

부산시 지하수의 수질 특성에 관한 연구

수질보전과

유 숙 진 · 김 광 수

A Study on the Characteristics of Groundwater Quality in Busan

Water Conservation Division

Sook-Jin You · Kwang-Soo Kim

Abstract

The final evaluation of local properties from the results of 5 years of researching underground water of 15,000 collected data are as follows:

1. In evaluating the inadequateness of underground water, Dong-gu and Pusanjin-gu proved to be the most inadequate due to high nitrate content in the water. The crowded population of the area caused a high rate of nitrate formation in the water, and as a result, proved to be inadequate overall.
2. The amount of zinc found in Busanjin-gu, Geumjung-gu, Saha-gu and Yeonje-gu, where its geological features mainly consists of andesite, exceeded the regulation limit.
3. All over Yeonje-gu Yeonsan-dong, of which its geological features consist of andesite and dark gray tuff sedimentary rock, proved to be inadequate iron, mangan and color. Also in Suyong-gu Gwangan-1dong, Dongnae-gu and Haewoondae-gu Bansong-2dong showed to be over the limit, but the remaining areas were found to be normal.
4. The arsenic compound found at Nam-gu Mt. Hwangryung and underground water at Mt. Geumryun were presumed to be in connection with the rock minerals of the area. It is surmised that drinking and developing underground water in this area should be prohibited.

5. Busanjin-gu Jeonpo-dong and Dangam-dong, which consists of andesite soil, was found to be 305~1100mg/ℓ in the hardness of the water, and Nam-gu Daeyeon-4dong, Moonhyun-1,2dong, Suyong-gu Namcheon-1dong, which consists of dark gray tuff sedimentary rock and rocky soils, were found to exceed the limit as well as coastal areas in Youngdo-gu and Jung-gu.
6. Amounts of over 1000mg/ℓ of chlorine ions were found at D elementary school in Youngdo-gu Namhang-dong, Shinseon-3dong, and Youngseon-2dong. Also, a high concentration of chlorine was found in the Jung-gu Boopyung-dong area. This was presumed to have been affected by the sea water, rather than the geological features.
7. The TCE, PCE were found to be very high and inadequate in some parts of Haewoondae-gu Banyeoh-dong, as well as the Sasang-gu Hakjang-dong and Gamjeon-dong areas, but this is assumed to have been caused by industrial facilities in the area, as TCE and PCE was not found in other areas.
8. 50% of the inadequateness of underground water is due to micro organisms, which can be reduced with improved maintenance of these underground waters.
9. When installing grouting and other facilities for developing underground waters, preventing pollution substances such as nitrate, turbidity and other nearby factors would reduce contamination of the surrounding environment.
10. Contamination caused by metallic compounds such as arsenic can only be removed with a great amount of investment, thus requiring a quick resolution such as shutting down the underground water.

1. 서 론

하천 및 호수의 오염이 심화되면서 수자원으로서의 지하수의 가치와 효용성이 증대되고 있으나 무분별한 지하수 개발로 인한 제반 문제로 지하수 보전 관리에 대한 사회적인 관심이 고조되고 있다.

1970년 이후 착정 장비가 발달되면서 지하수 개발이 지속적으로 증가하고 있으

며, 특히 1980년대에 들어오면서는 수자원의 부족과 지표수 수질의 악화에 따라 지하수 개발 욕구가 한층 높아지고 있다. 최근 들어 지역적으로 극심한 이상 가뭄이 발생하면서 음용 및 생활, 농업용수로 다량의 지하수를 개발하였을 뿐 아니라 먹는샘물 시판이 본격화되고 온천개발이 활발해지면서 암반지하수의 개발이 급증하고 있는 실태이다.

부산은 주 상수원인 낙동강의 수질이

크게 개선되지 않고 있어서 타지역에 비해 생활용수중 지하수가 차지하는 비율은 점점 증가되고 있는 실정이다. 따라서 대체 수원으로 지하수의 역할이 중요하므로, 부산의 지하수에 대한 적절한 관리 및 보전이 요구되어지고 있는 상황이다.

본 연구는 보다 나은 지하수를 얻기 위한 부산시민들의 바램이 한결 높아 지고 있는 시점에서 안전한 지하수를 확보 할 수 있는 정보를 시민들에게 신속하게 제공하여 부산지역 지하수에 대한 오염실태 파악을 용이하게 하고자 1997년부터 현재 까지 본 연구원에 의뢰된 지하수 수질검사 결과의 자료 구축을 통하여 부산지역 지하수에 대한 전반적인 특성을 파악하였으며 수동으로 발취하기 힘든 특정 수질에 대한 자료를 신속하게 제공함으로써 시민들의 지하수 이용에 대한 불편을 해소하고, 지하수 개발에 대한 사전정보를 제공하여 불필요한 개발을 사전에 예방하여 재산상의 손실을 최대한 줄이고 보다 안전한 식수를 얻을 수 있도록 하며, 효율적인 지하수 이용 및 향후 보전 및 관리 대책에 필요한 자료로 제공하고자 한다.

2. 문헌고찰

2.1 지하수의 정의

지구상에서 물은 강수, 삼투, 유출, 증발 등의 순환을 하며, 그 주체는 강수량이다. 지구 전체 강수량은 정확한 추정은 어렵

지만 대략 $4 \times 10^{14} \text{m}^3/\text{year}$ 으로 25%정도만 육지에 떨어진다. 수원의 종류로는 우수, 눈, 우박 등을 포함하는 기상수와 호소수, 저수지수, 하천수로 이루어진 지표수 그리고 지하수, 해수로 나눌 수 있으며 지하수는 천층수, 심층수, 용천수, 복류수로 나눌 수 있다.

넓은 의미의 지하수는 지하에 존재하는 물의 총칭으로 지하의 지층이나 암석사이의 빈틈을 채우고 있는 물을 말하며, 통상 지하수란 좁은 의미의 지하수로, 지하 대수층의 모래층, 자갈층, 암균열 사이에 포화상태로 존재하는 것을 의미한다. 흙의 간극 중에 존재하는 지하수를 토중수(soil water)라고 부르며 암반균열층의 것을 열수(fissur water), 석회암의 침식공간이나 용암속의 공동의 지하수는 지하천(underground river)으로 불려진다. 그리고 복류수는 하천부지 아래를 흐르는 지하수로 하천수와 연속하고 있고, 하천으로부터 영향을 받는 지하수의 일종이며, 용천수는 지하로 침투한 지하수가 암석 또는 점토와 같은 불투수층에 차단되어 한쪽으로 솟아나온 것을 말한다.¹⁾

2.2 지하수의 기본적 성질

2.2.1 지하수 이용의 특징

지하수는 각 지역의 지질구조에 따라 규정되어지지만, 수원으로 지표수와 비교한 일반적인 특징은 음료수 뿐만 아니라 각종 용수로서의 수질이 우수하다는 것과 연 평균기온에 거의 가까운 일정한

수온을 나타내어 여름에는 차고 겨울에는 따뜻하게 느껴지며, 자기 토지에서 자유롭게 채취 할 수가 있으며, 통상 물사용의 권리를 규제 받지 않고 도수료도 불필요하고 간단한 취수 설비로 취수 가능 하며, 하천수와 같이 홍수시나 갈수시의 수량 변동이 심하지 않으며, 비교적 안정된 수량을 확보할 수 있는 등의 이점이 있는 반면, 1개 취수공에서 대량 취수가 어렵고, 지역 전체에서 과잉 취수가 계속될 경우 지반 침하나 염수 침입 등의 문제가 발생할 수 있다.

2.2.2 지하수위

지하수위란 자유면 대수층(주로 천부 지하수)에서는 지하 수위면을 말하고 피압 대수층에서는 수두면(Potentiometric surface)을 말한다. 어떤 대수층의 지하수량의 증감 파악에 있어서 이 지하수위 변화는 대단히 중요하다. 만일 지하수위가 내려가면 대수층내의 지하수량이 고갈 되고 있는 중이고 지하수위가 올라가면 대수층내로 지하수가 유입되어 지하수량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 따라서 지하수위의 변화는 그 지역 지하수체의 저유량의 변화, 즉 대수층의 특성을 대변한다고 할 수 있다. 자유면 대수층보다는 피압 대수층은 기압의 변화에 민감하게 반응한다. 이 지하수위는 강우, 낮과 밤에 의한 일변화 등의 단기간의 변화와 계절적인 장기적 변화가 있고, 조석간만, 인위적인 양수, 상하수도에 의한 인위적인 배출, 충전 등의 복합적인 요인에 의

해 변한다. 여름철에는 집중적인 강우에 의하여 지하수 함양량이 증가하므로 여름철의 지하수위는 겨울보다 높게 형성된다. 지형, 대수층의 특성, 토지이용에 따라 지하수의 유입, 유출이 결정되므로 지하수위를 장기간 관측하면 지하수의 유동과 대수층의 특성을 규명 할 수 있다. 즉, 월별로 측정된 지하수위 변화는 지표에 도달한 강우 중에서 대수층으로 유입되는 양을 지시하기 때문에 지하수 유동에서 중요한 항목 중의 하나인 자연침투량을 산정할 수 있다. 대부분의 장기관측 결과로는 계절에 따른 지하수위의 변화가 지배적이지만 경우에 따라서는 각종 공사 또는 지하 시설에서 구조물의 안정을 위하여 계속 양수하는 지역에서도 지하수의 흐름이 공사의 진행 또는 형태에 따라 달라진다. 각 지하수공에서 측정된 지하수위를 이용하여 작성되는 지하수위 등고선도는 그 지역 지하수체의 유동방향, 유속을 나타내므로 지하수 자원의 관리 측면에서 볼 때 매우 중요하다.

2.2.3 자유지하수와 피압지하수

공극을 가지고 물을 포함 할 수 있는 토양이나 암석을 대수층(Aquifer) 또는 함수층이라 하며 砂석층, 토양 또는 그 하부의 기반암이 지하수를 포함할 수 있는 것은 그 중에 공극이 있어서 물의 통과를 가능하게 하기 때문이고, 단위 체적의 암석 중에 존재하는 공극의 체적 백분율을 공극율이라 한다. 보통 토양과 사력층의 공극율은 25~45%이고 화성암은 보통 1%

내외를 가진다.

지하수는 지하내 존재하는 분포위치에 따라 모관수, 자유면 지하수, 피압면 지하수로 구분되며, 포화대면에서 부터 모세관 현상에 의해 상승한 물이 차지하는 부분을 모관수연층이라하며 이를 모관수라 한다. 포화대가 지하수의 증감에 따라 그 경계면이 자유롭게 승강하는 포화지면을 자유면 지하수층 또는 부압면 지하수층이라 하며, 상·하면에서 점토등의 불투수층에 끼어 있어 압력이 가해지는 지하수층을 피압면 지하수층이라 한다. 일반적으로 대기압 이상의 압력을 가지는 지하수이다. 자유면 지하수층과 피압면 지하수층의 차이점은 자유면 지하수층에서는 수위가 변하면 대수층(모래, 자갈층, 암균열 등)의 두께가 변화하고, 강우 등의 직접 함양을 받는 점이며, 피압면 지하수층은 대수층의 두께는 변하지 않고, 함양은 피복 점토층을 통해서 물의 공급과 인접하는 자유면 대수층에서 공급된다.

투수성이 작은 층이 불투수층으로 볼 수 있는 경우에는 대수층이 이중 혹은 그 이상의 샌드위치 구성으로 된다. 이와같은 경우에 있어서 최상부의 대수층 속의 지하수를 천층지하수라 부르고, 그것보다 깊은 대수층속의 지하수를 심층지하수라 한다. 천층지하수는 자유면 지하수층인 것이 많고, 대기에 접하면 강우 등의 침투에 의한 연직방향의 함양을 받기 쉬운 반면 심층지하수는 피압면 지하수층으로 지하수 함양에 장기간을 요한다²⁾.

2.2.4 대수층의 특성

대수층이란 지층에서 경제적으로 이용할 만한 양의 지하수를 가지고 있는 지층을 말한다. 이 대수층은 지하수면에서의 압력에 따라 일반적으로 피압 대수층, 반 피압대수층, 자유면 대수층으로 크게 구분된다. 즉, 얇은 심도에 위치한 층적층이나 풍화대에 발달한 대수층은 압력을 받지 않아서 자유면 대수층에 속하며 암반내의 균열이 대수층의 역할을 하는 결정질암은 거의 피압 대수층에 속한다. 따라서 자유면 대수층의 구성 물질은 거의 자갈, 모래, 실트의 크기이고 결정질암의 대수층은 암석이 생성하고 난 뒤에 발달된 즉 2차적으로 발달된 균열들로 이루어져 있다.

우리나라의 경우는 그 지질 특성상 두께가 수cm미만인 균열대에서 대부분의 지하수가 산출되기 때문에 엄밀한 의미에서는 대수층이 없다고 볼 수 있다. 다만 지하암반내에 발달한 균열대와 균열대의 발달이 없는 암반을 하나의 대수층으로 보고 해석하려는 시도를 하고 있다.³⁾

2.3 지하수 이용현황

대도시 지역에서의 지하수 이용은 크게 보아서 지하수공에서의 양수와, 각종 공사 현장에서 지하수와 관련된 문제점을 해결하기 위하여 지하수를 양수하는 경우이다. 각종 공사 현장에서의 지하수 배출은 공사중에만 일어나는 일시적인 현상이다. 그러나 공사 현장중에서도 지하철 역사의 경우는 지하철 역사의 안정을 위하여 계

속적으로 지하수를 배출시키고 있다.

건설교통부(2002)의 자료에 의하면 서울을 비롯한 6대도시중 지하수를 가장 많이 사용하는 도시는 부산으로 나타나고 있다. 2002년 현재 부산의 지하수 이용량은 9,312 개소의 지하수공에서 약 59,507,021m³/y로 보고 되고 있는데, 이 이용량은 서울의 1.4 배이고, 6대 도시중 지하수 이용량이 가장 적은 인천의 약 3.7배 이상이다. 또한 이 사용량은 신고되지 않은 지하수공, 지하수 사용량에 따른 세금의 부과 등의 문제로 인해서 실제 사용량 보다는 훨씬 적을 것으로 추정된다.

부산의 지하수는 생활용수로 48,200,000 m³/y, 공업용수로 6,200,000m³/y, 농업용수로 2,100,000m³/y로 이용되고 있어서, 부산에서 지하수의 약 80%가 생활용수로 이용되고 있음을 알 수 있다. 아직 통계조사는 되어 있지 않지만, 생활용수로 이용되고 있는 지하수중에서 식수가 차지하는 비율도 타 대도시에 비해서 높을 것으로 추정된다.

2.4 부산지역의 지질 및 지질구조

부산지역은 한반도 동남부 경상분지의 밀양지괴내 남동단부에 해당하며, 중생대 백악기의 경상누층군의 퇴적암이 분포하고 이를 관입 분출한 화산암류인 안산암질과 백악기 최후기에 있었던 심성관입작용에 의한 심성암인 불국사화강암류, 마산암류 및 맥암류 그리고 제4기의 퇴적암층 등이 주요 지질구성원이 된다. 부산지역의

지질은 주로 퇴적암류가 발달하는 남서단부의 다대포지역, 화산암류가 발달하는 남, 동부지역인 구덕산-황령산-장산지역, 그리고 화강암류가 발달하는 북부의 금정산 지역으로 크게 삼대분 할 수 있다.

