

지하수 중 미규제원소 확인시험 및 검출원인 연구

수질보전과

차영욱 · 유숙진 · 김광수

A Study on the Identification and Source of Unrestricted Elements in Groundwater

Water Conservation Division

Young-Wook Cha · Sook-Jin You · Kwang-Soo Kim

Abstract

In this study, inorganic and radioactive elements are measured of groundwater in Busan that are not included in the domestic drinking water guideline

The results of this study are as follow;

1. Thorium(Th), Germanium(Ge) and Beryllium(Be) are not detected in examined groundwater but Barium(Ba), Nickel(Ni), Uranium(U), Molybdenum(Mo) and Vanadium(V) are widely distributed in Busan, even if difference of concentration is existed in accordance with examined area.
2. Applied to U.S.A drinking water guideline, Ni and U was exceeded five area included in Shaha-Gu etc.,(excess ratio is approximately 1%).
3. It is estimated that the existence of inorganic and radioactive elements in groundwater is a geological characteristics and an effects of seawater, not an artificial water pollution.
4. As inorganic and radioactive elements are existed naturally in groundwater not artificially, countermeasures must be prepared. Because people want to more pure and safety groundwater and drinkingwater guideline will be build up a level of the developed nations. Therefore it is necessary that the annual preliminary research of uncontrolled elements is begun in lead of Ministry of Environment in consistently.

서 론

인구의 증가 및 산업의 발달로 수질오염 물질의 종류도 무수하고 다양하게 발생되고 있어 상수원으로 사용하고 있는 하천이나 호소 등은 점차 자연적인 정화능력이 더욱 저하되고 수질환경은 지속적으로 악화되고 있는 실정이다. 현재 국내의 대부분 정수장에서 하천수 등 상수원수를 먹는 물 수질기준에 적합하게 정수처리하여 안전하고 신뢰성있는 수돗물을 생산하여 일반 국민들에게 공급되고 있으나, 과학문명의 발달과 더불어 생활수준의 향상과 함께 편안하고 안락한 생활을 추구하고 일반 개인의 건강에 대한 관심도가 그 어느 때 보다 높아짐으로써 보다 더 깨끗하고 안전한 먹는물을 이용하려는 국민들의 욕구가 급격히 증대되고 있다.

특히 90년대 이후 낙동강 페놀사고와 같은 대형 수질오염사고가 발생함으로써, 이는 수돗물에 대한 불신으로 이어져 지하수를 먹는물로 이용하는 경향이 크게 증가하게 되었고, 실례로 지하수의 이용량이 80년대부터 꾸준히 증가하여 94년에는 전체 용수이용량의 9%에 불과하였으나, 4년 뒤인 '98년에는 전체 수자원의 12.3%를 차지하는 등 지속적인 증가추세를 보이고 있으며 외국의 경우를 보면 전체 용수이용량의 19~22%정도를 지하수가 차지하고 있는 실정이다.

이처럼 먹는물로서의 지하수 이용이 꾸준히 증가함에 따라 지하수 수질에 대한 국민

들의 관심도 증가하기 시작하였는데, '90년대 후반 일부지역 지하수중에서 트리클로로에틸렌(TCE), 테트라클로로에틸렌(PCE)의 검출 및 우라늄 등 방사성물질이 검출되었다는 조사결과는 이제 지하수도 더 이상 안전한 식수원이 아니라는 인식을 일깨워 주었으며, 한편으로는 지속적으로 증가하는 지하수 사용에 대비하기 위해서도 체계적인 지하수 관리가 필요한 시점이다.

따라서 본 연구에서는 국민들에게 먹는 물로 이용하는 지하수의 안전성과 신뢰성을 확보하여 체계적인 지하수 관리를 위한 기초자료를 제공하고, 향후 선진국 수준의 먹는물 수질기준 강화에 대비하기 위하여 우리시에서 공공의 목적으로 사용되고 있는 지하수에 대하여 니켈(Ni) 등 현행 먹는물 수질기준법상의 미규제 무기물질 및 우라늄 등 일부 선진국에서만 기준치로 설정되어 있거나 권고치로 제시되고 있는 방사성물질에 대하여 ICP-MS(Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry)를 이용하여 연구하였다.

