

지하수 미생물과 환경요인의 상호관계

Relationship between Microflora and Environmental Factors in Groundwater

안연준(Yeon - Jun Ahn)* · 민병례(Byung - Re Min)** · 최영길(Yong - Keel Choi)***

요 약 : 지하수내의 생물과 환경요인과의 상관관계를 파악하기 위하여 1995년 9월 전라남도내 3개 시, 18개 군에 산재하는 지하관정 59개소의 지하수를 채수하여 조사하였다. 채수시 관정의 깊이는 평균 80.1 m 이었다. 지하수의 물리적 환경요인인 수소이온의 농도와 수온은 각각 6.9, 20.1 °C의 평균값을 나타내었다. 화학적 요인인 평균 용존산소량과 평균 질산성 질소는 각각 6.5 mg/l, 10.7 mg/l로 존재하였다. 이와 같은 물리화학적 환경하에서의 미생물의 분포양상에 있어, 평균 종속영양세균-NA (HPC-NA)수는 1.4×10^3 CFU/ml으로 나타났고 평균 종속영양세균-YEPD(HPC-YEPD)수는 0.59×10^3 CFU/ml으로 종속영양세균-NA수의 42.1% 수준에 달하였다. 대장균군은 전체 59개소 중 27.1%인 16개소에서 검출되었고 평균 6.7 CFU/ml이었고, 일반균류는 23.7%인 14개소에서 검출되었으며 검출 지점에서의 평균은 3.9 CFU/ml이었다. 지하수의 물리화학적 환경요인과 종속영양세균-NA및 종속영양세균-YEPD의 상관분석 결과, 종속영양세균-NA에 대한 용존산소의 상관지수가 0.0872로, 정 상관을 보였으며, 다른 환경요인들은 세균의 생장에는 부 상관을 나타냈다. 종속영양세균-YEPD의 각 환경요인과의 상관지수는 수소이온 농도 0.0957, 수온 0.0019, 질산성 질소 0.0151로 정 상관을 보였다. 종속영양세균-NA수에 영향을 미치는 환경요인의 순서는 수온, 용존산소, 수소이온의 농도, 관정의 깊이 그리고 질산성 질소량이었다고, 종속영양세균-YEPD는 수소이온의 농도, 용존산소, 질산성 질소, 관정의 깊이, 수온의 순서로 그 영향을 미쳤다.

Abstract : This study was conducted to find out the relationship between microflora in groundwater and its physico-chemical environmental factors at the 59 sites, where distributed at 3 cities and 18 counties in Jeonranam-Do, Korea. The average values of environmental factors were as followings; pH 6.9, temperature 20.1 °C, dissolved oxygen 6.5 mg/l, the depth of wells 80.1 m, and nitrate 10.7 mg/l. The average value of microbial population size; Heterotrophic bacteria-NA (HPC-NA) and heterotrophic bacteria-YEPD (HPC-YEPD) were 1.4×10^3 CFU/ml and 0.59×10^3 CFU/ml respectively. HPC-YEPD numbers were 42.1% of HPC-NA. Coliform bacteria were detected at 16 sites, and its average numbers were 6.7 CFU/ml. General fungi were detected at 14 sites, and its had average numbers were 3.9 CFU/ml. The correlation coefficient was calculated value as relation index between the microbial population sizes and environmental factors in groundwater. In case of HPC-NA, the correlation coefficient value with dissolved oxygen was 0.087. But it showed negative correlation coefficient with other factors. In case of HPC-YEPD, the correlation coefficient value with pH, temperature and nitrate were 0.0957, 0.0019 and 0.0151 respectively. It was concluded that the population size of HPC-NA were influenced by the order of temperature, dissolved oxygen, pH and the depth of wells and that HPC-YEPD were influenced by the order of pH, dissolved oxygen, nitrate, the depth of wells and temperature.

서 론

인류문명의 발달과 발전이 수자원의 존재와 이용에 기초하고

있는 것은 주지의 사실이다. 그러나 현대에 이르러 고도화된 산업화와 도시화에 따른 물 사용량의 급진적인 증가와 더불어 각종오염원의 수계내 유입은 수자원의 고갈과 수계환경의 심각한 오염을 초래하고 있다.

지구내 수권에서의 물의 분포는 97.2%에 달하는 양이 해수이고, 2.15% 가량은 극지방에 존재하는 빙하형태로 존재한다. 이들 수자원의 양은 99.35%의 절대적인 분포를 보이고있다. 그러나 담수는 0.7%이하의 낮은 분포를 보이고있다. 이 담수 중 90% 이상이 지하수의 형태로 존재한다(이민성, 1994). 그렇기 때문에 통상 대수층속(모래층, 자갈층, 암균열)에 포화상태로 존재하는 물로서 지하수는(김소구, 1993) 농업용수 및 음용수로도 이용되고있고 세계 각국은 다목적댐들의 건설 등

*전라남도 영암군 삼호면 산호리 72번지, 대불공과대학교 산업공학과 (Department of Industrial Engineering, Daebul University, 72, Sanho-ri, Samho-myun, Youngam-gun, Jeonranam-do, Korea)

**서울특별시 종로구 홍지동 7, 상명여자대학교 자연과학대학 생물학과 (Department of Biology, College of Natural Sciences, Sangmyung Women's University, 7, Hongji-dong, Jongro-gu, Seoul, Korea)

***서울특별시 성동구 행당동 17, 한양대학교 자연과학대학 생물학과 · 서울대학교 분자미생물학 연구센터 (Department of Biology, College of Natural Sciences, Hanyang University, 17-Handang Dong, Seungdong-gu, Seoul, and Research Center for Molecular Microbiology, Seoul Nat'l University)

하천수 관리에 많은 노력을 기울이고 있지만, 담수의 90%가 넘는 지하수에 대해서는 그 관심이 상대적으로 미약한 실정이다.