2.4.1 지질구조

2.4.1.1 다대포 퇴적암지역의 지질구조

다대포 분지가 초기 백악기의 양산단층대와 동래단층대의 좌향 주향이동에 의해 생성된 구조분지로 내부에는 육원성 쇄설물과 화산쇄설성 퇴적물이 분포한다. 성장단층및 지구, 지루를 형성한 단층, 마그마성 암맥의 배열 방향에 의하면 북동-남서 방향의 인장력에 의해 인리된 구조분지이며, 퇴적 기간동안 9회 이상의 정단층작용을 보인다. 분지의 퇴적물이 퇴적된 이후인 백악기말에 우향의 주향이동에 수반된 변형을 보인다.

2.4.1.2 구덕산-황령산-장산 화산암지역의 지질구조

구덕산-황령산-장산지역의 화산암류에 발달하는 층상구조 및 유상구조와 암회색 응회질퇴적암의 층리는 지역에 따라 변화를 보인다. 이 지역에 분포하는 특징적인 대규모의 구조로는 장산을 중심으로 하는 화산활동에 수반되는 콜드론구조가 있다. 북북동방향의 동래단층대와 일광단층이라는 대 단층 사이에 규제된 지역으로 북북동내지는 북북동방향의 선상구조가 뚜렷하게 발달함이 특징적이다. 이 지역 동단부의 일광단층을 따라서는 대소규모의 단층과 절리가 잘 발달하고 있음이 확인되었다.

Table 2-1. The status of underground water in Busan

(unit : 공, m³/y)

행정구역	총 계		허가시설		신고시설		경미 및 기타시설	
	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량
전 국	1,109,885	3,209,862,157	16,335	336,017,906	201,169	1,307,506,874	892,381	1,566,337,376
부 산	9,312	59,507,012	638	9,473,675	7,855	47,926,449	819	2,106,897
강서구	68	815,000	0	0	61	788,000	7	27,000
금정구	1,571	5,427,777	121	1,878,245	1,236	3,105,722	214	488,810
기장군	1,276	16,414,923	44	346,750	1,225	16,068,173	7	0
남 구	506	3,962,636	1	30,000	502	3,930,836	3	1,800
동 구	121	993,223	0	0	115	813,223	6	180,000
동래구	1,035	4,120,167	3	67,960	749	2,978,789	283	1,073,418
부산진구	801	4,109,899	7	34,310	694	3,858,305	100	127,284
북 구	626	4,321,394	24	1,191,920	548	3,082,421	54	47,053
사상구	376	3,180,982	90	1,912,370	234	1,266,226	52	2,386
사하구	559	3,071,180	228	1,724,937	331	1,346,243	0	0
서 구	242	1,052,003	8	75,061	234	979,942	0	0
수영구	517	1,264,573	8	294,082	474	968,927	4	1,564
연제구	535	3,396,715	39	778,800	404	2,464,165	87	153,750
영도구	272	521,800	44	240,000	268	281,800	0	0
중 구	149	3,833	4	0	130	0	2	3,833
해운대구	658	6,895,919	17	899,240	650	5,996,679	0	0

주)자료 : 지하수조사연보(2002, 건설교통부. 한국수자원공사)

Table 2-2. The status of utilization of underground water by use

(unit : 공, m³/y)

구분	총 계		생활용수		공업용수		농업용수		기타용수	
	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량
전국	1,109,885	3,210	683,811	1,600	13,192	185	407,680	1,362	5,202	63
(%)	(100)	(100)	(62)	(50)	(1)	(6)	(36)	(42)	(1)	(2)
부산시	9,312	59.5	8,158	48.2	409	6.2	388	2.1	357	3.0
(%)	(100)	(100)	(88)	(81)	(4)	(11)	(4)	(3)	(4)	(5)

주)자료 : 지하수 조사연보(2002, 건설교통부. 한국수자원공사)

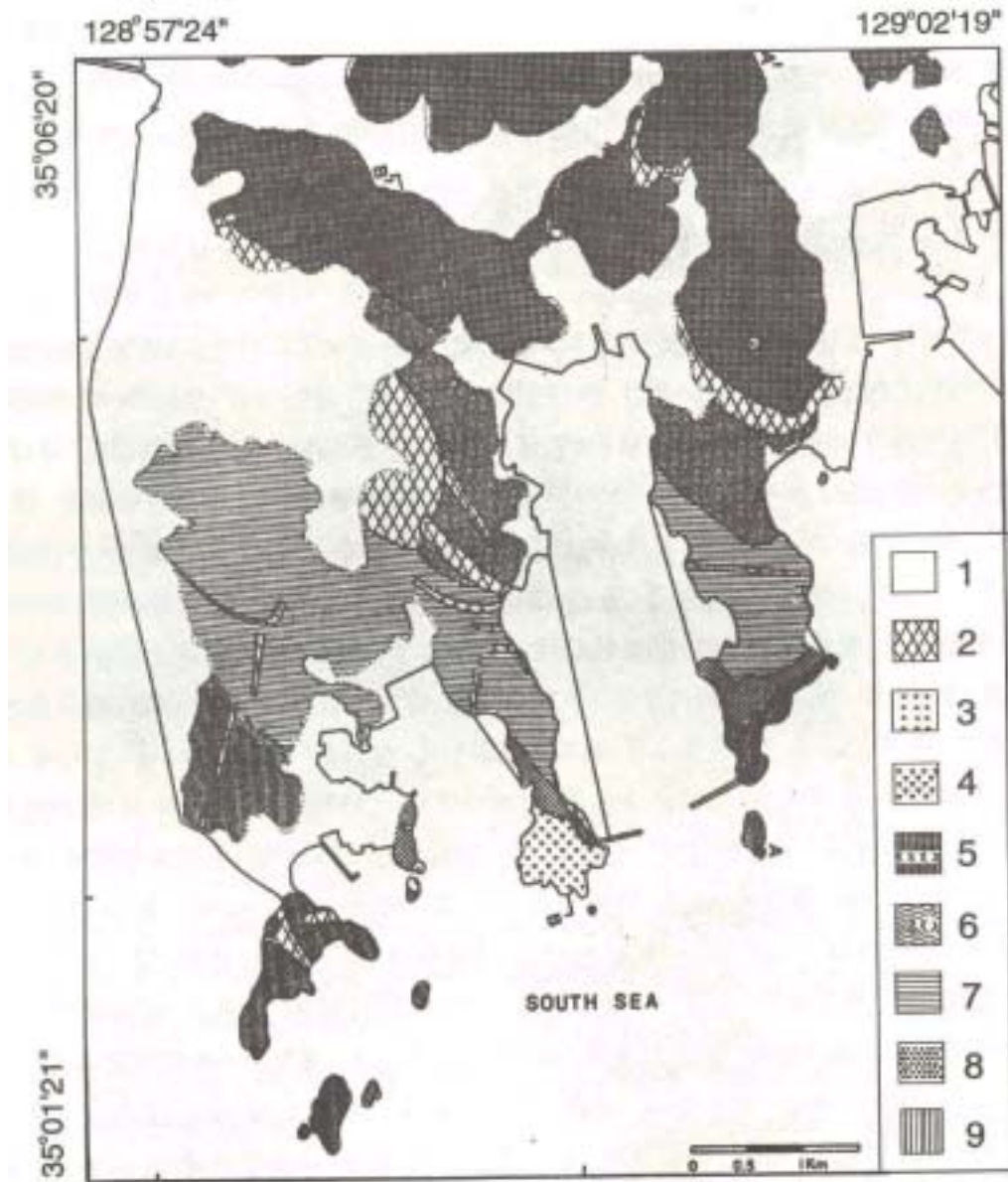


Fig.2-1. Geologic map of Dadaepo Area.
 (1=충적층, 2=암맥, 3=화강암, 4=화산쇄설성각력암, 5=충원5
 6=충원4, 7=충원3, 8=충원2, 9=충원1)

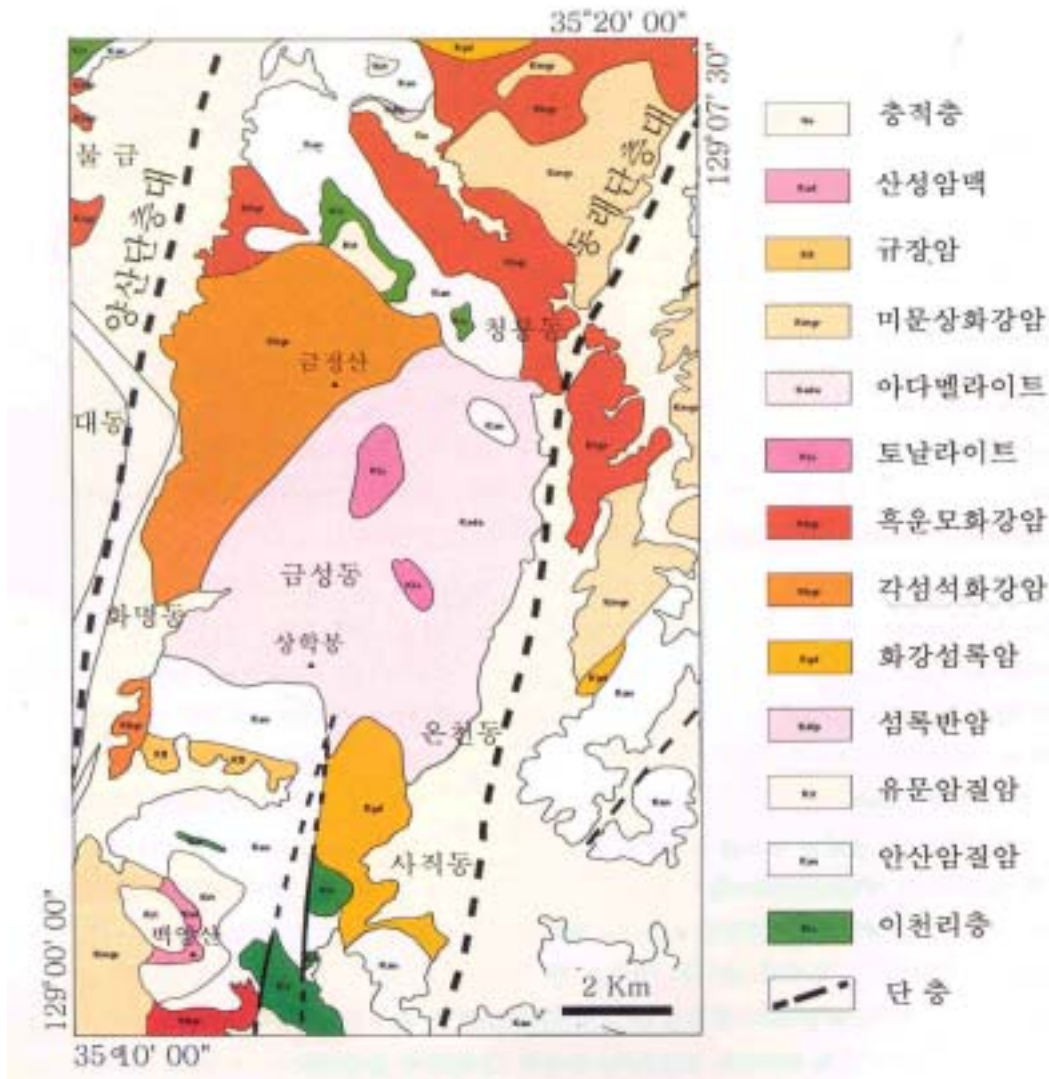


Fig.2-2. Geologic map of Geumjung Mountain.

2.4.1.3 금정산-백양산 일원의 지질구조

금정산-백양산 일원에서 하부층인 이천리층이나 암회색 응회질퇴적암에서는 층리의 발달이 양호하나, 그 외 화산암에서는 층상구조나 유상구조가 미약하며, 다양한 방향으로 발달한다.

금정산-백양산 일원에 발달하는 단열은 대규모의 석으로 양산단층대와 동래단층대가 있으며, 이들 대단층에 수반된 이차 단열인 서북서, 북동, 동북동 방향의 단열들이 대단층에 구제되어 발달하는 특징을 보인다.

2.4.1.4 강서구 지사동-녹산동 화강암 및 화산암지역의 지질구조

부산시의 남서단인 강서구 지사동-녹산동 일원은 주로 북서부에는 화산암류가 북동부와 남부에서 화강암류가 분포한다. 이 지역에서 대규모의 단층구조는 직접 관찰 되지는 않으나, 동측의 가락에서 둔치도와 녹산으로 이어지는 서낙동강이 남북 방향으로 뚜렷한 선상구조를 이루며 달리는것이 특징적이다. 이 선상구조의 서단부에 위치하는 지사동과 녹산동 일대의 보배산과 봉화산체의 절리 발달양상도 이 선상구조에 연관되거나 연결되어질 것으로 판단되는 북동 방향의 절리계가 가장 우세 하게 나타남이 특징적이다. 따라서 이 지역의 지하수 부존은 단층 이동 초기의 우향 이동 보다는 후기의 좌향 이동과 관련 하여 인장을 받을 여지가 높았던 북서 방향의 절리계가 이 지역의 주절리계인 북동 방향이 절리계와 함께 중요한 유동 통로로 작용할 것으로 판단 된다.

2.4.1.5 낙동강하구 삼각주 평야 일원의 용기

부산시 서부인 강서구의 대부분과 북구, 사상구 그리고 사하구의 서부를 포함하는 낙동강 하구 삼각주 평야 일원은 1~3세기에는 해수면의 위치가 현재보다 4.5m 높았음을 고려하면, 현재의 김해평야와 을숙도등의 삼각주는 없었으며, 해수가 고 김해만을 차지하고 있었다. 이러한 사실은 김해평야 일대에 대한 패총의 연구를 종합분석한 결과이다. 다른 결과로는 고 3세

기 이후 해수면이 4m이상의 강하를 설명할 수 있는 극지방의 빙하가 성장하였다는 기록이 없음과 김해만의 해수면 강하는 해수면 자체의 강하에 의한 것이 아니라 지반의 용기에 의한 것으로 해석한 바 있다. 그러므로 이러한 해안 지역의 용기와 침강운동을 포함한 상하 구조 운동은 해수면의 변동과 관련된 지하수의 수질 파악에 중요한 한 요소가 될 수 있다.³⁾

2.5 지질에 따른 지하수의 특성

암석이나 토양에 어떤원소가 정상적으로 분포된 함량을 Background Value라고 하며, 암석중의 미량 원소 함량도 암석의 종류에 따라 다르다. 화강암과 같은 산성 화성암에서는 Li, F, Pb등의 함량이 일반 암석에서의 평균함량보다 높으며, 현무암과 같은 염기성화성암에서는 Cr, Ni, Co, Cu 등의 함량이 일반 암석에서 보다 높다. 표 2-3은 암석에서의 평균 원소함량을 나타내고 있으며, 물의 순환운동에 따라 보충되고 고갈되는 지하수도 이에 영향을 받는 것으로 나타나고 있다.

