

경기도의 2개 시·군 사례를 통한 농어촌지역 하수도 정비 추진 방안

A Strategy for Improving the Sewerage Systems of Two Rural Areas in Gyeonggi Province

문철환* · 안지훈* · 장미정* · 이상협*** · 조영무****,† · 김연제****
 Chul-Hwan Moon* · Jihoon Ahn* · Mijeong Jang* · Sang-Hyup Lee***
 Young-Moo Cho****,† · Yun-Je Kim****

*경기개발연구원 팔당물환경센터, **한국과학기술연구원 환경본부, ***경기도팔당수질개선본부
 ****한국과학기술연구원 에너지본부

*Center for Paldang Water Environment, Gyeonggi Research Institute
 **Environmental Division, Korea Institute of Science and Technology
 ***Gyeonggido Paldang Water Quality Improvement Headquarters
 ****Energy Division, Korea Institute of Science and Technology

(2010년 3월 29일 접수, 2010년 6월 4일 채택)

ABSTRACT : In 2009 the Korea Ministry of Environment announced 'A Comprehensive Plan for the Improvement of Sewer Service in Rural Area' aiming at reduction of the sewer service gap between urban and rural areas as well as improvement in the residential environment of the rural area. According to the plan, the sewer system supply rate for the rural area is expected to reach up to 75% until 2015 with the budget of 4.7 trillion won (Korean currency). It is not certain, however, that the increase in the sewer system supply rate will accompany improvement of water quality in receiving water because several veiled problems that can occur in small-scale sewer treatment plants are poorly addressed in the plan. In this study, those issues for the small-scale sewer treatment plants and their solutions were discussed based on a case study in which we investigated 19 treatment facilities at two rural regions in Gyeonggi province. This study also included strategies useful for the plan. From the results of investigation, some problems, e.g., high hourly variations but low in flowrates and low mass loading were commonly identified. Although operation parameters in sewer treatment plants require to be modified depending on the mass loading, most of the plants were operated with the initial design parameters which causes the decrease of removal efficiency. In the intensive diagnosis, we arranged and applied solutions (e.g., flow equalization, air on/off time control, etc) to the two selected plants and found out improvement of effluent water quality, especially organic matters (COD and SS) and T-N with better denitrification performance.

Key Words : *Small-scale sewer treatment plant, Technical diagnosis, Sewer system supply rate, Rural area, Water quality*

요약 : 2009년 환경부는 '농어촌지역 하수도정비 종합계획' 을 발표하면서 도시지역과 농촌지역의 하수도 서비스 격차를 줄이고 농어촌지역의 생활환경을 개선하기 위하여 2015년까지 약 4조 7천억 원의 예산을 투입하여 농어촌지역의 하수도 보급률을 75%까지 향상하겠다고 밝혔다. 하지만 이번 종합계획은 소규모하수도의 문제점을 정확히 파악하지 못하고 있어 하수도 보급률 증가에 따른 수질개선 효과는 기대하기 어려울 것이다. 따라서 본 연구에서는 경기도의 2개 지역 마을하수도 정비 사례를 중심으로 마을하수도의 문제점과 해결방안에 대해서 알아보고, 종합계획을 추진하는데 고려되어야 할 사항들에 대해서 논의하고자 한다. 현장조사를 통하여 하수의 불균등 유입, 저유량, 저부하 등의 문제가 공통적으로 발생하고 있는 것을 파악하였다. 유입되는 부하량에 맞게 처리시설의 운전 방법을 개선해야 하지만 대부분의 시설들이 설계시 제시된 운전인자로 운전되고 있어 처리효율이 저하되는 것으로 조사되었다. 정밀진단에서는 문제점에 대한 해결방안으로 유량균등화, 포기/비포기 비율 조절 등을 검토하여 현장에 적용하였으며, 그 결과 유기물 및 탈질산화 반응에 의한 T-N의 처리효율 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

주제어 : 마을하수도, 기술진단, 하수도 보급률, 농어촌지역, 수질

†Corresponding author : E-mail : cho0316@gg.go.kr TEL : 031-794-9661 FAX : 031-793-9634

1. 서론

하수도는 인간의 활동에 의해 배출되는 오수와 분뇨를 하수처리시설로 차집하여 처리함으로써 방류수역의 수질오염을 방지하고 공중위생을 향상시키는데 크게 기여하고 있다¹⁾. 그동안 우리나라의 하수도 사업은 도시지역의 대규모 공공하수처리시설 위주로 진행되었으며, 그 결과 2008년 전국의 하수도 보급률을 88.6%까지 끌어올렸다²⁾. 하지만 이 과정에서 도시지역과 농어촌지역의 하수도 보급률 격차가 심화되었다. 2008년을 기준으로 서울시와 6대 광역시의 하수도 보급률 평균은 98.7%이고, 시 규모의 도시는 86.2%인 반면 농어촌지역(군 규모)의 하수도 보급률은 49.1%로 나타났다. 환경부는 '국가하수도종합계획'³⁾을 통해 2015년까지 전국의 공공하수도 보급률을 92%로 확대하겠다고 밝혔다. 이미 도시지역의 공공하수처리시설 보급이 마무리 단계에 있으므로 계획한 목표를 달성하기 위해서는 농어촌지역의 하수도 보급률 제고가 반드시 필요하다. 뿐만 아니라 생활환경 개선과 수질오염 방지, 하수도서비스 혜택의 형평성을 위해서도 그동안 소외되어왔던 농어촌지역의 하수도 보급은 절실하다고 할 수 있다.

2009년 환경부는 농어촌지역의 하수도 보급률을 2015년까지 75%로 향상시키는 것을 골자로 한 '농어촌지역 하수도 정비 종합계획(10-15)'⁴⁾을 발표하였다. 이번 계획에서 환경부는 농어촌지역 하수도 정비를 위해 약 4조 7천억 원의 사업비를 책정하였으며, 신규 시설의 설치에 약 80%, 기존 시설의 증설 및 개량에 나머지 20% 정도의 예산을 배정하였다. 사업비의 대부분이 새로운 시설의 보급에 투입될 예정이기 때문에 목표한 하수도 보급률은 어렵지 않게 달성할 수 있을 것으로 예상되지만, 하수도 보급률 증대에 따른 수질 개선 효과는 의문을 갖게 한다. 환경부에서 제시한 세부 추진과제가 현재 소규모하수도의 문제점을 정확하게 지적하지 못하고 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 경기도 지역의 2개 시·군 마을하수도 진단 및 정비 사례를 통하여 종합계획에서 자세히 다루어지지 않은 문제점과 해결방안에 대해서 알아보고, 종합계획을 추진하는데 고려되어야 할 사항들에 대해서 논의하고자 한다.

2. 마을하수도 진단 방법 및 내용

2.1. 설문조사

현장조사에 앞서 마을하수도를 운영하고 있는 경기도의 시·군을 대상으로 마을하수도 운영상의 문제점을 미리 파악

하고자 설문조사를 실시하였다. 설문지는 경기도팔당수질개선본부의 협조를 얻어 공문으로 각 시·군의 마을하수도 운영 담당 부서에 배포되었으며, 담당공무원 또는 현장관리자가 직접 작성하도록 하였다. 설문내용은 설문결과와 함께 제시하였다.

2.2 대상 지역 및 시설

마을하수도는 공공하수처리시설 중 시설용량이 하루 50 m³ 이상 500 m³ 미만의 시설을 말한다. 시설용량이 하루 50 m³ 미만인 시설은 간이하수처리시설이라고 하며, 간이하수처리시설과 마을하수도를 통틀어 소규모 공공하수처리시설(소규모하수도)이라고 한다. 2009년 1월을 기준으로 경기도에는 17개 시·군에 173개소의 소규모하수도가 설치되어 운영되고 있으며, 하루 15,639 m³의 하수를 처리할 수 있다. 본 연구에서는 팔당 유역에 위치한 경기도의 7개 시·군 중에서 하수도 보급률이 낮고 소규모하수도가 많은 A시와 B군을 조사 대상 지역으로 선정하였다. 하수도 보급률은 조사 당시 최신 통계인 2007년 말을 기준으로 하였으며, 소규모하수도시설 정보는 경기도팔당수질개선본부의 2009년 1월 자료를 활용하였다. A시의 하수도 보급률은 67.2%, 소규모하수도는 33개소로 팔당 인근 7개 시·군에서 가장 많았다. B군은 하수도 보급률이 52.3%로 팔당 인근 시·군 중 가장 낮았으며, 소규모하수도는 16개소로 조사되었다. A시와 B군의 소규모하수도 중 마을하수도로 분류된 19개 시설(Table 1)을 최종 조사 대상 시설로 선정하였다. 두 개 시·군 모두 시설을 민간업체에 위탁하여 운영하고 있었다.

2.3. 방법 및 내용

2.3.1. 관계자 면담 및 서류검토

시설의 위치와 현황을 파악하기 위해서 담당공무원 및 현장관리자와 함께 현장을 방문하여 사전조사와 관계자 면담을 수행한 후 각 시설의 기본 및 실시설계 관련 문헌을 검토하였다. 또한 최근 2년간(2008년 1월~2009년 10월)의 운영 현황자료(유입유량 및 펌프의 가동시간 등) 분석은 중앙통계시스템에 저장된 일보를 활용하였으며, 수질현황은 위탁관리업체에서 매주 1회 자체적으로 분석하여 감독기관(각 시·군)에 보고한 자료를 협조 받아 분석을 수행하였다.

2.3.2. 현장조사

현장조사는 수질 시료 채취/분석과 시설/공정 진단으로 구분하여 진행되었다. 수질분석은 19개 처리시설의 유입수 및 유출수를 채수하여 대장균군을 제외한 방류수 수질기준

Table 1. General information for the 19 small-scale sewer treatment plants (STPs) investigated

Region	Plant ID	Capacity (m ³ /d) A	Treatment Process	Daily Inflow								Hourly inflow	
				Num-ber of data	Average daily flow (m ³ /d) (STD) B	ADWF ¹⁾ (m ³ /d) (STD) C	AWWF ²⁾ (m ³ /d) (STD) D	Increase rate during WW (%) (C-D)/C	Operation rate (%) B/A	Max DPF ³⁾ ratio	Min DPF ratio	Max HPF ⁴⁾ ratio	Min HPF ratio
A City	A-1	50	CBT	58	48.2 (7.6)	47.2 (6.2)	53.2 (11.4)	11.3	96.4	1.51	0.63	-	-
	A-2	90	COSBR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A-3	100	DENIPHO [®]	98	93.5 (14.4)	92.9 (14.6)	96.3 (13.3)	3.5	93.5	1.41	0.75	-	-
	A-4	80	ICSBR	58	76.3 (7.7)	75.9 (7.2)	78.3 (10)	3.1	95.4	1.35	0.84	-	-
	A-5 ⁵⁾	60	DENIPHO [®]	98	58.6 (10)	58.1 (10)	60.6 (9.8)	4.1	97.7	1.48	0.67	-	-
	A-6	150	DENIPHO [®]	98	139 (17.1)	138.7 (16.5)	140.1 (19.8)	1	92.7	1.3	0.71	-	-
	A-7	50	OAM	58	47.1 (6.7)	45.9 (6)	52.7 (7.3)	12.9	94.2	1.36	0.77	-	-
	A-8	100	CBT	58	70.3 (15.9)	68.4 (15.7)	79.3 (14.1)	13.7	70.3	1.55	0.43	-	-
	A-9	300	Attached growth	58	283.7 (40.5)	278.6 (39)	308.3 (40.1)	9.6	94.6	1.45	0.57	-	-
B Gun	B-1	100	DENIPHO [®]	670	86.8 (25.2)	83.1 (17.7)	104.4 (42.4)	20.4	86.8	3.26	0.22	5.56	0
	B-2	200	KSBNR [®]	670	102.2 (31.4)	98.4 (21)	119.9 (56.8)	17.9	51.1	3.95	0.53	9.83	0
	B-3	50	KSBNR	549	46.4 (8.9)	46 (8)	48 (12.1)	4.2	92.8	-	-	-	-
	B-4	400	B3 ⁶⁾	670	246.6 (67.1)	233.6 (50.7)	307.7 (95.5)	24.1	61.7	2.67	0.38	5.63	0
	B-5	100	KSBNR [®]	670	72.2 (27.6)	67.7 (12.7)	93.5 (55.3)	27.6	72.2	5.66	0.35	11.58	0
	B-6	80	KSBNR [®]	670	31.9 (19.7)	29.5 (6.5)	43.4 (43.3)	32	39.9	12.66	0.28	9.25	0
	B-7 ⁵⁾	50	KSBNR [®]	670	32.5 (13.8)	30.6 (8.6)	40.9 (25.7)	25.2	65	5.88	0.31	14.51	0
	B-8	60	SBR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B-9	100	KHBNR	80	80.1 (65.3)	-	-	-	80.1	-	-	-	-
	B-10	100	KSBNR [®]	670	60.7 (27.2)	57.2 (14.5)	77.3 (54)	26	60.7	6.85	0.43	8.21	0

