건천화된 농촌소하천의 시·공간적 수문 수질 특성분석

Temporal and Spatial Analysis of Hydrology and Water Quality in Small Rural Streams for Stream Depletion Investigation

이예은* · 김상민**,*

Lee, Ye Eun · Kim, Sang Min

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the temporal and spatial characteristics of the stream flow of small rural streams for investigating the status of stream depletion located downstream of irrigation reservoir. Bonghyun and Hai reservoirs and each downstream were selected for this study. Streamflow was measured for 8 stations downstream from two reservoirs from 2010 to 2012. The water quality samples were collected monthly from the 8 stream stations and 2 reservoir stations from 2011 to 2012. The stream depletion was found in most of the downstream of reservoirs for the non-irrigation period and even in the irrigation period when there were a lot of antecedent precipitation. We found that the stream segments where there were few streamflow, vegetation covers the stream and block the streamflow which makes the stream lost its original function as a stream. Water quality monitoring results of Bonghyun stream indicated that the concentration of SS, Turbidity, TOC, COD were decreased as the stream flows from the reservoir to downstream while the TN and TP were increased. The correlation analysis for water quality data indicated that the correlation between T-N and T-P was high for Bonghyeon and Sukji streams, respectively. Continuous monitoring for rural streams located in downstream of reservoirs are required to quantify the status of stream flow depletion and determine the amount of environmental flows.

Keywords: Environmental flows; Stream flow monitoring; Irrigation reservoir; Stream depletion

1. 서 론

우리나라의 기후 특성상 계절별 강수량의 편차가 심하고 하천의 경사가 급하기 때문에 최대유량과 최소유량의 비인 하상계수가 크다. 또한, 급격한 경제 성장에 동반된 물의 이용과 도시개발은 수문순환 구조를 변형시켰고, 그 결과로 평상시의 하천 유출량이 감소하는 건천화 현상이 나타나고 있다 (Lee et al., 2003). 하천수의 부족은 용수 확보의 불가능, 수질오염의 심화 등과 같이 많은 문제들을 초래하며, 하천이 갖춰야 할 천수공간으로서의 기능도 수행하지 못하기 때문에 많은 주민들의 휴식공간으로서의 활용이 충족되지 못하고 있다 (Choi et al., 2003). 농촌 소하천 및 지방 2급 하천뿐만 아니라 지방 1급 하천의 상당부분도 메말

라 가고 있는 상태이며, 매년 점점 심해지는 경향을 보이고 있어 그 원인 규명과 방지책 제시가 시급한 상황이다 (Hwang and Lee, 2005).

하지만 건천화 원인에 대한 과학적인 분석은 극히 저조하다. 농촌지역 소하천의 건천화 원인은 여러 가지가 있을 수 있고, 하천의 건천화는 각각의 원인에 따라 방지 대책이 달라야 할 것이나 일률적인 방지책을 시행하고 있어 그 효율성이 불확실한 상태이다. 농촌지역 소하천 건천화 원인으로 추정되고 있는 유흥지 난개발, 지하수 과다사용, 무분별한 하천개수, 하천 퇴사 등이 있음에도 불구하고 정확한 원인 분석 없이 개략적인 방지 대책이 시행되고 있는 실정이다 (Sim, 2003). Park et al. (2005)은 경기 진위천을 중심으로 한 농촌하천 건천화 특성조사 연구에서 국내 중소하천의 생태환경 건전성을 위하여 농업용수의 하천유지유량 공급방안 정립의 필요성을 주장한 바 있다. 한편, '도시하천의 건천화 방지를 위한 물순환 건천화 대책'에서는 하천의 건천화를 방지하기 위한 장기적인 대책이 필요하다고 지적했으며 '하천법' 개정을 통해 건천화의 진행 정도를 정량화해 건천화 방지사업의 우선순위를 결정하기 위한 '건천화 영향평가제도'를 도입

* 경상대학교 대학원 농공학과

** 경상대학교 지역환경기반공학과 (농업생명과학연구원) 부교수

† Corresponding author Tel.: +82-55-772-1931

Fax: +82-55-772-1939

E-mail: smkim@gnu.ac.kr

2013년 10월 24일 투고

2013년 11월 25일 심사완료

2013년 11월 29일 게재확정

할 필요가 있으며 이를 위해서는 건천화 정도를 정량화할 수 있는 관련 연구가 선행되어야 한다고 말한 바 있다 (Kim, 2010).

프론티어 연구개발사업에서 발간한 ‘지속가능한 하천수 개발 기술’에서는 하천의 건천화에 대해 수문학적 요소기준으로 갈수량 기준이하이고, 하천으로부터 필요수량을 지속적으로 제공할 수 없는 하천이라 정의하였다 (Sim, 2003). 하천의 자정능력을 향상시키고 하천의 정상적인 기능을 회복하기 위해서는 수생물의 서식환경 조성, 오염원 차단 및 적정 하천 유지유량 유지 등의 다양한 조건이 요구되며, 이 중 하천의 생태유량의 유지는 기타 서식환경 조성에 있어 기본이 된다고 할 수 있다 (Arthington et al., 2006). 대부분 농촌지역에 위치한 중소하천의 경우, 하천 생태계에 대한 이해와 하천 흐름이 생태계에 미치는 영향을 분석함으로써 환경용수의 산정과 관리가 가능함에도 불구하고 농촌 용수 관리에서 생태학적 관리 기술 반영 및 관련 전문 인력 양성은 매우 저조하기 때문에 형식적인 환경용수 산정을 벗어나지 못하고 있다 (Kim et al., 2011).