지하로 침투한 빗물은 암석과 토양을 화학적으로 변환 시키거나 반응함으로써 지하수는 많은 용존이온을 함유하게 된다. 물 맛을 해치는 가장 큰 요소는 용존 유기 화합물이며, 산업 활동에 수반하여 지하수를 오염시키기도 한다. 물맛에 관계없이 Pb, As, Cd, Cr, Mn 등의 중금속이 음용기준에 초과 함유된 물은 이용에 부적당하다. 또한 알은 대수층물은 인산염, 질

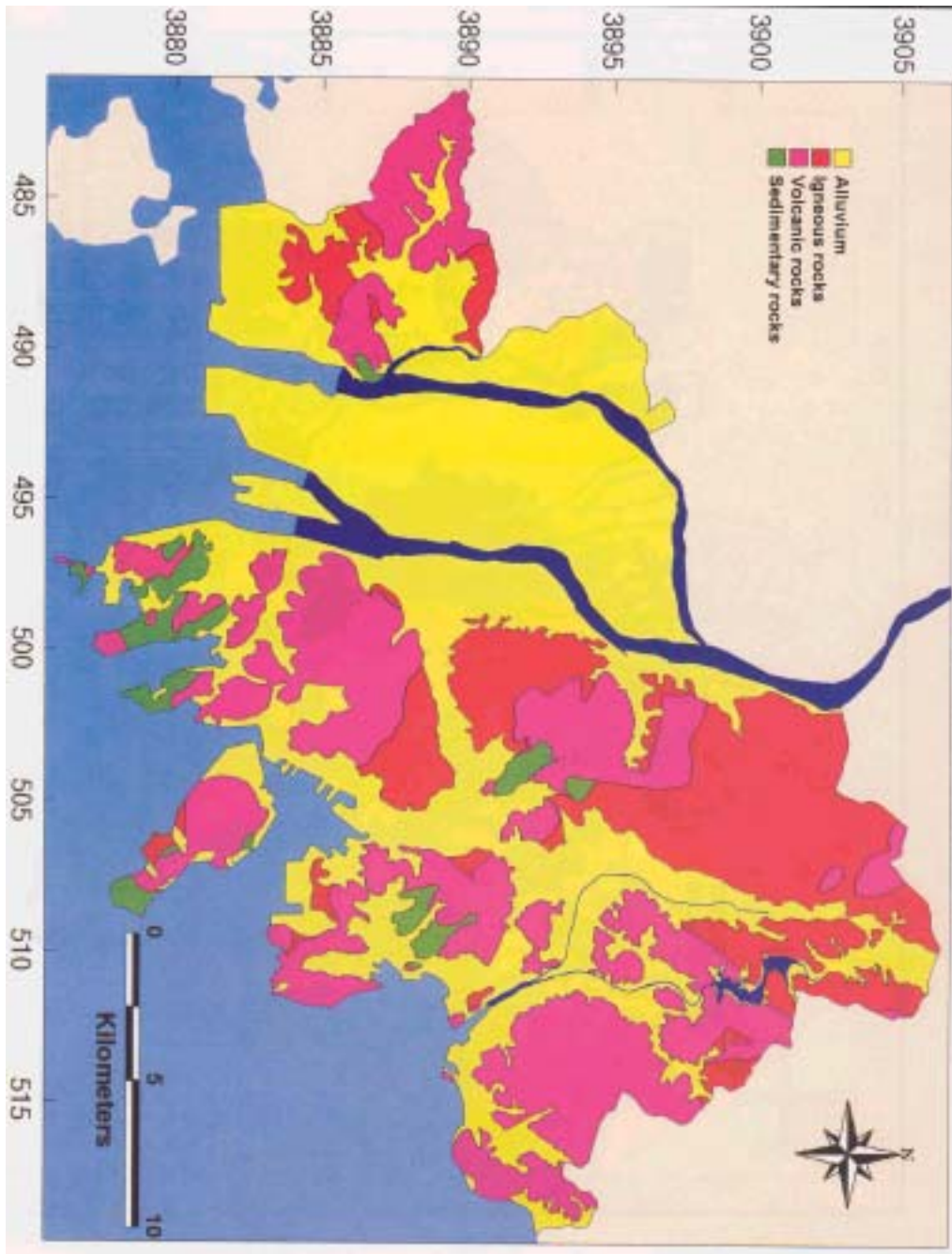


Fig.2-3. Simplified geologic distribution map of Busan Area.

※ Alluvium 충적층, Igneous rock 화성암
Volcanic rock 화산암, Sedimentary rock 퇴적암

산염 및 기타 오염된 물이 토양속으로 스며들어 지하수를 오염시키게 된다.⁴⁾

지하수질 형성에 관련된 부산지역의 지질구조는 북북동 방향으로 크게 발달되어 있으며, 낙동강 하류에 발달된 언양단층, 중심부인 동래와 서면 지역을 지나는 울산단층, 그리고 동쪽의 일광에서 송정으로 발달되어 있는 일광 단층이 있다. 언양단층은 한반도 남동부의 대규모 단층인 양산 단층의 일부이다.

다대포층이 이루어진 순서를 먼저 보면 상층 부분은 폭발적인 화산활동의 산물인 안산암질화산각력암(Andesitic Volcanic Breccia) 및 안산암류(Andesitics)가 대량으로 놓이는데 이는 화산활동의 절정기 직전에 유천층군 화산활동이 광역적으로 시작되었지만 아직까지 정상적이 퇴적상이 우세했던 시기로 볼 수 있다. 이 층의 화산암물질의 양에 따라 상부와 하부로 나누어진다. 상부는 녹색및 녹회색의 응회질 사암(Tuffaceous Sandstone)이 대부분이며, 하부는 적색층과 비적색층의 交瓦帶로서 화산암 물질의 함량이 상부에 비해 훨씬 적게 함유되어 있다. 화강암류의 관입(Intrusion)에 의한 심한 열변질로 아주 견고하며, 비늘쫑의 얇은 조각으로 된 초록빛 광물로서 규산 마그네슘과 알루미늄을 주성분으로 하는 녹니석이나, 광맥과 석회속의 틈에서 천연적으로 나는 탄산석회의 결정으로된 방해석 등의 2차광물을 수반

하는 안산암류는 수영구 금련산일대 및 남구 용호동지역, 서구, 송도, 사하구 괴정동 및 다대포등지에 분포하며, 소규모 암맥상의 안산암 등을 제외하고는 대부분 분출암상을 보여준다. 이곳 지질 구성성분에서 수질에 영향을 나타내는 안산암질의 주요 화학성분은 표 2-4, 2-5와 같으며, 각 섬석화강섬록암과 흑운모화강암의 화학성분은 표 2-6, 2-7과 같고 표 2-8은 주요 화성암의 평균 화학성분을 나타내고 있다.

남구 대연동 일대, 영도구 태종대, 사상구 엄궁동 부근에서는 암회색응회질퇴적암층으로 이루어져 있으며 유문암질암은 수영구 민락동, 해운대구 우동, 중동 부근에 주로 넓게 분포되어 동래지역과 연결된다. 부산진구 전포동 부근에는 철, 마그네슘, 칼슘등의 규산염류로 된 광물질로 소규모 암장이 분포되어 있다. 그리고 백양산을 시작으로 만덕고개, 산성고개, 금정산으로 이어지는 것과 해운대 장산지역의 지질에서는 안산암질암류가 가장 넓은 분포면적을 나타내고 있는 암석이다. 이 암석은 녹색계통의 색을 띠는 것이 가장 큰 특징이며, 대개 상부에는 석영안산암이나 유문석영안산암과 직접 접하기도 하나 암색상의 특징으로 이들을 구별하는 손쉬운 기준이 되기도 한다. 화강암, 화강섬록암, 반려암으로 형성되는 산지의 지하수 수질조성은 표 2-9와 같다.⁵⁾

Table 2-3. The chemical composition of rocks

(unit : ppm)

Element	Abundance	Element	Abundance
Aluminum	81,000	Mercury	0.02
Antimony	0.1	Molybdenum	1.5
Arsenic	2	Nickel	75
Barium	580	Niobium	20
Beryllium	2	Oxygen	473,000
Bismuth	0.1	Palladium	0.01
Boron	8	Potassium	25,000
Bromine	1.8	Platinum	0.005
Cadmium	0.1	Phosphorus	900
Calcium	33,000	Rhenium	0.0006
Carbon	230	Rubidium	150
Cerium	81	Scandium	13
Cesium	3	Selenium	0.1
Chlorine	130	Silicon	291,000
Chromium	100	Silver	0.05
Cobalt	25	Sodium	25,000
Copper	50	Strontium	300
Fluorine	600	Sulfur	300
Gallium	26	Tantalum	2
Germanium	2	Tellurium	0.002
Gold	0.003	Thallium	0.45
Hafnium	3	Thorium	10
Indium	0.1	Tin	2
Iodine	0.15	Titanium	4,400
Iron	46,500	Tungsten	1
Lanthanum	25	Uranium	2.5
Lead	10	Vanadium	150
Lithium	30	Zinc	80
Magnesium	17,000	Zirconium	150
Manganese	1,000		

Table 2-4. The chemical composition of Andesitic volcanic breccia

지점 \ 성분(%)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ig.loss
1	48.1	0.02	24.4	5.61	2.22	ND	5.89	5.01	3.37	2.65	-	2.74
2	55.6	0.10	21.1	3.49	3.17	0.03	2.76	5.13	3.90	2.00	-	2.36
3	50.2	0.08	19.8	4.52	3.96	0.03	2.53	9.46	3.50	2.60	0.02	2.82
4	52.0	0.13	20.2	4.51	3.72	0.04	4.21	7.06	4.45	1.32	0.04	1.30
5	55.2	0.12	20.0	3.62	2.69	ND	2.35	7.18	3.35	0.60	ND	4.42

※시료번호1번, 2번 : 남구 용호동 좌측암반
 3번 : 사하구 신평동 배고개 좌측 능선
 4번 : 사하구 당리동 북측 계곡
 5번 : 서구 천마산

Table 2-5. The chemical composition of Andesite

지점 \ 성분(%)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ig.loss
1	50.6	0.08	25.8	6.31	1.74	0.02	3.71	4.67	4.00	0.85	0.03	1.90
2	52.5	0.56	20.5	4.71	2.45	0.03	3.14	8.77	3.75	2.00	-	1.44
average	51.55	0.32	23.15	5.51	2.09	0.02	3.42	6.72	3.87	1.42	0.03	1.67

※사하구 괴정동 사리골 부근

Table 2-6. The chemical composition of Hornblende Granodiorite

지점 \ 성분(%)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ig.loss
1	68.08	0.20	17.00	1.82	0.44	0.09	1.14	3.05	3.50	3.60	0.06	0.86
2	65.32	0.18	18.50	2.17	0.13	0.10	1.63	3.49	3.07	4.01	-	1.36
average	66.70	0.19	17.75	1.99	0.28	0.09	1.38	3.27	3.28	3.80	0.03	1.11

※남구 감만동 부근

Table 2-7. The chemical composition of Biotite Granite

지점 \ 성분(%)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ig.loss
1	74.32	0.04	14.80	0.83	0.96	-	0.32	1.91	2.93	3.49	0.03	0.28
2	72.68	0.10	17.60	0.12	0.15	0.06	0.45	1.24	3.55	3.40	-	0.41
3	71.96	0.12	17.10	1.08	0.22	0.05	0.41	0.21	3.41	3.81	0.10	0.32
average	72.98	0.08	16.50	0.67	0.44	0.03	0.39	1.12	3.29	3.56	0.04	0.33

※사상구 인근과 부산진구 당감동 부근

Table 2-8. The chemical composition of Igneous Rocks

(unit : %)

Composition	반려암 (Gabbro)	섬록암 (Granodiorite)	유문암 (Rhyolite)	화강암 (Granite)
SiO ₂	48.24	56.77	72.88	70.18
TiO ₂	0.97	0.84	0.33	0.39
Al ₂ O ₃	17.88	16.67	13.49	14.47
Fe ₂ O ₃	3.16	3.16	1.45	1.57
FeO	5.95	4.40	0.88	1.78
MnO	0.13	0.13	0.08	0.12
MgO	7.51	4.17	0.38	0.88
CaO	10.99	6.74	1.20	1.99
Na ₂ O	2.55	3.39	3.38	3.48
K ₂ O	0.89	2.12	4.46	4.12
H ₂ O	1.45	1.36	1.47	0.84
P ₂ O ₅	0.18	0.25	0.08	0.19

Table 2-9. The composition of water in rocks

암 질	수 질 의 특 성			
	pH	용존 성분농도	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ HCO ₃ ⁻	SiO ₂ 농도
화강암 유문암	6.3~7.9	낮다	Na ⁺ , HCO ₃ ⁻	중간~높다
반려암 현무암	6.7~8.5	중간	Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻	높다
사암	5.6~9.2	높다	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ HCO ₃ ⁻	낮다~중간
실트암 점토암	4.0~8.6	높다	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ HCO ₃ ⁻ SO ₄ ²⁻	낮다~중간
석회암	5.0~8.1	낮다~중간	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , HCO ₃ ⁻	낮다
관암, 편암 편마암	5.0~8.1		Ca ²⁺ , Na ⁺ HCO ₃ ⁻	낮다

Table 2-10. The source of heavy metals

항목	한국기준 (mg/l)	WHO 권고기준	발생원
Zn	1.0	3.0	-지구표면에 가장 흔한원소 -페인트, 고무, 목재, 방부제 제조공장등의 산업장에서 발생 -채광, 강철생산, 석탄연소, 쓰레기 소각등으로 발생하고 토양에 침전되어 아연화합물로 이루어져 지하수로 유입됨
F	1.5	1.5	-암석으로부터 토양이나 물속으로 침식 -철강, 화학제품, 세라믹제품, 윤활유, 염료, 살충제 공장 등 -토양중의 무기물질과 반응하여 불소화합물 형성 -화산이나 공장으로부터 인근 수질, 토양, 식물물로 부터 반입
Pb	0.05	0.05	-납광산, 납제련, 납관 파이프작업장, 페인트 도장장, 축전지제조, 유리제조공장, 도자기 제조공장 등
Cd	0.01	0.01	-지각구성 천연 광물질 -다른 원소(O,Cl,S 등)와 화합물형태로 존재 -산업용 금속코팅, 플라스틱 생산, 전지 생산공장, 금속 용접, 도시쓰레기, 화석연료 연소장
Mn	0.3	0.1	-주로 망간은 지질에 기인하며, 수중의 망간은 이온이나 콜로이드의 부식질등의 유기물질과 결합하거나 규산에 흡착 하여 존재 -철이나 망간은 대부분의 토양속에서 상당량이 불용성의 형태로 존재하고 혐기성 상태에서 Mn^{4+} 가 Mn^{2+} 로 환원된 상태로 존재함
Fe	0.3	0.3	-지각내 4번째로 풍부한 원소, 지표수, 지하수에 함유되어 수중의 형태는 주로 Fe^{2+} , Fe^{3+} 으로 존재
Cu	0.3	1.0	-화성암 속에 많이 존재하는 황동광, 남동광등에서 화합물 형태로 산출 -오염원의 노출로는 광산폐수, 산업폐수를 들 수 있다

Table 2-11. The distribution of rocks by regional groups

암 석 종 류	분 포 지 역
안산암질화산각력암	-구덕산, 고원견산, 승학산, 천마산 및 신평동의 넓은 지역에 대규모로 분포 -남구 문현동, 우암동, 용호동, 해운대구 우산일대
안산암류	-남구 금련산일대, 용호동지역 -서구 송도및 사하구 괴정동, 다대포 -기장군 철마면, 정관, 장안면 일부지역 -부산진구, 동래구 일부
암회색응회질퇴적암	-남구 대연동 일대, 영도구 태종대, 사상구 엄궁동 부근
유문석영안산암질화산각력암	-영도구, 해운대 중동 근처
유문암질암	-수영구 민락동, 해운대구 우동, 중동 부근, 재송동 부근, 좌동 서북측 일대
유문암질응회암	-금정산 부근의 산정부, 좌동 서측
각섬석화강편마암	-남구 감만동, 구수영공항 좌측
흑운모화강암	-동구 수정동 수정산 일대

2.6 지표피복인자

2.6.1 토양 및 식생

토양 및 식생의 분포는 강우에 따른 유출분석 및 지하수의 함양 분석에 있어 중요한 인자이다. 토양분포 현황조사는 농촌진흥청 식물환경 연구소에서 발간한 개략 토양도를 이용하고, 미국농무성 토양보존국(SCS)에서 개발한 토양침투능을 기준으로 분류하면 아래 표 2-12와 같다.

