
경안천 건천화 방지를 위한
유지유량 확보 및 수질개선 방안
-둔치공간을 활용한 하천의 유지유량 확보-

오 종 민

경기지역환경기술개발센터

최 종 연 구 보 고 서

2003 년도 환경기술연구개발사업에 의하여 완료한 「경안천
건천화 방지를 위한 유지유량 확보 및 수질개선 방안」에 관한 연
구의 최종보고서를 붙임과 같이 제출합니다.

제출일 : 2004년 3월 12일

붙 임 : 1. 최종보고서 1부.(끝)

연구기관 : 경희대학교

연구책임자 : 오 종 민 (인)

연구기관장 : 경희대 산업협력단장 직인

경기지역환경기술개발센터장 귀하

제 출 문

경기지역환경기술개발센터장 귀하

본 보고서를 “경안천 건천화 방지를 위한 유지유량 확보 및 수질개선 방안”에 관한 최종보고서로 제출합니다.

연구기관명 : 경 희 대 학 교

연구책임자 : 오 종 민 교수 (경희대 환경·응용화학부)

선 임 연 구 원 : 최 이 송 (경희대 환경학과)

연 구 원 : 박 재 영 (경희대 환경학과)

엄 경 미 (경희대 환경학과)

이 흥 수 (경희대 환경학과)

신 동 환 (경희대 환경학과)

손 창 선 (경희대 환경학과)

송 준 호 (경희대 환경학과)

조 윤 희 (경희대 환경학과)

공동연구기관명 : (주) 동산콘크리트

요 약 문

I. 제목

“ 경안천 건천화 방지를 위한 유지유량 확보 및 수질개선 방안 ”

II. 연구의 목적 및 필요성

중·소하천의 건천화에 따른 하천 유지유량의 부족은 하천을 중심으로 한 각종 농경지의 농업용수 및 산업용수의 부족을 초래하고 또한 수질오염을 가중시켜 하천수의 효율적 이용을 어렵게 만들고 있으며, 이로 인해 파생되는 2차적인 비용증가는 경제적인 측면에서 많은 손실을 유발하고 있다.

또한 중·소하천의 건천화로 경제적인 측면뿐만 아니라 최근 지역주민의 관심이 고조되고 있는 친수기능에 있어서도 크게 장애를 가져오고 있다. 즉 하천의 건천화로 인하여 풍부한 수량에 의한 풍요로운 지역 이미지 대신에 황량한 느낌을 주며, 건천화로 인하여 악화된 수질은 심한 악취를 풍겨 지역 주민에게 기피의 대상으로 전락하고 있으며, 더욱이 각종 해충마져 번식하므로 공공의 보건에 있어서도 심각한 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 하천이 하천다운 모습을 갖추고 위에서 언급한 문제점들을 해결하고 지역 주민들이 가까이 할 수 있는 친수기능을 회복하기 위해서는 하천의 안정적인 유지용수 확보는 반드시 해결되어야 할 중요한 문제라 할 수 있다.

우리나라의 강우특성은 연도별, 지역별, 계절별로 강수량 차이가 심하고 변화의 폭이 커 수자원 관리에 매우 불리한 특성을 보이고 있다. 따라서 안정적인 물 공급을 위해서는 중·소규모의 댐 건설이 절실히 요구되나 환경·생태적인 측면과 사회적인 문제, 부족한 토지 등으로 인하여 중규모 이상 유역 차원의 수자원 확보가 실질적으로 어려운 상황에 직면해 있다, 특히, 경기도 내 중·소하천들은 농업용 저수지와 하류에 위치한 하수 처리장까지 관거를 통한 하수의 이송으로 인하여 중·소규모 수문 순환 단계가 인위적으로 단절되어 심각하게 건천화되어 있으며, 더욱이 평상시 유입되는 오염물질과 강우 시 유입되는 비점오염 물질의 영향 등으로 인하여 수질이 매우 열악한 상태에 있다. 따라서 경기도 내 중·소하천을 중심으로 유지유량을 확보함과 동시에 수질개선이 절실히 요구된다.

이와 같은 현실에서 본 연구에서는 유지유량을 확보하기 위해 오수를 재이용하는 방안을 제시하여 수질정화용 식생 콘크리트를 적용하여 수질개선을 꾀하고자 하였

다. 본 연구에 사용되어진 식생 콘크리트는 내부에 다량의 공극을 함유하는 다공성 콘크리트에 식물 뿌리부가 정착되도록 제작되어진 여재로서, 미생물의 생육공간을 제공함으로써 환경복원측면에서 우수하며, 하천주변 전체 녹화로 자연 친화적인 미관 형성 등 여러 가지 장점을 가진 여재중의 하나이다.

본 연구의 목적은 하천의 건천화로 인하여 발생하는 사회문제를 해결하고, 시민들에게 친수공간을 제공하며, 하천 본래의 기능 회복을 촉진시키기 위하여 하천의 안정적인 유지유량 확보방안 및 수질개선방안을 제시하는데 있다.

III. 연구의 내용 및 범위

도시를 관통하는 중·소도시 하천에서 갈수 시 유지유량 부족으로 인하여 수질오염이 심각한 실정에 있는 바, 환경 친화적인 유지유량 확보기술을 통하여 양질의 수자원 확보방안을 모색하고자 한다.

1) 유지유량확보방안 검토

하천유지유량과 관련된 국·내외 문헌을 통한 기본개념을 검토하고, 또한, 유지유량확보 방안에 대한 우리나라에서 적용한 호안 및 제방침투 방법 등을 이용한 모델을 제시하여 이를 모형실험을 통해 검증하고자 한다.

⇒ 경안천 유역의 안정적인 유량확보를 위한 제방 등을 이용한 유지유량확보기술 제시

2) 수질정화를 병행한 유지유량확보 기술검토

건천화 방지를 위한 하천유지유량확보를 위해 오수를 수량이 부족한 하천에 유입하는 방안을 검토함에 있어 문제가 될 수 있는 수질을 개선하기 위한 적용 방법을 검토하고 실내 실험을 통하여 검증하고자 한다.

⇒ 경안천 유역의 양질의 수자원 확보를 위한 접촉 media를 제방사면 및 저수로 호안에 적용한 수질정화효율 제시

IV. 연구결과

1) 수질정화용 여재(濾材)의 물리·화학적 특성

식생 콘크리트의 수질 개선용 여재로서의 적용가능성을 파악하기 위한 식생 콘크리트의 기반이 되는 다공성 콘크리트의 물리·화학적 특성을 조사한 결과, 중화처리를 하기전의 pH는 12 이상이었으나 중화처리에 관계없이 흐르는 물에 일정시간(약

28시간) 침지시킴으로서 pH 값은 7.5 이하로 낮아져 식물의 성장에 장애가 없을 것으로 나타나 실제 하천에 적용하여 사용하기에 충분한 것으로 판단된다. 또한 다공성 콘크리트의 압축강도를 측정한 결과 194~218 (평균 205) kgf/cm²의 범위로 나타났으며, 이론공극률이 증가할수록(시멘트-골재비가 증가할수록) 압축강도는 크게 감소하는 것으로 나타났다. 일반적으로 다공성 콘크리트의 강도 및 기능성은 공극률에 의해 크게 좌우되는 것으로 사료되며, 본 연구에서 개발한 다공성 콘크리트는 구조용 보통 콘크리트의 최저 압축강도 수준인 180 kgf/cm²를 상회하는 것으로 나타나 현장에 적용하여 사용하기에 충분한 것으로 판단된다.

2) Batch test를 통한 여재의 정화효율 검토 결과

Batch test를 통한 두 여재(식생 콘크리트 및 다공성 콘크리트)의 정화효율 실험 결과 유기물(DOC) 제거효율은 식생 콘크리트의 유기물 제거효율이 75%로 나타나, 다공성 콘크리트의 유기물 제거효율 72%와 유사하게 나타났으며, PO₄-P 농도의 경우 식생 콘크리트가 제거효율이 약 4% 높게 나타났고, NH₄-N 농도의 경우 식생 콘크리트의 경우가 제거효율이 약 22% 높게 나타났다. NO₃-N 농도의 경우는 다공성 콘크리트의 제거효율이 약 7% 높게 나타났으나, 식생 콘크리트의 경우 초기에 제거량이 더 많은 것으로 조사되었다. 이로써 다공성 콘크리트와 식생 콘크리트는 여러 측면에서 수질정화에 유리한 접촉 여재인 것으로 나타났다.

3) 연속 흐름 시스템에서의 각 여재에 따른 수질 정화효율 검토

본 실험의 여재로 이용된 다공성 콘크리트와 식생 콘크리트의 1, 2차 사면접촉을 통한 반응조의 비교 실험결과 식생 콘크리트를 적용하였을 경우 다공성 콘크리트 보다 SS 4.3%, BOD 1%, COD 6%, T-N 18%, T-P 11%의 제거효율 증가를 보였다.

이와 같은 실험 결과로 식생 콘크리트는 기존의 수질 정화용 여재로 사용되는 다공성 콘크리트와 비교하여 수질 정화효율에서 조금 높은 것으로 조사되어 수질 개선용 여재로 활용가능성을 확인할 수 있었으며, 수질개선용 식생 콘크리트의 식재로 수중 및 수변생물의 서식처 제공과 수질정화에 의한 자정능력 증대 및 하천 경관 개선이라는 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

4) 기존 우수 재이용 방안과의 비교-검토

본 연구에서의 실험장치는 둔치 공간의 지하에 저류조를 활용하여 우수를 재이용하는 방안으로, 제방사면과 저수로의 호안에 실험을 통해 검증된 투수성 여재(다공

성 콘크리트 및 식생 콘크리트)를 접촉시켜 제방사면을 여과지로 활용하여 제방사면을 따라 오수가 침투되어 저류조로 저장되게 하고, 하천 유량이 부족할 때 저류조에서 저수로의 호안을 통해 방류시키는 원리로 구성되어 있다.

제방사면과 저수로의 호안을 접촉시킨 결과 최종 방류수의 수질정화 효율은 SS 57.3%, BOD 41%, COD 26 %, T-N 55%, T-P 53%로 높은 수질정화 효과를 확인할 수 있었다. 따라서 본 실험 장치를 다른 기존 하수 처리수 이용 방안의 수질개선효과 추정치와의 단순 비교만으로 평가한 결과, 수질개선 효과는 여타의 시스템(단순 이송을 통한 방류, 습지를 통한 방류, 산화저류조를 통한 방류, 침투를 통한 방류) 방법 보다 높은 것으로 조사되었다. 또한, 본 시스템은 기존 하천변의 제방사면 및 둔치공간, 저수호안을 효율적으로 이용하는 방안이므로 부지 선정의 어려움이나 넓은 부지를 필요로 하지 않으며, 오수를 장거리 도수하지 않고 자연 유하식을 채택하고 있어 동력비나 도수관 등이 필요 없어 비용면이나 유지관리 측면에 있어서도 기존의 방법들의 장·단점들과 비교 검토하여도 보다 합리적인 것으로 판단된다.

결과적으로 본 실험장치는 위에서 언급한 건천화 방지를 위한 하수처리수 이용 방법보다도 높은 수질정화 효과와 안정된 유량을 확보할 수 있는 장치로 판단된다. 그러나, 접촉을 통한 수질개선 시 제방사면에 침전물 등이 발생하는 단점을 가지고 있는 것으로 판단되었다. 이를 극복하기 위한 방안으로는 제방사면과 호안을 주기가 다르게 사용하여 청소해 주거나 접촉 면적을 박스 형태로 제작하여 교체가 가능하도록 하는 방안 등이 있다.

본 연구를 통해 건천화에 따른 유량부족과 수질오염이라는 문제점을 동시에 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 저류조가 지하에 매설되어 방류되므로 둔치공간에 운동시설이나 기타 시설이 위치할 수 있으며, 나아가 투수성이 좋은 접촉여체(다공성 콘크리트 및 식생 콘크리트)는 미생물의 생육공간을 제공함으로써 환경복원 측면에서 우수하며, 하천주변 전체 녹화로 자연 친화적인 미관 형성 등 여러 가지 장점을 가지고 있다.

v. 연구결과의 활용계획

▣ 본 연구에 도입된 다공성 콘크리트와 식생콘크리트는 여러 측면에서 유리한 접촉 여재인 것으로 나타났으며, 실제 현장 적용에 초점을 둔 연구가 계속적으로 진행된다면 우리나라 중·소하천의 특성에 적합한 공정이 상용화 될 수 있을 것으로 판단된다.

■ 본 연구에서 제시된 우수 저류시설 설치나 오수를 하천으로 도수하여 재이용함으로써 갈수 시 유량확보가 어려운 지역에 설치·적용한다면 수량과 수질을 동시에 확보할 수 있어 당면한 지역현안(건천화에 따른 유량부족 및 수질오염) 문제점 개선에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

■ 연구 결과는 학술지나 논문에 게재함으로써 기술의 공유화를 통하여 보다 발전된 기술의 축적에 이바지하며, 동시에 새로운 모델이나 기술을 특허화 함으로써 우리나라의 건천화에 따른 유지유량 확보 기술의 선진화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

■ 추후 지방자치단체 차원의 예산 확보 및 지원을 통하여 투수성 우수 저류시설 형태의 Package 기술을 개발한다면 유지유량 확보에도 일조하고, 수질정화 효과도 볼 수 있을 것으로 판단된다.

SUMMARY

I . SUBJECT

"Plan for insurance of flow rate and improvement of water quality to prevent drying river condition in the Kyungan river"

II . Objectives and necessity of this study

The underground water in urban area have been decreased because asphalt and non-permeable concrete block prevent water infiltrated into underground, and river basins are going to be the drying river condition. Insufficiency of flow rate in river make occurred many problem such as deficiency of agricultural and industrial water, deterioration of water quality, loss of amenity function and so on. Therefore the study for insurance of flow rate in river is one of the urgent subjects.

The objectives of this study are to insure flow rate and to improve water quality by applying reservoir tank and environmental materials (porous concrete or planting concrete) at shore protection and the high water-level land in the river basin.

III . Content and range of this study

1) Plan for insurance of flow rate in river

Basic concept for insurance of flow rate in river was examined through literatures in the country and outside the country, and the applicable model in our country will be proposed through model test.

⇒ Proposal of technique for insurance of flow rate by using shore protection and the high water-level land in Kyungan river basin

2) Examination of the technique for purification of water quality

To insure flow rate required to maintain the function of river, sewage

water will be induced to the river after purified by contact media (porous concrete or planting concrete) applied at shore protection in the river basin.

⇒ Proposal of water purification technique by contact media applied at shore protection in Kyungan river basin

IV. Result

1) Physical and chemical characteristics of media for water purification

To estimate availability of media developed for improvement of water quality, physical and chemical characteristics of porous concrete were investigated. Reaching amount of alkali from porous concretes with and without neutralization treatment was decreased rapidly with placing into tap water flowing and its pHs were maintained about 7 ~ 7.5 after regularity time (28 hour). This pH range is appropriate to growth of plant.

Compressive strengths of porous concretes were in the range of 194 kgf/cm² ~ 218 kgf/cm² (average 205 kgf/cm²). This fact showed that porous concrete is available as a water purification material (above 180 kgf/cm² that is minimum compressive strength of general concrete can be used at construction).

2) Purification efficiency of media through batch test

The result of purification efficiency by planting concrete through batch test showed 75% for DOC removal efficiency. This value was similar to that by porous concrete (72%). In the PO₄-P concentration, removal efficiency by planting concrete was 4% higher than that by porous concrete, and removal efficiency by planting concrete for NH₄-N was 22% higher than that by porous concrete. In case of the NO₃-N concentration, removal efficiency by porous concrete was 7% higher than that by planting concrete. However both materials showed high removal efficiency for pollutant matter. Therefore, porous concrete and planting concrete were determined as a profitable contact media for water purification.

3) Purification efficiency of media in the continuous flowing system

In this study, we manufactured the reactor for the test in the continuous flowing system and porous concrete and planting concrete were applied at the first and the second shore protection. And reservoir tank was located in the high water-level land in the reactor. From this results, water purification efficiencies by planting concrete were higher by 4.3% for SS, by 1% for BOD, by 6% for COD, by 18% for T-N, and by 11% for T-P than those by porous concrete. Therefore it is estimated that planting concrete is available contact media for the purification of water quality.

4) Recycle plan of sewage water to prevent drying river

Recycle plan of sewage water is one of the methods to prevent drying river if its water quality can be improved before induced into river. From the results of this study, planting concrete and porous concrete was confirmed a good contact media in the improvement of water quality before re-discharge of sewage water and the continuous system proposed from this study was more effective system to prevent drying river comparing another system.

V. Application of the result

1) In this study, porous concrete and planting concrete estimated as a profitable contact material for water purification. If the study is progressed continuously at the focus on the actual field condition, it is considered that the adequate process in common use on small and middle river in our country can be developed.

2) If package techniques for insurance of flow rate and water quality are developed, it will much contribute to purification of river environment.

3) We hope to contribute to accumulation and acquisition of advanced technique for river environment by patent and publication of our results to scientific journal for new models of constructions on the river basin and technical development of media.

CONTENTS

Summary (Korean)	I
Summary (English)	vi
Contents	VIII
Chapter 1. Introduction	1
1. Background and objectives	2
2. Contents and method	3
3. Present state in the country and outside the country	4
1. Present state in the country	4
2. Present state outside the country	5
Chapter 2. Theory	7
1. Synopsis and principles of contact oxidation process	8
1. Synopsis	8
2. Principles and characteristics of bio-film	8
3. Removal of pollutant materials	10
4. Bio-film growth curve	11
2. Porous concrete	12
1. Synopsis	12
2. Concept and classification of porous concrete	13
3. Physio-dynamics properties of porous concrete	14
4. Properties of porous concrete for water purification	15
3. Planting concrete	16
1. Synopsis	16
2. Present state of internal-external countries	17
3. Practical use of planting concrete	18

Chapter 3. Materials and Methods	19
1. Study on the characteristics of pollution in Kyung An river	20
1. Present state of the Kyung An river basin	20
2. Present state of pollutant source in Kyung An river basin	20
3. Present state of sampling site and pollution in Kyung An river	21
2. Development of media for water purification	23
1. Experimental plan and mixing of porous concrete	23
2. Manufacturing process	23
3. Physio-chemical properties of porous concrete	26
4. Examination on purification efficiency of media through batch test ..	27
3. Examination on water purification efficiency of each media in continuous flowing system	28
1. Experimental device and operating condition	28
2. Experimental methods	29
 Chapter 4. Results and Discussion	 30
1. Physio-chemical properties of media for water purification	31
2. Examination on purification efficiency of media by batch test	33
3. Examination on water purification efficiency of each media in continuous flowing system	37
1. Examination on water purification efficiency of porous concrete in continuous flowing system	37
2. Examination on water purification efficiency of planting concrete in continuous flowing system	46
4. Examination and comparison with existing sewage recycle system	53
1. Preventing-system of drying river from existing study	53
2. Merit, weak point and water purification efficiency of each system	55
3. Examination and comparison prevent drying river systems to existing study this study result	56
4. Assessment of field application	57
 Chapter 5. Conclusion	 59
1. Physio-chemical properties of media for water purification	60
2. Examination on purification efficiency of media through batch test	60
3. Examination on water purification efficiency of each media in continuous flowing systems	62
4. Examination and comparison with existing sewage recycle system	63

목 차

요약문	I
Summary	vi
Contents	VIII
제 1 장 서 론	1
1. 연구배경 및 목적	2
2. 연구내용 및 방법	3
3. 국내·외 현황	4
1. 국내현황	4
2. 국외현황	5
제 2 장 이론적 고찰	7
1. 접촉산화 공법의 개요 및 원리	8
1. 개요	8
2. 생물막법의 원리 및 특성	8
3. 오염물질 제거	10
4. 생물막 성장(Bio-film growth) 곡선	11
2. 다공성 콘크리트	12
1. 개요	12
2. 다공성 콘크리트의 개념 및 분류	13
3. 다공성 콘크리트의 물리적·역학적 특성	14
4. 수질개선을 위한 다공성 콘크리트의 특성	15
3. 식생 콘크리트	16
1. 개요	16
2. 국내·외 연구현황	17
3. 식생콘크리트의 활용	18

제 3 장 실험재료 및 방법	19
1. 적용하천의 오염발생 특성 연구	20
1. 경안천의 유역현황	20
2. 경안천 유역의 오염원 발생	20
3. 경안천 수질조사 지점과 수질오염 현황	21
2. 수질정화를 위한 여재 개발	23
1. 실험계획 및 배합	23
2. 제작과정	23
3. 다공성 콘크리트의 물리·화학적 특성 평가	26
4. Batch test를 통한 여재의 정화효율 검토	27
3. 연속 흐름 시스템에서의 각 여재에 따른 수질 정화효율	28
1. 실험장치 및 운전조건	28
2. 실험방법	29
제 4 장 실험결과 및 고찰	30
1. 수질정화용 여재의 물리·화학적 특성	31
2. Batch test를 통한 여재의 정화효율	33
3. 연속 흐름 시스템에서의 각 여재에 따른 수질 정화효율	37
1. 연속 흐름 시스템에서의 다공성 콘크리트에 의한 수질 정화효율	37
2. 연속 흐름 시스템에서의 식생 콘크리트에 의한 수질 정화효율	46
4. 기존 오수 재이용 방안과의 비교·검토	53
1. 기존 연구의 건천화 방지 시스템	53
2. 각 시스템의 장·단점 및 수질개선 효과	55
3. 기존 건천화 방지 시스템과 본 연구결과의 비교·검토	56
4. 현장 적용 가능성 평가	57
제 5 장 결론	59
1. 수질정화용 여재의 물리·화학적 특성	60
2. Batch test를 통한 여재의 정화효율 검토	60
3. 연속 흐름 시스템에서의 각 여재에 따른 수질 정화효율 검토	62
4. 기존 오수 재이용 방안과의 비교·검토	63
기대효과 및 향후 연구계획	66
참여기업 의견 및 평가	69
참고문헌	71

표 목 차

표 1. 접촉산화법의 장·단점	10
표 2. 일본의 실용적인 제품	17
표 3. 경안천 수질조사 지점과 수질오염 현황	21
표 4. 다공성 콘크리트 배합비	23
표 5. 수생식물 선정기준	24
표 6. 수질 분석항목과 분석방법	27
표 7. 실험장치의 샘플링 지점과 주요구조	29
표 8. 수질 분석항목과 분석방법	29
표 9. 다공성 콘크리트 압축강도	32
표 10. 다공성 콘크리트를 적용한 실험의 유입수 성상	37
표 11. 식생 콘크리트를 적용한 실험의 유입수 성상	46
표 12. 기존 하수처리수 이용방안의 장·단점 및 수질개선 효과 추정	55
표 13. 연구 결과를 실제 하천 적용 시 예상 수질 및 유량 평가	57
표 14. 연구 결과를 실제 하천 적용 시 예상 수질 평가	58

그 림 목 차

그림 1. 생물막 형성과정	9
그림 2. 생물막 성장단계	12
그림 3. 다공성 콘크리트의 분류	13
그림 4. 식생콘크리트의 구성	16
그림 5. 다공성 콘크리트 제작과정	25
그림 6. 다공성 콘크리트	25
그림 7. 식물을 식재한 식생 콘크리트	25
그림 8. Batch test 운전조건	27
그림 9. 실험장치 모식도	28
그림 10. 다공성 콘크리트의 중화처리 유무별 시간에 따른 pH 변화	32
그림 11. 다공성 콘크리트와 식생콘크리트의 유기물(DOC) 농도변화	33
그림 12. 다공성 콘크리트와 식생콘크리트의 유기물(DOC) 제거효율	34
그림 13. 다공성 콘크리트와 식생콘크리트에 의한 NH ₄ -N 농도변화	35
그림 14. 다공성 콘크리트와 식생콘크리트에 의한 NO ₃ -N 농도변화	35
그림 15. 다공성 콘크리트와 식생콘크리트에 의한 PO ₄ -P 농도변화	36
그림 16. 다공성 콘크리트 적용 시 pH 변화	38
그림 17. 다공성 콘크리트 적용 시 DO 변화	39
그림 18. 다공성 콘크리트 적용 시 수온 변화	39
그림 19. 다공성 콘크리트 적용 시 EC 변화	40
그림 20. 다공성 콘크리트 적용 시 SS 농도 변화 및 제거효율	41
그림 21. 다공성 콘크리트 적용 시 BOD 농도 변화 및 제거효율	42
그림 22. 다공성 콘크리트 적용 시 COD 농도 변화 및 제거효율	43
그림 23. 다공성 콘크리트 적용 시 T-N 농도 변화 및 제거효율	44
그림 24. 다공성 콘크리트 적용 시 T-P 농도 변화 및 제거효율	45
그림 25. 식생 콘크리트 적용 시 pH 변화	47
그림 26. 식생 콘크리트 적용 시 DO 변화	47
그림 27. 식생 콘크리트 적용 시 수온 변화	48
그림 28. 식생 콘크리트 적용 시 EC 변화	48

그림 29. 식생 콘크리트 적용 시 SS 농도 변화 및 제거효율	49
그림 30. 식생 콘크리트 적용 시 BOD 농도 변화 및 제거효율	50
그림 31. 식생 콘크리트 적용 시 COD 농도 변화 및 제거효율	51
그림 32. 식생 콘크리트 적용 시 T-N 농도 변화 및 제거효율	52
그림 33. 식생 콘크리트 적용 시 T-P 농도 변화 및 제거효율	53

제 1 장 서 론

1. 연구배경 및 목적	2
2. 연구내용 및 방법	3
3. 국내·외 현황	4

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근에 산업발전과 급격한 도시화로 인하여 물질적인 삶은 풍요로워졌으나, 이로 인한 환경오염은 사회적인 문제로 대두되어 공공수역의 수질회복을 위한 노력이 증가하고 있다. 그러나 아직도 많은 양의 생활하수·공장폐수·산업폐수가 공공수역으로 배출되어 하천이나 호수의 오염을 가중시키는 주요한 원인이 되고 있다. 또한 하천은 건천화로 인하여 하천 본래의 기능은 저하되고, 근래에 들어서는 지방자치단체에 의하여 재정확보, 도로확보를 위한 고수부지의 도시화가 진행되고 있는 실정이다.

