

무심천 인근 상대리 수막재배지에서 지하수 사용 후 배출되는 최종 배수로 물의 수질 특성

문상호^{1*} · 김용철¹ · 황 정²

¹한국지질자원연구원 지구환경연구본부 지하수연구실, ²대전대학교 건설안전방재공학과

Water Quality in a Drainage System Discharging Groundwater from Sangdae-ri Water Curtain Cultivation Area near Musimcheon Stream, Cheongju, Korea

Sang-Ho Moon^{1*}, Yongcheol Kim¹ and Jeong Hwang²

¹Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Daejeon, 305-350, Korea

²Daejeon University, Dept. of Construction Safety and Disaster Prevention, Daejeon, 300-716, Korea

(Received: 13 October 2015 / Revised: 26 October 2015 / Accepted: 28 October 2015)

The Sangdae-ri riverside around Musimcheon stream, flowing through Gadeok-myon of Cheongju City, is one of the representative strawberry fields employing water curtain cultivation (WCC) in Korea. In this area, annual groundwater use for WCC has been calculated by a few methods. On the assumption that all the water flowing through the final ditch may be mostly composed of groundwater, the discharge rate in it can be used as a good proxy for assessing the groundwater use. However, in the study area, the final ditch was set up in an unpaved state near and parallel to Musimcheon stream. Under such circumstances, the drainwater is likely to be influenced by infiltration and/or inflow of nearby stream. Hence, we examined whether or not stream water has influenced water flowing out through the final ditch in respect of ion concentrations or field parameters such as T, pH and electrical conductivity (EC) values. The period of measuring field parameters and sample collection was from February 2012 through February 2015. The drainwater in the final ditch did not show the average quality of groundwater, but similar quality of stream water in respect of pH, EC, ion contents and water type. From this, it is suggested that measuring the flow rate of the final ditch should not be directly used for assessing groundwater use in the study area. In addition, because of its sensitivity to ambient temperature, water temperature proved not to be appropriate for estimating the interaction between ditch and stream. For accuracy, additional methods will be needed to calculate mixing ratios between stream and ground water within drainage system.

Key words : Cheongju, Musimcheon, water curtain cultivation, groundwater use and discharge, ditch water quality

우리나라의 대표적 딸기 수막재배지 중 하나인 청주시 가덕면 상대리 일대에서는 수막재배용 지하수 이용량이 몇 가지 방법으로 산정된 바 있다. 이러한 지하수 이용량 산정 방법 중에는 수막재배 사용 후 배출되는 배수로의 유량을 근거로 하는 것이 있으며, 이러한 방법은 배수로의 물이 모두 사용 후 배출되는 지하수로만 구성되어 있다는 가정 하에 적용된다. 연구지역에서 지하수가 사용된 후 무심천으로 유출되기 직전의 최종 배수로로는 비포장 상태이며 하천 가까이에 나란히 개설되어 있다. 이러한 상황에서는 배수로의 물이 인근 하천수의 침투·유입에 의한 영향을 받을 가능성이 있다. 이 연구는 상대리 지역에서와 유사한 하천과 배수로의 구조 및 형태를 가지는 경우에, 최종 배수로의 배출수가 수질의 관점에서 하천수의 영향을 받고 있는지의 여부를 검토해 보았다. 고려된 수질 요소는 현장 수온과 pH, EC 값, 실내 분석에 의한 이온 함량과 수질 유형이며, 현장 측정 및 시료 채취 기간은 2012년 2월부터 2015년 2월

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided original work is properly cited.

*Corresponding author: msh@kigam.re.kr

까지이다. 검토 결과, 배출수는 지하수의 평균 수질을 반영하지 않으며, 오히려 하천수의 수질을 많이 반영하는 것으로 나타났다. 이로 보아, 연구지역에서와 같이 배수로가 인근 하천 가까이에서 비포장 상태를 유지하는 경우에는, 배출수의 유량 측정을 지하수 이용량 산정에 직접적으로 이용하는 데에 많은 주의가 필요한 것으로 판단되었다. 이 연구에서 배출수의 수온은 주변 대기 온도에 매우 민감하게 반응하여 변하기 때문에, 하천수의 영향을 정량적으로 판단하기는 부적절한 요소인 것으로 나타났다. 향후 배출수 내 지하수와 하천수의 혼합 비율을 정량적으로 산정하는 연구가 병행되어야 할 것으로 사료된다.

주요어 : 청주, 무심천, 수막재배, 지하수 이용량, 배출수 수질

1. 서 언

국내에서는 최근에 수변지역에서의 시설재배와 수막재배 면적이 증가하면서 총적층 지하수의 이용량이 크게 증가하는 추세이다. 특히, 수막재배는 지하수의 열 에너지를 이용하여 비닐하우스를 난방하는 방법으로서, 동절기에 다량의 지하수를 집중적으로 양수하게 되므로 일시적인 지하수 고갈 문제가 발생되고 있다(KIGAM, 2010; Moon *et al.*, 2012). 이러한 수변지역에서의 지하수 수량 문제는 인근 하천수와의 연계 특성이 고려될 때 보다 정량적으로 해결될 수 있을 것이다.

최근에 수자원의 효율적 관리 측면에서 지하수와 하천수는 별개의 자원이 아니라 상호 연결된 하나의 자원이라는 인식이 대두되었다(Winter *et al.*, 1998; Winter, 1999; Sophocleous, 2002; Chung and Kim, 2009). 이와 관련하여, 국내에서의 지하수-지표수 연계 연구는 SWAT, MODFLOW 등 수치모델 중심의 연구(Chung *et al.*, 2011), 수위/온도 계측자료 기반의 연구(Kim *et al.*, 2006; Ha *et al.*, 2006; Jeon and Kim, 2011), 수질 자료에 의한 연구(Hyun *et al.*, 2006) 등이 있어 왔다. 하천 주변지역에서의 지하수-지표수 연계 특성은 실제적인 수위/수질 자료를 활용하여 연구되어야 하며, 수온은 하천수와 지하수와의 연계성 여부를 지시해주는 중요한 요소 중 하나가 될 수 있는 것으로 보고되었다(Siliman and Booth, 1993; Stonestrom and Constantz, 2003; Conant, 2004; Kim *et al.*, 2006).

연구지역은 청주시 가덕면 상대리 지역으로서 우리나라의 대표적 딸기 수막재배지 중 하나이며, 국토교통부 수변 지하수 활용 고도화 연구단의 “수변 총적층 지하수위 복원 기술” 연구가 수행되고 있는 곳이다. 수막재배 성수기에 집중적인 지하수 이용에 따른 지하수위 하강 문제를 해결하기 위해 2011년부터 5년간 이 연구가 진행되고 있다. 상대리 수막재배지역을 대

상으로 수행된 수위 및 수량 관련 지하수 연구로는 배수로(ditch) 유출량을 이용한 지하수 이용량 산출 연구(Moon, 2012), 일일 최저기온과 지하수 이용량의 상관 관계를 이용한 지하수위 변화 분석 연구(Chang and Chung, 2014) 등이 있다. 이들 연구에서 지하수 이용량 산정에 대한 몇 가지 방법이 제시되었고, 그중에는 배수로의 유출량을 이용하려는 노력도 있었다.

