

## 우리나라 논 관개용 지하수 수질 특성

김진호\* · 조광래<sup>1)</sup> · 임수정<sup>2)</sup> · 이경자<sup>3)</sup> · 경기천<sup>4)</sup> · 엄미정<sup>5)</sup> · 김희권<sup>6)</sup> · 김찬용<sup>7)</sup> · 이영한<sup>8)</sup> · 이신찬<sup>9)</sup> · 윤순강

농업과학기술원, <sup>1)</sup>경기도농업기술원, <sup>2)</sup>강원도농업기술원, <sup>3)</sup>충청북도농업기술원, <sup>4)</sup>충청남도농업기술원,  
<sup>5)</sup>전라북도농업기술원, <sup>6)</sup>전남농업기술원, <sup>7)</sup>경상북도농업기술원, <sup>8)</sup>경상남도농업기술원, <sup>9)</sup>제주도농업기술원

(2003년 9월 22일 접수, 2003년 10월 24일 수리)

### Characteristics of the Groundwater Quality for Paddy Fields in Korea

Jin-Ho Kim, Kwang-Rae Cho<sup>1)</sup>, Su-Jung Lim<sup>2)</sup>, Kyung-Ja Lee<sup>3)</sup>, Gi-Chun Kyung<sup>4)</sup>, Mi-Jung Eum<sup>5)</sup>, Hee-Kwon Kim<sup>6)</sup>, Chan-Yong Kim<sup>7)</sup>, Young-Han Lee<sup>8)</sup>, Shin-Chan Lee<sup>9)</sup> and Sun-Gang Yun (National Institute of Agri. Sci & Tech. Suwon 441-707, Korea, <sup>1)</sup>Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Service, Hwaseong 445-972, Korea, <sup>2)</sup>Gangwon-do Agricultural Research & Extension Service, Chuncheon 200-939, Korea, <sup>3)</sup>Chungbuk-do Agricultural Research & Extension Service, Cheongwon-gun 363-883, Chungbuk, Korea, <sup>4)</sup>Chungnam-do Agricultural Research & Extension Service, Yesan-gun 340-860, Chungnam, Korea, <sup>5)</sup>Jeonbuk-do Agricultural Research & Extension Service, Iksan 570-704, Korea, <sup>6)</sup>Jeonnam-do Agricultural Research & Extension Service, Naju 520-715, Korea, <sup>7)</sup>Gyeongbuk-do Agricultural Research & Extension Service, Daegu 702-708, Korea, <sup>8)</sup>Gyeongnam-do Agricultural Research & Extension Service, Jinju 660-360, Korea, <sup>9)</sup>Jeju-do Agricultural Research & Extension Service, Jeju 690-170, Korea)

**ABSTRACT :** This study was carried out to evaluate the status of the groundwater quality for paddy fields irrigation in Korea. Water samples were collected at 130 sites throughout the country. Samples were collected at three seasons - April, July and October - in 2000. According to our survey, the groundwater was found to be suitable for irrigation purpose. Average EC was shown 0.286 dS/m. Nitrate-nitrogen and Cl<sup>-</sup> concentration was 5.6 mg/L, 32.95 mg/L which satisfied the Korean Standards for Irrigation Water. Nitrate-nitrogen concentration in each province was shown as following orders: Jeju (11.17 mg/L) > Chungnam (8.16 mg/L) > Gyeongbuk (6.64 mg/L) > Gyeonggi (5.91 mg/L) > Chungnam (4.95 mg/L) > Gyeongnam (3.91 mg/L) > Jeonbuk (3.50 mg/L) > Jeonnam (3.27 mg/L) > Gangwon (2.91 mg/L). The concentration by sampling seasons were October (6.62 mg/L) > July (5.88 mg/L) > April (4.78 mg/L). As the soil of Jeju Province is usually derived from volcanic ash soils mainly used for upland crops, it may influence the nitrate-nitrogen concentration of groundwater. The amount of rainfall also influence the water quality. But the COD<sub>Cr</sub> were shown April (3.17 mg/L) > July (2.91 mg/L) > October (2.40 mg/L), it is highly related in the basal dose of organic matter fertilizers. This study demonstrated that groundwater quality was suitable for irrigation, but continuous monitoring is recommended for agricultural policy and developing OECD agricultural environment indicators.