문헌 조사

1. 미규제 물질별 발생원 및 위해성

1.1. 바륨(Barium - Ba)

바륨은 중정석(barite)이라 불리우는 황화 바륨의 주성분으로 칼슘에 수반하여 널리 지각속에 존재한다. 그러나 그 존재량은

칼슘에 비하여 훨씬 적은 편이며, 부드러운 은백색의 금속으로 알칼리토금속 중에서는 끓는점이 가장 높다. 또한 산화성이 매우 강하므로 보관시 석유속에 보존해야 한다.

사용 용도로는 환원소물질로서 그대로 사용하는 일은 드물고 알루미늄 또는 마그네슘 및 니켈과 합금으로써 자동차의 플러그 및 구리의 탈산제 등에 사용된다. 바륨이온은 생체내에 들어가면 유독하므로 주의해야 한다(김오식, 1991). 일반적으로 바륨은 신체의 심근(Heart Muscle)의 활동을 왕성하게 하는 작용을 한다고 알려져 있으나, 일반 성인에 대하여 550~600mg 정도의 투여로 급성중독에 의한 사망으로까지 이어질 수 있다고 한다. 만성중독으로 섭취, 호흡기관을 통한 흡입, 흡수 등을 통하여 심장, 혈액 및 신경계에 영향을 미친다. 자연계에 상대적으로 많이 분포되어 있음에도 불구하고 바륨은 먹는물에서 극미량 검출되고 있는 실정으로 미국의 경우 먹는물에서 보통 0.7~900ug/L 정도로 평균적으로 49ug/L 정도로 존재한다.

대부분 지하수 등 먹는물에서 고농도로 검출되는 것은 지각에 의한 영향 또는 그 주변에서 발생된 바륨을 원료로 사용하는 관련산업에서 배출된 오염물질에 기인하는 것으로 추정된다.

1.2. 니켈(Nickel - Ni)

원소 주기율표상의 제8족 제4주기 철족에 속하는 금속원소로서 지각중의 존재량

은 구리와 비슷한 정도이지만 지구 중심부에는 철과 함께 상당한 양이 존재하는 것으로 추정되고 있다. 또한 해수중에도 미량으로 존재하는 것으로 그 농도는 2ug/L도이다. 은백색의 금속으로서 얇게 퍼지거나 늘어나는 성질이 풍부하여 순금속 상태로 실험기구나 가구 등의 재료에 도금용으로 금속표면의 보호에 널리 이용되고 있다. 일반적으로 니켈의 위해성에 대하여는 크게 보고된 바가 없으나 피하, 근육 및 호흡을 통한 노출시 발암성이 있으며, 니켈 카보닐 형태로 흡입시 코와 폐에 암이 발생한다고 알려져 있다. 또한 만성중독으로 신경계, 호흡계 및 피부에 대하여 독성이 있는 것으로 추정된다.

대부분의 나라에서 먹는물중의 니켈에 의한 오염 또는 조사사례가 거의 없는 실정이며, 지하수 중에 일부 검출되는 경우는 특정오염원에 의한 것이라기보다는 지질학적 원인 및 해수의 영향으로 추정된다.

1.3. 몰리브덴(Molybdenum - Mo)

지구상에 비교적 널리 존재하지만 그다지 많은 양은 아니며, 납과 거의 같은 정도로 지각에 함유되어 있다. 또한 동식물 속에도 미량이지만는 하나 항상 함유되어 있고, 바닷물 속에도 3ug/L 정도로 소량 존재한다. 생산된 몰리브덴의 대부분은 스테인리스강 생산에 사용되며, 위해성에 대하여는 보고된 바가 없고, 일반 자연수 중에 10ug/L 이하로 존재하는 것으로 알려져 있으며, 물속의 미네랄 성분 처리 및 하수처리장 부근의

지하수에서 일반 자연수보다 조금 더 높게 검출되는 것으로 알려져 있다.

1.4. 바나듐(Vanadium - V)

바나듐은 지각중의 퇴적암에 널리 분포하며 지각중의 존재도는 비교적 높으나, 경제성이 있는 광산을 이루는 경우는 드물고, 석탄 및 석유에도 함유되어 있어 이들 물질들의 연소 후 남은 검댕 성분중에 바나듐이 4~5% 정도로 존재하며, 해산물 중 멧게의 혈액세포에도 존재하는 것으로 알려져 있다. 또한 해수중에도 2ug/L 수준으로 존재한다.

