낙동강 중·하류지역 하성충적층내의 지하수-지표수 연관성 평가

Evaluating groundwater-surface water interaction in riverside alluviums of the middle and low Nakdong River basin

이정환*, 함세영**, 정재열***, 김규범****, 옥순일*****

Jeong-Hwan Lee, Se-Yeong Hamm, Jae-Yeol Cheong, Gyoo-Bum Kim, Soon-Il Ok

요 지

본 연구는 낙동강 중류 지역의 경북 구미시, 경북 왜관읍, 경북 성주군과 하류 지역의 경남 함안군, 창원시 북면과 대산면, 김해시 생림면의 하성충적층 내 지하수와 낙동강물의 연관성을 파악하였다. 중류와 하류지역에서 하성충적층의 주 대수층(모래자갈층)의 두께는 10m 내외로서 공간적으로 큰 차이를 보이지는 않는다. 하성충적층의 수리전도도는 10^{-5}~10^{-3}m/sec를 나타낸다. 하성충적층의 지하수위는 지역에 따라 해수면 기준으로 1.40~11.5m에서 변동하며, 지하수위와 낙동강 수위는 높은 상관성을 보인다. 지하수와 낙동강물의 화학분석 결과, 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨, 염소, 규산, 중탄산, 망간, 철과 같은 무기성분의 농도는 지하수에서 더 높게 나타나고 있으나, 질산염의 농도는 낙동강물에서 더 높게 나타난다. 지하수내의 유기물질의 농도는 계절에 관계없이 비교적 일정하나, 낙동강물의 유기물질 농도는 우기보다 건기에 더 높은 경향성을 보이고 있다. 이러한 연구결과는 4대강 살리기 사업이나 하천주변지역의 수자원 개발에 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 낙동강, 하성충적층, 지하수위, 하천수위, 화학성분

1. 서론

유역내의 하천수와 지하수는 수문순환 과정 속에서 서로 밀접하게 관련되어 있다. 따라서 하천수와 지하수 중에서 어느 한쪽이 오염될 경우 서로 영향을 미치게 되므로, 수자원의 관리측면에서 지표수와 지하수의 연관성을 연구하는 것은 매우 중요하다. 그러나 우리나라에서는 하성충적층내 지하수 취수에 따른 수리권, 적정 취수량 산정, 하천 유지용수, 하천 준설 사업으로 인한 하도 변화, 하천 개발에 따른 생태계 변화뿐만 아니라 전지구적으로는 기후변화에 따른 강우량과 지하수 함양량 변화도 발생하고 있다. 이와 아울러, 2009년에 시작된 4대강 살리기 사업과 연관하여, 우리나라에서는 4대강 주변의 지하수-지표수 기작에 관한 연구의 중요성이 증대될 것으로 판단된다. 본 연구는 낙동강 중류 지역인 경북 구미시, 경북 왜관읍, 경북 성주군과 하류 지역인 경남 함안군, 창원시 북면, 창원시 대산면, 김해시 생림면의 하성충적층 내의 지하수와 지표수(낙동강물)의 연관성을 파악하고자 하였다(그림 1).

* 정회원 · 부산대학교 자연과학대학 지구환경시스템학부 · E-mail : oathway@pusan.ac.kr
** 종신회원 · 교신저자 · 부산대학교 자연과학대학 지질환경과학과 교수 · E-mail : hsy@pusan.ac.kr
*** 비회원 · 부산대학교 자연과학대학 지구환경시스템학부 · E-mail : jjy@pusan.ac.kr
**** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 · E-mail : gbkim@pusan.ac.kr
***** 비회원 · 부산대학교 자연과학대학 지구환경시스템학부 · E-mail : hankukin11@hanmail.net

