

부산 기장지역 농경지의 지하수 수질 특성

함세영¹⁾ · 김광성¹⁾ · 정재열¹⁾ · 류상민¹⁾

1. 서 론

우리나라에서 지하수 수질오염은 갈수록 심해지고 있다. 지하수 오염원은 공장폐수, 생활하수, 정화조, 주유소, 농약(살충제, 제초제, 살균제), 비료, 축산폐수, 광산배수, 폐기물 처분장 침출수 등이다. 특히, 농업지역에서는 농약에서 유래하는 지하수 오염이 점점 증대할 것으로 예상된다. 그러나, 우리나라 먹는물 수질기준에 규정되어 있는 농약 성분은 다이아지논, 파라티온, 말라티온, 페니트로티온, 카바릴이다. 국내에서 시판되는 농약의 품목 수는 1981년 이전까지는 226종이던 것이 1990년에는 467종, 2001년에는 961종으로 증가하였다(제주도, 2001). 작물에 대한 농약 사용을 보면, 벼농사용보다는 밭과 원예용 농약의 사용량이 두드러지게 증가하고 있다. 이와 같이 농약의 종류가 다양화되고 사용량이 증대함에 따라 현재의 먹는물 수질기준에 포함되어 있지 않은 농약성분이 지하수에서 검출될 가능성이 높다.

본 연구에서는 부산광역시 기장군 일광면 칠암리, 문중리, 문동리 일대의 농경지 지하수의 물리, 화학적 성질을 파악하고, 오염물질 특성을 밝히고자 한다. 특히, 본 연구에서는 1차 지하수조사(2001년 8월 28일~9월 1일)에서는 농약성분 중 먹는물 수질기준에 포함되어 있는 파라티온, 말라티온, 다이아지논, 페니트로치온을 분석하였으나, 2차 지하수조사(2002년 7월 30일~8월 2일)에서는 연구지역의 경작지에서 많이 사용되는 것으로 밝혀진 carbofuran과 alachlor을 분석하였다.

2. 연구 지역 및 연구 방법

본 연구지역은 부산광역시 기장군 일광면 칠암리, 문중리, 문동리 일대이다. 본 연구지역은 지표가 충적층으로 덮여 있어서 지질을 확실하게 알 수는 없으나, 김동학 외(1998)에 의하면 중생대 백악기 유천층군에 속하는 다대포층으로 구성되어 있다.

본 연구지역에는 농경지가 분포하고 있으며, 주로 파, 마늘, 배추 등을 재배하고 있다. 경작을 위한 관개용으로 많은 지하수공이 굴착되어 있다. 본 연구에서는 이들 지하수공 중 18개공(KJ1~KJ18)에 대하여 2001년 8월 28일부터 9월 1일, 2002년 7월 30일부터 8월 2일까지 두 차례에 걸쳐서 현장수질을 측정하고 지하수 시료를 채취하였다. 조사대상 지하수공들의 심도는 대부분 80~200m이며, 경작용 농업용수로 사용되고 있다.

현장 수질 측정항목은 수온, pH, EC(전기전도도), TDS(총고용물질), 염분농도, Eh(산화-환원전위), DO(용존산소), 알칼리도이다. 실내분석용 시료는 먼저 0.45 μ m 여과지로 여과하였으며 양이온 분석을 위한 시료는 pH를 2~3으로 유지시키기 위해서 농질산으로 산처리를 하고 실험실까지 운반할 때는 아이스박스에 4 $^{\circ}$ C로 냉장 보관하였다. 실내분석 중 양이온(K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, Si²⁺)과 음이온(F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻)은 한국기초과학지원연구원 부산분소에 의뢰하여 분석하였다. 또한 염소화합물질인 TCE(trichloroethylene), PCE(tetrachloroethylene), TCA(1.1.1-trichloroethane)와 농약성분인 파라티온, 말라티온, 다이아지논, 페니트로치온은 부산광역시 보건환경연구원에 의뢰하여 분석하였다. 농약성분에

대해서 정밀하게 살펴보기 위해서 2차 조사(2002년 7월 30 ~ 8월 2일)시에는 기장군 농경지에서 사용하는 살충제인 carbofuran과 제초제인 alachlor를 한국화학시험연구원에 의뢰하여 분석하였다. carbofuran은 국내에서 카보, 후라단, 큐라텔, 카보텔 등의 상품명으로 사용되고 있다(제주도, 2001). carbofuran의 물에 대한 용해도는 20℃에서 320mg/l이고, 해충의 폴린에스테라제를 저해하여 살충작용을 나타낸다. alachlor는 국내에서 알라, 라쏘, 와쏘 등의 상품명으로 시판되고 있다. alachlor는 물에 대한 용해도가 242mg/l이고, 단백질 합성과 뿌리 신장을 저해시켜 제초시키는 선택성 제초제이다.