임의구역의 토양특성은 강우로 인한 유출과정에 직접적인 영향을 미친다, 즉 토양의 성질에 따라 침투능이 상이함으로 총 우량중 직접 유출로 유하 하는 유효유

량의 크기도 다를 수 있다. 그런데 토양의 성질을 양적으로 표시하기란 힘든 일이므로 SCS는 토양의 침투능을 기준으로 다음 표와 같이 4개의 토양군으로 분류하였다. 토양의 침투능은 표 2-12에서 알 수 있는 바와 같이 A, B, C, D순이며 유출율은 이의 역순이다.

부산시를 위의 분류를 기준으로 살펴보면 대체적으로 배수가 양호한 토양군 A가 전체적으로 분포되어 있으며, 낙동강과 서낙동강 유역에서는 배수가 대체로 불량한 토양군 C가, 수영강 유역과 좌광천 유역에는 배수가 대체로 양호한 토양군 B가 분포되며, 배수가 대단히 불량한 토양군

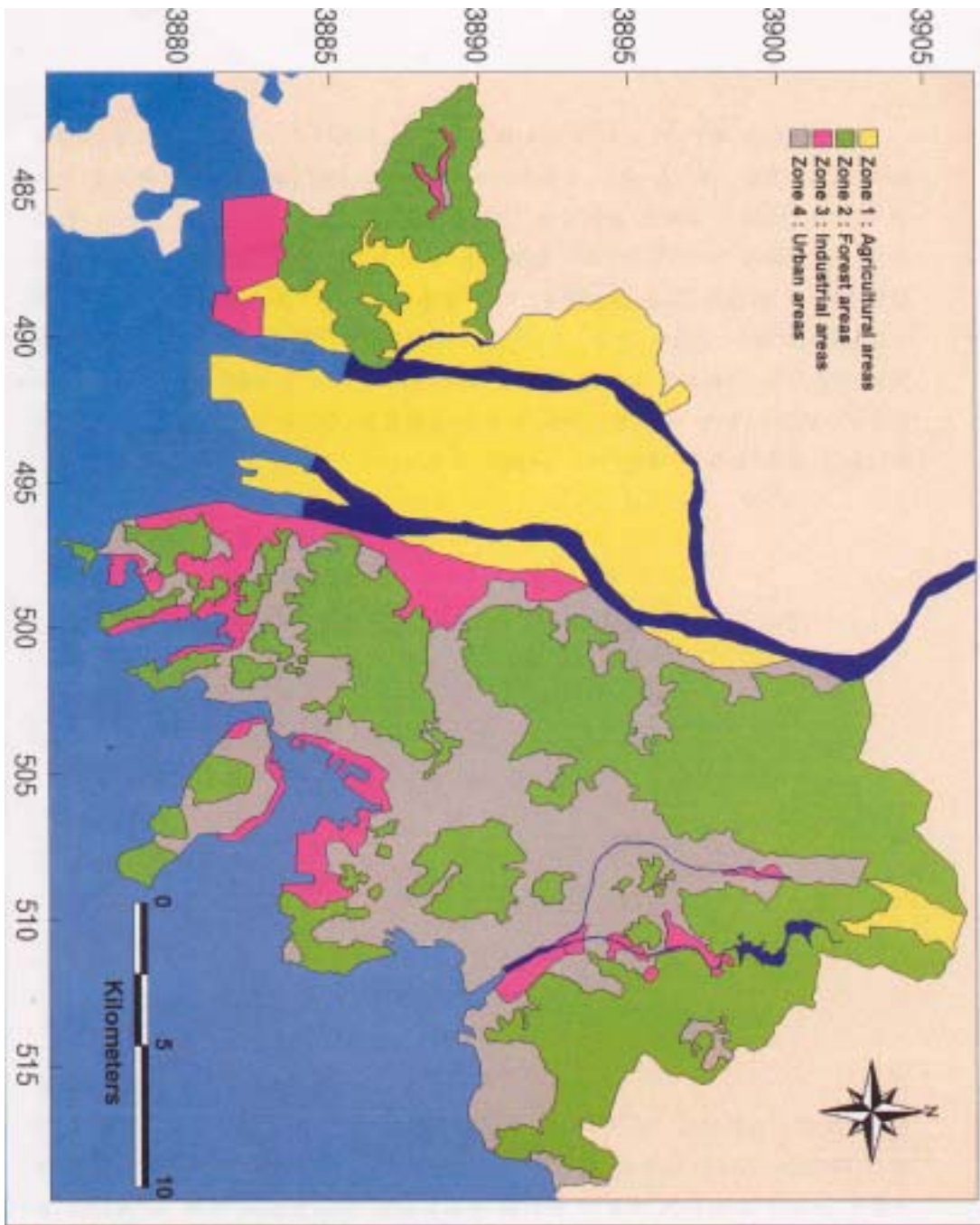


Fig. 2-4. The map of land in Busan Area.

Table 2-12. The classification of soil

토양군	토양의 성질
A	침투율이 대단히 크며 자갈이 있는 부양질, 배수 매우 양호 낮은 유출율(Low runoff potential)
B	침투율이 대체로 크고 자갈이 섞인 사질토, 배수대체 양호
C	침투율이 대체로 작고, 대체로 세사질토양층, 배수대체 불량
D	침투율이 대단히 작고, 점토질 종류의 토양으로 거의 불투성 배수 대단히 불량, 높은 유출율(High runoff potential)

D는 부산전역에 걸쳐 소규모로 분산되어 위치한다.

2.6.2 식생

부산시의 임야면적은 36,874ha이며, 침엽수와 혼효림이 약 78%를 점유하고 있다.

2.6.3 토지이용 현황

부산시는 전체면적 761.97km²중 경작지가 122.93km²(16.20%), 임야 367.30km²(48.39%), 하천 43.06km²(5.67%), 공장용지, 도로 및 기타 228.68km²(27.74%)로서 임야가 대부분의 면적을 차지하고 있다. 구별 분포를 살펴보면 서구, 북구, 해운대구, 금정구, 기장군의 경우 임야가 전체 면적의 50% 이상을 차지한다. 강서구, 중구와 동구를 제외한 모든 구와 군에서 임야의 면적이 가장 높은 비율을 차지한다. 강서구의 경우는 40.2%의 면적을 경작지가 차지하고 있으며, 중구와 동구의 경우는 대지가 각 54.3%, 38.0%의 분포비율을 나타내고 있다.⁶⁾

3. 연구방법

최근 5년간 보건환경연구원에 의뢰된 민방위비상급수 성적서 15,000건을 입력한 후 입력된 Data분석을 통해 지역별 지하수 특이성을 도출해 내고 지질특성과 각 지역별 수질 특성과의 관계를 조사하였다. 미생물검사 항목은 지질특성 및 지역적인 특성과 무관하고 지하수의 관리차원에서 다루어 져야 할 항목이므로 이화학적인 항목을 대상으로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 항목별 결과 및 고찰

4.1.1 pH(Power of Hydrogen ion)

pH는 사용자에게 직접적으로 영향을 주지 않는 것이 보통이지만, 가장 중요하고 조작이 가능한 수질중의 하나이다. 정화와

소독을 충분히 하기 위해서는 물처리의 모든 단계에서 pH제어를 주의 깊게 하는 것이 필요하다. 효율적인 염소 소독을 위해서 pH는 8미만이 되는것이 바람직 하며 배수시스템 안의 pH는 배수 본관이나 가정용 배관의 부식을 최소화 하기 위하여 조절되어야만 한다. 이것이 잘되지 않으면 음용수는 오염되고 맛, 냄새나 외관에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 요구되는 최적 pH의 범위는 물의 조성이나 배수시스템에서 사용된 건설자재의 성질에 따라 다르지만 통상 6.5~9.5이다. 화학물질의 유출, 처리중의 사고, 양생이 충분하지 않은 mortar lining관에 의해 극단적인 pH가 발생할 수 있다. pH의 건강에 대한 가이드라인 값은 권고되지 않았다.

연제구 B대학에서 8.7~9.6으로 수회 부적합이 나타났는데 이 지역은 화강섬록암 지질로 주거지역이며 폐수에 의한 오염가능성이 희박한 관계로 지질적인 영향이 큰 것으로 판단되며 나머지 지역에서 pH가 기준을 초과하여 나타난 곳은 없었다.

4.1.2 질산성질소

질산염은 자연상태에서 존재하는 이온이며, 질소순환의 일부를 형성하고 있으며, 표류수와 지하수에서 자연적으로 발생하는 질산염의 농도는 일반적으로 1ℓ 당 몇mg이다. 나라에 따라서는 인구의 10%가 질산염농도 50mg/ℓ 이상의 음용수에 폭로되는 경우도 있다. 실험에 의하면 질산염

과 아질산염은 동물에 직접적인 발암물질로 작용하지 않는다고 알려져 있다. 그러나 N-nitroso화합물(대부분은 동물에 대하여 발암성을 갖고 있다)의 내인적 또는 외인적인 생성으로 부터 사람에게 대한 암의 위험성을 증가시킨다는 것에 대한 약간의 우려가 있다. 음식물 내의 질산염과 암사이의 관계에 대한 역학적인 증거는 불충분하며, 음용수에서 지침값도 단지 청색증을 막기 위하여 설정한 것이다. 생후 3개월 이내의 인공영양을 받는 유아가 가장 영향을 받기 쉽지만, 성인이 영향을 받았다는 보고도 가끔 있다. 광범위한 역학적 데이터는 질산성질소의 농도가 10mg/ℓ라는 현재의 지침값을 지지하고 있으나 이 값은 질산성질소를 기준으로 표현되는 것이 아니라, 건강을 고려한 화학적 실체가 되는 질산염 그 자체를 기준으로 표현되어야 한다. 이때 질산염에 대한 지침값은 50mg/ℓ이다.

전 지역에서 미생물을 제외하면 가장 높은 부적합 빈도를 유발하고 있는 물질이며 특히 인구 밀집 지역이고 고지대인 곳에서 부적합 빈도가 높게 나타나, 동구와 부산진구에서 가장 부적합률이 높은 것으로 조사되었다. 지하수 개발시 그라우팅 및 시설물 설치시 오염원 차단에 신경을 쓴다면 질산성질소로 인한 오염 정도를 줄일 수 있을 것이다. 각 구별 질산성질소 부적합률은 그림4-1과 같다.

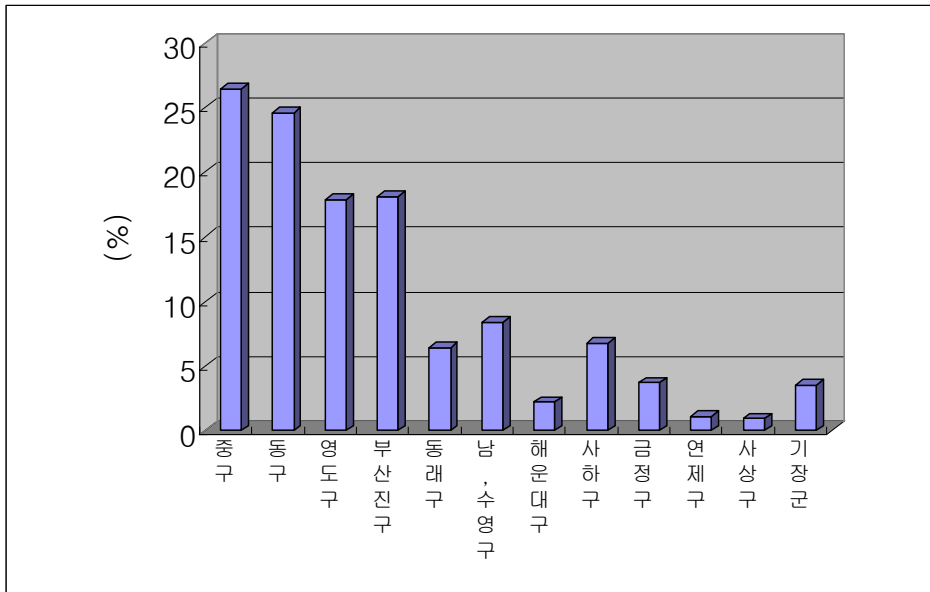


Fig. 4-1. The rate of incongruity of NO₃-N.

4.1.3 중금속류

지하수 오염 후 주민들이 나타내는 반응은 건강에 대한 영향이고, 그 중에서도 발암성의 유무는 가장 우려되는 부분이다. 먹는물수질검사 항목중의 중금속류는 Hg, Cu, Pb, Zn, Cr⁶⁺, Mn, Fe, Cd, As, Al 등이 있으며 오염되어 있지 않은 일반 지하수 중의 카드뎀은 7.0μg/l 이하, 크롬 1.0μg/l 이하, 구리 10.0μg/l 이하, 수은 0.03μg/l 이하, 납 10.0μg/l 이하, 아연 10.0μg/l 이하로 나타나고 있다.⁸⁾

부산진구, 연제구, 남구, 수영구, 동래구, 해운대구, 영도구, 금정구, 사하구, 사상구, 중구, 동구, 기장군 등 13개구에 대한 조사결과 조사 지질에서 아연, 망간, 비소, 알루미늄, 철외의 중금속류는 부적합을 나

타낸 지역이 없었다.

부산시의 해운대구는 응회암질(Tuffs)과 안산암질류(Andesitics), 유문암질암(Rhyolitic rocks)이 깊게는 지하 300m까지 분포되어 있으며, 안산암질류는 남구 금련산 일대 및 용호동지역, 서구 송도, 사하구 괴정동, 다대포 일대에도 넓게 분포되어 있고, 영도구 지역은 유문석영안산암질화산각력암, 안산암질화산각력암, 암회색응회질퇴적암이 각각의 층으로 전체 깊이 500m이상을 형성하고 있다. 안산암질류가 주로 분포하고 있는 부산진구지역은 지질로 인한 중금속류가 대수층 수질에 미치는 영향이 낮은 것으로 조사 되었다.⁹⁾¹⁰⁾

4.1.3.1 아연(Zn)

아연은 염 또는 유기 착화합물의 형태로,

거의 대부분의 음식과 음용수에 존재하는 필수 미량원소이다. 아연의 주요 섭취원은 보통 음식물이며 표류수나 지하수에서 농도는 보통 각각, 0.01, 0.05mg/l를 초과하지 않지만, 수돗물에서의 농도는 배관에서 아연의 용출이 원인이 되어 높을 수도 있다. 성인 남성이 하루에 필요로 하는 양은 15~20mg이다. 사람에게 관한 최근의 연구 결과를 고려하면 건강의 관점에서의 지침 값은 현재로서는 필요하지 않다는 결론을 내렸다. 아연은 물에 텁은 맛을 주며 실험에 의하면 맛의 임계 농도는 (황산아연으로서) 4mg/l이다. 5mg/l 이상의 아연을 포함한 물은 우유와 같은 하얀색이 되고 가열하면 기름 모양의 피막을 만들 수 있다. 이러한 문제는 3mg/l 정도의 농도에서도 나타날 수 있다. 음용수에서는 아연의 농

도가 0.1mg/l를 넘는 경우가 거의 없지만 실내 배관 자재를 사용한 수도꼭지에서 나온 물은 아연에 의해 매우 높은 농도로 나타날 수도 있다. 아연이 건강에 미치는 가이드라인 값은 권고되지 않았다.

