

낙동강 하류 강변여과 취수지역의

수리지질 및 수질 특성



함 세 영 ▶▶▶

부산대학교 지구환경시스템학부 교수
hsy@pusan.ac.kr



김 형 수 ▶▶▶

중원대학교 에너지자원공학부 교수
hskim@jwu.ac.kr

1. 서언

지표수와 지하수를 연계·이용하는 방법에는 간접 인공함양방법과 직접 인공함양방법이 있다. 대표적인 간접 인공함양방법에는 강변여과 방식과 지하 저류(지하수 댐) 방식이다. 지하 저류 방식은 대수층을 부분적으로 차수하여 지하수를 저류하고 이를 취수하는 방식이다. 강변여과 취수(그림 1)는 하천수를 강변의 충적층을 통과시켜 취수함으로써 하천수 원수를 취수하여 정수하는 것보다 우수한 수질의 수돗물을 생산할 수 있다(Hiscock and Grischek, 2002). 하천수가 강변 대수층을 통과하게 되면, 희석, 흡착, 이온교환, 미생물에 의한 자연저감, 여과, 그리고 기타 화학반응에 의해서 수질이 개선된다. 특히, 탁도, 의약품질, 질산염, 용존이온, 중금속 등과 원생동물, 박테리

아, 바이러스 등의 생물학적 오염물질도 제거되는 것으로 알려져 있다(Ray, 2001; Arora et al., 2000). 또한, 트리할로메탄 발생량(Trihalomethane Formation Potential, THMFP)과 소독부산물 발생량(Disinfection By-Product Formation Potential, DBPFP)을 현저하게 낮추는 것으로 알려지고 있다. Weiss et al.(2003)는 강변여과에 의해서 수돗물을 생산하게 되면 트리할로메탄, 할로아세틱산과 같은 소독부산물이 50~80%까지 현저하게 줄어든다고 보고하였다.

한편, 직접 인공함양방법은 주입방식과 포수방식으로 구분된다. 주입방식은 주입정호를 대수층까지 직접 착정하는 습식형과 함양지나 도랑을 불포화대까지만 도달시키는 건식형으로 구분한다. 주입방식의 대표적인 형태인 대수층 저장-회수 방법(ASR, Aquifer Storage and Recovery)은 하나의 정호를 통하여 주입과 회수를 하는 방식이다. 포수방식은 함양지 방식, 하천-수로 방식, 도랑-고랑 방식, 범람 방식, 지하관 매설 방식이 있다.

강변여과수 취수방식은 1810년 영국 글래스고 수도국에서 세계 최초로 도입하였으며, 클라이드 강변에 유공관을 매설하여 강변여과수를 취수하였다. 그 이후 유럽, 미국 등 선진국에서는 강변퇴적층의 자정능력을 이용한 취수원 개발을 시행하여 왔다. 특히, 독일에서는 19세기 후반부터 라인강변에서 강변여과수를 취수하여 음용수로 사용하여 왔다. 네덜란드, 프랑스, 오스트리아, 스웨덴, 미국, 호주, 일본, 중국, 이스라엘 등 여러 나라에서도 간접 또는 직접

인공함양 방식에 의해서 취수원을 개발하고 있다. 독일의 뒤셀도르프(Düsseldorf) 정수장과 오스트리아의 빈(Wien) 정수장은 유럽의 대표적인 강변여과 취수장이고, 지표수를 주변의 충적층에 함양시켜 취수하는 인공함양방식의 정수장으로는 네덜란드의 암스테르담 정수장, 독일의 에센(Essen) 정수장, 프랑스의 크로와시(Croissy) 정수장 등이 있다.

우리나라에서는 한국수자원공사(1995, 1996, 1998, 1999, 2002), 창원시(1997, 2003), 환경부 외(1996), 환경부와 경상남도(1998) 등이 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강 유역의 강변여과수 개발타당성 조사를 실시하였다. 과거 1960~1970년대에 우리나라에서는 지하수 대형관정이 주로 하천변에 위치하고 있었으며, 그 심도가 수 m이고, 직경은 0.4~1.0m였다. 이러한 대형관정들도 일종의 강변여과수 개발 관정으로 볼 수 있다.

