



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](#)

2018年 8月

석사학위 논문

비점오염원 처리를 위한 3중층 ABS 여재의 여과 성능 실험 연구

조선대학교 대학원

토목공학과

정 현 식

비점오염원 처리를 위한 3중층 ABS

여재의 여과 성능 실험 연구

Experimental Study on the Filtration Performance of
Triple Layer ABS Filter for Non-point Source Water
Pollution

2018년 8월 24일

조선대학교 대학원

토목공학과

정 현 식

비점오염원 처리를 위한 3중층 ABS 여재의 여과 성능 실험 연구

지도교수 김 성 홍

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2018년 4월

조선대학교 대학원

토목공학과

정 현 식

정현식의 공학석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 김운중 (인)

위 원 조선대학교 교수 박정웅 (인)

위 원 조선대학교 교수 김성홍 (인)

2018년 5월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT

제 1 장 서 론	1
제 2 장 이론적 배경	3
2.1 비점오염원 정의	3
2.1.1 비점오염원의 지역별 원인	3
2.1.2 비점오염원의 종류 및 영향	5
2.2 비점오염원 저감시설	6
2.2.1 비점오염원 저감시설의 종류 및 특징	7
2.3 비점오염원 관리제도	15
2.3.1 국내 사례	16
2.3.2 국외 사례	18
2.4 여과형 시설의 여재 특성	24
2.4.1 비점오염물질별 여과재의 성능	24
2.4.2 여재의 흡착특성	26
2.4.3 여재장치의 효과적 여재 조건	28
제 3 장 실험장치 및 실험방법	29
3.1 실험 장치의 구성	29
3.1.1 여과장치의 구성	29

3.1.2	여재 재질 선정에 대한 3D프린터 필라멘트 특성	31
3.1.3	여재의 구성	32
3.1.4	여재의 물리적 특성	33
3.1.5	시료의 구성	34
3.2	실험방법	37
3.2.1	여재의 물리적 특성 실험	37
3.2.2	여과효율 실험	37
제 4 장	결과 및 고찰	38
4.1	황토 시료의 여과효율 분석	38
4.1.1	1중구 여과효율 분석	38
4.1.2	1중구 고농도 여과효율 분석	39
4.1.3	1중구 고농도 이 후 여과 효율 분석	40
4.1.4	1중구 매뉴얼 기준 SS농도 5분 단위 측정분석	41
4.1.5	3중구 여과효율 분석	43
4.2	연마사 시료의 여과효율 분석	44
4.2.1	1중구 여과효율 분석	44
4.2.2	3중구 여과효율 분석	45
4.2.3	3중구 고농도 여과효율 분석	46
4.2.4	여과 실험 후 여재에 대한 효율 분석결과	47
제 5 장	결 론	48
참 고 문 헌	50

표 목 차

표 2.1 비점오염원과 점오염원의 비교	3
표 2.2 비점오염원의 종류에 따른 환경에 미치는 영향(2016.2 환경부)	5
표 2.3 저영향개발 기술요소의 종류 및 특성	11
표 2.4 비점오염관리 종합대책(04~11)	15
표 2.5 4대강 대책의 주요 지표 (정부합동, 4대강 수계 물관리종합대책)	16
표 2.6 국내 설치 비점오염원 저감시설 현황	17
표 2.7 강우유출수 배출에 대한 NPDES 허가 규제대상	18
표 2.8 일본의 주요 비점오염원 관리대책	22
표 2.9 여과형 시설의 여재의 조건	24
표 2.10 Performance of filter media	25
표 2.11 물리적 흡착과 화학적 흡착의 비교	26
표 3.1 여과장치 규격	30
표 3.2 3D프린터 필라멘트 PLA와 ABS의 특징	31
표 3.3 ABS 여재의 물리적 특성	33
표 3.4 시료의 물리적 특성	34
표 3.5 비점오염원 저감시설의 시료 기준(2016.2 환경부)	34
표 4.1 1중구 60분 운전 여과 전 농도(황토 시료)	38
표 4.2 1중구 60분 운전 여과 후 농도	38
표 4.3 1중구 고농도 60분 운전 여과 전 농도(황토 시료)	39

표 4.4 1중구 고농도 60분 운전 여과 후 농도	40
표 4.5 1중구 고농도 이 후 매뉴얼 SS기준 여과전 농도(황토 시료)	41
표 4.6 1중구 고농도 이 후 매뉴얼 SS기준 여과 후 농도	41
표 4.7 1중구 처리 수 5분 기준 여과 전 농도(황토 시료)	42
표 4.8 1중구 처리 수 5분 기준 여과 후 농도	42
표 4.9 3중구 60분 운전 여과 전 농도(황토 시료)	43
표 4.10 3중구 60분 운전 여과 후 농도	43
표 4.11 1중구 60분 운전 여과 전 농도(연마사 시료)	44
표 4.12 1중구 60분 운전 여과 후 농도	44
표 4.13 3중구 60분 운전 여과 전 농도(연마사 시료)	45
표 4.14 3중구 60분 운전 여과 후 농도	45
표 4.15 3중구 고농도 60분 운전 여과 전 농도(연마사 시료)	46
표 4.16 3중구 고농도 60분 운전 여과 후 농도	46

그림 목 차

그림 2.1 자연형 비점오염원 저감시설(2014, 환경부)	7
그림 2.2 비점오염원 자연형 저류시설	8
그림 2.3 비점오염원 자연형 인공습지시설	9
그림 2.4 침투 및 저류지 혼합형 개념도	9
그림 2.5 비점오염원 장치형 여과시설	12
그림 2.6 비점오염원 장치형 와류시설	13
그림 2.7 비점오염원 장치형 스크린시설	14
그림 2.8 비점오염원 장치형 생물학적 처리시설	14
그림 2.9 아이오와주 Bear Creek에 조성된 수변림	19
그림 2.10 캘리포니아주 Ballona wetland	20
그림 2.11 Portland시 식생수로, 식생침투조, 투수성 포장도로.	21
그림 2.12 시가현 초기우수 저류시설	23
그림 2.13 요코하마시 CSO 저류시설	23
그림 3.1 Pilot-scale 장치 구성	29
그림 3.2 여과장치 상세도(단위 mm)	30
그림 3.3 3D프린터	32
그림 3.4 3D프린터로 출력한 3중구와 1중구(좌 카드 우 출력)	32
그림 3.5 3D프린터 프로그램 Cura를 이용한 여재 설계도면	33
그림 3.6 황토 시료와 연마사 시료	34
그림 3.7 황토의 입도분석결과	35

그림 3.8 연마사의 입도분석결과	36
그림 3.9 여재의 비중 및 공극률 실험	37
그림 4.1 1중구 60분 운전 여과 후 농도 및 제거율	39
그림 4.2 1중구 고농도 60분 여과 후 운전 농도 및 제거율	40
그림 4.3 1중구 고농도 이 후 매뉴얼 SS기준 여과 후 농도 및 제거율	41
그림 4.4 1중 처리 수 5분 기준 농도 및 제거율	42
그림 4.5 3중구 60분 운전 여과 후 농도 및 제거율	43
그림 4.6 1중구 60분 운전 여과 후 농도 및 제거율	44
그림 4.7 3중구 60분 운전 여과 후 농도 및 제거율	45
그림 4.8 3중구 고농도 60분 운전 여과 후 농도 및 제거율	46

ABSTRACT

An experimental study on the porosity shape filter in Non-point contamination facilities

Jeong, Hyeon Sik

Advisor : Prof. Kim, Sung Hong, Ph.D

Department of Civil Engineering

Graduate School of Chosun University

Until now, various methods have been investigated to reduce the number of point pollutants. In Korea, due to the increase of impermeable land and the unbalanced rainfall, non-point source of pollutants have been inflowed to water sources and streams. Therefore, the Environment Ministry of Korea revised the design manual for the facilities which is reduce the non-point contaminants.

Although there are many ways to reduce non-point contaminants, this study has been studied and tested a new filters. These filters were made by ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) and has sphere shape with many holes. The density of the ABS filter was 1.05, with 96% of porosity.

For the experiments, hundreds of 20mm one layer filter and 3 layer filter were made by using a 3D printer. Lab scale experiments were carried out by using a filtering unit of 75mm diameter. Filtering unit were filled with the single layer filter or triple layer filter. Filter depth was fixed in 600mm in accordance with the manual and the filtering velocity was 20m/hr.

Red clay and blasting sand were used as surrogates for artificial initial rainfall water solids. Particles less than 63mm was estimated over 99% in red sand and 91% in blasting sand. SS concentration of inflow was maintained with 150 - 350mg/L. In red sand experiments, SS removal rate of the single layer filter was measured as 52 to 56%. Meanwhile, triple layer filter showed about 10% more

removal rate than single layer filter.

SS removal rate was decreased as low as 35 - 48% when the inflow SS concentration increased as high as 690 - 990mg/L. In blasting sand experiments and in condition of normal SS concentration, SS removal rate was increased over 96% for the two experiments. SS removal rate was decreased to 90% while the inflow SS concentration increased as high as 1,200mg/L.

제 1 장 서 론

지금까지 우리나라의 오염물질 발생원의 저감 방안으로 점오염원(Point Source)을 중심으로 이루어졌다. 그러나 최근 우리나라의 이상기후 및 불균형적인 강우, 토지이용의 고도화로 인한 불투수층 면적 증가로 인해 비점오염원(Nonpoint Source)에서 오염물질이 상수원 또는 하천으로 상당량 유입되고 있기에 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

비점오염원 중에서도 산지에 비해 도시지역의 단위면적당 오염부하량이 상당히 높으며 기본 오염물질뿐만이 아닌 유독성 물질도 포함되어 있어 수질오염에 심각한 영향을 미친다. 또한 국지성 호우로 인해 강우 시 유량이 급격히 증가하여 합류식 하수도 시설을 갖춘 지역에서는 월류수로 인하여 심각한 수질오염 문제를 발생시키고 있다.

“팔당상수원 비점오염원 최적관리사업 기본계획 및 타당성조사수립”(‘99.4~2000.6) 결과, 팔당상수원유역 전체 오염량 중 비점오염원의 기여율이 발생량 기준으로 19.6% (배출량기준 44.5%) 정도로 추정된다(2000.12 환경부). 이에 환경부는 1998년부터 팔당호 등 한강수계 상수원 수질관리 특별종합대책을 수립하였으며, 2000년 팔당상수원 비점오염원 최적관리사업 기본 및 기본계획 타당성 조사사업을 실시하여 비점오염 저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼을 발간하여 본격적인 비점오염 저감사업을 추진하였다(2016.2 유희성).

이에 따라 환경부에서는 비점오염 저감시설의 설치 관리·운영 매뉴얼의 개정(2016.2)을 시행하여 세부적인 설계기준을 제시하였다. 그 중 장치형 시설 내 여과형 시설의 기준이 명확하게 제시됨으로써 그에 따른 여재의 물리적 특성도 자세히 제시되어 있다. 현재 이에 사용되는 점축 여재로서 활성탄, 제올라이트, 모래, 자갈, 기타 다양한 종류의 합성 세라믹 여재 등이 있다. 상기 활성탄, 제올라이트 등은 흡착 능력은 우수하지만, 고가의 제품으로 경제적 부담이 크다는 문제가 있고, 또한 그 제조 과정에서 발생하는 부산물과 폐 여재의 최종 처리 곤란 등으로 인하여 2차 오염의 환경적 문제를 야기한다는 단점이 있다. 상기 모래나 자갈은 오염물질의 흡착 능력이 떨어지고, 주로 여과 작용에 의존하므로 그 처리효율이 제한적이라는 단점이 있다.

그밖에 폐비닐, 폐타이어, 폐콘크리트 등 폐기물을 재활용하는 방법이나, 섬모상이나 부직포등을 적용하는 방법도 있는데, 이 방법들은 경제성 및 유지 관리 측면, 2차 환경

오염을 유발하는 측면으로부터 그 실질적인 적용은 어렵다.

한편, 자갈을 이용하는 방법 중 특히 자갈층 접촉 산화법이 있는데, 이는 자갈 충전층을 설치하고, 이에 부착된 생물막의 작용을 통해 유기물질의 산화 분해 및 부유물질의 포집을 가능하게 하여 오염 하천수를 정화하는 방법으로, 이 방법을 적용할 경우 하천에서 자연적으로 발생하는 침전, 흡착, 분해등의 정화 기능을 인위적으로 증가시킬 수 있다. 그러나 자갈을 여재로 사용하는 방법은, 생물막의 형성에 비교적 긴 시간이 필요하고, 환경변화에 의한 부착 미생물의 탈리 현상 발생이 빈번하며, 오염물질에 대한 흡착 능력도 낮다는 문제점이 있다.

따라서 본 연구는 개정된 매뉴얼에 기준하여 합성수지인 ABS(Acrylonitrile Butadiene, Styrene)재료를 이용하여 이에 적합한 여재의 형상부터 재질까지 연구하여 실제 비점 오염원 저감장치에 사용되는 여재에 적용 하는데 목적을 두고 있다.

제 2 장 이론적 배경

2.1 비점오염원 정의

비점오염원은 건기 시 다양한 토지표면에 축적된 오염물질(유기물, 영양염류, 중금속, 입자상 물질, 각종 유해 화학물질 등)과 토양의 침식, 흙덩이, 대기 중 오염물질, 용존성 오염물질, 인간의 활동에 의한 오염물질 등이 강우유출수와 함께 유출되어 수질 및 토양오염을 일으키는 배출원을 지칭한다. 또한 특정장소에서 유출되는 점오염원과 구별되며, 오염물질의 유출 및 배출경로가 명확하지 않아 차집이 어렵고, 발생량·배출량이 기상조건(강수량, 강우지속시간, 선행 무 강우일수, 최대 강우강도 등)과 유역특성(경사, 토양특성, 유역면적, 피복현황 등)에 의해 크게 좌우되기 때문에 관리에 불확실성이 높아 관리를 위해서는 전문적인 접근이 필요한 것으로 알려져 있다.

표 2.1 비점오염원과 점오염원의 비교

구 분	점오염원	비점오염원
배출원	<ul style="list-style-type: none"> · 생활하수, 공장폐수, · 축산폐수 등. 	<ul style="list-style-type: none"> · 대지, 도로, 논, 밭, 임야 · 대기 중의 오염물질 등
특 징	<ul style="list-style-type: none"> · 인위적인 특징 · 배출지점이 명확 · 관거를 통한 집중 배출 · 자연적인 요인에 영향을 적게 받아 연중 배출량의 차이가 일정 	<ul style="list-style-type: none"> · 인위적 및 자연적 특징 · 배출지점이 불명확 · 희석, 확산되면서 넓은 지역으로 배출 · 강우 등 자연적인 요인에 따른 배출량의 변화가 적다.

2.1.1 비점오염원의 지역별 원인

(1) 도시지역

도시지역의 수문현상은 강우에 매우 민감하며 강우가 있는 경우 유량은 급히 상승하고 강우가 종료되면 바로 감소하여 비강우시의 상황으로 빠르게 회복되는 것이 특징이

다. 합류식 하수도시설을 갖춘 도시는 오염물이 강우초기에 일시에 배출되는 First Flush 현상이 두드러져 우수 피크유출에 앞서 최대오염유출이 발생하여 하천에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 파악되며 도시지역에서의 합류식하수관거 월류수는 심각한 비점오염원 중의 하나로 조사되었다. 특히 우수토실내의 퇴적물과다 및 월류웨어 설치의 부실 등으로 인한 미처리 하수의 하천 유입현상이 두드러져 있으며 도시지역 비점오염원으로서 큰 역할을 하는 것은 쌓여있는 각종 퇴적물이며 이들 퇴적물은 일반적으로 유기성 부유오니, 수생 동식물의 사체, 기름, 중금속, 각종 도시폐기물, silt, 모래, 자갈 등으로 이루어져 있다.

(2) 산업지역

산업지역에서는 각종 생산 활동으로 인해 비점오염물질이 많이 발생하고 있다. 특히, 각종 유독성 오염물질을 함유하고 있는 경우도 있으며 현행 수질 및 수생태에 관한 법률 시행규칙에 명시된 비점오염원에 해당하는 시설로는 수산물 양식시설, 골프장시설, 운수장비정비 또는 폐차장시설, 농축수산물 가공시설, 사진처리시설, 금은판매점의 세공 시설이나 안경점 등 제한적으로 분류하고 있다.