지하수에 대한 연구조사는 그 적정개발량과 부존량에 대한 연구(한정상 등, 1994)와 이미 오염된 지하수에 대한 연구(김경웅, 손호웅, 1994)등이 수행되고 있으나, 지하수계의 미생물상(microflora)에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 그러나 외국에서는 미생물이 수계로 유입되는 여러종류의 오염물질이나 영양원 제어인자로 작용하는 보고서들이 하천수를 대상으로 하여 많은 연구가 수행되었다(Burbach and Perry, 1992; Hopkins et al., 1993; Lee et al., 1995). 이와같은 사실로 미루어보아 지하수의 경우에도 수중미생물이 지하수계에 영향을 미치는 주요한 요인이 될수 있을 것으로 판단된다. 그러므로 지하수의 경우 미생물량에 대한 연구는 그 미생물이, 지하수계의 자정작용을 하는 하나의 인자로 인식되기 위한 하나의 요인이 될 수 있을 것이다. 지하수의 환경은 온도, 수소이온의 농도, 깊이, 지하수에 녹아있는 산소 등 다양하다(김남형, 최한규, 1993)고 보고된 바 있다.

따라서 본 연구는 이와같은 지하수의 물리·화학적 요인을 분석한 결과와 미생물량을 조사한 결과를 가지고 각각의 지하수환경요인들과 종속영양세균-NA, 종속영양세균-YEPD의 선형상관관계를 조사하여 상관계수(correlation coefficient)를 통한 연관성을 통해 지하수계내에 존재하는 미생물과의 환경요인의 상관관계를 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

조사지역 및 시료채취

1995년 9월에 전라남도내 3개 시, 18개 군지역에 소재한 지하관정 59개소를 지역별로 조사하였다(Figure 1). 시료의 채취는 관정으로부터 지하수를 20분간 충분히 흘러보낸 후 멸균된 1 l 채수병에 채수하였다. 미생물 요인을 분석하기위해 밀

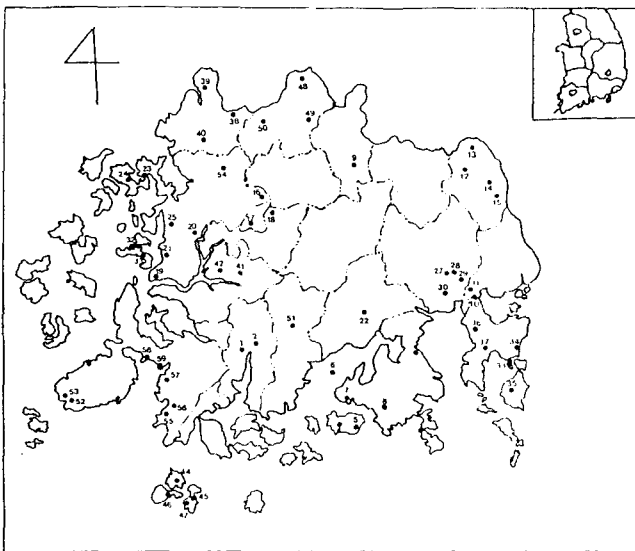


Figure 1. The sampling sites in Jeonnam-do, Korea.

봉 후 냉장보관하여 24시간 이내에 실험실에서 미생물을 분석하였다.

물리, 화학적 환경요인 분석

용존산소(DO)와 수온은 수질종합측정기(HORIBA, U-10, JAPAN)로 측정하였고, 지하수 시추공의 깊이는 개발당시의 이력을 참조하였다. 그리고 pH는 pH meter(Fisher, USA)를 사용하여 측정하였다. NO₃-N는 환경오염 공정시험법에 따라 2.5% brucine sulfate로서 발색시킨후 470 nm의 파장에서 (Doran et al., 1988) 분광비색계로 측정하였다.

배지 및 배양방법

종속영양세균-NA을 위한 선택배지로 Nutrient Agar 배지(agar 15 g, peptone 5.0 g, NaCl 5.0 g, yeast extract 2.0 g, beef extract 1.0 g, per 1 liter pH 7.4)에 colony가 30~100으로 계수되도록 희석하여 평판도말하여 30°C 에서 24시간 정제 배양하여 colony를 계수하였다.

종속영양세균-YEPD의 선택배지로는 YEPD 한천배지(agar 20 g, peptone 20.0 g, dextrose 20.0 g, yeast extract 10 g, per 1 liter pH 7.0)를 사용하여 종속영양세균-NA과 같은 방법으로 배양후 계수하였다.

대장균군 선택배지로는 m-Endo LES 한천배지(bacto yeast extract 1.5 g, bacto casitone 5 g, bacto thiopeptone 5 g, bacto tryptose 10 g, bacto lactose 12.5 g, sodium desoxycholate 0.1 g, potassium diphosphate 4.375 g, potassium monophosphate 1.375 g, NaCl 5 g, sodium lauryl sulfate 0.05 g, sodium sulfate 2.1 g, bacto basic fuchsin 1.05 g, per 1 liter pH 7.2)에 원수 50 ml/을 0.45 m pore size의 membrane filter(Millipore, USA)를 사용하여 여과하여 37°C에서 24시간동안 배양 후 급속성 광택을 띠는 colony를 계수하였다.

일반균류의 선택배지로 Czapek 한천배지(sucrose 30.0 g, agar 15.0 g, NaNO₃ 3.0 g, K₂HPO₄ 1.0 g, KCl 0.5 g, MgSO₄ · 7H₂O 0.5 g, FeSO₄ · 7H₂O 0.01 g)를 40°C정도로 식혀서 세균 억제제인 chloramphenicol 1 g/L을 배지에 함께 섞어 평판배지를 만든 후 원수 0.1 ml/을 평판도말한 뒤 30°C에서 5일간 정제 배양하여 colony를 계수하였다.

결과 및 고찰

물리·화학적 요인의 분석

채수한 시료들의 환경요인을 분석한 결과, 미생물의 생물량 결정을 위한 환경요인 중 중요한 요인으로 수소이온의 농도는 pH 5.1~pH 9.3의 범위에 있었다(Table 1). pH 6 미만이 3.4%인 2개 정점, pH 7 미만이 40.7%인 24개 정점, pH 8 미만이 45.8%인 27개 정점, pH 9 미만이 6.8%인 4개 정점, pH 9 이상이 1.7%인 1개 정점이었다. 평균 수소이온의 농도는 6.9로서 미생물들의 최적 수소이온의 농도 구역에 해당되고 있지만 정점 4와 정점24에서는 pH 5.4로서 약산성을 띠었다.

