

한국환경농학회지 제16권 제2호(1997)
Korean Journal of Environmental Agriculture
Vol. 16, No. 2, pp. 199~205

농업형태가 다른 한강 상하류 소유역의 하천수 및 농업용 지하수 수질[†]

정영상 · 양재의 · 주영규¹⁾ · 이주영 · 박용성 · 최문헌 · 최승출²⁾

강원대학교 농업생명과학대학 자원생물환경학부,

¹⁾연세대학교 문리과대학 생물자원공학과, ²⁾강원도 농촌진흥원

Water Quality of Streams and Agricultural Wells Related to Different Agricultural Practices in Small Catchments of the Han River Basin

Yeong-Sang Jung, Jae E. Yang, Young-Kyu Joo¹⁾, Joo-Young Lee, Yong-Seong Park, Mun-Heon Choi, and Seung-Chul Choi²⁾(*Div. of Biological Environ., Kangwon National Univ., ; ¹⁾Dept. of Biol. Res. Eng., Yonsei Univ., and ; ²⁾RDA, Kangwon Province*)

Abstract : Water quality of streams and ground water from areas of different agricultural practices in the small catchments of the Han River basin was investigated. Water samples were collected from upper, middle and lower reaches of the Han River Basin where three types of agricultural management have been practiced : (1) highland agriculture and livestock in Daegwanryung area, (2) typical upland and paddy farmings in Dunnae (Jucheon River) and Chuncheon (Soyang River) areas, and (3) intensive farming in the plastic film house in Guri area (Wangsuk stream). Water quality was monitored for EC, pH, COD, TSS, N, cations and anions. Concentrations of N, especially nitrate, and phosphorus in both stream and ground water exceeded the standard water quality criteria in many cases, but those of heavy metals were non-detectable or trace in most cases, except for Wangsuk stream where a high level was detected in a specific sampling time. Chemical criteria such as pH, EC and COD of the stream were suitable for irrigation purpose, but nitrate concentrations in ground water used in the intensive plastic film house were high enough to require a special management consideration. A model on the irrigation water quality incorporating EC and nitrate concentrations was suggested in view of fertilizer management and environmental quality.

Key words : water quality, stream water, ground water, EC, nitrate, Han-River basin

서 언

우리 나라는 지난 30여년 동안 국가 경제가 비약적인 성장을 이루어 왔지만, 그 결과 환경의 질이 나빠지고 있다. 환경의 질 악화는 농업 환경에도 악영향을 주어 오염된 물을 농작물 재배에 사용하게 되고, 공단에서 나오는 각종 오염물질도 직접 또는 간접적으로 농경지에 유입되어 농작물에 피해를 주고 있다. 이와 함께 비료와 농약 그리고 농기계 등 농자재의 과다한 투입과 집약적 농업 활동에 의해서 토양과 수질의 악화가 초래되고 있다¹⁾.

산업이 급속히 발달하기 시작한 1960년대 초의 주요 하천 및 저수지의 수질 조사 결과를 보면, 이 등²⁾의 조사에서 한강 상류인 춘천과 중류인 양수리 물 시료의 암모니아태 질소와 질산태 질소의 농도가 0.3~0.5 mg/L의 범위에었으며, 관개수의 경우 박과 김³⁾의 조사에서 안성천 등 특수한 예를

제외하고는 대부분이 1 mg/L 내외이었고, 인산의 농도 역시 매우 낮은 수준이었다. 그러나, 최근의 조사에 따르면^{4~8)}, 일부 하천에서 10 mg/L 이상인 경우가 많아져 일반 가축의 음용수로 사용할 수 없을 뿐 아니라 작물의 생육에 까지 악영향을 줄 수 있는 경우가 있게 되어, 농업용수 수질 관리에 대한 문제가 제기되었고^{1,9)}, 농업용 지하수의 오염도 지적되고 있다^{9,10)}.

이 연구의 목적은 한강 수계에서의 농업 형태가 토양 및 수질 오염에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 한강 상류, 중류, 하류의 농업 형태가 다른 대표 소유역을 선정하여, 소유역 하천수, 지하수 수질과 하천 인근 토양에 대한 오염 현황을 조사하였다. 이 연구는 우리 나라 농업환경 연구 지원 5개년 연구 계획의 1년차 연구 결과로 한강 수계의 상류와 하류의 대표적인 소유역의 하천과 토양을 시기별로 년 4회 채취하여 분석하였다.

[†] 본 연구는 1995년도 학술진흥재단의 지원으로 서울대학교 부설 공동기기센터의 대학간 공동연구 과제에 일부로 수행되었음.

재료 및 방법

조사 대상 지역

한강 수계 중 상류, 중류와 하류에서 농업 형태가 다른 3개 소유역을 선정했다. 도시 근교 농업이 집약적으로 이루어지고 있는 구리시 왕숙천 소유역, 벼와 일반 밭 작물 및 소규모 원예 농업이 이루어지고 있는 강원도 춘천시 북한강 지류 일원과 강원도 횡성군 둔내면 주천강 지류 소유역, 그리고 대규모 축산과 고랭지 농업이 이루어지고 있는 강원도 평창군 도암면 일대를 조사 대상 지역으로 선정하였다. 시료는 년 4회 채취하였고, 지역 별 시료 채취 지점은 정동¹¹⁾에서 보고한 바와 같다. 표 1은 조사 대상 지역 및 시료점수를 보여 주고 있다. 이 지역의 토양 시료는 0~10, 10~20, 20~40, 40~60cm 깊이별로 채취하였다.