(3) 농경지

논, 밭 등의 농지에서의 비점오염부하 원인이 되는 것은 종작물의 경작 시 발생하는 표토의 교란, 잡초 등 식생 제거 후 농작물이 뿌리를 내리기까지의 토양의 방치, 토양 개량을 위해 비료나 인분, 두엄 등의 토지살포, 농약살포, 농작물 수확 시 잉여 잔재물의 방치 등이 있다. 또한 목장지에서는 부적절한 방법에 의한 가축배설물의 처분 내지는 방치, 방목 및 가축사육장 설치로 인한 식생의 훼손, 하천인근의 소규모 축산농가(규제미만)에서의 축산폐수 방류 등이 있다.

(4) 산지

산지는 보통 안정되어 있지만 단기적으로는 집중호우와 임도의 개설 그리고 장기적으로는 벌목과 조림, 산불 등 산림의 생태계가 변하면 강우 시 비점오염원 유출에 의해 하천수질에 영향을 끼치는 것으로 알려져 있으며 산지에서의 비점오염원 유출과 관련 있는 인자중 벌목과 임도의 개설은 비점오염 발생 우려에 가장 큰 요인 중의 하나이다.

2.1.2 비점오염원의 종류 및 영향

비점오염물질은 비점오염원으로부터 배출되는 수질오염(수질 및 수생태계 보전에 관한 법률)에 의해 유출경로와 수질오염물질의 비슷한 경향을 고려하여 다음과 같이 8가지로 분류한다.

표 2.2 비점오염원의 종류에 따른 환경에 미치는 영향(2016.2 환경부)

종 류	영 향
토사 (Sediment)	<ul style="list-style-type: none"> · 영양물질, 금속, 탄화수소 등을 포함한 다른 오염물질들이 흡착되어 같이 이동한다. · 강우유출수의 많은 부분을 차지하는 오염물질로서 수생생물의 광합성, 호흡, 성장, 생식에 장애를 일으켜 치명적인 영향을 미친다.
영양물질 (Nutrients)	<ul style="list-style-type: none"> · 질소·인과 같은 물질은 비료로 사용되어, 빗물에 의해 유출, 조류의 성장을 촉진함으로써 하천·호소의 수질을 악화시킨다. · 주택 및 골프장의 잔디밭이나 농경지, 도시노면 및 하수도에서 유출되어 하천으로 유입된다.
박테리아와 바이러스 (Bacteria & Viruses)	<ul style="list-style-type: none"> · 동물의 배설물과 하수도에서 월류된 배출수에서 많이 검출된다. · 미국에서는 강우유출수에 포함된 고농도의 박테리아와 바이러스로 인하여 하천·호소가 오염되어 폐쇄의 원인이 된 사례가 있다.
기름과 그리스 (Oil & Grease)	<ul style="list-style-type: none"> · 적은 양으로도 수생 생물에 치명적이며, 누출이나 차량 전복 등 사고, 차량 세척, 폐기름의 무단 투기 과정에서 오염이 발생한다.
금속 (Metals)	<ul style="list-style-type: none"> · 납, 아연, 카드뮴, 구리, 니켈 등으로서, 도시지역 강우유출수에서 흔히 검출되는 물질이며, 하천으로 유입되는 총 금속 물질량 중 50%이상이 토사를 매개체로 하여 배출된다. · 금속물질은 수생태계에 치명적이며 생물농축이 일어나고 용수 오염의 가능성이 있으며 특별한 관리가 요구된다.

표 2.2 계속

종 류	영 향
유기물질 (Organics)	<ul style="list-style-type: none"> · 밭, 논, 산림, 주거지역 등 광범위한 장소에서 유출되며, 합류식 관거에서는 하수관거 바닥에 침전되어 있던 유기물질이 강우 시 일시에 배출된다. · 공업지역에서는 접착제, 세척제, 용제(溶劑) 등의 인공적인 유기 화합물이 광범위하게 사용되고, 부적절하게 저장되며 폐기되는 과정에서 발생한다.
농약 (Pesticides)	<ul style="list-style-type: none"> · 플랑크톤과 같은 수생생물에 축적되어 먹이사슬을 통해 생물 농축을 일으켜 어류와 조류에게는 치명적인 결과를 초래할 수 있다.
협잡물 (Gross Pollutants)	<ul style="list-style-type: none"> · 건축공사장 및 사업장 등에서 발생하는 쓰레기, 잔재물, 부유물등에는 중금속, 살충제, 박테리아 등이 포함될 수도 있다. · 낙엽이나 잔디를 깎은 잔재물, 동물의 배설물, 투기된 쓰레기 등은 박테리아, 바이러스 등을 하천·호소로 운반하는 매개체가 되며 용존산소를 감소시켜 어류 폐사의 원인이 될 수 있다.

2.2 비점오염원 저감시설

비점오염원 저감시설은 비점오염원으로부터 배출되는 수질오염물질을 제거하거나 감소하게 하는 시설을 말한다. 비점오염원 저감시설의 규모를 결정하는 기준은 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5mm 이상의 강우량을 처리할 수 있어야 하며, 누적유출고의 개념은 강우량에 유출계수의 개념을 고려한 것으로 강우량의 지하침투 및 증발산량을 제외한 실제 유출되는 양을 의미한다. 누적유출고에 배수면적을 곱하여 저감시설의 규모를 산정하는 방식은 저류시설에는 적용가능하나 장치형 시설 등 처리유량의 개념이 요구되는 시설에는 적용이 곤란하여 2014년 관련 매뉴얼 개정을 통해 수질처리유량(WQ_F)의 개념이 도입되었다.

강우유출수를 유량의 개념으로 연속적으로 처리하는 처리형 시설 등은 처리유량(m³/hr)으로 설계가 이루어지며, 수질처리유량(WQ_F)은 합리식을 이용하여 산정한다.

기준강우강도는 최근 10년 이상의 시강우자료를 활용하여 연간 누적발생빈도 80%에 해당하는 강우강도로 산정한다. 산정된 기준강우강도를 합리식에 적용하여 수질처리유량을 산정하며, 산정식은 다음 (2.1)과 같다.

$$WQ_F = C \times I \times A \times 10^{-3} \quad (2.1)$$

여기서, WQ_F : 수질처리유량(Water Quality Flow, m^3/hr)

C : 처리대상구역의 유출계수

I : 기준강우강도(mm/hr)

A : 처리대상구역의 면적(m^2)

2.2.1 비점오염원 저감시설의 종류 및 특징

비점오염 저감시설은 자연형 시설과 장치형 시설로 구분되며, 자연형 시설은 저류시설, 인공습지, 침투시설, 식생형 시설 등이며. 장치형 시설은 여과형 시설, 와류형 시설, 스크린형 시설, 응집·침전 처리형 시설, 생물학적 처리형 시설 등이다. 장치형 시설 중 여과형 시설, 와류형 시설, 스크린형 시설 등은 주로 전·후처리 시설로 적용 된다.

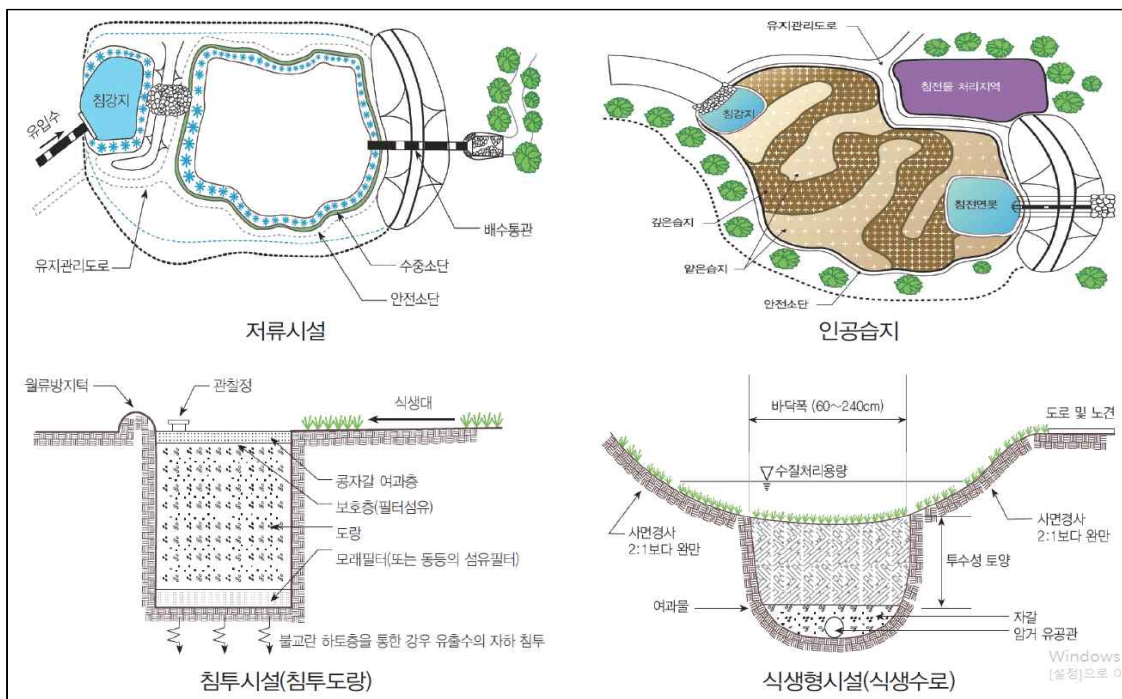


그림 2.1 자연형 비점오염원 저감시설(2014, 환경부)

(1) 자연형 저류시설

강우유출수를 저류하여 침전등에 의하여 비점오염물질을 줄이는 시설로 저류지·연못 등을 포함한다. 강우유출수의 수질과 수량 모두 조절하는 가장 저렴한 수단이며 재래의 홍수조절용 우수지 건설비에 10%정도만 더 소요한다. 기존의 우수지를 개선하여 사용가능 하며, 건식저류조 바닥은 위락용으로도 사용 가능하다. 허나 비교적 대규모의 토지를 필요로 하므로 토지비용이 고가인 지역에는 적용이 곤란하며 침전물이 제거되지 않을 경우 대규모 강우 시 침전물 재부상 우려가 있다. 또한 침전물 제거에 비교적 높은 비용이 소요하며 적절한 관리가 필요한 시설이다.



그림 2.2 비점오염원 자연형 저류시설

(2) 자연형 인공습지

침전, 여과, 흡착, 미생물 분해, 식생 식물에 의한 정화 등 자연상태의 습지가 보유하고 있는 정화능력을 인위적으로 향상시켜 비점오염물질을 줄이는 시설을 말한다. 인공습지는 일반적으로 도랑시스템보다 설치비용이 저렴하며 습지는 자연경관개선의 효과를 가진다. 이러한 특징 때문에 도랑시스템보다 더 많은 관리가 필요하며 도로 옆 습지는 제설과 도로 밖 주차로 인한 손상이 있을 수 있다. 또한 습지 옆의 도로는 가로등이 필요하며 보도 시스템으로는 부적합하다. 배수성이 열악한 토양지역, 과도한 경사지역, 또는 중력식 배출구를 설치하지 못할 경우 등에는 설치불가 하며 모기 등 해충 발생 가능성이 높다.



그림 2.3 비점오염원 자연형 인공습지시설

(3) 자연형 침투시설

강우유출수를 지하로 침투시켜 토양의 여과·흡착 작용에 따라 비점오염물질을 줄이는 시설로서 유공포장, 침투조, 침투저류지, 침투도랑 등을 포함한다. 도랑은 필요한 유량이나 월류 빈도를 감소시키기 위해 강우유출수하수거 시스템의 설계에 포함 시킬 수 있으며 지역의 범람을 감소시키고 자연적 배수시스템, 지하수를 충전, 수리학적으로 침투보다 빠르게 기능한다. 하지만 부적절한 설계, 오염물질 부하, 관리에 의한 실패율이 높으며 빈도 높은 관리가 필요하다 또 관리상 어려움을 증가시키는 침전물에 의해 막힘의 우려가 있으며 희석과 생물학적 분해 같은 유용한 토양용량보다는 소규모 지역내 강우유출수에 의한 오염 물질에 초점을 두어야 한다.

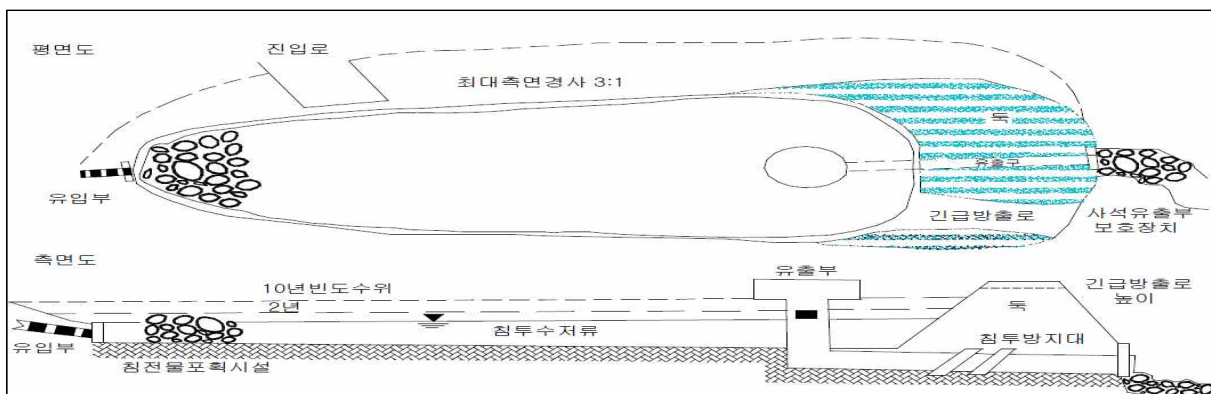


그림 2.4 침투 및 저류지 혼합형 개념도

(4) 저영향 개발 (LID, Low Impact Development)기법 시설

저영향개발은 지역, 기관 등에 따라 매우 다양하게 제시되고 있으나 개발로 인해 변화되는 수문특성을 개발전과 최대한 유사하도록 하는 것을 공통된 목적으로 제시하고 있다. 국내의 사례를 보면 “자연에 미치는 영향을 최소로 하여 개발하는 것”(국립환경과학원, 2012), “홍수 및 수질오염 저감을 위한 우수의 침투, 저류, 물순환 체계를 고려한 토지이용 계획기법”(국토교통부, 2012, “자연이 지닌 물순환 체계를 유지함으로써 강우 시 해당 지역이 받는 영향을 최소화하고자 하는 것”(최희선 등, 2010), 개발 이전 수문학적 체계의 유지와 향상을 위한 광범위한 토지 계획 및 공학적 설계를 고려하는 방식이며, 발생원에서 가까운 곳에서 빗물을 관리함으로써 지표유출과 오염부하를 줄이기 위해 설계된 일련의 시설들과 그 관리방법(토지주택연구원, 2010) 등으로 정의하고 있다. 그 외 국외 사례를 보면, 미국 환경 보호청(U.S EPA, 2007)은 도시화로 인해 변화되는 수문특성 때문에 발생하는 문제점들에 대해 지역 내의 수문학적 기능을 도시화 이전의 수문특성과 같게 보존하는 계획과 설계의 접근 방법으로 정의하고 있다. 미국 주택·도시개발청(U.S. Department of HUD, 2003)은 다양한 전략설정과 더불어 우수 유출 발생 단계에서 고려할 수 있도록 토지이용계획에 기술요소들을 포함시킴으로써 강우유출수를 분산식으로 관리하는 접근방법으로 정의하고 있다. 이는 도시지역이 자연 상태와 유사한 물순환 체계를 갖출 수 있도록 하는 접근 방법으로, 기존의 최적 관리기법(BMPs)적용뿐만 아니라 도시지역 토지이용계획 수립시 물순환을 고려한 강우유출수 관리체계로 정의하고 있다.

