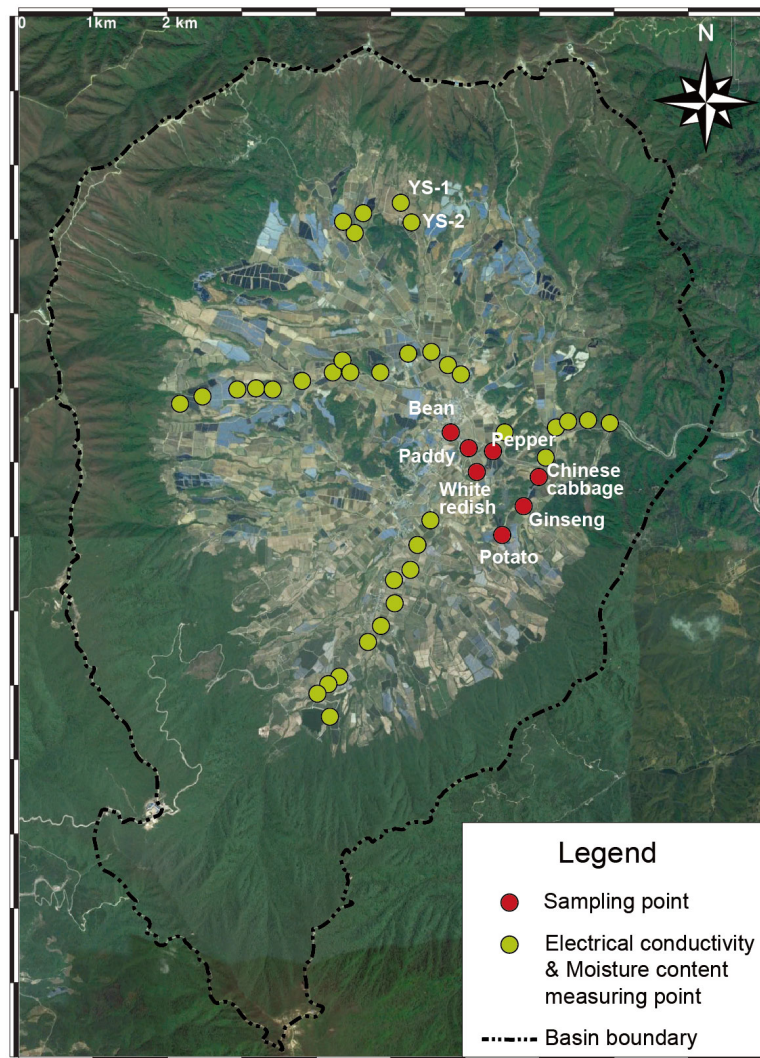


Fig. 4. Soil sampling points for measuring bulk density and measuring points of electrical conductivity and moisture content.

Table 1. Wells and groundwater levels in the dry and wet seasons in the Haeon basin.

Elevation (m)	No. of wells			Water level (m, DTW)	
				Dry season	Wet season
410-420	0 ^a	4 ^b	13 ^c	4.90	2.06
430-440	2	6	45	3.85	2.42
450-460	2	7	22	6.31	5.67
470-480	1	4	4	2.84	1.98
490-500	0	5	3	6.89	6.22
510-520	2	2	3	16.69	16.19
530-540	2	2	2	12.25	11.79
550-560	3	3	0	17.05	16.77

*Diameter of well: ^a200 mm, ^b150 mm, ^c100 mm

Table 2. Stream water qualities in the dry and wet seasons of the Haeon basin.