Table 1. Locations, numbers and representing agricultural practices of the experimental catchments*.

Sampling locations	Practices	Samples
1. Kuri (Wangsuk-Cheon stream catchment area)	Intensive plastic film house	19
2. Chuncheon (Soyang River catchment area)	Upland and paddy	24
3. Dunnae (Jucheon River catchment area)	Upland and paddy	9
4. Daegwanryung (Upper Reaches of the Han River)	Highland and livestock	14

* Refer to Jung et al.¹¹⁾ regarding on the detailed descriptions of sampling sites.

분석 항목

pH, EC, T-N, NH₄-N, NO₃-N, TP, PO₄-P, Cl, SO₄, Ca, Mg, K, Na, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Zn, TSS, COD

시료 채취 및 분석 방법

현장에서 채취한 수질 시료는 2 분획으로 나누어, 하나는 물시료 자체를, 다른 하나는 황산으로 pH를 2이하로 낮추어 시료를 안정화시키고 Ice box에 보관했다. 시료는 실험실로 운반하여 즉시 분석하거나 냉동고에 보관했다. 분석은 수질 오염공정 시험법과 농업기술연구소 분석법¹²⁾을 따랐다. pH와 EC는 초차 전극법으로 조사하고, TSS(총 부유물질)는 유리섬유 여지법에 의하여 시료를 일정량 취하여 0.45µm membrane filter paper로 여과하여 부유물질을 측정하여 조사하였다. 양이온의 정량은 원자흡수분광분석법으로, 인산의 정량은 비색법으로 하였으며, 화학적 산소 요구량인 COD는 알칼리성 KMnO₄법, 총질소는 Kjeldahl법, 총인은 아스코르빈산 환원법으로 정량하였다. Cl⁻과 SO₄²⁻ 및 NO₃⁻의 정량은 Ion chromatography법으로 정량하였다. 수질 시료 중 일부의 NH₄-N과 NO₃-N 함량은 Kjeldahl법에 의하여 MgO-Devarda alloy법으로 정량하였다.

결과 및 고찰

pH, EC, TSS, COD (표 2)

대관령, 둔내, 춘천 및 구리 지역의 하천수의 pH는 6.0~9.0 사이이며, 네 지역 중 춘천과 둔내 지역 하천수의 pH가 대관령과 구리의 pH보다 조금 높았으나, 그 차이는 유의성이 없었다. 네 지역 중 춘천지역의 하천수에서 부유성 고형물질이 가장 적었으며, 대관령<둔내<구리 순으로 많았으며, 상류지역인 춘천과 대관령의 TSS값은 비슷한 수치를 보여 주었으나, 구리지역 하천수의 경우에는 상당히 높게 나타났고, EC도 다른 지역보다 매우 높은 수치를 보여 오염도가 심각한 것으로 판단된다. 하천수의 화학적 산소 요구량은 네 지역 중 구리의 경우가 가장 높았다. 이는 상류로부터 유입되는 하천 주변의 염색공장 폐수, 일반적인 가정폐수 및 시설재배 및 하우스 단지의 폐수에 기인된 듯 하며, 이로 인해 다른 지역에 비해 수질이 더 악화된 듯 하다. 대관령 지역의 경우에는 고랭지 농업지대로써 감자, 고랭지 채소

Table 2. pH, EC, TSS and COD of the stream water samples collected from four experimental catchments.

Area	Month	pH	EC(µS/cm)	TSS(mg/L)	COD(mg/L)
Daegwanryung	June	7.88 (6.81~9.2)	138.9 (50.3~227.0)	39.7 (18.5~65.5)	5.92 (0.33~10.68)
	August	7.06 (6.42~7.50)	95.5 (25.7~198.4)	88.7 (38.6~133.2)	2.50 (1.47~6.19)
	October	7.06 (4.17~7.76)	93.5 (36.4~156.3)	80.3 (50.8~162.0)	1.44 (0.62~2.79)
	Mean	7.33	109.3	69.6	3.29
Dunnae	August	7.76 (7.34~8.26)	105.5 (53.9~228.3)	66.5 (45.5~97.5)	3.56 (1.84~5.03)
	October	7.44 (6.88~7.76)	124.6 (74.8~244.2)	118.6 (48.0~392.0)	1.05 (0.16~1.55)
	Mean	7.60	115.1	92.6	2.17
	June	7.80 (7.27~8.43)	156.2 (68.4~265.7)	35.3 (11.0~52.4)	0.64 (0.16~1.81)
Chuncheon	August	7.79 (7.17~8.23)	117.0 (45.3~203.5)	42.2 (15.6~111.4)	2.68 (1.79~5.70)
	October	7.61 (6.83~8.38)	184.9 (52~828)	88.6 (23.6~344.0)	1.64 (0.31~8.54)
	Mean	7.73	152.7	55.4	1.65
	June	7.28 (6.77~8.03)	330.8 (144.6~673)	192.6 (13.4~272.4)	5.63 (0.66~8.55)
Kuri	August	7.29 (6.23~8.66)	223.0 (72.3~508.0)	271.2 (98.4~698)	3.95 (0.65~9.28)
	October	7.37 (2.79~9.59)	378.2 (117.7~1,845.0)	158.3 (113.0~189)	3.44 (1.55~8.69)
	Mean	7.31	310.7	207.4	4.34

등 고소득 발작물이 집약적으로 재배되고 있으며, 대규모 축산 단지 및 위탁 시설 등이 있어 둔내와 춘천 지역의 화학적 산소 요구량 값보다 높게 나타났다.

