

## 충적층 지하수 활용 가능성 검토지역에 대한 철·망간 분포특성 고찰

김진삼, 김주환, 정수은, 김형수, 윤성택\*

한국수자원공사 수자원연구소

\* 고려대학교 지구환경과학과

e-mail : j3kim@hanmail.net

### 요 약 문

충적층 지하수 개발이 활발히 이루어짐에 따라 철, 망간이 충적층 지하수를 이용한 취수원 확보 시에 정수처리의 주요관심대상이 되고 있다. 이에 본 연구에서는 기존 충적층 지하수의 개발이 이루어졌거나 검토되었던 지역을 중심으로 철, 망간의 분포특성을 고찰하여 보았다. 연구지역은 크게 금강권역, 낙동강권역, 영산-섬진강권역, 한강권역으로 나누었고, 조사 관정이 밀집된 권역들은 더 세분된 지구로 나누어 연구를 수행하였다. 철의 경우, 563개의 시료가 망간의 경우, 483개 시료가 수집 분석되었다. 수집된 충적층 지하수 시료들의 철, 망간 농도를 살펴보면, 철의 경우는 전체 조사 관정의 약 27%, 망간의 경우는 약 39%가 음용수 수질기준(WHO)을 상회하였다. 본 연구에서는 철, 망간의 분포특성을 고찰하기 위하여 철, 망간 농도에 대한 다양한 통계 분석을 수행하였다. 수집 분석된 철의 산술평균 농도는 2.7ppm이며, 망간의 산술평균 농도는 0.4ppm로 이들 산술평균 역시, 모두 음용수 수질 기준을 상회하는 것으로 나타났다. 그러나 철 및 망간 농도의 중간 값은 각각 50 및 20 ppb이며, 실제 이들 농도가 기하학적 분포를 한다고 가정할 경우, 이들의 대표 값인 기하평균은 모두 먹는 물 수질기준을 만족하는 것으로 나타났다.

주요어 : 충적층 지하수, 철, 망간 분포특성, 기하평균

### 1. 서론

물 부족 해결을 위한 대체수자원 확보의 측면에서 충적층 지하수 개발에 대한 조사와 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 현재 국내에서도 강변여과, 지하수담 및 직접인공함양 등 다양한 기법에 의한 충적층 지하수 개발이 이루어지거나 계획되고 있다. 기존 충적층 지하수의 수질 자료를 검토해본 결과, 대부분 질산성질소, 철 및 망간이 주로 먹는물 수질 기준을 상회하는 물질로 나타났다. 실제 국내 충적층의 철, 망간 문제는 과거로부터 강변여과수 활용 여부를 검토한 기존의 조사 및 연구에서 지속적으로 지적되어오던 수질항목이다(한국수자원공사, 1996; 한국수자원공사 1999). 또한 정수처리과정에서 기술적인 면과 경제적인 면을 고려할 때 철, 망간의 제거는 용이하지 않은 상황이다. 그러므로 충적층 지하수를 이용한 취수원 확보 시에 철, 망간의 농도 분포 및 특성을 조사하는 일은 매우 중요한 사항이다. 본 연구는, 충적층 지하수의 개발이나 검토가 시도된 지역들을 중심 수집된 충적층 지하수 시료에 대한 철, 망간의 분포 특성을 고찰하였다. 현재까지 본 연구에서 수집된 철, 망간 자료는 주로 한국수자원공사에서 수행한 충적층 조사 및 연구 결과들이며, 일부 낙동강 지역 등, 강변여과 취수 수행 또는 계획 지역의 자료가 활용되었다.

## 2. 본론

### (1) 분포특성 및 현황

충적층 지하수 개발이 검토된 지역들을 크게 금강권역, 낙동강권역, 영산-섬진강권역, 한강권역으로 구분하였다. 이 중에서 조사 관정이 밀집되어 있는 금강권역과, 낙동강권역은 각각 5개와 6개의 소지구로 분류하여 철, 망간의 분포 특성을 조사하였다. 그러나 한강권역은 조사 관정의 수가 미미하고, 관정의 분포 또한 국부적으로 집중되어 있어 권역전체의 분포 특성을 관찰하는 데에는 어려움이 있었다. 영산-섬진강권역에서도 조사된 관정 수가 많지 않지만 권역 전체에 고르게 분포되어 있으므로 어느 정도는 권역의 특성을 대표할 수 있을 것으로 사료된다(그림 1).