Season		ORP (mv)	EC (μS/cm)	DO (mg/L)	pH (SU)	Temp (°C)	Turbidity (NTU)
Dry (n=35)	Max	239	136.1	7.77	7.9	19.5	59.10
	Min	123	43.5	4.83	5.9	9.0	0.89
	Mean	182	102.8	6.69	6.9	13.9	5.78
	S.D.	29.1	33.8	0.71	0.6	2.7	7.38
Wet (n=31)	Max	258	137.6	7.64	7.8	25.5	80.70
	Min	177	30.3	4.66	6.9	19.0	5.06
	Mean	208	85.4	6.07	7.3	21.4	24.80
	S.D.	19.5	25.0	0.69	0.4	1.7	20.65

*n: the number of stream measurement points, *SD: standard deviation

3. 결과 및 토의

3.1 지하수 관정 분포 및 수위 변화

한국수자원공사에서 제공하는 2017년 지하수조사 연보에 따르면 연구지역에는 총 319개의 지하수 관정이 신고 되었으며 지하수 총 이용량은 607,549 m³/yr이다. 이중 291개의 관정이 농업용(556,734 m³/yr)으로 활용되고 있으며 28개의 생활용(40,815 m³/yr)으로 이용되고 있다. 연구기간 동안 해안분지 내 367개의 관정을 기재하였으며 총 48개의 미신고 관정을 확인했다. 이는 지하수조사연보에 기록된 신고관정과 현장조사를 통한 미신고 관정 조사이기 때문에 추가적인 미신고 관정이 다수 분포하고 있을 것으로 예상된다.

해안분지 내 관정의 분포는 분지 내의 농업과 밀접한 연관성이 있다. 저지대로 설정한 400~460 m 권에서는 논농사가 주로 행해지는데 이와 연관되어 소

형관정이 많이 분포하고 있고 고도가 올라갈수록 소형관정의 수는 적어진다. 이에 반하여 고지대로 설정한 520~560 m 권에서는 주로 과수원이 많이 존재하며 이와 연관되어 대형관정과 중형관정이 주로 분포하고 있다(표 1). 일부 오차는 관정 양수기의 사용으로 인하여 일시적으로 관정의 수위가 변동하기 때문에 발생한 것으로 추정된다.

측정한 관정들의 위치와 고도, 건기, 우기간의 수위차이를 종합해 보면 지하수 수위가 상승하는 우기에 저지대에서의 수위변화의 폭이 고지대에서의 수위변화 폭 보다 크다(표 1). 이는 분지 특성상 고지대에 위치한 지하수가 저지대로 모이기 때문에 저지대의 수위변화 폭이 큰 것으로 사료된다.

3.2 하천 수질 및 탁도 조사

표 2는 건기·우기별 양구 해안면의 하천 수질 및 탁도 측정값을 보여준다. 총 31개의 하천을 분석하

였으며 연구지역의 2017년 3월 강수량은 25.4 mm으로 전기이고 8월의 강수량은 524 mm로 우기이다. 하천의 수온은 전기와 우기 각각 9.0~19.5°C, 19.0~25.5°C의 범위를 나타낸다. 평균값은 13.9°C와 21.4°C이다. 전기에 비해 우기의 하천 수온이 높게 나타나며 계절적 영향으로 사료된다.

pH는 전기와 우기에 각각 5.9~7.9, 6.9~7.8의 범위로 나타난다. 평균값은 6.9와 7.3으로 나타났으며 중성에 가깝게 측정되었다. 분석결과와 연구지역 전기와 우기의 EC의 범위는 43.5~136.1과 30.3~137.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이며 평균 102.8과 85.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 나타난다. 우기에 전기전도도가 낮아진 이유는 강우에 의한 것으로 추측된다. DO는 전기와 우기에 4.83~7.70과 4.66~7.64 mg/L의 범위로 나타나며 평균 6.69와 6.07 mg/L이다. DO는 우기에 낮게 측정되었으며 이는 강우에 의한 산소공급에도 불구하고 유기물 분해가 더욱 활발한 것으로 예상된다(Lee *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2007; Jo *et al.*, 2010).

