

경남 시설원예지 농업용 지하수의 수질 현황

이 성 태 · 조 주 식 · 이 홍 재 · 손 보 균 · 정 연 규 · 허 증 수
경상대학교 농화학과 · 순천대학교 농화학과
(1997년 9월 10일 접수)

Ground Water Pollution Status of Agricultural Water Source of Greenhouse Area in Gyeongnam

Sung-Tae Lee, Ju-Sik Cho, Hong-Jae Lee, Bo-Kyoon Sohn,
Yeun-Kyu Jung, and Jong-Soo Heo

Dept. of Agricultural Chemistry, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea

Dept. of Agricultural Chemistry, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

(Manuscript received 10 September 1997)

To examine water pollution status of agricultural water source of greenhouse area in Gyeongnam, the ground water quality was investigated six times at five areas in Gyeongnam from October in 1995 to March in 1996.

pH of ground water were generally in the range of 5.9~7.6. But a site in Changnyeong area was out of the range in 6.0~8.5 which is water quality standard for agriculture. COD of ground water was below 8.0mg/l which is water quality standard for agriculture in all areas and the average was below 2.8mg/l.

NH₄⁺-N contents in ground water was very low in all areas and the average of NO₃⁻-N contents in Changnyeong and Chinju area was high with 13.2 and 11.5mg/l, respectively. Hardness, SO₄²⁻ and EC of ground water in Haman were higher than any other area.

Fe and Mn contents of ground water in Kimhae were higher than any other area with 7.17 and 0.95mg/l, respectively. Heavy metals such as Cu, Cd, Pb and Zn of ground water were below water quality standard for agriculture but some sites were over.

Between COD and SS in ground water were not correlated with $r=0.328$, but between COD and NH₄⁺-N were positively correlated. And EC was positively correlated with Ca²⁺, Mg²⁺ and SO₄²⁻.

Ground water pollution status of agricultural water source of greenhouse area in Gyeongnam was generally high in order of Sacheon < Chinju < Haman < Kimhae < Changnyeong.

Key words : water pollution, greenhouse area, ground water, water quality standard for agriculture, pH, COD, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, EC, heavy metal.

1. 서 론

우리나라의 이용가능한 지하수는 약 1,170억톤 정도로 추정되며, 이중 약 1.7%인 20억톤의 지하수가 생활용수, 공업용수 및 농업용수로 이용되고 있다(환경부, 1996). 용수공급의 부족과 가뭄시 농업용수의 확보를 위하여 지하수의 개발과 공급이 확대되고 있으며, 지하수는 일반적으로 수질이 양호하고 공공용수에 비하여 저렴한 비용으로 공급이 가능하기 때문에 지하수의 개발이 확대되고 있다. 그러나 지하수의 무분별한 개발과 체계적 관리부족은 지하수의 오염을 가중시키게 되었다.

우리나라 지하수의 수질오염실태를 조사한 결과 전체 조사대상 1,546개 지점중 10%인 156개 지점이 지하수

수질기준을 초과하고 있었으며, 도시지역 및 농촌 주거 지역의 지하수는 NO₃⁻-N 함량이 높게 나타났으며 이는 대부분 정화조, 가정하수, 축산폐기물 및 쓰레기 등에 의한 오염의 영향과 취수지의 위생관리 부실 등이 그 주 원인인 것으로 보고되고 있다(환경부, 1996).

이러한 수질오염은 직접적인 피해는 물론 동물, 식물을 매개로 하는 2차, 3차적 피해증상도 날로 증가하고 있으며, 인근 농경지의 농작물에 영향을 미치며 결국 농업생산에 지장을 초래하기도 한다(김 태근, 1977). 실제 수질오염에 의한 농작물 피해로는 충남 연기군에서 하천인근의 논에 관정지하수를 관개한 곳에서 벼가 웃자라며 엉클같이 되고 도복되었으며, 그 원인은 관개수중에 질소함량이 높았기 때문이라고 하였다. 또한 경북 고

Table 1. Location of ground water sampling sites in greenhouse area of Gyeongnam

| Area | Sample No. | Location of sampling sites | Crop | Planting mode | Depth (m) |
|-------------|------------|----------------------------|------|---------------|-----------|
| Kimhae | 1 | 김해시 대동면 수안리 245 | 토마토 | 수경재배 | 39 |
| | 2 | 김해시 대동면 예안리 26 | 국화 | 윤작 | 15 |
| | 3 | 김해시 대동면 초정리 원지 | 장미 | 연작 | 9 |
| | 4 | 김해시 대동면 초정리 145-3 | 장미 | 연작 | 15 |
| Changnyeong | 5 | 창녕군 남지읍 마산리 605-5 | 오이 | 윤작 | 140 |
| | 6 | 창녕군 남지읍 마산리 | 오이 | 윤작 | 29 |
| | 7 | 창녕군 남지읍 상남동 758-13 | 오이 | 연작 | 17 |
| Haman | 8 | 창녕군 남지읍 남지리 948-3 | 오이 | 윤작 | 6 |
| | 9 | 합안군 가야읍 산서리 648-513 | 장미 | 수경재배 | 37 |
| | 10 | 합안군 가야읍 산서리 648-513 | 상치 | 수경재배 | 50 |
| | 11 | 합안군 가야읍 산서리 648-513 | 장미 | 수경재배 | 30 |
| Sacheon | 12 | 합안군 법수면 윤내리 악양 | 토마토 | 단작 | 6 |
| | 13 | 사천시 남양 1동 659 | 토마토 | 윤작 | 75 |
| | 14 | 사천시 용현면 송지리 자송 | 고추 | 단작 | 30 |
| | 15 | 사천시 사남면 죽천리 288-4 | 국화 | 연작 | 38 |
| Chinju | 16 | 사천시 배춘리 양동 | 수박 | 단작 | 25 |
| | 17 | 진주시 금곡면 동래리 신대 | 고추 | 연작 | 65 |
| | 18 | 진주시 금곡면 인담 | 호박 | 연작 | 15 |
| | 19 | 진주시 금산면 중천리 1041 | 고추 | 연작 | 9 |
| | 20 | 진주시 대곡면 율하리 단목 | 고추 | 단작 | 19 |

Table 2. Air(water) temperature at the sampling site

| Area | Air(water) Temp.(°C) | | | | | |
|-------------|----------------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| | Oct. | Nov. | Dec. | Jan. | Feb. | Mar. |
| Kimhae | 26 (19) | 13 (17) | 6 (16) | -1 (16) | 0 (16) | 7 (16) |
| Changnyeong | 27 (18) | 20 (18) | 12 (18) | 5 (18) | 5 (17) | 15 (17) |
| Haman | 26 (18) | 16 (15) | 9 (16) | 4 (16) | 4 (16) | 7 (16) |
| Sacheon | 28 (17) | 19 (17) | 12 (17) | 4 (17) | 5 (16) | 9 (15) |
| Chinju | 19 (17) | 12 (17) | 10 (16) | 2 (16) | 2 (16) | 8 (16) |
| Average | 25 (18) | 16 (17) | 10 (16) | 3 (16) | 3 (16) | 9 (16) |

평균에서는 딸기를 재배하는 밭에 지하수를 관수하였더니 이식한 딸기묘가 모두 고사되었으며, 피해 원인은 지하수의 pH가 낮았고 SO₄²⁻ 함량, COD 및 EC가 높았기 때문이라고 하였다(농촌진흥청, 1993).

