

## 온배수 유입 소하천의 수질 및 토양오염과 회복에 관한 연구 I. 온배수가 인근 소하천과 농업 환경에 미치는 영향

정연태 · 이덕배<sup>1</sup> · 이경보<sup>1</sup> · 김미연 · 김백호 · 최민규 · 박승택

(원광대학교 환경과학연구소, <sup>1</sup>호남농업시험장)

**적 요** - 본 연구는 온배수가 인근 소하천의 수질과 농경지내 오염성분함량 변동에 미치는 영향을 구명하고 이에 대한 대책을 수립하는데 활용하고자 1997년 1월부터 1998년 9월 사이에 수행되었다. 온배수 유입으로 인근 소하천 물 중의  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $NH_4-N$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  및 COD 성분함량은 농업용수 기준보다 낮았으며 유거 거리가 길어질수록 이들 농도는 더욱 낮아졌다. 유출된 온배수 중  $SO_4^{2-}$  농도는 농업용수 기준을 초과하였으나, 유거되면서 비오염 하천수와 혼합되었을 때 그 농도는 농업용수기준보다 낮아졌다. 온배수 수로변 침전퇴적물중 S, T-N, 토양유기물, 인산의 농도는 배출구로부터 가까워 질수록 높았으며 Ni, Fe, Zn, Cu, Pb와 같은 금속류 함량은 온배수 유입지에서 가장 높았다. 온배수가 유입되어도 논 토양 중 T-N, EC, S, 토양유기물, 인산 함량은 축적되지 않았는데 이는 비와 같은 재배식물의 양분대사와 논 토양의 자정력에 기인한 것으로 보인다. 그러나 조사지역의 온배수로 비를 재배해도 토양 중 오염성분의 집적은 나타나지 않았으나 온배수 중 EC와  $NO_3-N$  농도를 감안한다면 비재배시 장기간 관개용수로 다량 사용시에는 비료사용량을 줄여주는 것이 농업환경보전에 바람직할 것으로 사료된다.

### 서 론

수질이란 자연적인 원인과 인간의 문명활동에 의해 영향을 받는 물의 조성을 나타내는데 그 개념은 분야별 이용 목적에 따라 다르다. 즉 공중보건 당국자는 음용과 세척 용수의 병원성 세균과 유독 물질에 관심이 많으며, 어부들에게는 어패류의 생육에 알맞은 수질에 더 관심이 있고 농민에게는 농작물에 대한 피해 여부에 관심이 많다. 따라서 물을 이용하는 목적과 용도에 따라 최상의 수질을 나타내는 환경요소가 다르다(김 1996).

수질오염이란 물이 천연적으로 가지고 있는 물리적, 화학적, 생물학적 및 미생물학적 특성이 인위적 또는 자연적인 요인에 의하여 변화함으로써 물의 이용에 지장을 초래하거나, 수중생물에 영향을 주는 상태를 말하며(백 등 1996) 일반적으로 수질 오염의 근원은 생활하수, 축산폐수, 공장폐수 등의 점오염원 및 도시와 농촌의 우수 방출수, 쓰레기 매립장의 침출수, 산림녹지의 유출수 등의 특정한 배출지점이 없는 비점오염원으로 크게 구분할 수 있다(Charles & William 1992; 이 등 1994; 정 등 1997). 산업폐수관 각종 산업활동에 수반되어 발생하는 폐수로서 대부분이 대도시 주변에 위치한 공업지역

에서 발생되며, 폐수 방류량은 '86년에 1,165천 $m^3$ /일에서 연평균 8.4%씩 증가하여 '95년에는 2,375천 $m^3$ /일로 약 2배가 증가되었다(환경부 1996). 사람의 일상생활이나 사업활동으로 인하여 발생되어 하수관거를 통해 하천의 공공 수역으로 방류되는 모든 물을 생활하수라고 말하며, 도시하수의 대부분은 생활하수이다. 일부 농촌에서는 상류에 위치한 도시에서 생활하수가 흘러내려 마을 앞 시냇물을 오염시켜 농업용수로 사용할 수 없거나 목욕도 할 수 없는 경우가 있어(정 등 1973; 김 등 1989) 농촌사람들의 정서생활을 해치고 있다. 일반적으로 생활하수는 각 가정의 정화조 물이 주종을 이루기 때문에 유기물, 부유물질, 질소 등의 함량이 높다. 오염된 하천이나 호소수는 자정작용으로 인하여 어느 정도까지는 정화되는데 이러한 하천의 수질 회복 능력은 하천의 지리적 특성이나 기후 등에 의해 결정되며, 일단 자정능력의 한계를 넘게 오염되면 그 회복이 어렵게 된다.