총질소, 암모니아태 질소 및 질산태 질소 (표 3)

구리지역의 왕숙천 수계로부터 유입되는 수질시료 중 전반적으로 총질소의 경우는 채취시기별로 볼 때 별다른 차이를 보여주지 않았으며, 왕숙천 상류보다는 하우스 단지가 집적되어 있는 중하류에서 질소의 수치가 높은 편이었다.

각 시기별 암모니아태 질소의 경우는 총질소의 경우와 유사한 경향을 보여주었다. 질산태 질소의 경우는 채취시기별, 세 지역을 비교해 볼 때 구리 지역이 다른 지역보다 높은 수치를 보여 주었으며, 질산태 질소와 암모니아태 질소를 비교 분석하여 볼 때 암모니아태 보다 질산태 질소의 농도가 높게 나타났다. 일부 시료는 음용수 기준보다 높은 농도로 나타났다.

Table 3. Nitrogen concentrations in the stream water samples from the four different catchments.

Area	Month	Total-N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ /NO ₃
Daegwanryung	June	6.12 (2.81~11.26)	0.40 (0.03~1.97)	2.46 (0.46~5.59)	0.16
	August	9.71 (2.91~37.09)	0.77 (0.08~4.15)	3.18 (0.01~10.20)	0.24
	October	6.18 (2.91~37.09)	0.29 (0.02~1.46)	3.46 (0.54~7.34)	0.08
	Mean	7.33	0.49	3.03	0.16
	August	4.50 (3.71~7.27)	0.11 (tr ~0.66)	3.11 (1.36~4.07)	0.04
Dunnae	June	8.68 (4.22~22.51)	0.32 (tr ~4.19)	2.08 (0.35~6.86)	0.15
	August	5.68 (2.91~20.48)	0.39 (0.08~5.26)	2.01 (0.70~6.50)	0.19
	October	5.71 (3.21~32.87)	0.55 (0.02~7.47)	1.32 (0.39~3.41)	0.42
	Mean	6.69	0.42	1.80	0.25
Chuncheon	June	15.10 (4.22~49.25)	2.83 (0.13~7.89)	2.85 (0.97~5.18)	0.99
	August	14.43 (5.09~39.88)	1.47 (0.10~4.75)	7.19 (0.21~35.47)	0.20
	October	8.06 (4.24~18.04)	1.73 (0.05~8.22)	2.83 (1.81~5.05)	0.61
	Mean	12.53	2.01	4.29	0.60

논농사가 주요 농업형태인 춘천지역의 하천수계에서 채수한 수질시료의 전질소는 장마 후 시기로 갈수록 낮은 농도를 보여주었으며, 논농사가 행해지는 지역으로부터 배수된

논물이 유입되는 지점의 하천수질에서의 전질소 함량이 높은 경향이였으며, 모내기가 끝난 후 채취한 6월의 총질소가 다른 시기보다 더 높게 나타났다. 시기별 수질 중 질산태 질소는 암모니아태 질소보다 높은 농도를 보여 주었다. 고랭지의 경우 발농사가 근간을 이루는 대관령 지역의 하천에서 채수한 수질시료의 경우, 총질소는 6월에 비하여 10월에 높은 농도를 보여주는 경향을 보여 주었으나 큰 차이는 아니었다.

질소함량을 기준으로 볼 때 구리지역의 하천수가 다른 지역보다 오염도가 심각한 데, 이는 농업활동에 의한 것 뿐 아니라, 인근지역에 있는 공장으로부터 방류된 폐수와 생활하수 그리고 상류에 위치한 대규모 음식점 및 위탁 시설에서 나오는 각종 하수에 의한 영향이 큰 것으로 보인다. 대관령 지역은 축산단지 및 고랭지 지역에서 유실되는 토양과 리조트 시설에서 방출되는 폐수의 유입으로 질소함량이 증가 되는 것으로 추정된다. 둔내 지역인 경우는 리조트 시설이 최근에 들어서고, 이에 따르는 부대 시설 및 인근 마을의 증가가 이루어지고 있는 추세이므로 이에 수질의 변화 진행을 세밀히 관찰하여 수질 악화를 사전에 막을 수 있는 대책을 강구해 나가야 할 것으로 사료된다. 춘천 지역의 경우 아직 수질의 악화가 미미한 정도인 데, 이는 소양강 상류에서의 방류되는 다량의 수량에 의하여 희석되는 때문인 것으로 판단된다.

총인과 PO₄³⁻ 및 Cl⁻, SO₄²⁻의 함량 (표 4)

구리지역의 수질 중 인산이온의 함량은 극미량~7.26mg/L, 염소이온은 극미량~59.5mg/L 및 황산이온은 극미량~216.7mg/L으로서 음이온 중 황산이온의 함량이 가장 높았으며, 농업이 시작되는 6월에 음이온 농도가 다른 시기의 경우보다 높았다. 춘천지역의 경우 염소이온이 다른 음이온보다 높았으며, 구리지역보다는 그 농도가 낮았다. 또한 시기별로 볼 때 6월과 10월에는 인산이온이 전반적으로 검출되지 않았으나, 홍수기인 8월에는 오히려 구리 지역보다 인산이온의 농도가 더 높게 나타났다.

