

사례분석을 통한 하수처리장의 최적화에 관한 연구

A Case Study on Optimization of the Sewage Treatment Plant

노영대*·우인성*·김다영*·김성태*·이선희*

Abstract

This study is an analysis about BOD, COD, SS, T-N, T-P of 4Stage-BNR, MLE + CS(Coagulating Sedimentation), Bio-SAC BNR method of construction for 3 largest sewage treatment plants among 12 sewage treatment plants in Incheon.

The purpose of this study is improving the operational effectiveness for Incheon sewage treatment plant by introducing the optimized method for quality of the discharged water.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 우리나라는 1960대 이후 계속된 경제 개발 계획으로 산업화 및 도시화로 인하여 물 사용이 급격히 증가하고 있는 추세이다.

또한 산업의 밀집화 현상 및 대도시 집중현상으로 각종 폐수와 생활하수 등이 배출되어 심각한 수질 오염을 야기하여 사회문제로 대두되고 있어, 이에 대한 심각성을 깨닫고 전국 각지에서 활발히 하수처리장의 건설이 추진되고 있다.

하지만 지속적인 오염원의 증가로 기존의 2차 처리시설에서, 3차 처리시설로 고도처리 시설화 되어 가고 있다.

* 인천대학교 대학원 안전환경시스템공학전공

전국 하수종말처리장은 대부분 2차 처리공법으로 설계되어 있으며, 운영되고 있는 2차 처리공법 중에 가장 많이 이용되고 있는 공법은 표준 활성오니법이 있고, 기타 지역특성에 맞추어 많은 공법이 채택되어 이용되고 있다.

표준 활성오니법 이외의 2차 처리공법의 하수처리의 효율성은 양호하나 2차 처리공법인 관계로 질소(N), 인(P)의 제거능력이 매우 낮아서 총 질소(T-N), 총인(T-P) 제거효율이 매우 낮은 것으로 파악되었다. 따라서 현재 2차 처리공법 위주로 되어 있는 처리시설로는 질소(N), 인(P)를 제거하는데 한계가 있음을 알 수 있다.

고도처리시설의 목적은 공공수역의 수질오염과 관련되는 환경기준의 준수 등의 부영양화(eutrophication)의 방지 및 ,처리수의 재이용 등을 목적으로 하고 있다. 하지만 우리나라는 아직 일부에서 처리장에서 고도처리를 하지 못하는 실정에 있다. 방류수질의 기준은 BOD ,COD, SS, T-N, T-P, 총대장균군수의 6개 항목을 기준으로 사용하고 있다.

환경부에서는 현재 하수처리시설의 방류수 수질기준은 2010년 12월31일까지 적용하고 이후에는 수질보전을 위해 방류수질기준을 강화하여 2012년 01월01부터 시행을 하고 있다.

이에 환경기준을 충족하기 위한 다양한 처리법이 개발 및 연구되고 있고, 신설 및 증설 되는 처리장에 공법을 적용하여 운영 되고 있다.

인천광역시에 소재한 하수처리장중 규모가 큰 가좌하수처리장, 승기하수처리장, 남항하수처리장에 대한 하수처리방법에 대한 공법을 이해하며, 공법의 효율성을 분석하여 신설 하수처리장의 계획 및 설계시 반영하고자 함에 목적이 있다.

2. 국내 하수처리 현황

2.1 국내 하수처리시설 현황

2010년 말 전국에 가동 중인 공공하수처리시설(개인하수처리시설 제외) 현황은 총 3064개소로 총 용량은 25,118천 m^3 /일 이며, 지역별 하수처리 시설용량은 서울특별시의 4개 처리장에서 5,810천 m^3 /일로서 국내 하수처리시설 용량의 25%를 차지하고 있고, 그중 서남 물 재생센터가 2,000천 m^3 /일로서 전국에서 가장 많은 양의 하수처리를 하고 있다.