이 연구에서는 수막재배 사용 후 배수로(ditch)를 통하여 무심천 하류로 유출되는 지하수 물이 배수로를 통과해 갈 때 순수 지하수로만 되어 있는 것인지, 아니면 인근 무심천의 영향에 의해 하천수가 일부 침투, 혼합되고 있는 것인지를 여부를 검토해 보았다. 이는 연구지역에서와 같이, 하천에 유입되기 직전의 최종 배수로가 하천 가까이에서 하천과 평행하게 개설되어 있으며, 포장 수로가 아니라 자연 토양 상태를 유지한 배수로인 경우에, 배수로로 유출되는 물이 순전히 지하수의 특성을 가지고 있는지를 알아보는 것이다. 이는 배수로의 유출량 측정이 수막재배지에서의 지하수 이용량 산출에 타당한 것일지의 여부를 판단케 하며, 유사 환경의 국내 수막재배지에서 상용될 수 있는 방법인지의 여부를 가늠케 하는 기초 자료가 될 수 있을 것이다.

2. 연구지역 현황 및 연구 내용

연구지역은 청주시 가덕면 상대리 일대 딸기 수막재배지로서, 전체 면적이 410,000 m² 정도이다(Fig. 1). 이 지역의 우측에는 낮은 구릉성 산지가 분포하고 있으며, 좌측에는 무심천이 남에서 북으로 흘러 소규모 지하수 흐름을 지배한다. 수막재배에 사용된 지하수는 비닐하우스 단지와 단지 사이에 만들어진 포장 수로(이하 1차 배수로라 칭함, Fig. 1의 Ditch 1~3)들을 통해 1차 배출되다가 무심천과 나란하게 만들어진 비포장 배수로(이하 최종 배수로라 칭함)에 모아져서 무심천 하류로 방류된다(Fig. 2). 이 지역에서 시료가 채취



Fig. 1. Study site (sources: <http://map.daum.net/>, 2015-05-14). The village on the right part is Sangdae-ri, Gadeok-myeon, Cheongju City, Korea. Blue lines indicate the flow direction of ditch water which was outflowing after use. Stream water (blue solid circles with violet line: S1~S4), ditch water (yellow solid circles with red line: D1~D4) and ground water (red solid circles: a1~a3, b1~b5, c1~c5, d1~d9) were collected.



Fig. 2. Photographs of paved ditch 1 (left) established with east-west direction and unpaved ditch (right) parallel to Musimcheon stream.

된 하천수, 배출수 지점, 그리고 관측공과 수로 위치 및 배출 지하수의 흐름은 Fig. 1과 같다. 1차 배수로 들은 지하수 관정들이 집중 개발되어 있는 도로를 따라 개설된 것이 아니라, 이들 도로와 도로 사이 중간 지점에서 이들과 평행하게 위치한 동-서 라인을 따라 개설되어 있다. 동-서 방향의 1차 배수로는 현재 시멘트로 포장되어 있는 반면에, 남-북 방향으로 무심천과 나란한 방향으로 개설된 최종 배수로는 비포장 상태이다. 최종 배수로는 시멘트로 포장되지 않아 원래의 토양 특성을 잘 유지하고 있으며, 하천 및 지하수 대수층 등 주변과 수리적으로 연결되어 있을 가능성이 있다. 1차 배수로 중 Ditch 1에는 a1, b1 관정의 지하수가 유출되며, a1과 동일 선상에 개발된 a2, a3 지하

수 관정은 이보다 북쪽의 배수로를 통해 하류로 유출된다. 1차 배수로 중 Ditch 2에는 b2, b3, b4, b5, c3, c4, c5 관정의 지하수가 모여 유출된다. Ditch 3는 c1, c2, d1, d2, d3, d4, d5, d7, d8, d9 관정의 지하수를 모두 모아 최종 배수로로 유출시킨다. 최종 배수로에서의 관측 및 시료 채취 지점은 D1~D4 4개 지점이다. 이들 중 D1은 배수로 상류의 대부분 지하수를 받아들이고 있고, D2는 Ditch 2와 Ditch 3의 배출 지하수를 받아들인다. D3는 Ditch 3를 통해 배출되는 지하수를 반영한다. 최종 배수로에서의 최상류 지점인 D4는 d3 관정의 배출 지하수가 집수되는 지점이다. 이 지역은 11월부터 3월까지 지하수를 이용한 비닐 하우스 보온재배법을 활용하고 있어, 겨울철 지하수위

는 갈수기라는 계절적 요인 외에도 수막재배에 따른 집중적인 지하수 이용에 의해 11월부터 3월까지 지속적으로 하강 추세를 보인다(MOLTMA and KICTEP, 2012; MOLIT and KAIA, 2013; Chang and Chung, 2014). 지하수위 하강에 따른 수막재배 용수 부족은 1월말부터 겪기 시작하며, 3월부터 지하수위가 최저점을 지나 회복되는 양상을 보인다.

하천수가 배수로의 물(지하수 배출수, 이하 배출수)에 미치는 영향을 파악하기 위해서 지하수 뿐 아니라 상류로부터 하류로 가면서 4군데의 하천수(S1~S4)와 배출수(D1~D4)에 대하여 수온 및 pH, 전기전도도(electrical conductivity; EC), 용존산소(dissolved oxygen; DO) 등을 측정하고, 이온 함량 분석도 실시하였다. S2 하천에 대하여는 흐르는 유로상에 있는 S2-1과 정체되어 있는 S2-2를 서로 비교하였다. 수온 등 현장 수질 측정은 2012년부터 2015년까지 실시하였으며, 금번 연구에서 지하수와 하천수 및 배출수의 수질 비교는 주로 수막재배가 시작되는 2013년 11월과 수막재배가 끝날 무렵의 2014년 2월을 집중 대상으로 하였다. 현장에서의 EC 측정에는 WTW Multi 340i, pH와 DO 측정에는 Hach HQ40d를 이용하였으며, pH 측정기는 Hach Buffer Solution의 pH 4.01, 7, 10.01로 보정하여 이용하였다. 이온 함량 분석은 한국지질자원연구원 지하수연구실에서 실시하였으며, 양이온은 유도결합 플라즈마 분광광도계(Optima 7300 DV, Perkin Elmer), 음이온은 이온교환 크로마토그래피 시스템(ICS-1500, Dionex)를 이용하여 분석하였다.

3. 연구 결과 및 토의

3.1. 수온 측정 결과

연구지역내 하천수와 배출수에 대한 수온 및 현장 수질 측정은 2012년 2월 10일부터 2015년 2월 25일까지 실시되었으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

하천수의 수온은 겨울철 수막재배기(11월~3월)에 S1 2.6~12.8°C, S2-1 4.6~12.5°C, S2-2 10.2~13.7°C, S3 1.4~12.0°C, S4 2.3~12.0°C 범위로 측정되었다. S4 하천수의 2014년 6월 말 수온은 28.7°C로 측정되었으며, 이는 하천수의 수온이 주변 대기온도에 의해 쉽게 영향을 받기 때문이다(Fig. 3(a)). 하천수 중 S2-1과 S2-2는 2013년 11월 16일 09:25부터 11:10까지 각각 3회씩 수온을 측정하여 비교하였다. 그 결과, 오전 9시경부터 11시경으로 가면서 대기 온도 상승에 따른 하천수의 수온이 0.4~1.0°C 범위로 상승되었다. 동

일 시간대임에도 불구하고 흐르는 물인 S2-1에 비해 정체되어 있는 물인 S2-2의 수온이 상대적으로 2.1~2.7°C 정도 높은 현상을 보였다.