도시화 현상과 녹지개발, 아스팔트화 등은 불투수층 면적의 증가라는 상황과 직결되기 때문에, 수문학적인 측면에서 기존의 지하수량에 보충되는 수량의 감소라는 문제를 야기시킨다. 따라서 강우사상이 발생되면 단기간 내에 모든 유량이 유출되어 버리고, 비가 오지 않는 기간에는 지하수량이 부족하기 때문에 하천이 고갈되는 현상이 발생된다. 이와 같은 건천화 현상은 수질오염 문제와도 직결된다. 건천화 현상은 우리나라 대도시 대부분의 중소하천에 상존하고 있으며, 이를 해결하기 위해서는 지하수 자원량의 함양이 필요하고, 때에 따라서는 인공적인 저류시설을 하천에 설치하여 강우 시 우수를 저류하여 인위적으로 하천에 흐르는 유량을 조절할 필요가 있다.

중·소하천의 건천화에 따른 하천 유지유량의 부족은 하천을 중심으로 한 각종 농경지의 농업용수 및 산업용수의 부족을 초래하고 또한 수질오염을 가중시켜 하천수의 효율적 이용을 어렵게 만들고 있으며, 이로 인해 파생되는 2차적인 비용증가는 경제적인 측면에서 많은 손실을 유발하고 있다.

또한 중·소하천의 건천화로 경제적인 측면뿐만 아니라 최근 지역주민의 관심이 고조되고 있는 친수기능에 있어서도 크게 장애를 가져오고 있다. 즉 하천의 건천화로 인하여 풍부한 수량에 의한 풍요로운 지역 이미지 대신에 황량한 느낌을 주며, 건천화로 인하여 악화된 수질은 심한 악취를 풍겨 지역 주민에게 기피의 대상으로 전락하고 있으며, 각종 해충이 번식하므로 공공의 보건에 있어서도 심각한 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 하천이 하천다운 모습을 갖추고 위에서 언급한 문제점들을 해결하고 지역 주민들이 가까이 할 수 있는 친수기능을 회복하기 위해서는 하천의

안정적인 유지용수 확보는 반드시 해결되어야 할 중요한 문제라 할 수 있다.

우리나라의 강우특성은 연도별, 지역별, 계절별로 강수량 차이가 심하고 변화의 폭이 커 수자원 관리에 매우 불리한 특성을 보이고 있다. 따라서 안정적인 물 공급을 위해서는 중·소규모의 댐 건설이 절실히 요구되나 환경·생태적인 측면과 사회적인 문제, 부족한 토지 등으로 인하여 중규모 이상 유역 차원의 수자원 확보가 실질적으로 어려운 상황에 직면해 있다, 특히, 경기도 내 중·소하천들은 농업용 저수지와 하류에 위치한 하수 처리장까지 관거를 통한 하수의 이송으로 인하여 중·소규모 수문 순환 단계가 인위적으로 단절되어 심각하게 건천화되어 있으며, 더욱이 평상시 유입되는 오염물질과 강우 시 유입되는 비점오염 물질의 영향 등으로 인하여 수질이 매우 열악한 상태에 있다. 따라서 경기도 내 중·소하천을 중심으로 유지유량을 확보함과 동시에 수질개선이 절실히 요구된다.

이와 같은 현실에서 본 연구에서는 유지유량을 확보하기 위해 오수를 재이용하는 방안을 제시하여 수질정화용 식생 콘크리트를 적용하여 수질개선을 꾀하고자 하였다. 본 연구에 사용되어진 식생 콘크리트는 내부에 다량의 공극을 함유하는 다공성 콘크리트에 식물 뿌리부가 정착되도록 제작되어진 여재로서, 미생물의 생육공간을 제공함으로써 환경복원측면에서 우수하며, 하천주변 전체 녹화로 자연 친화적인 미관 형성 등 여러 가지 장점을 가진 여재중의 하나이다.

본 연구의 목적은 하천의 건천화로 인하여 발생하는 사회문제를 해결하고, 시민들에게 친수공간을 제공하며, 하천 본래의 기능 회복을 촉진시키기 위하여 하천의 안정적인 유지유량 확보방안 및 수질개선방안을 제시하는데 있다.

1.2 연구내용 및 방법

본 연구에서 건천화 현상이 발생하는 경안천을 선정하였으나, 우리나라의 대부분의 하천이 갈수 시 유지유량 부족으로 인하여 오염이 심각한 실정에 있는 바, 개발된 공정은 모든 하천의 부분적 구간에 적용할 것이다. 본 연구에서는 환경 친화적인 유지유량 확보기술을 통하여 양질의 수질확보방안을 검토하기 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

1) 문헌조사를 통해 국내 건천화 현황을 검토하고, 또한, 유량확보 방안에 대한 외국의 사례 조사를 통해 연구에 필요한 기초 자료를 수집하였다.

- 2) 호안 및 제방침투 등에 관한 이론적 고찰을 통해 실험에 적합한 제작 모델(다공성 콘크리트, 식생 콘크리트)을 결정하였다.
- 3) 결정된 모델을 이용하여 실험실 규모의 실험 장치를 제작하여 경희대학교 오·폐수 처리장의 시료를 이용한 수질정화기술에 관한 특성을 파악하였다.
- 4) Pilot규모의 실험을 통해 현장적용 가능성을 평가하였고, 기존의 건천화 방안들과 비교 검토하였다.

1.3 국내·외 현황

1.3.1 국내현황

서울시에 따르면, 시에서 관리하는 35개 하천 중 한강, 중랑천, 안양천 등 국가하천을 제외한 나머지 하천은 우기를 제외하고는 수량이 적어 메말라 있고, 특히 갈수기엔 하천이 바닥을 드러내 거대한 공터를 방불케 하고 있다. 서울시는 지난 97년 6월 ‘세계환경의 날’을 맞아 ‘서울의제 21’이라는 종합적인 환경대책을 발표하면서 ‘하천에 물이 풍부하게 흐르도록 한다’는 구체적인 행동목표까지 설정, 건천화 예방을 대외적으로 공표하였으나 후속조치가 마련되지 않아 지금도 별다른 성과를 거두지 못하고 있다. 서울시의 한강지천 건천화 방지를 위한 추진방향에는 성내천에 지하철에서 배출되는 지하수 공급 등으로 상시유량 확보계획과 탄천 둔치에 개발된 주차장 등의 철거계획, 반포천 일부구간의 식생호안 조성, 불광, 홍제천 상류유역의 하천수의 적극보전에 따른 건천화 방지계획, 난지천의 하천의 직강화를 피하고 하천고유의 사행형 하천 조성에 따른 하천건천화 방지 등이 있다.

안양천 유역은 급격한 도시화로 인하여 호우 시에 우수가 급격히 유출되어 평상시에는 건천화 되어가고 있다. 특히 가양 및 안양하수처리장의 건설에 따른 차집관거의 건설은 수질오염문제의 저감에는 상당히 기여하지만 하천의 건천화를 가속화하여 하천생태계에는 여전히 부적당한 상태가 지속되고 있어 학의천에 자연형 하천 조성, 건천화 방지를 위해, 2단계 하수처리장에서 처리된 하수 3만 6천m³을 안양천 상류에 끌어올리는 방안을 마련 중에 있다.

우리나라에 존재하는 소하천은 총 25,073개소, 하천연장 38,862km로 그 수가 상당히 많다. 현재 소하천은 건천화가 진행되어, 단순한 하수 전달통로로서의 역할을 주로 담당하고 있어 친수기능을 상실한지 오래일 뿐만 아니라 근래에 들어서는 지방자치단

체들에 의해 재정확보와 주차장 및 도로확보 등을 위해 고수부지가 많이 활용되고 있다. 실제 경기도내 하수도 보급율은 70.5%로 높은 편이나 미처리 인구수(257만 3천 명)가 많아 적지 않은 가정하수와 공장폐수가 직접하천으로 유입되어지고 있으나 이에 따른 도내 처리시설이 41개소로 턱없이 모자라는 형편이다.

또한, 하천 유역의 도시화에 따른 유출이 증가하고 이때 유출되는 유량을 저류하기 위한 시설이나 하천과 연계된 저류시설은 고려되지 못하고 있다. 특히 도시화에 따른 침투량의 감소는 하천으로의 유입량을 감소시키고 이는 하천의 수질을 악화시켜 하천 유지유량의 확보와 동시에 수질개선이 이루어져야 하는 어려운 문제를 야기하고 있다.

1.3.2 국외현황

국외에서의 건천화 현상은 일부 하천에서는 국내의 건천화 현상과 비슷한 양상을 보이는 곳도 있으나 계절적 강우의 부족에 따른 건천화 현상이 대부분을 차지하고 있다. 건천화 된 국외 하천으로는 미국 테네시주의 South Fork Holston강, 중국의 황하강, 미국 롱아일랜드의 Nassau and Suffolk counties, 미국 애리조나주의 Rillito Creek, 유럽의 Danube강, 독일의 Rhine강 River, 미국 Maine주의 Orr's Island, 미국 애리조나주의 San Pedro강 유역, 미국 유타주의 Bear강, 미국 노스캐롤라이나주의 Orange County, 탄자니아의 Great Ruaha강, 미국 캘리포니아주의 Owens강 River, 미국 뉴멕시코주의 Rio Puerco and Rio Salado streams, 미국 플로리다주의 Suwannee강 River, 일본 Tokyo 등이 있다.

다음에 외국의 하천 건천화 방지기술과 사례에 대해 나타내었다. 국외 건천화 방지기술은 크게 6가지의 건천화 방지기술로 구분할 수 있다.

가. 도시화에 따른 하천건천화 방지기술

일본 토쿄는 급속한 도시화로 인하여 산림이 도로와 같은 불투수층으로 변하였다. 따라서 이러한 토지이용의 변화는 수리학적인 변화를 가져와 지표수의 지하침투를 방해하였다. 또한 하수관의 건설은 상류지역의 하수를 하류지역으로 직접 배수함으로써 하천의 건천화를 가져왔다. 따라서 토쿄시는 1963년 두 가지 법규를 제정하였다. 하나는 “Industrial Water Law”이고 다른 하나는 “Law of Controlling Pumping of Groundwater for Use of Buildings”이다. 이러한 법규의 제정으로 지하수위는 상승하였고 더불어 하천수위의 상승효과를 가져왔다.

나. 저수지, 보 등 하천구조물을 이용한 건천화 방지기술

중국의 황하강(Yellow River)은 중국에서 두 번째로 긴 강으로써 중국 수자원의 2% 정도에 해당하지만 전 인구의 12% 그리고 중국 경작면적의 15%에 물을 공급하고 있다. 1990년대 이후 황하강의 일부구간에서 건천화 현상이 나타나고 있으며, 강 주변에 사는 거주자들로 하여금 불편함을 끼치고 있다. 건천화의 원인으로서는 심각한 가뭄과 관개용수의 증가를 들 수 있다. 따라서 건천화를 예방하기 위해서 중국정부는 강 상류지역에서의 물 사용의 감소와 상류지역에 저수지를 건설하여 건기에 적절한 수량을 하류에 공급하는 방안을 강구하고 있다. 또 다른 건천화 방지 방안으로는 Yangtze강의 물을 도수하여 황하강으로 유하시키는 방안을 고려하고 있다.

다. 하천과 지하수와의 연관성을 고려한 방지기술

미국 애리조나주에 위치한 Rillito Creek는 지역적인 영향으로 인하여 여름 우기에만 하천에 물이 흐르는 전형적인 Ephemeral stream이다. 여름철에 침투된 물은 Arizona주에 위치한 Tucson시에서 사용하는 지하수를 공급하는 중요한 수자원이다. 미국 USGS에서는 하천 건천화의 원인인 Rillito Creek에서 발생하는 유하도중에 손실되는 유량을 관측하여 하천으로부터 침투되는 물의 양을 산정하고 지하수와의 연관성을 연구하여 건천화의 원인규명과 방지대책을 강구하려 하였다.

라. 유역관리를 이용한 하천 건천화 방지기술

미국 플로리다주 서쪽 지역에서의 심각한 지하수사용으로 인한 호수의 수량이 줄어드는 것을 방지하기 위하여, 플로리다주는 Suwannee River로부터 물을 취수하여 사용하는 것을 고려하고 있다.

마. 대체수자원 개발을 이용한 건천화 방지기술

미국 California주 Owen River는 과도한 지역주민들의 물 사용으로 인하여 건천화가 야기되자 하천의 물을 취수하는 것을 포기하고 바닷물을 담수화하여 식수로 이용하는 방안을 강구하였다.

바. 물 사용 억제 등

아프리카 남 탄자니아의 Great Ruaha river의 농업유역인 Usangu에서는 건천화 해소를 위하여 농경지에서의 물 사용의 억제정책을 제시하고 있다.

제 2 장 이론적 고찰

1. 접촉산화공법의 개요 및 원리	8
2. 다공성 콘크리트	12
3. 식생 콘크리트	16

제 2 장 이론적 고찰

2.1 접촉산화공법의 개요 및 원리

2.1.1 개요

접촉산화법(Contact oxidation process)은 수중에 충전된 접촉여재의 표면에 형성된 생물막(Bio-film)과 폐수를 호기성 상태에서 접촉시킴으로써 폐수중의 유기물질을 생화학적 반응에 의하여 산화, 분해 시키는 방법이다.

생물막은 활성슬러지와 같은 현탁 미생물에 대응하는 미생물군의 서식형태로서 얇은 하천에 있는 세균의 90 ~ 99%는 이러한 생물막을 형성하고 있다고 한다. 매재로는 천연재료 또는 합성수지이고, 형태에 따라서 벌집형, 망형, 끈형 등의 module형과 bulk형 플라스틱 제품, 돌등 다양하게 사용된다.

이 공법은 반응조 내에 많은 미생물 집단을 안정되게 유지하기 힘들고 또 2차침전지로부터 활성슬러지를 반송해야하는 활성슬러지법의 결점을 보완하기 위해 개발된 것인데, 1980년을 전·후하여 선진국에서 소규모하수처리장 등에 많이 적용하고 있다.

2.1.2 생물막법의 원리 및 특성

생물막은 주로 세균과 세균이 분비한 섬유상 또는 점액성 고분자 물질 및 조류(부착성 조류)등으로 구성되어 있다. 세균이 분비한 고분자 섬유질은 부착성이 있고, 서로 얽혀서 글리코칼릭스(Glycocalyx)라는 세포간질을 형성하며, 세포외 효소를 함유하면서 기질을 분해, 섭취하는 기능을 수행하기도 한다. 세포막의 표면은 전해질이고, 흡착성이 강하기 때문에 기질과 환경에 따라 변화한다. 생물막의 형성은 유체의 마찰력이 크지 않을 때 접촉여재에 물리, 화학, 생물학적인 현상들에 의하여 미생물과 부착조류가 다음과 같은 과정(가 ~ 마)을 통하여 부착된다. 그림 1에 생물막의 형성과정을 나타내었다.

- 가. 기질이 액체로부터 여재 표면에 전달되어 흡착 (Adsorption)
- 나. 미생물 또는 조류가 여재표면으로 이동 (Transport)
- 다. 미생물 또는 조류가 여재표면에 부착 (Attachment)
- 라. 미생물 또는 조류가 기질을 섭취하고 성장하여 생물막 형성 (Growth)
- 마. 생물막으로부터 과잉 번식된 미생물은 액체의 흐름에 씻겨 탈리 (Entrainment)

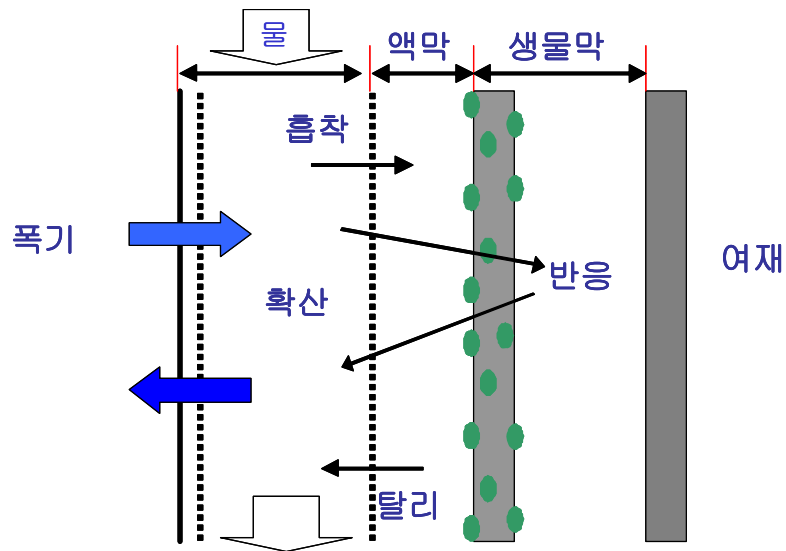


그림 1. 생물막 형성과정

Rittmann과 McCarty는 생물막 내부에서의 기질농도에 따라 생물막을 두꺼운 막, 얇은 막, 완전 침투막으로 구분하였고, Williamason과 McCarty는 유체 용액으로부터 생물막 내부로 전달된 기질의 농도가 '0'이 될 때까지의 깊이를 유효두께라고 하였다. Atkinson 등은 액상과 접하는 생물막 표면에 유체가 지나가는 기하학적 형태를 두 가지로 가정하였는데, 표면이 고르지 못하여 불규칙하게 배열된 생물막 사이로 유체가 지나가는 위동질성 형태(Pseudo-homogeneous type)와 표면이 고르게 형성된 생물막 위로 유체가 지나가는 이질성 형태(Heterogeneous type)로 구분하였다.

Rittmann등에 의하면, 기질이 최저농도 이하일 때 정상적 생물막은 형성되지 않는다고 한다. 정상적 생물막이란, 실제 증식과 감소가 없는 상태의 생물막을 뜻한다. 최저농도 미만의 기질은 미생물군을 존속시키기 위하여 필요한 최저에너지양에 미달되기 때문에 생물막의 두께는 제로(Zero)가 된다. 그러나 기질 부하율의 증가에 따라서 생물막의 생산량이 증대되고 두께도 커지는데, 이때 산소나 기질의 확산

이 미치지 못하는 생물막 심부에는 내생호흡, 자기분해 및 혐기성 분해 등이 진행되고, 생물막은 활성과 부착성을 잃으면서 탈리된다. 그리고 이 탈리의 정도는 수력의 영향을 받는다. 한편, 생물막 심부의 내생호흡, 자기분해 및 혐기성분해 등은 잉여슬러지 양을 감소시키는 데에 기여한다. 표 1은 접촉산화법을 기존의 다른 수처리공법에 비교할 때의 장·단점을 나타내었다.

표 1. 접촉산화법의 장·단점

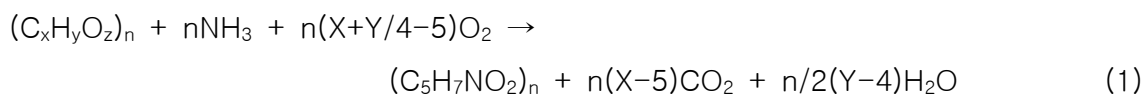
장점	<ul style="list-style-type: none"> · 슬러지 반응이 필요 없음 · 생물막 내부와 외부에서 혐기성 및 호기성 작용이 동시에 일어남 · 여재표면에 부착된 미생물군과 부착조류의 상호작용을 통해 처리효율 향상 · 자연정화 시스템을 이용하기에 특별한 운전조작 및 유지비용 절감
단점	<ul style="list-style-type: none"> · 부착된 미생물과 조류 등에 최적영향인자를 유지하기 어려움 · 부착 미생물 및 조류의 탈리 현상으로 수질이 일시적으로 악화 될 수 있음

2.1.3 오염물질 제거

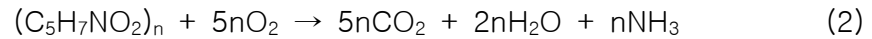
접촉산화법의 처리 원리는 활성슬러지법과 거의 같다. 그러나 포기조내 미생물의 형성방법이 활성슬러지법은 부유성장(Suspended growth)방식인데 반하여 접촉산화법은 부착성장 방식이라는 점에서 차이가 크다. 한편 정화기구의 해석상 중요한 점은 반응조내의 부유성미생물군과 고정미생물의 비율로서 살수여상이 100% 고정미생물인 반면 기타의 다른 형태의 접촉산화법은 50% 전·후를 유지한다.

가. 용존성 물질의 제거

생물막은 일정한 두께 이상이 되면 생물 산화 기능을 갖는 호기성층과 혐기성층이 발생된다. 일반적으로 산소가 침투할 수 있는 생물막의 두께는 2 ~ 3 mm 정도로 알려져 있는데, 생물막이 계속하여 성장하고 막의 두께가 두꺼워지면 산소가 생물막의 심부에까지 침투하지 못하여 혐기성 층이 발생한다. 호기성 생물막에 의한 유기물질의 호기성 신진대사를 화학 양론적으로 표현하면 아래 식(1)과 같다.



유기물과 질소화합물은 산소의 존재 하에서 미생물세포와 탄산가스 및 물을 형성한다. 또한, 증식한 세포는 영양원이 부족할 때 아래의 식(2)와 같이 진행한다.



나. 입자성 물질의 제거

대부분의 폐수는 확산 불가능한 입자성 물질을 포함하고 있기 때문에 용해성 기질만을 다루고 있는 기질 제거이론을 생물막 반응기에 직접 적용하기에는 한계가 있다. 입자성 물질의 제거에는 입자의 속성(크기분포와 전하), 매체의 속성(크기, 모양), 생물막의 속성(표면형태), 폐수유량 등 여러 변수들이 관련된다. 부착된 입자의 생물분해는 상세히 알려져 있지 않으나, 다음과 같은 두 가지 가설이 있다.

(1) 박테리아 세포막 표면에서 용액으로 방출된 세포의 효소작용으로 분해 된다. 분해 후 생성된 용해성 산물은 주위 액체로 방출되어 생물막으로의 확산을 통해 생분해, 혹은 Bulk 용액으로의 외부확산을 통해 유출수에 악영향을 끼친다.

(2) 입자의 가수분해 효소들이 박테리아 표면에 부착, 반응산물은 가수분해가 일어날 때 박테리아에 의해 직접 흡수된다. 그러나 유출수에 영향을 주지 않는다.

입자성 물질은 생물막으로의 이동속도와 생물막에서의 분해속도가 용해성 물질에 비해 현저히 느리기 때문에 입자성 물질이 많이 포함된 폐수에서는 입자성 물질의 제거가 속도 결정인자가 된다. 그러나 이러한 입자성 물질의 제거 기작을 양적으로 계통화 하기에는 아직 충분한 연구가 없는 실정이다.

2.1.4 생물막 성장(Bio-film growth) 곡선

B. Capdeville와 R. Belkhadir는 시간경과에 따른 생물막의 성장단계를 그림 2와 같이 설명하였다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 latent 단계에서는 분산미생물이 생물막을 형성하기 시작하는 단계이고, accelerated 혹은 dynamic 단계에서는 미생물이 증식하면서 접촉재 전면에 생물막을 형성하여 활성미생물(Active Biomass)의 번식률이 최대에 이르게 된다. 동시에 유기물(Substrate)의 제거율 또한 최대에 이른다. 한편 linear 및 declining growth 단계에서는 활성미생물의 양은 변동 없이 비활성미생물(Inactive biomass)의 양만 계속해서 증가하여 stabilization 단계를 거친 후 생물막이 탈락된다.

활성미생물(Ma)은 유기물의 산화를 책임지고 있으며, 비활성 미생물(Mi)은 미생물의

산화에는 참여하지 않지만 여전히 어떠한 효소활동(Enzymatic activities)을 하고 있다.