최근 온천 개발이 매우 활발하여 비교적 청정 환경을 유지하였던 하천들이 오염되고 있다. 지하에서 용출되는 샘물 중에서 규산염, 탄산염, 산화물, 황화물 등의 광물질을 함유하는 것을 광천수라 하며 그곳의 연간 평균 기온보다 온도가 높은 광천수를 온천수라 하고 낮은 것을 냉천수라 한다. 온천 배수는 일종의 생활하수로서 목

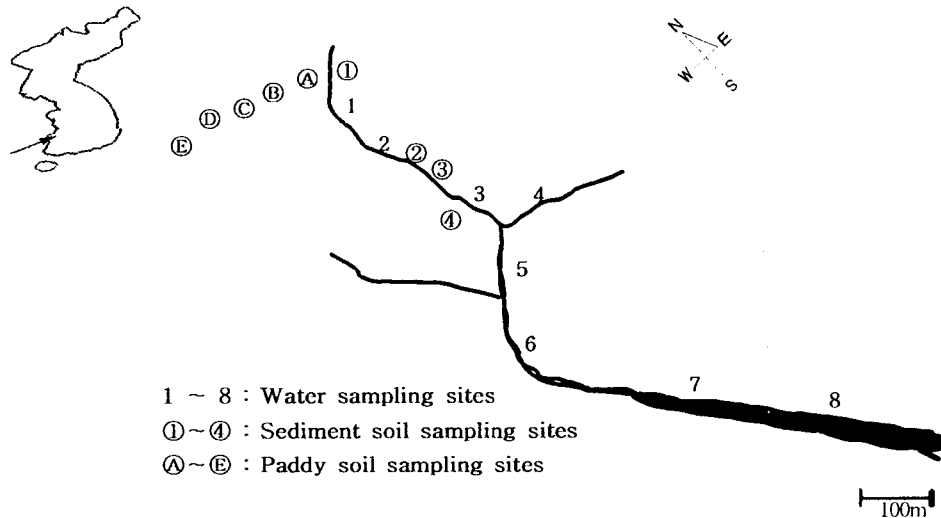


Fig. 1. Locations of sampling sites.

육 중 사용되는 세제류와 동반되어 배출되기 때문에 유기물, 부유물질, 질소, 인 등의 함량이 많아 하천과 지하수를 오염시켜 하천수질의 악화 및 호소의 부영양화를 초래하여 쾌적한 생활환경을 해치는 요인이 될 수 있다. 하천이나 호소의 수질이 악화되면 수자원으로서 가치가 상실되어 용수 수급에 차질을 가져오게 되므로 수자원의 관리뿐만 아니라 그 질의 보전도 대단히 중요하다. 따라서 온배수 유입에 따른 소하천의 수질과 수로변 토양중 화학성분 변화를 비교 분석하여 효과적인 온배수 관리의 기초자료를 제시하고자 한다.

### 재료 및 방법

본 연구는 전북 고창군 소재 S온천의 하수가 배출되는 지점을 기점으로 하여 그림 1에서와 같이 온배수와 비 오염지 하천수를 포함하는 8개 지점에서 1997년 1월, 4월, 6월 물 시료를 채취 겨울, 봄, 여름 시료로 분석하였으나, '97년 7월부터 온배수를 논으로 배출하여 관개수로 사용하고 있어서 시료 채취가 불가능하였다. 이후 온배수가 하천으로 방류되는 '98년 4월, 6월, 9월에 물 시료를 채취하여 봄, 여름, 가을 시료로 분석하였다. 수질분석을 위하여 온배수 배출구로부터 각각 10m(지점 1), 100m(지점 2), 500m(지점 3), 1,000m(지점 5), 1,200m(지점 6), 1,500m(지점 7), 2,000m(지점 8) 떨어진 지점과 비오염 지역으로 온배수 유입이 없는 지천(지점 4)에서 시료를 채취하였다.

물중 pH는 초차전극법(Orion EA940), 전기전도도는 전극법(YSI 132), Ca, Na, Ni, Mn, Fe, Cr, Zn, Cu, Pb, Cd

는 원자흡광도법(ICP Varian Liberty 110)으로 측정하였으며,  $PO_4^{3-}$ 는  $SnCl_2$ 법,  $NH_4-N$ 은 Indophenol법,  $SO_4^{2-}$ 는 Thorin법,  $NO_3-N$ 은 혼합산성시액법,  $Cl^-$ 은 Mer. Thio법 그리고 COD는  $K_2CrO_7$ 을 이용 환류냉각분해후 적정하였다(APHA 1992).

온배수가 인근 토양 중 성분함량에 미치는 영향을 분석하고자 온배수 유입지점으로부터 수직방향으로 0, 150, 350, 500m 유거(流距)된 지점에서 온배수 중 부유물 등이 침전퇴적물(sediment)을 채취하여 분석하였고, 는 토양 시료는 온배수 유입수로부터 왼쪽 수평방향으로 0, 10, 20, 100m 떨어진 는 토양을 표토(토심 0~10cm)와 심토(10~20cm)로 구분 채취하여 풍건 시킨 뒤 토양화학 분석법(농촌진흥청 농업기술연구소 1988)에 따라 성분별로 분석하였다.