2.2 국내 하수도 보급 현황

2010년 말 현재 총 인구 중 하수처리시설 및 폐수종말처리시설을 통해 처리되는 하수처리 구역내 하수처리인구 비율로 산정한 하수도 보급률은 90.1%이며, 시도별 하수도 보급률은 서울특별시(100%) 가장 높게 나타났으며, 전라남도(70.9%)로 낮은 수준이다.

이것은 전라남도 지역 특성상 섬마을의 분포 및 도시 지역보다 농촌지역이 많고 개인정화조를 사용 하는 지역이 많아 하수도 보급현황이 다른 지역에 비해 낮게 나타났다.

2.3 하수관거 보급현황

2010년 말 현재 하수관거 설치 연장은 113,494KM로 하수도 정비 계획상의 연장은 145,473KM의 78%에 해당하며 시도별 관거 보급률은 표2-3참조 및 서울특별시(100%), 와 광주광역시(95.6%)가 하수관거 보급현황이 가장 높게 나타났으며, 충청남도(66.1%), 전라남도(67.5%), 강원도(67.8%)는 낮은 수준으로 나타났다. 이는 수도권의 대도시와 인구 밀집지역에서 높은 보급률을 보인 반면 농촌지역 및 산간 지역의 하수관거 보급률이 낮은 것으로 파악됐다.

2.4 주민친화시설 설치현황

2010년 말 전국 470개 하수처리장(500 m³/일 이상)중 주민친화시설로서 공간을 활용하는 처리장은 442개소 이며, 주민친화시설 설치면적은 4,227,620m²이며, 전체 하수 종말 처리장 면적의 18.1% 해당한다. 이 중에서 제주도가 주민친화시설 설치면적167,117 m²이 타 지역 하수종말처리장 면적의 활용률중 비교적 높은 사용율을 나타내고 있다.

3. 인천지역 하수처리 현황

인천 지역은 크게 12개의 하수처리장이 있으며 각 구역 별로 세분화하여 각 사업소에서 관리 운영하고 있다.

3.1 일반현황

3.1.1 가좌하수처리장

인천광역시 서구 가좌동에 위치하고 있으며, 시설용량 350,000 m³/일로서 인천에서 규모가 큰 하수처리장 이고 1단계에서는 표준 활성슬러지법으로 처리하고 있고 2단계 고도처리방식은 4stage BNR 공법을 사용하여 처리한다.

2011년도 평균 유입하수량은 261,000 m³/일로 시설용량 대비 74.5%에 해당하고 있으며, 동구, 중구, 남구, 남동구, 부평구, 서구(6개구 51개동)에서 하수를 유입하여 처리하고 있다.

4stage BNR 공법은 혐기조 앞에 슬러지가 반송되는 전무산조를 두는 것이 다른 고도처리공정과의 차이점이다. 전무산조의 목적은 반송슬러지내의 질산이온이 혐기성조로 유입되는 것을 방지하여 생물학적인 제거를 위한 VFA를 최대한 이용 할 수 있도록 하는데 있다.

일반적으로 유입수의 10~15% 정도는 전무산소조로 유입시키는데 이것은 질산이온이 혐기조로 유입되기 전에 탈질을 돕기 위한 것이다. BNR 반응조는 1st Anoxic(전무산소조)→

Anaerobic(혐기조)→2st Anoxic(무산소조)→Oxic(포기조)의 4단계 구성되어 있다

전무 산소조는 반송슬러지내의 NO₃-N을 제거, 혐기조는 인용출을 위해, 무산소조는 내부 반송에 포함되어 있는 NO₃-N을 탈질 시키는 목적으로 설치 포기조는 유기물의 제거와 질소의 질산화 및 인의 과잉섭취를 목적으로 설치되었다.

3.1.2 승기하수처리장

인천광역시 연수구 동춘동에 위치하고 있으며, 시설용량 275,000 m³/일로서 1단계에서는 표준 활성슬러지법으로 처리하고 있으며, 2단계로 하수고도처리(MLE)공법+약품응집 방식을 도입하여 처리한다.

