

河川水質汚染이 農業用水에 미치는 影響

나 규 환·이 장 훈*·김 치 년

연세대학교 보건과학대학

*호서대학교 이공대학

Effect of Water Pollution on the Irrigation Water

Kyu Hwan Ra, Jang Hoon Lee*, Kim, Chi Nyon

College of Health Science, Yonsei Univ.

**Natural Science and Engineering College, Hoseo Univ.*

ABSTRACT

The water quality in Wonju stream, Seom river in Kangwon province and Bokha, Shindun stream in Kyeonggi province was investigated between the season of irrigation on July, 1990 and of non-irrigation on September in 1989.

The results of water quality obtained from this study were as follows;

As for water quality of the Wonju stream and the Seom river, the concentration of COD, T-N, SS and Cu, and for the Bokha, Shindun stream, the concentration of T-N, SS and Cu were exceeded standard levels of quality guideline of agricultural water use in the season of irrigation. However, in the water quality of Wonju and Bokha stream, the concentration of T-N, SS and Cu, and in the Seom river, the concentration of T-N, SS, Cu and Zn were exceeded standard levels of agricultural water quality in the season of non-irrigation. And the average water quality of the 4 streams were not suitable for agricultural water use.

The comparison of the annual average water quality of the 4 streams for pH, DO, T-N and SS were in statistics significantly different with p values less than 0.01.

When the average water quality between the season of irrigation and non-irrigation in each stream was compared, DO and COD in the Wonju stream, COD in the Seom river, pH, DO, T-N, SS and Cu in the Shindun stream showed a significant difference

이 논문은 1989년도 연세대학교 학술연구비에 의하여 작성된 것임.

with $p < 0.01$.

The average in the sediment were; COD, 5.65~26.53 ppm; Cu, 0.26~0.49 ppm and Zn 0.95~2.97 ppm. The concentration of three contaminants were markedly higher than the water quality. And the concentration of COD, Zn in the sediment showed a significant difference with $p < 0.01$, and Cu showed a considerably significant difference with $p < 0.05$.

緒 論

漢江의 主本流인 南漢江의 上流유역에는 중소도시가 산재하여 있으며 점차 이 도시를 중심으로 인구증가 및 산업화가 이루어지고 있다. 또한 남한강은 북한강과 달리 流速도 완만하며 비교적 넓은 平野를 관통하여 흐르고 있으며 인접도시의 생활하수 및 공업폐수의 오염을 받고 있는 반면에 농업용 관개수로의 이용도가 높다. 특히 남한강 유역에는 크고 작은 支流가 유입되고 있으며 그중에서도 원주시의 도시하수 및 우산공단의 산업폐수의 영향을 받고 있는 原州川¹⁾은 섬강에 흘러 들어 섬강교 하류부에서 남한강과 합류되고 있다. 섬강은 유로연장이 약 92.6 km로서 횡성군 및 원주군의 일부 축산폐수와 문막농공단지 폐수의 오염이 우려되는 반면 문막평야의 농업용수로 이용되고 있다. 북한천²⁾은 경기도 이천읍을 관통하는 유로연장 약 21.4 km로서 하류에서 신둔천과 합류되며 역시 농업용수로의 이용도가 큰 실정이다.

한편 오염된 하천수질을 농업용관개수로 이용할 경우 벼의 웃자람으로 倒伏이 우려되며 結實不良현상으로 수확도 감소가 예상된다. 우리나라의 농업용수로의 水質基準³⁾은 河川의 경우 pH, BOD, SS 및 DO 등 4개 항목에 대해서, 湖沼의 경우에는 pH, COD, SS, DO, T-P(총인) 및 T-N(총질소) 등 6개 항목을 규정하고 있으며 日本⁴⁾의 경우는 중금속까지 규정항목으로 설정하여 엄격한 농업용수관리를 하고 있다. 이에 著者 등은 강원 및 경기도지방의 농업용수로 이용되고 있는 원주천, 섬강 및 북한천, 신둔천 등 남한강 지류의 수질오염현황을 灌溉期와 非灌溉期에 측정하여 농업용수로의 적합여부와 특

성 등을 비교조사하였기에 보고하는 바이다.