대관령지역의 경우는 인산이온의 경우 시기별 모두에서 인산이온이 검출되지 않았으며, 황산이온은 10mg/L 미만이었으며, 염소이온의 경우도 10mg/L 미만이었지만, 휴계소와 리조트 그리고 축산단지가 산재해 있는 지역의 수질에서는 염소이온이 10mg/L 이상이었다.

각 지역 수계별 수질 중 음이온 함량을 비교하여 보면, 인산의 경우 구리지역이 가장 높았으며, 춘천과 대관령 지역의 수계에서는 검출되지 않았거나 미량으로 존재하였고, 그 차이는 유의할 정도는 아닌 것으로 것으로 나타났다.

양이온과 중금속의 함량

표 5는 채취된 시료 중 양이온 함량을 보여주고 있다. 구리지역의 하천수의 경우 양이온의 함량은 Na이 대체적으로 다른 양이온의 농도보다 높은 농도를 보여 주었지만 큰 차이는 아니었으며, 하천수 중 양이온들의 함량은 Mg>

Table 4. Total P and anion concentrations in the stream water samples collected from four catchments.

Area	Month	Total-P(mg/L)	PO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
Daegwanryung	June	0.32 (tr ~0.97)	0.06 (tr ~0.27)	9.52 (2.74~21.47)	4.98 (1.59~7.43)
	August	0.17 (0.02~0.43)	0.13 (tr ~1.10)	3.13 (1.06~8.77)	5.96 (1.24~13.07)
	October	0.24 (tr ~1.11)	tr	3.59 (0.14~13.62)	6.62 (1.83~13.46)
Dunnae	August	0.29 (0.05~1.03)	0.10 (0.04~0.32)	10.31 (5.90~24.47)	11.63 (7.48~21.92)
	October	<0.01 (tr~ 0.01)	tr	0.90 (0.14~1.77)	4.17 (1.97~8.51)
Chuncheon	June	0.20 (tr ~1.59)	0.12 (tr ~0.76)	1.55 (1.09~2.39)	9.02 (5.07~15.16)
	August	0.13 (0.02~0.33)	1.42 (0.01~3.09)	1.42 (0.01~3.09)	7.58 (0.70~12.72)
	October	0.17 (tr ~2.80)	tr	4.31 (1.53~21.56)	8.65 (4.57~18.93)
Kuri	June	0.60 (0.01~2.06)	0.50 (tr ~1.68)	30.79 (1.09~47.96)	31.46 (11.18~109.6)
	August	1.23 (0.15~2.96)	0.93 (0.06~3.23)	11.57 (1.08~51.22)	28.98 (0.85~157.89)
	October	0.68 (tr ~2.75)	0.78 (tr ~7.26)	13.46 (4.64~59.50)	32.59 (11.42~216.70)

Table 5. Cation concentrations in the stream water samples collected from four catchments.

Area	Month	Cation concentration in stream water(mg/L)			
		Ca	Mg	K	Na
Daegwanryung	June	11.67 (0.76~26.71)	6.76 (2.04~32.51)	2.87 (0.99~9.67)	15.52 (8.80~20.94)
	August	1.08 (0.06~3.11)	2.87 (0.68~7.28)	3.33 (0.76~9.14)	8.93 (0.27~22.64)
	October	0.64 (0.20~1.18)	0.88 (0.35~1.84)	1.13 (0.46~2.60)	5.94 (2.93~8.61)
Dunnae	August	9.06 (2.47~25.39)	3.26 (0.97~12.06)	2.30 (1.04~5.49)	5.04 (1.91~12.48)
	October	1.21 (0.46~3.33)	1.37 (0.85~2.48)	1.71 (0.76~5.95)	6.03 (3.61~10.07)
Chuncheon	June	30.72 (5.81~65.82)	6.08 (2.04~11.38)	3.02 (2.16~5.70)	12.31 (8.64~17.94)
	August	2.88 (0.43~9.07)	3.75 (0.97~8.39)	2.27 (1.32~5.52)	7.26 (3.35~20.84)
	October	1.99 (0.29~6.63)	2.23 (0.57~4.88)	1.40 (0.76~2.75)	6.23 (1.22~42.70)
Kuri	June	15.72 (1.92~28.50)	8.60 (4.23~11.15)	20.06 (3.93~31.14)	39.34 (14.58~85.97)
	August	4.05 (0.02~15.17)	7.62 (1.69~20.33)	19.71 (6.06~51.42)	21.59 (7.81~51.06)
	October	2.38 (0.73~8.23)	1.69 (0.19~4.57)	6.80 (1.20~42.39)	34.32 (3.61~152.92)

Ca>Na>K 순으로 나타났다.

대관령 지역의 하천수 중 중금속은 검출되지 않았으며, 구리지역보다는 낮게 나타났다. 중금속의 함량은 Fe의 농도가 춘천보다는 2배 이상이 높은 농도로 나타나는 결과를 보여 주었다(표 6). 춘천과 대관령 지역에서 6월과 10월에 Cd, Cr 및 Cu 등 유해 중금속은 검출되지 않았으나, 8월에는 불검출에서 극히 미량의 Cr이 검출되었다. 구리에서는 8월이 이들 중금속이 검출되었다(표 6).

Table 6. Heavy metal concentrations in the stream water samples collected from four catchments.