**Key words:** groundwater, irrigation, water quality, paddy field.

## 서론

최근 30년 동안 급속한 경제성장을 통해 한국의 국가 경제는 비약적으로 성장하였지만, 그 결과 환경오염의 수준은 점점 심화되었다. 이러한 결과는 농업 생산 환경에서도 비슷한 양상을 보이고 있는데 비료와 농약 및 농기계 등 농자재의 과다한 사용과 집약적 농업 활동에 의해서 토양과 수질의

악화가 초래되었으며, 과거에 비해 지하수 오염도 급격히 증가하고 있는 실정이다. 이로 인해 오염된 물을 농작물 재배에 사용하게 되어 유해한 물질의 집적 가능성이 높아지는 등 안전 농산물의 안정적 생산에 위협이 증가하고 있다<sup>1-4)</sup>.

지하수 오염의 경우 오염물질의 확산 속도가 매우 느리고, 일단 지하수가 오염이 되면 회복하는데 아주 긴 시간이 요구된다. 또한 지표수와 달리 토양체(soil body)를 통과하여 고인물이므로 수질 특성이 지표수와는 다르며, 각종 광물질이 함유되어 있어 지표수보다 경도가 높고 토양의 여과기능과 지질학적 특성에 따라 다양하게 나타난다. 이러한 지하수의 자유수면 높이는 지상의 수문 상태에 따라 좌우되며, 지표수로

\*연락처:

Tel: +82-31-290-0220 Fax: +82-31-290-0277

E-mail: jh-kim@rda.go.kr

부터 유입되는 삼투수에 의해 항상 오염에 노출되어 있으나, 수질의 변화 폭은 지표수보다 적은 편이다<sup>6,7)</sup>.

건설교통부 지하수 조사연보에 따르면 2001년말 기준, 우리나라 지하수 이용량  $3,210 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/년 중 농업용수로 이용되는 양은  $1,362 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/년(42.4%)이며, 이는 우리나라의 논면적 1,146,082 ha에 공급되는 관개용수량의 8.7%를 차지한다<sup>9)</sup>.

지하수 수질에 대한 모니터링 및 연구는 주로 상수원수 중심으로 진행되어 왔으며, 지하수 사용량의 대부분을 차지하고 있는 농업용수의 수질에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구는 우리나라 지하수중 논 관개용 농업용수로로 사용하고 있는 지하수의 수질을 파악하여, 자료를 축적하고, 이를 친환경농업정책 및 OECD 농업용수 수질관련 지표개발의 기초 자료로 활용하고자 하는데 그 목적이 있다.

### 재료 및 방법

#### 조사 대상지역 및 시기

Table 1은 2000년 논관개용 지하수 수질 조사지점 현황을 나타낸 것이다. 조사지점은 총 130지점으로 한 시·군에 2점 이내로 선정, 대표성을 지니게 하였으며, 조사지점을 전국적으로 고루 분포시켰다. 또한 지하수 조사지점은 영농활동에 의한 영향을 평가하기 위해, 천층지하수만을 조사대상으로 하였다. 조사횟수는 연 3회를 하였으며, 조사시기는 영농기간을 중심으로 구분하여, 4월, 7월, 10월에 전국적으로 조사를 실시하였다. Fig. 1은 조사년도인 2000년의 각 도별 평균강우량을 월별로 나타낸 것이다. 강우는 6월부터 9월까지 집중되었고, 평년과 같이 8월에 가장 많은 강우를 보였다.

Table 1. Numbers of groundwater sampling site on Provinces in Korea

Province	Gyeonggi	Gangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk
Site No.	15	11	15	15	15
Province	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Jeju	Total
Site No.	15	14	23	7	130

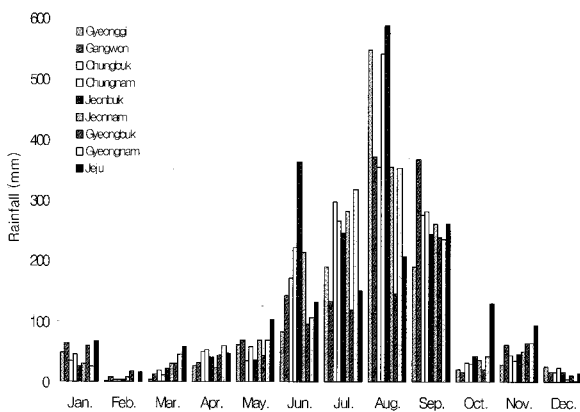


Fig. 1. Monthly rainfall by province in 2000.