實驗方法

남한강에 유입되는 支流중 농업용관개수로 이용되고 있는 강원지역의 원주천 및 섬강과 경기지역의 북한천 및 신둔천을 택하여 지리적 조건과 관개용수의 양수장위치 및 오염원 등을 참작하여 각 하천별로 6개 수역을 선정하여 非灌溉期인 1989년 9월 28일과 灌溉期인 1990년 7월 2일에 각각 채수하였다. 조사항목중 수온, pH, DO 등은 Horiba U-7 Water checker로 현장에서 측정하였으며 BOD, COD, T-N, PO₄-P, SS 및 Cl⁻ 등은 실험실에 운반 즉시 환경오염공정시험법(수질편)⁵⁾, 미국 Standard method⁶⁾ 및 일본위생시험법⁷⁾에 준하여 측정하였으며 특히 수질 및 저질중의 Cu 및 Zn 등 중금속은 HNO₃-H₂SO₄으로 산화분해 전처리한 후 Perkin-Elmer 2380 AA로 측정하였다. 유의성 검정은 수질 및 저질의 측정항목중 일본 Takahashi 등⁴⁾이 농업용수의 적부판정의 규제항목으로 지정하고 있는 pH, DO, COD, T-N 및 SS와 중금속인 Cu 및 Zn에 한하여 t-test 및 Anova-test를 실시하였다.

結果 및 考察

灌溉期인 1990년 7월의 각 하천의 수질을 조사한 결과는 표 1과 같다. pH는 원주천과 북한천 및 신둔천에서 각각 6.93, 6.97 및 6.58로 pH 7 이하이었으며 섬강에서는 7.22로 다소 높았으나 pH의 변화에 영향을 줄 오염원은 없는 것으로 생각된다. DO 역시 원주천, 북한천 및 신둔천에서 6.10~

6.25 ppm 범위로 섬강의 7.87 ppm 보다 다소 낮아 오염의 징후가 보이고 있다. 이는 한국의 하천에 대한 농업용수기준 pH 6.0~8.5 및 DO 2.0 ppm과 비교할 때 농업용수로서 적합하다고 보겠으나 DO 포화율은 원주천의 경우 72.7%로서 오염이 진행되고 있음을 알 수 있다. COD는 섬강이 8.57 ppm으로 가장 높고 복하천 및 신둔천은 각각 3.43 ppm 및 3.44 ppm이었으며 섬강 및 원주천의 경우 공업단지의 폐수의 영향이 어느 정도 미치고 있음을 알 수 있다. 한국 및 일본의 COD 기준 8.0 ppm 및 6.0 ppm에 비하여 오염도가 초과되거나 거의 육박하고 있어 용수로서 부적합 내지는 오염의 징후에 주의가 요망된다. T-N은 원주천이 가장 높아 2.14 ppm이었으며 복하천, 신둔천 및 섬강 순으로 각각 1.74 ppm, 1.60 ppm 및 1.12 ppm이었고 일본용수기준 1.0 ppm보다 모두 초과하고 있어 관개농경지 비의 생육이 웃자람 또는 倒伏 등의 피해가 우려되므로 차후 施肥 등에 주의가 예상된다. SS는 섬강이

183.67 ppm이었으나 원주천 및 복하천의 경우 각각 216.33 ppm 및 238.67 ppm으로 높았음은 갈수기의 유량부족현상으로 생각되며 신둔천에서 낮았음은 작은 지류로서 물의 흐름이 일정한 것에 원인이 있는 것 같다. 또한 SS는 용수수질기준 100 ppm 보다 상당히 높아 비의 정상적인 생육에 지장을 초래할 것으로 사료된다. 중금속류인 Cu는 4개 하천이 0.16~0.30 ppm으로 일본용수기준 0.02 ppm에 비하여 8~15배 높았으며 Zn은 0.41~0.63 ppm으로 수질기준인 0.5 ppm과 유사한 농도를 나타내어 중금속 오염이 우려된다.

非灌溉期인 1989년 9월 4개 하천의 수질조사 결과는 표 2와 같다. pH는 섬강이 7.33으로 가장 높고 신둔천이 6.40로 나타났으나 산업폐수 등의 유입에 의한 액성의 변화는 없는 것 같다. DO는 원주천이 7.37 ppm으로 용존산소포화율이 81.8%이었으며 신둔천은 5.33 ppm으로 59.2%이었음은 관개기의 수질과 다른 경향성을 나타내었다. 이는 장마후

Table 1. The Water Quality of Sampling Streams the Season of Irrigation (1990. 7).

