



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2011年 8月

博士學位論文

都市地域 非點汚染 特性과
降水利用에 關한 研究
-廣州市를 中心으로-

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

裴 喆 鎬

都市地域 非點汚染 特性과
降水利用에 關한 研究

-廣州市를 中心으로-

A Study on the Characteristics of Non-Point Source
in the Urban and Using Precipitates

-Focusing on Gwangju city-

2011年 8月 25日

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

裴 喆 鎬

都市地域 非點汚染 特性和
降水利用에 關한 研究
-廣州市를 中心으로-

指導教授 申大允

이 論文을 工學博士學位 申請論文으로 提出함.

2011 年 4 月

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

裴 喆 鎬

裴喆鎬의 博士學位論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 教授 金正圭 印

委員 朝鮮大學校 教授 崔炯一 印

委員 朝鮮大學校 教授 鄭京勳 印

委員 光州廣域市
保健環境研究院 部長 白桂辰 印

委員 朝鮮大學校 教授 申大允 印

2011 年 6 月

朝鮮大學校 大學院

目 次

List of Tables	iii
List of Figures	vi
ABSTRACT	viii
I . 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적 및 범위	2
II . 이론적 고찰	3
2.1 비점오염원의 일반현황	3
2.1.1 비점오염원의 정의 및 특성	3
2.1.2 도시지역 비점오염 특성	5
2.2 비점오염원 관리기법	11
2.2.1 구조적 관리기법	12
2.2.2 비구조적 관리방안	20
2.3 국내·외 비점오염원 설치운영현황 사례	23
2.3.1 국내사례	23
2.3.2 국외사례	34
2.4 처리수 재이용에 관한 고찰	39
2.4.1 중수도 개요	39
2.4.2 하수처리수 재이용수의 용도별 수질기준	41
2.4.3 물 재이용에 대한 공중보건 및 환경적 문제	44
2.4.4 국내 하수처리수 재이용시설 현황	45
2.4.5 동일용도의 중수도와 재이용수의 수질기준 비교	50
2.4.6 중수도와 재이용수의 용도별 통합방안	53
2.4.7 재이용수 도로청소에 의한 삭감부하량	55

III. 실험방법 및 분석	64
3.1 비점오염저감시설 모니터링	64
3.1.1 모니터링 개요	64
3.1.2 모니터링 방법	67
3.2 처리시설 현황	71
3.2.1 장치형시설(CDS-MFS)	71
3.2.2 장치형시설(HDS-FSF)	75
3.2.3 시설형시설(직접폭기식 접촉산화 공법)	79
3.2.4 시범사업	81
3.3 삭감부하량 산정 방식	82
3.3.1 연속처리 시설	82
3.3.2 강우처리 시설	83
IV. 연구결과 및 고찰	84
4.1 2009년도 수질 모니터링 결과 분석	84
4.1.1 수질 모니터링 개요	84
4.1.2 지점별 모니터링 결과	85
4.1.3 모니터링 결과 분석	118
4.2 2010년 수질 및 강우량 모니터링 결과	120
4.2.1 강우사상 확률에 따른 모니터링 결과 분석	120
4.2.2 강우량 대비 저감시설별 효율분석	127
4.2.3 저감시설별 오염물질 분석	146
4.3 모니터링 결과 종합 평가	151
4.3.1 수질 모니터링 분야	151
4.3.2 연평균 삭감부하량 산정	153
4.3.3 저감시설별 처리효율	155
4.3.4 강우별 유입수질	156
V. 결론	157
REFERENCES	159

List of Tables

Table 2.1. Comparison of non-point source and point source	4
Table 2.2. Result of in Sewer Pipes and CSOs	6
Table 2.3. Comparison of rainfall loads and other urban areas	7
Table 2.4. Characteristics of urban non-point source pollution	8
Table 2.5. Types of non-point source pollution management technologies	13
Table 2.6. Removal efficiency of treatment method of Han river	26
Table 2.7. Removal efficiency of treatment method of Nag dong river	27
Table 2.8. Result of 2006~2008 Monitoring	27
Table 2.9. Treatment method and facility of quality of Gum river	28
Table 2.10. Result of 2008~2009 Monitoring of Gum river	29
Table 2.11. Introduction of non-point source reduction facility	30
Table 2.12. Result of 2009 Monitoring of Young san river	30
Table 2.13. Water quality standards of graywater in Korea(sewage law) ...	40
Table 2.14. Water quality standards of reusing wastewater	41
Table 2.15. Status of reusing wastewater	43
Table 2.16. Discharge water quality (Daegu)	45
Table 2.17. Water treatment construction (Bucheon)	46
Table 2.18. Status of water quality weeklys (Gangjin)	47
Table 2.19. Status of water quality monthly (Gangjin)	47
Table 2.20. 90% rainfall events in USA citie	48
Table 2.21. Capacity of regional in USA	49
Table 2.22. Comparison of toiletwater water quality standards	50
Table 2.23. Comparison of waterhead water quality standards	51
Table 2.24. Comparison of landscape water quality standards	51
Table 2.25. Integrating item of water quality standards	54

Table 2.26. Removal efficiency of street cleaning	55
Table 2.27. Reduction flux non-point pollution by cleaning load	56
Table 2.28. Construction of street cleaning in Incheon (2006)	57
Table 2.29. Cleaning standards in the United Kingdom England (Recovery time of the highest grade)	59
Table 2.30. Variation and removal efficiency of dust loading to before and after cleaning road after the change in	63
Table 3.1. Water quality monitoring method	67
Table 3.2. Daily precipitation of a point	69
Table 3.3. Sample preservation methods and period	70
Table 3.4. Analysis method	71
Table 3.5. Specifications of equipment form(CDS-MFS)	72
Table 3.6. Specifications of equipment form(HDS-FSF)	75
Table 3.7. Specifications of Contact Oxidation Process facility	79
Table 3.8. Treatment method and facility of quality	81
Table 4.1. Result of 2009 Monitoring	84
Table 4.2. Inlet and effluent concentration of Tanbeol	85
Table 4.3. Reduction flux of Tan stream Beolgyo	90
Table 4.4. Reduction flux of mean annual Tan stream Beolgyo.	91
Table 4.5. Inlet and effluent concentration of Green Park	92
Table 4.6. Reduction flux of Green Park	96
Table 4.7. Reduction flux of mean annual in Green Park	97
Table 4.8. Inlet and effluent concentration of Mokhyeon downstream	97
Table 4.9. Reduction flux of Mokhyeon downstream	101
Table 4.10. Reduction flux of mean annual in Mokhyeon downstream	102
Table 4.11. Inlet and effluent concentration of Gonjiam bridge	103

Table 4.12. Reduction flux of Gonjiam bridge	107
Table 4.13. Reduction flux of mean annual in Gonjiam bridge	107
Table 4.14. Inlet and effluent concentration of Whasin heavy machinery	108
Table 4.15. Reduction flux of Whasin heavy machinery	112
Table 4.16. Reduction flux of mean annual in Whasin heavy machinery	112
Table 4.17. Inlet and effluent concentration of Beolwon stream	114
Table 4.18. Reduction flux of mean annual in Beolwon stream	117
Table 4.19. Reduction flux mean annual	118
Table 4.20. Facilities treatment Spec by 5 points of CS0	135
Table 4.21. Introduction of CS0 treatment facilities	137
Table 4.22. Distribution chart of heavy metal	144
Table 4.23. Comparison of Pollutant Removal Efficiency in each facilities	149
Table 4.24. Distribution chart of treated water quality than average rainfall	150
Table 4.25. Inlet and effluent concentration in each sites	151
Table 4.26. Result of mean treatment efficiency in each sites	152
Table 4.27. Reduction flux of rainfall treatment facilities in each sites mean annual	153
Table 4.28. Treatment efficiency of Pollutant concentration in equipment form and natural form treatment efficiency	155
Table 4.29. Distribution chart of average influent water quality more than rainfall	156

List of Figures

Fig. 2.1. Schematic diagram on non-point source pollutant.	3
Fig. 2.2. Classification of non-point source pollution management	11
Fig. 2.3. Treatment efficiency of equipment form and natural form	32
Fig. 2.4. Variation of average concentration to before and after cleaning road	61
Fig. 2.5. Variation of average silt loading to before and after cleaning road(National Institute of Environmental Research,2008)	62
Fig. 3.1. Location and map of non-point source reduction facility	65
Fig. 3.2. Facilities and schematic diagram of Tanbeol	73
Fig. 3.3. Facilities and schematic diagram of Green Park	74
Fig. 3.4. Facilities and schematic diagram of Mokhyeon downstream	76
Fig. 3.5. Facilities and schematic diagram of Gonjiam bridge	77
Fig. 3.6. Facilities and schematic diagram of Whasin heavy machinery	78
Fig. 3.7. Facilities and schematic diagram of Beolwon stream	80
Fig. 4.1. Average concentration of Tanbeol	86
Fig. 4.2. Removal efficiency of Tanbeol.	88
Fig. 4.3. Average concentration of the hourly Tanbeol.	89
Fig. 4.4. Average concentration of Green Park	93
Fig. 4.5. Removal efficiency of Green Park	94
Fig. 4.6. Average concentration of the hourly Green Park	95
Fig. 4.7. Average concentration of Mokhyeon downstream	98
Fig. 4.8. Removal efficiency of Mokhyeon downstream	99
Fig. 4.9. Average concentration of the hourly Mokhyeon	100
Fig. 4.10. Average concentration of Gonjiam bridge.	104
Fig. 4.11. Removal efficiency of Gonjiam bridge	105
Fig. 4.12. Average concentration of Gonjiam bridge	106
Fig. 4.13. Average concentration of Whasin heavy machinery	109

Fig. 4.14. Removal efficiency of Whasin heavy machinery	110
Fig. 4.15. Average concentration of the hourly Whasin heavy machinery ·	111
Fig. 4.16. Removal efficiency of Beolwon stream.	113
Fig. 4.17. Average concentration of Beolwon stream	116
Fig. 4.18. Reduction flux mean annual	119
Fig. 4.19. Schematic diagram of Proper storage capacity sizes	121
Fig. 4.20. Probability rainfall of 80% rainfall events	123
Fig. 4.21. Maximum probability rainfall of 80% rainfall events	124
Fig. 4.22. 80% rainfall events and average rainfall in 2009	126
Fig. 4.23. Treatment efficiency of the site. (8.5mm)	128
Fig. 4.24. Treatment efficiency of the site. (16mm)	129
Fig. 4.25. Treatment efficiency of the site.(20mm)	130
Fig. 4.26.Treatment efficiency of the site.(6mm)	131
Fig. 4.27. Treatment efficiency of the site.(25.4mm)	132
Fig. 4.28. Treatment efficiency of the site.(32mm)	133
Fig. 4.29. Distribution chart by site types of colon bacillus	134
Fig. 4.30. Treatment Process of Diagram	136
Fig. 4.31. Treatment Process of Diagram(South Commons CS0)	137
Fig. 4.32. Exchange time of facilities maintenance	139
Fig. 4.33. Treatment efficiency by date rainfall of BOD	139
Fig. 4.34. Treatment efficiency by date rainfall of SS	140
Fig. 4.35. Distribution chart of incoming water	141
Fig. 4.36. Distribution chart of treated water quality.	143
Fig. 4.37. Treatment efficiency than rainfall	145
Fig. 4.38. Reduction flux of rainfall treatment facilities in each item mean annual	154

ABSTRACT

A Study on the Characteristics of Non-point Source in the Urban and Using Precipitates -Focusing on Gwangju city-

Bae, Chul-ho

Advisor : Prof. Shin, Dae-yewn. Ph.D.

Department of Life Environmental Engineering,
Graduate School of Chosun University

Conclusion is as in the following that estimate reduction of source loadings for operation of reduction facilities of Non-point source of Gyeonggi-do A city implementing Management of Total Maximum Daily Load and reasonable policy and suitability of treatment facilities. Analyzed removal efficiency of pollutant according to rainfall fluctuation, organic matter, nutrient salts, heavy metal, coliform bacillus.

The analysis result of treatment efficiency for treatment facility of Non-point source pollution appeared that treatment efficiency is 8% more highly than design efficiency in all point and satisfied removal efficiency by the reduction facility which presents to management for Non-point source pollution of Ministry of Environment a guide to office routine.

Result from monitoring treatment efficiency of natural facility and system facility is natural facility →CDS-MFS→HDS-FSF order appeared and with the fact that the treatment efficiency of the natural facility which advises from the Ministry of Environment is high was investigated.

The point by BOD was observed in a high level at the points of the Gonjiam bridge, the Mokhyeon downstream, the Beolwon stream which in domestic

wastewater and Non-point source pollution flow COD was observed to be higher on the Green park, the Gonjiam bridge and the Beolwon stream with pollutant sources of roads and residential areas than the Whasin heavy machinery.

Higher pollutant concentrations were observed on the Tanbeolcho bridge and the Green Park with woodland, road and residential area for SS and the Mokhyeon downstream and the Gonjiam bridge for T-N, T-P, nutrient salts and the Beolwon stream that flow through the downtown area for T-N.

The heavy metal was detected above of 1 mg/L in the Mokhyeon downstream and the Whasin heavy machinery where flow through early rainfall of road and watercourse. Cu, Pb, Zn were contained in early rainfall because of tire road friction and livestock excretions flowing in road.

Reduction plan goals of average a year for non-point source pollutant reduction facility six points in management plans of Total Maximum Daily Load that A city implement is BOD 4.3kg/day and reduction of average a year of six point is 6.8256kg/day, which showed 158.7% more highly than goal after implementation.

When tries to observe a point by reduction load quantity the Beolwon stream, continues treatment facility, showed almost reduction load quantity of average a year because point of the Beolwon stream has a lot of inflow quantity and stream water constantly flow every day.

Reduction load quantity of average a year showed that BOD is high in the Gonjiam bridge and the Mokhyeon downstream which is combined sewer and low in the Tanbeolcho bridge and the Green park.

COD highly showed in the Gonjiam bridge and the Tanbeolcho bridge and the Green park is lowest.

SS showed highest in the Tanbeolcho bridge which is caused pollution from stormwater to downtown and woodland and the Whasin heavy machinery is low.

Reduction load quantity of average a year of T-N and T-P showed highly in the Gonjiam bridge and lowly the Green park .

Although the concentration of Green park was highly measured, Reduction load quantity of average a year lowly showed because of small facility capacity.

When inspected the coliform in 2010 year may between september, the coliform of 120~40/100 ml was detected so unfit for water reuse. So, should install facility can disinfect coliform.

Because manage to separate graywater and water reuse in the sewerage law, confusion of people is worried so need to polysynthetically manage related regulations.

Media exchange cycle of deviced facility is when removal efficiency of BOD is subminimum(40~60%), clean by water at first and when exceed twice, change.

The result which measures 2010 year precipitation preparation contaminants when precipitation is 6~20 mm, pollutant concentration increases and then distribution of concentration constantly appeared from the average annual rainfall. So need to highly change urban non-point source pollutant initial rain assessment probability to 90% precipitation.

When decide treatment facilities scale, it is efficient that consider pollutants removal time, because pollutants removal of initial rain require about three hours.

When remove road dust by water spray vehicle, 44% is reduced. Should supplement related regulations to accept to allocation of pollutant loads where implement Management of Total Maximum Daily Load. Because non-point source BOD standard reduction loadings of road cleaning is about 8.6%.

1. 서론

1.1 연구 배경

수질오염원은 점오염원과 비점오염원으로 구분되며, 점오염원의 경우 1960년대 말 이후 분뇨처리장, 산업폐수처리장, 하수처리장, 축산폐수처리장 및 마을단위 하수처리장 등이 설치되고 방류수 배출기준이 강화되어 배출되는 오염물질이 감소하고 있으나, 산림지역, 농경지, 도시지역 및 유지수량이 적은 하천 등에서 강우 시 배출되는 비점오염물질은 지속적으로 증가하는 추세이다.

4대강 유역 비점오염원의 오염부하량 점유율은 22~37%로서 점오염원 관리만으로 하천의 목표수질을 도달하기는 어려운 일이다.¹⁾ 따라서 정부에서는 2007년 5월부터 수질 및 수생태 보전에 관한 법률을 제정하고,²⁾ 오염총량제 도입과 더불어 비점오염원 관리정책을 추진하여 외국의 다양한 비점오염원 저감시설들이 설치되었으나 관리기술이 확립되지 않은 실정이다.

이와 같이 확립되지 않는 이유는 비점오염원의 유출 및 배출경로가 명확하게 구분되지 않아서 수집이 어렵고 발생량 및 배출량이 강수량 등 기상조건에 크게 좌우되기 때문에 저감시설 설계 및 유지관리가 어렵기 때문이다.³⁾

수도권의 상수원인 팔당호는 광역상수도가 확대될수록 상수원으로서의 의존도가 높아지고 있다. 이에 국가에서는 팔당호의 목표수질을 BOD 1등급(1.0mg/L)으로 설정하여 팔당호의 수질오염을 방지하고자 노력하고 있다.

이에 광주시에서는 수질오염 총량관리 제도를 통하여 물 관리대책으로 산업폐수, 생활하수 등에 대한 수질관리를 중점적으로 시행하였으나, 점오염원(Point Source) 위주의 정책만으로는 목표수질을 달성하기에 한계점이 있다고 판단하였다. 즉 체계적인 수질관리체계 및 세부 이행과제를 수립하고, 효율적인 비점오염원(Non-Point Source) 관리를 통한 한강수계 및 팔당호의 문제점을 개선하여 목표수질에 도달할 수 있도록 하는 등 수질관리 대책⁹⁾을 전향적으로 추진하고 있다.

특히 팔당호 주요 하천 중의 하나인 경안천의 경우 유입되는 비점오염물질의 수질오염 점유율이 전체 BOD부하량의 17%에 달해 비점오염원으로 관리하고 있다.

그 대안으로 광주시에서는 경안천을 통해 유입하는 도시지역과 도로유출수의 비점오염물질 중 BOD 4.3kg/day을 삭감하기 위하여 장치형시설과 자연형시설 등 비점오염저감시설을 설치하여 운영¹³⁾하고 있다.

1.2 연구 목적 및 범위

본 연구에서는 경기도 광주시 소재 비점오염저감시설을 대상으로 주요 수질항목을 모니터링하고, 강우량 및 유입량을 측정하여 오염물질의 삭감부하량을 산정하고 처리효율을 파악하고, 비점오염저감시설의 운영 및 유지관리방안과 처리수의 재이용방안을 제시함으로써 한강수계의 수질을 개선하고 비점오염원 관리를 위한 안정적인 기반을 구축하고자 광주시에서 경안천을 통해 유입하는 도시지역과 도로 유출수의 비점오염물질을 삭감하기 위하여 설치한 장치형시설과 자연형시설 등 비점오염저감시설이 연평균 BOD 삭감부하량 목표인 4.3kg/day을 삭감하는지를 모니터링하며, 저감시설에서 처리된 물을 적절하게 재이용하기 위한 방안을 도출함으로써 한강수계의 수질개선 및 비점오염원 관리를 위한 안정적인 기반을 구축하고자 한다.

경기도 광주시 소재 비점오염저감시설 6개소에 대하여 2009년 3월부터 2010년 9월까지 BOD, COD, SS, T-N, T-P, 중금속, 대장균군 등 6개 항목을 모니터링 한다.

또한 강우량 측정과 수질모니터링은 한강수계 오염총량관리계획(환경부, 2006년) 이행평가 지침에 준하여 실시한다.

2009년도 측정주기는 연속처리시설 1개소는 8일 간격으로 30회 이상 측정하고, 강우처리시설 5개소는 채수조건 만족 시 연간 7회 이상 측정하고, 수질 모니터링 농도, 유량 측정, 오염물질 삭감부하량 및 연평균 삭감부하량 등을 산정하여 비점오염저감시설의 운영 및 유지관리와 주변지역의 식생점검 및 오염원 제거에 대하여 파악하였다.

그리고 6개 시설을 대상으로 2010년도 유입수 대비 방류수에 대한 처리효율을 파악하여 환경부에서 제시한 기준에 적합한 시설여부를 연구하기 위해 측정지점별로 강우량 변동에 따른 오염물질 추이를 파악하고 처리수에 대한 재이용방안을 검토하였다.

II. 이론적 고찰

2.1 비점오염의 일반현황

2.1.1 비점오염원의 정의 및 특성

1) 정의

비점오염원이란 Fig. 2.1에 나타낸 바와 같이 일반적으로 강수현상 시 일시적으로 오염물질을 배출하는 오염된 대기층, 도시지역, 산림지역, 농경지, 건설지, 초지, 유하량이 적은 하천 등을 일컫는다.

이에 반해 점오염원은 관거를 통해 수집되어 수질오염방지시설에서 처리하는 가정, 공공기관, 공장, 축산시설, 양어장 등으로서 연 중 지속적으로 오염물질을 배출하는 시설을 말한다.²⁾

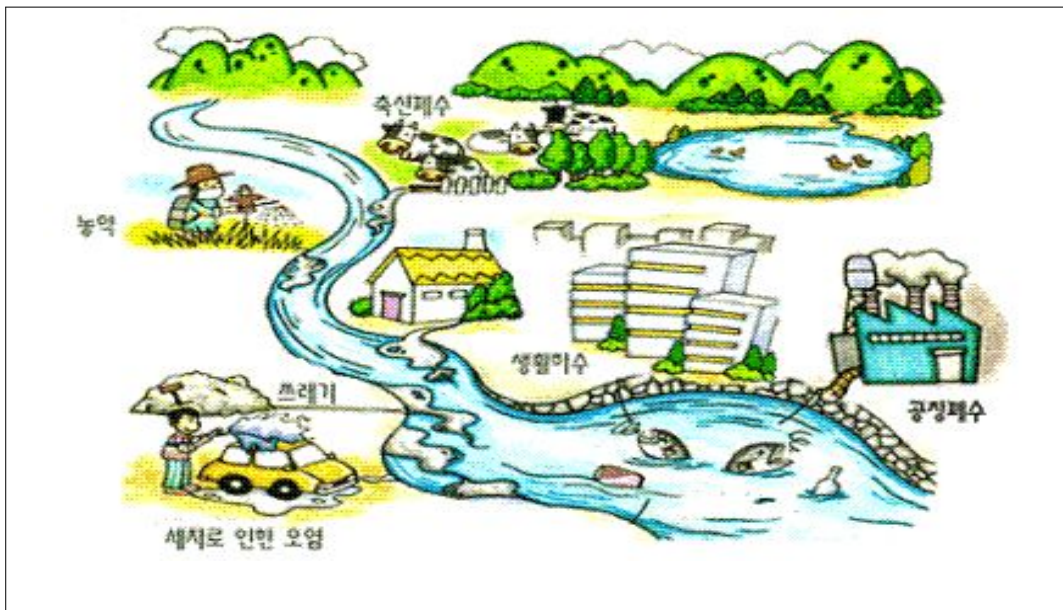


Fig. 2.1. Schematic diagram on non-point source pollutant.

2) 특성

Table 2.1에 점오염원과 비점오염원의 특성을 나타낸 바와 같이 비점오염물질은 강수 시 비나 눈에 용해되거나 흡착된 대기오염물질, 도시지역 도로와 지붕 및 나대지 등의 퇴적물, 산림지역에서 유출되는 부식질의 침출수, 농경지에서 농작물에 흡수되지 않고 남아있는 비료와 농약, 대단위 건설현장에서 유출되는 토사류, 초지에 방목하는 가축의 배설물, 유하량이 적은 하천의 하상 퇴적물 등을 일컬으나, 이 외에도 점오염원인 축산농가에서 배출되는 미처리 축산폐수와 하수처리장의 저류조가 설치되지 않았거나 용량이 부족하여 설계유량을 초과한 오하수와 빗물의 혼합수 등이 포함된다.⁴⁾

점오염원은 오염물질의 유출경로가 명확하여 수집이 쉽고, 계절에 따른 영향이 상대적으로 적은 만큼 연중 발생량 예측이 가능하여 관거 및 처리장 등 처리시설의 설계와 유지관리가 용이하다. 반면, 비점오염원은 오염물질의 유출 및 배출 경로가 명확하게 구분되지 않아 수집이 어렵고 발생량·배출량이 강수량 등 기상조건에 크게 좌우되기 때문에 처리시설의 설계 및 유지관리가 어려운 현실이다.

상수원 보호와 수생태계의 건전성 확보를 위해서는 폐수처리시설·하수종말처리시설 등 점오염원을 관리하기 위한 대책을 지속적으로 추진하는 동시에 토지개발 계획수립 단계에서부터 비점오염물질 저감방안을 마련하는 것이 바람직하다. 또한 각종 비점오염을 유발하는 개발사업의 경우 공사완료 후에도 비점오염저감을 위한 사후관리를 철저히 하여 사업장내에 야적된 원료, 폐기물 등을 적절하게 관리하고 축산농가·농경지·가정 등에서 비점오염물질이 유출되지 않도록 대책을 수립하여야 한다.

Table 2.1. Comparison of non-point source and point source

구 분	점오염원	비점오염원
배출원	· 공장, 가정하수, 분뇨처리장, 축산농가 등	· 대지, 도로, 논, 밭, 임야, 대기 중의 오염물질 등
특 징	- 인위적 - 배출지점이 특정·명확 - 관거를 통해 한 지점(주로처리장)으로 집중적 배출 - 자연적 요인의 영향을 적게 받아 연중 배출량이 일정함 - 수집이 용이하고 처리효율이 높음	- 인위적 및 자연적 - 배출지점이 불특정·불명확 - 희석, 확산되면서 넓은 지역으로 배출 - 강우 등 자연적 요인에 따른 배출량의 변화가 심하여 예측이 곤란함 - 수집이 어렵고 처리효율 일정하지 않음

2.1.2 도시지역 비점오염의 특성

(1) 비점오염원 배출 특성

도시지역은 택지개발 및 도로건설 등으로 인하여 녹지 및 투수층 면적은 줄어들고 불투수층 면적이 증가하고 있다.

도시상공에는 주택, 산업시설, 자동차 등에서 배출되는 각종 오염물질이 누적되고 특히 대도시의 경우 도시외곽에 고층 아파트들이 줄지어 들어서서 시내 쪽으로 불어 들어오는 신선한 공기를 차단하기 때문에 열섬현상이 발생하여 대기오염이 심화되고 여름철에는 열대야가 수 일간 지속되기도 한다.

환경정책평가연구원(2002년, KEI)연구결과⁵⁾에 의하면 이와 같은 대기오염물질은 건기에는 바람에 날리거나 자연 침강하여 지붕, 도로, 지표 등에 쌓이거나 풀, 나무에 달라붙는 형태로 건성침착하고, 강수 시에는 공기 중의 먼지와 같은 입자상 물질이 비나 눈 등에 흡착하고 용해성 가스들이 용해되어 산성비나 산성 눈의 형태로 강하하여 습성 침착하여 토양이나 호수수를 산성화하고 불투수성표면에 떨어진 비와 눈은 땅 속으로 스며들지 못하고 한꺼번에 하천으로 유입된다.

한편 불투수층 면적이 넓은 만큼 땅 속으로 스며든 빗물의 양이 줄어들어서 집중호우 시 하천이 범람할 수 있는 위험성이 높아지고, 건기에는 토양에서 증발되는 수분량이 감소하여 공기가 건조해지고 하천 유지용수가 줄어들어 하천의 건천화가 초래된다.

도시지역에서 배출되는 폐기물 중에는 쉽게 부패되는 음식물류폐기물 뿐만 아니라 동물사체, 금속성 물질, 유기성 독성물질 등이 포함되어 있으므로 적절한 관리가 필요하며, 청소가 불량할수록 이러한 폐기물에서 파생되는 세균, 먼지, 매연, 약취 등의 2차 오염물질이 유발되고 위생해충이 번식되어 비위생적 환경이 조성되고 강우 시 일시에 하천에 유입되어 오염부하량을 가중시킨다.

지표면에 퇴적된 입자상 오염물질이 빗물에 쓸려 한꺼번에 하천에 유입됨에 따라 초기 강우 시 배출되는 오염물질의 농도가 가장 높은 초기세척 효과(first flush effect)가 나타나고 강우가 지속되면서 농도는 낮아지게 된다. 도시지역 토지이용에 의한 주요 비점오염물질은 유기성 부유오니, 기름, 중금속, 각종 도시폐기물, 실트, 모래, 자갈 등으로 알려져 있다.

또한 초기 강우 유출수는 유기성물질의 농도가 높고 각종 독성물질이 포함되어

있어서 수중의 용존산소를 급속히 고갈시켜 물고기를 폐사시키고 하천 생태계를 파괴하는 등 수질을 교란할 개연성이 크므로 초기 강우유출수를 집수하여 적절하게 처리하는 것이 비용-효과면에서 효율적이라고 보고된 바 있다.⁵⁾

그리고 주거지역과 상업지역을 개발할 때 도로·주차장 등 불투수층 면적이 증가함에 따라 강우 시 증가하는 유출률은 불투수층이 2배 증가할 경우 오염부하량은 1.7~2.0배 증가하고 불투수층이 10% 증가할 경우 배출부하량은 10~50% 증가한다.

분류식 하수관거로 정비되는 신시가지 등에서는 중금속·유기물질 등이 포함된 강우유출수가 우수관거를 거쳐 오염물질 처리과정 없이 바로 하천으로 유입되고 구시가지는 합류식 하수관거에 기반한 경우가 많으며 강우 초기에 월류되는 배출수의 오염물질 농도가 건기 시 하수농도보다 최대 30배에 이르기도 한다.

Table 2.2에 도시지역 초기우수와 관거유출수의 오염물질 농도를 나타내었다.⁶⁾

Table 2.2. Result of in Sewer Pipes and CSOs

(단위 : mg/L)

항 목	CSOs(합류식하수관거월류수)		우수관거유출수 평균농도	하 수 평균농도
	평균농도	강우초기 월류농도		
COD	121	1014	16 ~ 68	100
SS	240	1936	23 ~ 127	60
T-N	17	51	3.3 ~ 9.6	16
T-P	2.2	16.2	0.1 ~ 0.5	1.4

또한 활발한 상업 활동과 교통량의 증가 등으로 도로 등 지표면에 누적되는 오염물질이 많아지고 각종 상점, 재래시장과 주유소 등에서는 중금속, 질소, 석유계 탄화수소, 기타 독성물질 등 다양한 오염물질이 발생한다.

도로 노면에 떨어진 기름, 마모된 타이어 분진, 도로 보수 공사 시 발생한 토사 등이 건기 시 퇴적되어 있다가 강우 시 직접 하천으로 유입되는 급속한 도시화·산업화로 도로율이 증가하고 교통량이 늘어남에 따라 일반 도시지역보다 강우 시 오염부하량이 높게 나타난다.⁷⁾

Table 2.3에 도로와 도시지역의 오염물질농도와 오염부하량을 제시하였다.

Table 2.3. Comparison of rainfall loads and other urban areas

항 목	오염농도(mg/L)		오염부하(kg/ha/day)	
	도로	고밀도아파트	도로	도시지역
BOD	12.1	6.1	1.7 ~ 5.5	0.8 ~ 1.1
COD	67.7	15.9	1.9 ~ 6.4	1.3 ~ 1.4
SS	126.6	59.6	11.0 ~ 28.4	1.7

(2) 도시지역의 비점오염원 유출현황

비점오염원의 유출형태를 토지이용별로 구분하면 도시형과 농촌형으로 구분하고, 도시지역은 다시 주거지역, 상업지역 및 공업지역으로 분류한다.

주거지역은 인구밀도 및 경제활동 정도에 따라 비점오염물질의 유출량이나 농도가 달라지며 유기물과 퇴적물 발생량이 많고, 상업지역은 생산과 소비가 집중된 지역으로서 불투수지표면이 가장 많고 단위 면적당 오염물질 유출량이 가장 많으며 특히 유기물과 T-N 배출량이 많으며, 공업지역은 초기강우 시 오염물질농도가 주거지역의 약 25배 정도로 높고 금속 및 독성물질이 함유되어 별도의 독성물질 관리가 필요하다.

Table 2.4에 나타낸 바와 같이 일반적으로 도시지역은 토지이용 형태가 다양하고, 오염물질의 농도와 유출량은 토지이용의 형태에 따라 차이가 크며 또한 같은 토지이용이라도 이용 특성에 따라 비점오염배출량의 차가 크다. 도시지역 우수유출 수에는 병원균, 제초제, 금속, 탄화수소 및 영양염류 등을 포함되어 있어서 사람, 가축 및 동·식물뿐만 아니라 수생태계에 직접 피해를 끼치고 부영양화를 일으킬 개연성이 높고, 불투수지표면이 10% 증가할 경우 오염물질의 배출량이 10~50% 증가하며, 특히 초기강우의 오염물질 농도가 매우 높으므로 최적관리기법(best management practices; BMPs)에 의한 관리가 요구된다.

Table 2.4. Characteristics of urban non-point source pollution

용도 지역	특 성
주거 지역	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 인구밀도 및 경제활동 정도에 의해 비점오염원 유출정도가 결정됨 ◦ 주로 유기물질과 퇴적물이 많이 발생
상업 지역	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 생산과 소비가 집중되어 있고, 불투수지표면이 가장 높은 지역 ◦ 단위 면적당 오염물질 유출이 가장 높음(유기물질, 질소의 배출량이 높음)
공업 지역	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 초기강우 시 오염물질농도가 높은(주거지역의 약 25배) ◦ 금속 및 독성물질이 함유되어 있어 유독물 관리 차원으로 접근이 필요
공통 사항	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 불투수지표면 10% 증가 시 오염물질 배출량 10~50% 증가 ◦ 초기강우 오염물질 농도가 상당히 높음으로 최적관리기법(BMPs) 적용이 필요

주) BMPs : Best Management Practices

(3) 비점오염원 배출물질

제2단계 수계오염총량관리 기술지침(환경부, 2008년)⁹⁾에 따르면 도시지역 강우유출수에 포함되어 있는 비점오염물질은 부유쓰레기와 같이 강우후의 유출수에 단기적으로 영향을 미치는 것과 독성 오염물질 및 영양물질과 같이 생태계와 인체건강에 장기적인 영향을 미치는 것도 있다. 도시지역 강우유출수에 함유된 주요 비점오염물질의 종류별 수체영향은 영양염류, 병원균, 독성물질, 고형물 등이 있다.

① 영양염류

인과 질소는 광합성과과정에서 다양한 형태로 식물이 사용하는 영양물질로 자연수 중의 인은 Orthophosphates(PO_4), Polyphosphates, Orhanically bound phosphates 의 세가지 종류의 형태로 존재한다. 한편, 자연 상태의 질소는 가스상(N_2), 암모니아(NH_3 , NH_4), 아질산(NO_3)과 유기화합물에 결합된 질소로 존재한다. 1984년 임봉수 등이 연구²⁵⁾한 내용에 의하면 수질오염에 영향을 미치는 형태는 무기인과 무기질소라고 한다.

인과 질소는 두 가지 모두 지하수로 이송될 수 있지만 인은 토양점토와 결합하여 토양 내에 부착되어 다른 식물에 의해 사용되거나 토양입자와 함께 부유한다. 반면 질소는 토양 내에 용해상태로 존재하기 때문에 강우에 의해 뿌리지역 하부를 통과하여 지하수로 유입 될 수 있고, 질소가 고농도로 함유된 지하수를 음료로 사

용할 경우 어린이에게 청색증을 유발할 수 있다. 도시호수와 저류기간이 2주이상 인 저수조의 경우에는 표면의 조류스컴, 물의 변색, 악취, 조류분해로 인한 산소 농도저하, 독성물질 방출, 수자원 쾌적성 감소와 같은 장기적이고 심각한 부영양화 현상을 나타낼 수 있다. 고농도의 영양물질은 얇은 하천의 바위와 자갈에 부착 성장하는 녹조류의 성장을 촉진하여 방류하천의 투과량을 감소시킨다.

② 병원균

인간의 장에 관련한 질병의 상당수는 분변 발생원에 의해 오염된 물을 통해 감염된다. 잘 알려진 박테리아균으로는 이질, 파라티푸스, 장티푸스를 유발하는 살모넬라균, 바실러스 이질을 유발하는 Shigella, 콜레라를 일으키는 Vibriochilerae와 위장염을 일으키는 E. Coli 등이 있으며, 다른 오염물질과 달리 박테리아와 병원균은 환경에서 비교적 낮은 생존기간을 가진다. 지표수에서의 생존율은 온도, 광밀도, 염도, 영양물질농도, 박테리오파지와 포식자, 흡착과 침전, 독성물질의 존재 같은 환경 인자에 따라 다양하다.

한편, May, W.W. ect(1997)⁶⁰⁾은 도시강우 유출수에서 발견되는 병원균에 전염되기 위해서는 도시강우 유출수에 일반적으로 존재하는 수 이상을 섭취해야 하기 때문에 도시강우유출수가 심각한 건강문제를 유발하는지 않는다고 하였다. Ottawa 지역의 질병전염에 있어 도시강우유출수의 기여도에 대한 Gore and Storrie Proctor and Redfern(1981)의 연구에서도 Ottawa 강우유출수와 유입수체에서의 분변성 대장균군 지표박테리아와 병원성 박테리아 간에 상관관계를 발견할 수 없었다고 발표하였으나, 저농도로 존재해도 발병의 위험성이 있는 균(P.aeruginosa, Salmonella typhosa, Shigella, enteroviruses)이 도시 강우유출 수에서 발견되므로 도시강우 유출수의 건강위해성을 과소평가할 수는 없다.

③ 독성물질

강우유출수내에는 각종무기 및 유기 유해물질이 함유되어 있다. 미국의 전국조사 자료(NURP)에서는 대부분의 거주 지역에서 농도는 지역별로 큰 차이는 보이지 않았으나(EPA. 1983), Pitt and McLean(1986)의 연구결과 토론토에서의 거주지역과 공업지역은 건기와 우기에 따라 도시강우 유출수 농도와 발생량이 크게 차이가 있음을 보여주고 있다. 살충제는 대부분 거주지역의 도시강우 유출수에서 검출된 것임에 반해, 중금속과 기타 유해물질들은 대부분이 공업지역에서 검출되었고 건기의 도심지저유량에서도 유해한 독성 오염물질이 발생되었으며, Lindane과 dieldrin은

거주 지역의 건기 기저유출량에서 일반적으로 존재하는 반면, PCBs는 일반적으로 공업지역 건기 시의 우수 관거에서 발견되었다. 공업지역 도시강우 유출수에서 검출된 대부분의 중금속은 건기와 우기 모두 높은 농도로 검출되었다.

도시우수유출수중에 함유된 독성물질중 상당수가 미국 EPA의 인간 건강보호를 위한 수질기준을 크게 초과하였다. 예를 들어, 음용수로서 사용되는 지표수내 PAHs에 대한 일반적인 기준은 $0.0028 \mu\text{g/L}$ 이다. 도시강우유출수내 검출되는 가장 일반적인 PAHs 중 4가지 Chrysene($0.06 \mu\text{g/L}$), Fluoranthren($0.3 \sim 2V$), Phenanthren($0.3 \sim 10 \mu\text{g/L}$), pyrene($0.3 \sim 16 \mu\text{g/L}$)이 기준치를 100에서 수천배 초과하는 것으로 조사되었다.³⁴⁾

④ 고형물/부유물질/침전물

강우유출 수에 의해 유입된 부유/고형물은 공공수역으로 유입 후 수로 바닥에 가라앉거나 부유하여 독성, 부식성 가스를 유발하고 일반적인 탁도 증가 거품, 스크 등으로 미관상의 문제를 일으킨다.

침전물은 강우유출 수에 의해 이송되는 가장 심각한 비점오염물질 중의 하나로서, 상당부분이 자연풍화와 인위적 활동의 결과물로 도시지역의 경우 침전물 부하는 개발공사 시 가장 많이 발생하며, 적절한 침식조절방법이 설치·운영되지 않으면 상당량의 침전물이 영양물질과 유기물을 부착하여 하천수로로 이송된다. 하천과 호수의 고농도의 부유침전물은 탁도 증가, 광투과량 감소, 물고기의 아가미 막힘 등의 결과를 초래할 뿐만 아니라, 침전물로 인한 저니(sediment) 생태계의 질식과 바닥기질의 조성변화를 가져오고, 수자원의 전반적인 미적 가치가 저하된다. 또한 침전물은 독성 미량 금속의 운반자로서 일단 공공수역으로 이동되어 침적되면 침전물에 축적된 오염물질은 적합한 환경 하에서 다시 활발한 반응성을 가지게 되어 저니의 생물체에 위해를 줄 수 있다.³⁶⁾

(2) 농촌지역

임봉수 등이 연구한 결과²⁵⁾에 따르면 농촌지역의 경우 영농시비에 의한 고 부하 영양염류의 유출과 축산분뇨, 액비, 탁도 물질 등 다양한 비점오염원이 존재하고, 실제 강우 시 고농도로 유출된다.

2.2 비점오염원 관리기법

주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법연구(국립환경과학원, 2007년) 결과⁸⁾ 공공수역의 수질관리를 위해서는 비점오염물질의 관리가 필수적이며, 비점오염원 관리를 위한 최적관리기법의 형태는 침전지·침투지대 건설 및 각종 물리적 처리시설 설치 등의 공학적 기법(engineering art)과 생태기술(eco-technology)에 바탕을 둔 구조적 방법과 배출수기준의 적용, 토지이용규제, 도시관리, 대기오염의 규제 등의 비구조적 방법으로 구분된다.(Fig.2.2)

각종 처리시설 및 구조물을 설치하여 관리하는 경우 비점오염원 규제 능력이 큰 반면 비용이 많이 소요되고, 토지이용 규제와 같은 비구조적 방법을 적용하는 경우 비용은 적게 소요되나 민원발생의 소지가 높다.

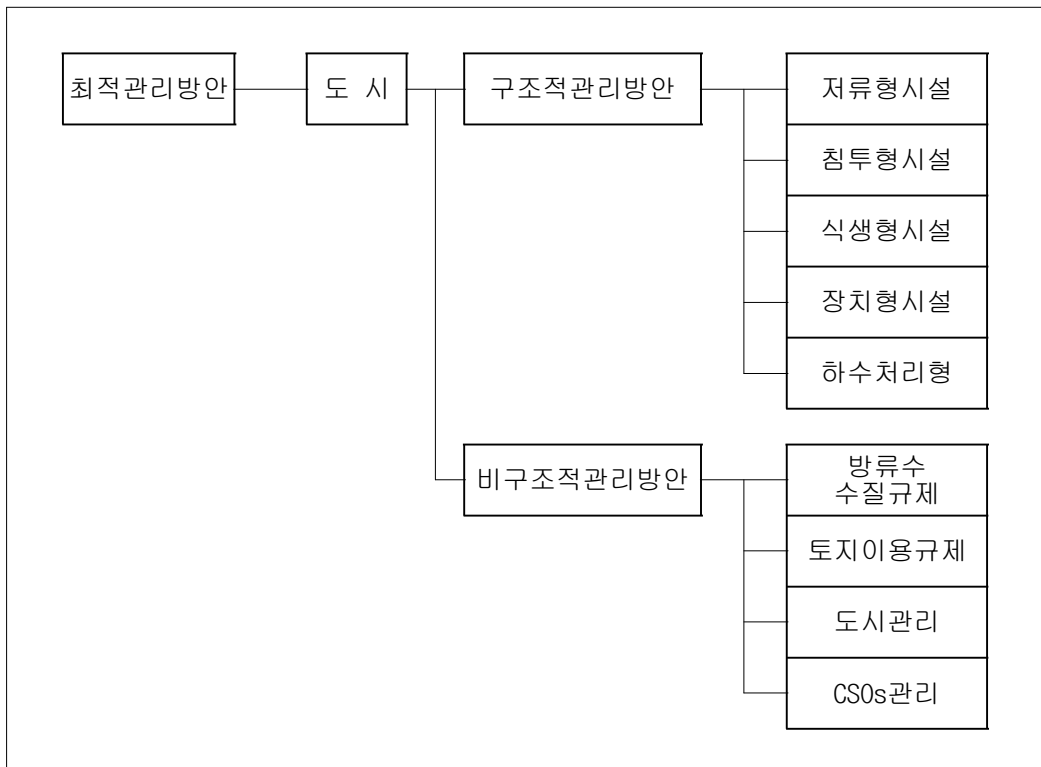


Fig. 2.2. Classification of non-point source pollution management.

2.2.1 구조적 관리기법

비점오염원 유출 저감을 위한 우수 유출 수 관리방안(한국환경정책·평가연구원, 2002)」 조사⁵⁾에 따르면 Table 2.5에 나타난 바와 같이 대부분의 비점오염물질은 우수유출 수에 의해 희석되어 오염원에서 보다 저 농도로 이동하기 때문에 이를 효과적으로 처리하기는 매우 어려우므로 발생 전에 침식억제공법 등을 이용해 유출자체를 억제시키는 것이 가장 효과적이다.

일단 유출된 후 수집시스템 내에서의 처리법에는 침전에 의한 오염물의 제거(저류형), 침투능 증가를 통한 오염물 제거(침투형), 식생을 이용한 오염물 제거(식생형)등의 기법이 있다. 처리효율을 높이려면 오염된 물을 다른 우수유출수와 최대한 분리하여야 하고, 이와 같은 분리를 위해 우회수로와 같은 시설이 건설되기도 한다. 비점오염저감시설의 설치 및 관리운영 매뉴얼³⁾(2008년, 환경부)에 위와 같은 방법은 공학적인 구조물이 필요하고 오염원에서의 관리방안보다 비용이 많이 소요된다고 한다.

중랑천 비점오염원 관리대책 연구 결과(서울시, 2002년)¹⁰⁾에 의하면 대표적인 구조적 관리기술은 저수지나 다공성의 포장도로를 통한 침투시스템, 저류지나 지하 저류실을 통한 저류시스템, 습지와 같은 체류 시스템, wet land 건설, 고수부지를 이용한 복합 여과 시스템, 미디어와 생화학반응을 이용한 여과 시스템, 수로의 식물을 이용한 수생식물처리 시스템, 직접 연결되는 불투수성 표면의 최소화, 유수분리기나 유체역학적 구조물 등을 이용한 혼합 장치형 시스템이 있다

비점오염원 저감을 위한 우수유출 수 관리시설⁸⁾에는 크게 저류시설, 침투시설, 식생형 시설, 장치형시설, 여과형시설, 처리형시설 등으로 나눌 수 있으며, 이중 강우유출수 저류시설, 침투시설, 하수처리형 시설은 비점오염원의 저감뿐만 아니라 홍수 방재를 위한 우수유출 저감 기능도 가진다.

대부분의 비점오염원 유출은 우수유출과 동시에 일어나기 때문에 우수유출량이 저감 될수록 비점오염원 저감량도 증가하므로 대부분의 비점오염원 관리시설과 우수유출 억제시설은 기본적으로 비슷한 구조를 가지고 있다.

Table 2.5. Types of non-point source pollution management technologies

구 분	비점오염원 관리기술의 종류	비 고
저류형	· 하수관거, 저류연못, 이중목적저류지(유수지활용), 인공습지, 지하저류 · 발생지 소규모 저류	홍수방재 기능 포함
침투형	· 침투지, 침투트렌치, 침투도랑, 침투집수정, 투수성포장	홍수방재 기능 포함
식생형	· 식생여과대, 식생수로	
장 치 형	여과장 치형 · 강우여과조(Storm Filter), 모래여과조(Sand Filter)	
	관거 연결형 · 회전농축분리기, 부유침전물 분리장치(Vortex Solids Separations), 부유물 오일분리기, Stormceptor, Stormgate, Wilson 시스템	
하수처리형	· 초고속응집침전시설, 생물학적 처리시설 (접촉안정법, 폭기식라군법, 살수여상법, 회전원판법)	홍수방재 기능 포함

(1) 저류형 관리시설

1) 개요

저류형 관리시설로서의 저류지는 본래 기능인 홍수량 조절과 오염물질을 침전처리하기 위해 체류시간을 일정시간 연장한 저류지로서 도시 우수유출 내에 포함되어 있는 오염물질을 일시 저류시켜 제거하는 가장 단순한 관리방법이 있다.

Aronson et. al(1983)³⁴⁾에 따르면 우수저류시설은 지역 외 저류시설(Off-Site Retention)과 지역내 저류시설(On-Site Retention)로 분류하는데 지역외 저류시설은 유역의 말단부에 설치되어 유역으로부터 유입된 우수를 조절할 목적으로 설치한다.

그리고 지역 내 저류시설은 유역 내에 내린 강우가 우수관거, 우수지 및 하천으로 유입되기 전에 물을 일시적으로 저류시켜 유출을 억제하는 시설을 말한다.

대부분의 저류시설은 우수 유출수 저감을 위한 목적으로 시작되었으나 발생원에서 우수유출을 저감시킬 경우 비점오염원의 유출저감이 발생하므로 비점오염원 저감을 위해서도 효과적이다.

부유물질, 질소, 인, 금속류 등에 대한 제거능력은 45~100%까지 가능하다.

2) 종류

(가) 지역 내 저류

팔당상수원 비점오염원 최적관리사업(2000년 환경부)과 하수도시설 개축 및 기능개선 전략연구 결과(국립환경과학원, 1998년)¹¹⁾에 의하면 첫째는 건물 간 저류는 연립 주택 및 건물사이 공간을 지역 내 저류시설 공간으로 이용하는 것으로, 긴급차량의 진입, 건축물의 보호, 아동에 대한 안전대책 및 유지관리 등을 종합적으로 고려하여 저류 가능량을 설정 하였다.