#### 시료 채취 및 분석방법

지하수 수질 시료 채취시에는 pump를 이용하여 양수하였고, 양수시에는 포기가 일어나지 않도록 pump의 토출 유속을 최소화하였다. 또한 지하수 양수 관망내에 잔류하고 있던 지하수를 완전히 배제하기 위해 pump를 가동시킨 후 최소한 1분이 경과한 후에 지하수 시료를 채수하였다. 시료는 현장에서 pH와 EC를 측정후, 채수한 시료를 폴리에틸렌 용기(2 L)를 이용하여, 시료를 ice box에 넣어 실험실로 운반한 후, 수질오염공정시험법<sup>9)</sup>과 EPA Standard Methods<sup>10)</sup>에 준하여 분석하였다. Electric conductivity는 EC meter법(YSI model- 30), COD는 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 산화법, NH<sub>3</sub>-N은 Indophenol법, NO<sub>3</sub>-N은 자외선흡광광도법, Cl<sup>-</sup>은 AgNO<sub>3</sub> 적정법, PO<sub>4</sub>-P는 흡광광도법 중 염화제일주석 환원법을, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 BaCl<sub>2</sub>에 의한 비탁법으로 분석하였다. 이때 사용한 UV-Spectrophotometer는 BECKMAN-DU650을 이용하였다. 또한 양이온은 Watman No. 6 여과지로 여과한 후 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, GBC INTERGRA XMP)를 이용하여 분석하였다. 수질 시료의 중금속분석 전처리 시약으로는 질산을 이용하였으며, Microwave를 이용한 분해방법으로 전처리 하였다.

### 결과 및 고찰

Table 2는 우리나라 논 지하수의 도별 평균 수질을 나타낸 것이다. EC는 관개수중 용존 되어 있는 이온의 양을 파악하는 지표인자이며 영양염류의 양을 평가하는 수질항목<sup>17)</sup>으로 연평균 0.286 dS/m의 값을 나타내었다. 지역별로는 경남(0.538 dS/m) > 충남(0.325 dS/m) > 제주(0.297 dS/m) > 전남(0.289 dS/m) 등의 순으로 조사되었다. 경남의 경우 타 지역에 비해 전 조사기간을 통해 고르게 높은 평균농도(≥0.5 dS/m)를 나타내었는데, 경남에서 검출된 Cl<sup>-</sup>과 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 각각 92.07 mg/L, 34.68 mg/L로 다른 지역에 비해 월등히 높게

Table 2. Mean groundwater quality at paddy fields by regions (unit : mg/L)

Region	EC (dS/m)	COD <sub>Cr</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
Gyeonggi	0.263	2.58	0.103	5.91	17.92	17.92	27.12
Gangwon	0.158	0.94	0.155	2.91	0.254	9.11	20.11
Chungbuk	0.245	4.37	0.110	4.95	0.045	13.55	27.22
Chungnam	0.325	3.51	0.016	8.16	0.358	18.65	38.82
Jeonbuk	0.204	1.71	0.195	3.50	0.026	9.23	21.53
Jeonnam	0.289	0.91	0.170	3.27	0.055	16.94	30.77
Gyeongbuk	0.254	5.91	1.205	6.64	0.077	16.10	16.15
Gyeongnam	0.538	1.16	0.443	3.91	0.141	34.68	92.07
Jeju	0.297	0.86	-	11.17	0.063	5.76	22.76
Ave.	0.286	2.44	0.266	5.60	2.104	15.771	32.95

