

原州川의 水質汚染에 관한 調査研究

朴炳潤 · 羅圭煥* · 玉致相*

延世大學校 保健大學院
延世大學校 原州醫科大學 保健學科*

A Study on the Water Pollution of the Wonju Stream

Byong Youn Park · Kyu Hwan Ra* · Chi Sang Ok*

Graduate School of Health Science and Management YonSei Univ.
Dept. of Health Science, Wonju Medical Coll., Yon Sei Univ.*

ABSTRACT

Urban sewage and stream water in Wonju city were examined and the results were as follows:

The average water quality of Wonju stream was flow $52.8 \text{ m}^3/\text{min}$, BOD 21.14ppm, COD 7.06 ppm, SS 212.4 ppm, Cl^- 23.14 ppm, O-Phosphate 1.08 ppm, $\text{NH}_3\text{-N}$ 1.08 ppm, $\text{NO}_2\text{-N}$ 2.63 ppm and pH 7.48 respectively.

The average water quality of urban sewage was flow $2.76 \text{ m}^3/\text{min}$, BOD 112.7 ppm, COD 33.6 ppm, SS 374.4 ppm, Cl^- 46.2 ppm, O-Phosphate 1.56 ppm, $\text{NH}_3\text{-N}$ 5.96 ppm and $\text{NO}_2\text{-N}$ 3.28 ppm respectively.

The quality of stream water showed was 4th grade area according to environmental water quality standard.

The survey showed k_1 0.11 day^{-1} , k_2 0.29 day^{-1} and the self-purification coefficient 2.5 in average.

In calculating oxygen variation in water by Streeter-Phelp's equation, the zero station exhibited in down stream.

I. 緒 論

南漢江은 江原道, 忠清北道 및 京畿道 등 중

부 및 영서지방을 흐르는 漢江의 源流이다. 이 江의 上流는 石灰岩地帶와 무연탄광지대를 비롯하여 영월, 충주, 제천, 원주, 여주 및 양평 등의 中小都市가 위치하고 있어 여기에서 배

출되는 廢水 및 下水 등으로 汚染되고 있는 실정이다. 우리 나라 河川의 대부분은 중소도시 내지는 공업지대로부터 배출되는 廢下水의 직접적인 流入으로 인하여 自淨能力을 상실하게 되어 폐하수의 배수로 역할을 할 뿐이다. 漢江의 水質전모를 파악키 위하여는 南漢江上流에 流入되고 있는 주요 支流의 水質현황과 中小都市에서 배출되는 廢下水 등으로 인한 汚染度를 측정하는 것도 중요하다고 생각된다.

原州는 영서지방의 주요도시로서 交通, 商業 및 軍事요지이다. 또한 근래에 공업단지조성으로 인하여 성장거점도시가 되어 人口도 점차 증가추세에 있어 이에 따른 환경오염 문제가 대두되고 있다. 한편 原州川은 국립공원 雉岳山에서 발원하여 原州市를 동서로 관류하는 河川이다. 下流部에서 남한강의 주요 支流인 섬강과 합류하고 다시 여주에서 南漢江에 流入하고 있다. 이에 著者 등은 原州市 下水의 水質 性格을 파악하고 原州川 汚染이 南漢江水系의 水質 및 自淨能에 미치는 영향을 검토하였기에 이에 報告하는 바이다.

II. 實驗對象 및 方法

1. 對 象

原州市를 관류하는 原州川을 대상으로 하여 총 유역면적 8.4km²를 범위로 하였다. 原州市는 차령산맥의 主脈部를 이루는 雉岳山으로 둘러싸인 분지로서 人口 약 13만명이 居住하고 있다(Table 1 참조). 原州川은 치악산을 근원으로 하여 주위의 영랑천, 단계천 및 홍양천 등 小支川이 합류되어 原州市를 동서로 관통하여 섬강으로 流入되고 있다.

2. 調查地點 및 採水

採水地點은 원주천의 상황을 감안하여 Fig. 1에서 보는 바와 같이 5個地點(St.P-1~P-5)과 原州市 下水는 下水排出口 5個所(St.S-

1~S-5)를 선정하였다. 선정된 各地點에서 일 반채수방법에 준하여 1983년 5월 1일에 오전 과 오후 2회에 걸쳐 각각 6개씩 採水하였다.