우리나라 시설원예작물 재배면적은 1980년 7,142ha에서 1994년에는 36,000ha로 증가하였으며, 앞으로도 매년 증가될 전망이다. 우리나라 시설원예는 주로 남부지방을 중심으로 발달하기 시작하였으며, 현재 국내 시설재배단지 는 주로 경남을 중심으로한 남부지방에 치우쳐 있다. 그간 시설원예에 관한 연구가 다각적으로 많이 이루어졌으나 시설원예지대의 환경오염방지를 위한 연구는 거의 없는 실정이며, 시설원예지대 농업용수로 직접 이용되고 있는 지표수와 지하수에 대한 수질실태 조사 파악되어 있지 않은 실정이다.

따라서 본 연구는 경남 주요 시설원예지대의 지하수 수질 실태를 지역별 및 시기별로 조사함으로써 지역 농업에 참고자료를 제공코자 하였으며 그 결과를 발표하는 바이다.

2. 재료 및 방법

2.1 수질조사지역 및 지점

수질조사지역은 경남의 대표적 시설원예지대인 김해, 창녕, 함안, 사천 및 진주의 5개지역을 선정하였으며, 조사지점은 각 지역중에서 시설원예작물 재배밀도가 높은 4개지점을 각각 선정하여 수질시료를 채취하였다. 각 지역 및 지점의 재배작물은 김해가 화훼, 창녕은 오이, 진주는 고추가 주작목이었으며, 함안과 사천은 뚜렷한 주작목이 없었다. 작부방식은 연작 형태가 많았으며 수경재배는 4개지점이었다. 지하수공 길이는 6~140m 범위로 다양했으며 전반적으로 50m 이하가 대부분으로 지하수공의 깊이는 대체로 얕았다. 각 지역의 수질시료 채취지점은 Table 1과 같다.

2.2 수질시료 채취시기 및 방법

시료채취는 1995년 10월부터 1996년 3월까지 날씨가 맑은 날을 선택하여 6회(1회:1995년 10월 13~15일, 2회:1995년 11월 14~16일, 3회:1995년 12월 14~16일, 4회:1996년 1월 11~13일, 5회:1996년 2월 1~3일, 6회:1996년 3월 11~13일)에 걸쳐 채취하였으며, 채취시기별 기온과 수온은 Table 2에서 보는 바와 같다.

수질시료 채취는 양수정(pumping station)에서 약

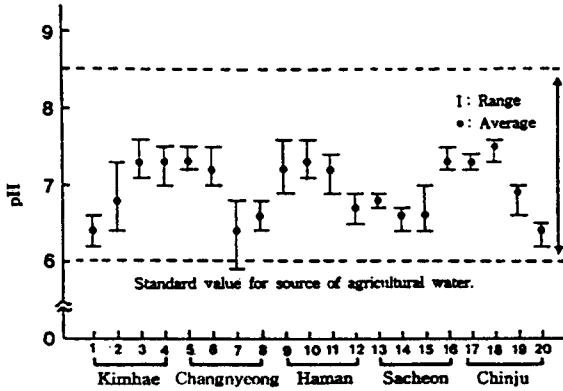


Fig. 1. pH in ground water.

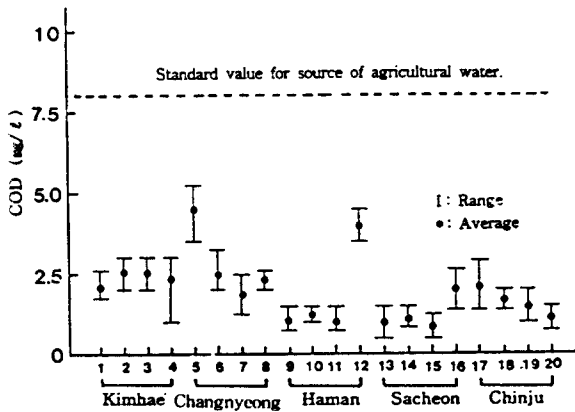


Fig. 2. COD in ground water.

10분간 양수한 다음 polyethylene 용기(4 l)와 BOD병(300ml)에 채수하여 Ice box에 보관하여 실험실로 운반하였다. 또한 수질시료중 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, COD 등을 측정하기 위하여 황산으로 pH를 2 이하로 조정한 다음 4℃에서 보관하였다.

2.3 수질분석방법

수질분석은 환경오염공정시험법(김 종택, 1986)과 APHA의 Standard Method(Clesceri *et al.*, 1989)에 준하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수질현황

3.1.1 pH

경남 시설원예지대 지하수의 지역별 및 지점별 pH는 Fig. 1에서 보는바와 같이 전반적으로 농업용수 기준치인 pH 6.0~8.5 범위내였으며, 창녕지역 1개지점에서는 채취시기에 따라 농업용수 기준치 이하인 경우도 있었다.

3.1.2 COD 및 SS

COD는 환경보전법상 상수원수 1급수는 1.0mg/l 이하, 상수원수 2급수는 3.0mg/l 이하, 상수원수 3급수는

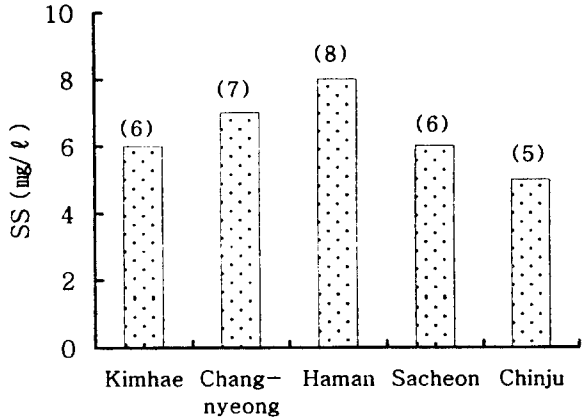


Fig. 3. Average value of SS in the ground water at different areas in Gyeongnam. SS was analyzed six times from October in 1995 to March in 1996.