겨울철 수막재배 시기에 측정된 배출수의 수온은 D1 4.1~16.5°C, D2 0.8~15.7°C, D3 5.6~16.7°C, D4 3.8~16.0°C 범위를 보였다. 배출수 D4의 2014년 6월 말 수온은 25.1°C로 측정되었으며, 이는 하천수와 마찬가지로 배출수의 수온이 주변 대기온도의 영향을 많이 받았기 때문이다. 배출수 D2에 대하여는 2012년 2월 10일 16:25부터 익일 11:10까지 8회 측정하였으며, 이때의 측정 수온은 0.8~6.7°C이다. 이 시기의 대기 온도는 -11.0~-1.2°C로서 이러한 대기 온도 변화가 배출수의 수온 변화에 영향을 미친 것이다. 배출수 D2에 대하여도, 인근 하천수인 S2와 마찬가지로 동일 시간대인 2013년 11월 16일 09:22부터 11:04대에 3회 수온 변화를 측정하였다. 그 결과 오전에서 오후로 가면서 약 2.0°C의 수온 상승률을 보였다. 이는 동일 시간대에 배출수의 수온 상승률이 하천수의 수온 상승률(0.4~1.0°C)에 비해 높음을 보여 주는 것이다. 즉, 하천수, 배출수는 모두 주변 대기 온도의 변화에 의해 영향을 받고 있으며, 배출수는 하천수에 비해 부피가 현저히 작기 때문에 주변 대기 온도 변화에 의한 영향을 보다 크게 받고 있음을 의미한다. 이와 같이, 대기 온도에 대한 배출수 온도 변화의 민감성 때문에, 연구 지역에서는 하천수가 배출수에 미치는 영향을 판단하기에 수온이 적절치 않은 요소인 것으로 판단되었다.

지하수의 수온 및 수질 측정은 2012년 2월 1일부터 2015년 2월 25일까지 실시되었다. 그 중 다수의 관정들이 동시에 관측된 2013년 11월과 2014년 2월 수온 및 수질 측정 결과는 Table 2와 같다. Table 3는, Table 2의 측정 자료를 이용하여, 측정 시기별, 1차 배수로별로 토출된 지하수의 수온 및 수질을 종합 정리한 것이다.

겨울철 수막재배 시기에 측정된 지하수의 토출 온도는 축선 A-Line 관정들이 10.4~14.5°C, 축선 B-Line 관정들이 5.5~15.6°C, 축선 C-Line 관정들이 13.1~17.1°C, 축선 D-Line 관정들이 6.8~14.6°C 범위를 보였다. 전체적으로 지하수의 수온은 5.5~17.1°C 범위로서 매우 온도 변화가 큰 편이나, 대부분은 9.7~15.6°C 범위를 갖는다(Fig. 3(a)). 대부분의 관정에서 지하수의 토출 온도가 수막재배 초기인 11월에 비해 수막재배 말기인 2-3월에 상대적으로 낮게 측정되었다(Table 2). 이는 지하수 수위의 잠진적인 저하에 따른 하천수의 영향 증대에 기인된 것으로 사료된다. 2013년 11월 초에 1차

Table 1. The measured field parameters of stream and ditch waters including T, pH and DO. Sampling campaigns were performed from 2012-02-10 to 2015-02-15

Stream Water						Ditch Water					
No.	sampling date & time	T (°C)	pH	EC ^a	DO ^b	No.	sampling date & time	T (°C)	pH	EC ^a	DO ^b
S1	2012-03-06 18:30	5.7	7.56	274	11.77	D1	2013-11-08 14:20	16.5	8.39	274	12.78
	2013-11-08 14:40	12.8	8.24	274	12.84		2013-11-08 15:00	16.2	-	-	-
	2013-11-16 10:57	7.9	-	-	-		2013-11-16 10:55	12.7	-	-	-
	2014-02-13 07:57	2.6	8.05	273	11.62		2014-02-13 07:45	4.1	7.99	284	10.65
S2-1	2012-03-10 17:20	7.9	7.87	248	12.34	D2	2012-02-10 16:25	6.4	8.17	250	12.29
	2013-11-09 14:15	12.5	7.84	303	10.94		2012-02-10 18:22	6.7	8.03	254	12.52
	2013-11-16 09:26	7.5	-	-	-		2012-02-10 22:13	4.1	7.77	269	11.50
	2013-11-16 10:11	7.8	-	-	-		2012-02-11 00:02	3.3	7.64	267	11.61
	2013-11-16 11:10	8.5	-	-	-		2012-02-11 02:00	2.5	7.66	267	11.83
	2014-02-12 18:16	4.6	8.04	271	11.80		2012-02-11 07:30	0.8	7.79	270	12.82
							2012-02-11 09:55	1.7	7.86	263	12.79
S2-2	2013-11-09 14:16	13.7	6.98	292	8.64	D3	2012-02-11 11:10	2.9	7.97	264	13.28
	2013-11-16 09:25	10.2	-	-	-		2013-11-09 13:54	15.7	7.79	279	10.87
	2013-11-16 10:10	10.3	-	-	-		2013-11-16 09:22	11.3	-	-	-
	2013-11-16 11:07	10.6	-	-	-		2013-11-16 10:07	12.1	-	-	-
							2013-11-16 11:04	13.3	-	-	-
S3	2012-02-10 15:50	1.4	8.48	238	13.24	D4	2014-02-12 18:33	6.2	8.49	292	10.93
	2013-11-09 11:25	12.0	8.01	280	10.82		2013-11-09 11:11	16.7	7.99	263	10.83
	2013-11-16 10:24	7.5	-	-	-		2013-11-16 10:20	12.9	-	-	-
	2013-11-19 17:07	6.2	7.89	300	12.00		2013-11-19 17:10	10.5	7.71	280	9.65
	2014-02-12 17:25	4.9	8.15	266	12.59		2014-02-12 17:30	5.6	8.17	265	12.74
S4	2012-03-20 18:20	7.7	-	-	-	D4	2013-11-09 12:05	16.0	7.38	261	7.84
	2013-11-09 12:26	12.0	7.93	277	10.65		2013-11-16 10:30	14.0	-	-	-
	2013-11-16 10:33	7.6	-	-	-		2013-11-18 18:05	10.5	7.46	281	8.46
	2013-11-18 17:54	6.8	8.02	303	12.49		2014-02-11 16:30	4.5	7.94	263	11.22
	2014-02-11 16:15	5.3	8.29	290	13.78		2014-06-27 13:25	25.1	7.83	286	7.93
	2014-06-27 13:10	28.7	8.77	288	10.60		2015-02-14 09:15	3.8	7.54	258	12.73
	2015-02-13 17:35	4.2	8.00	260	14.09		2015-02-25 18:27	6.0	7.49	276	9.82
	2015-02-14 09:00	2.3	7.59	256	12.26						
2015-02-25 18:20	7.9	7.92	253	12.35							

a: The unit of EC value is $\mu\text{S}/\text{cm}$, b: The unit of DO value is mg/L .