Area	Month	Heavy metal in stream water(mg/L)					
		Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Zn
Daegwanryung	June	0.00	0.00	0.00	0.45 (0.00~1.20)	0.19 (0.01~1.34)	0.29 (0.01~1.05)
	August	0.00	0.00	0.02 (0.00~0.03)	0.84 (0.37~3.63)	0.04 (0.00~0.19)	0.25 (0.16~0.36)
	October	0.00	0.00	0.00	0.60 (0.00~1.24)	0.18 (0.00~1.00)	0.23 (0.07~0.51)
Dunnae	August	0.00	0.00	0.00	0.46 (0.07~0.91)	0.05 (0.00~0.17)	0.16 (0.14~0.18)
	October	0.00	0.00	0.00	0.25 (0.00~0.76)	0.00	0.30 (0.00~0.42)
	June	0.00	0.00	0.00	0.13 (0.00~0.50)	0.01 (0.01~0.01)	0.19 (0.09~0.30)
Chuncheon	August	0.00	0.00	0.00 (0.00~0.05)	0.52 (0.20~1.72)	0.00 (0.00~0.02)	0.15 (0.11~0.23)
	October	0.00	0.00	0.00	0.41 (0.00~1.48)	0.03 (0.00~0.29)	0.22 (0.00~0.95)
	June	0.00	0.00	0.00	0.50 (0.30~0.80)	0.13 (0.01~0.52)	0.21 (0.16~0.30)
Kuri	August	0.01 (0.00~0.06)	0.18 (0.00~2.37)	0.01 (0.00~0.01)	3.61 (0.82~19.75)	0.15 (0.02~0.31)	0.31 (0.17~0.50)
	October	0.00	0.00	0.00	0.54 (0.00~1.24)	0.23 (0.00~0.64)	0.99 (0.00~3.93)

구리지역의 중금속 함량은 미량으로 나타났지만, 춘천 논물의 경우 철분의 함량이 높은 농도를 나타냈는데, 이는 화학비료사용 후 뿌리 근권의 pH가 상승하고 Fe의 함량이 산화·환원 전위를 왕성하게 일으켜 높은 함량을 나타냈다고 본다. 또한 논물 중 인산의 함량이 높게 존재하면 따라서 중금속 중 Cd의 함량 또한 증가하게 되어 높은 농도를 보여 주었다.

둔내 지역의 시료채취 시기는 장마 후 갈수기로 이전의 양이온 함량변화의 동태 및 중금속 함량변화의 수준을 알 수 없었으며, 10월의 양이온 함량은 다른 3지역보다 월등히 낮았으며, 중금속의 함량은 불검출에서 저농도 수준으로 나

타났다.

6월의 구리, 대관령 및 춘천지역을 비교해 볼 때, 양이온의 경우는 구리와 대관령지역보다는 춘천지역에서 상대적으로 높은 농도를 보여주었다. 중금속의 함량은 모든 지역에서 낮은 수준으로 나타났다. 철의 함량이 다른 중금속보다 높은 편이었으며, 특히 구리지역의 일대 왕숙천 주변의 농도는 왕숙천 인근에 피혁 및 가구공장이 위치하여 여기서 발생되는 폐수 및 슬러지 등의 유입으로 중금속 함량이 높게 나타났고, 다른 장소도 오염이 다른 지역보다 심각한 것으로 판단할 수 있다.

관개용 지하수 수질

(표 7)은 구리와 춘천 지역의 농업 지대에서 사용되고 있는 관개용 지하수의 수질 분석 결과이다. pH는 평균 6.3으로 5.8에서 7.0의 범위이며, EC는 274 μ S/cm로 77-925 μ S/cm의 범위였다. 이는 하천수의 pH 및 EC(표 2)와 비교하면, pH는 하천수의 평균 7.5보다 낮았으며, EC는 하천수의 평균 172 μ S/cm보다 높았다. 암모니아태 질소 및 질산태 질소의 농도와 염소 및 황산 등 이들 음이온의 농도 모두 하천수보다 높았다. 음이온 중 인산의 경우에는 하천수보다 현저히 낮았다. COD는 하천수보다 낮았다. 두 지역을 비교하여 보면 pH는 큰 차이를 보이지 않으나, EC 및 NH₄⁺, NO₃⁻, Cl⁻ 및 SO₄²⁻ 등의 음이온 농도는 모두 구리 지역이 춘천지역보다 높았다. 특히 NO₃⁻의 농도가 높았다. COD는 0.04~2.68 mg/L의 범위로 낮은 편이었다.

Table 7. Comparisons of water quality between Chuncheon and Guri areas.

	Guri	Chuncheon	
	intensive agriculture (5)	Common agriculture (6)	Intensive agriculture* with low NO ₃ ⁻ (6) with high NO ₃ ⁻ (14)
pH	6.38 (5.8-7.0)	6.27 (6.19-6.36)	6.20 (5.9-6.7) 6.20 (5.9-6.7)
EC(μ S/cm)	483 (196~925)	216 (77~581)	158 (98~400) 275 (73~550)
NH ₄ -N(mg/L)	1.23 (0.01~7.83)	0.12 (0.02~0.20)	
NO ₃ -N(mg/L)	12.13 (0.01~39.67)	2.70 (0.98~5.46)	2.38 (0.94~4.81) 24.25 (5.27~54.9)
PO ₄ (mg/L)	<0.01	<0.01	0.018 (0.011~0.025) 0.026 (0.011~0.052)
Cl(mg/L)	30.1 (9.08~57.93)	3.12 (0.06~8.56)	12.5 (4.0~32.7) 19.4 (7.3~29.7)
SO ₄ (mg/L)	50.31 (18.04~157.89)	10.32 (7.17~14.07)	17.4 (8.0~35.2) 30.3 (13.4~47.4)
COD(mg/L)	2.69 (0.47~6.68)	1.37 (0.31~2.61)	0.49 (0.04~1.04) 0.59 (0.16~1.44)