나타났기 때문으로 보이며, 이는 경남 조사 지점중 부산시 강서구 등에 위치한 조사지점이 바다와 인접해 있어서, 해수 성분이 지하수에 영향을 미친 것으로 판단된다. USDA Salinity Staff에서는 EC 0.75 dS/m의 관개수는 대부분의 작물 재배에서 사용할 수 있다고 하였고<sup>11,12)</sup>, FAO에서는 EC의 평균농도가 0.7 dS/m 이하면 작물의 생산에 큰 영향이 없다고 하였다<sup>13)</sup>. 우리나라에는 관개수중의 EC에 의한 농작물의 피해농도를 1.0 dS/m이하로 설정하였다. USDA와 FAO의 기준에 의하면, 조사대상 시료들의 EC 수준은 농작물의 생장에 영향을 미치지 않는 안전한 수준으로 나타났다. 수중의 유기물 지표인 COD<sub>G</sub>의 경우 각 조사지역별 연평균농도는 경북 (5.91 mg/L) > 충북 (4.37 mg/L) > 충남 (3.51 mg/L) > 경기 (2.58 mg/L)의 순이었고, 전국적 범위는 0.86~5.91 mg/L이었으며, 평균 2.44 mg/L정도의 농도를 나타내었다. 시기별 연평균 농도는 4월 (3.17 mg/L)이 7월 (2.91 mg/L)과 10월 (2.4 mg/L)에 비해 상대적으로 높았다. 그러나 우리나라에서 Kim 등<sup>6)</sup>이 제시한 농작물 한계농도인 50 mg/L에는 훨씬 미치지 못하였다.

농업용수 중에 과다하게 존재할 경우 도복 등을 유발<sup>17)</sup>할 수 있는 무기성 질소화합물 질산화의 첫 번째 단계<sup>16)</sup>인 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 경우 경북지역이 1.205 mg/L로 다른 지역에 비하여 상대적으로 높았으며, 경남 (0.443 mg/L) > 전북 (0.195 mg/L) > 전남 (0.17 mg/L) 등등의 순으로 0~1.205 mg/L의 분포를 나타내었다. 이는 생장에 피해를 줄 수 있는 농작물의 피해한계 농도인 5.0 mg/L에는 미치지 못하였다. 경북의 경우 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 농도가 타 지역보다 높지만 상대적으로 NO<sub>3</sub>-N의 농도가 낮은 수준을 보였는데, 이는 상대적으로 배수 불량한 논토양이 많아 천층지하수내 지표로부터 유입된 오염물질이 산화되지 못한데 기인한 것으로 판단된다. 조사시기별 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 평균 농도는 10월 (0.506 mg/L)이 7월 (0.255 mg/L)과 4월 (0.183 mg/L)에 비해 높았는데, 일반적으로 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N는 8~9월에 걸친 강우량 과다로 인해 지표면의 질소유입에 의한 직접적인 영향으로 추정된다.

지하수의 농업용수 사용에 중요한 판단 항목이며, 청색증을 유발할 수 있는 NO<sub>3</sub>-N의 경우 제주의 평균 농도만이 11.17 mg/L로 생활용수 수질기준인 10 mg/L<sup>18)</sup>을 상회하였으나, 농업용수 수질기준인 20 mg/L에 미치지 않아 농업용수로서는 양호한 수준인 것으로 판단되었다. 제주도 지역이 다른 지역에 비해 NO<sub>3</sub>-N의 평균농도가 높게 조사된 것은 제주도의 지하수 충전지역인 중산간지역(ELm 200~600 m)에서 대부분 화산회토인 토양내 투수속도가 2.5~6.0 cm/hr로 일반 토양의 0.5 cm/hr에 비해 매우 커서 강수가 쉽게 토양층을 통과하여 지하로 유입될 뿐 아니라 산화조건인 발토양 지대이기 때문으로 판단된다<sup>19)</sup>. 시기별로는 4월 (4.78 mg/L)과 7월 (5.88 mg/L)에 비해 10월 (6.62 mg/L)이 상대적으로 높게 나타났다. 이는 8월과 9월초에 걸친 투수량 과다로 표층의 질소가 지하수로 유입된 것으로 판단된다.