온배수로변 침전퇴적물은 수로 가장자리에서 표면에서 2cm 깊이 사이에서 채취하였으며 이를 그늘에서 잘 말린 뒤 마쇄하여 20 mesh체로 걸러 분석시료로 사용하였다. 조제된 시료를 0.1N HCl로 30분 진탕후 여과한 뒤 여과액중 중금속류 함량을 ICP를 이용하여 측정하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 봄철 온배수 유거(流距)거리별 수질의 변화

온천 배수는 목욕, 세탁, 배뇨 등으로 인한 오염물질을 함유하고 있으며 배출량이 많아 인근 소하천이나 토양을 오염시킬 가능성이 있다. 표 1은 봄철 온배수가 유입된 지점으로부터 유거 거리에 따른 오염성분 함량변화

Table 1. Changes of chemical contents by distance from the inlet of spa sewage in spring

Distance <sup>1</sup> (m)	pH	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	Ca	Na	COD
			(mg/l)							
10 (St. 1)	7.45	589	0.23	58.1	28.9	0.9	4.6	35.6	40.9	28.0
100 (St. 2)	7.62	599	0.26	52.7	26.8	1.5	3.3	32.5	42.5	18.1
500 (St. 3)	7.73	500	0.21	49.9	25.1	1.5	2.3	41.6	37.2	18.9
Unpoll. (St. 4)	7.53	244	0.10	20.1	20.7	2.1	0.2	15.2	11.3	3.4
1,000 (St. 5)	7.67	444	0.20	44.6	30.2	1.7	2.0	22.1	26.0	16.3
1,200 (St. 6)	7.58	352	0.16	45.7	24.4	2.1	1.2	23.8	24.0	11.9
1,500 (St. 7)	7.46	359	0.16	23.3	19.0	2.6	0.9	19.2	18.4	7.4
2,000 (St. 8)	7.37	305	0.21	15.8	17.7	2.7	0.7	13.3	13.1	4.9
Average	7.55	424	0.19	38.7	24.1	1.9	1.9	25.4	26.7	13.6
Criteria <sup>2</sup>	-	1,000	-	50	250	20	5	-	250	50

1: Distance from inlet of spa wastewater 2: Unpolluted site 3: Criteria for agricultural usage

를 나타낸 것으로서 pH를 제외한 모든 성분은 온배수 유입으로 오염성분의 농도가 증가되었다(표 1). 물 중에 녹아 있는 양이온과 음이온의 총량지표인 EC는 삼투압으로 인하여 작물의 수분흡수에 영향을 미치는데 온배수 유입에 따른 EC는 농작물 피해농도인  $1000 \mu\text{s}/\text{cm}$ 보다 낮았다.

COD는 수중의 전체 산화성 물질량을 나타내는 것인데(정과 권 1982) 본 연구의 결과는 조사기간 중 온배수 유입지 하천 수계의 COD 농도는 김(1988)이 보고한  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 법에 의한 수도의 유의성 있는 감수농도  $50 \text{ mg/l}$ 보다 낮아 인근 농작물에 대한 피해는 없을 것으로 생각된다. 하천의 부영양화를 초래할 수 있는 영양염류에 대한 조사결과를 보면 유기태 질소화합물의 무기화에 있어서 제 1단계 생성물인  $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 함량은 관개수 중 농작물 피해 농도인  $5.0 \text{ mg/l}$ (戶田 1969)를 초과하지 않았다. 한편 질소화합물의 최종산화물인  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 경우에는 유거되면서 산화과정을 거치는 탓에 유거거리가 길어질수록 그 농도가 증가되었으나 관개수 중 한계농도인  $5\sim 6 \text{ mg/l}$ 에 미치지 못하였다.

미량원소인  $\text{Cl}^-$ 은 식물체의 광합성을 감소, 탄수화물 이동 저해, 호흡 및 수분흡수를 저해하는데(박 등 1969; Ishizaki & Akiya 1978; Helal & Mengel 1981) 온배수 중  $\text{Cl}^-$ 함량은 농업용수기준보다 높지 않았다.

$\text{SO}_4^{2-}$ 는 환원상태에서 난용성  $\text{ZnS}$ 를 형성하여 아연 결핍을 초래하며,  $\text{Ca}^{2+}$  흡수저해와  $\text{Na}^+$  흡수촉진 및 엽록체의 광인산화 반응을 저해하는데(박 등, 1969) 온배수 중  $\text{SO}_4^{2-}$  농도는 농업용수 기준치인  $50 \text{ mg/l}$ 을 초과하였으나 유거 거리가 500 m를 지나 비 오염수와 합류되면서 농업용수 기준치보다 낮아졌다.

$\text{PO}_4^{3-}$  이온농도는 그 농도가 낮은 비오염 하천수와 혼합되어 2,000 m까지 유거되어도 그 농도는 낮아지지 않았다. 그러나 Ca과 Na 농도는 비오염 하천수와 혼합

으로 농도가 약간 낮아졌다.

## 2. 여름철 온배수 유거 거리별 수질 변화

여름철 온배수가 유입된 지점으로부터 유거 거리에 따른 오염성분 함량을 분석한 결과(표 2)를 보면 유거 거리가 길어질수록 EC는 물론  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , Ca, Na, COD 농도가 낮아졌는데 이들 성분의 유거거리별 감소 폭은 여름철이 봄철보다 높았는데 이는 여름철 강우량 증가에 따른 비오염수의 유입량 증가에 따른 희석효과로 생각된다. 한편  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량은 유거 거리가 길어질수록 농도가 서서히 높아졌는데 이는 여름철 온도상승에 따른 질산화과정이 조장된 결과로 생각된다.

## 3. 가을철 유거 거리별 수질변화

가을철 유거 거리별 수질의 변화에서는 EC,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , Ca, Na, COD가 유거 거리가 길어질수록 낮아졌다(표 3).