저영향개발 기법의 시설은 비점오염을 저감함과 더불어 수질 및 수생태계 건강성 향상, 도시 침수 및 열섬현상 완화, 도시경관 개선 등의 다양한 효과를 가진다. 저영향개발(LID, Low Impact Development)기법의 총 11가지 기술요소를 환경부에서 “건강한 물순환 체계 구축을 위한 저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인”으로 제시하고 있다. (최진홍, 2017)

표 2.3 저영향개발 기술요소의 종류 및 특성

기술요소	저류기능	여과기능	침투기능	증발산	생태서식처	지하수함량	심미성	적용성	
								단지	도로
식생체류지 (Bioretention)	√	√	√	√	√	√	√	●	●
옥상녹화 (Greenroof)	√	√		√	√		√	●	-
나무여과상자 (Treeboxfilter)		√	√			√	√	●	●
식물재배화분 (Planter box)		√	√	√	√	√	√	●	○
식생수로 (Bioswale)	√	√	√	√	√	√	√	●	●
식생여과대 (Bioslope)		√	√	√	√		√	○	●
침투도랑 (Infiltration trench)	√	√	√	√		√	√	●	●
침투통 (Dry wells)	√	√	√			√		●	○
투수성포장 (Porous pavement)		√	√	√		√		●	○
모래여과장치 (Sandfilter)		√	√			√		○	△
빗물통 (Rain barrel)	√							●	-

(5) 장치형 여과시설

강우유출수를 집수조 등에서 모은 후 모래·토양 등의 여과재를 통하여 걸러 비점오염물질을 줄이는 시설을 말한다. 부유성 고형물과 고형물에 부착된 오염물질을 제거 가능하며 모래뿐만 아니라 다양한 여재 적용이 가능하다. 또한 박테리아 및 조류제거에도 효과적이며 다양한 형식으로 설치할 수 있다. 그러나 대규모 배수지역에서는 부적합 하며 여층 관리가 처리효율에 직접적인 영향을 주므로 정기적인 여층 삭취 및 교체가 요구된다. 유입부에 전처리 시설이 요구되며 설치장소에 제약을 받으며, 불투수성 지역에서만 적용이 가능하다.

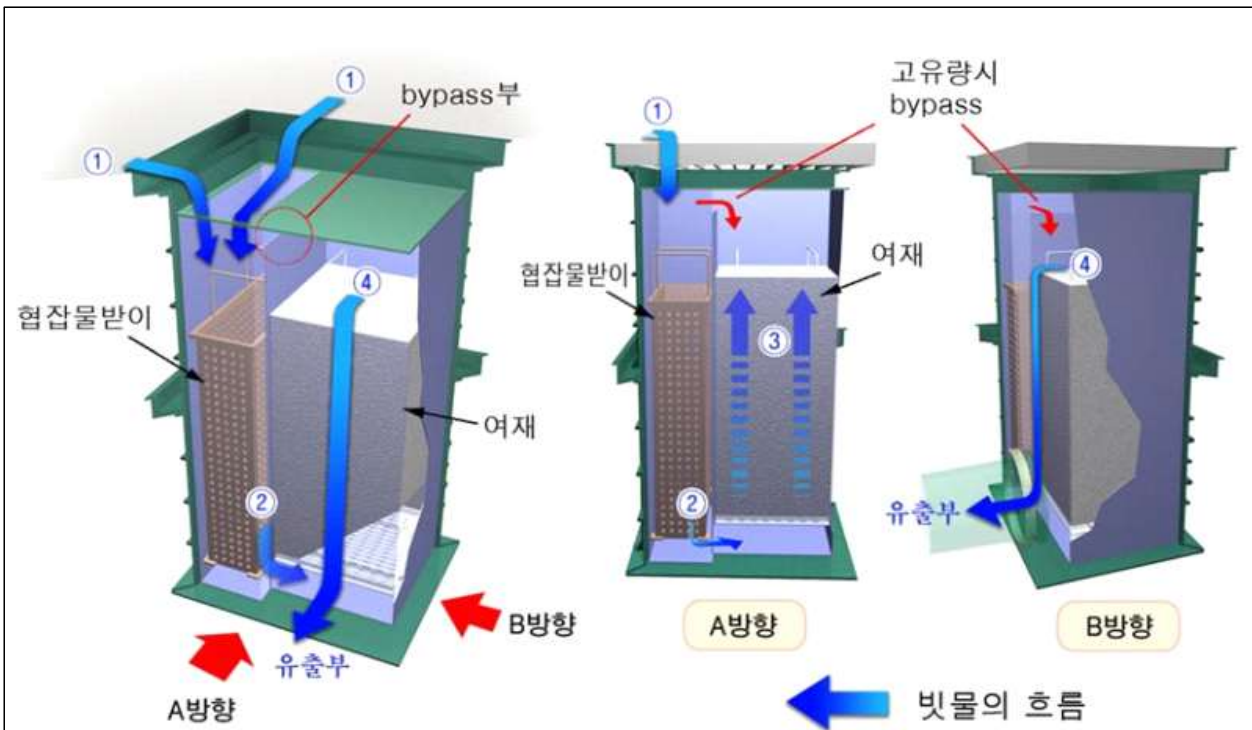


그림 2.5 비점오염원 장치형 여과시설

(6) 장치형 와류시설

중양회전로의 움직임으로 와류가 형성되어 기름·그리스 등 부유성 물질은 상부로 부상시키고, 침전 가능한 토사, 협잡물은 하부로 침전·분리시켜 비점오염물질을 줄이는 시설을 말한다. 움직이는 부분은 없지만 중양회전로-웨어-방류수로로 구성되며, 오수가 내부로 이동하는 동안에 흐름이 규제되고, 이때 형성된 소용돌이에 의해 고액이 분리되는 시설로써 합류식 하수거의 월류수 처리에 주로 이용된다. 월류수가 유입되면

부유성 물질은 상부에서 무거운 고체는 바닥에서 각각 분리 및 포획되고, 오염물이 제거된 유투수는 공공수역으로 배출된다.

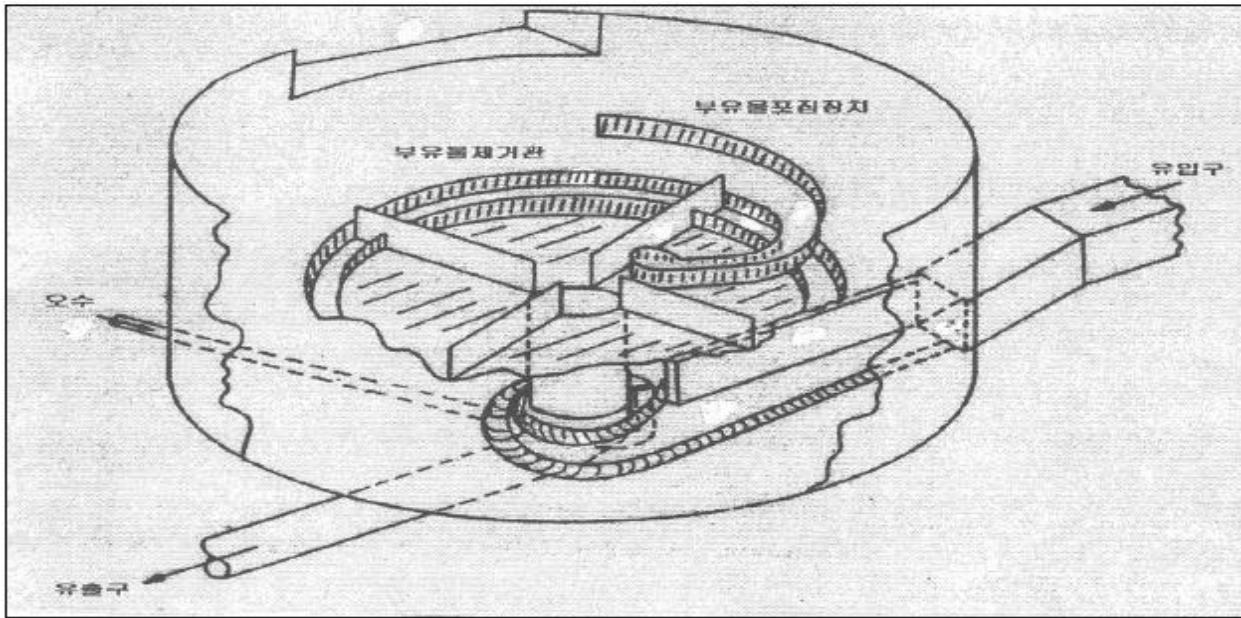


그림 2.6 비점오염원 장치형 와류시설

(7) 장치형 스크린시설

망의 여과·분리 작용으로 비교적 큰 부유물이나 쓰레기 등을 제거하는 시설로서 주로 전 처리에 사용하는 시설을 말한다. 비교적 큰 부유물이나 쓰레기 등을 제거하기 위해 주로 전 처리에 사용되는 방법이나, 최근에는 Microstrainers 등이 있다. 특히 Microstrainers는 진흙과 같은 아주 작은 입자제거에도 효과적이다. 이 방법은 일반적으로 다른 공정의 부유성 폐기물을 제거하는 일차처리로 사용된다. Bar racks은 매우 큰 체망을 가지고 Microstrainers는 작은 체망을 가지고 있다. 스크린은 부유물질의 제거에 가장 효과적이고 크기에 따라 부유 고형물도 제거할 수 있으며, 이 시설들을 정기적으로 고형물을 제거해 주어야 한다.(2002, 한국환경정책·평가연구원)



그림 2.7 비점오염원 장치형 스크린시설

(8) 장치형 생물학적 처리시설

전처리시설에서 토사 및 협잡물 등을 제거한 후 미생물에 의하여 콜로이드성, 용존성 유기물질을 제거하는 시설을 말한다. 모래층 하부의 자갈층은 미생물의 부착재로 작용하여 유기물질이 포함된 물이 자갈표면으로 흐르면 생물막이 형성되며, 생물막은 주로 부착세균과 부유세균이 분비한 고분자 섬유질로 구성된다. 얇은 하천에 있는 세균의 90% 이상이 생물막을 형성하고 이들 세균은 부착성이 있고 서로 얽혀서 Glycocalyx 라는 세포물질을 형성하며 기질을 분해 및 섭취하는 기능이 있다.

세포막의 표면은 전해질이고 흡착성이 강하며, 생물막의 두께는 2~3mm도 있지만 난류상태로 흐르는 물에서는 대체로 1,000 μ m미만이고 그 중에서도 유효두께의 최대치는 200 μ m전후 이다.

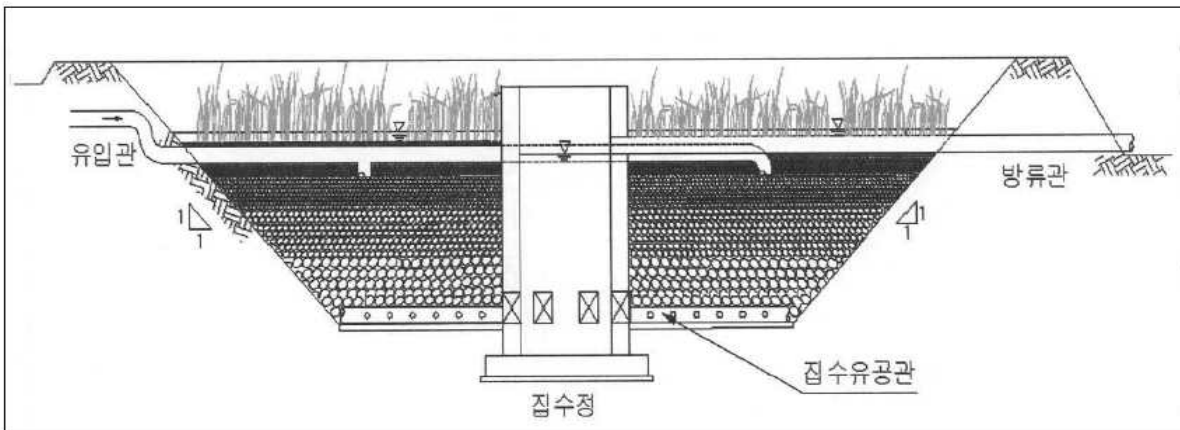


그림 2.8 비점오염원 장치형 생물학적 처리시설

2.3 비점오염원 관리제도

2002년 10월 환경부에서는 「비점오염원 관리대책 수립계획」을 마련하고 2004년 3월 정부에서는 관계부처합동으로 4대강 비점오염원 관리 종합대책을 발표하였다. 2020년까지의 장기 계획으로 단계별로 대책을 추진하고 있으며, 비점오염원관리 1단계(2004~2005년) 정책은 비점오염원 관리를 위한 법령 및 규정을 정비하고 기초연구와 시범사업, 관리 교육 및 홍보를 통한 비점오염원 관리 정책의 시작 단계이다. 물 환경 관리 기본계획(2006~2011년)과 더불어 비점오염원 관리 2단계(2006~2011년) 정책은 주요 수질오염물질 발생원에 대하여 관리할 의무를 부과하였고, 비점오염저감 시범시설을 설치하여 모니터링을 하는 등 비점오염원을 본격적으로 관리하기 위한 기반을 구축하는 단계로서 개발사업과 비점오염물질 유출사업으로 나누어서 관리를 시작하는 단계이며, 대규모 비점오염원 유출시설에 대하여 관리의무를 부과하고 나머지는 자발적으로 관리를 유도하였다. 3단계(2012~2020년)정책은 장기계획으로 국민과 사업자를 대상으로 비점오염원의 관리 및 예방책무 확대, 지자체별 비점오염원 관리사업 본격 추진, 효율성과 경제성을 고려한 최적관리기술 개발 및 보안 등 비점오염원을 최적으로 관리하는 사업의 정착에 중점을 두고 있다(김성순, 2016).

표 2.4 비점오염관리 종합대책(04~11)

구 분	1단계(04~05)	2단계(06~11)	3단계(12~20)
제 도	기본제도 마련 (정부관리책무·계획수립)	주요 오염원관리 의무 부여	관리의무 강화지속추진
관리사업	시범사업	4대강대표유역최적 관리사업 (국가·지자체)	본격사업 추진 (지자체 중심, 국가지원)
조사연구	원인규명, 처리기법 개발중심	모니터링기법 및 설치 기준 정립	비용·효율성을 고려 한 시설개선

2.3.1 국내 사례

‘98년부터 한강을 필두로 시작된 4대강 대책 수립과정은 환경정책 역사에 있어서 특별한 의미를 갖는다. 4대강 대책은 “유역관리체제로의 전환” 이란 목표를 놓고 5년동안(98~2002) 각 하천별로 수질관리대책을 수립했다. 4대강대책은 유역관리 시스템의 도입과 상·하류간의 대화와 합의에 기초한 대책을 수립하였고, 사용자부담원칙으로 “물이용부담금제도”를 도입하였으며, 유역관리를 위한 효과적 정책수단으로 수변구역제도, 토지매수제도 및 오염총량관리제도를 도입하여 보다 과학적이고 합리적인 유역관리대책을 시행할 수 있는 제도적 기반을 마련했다. 또한 유역관리의 의사결정기구로 “수계관리위원회”를 설치하여 주요한 유역관리책에 대해 유역대표들의 논의를 통해 결정토록 하였으며, 수립과정에서부터 유역구성원을 참여시켜 수립하였다. 특히 주요 대책으로 예방대책이 중점을 두었으며, 비점오염관리 대책도 정부의 계획으로 처음으로 중요하게 다루어졌다.

4대강 대책은 2005년까지 주요 상수원의 수질을 I ~ II급수 이상으로 개선하여 모든 국민이 안심하고 마실 수 있는 상수원수의 안정적 확보에 정책목표를 두고 이를 달성하기 위한 종합적인 내용을 담고 있다.

표 2.5 4대강 대책의 주요 지표(정부합동, 4대강 수계 물관리종합대책)

구 분	한 강	낙 동 강	금 강	영 산 강
수질개선목표 (BOD, ppm)	97' 05 1.5→1.0	97' 05 4.2→3.0	97' 05 3.2→2.0	97' 05 2.6→1.9
대책기간	98~2005	99~2005	2001~2005	2001~2005
투자사업비(억원)	26,385	42,472	27,240	15,021
하수처리율	58.8→81.6%	40.2→84.4%	60.3→72.6%	64.7→76.4%

(1) 국내설치사례

국내에 설치된 낙동강 수계와 한강 수계에 적용된 비점오염원 저감장치의 공법과 간략한 현황을 아래 표에 나타냈다.