둘째는 주차장 저류는 배수구 부분에 오목 면을 만들어 빗물을 저류하는 것으로 오리피스(Orifice)와 같은 조절장치에 의해 하수로 유입시키는 방법이 있고 포장면 가장자리에 수로를 만들고 초지와 모래를 깔아 침투로를 만드는 방법이 있다.

셋째 지붕(옥상)저류는 공동주택 등의 옥상을 지역 내 저류시설로써 이용하는 경우에는 옥상 방수 및 건축물의 기본 구조도를 고려하여 저류 가능용량을 산정한다.

도시형 홍수에 많은 피해를 입는 고밀도 시가화 지역에 효과적인 방법으로, 차량의 통행에 장애가 되지 않을 뿐만 아니라 일반적으로 보이지 않는 곳에 설치되므로 외관상으로도 문제가 제기되지 않으며, 안전성에 대한 우려도 적다.

넷째 지하저류는 우수저류시설을 지하에 설치하여 지하부분을 우수 저류시설용으로 이용하고, 그 지상부분은 주차장, 공원 등으로 이용할 수 있도록 한 것으로 일반적으로 지가가 비싼 시가지에 설치한다.

건물 지하저류는 크게는 지하저류로 분류되는 방법으로 홍수 다발구역인 고밀도 주택가에서 이용가능하다.

주로 고층주택 및 큰 건물 등의 지하공간을 이용하여 설치하는 것이 유리하며, 공원 등의 공공시설의 지하를 이용하거나 건물 지하에 설치하여 지하 조절지의 지주 등이 건물의 기초를 겸하도록 일체적인 구조로 설치 가능하다.

(나) 지역 외 저류

하천설계기준해설(한국수자원학회, 2005년)¹²⁾에 따르면 이중목적 저류지(Extended Detention(dry) Basins)는 강우유출 수 범람조절과 수질개선의 두 가지

목적에 위한 설치물이다.

도시 내 홍수방재시설과 기반시설을 활용하여 홍수와 비점오염물질 부하를 줄이려는 시도에 적합한 시설물로써, 앞으로의 저류지 건설은 이중 기능을 수행할 수 있도록 계획하되, 지금으로서는 기존의 도시 홍수방재시설과 기반시설을 이용하여 비점오염을 줄일 수 있는 고안물을 추가 설치하는 방안을 고려해볼 수 있다.

오염물질의 침전을 촉진하기 위해 강우유출수를 임시로 저장하는 지역과 하천하류의 범람을 줄이기 위해 일정수준의 유출수를 저류하는 지역으로 구분한다.

제1단 저류지는 큰 빈도의 강우(10년, 25년, 100년)가 올 때를 제외하고는 일반적으로 건조 상태로 유지되고 제2단 저류지는 침전에 의한 오염물질의 포획을 유도한다. 그리고 이중목적 저류지의 용존성 오염물질의 제거율을 높이기 위해서는 제2단의 저류지는 연못이나 습지로 만드는 것이 바람직하고 인공습지는 인공습지를 점오염물질의 처리뿐 아니라 비점오염물질을 처리하는데 이용한다.

Booth et. al(2002) 연구결과⁴¹⁾ 북미(미국, 캐나다)에서는 하·폐수를 연못시스템이나 전통적 하수처리공법으로 운영되는 하수처리장에서 처리한 후 고도처리 수준으로 처리하기 위해 자유수면 인공습지를 주로 사용하며, 유럽은 하·폐수를 2차 처리 수준으로 처리하기 위해 토양여과 인공습지를 일반적으로 사용한다.

2004년 신현석 등의 연구결과²¹⁾ 국내에서의 인공습지 조성은 담수호인 시화호 유입부에 인공습지(750,623㎡ 규모)를 조성하여 반월천과 동화천의 오염하천수를 정화하기 위해 수자원공사에서 설치하였고, 농림부(농업기반공사)에서 아산시 마산저수지로 유입되는 초사천과 황산천사이의 자연습지(5,500㎡)를 활용하여 수질정화를 유도하는 시범사업을 수행하였다.

연못은 강우 유출수를 체류시키므로 수질을 개선하고 홍수시 피크 유출을 조절한다.

고형물제거에 목적이 있는 저류지와 달리 연못은 물리적 침전과 생물학적 처리를 통해 용해성 오염물질까지 제거할 수 있는 영구적인 시설로서 내부에 물이 항상 고여 있는 영구연못과 강우 시 외부의 물이 일시적으로 체류되는 임시연못이 있다.

비점오염물질 제거효율은 배수구역에서 발생하는 강우유출 수에 비한 저수용량의 규모에 따라 결정한다.

영구연못은 대규모 강우 시 발생할 수 있는 침전물의 재부상을 방지할 수 있을

뿐만 아니라 영양물질이 조류에 의해 섭취되는 등의 생물학적 공정이 일어나 용해성 오염물질의 농도를 감소시키는 장점이 있다.

(2) 침투형

2008년 서울시정개발연구원 연구결과¹⁴⁾에 따르면 우수가 지하로 침투되도록 유도하는 시설로 주로 지표면이나 지하의 일정공간에 쇄석 등의 다공질 매질을 충전하여 우수를 지표 혹은 지표면보다 얇은 곳에 시설된 불포화 지층을 통해 분산 침투되도록 하는 시설물로 환경적으로 가장 바람직한 기법이다. 오염물질은 토양입자에 의한 흡착, 여과 및 침전에 의해 제거되며, 강우의 토양 침투는 지하수 함양 효과를 높여주므로 지하수량 확보에 도움을 준다.

공원이나 녹지 등을 이용하여 침투율을 증가시키는 방법과 보도나 주차장 같은 불투수면을 투수성이 높은 재료를 이용하여 침투가 가능하도록 하는 방법이나 빗물이 수로에 흐를 때, 지하로 스며들도록 유도하는 시설로 침투지, 침투도랑, 침투 집수정, 지하 매관법, 쇄석공극 저류법, 투수포장 등이 있다.

침투지는 강우유출수의 차집과 임시저장 그리고 침투를 위해 투수성 토양에 설치된 수저장시설로서 그 형태와 시공방법이 저류시설과 유사하다. 임시 방수로만 있고 기본적인 유출 구조물이 없는 것을 제외하면 저류시설과 유사하며 저장된 우수유출수는 토양으로의 침투에 의해서만 유출한다. 박테리아, 부유고형물, 비용존성 영양물질, 기름과 유지, 그리고 부유폐기물의 제거에 특히 효과적이지만 용존성 영양물질의 제거에는 그다지 효과가 없다.

침투도랑은 우수유출 수 수집과 임시저장, 주변 토양으로의 지속적인 침투를 유도하여 지하수 함양을 돕고, 강우유출수의 유량과 침투 배출량을 감소시킬 목적으로 소규모 지역에 이용한다. 형태는 가늘고 긴 굴착된 도랑으로 0.3 ~ 3m의 깊이가 자갈로 채워지고 자갈간의 공극을 통해 강우유출수를 임시로 저장한다. 도랑표면은 돌, 자갈, 모래 또는 풀이 식재된 지역과 지표유입부로 구성되어 여과과정에 의해 오염물질이 제거한다. 부유성 침전물과 부유쓰레기, 박테리아 등은 효과적으로 제거되나 용존성 영양물질 제거에는 큰 효과가 없어 지하수를 통해 수계로 배출될 수도 있다.

침투 집수정은 침투통의 저면에 모래, 쇄석을 충전하여 채운 구조로, 침투집수정 하부저면에서 강우유출수를 불포화대 혹은 포화대를 통해서 분산 침투시키는

시설이다. 상부 구조는 택지형, U형 및 도로 암거형 등이 있으며 상부는 덮개를 설치한다. 침투 집수정내 막힘 및 오염이 심한 경우 진공세정 및 청소를 실시한다.

지하 매관법은 침투 트렌치와 대별되는 방법으로, 지표에서 30 ~ 60cm정도 깊이에 관경 5 ~ 20cm정도의 침투관을 매설하여, 토양으로 물을 침투시키는 시설이다.

쇄석 공급 저류법은 쇄석 등의 공극을 우수의 저류공간으로 이용하는 저류와 침투의 두 기능을 동시에 가지는 방법이다. 지중에 쇄석구(트렌치), 쇄석조를 설치하여 쇄석간의 공극에 우수를 유입시키고 그 상부는 녹지나 운동장으로 이용하는 것이다. 소요되는 경비는 다른 저류시설, 침투시설과 비교해서 일반적으로 저렴하며 시설 계획규모의 융통성이 크고, 문제점으로는 우선 공극부의 토사 등에 의한 막힘으로 시간경과에 따른 저류기능의 저하된다.

투수성 포장은 우수를 직접 포장체로 투수시켜 하부의 침투기능에 의해 지중으로 투수시키는 시설이다. 투수성 포장재의 사용은 우수유출수량의 감소에 의한 비점오염물질 배출량을 감소시킬 수 있으며, 상당량의 용해성, 입자성 오염물질을 제거가능하다. 제거효율은 포장의 저장용량(저장층 깊이), 조의 표면적, 그리고 토양의 침투율 및 여과율에 따라 결정한다.

(3) 식생형

비점오염원 오염물질의 제거뿐만 아니라 도시지역의 동식물 서식처 확보와 개발지역의 경관 등 도시미관을 개선하는데 도움을 주며, 도시지역의 식생은 불투성 침투지역을 감소시키고 강우유출수의 침투 및 고형물 포획효과가 크다. 다른 물리적 방법에 의해 집중 처리되기 전에 우수유출수로부터 부유 고형물을 제거하기 위한 전처리방법으로도 적합하다.

한강수계 오염총량관리계획(환경부, 2006년)¹³⁾에 의하면 식생수로(GrassdSwale)는 강우 시 토양의 침식을 줄이기 위해 수로에 식생을 도입하는 것으로서 부유 고형물과 금속 같은 오염물질 제거에도 효과적이고 침투과정에 의해 박테리아도 제거되나 영양물질 같은 용존성 오염물질은 잘 제거되지 않는다. 강우유출 수에 포함된 오염물질 제거뿐만 아니라 강우유출수량 조절 기능도 가지고, 제거효율은 경사감소, 식생밀도 증대, 소규모 조절 댐의 설치 등에 의한 우수유출수의 유속감소에 의해 증가될 수 있고 하부 토양의 여과율이 높을 때 제거율도 향상된다. 식생

수로는 연석을 설치하고 배수 시스템을 재정비해야 하기 때문에 기존의 개발지역에는 적용이 어렵다.

식생여과대(Vegetated Filter Strips)는 지표 강우유출수내 오염물질 제거를 위해 사용되며 종종 침투조 같은 다른 시설과 함께 사용된다. 신현석 등이 연구²¹⁾한 자료에 의하면 유입된 유출수가 식생여과대를 통해 흐를 때 유출속도가 감소되고 침전물과 오염물질은 여과, 흡착, 중력 침전 과정을 통해 오염물질이 제거된다. 식생수로와 비슷한 시스템이나 이 시스템으로 유입되는 우수유출수는 일반적으로 넓고 평평하게 퍼지며 흐름은 여과대에 수직흐름이다. 부유고형물, 유기물질, 그리고 일부 금속 같은 오염물질 제거에 가장 효과적이나 영양물질 같은 용존성 오염물질의 제거에는 별로 효과가 없다.

(4) 장치형

200년 수원시 비점오염저감시설 조사연구 결과⁽³⁰⁾에 장치형시설은 물리·생물학적 원리를 이용한 장치를 이용하여 비점오염물질을 처리하는 시설로서 협잡물, 총부유물질(TSS), 박테리아, 용존 유기물질 등 제거에 효과가 있으며 다른 시설 또는 관거와 연계 설치하여 처리효율을 높일 수 있음. 여과형, 와류형, 스크린형 시설로 분류할 수 있다.

신현석 등이 연구한 결과²³⁾에 의하면 장치형 시설은 도로, 공항, 차량정비업소, 주차장, 아파트 등 광범위한 장소에 설치 가능하며, 오염원의 직(直)유입부나 하천·호소의 유입 말단부에 기존 관로와 연계하여 설치할 수 있다.

여과형 시설은 강우유출수를 집수조 등에서 차집한 후 모래, 토양 등의 여과재(濾過材)를 통해 여과하여 비점오염물질을 저감하는 시설이다.

와류(渦流)형 시설은 중앙 회전로의 움직임으로 와류가 형성되어 기름·그리스 등 부유성(浮游性)물질은 상부로 부상시키고, 협잡물은 하부로 침전·분리시켜 비점오염물질을 저감하는 시설이다.

스크린형 시설은 망의 여과·분리 작용으로 비교적 큰 부유물이나 쓰레기 등을 제거하는 시설로서 주로 전(前)처리에 사용하는 시설이다.

(5) 하수처리시설 저감형

Water Environment Federation(1993)³⁵⁾에 의하면 물리화학 및 생물학적 하수처리시설을 이용하여 비점오염원을 처리하며 유지관리비용이 가장 많이 소요되는 방법이다. 국내의 강우사상은 대부분 유출이 크게 일어나는 6~9월까지로 국한되어 있고, 그 양과 농도의 변동 폭이 매우 심하기 때문에 이들 시설의 운전이 매우 어려운 현실이다. 시설형 저감시설은 크게 물리·화학적 원리를 이용한 응집·침전 처리형과 생물학적 처리형이 있으며 응집·침전 처리형 시설은 응집제를 사용하여 고형물을 응집한 후 침강시설에서 오염물질을 침전·분리시키는 방법으로 URC(Ultra Rapid Coagulation)공법, ActFlo 공법 등이 있다. SS 제거에 탁월하나, 슬러지 발생량이 많아 이에 대한 처리계획을 제시하여야 한다.

생물학적 처리형 시설은 미생물에 의해서 콜로이드성, 용존성 유기물질을 제거하는 시설로 접촉안정군, 라군(Lagoons), 살수여상법, 회전원판법 등이 있다. 고도처리가 가능하나 강우유출수의 수질과 수량에 대한 부하가 불규칙적이며 강우유출수에 포함된 독성물질로 미생물 시스템이 마비될 수 있으므로 이에 대한 대응 계획을 제시하여야 한다.

첫째 도시 우수유출수의 고형물을 응집하기 위해 응집제(폴리머, 알루미나, 염화 제2철)를 사용하여 응집과정을 거친 후 침강시설에 의한 침전으로 오염물질을 제거시키는 처리방법으로서 SS제거에는 탁월하나 용존성 유기물질 및 T-N제거에는 20% 안팎의 효과³⁵⁾가 있는 것으로 알려져 있다.

둘째 생물학적 처리공정은 고도처리로서 양호한 처리효율을 가지지만 공정에 필요한 토지 소요면적이 크고, 유지관리비가 높고 고도의 숙련된 기술자를 필요로 한다. 생물학적 처리공정은 콜로이드성, 용존성 유기물질을 제거하기 위한 공정으로서 많은 오염물질이 흡착, 분해, 기타 생물처리공정에서 일어나는 다양한 미생물의 활동에 의해 제거된다.

우수유출수 및 합류식 하수관거 월류수 등의 비점오염물질을 생물학적인 방법으로 처리하기 위해서는 처리시설이 기존 하수처리장에 인접하여 우기에 미생물의 조달이 용이하도록 하는 것이 유리하기는 하나 집수 시스템의 규모가 상대적으로 커지는 단점이 있으므로 설치여건을 기술적, 경제적, 유지관리적 측면으로 분석하여 적용성을 판단해야 할 것이다.

2.2.2 비구조적 관리방안

수계오염총량관리 기술지침(환경부, 2008년)⁹⁾에 의하면 비점오염원 관리기법 중 최선의 방안은 비점오염원 발생을 근본적으로 억제하는 방안으로 주로 비구조적 방법이 이에 속하며 대표적인 비구조적 관리기술은 방류수 수질규제 적용, 토지이용 규제, 도시관리, 합류식 하수관거 월류수 관리(CSOs) 등이 있다.

첫째 방류수 수질규제 적용은 하수처리시설 및 폐수처리시설과 같은 방류수질 규제를 주택단지 및 산업단지의 개발계획 수립 시 비점오염원 저감 설치지침과 규제기준을 계획하도록 한다.

둘째 토지이용 규제는 토지이용을 효율적으로 할 수 있도록 토지개발 시 주변 자연특성, 환경용량 및 개발형태와 부합한 비점오염원 저감방안을 유도한다.

셋째 도시 관리는 도시환경 개선을 위하여 비점오염원이 발생할 수 있는 지역을 대상으로 강우 전 청소, 봄에 눈이 녹기 전에 겨울 내 쌓인 오염물 청소 등을 겸한 거리청소를 실시한다.

넷째 합류식 하수관거 월류수 관리(CSOs)는 합류식 하수관거에서 우기 월류수의 관리로 하천유입 오염원을 감소한다.

다섯째 선진 친환경 경작방법 홍보 및 보급은 침식 및 유출량을 감소시키기 위한 작물 경작방법을 보급, 윤작 등을 실시한다.

여섯째 환경농업을 도입하거나, 비점오염원 관리에 관한 통합규정 신설 등의 환경법령 정비한다.

친환경적인 토지이용을 위한 법령 및 제도정비 추진하거나 상수원지역 친환경농업 진흥국민실천 의식제고를 위한 홍보강화 하는 방안도 있다. 그리고 비구조적 관리방안의 종류로 비점오염원 원천저감방안, 공사 중 오염저감방안, 수변구역 관리방안, 자연완충지역 조성방안, 시민참여 및 교육 홍보방안이 있다.

그 내용을 살펴보면 비점오염원 원천저감방안은 자연계로 배출되는 오염원을 제거 또는 감소하는데 있다. 환경보호와 연계하여 친환경 제품의 사용 및 청정 생산 기술 적용하거나, 생산 공정의 중간부산물 및 최종 배출물을 자원화하여 재활용하고 있다.

비점오염원의 발생 요인을 사전 차단은 자동차 연료, 농약, 페인트, 유기용매 등과 같은 유해물질의 저장, 사용, 폐기하거나 골프장, 공원, 유원지 등의 잔디 관리, 강우 시 부유물의 인근수계로 유입 방지, 주차장 및 주유소와 같은 장소에서의 상업적 활동 방지, 애완동물 배설물의 부적절한 배출 억제, 산업폐기물의 부적절한 적재를 방지한다.

다양한 분야(가정, 상가, 공장, 학교, 교통, 공공장소 등)에서 비점오염원의 발생요인을 저감함으로써 수질개선을 유도한다. 오염원 저감은 중앙정부 및 지자체의 지속적 관심을 통해 교육, 참여 및 보상을 통하여 수행하거나 가정주부를 대상으로 적절한 교육 프로그램 활성화하거나 자동차 오일, 부동액 등을 효율적으로 관리할 수 있는 체계 구축한다.

그리고 적절한 제초제·살충제의 사용, 비료 살포 등을 수행할 수 있는 전문가 훈련, 교육 및 인증을 위한 프로그램 개발, 생분해성이 용이한 친환경제품의 사용 장려, 지표면에서 배출 가능한 애완동물 배설물의 적절한 처리, 강우 시 우수의 적절한 배수, 불투수 주차장에 대한 오염저감을 위한 설계 및 유지관리, 비점오염 발생원을 생산단계부터 저감하기 위한 계획수립, 수자원 보존, 재래식 화장실(septic system) 개선, 오수처리시설 관리에 대한 교육과 관리프로그램 구축, 지하수 오염방지 프로그램도 개발한다.

장점으로는 비점오염원의 원천 저감효과에 의해 오염원 장소 및 인근수계의 수질개선에 교화가 있고, 구조적 비점오염저감시설 설치 개소 수 절감 효과가 있다.

단점으로는 자별적 주민참여가 곤란하고 지속적인 모니터링이 안 되는 것이다.

비점오염원 공사 중 오염 저감방안으로 공사 중 오염저감시설은 필수적이다. 저류지 및 토사유출 방지시설이 일반적이지만 질소·인·유기용매 및 살충제와 같은 오염원 제어를 위한 설계방안을 유도한다. 대부분의 비점오염 저감기술은 공사 중 오염 저감기술에 활용 가능하다. 공사 중 오염 저감기술은 공사 지역에서 오염원 발생을 저감함으로써 수계에 오염원을 최소화할 수 있다.

그 적용성은 침식, 토사유출, 장비의 정비 및 수선, 폐기물 수리 및 처분, 우수 유입구 정비, 분진제어, 자재보관, 세차 및 세륜 시설, 폭파지역, 오폐수 처리 설

비 등이 있다. 모든 공사 지역에 해당되지만 계획과 유지관리 기술은 공사규모와 관련하여 특정 사업에 국한될 수 있다.

재성평가에 있어 장점은 수변구역 및 수계로 유입되는 비점오염원 저감과 수계의 토사 퇴적을 최소화해 있다. 그런 반면에 단점은 공사장에서 수계로 유입되는 물은 유로를 전환한 경우 하천 건천화 현상 발생하는 것이다. 그리고 수변구역 관리는 구역 내 활동 및 개발에 관한 사항으로 강우 시 효율적 관리방안을 모색코자 한다. 인구증가율, 생활, 경제활동, 자연적 오염, 사회간접시설 등의 공동체 생활 속에서 수변구역 고려를 포함한다.

수변구역을 포함한 수계에 영향을 최소화하기 위한 목표와 정책(토지활용방안 포함)을 통한 효율적 수변관리가 요구되고 수변구역관리는 수계중심으로 이루어진다.

2005년 백도현이 연구한 자료¹⁹⁾에 의하면 수변구역 관리는 GIS 혹은 지도 중첩법을 통하여 계획을 수립하고 수계에 적용하라고 제시하고 있다. 그리고 2007년 강두기가 연구¹⁷⁾한 자료에 의하면 수변구역 관리의 장점은 수변구역 인접 토지 및 수계활용 방안과 수변구역 관리를 통한 다양한 토지활용 방안 축적, 환경개선을 위한 모델링 구축에 있다. 그러나 단점은 수변구역과 행정구역의 중첩에 따른 혼선을 야기하는 것으로 드러났다.

2.3 국내·외 비점오염원 설치운영 사례

2.3.1 국내사례

하수도 시설기준(환경부, 2005년)에 따라 국내 사례는 크게 두 종류로 구분된다. 첫 번째로 "수질 및 수생태계보전에 관한법률" 53조에 의한 비점오염원설치신고제도에 의해 설치되는 개별시설과 둘째로 관리지역·수질오염총량제 등 지자체의 필요에 의해 설치되어지는 국고보조사업에 의한 시설로 나누어진다. 이러한 제도적 기반은 2007년 동법 개정과 함께 마련되었으며, 동법의 개정을 위해 2004년부터 시범사업을 통한 근거를 마련하였으며, 그 수행을 한국환경공단과 한국수자원공사에서 실시하였다. 본 연구에서는 비점오염원설치신고제도에 의해 설치되는 개별시설에 대해서는 언급하지 않으며, 2007년 이후의 국고보조사업에 의한 설치시설은 현재 공사 중인 곳이 대부분으로 평가가 불가능한 상황이다. 따라서 2004년 이후로 시행되고 있는 "4대강 비점오염저감 시범시설 설치 및 모니터링"에 대해 집중적으로 고찰하고자 한다.

(1) 한강유역 시범시설 현황

환경부에서 4대강수계에 시범사업으로 설치한 비점오염저감시설은 총 43개소로 장치형 20개, 자연형 23개로 구성되어 있다. 이 중 한강수계의 자연형

시설은 포곡 삼계리, 백사 도지리의 인공습지와 이천IC(침투저류지) 등 총 14개소가 설치되어 있으며, 스크린 + 저류형 시설이 2개소, 인공습지 또한 3개소가 설치되어 있다. 각 시설의 토지이용은 도로, 주거지, 임야 등으로 다양하게 구성되어 있다. 또한 한강수계의 장치형 시설은 여과형, 와류형, 스크린형으로 용인삼가동 차량등록사업소, 김량장동 하천고수부지 등에 설치되어 있다.

2004년도는 식생수로, 식생여과대, 인공습지, 침투도랑, 장치형시설을 19개소를 설치하였고, 2005년도 침투저류지, 침투도랑, 장치형시설 등 6개소를 설치하였다.

4대강수계 비점오염저감시설 모니터링 및 유지관리(2005년~2009년, 환경부)연구결과를 살펴보자 한다.

1) 자연형시설 저류형 시설

광주 경안동 스크린+저류형 시설은 자연형 시설로서, 경기도 광주시 경안동 빗물펌프장 내부에 위치하고 있다. 시설로 유입되는 대상구역의 토지는 논, 밭, 도로 및 기타 등으로 구성되어 있으며, 전체 배수구역 면적은 177.7ha이다. 시설 설계 시 평균유출계수는 0.51이 적용되었다.

모니터링 시설현황을 살펴보면, 차집된 강우유출 수는 유입구를 통과하여 와류 시설로 유입된다. 와류시설을 통과하여 저류조 내로 유입된 후 수위가 상승하게 되면 배수펌프를 통해 배출되게 된다. 본 시설의 모니터링 지점의 경우 유출수 모니터링 지점을 당초의 방류구에서 저류조 내부로 변경하여 시행하였다.

2) 자연형 시설 침투저류형

침투저류형(용인 유방동) 시설은 자연형 시설로서, 경기도 용인시 유방동(용인 IC 부근)에 위치하고 있다. 시설로 유입되는 대상구역의 토지는 도시, 산지, 도로 등으로 구성되어 있으며, 전체 배수구역 면적은 9.13 ha이다. 시설 설계 시 평균유출계수는 0.58이 적용되었다.

모니터링 시설현황을 살펴보면, 영동고속도로 서울방향 우측편의 측구를 통해 강우유출수가 차집 되고 있으며, 유입구(원형파이프+맨홀)를 통과한 유입수는 침전조에서 1차 침전하고 월류하여 시설지(침투저류지)내로 유입된다. 강우가 많을 시 시설지(침투저류지)의 수위가 상승하게 되면 월류구를 통해 유출되어 경안천으로 들어간다. 모니터링을 위한 시료채수는 유입구(원형파이프+맨홀) 및 시설지(침투저류지) 관정에서 실시하였다. 이외에 용인 초부리 침투저류지가 있다.

3) 장치형 스크린형(용인 운학동)

장치형 시설로서 영동고속도로의 유출수가 유입되어 시설과 이어진 유입관을 따라 기선교 아래로 시설 배수로로 이어져있다. 시설 내에 유입된 우수는 원통형으로 와류가 형성되어 중력침전으로 고형물과 토사를 제거하고 스크린을 통과하고 유출관을 통하여 유출부에서 배수로를 따라 경안천으로 들어간다. 시료 채수는 유입부 앞단과 유출관에서 실시하였다.

4) 장치형 여과형(용인 왕산리)

Perlite 재원으로 이루어진 여재에 의한 여과가 주공정이다. 집수조와 여재가 설치된 시설내로 설계되어있다. 시료 채수는 집수조와 시설 내 사이에 유입 맨홀을 통해서 실시하였으며, 유출부는 시설에서 유출관으로 이어지는 맨홀에서 실시하였다. 유량 측정은 저류조로 유입되는 개수로를 통해 측정하였으며, 유출부의 경우 맨홀 내에서의 측정에 위험이 있어 유입량으로 대체하였다. 이외에 용인 역북동, 광주보건소 등이 있다.

5) 와류형(광주시 상번천리)

경기도 광주시 중부면 상번천리에 위치한 와류형 시설은 고형물제거를 위해 원심력 및 중력침전기작을 이용하는 와류형 시설로서 당초 처리용량은 3,005 m³/일로 설계되었다. 배수유역은 중부고속도로 및 45번 국도로 이루어진 100% 도로 지역으로서, 설계상의 배수유역 면적은 0.6ha이나 실제 현장답사 결과 이보다 적은 약 0.25ha의 면적을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 또한 본 시설물은 초기유출시간 60분 동안의 초기유출량 304 m³ (7,296 m³/일) 용량을 처리할 수 있도록 설계되었으며 처리유출수는 인근의 경안천으로 방류된다.

6) 양화천 하천정화시설

경기도 여주군 가남면 상할리 587번지 일원에 위치하고 있으며 면적은 2,400m², 시설규모 10,000m²/일이다. 쇄석과 플라스틱 미디어를 이용한 접촉산화공법으로서 정화 원리는 수중의 자갈 및 플라스틱 미디어에 미생물 막을 형성하여 미생물 막에 의한 하천수중 오염물질의 산화 분해로 수질정화작용 한다. 하천자연정화공법을 이용한 하천수질 개선이 주목적으로서 오염하천을 대상으로 환경친화적 수질개선 및 하천의 자정능력 재고, 팔당호의 수질개선 및 지역주민의 수변공간을 제공 할 수 있다.

그리고 오염된 하천의 자정능력 향상 및 수질개선으로 인한 친수 공간 제공이 가능하며 자연친화적 주거환경 개선이 가능하다.

환경부에서 2006년에서 2008년에 걸쳐 한강수계 비점오염저감시설에 대한 모니터링 결과는 Table 2.6과 같다.

Table 2.6. Removal efficiency of treatment method of Han river

구 분		처리효율(%)				
		TSS	BOD	COD	T-N	T-P
자연형	전 체	31.6 ~ 96.8	44.0 ~ 95.8	37.5 ~ 94.5	18.9 ~ 96.8	42.9 ~ 95.9
	저류시설	31.6 ~ 94.3	52.7 ~ 94.7	52.8 ~ 94.5	34.2 ~ 89.9	48.2 ~ 92.6
	인공습지	80.4 ~ 90.7	63.2 ~ 91.6	62.6 ~ 88.8	18.9 ~ 89.8	64.9 ~ 92.7
	침투시설	68.0 ~ 95.8	51.6 ~ 94.0	51.5 ~ 94.5	39.4 ~ 91.2	42.9 ~ 95.9
	식생형시설	75.1 ~ 96.8	44.0 ~ 95.8	37.5 ~ 94.2	28.2 ~ 96.8	47.2 ~ 95.1
장치형	전 체	0.5 ~ 92.8	-2.7 ~ 81.0	6.2 ~ 80.9	-22.1 ~ 70.1	7.0 ~ 77.9
	여과형	0.5 ~ 92.8	-2.7 ~ 81.0	18.8 ~ 80.9	-9.3 ~ 70.2	8.2 ~ 77.9
	와류형	7.7 ~ 48.9	15.4 ~ 33.5	10.6 ~ 27.1	4.0 ~ 32.5	18.4 ~ 43.8
	스크린형	4.8 ~ 42.6	0.5 ~ 35.0	6.2 ~ 30.8	-22.1 ~ 25.4	7.0 ~ 53.3

(2) 낙동강유역 시범시설 현황

영천시 대명리 등의 처리공법과 시설용량은 Table 2.7에 나타낸 바와 같이 대구 대명동 소재 응집침전형 시설은 도시형 토지이용이 100%를 차지하고 있으며, 배수 유역 면적은 공단지역 및 하천 상류의 도시지역을 포함한 998ha 이다. 본 비점오염저감시설의 설계를 위한 평균유출계수 산정 시에는 불투수율이 매우 높은 공업단지 및 주거 밀집 지역으로 토지이용을 고려하여 0.85를 설정하였다. 응집침전형 시설은 강우 발생 시 배수 유역에서 배출되는 비점오염물질 중 초기강우에서의 고농도의 총인과 BOD, 부유물을 효과적으로 제거할 수 있게 제작되었으며, 1회 저류용량은 30,000m³이다. 이 유역에서 강우 유출수는 대명천을 통해 집수되며, 응집제를 이용한 응집 및 침전을 주요 기작으로 오염물질을 제거하여 방류된다.

경상남도 김해시 어방동 98-1번지 하천고수부지 일원에 위치한 신어천 하천자연정화 시설은 처리용량이 8,400m³/일 으로서 끈상 미생물 접촉공법으로 하천수중의 자갈이나 풀뿌리 등에 미생물막이 형성되어 오염물질을 산화 분해하여 정화하는 것으로 미생물막의 표면적을 증대시킨 끈상 접촉재를 충전한 본 처리시설에 오염된 하천수를 유입시켜 접촉재에 부착된 미생물에 의해 오염물질을 분해하는 생물학적 처리공법이다.

낙동강 수계 물 관리종합대책'의 일환으로 수질오염이 심화된 하천을 중심으로 자연 정화시설을 설치, 자연정화기능을 향상시킴으로서 영남권의 상수원인 낙동강의 수질을 개선하고 지역주민의 주거환경 개선에 기여하고자 한다.

하천수는 별도의 이송시설 없이 본 처리시설에 유입되어 단계별로 자연유하 되면서 처리되므로 시설의 유지관리비용이 저렴하며, 처리장에서 발생하는 슬러지는 포기조 하부에 침전된 후 펌프-카에 의해 직접 흡인되어 반출, 처리하므로 슬러지 처리에 따른 2차 오염 및 공해방지 하천의 자정능력을 향상시켜 수질정화 및 생태계 복원을 가능하게 한다.

Table 2.7. Removal efficiency of treatment method of Nag dong river

대상지명	처리공법	배수구역(ha)	시설용량(m ³)	주요 오염원
영천시 대평리	인공습지	568	5,000	축산 및 농업지역
함안군 산서리	식생수로	351	1,600	농업지역
구미시 원평동	여과형	25	6,120	주거지역
달성군 논공읍	와류형	88	19,200	공단지역

2006년과 2008년에 걸쳐 낙동강 수계 4개 시설에 대한 비점오염저감시설에 대한 모니터링 결과는 Table 2.8과 같다.

Table 2.8. Result of 2006~2008 Monitoring

대상지명	처리공법	처리효율(%)				
		TSS	BOD	COD	T-N	T-P
영천시 대평리	인공습지	33.5~47.4	-2.3~32.9	24.4~36.1	23.4~33.0	21.9~29.5
함안군 산서리	식생수로	28.6~35.4	2.7~33.0	8.4~33.0	20.5~34.4	10.2~32.1
구미시 원평동	여과형	48.9~74.5	47.9~63.1	48.6~73.7	18.0~24.7	37.9~45.9
달성군 논공읍	와류형	28.1~41.9	13.4~27.6	14.6~21.3	12.7~20.0	10.9~22.3

1. 경북영천 인공습지와 경남함안 식생수로는 공사후 하류부 수위상승으로 인해 물이 정체되어 전반적인 효율이 낮게 산정되었음.
2. 대구시 대명동 응집침전형 비점오염저감시설은 현재 시운전중으로 금번 모니터링시 제외

(3) 금강유역 시범시설 현황

Table 2.9에 나타낸 바와 같이 금강 수계 공주시 우성면 등 5개 비점저감시설에 대한 처리공법 등을 Table 9에 나타낸 바와 같이 금강유역은 비점오염원에 의한 부하가 하천 및 호소 수질에 미치는 영향이 전체의 20~30%로 추정되고 있으며 주요 오염원으로는 도시 노면배수, 사업장 야적물질, 축산분뇨 유출, 농경배수 등이 있다.

도시지역, 도로, 농경지와 같이 광범위한 지역에서 강우유출수와 함께 배출되는 비점오염원의 처리기술 확보를 위해 금강 수계에 비점오염원 관리시설을 시범적으로 설치 운영하고 비점오염원관리시설의 시범적 설치 및 운영, 모니터링을 통해 비점오염원관리 시설 설계·운영자료 등을 충분히 확보하여 향후 본격 추진되는 비점오염원 관리사업의 성공적 수행의 토대를 마련하는데 그 목적이 있다.

또한, 금강 수계 방류수역의 수질개선 효과로 인한 수자원 보호와 해당수역의 수질보전 및 부영양화 감소를 통한 환경개선 효과, 오염물질 부하의 하천환경오염 저감으로 쾌적한 생활 및 자연환경에 기여할 수 있다.

Table 2.9. Treatment method and facility of quality of Gum river

위 치	배수특성	배수구역 면적(ha)	부지면적 (m ²)	처리공법	시설용량 (m ³ , m ³ /d)
공주시 우성면 상서리	농업배수	221	21,650	인공습지	11,235
서천군 서천읍 구암리	농업배수	79	8,442	인공습지	3,945
서천군 장항농공단지	농공단지	26	3,438	장치형	12,355
논산시 연무읍 양지리	축산배수	11	9,702	장치형+인공습지	4,006
김제시 신흥동	농업배수	86	6,312	인공습지	1,945
정읍시 덕천면 도계리	축산배수	60	5,441	장치형+인공습지	3,542

2008년에서 2009년까지 금강 수계 인공습지와 여과형 시설에 대한 모니터링 결과를 Table 2.10에 나타내었다.

Table 2.10. Result of 2008~2009 Monitoring of Gum river

시설명	제거효율(%)				
	TSS	BOD	COD	T-N	T-P
인공습지 (논산 양지리)	38.4~94.3	34.6~82.4	-34.0~75.3	7.3~26.6	55.5~58.8
여과형 (서천 장항농공단지)	81.6~96.3	10.3~83.0	45.6~85.2	19.0~55.2	-218.7~54.0

(4) 영산강수계 비점저감시설 시범설치사업

영산강수계 비점저감시설은 Table 2.11에 나타난 바와 같이 영산강 및 섬진강은 비점오염원에 의한 부하가 하천 및 호소 수질에 미치는 영향이 수계에 따라 전체의 20~40%에 미치는 것으로 추정하였고, 특히 여름철 강우기에 집중적으로 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 영산강권역 수질개선을 위해서는 점오염원은 물론 비점오염원에 대한 관리가 필수적이다. 도시지역, 도로, 농경지와 같이 광범위한 지역에서 강우유출수와 함께 배출되는 비점오염원의 처리기술 확보를 위해 영산강·섬진강수계에 비점오염원 관리시설을 시범적으로 설치 운영하고 비점오염원관리시설의 시범적 설치 및 운영, 모니터링을 통해 비점오염원관리시설 설계·운영자료 등을 충분히 확보하여 향후 본격 추진되는 비점오염원 관리사업의 성공적 수행의 토대를 마련하는데 그 목적이 있다.

또한 영산강수계 방류수역의 수질개선효과로 인한 수자원 보호와 해당수역의 수질보전 및 부영양화 감소를 통한 환경개선 효과, 오염물질부하의 하천환경오염 저감으로 쾌적한 생활 및 자연환경에 기여할 수 있다.

Table 2.11. Introduction of non-point source reduction facility

위 치	배수특성	배수구역 면적(ha)	부지면적 (m ²)	처리공법	시설용량 (m ³ /d)
나주시 동수오량농공단지	농공단지	46ha	866	장치형	23,933
나주시 성북동 주차장	주차장	775평	2,604	침투형	213
나주시 다시면 송촌리	농업배수	253ha	25,728	인공습지	13,127
광주시 상무지구1	주거지역	160ha	5,184	장치형	71,280
광주시 상무지구2	주거지역	90ha	6,392	장치형	64,109

4대강수계 지점오염저감시설 모니터링결과(2009년, 환경부) 영산강 수계 나주시 성북동 침투형 시설 등 4개 비점저감시설에 대한 처리효율을 Table 2.12에 나타내었다.

Table 2.12. Result of 2009 Monitoring of Young san river

대상지명	처리공법	처리효율(%)				
		TSS	BOD	COD	T-N	T-P
나주시 성북동	침투형	33.9~69.6	56.5~87.7	48.0~91.2	-244.7~10.8	-1823~-98.6
나주시 송촌리	인공습지	-50.4 ~25.7	40.5~57.6	51.3~53.4	40.0~54.5	61.3~82.0
상무지구1	여과형	82.5~83.2	42.1~43.6	39.1~40.9	28.3~31.8	50.8~53.9
상무지구2	여과형	87.4~90.7	50.2~54.3	48.5~53.6	54.9~50.3	50.8~53.7

(5) 시범사업 평가 분석

1) 효율평가방법

비점오염원 제어를 위한 관리방안(국립환경과학원, 2009년)결과³²⁾비점오염저감시설 처리효율을 객관적으로 평가하기 위해서는 통일된 모니터링 및 분석방법, 저감효율 산정방법 채택이 필요하나, 산정방법에 따른 저감효과 상호비교에 도움을 주고자 네가지 방식 모두 사용되었다.

첫째 제거 효율법(Efficiency Ratio, ER)은 모니터링 강우별 유입/유출 농도 산술평균 저감효율(모니터링 강우별(량)에 따른 저감효율 차이로 가장 신뢰성이 낮음)을 산정 하는 것이다.

둘째 부하량 합산법(Summation of Loads, SOL)은 모니터링 강우의 유입/유출 부하량 합에 대한 저감효율(저감효율평가에 가장 적합하나, 모니터링 한 강우에 따라 저감효율이 영향을 받음)을 구하는 것이다.

셋째 부하량 회귀식법(Regression of Loads, ROL)은 모니터링 강우별 유입/유출 부하량의 추세선(기울기)을 통한 저감효율(강우별 강우량에 따른 저감효율 차이를 보완한 산정방법)을 그리는 것이다.

네째 강우량 빈도법(Rainfall of Frequency, ROFM)은 모니터링 강우별 유입/유출 부하량 저감효율에 강우량별 발생빈도 비율을 고려한 저감효율(각 지역의 연간 강우별 발생빈도를 고려하여 저감효율을 산정할 수 있으나 실제 강우에 따른 효율이 아니라 모델링한 저감효율임)을 산정한다.

2) 처리효율 산정방법별 처리효율

TSS 기준 산정방법별 처리효율은 $ER \leq SOL \leq ROFM \leq ROL$ 순으로 나타난 것으로 파악 되고 있다, 시설별 처리효율 산정결과 ER은 과소값, ROFM, ROL은 과대값이 많고, SOL은 중간 값이 많은 것으로 나타나 EPA(2002)에서와 같이 SOL을 사용하여 평가하였다.

3) 시설별 처리효율

자연형 시설이 장치형 시설보다 처리효율이 높은 것으로 파악되었으며, 자연형 시설은 TSS(67.1~94.6%), BOD(49.5~93.7%), COD(50.0~94.3%)의 저감효율을 나타냈고 장치형 시설은 TSS(14.3~90.4%), BOD(2.5~79.1%), COD(8.1~78.3%)의 저감효율로 제시되었다.

자연형은 침투저류지, 인공습지가 처리효율이 높고, 시설에 유입되는 TSS, BOD, COD가 50%이상 저감되는 것으로 나타났으며 자연형 시설 처리효율 순위 침투저류지 ≥ 인공습지 ≥ 침투도랑의 순으로 보고되었다. 장치형 중에는 여과형이 처리효율이 높은 것으로 나타났으나, 스크린형, 와류형 시설의 처리효율은 50% 미만(TSS기준)으로 제시되었다.

4) 시설별 처리효율에 대한 평가

장치형이 자연형에 비해 처리효율 편차가 큰 것으로 나타났는데 이들 시설에 대한 처리효율을 비교한 결과를 Fig. 3.3으로 나타낸 바와 같이 장치형은 자연형에 비해 시설용량이 작고 수리학적 체류시간이 짧아 강우패턴과 초기우수 유입농도에 대한 완충능력이 낮은 것으로 평가되었으며[장치형 시설의 시설규모 : 수질처리용량(WQv)의 10~20%], 장치형은 유지관리 횟수 및 방법에 따라 처리효율이 증가되는 경향을 나타내는 것으로 보고되었다.

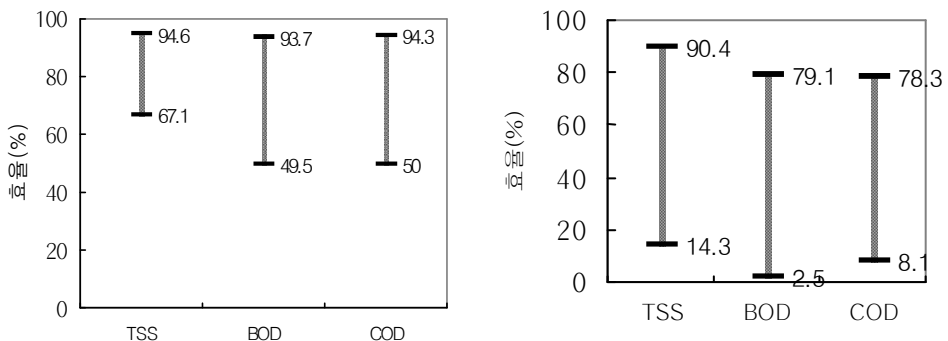


Fig. 2.3. Treatment efficiency of equipment form and natural form

장치형은 완충능력이 낮아 유지관리(준설, 여재교체, 정체수 배제 등) 횟수에 따라 시설의 효율이 증가하는 경향을 보이고 있는 것을 알 수 있었다.

5) 시범사업 사례 분석

시범사업의 모니터링이 장기적인 연속모니터링이 아닌 한계는 있으나 우리나라 최초의 체계적인 모니터링이었으며, 향후에도 지속될 것으로 조사되어 그 가치가 큰 것으로 판단되었다. 결론적으로 자연형 시설이 장치형 시설에 비해 설치비, 운영관리비, 처리효율 등에서 유리한 것으로 제시되었으며, 자연형 시설이 장치형 시설보다 안정적인 처리효율의 확보가 가능하였으며, 설치비, 운영관리비 면에서 유리한 것으로 분석되었다. 장치형 시설의 경우 유지관리 정도에 따라 처리효율의 편차가 큰 것으로 분석되었으며 처리효율 편차의 원인분석과 처리효율 향상을 위한 세부적 검토 필요한 것으로 제시되었다. 비점오염저감시설 설치위치의 적정성이 처리효율에 직접적 영향을 미치는 것으로 고찰되었으며 장치형의 경우 하수의 혼입, 유입·유출 간의 단차가 작은 경우 등에 의해 처리효율이 증가하거나 감소될 수 있다. 따라서 향후 저감시설의 설치위치 선정에 대한 지침이 필요할 것으로 판단되었다. 또한 자연형 시설과 장치형 시설의 조합을 통해 안정적인 처리효율 확보 및 유지관리 용이성 확보가 가능할 것으로 판단되며 자연형은 처리효율이 안정적이고 유지관리 빈도가 낮은 반면 장치형은 시설설치 부지가 적게 소요된다는 장점이 있으므로 장치형과 자연형 시설의 조합방법을 강구하여 안정적인 처리효율과 시설의 콤팩트화를 달성할 수 있는 방법적 검토가 필요할 것으로 고찰되었다.

2.3.2 국외사례

(1) 미국 뉴욕주 켄지코 저수지

1999년 4월초에 뉴욕시의 환경국(DEC)은 Kensico 저수지에서 물의 오염물을 줄이기 위해 계획한 Stormwater Best Management Practices(BMPs)를 설치하기 시작했다. 켄지코 저수지는 뉴욕시로부터 약 25km 북쪽에 위치하며, 1917년에 건설된 켄지코 댐에 의해 형성되었다.

뉴욕시 식수의 약 90%를 제공하는 Catskill/Delaware 유역의 많은 저수지 중 하나로써 물이 정수장으로 보내지기 전에 이 저수지를 거쳐 지나기 때문에 수질 보전을 위한 다양한 프로그램이 설치 운용되고 있다. 저수지내에 비점오염물질을 처리하기 위한 시설로서 BMPs 저유량 우회처리시스템(Low Flow Diversion)처리 방식이다.⁴¹⁾ 또한 확장 저류조 시스템(Extended detention basin)방식을 적용하여 상부 저수지에서는 입자크기가 큰 침전물을 제거한 후 저류조에서는 박테리아와 같은 미세입자들을 제거할 수 있다.

유역 내 주요 하천에서 발생하는 박테리아를 포함한 오염물을 줄이기 위한 우수 조절(Stormwater Control) 목적으로 실행하였으며 오염물의 유입을 차단하기 위하여 Catskill Upper Effluent Chamber와 MalcolmBrook 사이에 커튼 막(curtain wall)을 설치하였다.⁴²⁾

저수지내로 유입되는 비점오염 물질 중에서 정화조 유출수, 경작지에서의 비료와 농약살포 오염물질, 도로재설용 모래 염화나트륨등을 처리하기 위하여 설치된 시설로 평상시 우수 관거의 저유량인 집배수의 처리가 가능하다. 인공습지의 설치를 통하여 저수지내로 유입되는 병원성세균, 혼탁도, 기타 오염물질의 양을 줄임으로써 수질향상에 크게 이바지할 수 있다. 또한 주변 공장들로부터 유출되는 오염물질의 처리도 기대해 볼 수 있다.

(2) 미국 Des Plaines River 인공습지

미국 illinois주 Des Plaines River 에 설치한 인공습지는 시범사업의 일환으로

서 대규모 실험시설 설치, 유량과 수위의 조절, 토양조건의 시험, 다양한 자연식생의 도입을 통해서 습지의 기능을 평가하고 있다. Illinois 주 Wadsworth 주변에 4개의 습지를 조성하였다. 습지의 규모는 1.9~3.4ha이고 체류시간은 평균 6.5일이다. 유역은 농업(80%) 및 도시지역(20%)으로 구성되어 있으며, 하천은 토지이용활동에 따른 비점오염물질과 소규모 가정하수처리장으로부터 점오염 물질로 인해 오염이 되어 있다. 습지의 경우는 대부분 자연유하 식으로 물을 유입하는 것이 더 좋은 방법이지만 이 경우 부지의 제약과 다양한 수리학적 조건에 대한 실험을 위해서 양수를 통해서 강에서 습지로 물이 유입되도록 하였다.⁴³⁾

토지이용 활동에 따른 비점오염물질의 처리와 소규모 가정 하수처리장의 점오염 물질을 처리하기 위한 저류형 습지로서 미국 Illinois주 Des Plaines강의 인공습지 시범사업은 습지의 활용을 통해서 하천정비를 위한 기준을 얻고, 지속적인 운영으로 유지관리 지침서를 작성하는 것을 목적으로 하고 있다.