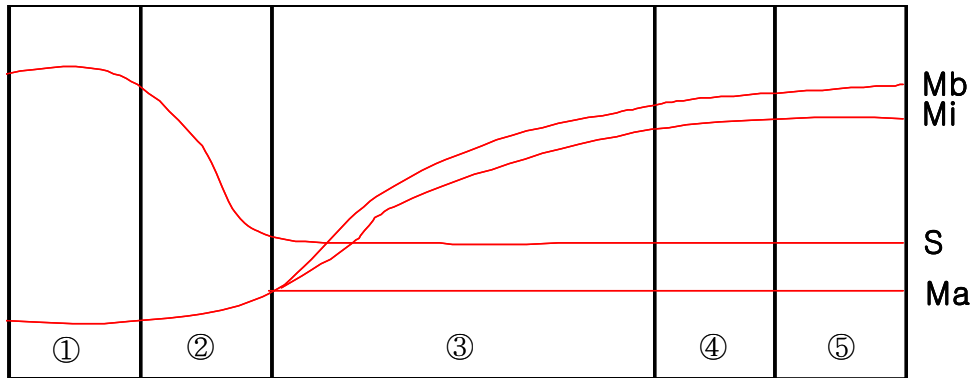


그림 2. 생물막 성장단계

Mb : Total biomass, Mi : Inactive biomass

Ma : Active biomass, S : Substrate

- ① latent phase
- ② accelerated or dynamic phase
- ③ linear phase
- ④ declining growth phase
- ⑤ detachment phase

2.2 다공성 콘크리트

2.2.1 개요

다공성 콘크리트(Porous concrete)는 굵은 골재에 페이스트(paste)를 부착시켜 만든 콘크리트로, 연속적인 공극구조(No-fines concrete) 특성과 기존의 콘크리트의 성능과 기능을 만족시키는 동시에 환경 조화성·쾌적성 또한 보유하고 있는 특징이 있다. 다공성 콘크리트는 투수성과 투기성이 우수하다는 것 외에 연속 공극부가 생물의 생식공간에 이용되는 등 생태계와의 조화·공생을 유지할 수 있어 환경부하 저감형 콘크리트로 주목받고 있다.

2.2.2 다공성 콘크리트의 개념 및 분류

그림 3에서 볼 수 있듯이, 환경부하 저감 다공성 콘크리트는 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 콘크리트 제조 과정 중 지구환경의 부하를 저감시킬 수 있는 콘크리트를 말하며, 콘크리트 제조 과정에서 CO₂ 가스를 줄이기 위하여 도시 폐기물 소각재와 하수 오니 등을 사용하거나, 플라이 애쉬(fly ash) 미분말 등의 혼화 재료를 사용하는 다공성 콘크리트를 말한다.

두 번째로는 콘크리트 사용 과정 중 환경부하를 저감 할 수 있는 콘크리트를 말하며, 이는 콘크리트의 장기수명화나 콘크리트의 리사이클화에 따른 재자원화를 통하여 성취될 수 있다. 즉 콘크리트 구조물의 장기간 사용은 시멘트 제조 과정에서의 CO₂와 에너지량의 감소, 골재 자원, 폐콘크리트의 처분 문제, 재건설 시 필요한 자원 경감 등에 유효하다. 또한 콘크리트의 리사이클화는 재자원화를 통하여 자원 사용량 및 자원의 채취, 정제, 가공, 사용 시 필요한 에너지량과 지구 환경에 주는 부하가 작은 콘크리트를 만들 수 있다.

마지막 세 번째로는 콘크리트 제품 활용 과정에서 환경부하를 저감시키는 콘크리트로는 열(熱) 수지와 물(水) 수지를 제어하는 다공질 콘크리트를 들 수 있다.

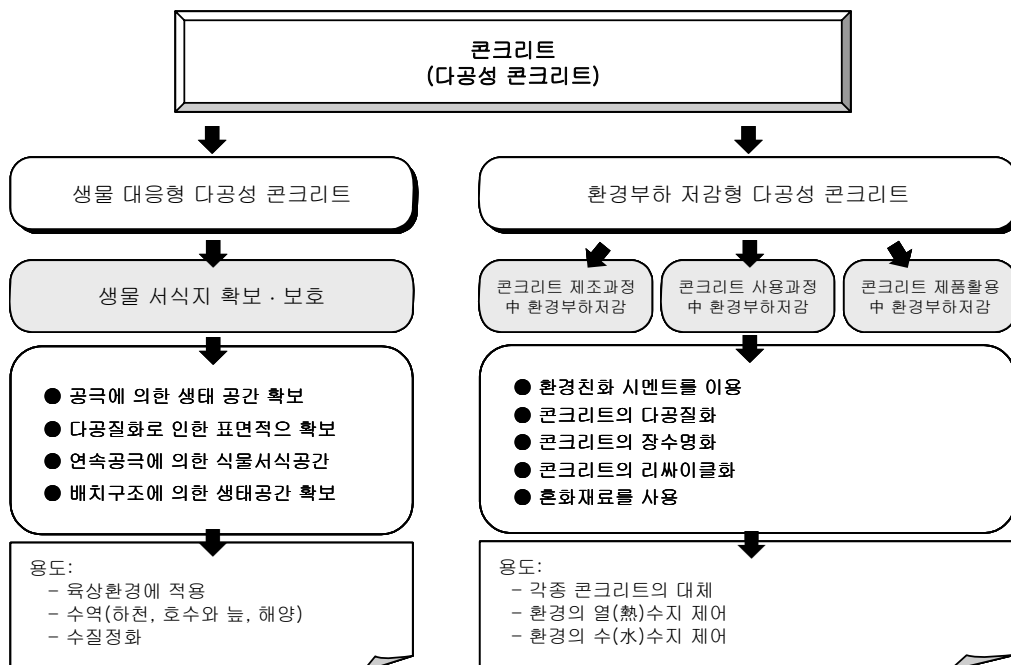


그림 3. 다공성 콘크리트의 분류

2.2.3 다공성 콘크리트의 물리적·역학적 특성

가. 공극률 및 공극구조

공극의 비율을 표시하는 공극률은 다공성 콘크리트의 각종 역학적인 특성에 영향을 미치는 가장 중요한 요소이다. 공극률에는 연속 공극률과 독립 공극이 포함된 전공극률이 있다. 물-결합재 질량비가 커질수록, 페이스트가 부드럽게 되고, 굵은 골재 사이의 공극을 채우기 때문에 공극률이 감소한다.

나. 압축강도

콘크리트의 강도는 일반적으로 재령 28일에서의 실험값을 기준으로 하며, 다공성 콘크리트의 강도는 보통 콘크리트에서와 마찬가지로 시멘트와 같은 사용 재료 또는 시멘트 페이스트 양, 공극률 및 물-시멘트비 등의 배합 조건, 다짐의 시공 조건 등에 의해 결정된다고 할 수 있다. 이 중 공극률의 영향이 가장 크다고 할 수 있으며 공극률의 증가에 따라 강도의 감소를 배합 측면에서 충분히 고려하여야 한다. 한편 다양한 입경의 굵은 골재를 이용한 다공성 콘크리트의 공극률과 압축 강도를 측정 한 결과 공극률이 동일하더라도 다공성 콘크리트 제조에 사용되는 골재의 입경이 작아짐에 따라 압축 강도는 상대적으로 증가된다.

다. 내구성

다공성 콘크리트의 내구성에 관한 연구는 현재로서는 활발하게 진행되어 있지 않은 상태지만 내구성의 특징 중에는 동결 융해 저항성에 대해서는 ASTM C 666 A법(수중동결 수중융해법) 및 B법(기중동결 수중융해법)에 의한 실험의 보고가 예로 있다. 다공성 콘크리트는 다량의 연속된 공극이 존재하므로 이 공극 내로 수분이 쉽게 유입되어 동결 팽창함으로써 일반 콘크리트에 비해 동결 융해 저항성이 낮은 것으로 알려져 있다.

하지만 골재 크기가 비교적 큰 쇄석을 사용한 다공성 콘크리트의 경우, A법에 의한 결과는 공극 내의 얼음의 팽창압을 직접 받기 때문에 열화가 빠르나 B법에 의한 시험처럼 공극이 물로 가득 차지 않은 경우의 실내 동결 융해 시험에서는 200회를 반복시키더라도 상대 동탄성 계수의 저하는 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과들을 종합해 보면 다공성 콘크리트를 호안 등의 수면 아래 부위에 적용하는 경우에는 주위가 요망되지만 기타의 경우는 한냉지에 대해서도 내구성이 있는 것으로 판단된다.

라. 투수성

투수성 콘크리트의 투수계수는 공극률 및 굵은 골재 입경에 따라 차이가 있다. 공극률과 투수계수와의 관계에 대해 연구한 보고에 의하면, 공극률이 커질수록, 동일 공극률에서는 골재 입경이 커질수록 투수계수 또한 증가한다. 즉, 공극률과 투수계수 사이에는 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있다.

2.2.4 수질개선을 위한 다공성 콘크리트의 특성

가. 서식지로서의 다공성 콘크리트의 특성

물과 환경에 의해 생물종, 생물량과 수질조건이 밀접한 관계가 있지만 살고 있는 서식기반과의 관계에 대해서는 명확하지 않은 점이 많다. 생물의 주거에 관계하는 다공성 콘크리트의 성격은 아래의 특성이라 할 수 있다.

- ① 공극특성 - 공극형상(공극경, 깊이), 공극율, 공극분포 등
- ② 표면특성 - 요철성, 흡착특성, 물기가 스미는 특성 등
- ③ 재료 특성 - 성분, 용해성, 색, pH 등

정확히 이러한 특성이 균일한 특성의 미생물이 우위를 차지하는 종이 되고, 수질정화 능력에 제약이 있을 가능성이 있다. 수질정화에 관여하는 생물은 박테리아, 조류, 원생동물, 후생동물 등의 작은 생물이 주를 이루고 수질정화의 한 부분을 담당하고 있고, 이들이 식물연쇄 밸런스를 가지고 서식하는 것이 희망된다. 따라서 다공성 콘크리트는 다양한 생물이 사는데 적합한 특성이 요구된다.

나. 설치조건과 수질정화 특성

다공성 콘크리트가 설치되는 환경조건도 수질정화 능력을 좌우한다. 다공성 콘크리트는 산소의 유무, 명암조건, 건습조건 등에 대해서 다양한 환경조건을 만들 수 있다. 물과 직접 접촉하는 콘크리트 표면에 용존산소(DO)가 충분히 존재하고 호기적 환경이 되어도, 생물막이 성장한 공극 안은 미호기에서 혐기적 환경이 되는 것이 예상된다. 그리고 호기성 미생물과 혐기성 미생물 각각의 대사분해에 의한 정화작용이 기대된다. 빛이 닿는 요철의 한 표면에 독립영양형의 조류 등이 우위를 차지하지만, 어두운 조건이 되면 공극 내에서 조류는 생육할 수 없다. 또 수면이 저하되고 콘크리트 표면이 건조되어도 공극 내부는 가는 구멍의 보수성에 의해 습윤 상태를 유지하는 것이 가능하다.

이러한 특성을 가진 다공성 콘크리트는 설치 주변 환경보다 훨씬 다양한 환경조

건을 가질 수 있다. 이와 같은 특성은 정화능력에 영향을 미치는 수질의 부하변동에 대해서 완충능력을 가지게 되고, 안정된 정화능력을 발휘하는 것으로 이어진다.

2.3 식생 콘크리트

2.3.1 개요

가. 식생 콘크리트에 필요한 기능

식생 콘크리트에 필요한 기능은 콘크리트 내에 식물이 성장할 수 있는 식생기능과 콘크리트의 기본적인 역학적 성질과의 공존에 있다. 그 중에서 식물이 살아가기 위해서는 빛, 성장에 필요한 공간, 대기 및 토양 등 4가지의 조건이 반드시 요구되므로 콘크리트에 직접 식물을 배양하기 위해서는 콘크리트에 토양과 동일한 기능을 부여하는 것이 필요하다.

식물의 씨앗이 발아하거나 식물이 뿌리를 내리고 성장할 수 있는 충분한 공간을 제공하기 위해서는 콘크리트 내부에 공극이 많고, 물이 통할 수 있는 연속공극이 형성되어 있어야 하며, 이러한 조건들은 다공성 콘크리트에서 가능하다. 일반적으로 토양에는 식물이 성장할 수 있는 적절한 pH(보통 5 ~ 8, 높은 경우 9.5정도)의 수분이 함유되나 콘크리트는 시멘트가 수화되면서 생성되는 수화물의 영향으로 강알칼리성을 나타내므로 중화처리가 동반되어야 한다(최룡, 1998). 다음 그림 4에 식생 콘크리트의 구성에 대해 나타내었다.

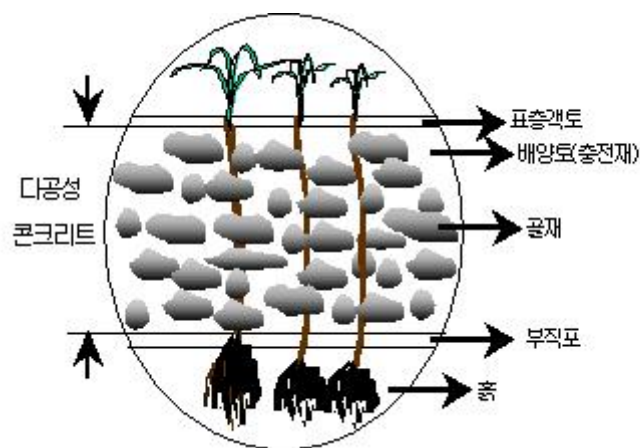


그림 4. 식생콘크리트의 구성 (최룡, 1998)

2.3.2 국내외 연구현황

가. 국외(일본)현황

일본의 경우 식생 콘크리트는 다공성 콘크리트를 식생 기반으로써 활용하는 기술이 실용화 단계에 달하고 있다. 다음 표 2에 일본에서 실용화되고 있는 제품에 대해서 소개하였다.

표 2. 일본의 실용적인 제품

회사명	상품명	제품 개요
청수건설	에코 콘크리트	투수성이 높고 식생의 기능을 부여한 다공성 콘크리트를 타설하여 그 표면에 식물의 종자가 들어간 재료를 슛크리팅하여 녹화하는 현장 타설 공법
TAKENAKA 공무점	녹화 콘크리트	다공성 콘크리트를 기반으로 하고 그 공극 내에 보수재와 비료를 충전하고 표층을 얇은 객토로 복토한 현장 타설 공법
KYOYA 콘크리트공업	그락스	형틀 모양의 블록으로 저면 및 형틀 부위가 다공성 콘크리트
미스비시 재료건설	그린포러스	자연석 모양을 낸 다공성 콘크리트의 대형 호안 블록
OZAWA 콘크리트	녹화블럭	블록 상면에는 토양 유출을 방지할 목적으로 얇은 스톱트가 설치되고 고품화 토양재가 충전되어 있다.
한신공업	녹화판	상부 블록과 하부 블록으로 구성되며 하부 블록에는 배양토용 공간이 설치되고 상부에는 식생용 구멍을 설치
페가사스연구회	배지크리트	강도를 갖는 보통 콘크리트부와 식생을 할 수 있는 다공성 콘크리트부와의 2층 구조
자그라스	테트락	블록 표면층을 보통 콘크리트로 배면층은 다공성 콘크리트로 한 2층 구조의 블록

(박승범, 2000)

나. 국내현황

국내에서는 다공성 콘크리트를 이용한 식생 콘크리트 제조는 아직 실용화되어 있지 못한 상태이며, 실험적으로는 S 연구소, C 대학 등에서 시험 식재한 바 있다.

2.3.3 식생 콘크리트의 활용

식생 콘크리트에 적용 가능한 식물로는 적용 대상 지역에 우점하고 있는 잔디, 띠, 크로바, 코스모스, 채송화 등 주로 초본 식물들이 주로 사용되고 있고, 다음에 식생 콘크리트의 적용 가능한 용도에 대해 나타내었다.

가. 불안정한 토양의 조기 녹화

- 불모지, 황무지 및 사막 등의 녹화기반 조성
- 굴착된 사면의 안정처리용

나. 기타 녹화기능

- 건축구조물의 옥상, 벽면 및 실내녹화
- 댐, 교량 등의 대형 토목구조물의 녹화
- 주차장 등 하중이 작은 장소의 표면 녹화
- 모래먼지를 줄이기 위한 광장, 옥외건설

다. 녹화 이외의 용도

- 수질 및 대기오염 정화 블록
- 도로주변의 방음벽
- 해양양식용 인공어초
- 재생골재의 이용

식생 콘크리트의 기술 개발은 선진국의 경우 20년 전부터 시작됐으나, 실용화를 하기 시작한 지는 몇 년 이내이며, 국내의 경우 환경문제에 대한 관심 고조, 경관향상을 고려하는 건설 산업이 부각되어 식생 콘크리트에 대한 연구 활동 및 적용이 활발하게 움직이는 경향이 있으나 현재까지 실용적 측면만 부각하고 있어, 환경친화적인 측면은 부족하다(박승범, 2000).

이러한 식생 콘크리트를 수질 정화용 여재로 사용할 경우 수중 및 수변동물의 서식처 제공과 뿌리 구간에서의 여과 작용과 물의 움직임에 따라 동침강(動沈降)에 의해 부유 물질을 2차적으로 제거함으로써 수질정화에 의한 자정력 증대 및 하천경관 개선이라는 효과를 기대할 수 있다.

제 3 장 실험재료 및 방법

1. 적용하천의 오염발생 특성 연구	20
2. 수질정화를 위한 여재 개발	23
3. 연속 흐름 시스템에서의 각 여재에 따른 수질 정화효율	28

제 3 장 실험재료 및 방법

3.1. 적용하천의 오염발생 특성 연구

3.1.1 경안천의 유역현황

경안천 유역은 한강의 제 1 지류로서 경도 및 위도상의 위치는 동경 127° 16' 47"~127° 14' 40", 북위 37° 11' 8"~37° 21' 1" 상에 있다. 경안천은 동측으로 곤지암천 유역, 청미천 유역과 경계를 이루고 있으며, 남측으로 진위천 유역, 서측으로 탄천 유역과 각각 경계를 이루고 있다. 경안천 본류 유역은 558.6 km²이고, 유로연장이 49.5 km이다.

유역의 중상류에 용인시가 위치하고 있으며, 국가하천구간의 제 1 지류인 목현천 하류부에는 광주시가지가 형성되어 있고 유역중앙부를 영동고속도로가 횡단하고 있으며, 하류로부터 모현면, 포곡면, 용인시가지 구간은 농업용 치수보가 단계별로 조성되어 비교적 완만한 경사를 이루고 있고, 용인시가지상류부 구간 및 각 지류는 급경사의 산지유역을 이루고 있으며, 유역의 중앙부 좌안에는 에버랜드가 위치하고 있어 관광지로 활용되고 있다.

3.1.2 경안천 유역의 오염원 현황

경안천은 용인시의 4개 동과 광주시 1개읍 및 6개 유역이 속해 있으며 총 246개의 리로 이루어져 있다. 이 유역은 경안천 본류의 5개 유역을 포함하여 13개의 배수구구역으로 구분되어져 있으며, 이 중 곤지암천 유역 면적이 가장 넓다. 토지이용 현황은 전체 558.6 km² 중 임야가 377.21 km²로 가장 넓고 기타, 논, 밭이 각각 78.97 km², 32.75 km², 52.95 km²로 나타나 타 유역에 비해 농경지와 도시지역의 비율이 높은 것으로 나타났다.

경안천 유역의 2000년 말 총인구는 264,349인이고, 최근 5년 자료를 근거로 2011년도의 인구를 예측한 결과 16만 여명이 더 증가되는 것으로 계산되었다. 가축사육현황은 1,240,249두로 단위면적당 가축사육두수는 2,220두/km²로 매우 높았다. 폐수배출업소의 경우 417개 업소가 분포하였고 이 중 151개 업소는 폐수를 위

탁처리하거나 재이용하고 있어 폐수를 방류하지 않은 것으로 나타났다. 이 중 12개의 1 ~ 4종 업체에서 총 8,792 m³/일의 폐수가 발생되어 전체 발생량의 79.7%를 차지하는 것으로 조사되었다. 경안천 유역의 음식점 수는 3,758개소로 총 면적은 314,654 m²이며 11개의 골프장과 2개의 양식장, 1개의 놀이공원, 10개의 연수원이 각각 위치하고 있는 것으로 조사되었다.

3.1.3 경안천 수질조사 지점과 수질오염 현황

경안천 상류로부터 하류지점까지 총 5개 지점(지류포함)에서 2003년 4월부터 11월까지 조사된 경안천의 수질조사 지점과 수질오염 현황을 표 3에 나타내었다. 조사 결과는 실측에 의한 수질만을 제시하였다.

표 3. 경안천 수질조사 지점과 수질오염 현황 (단위 : mg/l)

일 시	지 점	BOD	COD	T-N	T-P	SS
2003 4월	경안천 상류	5.7	6.7	7.1	0.89	35
	경안천 중류	4.6	6.3	12.7	0.65	29
	중대천(직리천 상류)	9.8	11.8	13.1	1.42	69
	능원천 하류	7.0	7.2	10.8	0.32	280
	목현천 하류	6.7	5.7	9.9	0.39	34
2003 5월	경안천 상류	4.0	5.3	1.8	0.09	15
	경안천 중류	6.1	9.4	9.2	0.95	18
	중대천(직리천 상류)	3.8	6.2	3.5	0.19	9
	능원천 하류	2.5	3.5	1.9	0.25	13
	목현천 하류	3.5	5.6	3.1	0.26	6
2003 6월	경안천 상류	4.64	9.2	0.62	0.18	12.0
	경안천 중류	13.52	9.4	4.26	0.11	14.2
	중대천(직리천 상류)	1.44	6.8	2.73	0.08	4.5
	능원천 하류	4.92	7.8	2.54	0.30	7.4
	목현천 하류	4.54	6.4	2.25	0.08	5.2

일 시	지 점	BOD	COD	T-N	T-P	SS
2003 7월	경안천 상류	4.8	6.4	3.21	0.04	5.8
	경안천 중류	6.6	8.5	4.12	0.92	3.8
	중대천(직리천 상류)	3.9	6.4	4.11	0.42	0.5
	능원천 하류	4.1	7.2	4.89	0.24	9.4
	목현천 하류	5.4	6.5	3.89	0.10	8.2
2003 8월	경안천 상류	4.8	5.6	2.10	0.21	1.8
	경안천 중류	4.8	7.8	5.21	0.52	4.2
	중대천(직리천 상류)	4.6	6.6	2.21	0.16	2.0
	능원천 하류	3.8	5.8	3.44	0.28	1.2
	목현천 하류	4.9	6.4	4.55	0.10	1.2
2003 9월	경안천 상류	2.2	2.0	2.02	0.05	2.0
	경안천 중류	2.3	1.8	3.04	0.18	2.4
	중대천(직리천 상류)	2.9	3.0	2.12	0.32	0.8
	능원천 하류	3.1	2.8	2.86	0.21	0.4
	목현천 하류	3.6	2.8	2.57	0.12	2.0
2003 10월	경안천 상류	2.8	0.8	2.34	0.05	0.4
	경안천 중류	3.6	4.1	2.00	4.02	3.6
	중대천(직리천 상류)	2.3	1.6	0.52	0.10	0.4
	능원천 하류	1.8	1.8	2.24	0.67	1.2
	목현천 하류	2.5	3.2	4.10	0.59	57.2
2003 11월	경안천 상류	2.3	0.8	1.85	0.10	2.8
	경안천 중류	3.9	4.0	1.98	0.49	2.0
	중대천(직리천 상류)	2.5	2.2	3.25	0.10	3.8
	능원천 하류	2.0	2.4	1.24	0.59	4.0
	목현천 하류	3.2	3.8	4.20	0.52	2.4

3.2 수질정화를 위한 여재 개발

3.2.1 실험계획 및 배합

일반적으로 다공성 콘크리트는 보통 콘크리트와는 달리 기능성을 확보하기 위해 내부에 다량의 공극(5 ~ 30%)을 함유하고 있으며, 그 강도는 공극량에 의해 크게 영향을 받는다(日本コンクリート工學協會, 1995). 이에 본 연구에서는 골재 자체가 형성하는 총 공극율(골재의 공극율)에 대해 시멘트 풀(Cement paste)이 이에 충전됨으로써 형성되는 공극율을 이론 공극율(배합 상 설계된 공극율)이라 하였으며, 이에 따른 배합을 실시하였다. 표 4에 식생 콘크리트의 기반이 되는 다공성 콘크리트의 배합비를 나타내었다.