기계적 강도를 증가시키는 합금재료로 주로 이용되며, 염색, 세라믹, 잉크 및 촉매를 생산하는 산업에도 사용되며, 바나듐을 원료로 사용하는 사업장에서의 수질오염물질 배출에 의하여 주변 식수원에서 바나듐이 검출될 수 있다고 추정된다.

바나듐의 경우 위해정보다는 그 약리적 효과가 일부 알려져 있는데 임상실험 및 역학조사를 통하여 심장병 예방에 효과가 있다고 보고되고 있다(AWWA, Standard methods 18th ED, 1992).

일례로 미국 뉴멕시코주의 경우 대부분의 지하수중에 바나듐 농도가 20~150ug/L 수준으로 존재하는데, 역학조사 결과 먹는 물중에 바나듐이 존재하지 않는 타주에 비하여 심장병 발생빈도 훨씬 낮다고 보고되고 있다. 그러나 바나듐화합물이 포함된 먼지는 만성중독시 위장 및 호흡기 장애를 발생할 수도 있다고 보고되고 있다.

또한 일본의 경우 바나듐이 포함된 지하수가 약리적 효과 때문에 일반 지하수에 비하여 비싸게 먹는샘물로 시판되고 있는 실정이다.

1.5. 우라늄(Uranium - U)

지하수 중의 방사성 물질은 인위적인 오염원에 의한 것이 아니라 자연중에서 발생하는 방사성 물질로서 우리가 원하지 않는 비자발적인 위해 요소(unwanted and involuntary risk factor)이다. 이들 방사성 물질들에는 우라늄을 비롯해서, 우라늄에서 붕괴되어 발생하는 라돈(radon), 전알파(gross alpha)와 같은 기타 방사성 물질들이 포함된다. 이 중 우라늄(uranium)은 은색빛의 중금속으로써, 천연적으로 흔히 분포되어 있는 방사능을 지니는 순수 결정체이다. 또한 암석이나 토양 그리고 천연물질 등에 주로 존재하며, 모든 사람들이 매일 접하고 있는 공기나 물, 음식 등에서 소량으로 발견된다. 지표수보다는 지하수중에 더 많이 존재하는 것으로 알려져 있으며 인체에 대한 가장 큰 위해는 신장독성이다.

우라늄으로 인한 위해성은 발암영향(carcinogenic effects)과 비발암영향(non-carcinogenic effects)으로 구분할 수 있으며, 이러한 구분은 우라늄의 특성상 우라늄 동위원소가 지니는 방사선으로 인한 방사성 위해성(radiological risk, 발암성 위해)과 중금속으로써 우라늄이 지니는 화학적 위해성(chemical risk, 비발암성 위해)에 근거한 것이라 할 수 있다.

현재 미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서는 우라늄을 확인된 인체 발암 물질로 분류하고 있으며(group A), 우라늄 및 다른 방사성 핵종으로부터의 발암 위험에 대한 안전한 한계허용 농도는 없다고 제안하고, 1991년 우라늄에 대한 MCLG (Maximum Contaminant Level Goal)를 0 (zero)으로 규정한 바 있다. 그리고 현실적인 규제기준인 MCL(Maximum Contaminant Level)은 30ug/L로 최종적으로 확정하였다.

로써, 수원을 지하수로 사용하고 있으며, 대부분 일반 시민들이 먹는물로 지속적으로 사용하고 있는 실정이다. 따라서 부산시 자치구·군별 민방위비상급수시설로 지정된 지하수를 연구 대상으로 하였으며, 조사지점수는 총 13개 구·군내에 분포된 514개 지점이다. 이 중에는 민방위비상급수 시설이 아닌 일반 지하수도 일부 포함되어 있고, 다른 수원과의 비교검토를 위하여 약수터 등 공동급수시설, 일반 상수도 등 다른 먹는물에 대하여도 참고적으로 분석을 실시하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상