인의 경우 지하에 침투가 어렵지만 일단 지하수에 직접적으로 유입되게 되면 자정능력이 낮은 지하수의 특성상 그 복

원이 매우 어려운 특성을 가지고 있다<sup>17)</sup>. PO<sub>4</sub>-P의 농업용수 수질기준은 없으나 경기지역이 0.495 mg/L로 가장 높게 검출되었고, 충남 (0.358 mg/L)과 강원 (0.254 mg/L)에서 상대적으로 다른 지역에 비해 높게 나타났다. 이는 과다 시비로 인한 인산염이 지하로 유입되고 있는 것으로 판단된다. PO<sub>4</sub>-P의 조사시기별 농도는 4월 (0.288 mg/L)이 7월 (0.084 mg/L)과 10월 (0.165 mg/L)에 비해 상대적으로 높았다.

관개수중에 과다하게 존재하게 되면 아연결핍을 초래하고, 엽록체의 광인산화반응을 저해하는<sup>22)</sup> SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 경우 경남이 34.68 mg/L로 가장 높았고 제주가 5.76 mg/L로 가장 낮았다. 이는 Kim<sup>23)</sup> 등이 보고한 관개수 중 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 유의성 있는 감수농도 54.9 mg/L에 미치지 못하는 것이었다. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 조사시기별 농도변화는 15.4 mg/L~16.53 mg/L의 범위를 보였다.

또한 식물체의 광합성을 감소, 탄수화물 이동저해, 호흡 및 수분흡수를 저해하는 것을 알려진 Cl<sup>-</sup>의 경우 지하수법에서 정한 수질기준을 250 mg/L 이하로 정하고 있는데, 평균농도가 경남지역이 92.07 mg/L로 가장 높게 나타났으나, 평균농도가 수질기준에는 미치지 못하는 것으로 조사되었다.

Table 3은 우리나라 논 관개용 조사시기별 지하수의 수질을 나타낸 것이다. COD<sub>G</sub>의 경우 4월이 7월이나 10월보다 다소 높은 경향을 나타내었다. 이는 영농전인 3월에서 4월경에 논에 기비로 사용하는 유기물(퇴비)의 영향 및 비담수기이므로 유기물지표인 COD<sub>G</sub>의 농도가 4월에 가장 높게 나타났던 것으로 판단된다. 그러나 암모니아성질소와 질산성 질소의 농도는 10월에 각각 0.506 mg/L와 6.62 mg/L로 4월보다 높게 나타났다. 이는 농작물 피해수준과 농업용수 수질기준에는 적합하나, 다른 시기에 비해 10월이 상대적으로 높은 것은 영농기를 거치면서 영농활동에 의하여 시비된 질소원에 기인된 것으로 판단된다. 인의 경우는 4월과 10월이 각각 0.288 mg/L와 0.165 mg/L로 높게 나타났는데, 이는 인은 상대적으로 지하로의 이동성이 약하기 때문에 강우가 많은 시기에 희석에 의해 일시적으로 감소하였다가, 강우가 적은 4월과 10월에 그 농도가 다소 높아진 것으로 판단된다. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>과 Cl<sup>-</sup>의 경우는 조사시기별로 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다.

Table 4는 지하수질에 가장 큰 영향을 미치는 EC와 질산성질소의 조사시기별 평균농도와 범위를 나타낸 것이다. EC는 경남에서 7월에 0.565 dS/m로 가장 높게 조사되었으나, 이 지역에서 EC의 분포가 0.120 dS/m~4.300 dS/m로 지역내 조사지점간의 폭이 가장 큰 것으로 나타났다. 제주의 경우도 가장 높은 지점이 0.960 dS/m로 상당히 높은 수준을 나타

Table 3. Groundwater quality at paddy fields by seasons (unit : mg/L)

Period	EC (ds/m)	COD <sub>G</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
April	0.267	3.17	0.183	4.78	0.288	15.4	31.8
July	0.288	2.91	0.255	5.88	0.084	16.2	33.7
October	0.321	2.40	0.506	6.62	0.165	16.5	35.0

Table 4. EC and NO<sub>3</sub>-N concentrations of the groundwater at paddy fields by Provinces and seasons