표 2.6 국내 설치 비점오염원 저감시설 현황

수 계 별	설치 지역	처리공법	시설용량 (m ³ , m ³ /day)	주요오염원 등 특이사항
낙동강 수계	영천풍락	인공습지	5,000	산지, 농경지 등
	함안 산서	식생수로	1,600	농경지
	구미 원평	장치형	6,120	주거밀집지역
	달성 논공	장치형	19,200	공단지역
	대구 대명	고속응집침전	30,000	하수처리장
한강 수계	용인 포곡 삼계리1	인공습지	893	농경지
	용인 포곡 삼계리2	식생수로	40	농경지
	용인 포곡 삼계리 제원아파트	CDS	8,300	도로, 주거지
	용인 포곡 전대리1	침투도랑	39	도로
	용인 포곡 전대리2	침투도랑	55	도로
	용인 모현 초부리	식생여과대	98	도로 및 주거지
	용인 모현 초부리	침투형 저류지	4,600	도로 및 주거지
	광주 중부면 상번천리	DD	7,300	도로
	광주 경안동 공영주차장	Stormsys	3,950	도로 및 주차장
	광주 경안동 빗물 펌프장	장치형+지하저 류조	76,300×3대 9,160	경안배수펌프 장 내 위치
	구리시 CSOS	저류시설	27,000	

2.3.2 국외 사례

(1) 미국

미국의 수질청정법(Clean Water Act : CWA)에서는 국가오염물배출관리시스템(National Pollutant Discharge Elimination System : NPDES)에 의해 점오염원의 배출을 금지하는 규정을 1972년에 제정했다. 그러나, EPA는 점오염원의 규제만으로는 수질개선의 한계를 인식하고, 비점오염원(강우유출수) 배출에 대한 NPDES 허가규정을 적용하기 위한 프로그램 개발을 위해 노력해왔다. 강우유출수 규제를 위해 1987년 CWA를 개정하여 EPA로 하여금 도시유출수와 공업지역 유출수에 대한 관리계획을 수립토록 했다.

표 2.7 강우유출수 배출에 대한 NPDES 허가 규제대상

구 분	허가 규제 대상
공업 활동과 관련된 배출허가	<ul style="list-style-type: none"> · 각종 공업활동이 강우유출수에 노출될 경우 규제대상이 될 수 있는 공업활동을 10가지와 5 acre 이상의 시공현장을 포함하여 총 11개로 분류하여 배출수 규제 · 공업활동에 따른 자재 취급장비, 원자재, 중간산물, 최종산물, 폐기물, 부산물 또는 공업기계가 강우유출수에 노출된 곳에서의 강우유출수만 포함된다. · 단, 사무실 건물, 부설주차장 같은 시설이 공업활동으로부터 떨어져서 위치하여 공업지역으로부터 배수되는 강우유출수와 혼합되지 않을 경우는 제외한다.
도시지역에서의 배출허가	<ul style="list-style-type: none"> · CWA의 규정에 따라 연방규정에서 중규모(100,000명 이상, 250,000명 미만)와 대규모(250,000명 이상)도시로서 분류식 하수관거 시스템을 가진 도시에 대해 강우유출수 허가를 받아야한다. · 약 220개 시와 군이 해당되며 2002년 말부터 소규모 도시(50,000명 이상)도 적용된다.

지난 10년 동안 미국은 범국가적으로 비점오염원에 적극 대응함으로써 점진적인 성과를 보여왔다. 그러한 노력들을 자세히 들여다보면, 주정부에서는 최근 NPS관리 프

로그램이 1987년 Clean Water Act Amendment에 의해 제정된 Nonpoint Source Management Program과 1990 Coastal Zone Act Reauthorization Amendment에 의해 제정된 Coastal Nonpoint Source Program을 포함하도록 했으며, 공기업과 민간기업은 오염방지와 감소, 비점오염원관리를 통한 환경경영에 솔선하였다. 또한 정부기관과 자원단체에서는 수질측정과 환경교육을 담당했고, 학교연구기관에서는 비점오염관리에 대한 정보와 기술 등을 제공하였다. 지역행정기관은 유역관리를 도입하므로 NPS에 의해 야기되는 수질오염에 대처하고 있으며, 이 유역관리를 통하여 수체만이 아닌 수체를 포함하는 지역 전체를 관리하고 있다. 수많은 시민들은 수질보호에 관심을 가지고 있으며 지역 기업들의 후원을 받아 강변 걷기, 해변청결사업 등 환경보호 캠페인을 펼치고 있다. 이렇게 시민들은 국가차원의 수질오염문제에 참여하면서 강과 호수, 해안에서 안전하게 물을 마시며 물놀이를 즐길 수 있는 날들이 오도록 동참하고 있다.

(2) 미국의 설치 사례

미국 중서부에 있는 아이오와주 Bear Creek에는 수변 산림완충 지역, 인공습지, 생물공학적 둑 경사면의 안정화, 수중보가 설치 되어있으며, 수변녹지의 복원은 수질개선, 홍수예방 등 물을 관리 할 수 있으며, 수변 완충 녹지는 토지로부터 흘러오는 과도한 비점오염물질들을 막고 흡수하는 여과지 기능을 한다.

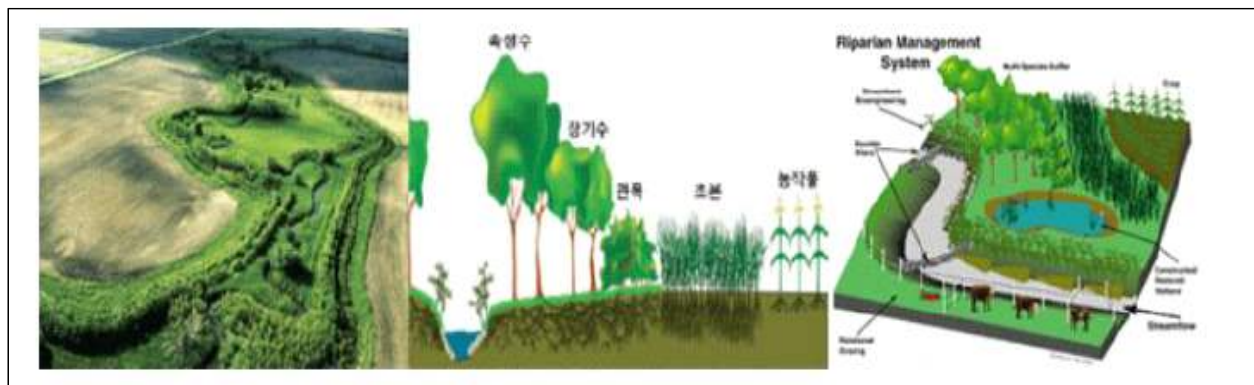


그림 2.9 아이오와주 Bear Creek에 조성된 수변림

미국 서부에 위치한 캘리포니아주 Ballona wetland에는 저류형(인공습지) : 자연흐름식의 21ha가 설치되어있으며, 홍수조절과 수질개선, 동식물의 서식처 보호, 도시 유출수에 훼손되고 있는 하구습지를 보호하고 시민의 휴식처까지 제공하고 있다.



그림 2.10 캘리포니아주 Ballona wetland

미국 메인주 남서부에 위치한 Portland시에는 식생수로와 식생침투조 그리고 투수성 포장도로가 설치되어 있으며 먼저 식생수로는 수로 내에 단일 및 복합 식생을 이용하여 우수를 포집하여 처리하는 시설이며, 비점오염 저감 뿐 아니라 생태서식지 제공과 탁월한 조경효과를 지녔다. 또한 식생수로를 통한 개발지역에 요구되는 우수 배관의 설치 개수 및 비용을 절감할 수 있다. 식생침투조는 건물과 건물 사이 여유 부지에 식생 및 침투성 저류조를 설치하여 우수를 처리하는 시설로서 강우유출수의 양과 속도를 상당히 감소시키며, 오염물질들을 여과와 침전작용에 의해 저감시키고 지하수의 충전 효과를 가지고 있다.

투수성 포장도로란 주차장이나 도로 등을 투수성 재료로 포장하여 우수를 침투 및 저류하여 처리하는 시설이다. 최근 급격한 도시화로 인하여 이에 걸맞은 가장 효율적인 방법이다. 강우유출수의 양과 속도를 상당히 감소시키며 오염물질들을 여과작용에 의해 저감시키고 지하수의 충전 효과가 있다.



그림 2.11 Portland시 식생수로, 식생침투조, 투수성 포장도로.

(3) 일본

일본은 1970년의 공해문제가 대두된 이후 그 동안 수질오탁방지법을 중심으로 수질보전행정이 진행되어 주로 공장과 사업장을 대상으로 한 배수규제와 총량규제, 지하수오염대책, 생활배수대책, 기타 하수도의 정비 등이 실시되었다. 이들 대부분의 대책은 점오염원을 대상으로 한 규제가 중심이 되었으며 이들은 오염원을 저감하는데 있어 현실적이고 효과적인 대책이었다. 이는 대상이 명확하고, 오염자부담 원칙을 적용하는 등 경제적인 부담관계도 명확하였기 때문이다. 그러나 점오염원에서의 오염관리를 철저히 하여도 비점오염원에서의 오염에 의해 오염문제는 완전히 해결되지 않게 되자, 환경성에서 이 문제의 검토회가 설치된 것이 1978년이다.

비점오염원은 비특정오염원 또는 면원오염부하 라고 하는 용어로서 사용하며 점오염원이외의 것으로, 면으로 분포하고, 제어하기가 곤란한 오염원의 총칭으로 하고 있다.

일본은 아직까지 비점오염원에 대해 수질관계법이나 정부의 지침으로 관리방안에 대한 것을 국가차원에서 제도화 하지 못하고 있으나 각종의 수질관리대책에는 그 중요성이 인식되어 다양한 관리기법이 도입되고 있다. 그리고 학술적인 차원에서도 비점오염원의 발생, 유출, 수질영향에 대한 연구가 지속되고 토지형태별 원단위도 다양하게 개발되고 있다. 이와 같이 일본에서는 비점오염원 관리에 관한 수질법이나 지침은 없으나 주요 수질대책에서는 이의 관리방안이 도입되고 있으며 특히 호수 등의 정체수역에 대한 대책에서 주로 이루어지고 있다. 정체수역의 경우 이때까지 점오염원에 대해 다양한 수질보전책이 취해지고 있지만 수질은 거의 개선되지 않아 점오염원 대책만으로

는 불충분한 것으로 판단하고 비점오염원 대책을 시행하고 있으며, 비점오염원대책 사례는 다음과 같다.

- 비점오염원(질산성질소)에 의한 지하수오염 대책
- 지정호소에서 비점오염원 대책
- 일반적인 수질관리대책에서의 비점오염원 대책
- 지하조절지

표 2.8 일본의 주요 비점오염원 관리대책

지역별	주요 대책	세부 대책
도시지역	발생원대책	노면청소, 우수거청소, 관거청소
	우수유출억제대책	우수저류 : 현장내 우수저류, 현장외 우수저류 지하침투 : 침투성포장, 침투도랑 등
	우수배수처리대책 (합류식월류수처리, 하천수처리, 우수유출수처리)	우수침전지, 스크린 처리, 스월분수조, 부상처리, 응집침전, 자갈층접촉법 등
농업지역	발생원대책	시비량 절감, 시비법의 개선, 비료개선, 방목지 식수장의 개선
	배출량감소대책	물관리 개선 : 식종시의 배수감소, 순환관개 생태계 정화 : 논에서 탈질, 밭에서 탈인

(4) 일본의 설치 사례

일본 혼슈 중서부에 위치한 시가현에는 초기우수 저류시설이 설치되어있다. 시가지의 경우 강우시 특히 많은 오염부하를 함유한 강우초기 빗물을 저류하고 이를 처리하는 「비파호 수질보전대책 행동계획」에 의해 시가지에서 빗물에 의해 유입되는 초기오염물질을 제어하는 목적으로 시행하고 있다. 또한 분수시설을 통하여 우수관거를 초과하는 초기우수를 일단 류시켜 침전시킨 후 접촉산화와 토양정화 후 하천으로 방류시킨다. 초기강우 초기강우량 6mm + 우수간선체류수에서 총 유출부하의 70~80% 저류 처리를 한다.

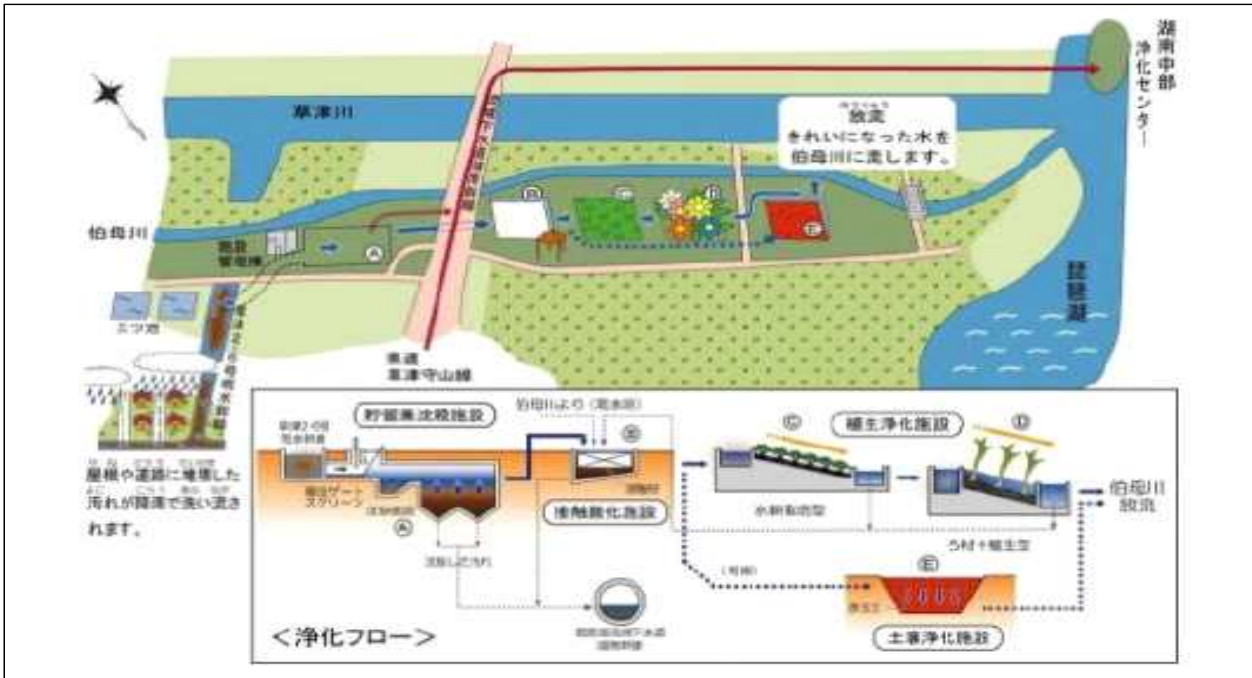


그림 2.12 시가현 초기우수 저류시설

일본의 혼슈 가나가와현에 위치한 요코하마시에는 CSO 저류시설이 설치되어 있다. CSO 저류시설이란 도심지 침수대책 및 합류식 월류수 대책의 일환으로 강우 시 특히 많은 오염부하를 함유한 초기강우를 제어하기 위한 일시저류시설이며, 분수시설을 통하여 차집관거를 초과하는 CSO를 저류시설에 저류시킨 후 건기 시 하수처리장으로 이송하여 처리하는 시설이다.



그림 2.13 요코하마시 CSO 저류시설

일본 이바라키현의 남부에 위치한 가스미가우라 Bio-park는 수생식물의 미디어 역할로 질소와 인을 영양소로 섭취한 수생식물을 수확하여 영양물질을 수계로부터 제거하고 주민의 휴식처 및 자연학습장으로 이용하였으며 수생식물의 수질정화 및 수생식물을 재배함으로써 식용, 퇴비를 활용하였다.

2.4 여과형 시설의 여재 특성

여과형 시설의 높은 효율을 유지하기 위해서는 여과탱크 공정에서의 여재선택이 매우 중요하다. 일반적으로 여과공정에서 적용되는 사용 가능한 여재는 용존성 물질인 중금속 등과 같은 비점오염물질의 처리에 효율적인 재료가 선정되어야 하며, 유지관리시 용이성 등을 충분히 고려되어 선정되어야 한다.