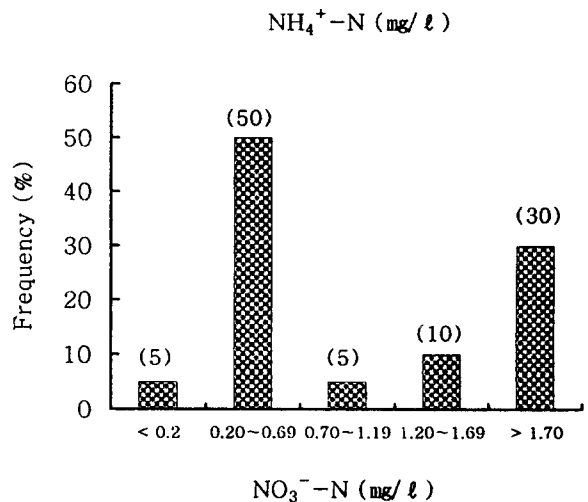
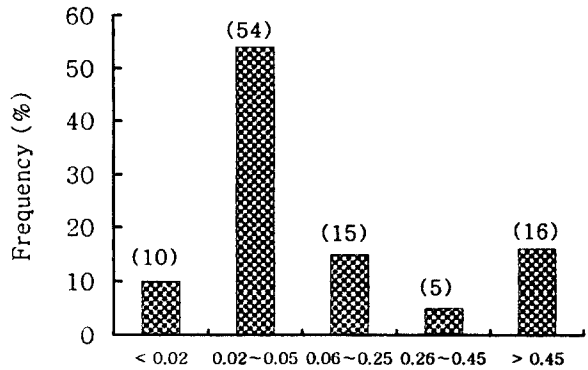


Fig. 4. Frequency distribution of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in ground water.

6.0mg/l 이하로 각각 규정하고 있으며, 생활환경 기준은 10.0mg/l 이하, 그리고 농업용수는 8.0mg/l 이하로 각각 규정하고 있다(양 상현, 1987).

Table 3. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ contents in ground water (Unit : mg/l)

| | | Kimhae | Changnyeong | Haman | Sacheon | Chinju |
|--------------------------|-------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| $\text{NH}_4^+\text{-N}$ | Range | 0.02~0.84 | 0.01~0.74 | 0.01~0.63 | 0.01~0.19 | 0.01~0.12 |
| | Mean | 0.34 | 0.16 | 0.12 | 0.07 | 0.03 |
| $\text{NO}_3^-\text{-N}$ | Range | 0.20~1.66 | 0.17~43.4 | 0.11~0.50 | 0.17~3.76 | 0.32~27.2 |
| | Mean | 0.70 | 13.2 | 0.29 | 1.97 | 11.5 |

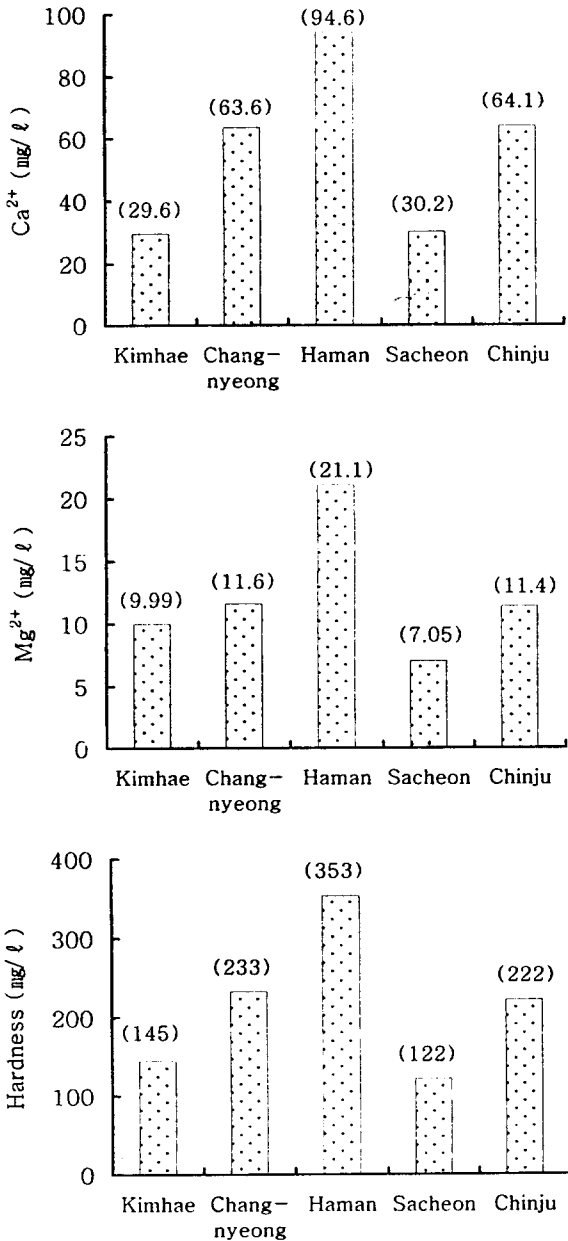


Fig. 5. Average value of Ca^{2+} , Mg^{2+} and hardness in the ground water at different areas in Gyeongnam. Ca^{2+} , Mg^{2+} and hardness was analyzed six times from October in 1995 to March in 1996.

각 지점별 COD를 분석한 결과는 Fig 2에서 보는바와

같이 창녕 1개지점과 함안 1개지점에서 약간 높았으나 각 지점 모두 농업용수 기준치인 8.0mg/l 이내였으며, 허 등(1997)이 조사한 경남 시설원예지대 지표수의 COD에 비례하여 지하수가 오염되어 있지는 않았으며, 지표수에 비하여 지하수의 COD가 훨씬 낮았다.

부유물질은 입자의 크기가 2mm 이하인 부유성 물질로서 하수의 처리효율 및 가정하수의 강도를 평가하는데 중요한 인자중의 하나이다(이 재성, 1994). 각 지역별 SS를 분석한 결과는 Fig. 3에서 보는바와 같이 각 지역 모두 농업용수 기준치인 100mg/l (양 상현, 1987) 이내로서 전지역 평균치가 약 7mg/l 이므로 지역별 차이는 별로 없었으며, SS의 성상은 토양입자 등의 무기물질류가 주종을 이루고 있었다.

