

# 기저유출이 하천과 수생태계에 미치는 영향 분석

## Impact analysis of baseflow on river and ecosystem

강형식\*, 전상목\*\*

Hyung Sik Kang, Sang Mook Jun

### 요 지

기후변화와 불투수지역의 증가로 인하여 하천 유량의 변동성은 점차 커지고 있다. 이에 따라 유량에 영향을 받는 하천환경과 다양한 생태계는 큰 영향을 받고 있음에 유량 관리가 매우 중요시 되어지고 있다. 하천 유량은 빗물이 지표면에 떨어져 직접하천으로 흐르는 지표유출과 지표면하의 암반층으로 침투되어 지하수가 되고 시간의 흐름에 따라 지표로 흘러나오는 기저유출로 구성되어 있다. 기저유출은 땅속에서 흐르기 때문에 흐름이 느리다. 이에 따라 강우가 발생하지 않을 시에 하천유량의 대부분을 차지하고 있다. 따라서 기저유출의 관리는 수자원의 관리에 매우 중요할 것이다. 국내외에서도 기저유출의 관리를 위한 연구가 필요하며 지표수-지하수의 연계관리를 위한 명확한 조명이 필요한 시기이다.

본 연구에서는 국내 기저유출의 분포와 지하수 의존형 수생태계가 미치는 영향에 대해서 분석하였다. 기저유출의 분리는 최근 많은 연구가 수행되어져 왔고 다양한 방법이 개발되었다. 일반적으로 시계열 유량자료를 통해 기저유출을 산정한다. 기저유출의 산정을 위해 두 가지 유량 데이터를 이용하였다. 검보정된 수문모형을 통한 데이터와 국내에 존재하는 관측데이터를 이용하여 지표유출과 기저유출을 분리하여 유역의 기저유출지표를 산정하였다. 기저유출지표는 총 유출량과 기저유출과의 비로 산정되는 유역의 특성을 나타내는 지표이다. 기저유출과 수생태계의 관계를 분석하기 위해 환경부에서 수행하는 네 가지 수생태건강성지수와 기저유출지표와의 상관성을 분석하였다. 수생태건강성지수는 부착물말류, 저서성 대형무척추동물, 어류, 서식 및 수변환경으로 구성되었다.

기저유출 산정과 수생태계와의 분석은 낙동강유역을 대상으로 수행하였다. 낙동강유역의 기저유출을 산정하여 기저유출지표를 산정한 결과 0.4이상의 값을 나타냈다. 이는 하천의 유량 중 약 40%가 기저유출에 의존한다는 의미이다. 또한 월별 기저유출지표를 산정한 결과 강수가 적은 봄과 겨울철의 경우 0.7이상을 나타냈다. 특히 1월달의 경우 0.9이상을 나타내 겨울철 대부분의 하천 유량은 기저유출에 의존한다. 산정된 기저유출지표와 네 가지 수생태건강성지수의 상관성 분석을 수행하였다. 분석결과 저서성 대형무척추동물과의 상관성을 나타냈고 나머지에서는 상관성을 나타내고 있지 않았다. 하지만 이는 아직 국내에서 수생태계의 건강성 조사와 평가가 이루어진지 얼마 되지 않았기 때문에 판단된다. 본 연구결과를 바탕으로 기저유출관리 방안의 정책적인 도입과 연구의 시발점이 될 것이다.

**핵심용어 : 기저유출, 기저유출지표, 수생태건강성지수, 지하수 의존형 수생태계**

### 1. 서론

지구의 온난화가 앞으로 지속적으로 증가할 것으로 예상됨에 따라 기후변화는 더욱더 심각한 사회적·경제적·환경적인 문제로 나타날 것으로 예측되고 있다. 특히 강수량의 불확실성과 비정상성의 증가로 인하여 이에 하천환경과 이에 따른 생태계는 큰 위협을 받고 있다(기상청, 2014). 또한 도시화의 증가로 인하여 불투수 면적의 증가는 하천의 유량과 수질에 영향을 미칠 수 있다. 투수면적의 감소는 기저유출의 감소로 이어지기 때문이다. 기저유출(Baseflow)은 비가 지표수를 통하여 지하수로 존재하다 시간의 흐름에 따라서 지표로 다시 유출되는 유량으로 지표수와 지하수를 연결해주는 중간자 역할을 하고 있는 하천유량을 구성하

\* 정희원 · 한국환경정책·평가연구원 연구위원 · E-mail : [hs kang@kei.re.kr](mailto:hs kang@kei.re.kr)

\*\* 정희원 · 한국환경정책·평가연구원 연구위원 · E-mail : [smjun@kei.re.kr](mailto:smjun@kei.re.kr)

