강원도 양구군 해안분지의 지하수 사용과 전망

이진용*⁺ · 한지원**

* 강원대학교 지질학과

** 영진전문대학 유아교육과

Groundwater Use and Its Perspective in Haeon Basin, Yanggu County of Gangwon Province

Lee, Jin-Yong*⁺ · Han, Jiwon**

* Department of Geology, Kangwon National University

** Department of Early Childhood Education, Yeungjin College

요 약

강원도 양구군 해안분지는 접경지대에 위치하며 지질학적 차별침식에 의해 형성된 특이지형이다. 최근 안보관광, 고랭지 작물특화 및 고원습지 등으로 일반인의 관심을 받고 있다. 한국전쟁 후 급격한 인구감소가 있었으나 2007년 이후 증가세를 보이고 있다. 연평균기온은 +0.016°C/년 그리고 연강수량은 +10.41 mm/년의 속도로 증가하고 있다. 그리고 강수 증가량의 대부분은 6~8월 우기에 집중되는 것으로 나타났다. 또한 해안분지의 지하수 관정 수 및 이용량이 최근 꾸준히 증가하고 있으며 거의 대부분 논농사 및 고랭지 작물재배용이다. 기후변화시나리오에 따라 향후 기온이 더욱 상승하면 고랭지 작물재배가 어려워지고 또 여름 집중강우가 증가한다면 지하수함양 및 물관리에 어려움이 예상된다. 그러므로 해안분지의 지속가능한 지하수개발량에 대한 평가와 물의존적 농업형태에 대한 변화(작물전환)가 요구된다.

핵심용어 : 해안분지, 지하수, 토지이용, 기후변화, 대표농도경로

Abstract

The Haeon basin is a unique geographical feature formed by differential erosion and it borders the military demarcation line. Recently the basin has become an interest of civilians due to security tour, highland vegetables and wetland. After the civil war, the population decreased but it has increased since 2007. The annual mean air temperature in the basin has increased with a rate of +0.016°C/yr and the annual precipitation also has increased with a rate of +10.41 mm/yr. The precipitation occurring in June~August (wet season) occupied most of the total precipitation increase. In addition, recently the number of groundwater wells and its use have gradually increased and most of them are for agriculture including cultivation of rice and highland vegetables. If the air temperature further increases in the future according to the climate change scenarios, the highland vegetables cultivation will be difficult. Furthermore, if the rainstorm in the summer will be enforced, the groundwater recharge and water management will be aggravated. Therefore, an evaluation for sustainable groundwater development in the basin and a reform of the current agriculture (change of cultivating crops) depending on much water are essentially required.

Keywords : Haeon Basin, Groundwater, Land Use, Climate Change, Representative Concentration Pathway

1. 서론

전세계적으로 지구 온난화에 따른 다양한 기후변화를 겪고 있다. 지역에 따라 유례없는 극심한 가뭄을 겪거나 혹은 폭우/폭설이 빈발하고 있다. 이는 지구온난화

가 단순히 전반적으로 따뜻해진다는 것을 의미하는 것이 아니라 오히려 각 기후의 변동성(진동)이 극대화된다는 것을 나타낸다(Arnell, 2004; Meehl et al., 2005; Kundzewicz et al., 2008; Lee et al., 2012). 평년 겨울과 달랐던 2012년 12월 한반도의 혹한도 역설적이게도 상

⁺ To whom correspondence should be addressed.
hydroleee@kangwon.ac.kr

기한 지구온난화의 영향(주요인으로 북극얼음의 해빙에 따른 제트기류의 사행남하)이라는 것이 이를 반증한다(Newshankuk, 2012).