낙동강 하류의 함안군, 창원시 북면과 대산면, 김해시에서는 강변여과수 개발사업이 진행 중에 있다(그림 2~그림 5). 그 외에도 경기도 가평군 자라섬 지구에도 2004년부터 강변여과수 취수시설이 운영되고 있다. 특히, 창원시에서는 낙동강 원수가 수돗물의 주 공급원이지만 원수의 오염취약성 및 배분량

한계로 인해 앞으로는 용수 공급량이 절대적으로 부족할 것으로 예상됨에 따라 자체수원 확보방안의 일환으로 오염에 상대적으로 안전하고 갈수기에도 풍부한 물을 공급할 수 있는 강변여과수 개발을 위하여 경남 창원시 동읍, 북면, 대산면의 낙동강 본류 하안 지역에서 지표지질 조사, 지구물리탐사, 시추 및 착정 조사, 현장수리시험 등의 강변여과수 개발 타당성 조사를 수행하였다(창원시, 1999). 이 조사 결과를 바탕으로 창원시 북면 신촌리와 대산면 갈전리 지역에 강변여과수 취수장을 건설하였다. 창원시 강변여과수 취수장의 정수처리는 포기 및 반응(철, 망간 제거), 모래급속여과, 활성탄여과, 염소(차아염소산나트륨) 소독의 순으로 진행되며, 이는 낙동강물을 취수후 침사지에서 액체염소에 의한 1차 살균, 전오존처리, 착수 및 혼화지, 침전지, 여과지, 후오존처리, 입상활성탄여과지 그리고 정수지의 최종 염소살균하는 고도정수처리공정보다 훨씬 간단하다.

창원시 북면 신촌리 취수장은 10,000m³/일의 강변여과 시설용량을 가지고 있다. 한편, 창원시 대산면 갈전리 취수장은 1단계 공사에서 10,000m³/일의 강변여과 시설용량, 1단계 확장공사(2000~2005년)에서 수직형 취수정 36개공, 방사집수정 1개공으로부터 60,000m³/일 강변여과수를 추가로 개발하게 되었다. 2단계 확장공사(2006~2010년)에는 대산면에 방사집수정 5개공으로부터 60,000m³/일을 추가로 개발하며, 3단계 확장공사(2011~2016년)에는 대산면에 60,000m³/일 추가로 개발하여 창원시의 강변여과수 총 시설용량은 200,000m³/일이 될 것으로 예상된다.

함안군 칠서면 용성리 이용지구 취수장에서는 13개 수직형 취수정으로부터 20,000m³/일의 취수용량을 확보하였다. 또한, 김해시 생림면 마사리지구에는 9개공의 방사집수정으로부터 180,000m³/일의 시설용량을 확보하는 사업을 진행하고 있다.

현재 정부에서는 4대강살리기사업을 추진하고 있으며, 이와 관련하여 강변대수층의 효율적인 관리, 강변여과 취수시 합리적인 수량 및 수질 관리가 요구