표 2.9 여과형 시설의 여재의 조건

여재의 조건(여과형 시설 설계 2014.04 개정 매뉴얼 기준)
<ul style="list-style-type: none"> · 역세척이 가능한 여재 · 역세척 후 손실수두의 회복 · 연간 SS제거효율 80% 정도 달성 가능한 여재 권고 · 손실수두가 10cm를 초과하지 않는 여재 · 투수능이 설계선속도의 1.5~2배 이상인 여재 · 고품물 부하 4~6kg/m²에서도 막힘 현상이 발생하지 않는 여재 · 장기적인 운전 및 역세척에도 부서지거나 유실되지 않는 여재

2.4.1 비점오염물질별 여과재의 성능

여과형시설 시스템에서 사용하는 여재는 자연 친화적인 여재를 사용하고 있으며, 용존 오일, 미세한 진흙 입자, 영양염류(질소 및 인), 중금속 등 같은 잔류 오염물의 제거에 목표를 두고 있다. 가장 일반적으로 사용하는 여재는 중간크기의 펄라이트(Perlite), 제올라이트 및 셀룰로오스(Cellulose) 등이며, 입상활성탄, 인조 직물류 등도 사용된다. 국내 비점오염원에 대한 여러 실험에서 사용된 여재는 섬유불을 이용한 실험이 여러

차례 진행 되었다. 이 외 여과형시설 시스템과 같은 여과 장치형 시설에서 적용되는 여과재료의 성능은 다음 표 2.10과 같이 정리된다.

표 2.10 Performance of filter media

Pollutant	PERLITE	CSF	ZEOLITE	GAC	IRON INFUSED	PLEATED FABRIC
sediments	Excellent	Good	Excellent			Excellent
Oil & Grease	Excellent	Excellent	Good			
Soluble Metals		Excellent	Good		Good	
Organics		Varies	Good	Good		
Total Phosphorus	Good	Good	Good		Good	Good
Dissolved Phosphorus					Excellent	
Total Nitrogen	Good	Good	Good			Good
Dissolved Nitrogen						

펄라이트(perlite)는 화산의 용암지대에서 캐낸 회백색의 광물을 760°C의 고열처리 하여 원 광석의 10배 이상으로 팽창시켜 만든 백색의 가벼운 입자이다. 초경량, 무활성, 토양 개량성, 반영구성, 무독성, 해충 및 부패 방지 등의 다양한 특성을 가지고 있다. 비표면적이 크고 수많은 공극이 있어 미세한 부유물질도 제거가 가능하다.

셀룰로오스(Cellulose)의 특징인 식물 세포벽의 주요 구성 성분으로 자연에 가장 풍부하게 존재 하는 유기물질이다. 뛰어난 흡착능력으로 미세한 입자들을 제거하는데 매우 유용하게 사용된다.

제올라이트(Zeolite)는 점토와 유사한 물질이며 엄밀하게 서술하면 Alumino-silicates

이며 crystalline 구조를 가지고 있다. 그러나 점토는 layered crystalline 구조를 가지고 있지만 zeolite는 단단한 3-D crystalline 구조를 가지고 있다. 일반적으로 물이 통과할 시 자유롭게 공극 사이를 투과하지만 zeolite는 단단한 구조를 형성하는 특징을 가지고 있다. Zeolite의 또 다른 특징은 공극과 채널의 크기가 거의 일정하며 crystal은 분자체(sieve)의 능력을 가지고 있다는 것이며, 물 분자뿐만 아니라 칼륨, 칼슘 및 양이온성 물질들을 흡착하는 특징을 가지고 있다. Zeolite의 중요한 특성은 이온교환을 하는 능력을 가지고 있으며, 양이온 교환능력(Cation Exchange Capacity, CEC)이 매우 크다는 것이다.

2.4.2 여재의 흡착특성

여재 중 활성탄의 흡착은 고체 표면에서 기체, 증기, 액체의 영역에서의 용질, 분산 물질의 응축현상을 말한다. 또한 흡착제의 표면장력을 이용하여 고체 표면에 물질을 흡착, 농축하는 조작이다.

흡착은 화학적 및 물리적으로 이루어지는데 물리적 흡착은 주로 Van der Waal's Force 중 분산력에 의거한다. 활성탄은 탄소성분 외에 산소, 수소 등과 결합하고 있다. 결합된 원소들은 이온결합 또는 공유 결합력에 의해서 비가역적으로 결합이 이루어지기도 한다.

표 2.11 물리적 흡착과 화학적 흡착의 비교

항 목	물리적 흡착	화학적 흡착
온도	저온에서 흡착이 잘된다.	비교적 고온에서 흡착이 잘된다.
피흡착 물질 특정	비선택적	선택적
흡착열	적다 (10kcal/mol) 응축열과 비슷하다.	크다 (10~30kcal/mol) 반응열 수준
가역성	가역적	비가역적
흡착속도	빠름	늦음(활성화 에너지 필요)

(1) 흡착 공정

기상과 액상의 흡착 거동은 피흡착 분자의 크기와 구조에 따라 다르다. 액상 흡착의 경우 피흡착 분자의 확산속도가 기상 흡착에 비해 작기 때문에 물질이동을 촉진시키기 위한 장치가 필요하며 보통 입자 크기가 작은 분말 또는 입상 활성탄을 사용한다. 기상 흡착의 경우 비교적 휘발성의 피흡착 분자가 가역적으로 물리적 흡착을 하는 경우가 많고 간단한 저온 가열에 의해 탈착이 용이하므로 반복사용이 가능한 이점이 있다.

기상 흡착에서의 피흡착 특성을 보면

- 온도가 상승할수록 흡착량이 감소된다.
- 피흡착 물질의 농도가 증가할수록 흡착량도 증가한다.
- 상대 증기압이 높을수록 흡착이 잘된다.

액상 흡착에서의 피흡착 특성을 보면

- 액체 계면에서 활성탄 흡착에 영향을 주는 인자는 용질과 용매에 대한 활성탄의 인력이다.
- 각종 용질은 회합, 이온화 등에 의한 용해도와 각 용질의 경합 작용에 의해 흡착이 좌우된다.
- 용해도와 해리가 작게 되는 조건일수록 흡착이 유리하다.
- 공흡착 작용이 있다. 어떤 용질이 활성탄에 흡착되면 다른 종류의 용질도 흡착이 잘 되는 경향이 있다. 피흡착 물질 간의 협동작용을 공흡착이라고 한다.

흡착제로서 활성탄의 특징은 다음과 같다.

- 비극성 흡착제 또는 친수성 흡착제로서 극성물질을 선택적으로 흡착한다.
- 각종의 흡착제 중 최대의 표면적을 가지고 있다. 또한 세공 분포가 넓기 때문에 확고한 분리효과를 기대하기는 어렵다.
- 공경이 작은 세공이 풍부하므로 일반적으로 저농도의 물질을 잘 흡착한다.
- 물리적 화학적으로 상당히 안정하다.
- 표면화합물 등에 의해 촉매 또는 촉매 담체로 사용할 수 있다.

2.4.3 여재장치의 효과적 여재 조건

(1) 종류

여재의 종류는 단층 또는 다층 여과에 따라 달라진다. 단층여과인 경우 모래, 다층여과중 이층 여과인 경우 모래와 안스라사이트의 조합이 있으며, 삼층 여과이상의 다층 여과에서는 모래, 한스라사이트, 석류석의 조합이 일반적으로 사용된다. 특히, 지방이나 오일층과 같은 오염물질 경우 안스라사이트보다는 모래일 경우가 세척하기 쉽다.(1992 WEF & ASCE)

(2) 입경

여재의 입경에 따라 여과기의 여층 깊이가 결정되며 이러한 여재입경은 유입 수에 따라 달라진다. 여과 시 여재입경은 여과 효율 및 손실수두에 영향을 준다. 따라서 입경이 작은 모래를 여재로 이용하면 여층 깊이는 줄어드나 부하율은 증가된다. 또한 입경이 다른 여재일 경우 역세척 시 서로 간극에 끼는 경향이 있다. 여재가 작을 경우, 여층의 저항극복을 위해 여과구동력 소모가 많으며 제거된 고형물은 표면에 쌓이고 결과적으로 여과지속시간이 짧아진다. 반대로 여재의 크기가 너무 크면 유입 수 내의 많은 작은 입자들이 직접 여층을 통과하여 여과효과가 적어진다.

(3) 형태

여재형태는 여과와 역세척에 모두 영향을 미친다. 형태는 구형에 가까울수록 좋고 편평한 것은 피해야 하는데 그 이유는 여재의 비표면적과 손실수두는 비례하기 때문이다. 여재가 구형일 경우 역세척시 인접입자와 부딪혀 여재에 부착된 고형물을 제거하게 된다.

(4) 비중

여재로 사용된 전령적인 물질의 석류석의 비중은 4.2, 일메나이트의 비중은 4.5, 모래는 2.33~2.65, 안스라사이트는 1.4 정도이다 이보다 가벼운 여재일 경우, 여과기에 채류시키기 위해서는 더 큰 여유고가 필요하다. 비중이 다른 여재를 2단 이상 사용하여 여과기를 구성할 경우, 성층을 막아주고 여과지속시간을 연장 할 수 있으며, 여과 속도를 증진시킨다.

제 3 장 실험장치 및 실험방법

3.1 실험 장치의 구성

3.1.1 여과장치의 구성

여과 장치 중 여과조는 PVC재질의 VG2 75mm 얇은 관을 사용하였고, 배출수 관은 VG1 25mm관을 사용했으며, 그림 3.1와 같이 원수탱크, 유입펌프, 여과조, 세척수조로 제작했다. 원수탱크에는 시료가 균일하게 혼합될 수 있도록 회전교반기를 설치하였다.

여재의 높이는 여과조 하부에서 200mm 위에 위치하여 600mm 높이이다. 여재들의 유출이 없도록 유출 방지 관을 제작하여 하부에서 200mm위에 설치하였다.



그림 3.1 Pilot-scale 장치 구성

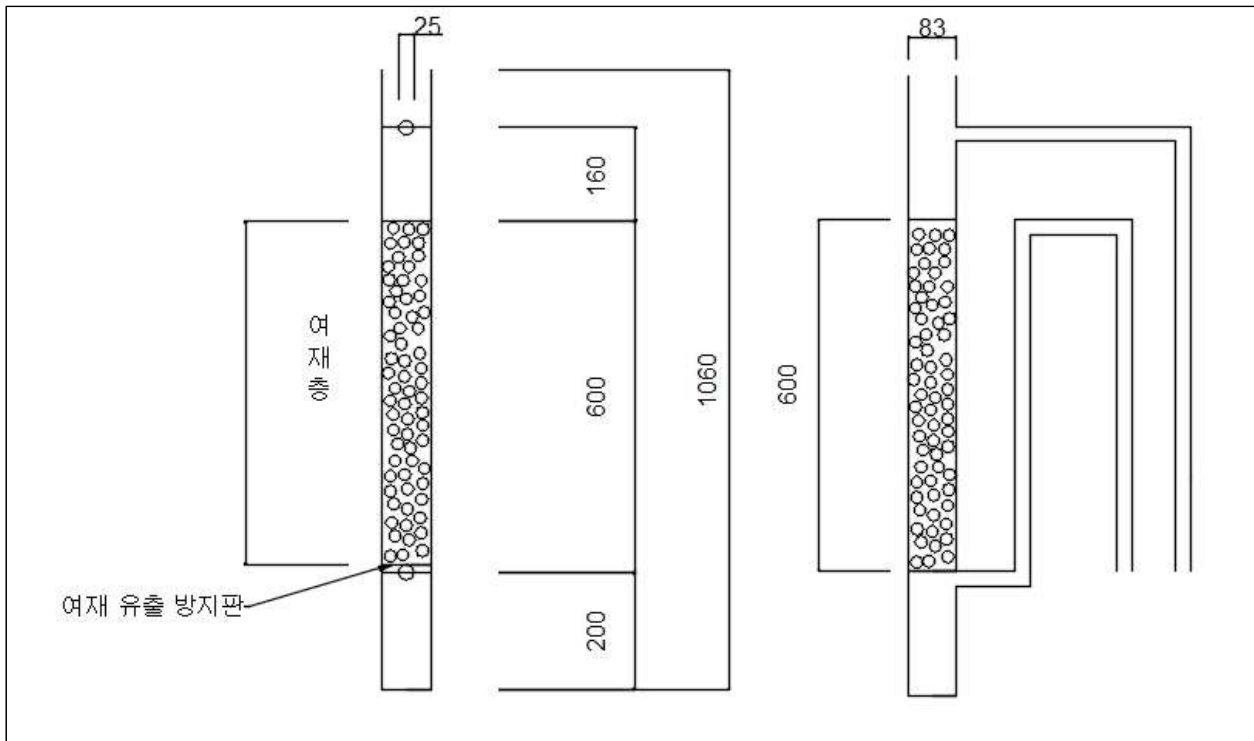


그림 3.2 여과장치 상세도(단위 mm)

여과 장치의 구성 항목들에 대한 자세한 규격은 다음 표 3.1와 같다.

표 3.1 여과장치 규격

구 성	항 목	규 격
설계인자	유량	1.473L/min
	장치 유입 농도	200 ~ 350 mg/L
	가동시간	60min
	여과조 여재 높이	600mm
	여재 개수	331개
인공초기우수 원수탱크	PE tank	40L

표 3.1 계속

구 성	항 목	규 격
유입펌프 (정량펌프)	Flow Rate	max 3400 mL/min min 0.36 mL/min
	watts	75W
	Motor hp	1/10
교반기	직각 임펠러	300rpm × 120mm*20mm × 3개

3.1.2 여재 재질 선정에 대한 3D프린터 필라멘트 특성

3D프린터의 필라멘트는 총 2가지의 종류가 있다. 먼저 PLA(Poly Lactic Acid)는 옥수수의 전분에서 추출한 원료로 만든 친환경 수지이다. 환경적으로 유리하나 PLA는 약 1.2~1.3 정도의 비중을 가지고 있다. 반면 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)는 아크리로나이트릴, 브타디엔, 스티렌의 세가지성분으로 되어 있는 수지로서 충격성, 내약품성, 내후성이 뛰어나며 특히 사출 성형, 압출 성형등의 2차 가공성이 우수한 수지이다. 또한 1.05정도의 비중으로 여재의 역세척 및 흡착의 조건에 가장 알맞은 수지의 특징을 가지고 있다. 이러한 특징으로 본 실험에서는 ABS가 여재에 더욱 적합하다고 사료된다. 3D프린터의 출력에 대한 수지들의 특징은 표 3.2에 나타나있다.

표 3.2 3D프린터 필라멘트 PLA와 ABS의 특징

제 품 명	특 징
PLA(Poly Lactic Acid)	<ul style="list-style-type: none"> · 옥수수, 사탕수수등의 식물성 원료 사용 · ABS보다 끈끈한 성질이 적고 견고함 · ABS에 비해 출력 후 도장처리에 부적합하다. · 열에 의한 변형이 적다.
ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)	<ul style="list-style-type: none"> · PLA보다 끈끈한 성질 · 구조용 부품으로 강도가 우수 · 플라스틱용, 아크릴도료의 도장이 가능

3.1.3 여재의 구성

본 실험에서 사용한 여재는 3D프린터를 이용하여 완성구로 제작한 지름 20mm의 1중구와 10mm, 15mm, 20mm 구를 3중구로 만든 구 총 2개의 여재를 가지고 실험을 진행했다. 3D프린터는 베드 300×300(mm)의 사이즈를 출력할 수 있으며, 높이(Z축) 300mm까지 제작 할 수 있는 프린터 이다.