표 4. 다공성 콘크리트 배합비

Theoretical void ratio(%)	W/C	P/A	W	Unit volume (ℓ/m ³)		Unit weight (kg/m ³)	
				C	A	C	A
30	25	12	32	43	625	135	1,588

W : water, P : paste, C : cement, A : aggregate

시멘트는 비중 3.15의 1종 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary portland cement)를 사용하였고, 쇄석은 비중이 2.54이고, 평균 크기가 9 ~ 13 mm이었다.

3.2.2 제작과정

다공성 콘크리트의 비빔 및 제작방법은 그림 5에 나타내었다. 골재와 시멘트를 측량한 후 물을 혼합하여 배합하였고, 몰드(20×10×5cm)에 채운 후 30회씩 다짐을 실시하여 제작한 후 측정재령일(7일)까지 표준 습윤 양생을 실시하였다. 이렇게 만들어진 여재를 다공성 콘크리트라 칭하였고, 식물이 성장하기 위해서는 적당한 pH(보통 5 ~ 9, 높은 경우 9.5정도)를 필요로 하므로, 제작된 다공성 콘크리트의 흐르는 수돗물에 1주일간 방치하여 알칼리 성분을 제거한 후, 노랑 꽃창포를 일정한 크기의 용기 아래에 다공성 콘크리트를 깔고 그 위에 노랑 꽃창포를 놓아, 뿌리가 다

공성 콘크리트를 관통하여 식물이 콘크리트 내에 정착하도록 하였다. 노랑 꽃창포 (*Iris pseudoacorus* LINNAEUS.)는 붓꽃과의 다년생초본(多年生草本)으로, 높이 60 ~ 90cm, 잎 길이는 90cm 안팎이며 너비가 2 ~ 3cm이다. 5 ~ 6월에 황색꽃이 피고, 꽃 밑에 2개의 큰 포(苞)가 있다. 9월에 열매가 성숙되고 삭과(蒴果)는 약간 밑으로 처지며 세모진 타원형으로서 끝이 뾰족하고 3개로 갈라져서 갈색 종자가 나온다. 노지 연못가나 화단 습지에 심어 감상할 수 있으며 충분한 광선을 요하며 노지에서 속근성으로 월동하며 16 ~ 30 °C에서 잘 생육 개화한다. 노랑 꽃창포는 남제주·전남·경남·강원·경기 등 전국에 고루 자생하는 아이리스류로서 산야습지에 자생하며, COD, BOD의 제거효과에 탁월한 식물로 알려져 있다.

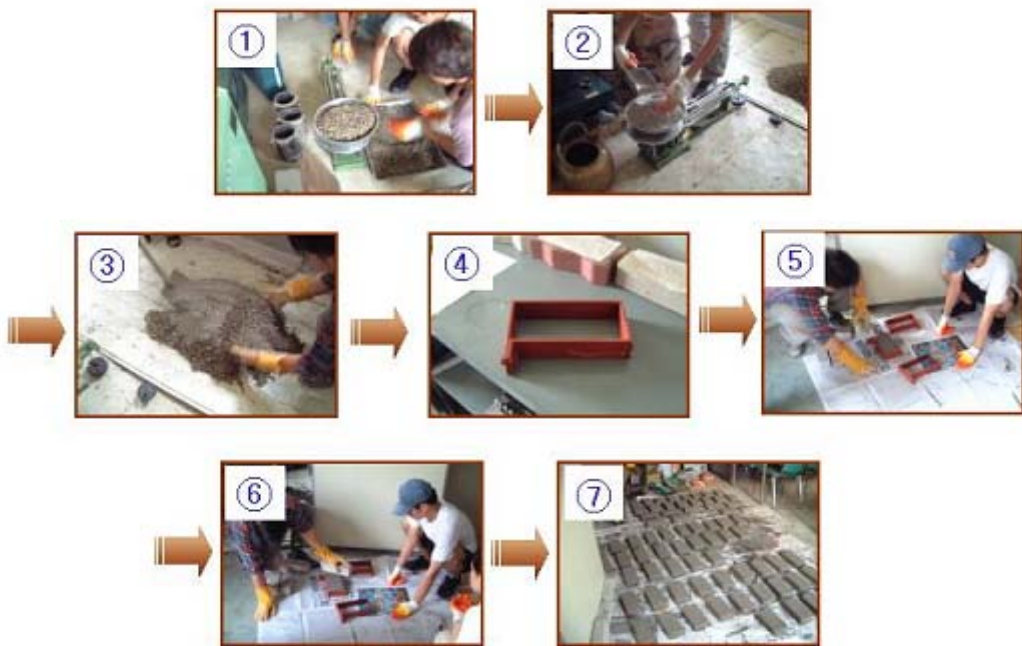
다음의 표 5는 수생식물의 선정기준을 나타내고 있다(이욱주, 1999). 다공성 콘크리트와 식물을 식재한 식생 콘크리트를 그림 6 ~ 7에 나타내었다.

표 5. 수생식물 선정기준

수종명	흡수 능력	영양염 류제거 능력	수집 능력	운반성	재 활용성	내한성	내 공해성	맹아력	구입 난이도
꽃창포	○	○	△	△	△	○	○	○	○
갈대류	○	○	△	△	△	○	○	○	○
줄	○	○	△	△	△	○	○	○	○
달뿌리풀	○	△	△	△	△	○	○	○	△
물억새	○	○	△	△	△	○	○	○	△
부레옥잠	△	○	○	×	○	×	○	○	△
개구리밥	△	○	○	×	○	△	○	○	○
마름류	△	△	×	×	△	△	○	○	○
미나리	○	○	○	△	△	○	○	○	○
연 꽃	△	△	×	△	△	×	○	○	△
검정말	△	△	×	×	△	△	○	○	△

○ : 양호, △ : 보통, × : 부적합

(www.assum.co.kr/project/main.htm)



① 골재측량 ② 시멘트 측량 ③ 비빔 ④ 몰드 ⑤ 채우기 ⑥ 다지기 ⑦ 건조
그림 5. 다공성 콘크리트 제작과정



그림 6. 다공성 콘크리트



그림 7. 식물을 식재한 식생 콘크리트

3.2.3 다공성 콘크리트의 물리·화학적 특성 평가

다공성 콘크리트의 현장적용 가능성을 평가하는데 있어 시설기준이 제시하는 강도 기준치의 만족여부를 평가하는 것은 필수적이며, 주원료(콘크리트)의 재료적 특성이 하천환경에 미치는 영향을 파악하는 것 또한 매우 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 다공성 여재의 물리·화학적 특성 평가를 목적으로 압축강도, 중화처리 유무에 따른 알칼리 용출(pH) 특성을 측정하였다.

가. 중화처리 효과

다공성 콘크리트의 중화처리 유무에 따른 pH 변화를 알아보기 위하여 1N의 염산용액을 수돗물에 희석한 후 다공성 콘크리트를 침지시키고 수돗물을 흘려보내며 시간에 따른 수소이온농도(pH)를 KS M 0011의 방법으로 측정하였다.

나. 압축강도에 대한 검토

실험계획 및 배합에 의해 제작된 공시체의 압축강도는 7일 재령 후 3개를 임의로 추출하여 실시하였다. 28일 강도는 콘크리트 설계기준에 규정된 재령별 압축강도 추정식을 사용하여 추정하였다. 식 (3)에 28일 압축강도의 추정식을 나타내었다.

$$f_{28} = \frac{f_{cu}(t)}{\beta_{cc}(t)} \quad (3)$$

f_{28} : 28일 설계기준 압축강도

$f_{cu}(t)$: t일에서의 압축강도

$$\beta_{cc}(t) = \exp\left[\beta_{sc}\left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}}\right)\right]$$

β_{sc} : 0.2 - 3종 시멘트

0.25 - 1종, 5종 시멘트

0.38 - 2종 시멘트

3.2.4. Batch Test를 통한 여재의 정화효율 검토

다공성 콘크리트와 식생 콘크리트에 의한 유기물 제거 효율을 조사하기 위해 두 종류의 여재를 하천에 침지시켜 콘크리트 내·외부에 미생물을 부착시킨 후, 실험실로 옮긴 후 Batch test를 하였다. 실험에 이용한 장치도는 다음 그림 8에 나타내었다.

본 연구에서는 유효용량이 5ℓ인 아크릴 반응조를 이용하였고, 배양실 조건(20℃, 8,000 ~ 10,000 Lux)에서 온도와 빛을 일정하게 유지하면서 수돗물과 Glucose를 혼합하여 유입수의 초기 DOC 농도를 약 30 mg/l로 조절하였으며, 반응조 내에 유입된 총 유량은 4 ℓ였다.

일정 시간간격으로 시료를 채취하여 여과한 후, DOC를 측정하여 두 여재에 부착된 미생물 군집량에 따른 유기물 제거효율을 조사하였다. 또한, 여재 종류에 따른 질소와 인의 제거효율을 알아보기 위해 일정시간 동안 채취한 시료를 여과한 후, 표 6에 나타낸 분석항목과 분석방법에 따라 실험하였다.

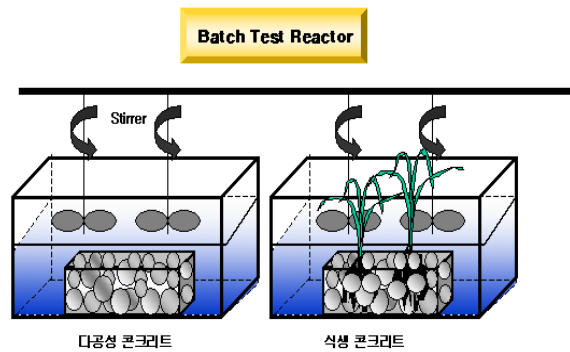


그림 8. Batch test 운전조건

표 6. 수질 분석항목과 분석방법

Item	Analysis Method
NH ₄ -N	Phenate Method
NO ₃ -N	Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method
PO ₄ -P	Ascorbic Acid Method
DOC	Total Organic Carbon Analyzer(SHIMADZU : TOC-5000A)

3.3 연속흐름 시스템에서의 각 여재에 따른 수질 정화효율

3.3.1 실험장치 및 운전조건

유지유량 확보 방안 중 오수를 하천 상류부로 도수하여 재이용함으로써 유지유량을 확보할 수 있는 실험 장치를 제작(그림 9)하였다. 본 실험장치의 원리는 오수가 제방의 다공성 콘크리트와 식생 콘크리트를 통과한 후 1차 폭기 후 저류조를 통과한 뒤 지하에 매설된 방류관을 통하여 호안을 통한 2차 처리 후 저수로로 방류하는 것으로, 제방의 여재와 호안의 여재를 통과하여 수질정화효과도 얻을 수 있도록 제작되었다.

본 실험에서의 여재에 따른 처리효율을 비교 검토하고자 다공성 콘크리트와 식생 콘크리트를 각각 이용하였으며, 실험은 각각 10일 동안 실시하였다.

반응조는 길이 1m 30cm, 폭 50cm, 높이 58cm 크기로(총 용량 = 90ℓ) 제작하였고, 체류시간을 35분으로 조절하였고, 경희대학교 교내 하수처리장내에 실제 현장조건과 동일하게 설치하였으며, 강우 등 인위적인 조건은 배제시키고 햇빛이 투과할 수 있는 지붕을 설치하였다.

실험에 사용된 여재는 하천에 12일간 침지시킨 후, 부착조류에 의한 부착막이 형성된 여재를 사용하였고, 유출수가 안정화된 시점부터 채수를 실시하였다.

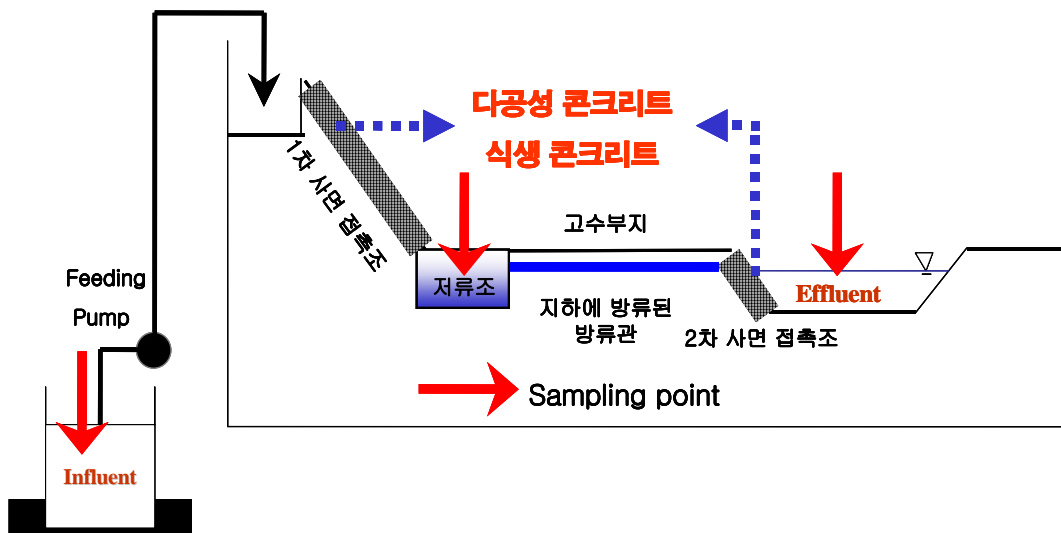


그림 9. 실험장치 모식도

표 7. 실험장치의 샘플링 지점과 주요원리

Sample position	principal
유입	하수처리장에서 처리된 최종 방류수를 상류부로 도수
1차 사면접촉조	자연유하에 의한 하천유지유량 확보 및 여재를 통한 수질개선효과
2차 사면접촉조	저류조를 통과한 후 지하에 매설된 방류관을 통하여 호안의 여재를 통한 2차 정화효과

3.3.2 실험방법

실험에 사용된 시료는 경희대학교 내 하수처리장의 최종 침전조로부터 정량펌프를 사용하여 유입시켰으며, 매일 일정한 시간에 채수를 실시하였다. 또한, 실험장치의 운전을 조기에 정상화시킬 수 있도록 접촉여재인 다공성 콘크리트를 하천에 12일간 침지시킨 후, 부착조류에 의한 부착막이 형성된 여재를 이용하였고, 유출수가 안정된 시점부터 10일간 실시하였다.

수질분석은 일정시간에 유입수와 1차 사면접촉조, 2차 사면접촉조에서 채취하여, 표 8에 나타난 분석항목과 분석방법에 따라 실험하였다.

표 8. 수질 분석항목과 분석방법

Item	Analysis Method
Temperature	pH Meter(WTW 330)
pH	pH Meter(WTW 330)
EC	EC Meter(HANNA)
DO	Azide Modification
SS	Vacuum Filtration(Glass Fiber Filter, GF/C)
BOD	Azide Modification
COD	Closed Reflux, Titrimetric Method(Standard Method)
T-N	Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method
NH ₄ -N	Phenate Method
NO ₂ -N	Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method
NO ₃ -N	Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method
T-P	Ascorbic Acid Method
PO ₄ -P	Ascorbic Acid Method

제 4 장 실험결과 및 고찰

-
1. 수질정화용 여재의 물리·화학적 특성 31
 2. Batch test를 통한 여재의 정화효율 33
 3. 연속 흐름 시스템에서의 각 여재에 따른
수질 정화효율 37
 4. 기존 오수 재이용 방안과의 비교·검토 53
-

제 4 장 실험결과 및 고찰

4.1 수질정화용 여재의 물리·화학적 특성

가. 중화처리 유·무별 pH 변화

콘크리트는 시멘트가 수화되면서 생성되는 수화물의 영향으로 강알칼리성을 나타내므로 식물성장을 위해서는 반드시 중화처리가 동반되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트의 중화처리 여부에 따른 알칼리 용출특성을 알아보기 위해 1N 염산 용액을 수돗물에 희석하여 중화처리를 한 경우와 하지 않았을 경우 총 2가지 조건으로 다공성 콘크리트에 수돗물을 흘려보내며 시간에 따른 pH 변화를 측정하여 그 변화를 그림 10에 나타내었다.

중화처리를 하기전의 pH는 12 이상이었으나, 중화처리 후 pH는 8.25로 급격히 감소하였고, 재령 경과에 따라 pH 9 전후로 증가하였다가 28시간 후 pH 는 7.0으로 안정화 되는 것으로 나타났다. 또한, 중화처리를 하지 않았을 경우 시간에 따른 pH 감소속도는 중화처리를 하였을 경우 보다 느리지만 28시간 후 pH는 7.5로 나타나, 중화처리를 하였을 경우, 초기에 pH 값을 크게 낮출 수 있는 것으로 나타났다.

최룡(1998)의 연구결과에 의하면 식물이 성장하기에 적합한 pH는 보통 5 ~ 8 또는 높은 경우 9.5인 것으로 나타나고 있다. 따라서 본 연구의 결과로부터 중화처리 유·무에 관계없이 다공성 콘크리트를 흐르는 물에 일정 시간(약 28시간)동안 침지시킨다면 용출되는 알칼리 성분이 물에 세척되어 pH가 낮아지고, 따라서 식물의 성장에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다.

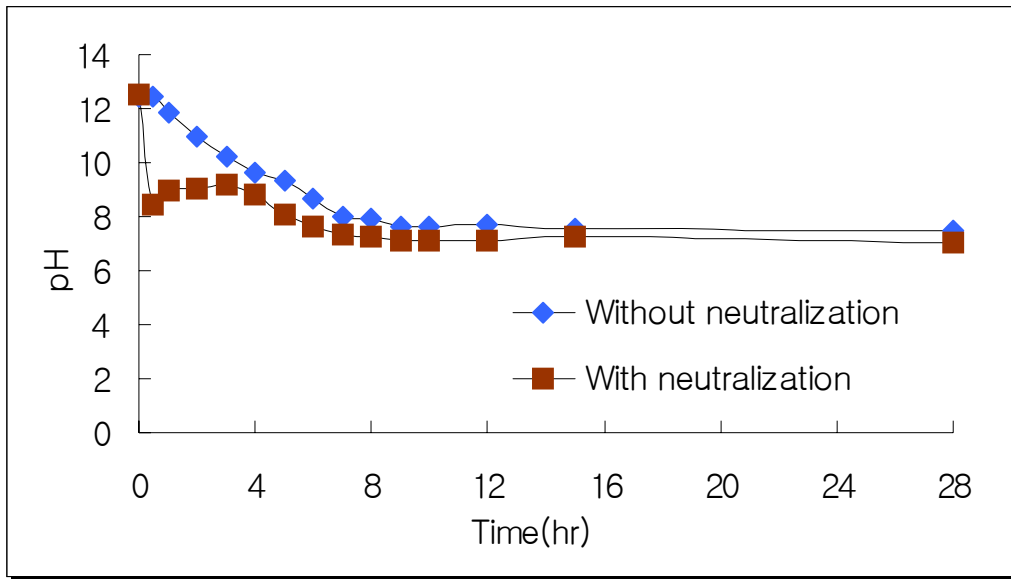


그림 10. 다공성 콘크리트의 중화처리 유무별 시간에 따른 pH 변화

나. 압축강도에 대한 검토

제작된 다공성 콘크리트의 압축강도는 7일 재령 후 3개를 임의로 추출하여 실험하였다. 일반 강도기준인 28일 압축강도는 콘크리트 설계기준에 규정된 재령별 압축강도 추정식을 사용하여 계산된 값이며, 표 9에 그 결과를 나타내었다.

표 9. 다공성 콘크리트 압축강도 (kgf/cm²)

Number	Theoretical void ratio (%)	$f_{cu}(7)$	f_{28}
1	30	179	218
2		165	202
3		159	194

다공성 콘크리트의 28일 압축강도를 측정한 결과, 194 ~ 218 (평균 205)kgf/cm²의 강도를 보여주었다. 위와 같은 결과는 김 외 3인(2000)이 실험한 구조용 보통 콘크리트의 최저 압축강도 수준인 180 kgf/cm²를 상회하는 것으로 나타나 하천에서의 수질정화용 여재로 충분히 이용할 수 있음을 보여준다.

4.2 Batch test를 통한 여재의 정화효율

가. 유기물 제거효율

그림 11 ~ 12에 다공성 콘크리트와 식생 콘크리트의 유기물(DOC) 농도변화와 제거효율을 나타내었다.

식생 콘크리트의 전체 평균 유기물 제거효율은 75%로 나타났으며, 다공성 콘크리트의 전체 평균 유기물 제거효율은 73%로 나타나 큰 차이를 보이지 않았다.

또한, 시간별로는 식생 콘크리트가 10시간 경과 후 30 mg/L의 유기물 농도가 4.2 mg/L로 나타나 제거효율이 86%로 가장 높게 나타났다. 다공성 콘크리트의 경우 12시간 경과 후 유기물 농도가 5.6 mg/L로 나타나 81%의 제거효율을 보였으며, 상대적으로 식생콘크리트의 유기물 제거 속도가 빠른 것으로 나타났다.

본 실험기간에 조사된 유기물제거효율은 자연처리공법 설계 시 중요한 인자로서, 다공성 콘크리트와 식생 콘크리트를 이용한 접촉산화공정의 체류시간 결정 시 중요한 인자로 사용될 수 있다.

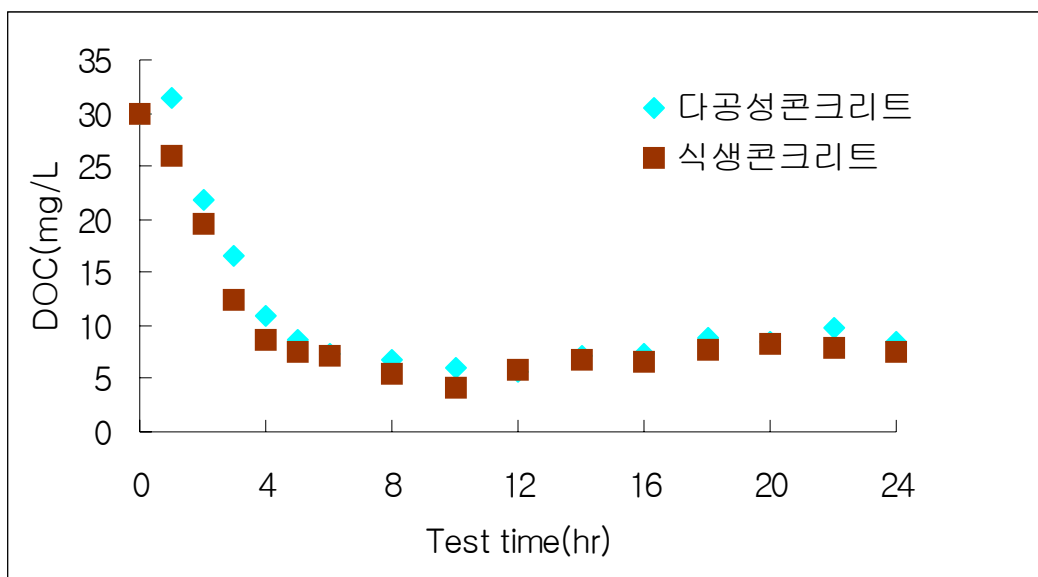


그림 11. 다공성 콘크리트와 식생콘크리트의 유기물(DOC) 농도변화

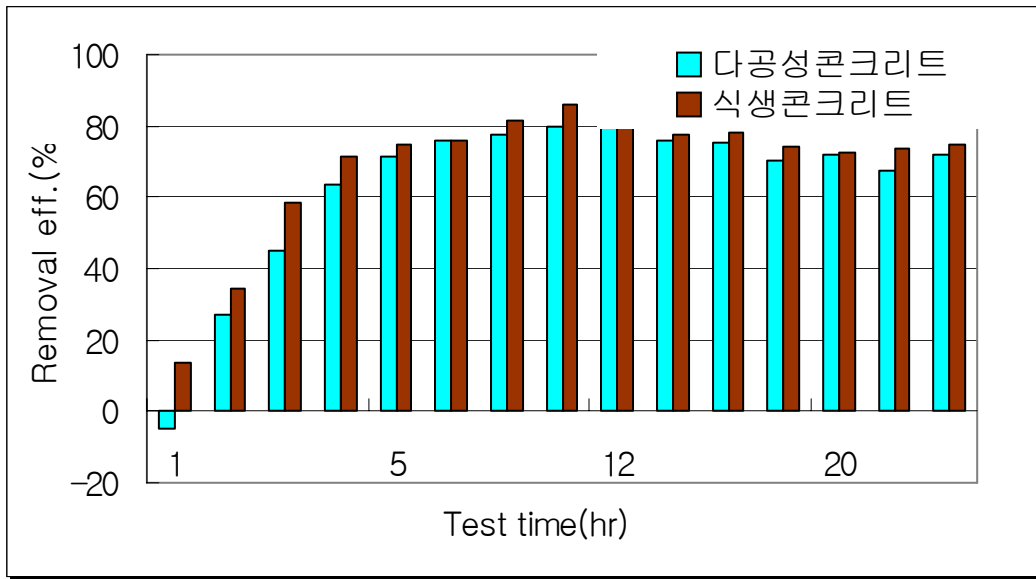


그림 12. 다공성 콘크리트와 식생 콘크리트의 유기물(DOC) 제거효율

나. 질소·인 제거효율

그림 13 ~ 15에 다공성 콘크리트와 식생 콘크리트의 질소·인 농도 변화에 대해 나타내었다.