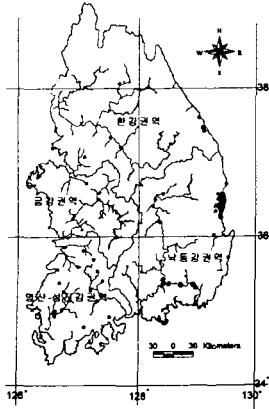


그림 1. Sampling site

표 1. 조사지역 철, 망간의 음용수 수질기준(WHO) 초과현황

WHO GUIDE LINE	금강권역	낙동강권역	영산-섬진강권역	한강권역	국내총적층	
Fe 300ppb	68/230(29.6)	58/146(39.7)	16/35(45.7)	6/53(11.3)	150/563(26.6)	
Mn 100ppb	72/179(40.2)	87/146(59.6)	27/34(79.4)	1/25(4)	190/483(39.3)	
WHO GUIDE LINE	부여-군수리	청원	천안	서산	부여-정동, 자왕	
Fe 300ppb	23/60(38.3)	4/52(7.7)	11/38(28.9)	1/16(6.3)	30/56(53.6)	
Mn 100ppb	31/60(51.6)	18/52(34.6)	14/38(36.8)	1/16(6.3)	5/5(10.0)	
WHO GUIDE LINE	영덕	월하	용당	대산	이룡	용산
Fe 300ppb	15/71(21.1)	14/65(21.5)	8/31(25.8)	6/34(17.6)	10/20(50.0)	3/14(21.4)
Mn 100ppb	13/71(18.3)	23/65(35.4)	19/31(61.3)	17/34(50.0)	5/20(25.0)	6/14(42.8)

조사된 충적층 지하수의 철, 망간 농도를 세계보건기구(WHO)의 음용수 수질기준(Fe :0.3 mg/L, Mn :0.1 mg/L)에 비교하였고, 그 결과를 표 1에 나타내었다. 철의 경우는 전체 조사 관정 563개 중 150개가 기준을 초과하였고, 망간의 경우는 전체 483개 관정 중 190개가 기준을 초과하였다. 4개의 권역 중에서는 영산-섬진강권역에서 음용수 수질기준 초과율이 철 45.7%, 망간 79.4%로 다른 권역에 비해 다소 높은 값을 보였다. 금강권역 중에서는 부여-군수리지구와 부여-정동, 자왕지구에서 금강권역 평균을 상회하는 초과율을 보였고, 그 중에서도 부여-정동, 자왕지구의 초과율이 매우 높게 나타났다. 낙동강권역 중에서는 철은 이룡지구(50.0%)에서 망간의 경우는 용당지구(61.3%)에서 높게 나타나고 있다. 그러나 이러한 초과율은 그 지역에서의 철, 망간의 분포를 가늠하는 절대적인 기준이 되지는 못한다.

표 2. 권역별 조사 관정 수 및 철, 망간 농도의 평균 값 [단위 : ppb]

	국내 총적층		금강권역		낙동강권역		영산-섬진강권역		한강권역			
	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn		
Max	58289.00	6700.00	54217.10	3996.84	58289.00	4446.00	10600.00	6700.00	5010.00	872.00		
N	563	483	230	179	146	146	35	34	53	25		
Mean	2752.17	428.04	4536.31	498.41	2142.31	246.60	1569.72	1425.44	270.19	42.20		
Median	50.00	20.00	61.41	18.11	40.00	10.50	200.00	578.50	0.01	5.00		
Geo. Mean	10.82	11.82	19.25	28.45	4.75	2.16	60.44	122.02	0.92	0.60		
금강권역	부여-군수리		청원		천안		서산		부여-정동, 자왕			
	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn		
Max	54217.10	3996.84	35133.51	3847.75	27079.73	1810.28	572.59	292.38	33780.00	3090.00		
N	60	60	52	52	38	38	16	16	56	5		
Mean	7627.71	685.86	890.34	461.30	2578.96	272.60	37.84	24.07	7836.76	1742.60		
Median	195.61	163.49	16.49	11.20	46.96	5.91	0.01	2.55	435.00	1510.00		
Geo. Mean	58.77	61.88	1.60	14.24	10.71	19.66	0.03	3.43	556.62	1628.79		
낙동강 권역	영덕		월하		용당		대산		이룡		용산	
	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn
Max	13732.00	4446.00	4755.24	2356.28	58289.00	2386.00	46897.61	2912.65	1620.00	312.00	3180.00	310.00
N	71	71	65	65	31	31	34	34	20	20	14	14
Mean	920.49	132.47	336.44	256.92	7371.36	654.00	3006.28	450.10	512.00	66.01	353.60	87.86
Median	0.01	0.01	52.32	51.82	17.00	231.00	24.85	75.81	285.00	20.51	105.00	15.00
Geo. Mean	0.96	0.51	21.95	26.14	12.33	55.27	15.60	32.50	66.97	1.00	11.04	1.91