2011년도 평균유입하수량은 214,000m³/일로 시설용량 대비 77.8%에 해당하고 있으며 중구, 남구, 연수구(3개구 22개동)에서 발생하는 하수를 유입하여 처리하고 있다.

MLE공법은 생물학적으로 질소를 제거하기 위하여 무산소조와 호기조를 조합한 것으로 호기조에서는 유기물제거와 질산화를 통한 암모니아성 질소를 질산성 질소로 전환시키는 기능을 수행하고, 호기조에서 질산화된 혼합액을 무산소조로 내부 순환시켜 탈질반응에 의하여 질소가스로 제거한다. 즉, 무산소조에서는 유입하수의 유기물을 이용하여 호기조에서 반응되는 질산성 질소를 제거한다.

질소제거를 향상을 목적으로 2단 순환방식인 무산소-호기반응을 2단 직결로 조합시켜 유입수를 각단의 무산소 반응조에 단계 유입시킴으로써 높은 MLSS농도와 긴SRT 유지가 가능하다.

약품응집방식은 수중에 응집제를 투입하여 혼합, 교반시켜 응괴를 형성하고, 여기에 불순물을 흡착시켜 침전시키는 것을 말한다. 응괴의 침강속도가 커서 침강 시간을 단축시킬 수 있다.

3.1.3 남향하수처리장

인천광역시 중구 신흥동에 위치하고 있으며, 시설용량은 125,000 m³/일로서 Bio-SAC 공법을 사용하여 처리하고 있다. 이는 지하 하수처리시설로 운영하고 있다.

2011년도 평균 유입하수량은 90,000 m³/일로서 시설용량 대비 72%에 해당하고 있다.

중구, 남구, 연수구(3개구 22개동)에서 발생하는 하수를 유입하여 처리하고 있다.

Bio-SAC BNR공법은 혐기조,무산소조,호기조,내부순환수조로 구성되어 있으며 호기조내에 페타이어 담체를 충전하여 유동상 생물막 공정을 적용하여 호기조에서 담체의 표면에 부착된 미생물과 부유미생물을 함께 처리에 이용하여 생물 반응조에서 짧은 체류시간 동안에 하수중의 유기물과 질소, 인을 동시에 제거 할 수 있는 생물학적 하수처리기술이며, 또한 페타이어 담체가 입방체의 구조를 가진 호기조 내에서 유동하며, 별도의 Screen이 없이 호기조로부터 유출되지 않게 함으로써 미생물량을 증가시켜 짧은 시간에 오염물질의 처리가 가능한 기술이다.

3.2 고도처리공법의 수질 기준

고도처리는 3차 처리로서 2차 처리 후 남아 있는 부유물질과 용존 물질 제거에 필요한 추가처리로 부영양화 (eutrophication)와 관계되는 질소(N),인(P),화합물, 식물, 영양물 등을 효과적으로 제거한다.

처리장의 유출 수는 아직 여러 가지 형태의 오염물을 상당량 포함하고 있기 때문에 1,2차 처리는 영양소나 독성물질을 제거하는 데에는 효과적인 방법이 되지 않고 유량이 적은 하천에 방류되었을 때에는 하천의 용존산소(DO)를 감소시킴으로써 수서생물에 해를 끼치게 되며 하천의 오염을 초래 하게 된다. 3차 처리를 통하여 이러한 물질들을 제거할 필요가 있다. 이를 3차 처리 즉 고도처리(Advanced Treatment)라고도 한다.