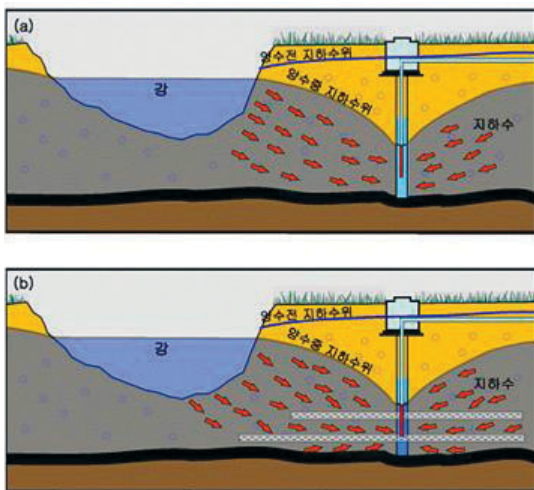


그림 1. (a)수직형 취수정과 (b)방사취수정에 의한 강변여과수 개발 모식도

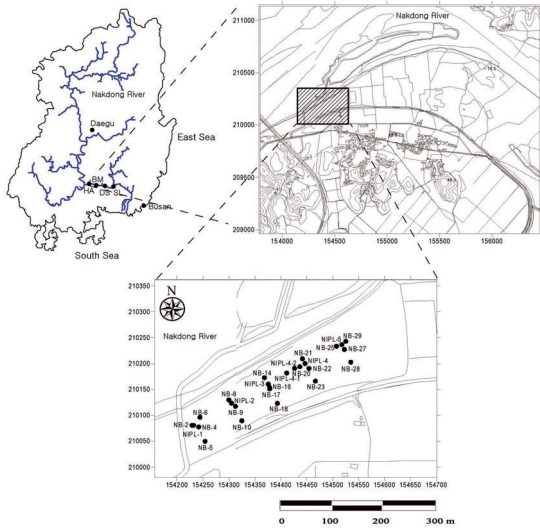


그림 2. 함안군 칠서면 이룡리 강변여과수 취수지역

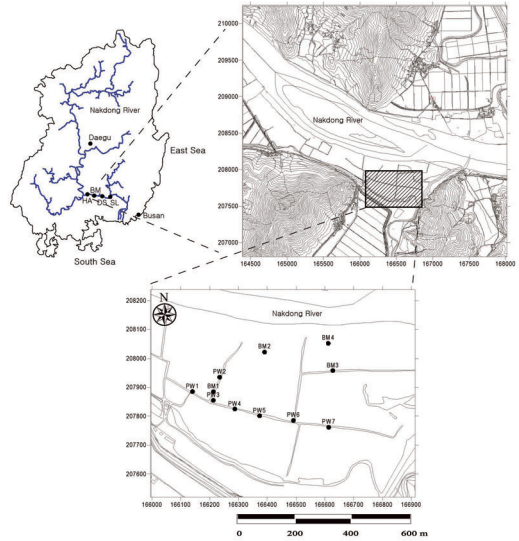


그림 3. 창원시 북면 신촌리 강변여과수 취수지역

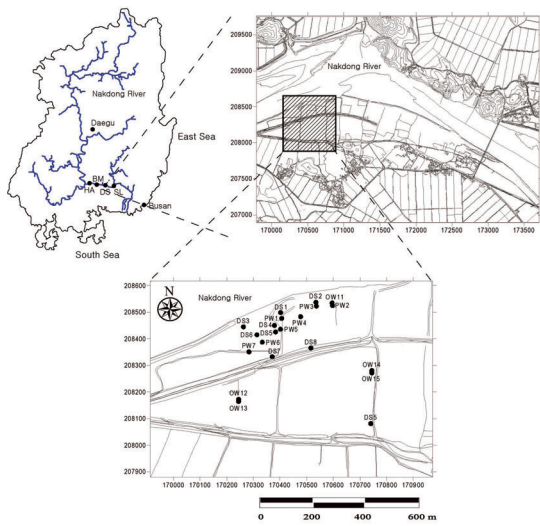


그림 4. 창원시 대신면 갈전리 강변여과수 취수지역

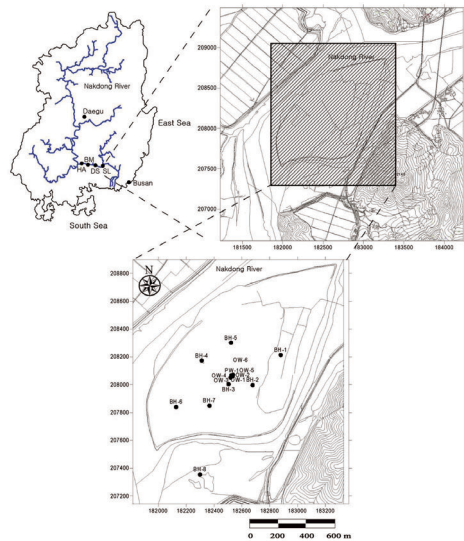


그림 5. 김해시 생림면지역 강변여과수 취수지역

되고 있다. 본 연구에서는 2001년부터 시작된 21세기 프론티어 사업의 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 대체수자원의 확보 기술로서 낙동강 하류 함안군, 창원시, 김해시의 강변여과취수 지역의 수리지질 및 수질 특성, 강변여과수와 하천수의 상호관련성을 파악하였다.

2. 낙동강 하류지역의 수리지질특성

2.1 지질 및 하성층적층의 층서

함안군 칠서면 이룡리지역은 낙동강과 남강 본류가 합류하는 지점에 위치하고 있으며, 지질은 하부로 부터 백악기 경상누층군의 하양층군(칠곡층, 신라역

암층, 함안층)과 이들을 관입하는 불국사 화강암이 분포하고 있으며, 상기 암석들은 제4기 충적층에 의해 피복되고 있다. 대부분의 제4기 충적층은 낙동강을 따라서 강변에 넓게 분포하고 있다. 그리고 하양층군은 대개 북북서 방향의 주향과 남동방향의 완만한 경사를 형성하고 있다(최승오와 여상철, 1972). 한편, 함안군 칠서면 이릉리 강변여과수 취수부지에는 7개 취수정(NIPL1, NIPL2, NIPL3, NIPL4, NIPL4-1, NIPL4-2, NIPL5)과 34개 관측공의 시추자료를 바탕으로 취수정 주변의 수리지질은 지표로부터 모래층, 실트질 모래층, 모래자갈층, 풍화대로 구성되어 있다(표 1). 모래층이 평균 20.8m로서 가장 두껍고, 실트질 모래는 1.3m, 모래자갈층이 평균 9.5m, 풍화대가 평균 3.9m이며, 충적층의 두께는 평균 31.6m로 나타난다((주)도하종합기술공사, 1998). 주대수층 역할을 하는 모래자갈층은 모래와 역들의 혼합층으로 이루어져 있으며, 역들은 세일, 사암 및 규암으로 구성되어 있다. 세일층의 풍화대 구간은 높은 풍화도를 보인다.