NH₄-N 농도의 경우(그림 13) 다공성 콘크리트의 제거효율은 10.96 mg/l에서 5.88 mg/l로 46%, 식생 콘크리트의 제거효율은 10.58 mg/l에서 3.39 mg/l로 68% 인 것으로 나타나 식생 콘크리트의 제거효율이 약 22% 높게 나타났다. 또한 추세 선의 기울기가 다공성 콘크리트 보다 식생콘크리트에서 더 큰 것으로 나타나 시간에 따른 암모니아의 제거효율이 높음을 보여주었다. 이는 암모니아성 질소가 식물과 미생물에 용이하게 섭취되어지고, 식물 뿌리에 부착된 미생물이 유기질소를 분해하기 때문에 제거효율이 더 높게 나타난 것으로 보인다. 이와 김(1999)도 이와 비슷한 결과를 발표하였다.

NO₃-N 농도의 경우(그림 14) 다공성 콘크리트의 제거효율은 2.65 mg/l에서 0.08 mg/l로 97%, 식생 콘크리트의 제거효율은 2.16 mg/l에서 0.21 mg/l로 90%로 나타나 다공성 콘크리트의 경우가 제거효율이 약 7% 높게 나타났다. 이는 식물 종에 따라 암모니아성 질소와 질산성 질소의 흡수 선호도가 다르기 때문으로 판단되며(申丁吏, 2000), 식생 콘크리트의 경우 초기에 NO₃-N 농도가 빠르게 감소하는 것으로 조사되었다.

PO₄-P 농도의 경우(그림 15) 다공성 콘크리트의 제거효율은 0.63 mg/l에서 0.39

mg/l로 38%, 식생 콘크리트의 제거효율은 0.62 mg/l에서 0.36 mg/l로 42%의 제거효율을 보였다.

이 결과로 식생 콘크리트에 의한 제거효율은 인보다 질소가 다소 높게 나타났는데, 이는 식물이 일반적으로 인보다 질소를 빠른 속도로 흡수하기 때문으로 판단된다.

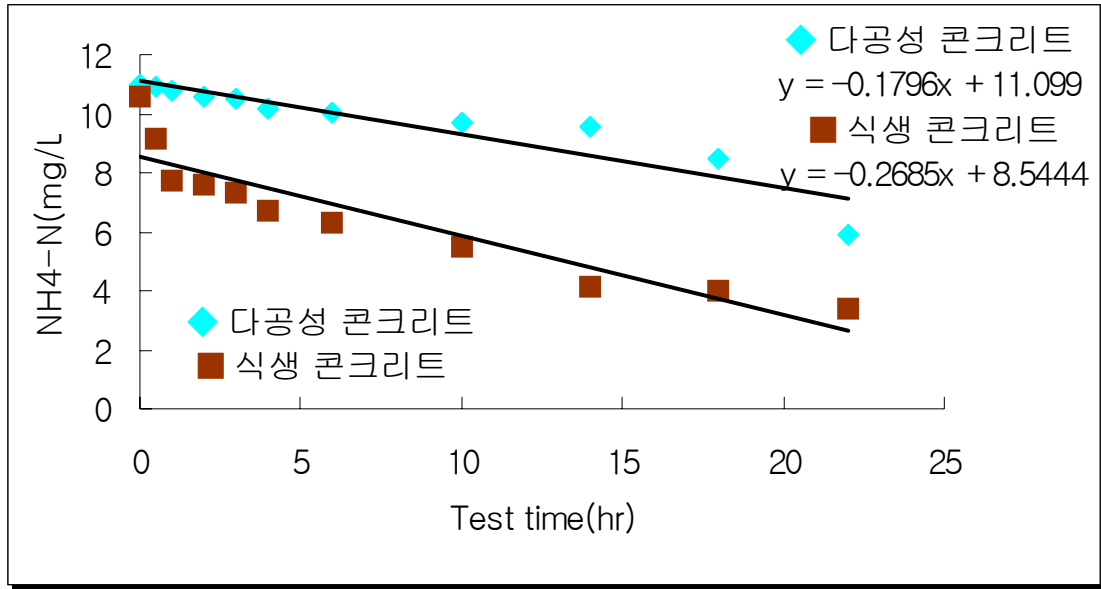


그림 13. 다공성 콘크리트와 식생콘크리트에 의한 NH₄-N 농도변화

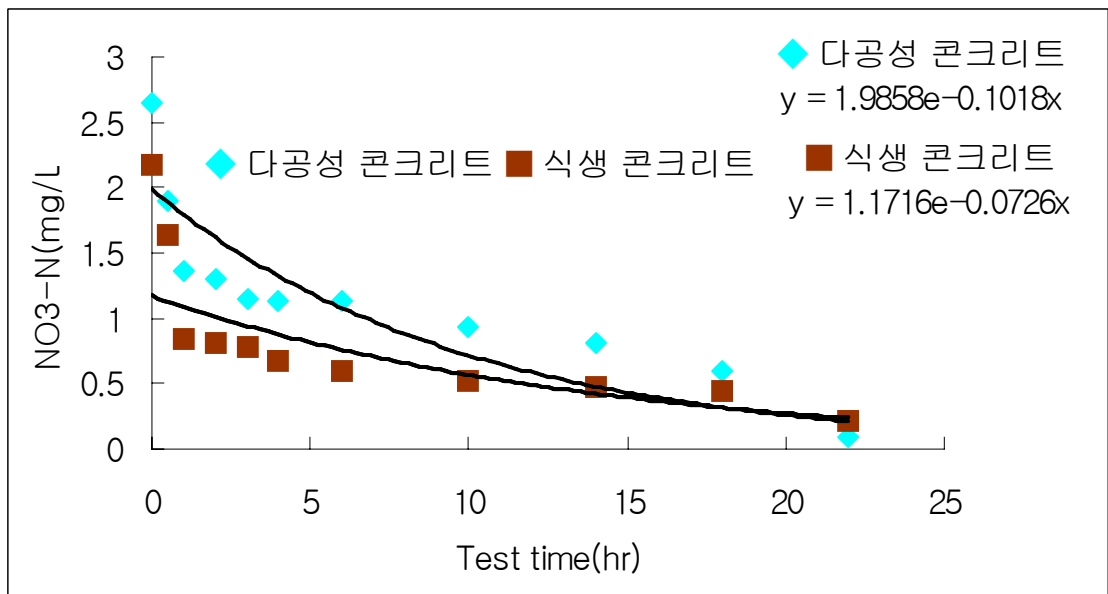


그림 14. 다공성 콘크리트와 식생콘크리트에 의한 NO₃-N 농도변화

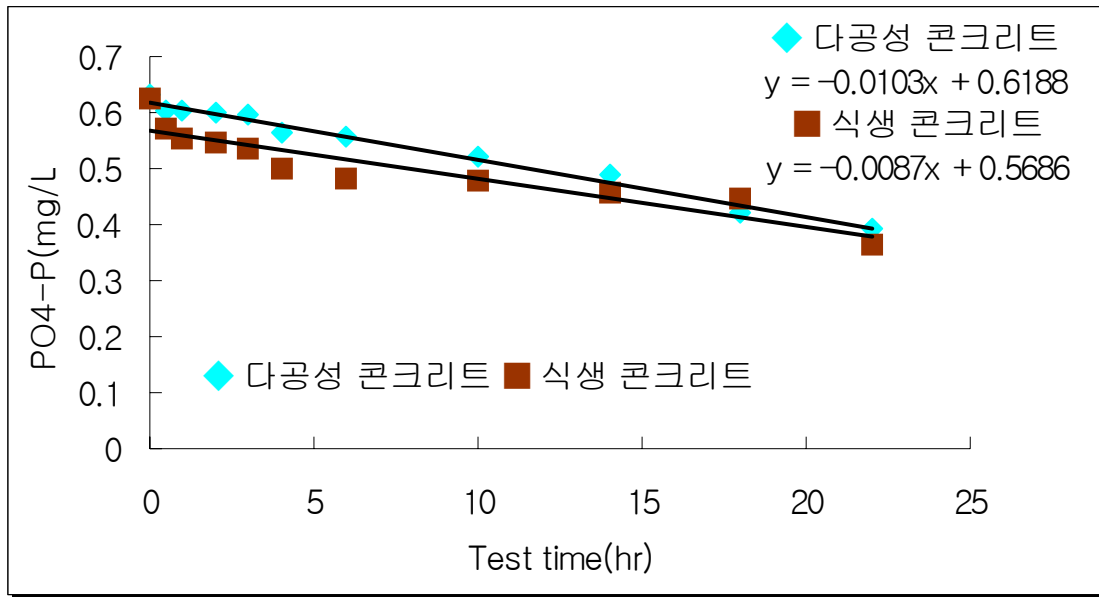


그림 15. 다공성 콘크리트와 식생콘크리트에 의한 PO₄-P 농도변화

4.3 연속흐름 시스템에서의 각 여재에 따른 수질 정화효율

4.3.1 연속흐름 시스템에서의 다공성 콘크리트에 의한 수질 정화효과

본 실험에서는 오수를 하천 상류부로 도수하여 자연 유하시켜 재이용함으로써 유자유량을 확보하고, 다공성 콘크리트를 적용시킴으로써 수질개선효과를 도모하기 위하여 각 항목에 대한 정화효과에 대해 관찰하였다. 본 실험은 다공성 콘크리트가 1, 2차 사면접촉 후 유출되는 유입수와 1차 사면접촉조, 2차 사면접촉조에서 채수하여 각각의 수질정화 능력을 평가하였으며 실험은 10일 동안 실시하였다. 본 실험은 식생 콘크리트에 의한 수질개선효과와 제거효율에 대해 비교하기 위해 실시하였다.

본 실험의 운전기간 동안 조사된 유입수의 성상에 대해 다음 표 10에 나타내었다.

표 10. 다공성 콘크리트를 적용한 실험의 유입수 성상

Item	Influent concentration range	Mean
Temp(°C)	19.2 ~ 22.9	20.9
pH	7.7 ~ 8.3	7.95
EC(μs/cm)	778 ~ 817	803
DO(mg/L)	7.4 ~ 9.7	8.5
BOD(mg/L)	4.16 ~ 9.32	6.6
COD(mg/L)	8.8 ~ 10.8	9.8
SS(mg/L)	5.7 ~ 13	9.5
T-N(mg/L)	25.6 ~ 39	33
T-P(mg/L)	8 ~ 9	8.5

가. pH, DO, 수온 및 EC 변화

그림 16 ~ 19는 실험기간동안의 pH, DO, 수온 및 EC의 변화를 나타낸 그림이다. 다공성 콘크리트를 적용하였을 경우 평균 pH는 유입수 7.95(8.25 ~ 7.73), 1차 사면접촉조 8.33(7.97 ~ 8.62), 2차 사면접촉조 8.55(8.1 ~ 9.2)로 나타났고, DO의 경우 유입수 평균 8.5(7.4 ~ 9.7)mg/L, 1차 사면접촉조 평균 9.1(8.7 ~ 9.9)mg/L, 2차 사면접촉조 평균 11(8.9 ~ 15.4)mg/L로 나타났다. 수온의 경우 유입수 평균 20.9(19.2 ~ 22.9)°C, 1차 사면접촉조 평균 22.8(20 ~ 26.9)°C, 2차 사

면접촉조 평균 22.4(19.7 ~ 26.8)℃의 값을 나타내었고, EC의 경우 유입수 평균 803(778 ~ 817) $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1차 사면접촉조 평균 798(736 ~ 836) $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2차 사면접촉조 평균 806(744 ~ 817) $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 값을 나타내었다.

2차 사면접촉조의 DO와 pH가 유입수에 비해 높은 수치를 나타내었는데, pH의 상승은 콘크리트 내·외부에 부착되었던 조류가 실험기간동안 광합성 활동을 하여 수중에 CO_2 를 소비하기 때문에 공기 중에서 물 속으로 유입되는 CO_2 량 보다 조류에 의한 소모량이 크기 때문이다. 수중 CO_2 는 조류의 광합성 활동이 극대화되면서 점차 감소하게 되는데, 이러한 CO_2 감소는 물 속의 알카리도 형태를 HCO_3^{3-} 에서 CO_3^{2-} 과 OH^- 형태로 변화시키고, pH를 상승시키는 요인이 된다.

또한, DO의 상승요인은 사면접촉에 의한 폭기와 광합성 미생물 및 부착성 조류 등에 의한 광합성 활동이 클 것으로 추정된다.

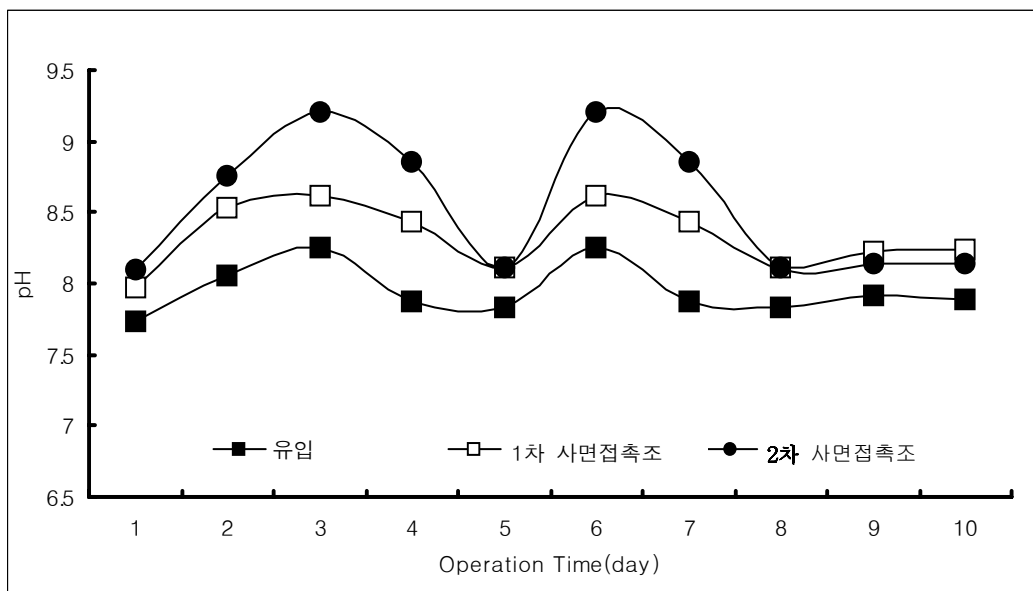


그림 16. 다공성 콘크리트 적용 시 pH 변화

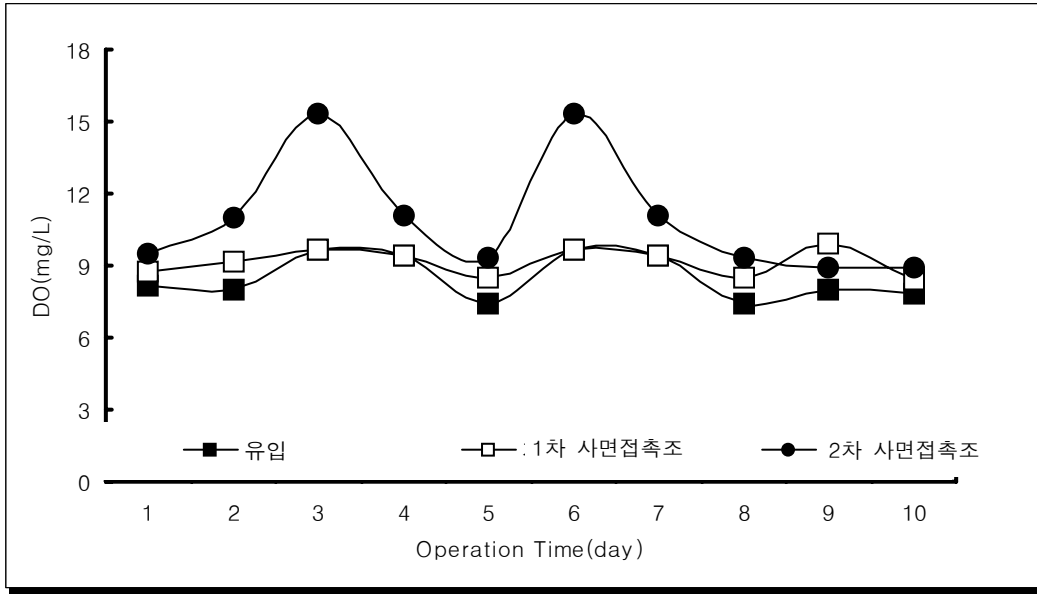


그림 17. 다공성 콘크리트 적용 시 DO 변화

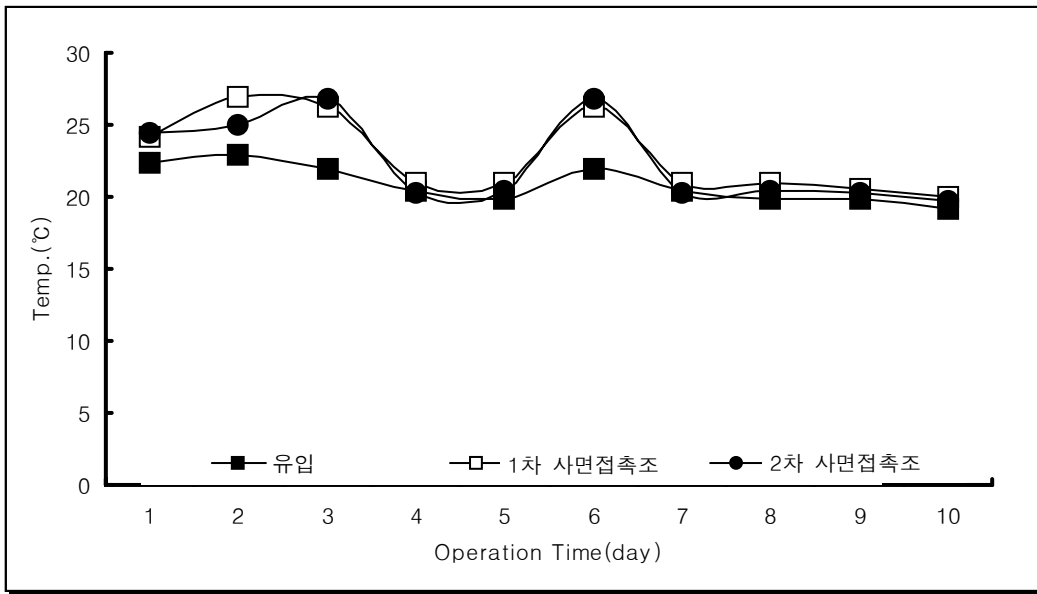


그림 18. 다공성 콘크리트 적용 시 수온 변화

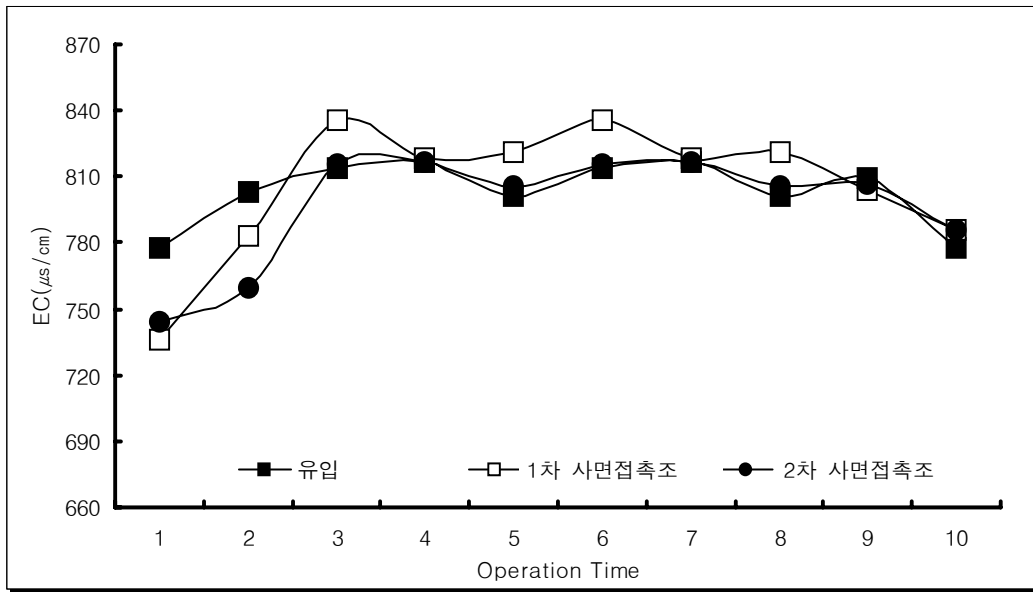


그림 19. 다공성 콘크리트 적용 시 EC 변화

나. 부유물질 및 유기물질 제거효율 검토

(1) SS 제거효율 검토

그림 20에 다공성 콘크리트를 적용하였을 경우 SS농도 변화와 제거효율에 대해 나타내었다. 유입수 평균 9.5(5.7 ~ 13)mg/L, 1차 사면접촉조 평균 5.6(4.3 ~ 6.2)mg/L, 2차 사면접촉조 평균 4.4(2 ~ 5)mg/L로 나타나, 1차 사면접촉조에서 제거율은 38.6%였으며 전체 제거효율은 53%로 나타났다. SS의 제거효율은 유입수의 SS 농도와 기타 유량에 따라 변화폭이 크게 나타났다.

이처럼 다공성 콘크리트가 높은 SS처리 효율을 보이는 이유는 기존 다른 접촉여재에 비해 비표면적이 크고, 내부에 공극을 가지고 있는 특성을 가지고 있어 여재 외부 뿐 만 아니라 내부에서도 부유물질 처리효율을 보일 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

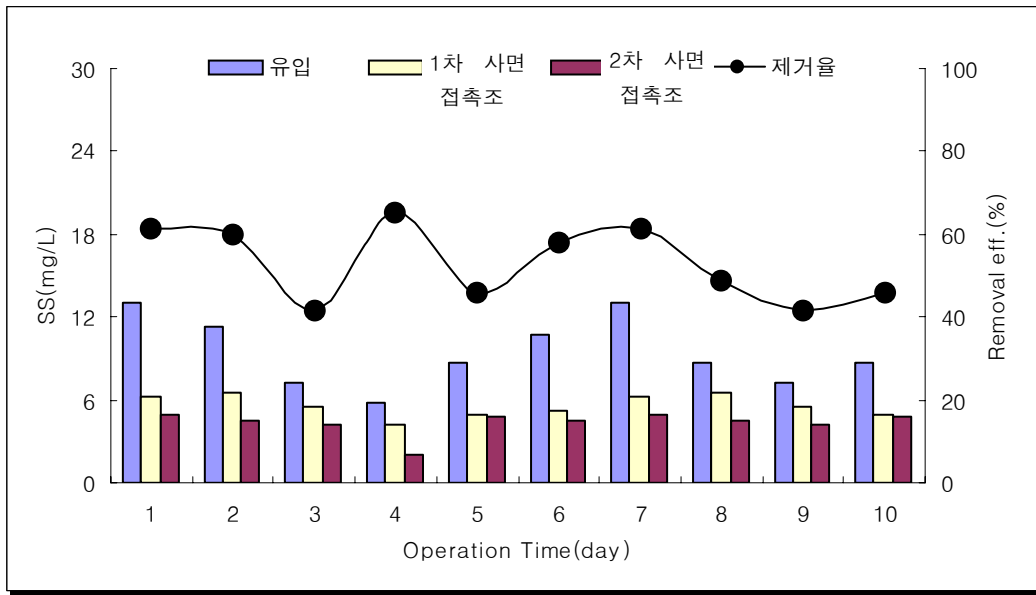


그림 20. 다공성 콘크리트 적용 시 SS 농도 변화 및 제거효율

(2) BOD 제거효율 검토

그림 21은 다공성 콘크리트를 적용하였을 경우 BOD 농도 변화와 제거효율을 관찰한 것이다. 유입수 평균 6.6(4.16 ~ 9.32)mg/L, 1차 사면접촉조 평균 4.4(3 ~ 5.9)mg/L, 2차 사면접촉조 평균 3.9(2.8 ~ 4.9)mg/L로 나타나 1차 사면접촉조 구간에서의 제거율은 평균 33%, 전체 구간에서의 제거율은 평균 약 40%로 나타나 반응조 유입부터 1차 사면접촉조 후 구간 사이에 다공성 콘크리트를 포설하여 눈에 띄는 BOD 저감효과를 볼 수 있었다.