Table 1은 부산시에서 현재 관리 및 사용 중인 민방위비상급수시설의 일반 현황으

2. 분석 항목

분석 항목으로는 현재 국내 먹는물 수질

Table 1. 부산시 민방위비상급수시설 현황

| 구 분 | 시설(대상)수 | 구 분 | 시설(대상)수 |
|-------|----------|-------|---------|
| 계 | 702(514) | - | - |
| 중 구 | 12(14) | 북 구 | 61(0) |
| 서 구 | 18(16) | 해운대구 | 73(74) |
| 동 구 | 24(11) | 사 하 구 | 73(63) |
| 영 도 구 | 44(47) | 금 정 구 | 87(83) |
| 부산진구 | 64(52) | 강 서 구 | 13(0) |
| 동 래 구 | 49(42) | 연 제 구 | 45(44) |
| 남 구 | 42(34) | 수 영 구 | 28(26) |
| 기 장 군 | 9(8) | 사 상 구 | 60(0) |

※()안은 실제로 조사된 지하수 지점수

기준에는 포함되어 있지 않지만 일부 선진국 및 WHO등에서 규제 및 권고안이 마련되어있는 무기물질인 니켈(Ni), 몰리브덴(Mo), 바륨(Ba), 베릴륨(Be) 그리고 방사성 물질인 우라늄(U)을 대상으로 하였다.

그리고 선진국에서 규제하고 있지는 않지만 지질학적 특성에 따라 자연발생적으로 분포할 수 있다고 여겨지는 무기물질 및 방사성물질인 바나듐(V), 게르마늄(Ge), 토륨(Th)을 분석하였다.

3. 분석방법 및 사용기기

유도결합 플라즈마 질량분광법(ICP-MS)은 다른 분광분석법에 비하여 높은 감도와 깨끗한 바탕스펙트럼을 제공함으로써 대부분의 무기원소 및 금속원소에 대하여 ng/g(ppb)수준의 낮은 검출한계를 가짐으로써 미량 및 극미량의 원소분석을 요하는 무기소재, 환경, 의학 및 약학, 식품 등 다양한 연구분야에서 매우 중요하게 사용되고 있다.

본 연구에서는 ICP-MS를 이용하여 지하수중의 니켈 등 8개 무기물질에 대하여 동시에 분석하였으며, 분석시료는 대부분 먹는물로 사용되는 지하수로 탁도 유발물질이 거의 없어 별도의 전처리없이 직접 분석하였으며, 분석조건은 Table 2와 같다.

결과 및 고찰

1. 미규제 물질의 농도분포

연구된 8개 항목중 바륨, 몰리브덴, 니

켈, 바나듐, 우라늄 5개 항목은 Table 3에서 보는 바와 같이 부산시 전역에서 약간의 농도 차이는 있지만 고르게 분포하는 것으로 조사되었다. 그 외 토륨, 베릴륨, 게르마늄 3개 항목은 이번 연구 결과에서 검출되지 않았다.

자치구·군별로 연구 결과를 보면 몰리브덴의 경우 동래구에서 가장 높게 검출되었으며, 바나듐은 전지역에서 6ug/L이하로 고르게 분포하는 것으로 조사되었고, 니켈의 경우 사하구 지역에서 높게 검출되었으며, 바륨은 동구에서 평균 33.5ug/L로 나타났다. 또한 우라늄의 경우 영도구, 기장군 등 해안선 주변지역에서는 불검출 또는 1ug/L이하로 아주 낮게 검출되었으며, 금정·연제구 등 내륙지역에서 높게 검출되는 경향을 보였다.

참고로 부산시 자치구군별 미규제 물질에 대한 세부 연구조사 결과는 【붙임1】과 같다.

부산시 전체에서 바륨 등 5개 항목이 고르게 분포하는 것으로 보아 대부분의 중금속 및 무기원소와 마찬가지로 인위적인 오염에 의해 발생하는 것이 아닌 지질학적 특성 등 자연적인 요소에 의하여 검출되는 것으로 추정된다. 또한 니켈, 바나듐 등은 해수에서 ppb수준으로 존재하고 있어(이민호, 1993) 우리시의 경우 바다와 인접하고 있으므로 해수의 영향이 있는 것으로 판단된다.