3. 實驗方法

理化學的 水質項目: 流量은 Eckman 流速計를 사용하여 측정, 산정하였다. 水溫, pH 및 DO는 採水現場에서 Water checker Horiba Co.U-7을 사용하여 측정하였다. 기타 BOD, COD, SS, Cl⁻, PO₄⁻³, NH₃-N 및 NO₂-N 등은 實驗室에 운반하여 냉장보관하면서 Standard method¹⁾와 衛生試驗法²⁾ 및 環境汚染公定試驗法³⁾에 준하여 측정하였다.

脫酸素係數(k_1) 및 再曝氣係數(k_2): 原州川의 St.P-1, P-3 및 P-5에서 採水하여 脫酸素係數를 구하였다. 즉 20°C에서 日數別 BOD

Table 1. Populations and Areas of districts in Wonju city.

Districts	Populations (Person)	Areas(km ²)
Jung pyung	6,225	0.31
Won in	9,582	0.4
Gae un	12,213	0.96
Myung ryun	8,774	0.63
Dan gu	8,448	5.06
Il san	12,001	0.82
Hak sung 1	11,440	0.73
Hak sung 2	6,416	1.65
Dan gae	6,265	4.08
U san	15,634	7.42
Bong san 1	5,995	6.06
Bong san 2	8,166	0.86
Tae jang 1	9,181	3.08
Tae jang 2	7,632	6.06
Haeng gu	2,089	13.43
Mu sil	2,271	18.28
Kwan sul	3,653	11.02
Ban gok	3,083	9.43

Source: Statistical year book of Wonju city (1982).