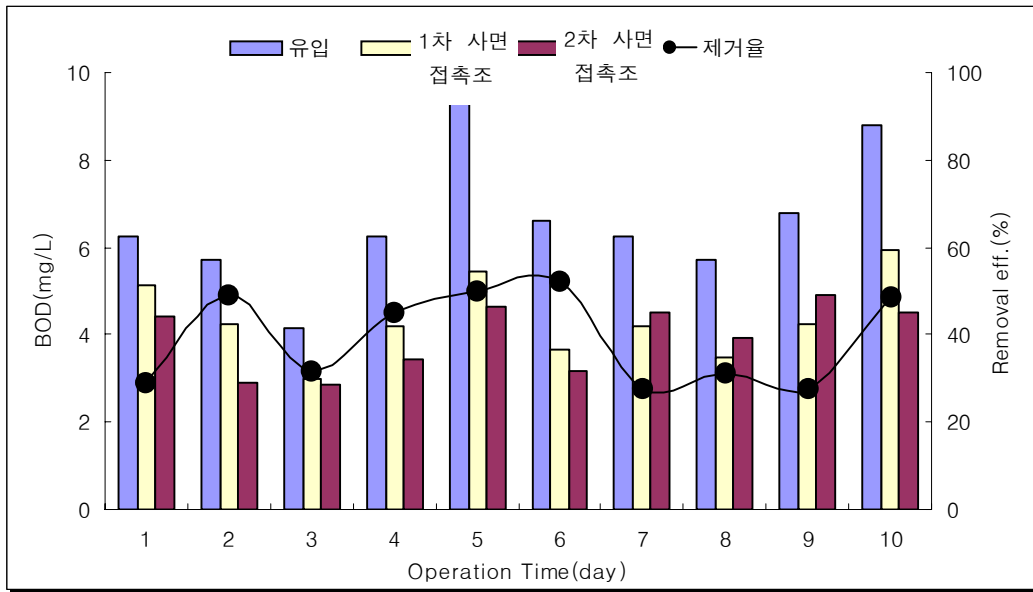


그림 21. 다공성 콘크리트 적용 시 BOD 농도 변화 및 제거효율

(3) COD 제거효율 검토

그림 22에 다공성 콘크리트를 적용하였을 경우 COD 농도 변화와 제거효율에 대해서 나타내었다. COD 농도는 유입수 평균 9.8(8.8 ~ 10.8)mg/L, 1차 사면접촉조 평균 8.7(7.6 ~ 10.4)mg/L, 2차 사면접촉조 평균 7.8(6.8 ~ 9.6)mg/L로 나타나 1차 사면접촉조 구간에서의 제거율은 평균 약 11%, 전체 구간에서의 제거율은 평균 약 20%로 나타났다.

다공성 콘크리트의 경우 다른 접촉여재보다 높은 처리효율을 나타내고 있는데, 이는 다공성 콘크리트가 다른 여재들에 비해 비표면적이 크고, 내부까지 연속한 공극이 형성되기 때문에 다양한 미생물이 내부까지 서식하고, 다양한 생물군이 형성되기 때문이다. 또한, 표면에는 호기성 미생물의 부착과 동시에 내부에는 혐기성 미생물의 서식공간이 형성되어 높은 유기물(BOD, COD) 처리효율을 나타내는 것으로 판단된다.

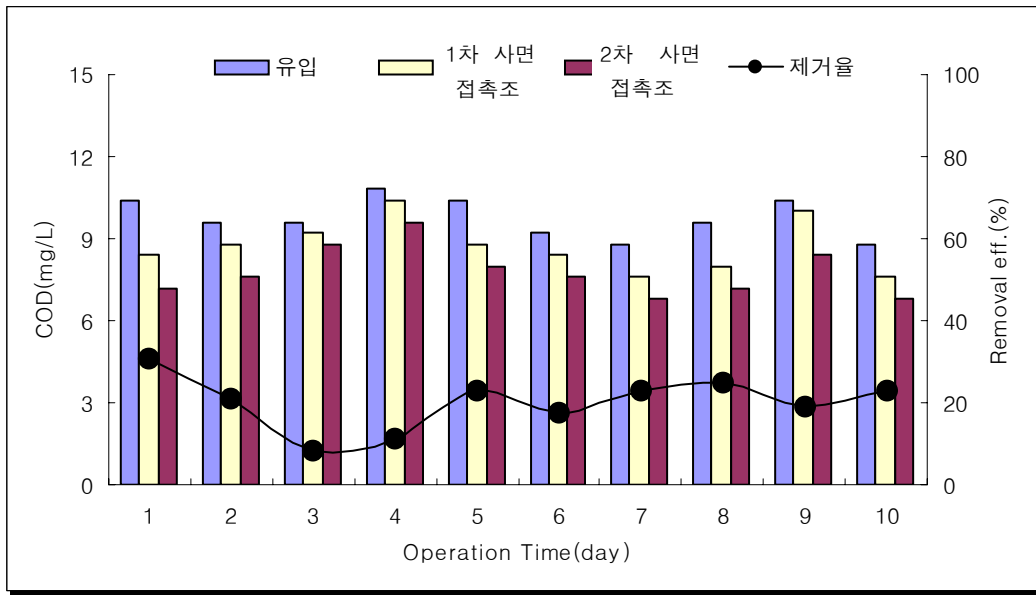


그림 22. 다공성 콘크리트 적용 시 COD 농도 변화 및 제거효율

다. 영양염류 제거효율

(1) T-N 제거효율 검토

그림 23에 다공성 콘크리트를 적용하였을 경우 T-N농도 변화와 제거효율에 대해서 나타내었다. T-N 농도는 유입수 평균 33(25.6 ~ 39)mg/L, 1차 사면접촉조 평균 24.4(22.2 ~ 27.2)mg/L, 2차 사면접촉조 평균 20.7(17.5 ~ 24.9)mg/L로 나타나 1차 사면접촉조 구간에서의 제거율은 평균 약 24%, 전체 구간에서의 제거율은 평균 약 37%로 나타났다.

이처럼 다공성 콘크리트를 이용한 경우 여재에 생물막이 잘 생성되어 생체 전환율이 높고, 여재 표면에서는 호기성 미생물의 부착과 여재 내부에는 혐기성 미생물의 부착이 이루어지는 특징으로 인해 질산화 미생물에 의한 질소의 제거가 나타나는 것으로 판단된다.

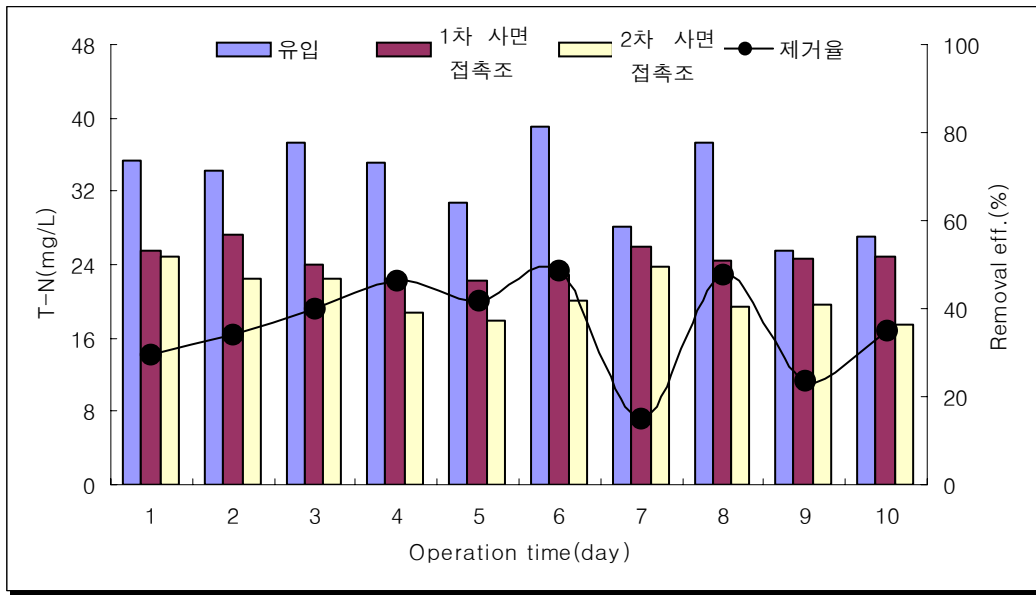


그림 23. 다공성 콘크리트 적용 시 T-N 농도 변화 및 제거효율

(2) T-P 제거효율 검토

그림 24에 다공성 콘크리트를 적용하였을 경우 T-P농도 변화와 제거효율에 대해서 나타내었다. T-P 농도는 유입수 평균 8.5(8 ~ 9)mg/L, 1차 사면접촉조 평균 5.3(4.1 ~ 6.7)mg/L, 2차 사면접촉조 평균 4.9(3.2 ~ 5.8)mg/L로 나타나 1차 사면접촉조 구간에서의 제거율은 평균 약 38%, 전체 구간에서의 제거율은 평균 약 42%로 나타났다.

T-N과 마찬가지로 T-P도 42%의 양호한 처리효율을 보여주고 있는데, 이는 미생물체 유기물로 전환에 의한 제거, 유리되는 무기 인산염 즉 PO_4^{3-} 가 여재에 함유 유리되는 Fe, Ca, Mg 등 양이온과 반응, 난용해성 염을 형성하고 이 염이 미생물막 또는 여재에 흡착 흡수되어 제거될 수 있는 제거 기전이 동시에 발생할 수 있는 다공성 콘크리트의 특성에 의한 것으로 판단된다.

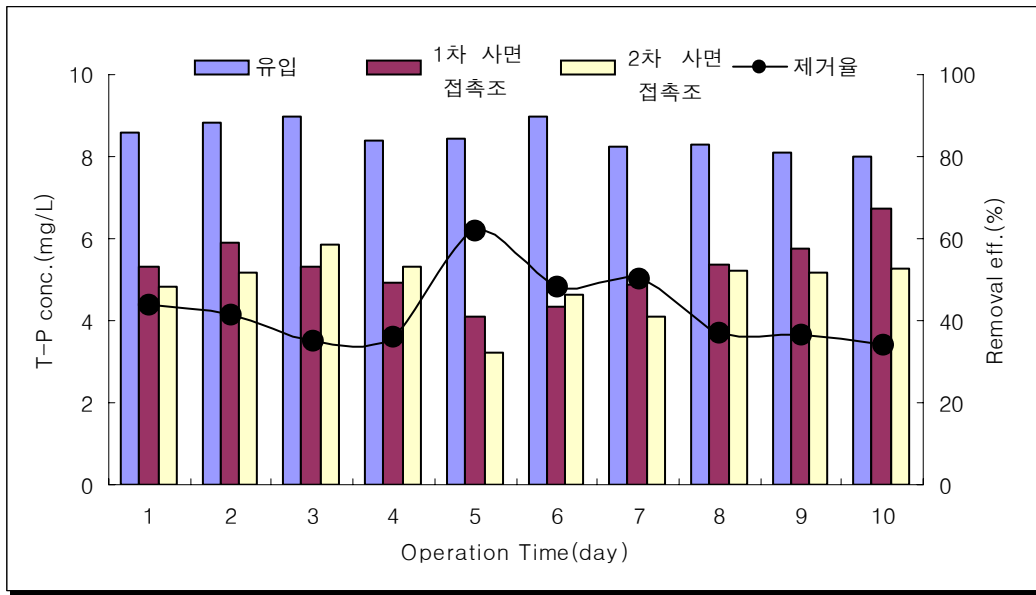


그림 24. 다공성 콘크리트 적용 시 T-P 농도 변화 및 제거효율

4.3.2 연속 흐름 시스템에서의 식생 콘크리트에 의한 수질 정화효과

본 실험의 운전기간동안 사용된 유입수의 성상을 다음 표 11에 나타내었다. 본 실험은 식생 콘크리트를 다공성 콘크리트와 같은 체류시간 조건에서의 수질개선효과를 검토하여, 식생 콘크리트의 수질정화용으로서의 활용가능성에 대한 평가를하고자 하였다.

표 11. 식생 콘크리트를 적용한 실험의 유입수 성상

Item	Influent concentration range	Mean
Temp(°C)	17.4 ~ 19.5	18.4
pH	7.2 ~ 7.8	7.6
EC(μ S/cm)	783 ~ 817	807
DO(mg/L)	6.7 ~ 8.6	8
BOD(mg/L)	3.6 ~ 7.5	5.6
COD(mg/L)	8.8 ~ 10.4	9.3
SS(mg/L)	10.8 ~ 22	15
TN(mg/L)	24.2 ~ 36.5	29.8
TP(mg/L)	5.2 ~ 6.7	5.9

가. pH, DO, 수온 및 EC 변화

그림 25 ~ 28은 실험기간동안의 pH, DO, 수온 및 EC의 변화를 나타낸 그림이다. 식생 콘크리트를 적용하였을 경우 pH는 유입수 7.6(7.2 ~ 7.8), 1차 사면접촉조 7.7(7.2 ~ 7.8), 2차 사면접촉조 7.7(7.4 ~ 8)로 나타났으며, DO의 경우 유입수 평균 7.99(6.7 ~ 8.6)mg/L, 1차 사면접촉조 평균 7.79(6.4 ~ 8.2)mg/L, 2차 사면접촉조 평균 8.16(7 ~ 8.6)mg/L로 나타났다. 수온의 경우 유입수 평균 18.4(17.4 ~ 19.5)°C, 1차 사면접촉조 평균 18.8(16.9 ~ 19.5)°C, 2차 사면접촉조 평균 18.4(17.1 ~ 20.5)°C의 값을 나타내어 유입수의 수온과 유출수의 수온이 거의 변화가 없이 안정적으로 나타났으며, EC의 경우 유입수 평균 807 (783 ~ 817) μ S/cm, 1차 사면접촉조 평균 804 (796 ~ 810) μ S/cm, 2차 사면접촉조 평균 804 (792 ~ 812) μ S/cm로 나타났다.

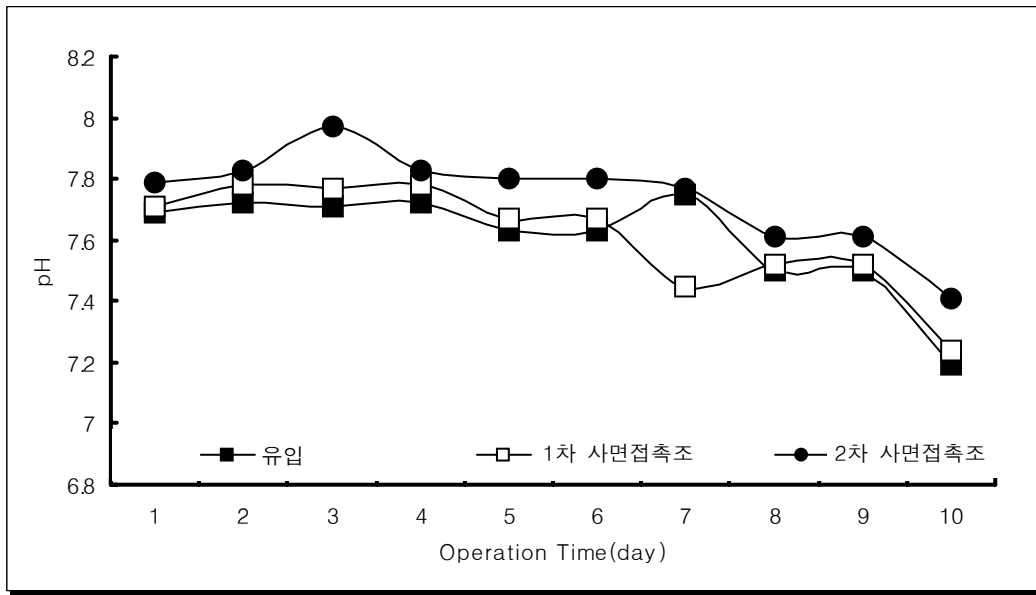


그림 25. 식생 콘크리트 적용 시 pH 변화

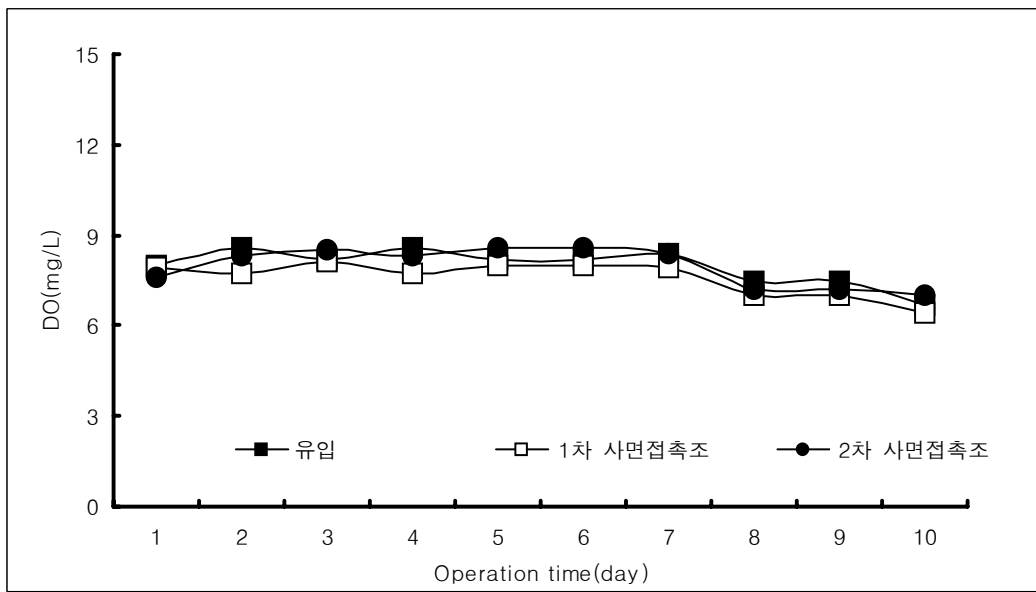


그림 26. 식생 콘크리트 적용 시 DO 변화

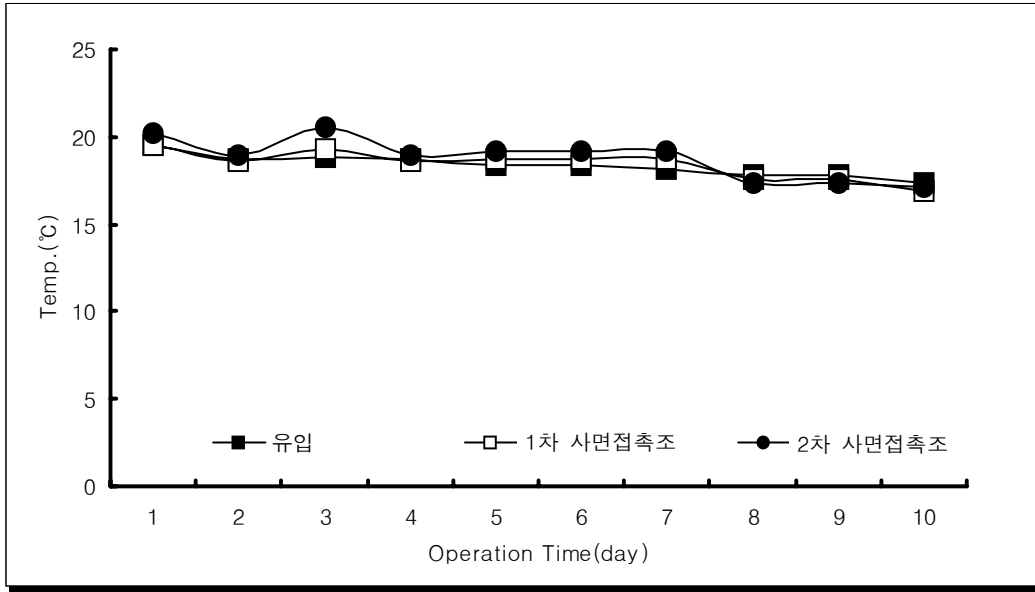


그림 27. 식생 콘크리트 적용 시 수온 변화

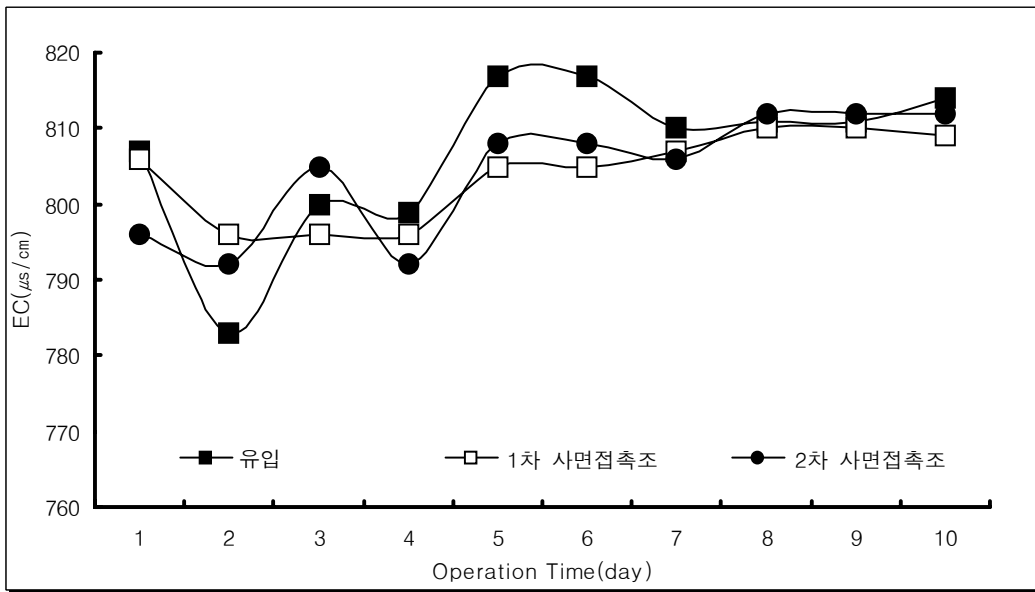


그림 28. 식생 콘크리트 적용 시 EC 변화

나. 부유물질 및 유기물질 제거효율 검토

(1) SS 제거효율 검토

그림 29에 식생 콘크리트를 적용하였을 경우 SS농도 변화와 제거효율에 대해 나타내었다. 유입수 평균 15(10.8 ~ 22)mg/L, 1차 사면접촉조 평균 9.5(6.3 ~ 14), 2차 사면접촉조 평균 6.4(4.3 ~ 9.8)mg/L로 나타났고, 전체 제거효율은 평균 57.3%로 나타났고, 1차 사면접촉조에서의 제거효율은 평균 36.4%로 나타났다.

식생 콘크리트를 적용하였을 경우 다공성 콘크리트를 적용하였을 경우보다 제거효율이 약 5% 상승함을 보였는데, 이는 고형물질이 수생식물 뿌리 구간에서 여과현상에 의한 것과 수생식물이 수표면을 그늘지게 하여 물 표면으로 빛이 통과되는 것을 어느 정도 방지함으로써 조류(이끼류) 성장을 억제할 수 있는데, 조류 성장이 억제됨으로써 SS 농도가 감소된 것으로 보인다.

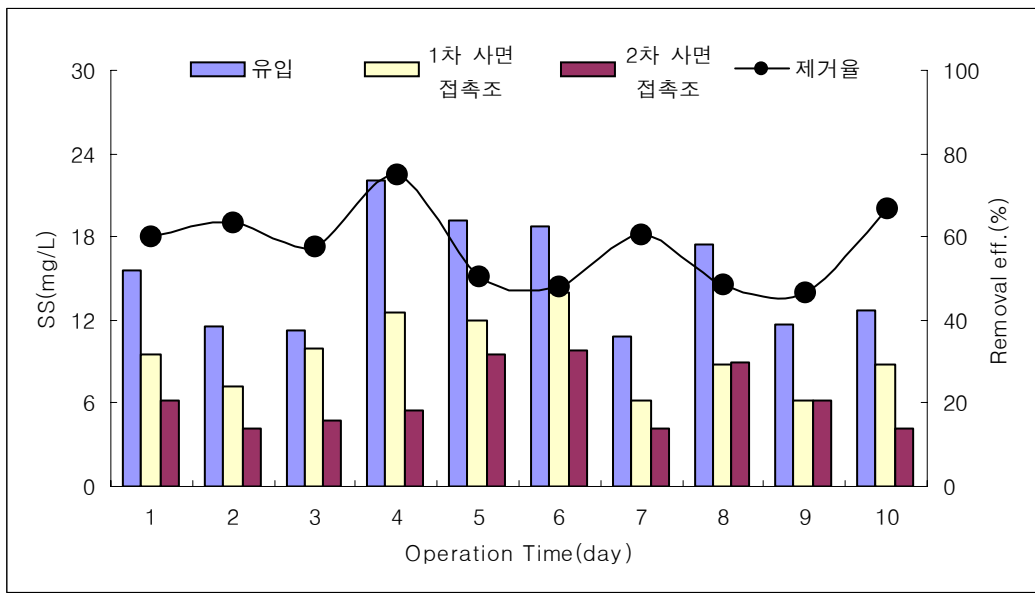


그림 29. 식생 콘크리트 적용 시 SS 농도 변화 및 제거효율

(2) BOD 제거효율 검토

식생 콘크리트를 적용하였을 경우(그림 30) 유입수 평균 BOD 농도는 5.6(3.6 ~ 7.5)mg/L, 1차 사면접촉조 평균 4(2.6 ~ 5.4)mg/L, 2차 사면접촉조 평균 3.3(1.6 ~ 5.1)mg/L로 나타나 1차 사면접촉조 구간에서의 BOD 제거율은 약 28%, 전체 제거율은 약 41%로 전체적으로 보았을 경우 식생 콘크리트를 적용하였을 경우 다공성 콘크리트를 적용하였을 경우보다 제거효율이 약 3% 증가하는 것으로 나타났다.