배수로별로 토출·유입되는 지하수 수온을 측정해 보면 (Table 3), Ditch 1이 12.3°C, Ditch 2가 14.6~17.1°C, Ditch 3가 14.3°C로 측정되었다. 2013년 11월 중순에 측정된 1차 배수로별 지하수 수온을 살펴 보면, Ditch 1이 13.2~15.0°C, Ditch 2가 13.0~16.2°C, Ditch 3가 12.4~14.5°C, Ditch 4가 13.7°C이다. 이에 반하여, 2014년 2월 중순에는 Ditch 1이 5.5~11.6°C, Ditch 2가 11.1~14.2°C, Ditch 3가 9.9~14.6°C, Ditch 4가 13.9~14.1°C로서, 전반적으로 11월에 비해 2월에 지하

수 토출 수온이 낮아지는 경향을 보였다.

2012년 2월부터 2014년 6월까지 시간 경과에 따른 대기 온도, 하천수, 배출수, 지하수의 수온 변화를 서로 비교해 보면 Fig. 3(a)와 같다. 하천수는 전반적으로 대기 온도 변화와 밀접한 연관성을 보였으나, 지하수는 대기 온도 변화와 무관하게 대부분 9.7~17.1°C의 일정한 온도 범위를 보였다. 배출수의 수온은 2012년 2월~3월과 2014년 2월의 경우에는 하천수(혹은 대기 온도)와 지하수 사이의 온도 범위에서 지하수보다

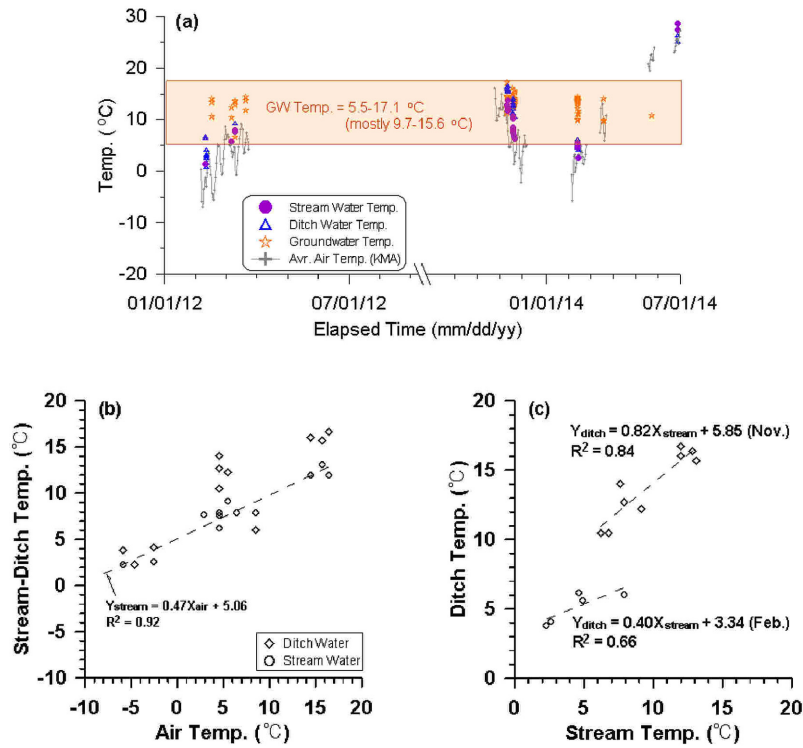


Fig. 3. Temperature data of air, stream (Musimcheon), ditch and ground waters. (a) Temperature variations of daily average air (data from KMA), stream (Musimcheon), ditch and ground waters with elapsed time, (b) Stream and ditch water temperature related to air temperature, and (c) Stream and ditch water temperature relationship.

는 하천수(혹은 대기 온도)에 가까운 양상을 보였으나, 2013년 11월에는 지하수 수온과 매우 유사한 온도를 보였다. 2014년 6월의 배출수는 대기 온도 및 하천수의 수온과 유사하게 25°C 이상의 고온을 보였다. Fig. 3(b)에서, 하천수의 수온은 대기 온도와 비례적인 관계를 잘 보여 주었으며, 대기 온도가 -10, 0, 15°C 일 때 하천수 수온은 각각 0, 5, 12°C 정도로 측정되었다. 배출수 수온은 대기 온도 0°C 이하일 때는 하천수 수온과 비슷하나, 대기 온도 5°C 이상일 때는 대체로 하천수 수온에 비해 약 3~4°C 정도 높게 측정되었다. 지하수의 수온이 대부분 9.7~15.6°C인 것으로 볼 때, 배출수의 수온은 대기 온도가 5°C 내외일 때 지하수 수온을 잘 반영해 주는 반면에, 대기 온도가 0°C 이하로 낮거나 15°C 정도로 높을 때는 지하수 수온보다는 대기 온도의 영향을 많이 받음을 보였다.

Fig. 3(c)에서, 2월에 배출수는 4~6°C, 하천수는 2~8°C 범위를 보였으며, 11월에는 배출수는 10~17°C, 하천수는 6~13°C 범위를 보였다. 즉, 대기

온도가 낮은 2월에는 배출수의 수온이 하천수의 수온 범위 내로 측정되었고, 대기 온도가 높았던 11월에는 하천수에 비해 배출수의 수온이 높은 경향을 보였다. 이는 대기 온도가 높은 경우, 배출수가 하천수에 비해 주변 대기 온도의 영향을 보다 크게 받고 있음을 의미한다. 이와 같이, 대기 온도에 대한 배출수의 민감성 때문에, 하천수가 배출수에 미치는 영향을 정량적으로 판단하기에는 수온이 적절치 않은 요소인 것으로 나타났다.

Fig. 4는 2013년 11월 8일-9일과 11월 16일에 위치에 따라 하천수와 배출수의 온도를 측정된 결과이다. 정체된 경우를 제외하면, 하천수는 그날의 평균 대기 온도에 근접된 수온을 보여 11월 8일-9일에는 12°C 내외, 11월 16일에는 7-8°C 정도를 보였다. 측정 시간에 관계되긴 하나, 흐르는 유로상의 하천수는 하류로 갈수록 수온이 약간씩 증가하는 경향을 보였다. 정체되어 있는 하천수 S2-2의 수온은 흐르는 하천에 비해 상대적으로 높게 측정되었다. 배출수의 수온은 지하수의 온도를 반영하여 12~17°C 범위를 보였으며, 하천

Table 2. The measured field parameters of groundwater flowing into each ditch line

(a) Groundwater flowing into ditch 1

Well No.	sampling date	T (°C)	pH	EC ^a	DO ^b	Well No.	sampling date	T (°C)	pH	EC	DO
a1	2013-11-08	12.3	7.43	272	3.99	b1	2013-11-16	15.0	6.50	348	3.31
	2014-02-13	11.6	7.31	272	3.92		2013-11-19	13.2~13.4	6.53	327	4.67
					2014-02-12		5.5	7.38	261	7.63	

(b) Groundwater flowing into ditch 2

Well No.	sampling date	T (°C)	pH	EC	DO	Well No.	sampling date	T (°C)	pH	EC	DO
b2	2013-11-16	13.0	7.48	297	6.72	c3	2014-02-12	14.2	6.87	319	6.25
	2013-11-19	13.0	7.04	303	6.48		2013-11-15	15.2~16.0	6.55	344	6.90
	2014-02-12	12.6	7.19	289	7.27	c4	2013-11-19	14.0~15.0	6.51	349	6.97
b3	2013-11-19	15.6	6.67	333	4.89		2014-02-13	13.5~13.6	6.92	328	4.29
	2014-02-12	11.1	6.90	339	6.29	c5	2013-11-08	17.1	6.46	379	3.92
b4	2013-11-19	15.6	6.75	356	7.36		2013-11-15	16.2	6.52	355	4.88
	2014-02-12	14.2	6.84	283	6.82		2013-11-19	15.2	6.61	334	4.99
c3	2013-11-08	14.6~14.7	6.68	337	8.67		2014-02-13	13.7	6.87	303	3.64