- 1) ADWF: Average dry-weather flow
- 2) AWWF: Average wet-weather (WW) flow
- 3) DPF: Daily peak flow
- 4) HPF: Hourly peak flow
- 5) Selected for intensive diagnosis
- 6) Extended aeration was replaced with B3 in 2004

Table 2. Sampling from the 19 small-scale STPs

Sampling	Date	
	A City	B Gun
1 st	Aug. 19, 2009	Jul. 17, 2009
2 nd	Sep. 2, 2009	Aug. 26, 2009
3 rd	Sep. 16, 2009	Sep. 9, 2009
4 th	-	Sep. 24, 2009

항목(BOD, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P)을 분석하였다. 수질 시료 채취는 Table 2와 같이 2009년 7월부터 9월 사이에 이루어졌으며, B군의 1차 수질시료 채취를 제외하고는 시료채취 이전 건기일수가 3일 이상인 경우에만 시료를 채수하였다. 마을하수도는 처리구역면적이 넓지 않기 때문에 강우에 의한 영향이 3일 이상 지속되지 않는다고 판단하였기 때문이다. 유입수는 유량조정조에서, 유출수는 방류수조 또는 방류관에서 채수하여 아이스박스에 보관한 후 채수 당일 경기도

보건환경연구원에 분석을 의뢰하였다.

시설진단은 시설이 설계대로 시공되었는지를 확인하고 처리효율의 저하를 유발하거나 시설의 운영을 어렵게 하는 시설물을 파악하기 위해 수행되었다. 시설진단은 전기와 계측 제어보다는 펌프류 및 배관 설비 등의 기계분야를 위주로 조사하였다. 공정진단에서는 설계 당시 제시한 운전인자(즉, 반응조의 MLSS 농도, F/M비, HRT 등)로 운전되고 있는지 여부와 유입수질이 변화함에 따라 운전인자를 적절하게 변화시켜 방류수 수질기준을 준수하고 있는지를 파악하여 문제점 및 개선 방안을 도출하고자 하였다.

2.3.3. 정밀조사

조사 대상으로 선정된 19개소의 시설 중 관계자와의 면담과 현장 방문 조사를 통하여 A시와 B군 각 1개소씩을 정밀조사 대상 시설로 선정하였다. 정밀조사 대상으로 선정된 2개

시설 모두 2007년에 완공되어 시운전을 거쳐 2008년 전반 기부터 시·군으로 이전되어 운영되었지만, 처리효율이 낮고 운영 및 관리가 어려운 것으로 조사되었다. Table 3에 나타난 것과 같이 정밀조사 대상 시설은 2009년 8월부터 12월 까지 매주 2회(또는 1회)씩 현장을 방문하여 유입수, 방류수, 반응조 시료를 채취하여 수질오염공정시험방법으로 공정의 분석에 필요한 수질 항목(대장균군 제외)을 분석을 하였다.

정밀조사의 목적은 대상 시설의 문제점을 파악하여 해결 방안을 도출한 후 이를 현장에 적용하여 방류수 수질이 개선되는 것까지 검증하는 것이다. 따라서 정밀조사 대상 시설의 운영은 조사 초기(1~16회)에는 특별한 개선 작업 없이 시설의 시공시 제시된 인자로 운영을 하면서 문제점을 파악하고 해결방안을 모색하였으며, 이후 처리효율 향상을 위한 개선 작업을 수행하였다.

Table 3. Sampling and process improvement events of the two selected STPs

Date	Sampling	Process improvement events	
		A City	B Gun
Aug. 21, 2009	1	• Flow equalization	–
Aug. 25, 2009	2	–	–
Aug. 28, 2009	3	–	–
Sep. 01, 2009	4	• Change in the volume of return sludge by 5 mins pump on/10 mins pump off	–
Sep. 04, 2009	5	• Change in the volume of return sludge by 5 mins pump on/15 mins pump off	–
Sep. 08, 2009	6	–	• Seeding
Sep. 11, 2009	7	–	–
Sep. 15, 2009	8	–	• Seeding
Sep. 22, 2009	9	–	–
Sep. 29, 2009	10	–	• Sampling every 2 hours throughout a dry day
Sep. 30, 2009		• Sampling every 2 hours throughout a dry day	–
Oct. 06, 2009	11	–	–
Oct. 13, 2009	12	–	• Seeding
Oct. 16, 2009	13	–	–
Oct. 20, 2009	14	–	–
Oct. 23, 2009	15	–	–
Oct. 27, 2009	16	• Change in aeration cycle of intermittent reactors to 30 mins air on/150 mins air off	• Change in aeration cycle of intermittent reactors to 30 mins air on/90 mins air off • Flow equalization
Oct. 30, 2009	17	–	–
Nov. 03, 2009	18	• Change in aeration cycle of intermittent reactors to 30 mins air on/90 mins air off	• Change in the volume of return sludge by 5 mins pump on/15 mins pump off
Nov. 06, 2009	19	–	• Not sampled
Nov. 09, 2009	20	–	• Sampling every 2 hours throughout a wet day
Nov. 10, 2009		• Change in reactor operation; 1st line: 1st reactor–intermittent aeration(1 hour air on/off each), 2nd reator–anoxic condition, and 3rd reactor–aeration only 2nd line: 1st reactor–anoxic condition, 2nd reator– intermittent aeration(1 hour air on/off each), and 3rd reactor–aeration only	–
Nov. 13, 2009	21	–	–
Nov. 17, 2009	22	–	–
Nov. 20, 2009	23	–	• Start internal recycling, 100%

3. 마을하수도 진단 결과

본 절에서는 경기도의 2개 시·군의 마을하수도 진단 결과를 제시하였다. 조사대상 시설이 19개소로 비교적 많았으므로, 개별 시설의 분석 결과 및 문제점 등을 모두 나열하지 않고 공통적인 문제점 및 해결방안을 위주로 논의하였다. 각각의 시설에 대한 자세한 정보는 경기개발연구원⁵⁾의 보고서에 제시된 바 있다.

3.1. 설문조사 결과

설문은 6가지 분야에 대해 이루어졌다. 첫 번째 기본정보는 설문 응답자의 소속과 해당 시설 명을 묻는 질문이다. 즉, 설문조사는 개별처리시설별로 응답할 수 있도록 구성되었으며, 각 시설의 현장관리자 또는 담당공무원 응답하도록 요청하였다. 10개 시·군, 38개 시설(구리시, 이천시, 양주시, 용인시, 광주시, 평택시 각 1개소, 양평군 2개소, 파주시 5개소, 여주군 9개소, 화성시 16개소)에서 설문에 응답하였다. 설문 내용 및 결과는 다음과 같다.

3.1.1. 유량조정조 관련

마을하수도의 하수발생량은 일반 도심하수와 달리 아침과 저녁시간에 유입량이 많아지는 쌍극분포가 뚜렷하게 나타나며, 유입수질 또한 유량변화 패턴과 유사하게 나타난다. 따라서 생물학적 처리공정의 안정성 확보를 위해서는 유량조정조의 기능이 필수적이다. 하지만 유량조정조의 시설용량이 작거나 운영의 잘못으로 시간 최대하수량이 유입될 경우 생물학적 처리공정에 오염부하량 및 수리학적부하의 증가를 야기하여 방류수가 수질기준을 초과하는 문제가 발생되고 있다. 여기서는 관련 설문을 통하여 유량조정조의 운영현황 및 문제점을 파악하고자 하였다. 설문 내용 및 결과는 다음과 같다.

설문내용	응답내용	
	예	아니요
① 하수의 유입이 아침, 점심, 저녁시간에 집중되어 점심과 저녁 시간, 그리고 저녁 시간 이후 새벽까지 처리시설로 유입되는 하수가 거의 없거나 전혀 없다.	15	23
② 유량조정조가 존재하지 않거나 용량이 작아 유량조정조로서의 기능을 수행하지 못한다.	2	36
③ 유량조정조의 증설 또는 신설이 필요하다고 생각한다.	3	35

위의 설문결과를 통해 유량조정조와 관련된 문제가 심각하지 않다는 것을 알 수 있다. 설문에 응답한 38개 시설 중 약 40% 정도가 하수의 유입이 불균등한 것으로 나타났다. 유량조정조가 없거나 용량이 작아 그 기능을 수행하지 못한다고 응답한 시설이 2개소였으며, 3개의 시설이 유량조정조의 신설이나 증설이 필요하다고 하였다. 이번 설문결과를 통해 대부분의 시설들이 유량조정조의 용량과 관련된 문제는 없는 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 하수가 반응조로 간헐적으로 유입되고 있다면 유량조정조의 운영이 잘못되고 있음을 나타내는 것이다.

3.1.2. 하수 성상 관련

이번 설문에서는 유입되는 하수의 성상 및 유량과 관련된 문제점을 파악하고자 다음과 같은 질문을 하였으며, 결과를 정리하여 Table 4에 나타내었다.

설문내용	응답내용
④ 시설 용량과 최근 1년간의 평균 유입하수량(m ³ /day)	Table 4
⑤ 계획 유입 농도 및 최근 1년간의 평균 유입농도(mg/L)	
⑥ 설계 방류수 농도 및 최근 1년간의 평균 처리수질(mg/L)	

Table 4에서 최근 1년간의 유입 유량 및 농도가 설계 유량 및 농도의 80~100%가 되는 경우 “적정”, 80% 미만은 “저”, 100% 이상은 “고”로 분류하였다. 유입부하(=평균 유입하수

Table 4. Number of plants classified based on flowrates, constituent concentrations, and mass loads

(Unit: a number of plants)

Classification	Flowrates	Constituent concentrations					Mass loads				
		BOD	COD	SS	T-N	T-P	BOD	COD	SS	T-N	T-P
Low level ¹⁾	26	26	27	26	12	21	32	30	31	25	26
Optimal level ²⁾	7	5	1	5	13	4	1	1	2	5	3
High level ³⁾	2	5	8	5	11	11	3	5	3	6	7
Sum	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

¹⁾ Low level: Lower than 80% compared to the planned flowrates, constituent concentrations, or mass loads

²⁾ Optimal level: Within 80~100% compared to the planned flowrates, constituent concentrations, or mass loads

³⁾ High level: Higher than 100% compared to the planned flowrates, constituent concentrations, or mass loads

량×평균 유입하수 농도)도 마찬가지로 설계유입부하(=시설 용량×계획유입농도)와 비교하여 “적정”, “저”, “고”로 분류하였다. Table 4는 각각에 해당하는 시설의 개수를 나타낸 것이다. 설문문에 응답한 38개 시설 중 36개소가 농도와 관련된 질문에 응답하였고, 유량은 35개소에서 응답하였다.