## 4. 겨울철 유거 거리별 수질변화

겨울철 유거 거리별 수질의 변화를 보면 EC,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , Ca, Na, COD가 유거 거리가 길어질수록 낮아졌다. 그러나  $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 다른 계절의 성적과 같이 유거 거리가 길어질수록 그 농도가 증가하였다(표 4). 온배수 중 오염성분 함량의 계절별 변화를 보면  $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 여름에 높은 경향이였으나  $\text{NH}_4\text{-N}$ 를 제외한 EC,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , Ca, Na, COD,  $\text{SO}_4^{2-}$  값은 겨울에 높았다. 특히 겨울철  $\text{SO}_4$  농도는 1,500 m 거리까지 유거 되어도 농업용수 기준치인  $50 \text{ mg/l}$ 을 초과하였다. 그러나 봄, 여름, 가을철에는 잦은 강우로 비오염지의 증가된 유거량이 온배수와 혼합된 결과 1,000 m 유거된 후에는 농업용수 기준치보다 낮았다.

대부분의 수계에서 부영양화에 제한적으로 작용하는

**Table 2.** Changes of chemical contents by distance from the inlet of spa sewage in summer

Distance <sup>1</sup> (m)	pH	EC μs/cm	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Ca	Na	COD
(mg/l)										
10	7.17	586	0.42	57.9	30.8	0.6	6.2	33.3	34.6	28.4
100	7.27	573	0.31	55.2	29.5	1.0	5.4	32.0	32.9	24.5
500	7.28	594	0.26	60.2	29.5	1.1	4.2	33.9	32.2	14.7
Unpoll. <sup>2</sup>	7.18	285	0.08	20.1	16.7	1.6	0.2	12.6	8.6	3.5
1,000	7.13	368	0.12	34.6	21.2	1.4	1.4	25.5	16.5	11.9
1,200	7.15	338	0.17	38.4	21.7	1.7	1.3	20.3	18.4	10.4
1,500	7.19	368	0.12	27.3	20.8	2.8	1.1	17.0	13.1	4.5
2,000	7.18	309	0.09	18.9	18.1	2.7	0.9	13.3	11.93	5.9
Average	7.19	428	0.20	39.1	23.5	1.6	2.6	23.5	21.0	13.0

<sup>1</sup>: Distance from inlet of spa wastewater <sup>2</sup>: Unpolluted site

**Table 3.** Changes of chemical contents by distance from the inlet of spa sewage in autumn

Distance <sup>1</sup> (m)	pH	EC μs/cm	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Ca	Na	COD
(mg/l)										
10	6.98	601	0.43	64.3	23.6	1.8	4.2	32.4	57.9	26.9
100	7.28	605	0.39	62.6	26.4	1.9	3.8	32.6	57.2	19.9
500	7.22	607	0.27	59.1	29.8	1.9	3.6	32.7	55.1	20.1
Unpoll. <sup>2</sup>	7.10	404	0.05	33.1	21.8	2.2	0.1	20.9	21.4	5.3
1,000	7.09	460	0.37	37.8	24.0	2.0	2.5	21.9	27.2	12.1
1,200	7.13	276	0.24	40.0	24.4	2.0	0.7	22.3	22.5	6.2
1,500	7.01	451	0.08	28.2	20.5	1.2	0.3	21.1	23.5	11.3
2,000	7.51	371	0.07	14.9	13.3	0.7	0.3	18.2	13.9	7.1
Average	7.17	472	0.24	42.5	23.0	1.7	1.9	25.3	31.1	13.6

<sup>1</sup>: Distance from inlet of spa wastewater <sup>2</sup>: Unpolluted site

**Table 4.** Changes of chemical contents by distance from the inlet of spa sewage in winter

Distance <sup>1</sup> (m)	pH	EC μs/cm	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Ca	Na	COD
(mg/l)										
10	7.56	1142	0.52	98.8	38.4	0.7	4.5	39.2	50.0	25.6
100	7.99	1193	0.48	97.3	39.4	0.7	4.2	38.0	41.5	17.6
500	7.98	1122	0.42	96.4	29.3	0.8	4.0	42.2	44.4	12.0
Unpoll. <sup>2</sup>	7.78	441	0.07	20.6	16.9	0.8	0.7	10.1	10.0	3.6
1,000	7.97	1185	0.34	69.1	34.5	0.8	3.0	26.8	30.9	10.8
1,200	7.61	1193	0.36	74.0	34.3	1.1	2.8	31.3	35.0	8.4
1,500	7.55	896	0.31	59.1	31.8	1.5	2.2	24.7	28.9	8.8
2,000	7.40	330	0.14	42.8	27.5	2.0	1.3	28.5	15.7	5.6
Average	7.73	938	0.33	69.8	31.5	1.0	2.8	30.1	32.1	11.6

<sup>1</sup>: Distance from inlet of spa wastewater <sup>2</sup>: Unpolluted site

영양소가 질소와 인 등으로 알려져 있으며 전인의 함량이 0.01~0.05 mg/l 이면 조류발생이 가능하다고 알려져 있다(Harper 1992). 이기준치로 미루어 볼 때 온배수는 물론 온배수가 유입되지 않은 하천수 역시 부영양화의 단계에 와 있는 것으로 판단되었다.