(c) Groundwater flowing into ditch 3

Well No.	sampling date	T (°C)	pH	EC	DO	Well No.	sampling date	T (°C)	pH	EC	DO
c1	2014-02-12	13.7	7.35	285	7.99	d4	2013-11-18	14.0~14.2	7.06	350	5.80
	2013-11-09	14.3	6.66	280	6.08		2013-11-18	13.9	7.18	352	6.62
c2	2013-11-19	14.0	6.80	282	6.80	d5	2014-02-11	13.9	7.04	359	4.46
	2014-02-12	14.0	6.92	279	5.09		2014-02-12	13.9	6.98	372	5.19
d1	2013-11-15	13.6	7.69	253	3.81	d7	2013-11-18	14.2	7.29	369	5.74
	2013-11-18	13.4	7.64	257	3.95		2014-02-11	14.2~14.4	6.96	314	4.12
	2014-02-11	13.1	7.59	259	3.26	2014-02-12	14.1~14.6	7.06	351	4.38	
	2014-02-12	13.1	7.58	260	3.82	d8	2013-11-15	14.5	6.51	325	4.54
d2	2013-11-15	12.5	7.17	281	4.91		2013-11-18	13.4	6.78	328	5.74
	2013-11-18	12.4	7.22	288	2.37		2013-11-19	13.5	-	-	-
	2014-02-11	9.9	7.42	288	4.51	2014-02-11	13.4~13.7	7.02	362	7.13	
d3	2014-02-12	10.1	7.50	289	4.32	2014-02-12	13.4	6.93	344	6.48	
	2013-11-18	12.6~12.7	7.58	351	8.18	d9	2013-11-18	13.6	6.88	362	6.87
	2014-02-11	12.1	7.33	311	6.38		2014-02-11	14.0	7.15	382	7.11
	2014-02-12	12.1	7.43	313	6.01		2014-02-12	13.7	7.02	362	7.79

(d) Groundwater flowing into ditch 4

Well No.	sampling date	T (°C)	pH	EC	DO	Well No.	sampling date	T (°C)	pH	EC	DO
d6	2013-11-18	13.7	6.89	318	6.00	d6	2014-02-11	13.9~14.1	7.05	299	4.43
							2014-02-12	13.9	7.08	296	4.60

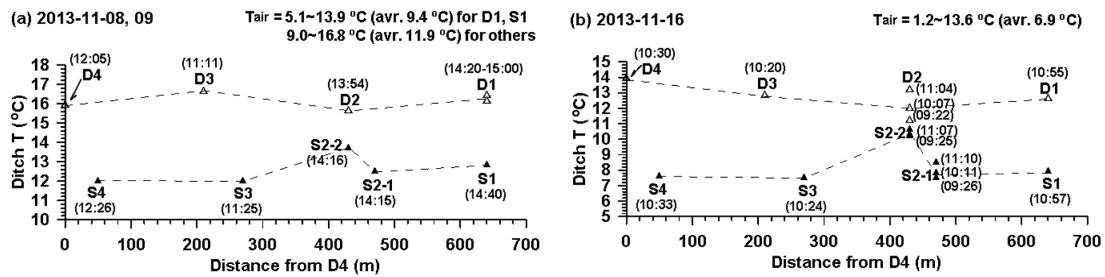
a & b: The unit of EC and DO values are $\mu\text{S/cm}$ and mg/L , respectively.

수와 마찬가지로 11월 8-9일에 비해 상대적으로 대기 온도가 낮은 16일에 수온이 상대적으로 낮게 측정되었다. 배출수 측정 지점 중, D2의 경우는 다른 측정 지

점들과 다른 독특한 온도 변화 현상을 보였다. 즉, D2 지점에서의 배출수 수온은 측정 시간이 다른 지점들 (D1, D3, D4)에서의 측정 시간에 비해 대기 온도가

Table 3. Field parameters of groundwater measured at each different sampling campaign

Ditch	Involved Wells	T (°C)	pH	EC (μS/cm)	DO (mg/L)
(a) Measured at early November (11-08~11-09) of 2013					
Ditch 1	a1	12.3	7.43	272	3.99
Ditch 2	c3, c5	14.6~17.1	6.46~6.68	337~379	3.92~8.67
Ditch 3	c2	14.3	6.66	280	6.08
(b) Measured at middle to late November (11-15~11-19) of 2013					
Ditch 1	b1	13.2~15.0	6.50~6.53	327~348	3.31~4.67
Ditch 2	b2, b3, b4, c4, c5	13.0~16.2	6.51~7.48	297~356	4.88~7.36
Ditch 3	c2, d1, d2, d3, d4, d5, d7, d8, d9	12.4~14.5	6.51~7.69	253~369	2.37~8.18
Ditch 4	d6	13.7	6.89	318	6.00
(c) Measured at early February (02-11~02-13) of 2014					
Ditch 1	a1, b1	5.5~11.6	7.31~7.38	261~272	3.92~7.63
Ditch 2	b2, b3, b4, c3, c4, c5	11.1~14.2	6.84~7.19	283~339	3.64~7.27
Ditch 3	c1, c2, d1, d2, d3, d5, d7, d8, d9	9.9~14.6	6.92~7.59	259~382	3.26~7.99
Ditch 4	d6	13.9~14.1	7.05~7.08	296~299	4.43~4.60

**Fig. 4.** Spatial temperature distribution of stream (Musimcheon) and ditch waters.

높은 상태의 시간대였으나, 이들 지점에 비해 수온이 오히려 낮게 측정되었으며 S2-2 하천수의 수온에 근접하려는 경향을 보였다. 즉, D2 지점에서의 수온 자료로 볼 때, 이 지점에서는 저류되어 있는 S2-2 하천수가 배수로 방향으로 누수되거나 반대로 배수로 물 혹은 인근 지하수가 하천 방향으로 유입되는 것으로 보인다. D2 지점의 배출수 수온이 다른 배출수 측정 지점들에 비해 상대적으로 낮은 것으로 보아, 하천수가 배출수 방향으로 누수 혹은 유입되는 것으로 해석하는 것이 타당할 것으로 생각된다.

종합해 볼 때, 하천수와 배출수의 수온은 주로 대기 온도 변화에 민감하게 영향을 받기 때문에, 하천과 배수로 상호간에 영향을 미치는 정도를 정량적으로 파악하기에는 수온이 적절치 못한 것으로 나타났다. 그러나, 일부 D2 지점에서는 다른 지점들에 비해 인근의 저류 하천수에 의해 온도 영향을 받고 있음이 뚜렷한 것으로 판단되었다.

3.2. pH, EC, DO 측정 결과

하천수와 배출수 그리고 지하수의 pH, EC, DO 측정값은 Table 1, 2, 3과 같다. 흐르는 하천수의 pH는 7.56~8.77 (정체된 S2-2는 6.98), 배출수의 pH는 7.38~8.39, 지하수의 pH는 6.46~7.69로 측정되어, 하천수 및 배출수에 비해 지하수의 pH가 낮은 값을 보였다. EC 값의 경우, 흐르는 하천수 238~303 μS/cm (S2-2는 292 μS/cm), 배출수 250~292 μS/cm, 지하수 259~382 μS/cm 범위를 보여, 배출수에 비해 지하수의 EC 값이 전반적으로 높게 측정되었다. DO 값의 경우, 흐르는 하천수 10.60~14.09 mg/L (S2-2는 8.64 mg/L), 배출수 7.83~13.28 mg/L, 지하수 2.37~8.67 mg/L로서, 지하수가 현저히 낮은 DO 값을 보였다.