자연수 중에는 0.01mg/l 이하로 존재하고 있으며, 낮은 pH 상태에서 납과 철의 황화물과 함께 주로 광석중에 황화아연(ZnS)의 형태로 존재하는 것으로 알려지고 있다.

부산진구 양정동, 부암동, 가야와 금정구 구서동, 노포동, 두구동 일대에서 기준치를 넘는 아연이 검출되었으며, 사하구 괴정1동과 당리동 일대의 아파트 단지에서는 기준을 3~4배 초과하여 검출되었다. 연제구 연산4, 5동 거제동 일대와 기장군 기장읍, 장안읍 일대에서도 높게 검출되

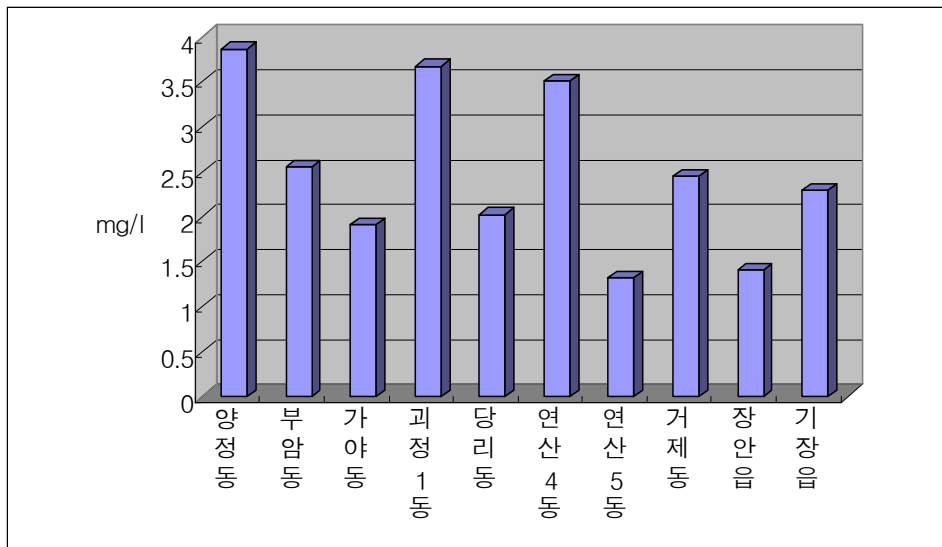


Fig. 4-2. The incongruent concentration of Zn.

었다.

이 지역의 지질은 안산암류가 주종을 이루고 있어 그 원인을 지질에서 기인된 것으로 추정할 수 있다. 아연의 주요 부적합 지역은 그림 4-2와 같다.

4.1.3.2 망간(Mn)

망간은 필수미량원소이며 영양학적으로 하루에 필요한 양은 체중 1kg당 30~50 μ g으로 추정되며, 흡수율은 실제의 섭취량, 화학적 형태, 음식물에서 철과 구리와 같은 다른 금속의 존재여부에 따라 다양하며, 성인은 하루에 2~9mg의 망간을 음식물로 부터 섭취한다. 산소가 적은 지하수와 표류수에 용해되어 있는 망간의 농도는 1 ℓ 당 수mg에 달하며 음용수중의 망간을 소비하는 것과 연관되어 사람에게 대한 독성의 확실한 증거는 없다.

산소와 접하면 망간은 불용성 산화물을 만드는데, 이것이 배수 시스템에 있어서 바람직하지 않은 침착물을 생성하고 색 문제를 일으키기도 한다. 지역에 따라 다르지만 0.1mg/ ℓ 이하의 망간은 통상적으로 사용자에게 허용되며, 0.1mg/ ℓ 가 넘는 농도에서 수중의 망간은 위생도기나 세탁물을 더럽히며, 마시는 음료에 불쾌한 맛을 준다. 음용수 안에 망간이 있으면 철의 경우와 같이 배수 시스템안에 침전물의 퇴적을 일으킨다. 0.02mg/ ℓ 의 망간농도에서도 관 내부에 피막을 형성하고, 흑색 침전물이 되어 떨어져 나가기도 한다. 그외에 어떤 종류의 생물은 망간을 농축시켜 급수된 물에서 맛, 냄새와 탁도의 문제를 일

키게 된다. 지역에 따라 다르지만 0.1mg/ ℓ 이하라면 통상적으로 사용자에게 허용되며 잠정적인 망간의 건강에 미치는 가이드라인 값은 심미학적인 허용한도인 0.5 mg/ ℓ 이다.

안산암질류와 암회색응회질퇴적암을 구성하고 있는 원소 중에는 산화망간(MnO)이 0.03~1.15%까지를 포함하고 있다.¹¹⁾ 따라서 주로 지질에서 기인하며 토양속의 망간은 불용성의 이산화망간으로 존재하는데, 혐기성 상태에서 Mn⁴⁺이 Mn²⁺로 환원되어 쉽게 용해가 된다. 수중의 망간은 이온이나 콜로이드의 부식질 등 유기물질과 결합하거나 규산에 흡착하여 존재하게 된다.

부산진구 초읍동에서 기준치를 초과 하였으며, 연제구 연산동 S아파트, G아파트에서 철과 색도가 동시에 초과 검출되었으며 남구 대연 4, 6동과 용호 2동, 수영구 광안1동에서 기준치를 초과하여 검출되었다. 동래구 안락1동, 명장1, 2동 온천 2동, 해운대구 반송2동 G3차 아파트에서 초과 검출되었다. 영도구 남항동의 G초등학교와 금정구 장전동, 부곡동 일대에서 지속적으로 검출되고 있다.

이들 망간이 검출된 지역의 지질을 살펴 보면 부산진구, 연제구, 남구 및 수영구 지역은 안산암 지질로 형성되어 있고 수영구 일부는 암회색응회질퇴적암이 분포하고 있으며, 해운대지역은 응회암질지질로 구성되어 있다. 따라서 이들암질의 영향으로 기인된 것으로 추정할 수 있다. 망간의

주요 부적합 지역은 그림 4-3과 같다.

4.1.3.3 비소(As)

비소는 독성이 매우 강하며 생체에서 효소의 기능을 방해 하는데, 예로부터 주로 살충제 원료 및 기생충약 또는 극독물로 사용되어 왔다. 체내 암과 음용수 속의 비소 섭취와의 관계에 대한 데이터는 위험도를 정량적으로 평가하기에 불충분하나 사람에게 대한 음용수속의 비소가 발암성이 있다는 보고때문에 평생동안의 피부암에 대한 위험도는 다단계 모델을 사용하여 추정되었다. 오염된 음용수를 섭취하고 있는 모집단의 관찰결과를 바탕으로 피부암을 일으키는 충분한 수명기간 동안의 위험도를 10^{-5} 로 한 농도는 $0.17\mu\text{g}/\ell$ 로 산출되었다. 그러나 이 값은 모집단의 질병 발생에 기여하는 다른 요인이나 고려하지

못했던 대사에서의 양에 따른 변화때문에 피부암 발생 위험도를 과다하게 추정한 것이 수 있으며, 이값은 실제 정량한계인 $10\mu\text{g}/\ell$ 보다도 낮은 값이다. 음용수에서 발암성오염물의 농도를 줄이기 위한 비소의 잠정적인 지침값은 $10\mu\text{g}/\ell$ 이며, 이 농도에서의 노출에 관련된 평생동안의 피부암 위험도의 증가는 6×10^{-4} 이다. 비소의 지각 평균치는 $1.5 \sim 2.0\text{mg}/\ell$ 이며 다양한 환경과 암석에서 다양한 비율로 존재한다. 심지어 비소는 인체에 필수 미량 성분으로서 $0.25\text{mg}/\ell$ 존재하며 인체의 모발에는 이보다 높은 $1\text{mg}/\ell$ 이 존재한다. 비소를 함유하는 광물들은 암석에서 대부분 미량 광물로서 산출된다.¹²⁾

대표적인 비소광물들을 보면 유비철석(arsenopyrite, FeAsS), orpiment(As_2S_3), realgar(AsS), enargite(Cu_3AsS_4), coal,

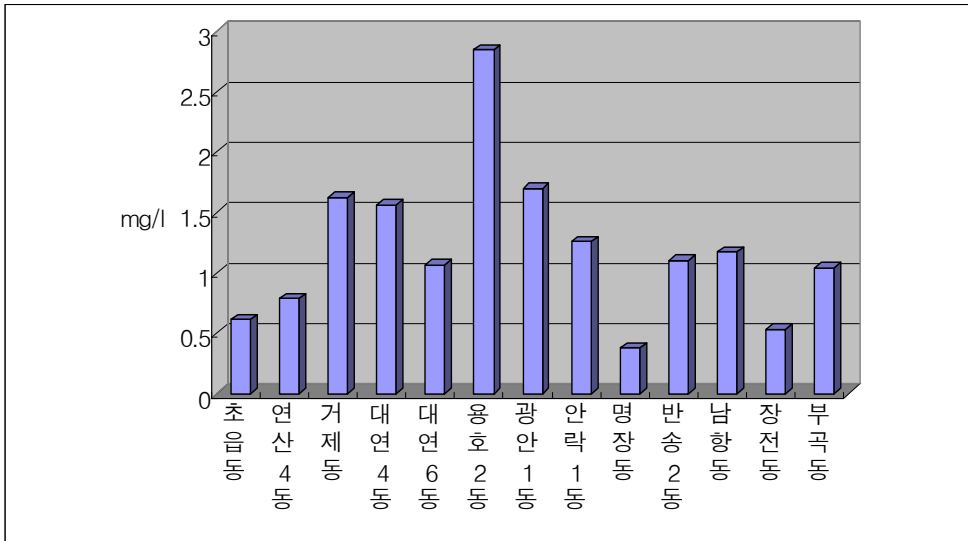


Fig. 4-3. The incongruent concentration of Mn.

Phosphorite 등이다. 또한 황철석을 비롯한 황화물에 고용체로서 소량 치환하여 존재한다. 현재 비소가 함유되는 광물은 국제광물협회(IMA)가 공인한 경우만 보더라도 약 470종에 달한다.

대부분 자연상태에서 친동원소(Chalcophile element)인 비소는 유비철석(Arsenopyrite: FeAsS)과 같은 황화광물 내에서 황과 함께 존재한다. 특히 비소는 휘수연석, 황동석, 적철석, 코발트석, 니켈석, 석영, 형석, 황철석 등에 부속광물로 존재하거나 접촉변성대, 광염대 및 화강암중의 석영맥에 흔히 존재한다. 또한 광석의 제련시 부산물로 생기는데 회수는 가능하나 처리가 곤란한 불순광물로 알려져 있다.

물에서 비소는 arsenite($H_nAsO_3^{3-n}$), arsenate($H_nAsO_4^{3-n}$)의 oxyanion으로 존재한

다. 비소는 환원 환경하에서 황화물의 존재시에 orpiment, realgar, arsenopyrite 등의 광물로서 침전하기 때문에 그 유동성은 감소한다. 특히 산화 환경인 물에서도 비소가 존재하는 경우는 황화광물이 산출되는 경우에 해당된다. 비소는 산성의 물에서는 $HAsS_2$ 로 존재하나 일반 물에서는 흔히 수산화철($Fe(OH)_3$)에 흡착되거나 이것과 함께 공침하며, 매우 낮은 pH가 아니라면 $Al(OH)_3$ 에도 쉽게 흡착된다. 따라서 수산화철이나 수산화알루미늄이 존재하는 경우에는 지하수내의 비소의 함량은 다소 감소하게 된다. 비소의 흡착 특성을 보면 arsenate형(+5가)이 arsenite(+3가)보다 강하게 흡착된다. 비소의 용탈정도는 중성의 pH에서 가장 낮으며, 산성과 알칼리 수성 환경에서 상승한다.⁶⁾

Table 4-1. The average concentration of Arsenic

종류	평균함량	종류	평균함량
해수	1.5 ppb	유문암	3.2~5.4 ppm
담수	1~10 ppb	규암	2.2~7.6 ppm
오염된물	10~1000 ppb	슬레이트/천매암	0.5~143 ppm
토양	1~10 ppm	편암/편마암	0~18.5 ppm
오염토양	~200 ppm	탄산염암	0.1~20 ppm
화강암	0.18~15 ppm	인산염암	0.4~188 ppm
반려암	0.06~28 ppm	석회암	1.0 ppm
초염기성암	0.3~15.8 ppm	사암	1.0 ppm
섬록암	0.09~13.4 ppm	세일(육성)	3.0~12 ppm
안산암	0.5~5.8 ppm	세일(해성)	3.0~490 ppm
현무암	0.18~113 ppm	지각평균	1.5 ppm

비소는 대연동 일대에서 기준치를 초과하였으며, 황령산, 금련산일대 약수터에 대한 비소 부적합이 빈번한 관계로 참고 자료를 인용 그 지역 지질에 대한 상세한 파악을 표 4-2에 나타내었다.

참고자료에 의하면 비소의 함량을 알아보기 위해 ICP-ASE 와 ICP-MS분석을 실시한 결과 시료 1, 2, 4에서 미량 비소가 검출되었으며 특히 금성교통 택시차고 부근에서 채취한 시료 3은 42ppb의 비소가 검출되었다. 또한 비소와 공생 관계에 있는 철과 황성분등도 함께 분석 되었는데 4개의 시료 모두에서 검출 되었으며, 특히

시료 3에서의 철의 함량이 4.62%로 높은 데 이에 따라 비소의 함량도 가장 높았다. 따라서 이 지역은 철의 함량이 높을 수록 비소의 함량이 높을 수 있으며 이는 화산암들의 형성 후 2차적으로 광염된 유기광물들과 함께 비소가 생성되었을 가능성을 암시해 주고 있다.