* with low NO₃⁻ : NO₃⁻ concentration lower than 5mg/L
with high NO₃⁻ : NO₃⁻ concentration higher than 5mg/L

춘천 지역에서 조사된 성적을 논농사와 일반 밭농사가 위주로 되어 있는 일반 농업지대와 시설 원예가 집약적으로 이루어지고 있는 지역을 나누어보면 현저한 차이가 있었다 (표 7). 일반 농업지대의 지하수의 평균 EC는 216 μ S/cm로 하천수의 평균 EC 0.153 μ S/cm보다 크게 높지는 않았다. 시설 원예지에서의 지하수의 NO₃⁻가 5mg/L이하로 낮은 경우에는 EC가 158 μ S/cm로 하천수의 EC와 거의 같았으나, NO₃⁻가 5mg/L 이상으로 높은 지하수의 경우 EC는 275 μ S/cm로 높았다.

지하수에서의 높은 NO₃⁻농도는 농업용수로써 중요한 문제점으로 지적될 수 있었다. 미국의 예를 들어보면, 전역의 지하수의 질산태질소에 의한 오염 실태를 조사^{13,14)}에서 10 mg/L이상의 농도를 보이는 지역의 비율이 4% 이상 되는 주는 전체 51개주 중에서 40%에 달하며, 캔사스, 아이오아, 텍사스 등 주요 농업 지대의 지하수는 9% 이상을 차지하고 있다고 보고되었다. 질산태 질소의 함량이 높은 지하수는 가시적으로 부영양화를 일으키는 하천수 문제와는 달리 가시적으로 판단하기 어려운 상태에서 사용 가능성이 있다는 데 그 문제의 어려움이 있다.

농작물의 생산을 위한 활동과 비료의 사용이 지하수의 질산태 질소의 오염원의 중요한 부분이라는 점을 부인할 수 없다. 그러나, 정확한 질산태 질소의 오염 경로가 매우 복합적인 것이므로 오염원과 부하량이 명확하게 알려진 바는 아직 없다. 작물의 생산 활동과 함께 가축의 사육, 생활 오 폐수와 산업폐수 등에 인위에 의한 영향과 지질광물학적 원인 등 자연적 원인이 복합되기 때문이다¹³⁾. 더욱이 지하수 오염의 위험이 어떤 특정한 활동에 의한 것이라고 일반화 시키는 것은 대단히 어려운 데, 그 이유는 지하수위의 깊이, 관정의 위치, 토양과 vadose층의 특성 등 여러 가지 요인이 어떤 특정 활동에 의한 결과로 나타난 질산태 질소의 오염에 영향을 주기 때문이다¹⁵⁾.

EC와 NO₃농도 범위로 본 농업용 관개수질의 판단

관개수 중 EC와 질산태 질소의 함량은 농업용 관개수로서의 수질을 판단하는 중요한 요소이다. 현재 우리 나라에서 제안되고 있는 농업용 관개수질의 제한은 건설부에서 제정한 지하수법 제 13조 수질 기준령 5조 지하수 수질 기준에 의거하고, 환경부에서도 이를 준용하고 있다. 이에 의하면 질산태 질소의 농도를 20mg/L이하로 규정하고 있다. 그러나, 이 제한 농도가 농업의 측면에서 적합하며, 적용 가능한지에 대한 검증이 필요하다. 정 등¹⁶⁾에 의하면, 밭토양의 표토의 포화 침출액 중 EC는 0.15~13.51dS/m이며, NO₃-N의 농도는 0.55~35.8mmol/L의 범위로 평균 11.06mmol/L이며, NH₄-N의 농도는 0.10~2.7mmol/L라 하였다. 이는 토양의 밭토양의 표토가 빗물에 포화되었을 때 NO₃-N의 농도가 최소한 7mg/L이상인 된다는 것을 의미하며, Wild¹⁷⁾는 토양 용액 중 NO₃-N의 농도는 5~200mg/L의 범위라 하여 이를

뒷받침하고 있다. 실제로 경남농촌진흥원에서 시험한 바에 의하면 질산태 질소의 농도가 50mg/L인 관개수로 오이를 재배하였을 때 질소질 비료를 50% 감비하거나 전혀 주지 않았을 때가 비오염 관개수를 사용하고 질소질 비료를 240 kg/ha 수준으로 주었을 때보다 3~8% 증수되는 것으로 나타났다¹⁸⁾. 즉, 질산태 질소의 농도가 50mg/L인 조건에서도 물관리와 비료 관리를 조절해 주면 농업용수로 사용이 가능하다는 증거이다.