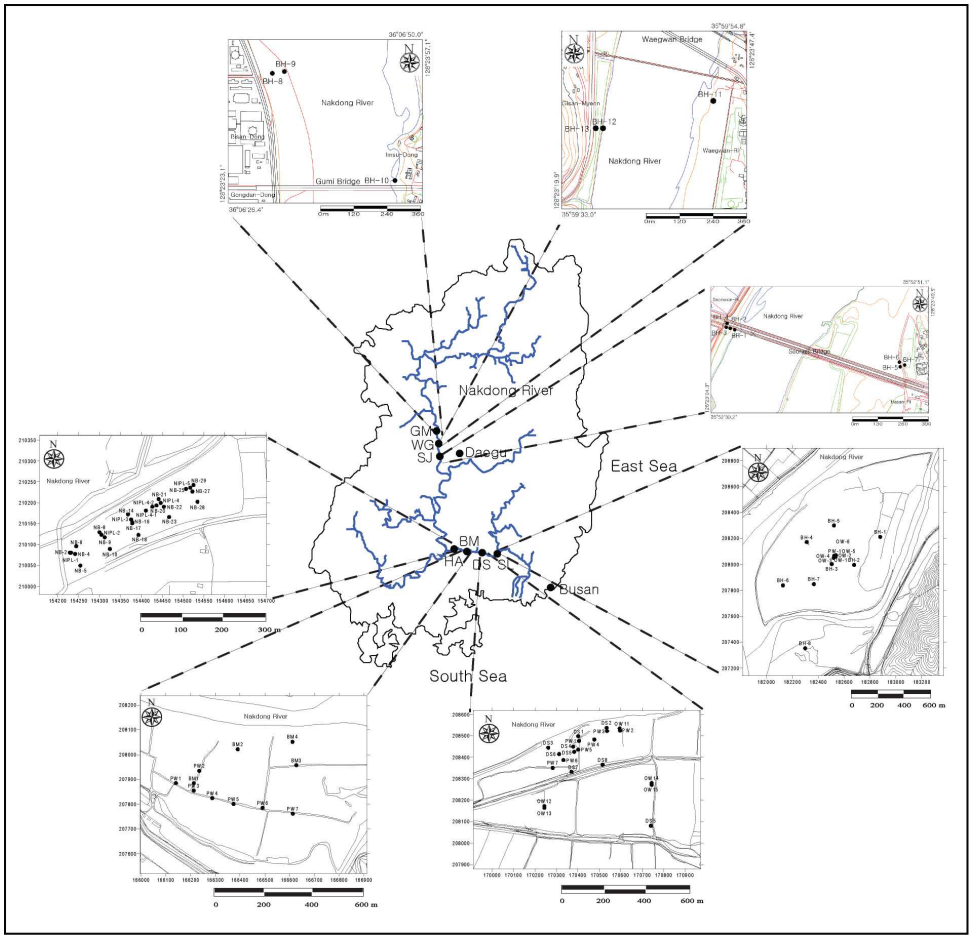

그림 1. 연구지역

2. 낙동강 중·하류지역의 수리지질학적 특성

2.1 하성충적층의 층서

낙동강 중·하류 지역의 시추자료를 바탕으로 결정된 천부지질은 모래층, 모래자갈층, 풍화대층으로 크게 세분화된다. 이 층들 중에서 모래와 역들의 혼합층으로 구성된 모래자갈층이 주 대수층의 역할을 하고 있으며, 주로 이 층을 통하여 지하수 유동이나 하천수 유입이 일어나는 것으로 판단된다. 경북 구미시 비산동 지역(GM)에의 모래자갈층은 평균 두께가 7.60m이고, 경북 칠곡군 왜관읍 죽전리 지역(WG)은 7.20m, 경북 성주군 선남면 지역(SJ)은 4.70m이다(이정환, 2007). 한편, 함안군 칠서면 이룡리 지역(HA)의 모래자갈층은 평균 두께가 9.5m((주)도하종합기술공사, 1998), 경남 창원시 북면 신촌리 지역(BM)은 13.8m(동아건설과 대덕공영, 2000; 창원시, 2003; 함세영 외, 2004), 경남 창원시 대산면 갈전리 지역(DS)은 평균 두께가 12.5m(동아건설과 대덕공영, 2000; 창원시, 2003; 정재열 외, 2003; 함세영 외, 2005; Cheong et al., 2008), 김해시 생림면 마사리 지역(SL)은 평균 두께가 7.90m이다(세종지질, 2003; 김해시, 2005). 창원시 북면 지역에서 13.8m로 가장 두꺼우며, 경북 성주 지역에서 4.70m로 가장 얇게 나타나고 있다. 모래자갈층은 지역적으로 뚜렷한 경향성을 보이고 있지 않지만, 모래자갈층 상부에 위치하는 모래층은 중류에서 하류로 갈수록 두께가 증가되는 경향성을 보이고 있다(그림 2). 이는 하천의 하류로 갈수록 세립질 퇴적물의 퇴적이 증가되는 것으로 판단된다(조성권 등, 1995).