IWMI (International Water Management Institute), IBRD (International Bank for Reconstruction and Development) 등의 해외 사례를 보면 목적에 맞게 환경용수 산정 기법을 일정하게 정한 후 현장 모니터링 시스템을 운영하는 것과 동시에 기존에 관측된 성과자료의 수준에 따라 적절한 환경용수 산정 절차를 결정하는 체계를 갖추고 있다. 이는 어떠한 기술과 매뉴얼을 적용하여도 잘 구축된 현장 모니터링이 결과의 신뢰를 좌우할 수 있음을 보여주는 사례이다 (KRCC, 2010). 체계적인 현장 모니터링이 얼마나 중요한지 사례를 통해 알 수 있으며 농촌지역의 하천에 저수지나 보에 의해 확보된 물을 공급하기 위한 정량화된 환경용수가 고려되어야 하고, 공급시에는 시설의 보강 및 확충, 세밀한 물 관리 기술이 개발되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 경상남도 고성군에 위치한 봉현천과 석지천 내 건천화 구간에 대한 현장조사를 통해 모니터링을 분석하여 건천화 및 하천유황 조사를 수행하였다. 이에 농촌 소하천과 같은 미계측 지역에 대한 하천의 유량조사를 통하여 농어촌환경용수 공급을 위한 적정 유지유량 산정 및 확보된 유량에 대한 지속적이고 장기적인 현장 모니터링을 통해 자료를 축적하여 적정 환경용수량을 산정하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험유역 현황

농업용저수지 하류부에 위치한 농촌소하천의 건천화 실태조사를 위해 경상남도 고성군 하이면 봉현리의 봉현저수지에서 시작하는 봉현천과, 하이면 와룡리에 위치해 있는 하이저수지에서

시작하는 석지천을 포함하는 지역을 시험유역으로 선정하였다. 선정된 시험유역은 본 연구팀 실험실과의 거리, 유역의 건천화 현황, 저수지 관개현황, 저수지 수위관측 여부 등을 고려하여 선정하였다.

봉현저수지의 유역면적은 280 ha, 관개면적이 37.7 ha이며, 석지천은 하이저수지 여수로로부터 약 2,600 m의 유로장을 가지며 하류지점에서 봉현천과 합류하여 남해로 흘러간다. 하이저수지의 유역면적은 1,342 ha이며 관개면적이 166.7 ha이다. 대상지역 내 토지피복은 환경부 중분류 토지피복분류지도 (1 : 25,000)에서 논이 439.6 ha로 전체면적의 약 62.3 %를 차지하고, 밭과 주거지가 각각 70.8 ha, 74.7 ha로 약 10 % 정도의 분포를 가지며, 그 외 기타지역이 120.1 ha로 약 17 %를 차지하는 것으로 나타났다.

연구대상 유역에서 조사된 주요시설물 및 환경요소는 봉현저수지에서 시작하여 봉현천 750 m 지점, 1,260 m 지점에 밭, 논에서 사용하기 위해 설치된 양수펌프 시설이 있었고 1,500 m 지점의 경우 인근에 공장이 위치해 있으며 물이 고일 수 있도록 콘크리트 보가 상부에 설치되어있었다. 석지천의 경우 900 m 지점과 1,200 m 지점 사이에 위치한 보와 900 m 지점 하부의 웅덩이, 양수펌프시설을 설치한 참다래 과수원이 있으며 2,000 m 지점의 우측에는 마 축사가 있었다. 대부분의 면적이 논으로 구성되고 하천 및 주변 환경에 영향을 미칠 수 있는 주요시설물 및 환경요소가 양수펌프, 과수원시설, 마 축사 등으로 이루어져 저수지에서 방류되는 대부분의 하천수가 관개용수로 사용되고 있음을 알 수 있다.

다음의 Fig. 1은 대상유역의 위치와 저수지 하류하천에서의 모니터링 지점을 거리별로 표시하여 보여주고 있다.