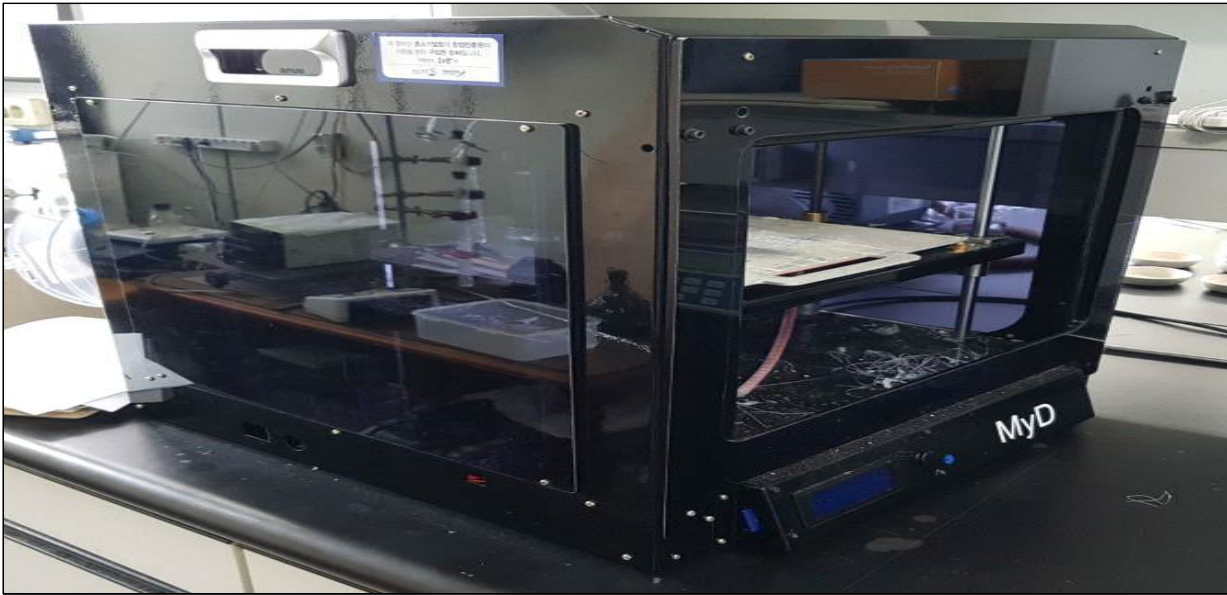


그림 3.3 3D프린터

여재 중 1중구는 완성형으로 프린터를 실시하였고, 3중구는 10mm 구를 완성구, 15mm, 20mm구는 반구로 출력 후 본드를 이용하여 3중구로 여재를 완성시켰다.

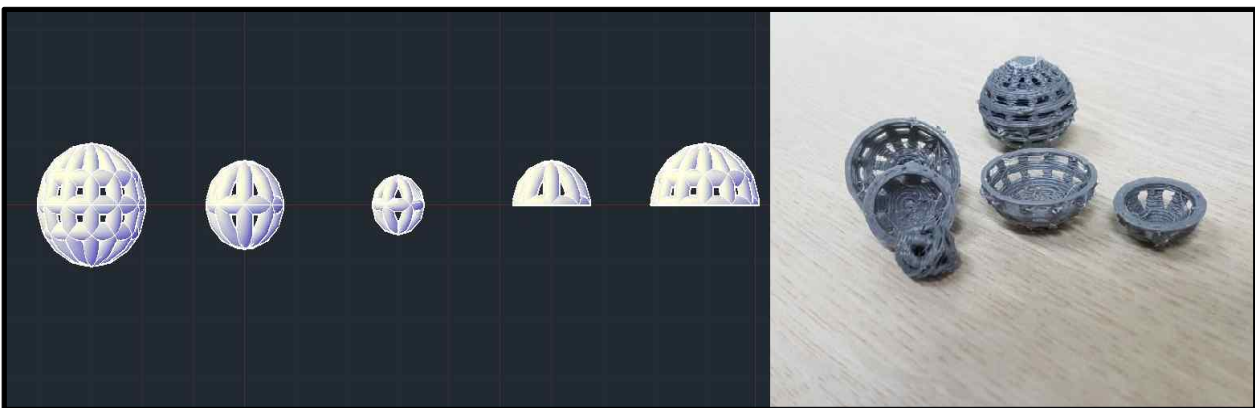


그림 3.4 3D프린터로 출력한 3중구와 1중구(좌 캐드 우 출력)

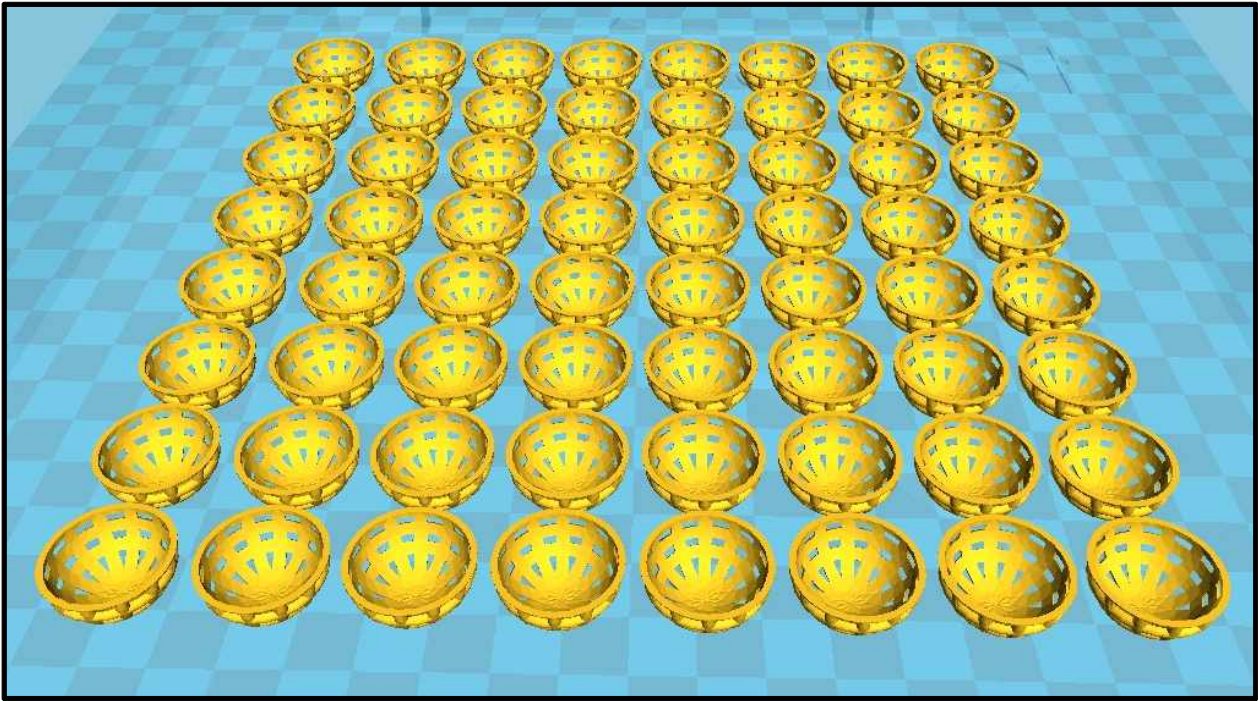


그림 3.5 3D프린터 프로그램 Cura를 이용한 여재 설계도면

3.1.4 여재의 물리적 특성

여재특성 중 중요한 인자로 여재의 선택의 기본적인 선택기준이 되는 비중 및 공극률에 대하여 물리적 특성을 표 3.3과 같이 결과값이 나왔으며, 높은 공극률을 나타냈다.

표 3.3 ABS 여재의 물리적 특성

여재명	입경	형상	재질	밀도	공극율
ABS 여재	20mm	구형	ABS	1.05g/cm ³	0.96

3.1.5 시료의 구성

실험에 사용된 황토 시료와 연마사 시료는 유입수 기준으로 입도분석기를 실시하여 여재의 조건에 맞는 입자를 확인 실험했으며, 황토시료는 63 μ m 이하의 입자가 99.25%로 측정 되었으며, 연마사 시료는 63 μ m 이하의 입자가 91.12%로 측정되었다.

표 3.4 시료의 물리적 특성

구 분	63 μ m 이하(%)
황토	99.25%
연마사	91.12%



그림 3.6 황토 시료와 연마사 시료

비점오염원 저감시설의 설치 및 관리 매뉴얼(2016.2)에 기재된 실험조건에 맞는 시료의 기준은 표 3.5와 같다.

표 3.5 비점오염원 저감시설의 시료 기준(2016.2 환경부)

구 분	시료의 기준		
	유사의 입경 (μ m)		
구성비(%)	< 63	63 ~ 200	계

표 3.5 계속

구성비(%)	70 ~ 80	20 ~ 30	100
유입농도	150 ~ 350mg/L		

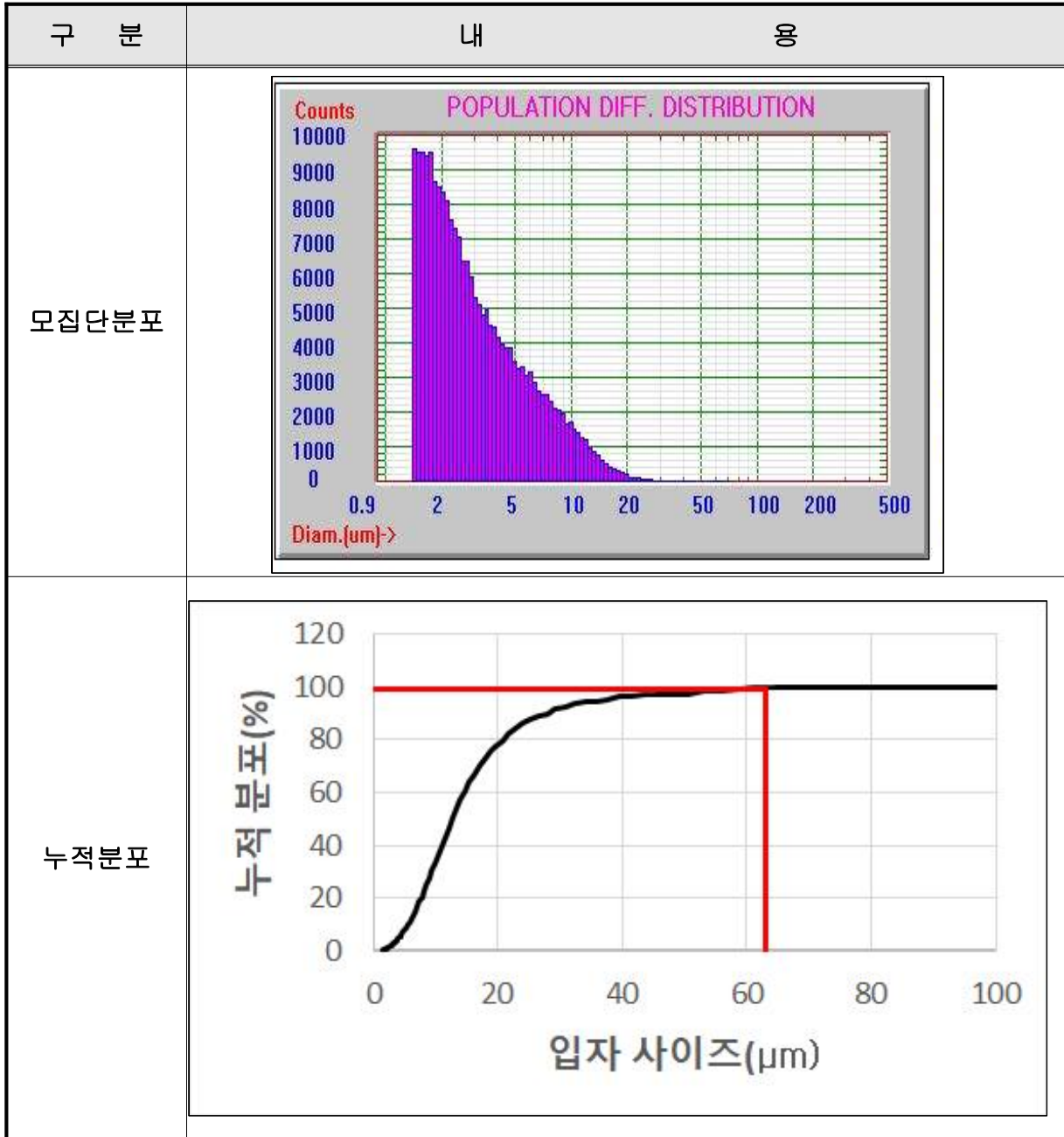


그림 3.7 황토의 입도분석결과

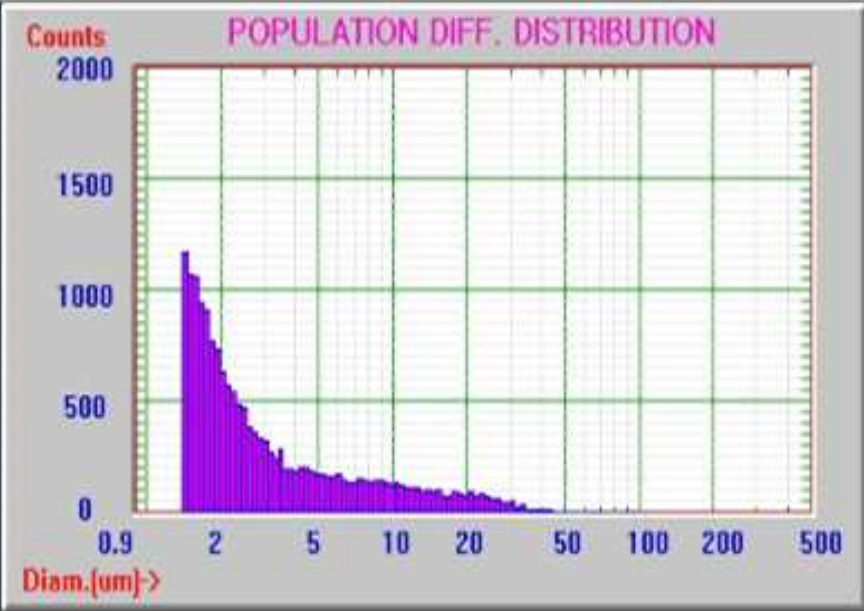
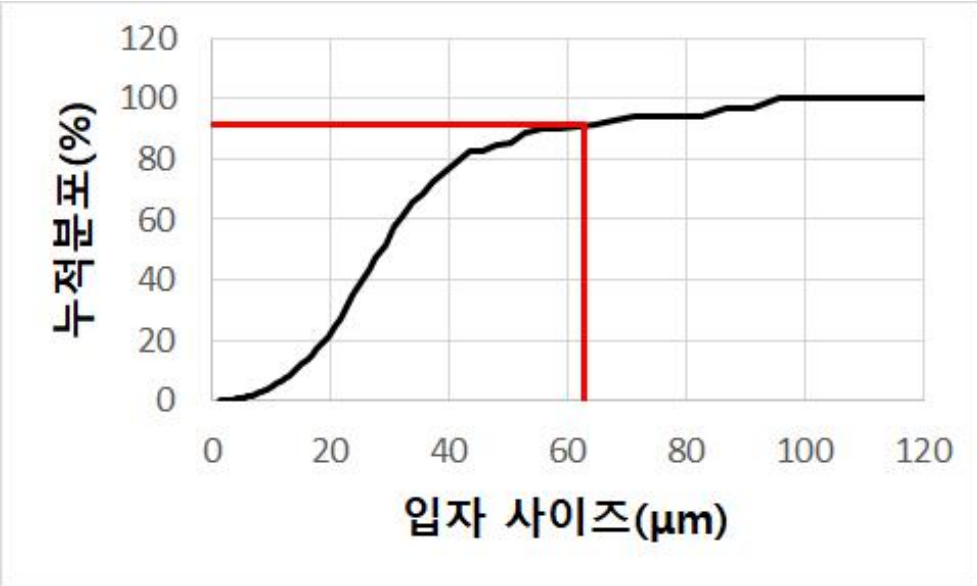
구분	내용
모집단분포	
누적분포	

그림 3.8 연마사의 입도분석결과

3.2 실험방법

3.2.1 여재의 물리적 특성 실험

여재의 물리적 특성을 파악하기 위하여, 여재의 입경, 형상, 재질, 비중, 공극률을 1중구 3중구 각각 실험실에서 실제 측정하여 분석하였다.



그림 3.9 여재의 비중 및 공극률 실험

3.2.2 여과효율 실험

여과효율의 실험을 위해 비점설계기준에 준하여 실험을 실시했다. 유입수 SS 기준 농도 150~350mg/L 와 유입수의 유사의 입경이 63 μ m 이하의 구성비가 70~80%가 되어야한다. 또한 입상여재의 경우 600mm의 두께가 있어야 하며 여과 선속도는 20m³/m²/h의 기준이 있다. 유입 유량은 설계 강우강도로 2.5mm/h 이다.

본 실험에서는 여과조 안 여재를 기준 높이 600mm 만큼 채운 후 농도 200~300mg/L를 기준 유량 1.473L/min의 속도로 Run time 60분을 기준으로 실험을 실시하였다. 실험 대상으로 1중구와 3중구의 여재 형태를 가지고 실험하였고, 황토시료와 연마사 시료를 이용하여 여과효율 실험을 실시하였다.