검출된 5개 항목중 바륨(Ba)을 제외한 니켈 등 4개 항목은 지하수 검사대상 대비

Table 2. ICP-MS 분석조건

| ○ MODEL : Agilent 7500a ICP-MS | | | | |
|--------------------------------|-----------------|------------|--------|--------|
| ITEM | VALUE | | | |
| Sensitivity | m/z : | 7 | 89 | 205 |
| | Range : | 50,000 | 50,000 | 20,000 |
| | Count : | 20,681 | 24,014 | 17,902 |
| | Mean : | 20,599 | 23,128 | 17,585 |
| | RSD% : | 2.15 | 2.03 | 1.62 |
| Plasma Condition | RF Power : | 1200 W | | |
| | Carrier Gas : | 1.15 L/min | | |
| | Makeup Gas : | 0 L/min | | |
| | Peri Pump : | 0.1 rps | | |
| | S/C Temp : | 2 degC | | |
| Ion Lenses | Extract 1 : | -100 V | | |
| | Extract 2 : | -30 V | | |
| | Einzel 1,3 : | -100 V | | |
| | Einzel 2 : | 0 V | | |
| | QP Focus : | 7.3 V | | |
| Q-pole Parameter | AMU Gain : | 137 | | |
| | AMU offset : | 124 | | |
| | Axis Gain : | 1.0008 | | |
| | Axis offset : | -0.02 | | |
| | QP Bias : | 1.5V | | |
| Detector Parameter | Discriminator : | 8 mV | | |
| | Analog HV : | 1600 V | | |
| | Pulse HV : | 1120 V | | |

Table 3. 미규제물질별 농도분포

(단위 : ug/L)

| 구분 항 목 | 평 균 | 최소~최대 | 검출율(%) |
|-----------|------|----------|--------|
| 바륨(Ba) | 13.2 | ND~204.1 | 65.0 |
| 니켈(Ni) | 4.3 | ND~144.0 | 17.3 |
| 몰리브덴(Mo) | 6.8 | ND~52.7 | 17.1 |
| 바나듐(V) | 2.1 | ND~5.8 | 20.6 |
| 우라늄(U) | 7.1 | ND~56.0 | 10.9 |
| 토륨(Th) | ND | ND | ND |
| 베릴륨(Be) | ND | ND | ND |
| 게르마늄(Ge) | ND | ND | ND |

* ND : Not Detected(불검출)

* 검출율(%) : 검출 개수/조사 지점수 × 100

검출율이 10~20% 정도로 낮게 나타났고, 바륨의 경우 검출율이 65%로 타 항목에 비하여 상당히 높은 검출율을 보였다.

바나듐(V)의 경우 최대 검출량이 5.8ug/L로 지하수중에 저농도로 고르게 존재하는 것으로 나타난 반면, 바륨의 검출율이 65%로 다른 무기원소에 비하여 훨씬 높고, 평균 및 최대 검출농도 또한 높게 나타나는 것은 바륨 자체가 지표지질중에 상당한 양으로 존재하기 때문이다.

2. 조사결과와의 비교

지하수 수질과의 비교분석을 위하여 상수도 등 일부 먹는물에 대하여도 위에서 언급한 8개 항목을 조사하였다.

조사결과 Table 4와 같이 토륨(Th) 등 3항목은 검출되지 않음으로써 이번 연구 조사한 지하수 수질과 비슷한 경향을 나타내었다.

특이한 사항은 먹는샘물 등 모든 먹는물에서 바륨이 전반적으로 높은 검출율을 보였고, 상수도에서는 바륨(Ba)의 평균농도가 23.2ug/L로서 일반 지하수보다 상대적으로 높은 반면 최대 검출농도가 낮고 일정한 수준을 유지하는 경향을 보였으며, 바나듐 및 방사성물질인 우라늄은 이번 연구조사에서 검출되지 않았다.

그리고 먹는샘물의 경우 대부분 심정호를 수원으로 사용하고 있어서, 일반 지하수 분석결과와 마찬가지로 토륨 등 3개 조사항목은 검출되지 않았으며, 바륨의 농도가 18.1ug/L로 제일 높게 나타났고 다른

조사항목들도 저농도로 검출되는 등 일반 민방위비상급수시설 지하수 수질과 비슷한 검출 경향을 보였다.

연구·조사 결과를 선진국인 미국 음용수 수질기준과 비교하여 Table 5에 나타내었다. 몰리브덴, 바나듐은 미국내 음용수 수질기준 미규제 항목으로 비교가 불가하였으며, 바륨의 경우 높은 검출율에도 불구하고 검출된 최고농도가 204ug/L로써 미국 규제기준인 2,000ug/L에는 훨씬 못미치는 것으로 나타났다. 그러나 니켈의 경우 미국 규제기준인 100ug/L를 초과하는 사례가 사하구내 민방위비상급수시설중 1개소가 있었고, 우라늄은 미국의 MCL (Maximum Contaminant Level)인 30ug/L를 초과하는 사례가 민방위비상급수시설 및 일반 지하수 중 4개소에서 발생하였다.