한편 기후변화는 각종 기상현상의 변화와 더불어 강수량의 편재를 다시 한다(Barnett and Adger, 2007). 그 결과 지역에 따라 강수량이 증가하거나 혹은 감소하여 가용 수자원에도 변화가 발생한다. 그러나 우리나라에서 일반적으로 예측되는 강수량의 전체적인 증가가 반드시 수자원의 증가를 의미하지는 않으며 폭우의 형태를 보일 경우 오히려 수자원 관리가 더욱 어려워진다(Jyrkama and Sykes, 2007; Kim et al., 2011; Lee et al., 2012). 특히 단시간의 폭우는 지표수의 저장에도 불리할 뿐만 아니라 지하수 함양에도 좋지 않다. 한편 기온의 증가는 우리나라 북부지역의 겨울철 강설량 감소로 이어지는데(강설은 장시간에 걸쳐 천천히 지하로 침투하므로 상대적으로 지하수 함양에 용이하다는 측면에서), 이는 가용 지하수자원의 감소를 초래할 수 있다(Eckhardt and Ulbrich, 2003; Lee et al., 2012).

본 연구에서는 특이사항으로 알려진 강원도 양구군 해안분지에 대하여 인구, 토지의 이용을 비롯한 인문사회 및 자연적 변화와 더불어 이 지역 용수의 대부분을 차지하는 지하수의 이용·개발량의 변동을 평가하였다. 아울러 우리나라 기후변화정보센터(Climatic Change Information Center, 2013)에서 제공하는 이 지역의 향후(~2100년까지) 기온 및 강수량 변동예측 자료를 통해 지하수 물수지의 변화가능성을 예측하였다. 본 지역은 현재 고랭지 채소재배 및 논농사가 주산업으로 물 의존성이 매우 높은 곳이므로(Lee, 2009; Yun et al., 2009), 향

후 기후변화가 가져올 수자원의 변화는 매우 중요한 지역적 이슈가 될 수 있다. 그러므로 본 연구는 해안분지 지역의 향후 물 사용과 관련한 농업의 전망과 함의를 제공한다.

2. 연구지역 및 방법

2.1 연구지역

연구지역인 해안분지는 서울에서 북동방향으로 약 120 km 떨어진 강원도 양구군 해안면에 위치한다(Fig. 1). 해안분지의 북쪽 외륜은 북한과 접하고 있는 군사분계선으로 민간인의 출입이 엄격히 통제된다. 인공위성 사진을 통해서 본 해안분지는 움푹 파인 접시의 모습을 하고 있다(Fig. 2a). 이런 이유로 한국전쟁 당시 미군들에 의해 펀치볼(Punch Bowl)로 불리게 되었다(Won et al., 1987, 1988; Lee, 2009). 최근에는 이 지역의 전쟁기념관, 제4땅굴 및 을지전망대 그리고 인근의 평화의 댐을 연결한 안보관광지로 각광을 받으면서 일반인들의 발걸음이 잦아지고 있다(Lee, 2009). 또한 해안분지의 특화작물인 고랭지 무를 이용한 시래기 축제가 외부에 알려지면서 11월말이면 접경지역인 해안분지를 찾는 사람이 크게 증가한다. 또 해안면(인제 서화면과 접경) 대암산 용늪은 국내 최초로 국제습지조약(람사르조약)에 습지보호지역으로 등록되었고 우리나라의 대표적인 고층습지로 생태적 관심대상이 되고 있다(Park, 2003; Choi and Heo, 2009; Joo and Park, 2011).

Fig. 1. Location map of the study area, Haeon basin

Fig. 2. (a) Air photo and (b) simplified geologic section of the Haeon basin. The figure was modified from Lee et al. (2013)

앞서 언급한 바와 같이 해안분지는 타원형 접시모양을 하고 있는데 남북으로 길게 10.5 km이고 동서로는 6.7 km 그리고 외륜이 약 32 km, 면적이 62 km²에 이른다(Won et al., 2006; Choi and Lee, 2010). 분지 내부 최저저면의 해발고도는 약 400 m 이고 외륜은 높은 산(해

발 1000 m 내외)으로 둘러싸여 최고 1,242 m(가칠봉)에 이른다. 분지의 하부는 10° 내외의 완경사 지역이나 상부지역은 ~50° 내외의 급경사를 보인다(Lee, 2009). 한편 해안분지의 하천은 수지상으로 발달해 있으며 중산간지역의 하천은 폭이 1~2 m 내외로 좁고 분지 저면에서는 10~15 m 정도에 이른다(Lee, 2009). 하천은 우기와 건기의 수량차이가 매우 크며 우기에는 하천의 유속이 매우 빠르다. 이들 하천수는 분지 저면에서 하나의 하천으로 수렴하여 분지의 동쪽에 위치한 유일 배출구 만대천을 통해 배출된다.