3. 물리화학적 성분 및 수질 특성

pH의 평균은 1차조사시와 2차조사시 각각 6.25와 6.34로서 약산성을 띠고 있다. EC의 평균값은 1차조사시와 2차조사시 각각 712 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 631 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로서 비교적 지하수 오염도가 높다는 것을 간접적으로 지시하고 있다.

Ca^{2+} 이온 농도의 평균은 1차조사시와 2차조사시 각각 77.54mg/l, 85.71mg/l 이고, Mg^{2+} 이온 농도의 평균은 1차조사시와 2차조사시 각각 15.94mg/l, 18.46mg/l 이다. Na^{+} 이온의 평균 농도는 1차조사시와 2차조사시 각각 35.35mg/l, 38.54mg/l로서 비료 등에 의한 오염의 영향을 받고 있음을 암시한다. K^{+} 이온 농도의 평균은 1차 조사와 2차 조사시 각각 평균 1.74mg/l, 2.62mg/l로 다른 주요 양이온보다 낮다. 따라서 1차 조사보다 2차 조사에서 성분의 농도가 증가하는 경향성을 보인다. 그러나, 명확한 경향성을 알기 위해서는 보다 장기적인 조사가 필요하다.

HCO_3^- 의 평균농도는 1차 조사와 2차 조사에서 각각 102.5mg/l, 108.97mg/l의 값을 보이고 있다. Cl^- 이온의 국내 먹는물 기준은 250mg/l인데 대해서, Cl^- 의 평균농도는 1차 조사와 2차 조사에서 각각 45.63mg/l, 39.46mg/l를 보이고 있다. 이는 연구지역이 바다에서 불과 150~200m 정도밖에 떨어져 있지 않음에도 불구하고 해수의 영향을 받지 않고 있다는 것을 지시한다. 한편 현장 측정항목인 염도의 값도 1차, 2차조사시 각각 평균 0.34‰, 0.33‰로서 해수의 영향을 받고 있지 않음을 지시하고 있다. 일반적으로 내륙의 농업지역에서 Cl^- 이온으로 오염이 되었다면 그 인위적 오염원은 생활하수, 축산폐수, 동물의 배설물 등이다. 따라서, Cl^- 이온이 아직까지는 이들 인위적인 오염원에 의한 영향을 크게 받고 있지 않음을 알 수 있다. SO_4^{2-} 이온 농도의 평균은 1, 2차조사시 각각 29.51mg/l, 31.45mg/l이며, 모든 시료가 먹는물 기준치(200mg/l) 이내에 있다. F^- 의 평균농도는 1차, 2차조사시 각각 0.10mg/l, 0.07mg/l로서 모든 시료가 먹는물 기준치(1.5mg/l 이하)이내에 있다.

인위적 오염의 지시자로 널리 쓰이는 NO_3^- 농도의 평균은 1차, 2차조사시 각각 178.2mg/l, 222.87mg/l로서 대부분의 지점에서 먹는물 기준치(질산성 질소는 10mg/l 이하, NO_3^- 농도로 환산하면 44.26mg/l 이하)를 초과하고 있다. 연구지역은 농업지역이므로 NO_3^- 의 오염원을 생활하수, 축산 폐수, 동물의 배설물, 비료 등으로 생각할 수 있으나, 특히 비료에서 유래하는 것으로 추정된다.

Fe^{2+} 은 어떤 시료에서도 검출되지 않았으며, Cu^{2+} 의 평균농도는 1차, 2차조사시 각각 0.004mg/l, 0.014mg/l로서 모든 시료가 먹는물 기준치(1mg/l 이하)이내에 있다.