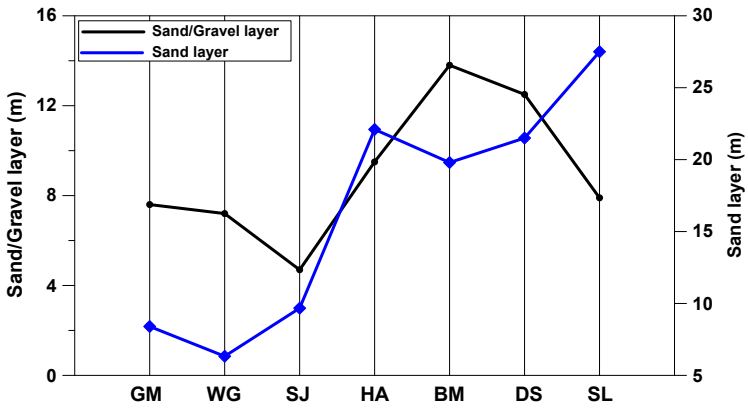

그림 2. 지역별 모래자갈층과 모래층의 두께 분포 특성

2.2 수리적 특성

경북 구미시 비산동 지역의 수리전도도는 1.00×10^{-6}~6.78×10^{-6}m/sec(평균값 2.98×10^{-6}m/sec), 경북 칠곡군 왜관읍 죽전리 지역은 1.09×10^{-6}~5.40×10^{-5}m/sec(평균값 3.09×10^{-5}m/sec), 저류계수는 1.84×10^{-4}이다. 경북 성주군 선남면 지역의 수리전도도 1.66×10^{-6}~1.21×10^{-4}m/sec(평균값 4.77×10^{-5}m/sec)이고, 저류계수는 1.50×10^{-9}~1.27×10^{-4} 범위를 나타낸다(이정환, 2007). 한편, 함안군 칠서면 이룡리 지역의 수리전도도는 1.06×10^{-3}~3.80×10^{-3}m/sec(평균값 2.85×10^{-3}m/sec)이고, 저류계수는 1.10×10^{-2}~1.26×10^{-1}이다(함세영 외, 2003). 창원시 북면 신촌리 지역의 주 대수층인 모래자갈층의 수리전도도는 1.50×10^{-3}m/sec이며, 상, 하부 세립질 모래층의 수리전도도는 각각 2.30×10^{-4}m/sec, 2.20×10^{-4}m/sec 그리고 중립질 모래층의 수리전도도는 4.90×10^{-4}m/sec이다(함세영 외, 2004). 저류계수는 모래자갈층이 1.00×10^{-4}~5.00×10^{-4} 범위이다. 창원시 대산면 갈전리 지역의 모래자갈층의 수리전도도는 2.49×10^{-3}m/sec이며 상, 하부 세립질 모래층의 수리전도도는 각각 1.38×10^{-4}m/sec, 2.18×10^{-4}m/sec 그리고 중립질 모래층의 수리전도도는 4.89×10^{-4}m/sec이다(Cheong et al., 2008). 저류계수는 4.51×10^{-4}~1.50×10^{-3} 범위이다. 김해시 생림면 마사리의 수리전도도는 1.74×10^{-4}~5.75×10^{-4}m/sec이고 평균값은 2.76×10^{-4}m/sec이다(김해시, 2005). 공간적인 수리전도도의 분포 특성은 낙동강 중류지역보다 하류지역에서 수리전도도가 크게 나타나고 있으며, 함안 지역에서 가장 큰 수리전도도를 보인다(그림 3).

3. 낙동강 중·하류지역의 수리화학적 특성

낙동강 중·하류지역의 지하수와 낙동강물을 비교한 결과, 지하수의 탁도는 낙동강물과 비교하여 10~55% 정도로 작은 수치를 보이고 있으며, 풍수기와 갈수기에도 안정된 값을 나타낸다. COD는 낙동강물에서는 3.60~6.20mg/l이고 평균값은 4.80mg/l이다. 한편, 지하수는 2.30~4.00mg/l이고 평균값은 2.93 mg/l이다. 전기전도도는 낙동강물에서는 평균 460μS/cm이나 지하수는 583μS/cm이다. 이는 하천수가 충적층을 통과하는 동안 물-암석 반응에 의해 무기물의 농도가 높아짐을 지시한다. 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨, 염소, 규산, 중탄산, 망간, 철 농도는 지하수에서 더 높게 나타난다. 아연과 황산염은 지역에 따라 상대적으로 높거나 낮게 나타난다. 그러나, 질산염 농도는 낙동강물보다 지하수에서 낮은 경향성을 보인다. 한편, 수질유형을 보면, 낙동강물은 Ca-HCO_3, Na-HCO_3, Ca-Cl, Na-Cl형 등 다양하게 나타나나, 지하수의 수질형은 계절에 관계없이 Ca-HCO_3, Na-HCO_3로서 일정하게 나타난다. 이는 하천수 수질에 비교하여 하성충적층의 수질은 오염의 취약성이 낮