경남 창원시 북면 신촌리 강변여과수 취수지역 일대의 지질은 중생대 백악기 유천층군의 화산암류(안산암질 응회암과 유문암질 응회암, 역질응회암)와 퇴적암류(석회암, 장석질 사암, 녹색 세일, 쳐어트질 세일)로 이루어져 있으며 이를 중생대말기 불국사관입암류가 부분적으로 관입하고 있다(김남장, 이흥규, 1964). 그리고 최상부에는 이 지층들을 부정합으로 피복하는 제4기 하성충적층이 낙동강의 연변부에 넓게 분포하고 있다. 백악기 유천층군에 속하는 화산암은 주로 낙동강 남측에 분포하고 있고, 유천층군의 퇴적암류는 주로 서측에 분포하고 있으며 화강암류 주변부에서는 열변질되어 침식에 강한 비교적 높은 지형을 형성하고 있다. 불국사관입암류(화강암, 화강섬록암, 산성암맥, 석영반암)는 유천층군 퇴적암류를 관입하고 있다. 취수부지에 위치하는 7개의 취수정(PW1~PW7호정)과 5개의 관측공(BM1~BM4, OW2-2)의 시추자료와 입도분석에 의하면, 천부지질은 지표로부터 모래층(평균 두께 19.8m), 실트질

모래층(평균 두께 10.7m), 모래자갈층(평균 두께 13.8m), 풍화대(평균 두께 2.1m) 그리고 최하부에 안산암질 응회암로 구성된다(동아건설과 대덕공영, 2000; 창원시, 2003). 주 대수층은 모래자갈층이며, 이 층을 통하여 주로 지하수 유동이나 하천수 유입이 일어난다. 충적층을 좀 더 세분하면, 지표로부터 차례로 상부 세립질 모래층, 중립질 모래층, 세립질 모래층, 모래자갈층으로 구분되며(함세영 외, 2004), 그 평균 두께는 각각 17.3m, 3.9m, 16.8m, 13.8m이다(함세영 외, 2004).

경남 창원시 대산면 갈전리의 강변여과수 취수장 주변지역의 지질은 백악기 유천층군의 퇴적암(장석질 사암, 녹색세일, 쳐어트질 세일)과 화산암(안산암, 안산암질 응회암, 안산암질 라필리응회암, 안산암질 응회각력암)으로 구성되어 있다(함세영 외, 2003; 동아건설과 대덕공영, 2000; 창원시, 2003). 이들 퇴적암과 화산암은 불국사관입암류(흑운모화강암, 화강섬록암)에 의해서 관입되어 있다(김남장, 이흥규, 1964). 그리고 이들 암석을 제4기 충적층이 부정합으로 피복하고 있다. 강변여과수 취수부지에 있는 7개의 취수정(PW1~PW7호정)과 11개 관측공(DS1~DS8, OW11, OW13, OW16)으로부터 지질을 파악하면, 모래층(평균 두께 21.5m), 실트질 모래층(평균 두께 9.4m), 모래자갈층(평균 두께 12.5m), 풍화대(평균 두께 17.6m) 그리고 최하부에 안산암질 응회암이 놓여 있다(동아건설과 대덕공영, 2000; 창원시, 2003). 주 대수층은 모래자갈층이며, 이 층을 통하여 주로 지하수 유동이나 하천수 유입이 일어난다. 충적층을 좀 더 세분하면, 지표로부터 차례로 상부 세립질모래층, 중립질모래층, 하부 세립질모래층, 모래자갈층으로 구분되며(정재열 외, 2003; 함세영 외, 2005; Cheong et al., 2008), 그 평균 두께는 각각 17.2m, 4.3m, 9.4m, 12.5m이다(Cheong et al., 2008).

김해시 생림면 마사리 강변여과수 개발지역에는 유천층군 하부의 주사안산암질암류(안산암질 회류응회암, 안산암, 안산암질 또는 석영안산암질 라필리응회암)과 상부의 운문사유문암질암류(유문암질 라필리

표 1. 낙동강 하류지역의 하성층적층의 층서 (unit: m)

취수지역	모래층	실트질 모래층	모래 자갈층	풍화대
함안군 칠서면	20.8	1.3	9.5	3.9 (굴착심도 기준)
창원시 북면	21.2	16.8	13.8	2.1 (굴착심도 기준)
창원시 대산면	21.5	9.4	12.5	17.6 (굴착심도 기준)
김해시 생림면	24.1	3.4	7.9	2.6 (굴착심도 기준)

응회암)가 분포하고 있으며, 불국사화강암류에 속하는 화강섬록암이 일부 분포하고 있다(김규봉과 황상구, 1988). 또한, 제4기 층적층은 이들 암석을 부정합으로 피복하고 있으며, 밀양강 및 낙동강 수계를 따라 넓은 층적평야를 이루고 있다. 13개 관측공(BH1~BH7, OW1~OW6)의 시추자료((주)세종지질, 2003; 김해시, 2005)에 의하면, 천부지질은 지표로부터 모래층(평균 두께 24.1m), 실트질 모래층(평균 두께 3.4m), 모래자갈층(평균 두께 7.9m), 풍화대(평균 두께 2.6m)로 구분된다. 또한, 모래층들 사이에는 실트층이나 점토층이 간혹 협재되어 있다.