결 론

부산시내 지하수중 미규제 무기물질을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지하수중에 포함된 미규제 무기물질 중 토륨(Th) 등 3개 항목은 전체 조사대상 지하수에서 검출되지 않았으며, 바륨(Ba) 등 5개 항목은 조사지점에 따라 약간의 농도차이는 있으나 부산시내 전역에 걸쳐 고르게 분포하는 것으로 나타났다.

2. 니켈(Ni) 및 우라늄(U) 분석결과 미국

Table 4. 먹는물의 종류별 미규제물질 조사결과

(단위 : ug/L)

| 항 목 \ 용수별 | 상수도 (11) | 먹는물공동시설 (92) | 먹는샘물 (11) | 빗물 (6) |
|-----------|-------------|-----------------|--------------|-----------|
| 바륨(Ba) | 23.2 | 9.8 | 18.1 | 19.0 |
| 니켈(Ni) | 2.8 | 6.2 | 0.9 | 5.1 |
| 바나듐(V) | ND | 1.4 | 2.9 | ND |
| 몰리브덴(Mo) | 2.9 | 3.5 | 5.5 | ND |
| 우라늄(U) | ND | 2.3 | 2.1 | ND |
| 토륨(Th) | ND | ND | ND | ND |
| 베릴륨(Be) | ND | ND | ND | ND |
| 게르마늄(Ge) | ND | ND | ND | ND |

※ ()안은 검사대상 수, ND : Not Detected

Table 5. 미국내 수질기준의 적용결과

(단위 : ug/L)

| 구 분 \ 항 목 | 바륨(Ba) | 니켈(Ni) | 우라늄(U) |
|-----------|--------|--------|--------|
| 미국 규제기준 | 2,000 | 100 | 30 |
| 분석 결과 | 204 | 144(1) | 56(4) |

※ ()은 금회 조사결과 중 미국 규제기준을 초과한 지하수 지점수

※ 분석결과치는 조사항목별 최대검출값 적용

의 음용수 수질기준을 적용할 경우, 그 수질기준을 초과하는 사례가 사하구 등에서 5개소로 조사됨으로써 전체 검사대상 대비 미국 음용수 수질기준 초과율이 약 1%를 차지하였다.

3. 이번 연구조사에서 검출된 지하수중의 무기원소 발생원 분석결과 인위적인 수질오염이 아닌 지표지질학적 특성 및 해수의 영향 등 자연발생적으로 지하수중에 존재하는 것으로 판단된다.

4. 외부에 의한 수질오염이 아닌 자연발생적으로 지하수 중에 무기원소가 존재하더라도 보다 더 맑고 안전한 지하수를 마시고자 하는 일반 시민들의 욕구 충족 및 향후 선진국 수준의 먹는 물 수질기준 강화에 대비하기 위하여, 현재 미규제 무기원소에 대한 연차적인 예비조사가 환경부 등 관련기관 주도하에 일관성 있게 추진할 필요성이 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김오식, 동화기술, 산업독성학
2. 이민효, 동화기술, 토양·지하수 오염

3. 김학명, 이상호, 탁성제, 한재석, 지하수 문제연구회, 동화기술, 지하수오염론
4. 정명규, 김강석외 11명, 동화기술 환경위해성 평가
5. 부산광역시, 한국수자원공사, 부산광역시 지하수관리계획 보고서, 2003. 12
6. 김예신 등(2003) 지하수중 우라늄의 인체위해도 분석에 관한 연구
7. 연세대 환경공해연구소 지하수중 방사성물질 함유실태에 관한 조사연구(I) ~ (IV). 국립환경연구원(한국지질자원 연구원)
8. 연세대 환경공해연구소 G7 수질오염물질의 위해성 평가 및 관리기술. 환경부
9. 건설교통부&한국수자원공사(2001) 지하수조사연보
10. WHO(1998) Guidelines for Drinking Water Quality. Addendum to Volume 2. Geneva
11. US EPA(2000c) Preliminary health risk reduction and cost analysis; Revised national primary drinking water standards for radionuclides; Review draft
12. APHA-AWWA-WPCF, Standard methods for the Examination of water and waste water 18th ED, 1992

