

남한강 북쪽 유역 하수종말처리장의 24시간별 수질 변화 분석

서용찬 · 김기동*†

상지대학교 환경공학과, *상지대학교 정밀화학신소재학과

24 Hour Water Quality Monitoring of the Sewage Treatment Plants Located around Northern Basin of South Han River

Yong Chan Seo and Kee D. Kim*†

Department of Environmental Engineering, Sangji University, 660 Usan-dong, Wonju 220-702, Korea

*Department of Fine Chemical and Advanced Materials, Sangji University, 660 Usan-dong, Wonju 220-702, Korea

Three sewage treatment plants in south Han river basin were selected for time depending water quality monitoring. The water qualities of influents and effluents were determined depend on time. The quantity of waste water and pollution load was also estimated by field measurement. These treatment plants were located in Yangpyung, Yongmoon and Wonju. Sampling was executed every 2-3 hours on a particular date between late May to late November 2002. Two samples - influent and effluent - were collected for each sewage plant for later consideration of treatment efficiency. An inspection of BOD and COD data revealed that the influents of Daesin (Yeoju area) sewage treatment plant is relatively polluted but yangpyung treatment plants indrafted moderately polluted water. The BOD values of these two sewage plants' effluents turned out to be quite low of under 5 mg/L. The influent and effluent BOD value of Wonju sewage treatment plant showed around 70 and 20 mg/L, respectively. According to these data, the efficiency of Wonju sewage treatment plant can be considered unsatisfactory and may need more improvements. The efficiencies of T-N and T-P treatment of all three sewage treatment plant turned out to be quite low. Notwithstanding the low efficiency level, the low T-N and T-P concentration of influents decline the meaning of the T-N and T-P efficiency values. However, the T-P concentration of Wonju sewage treatment plant effluent was over 2 mg/L (regulation criterion) and it is thus reasonable to consider an installation of additional phosphorous treatment system.

Key words : influents and effluents, waste water, sewage treatment plant, BOD, COD, T-N, T-P, water quality monitoring

1. 서 론

인구가 증가함에 따라 인구 활동에 의해 발생하는 생활하수도 증가하게 되는데, 현재 우리나라에서 발생되는 하·폐수 발생량 중 생활하수가 약 60% 정도로 가장 많은 양을 차지하고 있다.¹⁾ 발생된 생활하수는 일반 가정에서 정화조에 의해 처리되거나 자체적으로 단지 내 오수처리장을 설치하여 처리하거나 혹은 하수도에 의해 마을하수도 및 하수종말처리장으로 유입되어 지

자체 혹은 민간에게 위탁하여 처리하게 된다.

하수량 및 하수의 오염 부하량은 주택단지가 건설 예정인 지자체의 인구, 상·하수도 등 관련 분야별 현황 및 장래 계획과 하수도 시설기준에 제시되어 있는 방법을 토대로 산정하게 되는데, 이중에서도 상수 사용량 및 하수량 원단위는 전체 하수량을 산정하는데 가장 중요한 설계 인자가 된다. 그러나 계획 값과 실제 값과는 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 하수량 및 하수의 오염 부하량은 하수도 정비 기본계획 등에 제시되어 있

†To whom correspondence should be addressed.

E-mail: kdkim@sangji.ac.kr

는 계획 값을 그대로 적용하기 보다는 하수발생원을 대상으로 하수발생량 및 오염 부하량의 실태조사를 실시하여 객관적인 설계 값을 도출해야 할 필요성이 있다. 또 하천 수질관리를 위해서는 배출 부하량도 반드시 조사되어야하므로 오수정화시설 및 하수종말처리장의 처리수질 실태조사도 필요하다.²⁾

이러한 배경 하에서 단독주택 및 아파트 등을 대상으로 오수량, 오염 발생 부하량 및 오염 배출 부하량 대한 실측연구가 여러 번 진행되었지만, 기후 및 지역특성에 영향을 많이 받는 오수 발생 변화를 대표 할만한 자료가 축적되어 있지 못하다. 따라서 계절별, 일별 및 시간별 하수량 및 오염 부하량 자료는 지속적으로 축적되어야만 그 통계적 신뢰성을 가질 수 있을 것이다.^{2,3)}

이에 본 연구에서는 남한강 북측수계내의 모든 양평, 용문 그리고 원주 하수종말처리장에 대하여 시간별 원수 및 처리수의 하수량 및 오염부하량을 실측하여 분석결과를 토대로 오염부하량 산정에 필요한 자료를 확보하고자 하였다.