Table 4에서 보듯이 설문문에 응답한 대부분의 시설들이 저부하로 운영되고 있었다. 유입농도는 적절한 수준 또는 그 이상으로 유입되는 경우도 일부 있었지만, 유입유량이 설계용량보다 적기 때문에 결과적으로 유입부하량이 저부하로 나타난 시설이 많았다. 처리시설이 저부하로 운전되고 있다는 것은 설계 및 시공 당시 제시한 운전 방법으로는 오염물질을 효과적으로 처리하지 못할 수도 있다는 것을 의미한다. 또한 설문 ⑩에서도 논의되었지만, 많은 시설들이 원래의 공법 또는 설계대로 운전을 하고 있지 않는 이유가 되기도 한다.

처리수질과 관련해서는 대부분의 시설들이 방류수 수질 기준 이하로 처리하고 있는 것으로 응답하였다. 하지만 이 부분에 대해서는 다시 한 번 생각해볼 필요가 있다. 시설용량이 하루 50 m³ 이상 500 m³ 미만의 시설은 주 1회 자체적으로 시료를 채취하여 분석하도록 규정하고 있다. 하지만 대부분의 시설이 위탁으로 운영되고 있고, 위탁관리업체에서 자체적으로 수행한 처리수의 분석 결과를 감독기관인 각 시·군에 정직하게 보고하는 것을 기대하기는 어려울 것이다.

3.1.3. 생물반응조 관련

생물반응조는 미생물을 이용하여 오염물질을 처리하는 생

설문내용	응답내용	
	예	아니오
⑦ 고부하로 인한 처리효율 저하 사례가 발생한 적이 있는가?	6	32
⑧ 저부하로 인한 처리효율 저하 사례가 발생한 적이 있는가?	5	33
⑨ 저해물질(농약 등)로 인한 처리효율 저하 사례가 발생한 적이 있는가?	3	35
⑩ 기본 및 실시설계에서 계획된 공법 및 운전인자대로 운영하고 있는가?	25	13
⑪ 설문 ⑩에서 '아니오'를 선택한 경우, 이유는 무엇인가?	· 처리가 잘 되지 않아서(11) · 유지관리가 어려워(2)	
⑫ 저유량저농도, 저유량고농도, 고유량저농도, 고유량고농도에 대비한 운전 방법 등을 제시한 유지관리지침서가 있는가?	예	아니오
	9	29

물학적 처리의 핵심 공정이다. 따라서 오염물질을 안정적으로 처리하기 위해서는 미생물들이 잘 성장할 수 있는 조건을 만들어 주는 것이 필요하다. 앞서 논의된 것처럼 하수가 불규칙적으로 유입되어 미생물의 성장에 필요한 유기물 및 영양물질이 부족하거나 과도한 경우 처리효율이 급격하게 저하된다. 따라서 이번 설문은 과부하, 저부하, 저해물질 등에 의해 처리효율이 저하된 사례를 알아보려고 실시하였으며, 부하변동에 따라 처리공법 또는 운전인자를 적절하게 변경하여 운영하고 있는지를 알아보려고 하였다.

설문 결과, 소수의 시설만이 고부하, 저부하, 저해물질에 의한 처리효율 저하를 경험한 것으로 나타났다. 하지만 대부분의 마을하수도가 저부하로 운영되고 있음을 감안할 때, 위의 설문 결과에서 고부하에 의한 처리효율 저하 사례가 비록 빈번하게 발생하지는 않지만 그 원인이 무엇인지를 생각해볼 필요가 있다. 다양한 원인이 있을 수 있겠지만, 가장 타당성 있는 이유 중 하나는 가축분뇨의 유입이다. 처리시설로 유입되는 하수의 T-N 농도가 높다면 가축분뇨의 유입을 의심해보아야 한다.

대부분의 시설들이 저부하로 운전되고 있음에도 불구하고 설문 ⑩에서 보는바와 같이 설문문에 응답한 시설의 3분의 2 정도가 설계 당시의 운전인자 그대로 시설을 운영하고 있었으며, 나머지 13개 시설은 운전 방법을 변경하여 시설을 운영하고 있는 것으로 조사되었다. 13개 시설 중 11개소는 T-N과 T-P의 처리가 곤란하여 운전 방법을 변경하였고, 2개소는 공법의 유지관리가 어려워(2)라고 대답하였다.

일반적으로 처리공법의 설계사 또는 처리시설의 시공사는 시설의 운전 방법을 정리한 유지관리지침서를 제공한다. 유지관리지침서는 고부하, 저부하, 겨울철 등 유입수질이 변동되었을 때 반응조의 MLSS, SRT, 포기시간 등을 어떻게 유지해야 하는지를 제시한다. 이러한 유지관리지침서는 운영자로 하여금 수월하게 시설을 운전할 수 있도록 도와준다. 하지만 유지관리지침서가 존재하는 시설은 불과 9개소에 불과했다. 설문 ⑦~⑨까지의 처리효율 저하사례가 있는 10개의 시설 중에서 유지관리지침서가 있는 시설은 4개소였으며, 설문 ⑩에서 원래의 공법으로 시설을 운전하고 있지 않은 13개 시설 중에서는 10개소가 유지관리지침서가 존재하지 않는 것으로 나타났다. 물론 현장관리자는 시설을 운전하면서 숙달한 경험에 의해 운전 인자를 조절할 수 있지만, 다양하고 새로운 공법들이 많이 존재하고 하나의 시설에 많은 시간을 투입할 수 없는 현장 여건 상 유지관리지침서는 매우 중요한 역할을 한다고 할 수 있다.

3.1.4. 강우시 하수처리장 운영 관련

최근의 하수관거정비사업으로 거의 모든 지역의 하수관거가 분류식화 되어있기 때문에 강우시에도 처리시설로 유입되는 하수량은 증가하지 않아야 한다. 하지만 사전 조사 결과 일부 마을하수도 시설은 관거 불량, 시설의 설계 오류 등으로 인하여 침수가 발생하기도 한다는 것을 알게 되었다. 따라서 이번 설문은 강우시 처리시설로 유입되는 하수량을 알아보기 위해 수행되었다.

설문내용	응답내용	
⑬ 하수배제 방식	· 분류식: 37개소 · 합류식: 1개소	
⑭ 강우시 유량 증가량은?	3~300%	
⑮ 강우시 처리 용량 이상의 하수를 차단하여 by-pass 하는 시설이 설치되어 있다.	예	아니요
	6	32
⑯ 강우에 의해 처리시설이 침수된 사례가 있다.	5	33
⑰ 강우시 급격한 유량 증가에 의해 생물반응조의 미생물이 유출되어 강우 후 처리효율이 급격히 저하되거나 미생물을 식종해야하는 사례가 빈번하게 발생한다.	8	30

설문에 응답한 38개 시설 중 1개소를 제외하고는 모두 분류식 하수관거였지만, 26개 시설에서 강우시 하수유입량이 증가하는 것으로 응답하였으며, 최대 300%까지 증가한다고 답한 시설도 3개소인 것으로 나타났다. 평균적으로 약 60% 정도가 증가하는 것으로 조사되어 하수관거의 파손이나 관로의 오점함 등이 의심되었다. 이 경우 정확한 원인은 CCTV를 이용하여 하수관거를 조사하거나, 세대 방문 조사를 통해 관거의 오점 등을 조사해야 하지만, 많은 인력과 시간이 소요되기 때문에 이에 대한 정확한 조사는 사실상 어렵다고 할 수 있다.

일반적으로 대형 공공하수처리시설은 강우시 처리 용량 이상의 하수가 유입되지 않도록 by-pass 시설을 설치하지만, 대부분의 마을하수도는 강우 차단 시설이 설치되어 있지 않은 것으로 나타났다. 38개 시설 중 6개소에 by-pass 시설이 설치되어 있었지만, 이 중 4개 시설은 침수사례를 경험한 것으로 조사되었다. 비록 시설은 침수가 되지 않았지만 갑자기 증가한 유량으로 인하여 미생물이 유출되는 사례를 겪은 시설 또한 4개소인 것으로 나타났다. 미생물의 유출이 발생할 경우 미생물을 식종하여 안정화되는데 많은 시간이 소요되고, 이 기간 중에는 하수가 적절하게 처리되지 못하고 방류된다. 따라서 이러한 문제점을 개선하기 위해서 강우시 시설 용량 이상으로 유입되는 하수를 차단하여 by-pass하는 시설의 설치가 필요하다.

3.1.5. 처리시설의 운영 관련

설문내용	응답내용	
	항목	응답수
⑮ 현재 처리시설에서 처리가 잘 안 되고 있는 수질 항목은?(복수선택)	BOD	2
	COD	1
	SS	6
	T-N	14
	T-P	10
⑯ 처리가 잘 되지 않는 것에 대해 시설 또는 공정을 개선하기 위한 노력을 하고 있는가?	예	아니요
	34	1
⑰ 이러한 노력에도 불구하고 시설 및 공정 개선이 이루어지지 않고 있다면 그 이유는?(복수 선택)	예산부족	15
	인력부족	10
	기술력부족	0
	기타	고부하, 저부하

마지막으로 처리시설의 운영과 관련된 설문 내용에서는 처리에 곤란을 겪고 있는 수질 항목으로 질소와 인이라고 응답한 시설이 많았다. 오래된 시설을 제외한 대부분이 질소와 인의 처리가 가능한 공법이 적용되었지만 현장관리자들은 여전히 질소와 인의 처리에 어려움을 겪고 있는 것으로 조사되었다. 질소와 인 처리가 대부분의 하수처리시설에서 겪고 있는 공통적인 문제점이기는 하지만, 고도처리공법이 적용된 시설에서 질소와 인의 처리에 어려움을 겪고 있다는 것은 공법의 선택이 잘못되었거나 운영의 잘못이라고 판단된다.

잘 처리되지 않은 것에 대한 개선의 노력을 묻는 질문에서 거의 모두가 노력을 하고 있는 것으로 응답하였다. 이러한 노력에도 불구하고 개선이 잘되지 않는 이유에 대해서는 예산부족과 인력부족을 우선으로 꼽았고, 고부하와 저부하로 인한 문제를 기타 이유로 응답하였다. 물론 예산 및 인력 부족이 마을하수도의 운영에 가장 큰 문제점으로 계속 지적되어왔지만, 이러한 결과는 설문에 응답한 대부분이 현장 관리자이기 때문이라고 할 수 있다.

3.2. 마을하수도의 문제점 및 개선 방안

본 절에서는 19개소의 마을하수도 시설의 현장조사를 통해 파악된 공통적인 문제점 및 해결방안에 대해서 자세히 논의하였고 그 결과를 제시하였다.

3.2.1. 유입 유량

선정된 시설의 유량 평가는 유량조정조에서 반응조로 하수를 이송하는 토출배관에 설치된 유량계를 통해 기록된 일보자료를 이용하였다. A시는 일일 적산 유량만 기록되며, B

군은 한 시간 단위의 적산 유량과 일일 적산 유량이 함께 기록된다.