Items Streams	W. Temp.	pH	DO	COD	T-N	SS	Cu	Zn	PO ₄ -P	Cl ⁻
Wonju	23.0	6.93 ±0.05	61.0 ±0.18	7.18 ±0.15	2.14 ±0.08	216.33 ±26.50	0.30 ±0.04	0.41 ±0.02	0.13 ±0.02	21.98 ±2.95
Seom	23.0	7.22 ±0.04	7.87 ±0.05	8.57 ±0.23	1.12 ±0.07	183.67 ±25.26	0.23 ±0.04	0.63 ±0.03	0.08 ±0.01	10.63 ±0.67
Bokha	24.0	6.97 ±0.05	6.25 ±0.10	3.43 ±0.24	1.74 ±0.11	238.67 ±26.07	0.16 ±0.02	0.41 ±0.02	0.08 ±0.01	15.90 ±0.82
Shindun	23.5	6.58 ±0.04	6.18 ±0.08	3.44 ±0.25	1.60 ±0.03	131.50 ±22.74	0.19 ±0.02	0.41 ±0.03	0.08 ±0.01	14.63 ±1.38

Unit is ppm except pH and water temp.

Table 2. The Water Quality of Sampling Streams in the Season of Non-irrigation (1989. 9).

Items Streams	W Temp.	pH	DO	COD	T-N	SS	Cu	Zn	PO ₄ -P	Cl ⁻
Wonju	19.9	7.00 ±0.63	7.37 ±0.08	2.70 ±0.79	2.81 ±0.37	156.00 ±38.18	0.18 ±0.10	0.33 ±0.18	0.08 ±0.01	13.35 ±0.84
Seom	21.0	7.33 ±0.30	6.52 ±1.11	1.96 ±0.27	1.09 ±0.21	228.33 ±36.25	0.12 ±0.10	0.60 ±0.44	0.04 ±1.02	5.86 ±1.09
Bokha	19.0	6.87 ±0.12	6.42 ±0.10	2.76 ±0.23	1.60 ±0.11	285.33 ±98.85	0.11 ±0.10	0.38 ±0.17	0.04 ±0.02	12.90 ±0.69
Shindun	19.0	6.40 ±0.80	5.33 ±0.21	2.15 ±0.61	1.43 ±0.07	60.33 ±18.91	0.08 ±0.03	0.35 ±0.27	0.03 ±0.01	13.13 ±1.38

Unit is ppm except pH and water temp.

의 수량의 증가에 따른 土砂 등의 유입과 수질의 불안정에 의한 부유물질의 증가와 유관하다고 사료된다. COD는 섬강이 1.96 ppm으로 가장 낮았으며 다른 3개 하천은 2.15~2.70 ppm 범위로 한국 및 일본의 용수기준치보다 상당히 낮았다. T-N는 원주천이 2.81 ppm으로 가장 높아 역시 원주시 가정하수의 유입에 의한 것으로 생각되며 다른 3개 하천은 1.09~1.60 ppm이었으나 용수기준 1.0 ppm보다 높아 우기후에도 점차 부적합한 수질로 오염이 진행되고 있음을 알 수 있다. 중금속류인 Cu는 4개 조사하천이 대체로 0.08~0.18 ppm 범위에 있었으며 용수기준 0.02 ppm보다 4~9배 높았으며 Zn은 섬강에서 0.6 ppm으로 수질기준 0.5 ppm을 초과하였으며 3개 하천은 0.33~0.38 ppm으로 갈수기에 비하여 모두 낮았다.