#### 5. 유거 거리에 따른 온배수 중 금속류 함량변화

표 5와 6은 온배수 유거 거리에 따른 온배수 중 함유된 금속류의 연평균 농도를 나타낸 것이다. 유거수 중

Mn, Fe, Cr, Zn, Cu, Pb, Cd의 농도는 유거 거리별 차이가 없었다. 또한 온배수 중 금속류 함량은 매우 낮게 나타났다. 또한 Mn, Fe 그리고 Cu 함량은 비오염지보다 낮게 측정된 결과를 볼 때 온배수 중 자연함유된 금속류 함량은 인근 하천수질에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

#### 6. 온배수로변 침전퇴적물 중 오염성분 함량 변화

토양오염의 원인이 되는 물질로는 유기물, 무기염류,

**Table 5.** Yearly average concentration and standard deviation of Ni, Mn, Fe and Cr in the stream water by distance from the inlet

Distance <sup>1</sup> (m)	Ni	Mn	Fe	Cr
	----- (μg/l) -----			
10	13.8±18.2	5.0±4.8	41.8±18.3	32.8±48.2
100	20.8±15.6	14.8±12.0	56.3±38.6	34.5±53.6
500	12.0±13.6	6.0±9.5	61.0±24.0	4.0±6.7
Unpolluted site	5.0±10.0	60.8±94.6	70.8±52.4	1.3±2.5
1,000	7.3±8.4	5.0±5.2	67.3±37.1	1.0±2.0
1,200	31.5±36.2	8.0±10.2	72.5±40.5	6.5±13.0
1,500	8.5±14.6	15.5±29.7	67.5±29.8	4.3±7.2
2,000	4.5±9.0	20.5±27.4	74.5±42.7	15.8±28.9

1: Distance from inlet of spa wastewater

**Table 6.** Yearly average concentration and standard deviation of Zn, Cu, Pb and Cd in the stream water by distance from the inlet

Distance <sup>1</sup> (m)	Zn	Cu	Pb	Cd
	----- (μg/l) -----			
10	30.0±30.0	19.5±27.3	10.8±19.6	0.0±0.0
100	29.5±41.8	23.3±29.9	2.5±5.0	0.8±1.5
500	8.3±8.7	23.0±19.2	0.0±0.0	0.0±0.0
Unpolluted site	17.8±29.8	19.8±28.2	0.0±0.0	0.0±0.0
1,000	11.3±12.3	17.5±27.2	17.8±29.2	0.0±0.0
1,200	25.3±41.3	23.8±21.1	11.0±14.3	0.0±0.0
1,500	26.8±37.1	19.0±21.4	2.0±4.0	0.0±0.0
2,000	27.3±36.7	22.3±23.3	3.0±6.0	0.0±0.0

1: Distance from inlet of spa wastewater

중금속류, 농약 등이 있다. 이들 물질 중 유기물은 토양 내에 존재하는 미생물에 의해서 분해되고 무기염류는 식물에 흡수되거나 용탈 유실되어 감소되므로 토양에 남아 있는 것은 많지 않다고 한다. 그러나 카드뮴, 구리, 아연, 납 등의 중금속류는 일단 토양에 유입되면 분해되지 않고 토양동물이나 식물체에 집적되기 때문에 오염된 농경지에서 재배된 농작물은 인체에 나쁜 영향을 줄 수 있다(김과 소 1989).

온배수 유입 거리별로 0~500 m까지 배수로변 침전 퇴적물 중 pH, EC, S 성분을 분석한 결과를 보면(표 7) 오염원으로부터 가까워질수록 침전 퇴적물 중 EC, S 농도가 증가되었는데 본 조사가 개시되었던 97년2월에 비해 2년이 경과한 98년 9월에 그 농도가 증가된 결과로 보아, 온배수에 의해 오염성분이 배수로상에 침전 퇴적되고 있음을 나타내고 있다.

온배수 유입거리별로 0~500 m 까지 배수로변 침전 퇴적물 중 T-N, O.M, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 성분을 분석한 결과를 보면(표 8) 온배수 오염원으로부터 가까워질수록 수로변 토양 중 T-N, O.M, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 농도가 증가되었으며, 특히 유기물 함량이 높아진 것을 알 수 있었다. 이와 같은 원인은 많은 중성세제의 사용과 분해되지 않은 고형물, 무기성

분과 같은 오염 성분들이 수로변 인근에 침전 퇴적되어진 결과로 생각된다.

온배수로변 토양 중 질소, 유기물, 인산 역시 오염원에서 멀어질수록 그 농도가 낮아졌으며, 해가 거듭됨에 따라 그 농도가 증가되었는데 이 같은 이유는 오염수중 부유물이 침전되거나, 이온 성분이 토양입자에 흡착되어 집적된 결과로 보여진다.