Fig. 5는 2013년 11월 8일-9일, 11월 15일-19일, 2014년 2월 11일-13일 기간 중에 위치별로 측정된 하천수, 배출수, 지하수의 pH, EC 측정 결과를 도시한 것이다. 최하류 지점인 D4로부터의 거리에 따라 pH,

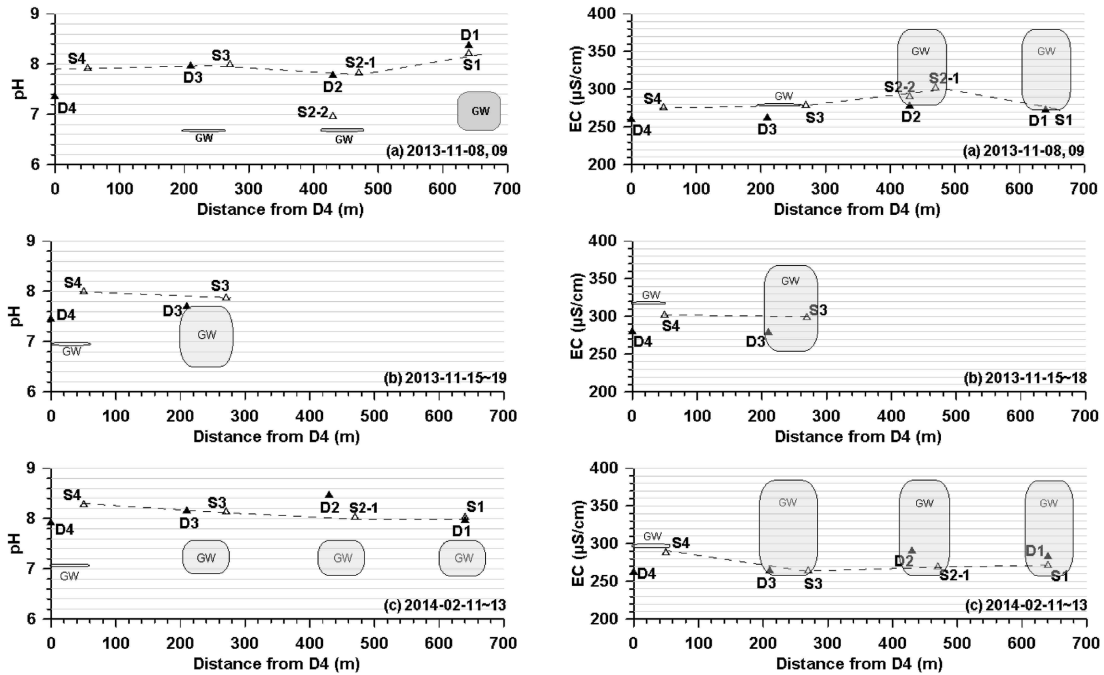


Fig. 5. Spatial pH and EC distribution of stream (Musimcheon) and ditch waters. Data for ground water are also displayed for comparison in each cross section line.

EC 값의 변화를 도시함으로써 거리에 따른 수질 변화를 검토하고, 배출수의 수질이 하천수와 지하수 중 주로 어느 것의 수질을 반영하고 있는지를 도면상으로 나타낸 것이다. 앞 절에서 언급한 바와 같이, 수온은 상호 영향을 비교하기에는 적절치 않은 것으로 나타났고, DO 값 역시 지표에 노출되는 순간부터 시간이 흐르면서 지하수의 수질 특성보다는 지표 대기 조건을 반영해 가기 때문에 금번 비교 대상에서 제외하였다.

Fig. 5에서 각 위치상의 지하수 수질은 1차 배수로로부터 최종 배수로로 유입되는 지점에서의 지하수 수질을 주로 반영하나, D4 지점을 제외하고는 모두 상류에서 배출되는 지하수의 수질도 함께 반영하는 것으로 봐야 한다. 즉, D3는 주로 Ditch 3로 유출되는 지하수 c1, c2, d1, d2, d3, d4, d5, d7, d8, d9 관정의 수질을 주로 반영하지만, Ditch 3보다 상류 위치의 배수로에서 유출되는 d6 관정의 수질도 함께 반영한다. D2는 Ditch 2의 b2, b3, b4, b5, c3, c4, c5 관정의 수질을 반영하는 한편, 상류에서 배출되는 D3, D4를 통과해가는 지하수 수질도 함께 반영한다. D1에서의 지하수 수질은 Ditch 1, Ditch 2, Ditch 3로 유출되는 지하수 모두가 혼합된 수질 특성을 반영한다.

2013년 11월 8일-9일과 15일-19일, 2014년 2월 11

일-13일 기간 중에 측정된 배출수의 pH 값은 대부분 하천수의 pH 값과 유사하였으며, D4로부터의 거리에 따른 변화를 살펴봐도 모두 하천수의 pH 값에 근접하여 배출수의 pH 값이 변화하고 있음을 볼 수 있다. 반면에, 배출수의 각 지점에 대응하여 유출되는 지하수는 모든 시기와 모든 위치에서 측정된 pH 값이 하천수와 배출수의 pH에 비해 대부분 낮은 값을 보여주었다. 즉, pH 값의 관점에서 볼 때, 배출수는 관정으로부터 토출되는 지하수의 pH 값을 평균적으로 반영하지 않고 오히려 하천수의 pH 값을 잘 반영하는 결과가 나타났다. 그러나, 전반적으로 배출수의 pH가 하천수의 pH에 비해 약간씩 낮게 측정된 이유는 최종 배수로로 통해 흐르는 물이 지하수의 수질을 어느 정도 반영하고 있기 때문인 것으로 해석된다. 정체되어 있는 하천수 S2-2의 pH 값은 다른 하천수와 다르게 지하수의 pH 값을 반영하고 있다. 즉, 이 지점에서는 하천수와 지하수가 상호 밀접히 연계되어 있을 가능성을 지시한다.

하천수와 배출수의 EC 값은 2013년 11월에 비해 2014년 2월에 다소 낮아진 경향을 보였다. 그러나, 전체적으로 하천수와 배출수는, pH 값의 경우와 마찬가지로, 서로 유사한 EC 값의 범위를 보였다. 반면에,

이들은 지하수의 EC 값에 비해 전반적으로 낮은 값을 보이거나 지하수의 EC 값 범위의 하한 경계 부근 값을 갖는 것으로 관찰되었다. 즉, pH의 경우와 유사하게 EC 값에 있어서도, 배출수의 수질은 지하수 수질을 어느 정도 반영하지만 하천수의 수질을 많이 반영하는 것으로 관찰되었다.

3.3. 수질 유형

Table 4는 하천수와 배출수 그리고 지하수의 이온

함량과 수질 유형을 비교하기 위해 2014년 2월 11일-13일 기간 중에 시료를 채취하여 실내 분석을 실시한 결과이고, Fig. 6는 이 자료를 이용한 파이퍼 다이어그램이다.