<표 1> 방류 수질기준 2012년 01월 01일

구 분		BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	총질소 (mg/L)	총인 (mg/L)	총대장균 (개/mL)	생태독성 (TU)
1일하수 처리용량 500톤이 상	I 지역	5이하	20이하	10이하	20이하	0.2이하	1,000이하	1
	II 지역	5이하	20이하	10이하	20이하	0.3이하	3,000이하	
	III 지역	10이하	40이하	10이하	20이하	0.5이하		
	기타지역	10이하	40이하	10이하	20이하	2이하		
1일하수처리용량 50톤이상 500톤미만		10이하	40이하	10이하	20이하	2이하		
1일하수처리용량 50톤 미만		10이하	40이하	10이하	40이하	4이하		

<표 2> 지역별/구역별 기준

구 분	범 위
I 지역	- 「수도법」 제7조에 따른 상수원 보호구역 - 「환경정책기본법」 제22조 1항에 따른 특별 대책지역 - 영 제4조 3호에 따른 수변구역
II 지역	- 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제22조 2항에서 규정 하고 있는 중권역중 COD또는T-P이 당해 권역의 목표기준을 초과하였거나, 증가하고 있는 지역으로 환경부장관이 정하고 고시하는 지역
III 지역	- 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제22조2항에서 규정하고 있는 중권역중 I, II 지역을 제외한 4대강 본류에 유입되는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
기타지역	- I, II, III 지역을 제외한 지역

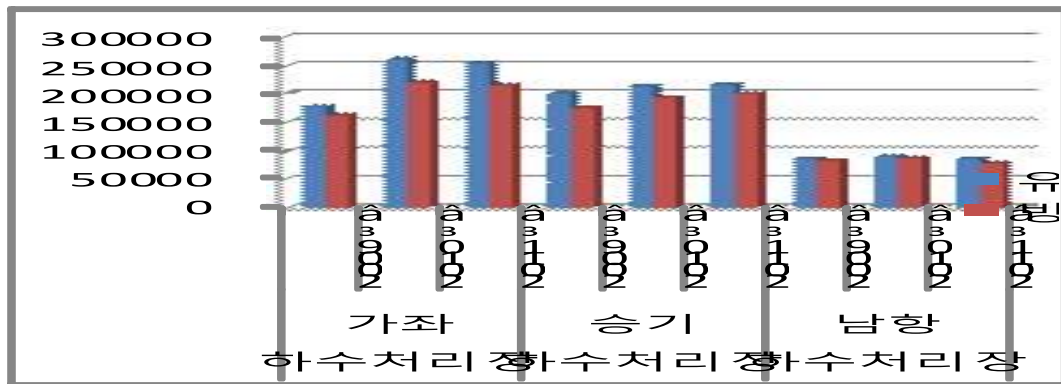
4. 사례분석

4.1 유입 및 방류량 분석

최근 3년간 평균 가좌하수처리장 유입하수량은 231,316 톤/일, 방류하수량은 199,151 톤/일로서 시설용량 대비 86%의 효율을 보이고 있다.

1단계 260,000 m³/일 규모의 시설로 운영중이었으나 2단계에서 90,000 m³/일이 추가되어 2010년도 중반부터 운영 중으로 나타났다. 승기 하수처리장 유입하수량은 210,632 m³/일, 방류하수량은 190,029 m³/일로서 시설용량 대비 90%의 효율을 보이고 있다. 남향 하수처리장 유입하수량은 87,625 m³/일, 방류하수량은 82,755 m³/일로서 시설용량 대비 94%의 효율을 보이고 있다.

연도별 유입하수대비 방류하수량 추이는 아래와 같이 3개 하수처리장중 남향 하수처리장이 94%로 2개 하수처리장에 비해 높은 효율을 나타내고 있다.



4.2 월별 하수량 분석

최근 3년간 월별 가좌하수처리장의 유입 하수량은 2010년 개보수 사업으로 2010년 초반부터 유입수량이 증가하는 하였고 2009년은 평균을 유지하였으나 2010~2011년에 6~9월사이의 우기철에 유입량이 평균 대비 115%의 증가율을 보이고 있고 강우량이 많은 달은 최대 122%~140% 높은 증가하는 것으로 나타났다. 승기 하수처리장은 유입량도 마찬가지로 6~9월 사이 강우량이 많아 하수처리장의 평균 유입량 대비 113%의 증가율 나타났으며, 최대 강우량이 많은 달은 최소120%~138%로 높은 증가율을 나타냈다. 이는 합류식 관거나 하천변 차집관거를 통해 강우 시 우수가 다량 유입되었다고 판단된다. 남향 하수처리장은 하수 유입량의 변동폭은 적으나 강우철 집중호우 발생 시 유입량이 크게 증가하는 것을 볼 수 있으며 최대 변동폭은 138%까지 증가하는 것을 볼 수 있다. 합류식 관거나, 차집관거를 통해 강우 시 우수가 다량 유입되었다고 판단된다.