상기 자료에 의하면 부산 남구 황령산, 금련산 일대의 지하수내 비소 함유는 이 지역에 분포하는 암석의 구성 광물과 관련이 있는 것으로 판단되며, 이지역의 지하수는 암석내의 비등방성인 절리들을 통해 유동하며 이 암석들에는 비소가 광범

Table 4-2. The geological features and analytical result of rocks in Mt. Hwangryung and Mt. Geumryun

채 취 지 역	구 성 지 질	Fe(%)	S(%)	As (mg/l)
1. 황령산 정상부	-옹회암지질 -주구성광물: 석영, 사장석(알바이트) 정장석 -백운모, 흑운모, 세니딘, 녹니석으로 구성	1.93	0.05	< 1
2. 황령산중턱 (체력단련장 주변)	-휘석안산암 -주구성광물: 사장석(알바이트), 휘석, 녹니석 미사장석 -휘석이 부분적으로 녹니석화 되어있음	4.34	0.08	< 1
3. 황령산터널 부근 (금성교통 택시차고 옆)	-옹회암질안산암 -주구성광물: 사장석(알바이트), 운모류 세니딘 -녹니석, 석영, 백운모로 구성	4.65	0.04	5.0
4. 황령산터널 서남쪽 (실내골프연습장부근)	-휘석안산암 -주구성광물: 사장석(알바이트), 정장석 -휘석, 녹니석, 세니딘으로 구성	4.59	0.04	< 1

※분석자 : 한국자원연구소

위하게 함유되어 있을 것으로 보이기 때문에 상기 암석 분포지역 내에서는 음용을 위한 지하수 개발은 삼가해야 될 것으로 본다.

4.1.3.4 철(Iron)

철은 지각에서 가장 풍부하게 존재하는 금속중의 하나이다. 자연상의 담수에서는 0.5~50mg/l 정도의 농도로 존재한다. 응집제로서 사용되었을 때 또는 배수계통에서 강관과 주철관의 부식의 결과로 음용수 내에 존재할 수도 있다. 철은 사람의 영양에 있어서 필수 원소이며 하루에 최소한으로 필요한 철의 산출량은 연령, 성별, 생리학적인 상태, 생화학적인 유기작용량 등에 의해 결정되며 그 값은 1일당 10~50mg의 범위에 있다. 음용수내의 철에 대한 건강관점에서의 지침값은 나타나 있지 않다.

지표수, 지하수에 함유되어 수중의 형태는 주로 Fe^{2+} , Fe^{3+} 로 존재하게 된다. 혐기성 상태의 지하수에서는 2가철을 다량 함유하며 채수 후 처음에는 무색 투명하지만, 장시간 공기중에 방치하면 산소와 반응하여 색이 불투명 해지다가 용기 바닥에 적갈색의 3가철을 침전시킨다. 이는 세탁물을 얼룩지게 하며, 우물의 스크린과 파이프에 피각 현상과 공매현상(plugging)을 일으킨다.

안산암지질인 연제구 연산동 일대에서 아연 망간과 함께 기준치 이상으로 검출되어 색도를 유발하였으며 기타 지역에서는 별다른 특이점이 나타나지 않았다.

4.1.4 경도

경도는 Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{2+} 등의 2가 양이온량을 탄산칼슘농도로 환산하여 표시한 것이며, OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} 등과 결합되어 발생하는 일시경도와 SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- 등과 결합한 영구경도로 나누며, 방해석, 석고 등의 광물질에 많이 포함되어 있는 토양이나 암질로 부터 방출된다. 경도가 높은 물을 식수로 사용할 때 설사 등의 소화불량을 초래하기도 하며, 특히 300mg/l 이상의 고경수의 물은 급수계통에 물때(scale)형성과 세탁 불량을 초래한다. 음용수의 경도와 심장혈관의 질환 사이에 통계적으로 상당한 반비례관계가 있다는 것이 많은 생태학적 또는 분석 역학적 연구에 의해 나타나 있지만, 이용가능한 자료를 보면 그 관계가 우연이라고 결론 짓기에는 불충분하다. 경도가 매우 낮은 연수는 광물질평형에 나쁜 영향을 미칠지도 모른다는 지적이 일부 있지만, 그것을 검토하기 위한 상세한 연구는 없었다. 경도에 대한 건강 관점에서의 지침값은 제안되지 않았다.

안산암지질인 부산진구 전포동, 당감동 지역에서 305~1120mg/l 검출되었으며, 암회색응회질퇴적암과 안산암 지질인 남구대연4동, 문현1, 2동과 수영구 남천1동에서도 기준치를 초과하여 검출되었으며 해안 인접지역인 영도구 남항동과 신선3동 영선2동, 중구 부평동, 남포동, 동구 수정동 일부지역 그리고 사하구 장림1동에서도 300mg/l 이상의 경도가 검출되었다. 기

타 지역에서는 기준치 이내의 정도가 검출되었다.

4.1.5 염소이온

염소이온은 수중에 용존하고 있는 염화물 중에 함유된 염소를 말하며, 자연상에 널리 분포되어 있다. 음이온으로 양이온과 결합하여 세포외액의 삼투작용을 하며, 수중 침투 경로는 해수, 지질의 영향, 산업장 폐수 유입 등을 들 수 있고, 음용수에서 규제하는 이유는 물에서 느낄 수 있는 맛 때문이며, 건강영향의 관점에서의 권고치가 제안되어 있지 않다. 예민한 사람인 경우 역치는 200mg/l 정도로 알려지고 있다.

국외에서는 1970년대부터 염수(Brine)와 천수(Meteoric water)간의 혼합작용과 관련하여 안정동위원소 분별작용에 대한 연구가 수행되어 왔으며 천부지하수의 수소 및 산소 안정동위원소 값과 염도 및 총용존고형물질량 사이에 정량적인 상관성을 밝히고, 해수의 침투 및 경로를 추적하기 위하여 안정동위원소 연구를 수행한 바 있다. 연구결과는 지하수의 염도화 과정이 수소(δD) 및 산소($\delta^{18}O$) 안정동위원소에 의해 명확히 설명될 수 있음을 입증하였다.

부산시 지하수 시료에 대한 δD 및 $\delta^{18}O$ 값의 범위는 각각 -61~-44‰(평균 -50‰±3.1)과 -8.6~6.4‰(평균 -7.5‰±0.4)로써 매우 넓다³⁾.

조사결과 대부분 지역에서 먹는물 수질 기준 250mg/l 을 만족하였으나 영도구 남향동의 D초등학교, 신선3동, 영선2동에서

1000mg/l 이상의 염소이온이 검출되었으며 중구 부평동일대에서도 고농도의 염소이온이 검출되었다. 이 지역에서의 검출은 지질적인 영향보다는 해수의 영향이 크게 작용한 것으로 사료된다.

4.1.6 탁도, 색도

음용수 안의 탁도는 부적합한 처리나 배수시스템 안의 퇴적물의 재부상에 의해 생기는 물속의 입자상 물질에 의해 발생한다. 어떤 지하수에서는 무기물질의 입자상 물질이 있음으로써 발생하기도 한다. 탁도가 높으면 미생물에 대한 소독의 효과를 방해하여 세균의 번식을 촉진할 수 있다. 따라서 물을 소독하는 모든 경우에 소독이 효과를 발휘하기 위하여 탁도를 낮게 하지 않으면 안된다. 지역의 상황에 따라 다르지만 탁도 5NTU이하의 물은 외관상 사용자에게 거부감을 주지는 않으나, 그것이 미생물에 미치는 영향 때문에 가능한 한 낮게 유지하는 것이 좋다. 탁도가 건강에 미치는 가이드라인 값은 권고되지 않았다.

음용수의 색도는 보통 부식토와 관련된 착색유기물(주로 humic산이나 fulvic산)이 있음으로써 발생한다. 색도는 자연적인 불순물에 의해 또는 부식에 의해 생성된 철이나 다른 금속의 영향을 강하게 받는다. 공장배수에 의한 수원의 오염에서도 색도가 발생할 수 있으며 이것에 의해 위험한 상황을 가장 먼저 찾아 낼 수 있다. 음용수 안의 색도에 대하여 건강에 미치는 가

이드라인 값은 권고되지 않았다. 조사결과 탁도는 동구, 금정구, 사상구, 기장군일대에서 부적합 빈도가 높게 나타났으며, 연제구에서는 철 검출과 함께 색도가 부적합으로 조사되었다.

4.1.7 트리클로로에틸렌(TCE), 테트라클로로에틸렌(PCE)

TCE, PCE는 물, 에테르에 녹고 기름에 혼화되는 특성을 가지며 인체에 자극성 및 독성이 강하여 장기적으로 노출시 중추신경장애를 일으키는 유해물질이다. 지방, 왁스, 기름, 고무 등 금속부품의 탈지를 위해 사용되며 폐공을 통한 지하유입, 폐수중에서 직접유출, 대기중에서의 물로의 침강 등으로 지하수를 오염시킬 수 있

다. 부산지역에서는 해운대구 반여동 일부 지역과 사상구 학장동, 감전동 일대에서 높게 검출되어 과거 공단지역으로 인한 영향으로 알 수 있다.

4.2 각 구별 특성조사

부산시의 이화학적 항목의 부적합률은 17.4%이고 각구별 부적합률을 보면 동구가 34%가 넘는 부적합률을 보였으며 해운대구, 연제구가 낮은 부적합률을 나타내었다. 각 구별 지질과 주요 검출 항목 및 분포는 그림4-5, 4-6에 나타내었다.

세균학적인 분석의 부적합률을 포함한 추이는 표 4-3과 같다. 세균학적인 부적합이 전체 부적합의 반이상을 차지하는 경향을 전 구에서 보이고 있는데 이는 지하

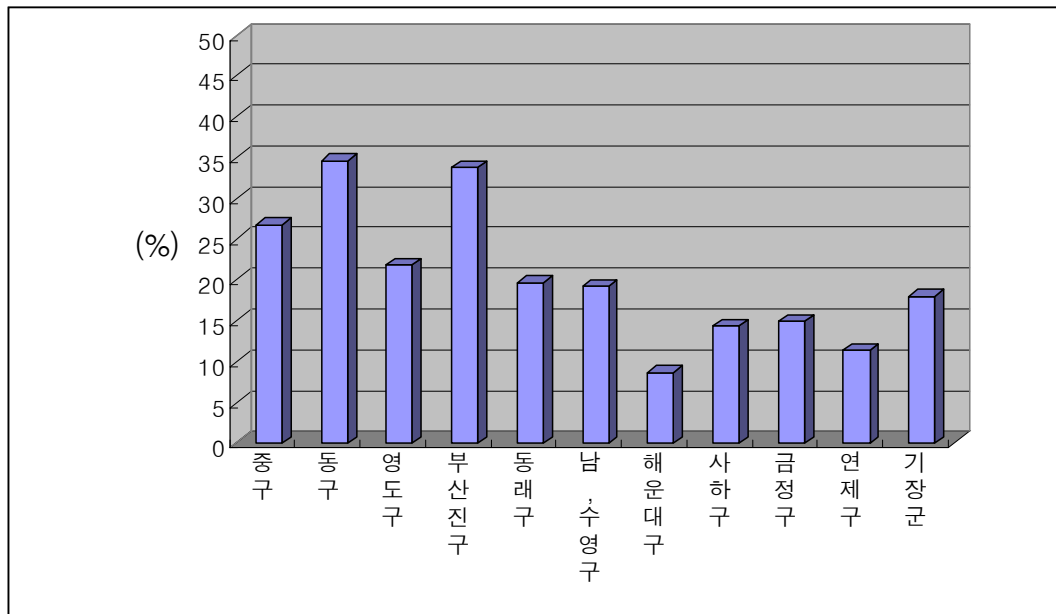


Fig. 4-4. The rate of incongruity by regional groups(chemical analyze)

Table 4-3. The rate of incongruity by the cause of contamination

(unit : %)

구분	중	동	영도	부산진	동래	남, 수영	해운대	사하	금정	연제	사상	기장
A	45.5	53.5	45.9	47.8	43.4	37.2	30.6	45.1	42.7	31.7	25.8	34.5
B	23.2	24.8	25.8	34.4	22.8	11.6	16.6	31.7	40.3	22.3	20.6	14.4
C	1.1	5.0	1.6	2.0	4.7	2.6	1.1	1.5	1.0	0.2	0	3.5
D	26.8	34.6	21.8	33.8	19.7	19.7	8.7	14.4	14.9	11.4	8.5	18.0

※ A : 구별 전체 부적합률
 B : 일반세균, 대장균군 부적합률
 C : 중금속 부적합률(Mn, Zn, Cu, Fe 등)
 D : 이화학적항목 부적합률(질산성질소, 경도, 염소이온, 색도, 탁도, 중금속 등)
 (수질검사시 여러항목이 동시에 부적합인 경우가 많음)



Fig. 4-5. The distribution of important detected items

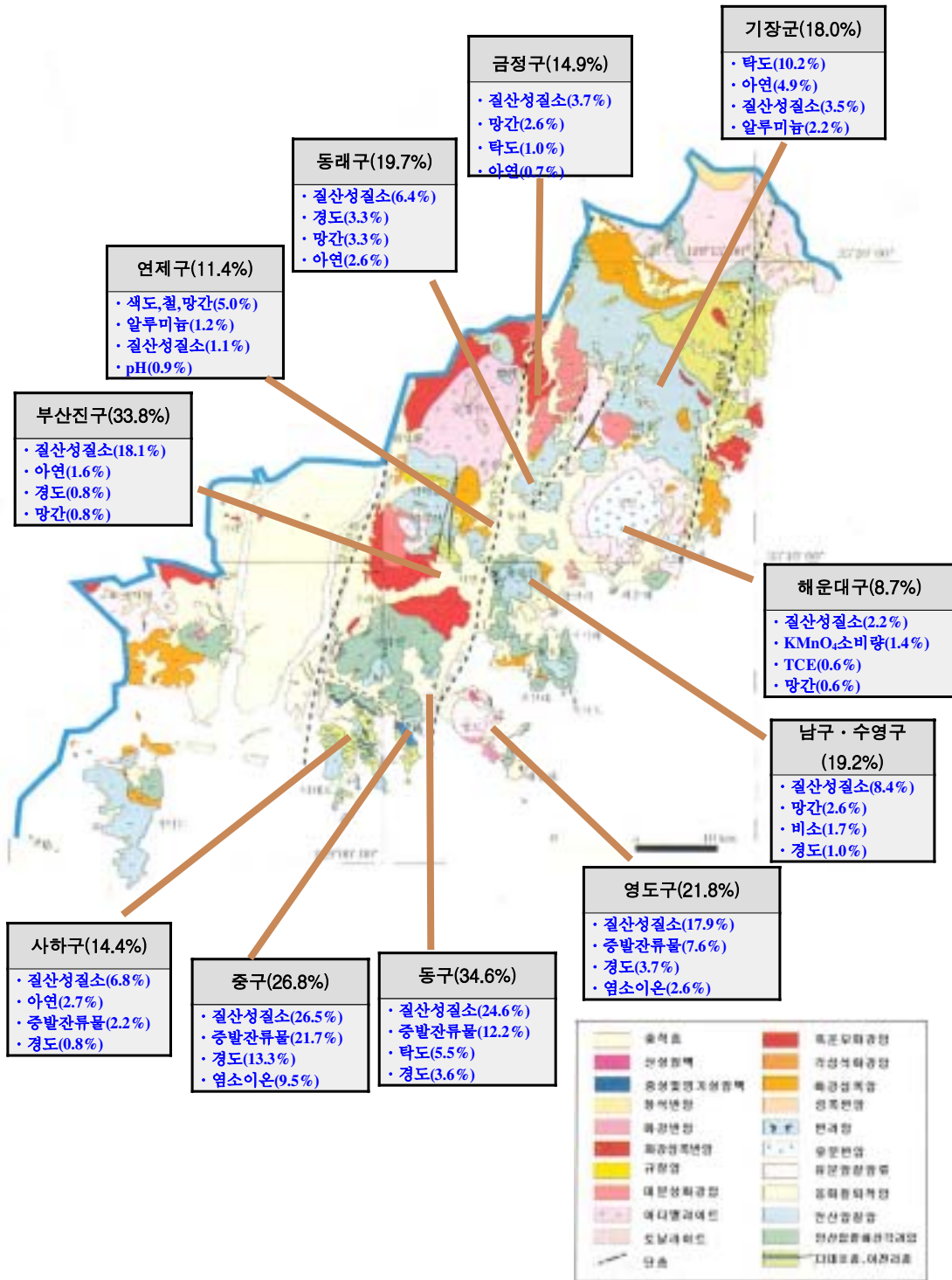


Fig. 4-6. The particulars of incongruity by regional groups.