경상남도 고성군 하이면 봉현리에 위치한 봉현저수지 (표준코드, 4882010045)는 1998년 준공을 완료하여 현재 한국농어촌공사 경상남도본부 고성·통영·거제지사에서 관리·운영 중에 있다. 봉현저수지는 땜땜형식으로 제작되었으며 제체체적 90,823 m³, 제체길이 246 m, 제체높이는 28.4 m에 이르는 1종 저수지이다. 총 910천톤의 물을 저류할 수 있고, 사통형의 취수방식을 취하며 설계 한발빈도 10년, 홍수빈도는 200년이다. 경상남도 고성군 하이면 와룡리에 위치한 하이저수지 (표준코드, 4882010042)는 1971년에 준공을 완료하여 현재 관리처는 한국농어촌공사 경상남도본부 고성·통영·거제지사이다. 봉현저수지와 같이 땜땜형식으로 제작되었고 제체체적 1000 m³, 제체길이 394 m, 제체높이는 23.2 m에 달한다. 사통형식을 취하여 설계 한발빈도는 10년이고 홍수빈도는 200년으로 설계되었으며 총 2,593.9 천톤의 물을 저류할 수 있다.

봉현저수지의 저수위 자료는 준공된 1998년부터 자료 구득

Fig. 1 Location of study watershed and monitoring stations

이 가능하였으며, 하이저수지의 경우 1971년에 준공이 완료되어 운영되었으나, 실제 저수율 자료는 1992년부터 구득이 가능하였다.

대상지점인 봉현저수지와 하이저수지의 기상자료는 지리적으로 가장 인접한 진주 기상관측소의 자료를 이용하였으며 1970년부터 2012년까지의 강수량, 상대습도, 기온, 풍속, 일조시간 등의 일 자료를 수집하였다. 진주기상관측소의 연평균 강수량은 우리나라 연평균보다 높은 1,503 mm이고 1989년에 2,193 mm로 최고치였으며 1994년에 784.9 mm로 최저치를 기록했다. (Kim et al., 2012).

2. 하천 조사

하천유황, 하천환경, 하천용수 사용 등에 대한 지속적인 모니터링과 조사를 통해 하천의 건천화 실태를 파악하고, 이로부터 적절한 하천환경용수 공급량 산정을 위한 기초자료로 활용할 필요가 있다 (KRCC 2010). 하천의 모니터링을 위한 지점은 하천의 규모와 흐름 특성, 하상변화와 하천시설물 설치 여부, 하천수 이용 등 유량변화에 영향을 미칠 수 있는 조건과 접근의 편의성 등을 고려하여 하천측정을 위해 적절한 지점을 선정하였다. 선정된 하천 모니터링 지점은 석지천의 경우 저수지로부터 530 m, 2,000 m, 2,810 m 지점까지 총 3개 구간으로 나누었고 봉현천의 경우 저수지로부터 750 m, 1,260 m, 1,730 m, 4,190 m, 5,500 m 지점까지 총 5개 구간으로 나누었다.

하천조사는 하천유황, 하천피복, 하천수질 등 3가지 항목에 대하여 실시하였다. 하천유황 모니터링은 2010년부터 2012년까지 3년간 3월부터 10월까지 수행하였으며, 일정한 간격으로 모니터링하기 위해 조사기간의 매월 말에 1회 모니터링을 실시하였으며, 총 21회에 걸쳐 모니터링을 실시하였다.

하천피복은 2011년부터 2012년까지 2년간 실시하였으며 2011년은 3월부터 9월까지, 2012년은 3월부터 10월까지 매월 1회 동일한 지점에서 하천단면에 대한 사진을 찍어 시각적인 방법으로 모니터링하였다.

하천수질은 농업용 저수지와 하천의 구간별로 2011년부터 2012년까지 2년간 하천피복 모니터링과 동일한 날짜에 각 지점별로 수질시료를 샘플링하였으며, 채취한 시료는 서울대학교 농생명과학공동기기원 (National Instrumentation Center for Environmental Management, NICEM)에 의뢰하여 pH, BOD, COD, TOC, SS, Turbidity, T-P, T-N의 총 8항목을 분석하였다. 2011년의 경우 전체 조사기간 중 7월에만 모든 구간에서 유량이 확인되어 수질시료를 채취할 수 있었고, 그 외 기간에는 하천이 메말라 있어 전 구간에서 수질시료를 채취하는 데 어려움이 있었다. 분석된 수질자료는 저수지별로 저수지로부터 각 측정 지점까지 거리에 따른 수질의 변화를 고찰하였으며, 지점별 수질 측정항목간의 상관관계를 분석하였다.

지점별 수질측정항목간의 자료는 관측일의 유량에 따라 관련성이 달라질 수 있는 것을 고려하여 편상관계수를 이용한 통계 분석을 실시하였다. 본 통계분석에 있어서 일반적으로 이용되는

Pearson의 상관계수 r 은 두 변수 X 와 Y 의 상관계수가 각 케이스의 값이 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 일 때 다음의 식 (1)과 같이 계산된다.

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x \times S_y} \quad (1)$$

여기서, $S_{xy} = X$ 와 Y 의 공분산 $= \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1}$,

$S_x = X$ 의 표준편차 $= \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$,

$S_y = Y$ 의 표준편차 $= \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$ 이다.