인공습지의 설치를 통하여 주변 주거지의 오염물질 정화와 습지 내 생물 다양성의 증진의 도모가 가능하며 주변 환경과의 환경친화성으로 인한 경관의 질적인 향상이 가능하다. 현재 습지로 조성되기 전에 비해 새들의 개체 수는 크게 증가하였다. 물새의 경우는 종류가 500%증가하였고, 종류별로 개체 수는 4,500%가 늘어났다.

(3) 미국 Louisiana 연안습지

미국 Louisianan 연안은 강우 시 토양 유실로 인하여 연안습지가 소질 되고 있으며 소질로 인한 습지의 고농도화로 염분화 되면서 연안습지가 파괴되고 있는 실정이다.³⁹⁾

연안습지의 소실로 인한 인공습지의 고농도 염분화에 의한 습지 파괴현상을 막기 위하여 인공수로를 이용해서 강물을 연안습지로 유입함으로써 고농도의 염분화를 방지하고 연안습지의 감소의 방지를 위하여 습지를 조성하고 있다.

습지의 조성을 통한 시민들의 휴식처와 여가 활동공간의 제공을 도모하고 궁극적으로 토양 유실방지를 통한 수질개선효과를 기대할 수 있다. 강우 시 침투 유출량의 감소효과와 홍수조절, 수질개선, 동식물의 서식처 보호가 가능하다.

(4) 일본 아라카와 하천의 수질개선 사례

일급 하천인 아라카와(荒天)는 이치하사마초(一迫町)에서 발원해 츠키다테초(築館町) 시가지의 남쪽을 거쳐 이즈누마(伊豆沼)에 흘러 유입되며, 유역 면적 18.4 km², 유로장 12.0km의 늪에 유입하는 제일 큰 하천이다. 최근 유역 개발 등으로 인해 생활하수가 유입되어 수질이 악화되고 있는 하천이다. 오염된 하천수를 고수부지의 정화시설에서 처리하여 하천에 환류 시키는 하천정화법은 오염된 하천수의 수질을 50~80% 정도 개선시킬 수 있다는 점에서 최근 급속히 보급되고 있다. 하천정화법 중에서도 역 간접 축산화법은 비교적 오염도가 낮은 다량의 하천수를 일정 시간에 걸쳐 정화할 수 있기 때문에 아라카와 하천에 보급되고 있다.⁴⁵⁾

아라카와 하천은 일본에서 유명한 철새 도래지로서, 근래 유역의 개발 등에 따라 생활 배수가 유입되어 수질의 악화나 토사 퇴적이 심해져 자연환경 보전이 중요한 과제가 되고 있다. 이에 따라 수질이 좋은 하천수를 이즈누마에 유입시키고 늪 내부의 수질을 개선시키기 위하여 하천정화시설을 설치하고 있다.

아라카와 하천의 유역개발을 통한 생활배수의 유입과 비점오염원물질의 유입이 심해져 전문기관에 「이즈누마·우치누마 환경보전 기본계획」 수립을 의뢰하여 책정하고, 단기·중기·장기에 걸치는 사업을 계획하였고, 아라카와현 각 부서와 도시와 농촌이 습지의 복원과 장래를 향한 영속적 보전을 목표로 다양한 대책을 강구할 수 있게 되었다.

이에 따라서 오염된 하천의 자정능력 향상 및 수질개선으로 인한 친수 공간 제공이 가능하며 자연친화적 주거환경 개선이 가능하다.

(5) 일본 가와지리가와(川尻川) 호내호(湖内湖) 식생정화시설

가스미가우라호 내에 돌로 쌓은 경계 제방을 구축하여 작은 호, 즉 호 내 호를 만들어 오염물질을 침전시키는 수심 2m 정도의 침전 Pit를 설치하고, 그 외 대부분의 지역은 수심 0~0.5m 정도의 식생대를 조성 시설의 말단에는 경계제방이 9개소가 열려 있어, 이곳으로 정화된 하천수가 유출되도록 되어 있다.⁴⁷⁾

호 내 식생정화시설의 효과는 조사·연구 중에 있으며, 효과 입증 시 가스미가우라호 전체에 설치 예정이다. 현재 처리효율은 SS 90% 정도, 질소·인 20~30% 정도 제거되고 있으며, 식생대에 치어들이 많이 서식하고 있는 것으로 조사되고 있다. 침전 Pit의 준설은 가스미가우라호 준설과 병행하여 실시하고 있다. 오염물질

의 호 내 직접 유입을 방지하기 위하여 침전 Pit에서 오탁물질을 침전시키고, 인공 섬을 설치하고, 일반침전구역에 갈대, 마코모, 향포 등의 식생대를 조성하여 수질을 정화시키고 있다.

호내호 식물정화시설(湖內湖 植物淨化 施設)은 호소유입하천 하구에 침전지와 습성식생대(濕性植生帶)를 조성하여 초기우수의 오염부하량과 평상시 오염부하량을 감소시키는 시설이다. 동시에 잃어버린 조류 및 어류의 생식지를 복원시켜 주는 역할을 한다.⁴⁸⁾

가스미가우라에는 제방과 주변민가에 영향을 미칠 정도로 파도가 발생하지만, 호내 시설은 파도의 감쇄 효과가 탁월하여 식생대의 재생이 빨라 수질정화 효과도 높으며, 수생생물의 서식지가 조성되어 생태복원 효과가 크다.

가스미가우라호는 크고 작은 52개의 유입하천과 600여개 소 이상의 배수관로가 있어, 이곳으로 유입되는 영양염류는 가스미가우라호 수질악화의 주된 요인이 되고 있다. 따라서 이들 물질들이 호 내로 유입되기 전에 침전 및 저류 등의 방법으로 제거된다면 수질개선에 상당한 효과가 기대된다.⁴⁸⁾

또한 Wetland에서는 하천 등에서의 유입수가 체류하고, 자연 상태에서의 식생에 의한 수질정화(침전, 산화, 흡수 등)가 일어나며, 저서생물 및 수생곤충, 어류, 조류의 서식장소가 되고 있다.

호안정비로 인하여 자연적 Wetland가 많이 훼손되어 가와지리천 하구 부근에 인공적으로 Wetland를 건설하여 수질정화 및 생물 서식환경의 조성이 가능하다.

(6) 일본 Kawasaki시의 우수저류조

홍수예방을 위한 우수 저류조의 설치사업은 2단계 사업으로 시행되고 있는데 1단계는 저류용량 144,000m³으로 3,445억 엔이 투자되었으며, 2단계 용량까지 합할 경우 210,000m³ 5,200억 엔이 소요 예상된다. 저류시설의 용량 산정기준은 5년 확률강우 58mm/hr에 면적 1,871 ha, 유출계수 50%를 대상으로 계획하였다. 당초에는 저류 후 하천에 방류하도록 계획하였으나 관련기관들과의 협의 과정에서 저류된 저류 물은 초기우수 등에 의한 오염소지가 있어 공공수역 관리차원에서 하수처리장으로 일정량씩 날마다 이송 처리하도록 하는데, 대량의 강우 시(희석이 되어있는 것으로 예측)나 강우주기가 짧을 경우에는 하천에 직접 방류하는 것으로 계획되었다. 설치되는 계측기기로는 탁도계를 설치하여 다른 오염물질인 COD, SS 등과

상대 비교하여 오염물질 농도를 예측하도록 되어있다.⁴⁶⁾ 저류조의 원격감시체계는 빗물이 저류조에 들어가도록 항상 수문을 열어놓고 유입될 수 있도록 계획되어 있고 빗물이 유입되어 채워질 경우 자동적으로 수문을 닫도록 되어있어 원격감시가 가능토록 설계되어있다.

Kawasaki 시의 우수 저류조 설치사업의 목적은 시 주변 지역의 566ha에 대하여 홍수를 예방하고, 우천 시 합류되는 하수를 펌핑하여 저류조에 이송함으로써 오염물의 하천방류에 의한 오염을 예방하고, 하천하구의 홍수에 의해 월류되는 하천수를 펌핑 저류함으로서 홍수를 예방하는데 목적이 있다.

다마강이 시내를 관통하여 동경만과 접하고 있는 가와사키시는 70%가 침수 위험지역이며, 하천주변에 우수지가 전혀 없는 관계로 시에서는 홍수에 대한 예방대책을 계획하여 88년부터 국고보조에 의해 홍수예방시설용 저류시설 설치사업을 진행 중이며 홍수예방 및 합류수의 개선(저류수의 하수처리장 이송처리)의 도모가 기대되고 있다.

(7) 뉴질랜드 Manukau 공업지역 CDS 우수처리시설

강우 시 빗물과 함께 발생하는 비점오염물질의 처리를 위하여 뉴질랜드의 Manukau 공업지역에서는 CDS 우수처리시설을 설치하고 있으며 공업지역과 일반주거지역 10ha에 대하여 용량 $0.9\text{m}^3/\text{sec}$ 과 $1.5\text{m}^3/\text{sec}$ 2기가 설치되어 18개월 운영 중이며 3개월에 1회 내부청소를 하며 Cu, Ni, Cr, Oil 등이 제거되며, CDS에 부착된 계측기는 없는 것으로 나타났다.⁵¹⁾

비점오염물질 처리를 위하여 상수도요금에 70%의 하수도요금을 부과하여 재원을 마련하기 시작하여 하천오염 예방을 위한 본격적인 사업을 추진하고 있는 것으로 나타났으며, 최근 오클랜드에 우수처리시설(CDS) 10군데가 건설 중이며 약 20군데가 운영 중이다.

강우유출수의 처리시설인 CDS시설의 설치 효과로 설치 전에는 하천이 오염되어 식생들이 자라지 못했으나, 설치 후에는 생태 복원효과와 함께 하천수질 역시 양호한 상태를 보이고 있다. 또한 뉴질랜드의 Halfmoon Bay Yacht Club에서도 CDS처리시설을 설치하여 Halfmoon Bay Yacht Club 상류지역의 택지 개발 시 허가조건으로 5ha를 대상으로 한 비점오염물질 처리시설 $700\text{m}^3/\text{sec}$ 2기를 설치하여 현재 운영 중이며 항만지역의 오락부하 저감에 기여하고 있다.

2.4 처리수 재이용에 관한 고찰

하수처리수 재이용 가이드북(환경부, 2007년)¹⁵⁾ 비점오염원 저감시설을 가동결과 처리수를 재이용하거나 중수도로 활용하는 국내 사례는 전무한 실정이며, 미국의 경우 1995년 City of Olympia 연구결과⁴⁹⁾ 초기강우를 침전·분리하여 대장균균을 제거한 후 하수처리장으로 인입하여 처리하는 경우는 있다. 그리고 일본의 경우에도 1995년 건설성 조사보고서⁴⁶⁾에 의하면 도로지하에 초기강우를 처리하여 도로 청소수, 조경용수 등으로 재이용하는 사례가 있다.

우리나라의 경우 비점오염원 저감시설에서 처리되는 수량은 하천 유지수로 이용되고 있는데 향후 처리시설보완과 관련 법령을 개정하는 등 제도적 뒷받침이 필요한 실정이다. 국내법에 규정한 하수도법의 중수도 수질기준과 재이용의 용도별 수질기준에 대한 규정을 검토하여 합리적 통합방안을 검토하였다.

2.4.1 중수도 개요

중수도의 수질기준은 하수도법 시행규칙 제 20조에 의해 규정되어 있으며 수세식 변소용수, 살수용수, 조경용수, 세차·청소용수의 4가지 용도로 구분하여 총 9가지 항목에 대한 기준을 Table 13에 나타내었다.

중수도 시스템 및 적용방안 연구 결과(한국수자원공사, 1998년)²⁸⁾ 우리나라는 개별중수도가 대부분을 차지하고 있다. 용도에 있어서도 대부분 수세식 화장실 용수와, 청소용수, 냉각용수 등으로 한정되어 있다. 이에 반해 선진국들은 화장실 용수, 공정냉각용수, 세차용수, 살수용수, 소화용수, 여가용수, 청소용수, 세정용수, 실험용수, 지하살수, 농업관개용, 하천유지용수 등 다양하게 이용하고 있다.

대표적으로 잠실롯데월드, 신라호텔, 기흥 삼성전자, 태영 C.C., 금강 C.C., 이포 C.C., 안양 C.C., 수원 학촌 수영장, 용인 에버랜드, 이천 현대전자, 인터콘티넨탈호텔, 신라호텔, 스포타임, POSCO 빌딩 등에 중수도가 설치되어 있으며 골프장의 경우 살수용수로 사용하고 그 외에는 대부분 화장실 세정수로 이용하고 있다. 롯데월드나 에버랜드 등 대부분의 중수처리시설은 활성슬러지법이나 이의 변형을 이용한 종래의 하수처리법을 이용하고 있으며, POSCO 서울경영정보센터에서는 막 분리를 이용한 중수시설을 운영하고 있다.

Table 13. Water quality standards of graywater in Korea(sewage law)

구 분	수세식변소용수	살수용수	조경용수	세차· 청소용수
총대장균군수	불검출/100mL	불검출/100mL	불검출/100mL	불검출/100mL
잔류염소(결합)	0.2mg/L 이상일 것	0.2mg/L 이상일 것	-	0.2mg/L 이상일 것
외 관	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것
탁 도	2 NTU를 넘지 아니할 것	2 NTU를 넘지 아니할 것	2 NTU를 넘지 아니할 것	2 NTU를 넘지 아니할 것
생물화학적 산소요구량 (BOD)	10mg/L를 넘지 아니할 것	10mg/L를 넘지 아니할 것	10mg/L를 넘지 아니할 것	10mg/L를 넘지 아니할 것
냄 새	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것
pH	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5
색 도	20도를 넘지 아니할 것			20도를 넘지 아니할 것
화학적 산소요구량 (COD기준)	20mg/L를 넘지 아니할 것	20mg/L를 넘지 아니할 것	20mg/L를 넘지 아니할 것	20mg/L를 넘지 아니할 것

1. 총대장균군 군수, 잔류염소, 탁도, 냄새는 먹는 물 공정시험방법에 따라 분석하여야 한다.
2. 생물화학적 산소요구량, pH, 색도, 화학적 산소요구량은 에 따라 분석하여야 한다.

일반적으로 중수도의 원수는 색, 냄새, 탁도 등이 있기 때문에 적절한 처리시설이 필요하며, 상수와 비교해 부식, 스케일, 슬라임 등의 기능 장애를 일으키는 요인이 많으므로 처리시설, 송·배수시설 및 이용설비에 대해서 구조, 체질 등을 적절히 선택하여야 한다.

또한 중수에는 대장균이나 일반세균이 함유되어 있으므로 재이용을 계획할 때는 충분히 인체에 대한 위생적인 측면에 대하여 검토해야 한다. 중수도의 원수는 가정우수, 빌딩 잡배수, 냉동·냉각배수, 공장용수, 하수처리수, 하천수, 우수, 지하수, 해수 등 다양하다. 이 가운데 하천수와 우수는 지형 및 지역조건과 자연조건에 따라 이용량이 크게 제한을 받음으로 각각의 경우에 대해 검사할 필요가 있다.²⁸⁾

2.4.2 하수처리수 재이용수의 용도별 수질기준

우리나라의 하수처리수 재이용수 수질기준은 강제기준이 아닌 권고기준으로서 환경부에서 2005년 기준을 마련하여 보급하였다. 용도별로는 범용재이용수, 인체 비접촉 세척용수, 고도 환경용수, 공업용수의 4가지 용도에 따른 9가지 세부용도로 구분되어 있으며, 13개 수질항목에 대한 기준을 Table 2.14에 제시하고 있다.

Table 2.14. Water quality standards of reusing wastewater

수질항목 \ 용도	재이용 수질권고기준								
	범용 재이용수					인체 비접촉 세척용수	고도환경용수		공업용수 ⁵⁾
	청소용수	도시조경용수	친수용수	유지용수	농업용수 ³⁾		습지용수	지하수충진 ⁴⁾	
pH	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5
SS(mg/L)			<6			<6	<6	<6	
BOD(mg/L)			<3		<8	<3	<5	<5	<6
DO(mg/L)			>2	>2	>2		>2		
탁도(NTU)	<2	<2				<2		<2	<10
냄새	미불쾌	미불쾌	미불쾌	미불쾌		미불쾌	미불쾌	미불쾌	
색도(도)	<20	<20	<5	<20	<20	<5	<5	<5	
결합잔류염소(mg/L) ¹⁾	>0.2					>0.2			
대장균군수(개/100 mL)	불검출	불검출	불검출	<1,000	<200	불검출	불검출	불검출	<1,000
염화물(mgCl/L)		<250			<250		<250	<250	
T-N(mg/L) ²⁾			<10			<10	<10	<10	
T-P(mg/L) ²⁾			<1	<1		<1	<1	<1	
ABS(mg/L)			<1	<1	<0.5		<0.5	<0.5	

또한 폐수처리공학 고풍백 등에 의하면(동화기술, 2004)¹⁶⁾ 하천유지용수나 친수용수는 공원, 휴양지의 호수, 습지강화, 하천흐름 증대와 같이 물이 접한 대지의 특성과 관련이 많은 비음용 분야에서의 이용을 포함하는 것으로서 환경 친화적으로 다양하게 활용될 수 있다.

도시조경용수는 공원이나 놀이터, 골프장, 고속도로, 관공서, 상업지역 등 인근 조경지역에 물을 공급하는 것으로서 주변 식물의 생육에는 위해가 크지 않아야 한다.

이에 따라 하수처리수의 재이용에 대한 필요성은 점차 대두되고 있는 실정으로 첫 번째로는 양질의 안정적 용수공급원으로 지역적 물 부족 현상을 해소할 수 있다. 고도처리에 따라 수질이 양호하고(2007년 기준 고도처리 후 평균 BOD 6.4mg/L) 연중 발생량이 일정한 막대한 양의(연간 66억³m³) 하수처리수를 각종 용수로 재이용할 경우, 물 수급의 지역적인 불균형을 완화하고, 농업용수 확보, 하천유지용수를 공급함으로써 건천화 된 도심하천의 생태계 회복 및 상수도 미보급 지역의 용수를 확보할 수 있다.

두 번째로 오염부하량 감소에 따른 수질개선의 효과가 있다. 막대한 양의 하수처리수를 하천으로 바로 방류하지 않고 다양한 용도로 재이용할 경우, 유입 부하량의 감소로 하천의 수질개선을 도모할 수 있다. 특히, 수질오염총량관리제 시행 지역에서는 가장 효과적인 오염부하량 삭감 수단으로서 추가적인 노력 및 예산을 절감효과가 있다.

세 번째로는 사회 경제적 비용절감 효과를 가져 올 수 있다. 수돗물 사용량 및 댐 주변지역의 지원비를 절감하는 등 사회적 편익과 저렴한 재이용수 공급으로 인해 수요처의 비용절감 및 경쟁력을 제고 할 수 있다. 또한 댐 건설로 인한 일조 시간 감소와 잦은 안개 발생에 의한 생태계 불균형 및 농작물의 피해 저감과 초고도 하수처리기술의 개발 보급 촉진 등 간접적인 효과를 기대할 수 있다.

네 번째로는 신규 고용창출효과를 가져올 수 있다. 재이용 산업과 관련된 설계·설비·건설·유지관리 분야를 제3의 물 산업(The Third Water Industry)으로 집중 육성함으로써 직·간접적인 고용창출효과를 유발할 수 있다.

2007년 말 기준 전국에는 2,262개소의 공공하수처리시설이 있으며(500³/일 이상 357개소, 500³/일 미만 1,905개소) 시설용량은 23,946,298³/일 이고(500³/일 이상 23,816,050³/일 , 500³/일 미만 130,248³/일), 그 가운데 고도처리시

설은 9,080,312^m³/일(500^m³/일 이상 9,027,650^m³/일 , 500^m³/일 미만 52,652^m³/일)로 나타났다. 하수처리량은 18,404,380^m³/일 이며, 고도처리시설 처리량은 6,514,776^m³/일 이다.

지역별 하수처리 용량을 살펴보면 서울특별시 4개의 처리장에서 5,810,000^m³/일로서 국내하수처리량의 약 24.3%를 차지하며, 부산광역시의 경우 2,068,120^m³/일로서 약 8.6%, 대구광역시의 경우 1,862,490^m³/일로서 7.7%정도를 차지하는 것으로 나타난다. 그 다음에는 인천광역시, 대전광역시, 울산광역시의 순으로 나타나며, 도별로는 경기도가 5,132,908^m³/일로 국내비중의 약 21.4%정도를 차지하고 있다. 전국적으로 제일 작은 처리용량을 지닌 광역지방자치단체는 제주도로써 178,779^m³/일의 하수를 처리하여 전국적으로 약 0.7%를 차지하고 있다.

처리공법별로는 고도처리공법(A20, SBR 등)이 245개소로서 69%를 차지하고 있으며, 활성슬러지 공법(표준활성오니, 장기포기 등)은 31%인 112개소이며, 시설확충·개선을 통해 고도처리공법으로 전환하는 추세이다.

2007년 말 기준 공공하수처리시설 총 2,262개소 가운데 하수처리수를 재이용하고 있는 처리시설의 수는 121개소로 재이용하는 처리장의 비율은 약 5.3%정도가 된다. 하수처리수 재이용 수량 비율은 '07년 7.7%(4.9억^m³/년)로써 연간 64.9억^m³의 하수처리량 중 재이용량은 9.9%인 6.4억^m³으로서 '06년도에 비해 증가하였다. 그 가운데 절반 이상(58%)을 세척수·청소수·냉각수 등 장내 용수로 재이용하고, 나머지(2.7^m³)는 하천유지용수·공업용수·농업용수 등의 장외 용수로 재이용하고 있다.¹⁵⁾ 하수처리장 처리수 재이용에 관한 자세한 사항을 Table 2.15에 나타내었다.

Table 2.15. Status of reusing wastewater

구 분	계	장내용수								장외용수				
		소 계	세척수	냉각용수	청소수	희석용수	식수대살수	기타	소 계	하천유지용수	농업용수	공업용수	기타	
'07	재이용량 (천 ^m ³ /년)	641,914	371,980	151,712	54,568	32,614	9,131	4,453	119,502	269,934	133,623	40,383	9,899	26,029
	비율(%)	100	57.9	23.6	8.5	5.1	1.4	0.7	18.6	42.1	30.2	6.3	1.5	4.1
'06	재이용량 (천 ^m ³ /년)	490,866	244,880	115,230	32,556	18,642	8,139	1,000	69,303	245,966	136,816	29,347	6,919	12,904
	비율(%)	100	49.9	23.5	6.6	3.8	1.7	0.2	14.1	50.1	40.1	6.0	1.4	2.6

※ 출처: '07년도 공공하수처리시설 운영관리 실태조사 결과 (2008, 환경부)

2.4.3 물 재이용에 대한 공중보건 및 환경적 문제

2009년 환경관리공단에서 연구한 결과³³⁾에 의하면 하수처리수를 재이용하기 위한 기술 및 공법은 있으나 재이용수의 장기적인 안정성과 환경에 미치는 영향은 정량화하기 어려운 실정이다. 국내 기준을 만족할 만한 수질의 물을 생산할 수 있지만 조류, 거품, 냄새 등 심미적인 문제와 현재 대두되는 인체 유해성에 대한 문제가 있을 것이다. 대부분의 유해한 성분들은 고도처리를 통해 제거되거나 감소되는 성분이 있으나 장기적으로는 건강이나 환경문제를 일으킬 수 있다.

또한 인체 유해성에 대한 문제는 환경호르몬과 관련된 사항이다. 하수처리수를 하천유지용수 등으로 재이용할 경우에는 인간과의 접촉 우려로 인해 병원균은 물론 유기 독성에 대한 잠재 영향이 고려되고 있다. 특히, 유기독성물질의 경우 환경호르몬과 관련되는 영향에 대한 고찰이 진행되고 있다. 즉, 외부로부터 섭취하는 물질(외인성 물질, 외래성 물질), 호르몬과 비슷한 작용을 하는 물질(호르몬처럼 작용하는 물질), 호르몬작용을 저해하는 물질(항호르몬처럼 작용하는 물질), 각종 메커니즘을 통하여 직접적 및 간접적으로 생체의 내분비계(호르몬계)에 영향을 미치는 물질(신경계, 면역계에서의 관여를 통해 호르몬계에 영향을 미치는 물질을 포함)들을 포함하게 된다.

우리나라의 경우, 하수처리장의 유출수에 대한 환경 호르몬의 유무에 대한 조사가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 2005년 서울 J하수처리장의 경우 Nonylphenol(내분비계 장애물질로 비이온성 계면활성제의 종류이며 공업용, 가정용세척제, 유화제, 분산제등 다양하게 활용됨) 성분을 조사한 결과 0.5ppb로 외국보다는 낮은 수치를 나타내었다. 그러나 이는 한 번의 조사에서 나온 결과로서 보다 정확한 자료의 도출을 위해서는 장기적인 조사가 필요할 것이다.

따라서 하수처리의 재이용을 위해서는 하수처리수 유출수에 잔류하는 내분비계 교란물질을 수계로 방류되기 전에 활성탄 흡착, 산화 및 membrane 공정을 이용하여 효과적으로 처리하는 방안을 구축함으로써, 이들 물질의 수계 유입을 막을 수 있고, 하수처리 유출수에 대한 국민의 우려를 불식시키며, 이는 하수 처리수의 재이용 확대에도 기여하게 될 것이다.

2.4.4 국내 하수처리수 재이용시설 현황

공공하수처리시설 운영관리 실태 조사(2008년, 환경부)결과 대구광역시, 부천시, 강진군에 대한 하수처리수 재이용 사례를 고찰하였다.

(1) 대구광역시

대구광역시 신천하수처리장은 1993년 1차 공사(350,000m³/일), 1998년 2차 공사(330,000m³/일)를 준공하여 총 680,000m³/일의 하수를 처리하고 있으며 1997년부터 신천으로 생활하수가 흘러들지 못하도록 차단하고 대구의 젖줄인 신천에 맑은 물이 흐를 수 있는 토대를 마련하였으며, 2002년에는 고도처리시설을 확충하여 기존의 표준활성슬러지법으로 처리가 곤란하였던 질소, 인 등을 제거하여 신천 및 금호강의 수질을 개선하였다.

2002년 준공된 지산(45,000m³/일), 안심(47,000m³/일) 공공하수처리시설과 2002~2005년 준공된 음식쓰레기(200m³/일)를 연계 처리함으로써 중·동·남·북·수성구와 달성군(가창지역)까지 처리하는 대구에서 규모가 가장 큰 공공하수처리시설이다.

처리공정은 A₂O 공법을 활용하여 생물반응조(혐기/무산소/호기)와 모래여과지를 거쳐 최종처리한 후 하루 평균 100,000m³/일을 공급하고 있으며, 방류수질은 평균 BOD 1.9mg/L를 비롯하여 Table 2.16과 같다.

내년부터는 대구광역시의 방침에 따라 신천의 하천유지용수 공급을 재이용수가 아닌 인근 금호강물을 하상여과한 후 공급할 계획으로 재이용수 수요처가 없어져 이에 대한 대책이 필요한 실정이다.

Table 2.16. Discharge water quality(Daegu)

년도	BOD (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	대장균군 (개/mL)
2008년	1.9	7.4	3.7	9.836	1.332	805

(2) 부천시

부천시 굴포천 북부수자원생태공원 시설은 전시효과 및 하수 재이용수에 대한 타시도 보급 효과가 있고, 주변여건상 송수길이가 짧아 중수도시설을 할 수 있는 최적의 조건에 있으며, 부천시 관내에 하천이 없어 하천 개발의 의미가 있다. 대부분의 하수 재이용수 전국 최초 친환경 재활용 인공하천인 시민의 강을 조성함으로써 수자원 재활용에 대한 벤치마킹 대상이 되고, 공업용수로 활용함으로써 수익을 창출하는 역할도 한다.

북부수자원생태공원은 2008년 현재 하수 재이용수의 약96% 이상을 하천유지용수로 사용하고 있으며, 나머지는 공업용수, 화장실 용수, 도로청소 용수 등으로 사용하고 있다. 현재 약 2.8%는 수요처에 공업용수로 공급되고 있지만 수요처의 요구가 증가함에 따라 점차 공급을 늘려나갈 계획이다. 부천시 하수처리장 처리수질 현황은 Table 2.17에 나타낸 바와 같다.

Table 2.17. Water treatment construction(Bucheon)

구 분	BOD	COD	SS	T-N	T-P	대장균군군	D0	탁도	색도	pH
설계기준	6	10	5	10(15)	1	불검출	5이상	2	20	5.8~8.5
단위	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	개/mL	mg/ℓ	NTU	도	-
평균	0.9	6.6	1.3	5.103	0.306	불검출	8.05	0.7	19	6.5
최대	1.2	7.4	1.9	8.082	0.655	불검출	8.46	0.8	25	6.6
최소	0.7	5.6	0.9	3.246	0.127	불검출	7.65	0.7	16	6.5

(3) 강진군

강진군의 강진하수처리장은 약 3,000m³/일의 하수처리수를 농업용수로 재이용하여 110가구(약 50ha)의 농경지에 물 수요 부족분을 보충하고 있다.

처리공정은 하수처리 방류수를 가압식모래여과기로 최종처리한 후 농업용수로 공급하고, 재이용 공급수질은 Table 2.18과 같이 BOD 1.5 mg/L이고 대장균군수는 30마리이하 재이용수질 권고기준 미만으로 양호하였다.

중금속 등 유해물질 분석결과 Ni, Zn, ABS가 검출되었으나 재이용 수질 권고기준미만으로 Table 2.19와 같다.

Table 2.18. Status of water quality weekly(Gangjin)

구 분	BOD(mg/L)	대장균군수(개/mL)
재이용 공급수질	1.5	<30
재이용수질 권고기준	8이하	200이하

Table 2.19. Status of water quality monthly(Gangjin)

항목(mg/L)	재이용 공급수질	재이용수질 권고기준
Cl ⁻	불검출	250이하
Al	불검출	5이하
As	불검출	0.05이하
B-total	불검출	0.75이하
Cd	불검출	0.01이하
Cr ⁺⁶	불검출	0.05이하
Co	불검출	0.05이하
Cu	불검출	0.2이하
Pb	불검출	0.1이하
Li	불검출	2.5이하
Mn	불검출	0.2이하
Hg	불검출	0.001이하
Ni	0.048	0.2이하
Se	불검출	0.02이하
Zn	0.057	2이하
ABS	0.05	0.5이하
CN	불검출	불검출
PCB	불검출	불검출

(4) 미국의 재이용 사례

미국의 0.5인치 옵션 방법은 “초기유출(first flush)” 개념에 근거하여 이 개념은 도시의 강우유출 수에 의해 이동되는 오염물질의 대부분은 최초 0.5인치 강우에 의한 유출 수에 의해 이동된다고 가정하여 설계하는 방법으로서 이 용량은 전체유역 면적에 13mm(0.5인치)를 곱하여 계산한다. 이 기준은 불투수성 표면이 많은 지역에서는 부적당하며 투수성이 적당한 지역에서 적용한다. Austin, TX에서의 연구에 의하면(Chang et al., 1990), 0.5인치 설계옵션을 적용하였을 경우에 불투수성 표면이 90%인 지역에서는 43%, 불투수성 표면이 50%인 지역에서는 75%, 불투수성 표면이 10%인 지역에서는 100%의 총 고형물질을 제거하는 것으로 보고된바 있다.⁵⁸⁾

미국의 90% 강우사상에 의한 방법은 수질처리용량 산정 시 연평균 강우유출량의 90%를 차집 처리하기 위해 필요한 저장 공간으로 차집한 강우이다. 전체 강우사상의 90%에 해당되는 강우사상이거나 또는 연중 24시간 강우사상 전체의 90%에 해당되는 강우량이다. 이 값은 해당 지방의 강우기록을 조사하여 강우량 빈도 스펙트럼을 만들어서 결정하게 되는데, 강우빈도 스펙트럼은 24시간 강우사상의 통계적 분포를 나타낸다. 일반적으로 0.1인치 미만의 강우는 강우빈도 스펙트럼에서 포함하지 않는다.⁵⁹⁾

미국의 1인치 규모결정이 방법은 25mm 강우량을 임의적으로 적용하여 수질처리용량을 산정하는 방법이다. 강우사상 90% 규모결정방법과 그 결과 값은 유사하다. Table 2.20은 미국의 여러 도시에 대한 90% 강우사상을 분석한 것이다.

Table 2.20. 90% rainfall events in USA cities

도시	강우량(inch)	도시	강우량(inch)
Columbus, OH	1.0	Phoenix, AZ	0.8
Washington, D.C	1.2	Denver, CO	0.7
New York, NY	1.2	Austin, TX	1.4
Fredrick, MD	1.1	Savannah, GA	1.5
Boise, ID	0.5	Los Angles, CA	1.3

※ 출처 : 비점오염관리를 위한 강우유출수 매뉴얼(환경부, 2003)

1년 24시간 강우사상의 비점오염저감시설의 규모는 1년 24시간 강우사상을 처리할 수 있는 규모로 한다. 미국 LA국제공항의 강우자료로부터 계산한 1년 24시간 강우사상은 25.4mm로 1인치 규모결정과 유사하였으며, 또 다른 지역에서는 33~48mm로 나타났다.

미국 도시지역 비점오염물질 처리를 위한 목표 및 용량산정 기준 미국 워싱턴주 올림피아 지역 등에 대한 용량기준을 Table 2.21에 나타내었다.

Table 2.21. Capacity of regional in USA

지역	용량기준
워싱턴주 올림피아	6개월, 24시간 강우 처리
플로리다주 올란도	초기 12.7mm 또는 강우의 25.4mm중 큰 쪽
플로리다주 윈터파크	저류를 통한 강우 25.4mm 처리
메릴랜드주 볼티모어	불투수지역으로부터 유출되는 초기 12.7mm 처리
남부 플로리다	25.4~63.5mm에 불투수비율을 곱한 값
델라웨어	입증된 BMP를 이용한 초기 25.4mm 처리
플로리다	BMP에 따라서 12.7~38.1mm 처리
뉴저지	1년, 24시간 강우 또는 2시간당 31.75mm이상 처리
남부 캐롤라이나	BMP에 따라서 12.7~38.1mm 처리

출처: National Management Measures Guidance to Control non-point Source Pollution from Urban Areas (EPA, 2005)

연간 강우사상의 누적확률 85%의 강우량수질처리용량(WQv)은 연간 강우사상 누적확률 85% 강우량으로 한다.

$$WQv = (P) \times (Rv) \times (A) \times 10 \dots\dots\dots\text{식 2.1}$$

WQv : 수질처리용량(Water Quality Volume)(m³)

P : 연간강우사상 확률 85%강우량(mm)

A : 배수면적(ha)

Rv : 유출계수 = 0.05+0.009(I), I는 배수구역의 불투수율(%)

(7) 일본의 재이용 사례

팔당상수원 비점오염원 최적관리사업 기본계획 및 타당성조사(2005, 환경부)에서는 일본의 사례를 제시하고 있다. 일본에서 실시된 시가현의 비점오염원 삭감대책에 의하면 저류지의 경우 누가유출고 5mm까지 저류시킬 경우 총 유출부하량의 80~90%의 저류율을 보이고 그 이상의 누가유출고에 대해서는 부하량 저감 효과가 급격히 떨어지게 되어 시설 규모 증가에 의한 부하량 저감 효과는 떨어지는 것으로 나타났다. 또한 비점오염원 오락부하조사와 삭감대책에서도 누가유출고 5mm를 기준으로 그 이상에서는 배출부하량 저류율이 급격히 낮아지며, 이때 배출부하 삭감률은 약 70%인 것으로 조사되었다.

2.4.5 동일용도의 중수도와 재이용수의 수질기준 비교

하수도법(환경부, 2007년) 및 하수처리수 재이용 가이드북¹⁵⁾에 의하면 중수도 수질기준과 하수처리수 재이용수의 수질권고기준을 제시하고 있다. Table 2.22, Table 2.23, Table 2.24는 하수처리수 재이용수 수질기준과 중수도 수질기준을 용수별로 구분하여 그 기준을 나타내었다.

Table 2.22. Comparison of waterhead water quality standards

수질항목	용도	중수도 수질기준
	하수처리수 재이용수 수질권고기준	청소용수 / 살수용수
pH	5.8~8.5	5.8~8.5
BOD(mg/L)	-	10mg/L를 넘지 아니할 것(≤10)
탁도(NTU)	<2	2NTU를 넘지 아니할 것(≤2)
냄새	미불쾌	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것
색도(도)	<20	-
결합잔류염소(mg/L)	>0.2	0.2mg/L 이상일 것(≥0.2)
(총)대장균군수(/100mL)	불검출	불검출
외관	-	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것
COD	-	20mg/L를 넘지 아니할 것(≤10)

Table 2.23. Comparison of toiletwater water quality standards

수질항목	용도	하수처리수 재이용수 수질권고기준	중수도 수질기준
		인체비접촉 세척용수	수세식 변소용수
pH		5.8~8.5	5.8~8.5
SS(mg/L)		<6	규정없음
BOD(mg/L)		<3	10mg/L를 넘지 아니할 것(≤10)
탁도(NTU)		<2	2NTU를 넘지 아니할 것(≤2)
냄새		미불쾌	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것
색도(도)		<5	20도를 넘지 아니할 것
결합잔류염소(mg/L)		>0.2	0.2mg/L 이상일 것(≥0.2)
(총)대장균군수 (/100mL)		불검출	불검출
T-N(mg/L)		<10	-
T-P(mg/L)		<1	-
외관		-	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것
COD		-	20mg/L를 넘지 아니할 것(≤10)

Table 2.24. Comparison of landscape water quality standards

수질항목	용도	하수처리수 재이용수 수질권고기준	중수도 수질기준
		도시조경용수	조경용수
pH		5.8~8.5	5.8~8.5
BOD(mg/L)		-	10mg/L를 넘지 아니할 것(≤10)
탁도(NTU)		<2	2NTU를 넘지 아니할 것(≤2)
냄새		미불쾌	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것
색도(도)		<20	-
(총)대장균군수(/100mL)		불검출	불검출
염화물(mgCl/L)		<250	-
외관		-	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것
COD		-	20mg/L를 넘지 아니할 것(≤10)

먼저 ‘냄새’ 항목은 모든 용도에 따라 재이용수 수질권고기준은 ‘미불쾌’, 중수도 수질기준은 ‘불쾌한 냄새가 나지 아닐 것’으로 규정되어 있는데 이는 동일용도 이고 기준도 같으면서 표현방식이 다르게 되어있어 조정이 필요한 실정이다. 또한 기준 해석 시 개량화 되어 있지 않아 개인이 느끼는 정도 및 해석의 차이에 따라서 주관적일 수 있게 된다.

중수도수질기준의 ‘외관’ 항목도 마찬가지로 ‘이용자가 불쾌감을 느끼지 아닐 것’으로 되어 있어 이의 해석에 있어서 객관적 판단이 어려운 실정이다.

또한 중수도와 재이용수의 용도가 유사하나 수질기준이 다르게 규정되어 있는 경우가 있다. ‘탁도’의 경우 재이용수 수질권고기준은 <2로 되어있고, 중수도 수질기준은 ≤2로 되어 있으며, ‘결합잔류염소’ 항목의 경우도 재이용수 수질권고기준은 >0.2로 되어있으나 중수도 수질기준은 ≥0.2로 되어 있어 같은 기준임에도 부호가 상이하어 이를 해석함에 있어 주관적 차이의 소지가 있을 수 있다.

‘탁도’와 ‘대장균군’은 서로 상관성이 있는 기준으로서 대장균군 마리 수에 대한 탁도 기준을 검토해야 하고 ‘탁도’는 ‘대장균군’의 대용지표로도 활용 가능하기 때문에 상관관계를 고려하여 기준을 도출하게 되면 합리적일 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 ‘잔류염소’와 ‘대장균군’, ‘BOD’와 ‘탁도’의 상관성도 고려해볼 필요가 있을 것이다.

‘T-N’, ‘T-P’의 경우는 부영양화의 우려가 있고, 하수도법에서 규정한 방류수 수질기준이 있기 때문에 이에 적합하도록 기준이 조정되어야 할 것이다.

따라서 같은 용도에 대한 재이용수 수질권고기준과 중수도 수질기준의 조정 및 일치를 통해 동일용도의 수질기준에 대한 일관된 적용이 필요하며, 사용용도 및 목적에 따라 기준을 이원화 하여 적용시킬 수도 있다.

2.4.6 중수도와 재이용수의 용도별 통합방안

현재 중수도와 재이용수가 같은 용도로 사용됨에도 불구하고 명칭이 다르고, 기준이 달라 물을 재이용하는데 걸림돌이 되고 있다. 따라서 이를 통합하는 방안으로 중수도의 수세식변소용수, 살수용수 그리고 세차 및 청소 용수와 재이용수의 청소 용수와 인체 비 접촉 세척용수를 통합하여 도시재이용수로 통합하는 방안을 제안한다. 이는 재이용수가 인체에 접촉할 수 있는 기회가 많아 수질기준을 강화할 필요가 있으며 용도 또한 대부분은 무엇인가를 세척 또는 청소하기 위하여 사용하는 용도로 통합하여도 문제가 없을 것으로 사료된다.

조경용수는 도시 주변의 가로수나 잔디 그리고 골프장 등에 사용되는 것으로 도시재이용수와는 사용 용도가 크게 차이가 나며 또한 과도한 잔류염소는 생태계에 영향을 미칠 수 있어 별도로 구분하는 것이 바람직하다고 하겠다.

친수용수와 하천유지용수는 현행 재이용수에서 규정하는 바는 매우 유사하나, 이를 구분하는 방법으로 자연적인 것과 인공적인 것으로 구분하는 방법과 수질개선을 위하여 전체 하천의 유량과 비교하여 얼마나 많은 양이 공급되는가를 평가하는 방법이 있을 수 있다고 생각된다. 또한 친수용수는 인공하천을 포함하여 인체 접촉의 정도가 하천유지용수보다 잦을 수 있다는 것을 고려할 필요가 있어 분리하는 것이 바람직하다고 생각한다. 농업용수, 습지용수, 지하수 충전수 등은 현재 재이용수에서 분류하고 있는 분류 안을 준용하고자 한다.

현재 중수도 수질기준과 재이용수 수질권고기준으로 물을 재이용하는데 혼선을 야기시킬 수 있는 요소인 수질기준을 하나로 통합하여 물 재이용을 활성화하여 물 산업을 육성하는 것은 자원의 재활용, 에너지 절약 등과 같이 녹색 성장에 발맞추어 필요하다고 판단된다.

기존의 중수도 수질기준, 하수 재이용수의 수질 권고기준, 선진외국의 재이용수 수질기준 그리고 현재 국내 하수처리장의 운영 실태를 반영하여 중수도와 재이용수의 수질기준을 통합하고자 한다.

그 방안을 마련하여 각 용수별 오염물질의 수질기준을 Table. 2.25에 나타내었는데 특히, 향후 우리나라가 재이용수로 가장 많이 사용하게 되는 친수용수와 하천유지용수에 있어서 우선적으로 고려하여야 할 것은 부영양화 방지를 위하여 현재 제시된 T-N, T-P의 수질기준은 하수처리장 방류수의 T-N, T-P의 농도와 부영양화의 관계 그리고 정확한 제한인자의 도출 등에 대하여 체계적인 연구를 수행할

필요가 있다.

고도처리시설의 도입이 이루어짐에도 불구하고 T-N의 농도 저감이 제한적이고 T-P의 농도 저감도 제한적이라면 향후 고도처리공정 선정에 대하여 재고할 필요가 있다고 생각한다. 이를 근거로 향후 국내 실정에 보다 적합하고 개선된 재이용수 수질기준이 제시될 수 있다고 사료된다.

Table 2.25. Integrating item of water quality standards

구분	도시 재이용수	조경용수	친수용수	하천 유지용수	농업용수		습지용수	지하수 충전	공업용수
총대장균군 균수 (/100mL)	불검출 (불검출)	불검출 (불검출)	불검출 (불검출)	≤ 1000 (<1,000)	직접 식용	불검출	≤ 200 (불검출)	불검출 (불검출)	≤ 200 (<1,000)
					간접 식용	≤ 200 (<200)			
결합 잔류염소 (mg/L)	≥ 0.2 (>0.2)	- (-)	≥ 0.1 (-)	- (-)	-		- (-)	- (-)	- (-)
탁도 (NTU)	≤ 2 (<2)	≤ 2 (<2)	≤ 2 (-)	- (-)	직접 식용	≤ 2	- (-)	≤ 2 (<2)	≤ 10 (<10)
					간접 식용	≤ 5			
SS (mg/L)	- (<6)	- (-)	- (<6)	≤ 6 (-)	-		≤ 6 (<6)	- (<6)	- (-)
BOD (mg/L)	≤ 5 (<3, <10)	≤ 5 (-)	≤ 3 (<3)	≤ 5 (-)	≤ 8 (<8)		≤ 5 (<5)	≤ 5 (<5)	≤ 6 (<6)
냄새	불쾌하지 않을 것 (미불쾌)	불쾌하지 않을 것 (미불쾌)	불쾌하지 않을 것 (미불쾌)	불쾌하지 않을 것 (미불쾌)	불쾌하지 않을 것 (미불쾌)		불쾌하지 않을 것 (미불쾌)	불쾌하지 않을 것 (미불쾌)	불쾌하지 않을 것 (미불쾌)
색도 (도)	≤ 20 (<5)	- (<20)	≤ 10 (<5)	≤ 20 (<20)	-		- (<5)	- (<5)	- (-)
T-N (mg/L)	- (<10)	- (-)	≤ 10 (<10)	≤ 10 (-)	-		≤ 10 (<10)	≤ 10 (<10)	- (-)
T-P (mg/L)	- (<1)	- (-)	≤ 0.5 (<1)	≤ 0.5 (<1)	-		≤ 0.5 (<1)	≤ 0.1 (<1)	- (-)
pH	5.8 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5		5.8 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5
염화물 (mgCl/L)	- (-)	≤ 250 (<250)	- (-)	- (-)	≤ 250 (<250)		≤ 250 (<250)	≤ 250 (<250)	- (-)

※ ()안은 현행 하수처리수 재이용수 수질권고기준임

2.4.7 재이용수 도로청소에 의한 삭감부하량

도심지역은 불투수층이 대부분을 이루고 있고 이중, 도로가 차지하는 비중도 적지 않다. 국내의 경우 도로청소가 비점오염원발생원 저감에 미치는 영향에 대한 구체적인 연구는 아직 전무하나, 외국 문헌 및 한국도로공사의 시범적 결과에 따른 의견을 참고한다면, 도로청소 시 비점오염원 저감 효과는 약40~60%로 보고되고 있다. 하지만 「금강수계 비점오염원 관리방안(2004. 12, 환경관리공단)」에 따르면 도시지역의 대부분이 불투수층인 경우에는 거리청소를 실시하면 비점오염원의 15~25%를 줄일 수 있다고 제시되어 있어 도로청소에 의한 저감효율은 명확히 제시되어 있지 않다.

장치에 의한 거리청소 시 오염물질 제거비율을 Table 2.26에 나타내었다.

Table 2.26. Removal efficiency of street cleaning

오염물질	기계식(%)	진공식(%)
Total Solids	55	93
Total Phosphorus	40	74
Total Nitrogen	42	77
COD	31	63
BOD ¹⁾	43	77
BOD ²⁾	60	
BOD ³⁾	15~25	
Lead	35	76
Zinc	47	85

출처 : <http://www.fhwa.dot.gov/environment>

1) Duncan et al.,(1985)

2) Sartor and Boyd; Pitt 1979 and 1985

3) 금강수계 비점오염원 관리방안(2004)

수원 관내 도로청소 현황에 따라 진공식 청소차량으로 매일 1회씩의 청소주기를 가지고, 도로청소에 따른 저감효율을 60%라 가정하여 수원시를 관통하는 주요도로인 1번, 42번 및 43번 국도에 대한 비점오염삭감량을 Table 2.27에 나타내었다.²⁶⁾

Table 2.27. Reduction flux non-point pollution by cleaning load

구분	도로면적	발생부하량			삭감부하량		
		BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
1번국도	277,200	23.8	3.8	0.6	9.29	1.44	0.21
42번국도	217,800	18.7	3.0	0.5	7.30	1.13	0.17
43번국도	279,000	24.0	3.8	0.6	9.35	1.45	0.22

주) 삭감대상 부하 비는 BOD 65%, T-N63%, T-P62%로 적용하여 삭감대상 량 산정

(1) 국내·외 중수도 적용사례

국립환경과학원(2008)의 보고서³²⁾에 의하면 도로청소에 의해 수거된 도로먼지 시료 중 입자의 크기가 75 μm 이하인 먼지 부하량(silt loading)은 약 17 %로 조사되었다. 따라서 진공청소에 의한 인천시의 연간 먼지 (silt) 제거량은 전체 토사 제거량(9800 ton/yr) 중 약 1,670 ton/yr로 추정하였다. 이를 서울시정개발연구원(2006)에서 제시한 연구 결과 (진공청소에 의해 수거한 토사 중 10 μm 이하의 입자 분율은 약 0.5 %)를 적용하면 인천시의 진공청소에 의한 미세먼지(PM₁₀)의 제거량은 연간 49 ton 정도인 것으로 조사되었다.

인천시 남동구 등 8개 구별로 청소한 상황을 Table 2.28에 나타내었다.