양이온 중 Ca 성분의 함량은 하천수 33.6~36.7 mg/L, 배출수 34.2~35.5 mg/L, 지하수 31.2~49.7 mg/L로서, 하천수와 배출수의 Ca 함량은 매우 유사하다. 지하수의 Ca 함량은 하천변 가까이 있는 a1, a2, c2, d1, d2 관정들은 하천수, 배출수의 Ca 함량과 유사하나, 이

Table 4. Ion concentrations (mg/L) for groundwater, stream and ditch waters

Sample No.	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	F	
Stream Water	S1	33.6	5.8	11.7	4.2	116.6	16.1	14.8	7.5	0.09
	S2-1	34.2	5.9	12.1	4.1	123.8	16.7	15.1	7.8	0.09
	S2-2	36.7	6.3	10.8	4.2	116.8	15.5	17.3	6.1	0.08
	S3	34.0	5.8	12.1	4.1	117.2	16.8	15.1	7.9	0.07
	S4	33.9	5.8	12.1	4.2	115.9	16.0	15.1	7.8	0.07
Ditch Water	D1	35.5	5.7	10.3	4.6	124.3	14.3	15.7	3.4	0.13
	D2	35.5	5.7	10.5	4.7	119.2	14.6	15.7	3.9	0.13
	D3	34.3	5.5	10.2	4.1	123.0	13.2	14.2	1.4	0.11
	D4	34.2	5.4	10.0	3.9	121.5	13.0	14.6	1.6	0.13
Ground Water	a1	35.9	6.4	10.1	2.3	117.6	16.7	13.8	6.8	0.11
	a2	32.5	6.3	10.7	2.7	87.2	18.7	20.9	12.6	0.06
	a3	39.1	8.1	11.3	3.6	130.0	14.2	26.9	10.6	0.07
	b1(11-16)*	44.9	8.7	11.8	5.3	141.1	16.4	28.7	9.0	0.08
	b1(11-19)	42.0	8.0	11.7	5.0	131.8	16.6	26.1	8.1	0.09
	b2(11-16)	39.4	6.3	12.5	2.9	137.7	14.0	14.6	3.8	0.32
	b2(11-19)	39.3	6.6	11.2	3.1	137.7	16.3	20.1	7.3	0.17
	b3	43.9	8.0	11.7	3.8	134.1	16.2	27.4	10.6	0.11
	b4	44.0	9.2	13.6	3.8	123.4	19.7	36.9	13.5	0.07
	c2	34.2	7.2	10.9	2.3	98.3	15.3	21.4	15.5	0.00
	c3	43.3	8.4	12.1	3.8	137.6	17.3	29.5	10.4	0.05
	c4	43.3	8.6	13.4	4.0	128.9	18.6	37.1	4.9	0.05
	c5(11-08)	46.7	9.2	15.8	4.5	126.5	22.6	48.9	10.1	0.07
	c5(11-15)	42.8	8.5	15.1	4.3	121.5	21.0	40.2	8.5	0.04
	c5(11-19)	44.0	8.8	15.3	4.3	135.2	21.1	40.7	9.9	0.07
	d1	31.2	6.7	10.8	2.0	116.7	16.2	9.6	0.7	0.16
	d2(11-15)	35.5	7.1	11.1	3.2	125.0	15.7	15.4	1.9	0.12
	d2(11-18)	36.8	7.5	10.8	3.0	131.6	16.4	15.4	2.0	0.11
	d3	46.8	10.1	11.8	3.6	173.1	15.5	17.1	1.4	0.10
d4	44.9	10.6	12.7	2.8	174.0	15.0	16.2	3.6	0.10	
d5	46.1	10.8	13.0	2.9	173.9	14.7	17.0	5.6	0.13	
d6	40.7	8.8	11.3	2.7	134.2	15.8	20.8	11.8	0.06	
d7	49.7	9.7	13.0	3.4	181.7	15.0	15.9	7.2	0.13	
d8(11-15)	41.2	8.1	11.8	3.2	131.4	16.1	26.1	8.4	0.04	
d8(11-18)	42.7	8.2	11.7	3.2	139.7	16.1	25.7	6.1	0.04	
d9	48.0	9.3	12.5	3.0	166.5	15.2	21.7	6.5	0.06	

*The number in parenthesis means day of sample collection: (month-day).

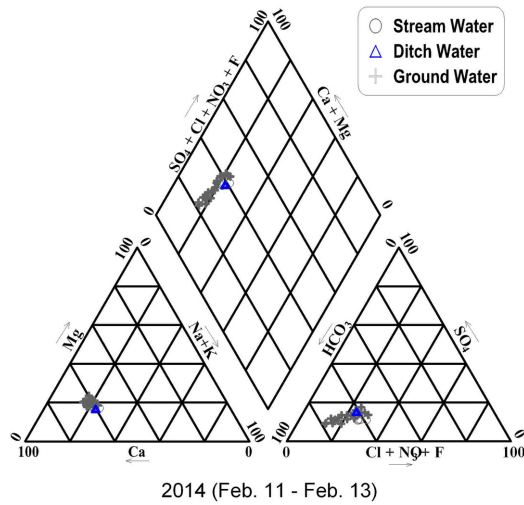


Fig. 6. Piper diagram for groundwater, stream (Musimcheon) and ditch (D2) waters. Data were collected at February 11 to 13, 2014.

외의 관정들은 모두 하천수, 배출수에 비해 높은 Ca 함량을 가지는 것으로 측정되었다. Mg 함량은 하천수 5.8~6.3 mg/L, 배출수 5.4~5.7 mg/L, 지하수 6.3~10.8 mg/L로서, Ca 함량과 유사한 경향을 보였다. Na와 K 성분은 특별한 경향성을 보이지 않았다.

음이온 중에서는 HCO₃와 SO₄ 성분이 Ca, Mg 성분과 유사한 경향을 보였다. HCO₃ 성분의 함량은 하천수 115.9~123.8 mg/L, 배출수 119.2~124.3 mg/L, 지하수 87.2~181.7 mg/L, SO₄ 성분의 함량은 하천수 14.8~17.3 mg/L, 배출수 14.2~15.7 mg/L, 지하수 9.6~48.9 mg/L의 함량을 보였다. Cl, NO₃, F 성분은 특별한 경향성을 보이지 않았다.

즉, Ca, Mg, HCO₃, SO₄ 성분의 함량은 상대적으로 하천수에서 낮고, 지하수에서 높은 경향을 보이며, 배출수와 천변 가까운 지하수에서는 하천수와 그 함량이 비슷한 경향을 보였다. Fig. 6의 파이퍼 다이어그램에서는 지하수, 하천수와 배출수 모두 Ca-HCO₃ 유형에 속함을 보여준다. 그러나, 지하수는 보다 넓은 수질 영역을 보이는 반면에, 하천수와 배출수는 매우 좁은 수질 영역을 가지며 서로 밀접한 수질 유형임을 보여주고 있다. 종합적으로, 이온 함량과 수질 유형으로 볼 때, 배출수는 지하수의 수질을 평균적으로 반영하지 못하며, 오히려 하천수의 수질을 반영하고 있는 것으로 관찰되었다. 이로 볼 때, 연구지역에서는 최종 배수로의 유량을 모두 이 지역 지하수의 사용 후 유출량으로 추정하는 데에는 무리가 있으며, 향후 안정동위원소 연

구 등을 통해 배출수에서의 지하수와 하천수의 상대적인 기여도를 정량적으로 평가할 필요가 있다.