본 실험대상 시료의 온도의 범주는 15.2°C~29.5°C를 보였고 지하수의 평균온도는 20.1°C를 나타내었다. 수온은 미생물량을 결정하는 중요한 환경요인으로 분석 되었다(Lee et al.,

Table 1. The environmental factors of the groundwater in Jeonranam-do, Korea.

No. of Site	pH	Temperature (°C)	D. O. (mg/l)	Depth(m)	NO ₃ -N (mg/l)
site 1	7.2	20.6	8.5	80.0	1.8
site 2	6.7	17.2	8.2	100.0	0.7
site 3	7.6	15.2	9.2	140.0	0.0
site 4	5.4	15.8	8.7	30.0	54.4
site 5	6.2	16.0	6.3	50.0	41.9
site 6	7.2	15.7	8.6	40.0	20.4
site 7	6.4	19.0	6.2	18.0	23.6
site 8	7.7	15.6	8.8	20.0	13.0
site 9	6.3	18.0	3.4	80.0	1.9
site 10	6.8	23.0	7.2	72.0	23.5
site 11	7.3	24.0	8.4	67.0	12.6
site 12	7.4	19.0	6.1	80.0	11.7
site 13	8.0	22.5	1.1	80.0	2.9
site 14	6.6	16.5	5.9	80.0	0.5
site 15	7.0	20.0	6.0	60.0	0.6
site 16	6.2	16.7	8.0	24.0	24.3
site 17	7.6	18.0	8.3	80.0	nd
site 18	6.3	19.4	8.3	50.0	nd
site 19	6.5	19.0	5.2	85.0	12.9
site 20	8.9	23.0	8.4	60.0	8.6
site 21	7.2	22.0	9.2	70.0	3.3
site 22	6.5	24.0	2.5	80.0	17.7
site 23	6.1	20.0	8.2	80.0	3.1
site 24	5.4	24.0	9.2	2.5	30.5
site 25	8.1	21.0	4.2	150.0	nd
site 26	7.8	19.0	3.6	145.0	nd
site 27	6.6	20.0	4.1	100.0	13.3
site 28	6.7	21.0	6.8	120.0	5.6
site 29	7.6	18.0	7.2	72.0	1.8
site 30	7.1	22.0	6.2	83.0	2.8
site 31	6.2	24.0	5.8	200.0	18.2
site 32	7.6	22.0	4.7	58.0	1.3
site 33	6.1	19.0	6.9	30.0	12.4
site 34	7.1	18.0	8.6	186.0	10.8
site 35	7.0	18.0	5.4	56.0	4.2
site 36	9.3	21.0	6.4	16.0	17.4
site 37	7.0	29.5	3.6	760.0	nd
site 38	6.4	21.0	6.4	75.0	0.5
site 39	7.2	23.0	5.4	68.0	3.7
site 40	7.4	21.0	5.6	100.0	0.0
site 41	6.4	19.0	8.5	70.0	2.2
site 42	7.7	20.8	8.6	50.0	12.5
site 43	6.9	21.0	10.1	10.0	4.7
site 44	7.7	18.0	5.8	40.0	0.3
site 45	6.6	21.0	8.9	100.0	8.1
site 46	6.9	20.0	8.8	0.0	4.2
site 47	6.6	19.0	8.6	30.0	6.7
site 48	8.4	17.0	3.4	80.0	0.9
site 49	7.5	17.0	6.0	60.0	23.3
site 50	6.5	18.0	7.7	75.0	12.6
site 51	7.3	18.0	9.4	10.0	4.0
site 52	7.0	19.0	5.0	80.0	78.1
site 53	6.8	22.0	1.4	50.0	17.7
site 54	7.3	21.0	6.7	80.0	7.1
site 55	7.1	23.0	5.1	70.0	15.2
site 56	7.1	22.0	4.8	30.0	18.8
site 57	6.3	22.0	5.6	35.0	13.5
site 58	7.0	23.0	4.8	75.0	nd
site 59	6.6	21.5	4.4	35.0	2.2

1995). 그러나 조사대상 온도별 분포는 20°C 미만이 45.7%인 27개 정점, 25°C 미만이 52.5%인 31개 정점, 25°C 이상이 1.7%인 1개 정점이었다. 이 중 수온이 29.5°C를 보인 지역은 온천수를 개발하여 사용하고있는 지역이기때문에 다른지역 지하수 온도보다는 높았다(Table 1). 온천이나 극지방의 수계내에도 많은 양의 microflora가 존재하는 것으로 보고된 바가 있는 것처럼 (Heinen and Lawers, 1981), 다른 어떤 생물들 보다도 미생물들이 생존가능한 온도의 범위는 크다고 할 수 있다.

지하수내에 용존산소의 양은 1.1 mg/l에서 최고 10.1 mg/l 까지 나타났고 평균치는 6.5 mg/l였다. 용존산소량은 3 mg/l 미만인 5.1%인 3개 정점, 6 mg/l 미만이 35.6%인 21개 정점, 9 mg/l 미만이 50.8%인 30개 정점, 9 mg/l 이상은 8.5%인 5개 정점이었다. 지하수의 구조상 기층과 직접적으로 접촉하지 못하는 상황에서 보여준 이 수치는 호기성 미생물의 존재를 뒷받침해주는 하나의 요인으로 보고가 된 바 있다(Gounot, 1994).

지하수의 특성을 결정하는 요소중 또하나의 중요한 인자는 지하수관정의 깊이인데(Duxbury and Tate III., 1981) 지표부근으로 용출되는 지하수에서부터 깊이 2.5 m의 천층지하수, 760 m의 심층암반지하관정 등 다양하였으나, 본 실험에서 채수된 지하수 깊이의 분포를 보면 50 m 미만이 28.8%인 17개 정점, 100 m 미만이 50.8%인 30개 정점, 150 m 미만이 11.9%인 7개 정점, 200 m 미만이 5.1%인 3 정점, 200 m을 넘는것이 3.4%인 2 정점이었다.

