

발 간 등 록 번 호
11-1480523-001681-01

NEIR-RP2013-271

오염물질 저감 최신기술 분석을 통한 삭감량 산정기준 개발

물환경연구부 수질총량연구과

박준대, 박재홍, 김용석, 신동석, 박지형, 박배경, 오승영, 강민지, 황하선,
최문수, 정유진

Fundamentals for pollution load reduction evaluation of various emerging reduction technology

Jundae Park, Jaehong Park, Yongseok Kim, Dongseok Sin, Jihyeong
Park, Baegyeoung Park, Seungyoung Oh, Minji Gang, Haseon Hwang,
Munsu Choi, Eujin Jung

Water Pollution Load Management Research Division
Water Environment Research Department
National Institute of Environmental Research

2013

목 차

목차	i
표목차	iii
그림목차	iv
Abstract	v
I. 서론	1
II. 연구내용 및 방법	2
1. 오염원 저감시설 분석	2
2. 삭감량 산정기준 마련	2
III. 연구결과 및 고찰	4
1. 총량관리 삭감시설 적용현황	4
가. 낙동강수계	4
나. 금강수계	5
다. 영산강·섬진강수계	6
2. 오염물질 최신 저감기술	7
가. 점오염물질 저감기술	7
나. 비점오염물질 저감기술	16
3. 신규기술 삭감량 산정방법	17
가. 신규도입 가능기술	17
나. 삭감량 산정방법	18
(1) 고도산화법	18
(2) 축산계 위탁자원화 시설	21
(3) 빗물저류시설	25

목 차

IV. 결 론 30

참고문헌 31

표 목 차

<Table 1> The application state of reduction facilities for the 1 st and 2 nd TMDL stage in Nakdong river basin.	4
<Table 2> The application state of reduction facilities for the 1 st and 2 nd TMDL stage in Guem river basin.	5
<Table 3> The application state of reduction facilities for the 1 st and 2 nd TMDL stage in Youngsan·Seomjin river basin.	6
<Table 4> The current state of domestic new technologies for advanced treatment using suspended growth process.	7
<Table 5> The current state of domestic new technologies for advanced treatment using biofilm process.	9
<Table 6> The current state of domestic new technologies for advanced treatment using SBR.	10
<Table 7> The classification of Advanced Oxidation Process.	11
<Table 8> The current state of treatment technologies for non-biodegradable wastewater using photocatalyst.	12
<Table 9> The present installations of livestock bio-energy facilities.	22

그 립 목 차

<Figure 1> The UV disinfection process.	16
<Figure 2> The flow of wastewater in the Advanced Oxidation Process System.	19
<Figure 3> Photocatalytic Mechanism (a) and UV/TiO ₂ Advanced Oxidation Process System (b).	20
<Figure 4> The discharge pathway of livestock pollutants.	23
<Figure 5> The main processes in the bio-energy production facilities. ..	24
<Figure 6> The construction and cross section of a underground stormwater retention facility.	27
<Figure 7> The flow of stormwater runoff in the stormwater retention facility.	27

Abstract

As the reduction conditions change in the unit watersheds for the management of Total Maximum Daily Loads(TMDLs), the demand for the application of new technologies and advanced treatment systems is growing bigger for pollution load reduction. This study investigated emerging reduction technologies and prepared methods to calculate reduction amount for the newly applicable technologies.

New technologies such as suspended growth process, biofilm and SBR have been nationally developed for removing nutrients from wastewater, introducing to small scale sewer treatment plants recently, and advanced oxidation process(AOP) is an emerging technology for removing non biodegradable organics.

For the reduction of pollution loads from population, livestock and land use type sources which have been significant pollution sources in the unit watersheds in three river basins, UV/TiO₂ AOP System, consignment facilities for livestock resource recovery and stormwater retention facilities are worth consideration for newly applicatory technologies. We developed reduction calculating formulas of these new technologies in order to assess the reduction amount appropriately according to their characteristics and pollutant removal mechanisms. These equations can be used to provide materials for the revision of guidelines for TMDLs and for BMPs of non point sources. The equations can also be utilized as basis for the evaluation of reduction facilities in establishing plans and in assessing implementation appropriateness for the management of TMDLs.

Key words: Pollution load reduction, Unit watersheds, Total Maximum Daily Loads(TMDLs), Emerging reduction technologies, Reduction calculating formulas

I. 서 론

수질오염총량관리 지역에 대한 삭감여건이 변화함에 따라 오염물질 최신 저감기술과 새로운 삭감기술들에 대한 적용요구가 점점 증대되고 있다. 수질오염총량관리제도는 목표수질 한도 내에서 유역의 오염물질 배출총량을 관리하는 제도로서 농도관리의 한계를 극복하기 위하여 적용할 수 있는 방법이다¹. 수질오염총량관리제가 의무제로 시행되고 있는 3대강수계에서는 하수처리장의 신증설 및 방류수 수질개선 등을 통하여 단위유역의 배출부하량을 감소시키고 있다. 총량관리 단위유역에 대한 할당부하량을 준수하거나 지역개발부하량을 안정적으로 확보하기 위해서는 대상물질들에 대한 효과적인 삭감기술을 적용하여야 한다. 유역으로부터 발생하는 오염물질의 종류와 형태는 점점 다변화 되고 있으며, 더욱이, 2016년 3단계 이후에는 난분해성 유기물질 관리를 위한 총량관리 대상물질로서 TOC의 도입이 고려되고 있어, 오염물질 저감을 위한 신기술의 적용은 더욱 확대될 전망이다^{2,3,4}. 총량관리 대상물질의 추가선정 및 목표수질 강화 등에 따른 삭감량을 충족시키기 위해서는 다양한 삭감방안들을 통한 효과적인 유역관리 수단이 적용되어야 한다.

총량관리 지역에서는 계획수립 및 이행평가를 위한 삭감방법의 적정성을 검토하기 위하여 삭감량 산정기준을 활용한다⁵. 오염물질 처리기술의 발전 및 삭감여건의 변화 등에 대응하기 위해서는 수질오염총량관리 기술지침 등 관련 규정에 제시되어 있지 않은 오염물질 저감시설들에 대한 삭감효과를 적정하게 평가할 수 있어야 하며, 다양한 삭감방안이 도입될 수 있도록 삭감량 평가기반이 조성되어야 있어야 한다. 그러므로 오염물질 최신 저감기술이나 새로운 삭감시설을 총량관리 삭감방안으로 적용하기 위해서는 해당 삭감기술이나 시설들에 대한 삭감량 산정기준이 마련되어야 한다. 수질오염총량관리제에 적용 가능한 최신 저감기술들에 대한 국내외 동향을 파악함으로써 대상물질 선정에 따른 현재의 저감기술 수준 등 관리여건 분석을 위한 기반자료로 활용할 수 있다. 본 연구에서는 최근 국내·외에서 개발된 오염물질 저감 신기술들을 바탕으로 총량관리를 위한 신규도입 가능성 여부를 검토하고, 총량관리 삭감기반의 조성 및 삭감방안에 대한 평가기준으로 활용하기 위하여, 신규 도입가능 삭감시설들에 대한 삭감량 산정기준을 마련하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 오염원 저감시설 분석

가. 총량관리 삭감시설 적용현황 조사

수질오염총량관리제가 시행되고 있는 3대강수계를 대상으로 하여 제1단계 기간(2004~2010) 및 제2단계(2011~2015) 기간 동안에 적용된 삭감시설 현황을 조사하였다. 제1단계 총량관리 계획기간 동안에 적용된 삭감시설들은 3대강수계 제1단계 시행성과평가 자료를 토대로 하여 조사하였으며^{6,7,8}, 제2단계 삭감시설들에 대해서는 3대강수계 제2단계 광역시도별 기본계획 보고서에 계획된 삭감시설들을 토대로 하여 점오염원 삭감기술 및 비점오염원 삭감기술로 분류하여 조사하였다^{9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21}.

나. 오염물질 최신 저감기술 검토

국내·외 관련 자료들을 조사하여 오염물질 최신 저감기술을 검토하였다. 점오염원에 대하여서는 영양소(질소·인) 제거기술, 난분해성 제거기술, 용존유기물 제거기술 및 대장균 제거기술 등에 대하여 검토하였다. 비점오염원에 대하여서는 일반적인 비점오염물질 저감시설을 비롯하여, 최근 비점오염원 관리수단으로 새로이 적용되고 있는 기술들에 대하여 검토하였다.

2. 삭감량 산정기준 마련

가. 삭감시설 신규도입 가능성 검토

총량관리 지역의 주요 삭감대상 오염원인 생활계, 축산계 및 토지계의 오염물질 저감시설에 대한 신규도입 가능성을 검토하였다. 생활계 오염물질 저감기술은 현재까지 처리기술이 개발되어 점오염물질을 효과적으로 제거할 수 있는 시설에 대한 신규도입 가능성을 검토하였다. 축산계 오염물질 저감기술은 최근 삭감여건 변화에 따라 총량제의 적용 필요성이 제기되고 있는 저감시설에 대한 신규도입 가능성을 검토하였다. 토지계 비점오염물질 저감기술은 현재에는 비점오염원 저감기술에는 포함되어 있지 않으나, 향후 비점오염물질을 저감하는데 유용하게 활용될 수 있는 시설에 대하여 검토하였다.

나. 신규도입 가능시설 삭감량 산정식 작성

II. 연구내용 및 방법

신규도입이 가능한 삭감시설들에 대하여 시설별 특성과 오염물질 제거 기작들을 검토하였다. 시설별 삭감효과를 적정하게 평가할 수 있는 삭감량 산정식을 작성하여 총량관리 지역에 새로이 적용할 수 있는 삭감시설들에 대한 삭감량 산정기준을 마련하였다.

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

1. 총량관리 삭감시설 적용현황

가. 낙동강수계

낙동강수계 총량관리지역에 대한 삭감시설 적용현황은 다음 <Table 1> 과 같다. 낙동강수계에 대한 제1단계 (2004~2010) 시행성과를 분석한 결과, 점삭감시설은 하수관거정비와 마을하수도 신증설이 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 방류수 수질개선 및 하수처리장 신증설도 비교적 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 비점삭감시설은 4개의 시설이 설치되었으며 모두 완충형 저류시설로서 수질오염총량관리 기술지침과 비점오염원 최적관리지침상에 제시되어 있는 삭감방법이 적용되었다. 낙동강수계의 제2단계 (2011~2015) 삭감유형은 마을하수도 신증설이 전체 478개 삭감시설 중에 347개소(약 73%)로 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 마을하수도 신증설을 제외하고는 환경기초시설의 신증설 및 수질개선공정(고도처리)을 통한 삭감유형이 115개소로 약 24%를 차지하는 것으로 나타났다. 즉 처리시설의 신증설을 통한 처리물량의 증가, 고도처리공법의 도입을 통한 처리효율 증대 및 방류수 수질을 개선하여 삭감량을 확보하고자 하였다.

