

발 간 등 록 번 호

11-1541000-000356-10

<http://rri.ekr.or.kr>

농업용저수지 호소주변 생태공학적 수질개선 기법 연구

A study on the ecological engineering methods to improve
water quality for the surrounding of agricultural reservoir

2009. 12

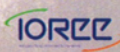
농림수산식품자료실



0006680



농림수산식품부



농어촌환경기술연구소

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농업용저수지 호소주변 생태공학적 수질개선 기법 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2009년 12월 일

주관연구기관명 :

한국농어촌공사 농어촌연구원

연구책임자 : 장 정 렬

연구 원 : 김 형 중

공동연구기관 :

(재)농어촌환경기술연구소

연구책임자 : 윤 경 섭

연구 원 : 이 광 식

권 상 필

유 성 곤

이 효 찬

누리넷(주)

구 진 혁

안 민

김 진 욱

요 약 문

1. 연구과제명 : 농업용저수지 호소주변 생태공학적 수질 개선 기법 연구

2. 연구기간 : 2009년 9월 ~ 2009년 12월

3. 연구의 필요성 및 목적

가) 연구배경 및 필요성

◦ 예로부터 물과 그 주변은 동서양을 막론하고 인간의 정서와 생활환경으로서 중요한 의미를 가져왔다. 우리나라 많은 도시들은 하천 주변에 위치하여 발전하였으며 농촌지역도 도시화와 산업화 진행과 함께 대규모 축산시설의 증가, 집약적 농업활동으로 인한 농약과 비료의 과다사용으로 각종 용수원의 수질을 위협하는 요인들이 늘어나고 있다. 한편으로 농업인들은 FTA 체결, 시장개방 등 급변하는 농업환경 변화에 대응하여 고품질 브랜드화 제품생산을 위해 양질의 농업용수 공급을 원하고, 정부에서도 국민들의 안전한 농산물 수요에 부응하여 우수농산물 인증제도(GAP)와 친환경농산물 인증제도의 정착에 노력함으로써 농촌지역 수질환경 개선에 관심이 점차 확산되고 있다, 농업용수 수질 개선사업 계획수립은 인공습지공법을 중심으로 한 대부분 수면 및 유입부를 대상으로 단위사업의 개념이 적용되고 있으며, 호소정비 차원의 종합적인 접근이 미흡한 실정으로 저수지의 수질에 직접 영향권에 있는 수변구역과 유역을 포함한 수질개선 접근기법이 요구된다.

◦ 우리나라의 수질개선 공법은 하천정화 기술을 중심으로 이루어지고 있으며 종합적인 호소정비 기법으로서 생태적으로 민감한 지역인 호소 주변의 전이대(ecotone)의 수질보전 기법은 미흡한 실정이나 최근 들어 식생을 이용한 호수, 하천 수질 정화방안에 대한 관심과 아울러 많은 연구가 진행 중이다.

생태공학적 기술은 크게 폐·하수처리를 통한 오염원관리(source control)기술과 자연수면에서의 생물관리(biomanipulation)기술로 대별된다. 수생관속식물(vascular hydrophytes)이나 습생식물에 의한 자연정화기술은 1960년대 이후

기존의 물리화학적, 미생물학적 유기물처리의 보완, 영양물질에 대한 고도처리, 수질정화와 친수효과를 겸한 습지biotope 등에 널리 적용되어 왔다. 이 같은 식생정화시설은 다른 정화시설에 비해 시공·설치하기가 쉽고, 호수나 하천 주변 경관을 향상시킬 수 있으며, 무엇보다 생태적 서식처로서의 역할을 겸할 수 있다는 점에서 바람직한 방안이라 할 수 있다. 식생정화시설에 이용되는 수생식물은 주로 육지와 수계를 연결하는 연안대에 분포하는 식물로서 식생에 의한 자연정화는 기계적 고도처리의 대안이 될 수 있다.

○ 최근 들어 농촌지역에 분포하고 있는 어메니티 자원에 대한 다원적 활용에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 특히 농촌지역에 농업용저수지를 활용하여 지역주민의 여가 공간, 체험 공간, 생태보전 공간 등 다양한 형태의 개발이 선평적으로 현재 진행 중에 있다. 하지만, 이러한 개발의 전제에는 저수지의 깨끗한 수질보전이 보장되어야 하며, 일정 수질의 확보가 이루어지지 않는 한 다양한 형태의 개발을 달성하기에는 한계가 있다. 본 연구에서는 농촌지역에 분포하고 있는 농업용저수지의 다원적가치를 재해석하고, 수질보전을 위하여 도입되는 자연정화공법과 조화를 이룰 수 있는 친수공간의 계획기법 및 모델을 제시하고자 한다. 특히, 기존의 공법위주의 연구가 아닌 주변마을과 연계성, 지역 특성 등을 충분히 고려한 농업용저수지의 개발모델의 제시는 최근에 대두되고 있는 통합적 농촌개발(Integrated Rural Development)의 또 하나의 새로운 모델이 될 것이며, 이러한 모델은 농촌지역의 어메니티 자원 보전, 도농교류활성화, 안정적인 영농지원, 지역 생태계 보전 등의 성과를 도출할 수 있을 것이다.

나) 연구목적

- 호소주변 수질개선 계획기법으로서 생물다양성이 확보되는 생태공학적 비점오염물질의 저감시설의 계획기법 개발
- 농촌지역 자원가치의 재창출하기 위한 경관 및 친수시설의 계획기법 연구

4. 연구내용 및 결론

4.1 연구내용

가) 연구내용

◦ 농업용 저수지의 생태공학적 비점오염시설 계획

- 생태공학적 수질개선기법 접근방법
- 식생정화방법에 의한 수질개선
- 식생정화공법(식생여과대, 식생수로) 적용 국내·외 사례
- 식생여과대 적용표준(안)
- 식생수로 적용표준(안)

◦ 농촌지역 친수경관시설의 계획기법

- 농촌지역 친수자원의 정의
- 농어촌 친수자원 현황
- 농업용 저수지 친수경관 조성계획 지침
- 친수자원 활용방안
- 친수경관시설물 유지관리

나) 연구결과

① 농업용 저수지의 생태공학적 비점오염 관리시설 계획기법

본 연구 과제를 수행하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

농촌지역 물 환경정비가 건전한 농업·농촌의 창출·발전에 공헌하기 위해서는 농촌 물 환경의 개별 기능성이나 효율성을 특화하지 말고 농촌지역 환경을 종합적으로 이해하여야 하며, 수질개선 시설 설계 등에 있어서 규격화와 획일화를 피하여야 한다. 계획수립 시 주민의 참여를 적극적으로 유도하여 생명력 있는 계획이 되어야 하며 계획방법의 확립 및 기술적 축적을 기여하도록 하여야 한다.

한편 농촌지역에 부존하는 풍부한 생태계와 아름다운 경관에 배려한 농업용 저수지 의 수질개선이 중요하며, 생산의 장과 생활의 장으로써의 기능이 합쳐진 농촌지역의 특성상 생산기반과 생활환경을 일체적인 관점에서 접근하는 것이 합리적이고 중요하다. 궁극적으로는 쾌적한 농촌지역 환경조성을 위해서는 지역경관의 기반되는 농업용수, 농업시설 등을 활용한 수질개선계획이 되어야 하며 지역에서 산출하는 소재를 이용하는 것도 매우 중요하다.

생태공학적 수질개선기법으로 식생정화시설인 식생여과대 및 식생수로의 기본 개념, 오염물질 제거능력, 장단점, 적용성 및 타당성 평가, 설계기준, 설계과정, 개략시방, 유지관리, 모니터링 계획 등을 제시하였다.

◦ 식생정화시설의 계열화

식생정화시설의 특성상 단일공종으로 수질개선 목표를 달성할 수 있는 곳은

한정적일 것이므로 2개 이상의 구조적(경우에 따라서 비구조적) 저감시설을 직렬연결하여 활용할 수도 있다. 이와 같이 계열화된 비점오염 저감시스템은 수질-수량관리 목표달성을 위하여 동원 가능한 설계개념과 비구조적/구조적 저감시설로 구성된다.

-오염물질 발생원(runoff and load generation)에서는 문제의 근본이 되는 오염물질 발생량의 저감에 초점을 맞춘다.

-다음 단계에서는 전처리 시설이 위치하며 여기서는 처리목표의 달성을 의도하기 보다는 WQv(처리하여야 할 강우유출수의 양) 처리 요구수준 달성을 보완해주기 위해 적용된다. 이러한 단계에서 검토되는 기술은 다음과 같다.

·근본적으로 강우 유출발생량을 저감하여 궁극적으로 WQv를 저감

·전처리를 제공하는 제한된 용도의 저감시설

·일반적으로 널리 적용되는 저감시설 중 침사지(forbay)와 같은 전처리시설

-마지막으로 주처리는 일반 저감시설의 적용을 통하여 이루어진다. 유출제어 시스템의 적용목표(비점오염처리/홍수제어)와 전처리 시스템에 따라서 주처리 시스템의 용량이 결정된다.

◦ 다단형 저감시설의 적용

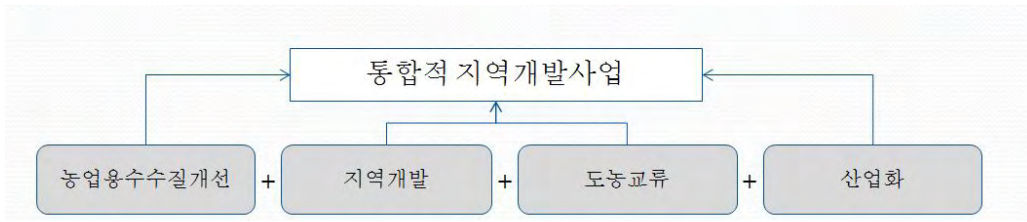
또한 현장여건에 따라서 다양한 형태의 저감시설 조합하여 다단형 저감시설의 적용이 가능하다. 식생수로, 식생여과대는 WQv 처리기준을 충족시키기 위하여 다른 저류형 시설과 결합될 수 있으며, 처리목표를 달성하지 못할 경우 직하류에 다른 구조적 시설을 추가하여 최종 목표를 달성할 수 있게 하여야 한다.

② 농촌지역 친수경관시설의 계획기법

◦ 통합적 개발 개념 도입

-자연정화시설물이 농업용저수지로 도입시 친수경관자원으로써 활용될 수 있는 방안을 제시하였다. 최근 들어 수질개선을 목적으로 도입되는 자연정화시설물을 친수경관시설물로써의 활용을 위해서는 단순히 자연정화시설물 도입공간의 정비를 통한 것이 아니라, 1차적으로 저수지, 2차적으로 주변마을까지 포함하는 친수공간의 종합적 정비가 이루어져야 할 것이다.

-현재에는 자연정화시설물의 농업용수수질개선사업의 개별사업으로 진행되고 있으나, 2010년부터 시행되는 포괄보조사업 제도 하에는 좀 더 통합적인 지역개발사업으로 진행되는 것이 바람직할 것이다.



<그림 1> 통합적 지역개발 개념도

◦ 내생적 발전 개념 도입

-수질개선을 위한 자연정화시설물 계획수립시의 절차도 좀 더 개선이 필요할 것으로 판단되며, 지역주민들의 의식고취 및 참여가 이루어지지 않는다면 수질개선사업 시행에 어려울 것이므로 이에 계획초기단계부터 지역주민들에게 수질개선의 필요성 및 저수지 공간의 중요성 등에 대한 홍보 및 교육 프로그램을 수행하여야 한다.

-자연정화시설물의 도입 시에도 지역주민의향조사를 통하여 설치목적 및 배경을 인지시키고, 영농활동과의 연계성을 고려해서 계획 및 사업시행이 이루어져야 할 것이다.



<그림 2> 농업용저수지 계획수립 절차(안)

◦ 지역 생태계의 거점자원화

-지역의 거점생태계공간으로 조성될 수 있도록 다양한 수변식생의 생육조건을 개선·조성하여야 하며, 면적 생태공간, 선적 생태공간, 점적 생태공간 등 지역 내 다양한 생태공간으로 연계한 농어촌지역 생태종합계획 하에서 농업용저수지의 수질개선 및 개발이 시행되는 것이 바람직할 것이다.

-이와 더불어 지역 내의 생태트레킹 등의 주요 거점공간으로 조성하여 도시민들이 쉽게 찾아와서 농어촌지역의 생태공간을 체험·학습할 수 있는 공간으로 조성되어야 할 것이다.

◦ 농업용저수지 입지여건에 따른 개발지표 설정 시급

-최근 들어 무분별한 농업용저수지 개발 등이 각 지방자치단체에서 시행되고

있으며, 대부분의 사업내용이 관광 등을 목적으로 하고 있으나 이에 친수경관형, 생태보전형 등 다양한 유형의 저수지 수변개발이 이루어질 수 있도록 최소한의 평가지표 및 선정지료를 개발하여 이를 통한 저수지의 특성을 판단하고 사업을 시행할 수 있도록 하여야 한다.

◦ 지역농가 소득향상을 수생식물의 활용방안

또한 저수지 수변식생을 통한 지역농가의 소득창출을 위한 다양한 2,3차 산업의 개발을 국가차원에서 지원함으로써 지역농가의 소득증대 및 지역경제 활성화를 도모하여야 함

·전남 함평군 : 창포를 활용한 가공상품 개발

·전남 무안군 : 백련을 통한 지역산업육성 및 지역홍보

5. 연구결과의 실용화 방안

- 활용 사업명 : 농업용수 수질개선 사업
- 정책(또는 사업) 반영내역 및 계획
 - 수질개선보전대책 계획수립에 반영
- 사업부서 교육 및 기술지원 내역 및 계획 등 기타활용 방안
 - 사내 수시교육에 대안평가 기법을 소개

Summary

1. Title : A Study on the Ecological engineering methods to improve water quality for the surrounding of agricultural reservoir

2. The period of study : 2009. 9~2009. 12

3. Background and Objectives

3.1 Background

◦ In the past, Water and Water-front Areas was a significant factor of human life environment.

The mostly city of Korea is developing located at riverside area for intensive development. The Rural area increased the factor of water pollution due to using agricultural pesticides, fertilizer for intensive farming.

On the one hand, The Farmer want to a clean water for agricultural to make high-quality agricultural products.

In the Government make a greater effort to establish a GAP and the certification System of environment-friendly agricultural products.

As a result, The importance for improvement the water-quality for agricultural use has been widespread.

The Scheme to improvement of water-quality for agricultural using were centered on ecological-wetland system. Then, For the efficiencily improvement of water-quality required a integrated approach including a waterfront and basin.

The method of water-quality improvement in Korea rural area were focused on skill to purify rivers and the technique for environment-friendly improving the Quality of Water is insufficient.

Recently, The government and many people was interested in eco-friendly skill for improvement of agricultural reservoir Water and progressing study.

The skill of ecological engineering about improvement of Agricultural Water can be divided into two types

1. the type of source control : Wastewater Treatment Systems
2. the type of biomanipulation skill on the surface

After 1960, Wastewater Treatment Systems of using an Aquatic Plants and Vascular hydrophytes is used to skill of physicochemical treatment, water purifier, revitalization of the waterfront landscape etc.

Wastewater Treatment Systems of using plants is really desirable method because of easy to work and improve a waterfront landscape, make a biotope.

Aquatic Plants of wastewater treatment systems live in ecotone (between land and surface) it is an alternative method of physical advanced water treatment system.

Recently, The rural amenity source is used of many parts ; tour, lanscape, agri-industry etc. Also many people concern about it.

Especially, the agricultural reservoir is used in various space ; the space of recreation for resident, agriculture experience for city people, space for nature pervation etc.

However, this development type set up the precondition that maintain a clean water quality. if it couldn't, to making various ways was difficult.

This study suggested skill and method about a plan guideline of making a water-friendly space, that was in harmony wastewater treatment systems.

Especially, The reorganization for better connections between the agricultural reservoir and a village is new model of Integrated Rural Development.

This model is making a result as preservation of rural amenity source, making a good condition for agriculture, vitalization of urban-rural exchange. etc.

3.2 Objectives

- A suggestion of ecological design and planning guideline about the management and the control of Non-point source(NPS) pollution in agricultural reservoir
- A reserach of ecology design and planning guideline about agricultural reservoirlandscape, landscape furniture and structure.

4. Major Achievements and Conclusion

4.1 Major Achievements

- **The NPS facility planning by Ecological engineering skill**
 - Approach method of Eco-technological skill for Improving Water Quality
 - Improving Water Quality by plants purification skill
 - sample of plants purification skill
 - planning guideline of filter strip
 - planning guideline of grassed swale
- **Landscape design of water-friendly facility**
 - the definition of water-friendly source in rural
 - current situation of water-friendly source in rural
 - ecological design and planning guideline on reservoir, it is used agriculture
 - sample design : reservoir of san-sung, the city of A-san
 - Maintenance Managements in water-friendly facility

4.2 Conclusion

① The NPS facility planning by eco-technological skill

The organization of water environment should consider to property of rural area. therefore, when NPS facility design and planning, we couldn't standardization.

Especially, A desirable rural planning has a precondition of Residents Participation and accumulation of eco-friendly planning guideline.

On the one hand, reservoir in rural area has beautiful landscape, healthy ecosystem. There also has to a clean water for eco-friendly agriculture. Therefore, when reservoir was planned for various ways, we must consider a life-style of rural area and a agricultural production Infra.

Ultimately, To making a pleasant rural area was planned to consider a local landscape and to use a local material. It is very importantly a design factor. This study suggested various guideline of eco-technological facilities

- A effect, a fundamental concept, a ability to remove pollutants, a monitoring plan guideline, a design guideline, a strengths and weaknesses. etc
- the systematization of eco-technological facilities

A eco-technological facilities set up at least two eco-technological facilities links for achieve water-quality goals in reservoir

The systematization of eco-technological facilities was made up a unstructured and structure reduction facilities that achieved water quantity and quality.

- A runoff and load generation focused on reduction of pollutants that was the root cause of water pollution.
- Next step set up Pre-treatment Process, this processing achieve a goal of WQv than achieve goal of treatment.

This processing a consideration skill may be summarized as follows

- Basically, A reduction of storm runoff is a reduction of WQv
- Pre-treatment Process supply for a restriction use facility
- Generally, universal Pre-treatment Process is like a forbay
- Finally, Main-treatment Process was reached by application of generally reduction facilities.

A capacity of Main-treatment Process was fixed a Pre-treatment Process and a application goal on outflow control system

- A application of reduction facilities on pyramid type

Also, A reduction facilities on pyramid type is fixed by a various connection ways of reduction facilities that was considering a field conditions.

A grassed swale and filter strip has to connect other detention facility for achieve on goal of WQv disposal standard.

If it is not achieve on goal of WQv disposal standard, it has to connect other structure facility for achieve of goals.

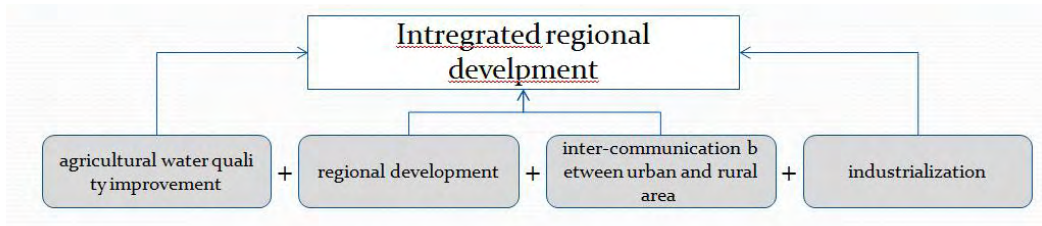
② Planning techniques of the view and the hydrophilic facility

The introduction of the comprehensive development concept

With the introduction of The natural purification facility, We can suggest the hydrophilic viewable resources could be applied to the agricultural reservoir. by dint of comprehensive maintenance which contains agricultural reservoir even more the hydrophilic space, not the simple maintenance of space for the natural purification facility, Recently we can use The natural purification facility which is introduced with a goal for improvement of

the water quality to Hydrophilic viewable facility.

Nowadays The natural purification facilities merely are functioning improvement of the agricultural water quality as the individual business. but, under the inclusive cadence business system which begins in 2010, regional development business should be carried out more comprehensively.

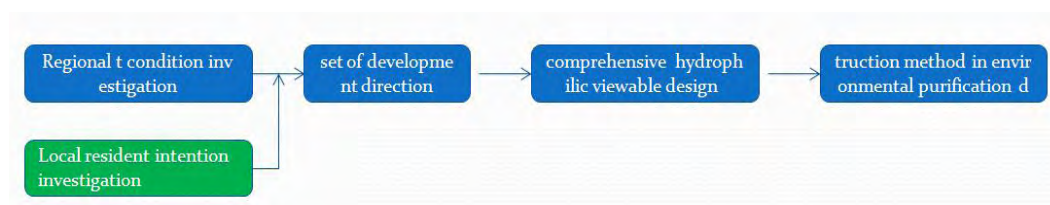


< picture 1> The concept of the comprehensive regional development

- Introduction of endogenous development.

It is necessary that planning the natural purification facility for the improvement of the water quality, The following procedures are requested.

- expecting the difficulties without inspiration and participation of the local residents, from the initial stage of planning, The public information and the educational program should be provided to local residents with the necessities of the water quality, importance of agricultural reservoir space, etc.
- Installing the natural purification facility, through the local resident intention investigation, the establishment goal and the background are informed. so, planning and business enforcement should be fulfilled with linkage to the agriculture activities



<picture 2> The procedure of agricultural agricultural reservoir planning

- The strong point resources of the regional ecosystem

It is desirable that in order to create the strong point ecosystem space of the area, various birth and condition of arm vegetation should be improved.

The improvement and development of the agriculture reservoir's water quality should be fulfilled, under the comprehensive ecosystem plan of the farming and fishing area with linkage to the mode of life space in their region. for example, shipment mode of life space and the drop mode of life spatial etc.

Also, With the creation to important strong point area which plays role for eco-tracking in their region, the citizens should come and experience the eco-space of the farming and fishing area.

- In need of setting up of development index, following the site condition of agricultural reservoir.

Recently, Local government are developing the agricultural reservoir insensitively, largely on tour-business. but rather fulfilling his business after judging the character of the agricultural reservoir through a minimum evaluation index and chosen materials with a view to developing diverse type of agricultural reservoir waterfront; Hydrophilic view style, mode of life preservation style etc.

- The usage of waterfront vegetation for the income augmentation of the regional farmhouse

Also. Thorough the national support of 2, 3 industries to regional farmers in developing agricultural reservoir waterfront vegetation, the income augmentation of the regional farmhouse and the economic vitality should be increased.

5. The practical usage of the study results

- The business title of application ; The improvement business of Agriculture water quality
- Policy (or business) reflection particulars and plan
 - Reflection on water quality improvement preservation planning
- Promotion departments education and tech support particulars and plan etc. other application plan
 - Introduction of the vegetation purification technique in internal non-periodical education.

【 목 차 】

제1장 서론	1
1-1. 연구배경 및 필요성	3
1-2. 연구의 목적	3
1-3. 연구내용 및 방법	3
1. 연구내용	3
2. 연구방법	4
제2장 농업용저수지의 생태공학적 비점오염저감시설 계획기법	5
2-1. 서론	7
2-2. 생태공학적 수질개선기법 접근방법	13
2-3. 식생정화방법에 의한 수질개선	80
2-4. 식생정화공법(식생여과대, 식생수로) 적용 국내외 사례	147
2-5. 식생여과대 적용표준(안)	160
2-6. 식생수로 적용표준(안)	177
제3장 농촌지역 경관친수시설의 계획기법	189
3-1. 농촌지역 친수자원의 정의	191
3-2. 농어촌 친수자원 현황	195
3-3. 농업용 저수지 친수경관 조성계획 지침	203
3-4. 친수자원 활용방안	234
3-5. 친수경관시설물 유지관리	286
제4장 결론	293
참고문헌 및 부록	299
자문 및 평가위원 의견 반영내역	341

【표 목차】

(표 2-1) 호수의 형태적 분류에 따른 환경특성	20
(표 2-2) 국내의 호수 용도별 조성현황	21
(표 2-3) 세계 주요 호수의 평균 체류시간	22
(표 2-4) 세계 주요 호수의 수면적	22
(표 2-5) 세계 주요 호수의 저수량	22
(표 2-6) 문헌자료에 의한 수변지역 정의	32
(표 2-7) 수변완충녹지대의 유형	33
(표 2-8) 수변녹지에서의 기타 오염물의 제거 기작	43
(표 2-9) 유역조건에 따른 퇴적물 부하량	48
(표 2-10) 수변 조건에 따른 표면 유출수의 퇴적물 여과 잠재력	48
(표 2-11) 식물에 의한 질산염 부하량	50
(표 2-12) 지형적 요인에 따른 상대적인 지하수 깊이	51
(표 2-13) 지형적 요인에 따른 수변 지하수 포집능력	52
(표 2-14) 수변녹지의 오염물질 제거효율에 영향 요인	53
(표 2-15) 생태공학을 활용한 정화방법과 적용수역	61
(표 2-16) 생태공학을 활용한 정화방법과 처리성능	62
(표 2-17) 자연정화 기능의 기본적 기능 향상방법	68
(표 2-18) 우리나라 농업 환경 특성	85
(표 2-19) 농촌지역 비점오염 유출형태	85
(표 2-20) 수생생물을 이용한 수질개선 기법	99
(표 2-21) 수생식물에 의한 수 처리 시스템	100
(표 2-22) 수생식물의 주요 기능 개요	100
(표 2-23) 식생종별(초본,관목,교목) 기능의 우수성	101
(표 2-24) 자연하천에서 하천식생의 중요성	103
(표 2-25) 생태적 수질정화 비오톱 구조	104
(표 2-26) 수생식물의 수질정화 적용성	105
(표 2-27) 습지식물의 분류 및 특성	112
(표 2-28) 고착성 수생식물 특성	113
(표 2-29) 부표성 수생식물 특성	114
(표 2-30) 습지 토양환경의 고려사항	117

(표 2-31) 수리 특성별 하천정비 방법	119
(표 2-32) 하천 상류로부터 하류까지 식생의 변화(失野悟道 등 1983 변형)	120
(표 2-33) 추이대 조건에 따른 생물서식 환경	121
(표 2-34) 수생식물 식생군락의 특성	121
(표 2-35) 수변식물 군락의 특성	122
(표 2-36) 우리나라 하천구역에 서식하는 식물종 특성	123
(표 2-37) 생물 서식공간 유형	125
(표 2-38) 식물의 생활형별 생육에 적절한 수심	132
(표 2-39) 수목의 생존과 성장 최소 토양심도	132
(표 2-40) 수생식물의 생육형태	136
(표 2-41) 수질정화식물의 식재밀도 및 규격	138
(표 2-42) 식물분류군별 식생관리 기법	145
(표 2-43) 습지식생 관리모델 설정을 위한 주요 인자	145
(표 2-44) 한강수계 비점오염원 관리시설 시범설치사업 적용부지	149
(표 2-45) 비점오염원 관리시설 특성	149
(표 2-46) 식생여과대 사례(초부)지구 유역면적 분포비율	151
(표 2-47) 식생수로 사례(갈담)지구 유역면적 분포비율	153
(표 2-48) 국내·외 사례지구 시사점 및 적용성	160
(표 2-49) 식생여과대 도입식물 종류	162
(표 2-50) 전처리용 식생여과대 설계 지침	169
(표 2-51) 식생여과대의 유지관리 활동 및 계획	171
(표 2-52) 지역별 모니터링 인자	175
(표 2-53) 식생조성 비율 예측치	175
(표 2-54) 수질모니터링 빈도 및 항목	176
(표 2-55) 일반적인 모니터링 종합계획	176
(표 2-56) 식생수로의 측면경사	185
(표 2-57) 식생수로의 유지관리활동 및 계획	187
(표 3-1) 농어촌 어메니티 자원현황	192
(표 3-2) 농어촌지역 친수자원목록	195
(표 3-3) 농어촌 친수자원 관련 정책사업 현황	198
(표 3-4) 도시지역 및 농어촌지역 친수공간의 특성	203
(표 3-5) 농업용저수지의 유형별 평가결과	222
(표 3-6) 자연정화시설 유형	235

(표 3-7) 농업용저수지 식생여과대 조성유형	242
(표 3-8) 인공식물섬 식재수종 선정기준	254
(표 3-9) 계층별, 계절별 생태관찰프로그램	256
(표 3-10) 사계절 특색 있는 수종목록	257
(표 3-11) 저수지 수변부에 도입권장 수종	268
(표 3-12) 내습성 수종목록	269
(표 3-13) 침수기간에 따른 잔디분류	273
(표 3-14) 농업용저수지 도입 가능한 시설물	273
(표 3-15) 경관조망점현황 및 경관자원	275

【그림 목차】

<그림 2-1> 농촌지역 물 환경의 다면적 기능저하의 순환	8
<그림 2-2> 친수사업을 축으로 한 물 순환의 다면적 기능회복의 순환계	9
<그림 2-3> 호소정화대책의 체계	9
<그림 2-4> 저수지 지형과 자연환경	13
<그림 2-5> 농업용저수지의 추이대(이행대) 범위	28
<그림 2-6> 저수지의 친수지역과 전이지역	29
<그림 2-7> 수생식물 생활형에 따른 추이대의 일반적 구분	29
<그림 2-8> 에코톱의 개념도	30
<그림 2-9> 하안에서 생물종의 수	34
<그림 2-10> 수변삼림완충구역 모식도	34
<그림 2-11> 생물다양성이 있는 수변완충대의 일반적인 구조	35
<그림 2-12> 수변완충식생대(Riparian buffers)	36
<그림 2-13> 여과초생대(Filter strips)	36
<그림 2-14> 물 환경회복 기법의 도입 개념도	57
<그림 2-15> 농촌지역 생태피리미드(먹이연쇄)	58
<그림 2-16> 습지생태계의 먹이망	59
<그림 2-17> 하천의 생태성과 친수성의 상호 관계	64
<그림 2-18> 농촌지역에서 자연정화기능의 적극이용	67
<그림 2-19> 호수생태계에서의 영양물질의 흐름 모식도(Harper 1995)	81
<그림 2-20> 농업용 저수지 토지이용(비점오염원)형태 분포현황	87
<그림 2-21> 흙탕물 저감시설-완충식생대 개념도	94
<그림 2-22> 흙탕물 저감시설-식생수로 단면도	97
<그림 2-23> 수생식물에 의한 오염물질 정화조건	99
<그림 2-24> 추이대 생물서식 기능	104
<그림 2-25> 수변의 생태적 구역구분	109
<그림 2-26> 일반적인 수변식물대 구분	112
<그림 2-27> 내륙습지 일반형	113
<그림 2-28> 연안습지 일반형	113
<그림 2-29> 양호하게 발달한 호안의 단면도	119
<그림 2-30> 하천의 범람과동개념과 식생횡단의 관계(Bayley,1995)	124

<그림 2-31> 먹이연쇄를 통한 수질정화 효과 모식도	126
<그림 2-32> 수변역의 식물상(소택식물, 수생식물)과 동물상의 관계	127
<그림 2-33> 다양한 생물종의 서식을 위한 수직적 식재 설계 모델	129
<그림 2-34> 경관 및 수저관리를 위한 수직적 식재 설계 모델	129
<그림 2-35> 식재조건의 차이에 의한 정화능력의 비교	131
<그림 2-36> 식생여과대 사례(초부)지구 위치	150
<그림 2-37> 식생여과대 사례(초부)지구 실시설계도	152
<그림 2-38> 식생수로 사례(갈담)지구 위치	153
<그림 2-39> 식생수로 사례(갈담)지구 실시설계도	155
<그림 2-40> 포틀랜드 식생수로 개념도	156
<그림 2-41> 2가지 식생 비교 Test Site	157
<그림 2-42> 시가현 초기우수 저류시설	158
<그림 2-43> 호내호 식생정화시설	159
<그림 2-44> 다단계식 식생형 관리시설(NSCS system)적용 예	163
<그림 2-45> 투수 둑(berm)을 갖춘 식생여과대 횡단면도	164
<그림 2-46> 시트 흐름 단순 식생여과대(+식생수로)	164
<그림 2-47> 습식 식생수로의 평면도 및 종단면도	183
<그림 3-1> 농어촌지역 친수공간 개념도	192
<그림 3-2> 저수지 전경사진	196
<그림 3-3> 농업농촌테마공원 조성사업계획사례(화순군)	200
<그림 3-4> 단양군 한드미권역 친수공간 조성조감도(빨래터 정비)	200
<그림 3-5> 실개천조성 및 우수지 조성사례	201
<그림 3-6> 기흥저수지 전경	205
<그림 3-7> 기흥저수지 개발계획 평면도	205
<그림 3-8> 오창저수지의 다원적 활용 사례	207
<그림 3-9> 오창호수공원의 활용(호수주변의 산책로와 광장)	207
<그림 3-10> 오창호수공원의 활용(수생식물 관찰데크)	208
<그림 3-11> 분수대	209
<그림 3-12> 물 흐름 시설	209
<그림 3-13> 인라인스케이트 장	210
<그림 3-14> 타종체험 코너	210
<그림 3-15> 왕송저수지 개발계획(안)	211
<그림 3-16> 길동자연생태공원 현황도	212

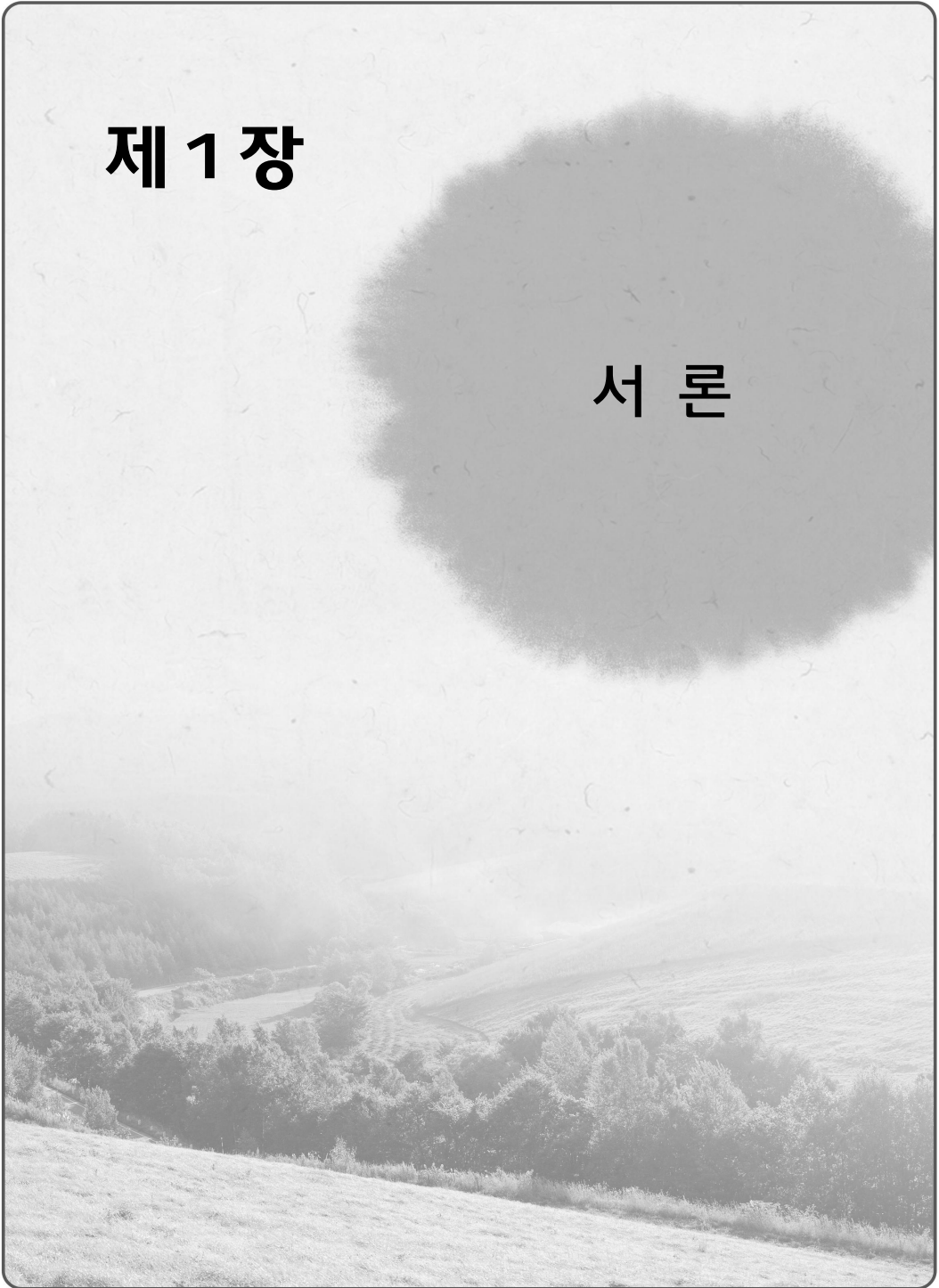
<그림 3-17> 수변 공간 구분	212
<그림 3-18> 수변 생태계 개념도	213
<그림 3-19> 회산백련지 전경	214
<그림 3-20> 연 잎차 체험 및 백련체험관	214
<그림 3-21> 낙생저수지 수상골프장 조성사례	215
<그림 3-22> 베헤레 전경모습	217
<그림 3-23> 오이타현 농업문화공원 조감도	219
<그림 3-24> 오이타현 농업문화공원 주요시설	219
<그림 3-25> 나가사키현 사이카이정 이사노우라 공원	220
<그림 3-26> 농업용저수지 다원적 기능	221
<그림 3-27> 농업용저수지 친수공간 조성범위	223
<그림 3-28> 농업용 저수지	224
<그림 3-29> 농업용 저수지 경관형성개념도	225
<그림 3-30> 방재용 저수지 친수경관형성개념도	226
<그림 3-31> 지역자원 활용형 저수지 친수경관 형성개념도	227
<그림 3-32> 교류 거점형 저수지 친수경관 형성개념도	228
<그림 3-33> 생태보전형 저수지 친수경관 형성개념도	229
<그림 3-34> 통나무를 활용한 호소비탈면 경관형성 사례	230
<그림 3-35> 싱가포르 보타닉가든	230
<그림 3-36> 일본요코하마 잠자리 연못	230
<그림 3-37> 부친 시민의 강	231
<그림 3-38> 파주 출판단지 실개천조성사례	231
<그림 3-39> 농업용저수지 제당구간 활용계획도(한국농어촌공사 지식제안자료) ..	232
<그림 3-40> 돌망태+거석 놓기	233
<그림 3-41> 돌망태+식생마대	233
<그림 3-42> 잔디식생수로 설계도 및 시공사례	238
<그림 3-43> 식생수로 주변 식생매트 설치도(한림에코텍 자료집)	239
<그림 3-44> 식생수로 수로폭원 변화 및 여울 조성개념도	240
<그림 3-45> 낙차공을 활용한 수로 조성사례	240
<그림 3-46> 식생여과대 보행로 및 식생수로+식생여과대 개념도	246
<그림 3-47> 식생여과대 호안경계부 스케치(목재호안 및 석재호안)	244
<그림 3-48> 친환경 수로	244
<그림 3-49> 창포원	244

<그림 3-50> Extended detention wetlands	246
<그림 3-51> 물의 흐름에 따른 인공습지의 유형	247
<그림3-52> 한국농어촌공사와 아셈이 공동 개발한 인공습지 개념도	247
<그림 3-53> 목재형 다리 설치사례	250
<그림 3-54> 남양주가운배수펌프장 인공습지 조성개념도	250
<그림 3-55> 서울우유 거창공장 인공습지 사례	250
<그림 3-56> 식생호안 및 갈대매트, 식생롤 단면도	251
<그림 3-57> 데크 및 목재다리 하단부 호안디자인	251
<그림 3-58> 인공섬의 조성 관련 설계서	252
<그림 3-59> 저수지 수변부에 시공사례(자료: 아셈 기술자료)	253
<그림 3-60> 저수지 주변의 운동시설 조성사례	255
<그림 3-61> 관찰데크 조성사례	256
<그림 3-62> 자연학습장 조성사례	257
<그림 3-63> 저수지 주변 공원화 사례	258
<그림 3-64> 수변부 조류의 서식공간 조성기법	259
<그림 3-65> 탐방로의 개념 스케치	261
<그림 3-66> 관찰데크 설치 개념도	262
<그림 3-67> 안내시설 스케치	262
<그림 3-68> 안내시설 사례	263
<그림 3-69> 교육시설 및 조류 관찰대 시설개념 스케치	263
<그림 3-70> 수생식물 관찰코스	264
<그림 3-71> 탐조대	264
<그림 3-72> 전망시설 스케치	264
<그림 3-73> 전망시설 사례	265
<그림 3-74> 관수로 유입부 경관스케치	265
<그림 3-75> 저수지내 접안시설 계획도 및 사례	266
<그림 3-76> 호수에서 낚시하기	266
<그림 3-77> 정비된 낚시장	266
<그림 3-78> 수변식생의 주요기능	267
<그림 3-79> 저수지 단면구조에 따른 식생분포	271
<그림 3-80> 사례지구 공간현황	274
<그림 3-81> 사례지구 주변 현황	275
<그림 3-82> 경관조망점 선정위치도	276

<그림 3-83> 사례지구(저수지) 개발개념	277
<그림 3-84> 농업용저수지 수변부 식생호안 정비계획(안)	279
<그림 3-85> 농업용저수지 주변 개발사례	281
<그림 3-86> 제주도 올레길	281
<그림 3-87> 생태수로	281
<그림 3-88> 사례지구 공간구상도	282
<그림 3-89> 사례지구 식생수로 계획(안)	283
<그림 3-90> 식생수로+비오톱 연계계획	283
<그림 3-91> 인공습지 호안유형	284
<그림 3-92> 사례지구 인공습지 계획(안)	285
<그림 3-93> 사례지구 식생여과대 조성계획(안)	286
<그림 3-94> 주민참여형 유지관리 방안(안)	292
<그림 4-1> 통합적 지역개발 개념도	296
<그림 4-2> 농업용저수지 친수경관 계획수립 절차(안)	297

제 1 장

서 론



제 1 장 서론

1-1 연구배경 및 필요성

- 우리나라의 수자원 수질개선 공법은 하천정비 기술을 중심으로 이루어지고 있으며 종합적인 호소정비 기법으로서 생태적으로 가장 민감한 지역인 호소 주변의 전이대(ecotone)의 수질보전 기법은 미흡한 실정임
- 농업용 저수지의 수질개선을 위한 계획수립은 자연정화공법을 중심으로 한 수질정화기술은 대부분 수면 및 유입부를 대상으로 단위사업의 개념이 적용되고 있으며, 종합적인 접근이 미흡한 실정으로 저수지의 수질에 직접영향권에 있는 수변구역과 유역을 포함한 통합적인 수질개선 접근기법이 요구됨
- 농업용 수리시설은 농촌지역의 기반시설로서 가치 재창출과 생태공학적 수질개선 공법에 의한 수질보전대책이 필요하며, 수변개발사업 등 관련사업과 연계시행으로 경제적인 수리시설 관리에 기여할 수 있음
- 지역고유의 자원으로써 역사적 전통을 계승 발전시키기 위한 사회·문화적 가치를 재발견하여 농업용수 수질개선 사업계획에 반영함으로써 사업시행에 따른 문화적 갈등을 최소화할 필요가 있음

1-2 연구목적

- 호소주변 수질개선 계획기법으로서 생물다양성이 확보되는 생태공학적 비점오염물질의 저감시설의 계획기법 개발
- 농촌지역 자원가치의 재창출하기 위한 경관 및 친수시설의 계획기법 연구

1-3 연구내용 및 방법

1. 연구내용

- 농업용 저수지의 생태공학적 비점오염시설 계획
 - 생태공학적 수질개선기법 접근방법
 - 식생정화방법에 의한 수질개선
 - 식생정화공법(식생여과대, 식생수로) 적용 국내외 사례
 - 식생여과대 적용표준(안)

-식생수로 적용표준(안)

- 경관 및 친수시설의 계획기법
 - 농촌지역 친수자원의 정의
 - 농어촌 친수자원 현황
 - 농업용 저수지 친수경관 조성계획 지침
 - 친수자원 활용방안
 - 친수경관시설물 유지관리

2. 연구방법

가) 연구진 구성

- 농업용수수질관리 분야에 이론과 경험이 풍부한 환경 및 농업토목 전문가를 중심으로 연구책임자, 경험이 있는 연구자 및 연구보조자 등으로 구성
- 전문성이 요구되는 세부부문에 대해서는 공동연구진을 구성 운영
 - 선행연구가 있는 사계의 권위자와 공동연구 추진
- 관련분야의 관계 공무원 및 대외 전문가를 초빙하여 자문위원회를 구성하여 연구부분별로 자문위원회를 운영

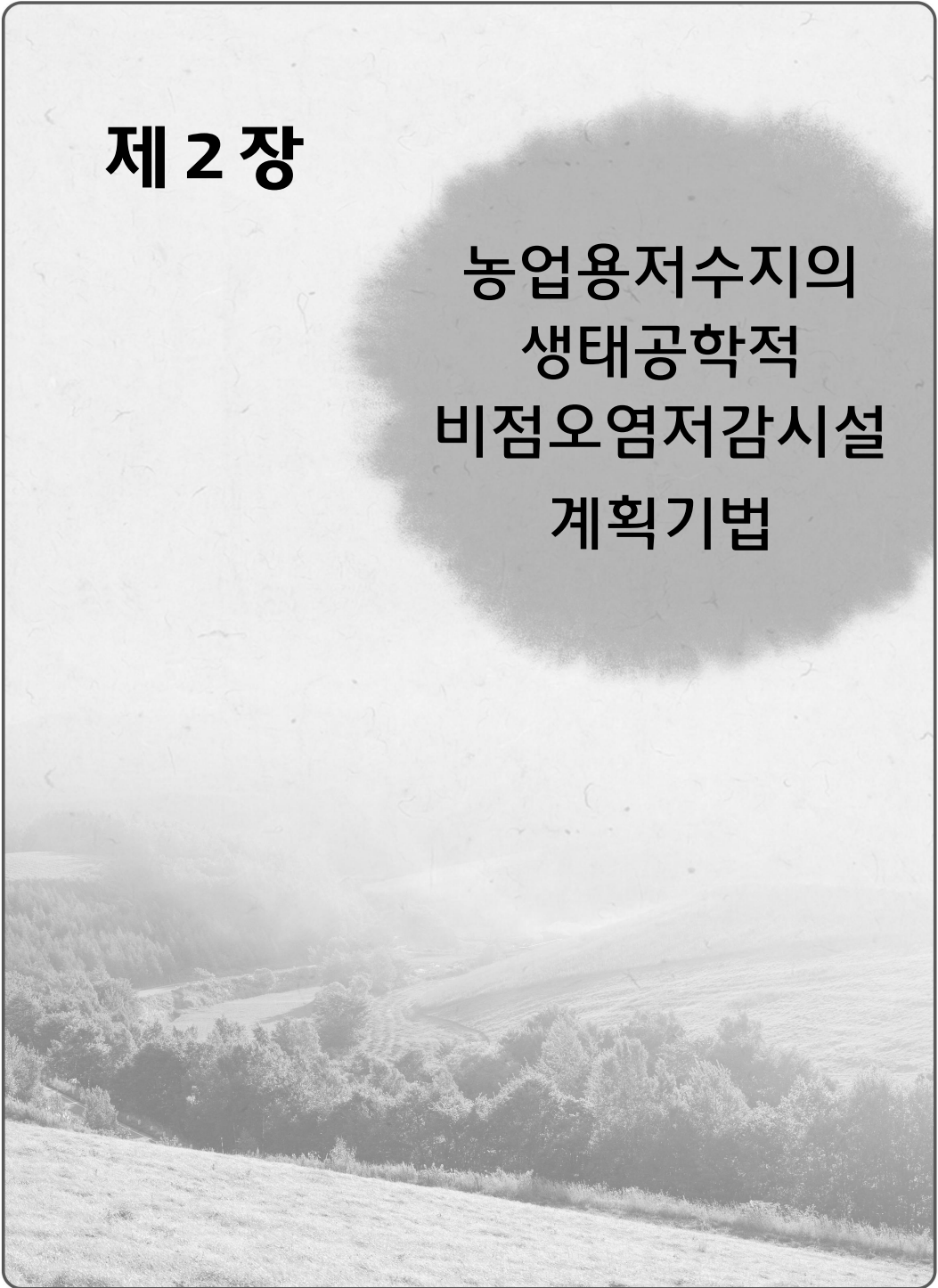
나) 연구수행방법

연구결과의 대외신뢰도 확보하기 위하여 다음사항을 원칙으로 연구를 수행

- 현행 법령 및 상위계획에 근거한 지침, 요령, 기준 등을 근간으로 하고, 기존의 연구 자료를 최대한 활용
- 관계, 학계, 연구기관, 실무자 등으로 구성된 자문회의를 통하여 자체의견수렴

제 2 장

농업용저수지의 생태공학적 비점오염저감시설 계획기법



제2장 농업용저수지의 생태공학적 비점오염저감시설 계획기법

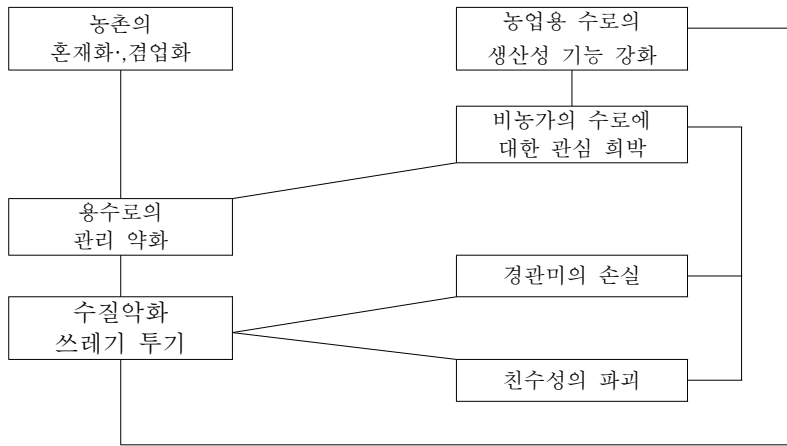
2-1 서론

예로부터 물과 그 주변은 동서양을 막론하고 인간의 정서와 생활환경으로서 중요한 의미를 가져왔다. 아름다운 도시경관으로 유명한 해외의 많은 도시생활들은 대부분 하천을 끼고 발달하였으며, 우리나라의 많은 도시들도 역시 하천 주변에 위치하고 있다. 호소는 사람의 마음을 부드럽게 해주는 감동을 줌과 아울러 인간생활에 없어서는 안 되는 필수불가결한 물을 제공해 주는 역할을 해주고 있지만 불행하게도 최근에는 아름다운 경관과 필수불가결한 물이 점차 오염된다는 것은 정말로 아쉬운 일이 아닐 수 없다.

하천은 이·치수기능 이외에 환경기능이 있다. 이·치수는 공학적 기능(engineering function)인 반면에 환경은 자연적 기능(natural function)이다. 하천의 환경기능에는 하천동식물의 서식처기능, 수질의 자정기능 그리고 친수 또는 심미적(審美的) 기능 등이 있다. 여기서 친수기능은 정서적 문화적 측면에서 하천과 사람과의 관계를 의미한다. 수질자정과 친수기능은 생태 서식처기능이 만족되면 대부분 자연히 수반되는 기능이다. 따라서 하천의 환경적 기능의 기본은 생물의 서식처 기능이다.

이수·치수·환경 등이 모두 진정한 의미에서 하천의 자연적 기능이 되면 상충되지 않는다. 그러나 실제 이수는 가치(value)이며, 치수는 관리대상이며, 환경만이 진정한 의미의 기능(자연이 물리, 화학, 생물작용을 통하여 한 시스템 내에서 스스로 역할을 하는 것)이다. 따라서 하천의 가치(이수)와 관리대상(치수)과 기능(환경)은 상충 될 수 있다.

농촌공간은 다양한 자연적 요소와 인위적 요소가 상호 유기적으로 밀접한 관계를 가지면서 형성되어 있다. 농촌을 구성하는 자연적 요소는 대기, 물, 토양 등이며 이들은 상호 유기적으로 연계되어 자연의 메커니즘을 형성하고 있다. 인간 활동은 이러한 자연적 요소를 기반으로 이루어지고 있다. 농촌지역의 물 환경의 다면적 기능저하의 사이클을 보면 다음 그림과 같다.



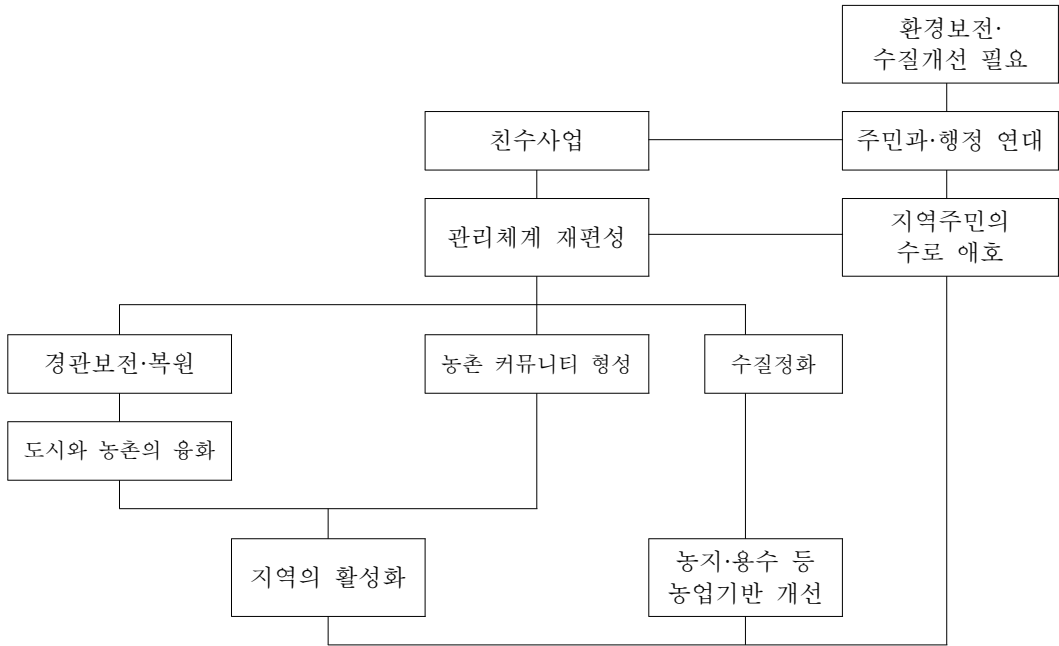
<그림 2-1> 농촌지역 물 환경의 다면적 기능저하의 순환

호소 및 하천은 지구상에서 풍부한 생산량을 가지며 다양한 생물이 어우러져 공존하는 공간이다. 또한, 길게 이어진 구불구불한 수역은 수생생물의 서식공간이 되어 수질을 정화시키는데 큰 도움이 되고 있다. 특히, 수변의 습지 및 식생 지대는 육상생태계와 유역생태계를 연결시켜주는 추이대(Ecotone)로서 생물 서식공간이자 생물이 이동하는 생태통로(Eco-Corridor)로서 중요한 역할을 담당하고 있다.