현재 대구시 미세먼지 배출량은 2,154톤/년으로 이중 도로이동오염원이 66%(1,415톤/년)로 미세먼지 주요 발생원으로 나타나고 있다. 이러한 도로 재비산 먼지 제거로 지역 대기질 개선효과와 도시 열섬 완화 및 도시 경관 개선, 버려지는 유출지하수 재활용하여 효율적으로 이용한다는 취지에 맞추어 도로 재비산먼지 저감 시범사업을 추진하고 있다.

포항시는 도로의 분진제거와 도심의 열섬현상을 완화하기 위해 도로 중앙표지병과 연계된 노즐을 통해 형산강 원수를 분사해 경사면을 따라 물이 흐르며, 도로 측면의 배수구로 분진을 세척하는 Clean Road System 사업을 운영하고 있다. 포항시는 이 사업을 진행하기 위하여 15억 원(국비)의 예산으로 취수(형산강 물)시설, 배수시설(100ton), 관로부설 2,700m(Clean Road 830m 포함), 실개천 용수관 연결, 소화전 등을 설치하여, 도로에 쌓은 먼지를 씻어내 도심의 공기정화와 도심 열섬 현상 저감 등의 효과를 기대하고 있다.

Table 2.28. Construction of street cleaning in Incheon(2006)

	청소인력 (일일 작업거리, km/명-대)	진공청소차 보유수 (일일 작업거리, km/day-대)	살수청소차 보유수 (일일 작업거리, km/day-대)	일일 토사 수거량 ^a (ton/day-대)	일일 살수량 (m ³ /day-대)	총 관리 도로 (km) ^c
남동구	154	5 (32 km)	2 (45 km)	0.5	21	280
남구	140 (3.04 km/명)	4 (37 km)	2 (42 km)	0.6	32	153
동구 ^d	47	1 (-)	1 (-)	-	-	53.2
계양구	98 (2.15 km/명)	4 (30 km)	1 (33 km)	0.5	35	74.53
연수구	- ^b	4 (30 km)	1 (40 km)	0.5	-	152.72
부평구	142 (2.0 km/명)	6 (37 km)	2 (42 km)	0.4	32	101.51
서구	139 (2.0 km/명)	6 (20 km)	1 (40 km)	0.8	21	290
중구	88명	7 (50 km)	1 (-)	0.4	(7.5)	63
a: 일반 쓰레기, 가로수 잔해물 등이 포함되어 있으나 대부분 토사로 구성되어 폐기물 수거 량을 토사 수거량으로 가정 b: 조사 현황이 없는 경우 c: 도로의 폭이 12 m 이상인 도로 d: 동구 소재 현대제철, 두산 이프라코어, 동국제강의 경우 1사1도로 관리 시행						

도로 중앙에 분사 노즐을 3m 간격으로 209개를 설치, 물은 노즐 양측에서 나오며 1회 5분간 발사한다. 그리고 Clean Road System의 운영시간은 봄·가을에 23:00~05:00, 여름에는 열섬현상 완화를 위해 14:00에 한 차례 분사하고 있으며, 동절기와 비가 올 경우에는 가동을 중지한다.

도로 재비산 먼지와 관련해서는 세계 여러 나라에서 다양한 형태의 도로 재비산 먼지 저감노력이 이루어지고 있었으며, 우리와 비슷하게 대부분 도로청소라는 방안을 채택하고 있었다. 특히 외국의 도로청소에서 볼 수 있는 것은 도로청소에 대한 효과를 다양하게 본다는 것이었다. 도로청소의 대상이 되는 것은 국내와 달리 도로 재비산먼지(PM₁₀기준)만이 아니라 일반적으로 도로폐기물로 분류되는 대부분

의 폐기물을 대상으로 하고 있다.

외국의 경우에는 문헌조사 등을 통하여 해당지역에서 진행되고 있는 도로 재비산 먼지에 대한 자료를 조사 분석하였다.

Anord, C. ect(2003)등³⁹⁾에 의하면 국내와 달리 일반 비산먼지에 대한 영향을 많이 받고 있는 미국 내에서는 도로 재비산에 대한 연구가 이루어진 것이 오래 전의 일이다. 미국 남부에 위치한 New Mexico주에서는 'Fugitive Dust Regulation'을 작성하여 운영하고 있으며 비산먼지와 관련된 사업장의 경우에는 사전에 지자체로부터 비산먼지발생 사업을 허가 받은 후에 시행하도록 되어 있다. 이 허가절차에는 적절한 비산먼지 발생을 제어할 수 있는 방안을 제시하도록 하고 있으며, 여기에는 작업장 살수, 방진망 설치, 작업장 입구에 자갈매트 설치, 토양 안정제 살포, 청소차 운행 등을 포함하도록 하고 있다.

대만의 타이페이 시의 경우는 시 정부와 ESCO (Environmental Science Corporation)가 도로청소를 수행하고 있다. 도로청소는 5개의 권역으로 나누어 약 1,241 km의 도로에 대하여 수행하고 있다. 그리고 모든 도로청소 차량에는 GPS 시스템이 장착되어 청소 차량의 위치, 이동 범위, 이동 속도 등이 전송되어 효율적으로 도로청소 차량을 관리하고 있다. 타이페이 시의 진공 청소차는 보통 5 ~ 20 km/hr의 작업 속도로 도로청소를 수행하는데 보통은 10 km/hr의 속도로 청소가 이루어진다. 물 살수차의 경우는 작업 속도가 8 ~ 20 km/hr (평균 15 km/hr)이며, 물 살수차의 탱크 용량은 보통 1~ 23m³ (평균 8m³)이다. 청소 용수를 살수하는 압력은 0.2 ~ 20 kg/cm², 살수 범위는 20 ~ 180°이다. 청소 용수의 살수 길이는 3~ 8 m의 길이로 살수되며, 살수 수량은 48 L/sec이다.

런던에서는 'Code of Practice on Litter and Refuse'를 작성해서 도로의 청소 상태를 관리하고 있으며, 도로 노면에 있는 퇴적물의 상태에 따라 도로를 분류하여 관리에 활용하고 있다.

영국의 England 지역은 광역정부에서 도로가 위치하는 지역의 중요도에 따라 청결기준이 최고 등급으로 회복하는 시간을 Table 2.29와 같이 정해 두고 있다.

Table 2.29. Cleaning standards in the United Kingdom England(Recovery time of the highest grade)

구역	Grade B	Grade C	Grade D
Z1 : 중심 상업지역	6 작업시간	3 작업시간	1 작업시간
Z2 : 고밀도 주거지역	12 작업시간	6 작업시간	3 작업시간
Z3 : 저밀도 주거지역		12 작업시간	6 작업시간
Grade A : 쓰레기가 없어야 함 Grade B : 부분적으로 산발하는 것 말고는 쓰레기가 없어야 함. Grade C : 쓰레기가 넓게 산재하고 있고, 일부 국소지역은 작게나마 쌓이는 수준 Grade D : 쓰레기가 많고 쌓이는 상태			

이태리에서는 'Street Cleaning Handbook'을 작성하여 도로 청소에 활용하고 있으며, 이 지침은 주로 도로와 광장을 대상으로만 한다. 그리고 도로청소를 필요로 하는 지역을 구분하기 위해 대상구역을 세분화하고 관할기관을 설정하고, 도로가 더러워지는 정도에 따라 분류하며, 도로 상태에 따라 요구되는 청소 빈도 결정하고, 지역에 맞는 효과적인 청소방법을 결정하는 내용을 고려하고 있다.

프랑스 파리의 경우 청소 주체는 파리 시청의 환경국 (Direction de la Protection de l' Environnement)이며, 연간 예산이 600백만 유로(경상예산+투자예산)로 14개의 도로청소 센터가 분산 운영되고 있다. 1930년 이후 자체 차량기지를 운영하고 있으며, 빗자루 차 · 흡입 차 · 살수차 등을 포함하여 약 380여대가 보유하고 있다.

파리시는 각 도로마다 상이하며, 도로크기, 유형, 이용 빈도 등 여러 변수를 종합 청소대상 등급을 부여하고 청소 시기 및 횟수를 조정한다. 그리고 외곽순화도로는 야간에 구간별 청소, 출퇴근에 많이 이용되는 도심도로는 새벽(06:00 ~ 09:00), 주택가는 오전시간(10:00 ~ 13:00), 야외 시장은 파한 14:00 이후에 청소한다.

(2) 도로청소 평가 방법 및 효과 분석

2008년 인천대학교 연구결과²⁹⁾ 국내에서 실시하고 있는 여러 가지 형태의 도로 재비산먼지 저감방안, 즉 도로청소는 지속적으로 이루어져야 하며, 그 성능평가에 대한 적절한 평가 방안이 요구된다. 기존의 비산먼지 평가 방안은 대부분 비산먼지의 저감효과를 대기 중에 부유하고 있는 미세먼지인 PM₁₀을 기준으로 하고 있으나, 청소작업의 효과를 적절히 평가하기 위해서는 현재 도로비산을 평가하기 위해 적용되고 있는 Silt Loading 평가기법을 도입하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 더욱이 이 silt loading의 개념은 현재 환경부에서 추진하고 있는 대기오염물질 중 재비산먼지의 배출량을 산정하는 데 적용되고 있어서, 장기적으로는 도로청소에 의한 재비산먼지의 저감효과를 나타내는 데도 적용할 수 있다.

포장도로에서 발생하는 미세먼지 배출원으로는 이동오염원으로 분류되는 차량의 배기가스 중의 먼지와 비산먼지로 분류되는 차량의 주행으로 인한 도로재비산먼지 및 타이어/브레이크/도로 마모 등을 들 수 있으며, 산정방법은 미국 EPA AP-42의 배출계수와 활동도인 차량의 주행거리(VKT; vehicle kilometer traveled)를 곱하여 산정한다. 일반적으로 포장도로에서 비산먼지 배출량은 대상지역에서의 도로 표면 위의 silt loading과 도로를 주행하는 평균 차량 무게에 따라 달라진다. 여기에서 먼지부하량(Silt loading)은 기하학적 직경이 75 μm 이하인 먼지(silt)의 도로 단위면적 당 무게를 말하는데, 이는 차량운행으로 인한 도로먼지의 재비산 가능 잠재력을 의미한다. 그리고 통행차량의 평균 무게(W)는 대상 도로의 통행량과 그 구성비의 조사를 통해서 구할 수 있다.

일반적으로 수행하고 있는 청소차량 운영요령을 살펴보면, 브러쉬를 통하여 노면에 붙은 먼지를 제거하여 진공으로 흡입한 후 고압살수 차량이 운행하여 도로를 깨끗이 한다.

현장측정을 통하여 도로청소 전·후의 시간대별 TSP 측정 결과를 살펴보면, 도로청소 전에는 126.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 진공차량이 통과하면서 증가하는 추세를 보이다가, 살수 차량 통과 후 108.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 농도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

도로청소 전·후의 시간대별 먼지농도 측정 결과를 Fig. 2.4에 나타낸 바와 같

이 2008년 인천대학교에서 연구한 자료²⁹⁾를 통해 도로청소의 전·후 측정 결과를 살펴보면, 진공청소 이후에 약 20% 정도 증가하였다가 살수 청소 이후에 약 60%(도로청소 전에 비해 약 52%) 감소하였으며, 다음날 다시 다소 증가(살수청소 7시간 후에 비해 약 9% 증가)하였다.

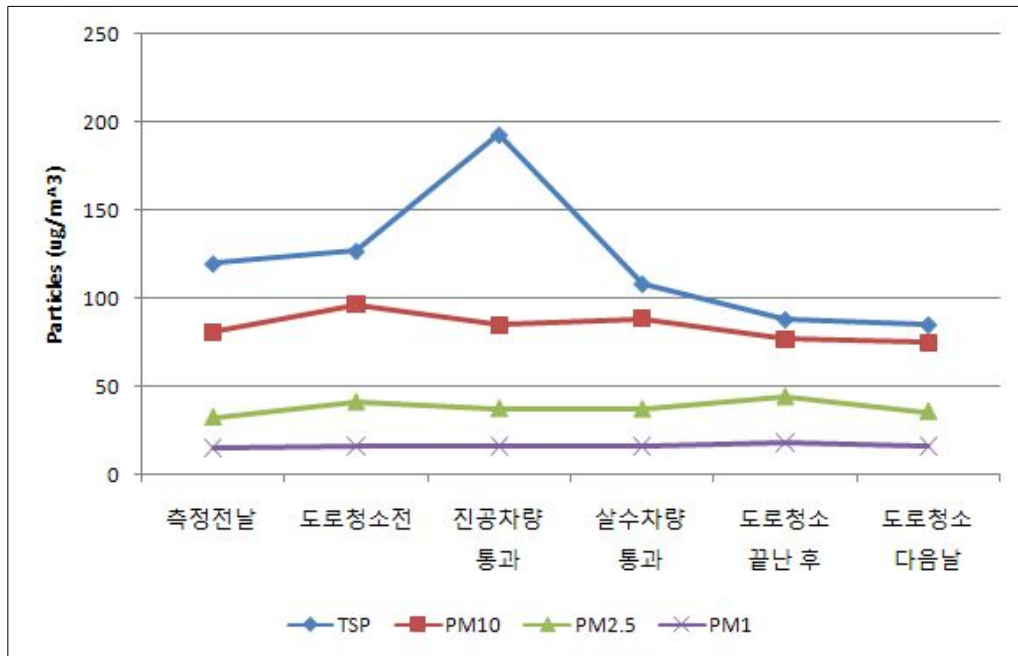


Fig. 2.4. Variation of average concentration to before and after cleaning road.

Fig. 2.5에 나타낸 바와 같이 국립환경과학원, 2008 연구결과 도로청소(진공청소와 살수청소)를 하였을 경우, 52%라는 먼지 저감 효과를 보이고 있다. 진공청소와 살수 차량청소 시 오염물질 제거되는 비율을 Fig. 2.5에 나타내었다.

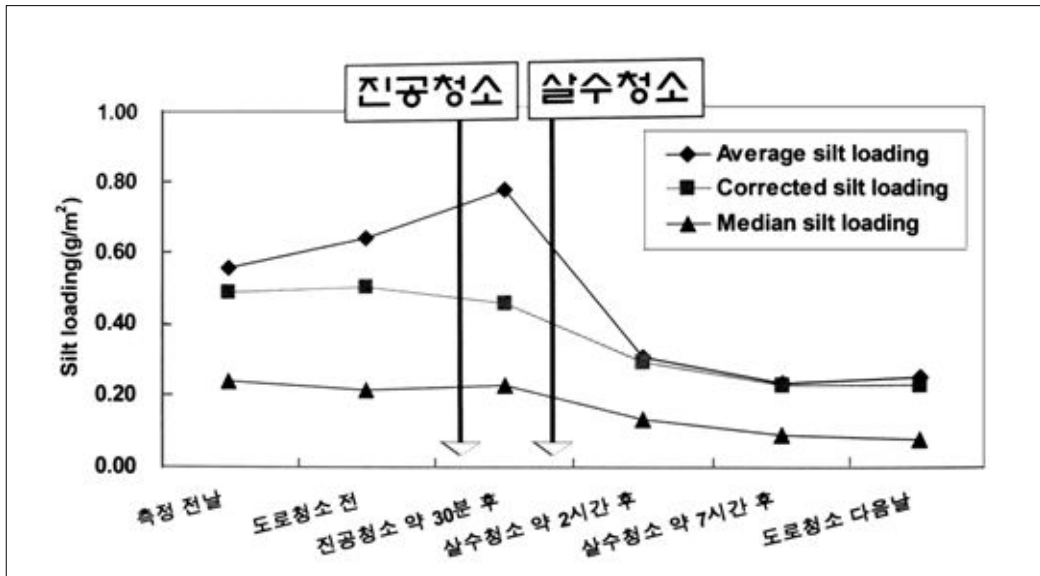


Fig. 2.5. Variation of average silt loading to before and after cleaning road (National Institute of Environmental Research, 2008)

각각의 입경별 먼지 부하량(dust loading)과 silt loading의 저감효율(%)을 나타낸 측정결과를 Table 30에 나타낸 바와 같이 도로노면의 경우 살수 차량만 운행 시에는 44%의 저감효과를 나타냈으며, 진공청소차량만 운행 시에는 15.7%의 저감효과를 나타냈다. 그리고 진공차량 투입 후 살수 차량을 투입한 경우 도로노면에서 52.8%, 도로 측구에서 59.8%라는 먼지 저감효과를 보여주고 있다.

이와 같이 도로 노면을 살수하는 경우에 44%라는 저감 효과를 보여주고 있지만, 진공차량과 살수 차량이 같이 운행 하는 경우에 52.8%라는 더 높은 먼지 저감효과를 보여주고 있다. 타 연구들의 종합적인 결론으로는 먼지제거효율은 도로의 특성 및 많은 변수들에 의해 좌우되며, 진공청소와 살수청소를 병행 할 경우 약 38.4% ~ 44.7% 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 silt loading은 진공청소 시 약 15.7% ~ 68.4%, 진공과 살수청소를 병행할 경우 약 52.8 ~ 59.8%로 감소한 것으로 과 같이 나타났다.

Table 2.30. Variation and removal efficiency of dust loading to before and after cleaning road after the change in

Composite		도로노면의 경우			도로 측구의 경우		
		청소전	진공 청소후	살수후	청소전	진공 청소후	살수후
입경별 Dust loading	>850 μm	0.67	0.84	0.49	18.59	1.77	6.05
	250-850 μm	0.84	1.09	0.67	33.68	7.76	11.90
	125-250 μm	0.34	0.34	0.22	13.27	4.56	4.98
	75-125 μm	0.18	0.16	0.10	6.15	2.53	2.37
	53-75 μm	0.09	0.05	0.04	2.49	1.36	0.75
	36-53 μm	0.05	0.06	0.03	1.34	0.96	0.80
	<36 μm	0.03	0.04	0.02	2.14	2.24	0.85
Total dust loading		2.21	2.58	1.56	77.65	21.16	27.70
silt loading(>75 μm)		0.178	0.150	0.084	5.964	4.549	2.396
저감효율(%)	각 청소단계	-	15.7%	44.0%	-	23.7%	47.3%
	진공 및 도로청소 후	-	-	52.8%	-	-	59.8%
저감효율(%) = (청소전 sL - 청소 후 sL)/(청소전 sL) × 100							

프랑스에서 물청소 실험 결과 20% ~ 60%정도 미세먼지를 저감시키는 것으로 나타났으며, 대만에서는 진공청소와 물청소를 병행할 경우 TSP가 약 30%정도 저감되는 결과를 도출하였다. 그리고 비산먼지 핸드북(WRAP)에서 비포장도로에서의 물청소 시에는 조건에 따라 10% ~ 74% 제거된다고 하였다.

위에서 정리된 Table 2.30을 살펴보면, 도로청소방법(물청소, 진공청소, 브러쉬) 및 도로청소관리프로그램에 따라 먼지 저감효율이 10% ~ 97%까지 저감되는 것을 알 수 있다. 특히 진공청소와 브러쉬 청소보다는 물청소 시 효과가 좋은 것을 알 수 있다. 최근 국립환경과학원 측정 자료에 의하면 포장도로에서 먼지는 진공청소 시 15.7% 저감되는 반면 물청소 시에는 44%가 저감되는 것으로 나타났다.

III. 실험방법 및 분석

3.1 비점오염저감시설 모니터링

3.1.1 모니터링 개요

경기도 광주시 소재 비점오염저감시설 6개소에 대하여 2009년 3월부터 2010년 9월까지 BOD, COD, SS, T-N, T-P, 중금속, 대장균군, 유량 등 8개 항목을 모니터링 하였다.

또한, 강우량 측정과 수질모니터링은 한강수계 오염총량관리계획(환경부, 2006년) 이행평가 지침에 준하여 실시하였다.¹³⁾

2009년도 측정주기는 연속처리시설 1개소는 8일 간격으로 30회 이상 측정하고, 강우처리시설 5개소는 채수조건 만족 시 연간 7회 이상 측정하였다.

또한, 수질 모니터링 농도, 유량 측정, 오염물질 삭감부하량 및 연평균 삭감부하량 등을 산정하고, 비점오염저감시설의 운영 및 유지관리와 주변지역의 식생점검 및 오염원 제거에 대하여 파악하였다. 그리고 비점오염원 관리업무편람⁴⁾(2006년, 환경부)에서 제시한 기준에 적합한 시설여부를 파악하기 위하여 2010년 광주시 소재 6개 비점오염저감시설에 대하여 유입수와 방류수의 처리효율을 조사하였으며, 측정지점별로 강우량 변동에 따른 오염물질 추이를 파악하고 처리수에 대한 재이용방안을 검토하였다.

경기도 광주시 비점오염 저감시설설치사업과 관련하여 탄벌초교, 그린파크, 목현천하류, 곤지암교, 화신중기, 별원천의 소재와 배수면적을 표시하고 이와 함께 생태계를 고려한 보 개량 시범사업 4개 지점과 장지동의 비점오염저감시설 시범설치사업의 소재지도 Fig. 3.1에 나타내었다.

구 분		소재 및 배수면적	구 분	소 재	
비점오염저감시설 설치 사업	탄벌초교	광주시 탄벌동 25 약 13.31ha	생태계를 고려한 보개량 시범사업	1지점	광주시 초월읍 지월리 843 21,300㎡
	그린파크	광주시 탄벌동 27 약 0.99ha		2지점	광주시 초월읍 용수리 224-2 33,000㎡
	목현천하류	광주시 경안동 97 약 7.12ha		3지점	광주시 초월읍 용수리 227-1 220,000㎡
	곤지암교	광주시 실촌읍 곤지암리 555 약 12.71ha		4지점	광주시 초월읍 쌍동리 326 220,000㎡
	화산중기	광주시 실촌읍 곤지암리 429 약 13.43ha	비점오염저감시설 시범설치 사업	장지동	광주시 장지동(장지사거리) 43번국도 법면 14,200㎡
	별원천	광주시 경안동 100 234ha			
지점도					

Fig. 3.1. Location and map of non-point source reduction facility.

비점오염 저감시설의 설치로 인한 사업대상지역의 오염부하량 저감 및 하천수역의 수질개선효과, 시설 성능을 평가하기 위하여 대상지역에 대한 처리시설의 설치 및 운영, 성능을 장·단기적으로 모니터링을 하는 것이 바람직하며 선진 외국에서도 관련 사례를 확인할 수 있다. 모니터링에 의해 얻어지는 자료는 경제적이고 효율적인 관리를 유도할 뿐 만 아니라 비점오염 저감시설의 기술발전에 중요한 역할을 할 것이다.⁸⁾

모니터링을 하기 위해서는 사전에 모니터링 대상지역의 시스템을 전반적으로 이해하고 목표에 알맞은 모니터링체계를 수립하여 초기에 여러 가지 세부사항에 대한 사전지식을 습득한다. 그리고 대상지역의 여러 활동사항을 인지하여 피드백(feedback)체계를 구축 한다.

또한, 모니터링의 목표는 관리대상지역의 오염물질별 오염부하량이 어떻게 변하는지와 방류수역(하천 또는 호소)의 수질개선 효과가 있는지를 평가하고 생태학적으로 생물종이 어떻게 변화되는지와 오염기여율의 변화추이를 평가하고 관리기술의 설치운영, 유지관리의 지표가 되는 자료와 관리기술의 정착 및 보완자료의 제공이다.

모니터링의 종류는 추이(Trend) 모니터링, 기반(Baseline) 모니터링, 수행(Implementarion) 모니터링, 성능(Effectiveness) 모니터링, 계획(Project) 모니터링, 타당성(Validation) 모니터링, 요구조건(Compliance) 모니터링으로 구분⁸⁾한다.

3.1.2 수질모니터링 방법

『한강수계 오염총량관리계획 이행평가 지침』(환경부, 2006년)기준을 토대로 현장 운영상의 제한사항 및 문제점 등을 충분히 검토한 후 일부를 개선하였다.

그 내용을 살펴보면 수행기법은 유입·유출비교법(Inflow-Outflow Design)으로 하고 채수방법은 벌원천의 경우 8일 간격으로 3회 이상 연속 채수하였고 다른 5개 시설은 총 강우량 5mm이상 채수조건 만족 시 30분 간격으로 7회 이상 자동채수 하였으며, 시험분석은 일반항목과 영양염류, 중금속에 대하여 수질오염공정시험방법을 준용하였다.

(1) 유량측정

배수구역으로부터 유입되는 오염물질부하량 및 제거효율을 정확하게 산출하기 위해서는 저감시설로 유입 및 유출되는 유량을 정확하게 산출하여야 한다. 모니터링 지점별로 현장 상황 및 시설물 설치 여건 등을 감안하여, 오염물질에 영향이 적은 레이더 유량계 및 전자유량계가 관로 내부에 인입하여 설치되어 있었으며, 유량측정 장비의 사양은 Table 3.1과 같다.

Table 3.1. Water quality monitoring method

구 분	레이더 유량계	전자유량계
설치사진		
측정원리	센서 주파수와 이 주파수를 되받아 표면에서 반사된 새 주파수의 차이를 감지함으로써 흐름의 속도를 계산하는 방식	전자기 유도로 전극사이에 생기는 유압을 측정하여 흐르는 유체의 양을 측정
설치위치	유입 : 유입부와 전처리사이	유입 : 전처리시설 앞 부분 방류 : 최종 배출 지점에서 50cm 안쪽
제품명 (제조회사)	Flow-Dar (Marsh-McBirney)	Flow-toteTM3 (Marsh-McBirney)
적용지점	유입 : 목현천하류, 곤지암교, 화신중기	유입, 방류 : 탄벌초교지점, 그린파크, 벌원천 방류 : 목현천하류, 곤지암교, 화신중기

유량 측정값은 측정기상에 기록된 로그데이터의 추세 및 평균값을 산출하여 이상 유무를 확인한 후 최종 평균 유량 값을 확정하였다. 채수 전·후로 각 2시간 사이의 유량측정값을 기준으로 검토하였으며, 수량이 관에 가득 차 유속이 측정되지 않아 유량 값이 0으로 나타났을 때, 그 데이터는 평균값에서 제외하고 유량을 산정하였다.

(2) 시료채수 일자 및 강우량 측정

2009년 3월 3일부터 12월30일까지 비점오염저감시설 모니터링 수행 일시에 대하여 모니터링 지점과 인접한 기상청 광주지점의 강우량을 분석하였다. 강우처리시설의 경우 5mm이상의 누적강우량 및 2일간의 선행건기일수를 충족했을 때 Table 3.2와 같이 수질모니터링을 실시하였다.

(3) 시험분석

시료채수는 자동 채수기(6712 FR)를 이용하여 강우 시 일정 조건에 도달하면 자동으로 채수되도록 프로그램이 설계되어 있다. 냉장시설로 구성되어 있는 채수기 내부는 시료의 변질을 방지하기 위해 일정 온도로 유지(4℃)되고 있다.

1) 시료 운반 및 보관

시료는 무균 채수 병에 채취하여 교차오염을 방지하였으며, 시료 변질을 최소화하기 위하여 이동시 아이스박스에 냉장 보관하여 운반하였다. 실험실에 도착한 시료는 즉시 실험하여 수질데이터의 정확도를 제고하였으며, 분석결과에 대한 재검증이 필요할 경우를 대비하여 남은 시료는 밀봉하여 다음 Table. 3.3과 같이 시료 보존방법 및 기간에 따라 보존하였다.

Table 3.2. Daily precipitation of a point

(단위 : mm)

구분	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1일									5	
2일			1	33.5	32.5					
3일	6			2				0.5		
4일										
5일	5.5								1.5	24
6일						0.5				
7일					2.5	8.5				
8일						2.5			46	
9일				16.5	167	1.5				
10일				13.5	1.5					3.5
11일			18.5		257	69.5				0.5
12일	5.5		11	0.5	3.5	133	25			
13일	17				152			10.5	3	
14일										
15일		7	0.5							
16일			40.5							
17일			4		68			18		
18일					27.5					
19일								20.5		
20일		30.5		41	1	23			0.5	
21일	9	1.5	31.5				9.5			
22일	13.5									
23일			0.5							1
24일		2.5								1
25일		6.5			16	1			1.5	
26일	10	1				0.5				
27일		2				10	1.5			1.5
28일							14			
29일				26.5					5.5	
30일						3				0.5
31일								21		

※ : 강우처리시설 채수일자, : 연속처리시설 채수일자

Table 3.3. Sample preservation methods and period

항 목	보존방법	최대(권장)보존기간	실제소요기간
BOD	4℃ 보관	48시간(6시간)	48시간
COD	4℃ H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28일(7일)	5일
SS	4℃ 보관	7일(-)	2~3일
T-N	4℃ H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28일(7일)	5일
T-P	4℃ H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28일(-)	5일

2) 시료 분석방법

분석 데이터의 신뢰성 확보를 위해 밀폐된 용기에 보관된 시료를 충분히 혼합하여 균질화한 다음, 시료 병에 일정량을 취하여 분석을 하였다.

2009년도는 비점오염원저감시설에 대한 오염부하량 산정과 유기물질과 영양염류의 처리효율을 파악하는 시험을 실시하였고, 2010년도는 강우량 변화에 따른 오염농도 변화추이를 파악하고자 중금속과 대장균군을 추가하여 수질오염공정시험방법을 준용하였다.

그리고 시료채수와 분석은 수질오염공정시험방법(환경부, 2007년)에 의해 한국환경공단 수도권본부 검사분석팀 시험 장비를 이용하여 측정하였다.

유기물, 영양염류, 중금속, 대장균군의 시험분석방법을 Table 3.4에 나타내었다.

Table 3.4 Analysis method


항목	공정시험기준	분석방법
BOD	제4장5항 (격막전극법)	시료를 20℃에서 5일간 부란시켜 시료중의 호기성미생물의 증식과 호흡작용에 의하여 소비되는 용존산소의 양으로부터 측정
COD	제4장6항 (과망간산칼륨에 의한 산성법)	시료 100mℓ를 산성화하여 일정과량의 과망산칼륨을 가하고 수욕상에서 30분간 가열한 후 냉각시키고 수산화나트륨 용액을 가하여 반응시킨 후 과망간산칼륨으로 적정
T-N	제4장14장 (흡광광도법)	시료 중 질소화합물을 알칼리성 과황산칼륨의 존재하에 120℃에서 유기물과 함께 분해하여 질산이온으로 산화시킨 다음 산성에서 자외선 흡광도를 측정하여 질소를 정량
T-P	제4장17장 (흡광광도법)	시료중의 유기물을 산화 분해하여 모든 인화합물을 인산염 형태로 변화시킨 다음 인산염을 아스코르빈산환원 흡광광도법으로 정량하여 총인의 농도를 구하는 방법
중금속	제4장 22항등 원자흡광광도법	시료 중 크롬, 구리, 아연, 납, 카드뮴의 특유 파장에 대한 흡광도를 측정하여 시료중의 원소 농도를 정량하는 방법으로 시료중의 유해중금속 및 기타 원소의 분석에 적용함.
SS	제4장8항 (중량법)	미리 항량하고 무게를 단 유리섬유 여지를 이용 시료적당량을 여과한 후 여지를 105~110℃의 건조기 안에서 2시간 건조 후 항량으로 무게를 달아 여과 전·후의 무게차를 구함
대장균군	제4장 39항 (총대장균군)	유당이 포함된 액체 배지에서 총대장균군을 배양하면 유당이 분해되어 가스가 생성되어지는 원리를 이용한 방법이며, 최적확수로 표시하고, 그 결과는 총대장균군수/100mL의 단위로 표시함.

3.2 처리시설 현황

3.2.1 장치형 시설(CDS-MFS)

CDS-MFS(Continuous Deflective Separation - Media Filtration System)는 장치형 시설로 크게 전처리 시설과 주 처리시설로 구분된다. 전처리 시설은 스크린, 와류형 시설로 쓰레기, 협잡물 등을 처리하며, 필터형 주 처리시설에서는 오염물을 다양한 기작을 통하여 처리하는 시설로서 Table 3.5에 나타내었다.

Table 3.5. Specifications of equipment form(CDS-MFS)

구 분	CDS-MFS		
적용지역	<ul style="list-style-type: none"> • 탄벌초교지점 • 그린파크 		
원 리	<ul style="list-style-type: none"> • 전단에 설치된 CDS는 각종 부유물질 및 토사를 Vortex 중력침강과 CDS 스크린에 의해 포집함으로써 여재의 교체주기를 반감시켜 유지관리 빈도수를 감소시키므로 경제성 향상 • 고효율 필터 카트리지를 이용하여 강우 시 유출되는 오염물을 포집하여 침전 및 여과(Filtration), 흡착(adsorption) 등의 기작을 이용하여 제거 		
설치사진			
처리효율	<ul style="list-style-type: none"> • 60%(BOD), 30%(COD), 70%(SS), 20%(T-N), 20%(T-P) 		
운전조건	구 분	조 건	수 행
	초기조건	스크린 보호를 위해 1차 처리장치(CDS)에는 항상 청수로 채워져 있는 상태	
	작동모드	유입수 수위 10mm이상 지속(1분간)유지	자동운전 START
		자동운전 START시	유입수문 FULL OPEN
		2차 처리수 저장실에 설치된 수위계감지 > 1000mm	유출밸브 FULL OPEN
	정지모드	30분간 6회 채수 완료	유입 및 유출밸브 FULL CLOSE
비상정지 모드	2차처리수저장실 수위>1450mm(20초간 지속)	유입 및 유출밸브 FULL CLOSE	

(1) 탄벌초교지점

탄벌초교지점 시설은 탄벌동 25번지 일대에 설치되어, 2009년 3월 1일부터 가동이 개시되었고, 처리수는 목현천으로 방류되어 최종 팔당호로 유입되고 있다.

본 시설은 2개의 유입구에서 유입된 빗물을 와류를 이용한 전처리로 거대 고형물 및 협잡물을 처리하고, 후단의 필터를 이용하여 영양염류 및 유기물을 처리하는 시스템(CDS-MFS)으로 Fig. 3.2와 같이 일일 처리능력은 22,000m³/day이다.

또한, 배수구역은 주택, 도로 및 임야로 구성되며, 면적은 약 13.31ha이다.

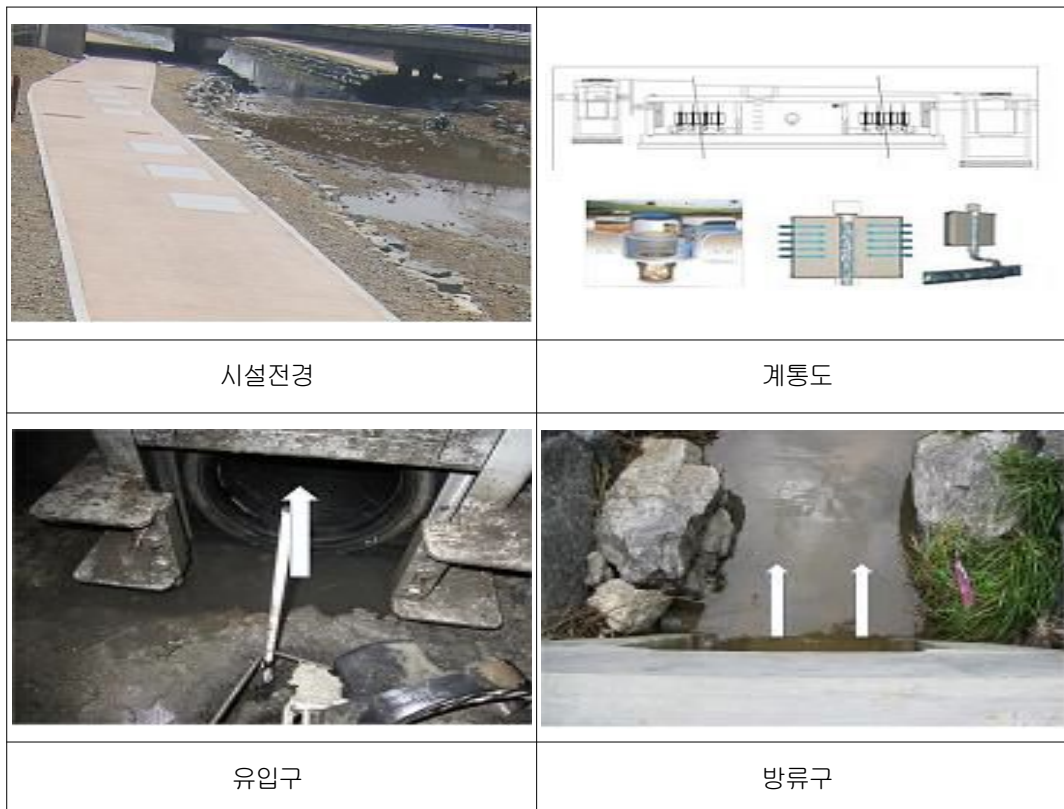


Fig. 3.2. Facilities and schematic diagram of Tanbeol.

(2) 그린파크

그린파크 시설은 탄벌동 27번지 일대에 설치되어 2009년 3월 1일부터 가동이 개시되었고, 처리수는 목현천으로 방류되어 최종 팔당호로 유입되고 있다.

본 시설은 도로와 인접하여 설치되어 있어 도로 세척수가 많이 유입된다. Fig. 3.3에서와 같이 유입수는 와류를 이용한 전처리시설로 거대입자 및 고형물을 처리하고, 필터를 이용한 본처리시설은 영양염류 및 유기물을 처리하는 시스템(CDS-MFS)으로 일일 처리능력은 2,100m³/day이다.

또한, 배수구역은 주택, 도로 및 임야로 구성되며, 면적은 약 0.99ha이다.



Fig. 3.3. Facilities and schematic diagram of Green Park.

3.2.2 장치형 시설(HDS-FSF)

HDS-FSF(hydrodynamic separator - Fluid separator filter)는 장치형 시설로서 크게 전처리 시설과 주 처리시설로 구분된다. 전처리 시설은 스크린, 와류형 시설로 입자가 큰 부유물질 등을 처리하며, 주 처리시설은 여재를 이용하여 유기물을 처리하는 방식으로 Table 3.6과 같다.

Table 3.6. Specifications of equipment form(HDS-FSF)

구분	HDS-FSF			
적용 지역	•목현천 하류, 곤지암교, 화신중기			
원리	•무동력의 비점오염 처리장치로 전처리시설인 CDS에서 유입수의 유입 시 발생하는 Vortex(소용돌이)를 이용하여 오염물질의 큰 입자들을 제거하고 미세입자들은 본 처리시설인 FSF에서 여재에 의해 비점오염원을 처리한 후 배출하는 방식이다.			
설치 사진				
설계 효율	•30%(BOD), 30%(COD), 50%(SS), 10%(T-N), 20%(T-P)			
운전 조건	구분	조 건	수 행	비 고
	초기 조건	스크린 보호를 위해 1차 처리장치에는 항상 청수로 채워져 있는 상태		
	작동 모드	유입유량이 80m ³ /hr 이상 지속(1분간)유지 (곤지암교: 100m ³ /hr, 화신중기: 80m ³ /hr)	자동운전 START	
		30분간 6회 채수 완료시	자동운전 STOP	

(1) 목현천 하류

목현천 하류는 경안동 97번지 일대에 설치되어 2009년 3월 1일부터 가동이 개시되었고, 처리수는 목현천으로 방류되어 최종 팔당호로 유입되고 있다.

본 시설은 도로와 공원에 인접하여 설치되어 있으며, 와류를 이용한 전처리시설 2개와 필터 여과를 이용한 본 처리시설로 4개로 구성된 시스템(HDS-FSF)으로 일일 처리능력은 17,400m³/day이다. 또한, 배수구역은 주택가, 도로, 공원 및 나대지로 구성되며, 면적은 약 7.12ha이다.

목현천 하류 시설 전경과 유입구, 방류구 등 처리계통도는 Fig. 3.4에 나타냈다.



Fig. 3.4. Facilities and schematic diagram of Mokhyeon downstream.

(2) 곤지암교

곤지암교 시설은 곤지암리 346번지 일대에 설치되어 있으며, 2009년 3월 1일부터 가동이 개시되었고, 처리수는 곤지암천으로 방류되어 최종 팔당호로 유입되고 있다. 유입부분은 합류식 관거와 연결되어 있어 건기 시 하수가 도착하수처리장으로 유입되지만 강우 시 유입량 증가로 관거 월류수가 비점처리시설로 유입된다.

와류를 이용한 전처리시설 2개와 필터 여과를 이용한 본 처리시설 6개로 구성된 시스템(HDS-FSF)으로 일일 처리능력은 24,800m³/day이다. 또한, 배수구역은 주택, 도로 및 임야로 구성되며, 면적은 약 12.71ha이다.

곤지암교 시설 전경과 처리 계통도는 Fig. 3.5와 같다.


	
<p>시설전경</p>	<p>계통도</p>
	
<p>유입구</p>	<p>방류구</p>

Fig. 3.5. Facilities and schematic diagram of Gonjiam bridge.

(3) 화신중기

화신중기 시설은 곤지암리 555번지 일대에 설치되어 있으며, 2009년 3월 1일부터 가동이 개시되었고, 처리수는 곤지암천으로 방류되어 최종 팔당호로 유입되고 있다.

본 시설은 3번 국도와 상가에 인접하여 설치되어 있으며, 와류를 이용한 전처리 시설 1개와 필터 여과를 이용한 본 처리시설 6개로 구성된 시스템(HDS-SFS)으로 Fig. 3.6의 처리 계통도와 같이 일일 처리능력은 23,600 m^3 /day이다.

또한, 배수구역은 주택, 도로 및 임야로 구성되며, 면적은 약 13.43ha이다.




Fig. 3.6. Facilities and schematic diagram of Whasin heavy machinery.

3.2.3 시설형 시설(직접폭기식 접촉산화 공법)

별원천의 비점오염을 저감하기 위하여 설치한 시설형 장치로서 강우 시 뿐만 아니라 건기에도 처리가 가능한 연속식 처리시설이다. 장치형 시설과는 다르게 생물학적 처리기법을 이용하여 BOD 등을 처리하는 시설로서 Table 3.7과 같다.

Table 3.7. Specifications of Contact Oxidation Process facility

구 분	직접 폭기식 접촉산화시설			
적용 지역	•별원천			
원 리	•유입수와 접촉여재의 미생물을 호기성 조건하에서 접촉시켜, 미생물에 의한 흡착, 산화, 동화, 작용 등의 생물 반응을 효율적으로 진행시켜, 오탁의 지표인 BOD원을 산화 분해시키는 공정			
설치 사진				
설계 효율	•60%(BOD), 30%(COD), 70%(SS), 20%(T-N), 20%(T-P)			
운전 조건	구 분	조 건	수 행	비 고
	초기 조건	평상시 별원천의 하천수가 처리시설로 항시 유입		
	작동 모드	8일 간격으로 오후 1시 5분 유입수 채수	채수 5분전 자동 Flushing	채수일이 주말이면 월요일에 채수
		유입완료 후 1시 10분 방류채수	자동운전 STOP	
	유입, 방류 채수 완료			

(1) 벌원천

벌원천 시설은 경안동 100번지 일대에 설치되어 2009년 3월 1일부터 가동이 개시되었고, 처리수는 목현천으로 방류되어 최종 팔당호로 유입되고 있다.

본 시설은 연속처리시설로서 벌원천 하류에 설치되어 있고, 스크린, 침사지, 접촉산화조, 침전조로 구성된 직접폭기식 접촉산화구조물과 후단의 습지로 구성된 시스템으로 일일 처리능력은 2,200m³/day이다. 또한, 배수구역은 시가지하수, 도로 임야로 구성되며, 면적은 234ha이다.

Fig. 3.7에 시설전경과 처리공정도를 나타냈다.



Fig. 3.7. Facilities and schematic diagram of Beolwon stream.

3.2.4 시범사업

장지동 지점 등 총 5개소에서는 장치형 및 식생수로로 설치되어 있다. 수질모니터링은 실시하지 않으나, 기본적인 유지관리를 통해 정상적인 운영을 하고 있다. 지점별 설치공법 및 처리방법, 처리용량은 Table 3.8과 같다.

Table 3.8. Treatment method and facility of quality

설치 지점	공법	처리방법	처리용량	비고
장지동 지점	아쿠아가이드 RET시스템	아쿠아가드 : 유입 ⇒ 전처리 ⇒ 여과 ⇒ 방류 RET시스템 : 유입 ⇒ 침전 ⇒ 저류 ⇒ 복류정화 ⇒ 방류	4,600m ³ /day 122m ³ /hr	-
1지점	StormSys	하천수 유입 ⇒ 전처리(CatchBasin) ⇒ 분리여과흡착·생물학적 분해(StormSys) ⇒ 방류	30m ³ /hr	-
2지점	StormFilter	하천수 유입(StormGate) ⇒ 여과(Stormfilter) ⇒ 방류	21m ³ /hr	-
3지점	StormFilter	하천수 유입(StormGate) ⇒ 여과(Stormfilter) ⇒ 방류	99m ³ /hr	-
4지점	StormSys	하천수 유입 ⇒ 전처리(CatchBasin) ⇒ 분리여과흡착·생물학적 분해(StormSys) ⇒ 방류	27m ³ /hr	-

3.3 삭감부하량 산정 방식

비점오염물질 처리시설의 삭감부하량을 효율적이고 객관적으로 산정하기 위하여 『한강수계 오염총량관리계획 이행평가 별표 4』를 적용하고, 산정방식은 크게 연속처리시설과 강우 시 처리시설로 나뉜다.

3.3.1 연속 처리시설

삭감 부하량은 회차별 유입부하량 합에 유출부하량 합을 빼서 삭감 부하량을 산정하였다.

$$\text{삭감부하량(kg)} = \text{유입부하량(kg)} - \text{유출부하량(kg)} \dots\dots\dots \text{식 3.1}$$

$$\text{유(출)입부하량(kg)} : \text{유입(출)량(m}^3\text{)} \times \text{평균유(출)입농도(mg/l)} \times 10^{-3}$$

유입(출)량은 유량 평균 값에 조사간격 30분을 곱하여 유입(출)량을 산정하였다.

$$\text{유입(출)량(m}^3\text{)} = \text{유량평균값(m}^3\text{/s)} \times \text{조사간격(분)} \times 60\dots\dots\dots \text{식 3.2}$$

유입(출)부하량은 유입량에 평균 유입 농도를 곱하여 산정하였다.

$$\text{유입(출)부하량(kg)} = \text{유입(출)량(m}^3\text{)} \times \text{평균유입(출)농도(mg/l)} \times 10^{-3}$$

삭감부하량은 회차별 유입부하량 합에 유출부하량 합을 빼서 삭감부하량을 산정하였다.

$$\text{삭감부하량} = \sum(\text{유입부하량} - \text{유출부하량}) \dots\dots\dots \text{식 3.3}$$

연 평균삭감 부하량은 전체 삭감부하량 합에 365일로 나눈 후 비점 배출 계수 0.25를 곱하여 산정하였다.

$$\text{연평균 삭감부하량} = \sum(\text{삭감부하량})/365\text{일(또는 366일)} * \text{비점배출계수}(0.25)$$

3.3.2 강우 처리시설

유입(유출)유량은 저감시설의 유입 및 유출 유량을 기입한다. 수질조사용 시료 채수시의 자동측정 유량(m³/s)을 기록하였다.

단위시간별 부하량 산정 자료

- 조사간격(분) : 시료채취간의 시간(단위시간)을 분단위로 기입하였다.
- 유입(출)량 : 단위시간의 유입(출)유량의 평균값에 조사간격을 곱하였다.

$$\text{유입(출)량(m}^3\text{)} = \text{유량평균값(m}^3\text{/s)} \times \text{조사간격(분)} \times 60 \dots\dots\dots \text{식 3.4}$$

- 평균유입(출)농도 : 단위시간동안의 평균 유입(출)농도를 기입하였다.

유입(출)부하량은 단위시간동안 유입(출)된 부하량을 기입하였다.

$$\text{유입(출)부하량(kg)} = \text{유입(출)량(m}^3\text{)} \times \text{평균유입(출)농도(mg/L)} \times 10^{-3} \dots\dots \text{식 3.5}$$

삭감부하량은 단일강우사상동안 삭감된 부하량을 기입하였다.

$$\text{삭감부하량} = \sum(\text{유입부하량} - \text{유출부하량}) \dots\dots\dots \text{식 3.6}$$

$$\text{연평균삭감부하량} : \sum(\text{삭감부하량}) / 365\text{일(또는 366일)} \times \text{비점배출계수}(0.25) \dots\dots\dots \text{식 3.7}$$

IV. 연구결과 및 고찰

4.1 2009년도 수질 모니터링 결과 분석

4.1.1 수질 모니터링 개요

2009년도 탄벌초교지점 등 6개 강우처리시설 설치사업은 연간 7회, 연속처리시설인 벌원천은 연간 30회로 총 68회 모니터링을 Table 4.1과 같이 실시하였다.

Table 4.1. Result of 2009 Monitoring

구분	계	탄벌초교지점	그린파크	목현천하류	곤지암교	화신중기	벌원천
실적	68	8	9	6	7	8	30

그러나 강우처리시설 중 목현천의 경우 유입구와 하천사이의 월류 웨어가 낮아 빗물이 시설로 유입되는 양보다 월류 웨어를 넘어 하천으로 유출되는 양이 많다. 다른 지점에 비하여 채수횟수가 적게 측정되었으며, 향후 월류 웨어 개선 방안을 마련하여 보완하여야 할 것으로 사료된다.

연속처리시설은 매월 평균 3~4회 정도 모니터링을 수행하였다. 다만 7월에는 집중호우로 인한 대량의 토사유입으로 미디어상의 미생물이 일부 소멸되어 유입과 방류수문을 달고 산기장치를 제외한 시설을 2009.7. 9~7.26 사이에 가동을 중지하여 2회만 모니터링을 수행하였다.