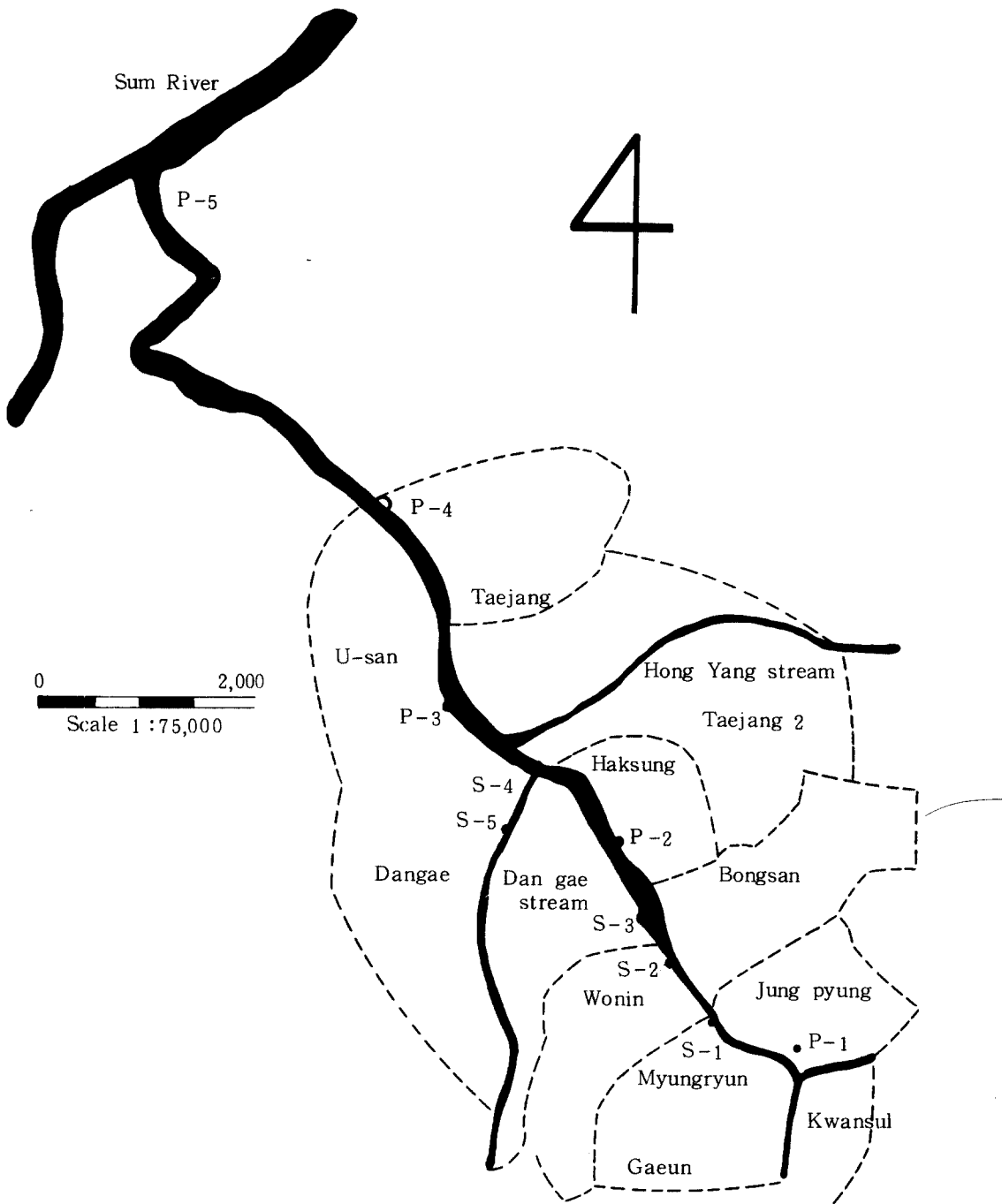


Fig. 1. Sampling stations on the Wonju Stream

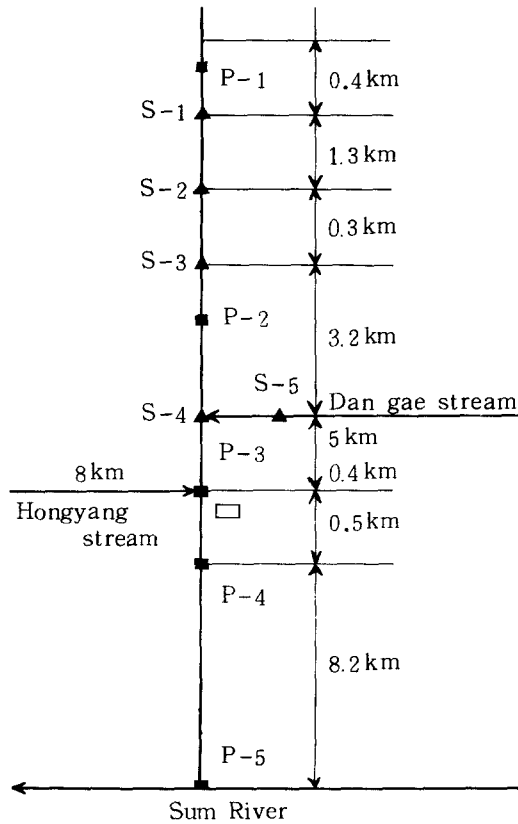


Fig. 2. Outline of the Wonju Stream(14.3km)

를 graph 상에 표시하여 최종BOD를 曲線上에서 추정하였으며 최소자승법⁴⁾에 의하여 산출하였다.

$$\sum \log (L-Y)=m \sum X+n b \quad \cdots \cdots (1)$$

$$\sum X \log (L-Y)=m \sum X^2+b \sum X \quad \cdots \cdots (2)$$

L : 최종BOD (mg/l)

Y : t 일의 BOD (mg/l)

m : 기울기 ($= -k_1$)

b : y 축절편

n : 총일수

X : 일수

20°C에서의 再曝氣係數는 다음의 Covar⁵⁾식에 의하여 구하였다.

$$k_2(20^\circ\text{C}) = 2.2 \frac{V}{H^{1.33}} \quad \cdots \cdots (3)$$

V : 평균유속 (m/sec)

H : 평균 수심 (m)

k_2 : 再曝氣係數 (day⁻¹)

酸素輸荷曲線 : 原州川의 各地點에서의 시간별 용존산소부족량을 Streeter-Phelps⁶⁾식에 의하여 계산하여 산소수하곡선을 작성하였다.

$$Dt = \frac{k_1 La}{k_2 - k_1} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + Da \times 10^{-k_2 t} \quad \cdots \cdots (4)$$

Dt : t 일후의 DO부족량 (mg/l)

La : 최종BOD (mg/l)

Da : 최초산소부족량 (mg/l)

k_1 : 탈산소계수 (day⁻¹)

k_2 : 재폭기계수 (day⁻¹)

여기에서 k_1 및 k_2 는 온도변화에 따라 달라지므로 산소수하곡선상의 k_1 및 k_2 를 보정하였다⁷⁾.