III. 결과 및 고찰

1. 지점별 유황 분석

2010년의 경우 대상지역의 하천을 균일한 간격으로 나누어 봉현천의 경우 저수지로부터 500 m 간격으로 석지천과의 합류

부인 5,250 m 지점까지, 석지천은 상류부로부터 1,200 m 지점까지는 300 m 간격으로 지점을 정하였고, 그 후로는 500 m 간격으로 2,600 m 지점까지 대상 지점으로 선정하였다. 그러나 2011년부터는 하상변화, 하천 시설물 설치 여부 등 유황변화에 영향을 미칠 수 있는 조건들을 고려하여 봉현천의 경우 저수지로부터 750 m, 1,260 m, 1,730 m, 4,190 m, 5,500 m 지점까지 총 5개 구간으로 나누었고, 석지천은 저수지로부터 530 m, 2,000 m, 2,810 m 지점까지 총 3개 구간으로 나누어 시기별 유황을 관측하기 위한 총 8개의 대상 지점을 선정하였다. 2010년 유황은 2011년과 2012년 유황과 같은 지점에서의 값을 추정하기 위해 선형보간법을 이용하여 봉현천 5개의 구간과 석지천 3개의 구간의 유황을 추정하였다.

Table 1은 총 21회의 유황조사 결과를 분석하여 구간별 유황의 변화를 보여주고 있다. Table 1에서 유황이 0으로 표시된 것은 하천에 물은 있으나 유속이 없어 유황이 0인 것을 의미하고 유황에 “-”로 표시된 것은 하천이 말라 있어 유황측정이 불가능했던 것을 의미한다. 유황은 각 지점별 수위에 따른 하천의 단면과 유속을 계측하여 산출하였고, 관측일자 이전의 5일 선행강수량을 조사하여 강우에 의한 하천 유황의 영향을 파악하고자 하였다. 조사기간 동안 대체로 선행강우가 많지 않을 경우 대부분

Table 1 Stream discharge for each monitoring sections with 5-day antecedent precipitation and reservoir storage (2010–2012)

Date	Total 5-day antecedent precipitation (mm)	Seokji stream				Bonghyeon stream					
		Hai reservoir storage (%)	Stream discharge (m ³ /s)			Bonghyeon reservoir storage (%)	Stream discharge (m ³ /s)				
			530 m	2,000 m	2,810 m		750 m	1,260 m	1,730 m	4,190 m	5,500 m
20100515	1.0	97	0.18	0.00	0.11	97	0.09	0.08	0.00	0.00	0.00
20100521	118.0	93	0.52	0.30	0.90	100	0.60	0.62	0.33	0.14	0.55
20100717	196.0	96	3.62	3.02	3.44	90	0.85	1.22	1.38	2.29	1.98
20100824	0.0	100	0.02	0.00	0.27	96	0.22	0.25	0.05	0.00	0.54
20100918	3.0	100	0.04	0.00	0.02	100	0.20	0.24	0.05	0.00	0.10
20101006	37.0	94	0.03	0.00	0.02	98	0.15	0.14	0.02	0.00	0.05
20110326	0.3	90	0.00	-	-	92	0.00	0.00	-	-	-
20110429	8.5	98	0.00	-	-	100	0.00	0.00	-	-	-
20110528	25.5	93	0.00	-	-	100	0.00	0.00	0.00	-	-
20110629	150.5	85	0.21	-	-	100	0.14	-	0.30	-	0.36
20110728	45.5	99	1.11	0.80	3.47	94	0.05	0.26	0.71	0.29	1.03
20110829	14.1	89	0.00	0.00	0.00	94	0.00	0.14	0.24	-	0.07
20110926	0.0	58	0.13	-	-	63	0.00	0.10	0.05	-	0.08
20120325	38.0	96	0.00	0.00	0.00	95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20120429	52.0	98	0.05	0.10	0.32	100	0.00	0.00	0.23	-	0.00
20120520	0.0	76	0.00	-	-	92	0.00	0.00	0.10	-	-
20120625	0.0	43	0.00	-	-	56	0.00	0.00	0.00	-	-
20120730	0.0	73	0.00	-	-	89	0.00	0.00	2.07	-	0.03
20120829	131.0	100	0.42	-	-	99	0.34	0.31	0.52	-	0.72
20120920	232.0	100	0.30	-	-	99	0.00	0.00	1.52	-	0.24
20121031	26.0	76	0.00	-	-	96	0.00	0.00	-	-	0.00

의 구간에서 하천이 말라있었으며 비관개기에는 일정 정도의 선행강우가 있을 때에도 하천이 말라 있는 경우가 많았다. 2011년 6월 29일의 경우 선행강수량이 많아 하천의 유량이 많을 것으로 예상하였으나 석지천의 경우 저수지 하류 530 m 지점에서 물이 고여 흐르지 않았으며 하류지점에서는 유량이 관측되지 않았고, 봉현천의 경우 일부 지점에서는 물이 없거나 고여 있는 것을 확인 하였다. 이는 강우가 시작되기 이전에 메말라 있던 하천 지하로 강수가 유입되어 지표수가 거의 없었던 것으로 추정된다. 2012년 8월 29일과 9월 20일은 선행강수량이 131 mm, 232 mm로 많아 하천유량이 많을 것으로 예상하였으나 석지천 2,000 m은