질산성질소는 전혀 검출되지 않은 정점에서부터 최고 78.1 mg/l 까지 검출되어 조사지역에 따라 큰차이를 보였으며, 평균 값은 10.7 mg/l이었다. 조사지역을 농도별로 구분해보면, 10 mg/l 미만이 59.3%인 35개 정점, 20 mg/l 미만이 25.4%인 15개 정점, 30 mg/l 미만이 8.5%인 5개 정점, 40 mg/l 미만이 1.7%인 1개 정점, 50 mg/l 미만이 1.7%인 1개 정점, 60 mg/l 미만이 1.7%인 1개 정점, 70 mg/l 이상이 1.7%인 1개 정점이었다.

미생물 분포

본 연구에서 채수된 지하수계내의 종속영양세균-NA의 수는 최저 5 CFU/l에서 최고 10.5×10³ CFU/ml의 범위에 있으며(Table 2), 평균적인 종속영양세균-NA(HPC-NA)의 경우는 1.4×10³ CFU/ml였다. 1.0×10³ CFU/ml 미만인 정점은 57.6%인 34개 정점, 2.0×10³ CFU/ml 미만은 18.6%인 11개 정점, 3.0×10³ CFU/ml 미만은 5.0%인 3개 정점, 4.0×10³ CFU/ml 미만은 10.1%인 6개 정점, 그리고 5.0×10³ CFU/ml 미만인 것과 그이상 검출된 정점은 각각 3.4%인 2개였다 (Figure 9, 10).

종속영양세균-YEPD은 0 CFU/ml에서 최고 5.5×10³ CFU/ml, 평균 0.59×10³ CFU/ml이었다. 이 수치는 대체로 기존에 보고된(Ekendahl and Pedersen, 1994) 미생물수의 범위에 근접하는 값으로서, 종속영양세균-NA양의 42.1% 수준에 달하였다. 조사지역을 세균의 양별로 구분해 보면, 1.0×10³ CFU/ml 미만은 86.4%인 51개 정점이었다. 2.0×10³ CFU/ml 미만은 3.4%인 2개 정점이었다. 또한 3.0×10³ CFU/ml, 4.0×10³ CFU/ml, 5.0×10³ CFU/ml 미만과, 5.0×10³ CFU/ml

Table 2. Population size of microflora.

No. of Site	HPC-NA (CFU/ml)	HPC-YEPDicrobes (CFU/ml)	Coliform bacteria (CFU/50 ml)	General fungi (CFU/ml)
site 1	1.8×10 ³	0.08×10 ³	nd	nd
site 2	3.5×10 ³	1.0×10 ³	nd	nd
site 3	0.2×10 ³	0.005×10 ³	nd	nd
site 4	0.2×10 ³	0.1×10 ³	0.2×10 ³	nd
site 5	4.0×10 ³	2.5×10 ³	2.2×10 ³	nd
site 6	1.2×10 ³	0.04×10 ³	nd	nd
site 7	0.005×10 ³	nd	nd	nd
site 8	2.1×10 ³	0.27×10 ³	0.03×10 ³	nd
site 9	0.11×10 ³	0.02×10 ³	nd	nd
site 10	0.11×10 ³	0.07×10 ³	nd	0.005×10 ³
site 11	3.3×10 ³	0.9×10 ³	nd	nd
site 12	1.2×10 ³	0.05×10 ³	0.005×10 ³	0.02×10 ³
site 13	1.9×10 ³	0.05×10 ³	nd	nd
site 14	1.4×10 ³	0.08×10 ³	nd	nd
site 15	0.04×10 ³	0.01×10 ³	nd	nd
site 16	0.33×10 ³	0.01×10 ³	nd	nd
site 17	0.3×10 ³	0.11×10 ³	0.02×10 ³	nd
site 18	0.22×10 ³	nd	nd	nd
site 19	0.01×10 ³	nd	nd	nd
site 20	1.1×10 ³	1.1×10 ³	nd	nd
site 21	3.2×10 ³	0.03×10 ³	nd	nd
site 22	0.5×10 ³	0.2×10 ³	nd	nd
site 23	0.16×10 ³	0.08×10 ³	0.03×10 ³	0.05×10 ³
site 24	5.1×10 ³	0.05×10 ³	0.01×10 ³	0.05×10 ³
site 25	0.4×10 ³	0.08×10 ³	nd	nd
site 26	4.5×10 ³	nd	nd	nd
site 27	2.9×10 ³	0.06×10 ³	nd	nd
site 28	0.02×10 ³	0.01×10 ³	0.01×10 ³	nd
site 29	0.38×10 ³	0.2×10 ³	0.01×10 ³	nd
site 30	0.75×10 ³	0.13×10 ³	nd	0.005×10 ³
site 31	0.05×10 ³	0.03×10 ³	nd	0.01×10 ³
site 32	0.06×10 ³	0.005×10 ³	nd	nd
site 33	2.7×10 ³	0.5×10 ³	0.01×10 ³	nd
site 34	0.56×10 ³	0.3×10 ³	nd	nd
site 35	0.45×10 ³	nd	nd	nd
site 36	0.17×10 ³	0.11×10 ³	nd	0.01×10 ³
site 37	1.0×10 ³	0.9×10 ³	nd	0.005×10 ³
site 38	1.2×10 ³	nd	nd	nd
site 39	3.7×10 ³	3.5×10 ³	nd	nd
site 40	1.2×10 ³	0.05×10 ³	nd	0.01×10 ³
site 41	1.9×10 ³	0.9×10 ³	nd	nd
site 42	0.11×10 ³	0.05×10 ³	nd	nd
site 43	0.45×10 ³	0.27×10 ³	0.04×10 ³	nd
site 44	0.33×10 ³	nd	nd	nd
site 45	0.92×10 ³	0.04×10 ³	nd	0.005×10 ³
site 46	0.32×10 ³	0.85×10 ³	0.36×10 ³	0.02×10 ³
site 47	10.5×10 ³	5.5×10 ³	nd	0.02×10 ³
site 48	4.3×10 ³	4.0×10 ³	nd	nd
site 49	0.25×10 ³	0.03×10 ³	nd	nd
site 50	3.7×10 ³	0.09×10 ³	0.005×10 ³	nd
site 51	0.55×10 ³	0.35×10 ³	0.3×10 ³	nd
site 52	0.3×10 ³	0.2×10 ³	nd	nd
site 53	0.18×10 ³	0.18×10 ³	nd	nd
site 54	1.2×10 ³	6.5×10 ³	nd	nd
site 55	2.7×10 ³	1.9×10 ³	1.3×10 ³	nd
site 56	1.5×10 ³	0.28×10 ³	nd	nd
site 57	0.7×10 ³	0.5×10 ³	1.2×10 ³	0.02×10 ³
site 58	0.4×10 ³	0.1×10 ³	nd	0.005×10 ³
site 59	0.85×10 ³	0.67×10 ³	nd	nd

ml 이상 검출된 정점은 1.7%인 각 1개였다.