$$k_1(T^\circ\text{C}) = k_1(20^\circ\text{C}) \times 1.047^{(T-20)}$$

$$k_2(T^\circ\text{C}) = k_2(20^\circ\text{C}) \times 1.024^{(T-20)}$$

III. 結果 및 考察

1. 原州川의 水質

原州川本流의 各地點別 수질은 Table 2에서 보는바와 같다. 流量은 上流에서 30 m³/min이 있으나 영랑천, 단계천 및 홍양천 등이 합流하여 本流에서는 60 m³/min로 증가되었다. DO는 원주시 하수의 流入이 거의 없는 상류 St.P-1이 7.2ppm으로 가장 높았으나 원주시 하수의 영향이 가장 심한 St.P-4에서는 4.8 ppm으로 가장 낮았고 下流인 St.P-5에서는 다소 회복되어 6.0 ppm이었다. DO는 81년 7월의 나⁸⁾ 등의 조사치 보다 다소 높았으나 거의 비슷한 경향을 나타내고 있다. COD는

St.P-1이 3.3ppm으로 남한강 上流水系인 지장천⁹⁾수질과 비슷하였으나 원주시의 오염을 받아 St.P-3과 St.P-4에서는 각각 8.3ppm 및 15.1ppm으로 상승하였으며 St.P-5에서는 유기물질의 침전 등으로 감소되어 3.8ppm으로 나타났다. BOD 역시 COD와 유사한 경향을 나타내었으며 오염이 심한 St.P-3과 St.P-4에서는 각각 27.3ppm 및 35.5ppm이었고 他地點에서는 10~20.5ppm이었다. SS(부유물질)는 上流가 180ppm이었으며 St.P-2, P-3 및 P-4에서는 점차 증가되어 204~264ppm으로 높게 나타났으나 St.P-5에서는 COD와 유사한 경향으로 감소되어 上流와 비슷한 176ppm을 나타내었다. Cl⁻는 上流 St.P-1이 9.2ppm이었고 原州市 下水의 영향을 직접 받는 St.P-3이 26.9ppm으로 높았으며 특히 原州市 工業團地의 폐수의 영향을 받는 St.P-5는 보다 증가하여 46.7ppm이었다. SS 및 Cl⁻는 나 등⁸⁾의 조사와 유사한 경향을 나타내었으나 금번 조사에서 다소 높은 수치를 보인 것은 5월의 澇水期에 영향인 것으로 사료된다.

PO₄⁻³는 상류인 St.P-1이 0.2ppm으로 조사지점 중 가장 낮았으며 St.P-4 및 St.P-5에서는 1.8ppm 및 2.5ppm으로 약 10배의 높은 수치를 나타내고 있어 오염이 심함을 알 수 있다. St.P-1의 0.2ppm도 자연하천수의 0.02

~0.07ppm에 비하면 높은 수치이며 洪 등¹⁰⁾이 발표한 漢江下流 硯場동 및 행주대교부근 수역의 0.21ppm 및 0.2ppm과 비슷하여 微微하나마 오염의 징후가 있음을 알 수 있다. NH₃-N는 원주시 도시하수의 영향을 직접 받고 있는 St.P-2에서부터 下流 St.P-5 수역에서 1.2~5.7ppm이 검출되었는데 이는 1981년의 조사치 보다 약 10배 정도 높아 PO₄⁻³와 유사한 경향을 나타냈으며 1979년 한강하류 수역의 NH₃-N 농도와 비슷하였다. NO₂-N는 上流 St.P-1이 0.1ppm이었고 St.P-4가 가장 높아 0.4ppm이었는데 이는 1981년 조사치와 비슷하였다. pH는 7.3~7.6 정도로 한강분류에 비하여 약간 높았으나 석회암지대를 흐르는 南漢江支流⁹⁾에 비하여는 다소 낮았으며 工場廢水의 영향은 적은 것으로 사료된다.

2. 原州市 下水의 水質

原州市 下水의 採取는 개운동과 명륜동의 下水口(St.S-1), 원인동과 일산동의 하수구(St.S-2), 단계동 일부와 학성동 및 중앙동지역의 하수구(St.S-3), 단계동 일부와 우산동 아파트 지역의 하수구(St.S-4) 및 단계천 하류(St.S-5)를 택하였다. 이들 하수구에서 배출되는 원주시 생활하수는 직접 원주천에 유입되고 있는 형편이며 수질분석 결과는 Table 3과 같다.