4개 하천의 연간 평균수질은 표 3에서 보는 바와 같다. pH는 섬강이 7.28이었으며 다른 3개 하천은 6.49~6.97 범위이었다. DO는 역시 섬강이 7.19 ppm으로 기타 3개 하천의 5.76~6.73 ppm보다 높았다. COD는 대체로 2.79~5.26 ppm이었으며 T-N는 원주천이 가장 높아 2.48 ppm이었음은 역시 원주시 도시하수의 영향이라고 생각되며 4개 하천이 모두 기준치를 초과하고 있다. SS는 북하천이 262.0 ppm이었음은 상류의 도요지배수 및 지질의 영향인 것으로 사료되며 신둔천을 제외한 3개 하천에서 년중 기준치를 넘어서고 있다. 중금속인 Cu는 0.13~0.24 ppm으로 기준치를 넘었으며 Zn은 0.37~0.61 ppm으로 Cu보다 높게 나타났으나 섬강만이 기준치를 넘었다. 이들 4개 하천의 연간 평균수질은 경기도 용인읍을 관류하는 경안천⁸⁾에 비하여 오염도가 다소 낮은 것으로 나타났으나 오염의 징후가 뚜렷하여 철저한 수질관리가 요망된다.

4개 하천의 연간 수질평균치의 Anova-test에 의한 유의성을 분석한 결과는 표 3과 같다. 측정항목 중 pH, DO, T-N 및 SS에 있어서는 4개 하천간에 F 값이 각각 70.73, 10.13, 63.19 및 21.70으로서 $p < 0.01$ 범위내에서 유의성 있는 차이를 보여 하천간의 오염도가 심함을 알 수 있다. 또한 관개기와 비관개기의 수질의 측정성분에 대한 t-test에 의한

Table 3. The Mean Values of Water Quality and Significance Test each Streams in Items. (Anova-test).

Items	Streams	Mean	S.D.	F-ratio
pH	Wonju	6.97	0.07	70.73**
	Seom	7.28	0.21	
	Bokha	6.93	0.10	
	Shindun	6.49	0.10	
DO	Wonju	6.73	0.67	10.13**
	Seom	7.19	1.03	
	Bokha	6.33	0.13	
	Shindun	5.76	0.47	
COD	Wonju	4.94	2.40	4.10
	Seom	5.26	3.46	
	Bokha	3.09	0.41	
	Shindun	2.79	0.81	
T-N	Wonju	2.48	0.43	63.19**
	Seom	1.10	0.15	
	Bokha	1.60	0.08	
	Shindun	1.59	0.18	
SS	Wonju	186.17	44.44	21.70**
	Seom	206.00	37.83	
	Bokha	262.00	73.11	
	Shindun	95.92	42.18	
Cu	Wonju	0.24	0.03	3.77
	Seom	0.17	0.03	
	Bokha	0.13	0.02	
	Shindun	0.14	0.02	
Zn	Wonju	0.37	0.13	4.17
	Seom	0.61	0.30	
	Bokha	0.40	0.12	
	Shindun	0.38	1.68	

** : $p < 0.01$

유의성 검정은 원주천에서 DO 및 COD에 있어서 t 값이 각각 15.78 및 -13.68로서 $p < 0.01$ 범위에서 유의한 차이를 나타내었으며 섬강에서는 COD만이 t 값 -45.16으로 $p < 0.01$ 의 차이를 보였다. 또한 북하천에서는 COD가 t 값 -4.90으로 $p < 0.05$ 범위에서 유의성이 인정되었으나 신둔천에서는 pH, DO, T-N, SS 및 Cu 항목에서 $p < 0.01$ 의 범위에서, 그리고 COD는 $p < 0.05$ 에서 각각 유의성있는 차이를 나타내어 관개기 및 비관개간의 차이를 보였다(표 4, 5, 6, 7).

Table 8. The Analytical Results of Bottom Sediment in each Streams.

Streams	Seasons Items	Irrigation			Non-irrigation		
		COD	Cu	Zn	COD	Cu	Zn
Wonju		35.72±2.64	0.67±0.09	4.36±0.29	17.35±2.19	0.28±0.08	1.58±0.35
Seom		8.48±0.25	0.42±0.06	1.26±0.19	2.82±0.44	1.00±0.00	0.65±0.14
Bokha		13.81±0.80	0.82±0.06	2.18±0.19	10.00±1.13	0.17±0.05	1.37±0.25
Shindun		12.50±0.54	0.30±0.03	1.64±0.14	8.28±1.64	0.27±0.08	0.60±0.09

Table 9. The Significance for each Streams in Sediment Contents (Anova-test).