대장균은 오염된 지표로서 자주 인용되는데, 이 대장균은 전체 실험대상 59개 정점 중 27.1%에 달하는 16개 정점에서 검출되었다. 그리고 이 검출된 지하수의 대장균은 평균 6.7 CFU/ml였다(Table 2). 대장균이 다른지역보다 다량검출된 정점 5와 정점 57에서는 종속영양세균-NA(HPC-NA)이 전자의 경우에는 4.0×10³ CFU/ml, 후자는 0.7×10³ CFU/ml인데, 정점 5의 질산성 질소의 수치가 평균의 4배가량 되는 특징을 보였다. 질산성 질소가 대장균의 과다에 영향을 미친다고 볼 때, 상대적으로 높은 질산성질소의 수치가 대장균 다량 검출의 요인으로 사료된다. 후자의 대장균 검출 특징을 환경요인에서 본다면, 수심이 얕으면 지표로부터의 오염에 노출될 가능성이 높을 것으로 본다면, 수심이 35 m인 정점 57에서 검출된 대장균량은 이 수심이 얕은 것에 따른 생활하수나 분변성 요인이 유입에 영향을 받은 것이라고 사료된다.

이미 보고된바대로(Federspiel *et al.*, 1991) 거의 호기성 미생물인 일반균류는, 전체 59 정점 중에서 23.7%인, 단지 14개 정점만이 검출되었다. 그리고 대장균의 경우와 유사하게 검출된 정점만의 평균치는 16.7 CFU/ml였다(Table 2).

지하수의 물리·화학적 환경요인에 따른 미생물 분포

위에서 조사한 지하수의 물리·화학적 요인을 분석한 결과와 미생물량을 조사한 결과를 가지고 각각의 요인들과 종속영양세균-NA, 종속영양세균-YEPD의 선형 상관 관계를 조사하여 미생물의양에 가장 영향을 주는 것이 무엇인가를 계산한 결과 수소이온농도와 종속영양세균-NA과의 상관 지수는 -0.0746로서 수소이온의 농도와 종속영양세균-NA과는 부 상관을 보였고, 종속영양세균-YEPD의 상관지수는 0.0958로서 종속영양세균-YEPD의 경우는 종속영양세균-NA의 경우와는 반대로 pH 5.4~pH 9.3 범위에서는 수소이온의 농도에 정 상관을 나

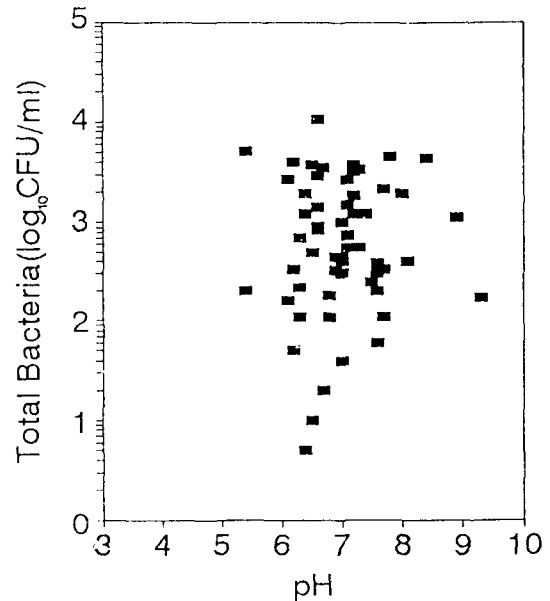


Figure 2. The relationship between pH and total microbes in the groundwater.

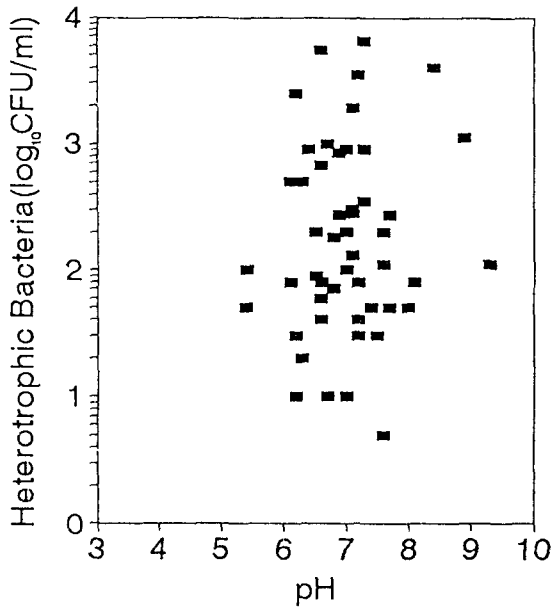


Figure 3. The relationship between pH and heterotrophic bacteria in the groundwater.

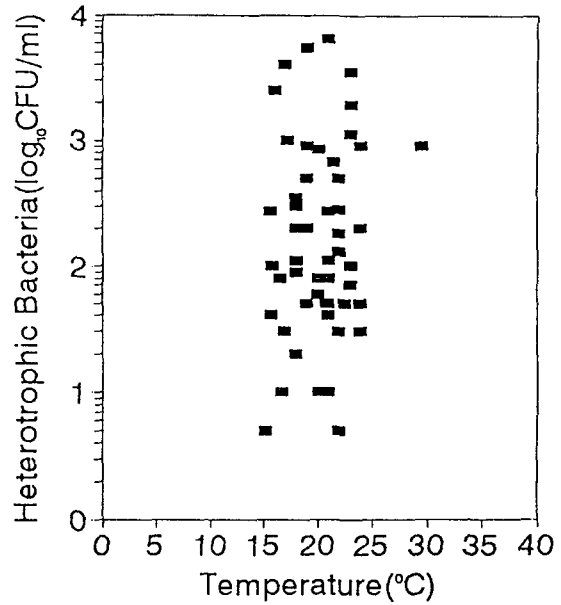


Figure 5. The relationship between temperature and heterotrophic bacteria in the groundwater.