2. 분석 방법

2.1. 조사지점

남한강 북측수계 내의 하수종말처리장 중 양평, 용문 그리고 원주 하수종말처리장을 조사 대상지점으로 선정하였다.

Table 1. Analysis item and applied method

Analysis Item	Analysis Method
pH	pH meter(HORIBA D-24)
Temp.	Thermometer(HORIBA D-24)
Conductivity	Conductivity meter(HORIBA D-24)
BOD	Winkler's azide modification
COD _{Mn}	KMnO ₄ method
COD _{Cr}	K ₂ Cr ₂ O ₇ Method
SS	Filtration method(GF/C filter paper)
TN	UV absorption method (Milton Roy UV Spectronic 601)
TP	Spectrophotometric method after potassium persulfate treatment (ascorbic acid reduction method, Milton Roy UV Spectronic 601)
Quantity of Flow	Cell measurement technique

2.2. 분석방법

하수발생량은 시간별, 계절별로 다르므로 이러한 변화 특성을 관찰하기 위하여 이번 실험에서는 시간별로 수질 변화를 분석하였다. 시료채취는 하수종말처리장 1개 시설에 대하여 유입수 및 처리수의 2개 시료를 매 2시간마다 24시간 12회 채취하여 분석함으로써 각 처리시설에서의 수질 및 처리효율의 변화를 파악하였다.

현장에서 유량, pH, DO 및 전기전도도를 측정하였으며 채취한 시료를 보냉상자에 보관하고 있다가 신속하게 실험실로 수송하여 BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, SS, T-N 및 T-P를 분석하였는데 항목별 분석방법은 Table 1과 같으며 주로 수질오염공정시험방법에 따라 분석하였다.⁴⁾

3. 결과 및 고찰

양평하수종말처리장⁵⁾의 24시간 수질분석 결과 유량은 309-332 m³/hr의 범위로 큰 변화가 없었으며, 유입수의 BOD수질은 밤 12시 이후부터 새벽시간까지가 100 mg/L 이상의 높은 농도를 나타내었는데, 이는 하수가 발생하여 하수관거에 의해 하수종말처리장에 도달하는 시간이 어느 정도 소요되기 때문인 것으로 사려 된다. 낮에는 BOD 50 mg/L 이하의 낮은 농도를 나타내었다. 처리수의 BOD 수질은 시간에 관계없이 항상 5 mg/L 이하의 낮은 농도를 나타내었다. COD_{Mn} 및 COD_{Cr}은 BOD와 비슷한 경향으로 유입수의 경우 밤 12시 이후의 COD_{Mn} 및 COD_{Cr} 농도가 각각 50 mg/L 및 100 mg/L 이상을 나타내었으며, 낮에는 각각 30 mg/L 및 90 mg/L 이하의 비교적 낮은 농도를 나타내었다. 유입수 농도에 관계없이 처리수의 COD_{Mn} 및 COD_{Cr} 농도는 각각 12 mg/L 및 28 mg/L 이하의 양호한 수질을 나타내었다.

유입수의 T-N농도는 20.6-44.6 mg/L의 범위로 시간에 따라 다소의 차이가 있었으며, 처리수의 T-N농도는 21.4-36.7 mg/L의 범위로 처리수의 농도가 유입수 농도보다 오히려 높은 경우가 있었는데, 이는 유입되는 T-N농도가 시간에 따라 차이를 나타내고 적용공법이 질소제거 공법이 아니며 반응조에서의 체류시간이 몇 시간 정도 소용되기 때문인 것으로 사려된다. 유입수의 T-P농도는 1.13-1.85 mg/L 범위였으며 처리수의 T-P농도는 0.08-0.18 mg/L 범위였다.