4.1.2 지점별 모니터링 결과

(1) 탄벌초교지점의 수질 및 부하량

1) 유입과 방류수질 농도

탄벌초교지점은 연간 총 8회에 걸쳐 모니터링을 수행하였다. 유입수와 방류수에 대한 일반항목과 영양염류 분석결과 농도는 Table 4.2에 나타난 바와 같다.

Table 4.2. Inlet and effluent concentration of Tanbeol (단위 : mg/ℓ)

구분		평균	1회차 (06.20)	2회차 (06.29)	3회차 (07.02)	4회차 (07.09)	5회차 (08.11)	6회차 (10.13)	7회차 (10.31)	8회차 (10.31)
유입수	BOD	7.5	6.2	1.7	8.4	4.8	5.9	9.8	10.3	12.8
	COD	19.9	21.3	5.2	10.2	25.8	30.7	21.1	20.1	24.8
	SS	200.7	173.5	76.3	66.1	489.2	129.8	109.5	294.2	267.6
	T-N	5.992	11.144	6.363	6.274	6.528	5.184	4.891	2.797	4.757
	T-P	0.400	0.546	0.168	0.198	0.583	0.499	0.364	0.298	0.547
방류수	BOD	1.9	1.6	1.2	1.2	1.8	2.0	2.0	2.2	2.9
	COD	7.5	7.5	4.2	4.5	8.2	10.8	8.2	7.2	9.8
	SS	26.0	27.5	4.4	5.4	5.9	50.5	22.4	63.2	29.0
	T-N	3.938	7.637	4.358	4.191	5.126	2.875	3.910	1.669	1.737
	T-P	0.145	0.145	0.120	0.117	0.116	0.220	0.197	0.092	0.149

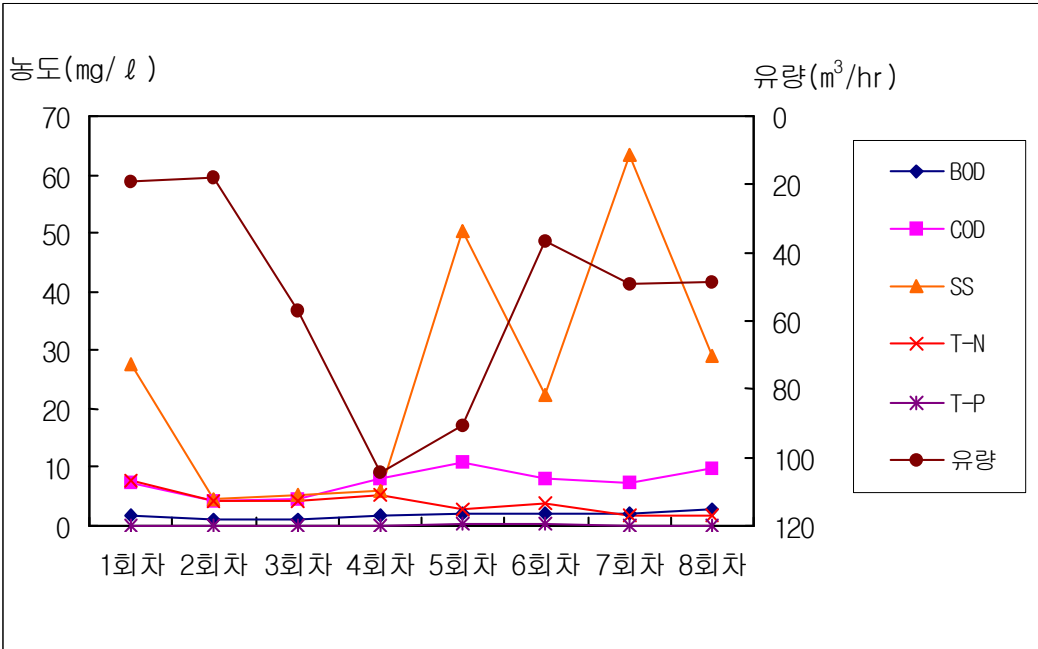
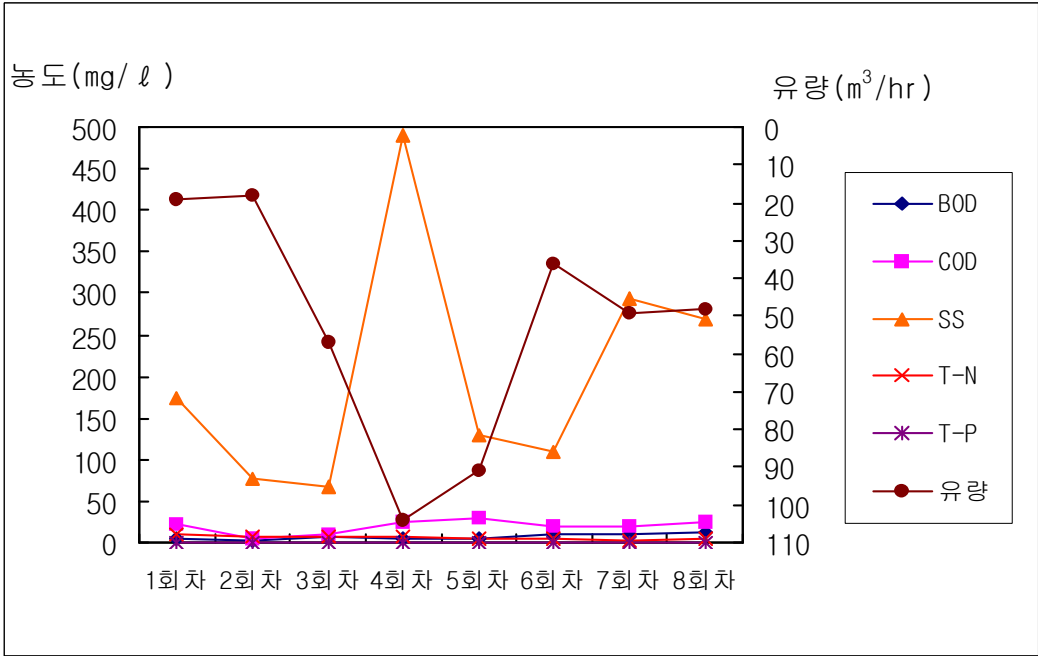


Fig. 4.1 Average concentration of Tanbeol.

유입수의 경우 2회차 와 3회차에서 낮은 농도(수질기준이하, SS 77mg/L미만)로 인입되고 있으며, 방류수는 공공처리시설 수질기준²⁾ 이내로 처리되고 있으나 1회차, 5회차, 6회차, 7회차, 8회차에서 SS 수질기준(10mg/L)을 초과 한 것으로 파악되었다.

탄벌초교 유입수 평균농도와 방류수 평균농도는 Fig. 4.1에 나타난 바와 같이 탄벌초교의 유입수에서 BOD, COD, SS, T-N, T-P 항목의 평균농도는 각각 7.5mg/ℓ, 19.9mg/ℓ, 200.7mg/ℓ, 5.992mg/ℓ, 0.400mg/ℓ로 측정되었다. 그런데 공공하수처리시설 방류수 수질기준은 BOD 10mg/ℓ, COD 40mg/ℓ, SS 10mg/ℓ, T-N 20mg/ℓ, T-P 2mg/ℓ로 규정하고 있다. SS 항목을 제외한 나머지 항목은 공공하수처리시설 방류수 수질기준 이하로 유입되었는데 이는 유기물과 영양염류가 강우와 함께 저 농도로 인입된 것으로 사료된다. 이와 관련하여 신창민 등이 연구한 자료²⁴⁾에 의하면 임야 및 학교에서 배출되는 오염물질 중 유기물이나 영양염류 등은 낮은 반면, 토사로 인한 SS 항목은 비교적 높게 나타난다고 언급하고 있다.

SS 항목의 농도가 높은 이유는 탄벌초교지점의 배수구역이 다른 강우처리시설 지점에 비하여 산지와 초등학교로 이루어져 있어 높게 배출된 것으로 판단된다.

탄벌초교지점의 방류수에서의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 항목의 평균농도는 각각 1.9mg/ℓ, 7.5mg/ℓ, 26.0mg/ℓ, 3.938mg/ℓ, 0.145mg/ℓ로 조사되었는데 SS이외 항목에서 수질기준 이하로 처리됨을 알 수 있다.

비점오염저감시설 실시설계보고서(2007년 광주시)에 의하면 장치형 필터시설(CDS-MFS)의 설계효율은 BOD 60%, COD 30%, SS 70%, T-N 20%, T-P 20%로 정하고 있다. 각 항목별 제거효율은 BOD 74.7%, COD 62.3%, SS 87.0%, T-N 34.3%, T-P 63.8%로 탄벌초교 지점에서의 제거효율은 Fig. 4.2에 나타내었다. 따라서 탄벌초교, 그린파크는 장치형 필터시설로 되어 있어 설계효율과 제거효율 비교하여 그래프로 나타낸 것이다.

그리고 유입수 농도 대비 방류수 농도 제거효율(유입수농도-방류수농도/유입수농도×100)은 Fig. 4.2와 같이 모든 항목에서 설계효율보다 비교적 높게 나타났다.

설계효율 대비 제거효율을 살펴보면 T-P 항목은 설계효율보다 219%를 초과 달성하였고 T-P 항목을 비롯하여 T-N과 COD 항목등도 70% 이상 설계효율을 초과한 것으로 분석되었다. 이는 임봉수 등의 연구결과²⁵⁾와 같이 영양염류가 흡착되어 있는 토사 및 고형물 등이 제거 기작에 의해 처리되면서 영양염류도 함께 제거된 것으로 판단된다.

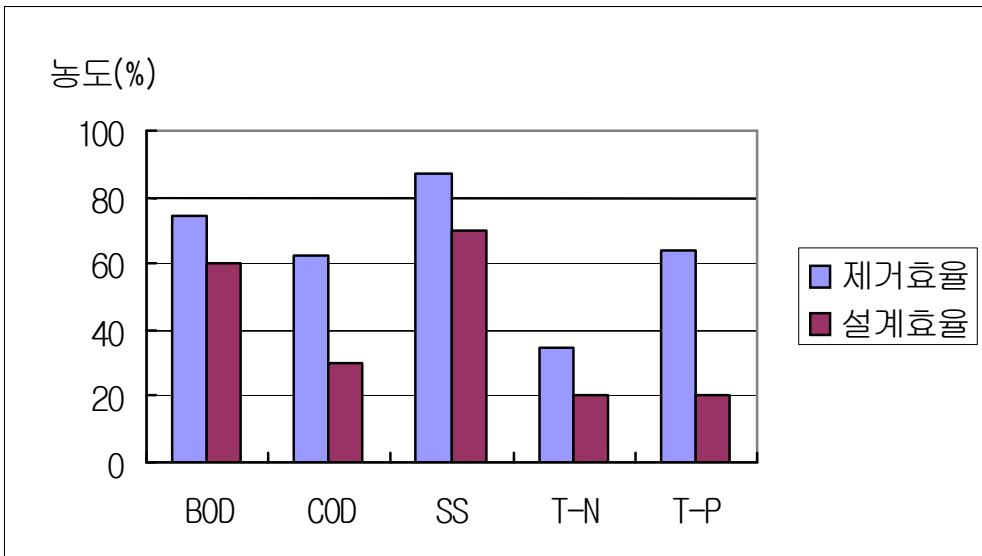


Fig. 4.2. Removal efficiency of Tanbeol.

2) 시간대별 유입수 수질분석

유입이 2곳인 탄별초교지점은 각 지점을 30분 단위로 제1지점을 채수 한 뒤 제2 지점을 채수하는 방식으로 각 지점별 3회씩 총 6회를 채수하였다. 제1지점의 5개 항목에 대한 평균 유입 수질은 제2지점보다 다소 높은 것으로 파악되었다.

탄별초교를 30분별로 분석한 시간대별 유입수 평균 농도는 Fig. 4.3에 나타난 바와 같이 오염농도 감소율은 유입1지점의 경우 0분 채수 시점에서 60분 채수 시점이 전 항목 평균 42.6%로 60분 채수 시점에서 120분 채수 시점 평균 7.3% 보다 높게 나타났다.

유입2지점은 30분 채수 시점에서 90분 채수 시점이 평균 23.6%로 90분 채수 시점에서 150분 채수 시점 평균 34.2% 보다 낮게 나타났다.

SS 항목과 T-N 항목의 경우 배수구역 내 인근 임야에서 토사 및 부유물질 등이 유입되어 강우량이 늘어날수록 값이 증가되는 경향도 일부 나타났다.

신현석 등이 연구한 자료²⁰⁾에 따르면 도시지역 유출수를 모의 시험한 결과 침전 후 3시간 이후 오염농도 변화가 미미했다고 언급했다

이와 같이 이 지점에서도 초기강우가 유입된 지 150분 이후에 오염물질농도 변화가 적어 약 3시간의 처리시간이 소요됨을 알 수 있다.

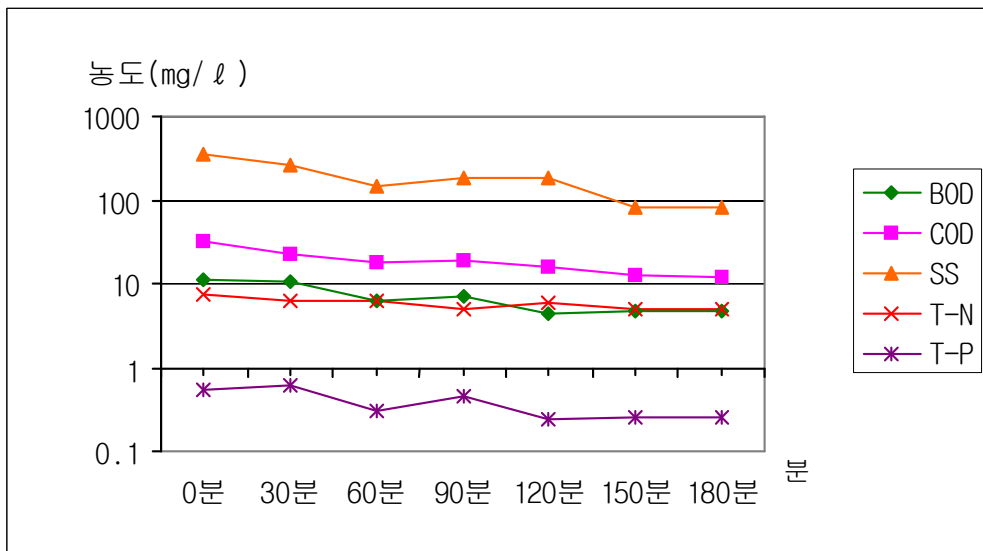


Fig. 4.3. Average concentration of the hourly Tanbeol.

3) 삭감부하량

Table 4.3에 나타난 바와 같이 탄벌초교 지점의 BOD 삭감부하량은 8회차에서 1.224kg으로 가장 높게 나타났으며, COD는 5회차에서 4.472kg, SS는 4회차에서 121.454kg, T-N은 5회차에서 0.539kg, T-P는 4회차에서 0.112kg으로 가장 높게 나타났다. 2회차에서 전 항목 모두 가장 낮은 삭감부하량이 산정되었다.

Table 4.3. Reduction flux of Tan stream Beolgyo

(단위 : kg)

구 분	1회차	2회차	3회차	4회차	5회차	6회차	7회차	8회차
채수일자	06.20	06.29	07.02	07.09	08.11	10.13	10.31	11.08
강우량 (누적강우량 mm)	2.5 (9.5)	4.7 (17.5)	8.5 (27.5)	16.7 (51)	8.5 (25.5)	2.8 (11)	6.0 (18.5)	4.7 (14)
유량(m ³ /hr)	19.0	18.2	56.9	104.1	90.7	36.3	49.1	48.3
BOD	0.234	0.016	0.881	0.564	0.864	0.754	1.057	1.224
COD	0.696	0.027	0.776	3.856	4.472	1.260	1.625	1.868
SS	6.381	2.329	6.321	121.454	16.467	8.548	30.647	30.513
T-N	0.171	0.080	0.266	0.279	0.539	0.106	0.136	0.353
T-P	0.018	0.002	0.006	0.112	0.064	0.018	0.027	0.054

- 1) 강우량은 채수시간의 평균 강우량이며, 누적강우량은 당일 채수시간까지의 누적강우량임
- 2) 출처 : 2009년 기상청 광주지점 시간대별 강우량 통계자료

2009. 6.20일 부터 11. 8일 사이 8회에 걸쳐 유량과 오염물질농도를 측정한 결과 2009년 평균 삭감 부하량을 산정한 결과는 Table 4.4에 나타낸 바와 같이 중점 관리항목인 BOD항목의 경우 연평균 삭감 부하량이 0.0038kg/day로 조사되었으며, COD는 0.0100kg/day, SS 0.1525kg/day, T-N, 0.0013kg/day, T-P 0.0002kg/day으로 나타났는데 SS항목의 연평균 삭감 부하량이 높게 나타났다.

이 지점에서 토사로 인하여 SS 항목이 최대로 높았는데, 이는 비점오염원저감 시설의 설치 및 운영 매뉴얼(2008, 환경부)등에서 제시한 바와 같이 토사, 낙엽, 도로먼지 등에 기인했다고 판단된다. 유입농도가 낮은 T-P 항목이 가장 낮은 연평균 삭감부하량 값을 나타냈다.

Table 4.4. Reduction flux of mean annual Tan stream Beolgyo

(단위 : kg/day)

구 분	BOD	COD	SS	T-N	T-P
연평균 삭감부하량	0.0038	0.0100	0.1525	0.0013	0.0002

(2) 그린파크 수질 및 부하량

1) 유입과 방류수질 농도

그린파크는 2009년 6월부터 11월 사이 9회에 걸쳐 유량과 오염물질을 측정하였는데 모니터링 결과는 Table 4.5에 나타난 바와 같이 유입수에서의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 항목의 평균농도는 각각 11.3mg/ℓ, 27.4mg/ℓ, 322.2mg/ℓ, 4.792mg/ℓ, 0.606mg/ℓ로 측정되었다. 유입수의 경우 5회차와 7회차에서 낮은 농도(수질기준이하, SS 56mg/L미만)로 인입되고 있으며, 방류수는 공공처리시설수질기준 이내로 처리되고 있으나 SS의 평균농도(40.1mg/L)가 수질기준(10mg/L)을 초과한 것으로 파악되었다. 그린파크의 경우 배수구역이 도로 및 주택가로 구성되어 있어 COD 항목과 SS 항목이 6개 지점 중 가장 높은 값으로 조사되었다.

이는 김이형 논문¹⁸⁾에서 주 오염물질인 도로 노면의 퇴적물, 타이어 마모, 누출된 오일 및 그리스 등으로 유기물질농도가 높게 검출된다고 제시하고 있다.

그리고 방류수에서의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 항목의 평균농도는 각각 4.0mg/ℓ, 8.9mg/ℓ, 40.1mg/ℓ, 2.517mg/ℓ, 0.129mg/ℓ로 측정되었는데 SS는 공공하수처리시설 기준(10 mg/ℓ)보다 높게 방류되고 있음을 알 수 있다.

Table 4.5. Inlet and effluent concentration of Green Park

(단위 : mg/ℓ)

구분	평균	1회차 (6.20)	2회차 (6.29)	3회차 (7.02)	4회차 (7.09)	5회차 (8.11)	6회차 (10.13)	7회차 (10.17)	8회차 (10.31)	9회차 (11.08)	
유입수	BOD	11.3	9.2	14.8	16.6	12.5	4.1	16.8	7.8	14.1	5.8
	COD	27.4	29.9	37.2	44.6	30.5	8.6	33.4	19.9	27.1	15.6
	SS	322.2	134.4	696.3	665.0	514.2	55.7	211.6	54.5	343.5	224.8
	T-N	4.792	8.747	4.192	6.187	5.043	1.100	6.063	4.967	3.380	3.450
	T-P	0.606	1.296	0.764	1.407	0.693	0.136	0.489	0.134	0.311	0.221
방류수	BOD	4.0	1.4	7.4	7.8	3.9	3.1	3.4	2.7	3.0	3.3
	COD	8.9	6.1	17.2	12.3	8.8	4.1	7.6	9.0	7.5	7.8
	SS	40.1	18.1	32.7	29.4	28.8	23.4	49.9	14.6	114.3	49.8
	T-N	2.517	3.833	3.423	1.802	2.654	0.716	4.114	2.474	1.710	1.929
	T-P	0.129	0.171	0.189	0.141	0.123	0.045	0.220	0.063	0.085	0.123

그린파크 유입수와 방류수의 오염물질별 평균농도를 Fig. 4.4에 나타내었는데, 장마철 등으로 이하여 SS농도와 유량이 큰 변화를 보여주고 있다.

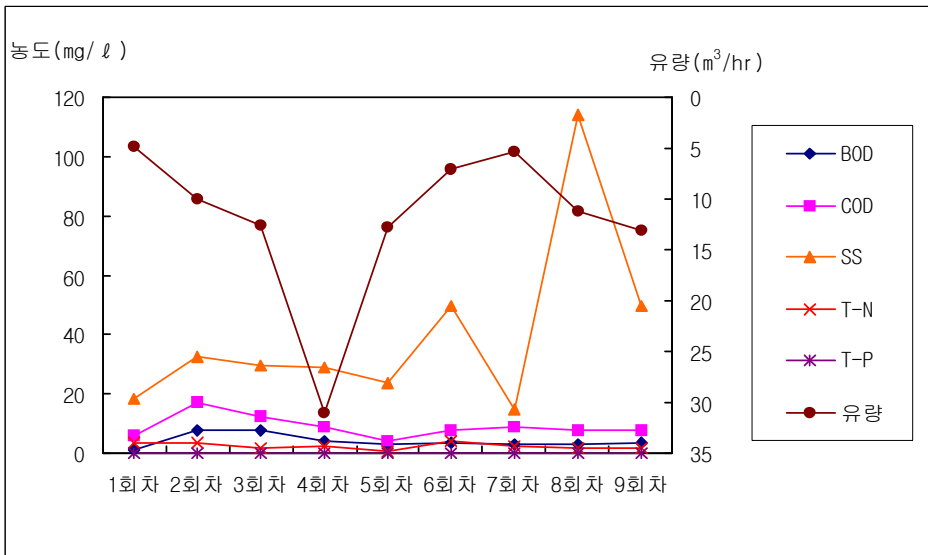
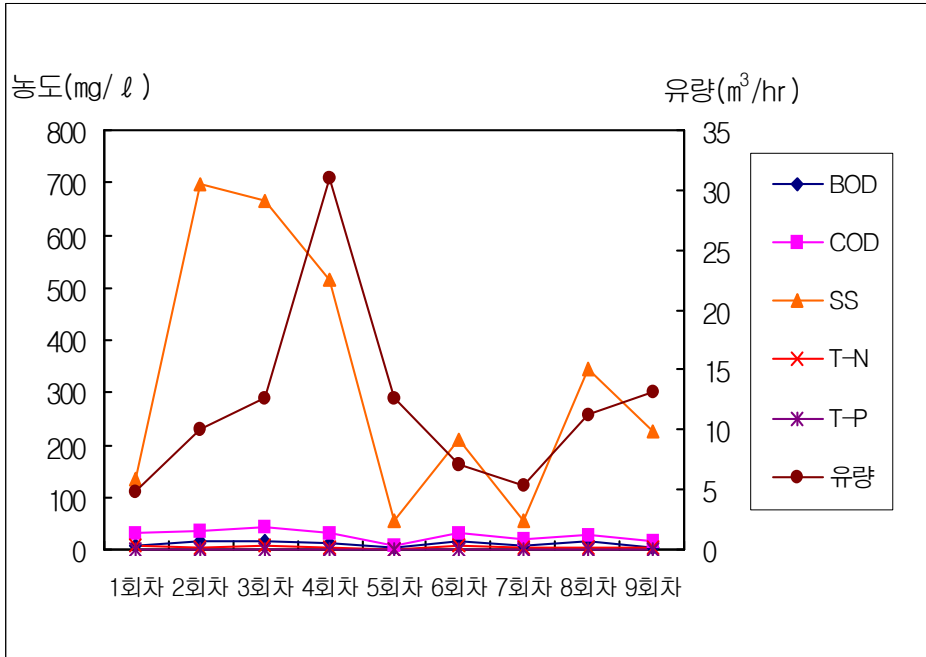


Fig. 4.4. Average concentration of Green Park.

Fig. 4.5에 나타낸 바와 같이 그린파크의 유입수 농도 대비 방류수의 제거효율은 BOD 64.6%, COD 67.5%, SS 87.6%, T-N 47.5%, T-P 78.7%로 조사되었다.

이 지점은 장치형 필터시설(CDS-MFS)로서 설계효율은 BOD 60%, COD 30%, SS 70%, T-N 20%, T-P 20%로 정하고 있다. 설계효율 대비 제거효율을 살펴보면 T-P 항목은 293.6%를 초과 달성하였고, T-N 항목과 COD 항목등도 100%이상 설계효율을 초과한 것으로 분석되어 같은 장치형 시설인 탄벌초교 지점과 비슷한 제거효율을 나타내었다.

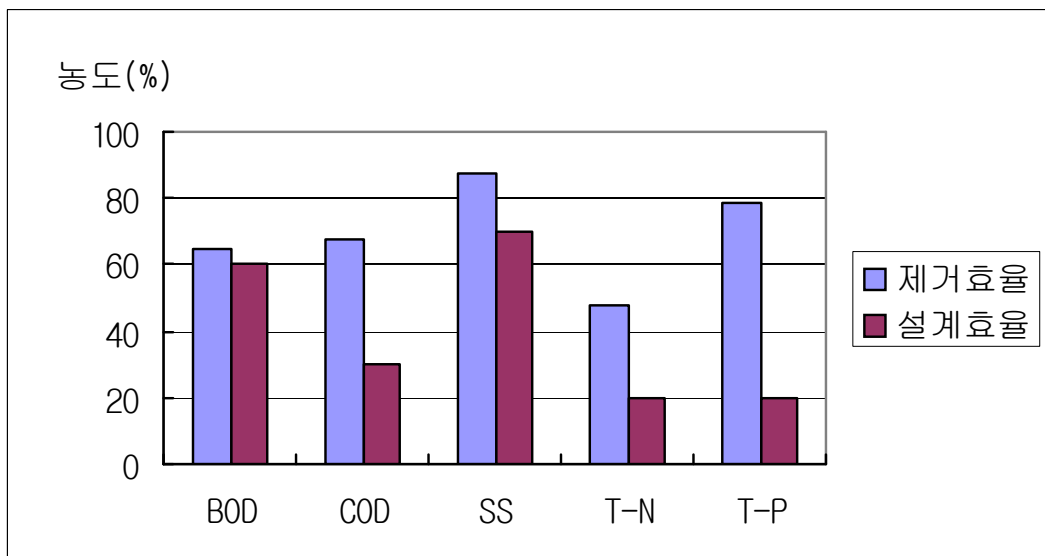


Fig. 4.5. Removal efficiency of Green Park.

2) 시간대별 유입 수질분석

그린파크는 30분 간격으로 총 3시간 동안 6회를 채수하였다. 시간대별 유입수 농도는 Fig. 4.6에 나타난 바와 같이 감소율은 30분 채수 시점과, 60분 채수 시점에서 전 항목 평균이 각각 28.5%, 29.5%의 가장 높은 감소율을 나타냈으며, 90분 채수 시점에는 SS 항목을 제외한 나머지 항목이 전 채수 시점보다 높게 나타났다.

이는 그린파크의 배수구역이 도로를 포함하고 있기 때문이다.

2007년 이주광이 연구한 자료²⁶⁾에 의하면 도로의 특성상 포장률이 높고 많은 차량운행으로 인하여 끊임없이 오염이 발생한다. 라는 결과가 있는데, 이에 기인한 것으로 판단된다.

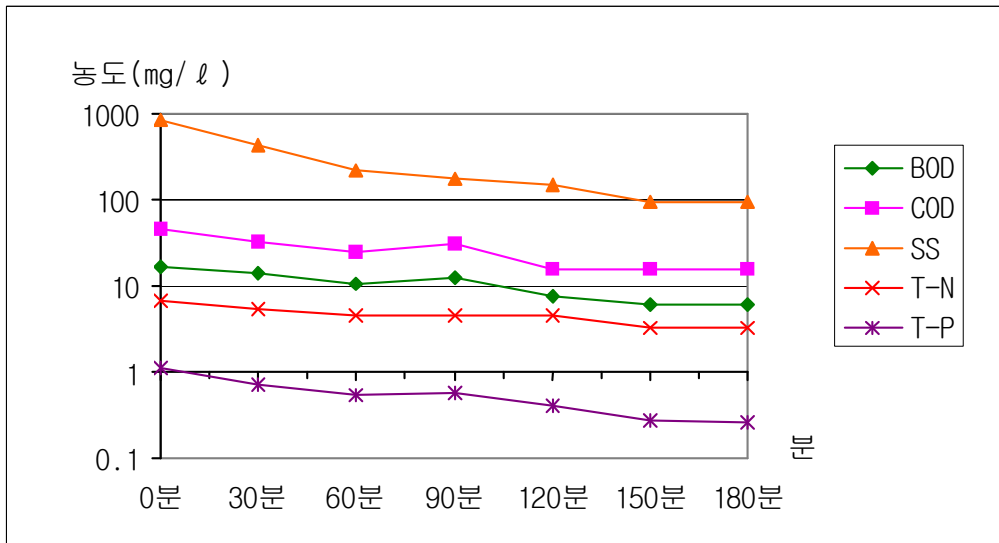


Fig. 4.6. Average concentration of the hourly Green Park.

3) 삭감부하량

그린파크의 삭감부하량 산정을 위한 기초자료 조사 결과는 Table 4.6에 나타난 바와 같이 그린파크의 삭감부하량은 전 항목 모두 유량이 가장 많았던 4회차에서 BOD 0.798kg, COD 1.886kg, SS 45.404kg, T-N 0.247kg, T-P 0.054kg으로 가장 높게 나타났으며, BOD항목과 COD는 5회차에서 각각 0.027kg, 0.114kg으로 가장 낮은 삭감부하량을 나타냈고, SS는 7회차에 0.642kg, T-N은 5회차에서 0.012kg, T-P 은 7회차에서 0.001kg으로 가장 낮은 삭감부하량을 나타내었다.

Table 4.6. Reduction flux of Green Park

(단위 : kg)

구 분	1회차	2회차	3회차	4회차	5회차	6회차	7회차	8회차	9회차
채수일자	6.20	6.29	7.02	7.09	8.11	10.13	10.17	10.31	11.08
강우량 (누적강우량, mm)	2.5 (9.5)	4.7 (17.5)	8.5 (25.5)	16.7 (51)	7 (21)	2.7 (10.5)	4.7 (14)	5.8 (18.5)	4.7 (14)
유량(m ³ /hr)	4.8	10.0	12.6	31.1	12.7	7.1	5.4	11.2	13.1
BOD	0.078	0.213	0.302	0.798	0.027	0.245	0.075	0.362	0.092
COD	0.240	0.559	0.808	1.886	0.114	0.490	0.174	0.591	0.291
SS	1.494	13.471	13.673	45.404	0.758	3.193	0.642	6.364	5.764
T-N	0.049	0.020	0.115	0.247	0.012	0.038	0.036	0.053	0.048
T-P	0.013	0.016	0.028	0.054	0.003	0.006	0.001	0.007	0.003

Table 4.7에 그린파크의 오염물질별 연평균 삭감부하량을 나타낸 바와 같이 중점관리항목인 BOD의 경우 연평균 삭감부하량이 0.0015kg/day로 조사되었으며, COD는 0.0035kg/day, SS 0.0622g/day, T-N 0.0004kg/day, T-P 0.0001kg/day으로 나타났다.

그린파크 지점은 다른 강우처리시설 중 가장 낮은 연평균 삭감부하량 값으로 나타났는데, 이는 처리시설의 용량이 다른 시설에 비하여 가장 작기 때문에 높은 농도에도 불구하고 연평균 삭감부하량이 적은 것으로 판단된다.

Table 4.7. Reduction flux of mean annual in Green Park

(단위 : kg/day)

구분	BOD	COD	SS	T-N	T-P
연평균 삭감부하량	0.0015	0.0035	0.0622	0.0004	0.0001

(3) 목현천 하류 수질 및 부하량

1) 유입과 방류수질 농도

목현천하류는 연간 총 6회에 걸쳐 유량과 오염물질을 측정하였는데 모니터링 결과는 Table 4.8에 나타내었다.

Table 4.8. Inlet and effluent concentration of Mokhyeon downstream

(단위 : mg/ℓ)

구분		평균	1회차 (06.20)	2회차 (07.02)	3회차 (07.09)	4회차 (08.11)	5회차 (10.31)	6회차 (11.08)
유입수	BOD	14.2	22.4	16.8	7.4	4.9	24.0	10.0
	COD	18.3	18.4	17.2	18.8	11.3	23.5	21.0
	SS	126.7	83.9	82.6	110.5	88.6	265.5	129.3
	T-N	8.489	15.054	10.465	4.631	3.072	10.776	6.934
	T-P	0.674	1.215	0.581	0.783	0.375	0.633	0.458
방류수	BOD	5.9	9.0	7.5	3.8	2.7	7.2	5.0
	COD	7.7	9.4	10.0	8.1	6.6	6.4	5.9
	SS	34.0	30.3	36.4	33.1	47.9	37.3	19.0
	T-N	6.582	8.898	13.882	5.840	2.172	2.699	6.004
	T-P	0.315	0.475	0.519	0.427	0.223	0.099	0.151

목현천 하류 유입수와 방류수의 평균농도는 Fig. 4.7에 나타난 바와 같이 유량과 SS농도 변화가 심함을 알 수 있으며, 유입수에서의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 항목의 평균 농도는 각각 14.2mg/l, 18.3mg/l, 126.7mg/l, 8.489mg/l, 0.674mg/l로 조사되었으며, 특히, T-N 항목은 그린파크 등 6개 강우처리시설 중 가장 높게 나타났으며, T-P 항목 또한 곤지암교 다음으로 농도가 높게 나타났다.

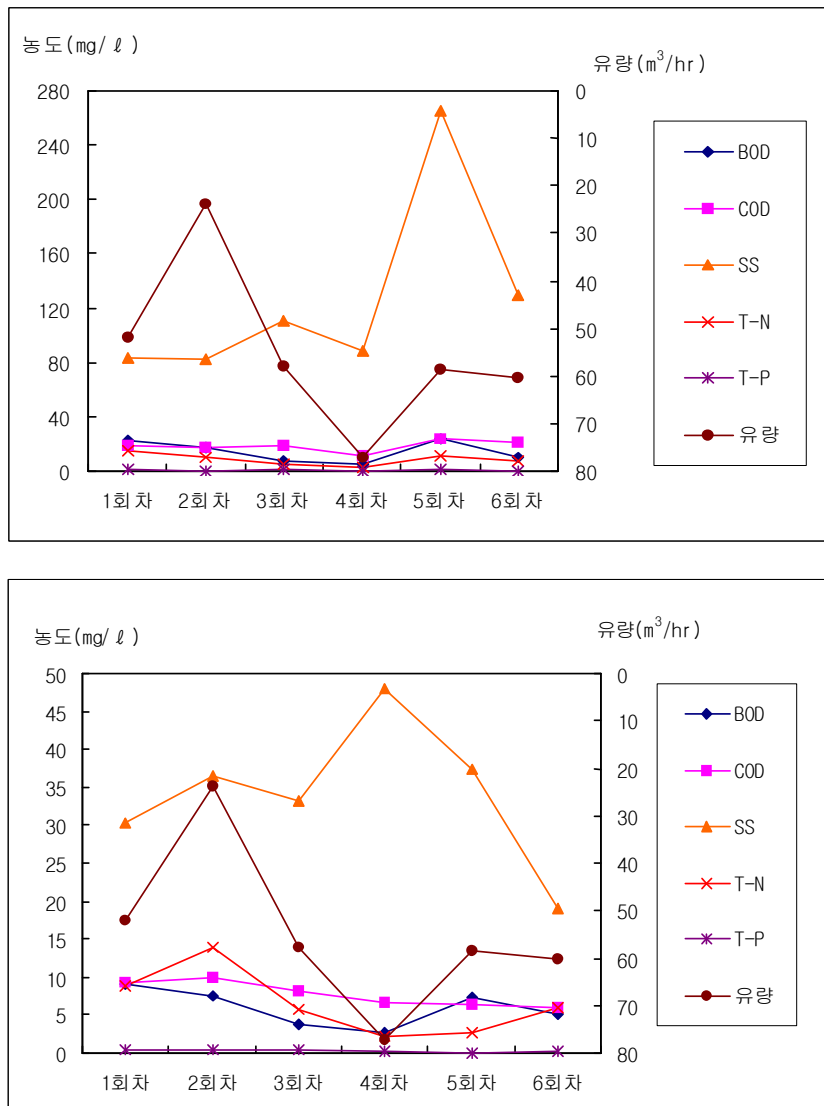


Fig. 4.7. Average concentration of Mokhyeon downstream.

임봉수 등이 연구한 자료²⁵⁾에 의하면 공원에서 조류, 애완동물, 사람 등의 배설물이 빗물에 유입되어 영양염류가 증가된다고 제기한데 따른 것이다.

이 지점의 경우는 배수구역 중 공원에서 영양염류의 유입으로 인해 농도가 높은 것으로 판단된다.

방류수에서의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 항목의 평균 농도는 각각 5.9mg/ℓ, 7.7mg/ℓ, 34.0mg/ℓ, 6.582mg/ℓ, 0.315mg/ℓ로 조사되었다.

비점오염저감시설 실시설계보고서(2007년 광주시)에 의하면 장치형 와류시설(HDS-FSF)의 설계효율은 BOD 30%, COD 30%, SS 50%, T-N 10%, T-P 20%로 정하고 있는데 목현천하류, 곤지암교, 화산중기지점은 장치형 와류시설로 되어 있다.

목현천하류의 유입수 농도 대비 방류수의 제거효율은 BOD 58.5%, COD 57.9%, SS 73.2%, T-N 22.5%, T-P 53.3%로 조사되었다.

유입수 농도 대비 방류수 제거효율은 모든 항목에서 설계효율보다 비교적 높게 조사되었는데 Fig. 4.8에 나타낸 바와 같이 제거 효율은 설계효율에 비하여 대부분 약 2배 정도 높게 처리된 것으로 분석되었다. 특히 영양염류인 T-N과 T-P 항목이 각각 124.6%, 166.3%로 설계효율에 비해 제거효율이 높게 조사되었다.

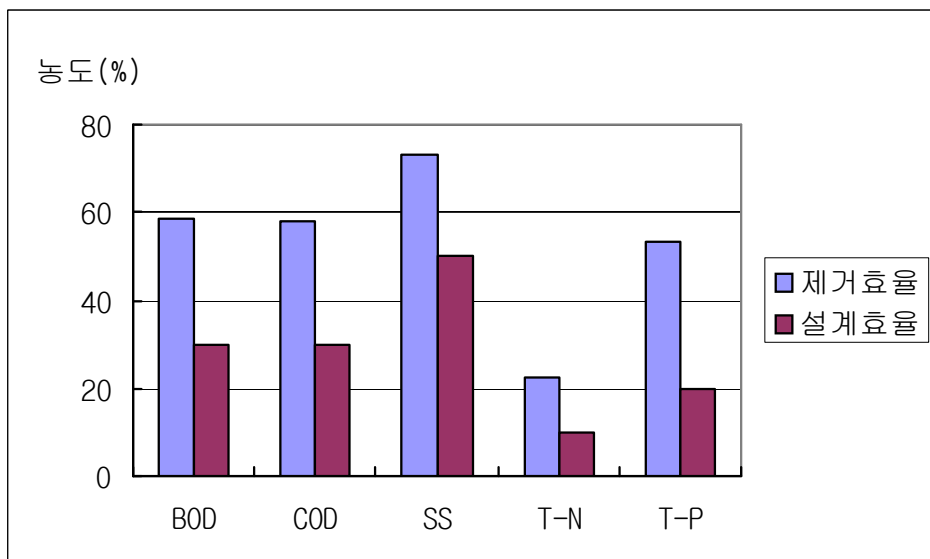


Fig. 4.8. Removal efficiency of Mokhyeon downstream.

2) 시간대별 유입 수질분석

목현천 하류는 30분 간격으로 총 3시간 동안 6회를 채수하였다. 시간대별 유입 수 농도는 Fig. 4.9에 나타난 바와 같이 감소율은 30분 채수 시점과 60분 채수 시점에서 전 항목 평균이 각각 39.3%, 35.7%의 가장 높은 감소율을 나타냈으며, 120분 채수 시점에는 COD 항목을 제외한 나머지 항목이 전 채수 시정보다 높게 나타난 경우도 있다.

또한, 다른 항목에 비하여 T-N 항목의 유입수 농도는 큰 폭의 변화 없이 농도 변화가 나타났다. 김이형이 연구¹⁸⁾한 자료 등에 의하면 합류식 관거의 경우 영양염류가 일정하게 유입된다고 한다. 이는 목현천하류 유입 지점이 합류식 관거 형태로 인근 공원 및 주택가에서 배출되는 영양염류가 유입되기 때문인 것으로 판단된다.

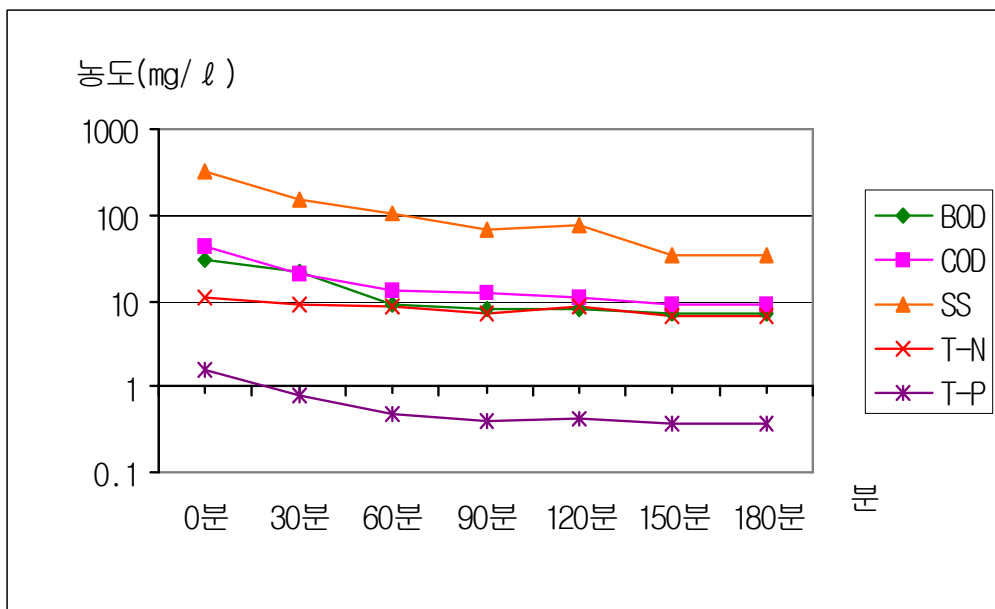


Fig. 4.9. Average concentration of the hourly Mokhyeon.

3) 삭감부하량

목현천 하류의 삭감부하량 산정을 위한 채수일자별 유량, 오염물질별 농도 조사 결과는 Table 4.9에 나타내었다.

Table 4.9. Reduction flux of Mokhyeon downstream

(단위 : kg)

구 분	1회차	2회차	3회차	4회차	5회차	6회차
채수일자	06.20	07.02	07.09	08.11	10.31	11.08
강우량 (누적강우량, mm)	8.5 (37.5)	8.5 (25.5)	16.7 (51.0)	8.8 (31.5)	4.8 (20.0)	4.7 (14.0)
유량(m ³ /hr)	51.9	23.7	57.8	77.0	58.5	60.3
BOD	2.235	0.449	0.544	0.330	2.476	0.677
COD	1.578	0.198	1.084	0.777	2.517	1.962
SS	9.151	2.023	11.210	7.604	33.142	13.433
T-N	0.877	-0.348	-0.194	0.107	1.214	0.130
T-P	0.131	-0.006	0.037	0.029	0.081	0.040

1) 강우량은 채수시간의 평균 강우량이며, 누적강우량은 당일 채수시간까지의 누적강우량임

2) 출처 : 2009년 기상청 광주지점 시간대별 강우량 통계자료

목현천하류의 삭감부하량은 5회차에서 BOD 2.476kg, COD 2.517kg, SS 33.142kg, T-N 1.214kg으로 가장 높게 나타났으며, T-P는 1회차에서 0.131kg으로 가장 높게 나타났으며, 가장 낮은 삭감부하량은 4회차에서 BOD 0.330kg, 2회차에서 COD, SS, 항목이 각각 0.198kg, 2.023kg으로 가장 낮은 삭감부하량이 나타났고, T-N과 T-P는 2회차에서 각각 -0.348kg, -0.006kg으로 삭감부하량이 역전되었다.

오염물질별 2009년도 연평균 삭감부하량은 Table 4.10에 나타낸 바와 같이 중점 관리항목인 BOD항목의 경우 연평균 삭감부하량이 0.0046kg/day로 조사되었으며, COD는 0.0056kg/day, SS 0.0524kg/day, T-N, 0.0012kg/day, T-P, 0.0002kg/day으로 나타났다.

Table 4.10. Reduction flux of mean annual in Mokhyeon downstream

(단위 : kg/day)

구 분	BOD	COD	SS	T-N	T-P
연평균 삭감부하량	0.0046	0.0056	0.0524	0.0012	0.0002

(4) 곤지암교 수질 및 부하량

1) 유입과 방류수질 농도

곤지암교는 연간 총 7회에 걸쳐 유량과 오염물질농도를 측정하였는데 모니터링 결과는 Table 4.11에 나타낸 바와 같이 유입수에서의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 항목의 평균 농도는 각각 16.8mg/ℓ, 22.8mg/ℓ, 198.4mg/ℓ, 7.025mg/ℓ, 0.788mg/ℓ로 조사되었으며, 특히, BOD와 T-P 항목은 그린파크 등 6개 강우처리시설 중 가장 높은 농도가 나타났다.

이 지점의 경우 주변에 음식점이 많고 교통 중심지역으로 생활하수와 도로먼지가 초기우수에 유입된 것으로 사료된다.

Table 4.11. Inlet and effluent concentration of Gonjiam bridge

(단위 : mg/ℓ)

구분	평균	1회차 (6. 20)	2회차 (7. 2)	3회차 (7. 9)	4회차 (8. 11)	5회차 (10. 17)	6회차 (10. 31)	7회차 (11. 8)	
유 입 수	BOD	16.8	8.3	20.4	20.5	3.9	15.5	38.4	10.5
	COD	22.8	16.9	17.2	22.4	20.7	26.6	31.2	24.7
	SS	198.4	95.0	165.8	232.7	173.7	111.3	395.7	214.3
	T-N	7.025	7.533	4.182	5.048	7.266	8.145	10.407	6.593
	T-P	0.788	0.505	0.547	0.806	1.810	0.583	0.653	0.615
방 류 수	BOD	5.5	2.9	5.4	5.7	2.1	4.2	13.9	4.3
	COD	9.8	6.7	10.5	9.1	7.0	12.9	14.9	7.9
	SS	71.5	32.5	86.4	99.5	71.2	57.2	131.3	22.7
	T-N	3.932	4.401	2.986	3.446	3.665	4.681	5.693	2.655
	T-P	0.288	0.212	0.366	0.479	0.201	0.147	0.504	0.106

방류수에서의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 항목의 평균 농도는 각각 5.5mg/ℓ, 9.8 mg/ℓ, 71.5mg/ℓ, 3.932mg/ℓ, 0.288mg/ℓ로 조사되었는데 Fig. 4.10에 나타내었다.

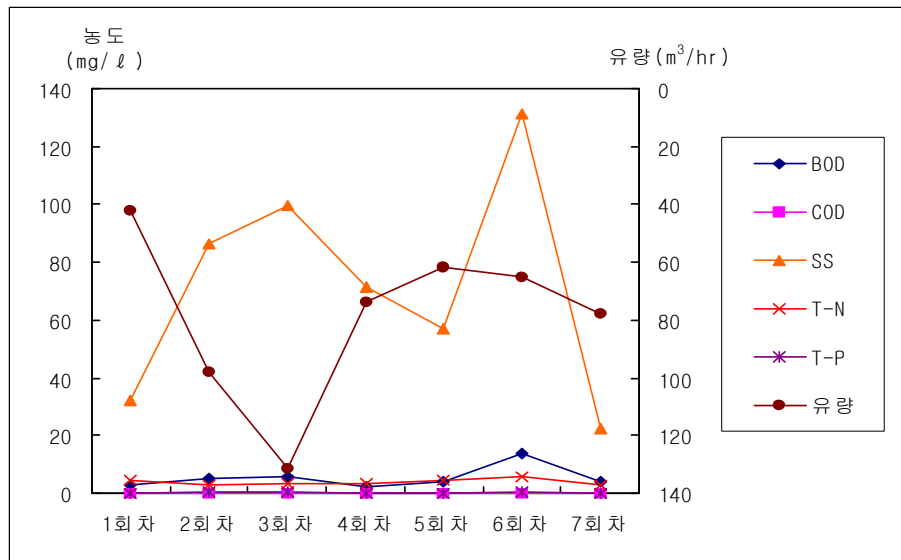
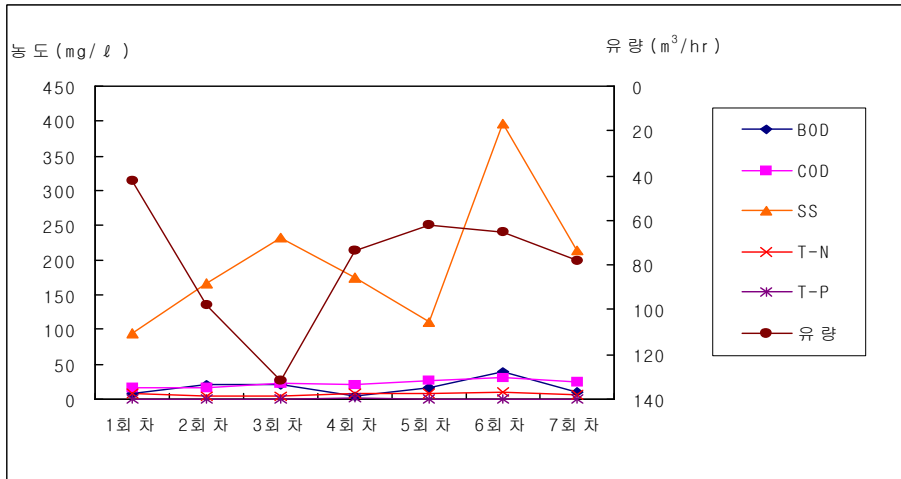


Fig. 4.10. Average concentration of Gonjiam bridge.