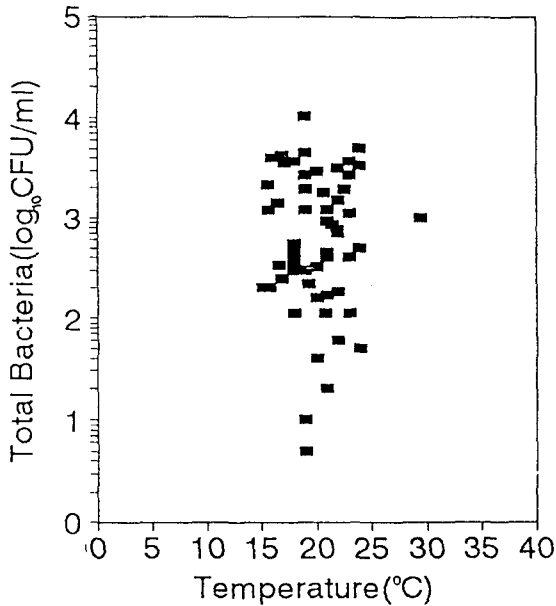


Figure 4. The relationship between temperature and total microbes in the groundwater.

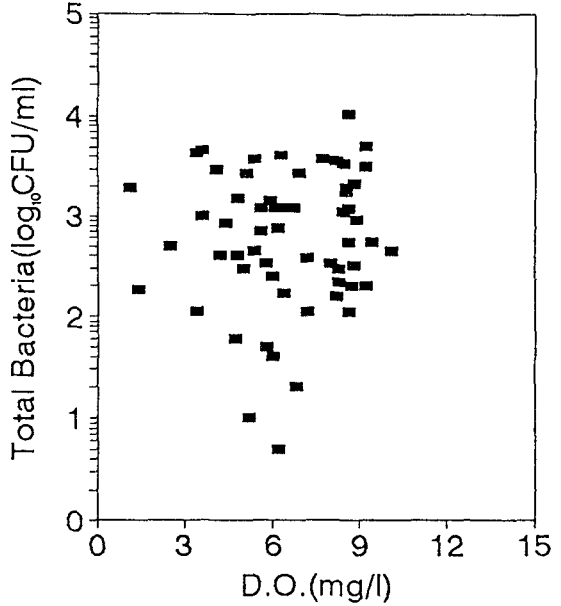


Figure 6. The relationship between dissolved oxygen and total microbes in the groundwater.

타내었으나, 다른 요인들 보다는 크지만 상기의 범위에서는 낮은 수준을 보였다(Figure 2, 3).

수온의 경우는 15.2°C~29.5°C 구간에서 수온과 종속영양세균-NA와의 상관지수는 -0.2255로서 부 상관을 보였고, 수온과 종속영양세균-YEPD와의 상관지수는 0.0019로서 같은 수온의 범위에서는 미약하기는 하지만 정 상관을 보였다. 그러나 온도와 미생물의 population size의 상관 관계는 상당히 크다고 보고되었으나(Heinen and Lawers, 1981), 본실험의 온도구간인 15.2°C~29.5°C에서는 상관지수에서 통해서도 알 수 있지

만 상관관계는 지극히 미약 하였다. 아마도 대부분의 미생물들에게 저항요인으로서 이 범위의 온도가 제한요인으로 작용하지 않았을 것이다(Figure 4, 5).

용존산소와 종속영양세균-NA의 상관지수는 0.0873으로 정 상관을 보였고, 종속영양세균-YEPD과의 상관지수는 -0.0267로서 부 상관을 보였다(Figure 6, 7).

지하관정의 깊이와 종속영양세균-NA의 상관지수는 -0.0628, 종속영양세균-YEPD과의 상관지수는 -0.0127로서 미약하기는 하지만 관정의 깊이가 깊어질수록 미생물량이 감소하는 것으로

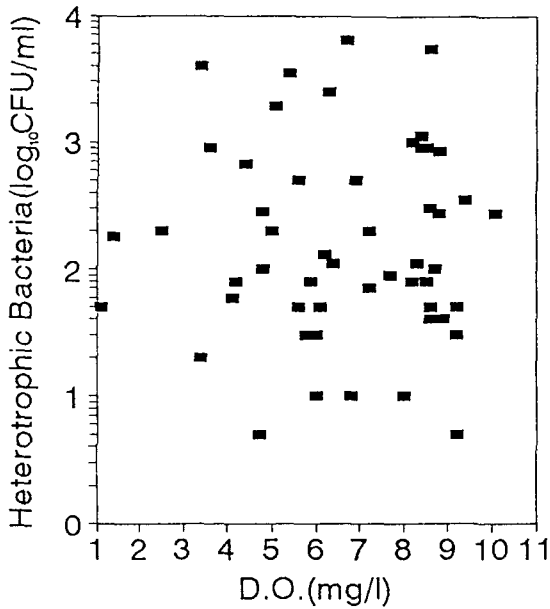


Figure 7. The relationship between dissolved oxygen and heterotrophic bacteria in the groundwater.