3.1.3 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 및 $\text{NO}_3^-\text{-N}$

수중 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 은 질산화작용에 의해 산화되어 질산이온이 되며, 이때 용존산소를 소비하여 하천의 자정능력을 상실케하며 혐기성 분해를 일으켜 악취를 발생시킨다. 최근 우리나라 하천수의 오염으로 인하여 농업용수의 질소 증가에 의한 벼의 질소과다 피해는 새로운 유형의 농업피해인 것으로 알려지고 있으며, 질소의 과다는 식묘시 과잉생육, 뿌리의 부식과 출수기 지연으로 입실 불량을 야기시킨다.

각 지역별 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (Table 3)은 김해지역이 평균 약 0.34mg/l 로서 타지역에 비하여 높았으나 전지역이 평균 0.34mg/l 이하로 허 등(1997)이 조사한 지표수의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 에 비하여 월등히 낮았으며, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 함량의 분포빈도(Fig. 4)는 조사지역의 약 50% 이상이 $0.02\sim 0.05\text{mg/l}$ 사이에 분포하고 있는 것으로 나타났다.

이 등(1995)이 1995년 경남지역 양액재배 농가의 원수 수질을 조사한 결과에서 지하수의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 함량은 $0.01\sim 5.46\text{mg/l}$ 범위였으며 평균 0.30mg/l 이었다는 보고에 비하여 본 연구에서는 전반적으로 낮았으며, 농업용수중 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 함량은 농가에서 표준시비할 경우 0.5mg/l 정도 허용되는 것으로 알려져 있으므로 전지역 모두 암모니아성 질소에 의한 피해증상은 일어나지 않을 것으로 판단되었다.

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 은 토양으로 유입된 유기태 질소가 무기화 작용을 받아 생성되며, 토양중에서 거의 Cl^- 과 유사한 속도로 빠르게 하향 이동하여 지하수를 오염시키는 것으로 보고(Adriano et al, 1972; Walker et al., 1973)되고 있으며, Madison과 Brunett(1985)은 25년간 지하수 질에 관한 연구를 종합한 결과 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 이 3.0mg/l 초과하였을 경우에는 인간활동에 의한 오염이라고 하였다.

각 지역별 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 함량(Table 3)은 창녕과 진주지역이 각각 평균 약 13.2 및 11.53mg/l 로서 타지역에 비

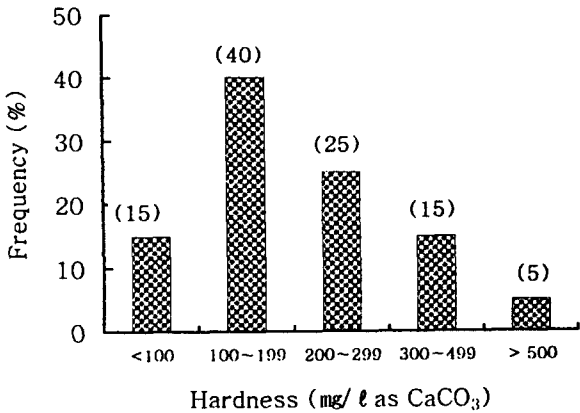


Fig. 6. Frequency distribution of hardness in ground water.

하여 월등히 높았으며, 특히 창녕, 사천 및 진주지역에서는 허 등(1997)이 조사한 지표수의 NO₃-N 함량에 비하여 지하수가 월등히 높은 것으로 나타났다. 그리고 NO₃-N 빈도분포(Fig. 4)는 0.2mg/l 이하에서부터 1.70mg/l 이상까지 넓게 분포하였으며, 0.2~0.69mg/l 사이가 조사지점의 약 50% 정도로 가장 많은 빈도분포를 나타내었고, 1.70mg/l 이상도 약 30%를 차지하였다.

농경지에서 지하수중 NO₃-N 농도가 높아지는 원인은 지질학적 원인에 의해 나타나기도 하지만 과도한 비료의 사용, 축산분뇨의 토양처리 등 인위적인 요인에 의해 높아지기도 하며, 일반적으로 여름철에는 토양중의 NO₃-N이 작물에 이용되기 때문에 지하수중 농도는 낮지만 작물이 재배되지 않는 겨울철에는 토양 하층부에 그 농도가 높아지는 경향이 있는 것으로 알려져 있다 (Johnson et al., 1976). 특히 창녕과 진주지역 지하수에서 NO₃-N이 높게 나타난 것은 이들 지역에서는 지하수공의 깊이가 얕았고, 낙동강과 남강 주변은 사질 토양이기 때문에 토양중에서 이동이 빠른 NO₃-N이 지하로 쉽게 이동되었기 때문인 것으로 생각되었다.

3.1.4 Ca²⁺, Mg²⁺ 및 경도

각 지역별 Ca²⁺, Mg²⁺ 및 경도를 조사한 결과는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 Ca²⁺ 함량은 함안이 94.6mg/l, 창녕과 진주가 각각 63.6mg/l 및 64.1mg/l로서 함안 지역이 가장 높았으며, 허 등(1997)이 조사한 지표수의 Ca²⁺ 함량과 지하수의 Ca²⁺ 함량 사이에는 약간의 상관도 나타나는 경향이 있었다. 배 등(1995)이 전국 양액재배 농가에서 사용하는 지하수를 분석한 결과 Ca²⁺ 함량 범위는 1.60~131mg/l이었으며, 평균 26.1mg/l이라고 하였다. 이에 비해 경남 시설원예지대의 지하수중 Ca²⁺는 평균 56.4mg/l로서 상당히 높았으며, 창녕, 함안 및 진주지역은 양액재배에 있어서 일본의 원수 수질 기준인 40mg/l을 초과하였으며, 함안지역(94.6mg/l)은 네덜란드 원수 수질기준 80mg/l을 초과하였다.

Mg²⁺ 함량도 Ca²⁺와 마찬가지로 함안지역이 평균 21.1mg/l로 타지역에 비해 가장 높았다.

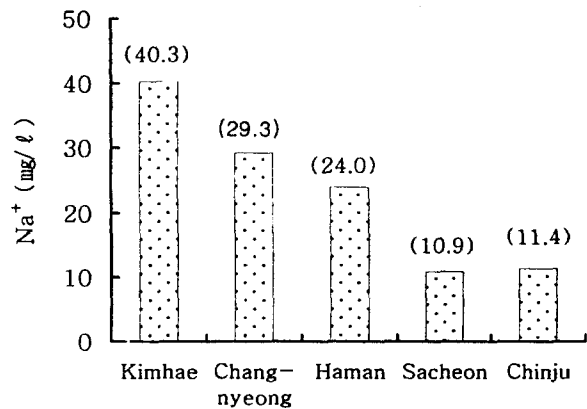
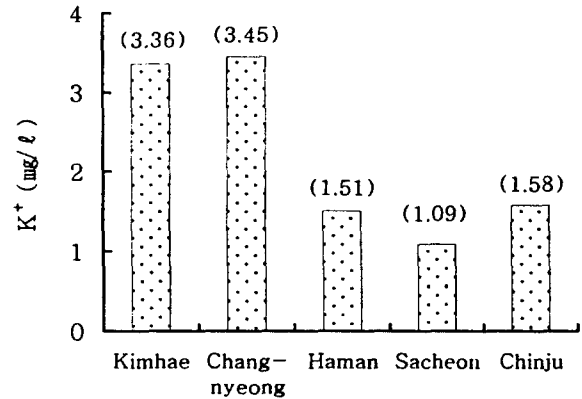


Fig. 7. Average value of K⁺ and Na⁺ in the ground water at different areas in Gyeongnam. K⁺ and Na⁺ was analyzed six times from October in 1995 to March in 1996.