는 하나의 요소이다(한국환경정책·평가연구원, 2015). 하지만 아직 기저유출이 얼마만큼의 영향을 미치는지에 대한 정량적인 분석이 부족하다. 이는 기저유출이 땅 속에 흐르고 있어 눈으로 측정이 불가능하기 때문이다. 기저유출의 산정은 아직까지도 정확한 방법이 아닌 유량곡선을 이용한 도식법에 의하여 산출되고 있다. 최근에 다양한 방법이 개발되어 있지만 아직도 기본적인 개념은 과거에 개발된 이론을 바탕으로 하고 있다. 국내에서는 아직 기저유출에 대한 연구가 미비하게 진행되고 있다. 최근 환경부(2013)에서는 하천에 기저유출이 수질에 미치는 영향에 대해서 연구를 하였으나 아직 많은 한계점을 나타내고 있다. 이처럼 하천에 중요한 요소로 인식되고 있는 기저유출에 대한 정량적인 분석이 필요로 하는 시점이다. 본 연구에서는 국내의 기저유출의 특성을 파악하고 생태계에 미치는 영향을 분석하여 기저유출의 중요성을 조명하고자 하였다.

## 2. 기저유출지표 산정

기저유출지표(Baseflow index)는 하천 전체 유량 중 기저유출이 차지하는 비율을 의미한다. 하천유출량과 기저유출의 비를 통하여 하천의 특성에 대해서 나타낼 수 있는 지표이다.

$$BFI(\%) = \frac{\text{기저유출량}}{\text{총유출량}} \times 100 \quad (1a)$$

앞서 설명한 바와 같이 기저유출은 도식법을 통해서 산정이 가능하다. 도식법의 종류에는 수문곡선을 이용한 지하수 감수 곡선법, 수평직선 분리법, N-day 법, 수정 N-day 법, 가변경사법이 있다. 미국 USGS에서는 기저유출지표 맵을 N-day 법을 사용하여 산출하였고 산출된 결과를 Howard and Merrifield(2010)와 Gou 등(2015)에서 활용하였다. 이에 본 연구에서는 USGS와 마찬가지로 N-day법을 이용하여 기저유출을 산정했다.

### 2.1 SWAT을 이용한 수문 모의

하천의 수문곡선을 작성하기 위해서는 유량관측소를 통한 시계열데이터가 필요하다. 하지만 아직 국내에서는 유량관측소의 개소수의 밀도가 작고 관측데이터의 신뢰성의 문제가 많아 데이터의 활용이 어려운 상황이다. 따라서 수문곡선의 산정을 위해서 준분포모형인 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)을 활용하였다. 검·보정은 오염총량 데이터를 이용하여 수행하였다. 검·보정결과 R square 0.7이상을 나타내 신뢰성을 확보하였다.

### 2.2 기저유출지표 산정결과

2006년부터 2012년까지의 모형의 분석 결과와 실측 유량데이터를 이용한 기저유출을 산정하였다. 실측 유량데이터는 일별 데이터가 필요함에 따라 오염총량데이터가 아닌 국토부가 운영하는 국가수자원종합정보(WAMIS) 일별 유량자료를 사용하였다. 대상유역은 낙동강 유역의 41개 오염총량 단위유역이다. 그림 1, 2는 연별 기저유출을 산정하여 기저유출지표로 나타낸 것이다. 관측데이터는 41개 단위유역에 골고루 분포하고 있지 않음에 따라 기저유출지표가 산정되지 않은 지역이 존재한다. 또한 그림 3, 4는 기저유출이 하천의 대부분을 차지하는 갈수기에 기저유출지표의 분포이다. 표 1은 낙동강 41개 단위유역의 연별, 갈수기 기저유출지표의 평균, 최소값, 최대값을 나타낸 것이다. 낙동강 전체의 연평균 기저유출지표는 0.4, 0.44로 나타났고 갈수기 평균 기저유출지표는 0.7, 0.73으로 나타났다. 두 가지 데이터로 분석한 결과 연평균은 0.4 이상이 나타나고 있고 갈수기에는 0.7이상으로 나타남에 따라 기저유출이 하천에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