<Table 1> The application state of reduction facilities for the 1st and 2nd TMDL stage in Nakdong river basin

구분	삭감시설 종류	제1단계 삭감시설 (개소수)		제2단계 삭감시설 (개소수)	
		계획	실적	계획	비율(%)
점삭감	하수처리시설 신증설	16	14	38	8
	마을하수도 신증설	112	55	347	73
	고도처리시설 설치(방류수수질개선)	34	27	66	14
	하수관거정비	59	55	9	2
	하수관거확충	2	2	1	0
	오수처리시설 신증설	7	7	-	-
	시설폐쇄(의령하수처리장 연계처리)	1	1	-	-
	폐수종말처리장 신증설	3	3	1	0
	폐수처리시설 수질개선	1	1	-	-
	폐수처리장 고도처리추가	1	1	-	-
	축산폐수공공처리장 신증설	5	3	10	2
	축산사육두수관리	1	5	1	0

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

	개발유보	3	0	-	-
	기타	-	-	5	1
	소계	245	174	478	100
비점 삭감	비점저감시설 신설	9	4	-	-
	소계	9	4	-	-
	합계	254	178	478	100

나. 금강수계

금강수계 총량관리지역에 대한 삭감시설 적용현황은 다음 <Table 2>와 같다. 금강수계에서 제1단계 기간동안에 가장 많은 비중을 차지하는 삭감시설로는 마을하수도 신증설이 압도적으로 많은 것으로 조사되었으며, 환경기초시설의 방류수 수질개선 및 하수처리장 신설 등이 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 비점삭감시설은 3개 시설이 설치되었으며 장치형시설, BMP, 저류조 등 수질오염기술지침과 비점오염원 최적관리지침상에 제시되어 있는 삭감방법이 적용되었다. 금강수계의 제2단계 기본계획의 삭감유형중 마을하수도 신증설이 전체 587개 삭감시설 중에 264개소(약 45%)로 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 마을하수도 신증설을 제외하고는 환경기초시설의 신증설 및 수질개선공정(고도처리, 방류수 수질개선)을 통한 삭감유형이 173개소로 약 30%를 차지하는 것으로 나타났다. 즉 처리시설의 신증설을 통한 처리물량의 증가, 고도처리공법의 도입을 통한 처리효율 증대 및 방류수수질을 개선하여 삭감량을 확보하고자 하였다. 비점저감시설은 타수계에 비해 비교적 많은 14개 시설이 계획되어 있는데 신증설이 13개소로 대부분을 차지하고 있고 토지비점발생관리시설이 1개소 설치될 예정이다.

<Table 2> The application state of reduction facilities for the 1st and 2nd TMDL stage in Guem river basin

구분	삭감시설 종류	제1단계 삭감시설 (개소수)		제2단계 삭감시설 (개소수)	
		계획	실적	계획	비율(%)
점삭감	하수처리장 신증설	22	10	108	19
	마을하수도 신증설	57	43	264	45
	고도처리시설 설치(방류수질개선)	12	15	13	3
	하수관거정비	15	9	24	4
	하수관거확충	4	0	6	1
	분뇨처리장 방류수질개선	1	1	-	-
	분뇨처리장 이송	1	1	-	-

III. 연구결과 및 고찰

	폐수처리장 신증설	-	-	1	0
	폐수처리장 방류수질개선	7	7		
	축산공공처리장 신증설	9	3	32	5
	기존시설 이용	2	2	-	-
	축산폐수처리장 이송연계	12	3	-	-
	축산 기존처리장 위탁	8	0	-	-
	축산 자원화시설 신설	-	-	19	3
	축산 사육두수 관리	1	0	1	0
	개발유보	7	0	-	-
	기타	2	3	1	0
	소계	160	97	469	80
비점 삭감	비점저감시설 신설	8	3	14	2
	소계	8	3	14	2
	합계	168	100	583	100

다. 영산강·섬진강수계

영산강·섬진강수계 총량관리지역에 대한 삭감시설 적용현황은 다음 <Table 3>과 같다. 영산강·섬진강수계에서 1단계 계획기간의 삭감시설은 마을하수도의 신설이 가장 많은 비중을 차지하였으며, 하수처리장 신설, 하수관 거정비, 방류수 수질개선 등의 순으로 나타났다. 영산강·섬진강수계의 제1단계 계획기간의 삭감시설 중에는 비점삭감시설은 없는 것으로 조사되었다. 영산강·섬진강수계의 제2단계 기본계획에서 삭감계획으로 제시하고 있는 삭감시설의 유형은 마을하수도 신설이 가장 많은 173개로 나타났으며, 이를 제외하고는 환경기초시설의 신증설 및 수질개선공정(고도처리, 방류수 수질개선, 처리효율 개선)을 통한 삭감유형이 주를 이루고 있다. 비점저감시설은 1개소가 신설되는 것으로 계획되어 있는데 소요비용 대비 삭감량 확보의 미비, 유지관리의 어려움 등으로 인해 비점저감시설의 활성화가 저조한 것으로 판단된다. 점오염원 삭감시설과 비교해 볼 때, 현재 수질오염총량관리에 적용되고 있는 비점오염원 삭감시설의 적용사례는 3대강 모두 많지 않은 실정이다.

<Table 3> The application state of reduction facilities for the 1st and 2nd TMDL stage in Youngsan·Seomjin river basin

구분	삭감시설 종류	제1단계 삭감시설 (개소수)		제2단계 삭감시설 (개소수)	
		계획	실적	계획	비율(%)
점삭감	하수처리장 신증설	11	9	15	7.0
	마을하수도 신설	219	131	173	80.5

III. 연구결과 및 고찰

	마을하수도 시설개선	1	0	-	-
	고도처리시설 설치(방류수질개선)	3	3	9	4.1
	하수관거정비	21	5	8	3.7
	하수관거확충			2	0.9
	오수처리시설	1	1	-	-
	배출업소 처리효율 개선			1	0.5
	축산폐수공공처리장 신증설	21	6	4	1.9
	축산 자원화시설 신설			2	0.9
	기타	4	1	-	-
	소계	281	156	214	99.5
비점 삭감	비점저감시설 신설	-	-	1	0.5
	소계	-	-	1	0.5
	합계	281	156	215	100

2. 오염물질 최신 저감기술

가. 점오염물질 저감기술^{2,3,4}

(1) 영양소(질소·인) 제거기술

하수 내의 영양염류 제거를 위한 국내 신기술 현황을 살펴보면 1995년 이후로 건설교통부 한국건설교통기술평가원에서 지정한 하수고도처리 관련 건설신기술이 10건이며, 1998년 이후로 환경부 환경관리공단에서 지정한 환경신기술이 42건으로 조사되었다.

일반적으로 생물학적 방법은 반응조내의 미생물 성장방식에 따라 부유성장 방식과 생물막법으로 구분하고 있다. 부유성장방식에 따른 하수고도처리는 <Table 4>에 나타내었으며, 생물막법에 의한 고도처리는 <Table 5>에 나타내었다. 단일반응조 공법은 단일반응조에서 반응과 침전이 연속적으로 일어날 수 있게 하는 생물학적 하수처리 공법인데, 반응시간과 침전시간을 적절하게 운용하면 생물학적 질소 및 인 제거효과를 나타낼 수 있기 때문에, 근래 중·소규모 하수처리장에 많이 도입되고 있는 실정이다(Table 6 참조).

<Table 4> The current state of domestic new technologies for advanced treatment using suspended growth process

기술명	기술내용 및 특성	처리수 평균농도	비고
전무산소, 혐기, 간헐포기를 이용한 하수 처리기술	-전무산소조(0.82)/혐기조 (0.82) /간헐포기조 (6.13)/침전조(6.02)로 구성 -전체 HRT는 13.79 hr -반송슬러지내의 NO ₃ -N을 전무산소조에서탈질	BOD 6.2 SS 10.3 T-N 11.6 T-P 1.1	- 삼성물산 -2001 환경 신 기

III. 연구결과 및 고찰

	→ 혐기조 인방출 효율 향상 -유입수를 전무산소조와 혐기조로 분할유입		술지정
무산소/혐기/호기/탈기조와 침지식 증공사막을 이용한 하수 고도처리 기술 (HANT®)	-무산소(1.8)/혐기(0.8)/호기 (3.1)/탈기조(0.3)로 구성 -전체 HRT는 6 hr -침전조 대신에 호기조내에 증공사막을 설치하여 고액분리 및 대장균 제거기술 -증공사막 오염시 호기조 내에서 NaOCl을 이용하여 자연유하 방식으로 세정	BOD 1.1 SS 1.1 T-N 7.4 T-P 0.6 대장균군수 불검출	- 현대엔지니어링, 대한통운 -2001 환경신기술지정
슬러지 재포기에 의한 하수 고도처리 기술 (DASPro)	-혐기(1.0)/무산소(2.8)/호환(2.0)/호기(2.0)/재포기(2.8)/탈산소조(0.3)로 구성 -전체 HRT는 10.9 hr -수온조건에 따라 호환조를 무산소 또는 호기조건으로 변환 운전함으로써 저수온에서도 질산화율 유지 -재포기조에서는 슬러지 재포기를 통해 호기 SRT(ASRT)를 증가 -무산소조에서 혐기조로 내부반송을 통해 인 제거	BOD 6.2 SS 9.4 T-N 8.1 T-P 0.5	-대림산업 -환경신기술지정
유로변경형 질소·인 하수 고도처리 기술 (HDF Process)	-혐기/제1,2반응조/제3반응조, 재포기조/ 침전조/(사여과) -전체 HRT는 9.6-13.3 hr -유로변경에 의해 제1반응조와 제2반응조로 유입원수교대 유입 -각 반응조를 내부반송없이 간헐포기방식으로 운전하여 질산화와 탈질화 조건을 번갈아 유지함	BOD 1.1 SS 2.4 T-N 12.4 T-P 0.5	-한화건설, 한화석유화학 -환경신기술지정
혐기·무산소공정의 유동적변환에 의한 하수 중의 질소·인 제거 기술 (HIBNR)	-전무산소조(0.37)/혐기조(1.11)/무산소조(1.11)/포기조(7.73)/침전조 (3.23)로 구성 -전체 HRT는 13.55 hr -유입하수 온도조건에 따라 혐기조와 무산소조의 운전 변환 가능 -내부반송에 의한 유기물 이용효과 향상시켜 탈질 및 인 과잉섭취를 유도	BOD 4.1 SS 3.0 T-N 8.3 T-P 0.32	-현대산업개발 -환경신기술지정
Step Feed System을 이용한 5-Stage BNR 공정 (PADDO Process)	-전무산소조(0.50)/혐기조(0.99)/제1무산소조(0.54)/제2무산소조(2.11)/호기조(3.59)의 5단 구성 -전체 HRT는 7.73 hr -유입하수를 전무산소조, 혐기조 및 제2무산소조로 분할 주입 -고농도 미생물 유지로 부하변동에 강하며 외부탄소원없이 탈질 및 인섭취 가능	BOD 6.8 SS 8.7, T-N 8.7 T-P 0.6	-삼성엔지니어링 -환경신기술지정
DBS 공정을 이용한 하수 질소·인 거공법 (DBS Process)	-생물흡착조(0.33)/생흡착침전조(1.0)/질산화조(1.97)/인방출조(0.57)/질산화 침전조(1.79)/탈질조/인흡수조(0.64)/최종침전조(2.51)로 구성 -전체 HRT는 8.81 hr -생물흡착(Biosorption)에 의해 유기물질(인포합)과 용존성질소를 분리하여 질소와 인의 처리공정 이원화 -질산화조는 C/N비를 낮춰 질산화 효율 향상 -인방출조는 혐기상태에서 단시간에 인방출량을 높여 HRT 단축과 효율향상 시킴	BOD 6.1 SS 5.0, T-N 8.4 T-P 0.65	-환경시설관리공사 -환경신기술지정
혐기 및 2단교호간헐포기를 이용한 하수의 생물학적 질소·인	-혐기조/(1.51)제1단 교호간헐포기조(2.30)/제2단 교호간헐포기조(2.30)/침전조로 구성 -침전조를 제외한 전체 HRT는 6.11 hr -제1, 2단 교호간헐포기조에서 호기/무산소 조	BOD 10.0 SS 3.4 T-N 10.99	-신원이엔비 -환경신기술지정

III. 연구결과 및 고찰

제거공법 (KSBNR [®] 공법)	건을 반복 운전하여 짧은 HRT 조건으로 영양염 제거	T-P 0.28	정
---------------------------------	-------------------------------	----------	---

<Table 5> The current state of domestic new technologies for advanced treatment using biofilm process