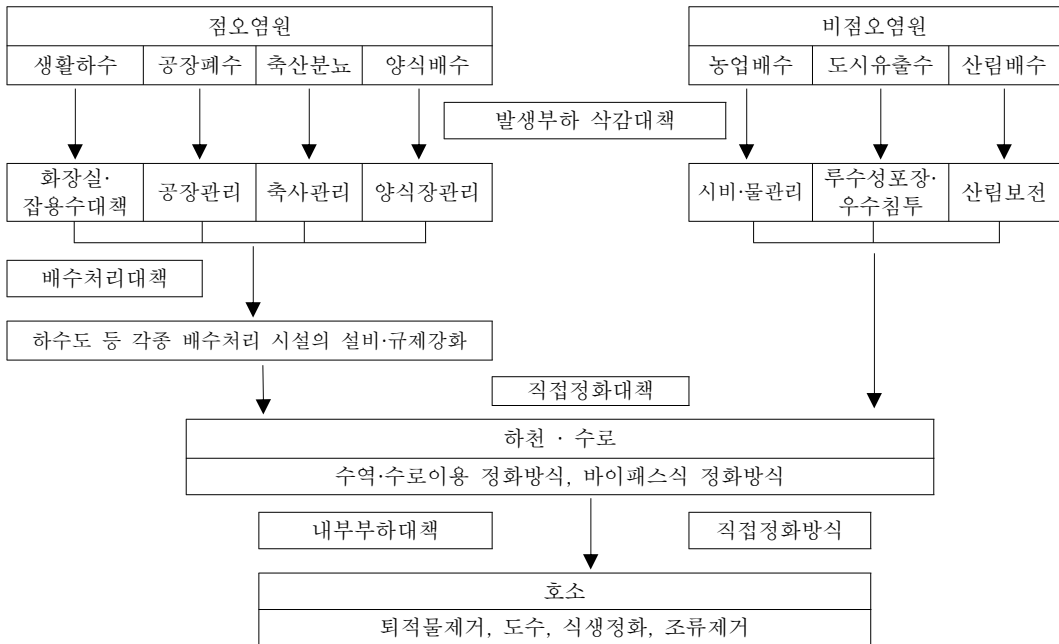
Tilton(1995)은 자연식생으로 잘 조성된 호소나 하천의 호안은 새와 포유류, 양서·파충류가 그렇지 않은 호안에 비해서 월등히 많았다는 연구결과를 발표하였으며, Brian Clouston(1994)은 식물을 이용한 경관설계에 있어서 수생식물의 이용기법을 제시하였다.

최근 들어 식생을 이용한 호소 및 하천 수질 정화방안에 대한 관심과 아울러 많은 연구가 진행 중이다. 이 같은 식생정화시설은 다른 정화시설에 비해 시공, 설치하기가 쉽고, 호수나 하천 주변 경관을 향상시킬 수 있으며, 무엇보다 생태적 서식처로서의 역할을 겸할 수 있다는 점에서 바람직한 방안이라 할 수 있다. 식생정화시설에 이용되는 수생식물은 주로 육지와 수계를 연결하는 연안대에 분포하고 있다.

한편 친수사업을 축으로 한 물 환경의 다면적 기능회복의 순환계를 보면 다음 그림과 같다.



<그림 2-2> 친수사업을 축으로 한 물 순환의 다면적 기능회복의 순환계



<그림 2-3> 호소정화대책의 체계

호소생태계란 포괄적으로 습지 내 및 인접지역에서 생물상 등을 중심으로 물리, 화학적인 요인들과의 상호관계가 발생하는 독립된 하나의 열린계(open space)를 의미한다. 이러한 연속성과 생물서식 공간 제공, 물질순환 통로, 기후 조절, 생물종 이동통로, 오염물질 이동, 자정작용 등의 기능을 한다. 호소생태계는 생태적, 기능적 상호작용 및 상호연결을 감당하는 역동적인 연결경관형의 경관요소이며, 생물종의 이동과 산포의 생태통로 등의 역할을 담당한다.

미국의 환경심리학자 울리치는 수변공간을 바라보는 것만으로 스트레스가 해소된다는 연구결과를 발표한 바 있다. 스트레스를 겪고 있는 사람에게 물이 흐르는 장면, 도시경관, 초목류가 자라는 자연 등 3가지 사진을 보여주고 신체 반응을 살폈더니 몇 분간 수변공간을 바라보는 것만으로도 육체적 에너지 충전, 스트레스 감소, 공격성 감소에 효과가 있었다는 것이다.

지구생태계 생물진화 및 인류문명의 발달이 물의 이용이라는 맥락에서 그 중요성을 인식한다면 수자원의 건전한 이용, 유지·관리는 필수적이다. 하지만 오늘날 인간간섭에 의해 호소생태계는 생물 다양성의 유실과 생태계 기능 및 구조의 교란과 변형이 진행되고 있다. 환경친화성(Environmental friendliness)은 인간(인공)환경이 자연환경에 얼마나 가까운가를 의미하며 자연환경에 인간이 어우러지는 ‘생태계’의 이해를 바탕으로 전개되는 개념으로 자연환경과 인공환경이 생태적으로 조화되는 상태를 말한다. 여기서 인간과 환경을 둘러싼 생태계는 생물공동체와 이들의 생존공간인 무생물적 환경으로 구분되며, 생물공동체(생물권)는 식물, 동물, 미생물 등을 총칭한다. 생명을 유지시키는 무기적 환경은 에너지 공급원인 태양을 비롯하여 지권, 수권, 기권의 3개 권역으로 구분되고 즉, 생태계의 구성은 크게 생물권, 지권 그리고 태양으로 구분되며, 환경친화성의 관점에서 접근하기 위해 생물권을 세분하면 인간, 식물, 동물로 구분할 수 있다.

생태공학은 환경과 공존하는 인간사회 양자의 이익을 위한 설계로 정의되지만, 종래의 생태계가 갖는 기능을 떨어뜨리지 않고서 설계되어온 인공구조물에 생태공학을 적용하여, 생태계의 기능을 이끌어 내는 것으로 환경개선에 기여하는 것이 기대된다. 즉, 생태공학은 에코 엔지니어링이라고도 하고, 생태계의 기능을 이용하여, 파괴된 기능의 강화·회복이나 환경정화에 도움이 되는 기술이다. 그 기본은 물질순환 소위 환경으로부터의 영양염류 섭취와 먹이연쇄에 있고, 그것들의 담당자인 미생물은 생산자, 분해자, 포식자로서 지극히 중요하다. 자연적으로 원래가 갖는 정화기능이 현저한 손상을 받고 있는 속에서, 인공구조물에 생태공학의 지견을 기본으로 한 생태계의 자기설계 시스템을 구성

하고, 기능을 회복·강화하는 것은 수환경의 개선을 진행시켜가는 데에 있어서 중요하다. 또 현재의 폐수배출허용기준과 환경기준과의 사이에는 자연의 정화 능력에 맡긴 부분이 적지 않게 존재하고 있고, 자연정화능력을 보전, 회복, 강화하는 대책은 발생원 대책과 아울러 강화하는 것이 필요 불가결하다. 에코톤으로서의 전이대는 생태계의 다양성에 풍부하다. 이러한 장소를 대상으로 수질개선을 하는 경우, 생태공학적 방법의 도입 가능한 식생정화시설 등에 있어서 생물막을 구성하는 미생물, 서식처를 형성하는 저서동식물 등의 정화기능의 강화 활용이 중요하다.

수중생태계에서 대형 수생생물은 환경요인에 의해 생육이 조절되는 피동적 측면과 아울러 생물 자체의 반작용으로 환경을 변화시키는 능동적 측면을 함께 지니고 있다. 수질환경의 개선에 대한 대형생물의 능동적 측면은 일찍부터 자연정화의 하나로서 인식되어져 왔으나 이러한 기능을 인위적으로 극대화 하려는 시도는 1950년 말 이후에 구체화 되었다.

자연에는 「환경용량」이라 불리는 정화기능이 있으므로, 조금 정도는 오염물질을 배출해도 문제가 되지 않는다고 생각하던 시절이 있었다. 그러나 자연환경은 생각보다 연약하여, 인간의 사회적 활동을 충분히 지탱할 수 있을 정도의 커다란 환경용량은 존재하지 않다는 것을 경험을 통해 알게 되었다. 환경용량을 공간이나 기능별로 몇 가지 단계로 나누어 취급하려는 연구도 있었지만, 결과적으로 자연이 갖는 환경용량에의 과도한 기대는 금물이라는 것이 명확해졌다. 자연 상태에서 수생식물의 조절에 의한 수질개선 기법(생물관리, biomanipulation)은 섭식어류의 투입, 플랑크톤 섭식어류의 직접제거, 고차 육식어류의 투입 등을 통해 수중 영양단계의 구조를 변화시킴으로써 일차 생산성을 제어하는 top-down control(하향조절)과 수생관속식물이나 사상성 대형부착조류를 이용하여 영양물질을 제거함으로써 관리대상 수체의 조류 증식을 억제하는 bottom-up control(상향조절)로 나뉜다. 특히 수생관속식물에 의한 자연정화는 1960년대에 부상된 이후 유기물과 영양물질 및 유해물질의 처리를 위한 기존의 물리화학 및 생물학적 처리의 보완, 수질정화와 친수공간의 확보를 겸한 습지조성, 실내 공기오염에 대한 정화 등에 광범위하게 적용되고 있다.

생태공학에 의한 환경개선대책은 유역의 발생원부터의 부하삭감 대책과 일체가 되어 추진해야만 하는 것이고, 자연의 정화기능에 지나친 기대는 금물이며, 발생원 대책이 기본인 것을 충분히 인식할 필요가 있다. 또한 중요한 것은 완화(mitigation)의 사고방식을 철저히 한 다음에 적용이다.

자연의 정화기능에 대한 생각도 점차 변하여 현재는 환경에 상처를 주지 않는 조심스러운 이용법이 권장되고 있다. 따라서 자연의 정화기능의 강화도 자연이 갖는 항상적(恒常的) 정화기능을 그대로 내지는 자연에 아주 조금만 손을 대서 사용한다는 것을 의미하는 것이지, 한계에 이르기까지 이 정화기능을 이용한다든지, 에너지를 다량 소비하는 인공 집중 정화시설에 완전히 의존한다는 것을 의미하는 것은 아니다. 어디까지나 자연에 대한 외경의 뜻을 담아, 자연의 정화기능을 조심스럽게 사용한다는 것이 기본 이념이라 할 수 있다.

호소는 일반적으로 폐쇄성의 수역에 있기 때문에 유입된 오염물질이 축적되기 쉽고, 수질의 악화가 진행되기 쉬운 외에 일단의 수질이 악화되면 그의 개선이 용이하지 않은 특성이 있다.

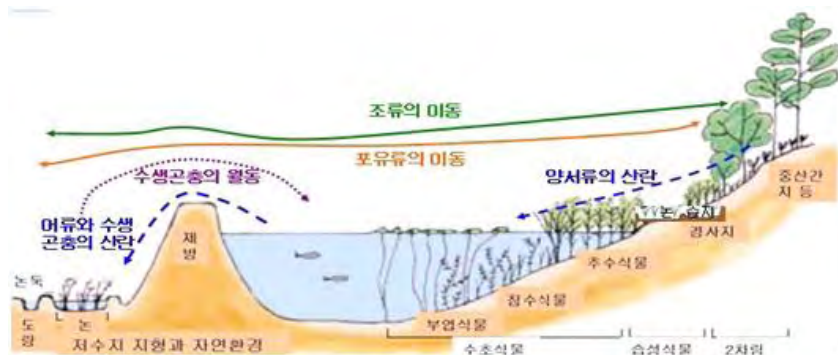
2-2 생태공학적 수질개선기법 접근방법

1. 호소의 정의, 분류 및 국내의 현황

가) 호소 정의

호소는 예부터 인간생활과 밀접한 공존관계를 유지하며 인류가 살아가는데 꼭 필요한 생명의 근원이라 할 수 있는 물을 대주는 것을 말한다. 또한 어족자원의 서식지로서 식량을 제공해주며, 맑은 물은 우리의 심신의 피로를 풀어주고 수상스키, 보트놀이, 요트타기, 낚시 등 많은 레크레이션을 즐길 수 있을 뿐 아니라 호소 주변의 아름다운 경관은 호소수와 어우러져 관광자원으로서의 역할까지 겸하고 있다. 아울러 생태학적 및 학술적 가치도 갖추고 있다. 호소는 매우 복잡한 생태계로 다종다양한 생물분포로 생물의 보호와 함께 학술연구의 대상이 되고 있다.

저수지의 지형과 자연환경은 생물의 서식, 이동, 산란, 은신 등 하나의 계로 표현해 보면 다음 그림과 같다.



<그림2-4> 저수지 지형과 자연환경

호소란 라틴어의 수조를 뜻하는 러커스[Lacus, lacuna: 명, 오목한 곳, lacunal, 형, 오목한 곳의, lacustrine : 형, 호수의, 호수에 사는 호수에 생기는, lacustrine plants 호수(호변)식물]에서 유래되었다. 호소는 원칙적으로 바다와 직접 연결되지 않는 지표의 와지(窪地, 오목하게 패어 웅덩이가 된 땅)에 위치하는 정수괴의 총칭으로 대부분 담수로 되어 있지만 사해나 볼리비아의 우유니호 처럼 염수로 되어 있는 것도 있다.

지구상의 호수 및 하천, 토양, 습지 등에 존재하는 물의 양은 0.01%에 불과하

다. 한편 호소수는 전체 지구상의 물의 0.007%이며, 하천수는 0.0002%를 차지하고 있다.

한편, 호(湖)란 흐름이 없는 정체된 대형 저수지를 지칭하는 용어로서 적은 용량의 저수지나 물의 흐름에 의하여 유속이 확보되는 소(沼)와는 다소 차이가 있다. 그러나 수질기준 등과 관련된 관련법 상에서는 이를 명확히 분류하지 않고 동일하게 적용하고 있다.

호소(湖沼)는 호수(湖)와 늪(沼)을 합쳐 만든 일본식 용어로서 자연호를 중심으로 정체 수역을 총칭하는 것이다. 육수학적으로 호소는 스위스의 호수학자 포렐(F.A. Forel, 1892년)이 식생과 수심에 착안해서 구분한 방법이 널리 이용되고 있다.

- 호수(湖水) : 대형 수생 식물이 연안에만 자라며 중앙부가 5내지 6m 이상의 수심을 유지하여 연안 식물이 침입하지 못한 곳

- 늪 : 침수식물(沈水植物)이 호심(湖心)까지 침입하고 최심부의 깊이는 5미터 이하이며 깊이가 보통 1내지 3m인 곳

- 소택(沼澤) : 도처에 정수식물(挺水植物)이 무성하며 최심부는 1미터 이하인 곳

- 습원(濕原) : 수채라고도 할 수 없을 정도로 습지식물에 뒤덮여 있는 곳
습지를 나타내는 스웬프(Swamp), 마쉬(Marsh), 보그(Bog), 팬(Fen)은 일반적으로 동의어로 사용되나 학문적으로는 서로 다른 개념을 갖는다. 스미스(Smith, 1966년)는 북미에서의 연구자료를 이용하여 소택은 스웬프(沼澤林)와 마쉬(沼澤)로, 이탄 습원(泥炭濕原)은 팬(低立泥炭濕原)과 보그(물이끼 泥炭濕原)로 나누었다.

호소라는 용어는 호수(湖水)와 동의어이거나 유사한 용어로 사용하고 있으나, 沼는 우리나라에서 하천의 수심이 깊고 유속이 느린 곳을 말하는 반면 일본에서는 이를 우리나라의 '늪'의 의미로 사용하고 있으므로 엄밀하게 말하면 차이가 있다. 그러나 근래에 들어 우리나라에서도 호소가 일본에서와 같이 호수와 늪을 포함하는 의미로 널리 사용되고 있다.

호수를 지칭하는 영문용어에서는 자연호를 lake라 하고 인공호는 reservoir라고 구분하여 부른다. 또한 소형 자연호에 대해서는 pond 라는 용어도 사용된다. 그러나 인공호를 보통명사로 지칭할 때는 reservoir라고 부르지만, 고유명사를 만들 때는 'reservoir --' 라 명명하지 않고 'Lake Kentucky'와 같이 자연호와 동일하게 'Lake --'라는 이름을 붙이는 것이 상례이다. 영문용어에서 lake 와 pond 의 차이는 명확하지는 않으나 일반적으로 규모가 크고 수생식물

이 없는 개방수면(open water)이 넓은 호수를 lake라 하고 소규모이며 수생식물이 많은 호수를 pond라고 한다. 인공호를 dam reservoir 와 impoundment로 구분하기도 하는데, Dam reservoir는 하천의 계곡을 막아서 하천의 유로 가운데에 만들어진 저수지이며 impoundment는 하천인근에 제방을 만들고 하천으로부터 수로를 통하여 끌어들이는 물을 저장하는 시설을 말한다.

우리나라에서는 호수의 이름이 규모, 수심, 식생에 관계없이 그 지역의 관습, 시대적 상황, 역사적 전통에 따라 붙여졌으며, 호(湖), 포(浦), 지(池), 연(淵), 담(潭), 택(澤) 등의 꼬리말을 가진다. 지역에 따라 낙동강 서쪽에서는 지(池), 동북부지역에서는 호(湖), 남쪽에서는 포(浦)로 불리고 있다. 습지성 호수는 '벌'이라고 하는데 남한의 가장 큰 자연호수인 우포는 '소벌'의 한자식 표현이다. 우리나라의 자연호는 동해안의 석호와 낙동강 하류에 배후 습지성 호수가 집중적으로 분포하였으나 상당부분이 유역 이용도 변화에 따른 퇴적물의 증가나 경지화 등으로 소택지화 되거나 매립되어 왔다. 대표적인 우리나라의 자연호는 다음과 같이 분류된다.

- 호(湖)는 큰 둑으로 둘러싸인 커다란 못을 뜻하나 옛날에는 호가 포, 만과 같이 바닷가나 물가의 땅이란 의미로 많이 사용되었으며, 송지호 등이 있다.
- 포(浦)는 개, 포구 등을 뜻하는데 다른 한편 만처럼 육지 쪽으로 쪽 들어온 곳으로 고어의 호와 같은 뜻으로 쓰이며, 화진포, 경포, 등이 있다.
- 지(池)는 논 농업 중심에서 관개용수 확보를 위해서 제언(堤堰)에 의해 생긴 저수지 또는 못으로 일반적으로 규모가 호보다 작으며, 정양지 등이 있다.
- 담(潭)은 물이 깨끗하고 깊은 '소'나 '못'의 뜻으로 '지'와 그다지 구분되지 않고 혼용되고 있다. '소'는 '지'보다 규모가 더 작은 논에 물을 대어 주는 유지(溜池)를 의미하며, 백록담 등이 있다.
- 연(淵)은 물이 고여 있는 깊은 못을 말하며 규모가 아주 작는데 우리나라에서 용연(龍淵) 계통의 지명이 많으며, 삼지연이 이에 해당한다.
- 연(烟)은 연자(淵字)의 고어로 '늪'이라 할 수 있고 냉대 기후로 증발량이 적은 북한 지방에 편재하며, 현금연 등이 있다.
- 택(澤)은 평지보다 약간 얇고 물이 고여 있는 소택지를 말하며, 북한의 대택지가 대표적이다.
- 늪은 수심이 얇고 수생식물로 덮인 호수를 말하며, 우포늪 등이 대표적이다.

나) 호소의 분류

호수의 분류방법은 일정한 기준에 의해 정해지는 것은 아니지만, 특성 및 이

용목적 등에 따라 다양하게 분류할 수 있다. 호수의 면적 및 저류용량 등에 의해서는 대형과 소형으로 분류(10km²을 기준)하고, 이용목적에 따라서는 용수용(상수용, 농업용, 수산용, 농업용)과 발전용, 위락용, 다목적 호수로 분류한다. 또한, 호수의 생성 근원에 따라서는 인공호수와 자연호수로 분류한다.

(1) 성인(成因)에 따른 분류

호수는 생성기원에 따라 크게 자연호(natural lake)와 인공호(reservoir)로 구분하며, 자연호는 생성기작에 따라 빙하호, 구조호, 화산호, 하천호, 용식호 등으로 세분한다.

· 구조호(構造湖, tectonic lakes) : 단층이나 습곡활동으로 단층작용으로 함몰된 지형에 형성된 호수이다. 단층의 방향에 따라 장방형으로 형성되며 지구상에서 가장 오래되고 깊고 큰 호수인 Baikal 호, 미국의 Tahoe호, 일본의 Biwa 호 등이 이에 해당된다.

· 화산성호(火山性湖, volcanic lakes) : 화산활동으로 형성된 호수이다. 용암이 계곡을 막아 언지호가 형성되기도 하며, 분화구에 화구호(crater lake)가 생성되기도 한다. 우리나라에 있는 천지는 세계에서 가장 깊은 화산성 산상호수로 유명하다.

· 빙하호(氷河湖, glacial lakes) : 빙하작용에 따른 와지에 빙하퇴적물(moraine)이 계곡의 입구를 막아 만들어진다. 빙하가 얼고 녹기(frost-thaw)를 반복하는 과정에서 바람에 의해 빙하퇴적물이 이동하여 바람 방향에 평행한 방향으로 길쭉하고 수심이 얇은 호수들이 만들어지기도 한다. 북유럽과 아메리카 북부에 많이 존재하며 우리나라에서는 찾아볼 수 없다.

· 용식호(溶蝕湖, solution lakes) : 석회암지대에서 지하의 암반이 용해되어 함몰된 지형에 생성된 호수이다.

· 언지호(堰止湖) : 하천의 유로를 막아 만들어지는 호수를 총칭하여 언지호라 부르는데 형성기작은 산사태, 용암분출, 하천에 의한 퇴적물의 이동, 빙하퇴적물의 축적 등의 다양한 기작이 원인이 된다. 비버, 수달 등이 많이 서식하는 지역에서는 하천이 동물이 만든 댐(beaver dam)의 연속으로 변형되며, 이것이 영양염과 토사의 유출을 지연시키는 정화효과를 가진다. 북한의 백두산 일대에 국지적으로 화산성 언지호가 있다.

· 배후습지호(背後濕地湖, fluvial lake, levee lake) : 하천의 물줄기가 바뀌면서 생긴 호수로 하천의 범람시 홍수기에 물에 잠겼던 곳에 하천과 평행한 방향으로 형성된다. 낙동강 중류인 경상남도와 경상북도 경계부에서 남지 사이에 있는 우포, 대평늪, 목포, 호포, 사지포, 사물포, 연호, 도호, 용호, 석곡호,

장척호, 속기호, 응암호, 조지지, 장승지, 울목지, 월포지, 아포지, 가명지, 닭곡지 등이 이에 해당된다.

- 우각호(牛角湖, oxbow lake) : 하천이 평탄한 범람원을 흐르는 경우에는 굴곡이 심한 사행천이 만들어지고 유로가 변경되어 초생달 모양의 우각호가 생성된다.

- 석호(潟湖, bar-built lagoon, coastal lagoon) : 파도나 해류의 작용으로 해안선에 생기는 사주(砂洲)나 사취(砂嘴)에 의해서 만 입구가 막혀서 형성된 호수로서 동해안의 서번포, 시중호, 소동정호, 천아포, 강동포, 삼일포, 화진포, 청초호, 송지호, 영랑호, 경포호, 향호, 매호 등이 이에 해당된다.

- 인공호(人工湖, artificial lake) : 댐에 의해 만들어진 저수지(reservoir)이다. 소형저수지는 주로 부채꼴 모양을 가지며, 대형저수지는 수물된 계곡의 모양에 따라 좁고 길며 만입된 지류를 가지는 나무가지 모양(dendritic type)을 띠게 된다. 자연호는 체류시간이 길지만 인공호의 체류시간은 자연호에 비하여 짧은 편이다. 외국의 대규모 자연호의 체류시간은 수백년에 이르기도 하지만 우리나라의 저수지의 체류시간은 최대 1년 이내이고 대개 3개월 미만이다. 상류 산간지방에 건설된 저수지는 수심이 깊고 호안이 가파른 반면, 하류에 건설된 저수지는 수면이 넓고 수심이 얇고 호안이 완만하다.

- 반인공호(lake reservoir) : 자연호에 댐을 쌓아 수위를 높이거나 저수를 용이하게 만든 호수이다.

(2) 염분(salinity)에 따른 분류

호수는 염분에 따라 담수호, 기수호(brackish lake), 내륙염호(saline lake)로 나눌 수 있다. 기수호는 해안지방의 석호와 하구댐(estuarine reservoir) 등으로서 담수와 해수의 중간정도인 5~15%의 염분을 가진다. 5%이하이면 담수생태계가 형성되며 15~20%이상이면 해양생태계가 형성된다. 그러나 염분의 변동이 큰 기수호에서는 생물상이 정착하기 어려워 기수호 특유의 다양성이 낮은 생태계가 형성된다. 저질이 모래인 동해안의 석호에서는 파도에 의해 바다물이 사구를 넘어 유입하거나 바닥의 모래사이로 해수가 침투하여 염분도를 높인다. 서해안 간척지의 호수에서는 저질의 염분이 장시간 계속 용출되어 염분도를 높인다.

내륙염호는 증발이 매우 심한 건조지역에서 생성된다. 간헐적으로 유입된 물이 유출되지 않고 호수 내에서 증발되어 염분도가 해양의 10배까지 높아지기도 하며 포화되어 소금을 생성한다. 미국의 Great Salt Lake가 대표적인 예이다.

(3) 전도(轉倒, turnover)회수에 따른 분류

수심이 깊은 호수에서는 수온의 수직구배에 따라 열성층(thermal stratification)이 형성되며 계절에 따라 호수물의 전도가 일어난다. 전도현상은 열의 수지와 수심에 절대적인 영향을 받으므로 지역에 따라 그 규모와 회수에 차이가 생긴다.

- 무순환호(無循環湖, amictic lakes) : 연중 얼음에 덮여 있는 극지방의 호수에서처럼 연중 전도가 전혀 없는 호수
- 전순환호(全循環湖, holomictic lakes) : 전도시 호수전체가 혼합되는 호수
- 부분순환호(部分循環湖, meromictic lakes) : 호수의 상층부만 혼합되고 심수층은 혼합되지 않는 호수, 심층에 염분농도가 높은 담수화호 등
- 다순환호(多循環湖, polymictic lakes) : 온대지방이나 열대지방의 얇은 호수처럼 연중 다수의 전도가 일어나는 호수, 국내의 체류시간이 짧은 얇은 호수
- 빈순환호(貧循環湖, oligomictic lakes) : 대개 열대지방의 깊은 호수처럼 연중 전도가 일어나지 않거나 매우 느리게 전도되는 호수
- 일순환호(一循環湖, monomictic lakes) : 연중 1회 순환하는 호수로서 여름에 순환하는 한냉일순환호(寒冷一循環湖, cold monomictic lakes)와 겨울에 순환하는 온난일순환호(溫暖一循環湖, warm monomictic lakes)로 구분되며, 국내의 깊은 호수가 이에 해당
- 이순환호(二循環湖, dimictic lakes) : 연중 봄과 가을에 순환하는 호수

(4) 영양(營養)상태에 따른 분류

호소 내에 영양물질이 적은 상태인 극빈영양(極貧營養), 빈영양(貧營養)상태에서는 영양물질이 적어 생물의 번식정도가 낮으며 유기물의 분해율과 생물번식율간에는 균형이 유지된다. 그러나 영양소의 유입에 점차 증가하는 중영양(中營養)상태에서는 생물도 증가하고 유기물은 축적되기 시작한다. 부영양 상태는 호소 내에 영양분이 풍부하여 생물이 번성하고 유기물은 최고의 율로 호소 바닥에 축적되며, 이어 유기물의 과도한 축적으로 부식물(腐蝕物, humic materials)은 생물의 활동을 제한하여 호소는 늪이 되는 과정이 되는데 이때가 과영양(過營養)상태이다. 이러한 영양상태의 변화는 영양물질이 호소에 체류, 축적하기 때문에 생기며 그 변화 속도는 영양물질의 유입량에 의해 좌우된다. 생물생산을 지배하는 상황에 따라 호소를 구분하는 방법으로 다음과 같이 분류된다.

어느 특정한 영양염류가 특별히 결핍되지 않고 생물이 살기에 적합하도록 조화를 이루고 있는 호수를 조화형(調和型) 호소라고 부르고 있다. 통상의 빈영

양호와 부영양호는 조화형 호소이다. 호수 수중에 녹아 있는 화학성분의 조성이 생물이 필요로 하는 것과 일치하지 않고, 생산을 저해하는 그러한 물질이 포함되어 있는 경우도 있다. 이러한 호수에서는 생물생산은 어떤 종의 특수한 생물에 편중된다. 즉 특정한 영양염류가 결핍되어 있거나 특이한 수질을 가지고 있는 호수를 비조화형(非調和型)호소라고 부른다.

- 조화형 호소

- 과영양호(hypertrophic lake)
- 부영양호(eutrophic lake)
- 중영양호(mesotrophic lake)
- 빈영양호(oligotrophic lake)
- 극빈영양호(ultra-oligotrophic lake)

- 비조화형 호소

- 부식 영양호(dystrophic lake)
- 알칼리 영양호
- 철 영양호
- 산 영양호

(5) 이수(利水)형태에 따른 분류

- 농업용 하구호 : 금강하구호, 영산호, 삼교호, 안산호, 낙동강하구, 남양호
- 다목적댐 : 소양호, 충주호, 충주조정지, 안동호, 임하호, 합천호, 진양호, 대청호, 옥정호, 주암호, 이사호 등
- 발전용 댐 : 파로호, 춘천호, 의암호, 청평호, 팔당호, 칠성호, 도암호, 보성호
- 생활·공업용수 댐 : 광동호, 조양호, 가창호, 운문호, 동북호, 안계호, 보문호, 선암호, 사연호, 대암호, 회야호, 연초호, 구천호, 수어호, 달방호 등
- 농업용 소규모저수지 : 토교지, 경천호, 미호지, 맹동지, 백곡지, 동부지, 탐정지, 광주호, 나주호, 담양호, 장성호, 기흥지, 금광지, 이동지, 고삼지, 예당지, 동상지, 구이지, 경천지, 대아지, 덕동호, 강릉지, 서산지, 청천지, 옥구지, 청호지 등

(6) 형태적 분류

호수의 수질 및 유량관리를 목적으로 할 때는 형태적 분류방식을 채택하고 있는데, 형태에 따른 호수의 특성과 우리나라의 대표적인 호수는 다음 표와 같다.

수지형(樹枝形) 호수는 주로 산간지역의 하천을 댐으로 막아서 만든 것으로, 계곡에 물이 채워지기 때문에 나뭇가지 모양의 형태를 나타내는 호수이다.

하천형(河川形)호수는 수지형 호수와 마찬가지로 하천이 댐으로 인해 형성된 호수이지만 호수의 폭 방향보다 길이 방향(흐름방향)이 긴 형태를 가진 호수이다.

저수지형(貯水池形) 호수는 주로 농업용으로 이용되기 때문에, 평지의 농경지 주위에 형성된 호수이다. 하구형(河口形) 호수는 해수의 역류를 방지하여 담수화하기 위한 호수로 하구에 건설된 호수이다.

(표 2-1) 호수의 형태적 분류에 따른 환경특성

구 분	특 성	대 상 호 수
하천형 (河川形)	1. 체류시간이 비교적 짧다. 2. 호수연안이 비교적 단순하다. 3. 호수의 수평적 농도 변화가 작다.	팔당호, 의암호, 청평호, 진양호, 춘천호
수지형 (樹枝形)	1. 체류시간이 길다. 2. 호수 연안이 발달되어 만이 형성되어 있다. 3. 호수의 수평적 농도 변화가 크다.	소양호, 대청호, 충주호, 안동호
저수지형 (貯水池形)	1. 체류시간이 비교적 길다. 2. 저수용량이 작다. 3. 수심이 비교적 얇다.	대가미호, 호암호, 광주호, 장성호
하구형 (河口形)	1. 하구에 위치해 있다. 2. 호수의 수평적 농도 변화가 크다. 3. 오염부하량이 크다.	아산호, 삼교호, 영산호

다) 우리나라의 호소현황

우리나라의 호수는 외국과는 다르게 수자원 확보, 홍수 조절 및 에너지 생산 등의 목적으로 댐 또는 방조제(둑)를 건설하여 조성된 인공호수가 대부분이다. 인공호수는 일반적으로 유역면적이 넓고, 길쭉한 형태가 특징으로 종:횡의 비율이 대부분 50 이상이다. 국내의 경우 대형호수는 하천 중상류에 댐을 막아 건설한 인공호와 간척사업과 연계하여 농지를 조성하고 이에 필요한 용수를 공급할 목적으로 하구나 연안에 댐이나 방조제를 건설하여 저수지를 만들고 호내의 해수를 담수로 치환하여 인공적으로 조성한 대형 담수화호가 대부분이다. 수적으로 거의 모든 호수는 대부분 농업용으로 조성된 저수지가 차지하고 있다.

대표적인 우리나라 중대규모 이상의 호소에 대한 물리적 특성을 보면 자연호(경포호 등)도 있으나, 대부분이 용수확보를 목적으로 건설된 인공호, 저수량은 100만톤이하, 평균수심 10m이하의 관개용 호소, 하천형 인공호는 대부분 큰 강을 막아 형성된 호수, 독립저수지형의 경우에는 대부분 원형에 가까운

각형, 또는 타원형이다.

국내호소의 수리수문학적 특성을 보면 평균수심, 호수 내 물의 체류시간 등이 이에 속하며 수심이 얕을수록, 체류시간이 길수록 부영양화의 가능성이 높게 된다. 우리나라 호수의 평균수심은 대부분 10m이하로서 일단 부영양화 되면 호수바닥에 쌓이는 유기물이 많아져 저질층으로부터 용출되는 오염물질(특히 인)의 영향을 많이 받을 가능성이 높다. 이를 호수로부터 영양물질의 내부부하(internal loading)라고 하는데, 이 경우 부영양화의 조절을 위하여 외부유입수의 수질을 개선한다 할지라도 실제 호수내의 수질은 개선되지 못하는 경우가 발생할 가능성이 높다.

내륙호수보다 하구호의 체류시간이 긴 것은 댐으로 인한 인위적인 저류가 원인이다. 부영양화 조류발생과 체류시간과의 관계를 살펴보면, 평균 체류시간이 3.6일, 즉, 1년간 물의 교환회수가 100회 이하인 경우에는 수중에 함유되어 있는 영양염류가 조류발생 한계이상이 되어 부영양화가 발생할 수 있으며, 우리나라의 대부분의 하구 담수호는 부영양화 발생 가능성이 높다. 팔당호, 청평호 체류시간은 5~10일이며, 영산호, 평택호, 삽교호 체류시간은 26~55일 정도이다.

(표 2-2) 국내의 호수 용도별 조성현황

구 분	개 소	저 수 량 (억톤)
다 목 적 댐	9	92
생 공 용 수 댐	15	6
발 전 용 댐	10	-
농업용 저수지	18,179	25
계	18,213	123

라) 외국의 주요 호소현황

세계의 대표적인 호수의 평균체류시간, 호수의 수면적, 저수량 등 시설제원은 (표 2.3 ~ 표2-5)와 같다. 호수의 규모는 체류시간으로 볼 때 50일에서 1340년으로 광범위하며, 수표면적은 584~82,637km²에 이를 정도로 호수의 규모는 다양하다.

(표 2-3) 세계 주요 호수의 평균 체류시간

호 수 명 (국 가)		체 류 시 간 (년)
자 연 호	Titicaca(Peru/Bolivia)	1,343
	Tahoe(USA)	700
	Baikal(Russia)	380
	Superior(Canada/USA)	191
	Great Bear(Canada)	124
	Michigan(USA)	99.1
	Vattem(Sweden)	55.9
	Victoria(Uganda/Kenya/Tanzania)	23
	Biwa(Japan)	5.5
	Balaton(Hungary)	2
Tai-hu(China)	0.65	
인 공 호	Volta(Ghana)	4.3
	Kariba(Zambia/Zimbabwe)	3
	Tucuru(Brazil)	0.14

(표 2-4) 세계 주요 호수의 수면적

호 수 명 (국 가)		수 면 적 (km ²)
담 수 호	Superior(Canada/USA)	82,367
	Victoria(Uganda/Kenya/Tanzania)	68,800
	Ontario(Canada/USA)	59,570
	Michigan(USA)	58,016
	Tanganyika(Burundi/Zaire/Tanzania/Zambia)	32,000
	Baikal(Russia)	31,500
	Great Bear(Canada)	31,153
	Erie(Canada/USA)	25,821
	Le'man(Switzerland/France)	584
	염 호	Caspian Sea (Russia/Turkmenistan/Kazakhstan)
Aral Sea(Kazakhstan/Uzbekistan)		64,500
Balkhash(Kazakhstan)		17,301
Maracaibo(Venezuela)		13,010
Dead Sea(Israel/Jordan)		940

(표 2-5) 세계 주요 호수의 저수량

호 수 명 (국 가)		저 류 량 (km ³)
자 연 호	Baikal(Russia)	23,000
	Tanganyika(Burundi/Zaire/Tanzania/Zambia)	17,800
	Superior(Canada/USA)	12,221
	Nyasa(Tanzania/Malawi/Mozambique)	8,400
	Michigan(USA)	4,871
	Victoria(Uganda/Kenya/Tanzania)	2,750
	Great Bear(Canada)	2,236
	Ontario((Canada/USA)	1,638
	Toba(Indonesia)	1,258
	Le'man(Switzerland/France)	89
인 공 호	Owen Falls(Uganda)	204
	Bratsk(Russia)	169
	Aswan High Dam(Egypt/Sudan)	162
	Kariba(Zambia/Zimbabwe)	160

2. 호소 주변지역

가) 수변지역(水邊地域)

수변(水邊)이란 국가하천 도시구간 하천정비 기본조사 보고서(건설교통부, 2004. 06)에 따르면 하도, 강 턱, 홍수 터, 자연제방과 인공제방, 배후습지, 기타 하천과 경관 생태적으로 연속성이 있는 하천회랑(stream corridor)이라고 정의하고 있다. 한편 우효섭(2000)은 수변(水邊, Stream corridor)을 하천에서 하도, 홍수터, 강 턱, 기타 경관 생태적으로 연속성이 있는 주변을 망라한 것이라 하고 하천기능을 이수, 치수, 환경 등 크게 3가지로 분류하였다. 여기서 환경기능이란 동식물서식처 기능, 자정 기능, 경관·친수(親水) 기능 등을 말하며 이중 서식처 기능은 대부분의 경우 자정과 친수기능을 자연적으로 포함한다. 따라서 하천의 환경기능은 곧 생태서식처로서의 역할을 의미한다. 독일, 오스트리아, 스위스 등에서는 1970년대부터 이른바 근자연형 하천공법(近自然型 河川工法, Naturnaher Wasserbau)이라고 부르고, ‘근(近)’이라는 접두사를 붙인 것은 한번 훼손된 생태계와 서식처 기반은 원래대로 완전히 복원시키는 것은 불가능하며 단지 원래의 모습에 가깝게 되돌릴 뿐이라는 것이다. 회랑(回廊,corridor)은 경관생태학에서 이용되는 용어로서 지배적인 경관생태(matrix)보다는 규모가 작은 국부적이고, 띠 모양의 경관생태 부분(patch)을 말한다. 따라서 하천회랑, 또는 간단히 수변은 하도와 주위 경관생태부분을 연결시켜주는 하도를 따라 형성된 긴 경관생태부분이다. 하천복원에서 수변을 강조하는 것은 하도 자체만의 복원으로는 사실상 지속 가능한 생태계를 만들기 어려우며, 주변 경관생태와 연결 통로가 되는 회랑의 복원이 병행되거나 적어도 하천 복원 계획 단계에서 고려가 되어야 하기 때문이다. 수변의 특성을 고려하기 위해서는 물과 유로를 기준으로 하는 ‘유역 규모’와 경관 생태 측면에서 ‘지형 규모’간의 차이를 강조할 필요가 있다. 이 점에서 전통적인 수문·수리 분석은 해당 유역단위로 할 수 있으나 생태분석은 유역단위보다는 토지피복의 특성이 같은 지형단위가 더 적절하다.

수변을 횡 방향으로 보면 하도, 홍수터 그리고 주변 지형과 연결되는 천이(遷移) 주변구역(upland fringe)등으로 구성되어 있다. 주 하도는 거의 상시로 물이 흐르는 곳이며, 홍수터는 홍수 시에만 잠기기 때문에 수목이 자생한다. 홍수터 곳곳에는 지형에 따라 늪이나 습지가 형성된다. 따라서 수변에는 각 위치에 따른 수분의 정도(물에 잠기는 빈도와 지하수위 변화)에 알맞은 식물들이 서식하게 된다. 천이 주변구역은 고지(高地, upland)의 삼림과 능선의 풀

등을 포함 한다.

수변을 최상류에서 최하류까지 중 방향으로 보면 상류의 고지에 위치한 원류구역(遠流區域, headwaters), 중류의 이송구역(移送區域, transfer zone), 하류의 퇴적구역(堆積區域, depositional zone)등으로 나눌 수 있다. 이러한 하천형태 구분을 식생과 연관시켜보면, 원류구역은 고지 식생에서 오는 유기물과 토양침식에서 오는 유사를 하류로 제공한다. 특히 자연 하천에서 원류구역에서 내려온 통나무가 중 하류에 걸린 부목은 수중 생태계의 귀중한 서식 환경을 제공한다. 이송구역은 원류구역에 없는 넓은 홍수터를 가지고 있기 때문에 수변식생이 다양하다. 이 구역에서는 토양과 함수(含水) 특성에 따라 여러 종류의 식물이 서식하게 된다. 퇴적구역은 상류 두 구역보다 더 큰 홍수터를 가지게 되고 유사의 퇴적이 활발하다. 그러나 평평하고 넓은 토지는 인간의 농경과 주거지역으로 바뀌었고, 특히 치수 차원에서 제방을 축조하여 수변을 좁혔기 때문에 수변 식물은 사실상 제방 안으로 국한되는 경우가 많다.

수변구역(水邊區域)은 한강법 등에 정의에 따르면 수제선(水際線)을 사이에 두고 육역과 수역이 합쳐지는 일정 부분의 장소로 규정하고 있으며, 영어권에서는 워터프론트(Waterfront)라고 지칭하고 있는데 뜻 그대로 해석한다면 수전(水前)지역을 뜻한다. 보통 지리적 의미의 협의적 수변공간을 의미하는 경우가 많은데, 수영 및 낚시 등의 수상·수주 활동의 레크레이션 기능 그리고 생태계의 보전 및 자연경관을 통한 심리적·정서적 만족 등을 포함하는 환경형성 기능 등의 친수기능도 포괄하는 공간 개념으로 보는 것이 타당하다(水邊の計劃と設計, 吉村元男, 芝原華夫, 昭和62年).

수변구역은 물과 직접적으로 접한다는 지리적 여건으로 인간이 가장 심리적으로 선호하는 물과 땅이 마주 접하는 공간 기능을 제공하고 있다. 한편 수변구역은 주변지역 주민들의 어업종사에 따른 소득원 제공과 자연을 벗 삼아 관광레저를 즐기려는 도시 시민들에게 휴식공간으로서의 기능도 제공하고 있다.

○경제적 기능

-다양한 수산물 생산 : 어업에 따른 다양한 먹거리 제공 및 지역 주민의 소득증대

-곡물재배 : 풍부한 용수 공급에 따른 수확물 풍부

-다양한 레저 활동 : 수변, 주변지역의 산책, 낚시, 수영 등의 레크레이션 제공에 따른 지역 소득 증대

○환경적 기능

-정화작용 : 물과 접한 부분의 식물에 의한 미생물 분해

-생태계 보전 : 다양한 철새들의 에너지 보충지역

○사회, 문화적 기능

-환경교육의 장으로 활용 : 생태계 중요성 홍보 및 청소년의 환경교육 심신 수련

-문화유산 및 휴식 공간 제공 : 아름다운 경관과 풍부한 환경자원

나) 수변공간(水邊空間)

토목분야에서는 상기와 같이 물과 육지의 사이라는 뜻의 『수제 혹은 수제 선』으로 부르고 있으나 도시계획분야에서는 공간을 대상으로 하기에 『수변 공간』으로 표현한다. 한편 경관생태학자는 “수변공간”이란 수제선을 사이에 두고 양측 일정범위의수역과 육역이 합쳐진 대상공간을 의미하고 이 수역과 육역 두 가지 환경영역은 상호 영향을 주고받는 공간으로 수변공간은 이 두 영역의 합집합적 공간이라 할 수 있다. 두 영역 사이에 에너지의 흐름과 물질의 순환이 매우 빠르고 활발히 일어나는 생태적 통합의 場이기도 한 것이 특징이다.

수변공간은 물리적, 심리적 측면, 레크리에이션 측면, 그리고 경제적, 사회·문화적 측면에서 다음과 같은 특성을 갖고 있다.

○해방성, 개방성 : 수변공간은 주민들의 정신적 압박감을 해소시켜주는 것과 가시권, 조망권의 부여 등 물리적 개방성을 제공해주는 성격을 갖고 있다.

○생산성 : 수변공간은 농림수산업, 광공업, SOC 및 기타서비스업이 여타지역보다 상대적으로 활발히 이루어지는 곳으로 산업 활동의 편리성, 경제성이 매우 높은 지역이다.

○위락·휴양성 : 수변공간의 가장 큰 매력은 레저, 레크리에이션 등 휴식기능을 발휘할 수 있는 곳으로 주민의 정서와 삶의 질을 제고해 주는 공간이다.

○쾌적성 : 수변공간은 단순성, 자연성, 정숙성, 해방성, 개방성 등으로 인해 주민의 삶에 쾌적함을 제공하는 공간이다.

○문화성, 역사성 : 수변공간은 수운, 수산, 국방, 산업입지, 도시개발, 관광개발 등 토지이용이 다양하고 인적, 물적 교류와 정보교환이 활발히 이루어지는 곳으로 개방적, 혼합적인 독특한 문화를 갖고 있다. 또한 도시발전이 하천 등 수변공간으로부터 시작된 데에 따른 역사성도 동시에 갖고 있는 것이 특징이다.

수변공간은 수역과 육역이 합쳐진 고유한 특성에 따라 독특한 물리적 공간을 형성하는 기능 외에 다양한 유형의 개발 거점 기능, 산업활성화 기능, 문화창

조 기능 등을 갖고 있다.

○공간의 Identity 형성기능 : 수변공간은 육역과 수역이라는 공간적으로 명료한 지역성격을 갖고 있다. 이와 같은 특성을 활용하여 바람직한 독자적 기능 부여가 가능하며 장기간 이 기능이 존속할 수 있는 공간적 특성을 갖고 있다.

○상호보완·결합기능 : 수변공간이란 수역과 육역이 유기적으로 결합되어 일체화가 된 공간으로 서로 상이한 조건의 영역을 조화롭게 연계시키는 제3의 공간이다. 즉 수역과 육역의 다양한 기능이 서로 교차하는 공간으로서의 기능을 갖고 있다.

○거점기능 : 수변공간은 당해 지역의 훌륭한 오픈 스페이스로 기존의 거점 외에 새로운 거점으로 형성될 수 있는 강한 잠재력을 갖고 있다. 특히 공간의 개방성, 친수성에 따른 위락, 휴양지로서 상대적으로 높은 매력도를 갖고 있다.

○산업 활성화기능 : 수변공간은 어업, 수산업, 수운(해운)업, 공업, 에너지산업, 관광산업 등 타 지역에 비해 산업분야별로 보다 더 다양하고 강도 높은 개발과 이용위주의 공간으로 쓰이고 있다.

○문화 창조기능 : 개방성, 생산성, 위락·휴양성, 쾌적성이 상대적으로 강한 수변공간은 다양한 기능의 상호교차로 고유한 역사성과 함께 독특한 문화를 형성하는 기능을 갖고 있다.

일반적인 수변공간의 지리적 범위 설정기준은 물리적 기준, 행정구역 기준, 임의거리 기준, 환경단위 기준 등이 있으며 각각의 장단점은 다음과 같다.

○물리적 기준 : 지형적 기준이라고도 하는데 수계, 산맥의 능선 등을 기준으로 한다. 기준이 단순하고 이해하기 쉬워 설정이 용이하며 하천 등 수변공간으로 유입되는 비점오염원을 관리하는데 가장 적합하여 환경관리 측면에서 적절한 기준이다. 그러나 때로는 너무 광범위한 범위를 포함하게 되어 관리상 어려움이 뒤따른다는 단점도 있다.

○행정구역 기준 : 시, 군, 구 또는 읍, 면, 동 등 행정구역 단위를 기준으로 하는데 통계자료 수집, 계획 수립·추진, 행정관리 측면에서는 용이한 것이 장점이나 환경이나 자원관리 측면에서의 범위 설정에 한계가 있다. 즉 수변공간 관리와 관련이 없는 육역부분이 지나치게 포함될 수 있다는 점인데 우리나라의 경우 행정구역 경계가 물리적 기준에 해당하는 수계의 범위와 거의 일치하고 있는 것이 특징이다.

○임의거리 기준 : 수계선 또는 하천구역 경계로부터 육역 쪽으로 일정거리를 임의로 설정하는 것으로 수변공간 범위를 지정하기에는 가장 용이하며 관련

법적 제도에 부정적인 견해를 갖는 이해관계 집단에의 설득 및 타협에 적절하나 자료수집, 행정관리, 환경 및 자원관리에 어려움이 있고 수변공간의 물리적 환경 및 사회·경제 활동의 특성과는 관계없이 설정된다는 것이 단점이다.

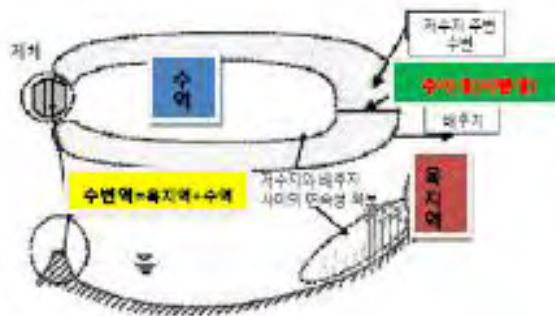
○ 환경단위 기준 : 수변공간 관리의 대상 지역을 구체적으로 선정하는 것으로서 수변 공간은 수역과 육역이 유기적으로 상호작용·의존 하고 있으며 경관 및 생태계의 상호성이 존재하는 제3의 공간이라는 점을 전제, 수변 생태계와 수변 관련 토지이용이 이루어지는 모든 지역을 포함하는 경우가 많다. 이 기준은 환경 및 자원관리 측면에서는 타당성이 높으나 대상지역 선정전에 세부적인 환경실태 및 토지이용 실태조사가 실행되어야 하며 기준적용 시 환경단위 및 구성요소 개념에 대한 인식부족으로 관리주체 간에 논란이 있을 수 있다.

농업용 저수지의 수변공간은 수질관리 측면을 고려하여 저수지의 홍수위선까지를 고려해 볼 수 있다.

다) 수변환경(水邊環境, waterfront environment)

수변환경이란 상하수도용어집에 따르면 하천 등의 주변지역의 환경으로 일반적으로는 친수성을 갖는 하천 등의 주변장소로서 수변은 치수, 이수, 친수기능을 일체적으로 만족하는 지역의 기반이 되는 것이다. 또 친수기능을 높이는 것은 하천과 생활을 연결하고 하천변 주민의 이해를 깊게 하고 미화와 동시에 치수나 이수에 관계된 인식을 깊게 하게 될 것이다. 수변환경이 갖는 효용으로서 경관이 안정이나 휴식을 제공하며, 흙이나 식물 등의 자연환경을 활성화 하며, 그 이외에 공간적으로 피난광장을 제공하고, 공해의 완충효과 등을 제공하는 것 등을 들 수 있다. 특히 최근에는 사회적 가치의 변화와 여가시간의 증대에 의해 하천의 환경에 대한 기대는 증대 되어가고 있으며 하천공간은 도시 내의 귀중한 개방공간을 제공하게 되므로 이의 정비와 보전과 함께 수 환경 및 수변환경의 개선은 더욱 중요해 지고 있다.

농업용 저수지의 추이대를 저수지 수변과 육지역 사이의 공간으로 수변구역으로 지칭하고 저수지와 배후지의 생물학적 연속성을 확보하는 것이 중요하며 다음 그림과 같이 표현 할 수 있다.