각 전기와 우기 하천의 ORP의 범위는 123~239 mV, 177~258 mV이며 평균은 182와 208 mV로 서로 비슷한 값을 보이지만 우기에 ORP가 높게 측정된 원인은 강우량의 증가로 인한 산소유입으로 추정

된다(Jo *et al.*, 2010). 탁도는 각각 전기와 우기에 0.89~59.10와 5.06~80.70 NTU로 측정되었다. 평균 5.78과 24.80 NTU 값으로 측정되었으며 이는 강우시 고랑이 없는 밭에서 발생한 토사가 하천으로 유입되어 탁수가 발생한 것으로 추정된다. 탁도가 비정상적으로 높게 측정된 부분은 주변의 고랭지 및 인삼 밭의 토사유출(그림 5a)과 수로 및 토사유출 저감시설(그림 5b)공사, 하천 확장 공사(그림 5c) 및 비료 공장에서 유출되는 폐수(그림 5d)로 인해 일시적으로 높게 측정됐다.

3.3 토양특성, 토양용적밀도 및 토지이용도

토양특성의 경우 전기전도도와 수분함량을 측정하였다. 연구지역 일대 수분함량의 경우 외각에 비해 중심부의 토양에서 수분함량이 높게 측정된다. 이는 분지 특성상 수분이 외각에서 중심부로 모여 외각보다 분지 중심에서 수분함량이 높게 나타난 것으로 예상된다. 전기전도도의 경우 조사된 36개의 지역은 모두 농촌진흥청에서 제공하는 기준 허용치(0~2 dS/m) 범위에 포함되어 적합한 것으로 나타났다(그림 6). 이것은 이 지역의 작물들이 생육하는 데에 유리함을 알 수 있다(표 3). 일반적인 논과 밭의 용적밀도는 10.2~1.31



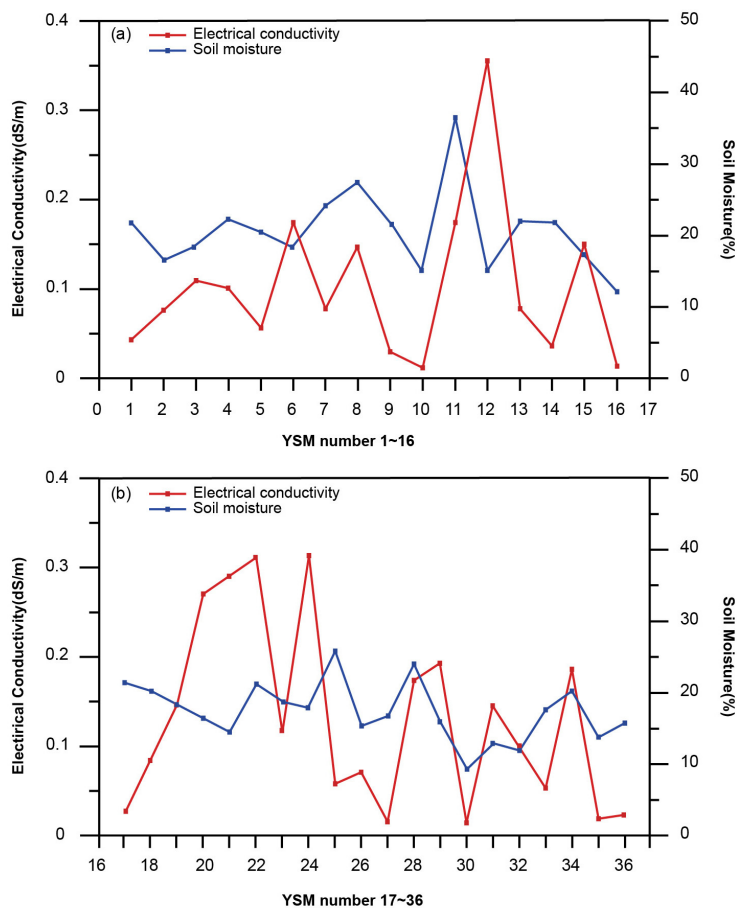
Fig. 5. (a) Highland farming, (b) Turbid water mitigation facility signboard, (c) Stream expansion works, and (d) Wastewater emanating from a fertilizer factory.

Table 3. Electrical conductivity and moisture content of soils in the study area.