고 수질이 계절별로 안정된 상태임을 지시한다(함세영과 김형수, 2009).

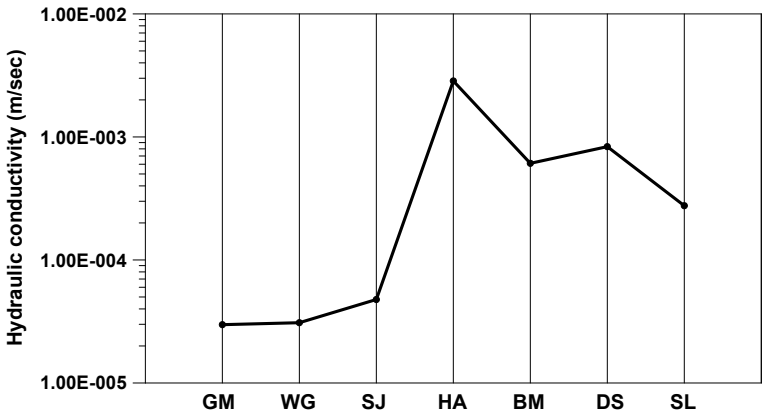

그림 2. 지역별 평균 수리전도도 분포 특성

4. 지하수위와 하천수위의 연관성

2003년부터 2008년까지 낙동강 중류지역인 경북 구미시 비산동 구미대교, 경북 칠곡군 왜관읍 죽전리 왜관교, 경북 성주군 선남면 성주대교 및 하류지역 함안군 칠서면 진동 수위표, 창원시 북면 임해진 수위표, 창원시 대산면 수산교, 김해시 생림면 삼랑진교의 평균 하천수위를 보면 점차 수위가 하강하는 추세를 보이며, 해발고도 기준으로 평균 하천수위는 각각 21.7m, 18.1m, 15.2m, 2.24m, 1.40m, 0.99m, 1,10m이다. 한편, 하성충적층의 지하수위 변동을 보면, 경북 구미시 지역의 2005년 11월 4일부터 2008년 1월 3일의 지하수위는 15.9~29.4m이며, 지하수위 변동폭은 13.5m이다. 평균 지하수위는 19.5m이다. 경북 칠곡군 왜관읍 지역의 2005년 10월 2일부터 2008년 1월 3일의 지하수위는 14.1~23.5m이며, 지하수위 변동폭은 9.4m이다. 평균 지하수위는 17.5m이다. 경북 성주군 일대의 2005년 9월 10일부터 2008년 1월 3일의 지하수위는 14.1~20.4m이며, 지하수위 변동폭은 6.3m이다. 평균 지하수위는 15.0m이다. 함안군 칠서면 지역의 2003년 3월 7일~2004년 3월 15일의 지하수위 자료를 보면 1.48~13.04m이며, 최대 변동폭은 11.28m이다. 창원시 북면 지역의 2003년 1월 21일~2004년 1월 25일의 지하수위 자료를 보면, 지하수위 는 -11.07~11.92m(해발고도 기준)이며, 지하수위 변동폭은 23.0m이다. 창원시 대산면 지역의 2003년 1월 21일부터 2008년 1월 3일의 지하수위는 -0.73~10.8m이며, 지하수위 변동폭은 11.5m이다. 김해시 생림면 마사리 지역의 2008년 5월 20일부터 2008년 10월 27일까지의 지하수위는 0.24~1.64m이며, 지하수위 변동폭은 1.40m이다.

지역에 따른 지하수위와 하천수위와의 상관성을 분석한 결과, 구미 지역의 상관계수는 0.91~0.97이고, 왜관 지역은 0.92~0.98이고, 성주 지역은 0.81~0.94이다. 그리고 함안지역은 0.98, 북면 지역은 0.92~0.95이고, 대산면 지역은 0.83~0.97이며, 김해지역은 0.95로서 대체로 하성충적층의 지하수위와 하천수위와는 상관성이 매우 크게 나타나고 있다. 이는 낙동강 하천수위의 변동에 따라 하성충적층의 모든 지하수위들은 직접적으로 반응하고 있다.