용문하수처리장의 수질분석 결과 유량은 60.0-116.0 m³/hr의 범위로 오전 10시-12시 및 오후 6시-10시 경

의 유량이 100 m³/hr 이상으로 비교적 많았다. 양평하수종말처리장의 경우와는 달리 유량변화가 심하였는데, 이는 하수종말처리장의 규모와 관련하여 처리장 규모가 작을수록 유량변화가 심하다는 것을 알 수 있다.

유입수의 BOD 수질은 매우 변화가 심하였는데 새벽 2-6시 사이의 유입수의 BOD농도는 13.0-18.0 mg/L로 매우 낮았으며 낮에는 BOD농도가 높아졌으며 오후 6시의 유입수의 BOD농도가 174.0 mg/L로 가장 높았다. 이러한 경향은 양평 하수종말처리장에서와는 반대로 처리장의 규모가 작아 하수관거의 길이가 짧으므로 하수가 발생하여 처리장까지 도달하는 시간이 짧기 때문인 것으로 사료된다.

용문 하수처리장의 유량 및 BOD특성은 아파트의 오수 배출 특성과 유사하였다. 처리수의 BOD수질은 시간에 관계없이 항상 4.4 mg/L 이하로 양호하였다. COD_{Mn} 및 COD_{Cr}의 시간별 변화 경향은 BOD와 유사하였는데, 처리수의 COD_{Mn}농도는 항상 7.0 mg/L 이하를 유지하였고 처리수의 COD_{Cr}농도는 새벽 2시에

한때 25.0 mg/L로 높았으나 새벽 2시를 제외하고는 모든 시간대의 농도가 14.0 mg/L 이하로 낮은 값을 나타내었다. 유입수의 T-N 농도는 8.2-17.1 mg/L의 범위로 대체로 BOD농도가 높으면 T-N의 농도도 높았다. 처리수의 T-N농도는 1.7-6.9 mg/L의 낮은 값을 나타내었다. 유입수의 T-P농도는 0.70-1.75 mg/L의 범위였으며, 처리수의 T-P농도는 0.58-0.98 mg/L의 범위를 나타내었다. 유입수의 SS 농도는 6.0-44.0 mg/L의 범위로 새벽에는 낮고 낮시간 및 저녁시간에는 높아서 BOD와 유사한 경향을 보였다. 처리수의 SS농도는 유입수와 관계없이 항상 3.9 mg/L 이하의 양호한 수질을 나타내었다.

원주 하수종말처리장의⁶⁾ 24시간 유량 및 수질 측정 결과는 Table 4와 같다. 원주 하수종말처리장은 2002년도에 일부 증설되었고 최종 방류수는 증설 전과 증설 후의 처리수 그리고 by-pass되는 유출수가 합하여 방류된다. 시료는 유입수와 증설 전 후의 처리수 그리고 by-pass되는 유출수까지 합하여지는 수문의 네 곳에

Table 2. 24 Hour water quality monitoring data of Yangpyung sewage treatment plant (31, May, 2002)

		BOD	CODMn	CODCr	T-N	T-P	SS	Flux
8:30	Influent	42	23	65	22.9	1.23	27.5	310
	Effluent	1.8	12	27.5	30.9	0.10	1.7	302
10:30	Influent	36	25	90.0	21.6	1.26	27.5	321
	Effluent	1.8	9.5	25.0	32.3	0.09	1.3	274
12:30	Influent	25	23.5	75.0	20.6	1.35	50.0	325
	Effluent	2.6	10.5	12.5	24.9	0.09	1.0	310
14:30	Influent	50	24	95.0	20.6	1.13	40.0	324
	Effluent	1.6	9.8	12.5	23.6	0.08	1.0	300
16:30	Influent	27	24.5	80.0	21.3	1.18	32.5	323
	Effluent	4.4	10	40.0	23.5	0.08	1.5	318
18:30	Influent	34	25	100.0	25.3	1.33	47.5	330
	Effluent	3.2	10.3	25.0	23.9	0.09	1.3	319
20:30	Influent	35	32	95.0	31.9	1.53	40.0	328
	Effluent	2.2	8.8	15.0	21.4	0.14	1.3	274
22:30	Influent	64	43	115.0	44.6	1.77	42.5	332
	Effluent	3.6	11.5	20.0	21.7	0.14	0.8	317
00:30	Influent	100	55	110.0	41.7	1.73	77.5	332
	Effluent	2.8	9.3	20.0	28.2	0.15	1.3	285
02:30	Influent	94	51	120.0	30.4	1.79	67.5	321
	Effluent	1.4	10	22.5	31.4	0.15	0.8	321
04:30	Influent	114	47	125.0	27.8	1.73	132.5	316
	Effluent	4.4	11.5	27.5	34.7	0.17	0.8	302
06:30	Influent	126	42	190.0	27.0	1.85	130.0	309
	Effluent	2.8	11.8	20.0	36.7	0.18	1.5	262
Average	Influent	62.3	35.4	105.0	28.0	1.49	59.6	323
	Effluent	2.7	10.4	22.3	27.8	0.18	1.2	299