수의 관리소홀로 발생하는 문제이므로 지하수 관리에 좀더 신중을 기하면 부적합률은 낮아질 것이며, 중금속의 부적합률은 전구에서 아주 낮게 나타났는데 이는 부산지역의 지하수가 지질적인 영향을 크게 받지 않고 있음을 보여준다.

4.2.1 중구

중구는 다른지역과 비교할 때 지하수 개발이 극히 적은 지역으로 대상 시료가 타구에 비해 적었으며 분석 지하수의 약 27%가 부적합으로 나타났다. 질산성질소 항목의 부적합률이 높게 나타났는데 이는 보수동, 대청동 등이 고지대 인구밀집지역으로 오수 및 하수관거등의 시설이 미흡하여 지하수 오염에 영향을 미쳤을 것으로 판단되며, 그 외 증발잔류물, 경도, 염소이온 등의 순으로 부적합이 많이 나왔다. 특히적으로 증발잔류물, 경도, 염소이온 등의 부적합이 높은 것은 중구가 지리적으로 해수의 영향을 받은 것으로 판단된다.

중구 보수동 일대에서 질산성질소의 기준초과가 가장 많이 나타났으며, 이 지역의 지하수 오염 상황이 심각함을 알 수 있다. 또한 부평동, 남포동지역은 지역적인 영향으로 경도, 염소이온, 증발잔류물 등의 기준초과가 많이 나타났다.

4.2.2 동구

동구는 부적합률이 34.6%로 조사대상 지역에서 가장 높은 부적합률을 나타내고 있으며 특히 질산성질소에 의한 오염 빈

도가 타구에 비해 높게 나타나 전형적인 주거지역의 오염 형태를 나타내고 있음을 보여준다. 초량 1, 2, 4동에서 빈번하게 질산성질소 부적합이 나타났으며 특히 초량 4동은 기준치를 2배 이상 초과하는 지역이 넓게 분포되어 있으며, 수정 1, 2, 4, 5동에서도 다량 검출되어 이 일대 지하수의 질산성질소에 의한 오염 정도가 심각한 수준임을 알 수 있다. 수정1, 2, 4동 일부지역의 목욕탕 지하수에서 기준치를 초과 하는 경도가 검출되었고 이로 인해 증발잔류물 부적합 빈도가 동시에 높게 나타나고 있다.

4.2.3 영도구

영도구는 부적합률 21.8%로 부산시 평균부적합률 17.4%보다 높은 수치를 나타내고 있는데 부적합 빈도가 높은 항목의 특이 사항을 보면 다른 지역과 달리 경도, 염소이온, 증발잔류물의 빈도가 높아 지형적으로 해수의 영향으로 기인된 것으로 판단할 수 있다.

동삼1동에서 질산성질소가 초과되었으며, 그 외 동삼 2, 3동, 봉래 3, 4동, 신선 1, 2, 3동, 영선1, 2동, 청학2동 일부에서 질산성질소가 초과되는 것으로 나타났다. 가장 높은 농도는 신선3동 Y중학교에서 5.9mg/l 이 검출된 적이 있다. 증발잔류물은 주로 탄산염, 염화물, 칼슘, 마그네슘, 황산염 등의 이온으로 존재하는 것이며 남향동의 D초등학교와 신선3동지하수, 영선2동의 D맨션에서 지속적으로 증발잔류

물이 나타났는데, 이는 경도와 염소이온에 기인된 것으로 추정되며, 그 외 봉래3동의 C맨션의 경우는 경도에 기인된 것으로 추정된다. 신선2동 새마을금고에서도 지속적으로 증발잔류물이 높게 검출되는 것으로 나타났다. 망간을 살펴보면 영도구의 경우 남항동의 D초등학교에서 지속적으로 검출되는 것으로 나타났다.

4.2.4 부산진구

부산진구의 지하수 부적합률은 부산시 평균 부적합률보다 높은 33.8%로 지하수 오염정도가 심각하다고 할 수 있다. 이는 부산진구가 인구밀집 지역으로 질산성질소의 부적합률이 특히 높게 나타나 전체적 부적합률에 영향을 미친 것으로 생각된다. 각 동별로는 전포동의 B중학교에서 질산성질소가 10.6~13.0mg/l가 검출되었으며, 당감동의 S아파트가 21.9~28.8mg/l 이었으며, 가야동의 G초등학교가 22.2~47.2mg/l로 나타났다. 이들 지점은 검사시마다 부적합으로 나타났는데 이 지점들은 인구밀도가 높은 아파트나 학교지역으로 일정면적에 많은 수의 인구가 밀집되어 살고 있어 분변이나 생활하수가 부실한 하수관거로 유출되어 지하수가 오염된 것으로 판단된다.

양정동, 부암동, 가야동 등 일부지역에서 아연이 1.1~7.7mg/l로 나타났으며 전포동, 당감동 등지에서 경도가 305~1,120 mg/l로 나타났고, 초읍동에서 망간이 0.457~0.614mg/l로 나타났다.

4.2.5 동래구

질산성질소가 온천3동 및 낙민동 일대에서 높게 검출되었으며 특히 N초등학교에서는 기준치를 2배이상 초과하여 초등학교 어린이의 급수원으로 부적합함을 나타내었고, 칠산동 일대 지하수에서도 높은 수치의 질산성질소가 검출되어 주의를 요한다. 망간은 안락1, 명장1·2, 온천2동 지역에서 다른 곳 보다 높게 검출되고 있으며, 경도 성분도 함께 높아 이들 지역은 무기미네랄이 풍부하고, 센물로서 지질의 영향을 많이 받는 특징이 있었다. 특히 경도는 명장1동, 안락1동, 낙민동 지역에서 비교적 높게 검출되었다.

4.2.6 남구, 수영구

질산성질소 검출지역으로는 대연 4, 5동, 감만동, 광안 1, 4동, 민락동에서 주로 높게 검출되며, 특히 감만동의 G여중은 기준치 10mg/l를 3배이상 초과하여 최대 37.8mg/l까지 검출되어 이 지역 일대 지하수의 질산성질소에 의한 오염이 심각한 수준임을 나타내고 있다.

이 지역은 비소의 부적합률이 특히 높은 지역으로 대연 3, 6동, 남천1동에서 주로 음용수 기준(0.050mg/l)을 초과하여 검출되었으며 특히 대연6동에서는 기준치를 2배이상 초과하여 검출되어 이지역의 지하수 음용에 대한 주의가 요구된다. 대연4동, 문현1, 2동 및 남천1동에서 기준치를 초과하는 경도가 검출되어 이 일대 지하수에 다량의 미네랄이 포함되어 있음을

알 수 있는데 이는 지형적으로 해변과 가까운 곳에 위치하여 해수의 영향을 일부 받았음을 예측할 수 있다. 대연4동, 6동 용호2동, 광안1동에서 기준치를 초과하는 망간이 검출되었는데 이는 암반의 영향을 많이 받은 것으로 추정 할 수 있다.

4.2.7 해운대구

해운대구는 부적합률 8.7%로 부산의 다른 지역에 비해 낮은 부적합률을 나타내고 있으며 특히 질산성질소에 의한 오염정도가 타구에 비해 월등히 낮게 조사되었다. 이는 해운대구가 신시가지지를 비롯해 그렇게 오래 되지 않은 최근에 주거지가 조성되면서 하수관거 및 기타시설이 타구에 비해 잘 정비되었기 때문인 것으로 여겨진다.

질산성질소가 초과된 경우는 거의 없으며, 지속적으로 초과되는 곳은 우2동, 중2동에서 일부 기준치를 초과하는 곳이 있었으며 그 외 지역은 다른 지역과 비교해 좋은 수질을 나타내고 있다.

응회암지질의 영향으로 판단되는 망간이 반송2동 G3차 아파트에서 지속적으로 초과하는 것으로 조사되었고, 트리클로로에틸렌(TCE)는 반여1동 H타운에서 초과한 것으로 나타나 이는 주변의 공단지역에서 기인된 것으로 판단되며, 좌동의 부흥중학교의 경우 AI의 값이 변동은 있지만 계속적으로 검출되는 경향을 보였다.

4.2.8 사하구

사하구 일대의 질산성질소에 대한 Data

를 분석한 결과 괴정J아파트와 새마을금고, D아파트 일대에서 기준치를 초과하는 경우가 빈번하게 나타나 이 지역 지하수가 질산성질소에 어느 정도 오염되어 있으며, 감천1동과 2동에서는 20mg/l에 가까운 높은 수치의 결과가 나타났으며 특히 감천 1동에서는 25mg/l 이상의 질산성질소가 빈번하게 검출되어 심각한 수준의 오염을 나타내고 있다. 다대1동에서는 부적합 빈도가 그리 높지는 않으나 몇 차례 초과하는 지역이 있었으며 반면 신평일대는 낮은 수치가 지속적으로 검출되어 이 지역은 어느정도 질산성질소로 부터 안전한 지역임을 알 수 있다. 괴정1동과 당리동 일대의 아파트 단지에서는 높은 수치의 아연이 빈번하게 검출되었으며 특히 당리동의 한 아파트에서는 기준치를 3~4배 초과하는 아연이 검출되어 단순히 배관으로 인한 유발치가 아님을 예측할 수 있었고 다대1동에서도 몇몇 지점에서 기준치를 초과하여 검출되었다. 장림1동 부근에서는 400mg/l 이상의 경도가 검출되었으며 이로 인해 증발잔류물도 함께 부적합으로 검출되었다.

4.2.9 금정구

금정구의 북쪽지역인 두구동과 선동 일대의 질산성질소에 의한 오염이 가장 심한 것으로 나타나며, 부적합의 약 40%가 두구동과 선동지역에 분포되어 있다. 두구동의 수내마을 및 B회사, 그리고 선동의 신현마을 등은 1999년부터 2002년까지 지

속적으로 질산성질소의 부적합을 나타내고 있다. 이 일대는 부산시립공원묘지와 지하철차량기지 등이 설치되어 있고, 소규모의 마을이 드물게 분포되어 있는 산간 지역으로서, 하수관거의 정비가 시급하다 하겠다.

반면, 금정구 오륜동과 남산동 등은 매우 낮은 질산성질소값을 보여, 외부의 유기물에 의한 오염이 거의 없음을 알 수 있다.

구서동, 장전동 지역에서 탁도가 많이 검출되었는데 이는 도시고속도로 진입로가 인접해 있어, 대형차의 통행량이 많은 점도 원인중의 하나일 것으로 사료된다. 중금속중에서 아연과 망간이 비교적 많이 검출되었으며, 아연은 구서동과 노포동, 두구동 일대에서, 망간은 장전동과 부곡동 일대에서 많이 검출되었다.

회동동 일대와 금사공단지역내 지하수는 오염된 지점이 많고, 오염정도도 갈수록 심해지고 있는 추세이며, 특히, TCE(트리클로로에틸렌)가 고농도로 검출되고 있어 지하수 관리에 주의를 요한다.

4.2.10 연제구

연제구의 부적합률은 11.4%로 비교적 낮은 부적합률을 나타내었으며 특히 색도, 철, 망간에 의한 부적합률이 다른 구에 비해 높게 나타나 이 지역 지하수 오염원은 외부 영향보다는 지질 자체에 의한 영향에 비중을 둘 수 있을 것이다.

거제동의 B대학에서 pH가 8.7~9.6으로

수회 부적합이 되었는데 산과 염기의 평형에 영향을 미치는 이산화탄소-중탄산염-탄산염 평형시스템의 이상 조절에 의한 것으로 생각되고, 주거지역으로 보아 폐수에 의한 오염은 아닌 것으로 보여진다. 연산동의 S아파트, 거제동의 G잠사소, 연산동의 G아파트 등지에서 색도가 먹는물 기준치 5도를 초과한 10~100도를 나타내었다. 색도는 유기물 특히 토양, 토탄, 채소의 부패에서 오는 용존 휴믹산과 펠빅산에 기인하고 망간, 무기철분을 함유한 지하수에서 적색과 흑색을 표출할 수 있다. 이들 지점에서의 망간이 0.412~1.536mg/l로 나타났고, 철분 역시 같은 지점에서 0.8~8.23mg/l로 나타나 이들 지역에서 색도가 높게나온 것은 지질에 의한 망간 및 무기철분의 영향이 있는 것으로 판단된다. 연산동의 Y초등학교, Y-1초등학교에서 알루미늄이 0.23~0.52mg/l로 나타났는데 이 원소는 토양과 바위로부터 침출되어 자연수에 존재하거나 정수과정에서 응집제에 포함된 양에 따라 발생할 수 있고 식품 및 조리기구 등에서도 존재하고 있는 실정이다. 위의 지역에서 발생된 알루미늄은 높은 수치가 아닌 것으로 보아서 여러 경로에서 기인된 것으로 보여지며 동시에 아연이 1.319~2.619mg/l 검출되었다.

4.2.11 사상구

사상구 일대의 2001~2002년까지의 전반적인 지하수에 대한 검사에서 부적합률

은 일반세균과 대장균군을 제외하면 매우 낮았으며, 그 외 TCE, PCE, 염소이온, 탁도 등의 순으로 부적합이 조사 되었다.

TCE, PCE의 부적합률이 타구에 비해 월등히 높게 조사되었는데 이는 이곳이 과거 공단지역으로서 많은 산업체들이 있었으며 지금은 타지역으로 많이 이전하였으나 아직도 소규모 공장들이 입주해 있어 이로 인한 오염인 것으로 판단되어 지며 주로 감전동, 학장동 일대에서 검출되어 그 지역 토양 및 지하수의 오염이 심각함을 알 수 있다. 질산성질소에 의한 오염이 상대적으로 적은 것도 특이 사항이라 할 수 있겠으나 이는 사상구의 조사대상 시료가 타구에 비해 월등히 작고, 2001년도 이전의 자료는 우리원에 의뢰된 바가 없어 보다 정확한 조사가 어려운 점도 그 원인중에 일부일 것으로 추정된다.

4.2.12 기장군

약 18%의 부적합률을 나타내는 기장군은 일반세균과 대장균군 등 세균검사항목에서 가장 많은 부적합을 나타냈고, 그 외 탁도, 질산성 질소, 아연 등의 순으로 부적합이 많이 나왔다.

기장군 지역은 동해안을 따라 남북으로 뻗어있는 일광단층을 끼고 있으며, 주로 유문암질암류와 암산암질암으로 형성되어 있다. 기장군은 경상남도 행정구역에서 최근에 부산광역시로 편입되어 주로 농업지역으로 상·하수도 시설의 정비가 미흡하여 수자원의 지하수 의존도가 타구에 비

해 매우 높은 편이다. 특히 간단한 염소소독만으로 지하수를 식수원으로 사용하고 있는 간이상수도의 탁도 부적합이 높게 조사되었는데 이는 지하수의 탁도 기준은 1NTU인데 간이상수도의 탁도는 일반상수도의 탁도기준 0.5NTU를 따르고 있기 때문에 부적합 빈도가 특히 높은 것으로 조사 되었다. 지질이나 토양에 의한 특이적인 오염성분은 나타나지 않았다.