기술명	기술내용 및 특성	처리수 평균농도	비고
페타이어담체 (Bio-SAC)를 이 용한 유동상 생 물막법 영양염류 제거기술	-혐기조(1.51)/무산소조 (2.01)/호기조(2.26)/내 부반송조(0.33)/침전조 (2.46)로 구성 -전체 HRT는 8.57 hr -호기조에 페타이어담체 (Bio-SAC, Bio-Samkwang Aqua Clear)로 충전한 유동층 생물막 공정 -담체 부착미생물과 부유 미생물을 함께 이용 하여 짧은 체류시간 운전 가능	BOD 10.4 SS 8.7 T-N 8.5 T-P 0.7	- 포스코 개발 - 환경신 기술지정
미생물 담체 (Bio Cube)를 이 용한 하수고도처 리기술	-혐기조(1.01)/무산소조(2.10)/호기조(3.46)/침 전조로 구성 -전체 HRT는 6.57 hr -유입수를 혐기조와 무산소조로 분할 유입 -호기조에 미생물 담체 (BioCube)를 충전하여 미 생물 보유량 증대 → 부하변동 ↑, 질산화효율 ↑, 수리학적체류시간 ↓	BOD 3.7 SS 3.0 T-N 7.6 T-P 0.6	- 코오롱 건설 - 환경신 기술지정
전탈질 생물여 과 공정을 (BIOFILTM) 이용한 하수 소제거기술	- 무산소(0.45)/호기조(1.36)/처리수조(역세용 수)로 구성 - 전체 HRT는 1.81 hr -무산소와 호기성 생물여과조에 BIOFILTM여과 (Expanded Clay)를 충전한 상향류 전탈질 공정 - 여과층에 의한 물리적 여과 기능과 여과층에 부착된 미생물막의 포획기능 및 생물학적 분해 기능을 이용	BOD 4.2 SS 5.1 T-N 11.8 T-P 1.3	- 삼성엔 지니어링 - 환경신 기술지정
EPP(Expanded Poly-Propylene) 부상식 여재를 이용한 생물학적 하수고도처리기술	-혐기조/무산소조/호기조/침전조/생물막여과 반응조(BAF : Biological Aerated Filtration) 공 정으로 구성 -혐기조와 무산소조에서 유입수 중의 유기물을 이용하여 질소·인 제거 -EPP 부상식 여재가 충전된 BAF에서 침전조 월 류수 질산화 및 부유물질 여과	BOD 5.7 SS 6.4 T-N 9.1 T-P 0.9	- SK건설 - 환경신 기술지정
패키지형 DNR 공법을 이용한 하수고도처리	-슬러지탈질조(0.5)/혐기조 I (0.76)/혐기조 II (0.76)/무산소조 I (1.03)/무산소조 II(1.03)/포기 조 I (1.12)/포기조 II(1.12)/포기조 III(1.12)/침전 조(1.62)로 구성 -포기조 내에 담체 충전, 포기조 III에서 무산소조 I로 내부반송하여 질산화 효율 향상시킴 -침전조 슬러지를 슬러지 탈질조로 반송, 반송슬 러지 내의 NO ₃ -N을 내생탈질, 혐기조에서 인 방출 유도	BOD 3.7 SS 3.0 T-N 7.6 T-P 0.6	- 대우 건 설 - 환경신기 술지정
CN-Biocontact 담체를 이용한 하수 고도처리기 술	-무산소조 I / 호기조 I, II / 무산소조 II / 호기조 III, IV / 침전조로 구성 -각각의 호기조들에 CN- Biocontact 담체를 5% 미만으로 충전하여 부유/ 부착성장 미생물 합	BOD 10 SS 10 T-N 10	- 청록환 경 엔 지 니 어 링, 부 산 대

III. 연구결과 및 고찰

	<p>계 이용</p> <p>-전체 HRT 6hr 조건에서 유기물과 질소 동시제거</p> <p>-ORP 모니터링을 통한 외부탄소원 주입 제어시스템 구축 및 낮은 반응율</p>	T-P 1	<p>학교 환경문제 연구소</p> <p>- 환경신기술지정</p>
<p>다단유입 및 고정상 담체를 이용한 하수 고도처리기술 (MS-BNR Process)</p>	<p>-무산소1(3.07)/호기1(3.33)/무산소2(2.77)/호기2(2.77)/무산소3(1.85)/호기3(1.85)</p> <p>-무산소/호기조가 연속 3단 으로 구성된 공정에 하수를 각 무산소조로 균등분배유입시켜 질산화/탈질을 반복</p> <p>-각 호기조에 고정상 담체 (Bio-Ring) 충전</p>	<p>BOD 6.3</p> <p>SS 3.1</p> <p>T-N 16.7</p> <p>T-P 1.7</p>	<p>- 환경시설관리공사</p> <p>- 환경신기술지정</p>
<p>CIMEN- DOC 고정상 담체를 이용한 하수의 유기물 및 질소·인 고도처리기술(TBCR)</p>	<p>-혐기조(1.27)/포기조 I(2.43)/포기조II(0.82)/포기조 III(1.66)/침전조(3.54)</p> <p>-각 포기조 내에 씨넨탁 (CIMEN-DOC) 고정상 담체 충전을 통해 슬러지 내부반송 배제</p>	<p>BOD 10</p> <p>SS 7.2</p> <p>T-N 12.9</p> <p>T-P 1.4</p>	<p>-태영, 씨아이바이오택</p> <p>- 환경신기술지정</p>

<Table 6> The current state of domestic new technologies for advanced treatment using SBR

기술명	기술내용 및 특성	처리수 평균농도	비고
A C S 공법 (Aerobic solids retention time Control System)	<p>-유입펌프조/반응조/침전조</p> <p>-단일반응조내에서 간헐포기에 의한 호기·혐기 조건의 반복</p> <p>-잉여슬러지의 직접 인발로 ASRT (호기적 고형물 체류시간)을 가변적으로 조절 → 반응조 MLSS 와 SRT 조절이 용이</p>	<p>BOD 5.9</p> <p>SS 7.0</p> <p>T-N 8.6</p> <p>T-P 0.58</p>	<p>- (주)환경시설관리공사</p> <p>- 환경신기술지정</p>
단일반응조 간헐 방류식 장기포기 공정에 의한 하수고도처리 기술 (KIDEA Process)	<p>-단일반응조(포기, 침전, 방류단계 연속진행)</p> <p>-평균 HRT는 15.3 hr</p> <p>-단일반응조(SBR) 하부의 원수균등분배장치에 의한 하수의 연속적 주입시스템</p>	<p>BOD 5.3</p> <p>SS 2.7</p> <p>T-N 7.0</p> <p>T-P 0.7</p>	<p>- 금호산업(주)</p> <p>- 환경신기술지정</p>
속도가변 부유식 표면포기장치와 Air Vent식 배출장치를 이용한 하수의 생물학적 고도처리기술	<p>-단일반응조(유입, 무산소, 호기, 침전 및 방류 공정이 주기적으로 이뤄짐)</p> <p>-평균 HRT는 19.4 hr</p> <p>-호기조건에서 포기장치 회전수를 DO 농도에 비례제어</p> <p>-Air Vent식 배출장치를 적용하여 처리수를 안정적으로 배출</p>	<p>BOD 6.8</p> <p>SS 8.7</p> <p>T-N 8.7</p> <p>T-P 0.6</p>	<p>- (주)상원이앤씨</p> <p>- 환경신기술지정</p>
전무산소조, 혐기조 및 침전구역이 설치된 SBR 하수고도처리 기술 (TSBR)	<p>-전무산소(0.51)/혐기(0.97)/SBR(무산소/호기/침전/배출(16.1)로 구성</p> <p>-전체 평균 HRT는 17.58 hr</p> <p>-혐기조에서 SBR1 및 SBR2에 교대로 연속적으로 하수 유입시켜 무산소/호기/침전/배출 공정을 주기적으로 운전</p> <p>-전기신호방식으로 개도조작 가능한 부유식 Decanter 적용, 처리수 배출량 조절</p>	<p>BOD 7.6</p> <p>SS 2.6</p> <p>T-N 4.9</p> <p>T-P 0.27</p>	<p>- (주)태영</p> <p>- 환경신기술지정</p>
SBBR공정의 침전된 슬러지를 회분식 혐기조/유량조정	<p>-회분식혐기조/SBBR 반응조 (무산소/호기/침전/방류/인발/휴지/슬러지반송)으로 구성</p> <p>-하수는 회분식혐기조로 간헐 유입되고 SBBR 반</p>	<p>BOD 7.9</p> <p>SS 3.2</p> <p>T-N 12.0</p>	<p>- (주)환경비전 21</p>

III. 연구결과 및 고찰

조)로 반송하는 Hybrid SBBR 공정의 하수고도처리기술 (BCS-II 공법)	응조에서 무산소/호기/침전/방류 단계를 24회 반복 운전 -SBBR 반응조 전단에 세라믹 여재를 충전하여 부유 및 부착 미생물함께 이용	T-P 0.43	- 환경신기술지정
---	--	----------	-----------

(2) 난분해성 유기물질의 제거기술

난분해성 폐수의 처리방법은 일반적으로 물리/화학적 방법과 생물학적 방법으로 나누어지며, 난분해성 유기화합물의 처리현장에서 적용되고 있는 국내 기술들은 혐/호기 생물학적 처리, 활성탄 흡착, 역삼투, 펜톤산화 등이 있다. 혐/호기 생물학적 처리는 오염물질을 무해화시키고 에너지를 얻을 수 있다는 장점에도 불구하고 독성물질이나 생물학적 난분해성 물질에 대한 적용 제한성을 가진다. 활성탄 흡착은 대부분의 난분해성 및 독성물질에 대해 적용 가능하며 높은 처리효율을 가지지만 수질조건과 사용연한에 따라 흡착 성능이 저하되어 활성탄 재생 및 교체 비용이 소모된다. 역삼투 처리공정은 높은 처리효율에도 불구하고 많은 초기 투자비가 소요되며 처리시 발생하는 폐농축액의 재처리 문제와 막의 fouling 현상에 따른 역삼투막의 교체 등의 비용이 발생하는 문제점이 있다. 펜톤산화 공정은 난분해성 유기물을 생물학적 분해 가능한 물질 및 저독성의 물질로 전환시킴으로서 생물학적 처리 공정의 전처리로 많이 이용되며 2차 오염에 대한 문제점이 적다. 그러나 소모성 약품비용 및 철염 사용에 따른 과량의 슬러지 발생 및 처리 등의 문제가 존재한다. 갈수록 복잡 다변화되는 폐수들에 대한 기존의 물리/화학적 처리 방법은 한계를 가지므로 최근 고도산화법(Advanced Oxidation Process, AOP)에 대한 관심과 기술개발이 활발히 이루어지고 있다. 고도산화기술들은 폐수의 성상에 따라 가장 적합한 기술을 선택하는 것이 매우 중요하며, 이때 고려되어야 할 것은 처리성과 경제성이다. 고도산화기술은 반응매체의 조건에 따라 다음 <Table 7>과 같이, 액상만 존재하는 homogeneous와 액상 이외에 고상도 함께 존재하는 heterogeneous 시스템으로 구분되며 각각의 시스템은 일종의 촉매제로써 UV의 사용여부에 따라 다시 분류될 수 있다.