이 후 여재의 흡착효과를 보기 위해 고농도(600~900mg/L)로 추가 실험을 실시했다.

제 4 장 결과 및 고찰

4.1 황토 시료의 여과효율 분석

4.1.1 1중구 여과효율 분석

ABS 1중구 여재에 대해 250mg/L~300mg/L 농도의 인공 초기우수를 여과장치에 여과한 결과, 유입 수 농도의 평균은 270mg/L이었고 여재층을 통과해 여과된 처리수는 10분 단위로 측정하였고, 여과 후 가장 높은 농도는 30분 156mg/L이며 가장 낮은 농도는 113 mg/L로 나타났다. 60분 후 부유물 농도는 144mg/L로 나타났다.

표 4.1 1중구 60분 운전 여과 전 농도(황토 시료)

구 분	내 용					
유입 수 측정 시간	10분	20분	30분	40분	50분	60분
여과 전 농도 (mg/L)	292	269	213	328	295	239

표 4.2 1중구 60분 운전 여과 후 농도

구 분	내 용					
여과 수 측정 시간	10분	20분	30분	40분	50분	60분
처리 수 농도 (mg/L)	122	124	113	156	141	144

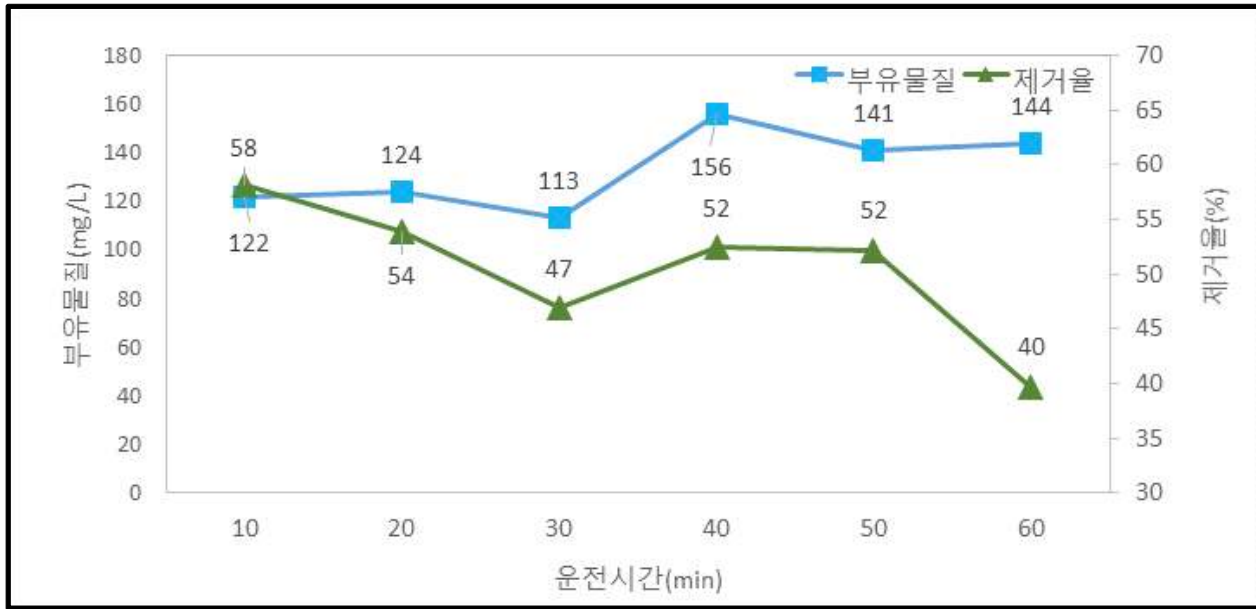


그림 4.1 1중구 60분 운전 여과 후 농도 및 제거율

4.1.2 1중구 고농도 여과효율 분석

ABS 1중구 여재에 대해 600~990mg/L 농도의 인공 초기우수를 여과장치에 여과한 결과, 유입 수 농도의 평균은 873mg/L이었고 여재층을 통과해 여과된 처리수는 15분 단위로 측정하였고, 여과 후 가장 높은 농도는 15분 462mg/L이며 가장 낮은 농도는 416mg/L로 나타났다. 60분 후 부유물 농도는 431mg/L로 나타났다.

표 4.3 1중구 고농도 60분 운전 여과 전 농도(황토 시료)

구 분	내 용			
	15분	30분	45분	60분
유입 수 측정 시간	15분	30분	45분	60분
여과 전 농도 (mg/L)	987	889	923	692

표 4.4 1중구 고농도 60분 운전 여과 후 농도

구 분	내 용			
여과 수 측정 시간	15분	30분	45분	60분
처리 수 농도 (mg/L)	462	451	416	431



그림 4.2 1중구 고농도 60분 여과 후 운전 농도 및 제거율

4.1.3 1중구 고농도 이 후 여과 효율 분석

ABS 1중구 여재에 대해 흡착 효율을 확실히 알아보기 위해 충분한 고농도(600~990mg/L)의 여과 실험 후 다시 250mg/L~300mg/L 농도의 인공 초기우수를 여과장치에 여과한 결과, 유입 수 농도의 평균은 280mg/L이었고 여재층을 통과해 여과된 처리수는 10분 단위로 측정하였고, 여과 후 가장 높은 농도는 10분 221mg/L이며 가장 낮은 농도는 129mg/L로 나타났다. 60분 후 부유물 농도는 145mg/L로 나타났다.

표 4.5 1중구 고농도 이 후 매뉴얼 SS기준 여과전 농도(황토 시료)

구 분	내 용					
유입 수 측정 시간	10분	20분	30분	40분	50분	60분
여과 전 농도 (mg/L)	289	292	236	319	292	249

표 4.6 1중구 고농도 이 후 매뉴얼 SS기준 여과 후 농도

구 분	내 용					
여과 수 측정 시간	10분	20분	30분	40분	50분	60분
처리 수 농도 (mg/L)	221	178	129	205	194	145

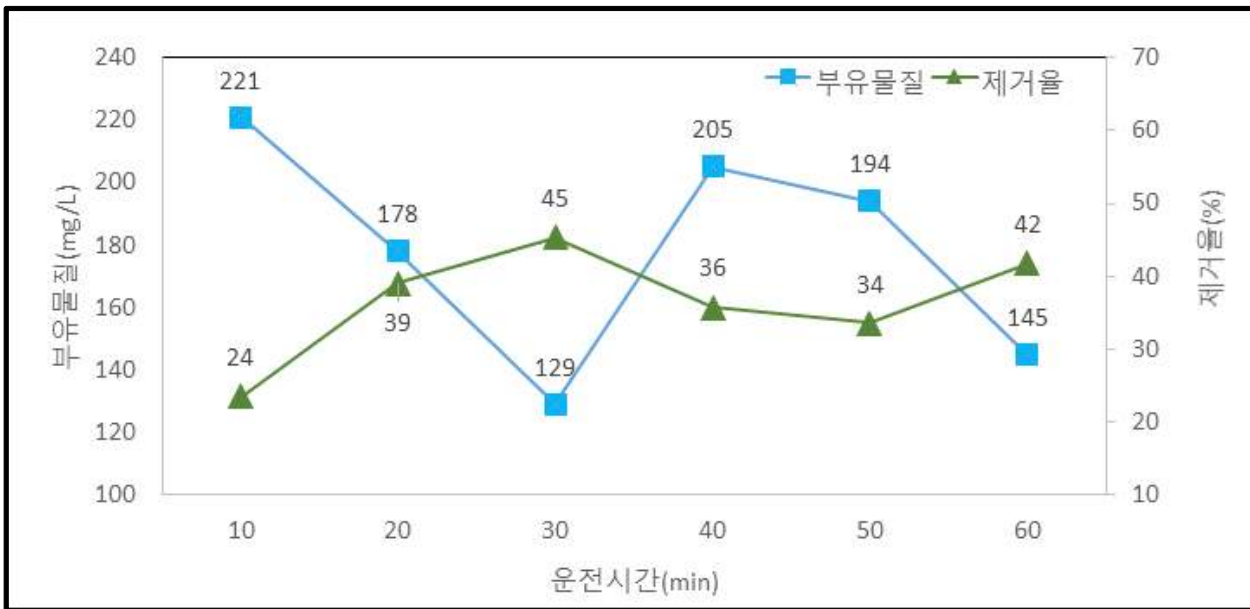


그림 4.3 1중구 고농도 이 후 매뉴얼 SS기준 여과 후 농도 및 제거율

4.1.4 1중구 매뉴얼 기준 SS농도 5분 단위 측정분석

위 실험들의 1중구 여재의 처리 수 채수 시간 기준 10분 이 후 처리수의 농도가 큰 변화가 없어 5분 단위의 여과 실험을 실시하였다. 실험 결과 유입 수의 농도의 평균은 347mg/L이고, 여과 후 가장 높은 농도는 10분 195mg/L이며, 가장 낮은 농도는

150mg/L로 나타났다. 25분 SS농도는 150mg/L로 나타났다.

표 4.7 1중구 처리 수 5분 기준 여과 전 농도(황토 시료)

구 분	내 용				
유입 수 측정 시간	5분	10분	15분	20분	25분
여과 전 농도 (mg/L)	378	390	389	314	264

표 4.8 1중구 처리 수 5분 기준 여과 후 농도

구 분	내 용				
여과 수 측정 시간	5분	10분	15분	20분	25분
처리 수 농도 (mg/L)	161	195	162	158	150

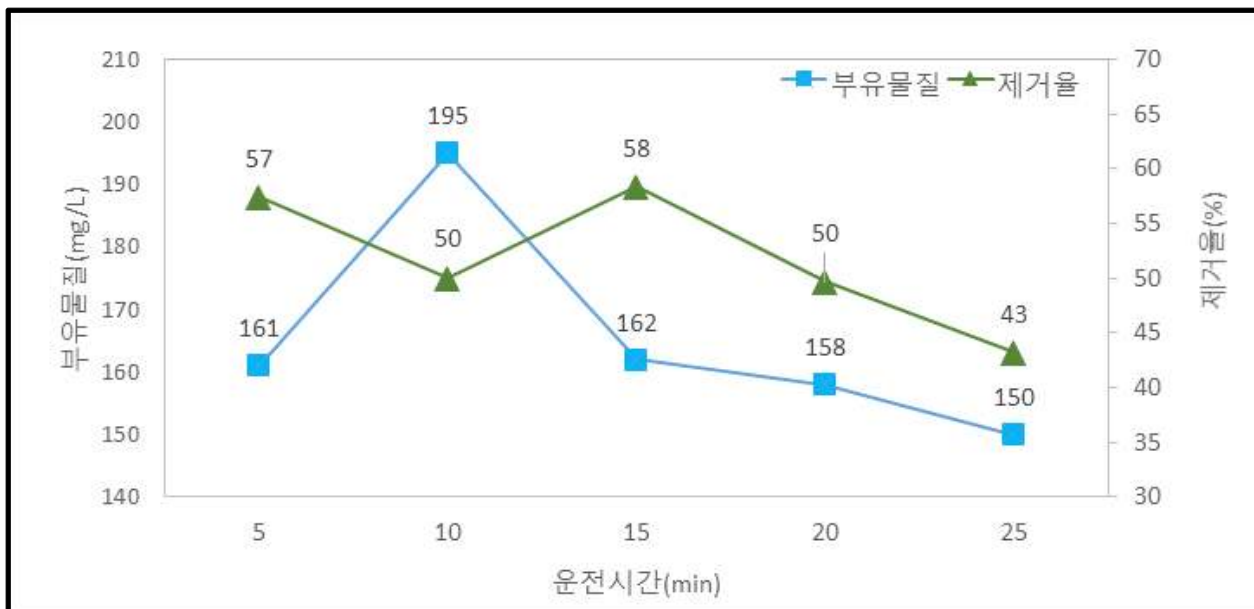


그림 4.4 1중 처리 수 5분 기준 농도 및 제거율

4.1.5 3중구 여과효율 분석

ABS 3중구 여재에 대해 여과 실험의 농도를 250mg/L~300mg/L 인공 초기우수를 여과장치에 여과한 결과, 유입 수 농도의 평균은 279mg/L이었고, 여과 후 가장 높은 농도는 40분 134mg/L이며, 가장 낮은 농도는 117mg/L로 나타났다. 60분 후 SS 농도는 128mg/L로 나타났다.

표 4.9 3중구 60분 운전 여과 전 농도(황토 시료)

구 분	내 용					
	10분	20분	30분	40분	50분	60분
유입 수 측정 시간						
여과 전 농도 (mg/L)	314	299	221	323	285	231

표 4.10 3중구 60분 운전 여과 후 농도

구 분	내 용					
	10분	20분	30분	40분	50분	60분
여과 수 측정 시간						
처리 수 농도 (mg/L)	117	126	126	134	126	128

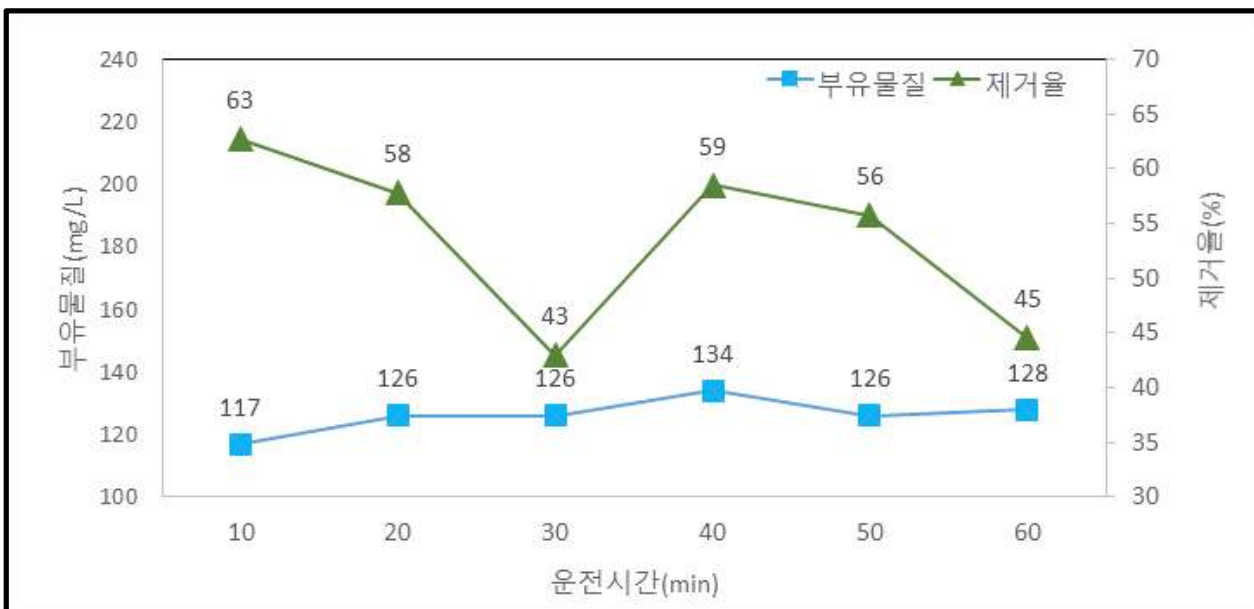


그림 4.5 3중구 60분 운전 여과 후 농도 및 제거율

4.2 연마사 시료의 여과효율 분석

4.2.1 1중구 여과효율 분석

ABS 1중구 여재에 대해 200mg/L~500mg/L 농도의 인공 초기우수를 여과장치에 여과한 결과, 유입 수 농도의 평균은 381mg/L이었고 여재층을 통과해 여과된 처리수는 10분 단위로 측정하였고, 여과 후 가장 높은 농도는 30분 10.8mg/L이며 가장 낮은 농도는 4.4mg/L로 나타났다. 60분 후 부유물 농도는 5.4mg/L로 나타났다.