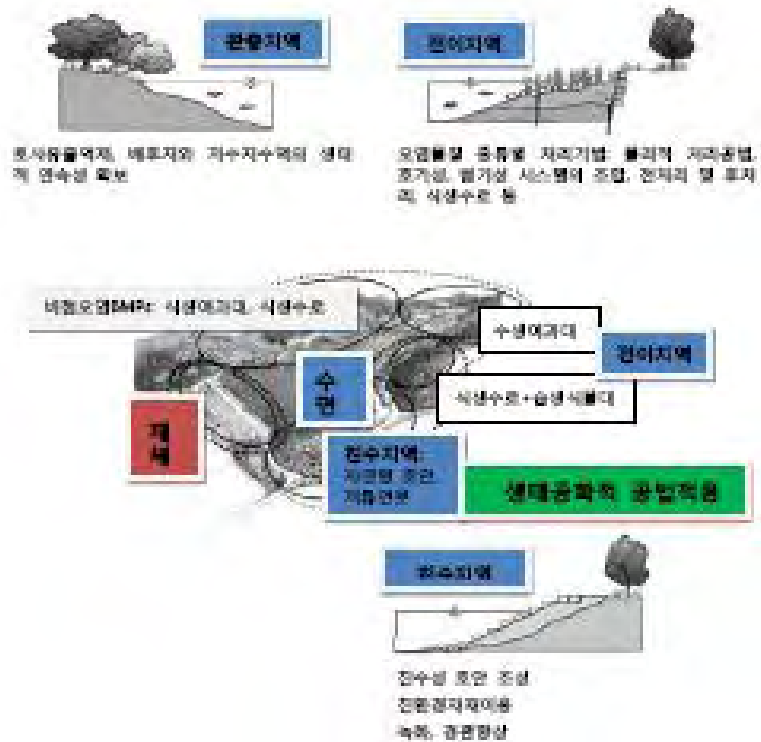


<그림 2-5> 농업용저수지의 추이대(이행대) 범위

생태학에서는 연안대와 같이 2개의 성질이 다른 환경이 인접하고 그 사이에 제 환경 조건이나 식물군락, 동물군집이 변화되는 부분을 에코톤(ecotone, 推移帶 또는 移行帶)라고 부른다(일본 농촌 환경정비 조사 설계 실무, 호소정비) 이러한 추이대 기능은 하천에서 추이대는 수중에서 육상에 이르는 천이과정(遷移過程)의 지역으로 종 다양성 확보를 위해서는 추이대가 중요한 위치를 차지한다.

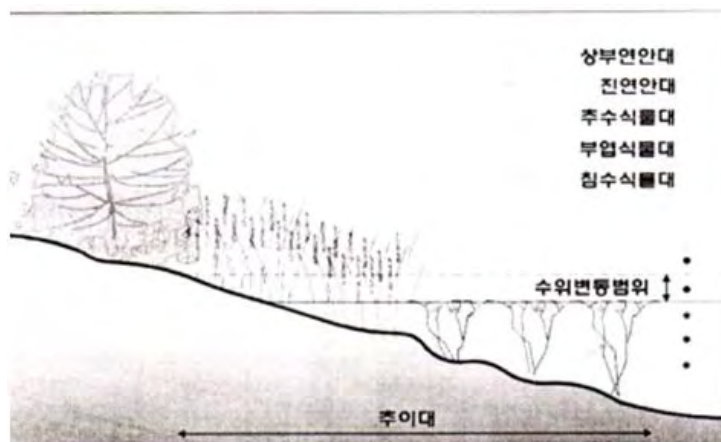
수변지역은 하천주변의 토양, 식물, 동물을 포함하는 자연시스템으로서 하천흐름을 조절하고, 물을 저장하며, 물에서 유해한 물질을 제거할 뿐만 아니라, 수중 및 육상의 식물과 동물을 위한 서식처를 제공하는 등 수질과 수량 그리고 생태계 측면에서 매우 중요한 지역이다. 또한 수변지역은 수변지역 바깥지역과는 아주 다른 식물과 토양특성을 가지고 있는데, 특히 높은 종 다양성과 종 밀도, 생물학적 생산력을 보유하고 있어, 생태학적 측면에서도 적합한 관리가 요구되고 있다.

농업용 저수지가 자연과 인공의 조화된 저수지 수질개선을 위해서는 수변과 육역의 생태학적 건강성 회복이 중요한 의미를 차지한다.



<그림 2-6> 저수지의 친수지역과 전이지역

생물학적 즉 수생식물 생활형에 따른 수변지역의 추이대를 구분해보면 아래 그림과 같다.

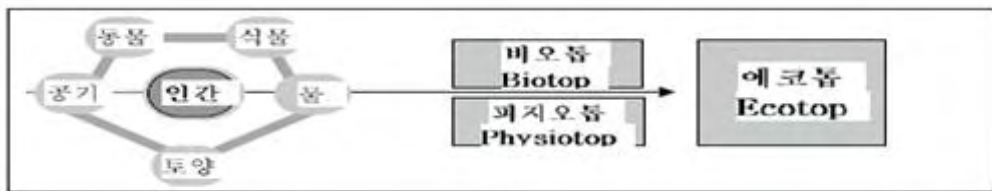


<그림 2-7> 수생식물 생활형에 따른 추이대의 일반적 구분

자연생태계는 생물군집과 햇빛, 온도, 물, 흙으로 이루어진 비생물적 환경 사이에 균형 잡힌 물질순환과 에너지 흐름으로 상호관계가 일어나며 자기유지를 하는 계를 말하며 특히 농경생태계는 인간에 의하여 자연생물군집이 특정 생물종으로 바뀔으로서 종 다양성이 낮고 햇빛 이외에 약간의 외부에너지가 보충되며 자기유지를 하는 계이다.

바이오톱(Biotope)은 식물, 곤충류, 양서류, 조류, 포유류 등 야생동식물이 서식 생육하는 공간을 유형화한 개념이다. 다시 말하면 “특정의 생물군집이 생존할 수 있는 특정의 환경조건을 구비한 균질성을 지닌 제한된 서식공간”으로 정의할 수 있다. 즉 호소, 습지, 초지, 2차림 등 우리 주위에서 다양한 생물서식공간이 각각 유형을 달리한 바이오톱이 되는 것이다.

Mosimann(1984)에 자연환경과 인간환경, 바이오톱의 관계를 고려하여 에코톱이라는 용어를 다음 그림과 같이 정의하였다.



<그림 2-8> 에코톱의 개념도

다양한 무생물적, 생물적 요소의 조합으로 이러한 서식지는 비교적 고유한 특성을 가지게 된다. 생태계 내에서 생물군집에 영향을 미치는 환경은 산소, 수분, 토양성분 등 무생물적 요소와 한 개체군 혹은 한 생물체에 대한 생물적인 요소 즉 생태계 내의 다른 개체군이나 개체의 영향으로 구성된다. 또한 지형, 토양, 기후, 물 관리, 식생, 동물상, 인위적인 영향과 같은 인자들에 의해 특정 지워진 지표의 한 부분으로 정의되는 경관은 다양한 바이오톱의 모자이크로 구성된다. 이러한 모자이크는 숲 혹은 농경지와 같이 단일 성격의 큰 공간을 형성할 수도 있지만 변화가 심한 서식환경에서는 이와 대조적으로 아주 큰 다양성을 보여 주기도 한다. 바이오톱은 가치중립적인 개념으로 일반인들이 생각하는 것처럼 특별히 가치 있고 보호할 필요가 있는 서식공간만 의미하는 것이 아니다. 즉 단순한 종으로 구성된 농경지, 종다양성이 높은 습지도 하나의 바이오톱인 것이다.

도시지역 비오톱과 비교하여 농촌비오톱의 특성은 다음과 같다.

- 농지 자체가 동물의 서식지이면서 동시에 생태계의 핵과 거점을 연결하는 생태통로 역할
- 촌락을 중심으로 논, 밭, 산지, 소하천, 소택지 등 크고 작은 여러 가지 생물 서식공간이 유기적으로 연결
- 높은 균질성과 지리적으로 최소 공간단위를 구성
- 인공선택에 의해 동식물의 우점이 결정
- 인간간섭에 의해 종 다양성이 감소
- 조절작용은 feedback에 의해 내부적으로 일어나기보다 외부적이고 목적 지향적이다.

미 농무성 산림청(USDA Forest service)에서는 농지를 관리하는 부처로서 수변지역을 “수변지역은 수 생태계, 수변지역 생태계, 습지로 구성되어 있고, 수 생태계란 하도, 호수, 하구 그리고 생물 군락, 이들 안에서 보이는 서식지를 포함하며, 수변지역 생태계는 둑이나 물가에서부터 육지-물의 직접적인 상호작용이 있는 토지까지 포함한다”(USDA Forest Service, 1994)라고 하여 비교적 넓게 해석하고 있다.

미 내무성 어류 및 야생동물청(USDI Fish and Wildlife Service)에서는 “수변 지역이란 연중 또는 간헐적으로 수체(강, 하천, 호수, 또는 배수로)에 인접해 있으면서 지표수 및 지하수의 수문특성에 의해 영향을 받는 식물군락으로 ①인접한 지역과 다른 식물 종으로 구성되거나 또는 ②인접한 지역과 유사한 종이지만 좀 더 왕성한 성장형태를 보이며, 일반적으로 물과 인접육지부(upland) 사이의 전이대”(USDI Fish and Wildlife Service, 1997)라고 비교적 좁은 의미로 해석하였다.

수변구역의 정의는 공통으로 가지는 관점은

- 수체에 인접해 있다.
- 수체와 나란히 선형으로 구성된다.
- 명확히 정의되거나 정확히 경계를 정하기가 어렵다.
- 수중 및 토지 환경 사이에 전이지대를 제공한다.

수변지역과 수변녹지는 일반적으로 물과 수변 고지대 사이의 토지를 말하며 강과 하천을 따라난 선형 지역으로 때때로 범람이 되기도 하는 지역으로서 명확한 구역의 범위는 존재하지 않는다. 그리고 호수, 저수지, 습지 등과 같은 다른 수체에 인접한 식생 또한 종종 수변으로 간주된다.

수변지역의 정확한 위치에 대한 견해는 계절마다 수위, 토양수분, 식생 등이

변하기 때문에 다를 수 있다. 외국의 경우 수변지역은 다양한 시각(즉, 식물 생태학, 수문학, 수산업 및 야생생물, 지형학, 초목 및 토양)에서 연구되었으나 통일된 정의는 마련되지 못했고, 수변지역의 정의는 “수로와 관련된 토지” 정도의 간단한 기술에서부터 “자세한 기술”까지 다양하다.

(표 2-6) 문헌자료에 의한 수변지역 정의

출 처	정 의
Lowe(1964)	수변지역[늪(marsh) 제외]은 수로의 인접지역에 있고, 기후, 식생형태에 의해서 특징지어진다.
Dick-Peddie and Hubbard(1977)	큰 강이나 작은 강, 심지어 건천같은 간헐적인 흐름이 있는 구역과도 연관된 초목을 말한다.
McCormick(1979)	배수지역과 인접 수변고지의 침식에 의해 생성되며, 또한 수중 생태시스템의 주기적인 범람에 의해서도 생성된다.
Johnson and McCormick(1979)	수면에 가깝기 때문에 높은 지하수면이 있는 생태시스템...그리고...일반적으로 수중 생태시스템과 수변고지 생태시스템사이의 이행대로서, 뚜렷한 초목 및 토양 특징을 가지고 있다. 수변 생태시스템은 높은 종다양성, 종밀도, 생산성 등의 특징이 있다. 계속적인 상호반응이 수변 생태시스템, 수중 생태시스템, 수변고지의 육상 생태시스템 사이에 에너지, 영양소, 종의 교환을 통하여 일어나는 지역이다.
Wamer and Hendrix(1984)	담수, 수로, 표면발생 대수층(우물, 용천수) 등으로 둘러 쌓인 지역이다.

자료 : Environmental Laboratory US Army Engineer, 2000
<http://oiris.cso.uiuc.edu/denix/...on/Legacy/Riparian/riparian1.htm>

자연은 자연 스스로가 자연스럽게 가꾸어야 한다. 수계를 따라 중간 중간에 형성된 “숨 쉴 수 있는 곳”이야말로 가장 확실하고 경제적이며 또한 반영구적인 자연의 자정작용의 장(場)이다. 근본적으로 수 환경을 보호하고 깨끗한 물을 확보하기 위해서 건강한 생태적 기능을 제공하는 수변녹지의 가치를 제대로 인식하고 평가해야 할 시점에 와 있다.

수변녹지의 가장 중요한 기능은 하천으로 유입되는 오염원을 차단하고, 하천 수온을 조절하며, 서식지 및 종의 다양성을 유지하는 것 등이다. 수변구역 내 조성되는 수변녹지의 주된 목적도 이와 같은 기능을 수행하도록 하는데 있다. 이러한 수변녹지의 환경기능이 제대로 발휘되기 위해서는 조성 시부터 이 목적이 달성되도록 고려하여야 한다. 따라서 수변녹지 조성 시 구역을 구분하여 각 구역이 특별한 목적을 가질 수 있도록 기능을 부여하고, 인접한 구역과의 상호작용을 통하여 전체 수변녹지의 기능이 활성화되도록 하여야 한다. 또한 수변녹지를 관리하는데 있어서도 수변녹지가 가진 수질개선, 오염저감, 야생생물 서식지 보호 등 다양한 기능이 유지되도록 해야 한다.

수변구역을 수변구역 내에 조성되는 수변녹지와 이에 인접하는 배후지역으로 나누어, 이들 두 기능이 상호 순 기능을 하여 전체 수변구역의 기능이 활성화

되도록 조성하고 관리하도록 하여야 한다. 수변구역 규모와 관리방안은 유역의 조건에 따라 달라지는데, 이와 같은 유역의 조건에는 수변구역의 물리적 특성, 주변토지이용, 하천의 기능과 가치, 희망하는 수자원의 기능 등과 같은 요인이 있다. 또한 대부분의 수변구역이 사유지이거나 공공용지이더라도 다양한 목적을 위해 관리되기 때문에 토지소유자/관리자와 제약성 또한 고려해야 한다.

수변인접지역의 인위적인 관리기법 도입보다는 자연 스스로의 힘에 의해 관리되도록 함을 원칙으로 하여야 한다. 그리고 배후지역에 대해서는 인위적인 관리기법의 도입과 함께 다양한 토지관리 기법이 필요하다.

라) 수변완충식생대(水邊緩衝植生帶, Riparian buffers strips)

수변완충녹지대를 분류해보면 크게 완충식생대와 습지완충지로 구분할 수 있다.

(표 2-7) 수변완충녹지대의 유형

구분	세부 유형	내용
Buffer strip	Riparian buffer strip Vegetated filter strip Riparian zone Conservation headlands Field margin	<ul style="list-style-type: none"> • 수로를 따라 형성된 녹지대 - 서식처제공, 하천정화 - 수온 조절 - 수변경관 향상
Wetland buffer	Riverine wetlands Flood plain wetlands Ponds and lakes	<ul style="list-style-type: none"> • 수변 습지 - 오염 정화, 서식처 제공

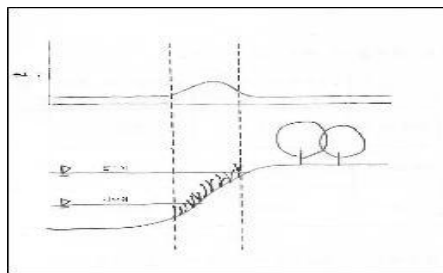
한편 완충식생대(Conservation buffer)는 농경지에서 발생하는 오염물질을 제어하는데 유용한 영구적인 식생(permanent vegetation)의 띠(strips)를 말하며, 영구식생이 자라는 구역을 완충식생대라고 하기도 한다. 완충식생대의 종류로는 수변완충식생대(Riparian buffers), 여과초생대(Filter strips), 마구리 초생대(Field borders), 초생수로(Grassed waterways), 방풍림(Shelterbelts), 등고선 초생대(Contour grass strips)를 들 수 있다.

수변완충지대는 수질개선, 생태계 보호, 경관개선 등의 기능을 하며, 특히 비점오염원 저감에 적합한 방안으로 제시되는 보편적이고 자연친화적인 방법이다.

수변완충지대 주요 기능(USDA, 1998)은 강우유출수의 오염물질과 부유물질의

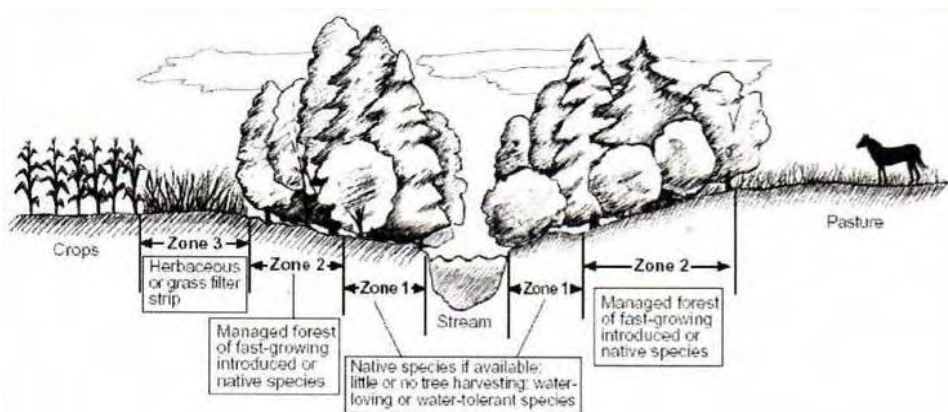
여과, 야생동물의 서식처, 물고기의 산란장소 제공, 식생에 의한 그늘을 제공으로 수온상승 방지하여 적절한 수온의 유지, 비점오염원 저감에 의한 수질개선, 수생생물에 알맞은 생육조건 제공, 식물뿌리의 물 저장과 질소 인 흡수제거 기능이다.

황순진(2007.04, 수생태계 건강성 회복을 위한 하천복원 모델과 기준 조사계획 연구-모델 및 계획)에 따르면 반복되는 침수가 있는 하안에서 종의 수는 일반적으로 높다는 보고하였다.

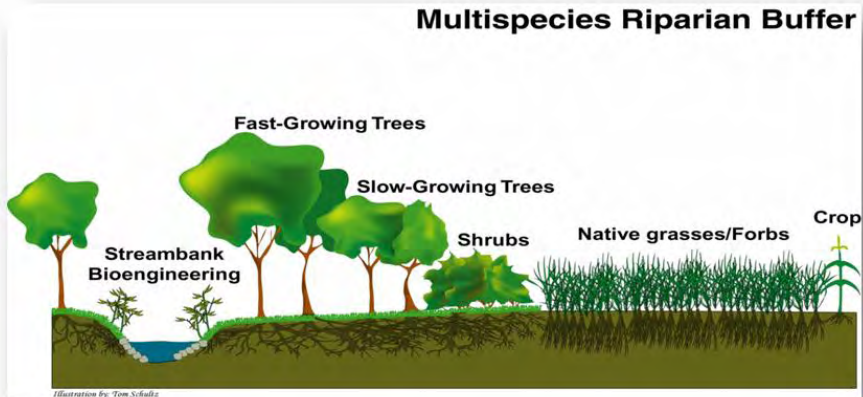


<그림 2-9> 하안에서 생물종의 수

미 농무성(CREP-CP22,2000)에 따르면 자연성이 양호한 수변삼림완충구역의 식생구조는 농경지⇒초본류⇒관목류/초본류⇒교목류⇒물가의 순으로 구성되었다.



<그림 2-10> 수변삼림완충구역 모식도



<그림 2-11> 생물다양성이 있는 수변완충대의 일반적인 구조

완충식생대는 강, 호수, 습지대를 따라 조성할 수 있으며, 경작지 안 또는 그 테두리에 조성할 수 있다. 완충식생대는 양분종합관리 관리(INM), 병해충 종합관리(IPM), 토양보전 형 경운방법 등의 다른 보전농법과 병행하여 실시할 때 더 큰 효과를 얻을 수 있다. 이러한 방법들이 함께 실행되면 아주 효과적이고 적절한 보전농법이 된다.

특히 수변 완충식생대(Riparian buffers)는 오염물질이 강, 호수에 유입되기 전에 표면의 유거수와 지하수에 함유된 오염물질을 저감시키기 위한 목적으로 교목, 관목, 초본식물의 조합으로 조성한 것을 말한다. 수변 완충식생대는 수생동물과 야생동물을 보호하기도 한다.



<그림 2-12> 수변완충식생대(Riparian buffers)

또한 여과초생대(Filter strips)는 토사, 비료성분, 제초제, 기타 오염물질 등이 수계로 유입되는 것을 막기 위해 조성된 초본 식생대를 말한다. 그 폭은 6~10m 이상이다. 여과초생대와 비슷한 식생대(植生帶)는 그 폭이 여과초생대보다 작고 유거수의 속력을 일차적으로 줄여 계곡침식(gully erosion)이 발생하는 것을 막는 좁은 식생대를 말한다.



<그림 2-13> 여과초생대(Filter strips)

완충식생대는 농장과 목장을 경영하는데 생산적이고 유용한 관리를 할 수 있게 해 준다. 오늘날, 미국의 농장과 목장의 경영자들은 작물과 가축생산보다도 더 완충식생대의 시행에 힘을 쏟고 있다. 농업, 축산업 경영자들은 모든 시민들이 더 낮은 삶을 영위하는 데에 중요한 역할을 하고 있다. 완충식생대는 토양, 공기, 수자원을 보호하는데 큰 도움이 되며, 어류와 야생동물의 서식처의 환경을 향상시키는데 큰 역할을 한다. USDA가 발표한 자료에 따르면, 완충식생대는 유거수 중의 영양물질과 제초제 성분을 50%이상 제거하며 병원균은 60%이상, 토사는 75%이상 줄이는데 효과가 있다고 한다.

농촌 지역의 경우는 도시지역에 비해 토사의 유출이 많고 정기적인 유지관리가 어려우므로, 비교적 유지관리가 많이 필요한 침투형 시설이나 장치형 시설은 적절치 않으며, 이중목적저류지, 저류연못, 인공습지, 식생수로, 식생여과대와 같이 비교적 넓은 부지를 소요하나 유지관리가 용이한 시설이 적절할 것이다.

수변완충지역(水邊 緩衝地域, riparian buffering zone)은 복잡한 집합 생물체 및 환경을 포함하고 있는 수체를 연하여 형성된 식생지역은 일반적으로 수변의 일부분이다. 이것은 완벽한 생태계로 존재하거나 수생 및 육상 생태계의 Ecotone의 기능을 할 수도 있으나, 독특한 식생 및 토질특성을 갖는다. 수변지역의 초지나 키가 작은 식물은 지표수와 지하수를 여과하는 기능이 있는 반면에 키가 큰 식물의 뿌리는 낮은 지하수층으로 부터 오염물질이나 영양소를 섭취하거나 그 형태를 변화시킨다.

Gregory와 Ashkenas(1990)는 하천변 유역(riparian zones) 혹은 하천변 생태계를 수생환경으로부터 직접적인 영향을 받거나 수생환경에 직접적인 영향을 주는 육지생태계의 일부와 수 생태계(aquatic ecosystem)를 말한다고 정의하고 여기에는 계류, 지류, 강, 호수, 그리고 이들 지역 주변의 범람원, 늪 등이 포함시켰다.

오종민(2005, 경희대)은 수변완충지대란 지형적으로 수변띠 형태의 하천회랑(river corridor)으로서 토양, 동식물 등 생태시스템을 포함하는 수역과 육역의 천이지대(遷移地帶)를 말한다. 하천에서는 하반역(河畔域, riparian buffer zone), 호소에서는 호반역(湖畔域, lakeside zone)이라고 하며, 기능적으로는 환경·이수·치수 측면에서 완충역할을 한다. 최근에는 수변완충지대를 이용한 자연친화적 수질오염저감기능에 큰 관심이 모아지고 있다. 수변완충지대의 이론적 경계의 계절, 수위, 토양수분, 식생 등이 변화하며 적용목적에 따라 범위

가 달라지므로 절대구역을 구분 짓기는 어렵다. 따라서 여러 나라에서는 기능적, 관리적인 측면에서 적합한 수변 완충지대의 범위를 10~500m 정도의 규모로 정의하고 있다. “수변완충지역(riparian buffering zone)”, “수변지역”, “수변녹지” 등 여러 가지로 표현되고 있는 실정이다.

이러한 지역의 오염물질 제어기능을 살리기 위해서는 충분히 넓어야 하며 토착식생이 자연 그대로 유지될 수 있어야 한다. 오염제어 작용은 수변지역의 초지나 키가 작은 식물은 지표수와 지하수를 여과하는 기능이 있는 반면에 키가 큰 식물의 뿌리는 낮은 지하수층으로 부터 오염물질이나 영양소를 섭취하거나 그 형태를 변화시킨다. 일반적인 제거효율은 부유물질의 제거율은 80 ~ 90 %, 총인은 50 ~ 75 %, 총 질소는 약 80 ~ 90 % 정도가 제거되는 것으로 알려져 있다.

생태 숲과 마을하천의 수변완충녹지(Riparian Buffers)의 기능은 첫째 야생동식물 서식지 보호·생물다양성 개선(강도래류 등 수서곤충의 번식장소), 둘째 여가·심미적 가치 제공, 셋째 수질을 보호·개선, 넷째 범람지와 습지 보전, 다섯째 토양침식 방지·하천특성 보전의 기능이 있는 것으로 알려져 있다. 여러 가지 기능 중에서 수서무척추곤충과 관련 있는 것으로는 야생동식물 서식지 보호, 강도래류 등 수서곤충의 번식장소로서 생물다양성 개선, 수질을 보호 개선, 토양침식 방지 등을 들 수 있다. 강도래류, 잠자리류 등의 수서곤충은 유충기간은 줄 등의 추수식물의 줄기에 붙어서 생활하고 우화시에는 식물체로 기어 올라가 우화한다. 강도래목의 Capiidae류는 우화 후에 서 있는 나무나 삼림으로 이동하고, 수주(數週) 동안 거기서 생활하며 교미한다. 알이 성숙한 수컷은 나무에 오르고, 나무 끝에서 떨어져 원래의 하천으로 돌아간다. 비상능력이 낮은 강도래목의 Capiidae류에게는 주변의 수림이 얼마나 중요한가를 나타내 주는 예이다. 이와 같은 예는 반딧불이 등에도 해당되는데, 하천 주변의 수목이나 수림은 수서곤충류의 서식환경에 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

마) 수변녹지 조성

수변녹지의 조성은 수질개선을 위한 가장 중요한 수단이며, 상류에서 사용한 물을 하류에서 다시 사용해야 하는 우리나라의 수자원 여건에서 수변녹지 조성을 통한 공공수역의 자연성 회복은 정서적인 차원에서도 국민이 물을 안심하고 사용하게 하는 역할을 한다. 이와 같이 수변녹지의 조성은 하천의 수자원보호에 있어 가장 핵심적인 사항이다. 녹지로 구성된 수변지역의 장점은 하

천 독 침식 보호, 질소 제거 증가, 인과 퇴적물 제거, 하류 범람 줄임, 수온 조절, 야생생물을 위한 먹이와 서식지, 물고기와 양서류를 위한 먹이와 서식지, 도시/교외 토지 가치 상승, 서식지 보전을 위한 통로 제공, 유역 불투수성의 감소, 관련 유역의 보호 등이다.

수변식생대 조성은 오염물질 발생지역과 수자원 사이에 위치하여 수자원 오염 정도를 완충하는 비점오염원 관리에 상당히 긍정적 역할, 다양한 생물종의 서식처를 창출하며, 토사유출을 감소시켜 제방안정화에 도움을 주며, 수변 코리더의 시각적 질과 쾌적성을 증진시키는 역할을 담당한다.

하천이나 호수의 수질은 당해 유역에서 이루어지는 모든 인위적 및 자연적 행위의 결과로서 나타나기 때문에 수질환경을 보호하기 위한 합리적인 물 관리는 유역 차원의 관리가 요구되고 있다. 수질관리와 관련된 유역 구성은 크게 3지역으로 구분할 수 있는데, 물이 흐르는 하천, 하천과 인접한 수변지역, 수변지역의 배후지역으로 구분할 수 있다. 이 중 수변지역은 하천의 수질과 수량에 큰 영향을 미치는 지역으로 수변지역과 수변구역을 같은 의미로 사용할 수 있으나 수변구역 내 하천에 인접한 식생지대로서 의미를 한정한다.

수변녹지에서 우수유출수와 지하수에 함유된 오염물질 제거효율은 상당부분 수문학적 요소에 달려있다. 부유미립자, 용존영양물질, 독성물질 등이 표면 유출수에서 효과적으로 제거되기 위해서는 집중된 표면 유출수 흐름보다는 얇은 판 흐름으로 형성되어야 한다. 또한 질산염이 효과적으로 제거되기 위해서는 지하수가 수변녹지를 통과할 때 수변녹지의 뿌리지대 내에서 흐름이 형성되어야 한다. 수변녹지 내 초목은 미립자 포집의 효율을 향상시키기 위하여 표면 흐름에 대해 충분히 접촉하여야 하고, 지표에 쌓인 낙엽은 용존영양소와 독성 물질을 동화하는데 이용될 수 있는 여건에 있어야 한다. 이와 같이 수변녹지가 수질개선에 끼치는 영향은 다양하며, 이에 대한 구체적 사항은 다음과 같다.

① 유역특성

수변녹지 시스템의 오염제거 기능은 수변녹지 자체보다는 외부의 물리적 영향을 더 많이 받는다. 즉, 수변녹지에서 오염물 제거효과는 수변녹지 토양의 물리 및 화학적 구조, 수변녹지대의 경사, 식생종류보다는 수변녹지로 유입하는 집수유역의 경사도, 주변유역의 토지이용 특성과 토양 및 기반암 유형, 깊이 등 수변녹지의 외부의 유역특성에 더 많은 영향을 받는다. 이중에서도 우수유출수의 양과 속도를 정하는 배후지역의 경사도, 외부 유입물의 화학적 구성요소에 영향을 미치는 토양구조, 지하수로 유입되는 물질의 비율을 결정하는 토

양조식 등은 주요 인자이다.

표면유출수에 포함된 오염물질은 경사가 5%이하의 상대적으로 작은 유역에서 얇은 흐름으로 도달할 때, 수변녹지에 의해서 효과적으로 제거될 수 있다. 그러나 유역이 크거나 표면유출수가 집중될 때는 오히려 수변녹지가 침식되어 수로를 형성할 수 있다. 산림화된 수변녹지에 도달하기 전에 표면유출수를 잔디층 등을 이용해 평면으로 얇게 퍼지게 하면 수변녹지의 오염물 제거효과는 커진다.

② 토양의 산화/환원 잠재력

수변녹지에서의 탈질화 과정이 왕성하게 일어나기 위해서는 수변녹지의 토양이 혐기성이거나 산화/환원 전위(Eh)가 낮아야 한다. 수변녹지대의 낮은 산화/환원 전위를 초래하는 반응과정은 연속된 생지화학적(biogeochemical) 반응들로 구성된다. 이런 반응들은 유기물질에서 유출된 전자를 다양한 최종 전자수여자에게 전달한다. 최종 전자수여자의 유용성은 수변녹지의 일정 시간과 공간에서 연속 반응과정이 어느 정도로 반응과정의 주가 될 것인지를 결정한다. 일반적으로 중요한 반응들은 망간산염이온 환원, 탈질화, 제2철 이온 환원, 황산염 환원, 메탄생성 등이며, 이 반응들은 열역학적인 순서로 발생한다. 이런 반응들은 산소 분자 존재 하에서 진행될 수 없으며, 일단 산소가 호흡이나 황화물과 암모늄 이온 산화 등과 같은 반응과정에 의해서 소모되어야, 망간산염 환원이 진행될 수 있다. 일단 모든 망간산염이 환원되거나 그 지역에서 산화반응이 일어나지 않는다면, 탈질화 등이 시작될 수 있다. 또한 많은 반응의 가역성 혹은 휘발성 생산물 등이 pH 변화에 의해서 영향을 받는다. 낮은 산화/환원 전위(Eh)를 유지하는 수변녹지에서 이런 반응을 유도하는 충분한 전자를 제공한다는 것은 중요하다.

③ 초본의 종류

Groffma et al.(1991)은 노드아일랜드 주에서 잔디가 깔린 수변녹지의 탈질화 잠재력은 삼림화된 수변녹지보다 다소 높다고 분석하였다. 또, Haycock and Burt(1993)은 영국에서 잔디로 구성된 수변녹지가 지하수로부터 질산염을 제거하는 데에 효과적이라고 발표하였다.

Haycock and Pinay(1993)도 포플러 삼림으로 이루어진 수변녹지가 잔디보다 질산염 제거에 더 효과적이지만, 지하수에서 인산염과 용존 유기 인을 제거하는 데는 덜 효과적이라는 것이 밝혀졌다. 마지막으로 Correll et al.(1996)은 메릴랜드 주에서 잔디로 구성된 수변녹지와 산지로 구성된 수변녹지를 비교한 결과 질산염 제거에 비슷한 효과를 보였다고 발표하였다. 이와 같이 단순히

산림의 형태만으로 제거능력을 확정하기는 어려우나, 일반적으로 잔디 혹은 조밀한 광엽 초본이 우수유출수에서 미립자를 포집하는데 효과적이다. 그러나 지하수에서 질산염을 제거하는 데에 있어서는 나무로 구성된 수변녹지가 더 효과적이다. 이는 나무로 구성된 수변녹지가 토양에 유기물질을 유지하는 데 효과적이어서 낮은 산화/환원 전위(Eh)와 탈질화 같은 반응과정을 일으키는데 필요하기 때문이다. 또한 삼림은 깊은 토양에까지 유기물질을 제공하는데 훨씬 효과적이는데, 이는 깊은 토양에서 탈질화를 촉진한다.

④ 오염부하율

수변녹지에서의 질산염 제거 중 탈질화(질산염이 미생물반응에 의해 질소가스로 환원)가 주 제거기작인 곳에서 질산염 부하가 높을수록 제거비율이 높다. 한편, 인의 경우 질소 부하량이 높은 경우에 비해서 부하량이 클수록 제거효율이 낮는데, 이는 수변녹지에서 인을 제거하거나 격리하는 탈질화와 같은 미생물학적 과정이 없기 때문이다. 인 부하량은 퇴적물 침전과 용존 인의 침투에 의해 제거되며, 이러한 사실은 인의 효율적 제거를 위해서는 수변에서 원 거리에 있는 지역이 잘 관리되어야 함을 뜻한다. 만약 용존 인이나 미립자 인이 뿌리지대에서 오랫동안 유지될 수 있다면, 생물학적 및 화학적 제거 과정 모두가 가능할 수 있다.

부하율과 수변녹지 규모와의 관계는 특히 용존 오염물질에 대해서는 잘 정립되지 않았다. 표면에서 낙엽과 접하는 물이나 생물학적으로 활성인 뿌리지대에서, 약 30m의 완충지대는 적어도 퇴적물과 질산염 제거에 효과적이었다(Hanson et al., 1994). 농경지 대 삼림완충지대 비율이 5:8인 경우 효과적인 완충이 가능하지만 11:1 비율에서는 그렇지 않았다(Franklin et al., 1996). 이와 같은 관계는 유역특성에 따라 변하며 또한 오염물질 부하량이 표면유출수나 지하수 또는 둘 다에서 증가될 경우에도 각각 제거 효율이 달라지게 된다. 즉 지하유출이 증가할 경우에는 질산염 제거가 증가할 것이고 지표유출이 일정수준 이상이면 오히려 퇴적물의 제거는 감소할 것이기 때문이다.

⑤ 지하수 수질

지하수 수질도 수변녹지에 의한 오염물 제거에 영향을 끼치는 주요 인자이다. 각종 지하반응에서 H_3O^+ (hydronium 이온)을 소비하거나 방출하므로 지하수 pH는 자주 변한다. 비석회질의 토양이나 논밭에서는 질산화 및 산성 침적의 영향으로 농지에서 배수되는 지하수가 상당히 산성을 띄고 있는데, 이들이 수변녹지를 통과할 때 질산염은 식물동화 및 탈질화를 통해 H_3O^+ 을 소비하여 pH는 증가하게 된다.

수변녹지에서 오염물질 제거 메커니즘은 많은 연구에서 나타난 바와 같이 수변녹지를 지나 이동하는 지하수에서 질소를 제거하는 것은 매우 효과적이어서, 질소제거율이 90%를 넘는 경우도 자주 보고되었다. 그러나 질소농도의 변화가 탈질화의 결과인지 아니면 다른 수원으로부터의 물에 의한 단순한 희석인지에 대한 의문이 제기되기도 한다. 질산염 농도가 높은 지하수가 수변지역을 통과하게 되면 수로와 하천에 도착하기 전에 질산염 농도가 급격히 감소한다. 질산염이 수변녹지를 통과할 경우 대부분이 제거되어 하천으로 유입되지 않는다는 것은 아주 명확하나, 수변녹지에서의 질산염의 보유력에 대한 정확한 메커니즘은 아직까지 완전히 규명되지는 않았다. 예상 메커니즘에는 탈질화, 동화, 초목에 의한 보유, 수변녹지 내 토양보유로 인한 암모늄 및 유기 질소로의 변환 등이 있다.

① 탈질화

물에 포함된 유기질소는 무기화되고, 암모니아 형태로 휘산되거나 식물에 의해서 흡수 또는 탈질화 되는 과정에 의해 제거된다. 탈질화는 질산염 보유의 주요 메커니즘으로 자주 언급되나, 수변녹지 내 탈질화율은 시·공간적으로 변이가 심하여서 정확한 양을 결정하기 힘들다. 탈질화의 생산물은 N_2 , NO, N_2O 등이 있고 이들의 비율도 변화가 심하여 대부분의 연구에서 이들을 모두 측정하지는 못한다. 질산염 유동에 관한 현장 연구에서는 질산염이 온화한 기후의 얇은 지하수에서 효과적으로 제거되었다. 수변 토양의 잠재적인 탈질화 연구(Ambus, 1993)에서 하천과 주변 습지 사이에 존재하는 다소 좁은 폭(20m ~ 50m)의 전이지대에서 탈질화 작용이 왕성하게 일어난다. 특히 하천변 식생지대에서는 유속이 느려 물의 체류시간이 길고 용존성 유기물이 많이 공급되는 혐기성 조건이므로 최소 50% 이상이 제거된다. 초지보다 포플러 숲으로 이루어진 하천변 생태계에서 지하수에 존재하는 질소를 제거하는 효과가 더 큰 경우도 있고(Haycock and Pinay, 1993), 탈질화 작용이 교목대보다 초지에서 우세하여 지하수에서 유입되는 질산염보다 더 많은 양의 질소를 제거하는 경우도 있다.(Lowrance et al. 1995) 이와 같이 하천변의 녹지는 탈질화로 질소를 제거하는 주요한 지역이고 제거특성은 다양하다.

② 식물동화

지하수내 질산염제거에서 초목에 의한 흡수도 주요 제거 메커니즘 중에 하나이다. 이와 같이 초목이 질산염 제거를 설명하는데 매우 중요한 인자이나 겨울에 낙엽 활엽수림이 동면하는 지역에서도 질산염은 제거되었다. 그리고 목질 생물량이 매년 증식함에 따른 질소 축적치가 12kgN/ha/yr에서 20kg

N/ha/yr 정도였다. 그러나 이와 같은 생물량에 대한 모든 질소가 지하수의 질산염에서 왔다고 하더라도 식물동화에 의한 질산염 제거비율은 총 제거량의 약30% 밖에 설명하지 못한다. 따라서 질소 동화의 일정부분이 다른 원인에 의해 발생한다고 생각된다. Jacobs and Gilliam (1983)은 수변 초목의 질소 축적이 그 지역에서 제거되는 질산염의 적은 부분에 해당한다는 것을 밝혔다. 이런 사실들은 목질 생물량에서 동화 및 저장에 중요한 메커니즘이지만 주 메커니즘은 아니라는 것을 말한다. 그러나 초목에 의한 동화와 낙엽으로서의 삼림층의 재순환이 전체 메커니즘을 설명하는데 중요하다. 그래서 삼림에 의한 동화는 식물의 성장기에 지하수에서 질산염을 제거하는 주요 메커니즘이 될 수 있고, 낙엽과 같은 삼림 층에 전달되는 유기 질소량은 점차 광물화되고 토양 표면에서 탈질화 될 수 있다.

③ 화학적 기작

수변녹지를 통과하는 지하수에서 질산염 제거는 생물학적인 탈질보다는 화학적 작용에 의해서도 이루어진다. 철 황화물과 같은 강력한 환원제는 질산염과 반응할 수 있다. 화학적 탈질화는 장기간 동안 충분히 낮은 산화/환원 전위 (Eh)를 유지하기 위해 수변녹지 지표 밑에서 유기물질이 적절히 공급되느냐에 달려있다. 기타 퇴적물, 인, 살충제 등은 지표 유출수에 포함되어 수변의 초지대로 유입되고, 지표흐름에서 침전과 흡착에 의해 제거된다. 오염물 제거기작에서 수변 초목은 미립자를 제거하거나 보유하는데 중요한 역할을 한다. 토양 표면에 의해 마찰이 증가하여 속도를 줄이고 결과적으로 미립자의 퇴적을 유발할 수 있지만, 토양 표면에 쌓이는 수변 초목과 낙엽층이 표면유출수 속도를 줄이는 데 훨씬 효과적이다. 표면이나 표면 가까이로 집중된 식물의 건강한 뿌리와 토양 표면, 낙엽, 지상 식물에 사는 미생물 군집도 표면유출수로부터 용해된 영양소를 동화할 수 있다. 그러나 우수유출수로부터 살충제와 다른 독성 물질을 포집하는 수변녹지의 효과에 대한 연구는 상대적으로 적은 편이다.

(표 2-8) 수변녹지에서의 기타 오염물의 제거 기작

오염물	오염물 제거기작
부 유 물 질	침전/여과
산소소모물질	미생물 분해, 침전
병 원 균	침전/여과, 자연 사멸, 식물에 의한 항생물질 분비
인	침전, 토양흡착, 식물과 미생물 흡수

수변녹지를 통해 흐르는 물에는 부유물질과 용존물질이 포함되어 있다. 이러한 물질은 수변녹지대에서 유출수 에너지가 감소되어 침전되거나 식생 사이를 지나면서 여과된다. 수변녹지는 물에 부유하는 병원균을 침전시키며, 태양광선이나 식물에서 나오는 화학물질로 병원균을 무력화시키기도 한다. 하천변의 식생지대에서 물속의 입자에 흡착되어 있는 인은 입자가 침전되어 제거되고, 용존상태의 인은 토양 표면에 흡착되거나 식물에 흡수되어 제거된다. 그러나 인은 공기 중으로 날아가는 양이 거의 없기 때문에 질소에 비해서 하천변 식생지대에서 제거 효율이 뛰어나지 못하고, 계절적인 영향도 많이 받는다. 인은 호기성 상태에서는 주로 무기성분(점토, 철)이 풍부한 토양 표면층에 결합되고, 상부지역에서 침식된 인의 경우는 식생에 의한 유속감소로 축적되며 용존 인의 경우는 식생에 의해 흡수된다. 하지만, 토양의 범람으로 침수되어 혐기성 조건이 형성될 때에는 쉽게 용출된다. 결국, 부유물질을 침전시켜, 침전물을 불포화된 호기성 상태로 유지시키는 것이 인 제거에서는 중요한 부분이다. 수변녹지에서의 퇴적물 제거기능은 얇은 흐름에서 효과가 크며, 퇴적물 방출의 감소는 1m, 4m~5m, 10m 너비 각각에 대해 50%~60%, 60%~90%, 90%~99%로 다양하다. 이러한 값들은 Line(1991)과 Dillaha et al(1987)에 의해 제시된 결과와 잘 일치한다.

수변녹지의 수질보전기능은 삼림이 잘 보전되어 있는 수변지역의 가장 확실한 오염방지는 그 지역이 근본적으로 오염물을 유발시키지 않는다는 점이다. 즉, 수변지역이 개발되지 않고 녹지로 유지된다면 오염물질이 발생하지 않아 수계로 오염물질이 흘러들지 않게 될 것이다. 수변지역은 유달율이 거의 100%이기 때문에 수변지역을 천연상태로 복구하거나 유지하는 것이 오염을 방지하는데에 가장 효과적인 수단인 것이다. 그리고 수변지역의 삼림을 천연상태로 유지하는 것은 단순히 오염물질을 배출하지 않게 된다는 것 이상의 의미를 지닌다. 즉, 수변녹지는 인접한 개발지로부터 흘러나오는 과도한 영양분, 퇴적물 그리고 다른 오염물질들을 막고 흡수하는 살아있는 여과지의 기능을 하기 때문이다. 강우 시 지표 유출수가 초목이 있는 수변지역으로 유입되면 이 수변지역은 퇴적물을 잡아두고 영양분은 흡수한다. 흙탕물이 범람원의 습지와 삼림으로 들어가면, 물속의 silt는 수중식물의 줄기에 붙고 바닥에 침전된다. 홍수가 빠질 때는 지표흐름이나 지하흐름을 통해 강으로 돌아가는데, 그 과정에서 과도한 퇴적물과 영양분은 상당부분 제거된다. 특히 습지는 수질개선에 큰

기능을 하며, 이들은 혐기성 또는 호기성 과정들을 통해 수질을 개선시킨다. 또한 이런 과정들을 통해 어떤 화학물질들은 침전되거나 증발되기도 한다. 습지는 유기물질을 함유한 토양을 호수바닥에 침전시킴으로써 강으로 유입되는 많은 화학물질들에 대한 영구적인 흡수원의 역할을 수행한다. 또한 습지의 높은 생물학적 생산성은 식물체 내에 영양물을 집적시켜, 이를 다시 다른 생태계에 먹이나 보금자리로 제공하는 역할을 하여 생태계를 풍요롭게 하는 기반을 형성한다.

어떤 오염물질(대장균 박테리아, 인산염, 질산염 등)은 오염물로서 물속에 단순히 존재한다는 것 자체보다도 전체적인 농도가 중요한데, 수변녹지는 이러한 오염물의 농도를 무해한 수준으로 저감시킴으로써 오염을 예방하는 기능을 수행한다.

수변지역에 녹지를 조성하였을 때, 단기적으로는 수변식물에 의해 영양염이 보유되어 유역에서 지표수로의 영양염 유출이 감소(특히 홍수 기간 동안)하고, 장기적인 효과로는 토양 내 광물화 과정이 증가하여 유역에서 유입되는 질산염 등이 수변식물에 의해 조절된다. 농업용지에서 지표수와 지하수로 유출되는 비점원 오염원을 감소시키는 데에 있어서도 완충녹지가 전체 농업생태계 관리에서 중요한 요소임이 최근에 인식되었다. 지하수의 수질을 개선하는 데에 있어서도 수변구역의 역할은 잘 알려져 있다. 강변 여과수를 수원으로 이용하는 경우 취수구를 수변의 수립대를 거치도록 하면, 수변녹지를 거치지 않을 경우보다 유리한 수질을 가질 수 있다.

수변녹지의 수질개선 기능은 유역, 토양 및 식생 특성에 따라 크게 좌우되며, 오염물 제거기능도 오염물질별로 다양하다. 수변녹지에서 높은 탈질화율이 가능키 위해서는 낮은 산화/환원전위(Eh)를 유지하여야 하고, 이를 위해 충분한 유기물질이 공급되어야 한다. 국내 수변녹지에서의 오염물 제거기작에 대한 자료는 전무하고, 외국의 실험자료 중에서도 수변녹지를 통과하는 물에서 질산염과 부유 미립자의 제거에 대한 자료는 상당히 있지만, 이런 기능들이 기 후나 수변녹지 특성에 따라 어떻게 변화하는지에 대한 자료는 부족하다.

수변녹지 조성방안은 유량, 퇴적물, 수온 등과 같은 하천시스템(하천과 수변지역을 합쳐 하천시스템이라고 한다)에 영향을 끼치는 변수들은 자연적인 범위 내에서 평형을 유지하고 있는데, 이를 동태적 균형(dynamic equilibrium)이라고 한다. 그러나 이러한 동태적 균형은 유역내의 각종 인위적 행위가 자연적인 범위를 넘어설 경우 파괴될 수 있으며, 이러한 균형의 상실은 수환경의 악화로 나타나고 이는 다시 기존의 생태계에 악영향을 미친다. 즉, 유역 내에서

의 인위적 변화가 자연의 동태적 균형을 유지할 수 있는 범위를 벗어나는 경우, 이러한 변화는 하천 시스템 내에서 발생하는 물리적, 화학적, 생물학적 과정에 악영향을 끼친다.

① 조성 기본 방침

수변녹지의 복원은 수질개선, 홍수예방 등 물 관리 목적뿐만 아니라, 기존에 단절되어 있는 생태계 고리를 연결하는 것도 고려되어야 한다.

㉠ 개발전의 수문조건에 최대한 적합

수변녹지 조성시 수변에 식재하는 것만이 능사가 아니라, 당해 지역에서의 개발 전 수문조건으로 회복시키는 것을 목적으로 하여야 한다. 이를 위해 유역 내에서 피크유출을 감소시키기 위한 저류지 등 다양한 우수유출수 저류시설과 침투시설 등을 동시에 추진하는 것이 바람직하다. 또한 기존의 수변지역과 수변 산림지의 현황을 파악하여, 조성 시 그 지역 토착 동·식물을 이용하고, 그 지역 삼림 및 현 수변지역과 연계되도록 함으로써 경제적, 생태학적 시너지 효과를 얻는 것이 바람직하다.

㉡ 비점오염원 저감

수변녹지의 조성과 복원에서 두 번째로 필요한 것은 과도한 퇴적물 부하 억제뿐만 아니라 하천으로 유입하는 영양염, 박테리아, 그리고 독성물질의 농도를 감소시키는 것이다. 일반적으로, 하천의 오염물질 유입을 감소시키기 위해 수변녹지의 복구와 더불어 배후지역에서는 발생된 비점오염원의 저감을 위한 저류지 또는 습지 건설, 유역 비점오염원 예방 프로그램, 우수관과 오수관의 불량연결 개선 등의 수단을 동시에 고려하여야 한다.

㉢ 하천흐름의 안정화

식생이 제거되면 시간이 지남에 따라, 하천 수로는 규모가 확대되고 독과 하상의 침식이 심각해지는 경향이 있다. 따라서, 수변녹지 조성 시 이와 같은 하천흐름의 특성을 반영하여 수로를 안정화하고, 하상이 균형상태를 회복하여 하천흐름이 안정화되도록 정비하여야 한다.

㉣ 하천 서식지 회복

수변구역이 훼손된 대부분의 하천은 불량한 하천 내 서식지 구조를 가지고 있고, 특히 강우시 하천의 서식환경은 개발지에서 유출하는 피크 유량에 의해 심각한 타격을 받는다. 수변구역 조성 시 파괴된 하천 내 서식지도 복원하는 것이 중요하며, 주요 복원대상은 어류의 은신처와 휴식처를 제공하는 여울과 소 그리고 갈수시에도 물이 흐를 수 있도록 저수로를 정비하는 것이다. 한편 댐, 보 등이 설치되어 어류의 자연적인 이동이 불가능할 경우, 하천에서 어류

생태계를 회복하는 것은 어려울 수 있다. 따라서, 수변구역의 복원과 더불어 하류의 어류이동 장애물을 개선하고 토착 어류의 선택적인 방류도 필요할 경우 실시한다. 이러한 방법은 수변구역의 복원에 의해 하천수질이 개선되어 하천이 살아있다는 것을 증명하는 수질개선의 효과를 보여주는 최종 결과물로서의 역할이기도 하다.

㉔ 식생회복

하천변 식생은 하천생태계의 필수적인 구성요소이다. 수변식생은 하천흐름을 안정화시키고, 하천에 그늘을 제공하여, 수온의 급변을 막아 하천생태계에 안정된 서식환경을 제공한다. 식생회복은 하천을 따라 토착종 식재, 외래종의 제거 또는 점차적인 친이를 허용하는 것 등이 있다. 하천을 식생 완충대를 이용해 보호하는 것은 수질, 생태계, 친수공간 확보차원에서도 필수적이다.

㉕ 하상구조의 안정화

안정되고 잘 조화된 하상구조는 어류의 산란과 수생곤충의 서식을 위해 중요한 필요조건이다. 그러나 수변구역이 파괴된 유역의 하천하상은 아주 불안정하고, 미세한 퇴적물 침전에 의해 막혀져 있는 경우가 많아 하상구조를 회복하기 위한 수단을 적용할 필요가 있다. 강우시 종종 깨끗한 물의 유출이 있을 경우, 이 유량을 이용해 하상 개선작업을 시행할 수 있다. 만약 두꺼운 침전물이 하상에 축적되면, 기계적인 퇴적물의 제거도 필요할 때가 있다.

② 오염제어를 위한 수변녹지 설계시 고려사항-퇴적물과 퇴적물에 결합한 오염물질

㉑ 인접지역에서 유출되는 부하량 평가

부유 퇴적물과 인산염과 같이 토양에 흡착된 오염물질 부하량을 결정하기 위해서는 인접지역의 토지이용을 평가하여야 한다. 토지이용평가를 위해서는 항공사진, 토지이용현황 및 계획도, 토양도 등을 이용하여 사면 길이, 토양 침식 가능성, 토지 커버, 관리 기법 등에 대한 정보를 추출한다.

한편 부유 퇴적물을 정량적으로 산정하기 위해서는 USLE(Universal Soil Loss Equation), 지리정보시스템(GIS)과 농업비점오염모델(AGNPS) 등과 같은 컴퓨터 프로그램을 이용해 퇴적물량을 산정할 수 있다. 부하량이 가장 많은 지역에서는 하천유입 지점까지 유출수에 함유된 비점오염물을 제거하기 위한 잠재력에 대해서도 평가하여야 한다. 이런 자료를 이용할 수 없는 곳에서는 수변녹지 설계를 위해서 정성적인 접근법도 이용가능하며, (표2-9)에서 제시된 자료를 이용해 퇴적물의 발생정도를 추정하여 수변녹지가 가장 필요한 곳을 결정할 수 있다.