(2) 철, 망간의 통계분석

본 연구에서는 철, 망간 분포 특성을 파악하기 위해 각 권역별 또는 지구별로 철, 망간 농도의 평균값을 산출하였고, 그 결과는 표 2에 나타내었다. 철, 망간 농도의 평균값 산출에는 산술평균식과 기하평균식을 이용하였다. 기하평균 산출시에 철, 망간이 검출되지 않았거나 또는 검출 한계 이하일 경우의 농도는 0.01 ppb로 가정하였다. 기하평균농도는 철, 망간의 경우 동일하게 영산-섬진강권역, 금강권역, 낙동강권역, 한강권역의 순서로 높게 나타났다. 산술평균농도는 철과 망간이 서로 다른 양상을 보여주는데 망간의 경우는 기하평균농도와 동일한 순서로, 철은 금강권역, 낙동강권역, 영산-섬진강권역, 한강권역의 순서로 높게 나타났다.

조사된 모든 관정에 대한 평균치를 살펴보면 산술평균값은 철과 망간이 각각 2,752 ppb와 428 ppb로 큰 차이를 보이는 반면 기하평균은 각각 10 ppb와 11 ppb로 유사한 값을 보이고 있다. 철 농도는 낙동강권역 용당지구에서 58,289 ppb로 가장 높은 값을 보였고, 망간의 경우는 영산-섬진강권역에서 6,700 ppb로 가장 높은 농도를 나타내었다. 금강권역에서는 철, 망간의 경우 모두 부여-정동, 자왕지구에서 최대 산술평균값과 최대 기하평균값을 보였다. 낙동강권역에서는 철의 경우 산술평균값은 용당지구에서, 기하평균값은 이릉지구에서 최대 값을 보였다. 망간의 경우에는 산술평균값과 기하평균값 모두 용당지구에서 최대 값을 보였다.

각 권역별로 이들 철, 망간의 평균값들 사이의 상관관계를 조사하여 보았고, 그 결과는 그림 2에 나타나있다. 특이하게도 금강권역

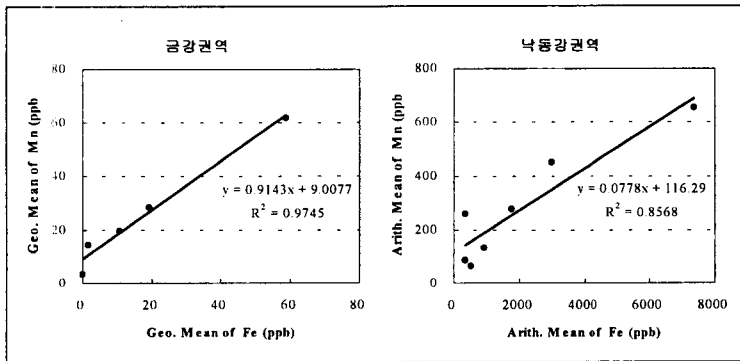


그림 2. 철-망간 평균농도의 상관관계

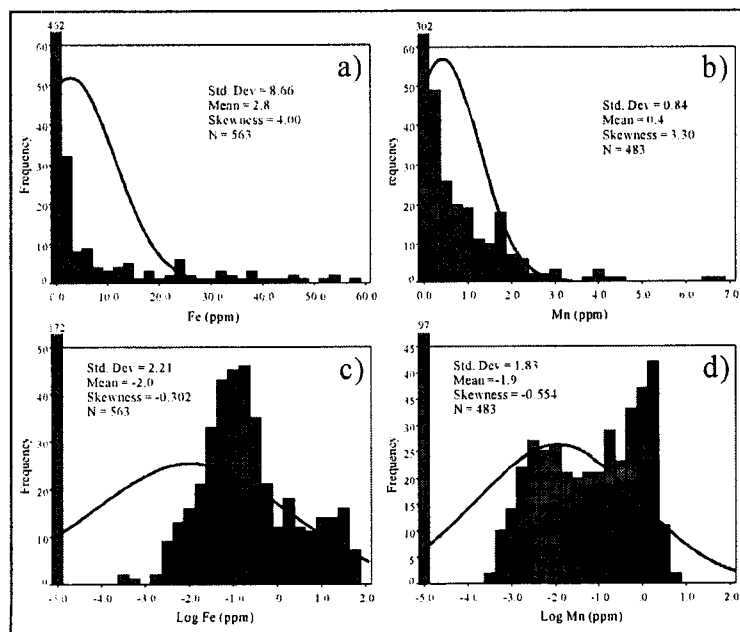


그림 3. 조사지역 충적층 지하수의 철, 망간 분포도

에서 오염도가 심한 부여-정동, 자왕지구를 제외한 5개 지구의 철, 망간에 대한 기하평균값들의 상관관계가 매우 밀접한 것으로 나타났 다( $R^2 = 0.9745$ ). 또한 낙동강권역에서는 7개 지구의 철, 망간에 대한 산술평균값들의 상관관계가 밀접하게 나타났 다( $R^2 = 0.8568$ ). 그러나 전체 시료에 대한 철 및 망간의 상관도는 매우 낮은 것으로 평가되었다.