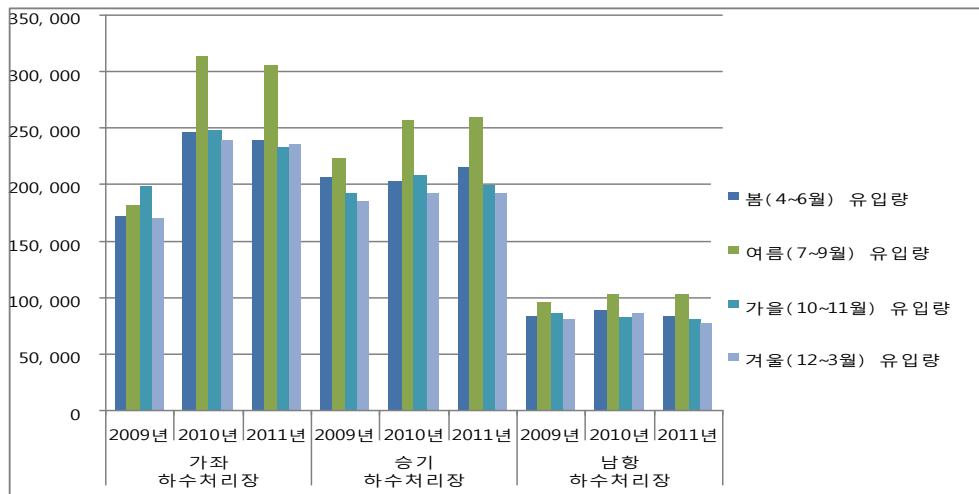
4.3 계절별 하수량 분석

계절별 하수처리장 유입량을 비교한 것으로 강우일수가 많은 여름철에 있어서 계절별 하수 유입·유출량에 비해 적게는 109%에서 많게는 120%의 초과 유입량이 발생하는 것으로 나타났다.

<표 3> 계절별 하수처리장 유입현황 단위:m³/일

구분	연도	봄 (4~6월)	여름 (7~9월)	가을 (10~11월)	겨울 (12~3월)	평균	최대
		유입량	유입량	유입량	유입량	유입량	유입량
가좌 하수처리장	2009년	172,755	181,512	198,627	170,720	180,904	109.8%
	2010년	245,992	314,580	248,061	238,949	261,896	120.1%
	2011년	239,768	306,172	232,936	236,785	253,915	120.5%
승기 하수처리장	2009년	206,341	223,771	192,261	185,711	202,021	110.7%
	2010년	203,373	257,048	208,209	192,404	215,259	119.4%
	2011년	215,472	260,201	199,889	192,739	217,075	119.8%
남향 하수처리장	2009년	83,569	95,262	86,449	80,974	86,564	110.0%
	2010년	88,679	103,011	83,207	86,487	90,346	114.0%
	2011년	84,075	102,986	80,642	77,834	86,384	119.2%

<그림 2> 계절별 하수처리장 유입 분석



4.4 유입 수질 분석

가좌하수처리장의 유입수질을 분석한 결과, 년 평균 수질 항목이 전체적으로 설계수질을 하회하는 것으로 나타났다.