**7. 온배수로변 침전 퇴적물 중 중금속 함량변화**

온배수 유입에 따른 거리별 침전 퇴적물 중 중금속 함량을 조사한 결과에서 Mn을 제외한 다른 성분은 온배수가 유입되는 지점에서 그 함량이 다른 지점보다 월등히 높았다. 이들 성분함량은 350 m 까지는 유거 거리가 길어질수록 그 농도가 낮아졌다(표 9, 10). 이 같은 결과는 온배수가 유거 되면서 오염물질이 침전되어 집적되어진 결과로 해석된다. 한편 유거 거리 500 m 지점에서 중금속의 농도가 높아졌는데 이에 대한 보완연구가 필요하다

**8. 온배수로부터 수평거리별 토양 중 오염성분함량**

온배수가 흐르고 있는 수로로부터 거리별로 는 토양

**Table 7.** Yearly variations of pH, EC and S concentrations in sediment

Distance <sup>1</sup> (m)	pH (1:5)		EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		S (mg/kg)	
	'97. 2	'98. 9	'97. 2	'98. 9	'97. 2	'98. 9
0	7.3	7.0	119	167	59.8	64.7
150	7.0	7.1	110	120	55.7	56.2
350	7.0	6.9	91	76	38.4	43.3
500	7.5	7.4	93	82	33.5	36.6

<sup>1</sup>: Distance from inlet of spa wastewater

**Table 8.** Yearly variation of T-N, OM and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> concentrations in sediment

Distance <sup>1</sup> (m)	T-N(%)		OM(%)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	
	'97. 2	'98. 9	'97. 2	'98. 9	'97. 2	'98. 9
0	0.18	0.22	1.61	1.96	109.4	126.6
150	0.12	0.19	0.82	0.90	105.0	107.8
350	0.04	0.17	0.44	0.61	68.1	79.3
500	0.04	0.19	0.31	0.29	40.0	50.0

<sup>1</sup>: Distance from inlet of spa wastewater

중 성분 함량을 토심별로 나타낸 결과를 보면 표토(0~10 cm)와 심토(10~20 cm) 모두에서 온배수 유출 수로에 인접한 논 토양 중 질소와 토양유기물 함량이 낮았는데(표 11, 12) 이는 온배수 인근 지역은 온수의 영향으로 토양온도가 높고, 토양 미생물의 활성이 연중 높기 때문에 유기성분의 무기화 작용이 촉진된데 원인이 있는 것으로 생각된다.

벼의 경우 대략 10~15 kg/ha 정도의 질소를 시용하며 벼 재배기간 중 1,000톤 정도의 관개수가 소요되므로 10 mg/l를 함유하는 관개수라면 ha당 10 kg의 질소가 관개용수에 의해 과잉 공급될 수 있다. 따라서 정상적인 시비를 한 경우 3~5 mg/l 이상의 질소를 함유하는 관개용수를 사용하면 수량감소가 예상된다고 한다(Choi와 Lee 1982).

관개수중 EC는 농업용 관개수로서 수질을 판단하는 중요한 요소이다. 현재 우리나라에서 제안되고 있는 농업용 관개수질의 제한은 건설부에서 제정한 지하수법 제 13조 수질 기준령 5조 지하수 수질 기준에 의거하고, 환경부(1996)에서도 이를 준용하고 있다. FAD(1977)에서는 작물에 대한 농업용수 중의 EC에 의한 영향을 평가하는 데 있어 0.7 mS/cm 이하이면 작물의 생산에 큰 영향이 없다고 하였고, 3 mS/cm 이상이면 작물이 과잉 성장하거나, 성숙불량 또는 도복이 발생하여 생산성을 저하시킨다고 하였다.

한편 정 등(1997)은 질소와 염류의 농도에 따른 농업용수의 수질평가방법을 제시하였다. 즉 질산태 농도

**Table 9.** Yearly variation of Ni, Mn and Fe concentrations in sediment (Unit : mg/kg)

Distance <sup>1</sup> (m)	Ni		Mn		Fe	
	'97. 2	'98. 9	'97. 2	'98. 9	'97. 2	'98. 9
0	1.47	1.22	37.7	39.7	305.0	308.0
150	0.74	0.70	55.7	24.5	56.2	52.4
350	0.28	0.23	30.1	14.8	33.7	35.7
500	0.44	0.44	75.2	25.1	128.7	64.1

<sup>1</sup>: Distance from inlet of spa wastewater

**Table 10.** Yearly variation of Zn, Cu and Pb concentrations in sediment (Unit : mg/kg)

Distance <sup>1</sup> (m)	Zn		Cu		Pb	
	'97. 2	'98. 9	'97. 2	'98. 9	'97. 2	'98. 9
0	23.9	35.5	4.3	3.7	3.3	3.5
150	11.9	5.2	2.2	1.5	1.6	1.8
350	2.4	5.4	0.7	1.5	0.8	0.64
500	6.8	8.6	1.7	2.5	2.0	0.79

<sup>1</sup>: Distance from inlet of spa wastewater

0~5 mg/l, 전기전도도 250  $\mu\text{s}/\text{cm}$  이하인 관개수는 매우 양호한 관개수이며 질산태 농도 0~5 mg/l 전기전도도 250~750  $\mu\text{s}/\text{cm}$  인 관개수는 일반시비관리에 따르되 관개수 관리를 요하며, 질산태 질소 5~30 mg/l 이상인 경우에는 질소 과잉에 따른 피해가 발생할 수 있다고 하였다. 이같이 제안된 수질평가기준에 의하면 온배수를 이용하여 작물을 재배하는 경우에는 일반 시비관리를 하거나 질소성분을 약간 줄여서 시비하는 것이 바람직하다고 판단된다. 실제 온배수로 주변의 논에서는 온배수를 직접 관개하여 벼를 일반 시비관리로 재배하고 있었으나 이로 인한 작물생육장해가 나타나지 않았다. 토양 중 S 성분은 거리에 따른 영향은 없었지만 온배수가 유입되지 않는 논토양에 비하여 유입지 논토양에서 높은 경향이었으며, EC, T-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 등의 함량은 일정한 경향이 없었다.