2.2 지질 및 기상

해안분지의 지질은 크게 선캄브리아기의 변성퇴적암류와 쥐라기의 대보화강암, 그리고 하천 인접 극히 일부 지역에 발견되는 제4기 충적층으로 구성된다(Fig. 2b; Won et al., 1988; Yun et al., 2009). 분지 저면에서 나타나는 쥐라기 화강암은 풍화가 매우 심하며 주로 흑운모 화강암이나 일부 복운모 화강암이 수반되기도 한다(Lee, 2009). 한편 분지를 둘러싼 외륜은 편마암복합체로 주로 편마암(gneiss), 편암(schist) 혹은 규암(quartzite)으로 구성되어 있다(Won et al., 1988; Kwon et al., 1990). 앞서 언급한 바와 같이 해안분지는 가운데가 움푹 꺼진 모양을 보이는데 과거에는 운석충돌의 영향으로 해석된 바 있었으나 지금은 풍화에 비교적 강한 변성암류와 상대적으로 약한 화강암의 차별침식 결과로 해석한다(Won et al., 1987; Ham, 1993; Lee, 2009).

한편 분지 중앙에 위치한 해안면 사무소의 기상청 자동관측망(AWS)의 2012년 기상자료에 따르면(낮 12시 측정기준; Fig. 3), 연평균기온은 11.6°C, 연중 최고온도는 31.7°C(8월) 그리고 최저온도는 -14.8°C(12월)로 연중 기온차 46.5°C로 매우 크다. 또 연강수량은 1,389 mm이며

Fig. 3. (a) Daily precipitation and air temperature and (b) air wind and humidity measured at 12:00 in the center of the basin.

Fig. 3. (a) Daily precipitation and air temperature and (b) air wind and humidity measured at 12:00 in the center of the basin. (continued)

이중 62%가 7~9월에 집중되어 나타나며 특히 하루에 수십 mm 이상의 폭우가 내리는 현상이 심화되고 있다 (Lee, 2009). 해안분지의 풍속은 0~9.4 m/sec 범위이며 평균은 2.3 m/sec로 기록되었다. 한편 공기 습도는 연중 변화가 심하지만 21~100% 범위이고 평균은 62%이며 대체로 여름 우기(7~9월)에 습도가 높게 나타난다.

2.3 농업

해안분지의 주산업은 고랭지 작물재배 및 쌀농사이다 (Fig. 4). 쌀농사는 주로 분지의 저면 평지(400~600 m 고도)에서 이루어지며(Fig. 4a), 관개는 일부 인근 하천수(저수지)를 이용하지만 대부분 개별 지하수관정을 이용

(a) Paddy field (2008.07.16)

(b) Vegetables field (2009.08.03)

(c) Turbid water (2008.07.19)

(d) Mitigation project of turbid water (2009.08.03)

Fig. 4. Photos showing (a) paddy field, (b) vegetables field (radish), (c) turbid water due to a rainstorm, and (d) a project banner for mitigating the turbid water in the basin. The photos were taken in July 2008 or August 2009

Fig. 5. Land use changes for 1989-2009 in the Haean basin. The photos were obtained from the Environmental Geographic Information System of the Ministry of Environment

하고 있다. 한편 중산간 지역(600~800 m)에서는 거의 대부분 고랭지 채소재배가 이루어지고 있다(Fig. 4b). 고랭지 작물로 재배되는 주요 채소로는 배추와 무를 들 수 있다. 이런 고랭지 작물재배가 가능한 것은 여름철에도 분지 내에 발생하는 기온역전현상으로 산록사면에 냉기가 형성되기 때문이다(Choi et al., 2010).