Provinces	EC(dS/m)			NO <sub>3</sub> -N(mg/L)		
	April	July	October	April	July	October
Kyeonggi	0.247±0.037 <sup>a)</sup>	0.275±0.036	0.267±0.056	6.20±1.23	5.59±1.29	5.95±1.32
	0.060~0.560 <sup>b)</sup>	0.120~0.630	0.050~0.790	0.42~16.10	0.30~19.60	0.06~16.75
Gangwon	0.163±0.016	0.153±0.065		3.02±0.79	2.80±0.65	
	0.087~0.274	0.076~0.297		0.13~7.28	0.00~6.20	
Chungbuk	0.231±0.029	0.249±0.021	0.256±0.034	4.51±1.11	5.47±1.41	5.25±1.95
	0.070~0.470	0.100~0.380	0.080~0.550	0.32~11.89	0.28~15.14	0.14~24.25
Chungnam	0.309±0.034	0.341±0.029	0.326±0.027	7.04±2.22	8.52±2.23	8.92±2.33
	0.112~0.530	0.171~0.545	0.149~0.518	0.17~29.05	0.09~29.02	0.11~34.33
Jeonbuk	0.211±0.015	0.187±0.014	0.212±0.023	3.15±0.49	3.90±0.81	3.63±0.83
	0.115~0.320	0.103~0.304	0.090~0.473	0.98~7.26	0.92~11.48	0.26~8.98
Jeonnam	0.268±0.030	0.271±0.037	0.328±0.045	3.76±1.02	2.81±0.71	3.24±1.11
	0.114~0.468	0.086~0.627	0.058~0.576	0.62~16.70	0.64~12.18	0.25~16.90
Gyeongbuk	0.241±0.021	0.276±0.020	0.244±0.016	3.17±1.12	4.81±1.40	11.94±4.81
	0.130~0.370	0.150~0.400	0.160~0.350	0.00~14.40	0.00~19.13	0.00~52.19
Gyeongnam	0.510±0.190	0.565±0.193	0.539±0.192	2.45±0.46	6.05±1.63	3.23±0.49
	0.090~3.910	0.120~4.300	0.070~4.280	0.10~9.30	0.20~33.40	0.09~10.80
Jeju	0.223±0.011	0.276±0.027	0.391±0.108	9.73±2.98	12.99±3.61	10.78±3.86
	0.190~0.270	0.180~0.410	0.220~0.960	2.10~24.58	2.12~27.10	1.41~27.23

<sup>a)</sup>Ave.±SE, <sup>b)</sup>range.

내고 있었다. 질산성 질소의 경우 평균농도는 농업용수로서 안전한 수준이었으나, 경북, 충·남북, 제주의 일부지점에서의 조사시기중 최고농도가 농업용수 수질기준인 20 mg/L를 초과하는 경우도 있는 것으로 나타났다.

## 결론

우리나라에서 논 관개용으로 사용하고 있는 농업용 지하수의 수질을 파악하고자 2000년 논 관개용 지하수 130개 지점을 대상으로 4월, 7월 및 10월에 걸쳐 수질을 조사한 결과는 다음과 같다.

우리나라 논 관개용 지하수의 전반적인 수질은 EC가 0.286 dS/m로 양호한 수준이었고, 질산성질소 및 염소이온농도가 5.6 mg/L, 32.95 mg/L로 농업용수 수질기준에 크게 미치지 않는 안전한 수준이었다.

질산성질소의 도별 평균농도는 제주 (11.17 mg/L) > 충남 (8.16 mg/L) > 경북 (6.64 mg/L) > 경기 (5.91 mg/L) > 충북 (4.95 mg/L) > 경남 (3.91 mg/L) > 전북 (3.50 mg/L) > 전남 (3.27 mg/L) > 강원 (2.91 mg/L) 순으로 조사되었다. 제주도의 질산성질소농도가 상대적으로 높은 것은 제주도 토양이 화산회토로 타 지역의 논 토양보다 상대적으로 질산성질소에 의한 지하수의 오염에 더 노출되어 있다는 것을 의미한다. 조사시기별 평균농도에서는 10월 (6.62 mg/L) > 7월 (5.88 mg/L) > 4월 (4.78 mg/L)로 나타났다. 이는 강우량이 상대적으로 많은 7월과 8월에 영향을 많이 받아 10월과 7월이 4월에

비해 상대적으로 높은 것으로 조사되었다.