2.2 수리적 특성

함안군 칠서면 이룡리 강변여과수 취수지역에서 실시된 양수시험 분석에 의하면, 수리전도도는 $1.06 \times 10^{-3} \sim 3.80 \times 10^{-3} \text{m/sec}$ 이고, 평균값은 $2.85 \times 10^{-3} \text{m/sec}$ 이다. 그리고 저류계수는 $1.10 \times 10^{-2} \sim 1.26 \times 10^{-1}$ 범위를 보이고 있으며, 이는 하성층적층의 위치에 따른 차이를 지시하고 있다(함세영 외, 2003).

창원시 북면 신촌리 강변여과수 취수지역에서 입도 분석, 양수시험, 수치모델링을 통하여 결정된 주 대수층인 모래자갈층의 수리전도도는 $1.50 \times 10^{-3} \text{m/s}$ 이며, 상, 하부 세립질 모래층의 수리전도도는 각각 $2.30 \times 10^{-4} \text{m/s}$, $2.20 \times 10^{-4} \text{m/s}$ 그리고 중립질 모래층의 수리전도도는 $4.90 \times 10^{-4} \text{m/s}$ 이다(함세영 외, 2004). 한편 저류계수는 모래자갈층이 1.00×10^{-4} 이며, 상, 하부 세립질모래층은 각각 5.00×10^{-4} 그리고 중립질 모래층은 3.00×10^{-4} 이다.

창원시 대산면 갈전리 강변여과수 취수지역의 입도

표 2. 창원시 북면 대산면지역의 수리전도도 (unit: m/sec)

지역	상부 세립질 모래	중립질 모래	하부 세립질 모래	모래 자갈층	풍화대
창원시 북면의 수리전도도	2.30×10^{-4}	4.90×10^{-4}	2.20×10^{-4}	1.50×10^{-3}	1.00×10^{-6}
창원시 대산면의 수리전도도	1.38×10^{-4}	4.89×10^{-4}	2.18×10^{-4}	2.49×10^{-3}	1.00×10^{-6}

분석, 양수시험 및 순간충격시험으로부터 각 지층의 평균 수리전도도를 구한 결과(표 2), 주 대수층인 모래자갈층의 수리전도도는 $2.49 \times 10^{-3} \text{m/s}$ 이며 상, 하부 세립질 모래층의 수리전도도는 각각 $1.38 \times 10^{-4} \text{m/s}$, $2.18 \times 10^{-4} \text{m/s}$ 그리고 중립질 모래층의 수리전도도는 $4.89 \times 10^{-4} \text{m/s}$ 이다(Cheong et al., 2008). 한편, 저류계수는 $4.51 \times 10^{-4} \sim 1.50 \times 10^{-3}$ 범위이다.

김해시 생림면 마사리의 강변여과수 개발지역에서 실시된 양수시험 분석에 의하면, 수리전도도는 $1.74 \times 10^{-4} \sim 5.75 \times 10^{-4} \text{m/sec}$ 이고 평균값은 $2.76 \times 10^{-4} \text{m/sec}$ 이다(김해시, 2005). 그리고 저류계수는 $3.00 \times 10^{-3} \sim 6.00 \times 10^{-2}$ 의 범위로서 창원시보다는 크고 함안군보다는 작다.

따라서 낙동강 하류지역 강변여과수 취수 또는 개발 부지의 하성층적층의 수리전도도는 $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{m/s}$ 으로서 분급이 잘된 모래층의 범위에 속한다(Fetter, 2001). 이는 낙동강 하류지역의 하성층적층이 강변여과수 개발 측면에서 투수성이 비교적 양호하다는 것을 지시한다.

2.3 하천수위 및 지하수위 변동

2003년부터 2008년까지 낙동강 하류지역 함안군 칠서면 진동 수위표, 창원시 북면 임해진 수위표, 창원시 대산면 수산교, 김해시 생림면 삼랑진교의 하천수위가 점차 하강하는 추세를 보이며, 해발고도 기준으로 평균 하천수위는 각각 2.24m, 1.40m, 0.99m, 1.10m이다(그림 6).