<Table 7> The classification of Advanced Oxidation Process

반응매체의 조건	광원조건	AOP 공정구성
균일계 (Homogeneous)	조사(照射) (with irradiation)	O ₃ /UV H ₂ O ₂ /UV Electron beam Ultrasonic(US)

III. 연구결과 및 고찰

불균일계 (Heterogeneous)		H ₂ O ₂ /US
	비조사(非照射) (without irradiation)	O ₃ /H ₂ O ₂ H ₂ O ₂ /Fe
	조사(照射) (with irradiation)	TiO ₂ /O ₃ /UV TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV
	비조사(非照射) (without irradiation)	Electro-Fenton Solid Catalyst/O ₂ Solid Catalyst/H ₂ O ₂ Supercritical Wet Oxidation

최근에는 화학적 방법 중에서 전자빔, 광촉매, 초음파, UV, 오존, H₂O₂ 등을 이용하는 고도산화공정이 첨단 분야로 주목받고 있다. 이러한 고도산화기술은 산화제와 촉매를 이용하여 반응성이 높은 OH[·] 라디칼을 생성시켜 오염물질을 산화시키는 방법이다. 광촉매 관련 기술 및 제품의 시장형성은 국제적으로도 아직 도입기~발전기 단계에 있어 2005년부터 본격화 되고 있으나, 국내의 경우 아직 대부분이 연구개발 단계에 있다(Table 8 참조).

<Table 8> The current state of treatment technologies for non-biodegradable wastewater using photocatalyst

처리방법 및 공정	대상폐수	공정 내용	처리효율 및 특성	비고
TiO ₂ 와 UV를 이용한 광촉매 산화.	-염색폐수의RhB (Rhodamine B). -RhB 농도는 약 12 mg/L.	- 유동층과 UV/TiO ₂ 를 이용하여 발암성 안료물질인 RhB의 색도 제거	- 고정화된 TiO ₂ 조건 및 체류시간 45분 조건에서 100% 제거	실험실 규모
TiO ₂ 광촉매 박막 제조 및 에틸렌 산화.	-석유화학산업에서 발생하는 VOC 물질인 에틸렌.	- 분말상태로 이용하여 촉매의 손실이 발생하고 회수가 힘든 TiO ₂ 를 박막형태로 지지체에 고정화시키는 기술 - TiO ₂ 박막 제조기술로 CVD (Chemical vapor deposition)법을 적용 - 에틸렌 처리성능	- CVD법으로 합성한 TiO ₂ 박막은 기타 제조법에 비해 표면 거칠기가 커져 표면적이 크게 증가함 - 고온조건, 낮은 에틸렌 유속에서 제거효율이 높아짐	실험실 규모
UV/H ₂ O ₂ 산화와 UV/TiO ₂ 광촉매 산화	- 염색폐수의 TOC와 색도 - pH 10 - 색도 930-1,200 - TOC 약 250mg/L - NH ₃ -N 35mg/L	- UV/H ₂ O ₂ , UV/ TiO ₂ 모두 UV 램프를 광원으로 이용하여 침출수의 TOC와 색도제거 정도를 관찰	-UV/H ₂ O ₂ 는 pH2,H ₂ O ₂ 200mg /L 주입조건에서 TOC와 색도제거율이 각각 35와 87% - UV/ TiO ₂ 는 pH4, TiO ₂ 주입량 2g/L에서 TOC와 색도 제거율이 각각 76과	실험실 규모

III. 연구결과 및 고찰

화	- Cr, Fe, Zn 검출		99%	
PHOTO X(광촉매산화국산신기술)	- 매립장 침출수 (김포 수도권 매립지) - COD _{Cr} 1,124mg/L - BOD 56mg/L - SS 394mg/L	- 혼합조(침출수, TiO ₂ 분말, H ₂ O ₂ 혼합) - 광촉매 산화반응기 (UV 조사) - 광촉매 분리기(처리수에 슬러리 상태로 존재하는 TiO ₂ 를 분리시켜 혼합조에 재유입) - 광촉매 반응시간은 5~60분 - UV 램프 파장은 254~380nm	- 광촉매 반응기 내부에 설치된 Baffle이 난류를 형성시켜 UV와의 반응시간을 최대화시킴 - 폐수처리에 적합한 UV 파장을 조사하는 중압램프 - 연속순화방식으로 다량의 폐수에도 적용가능 - TiO ₂ 회수에 점토 재질의 Clay filter 사용 및 Scrapper 주도의 촉매 회수 - COD _{Cr} 76% - BOD 73% - SS 95%	건설신기술 제 230호

(3) 잔류 SS 및 잔류 용존유기물 제거기술

(가) 급속여과법

급속여과법은 안정된 처리성능을 얻을 수 있고, 운전도 용이하여 SS 처리에 널리 이용되고 있다. 급속여과법은 모래, 안트라사이트 등의 입상여재로 이루어진 여층에 비교적 높은 속도로 유입수를 통과시켜 여재에의 부착 또는 여층내에 걸리는 등의 처리기작에 의해 부유물을 제거하는 방식이다.

(나) 마이크로스트레이너

마이크로스트레이너(microstrainer)는 2차처리 유출수의 잔류부유물질을 여과망에 통과시켜 제거하는 시설로서, 가변저속(4rpm)의 중력유압식으로 운전되는 회전드럼여과기의 일종이다. 여과망은 23~35 μ m의 간격을 가지며 드럼주위에 설치되어 있다. 유입수는 드럼내부로 유입되어 회전 여과망을 통과해 유출되어지며, 역세척은 자동으로 이루어진다. 마이크로스트레이너는 유지관리비가 저렴하고 손실수두가 작으며 건설비가 낮다는 이점은 있으나 사여과나 응집침전 등에 비하여 처리효율이 떨어지는 단점이 있다. 마이크로스트레이너의 전형적인 SS제거율은 약 55%이고, 그 범위는 유입수의 성상에 따라 10~80% 정도이다.

(다) 기계식 표면여과기

표면여과(surface filtration)는 얇은 격벽(septum; 여재)을 통해 액체를 통과시켜 기계적 체거름에 의해 액체 안의 부유입자들을 제거하는 것이다. 여과 격벽으로 사용되는 물질에는 엮어진 금속직물, 섬유직물, 합성물질 등이 있다. 섬유여재(cloth-medium) 표면여과의 간극 크기는 10~30 μ m 정도이며, 대표적인 섬유여재(cloth-medium) 표면여과기에는 디스크필터(Disc Filter, DF)

와 섬유여재디스크필터(Cloth-Media Disk Filter, CMDF) 등이 있다.

(라) 디스크 필터(Disc Filter, DF)

DF는 두 개의 수직으로 세워진 평행한 디스크 양면에 여과섬유를 댈 여러 개의 디스크로 이루어지며, 각 디스크는 중앙의 유입수 공급관으로 연결되어 있다. 전형적인 운전방식은 물이 중앙 수로로 들어와서 여재 섬유를 통과하여 바깥으로 흐르며, 일반적인 운전시 DF 표면적의 60~70%가 물에 잠기고 디스크는 수두손실에 따라 1~8.5회전/분의 속도로 회전한다. DF는 간헐식 또는 연속식 역세척방식으로 운전할 수 있으며, 연속세척식 방식으로 운전할 때는 DF 디스크는 여액을 생산하고 동시에 역세척되며, 운전초기에 유입수가 중앙 유입관으로 들어온 뒤 디스크로 배분되며, 디스크가 잠겨 있는 동안, 물과 섬유 스크린의 간극보다 작은 입자들은 여재를 통과하여 유출수 집수로로 흐르고 스크린보다 큰 입자들은 갇히게 된다.

(마) 섬유여재디스크 필터(Cloth-media Disk Filter, CMDF)

섬유여재디스크 필터는 폴리에스테르로 만들어진 needle felt cloth나 synthetic pile fabric cloth 등의 다른 형태의 섬유가 사용되며, needle felt cloth는 입자 제거를 용이하게 하기 위해 임의의 3차원 구조를 갖고 있다. 전형적인 CMDF의 운전은 물이 유입수로로 들어 와서 여재 섬유를 통해 중앙의 집수관이나 헤더로 흐르고, CMDF여액은 중앙의 파이프나 여액 헤더에 모인 후 유출수로의 율류 위어를 넘어 최종 방류되며, 찌꺼기가 여재의 표면이나 안에 축적됨에 따라 흐름에 대한 저항이나 수두 손실이 증가하고, 여재의 수두손실이 미리 정해진 수준에 도달하면 디스크를 역세척하며, 역세척 주기가 끝난 후 여과지는 다시 정상적으로 운전된다.

(바) 활성탄 흡착법

흡착은 물리적 흡착과 화학적 흡착으로 분류되는데, 물리적 흡착은 주로 van der waals 힘에 의하여 가역적으로 발생하고, 화학적 흡착은 화학반응이 흡착제와 흡착된 용질 사이에서 발생하며 그 반응은 보통 비가역적으로 하수처리의 경우에 매우 미약하다. 활성탄 흡착은 동력요구에 따라 중력식과 압력식이 있는데 가능하다면 중력식으로 하는 것이 운영비가 적게 요구되며, 둘째는 유체의 흐름에 따라 상향식과 하향식으로 구분되며, 마지막으로 활성탄층이 고정되는지 아니면 팽창되는지에 따라 고정상과 유동상으로 구분된다. 고정상 흡착탑을 사용하면 하수내의 부유물이 축적되므로 역세척이 필요하고, 고정상에서 상향식이면 부유물이 역세척으로도 제거하기 어렵게 상의 바닥에 모이므로 통상 하향식으로 하며, 상의 바닥에는 모래나 자갈을 깔

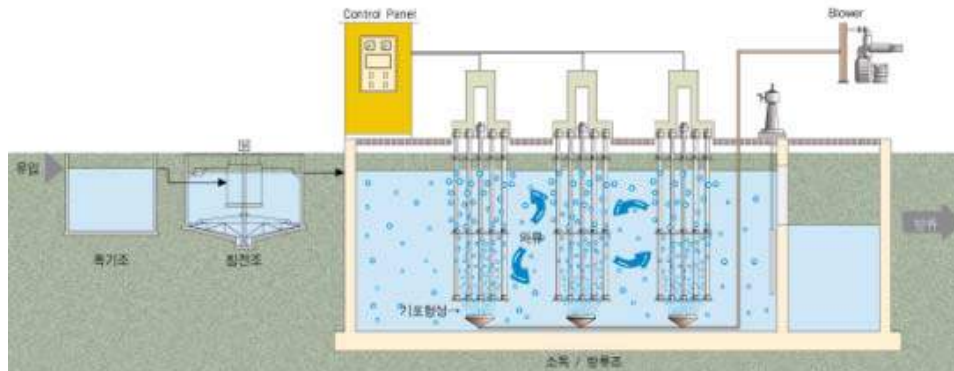
아서 활성탄층을 지지하도록 할 수 있다.

(사) 막분리법

압력차에 의해서 막을 통과시켜 물질을 분리하는 방법으로서, 막의 두께는 보통 0.05~2.00mm이다. 한외여과시설이 고분자량 물질의 분리를 목적으로 하는 것에 비하여 역삼투시설에서는 저분자량의 이온영역까지의 분리를 목적으로 하며, 나노여과는 역삼투의 변형으로 분리범위도 역삼투와 비슷하나 주로 조대 유기분자들이 제거된다. 마이크로여과에서 분리되는 입경이 가장 크며 주로 부유물, 박테리아, 효소 등이 제거된다. 막의 분리기구(구)는 용질의 입자가 단순히 기계적으로 막의 표면에 부착하는 것과 막표면이나 내부에 흡착되는 것으로 나누어지며, 부착·흡착된 입자는 모두 용매의 투과속도를 저하시키지만 전자의 기구로 제거된 입자는 비교적 간단히 역세척에 의해 제거되어지지만, 흡착에 의한 막힘은 적절한 약품처리에 의해서만 제거된다. 막분리시설에서는 고압축에 제거물질이 농축되기 때문에 시간이 지날수록 막면에 제거물질이 침착하여 겔층이 형성되어 가며, 겔층의 형성은 막면을 막히게 하기 때문에 세척하지 않으면 안된다.