본 연구지역인 농경지의 지하수 수질 오염특성을 파악을 위해서 1차조사시에는 먹는물 수질기준항목에 포함되어 있는 농약성분인 다이아지논, 파라티온, 말라티온, 페니트로치온을 분석하였으나, 한군데에서도 검출되지 않았다. 따라서, 2차 조사시에는 연구지역 농경지에서 실제로 사용되고 있는 농약성분인 carbofuran과 alachlor을 실내분석하였다. 그 결과 제초제

의 성분인alachlor는 분석시료 18개소 중에서 10개소에서 검출되었다. 최대농도는 0.0021mg/ℓ (KJ10공)이며, 평균은 0.00059mg/ℓ 이었다. 살충제 성분인 carbofuran의 분석결과 18개시료 중에서 6군데를 제외한 모든 시료에서 검출되었으며, 최대 농도는 0.0022mg/ℓ, 평균 농도는 0.00089mg/ℓ 로서alachlor보다는 많은 농도가 검출되었다. EPA에 의하면 carbofuran은 쥐의 임상시험으로 분류한 농약독성 1급에 해당하는 성분으로서(홍세용, 1998) 세밀한 감시가 요구된다.

일반적으로 농작물에 남아있는 잔류농약의 기준은 농약관리법에 규정되어 있으나, 먹는물 수질기준상에서는 농약성분의 규정이 불충분한 것으로 판단된다. 농약 종류의 다양화와 농약 사용량 증가에 따라서 먹는물 수질기준에 농약 성분 규정의 보완이 요구된다.

염소유기화합물 오염물질인 TCE, PCE, TCA에 대한 분석결과 KJ14에서만 먹는물 기준치이내의 미량이 검출되었고, 나머지 시료에서는 전혀 검출되지 않았다. 본 연구지역이 농촌 지역이므로 염소유기화합물로 오염되지 않았음은 정상적인 결과이다.

4. 결 론

부산광역시 기장군 일광면 칠암리, 문중리, 문동리 일대 농경지의 지하수 수질과 오염특성을 연구하였다. 이를 위하여 연구지역에 분포하는 지하수공 중 18개공(KJ1~KJ18)에 대하여 1차 조사(2001년 8월 28일 ~ 9월 1일)와 2차 조사(2002년 7월 30일 ~ 8월 2일)을 통하여 현장수질측정과 실내수질분석을 실시하였다. 먼저 무기물(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Si^{2+} , F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})분석 결과를 보면, NO_3^- 를 제외하고는 오염의 영향을 크게 받고 있지 않음을 알 수 있다. 그러나, 전반적으로 1차 조사보다 2차조사에서 용존물질의 농도가 증가되는 추세를 보여주고 있다. 그러나, 정확한 추세를 알기 위해서는 보다 장기적인 조사가 필요하다.

염소유기화합물인 TCE, PCE, TCA는 KJ14공에서만 먹는물 기준치이내의 미량이 검출된 것을 제외하고는 전혀 검출되지 않았다. 이는 본 연구지역이 농업지역으로서 유기화합물을 사용하지 않는 지역이므로 정상적인 결과이다.

농약에 의한 지하수 오염을 평가하기 위하여 1차 조사에서는 다이아지논, 파라티온, 말라티온, 페니트로치온을 분석하였으나, 한군데에서도 검출되지 않았다. 그래서 2차 조사에서는 연구지역 농경지에서 실제로 사용되고 있는 농약성분인 살충제인 carbofuran과 제초제인alachlor를 분석하였다. 그 결과 carbofuran은 18개시료 중에서 6군데를 제외한 모든 시료에서 검출되었으며, 최대 농도는 0.0022mg/ℓ, 평균 농도는 0.00089mg/ℓ 였다.alachlor는 18개시료 중에서 10개 시료에서 검출되었으며 최대농도는 0.0021mg/ℓ, 평균농도는 0.00059mg/ℓ 이었다. 따라서, 농약 성분의 다양화와 농약 사용량 증대에 따른 먹는물 수질 기준상의 농약의 기준이 강화되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호:R02-2001-00249)지원으로 수행되었으며, 연구를 지원해주신 한국과학재단에 감사드립니다.

참고 문헌

- 김동학, 황재하, 박기화, 송교영, 1998, 부산 지질도폭 설명서, 과학기술부.
제주도, 2001, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(I), 377p.
홍세용, 1998, 농약중독치료지침서, 1998.

주요어: 부산광역시, 기장군, 농경지, 지하수 오염, carbofuran, alachlor

¹⁾부산대학교 지질학과 (hsy@pusan.ac.kr)