(표 2-9) 유역조건에 따른 퇴적물 부하량

용지 조건	낮은 부하량	중간 부하량	높은 부하량
인접지역 부하량	<1,000 kg 퇴적물/ha	1,000-10,000 kg 퇴적물/ha	>10,000 kg 퇴적물/ha
인접지역 사면 길이	<50m	50-100m	>100m
인접지역 사면경사	1-5%	5-15%	>15%
인접지역 커버	삼림이나 건초밭	목초지(pasture)	경작 농작물
인접지역 토지관리	경작하지 않거나 대지 교란이 없음	경작-식물, 락, 등고선 경작	등고선을 따르지 않는, 전통 경작

자료 : USDA 등, NA-TP-02-97, 1998

㉠ 수변녹지에 의한 침식물 포집

침식물 부하량이 과도하지 않을 때, 수변녹지는 침식물의 포집에 효과적일 수 있다. 퇴적물 부하가 많은 곳에서 수변녹지는 퇴적물로 빨리 포화되며, 적정하게 유지·관리되지 못하면 효율이 떨어지게 된다. 게다가 수변녹지는 집중된 흐름에 의해서 기능을 쉽게 상실한다.

수로화된 흐름을 방지하기 위해서는 수변녹지 유입부에서 흐름이 얇은 판 흐름 조건이 되도록 하여야 한다. 흐름을 수평으로 할 수 있는 장치나 습지대가 제공되지 않는다면, 침식물 부하 조건이 아주 낮은 경우에도 제거가 되지 않는다. 발에서 수로화된 흐름형성은 경사가 10%이상인 사면이 75m이상인 경우 시작될 수 있다. 높은 해상도의 입체 항공사진이나 현장조사를 통해 수로화된 흐름이 어디에 발생하는지를 파악할 수 있다. 수변지역의 토양 안정성도 여과 잠재력을 나타내는데 중요한 역할을 하는데, 쉽게 침식될 수 있는 토양이 수로를 쉽게 형성하기 때문이다. (표2-10)는 부유 퇴적물을 여과하는 수변녹지의 잠재력을 결정하기 위한 용지 조건이다. 인접지역 사면, 사면 길이, 흐름 상태, 토지의 오목한 정도 등은 집중된 흐름 가능성을 결정하는 인자이다. 수변 사면, 흐름 상태, 침식가능성은 수변삼림완충지의 퇴적물 여과잠재력을 결정한다.

(표 2-10) 수변 조건에 따른 표면 유출수의 퇴적물 여과 잠재력

용지 조건	높음	중간	낮음
인접지역 사면 길이	<50m	50-100m	>100m
인접지역 경사	1-5%	5-15%	>15%
인접지역 흐름 상태	세류 없음	작은 세류	세류와 협곡
인접지역 오목한 정도	발산하는 언덕사면	직선형 언덕사면	수렴성 언덕사면
수변녹지 경사	0-5%	5-15%	>15%
수변녹지 흐름 상태	수로 없음	작은 세류	세류와 협곡

자료 : USDA 등, NA-TP-02-97, 1998

수변녹지로 들어가는 퇴적물 부하 값이 매우 높은 곳이나 집중된 흐름이 있거나 수변의 용지 조건이 얇은 수평흐름조건에 적합지 않은 곳에서는, 습지대가 집중된 흐름을 분산시키는데 이용될 수 있다. 이와 같은 구조는 높은 부하율에서 효과적일 수 있지만, 매년 축적된 퇴적물을 제거해야 한다.

㉞ 설계 고려사항

수변녹지에서 표면유출수가 얇은 판 흐름이 있는 곳에서만 퇴적물이 효과적으로 제거될 수 있다. 부하율이 보통 1,000kg/ha 미만인 경우, 정기적인 퇴적물 제거를 안 해도 될 만큼 낮은 곳에서는 광엽 초본과 관목이 수변녹지 원거리에 배치될 수도 있다. 퇴적물의 효과적인 침전을 위해서, 5%이하의 사면에 수변녹지가 조성되어야 한다. 부하량이 증가할수록, 지대내에 퇴적물 침전지역의 폭은 비례적으로 증가되어야 한다. 주어진 퇴적물 부하량에 수변 사면이 5% 이상인 곳에서, 수변 침전지대 내에 사면에서 각 1%가 증가할 때 폭도 2m 증가하여야 한다.

수로화된 흐름이 시작되는 곳의 퇴적물 제어를 위해서 흐름을 평평하게 하는 시설을 설치하여야 하고, 유출수가 수로를 형성하지 않는 곳에서도 수평흐름이 되도록 하여야 한다. 수평흐름장치는 또한 퇴적물을 상류에 즉시 가라앉도록 하므로, 효과적인 운영을 위해서는 지속적인 유지가 필요하다. 이런 이유로, 수평흐름장치는 퇴적물 부하량이 높거나 수로화된 흐름이 발생하는 곳에서는 사용하지 말아야 한다. 이와 같이 상당량의 수로화된 흐름이 존재하는 곳에서 이용할 수 있는 하나의 대안은 습지대이다. 집중된 흐름에서 나오는 퇴적물이 가라앉도록 설계된 습지대는 인접지역에서 나오는 수로화된 흐름을 포집하고 수변 통로와 평행하게 한다.

유속이 0.6m/S 를 초과하는 곳에서는 방지댐(check dam)을 설치해야 한다. 굵은 사석의 방지 댐은 규칙적인 간격으로 흐름이 높은 기간동안 습지대를 안정화시키고 유속을 느리게 하기 위해서 설치된다. 피크 속도가 1.5m/S 를 초과하는 곳에서는, 방지댐을 설치하여 큰 물이 방지댐 상류 바닥까지 이르도록 한다. 이런 방식으로, 침식성이 큰 흐름의 에너지는 사석에 의해서 조절된다.

③ 오염제어를 위한 수변녹지 설계시 고려사항-질산염 및 용존 오염물질

㉟ 인접지역 오염원에서 나오는 부하량

농지에서 유출되는 질산염으로 오염된 유출수는 공공수역의 부영양화의 주요 원인이 된다. 수변 완충지에 의한 질산염(과 제초제) 제거 방안으로서 수변녹

지 이용이 부각되어 왔다. 질산염을 제거하기 위해서 수변삼림 완충지를 배치하고 설계할 때, 유역을 통해서 수변지대로 들어오는 인접지역 부하량의 양을 우선적으로 평가해야 한다. 많은 연구에서는 투여된 질소비료의 약 20%에서 40%가 지하수로 유출된다고 한다. (표 2-11)은 다양한 토지이용에서 나오는 질산염 부하량을 나타내며, 부하율이 비료를 투여하는 비율에 따라 광범위하고 다양하다.

지하수 질산염 농도가 높을 때 자주개자리는 질소고정을 멈추고 대신, 지하수에서 질산염을 이용하기 시작한다. 따라서 자주개자리는 배수가 잘 되는 토양을 가진 수변구역 중에서도 배후지역과 인접한 지역에 심을 수 있다. 건초 밭에서 나오는 부하량 또한 아주 낮은데, 이는 투여된 질소가 침출되지 않고 건초가 흡수하기 때문이며, 대량으로 비료가 투여된 골프 코스에서 오히려 질소가 많이 유출되었다. 잔디에 대한 부하율은 5kg/ha/yr~10kg/ha/yr로 추정된다. 건초 밭과는 반대로 대량으로 비료가 뿌려진 목초지는 질산염이 쉽게 유출될 수 있는데, 이는 질소가 요소의 농축된 형태로 되고 요소의 대부분이 토양을 통해서 쉽게 유출되는 질산염으로 전환되기 때문이다. 목초지 부하율은 방목의 정도, 뿌려진 비료량 등에 따라서 20kg/ha/yr에서 120kg/ha/yr의 범위로 추정된다. 호수나 하구와 같은 수체에서는 대기에서 유입량이 평균 10kg/ha/yr~15kg/ha/yr이다. 질소가 제한되는 삼림에서는 보통 2kg/ha/yr~5kg/ha/yr의 범위로 질산염 유출이 매우 낮다. 그러나 벌채될 때, 뿌리부분이 썩어가면서 삼림은 상당량의 질산염을 지하수로 방출한다. 이와 같은 자료를 이용하여 질산염 과다 유출지역을 스크리닝하고 보다 세밀한 조사를 실시한 후 완충지 등을 설치하여야 한다.

(표 2-11) 식물에 의한 질산염 부하량

식물	토양 수분농도 (mg/l)	부하량 (kg/ha/yr)	비료 (kg/ha/yr)	출처
옥수수	7.1	29	105	Peterjohn & Correll, 1984
	9-15	38	154	Angle et. al., 1989
	19.3	94	259	Roth & Fox, 1990
	17.5-24.3	107	192	Jemison & Fox, 1994
	12-56	162*	310+	Hall & Risser, 1992
일반곡물	14.8	52*	0	Bergstrom, 1987
콩	13.7-14.4	52-55*	0	Angle, 1990
건초 밭	2.2	8.1	179	Chichester, 1977
	-	29	420	Ryden et. al., 1984
	-	6	224	Gold et. al., 1990
목초지	-	162+27.1	420 56	Ryden et. al., 1984 Owens et. al., 1992
삼림	0.04	1-2*	0	Mulholland et.al., 1993

* 이 값들은 보고된 질산염-N 농도에 연평균 지하수 재충전을 곱해서 추정된 것이다.
자료 : USDA 등, NA-TP-02-97, 1998

㉠ 설계 고려사항

질산염이 수변지역을 통과할 때 수변 삼림은 지하수에서 많은 질산염을 제거할 수 있다. 제거율이 가장 높은 조건은 사실상 질산염이 함유된 지하수가 뿌리지대 내에서 갇혀 있는 조건이다. 지하수 유입량이 뿌리지대에 갇혀지지 않은 곳의 수변 삼림에서는 지하수 내 질산염감소가 상당히 저하된다고 밝혀지고 있다. 이런 결과들은 하천으로 들어가는 지하수가 질산염 제거를 위해서 뿌리지대를 가까이 지나거나 통과해야 한다는 것을 의미한다. 그러므로 수변지대와 인접지대간의 수문학적 관계가 수변 완충지에 의해서 질산염이 제거되는 잠재력을 결정짓게 된다.

지하수의 수리 및 수문학적 특성은 수변 완충지에 의한 질산염 포집의 잠재력에 영향을 미친다. 하천에서부터 멀리 떨어진 지역에서 침투되는 지하수는 가장 깊은 경로를 따르는 반면, 하천에서 가까운 인접지역에서 침투되는 지하수는 얇은 종단면을 따른다. 하천에서 가까운 오염원에서 나오는 부하량은 수변 삼림지에서 더 포집되기 쉬운 얇은 경로를 따른다. (표 2-12)은 지역 수문지질학, 지세, 토양사이의 관계를 요약한 것이다. 수변 완충지에서 이런 관계들은 흐름의 상대적인 깊이에 영향을 미친다. 얇은 흐름에 영향을 미치는 인자들이 있는 용지는 지하수 흐름 경로가 깊은 용지보다는 수변 상호작용에 있어서 더 큰 잠재력을 갖게 될 것이다. 지하수에서 질산염이 잘 제거되는 지역은 수변 구역과 지하수 상호작용이 최적인 곳으로 유역 내에 모든 지하수가 잘 섞여있고 얇은 경로로 수변지대를 통과하는 지역이다.

(표 2-12) 지형적 요인에 따른 상대적인 지하수 깊이

지하수 흐름	얕음	중간	깊음	제일 깊음
지질구조	Aquiclude	혈암	사암	석회암
기저흐름 비율	<1100m ³ /m ²	1100-1500m ³ /m ²	1500-1900m ³ /m ²	>1900m ³ /m ²
배수 밀도	>0.78km/km ²	0.61-0.78km/km ²	0.47-0.62km/km ²	<0.47km/km ²
인접지역 사면	수림, 오목(계곡)	수림에서 직선	직선에서 발산	발산, 볼록(산마루)

자료 : USDA 등, NA-TP-02-97, 1998

계곡과 산록으로 구성된 지역과 같이 복잡한 수문·지질적 체제에서는 수변녹지에 의해서 지하수에 함유된 영양물질이 포집되는 잠재력은 매우 다양할 수 있다. 두꺼운 표토 때문에 지하수 흐름이 깊은 경우에는, 지하수가 수변녹지저부를 통과해 하천으로 직 유입하여 수변녹지의 뿌리지대를 우회하기 때문

에, 질산염 제거기능이 미약하다. 표토가 얇은 경우 수변녹지에 의한 질산염 포집능력은 더 커질 것이다. 석회암 지역에서 지하수 흐름이 깊고, 지하 수로를 따라난 기저 흐름과 같이 지하수 흐름이 하천 아래에서 용출하는 경우, 이는 지하수와 의 수변 상호작용이 가장 적다는 것을 암시한다.

사암은 일반적으로 배수가 잘 되고 파쇄가 잘되어서, 깊은 우회 흐름을 형성한다. 혈암(shales), 이암(mudstone), 실트암(siltstone) 등은 물을 가두게(aquicludes) 되는 경향이 있어서 흐름 경로가 수변지역안으로 얇은 경로를 만들 수 있다. 이런 모암에서 생기는 토양 또한 대개 얇은 지하흐름과 지표유출 비율을 높이는 점토 성분을 많이 함유하는 경향을 나타낸다.

지질구조, 배수밀도 등 지역 수문학적 특성은 기저흐름의 특성에 변화를 주고, 이들은 수변지역에서 지하수에 함유된 오염물질 포집에 대한 잠재력을 평가하는 정보를 제공한다. 석회암지역에서 발견되는 상대적으로 많은 기저유출은 지하수가 수변지역에서 포집되기 보다는 깊은 경로를 통해 수변지역을 우회한다는 것을 나타낸다. 이런 지역에서 배수밀도 또한 낮은데, 이는 하천 수로를 조성하는 수로가 적기 때문이다.

지형과 지세도 질산염 포집에 영향을 끼친다. 지하수는 하천 가장자리를 제외하고, 계곡이 상대적으로 가파른 곳에서 수변 완충지를 우회하는 경향이 있다. 수변 완충지역이 상대적으로 평평한 곳에서, 지하수는 하천 가장자리에서부터 뿌리지대에 가깝게 되고, 수변녹지의 기능도 높다. (표 2-13)에서는 지하수와 상호작용하는 잠재력에 영향을 미치는 수변지역의 특성을 나타낸다.

(표 2-13) 지형적 요인에 따른 수변 지하수 포집능력

포집 잠재력	최고	중간	낮음	최저
수 변 사 면	0-3%	3-8%	8-15%	>15%
수문학적 토양 그룹 ^{*)}	D	C	B	A
지하수위 깊이	0-60cm	60-120cm	120-240cm	>240cm
오염원까지 근접성	인접	60m이내	60-180-m	180m 이상
하천 차수	1차	2차	3차	높은 차수

주 *) 수문학적 토양그룹은 강우시 발생하는 표면 유출수에 따라 분류되는 토양특성으로, 조목이 없을 경우에 침투량과 관련하여 토양이 가진 수문학적 고유용량에 관한 사항이다. 그룹 분류는 포화된 토양의 수리학적 전도도로 설명되고, 이는 지하수속도(유속 밀도, flux density)를 수리학적 경사도와 연관시킨 인자로, 토양 내 수분이동이 용이한 지를 나타내는 척도로서 경사도와 식물커버 종류는 고려되지 않고 순수 토양이 가진 잠재력만을 고려하여 다음과 같은 네 가지 그룹으로 지정된다.

A - 완전히 젖을 때 높은 투과를 보이고 낮은 표면유출을 가지는 토양으로, 주로 깊고 잘 배수되는 사질이나 자갈로 이루어진다.

B - 포화된 수리학적 전도도는 중간이상이고, 자유수분 발생이 깊거나 매우 깊다.

C - 포화된 수리학적 전도도는 중간이하이고, 자유수분 발생은 약간 깊다.

D - 투과율이 매우 낮아서 유출수 잠재력이 높은 토양으로 점토층이 표면이나 표면 가까이 있다. 포화된 수리학적 전도도는 낮고, 내부 자유수분 발생은 매우 얇다.

자료 : USDA 등, NA-TP-02-97, 1998

앞의 표에서 제시된 준거치를 이용해서 지질, 수문, 지형 등을 조사한 후에, 수변 뿌리지대와 지하수의 상호작용에 대한 잠재력을 추정할 수 있다. 지하수 상호작용을 위한 최적 위치에서는 수변 상호작용을 위한 가장 얇은 흐름과 가장 큰 잠재력이 존재한다. 용존 비점오염물질의 제거를 위해 설계된 수변 삼림 완충지의 폭은 지하수 흐름을 포집하는 잠재력에 의해 크게 좌우된다. 지하수 질산염의 제거는 15m 정도로 좁은, 비교적 짧은 폭 내에서 발생하는 것으로 조사되고 있다.

(표 2-14) 수변녹지의 오염물질 제거효율에 영향 요인

	효율을 강화시키는 요인	효율을 감소시키는 요인
경 사	5% 이하	5% 이상
흐름길이	50m 이하	100m 이상
지하수 흐름형태	얇은 지하수면	깊음, 지역 지하수 흐름
토 질	무과성	조밀한 상태
흐름형태	수평이나 흐름 분산	집중된 흐름
유기물 농도	유기 물질, 부식토	낮은 유기토양
유입수 유속	50cm/s 이하	150cm/s 이상
유지정도	일상적인 유지	입구에 퇴적물 축적
뿌리시스템	깊음	얕음
식생카바	삼림 및 뾰뾰한 잔디 커버	키가 큰 나무; 초목 커버

자료 : Schueler, 1995

김형수(2004) 등의 천변저류지 기본계획수립을 위한 분석방안 연구에서는 천변저류지 의의를 유역 종합 치수계획 수립 할 경우 일반적으로 과거 농경지 조성 및 보호를 목적으로 기존 범람지에 제방을 축조함으로써 홍수조절 기능을 상실한 구하도(舊河道)를 복원하여 원래의 홍수조절 기능을 수행할 수 있도록 하는 저류지의 개념으로 정의하고 있다. 이는 홍수방어를 목적으로 하는 구조적 대책의 일환으로써 그 개념을 이해하고 있기 때문에 홍수조절을 위한 저류지의 기능만을 고려하고 있는 것이다.

영국에서는 우리나라와 비슷한 홍수조절 목적의 천변저류지를 Washland라는 단어가 있는데 이를 옥스퍼드 사전(2001)에서는 다음과 같이 정의하고 있다. “강이나 하천에 의해 주기적으로 범람하는 땅(Land that is periodically flooded by a river or stream)”으로 표현하고 있다. 그러나 사적 의미에서는 홍수터와 천변저류지를 정확히 구별하지 못하고 있고, 더욱이 천변저류지가

자연적으로 생성되었을 때에는 이들의 차이를 발견하기가 어렵다.

따라서 환경식품농촌부(Department of Environment, Food and Rural Affairs, DEFRA)와 환경식품농촌부로부터 지원을 받는 영국 자연청(English Nature) 그리고 환경청(Environment Agency) 등에서는 천변저류지에 대하여 다음과 같이 정의를 내리고 있다. “주로 인공적으로 조성된 홍수터 지역으로 낮은 수준의 홍수조절기능을 수행하는 제방에 의하여 둘러싸여 있어 제방보다 높은 홍수사상이 발생할 경우 제방의 범람으로 저류지에 홍수가 저류되며, 홍수와 홍수과를 일시적으로 저장할 수 있는 공간을 제공한다. 천변저류지는 농지, 쾌적한 경치, 또는 레크레이션 지역으로 이용될 수도 있을 것이다.” 그러나 많은 자연하천 또는 충분히 개수되지 않은 하천의 경우에는 자연적으로 홍수를 저장하고 그 결과로 홍수를 조절하는 기능을 가진 지역을 포함하며, 이러한 지역은 홍수터 또는 습지와 구분되어진다.

영국 자연청의 또 다른 정의를 살펴보면 “홍수조절을 목적으로 하천과 강에서 발생한 홍수에 의하여 자연적 또는 인공적으로 범람되는 홍수터를 말하며, 습지와 같은 서식처 환경을 형성할 수 있는 잠재력을 가진 지역” 이라고 기술하고 있다.

미국이나 습지관련 기관에서는 우리나라나 영국과 같이 홍수조절 또는 홍수방어를 목적으로 천변저류지를 따로 정의하기 보다는 습지로써 의미를 두고, 습지기능의 하나로써 홍수조절 기능을 설명하고 있다. 그리고 습지가 환경 및 생태계에 미치는 영향과 그 기능 및 가치에 대하여 주로 논하고 있다. 따라서 특별히 홍수방어의 대안으로써 천변저류지를 생각하기 보다는 습지를 복원하거나 조성할 때 홍수조절, 환경, 동식물 등의 생태적 기능과 가치에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다.

우리나라의 경우는 홍수조절의 한 가지 목적에서 천변저류지를 정의하고 있고, 영국도 비슷한 개념으로 천변저류지를 의미하고 있음을 알 수 있다. 그러나 영국 자연청의 정의를 보면 홍수조절을 주목적으로 하고 있으나 ‘습지와 같은 서식처 환경을 형성할 수 있는 잠재력을 가진 지역’으로써도 언급하고 있다. 그리고 다른 외국의 경우 저류지도 습지의 일부로써 홍수조절의 기능을 설명하고 있음을 알 수 있다. 천변저류지를 홍수기와 비홍수기의 활용 측면에서 정의하고자 한다. 즉, 홍수기는 홍수조절을 주목적으로 하고, 비홍수기시에는 천변저류지를 습지로 활용한다는 전제하에 천변저류지를 정의하고 분류하도록 한다.

천변저류지를 크게 기능적인 측면과 물리적인 측면으로 나누어 보면 다음과

같다. 천변저류지는 홍수터와 흡사한 개념의 용어로 물리적, 사회적, 환경적, 생태학적인 의미가 내포될 수 있도록 하여야 한다고 판단된다. 따라서 천변저류지는 ① 물리적으로 홍수와 가뭄에 대해 동적인 물의 순환 관계를 의미한다고 볼 수 있다. 즉, 홍수시 물을 저류하고, 때에 따라서는 가뭄시 물의 공급을 받을 수 있는 저류지 내의 물 순환관계로부터 개념을 부여 할 수 있을 것으로 생각된다. ② 사회적 측면에서는 주차장이나 각종 체육시설 등으로 설치함으로써 비홍수기시에 시민을 위한 공간으로 활용할 수도 있을 것이다. ③ 환경적 측면에서는 각종 오염물질에 대한 수질조절과 토사유출로 인한 수질악화를 방지하는 수질 정화 기능을 하는 저류지를 의미한다. ④ 생태학적으로는 비홍수기시 습지로 활용할 경우 다양한 종의 식물과 생물들이 서식할 수 있도록 습지생태계의 서식처를 제공하는 습지 개념의 저류지로 의미를 부여 할 수 있을 것으로 생각된다.

천변저류지 정의를 종합하면 두 가지 측면에서 고려할 수 있는데 첫 번째는 천변저류지를 홍수조절을 목적으로 하는 물리적 관점에서 정의하는 것이고, 두 번째는 비홍수기시 습지의 관점에서 천변저류지를 정의하는 것이다. 즉, 첫 번째 관점에서 “천변저류지란 하천변의 홍수터로써 홍수조절을 주목적으로 하고, 일정한 수표면을 유지하거나 토양이 항상 또는 일정기간 동안 포화되는 저류지를 말한다.”로 정의하고, 두 번째 관점에서 “천변저류지는 저류지내 물의 순환관계를 유지시켜주고, 수량 및 수질조절 기능을 수행하며, 생태계의 다양성을 위해 서식처를 제공하여주는 하천변 홍수터 습지”로서 정의를 하고자 한다.

천변저류지를 위와 같이 판단하는 근거는 홍수기와 비홍수기로 나누었을 때 홍수기 때는 홍수조절 목적의 저류지로서 기능과 역할을 할 수 있도록 하자는 것이고 비홍수기 때는 환경과 생물 다양성의 서식처로써의 기능을 보존하고자 함이다.

천변저류지를 그 활용 목적에 따라 구분하기 위하여 보호구역, 완충구역, 활동구역으로 구분하고자 한다. 보호구역은 비홍수기시 생태적 기능을 중요시하는 습지 등으로 사용되는 경우를 말하고, 인위적인 활동으로부터 보호해야 할 필요가 있는 지역을 의미한다. 완충구역은 비홍수기시 논이나 골프장 등으로 이용될 수 있는 천변저류지로서 홍수기에는 저류지의 역할을 함으로써 홍수피해의 완충역할을 담당하는 구역을 말한다. 활동구역은 하류지역의 도심지 등의 주변지역에 조성되는 천변저류지로 비홍수기시 체육공원, 주차장, 시민 휴식공간 등으로 활용하는 경우를 말한다. 천변저류지의 활용성에 따라 조금 더 자세히

기술하면 다음과 같다.

○ 보호구역

천변저류지가 보호구역으로 구분되어질 경우는 비홍수기 습지 등으로 이용되거나 활용되어지는 경우를 의미하는데 이때는 습지로서의 기능과 가치가 존재하여야 한다. 즉, 생물종의 다양성과 생태적 가치에 대한 내용을 포함하고, 수문환경적 측면(유출량, 증발산량, 오염에 대한 측면 등)에 대한 분석이 이루어져야 할 것이다. 또한 이와 더불어 이들 지역에 대한 지속적인 모니터링과 함께 가치적 측면에서 얼마만큼 보호의 가치가 있는지, 그 정도에 대해서도 조사가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 따라서 보호구역에 대한 정의는 습지나 생물다양성을 가질 수 있는 천변저류지로 정의하고, 보호의 정도는 조사와 검토를 통하여 분류할 수 있을 것으로 판단된다.

○ 완충구역

천변저류지를 완충구역으로 활용하는 가장 좋은 사례는 논이라고 할 수 있을 것이다. 이는 천변저류지의 적정 대상지역이 논일 경우, 홍수기에는 홍수조절 역할을 하고 비홍수기에는 농산물을 생산할 수 있는 천변저류지로서 홍수파를 완화 시키는 완충지역의 역할을 담당하게 하는 것이다. 이 방안이 현재 우리나라에 천변저류지 개념을 적용한다고 하였을 때 가장 많은 부분을 차지할 것으로 생각된다. 논을 천변저류지를 조성하여 홍수조절기능의 역할을 할 수 있도록 하는 것이다. 하지만 무엇보다 중요한 것은 홍수시 유입되는 홍수량에 의해서 기존의 논이 기능이 저하되지 않도록 운영 관리 하는 것이다.

○ 활동구역

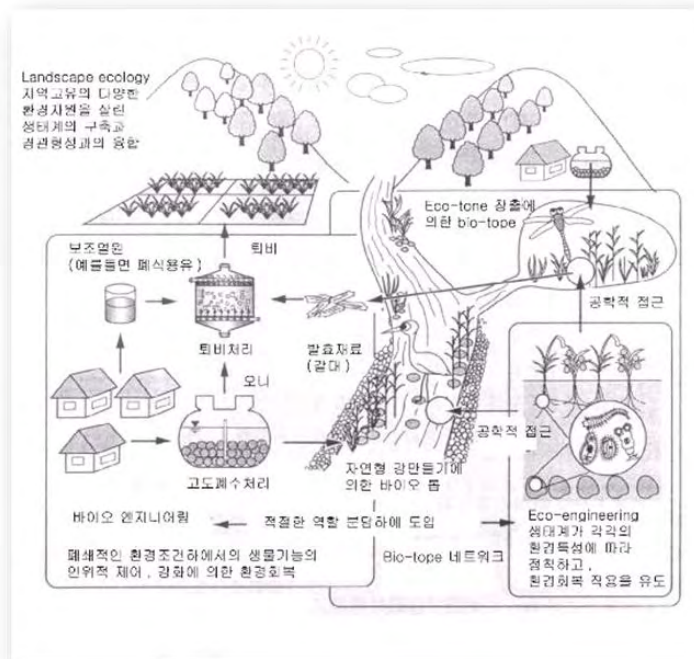
마을과 같은 거주지역 주변이나 하류의 도시주변 하천지역 같은 곳에 천변저류지를 조성 할 경우, 비홍수기에 주차장이나 체육공원 또는 레크레이션 목적으로 활용가능한 천변저류지를 활동구역으로 정의 하기로 한다. 즉, 홍수기에는 홍수조절 목적으로 비홍수기에는 주민들의 여가활동 및 기타 친수공간 등 다양한 활용을 할 수 있는 천변저류지의 구역을 활동구역으로 정의하는 것이다. 천변저류지를 활동구역으로 활용하는데 있어서 가장 중요한 것은 홍수기에 지역민들이나 천변저류지 구역의 활동구역을 이용하는 이용자들이 급작스런 홍수에 대해 충분한 대책이 마련되는 것이라 할 수 있다. 즉, 홍수예경보 등을 통해서 인명과 재산의 피해를 막을 수 있도록 준비된 방안이 있어야 한다.

3. 생태공학적 수질개선기법 고찰

가) 생물다양성 확보

농업용 저수지의 생물학적 물 환경 회복의 기본개념은 폐쇄적인 환경조건하에서 생물기능의 인위적 제어 또는 기능향상에 의한 수질개선이라고 할 수 있다.

생태공학적 고찰은 생태계가 각각의 환경특성에 따라 정착하고 환경친화적 회복작용을 유도하며, 에코톤 창출에 의한 바이오톱 조성, 생물공학적 처리공법에 의한 하폐수의 처리의 고도화, 경관생태학적 접근으로 지역고유의 다양한 환경자원을 살린 생태계 구축과 경관형성의 융합이 필요하다(그림 2-14 참조)



<그림 2-14> 물 환경회복 기법의 도입 개념도

호소의 수질은 단순히 유출, 유입되는 수질뿐 아니라 호소내의 생태계에도 강한 영향을 주어 수질개선에 영향을 주기 때문에 생태계의 변화를 고려한 수질개선 대책도 또한 중요하다고 생각한다.

하천은 지구상에서 풍부한 생산량을 가지며 다양한 생물이 어우러져 공존하는 공간이다. 또한, 길게 이어진 구불구불한 하천은 수생식물의 서식공간이 되어 수질을 정화시키는데 큰 도움이 되고 있다. 특히, 하천변의 습지 및 식생 지대

는 육상생태계와 유역생태계를 연결시켜주는 추이대(Ecotone)로서 생물 서식 공간이자 생물이 이동하는 생태통로(Eco-Corridor)의 역할을 담당하고 있다 (환경부, 1995).

수생생태계는 하천, 강, 습지, 하구 등의 수체와 토양수분 등에 존재하는 생태 환경을 말하며, 그들이 수리동력학적, 생물학적, 화학적 과정과의 관계를 말한다. 수생생태계의 주요 에너지는 태양에너지이나 그 밖에도 폐기물 중의 유기물질, 폐기열 등으로부터 입력된다. 또한 생태계 구성인자는 생물성분의 성장을 촉진시키는 물질이나, 성장을 늦추거나, 폐해를 초래하는 물질, 심지어는 생물체를 죽이는 성분 등에 의하여 평형상태를 유지한다. 수중생태계는 수중계와 수변계, 저생계 등으로 구분할 수 있다. 수중계는 태양광선의 침투여부에 따라 투광대(euphotic zone)와 심연대(profundal zone)로 구분된다. 수변계(Littoral zone)에서는 주로 초생이나 이에 서식하는 생물이 존재하며, 수중계는 각종 플랑크톤과 미생물, 어류 등으로 구성하며, 저생계는 수중이나 수변의 땅속에 서식하는 생물류가 있다.

하천 수생계의 물질순환은 하천의 수량과 수질 그리고 서식 동식물과 밀접한 관련을 가지며, 소위 먹이사슬로부터 물질순환이 이루어진다.

수생생태계의 보전이란 어떤 지역의 자연적인 생물상에 비견하여 균형적이고 총체적인 생물공동체가 다양성을 갖고, 기능적 구조를 갖도록 하는 일이다.

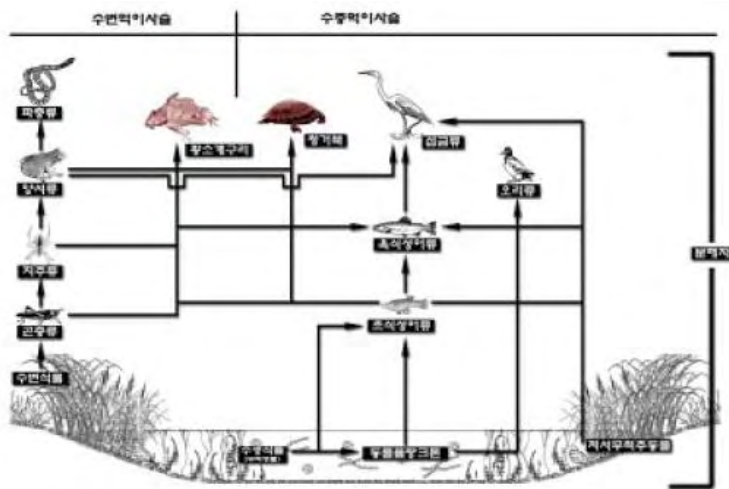
아래 생태피라미드 그림에서 보는 것처럼 지역 특성에 따라서 저서-수중-수상의 먹이연쇄가 다르며 이 중 어느 한부분이라도 교란·파괴 등에 의해 균형이 무너지게 되면 생태적으로 불안정한 구조가 된다.



<그림 2-15> 농촌지역 생태피라미드(먹이연쇄)

호소 수질에 미치는 영향이 지대한 습지의 먹이사슬을 수변먹이사슬과 수중먹이사슬로 나누어 보면 그림과 같다. 생물상이 매우 풍부하며, 수위가 안정된 시기에는 일부 추수식물(emergent plant) 및 수변식물에 부착생물이 크게 번성한다. 침수식물-부착생물-부유생물이 공존하고 있다.

먹이연쇄의 다양화, 고차화에 의한 흡수에너지 소비와 오염물질을 섭취함으로써 수질 정화력이 향상된다. 즉 분해의 고차진행에 의한 무기화로 양호한 수질개선의 기능이 안정적으로 진행되는 것이다.



<그림 2-16> 습지생태계의 먹이망

김종원(계명대, ‘하천습지의 관리 기본계획에 대한 생태학적 접근’)의 연구에 따르면 습지의 구조적 측면보다 기능적 측면이 강조된 정의로는 ① 모든 습지 생성의 근원이 되는 습지 수리학(hydrology), ② 혐기적 상태를 발생시키는 습성 토양, ③ 습지를 간접적으로 시사하는 습생성 식생 등을 동시에 고려하며 (RWRP, 2000), 세 가지의 요소 가운데 하나를 만족하는 것을 습지로 규정하기도 한다(Cowardin et al., 1979). 한편, 습지는 유수의 흐름 상태에 따라 하천습지(河川, 流水濕地, lotic wetland)와 정수습지(靜水濕地, lentic wetland)로 구분되며, 일반적으로 하천습지는 하도(河道)와 범람원(flood plain)을 포함한다. 따라서 여기서는 하천습지를 유수의 발생에 의한 하천작용(침식, 운반, 퇴적)으로 형성된 입지로서 ① 물에 의해 침수 또는 포화된 상태, ② 주기적인 침수에 의해 일정기간 동안만 간헐적으로 침수되는 입지, ③ 지하수위가 지표 가까이 있어 토양이 습성인 입지, ④ 하천식생이 형성된 입지를 의미하며, 한 가

지만 만족하면 하천습지로 규정한다.

국·내외적으로 혼용되고 있는 습지에 관한 용어는 bog, bottomland, fen, marsh, mire, moor, peat land, swamp, wet meadow, 늪, 벌, 못, 소(沼), 지(池), 습원, 소택지, 이탄지, 습지 등이 있다(이, 2000).

우리나라 하천의 제외지에서 식생과 수문의 특성을 고려하여 영속 수생 저(aquatic bed), 영속적-정수식물 습지(permanent-emergent wetland), 계절적-정수식물 습지(seasonal-emergent wetland), 삼림습지(forested wetland)로 분류하기도 한다.

건설교통부(2004.6, 국가하천 도시구간 하천정비 기본조사 보고서)에 따르면 수질개선이란 “대상 호수의 수질(BOD, COD, pH, SS등)을 친수 환경, 수변 환경, 심미적 환경 등에 적합하도록 목표등급을 설정하여 정화시키는 것이다”라고 기술하고 있다. 초과하여 원래 가지고 있어야 할 호소정화란 이론적으로 “유역 내 사회활동(가정생활 포함)의 대사산물의 유입으로 호소자체가 가지는 자정능력을 호소의 기능이 저하, 또는 악화된 상태를 본래의 상태로 복원시키기 위한 자연보전 행위의 총체”라고 정의 할 수 있다.

호소 수질정화 기법의 기능을 요약하면 다음과 같다.

- 물의 외관적 성상 개선(색도, 탁도 개선)
- 물의 감각적 성상 개선(악취의 저감)
- 수중의 용존산소(DO) 농도의 개선
- 수중 유기물(BOD, COD 등)의 저감
- 하상의 개선(부착물, 침전물의 저감 및 제거)
- 환경요소로서 종합적 기능의 보전

수질정화기법 구비조건은 여유부지에 적용가능한 방식일 것, 유수의 정상기능을 저해하지 않을 것, 정화 대상수역의 수질특성에 적합한 정화방식일 것, 유지관리가 용이할 것, 건설비 및 유지관리비가 적게 들 것, 홍수 등의 범람에 지장이 없을 것, 수역의 경관기능을 해치지 않고 용지의 다목적 이용이 가능할 것 등이다.

호소 연안대 생태계의 1차 생산자인 대형 수생식물 군집은 수위의 변동 영양소 수준의 교란 등에 변화가 가해지면서 직·간접적으로 훼손되고 있다(Keddy, 1983). 호소연안대의 황폐화란 연안대 고유 식생과 수초대 즉 생태계의 에너

지원인 1차 생산자의 부재(不在)를 의미하며, 경관훼손이라는 점에서 관광자원으로서의 효용성을 감축 시키고 있다. 1차 생산자인 수생식물이 파괴됨으로써 경쟁자 위치에 있는 식물플랑크톤의 대규모 증식(때때로 담수적조, 녹조현상으로 나타난다.)이 발생하고 있으며 유기물을 제거하고 영양염류를 흡수하는 기능이 있는 동물체 즉 어류와 수서곤충이 사멸하는 결과를 초래하였다. 이런 결과로 호소의 자정작용은 저하되었고 이를 서식지로 이용하는 어류와 수서동물과 같은 생물상이 감소되었다.

호소 연안대 대형 수생식물의 식생이 훼손됨으로써 일어나는 또 하나의 문제점은 호소 사면이 토양침식에 의해 토사가 호소 수체로 유입되는 것이다. 이러한 토사유입은 부영양화를 야기하는 무기물질의 유입량을 증가시킬 뿐 아니라 육상 생태계와 수중 생태계가 완전히 단절되어 경관이 훼손되고 관광자원으로서의 가치도 저감 시키고 있다. 이러한 여러 가지 문제점을 해결하기 위하여 호소 연안 식물생태계의 복원은 매우 시급한 실정이다.

현재까지 연구개발된 생태공학을 활용한 정화방법을 대상수역과 생태공학을 활용한 정화방법을 다음과 같이 다음과 같이 나타낼 수 있으며 농업용수 수질 개선사업에서는 수생식물을 활용한 수질개선 공법이 주로 채용가능하다고 판단된다.

(표 2-15) 생태공학을 활용한 정화방법과 적용수역

대상수역	생태공학을 활용한 정화방법과 적용수역(水域)
생활잡배수	bypass 식 접촉폭기법, 酸化池法, 습지를 활용한 식생정화법
하천.수로	접촉재 충전 생물막 산화법, 礫間 접촉산화법, bypass 식 접촉폭기법, 수경재배 정화법, 습지를 활용한 식생정화법, 토양정화법, 다자연형 하천 만들기 공법
하구.내해	礫間 접촉산화법, 식생정화법, 인공 갯벌
호소.연못	bypass 식 접촉폭기법, 礫間 접촉산화법, 湖沼 폭기법, 수경재배정화법, 식생정화법

* 농업용수개선사업 채용가능 수질개선공법 : 수생식물을 활용한 수질개선공법을 원칙으로 함

(표 2-16) 생태공학을 활용한 정화방법과 처리성능

프로세스	BOD	SS	T-N	T-P	초기비용	유지관리
접촉제 충전 생물학 산화법	○	○	●	●	○	○
자발 접촉산화법	○	◎	●	●	●	●
바이패스식 접촉표기법	◎	◎	○	●	●	●
수경재배 정화법	○	◎	○	○	◎	○
습지를 활용한 식생정화법	◎	◎	◎	○	○	○
식생정화법	●	●	○	○	◎	○
토양정화법	○	◎	●	◎	○	○
자연형 하천정화공법	○	○	○	●	●	○
인공간사	◎	◎	◎	○	●	◎
산화지법	◎	◎	○	○	○	◎
호소표기법	●	●	○		○	○

주: ◎유리 ○약간 유리 ●불리

하천환경의 세 가지 기능 즉 생태서식처, 수질자정, 친수기능간 상호관계는 그 하천의 자연도를 기준으로 검토할 수 있다. 여기서 ‘자연도’란 하천생태 서식처의 물리적·화학적 조건이 자연하천에 얼마나 가까운가와 그 하천에 서식하는 생물종의 다양성과 각 생물종의 수의 균등성 등을 종합적으로 고려한 것이다(우효섭, 2001). 따라서 자연도는 생태 서식처의 상태를 나타낸다.

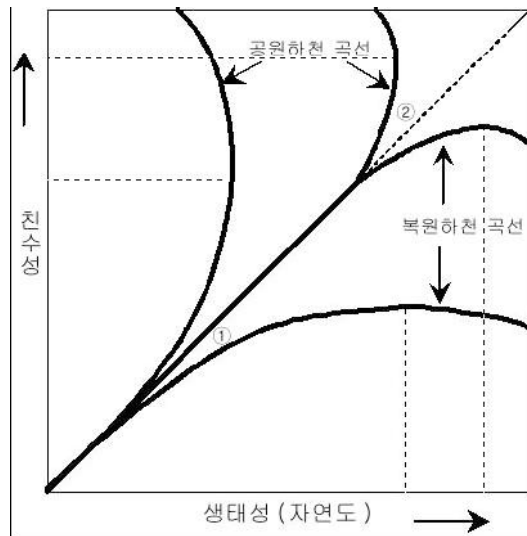
하천의 친수성과 생태성(생태서식처의 자연도)와의 관계는 <그림2-17>와 같이 도식적으로 나타낼 수 있다. 이 그림에서 ①, ② 곡선군 공히 두 개의 곡선으로 구성된다. 하나는 자연하천이나 복원하천에서 자연도가 커짐에 따라 그 하천의 친수성이 같이 증가하는 경향을 보여주는 곡선이며(45도선의 우측곡선), 다른 하나는 공원하천에서 친수성이 커짐에 따라 자연도가 같이 증가하는 경향을 보여주는 곡선이다(45도선의 좌측곡선). 그러나 이 두 곡선 모두 일정한 한도가 지나면 각각의 특성은 오히려 감소하는 것을 보여준다. 구체적으로 복원하천(자연하천 곡선)의 경우 하천의 자연도가 매우 높아지면 인간입장에서 하천의 접근성이나 쾌적한 환경성은 오히려 점차 낮아지게 된다. 이는

밀림속의 자연하천이 생태성면에서는 매우 높으나 인간이 즐기기에 오히려 부적합한 것을 생각하면 쉽게 이해할 수 있을 것이다. 마찬가지로 공원하천곡선의 경우 친수성을 강조하여 하천을 공원화하는 경우 어느 한계가 넘으면 하천의 자연도는 오히려 감소하게 된다. 이는 심미적 경관 접근 및 위락활동 등 하천에 대한 인간의 친수성을 너무 강조하게 되면 하천의 생태서식처는 상대적으로 왜곡될 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 사실은 국내 대표적인 공원하천인 서울시 한강이나 강남구 양재천의 예를 보면 이해할 수 있을 것이다. <그림2-17>의 45도 곡선에서 먼저 벗어나는 Y자형태의 곡선그룹(①)은 이러한 생태성과 친수성의 상충관계를 잘 보여준다. 생태성을 강조한 복원하천은 처음부터 친수성이 상대적으로 작으며 마찬가지로 친수성을 강조한 공원하천은 처음부터 생태성이 작다. 반대로 그 위에 있는 Y자형태의 곡선그룹(②)은 생태성과 친수성이 같이 커지면서 어느 한계가 되면 45도 직선에서 각각 벗어나는 것으로 생태성과 친수성이 최대한 공존하는 상태를 보여준다. 여기서 하천복원이나 하천공원화 사업을 위한 도구로서 자연형 하천공법의 중요성이 강조된다. 자연형 하천공법의 핵심은 하천형태와 재료의 자연형이다. 이 공법은 하천사업의 결과를 곡선①에서 곡선②로 진전할 수 있게 하는 기술적 도구이다. 예를 들어 자연형 호안재료와 설계에서 다양한 돌 붙임은 인간의 접근성과 주변 쾌적성을 높여 주겠지만 자연도는 낮아진다. 그러나 적절한 사석과 식생재료(갯버들, 갈대 등)를 혼합한 호안은 시간이 가면서 자연에 가까운 물가가 되면서 자연도가 높게 된다.

국내 하천사업의 진화과정을 회고하고 전망해보면 「자연하천→ 방재하천→ 공원하천→ 자연형 하천」의 시간적 스펙트럼으로 정리할 수 있다.

하천의 친수성은 자연도가 커짐에 따라 일반적으로 같이 향상된다. 그러나 어느 한계가 되면 두 기능은 공존하지 못하고 상대적으로 낮아진다.

하천복원에서의 복원을 영어로는 restoration, rehabilitation, regeneration 과 revitalisation의 용어가 쓰이는데 엄밀한 의미에서 전자의 경우는 소극적 복원으로 주로 하도와 하안이 복원 대상이 되나, 후자의 revitalisation은 적극적인 복원형태로 하천 그 자체는 물론 홍수터 및 유역을 대상으로 하는 것으로 근본적인 하천의 생태적 기능성 회복에 주안점을 둔다(Gunkel, 1996).



<그림 2-17> 하천의 생태성과 친수성의 상호 관계

이렇게 하천복원이라는 것은 여러 가지의 목적과 종류가 있을 수 있는데 공통적인 것은 모두 하천의 손상된 생태적 기능을 회복시키고자 하는데 있다고 정의할 수 있다.

하천복원은 하천의 상실된 생태적 기능을 회복하여 주기 위하여 실시하는 것으로 어디까지나 하천의 편에서 하천의 자연성에 순응하여야 만 이루어질 수 있다. 즉 하천복원은 단시간에 완성되어지는 것이 아니라 최소10~15년(Splett, 2000)에 걸쳐 일어나는 하나의 “process”로서 자연에 가까운 방향(생태성)을 향하여 발전되어 최종적으로 자연적 상태에 도달하고자 하는 데 그 목표가 있다(Krause, 2000).

자연성 보존을 위한 주요 내용은 발원지, 홍수터의 보존과 복원 인공화된 또는 복개된 하천의 종단과 횡단면의 자연성 조성, 범람지 복원을 통한 비오 톱의 구조적 다양성을 보존하고 조성하며 목표종의 보존 및 서식처의 복원, 생물다양성을 위한종의 서식공간 확보와 생물의 통과성을 복원하는 것 등이 해당된다.

하천복원의 목적은 첫째 자연성의 보존으로 보존이란 대상하천에서 만약 남아 있는 하천의 자연적 구간이 있다면 이의 지속성을 위한 관리계획이나 또는 이를 위한 복원공사를 의미한다. 이에 해당하는 것으로 예를 들면 하천특유의 식물이 아닌 식물 이 식재된 것을 제거하여 주는 일 또는 유사의 자연적 흐름

을 억제하는 구조물이 있는 경우 이를 제거하여 하천의 자연성을 복원하는 것 등이다. 자연성 보존을 위한 주요 내용은 발원지 홍수터의 보존과 복원, 인공화된 또는 복개된 하천의 종단과 횡단면의 자연성 조성, 범람지 복원을 통한 비오톱의 구조적 다양성을 보존하고 조성하며, 목표종의 보존 및 서식처의 복원, 생물다양성을 위한 중의 서식공간 확보와 생물의 통과성을 복원하는 것 등이 해당된다. 하상침식을 방지하고자 설치된 콘크리트 하상과 하안에서 콘크리트 구조물을 걷어내고 하안의 기울기를 완만하고 다양하게 조성하여 하천의 생태적 구조적 다양성을 높이는 것이다.

둘째는 생물종의 보존으로 하천에서의 지역적 보호종 또는 멸종 위기종을 대상으로 흔히 특종어류의 보존과 회유성 어류의 보호를 위하여 실시하는 데 때로는 하천조개류 및 새우류 등의 재서식을 도모하기 위하여도 하천을 복원한다.

셋째는 수자원의 보호를 복원 목적으로 사행을 통한 하도를 연장시켜 유속을 감소시키고 침투유출량을 조정하여 홍수 조절을 목적으로 한다.

넷째는 하천수질을 보존하기 위한 목적으로 오염원의 유입저감을 위한 필터시스템의 설치 또는 하안필터림을 조성한다. 국내의 경우 하천수를 정화시키기 위해서 하천부지 내에 물리적 정화시설이나 식물을 이용한 식생정화조 등이 실험적으로 실시되고 있으나 외국의 경우에는 농경방법의 개선 또는 유역내의 정화시설의 추가 또는 비점오염원을 차단하기 위해서 반의무적으로 하변림을 조성하도록하고 있다.

다섯째는 생태적 기능성의 보존을 목적으로 하는데 이는 하상공극 공간의 보존과 유사 이동성의 복원, 자정능력의 향상과 하천 스스로의 발전성을 유도하는 것 등이다. 여기서의 생태적 기능성이란 주로 하천의 물리적 특성을 의미하는 것인데 예를들면 하천에 있어서 하상 아래 위치한 공극 공간(hyporheic habitat)은 자갈과 모래로 구성된 층이며 풍수와 갈수의 영향에 민감하지 않고 수온은 3~4℃로 변화가 거의 없는 상태이다. 이곳에는 탄소동화작용은 일어나지 않으나 유기물의 분해 작용이 있다. 이곳을 서식처로 하는 생물은 곤충류의 애벌레, 어류의 알 기타 많은 하등생물 등이다(Bayerisches Landesamt. Wasserwirtschaft, 1988). 이 층은 주기적으로 자연적 풍수에 의해서 세척되어져서 공극이 막히지 않게 되므로 생물들의 서식은 지속된다. 그러나 하상을 변동시켰거나 밀폐시킨 경우 본래와 유사한 하상의 거칠기를 조성하여주고 자

연적 유사의 이동이 이루어질 수 있도록 한다.

아울러 매몰된 우각호 또는 단절된 지천의 연결이나 침수방지를 위한 배수장치의 제거 등도 하천복원의 종류이며 하천복원의 목적이 된다. 기타 도시하천에서 도시민의 여가 및 휴양을 위한 시설을 추가하는 경우가 있는데 이러한 경우 수변에서만 적절한 시설을 제공하게 된다. 즉 수변이 아니면 체험하지 못하는 시설, 예를 들면 수변산책로나 물놀이 등이 여기에 해당된다. 그러나 산책로의 경우 물가와 일정거리를 두게 되어 있으며 대개는 하천의 생태적 교란을 최소화하기 위하여 양안에 설치하지 않는다.

오늘날 우리나라 공공수역에 미치는 인간간섭은 매우 다양하고 한국적 특이요소를 포함하고 있다. 생태계 교란은 기존의 생태계나 그 일부에 영향을 주는 물리적, 화학적, 생물적 요인으로 자연적 교란인 가뭄, 홍수 등, 물 오염, 하천개발 등 인위적 교란이 있다. 자정력 저하, 지형변화, 토양변화, 수질영향으로 보는 생태환경 측면, 고유생물서식공간의 쇠퇴 등으로 대형 댐의 건설, 하천의 직강화 및 콘크리트화, 고수부지 개발 등은 합법적으로 이루어진 비생태적 간섭 사례이며, 하천생태계의 구조와 기능에 질적·양적 변화가 지대하다.

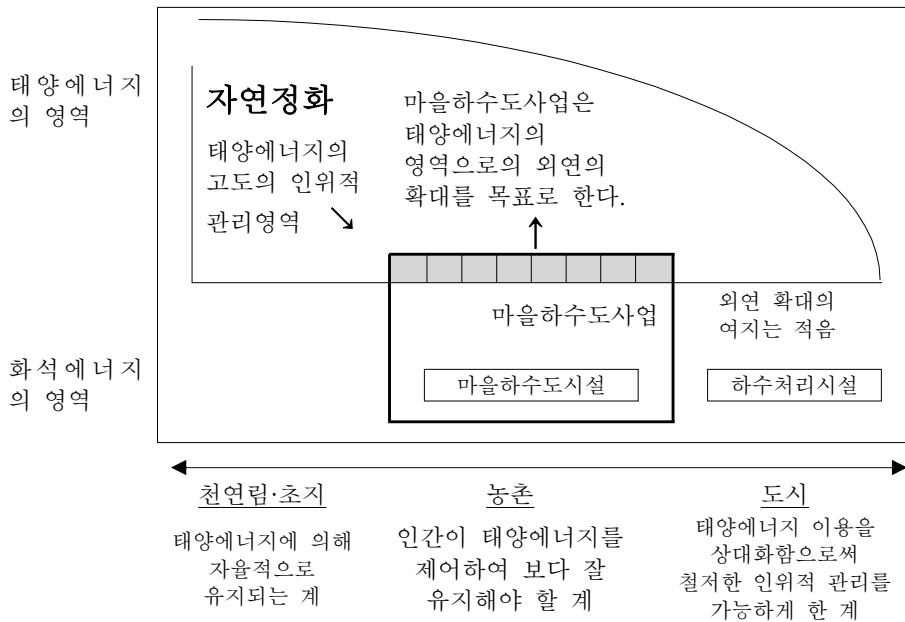
나) 자연정화능력 향상방법

(1) 자연정화기능의 기본적 향상방법

에너지의 이용측면에서 화석에너지와 태양에너지로 구분하여 볼 때 농촌지역에서 자연정화기능의 적극 이용하는 배경은 인간이 태양에너지를 제어하여 보다 잘 유지해야 할 계로서 마을하수도사업은 태양에너지의 영역으로의 외연의 확대를 목표로 한다. 농촌지역 마을하수처리에서는 화석에너지와 태양에너지를 함께 이용하는 시스템이다.