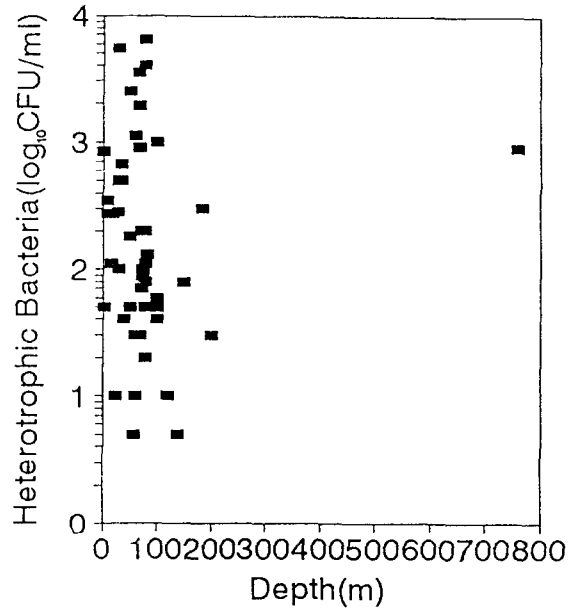


Figure 9. The relationship between the depth of wells and heterotrophic bacteria in the groundwater.

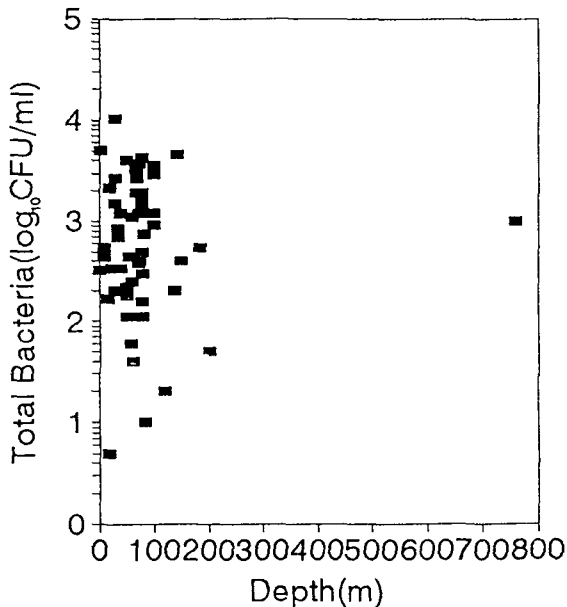


Figure 8. The relationship between the depth of wells and total microbes in the groundwater.

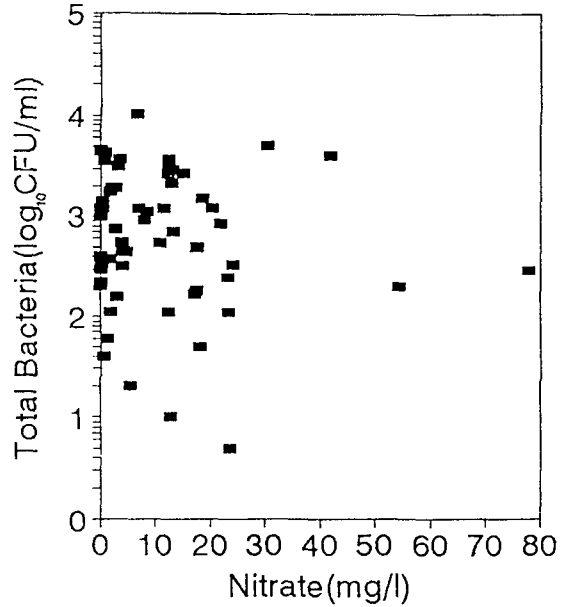


Figure 10. The relationship between nitrate concentration and total microbes in the groundwater.

사료된다(Figure 8, 9).

질산성 질소와 종속영양세균-NA의 상관지수는 -0.0224로서 부 상관관, 질산성 질소와 종속영양세균-YEPD의 상관지수는 0.0151로 정 상관이었다(Figure 10, 11).

결 론

1. 채수시 관정의 깊이는 평균 80.1 m이었다. 각 물리적 환경요인인 수소이온의 농도와 수온은 각각 6.9, 20.1 °C의 평균값

을 나타내었다. 화학적 요인인 평균 용존산소량과 평균 질산성 질소량은 각각 6.5 mg/l, 10.7 mg/l으로 존재하였다.

2. 미생물량의 최빈치는 종속영양세균-NA과 종속영양세균-YEPD는 대체로 1.0×10^3 CFU/ml 이하에서 57.6%, 86.4%로 나타났다. 대장균은 총세균의 4.8%를 차지하였다. 종속영양세균-NA과 일반균류는 100 : 12의 비율이었다.

3. 종속영양세균-NA과 지하수 환경요인과의 상관지수 분석에 의한 선형 상관관계를 조사한 결과 용존산소의 경우에서만 정 상관을 보였고 나머지 수온과 관정의 깊이, 수소이온의 농

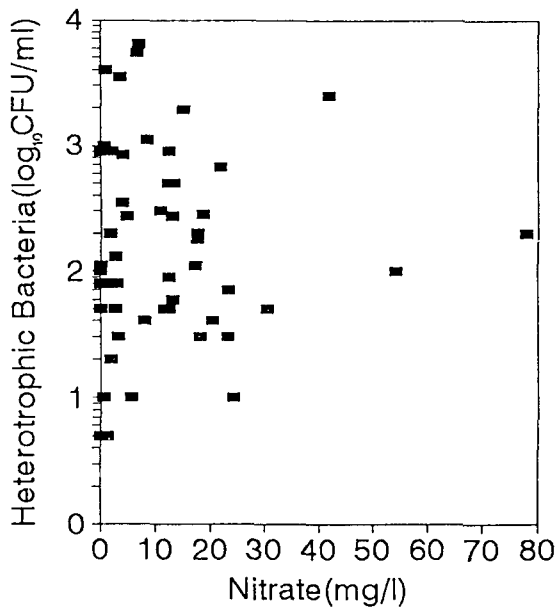


Figure 11. The relationship between nitrate concentration and heterotrophic bacteria in the groundwater.

도, 질산성질소 등은 부 상관을 보였다. 종속영양세균과 환경요인과의 상관지수를 통한 상관관계를 보면, 용존산소의 경우에서만 정 상관을 보였고 나머지 요인들과는 부 상관을 나타내었다.

4. 종속영양세균·NA수에 영향을 미치는 것은 수온, 용존산소, 수소이온의 농도, 관정의 깊이 그리고 질산성 질소량 순이었고, 종속영양세균·YEPD수에 영향을 미치는 것은 수소이온의 농도, 용존산소, 질산성 질소, 관정의 깊이, 수온 순이었다.