Items	Seasons	Mean	S.D	F-ratio
COD	Wonju	26.53	9.87	33.25**
	Seom	5.65	2.98	
	Bokha	11.91	2.20	
	Shindun	10.39	2.49	
Cu	Wonju	0.48	0.22	3.68*
	Seom	0.26	0.17	
	Bokha	0.49	0.35	
	Shindun	0.28	0.06	
Zn	Wonju	2.97	1.48	14.10**
	Seom	0.95	0.35	
	Bokha	1.77	0.47	
	Shindun	1.12	0.56	

* : p<0.05 ** : p<0.01

량보다 상당히 높은 것으로서 이들 금속류가 수산화물 등의 형태로 침하된 것으로 사료된다. 비관개기의 COD는 섬강이 2.82 ppm으로 가장 낮고 원주천이 17.35 ppm으로 가장 높았으나 관개기에 비하여는 다소 낮았으며 경향성은 유사하게 나타났다. Cu는 4개 하천에서 0.10~0.28 ppm이었으며 Zn은 0.60~1.58 ppm으로서 갈수기인 관개기에 비해 낮았으며 또한 비관개기의 수질중의 함량보다도 낮았다.

4개 하천의 연간 저질중의 성분을 Anova-test에 의한 유의성 검정결과는 표 9에서 보는 바와 같으며 COD 및 중금속 Zn에서 F 값이 각각 33.25 및 14.10으로 p<0.01의 유의한 차이를 보였으며 Cu는 p<0.05 범위에서 유의한 차이를 나타내었다.

結 論

강원도에 위치한 원주천과 섬강 및 경기도의 북하천과 신둔천의 수질을 灌溉期인 1990년 7월과 非灌溉期인 1989년 9월에 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 관개기의 수질은 원주천과 섬강에서는 COD, T-N, SS 및 Cu의 함량이 농업용수 기준치를 초과하였으며 북하천과 신둔천에서는 T-N, SS 및 Cu의 함량이 기준치를 초과하였다. 비관개기의 수질은 원주천과 북하천에서는 T-N, SS 및 Cu 함량이 기준치를 초과하였고 섬강에서는 T-N, SS, Cu 및 Zn 함량이, 그리고 신둔천에서는 T-N 함량만이 기준치를 초과하였다. 4개 하천의 연간 수질평균치는 T-N, SS 및 Cu에서 모두 용수기준치를 초과하여 농업용수로서 부적합하였다.

2. 4개 하천의 수질평균치를 비교할 때 pH, DO, T-N 및 SS가 p<0.01 범위내에서 유의성있는 차이를 나타내었다.

3. 각 하천별 수질평균치를 관개기와 비관개기로 비교할 때 원주천에서는 DO 및 COD에서, 섬강에서는 COD만이 p<0.01의 범위에서 유의성이 인정되었다. 그리고 신둔천에서는 pH, DO, T-N, SS 및 Cu에서 p<0.01의 유의성을 나타내었다.

4. 저질중의 오염성분의 평균치는 COD가 5.65~26.53 ppm, Cu는 0.26~0.4 ppm 그리고 Zn은 0.95~2.97 ppm으로 수질중의 함량보다 대단히 높았다. 또한 하천간의 저질평균치를 비교할 때 COD 및 Zn은 p<0.01, Cu은 p<0.05 범위에서 유의성이 인정되었다.

參 考 文 獻

1. 羅圭煥, 高春明; 江原道 原州川의 水質汚染에 관한 基礎的 研究, 中央醫學, Vol. 42, No. 4, 297-302 (1982)
2. 環境處; 全國汚染河川 淨化를 위한 調查研究報告書 (1987)
3. 環境處; 環境保全, 330 (1988)
4. Yoko Takahashi *et al.*; Effect of domestic waste water on the paddy field, Journal of Environmental Pollution Control, Vol. 24, No. 2, 147 (1988)
5. 環境處; 環境汚染公定試驗法(水質編) (1988)
6. APHA, AWWA, WPCF; Standard methods for the examination of water and waste water (1985)
7. 日本藥學會編; 衛生試驗法注解 (1990)
8. 羅圭煥 외 2人; 水質汚染이 農業用水에 미치는 영향, 韓國環境毒性學會誌, 제 6 권, 제1~2호, 1-6 (1991)