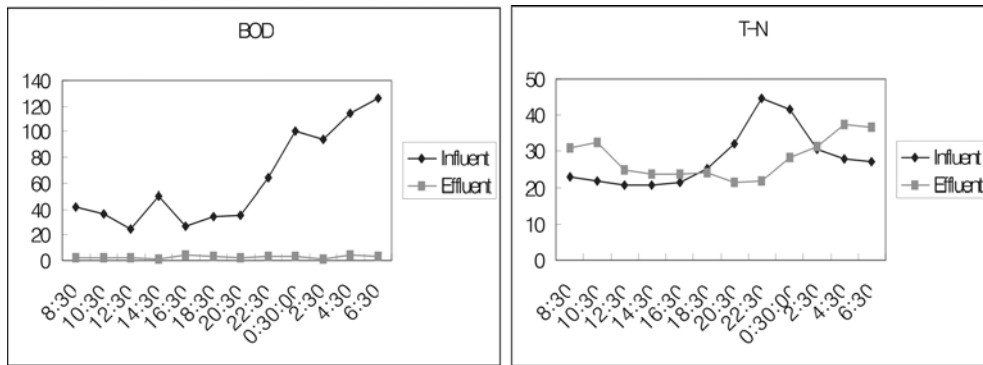


Fig. 1. BOD and T-N monitoring data of Yangpyung sewage treatment plant.

서 채취하여 분석을 실시하였다.

유량 측정결과 새벽에는 적고, 오전 10시-오후 11시 경이 가장 많아 일반적인 오수 배출특성과 유사하였다. 하수종말처리장 유입수의 농도는 19.4-95.0 mg/L 범위로 유량이 적은 새벽 시간대의 유입 BOD가 낮았으며, 유량이 증가하면 유입수의 BOD 농도가 높아져 유입수

의 평균 BOD 농도는 66.7 mg/L로 나타났다. 하수종말처리장 최종 침전조의 수질은 증설 침전지의 경우 대부분 10 mg/L 이하의 양호한 수질을 나타내나 증설 전 기존 최종 침전조 유출수의 수질은 시간대에 따라 20 mg/L 이상의 수질을 나타내는 경우도 있다. 증설된 최종 침전지 유출수의 평균 BOD 농도는 4.6 mg/L

Table 3. 24 Hour water quality monitoring data of Yongmoon sewage treatment plant (11, September, 2002)