사 사

본 연구는 서울대학교 분자미생물학 연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

김경웅, 손호웅, 1994, 대전시 신대동 폐기물 매립지 주변지역에서의 지하수 및 토양의 중금속 오염, 지하수환경, 1(2), p. 85-89.

김남형, 최한규 역, 1989, 지하수공학, 구미서관, p. 6-14.

김소구, 1993, 지하수탐사법, 문운당, p. 19-29.

이민성, 1994, 지구상의 물의 기원, 지하수환경, 1(2), p. 73-79.

한정상, 한규상, 김창길, 김남중, 한찬, 1994, 제주도 지하수자원의 최적개발 가능량, 지하수환경, 1(1), p. 33-50.

환경오염공정시험법, 1992, 환경처.

Albrechtsen, H.J., and Christensen, T.H., 1994, Evidence for microbial iron reduction in a landfill leachate-polluted aquifer (Vejen, Denmark), Appl. Environ. Microbiol., 60(11), p. 3920-3925.

Azcon, R., 1989, Selective interaction between free-living rhizo-

sphere bacteria and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi, Soil Biol. Biochem., 2, p. 639-644.

Burback, B.L., and Perry, J.J., 1992, Biodegradation and biotransformation of groundwater pollutant mixtures by *Mycobacterium vaccae*, Appl. Environ. Microbiol., 59(11), p. 1025-1029.

Barber, D.A., and Lynch, J.M., 1977, Microbial growth in the rhizosphere, Soil Biol. Biochem., 9, p. 305-308.

Biderbeck, V.A., and Campbell, C.A., 1971, Influence of stimulated Fall and Spring conditions on the soil system. I. Effect on soil microflora, Soil Sci. Soc. Am Proc., 35, p. 474-479.

Chaney, K., and Swift, R.S., 1984, The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils, J. Soil Sci., 35, p. 223-230.

Doran, J.W., Meilke L.N., and Stamatiadis S., 1988, Microbial activity and N cycling as regulated by soil water-filled pore space, The 11th Proc. Int. Soil Tillage Res. Org. (ISTRO), Paper NO. 132.

Dieter, H.H., and Kerndorff, H., 1993, Presence and importance of organochlorine solvents and other compounds in Germany's groundwater and drinking water, Ann. Ist. Super Sanita, 29(2), p. 263-277.

Duxbury, J.M., and Tate III., R.L., 1981, The effect of soil depth and crop cover on enzymatic activities in Pahokee muck, Soil Sci. Soc. Am. J., 45, p. 322-328.

Ekendahl, S., and Pedersen, K., 1994, Carbon transformations by attached bacterial populations in granitic groundwater from deep crystalline bed-rock of the Stripa research mine, Microbiology, 140, p. 1565-1573.

Federspiel, A., Schuler, R., and Haselwandter, K., 1991, Effect of pH, L-ornithine and L-proline on the hydroxamate siderophore production by *Hymenoscyphus ericae*, a typical ericoid mycorrhizal fungus, Plant Soil, 130, p. 259-261.

Franzblau, S.G., Hinnebusch, B.J., Kelley, L.M., and Sinclair, N. A., 1984, Effect of noncoliforms on coliform detection in potable groundwater: improved recovery with an anaerobic membrane filter technique. Appl. Environ. Microbiol., 48(1), p. 142-148.

Gounot, A.M., 1994, Microbial oxidation and reduction of manganese: consequences in groundwater and applications, FEMS Microbiol. Rev., 14(4), p. 339-349.

Haigler, B.E., and Wallace, W.H., 1994, Biodegradation of 2-nitrotoluen by *Pseudomonas* sp. strain JS42. Appl. Environ. Microbiol., 60(9), p. 3366-3369.

Heinen W., and Lawers, A.M., 1981, Growth of bacteria at 100°C and beyond, Arch. Microbil. 129, p. 127-128.

Hirsch P., and Rades, R.E., 1990, Microbial colonization of a-quifer sediment exposed in a groundwater well in northern Germany, Appl. Environ. Microbiol., 56(10), p. 2963-2966.

Hopkins, G.D., Semprini, L., and McCarty, P.L., 1993, Microcosm and in situ field studies of enhanced biotransformation of trichloroethylene by phenol-utilizing microorganisms, Appl. Environ. Microbiol., 59(7), p. 2277-2285.

- Lee, K.S., Ko, D.K., Park, Y.S., Choi, C.-I., and Choi, Y.K., 1995, Degradability of organic compound and signal index of pollution in Daechung Reservoir Lake and Kum River area, Korean J. Environ. Biol., 13(1), p. 27-44.
- Linn, D.M., and Doran, J.W., 1984, Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils, Soil Sci. Soc. Am. J. 48, p. 1267-1272.
- Magdoff, F.R., and Bartlett, R.J., 1985, Soil pH buffering revisited, Soil Sci. Soc. Am. J., 49, p. 145-148.
- Morgan, P., and Watkinson, R.J., 1989, Microbiological methods for the cleanup of soil and ground water contaminated with halogenated organic compounds, FEMS Microbiol. Rev., 5(4), p. 277-299.
- Mroz, R.C. Jr., and Pillai, S.D., 1994, Bacterial populations in the groundwater on the US-Mexico border in El Paso County, Texas. South Med. J., 87(12), p. 1214-1217.
- Ramos, C.A., Castillo, A., Incerti, C., and Gomez, P.L., 1994, Bacteriological indicators of faecal contamination: result of a loading experiment with untreated urban wastewater, J. Appl. Bacteriol., 76(1), p. 95-99.
- Raveendran, E., and Madany, I.M., 1991, The quality of groundwater in Bahrain, Sci. Total Environ, 103(2-3), p. 177-183.
- Robert, L.T., 1993, Soil microbiology(ed.), p. 64-144.
- Sjogblad, R.D., and Bollag, J.M., 1981, Oxidative coupling of aromatic compounds by enzymes from soil microorganisms, in E.A. Paul, and Ladd, J.N., Ed., Soil Biochemistry, 5, p. 113-152.
- Wilson, J.M., and Griffin, D.M., 1975, Water potential and the respiration of microorganisms in the soil, Soil Biol., Biochem., 7, p. 199-204.