下水의 배출량은 총괄적으로 약 13.8m³/min

Table 2. Water quality in each site of the Wonju Stream

(n=6)

Items Stations	Flow	DO	COD	BOD	SS	Cl ⁻	PO ₄ ⁻³	NH ₃ -N	NO ₂ -N	pH
P-1	30.0	7.2	3.3±0.7	10.0±0.8	180±23	9.2±0.7	0.2±0	0.06±0	0.1±0	7.6±0.2
P-2	48.0	5.2	4.8±1.2	20.5±0.5	204±21	15.9±1.4	0.4±0.01	1.2±0.3	0.2±0.01	7.3±0.4
P-3	60.0	5.0	8.3±0.9	27.3±1.2	264±14.5	26.9±1.5	0.5±0.02	3.5±0.2	0.3±0.01	7.7±0.3
P-4	66.0	4.8	15.1±2.2	35.5±1.5	238±11.3	17.5±1.8	1.8±0.1	5.7±0.3	0.4±0.02	7.5±0.5
P-5	60.0	4.0	3.8±0.4	12.4±0.3	176± 9.6	46.5±1.2	2.5±0.7	2.7±0.1	0.3±0.01	7.3±0.7

Unit is ppm except pH and Flow, Flow unit is m³/min.

(M±SD)

Table 3. The variation of water quality of the Wonju urban sewage;

(n=6)

Items Stations	Flow	DO	BOD	COD	SS	Cl ⁻	PO ₄ ⁻³	NH ₃ -N	NO ₂ -N	pH
S-1	4.8	4.2	47.0±5.5	17±1.0	138±7.9	54.5±9.2	1.7±0.3	5.9±0.4	2.1±0.3	7.1±0.1
S-2	3.6	4.0	80.0±1.4	25±1.4	314±5.2	36.5±1.4	1.3±0.2	2.3±0.1	1.3±0.2	7.1±0.2
S-3	2.4	3.9	109.5±4.8	34.6±2.1	498±8.0	55.5±3.2	1.9±0.3	7.7±0.6	4.1±0.6	7.3±0.1
S-4	1.8	3.8	187±6.2	38.2±2.8	482±9.8	40.0±1.2	1.5±0.2	2.2±0.2	4.9±0.5	7.2±0.2
S-5	1.2	4.2	140±8.9	52.4±2.3	440±10.2	44.5±1.3	1.4±0.1	11.7±0.5	4.0±0.6	7.2±0.3

Unit is ppm except pH and Flow. Flow unit is m³/min.

(M±SD)

이며 가장 양이 많은 곳은 St.S-1로 4.8m³/min 이고 가장 적은 곳은 St.S-5로서 1.2m³/min이었다. DO는 전반적으로 4.2~3.8ppm이었으며 이는 84년 夏季에 中浪川에 유입되는 방학천, 당현천 및 목동천¹¹⁾과 유사하였다. BOD는 St.S-1이 47ppm이었고 St.S-4 및 St.S-5에서는 더욱 높아 187ppm 및 140ppm이었으며 이는 原州川의 수질보다 약 4배이상 높은 수치이었다.

COD는 St.S-1과 St.S-2가 각각 17.8ppm 및 25ppm이었으며 기타 St.S-3과 St.S-4에서 34.6ppm 및 38.2ppm으로 비슷하였고 St.S-5에서는 52.4ppm로 가장 높아 우산아파트단지의 영향이 큰 것으로 사료된다. SS역시 St.S-1과 St.S-2에서 138ppm 및 314ppm이었으나 기타의 배출하수는 440~498ppm 범위로서 상당히 높았음은 일상생활에서 발생한 가정하수가 칩전되지 않은채로 흘러나오고 있음을 알 수 있다. Cl⁻는 대체로 36.5~55.5ppm 범위이었으며 PO₄⁻³는 1.3~1.9ppm이었는데 Cl⁻와 PO₄⁻³는 5개 배출하수에서 같은 경향으로 나타내고 있어 가정하수의 특징을 보여 주고 있음을 알 수 있다. NH₃-N 및 NO₂-N는 원주천 본류의 수질보다 상당히 높아 NH₃-N가 2.2~11.7ppm이었고, NO₂-N가 1.3~4.9ppm이었다. 특히 NO₂-N는 원주천 본류보다 약 10배 정도 높았음은 생하수

의 특성이라 생각된다. pH는 7.0~7.3으로 생활양상이 일정한 주거지역의 폐수일 뿐 가내공장 등의 혼합지역이 아님을 알 수 있다.