지하수위 변동을 보면, 함안군 칠서면 강변여과수 취수지역의 2003년 3월 7일~2004년 3월 15일의 지

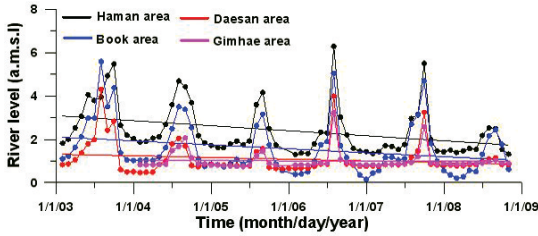


그림 6. 함안군, 창원시 북면, 창원시 대산면, 김해시 생림면의 낙동강 수위

하수위(NB21, NB22, NB23호공)는 1.48~13.04m이며, 최대 변동폭은 11.28m이다. 창원시 북면 강변여과수 취수지역의 2003년 1월 21일~2004년 1월 25일의 지하수위 자료(BM1~BM5, BMPW-1)를 보면, 지하수위는 -11.07~11.92m(해발고도 기준)이며, 지하수위 변동폭은 22.99m이다. 창원시 대산면 강변여과수 취수부지의 2003년 1월 21일부터 2008년 1월 3일의 지하수위(DS1, DS5, DS7)는 -0.73~10.8m이며, 지하수위 변동폭은 11.5m이다. 김해시 생림면 마사리 강변여과수 개발지역의 2008년 5월 20일부터 2008년 10월 27일까지의 지하수위는 0.24~1.64m이며, 지하수위 변동폭은 1.40m이다. 하천

수위와 지하수위는 직접적인 양의 상관성을 보인다.

3. 낙동강 하류지역의 강변여과수와 강물의 수질 특성

낙동강 하류지역의 함안군 강변여과수 취수부지, 창원시 북면과 대산면의 강변여과수 취수부지, 김해시의 강변여과수 개발지역의 탁도는 낙동강물과 비교할 때 약 10% 정도(김해시는 55%)이며, 풍수기에도 강변여과수의 탁도는 큰 변화를 보이지 않는다(표 3). 또한, 지역에 따라서도 강변여과수의 탁도는 별 차이를 보이지 않는다.

4개지역(함안군, 창원시 북면, 창원시 대산면, 김해시)의 낙동강물은 모두 평균 8.2~8.5을 보이는 반면, 강변여과수는 평균 7.6~7.8(함안은 6.9)로서 pH의 계절적인 변동폭이 낙동강물보다 작다. 이는 강변여과수의 수질이 안정적이라는 것을 지시한다.

전기전도도를 보면, 낙동강물은 평균 450~520 μ S/cm 인데 반해서, 강변여과수는 평균 460~710 μ S/cm 정도로 오히려 낙동강물보다 높다. 이는 강물

표 3. 낙동강 하류지역의 강변여과수, 지하수, 강물의 수질 특성

	함안군 칠서면		창원시 북면		창원시 대산면		김해시 생림면	
	강물	강변여과수	강물	강변여과수	강물	강변여과수	강물	지하수
탁도(NTU)	16.8	2.04	14.7	1.75	15.9	1.81	15.8	8.69
pH	8.2	6.90	8.30	7.60	8.20	7.80	8.30	7.60
COD(mg/l)	6.2	2.30	3.60	2.50	4.60	2.90	4.80	4.00
EC(μ S/cm)	448	461	459	708	410	570	523	594
Ca ²⁺ (mg/l)	24.1	27.5	24.5	29.0	24.1	42.3	24.7	27.8
Mg ²⁺ (mg/l)	5.93	6.97	5.94	13.2	5.86	8.23	6.08	8.79
Na ⁺ (mg/l)	25.0	22.9	26.7	60.7	28.4	38.2	25.3	37.4
K ⁺ (mg/l)	4.82	3.26	5.03	9.58	5.06	6.15	4.82	9.02
Mn ²⁺ (mg/l)	0.05	0.64	0.05	0.89	0.03	1.00	0.05	0.93
Fe ²⁺ (mg/l)	0.03	0.07	0.02	0.06	0.03	0.03	0.03	0.31
Zn ²⁺ (mg/l)	0.02	0.05	0.02	0.13	0.20	0.06	0.16	2.30
SiO ₂ (mg/l)	6.41	20.7	6.81	23.7	5.97	18.2	5.87	23.4
Cl ⁻ (mg/l)	20.8	20.8	22.5	38.6	33.7	61.0	27.0	35.1
NO ₃ ⁻ (mg/l)	8.6	8.63	10.1	1.26	13.3	3.83	8.60	1.74
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	36.1	32.8	38.1	41.4	40.2	42.1	37.6	31.2
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	95.6	104	85.6	192	75.3	106	86.1	150

이 층적층을 통과하는 동안 무기물의 농도가 높아짐을 지시한다. 우리 몸에 필요한 무기물의 적당한 농도는 건강상 좋으므로 이런 점에서도 강물의 직접 취수보다는 강변여과수가 수질면에서 유리하다고 볼 수 있다. 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨, 염소, 규산, 중탄산, 망간, 철 농도는 강변여과수에서 더 높게 나타난다. 아연과 황산염은 지역에 따라 상대적으로 높거나 낮게 나타난다. 그러나, 강변여과수의 질산염 농도는 낙동강물보다 낮은 경향성을 보인다. 한편, 수질유형을 보면, 낙동강물은 Ca-HCO_3 , Na-HCO_3 , Ca-Cl , Na-Cl 형 등 다양하게 나타나나, 강변여과수의 수질형은 계절에 관계없이 Ca-HCO_3 , Na-HCO_3 로서 일정하게 나타난다.