한편 이러한 고랭지 채소의 과종시기가 우기인 6~7월과 겹치고 피복토양에 대한 적절한 완충대비가 없어 폭우 시 다량의 토사가 유출되어 1990년대부터 반복되는 소양호 탁수문제의 주요 원인으로 지적되었다(Fig. 4c; Lee, 2009; Jeon and Kang, 2010). 이런 이유로 해안분지의 고랭지 작물재배를 금지해야 한다는 주장도 있었다. 1989년, 1999년과 2009년의 해안분지의 토지이용 상황을 살펴보면(Fig. 5), 중산간지역의 산림 및 나대지가 급속하게 농업지역(주로 고랭지 채소지)로 전환된 사실을 알 수 있다. 이런 고랭지 채소지의 면적(약 24 km²)은 분지 전체면적의 39%, 접근가능 면적의 반 이상, 또 소양강 유역 전체 고랭지 밭의 2/3에 달할 정도로 급속히 개발되었다(Jeon and Kang, 2010). 비교적 최근에는 탁수저감을 위한 중앙정부 및 지자체의 다양한 노력이 경주되고 있다(Fig. 4d; Lee, 2008).

2.4 자료수집

본 연구에서는 해안분지의 인문사회학적 변화 그리고 지하수 및 기후변화와 관련한 물사용 전망을 위하여 다양한 정보를 수집하였다. 우선 해안분지(해안면)의 인구 및 가구수에 대한 정보는 강원정보통계 사이트(GSI, 2013)에서 취득하였다. 또 해안분지 내의 지하수 개발 관정 수 그리고 개발량에 대해서는 국토부와 한국수자원공사가 발행하는 지하수조사연보에서 그리고 국가지하수정보센터(GIMS, 2013)의 자료를 이용하였다. 또 해안면 지역의 2100년까지 기후변화 양상(강수량, 기온)은 온실가

스 대표농도경로 두 가지(RCP 4.5 및 RCP 8.5) 경우에 대해 기상청 기후변화정보센터(www.climate.go.kr)에 자료 신청(남한상세 해상도, 양구군 대상)을 하여 취득하였다. 여기서 대표농도경로 RCP 4.5는 2100년 기준 이산화탄소 농도 안정화(탄소저감노력 가시화)를 그리고 RCP 8.5는 현재와 같은 이산화탄소 상승경로(BAU)를 의미한다(Sung et al., 2012). 또한 해안면 지역의 기존의 기후관측 자료(강수량 및 기온)에 대해서는 기상청(해안면 AWS)에서 수집하였다.

3. 결과 및 토론

3.1 인구변화 특성

양구군 해안면(해안분지와 해안면이 일치)은 한국전쟁 당시 격전지로 유명하며 1983년에서야 동면 해안출장소가 독립적인 해안면으로 승격되었다. 1984년 해안분지의 인구는 472가구 2,296명(남 1,122명, 여 1,074명)이었다(Fig. 6). 이후 약간의 상승 년도가 있었지만 인구수는 계속 감소하여 2006년에 1,403명에 이르렀다. 그러나 2007년부터 다시 인구수가 점진적으로 증가하는 양상을 보이고 있는데(2010년 1,569명) 이는 양구군이 그 동안의 급격한 인구감소와 취약한 산업구조 등을 극복하기 위하여 2005년 말부터 국토정중앙 홍보활동을 적극적으로 시행하고 또 해안면에 6만 m²의 산채시험장, 산채매장 및 가공공장을 설치(2007년)하는 등의 효과(인구유입)로 해석된다(Gangwon-domin Daily, 2005). 한편 가구수의 경우 전체 인구수와는 상당히 다른 거의 반대의 변화양상을 보였다. 인구수는 줄어드는 반면에 가구수는 증가하였는데, 이는 전반적으로 전출인구가 많았으나 고랭지 작물재배 등을 위해 혼자(혹은 소수가) 전입하여(상당수가 외국인 근로자) 가구를 이루는 경우가 많아

Fig. 6. Population, number of households, population density and persons per household of the Haeon basin for 1984-2010. The data are from the Gangwon Statistical Information (<http://stat.gwd.go.kr>)

발생한 현상으로 볼 수 있다. 그 결과 인구밀도와 가구당 인원수가 크게 감소하였다(Fig. 6b).