5월부터 하천정비 공사가 실시되어 유량측정이 불가능하였으며 하천정비가 끝난 8월 이후에는 조사 지점 상단부에 보가 설치되어 유량을 측정할 수 있는 수위가 발생하지 않았다. 석지천 2,810 m 지점의 경우도 유량은 존재하였으나 4월 이후 무성한 수풀이 하천수의 흐름을 방해하여 유속이 발생하지 않았고, 접근이 용이하지 않아 수위측정이 불가능하였다. 봉현천 5,500 m 지점은 하천정비 공사가 실시되어 유량측정이 불가능하여 하천정비가 이루어진 7월 이후부터 측정이 가능하였다. 실제 현장조사에서는 몇몇 지점에서 상하류부에 비해 유독 유량이 감소하는 구간이 있었는데, 이는 그 지점 주변의 관개용 보, 참다래 과수원, 공장 및 축사 등의 영향을 받은 것으로 추정된다.

Table 2는 2010년부터 2012년까지 관개기와 비관개기의 유량의 변화를 보여주고 있다. 조사기간을 관개기 (5월부터 9월)와 비관개기 (10월부터 4월)로 구분하고 하천 구간별 평균 유량을 분석한 결과, 비관개기에는 대체로 하천이 매우 말라 있음을 보여주고 있어 비관개기의 하천의 건천화를 방지하기 위한 대책이 필요한 것으로 보인다.

2. 지점별 하천 피복 조사

하천의 피복은 콘크리트로 라이닝되어 있는 몇몇 구간을 제외하고 대부분 자갈, 모래 및 초생으로 덮여 있었다. 하천조사 각 구간을 대상으로 매월 1회 출장시 하천의 피복상태를 조사하였

Table 2 Stream discharge for irrigation and non-irrigation periods (2010-2012)

Discharge by observation points (m ³ /s)		Non-irrigation period (year)			Irrigation period (year)		
		2010	2011	2012	2010	2011	2012
Suckji stream	530 m	0.03	0.00	0.02	0.87	0.29	0.14
	2,000 m	0.00	0.00	0.03	0.66	0.16	0.00
	2,810 m	0.02	0.00	0.11	0.95	0.69	0.00
Bonghyeon stream	750 m	0.15	0.00	0.00	0.39	0.04	0.07
	1,260 m	0.14	0.00	0.00	0.48	0.10	0.06
	1,730 m	0.02	0.00	0.08	0.36	0.26	0.84
	4,190 m	0.00	0.00	0.00	0.49	0.06	0.00
	5,500 m	0.05	0.00	0.00	0.63	0.31	0.20
Average discharge (%)		0.05	0.00	0.03	0.60	0.24	0.16

Fig. 2 Time series pictures of stream vegetation cover for the Bonghyun 1,730 m station

Fig. 3 Time series pictures of stream vegetation cover for the Sukji 2,000 m station

고 다음의 Fig. 2와 Fig. 3은 봉현천 1,730 m 지점과 석지천 2,000 m 지점의 2011년과 2012년의 하천 피복 변화를 월별로 연속해서 보여주고 있다. 봉현천 1,730 m 지점을 시기별 하천을 조사한 내용을 살펴보면 2011년도에는 관개기 전인 3월에서 관개기로 갈수록 하천의 유량이 증가하는 양상이 확인되며, 2012년도에는 3월부터 증가하는 추세로 8월까지 하천의 유량이 있으며 9월, 10월에는 하천이 메말라 있는 것을 볼 수 있다. 석지천 2,000 m 지점은 2011년도 7월과 2012년도 4월을 제외하곤 메말라 있었으며, 3월, 4월에는 자갈로 하상이 피복되어 있었지만,

7월, 8월에는 식생이 발달하여 정상적인 하천의 흐름을 방해할 정도로 무성해 지는 것으로 나타났다. 봉현천 1,730 m 지점의 경우 석지천 2,000 m 지점에 비해 상대적으로 수량이 풍부한 것으로 나타났으나 3월의 경우 두 지점 모두 조사기간 동안 대체로 하천이 말라 있었음을 보여주고 있다.

하천지점을 시기별로 조사한 내용을 살펴보면, 비관개기에는 저수지에서 방류를 하지 않아 하천이 메마르나 관개기에 접어들면서 저수지에서 방류하는 수량과 함께 강우의 영향으로 하천의 유량이 증가하는 것을 볼 수 있었으며, 봄철 하천이 건천화되어

Table 3 Streamflow water quality monitoring results for irrigation and non-irrigation periods in the year of 2011