반면 도시지역의 하수처리시설은 화석에너지를 많이 이용하고 외연의 확대의 여지가 적으며 태양에너지 이용을 상대화함으로써 철저한 인위적 관리를 가능하게 한 계로 구성된다.

자연정화는 천연림·초지에서와 같이 태양에너지에 의해 자율적으로 유지되는 계로서 종합하면 아래 그림과 같다.



<그림 2-18> 농촌지역에서 자연정화기능의 적극이용

자연정화기능의 기본적 향상방법은 개개의 반응이나 변화과정을 4계절을 통틀어 물질순환과정 전체적으로 조화를 이루도록 시공간의 퍼짐 속에서 시스템으로서 자연정화기능의 강화를 생각할 필요가 있다.(표 2-17 참조)

(2) 하천에서의 자정작용

종래, 하천의 오염은 하천수의 변색, 어종 변화, 가스발생 내지는 악취 발생이라는 현상으로 인지되어 왔다. 이들은 하천수 속의 유기물의 거동이나 용존산소(dissolved oxygen; DO)의 수치로 해석되어, 고전적이지만 Streeter Phelps 식이 많이 이용되고 있다. 한편 영양염류도 흘러 들어온다. 하천수의 영양염 농도는 호소 등의 부영양화 한계[일반적으로는 질소(N) : 0.3 , 인(P) : 0.02]를 넘기도 하지만 하천수가 부영양화(eutrophication)되었다는 표현은 그다지 사용하지 않는다. 단, 하천내의 웅덩이에서 물이 일정시간이상 체류하면 영양염은 조류의 증식에 의해 소비되고 또 하천바닥이나 물에 접하는 제방에 부착한 조류나 물풀에 의해 이용된다.

광합성작용의 결과로서의 유기물은 때로는 강 어류들의 먹이가 되지만, 썩고, 고사하여 하천을 오염하는 자탁현상(自濁現象)이라 불린다. 또한 하천 내에서 암모니아태 질소(NH₄-N)는 질산세균(nitrifer)에 의해 질산화(nitrification)되어, 결과적으로 DO를 소비한다.

(표 2-17) 자연정화 기능의 기본적 기능 향상방법

구분	기본적 향상방법		
	물리학적	화학적	생물학적
물질변환 과정개선	수송경로 선택 체류시간 조정 수위수분(水分) 변경	pH, DO, ORP의 조정 물질의 첨가, 제거물질 농도 조정	기질(基質)농도 조정 영양염 농도조정 저해물질 농도 조정 빛 강도조정 공(共)대사 이용 생태계 조정
반응속도 적정화	물질공급속도 조정 토립자(土粒子)물성 변경 부유물질 농도조정 온도 변경 물 순환경로 조정	pH, DO, ORP의 조정 물질농도 조정 반응생성물의 제거	기질(基質)농도 조정 영양염 농도조정 저해물질 농도 조정 빛 강도조정 먹이사슬 이용 이용 생태계의 변경
물질수송 경로와 속도조정	수송경로 변경 유속 변경 수송사영(斜影)면적조정 입자간 빈 간격을 개선 체류시간 변경 물 면적 부하의 변경 농도구배 조정	용해속도 조정 흡착제 첨가, 제거	생물운동기능 이용 저생(底生)생물 이용
물질형상 변경	부착에 의한 조(粗)립자화 세립자화	부착 응석(凝析) 응집, floc 형성	생물대사에 의한 상(相) 변화
불필요한 물질제거	준설(浚渫) 여과 치환	기산(氣散) 수집 중화 응석(凝析)	동화, 이화 과잉섭취 수확
생태계 육성	토지개선 수분조정 일사조정 온도조정	pH, DO, ORP의 조정 수질개선	식종(植種), 식수(植樹) 영양염 농도조정 먹이사슬생식환경개선 불필요한 생물 제거

하천에서의 자정작용이라 불리는 정화과정 중 오염물질이 확실하게 변질하는 것은 미생물이 관여하는 과정과 화학흡착에 의한 과정으로, 이것들은 자정작용으로 인정되고 있다. 다른 과정은 오염물질이 일시적으로 하천 내에서 억류·농축되거나, 얼어지게 되어 물이 정화되는 것으로서, 때때로 발생하는 출수(出水)로 바다로 보내지는 것도 있다.

하천정화기능의 공학적 향상방법의 조건은 다음과 같다.

- ① 건설비가 저렴할 것

- ② 유지관리가 쉽고, 저렴하게 처리할 수 있을 것
- ③ 한 해 동안 내내 안전하고, 높은 처리효과를 얻을 수 있을 것
- ④ 기질이 희박한 대량 하천수의 처리에 알맞은 처리 시스템일 것
- ⑤ 치수상의 장애가 없을 것
- ⑥ 하천환경에 충분히 어울리는 것일 것.

(3) 저수지에서의 정화기능

저수지에서의 물질의 수송 및 변환과정은 기본적으로는 하천 내지는 호소와 다르지 않고, 여러 가지 물리적, 화학적, 생물학적 요소가 관계된다. 이 중, 저수지의 흐름과 그에 수반되는 각종 물질의 수송은 기하형상의 특징과 수온분포 즉, 밀도의 분포특성에 지배되는 경향이 있다.

저수지 흐름의 운동학적 특징은 거시적이며 평균적으로 보면, ① 한 방향 한 층 흐름-하천적 성격이 강한 혼합형 저수지, ② 한 방향 다층흐름-수심이 깊은 성층형 저수지, ③ 평면 한 층 흐름-shallow lake의 성격을 갖는 혼합형 저수지, ④ 평면 다층 흐름-deep lake의 성격을 갖는 대규모적인 성층형 저수지로 분류할 수 있는 것이다.

저수지로 유입하는 각종물질의 변화과정은 이들의 흐름과 밀접하게 관계되고 있어, 각종 물질의 공간적 분포는 흐름과 대응한 특징을 갖고 있다.

저수지는 전체적으로 보면 수리·수문적으로는 하천과 호소의 양쪽의 성격을 함께 갖는다. 그런데 하천적 성격이 현저하게 나타나는 것은 홍수가 났을 때 이거나, 아니면 회전율이 높은 혼합형 저수지의 경우이며, 보통은 댐 호라고 때때로 불리는 것처럼 호소적인 성격이 강한 것이 일반적이다. 즉, 저수지에서는 하천에 비해 체류시간이 길고 회전율은 작다. 따라서 저수지에 유입된 물질은 못 안에서 이송·확산하여 댐에서 흘러 나가는데, 그 사이에 흡착, 침강, 분해, 생물로의 변환 등 물리적, 화학적 및 생물학적 작용을 비교적 장시간에 걸쳐 받게 된다. 이 점은 호소에서의 그러한 변화와 상당히 많이 닮았다. 저수지에서의 물질순환과 변환에 관한 이러한 특성은 때와 장소에 따라서는 오염물질 농도를 저하시키는 작용으로 활동한다. 예를 들면, 홍수가 났을 때에 유입하는 점토광물에 기인하는 고탁도 물은 저수용량에 비해 유입하는 유량규모가 적을 경우, 댐에 도달하기까지의 시간이 1주일이나 그 이상이 걸릴 경우가 있어, 그 사이에 부유입자의 침강, 퇴적이 진행되어 탁도가 저하한다. 마찬가지로 유입하는 유기물이나 내부 생산된 유기물에 대해서도 침강퇴적에 의한 수중에서의 제거가 이루어져, N, P, C 등의 물질이 진흙으로 이동한다. 또한,

저수지에서 유기물은 1차 생산물인 동물 플랑크톤에 의한 포식과 배설, 박테리아에 의한 분해로 인해 무기화된다. N, 및 P는 식물 플랑크톤에 의해 1차 생산을 중심으로 하는 각종 생물활동에 수반된 물질변환 과정으로, 수중, 생체중 및 진흙 속에 그 존재형태를 바꾸면서 이동하여, 저수지 안에 저류(貯留), 축적된다. 이것은 물의 물 꽃이나 담수 적조로 대표되는 부영양화 현상의 원인이 되지만, 수계(水系)전체로 보면, 저수지 상류지역에서 생산·유출되는 N, P가 저수지 내의 생명체로의 고정, 진흙에의 침착 등을 통해 수중에서 제거되어, 하류하천, 더는 바다영역으로 유출되는 영양염량을 감소시키고 있다고도 생각할 수 있다. 이와 같이 저수지는 자연호소와 마찬가지로 유입하는 여러 종류의 물질을 저류(貯留)함과 동시에 부착·침강이나 물질의 내부순환 및 변환을 통하여, 물의 정화에 기여하는 일면을 갖는다. 그러나 반면, 부유물질이나 N, P 등의 저류(貯留)는 탁수 장기화나 부영양화 현상을 일으키는 커다란 요인이 되고 있다는 것에도 주의해야 한다.

저수지에서의 수질문제 대책은 상류지역에서의 발생원 대책을 포함한 유하 부하대책, 저수지 내에서의 저류수, 진흙 및 법면(法面)에 대한 대책, 하류에서의 방류수 내지는 하천수에 대한 대책으로 크게 나뉜다.

저수지의 수리·수문특성을 생각했을 경우, 유입부하의 비율이 비교적 크고, 그것이 탁수 장기화나 부영양화의 문제로 이어지는 곳에서 예방적 조치로서의 유입부하 대책이 가장 중요하지만, 그 시설에는 많은 어려움이 있어 효과를 보기까지는 긴 시간과 많은 경비·노력이 필요하다. 저수지 내의 대책은 오염에 관한 치료조치 내지는 현상발현의 억제조치라 보고 연못 내에서의 물질순환 및 변환과정을 억제하고 그 과정에서 발생하는 안 좋은 것을 회피하거나 그 정도를 경감하기 위한 것이다. 또, 하류에서의 대책은 저류수 이용의 장애 경감조치라 인정된다. 각 대책의 효과에 대해서는 입장일단이 있어, 그 중에는 아직도 평가가 내려지지 않은 것도 있다. 하여간에 실용적이며 효과적인 대책이 이렇다 하게 없는 실정이어서 몇 가지 대책을 계통적이며 총괄적으로 실시하여 정화효과를 높일 것이 기대된다.

(4) 화학적·생물학적 요소의 제어

① 수생식물에 의한 영양염 회수, biomanipulation, 살조(殺藻) 및 조류회수
 화학적·생물학적 요소의 제어는 저수지 내에서의 1차 생산과 그것에 수반되는 여러 가지 생물활동, 진흙과 물과의 사이에서 생기는 여러 가지 물질교환에 있어서의 화학적·생물학적인 환경 및 변환작용을 양적, 질적으로 제어하

여 조류증식의 억제를 도모하는 것이다.

수생식물에 의한 영양염 회수는 홍옥잠, 물냉이 등의 대형 수생식물을 이용하여, 수중의 영양염을 회수, 고정시켜, 그 몫만큼의 조류증식을 억제하고자 하는 것이다. 각종 수생식물의 영양염 흡수능력은 온도 등의 조건에 의해 상당히 다르지만 이들 흡수능력에서 필요한 영양염 제거량을 얻기에는 광대한 제배면적이 필요하고 또, 겨울철에 있어서의 고사나 식물의 회수, 처리의 문제가 있어 이 방법을 이용하려면 실제로 어려운 면이 적지 않다.

biomanipulation은 식물연쇄과정을 조작하여 생물상을 바꿈으로서 장애의 원인이 되는 조류증식을 억제하고자 하는 것이다. 구미에서는 몇 가지의 실시한 예가 있다.

② 인의 불활성화, 진흙의 준설, flashing, 고화, 피복(被覆), 심층수의 호기화 살조(殺藻)는 황산동(硫酸銅)이나 염소 등의 약제 내지는 자외선을 이용하여 발생한 조류를 사멸, 침전시키는 것이며, 수중의 영양염 및 유기물의 제거를 촉진하는 하나의 방법이라 해석할 수 있다. 그러나 어류 등의 고차생물이나 작물에의 악영향, 대상 종류 이외의 유해한 조류의 증식 가능성, 침전된 죽은 시체의 분해로 인한 물 속으로의 물질회귀의 위험이 지적되고 있어 다목적 저수지에서 적용은 곤란하다고 되어 있다. 또한 조류를 회수하는 배 등으로 저수지 밖으로 꺼내오는 것도 몇 군데의 저수지에서 실시되었지만 그 회수, 처리능력(현재는 매초 1m³정도)을 생각하면 실효를 거두기에는 미흡하다.

P의 비활성화는 응집제를 이용하여 무기태 및 유기태인 P를 불용성(不溶性)의 화합물로서 침전 제거하는 것이며, 그 메커니즘은 응집침전과 같다. 응집제와 P의 접촉시간을 길게 하는 것, 침전한 인산 염의 용출을 방지하는 것, 응집제 사용이 어류 등에 악영향을 주지 않는 것 등이 적용 가능한 조건이다.

진흙의 flashing, 준설, 고화, 피복은 혐기 상태 하에서의 진흙에서의 영양염 및 철, 망간, 유화수소(硫化水素) 등의 용출을 방지 내지는 억제함으로써 수중의 물질순환과정으로의 회귀를 끊는 것이다. 어느 방법이든 물질수지에 있어서 진흙으로부터의 용출이 상당한 비율을 차지하는 경우에는 유효하지만, 저수지의 경우에는 유입부하의 비율이 압도적으로 높을 경우가 많아 실효성은 그다지 기대할 수 없다. 그러나 수심이 얇은 유입말단에서는 진흙 속의 영양염이 물꽃, 담수적조의 원인조류로 이용되고 있을 가능성이 높다고 생각되어 그러한 장소에서는 유효할 것이다.

또한 심층수의 호기화도 같은 정화기능을 기대하는 것이어서 전술한 심층순환에 의해 용존산소 DO의 회복이 가능하다는 것이 몇 군데의 저수지에서 실증

되고 있지만 위에서 서술한 부하수지 조건이 정비되는 것이 실용상 필요하다.

(5) 수로에 있어서의 자연정화기능의 향상방법

수로(open channel, creek)란, 물이 흐르는 길을 뜻하며, 관개, 주운, 생활용수의 확보, 배수 등 물을 통과시키는 것을 목적으로 새로이 토지를 파서 만든 것으로 예로부터 여러 가지 인간활동에 수반하여 그 목적이나 형태도 변화되어 왔다. 지역에 따라서는 예전에는 인공적으로 만든 수로라도 오랜 시간동안에 생활에 가까운 존재로 정착하여, 친수기능이 있는 물가로서 인식되는 수로도 많은 듯하다. 또한 물이용 형태가 변화하여 일부에서는 이용목적이 상실되어 묻어버린 수로도 있다. 복합적인 기능을 갖는 수로는 생활양식이나 물길의 변환에 따라 질적으로 변화하면서 원형 그대로의 형상을 갖고 있는 것이다.

수로의 자연정화기능(self-purification, natural purification)에 대해 보면, 수로는 하천이나 댐 내지는 지하수 등과 같은 특정 수원(水源)을 갖고 있을 것. 수로의 바닥면이나 측면이 돌이나 콘크리트일 것 등으로 인해 수질정화에 필요한 미생물이나 수생식물 등의 존재량이 하천과 비교하여 적은 이유를 알 수 있다. 또한 도시하수로는 빗물 등을 신속하게 배출하는 것이 주목적이지만, 흐름이 정체됨에 따라 진흙으로 변하여 악취를 풍기는 등 주변주민들에게 폐를 끼치는 수로가 되어 좋은 평을 듣지 못하는 경우도 있다. 따라서 수로에서의 자연정화기능이란 이들 수원(水源)으로부터의 자연수 내지는 맑은 물이 흘러와서 그 수질이나 자연정화능력을 유지하든지, 내지는 필요에 따라 바람직한 수질까지 회복시키는 능력으로 정화하는 것이 적절할 것이다.

수로의 자연정화기능의 강화는 최종적으로는 유역의 수질관리의 틀 안에서 진행될 필요가 있다. 따라서 수로의 정화기능의 강화 내지는 수질관리는 지역특유로 존재하고 있는 수로의 흐름이나 수질특성 내지는 수로의 변천과정이나 유역의 물 이용형태에 따라 적절하게 대처할 필요가 있다. 이것은 자칫하면 획일적으로 되기 쉬운 정화기능의 강화방책을 지역(유역)독자적인 것으로 자리매김하여, 유역의 수질관리의 관점에서 정화기능의 강화 및 또한 평가를 하는 시점이 중요하다는 것을 의미한다.

(6) 저수지에서의 정화기능

저수지는 전체적으로 보면 수리·수문적으로는 하천과 호소의 양쪽의 성격을 함께 갖는다. 그런데 하천적 성격이 현저하게 나타나는 것은 홍수가 났을 때 이거나, 아니면 회전율이 높은 혼합형 저수지의 경우이며, 보통은 댐 호라고

때대로 불리는 것처럼 호소적인 성격이 강한 것이 일반적이다. 즉, 저수지에서 는 하천에 비해 체류시간이 길고 회전율은 작다. 따라서, 저수지에 유입된 물 질은 못 안에서 이송·확산하여 댐에서 흘러 나가는데, 그 사이에 흡착, 침강, 분해, 생물로의 변환 등 물리적, 화학적 및 생물학적 작용을 비교적 장시간에 걸쳐 받게 된다. 이 점은 호소에서의 그러한 변화와 상당히 많이 닮았다. 저수 지에서의 물질순환과 변환에 관한 이러한 특성은 때와 장소에 따라서는 오염 물질 농도를 저하시키는 작용으로 활동한다. 예를 들면, 홍수가 났을 때에 유 입하는 점토광물에 기인하는 고탁도 물은 저수용량에 비해 유입하는 유량규모 가 적을 경우, 댐에 도달하기까지의 시간이 1주일이나 그 이상이 걸릴 경우가 있어, 그 사이에 부유입자의 침강, 퇴적이 진행되어 탁도가 저하한다. 마찬가지로 유입하는 유기물이나 내부 생산된 유기물에 대해서도 침강퇴적에 의한 수중에서의 제거가 이루어져, N, P, C 등의 물질이 진흙으로 이동한다.

또한, 저수지에서 유기물은 1차 생산물인 동물 플랑크톤에 의한 포식과 배설, 박테리아에 의한 분해로 인해 무기화된다. N 및 P는 식물 플랑크톤에 의해 1 차 생산을 중심으로 하는 각종 생물활동에 수반된 물질변환 과정으로, 수중, 생 체중 및 진흙 속에 그 존재형태를 바꾸면서 이동하여, 저수지 안에 저류(貯留), 축적된다. 이것은 물의 물 꽃이나 담수적조로 대표되는 부영양화 현상 의 원인이 되지만, 수계(水系)전체로 보면, 저수지 상류지역에서 생산·유출되 는 N, P가 저수지 내의 생명체로의 고정, 진흙에의 침착 등을 통해 수중에서 제거되어, 하류하천, 더는 바다영역으로 유출되는 영양염량을 감소시키고 있다 고도 생각할 수 있다. 이와 같이 저수지는 자연호소와 마찬가지로 유입하는 여러 종류의 물질을 저류(貯留)함과 동시에 부착·침강이나 물질의 내부순환 및 변환을 통하여, 물의 정화에 기여하는 일면을 갖는다. 그러나 반면, 부유물 질이나 N, P 등의 저류(貯留)는 탁수 장기화나 부영양화 현상을 일으키는 커 다란 요인이 되고 있다는 것에도 주의해야 한다.

(7) 호소 내 생물활동에 의한 자연정화 향상

호수 밖에서 공급된 물질의 호수 안에서의 자연정화로는 물리적 과정에 의한 것, 화학반응에 의한 것, 생물 대사과정에 의한 것이 있다. 자연의 호소에서는 이들 3과정이 상호관련을 맺으면서 진행되고 있다. 어느 과정이 보다 큰 역할 을 하는지는 호수의 면적과 깊이, 연안부의 지형과 식생, 호수의 유동과 수직 혼합 상태, 일사나 기온, 생물군집의 구성과 양 등에 의해 크게 좌우된다. 또, 물질의 성질에 의해 크게 다르다. 예를 들면, 유입토사 등이 비중이 큰 물질에

서는 호수 바닥으로의 물질적 침전이 그 정화에 큰 역할을 한다. 여기서는 자연호소에 있어서 중요한 정화기능이며 생태계보전의 입장에서조차 정화기능의 보호강화가 필요한 호수 내의 생물활동에 의한 정화기능도 포함한다.

생물은 살아있는 한 외계에서 물질을 들여와 생물체로서의 유기물을 합성해가면서, 들어온 물질 및 생체 유기물을 산화분해하며, 그 산물로서의 저분자 유기물 및 무기물을 외계 환경으로 방출한다. 이 생물에 의한 물질을 들여오는 것과 방출이나 변질을 통하여, 인간에게 바람직하지 않는 물질이 제거된 경우, 우리들은 생물이 그 해당하는 물질을 정화하였다고 본다. 호수내의 생물활동에 의한 물질정화로는 해당물질의 흡수동화에 의한 것과 분해 무기화에 의한 것이 있다. 이들 생물에 의한 물질대사활동의 유지에는 에너지가 필요하다. 광합성생물의 광 에너지 이용을 제외하고, 대부분의 생물은 이 정화에 필요한 에너지를 생체에 들여온 유기물 및 생체 유기물의 산소에 의존하고 있다. 호소의 표수층(수온성층이 성립되어 있는 호소의 표면에서 수온약층(躍層)에 이르기까지의 수층(水層))중에 생식하는 대부분의 생물은 이 에너지 획득에 산소(분자상태)를 이용하는 호기성 생물이며, 광 에너지를 이용하는 녹색식물도 이것에 속한다. 산소가 적거나 산소가 없는 심수층이나 진흙 속에서는 무산소 환경(anoxic condition)이어도 일정기간 생식 가능한 유충 등 저생동물과 함께 무기물을 산화에 이용할 수 있는 혐기성 미생물이 생육하고 있다. 그 결과, 산소가 많은 표수층안과 산소가 없는 심수층 및 진흙 속에서는 물질정화를 하는 생물의 대사방식은 크게 다르게 된다. 자연호소에 있어서의 생물에 의한 정화기능강화를 위해서는 따라서 각각의 환경에 있어서 정화에 관한 생물량의 생산증가를 도모하면서, 대사활성이 활발히 하도록 환경관리를 할 필요가 있다.

(8) 수중식물에 의한 질소·인(P)의 정화 향상

호소부영양화 촉진인자인 N이나 P는 수중식물의 생육에 불가결한 영양원소로, 식물의 생육과 함께 체내에 흡수동화되어 간다. 그 결과, 식물의 생육 최대시기에 있어서의 N, P의 식물체내 축적은 호수 안의 N, P제거에 커다란 역할을 하게 된다. 특히 호소연안부에 생육하는 갈대, 줄(wild rice) 등의 추수식물(emerged plant)와 검정말, 마름 등의 침수식물(submerged plant)은 생육기간(수명)이 수개월에 이르기 때문에, 최대 생육기에는 대량의 N, P가 식물체내에 축적되게 된다. 이 때문에 최장 생육기의 추수식물이나 침수식물을 베어내는 것은 N, P제거에 효과적인 방법이며, 현재 부영양화 관리의 효과적인 방

법의 하나로 각 방면에서 구체적으로 검토되어, 실행되기에 이르렀다. 갈대는 연안지대 식물 중에서도 가장 생산량이 많은 식물중 하나로 진흙 속에 내린 뿌리에서 양분을 섭취한다. 소금물의 침입에 의한 호소에서도 습지에서도 잘 자라, 생육최장기인 현존량은 건조중량으로 0.8~3.6 에 달한다. 갈대의 염류함량은 생육환경이나 시기에 따라 크게 다르지만, 평균 N, P함량을 각각 2%, 0.4%이다.

수중에서 양분을 흡수하는 수중식물의 침수식물은 최대 현존량이 0.1~1 (乾量)20)로 갈대보다 작지만, N, P의 함량은 반대로 4%, 0.8%로 높다. 따라서 호붕(湖棚)이 넓고 침수식물의 생육면적이 차지하는 비율이 큰 호소에서는 최대 생육기에 있어서의 침수식물에 의한 N, P의 제거는 그들의 정화에 효과적이라 생각된다. 호붕의 면적 확대에 의한 침수식물의 생산증가가 가능하며 갈대와 같이 최대 생육기간 내에 수확하게 되면, 호수에서 N, P를 제거하는 효과적 방법이 될 가능성이 있다. 물가에서 먼 호수안 부분의 수괴(水塊)의 주요한 식물군인 식물 플랑크톤(phytoplankton)은 미세한 단세포 생물이어서 수명이 짧다. 게다가 동물 플랑크톤(zooplankton) 등 고차 영양단계의 동물에 포식되어 지므로, 1차 생산(primary production)의 활발함에 비하여 식물 플랑크톤의 현존량은 작다. 그러나 남조의 물꽃 등 식물 플랑크톤의 대 증식시에는 호수중의 N, P의 상당부분이 식물 플랑크톤성 유기물로서 고정된다. 일본 스와호(諏訪湖)의 조사결과에 의하면, 식물 플랑크톤을 주체로 하는 부유 현탁성(懸濁性) 유기태의 N량은 호수의 T-N의 30~61%를 차지한다.

(9) 호소의 산화적 환경에서 부유성 유기물 정화

수온성층인 호수의 표수층이나 호수가 모두 순환하고 있는 호수에서는 대기에서의 공급과 식물의 활발한 광합성에 의해 수중의 DO농도가 높다. 이 산화적인 표수층(epilimnion)에서는 박테리아나 동물 플랑크톤 등 호기적 종속영양생물에 의한 유기물의 분해가 상당히 활발하다. 일본 비와호(琵琶湖)의 조사결과에 의하면, 식물 플랑크톤이 하루 동안에 생산하는 유기물의 43.3~159%가 박테리아의 분해활동과 동물 플랑크톤의 섭식~배설활동에 의해 표수층 속에서 분해 무기화된다. 호분(湖盆)이 얇고, 호수가 1년 내내 상호로 혼합되어 있는 부영양호인 스와호(諏訪湖)에서는 식물 플랑크톤이 만든 유기물의 62%에서 200%가 생산층 내에서 분해된다. 유기물의 1차 생산에 필적하는 속도로 분해가 진행되므로, 생산과 분해의 균형으로 호수 속의 유기물의 변동은 결정되게 된다. 식물 플랑크톤의 bloom 후기 및 겨울철에는 분해가 1차 생산을 능가하

여, 부유성 유기물의 정화가 진행된다.

식물 플랑크톤 유래의 부유 유기물의 정화과정으로는 이 분해 무기화와 함께 호수 바닥으로의 유기물 침전은 호수 속의 유기물과 영양원소의 정화에 중요한 역할을 한다. 자연호소에서는 부유 유기물의 침강에 의한 정화와 유기물 분해에 의한 정화는 밀접한 관련이 있어, 침강 중에 분해가 되는 정도가 클수록 심층으로 침강하는 유기물량과 영양 원소량은 감소한다. 일본에 있는 몇 군데의 호소를 보면, 식물 플랑크톤에 의한 1차 생산량의 1/6에서 1/2에 해당하는 유기물이 진흙으로 퇴적한다. 퇴적 후에도 유기물은 진흙 속에서 분해되므로, 식물의 생산→침강→퇴적의 루트 속에서의 유기물과 영양원소인 생물학적 제거율은 최종적으로는 일반적으로 적어진다. 비와호(琵琶湖)의 조사결과에 의하면, 이 과정을 통하여 유입 N 부하의 3.2%가 퇴적물 속에서 제거된다. 진흙으로의 침강과 진흙에서의 용출속도 연구결과와 유입부하 데이터로 부하의 계산에 의하면, 스와호(諏訪湖)에서는 유입 N부하의 16%가 호수 바닥으로 퇴적 제거된다. 비와호(琵琶湖)와 스와호(諏訪湖)에 있어서의 N의 제거율의 차는 수심의 차이가 있기 때문에 침강도중에서의 식물 플랑크톤체 유기물의 분해도 가 다른 것에 원인이 있을 것이라 생각된다.

유기물의 분해나 침강되기 쉬운 정도는 부유 유기물의 성상(性狀), 그것을 구성하는 식물 플랑크톤의 종류 구성에 따라 크게 다르다. 일반적으로 세포 사이즈 20 μm 이상의 크기인 넷트 프랑크톤으로 구성되는 부유성 유기물은 침강되기 쉽다. 규산 껍데기를 갖는 규조는 비중이 크므로, 소형 녹조류나 편모조(鞭毛藻)에 비해 침강되기 쉽고, 특히 대사활성이 저하하는 증식후기에 그 정도가 커진다. 한편 소형 녹조류는 침강되기 어려우며 동물 플랑크톤이나 원생동물의 포식활동, 박테리아의 분해활동에 의해 분해 소비되어, 물 속에서 정화되는 정도가 크다. 나까무라(高村), 야스노(安野) 등에 의하면, 가스미가우라에서는 규조는 세포인 체로 침강하는 경향이 있지만, 남조의 Microcystis는 상당히 분해된 나머지가 호수바닥에 침강한다. 그런데, 영국이나 미국의 호소에서는 Microcystis는 세포인 체로 침강하는 경향이 있다. 이 차이로는 가스미가우라에서는 여름철의 수온이 영국이나 북미의 호소와 비교하여 높기 때문에, 호수 바닥으로 침강하기 전에 분해되는 정도가 크다는 것을 생각할 수 있다.

식물 플랑크톤의 실내분해실험에 의하면, Microcystis의 분해속도는 수온이 낮으면 적지만, 수온이 상승하면 현저하게 증가한다. 남조인 Anabaena도 고온에서의 분해속도(분해속도정수)는 크고, 규조인 Synedra는 분해속도정수는 작으며 분해하기 힘들다. 부영양화 호소에 있어서의 유기오염의 정화기능을 강화

하려면 *Microcystis*나 *Anabaena*의 물꽃의 발생수괴에 있어서는 수온상승이 효과적인 강화방법이라 판단된다. 규조의 대증식에 의해 유기오염화되어 있는 수계에서는 자연의 온도범위 내에서의 수온상승은 유기오염 정화촉진에 반드시 연결되지 않을 가능성이 있다.

(10) 환원적 환경에서 유기물과 무기물의 정화강화

호수의 밀도성층이 발달되어 있는 호소에서는 식물 플랑크톤 등의 식물은 생활활성 정지 후, 중속영양생물의 활동으로 고사체(枯死體) 유기물이 분해되면서 심층으로 침강해 간다. 유기물 분해와 함께 물 속의 산소가 소비되므로 대기와 접해있지 않은 성층기의 심수층(수온약층보다 아래인 호수바닥까지의 수층(水層))에서는 DO농도는 점차 감소하여 성층기의 후기에 산소량은 최저가 된다. 심수층의 산소 소비도는 표수층으로 부터의 유기물 공급이 증가하면 현저해지므로, 부영양화가 진전된 호소에서는 심수층 속의 DO농도의 감소도는 높고, 무산소 상태가 되기 쉽다. 이 무산소 환경에서는 생식하는 생물종이 한정되어 있으므로, 환원적 환경에 적합한 생물이 물질정화의 주역을 담당하게 된다. 그러나 이 환원적 심수층에 있어서도 그곳에 사는 생물은 그 생존에 필요한 에너지와 탄소원을 표수층에서의 침강유기물에 의존하고 있다. 환원적 심수층에는 분자상의 산소가 없기 때문에 NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_2 의 산소를 유기물 산화에 이용하는 중속영양 미생물이 유기물 정화의 주역을 담당한다. 환원 환경하의 생물대사에는 여러 종류가 있지만, 여기서는 부영양화 촉진인자인 N의 정화에 관한 이화적(異化的) 질산환원(유기물 산화와 함께 일어나는 질산환원)으로서의 탈질(denitrification) 반응과 진흙 속의 유기탄소 제거에 중요한 역할을 하는 CH_4 생성반응에 대해 그들이 자연호소의 정화에 다하는 공헌과 그 지배환경에 대해 서술한다.

(11) 탈질에 의한 질소정화

환원적인 자연환경에서는 이화학적 환원에 의해 질산을 $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$ 의 단계로 환원하는 중속영양 미생물의 탈질균이 생식하고 있다. 이들의 반응에 관한 미생물은 각 스텝마다 다르지만, 이 일련의 탈질반응에 의해 N은 최종적으로 N_2O 가스, N_2 가스가 되어, 대기 중으로 방출된다. 미생물에 의한 탈질반응은 자연계의 N 순환에 있어서 N을 대기로 이탈시키는 유일한 과정이며, 생물권의 안정성 유지에 극히 중요한 역할을 다한다. 미생물에 의한 탈질반응에는 그 반응에 관계한 미생물이 살아가는데 필요한 탄소원과 에너지

원으로서의 유기물 공급과 전자 수여체로서의 NO_3^- 와 NO_2^- 의 공급을 필요로 한다. 심수층에 사는 탈질균에 필요한 유기물은 표층수에서 침강되어 오는 유기물로서 공급되어, 또 NO_3^- 는 유기물의 분해 무기화로 생성된 NH_4^+ 로부터 질산화작용에 의해 생성된다.

일본 나가노현(長野縣)의 미자끼호(木崎湖)에서는 봄의 호수 모든 순환기 후의 수온성층의 발달에 수반하여, 심수층에서는 표층수로부터의 침강 유기물의 분해에 의해 NH_4^+ 가 축적한다. 이 NH_4^+ 는 6월 하순경부터 활발하게 활동하는 질산화균에 의해 NO_3^- 로 변환하여, 10m에서 20m에 걸친 산화적 심수층 속에서는 NH_4^+ 농도의 극단적인 감소를 가져온다. 그러나 20~23m 이심(以深)의 수층에서는 유기물 분해와 진흙의 산화흡수에 의해 환원화가 차례로 높아져 질산화작용으로 형성된 NO_3^- 를 이용한 탈질이 진행되어 NO_3^- 가 감소되게 된다. 寺井은 아세틸렌 저해법을 이용하여, 9월 중순에서 11월 하순까지의 이 수층의 탈질량을 603.4 kgN으로 추정하였다. 이 기간에 이 수층으로 축적된 N_2O 의 58.8kgN을 뺀 544.6kgN은 이 수층에서의 NO_3^- 소실량 523.6kgN에 거의 균형을 이루고 있어, NO_3^- 의 감소가 탈질에 의한 것임을 확인하였다. 이 값에서 외삽에 의해 12월 중순까지의 모든 성층기간의 탈질량은 1,050kgN이 된다. 9월 이전의 산화적 심수층에 있어서의 질산화에 수반된 N_2O 의 333.2kgN을 더 하면, 6월~9월의 대기로의 N의 총 이탈량은 1,146.6kgN이 된다. 한편 산소농도는 낮지만, NO_3^- 가 심수층에 남아 있는 6월 하순에서 9월에 걸쳐서 진흙에서는 바로 위 물에서 공급되는 NO_3^- 를 이용하여 탈질이 진행된다. 그러나 진흙 속의 NO_3^- 농도가 낮기 때문에 일반적인 방법으로는 현장의 탈질 활성을 측정할 수 없다.

질산화의 진행에는 산화적 환경이 필요하므로, 스와호(諏訪湖)에서는 아마도 산화적 호수와 접하는 진흙 표층수 mm로 질산화가 진행되어, 생성된 NO_3^- 를 이용하여 환원적 진흙층 속에서 탈질이 진행된다고 생각된다. 여기서 문제가 되는 것은 질산화에 이용된 NH_4^+ 의 공급원이다. 그 대부분은 호수의 상층에서 침강되어온 식물 플랑크톤의 고사체 유기물의 분해에 의해 공급된다고 생각된다. 따라서 스와호(諏訪湖)에서는 호수 밖으로부터 공급된 n의 대부분은 식물 플랑크톤체로 흡수 동화→호수 바닥으로의 침전퇴적→분해 무기화→질산화→탈질→대기로의 이탈의 루트를 통하여 정화된다고 판단된다. 스와호(諏訪湖)에 있어서 탈질에 의한 유입 N의 정화효율을 높이기 위해서는 이 루트를 통한 N의 전환효율을 높일 필요가 있다. 특히, 산화환원 경계층으로서의 진흙 표층수 mm, 수 cm에 있어서의 질산화, 탈질의 활성을 높이면서 양자의 커플링 효율

을 높이도록 환경관리를 피하는 것이 중요할 것이다. 스와호(諏訪湖)에서는 질산화, 탈질활성은 진흙농도가 올라가면 증가하는 경향이 있으므로, 진흙온도를 높이는 것은 정화기능강화에 효과적이라고 판단된다. 질산화-탈질의 커플링에는 진흙표층을 산화적으로 유지하면서, 그 바로 아래의 진흙을 환원적으로 유지할 필요가 있다. 이 진흙환경 성립에는 호수의 연직 혼합에 의한 호수를 산화적으로 유지하면서 진흙에의 유기물 공급증가에 의해 진흙의 환원화를 촉진하는 것이 불가결하다. 산화-환원경계층에 있어서 유기물의 암모니아화 촉진에도 진흙표층을 산화적으로 유지할 필요가 있다.

진흙표층을 산화적으로 유지하려면, 호수의 수직혼합을 높일 필요가 있다. 그러나 호수의 연직 혼합은 그것이 너무 강하면 식물 플랑크톤이 침강되기 힘들게 되거나 식물 플랑크톤의 빛 이용효율을 저하시키는 등으로 인해, 식물의 생산활동이 저하하여, 진흙으로의 유기물 공급을 감소시킬 가능성이 있다. 일반적으로 호수의 연직 혼합은 각종 환경변화를 수반하므로, 그것이 진흙의 산화환원환경에 미치는 영향평가는 단순하지 않다. 호수의 혼합이 진흙에의 유기물 공급, 진흙의 산화-환원층의 발달, 질산화-탈질 커플링, N정화의 촉진에 어떻게 작용할 것인지에 대해서는 앞으로 현장관측과 실험적 해석을 포함한 상세한 검토가 필요하다.

(12) 메탄생성에 의한 유기탄소의 정화

부영양호(eutrophic lake)에서는 식물의 생산유기물 침층으로 많이 공급되기 때문에 그 분해에 수반되는 산소흡수로 인해 심수층, 특히 진흙 바로 위 물은 환원적이 되기 쉽다. 이 환원화로는 호수 속의 산소흡수도 관계가 있지만, 유기물 함량이 높은 진흙의 산소흡수도 큰 원인이다. 저층 환원화를 가져오는 원인으로서는 미생물에 의한 유기물 분해는 한편 유기물정화의 가장 효과적인 자연정화 과정이기도 하다. 산화적인 호수 속에서의 생물활동에 의한 유기물의 정화에서는 유기물의 분자상 산소에 의한 CO_2 로의 산화분해가 주요과정이지만, 환원적 환경, 특히 환원적인 진흙 속에는 CO_2 의 생성과 함께 CH_4 생성이 유기탄소의 정화에 있어서 중요한 위치를 점한다. CH_4 생성균에 의한 CH_4 생성은 유기물 발효산물의 질산에서 생성되는 반응과 CO_2 와 수소에서 생성되는 반응이 있다. 어느 반응도 그 진행에는 산화환원전위가 $-200mV$ 에서 $-400mV$ 라는 상당히 환원적인 환경을 필요로 한다. 이 때문에 자연호소에서는 CH_4 생성은 유기물 공급이 많은 진흙에서 진행되는 것이 일반적이다.

진흙에 있어서 CH_4 생성을 촉진하는 환경으로는 산화환원전위와 함께 온도가

중요한 인자이다. 실내 배양실험결과에 의하면 4.5℃에서 29℃까지의 온도범위에서는 진흙시료인 CH₄생성속도는 1.4~3.1인 Q10에서 고온일수록 커진다. 스와호(諏訪湖)에서는 기포에 의한 CH₄의 생성속도는 진흙온도가 높은 7월에 최고가 되는 계절변화를 나타내지만 온도상승에 수반되는 CH₄생성속도 증가인 Q10은 100에까지 달하는 이상하게 큰 값이 된다. 이 원인의 하나로서 저생동물에 의한 진흙 교반의 관여를 생각할 수 있어, 현재 검토 중이다. 그 시점에서 CH₄생성은 이와 같이 온도 의존성을 나타내지만, 호수의 성층기간을 통해 보면, CH₄생성에 의한 유기물의 정화효율은 진흙온도에는 무관계하고, 표수층으로 부터의 유기물공급에 크게 의존한다. 스와호(諏訪湖)에서는 1991년 6월 20일부터 8월 31일까지의 약 2개월간 표수층에서 진흙을 침강시킨 침강 유기물 140 의 39%에 해당하는 53.2 가 기포 CH₄의 모양으로 대기로 방출된다. 호수 속으로의 용해성 CH₄로서 방출된 CH₄를 포함하면, 진흙으로 공급된 유기물의 약 반은 CH₄로서 정화되게 된다. 몇 군데의 호소에서 진흙으로 공급된 유기물인 CH₄로서의 제거율은 36~58%의 범위로 호수에 따라 커다란 차이는 없고, 진흙온도가 여름에 높아지는 스와호(諏訪湖)에서도 제거율은 이 범위이다. 유기물의 CH₄전환의 이론적 값은 거의 40%이므로, 자연 호소에 있어서의 CH₄생성에 의한 공급 유기물의 정화는 가장 효율적으로 이루어지고 있다고 판단해도 좋다. 물론, 앞서 서술한 것처럼, 단기적으로는 진흙의 온도상승은 유기물의 제거에 효과적이라 생각된다. 진흙의 환경관리에 있어서는 이와 같은 단기간과 장기간에 있어서 온도영향의 차이를 충분히 이해하는 것이 필요하다.

2.3 식생정화방법에 의한 수질개선

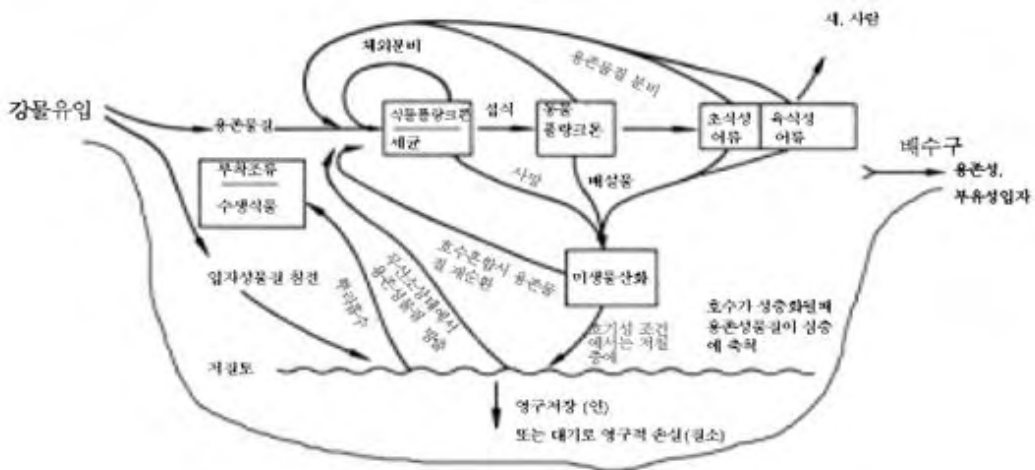
1. 호소의 물질순환

호소는 배수구를 갖고 있지만 전체적으로 보면 폐쇄구역이기에 주위로부터 독립하여 물의 지학, 화학, 물리, 생물학적 현상이 일어나 독자적 생태계를 유지한다. 연못을 비롯하여 호소, 저수지, 하천 늪지 등의 수역에 있어서 물질의 순환은 기후와 지형특성 등에 따라 물리적, 화학적, 생물학적으로 복잡하게 연관되어 있다. 물질순환에 있어서 물리적인 혼합 현상은 화학반응과 생물에 의한 물질순환 속도에도 매우 큰 영향을 미친다. 수심이 깊은 정체성 수역에서는 깊이 에 따라 수온이 급격히 변화하는 수온약층이 형성됨으로써 표면수와 심층수의 혼합이 이루어지지 않아 바닥층이 혐기화 되어 침전된 오염물질로부터 영양염류가 용출되기도 한다. 계절의 변화에 따라 수온분포가 역전되면서 표면수와

심층수가 교환되어 바닥층의 영양염류가 표층으로 이동됨으로써 물질의 순환이 촉진되기도 한다. 물의 혼합은 계절에 따른 수온변화 외에도 바람 등에 의하여 영향을 받는다.

호소 내에서 물리·화학적인 물질순환뿐 만 아니라 생물에 의한 물질순환도 수질오염에 영향을 크게 미친다.

호수생태계에서의 영양물질의 흐름을 보면 아래 그림과 같다.



<그림 2-19> 호수생태계에서의 영양물질의 흐름 모식도(Harper 1995)

호소 내에 서식하는 조류와 수생식물은 물속의 영양염류를 사용하여 광합성을 함으로써 유기물을 합성한다. 이 유기물은 먹이사슬을 따라 고등동물에게 전달되고, 배설 또는 사멸에 의해 동물의 체내로부터 분리된 유기물은 박테리아에 의해 분해되어 다시 무기물로 전환된다. 이러한 순환과정에서 생성된 유기물은 방류수와 함께 호소 외부로 배출되지만 유입되는 양과 생산되는 양이 배출되는 양보다 많을 경우 호소의 오염은 가중된다.

국내 호소의 부영양화 특성을 보면 부영양화 원인물질인 질소와 인은 강수나 토양에서 함유량이 달라 강우강도에 따른 유출유형에 차이가 난다. 호수 중의 주요 이온인 질소와 인은 생물체의 구성요소로 매우 중요하며, 해당 호수 내에서 총질소와 총인의 비율은 조류의 제한요소를 평가하는 지표로 이용될 수 있다. 질소/인의 비율에 의한 제한 요인평가는 대체로 10~20에서 구분된다. 질소/인(총 이온량)의 농도비율은 대부분의 호수에서 약 20~100의 범위로 주로 인이 조류증식의 제한인자가 되고 있으나, 하절기 홍수기에는 인의 유출도

가 커서 질소/인의 비율이 낮아지고 조류를 섭취하는 동물플랑크톤이 감소하며 표수층의 수온이 급상승하여 성층이 뚜렷해짐에 따라 고온에서 증식도가 높고 인에 대한 질소의 양이 상대적으로 적어 질소 고정능을 가진 남조류 (예를 들면, *Anabaena*)가 대발생하는 경우가 많다고 알려져 있다.

오염물질의 유입특성과 오염도 분포는 호수의 형태적 특성에도 밀접한 관계를 가지는데 국내 인공호는 대부분 큰 강을 막아 형성된 호수이므로 종축/횡축 길이의 비가약 50~100으로 긴 형태를 가지며, 국부적인 만입부가 많이 형성되어 있는 특징을 갖고 있다. 이에 따라 호수내의 유동이 적어 수질이 호수 내 상류지역에서 하류지역에 걸쳐 현저히 다르고 국부적인 정체성으로 인하여 만입부는 오염하천 및 표면유출에 의해 오염이 심화되어 있고 물리적으로는 하구적인 특성을 띠고 있다.

부영양화 원인물질의 생태학적 작용은 인이 조류발생에 중요한 요인이기는 하나 모든 호수가 인과 조류 발생량의 관계가 직접적인 것은 아니다. 호수 내 인의 함량이 질소에 비하여 현저하게 높을 경우는 조류발생을 조절하는데 질소가 더 중요할 수 있다. 체류시간이 수년에서 수십년에 달하는 호수는 유입된 인이 계속적으로 순환되면서 조류량을 유지시키나, 체류시간이 불과 수일에 지나지 않는 국내의 하천형 인공호는 인 농도와 조류량의 관계가 오히려 역상관 관계를 보이는 경우도 많으며, 이와 반면 체류시간은 하천형 인공호에서 매우 중요한 조류발생인자가 되는 경우도 많다.

소양호, 충주호, 안동호, 대청호 등 체류시간이 긴 상류의 대형 호수형 인공호는 집중강우 직후 외부로부터 인의 대량유입으로 인하여 조류가 대발생하며, 팔당호 등 체류시간이 짧은 하천형 인공호는 갈수기시 조류가 대발생하는 경향이 높다. 즉, 집중호우에 따른 유입수 인 농도의 증가, 특히 인산염 인의 증가시기에 상류의 대형 인공호는 오히려 홍수조절을 위해 수문이 폐쇄되어 영양물질이 축적되므로 강우 직후 조류가 대발생함에 반해 갈수기에는 유입부하의 감소로 조류발생도가 낮다. 홍수시 하류의 소형 인공호는 영양염류 농도는 높으나 호의 체류시간이 감소하고 탁도가 증가하여 조류발생도가 낮은 반면, 갈수기에는 증식조류의 축적으로 조류가 대발생하게 된다. 국내에서 주로 대발생하여 생태계 영향 및 물이용의 장애를 일으키는 조류로는 봄에 주로 규조류인 *Cyclotella*와 *Synedra*, 봄에서 가을까지는 규조류인 *Melosira* 및 녹조류인 *Scenedesmus*, 가을에는 남조류인 *Aphanizomenon*, 여름에는 남조류인 *Microcystis*와 *Anabaena* 등이다.

2. 우수유출수의 오염물질별 유출 특성 및 농촌지역 비점오염물질 유출특성

가) 우수유출수의 오염물질별 유출 특성

우수유출수의 유출규모에 따라 오염물질 유출의 차이는 각 오염지표 항목별로 특징이 있으며 비점오염원 유출특성의 하나가 초기강우 시 오염물질 유출 (first flush)현상이며 이 현상은 하도 내의 종단면을 기준으로 보았을 때 상류에서 유출된 오염물질이 유하거리에 따라 차례로 도달하여 고농도 상태가 계속되는 것이다. 도달하기까지의 시간은 하도 길이와 유하 속도로 결정되고 그 사이에 소류력이 증가하여 우수중의 오염물질농도가 높아지고 최고치를 나타낸다. 우수유출수 수질변동의 대부분은 입자성 물질에 의한 것으로 측정되고 입자성 물질의 대부분은 비점 오염원에서 유입된 것으로 알려져 있다.(1995. 환경부)

① BOD

BOD유출특성은 선형 무강우에 의하여 크게 좌우되며, 작은 유출에서는 물질의 부상이 많지 않고, 유입되는 오염물질은 유입하천의 하류에서 다량으로 퇴적한다. 중 유출에서는 비강우시 또는 작은 유출에서 쌓인 오염물질 등이 부상하여 유출되며, 중 유출이상에서는 first flush가 발생하기 쉽고 유량 첨두전에 부하량은 감소하는 경향을 나타낸다. 대 유출에서는 부하량의 약 50%에 해당하는 양이 하상에서 부상하는 물질이며 용해성 BOD는 유출기간 중 거의 저농도로 일정한 반면 입자상BOD는 first flush현상을 나타낸다.

② SS

SS는 유량의 증감에 따라 변동이 현저한 전형적인 지표이며, 중 유출 이상에 있는 장소 등에서 first flush현상도 나타낸다. SS는 유량-총부하량 관계가 직선으로 나타내며, 유량규모가 클 때 SS로 측정된 것이 대부분은 모래 등의 하상재료이다.

③ COD

COD는 first flush현상이 BOD와 유사하게 일어나고, 유량대응형의 변동도 보임에 따라 SS, BOD의 중간적인 변동특성을 지니고 있다. 용존성 COD는 거의 일정농도이고 변동을 보이는 주된 성분은 입자성의 COD이며, SS도 서로 상관성이 있는 것으로 나타났다. 중유출 이상에서는 first flush현상이 보이는 경우가 많고, 그 후에는 유량의 증감에 대한 변동이 보인다. 용해성 COD는 유출기간 중 저농도로 일정하고 입자성 COD가 유량대응형으로 나타난다.

④ T-N

T-N은 유출특성이 COD와 비슷하고 T-N중 무기질소의 농도는 비교적 일정하며, 유기질소가 T-N변동에 대부분을 차지하여 first flush 현상이 있는 유량대응의 변동을 보여 줌에 따라 질산염이 입자성에 가까운 형태로 유출되는 것으로 나타난다.

⑤ T-P

T-P는 COD와 유사한 변동을 보이고 있으며, first flush현상과 유량대응형의 변동이 나타난다. T-P중 유출의 규모가 크면 상대적으로 고체성 인의 비율이 크고 유출의 규모가 작으면 용존성 인의 비율이 작다. 고체성 인은 유량변동에 대응변동이고 용존성 인도 유출기간 중 유량에 비례하여 동시 증가하는 경향이 매우 강하나 입자성 보다는 작아 거의 일정한 농도를 유지하는 것으로 나타났다.

농촌지역에서 발생하는 비점오염물질 유출특성은 발생하는 오염물질 대부분이 토사와 결합 또는 흡착된 상태로 주로 유출된다는 점이다. 따라서 농촌에서 발생하는 비점오염물질을 제거하기 위한 핵심 메커니즘은 침전(沈澱)과 여과(濾過)이다.

농촌지역 비점오염 배출 패턴에는 초기 강우 효과(초기 세척현상)가 거의 나타나지 않거나 완만하게 나타난다. 따라서 도시지역 강우 유출수 처리보다 농촌지역 강우유출수 처리가 훨씬 어렵다.

나) 농촌지역 비점오염물질 유출특성

농촌지역에서 토지이용과 활동이 불특정 다수에 의해 광범위하게 이루어지므로 발생하는 비점오염물질의 양과 성상을 파악하기는 거의 불가능하며 농촌지역의 비점오염 유출을 이해하기 위해서는 유출과 관련된 우리나라 농업환경을 이해하여야 한다. 기후, 지형, 작부체계, 토양특성 등의 다양한 환경조건은 비점오염 유출 특성을 복잡하게 만드는 원인이다.