USDA Salinity Staff¹⁹⁾는 농업용수를 평가하는 데 있어 가장 중요한 것이 EC라 하면서, EC 250mS/cm 이하인 관개수는 염해 문제를 전혀 일으키지 않고 사용할 수 있는 양질의 관개수이며, 250~750mS/cm인 관개수는 염해에 매우 약한 작물 이외의 대부분 작물의 재배에 사용할 수 있는 관개수이며, 750~2,250mS/cm인 관개수는 염해에 강한 일부 작물에 제한적으로 사용할 수 있는 관개수이며, 2,250mS/cm 이상인 관개수는 특수 목적 이외에는 농업용수로 사용할 수 없는 관개수라 하였다. FAO²⁰⁾은 작물에 대한 농업용수 중의 EC에 의한 영향을 평가하는 데 있어 0.7mS/cm 이하인 작물의 생산에 큰 영향이 없다고 하였고, 3mS/cm 이상이면 악영향이 크다고 하였다. 질산태 질소의 경우 관개수 중의 농도가 5mg/L 이하에서는 영향이 적고, 30mg/L 이상이면 영향이 크다고 하였다.

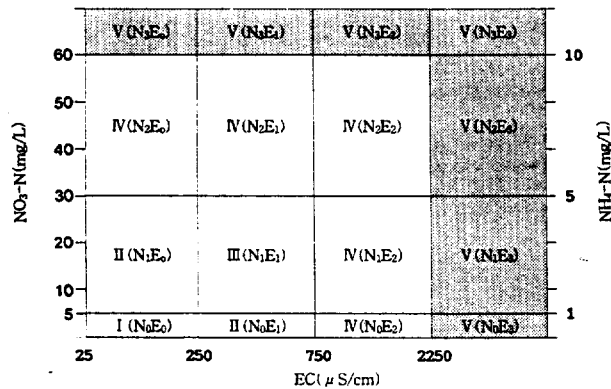


Fig. 1. Classification of irrigation water based on NO₃-N or NH₄-N and electrical conductivity.

이러한 점을 바탕으로 농업 용수의 수질을 구분함에 있어 그림 1에서와 같은 영역으로 나눌 수 있다. 즉, E₀N₀의 관개수는 작물이 아무런 장애를 받지 않는 농업 용수, E₁N₀는 일반 시비 관리에 따르되 관배수관리를 요하는 농업용수, E₀N₁과 E₁N₁은 질소질 비료 성분을 감비하면서 용수 관리를 하면서 사용할 수 있는 농업용수이다. E₂N₀는 관개수를 계속 사용하였을 경우 염류 집적이 우려되므로 관배수 관리를 잘하여야 하는 농업용수이며, E₀N₂, E₁N₂는 질소질 비료 과잉에 의한 해가 우려되므로 질소질 비료를 주지 않고 주의 하면서 사용해야 하는 관리가 요구되는 농업용수이다. N₃ 또는 E₃는 농업용수로 사용하지 말아야 하는 물이다.

이상의 범주로 수질을 그림 2와 그림 3에서 보면 조사 대상

지역의 하천수 중 88.5%는 특별한 관리를 요하지 않는 E₀N₀ 및 E₁N₀ 범주이였으며, 11.5%는 질소에 대한 관리가 요구되는 E₀N₁, E₁N₁의 범주이였으며, N₂ 또는 E₂이 범주에 속하는 경우도 있었다. 춘천과 구리의 시설 원예지 지하수의 경우에는 E₀N₀ 또는 E₁N₀범주는 20.9%이고, 55.8%가 E₀N₁ 또는 E₁N₁의 범주로 질소질 비료를 감비하면서 용수관리를 하면서 사용할 수 있는 농업용수이며, 18.6%는 질소에 대한 세심한 관리가 요구되는 E₀N₂, E₁N₂ 또는 E₂N₂범주의 농업용수이었다. 관개수를 계속 사용하면 염류의 집적이 우려되므로 관배수 관리가 요구되는 E₂N₀ 또는 E₂N₁ 범주도 7.0%이었다.

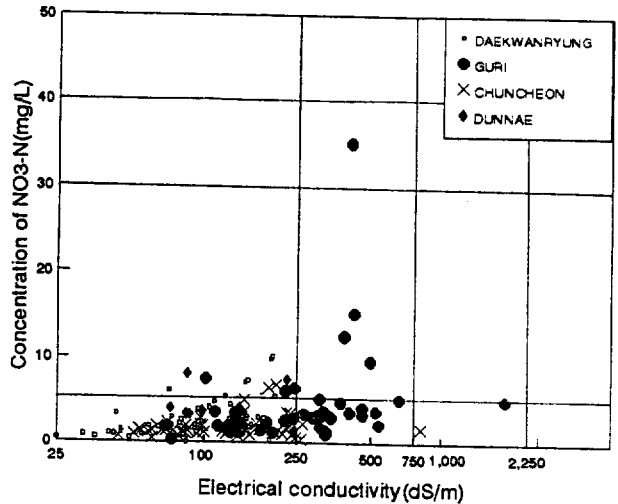


Fig. 2. Distribution of NO₃-N and electrical conductivity of the stream water.

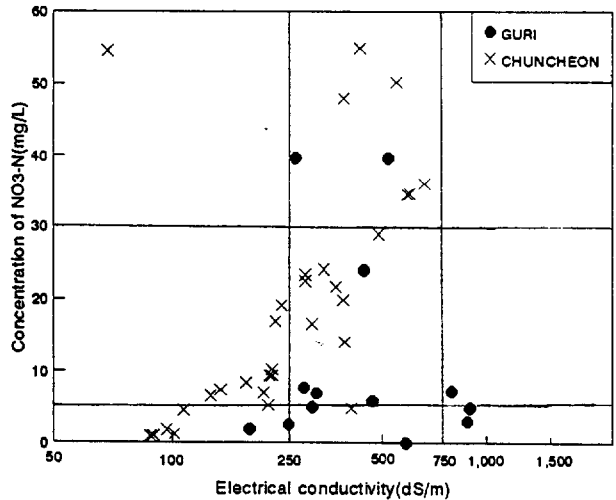


Fig. 3. Distribution of NO₃-N and electrical conductivity of the ground water used in the plastic film house in Guri and Chuncheon areas.