온배수가 유입되는 논토양에서 수평거리별 pH, EC, S 함량을 보면 pH와 EC는 별 차이를 볼 수 없었으며, 연차간 변화에서도 증감현상이 뚜렷하지 않았다. 다만 표토 중 S함량은 비유입지에 비해 높았다. 또한 온배수로부터 수평거리별 논 토양중 전질소, 유기물, 인 함량은 차이가 없었으며, 연차간 함량 변화에서도 일정한 경향을 볼 수 없었다.

### 9. 온배수 유입이 수온에 미치는 영향

수온의 열원으로서의 태양으로부터의 방사열, 지구내부로부터의 급열, 태양이외의 타천체로부터의 방사열 등

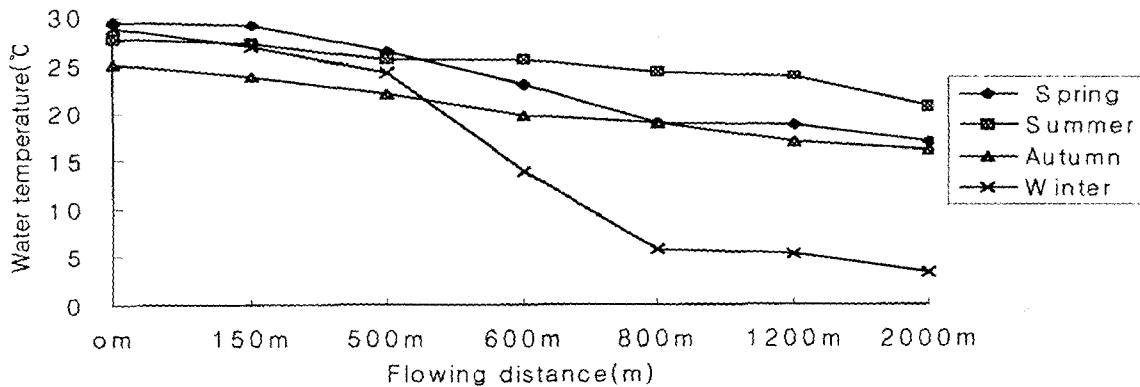


Fig. 2. Changes of water temperature in spa sewage by flowing distance.

Table 11. Yearly variation of pH, EC and S concentrations in paddy soil irrigated with spa wastewater

Distance <sup>1</sup> (m)		pH (1:5)		EC (μs/cm)		S (mg/kg)	
		'97.2	'98.9	'97.2	'98.9	'97.2	'98.9
0	Top*	5.8	5.9	99.3	107.9	70.9	72.3
	Sub	6.4	5.8	82.1	92.3	40.2	40.1
10	Top	5.8	5.9	88.7	91.9	60.5	63.1
	Sub	6.0	5.9	63.4	69.9	48.7	44.2
20	Top	5.5	5.8	90.1	106.6	68.6	66.4
	Sub	5.5	5.8	83.9	61.3	68.3	64.1
100	Top	6.5	5.6	110.0	83.3	75.0	80.2
	Sub	5.7	5.6	82.9	74.8	67.5	63.2
Control	Top	5.8	5.5	91.3	67.4	52.9	55.7
	Sub	5.6	5.7	96.2	52.7	54.7	50.3

<sup>1</sup>: Distance from inlet of spa wastewater  
\* Top soil : 0~10 cm, Sub soil : 10~20 cm

이 있다. 이들중에서 지구 내부로부터 오는 금열량은 대체로  $1.68 \sim 1.94 \times 10^{-6} \text{ g cal cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ 이라고 한다. 수온은 물 자신의 열의 전도, 대류 및 난류에 의해 열의 이동에 의해 변화한다. 물은 온도에 따라 그 밀도가 변화하고 그 때의 밀도가 하층 물의 밀도보다 커지면 상층의 물과 하층의 물이 뒤바뀌게 되어 수온이 변한다(김, 1975).

그림 2는 온배수가 유거되는 거리별 수온의 변화를 계절별로 나타낸 것이다. 온배수와 기온과의 차이가 작았던 봄, 여름, 가을철의 경우에는 유거 거리가 길어질수록 수온이 일정한 차이로 낮아졌으나, 겨울철의 경우 500m 유거후 소하천수가 유입되면서 수온이 급격히 낮아졌다. 이러한 결과로 보아 온배수의 배출구로부터 500m 지점 사이에는 온수에 의해 식물이나, 미생물의 생육 환경이 변화하게 될 것으로 사료되어 이에 대한 조사연

Table 12. Yearly variation of T-N, organic matter (OM) and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> concentrations in paddy soil located beside spa wastewater

Distance <sup>1</sup> (m)		T-N (%)		OM (%)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	
		'97.2	'98.9	'97.2	'98.9	'97.2	'98.9
0	Top*	0.18	0.20	2.28	2.48	115.3	95.4
	Sub	0.20	0.16	2.42	2.09	92.7	88.8
10	Top	0.33	0.25	3.76	3.05	126.7	99.1
	Sub	0.29	0.23	3.63	3.17	121.5	92.8
20	Top	0.31	0.24	4.57	2.99	116.3	104.9
	Sub	0.38	0.26	4.44	3.49	113.9	96.9
100	Top	0.26	0.32	3.36	3.12	107.6	105.6
	Sub	0.24	0.31	3.36	2.90	106.4	96.8
Control	Top	0.30	0.19	3.36	3.15	144.9	158.4
	Sub	0.25	0.19	3.63	2.93	141.3	152.4

<sup>1</sup>: Horizontal distance from inlet of spa wastewater

구가 필요하다고 사료된다.