(표 2-18) 우리나라 농업 환경 특성

환경조건	특성	고려사항
기후	-여름:고온다습, 겨울: 저온 건조	-재배기간, 지역특성
지형	-논 : 평탄지(경사 7% 이하 : 77%) -밭 : 곡간지, 산록경사지, 구릉지, 산악지	-토양유실, 물관리, 비료, 퇴비, 재배방식
토양	-토양통 : 논 152, 밭 125 -물리성 : 토성, 모암, 구조 발달 미흡 -비옥도(고/저) : P, K/Ca, Mg	-보수력, 보비력 -토양산성 -토양비옥도 불균형
수자원	-한밭, 집중강우(6월 하순 ~ 9월 중순)	-관개, 배수, 수리시설, 수원
재배작물	-곡류, 노지채소 ⇒ 과수, 시설원예	-소득위주로 환경부담 가중
작부체계	-답리작채소, 소득작물 위주 혼재	-농약, 비료, 노동력, 생산비
시비기술	-시비기준 대비 과다시비(1.24배)	-시비기준 재설정

※ 자료출처 : 환경친화적 농업자원관리를 위한 농업환경분석과 정책개발 Workshop, 광한강(2004)

농촌지역에서는 강우시 외에도 평시에도 비점오염물질의 유출이 일어난다. 우리나라는 4대강 수계에서 농업활동에 의한 영향이 4대강 비점오염 전체 오염부하량(BOD) 1,027 톤/일 중 산림지역 배출량을 제외하고 순수하게 토지이용형태를 논과 밭을 대상으로 하였을 때 약 32톤/일로 전체 부하량의 3% 정도로 평가되고 있다. 미국에서 농업활동이 주는 영향은 국가측정망 하천에서 18%, 호소면적의 14% 정도로 조사되었으며, 수질이 나쁜 하천과 호소에서는 각각 48%와 41% 수준으로 나타났다(EPA, 2002).

(표 2-19) 농촌지역 비점오염 유출형태

구분	유출시기		유출특성	지배요인
	평시	강우시		
논	○	○	•쓰레질시 높은 탁도 배수 •용존성 물질, 내분비장애물질 등 배출 •농약·비료 사용 후 강우	•계절적 변화, 영농방식(홀러 대기 선호), 적정시비처방서에 의한 적정량 살포
밭	△	○	•평시 과다 관개시 배출가능 •토양입자와 흡착된 상태로 배출	•작물별, 경운상태, 연작, 객토
임야	×	○	•피복상태에 따른 변화	•벌목·벌채, 임도개설, 경사도
축사/축분	△	○	•청소주기에 따른 유출량 변화 •높은 영양염 농도 유출 •농약성분과 중금속 성분 함유	•시설규모와 가축분뇨 처리방식, 축종, 비가림시설, 축사의 형태
하수	○	○	•상시 배출	•관거정비상태, 배출구위치

○ : 배출, △ : 배출가능, × : 배출 안됨

다) 농촌지역 토지이용에서 비점오염관리기술

농촌지역 토지이용에서 발생하는 비점오염물질 관리기술을 종합하면 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1)오염발생원 관리

① 침식억제시스템 도입

식물심기, 나지의 식생, 표면덮개, 우회수로, 울타리치기, 방풍림 조성, 식생여과대 조성

② 경작시스템의 개선

Ridge plant, Strip tillage, Sweep tillage, 계단식 토지조성

③ 가축폐기물의 적정관리

계획방목시스템 도입, 가축폐기물의 적정살포 및 시기조절, 폐기물 저장연못 및 저장시설 설치

④ 영농방법 개선

일부 경작법 및 윤작, 토양의 비옥도 증가, 파종시기 조절, 비료 및 농약사용 방법 개선

(2)수집시스템관리

⑤ 저류지 설치

보형 저류지, 연못형 저류지, 복합형 저류지

⑥ 인공습지 조성

식생수로형 인공습지, 식생대형 인공습지, 자연습지형 인공습지

⑦ 복합접촉산화시설 설치

자갈접촉산화시설, 복합접촉산화수로, 끈상미생물 접촉산화시설

(3) 토지이용규제

⑧ 습지보전, 개발억제

라) 구조적 BMPs(Best Management Practices)

최적관리기술을 크게 보면 구조적 수단과 비구조적인 수단이 있으나 여기서는 현재까지 개발된 정책수단과 기술적 대책을 구조적 BMP 유형과 대표적인 구조적 BMP를 나타내면 다음과 같이 정리할 수 있다.

(1)유형

① 저류형-침전에 의한 오염물의 제거

② 침투형-침투능 증가를 통한 오염물 제거

③ 식생형-식생을 이용한 오염물 제거

(2)대표적인 구조적 BMP

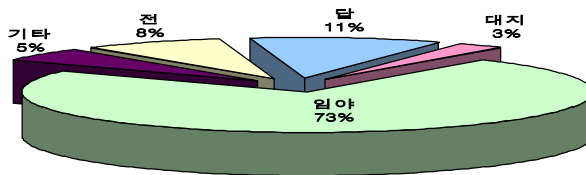
- ① 저수지나 다공성의 포장도로를 통한 침투시스템
- ② 저류지나 지하 저류실을 통한 저류시스템
- ③ 습지와 같은 체류시스템
- ④ wetland 건설
- ⑤ 미디어와 생화학반응을 이용한 여과시스템
- ⑥ 수로의 식물을 이용한 수생식물 처리시스템
- ⑦ 직접 연결되는 불투수성 표면의 최소화
- ⑨ 유수분리기나 유체역학적 구조물 등을 이용한 혼합 장치형시스템
- Stormceptor, Stormfilter, Stormtreat, Hydrasep, CDS Technologies, BaySaver, Vortechs 등

마) 농촌지역 토지이용에서 최적관리기술 선정

농업용 저수지의 유역 내 토지이용 유형을 보면 임야가 73%를 차지하여 거의 대부분이며 농경지(전답)이 19%를 차지하는 것으로 조사 되었다.

농업용 저수지의 토지이용(비점오염원)형태 분포는 아래와 같다.

구 분	토 지 이 용				
	전	답	대 지	임야	기타
면적(ha)	24,617	33,340	8,210	223,500	16,406
비율(%)	(8)	(11)	(3)	(73)	(5%)



<그림 2-20> 농업용 저수지 토지이용(비점오염원)형태 분포현황

비도시지역의 비점오염 최적관리기술을 도시지역의 비점오염 최적관리기술과 분명하게 차이를 두어 구분하기란 매우 어려우므로 주변여건에 알맞고 처리효율이 우수한 관리기술이라면 구분 없이 적용하는 것이 합당하리라 판단된다. 따라서 비도시적 토지이용비점오염원의 오염부하 조절을 위한 관리기술을 현

장에 따라 다양하게 적용할 수 있으며 배수구역의 오염 심각성, 발생원의 종류, 필요한 관리능력, 토양의 종류 등을 우선 고려하여 선정하도록 한다.

- 농경지에서 비점오염 유출량 저감을 위한 저류지, 인공습지 조성
- 축산지역에서 저류지, 식생여과대 조성

축산농가는 규모면이나 입지면에서 다양하게 분포되어 있고 그 오염강도가 다른 오염발생원보다 상대적으로 크다. 그러므로 축산지역 하류지역에 저류지, 식생여과대 등을 설치하여 강우시 우수유출수의 오염부하량을 최대한 저감시켜 공공수역으로 유입될 수 있도록 유도한다.

- 산지지역에 식생여과대, 수림대, 저류지 조성

산지는 자연식생에 의해 우수에 의한 침식저항능력 및 보수능력이 좋을 뿐만 아니라 자연정화능력이 우수하여 다른 토지보다 오염유출율이 상대적으로 작다. 그러나 건설행위로 인한 식생훼손 및 토사노출로 인해 강우시 우수유출수에 토사류 등의 비점오염물질이 발생하는 것이 큰 문제이다. 따라서 관리기술은 식생의 조기복원으로 침식제어를 유도하고 하천유입부에 식생여과대, 수림대, 저류지 등의 완충시설을 설치하여 오염물질의 하천 직유입을 차단시킬 수 있도록 유도한다.

- 소규모 오염하천에 하천정화시설인 복합점축산화시설, 응집침전시설의 운영

(1) 일반적인 고려사항

- 강우유출수 처리 적합성

WQv(water quality volume, 처리해야 할 강우유출수의 양)처리능력: 대상 비점오염 저감시설이 WQv의 처리와 할당된 오염물질 제거를 감당할 수 있는지를 나타낸다.

- 상대적인 처리성능

- TSS제거능력: 대상 저감시설의 강우유출수에 함유된 TSS 제거능력을 나타낸다.

-영양소 처리능력 : 대상 저감시설의 질소와 인 같은 영양소 제거능력을 나타내며 하류 방류수계에서 영양소 처리능력에 대한 관심이 클 때 적용한다.

-박테리아 제거능력 : 대상 저감시설이 박테리아 제거에 얼마나 효율적인지를 나타낸다. 이러한 처리능력은 해수욕장 등 위락지구로 설정된 수계나 오염총량제 (TMDL)에서 규정한 장래 수질기준을 만족시켜야하는 수계에서 중요하다.

-특별관리구역 강우유출수의 처리능력 : 대상 비점오염 저감시설이 특별관리

대상 유역으로부터 발생하는 강우유출수를 처리할 수 있는지 여부를 나타낸다. 특별관리구역은 공장, 주유소, 편의시설, 요트장, 차량유지관리사무소, 정비공장, 화학물질 야적장, 유통단지, 상업용 양식장시설, 폐차장 등을 말한다.

◦ 현장 적용성(물리적인 실현성)

-집수면적 : 대상 저감시설에 요구되는 대략적인 최소 또는 최대 유역크기를 제시한 것이다. 관련당국은 현장여건과 제안된 저감시설을 검토한 후 예외적으로 최소/최대 유역크기를 변경하여 승인할 수 있다. 저류형 또는 습지형 저감시설에 대해 제시된 집수면적에 관한 요건은 융통성 있게 대응해야 하며 시설로 유입되는 가용한 기저유량과 유출부 폐쇄를 방지하는데 동원되는 기계적인 방법과 상시적으로 물이 차있어야 하는 저수공간을 유지하는데 사용된 설계방안(예를 들어 습지바닥의 라이닝 처리)에 따라 증감할 수 있다.

-부지요구도 : 대상 저감시설을 설치하는데 소요되는 부지면적을 대략적인 전체 집수면적의 비율(%)로 표현한 것이다.

-설치예정부지의 경사도 : 입지 후보지의 경사가 대상 저감시설에 미치는 영향을 평가하기 위함이다. 특히 경사에 관한 제약조건은 시설이 설치되는 부지가 얼마나 평탄해야 하는 지를 의미한다.

-최소수두 : 대상 저감시설을 중력흐름에 의해 운영하는데 요구되는 최소 표고차를 의미한다.

-시설의 바닥으로부터 지하수위까지 거리: 계절적으로 최고 지하수위와 대상 저감시설의 바닥 또는 하부와 유지해야 할 최소한의 이격거리를 나타낸다.

-방류하천: 저감시설이 하천과 인접하여 설치되는 경우 저감시설 유출수가 방류하천으로 자유롭게 유출될 수 있어야 한다. 방류하천의 수위증가는 배수효과를 일으켜 저감시설 유출수가 원활하게 배출되지 않아 침수피해가 발생하고 저감시설 성능평가를 위한 모니터링이 불가능한 경우를 발생시킬 수 있다.

◦ 기타 고려사항

-건설비 : 대상 저감시설의 건설비를 불투수지역 면적 당 상대적인 건설비로 순위를 정한 것으로 과거 공사경험으로부터 산출된 것이다.

-유지관리의 난이도 : 대상 저감시설의 유지관리 난이도를 유지관리빈도, 만성적 유지관리 문제(예를 들어 폐쇄 등)와 적용실패빈도 측면에서 평가한 것이다. 모든 저감시설은 규칙적인 유지관리가 필요하다는 사실을 염두에 두어야 한다.

(2) 세부적 고려사항

◦ 지형학적 요인

-평탄지 : 평탄지역에 저감시설을 설치하고자 할 경우 중력흐름을 담보할 수 두차의 확보여부를 검토한다.

-경사지 : 경사가 급한 지역에는 토사의 침전제거나 유출속도의 경감을 목표로 설치되는 저감시설의 설치가 곤란하다. 또한 제방의 높이에 영향을 주므로 일부 저감시설의 적용이 쉽지 않을 수 있다.

-침식된 석회암 지대: 오염물질이 쉽게 침투하여 지하수 오염을 초래하므로 이러한 문제를 야기할 수 있는 저감시설의 설치를 금해야 한다. 습지나 저류지 형태를 갖는 저감시설은 상시적으로 물이 차있어야 하는 저수공간 유지가 불가능할 것이다.

-하천둔치와 저수지 홍수부지: 하천둔치는 부지확보의 용이성 때문에 후보지로서 선호되고 있다. 그러나 여름철 장마기 하천범람으로 저감시설의 유지관리에 큰 어려움이 있다. 가급적 입지후보지로 선정하지 않는 것이 좋다.

◦ 토질

주요 평가인자는 NRCS 수문학적 토양그룹 조사 자료에 기초한다. 부지로 선정된 지역의 토양에 대한 침투속도와 투수성 및 기타 관련 인자를 확인하기 위해서 정밀한 현장 지질시험을 수행한다.

◦ 설계

구조적 저감시설의 설계는 기본적으로 방류하천 수계의 지역적 특성에 의해 영향을 받는다. 경우에 따라 생물자원을 보호하고 인간의 건강과 안전을 보호해야하므로 보다 높은 효율의 오염물질 제거성능이 필요하다. 또 하나 중요하게 검토해야 할 사항은 식수원으로 이용되는 지하수나 하천, 저수지를 보호할 필요가 있느냐는 점이다. 설계에 반드시 반영해야 할 사항은 특별관리지역 강우유출수의 침투를 방지함으로써 혹시 발생할지 모르는 지하수 오염을 방지해야 한다는 점이다. 이와 동시에 오염되지 않은 강우유출수에 의해 건기 시에도 하천유량과 지하수량이 유지될 수 있도록 해야 한다. 유역으로부터 지표면 유출을 통하여 강우유출수가 상수원으로 이용되는 댐과 저수지로 유입되는 경우에는 특별한 관심이 필요하다. 처리과정에서 적용 가능한 처리공법에 의해 결정될 문제이지만 처리대상 오염물질 즉 병원성 미생물, 영양소, 토사, 중금속을 훨씬 높은 수준으로 제거할 필요가 있다.

◦ 입지와 인허가 관련 사항

설계자는 물리·환경적 특성을 평가하여 선정된 저감시설(또는 조합된 저감시설)을 적용할 입지 후보지를 결정한다. 이 때 지자체나 중앙정부에서 규제하고 있는 저감시설 입지규정을 검토하여야 한다. 대규모 저류형 시설과 습지형 비점

오염 저감시설을 설치하고자 할 경우에는 사전에 하류지역 주민과 수리권 문제를 협의하는 것이 좋다.

이상을 요약 정리하면 배수구역, 토지이용, 평균 강우주기, 강우지속시간, 강우 강도, 유출량과 유출율, 토질, 경사도, 지질/지형, 가용 토지, 개발계획, 유역의 토지이용, 지하수 깊이, 초지 BMP에 사용할 용수 가용성, 결빙성, 안전성, 유지관리를 위한 접근성, 중장기 유지관리 필요성 등이 종합적으로 검토되어야 한다.

(3) BMPs 설계요령

○ 설계시 고려사항

설계 상태는 BMP 설계 시 1회성 강우나 또는 극심한 강우의 경우에도 저장되고 방류되는 유출량을 제어할 수 있도록 계산되어야 한다. 예를 들어 외국(뉴저지주)의 강우관리규제의 경우 유출은 2, 10, 100년 강우시 개발지의 유출 peak율을 제시하도록 하여 개발전의 peak율을 초과하지 못하도록 하고 있다. 강우 수질제어의 경우, 일반적으로 임시 저장시설을 갖추어서 소량의 빈번한 강우시 침전을 통하여 오염물질을 제거한다. 뉴저지의 강우관리 규제의 경우 1년 강우로 인한 임시유출 저장시설은 18시간에서 36시간까지 저장할 수 있도록 하고 있다.

설계자는 극심한 강우의 경우를 고려하여야 하며 이 경우에도 안전성을 보장할 수 있어야 한다.

정기적으로 발생하는 악천후도 있지만 구조적 BMP 운영의 가장 일반적인 조건은 맑은 날씨(기상은 온도, 바람, 습도 등은 다양)이다. 때문에 가장 일반적인 기상상태인 맑은 날의 BMP의 외관, 냄새, 심지어는 소음까지도 고려해야 한다. 이러한 것들은 BMP의 유지관리자, 거주자, 작업자, 출·퇴근자에게 민감한 사항이다. 그러므로 BMP 설계자는 강우시 뿐 만 아니라 맑은 날의 상태도 고려해야 한다.

BMPs 설계 시 설계자는 선택한 설계방법에 대한 충분한 이해를 하고 있어야 한다. 이러한 방법은 강우 유출계산, 수위도 결정, 침투, 지하수 이동, 구조 설계, 지질학적 측면 등에 해당된다. 설계자는 이러한 부분들을 명확히 파악해야 한다.

설계를 하기 전 마지막으로 확인해야 할 점은 구조적 BMP의 형태 결정이다. 현재 구조적 BMP는 수생식물 수로에서부터 wetland 건설까지 그 범위가 다양하다. 사업계획의 요구사항, BMP 위치, 부지 상태, 유지관리 필요사항, 안전

성, 비용 등의 요소를 고려하여 최적의 BMP 형태를 선택하여야 한다.

○ BMPs 설계요소

-안전성

BMP의 안전성은 가장 중요한 요소이다. 만약 BMP의 저장된 유출물이 배출된다면 인근 주민의 생활에 위협이 될 수 있다. 그러므로 BMP의 위험요소는 최소한이 되도록 해야 한다. 유지관리 인원, 검사인원, 모기 등의 유해곤충 제어 인원, 시설 운영자들의 안전성 또한 고려해야 한다. 대표적인 위험요소는 깊은 수심, 급경사, 걸어 다닐 때 미끄러움, 서식하는 벌레나 동물의 위협 등이다.

-현실성

BMP의 안전성이 확보된 이후 설계자는 stormwater의 저류시간, 유속, 침전속도, peak율의 감소, 지하수의 재충전 등을 포함한 시설의 실행성을 고려하여야 한다. 또한 BMP의 배출능력을 초과하여 유출수가 유입될 때와 같은 비상시에 도 BMP는 적절히 운영될 수 있어야 한다. 그러나 운영기준들은 모호하거나 모순되고 만족시키기 불가능한 경우가 있다. 예를 들면 실행기준상에는 BMP의 설계시 peak율과 총 유출량을 동시에 줄이도록 하고 있다. 부지상의 제한으로 침투나 재충전조(basin)를 이용해서 이 문제를 해결하지만 이는 head scratch를 발생시킨다. 이런 경우 설계자는 명시화된 규정 및 규제 of 진정한 목적을 파악하여 바람직한 결과를 얻어야 한다.

-건설

설계자는 BMP의 건설도 중요시해야 한다. 안전성과 실행성을 만족시킬지라도 실제 건설 후 제 기능을 못할 수 있기 때문이다. 사용되는 물질은 유용하고 적당한 가격이어야 하며 특별한 조작이나 기술이 필요하지 않아야 한다. 기술적인 요소와 설비들도 역시 간단하고 수월하여 일반인에게 쉽도록 하여야 한다.

-유지관리

유지관리 역시 건설과 마찬가지로 중요하다. 양호한 유지관리로 인하여 시설의 상태가 좋아짐은 물론 지역사회에서도 유리하게 작용하게 된다. 반대의 경우 유지관리가 부적절할 경우 지역사회에서 부정적으로 여겨지게 된다. 그러므로 유지관리는 지역의 강우관리프로그램 성공여부에 직접적으로 관계된다. 고려할 사항은 다음과 같다

내구성 : 다양한 물리적인 상태를 견딜 수 있어야 함

유지관리를 위한 적절한 접근로 : 이동로, 저장 및 처분지역, 작업지역 등

- 비용

설계자는 BMP의 비용을 고려해야 한다.

BMP 건설비용 : 실제 건설시 들어가는 비용

BMP 설계비용 : BMP 설계 및 자료 조사, 유지관리 방안 수립 등에 대한 비용

유지관리 비용 : BMP가 적절히 운영될 수 있도록 소요되는 비용이며 지속적으로 필요하다.

바) 비점오염원 저감 탁수 대책

미국의 농무성은 자연자원을 흙(토양), 물, 공기, 식물, 동물 등 5가지로 정의하였다. 또한 자연자원을 보호하기 위한 새로운 정책이나 기술을 도입할 때 평가해야 할 고려사항 71분야를 이들 5가지의 항목별로 구분하여 정리하였다(SCS, 1990, 1992).

탁수저감대책도 자연자원을 보호하기 위한 대책의 일종이다. 따라서 탁수저감 대책을 도입할 때는 도입될 저감대책이 탁수 뿐 만 아니라 환경과 농업생산성에 미칠 영향도 종합적으로 고려한 후 도입할 필요가 있다. 미국 농림부에서 각 자연자원별로 고려해야 할 점검항목은 다음과 같다.

흙(토양)은 토양유실, 토양의 상태 및 유사퇴적으로 구분하였다.

토양유실은 면상 및 세류침식, 풍식, 작은 gully, gully, 제방유실, 관개에 의한 유실, 산사태, 도로사면과 건설현장의 유실, 기타 등 9 항목을 평가한다.

토양의 상태는 경운, 다짐, 화학물질, 가축분뇨, 비료, 농약, 기타 등 7 항목을 평가한다. 그리고 유사퇴적은 토양의 질 저하, 도로, 철도 및 교량의 안전성, 기타 등 3 항목을 평가한다. 따라서 토양유실면에서는 29 항목을 평가하도록 추천하고 있다.

물은 수량과 수질로 구분하였다. 수량에서는 침출수, 유출량, 중간유출, 유출구의 적정성, 관개수 관리, 비관개수 관리, 배수로의 통수량 감소, 호수와 하천의 저수량과 통수량의 감소, 기타 등 9 항목을 평가한다. 수질에서는 농약, 영양염류와 유기물, 염분, 중금속, 병원균, 기타 오염물질이 각각 지하수와 지표수에 미치는 영향, 부유물질과 탁도, 용존산소, 온도 등이 지표수에 미치는 영향, 그리고 수중동식물 서식처 안정성 등 15 항목을 평가한다. 따라서 물에서는 24 항목을 평가하도록 추천하고 있다.

(1) 탁수저감대책 개발 시 고려사항

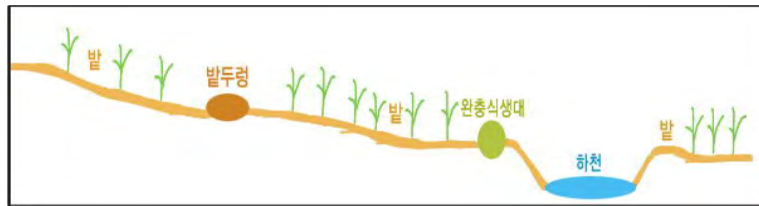
어느 한 종류의 탁수 저감 기술을 개발하거나 설계하기 위해서는 그 기술의 잠재적인 탁수저감 가능성, 기술적용의 한계, 농업생산성에 미치는 영향, 농민의 수용성과 호응도, 지역의 특이성(site-specific)과 연관성, 탁수 외 다른 수질지표(지하수 및 지표수)에 미칠 수 있는 영향, 기타 자연환경에 미칠 수 있는 영향 등을 종합적으로 분석하고 평가할 수 있어야 한다.

(2) 흙탕물저감시설 설계기준

◦ 완충식생대

- 개요

고랭지 밭과 하천 사이, 넓게 형성된 밭과 밭 사이, 밭과 도로 사이에 식생대를 조성하여 물이 흙탕물로 오염되는 것을 완충하거나, 강우유출수가 집중되는 것을 완충 하는 곳을 말한다. 우수에 포함된 오염물질이 여과되기 때문에 식생 여과대 라고도 한다. 흙탕물뿐만 아니라 농약, 비료 등의 비점오염을 저감하는 기능도 한다.



<그림 2-21> 흙탕물 저감시설- 완충식생대 개념도

- 적용대상 및 적용조건

하천과 고랭지 밭 사이, 경계 턱이 없는 도로변 고랭지 밭 말단, 도로면 보다 높아진 고랭지 밭과 도로 사이, 넓게 형성된 고랭지 밭과 밭 사이에 식생대를 조성하는 것이 바람직하다. 자연적으로 식생대가 조성되어 있는 경우 이를 활용하며, 최대한 보전한다.

- 설계기준

완충식생대는 경사도가 높은 상부에서 흘러내리는 흙탕물의 유속을 경감하여 충분한 저감효과를 확보하기 위하여, 유역면적 및 경사, 주변 여건 등을 고려하여 충분한 폭을 확보하는 것이 바람직하다. 완충식생대의 폭은 현지 여건 등을 고려하여 결정하되, 기존문헌에서 제시하고 있는 등고선 방향으로 폭 1.0

~1.2m이상이 되도록 조성한다.

·식생의 초본류 선택 시에는 다음 사항을 고려한다.

현지기후, 토양 등 적응력, 면역력이 커야 한다.

농약에 대한 내성이 강해야 한다.

다년생으로 뿌리 활착율이 높아야 한다.

·기타 식재된 식생이 활착되고 유지되도록 유지관리계획을 수립한다.

◦ 수로형 시설

- 개요

흙 수로에 식생을 식재하는 수로로써 식생의 활착이 안정화가 되면 우수로 인한 흙탕물제거에 탁월한 기능을 가지고 있지만 식생의 활착이 어렵고 식생이 잘 조성된 수로일지라도 고랭지 밭에 살포하는 농약 등이 강우에 씻겨 식생수로 유입되어 식생에 악영향을 미칠 수 있으며, 겨울에는 식생의 생육이 어려운 점이 있다.

- 적용대상 및 적용조건

수로형 시설은 임야와 인접한 밭, 고랭지 밭, 배수유역이 넓은 지역과 인접한 경작지, 도로와 인접한 경작지, 하천과 인접한 경작지, 넓은 면적의 절개지와 인접한 경작지 등에 우수유출량을 배제할 목적으로 설치한다.

빗물우회수로의 경우 경작지 외의 빗물을 경작지 내로 유입시키지 않고 우회시켜 배제시킴으로서 결국 경작지 내에서의 흙탕물 발생량을 줄이고자 할 경우에 적합하며 빗물우회수는 경작지와 임야, 절개지, 도로 등과의 경계면에 설치한다.

배수로는 비교적 경작면적이 넓어 경작지 내에서 발생하는 우수량이 상당히 큰 경우나 경작지의 경사가 급하여 경작지 내에서 발생하는 강우와 흙탕물의 발생량과 유속이 하류부에 와서 상당히 커질 개연성이 큰 경작지 혹은 토질의 특성상 작은 강우에도 세굴이 쉽게 일어나는 토양을 가지는 경작지 등에 적합하다.

콘크리트 재질의 수로의 경우 비교적 경사가 급하여 강우 시 유수의 유속이 매우 커져서 세굴이 심해질 가능성이 높은 지역에 적합하다.

식생수로는 토사측구에 인위적이든 자연적이든 초본류의 식생을 식재하여 서식시킴으로서 발생하는 흙탕물의 부유토사를 일부나마 저감시키고자 하는 수로로서 비교적 완경사지에 적합하다.

돌붙임 수로의 경우 붙임 돌의 자중과 강도 등에 의해 세굴에 견고한 수로를

건설하고자 할 경우에 적합하며 외관이 수려한 수로를 설치하고자 할 경우에 적합하다

기타 친환경 고화재수로의 경우 상대적으로 고강도 재질의 수로를 필요로 하지 않으면서, 지역이나 현장 특성상 친환경 재질의 수로를 필요로 하는 경우에 적합하다.

-설계기준

① 수로의 단면

수로의 통수단면적은 유역면적 대비 확률강우량과 계획빈도 홍수량을 정확히 산정하여 충분한 단면을 확보할 수 있도록 하여야 한다.

산과 접한 고랭지 밭의 빗물우회수로는 우기시 지하수 용출여부를 고려하여 설계하여야 한다.

수로의 단면형은 현지 여건과 경사, 필요 통수단면적, 시공 및 현장 접근 용이성 등을 감안하여 직사각형, 사다리꼴, 반원형 등이 가능하다.

하류부에 설치하는 배수관은 토사의 퇴적에 의한 단면의 축소 우려가 있으므로 이를 고려하여 20% 정도의 단면적 여유를 두는 것이 바람직하다.

배수로의 경우 침전 및 유지관리와 현지여건을 감안하여 관경을 결정한다.

연약지반 위에 설치되는 수로는 침하가 발생할 경우 수로의 통수단면 부족 등의 기능상 각종 지장을 초래하게 되므로 침하방지 및 관리대책을 수립하여야 한다.

② 수로의 경사 및 유속

수로 내 평균유속은 흐름특성을 적합하게 반영한다고 인정된 방법을 이용하여 산정하여야 한다.

수로 내 최대유속은 3.5m/sec 이상이 되지 않도록 설계하는 것이 바람직하다.

유속이 4.0m/sec 초과 시 낙차공을 설치하여 유속을 저감시킬 필요가 있다.

수로에서 경사가 급할 경우 소규모 낙차공이나 급류공을 설치한다.

콘크리트 수로에는 미끄럼방지 전단키를 설치하는 것이 바람직하다.

③ 수로의 설치

강우유출수의 배제가 용이한 위치에 설계한다.

콘크리트 수로는 기성제품을 사용할 수도 있고 현장타설 할 수도 있다. 현장 여건을 고려하여 콘크리트 타설 장비의 접근 용이성, 시공성, 기성제품 운반거리 등을 고려하여 결정하여야 한다.

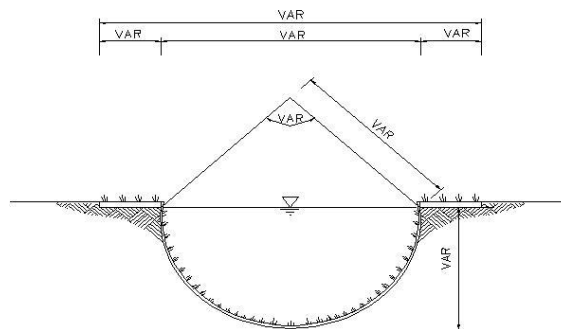
식생수로의 경우 설치 초기 토사의 세굴 등을 방지할 수 있는 조치가 필요하다.

식생수로의 경우 수로 내 초본류 조성은 다년생 풀을 식재하고 풀씨를 이용할 경우 코어 네트나 벚짚 혹은 거적 등을 덮는 것이 바람직하다.

유속이 빠른 구간에 식생수로를 설치하는 경우는 식생수로의 하상 침식방지를 위하여 식물식재를 지양하고 자연석(돌틈 사이에 자연식생 형성) 등을 이용하여 침식을 예방하고 유속을 저감시키는 것이 바람직하다.

수로의 일부구간을 암거로 할 경우 최고수위는 받 지면 보다 낮아야 한다.

수로변의 지형적 특성을 파악하여 사면이 보호, 보강되어 있지 않은 지역은 토석류에 의한 퇴적이 우려되므로 가급적 경사면 보호공과 함께 설치한다.



<그림 2-22> 흙탕물 저감시설-식생수로 단면도

3. 식생정화방법에 의한 수질개선

가) 수생식물에 의한 수질개선

수질환경을 개선하는 생물의 능동적 반작용은 일찍부터 자연정화의 하나로 인식되어 왔으나 그 기능을 인위적으로 극대화하려는 시도는 1950년대 말 이후 구체화 되었다. 이러한 생태공학적 기술은 크게 폐·하수처리를 통한 오염원관리 (source control) 기술과 자연수면에서의 생물관리(生物操作, bio-manipulation) 기술로 대별된다.

생물조작은 인위적으로 동·식물플랑크톤과 수생식물 그리고 어류 등을 호수에서 제거하는 것이다. 식물플랑크톤은 수 표면에 떠있는 기름을 제거하는 방법을 응용하여 조류를 건져내거나 여과함으로써 제거할 수 있다. 그러나 이러한 방법은 많은 비용이 소요되기 때문에 기술적인 제한을 받는다. 또한, 이러한 기술은 식물플랑크톤의 생물량이 높은 곳에서만 가능하며, 제거된 식물플랑크톤은 돼지나 어류 등의 먹이로 사용될 수 있으며, 하수정화시설에서 이용될 수도 있다. 수초는 손이나 기계를 이용해서 제거하는데 비교적 힘들고 경제적

인 비용이 많이 소요되며 특히, 기계적인 제거는 수초의 밀도가 높은 경우에만 효과적일 수 있다. 수초를 제거하는 기술 선택은 장소의 상태에 따라 다르며, 대체로 6월에서 11월에 제거되는 수초는 지역의 상태, 날씨 환경 그리고 영양염류의 농도에 따라 좌우된다. 만약, 너무 일찍 수초를 제거하는 경우에는 나중에 재성장한 수초를 제거해야할 번거로움이 생길 수 있다. 또한 제거된 수초더미를 호숫가에 방치하는 경우 다시 호수로 유입될 가능성이 있기 때문에 처리장소 혹은 격리된 시설로 운송해야 한다. 이러한 방법은 비교적 소규모 호수에서 적용된다. 어류의 제거는 먹이연쇄의 변화를 통해 1차 생산자 즉 조류의 성장을 억제할 수 있는 효과 외에 수체 내에서 인(어류의 조직에 포함된 인)을 제거해 내는 효과를 가진다. 이상에서 열거된 방법은 소규모 호수에서는 단기간에 그 효율을 얻을 수 있는 반면, 큰 호수에서는 장기적으로 효과를 얻을 수 있다.

수생관속식물(vascular hydro-phytes)이나 습생식물에 의한 자연정화기술은 1960년대 이후 기존의 물리화학적, 미생물학적 유기물처리의 보완, 영양물질에 대한 고도처리, 수질정화와 친수효과를 겸한 습지biotope, 실내공기오염의 정화 등에 널리 적용되어 왔다. 정화식물로 이용하는 대형 수생식물은 다양한 영양단계와 생활형을 가지고 있으며 그에 따른 적용분야도 여러 유형으로 세분한다.

대형 수생식물에 의한 폐·하수처리는 1960년대 중반에 유기물질의 처리를 목적으로 부상되었으며 수질오염에 대한 완충지대로서 자연습지의 중요성은 1970년대 초반에 대두 되었다. 이 분야의 초기단계 연구는 미국 NASA의 부수식물 처리시스템과 토양-정수식물 여과처리시스템, 독일 MAX Plank연구소의 정수식물 라군처리 시스템(Emergent plant lagoon treatment)이 대표적이다.

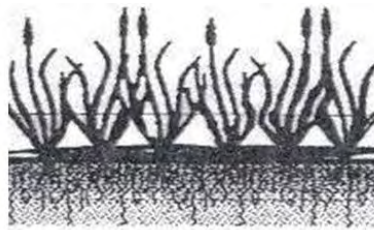
(표 2-20) 수생생물을 이용한 수질개선 기법

		Floating plant system
Water treatment (treatment field)		Rock/emergent plant filter system
		Macroalgae system
		Biofilm control by macrozoobenthos
		Piscivore addition
		Zooplanktivore removal
		Large zooplankter addition
	Top-down control	Phytoplanktivore addition
		Phytophagore addition
Biomanipulation		Refuge enhancement(habitat enhancement) (light, temperature, oxygen, macrophytes, predation interference, behavior predator inefficiency)
	Bottom-up control	Algal control by macrophytes
		Algal control by macroalgae

수생식물에 의한 오염물질 정화를 위한 물리적, 화학적(산소요구도), 생물학적 외부환경조건을 보면 아래 그림과 같이 간략하게 나타낼 수 있다.

생물학적 환경조건

Mature plants
Water
Dead plant litter
Organic soils & Roots
Mineral soils



산소요구도조건

Aerobic
Mild anaerobic
Strongly anaerobic

<그림 2-23> 수생식물에 의한 오염물질 정화조건

대형 수생식물 이용기술은 종래의 물리화학 및 미생물학적 처리시스템이 가지는 운영비 문제점을 보완함은 물론 시스템의 자연성과 수확물의 재이용성이 높다는 점에서 활발한 연구가 진행되었다.

(표 2-21) 수생식물에 의한 수 처리 시스템

Water treatment by aquatic plant	•Floating plant system
	•Rock/emergent plant filter system(planted soil filter system, subsurface system)
	•Wetland system, Biotope

수생식물은 각종 기능을 통해 수 처리 능력을 향상시키는 환경을 제공한다. 식물의 뿌리는 미생물의 부착매질로 이용되며, 식물 근계의 통기조직을 통한 산소의 전달은 미생물의 분해활동을 촉진하여 질산화나 탈질화작용을 유도한다.

(표 2-22) 수생식물의 주요 기능 개요

식물의 부분	기능	비고
뿌리	1. 박테리아의 성장 촉진 2. 여과제의 역할 및 고형물 흡착	
줄기 및 잎	1. 태양과의 차단으로 조류(algal)성장 방해 2. 수면위에서의 풍속저하유도 3. 대기중 가스의 수중으로의 전달 4. 식물의 침수된 부분으로의 산소전달	
기타	1. 고사체의 지면 동결 방지 2. 고사체의 여과기능	

자료: Constructed Wetlands and Aquatic Plan System for Municipal Wastewater Treatment, EPA, 1998. 9

식물은 미생물이 분해하는 유기물질을 영양염류로 흡수하고 식물은 합성된 유기물이나 대사산물을 미생물에게 제공한다. 이러한 기작에 의한 수질정화 효과는 유기물, 부유고형물, 영양염류, 병원성균과 중금속까지도 제거효율을 갖는다.

대형 수생식물에 의한 수 처리시스템에서의 수질개선은 식물과 미생물 및 저서생물(水底에서 살고 있는 생물)간의 상호공생 및 상승작용을 통해 이루어지며 아래와 같이 요약할 수 있다.

- 대형수생식물의 근계(root system)는 미생물의 매질이 됨.
- 근계는 입자성 물질을 전기적으로 혹은 기계적으로 흡착시켜 미생물의 먹이원을 제공 함.
- 통기조직을 통해 산소를 근계로 전달시켜 미생물의 유기물 분해활동을 촉진하며, 혐기조건의 근계에서 질산화를 유도하여 탈질을 촉진함.

- 미생물의 유기물분해를 통해 생성된 영양염류는 식물의 영양원이 되며, 식물이 합성한 유기물과 대사물질은 다시 미생물의 먹이원이 됨.
- 증균속이나 방사성물질을 흡수하며, 때로 유기물질을 직접 흡수하여 효소 대사함.
- 저서성 섭식소비자에 서식처를 제공하여 유기물질의 쇄설과 분해를 촉진시키며 무기화된 영양물질은 재 흡수함.
- 식물체 유기물의 공급, 산소 공급으로 낮은 부하에서 미생물의 buffer system 이 됨.

아래 표와 같이 식생종별 기능의 우수성을 제시할 수 있으며, 수변완충지대에 도입 가능한 식물종은 우선 수변지역에 자생하는 초본, 관목, 교목 등이 고려되어야 할 것이다. 이중 국내에서 일차적으로 검토할 수 있는 것은 제외지(법적으로 하천구역)의 경우 교목의 식재가 제한적이므로 잔디, 갈대, 달뿌리풀 등의 초본류와 갯버들, 조팝나무 등의 관목류가 추천되며, 제내지의 경우 포플라 등의 교목의 식재도 가능하다고 볼 수 있다.

(표 2-23) 식생종별(초본,관목,교목) 기능의 우수성

기능	초본류 (잔디)	관목	교목
강력침식 안정	낮음	높음	높음
유사 거름 (filtering)	높음	낮음	낮음
영양염류, 살충제, 세균 거름 - 유사입자에 흡착된 것 - 물에 녹아있는 것	높음 중간	낮음 낮음	낮음 중간
수생 서식처	낮음	중간	높음
초지/프레리 야생동물 삼림 야생동물	높음 낮음	중간 중간	낮음 높음
경제성 있는 산출물	중간	낮음	중간
경관 다양성	낮음	중간	높음

-미국 농무성(USDA, Forest service/NRCS,1997)

정수식물의 생태적 기능은 생태계에서 정수식물은 직·간접적으로 수질에 영향을 미친다. 정수식물은 생육기에 생산성이 높아 영양물질을 저토에서 식물체로 이동시키고 생장을 마치고 고사하며 분해될 때 오염물질을 생태계로 직접 유입시키므로, 수중의 물질순환에 중요한 역할을 한다. 특히 온대지방에서는 수개월에 걸친 생산기간과 고사 후 분해기간이 뚜렷하게 구별되어 반복되는 계절주기를 가진다.

정수식물에 의한 오염물질의 흡수와 배출 외에도 식물체 표면에 부착한 조류에 의해 질소와 인 등 영양물질의 흡수와 배출이 이루어지고 있다. 또한 정수식물이 번성하면 물이 정체되는 등 호소의 수리학적 인자가 변하여 수질에 간접적으로 영향을 미친다.

수생식물이 오염물질에 대한 수용부로 역할을 하는 정화기능이 있는지 혹은 오염물질에 대한 공급원으로 악영향이 있는지에 대하여는 오랫동안 논란이 계속되어 왔다. 뿌리를 저토에 박고 있는 정수식물의 경우 영양염류의 흡수는 대부분 뿌리를 통해 저토에서 흡수되며, 줄기와 잎에서 일어나는 흡수는 정수식물 자체보다는 식물체 표면에 부착한 부착조류나 미생물에 의해 일어난다. 식물이 성장한 후 사멸할 때는 수체에서 분해되므로 결국 저토의 영양염류를 수체로 이동시키는 역할을 하고 있다. 따라서 정수식물의 사멸기에 주기적으로 제거하면 수체로 이동하는 오염물질의 부하를 막을 수 있는 동시에 저토에 존재하는 잠재적 오염원을 제거할 수 있다. 또한 정수식물은 플랑크톤과 경쟁하여 수화를 방지한다.

수변부에 분포하는 대형 수생식물은 습지식물과 수중생활을 하는 유관속 식물, 대형 조류 및 선대류 등의 기초 생산자를 포함하지만 일반적으로 물 속 혹은 물 위에서 성장하거나 적어도 경엽부의 일부가 항상 물속에 잠겨 있는 유관속 초본식물로 제한하기도 한다. 대형수생 식물은 생활형과 생육지에 따라 분류되는데, 저토에 뿌리를 박는 유근성 대형식물은 부들속, 갈대속 등의 정수식물과 개연속, 수련속, 마름속 등의 부엽식물, 나자스속, 물부추속, 나사말속 등의 침수식물이 포함되고, 수중이나 수면에 떠서 생활하는 무근성 대형식물은 개구리밥과, 생이가래속 등 부유식물 등이 속한다(조강현, 1997). 갈대와 같은 대형수생식물은 소형수생식물이나 미생물에 비하여 수중의 많은 질소와 인을 제거할 수 있고, 미나리는 식용으로도 가능하며 수확하기가 용이하여 농촌과 소도시의 비점오염원에 대한 정화에 활용될 수 있다(조강현, 1992). 또한 갈대는 질소와 인의 제거능이 높아 주로 강 하류와 유기폐수의 유입이 많은 곳에 분포하며, 수중 영양염류의 제거에 크게 기여할 것으로 생각된다. 따라서 이들 대형수생식물들은 수변구역에 식재한 목본 등 정수식물과 연계하여 이용이 필요할 것으로 생각된다. 즉, 수중생태계에서 대형수생식물의 가장 중요한 기능은 1차 생산자로서 다른 영양단계에 에너지를 공급하고 물질순환에 기본 원동력을 제공하며, 흡수한 영양소를 고정하는 저장고의 역할을 수행하는 등이다. 그러나 대형수생식물이 흡수한 영양소는 고사 후 낙엽으로 되어

물속에 잠기고 즉시 유기물 분해와 영양소 용탈을 통하여 물속으로 유리되므로(Carpenter, 1980), 이들 대형수생식물이 기능을 다 한 후에는 즉시 제거하는 방법을 강구하는 것도 필요하다.

자연하천에서 하천식생의 중요성을 수질정화, 생물다양성 증대, 수문조절, 하안보호, 경관형으로 나누어 설명하면 다음 표와 같다.

(표 2-24) 자연하천에서 하천식생의 중요성

역 할	수 반 기 능
수질정화	부착생물에 의한 유기물 분해
	차광과 저해물질에 의한 식물플랑크톤 억제
	N,P흡수에 의한 식물플랑크톤 억제
	퇴적층(퇴적토)로 산소공급에 의한 인 흡착 촉진
	유해물질 흡수
생물다양성 증대	소비자에게 먹이공급
	하천 저서동물에게 유기 부니질 제공
	동물의 생육 및 산란지 제공
	생물 중 분산의 공급원
	동물의 이동과 이주에 영향
	수온을 저하시키는 그들의 제공
수문조절	지표유출수의 조절
	지표하 흐름(sub-surface flow) 제어
	물의 저장
	지하수 재충전
	에너지 분산
하안보호	파랑의 억제
	식물뿌리에 의한 침식방지
경관형성	시각적 경관미 및 쾌적성 가치 증대
	위락적 가치

연안대(추이대)의 생물군별 생물서식 기능을 보면 아래 그림과 같다.

역안대	육역	수변림	습지	중수적층	침화식물	침수식물	중대
생물군							
	-	-	-	OYA	OYA	OYA	YA
	A	A	A	OYA	OY	-	-
				OYA	OYA		
	-	-	A	OYA	OYA	YA	A
	-	-	-	OYA	OYA	OYA	A
	-	-	-	OYA	OYA	OYA	A
	A	A	A	OYA	OYA	OYA	-
	A	A	A	OYA	OYA	YA	A
	OYA	OYA	OYA	OYA		-	-
	OYA	OYA	OYAR	R			

범례 :O:산란, Y:어린개체의 생활 및 먹이원, A:성체의 생활 및 먹이원, R:둥지 및 보금자리

<그림 2-24> 추이대 생물서식 기능

한편 수질정화 시스템의 생태적 바이오톱 구조를 보면 아래 표와 같다.

(표 2-25) 생태적 수질정화 바이오톱 구조

구조	내용	적용 식지
침강저류지 (forebay)	흐수에 유입되는 물을 일시 저류하여 유속을 저하시키고 침전시킴	연꽃
습지 (wetland)	수생식물지 (marsh) 식생에 의해 오염물의 침전, 흡수를 통한 정화 등이 이루어짐 수생식물지는 4단계로 구성됨	애기부들, 갈대, 부들, 물억새, 달뿌리풀, 줄
	개방수면 (open water) 탈질화를 통한 수질정화 이루어짐	노랑어리연꽃, 수련,마름 등
	연못(pond) 용존산소 보충, 부유물질의 침강	고마리, 꽃참포, 수련 식재
침전지(micro pool)	산소공급 및 재부유방지용으로 습지 말단부에 설치	연꽃

수질개선을 위한 수생식물의 선택은 정수식물은 근대의 발달도가 높고 밀생하여 미생물에 대한 부착 매질로서 양호한 조건을 제공해 주고 통기조직을 통한 산소의 공급으로 유기물의 분해나 탈질을 유도함에 반해 체내의 질소, 인 함량이 낮고 성장속도가 낮아 영양염류의 흡수능은 미약하며, 수거가 어려운 반면 사료나 비료로서의 재이용성은 크다. 부수식물인 부레옥잠은 여러 면에서 수처리에 적합한 식물이나 과밀하게 성장된 경우는 수표면에서 공기와의 산소 유통을 차단하여 용존산소를 결핍시키며, 내한성이 낮아 국내의 자연수역에서

는 적용이 시기적으로 제한적이고 수분함량이 높아 운반이 쉽지 않다. 이에 반해 좁개구리밥은 상기한 문제점은 갖지 않으나 생체량이 작고 근대발달이 적어 제거능이 상대적으로 떨어진다. 정수식물인 미나리는 정수식물과 부수식물의 중간 수준의 장점을 가지며 내한성이 커서 국내의 기후 조건에 적합하다. 부엽식물과 침수식물은 자연 습지에서 영양구조의 한 구성원으로서 중요한 역할을 하나 수처리용 식물로는 효과가 적다. 대체로 갈대나 부들류는 주로 유기물제거에, 부수식물은 영양염류제거에 효과적이다(표 2-26 참조)

(표 2-26) 수생식물의 수질정화 적용성

구분항목	세분항목	정수식물				부엽식물		침수식물		부수식물		
		갈대	줄	애기부들	미나리	마름	연꽃	새우가래	검정말	좁개구리밥	생이래	부레옥잠
유기물 제거능	근대발달도(대형, 조밀)	○	○	○	○	△	△	×	×	△	△	○
	산소결핍도(낮음)	△	△	△	×	○	○	○	○	○	○	×
	잔사생물 부착도(높음)	○	○	○	○	△	△	△	△	×	×	△
영양염류 제거능	생체량(높음)	○	○	○	△	△	△	△	△	×	×	○
	질소, 인 함량(높음)	×	×	×	△	△	△	○	○	○	○	○
	증식속도(높음)	×	×	×	△	△	×	×	×	○	○	○
재배	지하경(소형)	×	×	×	○	△	×	△	△	○	○	○
	내한성(높음)	△	△	△	○	△	△	△	△	○	△	×
수심	생육수심(얕음)	△	△	△	○	×	×	×	×	○	○	○
운반	수분함량(낮음)	○	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×
재이용	사료,비료 전환도(높음)	○	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○

※ ()안의 조건을 만족할수록 적용성 큼; 적용성 ○ 양호 △ 보통 × 불량, (자료:공동수, 1996)

○ 정수식물은 근계의 발달도가 높고 밀생하여 미생물에 대한 부착매질로서 양호한조건을제공해주고통기조직을통한산소의공급으로유기물의분해나탈질을유도함에반해체내의질소, 인 함량이 낮고 성장속도가 낮아 영양염류의 흡수 능력은 미약하며, 수거가 어려운 반면 사료나 비료로서의 재이용성은 크다.

○ 부수식물 중 부레옥잠은 여러 면에서 수 처리에 적합한 식물이나 과밀하게 성장된 경우는 수 표면에서 공기와 산소유통을 차단하여 용존산소를 결핍시키며, 내한성이 낮아 국내의 자연수역에서는 적용이 시기적으로 제한적이고 수분함량이 높아 운반이 쉽지 않다. 이에 반해 좁개구리밥은 상기한 문제점은 갖지 않으나 생체량이 작고 근계발달이 적어 제거능력이 상대적으로 떨어진다.

- 부엽식물과 침수식물은 자연습지에서 영양구조의 한 구성원으로서 중요한 역할을 하나 수 처리용 식물로서 효과가 적다.
- 정수식물의 미나리는 정수식물과 부수식물의 중간수준의 장점을 가지며 내한성이 커서 국내의 기후 조건에 적합하다. 대체로 갈대나 부들류는 주로 유기물 제거에, 부수식물은 영양염류 제거에 효과적이다.
- 갈대 및 부들 종류가 우점종으로 식재되며 기타 수생식물, 침수 및 정수식물 등은 야생동물의 서식지 및 먹이의 기능을 갖기 위하여 또는 그 다양성을 유지하기 위하여 인위적으로 식재 된다.
- 또한 부유 또는 침수식물 등은 2~3년에 걸쳐 씨앗과 하천의 수리학적 이동, 야생조류에 의한 이동 등으로 습지에 자연적인 현상에 의하여 자생할 것으로 예상되므로 식생활착을 위한 기초적인 여건을 조성함으로써 조성 초기의 수질정화와 장래 지속적인 식생대 형성에 따른 수질정화를 기대할 수 있다.

수생식물 지하부(뿌리와 지하경, U)에 대한 지상부(잎과 지상경, A)의 건물량 비(A/U)는 영양염류 농도와 그 존재형태에 따라 다르다. 대체로 정수식물의 경우 약 2~3내외, 부수식물은 0.5~7 내외이다. 부레옥잠의 경우 처리지의 영양염류 농도가 충분하지 않은 상태에서는 흡수기관이 과도하게 발달하며, 건물량 A/U비는 가용성 질소 농도가 높을수록 커지고, 질소형태가 한 가지 형태로 있을 경우보다 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 거의 동일한 비율로 들어 있을 때 더 높다.

수생식물은 뿌리부분에 비해 잎 부분의 질소 및 인 함량이 약간 높게 나타났다. 이는 영양분의 축적이 뿌리부분보다는 지상부에서 주로 일어남을 시사한다.

식물체의 물질함량은 단위개체 당 생체량이 증가할수록 낮으며 처리지의 물질 농도가 높을수록 커진다. 다양한 처리지역에서 조사된 결과에 따르면 물질함량은 부수식물>정수식물의 순으로 높고 동일한 생활형의 경우 생체량이 작을수록 높다.

K. R. Reddy and T. A. DeBusk(1987)에 따르면 “수계 오염물질 처리를 위한 수생식물의 신기술 이용”에서 다음과 같은 결과를 발표하였다.

- 수 처리시스템에서 배양된 관속식물들은 다음과 같은 능력을 가지고 있다.
- 오염물질을 식물체내에 동화하고 저장할 수 있으며
- 뿌리 부분에서는 O_2 로 전환시키며

-미생물 활동에 필요한 기질을 제공한다.

○ 부유성 수초를 이용한 연못시스템은 열대 및 아열대지역에서 폐수처리에 주로 사용되었으며, 반면에 온대지역에서는 인공습지(즉, root zone method, nutrient film techniques)에 배양된 정수식물들이 더 많이 이용되었다.

○ 수생식물 처리시스템(AMATS)의 구성은 일반적으로 재래식 폐수처리 시스템보다 긴 체류시간을 가지며, 폐수는 얇은 연못이나 수로로 유입되고, 여기에는 관속식물들이 단일 또는 혼합으로 배양되어 있다. AMATS의 긴 폐수 체류시간 동안 여러 메커니즘에 의해 오염물질들을 제거한다. 시스템에 배양한 후 싱싱하게 생육할 수 있는 식물 현존량을 유지하기 위하여 식물들을 주기적으로 수확하며, 식물 biomass를 수확함으로써 처리시스템으로부터 저장된 오염물질들을 영원히 제거하게 된다.

AMATS의 최적 설계나 구성은 기후, 폐수 특성, 그리고 유출 수질기준과 같은 인자에 의해 결정되며, 주요 시스템들은 다음과 같다:

- 부유성 수생식물 처리 시스템(FAMS); nutrient(thin)filmtechnique(NFT); gravelbedtreatment(GBT);그리고 artificial wetland treatment(인공습지처리, AWT).