3. 원주천의 自淨能

원주천의 自淨能은 上流(St.P-1), 中流(St.P-3) 및 下流(St.P-5)로 나누어 계산하였으며 각 지점별 BOD변화는 Table 4와 같다. Table 4로부터 얻은 기울기에서 구한 脫酸素係數(k_1)는 Table 5와 같다. Covar⁵⁾式에 의하여 구한 再曝氣係數(k_2)는 Table 6과 같으며 k_1 및 k_2 로부터 구한 自淨係數(f)는 Table 7과 같다. 本 原州川의 k_1 평균치는 0.11 day⁻¹이었고 k_2 평균치는 0.29 day⁻¹로 나타났다. 이는 洪 登¹²⁾이 조사한 왕숙천의 $k_1=0.208\text{day}^{-1}$, $k_2=0.601\text{day}^{-1}$ 과 韓¹¹⁾의 中浪川의 $k=0.216\text{day}^{-1}$, $k_2=4.05\text{day}^{-1}$ 보다 대단히 낮았다. f 평균치는 $f=2.5$ 이었는데 이는 中浪川의 18.75에 비하여 역시 대단히 낮았으나 보통 流速이 느린 큰 하천의 자정계수 1.5~2.0⁷⁾과 비교할 때 비슷하였다.

한편 원주천의 酸素輸荷曲線은 St.P-4의 BOD 농도를 사용하였으며 k_1 및 k_2 을 이용하여 Streeter-Phelps⁶⁾식에 의하여 예측하였으며 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 보는바와 같이 원주시의 오염물질 負荷로 인하여 용존산소가 5ppm 이하가 되며 특히 평상시에는 DO의

Table 4. Least-squares method of BOD analysis for computing K_1 and L .

St.	P-1					P-3					P-5				
	*Y BOD exer- ted	L-Y BOD rem- ained	log (L-Y)	Xlog (L-Y)	X ²	*Y BOD exer- ted	L-Y BOD rem- ained	log (L-Y)	Xlog (L-Y)	X ²	*Y BOD exer- ted	L-Y BOD rem- ained	log (L-Y)	Xlog (L-Y)	X ²
0	0	16.6	1.2	0	0	0	38.0	1.57	0	0	0	21.5	1.33	0	0
2	6.6	10.0	1.0	2.0	4	12.0	26.0	1.41	2.82	4	7.8	13.7	1.14	2.28	4
4	8.6	8.0	0.9	3.6	16	20.0	18.0	1.25	5.0	16	11.9	9.6	0.98	3.92	16
6	13.1	3.5	0.5	3.0	36	28.0	10.0	1.02	6.12	36	14.5	7.0	0.84	5.04	36
8	14.4	2.2	0.3	2.4	64	34.0	4.0	0.6	4.8	64	18.0	3.5	0.54	4.32	64
10	15.1	1.5	0.18	1.8	100	36.2	1.8	0.26	2.8	100	19.5	2.0	0.30	3.0	100
$\Sigma X =$		$\Sigma =$	$\Sigma =$	$\Sigma =$		$\Sigma =$	$\Sigma =$	$\Sigma =$		$\Sigma =$	$\Sigma =$	$\Sigma =$	$\Sigma =$	$\Sigma =$	$\Sigma =$
30		4.08	12.8	220		6.11	21.34	220		5.13	18.56	220			

*Values of L-Y were not taken from original data but were selected from curve fitted by eye.

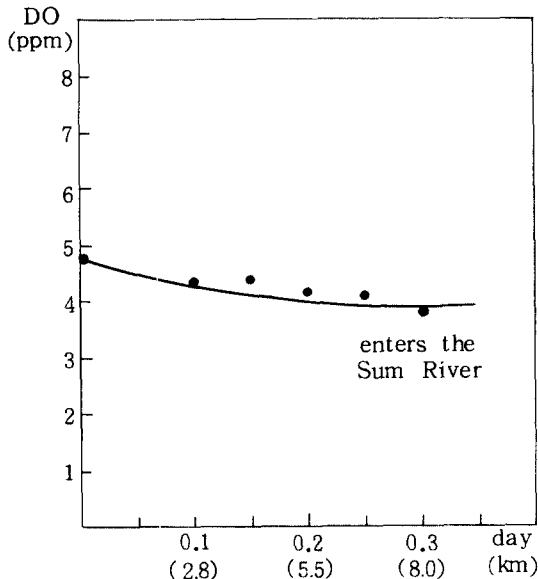


Fig. 2. Calculated oxygen sag curve on the Wonju Stream.