【붙임 1】 미규제물질 세부 조사결과

◎ 바륨(Ba)

(단위 : ug/L)

| 구 분 구 · 군 별 | 조 사 대상수 | 검 출 지점수 | 검출율 (%) | 평 균 | 최 소 | 최 대 |
|----------------|------------|------------|------------|------|-----|-------|
| 계 | 514 | 334 | 65.0 | 13.2 | - | 204.1 |
| 중 구 | 14 | 10 | 71.4 | 29.1 | ND | 51.1 |
| 서 구 | 16 | 14 | 87.5 | 13.2 | ND | 22.7 |
| 동 구 | 11 | 8 | 72.7 | 33.5 | ND | 102.3 |
| 영 도 구 | 47 | 44 | 93.6 | 17 | ND | 144.5 |
| 부산진구 | 52 | 40 | 76.9 | 12.7 | ND | 42.7 |
| 동 래 구 | 42 | 17 | 40.5 | 11.2 | ND | 53.5 |
| 남 구 | 34 | 20 | 58.8 | 5.6 | ND | 13.4 |
| 기 장 군 | 8 | 8 | 100 | 15.2 | 7.9 | 21.4 |
| 해운대구 | 74 | 24 | 32.4 | 4.3 | ND | 10.2 |
| 사 하 구 | 63 | 59 | 93.6 | 10.7 | ND | 66.8 |
| 금 정 구 | 83 | 44 | 53.0 | 8.5 | ND | 37.3 |
| 연 제 구 | 44 | 35 | 79.5 | 23.8 | ND | 204.1 |
| 수 영 구 | 26 | 11 | 42.3 | 2.3 | ND | 4.6 |

※ ND : Not Detected

※ 검출율(%) : 조사대상수/검출지점수×100

◎ 폴리브덴(Mo)

(단위 : ug/L)

| 구 분 구 · 군 별 | 조 사 대상수 | 검 출 지점수 | 검출율 (%) | 평 균 | 최 소 | 최 대 |
|----------------|------------|------------|------------|------|-----|------|
| 계 | 514 | 88 | 17.1 | 6.8 | - | 52.7 |
| 중 구 | 14 | 1 | 7.1 | 1.1 | ND | 1.1 |
| 서 구 | 16 | 4 | 25.0 | 1.1 | ND | 3.3 |
| 동 구 | 11 | 3 | 27.3 | 11.2 | ND | 13.7 |
| 영 도 구 | 47 | 13 | 27.7 | 2.7 | ND | 6.1 |
| 부산진구 | 52 | 15 | 28.8 | 10.2 | ND | 48.0 |
| 동 래 구 | 42 | 5 | 11.9 | 25.5 | ND | 52.7 |
| 남 구 | 34 | 2 | 5.9 | 4.4 | ND | 6.4 |
| 기 장 군 | 8 | 4 | 50.0 | 4.3 | ND | 6.9 |
| 해운대구 | 74 | 13 | 17.6 | 2.6 | ND | 11.0 |
| 사 하 구 | 63 | 9 | 14.3 | 3.5 | ND | 10.6 |
| 금 정 구 | 83 | 8 | 9.6 | 9.2 | ND | 40.1 |
| 연 제 구 | 44 | 4 | 9.1 | 8.4 | ND | 27.4 |
| 수 영 구 | 26 | 7 | 26.9 | 5.8 | ND | 16.4 |

※ ND : Not Detected

※ 검출율(%) : 조사대상수/검출지점수×100

◎ 바나듐(V)

(단위 : ug/L)