경도는 주로 수중에 존재하는 Ca²⁺, Mg²⁺ 이온 함량에 기인되며 일반적으로 경도가 0~75mg/l 이면 단물, 75~100mg/l 이면 약한 센물, 150~300mg/l 이면 센물, 300mg/l 이상이면 아주 강한 센물로 규정하고 있다.

각 지역별 경도는 Ca²⁺ 및 Mg²⁺와 마찬가지로 함안지역이 평균 약 353mg/l로서 타지역에 비해 가장 높았고 아주 강한 센물에 해당되었다. 창녕과 진주지역에서도 각각 평균 약 233mg/l 및 222mg/l로 높게 나타났으며, 경도의 빈도분포(Fig. 6)는 조사지점의 약 40%가 100~199mg/l 사이에 분포하고 있었으며, 약 25%는 200~299mg/l 사이에 분포하고 있었다. 그리고 300mg/l을 초과하는 지점도 20% 이상인 것으로 나타나 작물의 양액재배나 수경재배시 파이프에 scale 형성 및 노즐 막힘 현상을 초래할 수도 있을 것으로 판단되었다.

3.1.5 K⁺ 및 Na⁺

각 지역별 K⁺ 함량을 분석한 결과는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 김해와 창녕지역이 각각 평균 약 3.36mg/l과 3.45mg/l로서 타지역에 비하여 약간 높았으나 허

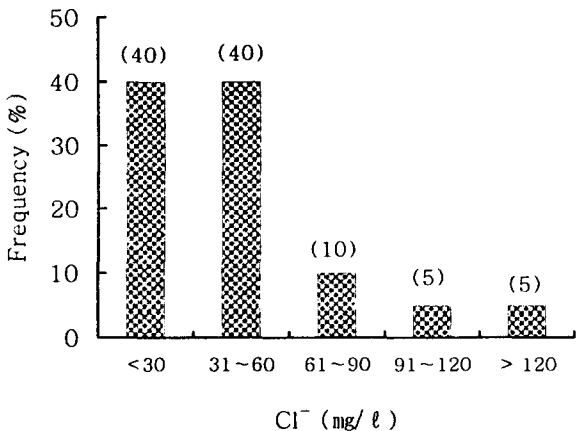
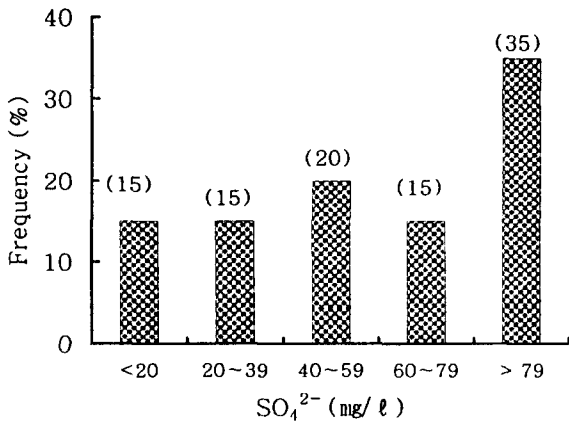
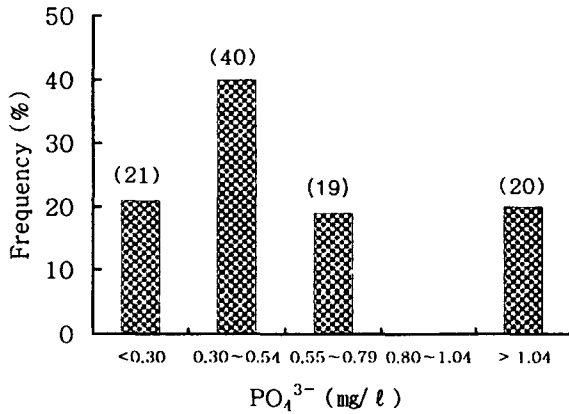


Fig. 8. Frequency distribution of PO₄³⁻, SO₄²⁻ and Cl⁻ in ground water.

등(1997)이 조사한 지표수의 K⁺ 함량에 비해서는 대체적으로 낮은 것으로 나타났다. 배 등(1995)이 전국 지하수를 조사한 결과에 의하면 K⁺ 함량 범위는 0.38~24.4mg/l이었으며 평균 3.62mg/l인 것으로 보고하고 있다. 이에 비해 경남지역 시설원예시대 지하수의 평균 K⁺ 농도는 2.20mg/l으로서 전국 평균치 3.62mg/l에 비

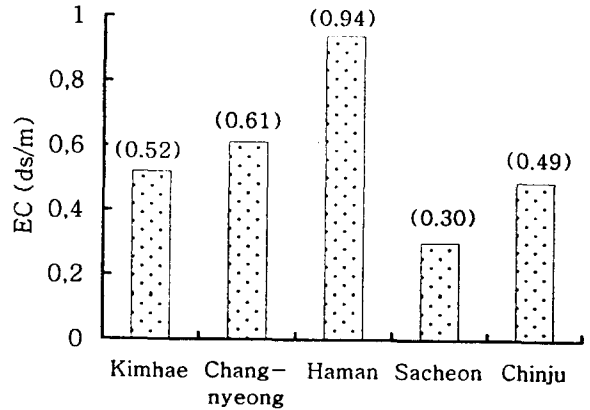


Fig. 9. Average value of EC in the ground water at different area in Gyeongnam. EC was analyzed six times from October in 1995 to March in 1996.

하여 낮았다.

Na⁺ 함량은 김해지역이 평균 약 40.3mg/l으로 타지역에 비하여 가장 높게 나타났으며, 김해지역의 지하수 중 Na⁺ 함량이 높게 나타난 것은 해수의 영향을 받았기 때문인 것으로 사료되었다(Fig. 7).