Period	Item	Bonghyeon reservoir	750 m	1,260 m	1,730 m	4,190 m	5,500 m	Hai reservoir	530 m	2,000 m	2,810 m
Irrigation	pH	6.65	7.16	6.97	6.96	7.01	7.09	7.00	7.08	7.10	7.08
	BOD	1.22	0.69	0.49	0.65	0.27	0.57	1.11	0.75	1.45	0.85
	COD	1.66	1.01	0.90	0.85	0.94	1.19	1.89	1.59	1.46	1.60
	TOC	1.75	1.05	0.91	0.91	0.88	1.54	2.03	1.90	1.53	1.36
	SS	9.80	3.60	4.00	3.60	0.00	2.25	8.80	6.00	4.00	3.00
	Turbidity	0.84	0.41	0.32	0.33	0.27	0.40	1.04	0.54	0.55	0.33
	T-P	0.06	0.01	0.02	0.02	0.05	0.06	0.03	0.08	0.02	0.03
	T-N	0.48	0.45	0.56	0.72	2.14	2.58	0.62	0.30	0.85	1.51
Nonirrigation	pH	7.18	7.48	7.45	7.11	-	-	7.38	7.5	-	-
	BOD	0.91	0.89	1.38	0.51	-	-	0.76	0.76	-	-
	COD	1.75	1.51	0.92	1.52	-	-	2.13	1.60	-	-
	TOC	2.09	2.40	1.34	1.44	-	-	2.24	1.87	-	-
	SS	0.00	0.00	0.00	2.00	-	-	1.00	1.00	-	-
	Turbidity	1.06	0.48	0.18	0.38	-	-	1.05	0.60	-	-
	T-P	0.01	0.00	0.04	0.01	-	-	0.01	0.01	-	-
	T-N	0.37	0.52	2.57	0.75	-	-	0.54	0.41	-	-

Table 4 Streamflow water quality monitoring results for irrigation and non-irrigation periods in the year of 2012

Period	Item	Bonghyeon reservoir	750 m	1,260 m	1,730 m	4,190 m	5,500 m	Hai reservoir	530 m	2,000 m	2,810 m
Irrigation	pH	7.08	7.26	7.15	7.06	7.01	7.12	7.02	7.26	-	-
	BOD	0.59	0.59	0.46	0.55	0.83	0.56	1.45	0.69	-	-
	COD	1.51	1.21	1.11	0.98	1.82	1.54	4.00	5.40	-	-
	TOC	2.58	2.31	2.13	2.31	1.50	2.47	1.09	0.29	-	-
	SS	0.80	1.67	1.33	2.50	2.00	1.33	3.57	2.73	-	-
	Turbidity	0.34	0.26	0.28	0.27	0.26	0.39	0.04	0.01	-	-
	T-P	0.02	0.02	0.02	0.01	0.09	0.05	1.93	0.97	-	-
	T-N	1.19	1.08	1.44	1.58	3.06	2.61	3.33	1.55	-	-
Nonirrigation	pH	6.99	7.13	6.94	6.96	-	6.99	7.09	6.95	6.89	6.82
	BOD	0.97	0.38	0.47	0.46	-	0.50	0.33	0.55	0.36	0.53
	COD	1.35	0.88	0.80	0.71	-	1.41	2.84	1.20	0.76	0.67
	TOC	6.21	6.02	6.40	5.63	-	6.56	6.71	5.71	5.50	7.10
	SS	1.50	3.00	5.00	0.50	-	1.00	0.50	3.00	37.00	22.00
	Turbidity	0.79	0.76	0.70	0.28	-	0.64	0.80	0.35	0.18	0.11
	T-P	0.02	0.01	0.03	0.01	-	0.10	0.04	0.01	0.00	0.01
	T-N	0.79	1.42	2.45	2.09	-	5.46	1.01	1.25	0.58	1.65

있는 하천구간에서는 식생이 발달하여 유량이 증가하는 7월, 8월에는 정상적인 하천의 흐름이 방해 될 정도로 식생이 무성해졌다. 관측기간 중 하천의 유지관리가 제대로 이루어지지 않았으며, 봉현천의 경우 하류부에는 하천정비가 이루어져 4월부터는 지속적으로 유량이 관측 되었으나 저수지로 거슬러 올라 갈수록 하천정비가 제대로 이루어지지 않아 일부 구간에서는 하천의 흐름이 보이지 않을 정도로 수풀이 무성하였다. 이에 하천수의 흐름이 수풀에 의해 차단되거나 투수성이 높은 하천 바닥 지

하로 침투되거나 손실되어 하천이 정비되지 않아 과밀한 식생에 의한 소비수량이 상당할 것으로 추정되었다 (Kim et al., 2011).

3. 지점별 수질조사

농업용 저수지와 하천의 구간별 수질변화를 조사하기 위해 채취한 수질시료를 서울대학교 농업생명과학공동기기원 (National Instrumentation Center for Environmental Management,

Fig. 4 Spatial variation in water quality parameters at four locations along with Bonghyun streams from 2011 to 2012

NICEM)에 의뢰하여 pH, BOD, COD, TOC, SS, Turbidity, T-P, T-N의 총 8항목을 분석하였다. 2011년부터 2012년까지 유량의 차이가 수질의 변화에 어떠한 영향을 미치는지를 확인하기 위해 관개기와 비관개기로 나누어 대상유역의 구간에 따른 수질 분석 항목의 변화를 살펴보았다. 2011년의 경우 전체 조사기간 중 7월에만 모든 구간에서 유량이 확인되어 수질시료를 채취할 수 있었지만 그 외 기간에는 하천이 메말라 있어 전 구간에서 수질시료를 채취하는 데 어려움이 있었다.