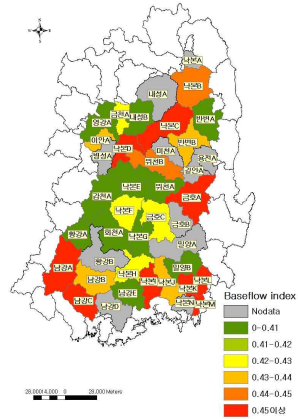


그림 1. 관측데이터 이용한 연평균 기저유출지표

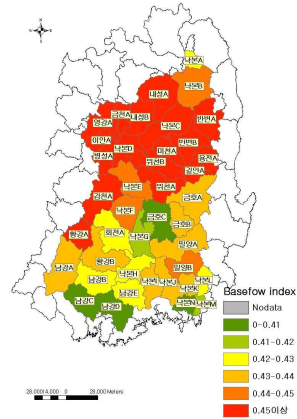


그림 2. 모의결과 이용한 연평균 기저유출지표

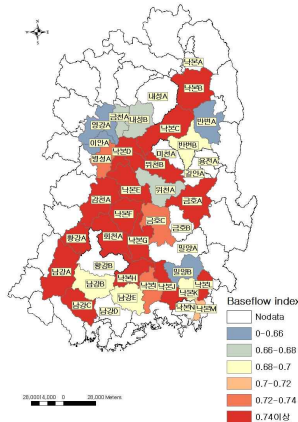


그림 3. 관측데이터 이용한 갈수기 기저유출지표

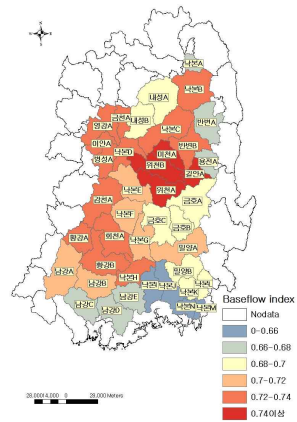


그림 4. 모의결과 이용한 갈수기 기저유출지표

표 1. 낙동강유역 모의결과와 유량관측값의 기저유출지표 평균, 최소값, 최대값

	연별 기저유출지표			갈수기 기저유출지표		
	평균	최소값	최대값	평균	최소값	최대값
SWAT모의결과	0.40	0.31	0.73	0.70	0.50	0.90
관측값	0.44	0.23	0.79	0.73	0.39	0.96

국내의 강우특성상 여름철에 연강수량의 약 2/3가 집중되므로 기저유출에 대한 변화도 나타날 것으로 예상된다. 이에 그림 5와 같이 월별 기저유출지표를 산정하였다. 기저유출지표 산정결과 비가 많이 오는 7월, 8월은 기저유출지표가 0.22, 0.32로 나타났다. 반면에 비가 오지 않는 겨울철에는 평균 0.8이상의 기저유출지표가 산정되었다. 특히 1월에는 0.92로 가장 높은 값을 나타냈다. 겨울철에는 대부분의 하천 유량이 기저유출에 의한 것으로 분석된다.

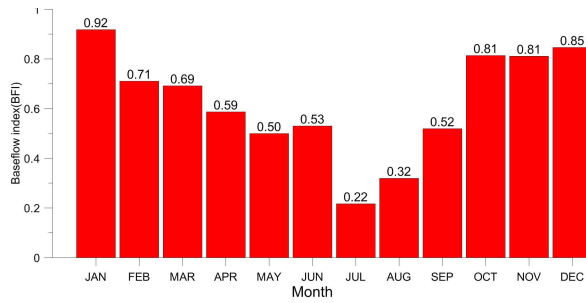


그림 5. 월별 기저유출지표

### 3. 기저유출과 수생태계 상관성 분석

생태계는 환경의 변화에 매우 민감하게 반응한다. 특히 물에서 생활하는 수생태계는 수량, 수질, 수온 등은 중요한 요소이다. 앞선 기저유출지표 산정결과를 살펴보면 0.4이상을 나타내고 있다. 이처럼 기저유출은 하천의 환경적 요소에 큰 영향을 미친다고 판단된다. 본 연구에서는 기저유출이 미치는 영향에 대해 분석하기 위해 환경부에서 조사하고 있는 수생태건강성지수와 기저유출지표와의 상관성분석을 수행하였다. 수생태건강성지수는 2008년부터 부착조류, 저서성 대형무척추동물, 어류, 서식 및 수변환경에 대한 지수를 산정하여 제공하고 있다(환경부, 2012). 그림 6은 낙동강유역의 116개 지역(본류지역 제외)에 대한 기저유출지표와 네 가지 수생태건강성지수와 상관성을 분석하였다. 기준 연도는 2012년으로 하여 분석하였다.