5. 결 론

5년간 본원에 의뢰된 지하수 시료의 검사 결과 약 15,000건을 자료화하여 지역적인 특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 각 구별 지하수의 부적합률에서 동구와 부산진구가 가장 높게 나타났으며 이는 동구와 부산진구가 주거지역으로 좁은 면적에 많은 인구가 밀집되어 거주하고 있어 생활하수 및 오수에 의한 오염물질인 질산성질소의 부적합률이 높아 전체적 부적합률이 높게 나타난 것으로 조사되었다.
2. 안산암류가 지질의 주종을 형성하고 있는 부산진구, 금정구, 사하구 및 연제구 일대에서 아연이 기준치를 초과하여 검출되었다.
3. 안산암류와 암회색응회질퇴적암으로 구

- 성되어 있는 연제구 연산동 일대에서 철과 함께 망간이 부적합으로 검출되었으며 색도도 함께 부적합으로 나타났다. 수영구 광안1동, 동래구와 해운대구 반송2동에서도 기준치를 초과하여 검출되었으며, 그외 다른 지역에서는 별다른 특이점이 없었다.
4. 남구 황령산, 금련산 일대의 지하수내 비소 함유는 이 지역에 분포하고 있는 암석의 구성 광물과 관련이 있는 것으로 조사되어 이지역의 지하수 개발시 음용수용으로의 개발은 삼가해야 할 것으로 사료된다.
 5. 안산암지질인 부산진구 전포동, 당감동 지역에서 경도가 305~1100mg/l 검출되었으며, 암회색응회질퇴적암과 암산암지질인 남구 대연 4동, 문현1, 2동과 수영구 남천1동에서도 기준치를 초과하여 검출되었으며 해안 인접지역인 영도구, 중구 등에서도 기준치를 초과하여 검출되었다.
 6. 영도구 남항동의 D초등학교, 신선3동, 영선2동에서 1000mg/l 이상의 염소이온이 검출되었으며 중구 부평동일대에서도 고농도의 염소이온이 검출되었다. 이 지역에서의 검출은 지질적인 영향보다는 해수의 영향이 크게 작용한 것으로 사료된다.
 7. 해운대구 반여동 일부지역과 사상구 학장동, 감전동 일대에서 TCE, PCE부적합률이 높게 조사 되었는데 이는 이지역 주변의 산업체에서 기인된 것으로 추측되며, 기타 다른 지역에서는 TCE, PCE에 의한 부적합은 나타나지 않았다.
 8. 지하수 부적합의 50%이상이 미생물 항목으로 인한 것이므로 이는 지하수 관리와 직결되는 문제이므로 지하수 주변관리에 좀더 주의를 요하면 부적합률은 많이 줄어들 것이다.
 9. 지하수 개발시 그라우팅 및 시설물 설치시 오염원 차단에 신경을 쓴다면 질산성질소, 탁도 및 주변 요인으로 인한 오염 정도를 줄일 수 있을 것이다.
 10. 지질로 인한 비소등 중금속에 대한 오염은 막대한 정수비용을 들이지 않는 이상 제거가 불가능 하므로 폐쇄 등 빠른 조치가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

1. Nirei, H. Furuno, K., Development of quaternaryresources and environmental protection. pp. 71~80, 1986
2. Road research laboratory, Soil mechanics for road engineering London, Her Majesty's stationary office. pp.32~

- 33, 1952
3. 성익환외. 부산지역의 지하수 오염방지 및 음용화 기술연구. 1999
 4. Kono, I., Finite element Analysis of interface problem in groundwater flow, pp.109~116, 1974
 5. 한국지질도 부산, 가덕도폭. 한국동력자원연구소, 1983
 6. 부산시 지하수 관리계획 수립및 정보관리 시스템 구축 중간성과보고서. 2002
 7. 松尾新一郎·河野伊一郎, 地下水位低下工法, 底度出版會, pp.247~255, 1979
 8. 山内清喜, 地質調査法. 地學團體研究會, pp.304, 1987
 9. 坂本弘道, 化學物質 問題 動向 今後方途-美國 地下水 汚染對와日本의 狀況, 公害와 對策, 22호 7권 pp. 628~636, 1986
 10. 楡井 久, 地下水資源汚染監視 現況과今後 汚染 對策 23(9), pp.947~954, 1987
 11. 차문성, 부산지역의 불국사 산성화성암류의 암석학적 연구, 광산지질 제9권 제2호, pp. 85~106, 1976
 12. White D. E., Hem J. D. and Waring G. A., Chemical composition of subsurface waters. U.S. Geol. Survey Prop. Paper, 440-f, 67.
 13. 한무영 역, WHO음용수 수질 가이드라인, 1999

부록(각 구별 주요 지하수 오염지역)

1. 중구

항목	채수읍면동	시설명	결과
질산성질소	보수동1가	보수1동사무소	20.6
	보수동1가	대림에이스타운	14.0
	보수동2가	보수2동 3통	14.8
	보수동2가	보수2동사무소	15.5
증발잔류물	영주동	봉래초등학교	632
	부평동	부평동사무소	2,886
	남포동5가	대영시네마타운	1,846
염소이온	부평동	부평동사무소	1,021
	남포동5가	대영시네마타운	752
	부평동	역수탕	283
경도	부평동	부평동사무소	1,654
	영주동	봉래초등학교	308
	동광동5가	대동맨션내	328

2. 동구

항목	채수읍면동	시설명	결과
질산성질소	초량1동	초량초등학교	14.7
	초량2동	육우탕	11.6
	초량4동	부산중학교	16.5
	초량4동	대성탕	10.8
	수정2동	육우탕	11.0
	수정2동	부산중학교	24.4
	수정4동	백초탕	17.7
	수정4동	동네탕	19.2
	수정5동	수정빌라	17.8
	수정5동	수정5동사무소	27.2
	수정1동	낙은탕	20.3
	수정1동	중앙초등학교	14.3
	수정1동	서중학교	21.3
	수정1동	보건탕	17.1
증발잔류물	수정1동	낙은탕	1,180
	수정1동	수정1동새마을금고	530
	수정2동	육우탕	569
	수정2동	한솔빌딩	1,172
	수정4동	동네탕	715
	초량2동	서울여관	539
	초량3동	동국빌딩	1,374
	초량4동	부산중학교	608.0
	좌천1동	일신빌딩	1,209
	범일2동	천연레포츠타운	21,707
경도	수정1동	낙은탕	720
	수정2동	한솔빌딩	442
	수정4동	백초탕	310
	초량동	국제오피스텔	564
	범일2동	천연레포츠타운	4,115
탁도	수정2동	서울여관	1.19
	수정2동	보성장	4.00
	수정5동	수정5동사무소	1.74
	수정1동	서중학교	20.25
	초량2동	서울여관	4.01
	초량3동	은하탕	18.40
	범일6동	실이봉	1.76

3. 영도구

항목	채수읍면동	시설명	결과
질산성질소	동삼1동	국립수사연구소	11.5
	동삼1동	국제마마	19.1
	동삼1동	도개공아파트	18.7
	동삼1동	동삼여중	15.9
	동삼1동	벽산아파트	14.6
	동삼동	신흥종합건설	13.8
	동삼1동	영도중학교	10.7
	동삼1동	유림어망	12.9
	동삼2동	신한여객	10.4
	동삼3동	한라아파트	11.1
	봉래3동4가	유림아파트	11.3
	봉래4동5가	봉래시영아파트	27.6
	신선1동	영도초등학교	15.5
	신선2동	셋별아파트	11.1
	신선3동	영선중학교	35.9
	영선1동	영선초등학교	21.6
	영선2동	대원맨션	13.8
	칭학2동	부산해사고교	15.4
증발잔류물	남항동	대평초등학교	1,600
	남항동	대평초등학교	1569
	봉래3동	청심맨션	667
	신선2동	새마을금고	676.0
	신선3동	신선지하수	1,262
망간	남항동	대평초등학교	0.470
염소이온	남항동2가	대평초등학교	919
	신선동3가	신선지하수	297
	동삼3동	대평탕	1,112
경도	남항동2가	대평초등학교	500
	신선3동	신선지하수	485
	봉래동4가	청심맨션	370

4. 부산진구

항목	채수읍면동	시설명	결과
질산성질소	전포1동	부산진여자중학교내	11.7
	당감4동	삼성아파트	28.8
	가야1동	가남초등학교	47.2
아연	전포1동	부산진여자중학교	2.056
	가야동	가야산	7.700
	양정3동	양정3동사무소 내	3.237
	양정2동	양정초등학교	3.338
	양정3동	동사무소앞	4.020
경도	범천1동	-	363
	부전동	연결관	315
	당감3동	새당감시장	450
	전포동	전포3동사무소옆	379
	전포3동	동사무소앞	412
	당감4동	당감주공2단지 아파트내	305
망간	범천1동	-	5.160
	초읍동	초읍초등	0.614
	당감동	태화현대아파트	0.495
	범천동	범천빌딩	0.973
	당감2동	14.태화현대아파트	0.397
	양정1동	보성사	0.448

5. 동래구

항목	채수읍면동	시설명	결과
질산성질소	온천3동	어린이놀이터	17.2
	낙민동	낙민초등학교	23.1
	칠산동	코끼리유아원	19.3
	명장1동	안락시영아파트	13.5
망간	안락1동	충렬사	1.257
	명장1동	안락시영아파트	1.279
	명장1동	안락여중	0.476
경도	명장1동	안락시영아파트	500
	낙민동	낙민초등학교	350
	명장1동	안락여중	551
	안락1동	충렬사	338

6. 남구, 수영구

항목	채수읍면동	시설명	결과
질산성질소	대연4동	석포초등학교	15.8
	대연5동	민방위교육장	15.8
	감만동	감만여중	37.8
	감만동	일월정사	14.0
	감만동	감만탕	17.0
망간	대연4동	부산시립박물관	1.394
	대연6동	장백아파트	1.772
	용호2동	운산초등학교	2.847
경도	대연4동	양묘장	363
	용호1동	솔밭놀이터	340
	문현1동	문현탕	382
비소	대연3동	대우그린아파트	0.100
	대연3동	장백아파트	0.362
	대연3동	대성블럭	0.058
	대연6동	대우그린상가아파트	0.143
	대연6동	경성대학교(신학과)	0.081
질산성질소	광안1동	수영초등학교	12.4
	광안1동	수영초등학교	18.0
	수영동	백암탕	21.9
	광안4동	수영중학교	12.9
	민락동	옥련천원	11.5
망간	광안1동	광안아파트	1.533
	광안1동	광안아파트	2.735
	광안2동	광안여중	0.487
비소	남천1동	남천씨니빌라	0.074
	남천1동	남천성당	0.057
	남천1동	동여고	0.095
	남천1동	부일전원빌라	0.056
경도	남천1동	(재)천주교부산교구	310
	민락동	민안초등학교	384

7. 해운대구

항목	채수읍면동	시설명	결과
질산성질소	우2동	은혜의 집	12.3
과망간산칼륨 소비량	반송2동	반송2동사무소	19.0
	반송2동	건영아파트	48.0
망간	반송2동	광하3차아파트	1.106
TCE	반여1동	한솔타운아파트	0.173
Al	좌동	부흥중학교	0.33

8. 사하구

항목	채수읍면동	시설명	결과
질산성질소	다대1동	다대큰샘	16.9
	괴정동	자유아파트	19.6
	감천2동	영일탕	19.6
	감천1동	건강탕	25.5
	감천1동	남성한빛아파트	22.8
	감천동	새마을금고	30.2
	감천동	감천새마을금고	24.8
	괴정3동	동원아파트	13.5
아연	괴정1동	영신목화아파트	3.680
	괴정1동	영신목화아파트	3.765
	당리동	마마아파트	4.545
	당리동	크로바아파트	2.025
	다대1동	다대큰샘	1.484
증발잔류물	다대1동	다대큰샘	605
	장림1동	금천목욕탕	1,035
경도	장림1동	금천목욕탕	441

9. 금정구

항목	채수읍면동	시설명	결과
질산성질소	두구동	수내마을	27.2
	두구동	부광회사안	21.1
	선동	신천마을	33.3
	부곡4동	뉴그린아파트101동	18.7
	부곡3동	상록연립	26.0
망간	장전동	금정초등학교	0.664
	부곡동	삼승렉스폴 지하수2	1.039
	부곡2동	(주)원진	2.696
	부곡3동	산호정수	0.455
	부곡4동	뉴그린 APT 101동	0.879
아연	구서2동	부영벽산아파트	2.635
	구서2동	선경3차아파트312동	1.266
	구서1동	무지개아파트	1.552
	구서1동	신동아아파트	2.605
	장전동	금정초등학교	2.484
	장전동	샘골놀이터	1.550
	노포동	부산칸트리클럽	1.617
탁도	장전동	금정초등학교	10.00
	장전동	온천화목아파트	8.52
	장전동	장전중학교	10.00
	구서동	금정경찰서	40.00
	금성동	부산학생교육수련원	1.78
	노포동	작장마을위	1.79
	서동	새마을금고	12.00

10. 연제구

항목	채수읍면동	시설명	결과
질산성질소	연산1동	태양어린이집	19.4
	거제동	창신초등학교	14.5
Ph	거제동	부산교육대학교안	9.6
색도	거제4동	거제초등학교	15
	거제동	국립잠사소	15
	연산4동	새연산아파트	30
	연산4동	연산삼익	40
	거제동	해운대세무서	40
	연산4동	연산삼익아파트	80
	연산동	경남아파트관리소	20
Al	연산동	연제초등학교	0.23
	연산4동	새연산아파트	0.24
망간	거제2동	지하수	0.512
	거제동	부산교육대학교	0.439
	거제3동	국립잠사소	1.627
	연산4동	연산삼익아파트	0.788
	연산동	경남아파트관리소	4.874
철	연산4동	새연산아파트	3.170
	연산4동	연산삼익아파트	6.620
	연산동	연산삼익아파트	8.230
	연산동	경남아파트관리소	2.470
아연	거제1동	거제초등학교	2.450
	연산4동	새연산아파트	3.510
	연산1동	연서초등학교	1.194
	연산5동	연제초등학교(A)	1.319

11. 사상구

항목	채수읍면동	시설명	결과
TCE	학장동	삼양통상(주)	0.252
	감전동 / 학장동 일대	4.SS29	0.144
PCE	학장동	삼양통상(주)	0.047
	감전동 / 학장동 일대	3.SS27	0.042
염소이온	삼락동	동양재봉사	933
	학장동		2,305
	괘법동		2,240
	주례3동	뉴주례탕	754

12. 기장군

항목	채수읍면동	시설명	결과
질산성질소	장안읍 좌천리	장안중합고등학교	13.8
	장안읍 오리	고리원자력본부	17.6
	철마면 고촌리	신진초등학교	10.2
아연	기장읍	기장읍사무소	2.300
	장안읍 좌천리	장안고등학교	2.065
	기장읍 신천리	기장군청	0.943