표 4.11 1중구 60분 운전 여과 전 농도(연마사 시료)

구 분	내 용					
유입 수 측정 시간	10분	20분	30분	40분	50분	60분
여과 전 농도 (mg/L)	523	631	201	483	392	325

표 4.12 1중구 60분 운전 여과 후 농도

구 분	내 용					
여과 수 측정 시간	10분	20분	30분	40분	50분	60분
처리 수 농도 (mg/L)	8	4	11	5	6	5

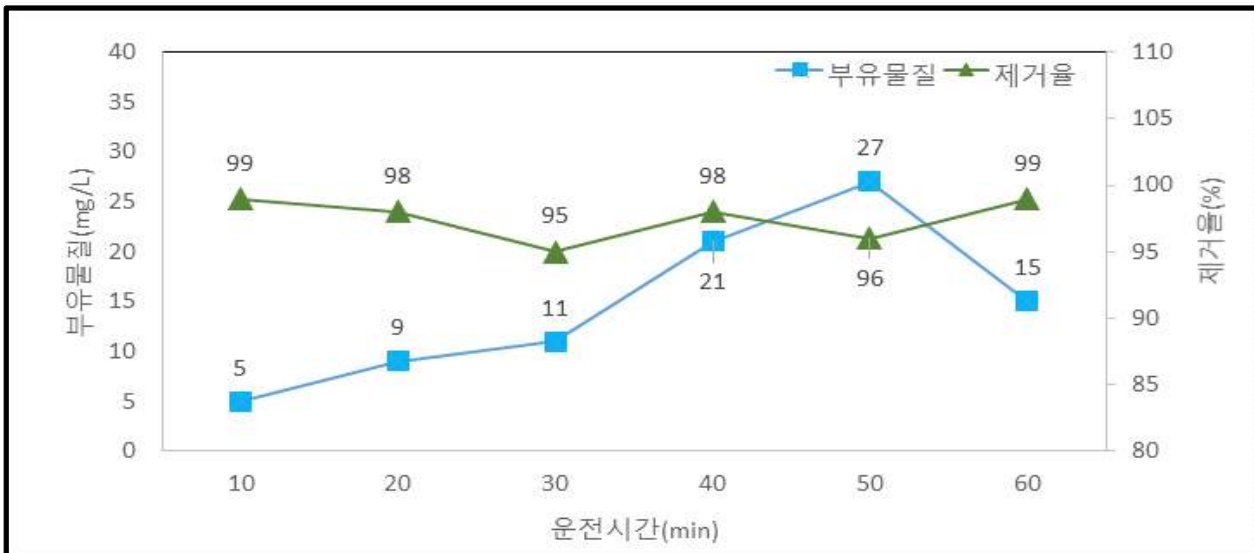


그림 4.6 1중구 60분 운전 여과 후 농도 및 제거율

4.2.2 3중구 여과효율 분석

ABS 3중구 여재에 대해 220mg/L~700mg/L 농도의 인공 초기우수를 여과장치에 여과한 결과, 유입 수 농도의 평균은 437mg/L이었고 여재 층을 통과해 여과된 처리수는 10분 단위로 측정하였고, 여과 후 가장 높은 농도는 30분 7.4mg/L이며 가장 낮은 농도는 3.2mg/L로 나타났다. 60분 후 부유물 농도는 3.4mg/L로 나타났다.

표 4.13 3중구 60분 운전 여과 전 농도(연마사 시료)

구 분	내 용					
	10분	20분	30분	40분	50분	60분
유입 수 측정 시간	10분	20분	30분	40분	50분	60분
여과 전 농도 (mg/L)	699	222	383	515	578	225

표 4.14 3중구 60분 운전 여과 후 농도

구 분	내 용					
	10분	20분	30분	40분	50분	60분
여과 수 측정 시간	10분	20분	30분	40분	50분	60분
처리 수 농도 (mg/L)	5	5	7	3	5	3

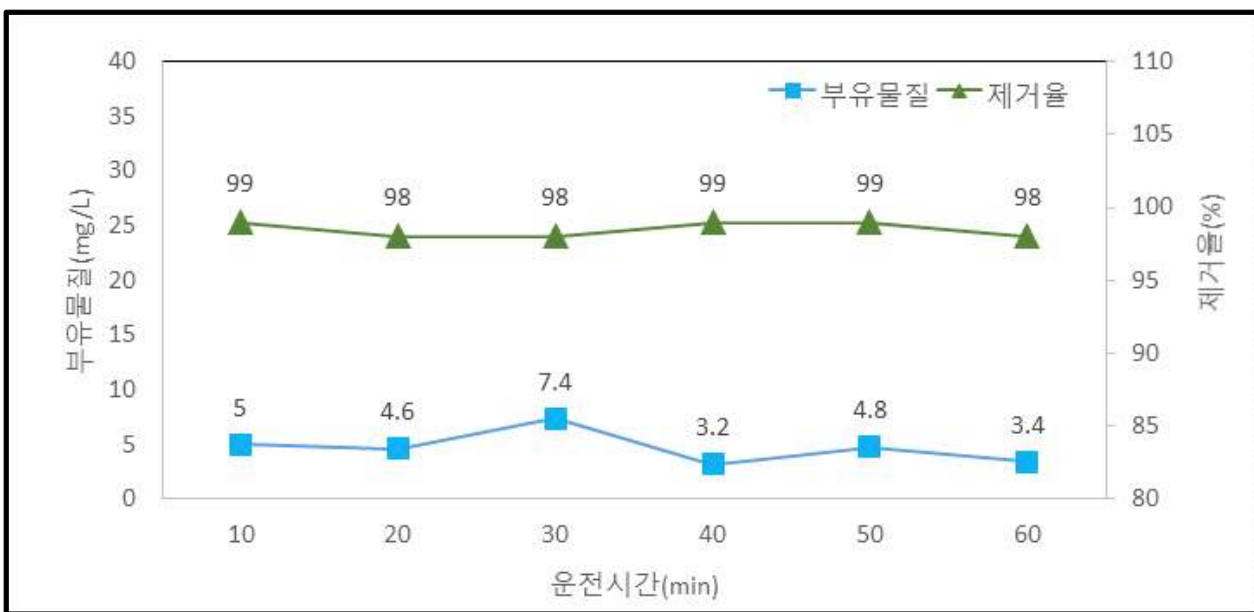


그림 4.7 3중구 60분 운전 여과 후 농도 및 제거율

4.2.3 3중구 고농도 여과효율 분석

ABS 3중구 여재에 대해 240mg/L~1200mg/L 고농도의 인공 초기우수를 여과장치에 여과한 결과, 유입 수 농도의 평균은 727mg/L이었고 여재 층을 통과해 여과된 처리 수는 10분 단위로 측정하였고, 여과 후 가장 높은 농도는 50분 27mg/L이며 가장 낮은 농도는 5mg/L로 나타났다. 60분 후 부유물질 농도는 15mg/L로 나타났다.

표 4.15 3중구 고농도 60분 운전 여과 전 농도(연마사 시료)

구 분	내 용					
유입 수 측정 시간	10분	20분	30분	40분	50분	60분
여과 전 농도 (mg/L)	586	421	243	1281	709	1121

표 4.16 3중구 고농도 60분 운전 여과 후 농도

구 분	내 용					
여과 수 측정 시간	10분	20분	30분	40분	50분	60분
처리 수 농도 (mg/L)	5	9	11	21	27	15



그림 4.8 3중구 고농도 60분 운전 여과 후 농도 및 제거율

4.2.4 여과 실험 후 여재에 대한 효율 분석결과

실험에 사용된 인공 초기우수의 시료인 황토의 입도분석 결과 63 μ m의 입자사이즈의 누적분포가 99.25%가 나온 결과, 비점오염원 저감시설 매뉴얼 기준인 70~80%를 훨씬 웃도는 수치가 나왔다. 이는 여재의 흡착에 대해 보다 어려운 실험이었다는 과정을 감안하더라도 SS농도의 제거율이 매뉴얼 기준에 비해 보다 아쉬운 결과가 나왔다. 이의 이유는 흡착의 원리 중 극성 비극성에 대한 원인으로 사료된다. 또한 1중구의 고농도 이 후 흡착량이 늘어날 것이라는 생각과는 다르게 고농도 이 후 실험에서 역시 기대치보다 낮게 제거율이 나왔다. 3중구는 예상했던 바와 같이 1중구보다는 높은 SS제거율을 나타냈다. 허나 손실수두가 1중구와 4cm이상 차이가 났으며 1중구 보다는 높은 SS 제거율을 나타냈지만 매뉴얼 기준인 80% 제거율의 밑도는 수치를 나타냈다.

이에 비해 연마사는 입도분석 결과 63 μ m의 입자사이즈의 누적분포가 91.12%로 황토의 입자사이즈 보다는 조금 큰 편이나 여전히 비점오염원 저감시설 매뉴얼 기준인 70~80%를 훨씬 웃도는 수치가 나왔다. 이에 연마사 시료에 대한 여과효율은 예상보다 훨씬 뛰어난 효과를 보였다. 평균 제거율이 1중구 3중구 모두 98% 이상을 보였으며, 고농도 실험에도 90%를 훨씬 웃도는 제거효율을 나타냈다.

제 5 장 결 론

본 연구에서는 비점오염 저감시설 하향류식 여과장치를 사용하여 3D프린터를 이용한 ABS여재의 물질 특성과 여과 효율을 실험하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 비점오염 저감시설 하향류식 여과장치의 부유물질 제거 효과를 알아보기 위해 여재의 물리적 특성을 분석한 결과, $0.98\sim 1.06\text{g/cm}^3$ 의 밀도를 나타냈으며, 공극률은 96%를 나타내었다. 밀도 실험 중 3D프린터로 만든 특성상 공기 기포가 ABS속에 생겨 물에 띄는 현상을 나타나지만, 물속에서 ABS여재를 흔들어 주어 공기 기포를 제거하면 물에 가라앉는 현상을 볼 수 있었다.
2. 황토 시료 기준 1중구의 ABS 여재에 공극률이 높아 여재의 간극에 황토가 흡착할 예상과는 달리 유입 수 SS농도 $250\sim 390\text{mg/L}$ 처리 수 5분 기준 평균 제거율 52%이며, 유입 수 SS농도 $210\sim 330\text{mg/L}$ 처리 수 채수 시간 10분 기준 평균 제거율 53%로 매뉴얼 기준 SS 제거율 80%에는 못 미치는 결과이다. 이에 대해 확실한 흡착 효율을 확인하기 고농도 SS $690\sim 987\text{mg/L}$ 을 기준으로 실험한 결과 SS 제거율이 최대 55%, 최저 38%를 기록하였으며, 평균 48%의 제거율이 나왔다. 고농도 실험 직후 다시 매뉴얼 기준 SS농도로 실험을 하였으며, 이 때 원수탱크는 세척을 하였으나, 여과 조는 흡착 효율을 보기위해 고농도 실험 직후 상태를 유지하여 유입 수 SS농도 $230\sim 320\text{mg/L}$ 기준으로 실험한 결과 SS제거율이 최대 45%, 최저 24%를 기록하였으며 평균 35%의 제거율이 나왔다. 3중구 또한 유입 수 SS농도 $220\sim 330\text{mg/L}$ 처리 수 채수 시간 10분 기준 평균 제거율이 54%로 매뉴얼 기준 제거율보다 밀도는 수치가 측정 됐다.
3. 연마사 시료 기준 1중구 여과 효율은 유입 수 SS농도 $200\sim 530\text{mg/L}$ 처리 수 10분 기준 평균 제거율이 98%이며, 3중구 또한 SS농도 $200\sim 700\text{mg/L}$ 기준 평균 제거율이 99%가 기록됐다. 이에 더해 3중구의 SS 고농도 $240\sim 1300\text{mg/L}$ 기준 평균 제거율이 98%가 측정됐다.

4. 3D프린터를 이용하여 ABS 합성수지를 사용한 여재의 비점오염 여과 효율을 분석하면 황토 시료에서는 너무 작은 시료의 입자로 인하여 제거효율을 크게 보지는 못하였지만 실험의 예상과 같이 1중구보다는 3중구의 여과효율이 최고, 최저 제거율을 비교한 결과 더욱 높은 제거율을 보였지만 비점오염원 저감시설의 매뉴얼에 기록된 제거효율의 기준치에는 못 미치는 제거효율이다. 하지만 황토 시료보다 입자들이 조금 더 굵은 연마사 시료에서는 1중구 3중구 여재 모두 SS 평균 제거율이 90%를 훨씬 웃도는 수치가 기록되었으며, 연마사 시료에서는 1중구와 3중구의 여과 효율 차이를 발견하지 못하였다. 이는 황토 시료에서는 부족한 제거율이지만 너무 작은 입자로 실험한 것을 감안하면 ABS의 합성수지로 만든 여재 또한 비점오염원 저감시설의 여재로 부합된다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. 강민지, 류덕희, 최지용(2014), 국내 비점오염원 관리 정책현황과 연구동향, 환경정책 제22권 제4호, pp.141~167.
2. 김대호(2011), 고도정수처리를 위한 Pilot-plant에서 모래여과와 막여과의 처리효율 비교 연구, 울산대학교 석사학위논문
3. 김성순(2016), 화산석 여재를 적용한 상향류식 여과장치형 비점오염 저감시설 연구, 서울시립대학교 석사학위논문
4. 김용현(2011), 우수유출 및 비점오염원 저감시설 고찰, 영남대학교 산업대학원 석사학위 논문
5. 김형준(2005), 도시지역 비점원오염물질 저감을 위한 초기우수처리시설의 여재특성, 단국대학교 박사학위논문
6. 나재선(2015), QUAL2E 모형을 이용한 비점오염원의 영향 분석, 조선대학교 석사학위논문
7. 민병헌, 채진병(2014), 여재별 상향류 여과방식의 효율에 관한 연구, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동 춘계학술발표회, pp.508~509.
8. 박용배, 정익재, 최용수, 홍석원(2004) 다공성 흡착 여재 및 그 제조방법, 한국과학기술연구원
9. 박운지, 김동욱, 안종화, 이찬기(2007), 강우 시 도시 하천으로의 비점오염원 유출특성, 산업기술연구, pp.83~89.

10. 송교신(2005), 도시지역 비점오염원 저감을 위한 적정 여재의 효율특성에 관한 연구, 단국대학교 석사학위논문
11. 양대연(2015), 비점오염저감시설설치 타당성조사 및 관리계획수립 보고서, pp.145~246.
12. 이승민(2011), 선회류 침전분리 및 스펀지 여재 여과를 이용한 초기우수 처리, 경북대학교 석사학위논문
13. 유희성(2015), 비점오염저감을 위한 여과형응집 시설에 관한 연구, 수원대학교 박사학위논문
14. 최지용(2008), 부처별 비점오염원 관리사업의 효율적 추진 방안, 한국환경정책평가연구원 정책보고서, pp.1~147.
15. 최진홍(2017), 진동세척 장치를 구비한 비점오염원 저감시설의 여과성능 실험연구, 조선대학교 석사학위논문
16. 최성규(2013), 비점오염원 저감을 위한 여과형 시설의 처리효율 분석, 서울과학기술대학교 석사학위논문
17. 채진병(2014), 여재별 상향류 여과방식의 효율에 관한 연구, 호서대학교 석사학위논문
18. 환경부(2013), 건강한 물순환 체계 구축을 위한 저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인
19. 환경부(2016), 비점오염저감시설 설치 및 관리·운영 매뉴얼
20. Amirtharajah, A. and Wetstein, D. P. (1980), "Initial degradation of effluent

quality during filtration”, J.AWWA, Vol. 72, No.9, p.518.

21. Gurr, E., Nnadi, F.(2009), Non-Point Source Nutrient Loading in an Urban Watershed, Reston, Va.; American Society of Civil Engineers, 2, pp.1431~1439.
22. Kentucky, (2010), The City of Bowling Green, KY. Stormwater Best Management Practices
23. Liu, D. F., Qiao, P., Zhang, L. P., Song, M., Liu, S.(2012), Application of QUAL2E Model to Analysis the Permissible Pollution Bearing Capacity of Water Bodies in City Water Area, Trans Tech Publication Ltd, 518-523(3), pp.2385~2390.
24. New York,(2010), Center for Watershed Protection. New York State Stormwater Management Design Manual
25. Subra, W., Waters, J.(1993), Non Point Source Pollution, International Geoscience And Remote Sensing Symposium, 4, pp.2231~2233.
26. Torabian, A., Hashemi, S. H., Ghadimkhani, A. A.(2006), An assessment of water withdrawal effect on water quality of the downstream river at the Mamloo Dam site using the QUAL2E model, WIT Transactions on Ecology and the Environment, 95, pp.157~164.
27. Wang, H., Wu, Z., Hu, C.(2014), Comprehensive Study of the Effect of Input Data on Hydrology and non-point Source Pollution Modeling, Water Resources Management, p.17.