		BOD	CODMn	CODCr	T-N	T-P	SS	Flux
06:00	Influent	13.0	16.0	31.4	9.2	0.78	7.0	62
	Effluent	1.6	6.0	4.0	5.1	0.92	3.0	
08:00	Influent	52.0	38.0	100.0	17.1	1.39	27.0	63
	Effluent	1.6	6.0	11.0	1.7	0.93	0.0	
10:00	Influent	37.0	30.0	105.0	15.1	1.75	19.0	116
	Effluent	4.4	6.4	8.0	5.8	0.98	2.0	
12:00	Influent	39.0	30.0	90.0	15.1	1.33	30.0	112
	Effluent	1.6	6.0	14.0	6.7	0.82	2.0	
14:00	Influent	21.0	37.3	60.0	11.5	1.54	19.0	63
	Effluent	2.4	5.8	2.0	5.7	0.79	1.0	
16:00	Influent	35.0	34.0	71.4	9.8	1.07	8.0	66
	Effluent	2.2	7.0	3.0	6.6	0.77	0.0	
18:00	Influent	174.0	77.3	233.3	13.1	1.33	44.0	110
	Effluent	3.4	6.0	3.0	5.9	0.58	0.5	
20:00	Influent	34.0	39.3	90.0	10.3	1.62	31.0	64
	Effluent	2.4	5.8	8.0	5.4	0.59	2.0	
22:00	Influent	34.0	28.0	82.5	9.2	1.15	19.0	113
	Effluent	2.6	5.8	13.0	5.2	0.59	2.5	
24:00	Influent	37.0	24.0	71.1	9.2	1.13	12.0	62
	Effluent	2.0	5.4	8.0	4.6	0.59	1.0	
02:00	Influent	18.0	14.8	36.0	9.2	0.80	10.0	61
	Effluent	2.8	5.4	25.0	6.9	0.58	2.5	
04:00	Influent	18.0	14.8	37.5	8.2	0.70	6.0	60
	Effluent	2.6	5.8	11.0	5.6	0.62	2.5	
Average	Influent	42.7	32.0	84.0	11.4	1.22	19.3	79
	Effluent	2.5	6.0	9.2	5.4	0.73	1.6	

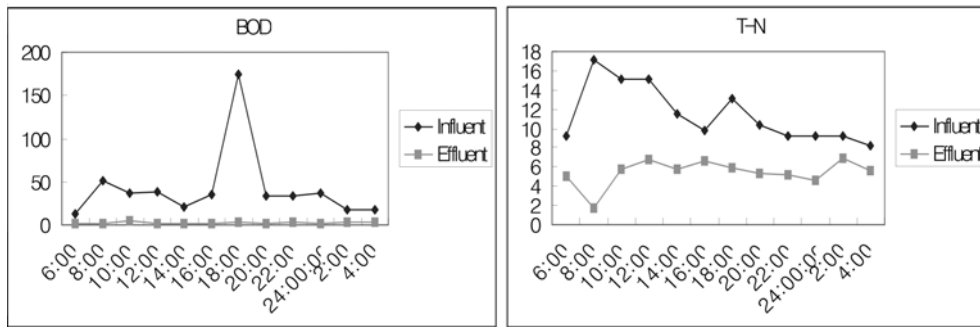


Fig. 2. BOD and T-N monitoring data of Yongmoon sewage treatment plan

Table 4. 24 Hour water quality monitoring data of Wonju sewage treatment plant (26, November, 2002)