3.1.6 PO₄³⁻, SO₄²⁻ 및 Cl⁻

각 지역별 PO₄³⁻, SO₄²⁻ 및 Cl⁻ 함량 및 빈도분포를 조사한 결과는 Table 4 및 Fig. 8에서 보는 바와 같다.

인은 조류의 성장에 필수 성분이며 수중에 인 및 질소 농도가 높으면 algal blooming 현상을 일으키는 원인이 되며 부영양화를 야기시켜 조류의 탄소동화작용으로 수중 탄산가스가 소비되어 pH는 상승하고 산소가 방출되어 용존산소가 과포화되기도 한다(임 세빈, 1990).

각 지역별 PO₄³⁻ 함량은 김해지역이 평균 약 1.02mg/l, 창녕과 함안이 각각 평균 약 0.59mg/l 및 0.61mg/l로서 김해 지역이 가장 높았으며, 특히 김해지역에서는 허 등(1997)이 조사한 지표수의 PO₄³⁻ 함량에 비하여 약 2배 이상이 높은 것으로 나타났다. 그리고 PO₄³⁻ 빈도분포는 조사지점의 약 40% 이상이 0.30~0.54mg/l 사이에 분포하고 있었으며, 1.04mg/l 이상인 지점도 약 20% 분포하고 있었다.

SO₄²⁻는 지하 토질의 영향을 많이 받는 항목중의 하나로써, 환원상태에서 난용성 ZnS를 형성하여 Zn결핍을 초래하기도 하며, Ca 흡수저해와 Na 흡수촉진 및 염류체의 광인산화반응을 저해하기도 한다(Helal과 Mengel, 1981). 각 지역별 SO₄²⁻ 함량은 함안지역이 평균 약 238mg/l로서 가장 높았으며, 김해, 창녕 및 진주지역도 각각 평균 약 65~68mg/l 범위로서 사천지역에 비하여 높은 것으로 나타났으며, SO₄²⁻ 빈도분포는 조사지점의 약 35%가 79mg/l 이상인 것으로 나타났다. 경남지역 양액 재배농가를 대상으로 지하수를 분석한 결과에 의하면(이영환외, 1995), SO₄²⁻ 함량은 1.4~430mg/l 범위로서 평균 약 78.6mg/l로 보고되고 있으며, SO₄²⁻에 의한 수도피해는 SO₄²⁻ 100mg/l 이상부

Table 4. PO₄³⁻, SO₄²⁻ and Cl⁻ contents in ground water (Unit : mg / l)

| | | Kimhae | Changnyeong | Haman | Sacheon | Chinju |
|-------------------------------|-------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| PO ₄ ³⁻ | Range | 0.48~1.81 | 0.14~1.60 | 0.09~1.32 | 0.14~0.66 | 0.11~0.56 |
| | Mean | 1.02 | 0.59 | 0.61 | 0.36 | 0.31 |
| SO ₄ ²⁻ | Range | 29.9~100 | 23.3~106 | 70.9~499 | 2.25~51.1 | 21.0~140 |
| | Mean | 65.9 | 67.4 | 238 | 21.0 | 67.5 |
| Cl | Range | 19.9~178 | 15.2~81.2 | 23.4~64.8 | 11.8~34.8 | 8.5~40.4 |
| | Mean | 92.5 | 52.9 | 40.8 | 20.3 | 23.7 |

Table 5. Heavy metals contents in ground water (Unit : mg / l)

| | | Kimhae | Changnyeong | Haman | Sacheon | Chinju |
|----|-------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| Fe | Range | 0.03~22.3 | 0.10~0.42 | 0.07~2.80 | 0.01~0.13 | 0.01~0.27 |
| | Mean | 7.17 | 0.22 | 0.72 | 0.04 | 0.11 |
| Mn | Range | 0.11~2.08 | 0.07~0.23 | 0.02~0.57 | 0.01~0.07 | 0.01~0.09 |
| | Mean | 0.95 | 0.12 | 0.23 | 0.03 | 0.05 |
| Pb | Range | ND~0.067 | ND~0.036 | ND~0.024 | ND~0.015 | ND~0.016 |
| | Mean | 0.013 | 0.010 | 0.008 | 0.005 | 0.005 |
| Cd | Range | ND~0.017 | ND~0.023 | ND~0.018 | ND~0.004 | ND~0.007 |
| | Mean | 0.004 | 0.003 | 0.008 | 0.002 | 0.002 |
| Zn | Range | 0.002~0.076 | ND~0.049 | ND~0.084 | ND~0.040 | ND~0.032 |
| | Mean | 0.025 | 0.025 | 0.031 | 0.014 | 0.005 |
| Cu | Range | ND~0.024 | ND~0.012 | ND~0.014 | ND~0.012 | ND~0.012 |
| | Mean | 0.003 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.004 |

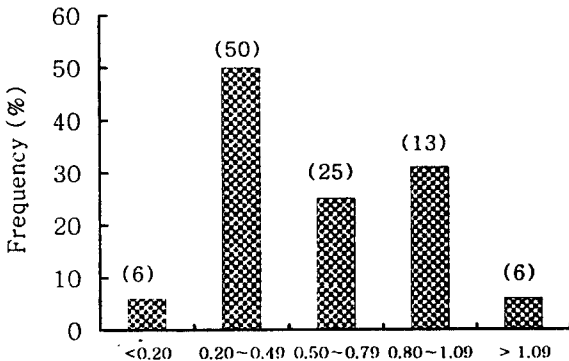


Fig. 10. Frequency distribution of EC in ground water.

터 현저히 감소되며 관개수중 SO₄²⁻의 감소농도는 54.9mg/l 인 것으로 보고(김 정제와 한 대성, 1979)되고 있으며, 함안지역의 지하수는 수도 뿐만 아니라 시설원예작물에 있어서도 직접 또는 간접적으로 SO₄²⁻의 영향을 받을 것으로 생각되었다.