Table 1에 유량과 관련된 평가 결과를 함께 나타내었다. A시의 경우 A-8 시설을 제외한 모든 시설의 가동률(시설용량 대비 평균 유입하수량)이 평균 90% 이상으로 나타난 반면, B군은 대체적으로 낮은 가동률을 보이고 있었다. 청천시 대비 강우시 유입하수 증가량 또한 A시는 최대 13.7%로 나타났지만, B군은 B-3 시설을 제외한 모든 시설들이 20% 내외로 증가되는 것으로 조사되었다. 비록 A시는 유량 자료의 개수가 적어 다양한 강우사상에 따른 하수 유입량 증가율 분석이 통계적으로 큰 의미가 있다고는 하기 어렵겠지만, B군의 경우 많은 양의 I/I가 발생하고 있는 것으로 판단되므로 처리시설의 개선 이전에 하수관거의 정비가 먼저 이루어져야 할 것이다. 게다가 B군의 일부 처리시설은 강우시 침수가 발생한 사례가 있으므로 이에 대한 대책 또한 함께 마련하여야 한다. 본 연구에서는 하수관거 조사를 수행하지 못하였지만, 하수의 발생량이 가장 적은 새벽 시간대에 하수 유입량을 확인하면 유량 증가의 원인이 유입수(inflow)인지 또는 침입수(infiltration)인지를 대략적으로 판단할 수 있다⁶⁾. 또한 농어촌지역의 경우에는 관거의 오접합 사례가 많이 보고되고 있으므로 주민 홍보 또한 필요하며, 강우시 처리용량 이상의 하수가 처리시설로 유입되지 않도록 하는 차단시설과 by-pass 시설의 설치도 고려해야 한다.

가동률이 낮게 나타난 B군은 시설용량 타당성을 검토해볼 필요가 있다. 장래 인구가 적절하게 예측되었는지를 검토한 후 현재의 인구나 1인당 급수량을 이용하여 하수발생량을 계산하여 원단위를 사용하여 예측한 계획하수량과 비교한 결과 B-8과 B-9 시설을 제외하고는 모두 적절하게 산정된 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고 처리시설로 유입되는 하수량이 적은 이유는 하수관거의 문제와 더불어 하수발생량 산정시 적용된 하수발생원단위가 크기 때문이라고 사료된다. '소규모하수도사업 통합지침'⁷⁾에서는 환경부⁸⁾에서 제시한 농어촌지역 하수발생량 원단위를 참고하도록 권고하고 있으나, 실제 설계에서는 해당 시·군의 상위계획(하수도정비기본계획 등) 및 관련계획(인근지역 마을하수처리시설 기본 및 실시설계 등)에서 이용된 원단위를 그대로 적용하고 있다. 하지만 하수발생량은 지역의 여러 가지 특성에 따라 다양하게 나타날 수 있기 때문에 하수발생량 또는 물사용량 조사를 통해 원단위를 산정하여 적용하는 것이 바람직할 것이다.

Table 1에 함께 나타낸 일최대/일최소 침두비는 최근 2년간의 일평균유량과 일최대유량 또는 일최소유량의 비를 말

한다. 일반적으로 일최대 침두비는 강우시나 강우 다음날, 일최소 침두비는 청천시에 발생한다. A시는 침두비 차이가 크지 않은 것으로 나타났는데, 이는 강우시의 유량자료가 10~19개 정도였기 때문에 일최대 침두비의 평가가 적절하게 이루어지지 않았기 때문이다. B군의 경우에는 침두비의 차이가 2.3~12.4로 강우시와 청천시의 유량 변화가 상당히 심하다는 것을 알 수 있다. 이러한 차이가 강우시 처리용량 이상의 하수 유입을 차단하는 시설의 필요성을 뒷받침해준다. Table 1에는 나타내지 않았지만 청천시에도 일최대 유량과 일최소 유량의 차이가 시설별로 5~11배 이상 발생하고 있었다. 본 연구에서 이용된 유량 자료가 토출배관에 설치된 유량계에서 측정된 값을 고려한다면 청천시의 하수발생량 변화에 대한 대책 또한 검토되어야 할 것이다.

한 시간 단위의 적산 유량을 평가할 수 있는 B군의 7개 시설은 시간최소 침두비가 모두 0인 반면, 시간최대 침두비는 최대 14.51을 보였다. 시간최소 침두비 0이 의미하는 것은 하수가 연속적으로 유입되지 않고 간헐적으로 유입되고 있음을 말하며, 시간최대 침두비가 클수록 단시간에 많은 양의 하수가 반응조로 유입된다는 것을 의미한다. 실제로 B-7 시설의 시간별 유입량을 살펴본 결과, 비교적 많은 양의 하수가 간헐적으로 유입되고 있었고, 다음 유입까지 상당한 시간 차이가 있는 것을 확인할 수 있었다(3.3.2. B-7 시설의 개선방안 및 결과 참조).

생물학적 처리시설은 오염물질의 안정적인 처리를 위해 하수가 일정시간 이상을 체류할 수 있도록 각 반응조의 용량을 결정한다¹⁾. 하지만 많은 양의 하수가 간헐적으로 반응조로 유입될 경우 오염물질의 처리에 필요한 충분한 HRT를 갖지 못하고, 최종침전지의 수면적부하율이 증가하여 미생물이 유출되는 현상을 초래한다. 반대로 하수의 유입이 장시간 중단되면 반응조에서의 HRT가 증가하고 미생물 성장에 필요한 영양물질 부족으로 인하여 미생물의 플록 형성이 저하되고 슬러지 별킹이 발생하게 된다⁹⁾. 따라서 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 일정량의 하수를 균등하게 반응조로 공급하는 것이 필요하며, 이러한 기능을 수행하는 단위조각이 유량조정조이다.

유량조정조의 용량은 유량 누가 곡선과 하수의 일 평균값을 이용하여 산정한다¹⁰⁾. 마을하수도의 경우 일최대하수량의 6시간 이상을 저류할 수 있도록 설계하는 것이 일반적이며, 본 연구의 조사 대상 시설 또한 이러한 기준에 맞게 설계/시공 되었다. B군의 경우 대부분이 시설용량대비 40~90% 정도의 하수가 유입되고 있으므로 유량조정조의 용량은 충분하다고 판단된다. 그럼에도 불구하고 강우시와 청천

시의 하수 발생량 변화폭이 크기 때문에 더 큰 용량의 유량 조정조를 필요로 하고 있다. 유량조정조의 용량이 커지게 되면 더 많은 부지와 건설비가 소요되기는 하지만, 유입하수를 균등화하여 처리효율을 향상시킬 수 있고 후속 공정의 용량을 감소시킬 수 있다. 따라서 마을하수도의 설계시 하수발생특성을 정확히 파악하고 유량의 변동이 심한 경우 충분한 용량의 유량조정조를 확보할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

유량조정조의 용량 증가뿐만 아니라 유량조정조의 설비 및 운영에 대한 개선 또한 필요하다. 본 연구에서 조사한 대부분의 시설들은 시설용량에 비해 큰 용량의 하수 이송 펌프가 설치되어 있었다. 예를 들어, 시설용량이 하루 50 m³인 B-7 시설의 경우 시간당 6 m³의 하수를 반응조로 이송할 수 있는 펌프 2대가 유량조정조에 설치되어 있으며, 유량조정조 수위에 따라 펌프의 가동을 제어하고 있었다. 이 시설에 적용된 공법은 약 18시간의 HRT를 필요로 하므로 반응조의 용량은 약 37 m³이다. 하지만 유량조정조의 수위가 급격히 상승하여 2대의 펌프가 모두 가동될 경우 시간당 최대 12 m³의 하수가 유입되고, 이때 유입된 하수는 충분한 체류시간을 갖지 못한 채 방류된다. 이 시설은 조사 기간 중에도 시간당 12 m³의 하수가 반응조로 유입된 사례가 있었던 것으로 확인되었다. 따라서 반응조로 유입되는 하수를 균등화할 수 있는 운영 개선의 노력이 필요한 것이다.

반응조로 유입되는 유량을 균등화하는 몇 가지 방법 중 1) 가장 간단한 방법은 하수 이송 펌프를 적은 용량으로 교체하는 것이다. 만약 2) 토출배관에 by-pass 관로가 설치되어 있다면 이를 이용한 유량 조절을 시도해볼 수도 있다. 하지만 이 방법은 by-pass되는 양이 많아질수록 펌프의 실양정이 낮아져 일정한 양을 조절하기 어렵다는 단점이 있다. 또한 by-pass량을 조절할 수 있는 계량조를 이용한 유량 균등화도 가능하다. 이 방법은 V-notch 탱크를 활용하여 쉽게 개량할 수 있다. 마지막으로 펌프의 on/off 수위 범위를 짧게 조절하면 펌프가 더 자주 작동하게 되므로 유량 균등화 효과를 일부 기대할 수 있다.

3.2.2. 유입 수질

하수의 유입 수질 또한 지역의 특성에 큰 영향을 받는 인자이다(1). 따라서 유입농도보다는 유입오염부하량으로 유입 수질을 비교·평가하고자 한다. 지난 2년간의 수질분석 자료와 유량자료로 오염부하량을 산정하여 계획유입오염부하량(=시설용량×계획유입수질)과 비교하였다. 평가 결과 대부분의 시설에서 계획오염부하량보다 낮게 유입되고 있었

다. 오염부하량이 낮은 원인은 우선 유입하수량이 적고 유입하수의 농도도 계획수질에 비해 매우 낮게 유입되고 있기 때문이다. 하수발생량 원단위와 마찬가지로 오염물질원단위 또한 지역적 여건을 충분히 반영하지 못하였기 때문이라고 판단된다.

소규모하수도사업 통합지침에는 소규모 하수처리시설 공법 선정시 저유량, 저농도에 대비한 공정 검토 및 운전관리 대책을 제시하도록 권고하고 있다. 하지만 많은 마을하수도가 유지관리지침 조차 존재하지 않은 설문조사 결과로 볼 때, 저유량, 저농도에 대비한 공법 검토가 제대로 이루어지지 않고 있다고 할 수 있다. 저부하로 유입되는 처리시설에서 취할 수 있는 몇 가지 대책을 다음과 같이 제안하고자 한다.

첫 번째, 두 계열 이상으로 분리되어 운전되는 시설(즉, DENIPHO[®] 공법)은 계열의 축소 운전 방안을 고려해볼 수 있으며, 단일 계열의 공법은 반응조를 축소 운영하는 방법이 있다. 다만 오염물질의 안정적인 처리를 위해 충분한 체류시간이 확보될 수 있는지를 검토하여야 한다.

두 번째, 반응조의 MLSS 농도를 유입하수의 부하량에 맞게 조절하여 적절한 F/M비를 유지하도록 해야 한다. 뿐만 아니라 다른 운전 인자들도 새로운 조건에 맞도록 조정해야 한다.

세 번째, 여러 가지 기술적 방법으로 해결하기 어려운 경우에는 시설을 폐쇄하고 인근 마을하수처리시설에서 통합처리하거나, 하수종말처리시설로 이송하여 처리하는 방안을 검토해 보아야 할 것이다.

네 번째, 향후 새롭게 신설되는 소규모하수도는 설계부터 저부하 운전에 대한 검토를 철저히 수행하도록 하여야 한다. 처리효율이 부하량 변동에 큰 영향이 없는 공법을 선택하도록 하고, 필요시 간벽이동을 통하여 반응조 부피를 증감시킬 수 있도록 설계하는 것이 하나의 방법이다.

3.2.3. 유출수 수질

조사 대상 시설의 처리효율은 두 시·군에서 제공한 수질 현황자료와 본 연구에서 별도로 시료를 채취하여 분석한 결과를 비교하여 평가하였다. 하지만 A시는 2008년 초에 하수처리시설 위탁관리업체가 바뀌면서 인수인계과정에서 시설이 정상적으로 운영되지 못하였고, B군은 2007년 하반기부터 운영된 6개 시설이 2008년 초반까지 안정화되지 않았고 함에 따라 사군에서 제공한 자료의 유출수 수질 평가는 2008년 7월부터 2009년 10월까지의 자료를 이용하였다.