4. 결 론

우리나라의 대표적 딸기 수막재배지 중 하나인 청주시 가덕면 상대리 지역을 대상으로 지하수, 배출수, 하천수의 수질 특성을 비교·검토하였으며, 이를 통해 배출수가 수막재배지에서 사용 후 배출되는 지하수로만 구성된 것인지 아니면 인근 하천수의 영향을 받고 있는 것인지를 여부를 검토하였다. 이에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 수온 측정 결과, 배출수는 하천수와 마찬가지로 주변 대기 온도의 변화에 매우 민감하게 반응하는 반면에, 지하수는 대기 온도에 영향을 거의 받지 않는다. 따라서, 연구지역에서는 수온을 이용하여 배출수에 대한 하천수와 지하수의 기여도를 검토하기에 부적절하다는 것으로 확인되었다. 그러나, 최종 배수로 중 일부 지점(D2 지점)에서는 배출수가 인근 하천수에 의해 영향을 받고 있음이 수온 측정 자료로부터 해석되었다.

(2) 현장에서 측정된 수질 요소 중, pH와 EC 값은 배출수가 하천수 및 지하수와 어떤 연관성을 가지는지 명확히 지시해주었다. 측정 위치와 시기에 상관없이, 배출수의 pH, EC 값은 지하수의 pH, EC 값과 다르거나 지하수 pH 값의 상한 부근, 지하수 EC 값의 하한 부근에서만 일치하는 현상을 보였다. 반면에, 하천수와 배출수의 pH, EC 값은 매우 유사한 경향을 보였다.

(3) 이온 함량 분석 결과, 배출수와 하천수의 Ca, Mg, HCO₃, SO₄ 함량은 서로 유사함을 보였다. 반면에, 하천 가까이 위치한 일부 지하수를 제외하면 대부분의 지하수에 비해 이들의 Ca, Mg, HCO₃, SO₄ 함량은 낮은 것으로 나타났다. 수질 유형에 있어서도, 지하수는 다소 넓은 영역을 보이지만, 배출수와 하천수는 모두 동일 영역에서 매우 유사한 양상을 보였다. 즉, Ca, Mg, HCO₃, SO₄ 함량과 수질 유형으로 볼 때, 배출수는 지하수의 평균적인 수질 특성을 반영하지 않고, 오히려 하천수의 수질을 반영하고 있는 것으로 나타났다.

(4) 지하수, 배출수, 하천수의 수온, pH, EC 값, 이온 함량과 수질 유형 등을 종합해 볼 때, 연구지역의 최종 배수로를 통해 유출되는 물에서 보이는 수질은 수막재배 사용 후 배출되는 지하수의 수질을 평균적으로 반영하지 못하며, 오히려 하천수 및 하천 인근의 일부 지하수의 수질을 반영하고 있는 것으로 관찰되었

다. 따라서, 연구지역에서와 같이, 최종 배수로가 포장되어 있지 않고 인근 하천 가까이에서 나란히 개설된 경우에는, 최종 배수로에서 측정된 유량 값이 수막재 배 사용 후 배출되는 지하수의 수량을 모두 반영하지 않는 사례를 보여 주었다. 이와 같은 지역에서, 배수로의 유량을 이용한 지하수 이용량을 산출하기 위해서는, 별도로 안정동위원소 연구, 배수로 내 기저유출량 고려 등을 통하여 배출수 내 지하수 및 하천수의 기여도를 정량적으로 해석하는 것이 요구된다.

사 사

이 연구 논문은 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 물관리연구사업(11기술혁신C05)에 의한 ‘수변 지하수 활용 고도화’ 연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 세부과제 “수변 층적층 지하수위 복원 기술”의 연구 결과이다.

References

- Chang, S. and Chung, I.-M. (2014) Analysis of groundwater variations using the relationship between groundwater use and daily minimum temperature in a water curtain cultivation site. *Jour. Eng. Geol.*, v.24, No.2, p.217-225.
- Chung, I.-M. and Kim, N.-W. (2009) Case of surface-ground water interaction and its application. *Water for future*, v.42, p.10-18.
- Chung, I.-M., Lee, J. and Kim, N.-W. (2011) Estimating exploitable groundwater amount in Musimcheon watershed by using an integrated surface water-groundwater model. *Econ. Environ. Geol.*, v.44, No.5, p.433-442.
- Conant, B.J. (2004) Delineating and quantifying ground water discharge zones using streambed temperature. *Ground Water*, v.42, p.243-257.
- Ha, K., Ko, K.-S., Koh D.-C., Yum, B.-W. and Lee K.-K. (2006) Time series analysis of the responses of the groundwater levels at multi-depth wells according to the river stage fluctuations. *Econ. Environ. Geol.*, v.39, No.3, p.269-284.
- Hyun, S.G., Woo, N.C., Shin W. and Hamm, S.-Y. (2006) Characteristics of groundwater quality in a riverbank filtration area. *Econ. Environ. Geol.*, v.39, No.2, p.151-162.
- Jeon, H.-T. and Kim, G.-B. (2011) Evaluation of interactions between surface water and groundwater based on temperature, flow properties, and geochemical data. *The Journal of Engineering Geology*, v.21, No.1, p.45-55.
- KiGAM (2010) Integrated technologies in securing and applying groundwater resources to cope with earth environmental changes. GP2009-009-01-2010(2), 347p.
- Kim, K.-Y., Con C.-M., Kim T., Oh, J.-H., Jeoung J.-H. and Park, S.-K. (2006) Use of temperature as a tracer to study stream-groundwater exchange in the hyporheic zone. *Econ. Environ. Geol.*, v.39, No.5, p.525-535.
- KMA (Korea Meteorological Administration), <http://web.kma.go.kr/>
- MOLTMA(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs) and KICTEP(Korea Institute of Construction & Transportation Technology Evaluation and Planning) (2012) R&D Report for Groundwater level restoration of riverside porous aquifer. R&D/11Technology Renovation CO5-2, 104p.
- MOLIT(Ministry of Land, Infrastructure and Transport) and KAIA(Korea Agency for Infrastructure Advancement) R&D Report for Groundwater level restoration of riverside porous aquifer. R&D/11Technology Renovation CO5-2, 225p.
- Moon, S.H., Ha, K., Kim, Y., Yoon, P. (2012) Analysis of groundwater use and discharge in water curtain cultivation areas: Case study of the Cheongwon and Chungju areas. *Jour. Eng. Geol.*, v.22, n.4, p.387-398.
- Silliman, S.E. and Booth, D.F. (1993) Analysis of time-series measurements of sediment temperature for identification of gaining vs. losing portions of Juday Creek, Indiana. *J. Hydrology*, v.146, p.131-148.
- Sophocleous, M.A. (2002) Interactions between groundwater and surface water: The state of the science. *Hydrogeology Journal*, v.10, p.52-67.
- Stonstrom, D.A. and Constantz, J. (2003) Heat as a tool for studying the movement of ground water near stream. USGS Circular 1260, U.S. Geological Survey.
- Winter, T.C., Harvey, J.W., Franke, O.L. and Alley, W.M. (1998) Ground water and surface water, a single resource. U.S. Geological Survey Circular, 1139, 79p.
- Winter, T.C. (1999) relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems. *Hydrogeology Journal*, v.7, p.28-45.