창원시 대산면 강변여과수 취수장의 낙동강물과 강변여과수의 화학성분들을 비교·분석한 결과(Lee et al., 2009), 강변여과수의 화학성분들은 대부분 하성층적층 내의 물-광물 반응으로부터 유래되지만, 낙동강물의 화학성분들은 상류지역이나 강 주변지역의 인위적인 오염원의 영향을 많이 받는다. 또한, 강변여과수는 낙동강물보다 계절적으로 더 안정된 수질을 나타내고 있으며, 이는 강변여과수가 낙동강물보다 오염잠재성이 낮다는 것을 의미한다.

한편, 강변여과수와 낙동강물의 유기물질 모니터링 결과, 낙동강물은 우기에서 건기로 갈수록 수질이 악화되고 있음을 지시한다. 그러나, 강변여과수에서는 유기물질의 농도가 낙동강물보다 상대적으로 낮고, 지역적으로도 유기물질의 농도 차이가 작다. 따라서, 강변여과수는 낙동강물보다 유기물질의 오염정도가 낮음을 지시한다.

4. 결론

낙동강 하류의 함안군 칠서면 이룡리지역, 창원시 북면 신촌리지역, 창원시 대산면 갈전리지역의 강변여과수 취수부지, 김해시 생림면 마사리의 강변여과수 개발지역의 수리지질과 수질 특성을 검토하였다.

강변여과수의 주 대수층인 모래자갈층의 두께는 10m 내외이며, 김해시의 경우에는 7.9m로서 약간 얇은 편이다. 낙동강 하류지역 하성층적층의 수리전도도는 $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{m/s}$ 로서 강변여과수 개발 측면에서 투수성이 비교적 양호하다는 것을 지시한다.

낙동강 하류지역의 지하수위는 지역에 따라 차이는 있으나, 계절적으로 0~13m(해수면 기준)사이에서 변동하고 있으며, 창원시 북면 취수장의 경우에는 강변여과수 취수시 -11m까지도 하강한다. 또한 낙동강 수위와 하성층적층의 지하수위는 직접적인 상관성을 보이며, 지하수위가 낙동강 수위에 민감하게 반응한다. 따라서, 낙동강 수위 변동은 강변여과수의 취수량에 영향을 미치므로, 안정적인 강변여과수 확보를 위해서는 하천수위 모니터링과 함께 장기적인 지하수모니터링이 필수적이다.

칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨, 염소, 규산, 중탄산, 망간, 철과 같은 무기물의 농도는 강물보다 강변여과수에서 더 높게 나타난다. 이는 강변여과수의 화학성분들이 대부분 하성층적층내의 물-광물 반응으로부터 유래되지만, 낙동강물의 화학성분들은 상류지역이나 강 주변지역의 인위적인 오염원의 영향을 많이 받기 때문이다. 아울러서, 강변여과수의 질산염 농도는 낙동강물보다 낮은 경향성을 보인다. 계절적으로도 강변여과수는 낙동강물보다 더 안정된 수질을 나타내고 있다. 따라서 강변여과수는 낙동강물보다 오염잠재성이 낮다. 또한 강물과 달리 강변여과수의 탁도는 풍수기에도 큰 변화를 보이지 않으며, 지역에 따라서도 강변여과수의 탁도는 별로 큰 차이를 보이지 않는다. 한편, 강변여과수와 낙동강물의 유기물질 모니터링 결과, 낙동강물은 우기에서 건기로 가면 수질이 악화되고 있으나, 강변여과수의 유기물질 농도는 낙동강물보다 상대적으로 낮으며 지역적으로도 농도 차이가 작다. 따라서, 강변여과수는 낙동강물보다 유기물질의 오염정도가 낮다는 것을 지시한다.

그러므로, 4대강살리기사업과 관련하여 강변여과수 취수를 비롯한 인공함양 취수는 양질의 먹는물 확보의 좋은 방안이 될 수 있을 것이다.