(4) 대장균(일반세균) 제거기술

소독은 질병을 유발하는 미생물의 선택적 제거를 의미한다. 하수처리 분야에서 질병을 유발시키는 중요한 인체의 장 미생물은 박테리아, protozoan oocysts와 cysts, helminths, 바이러스의 4가지이다. 하수처리장 방류수 소독방법은 그 동안 주류를 이루었던 염소 소독의 부작용과 2003년부터 하수처리장 방류수에 대한 대장균군수에 대한 법적 규제에 따라 UV소독이 점차 광범위하게 적용될 전망이다. 자외선 조사에 의한 물의 소독은 물이 흐르는 상태에서 외부로부터 자외선을 조사하는 외조식과 석영유리 램프에 의해 유수층의 물을 처리할 수 있는 내조식이 이용되며, 화학물질의 첨가를 필요로 하지 않기 때문에 인체나 생물에 해가 없어 안전성이 높을 뿐 아니라 경제적으로 양질의 물을 얻을 수 있는 방식이다(Figure 1 참조).



<Figure 1> The UV disinfection process.

나. 비점오염물질 저감기술

비점오염물질 저감기술은 수질오염총량관리 기술지침⁵과 수질오염총량관리를 위한 비점오염원 최적관리지침²²에 의해 적용되고 있다. 수질오염총량관리 기술지침에서는 비점오염저감시설의 저감효율은 실측자료를 사용하는 것을 원칙으로 하고 있으며, 최소 3회 이상의 대표강우사상에 대한 유량 및 수질 연속측정 자료를 이용하여 평균저감효율을 산정하도록 되어 있다. 비점오염저감시설이 신규시설이거나 저감효율 산정을 위한 실측자료가 없는 소규모 시설의 경우는 지침에서 제시하고 있는 저감효율을 적용하여 산정하도록 하고 있다.

비점오염원 삭감시설은 대부분 강우시 위주로 적용되기 때문에 삭감량이 크지 않으며 유지관리가 어려운 관계로 지자체에서 선호하지 않은 실정이다. 비점오염원으로부터 오염물질을 저감할 수 있는 일반적인 시설은 자연형과 장치형시설이 있다²³. 자연형시설은 저류시설, 인공습지, 침투시설 및 식생형 시설 등이 있으며, 장치형시설은 여과형, 와류형, 스크린형, 응집침전형 및 생물학적 처리형시설들이 있다. 비점오염원을 관리하기 위한 방법으로서, 향후 그 수요가 점점 증가할 것으로 예상되는 방법인 생태면적을 확장법이 있다²⁴. 생태면적은 자연순환기능을 유지·개선하기 위한 공간유형으로서 자연 및 인공지반녹지, 투수성 및 차수성 수공간, 옥상녹화, 포장 등과 같은 유형이 있다. 또한, 여름철 집중호우에 따른 침수피해 예방 및 하천유지용수 등으로 빗물을 재활용하기 위하여 일시적으로 빗물을 저류하는 시설이 있다. 빗물저류 시설은 침수피해를 방지하기 위한 재난예방이 1차적인 목적이지만, 기존 하수관거의 부담을 경감시킬 수 있을 뿐만 아니라 수자원 확보에 도움이 되는

측면도 있다.

최근 비점오염원 저감개념으로 주목을 받고 있는 최신 기술요소로서 저영향개발(LID: Low Impact Development)과 그린빗물인프라(GSI: Green Stormwater Infrastructure)가 있으나 현재 까지 적용된 사례들이 많지 않은 관계로 가용할 수 있는 자료의 한계성을 지니고 있다^{22,25}. LID 개념들이 적용된 비점오염원 저감기술요소들도 기존의 수질오염총량관리기술지침 및 비점오염원 최적관리지침에서 제시하고 있는 비점시설들과 유사하며 대부분 상호연계하여 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

3. 신규기술 삭감량 산정방법

가. 신규도입 가능기술

앞 절에서 검토한 바와 같이 총량관리 단위유역에 적용되는 삭감시설은 주로 생활계, 축산계 및 토지계 오염원에 대한 저감시설이며, 이들 오염원이 총량관리를 위한 주요 삭감대상이 되고 있다.

생활계 오염물질을 저감하기 위하여 앞으로 적용 가능한 최신 삭감기술로는 광촉매등을 활용한 고도산화법을 고려해 볼 수 있다. UV/TiO₂ 고도산화법은 특히 난분해성 유기물질을 처리하는데 적용할 수 있는 방법이다. 이 고도산화법은 현재 국내에서 아직 실용화까지는 활성화 되어 있지 않으나 최근 들어 다양한 연구들이 수행되고 있으며, 국외의 경우는 실제 적용되고 있는 사례들을 찾아 볼 수 있다. 또한 UV/TiO₂ 고도산화법은 국내에서 태양광발전시설들이 공공기관, 농어촌 등에 다양하게 적용되고 있어 관련 기반시설에 대한 여건은 조성되어 있으며 기존 태양광발전시설에 처리개념을 도입한다면 국내에서도 활성화 시킬 수 있는 가능성은 매우 클 것으로 판단된다. 또한 3단계 수질오염총량관리제 이후 난분해성 유기물의 관리를 위해 총유기탄소(TOC) 항목이 관리대상물질로 도입될 예정에 있어 UV/TiO₂ 고도산화법은 더욱 도입 가능성은 높은 것으로 판단된다. 앞서 기술한 최신삭감시설에 대하여 검토한 것과 같이 최신 삭감기술은 새로운 처리공정(처리 system)이 개발되어 기존의 처리시설을 대체하는 것이 아니라, 기존 처리공정을 변형, 개량 또는 개선하는 것이다. 예를 들어 하수처리 시설의 최신삭감 기술의 영양소 제거공정의 경우, 기존 처리시설 내 생물반응조를 변형하여 영양소 제거 미생물의 성장에 유리한 환경 조건을 조성하여 폐수로 부터의 영양소를 제거하는 개념이다. 하지만 수질오염총량관리에서는 삭감량 산정에 있어 영양소 제거공정 부분만을 평가하는 것이 아니라 하수처리장의 유입수와 최종 처리

방류수의 유량 및 수질로서 삭감량을 평가하게 된다. 따라서 신규 도입한 삭감시설을 평가할 경우에는 앞서 제시한 최신 삭감시설처럼 특정 처리시설 내의 일부 공정에 대한 삭감량을 평가 받을 수 있어야 한다.

축산계로부터 발생하는 오염물질을 저감하기 위하여 도입할 수 있는 삭감시설로는 축산계 위탁자원화 시설을 들 수 있다. 2012년부터 가축분뇨의 해양배출이 전면 중단됨에 따라 축산계 오염원으로부터 발생하는 가축분뇨를 위탁처리하여 자원화하는 시설이 대안으로 제시되고 있는 실정이다. 가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률에 따르면 가축분뇨 공공처리시설 및 공동자원화 설치 근거를 마련하여 가축분뇨 자원화 중심의 공동처리시설의 설치를 유도하고 있다.

토지계 비점오염원에 새로이 적용해 볼 수 있는 삭감시설로서 빗물저류시설이 있다. 최근 여름철 집중호우에 따른 침수피해 예방 및 하천유지용수 등으로 빗물을 재활용하기 위하여 빗물저류시설을 설치하는 지역이 늘고 있다. 원래 재해 방지용으로 설치되는 빗물저류시설은 침수피해 예방뿐 만 아니라 우수유출량을 감소시키기 때문에 비점오염물질도 제거될 수 있는 시설이다. 비점오염원으로부터 오염물질을 제거하기 위해서는 지표로부터 우수유출을 감소시키는 것이 가장 효과적인 방법이 될 수 있다.

나. 삭감량 산정방법

(1) 고도산화법

(가) 시설특성

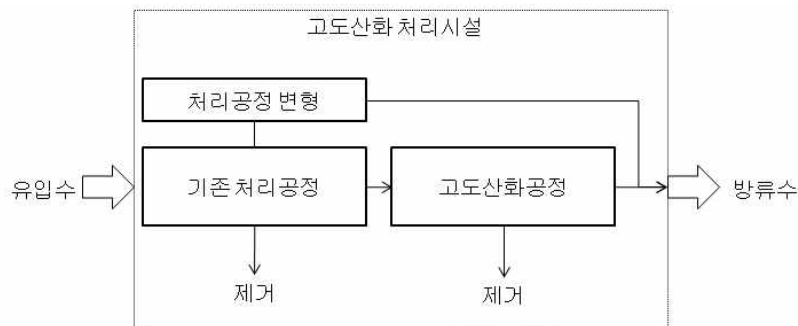
난분해성 및 독성물질 등을 처리하는 방법으로 많이 사용되고 있는 UV/TiO₂ 고도산화법은 강력한 산화력을 지닌 hydroxyl radical(OH)을 이용한다. 처리대상 물질의 성상(액상, 기상)에 상관없이 오염물질을 CO₂, H₂O 형태로 무기화(mineralization)시키며 부산물(반응생성물)의 2차처리가 필요 없는 장점이 있어 다양한 오염물질의 처리에 이용되고 있다.

유독성 유기물질을 광에너지에 의한 화학적 반응으로 분해시키는 과정을 광화학 반응이라 하며, 이때 보조역할을 하는 기본 물질을 광촉매라고 한다. 광촉매 반응은 homogeneous photocatalysis reaction과 heterogeneous photocatalysis reaction으로 구분할 수 있다. Heterogeneous photocatalysis reaction에서는 반응물이 촉매로 흡착되고, 촉매표면에서 반응하며, 생성물이 촉매로부터 탈착되는 단계를 거쳐 화학반응이 진행된다. 일반적으로 흡착속도나 생성물의 탈착속도가 느리면, 이 단계가 촉매반응의 속도 결정단계가 될 수 있으나 자외선이 조사된 TiO₂ 광촉매 반응의 경우 반응물이 흡착된 이후 표면에서 발생하는 반응이 속도 결정단계인 것으로 알려져 있다. 또한, 광촉매 반응에서는 촉

매반응과는 달리 촉매의 이용효율 대신에 광의 이용효율(양자효율)로 반응의 효율을 나타낸다. 즉, 광을 충분히 흡수할 수 있는 촉매가 존재할 때는 촉매량을 많이 해도 반응량은 광량으로 결정되며, 이와 같은 광량율속 상태에서 사용됨을 의미한다.

(나) 오염물질 제거기작

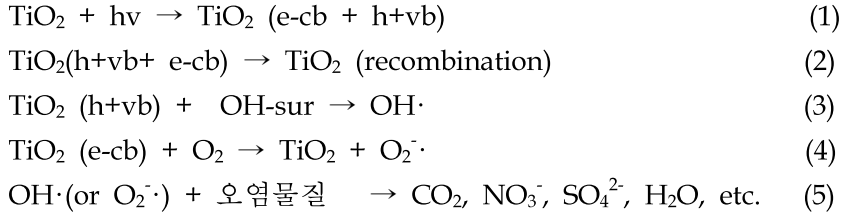
고도산화공정을 도입하여 적용하는 시설은 기존 처리시설의 처리공정을 변형하여 적용하는 경우와 별도의 독립적인 공정을 추가하여 설치하는 경우로 나누어 볼 수 있다. 고도산화공정이 설치된 처리시설의 오염물질 유출입 구조는 다음 <Figure 2>와 같이 나타낼 수 있다.



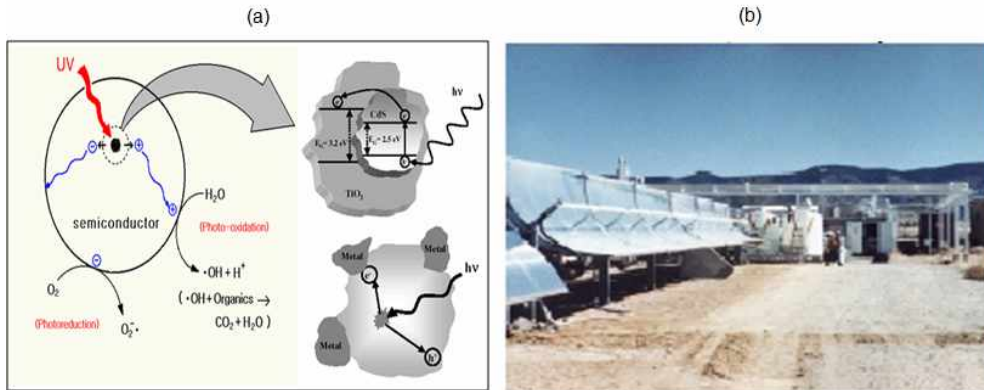
<Figure 2> The flow of wastewater in the Advanced Oxidation Process System.