3.2 기후변화 특성

해안분지(중앙 저면에서 측정)의 2000~2010년 연평균 기온은 8.1~9.3℃ 범위였으며 전반적인 상승경향을 보이고 증가율은 +0.016℃/년으로 분석되었다(Fig. 7a). 평균 기온은 고산지역 평창(대부분 지역이 해발 700 m 이상,

~7.7℃)보다 높으나 기온증가율은 평창(1972~2010: +0.030℃/년)의 절반 수준이며 남한지역에서 가장 낮은 수준이다(Park et al., 2011; Lee et al., 2012). 한편 기후변화정보센터의 예측은 이보다 심각한 상황이다. RCP 4.5에 의하면 2010년 연평균 8.2℃에서 2100년 10.6℃를 예상하고 있으며 상승속도는 지난 10여년간 상승률의 1.5배 이상인 +0.024℃/년으로 보고 있다. 최악의 RCP 8.5(BAU)의 경우 2100년 연평균 기온이 14.8℃이고 상승

속도는 $+0.066^{\circ}\text{C}/\text{년}$ 으로 예측하였다. 그러나 지난 10여년간의 기온관측 자료를 보았을 때 두 경우 모두 다소 과다 예측한 것으로 보인다. 그럼에도 불구하고 이와 같은 기온상승은 생육기 저온유지가 필수인 이 지역 고랭지 채소재배에 큰 영향을 줄 것으로 사료된다.

강수량의 경우 증가경향은 더욱 뚜렷하다(Fig. 7b). 1973년 연강수량 719 mm에서 2010년 1,354.1 mm로 연 $+10.41$ mm의 증가속도를 보였다. 그러나 기후변화시나리오에 의한 예측은 이와 좀 다르다. RCP 4.5에 의하면

연 2.14 mm 씩 증가하는 것으로 예측되었으며 RCP 8.5는 오히려 연 0.45 mm 씩 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 지난 40여년간 관측된 자료를 보았을 때 RCP 4.5의 증가속도보다 큰 증가율이 타당한 것으로 보인다. 한편 상기 기관측된 강수량에서 나타난 바와 같이 강수량은 증가하지만 연도별 변동성이 크게 늘어(즉 연간 강수량 편차 증가) 물 사용과 관리에 어려움이 예상된다(Yun et al., 2013).

Fig. 7. Observed and predicted (a) annual mean air temperatures and (b) annual precipitation according to the climate scenarios, RCP 4.5 and RCP 8.5

그런데 강수량 증가에서 다른 흥미로운 사실을 알 수 있다. Fig. 8은 우기에 해당하는 6~8월과 건기인 12~2월의 강수량을 보여준다. 지난 40여년간 여름 강수량은 연간 7.59 mm 씩 증가한 반면에 겨울강수량은 겨우 연간 0.21 mm 씩 증가하였다. 이는 전체강수량 증가의 대부분이 여름철 우기 강수증가에 의한 것임을 지시한다. 또 여름에 집중된 강우는 단시간의 폭우형태를 띄고 있어

지표유출 증가에 의한 물 저장 및 지하수 함양에 매우 불리하다. 특히 고랭지 채소경작지 토양유실에 의한 탁수유발 가능성도 높아진다. 그리고 느리지만 효과적인 지하수함양에 유리한 겨울 강설이 크게 증가하지 않음으로써 전체 지하수 물수지에도 악영향을 끼칠 수 있다 (Eckhardt and Ulbrich, 2003; Lee et al., 2012; Yun et al., 2013).