반면 COD<sub>Cr</sub>의 경우는 4월 (3.17 mg/L) > 7월 (2.91 mg/L) > 10월 (2.40 mg/L)로 나타났는데, 이는 3월과 4월에 논에 사용한 유기물에 의해 영향을 받은 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- Lee, S. H. (1992) Groundwater pollution and well management in Japan, *J. Korean Soc. Groundwater* 2, 72-85.
- Jung, G. B., Lee, J. S. and Kim, B. Y. (1996) Survey on groundwater quality under plastic film houses cultivation areas in southern part of Gyeonggi province, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29(4), 389-395.
- Bergstrom, L. (1987) Nitrate leaching and drainage from annual and perennial crops in tile-drained plots and lysimeter, *J. Environmental Quality* 16, 11-18.
- Yun, S. G. and Yoo, S. H. (1993) Behavior of NO<sub>3</sub>-N in soil and groundwater quality, *Korean J. of Environ. Agric.* 12(3), 181-297.
- 건설교통부 (2002) 지하수연보.
- Kim, B. Y. (1988) Water pollution and agriculture, *Korean J. of Environ. Agric.* 7(2), 153-169
- Jung, Y. S., Yang, J. E. and Kim, B. Y. (1997) Standards of agricultural environment in Korea, Seminar, The Korean Society of Environmental Agriculture, p.79-80

8. Kim, J. H., Lee, J. S., Cho, K. R., Seo, Y. H., Lee, K. J., Kyoung, G. C., Eum, M. J., Kim, H. K., Kim, C. Y., Lee, Y. H., Lee, S. C., Kim, W. I., Yun, S. G., and Koh, M. H. (2003) Monitoring project on agri-environment quality in Korea, Status on the Agricultural Water Quality in Korea, RDA NIAST, p.109-139.
9. 환경부 (2000) 수질오염공정시험방법.
10. APHA, AWWA, WPCF (1992) Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th, Washington. DC.
11. USDA Salinity Staffs (1953) Saline and alkaline soils, USDA HB 60: 160.
12. Jung, Y. S., Yang, J. E., Joo, Y. K., Lee, J. Y., Park, Y. S., Choi, M. H. and Choi, S. C. (1997) Water quality of streams and agricultural wells related to different agricultural practices in small catchments of the Han River Basin, *Korean J. of Environ. Agric.* 16(2), 199-205.
13. FAO (1977) Water quality for agriculture, FAO/UN29 Rev. 1: 174.
14. 김복영 (1993) 토양오염실태와 개선대책, 환경보전형 농업을 위한 토양관리 심포지엄, 한국토양비료학회, p.68-97.
15. 片田光晴 (1969) 窒素過利과 農作物被害, 農業과 公害, 農業用水의 水質保全, 地溝出版株式會社, p.173-214.
16. 地下水問題研究會編 (1992) 地下水汚染論, 公立出版株式會社.
17. 권순국, 윤춘경, 김복영, 정재춘, 김진수, 홍성구, 김태철 (1998) 지역환경공학, 향문사, p.89-99.
18. 건설교통부 (1995) 지하수법 제 13조, 수질기준령 제5조.
19. 송영철, 김성홍, 오순미, 김길성, 김태현, 김세라, 고용구, 류성필, 유장걸 (1997) 질소안정동위원소비를 이용한 제주도 지하수중의 오염원 추정, 제주도보건환경연구원보, 8, 177-188.
20. 최중대 (1996) 강원도 농촌유역의 지하수 수질과 하천수질, 한국농공학회 학술발표회 논문집, p.79-85.
21. Fedkiw, J. (1991) Nitrate Occurrence in US Saters(and Related Questions), USDA Working Group on Water Quality, USDA.
22. Lee, J. S., Jung, G. B., Kim, J. H. and Kim, B. Y. (1998) Irrigation water quality of the Kyoungan stream, *Korean J. of Environ Agric.* 17(2), 136-139.
23. 김복영, 김규식 (1978) 유해물질의 농작물 피해도 기준설정, 농업기술연구소 시험연구보고, 20(농업기술편), 1-9.