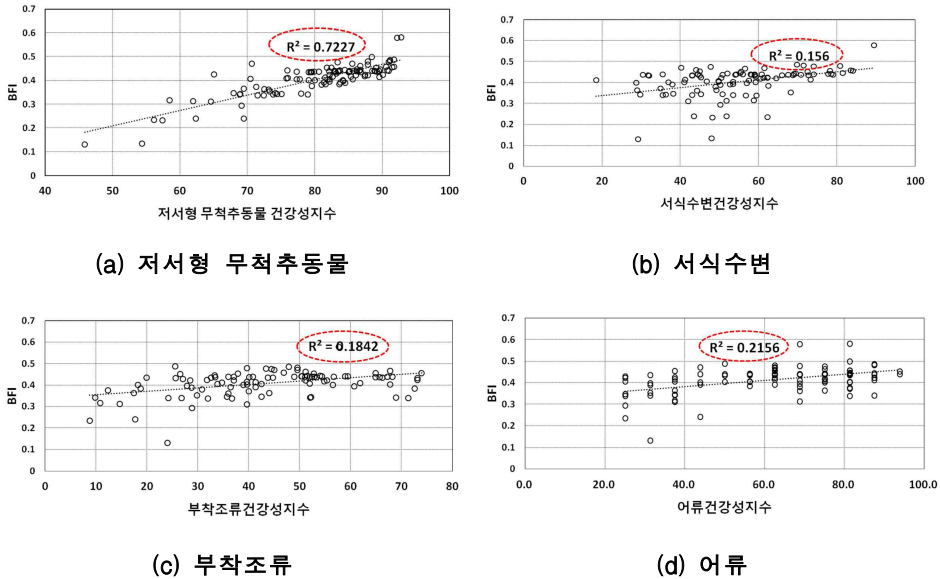


그림 6. 기저유출지표와 수생태건강성지수의 상관분석결과

상관성분석 결과 네 가지 수생태계건강성지수와 기저유출지표와의 상관성이 나타난 지수는 저서성 무척추동물만 나타나고 있다. 이는 저서성 무척추 동물의 경우 하상에서 생식하는 생태계로 하천의 바닥으로부터 나오는 기저유출에 의하여 큰 영향을 받을 것으로 판단된다. 반면에 나머지 세 가지 수생태계건강성지수는 데이터의 부족과 각 생태계에 따라 더 큰 영향을 받는 요인이 있을

것으로 판단된다. 조사 횟수도 1년에 2회 5월, 10월에 수행하는데 이를 통해 수생태계의 특성을 대표할 수 는 없을 것으로 사료된다. 특히 어류의 경우 수온에 매우 민감하게 반응한다. U.S.EPA(2005)에서는 Umatilla 인디언보호구역에서의 하천 수량 및 수질의 변화가 없음에도 연어의 개체수가 감소한 원인을 분석한 결과, 하천의 직선화 공사로 인한 기저유출의 감소에 따른 수온 상승이 원인인 것으로 드러났다. 따라서 그 후 기저유출 증가를 목적으로 하천을 복원하여 생태계가 서식하기 좋은 수온이 형성되었고 이에 따라 생태종과 서식처가 증가하였다.

#### 4. 결과

본 연구에서는 기저유출의 중요성을 환기시키고자 기저유출지표를 산출하였고 기저유출지표가 0.4이상 즉, 하천 유량의 40%이상을 차지하고 있다는 결과를 도출하였다. 특히 강우량이 적은 갈수기에 하천의 유량의 90%이상을 차지하고 있음에 따라 하천환경에 매우 중요한 역할을 하는 것으로 분석되었다. 또한 기저유출이 생태계에 미치는 영향에 대해 분석하고자 수생태건강성지수와 상관성 분석을 수행하였다. 네 가지의 수생태건강성지수와 기저유출지표와의 상관성분석을 한 결과 저서성 대형무척추동물만이 상관성을 나타냄에 따라 다소 연결성이 부족하다고 판단될 수 있으나 수생태건강성지수 데이터의 부족 등으로 인한 한계가 나타났을 것으로 판단되고 있다. 본 연구결과를 바탕으로 기저유출관리 방안의 정책적인 도입과 연구의 시발점이 될 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 2015년 기후변화대응 환경기술개발사업의 지원을 받아 한국환경정책·평가연구원이 수행한 “적응대책 수립 지원을 위한 영향 및 적응평가 기술개발”(과제번호: 2014001310005) 과제의 연구결과와 2015년 한국환경정책·평가연구원의 기본연구사업(RR-2015-02)의 지원을 받아 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

1. 기상청(2014), 기후변화 2014 종합보고서.
2. 한국환경정책·평가연구원(2015), 지하수의존도에 따른 수생태계 관리를 위한 기저유출지표 개발 및 활용방안 연구
3. 환경부(2012), 수생태계 건강성 조사 및 평가(V) 최종보고서 낙동강 대권역.
4. 환경부(2013), 기저유출에 의한 하천오염영향 조사지침 최종보고서.
5. Gou, S., S. Gonzales, and G. R. Miller. 2015. “Mapping Potential Groundwater-Dependent Ecosystems for Sustainable Management”. *Groundwater*. 53(1): pp.99-110.
6. Howard, J. and M. Merrifield. 2010. “Mapping Groundwater Dependent Ecosystems in California”. *PLoS ONE* 5(6): e11249. doi:10.1371/journal.pone.0011249.
7. U.S.EPA (2005), Confederated Tribes of the Umatilla Indian Reservation Total Maximum Daily Load.

<인터넷 자료>

USGS. 「BFI 산정데이터」. (<http://water.usgs.gov/GIS/metadata/usgswrd/XML/bfi48grd.xml>)