Fig. 8. Precipitation in summer (June-August) and winter (December-February) and their ratio for 1973-2010 in the basin

3.3 지하수 이용과 전망

Fig. 9는 1995~2010년(1993년 말 지하수법 제정 그 이듬해 시행, 이후 지하수통계를 내기 시작함) 해안분지의 지하수 관정수와 지하수개발량을 보여준다. 1995년 해안분지에는 총 304개의 신고관정이 있었으며 이는 1 km²당 약 5개의 지하수관정이 개발되었음을 나타낸다. 그러나 해발 800 m 이상은 농업목적 접근이 불가능하여 지하수관정이 없어 이 면적을 제외하면 1 km²당 10 여개 이상의 지하수관정이 있음을 의미한다. 실제로 해안분지의 개별 논과 밭은 최소한 1개 이상의 지하수관정을 발견할 수 있어 오히려 이 공식적인 신고관정(미신고 관정

이 다수 있음)의 수가 적은 것으로 판단된다(Lee, 2009). 2000년까지 이 수는 거의 유지되었으나 통계가 없는 2001~2003년을 지나면서 그 수는 급감하여 2004년 40개에 이른다. 이는 일부 인구유출과 관련이 있어 보이거나 통계오류라고 보는 것이 더 타당해 보인다. 이후 2007년부터 다시 지하수관정의 개수는 점진적으로 증가하였는데 이는 해안면 인구 재증가 및 고랭지 시험장 설치 시기와 잘 일치한다(Fig. 6 참조). 한편 이들 지하수관정은 농업용과 생활용으로 신고되었는데 농업용이 80~98%로 압도적으로 많다.

지하수 사용량도 지하수 관정수와 거의 동일한 변화를 보였다(Fig. 9b). 1995년 총 532,000 m³(=8,509 m³/

Fig. 9. Number of groundwater wells and annual groundwater use in the Haeon basin. The data are from the Integrated Ground Water Information Service (<http://www.gims.go.kr>)

$\text{km}^2/\text{yr}=23 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{day}$)의 지하수를 사용하였으나 관정수와 유사하게 2004년 연 $313,000 \text{ m}^3$ 으로 감소하였다가 이후 꾸준히 상승하여 2010년 현재 연 $389,000 \text{ m}^3$ 의 지하수를 이용하는 것으로 나타났다. 관정수와 마찬가지로 이용량 측면에서도 해안분지의 지하수는 거의 대부분 (88~96%) 농업용으로 사용하고 있다. 이런 이유로 우기인 여름철에도 오히려 지하수위가 상당히 하강하는 현상을 보이고 있다(Choi and Lee, 2010). 2010년과 2012년 여름 강원도 지역의 심각한 가뭄 시 해안분지의 하천은 말랐고 지하수위도 크게 낮아져 논농사 및 고랭지 작물 재배에 심각한 타격을 받았다(Netsster Media, 2010; News1, 2012). 최근 전국적 명성을 얻고 산업적 탄력을 받고 있는 고랭지 작물재배가 확대된다면 추가적인 지하수개발이 이루어질 것이고 이럴 경우 가뭄 시 물 압박은 더욱 심해질 것이다.