## 사 사

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 대학부설연구소 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 김광식(1975) 신재농업기상학. 향문사. 74-84
- 김복영(1988) 수질오염과 농업. 한국환경농학회지 7 : 153-169.
- 김복영 등 12명(1989) 농업용수 수계별 오염도 조사. 농업수자원의 보존관리 종합 연구. 농촌진흥청. 대형과제 보고서 : 27-31.
- 김복영, 소규호(1989) 한국 밭 토양 및 곡물 중 중금속 자연

- 함유량에 관한 조사연구. 농사시험연구논문집 토양비료 편 32 : 57-68.
- 김복영 (1996) 환경 오염의 실태와 대책-농업용수 및 농경지 오염을 중심으로. 한국환경농학회 '96 농업환경 심포지움, 27-53.
- 농업기술연구소(1988) 토양화학 분석법 : 26-146.
- 박준규, 김영변, 오왕근, 박 훈, F. Yazawa (1969) 근부환경에 따른 수도의 영양생리 적 반응에 관한 연구. 한국토양비료학회지 2 : 53.
- 백청오, 강상구, 이광식 (1996) 우리 나라 농업용수 수질오염 현황과 개선대책. 한국환경농학회지 15 : 506-519.
- 이종식, 김복영, 우기대 (1994) 수원지역 강우의 성분조성과 작물에 미치는 영향. 한국환경농학회지 13 : 31-38.
- 정영상, 양재의, 주영규, 이주영, 박용성, 최문헌, 최승출 (1997) 농업형태가 다른 한강상, 하류 소유역의 하천수 및 농업용 지하수 수질. 한국환경농학회지. 16 : 199-205.
- 정영호, 김복영, 한기학 (1973) 우리나라 수질오염의 실태와 조사. 농촌진흥청 농사시험연구 보고서 15(식물환경) : 7-13.
- 정 용, 권숙표 (1982) 환경과학. 형설출판사. p. 164.
- 환경부 (1996) 지하수 수질현황. 지하수 관리. 환경백서 : 217.
- 公害研究センター (1990) 酸性雨 土壤・植生への影響 環境 廳酸性雨土壤植生影響 研究会編輯. 117-120.
- 戶田光晴 (1969) 窒素過剰と農作物被害 農業と公害 農業用水の水質保全. 地球出版 株式會社. pp. 173-214.
- APHA-AWWA-WPCF (1992) Standard methods for the examination of water and waste water. 18th Washington, D.C.
- Charles MC & ML William (1992) Water quality and agriculture Mississippi experiences. *J. Soil Water Conservation* 47 : 220-223.
- Choi EH & SR Lee (1982) Studies on the water quality along the midstream of Nakdong river in 1978~1980. *Kor J Environ Agric* 1 : 31-38.
- FAD (1977) Water quality for agriculture. FAD/UN 29 Rev. 1: 174.
- Harper D (1992) Eutrophication of freshwaters. p. 30~52. Chapman Hill, London.
- Helal HM & K Mengel (1981) Interaction between light intensity and NaCl salinity and their effects on growth, CO<sub>2</sub> assimilation, and photosynthate conversion in young broad beans. *Plant Physiol* 67 : 999.
- Ishizaki H & T Akiya (1978) Effect of chlorine on growth and quality of tobacco. *JARQ* 12 : 1.

## Influence of Spa Sewage on the Water and Soil Pollution and Restoration

### I. Influence of Spa Sewage on the Pollution of Stream Water and Agricultural Land

Yeun-Tai Chung, Deog-Bae Lee<sup>1</sup>, Kyeong-Bo Lee<sup>1</sup>, Mi-Youn Kim  
Baik-Ho Kim, Min-Kyu Choi and Seung-Taeck Park

(Institute for Environmental Science, Wonkwang Univ., Iksan, 570-749, Korea,  
<sup>1</sup>National Honam Agricultural Experiment Station, RDA, Iksan, 570-080, Korea)

**Abstract** - This study was carried out to investigate the influence of spa sewage on water quality and chemical contents in the paddy soil along stream from 1997 to 1998. Concentration of PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl, NH<sub>4</sub>, Ca, Na and COD in the spa sewage were lower than standard for agricultural usage, and were lowered as the sewage flew to the into stream. The concentration of SO<sub>4</sub> in spa sewage was over the criteria for agricultural usage in the inlet, but was lower than criteria for agricultural usage by inlet of non polluted stream water. Concentration of pollutants in the sediment of water channel were the highest in the inlet site. There were no pollutants accumulation in the paddy soil where spa sewage was irrigated. It may be resulted from nutrients uptake of rice plant and self purification of paddy soil. On the while, considering electric conductivity and nitrate in spa sewage, this results suggest that long-term irrigation of the spa sewage may be required general management with some decreasing fertilization. [Spa sewage, Water quality, Agricultural environment, Sediment].