봉현천과 석지천의 구간별 수질분석 결과는 다음의 Tables 3

과 4, Figs. 4와 5에 정리하여 보여주고 있다. 저수지에서 각 하천구간별 수질분석 결과 봉현저수지와 봉현천의 경우, 봉현 5,500 m 지점에서 약간의 특이한 경향을 보였으나 대체로 SS, Turbidity, TOC, COD는 저수지에서 하천을 따라 흘러가면서 농도가 낮아지는 경향을 보였고, T-N과 T-P는 저수지에서 하류로 갈수록 높아지는 경향을 보였다 (Table 3, Fig. 4). 하이저수지와 석지천의 경우, Turbidity와 COD의 경우 하류로 갈수록 농도가 낮아지는 경향을 보였으며, T-P는 다소 높아지는 경향을 보였으나 SS, TOC, T-N의 경우 봉현천과 달리 시각적으로

Fig. 5 Spatial variation in water quality parameters at four locations along with Sukji streams from 2011 to 2012

눈에 띄는 경향을 보이지 않았다. 이는 석지천의 경우 봉현천에 비해 조사구간이 짧고 하천이 메말라 있을 경우 샘플링을 실시하지 못해 비교적 분석된 샘플의 수가 적어 뚜렷한 경향을 확인할 수 없었던 측면도 있었던 것으로 생각된다 (Table 4, Fig. 5).

4. 수질 항목별 상관분석

봉현저수지와 봉현천 구간과 하이저수지와 석지천 구간에 대해 각각 수질항목별 상관성을 분석하였으며 그 결과는 다음의 Tables 5와 6에 나타내었다. 분석에 이용된 자료는 2011년부터 2012년까지의 기간으로 자료의 양이 많지 않아 관개기와 비관개기를 따로 구분하지 않고 2년간 조사된 모든 자료를 이용하여 상관성을 분석하였다.

봉현천 구간의 경우 SS와 Turbidity, T-N과 T-P가 각각 5% 유의수준에서 상관성이 있는 것으로 나타났으며 BOD와 SS, BOD와 Turbidity는 1% 유의수준에서 상관성이 있는 것으로 나타났다 (Table 5). 한편, 석지천 구간의 경우 봉현천 구간에 비해 측

Table 5 Correlation coefficient matrix for water quality parameters of Bonghyun reservoir and Bonghyun stream monitoring stations from 2011 to 2012

Irrigation	pH	BOD	SS	Turbidity	TOC	T-P	T-N	COD
pH	1.000	-.402	-.260	-.302	.123	-.406	-.108	-.442
BOD		1.000	.869*	.895**	.407	-.300	-.632	.537
SS			1.000	.755*	.595	-.655	-.801	.102
Turbidity				1.000	.679	-.133	-.361	.679
TOC					1.000	-.381	-.215	.118
T-P						1.000	.876*	.584
T-N							1.000	.241
COD								1.000

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Table 6 Correlation coefficient matrix for water quality parameters of Hai reservoir and Sukji stream monitoring stations from 2011 to 2012

Non-Irrigation	pH	BOD	SS	Turbidity	TOC	T-P	T-N	COD
pH	1.000	-.705	-.688	.200	-.911*	.690	-.760	.134
BOD		1.000	.475	.484	.376	-.472	.218	.464
SS			1.000	-.461	.756	-1.000**	.189	-.539
Turbidity				1.000	-.587	.467	-.345	.979*
TOC					1.000	-.760	.780	-.522
T-P						1.000	-.194	.544
T-N							1.000	-.174
COD								1.000

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

정지점도 많지 않고 하천이 건천화되어 수질샘플이 이루어지지 않은 기간이 많아 아 봉현천 구간에 비해 상관성을 나타내는 자료가 적었으며 COD와 Turbidity 많이 1% 유의수준에서 양의 상관성이 있는 것으로 나타났다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 농업용 저수지 하류 농촌소하천의 건천화 실태 조사를 위해 시험지역을 선정하고 하천유량, 식생피복, 수질에 대한 현장조사를 통해 하천의 건천화 현황을 파악하고 건천화된 하천의 시공간적 특성을 분석하였다. 이를 통해 농촌 소하천과 같은 미세측 지역에 대한 하천의 수문, 수질 자료를 구축하고 이로부터 농어촌환경용수 공급을 위한 적정 유지유량 산정 및 확보된 유량에 대한 지속적이고 장기적인 현장 모니터링을 통해 자료를 축적하여 적정 환경용수량을 산정하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다. 이를 위해 경상남도 고성군 하이면 봉현리의 봉현저수지에서 시작하는 봉현천과, 하이면 와룡리에 위치해 있는 하이저수지에서 시작하는 석지천을 포함하는 지역을 시험구역으로 선정하였다.