4. 결 론

양구 해안분지는 특이한 지형 및 수리지질학적 특성으로 관심의 대상이 되고 있다. 한국전쟁 이후 군사상 민간인 접근이 제한되었으나 최근 안보관광 및 고랭지 작물재배로 일반인의 방문이 잦아지고 있다. 아울러 폐쇄적인 분지지형으로 인해 기후변화와 관련한 생태연구의 대상이 되고 있다. 본 논문에서는 해안분지의 인구, 지질, 기후 및 지하수 사용 특성에 대하여 살펴보았다. 인구는 1984년 이후 감소하였으나 2007년부터 고랭지 작물 특화사업 이후 점진적 증가양상을 보였다. 양구분지는 2000년 이후 기온이 꾸준히 증가하고 있으며 RCP 4.5에 의하면 2100년에 10.6°C 에 도달할 것으로 보인다. 이에 따라 강수량도 꾸준히 증가하고 있으나 이 대부분이 여름철 집중강우에 치우쳐 있어 물 사용과 관련한 어려움이 예상된다. 현재 해안분지는 거의 대부분 논농사와 고랭지 작물재배에 종사하고 있어 물사용이 많으며 대부분 지하수에 의존하고 있다. 향후 기후변화에 대비하기 위하여 해안분지에서 지속가능한 지하수 이용량 평가 및 물 의존적인 농업형태에 변화(작물종류의 전환 등) 혹은 지하수 함양을 증가시킬 수 있는 조치(인공함양 등)가 있어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2012-0002628)에서 지원되었습니다. 세 분 심사위원님의 유익한 수정의견에 깊이 감사드립니다.

References

- Arnell, NW (2004). Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios, *Global Environmental Change*, 14(1), pp. 31-52.
- Barnett, J and Adger, WN (2007). Climate change, human security and violent conflict, *Political Geography*, 26(6), pp. 639-655.
- Choi, G, Lee, B, Kang, S and Tenhunen, J (2010). Variations of summertime temperature lapse rate within a mountainous basin in the Republic of Korea-a case study of Punch Bowl, Yanggu in 2009, *Journal of the Korean Association of Regional Geographers*, 16(4), pp. 339-354. [Korean Literature]
- Choi, HJ and Heo, K (2009). Flora monitoring of Yongnup, an Alpine Wetland, in Mt. Daeam, Korea *Journal of Nature Conservation*, 3(2), pp. 93-104. [Korean Literature]
- Choi, HM and Lee, JY (2010). Groundwater level distribution and rainfall response characteristics in Haeam Basin of Yanggu, *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 15(6), pp. 1-8. [Korean Literature]
- Climate Change Information Center (CCIC) (2013). <http://www.climate.go.kr/>.
- Eckhardt, K and Ulbrich, U (2003). Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range, *Journal of Hydrology*, 284(1-4), pp. 244-252.
- Gangwon-domin Daily (2005). Symposium for upgrading values of Yanggu, center of the country, Dec. 10, 2005. [Korean Literature]
- GIMS (2013). <http://www.gims.go.kr/>.
- GSI (2013). <http://stat.gwd.go.kr/>.
- Ham, GB (1993). Joys, sorrows and dreams of peoples in Punchball in northern area of Demilitary Zone, *Monthly Mal*, 1, pp. 116-119. [Korean Literature]
- Jeon, MS and Kang, JW (2010). *Muddy Water Management and Agricultural Dvelopment Measures in the Watershed of Soyang Dam: Focused on Haeam-myeon, Yanggu-gun*, Research Report, Research Institute for Gangwon, Chuncheon, Korea. [Korean Literature]
- Joo, KH and Park, JK (2011). Discharge patterns of Yongnup, Daeam-san, *Journal of Korea Geomorphological Association*, 18(4), pp. 271-282. [Korean Literature]
- Jyrkama, MI and Sykes, JF (2007). The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in