고도산화공정에서 TiO_2 광촉매반응에 의한 오염물질의 광화학적 분해는 다음과 같은 경로를 통해 이루어진다²⁶. 즉, 광화학분해의 최초단계는 식(1)에 제시된 반응식에 따라 UV가 조사된 TiO_2 입자에 전자(electrons)와 전공(holes)의 생성단계이다. 다음 단계에서는 식(2)에서와 같이 열의 발산과 함께 TiO_2 입자의 재결합이 일어난다. 그러나 용존산소나 전자공여체 (electron donor)가 존재하면 식(3)에서 보는 바와 같이 valence band holes (h^+) 과 표면의 active OH group이나 H_2O 와의 반응에 의해 OH radical이 형성된다. 다음 단계에서는 식(4)와 같이 광화학반응에 의해 생성된 conduction band electron (e^-)과 용존산소의 반응에 의해 superoxide ($\text{O}_2^{\cdot-}$)가 생성 된다. Hydroxyl radicals (OH^{\cdot})과 superoxide($\text{O}_2^{\cdot-}$)는 많은 유기화합물의 광촉매 분해반응에 관여하는 강력한 반응성 물질들로서 이들에 의해 오염물질이 광분해 되어 식(5)에 나타난 바와 같이 무기화 된다.

III. 연구결과 및 고찰



다음 <Figure 3>은 광촉매반응에 의하여 오염물질이 제거되는 메카니즘과 고도산화처리시설의 예시를 나타낸 것이다.



<Figure 3> Photocatalytic Mechanism (a) and UV/TiO₂ Advanced Oxidation Process System (b).

(㉔) 삭감량 산정식

삭감시설의 삭감부하량은 처리시설의 신설, 처리시설의 증설, 처리공법의 개선, 관거정비 및 비점오염저감시설로 구분하여 산정한다. 처리공법의 개선에 따른 추가삭감량은 처리공법의 개선 전·후의 처리구역의 배출부하량의 차이로 산정한다²⁷.

고도산화처리시설에 의한 처리는 대부분 기존 처리공정을 변형하거나 추가로 설치한 시설이므로 추가삭감량을 산정한다. 또한, 처리공법 개선에 따른 추가삭감량은 계획단계의 삭감량과 운영단계의 삭감량으로 구분하여 산정할 수 있다. 계획단계에서는 다음 식(6)과 같이 기존 처리시설의 삭감량을 구한 다음, 식 (7)과 같이 고도산화처리시설에 의한 계획단계의 추가삭감량을 산정한다.

$$\text{기존처리시설삭감량} = \text{기존시설유입부하량} - \text{기존시설방류부하량} \dots\dots(6)$$

III. 연구결과 및 고찰

$$\text{계획단계추가삭감량} = \text{기존시설방류부하량} \times \text{고도산화처리율} \dots\dots(7)$$

여기서, 기존시설의 유입부하량과 방류부하량은 과거 실측자료를 이용하여 산정하며, 고도산화 처리율은 처리공정에 대한 설계처리율을 적용한다. 처리시설이 완공된 후, 운영단계에 돌입하면 처리시설에 대한 이행효과를 평가하게 되며, 운영단계에서의 추가삭감량은 다음 식(8)과 같이 산정한다.

$$\text{운영단계추가삭감량} = (\text{고도시설유입부하량} - \text{고도시설방류부하량}) \dots\dots(8) \\ - \text{기존시설삭감량}$$

여기서, 고도시설의 유입부하량과 방류부하량은 운영기간 동안에 조사된 수질 및 유량 모니터링자료를 사용한다. 수질 및 유량 모니터링은 일단위로 측정하여 기록한다.

(2) 축산계 위탁자원화 시설

(가) 시설특성

축산계 위탁자원화 시설이란 축산농가에서 발생하는 가축분뇨의 적절한 처리를 유도하기 위하여 가축분뇨를 재활용할 목적으로 처리하는 시설을 말하며, 가축분뇨의 자원화 방식 및 최종산물에 따라 공동자원화 시설과 바이오에너지 생산시설로 분류할 수 있다.

2012년부터 가축분뇨의 해양배출이 전면 중단됨에 따라 가축분뇨 공동자원화 시설이 대안으로 제시되고 있으며, 이 시설은 축산농가에서 발생하는 가축분뇨를 공동으로 퇴비 및 액비화로 자원화하여 경종농가에서 재활용하는 사업이다²⁸. 이로 인해 축산농가의 경영 안정화 도모와 경종농가 화학비료 절감, 유기농산물 생산에 따른 소득증대에 기여하고, 액비유통 및 이용체계 구축을 통한 친환경 자연 순환농업의 활성화를 기대할 수 있다²⁹. 가축분뇨 공동자원화 시설은 일정 지역 내 축산농가의 분뇨처리에 있어 소규모 농가에서 발생하는 분뇨까지 포함할 수 있는 대안으로 판단되며, 소규모 농가에서 퇴비화에 따른 문제점도 어느 정도 해소할 수 있을 것이다.

최근에는 가축분뇨 자원화에 대한 기존의 퇴비화나 액비화 같은 획일적인 자원화 방식에서 탈피해 가축분뇨를 적정하게 처리하여 에너지화 및 친환경 농업과 연계하는 방안을 모색하고 있는 추세이다. 가축분뇨에서 가장 손쉽게 회수 가능한 자원은 대체연료인 메탄가스와 퇴비로 평가된다. 바이오가스는 가축분뇨를 활용한다는 측면에서 에너지 비용부담을 완화시키고, 자원순환

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

측면에서 바이오가스를 추출하고 남은 소화액으로 화학비료를 대체할 수 있다는 점 등 여러 장점을 지지고 있다. 이러한 장점을 인식하여 주요 선진국(독일, 덴마크, 일본 등)에서 바이오가스 플랜트의 보급이 활발하게 이루어지고 있으며, 보급을 지원하기 위하여 환경규제와 경제적 유인책을 동시에 실시하고 있다³⁰. 2011년도를 기준으로 할 때, 우리나라 양돈농가의 분뇨처리현황 중 위탁처리 농가수는 전체 9,898농가 중 4.2%에 해당하는 420농가로 조사되었으며, 사육두수 기준으로는 전체 9,177,563두 중 6.3%인 578,665두에 해당하는 것으로 나타났다³¹. 각 시도별 가축분뇨 공동자원화 시설현황은 2011년도 기준으로 경기 9개, 강원 2개, 충북 5개, 충남 10개, 전북 10개, 전남 9개, 경북 5개, 경남 10개, 제주 8개의 시설을 보유하고 있는 것으로 조사되었다. 가축분뇨의 퇴·액비 자원화 위주에서 최근 가축분뇨를 바이오가스로 생산하거나 열병합 발전에 이용하는 등 에너지화에 대한 관심이 증가되고 있다. 가축분뇨 바이오에너지 생산시설의 설치·운영사례는 <Table 9>와 같다.

<Table 9> The present installations of livestock bio-energy facilities

설치지역	이용대상	생산에너지
고양시 화훼단지	음식물쓰레기(250톤/일), 축분뇨(10톤/일)	전기, 난방연료
무안·회순·함평·영광 순천	가축분뇨(700톤/일) 가축분뇨(20톤/일)	전기(33mwh) 전기(1,000kwh)
안성시 환경대	가축분뇨 및 음식물쓰레기(5톤/일)	전기(450kwh/일) 난방(500mcal)
아산하수처리장	가축분뇨와 음식물쓰레기(100톤/일)	전기(2,867kwh/일) 열(5,734mcal)
홍성	가축분뇨(3톤/일)	축사난방 발효사료제조용
원주시 가현동	음식물 탈리액, 가축분뇨, 하수슬러지, 도축장부산물	가스차량 연료
이천 모전영농조합	가축분뇨(220톤/일)	전기(480kwh/일)
제주	가축분뇨(50톤/일)	전기(1,869kwh/일)
창녕	가축분뇨와 음식물쓰레기(100톤/일)	전기(9,600kwh/일)
청양 여양농장	가축분뇨(20톤/일)	전기(960kwh/일)
과주시	가축분뇨 및 음식물쓰레기(66톤/일)	전기(5mwh)
포천시	가축분뇨, 음식물쓰레기, 탈리액 (300톤/일)	전기, 가스

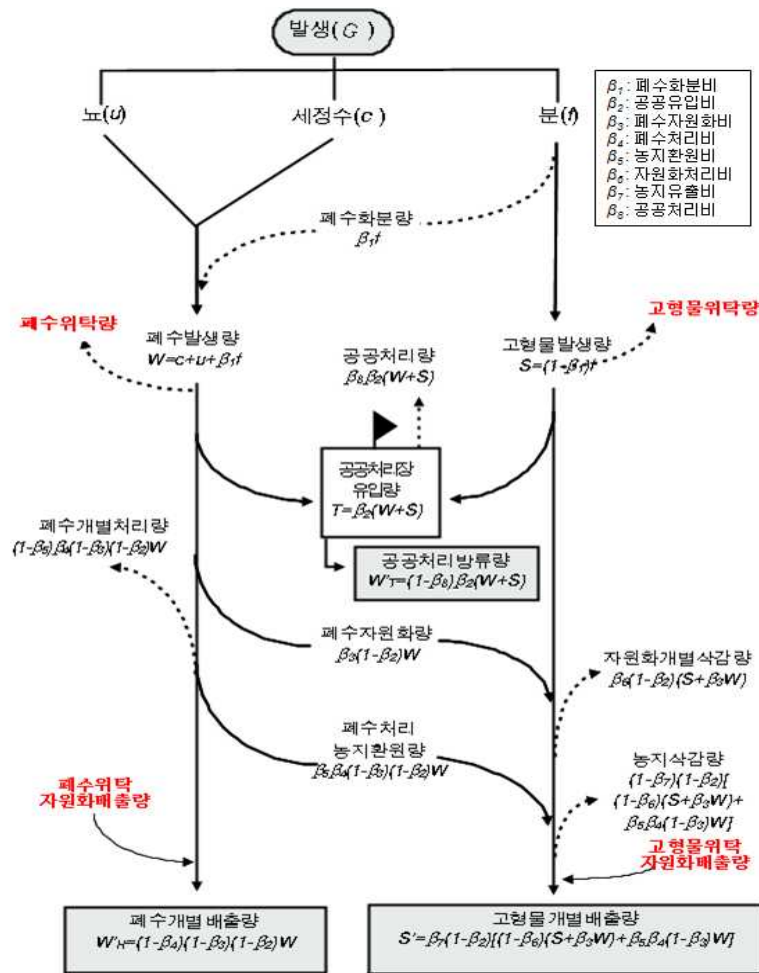
* 가축분뇨 자원화 이용현황과 당면과제(2011 NHERI 리포트 제156호)

(나) 오염물질 제거기작

축산계 오염물질은 다음 <Figure 4>와 같이 액상의 폐수와 고형물의

III. 연구결과 및 고찰

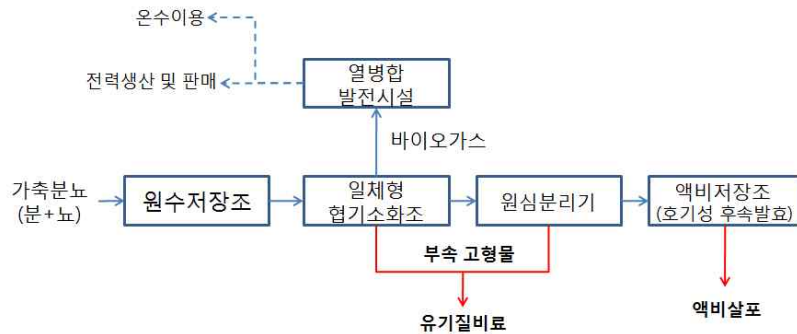
형태로 배출된다. 액상의 폐수는 가축의뇨와 세정수 및 세정수에 포함되어 폐수화되는 가축의 분으로 구성되며, 고형물은 세정수에 의해 폐수화되는 부분을 제외한 가축의 분으로 구성된다. 개별축사에서 오염물질 배출경로는 공공처리장 이송, 위탁처리, 개별처리, 농지환원, 위탁자원화배출 및 개별배출로 세분한다.