하천유량의 경우 2010년부터 2012년까지 관개기 (5월부터 9월)와 비관개기 (10월부터 4월)의 하천구간별 평균유량을 분석한 결과, 비관개기에는 대체로 하천이 매우 말라 있음을 보여주고 있어 비관개기의 하천의 건천화를 방지하기 위한 대책이 필요한 것으로 보인다. 하천식생피복을 시기별로 조사한 내용을 살펴보면, 비관개기에는 저수지에서 방류를 하지 않아 하천이 메마르나 관개기에 접어들면서 저수지에서 방류하는 수량과 함께 강우의 영향으로 하천의 유량이 증가하는 것을 볼 수 있었으며, 봄철 하천이 건천화되어 있는 하천구간에서는 식생이 발달하여 유량이 증가하는 7월, 8월에는 정상적인 하천의 흐름이 방해 될 정도로 식생이 무성해졌다. 저수지에서 각 하천구간별 수질분석 결과를 살펴보면, 봉현저수지와 봉현천의 경우 봉현 5,500 m 지점에서 약간의 특이한 경향을 보였으나 대체로 SS, Turbidity, TOC, COD는 저수지에서 하천을 따라 흘러가면서 농도가 낮아지는 경향을 보였고, T-N과 T-P는 저수지에서 하류로 갈수록 높아지는 경향을 보였다. 하이저수지와 석지천의 경우, Turbidity와 COD의 경우 하류로 갈수록 농도가 낮아지는 경향을 보였으며, T-P는 다소 높아지는 경향을 보였으나 SS, TOC, T-P의 경우 봉현천과 달리 시각적으로 눈에 띄는 경향을 보이지 않았다.

본 연구를 통해 조사된 시험구역의 경우 농업용 저수지 하류에 위치한 농촌소하천에서는 비관개기에 하천이 거의 건천화되어 있으며, 관개기에도 일부구간에서는 식생이 발달하거나 하천수 취수로 인해 구간별로 건천화된 것을 발견할 수 있었다. 수질의 경우 저수지에서 하류로 흘러가면서 SS, Turbidity와 같은 부유

물질과 관련되는 항목들은 농도가 낮아지는 경향을 T-N, T-P 같은 영양물질은 농도가 높아지는 경향을 일부구간에서 발견할 수 있었다.

농촌소하천의 경우 대부분이 미세측구간으로 하천의 유량과 수질에 대한 관리가 제대로 이루어지지 않고 있어 건천화 현황 파악이 어렵고 이로 인해 적절한 대책의 마련이 어려운 측면이 있다. 향후 지속적인 현장관측과 장기적인 모니터링을 통해 농촌 소하천 건천화 방지 및 환경용수 산정 기준과 관리방안을 모색할 필요가 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 교육과학기술부 한국연구재단의 기초연구사업 일반연구지원사업 (과제번호: 2013-0286)의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Arthington, A. H., S. E. Bunn, N. L. Poff, and R. J. Naiman, 2006. The Challenge of Providing Environmental Flow Rules to Sustain River Ecosystems. *Ecological Applications* 16(4): 1311-1318.
2. Choi, N. W., H. I. Choi, H. W. No, and H. K. Jee, 2009. A Study on the Irrigation Reservoir to prevent Drying Stream. *Journal of Korea Water Resources Association* (in Korean).
3. Hwang, B. G. and J. S. Lee, 2005. Methods to Prevent being a Dry Stream of Hongjecheon and to Obtain Maintenance Discharge. *Sangmyung University Resources Institute Engineering Technology* 2005(2): 1-7 (in Korean).
4. Kim, S. M., S. J. Kim, Y. W. Kim, T. Y. Park, S. M. Kim, K. W. Park, and M. W. Jang, 2011. Streamflow Monitoring of Rural Small Streams for Environmental Flows Supply from Irrigation Reservoir. *Journal of Agriculture & Life Science* 45(6): 237-249 (in Korean).
5. Kim, S. M., S. J. Kim, and S. M. Kim, 2012. Rural Stream Monitoring for Investigation of Stream Depletion in Rural Area. *Journal of Agriculture & Life Science* 46(3): 129-141 (in Korean).
6. Kim, S. U., 2010. Countermeasures of Hydrologic Cycle Stream Depletion for Prevention of Urban Stream Depletion. *National Assembly Research Service* 36(6): 1069-1082 (in Korean).
7. Korea Rural Community Corporation (KRCC), 2010. The Study for Estimation of Environmental Flows in Rural Area. *Rural Research Institute* (in Korean).
8. Lee, S. H., J. P. Park, J. M. Lee, and H. S. Cho, 2003. A Cause Analysis on the Reduction of Stream Flow for the Cheongdocheon. *Journal of Korea Water Resources Association* 36(6): 1069-1082 (in Korean).
9. Park, G. U., Y. J. Yoon, and U. J. Ju, 2005. Analysis of Drying Stream Characteristics in the Rural Area. *Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers Conference* (in Korean).
10. Sim, M. P., 2003. Technology of Sustainable Surfacewater Development. *Ministry of Science and Technology* (in Korean).