Land Use		n.	Electrical conductivity (ds/m)				Moisture content (%)			
			Max	Min	Mean	S.D.	Max	Min	Mean	S.D.
N ↓ S	Rice paddy	5	0.17	0.01	0.09	0.07	30.4	21.6	25.2	3.7
	Farm	4	0.04	0.21	0.13	0.07	22.3	12.1	18.1	4.9
	Orchard	4	0.51	0.06	0.25	0.22	22.0	15.3	18.6	3.2
	Ginseng	1	0.11	0.11	0.11	-	18.6	18.6	18.6	-
	Green house	2	0.18	0.03	0.10	0.10	21.8	18.4	20.1	2.4
W ↓ E	Rice paddy	2	0.19	0.06	0.12	0.09	27.8	25.8	26.8	1.4
	Farm	9	0.33	0.02	0.11	0.11	22.8	12.7	17.7	3.9
	Orchard	2	0.34	0.29	0.31	0.03	19.1	17.4	18.3	1.2
	Ginseng	5	0.44	0.06	0.19	0.15	21.6	15.4	18.4	2.4
	Green house	2	0.12	0.01	0.07	0.08	20.3	9.9	15.1	7.4

* n: the number of measurements for electrical conductivity and moisture content with each land use

*SD: standard deviation

**Fig. 6.** Electrical conductivity and moisture content of soil at points 1 to 36.

g/cm^3 이며 채취시료의 용적밀도는 대체적으로 일 반적인 용적밀도 범위이고 감자밭의 경우에는 더 낮은 값을 가지고 있어 작물생육조건에 좋은 공극률을 가지고 있음을 알 수 있다.

해안분지 특성상 고지대의 하천 및 지하수가 저 지대로 모여 관개수가 적게 필요한 밭이 고지대에 위치하고 저지대에는 논이 분포하고 있다. Yun (2017) 에 따르면 해안분지의 토지 이용률은 해발고도에 따라 다른 분포양상을 보이며 2002년부터 2014년까지 전체 토지 이용면적은 고랭지 밭(64.3%), 논(21.4%), 기타(11.9%), 과수원(2.4%) 순으로 거의변화가 없었다. 2017년에 조사한 토지이용의 경우 전체 조사한 토 지들의 대분류로 분리 해놓은 6개 지점들인 밭(41.7%),

인삼밭(30.1%), 논(9.8%), 비닐하우스(7.2%), 과수원 (4.2%), 기타(7%) 분포를 보였다(그림 7). 고랭지 및 인 삼 밭의 분포는 2017년 조사 기준 71.8%의 면적을 차지하고 있으며 2014년 조사된 밭 면적보다 7.5%가 증가했다. 이에 반해 논의 비율은 21.4%에서 9.8%로 감소하였으며 과수원과 비닐하우스의 면적이 증가 하였다. 밭의 면적이 증가할 경우 위에서 언급한 강 우에 의한 토사유출이 증가할 수 있다.

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 강원도에 위치한 해안면의 지하수 관정 및 하천 분포와 건기·우기별 지하수위와 수질