- the grand river watershed (Ontario), *Journal of Hydrology*, 338(3-4), pp. 237-250.
- Kim, H, Lee, JY, Lee, SS, Hyun, Y and Lee, KK (2011). Characterization of vertical temperature distribution in hyporheic zone, *Journal of Wetlands Research*, 13(2), pp. 265-273. [Korean Literature]
- Kundzewicz, ZW, Mata, LJ, Arnell, NW, Doll, P, Jimenez, B, Miller, K, Oki, T, Sen, Z and Shiklomanov, I (2008). The implications of projected climate change for freshwater resources and their management, *Hydrological Sciences Journal*, 53(1), pp. 3-10.
- Kwon, YS, Lee, HH, Han, U, Kim, WH, Kim, DJ, Kim, DI and Youm, SJ (1990). Terrain analysis of Haeian basin in terms of earth science, *Journal of Korean Earth Science Society*, 11(3), pp. 236-241. [Korean Literature]
- Lee, JY (2008). A hydrological analysis of current status of turbid water in Soyang River and its mitigation, *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 13(6), pp. 85-92. [Korean Literature]
- Lee, JY (2009). Importance of hydrogeological and hydrologic studies for Haeian basin in Yanggu, *Journal of the Geological Society of Korea*, 45(4), pp. 405-414. [Korean Literature]
- Lee, JY, Jeon, WH, Park, Y and Lim, HG (2012). Status and prospect of groundwater resources in Pyeongchang, Gangwon-do, *Journal of the Geological Society of Korea*, 48(5), pp. 435-444. [Korean Literature]
- Lee, JY, Lee, KS, Park, Y, Choi, HM and Jo, YJ (2013). Chemical and isotopic compositions of groundwater and stream water in a heavy agricultural basin of Korea, *Journal of the Geological Society of India* (in press).
- Meehl, GA, Washington, WM, Collins, WD and Teng, H (2005). How much more global warming and sea level rise?, *Science*, 307(5716), pp. 1769-1772.
- Netster Media (2010). Thirsty Gangwondo “emergency”... “The worst drought” in 38 years, August 9, 2010. [Korean Literature]
- News1 (2012). Emergency input of 4,450,000,000 won into Gangwondo drought, June 28, 2012. [Korean Literature]
- Newshankuk (2012). Extreme cold in Korean Peninsular is a paradox of global warming...weather is disaster, Newshankuk Opinion, 29 Dec. 2012. [Korean Literature]
- Park, JK (2003). Characteristics of pH, electric conductivity and water temperature of groundwater in Yongnup, Daeam-san, *Journal of the Korean Geographical Society*, 38(1), pp. 1-15. [Korean Literature]
- Park, YC, Jo, YJ and Lee, JY (2011). Trends of groundwater data from the Korean National Groundwater Monitoring Stations: indication of any change?, *Geosciences Journal*, 15(1), pp. 105-114.
- Sung, JH, Kang, HS, Park, SH, Cho, CH, Bae, DH and Kim, YO (2012). Projection of extreme precipitation at the end of 21st century over South Korea based on representative concentration pathways (RCP), *Atmosphere*, 22(2), pp. 221-231. [Korean Literature]
- Won, JK, Lee, MW, Jin, MS and Han, SB (2006). Haeian basin in Yanggu, 2006 *Detailed Investigation Report on Geology, Mineral and Cultural Heritage*, Cultural Heritage Administration of Korea, Seoul, Korea, pp. 50-83. [Korean Literature]
- Won, JK, Lee, MW and Woo, JK (1987). Geologic and geographic characteristics of Haeian basin, *Memorial Book of 40th Anniversary of Kangwon National University*, Kangwon National University, Chuncheon, Korea, pp. 45-57. [Korean Literature]
- Won, JK, Na, KC and Lee, MW (1988). Geology in northern area of Demilitary Zone, *Investigation Report of Resources in North of Demilitary Zone* (Geology), Cultural Heritage Administration of Korea, Seoul, Korea, pp. 114-120. [Korean Literature]
- Yun, SW, Jo, YJ and Lee, JY (2009). Comparison of groundwater recharges estimated by waterlevel fluctuation and hydrograph separation in Haeian basin of Yanggu, *Journal of the Geological Society of Korea*, 45(4), pp. 391-404. [Korean Literature]
- Yun, SW, Kim, YS, Kim, DH, Kim, HC, Shin, MC, Park, JY, Kim, H and Lee JY (2013). Comparative study on change in groundwaters of rural and urban areas in Korea: effects of climate change, *Proceedings of 2013 EGU*, Viennena, Austria, 7-12 April, pp. 3774-1.
- 논문접수일 : 2013년 01월 12일
- 심사의회일 : 2013년 01월 15일
- 심사완료일 : 2013년 03월 05일