곤지암교 장치형 와류시설(HDS-FSF)의 설계효율은 BOD 30%, COD 30%, SS 50%, T-N 10%, T-P 20%로 정하고 있다. 이 지점의 유입수 농도 대비 방류수의 제거효율은 BOD 67.3%, COD 57.0%, SS 64.0%, T-N 44.0%, T-P 63.5%로 조사되었다.

유입수 농도 대비 방류수 제거효율은 모든 항목에서 설계효율보다 비교적 높게 나타났다. 곤지암교에서의 제거효율은 Fig. 4.11에 나타난 바와 같이 제거 효율은 설계효율에 비하여 영양염류인 T-N과 T-P 항목이 각각 340.3%, 217.3%로 설계효율에 비해 제거효율이 높게 파악되었고, BOD는 124.2%, COD은 90.1%, SS는 27.9%로 설계효율에 비하여 제거효율이 높게 나타났다.

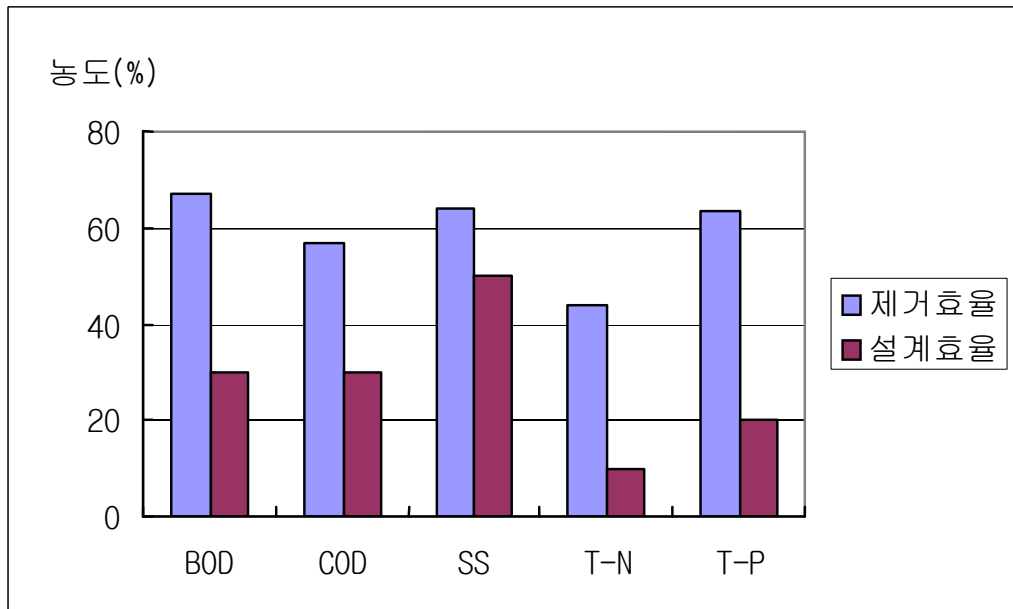


Fig. 4.11. Removal efficiency of Gonjiam bridge.

2) 시간대별 유입 수질분석

곤지암교는 30분 간격으로 총 3시간 동안 6회를 채수하였다. 시간대별 유입수 농도는 Fig. 4.12에 나타낸 바와 같이 감소율은 30분 채수 시점과 60분 채수 시점에서 전 항목 평균이 각각 41.7%, 27.7%로 가장 높은 감소율을 나타냈으며, 90분 채수 시점에는 COD, SS, T-P 항목이 전 채수 시점보다 농도가 높게 나타났다.

위 그림과 같이 유입된 지 150분 이후 오염물질농도 변화가 적어 약 2.5시간의 처리시간이 소요됨을 알 수 있다.

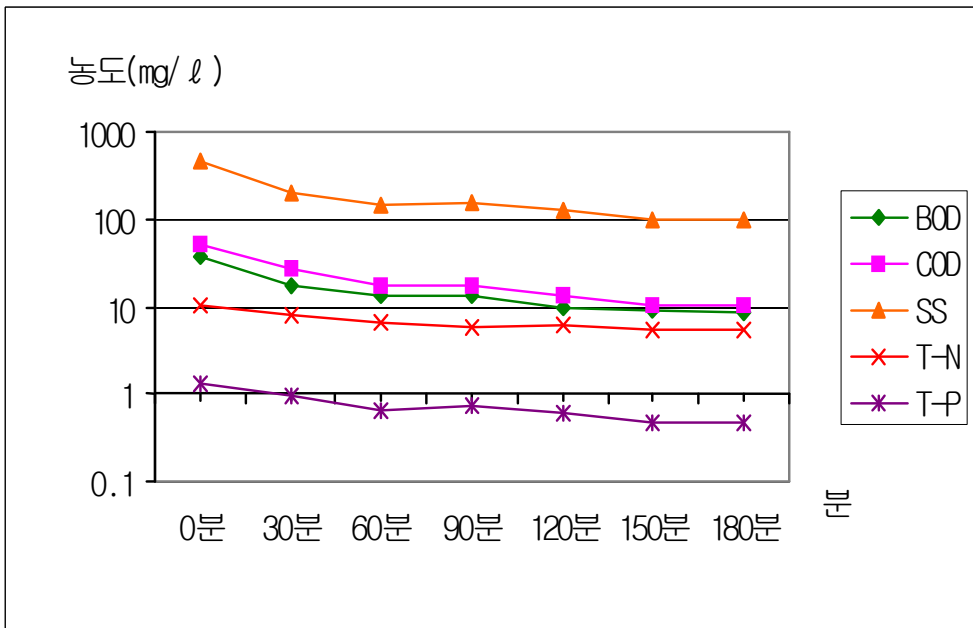


Fig. 4.12. Average concentration of Gonjiam bridge.

3) 삭감부하량

Table 4.12에 나타난 바와 같이 곤지암교의 삭감부하량은 BOD의 경우 6회차에서 4.493kg, COD는 7회차에서 3.444kg, SS는 3회차에서 41.680kg, T-N은 7회차에서 0.817kg, T-P는 4회차에서 0.293kg으로 가장 높게 나타났으며, 가장 낮은 삭감부하량은 BOD의 경우 4회차에서 0.306kg, COD, SS는 1회차에서 각각 0.915kg과 6.535kg, T-N은 2회차에서 0.216kg, T-P는 1회차에서 0.025kg으로 가장 낮은 삭감부하량이 나타났다.

Table 4.12. Reduction flux of Gonjiam bridge

(단위 : kg)

구 분	1회차	2회차	3회차	4회차	5회차	6회차	7회차
채수일자	6. 20	7. 2	7. 9	8. 11	10. 17	10. 31	11. 8
강우량 (누적강우량, mm)	6.7 (27.0)	8.5 (25.5)	16.7 (51.0)	8.8 (31.5)	5.0 (16.0)	4.8 (20.0)	4.7 (14.0)
유량(m ³ /hr)	41.9	97.8	131.5	73.8	61.9	64.9	78.0
BOD	0.428	3.354	3.031	0.306	2.158	4.493	1.288
COD	0.915	1.348	3.195	2.671	2.336	2.478	3.444
SS	6.535	18.582	41.680	17.630	8.787	38.104	39.480
T-N	0.256	0.216	0.605	0.715	0.643	0.793	0.817
T-P	0.025	0.040	0.114	0.293	0.085	0.017	0.106

항목별 연평균 삭감부하량은 Table 4.13에 나타난 바와 같이 중점관리항목인 BOD항목의 경우 연평균 삭감부하량이 0.0103kg/day로 조사되었으며, COD는 0.0112kg/day, SS는 0.1170kg/day, T-N은 0.0028kg/day, T-P는 0.0005kg/day으로 나타났다.

Table 4.13. Reduction flux of mean annual in Gonjiam bridge

(단위 : kg/day)

구 분	BOD	COD	SS	T-N	T-P
연평균 삭감부하량	0.0103	0.0112	0.1170	0.0028	0.0005

(5) 화신중기 수질 및 부하량

1) 유입과 방류수질 농도

화신중기는 연간 총 8회에 걸쳐 모니터링을 수행하였는데 모니터링 결과는 Table 4.14에 나타난 바와 같이 유입수에서의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 항목의 평균 농도는 각각 8.6mg/ℓ, 12.2mg/ℓ, 57.8mg/ℓ, 3.730mg/ℓ, 0.277mg/ℓ로 조사되어 다른 강우처리시설에 비하여 매우 낮은 농도가 나타났다. 특히, SS 항목의 경우 유입수의 농도가 57.8mg/ℓ로 곤지암교 방류수 평균 농도인 71.5mg/ℓ보다 낮게 조사되었으며, BOD, COD, T-N, T-P 항목 모두 공공하수처리시설 방류수 기준보다 낮게 유입되었다.

신현석 등이 연구²⁰⁾한 결과 강우량과 오염물질의 농도는 반비례 한다. 이와 같이 화신중기의 경우 유입구의 자동 채수를 위한 펌프시설이 처리시설 밖에 노출되어 강우 시 유입수와 빗물이 섞여 유입되면서 희석되어 농도가 낮아진 것으로 판단된다.

Table 4.14. Inlet and effluent concentration of Whasin heavy machinery

(단위 : mg/ℓ)

구분	평균	1회차 (06.20)	2회차 (06.29)	3회차 (07.02)	4회차 (07.09)	5회차 (08.11)	6회차 (10.13)	7회차 (10.31)	8회차 (11.08)	
유입수	BOD	8.6	2.5	14.1	4.9	6.2	13.0	7.3	13.7	7.1
	COD	12.2	7.2	7.5	10.1	15.8	17.8	13.0	16.1	9.9
	SS	57.8	18.3	15.6	16.0	70.7	62.3	57.2	99.0	123.7
	T-N	3.730	4.137	2.096	3.860	4.515	4.689	3.991	3.993	2.557
	T-P	0.277	0.189	0.116	0.278	0.406	0.417	0.325	0.215	0.268
방류수	BOD	3.6	1.5	5.2	3.2	2.4	1.4	3.3	7.3	4.4
	COD	6.3	5.4	6.4	6.5	6.6	6.0	7.7	6.3	5.9
	SS	22.0	15.0	4.2	2.1	42.1	18.3	25.1	31.2	38.5
	T-N	2.593	2.705	1.559	2.813	2.936	2.624	2.957	3.157	1.99
	T-P	0.144	0.144	0.075	0.070	0.244	0.057	0.205	0.222	0.137

Fig 4.13에 나타낸 바와 같이 방류수에서의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 항목의 평균 농도는 각각 3.6mg/ℓ, 6.3mg/ℓ, 22.0mg/ℓ, 2.593mg/ℓ, 0.144mg/ℓ로 나타났다.

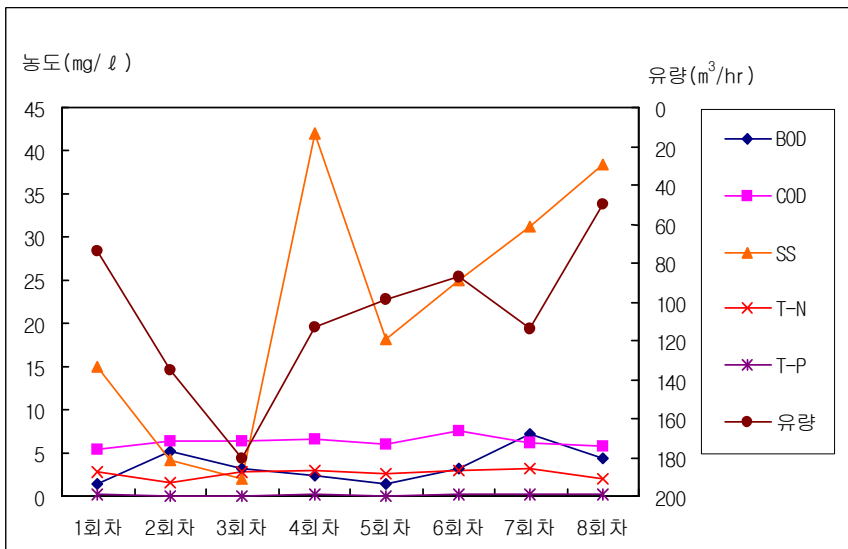
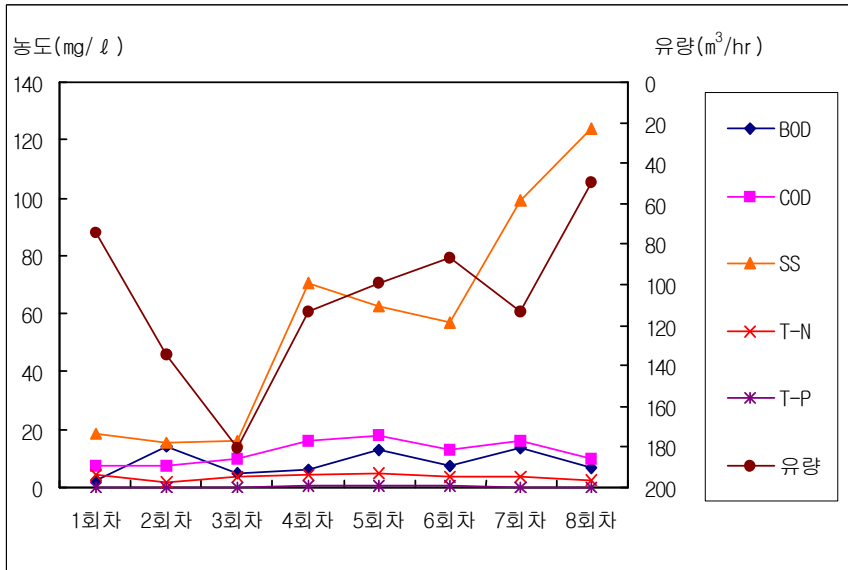


Fig. 4.13. Average concentration of Whasin heavy machinery.

화신중기 장치형 와류시설(HDS-FSF)의 설계효율은 BOD 30%, COD 30%, SS 50%, T-N 10%, T-P 20%로 정하고 있다. 이 지점의 유입수 농도 대비 방류수의 제거효율은 BOD 58.1%, COD 48.4%, SS 61.9%, T-N 30.5%, T-P 48.0%로 조사되었다.

유입수 농도 대비 방류수 제거효율은 모든 항목에서 설계효율보다 비교적 높게 나타났다. 화신중기에서의 제거효율은 Fig. 4.14에서 나타난 바와 같이 제거 효율은 설계효율에 비하여 영양염류인 T-N과 T-P 항목이 각각 204.8%, 140.1%로 설계효율에 비해 제거효율이 높게 조사되었고, BOD는 93.8%, COD는 61.2%, SS는 23.9%로 설계효율에 비하여 제거효율이 높게 나타났다.

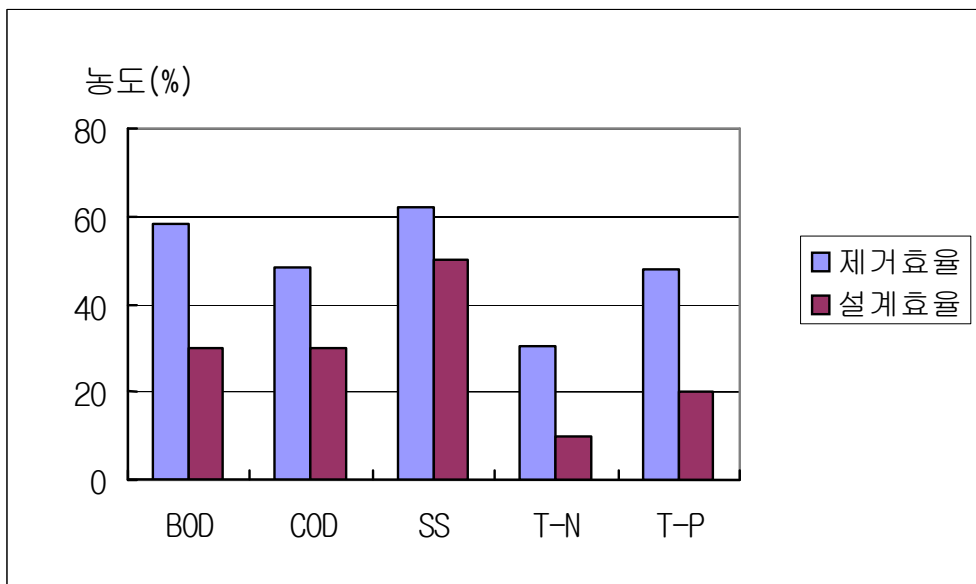


Fig. 4.14. Removal efficiency of Whasin heavy machinery.

2) 시간대별 유입 수질분석

화신중기는 30분 간격으로 총 3시간 동안 6회를 채수하였다. 시간대별 유입수 농도는 Fig. 4.15와 같이 나타낸 바와 같이 시간에 따라 급격히 감소하는 경향을 가진 다른 시설들과는 다르게 화신중기는 유입수 농도 자체가 매우 낮아 시간대별 감소폭이 매우 작게 나타났다.

특히, 유입수 농도가 매우 낮은 T-N 항목은 시간대별 농도 감소 경향이 나타나지 않거나 오히려 더 높게 형성된 경우도 있었다.

감소율은 30분 채수 시점과 60분 채수 시점에서 전 항목 평균이 각각 18.0%, 16.5%로 비교적 높은 감소율을 나타냈으며, 90분 채수 시점 이후에는 농도의 감소율이 낮게 나타났다. 이는 초기우수의 농도가 낮게 형성되었기 때문인 것으로 판단된다.

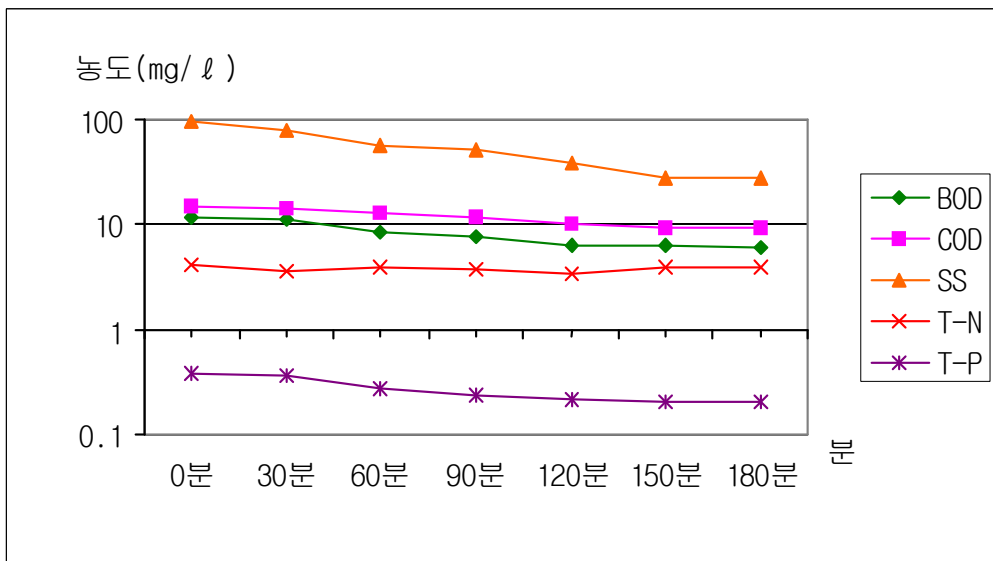


Fig. 4.15. Average concentration of the hourly Whasin heavy machinery.

3) 삭감부하량

화신중기의 삭감부하량은 BOD의 경우는 2회차에서 2.876kg, COD은 7회차에서 2.891kg, SS는 7회차에서 19.971kg, T-N은 3회차에서 0.504kg, T-P는 3회차에서 0.105kg으로 가장 높게 나타났다.

가장 낮은 삭감부하량은 BOD의 경우 1회차에서 0.180kg, COD은 2회차에서 0.300kg, SS는 1회차에서 0.583kg, T-N은 8회차에서 0.072kg, T-P는 7회차에서 -0.001kg으로 가장 낮은 삭감부하량이 나타났다. Table 4.15에 화신중기 지점에 대하여 2009년도 8회에 걸쳐 유량과 오염물질을 측정된 결과를 나타내었다.

Table 4.15. Reduction flux of Whasin heavy machinery

(단위 : kg)

구 분	1회차	2회차	3회차	4회차	5회차	6회차	7회차	8회차
채수일자	06.20	6.29	07.02	07.09	08.11	10.13	10.31	11.08
강우량 (누적강우량,mm)	2.7 (12.0)	8.5 (25.5)	16.7 (51.0)	8.8 (31.5)	2.7 (10.5)	4.7 (14.0)	5.8 (18.5)	4.7 (14.0)
유량(m ³ /hr)	73.9	134.9	180.5	113.3	99.0	87.0	113.6	49.7
BOD	0.180	2.876	0.800	1.081	2.732	0.824	1.949	0.329
COD	0.331	0.300	1.759	2.641	2.822	1.255	2.891	0.522
SS	0.583	3.681	6.729	8.582	10.446	7.282	19.971	11.054
T-N	0.227	0.176	0.504	0.500	0.462	0.182	0.273	0.072
T-P	0.009	0.014	0.105	0.047	0.088	0.025	-0.001	0.016

항목별 연평균 삭감부하량은 Table 4.16에 나타난 바와 같이 중점관리항목인 BOD항목의 경우 연평균 삭감부하량이 0.0074kg/day로 조사되었으며, COD는 0.0086kg/day, SS는 0.0468kg/day, T-N은 0.0016kg/day, T-P는 0.0002kg/day으로 나타났다.

Table 4.16. Reduction flux of mean annual in Whasin heavy machinery

(단위 : kg/day)

구 분	BOD	COD	SS	T-N	T-P
연평균 삭감부하량	0.0074	0.0086	0.0468	0.0016	0.0002

(6) 벌원천 수질 및 부하량

1) 평균수질 농도

벌원천은 연간 총 30회에 걸쳐 유량과 오염물질을 측정하였는데 모니터링 결과는 Table 4.17에 나타난 바와 같이 유입수에서의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 항목의 평균 농도는 각각 13.2mg/l , 21.1mg/l , 81.6mg/l , 8.618mg/l , 0.677mg/l 로 나타났으며, 방류수에서의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 항목의 평균 농도는 각각 2.5mg/l , 6.3mg/l , 9.4mg/l , 4.591mg/l , 0.245mg/l 로 나타났다.

비점오염저감시설 실시설계보고서(2007년 廣州市)에 의하면 벌원천 연속처리시설 설계효율은 BOD 60%, COD 30%, SS 70%, T-N 20%, T-P 20%로 정하고 있다. 이 지점의 유입수 농도 대비 방류수의 제거효율은 BOD 81.7%, COD 70.1%, SS 88.5%, T-N 46.7%, T-P 63.3%로 조사되었다.

유입수 농도 대비 방류수 제거효율은 모든 항목에서 설계효율보다 비교적 높게 나타났다. 벌원천에서의 제거효율은 Fig. 4.16에 나타난 바와 같이 제거 효율은 설계효율에 비하여 영양염류인 T-N과 T-P 항목이 각각 133.5%, 216.5%로 설계효율에 비해 제거효율이 높게 조사되었고, BOD는 36.2%, COD는 133.7%, SS 항목은 26.4%로 설계효율에 비하여 제거효율이 높게 나타났다.

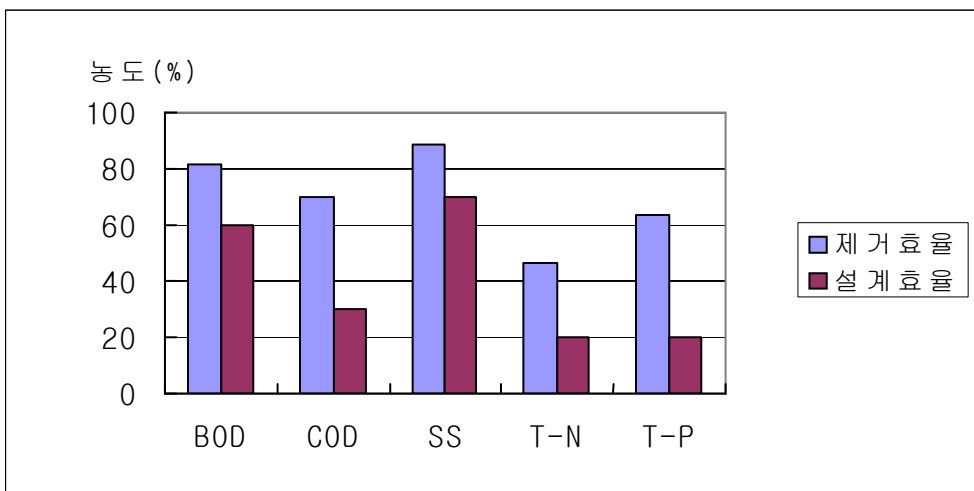


Fig. 4.16. Removal efficiency of Beolwon stream.

Table 4.17. Inlet and effluent concentration of Beolwon stream

(단위 : mg/ℓ)

회차	유입수					방류수				
	BOD	COD	SS	T-N	T-P	BOD	COD	SS	T-N	T-P
평균	13.2	21.1	81.6	8.618	0.667	2.5	6.3	9.4	4.591	0.245
1	7.6	7.9	23.5	8.742	0.920	1.5	4.7	0.6	7.511	0.184
2	3.8	13.9	73.0	11.755	0.718	2.8	5.6	5.1	4.833	0.275
3	108.0	127.8	620.0	21.645	4.100	8.0	13.0	31.1	7.214	0.522
4	9.5	11.0	30.8	9.051	0.374	2.2	4.6	4.1	5.262	0.235
5	9.7	8.6	18.3	15.210	0.374	1.7	4.7	1.8	4.340	0.235
6	62.6	81.5	340.0	11.659	0.493	8.5	18.4	22.8	5.964	0.285
7	7.1	8.9	22.3	9.134	1.966	2.9	6.3	5.6	7.317	0.378
8	3.6	9.5	13.4	11.509	0.310	2.7	4.8	2.8	6.329	0.213
9	14.8	12.8	22.2	18.707	0.471	1.2	5.7	2.2	9.946	0.204
10	7.1	9.6	36.9	11.965	0.418	2.9	7.5	8.4	5.823	0.217
11	7.1	14.8	85.0	8.456	0.886	3.3	10.1	9.4	6.769	0.528
12	7.8	14.3	41.0	4.880	0.523	3.4	7.6	8.3	4.184	0.199
13	30.9	29.6	253.0	5.230	1.003	6.9	8.3	36.3	3.058	0.277
14	3.0	5.6	21.4	3.160	0.138	1.8	4.1	12.0	2.930	0.132
15	4.8	6.2	11.5	3.677	0.321	1.9	3.8	6.0	3.067	0.123
16	3.8	4.3	12.0	3.830	0.268	1.5	3.6	1.4	3.567	0.102
17	3.9	7.7	5.7	2.834	0.206	1.1	3.8	1.8	2.372	0.165
18	3.2	8.2	10.0	3.069	0.195	1.5	4.8	1.2	2.910	0.183
19	3.8	7.6	14.0	2.878	0.293	1.2	3.5	1.6	2.422	0.234
20	10.1	17.0	95.3	7.341	0.426	1.5	5.8	14.3	3.302	0.230
21	10.3	17.2	73.0	6.367	0.234	4.8	8.2	17.2	3.790	0.161
22	8.0	13.0	55.7	7.566	0.387	1.5	4.0	7.8	3.279	0.233
23	12.4	41.1	158.0	5.570	0.728	1.3	6.2	7.2	4.112	0.213
24	7.9	27.9	63.5	11.998	0.965	1.8	5.8	7.8	4.926	0.266
25	12.0	41.4	100.0	6.277	0.677	1.3	8.6	14.0	2.730	0.255
26	11.0	17.2	77.6	10.376	0.441	1.1	6.3	19.1	4.216	0.273
27	7.0	21.5	84.0	8.188	0.655	1.2	5.4	18.2	3.827	0.238
28	4.8	16.4	63.0	9.152	0.456	2.7	5.7	9.0	2.458	0.216
29	5.2	11.7	11.5	9.832	0.535	0.8	4.0	3.4	3.759	0.319
30	5.1	19.5	12.3	8.486	0.529	0.7	4.0	1.8	5.510	0.251

2) 회차별 수질분석

2009년 광주시 강우빈도는 6~8월 사이에 집중적으로 발생하였고, 10~11월에도 강우의 빈도가 높게 나타났다. 별원천의 회차별 유량 대비 오염물질별 평균 수질 농도는 Fig. 4.17에 나타내었다.

강우량 대비 유입 수질 농도를 살펴보면 3회차에서 채수 시점인 13시에 시간대별 강우량 2.5mm의 강우가 내려 농도가 높게 측정되었으며, 6회차에서도 시간대별 강우량 4.5mm의 강우가 내려 농도가 높게 측정되었다.

또한 강우 후 농도 변화도 심한 것으로 나타났다. 13회차 채수 전날 32.5mm의 강우량을 나타냈는데 농도 값이 높게 나타났다.

유량은 7회차에서 6,683m³/hr로 가장 높았는데, 이는 7회차 채수 전 2일 동안 44.5mm의 강우가 내려 유량 값이 상승하였고, 건기가 지속된 29회차에서 544m³/hr로 유량이 가장 낮게 조사되었다.

BOD, COD, SS 유입수 평균 농도는 각각 13.2mg/l, 21.1mg/l, 81.6mg/l로 나타났다. SS의 경우 강우가 내리지 않은 23회차에서 25회차의 농도가 높아졌는데, 이는 배수구역내 아파트 공사로 토사가 많이 유입됐기 때문인 것으로 판단된다.

T-N과 T-P는 평균 농도는 각각 8.618mg/l, 0.667mg/l로 나타났고, 3회차와 5회차, 9회차에서 높은 농도로 나타났다. 봄철인 3월에서 5월에 농도가 높게 나타났고, 24회차 이후인 가을철에 농도가 다시 높게 나타났다.

도시화·산업화의 진전으로 토지개발이 가속화되고 대지·도로·주차장 등 불투수층 면적이 늘어남에 따라 비점오염원에 의한 하천·호소의 수질영향이 커지는 것이 현실이며 비점오염의 대부분을 차지하는 토지계 오염이 수질에 미치는 영향이 권역별로 30~35%를 차지(2003년 기준, 물 환경관리 기본계획) 하고 있다.

비점오염부하량 산정 시 토지계 이외에 하수관거누수, 미처리 가축분뇨의 영향 등을 포함할 경우 그 비중은 권역별로 2003년 현재 42~69%에 달하며, 2015년에는 65~70%까지 증가할 것으로 예상된다.

따라서 이 지점의 경우 임야와 주거지 및 상업지역이 밀집된 도심을 경유하는 배수구역으로 생활하수가 많이 유입되는 곳이다.

신창민 등이 연구한 자료와 같이 영양염류는 생활하수와 합성세제, 폐식용유, 퇴비 등의 유입으로 농도가 높아지고 여름철에는 높은 강우빈도로 인해 농도 값이 낮아진다고 한다. 이와 같이 벌원천의 경우 생활하수가 합류식 관거를 통하여 유입되면서 T-N과 T-P가 높게 검출된 것으로 판단된다.

유량 대비 유입수에 대한 오염물질별 농도를 Fig. 4.17에 나타난 바와 같이 방류수의 경우 농도가 일정하게 유지됐으나, 유입 농도가 높은 날에는 방류수 또한 평균 농도보다 높게 나타나는 것으로 조사되었다. BOD, COD, SS, T-N, T-P의 평균 농도는 각각 2.5mg/ℓ, 6.3mg/ℓ, 9.4mg/ℓ, 4.591mg/ℓ, 0.245mg/ℓ로 나타났다.

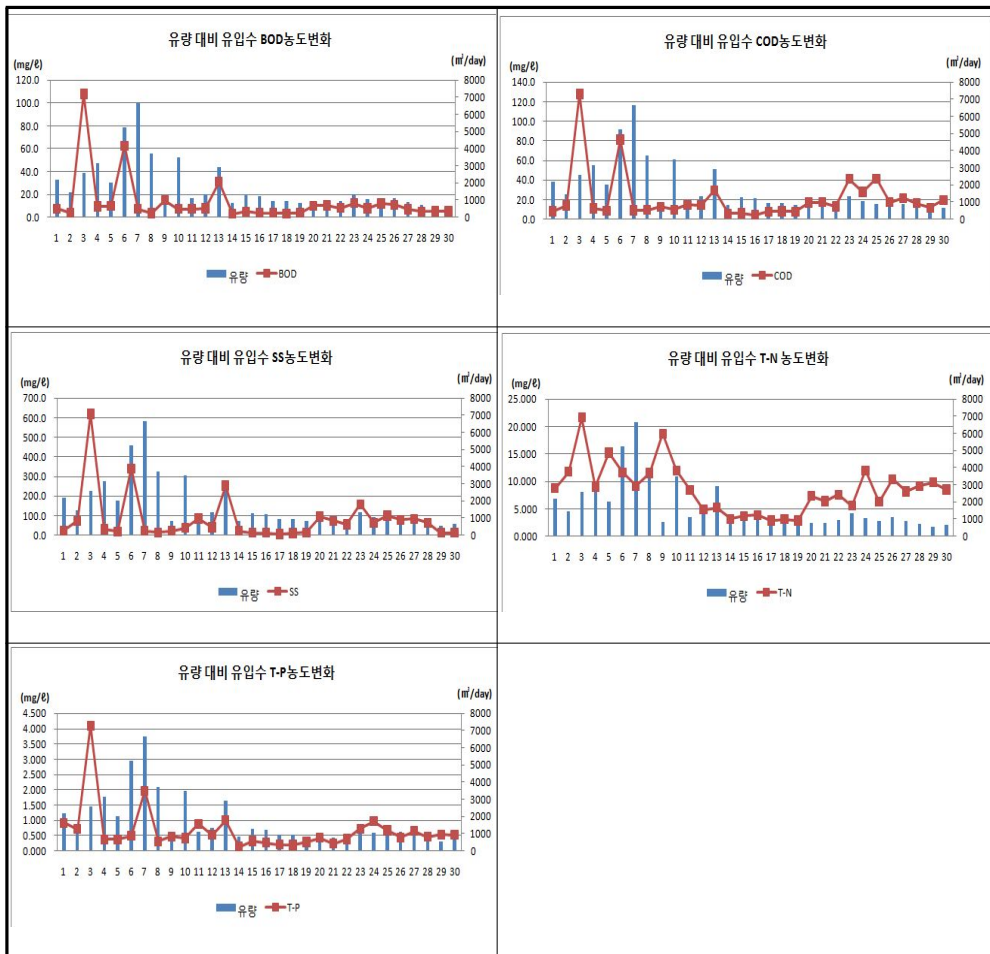


Fig. 4.17. Average concentration of Beolwon stream.

3) 삭감부하량

연속처리시설인 별원천 연평균 삭감부하량은 Table 4.18에 나타난 바와 같이 산정 결과 BOD는 6.798kg/day로 조사되어 비점오염저감시설 중 가장 많은 연평균 삭감부하량 값으로 나타났다. 이는 광주시에서 목표로 한 4.3kg/day을 약 158.1% 초과 달성하였다. 그 외 COD는 8.197kg/day, SS 항목은 43.143kg/day, T-N 항목은 1.900kg/day, T-P 항목은 0.265kg/day로 높게 조사되었다. 이는 강우처리시설과는 다른 연속처리시설로서 일정하게 하천수가 유입되어 유량 값이 높았기 때문인 것으로 판단된다. BOD항목의 연간 삭감부하량은 2,481.3kg/yr로 조사되었다.

Table 4.18. Reduction flux of mean annual in Beolwon stream

(단위 : kg/day, kg/yr)

구 분	일유입부하량 (kg) -(①) ¹⁾	일배출(방류)부하량 (kg) -(②) ²⁾	연평균삭감부하량 (kg/day) -(③) ³⁾	연간삭감부하량 (kg/yr) -(④) ⁴⁾
BOD	33.096	5.904	6.798	2,481.3
COD	45.777	12.989	8.197	2,991.9
SS	191.356	18.785	43.143	15,747.1
T-N	16.790	9.208	1.900	691.9
T-P	1.526	0.466	0.265	96.7

- 1) 일유입부하량(①) = 일평균유입농도 x 유량 x 10⁻³
- 2) 일배출(방류)부하량(②) = 일평균배출(방류)농도 x 유량 x 10⁻³
- 3) 일삭감부하량(③) = 유입부하량(①) - 배출(방류)부하량(②) x 0.25
- 4) 연간삭감부하량(④) = 일삭감부하량(③) x 365

4.1.3 모니터링 결과 분석

2009년도 6개 지점에 대한 유량과 BOD 등 오염농도를 7~9회 측정된 결과 연평균 삭감부하량을 산정하여 Table 4.19에 나타낸 바와 같이 모니터링 결과 중점관리항목인 BOD의 지정별 연평균 삭감부하량은 탄벌초교지점 0.0038kg/day, 그린파크 0.0015kg/day, 목현천하류 0.0046kg/day, 곤지암교 0.0103kg/day, 화신중기 0.0074kg/day, 벌원천 6.7980kg/day로 조사되었다. 6개 시설에서 총 6.8256kg/day을 제거하여 설계목표 연평균 삭감부하량 4.3kg/day 대비 약 158.7%의 삭감 효율이 나타났다.

그 외 COD_{Mn}는 8.2360kg/day, SS 43.5738kg/day, T-N은 1.9028kg/day, T-P는 0.2661kg/day의 연평균 삭감부하량으로 도출되었다.

Table 4.19. Reduction flux mean annual.

(단위 : kg/day)

지점	BOD	COD	SS	T-N	T-P
총 계	6.8256	8.2360	43.5738	1.9028	0.2661
탄벌초교지점	0.0038	0.0100	0.1525	0.0013	0.0002
그린파크	0.0015	0.0035	0.0622	0.0004	0.0001
목현천하류	0.0046	0.0056	0.0524	0.0012	0.0002
곤지암교	0.0103	0.0112	0.1170	0.0028	0.0005
화신중기	0.0074	0.0086	0.0468	0.0016	0.0002
벌원천	6.7980	8.1971	43.1429	1.8955	0.2649

그리고 BOD 등 오염농도별로 연평균 삭감부하량을 산정하여 Fig. 4.18에 나타낸 바와 같이 2009년도 오염물질별 삭감부하량은 SS→COD→BOD→T-N→T-P 순으로 파악되었고, 별원천의 삭감부하량이 높은 것으로 나타나 자연형 시설이 장치형(목현천 하류, 그린파크 등 5개소)보다 처리효율이 높게 나타났다.

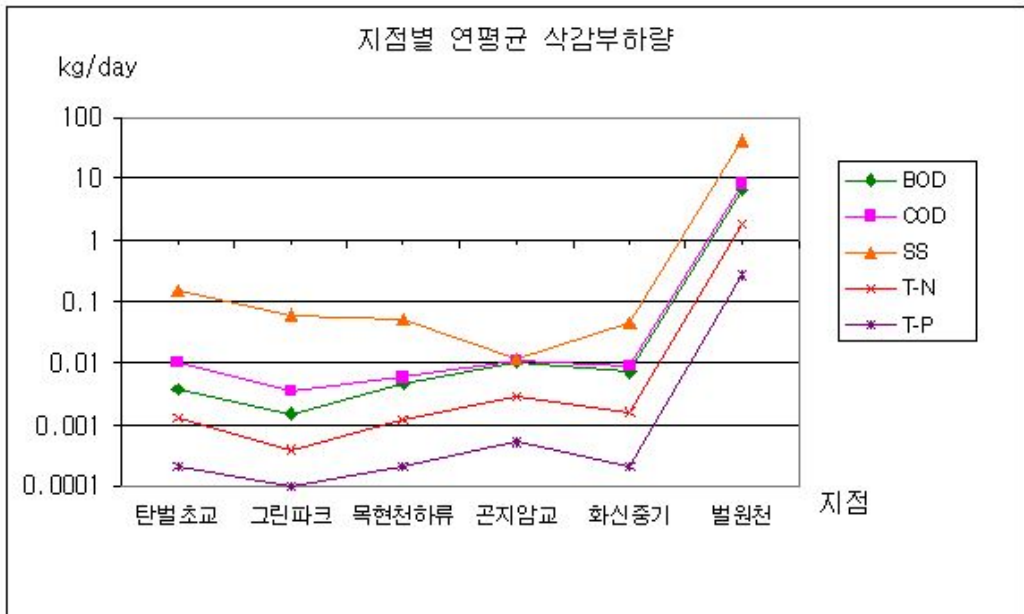


Fig. 4.18. Reduction flux mean annual.

4.2 2010년 수질 및 강우량 모니터링 결과

2010년도 3월부터 9월까지 경기도 광주시 5개 장치형 비점오염원저감시설과 자연형 연속처리시설에 대한 유입수와 방류수에 대한 BOD, COD, SS, T-N, T-P, 중금속, 대장균군에 대한 시험을 실시하고 각 지점별, 처리시설별, 강우량에 따른 오염농도 변화 추이를 파악하였다.

4.2.1 강우사상 확률에 따른 모니터링 결과 분석

(1) 비점오염원저감시설의 규모 및 용량 결정

비점오염원저감시설이 설계규모 및 용량은 세 가지 기준에 따라 초기 우수를 충분히 처리할 수 있도록 설계하여야 한다.(하수도법 시행규칙 별표17)

첫 번째 해당 지역의 강우빈도 및 유출수량, 오염도 분석 등을 통하여 설계규모 및 용량을 결정하여야 한다.

두 번째 해당 지역의 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5mm 이상의 강우량을 처리할 수 있도록 하여야 한다.

세 번째 처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 한다. 다만 비점오염원저감계획에 비점오염원저감시설 외의 비점오염원저감대책이 포함되어 있는 경우에는 그에 상응하는 규모나 용량은 제외할 수 있다.

비점오염원저감시설은 넓은 유역의 비점오염원저감을 위하여 대규모로 설치되는 경우가 많다. 시설이 지나치게 과대해지지 않도록 유역의 유량 및 오염부하 등 다양한 기초조사를 통해 최적의 시설 규모를 산정하는 것이 바람직하다.

조사된 유량-수질자료를 통하여 유량곡선(hydrograph)과 오염곡선(pollutograph)을 도출하고 수질이 건기상태로 회복되는 시점, 즉 강우초기에 평시 수계의 수질보다 악화되었다가 다시 강우 유출수 수질이 건기 유출수 수질로 회복하는 시점까지의 유량으로 규모를 설정하는 것이 좋다.

비점오염원저감시설의 규모 및 용량을 결정할 때에는 첫 번째에 의한 방법과 아울러 해당지역의 강우빈도 및 유출수량 및 오염도 분석에 따른 비용효과적인 삭감목표량 및 기타 정책적인 삭감 목표량, 관련 규정 등에 따라 설계 강우량을 설정할

수 있으나, 그 결과가 배수구역의 누적유출고로 환산하여 최소 5mm 이상의 강우량을 처리할 수 있는 규모에 합치하여야 한다.

비점오염저감시설의 저류용량 결정시 오염물질과 시간과의 상관관계를 Fig. 4.19에 나타내었다.

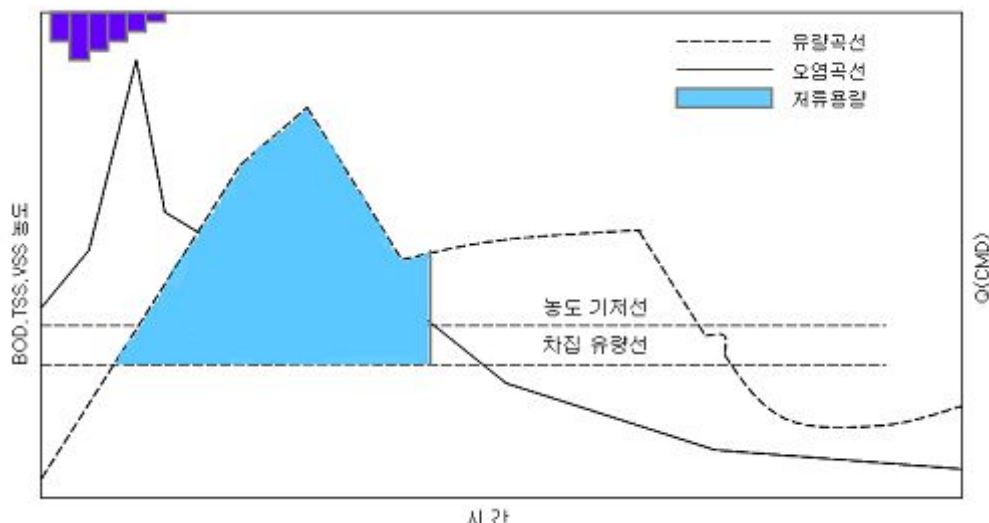


Fig. 4.19. Schematic diagram of Proper storage capacity sizes.

수질처리용량의 기준이 되는 규모의 결정은 다음의 방법에 따른다.

$$WQv = (P1) \times (A) \times 10 \dots\dots\dots \text{식 2.1}$$

WQv : 수질처리용량(Water Quality Volume)(m³)

P1 : 누적유출고로 환산한 설계 강우량(mm)

A : 배수면적(ha)

처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 한다. 또한 비점오염저감계획서에 비점오염저감시설 외에 비점오염을 저감할 수 있는 비점오염저감대책이 충분히 수립되어 있는 경우 그에 상응하는 규모나 용량은 제외할 수 있다. 제외되는 규모나 용량은 비점오염원이 유출되는 유역현황, 토지이용특성, 방류수계의 중요성, 비점오염저감대책의 실효성 등을 종합적으로 평

가하여 산정하며, 환경관리공단, 한국환경정책·평가연구원 등 관계 전문기관(하수도법 시행 규칙 제78조)의 의견을 들을 수 있다.

그 외 다양한 방법의 규모 결정 방법들이 있는데 주로 외국의 강우 유출수 관리 관련 자료에서 제시된 하천과 제방의 목적 및 지하수, 수질처리 목적을 위한 방법론만 제시하기로 한다.

우리나라의 경우 지점오염원 관리시설의 규모는 비점오염원관리 업무편람(2005.3, 환경부)에서 제시한 해당지역의 80% 강우사상(Rainfall Event) 확률에 해당하는 강우량으로서 누적 유출고로 환산하여 최소 5mm 이상을 처리할 수 있도록 계획하였다.

가) 설계강우량 산정기준

80% 강우사상 확률에 해당하는 강우량과 관련하여 수질처리용량은 연평균 강우 유출량의 80%를 차집·처리하기 위해 필요한 저장 공간으로 차집한 강우는 전체 강우사상의 80%에 해당되는 강우사상이거나 또는 연중 24시간 강우사상 전체의 80% 이상에 해당되는 강우량이다. 이 값은 해당 지방의 강우기록을 조사하여 강우량빈도 스펙트럼을 만들어서 결정한다.

강우빈도 스펙트럼은 24시간 강우사상의 통계적 분포를 나타내며, 일반적으로 3.0mm(0.1인치) 미만의 강우는 스펙트럼에 포함되지 않는데 이는 강우량이 너무 적어 유출되지 않는 특성을 반영한 것으로 판단된다.³⁰⁾ 경기도 광주시의 경우 수원과 이천의 강우측정소와 연관이 많다. 그래서 설계 시 수원지역 총 1,073개 강우사상(1964년~2004년)과 이천지역 총 889개 강우사상(1973년~2004년)을 기상청 강우자료를 분석하여 3.0mm 미만의 강우사상을 제외한 수원 854개와 이천 734개 강우사상을 바탕으로 80%에 해당하는 강우량을 추출하였다. 그 결과 이천시의 80% 강우사상 확률에 해당하는 강우량은 16.5mm이고 광주시는 13.3mm로 산정되었다.

경기도 광주시의 80%의 강우 사상량을 용인시, 광주시와 이천시를 수원관측소와 이천관측소에서 측정한 결과를 Fig. 4.20에 나타내었다.