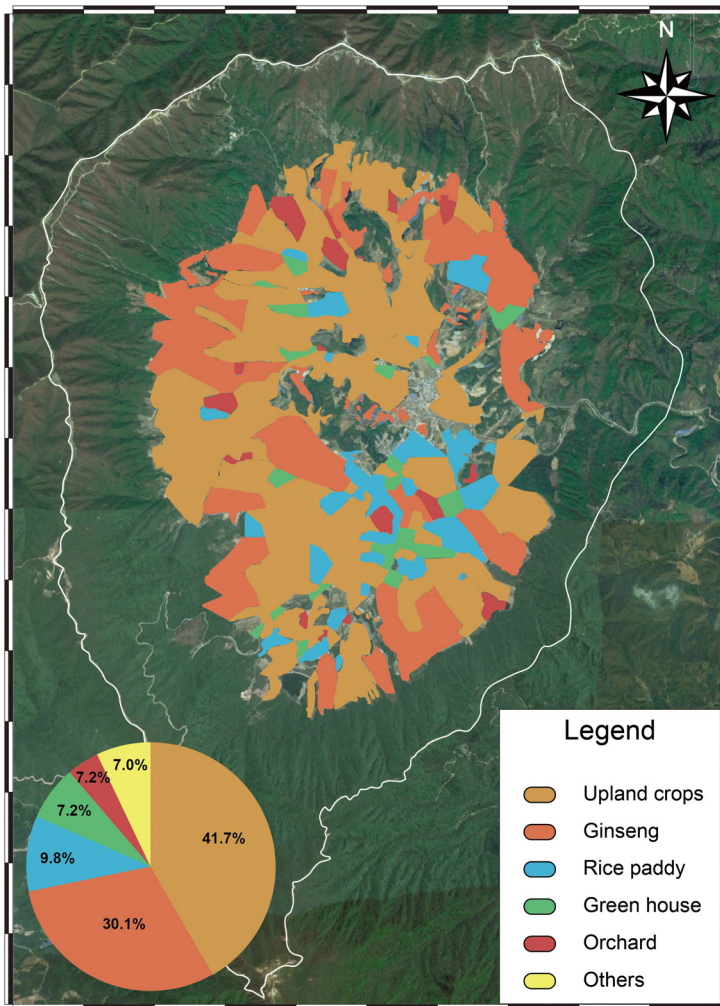


Fig. 7. Land use of the Hae-an basin.

및 탁도의 변동을 파악하고 분석하였다. 또한 연구 지역 토양의 전기전도도 및 수분과 용적밀도를 측정하고 토지이용도를 조사하여 분석하였다. 관정의 분포는 연구지역의 지형적 특성에 의해 상대적으로 깊은 심도의 관정을 필요로 하는 고지대에는 중형관정과 대형관정이 주로 분포하고 있으며 저지대에는 소형관정이 대부분 위치하고 있다. 지하수위의 경우 고도가 높아질수록 건기와 우기의 지하수위 차이가 적게 나는데 이는 분지의 지형적 특성에 의해 모든 하천 및 지하수가 저지대로 모이기 때문에 지하수 및 하천수가 저지대에 풍부하다. 이로 인하여 고지대의 수위차이가 저지대에 비해 적게 나타난다.

하천의 분포는 방사상의 수계를 가지고 있으며 탁도의 경우 건기에 비해 우기에 높은 수치를 가진다. 해안면은 밭의 분포가 70% 이상으로 관측된다. 고랭지 및 인삼 밭의 경우 고랑이 없으며 강우시 토사유출을 야기한다. 따라서 우기에 토사유출로 인한 탁수로 하천의 탁도가 높게 측정된다. 최근 지하수 이용량과 하천의 탁도 증가를 고려할 때 해안분지의 지하수 및 하천의 수량·수질 관리는 필수적이다.

토양특성 조사 결과 밭(13개), 과수원(6개), 비닐하우스(4개), 논(7개), 인삼밭(6개) 모두 전기전도도가 적합과 허용 범위안의 값이므로 대체로 작물 생육에 유리한 토양이다. 또한 토양용적밀도는 일반적인 용적밀도의 수치를 나타내고 있어 작물의 생육에 유리하다. 전체적으로 해안분지의 토양은 농업활동에 적당한 평균적인 수치를 보여 안정적인 토양상태를 유지하고 있다.

토지이용의 경우 이전 연구에 비해 고랭지 농업이 활발한 해안분지는 600 m 이상의 고지대에는 인삼밭이 증가했으며 고도가 낮은 중앙부 및 동부로 갈수록 논이 분포가 비교적 많았다. 이는 연구지역의 분지 특성상 모든 하천 및 지하수가 저지대로 모이기 때문에 상대적으로 하천과 지하수가 부족한 고지대에는 적은 관개수를 필요로 하는 밭이 많이 분포하고 그에 반해 풍부한 하천과 지하수를 가지고 있는 저지대에는 논이 주로 분포하고 있다.