그림 3은 본 연구에서 조사된 모든 관정의 철, 망간 농도에 따른 빈도분포를 나타낸 것이다. 그림 3의 a), b)는 철과 망간의 농도에 대한 분포로 양으로 왜곡된 분포를 보여주고 있고, 그림 3의 c), d)는 농도 값에 대수를 취한 분포를 보여주고 있다. 철, 망간의 대수분포도의 범위를 보면, 철은 표준편차가 2.21 ppm 망간은 1.83 ppm으로 철이 망간보다 넓은 분포범위를 보여주고 있다. 통계분석 결과 자료값에 대한 확률분포는 정규분포보다는 대수정규분포에 가깝게 나타났다. 이러한 사실은 표 2에

나타나 있는 철, 망간 농도의 산술평균값 보다는 기하평균값이 사실에 가까울 확률이 높다는 것을 지시하여 주는 것으로 사료된다.

### 3. 결론

연구지역 충적층 지하수 내의 철, 망간의 농도는 철은 전체의 26.6%가, 망간의 경우는 전체의 39.3%가 음용수 수질기준(WHO)을 초과하고 있었다. 또한 철 및 망간 모두, 전체 시료에 대한 산술 평균이 음용수를 상회하는 것으로 나타났다. 그러나, 실제 철 및 망간의 농도 분포가 기하학적 분포일 가능성이 높으며, 이러한 분포를 가정할 경우, 대표 값인 기하평균은 철 및 망간 모두 0.1 ppm 내외인 것으로 조사되었다. 조사지역 중 한강권역의 경우 조사관정의 수가 미미하고, 관정의 분포가 고르지 못해 권역 전체의 분포 특성을 관찰하는 데는 어려움이 있었다. 또한 철, 망간의 분포특성을 파악하기 위해 각 권역, 지구별로 철, 망간의 평균농도를 비교해 본 결과, 금강권역에서는 부여-정동, 자왕지구에서 철, 망간의 산술평균값은 7,836ppb, 556ppb, 기하평균값은 1,742ppb, 1,628ppb로 최대값을 보였다. 낙동강권역에서는 철의 경우 산술평균값은 용당지구(7,371ppb), 기하평균값은 이룡지구(66ppb)에서 각각 최대값을 보였으며, 망간의 경우 용당지구에서 산술평균값(654ppb)과 기하 평균값(55ppb) 모두 최대값을 보였다. 금강권역의 철, 망간의 기하평균값들의 상관관계와 낙동강권역의 산술평균값들의 상관관계가 매우 밀접한 것으로 나타났다으나, 전체 시료에 대한 철과 망간의 상관성은 낮은 것으로 분석되었다. 철과 망간의 통계분석결과, 확률분포는 대수정규분포에 가까웠고, 철의 분포범위가 망간보다 다소 넓게 나타났다.

### 4. 참고문헌

- 한국수자원공사, 1995, 하상퇴적층의 수리특성을 이용한 취수원 활용 시범조사 보고서
- 한국수자원공사, 1996, 동해안 북부지역 지표수 및 지하수 연계개발 예비 타당성조사
- 한국수자원공사, 1996, 하상퇴적층 여과 방식에 의한 금강수도 취수개선방안 조사 연구보고서
- 한국수자원공사, 1998, 석회암지역 지하수 거동 특성 연구
- 한국수자원공사, 1998, 영산강-섬진강 권역 광역 지하수조사 보고서
- 한국수자원공사, 1999, 강변여과 및 인공함양방법을 이용한 영산강 수원개발 기본조사 보고서
- 한국수자원공사, 1999, 동해공업용수도사업 지하수영향조사서
- 한국수자원공사, 1999, 지하수 함양 및 활용증대 방안 연구보고서
- 한국수자원공사, 2000, 낙동강권역 광역 지하수 조사 연구보고서
- 한국수자원공사, 2002, 강변여과수 개발가능지점 및 개발가능량 조사
- 한국수자원공사, 2002, 금강권역 광역 지하수 조사 연구보고서
- 한국수자원공사, 2002, 지하댐 개발방안 수립조사 보고서
- 한국수자원공사, 건교부, 2000, 영덕지역 지하수 기초조사 보고서
- 화천군, 2000, 간동면 농어촌지방상수도 기본 및 실시설계 강변여과수 개발 타당성조사보고서
- 환경부, 경상남도, 1998, 이룡지구 강변여과수 시범개발 조사 사업 보고서
- 환경부, 부산광역시, 1999, 용산지구 강변여과수 시범개발 조사사업 보고서