| 구 분 구 · 군 별 | 조 사 대상수 | 검 출 지점수 | 검출율 (%) | 평 균 | 최 소 | 최 대 |
|----------------|------------|------------|------------|-----|-----|-----|
| 계 | 514 | 106 | 20.6 | 2.1 | - | 5.8 |
| 중 구 | 14 | 2 | 14.3 | 1.3 | ND | 1.5 |
| 서 구 | 16 | 1 | 6.3 | 3.0 | ND | 3.0 |
| 동 구 | 11 | 2 | 18.2 | 1.3 | ND | 1.5 |
| 영 도 구 | 47 | 17 | 36.2 | 1.5 | ND | 2.8 |
| 부산진구 | 52 | 15 | 28.8 | 1.8 | ND | 5.6 |
| 동 래 구 | 42 | 3 | 7.1 | 0.9 | ND | 1.1 |
| 남 구 | 34 | 1 | 2.9 | 1.3 | ND | 1.3 |
| 기 장 군 | 8 | 3 | 37.5 | 2.6 | ND | 3.1 |
| 해운대구 | 74 | 26 | 35.1 | 2.7 | ND | 5.6 |
| 사 하 구 | 63 | 23 | 36.5 | 2.0 | ND | 4.6 |
| 금 정 구 | 83 | 10 | 12.0 | 2.4 | ND | 5.2 |
| 연 제 구 | 44 | 3 | 6.8 | 2.4 | ND | 5.8 |
| 수 영 구 | 26 | 0 | 0 | ND | ND | ND |

※ ND : Not Detected

※ 검출율(%) : 조사대상수/검출지점수×100

◎ 니켈(Ni)

(단위 : ug/L)

| 구 분 구·군별 | 조 사 대상수 | 검 출 지점수 | 검출율 (%) | 평 균 | 최 소 | 최 대 |
|-------------|------------|------------|------------|------|-----|-------|
| 계 | 514 | 89 | 17.3 | 4.3 | - | 144.0 |
| 중 구 | 14 | 4 | 28.6 | 1.9 | ND | 4.8 |
| 서 구 | 16 | 2 | 12.5 | 1.5 | ND | 1.5 |
| 동 구 | 11 | 3 | 27.3 | 1.5 | ND | 3.3 |
| 영 도 구 | 47 | 22 | 46.8 | 2.0 | ND | 3.9 |
| 부산진구 | 52 | 10 | 19.2 | 7.5 | ND | 46.7 |
| 동 래 구 | 42 | 1 | 2.4 | 1.9 | ND | 1.9 |
| 남 구 | 34 | 7 | 20.6 | 2.4 | ND | 6.1 |
| 기 장 군 | 8 | 3 | 37.5 | 1.2 | ND | 1.7 |
| 해운대구 | 74 | 3 | 4.1 | 1.1 | ND | 1.7 |
| 사 하 구 | 63 | 13 | 20.6 | 14.4 | ND | 144.0 |
| 금 정 구 | 83 | 10 | 12.0 | 1.2 | ND | 2.9 |
| 연 제 구 | 44 | 10 | 22.7 | 2.3 | ND | 10.5 |
| 수 영 구 | 26 | 1 | 3.8 | 0.2 | ND | 0.2 |

※ ND : Not Detected

※ 검출율(%) : 조사대상수/검출지점수×100

◎ 우라늄(U)

(단위 : ug/L)

| 구 분 구 · 군 별 | 조 사 대상수 | 검 출 지점수 | 검출율 (%) | 평 균 | 최 소 | 최 대 |
|----------------|------------|------------|------------|------|-----|------|
| 계 | 514 | 56 | 10.9 | 7.1 | - | 56.0 |
| 중 구 | 14 | 0 | 0 | ND | ND | ND |
| 서 구 | 16 | 0 | 0 | ND | ND | ND |
| 동 구 | 11 | 1 | 9.1 | 0.5 | ND | 0.5 |
| 영 도 구 | 47 | 0 | 0 | ND | ND | ND |
| 부산진구 | 52 | 7 | 13.5 | 10.6 | ND | 33.5 |
| 동 래 구 | 42 | 14 | 33.3 | 10.9 | ND | 56.0 |
| 남 구 | 34 | 0 | 0 | ND | ND | ND |
| 기 장 군 | 8 | 3 | 37.5 | 1.5 | ND | 4.5 |
| 해운대구 | 74 | 7 | 9.5 | 0.7 | ND | 1.5 |
| 사 하 구 | 63 | 2 | 3.2 | 8.6 | ND | 16.5 |
| 금 정 구 | 83 | 10 | 12.4 | 5.8 | ND | 44.8 |
| 연 제 구 | 44 | 3 | 6.8 | 18.4 | ND | 49.1 |
| 수 영 구 | 26 | 9 | 34.6 | 3.6 | ND | 21.2 |

※ ND : Not Detected

※ 검출율(%) : 조사대상수/검출지점수×100