시·군에서 제공한 수질현황자료를 분석한 결과, 5개 시

설(A-3, A-5, A-6, B-3, B-9)이 방류수 수질기준을 1회 이상 초과한 것으로 나타났다. 수질기준 초과 항목은 BOD(5개 시설에서 25회)와 SS(3개 시설에서 14회)였으며, 설문조사에서 현장관리자들이 처리에 어려움을 겪고 있다고 가장 많이 응답한 T-N과 T-P는 모든 시설에서 단 한 차례도 초과하지 않았다. 하지만 사군에서 제공한 수질자료는 본 연구에서 시료를 채취하여 분석한 결과와 큰 차이가 있었다. 본 연구에서 수행한 총 7차례의 수질분석(A시 3회, B군 4회)에서 A-6, B-1을 제외한 모든 시설들이 1회 이상 방류수 수질기준을 초과하였다. 시설별로는 B-3(10회), A-7, B-7(각 9회), B-9(6회), A-5, A-9(각 5회)가 수질기준을 초과한 횟수가 많았다. 수질기준 초과 항목은 SS(25회)>T-P(21회)>BOD(17회)>COD=T-N(각 5회) 순으로 높게 나타났다.

본 연구에서는 수질분석자료의 신뢰성을 위해 시료를 위탁관리업체의 현장관리자와 함께 공동으로 채수하였고, 분석전문기관인 경기도보건환경연구원에 분석을 의뢰하였다. 사군에서는 위탁관리업체에서 자체적으로 분석하여 보고된 자료를 연구진에 제공하였다. 사군에서 제공한 수질자료와 본 연구에서 분석한 수질자료가 위탁관리업체의 분석방법 및 분석능력, 기타 원인에 의해 차이가 발생했다고 할 수 있지만, 결과적으로는 사군에서 제공한 수질분석자료의 신뢰성에 대해서 의심하지 않을 수 없다.

본 연구에서 수행한 수질분석결과에서는 SS가 방류수 수질기준을 가장 많이 초과한 것으로 나타났다. 조사 대상으로 선정된 모든 시설들이 저부하로 운전되고 있으므로 적절한 F/M비의 유지를 위해서는 반응조의 MLSS 농도를 감소시켜야 한다. 하지만 대부분의 시설들이 오히려 높은 MLSS 농도를 유지하고 있었고, 이에 따라 F/M비가 낮아져 미생물들이 자산화 되고, 사상균이 발생하여 침강성이 저해된 것이 주된 원인이라고 할 수 있다. 두 번째 원인으로는 반응조에 사용된 포기 및 교반 방법에 있었다. DENIPHO® 공법은 수중펌프+이젝터 방식을 포기 및 교반 장치로 사용하고 있었다. 펌프+이젝터 방법은 산소전달률이 낮고, 반응조 내 사영역이 많이 나타나며, 고속회전하는 펌프 임펠러에 의해 플록화된 슬러지가 해체되는 현상이 나타나고 있어 슬러지 침강성을 저해한다. 마지막으로 간헐적으로 유입되는 하수에 의해 최종침전지에서 고액분리에 필요한 충분한 체류시간이 제공되지 않은 것도 한 가지 원인이 될 수 있다. 이러한 원인들은 SS뿐만 아니라 유출수의 BOD와 T-P 농도 증가에도 영향을 미친다고 할 수 있다¹¹⁾. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 반응조로 유입되는 유량을 균등화하고, 지속적인 수질 및 MLSS 농도를 모니터링 하여 슬러지 폐기시켜 적절한 F/M

비를 유지하여야 한다. 포기 및 교반 장치를 수중포기장치+송풍기 또는 산기식포기장치+수중믹서 방식으로 교체하는 것도 처리효율 향상에 도움이 될 것이다.

A-9 시설을 제외한 모든 시설이 T-N과 T-P를 동시에 제거할 수 있는 고도처리시설임에도 불구하고 T-P의 처리효율은 매우 낮았으며, 유출수의 T-P 농도가 유입수보다 높은 경우도 관찰되었다. 생물학적 폐수처리공정에서 T-P는 혐기조건에서 인방출에 이은 호기조건에서 미생물에 의한 인의 과잉섭취에 의해서 하수에서 제거되며, 최종적으로는 슬러지 폐기를 통해서 시스템에서 완전히 배제된다¹²⁾. 혐기조에서 인방출이 일어나게 하기 위해서는 용존산소가 존재하지 않아야 한다. 하지만 조사 대상 시설 모두 시설 용량에 비해 큰 슬러지 반송 펌프가 설치되어 최대 4Q 이상의 슬러지가 혐기조로 반송되고 있었다. 따라서 혐기조에 용존산소가 존재하여 인의 방출이 일어나지 못하고, 이에 따라 호기조건에서 인의 흡수 또한 일어나지 않는 것으로 추측할 수 있다. 인의 처리에서 중요한 요소 중 하나는 SRT인데, Stephens and Stensel¹³⁾은 긴 SRT가 인의 처리효율에 영향을 미친다고 보고하였다. 따라서 인의 처리효율을 향상시키기 위해서는 슬러지 반송 펌프의 조절을 통해서 반송되는 슬러지의 양을 50~100%로 감소시키고, 주기적으로 슬러지를 폐기하여 적절한 SRT를 유지하여야 한다.

T-N은 수질분석결과만을 보았을 때 방류수 수질기준 초과 횟수가 적어 처리가 잘 되는 것으로 보일 수 있다. 하지만 처리효율은 두 개 시·군 모두 30% 정도로 높지 않았으며, 방류수 수질기준 이내로 하수가 유입되는 경우도 상당하였다. 본 연구에서 수행한 수질분석에서는 T-N을 구성하는 질소화합물을 분석을 하지 않아 어떤 반응(질산화 또는 탈질산화)에 문제가 있는지 확인하지 못하였다. T-N의 처리에 대해서는 질소산화물의 농도를 분석한 '3.3 정밀조사 결과'에서 자세히 논의될 것이다.

7차례의 수질분석을 통하여 어떤 시설 또는 공법의 처리효율이 우수하다고 논의하기는 어려울 것이다. 다만, 수질분석결과와 연구진의 현장조사를 통하여 일부 시설은 오염물질의 처리에 적합하지 않다는 결론을 내릴 수 있었다. 접촉산화 공법인 A-9 시설은 미생물이 접촉재에서 전혀 성장하지 않았고, 접촉산화 공법의 특성상 최종침전지가 존재하지 않기 때문에 슬러지가 반송되지 못하고 유출되어 반응조에 미생물이 거의 존재하지 않아 오염물질이 잘 처리되지 않고 있었으며, 질소와 인의 처리에 적합한 공법이 아니다. A-7은 하수발생량이 잘못 예측되었고, 접촉재를 이용한 부착성장 방식을 채택하고 있지만 그 기능을 발휘하지 못하고 있으

며, 최종침전지가 없기 때문에 반응조의 MLSS가 일정하게 유지되지 못하고 있다. B-9는 시설의 개선 이전에 하수관거의 정비를 우선적으로 수행하여야 한다. 청천시에는 저농도의 하수(4차례의 수질분석결과 평균 BOD 농도는 19.6 mg/L)가 유입되고, 강우시에는 많은 양의 우수 유입으로 인하여 시설이 침수되어 설비가 정상적으로 작동하지 않고 있었다. B-3과 B-7은 현재 정상적으로 가동되고 있지만, 조사 기간 중에 미생물이 최종침전지에서 침전되지 못하고 유출되는 현상이 지속적으로 나타나 방류수 수질기준을 가장 많이 초과하였다.

유출수 수질분석 결과를 종합하면, 시설의 처리효율 문제는 적용된 공법을 포함한 시설상의 문제와 운영상의 문제로 구분할 수 있다. 위에서 언급된 A-7, A-9, B-9는 처리시설의 개선이 이루어져야 한다. 간헐적으로 방류수 수질기준을 초과한 시설들은 우선 운전 방법을 개선하고 지속적으로 수질분석 결과를 모니터링 하면서 해결방안을 모색하고, 운전 방법의 개선으로 해결되지 않는다면 일부 설비의 교체나 시설의 전면 개선을 검토하는 것이 순서일 것이다.

3.2.4. 설비 평가

여기서는 앞서 언급된 하수 이송 펌프, 슬러지 반송 펌프, 포기 및 교반 장치 이외에 세 가지 정도를 더 언급하고자 한다. 우선 과도한 펌프 용량과 함께 배관들 또한 필요 이상의 큰 구경으로 시공된 시설들이 많았다. 이는 펌프 용량에 맞는 배관 구경을 선택하였기 때문이다. 본 연구진은 조사 기간 중 적절한 용량의 하수이송 펌프와 슬러지 반송 펌프의 교체를 검토하였지만, 이 경우 배관까지 함께 교체를 해야 했기 때문에 비용적인 문제로 다른 방법을 강구해야만 했다. 따라서 시설의 설계 당시부터 각 시설 용량에 적합한 펌프 및 배관이 시공될 수 있도록 감독기관의 면밀한 검토가 필요할 것이다.

두 번째로 계측기기에 대한 부분이다. 조사 대상 시설 대부분이 시설의 운전 및 반응조 상태를 통제실에서 확인할 수 있는 기본적인 계측기가 설치되어 있었지만, 정상적으로 작동되는 시설은 단 한곳도 없었다. 일반적으로 반응조의 상태를 평가하기 위해서는 수질시료를 채취하여 분석을 해야 한다. 하지만 분석에 많은 시간이 소요되어 부하변동에 빠르게 대응할 수 없기 때문에 계측장비를 사용한다. 실시간으로 반응조의 상태를 확인하기 위해서는 최소한 DO, ORP, pH, MLSS미터 등이 필요하다. 조사 대상 시설 중에는 상기의 계측기가 모두 설치되어 있는 시설도 있었지만 관리가 제대로 이루어지지 않아 정상적으로 작동하고 있지는 않았다. 계측

기의 관리는 수시로 계측기를 청소하고 주기적으로 보정을 해주면 된다. 관리 방법이 비교적 간단하지만 현장에서는 잘 이루어지지 않고 있는 실정이다.

마지막으로 언급하고자 하는 설비는 소독장비이다. 조사 대상 시설 중 6개소는 소독 장치가 설치되어 있지 않았으며, 나머지 시설들은 UV(10개소) 또는 염소(3개소) 소독 장치가 설치되어 있었다. 하지만 소독장치가 정상적으로 작동하고 있는 시설은 한 곳도 없었으며, 별도로 염소를 주입하여 소독을 실시하고 있다고 하였으나 이를 확인할 방법은 없었다. 소독장치가 작동하지 않는 이유는 강우시 침수로 인하여 고장 났거나, 간헐적인 하수 유입으로 UV 램프가 파손된 경우이다. 마을하수도는 소독방법으로 UV를 많이 사용하고 있지만, 하수의 유입이 불균등하여 과열에 의해 램프가 파손될 우려가 크므로 파손을 방지하기 위한 방법(예를 들어, UV 소독장치를 역사이핀 형태로 설치하여 항상 만수 상태로 되게 보정)을 통해 시설을 보완하는 것이 필요하다. 또한 UV 소독장치는 SS가 높은 경우 소독 효율에 나쁜 영향을 미치므로 마을하수도에 적절한 소독방법을 재검토해 볼 필요가 있다.