각 지역별 Cl⁻ 함량은 전반적으로 Na⁺과 비슷한 경향을 보였으며, 김해지역이 평균 약 92.5mg/l 로 가장 높았고 창녕, 사천 및 진주지역의 Cl⁻은 허 등(1997)이 조사한 지표수와 비슷한 경향을 나타내었으며, Cl⁻ 함량 빈도분포는 조사지점의 약 40% 이상이 30~60mg/l 사이에 분포하고 있었으며 120mg/l 이상인 지점도 약 5% 분포되어 있었다. 미량원소인 Cl⁻의 과다는 식물체의 광합성을 감소, 탄수화물 이동저해 및 호흡과 수분흡수 저해를 일으키는 원인이 되고(Helal과 Mengel, 1981; Hiroshi과 Jatsushi, 1978; Basslavskaya와 Syroeshyina, 1936), Cl⁻은 Na⁺와 더불어 식물에 흡수되는 양이 적기 때문에 Cl⁻의 농도가 높을때 배양액의

삼투압이 상승하여 뿌리의 흡수능력을 저하시키고, 토마토의 경우는 Ca 흡수가 불량하여 배꼽썩음과가 발생하며(伊達修一, 1994), 농업용수중 Cl⁻ 함량이 100mg/l 이상 되면 농업용수로서 장기간 이용이 불가능하다는 견해도 있으며(배 중향외, 1995), 이러한 측면에서 볼때 김해지역의 지하수는 염소에 의한 장해를 일으킬 가능성이 있을 것으로 생각된다.

3.1.7 전기전도도(EC)

각 지역별 전기전도도(EC)를 조사한 결과는 Fig. 9에서 보는바와 같이 김해, 창녕 및 진주지역이 평균 약 0.5~0.6 dS/m 정도였고, 사천지역은 낮았으며 함안지역의 지하수는 평균 약 0.94 dS/m로서 높게 나타났다. 김 등(1989)에 의하면 전국 주요 농업용수의 수질오염 조사에서 전기전도도(EC)의 농작물피해 기준을 1.0 dS/m로 설정하였는데 함안지역의 경우 농작물에 영향을 끼칠 수 있는 위험수위에 가깝게 나타났다. 전기전도도(EC)는 Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, SO₄²⁻ 및 Cl⁻등과 관계가 깊은데 함안지역에서 전기전도도(EC)가 높게 나타난 것은 함안지역의 Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, SO₄²⁻ 및 Cl⁻가 높은 결과와 일치하였다. 그리고 전기전도도(EC) 빈도분포는 조사지점의 50%가 0.20~0.49 dS/m 범위에 분포하였고 조사지점의 25%가 0.50~0.79 dS/m 범위에 분포하고 있었다(Fig. 10). 이 등(1995)이 1995년 경남지방 양액재배농가 지하수를 분석한 결과 전기전도도(EC)는 0.5 dS/m 이하가 조사지점의 75% 이상이라고 하였으나, 본 조사 결과에서 전기전도도(EC)는 0.5 dS/m 미만이 약 55% 정도로서 그들의 조사 결과에 비하여 약간 낮게 나타났다.

3.1.8 중금속

Table 6. Correlation coefficients among various chemical factors of the ground water(r=)

| | COD | NH ₄ ⁺ | NO ₃ | PO ₄ ³⁻ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Hardness | EC | SS | SO ₄ ²⁻ | Na ⁺ | Cl | Fe ²⁺ |
|-------------------------------|--------|------------------------------|-----------------|-------------------------------|----------------|------------------|------------------|----------|---------|--------|-------------------------------|-----------------|--------|------------------|
| NH ₄ ⁺ | 0.546 | | | | | | | | | | | | | |
| NO ₃ | -0.209 | -0.349 | | | | | | | | | | | | |
| PO ₄ ³⁻ | 0.334 | 0.537 | -0.283 | | | | | | | | | | | |
| K ⁺ | 0.158 | 0.246 | 0.247 | 0.146 | | | | | | | | | | |
| Ca ²⁺ | 0.165 | 0.229 | -0.054 | 0.039 | -0.174 | | | | | | | | | |
| Mg ²⁺ | -0.066 | 0.111 | 0.027 | 0.071 | -0.085 | 0.767** | | | | | | | | |
| Hardness | -0.003 | 0.249 | -0.062 | 0.289 | -0.133 | 0.983** | 0.857** | | | | | | | |
| EC | 0.591* | 0.361 | -0.124 | 0.313 | -0.060 | 0.713** | 0.617** | 0.709** | | | | | | |
| SS | 0.328 | 0.009 | 0.081 | -0.277 | 0.419 | -0.052 | 0.058 | -0.062 | 0.387 | | | | | |
| SO ₄ ²⁻ | -0.074 | 0.081 | -0.141 | 0.139 | -0.068 | 0.777** | 0.865** | 0.833** | 0.646** | 0.164 | | | | |
| Na ⁺ | 0.509* | 0.400 | -0.210 | 0.804** | 0.435 | 0.141 | 0.149 | 0.192 | 0.435 | 0.098 | 0.193 | | | |
| Cl | 0.434 | 0.447* | 0.010 | 0.749** | 0.493 | -0.079 | 0.054 | -0.011 | 0.313 | 0.095 | 0.012 | 0.904** | | |
| Fe ²⁺ | 0.216 | 0.759** | -0.167 | 0.236 | 0.408 | -0.208 | -0.057 | -0.143 | -0.063 | -0.045 | -0.131 | 0.262 | 0.459* | |
| Mn ²⁺ | 0.496* | 0.706** | -0.134 | 0.143 | 0.312 | -0.158 | -0.005 | -0.123 | 0.169 | 0.212 | -0.104 | 0.159 | 0.312 | 0.789** |

* and **: Significant at 5% and 1% level, respectively.

각 지역별 중금속을 분석한 결과는 Table 5에서 보는 바와 같이 Fe 및 Mn은 김해지역에서 각각 평균 약 7.17mg/l 및 0.95mg/l로서 타지역에 비하여 매우 높았으며, 특히 김해지역은 Fe함량이 타지역에 비하여 10배 이상 높은 것으로 나타났다. Fe는 수산화철로 자연계에 존재하며 물속에서 적색수의 원인이 되고, 수중에 Fe 함량이 1.0mg/l 이상 존재하면 금속미를 유발하는 것으로 알려져 있으며(김정현, 1977), 김해시 대동면 일대의 지하수는 육안으로도 붉은색을 띠고 있는 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 김해지역은 지하수의 관정 깊이를 현재보다 더 깊히하고 우물시공을 철저히 하여 천부지하수의 유입을 방지하고, 이와 병행하여 지하수중의 Fe 오염원을 조사하여 오염확산을 방지하는 등의 안전한 농업용수 공급을 위한 대책방안이 필요할 것으로 생각되었다. Pb 및 Zn의 평균함량은 농업용수 기준치 이하로 나타났지만, 지점에 따라서는 높은 함량을 나타내는 곳도 있었으며, Cd와 Cu의 평균 함량도 농업용수 기준치 0.01mg/l 을 초과하지는 않았으나 지점에 따라서 Cd는 김해, 창녕 및 함안지역에서 기준치를 초과하는 지점이 있었고, Cu는 모든 지역에서 지점에 따라 기준치를 초과하는 지점이 있었다. 유해성 용존금속인 이들 중금속들의 지하수내 함량은 허 등(1997)이 조사한 지표수와 큰 차이는 없었으나 지표수에 비하여 지하수가 약간 더 높은 경향을 나타내었는데, 이러한 이유는 지하의 조건이 환원상태이므로 금속성분의 용출이 쉬웠기 때문인 것으로 생각되었다.