<Figure 4> The discharge pathway of livestock pollutants.

축산계의 폐수위탁량과 고형물위탁량은 자원회시설로 이송되어 처리된다. 가축분뇨 공동자원화시설에서는 직접 퇴비와 액비가 생산되어 농경지에 살포

된다. 가축분뇨 바이오에너지 생산시설에서는 다음 <Figure 5>와 같이 전기를 생산한 후 남은 발효액 등은 유기질비료나 액비를 통해 농경지로 살포된 후 하천으로 유출된다.



<Figure 5> The main processes in the bio-energy production facilities.

(다) 삭감량 산정식

1) 공동자원화 시설 삭감량 산정식

수질오염총량관리 기술지침에서는 축산계 개별삭감량 산정시 폐수를 전량 위탁하는 경우의 폐수자원화비는 0, 폐수처리비는 1이며, 자원화물을 전량 위탁하는 경우의 자원화 처리비는 1로하여 산정한다. 이로 인해 축산계 위탁처리시의 개발삭감부하량은 발생부하량 전량이 삭감되는 것으로 산정됨에 따라, 위탁처리 축산농가의 배출부하량은 0으로 산정되는 구조를 가지고 있다⁵.

그러나 위탁자원화물은 실질적으로 인근지역 또는 타지역으로 퇴·액비가 판매되어 농지에 살포되고 있다. 위탁처리시 실질적으로 위탁되는 농가에 대해서는 배출부하량이 0으로 산정될 수 있지만, 농지에 살포될 경우에는 해당지역의 배출부하량을 증가시키게 된다.

공동자원화 시설에 대한 삭감량 산정은 폐수 위탁자원화에 대한 식(9)와 고형물 위탁자원화에 대한 식(10)과 같이 산정한다. 위탁자원화 후 자원화물의 배출경로 파악이 가능한 자원화물은 위탁농가에서 전량 위탁자원화 되는 것으로 산정하고, 퇴·액비가 판매되어 농경지에 살포되는 지역에 위탁자원화량을 포함하여 산정할 수 있다.

III. 연구결과 및 고찰

$$\begin{aligned} \text{폐수위탁자원화삭감량} &= \text{자원화처리비} \times \text{폐수위탁자원화량} \dots\dots\dots(9) \\ &+ (1 - \text{자원화처리비}) \times \text{농지전환비} \\ &\times (1 - \text{농지유출비}) \times \text{폐수위탁자원화량} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{고형물위탁자원화삭감량} &= \text{자원화처리비} \times \text{고형물위탁자원화량} \dots\dots(10) \\ &+ (1 - \text{자원화처리비}) \times \text{농지전환비} \\ &\times (1 - \text{농지유출비}) \times \text{고형물위탁자원화량} \end{aligned}$$

2) 바이오에너지 생산시설 삭감량 산정식

바이오에너지 생산시설은 전기를 생산한 후 남은 발효액 및 부속고형물이 액비나 유기질비료로 생산되어 농경지로 유출되는 과정을 지니고 있어, 발효액 및 부속고형물에 대한 처리효율 및 농지유출비 산정에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 바이오에너지 생산시설의 삭감량은 다음 식 (11)~(14)와 같이 처리비 등을 이용하여 폐수나 고형물의 자원화량에 추가적으로 삭감되는 양을 파악하여 산정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{폐수위탁자원화삭감량} &= \text{자원화처리비} \times \text{폐수위탁자원화량} \dots\dots\dots(11) \\ &+ (1 - \text{자원화처리비}) \times \text{농지전환비} \\ &\times (1 - \text{농지유출비}) \times \text{폐수위탁자원화량} \\ &\times \text{폐수처리비} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{고형물위탁자원화삭감량} &= \text{자원화처리비} \times \text{고형물위탁자원화량} \dots\dots(12) \\ &+ (1 - \text{자원화처리비}) \times \text{농지전환비} \\ &\times (1 - \text{농지유출비}) \times \text{고형물위탁자원화량} \\ &\times \text{고형물처리비} \end{aligned}$$

$$\text{폐수처리비} = \frac{\text{폐수위탁반입량} - \text{폐수처리량}}{\text{폐수위탁반입량}} \dots\dots\dots(13)$$

$$\text{고형물처리비} = \frac{\text{고형물위탁반입량} - \text{고형물처리량}}{\text{고형물위탁반입량}} \dots\dots\dots(14)$$

(3) 빗물저류시설

(가) 시설특성

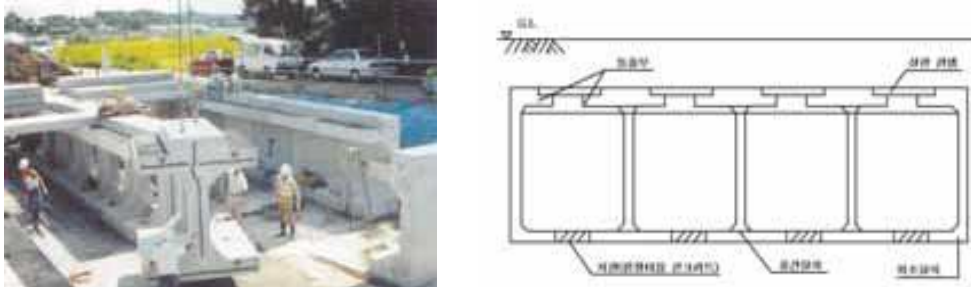
빗물저류시설은 저지대의 상습 침수지역과 기습 폭우시 발생하는 주택·상가 등의 침수피해를 방지하기 위하여 빗물을 일시적으로 저장하는 대형 저류시설로서, 집중호우 때 빗물을 가뒀다가 비가 그치면 하류지역에 자연배제 형식으로 방류하는 시설이다. 국가 및 지방자치단체에서는 빗물저장장치를 의

III. 연구결과 및 고찰

무화하는 법 및 조례를 마련하여 빗물이용을 확충하려는 노력을 기울이고 있으며, 이렇듯 빗물이용을 권장하고 이에 대한 기술의 필요성이 강조되어 전 세계적으로 물 문제를 해결하기 위한 하나의 방안으로 빗물이용이 중요시 되고 있다³². 빗물저류시설은 ‘자연재해 대책법’에서 정하고 있는 우수유출저감시설의 한 형태에 해당되는 시설이다. 우수유출저감시설이란 우수의 직접적인 유출을 억제하기 위하여 인위적으로 우수를 지하로 스며들게 하거나 지하에 가두어 두는 시설로서 ‘국토의 계획 및 이용시설에 관한 법률’에 의한 기반시설 중 방제시설의 하나인 우수지에 포함되는 시설이라고도 할 수 있다. 빗물저류시설에 저류된 빗물은 일정시간 후 하천의 하류지역으로 배제되거나, 건기시에 하천 유지용수로도 활용할 수 있으며, 공원 등의 조경용수 등으로도 이용할 수 있다^{33,34}.

우수유출저감시설은 우수의 직접유출량을 저감시키거나 침투유출시간을 지연시키기 위하여 설치하며, 저감방법에 따라 저류시설과 침투시설로 분류한다. 저류시설은 우수가 우수지 및 하천으로 유입되기 전에 일시적으로 저류시켜 바깥수위가 낮아진 후에 방류하여 유출량을 감소시키거나 최소화하기 위하여 설치하는 대형 공간구조물이다. 침투시설은 우수의 직접유출량을 감소시키기 위하여 지반으로 침투를 용이하게 하도록 고안된 시설을 지칭하며, 대부분 해당지역에서 발생한 우수 유출량을 현장에서 침투시킬 수 있도록 설치된다.

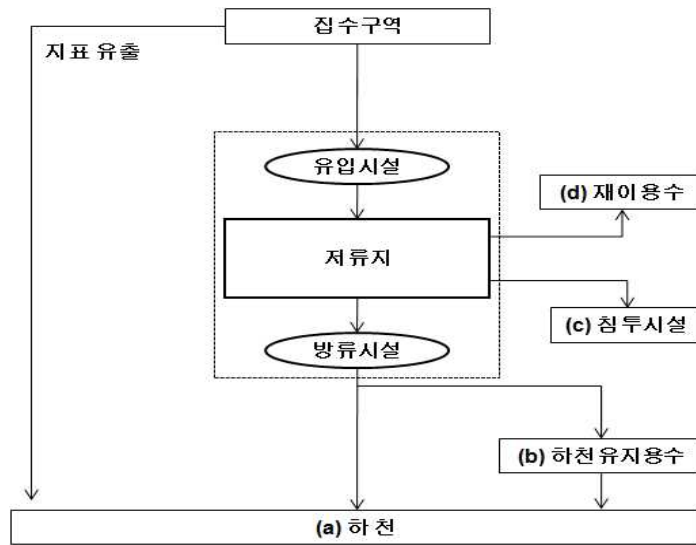
자연재해법 상에서는 우수유출저감시설의 저류시설이 지하에 설치되는 것으로 규정하고 있으나, 우수유출저감시설 기준³⁵에 따르면 지상의 저류시설도 포함되는 개념으로 사용되고 있다. 저류시설은 사용용도에 따라 침수형 저류시설과 전용 저류시설로 분류하며, 설치위치에 따라 지역내(On Site) 저류시설과 지역외(Off Site) 저류시설로 분류한다. 침수형 저류시설이란 평상시 일반적인 용도로 사용되나, 폭우시 우수가 차오르도록 고안된 시설을 지칭한다. 전용 저류시설이란 평상시 빈 공간으로 유지되며, 강우시 우수를 저장하기 위한 목적으로 인위적으로 설치된 시설을 말한다. 다음 <Figure 6>은 전용 빗물저류시설의 시공 및 단면 예시를 나타낸 것이다.



<Figure 6> The construction and cross section of a underground stormwater retention facility.

(나) 오염물질 제거기작

빗물저류시설은 설계요소가 간단하며, 주로 유입시설, 저류지 및 방류 시설로 구성된다. 빗물저류시설은 홍수방지와 우수유출로 인한 비점오염물질을 줄이는 두 가지 목적을 동시에 달성할 수 있으며, 빗물저류시설에 대한 우수 유출수의 유출입 구조를 보면 다음 <Figure 7>과 같다.



<Figure 7> The flow of stormwater runoff in the stormwater retention facility.