4. 결과

낙동강 중류 지역인 경북 구미시, 경북 왜관읍, 경북 성주군과 하류 지역인 경남 함안군, 창원시 북면, 창원시 대산면, 김해시 생림면의 하성충적층 내의 지하수와 지표수(낙동강물)의 연관성을 파악하였다. 모래자갈층의 두께는 10m 내외로서 지역적으로 비슷하다. 하성충적층의 지하수위는 지

역에 따라 차이는 있으나, 계절적으로 1.40~11.5m (해수면 기준) 범위에서 변동하고 있다. 지하수위와 하천수위와의 상관성을 분석한 결과, 중류지역인 구미 지역의 상관계수는 0.91~0.97, 왜관지역은 0.92~0.98, 성주 지역은 0.81~0.94이다. 한편 하류지역인 함안지역은 0.98, 창원시 북면지역은 0.92~0.95이고, 창원시 대산면 지역은 0.83~0.97, 김해지역은 0.95이다. 따라서 지하수위와 하천수위와는 상관계수는 0.8 이상의 높은 값을 보이나, 성주지역과 대산면 지역에서는 지하수공의 위치에 따른 영향 때문에 상관계수의 변화가 큰 것으로 판단된다.

칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨, 염소, 규산, 중탄산, 망간, 철과 같은 무기물의 농도는 강물보다 지하수에서 더 높게 나타나나, 질산염은 하천수에서 더 높게 나타난다. 또한, 강변충적층의 지하수와 낙동강물의 유기물질 모니터링 결과, 지하수의 유기물질 농도는 낙동강물보다 상대적으로 낮게 나타난다. 이는 지하수의 화학성분들이 대부분 하성충적층내의 물-광물 반응으로부터 유래되지만, 낙동강물의 화학성분들은 상류지역이나 강 주변지역의 인위적인 오염원의 영향을 많이 받기 때문이다.

감 사 의 글

본 연구는 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(21세기 프런티어 연구개발사업 과제번호 3-4-3)과 2단계 BK21 사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김해시 (2005) 강변여과수 개발사업 기본 및 실시설계 보고서, 144p.

동아건설과 대덕공영 (2000) 읍면지역 상수도 (대산정수장계통) 취수정 설치공사 보고서, 28p.

이정환 (2007), 낙동강변 구미-왜관-성주지역 하성퇴적층의 수리지질학적 특성 연구, 이학석사 논문, 193p 부산대학교.

조성권, 이철우, 손영관, 황인걸 (1995) 퇴적학, chap. 9.2 pp.369-380 우성문화사.

정재열, 함세영, 김형수, 손건태, 차용훈, 장성, 백건하 (2003) 창원시 대산면 강변충적층의 지하수위 변동 특성, 13(4), pp. 457-473 지질공학.

(주)도하종합기술공사 (1998) 이룡지구 강변여과수 시범개발 조사사업 보고서, 513p 환경부, 경상남도.

(주)세종지질 (2003) 김해 강변여과수 및 대체 수자원 개발 타당성 조사 보고서

창원시 (2003) 기존(대산, 북면 취·정수장) 강변지하수 개발에 대한 주변영향조사연구 보고서.

함세영, 김형수 (2009) 낙동강 하류 강변여과 취수지역의 수리지질 및 수질 특성, 42(11), pp. 25-33 수자원학회지.

함세영, 정재열, 김형수, 한정상, 류수희 (2004) 창원시 북면 낙동강 주변 하성퇴적층의 지하수유동 모델링 연구, 3891), pp.499-508 자원환경지질.

함세영, 정재열, 김형수, 한정상, 차용훈 (2005) 창원시 대산면 강변여과수 취수부지 주변의 지하수유동 모델링 연구, 38(1), pp. 67-78 자원환경지질.

Cheong, J.-Y., Hamm, S.-Y., Kim, H.-S., Ko, E.J., Yang, K.H., and Lee, J.-H. (2008). Estimating hydraulic conductivity using grain-size analyses, aquifer tests, and numerical modeling in a riverside alluvial system in South Korea, Vol. 17, pp. 1129-1143 Hydrogeology Journal.