이는 뿌리에 부착 성장하는 박테리아가 유기물을 분해하고, 또한 수생식물은 통기조직(通氣組織)을 통해 광합성에서 유리되는 산소를 지하부로 수송하여 뿌리 표면이나 지상부 표면을 통하여 저토(底土) 또는 수체(水體)로 방출함으로써 유기물이 분해 되어 BOD가 감소된 것으로 판단된다.

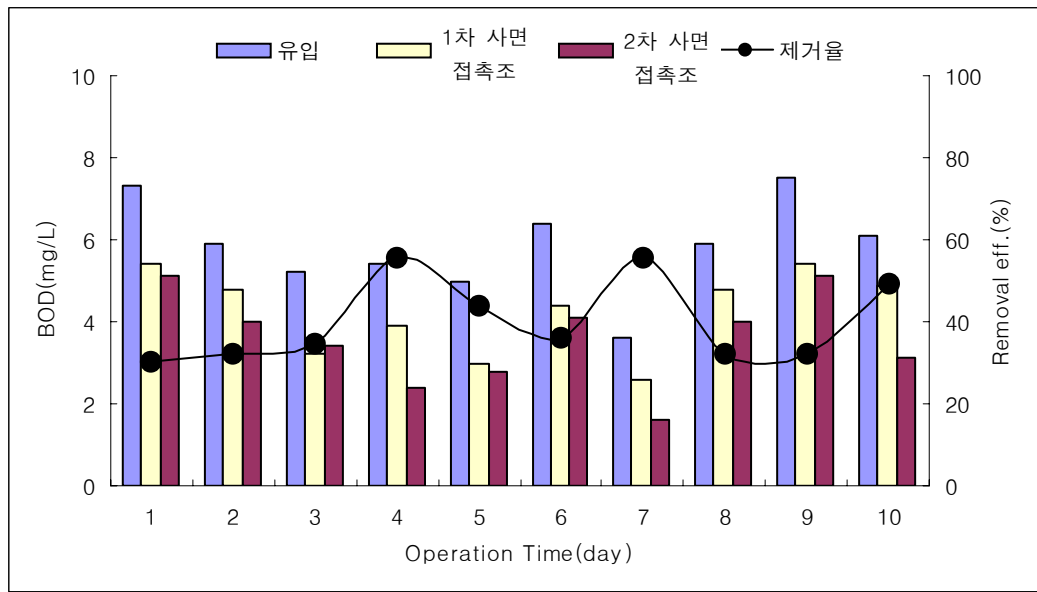


그림 30. 식생 콘크리트 적용 시 BOD 농도 변화 및 제거효율

(3) COD 제거효율 검토

식생 콘크리트를 적용하였을 경우(그림 31) 유입수 평균 COD 농도는 9.3(8.8 ~ 10.4)mg/L, 1차 사면접촉조 평균 7.6(6.4 ~ 8.8)mg/L, 2차 사면접촉조 평균 6.9(6 ~ 8.4)mg/L로 나타나 1차 사면접촉조 구간에서의 COD 제거율은 약 19%, 전체 제거율은 약 26%로 전체적으로 보았을 경우 식생 콘크리트를 적용하였을 경우 다공성 콘크리트를 적용하였을 경우보다 제거효율이 약 6% 증가하는 것으로 나타났다.

이는 수생식물은 환원상태의 수체 또는 저토에 산소를 방출함으로써 비로소 호흡을 하고 물질을 흡수하므로, 수생식물이 산소를 방출하면 유기물이 산화·분해 되어 COD 제거효율이 더 증가한 것으로 판단된다.

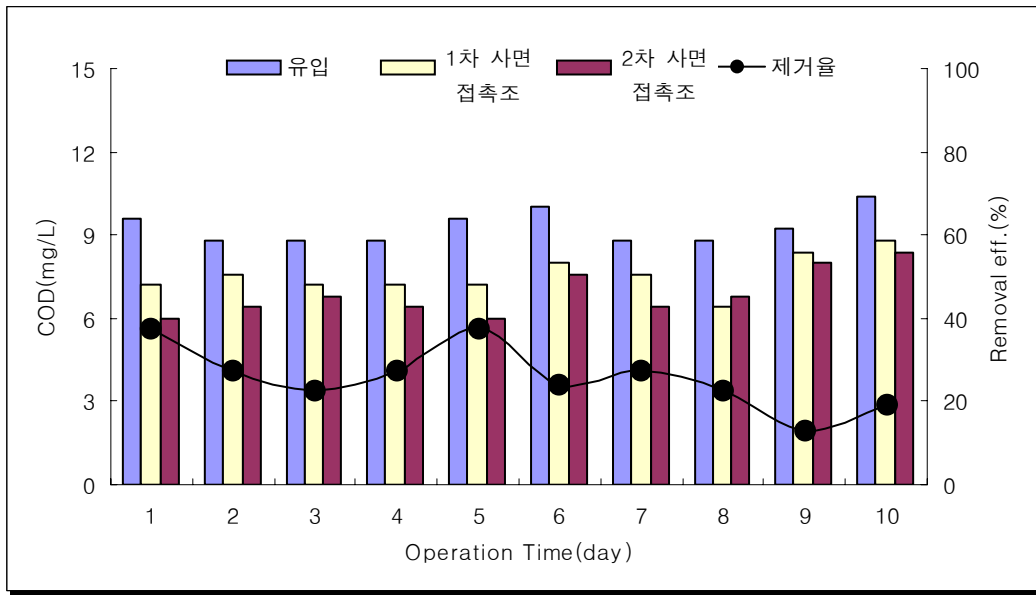


그림 31. 식생 콘크리트 적용 시 COD 농도 변화 및 제거효율

다. 영양염류 제거효율

(1) T-N 제거효율 검토

식생 콘크리트를 적용하였을 경우(그림 32) 유입수 평균 T-N 농도는 29.8(24.2 ~ 36.5)mg/L, 1차 사면접촉조 평균 22(18.5 ~ 24.6)mg/L, 2차 사면접촉조 평균 13.4(7 ~ 17)mg/L로 나타나 1차 사면접촉조 구간에서의 T-N 제거율은 약 26%, 전체 제거율은 약 55%로 전체적으로 보았을 경우 식생 콘크리트를 적용하였을 경우 다공성 콘크리트를 적용하였을 경우보다 제거효율이 약 9% 증가하는 것으로 나타났다.

이는 식물의 뿌리에 부착된 미생물이 유기질소를 분해하여 식물이 이용할 수 있는 형태인 NH_4^+ , NO_3^- 로 전환시켜줌으로써 최종적으로 식물이 이를 흡수함으로써 T-N의 제거효율이 더 증가한 것으로 판단된다.

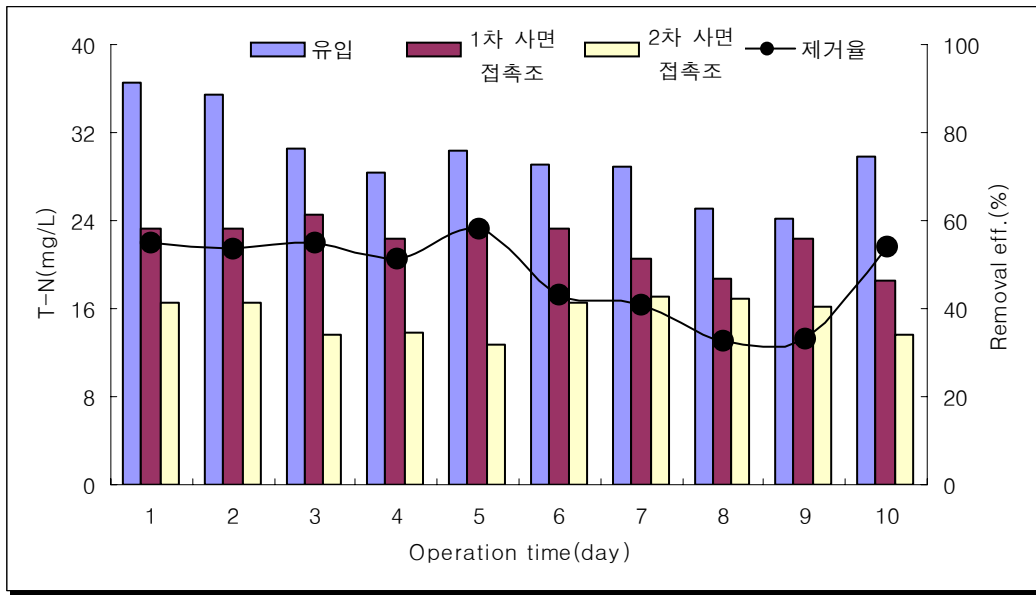


그림 32. 식생 콘크리트 적용 시 T-N 농도 변화 및 제거효율

(2) T-P 제거효율 검토

식생 콘크리트를 적용하였을 경우(그림 33) 유입수 평균 T-P 농도는 5.9(5.2 ~ 6.7)mg/L, 1차 사면접촉조 평균 4.6(4.1 ~ 5)mg/L, 2차 사면접촉조 평균 2.8(2.5 ~ 3.7)mg/L로 나타나 1차 사면접촉조 구간에서의 T-P 제거율은 약 23%, 전체 제거율은 약 53%로 전체적으로 보았을 경우 식생 콘크리트를 적용하였을 경우에 다공성 콘크리트를 적용하였을 경우보다 제거효율이 약 10% 증가하는 것으로 나타났다.

이는 질소제거와 달리 인은 기체 형태로는 변형되지 않고 식물과 부착미생물의 흡수에 의해서만 제거가 가능하다. 식물이 흡수할 수 있는 인은 PO_4^{-3} , H_2PO_4 , HPO_4^{-2} 의 형태이며 질소의 경우와 마찬가지로 우선적으로 입자상 인의 뿌리 주위에서 여과·침전되어 얻어지고 식생을 매체로 하여 미생물 개체수를 유지하고 부착미생물의 세포합성에 의해 용존성 인이 제거되기 때문에 제거효율이 증가한 것으로 판단된다.

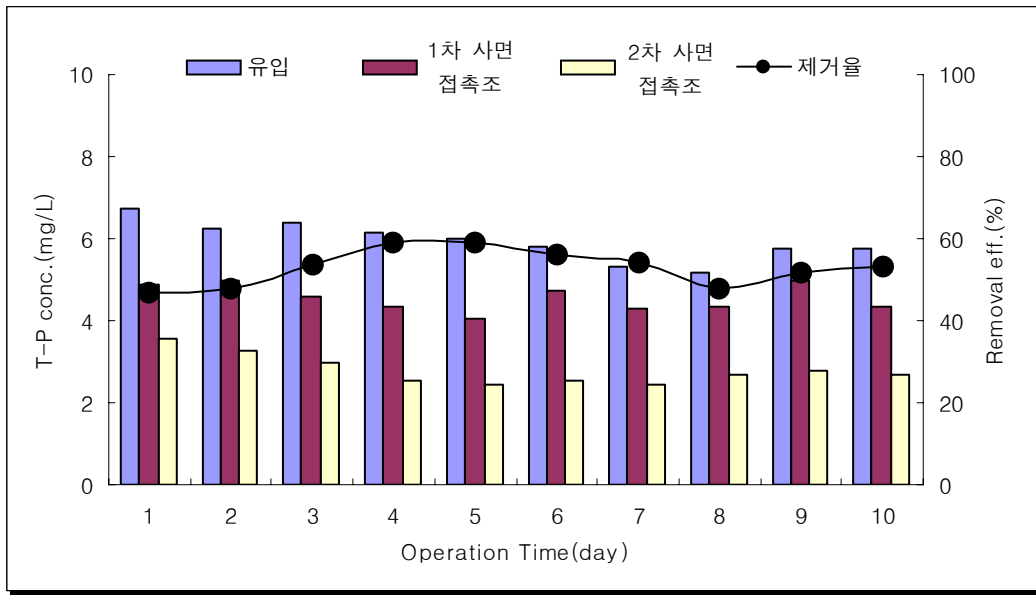


그림 33. 식생 콘크리트 적용 시 T-P 농도 변화 및 제거효율

4.4 기존 오수 재이용 방안과의 비교·검토

4.4.1 기존 연구의 건전화 방지 시스템

도시화에 따른 물 수요량 증대와 하천으로 흐르는 각종 오·폐수를 차집하여 하수처리장으로 직접 유송함에 따라 급격한 유량 감소가 발생하고 있다. 국내의 경우 댐 저류시설, 하도 저류시설, 하수처리장 이용, 지하수 이용, 역순환 시설 등 여러 가지 건전화 방지책을 마련하여 하천유지유량을 확보하고 있으나, 각 방지책에 의한 종합적인 분석이 이루어지지 않고 있는 실정이다.

하천의 건천화를 방지하기 위해서 가장 중요한 것은 필요한 양질의 유량을 어떻게 확보하는가에 달려 있고, 이렇게 확보된 유량을 하천에 지속적으로 일정하게 유입시킬 수 있는 방안 또한 매우 중요하다.

국내의 경우 건천화를 방지하기 위하여 하수처리수를 하천에 재 방류하기 위한 방법으로는 직접 방류하는 형태와 일정 유량을 저장하였다가 방류하는 형태로 크게 나눌 수 있으나 직접 방류하는 형태는 시공의 간편성이 부각되지만 양질의 유량확보와 확보된 유량을 하천에 지속적으로 일정하게 유입시킬 수 없는 큰 단점을 가지고 있다.

일반적으로 건천화를 방지하기 위한 시스템으로는 단순 이송을 통한 방류와 습지를 통한 방류, 산화 저류조를 통한 방류, 침투를 통한 방류 등으로 나눌 수 있다.

가. 단순 이송을 통한 방류

하수처리장으로부터 특별한 수질개선 없이 파이프를 통해 하수처리수를 상류부로 도수한 후 하천에 유입하는 방법으로 시스템이 단순하기 때문에 시설의 유지관리가 용이하지만, 시스템에 문제가 발생시 유량공급이 불가능하며 추가적인 수질개선효과를 기대하기가 어렵고, 하천유입수의 수질이 하수처리장의 처리효율에 직접적인 영향을 받는 단점을 가지고 있다.

나. 습지를 통한 방류

하수처리수를 상류로 도수 후 자연습지 또는 인공습지를 통하여 하수처리수의 수질을 한번 더 개선하고 하천으로 방류시키는 방법이다. 이 방법은 자연친화적이므로 수질뿐만 아니라 생태계의 회복도 가능하다. 그러나 습지 조성을 위한 많은 부지가 필요하며, 여름철 모기 등의 해충의 서식이 가능하여 큰 단점으로 작용할 수 있으며 또한 습지지역에 조성된 많은 식생들은 하천의 접근을 어렵게 할 수 있는 단점이 있다.

다. 산화저류조를 통한 방류

하수처리수를 상류로 도수하는 중간에 지하저류시설 및 산화처리조를 통하게 함으로써 하수처리수의 수질을 개선하여 하천으로 방류하는 방법으로 하천 유입수 전체를 동일한 수질로 개선할 수 있다. 그러나 시스템에 문제 발생시 하천 내 유량공급이 불가능하며, 하천 내 유량조절이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 또한 대규모의 저류조가 필요하므로 공사비가 큰 단점이 있다.

라. 침투를 통한 방류

하수처리장에서 처리되어 도수된 처리수를 하천에 직접 방류하지 않고 고수부지 또는 기타 부지의 지면이나 지하의 침투조에 방류하여 땅 속에서 토양을 통해 지하수나 하천으로 유입시키는 방법이다. 이 방법은 지하수 이용이 큰 비중을 차지하는 지역에서는 효과적일 수도 있으며 토양을 통해 처리수가 이동하면서 어느 정도의 수질개선을 기대할 수 있는 장점이 있다. 그러나 방류된 처리수가 토양을 통해 지하수로 유입되어 다시 사용되는 경우 하천으로의 유입이 차단되어 하천 유지유량에는 기여하지 못하는 경우가 발생하는 경우도 있기 때문에 하천의 유량을 확보하는데에는 확실성이 다소 부족하다는 단점이 있다.

4.4.2. 각 시스템의 장·단점 및 수질개선 효과

위에서 언급한 저류조 및 수질개선시스템을 비교 검토하여 각각의 장단점을 파악하고 시스템 설치 후 예상되는 수질개선효과를 제시하였다. 여기에서 검토된 수질개선 효과는 직접 실험을 실시하지 않고 제안된 시스템에 적용된 수질정화기법에 대한 논문 등 문헌연구를 통해 예상되는 수질개선효과를 분석하였다.

단순 이송을 통한 방류 방안은 하수처리수를 특별한 저류조나 수질개선 없이 상류부로 이송만 하는 시스템으로 특별한 수질개선 효과는 없으며 설비는 가장 단순하고 간단한 것으로 검토되었다. 또한 하수처리수를 습지를 통해 추가적으로 수질개선을 시행하고 하천에 방류하는 습지를 통한 방류의 경우는 많은 부지가 소요되는 단점이 있으나 비교적 수질개선 효과가 뚜렷할 것으로 검토되었다. 산화저류조를 이용하여 수질을 개선하고 하천에 방류하는 방안은 앞의 두 방안에 비하여 필요 부지의 면적이 작고 수질개선 효과도 좋은 것으로 검토되었다. 침투를 통한 방류 방안은 수질개선을 위해 특별한 설비가 필요하지 않으나 토양을 직접 이용하므로 유지관리가 어렵고 지하수로 이용되는 경우도 있어 하천유지용수 확보가 확실하지 않은 단점이 있다.

표 12. 기존 하수처리수 이용방안의 장·단점 및 수질개선 효과 추정

개 요 구 분	장점	단점	수질개선 효과 추정
단순 이송을 통한 방류	· 유지관리 용이 · 시스템 단순	· 수질개선 효과 부족	· 수질개선 효과 없음
습지를 통한 방류	· 자연친화적 · 수질 및 생태계 복원가능	· 습지조성 부지 필요 · 여름철 해충서식 가능	· T-N : 1~34% · T-P : 60~75%
산화저류조를 통한 방류	· 유입수에 대한 수질개선 가능	· 시스템 문제 시 유량 공급이 어려움	· T-N : 20% · T-P : 24%
침투를 통한 방류	· 특별한 수질개선 설비 없음	· 수질개선을 위한 토양의 유지관리가 어려움	· 많이 연구되지 않은 상태

이상에서 검토한 4가지 방안은 하천의 둔치 공간 규모나 제방사면 또는 저수로 호안의 형태에 따라 대상하천에 적합한 형태를 선택하여야 한다. 따라서 건천화 방지책의 효과적인 방법으로 둔치공간 지하의 저류조를 활용하여 오수와 빗물을 재이용하는 방안을 검토하였다.

4.4.3 기존 건전화 방지 시스템과 본 연구결과의 비교·검토

본 연구에서의 실험장치는 둔치 공간의 지하에 저류조를 활용하여 오수를 재이용하는 방안으로, 제방사면과 저수로의 호안에 실험을 통해 검증된 투수성 여재(다공성 콘크리트 및 식생 콘크리트)를 접촉시켜 제방사면을 여과지로 활용하여 제방사면을 따라 오수가 침투되어 저류조로 저장되게 하고, 하천 유량이 부족할 때 저류조에서 저수로의 호안을 통해 방류시키는 원리로 구성되어 있다.

본 연구를 통해 제방사면과 저수로의 호안을 접촉시킨 결과 최종 방류수의 수질정화 효율은 SS 57.3%, BOD 41%, COD 26 %, T-N 55%, T-P 53%로 높은 수질정화 효과를 확인할 수 있었다. 이는 접촉 여재를 다른 여재(페타이어, 자갈, 콘크리트 등)로 적용한 결과보다 수질정화에 있어서 우수한 접촉 여재인 것으로 나타났다. 따라서 본 실험 장치를 다른 기존 하수 처리수 이용 방안의 수질개선효과 추정치와의 단순 비교만으로 평가한다면, 수질개선 효과는 여타의 시스템(단순 이송을 통한 방류, 습지를 통한 방류, 산화저류조를 통한 방류, 침투를 통한 방류) 방법보다 높은 것으로 판단된다.

또한, 본 시스템은 기존 하천변의 제방사면 및 둔치공간, 저수호안을 효율적으로 이용하는 방안이므로 부지 선정의 어려움이나 넓은 부지를 필요로 하지 않으며, 오수를 장거리 도수하지 않고 자연 유하식을 채택하고 있어 동력비나 도수관 등이 필요 없어 비용면이나 유지관리 측면에 있어서도 기존의 방법들의 장·단점들과 비교 검토하여도 보다 합리적인 것으로 판단된다.

결과적으로 본 실험장치는 위에서 언급한 건전화 방지를 위한 하수처리수 이용 방법보다도 높은 수질정화 효과와 안정된 유량을 확보할 수 있는 장치로 판단된다. 그러나, 접촉을 통한 수질개선 시 여재의 막힘 현상, 침전물 등이 발생하는 단점을 가지고 있는 것으로 판단되었다. 이를 극복하기 위한 방안으로는 제방사면과 호안을 주기가 다르게 사용하거나, 제방사면의 끝 부분에 슬러지의 퇴적공간을 만들어 줌으로써 슬러지의 포집 및 청소를 원활하게 하여 여재의 수명을 연장시키거나, 시공·설계 시 여재의 교환(탈부착)을 고려하여 교체가 용이하도록 설계되도록 하는 방안 등이 있다.

본 연구를 통해 건전화에 따른 유량부족과 수질오염이라는 문제점을 동시에 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 저류조가 지하에 매설되어 방류되므로 둔치공간에 운동시설이나 기타 시설이 위치할 수 있으며, 나아가 투수성이 좋은 접촉여재(다공성 콘크리트 및 식생 콘크리트)는 미생물의 생육공간을 제공함으로써 환경복

원측면에서 우수하며, 하천주변 전체 녹화로 자연 친화적인 미관 형성 등 여러 가지 장점을 가지고 있다.

4.4.4 현장 적용 가능성 평가

가. 연구 결과를 실제 하천에 적용하였을 경우 예상되는 수질 농도와 유량

본 연구 결과를 실제 하천(오산천, 경안천)에 적용하였을 경우 예상되는 수질 농도와 유량을 표 13에 나타내었다. 갈수 시 오산 하수처리장과 용인 하수처리장에서 배출되는 수질 농도와 유량을 여재를 적용하여 수질개선 효과를 추정하였다. 오산천의 경우 SS는 6.0 mg/L에서 2.5 mg/L, BOD는 12.7 mg/L에서 7.4 mg/L, T-N은 11.1 mg/L에서 5.0 mg/L, T-P는 0.98 mg/L에서 0.46 mg/L로 나타났으며, 경안천의 경우 SS는 9.0 mg/L에서 3.8 mg/L, BOD는 23 mg/L에서 13.5 mg/L, T-N은 38 mg/L에서 17.1 mg/L, T-P는 10 mg/L에서 4.7 mg/L로 나타났다. 또한, 실제 하천에서의 갈수 시 하천 수질 농도와 유량을 조사하여 나타내었으며, 문헌과 실제 조사를 통해 하천경관 및 수생어류 서식환경을 고려한 유량을 추정하여 나타내었다. 이런 결과로부터 건천화에 따른 수질오염이라는 문제점을 해결할 수 있었다.