III. 연구결과 및 고찰

지표를 통과한 빗물 속에는 다량의 입자가 포함되어있으며, 빗물저류시설로 유입된 빗물은 저류지에서 체류하는 동안 침전작용에 의하여 입자성물질 등이 일부 제거된다. 침전속도는 입자들의 밀도, 크기 그리고 형태에 의해 결정되며, Stoke의 법칙에 의해 개략적으로 산출될 수 있다. 침전현상은 저류조의 유입구, 월류구 그리고 취수구의 형태와 배치를 통해 경험적으로 해석이 가능하다. 또한, 저류지 내에서는 침전 작용 외에 부가적으로 바이오필름 형성에 의한 생물학적 분해 과정 등이 일어날 수 있다. 빗물저류시설의 침전물이 체계적으로 관리될 경우, 오염물질 제거효과를 나타낼 수 있다. 저류지 내의 침전을 체계적으로 관리하기 위해서는 빗물 유입에 의한 난류 발생으로 침전작용이 저해되지 않도록 유의하여야 하며, 저류조 하부의 기존 침전물이 재부상되어서는 안 된다. 난류발생 및 침전물의 재부상을 방지하기 위하여 유입수는 확산이 용이한 형태의 넓고 평평한 면으로 수면에 퍼지거나 유입관을 통해 저장조 하부까지 유도된 후 그곳에서 낮은 토출속도를 갖는 상승류의 형태로 전환되어야 한다. 또한, 빗물저류시설의 방류구(또는 월류구)는 아래와 같은 사항을 고려해서 침전물이 방류수와 함께 하천으로 재유출되지 않도록 조정되어야 한다.

빗물저류시설에 저류된 물은 연결관로를 통하여 하류로 흘려보내거나 연계된 침투시설을 통하여 하부 지반으로 침투시킬 수도 있다. 또한, 물이용의 효율성을 제고하기 위하여 중수도시스템 등을 설치할 경우에는 저류된 물을 재이용할 수도 있다. 빗물저류시설에 저류된 물이 처리과정을 거치거나 재이용될 경우에는 오염물질 제거효과는 훨씬 크게 나타난다.

(디) 삭감량 산정식

수질오염총량관리기술지침에서 제시한 비점오염저감시설 이외의 저감기법을 적용하는 경우에는 비점오염원 최적관리지침에서 제시한 삭감량 산정방법 및 저감효율 등을 적용할 수 있도록 하고 있다. 빗물저류시설은 지침에서 제시하고 있는 저감방법에 포함되어 있지 않는 시설이다. 빗물저류시설로 유입된 빗물은 하천으로 다시 방류되거나 처리 또는 재이용된다. 빗물저류시설에 의한 삭감량을 산정하기 위해서는 유입부하량을 비롯하여 방류량 또는 처리 및 재이용수량 등을 적정한 방법으로 산정하는 것이 중요하다.

빗물저류시설의 유입부하량을 산정하기 위해서는 먼저, 집수구역의 발생부하량과 저류시설로 유입되는 비율을 산정한다. 집수구역의 발생부하량은 집수구역을 구성하고 있는 토지이용형태와 발생부하원단위를 이용하여 다음 식(15)와 같이 산정한다.

III. 연구결과 및 고찰

$$\text{집수구역발생부하량} = \sum(\text{집수구역지목별면적} \times \text{지목별연평균발생부하원단위}) \dots\dots\dots(15)$$

또한, 저류시설의 유입비는 집수구역에 내린 연간 총 강우량과 연간 저류시설로 유입된 빗물의 양을 이용하여 다음 식(16)과 같이 산정한다.

$$\text{저류시설유입비} = \frac{\text{연간저류시설총유입량}}{\text{연간집수구역총강우량}} \dots\dots\dots(16)$$

빗물저류시설의 유입부하량은 집수구역의 발생부하량과 저류시설 유입비를 이용하여 다음 식 (17)과 같이 산정한다.

$$\text{저류시설유입부하량} = \text{집수구역발생부하량} \times \text{저류시설유입비} \dots\dots\dots(17)$$

빗물저류시설의 삭감량은 저류후 다시 하천으로 방류하는 단순저류 삭감량과 저류후 침투시설에 등에 의하여 처리(또는 재이용)하는 저류처리(재이용) 삭감량으로 구분하여 산정할 수 있다. 단순저류 삭감량은 저류시설 유입부하량과 저류조의 침전율을 이용하여 다음 식(18)과 같이 산정하며, 저류처리(또는 재이용) 삭감량은 저류후의 처리율(또는 재이용율)을 이용하여 다음 식(19)와 같이 산정한다.

$$\text{단순저류삭감량} = \text{저류시설유입부하량} \times \text{침전율} \dots\dots\dots(18)$$

$$\text{저류처리삭감량} = \text{저류시설유입부하량} \times \text{침전율} + \text{저류시설유입부하량} (1 - \text{침전율}) \times \text{처리율} \dots\dots\dots(19)$$

IV. 결 론

본 연구에서는 최근 개발되고 있는 오염물질 최신 저감기술들을 분석하고, 총량관리에 새로이 적용할 수 있는 오염물질 저감기술들에 대한 삭감량 산정 기준을 마련하였다.

1. 현재 적용되고 있는 점오염원 삭감시설은 마을하수도 및 환경기초시설의 신증설, 수질개선공정 및 하수관거정비 등이 비교적 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 비점오염원 삭감시설은 완충형 저류시설, 장치형 시설, BMP 및 저류조 등이 설치되었다.
2. 하수 내의 영양염류 제거를 위한 국내 신기술로서는 부유성장방식과 생물막법 및 단일반응조공법 등이 개발되어 근래 중·소규모 하수처리장에 많이 도입되고 있는 실정이다. 또한, 혐/호기성 생물학적 처리, 활성탄 흡착, 역삼투, 펜톤산화 등과 같은 국내 개발 기술들이 난분해성 유기화합물질의 처리현장에서 적용되고 있으며, 최근에는 화학적 방법 중에서 고도산화공정이 첨단 분야로 대두되고 있다. 잔류 SS 및 잔류 용존유기물 제거기술로서는 급속여과법, 마이크로스트레이너, 기계식 표면여과기, 디스크 필터, 섬유여재디스크 필터, 활성탄 흡착법 및 막분리법 등이 있다. 비점오염원을 관리하기 위한 방법으로서는 생태면적을 확장법과 빗물저류시설이 향후 그 수요가 점점 증가할 것으로 예상된다.
3. 총량관리 주요 삭감대상인 생활계, 축산계 및 토지계 오염물질 삭감을 위하여 광촉매 고도산화법, 축산계 위탁자원화 시설 및 빗물저류시설의 신규 적용을 고려해 볼 수 있다. UV/TiO₂ 고도산화법은 현재 국내에서 아직 실용화까지는 활성화 되어 있지 않으나 최근 들어 다양한 연구들이 수행되고 있으며, 국외의 경우에는 실용화 사례들을 찾아 볼 수 있다. 축산계 위탁자원화 시설은 가축분뇨의 해양배출이 전면 금지됨에 따라 기존 처리방법에 대한 대안으로 제시되고 있는 방법이다. 빗물저류시설은 현재까지는 재해 방지용으로 설치되고 있지만, 이 시설은 침수피해 예방용 뿐만 아니라 우수유출량을 감소시키기 때문에 비점오염물질 제거용으로도 활용할 수 있는 시설이다.

IV. 결 론

4. 새로 적용될 수 있는 시설들에 대한 삭감량을 적정하게 평가할 수 있도록 시설들에 대한 오염물질 제거기작 등을 검토하여 총량관리에 적용할 수 있는 삭감량 산정식을 작성하였다. 이와 같이 작성된 삭감량 산정식은 수질오염총량관리 기술지침 및 비점오염원 최적관리지침의 개정안에 대한 근거자료로 이용될 수 있으며, 총량관리 계획수립 및 이행평가 시에 삭감량 평가기준으로 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 환경부, 수질오염총량관리 업무편람, 2004, pp. 1-69.
2. 국립환경과학원, 낙동강수계 제3단계 수질오염총량관리 대상물질안 설정, 2010, pp. 1-295.
3. 국립환경과학원, 금강수계 제3단계 수질오염총량관리 대상물질안 설정, 2010, pp. 1-273.
4. 국립환경과학원, 영산강·섬진강수계 제3단계 수질오염총량관리 대상물질안 설정, 2010, pp. 1-246.
5. 국립환경과학원, 수질오염총량관리기술지침, 2012, pp. 1-102.
6. 국립환경과학원, 낙동강수계 제1단계 수질오염총량제 시행성과평가, 2011, pp. 1-525.
7. 국립환경과학원, 금강수계 제1단계 수질오염총량제 시행성과평가, 2011, pp. 1-588.
8. 국립환경과학원, 영산강/섬진강수계 제1단계 수질오염총량제 시행성과평가, 2011, pp. I.1-VIII.18.
9. 강원도, 제2단계 강원도 낙동강수계 수질오염총량관리 기본계획, 2009, pp. 4.9.
10. 경상북도, 제2단계 경상북도 낙동강 오염총량관리 기본계획, 2009, pp. 4.21-4.34.
11. 경상남도, 제2단계 경상남도 오염총량관리 기본계획 수립, 2009, pp. 4.29-4.45.
12. 대구광역시, 제2단계 대구광역시 낙동강수계 수질오염총량관리 기본계획, 2009, pp. 4.15-4.17.
13. 부산광역시, 제2단계 부산광역시 낙동강수계 수질오염총량관리 기본계획 보고서, 2009, pp. 4.17-4.18.
14. 대전광역시, 대전광역시 수질오염총량관리 제2단계 기본계획, 2009, pp. 4.37-4.40.
15. 충청북도, 충청북도 제2단계 금강오염총량관리 기본계획, 2009, pp. 4.13-4.17.
16. 충청남도, 제2단계 충청남도 금강수계 수질오염총량관리 기본계획, 2009, pp. 4.79-4.86.

17. 전라북도, 전라북도 금강수계 제2단계 오염총량관리기본계획 최종보고서, 2009, pp. 4.19-4.30.
18. 전라북도, 전라북도 섬진강수계 제2단계 오염총량관리기본계획 최종보고서, 2009, pp. 4.12-4.16.
19. 광주광역시, 제2단계 광주광역시 영산강 수질오염총량관리 기본계획, 2009, pp. 4.10-4.11.
20. 전라남도, 영산강수계 제2단계 오염총량관리기본계획, 2009, pp. 4.12-4.22.
21. 전라남도, 전라남도 섬진강수계 제2단계 오염총량관리기본계획, 2009, pp. 4.19-4.35.
22. 국립환경과학원, 수질오염총량관리를 위한 비점오염원 최적관리지침, 2012, pp. 1- 144.
23. 환경부, 비점오염원관리 업무편람, 2011, pp. 1-227.
24. 환경부, 물재용시설 설계 및 유지관리 가이드라인, 2013, pp. 1-390.
25. 환경부 · 한국환경공단, 저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인, 2013.
26. 박재홍, 조일형, TiO₂ 촉매에 의한 Acid Orange II 의 광분해, 대한환경공학회지, 2004, 26(7), pp.744-750.
27. 환경부, 오염총량관리시행계획 이행평가기준, 2010, pp. 1-18.
28. 경기개발연구원, 소규모 가축분뇨 처리시설의 효율적 관리체계 구축에 관한 연구, 2009, pp 1-170
29. 김재환, 박치호, 광정훈, 최동윤, 정광화, 정의수, 정연배, 유용희, 가축분뇨 공공처리시설의 경제적 적정규모 설정, 축산시설환경, 2008, 14(1), pp. 23-30.
30. 국립환경과학원, 낙동강 축산계 오염원 TOC 원단위 마련 및 오염물질 배출경로 규명 개선연구, 2011, pp. 3-65~3-72.
31. 농협경제연구소, 가축분뇨 자원화 이용현황과 당면과제, 2011, pp. 1-36.
32. 김한수, 빗물이용시설의 개요 및 설계사례, 설비저널, 대한설비공학회, 2012, 41(2), pp. 24-30.
33. 최계운, 최종영, 이진원, 지하 빗물저류시설의 설치에 따른 유출저감 효과 분석, 한국수자원학회 논문집, 2003, 36(3), pp. 455-464.
34. 윤재동, 디워터링 및 빗물이용시설 설치사례, 설비저널, 대한설비공학회, 2009, 38(6), pp. 68-70.
35. 소방방재청, 우수유출저감시설의 종류·구조·설치 및 유지관리기준, 소방방재청 고시 제2010-27호, 2010, pp. 1-191.