연구지역은 지형적인 특성과 증가하는 농업 활동으로 인해 지하수와 하천의 변화에 민감하다. 또한 본 지역의 경우 토지 이용도 변화 및 지하수 사용량 증가가 가속화 되고 있는 지역이므로 지하수 사용량 규제 및 토지 이용에 따른 비료 등의 오염원 유입에

대한 규제가 요구된다. 연구결과에 따르면 토양특성은 작물의 생육에 유리한 토양으로 보이나 지속적으로 증가하는 지하수 및 하천의 이용과 늘어나는 고랭지 밭의 토사유출로 인한 탁수에 대한 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

이 성과는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. NRF-2015R1A4A1041105). 또한 본 연구는 환경부 “토양·지하수오염방지기술개발사업(173-092-010)”에서 지원받았습니다. 본 논문이 개선될 수 있도록 건설적인 조언과 비판을 해주신 심사위원님들께 진심으로 감사드립니다.

REFERENCES

- Chang, C.H., 1997, A study on shapes and genetic process of erosion basins. *Journal of Photo Geography*, 6, 1-16 (in Korean).
- Jo, Y.J., Lee, J.Y., Yi, M.J. and Kim, H.S., 2010, Cluster analysis of TCE contaminated groundwater. *Journal of the Geological Society of Korea*, 46(1), 49-60 (in Korean with English abstract).
- Lee, B.S., Kim, Y.I., Choi, K.J., Song, S.H., Kim, J.H., Woo, D.K., Seol, M.K. and Park, K.Y., 2014, Rural groundwater monitoring network in Korea. *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 19(4), 1-11 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.Y., 2008, A hydrological analysis of current status of turbid water in Soyang river and its mitigation. *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 13(6), 85-92 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.Y., 2009, Importance of hydrogeological and hydrologic studies for Haeon basin in Yanggu. *Journal of the Geological Society of Korea*, 45(4), 405-414 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.Y., Cheon, J.Y., Kwon, H.P., Yoon, H.S., Lee, S.H., Kim, J.H., Park, J.K. and Kim, C.G., 2006, Attenuation of landfill leachate at two uncontrolled landfills. *Environmental Geology*, 51(4), 581-593.
- Lee, J.Y. and Han, J.W., 2013, Groundwater use and its perspective in Haeon basin, Yanggu county of Gangwon province. *Journal of Wetlands Research*, 15(2), 179-189 (in Korean with English abstract).
- Park, J.K., Kim, T.D., Choi, D.H. and Lee, J.Y., 2007,

- Evaluation of groundwater quality characteristics around uncontrolled closed valley landfill. *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 12(3), 75-80 (in Korean with English abstract).
 - Ryu, J.C., Choi, J.W., Kang, H.W., Kum, D.H., Shin, D.S., Lee, K.H., Jeong, G.C. and Lim, K.J., 2012, Evaluation of groudwater recharge rate for land uses at Mandae stream watershed using SWAT HRU Mapping module. *Journal of Korean Society on Water Environment*, 28(5), 743-753 (in Korean with English abstract).
 - Won, L.J., Koo, M.H. and Kim, H.S., 2006, Simulation of groundwater flow and sensitivity analysis for a riverbank filtration site in Koryeong, Korea. *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 11(2), 45-55 (in Korean with English abstract).
 - Yun, S.W., Jeon, W.H. and Lee, J.Y., 2017, Evaluation of hydrochemical characteristics of groundwater and stream water in a heavy agricultural region of the Haeon basin, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 53(5), 727-742 (in Korean with English abstract).
 - Yun, S.W., Jo, Y.J. and Lee, J.Y., 2009, Comparison of groundwater recharges estimated by waterlevel fluctuation and hydrograph separation in Haeon basin of Yanggu. *Journal of the Geological Society of Korea*, 45(4), 391-404 (in Korean with English abstract).
-
- | | | | | |
|----------|---|-------|-----|------|
| Received | : | March | 16, | 2018 |
| Revised | : | April | 27, | 2018 |
| Accepted | : | April | 28, | 2018 |