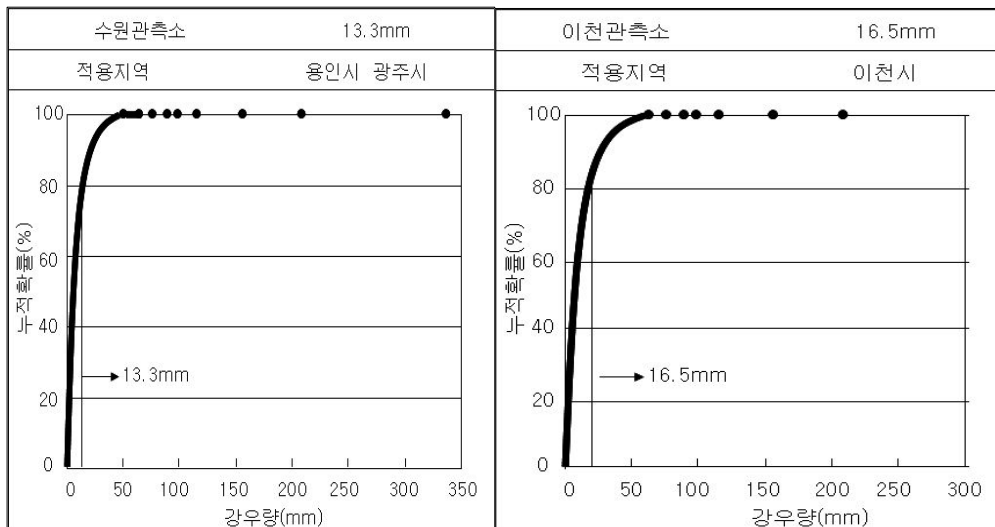


Fig. 4.20. Probability rainfall of 80% rainfall events.

그리고 80% 강우사상 확률에 해당하는 최대 강우강도는 장치형 비점오염원 저감 시설의 규모를 결정하기 위하여 비점오염원관리 업무편람(2005년, 환경부)에서 제시한 해당지역의 80% 강우사상(rainfall event) 확률에 해당하는 강우 중 최대 강우강도를 설계 강우강도로 설정하여 계획하였다. 설계 시 최대 강우강도를 산출하기 위하여 기상청의 시강우량 자료를 근거로 수원지역 시강우량 자료를 활용하였다.

(1964년~2004년)와 이천지역 시강우량 자료(1973년~2004년)를 이용하여 전체 강우사상 중 80%확률에 해당하는 최대 강우강도를 산출하였다. 산출결과, 수원관측소 및 이천관측소의 80%확률에 해당하는 강우 중 최대 강우강도는 동일하게 14.5 mm/hr로 산출되어 이를 장치형 시설의 강우강도 값으로 적용하였다.

Fig. 4.21에 나타낸 바와 같이 경기도 A시는 80% 강우사상이 지역별로 동일한 양(14.5mm/hr)을 보여주고 있다.

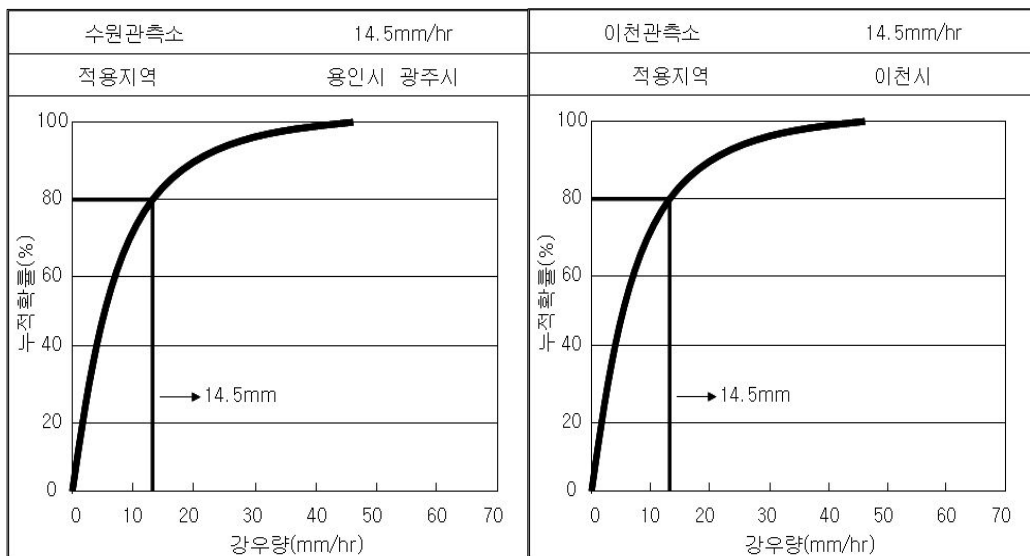


Fig. 4.21. Maximum probability rainfall of 80% rainfall events.

나) 관리시설별 용량산정 및 시설계획

저류형 관리시설의 용량산정은 해당 지역의 80% 강우사상(rainfall event) 확률에 해당하는 강우량으로 누적유출고로 환산하여 최소 5mm 이상 처리토록 하여야 한다고 비점오염원관리 업무편람(2005년, 환경부)에서 제시하고 있다. 해당지역의 80% 강우사상 확률에 해당하는 강우량으로 산정한 체적과 누적 유출고 최소 5mm 이상을 처리하기 위한 체적을 산정하였으며, 협소한 부지 등 현장여건을 고려하여 누적유출고 최소 5mm 이상을 처리토록 시설용량을 계획하였다.

그리고 장치형 관리시설의 용량산정은 해당지역의 강우량 기준으로 80%확률에 해당하는 강우 중 최대 강우강도를 설계 강우강도로 설정하였다. 최대 강우강도를 산출하기 위하여 기상청의 시강우량 자료를 근거로 수원지역 시강우량 자료(1964년 ~ 2004년)와 이천지역 시강우량 자료(1973년~2004년)를 이용하여 전체 강우사상 중 80% 확률에 해당하는 최대 강우강도 산출 하였다. 수원관측소 및 이천관측소의 80% 확률에 해당하는 강우 중 최대 강우강도는 동일하게 14.5mm/hr로 산출되어 이를 장치형 시설의 최대 강우강도로 적용하여 합리식에 의해 시설용량 계획하였다.

(2) 강우량 적용에 대한 고찰

Fig. 4.22에 나타낸 바와 같이 2010년도 광주시 연평균 강우량이 20mm로 80%강우사상 적용 시(누적확률 경사도가 급함) 연평균 강우 때 보다 높은 것을 알 수 있다.

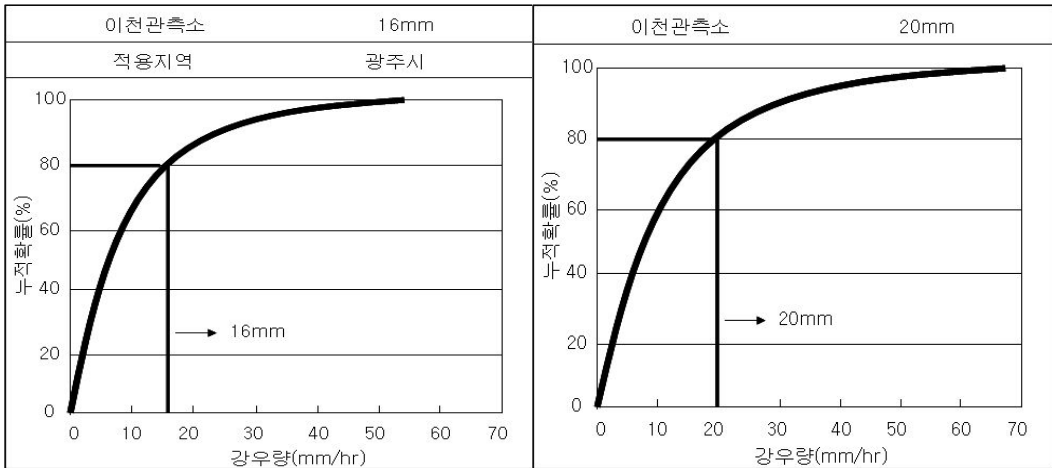


Fig. 4.22. 80% rainfall events and average rainfall in 2009.

위 사례에서 살펴본 바와 같이 우리나라는 30년에서 40년의 누적년도 평균강우량에 80% 강우사상을 적용하고 있다. 그러나 미국의 경우 수질처리용량은 연평균 90%를 차집처리하기 위해 필요한 저장 공간으로 하고 있다. 비점오염원 제어를 위한 관리방안(2009년, 국립환경과학원)에 의하면 우리나라가 산업화, 주거지역 확대, 도로포장 증가로 도시지역의 불투수성 표면이 확대로 초기강우가 증가될 것으로 제시하고 있다.

따라서 우리나라의 현실을 감안하여 미국의 경우와 같이 90% 강우량으로 조정하는 것이 바람직할 것이다. 경기도 광주시의 경우는 24시간 연중 강우량이 18.0 mm로 미국의 Phoenix, Az(0.8 inch) Denver, CO(0.7 inch)과 유사한 것으로 나타났다.(Table 2.20. 90% rainfall events in USA cities)

4.2.2 강우량 대비 저감시설별 효율분석

2010년 3월에서 9월에 걸쳐 장치형 5개 시설(탄천별교, 그린파크, 목현천 하류, 곤지암교, 화신중기)과 자연형 2개시설(장지동 제1지점, 제2지점)을 비교하여 처리효율을 분석하였고 장치형 시설도 CDS-MFS(탄별초교지점, 그린파크)와 HDS-FSF(목현천하류, 곤지암교, 화신중기)간에 비교하였다.

그리고 위 처리시설에 대하여 일반항목, 영양염류, 중금속, 대장균군을 측정하고 각 지점별 오염물질을 분석하였다. 그리고 2010년 년 평균 강우량 대비 80%강우사상 등을 기초로 하여 지점별 오염물질 변화 추이를 분석하였다.

오염물질 제거효율 분석 시 사용된 모니터링 결과는, 모니터링 시 현장여건을 고려하여, 유량측정이 불가능한 경우, 비정상적인 농도 증가가 발생한 경우, 시설 내 침전물이 재 부상된 경우를 제외하고 오염물질 제거효율을 조사하였다.

각 저감시설별 제거효율은 비점오염원관리 업무편람(2006년, 환경부)에서 제시된 항목별 제거효율과 비교·검토하고, 이를 활용하여 비점오염원저감시설에서 발생하는 비점오염저감시설의 활용가능 여부를 검토하였다.

(1) 강우량별 오염물질 분석

2010.3.22 강우량 8.5mm시 지점별 오염물질의 제거효율을 Fig. 4.23에 나타난 바와 같이 이날 강우가 불완전하여 곤지암교와 화신중기 일원에는 비가 오지 않아 유기물, 영양물질, 중금속과 대장균군도 시험하지 못했으나 탄벌초교 등 5개 지점이 강우량 8.5mm일때 BOD, COD, SS는 경우 일정한 처리 효율을 나타내고 있으며, 영양염류도 목현천 지점을 제외하고 큰 변동이 없는 것으로 나타났다.

SS는 모든 지점이 90%를 넘는 처리효율을 나타냈는데 이는 2009년 11월경 여재와 필터를 교체하여 처리효율이 높게 나타난 것으로 사료된다.

목현천 하류의 경우 미처리된 하수가 합류식 관거를 통하여 T-N, T-P가 높게 유입되어 다른 지점에 비하여 낮은 처리효율을 보이고 있다.

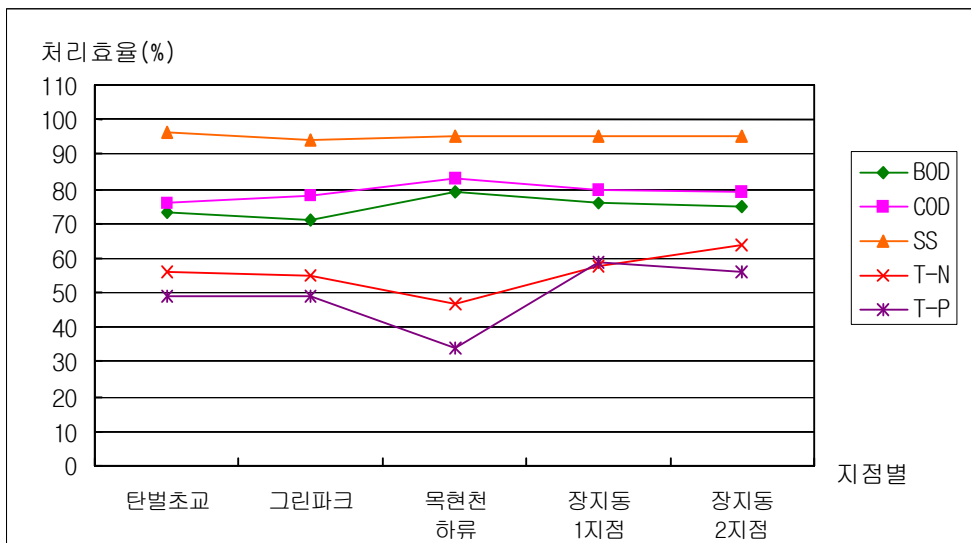


Fig. 4.23. Treatment efficiency of the site(8.5mm).

2010.5.6 년 평균 강수량 20mm에 대하여 80%강우사상을 적용한 16mm로써 각 지점별 오염농도를 측정하고, Fig. 4.24에 나타난 바와 같이 강수량 16mm일 때 7개 지점에서 유기물과 영양염류의 처리효율의 변화는 큰 차이를 보이지 않고 있다.

영양염류의 경우 별도의 처리시설이 구비되지 않고 있는데도 7개 지점에서 T-N의 경우 유기물과 같이 높은 처리효율을 보이고 있다.

2007년 강두기가 연구¹⁷⁾한 자료에 의하면 유량이 일시에 증가할 경우 질소성분이 강우에 희석되어 저농도로 처리된 것으로 제시하고 있는 것과 같이 20mm강우 시 빗물에 질소 성분이 일부 유실된 것으로 판단된다.

그러나 목현천 하류, 곤지암교, 장지동 1지점, 장지동 2지점에서 T-P의 처리효율 변화가 크게 나타났다.

1993년 신현석 등이 연구²³⁾한 자료에 강우 시 토사가 유입될 경우 2~3시간 침전이나 여과 공정을 거칠 경우 30~50%의 처리효율을 나타낼 수 있다고 한다.

이와 같은 문헌을 근거로 목현천 하류는 토사와 하수에 유입된 T-P가 약 3시간 침전에 의하여 처리된 것으로 보인다.

장지동 지점은 자연형 시설로서 토사와 우수에 유입된 인성분이 침전과 수생식물로 인하여 처리됨으로서 처리효율이 높게 나타났다고 사료된다.

곤지암교는 T-P처리시설이 없는 경우와 같이 일반적인 처리효율을 보이고 있다.

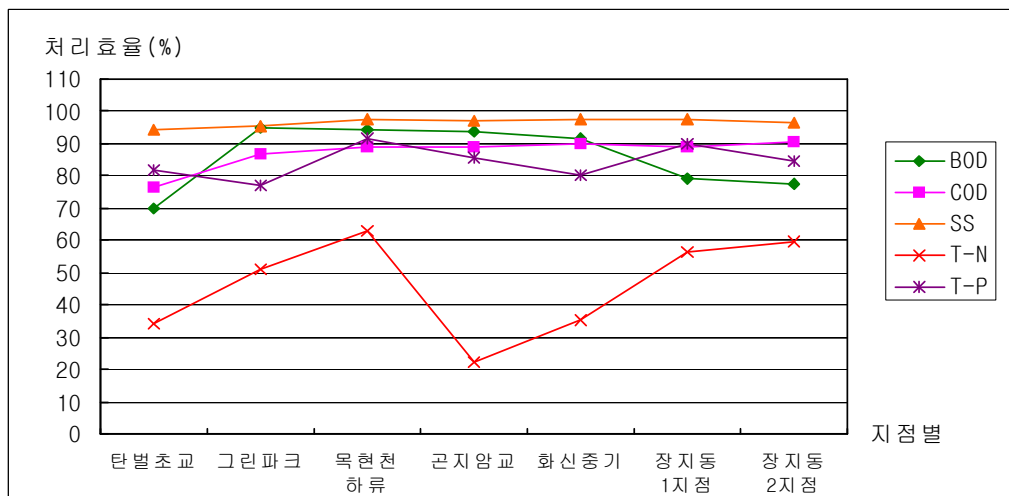


Fig. 4.24. Treatment efficiency of the site(16mm).

2010.5.18 연평균 강우량 20mm를 적용하여 측정된 결과를 Fig.4.25에 나타낸 바와 같이 COD와 BOD 처리효율이 72.4와 78.0%로 비교적 낮게 나타났는데 이는 화신중기의 유입수 농도가 14.2mg/L과 19.9mg/L이고, 처리수의 농도가 9.7mg/L과 7.2mg/L로 저농도로 유입되어 처리효율이 낮게 나타났다. 지점별로는 화신중기가 COD처리효율이 40.1%로 설계기준(60%)보다 낮게 나타났다. 저농도가 유입될 경우 COD와 BOD 처리효율이 낮은 것으로 드러났다.

T-N의경우도 처리효율이 39.8%로 비교적 낮다. 그런데 유입수의 평균 농도가 6.1mg/L인데 반하여 탄벌초교지점, 그린파크의 T-N 농도가 평균치를 초과한 7.645와 8.612mg/L로 유입되었다. 이는 주택가와 도로상의 오염물질이 우수토실을 통하여 유입되는 고로 하수 중 질산염 형태의 물질이 다량 포함된 것으로 판단된다.

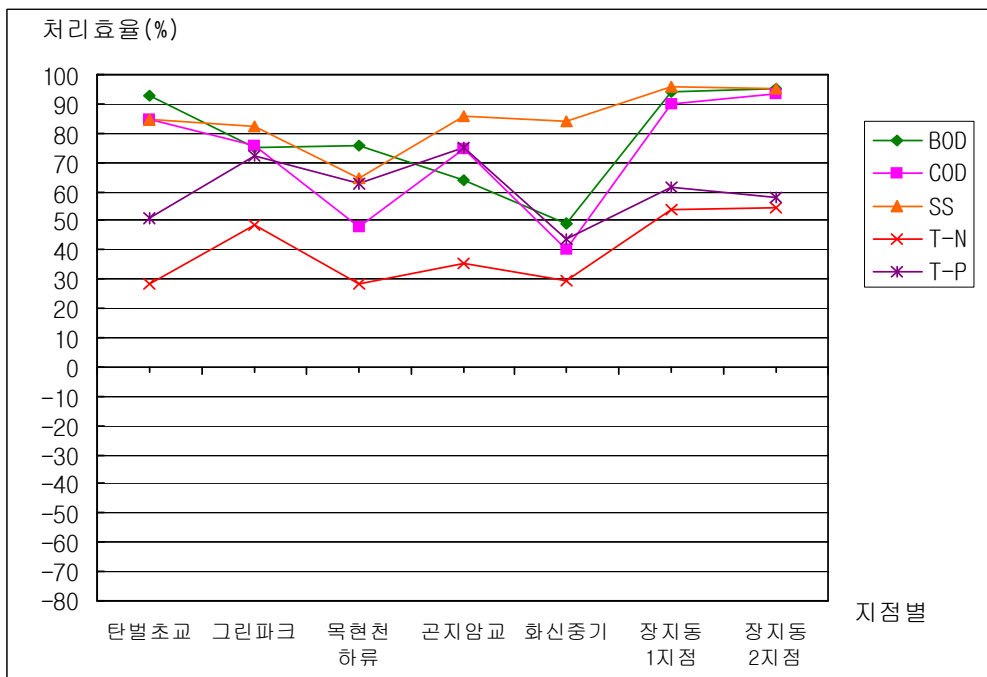


Fig. 4.25. Treatment efficiency of the site(20mm).

2010.6.14 연평균 강우량 6mm인 최저농도를 적용하여 측정한 결과 Fig. 4.26에 나타낸 바와 같이 COD와 BOD 처리효율이 67.9와 71.2 %로 비교적 다른 강우량과 비교하여 낮게 나타났다. 지점별로는 화신중기의 유입수 농도가 16.4mg/L과 5.3mg/L이고 처리수의 농도가 11.6mg/L과 3.7mg/L로 처리효율이 29.3과 30.2%로 설계기준 보다 낮게 나타났다.

그 원인으로서는 20mm강우량과 같이 낮은 농도의 오염물질이 유입될 경우 장치형 시설인 HDS-FSF가 효율이 떨어진다고 판단된다.

또한, T-N의 처리효율도 39%로 낮은 분포를 보이는데 이는 화신중기의 처리효율이 21.6%로 설계기준(20%)과 유사한 양상이다.

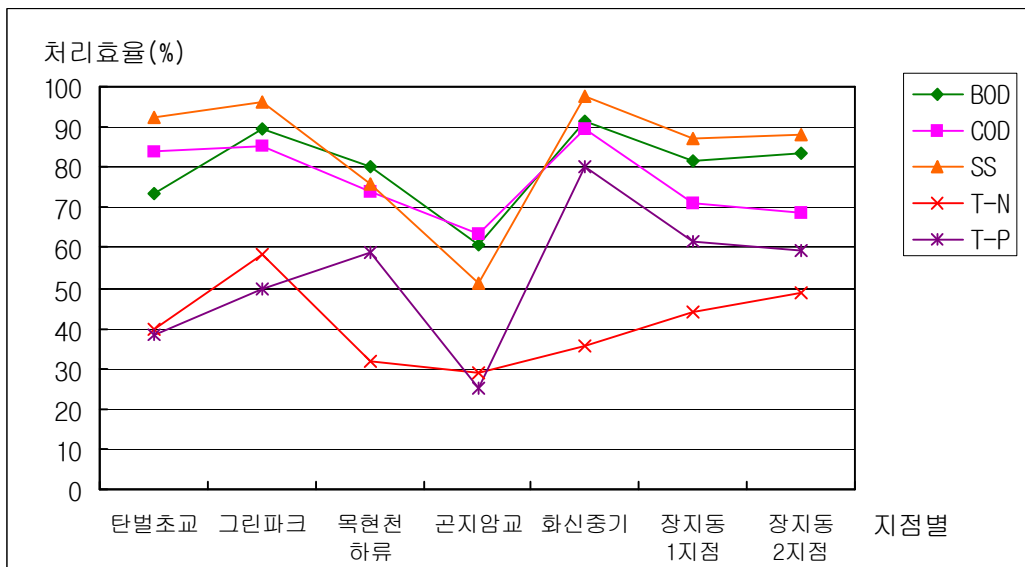


Fig. 4.26. Treatment efficiency of the site(6mm).

2010. 7.2 연평균 강우량 25.4mm를 적용하여 측정된 결과 Fig. 4.27에 나타낸 바와 같이 COD의 처리효율이 48.7%로 설계기준(60%)에도 미치지 못한 효율을 나타내고 있는데, 그린파크(22.1%), 목현천하류(24.3%), 탄벌초교지점(47.8%), 화신중기(55.6%)가 낮은 순으로 파악되었다.

그리고 BOD의 경우도 평균 65%로 목현천 하류(40.7%), 화신중기(45.1%)로 낮은 효율을 보이고 있다.

SS의 경우도 처리효율이 평균이 63%로 그린파크(44%), 곤지암교(55.9%)로 설계기준이하로 나타났다.

BOD, COD, SS의 경우 처리효율이 낮은 원인은 필터가 일부 막혀 제 역할을 못한 데 기인 한 것이다.

여재와 BOD와 SS의 관계, 여재교체 시기 등은 다음 장에서 다루기로 한다.

그리고 탄벌초교지점과 그린파크, 목현천 하류에서 T-N농도가 평균치(6.0mg/L)보다 1~2mg/L 높게 유입되었는데 도로나 수로에 떨어진 축분이나 하수가 유입된 것으로 판단된다.

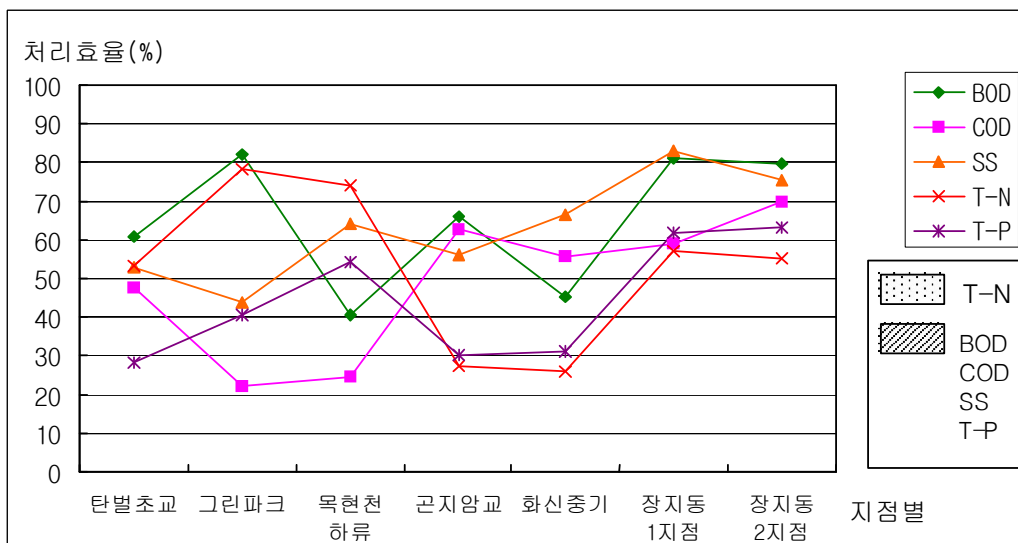


Fig. 4.27. Treatment efficiency of the site(25.4mm).

2010.9.2 강우량 32mm로 최대강우를 적용하여 측정한 결과 Fig. 4.28에 나타낸 바와 같이 강우량 측정량 중 최대량을 적용하였고 태풍이 끝난 뒤 측정한 결과 유입수 농도가 대체적으로 낮아졌다

그러나 COD의 경우 처리효율이 설계기준에 못 미치는 48.9%로 나타내는데 목현천하류(16.1%), 곤지암교(27.8%), 화신중기(38.2%), 탄벌초교지점(47.1%)로 낮은 효율을 나타냈다. 이는 유입수의 농도평균이 15.7mg/L로 저농도에 기인한 것으로 알 수 있다.

상대적으로 BOD의 경우도 곤지암교 44.7%, 목현천하류 47.8%로 설계기준을 충족하지 못했다. 또한, 곤지암교 SS의 처리효율이 57.7%로 설계기준보다 낮았으며, 화신중기 T-P의 처리효율이 17.5%로 설계기준 이하의 효율을 나타냈다. 그리고 대장균군은 목현천 하류에서 109 MPN/ml로 검출되었다.

반면에 장지동 제1지점과 제2지점은 BOD, COD, SS, T-N, T-P의 설계기준 이내의 처리효율을 보이고 있는 것으로 파악되어 장치형 시설보다 자연형 시설의 처리효율이 높음을 알 수 있다.

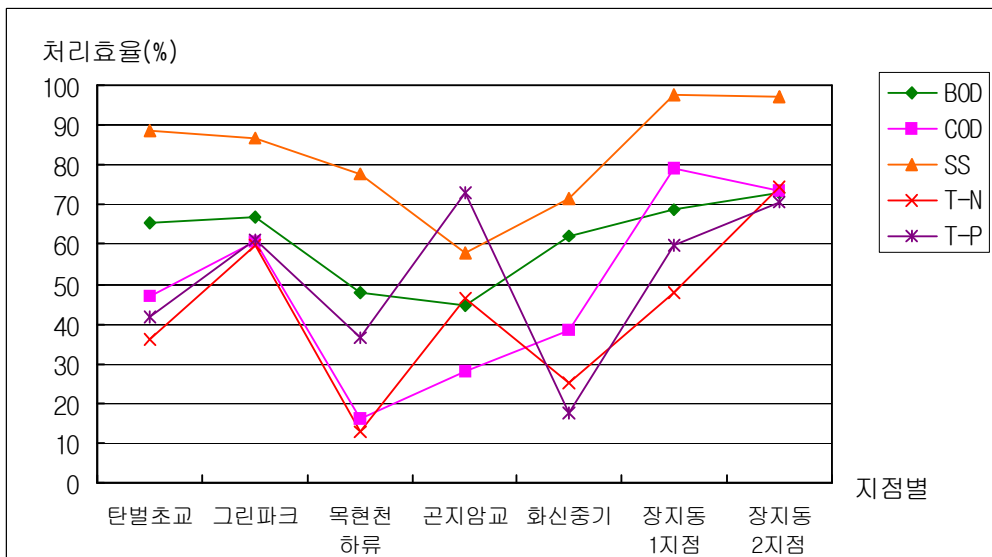


Fig. 4.28. Treatment efficiency of the site(32mm).

(2) 대장균군 분석결과

대장균군은 비점오염원저감시설에서 관리되지 않아 국내 연구 자료를 파악하지 못했으나 미국의 경우에는 관련규정을 제정하여 대장균군을 관리하고 있다. 미국 보스턴 지역 초기우수 저류시설 등과 같이 초기강우를 침전분리한 후 대장균군을 소독하여 인근 하수처리장으로 이송시키고 있다.

탄벌초교 등 8개 지점에 대한 대장균군 분포도를 Fig. 4.29에 나타내었다.

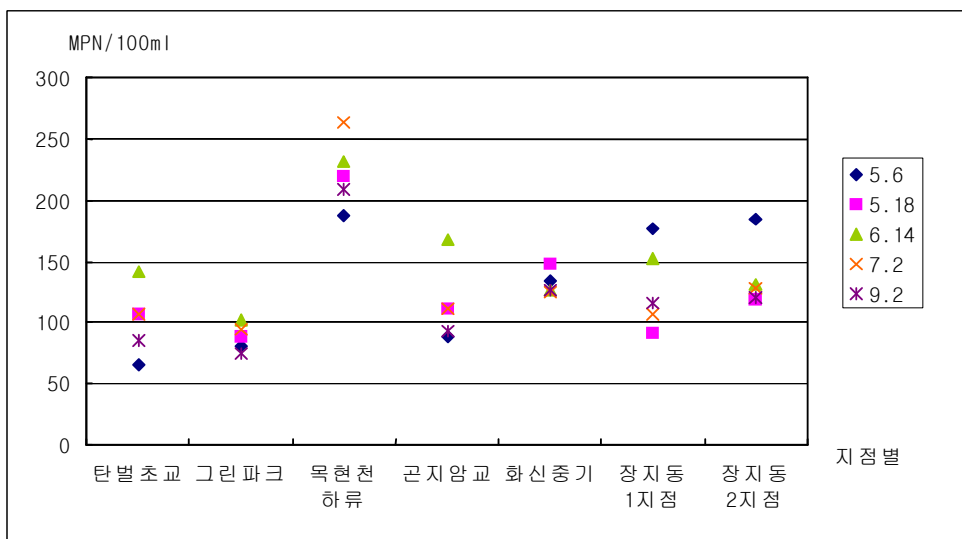


Fig. 4.29. Distribution chart by site types of colon bacillus.

본 연구 결과 대장균군이 비점오염원 저감시설에서 제거효율이 거의 없는 것으로 파악되어 별도의 시설을 보완할 수 있는 제도적 뒷받침이 필요한 실정이다.

Fig.4.29에 나타난 바와 같이 대장균군 분포는 초기강우가 높은 목현천 하류, 화신중기, 곤지암교 지점이 높은 것으로 파악되었고 강우량대비 20mm(5.6) 내외에서 다소 높게 나타났는데 오염농도가 높은 곳이거나 일부 하수가 유입되는 지점이 대장균군수가 증가한 것으로 사료된다.

각 지점 간 대장균군을 분석한 결과 주택가, 도로지역인 탄벌초교지점과 그린파크 지역은 우수토실로 통하여 초기강우가 흘러들어 대장균군수가 감소한 것으로 드러났다. 반면에 목현천 하류와 장지동1,2지점에서 대장균군수가 증가한 것은 미

처리된 하수가 일부 유입되면서 대장균군이 포함되어 유입된 것으로 판단된다. 그리고 수로주변 풀과 식물이 있어 이에 기생하는 대장균군의 영향이 있어 균수가 증가된 것으로 판단된다.

미국의 경우에는 다음의 경우와 같이 처리수에 대한 대장균군을 100마리이하로 규제를 하고 있으며, 처리조 내 대장균군 소독조를 두고 있다.

1) Boston 지역 초기우수저류시설

시설기능상 Boston시 CS0발생량은 1988년 약 3.300 Million gallons에서 2000년 850 Million gallons로 저감하였으며, 2008년까지 400Million gallons로 저감될 전망이다.

현재 초기우수처리시설(CS0)은 Table 4.20과 같이 Cottage Farm 등 5개 시설이 운영 중에 있으며, 추가로 2005년까지 2개시설이 건설되어 운영될 전망이고 CS0 방류구 제거 및 CS0 발생량 저감을 목표로 하고 있으며, CS0 처리시설 2005년까지 기존 5개시설의 UP-grade 전까지는 중력식 처리 후 Deer Island 하수처리장으로 이송 처리하고 있다.^{32),58)}

Fig. 4.30에 나타낸 처리공정도와 같이 In-line storage로써 저류조 용량 초과할 경우 screening 및 소독처리 된 유량은 저류조 웨어를 통과하여 자연유하로 Charles River로 방류되며, 저류조 내 CS0유량은 건기 시 pumping으로 처리장 이송한다.⁵⁹⁾

Table 4.20. Facilities treatment Spec by 5 points of CS0

구 분	Cottage Farm	Prison Piont	Somerville Marginal	Constitution Beach	Fox Point
처리 면적	270.0ha	385.7ha	283.3ha	10.0ha	73.5ha
설계 우수량	1년 빈도 강우 (0.25 ~ 0.30inch/hr)				
저류 용적	18,000m ³	24,500m ³	18,000m ³	1,200m ³	5,000m ³
단위 공정	스크린 소독시설	스크린 소독시설	스크린 소독시설	스크린 소독시설	스크린 소독시설

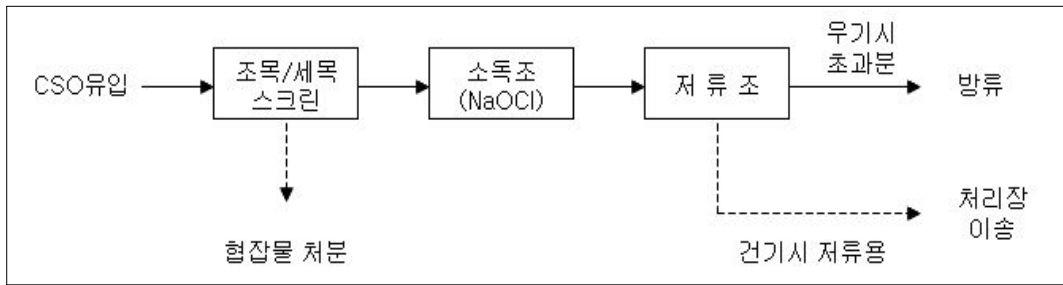


Fig. 4.30. Treatment Process of Diagram.

2) Atlanta지역의 Columbus 지역의 CSO 처리시설

이 지역은 Table 4.21과 같이 South Commons와 Uptown Park에 초기우수처리시설(CSO)을 설치운영하고 있다.

이 시설의 기능상 CSO지점에서의 저장시설은 기존하수처리장까지 터널시스템으로 연결 저장하고 저장/저류된 월류수는 강우사상 종료 후 Pumping하여 우수처리시설로 이송 처리한다.⁶⁰⁾

South Commons의 초기우수처리시설의 처리공정도는 Fig. 4.31에 나타낸 바와 같이 300,000m³/일시설로서 초기강우가 저류터널로 유입되어 스크린조에서 협잡물을 제거하고 와류형 분리시설에서 유기물을 처리한 후 소독조에서 대장균을 사멸시키고 탈연소실을 거친 후 방류하는 것으로 되어 있다.

이 시설의 연간 운영조건은 BOD 30mg/L, SS 100mg/L, T-P 0.3mg/L 이하로 유지하고 대장균균군은 50 MPN/100ML 이하로 처리하여 방류하는 것이다.

Table 4.21. Introduction of CSO treatment facilities

	South Commons CSO 처리시설	Uptown Park CSO 처리시설
처리대상면적	1,320ha	780ha
설계 우수량	2년 빈도강우 5.84mm/hr	2년 빈도강우 5.84mm/hr
최대처리용량	300,000m ³ /일	180,000m ³ /일
저류용적	60,480m ³ /일	45,360m ³
단위공정	Bar 스크린시설 소독시설(NaOCl) vortex separation grit 제거시설 탈염소시설	Bar 스크린시설 grit 제거시설 vortex separation 압축메디아 여과시설 UV소독시설 탈염소시설
[연간운영조건] - BOD 30mg/L, SS 100mg/L, T-P 0.3mg/L 이하 - 대장균군 50MPN/100ML 이하		

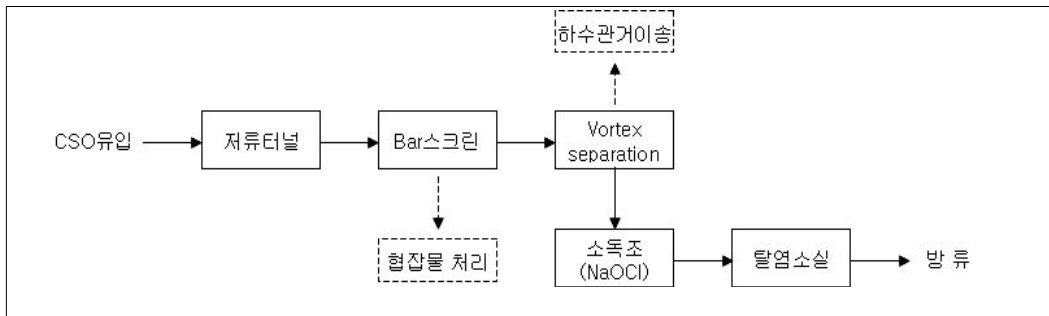


Fig. 4.31. Treatment Process of Diagram(South Commons CSO).

(3) 여재 교환 시기 결정

모니터링 결과 침투형 시설이나 장치형 시설(필터형)의 오염물질 제거효율은 오염물질이 여재의 공극을 메워 점차 통수기능이 감소하는 형태를 보인다. 비점오염 저감시설 설치 목적을 유지하기 위해서는 여재교환이 필요하므로, 본 검토에서는 항목별 제거효율을 검토하여 여재교환시기를 제시하고자 한다.

현재 우리나라에서 시행중인 제1단계 수질오염총량관리제는 BOD를 대상항목으로 설정하여 관리하고 있고, 친환경적 도로 유지관리 잠정지침(한국도로공사, 2008년)²⁷⁾에서는 비점오염저감시설의 제거효율을 SS 60%, BOD 40~55%로 제시하고 있으므로, BOD 제거효율 40%이상을 상회하는 시설을 설치하는 것이 바람직하며, 설치 후 지속적인 유지관리 및 모니터링을 시행하여 저감효율의 극대화를 도모하는 것이 필요하다.

이번 모니터링 결과 자연형 시설(침투형)의 경우 제거효율 하강 그래프가 완만한 경향을 보여 여재교환주기가 길 것으로 예상되며, 장치형 시설(필터형)의 경우 저감효율 변화가 급격하여 자연형 시설(침투형)에 비해 여재교환주기가 짧을 것으로 판단된다.

여재교환 시기는 Fig. 4.32에 나타낸 바와 같이 저감시설 선정 시 저감시설의 제거효율인 BOD 40~65%를 기준으로 그 이하일 경우를 여재교환시기로 선정함이 타당할 것으로 판단되며, 모니터링 시 제거효율의 변동 폭이 크므로, 부하량 기준의 BOD제거효율이 40~60%이하로 1회 조사되었을 경우 이후 6개월 이내에 재조사를 실시하여, 2회 연속으로 제거효율이 40%이하로 분석된 경우 여재 교환을 실시하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

자연형 시설의 경우 약 6개월이 지나 80%이하로 효율이 저하되면 여재 교체시기를 잡고 있다. 장치형 시설의 경우 40%이하로 제거 효율이 떨어지는 시기에 교체할 것을 권고하고 있다.

유지관리운영지침서(2007년, 광주시)에 의하면 년 1~2회 교체할 것을 제시하고 있으나 유지관리비 등을 감안하여 교체가 힘들 경우에는 깨끗한 물에 세척하여 사용하면 수명을 연장시킬 수도 있다고 한다.

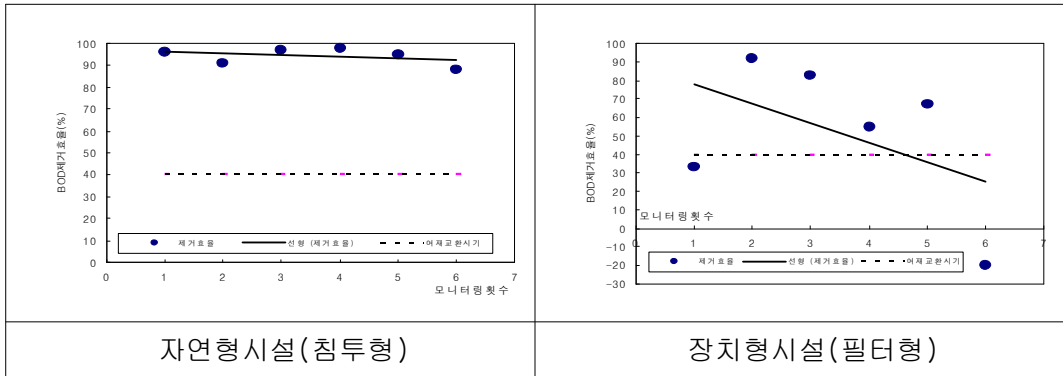


Fig. 4.32. Exchange time of facilities maintenance.

각 지점별, 강우일자별, BOD농도 증감 변화 추이를 Fig. 4.33에 나타낸 바와 같이 2010년 11월경 경기도 광주시 장치형 필터를 새것으로 교체하고 가동한 결과 BOD의 경우는 7.2일까지 약 6개월 이후 처리효율이 40~60% 까지 감소하였다. 장치형 시설을 감안하면 제거효율이 평균 50% 이하로 여재교체 시기로 판단하여야 할 것이며 곤지암교의 BOD 처리효율 불규칙적 변동은 예측하지 못하였다.

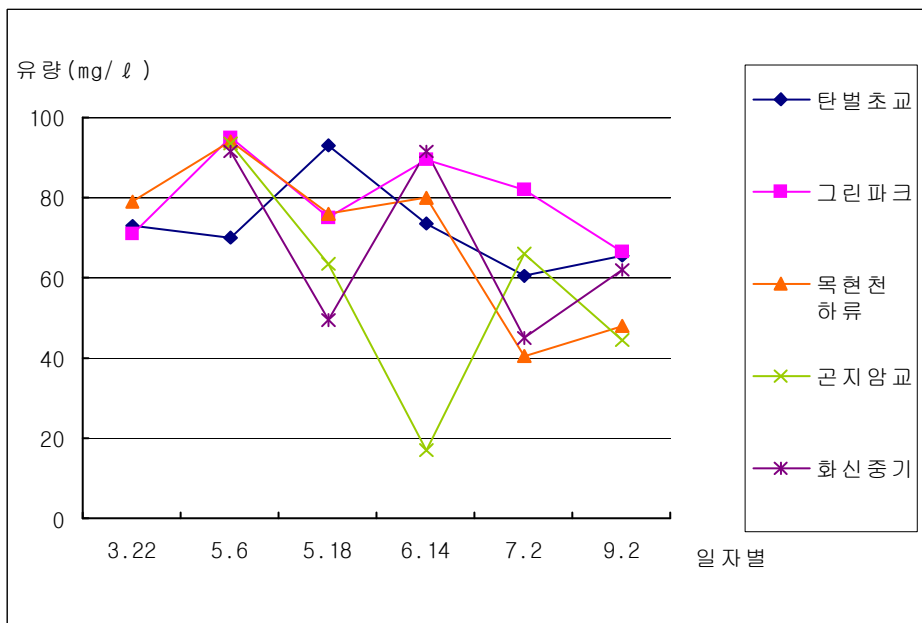


Fig. 4.33. Treatment efficiency by date rainfall of BOD.

각 지점별, 강우일별 SS농도 변화 추이를 Fig. 4.34에 나타낸 바와 같이 SS의 경우는 7.2일 처리효율이 저하되어 수돗물로 세척하였는데 9.2일이후 처리효율이 다소 상승한바 여재를 세척할 경우 SS의 처리효율이 높아지는 것으로 판단된다.

그리고 장치형 시설 중 CDS-MFS(탄벌초교, 그린피크)와 HDS-FSF(목현천하류, 곤지암교, 화신중기)를 비교한 결과 BOD의 처리효율은 CDS-MFS가 다소 높게 나타났지만 SS의 처리효율은 HDS-FSF가 다소 높은 관계를 유지하는 등 두 종류 간 처리효율은 별다른 차이가 없다고 할 수 있다.

그러므로 여재의 교체 주기는 비점오염원저감시설의 여건에 따라 다르게 나타날 수 있지만 약 6개월(11월~7월, 동절기 3개월 미가동) 소요될 것으로 판단되며, 물로 세척을 할 경우 수명을 다소 연장 시키는 효과는 있다고 할 수 있다.

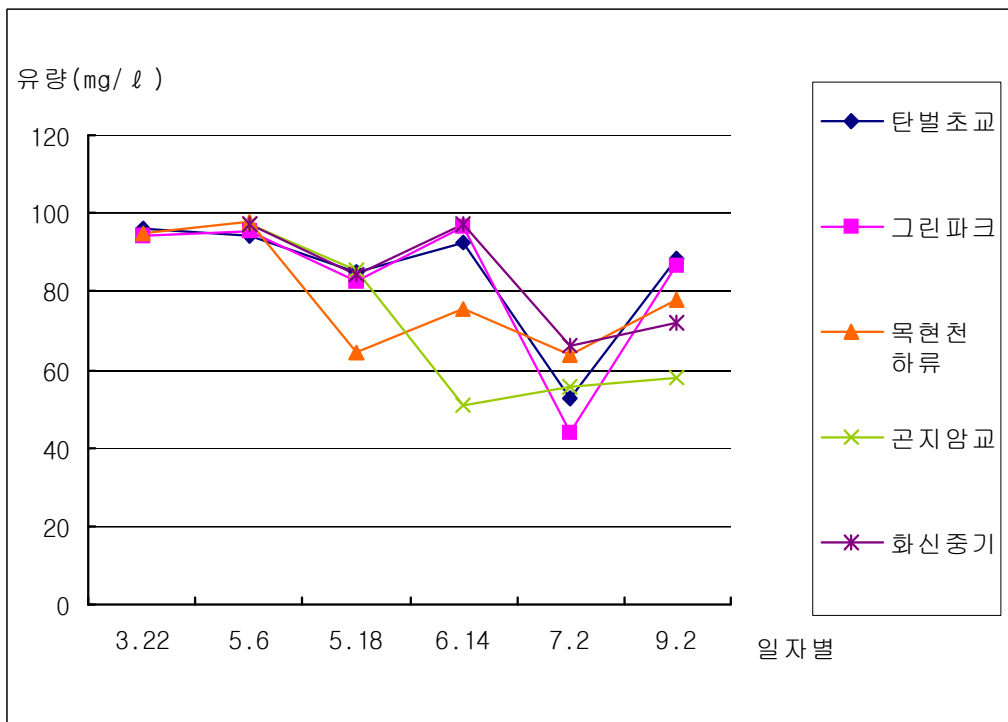


Fig. 4.34. Treatment efficiency by date rainfall of SS.

(4) 강우량 대비 유입수, 처리수 분포

강우량 변동에 따른 유입수질에 대한 오염농도를 Fig. 4.35에 나타낸 바와 같이 유입수의 BOD농도 평균은 강우량 32mm일 때 최저 10mg/L이고, 강우량 16mm일 때 최고 49.4.9mg/L를 나타냈다.(Table 4.29 참조)

그리고 10mg/L이하로 유입된 강우량 6mm일 때 화신중기(5.3 mg/L), 16mm일 때 탄벌초교지점(9.7mg/L), 25.4mm일 때 탄벌초교지점(8.4mg/L), 그린파크(9.5mg/L), 32mm일 때 화신중기(7.1mg/L), 목현천하류(6.9mg/L), 곤지암교(9.4mg/L)로 농도가 낮게 유입되고 있다.

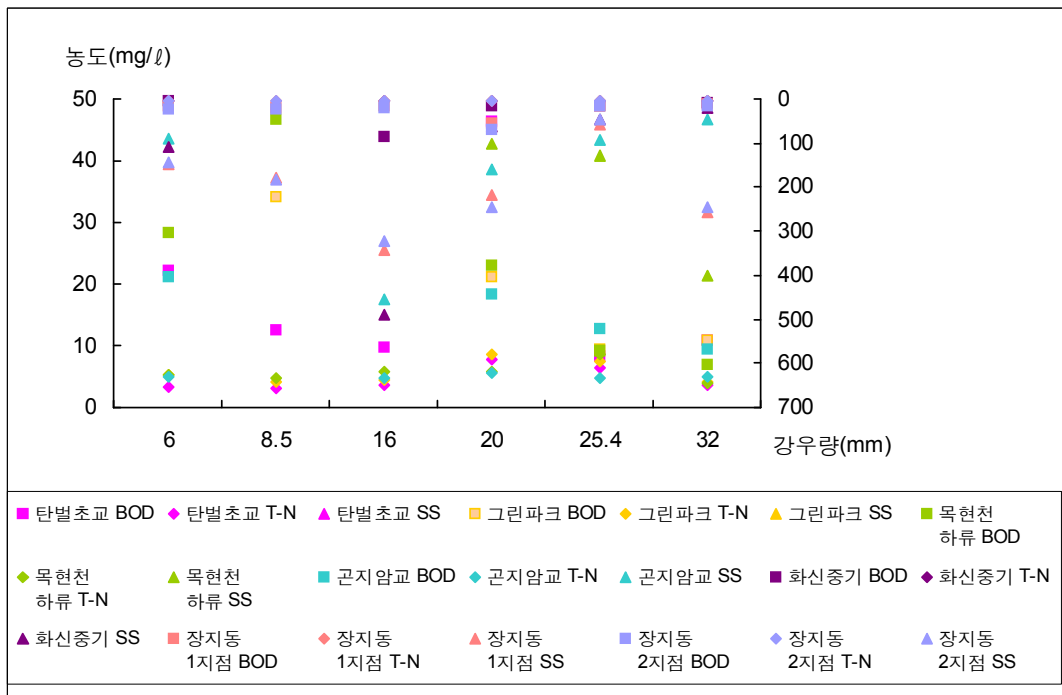


Fig. 4.35. Distribution chart of incoming water.