<표 4> 가좌하수처리장의 설계수질 및 유입수질 (단위 :mg/ℓ)

구분		유 입 량		
		BOD	COD	SS
가좌 하수처리장	설계 수질	140	130	140
	2009년	140	117	88
	2010년	93.6	77.7	84.23
	2011년	118.8	108.4	125.50

승기하수처리장의 유입수질을 분석한 결과 년 평균 수질 항목이 전체적으로 설계수질과 유사하거나 높게 나타났다. 특히 BOD의 경우에는 설계수질이 155mg/ℓ이지만 실제 유입되는 BOD의 농도는 152.7 ~ 157.6mg/ℓ로 나타나 설계치를 넘어서는 수준으로 나타났다.

남동공단의 유입수의 농도가 일정하지 못하고 일일 편차가 심한 것을 볼 수 있다.

<표 5> 승기하수처리장의 설계수질 및 유입수질 (단위 :mg/ℓ)

구분		유 입 량		
		BOD	COD	SS
승기 하수처리장	설계 수질	155.0	125.0	150.00
	2009년	121.04	75.61	98.04
	2010년	152.7	112.4	127.99
	2011년	157.6	141.0	146.21

남향하수처리장의 유입수질을 분석한 결과 년 평균 수질항목이 전체적으로 설계수질에 크게 하회하는 것으로 나타났으며, COD의 경우 설계수질이 140mg/ℓ이지만 3년 평균 COD의 농도는 38.4mg/ℓ로 나타나 설계치의 27%의 수준을 나타나고 있다.

<표 6> 남향하수처리장의 설계수질 및 유입수질 (단위 :mg/ℓ)

구분		유 입 량		
		BOD	COD	SS
남향 하수처리장	설계수질	170.0	140.0	170.0
	2009년	77.9	38.2	89.1
	2010년	88.0	40.1	102.6
	2011년	92.4	37.1	97.88

4.5 인천시 하수관거 현황

인천지역 하수관거 보급률은 총 72.3%이며 옹진군이 14.9%로 하수관거 보급률이 현저하게 낮게 나타나고 있으며 그 뒤로 중구지역이 44.1%로 낮게 나타났다.

4.6 하수처리비용분석

2011년도 하수처리비용 중 전력비가 32%로 가좌하수처리장이 제일 많은 양의 전력소모량을 나타냈지만, 시설용량대비 계산 시 비슷한 전력 사용량을 가지고 있다. 그다음으로 인건비는 29% 남향하수처리장의 인건비 사용이 많으나 가좌 및 승기 하수처리장의 27%, 28%로 비슷한 수준이다.

5. 결론

환경부에서는 하수도법 시행규칙의 개정을 통해 공공하수처리시설의 방류수 수질기준을 대폭 강화하여 2012년 1월1일부터 하절기와 동절기의 기준을 동일하게 적용하도록 하였다. 동절기의 경우, T-N, T-P의 경우 60mg/ℓ와 8mg/ℓ로 하절기 20mg/ℓ와 2mg/ℓ 기준에 비해 완화된 기준을 적용하고 있었으나, 동절기 기온 저하에 따른 미생물의 수처리 저하요인으로 질소 및 인의 제거에 어려움이 있다.

이러한 수질 기준 강화를 통해 수질 오염을 원천적으로 해결된다면 이보다 좋은 방법은 없겠으나, 공공하수처리시설의 수질기준만을 강화한다고 강이나 바다의 수질이나 오염 정도가 좋아지는 것은 아니다. 기본적인 것들이 해결된다면 수질 기준 강화에 좋은 요인이 될 것이다. 개선방안으로 다음과 같은 3가지를 들고자 한다.

(1) 많은 고도처리 공법의 산재로 인한 운영효과의 미흡이다.

우리나라에 도입되어 운영되는 고도처리 공법은 다양하게 분포되어 있고, 대부분의 처리공정은 생물학적 영양염류 제거공법(BNR)으로 이루어지고 있다. 이러한 여러 종류의 생물학적 공법에 따라 시설물의 구조와 형태는 차이를 보이고 있지만 최종적으로 처리해야 할 대상물인 질소와 인 같은 영양염류의 처리 시스템이다.