요 약

한강 상류와 하류의 농업 형태가 유역의 토양 및 수질

오염에 미치는 영향을 평가하기 위하여 농업 형태가 다른 대표 소유역을 선정하여 소유역 하천수와 지하수질에 대한 현황을 조사하였다. 조사 대상지는 강원도 횡성군 둔내면 주천강 지류의 일반 농업지대, 평창군 대관령일대의 대규모 축산 단지과 고랭지 농업지대, 춘천시 소양강 지류 농업 지대 일원, 그리고 경기도 구리시 왕숙천 일대의 도시 근교 농업지대이었다. 조사결과 중금속은 특정한 시기의 왕숙천을 제외하고 불검출 또는 미량으로 큰 문제가 없는 것으로 나타났다, 질소와 인, 특히 질산태 질소의 오염은 하천수와 지하수 일부에서 높은 수준으로 나타났다. 조사된 소유역의 하천수 수질중 pH, EC, COD 등은 농업 용수로 적합한 수준이었으나, 시설 원예 지대에서 관개용으로 사용하고 있는 일부 지하수 중 질산태 질소의 농도가 높은 상태로 작물을 재배할 때 물관리와 시비 관리에 세심한 주의를 하여야 하는 수준이었다. 작물 재배를 위해 농업용수를 사용할 때에는 EC와 질산태 질소의 농도 수준을 동시에 고려하여 적절히 사용하는 것이 바람직하다.

사 사

이 연구를 위하여 많은 조언을 주신 서울대학교 유순호 교수와 농업과학원 김복영 박사, 그리고 연구비를 지원하여 주신 학술진흥재단에 사의를 표한다.

인용문헌

1. 김복영. 1988. 수질 오염과 농업. 한국환경농학회지. 7(2) : 153~169.
2. 이진표, 이명호, 전광주. 1962. 주요하천 및 저수지의 수질 조사. 농시연보 5 : 17~19.
3. 박영대, 김무겸. 1964. 지질계통별 관개수의 수질 조사. 농시연보. 7(1) : 77~81.
4. 심재환. 1980. 한국의 수질 기준(환경). 한국 농공학회지 22(3) : 15~18.
5. 심재환. 박호. 1992. 농업용수 수질 오염망 수질 조사. '92 농업용수질 오염조사 보고서, 농어촌진흥공사, 농림수산부 : 53~84.
6. 이종식, 강종국, 김종구. 1993. 섬진강수계 농업용수의 수질조사 연구. 한국환경농학회지 12(1) : 19~25.

7. 유순호. 1994. 농업환경오염 경감대책 연구 보고서. 농촌진흥청 : pp. 351.
8. 최진규, 손재권, 구장용. 1996. 전북도내 농업용 저수지의 수질 조사연구. 한국농공학회지 38(2) : 65~74.
9. 김복영. 1996. 환경오염의 실태와 대책. -농업용수 및 농경지 오염을 중심으로. 우리나라 농업환경의 문제점과 개선 방안 심포지움. 환경농학회 : 27~53.
10. 현해남, 오상실, 고승학. 1994. 제주도 지하수중 오염물질의 농도와 토양 중 행동에 관한 연구. 1. 호텔 및 상가 주변에서의 지하수 중 NO₃-N의 농도 변화(1987~1992). 한국환경농학회지 13(1) : 19~30.
11. 정영상, 양재의, 주영규. 1996. 한강수계 상류와 하류의 토양 및 수질 오염도 평가 1년차 보고서. 서울대학교 농업생명과학대학 부설 공동기기센터 : pp. 58.
12. 농업기술연구소. 1988. 토양화학 분석법. 농촌진흥청 : pp. 450
13. Fedkiw, J. 1991. Nitrate Occurrence in US Waters(and Related questions). USDA Working Group on Water Quality. USDA.
14. Spalding, R.F., M.E. Exner. 1993. Occurrence of nitrate in ground water : A review. J. Environ. quality 22 : 392~402.
15. Knox, E., D.W. Moody. 1991. Influence of hydrology, soil properties, and agricultural land use on nitrogen in ground water. In Managing nitrogen for ground water quality and farm profitability. Soil Sci. Soc. Am : 19~57.
16. 정영상, 양재의, 한연규, 최문헌. 1995. 토양 및 식물체 중 질산태 질소 간이 측정방법 탐색. 농업과학논문집('94산학협동편) : 79~85.
17. Wild, A. 1993. Soils and the Environment. Cambridge Univ. Press : pp. 287.
18. 이영환. 1996. 관개수 질소량에 따른 채소류(오이)의 질소 적정 시비량. 경남농촌진흥원. 농촌지도사업반영자료(unpublished).
19. USDA Salinity Staffs. 1953. Saline and Alkaline Soils. USDA HB60 : pp. 160.
20. FAO. 1977. Water Quality for Agriculture. FAO/UN 29 Rev. 1 : 174.