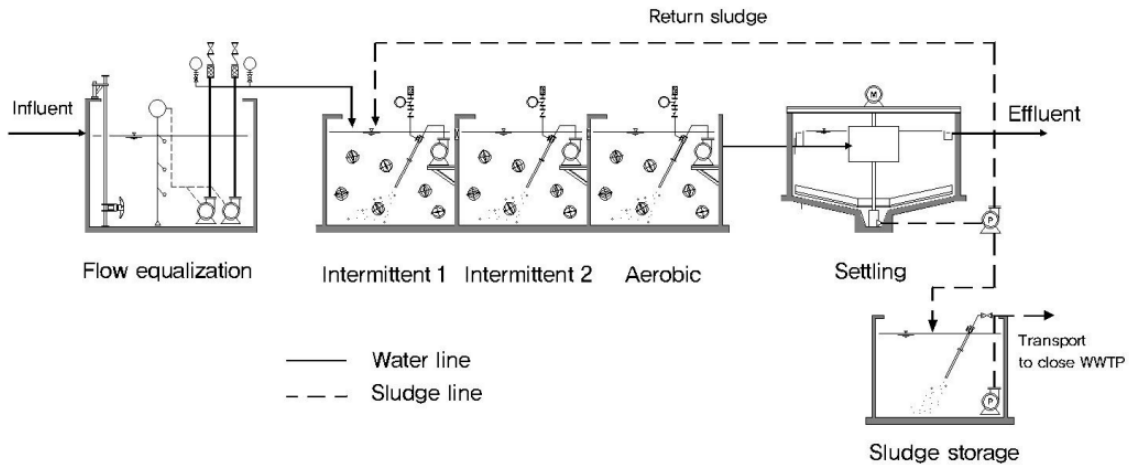
3.3. 정밀조사 결과

정밀조사는 A-5와 B-7 시설을 대상으로 문제점과 해결 방안을 도출하고 현장에 적용하여 개선 효과를 검증하는데 목적을 두고 있다. 정밀조사 대상 시설들 또한 3.2절에서 언급된 문제점들이 관찰되었다. 따라서 여기서는 위에서 언급한 문제점들을 해결하기 위해 적용된 개선 방안과 효과에 대해서 주로 논의하고자 한다. 시료채취 일정과 적용된 개선 방안은 Table 3에 나타내었다.

3.3.1. A-5 시설의 개선 방안 및 결과

A-5 시설은 Fig. 1(a)와 같이 3개의 반응조가 하나의 계열을 구성하고 있으며, 총 2계열로 된 DENIPHO[®] 공법으로 설계되었다. 기존의 DENIPHO[®] 공법은 한 계열이 혐기조→호기조→혐기조→호기조로 구성되지만, 본 시설은 간헐포기조→간헐포기조→호기조로 구성되어 있으며, 탈질에 필요한 탄소원을 공급하는 생슬러지발효조가 생략되었다. 이 시설은 앞서 지적한 포기 및 교반 장치에 의해 미생물 플록이 해체되면서 최종침전지에서 침전되지 못하고 유출되어 방류수의 SS 농도가 높고, T-N과 T-P의 처리효율이 낮은 상태였다. 조사 시작과 함께 하수 이송 배관에 설치되어 있는 by-pass 밸브를 이용하여 반응조로 유입되는 유량을 시간당 2 m³ 정도로 균등화하였다. 또한 슬러지 반송 펌프의 작

(a) DENIPHO[®] for A-5 plant



(b) KSBNR[®] for B-7 plant

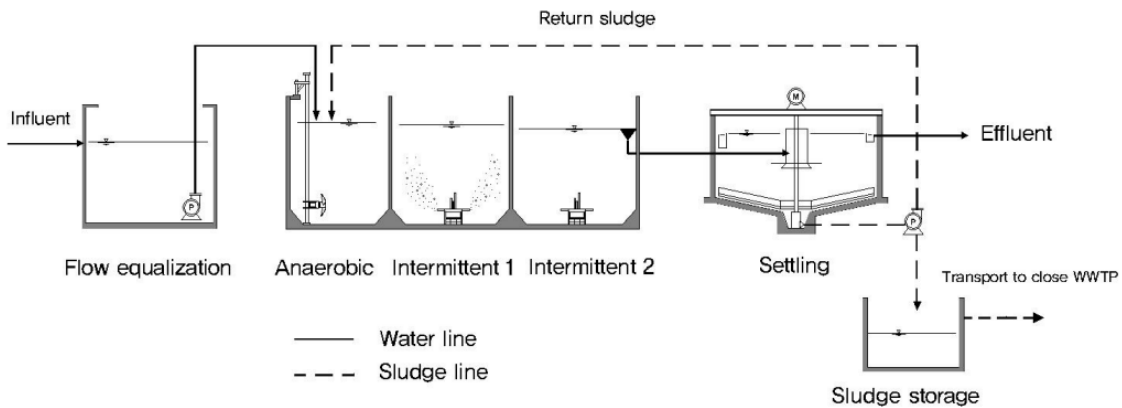


Fig. 1. Schematic diagrams of the (a) A-5 and (b) B-7 plants.

등을 타이머로 조절(예를 들어, 5분 가동/15분 휴지)하여 반송 슬러지 량이 100% 미만이 되도록 한 후 약 2개월 정도 수질을 모니터링 하였다. 수질모니터링 결과는 Fig. 2에서 확인할 수 있다.

시설의 개선이 이루어지기 이전인 16회(10월 27일)까지의 수질분석결과, BOD와 COD는 안정적으로 처리가 되는 것으로 확인되었지만, SS, T-N, T-P는 방류수 수질기준을 초과하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 2의 stage I). SS와 T-P는 3.2절에서 논의된 문제점이 원인이 되어 처리가 잘 되지 않는 것으로 조사되었다. T-N의 경우 Fig. 2(b)에서 보는바와 같이 질산화 반응보다는 탈질산화 반응에 문제가 있었다. 간헐포기조에서 DO와 ORP를 측정된 결과를 Fig. 3(a)에 나타내었다. 포기주기에서 강제로 포기를 중단한 후 DO 농도는 약 4.5 mg/L이었으며, 80분간 비포기 상태에서 DO 농도를 관찰한 결과 DO 농도가 탈질반응이 일어날 수

있을 정도로 감소되지 않았다(Fig. 3(a) DO_A1). 초기 DO 농도가 높아 DO가 감소되는데 소요되는 시간이 오래 걸리는 것으로 판단하여 초기 DO 농도를 2.3 mg/L가 되도록 조절 한 후 포기를 중단하고 DO의 감소 추세를 살펴보았다. 60분 후의 DO 농도는 0.16 mg/L이었고, 이후 100분이 경과되었을 때의 농도는 0.12 mg/L이었다(Fig. 3의 DO_A2). ORP값 또한 탈질반응이 일어날 수 있는 무산소조 조건이 되지 못하였음을 보여주고 있었다. 따라서 탈질반응이 일어나지 않는 원인 중 하나가 비포기시 DO 농도가 충분히 감소하지 않기 때문이라고 판단하였다. 탈질반응이 일어나지 않는 또 다른 원인으로서는 탈질에 필요한 유기탄소원이 부족한 것이다. 현장의 조건과 이용되는 유기탄소원의 종류에 따라 틀리지만, Barth 등은 1 g의 NO₃⁻를 제거하는데 4 g의 BOD가 필요하다고 하였다. 그러므로 조사 기간 중 유출수에서 검출되는 질산염의 완전한 탈질을 위해서는 약 90 mg/L의 BOD가

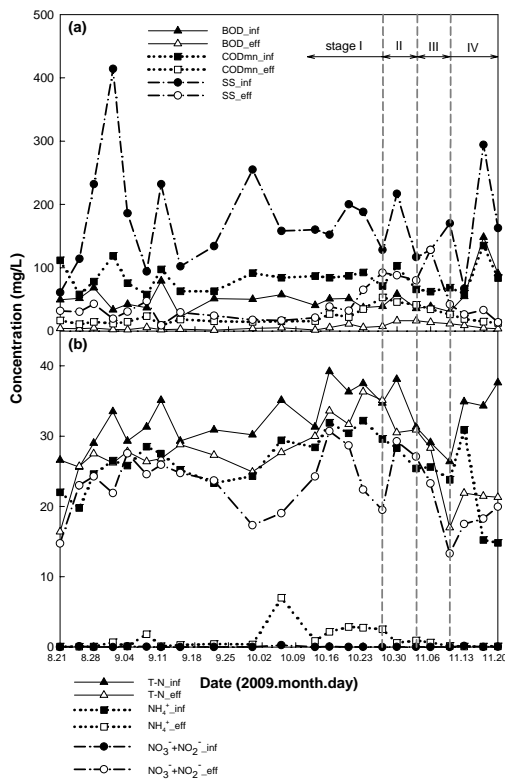


Fig. 2. Behaviors of pollutants in the A-5; (a) BOD, COD, and SS and (b) T-N, ammonia, and nitrate/nitrite in the influent (inf) and effluent (eff).

필요하지만 조사 기간 중 유입수 BOD 평균은 52.9 mg/L로 탈질에 필요한 탄소원을 제공하기에는 충분하지 않았다.

개선 작업은 주로 T-N의 처리효율 향상에 초점을 맞추어 진행되었다. BOD와 COD가 안정적으로 처리되고 있으므로 최종침전지에서의 미세플록 부상은 교반 및 포기 장치의 문제라고 판단하였기 때문이다. T-P의 경우 현재와 같이 혐기조를 두지 않는 운영 방법으로는 처리가 곤란하다고 판단하였으며, 슬러지의 주기적인 폐기를 통한 감소 효과를 기대하였다. 따라서 간헐포기조의 포기/비포기 주기를 1시간/1시간에서 30분/150분으로 변경하고, 포기시 DO 농도가 2.5 mg/L를 초과하지 않도록 조절하였다. 하지만 이러한 결과는 반응조에 좋지 않은 영향을 미쳤다. T-N의 처리효율도 상승하지 않았을 뿐만 아니라 포기시간의 감소로 인하여 유기물의 산화가 충분히 이루어지지 않아 유출수의 BOD, COD, SS 농도가 급격히 증가하였다(Fig. 2 stage II). 따라서 비포기 시간을 90분으로 감소시켰으며(Fig. 2 stage III), 다시 운전 방법을 1계열; 간헐포기조(1시간/1시간)→무산소조→호기조, 2계열; 무산소조→간헐포기조(1시간/1시간)→호기조로 변경하였다(Fig. 2 stage IV). BOD와 COD의 처리

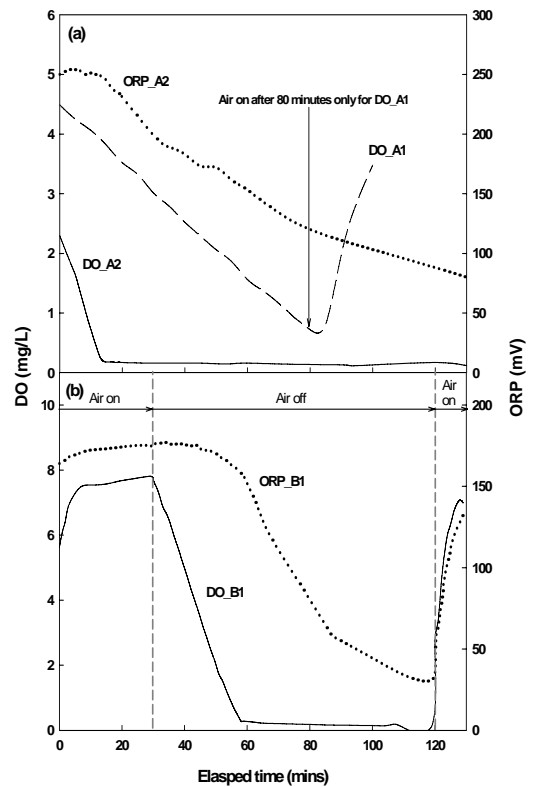


Fig. 3. Behaviors of DO and ORP under air-on/off conditions in the (a) A-5 and (b) B-7 plants.

효율은 개선 이전의 수준으로 향상되었고, T-N은 처리효율이 다소 상승하였으나 방류수 수질기준을 만족하지는 못하였다.