수 처리 시스템에서 이용할 식물들을 선별할 때 검토하여야 할 사항들로는 기후에 대한 적응성, 높은 광합성율, 높은 산소 전달 효율, 고농도 오염물질에 대한 적응성, 오염물질의 동화능력, 급변하는 기후조건에 대한 적응성, 유해충과 질병에 대한 저항성, 그리고 운전의 용이성 등이 있다.

FAMS에서 사용한 대부분의 식물들은 부레옥잠(water hyacinth), water lettuce, 그리고 pennywort이다. 이러한 식물들은 central Florida의 기후 조건에서 연간 평균 성장률이 $10g/m^2/d$ 로 나타났다. 수생식물들의 영양염류 동화율은 성장률, 현존량, 그리고 조직의 구성에 따라 변화한다. 부레옥잠과 water lettuce는 온도에 민감하므로 이러한 문제를 해결하기 위하여 pennywort와 같이 온도에 덜 민감한 식물들을 혼합 배양하여 사용할 수 있다.

정수식물 들은 처리된 폐수의 배출을 위한 습지에서 자생하거나, 정수식물의 집약적인 배양을 한 인공습지를 이용해서 폐수처리에 이용할 수 있다. 전자는 일반적으로 이용하지 않고 있으며 처리된 폐수를 배출하기 전에 이용된다. 인공습지는 식물을 수확하여 관리를 하거나 관리하지 않은 상태로 운영되기도 한다. 정수식물 들의 성장률과 영양염류 동화율은 배양시스템, 폐수부하, 식물 밀도, 기후, 그리고 시스템에서 주어진 운전인자들에 따라 조절된다.

수생식물에 의한 오염물질의 잠재적인 저장율은 단위면적당 성장률과

biomass의 현존량에 제한된다. 단위 면적당 대량의 biomass를 가진 식물들은 영양염류를 상당히 많이 저장할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 예를 들어 부레옥잠의 현존량은 30t(dw)/ha에 이를 수 있으며, 따라서 질소와 인의 최대 저장량은 900kgN/ha와 180kgP/ha를 가진다. 단위 면적당 biomass의 현존량이 낮은 식물들은 낮은 영양염류 저장량을 가진다. 부유성 수생식물의 영양염류 저장은 빠른 이동 때문에 상당히 짧다. 만약 식물을 수확하지 않는다면 사멸한 조직은 급속도로 부패되어 수계로 영양염류를 재용출 시킬 것이다. biomass의 주기적인 수확은 영양염류의 유실을 막기 위하여 필요하다.

영양염류의 저장기간이 짧음에도 불구하고 많은 수생식물들은 높은 영양염류 흡수율을 가지고 있다. 최대 질소 제거량은 부레옥잠의 경우 5850 kgN/ha/yr 이고 개구리밥(duckweed)의 경우 1200 kgN/ha/yr로 나타났다.

정수식물 들은 폭 넓은 기질농도와 다양한 폐수에서 성장할 수 있다. 기질과 폐수의 영향은 식물조직의 영양염류 조성이 폭 넓게 나타나는 것과 연관 지을 수 있다. 폐수처리를 위하여 사용된 습지시스템에서 영양염류는 ①토양유기물질의 분해, 생물학적 N₂고정, 그리고 부패된 조직의 분해에 의한 내부 기작에 의해 공급되고 ② 폐수나 강수와 같은 외부 기작에 의해 공급된다. 자연 상태에서 성장하는 식물 조직 내의 영양염류 농도는 영양염류 동화의 최저 기준을 평가할 수 있으나 이러한 농도는 식물의 성장 정도와 시료의 채취 기간에 따라 상당히 변할 수 있다.

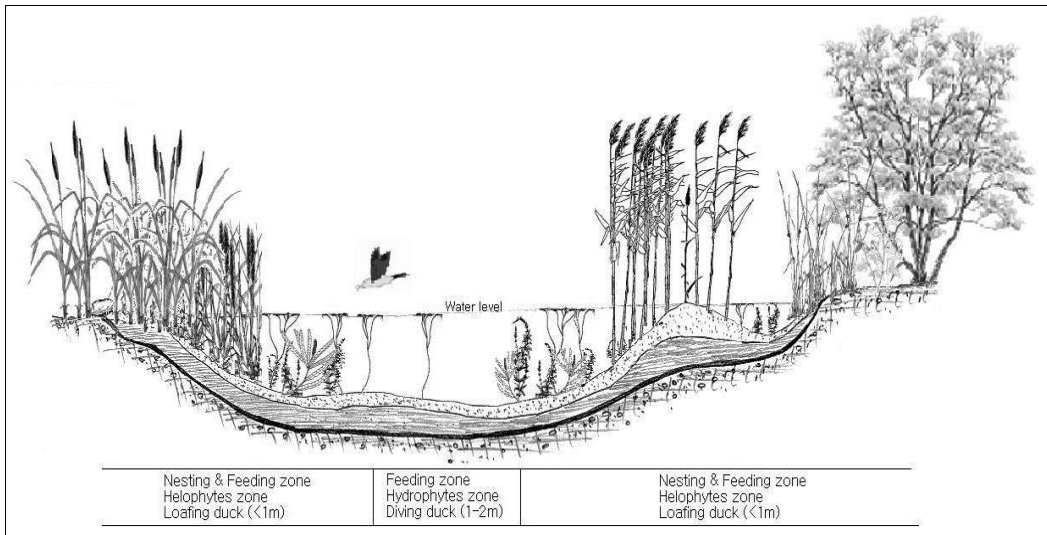
정수식물에 의한 영양염류의 최대 저장은 200~1,560kg N/hr와 40~375kg P/ha로 나타났다. 영양염류의 50%이상이 식물의 지하부에 저장되고 조직은 영양염류를 효과적으로 제거할 수 있도록 수확하는 것이 어려운 것으로 나타났다. 정수식물은 부유식물보다 부가 조직이 많기 때문에 장기간 영양염류를 저장할 수 있는 더 높은 잠재능력을 가지고 있다.

AMATS의 설계에 관계없이 식물이 오염물질을 흡수하고 저장하는 실제 역할과 잠재적인 중요성에 대한 이해는 아직 미흡한 실정이다. 즉 대부분 이러한 시스템의 연구 분야에 있는 학자들이 접근하지 않은 부분이기 때문에 유입과 유출은 내부 영양염류의 흐름과 변화에 대해서만 조금 알려져 있을 뿐이다. 식물의 흡수와 저장이 있는 내부 시스템 공정의 평가는 설계 인자들의 더 효율적인 연구와 최적화가 필요하며 시행착오를 상당히 줄일 수 있다.

생태습지에는 다양한 생태적 기능을 하도록 하는 생물 서식처 환경을 조성하여야 하며, 생태습지 조성의 기본 모형 들이 적용될 수 있을 것이다. 생태습지(ecological wetland 또는 생태연못)는 다양한 생물종의 서식은 물론 다양한

야생생물들이 먹이를 찾거나, 생명유지에 필수적인 물을 먹을 수 있는 공간이기도 하다. 또한, 생태습지는 다른 생태계의 유형에 비해 면적대비 생태적 기능이 높은 공간이다.

이러한 생태습지는 일반적으로 하천(유수)습지(lotic wetland, running water wetland), 정수습지(lentic wetland, still water wetland), 염습지(salt marsh) 등 다양한 유형으로 구분될 수 있으며(이울경과 김종원 2005), 여기에는 물이 흐르지 않고 거의 정체되어 형성되는 정수습지를 의미한다. 생태습지는 지리적 위치, 수질, 수량, 수온, 체류시간, 유속 등에 따라 식물들은 개별적 특성에 맞는 방식으로 대응 생육하므로 적지적소에 맞는 계획과 식재(適地適樹)는 필수적이다



<그림 2-25> 수변의 생태적 구역구분

생태습지는 생물다양성 증대를 위해 입지(서식처)형태를 다양하게 조성하도록 한다. 즉 습지의 가장자리를 굴곡화 시킴과 동시에 수심의 다양한 변화를 준다. 물론 식물자원은 잠재 자연식생을 구성하는 고유 식물자원으로 한다. 한편 습지 가장자리에는 세력이 좋은 초본류를 이용하여 과도한 영양분이 습지 내로 직접 유입되는 것을 방지하는 여과대(filtering zone)를 만드는 것이 좋다. 또한 서식하는 곤충의 보다 높은 다양성을 촉발시키기 위해 가장자리에 다공질의 돌더미나 나무더미를 두는 것도 효과적이다. 수문체계는 유입부보다는 출수구를 작게 하는 것이 일반적이다. 만일 집중 강우 시 과도한 수량의 유입

이 예상되는 장소라면 유입 또는 유출량을 조절하는 별도의 간이시설을 시공하는 것이 좋다. 한편 하절기 수질과 수온은 생태습지 식생정착과 천이의 조절관리에 있어 중요한 요소이다. 따라서 생태연못 조성 이후 관리 운영 시에 수질과 수온이 관리범위를 넘어서는 경우에만 적절한 생태적 제어가 필요하다.

수변부의 식재 식물종(수목)은 생물다양성을 높이기 위해 육질이 풍부한 열매 식물(야광나무, 아그배나무, 보리수나무 등)을 식재하여 야생조류의 서식을 유도하는 것이 효과적이다. 수목 식재 시는 최소 3그룹 이상의 개체로 군식 또는 혼식하도록 한다.

생태습지를 이해하기 위해서는 수분 구배와 서식처의 안정성 등에 따른 식생의 대상분포(帶狀分布, zonal distribution)를 반드시 이해해야 한다. 습지식생은 이러한 대상적 공간분포와 그 특성에 따라 수변림, 수변초지, 물속(수중)식물 등으로 구분된다. 우리나라 하천의 주인은 버드나무류(willow, Salix)로서 고화(古畵)에서도 잘 나타난다. 특히 버드나무, 왕버들, 선버들은 (아)교목성 식물로 적극 이용 가능한 자원이다. 관목식물로는 개키버들, 키버들, 참오글잎버들, 갯버들 순으로 적합할 것이다. 또한 버드나무류 외에 수변에 생육하는 식물들로는 오리나무, 물푸레나무, 신나무 등을 들 수 있다. 이러한 식물종들로 이루어진 숲을 흔히 습생림(wetland forest)라고도 한다. 습생림은 습지 주변에 조성되어 그들이 부족한 수 생태 공간에 그들을 만들 수 있는 좋은 생태 재료이다.

습지생물을 분류해보면 다음과 같다.

◦ 습지동물

습지는 육상의 고등동물에 알맞은 주거 장소가 되지 못하며 오히려 그 주변의 삼림대에 많이 서식하고 소형 포유류인 생쥐, 붉은쥐 등의 설치류가 서식한다. 조류로는 할미새, 도요새 등이 습지에 나타나며 까마귀, 제비 등도 날아온다. 이에 대하여 양서류는 서식환경이 맞아 개구리, 두꺼비 등이 많이 보인다. 곤충은 잠자리류와 길앞잡이, 물노린재 등의 지표성 곤충과 습지식물에 붙는 나방류, 파리류, 멸구·매미충 등의 노린재류, 잎벌레 등의 벌레류, 약간의 수생동물이 있다. 이외의 동물로는 거미류, 진드기류, 노래기류, 지렁이류 등이 발견된다.

◦ 습지식물

고층습지 : 쇠털골, 흰고양이수염, 장지채, 진호, 월굴 등

중간습지 : 진퍼리새, 나리꽃, 못도라지, 제비붓꽃 등

저층습지 : 갈대, 원추리, 독미나리, 부들, 꼬리고사리, 고마리

늪(swamp) : 수심 3m이하로 호수와 비슷한 개흙이 많은 물웅덩이에 순채, 검정말, 새우말, 물수세미 등

수중초원(aquiherbosa) : 못이나 늪에서 식물체의 뿌리나 전체가 물속에 있는 수생식물로 구성되는 초원으로 정수초원에는 갈대, 부들, 줄 등의 대형 초본류와 사초류가 분포하며 침수초원에는 검정말, 나사말, 물수세미 등 침수식물로 구성되며 정수식물대와 침수식물대 사이인 깊이 1~3m에서는 보통 부엽식물대가 존재한다.

소택식물(helophyte): 물가의 습지나 물속에 살고 있는 식물군으로 갈대, 삿갓사초, 큰고랭이, 줄 등의 정수식물이 분포하며 해변의 염소지에는 갈대, 통통마디, 갯개미취, 칠면초, 해홍나물, 나문재 등의 염생식물을 볼 수 있다.

수질정화 목적으로 적용 가능한 목본 식생은 뿌리의 양이 많고 땅속 깊이 뻗는 수원함양 효과가 높은 수종을 식재하고, 내음성이 강한 수종을 나무 아래에 심는 등 수원함양 및 수질정화기능이 큰 수종을 조림할 필요가 있다.

수생식물에 의한 수질개선공법의 유의점할 점으로는 대상식물의 적절한 관리, 회수식물의 처리, 동계 수질개선효과가 높은 식물의 조합이다.

나) 수생식물의 분류 및 특성

일반적으로 습지식물은 육상식물과는 달리 습한 토양환경에서 서식하는 식물로서 항상 물에서 생활을 하거나 일시적 혹은 정기적으로 물에서 생활하는 식물을 일컫는다.

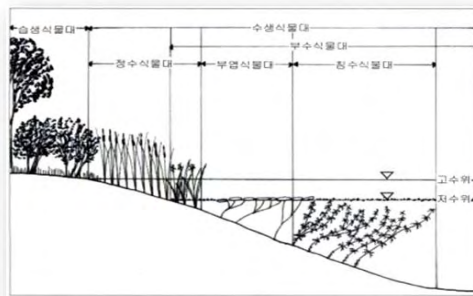
(표 2-27) 습지식물의 분류 및 특성

분류	특징	대표적인 예	최적수심(cm)	비고
관목 및 교목	수면 밖에서 생활하는 수목		0 이하	수변림
습생식물	습한 토양에서 생육하며, 장시간의 침수에 견딜 수 없는 식물	물억새, 고마리, 갯버들 등		
수생식물	정수식물 (emergent plants)	비교적 얇은 수심에서 나타나며, 뿌리와 줄기의 일부가 물에 잠겨 있음	0~30 (30~50)	
	부엽식물 (rooted plants)	뿌리는 물속 토양에 의지하고 잎만 수면위에 떠서 생활함	약 30~60	
	침수식물 (rooted submerged plants)	몸 전체를 물속에 담그고 있는 식물로서 수압/부력에 의존함	약 45~190 (약50~100)	
	부유식물 (free floating plants)	몸 전체를 수면 위에 띄워서 생활하며, 대부분 양분의 흡수는 변형된 잎에 의해서 이루어짐		

자료: Anne D. Marble. 1992, Donald A. Hammer. 1996, 서울대학교.1997

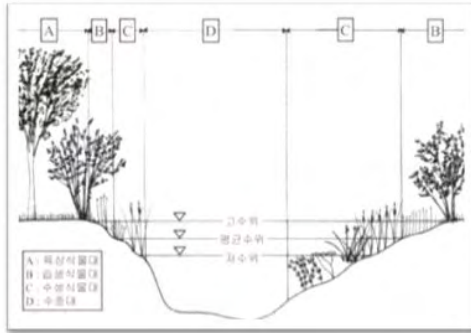
주) 괄호 밖 수치는 Anne D. Marble, 괄호 안 수치는 Donald A. Hammer

수변식생대를 생활형에 따라 구분해보면 습생식물대와 수생식물대로 구분해 볼 수 있으며 아래 그림과 같다.

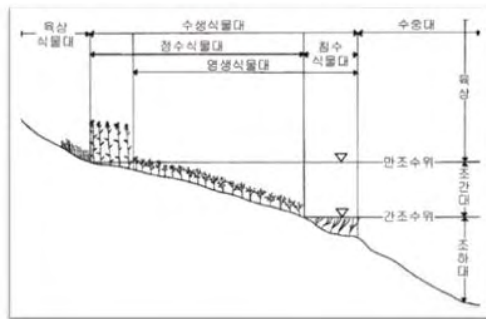


<그림 2-26> 일반적인 수변식물대 구분

한편 습지대를 내륙습지와 연안습지로 구분하여 식물분포대를 나누어 보면 다음 그림과 같다.



<그림 2-27> 내륙습지 일반형



<그림 2-28> 연안습지 일반형

수생식물은 일명 수초(水草)로도 불리는 수중식물이다. 보통 물가에서 살거나 식물체 일부 혹은 전부가 물속에 잠겨 있고 대롱모양의 관다발을 가지고 있어 수분과 양분을 흡수한다. 이들 수생식물은 처음에는 육지에서 살다가 수중생활을 시작했던 것으로 보이는데 분포지역은 보통 늪이나 호수·하천 등 민물지대이다. 전 세계 식물의 약2%를 차지하며 이들 수생식물을 분류하면 고착성 수생식물과 부표성 수생식물로 나뉜다.

- 고착성 수생식물 : 뿌리를 바닥에 착근하고 물속에 고정되어 사는 식물

(표 2-28) 고착성 수생식물 특성

구분	주요특성	식물명
추수식물	흙 중에 근경을 신장시키고 줄기와 잎을 수면 보다 위로 추출해서 대기 중에 잎을 전개시키는 식물이다.	갈대, 줄, 큰부들류, 물옥잠, 물냉이 등
부엽식물	수면하의 바닥에 근경을 내리고 줄기와 잎을 수면까지 신장시켜 잎을 수면에 뜨게 하는 식물이다.	마름, 노랑어리연꽃, 어리연꽃, 수련, 순채등
침수식물	수면하의 바닥에 근경을 내리고 줄기, 잎 모두 수중에 침수되어 식생하며 꽃은 수면위로 나와 개화하는 것이 많다.	말즘, 대가래, 말, 솔잎가래, 물수세미 등

◦ 부표성 수생식물 : 바닥에 뿌리를 착근하지 않고 물위에 떠다니는 식물

(표 2-29) 부표성 수생식물 특성

구분	주요특성	식물명
부수식물	줄기와 잎 등 식물의 몸체 대부분이 물위에 떠있고 뿌리도 바닥이 아니라 물속에 떠 있는 식물이다.	개구리밥, 생이가래, 물개구리밥
부유식물	줄기와 잎이 물밑에 있을 뿐 만 아니라 뿌리도 없는 식물이다.	통발, 벌레먹이말, 약간의 뿌리가 있는 쭈개구리밥

다) 수생식물 분포패턴 및 성장 제한요인

수생식물이란 생육기의 일정기간에 식물체의 전체 혹은 일부분이 물에 잠기어 생육하는 식물로서, 식물체 내에 공기를 전달 혹은 저장할 수 있는 통기조직이 발달되어 있다. 반면에 습생식물은 습한 토양에서 생육하는 식물로서 통기조직이 발달되어 있지 않아서 장시간의 침수에 견딜 수 없는 초본 및 목본식물이다.

하천은 연속성을 가지며 구조적, 기능적 상호작용의 중요한 연결 경관요소로서 하천식생을 가지며, 이는 생태계 관리를 위한 핵심적 요소이다. 식물공동체로 구성되는 하천식생은 하천의 물리적, 화학적, 생물학적 특성에 의해 공간분포가 결정되며, 이러한 식생공간분포는 하천의 다양한 특성에 영향을 미친다(이울경, 김종원 2005).

습지는 육상생태계와 수 생태계의 전이대로서 다양한 야생생물의 서식환경을 제공할 뿐만 아니라 수질정화 기능, 자연 댐의 역할을 수행하는 수리·수문학 적 기능, 국지적 기후조절 기능 및 경관적, 경제적, 교육적 가치 등을 제공하는 중요 자연자산이다. 하지만 오랜 농경생활로 인한 농경지로의 개간으로 상당부분의 습지가 농경지화 되거나 체계적인 자연보전정책과 보전대책의 미흡으로 인한 무분별한 개발과 이용 및 매립 등으로 상당부분의 습지가 소실되거나 훼손되었다.

습지식물의 분포패턴은 물가에 접한 육지면 습지에는 갈대와 줄과 같은 정수 식물들이 출현하고, 그 보다 육지 쪽에 사초류, 갈풀, 달뿌리풀, 여뀌류, 고마리, 물억새 등 많은 종류의 습생식물이 군집을 형성하고 있다. 이들 습생식물은 습지에서 밀생하고 군집을 형성하는데 수변환경과 경관을 조성하는 주요 종으로 취급되는 초본식물이다. 또한, 다양한 목본식물들과 어우러져서 습지림을 이룬다.

이외에 습지 변으로는 야생초지, 관목 덩불림과 교목림이 형성되는 것이 일반적인 습지의 패턴으로 볼 수 있다. 야생초지는 수생식물과 습생식물이 습한 토양에서 서식하는 것과 달리 비교적 건조한 토양에서 서식하는 식물로서 건조초지(dry meadow)의 성격을 가지며, 이곳은 나비류를 포함한 곤충류의 서식처로서 중요한 곳이다. 관목 덩불림과 교목림에서는 야생조류의 번식장소와 은신장으로 이용되는데, 수변부의 야생동물보호에 매우 중요한 역할을 하므로 지속적인 조성 및 관리노력을 필요로 한다.

이러한 습지의 식물은 성장에 있어서 시기마다 적절한 환경조건이 마련되지 않을 때에는 식물은 고사하거나 침수되어 죽게 되거나, 각종 병충해 등에 의해 피해를 받기 쉽게 된다.

식물이 성장하는데 있어서 제한요인과의 관련된 것으로는 분산 환경과 종자생산, 성장환경, 발아환경 등으로 볼 수 있다. 또한, 성장환경에서 관여하는 제한인자로는 물의 깊이, 염분, 생리적 죽음, 초식동물, 병원균 등이 있으며, 발아환경에는 물의 깊이, 염분, 기질의 교란, 포식, 병원균, 물인 깊이, 계절적 발아 등이 있다(Beth Middleton, 1999).

습지식생의 복원 및 관리의 관점에서 볼 때 습지식물종의 생활사를 온전하게 이해하는 것은 매우 중요하다(Beth Middleton, 1999). 습지식생의 복원에 있어서는 씨앗의 파종이나 묘목식재, 성목(adult plant) 식재 등으로 구분해서 볼 수 있지만, 식재기법과 함께 식재이후의 생물종의 변화와 적응성 등에 대한 것들을 이해하는 것도 중요한 관련성을 가진다.

(1) 주변 환경과 식생패턴

주변 환경조건이 식생의 패턴에 영향을 미치는 것은 대상지역 주변에 위치하고 있는 서식처의 식물종 들이 이동 및 분산, 정착하는 과정을 통해서 대상지역의 식생구조와 패턴에 영향을 주기 때문이다. 이것은 생물종의 분포 및 이동, 정착의 관점에서 본 것으로 이들에 대한 이론적인 근거는 도서생물지리이론, 경관생태학, 보전생물학, 그리고 식물생태학 등에서 찾아볼 수 있다.

(2) 인간간섭과 식생패턴

인간의 각종 활동으로 인한 식생의 분포 및 식물종의 소실은 그 동안 많은 연구가 되어왔다. 식물종의 식재에 의한 추가, 출입으로 인한 서식처의 파편화, 식물자원의 고갈, 그리고, 수확 등이 대표적인 원인으로 제시되고 있다. 이러한 간섭의 유형은 습지에서도 나타나는 것으로서 조성된 습지지역에서 식생의 정착이나 발달을 저해하는 요소가 되고 있다.

(3) 수 환경과 식생패턴

물은 습지라는 특성을 가지게 하는 가장 중요한 구성요소이다. 람사협약에서 정의하고 있는 습지의 개념에서도 볼 수 있듯이 습지에서 물은 항상 고여 있는 것만은 아니라 주기적 혹은 계절적 등으로 일시적으로만 물에 잠기는 경우도 많다. 그리고 인위적으로 조성되는 생태연못의 경우에는 물의 공급과 순환, 유출 등이 주요한 관점이 되고 있는데, 이러한 것은 수질과 관련된 것이다.

일반적으로 습지에서의 수문환경의 특성은 범람과 영구적 혹은 계절적으로 토양을 적시는 것으로 나타난다. 그리고 수위도 매일, 계절적 등으로 변화하게 되는데, 이것은 깊은 수심을 가진 서식처보다는 얇은 수심을 가진 지역에서 자주 나타난다(Paul D. Cylinder et al., 1995).

습지를 이해하는 것의 핵심은 바로 어떻게 습한 상태가 발달해 가는지를 이해하는 것이다. 한편, 습지에서의 물은 직접적인 강우, 육상의 흐름, 지하수의 상승 또는 이들의 과정들이 복합적으로 이루어짐으로써 줄어들게 된다.

식생의 관점에서 습지 수 환경의 특성은 수심과 수위변동, 그리고 수질로 볼 수 있다. 수심은 식물이 성장할 수 있는 한계를 가지게 하는데, 일반적으로 2m 이상이 되면 수생식물의 서식을 힘들게 한다.

또한, 수위변동은 수심과 함께 식물의 분포에 영향을 미치는데, 특히, 주기적인 혹은 일시적인 범람을 겪는 하천환경에서의 수위변동은 식생의 발달과 매우 밀접한 관련성을 가지고 있다.

수질 또한 식물의 분포에 영향을 미치는데, 급격한 수질의 변화는 수생식물의 정착 및 발달을 어렵게 한다.

(4) 토양환경과 식생패턴

토양은 식물을 지지하는 기반으로서 식물이 성장해 가는데 가장 기초적인 환경임에는 틀림없다. 하지만, 이와 같은 토양환경은 매우 다양하게 나타날 수 있는데, 토양의 물리적·화학적 특성은 식물의 성장과 밀접한 관계를 가지고 있다.

습지의 토양은 오랜 기간 동안 물속에서 잠겨서 있거나 습기를 머금고 있어서 육상토양과는 다른 물리적·화학적 특성의 변화가 나타난다. 이 중에서 가장 중요한 특성은 산소의 급격한 손실로 볼 수 있다(Paul D. Cylinder et al., 1995). 고형물질은 토양에 많은 공극이 생기게 하며, 식물의 뿌리와 토양의 미생물체는 이러한 산소를 소비하면서 생활하게 한다. 하지만, 습지에서는 이러한 공극

이 물로 채워지는데, 대신에 죽은 식물체로부터 매우 높은 유기물질을 포함하여, 다양한 영양물질과 유기물 들을 함유하게 되어 육상의 토양과는 달리 전형적으로 어두운 회색이나 검은색의 토양색으로 나타난다. 그리고 습지토양은 매우 일부분의 상층(약 1~5mm 정도)에서만 약간의 산소를 함유하게 되는데, 이러한 특성을 가진 습지토양은 수생식물이 선호하는 곳이 된다(Donald A. Hammer, 1997).

(표 2-30) 습지 토양환경의 고려사항

구분		주요구성요소
습윤 지역	이화학적 요건	지하수위, 토심, 토양의 종류, 유기물 함량, 모래 및 자갈 함량
	생물학적 요건	월동장소의 제공, 지하의 생물이동통로 확보
건조 지역	물리적 요건	배수성, 투수성, 유효수분, 유효토층, 토양경도
	화학적 요건	토양의 양분흡착능력, 토양유기물, 토양산도, 전기전도도
	생물학적 요건	토양미생물, 토양동물

(5) 호안환경과 식생 패턴

호안환경은 습지에서 물에서 물으로 이동하는 전이대의 특성을 가장 잘 나타내는 지역이다. 기존의 연못에서 이 호안은 항상 인공적인 재료로 마감되거나 자연재료라고 하더라도 자연석을 이용하여 식물이 서식할 수 있는 여건을 허락하지는 않았다.

습지에서 식생의 발달을 위한 호안환경은 기본적으로 흙을 이용한 기법이 중심을 이루고 있으며, 여기에는 호안재료와 호안의 경사가 주된 관점이 된다. 즉, 전통적인 연못의 조성 기법에서 흔히 사용되는 자연석이나 콘크리트 처리는 식물의 서식을 불가능하게 하는데, 생태연못에서는 불가피한 경우를 제외하고는 흙을 이용하여 자연적인 경사처리를 하게 된다. 경사의 경우에도 식생의 분포패턴이나 발달과 매우 밀접한 관계를 가지고 있는데, 지금까지 연구된 바에 의하면 1 : 20 이하의 완경사 지역에서는 주변 식물군집이 넓게 확장하지만, 1 : 3 이상의 급경사에서는 식물군집의 발달이 지연되는 것으로 나타나고 있다(Malcolm Emery for the Ecological Parks Trust, 1986).

습지에 있어서 호안은 생물다양성을 증진시킬 수 있는 가장 중요한 역할을 한다. 즉, 호안의 처리에 따라 다양한 수생식물과 수생생물의 서식처가 조성되

며, 최고수심을 이루는 표고부터 지상까지의 경사를 조성하는데 중요한 역할을 한다.

기존 연못들의 자연석이나 콘크리트의 호안은 수심의 다양한 변화를 줄 수 없었으며, 호안식재를 기대하기는 더욱이 힘들고 생물다양성 증진의 측면에서는 많은 단점을 가지고 있었다. 특히 생물다양성 증진을 위한 습지나 생태연못의 호안은 수직적인 콘크리트 구조가 아닌 다른 여러 가지 유형을 필요로 하는데, 기본적 호안 조성기법으로는

첫째, 수변부는 경계부, 경사, 바닥의 형태 및 깊이를 다양하게 조성하여 동·식물 군집을 풍부하게 유치시키도록 한다.

둘째, 식물군락에 의한 오염물질의 흡수, 분해 기능을 감안하여 일정폭의 식생 여과대 조성, 보전함으로써 수 환경의 생물학적 정화기능을 극대화한다.

셋째, 오수가 습지 내로 직접적으로 유입되지 않도록 하며, 여과역할을 위해 연못 주변에 모래언덕을 조성해 준다. 이러한 곳은 마른 곳을 선호하는 황로와 뻘꾸기, 딱새, 멧새 등 야생조류의 서식지가 된다.

넷째, 1:20이하의 완경사 제방에서는 주변식생이 넓게 확장하지만 1:3 이상의 급경사 제방에서는 식생발달이 지연된다. 또한 호안의 급경사면은 토양유실의 원인이 되므로 주의해서 조성해야 한다.

다섯째, 연못의 형태는 주변 환경, 특히 등고선의 방향에 역행하지 않도록 결정하는 것이 바람직하며, 연못 하안의 남측 일부 구간은 완만한 경사 및 적절 한 폭이 이루어지도록 조성한다.



<그림 2-29>양호하게 발달한 호안의 단면도

라) 식생군락의 특성

건설교통부(2006)의 하천공사 설계 실무요령에 따르면 수리특성별 하천정비 방법을 수충부, 완만한 수충부, 비수충부로 나누어 보면 아래 표와 같이 제시하고 있다.

(표 2-31) 수리 특성별 하천정비 방법

구 간	수 충 부	완만한 수충부	비 수 충 부
정비방법	석재, 통나무, 식물재유기	식물재호안	식물재호안 또는 자생유도 (존치)
비 고	치수적 안전도가 우선된 생태기능 호안	치수안전도 + 생태기능 극대화	생태기능 극대화

우리나라 하천 상류에서부터 하류까지 환경특성 및 주요 식물특성을 정리해보면 다음 표와 같다.

(표 2-32) 하천 상류로부터 하류까지 식생의 변화(失野悟道 등 1983 변형)

구분	환경특성	주요 식물	식물특성
상류	유속이 매우 빠르며 홍수의 파괴력이 크고 범람원이 좁다.	달뿌리풀	홍수에 쓰러져도 신속히 복구되며 포복경으로 번식이 용이
		갯버들	빠른 유속에도 견디며 물에 잠긴 줄기에서 뿌리가 발생한다.
		오리나무, 물푸레나무, 느티나무	계곡의 평수위와 고수위 사이의 다습한 토양에 교목수림으로 발달한다.
중류	상류보다 하천 폭이 넓고 유속도 완만하며, 사행부의 안쪽에는 모래, 자갈 등이 퇴적되어 보수력이 약하다.	달뿌리풀, 내버들	상류 쪽의 유속이 빠른 곳에 정착한다.
		여뀌, 방동사니, 여뀌바늘	하류 쪽의 유속이 느리고 진흙이 퇴적된 습윤하고 비옥한 곳에 정착하는 일년생식물이다.
		바랭이, 사철쭉	수면으로부터 높은 지형의 자갈이 많은 곳에 생육하며 건조와 고온에 견딘다.
		물억새, 띪	사행의 안쪽에 모래가 1m이상 퇴적된 건조한 곳에서 생육한다.
		왕버들, 갯버들	안정된 중도나 제방에 수림을 이룬다.
		갈풀, 고마리	셋강의 물가를 따라서 분포하며 모래가 매년 퇴적 되어도 적응한다.
하류	유속이 매우 느리기 때문에 하도에 진흙이 퇴적되어 넓은 범람원이 형성되며 조류의 간만에 의하여 수위가 변동하기도 한다.	갈대	바다로 유입되는 기수역까지 분포한다.
		줄	대하천이나 호소로 유입되는 곳에서 군락을 이룬다.
		매자기, 애기부들	하류의 제방부근에 군락으로 발달한다.
		정수식물, 부엽식물, 침수식물	유속이 매우 느린 곳에서 수생식물의 습원식생이 발달한다.
		천일사초, 산조풀 등의 염생식물	해수가 유입되는 하구에서 염해에 견딜 수 있다.

한편 생태학적 중요한 위치인 추이대 조건에 따른 생물서식 환경을 보면 다음과 같다.

(표 2-33) 추이대 조건에 따른 생물서식 환경

구 분	서식 약조건 ←		→ 서식 호조건			
	경 사 도	수 직	급경사	수 평	완경사	복합경사
수심/지형	깊고 일정 — 깊고 다양 — 얕고 일정 — 얕고 다양 — 깊고, 얕고 다양					
수리조건/지형	정수역/ 수리,수평	정수역/ 급경사	호름역/ 수리,수평	호름역/ 완경사	호름역/ 복합경사	호름역/ 굴곡이심한 복합경사
동·식물 분 포	종(種)빈약			종(種)다양		

전라북도(2001)의 “만경강 생태하천 가꾸기 사업 기본계획 연구 및 기본설계 보고서”에 의하면 수생식물의 군락의 특성을 보면 아래 표와 같다.

(표 2-34) 수생식물 식생군락의 특성

군락	군락특성
나사말-검정말 군락	중영양된 수중환경에서 서식하는 것으로 나사말-검정말 군락이 출현한 곳의 수질상태를 나타내는 지표임
노랑어리연꽃 군락	하상이 뿔 흙 또는 유속이 비교적 느린 강의 중 하류에서 출현하는 식물군락
봉어마름 군락	흔히 중영양상태의 수중환경에서 적용하는 식물군락
모새달 군락	바닷가 가까운 곳에 빈약한 밀도로 분포하는 식물군락
갈대 군락	갈대는 강 하천의 하상에 흙과 모래가 쌓여서 낮아진 곳에 우점하는 큰 규모의 군락을 형성. 무성한 지상부가 녹색초본의 아름다운 경관을 나타내며 이삭 달린 식물전체가 겨우내 남아서 독특한 수변 수생식물 군락을 조성하고 또한 수질정화의 기능이 큼
줄 군락	강의 유속이 느리고 하상이 진흙이나 뿔 흙이 쌓인 곳에 흔히 분포. 비교적 개체수가 많고 무성한 초본성 군락을 형성하여 가을철까지 수변식물의 특성있는 경관을 조성
환삼덩굴 군락	수변이나 빈터에 침입하는 덩굴식물이고 토양의 비옥도에 상관없이 우점하는 생장력이 왕성한 잡초
물참새피 군락	특별한 점이 없음
고마리 군락	전형적인 수변식물 군락으로 번식력이 대단히 강하고 무더기 모양으로 순군락을 형성. 지하경과 뿌리는 오염수를 정화하는 기능이 있다고 알려져 있음
달뿌리 풀 군락	갈대군락과 섞여 나는 식물로 강의 중하류에 많고 상류에도 분포하며 겨울철에도 이삭이 남아 있어서 주목되는 식물 군락

또한 수변식생 군락의 특성을 수직적 구조와 기능으로 구분하여 나타내면 다음 표와 같다.

(표 2-35) 수변식물 군락의 특성

<표 6.1-8> 수변식물 군락의 특성

기능	식물군락	수변림	습지식생군락	추수식물군락	부엽식물군락	침수식물군락
I. 수질정화와의 관계						
1. 유입되는 실트와 부유물의 거름		○	○	○	○	+
2. 유입유기물의 분해 (수중의 체표착생 미생물에 의한)			○	○	+	+
3. 호수로부터의 N.P.흡수에 의한 식물플랑크톤 억제				+	○	○
4. 차광, 저해물질 생산에 의한 식물플랑크톤 억제				○	○	+
6. 저질의 산소공급에 의한 유기물의 분해 촉진			○	○	+	
6. 유해물질의 흡수			○	○		
II. 소수의 동물군락과의 관계						
7. 어류, 새우류의 산란, 치어의 생육장소 (조장)		+		○	○	○
8. 조류의 보금자리, 피난의 장소		○	○	○	○	
9. 조류의 먹이 공급		○	○	○	○	○
10. 곤충류, 양생류의 생육장소		○	○	○	○	+
11. 패류, 저생동물의 먹이공급 ()		○	+	○	○	○
12. 부착생물의 착생기체화.				○	○	○
III. 호안보호와의 관계						
13. 밀생군락에 의한 제파작용		○	○	○	+	+
14. 밀생하는 근경의 결속작용에 의한 침식방지		○	○	○		
IV. 자원의 공급						
16. 인간의 식료가 된다.				○	○	+
16. 생활용품의 재료공급		○	○	○		
17. 가축의 먹이, 농지로의 비료공급		○	○	○	○	○
V. 수변 경관형성과의 관계						
18. 넓은 지역의 경관형성		○	○	○	+	
19. 국부적인 경관형성		○	○	○	○	
VI. 마이너스의 역할						
20. 밀생 대군락에 의한 항행장애				+	○	○
21. 밀생 대군락에 의한 어업의 장애				+	○	○
22. 대향의 식물 고사에 의한 일시적, 국소적인 수질악화				+	○	○

주) ○는 명백하게 그 기능이 있는 것을, +는 다소 있는 것을 의미한다.

식물군집의 가장자리 경우에는 주변 지역에서 잡초나 외래종 씨앗의 유입이 급격하게 증가하는데, 이러한 잡초나 외래종의 경우 대개가 외부에 노출되고 훼손된 환경에 토착식물보다 잘 적응하는 특성을 보인다(Janzen, 1983; Yates et al., 2004).

식생군집의 특성에 따라 이러한 가장자리 효과에 특히 약한 경우가 있는데, Harper et al.(2005)는 이러한 특성을 다음과 같이 정리하였다.

- 높은 평균기온
- 성장기의 낮은 구름 양
- 잦은 windy 상황
- 큰 규모의 간섭(Disturbance)
- 낮은 토양층
- 크고 깊은 수관층
- 갑작스러운 가장자리
- 많은 초기 유입종과 외래종으로 구성된 지역적 동식물상
- 식생, 지형, 토양 종류에서 낮은 이질성을 보이는 지역

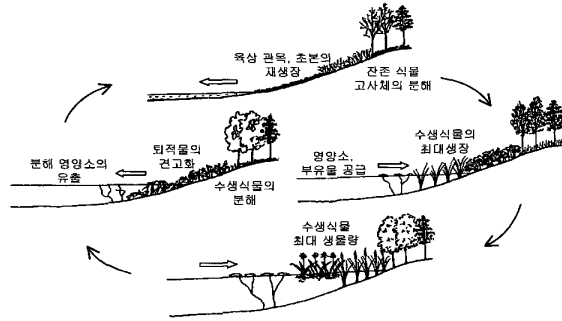
우리나라 하천구역에는 치수상의 이유로 식물식재가 엄격히 규제되고 있으나 자연식생에 의한 식물종을 특성을 보면 아래와 같다.

(표 2-36) 우리나라 하천구역에 서식하는 식물종 특성

자생	성상	내습성	호습성	식재 권장 수종		하천내 적정위치
				우선수종	보조수종	
자생 수종	교목	강함	매우 강함			교수부지 및 축단
			강함	버드나무, 왕버들, 능수버들, 개수양버들		
		보통	느릅나무, 팽나무	신나무, 귀룽나무, 곰솔, 모감주나무, 피나무	교수부지 및 축단	
		약함	느티나무, 빛나무	자귀나무, 밤나무, 소나무, 상수리나무, 참오동나무	축단	
	관목	강함	매우 강함	갯버들, 눈갯버들		저수로 비탈 및 교수부지
			강함			
		보통		조팝나무, 풀나무, 송악, 개나리, 찔레	뒤편 및 축단	
		약함		싸리, 쉼	뒤편 및 축단	
도입 수종	교목	강함	매우 강함		메타세콰이어, 낙우송	교수부지 및 축단
			강함			
		보통	이태리포플러, 용버들, 은사시나무, 양버들, 편백		교수부지 및 축단	
		약함	은행나무, 양버들나무, 아까시 나무, 가죽나무	개잎갈나무	축단	
	관목	강함	매우 강함			
			강함			
		보통		죽계미싸리, 옻도, 무궁화, 뽕나무, 복사	뒤편 및 축단	
		약함				

자료: 건설교통부, 1998

◦ 하천의 범람과동개념과 식생회단의 관계(Bayley,1995)
 잔존식물의 고사체 분해⇒수생식물의 최대성장(영양소 및 부유물 공급)⇒수생식물의 최대 생물량⇒수생식물의 분해⇒퇴적물의 견고화⇒분해영양소의 유출
 ⇒육상관목, 초본의 재생장하는 사이클 형성하여 자연계가 유지 된다.



<그림 2-30> 하천의 범람과동개념과 식생회단의 관계(Bayley,1995)

마) 생물서식지

◦ 호수의 생물서식지

- 수변 전이대(land-water interface)가 수중생태계의 가장 중요한 생물서식지
- 수초대 (littoral zone)가 형성되고 저서동물과 어류의 서식지
- 곤충, 양서류, 새, 등은 육상과 수중 생태계의 연결자
- 습지는 지구생태계에서 생물생산성과 생물다양성이 가장 높은 곳

◦ 인공호의 생물서식지 문제

- 수위변동이 작은 호수에서는 수초대의 형성이 가능하다 : 팔당호, 의암호
- 수위변동이 큰 호수에서는 수변 수초대가 형성되지 못한다. :소양호, 파로호
- 수초대의 결핍이 인공호 생태계 악화의 가장 큰 요인

식생천이에 의한 식물군락을 성립시키는 환경요인으로 다음과 같다.

-외적요인

- 기후요인
- 토양요인 토양미생물 등
- 생물학적 요인

-내적요인

- 경합 : 개체간, 동종간 경합으로 우점종이 발생
- 공존 : 생존상의 요구조건이 어느 정도 일치하는 식물 사이에 있어서 하나

의 기반을 공동으로 이용하는 형태로 집단생활을 영위

생태적 천이(Ecological Succession)는 생물집단이 생성-발전-안정되는 과정으로, 최후 단계를 극상(climax)이라 한다. 천이의 순서 : 나지 → 1년생 초본 → 다년생 초본 → 음수관목(양수관목) → 양수교목 → 음수교목
 예) 망초, 개망초 → 쭉, 쭉부쟁이 → 억새 → 싸리, 붉나무, 짚레 → 소나무 → 참나무류 → 서어나무

식생에 대한 인간의 영향 정도에 따라 자연식생, 원식생, 대상식생, 잠재자연식생으로 구분하여 설명하면 아래와 같다.

- 자연식생 : 인간에 의한 영향을 입지 않고 자연 그대로의 상태로 생육하고 있는 식생
- 원식생 : 인간에 의한 영향을 받기 이전의 자연식생
- 대상식생 : 인간에 의한 영향으로 대치된 식생, 인간의 생활 영역 속에 현존하는 대부분의 식생
- 잠재자연식생 : 변화된 입지 조건 하에서 인간에 의한 영향이 제거되었다고 가정할 때 성립이 예상되는 자연식생

생태계적 측면에서 생물서식공간 유형을 예시하면 아래 표와 같다.

(표 2-37) 생물 서식공간 유형

구분	내용	특성
숲	도시림과 도시공원	생태계의 핵으로서의 역할
습지	하천과 연못, 호수	corridor로서의 역할
잔존지	논, 밭, 과수원, 자투리땅	생물의 stepping stones로서의 역할
통로	가로수, 생물다리, 철도의 연변	corridor로서의 역할

출처 : 환경부, 1997, 95쪽.

궁극적인 수질개선의 의미는 먹이연쇄의 다양화, 고차화에 의해 소비와 분해에 의해 수질정화가 이루어지며 먹이연쇄를 통한 수질정화 효과를 보면 아래 그림과 같다.



<그림 2-31> 먹이연쇄를 통한 수질정화 효과 모식도

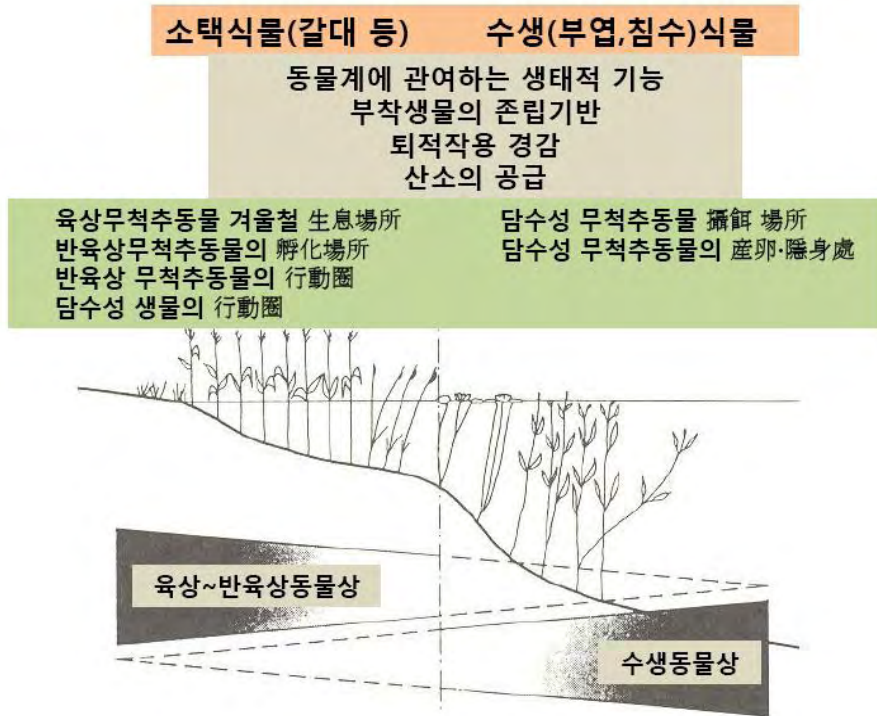
바) 습지식생

· 습지식생의 기능

최근 들어서 높은 관심을 가지게 된 습지가 가지고 있는 기능과 가치는 매우 크다고 할 수 있다. Brij Gopal(1995)은 습지의 기능을 수문학적, 생물학적, 생물지구과학적인 기능으로 구분하고 있는데, 수문학적 기능에는 홍수 물의 저장과 지하수 충전, 물의 근원, 오염물질의 제거 등으로 세분하고 있으며, 생물학적 기능에는 야생동물의 서식처, 경제적으로 중요한 생물상의 근원지로서의 기능, 침식방지와 우수의 저장 등으로 분류하고, 생물지구과학적인 기능에는 수질의 개선, 대기의 순환, 사회-문화적, 미적, 그리고 경제적인 측면에서의 기능 등으로 분류하고 있다. 한편, 여기에서는 사람의 건강에 유익하지 않은 생물상으로 인한 부정적인 측면도 제기되고 있기도 하다. 위에서 제시되고 있는 습지의 다양한 기능은 습지에서 서식하고 있는 식생에 의한영향이 매우 크다고 볼 수 있다. 습지에서 식생이 가지는 기능은 크게 동물의 서식처로서의 기능과 기타 기능으로 구분할 수 있는데, 기타 기능에는 수질정화와 호안의 보호, 자원의 공급, 그리고 정취 있는 수변경관의 형성 등이다(杉山惠一, 進士五十八編, 1995). 井出久登과 龜山章(1993) 등도 수변식생의 기능을 자연보호, 경관과 어메니티, 교육 및 교화 공간, 레크리에이션, 방재, 피난장소 등의 역할을 강조하고 있다(안영희譯, 2000).

중요한 것은 이와 같은 기능들은 하나의 공간에서 하나만의 기능이 일어나는 것이 아니라 하나의 공간에서도 다양한 기능들을 나타내게 된다는 것이다.

수변역의 식물과 동물의 관계는 다음 그림과 같이 표현할 수 있다



<그림 2-32> 수변역의 식물상(소택식물, 수생식물)과 동물상의 관계

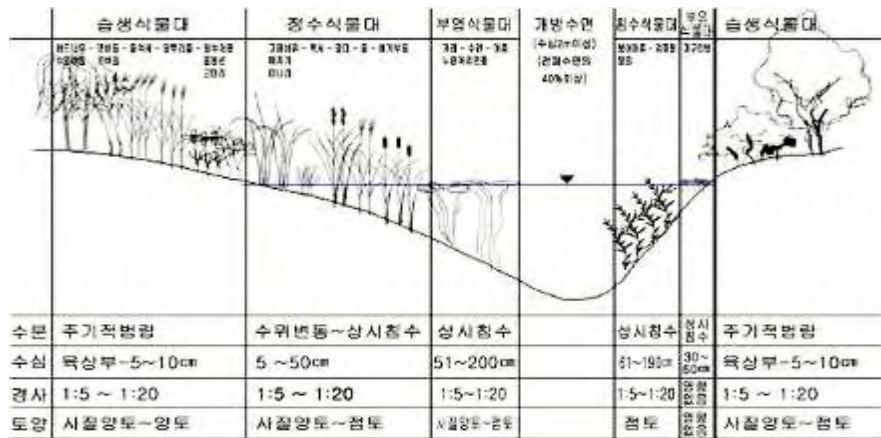
- 수변 완충지대의 식생 중별 기능
- 미국 아이오아 대학 Schultz교수에 의하면 초본류, 관목류, 교목류의 주요 기능을 다음과 같이 기술하고 있다.
- 초본류
 - 완충지대로 흘러가는 지표수의 유속 저감
 - 유사(sediment) 및 관련 오염물질의 차단
 - 토양 깊숙이 유기물 공급(풀잎, 뿌리 잔재 분해 및 토양구조의 개선, 물의 침투성 용이)
 - 다양한 야생 서식처 제공
 - 물가에 그늘 제공 기능 미약
 - 물속에 유기물 공급 제한(미세한 유기물만 공급 가능)
 - 소 등 가축에 풀 제공
- 관목류
 - 뿌리는 강택의 세굴 저항성 제고
 - 낙엽, 가지 등은 토양구조 개선

- 야생동물의 수직 서식처 구조 제공
- 물가에 그늘 제공 기능 불충분
- 물속에 유기물 공급 제한 (미세한 유기물만 공급가능)
- 야생딸기 수확 등 추가 이익
 - 교목류
- 뿌리는 강턱의 세굴 저항성 최고로 높임
- 낙엽, 가지 등은 지표면 토양구조 개선
- 야생동물의 수직 서식처 구조 제공
- 물가 그늘 효과 가장 좋음
- 물속에 유기물 공급
- 물속에 쓰러진 나무는 수생 서식처 제공
- 목재 부산물 제공

한편 미국 농무성(USDA Forest Service/NRCS, 1997)에서는 일반적으로 수변 완충지대를 조성하기 위해서는 가능한 혼합식재가 바람직하며, 그 배치는 물에서부터 교목류, 관목류, 초본류의 순서가 요망된다는 연구결과가 있으나 국내 여건상 제외지(하천구역)에서 교목의 식재는 엄격히 제한되어 있기 때문에 수변 완충지대의 조성을 통한 편익과 홍수 위험에 대한 문제점 등을 충분히 감안하여야 할 것이다.

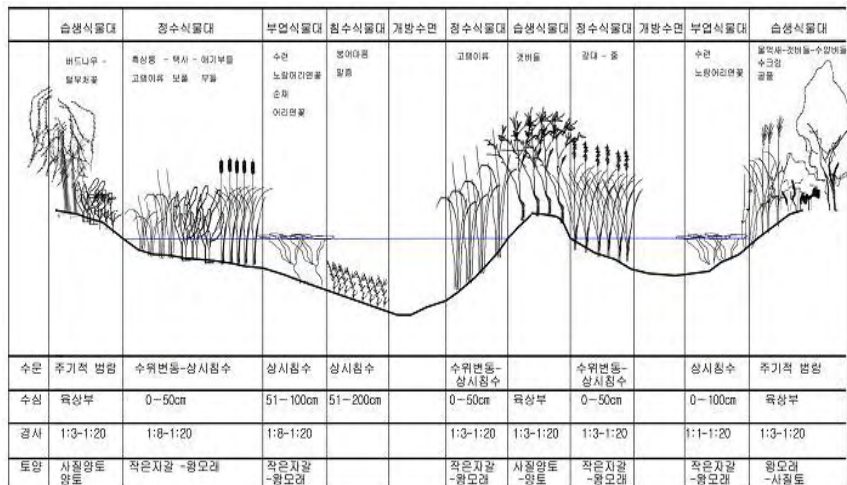
◦ 습지식생의 구조

복원의 개념에서 습지의 구조나 패턴을 말할 때는 습지생태계의 다양한 물리적·생물학적 구성요소를 말하며, 여기에는 어느 한 시점에서의 종 조합이나 생체량도 포함된다고 보고 있다(J.E. Grayson et al. 1999). 한편, 습지식생의 관점에서 구조는 수직적 구조와 수평적 구조로 구분할 수 있다. 수직적 구조는 하층과 중층, 상층으로 구분하는 것을 말하는 것으로써 수목의 높이에 따른다. 수평적 구조는 물과 물의 환경에서 식물의 분포패턴에 따른 구조를 나타내는 데, 흔히 물에서 물으로 이행해가면서 수생식물→습생식물→야생초지→관목덤불숲→교목 등의 순으로 나타난다. 물론, 지형적인 조건 등 여러 가지 환경적 변수에 의해서 수평적 식생구조는 다양하게 나타나기 마련이다.