		BOD	CODMn	CODCr	T-N	T-P	SS	Flux	
16:00	Influent	95.0	62.0	142.5	48.6	9.8	40.0	4,809	
	Effluent	Old	2.3	6.8	5.9	17.6	2.5		0.2
		New	7.9	9.0	29.0	17.7	2.8		2.7
	Combined	12.7	8.0	27.8	15.6	2.6	3.3		
19:00	Influent	80.2	50.0	137.8	22.9	2.7	30.0	4,550	
	Effluent	Old	3.9	9.2	14.8	16.7	4.0		1.0
		New	6.8	9.8	17.5	16.5	3.6		2.4
	Combined	25.7	10.0	20.7	22.7	1.5	6.3		
22:00	Influent	78.9	46.0	114.8	20.2	2.3	15.0	5,209	
	Effluent	Old	11.2	12.4	15.6	19.2	4.5		1.1
		New	18.5	10.0	17.8	18.6	4.1		2.5
	Combined	27.9	8.6	37.5	17.1	4.4	4.8		
01:00	Influent	74.6	42.0	88.3	18.0	2.3	16.0	4,722	
	Effluent	Old	5.1	8.2	22.5	16.1	4.1		2.0
		New	24.3	10.8	17.3	18.0	3.7		1.6
	Combined	27.9	9.2	25.6	19.0	3.9	5.7		
04:00	Influent	21.9	31.0	51.2	61.0	1.8	9.5	3,339	
	Effluent	Old	4.9	9.0	25.1	16.6	3.3		0.9
		New	19.0	10.8	17.5	18.5	3.4		1.4
	Combined	25.8	8.8	22.0	20.2	3.4	7.6		
07:00	Influent	19.4	11.8	46.9	15.9	1.1	8.0	3,329	
	Effluent	Old	5.8	8.6	9.7	15.6	2.6		1.3
		New	20.8	10.4	14.2	17.3	2.9		9.2
	Combined	25.8	9.2	32.5	20.6	2.8	4.0		
09:00	Influent	73.9	43.0	95.8	56.0	3.4	22.0	4,826	
	Effluent	Old	2.1	6.6	8.5	14.7	2.4		1.0
		New	22.9	8.2	17.5	18.0	2.0		7.4
	Combined	22.9	8.2	25.1	15.6	2.5	4.3		
11:00	Influent	89.3	54.0	115.3	72.4	11.4	11.4	5,703	
	Effluent	Old	1.8	7.8	22.6	14.1	1.7		0.4
		New	15.3	9.2	9.0	18.1	2.4		0.6
	Combined	18.0	7.4	71.3	15.8	1.9	2.3		
Average	Influent	66.7	42.5	99.1	39.4	4.35	19.0	4,561	
	Effluent	Old	4.6	8.6	15.6	16.3	3.14		1.0
		New	16.4	10.1	17.5	17.8	3.11		3.5
	Combined	23.3	8.7	32.8	18.3	2.88	4.8		

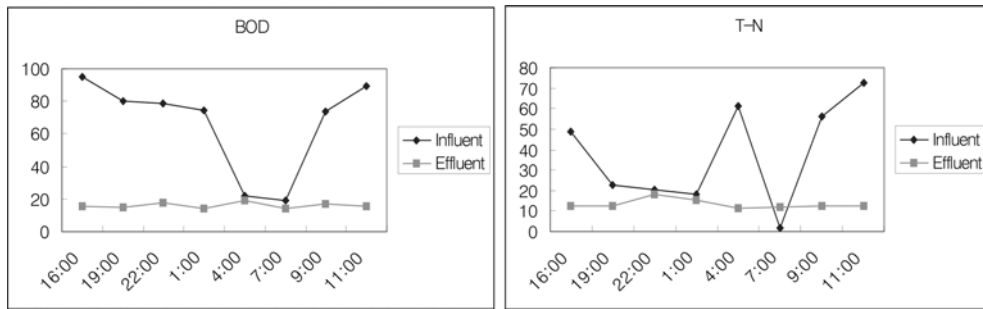


Fig. 3. BOD and T-N monitoring data of Wonju sewage treatment plan.

이였으며, 증설 전 최종 침전지 유출수의 평균 BOD 농도는 16.4 mg/L 이었다. 하수종말처리장 방류수와 미처리 집하수가 합류되는 수문지점의 평균 BOD 농도는 23.3 mg/L 이였으며, 미처리 집하수 및 하수종말처리장 방류수가 합류되기 전의 하천수질은 평균 BOD가 2.1 mg/L로 2급수의 양호한 수질을 나타내나 합류 후의 평균 BOD는 16.1 mg/L로 매우 상승하는 경향을 보였다. COD_{Mn}과 COD_{Cr} 또한 BOD와 유사한 경향을 나타내고 있다. 이 경향성으로 유추해 볼 때 하천 수질오염의 주 원인은 증설 전 하수종말처리장의 유출수 및 미처리된 집하수임을 알 수 있으며 기존 하수종말처리장의 개선 또는 추가 증설이 필요한 것으로 판단된다.

원수의 T-N농도는 15.9-72.4 mg/L의 범위로 시간별 변화가 심하였는데 유량이 가장 많았던 오후 1시의 T-N농도가 72.4 mg/L로 가장 높았다. 처리수의 T-N농도는 항상 20 mg/L 이하로서 강화된 수질 기준을 만족하였다. 유입수의 T-P는 1.1-11.4 mg/L 범위로 평균 4.35 mg/L이였으며 처리수의 T-P 농도는 증설 전 기존 최종침전지의 유출수 및 증설침전지 유출수가 각각 3.14 mg/L 및 3.11 mg/L로서 강화된 T-P 방류수 수질기준 2 mg/L를 초과하였으므로 T-P처리에 대한 대책이 필요한 것으로 판단된다.