A-5 시설은 이후에도 계속 개선 작업을 수행하였다. 1계열은 MLE(modified Ludzack-Ettinger process) 공법 형태로 마지막 반응조에서 첫 번째 반응조로 100% 정도를 내부반송 하여 3개의 반응조를 무산소→무산소→호기조로 운영하고, 2계열은 내부반송과 함께 무산소→간헐포기(1시간/1시간)→호기조로 운영을 하고 있다. 이 방법은 마지막 반응조인 호기조에서 첫 번째 반응조로 내부반송을 함으로서 탈질에 필요한 유기물과 무산소 조건을 충분히 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

3.3.2. B-7 시설의 개선 방안 및 결과

B-7 시설의 처리공정도를 Fig. 1(b)에 나타내었다. B-7은 혐기조 및 2개의 간헐포기조(30분 포기/30분 비포기)로 구성된 KSBNR[®] 공법이 적용된 시설이다. 간헐포기조는 교호로 운전되기 때문에 혐기→무산소→호기와 혐기→호기→무산소를 반복하게 된다.

본 시설 또한 SS, T-N, T-P의 처리에 어려움을 겪고 있었다. 포기 및 교반은 송풍기와 수중포기장치가 시공되어 있어 미세부유물질의 부상은 관찰되지 않았다. 하지만 이 시설은 하수의 불균등 유입으로 인하여 SS가 유출되는 문제가 발생하고 있었다. 즉, 많은 양의 하수가 일시적으로 유입되는 시점에서는 최종침전지에서 수면적부하의 증가로 인하여 슬러지가 침강하지 못하여 유출되고, 하수가 유입되지 않을 때에는 긴 체류시간으로 인하여 최종침전지가 혐기화되어 최종침전지 바닥에 침강되어 있는 슬러지가 기포와 함께 부상하여 유출되는 현상이 나타나고 있었다. 이에 따라 반응조의 MLSS 농도가 2차례의 미생물 식중에도 불구하고 매우 낮게(평균 1,200 mg/L) 유지되고 있었다. T-N은 질산화보다 탈질산화가 발생하지 않는 것으로 분석되었고(Fig. 4(b) stage I), 원인으로서는 Fig. 3(b)에서 보는바와 같이 30분간의 비포기동안 DO가 충분히 감소되지 못했기 때문이다. T-P는 슬러지반송 및 유입수의 영향으로 혐기조에 용존산소가 존재하여 처리효율이 낮은 것으로 조사되었다.

B-7 시설의 개선도 T-N의 처리효율 향상을 우선적인 목

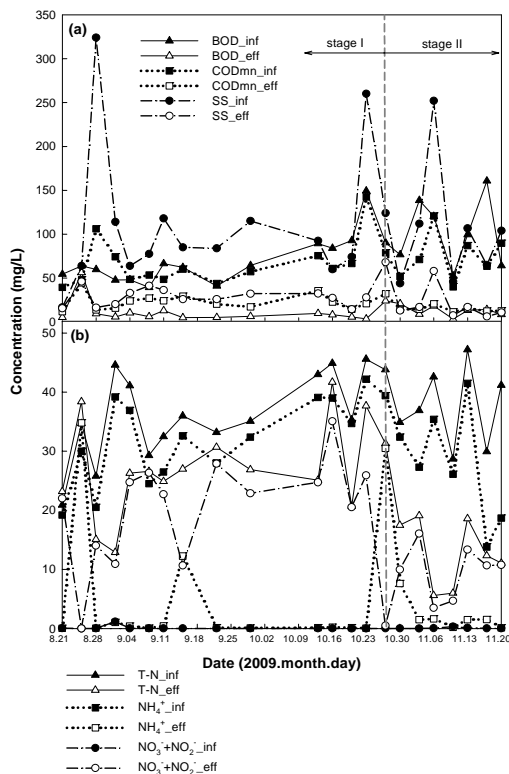


Fig. 4. Behaviors of pollutants in the B-7; (a) BOD, COD, and SS and (b) T-N, ammonia, and nitrate/nitrite in the influent (inf) and effluent (eff).

표로 하여 수행하였다. 간헐포기조의 포기/비포기 시간을 30분/90분으로 변경하였으며, 하수 이송 배관에 설치된 by-pass 설비를 이용하여 반응조로 유입되는 하수를 시간당 2 m³ 이하로 조절하였다. 상기의 두 가지를 개선한 결과 방류수 BOD 농도는 개선 전에 비해 다소 상승하였지만, 유출수의 COD와 SS 농도는 크게 감소하였다(Fig. 4(a)의 stage II). 특히, T-N의 경우 개선 이후로는 방류수 수질기준(20 mg/L)을 단 한 차례도 초과하지 않은 것으로 나타났다. 하지만 T-P의 경우에는 여전히 처리가 잘 되지 않았다.

COD, SS의 처리효율이 상승한 주된 원인은 무엇보다도 반응조로 유입되는 유량을 균등화하여 충분한 체류시간이 확보되었기 때문이다. 유량을 균등화하기 이전과 이후의 시간당 하수유입량과 누적펌프가동시간을 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. 균등화하기 전의 하루 유입량은 19 m³이고, 균등화후의 하루 유입량은 16 m³이었지만, 하수를 이송하는 펌프의 가동시간은 오히려 균등화한 후가 2배 이상 많은 것으로 나타났으며, 시간당 유입량도 균등화 이후에는 시간당 2 m³을 넘지 않았다. 따라서 반응조로 많은 양의 하수가 일시적으로 유입되는 것을 방지함으로써 오염물질이 충분한 체류시간동안 반응조에 머무를 수 있으며, 이에 따라 최종침전지에서의 수면적부하를 낮춰 슬러지의 침강성 또한 좋아진 것이다. T-N의 경우에도 충분한 체류시간과 더불어 탈질이 일어날 수 있는 조건을 제공함으로써 처리효율이 상승한 것을 Fig. 4(b)를 통해 알 수 있다.

하지만 BOD와 SS를 방류수 수질기준 이내로 처리될 수 있도록 하고, T-N의 안정적인 처리를 위한 개선이 계속 진행되어야 한다. 현재 T-N의 처리효율을 향상시키고 탈질에 의한 유기물 소모를 유도하기 위해 마지막 반응조에서 혐기

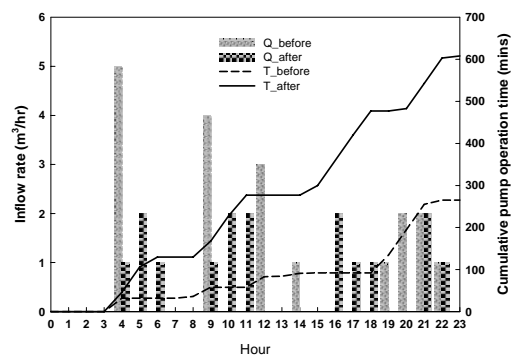


Fig. 5. Hourly inflow rates (Q) and cumulative pump operation time (T) for the B-7 before and after flow equalization.

조로 내부반송을 100% 정도 하고 있으며, 평균 4,000 mg/L 정도로 유지되고 있는 반응조의 MLSS 농도를 낮춰 SS 농도를 방류수 수질기준 이하로 맞추고자 개선을 수행 중에 있다. 여기에는 나타내지 않았지만 12월에 측정한 분석 결과에서는 BOD와 SS가 모두 방류수 수질기준 이하로 처리되고 있었다.

4. 토 의

환경부에서 발표한 ‘농어촌지역 하수도정비 종합계획’은 도시지역과 농어촌지역의 하수도 서비스 불균형을 해소하고 기존 시설의 처리효율을 향상시켜 농어촌지역의 셋강 건천화를 방지하고 하수처리수의 활용 가치를 극대화하는 것을 목적으로 하고 있으며, 4가지의 추진방안을 포함하고 있다. 하지만 소규모하도의 일부 문제점에 대해서 파악하지 못하고 있고, 지방자치단체에서도 사전 준비 없이 하수도 시설을 증설한다면 수질개선 효과를 기대하기 어렵다. 따라서 본 절에서는 환경부 및 지방자치단체가 농어촌지역 하수도정비 사업의 세부계획을 수립하는데 있어 참고할 수 있는 몇 가지 문제점에 대해서 논의하였다.

4.1. 신규 시설의 설치

이번 종합계획에 따르면 하수도 보급률의 향상을 위해서 총 사업비의 약 80%가 신규 시설의 설치에 지원된다. 하지만 현재의 방식으로 신규 시설을 설치할 경우 시설의 설치로 인한 수질개선 및 환경부에서 목적으로 하고 있는 셋강 살리기는 어렵다고 할 수 있다. 이러한 이유 중 하나가 저유량, 저농도의 하수 유입이다. 설문조사와 정비사례에서도 살펴보았듯이, 대부분의 시설들이 저부하 하수 유입의 문제를 가지고 있으며, 이로 인해 오염물질의 처리효율 저하가 야기되고 있다. 따라서 신규 시설의 계획단계부터 저유량, 저농도에 대비한 설계가 반영되어야 한다. 설계시 보다 정확한 하수발생원단위와 오염부하량원단위를 적용하여야 하고, 공법 또한 저부하에 대비한 운전이 가능한 공법을 선정하는 것이 바람직하다. 농어촌지역의 특성상 장래에도 하수 발생량이 증가할 가능성은 매우 적다고 할 수 있다. 따라서 하수발생량이 적은 경우, 처리시설의 신설 이전에 인근지역의 마을하수도로 연계 처리가 가능한지를 우선 검토하는 필요하다.

두 번째는 공법의 선정이다. 현재 운영되고 있는 공법들 또한 공법심의위원회 등을 거쳐 선정된 공법이긴 하지만 오염물질의 처리가 어려운 공법들이 존재한다. 이러한 문제를 개선하기 위해 환경부에서는 공법별 처리수준을 평가하여 문제가 되는 공법은 퇴출시키겠다고 하였다. 하지만 이를 실행하면서 많은 어려움에 부딪힐 것으로 예상된다. 왜냐하면 현재 운영되고 있는 공법 대부분이 환경신기술인증(또는 검증)을 받은 공법이기 때문이다. 국가에서 인증한 공법이 처리효율이 낮아 퇴출되면 환경신기술인증에 대한 신뢰성이 낮아질 뿐만 아니라 공법을 개발하고 소유하고 있는 업체의 불만이 높아지게 될 것이다.

그럼에도 불구하고 퇴출을 하고자 한다면 이미 시공되어 운영 중인 시설의 용이성, 경제성, 처리효율 등을 종합 검토하여야 한다. 하지만 가장 중요한 처리효율의 평가가 정확하게 수행되기는 어려울 것이다. 처리효율의 정확한 평가를 위해서는 많은 수질분석 자료가 필요한데, 앞서 살펴본 것처럼 소규모하수도를 위탁관리하는 업체에서 각 시·군으로 보고한 자료는 신뢰성이 떨어지기 때문이다. 따라서 지방유역청 또는 지방보건환경연구원 등에서 직접 시료를 채수하여 분석하여야 하는데, 주 1회 이상의 시료 채취/분석은 많은 인력과 시간을 필요로 하기 때문에 사실상 불가능하다고 보는 것이 맞을 것이다. 또한 현장의 정확한 상황 파악 없이 수질분석 결과 자체만으로 공법의 처리효율을 평가하는 것도 무리가 있다. 결국 이와 같은 상황이 하수처리공법의 단일화 또는 표준화 또한 어렵게 하는 원인이 되고 있다. 그러므로 공법 선정과 관련된 문제는 현재 운영되고 있는 시설에 대한 신뢰성 있는 데이터 수집이 가장 중요하며, 이 부분에 대한 논의가 먼저 이루어져야 할 것이다.