표 13. 연구 결과를 실제 하천 적용 시 예상 수질 및 유량 평가 (농도: mg/L, 유량: m³/day)

	갈수 시 하수처리장 수질 농도 및 배출 유량	여재의 적용 조건	여재 적용 후 수질개선 효과 추정	갈수 시 하천 수질 농도 및 유량	최소 필요 유량 (하천경관 및 수생어류 서식 고려)
오산천 (도시 하천)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SS : 6.0 ▪ BOD : 12.7 ▪ T-N : 11.1 ▪ T-P : 0.98 ▪ 유량 : 57,000 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 공극율 30% ▪ 체류시간 35 분 ▪ 두께 10 cm 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SS : 2.5 ▪ BOD : 7.4 ▪ T-N : 5.0 ▪ T-P : 0.46 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SS : 37 ▪ BOD : 4 ▪ T-N : 6.6 ▪ T-P : 2.27 ▪ 유량 : 72,921 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 수면 폭 : 12 ~ 15 m ▪ 유속 : 0.3 m/s ▪ 수심 : 0.3 ~ 0.35 m ▪ 유량 : 93,312 ~ 136,080
경안천 (농촌 하천)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SS : 9.0 ▪ BOD : 23 ▪ T-N : 38 ▪ T-P : 10 ▪ 유량 : 41,000 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 공극율 30% ▪ 체류시간 35 분 ▪ 두께 10 cm 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SS : 3.8 ▪ BOD : 13.5 ▪ T-N : 17.1 ▪ T-P : 4.7 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SS : 9.6 ▪ BOD : 6.7 ▪ T-N : 4.1 ▪ T-P : 0.15 ▪ 유량 : 14,429 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 수면 폭 : 8 ~ 9 m ▪ 유속 : 0.2 ~ 0.25 m/s ▪ 수심 : 0.2 ~ 0.3 m ▪ 유량 : 27,648 ~ 58,320

나. 연구 결과를 실제 하천에 적용하였을 경우 예상되는 수질 농도

본 연구 결과를 실제 하천에 하천유지유량을 최소로 한 경우 적용하였을 때 예상되는 수질 농도를 표 14에 나타내었다. 여재 적용 전 하천수질 농도는 표 13의 갈수시 하수처리장 수질 농도 및 배출 유량에 갈수시 하천수질 농도 및 유량을 합하여 나타내었고, 여재 적용 후 하천수질 농도는 갈수시 하수처리장 수질 농도 및 배출 유량에 여재 적용 후 수질개선 효과 추정을 합하여 나타내었다.

그 결과 오산천의 경우 SS는 23.4 mg/L에서 21.8 mg/L로 수질 개선 효율은 6.6%, BOD는 7.8 mg/L에서 5.4 mg/L로 수질 개선 효율은 29.7%, T-N은 8.5 mg/L에서 3.8 mg/L로 수질 개선 효율은 54.7%, T-P는 1.70 mg/L에서 1.48 mg/L로 수질 개선 효율은 13.4 %로 나타났다. 경안천의 경우, SS는 9.1 mg/L에서 5.3 mg/L로 수질 개선 효율은 42%, BOD는 18.7 mg/L에서 11.7 mg/L로 수질 개선 효율은 37.5%, T-N은 29.1 mg/L에서 13.7 mg/L로 수질 개선 효율은 53%, T-P는 7.44 mg/L에서 3.52 mg/L로 수질 개선 효율은 52.7 %로 나타났다.

따라서 실제 현장인 제방 사면과 저수로 호안에 개발된 여재를 적용한 결과 여재를 적용하지 않은 경우보다 하천의 수질 개선 효율은 상당히 높은 것으로 판단되었다.

표 14. 연구 결과를 실제 하천 적용 시 예상 수질 평가(하천유지유량을 최소로 한 경우) 농도 : mg/L

	여재 적용 전 하천수질 농도	여재 적용 후 하천수질 농도	수질 개선 효율(%)
오산천 (도시하천)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SS : 23.4 ▪ BOD : 7.8 ▪ T-N : 8.5 ▪ T-P : 1.70 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SS : 21.8 ▪ BOD : 5.4 ▪ T-N : 3.8 ▪ T-P : 1.48 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SS : 6.6 ▪ BOD : 29.7 ▪ T-N : 54.7 ▪ T-P : 13.4
경안천 (농촌하천)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SS : 9.1 ▪ BOD : 18.7 ▪ T-N : 29.1 ▪ T-P : 7.44 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SS : 5.3 ▪ BOD : 11.7 ▪ T-N : 13.7 ▪ T-P : 3.52 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SS : 42.0 ▪ BOD : 37.5 ▪ T-N : 53.0 ▪ T-P : 52.7

제 5 장 결론

1. 수질정화용 여재의 물리·화학적 특성 ... 60
 2. Batch test를 통한 여재의 정화효율 검토 60
 3. 연속 흐름 시스템에서의 각 여재에 따른
수질 정화효율 검토 62
 4. 기존 오수 재이용 방안과의 비교·검토 ... 63
-

제 5 장 결론

본 연구를 통해 건전화 되어가고 있는 중·소 도시하천의 유지유량을 확보하기 위한 방법 중 오수의 재이용 방안을 제시하기 위해 반응조를 제작, 운전하여 이의 운전 시 오염된 오수의 수질향상기능 및 처리특성을 분석하였고, 양질의 수자원을 확보하기 위한 여재의 개발과 수질 개선용으로서의 적용 가능성에 대해 검토한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 수질정화용 여재의 물리·화학적 특성

식생 콘크리트의 수질 개선용 여재로서의 적용가능성을 파악하기 위한 식생 콘크리트의 기반이 되는 다공성 콘크리트의 물리·화학적 특성을 조사한 결과, 중화처리를 하기전의 pH는 12 이상이었으나 중화처리에 관계없이 흐르는 물에 일정시간(약 28시간) 침지시킴으로서 pH 값은 7.5 이하로 낮아져 식물의 성장에 장애가 없을 것으로 나타나 실제 하천에 적용하여 사용하기에 충분할 것으로 판단된다. 또한 다공성 콘크리트의 압축강도를 측정한 결과 194~218 (평균 205) kgf/cm²의 범위로 나타났다으며, 이론공극률이 증가할수록(시멘트-골재비가 증가할수록) 압축강도는 크게 감소하는 것으로 나타났다. 일반적으로 다공성 콘크리트의 강도 및 기능성은 공극률에 의해 크게 좌우되는 것으로 사료되며, 본 연구에서 개발한 다공성 콘크리트는 구조용 보통 콘크리트의 최저 압축강도 수준인 180 kgf/cm²를 상회하는 것으로 나타나 현장에 적용하여 사용하기에 충분한 것으로 판단된다.

2) Batch test를 통한 여재의 정화효율 검토

실험항목 \ 여재	유기물제거효율 (DOC)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P
다공성 콘크리트	73%	46%	97%	38%
식생 콘크리트	75%	68%	90%	42%

Batch test를 통한 두 여재(식생 콘크리트 및 다공성 콘크리트)의 정화효율을 실험한 결과 유기물(DOC) 제거효율은 식생 콘크리트가 75%로 나타나, 다공성 콘크리트의 유기물 제거효율 73%와 유사하게 나타났다.

NH₄-N 농도의 경우 식생 콘크리트의 제거효율이 약 22% 높게 나타났으며, 이는 암모니아가 식물과 미생물이 섭취하기 용이하고, 식물 뿌리에 부착된 미생물이 유기질을 분해하기 때문에 제거효율이 더 높게 나타난 것으로 판단된다.

NO₃-N 농도의 경우는 다공성 콘크리트의 제거효율이 약 7% 높게 나타나 이는 식물 종에 따라 암모니아성 질소와 질산성 질소의 흡수 선호도가 다르기 때문으로 판단되며, 식생 콘크리트의 경우 초기에 제거량이 더 많은 것으로 조사되었다.

PO₄-P 농도의 경우 식생 콘크리트의 제거효율이 약 4% 높게 나타났다. 이 결과로부터, 식생 콘크리트에 의한 제거능은 인보다 질소가 다소 높게 나타났는데, 이는 식물이 일반적으로 인보다 질소를 빠른 속도로 흡수하기 때문으로 판단된다.

단위 : mg/m³/day

실험항목 여재	유기물제거 (DOC)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P
다공성 콘크리트	3,850	847	428	40
식생 콘크리트	3,733	1,198	325	43

또한, 24시간 후 단위체적당 유기물 제거농도는 다공성 콘크리트의 경우 3,850 mg/m³/day로 조사되었고, 식생콘크리트의 경우 3,733 mg/m³/day로 나타났다.

NH₄-N의 제거농도는 다공성 콘크리트의 경우 847 mg/m³/day로 조사되었고, 식생콘크리트의 경우 1,198 mg/m³/day로 나타났다. NO₃-N의 제거농도는 다공성 콘크리트의 경우 428 mg/m³/day로 조사되었고, 식생콘크리트의 경우 325 mg/m³/day로 나타났다. PO₄-P의 제거농도는 다공성 콘크리트의 경우 40 mg/m³/day로 조사되었고, 식생콘크리트의 경우 43 mg/m³/day로 나타났다.

이런 결과로부터 식생 콘크리트가 다공성 콘크리트에 비해 NH₄-N 제거능력이 눈에 띄게 월등함을 확인 할 수 있었으며, 다른 항목의 제거능력에서는 유사하거나 조금 낮게 나타나 식생 콘크리트가 여러 측면에서 수질정화에 유리한 접촉 여재인 것으로 판단된다.

3) 연속 흐름 시스템에서의 각 여재에 따른 수질 정화효율 검토

여재		실험항목	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)
다공성 콘크리트	유입수		9.5	6.6	9.8	33	8.5
	유출수		4.4	3.9	7.8	20.7	4.9
	제거효율		53%	40%	20%	37%	42%
식생 콘크리트	유입수		15	5.6	9.3	29.8	5.9
	유출수		6.4	3.3	6.9	13.4	2.8
	제거효율		57.3%	41%	26%	55%	53%

본 실험의 여재로 이용된 다공성 콘크리트와 식생 콘크리트의 1, 2차 사면접촉을 통한 반응조의 비교 실험결과 식생 콘크리트를 적용하였을 경우 다공성 콘크리트 보다 SS 4.3%, BOD 1%, COD 6%, T-N 18%, T-P 11%의 제거효율 증가를 보였다.

이와 같은 실험 결과로 식생 콘크리트는 기존의 수질 정화용 여재로 사용되는 다공성 콘크리트와 비교하여 수질 정화효율에서 조금 높은 것으로 조사되어 수질 개선용 여재로 활용가능성을 확인할 수 있었으며, 수질개선용 식생 콘크리트의 식재로 수중 및 수변생물의 서식처 제공과 수질정화에 의한 자정능력 증대 및 하천 경관 개선이라는 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 실제 현장에 적용하기 위한 충분한 실험기간과 식물에 의한 정확한 mechanism 규명을 위한 연구가 보완된다면 기존의 제방에 식생 콘크리트의 설치만으로 수질개선 효과를 볼 수 있기 때문에 경제성과 전국에 분포되어 있는 중·소도시하천에 현장 적용 가능한 기술로 차후 활용이 기대되어진다.

4) 기존 오수 재이용 방안과의 비교·검토

국내의 경우 댐 저류시설, 하도 저류시설, 하수처리장 이용, 지하수 이용, 역순환 시설 등 여러 가지 건전화 방지책을 마련하여 하천유지유량을 확보하고 있으나, 각 방지책에 의한 종합적인 분석이 이루어지지 않고 있는 실정이다.

하천의 건전화를 방지하기 위해서 가장 중요한 것은 필요한 양질의 유량을 어떻게 확보하는가에 달려 있고, 이렇게 확보된 유량을 하천에 지속적으로 일정하게 유입시킬 수 있는 방안 또한 매우 중요하다.

국내의 경우 건전화를 방지하기 위하여 하수처리수를 하천에 재 방류하기 위한 방법으로는 직접 방류하는 형태와 일정 유량을 저장하였다가 방류하는 형태로 크게 나눌 수 있으나 직접 방류하는 형태는 시공의 간편성이 부각되지만 양질의 유량 확보와 확보된 유량을 하천에 지속적으로 일정하게 유입시킬 수 없는 큰 단점을 가지고 있다.

일반적으로 건전화를 방지하기 위한 시스템으로는 단순 이송을 통한 방류와 습지를 통한 방류, 산화 저류조를 통한 방류, 침투를 통한 방류 등으로 나눌 수 있다.

가. 단순 이송을 통한 방류

하수처리장으로부터 파이프를 통해 하수처리수를 상류부로 도수한 후 하천에 방류하는 방법으로 시스템이 단순하기 때문에 유지관리가 용이하지만, 수질개선 효과가 부족하고 하천 유입수의 수질이 하수처리장의 처리효율에 직접적인 영향을 받는 단점을 가지고 있다.

나. 습지를 통한 방류

하수처리수를 상류로 도수 후 자연습지나 인공습지를 통하여 하수처리수의 수질을 한번 더 개선하여 하천으로 방류시키는 방법으로 수질뿐만 아니라 자연친화적이므로 생태계의 회복도 가능하다. 그러나 습지 조성을 위한 넓은 부지가 필요하고, 여름철 모기 등과 같은 해충의 서식이 가능한 단점을 가지고 있다.

다. 산화저류조를 통한 방류

하수처리수를 상류로 도수하는 중간부에 지하 저류시설 및 산화처리조를 통하여 함으로써 하수처리수의 수질을 개선하여 하천으로 방류하는 방법으로 하천 유입수 전체를 동일한 수질로 개선할 수 있다. 그러나 도수 중에 저류시설 및 산화처리조

를 건설함에 따라 실제 하천으로 방류 시에는 유량 조절이 어렵고 시스템에 문제가 발생하였을 경우 유량 공급이 어려운 단점을 가지고 있다.

라. 침투를 통한 방류

하수처리장에서 처리되어 도수된 처리수를 하천에 직접 방류하지 않고 고수부지 또는 지하의 침투조에 방류하여 땅 속에서 토양을 통해 지하수나 하천으로 방류시키는 방법으로 토양을 통해 처리수가 어느 정도의 수질이 개선되는 효과를 기대할 수 있다. 그러나 수질개선을 위한 토양의 유지관리 및 방류량을 조절하기 어렵다는 단점을 가지고 있다.

기존 하수처리수 이용방안의 장·단점 및 수질개선 효과 추정

구 분 \ 개 요	장점	단점	수질개선 효과 추정
단순 이송을 통한 방류	· 유지관리 용이 · 시스템 단순	· 수질개선 효과 부족	· 수질개선 효과 없음
습지를 통한 방류	· 자연친화적 · 수질 및 생태계 복원가능	· 습지조성 부지 필요 · 여름철 해충서식 가능	· T-N : 1~34% · T-P : 60~75%
산화저류조를 통한 방류	· 유입수에 대한 수질개선 가능	· 시스템 문제 시 유량 공급이 어려움	· T-N : 20% · T-P : 24%
침투를 통한 방류	· 특별한 수질개선 설비 없음	· 수질개선을 위한 토양의 유지관리가 어려움	· 많이 연구되지 않은 상태
본 연구를 통한 방류	· 높은 수질개선 효과 · 안정된 유량확보 · 유지관리 용이	· 제방사면에 침전물 등이 발생	· SS : 57.3% · BOD : 41% · T-N : 55% · T-P : 53%

이상에서 검토한 4가지 방안은 하천의 둔치 공간 규모나 제방사면 또는 저수로 호안의 형태에 따라 대상하천에 적합한 형태를 선택하여야 한다. 따라서 건천화 방지책의 효과적인 방법으로 둔치공간 지하의 저류조를 활용하여 오수와 빗물을 재이용하는 방안을 검토하였다.

본 연구에서의 실험장치는 둔치 공간의 지하에 저류조를 활용하여 오수를 재이용하는 방안으로, 제방사면과 저수로의 호안에 실험을 통해 검증된 투수성 여재(다공성 콘크리트 및 식생 콘크리트)를 접촉시켜 제방사면을 여과지로 활용하여 제방사면을 따라 오수가 침투되어 저류조로 저장되게 하고, 하천 유량이 부족할 때 저류조에

서 저수로의 호안을 통해 방류시키는 원리로 구성되어 있다.

제방사면과 저수로의 호안을 접촉시킨 결과 최종 방류수의 수질정화 효율은 SS 57.3%, BOD 41%, COD 26 %, T-N 55%, T-P 53%로 높은 수질정화 효과를 확인할 수 있었다. 따라서 본 실험 장치의 결과를 다른 기존 하수 처리수 이용 방안의 수질개선효과 추정치와 단순 비교하여 평가한다면, 수질개선 효과는 여타의 시스템(단순 이송을 통한 방류, 습지를 통한 방류, 산화저류조를 통한 방류, 침투를 통한 방류) 보다 높은 것으로 판단된다. 또한 본 시스템은 기존 하천변의 제방사면 및 둔치공간, 저수호안을 효율적으로 이용하는 방안이므로 부지 선정에 어려움이 없고, 넓은 부지를 필요로 하지 않으며, 오수를 장거리 도수하지 않고 자연 유하식을 채택하고 있어 동력비나 도수관 등이 필요 없기 때문에 비용면이나 유지관리 측면에 있어서 기존 방법들의 장·단점들과 비교 검토하여도 보다 합리적인 것으로 판단된다.

결과적으로 본 실험장치는 위에서 언급한 건천화 방지를 위한 하수처리수 이용 방법보다도 높은 수질정화 효과와 안정된 유량을 확보할 수 있는 장치로 판단된다. 그러나, 이런 장치를 현장 적용에 적용할 경우의 문제점과 접촉을 통한 수질개선 시 제방사면에 침전물 등이 발생하는 단점을 가지고 있는 것으로 판단되었다. 이를 극복하기 위한 방안으로는 by-pass 방안, 역세척, 진공 펌프로의 흡입, 교체 등의 방안들이 있으며 현장 적용 시 사업비나 부지선정 등에 관해서는 차후 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구를 통해 제시한 연속 흐름 시스템은 건천화에 따른 유량부족과 수질오염이라는 문제점을 동시에 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 저류조가 지하에 매설되어 방류되므로 둔치공간에 운동시설이나 기타 시설이 위치할 수 있으며, 나아가 투수성이 좋은 접촉여제(다공성 콘크리트 및 식생 콘크리트)는 미생물의 생육공간을 제공함으로써 환경복원측면에서 우수하며, 하천주변 전체 녹화로 자연 친화적인 미관 형성 등 여러 가지 장점을 가지고 있다.

기대효과 및 향후 연구계획

1. 기대효과	67
2. 향후 연구계획	68

1. 기대효과

■ 본 연구에 도입된 다공성 콘크리트와 식생콘크리트는 여러 측면에서 유리한 접촉 여재인 것으로 나타났으며, 실제 현장 적용에 초점을 둔 연구가 계속적으로 진행된다면 우리나라 중·소하천의 특성에 적합한 공정이 상용화 될 수 있을 것으로 판단된다.

■ 본 연구에서 제시된 우수 저류시설 설치나 오수를 하천으로 도수하여 재이용함으로써 갈수 시 유량확보가 어려운 지역에 설치·적용한다면 수량과 수질을 동시에 확보할 수 있어 당면한 지역현안(건천화에 따른 유량부족 및 수질오염) 문제점 개선에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

■ 연구 결과는 학술지나 논문에 게재함으로써 기술의 공유화를 통하여 보다 발전된 기술의 축적에 이바지하며, 동시에 새로운 모델이나 기술을 특허화 함으로써 우리나라의 건천화에 따른 유지유량 확보 기술의 선진화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

■ 추후 지방자치단체 차원의 예산 확보 및 지원을 통하여 투수성 우수 저류시설 형태의 Package 기술을 개발한다면 유지유량 확보에도 일조하고, 수질정화 효과도 볼 수 있을 것으로 판단된다.

2. 향후 연구계획

지금까지 건천화 방지를 위한 유지유량 확보 방안 중 오수를 하천으로 도수하여 재이용함으로써 유지유량을 확보할 수 있는 실험 장치를 제작하여 실험을 실시하였다. 본 실험 장치의 원리는 오수를 제방의 다공성 및 식생 콘크리트를 통과시킨 후 저류조에 저장하고 지하에 매설된 방류관을 통하여 다공성 및 식생콘크리트 호안을 통한 2차 처리 후 하천에 일정 유량을 유지시키면서 저수로로 방류하는 시스템으로 제방사면과 저수로 호안에 개발된 여재를 통과하여 수질정화효과를 얻을 수 있도록 제작되었다.

이런 방법 외에 건천화 방지를 위한 유지유량 확보 방안 중, 지하 우수저류시설 설치에 따른 유출저감효과를 분석하기 위해 반응조를 더 제작하여 표면경사 변화, 강우강도 변화 등에 따른 유지유량 확보를 위한 실험을 수행했으면 더 좋은 결과를 도출할 수 있었을 것으로 사료된다. 이 반응조에서는 강우 시 지하수 침투 유도 및 저류조에 일정 유량을 저장함으로써 갈수 시 하천에 일정한 유량을 지속적으로 방류시켜 건천화를 방지하는데 기술적 중점을 두고 연구를 진행해야 할 것이다.

참여기업 의견 및 평가

1. 참여기업 의견 및 평가	70
-----------------------	----

1. 참여기업 의견 및 평가

■ 오수를 하천으로 도수하여 재이용함으로써 하천에서 갈수 시 유지유량 확보에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

■ 현장 적용이 가능한 package 상품 개발 시 유량확보가 어려운 지역에 설치·적용한다면 당면한 문제점 개선에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

- 경제성 및 수질개선 성능 우수

- 실제 현장에서의 pilot scale 실험 수행을 위한 지방자치단체의 예산 지원 필요

■ 지역 환경 문제 개선에 의한 시민 연대의 참여 의식을 고취시킬 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 참고문헌 72
-

참고문헌

경기지역환경기술개발센터, 자연정화공법(식물과 여재)를 이용한 2차 처리수의 수질 개선 공정 개발, 2001, pp. 7-10.

김무한, 김규용, 백용관, 김재환, 포러스 콘크리트의 배합요인 및 골재혼합비율이 강도 및 투수성능에 미치는 영향, 콘크리트학회논문집, 12(6), 2000, pp 91-98.

김영철, 김완중, 최선화 외 3인, 수질개선을 위한 수처리조 배열기법 연구(1차년도 보고서), 농어촌 연구원, 1997, pp. 23-68, pp. 151-190.

김종오, 유지유량과 방류수질조절을 통한 하천의 적정 수질관리방안, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1996, pp 5~11

문충규, 再生骨材를 利用한 水質改善用 Eco-concrete 開發 및 適用性 研究, 경희대학교 대학원 석사학위 논문, 2002

박승범, 임창덕, 식생 콘크리트, 한국 콘크리트학회지, 12(5), 2000

박정훈, 도시하천의 유지유량 확보 방안연구, 인천대학교 대학원 석사학위 논문, 2002, pp 21~37

수자원의 지속적 확보기술개발사업단, 지속가능 한 하천수 개발 기술, 2002

申丁奭, 수리학적 체류시간과 농도에 따른 달뿌리풀과 갯버들의 질소와 인 제거능, 경희대학교 대학원 박사학위 논문, 2000

呂穗珍, 자생식물 노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus* L.)의 생장에 관한 연구, 동아대학교 대학원 석사학위 논문, 2000

이용도, 김현희, 식물을 이용한 오수의 고도처리에 관한 연구, 한국환경과학회지 제 8권 (1호), 1999, pp 75~81

이육주, 수생식물의 수질정화 효과에 관한 연구, 한양대학교 환경대학원 석사학위논문, 1999

정연식, 포러스콘크리트의 특성과 용도, 동양중앙연구소, 1998, pp. 23-31.

과학기술부, 지속가능한 하천수 개발 기술, 2003

진서형, 다공질 여재에 부착한 생물막의 기질제거특성에 관한 연구, 서울시립대학교 대학원 석사학위 논문, 1999, pp 4-35.

최룡, 김진춘, 신기능콘크리트(식생콘크리트), 한국콘크리트 학회지, 10(6), 1998, pp. 11-21.

최이송, 접촉산화법의 여재 및 체류시간에 따른 처리효율에 관한 연구, 경희대학교 석사학위 논문, 1996, pp. 16-38.

한강유역환경관리청, 경안천 유역의 오염부하량 조사, 2001, pp. 7-11, pp. 51-53

한국건설기술연구원, 도시관류 하천의 유지유량 확보 및 자연정화기능 향상기술, 2002

한국표준협회, KS핸드북(콘크리트·레미콘), 2001, pp. 110-111, pp. 163-170, pp. 199-200, pp. 264-320, pp. 549-551, pp. 616-624, pp. 866-868.

McCarty, P. L. and Haug, R. T., "Nitrification with the Submerged Filter", J. of WPCF., Vol. 44, 1972, pp. 28-43.

Reddy, K. R., Fate of nitrogen and phosphorus in a wastewater retention reservoir containing aquatic macrophytes. J. environ. Qual. 12 pp. 137-141, (1983).

金子 文夫, 橋本宏治, ポラスコソクリートを利用した生物的水質浄化方法, 自然環境

との調和を考慮したエコソクリートの現代と未来展望に関するシソポウム論文報告集, 20(6), 1995, pp. 67-69.

日本コンクリート工學協會, エココンクリート研究委員會報告書, 1995, pp. 15-80.

www.assum.co.kr/project/main.htm

주 의 문

1차년도 최종보고서

경안천 건천화 방지를 위한 유지유량 확보 및 수질개선 방안

발행인 : 센터장 ○ ○ ○

발행일 : 0000년 0월 0일

발행처 : 경기지역환경기술개발센터

주 소 :

전 화 :

팩 스 :

e-mail :

※ 주 의

1. 이 보고서는 경기지역환경기술개발센터에서 시행한 환경기술연구개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 경기지역환경기술개발센터에서 시행한 환경기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.