4. 결 론

양평하수종말처리장의 유량은 309-332 m³/hr로 큰 변화가 없었으며, 유입수의 BOD수질은 밤 12시 이후부터 새벽시간까지가 100 mg/L 이상의 높은 농도를 나타내었다. 낮의 BOD는 50 mg/L 이하의 낮은 농도를 나타내었으며 처리수의 BOD 수질은 시간에 관계 없이 항상 5 mg/L 이하의 낮은 농도를 나타내었다.

COD_{Mn} 및 COD_{Cr}은 BOD와 비슷한 경향으로 유입수의 경우 밤 12시 이후의 COD_{Mn} 및 COD_{Cr} 농도가 각각 50 mg/L 및 100 mg/L 이상을 나타내었으며, 낮에는 각각 30 mg/L 및 90 mg/L 이하의 비교적 낮은 농도를 나타내었다.

용문하수처리장의 유량은 60.0-116.0 m³/hr로 오전 10시-12시 및 오후 6시-10시 경의 유량이 100 m³/hr 이상으로 비교적 많았다. 양평하수종말처리장의 경우와는 달리 유량변화가 심하였는데, 이는 하수종말처리장의 규모와 관련하여 처리장 규모가 작을수록 유량변화가 심하다는 것을 알 수 있다. 유입수의 BOD 수질은 매우 변화가 심하였는데 새벽 2-6시 사이의 유입수의 BOD농도는 13.0-18.0 mg/L로 매우 낮았으며 낮에는 BOD농도가 높아졌으며 오후 6시의 유입수의 BOD농도가 174.0 mg/L로 가장 높았다.

원주 하수종말처리장은 2002년도에 일부 증설되었고 최종 방류수는 증설 전과 증설 후의 처리수 그리고 by-pass되는 유출수가 합하여 방류된다. 유량 측정결과 새벽에는 적고, 오전 10시-오후 11시 경이 가장 많아 일반적인 오수 배출특성과 유사하였다. 하수종말처리장 유입수의 농도는 19.4-95.0 mg/L 범위로 유량이 적은 새벽 시간대의 유입 BOD가 낮았으며, 유량이 증가하면서 유입수의 BOD 농도도 높아졌고 유입수의 평균 BOD 농도는 66.7 mg/L이었다. 하수종말처리장 최종 침전조의 수질은 증설 침전지의 경우 대부분 10 mg/L 이하의 양호한 수질을 나타내나 증설 전 기존 최종 침전조 유출수의 수질은 시간대에 따라 20 mg/L 이상의 수질을 나타내는 경우도 있다.

증설된 최종침전지 유출수의 평균 BOD 농도는 4.6 mg/L 이였으며, 증설전 최종 침전지 유출수의 평균 BOD 농도는 16.4 mg/L이었다. 하수종말처리장 방류수와 미처리 집하수가 합류되는 수문지점의 평균 BOD

농도는 23.3 mg/L이었으며, 미처리 집하수 및 하수종말처리장 방류수가 합류되기 전의 하천수질은 평균 BOD가 2.1 mg/L로 2급수의 양호한 수질을 나타내나 합류 후의 평균 BOD는 16.1 mg/L로 매우 상승하는 경향을 보였다.

참고문헌

1. 환경부, 주택단지내 상수, 오수발생량 원단위상정 및 하수처리시설소요비용 연구, 토지공사, 2001.
2. 김승우, 박석순, 김희성, 특정수계권역의 수질총량규제방안 연구, 한국환경정책평가원, 1997.
3. 국립환경연구원 한강수질검사소, 한강수계 주요하천의 유량, 1999.
4. 동화기술, 수질오염 공정시험법, 2000.
5. 양평군, 하수도정비기본계획, 1997.
6. 원주시, 하수도 재정비기본계획, 1995.