4.2. 기존 시설의 개선

현재 운영되고 있는 시설의 개선을 위해 가장 먼저 수행하여야 하는 것은 하수관거를 조사하여 저유량, 저농도 하수 유입에 대한 원인을 밝혀야 한다. 유량과 농도는 시설의 운영자가 제어할 수 없는 인자이므로 이 부분에 대한 변동을 최소화한 후 시설의 개선이 이루어져야 한다. 진단 사례에서 보았듯이, 청천시와 강우시 하수유입량의 차이가 큰 것은 관거의 파손 및 불법 접합에 기인한다. 특히, 농어촌지역의 경우 우수가 오수관거로 유입되는 사례가 많은 만큼 조사와 함께 지역주민에 대한 홍보도 병행하여야 한다.

환경부의 종합계획에서는 유입량이 초과하는 시설과 방류수 수질기준 초과 시설에 대해 우선적으로 개선 사업비를 지원할 것이라고 밝혔다. 유량의 경우 거의 모든 시설이 전자식 유량계에 의해 측정되어 저장되기 때문에 어느 정도 신뢰성을 확보하고 있다고 할 수 있지만, 방류수 수질기준 초과 시설의 파악은 앞에서 서술한 이유 때문에 매우 어려울 것이다. 시·군에서 보유한 수질현황자료에서는 모든 시설이 방류수 수질기준 이내로 처리가 되는 것으로 보고되기 때문에 수질현황자료 상으로는 개선이 필요한 시설은 하나도 존재하지 않는다. 따라서 사업비의 배분방식에 대해서 다시 한번 검토가 되어야하며, 각 시·군에서도 문제가 있는 시설을 공개하여 시설을 개선하고자 하는 의지를 보여주어야 할 것이다.

종합계획에서는 소규모하수처리시설의 경우 유기물질에 비해 질소·인 항목의 방류수 수질기준 초과 비율이 높다고 하였다. 하지만 각 지방유역청에서 실시한 2008년도 소규모 하수도 수질분석결과 항목별 초과 횟수는 T-P > SS > BOD > T-N > COD 순으로 높았으며, 본 연구에서 분석한 결과에서는 SS > T-P > BOD > COD=T-N 순으로 나타났다. T-N이 방류수 수질기준 이하로 유입된 경우가 많았던 점을 감안한다면, 영양물질 뿐만 아니라 유기물질의 처리도 잘 이루어지지 않고 있다고 할 수 있다. 다만, 유기물질과 T-N의 처리는 운영 및 운전 방법의 개선을 통하여 해결이 가능하므로 환경부에서는 이 부분에 대한 기술지원 방안을 마련하고, T-P는 생물학적 처리로는 안정적인 처리효율을 기대하기 어렵기 때문에 T-P 처리시설 개선 사업비를 지원하는 방향으로 사업비 지원 우선순위를 변경하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

4.3. 처리시설의 운영

4.3.1. 관리 인력의 전문성 강화

처리시설의 운영과 관련하여 이번 종합계획에서 문제점으로 지적한 것이 담당공무원과 위탁관리업체의 전문성 부족이다. 일반적으로 시·군에서 소규모하수도를 담당하는 공무원의 많게는 2명이며, 이들은 소규모하수도뿐만 아니라 환경관련 기초시설 대부분을 담당하고 있다. 게다가 공무원 조직의 특성상 인사이동이 잦아 담당공무원이 소규모 하수도에 대한 전문성을 갖기는 힘들다. 따라서 환경부는 하수도설계자문위원회 및 공법선정위원회 등 하수도 설치 관련 조직의 운영 개선을 통하여 기술적인 지원을 제공하고, 처리시설을 민간에 위탁하여 운영하도록 권고하고 있

다. 또한 담당공무원의 전문성 및 관심 향상을 위하여 「마을하수도 관리 교육과정」을 개설하고, 위탁관리업체의 전문성은 「마을하수도 전문가 양성 과정」 등을 개설하여 강화한다고 밝혔다.

하지만 환경부는 이 부분에 대해서 정확한 문제점을 파악하고 있지 못한 것으로 보인다. 본 연구의 조사 대상 지역이었던 A시와 B군의 위탁관리업체의 경우 오랜 기간 해당지역에서 처리시설의 위탁관리업무를 해왔고, 환경, 기계, 전기 등을 전공한 인력으로 구성되어 있었다. 하지만 대형하수처리시설과 다르게 소규모하수도는 한 사람이 담당해야 하는 시설이 많아 효율적으로 관리가 이루어지지 않은 것으로 파악되었다. 결국 관리인 한명이 담당해야 하는 시설 개수를 줄여 한 시설에 보다 많은 시간을 투자할 수 있도록 하면 운영관리 부분은 어렵지 않게 해결될 것이다. 하지만 이렇게 하기 위해서는 위탁운영비에 대한 문제를 먼저 해결하여야 한다.

공공하수도시설 관리업무 위탁지침¹⁵⁾에는 위탁운영비 산정 방법이 제시되어 있다. 일반적으로 해당 지역의 모든 공공하수처리시설과 소규모하수도를 함께 위탁하는 것을 원칙으로 하고 있으며, 운영대가 중 인건비는 시설 용량이 하루 50 m³ 미만인 시설은 개소당 0.22인, 50 m³ 이상 500 m³ 미만은 개소당 0.43인의 인력이 필요한 것으로 하여 산정하도록 하고 있다. 대략적으로 4명의 인력이 10개 정도의 시설을 관리해야 한다. 위 지침에서도 2인 1개조로 하여 하루 최대 5개 시설을 매일 순회 점검하라고 되어 있다. 하지만 위탁관리업체에서는 최대한의 이익을 남기기 위해 필요한 인원을 충분히 배치하지 않고 있다. 감독기관인 시·군에서는 이의 시정을 요구할 수 있지만, 강제할 수 있는 법적인 조치는 없다. 따라서 환경부는 종합계획에서 제시한 마을하수도 전문가 양성과정 개설보다는 필요한 인원이 적절히 배치될 수 있도록 하기 위해 지급된 위탁 운영비의 회계처리규정을 제정하고 감독기관에서 이를 철저히 감사할 수 있도록 하는 제도적 장치를 만드는 것이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

4.3.2. 무인 자동 감시·제어 체계 구축

소수 인력이 순환점검 체계로 운영되고 있는 소규모하수도의 효율적인 운영을 위해서는 무인 자동 감시 및 제어 체계가 반드시 필요하다. 시설의 무인 운전을 위해서는 지금보다 더 많은 계측기가 필요하고 순환점검을 통한 계측기 관리가 더욱 철저하게 이루어져야 한다. 본 연구의 진단사

례에서도 나타났지만, 조사 대상 시설 19개소 중 어느 곳도 유량계를 제외한 다른 계측기가 정상적으로 작동하고 있는 시설은 없었다. 계측기는 주기적인 청소와 보정이 필요하지만, 매일 모든 시설을 순회점검하기도 어려운 현재의 상황에서 계측기 관리가 제대로 이루어질리 만무하다.

무인 자동 감시 및 제어 체계 구축에 발생하는 또 다른 문제는 수선유지비에 있다. 일반적으로 위탁운영관리 계약을 체결할 때 시설 및 설비의 수리와 관련해서는 일정 금액 이상의 수리비가 소요되는 경우 시·군에서 부담하고, 그 이하일 경우에는 위탁관리업체에서 부담을 하는 것으로 한다. B군은 300만원을 기준으로 하고 있다. 하지만 위탁관리업체에서는 시설의 운영에 큰 영향을 미치지 않는 기계장치는 고장이 나도 수리를 하지 않고 있었다. 대표적인 예가 계측기이다. 이러한 사례는 A시 또한 마찬가지였다. 시·군 또한 예산이 한정되어 있어 큰 금액이 소요되는 장비의 수리 및 시설의 개선은 예산 지원을 기다리고 있는 실정이었다.

3.1의 설문조사 결과에서 살펴보았듯이, 시설의 개선을 위한 노력에도 불구하고 개선이 잘 이루어지지 않는 이유로 가장 많이 응답한 것이 인력부족과 예산부족이었다. 이중 인력부족에 대해서는 위탁관리업체에서 먼저 정해진 인력을 배치하여 운영한 후에 논의되어야 한다. 예산부족의 경우 시설의 개선 및 장비의 수리에 소요되는 비용만이라도 감독기관의 검토 후 최대한 지원해주도록 하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 마을하수도 정비사례를 통해 문제점을 파악하고 향후 마을하수도 정비의 추진방향을 수립하는데 고려되어야 하는 사항들에 대해 논의하였다. 2개 지역의 정비사례를 일반화하여 전국의 모든 사례를 대변한다는 것은 무리가 있을 것이다. 하지만 이번 연구 수행을 통해서 확신할 수 있는 한 가지는 소규모하수처리시설은 관심을 갖고 시간과 노력을 투자한다면 충분히 개선이 가능하다는 것이다. 개선을 위한 첫 번째 노력은 있는 현재의 상황을 감추지 말고 있는 그대로 보고하는 것이다. 그래야 문제점을 파악하고 대책을 세울 수 있다. 환경부도 종합계획을 통해 시설의 개선에도 많은 예산을 투자하기로 밝힌

만큼 현재 운영 중인 소규모하수도의 문제점을 정확하게 파악하고 이를 개선할 수 있는 기회로 만들어야 할 것이다.

KSEE

사 사

본 연구는 경기개발연구원 2009년도 정책연구과제 “하·폐수 처리시설 설치 및 운영에 관한 기술지원 및 정책연구”의 일부로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한 본 연구가 원활히 수행될 수 있도록 협조해주신 A시 및 B군 담당자, 경기도पाल당수질개선본부, 경기도보건환경연구원, 한국과학기술연구원, (주)다산글로벌컨설팅, (주)삼안E&E, 성균관대학교에도 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 환경부, “하수도 시설기준” (2005).
2. 환경부, “2008 하수도통계” (2009).
3. 환경부, “국가하수도종합계획(’07-’15)” (2007).
4. 환경부, “농어촌지역 하수도정비 기본계획(10-15)” (2009).
5. 경기개발연구원, “하·폐수 처리시설 설치 및 운영에 관한 기술지원 및 정책연구 - 팔당 유역 마을하수도 중심으로” 정책연구 2009-57 (2009).
6. 환경부, “도심하수관 정비기법 연구” (1997).
7. 환경부, “소규모하수도사업 통합지침” (2007).
8. 환경부, “농어촌지역 하수발생량 원단위 산정 연구” (2006).
9. Eckenfelder, W. W. and Grau, P., “Activated Sludge Process Design and Control: Theory and Practice,” 2nd edition, Water Quality Management Library-Volume 1, Technomic Publishing Company, Pennsylvania, U.S. (1998).
10. Metcalf and Eddy, “Wastewater Engineering: Treatment and Reuse,” 4th edition, McGraw-Hill, New York, NY, U.S. (2004).
11. Rittmann, B. E. and McCarty, P. L., “Environmental Technology: Principles and Applications,” McGraw-Hill Publishing Co., (2002).
12. Randall, C. W., Barnard, J. L., and Stensel, H. D. “Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal,” Water Quality Management Library-Volume 5, Technomic Publishing Company, Pennsylvania, U.S. (1992).

-
13. Stephens, H. L. and Stensel, H. D., "Effect of Operating Conditions on Biological Phosphorous Removal," *Water Environ. Res.*, **70**(3), 362~369 (1998).
14. Barth, E. F., Brenner, R. C., and Lewis, R. F., "Chemical-Biological Control of Nitrogen and Phosphorous in Wastewater Effluent," *J. Water Pollut. Control Fed.*, **40**(12), 2040~2054 (1968).
15. 환경부, "공공하수도시설 관리업무 위탁지침" (2009).