위 그림에서 나타난 바와 같이 강우량이 적을 경우 BOD 평균농도에 근접하다가 80% 강우사상에 이르는 16mm 강우 시 까지 상승하다가 20mm에서 완만한 농도를 보 이다가 강우량이 많은 32mm에서 저 농도로 유입됨을 알 수 있다.

SS의 유입평균의 경우 강우량 25.4mm일 때 최저 79.8mg/L이고 강우량 16mm일 때 최대 406.4mg/L로 나타났다. SS농도가 50mg/L이하로 유입된 것은 강우량 32mm일

때 목현천하류(21.3mg/L), 화신중기(18.1mg/L), 목현천하류(47.1mg/L)이고, 25.4mm일 때 화신중기(48.3mg/L), 장지동2지점(48.33mg/L)이고, 강우량 20mm일 때 목현천하류(42.83mg/L)로 나타났다.

Fig.4.35를 면밀히 살펴보면 그린파크, 목현천 하류에 BOD, COD, SS, T-N 농도가 평균수질보다 높게 나타난 것은 하수 일부가 우수토실이나 수로를 타고 유입된 경우라고 할 수 있다.

강우량 대비 처리수질 분포도를 Fig. 4.36에 나타낸 바와 같이 강우량대비 BOD의 최소처리수질은 32mm 강우 시 3.7mg/L이고, 최대농도는 8.5mm강우량 시 6.7mg/L을 나타냈다.

COD의 처리수질 최저 농도는 32mm강우 시 6.6mg/L이고 최대농도는 6mm 강우 시 10.0mg/L로 나타났다. COD처리농도가 10mg/L를 초과한 경우는 6mm 강우 시 그린파크(13.1), 목현천하류(12.6), 곤지암교(13.0), 화신중기(11.6)이고, 8.5mm 강우 시 그린파크(10.7), 목현천하류(10.4), 16mm 강우 시 목현천하류(13.6), 화신중기(10.2)이고, 20mm강우 시 탄벌초교지점(10.6), 그린파크(17.9), 목현천 하류(10.3), 화신중기(11.8)이고, 25.4mm강우 시 탄벌초교지점(10.5), 그린파크(10.9), 곤지암교(12.5)화신중기(10.8)이고, 32mm 강우 시 그린파크(10.3)로 파악되었다.

평균처리수질농도가 높게 나타난 것은 유입수 농도가 낮게 들어오거나 지점 여건상 처리효율이 저하된 것으로 판단된다.

SS의 경우 6mm 강우 시 최대농도 34.5mg/L이고, 8.5mm 강우 시 최저농도 12.0mg/L로 필터를 교체한 시점으로 농도가 낮게 나왔다. 그리고 50mg/L 이상 높은 농도를 보이는 강우량은 6mm일 때 그린파크(31.7), 목현천하류(38.5), 곤지암교(44.6), 화신중기(44.3)이고, 25.4mm 강우 시 곤지암교(41.8)이고, 강우량 20mm 시 탄벌초교지점(42.2)이며, 32mm 강우 시 탄벌초교지점(55.7), 그린파크(48.0)로 나타났다.

6mm 강우 시 처리수질이 상승한 것은 초기강우의 높은 농도 때문인 것으로 판단되고 18mm 강우를 기점으로 처리수질의 변동이 일정한 것으로 파악되어 80% 강우사상을 기점으로 처리수질이 안정화됨을 알 수 있다.

위에서 살펴본바와 같이 강우를 재이용 할 경우 20mm(연평균 강우량) 내외에서 초기강우를 처리한 후 사용하는 것이 합리적이라 할 수 있다.

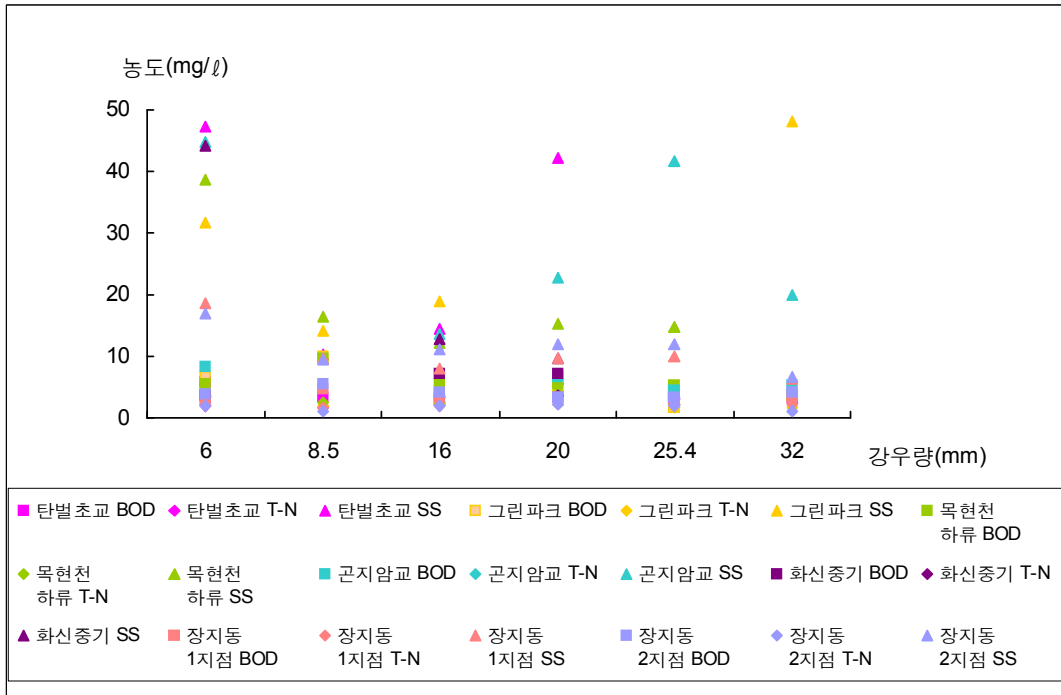


Fig. 4.36. Distribution chart of treated water quality.

강우량 대비 그린파크등 7개 지점에서 중금속 분석결과 평균농도를 Table 4.22에 나타낸 바와 같이 강우량 6mm일 때 Cu가 화신중기 유입수에서 1.07mg/L, 목현천 하류에서 1.23mg/L 검출되었고, Zn은 목현천 하류에서 1.01mg/L 유입되었다.

또한 16mm 강우 시 Pb가 목현천 하류 유입수에서 0.07mg/L가 나왔고, Cu는 목현천 하류 유입수에서 1.23mg/L, Zn은 목현천 하류와 화신중기에서 1.01mg/L과 0.192mg/L 검출되었다. 그리고 20mm 강우 시 Cu가 목현천 하류에서 1.07mg/L, Zn이 목현천 하류 유입수에서 0.92mg/L 검출되었다.

Cd는 6mm, 16mm, 20mm 목현천 하류와 화신중기에서 일부 검출되었다. 강우량 25.4mm와 32mm에서는 도표상 평균 농도 이하로 검출되었다. 농도가 높은 지점은 목현천 하류와 화신중기 주변지역으로 도로 초기우수가 우수토실을 통하여 유입되거나 미처리 하수가 수로를 통하여 유입되는 지점이다.

국립축산과학원 가축분뇨배설량완결보고서(2008년)에 의하면 Cu는 6.06 ± 2.46 으로 배설되고, Zn은 0.11 ± 0.11 로 배출된다고 한다. 이점을 감안하면 도로상에 가

축분뇨가 흘러들어 Cu, Zn농도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

그리고 KEI의 비점오염원 유출 저감을 위한 우수 유출수 관리방안(2002년)에 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)의 SMC 비교적 자동차 도로 및 주차장에서 높은 농도를 나타내었는데 이는 자동차 운행에 의한 영향으로 판단된다고 한다.

Table 4.22. Distribution chart of heavy metal

(단위 : mg/ℓ)

구 분		Pb	Cu	Zn	Cd	Cr
6mm	유입수	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0
	처리수	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0
8.5mm	유입수	-	-	-	-	-
	처리수	-	-	-	-	-
16mm	유입수	0.1	0.2	0.3	0.0	0.0
	처리수	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
20mm	유입수	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0
	처리수	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
25.4mm	유입수	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
	처리수	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
32mm	유입수	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	처리수	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
평균	유입수	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0
	처리수	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0

Pb는 한국도로공사 고속도로 모니터링용역(2008년)보고서에 따르면 pb는 0.21mg/L, Cr은 0.06mg/L검출되는 것으로 타이어 마모로 초기우수와 혼합되어 유입되는 것으로 조사되었다.

강우량대비 중금속의 분포도는 6mm의 초기우수에서 20mm까지 점차 증가하다가 강우량이 많은 24.5mm에서는 평균이하의 농도로 나타났다. 2002년 KEI 연구결과⁷⁾

아파트지역, 준상업지역, 고밀도 상가 지역 순으로 Zn, Pb가 0.1mg/L 이상 검출된 것으로 보고하고 있다. 따라서 광주시의 초기 강우 중 중금속의 함량은 Cu→Zn→Pb→Cr→Cd 순으로 측정되었다.

도로의 초기우수 사정과 수로로 유입되는 하수와 우수토실에 퇴적된 잔재물에서 가축분뇨가 초기우수에 씻기어 유입되는 등 중금속 농도 변화가 주변여건에 따라 변화하고 있다.

Fig. 4.37에 나타난 바와 같이 강우량 대비 처리효율은 6mm, 8.5mm, 14.4mm, 16mm(80% 강우사상)까지 유기물과 영양염류가 전반적으로 농도가 높게 유지되다가 20mm강우에 이르러 농도가 낮게 유입되고 있음이 파악되었다.

BOD, SS의 농도범위가 큰 오차를 보이는 것은 해당지점에 초기우수가 낮은 분포 때문일 것으로 판단된다. 강우량 설계 시 80%강우사상을 적용하는 이유가 일정한 오염농도분포를 알기위하여 이 방법을 적용한다. 광주시의 경우 주로 도로와 주택가 일원으로 불투수층이 많아 80%강우량을 초과(20mm근접)하는 양상을 보이고 있는데 최고점 평균농도 분포는 16mm와 20mm사이로 90% 강우사상율(18mm)이 적용된다고 사료된다.

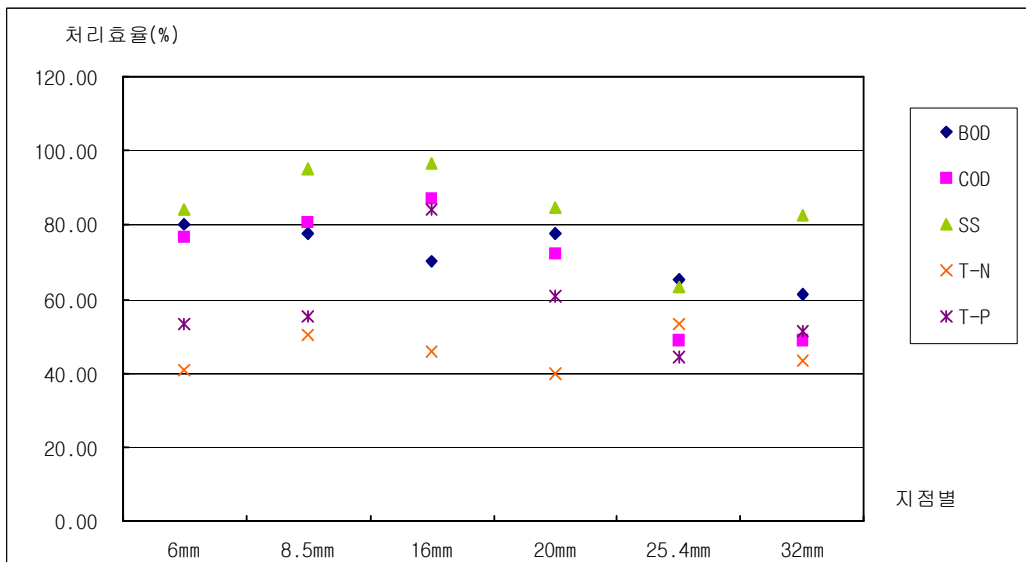


Fig. 4.37. Treatment efficiency than rainfall.

4.2.3.저감시설별 오염물질 분석

(1) BOD, COD 분석결과

강우량 변동에 따른 BOD 유입수 농도 변화는 최저평균 10.0mg/L에서 최고평균 49.4mg/L로 편차가 있고 처리수는 3.7mg/L에서 5.3mg/L로 비슷한 양상으로 재이용수로 가능하다고 할 수 있다. 그러나 일부 지점에서 처리수 재이용기준(10mg/L)을 초과하는 곳도 있다. COD는 BOD 보다 2~2.5배 높게 파악되었고 환경부에서 제시한 제거효율(50~90%)이하로 조사되었다.

(2) SS 분석결과

강우변동에 따른 SS 유입수 농도 변화는 최저평균 79.8mg/L에서 최고평균 406.4mg/L로 큰 차이가 있고, 처리수는 13.0mg/L에서 34.5mg/L로 재이용수로 활용하지 못하는 수질로 조사되었다. 강우량과 지점에 따라 초기강우의 특성변동으로 유입수가 편차를 보이고 있다. CDS-MFS와 HDS-FSF는 환경부에서 제시된 시설별 제거효율(90~60%)을 만족한 시설인데도 SS가 재이용수 수질기준(6mg/L)에도 미치지 못하고 있다.

(3) 영양염류 및 중금속 분석결과

T-N의 경우 유입수질은 4.1mg/L에서 6.1mg/L까지의 분포로 강우량과 지점별로 편차를 보이고 처리수질은 2.3mg/L에서 3.7mg/L로 파악되었다. 영양염류에 대한 처리시설이 없는데도 장치형의 경우 환경부에서 제시한 제거효율(20~40%)을 만족하였고 자연형 시설인 장지동 1,2지점은 환경부 제거효율 이하로 분석되었다.

T-P의 경우 유입수질은 2.1mg/L에서 0.5mg/L로 강우량과 지점별로 편차를 보이고 처리수질은 0.2mg/L에서 0.7mg/L로 파악되었다. 장치형, 장지동시설은 환경부 제거효율이하로 분석되었고 처리효율에서 자연형이 높게 나타났다.

중금속항목은 Table 4.22에 나타난 분석결과와 같이 유입 부하량이 미량으로 검출되거나, 수질오염공정시험법의 검출한계 이하로 분석되었으며, 전체적으로 자연형 시설에서 높은 제거효율을 보였다.

중금속 중에 Cu, Pb, Zn의 농도가 높게 나타난 것은 도로상 타이어 마모로 인한 Pb가 높게 검출되었고, Cu와 Zn은 경기도 광주시 지역특성상 근처에 축산시설이 있어 이곳에서 사료운반이나 강우시 축산분뇨가 유입되어 검출된 것으로 판단된다. 이는 축산 사료 중 Cu는 성장촉진제로 사용하고 Zn은 방부제로 사용하여 사료 중에 이들이 함유되어 있는 것으로 파악되었다

(4) 대장균군 분석결과

대장균군은 비점오염원저감시설에서 관리되지 않아 국내의 경우 연구한 자료를 파악하지 못했으나 미국의 사례에서 알 수 있듯이 초기강우를 침전분리한 후 대장균군을 소독하여 인근 하수처리장으로 이송시키고 있다.

본 연구 결과 대장균군이 비점오염원저감시설에서 제거효율이 거의 없는 것으로 파악되었다. 이는 재이용수 수질기준에 못 미치므로 100ml당 대장균군이 불검출되도록 소독시설을 추가로 설치해야 할 것이다.

(5) 강우량 산정과 처리시설 가동시간 분석

강우량 대비 초기강우의 오염물질 변화는 6mm→8.5mm→16mm(80% 강우사상 확률)에서 가장 높은 농도를 보이다가 20mm(2010년 연평균강우량)에서 오염물질농도가 서서히 감소한다, 그리고 25.4mm에 이르러 완만한 농도분포를 보이다가 32mm때는 저 농도로 유입되었다. 최고점에서의 평균농도 분포는 16mm와 20mm사이로 90% 강우사상율(18mm)이 적용된다고 사료된다

우리나라의 초기강우 처리시설 설계 시 80% 강우사상 확률을 적용하여 설계하는데 도시지역의 불투수층을 감안하여 광주시의 경우 80% 강우사상을 초과 적용하는 것으로 파악되었다.

그리고 2009년도 비점오염 저감시설 모니터링조사에서 파악된바와 같이 장치형과 자연형 시설의 경우 가동시간은 3시간이후에 농도 변화가 거의 없는 것으로 조사되었다.

비점오염원 저감시설 설계 시 도시지역 초기강우량 산정은 미국에서와 같이 년 평균 강우량 대비 90%로하고 처리시설가동시간은 약 3시간으로 산정하는 것이 효율적이라 판단된다.

(6) 저감시설별 분석결과

저감시설별 분석결과, 자연형 시설과 장치형 시설에서 COD, BOD, SS(이하 제거 효율 40~60%), T-N, T-P(이하 20~40%)항목이 환경부에서 제시된 제거효율을 만족하는 것으로 분석되었다.

장치형 2개 시설은 COD, BOD, SS T-N, T-P항목에서 환경부 제거효율을 만족하였으나, 자연형 시설보다는 8~14% 까지 차이가 나고 여재 교체4개월 이후에 일부 지역에서 SS, BOD, COD의 처리효율이 낮아짐을 볼 수 있다.

따라서 도시지역 초기강우에서 발생하는 비점오염물질 제거에 효과적인 시설은 자연형 시설로 조사되었으며, 장치형 시설의 경우 CDS-MFS 시설이 HDS-FSF 보다 좋은 것으로 파악되었다.

현재 시행되고 있는 「수질오염총량관리제」의 관리대상 항목인 BOD를 고려할 때, 본 모니터링 결과, 자연형 시설의 제거효율은 68.9~95.0%, 장치형 시설 30.2~94.1%로 분석되어, 자연형과 장치형 시설은 대부분 환경부에서 제시된 제거효율을 만족하였다.

(7) 분석 및 평가

환경부에서 제시한 자연형과 장치형 제거효율과 문헌조사 사례를 통한 시설별 제거효율을 Table 4.23에 나타낸 바와 같이 저감시설별 분석결과, 비점오염원 제어를 위한 관리방안(국립환경과학원, 2009년)³²⁾에서 제시한 저감시설별 제거효율을 만족하는 시설은 자연형 시설(COD, BOD, SS, T-N, T-P), 장치형 시설(COD, BOD, SS, T-N, T-P),로 분석되었으며, 비점오염물질 제거에 효과적인 시설은 자연형 시설인 장치동 제1지점과 제2지점으로 조사되었다.

장치형 시설의 경우 시설보수, 여재교환 등에 전문 인력의 투입이 요구되는 등 단점으로 인하여 침투도랑, 침투여과조, 식생수로, 인공습지 등의 자연형 시설의 설치가 바람직하다.

환경부에서는 장치형 시설의 설치를 지양하고 자연형 시설의 설치를 권고하고

있어, 수질오염 총량제를 시행하고 있는 경기도 광주시의 경우는 자연형 시설의 설치가 타당한 것으로 조사되었다.

Table 4.23. Comparison of Pollutant Removal Efficiency in each facilities

구 분	시설명		제거효율(%)				
			COD	BOD	SS	T-N	T-P
환경부	자연형	침투형	50~90	50~90	50~90	50~90	50~90
		식생형	5~25	5~25	20~40	10~30	20~40
	장치형	필터형	40~70	10~60	60~90	20~40	10~80
		와류형	5~10	-	10~25	-5~10	5~10
문헌조사사례	자연형	침투형	55.0~100.0	57.1~100.0	70.2~100.0	41.2~100.0	45.6~100.0
		식생형	34.6~82.5	37.2~88.5	70.7~87.5	14.6~88.5	45.3~77.4
	장치형	필터형	23.2~98.8	13.3~98.8	29.1~99.7	22.9~98.4	23.7~98.5
		와류형	7.8~29.1	6.8~29.8	11.4~33.7	-4.1~20.1	7.9~25.1

Table 4.23에서 보는 것과 같이 타 문헌 조사사례보다 금번 모니터링(한강수계 비점오염저감시설 모니터링 및 유지관리 보고서, 2008년 환경관리공단)결과에서 분석한 시설별 제거효율이 다소 낮은 경향을 보였다.

기타 저감시설에 대한 문제점으로는 비점오염저감시설 운영 시 공통적으로 강우 시 배수유역에서 저감시설로 유입되는 퇴적 폐기물에 의한 전처리시설 용량감소, 주 처리시설 제거효율감소, 전처리시설 및 주 처리시설 내 정체수 발생, 정체수에 의한 위생문제 발생 등이 우려되었다.

자연형 시설 중 조기에 정화수종 식재가 필요한 식생형 시설의 경우, 식생 활착을 위한 기간 확보가 요구되었고, 인공습지의 경우 정화수종 미 활착에 의한 녹조 과성장 등이 확인되어 식생활착의 중요성이 확인되었다.

장치형시설은 여재와 여재사이 또는 시설외부 이음부분 방수미비로 인한 누수발생, 여재 폐색에 의한 퇴적폐기물 재부상 등의 문제점이 확인되어, 이를 개선하지 않을 경우 오히려 인근수계에 수질악화의 요인으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 자연형 시설이 장치형 시설에 비해 유지관리 측면에서 유리한 것으로 판단된다.

8) 처리수 활용에 관한 사항

평균 강우량 대비 처리 수질 농도를 Table 4.24에 나타낸 바와 같이 2009년 한국환경공단의 연구결과³³⁾에 의하면 비점오염원 시설에서 처리된 수량은 본류하천 건천예방을 위해 방류하는 것으로 파악되었다. 우리나라도 향후 미국과 같이 저장조 입구에 소독시설을 설치하여 대장균군을 제거하고 저장된 수량은 도로인접 도로청소수로 이용하여 비산먼지 저감에 기여하는 것으로 판단된다.

비산먼지 저감량은 약 20%, 오염물질 삭감량은 BOD 부하량 기준 약2.5Kg인 것으로 파악되었다. 향후 도로청소 등으로 BOD 등 오염물질의 삭감부하량 혜택을 받을 수 있도록 대기·수질오염총량제도를 보완하여야 할 것이다.

Table 4.24. Distribution chart of treated water quality than average rainfall

(단위 : mg/ l)

구분	BOD	COD	SS	T-N	T-P	대장균군
6mm	5.3	10.0	34.5	2.7	0.2	73.6
8.5mm	6.7	8.6	12	1.8	1.1	-
16mm	4.3	9.2	13	2.5	0.3	63.4
20mm	4.9	9.7	31.7	3.7	0.7	60
25.4mm	4.2	9.6	33.4	2.6	0.3	65.4
32mm	3.7	6.6	20.9	2.3	0.3	57.4
평균	4.9	9.0	24.3	2.6	0.5	64.0
재이용수 기준	10 이하	-	6 이하	-	-	불검출

4.3 모니터링 결과 종합 평가

4.3.1 수질 모니터링 분야

각 지점별 유입수 대비 처리 수질 농도는 Table 4.25에 나타낸 바와 같이 유기 물질인 BOD는 합류식 관거 구조로 되어 있어 생활하수와 비점오염원이 유입되는 곤지암교, 목현천하류, 별원천 지점이 높게 나타났고, 탄별초교지점과 화신중기는 비교적 낮은 농도로 유입되는 것으로 나타났다.

COD는 도로 및 주택가 주오염원인 그린파크와 곤지암교, 별원천 등이 높게 나타났으며, 화신중기가 BOD와 동일하게 낮게 유입되는 것으로 나타났다.

SS 항목은 임야와 도로 및 주택가 이루어진 탄별초교지점과 그린파크가 높게 유입되었고, 영양염류 물질인 T-N, T-P 항목은 BOD항목과 동일하게 목현천 하류와 곤지암교가 높게 유입되고 있으며, 주거지가 밀집된 도심을 경유하는 별원천은 T-N 항목이 높게 유입되는 것으로 나타났다.

Table 4.25. Inlet and effluent concentration in each sites

(단위 : mg/ℓ)

지점	유입수					방류수				
	BOD	COD	SS	T-N	T-P	BOD	COD	SS	T-N	T-P
탄별초교지점	7.5	19.9	200.7	5.992	0.400	1.9	7.5	26.0	3.945	0.145
그린파크	11.3	27.4	322.2	4.792	0.606	4.0	8.9	40.1	2.517	0.129
목현천하류	14.2	18.3	126.7	8.489	0.674	5.9	7.7	34.0	6.582	0.315
곤지암교	16.8	22.8	198.4	7.025	0.788	5.5	9.8	71.5	3.910	0.288
화신중기	8.6	12.2	57.8	3.730	0.277	3.6	6.3	22.0	2.593	0.144
별원천	13.2	21.1	81.6	8.618	0.677	2.5	6.3	9.4	4.591	0.245

각 지점별 오염물질별 설계효율과 처리 효율을 Table 4.26에 나타낸 바와 같이 또한, 처리효율 분석 결과 전 지점 설계효율보다 처리효율이 높게 나타났으며, 장치형 시설보다 자연형 시설인 벌원천 지점 효율이 높은 것으로 조사되었다.

장치형 시설 중에서는 그린파크 지점에서 비교적 높은 효율을 나타냈으며, 목현천 하류와 화신중기가 낮은 효율을 나타내었다.

항목별 분석결과 SS > BOD > COD > T-P > T-N 순으로 조사되었다.

Table 4.26. Result of mean treatment efficiency in each sites

(단위 : %)

지점	BOD		COD		SS		T-N		T-P	
	설계 효율	처리 효율	설계 효율	처리 효율	설계 효율	처리 효율	설계 효율	처리 효율	설계 효율	처리 효율
탄벌초교지점	60	74.7	30	62.3	70	87.0	20	34.3	20	63.8
그린파크	60	64.6	30	67.5	70	87.6	20	47.5	20	78.7
목현천하류	30	58.5	30	57.9	50	73.2	10	22.5	20	53.3
곤지암교	30	67.3	30	57.0	50	64.0	10	44.0	20	63.5
화신중기	30	58.1	30	48.4	50	61.9	10	30.5	20	48.0
벌원천	60	81.7	30	70.1	70	88.5	20	46.7	20	63.3

4.3.2 연평균 삭감 부하량 산정

각 지점별 삭감 부하량은 Table 4.27에 나타난 바와 같이 광주시 2단계 수질오염총량관리계획 내 비점오염저감시설 6개 지점 총 연평균 삭감계획량 목표는 BOD 항목 4.3kg/day이며, 시행 결과 6개 지점 연평균 삭감량은 6.8256kg/day로 목표치보다 158.7% 높게 나타났다.

지점별 삭감부하량 값을 살펴보면 연속처리시설인 벌원천 지점이 대부분의 연평균 삭감부하량 값을 나타냈다. 이는 벌원천 지점의 유입량이 많고, 365일 일정하게 하천수가 유입되는 것이 원인인 것으로 판단된다.

년 평균 삭감부하량은 연속처리시설인 벌원천을 제외하고 BOD는 합류식관거 형태인 곤지암교, 목현천하류가 높게 나타났고, 탄벌초교지점과 그린파크가 낮게 나타났다. COD는 곤지암교와 탄벌초교지점이 높게 나타났으며, 그린파크가 가장 낮은 연평균 삭감부하량이 나타났다. SS 항목은 시가지 및 임야에서 강우 시 발생하는 유출수가 주요오염원인 탄벌초교지점이 가장 높게 나타났으며, 화신중기가 낮게 나타났다. T-N과 T-P 항목은 연평균 삭감부하량은 곤지암교가 높게 나타났으며, 그린파크가 낮게 나타났다. 그린파크의 경우 농도 값은 높게 측정되었으나, 시설용량이 작아 연평균 삭감부하량이 낮게 나타났다.

Table 4.27. Reduction flux of rainfall treatment facilities in each sites mean annual

(단위 : kg/day)

구 분	BOD	COD	SS	T-N	T-P
총 계	0.0276	0.0389	0.4309	0.0073	0.0012
탄벌초교지점	0.0038	0.0100	0.1525	0.0013	0.0002
그린파크	0.0015	0.0035	0.0622	0.0004	0.0001
목현천하류	0.0046	0.0056	0.0524	0.0012	0.0002
곤지암교	0.0103	0.0112	0.1170	0.0028	0.0005
화신중기	0.0074	0.0086	0.0468	0.0016	0.0002
벌원천	6.798	8.197	43.143	1.895	0.265

각 지점별 오염농도별 연평균 삭감 부하량을 Fig. 4.38에 나타내었다.

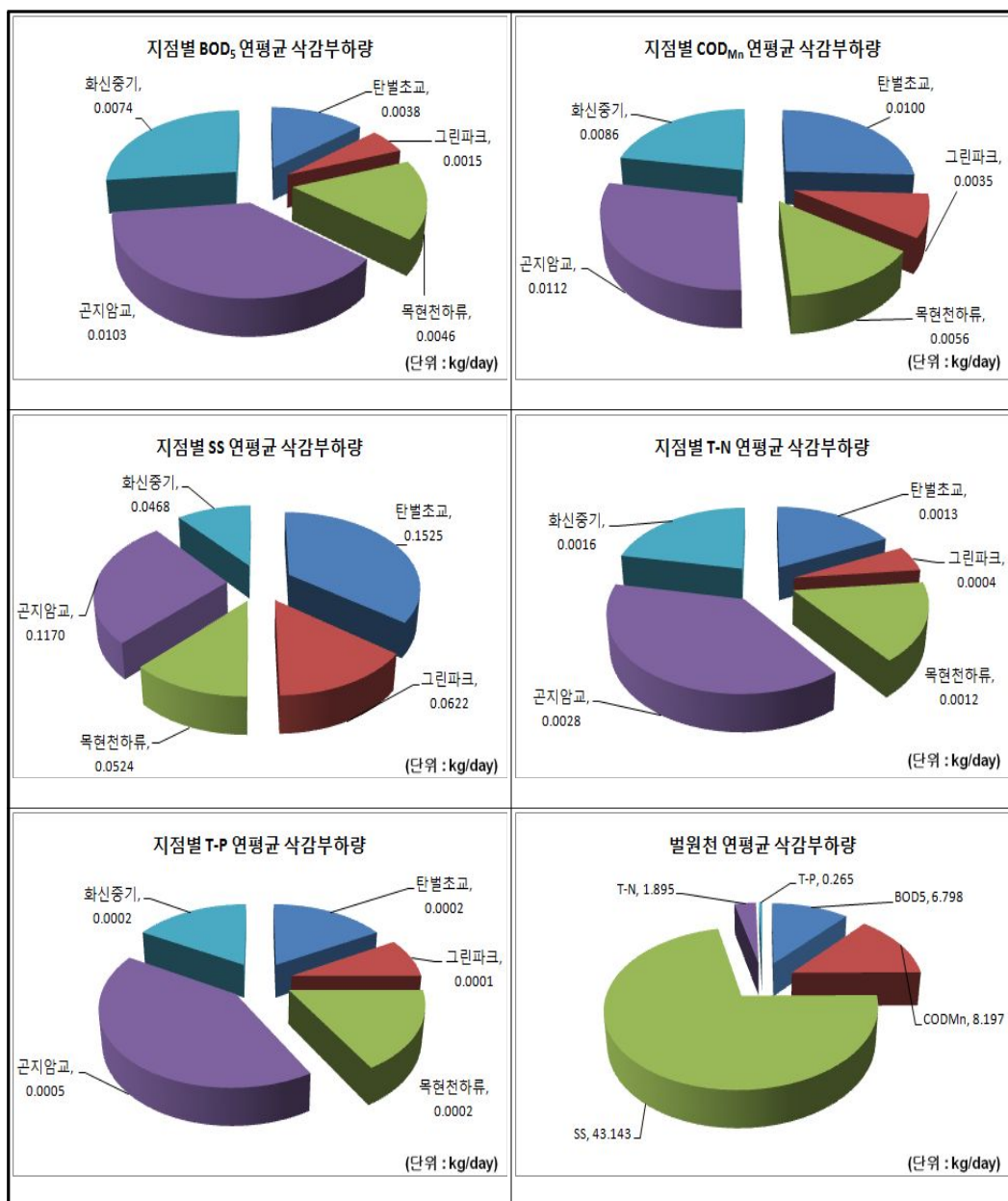


Fig. 4.38. Reduction flux of rainfall treatment facilities in each item mean annual.

4.3.3 저감시설별 처리효율

장치형과 자연형 저감시설의 오염농도별 처리효율 Table. 4.28에 나타낸 바와 같이 자연형 시설이 장치형 시설보다 일반 항목은 약 5% 처리효율이 앞서고 영양염류의 경우에는 약 10%이상 처리효율이 높게 나타났다. 영양염류의 처리효율을 비교한 결과 자연형 시설에서 T-N과 T-P의 처리효율이 장치형 시설보다 높은 이유는 질소와 인 성분이 주변 식물과 처리수조의 미생물 활동으로 인한 탈질과 응집 침전의 효과로 판단된다.

장지동에 설치한 자연형 시설은 Table 4.28에서 보는 것과 같이 Storm Sys와 Storm Filter로 구분되어 처리효율을 비교하였으나 별다른 차이가 없는 것으로 드러났다.

장치형 4개 시설은 CDS-MFS와 HDS-FSF로 구분하였는데 두 장치형 시설의 처리효율을 파악해본 결과 탄별초교지점과 그린파크에 설치한 CDS-MFS는 유기물의 경우 67~81%이며, 영양염류는 48~52%를 나타냈다. 목현천, 곤지암교 화신중기에 설치한 HDS-FSF의 처리효율은 유기물의 경우 62~83%이고 영양염류는 30~50%로 나타났다. 두 시설을 비교한 결과 CDS-MFS과 HDS-FSF의 처리효율은 큰 변동 없어 보이나 CDS-MFS가 유기물은 2~10%, 영양염류는 4~18% 높게 나타났다.

CDS-MFS는 주택가와 도로 주변에 시설을 설치한 관계로 초기강우의 오염물질의 농도가 상대적으로 낮게 유입되는 등 이유로 처리효율이 높게 나타난 것으로 판단된다.

Table 4.28. Treatment efficiency of Pollutant concentration in equipment form and natural form treatment efficiency

(단위 : %)

구분		BOD	COD	SS	T-N	T-P
장치형 시설	CDS-MFS	77.09	67	81.8	48.7	54.2
	HDS-FSF	67.1	62.7	83.4	30.4	50.5
평균		72.1	64.85	82.6	39.55	52.35
자연형 시설	Storm Sys	80.9	77.6	92.2	51.8	66.9
	Storm Filter	80.9	79.3	87.9	59.8	67.8
평균		80.9	78.45	90.05	55.8	67.35

4.3.4 강우별 유입수질

강우량 대비 평균 유입수질 분포도는 Table 4.29에 나타낸 바와 같이 초기강우에 의한 BOD, SS는 6mm, 8.5mm에서 낮아지다가 16mm(80%강우)에 이르러 최고농도를 기록하고 있다, 그리고 오염농도가 20mm에 이르러 차츰 감소하다가 25.4mm를 기점으로 점차 낮아지다가 32mm의 초기강우가 될 때에는 최저농도를 보여주고 있다. 그 결과 20mm의 80% 강우량인 16mm에 이르러 최고 농도에 달해 20mm와 16mm의 평균값인 18mm(90%강우)값을 적용함이 합리적이라 판단된다.(Fig. 4.19, 식2.1)

하수처리수 재이용 가이드북(2007, 환경부)에서 제시한 내용과 같이 강우처리시설의 처리수를 재이용한다면 초기강우도 연평균강우량을 기준으로 산정하여 처리시설을 설치한다. 그리고 장치형 또는 자연형 처리시설을 통하여 소독 처리된 방류수를 도로청소용, 조경용, 하천유지수 등으로 활용하는 것이 바람직하다.

Table 4.29. Distribution chart of average influent water quality than rainfall

(단위 : mg/ℓ)

강우량	BOD	COD	SS	T-N	T-P	대장균군
6mm	25.9	42.8	303.9	4.4	0.5	76.6
8.5mm	27.1	41.8	233.1	4	2.2	-
16mm	49.4	77.3	406.4	4.7	2.1	67.4
20mm	35.4	50.1	232.6	6.1	1.8	66
25.4mm	12.5	20.5	79.8	6	0.5	68.3
32mm	10	15.6	205.3	4.1	0.7	60.4
평균	26.7	41.4	243.5	4.9	1.3	67.7

V. 결 론

수질오염 총량제를 시행하는 경기도 광주시의 비점오염원저감시설 운영과 합리적인 정책적 방향을 위한 삭감오염부하량 산정과 처리시설의 적합성 여부를 평가하고 강우량 변동에 따른 오염물질 제거효율과 유기물, 영양염류, 중금속, 대장균군을 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 비점오염원 처리시설의 처리효율 분석 결과 모든 지점이 설계효율보다 처리효율이 평균 8% 높게 나타났다.
- 2) 자연형시설과 장치형시설의 처리효율을 모니터링한 결과 자연형시설→CDS-MFS→HDS-FSF순으로 조사되었다.
- 3) BOD는 곤지암교, 목현천하류, 벌원천 지점이 높게 나타났고, 탄벌초교지점과 화신중기는 낮은 농도로 유입되는 것으로 나타났다.
COD는 그린파크와 곤지암교, 벌원천 등이 높게 나타났으며, 화신중기가 낮게 유입되는 것으로 나타났다.
SS는 탄벌초교지점과 그린파크가 높게 유입되었고, 영양염류 물질인 T-N, T-P는 목현천 하류와 곤지암교가 높게 유입되고, 벌원천은 T-N 항목이 높게 유입되는 것으로 파악되었다.
중금속의 경우 누적강우량이 20mm이하에서 유입수질과 방류수질 중 Cu, Pb, Zn이 0.1 mg/L정도 검출되었다.
- 4) 광주시의 2단계 수질오염총량관리계획 내 비점오염원저감시설 6개 지점 년 평균 삭감량은 BOD 기준 6.8256kg/day로서 목표치(4.3kg/day)보다 높게 나타났다.
현행규정에서는 BODkg/day를 적용하지만 향후에는 COD, SS, T-N, T-P로 확대 적용할 필요성이 제기되었다.

- 5) BOD의 년 평균 삭감부하량은 연속처리시설인 벌원천을 제외하고 곤지암교, 목현천하류가 높게 나타났고, 탄벌초교지점과 그린파크가 낮게 나타났다. COD는 곤지암교와 탄벌초교지점이 높게 나타났으며, 그린파크가 가장 낮은 연평균 삭감부하량이 나타났다.
- SS는 탄벌초교지점이 가장 높게 나타났으며, 화신중기가 낮게 나타났다. T-N과 T-P는 년 평균 삭감부하량은 곤지암교가 높게 나타났으며, 그린파크가 낮게 나타났다.
- 6) 대장균군수를 검사한 결과 각 지점별로 40~120마리/100ml 검출되어 재이용수로 부적합한 바 대장균군 소독시설을 설치해야 할 것이다.
- 하수도법에서 중수도와 재이용수를 분리 규정하여 관리하고 있는데 민원인들의 혼돈이 우려되므로 관련 규정을 통합관리 할 필요성이 제기되었다.
- 7) 장치형 시설의 여재교체 시기는 BOD제거효율이 40~60%기준이하 일 때 1차 물로 세척하고 2회 초과할 경우 교체하며 약 6개월 주기가 적정한 것으로 파악되었다.
- 8) 2010년도 강우량 대비 오염물질을 측정된 결과 도시지역의 비점오염원 초기강우 산정 확률은 90% 강우량으로 상향 조정할 필요성이 제기되었다.
- 초기강우의 오염물질제거는 약 3시간 소요되므로 처리시설규모결정시 이를 감안하여 설계하는 것이 효율적이라 판단된다.
- 9) 살수 차량으로 도로먼지를 청소할 경우 BOD기준 삭감부하량 약8.6%로 파악된 바 대기·수질오염총량제를 시행하는 지역에서 이를 삭감부하량으로 인정하도록 해야 할 것이다.

REFERENCES

1. 환경부, 2006년~2015년, 물환경관리 기본계획4대강 대권역 수질보전 기본계획
2. 환경부, 2007, 수질 및 수생태 보전에 관한 법률
3. 환경부, 2008, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영매뉴얼
4. 환경부, 2006, 비점오염원관리 업무편람
5. 한국환경정책·평가연구원, 2002, 비점오염원 유출저감을 위한 우수 유출수 관리 방안
6. 한국환경정책·평가연구원, 2002, 비점오염원 저감을 위한 관리방안
7. 한국환경정책·평가연구원, 2002, 비점오염원 저감을 위한 우수 유출수 관리방안
8. 국립환경과학원, 2007, 주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법 연구
9. 환경부, 2008, 제2단계 수계오염총량관리 기술지침
10. 서울시, 2002, 중랑천 비점오염원 관리대책 연구
11. 국립환경연구원, 1998, 하수도시설 개축 및 기능개선전략연구
12. 한국수자원학회, 2005, 하천설계기준·해설
13. 환경부, 2006, 한강수계 오염총량관리계획 이행평가지침
14. 서울시정개발연구원, 2008, 시민적 수요에 부응한 하천유지용수 확보 및 공급 방안 연구
15. 환경부, 2007, 하수처리수 재이용 가이드북
16. 고광백외 11인, 『폐수처리공학II』 동화기술 2004, pp. 1506~1524.
17. 강두기, 2007, 통합유역관리를 위한 수환경모형 구축기법 개발 및 오염총량관리에의 적용, 부산대학교
18. 김이형, 2005, 포장지역에서 유출되는 비점오염물질의 EMCs 및 초기강우기준 산정, 성균관대학교
19. 백도현, 2005, GIS를 활용한 유역통합수질모형의 개발 및 도시지역 비점오염원의 관리방안
20. 신현석, 윤용남, 1993, 도시 소유역에서의 유출과 비점오염물 배출간의 상관관계 수립에 의한 NPS오염물 배출량의 산정, 한국수문학회지, Vol. 26, No. 4, pp. 58~95
21. 신현석, 윤용남, 1993, SWIMM모형을 이용한 도시 유역의 유출 및 NPS 오염물

- 배출 모의, 한국수자원학회지, 26, No. 3, pp. 125~135
22. 신현석, 윤용남, 1993, 도시 소유역에서의 유출과 비점오염물 배출간의 상관관계 수립에 의한 NPS오염물 배출량의 산정, 한국수문학회지, Vol. 26, No. 4, pp. 85~95
 23. 신현석, 서봉철, 2001, PCSWMM과 GIS를 이용한 도시 CSO유출 해석연구, 한국수자원학회 학술발표회 논문집(I), pp. 321~326
 24. 신창민, 최지용, 박철취, 2004, 도시지역에서의 토지이용별 비점오염물질 유출특성, 대한환경공학회지, pp. 729~735
 25. 임봉수, 이병헌, 최의소, 1984, 도시와 농촌에서의 비점원 오염물 배출양상에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 4(2), pp. 46~53
 26. 이주광, 2007, 고속도로 비점오염원 특성과 적정처리 방안에 관한 연구
 27. 한국도로공사, 2008, 고속도로 수질오염처리시범시설 모니터링 용역
 28. 한국수자원공사, 1998, 중수도 시스템 및 적용방안 연구
 29. 인천대학교, 2008, 도로 내 비산먼지저감 시범사업 타당성조사 연구
 30. 수원시, 2009, 비점오염원관리 기본계획수립 및 저감사업 타당성 조사연구보고서
 31. 국토해양부, 2010, 4대강 살리기 사업에 따른 비점오염원 관리방안 연구 pp. 4-49 ~ 69, PP. 7-1 ~ 7-8.
 32. 국립환경과학원, 2009, 비점오염원 제어를 위한 관리방안
 33. 한국관리공단, 2009, 도시지역 비점오염원 제도화 사업 타당성 조사보고서
 34. Aronson, G., D. Watson, and W. Pisaro, 1983, Evaluation of Catch Basin Performance for Urban Stormwater Pollution Control. EPA-600/2-83-043
 35. International Erosion control Association 2002
 36. Water Environment Federation 1993
 37. Anord, C. and J. Gibbons, 1996, Impervious Surface Coverage: The emergence of a key, Environmental Indicator, Journal of the American Planning Association 62
 38. Andres Duany and Emily Talen, 2002, "Making the good wasy : the smart code alternative," Fordham Urban Law Journal : 1445 ~ 1468.
 39. Avolio, C.M, 2003, The local impacts of road crossings on Puget Lowland

- creeks. Master's thesis, University of Washington, Seattle.
40. Balouse, J.D, 2003, Quantifying Decreases in Stormwater Runoff from Deep Tilling, Chisel Plowing, and Compost-Amendment. Dane County Land Conservation Department.
 41. Booth D.B, Hartley,D, and Jackson, R. 2002, Forest cover, impervious-surface area, and the mitigation of stormwater impacts. Journal of the American Water Resources Association, 38 : 835~845.
 42. Borgwardt, 1994, Expert Opinion. Hannover, Germany : University of Hannover, Institute for planning Green Space and for Landscape Architecture.
 43. Brattebo, B.O. and D.B Booth, 2003, Long-term stormwater quality performance of permeable pavement systems. Water Reserctch. 37:4369-4376.
 44. CASQA, January, 2003, California Stormwater BMP Handbook New Development and Redevelopment.
 45. 日本 環境省 国立公害研究所, 国立公害研究所 研究報告, 第 116号, 1998
 46. 日本 建設省 土木研究所, 河川の 汚染源に 關する調査 報告書, 1995
 47. 和田安彦, 菲特定汚染源負荷 とその降雨時流出 モデル, 水資源研究センター-研究報告, 1993
 48. 國松孝男 編著, 河川汚染 の モデル解析, 技報堂出版, 2002
 49. City of Olympia, 1995, Impervious surface Reduction Study : Final Report. Olympia, WA : Public Works Department. Water Resource Program.
 50. Environmental Law Institute (ELI), Washington, DC, 1997 Enforceable state Mechanisms for the Control of non-point Source Water Pollution. Environmental Law Institute Project.
 51. Karr, J.R, and E.W. Chu, Washington, DC, 1998, Restoring Life in Running Waters : Better Biological Monitoring. Island Press..
 52. Clausen and Gilbert, 2003, Annual Report Jordon Cove Urban Watershed Section 319 National Monitoring Program Project. Department of Natural Resources Management dan Engineering.
 53. Elicott city, MD, CWP(Center for watershed Protection), 2000, Basic

- concepts in watershed planning. In T.R Schueler and H.K Holland(Eds),
The Practice of Watershed Protection, (pp. 145–161).
54. Davis A.P, M. Shokouhian, H. Sharma, C. Minami, and D. Winogradoff,
2003. Water quality improvement through bioretention: Lead, copper, and
zinc removal. *Water Environment Research*, 75: 73–82.
 55. Davis, A.P, M. Shokouhian, H. Sharma, C. Minami, and D. Winogradoff,
1998, Optimization of Bioretention Design for Water Quality and
Hydrologic Characteristics. Final Report. (Project No. 01 - 4 -
31032). Landover, M.D: The Prince George's County Government, Department
of Environmental Resources. Birmingham, July 1999).
 56. Department of Defense, USA, 2004, Unified Facilities Criteria "Design :
Low Impact Development Manual"
 57. Dennis Jurries, PE. January 2003, Guidance for using Bioswales,
Vegetative Buffers, and Constructed Wetlands for reducing, minimizing,
or eliminating pollutant discharges to surface waters, DEQ Northwest
Region Document.
 58. Grant, G., Engleback, L., and Nicholson, B. 2003, Green Roofs: Their
Existing Status and Potential for Conserving Biodiversity in Urban
Areas. (Research Report No. 498). Northminster House, Peterborough PE1
1UA; English Nature.
 59. Hutchison D., P. Abrams, R. Retzlaff, T. Liptan. 2003. Stormwater
Monitoring Two Ecoroofs in Portland, Oregon, USA. Portland, OR:City of
Portland, Bureau of Environmental Services.
 60. May, W.W., R.R. Hornet, J.R. Karr, B.W. Mar and E.B. Welch. 1997, The
cumulative Effects of Urbanization on Urbanization on Small Streams in
the Puget Sound Lowland Eco-region Seattle. WA : University of
Washington.

저작물 이용 허락서

학 과	환경생명공학과	학 번	20087613	과 정	박사
성 명	한글: 배 철 호 한문 : 裴 喆 鎬 영문 : Bae, Chul-Ho				
주 소	서울 강남구 개포동 660-12 주공(아) 53동 312호				
연락처	010-9263-9861 E-mail : scoabcyz@hanmail.net				
논문제목	한글 : 도시지역 비점오염 특성과 강수이용에 관한 연구 -광주시를 중심으로- 영어 : A study on the characteristics of non-point source in the Urban an using precipitates -The Center of Gwangju city-				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(0) 반대()

2011 년 7 월 일

저작자 : 배 철 호 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하