고도 처리공법 중 Bio-SAC공법은 하수 및 폐수 내 오염물질의 처리 성능을 향상시킨 공법으로 오염물질을 제거하는 시간이 비교적 짧고 동시에 제거가 가능하다. 하지만 대규모 하수처리시설의 국내 적용실적이 많지 않아 실효성에 대한 검증이 되지 않았음. MLE공법은 기존활성슬러지 기존시설의 고도처리 시 적용이 용이하지만 질소를 제거하기 위한 공정으로 인 제거 시 추가적인 약품이 투입되어야 하며, 슬러지 처리시설 규모가 커지며 탈수케이크 처리 비용이 증가 한다.

이에 반해 막공법(MBR:Membrane Bio-Reactor)을 인천광역시 하수처리현장에 적용 하는 곳이 많이 있다.

부유고형물을 100% 제거할 수 있어 슬러지 침강성에 관계없이 안정적이고, 응집제 없이 운전이 가능하고 운전관리가 간단하고, 소독 및 여과공정이 불필요 하며, 대규모 하수처리시설에서의 사용이 가능하다.

이러한 공법의 산재를 몇몇 공법으로 축소하여 관리하게 된다면 처리효율의 극대화를 모색 할 수 있지 않을까 한다.

(2) 오수관거의 정비이다.

오수관거의 경우 대부분이 합류식으로 되어있어 우기철에는 다량의 우수가 유입되어 하수처리장의 성능을 저하 시키고 있으며 유입수의 증가로 처리가 제대로 이루어지지 않아. 방류수질을 악화시키는 주요한 요인이 되고 있다. 또한 하수관거의 노후로 인하여 불명수 및 우수가 오수관을 타고 들어오는 현상이 발생한다. 하수처리장의 건설 및 개보수도 중요하지만 오수관거와의 분류를 통하여 하수처리의 효율성을 증대 시켰으면 한다.

(3) 제조업체의 폐수무단방류 이다.

제조업체별 정화시설이 별도로 설치되어 있으나 처리비용 및 유지 관리비가 많이 소요된다는 이유로 불법으로 무단 방류관을 설치하여 하수관로로 내보내고 있다.

하수처리장에서 이 유입수를 받을 경우 처리비용 증가로 이어지고 있고, 이 피해는 고스란히 주민의 부담으로 돌아간다.

이 기본적인 3가지 요소만 해결된다면 하수처리장의 유지관리 및 운영에 많은 도움이 될 것이다.

6. 참고 문헌

- [1] 법률 - 하수도법 [2011.07.21]
- [2] 환경부 - 하수도법 시행규칙[2012.07.04]
- [3] 환경부 - 공공하수도시설 설치사업 업무 지침[2011.12]
- [4] 인천지역환경기술개발센터 - 만수하수처리시설 적정 하수처리량 산정 및 하수도 분야 업무편람 적성에 관한 연구[2010]
- [5] 환경부 - 하수처리장 운영결과 조사표 [2011]
- [6] 한국산업기술정보- 가좌하수처리장 운영현황 [2008]
- [7] 한국산업기술정보 - 승기하수처리장 운영현황 [2008]
- [8] 한국산업기술정보 - 남향하수처리장 운영현황 [2008]
- [9] 이진영 - 승기하수처리장내 생물학적 공정의 개선방안 연구 [2011.12]
- [10] 2011년도 공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과 [2012.07]
- [11] 인천지역환경기술개발센터 - 수질 기준강화에 대비한 인천지역 하수처리장 공정 진단 및 대처방안 도출 [2012]
- [12] 환경부 - 2010년 하수도 통계[2011]

- [13] 환경부 - 국가 하수도 종합계획 [2007.10]
- [14] 인천환경관리공단 - 홈페이지
- [15] 박남균 - 광주 제2하수종말처리장의 운영현황아 및 개선방안 연구 [2012.02]
- [16] 심영호 - 국내 하수처리공법의 특성에 관한 연구 [2010.02]
- [17] 대우건설 - 한국의 하수처리장
- [18] 환경관리공단 - 고도처리공법 [2003]