3.2 수질분석 항목간의 상관관계

각 지역별 지하수 수질분석 항목간의 상관관계를 검토한 결과는 Table 6에서 보는 바와 같다. 지하수의 COD는 SS와 상관이 없는 것으로 나타났는데, 그 원인은 지하수중 SS는 파광간산 칼륨에 의해 산화되기 쉬운 유기물질이 아니라 흙이나 광물질 등의 무기물질들이 주종을 이루고 있었기 때문인 것으로 생각되었다. 그리

고 COD와 NH₄⁺-N는 서로 고도의 유의성 있는 정의 상관이 있었다.

EC는 Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻ 및 SO₄²⁻ 등 여러 무기성 이온들과 유의성 있는 정의 상관이 있었으며, COD는 NH₄⁺-N, EC, Na⁺ 및 Mn²⁺과 유의성 있는 정의 상관이 있었으며, PO₄²⁻는 Na⁺, Cl⁻과 각각 고도의 유의성 있는 정의 상관이 있었고, SO₄²⁻는 Ca²⁺, Mg²⁺, 경도 및 전기전도도(EC)와 고도의 유의성 있는 정의 상관이 있었다.

4. 결 론

경남지역 주요 시설원에 용수원인 김해, 창녕, 함안, 사천 및 진주 등 5개 지역의 각 지역별 4개지점 지하수의 수질을 1995년 10월부터 1996년 3월까지 매월 1회, 총 6회에 걸쳐 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

지하수의 각 지역별 pH는 전반적으로 pH 5.9~7.6 범위였으며, 창녕의 1개 지점이 농업용수 기준범위를 벗어났다. COD는 김해, 창녕, 함안, 사천 및 진주지역 모두 농업용수 허용기준치인 8.0mg/l 이하였으며, 평균 COD는 2.8mg/l 이하였다.

NH₄⁺-N은 전지역 모두 매우 낮았으며, NO₃⁻-N은 창녕과 진주지역에서 각각 평균 약 13.2mg/l 및 11.5mg/l로 높았으며, 경도, SO₄²⁻ 및 전기전도도(EC)는 함안지역이 타지역에 비하여 가장 높았다.

김해지역 지하수의 Fe와 Mn의 평균은 각각 7.17mg/l 및 0.95mg/l로서 타지역에 비하여 매우 높았으며, Cu, Cd, Pb 및 Zn은 각 지역별 평균은 농업용수 기준치 이하였으나, 지점에 따라서 기준치를 초과하는 지점도 여러곳 있었다.

수질분석 항목들간의 상관관계를 검토한 결과 COD와 SS는 r=0.328로 상관이 나타나지 않았으나 COD와 NH₄⁺-N은 서로 유의성있는 정의 상관이 있었으며, 전기전도도(EC)는 Ca²⁺, Mg²⁺ 및 SO₄²⁻와 유의성있는 정의 상관이 있었다.

경남지역 시설원예지대 농업용수원의 지하수 수질오염은 전반적으로 사천<진주<함안<김해<창녕 순으로 오염도가 높았다.

감사의 글

본 연구는 1995년도 교육부 학술연구조성비(농업과 학분야)에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

김정제, 한대성, 1979, 관개수중 황산이 수도의 감수에 미치는 영향, 강원대학교연구논문집, 13:99~104.
 김정현, 1977, 수질오염개론, 서울고문사.
 김종택, 1986, 환경오염공정시험법 해설(수질분야), 신평출판사.
 김태근, 1977, 산업폐수에 관한 고찰, 성균관대학교 경영행정대학원 석사학위논문.
 농촌진흥청 농업기술연구소, 1993, 1993년 농업기술연구소 시험연구보고서, 농작물피해조사편.
 배종향, 조영렬, 이용범, 1995, 양액재배농가 원수 수질조사, 생물생산시설환경학회지, 4(1), 80~88.
 양상현, 1987, 수질공학, 동화기술
 伊達修一, 1994, やさしい養液栽培-水質について-。ハイドロポニックス, 8(2), 88~91.
 이영한, 김중균, 이한생, 조동진, 신원교, 1995, 경남지역 양액재배 농가의 원수 수질조사, 경남농촌진흥원.
 이재성, 1994, 경안천유역오염원 및 수질에 관한 조사, 숭실대학교 석사학위논문.
 임제빈, 1990, 환경화학, 동화기술.
 환경부, 1996, 지하수 수질현황, 지하수관리, 환경백서, 217pp.
 허종수, 하영래, 서정운, 조주식, 이성태, 이홍재, 1997, 경남지방 시설원예지 농업용 지표수의 수질 현황, 한국환경농학회지, 16(4), 356~364.

Adriano, D. C., P. F. Pratt, and F. H. Takatori. 1972. Nitrate in saturated zone of an alluvial soil in relation to fertilizer nitrogen rate and irrigation level. *J. Environ. Qual.*, 1, 418~422.
 Basslavskaya, S. S. and M. Syroeshyina, 1936. Influence of chloride ion on the content of chlorophyll in the leaves of potatoes. *Plant Physiol.*, 11, 149.
 Clesceri, R. S. et al ed. 1989, Standard methods for the examination of water and wastewater, APHA-AWWA-WPCF.
 Helal, H. M. and K. Mengel, 1981, Interaction between light intensity and NaCl salinity and their effects on growth, CO₂ assimilation, and photosynthate conversion in young broad beans, *Plant Physiol.*, 67, 999.
 Hiroshi I. and T. Akiya, 1978, Effect of chlorine on growth and quality of tobacco, *JARQ*, 12(1), 1.
 Johnson, A. H., D. R. Bouldin, E. A. Goyett and A. M. Hedges, 1976, Nitrate dynamics in Fall Greek, New York. *J. Environ. Qual.*, 5, 386~391.
 Madison, R. J. and J. O. Brunett, 1985, Overview of the occurrence of nitrate in ground water in the United States, In : U. S. G. S. Nat'l water summary 1984, U. S. Geol. Surv. *Water-applying paper* 2275: 93-105. Cited from Follett(ed.). 1989. Nitrogen management and ground water pollution. 38.
 Walker, W. G., and J. Bouma, D. R. Kenney and F. R. Magdoff. 1973. Nitrogen transformation during subsurface disposal of septic tank effluent in sands : I. Soil transformation. *J. Environ. Qual.* 2 : 475~480.