사사

원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제 번호 3-4-3)에 의해 수행되었습니다. 🌊

본 연구는 21세기 프린티어 연구개발사업인 수자

참고문헌

1. 김규봉과 황상구(1988) 1:2,000 밀양도폭 지질 보고서, 한국동력자원연구소, 26 p.
2. 김남장과 이흥규(1964) 한국지질도 영산도폭(1:50,000), 국립지질조사소, 31 p.
3. 김해시(2005) 강변여과수개발사업 기본 및 실시설계 보고서, 144 p.
4. 동아건설과 대덕공영(2000) 읍면지역 상수도(대산정수장계통) 취수정 설치공사 보고서, 28 p.
5. 정재열, 함세영, 김형수, 손건태, 차용훈, 장성, 백건하(2003) 창원시 대산면 강변층적층의 지하수위 변동 특성, 지질공학, 13(4), pp. 457-473.
6. (주)도하중합기술공사(1998) 이룡지구 강변여과수 시범개발 조사사업 보고서, 환경부, 경상남도, 513 p.
7. (주)세종지질(2003) 김해 강변여과수 및 대체 취수원 개발 타당성 조사 보고서.
8. 창원시(1997) 창원시 강변여과수개발 타당성조사 보고서.
9. 창원시(1999) 창원시 상수도 확장사업 실시설계보고서.
10. 창원시(2003) 기존(대산, 북면 취·정수장) 강변지하수 개발에 대한 주변영향조사연구 보고서.
11. 최승오와 여상철(1972) 한국지질도(1:50,000) 남지도폭 및 설명서, 국립지질조사소, 27 p.
12. 한국수자원공사(1995) 하상퇴적층의 수리특성을 이용한 취수원 활용 시범조사 보고서.
13. 한국수자원공사(1996) 하상퇴적층 여과방식에 의한 금강수도 취수개선 방안 조사·연구, WRRI-GG-96-2, 183 p.
14. 한국수자원공사(1998) 지하수 함양 및 활용증대방안 연구(1차년도), WRRI-GG-98-4, 1104 p.
15. 한국수자원공사(1999) 지하수 함양 및 활용증대방안 연구, WRRI-GG-99-1, 198 p.
16. 한국수자원공사(2002) 강변여과수 개발가능지점 및 개발가능량 조사 보고서, GW사업-2002-2A, 330 p.
17. 함세영, 이효민, 정재열, 류상민, 차용훈, 우윤정(2003) 낙동강 중하류 강변여과수 개발지역 수리지질 특성 평가 보고서, 21C 프린티어 연구사업, 수자원의 지속적확보기술 개발사업단.
18. 함세영, 이효민, 정재열, 차용훈, 류수희, 장성(2004) 낙동강 중하류 강변여과수 개발지역 수리지질 특성 평가 보고서, 21C 프린티어 연구사업, 수자원의 지속적확보기술 개발사업단.
19. 함세영, 정재열, 김형수, 한정상, 류수희(2004) 창원시 북면 낙동강 주변 하상퇴적층의 지하수유동 모델링 연구, 자원환경지질, 37(5), pp. 499-508.
20. 함세영, 정재열, 김형수, 한정상, 차용훈(2005) 창원시 대산면 강변여과수 취수부지 주변의 지하수 유동 모델링, 자원환경지질, 38(1), pp. 67-78.
21. 환경부, 부산광역시, 경상남도(1996) 부산·경남지역 복류수 및 강변여과수개발 타당성 조사 보고서(실험 보고서 포함).
22. 환경부와 경상남도(1998) 이룡지구 강변여과수 시범개발 조사사업 실증실험보고서, 193 p.
23. Arora, H., LeChevallier, M., Aboytes, R., Bowert, E., O'Melia, C., Bell, W., Weiss, W., and Speth, T. (2000) Full-scale evaluation of riverbank filtration at three Midwest water treatment plants. American Water Works Association, Water Quality by Technology Conference Proceedings.

24. 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, *Hydrogeology Journal* 17, pp. 1129-1143.
25. Fetter, C.W. (2001) *Applied Hydrogeology*, Prentice-Hall, New Jersey, 598 p.
26. Hiscock, K.M. and Grischek, T. (2002) Attenuation of groundwater pollution by bank filtration, *Journal of Hydrology* 266, pp. 139-144.
27. Lee, J.-H., Hamm, S.-Y., Cheong, J.-Y., Kim, H.-S., Ko, E.-J., Lee, K.-S., and Lee, S.-I. (2009) Characterizing riverbank-filtered water and river water qualities at a site in the lower Nakdong River basin, Republic of Korea, *Journal of Hydrology* 376, pp. 209-220.
28. Ray, C. (2001) *Riverbank Filtration: Understanding Contaminant Biogeochemistry and Pathogen removal*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands., 253 p.
29. Weiss, W.J., Bouwer, E.J., Ball, W.P., O'Melia, C.R., LeChevallier, M.W., Arora, H., and Speth, T.F. (2003) Riverbank filtration-fate of DBP precursors and selected microorganisms. *Journal of American Water Works Association* 95, pp. 68-81.