Table 5. Calculated deoxygenation rates (k_1) for the Wonju Stream.

Station	k_1 (day ⁻¹)	Mean (day ⁻¹)
P-1	0.109	
P-2	0.132	0.11
P-3	0.101	

임계점이 나타나기 전에 그대로 섬강에 유입되며 극심한 渇水期에는 流量이 적어 原州川 下流에서 DO의 임계점이 나타나 생태계에 큰 악영향이 미칠 것으로 예측된다.

IV. 結 論

原州川의 水質과 이 河川에 流入되는 原州市 下水의 水質을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

Table 6. Calculated reaeration rates (k_2) for the Wonju Stream.

Station	Velocity (m/sec)	Depth (m)	k_2 (day ⁻¹)	Mean (day ⁻¹)
P-1	0.12	0.9	0.304	
P-2	0.09	0.8	0.266	0.29
P-3	0.04	0.4	0.298	

Table 7. Calculated self-purification rates (f) for the Wonju Stream.

Station	k_1 (day ⁻¹)	k_2 (day ⁻¹)	f	Mean
P-1	0.109	0.304	2.789	
P-2	0.132	0.266	2.015	2.5
P-3	0.101	0.298	2.950	

原州川의 수질은 평균적으로 流量이 52.8 m³/min, BOD는 21.14 ppm, COD는 7.06ppm, SS는 212.4 ppm, Cl⁻는 23.24 ppm, PO₄⁻³는 1.08 ppm, NH₃-N 및 NO₂-N는 각각 1.08 ppm 및 2.63 ppm이었고 pH는 7.48 이었다.

한편 原州市下水의 수질은 流量은 2.76 m³/min, BOD는 112.7 ppm, COD는 33.6 ppm, SS는 374.4 ppm, Cl⁻는 46.2 ppm, PO₄⁻³는 1.56 ppm, NH₃-N 및 NO₂-N는 각각 5.96 ppm 및 3.28 ppm 이었다.

원주천 조사수역의 평균 脫酸素係數(k_1)는 0.11 day⁻¹이며 再曝氣係數(k_2)는 0.29 day⁻¹ 이었고 自淨係數(f)는 2.5 이었다.

水中的 용존산소의 변화를 Streeter-Phelps 식에 의하여 계산한 결과 DO가 소실되는 지점이 下流에서 나타났다.

参考文献

1. APHA, AWWA, WPCF: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th Eds., 1981.
2. 日本藥學會編: 衛生試驗法 注解, 1980.
3. 環境廳: 環境汚染公定試驗法, 1983.
4. Nemerow, Nelson Leonard: Scientific Stream Pollution Analysis, 93~162, McGraw-Hill Book Co., 1974.
5. Covar, A. P., : Selecting the Proper Re-aeration Coefficient for Use in Water Quality Models, Proceedings of the Conference on Environmental Modeling and Simulation, April 19~22, 1976, Cincinnati, Ohio, U.S. EPA, RPT. No. 6/9176-016, U.S. EPA, July, 1976.
6. Streeter, H.W. & Phelps, E.B., : A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River, Public Health Bulletin, 146, 1925.
7. 權肅杓, 鄭勇: 環境科學, 445~457, 螢雪出版社, 1982.
8. 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, April 1982.
9. 洪思濶, 羅圭煥: 南漢江의 水質, 韓國陸水學會誌, Vol. 11, No. 1~2, 1~5, 1978.
10. 洪思濶, 羅圭煥: 漢江의 水質環境과 底質에 관한 陸水學的 研究, 自然保存研究報告書, 第1輯, 361, 1979.
11. 韓相旭: 都市河川의 水質特性에 관한 研究, 成均館大學校 大學院, 藥學博士學位論文.
12. 洪淳佑, 河永七, 李健模: 漢江의 自淨能에 대하여, 韓國陸水學會誌, Vol. 12, No. 3~4, 9~18, 1979.