<그림 2-33> 다양한 생물종의 서식을 위한 수직적 식재 설계 모델

경관과 수저환경측면에서 수문, 수심, 경사 도양조건에 따른 식재모델은 다음 그림과 같다.



<그림 2-34> 경관 및 수저관리를 위한 수직적 식재 설계 모델

◦ 자연식생을 활용한 호수유입 비점오염원 정화 방안

호수 내 혹은 호수제방에 인접하여 식생을 활용하여 호수의 물이나 호수 유입수를 정화하는 기법으로 호안습지, Bio-park, 호안식생-돌제방 등이 있다. 일본의 경우 건설성 주관으로 호수의 수질개선을 위해 호안습지, Bio-Park, 호안식생-돌제방 등을 활용하고 있으며, 특히 일본 제 2의 호수인 가스미가우라호의 부영양화를 방지하고 수질을 개선하기 위해 이들 방법을 적극 활용하고

있다.

① 호안습지

호안습지는 호수 제방에 인접하여 호수 내로 습지를 조성하여 호수로 유입되는 오염하천수를 유입시켜 정화하는 방법으로 수질정화 자유수면 습지를 제방변에 조성하는 방법이다. 가스미가우라호의 산노가와 수질정화습지와 세네가와 수질정화습지의 경우이다. 지형여건에 따라 호수유입 하천수를 자연유하로 호안습지에 유입시키거나 펌핑으로 호안습지에 유입시킨다. 갈대나 부들을 이용하여 호수 부영양화의 원인이 되는 질소와 인을 제거한다.

와따라세 식생정화시설처럼 호수제방 밖에 습지를 조성하여 호수의 물을 유입시켜 처리한 후 다시 호수로 유입시키는 방법도 있으며, 다가누마 호안습지처럼 호수제방 안쪽에 습지를 조성하여 호수의 물을 펌핑으로 습지에 유입시켜 처리한 후 호수로 처리수를 재유입 시키는 방법도 있다.

② 호안식생-돌 제방

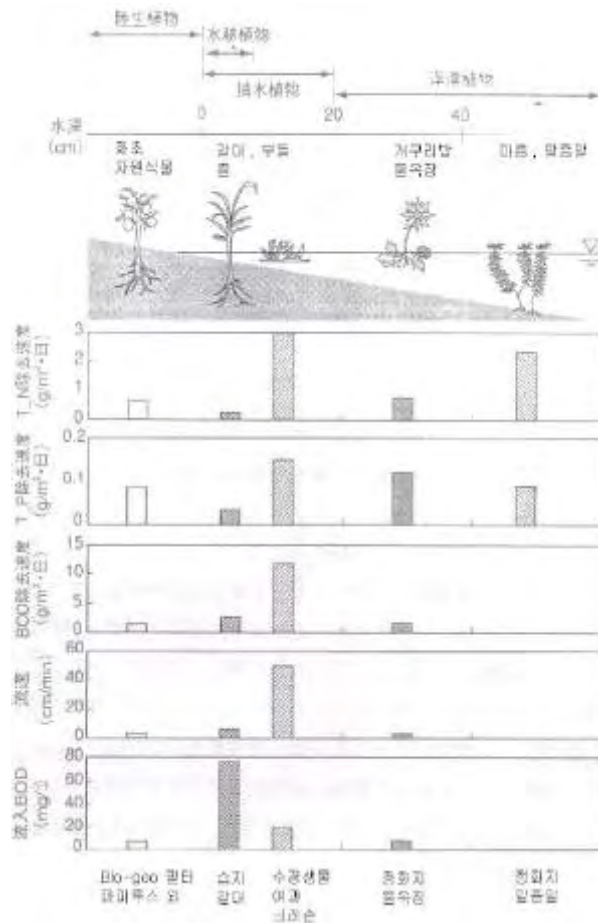
호수제방에 인접하여 갈대습지를 조성하고 갈대습지 앞에 거석제방을 조성하여 돌 제방 사이로 물이 이동하면서 수질이 정화된다. 돌 제방은 갈대를 파도로부터 보호하고 갈대 등이 죽어서 바닥에 쌓이는 잔재물(litter)이 호수로 흘러 들어가는 것을 막는 역할을 한다. 수질정화 인공습지의 제방은 습지로부터 습지 밖으로 유입수의 침투가 일어나지 않도록 설계하나 호안식생-돌 제방 방법은 돌제방사이로 물이 이동하여 수질정화 효율이 인공습지보다 낮다.

③ Bio-Park

Bio-Park는 호수유입 하천수나 호수의 물을 유입시켜 처리하는 기법이나 갈대 및 부들 등 정수식물을 활용하기보다 크레송, 민트, 미나리등 식용이 가능한 초본류나 관상용 초화류를 이용하여 수질을 정화한다. 가스미가우라호의 쓰찌우라 Bio-Park이 유명하다. 쓰찌우라 Bio-Park의 TN, TP 정화효율은 낮은 편이며, Bio-Park의 크레송은 주민들이 채취하여 채소로 활용하고 있다.

④ 농경수로 습지

농경지로부터 하천이나 호수로 농경배수가 유입되기 전에 습지를 활용하여 농경배수의 수질을 정화하는 방법이다. 주변의 논과 유역에서 수로로 유입되는 오염물질을 수로자체 내에서 정화하는 습지이다. 면적이 3,750m²이며 수심을 0.2~0.5m로 관리하고 있다. 체류시간은 약 3시간으로 비교적 짧으며, TN, TP의 처리율은 15%정도이다.



<그림 2-35> 식재조건의 차이에 의한 정화능력의 비교

바) 식물식재 계획수립

(1) 식재계획의 수립 절차

식물은 물과 토양환경 등의 영향으로 서식환경에 적합하도록 천이되므로 식재할 때에 수환경과 토양환경을 고려하여야 하며, 습윤지역에 도입하는 식물은 기존 저수지 및 인근 하천 강 등에서 자생하는 식물을 우선적으로 도입하고, 건조지역에 도입하는 식물은 인근의 산림, 초지 등에서 자생하는 식물을 도입하도록 한다. 이러한 자생식물의 도입은 최소한의 관리로 유지될 수 있다는 점과 함께 인근 지역의 동물을 유인하기 쉽다는 점에서 생물다양성의 증진에 도움이 된다.

식물 식재 시 고려사항으로 호안은 변화가 큰 자유곡선이 보기에 좋고, 야

생동물의 서식환경의 제공에도 유리하다. 수변부가 급격한 경사를 이루고 있을 때에는 수중에 토양기반을 조성하고 수생식물을 식재 하여야 하며, 토양의 깊이는 적어도 50~60cm, 가능하다면 1m의 두께로 조성해 주는 것이 좋으며, 수변 토양 중에서 수변식물이 생육하기 좋은 곳은 입자가 가는 토양으로 적당한 깊이가 확보된 곳이다. 토질은 균집의 형성과 성장을 좌우하게 되는데, 일반적으로 굵은 모래(직경 0.25~0.5mm)이상의 거친 입지에서는 수생식물의 성장은 빈약하거나, 또는 균집이 형성되지 않을 가능성이 높다.

표에서 보는 바와 같이 수심에 따라 생육 가능한 식물의 종류가 달라지므로 식물종을 도입할 경우에는 수심을 충분히 고려하여야 한다.

(표 2-38) 식물의 생활형별 생육에 적절한 수심

분류	적정수심(cm)	비고
관목 및 교목	0 이하	수고 2m 이내
정수식물	0~30	
부엽식물	약 30 ~ 60	
침수식물	약 45 ~ 190	
수생식물이 없는 경우	약 200 이상	

(표 2-39) 수목의 생존과 성장 최소 토양심도

분류		생존 최소 토양심도 (cm)	성장 최소 토양심도 (cm)	비고
잔디 및 초본류		15	30	
관목	소관목	30	45	
	대관목	45	60	
교목	천근성	60	90	
	심근성	90	150	

또한 물고기를 키우거나 수생식물을 식재 할 때 지나치게 그늘진 공간을 많이 조성하게 되면 생물의 서식에 바람직하지 않게 되며, 수생식물의 지나친 확장으로 인해서 수면이 좁아질 경우 곤충의 서식 및 어류의 서식에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다. 따라서 습지 조성 시 수생식물 확장을 방지하기 위해 포트 식재나 통나무 처리 등을 통하여 수생식물이 수면적의 1/3이상 차지하지 않도록 주의하여야 한다. 특히 갈대, 애기부들, 줄 등은 번식력이 강할 뿐만 아니라 키가 높이 자라므로 수 면적이 작은 연못(약 50m²이하)의 경우에는 지나

치게 변성하거나 경관적으로 어울리지 않을 우려도 있다. 식물섬(floating island)은 수질정화에 도움을 줄 수 있으며 야생조류의 서식처 등으로 활용될 수 있으므로 적극적으로 고려해 볼 필요가 있다.

① 계획대상지의 자연성의 파악

식물을 식재할 수변에서 가능한 한 가까운 곳에서 표고, 수질, 토질이나 그 습한 정도 등의 환경조건이 비슷한 장소를 찾아서 그 식생을 참고한다. 수변의 개수사업을 하여 친수공원 등을 조성하면 특히 꽃창포 등의 원예식물을 식재하고 싶은 경우가 일반적이지만 생태계를 위한 자연환경을 만드는 의미에서는 원예식물은 부적당하다. 이와 같은 식재는 군락으로서 단순하고, 관리와 인력과 비용이 들 뿐만 아니라 비료를 주면 물을 오염시키고, 병충해의 방제를 위해 농약을 살포하면 생태계에 큰 영향을 준다. 한편, 원래 그 지역의 수변에 서식하고 있는 식물은 그 지역의 자연환경에 가장 잘 적응한 종류이기 때문에 식재한 후에 유지관리하지 않아도 자연적으로 증식한다.

② 다양한 유형·수종의 도입

다양한 종에 의해 구성된 식물군락은 일반적으로 다양한 동물의 생활을 지지해주는 힘을 가지고 있다. 수변의 식재수종 중에는 판매되지 않는 것도 많으므로 첫 번째로 묘의 구입이 가능하고, 그 장소의 모든 조건이 허용하는 한 추수식물, 부엽식물, 침수식물, 부유식물 등 각각의 유형에 대하여 가능하면 많은 종류의 식물을 식재하도록 한다.

③ 식재계획도의 작성

식물을 식재하는 경우 식재하는 구역 전체에 무엇을 심을 것인지, 최종적으로 어떤 군락을 조성할 것인지에 관한 식재계획도를 작성한다.

또한 이 계획도를 검토함으로써 이 수역에 어느 정도의 생물이 서식할 수 있을까 등 개략적인 예측을 할 수 있다. 또한 각 식물의 식재면적으로부터 묘의 필요량을 계산할 수 있다.

④ 식재수종 구입계획 수립

위와 같이 각 식물 종류에 필요한 묘의 수량을 산출하고 그 구입계획을 수립한다. 수변에 자연적으로 생육하는 식물의 경우 묘를 판매하는 경우는 드물기 때문에 자신이 직접 준비해야 하는 경우도 있다. 또한 추수식물, 습생식물, 수목의 경우는 줄기나 어린 묘로 식재하기 때문에 미리 공급처를 가능한 한 가까운 곳에서 찾아둘 필요가 있다.

필요량의 묘를 일시에 구입할 수 없는 경우는 군락의 형성이 전체적으로 평균

적으로 진전되도록 연차계획을 수립하여 직재를 진행한다.

⑤ 식재작업

자생지로부터 굴취하여 온 초본식물의 묘 중에는 보존기간이 길면 고사하는 경우도 있으므로 식재작업을 하기 전에 미리 필요한 인원을 확보한다.

(2) 나무선정 시 고려사항

습지조성 및 식생수로, 식생여과대, 침투 저류지 등에 식재 할 수종은 수질정화효과가 검증된 종을 선정하되 도입되는 식물의 선정기준은 다음과 같이 설정하였다.

- 수질정화능력이 탁월한 수종, 월동이 가능한 수종
- 소재구입 및 유지관리가 용이한 수종
- 환경조건에 잘 적응하며 생장력이 강한 수종
- 설치목적에 적합하고 전체적인 분위기에 조화되는 수종
- 뿌리가 수중에 있고 표면에 뜨는 부유식물 또는 정수식물
- 구입이 용이하고 병충해가 없는 수종
- 수생식물 자체적으로 정화능력을 보유하고 있는 수종
- 수생식물의 증산량과 오염물질(BOD, T-N, T-P등)의 제거율이 높은 수종
- 식재할 지역의 주변 식생현황을 토대로 하여 과거부터 현재까지 생태적으로 안정화된 수종과 시설목적에 맞는 수종을 함께 고려하여 선정

도입되는 수종은 상기와 같은 선정기준을 만족시키고 근계를 통해 유기물, 영양염류 등을 흡수할 수 있는 정수식물 중에서 오염물질 정화능력이 크고 구입이 용이하며 내한성, 수집능력 등이 좋은 식물인 갈대와 애기부들 등이 유리하다.

선정기준에 의하여 도입되는 식물종은 생육여건 지역적인 여건에 따라 그 생육상태가 달리 나타날 수 있으나 대부분이 중부지방의 수변 및 하천가 등지에서 생육이 매우 왕성하고 활발한 종들 위주로 선택하여 계획한다.

① 기후

식물은 일반적으로 한정된 기후조건(온도, 일조량, 강우량)에서 성장한다. 따라서 나무 선정 시 당해 지역의 기후에 적합한 종을 선정한다.

② 지하수

하천고수부지는 지하수위가 높은 곳이 많기 때문에 뿌리가 수직으로 잘 성장하지 못한다. 그러나 하천에 광범위하게 분포하는 대부분의 나무는 지하수위

변화에 적응하여 뿌리 형태가 바뀌며 성장한다. 단, 극히 일부 수종은 지하수에 대한 적응력이 적어 지하수위가 높은 경우에는 쓰러지기 쉬운 뿌리 형태로 발달한다.

③ 토양

하천구역 내의 나무는 비교적 제한된 토양조건에서 성장 가능한 수종과 토양조건에 지배 받지 않는 수종이 있다. 나무의 조사결과와 문헌에 기록되어 있는 토양의 적합성을 종합해서, 수종별로 적당하다고 생각되는 토양조건을 고려하여야 한다.

④ 음양성

나무 중에는 일조량이 많은 장소를 좋아하는 양수와 음달을 좋아하는 음수가 있다. 직사광선을 많이 받는 경우에는 양수가 적합하고, 음수는 양수와 조합하여 균락으로 심을 경우에 적합하다.

⑤ 재생력

벌채를 해도 다시 받아하여 재생하는 정도를 말한다. 재생력이 강한 수종은 벌채 후 재생 방지를 위해 뿌리를 충분히 처리해야 한다.

비점오염원의 정화능력 뿐만 아니라 각종 동식물의 안전한 서식처로서의 기능을 도모하고 종 다양성의 극대화를 상호 고려하여 갈대 및 부들 종류를 우점종으로 식재하며 기타 수생식물, 침수 및 정수식물 등은 생물의 서식지 및 먹이의 기능을 갖기 위하여, 또는 그 다양성을 유지하기 위하여 인위적으로 도입된다 할 수 있다. 일반적으로 습지에서 이용되는 식물종은 갈대, 줄, 애기부들, 달뿌리풀, 물억새 사초속의 식물 등의 정수식물과 습생식물, 연꽃, 수련 등 부엽식물, 가래, 검정말과 같은 침수식물, 좁개구리밥 등의 식물이 이용된다.

⑥ 성장력

나무군락을 간벌하여 독립된 형태로 남겨 놓으면, 일사조건이 변하여 활력이 약해지거나 고사하는 나무도 있다. 또한 유지관리를 위해 가지치기를 하면 가지치기 정도나 계절적 기상조건에 따라서 성장력이 약한 수종은 고사하기도 한다.

(표 2-40) 수생식물의 생육형태

수종	형태	분포	분포역	특이사항
갯벼들	-벼드나무과, 낙엽활엽관목 -높이 0.5~3m, 하루에서 가지가 갈라지고 활처럼 구부러져 비스듬히 쉰는다 -번식법 : 종자	-중, 상류역의 하상의 바위 틈과 사벽지에 군생 -다른 벼들 군락에 비해 변 영역지에 발달 -유속이 빠르고 지하수위가 높으며 햇빛이 잘 드는 곳	저수로 호안	-뿌리를 깊게 내리고 줄기와 가지가 부드러워 홍수에 잘 유출되지 않으므로 자연 호안 안정화 기능이 높음 -많은 생물의 서식 장소로 이용
물억새	-벼과, 다년생 -번식법 : 파디에서 발아하여 생육하거나, 근경이 자라서 줄기를 내어 번식	-가는모래, 모래진흙 토양의 수변의 따뜻한 곳, 강가 언덕 -지하수위 10~30cm 부근에 생육하며 인간의 이용에 의해 소실되는 경우가 많음	범람원 재방	-물억새가 우점하면 순근락을 이루기 쉽다 -조류의 산란지, 보금자리로 이용
미나리	-산형과, 다년생, 정수식물 -뿌리줄기는 흙속에서 길게, 옆으로 뻗음	-전국에 걸쳐 습지, 못가에서 무리지어 자라며, 유속이 완만한 도랑이나 수초수로 등에도 분포함	저수로 물가	-생장이 왕성하여 영양염류의 흡수력이 뛰어난 수질정화 식물
달뿌리풀	-벼과, 다년생, 정수식물 -번식법 : 지하경 주로 땅위 줄기는 줄기의 각 마디에서 선형의 잎과 뿌리가 나와서 번식	-하천상류의 모래땅, 하천에 물의 흐름이 약한 부분, 지하수위가 0~30cm 정도 되는 곳	물가 호안 범람원	-달뿌리풀 군락은 상류역의 특징적인 하천 경관을 이룸 -곤충과 소동물의 생육의 장소로 이용
줄	-벼과, 다년생, 정수식물 -번식법 : 종자와 지하경으로 일동, 번식하나 주로 4~5월에 지하경의 겨울눈에서 새눈이 나와 번식	-모래질 보다는 유기물이 풍부한 점토질의 땅을 좋아하는 정수식물군으로 흔히 군락을 이루고 생육 수심은 0.2~1.0m	물가	-정수식물 군락으로 일부 어류의 산란장소로 이용되며, 은신처 및 수향 증가 시 피난 장소로 이용
노랑 어리연꽃	-조롱나물과, 다년생, 부엽식물 -번식법 : 종자번식, 또는 지하경으로 일동, 번식	-각지의 연못, 하천의 수계 -못과 같은 정체수역 또는 유속의 흐름이 완만한 중하류 저수로 근처에도 집단으로 분포	수중	-환경부에서 보호야생 동식물로 지정, 보호하고 있음
노랑 창포꽃	-붓꽃과 다년생, 습생식물	-우리나라 각지의 호수, 도랑, 연못	물길	-오염에 비교적 저항
갈대	-벼과, 다년생, 정수식물 -번식법 : 주로 지하경을 이용하여 번식하나 식생번식도 잘 됨	-냇가, 강하구의 점토질의 땅, 습지, 수중 -중, 하류 또는 하구역의 불안정한 수제부, 수심 1m 미만의 장소	물가 호안 범람원	-수생식물중에 경쟁에 강함 -수질정화 기능을 가지며, 갈대의 군락은 물고기의 산란장소, 생육장소로 중요함.

자료: 환경부 G7연구사업 국내여건에 맞는 자연형 하천공법 개발 연구팀, 2001, 하천식물자료집

(3) 식재시 고려해야 할 요인

① 일반적인 사항

하천 흐름 및 하천특성 분석, 독의 물리적 구성, 용지 준비 및 보호, 식생 유형, 재식재 기술 등이다.

② 하천흐름 특성

강둑에 식생을 어디에, 어떤 종류를, 언제 심을지를 결정하기 위해서, 하천의 수로 특성 및 하천 특성에 관한 자료가 필요하다. 특히 유량자료는 필수적이며, 그 외에 홍수터 분석, 지역에 사는 주민들에 대한 자료, 주기적인 범람을 표시하는 지방 식생과 토양에서 얻은 자료 등을 분석하여 하천흐름 특성을 분석하며, 이를 바탕으로 식재 방안을 설정한다.

③ 둑 형태

침식되었거나 밑 부분이 잘려 식재를 할 수 없는 경사는 식재 전에 기울기를 완만하게 조성하여야 한다. 요구되는 지면과의 각도는 토양에 따라 다양하며, 모래는 각도가 약 30도 정도까지만 가능한 반면, 진흙의 경우 더 가파를 수 있다. 밑 부분이 잘린 가파른 둑에서는 문제가 발생할 수 있는데, 강둑의 아래 끝 부분을 사석이나 다른 것으로 보호할 필요가 있다.

④ 용지 준비

적절한 둑 경사를 정하는 것과 둑의 아래 끝을 보호하는 경우뿐만 아니라, 다른 용지 준비 과정이 있을 수 있다. 사면은 적어도 10cm의 유기물질 표토층으로 덮이는 것이 바람직하다. 그러나 토양의 이동은 비용이 많이 들기 때문에, 비용 상의 문제가 있는 경우 표토층을 이동시키는 것 대신에 비료와 양질토양을 생산하는 뿌리덮개를 이용할 수도 있다.

⑤ 식생 유형

토착 식물이나 이미 그 지역에 있는 귀화된 식물을 일반적으로 사용한다. 왜냐하면 그 지역의 기후, 토양, 다른 생태학적 특징에 적응되었기 때문이다. 선정된 식물은 홍수에 내구력이 있어야 하는데, 하천의 특성에 따라 강력한 내구력을 필요로 할 경우 수종 선택에 신중을 기해야 한다. 잔디, 풀, 관목, 나무 등의 혼합지는 다양한 야생동물 서식지를 제공할 수 있어야 한다. 클로버와 같은 콩과식물은 물에 대한 저항력이 있고 질소고정 능력이 있기 때문에 잘 이용되나, 간헐적이고 단기 홍수에만 영향 받은 지역에 심어야 한다.

(4) 식재 밀도 및 규격

- 식물의 식재는 식재 간격에 따라 식생이 정착하는데 소요되는 시간이 달라지며 따라서, 시설을 가동하기 시작하여 계획처리 효율을 달성하는 시기도 달라질 수 있다.

- 식물의 종에 따라 식재밀도는 차이가 있으나 대부분 습지조성에서 수생식물은 초기 생육 활착을 위해 약 0.3~0.4m간격으로 식재하는 것이 바람직하다.

◦ 대상지는 습지의 효율성을 측정하는 모니터링을 실시해야 하므로 최소 기준을 반영하여 모니터링 시기까지 처리효율을 높일 수 있도록 식재 밀도를 설정하였다.

(표 2-41) 수질정화식물의 식재밀도 및 규격

식생구분	식물종	식재간격	규격
습생식물	달뿌리풀	12본/m ²	3" POT
	물억새	12본/m ²	3" POT
	노랑꽃창포	12본/m ²	2-3부얼
정수식물	갈대	12본/m ²	3" POT
	줄	12본/m ²	3" POT
기타	미나리	12본/m ²	3" POT
	노랑어리연꽃	12본/m ²	2-3분얼
	갯버들	4주/	H=0.5

(5) 물과 접하는 지역의 식재 및 식재이용의 이점

① 물과 접하는 지역의 식재

접수구역 복원에 대한 중요한 고려사항은 프로젝트 목적에 합당한 수문학적 조건의 수립, 건설 중 토사 및 골재의 효율적인 운용, 지역 및 프로젝트 목적에 알맞은 식물 선택 및 번식, 목표 종의 서식지를 강화하기 위한 기능 평가 등이다. 물과 접하는 지역에 나무를 심는 것은 침식을 억제하는 동시에 야생 생물 및 물고기의 서식지를 수변 시스템 내에서 조성할 수 있도록 해준다. 식생이 공학적 구조와 결합될 때, 이것을 생물공학이나 생물 기술적 방법이라고 일컫는다.

많은 생물공학(bioengineering) 수단들이 강둑 침식 억제를 위한 유용한 도구가 될 수 있지만, 필요할 경우 옹벽 같은 물리적인 구조물과 연결되어야 한다. 식생, 그 자체가 침식을 억제하는 해결책은 아니며, 지역 특성의 견지에서 고려되어야 한다. 잔디와 초본의 씨를 직접 뿌리는 것은 일반적으로 늦가을에 유리하지만, 하천의 수위에 따라 계획해야 한다. 초본 및 나무 종을 초봄에 옮겨 심는 것이 가장 좋으며, 나무는 휴면상태가 깨기 전에 옮겨 심어야 한다.

② 식재 이용의 이점

식생은 뿌리를 통해 토양을 강력하게 응집하고, 물의 흐름 에너지를 흠뜨리며, 물을 포집 하거나 물 침투를 강화시키고, 흡수 및 증산작용에 의해서 토양 수분을 증산시킨다. 구체적으로 첫째, 뿌리시스템은 동여 묶는 그물망 구조에 의해서 토양을 붙잡는 데 도움을 주고 전반적인 둑 안정화를 증가시킨다. 둘째,

노출된 식생(줄기, 잎자루, 가지, 잎)은 물 흐름에 대한 저항을 증가시켜 유속을 감소시킨다. 강둑 토양에 충격을 주는 흐름에 대해 식물이 저항함으로써 흐름 에너지를 분산시킨다. 셋째, 식생은 운송물질의 연마 효과에 대한 완충 역할을 한다. 넷째, 빈틈없이 자라는 식생은 독에 유속이 느린 지역을 만들어서, 퇴적물 침전을 유도할 수 있다. 식생은 또한 대부분의 구조적 방법보다 비용이 덜 들고, 야생생물의 상태를 향상시키며, 수질을 개선하고, 문화적/고고학적인 자원을 보호할 수 있다.

③ 식재방법

식물은 홍수기간에 견딜 수 있는 능력과 파도 및 물결 에너지에 적절히 대응하도록 식재하여야 한다. 수변지역은 수위가 계절별, 일별로 변하기 때문에, 식물 종 및 식재 패턴은 자연적으로 복구된 상태를 참고하여 당해 지역에서 가장 잘 적응한 종을 선택하여야 한다. 전체 하천 독 침식 보호를 위한 적당한 지표 커버, 야생생물 서식처 등을 제공할 수 있는 식생뿐만 아니라 심미적인 면도 고려하여야 한다. 물 에너지에 민감할 뿐만 아니라, 생태적으로 물과 육지의 천이지대인 접수구역에서의 식재는 다음과 같이 4지역으로 나누어 식재함이 바람직하다.

◦아래 끝 지대

이 부분은 평수위 밑의 지대로 매우 스트레스가 심하고, 흐름에 의해 종종 밑부분이 깎일 수 있다. 이 지대는 종종 1년 중 6개월 이상이 물에 잠겨있기 때문에 바위나 돌 같은 단단한 물질로 구성하여야 한다.

◦물장구 지대

이 부분은 평수위와 저수위 사이에 있으며 가장 스트레스가 심한 지대이다. 물장구 지대는 파도, 얼음, 쓰레기 등에 자주 영향을 받는 지역으로 우기와 건기, 동절기와 하절기에 따라 노출되는 지역의 차이가 크다. 이 부분은 1년 중 6개월 이상 침수되며 수심은 날마다, 물장구 지대 내 위치에 따라서 변동될 것이다. 물장구 지대 식재에는 갈대, 풀 풀과 같은 초본 식물들이 적합하다. 이런 종류의 식물은 홍수에 강하고 물장구 지대에 잘 적응한다. 갈대의 뿌리와 줄기는 물밑에서나 육지부에서 토양을 감싸 하천 독을 보호한다. 물장구 지대는 앞에서 언급한 것처럼, 일반적으로 가장 스트레스를 많이 받는 지대로서 뿌리와 줄기가 모두 물이나 파도에 잘 적응된 종을 식재 하여야 한다.

◦독 지대

이 지대는 간혹 홍수와 파도 등에 노출될 수 있으며, 잔디 같은 홍수에 강한 종이 유리하다. 일반적으로 잔디는 그물이나 말뚝으로 고정시키면서 심어야

한다. 이 지대는 주기적으로 파도, 홍수, 얼음, 쇄설물 등에 노출되고 동물이나 사람의 출입도 빈번하다. 독 지대에서는 초본(즉, 잔디, 클로버 등) 및 나무가 이용되고 이런 종들은 홍수에 강해야 하며, 몇 주 동안 완전히 물에 잠기는 것도 견딜 수 있어야 한다. 예를 들어, 갈대는 8주까지 범람에 견딜 수 있다. 다양한 종류의 관목류 버드나무도 적합하며, 수위가 높은 기간에는 이런 관목의 위쪽 가지들이 유속을 줄여서 물의 침식력을 감소시킨다. 이런 관목의 가지들은 탄성이 크고, 흐름이 지나간 후에 원상회복이 빠르다.

◦ 언덕 지대

이 부분은 독 지대에서 내륙 쪽에 있으며, 일반적으로 가끔 있는 홍수기간을 제외하고 강의 침식에 영향 받지 않는다. 언덕 지대는 독 보호에서 덜 중요한데, 이는 범람과 침식문제가 거의 없기 때문이다. 언덕 지대에서 일반적으로 경사가 1V:3H 보다 크지 않을때, 직접 씨를 뿌리거나 기존의 성장한 식물을 옮겨 심을 수 있다. 경사가 1V:1H 이상일 때는 장작단, 나뭇가지 등과 같은 지지 구조와 함께 잔디를 입히는 것이 필요하다.(Logan et al. 1979) 언덕 지대는 독 지대의 초목보다 홍수에 강하지 않는 토종 잔디, 초본, 관목, 나무 등을 포함할 수 있고, 나무 종은 크고 육중한 것을 사용할 수 있다. 하천과 강의 독 안정화에 있어서 나무의 가치는 중요하다. 거대한 나무뿌리가 범람원 충적토를 감싸고 있는 강둑은 100년에서 200년 동안 침식되지 않았다. 나무, 관목, 잔디 조합은 이 지대에서 통합적인 식물 군집으로 침식억제 역할을 할뿐만 아니라, 야생생물 서식지 다양성 및 경관의 아름다움 등을 개선할 것이다.

(6) 정수식물의 식재요령

① 갈대의 식재

그루식재, 지하경 식재, 새싹 식재, 뗏장을 이용한 식재 등의 방법과 종자파종에 의한 방법이 사용되고 있다. 물의 흐름이 빠른 곳에서는 뗏장을 이용하여 식재하고 뗏장에 애기부들의 확산을 방지하기 위해 통나무로 처리하거나 수련의 확산을 방지하기 위한 포트 식재방법도 있다. 식재 시에는 고정 핀을 막아 물에 떠내려가지 않도록 하며, 고정 핀은 마디가 있는 대나무를 쪼개어 쓰도록 한다. 그루식재, 지하경 식재, 새싹식재는 식재 밀도를 조절하기 용이하나, 침수되는 지역에서는 토양이 연약화 되어 물에 뜨기 쉽다. 따라서 그루식재는 포트에서 재배한 묘를 사용하도록 하고 지하경 식재나 새싹 식재를 할 경우에는 뿌리가 자라서 정착되었을 때 묘의 수위를 조절하여 침수되도록 한다.

종자 파종에 의한 경우는 식재밀도가 높아질 우려가 있으므로 발아율을 고려

하여 파종량을 결정하여야 한다. 발아기간 중 빗물에 유실되지 않도록 섬유망을 토양의 표면에 덮어주고 고정 핀으로 섬유망을 고정시킨다. 뿌리가 활착하여 안정될 때까지 토양이 습윤한 상태를 유지할 수 있도록 연못의 수위를 조절하거나 관수해야 한다.

② 줄, 부들류 등의 식재

갈대의 식재방법에 준하여 식재하도록 한다. 줄기 식재를 하기 위해서 부들류 1본, 줄과 큰 고랭이 2~3본의 작은 뿌리를 50~60cm 간격으로 식재하며, 식재 시기는 이른 봄이 최적기이지만, 연중 아무 때나 가능하다.

수중에 식재할 경우에는 식재 직후 묘가 물에 뜨는 것을 방지하기 위해 흙을 충분히 덮어야 한다. 부들의 종자는 매우 작아 바람에 날아가기 쉽고 건조에 저항하는 힘이 약하므로 토양이 습윤한 상태를 지속적으로 유지할 수 있도록 유의한다. 부들의 종자에는 실 같은 날개가 붙어 있는데 종자와 분리하여도 되고 날개를 떼지 않고 그대로 파종하여도 되는데, 이때 날개는 썩어서 비료분이 되는 효과를 지닌다. 부들은 발아 초기에 햇빛에 노출되면 생육이 나빠지므로 그늘을 만들어주는 것이 초기생육을 도와주게 된다. 부들류는 발아율이 90%이상으로 나타나므로 파종량이 많아지지 않도록 유의한다. 다년생 소형 정수식물과 습생식물도 대체로 위의 방법에 준하여 식재하면 된다.

③ 부엽식물의 식재

부엽식물이 지나치게 번성하면 수면을 덮어 햇빛이 차단되는 등의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 부엽식물을 식재 할 때에는 포트에 식재하거나, 지하경이 주위로 확산되지 않도록 통나무 등을 박아 둘 필요가 있다. 수련, 가래, 노랑어리연꽃, 어리연꽃, 순채 등과 같은 다년생 부엽식물은 뿌리나 지하경을 절취하여 이식한다. 연꽃류는 늦가을에 수면 위에서 결실된 종자를 수집하여 봄에 파종한다. 파종할 때에는 종자소독을 한 후 껍질을 사포 등으로 갈아서 수분의 흡수가 가능하도록 하여야 한다. 파종한 종자가 물 위로 뜨지 않도록 해야 하는데 진흙 안에 종자를 넣어 뭉친 후 물 속에 가라앉히는 방법을 쓸 수도 있다.

부엽식물은 줄기가 연약하므로 옮겨 심을 때에는 줄기가 부러지지 않도록 주의하여야 하며, 수면 위로 잎이 성장하게 되면 줄기가 부러지는 경우도 있으므로 특히 어릴 때에는 수위조절에 유의하여야 한다.

④ 침수식물 식재

침수식물은 진흙이나 모래땅에서 생육하는 형과 돌이나 바위에 붙어서 생육하는 형이 있으므로 침수식물이 생육하고 있는 주위의 호소에서 흙과 돌 등을

그대로 떠다가 옮겨오는 방법을 쓸 수 있다.

말즘, 새우말, 나사말 등과 같은 다년생 침수식물은 뿌리나 지하경을 절취하여 이식한다. 수종별로 차이는 있으나 말즘, 붕어마름, 검정말 등은 식아(殖芽)를 산파하여 식재한다. 줄기로 번식이 가능한 종류는 포트에 심어서 키운 후 물속에 옮겨 심거나, 지하경을 2장의 철 그물망(망 크기 1cm내외) 사이에 끼워 물속에 넣어 두는 방법을 사용한다.

포트 재배를 할 경우에는 가급적 물속에서 포트가 수년 내에 분해될 수 있는 소재를 선택한다.

⑤ 수변림의 식재

수변림은 야생조류에게 은신처를 제공하게 되므로 야생조류를 유인하고자 하는 곳에서는 필수적인 존재이다. 또한 수변림은 수면에 그늘을 제공하여 수온이 지나치게 올라가는 것을 예방하며 물고기가 강한 햇빛을 피해 쉴 수 있는 장소를 제공하기도 한다.

수변림을 형성하는 수종은 버들류에 속하는 것이 많다. 수종별로는 버들류는 가지를 땅에 꽂거나 묘목을 옮겨 심는 방법으로 식재한다. 버들류의 종자는 바람에 날리기 쉬우며, 발아능력은 종자가 성숙된 후 1개월 이내이며, 건조에 취약한 특성을 가지고 있다. 따라서 종자를 파종할 경우에는 종자 채취 후 곧바로 심고 토양이 습윤한 상태를 지속적으로 유지할 수 있도록 하여야 한다.

버들류, 오리나무류, 황철나무, 백당나무, 나무수국 등은 지하수면보다 아래쪽으로 뿌리를 뻗을 수 있으므로 지하수위가 높은 곳에 식재하고, 느릅나무, 들메나무, 신나무, 팽나무, 졸참나무 등은 지하수면보다 아래쪽으로 뿌리를 뻗을 수 없으므로 지하수위가 낮은 곳에 식재한다.

⑥ 야생초화류 식재

야생초화류로 구성된 초지는 다양한 곤충류의 서식처가 되며, 주변의 저습지, 그리고 관목림간의 중간 역할을 할 수 있도록 조성한다. 야생화는 토양수분과 햇빛의 강약에 민감하게 반응하므로, 자생지에서의 생육환경과 가장 유사한 곳에 식재하도록 한다. 특히, 그늘진 습지지역에서 잘 자라는 수종을 양지바른 곳에 식재하는 것은 가장 범하기 쉬운 잘못된 식재방법 중 하나이다.

외부에서 토양을 반입할 경우에는 토양에 포함된 종자가 발아하여 성장하게 되므로, 바람직한 식물상을 형성하고 있는 곳에서 토양을 반입하여야 하며, 토양에 포함된 종자의 발아가 바람직하지 못할 경우에는 토양을 가열하여 종자가 발아되지 못하도록 처리하여 사용하여야 한다.

외부로부터 종자가 날아들어 발아하는 것을 방지할 필요가 있을 경우에는, 토

양의 표면을 모래나 수피 등의 굵은 입자로 덮어주어야 한다.

나비류를 유인하는데 도움을 주는 개망초, 토끼풀, 엉겅퀴류 등은 조성 후 자연스럽게 발생하는 경우가 많으므로, 별도로 식재하지 않도록 하고, 너무 번성할 경우에는 솎아내 주도록 한다.

생물계절학(phenology)적인 측면과 도입하는 식물의 생태적 특성을 최대한 고려하여 식재위치를 선정하며, 초기 식재 때에는 빨리 자라고 많은 햇빛을 요구하는 선구식물을 도입하여 조기에 식생피복을 이루도록 한다.

⑦ 관목류의 식재

키가 낮은 관목으로 구성된 덩불 숲은 다양한 곤충 및 조류의 서식처가 되는 바, 주변의 초지와 교목림간의 중간역할을 할 수 있도록 조성한다. 관목은 포트에 재배한 것을 사용하거나 뿌리 돌림한 것을 옮겨 심는 방법으로 식재한다.

여러 종류의 관목류 종자를 파종해 두는 것은 덩불숲의 조성에 많은 시간이 소요되지만 식재지의 환경에 적합한 종류가 생육하게 된다는 점에서 바람직한 방법이다.

관목류와 같은 목본 식물을 파종하고자 할 때에는 발아촉진 처리를 필요로 한다. 또한 초화류가 번성한 곳에서는 잘 자라지 못하는 경우가 많으므로 파종에 의하여 관목류를 도입하고자 할 경우에는 초화류의 생장을 억제시킬 필요가 있다.

⑧ 교목림의 식재

교목림은 조류와 나무에서 생활하는 포유류의 중요한 서식처가 된다. 면적에 여유가 있는 경우 소관목, 대관목, 소교목들이 넓은 면적을 차지하도록 하고 키 큰 교목류도 군집을 이루도록 식재하며 수면 ⇒ 습초지 ⇒ 건조지 ⇒ 관목 ⇒ 교목 등의 생태적 연결성이 확보되도록 식재한다.

종자 파종에 의한 방법은 관목류의 방법에 준하며, 식물들은 군락화(群落化) 및 다층구조화(多層構造化)로 식재하는 것을 원칙으로 한다.

사) 수생식물의 관리

자연습지(순치관리)의 수생식물은 성장기에는 영양물질의 제거원으로 작용하지만 사멸기에는 부하원이 된다. 따라서 수질정화 효과를 높이기 위해서는 시기적인 제거관리가 필요하다. 생산력과 사멸율이 일치하는 시기를 보상시기로 본다면, 이 보상시기 이전에 수생식물을 제거하는 것은 식물은 물론 수질에도 악영향을 줄 것이다. 보상시기 이후는 고정된 동화량이 호흡을 통해서 사라지거나 하부로 전환 및 지하경으로 축적되는 시기로 볼 수 있다. 수생식물의 재

생능을 유지시켜 주기 위해서는 이 시기 역시 최적 제거시기가 될 수 없다. 단자엽식물로서 물옥잠과에 속하는 8종류 중 하나인 부레옥잠의 생육 최적온도는 20~28℃이고 34℃ 이상에서는 생육이 억제되고, 생존 최저수온은 10℃, 증식 최저수온은 15℃이다. 10℃ 이하에서는 성장이 멈춰지며 0℃ 부근에서는 Vegetative part가 크게 손상된다. 그러나 0℃ 부근의 온도에서 단기간 노출시는 살아남으며 영양물질이 저농도인 호소수에서 생육된 식물은 고농도의 하수에서 자란 것들에 비하여 저온에 보다 민감하다. 국내 자연수역의 표수층 수온자료를 기준으로 할 때, 현지에서 부레옥잠의 생존가능 시기는 4월초에서 11월 중순, 증식가능 시기는 4월 하순에서 10월 하순, 최적 생육시기는 5월 하순에서 9월 하순까지로 볼 수 있다. 산성보다는 알카리 조건에서 생육에 저해를 심하게 받고 부레옥잠의 성장에 대한 적정 pH는 5~9의 범위 내에 있다. 조류증식이 있는 폐쇄수역에서는 영양염류 농도가 과도하게 높을 경우 증식율이 상대적으로 높은 조류가 먼저 번성하여 pH 상승과 함께 부레옥잠의 영양염류 흡수능을 저하시키고 번식한 조류는 부레옥잠을 피복하여 뿌리를 수표면위로 부상케하여 뿌리의 활성을 더욱 저하시킨다(공, 1996).

Malcolm Emery for the Ecological Parks Trust(1986)에서는 습지생태계의 관리에서 기본적으로 고려되어야 할 것은 정리(clearance)로 보았다. 여기서 정리는 일반적으로 진흙, 실트, 자갈, 또는 밀집된 식생을 포함하고 있다. 특히, 식생의 관리와 관련해서는 호안변의 식생, 정수식물, 부엽식물, 침수식물, 부유식물별로 구분하여 이들의 생태적 특성에 기초한 관리방안을 제시하고 있다.

(표 2-42) 식물분류군별 식생관리 기법

구분	주요관리기법
호안변식생	습초지, 관목, 교목 등의 관리로서 수변 서식처를 다양하게 유지 수면에 그늘이 지는 양의 조절 수면으로 떨어지는 낙엽수의 저감 등 갈대, 사초류, 습초지 등의 관리는 깎기와 방목으로 하며, 이는 초본 류의 증진과 외부 종의 침입을 제어함. -깎기 : 6월 중순부터 8월까지 실시 -방목 : 5월부터 10월까지 실시
정수식물	두 가지의 생태적 특성으로 퍼짐(spread)에 대한 제어 필요 -수변부에서 물속으로 계속 번성해감. -몇몇 생물종은 물에서 완벽한 우점성을 형성하여 생물다양성을 감 소시킴. 깎기나 파내는 제거(수심이 1m이상 이면 힘듦)가 필요 일본에선 정수식물의 번식을 막기 위해 통나무·단처리 등을 주로 함.
부엽식물과 침수식물	두가지의 생태적 특성으로 제어 필요 -개방수면 및 그늘지지 않은 수면의 확보 -한 종이 수면 긴막대 고리를 이용하여 식물체를 고집어 냄. 일시적인 제거방법으로는 줄기를 잘라 줌.
부유식물	부유식물의 번성은 물속에 영양분이 많음을 나타냄. 갈퀴나 고리 등을 이용하여 끌어내어 제거

*출처 : Malcolm Emery for the Ecological Parks Trust(1986)

습지식생 관리모델 설정인자는 조성목적 및 적용기법 등이 있으며 다음 표와 같다.

(표 2-43) 습지식생 관리모델 설정을 위한 주요 인자

구분	주요 요소	결정인자
조성목적 및 적용기법	조성목적, 수환경·토양환경·호안환 경 조성 기법, 식재기법 등	조성목적, 수환경·토양환경·호안환 경 조성 기법, 식재기법 등
시간적변수	조성 후 경과 년수	조성 후 경과 년수
주변환경	주변지역의 토지이용, 주변지역 서식처와의 거리와 방향 및 서식 처 유형(습지,하천,강,산림,공원등)	주변지역 서식처와의 거리 및 서 식처 유형(습지,하천,강,산림,공원 등)
수 환경	수위변동, 수심, 수질(부영양화 등), 수온	수심
토양 및 호안환경	토성 등의 물리적 특성, pH와 유 기물 등의 화학적 특성, 토양 색, 호안 재료, 호안경사	토성, 유기물, 호안경사, 호안재료
식생구조 및 피복면적	식재된 종의 번식유형(종자번식, 영양번식 등)및 생태적 특성, 귀 화식물의 점유율, 개방수면[(피복 면적/개방수면적) x 100], 식재시 간격	식재된 종의 번식 유형(종자번식, 영양번식 등) 및 생태적 특성, 개 방수면[(피복면적/개방수면적) x 100]
야생동물	어류, 조류, 포유류 등	-
인위적교란	관리의 정도, 인간 간섭정도 등	-관리주기, 데크를 사용하지 않고 내부에 출입하는 사람 수

*출처 : William J. Sutherland & David A. Hill(1995), 안영희 譯(2000), James A. Harris(1996) 등

아) 식생형 시설 설계 점검사항

◦ 물리적·환경적 실현가능여부

- 식생여과대의 길이 방향 경사 (2~5% 범위)
- 식생여과대 표면 면상류(面狀流) 유지를 위한 설계
 - 유입부 유량분배장치 설치
 - 말단부 투수성 둑 설치
- 식생수로의 길이 방향 경사(1~2%)
 - 식생수로의 경사가 2%초과 시 낙차공설치
 - 낙차공 적하부 에너지 소멸장치 구비

◦ 유입·유출부 안전여부

- 수로의 10년 빈도 강우에 대한 여유고 확보(최소 15cm)
- 수로의 사면경사 (2:1 이하)
- 유입지점 자갈격벽 설치(최소 15cm높이)

◦ 유입전의 처리

- 수로 내 유속 감쇄시설 및 전처리시설 설치
 - 침강지 설치 (수질처리용량의 10%이상)
 - 유입구 자갈격벽 설치

◦ 식생형시설 구조

- 수로 내 수질처리용량의 일시 저류가능 여부
- 24시간 정도 (최대 48시간) 내 방류 가능 여부, 수로 바닥 폭 (최대 2.5m)
- 건식 식생수로 하부 투수성 여과상 충전수로 바닥 폭 (최대 2.5m)
- 습식 식생수로 부지의 지하수위 및 토양 침투율

◦ 식생방안

- 식생 조밀도의 적정성
- 식물종 선택의 적정성(부지조건, 토양조건, 수분조건)
- 도로변 유출수에 대한 내염성 식물 식재여부

2-4 식생정화공법(식생여과대, 식생수로) 적용사례

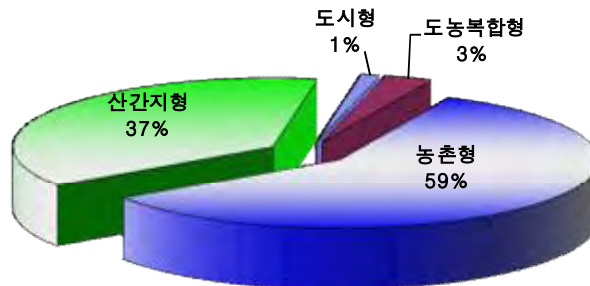
우리나라 농업용저수지의 관리주체는 한국농어촌공사와 지방자치단체로 크게 2가지로 구분되는데 그 중 농업용 수리시설 전문기관인 한국농촌공사의 경우에는 수리시수원공의 크기 크고 축적된 기술에 의하여 관리하고 있다. 이중 수질관리 측면에서 유역특성에 따라 저수지의 특성을 분류해 보면 다음과 같다.

◦ 시설유형 분포

개략적인 분류기준은 유역내 거주인구 형태, 유역 및 주변의 도시형태에 따라 분류해 보면 도시형, 도농복합형, 농촌형, 산간지형으로 나눌 수 있다.

시설유형	도시형	도농복합형	농촌형	산간지형
유역 내 거주 형태	주거 밀집	주거 집중과 분산 혼재	소규모 주거 집중 분산	분산형 주거
유역 및 주변 도시형태	읍 이상 도시	읍면소재지 포함 또는 인접	읍면 소재지 이하	도시지역 없음

상기 기준에 의해 총대상시설 3,287개소 중 농촌형 1,925개소(58.6%), 산간지형 1,224개소(37.2%), 도농복합형 99개소(3.0%) 도시형 39개소(1.2%)로 나타났다.



향후 농업용저수지 수원의 용수 활용 전망을 보면 농업용수 외에 환경유지수가 252개소(7.7%)로 가장 많을 것으로 전망된다.

구분	계	농업용수	환경용수	생활용수	공업용수	상수원수	수산용수
개소수 (%)	3,287 (100.0)	2,775 (84.5)	252 (7.7)	218 (6.6)	21 (0.6)	17 (0.5)	4 (0.1)

또한 용수원 주위에 분포하는 수변지역의 면적을 추정하기 위하여 '09 목적의 사용 계획에서 보면 영농 25,373ha, 시설임대 1,214ha로서 농업용수 수질개선 사업 계획부지로 활용가능 할 것으로 사료된다.

한편 농업생산기반시설 및 주변지역 활용에 관한 특별법에 의거 저수지 주변의 이용이 활발해질 것으로 예측되는 바 이들에 대한 오염원관리 및 수질정화

에 대한 관심이 더욱 확대되어야 할 것이다.

도농교류 활성화를 위한 저수지 수변개발 방안[한국농어촌공사 농어촌개발처 윤진옥(세계 물의 날(2009년) 발표 자료집)에 따르면 개발가능성 검토를 아래와 같이 기술하고 있다.

• 농촌지역 저수지 개발가능성 검토

-개발가능성[시군관리 14,328 공사관리 3,323 계 17,651개소]

한국농어촌공사 관리 저수지 중 개발가능성이 있는 313개소 저수지 개발 여건 검토: 152개소(48%)의 저수지개발 여건양호

계	개발가능	개발잠재	개발여건 불리
313개소 (100%)	29 (9)	123 (39)	161 (52)

-활용가능사유

개발여건이 양호한 152개 저수지의 활용가능사유

계	경관수려	수해면적 감소	용도폐지	기타시설부지
152 (100%)	72 (47)	21 (14)	22 (14)	37 (25)

-개발계획 유형분류

경관을 활용한 유원지 및 체육시설 등의 관광휴양형이 가장 많음

계	관광휴양	매각	공원조성	신재생에너지	택지	수상레포츠	기타
152 (100%)	82 (54)	13 (9)	13 (9)	13 (9)	9 (5)	9 (5)	13 (9)

환경부(2004)는 도시지역, 도로, 농경지와 같이 광범위한 지역에서 강우유출수와 함께 배출되는 비점오염물질을 처리하기 위하여 한강수계 내 소유역에 비점오염물질 배출 저감시설을 시범적으로 설치 운영하기 위하여 2000년 팔당상수원 비점오염원 최적관리사업 기본계획 및 타당성조사사업, 2004년에 한강수계 비점오염관리시설 시범설치사업 기본 및 실시설계를 실시하였다.

설치대상 시설은 식생수로, 식생여과대, 인공습지, 침투도랑 등이 있으나 본 연구에 목적에 부합한 식생 정화시설인 식생수로, 식생여과대에 관한 사항을 아래와 같이 소개하고자 한다.

(표 2-44) 한강수계 비점오염원 관리시설 시범설치사업 적용부지

시설명	지역	시설부지	배수면적 (ha)	시설면적 (m ²)	오염원	비고	
1	식생수로	용인삼계	공유지	0.77	346.4	도로	건교부 폐도
2	식생수로	용인갈담	고수부지	28	1,708.7	농촌 (농경지)	고수부지 (경안천2급하천)
3	식생여과대	용인초부1	수변구역	7.05	3,258.6	농촌 (농경지)	고수부지 (경안천2급하천)
4	식생여과대	용인해곡	수변구역	2.53	1,966.9	농촌 (산지, 농경지)	수변구역
5	인공습지	이천백사	수변구역	22.02	5,010.0	도농복합지역	수변구역
6	인공습지	용인전대	고수부지	10.38	4,181.6	농촌지역	고수부지 (경안천2급하천)
7	침투도랑	용인둔전1	국유지	0.30	290.0	도로	하천부지 (경안천2급하천)
8	침투도랑	용인둔전2	국유지	0.50	309.5	도로	하천부지 (경안천2급하천)

상기 표에서 보는바와 같이 8종의 시설중 식생형 관리시설 50%에 해당하며, 인공습지 포함할 경우 75% 차지하고 있다.

비점오염원 관리시설중 식생여과대와 식생수로의 특성에 대해 공법원리, 토지이용조건, 지역사회와 환경요소로 구분하여 요약하면 아래 표와 같다.

(표 2-45) 비점오염원 관리시설 특성

구분	식생여과대		식생수로
공법원리	비점오염원과 하천, 저류지, 습지 사이에 조성된 식생대로서 여과, 침투과정으로 수질정화		<ul style="list-style-type: none"> • 식생이 형성된 수로로서 처리대상 유량을 침투, 여과과정을 통해 수질정화 -수질정화기능 강화를 위해 하부에 메디아를 설치: Dry Swale -저류기능을 강화한 수로: Vegetated Swale
토지이용조건	농촌지역	적당	적당
물리적 적용조건	토질	제한 없음	제한 없음
	지하수위	지하수위 이하	0.6m
	배수면적(ha)	최대 2	최대 2
	부지경사(%)	30 이하	4 이하
지역사회와 환경요소	유지관리편의성	높음	높음
	지역사회 적용성	높음	높음
	비용 적용성	높음	높음
	안전성	높음	높음
	서식지	중간	낮음

참고적으로 일본의 농촌환경정비조사계획 실무 참고자료(농촌환경정비센터 발행)에 나타난 용·배수로, 호소, 마을동산의 환경보전대책(개요)을 부록에 소개하였다.

1. 식생여과대(filter strips, 용인 초부) 적용사례

가) 대상지 특성

대상지 특성	<ul style="list-style-type: none"> 경안천 변 임야 30%, 농경지45%, 도시25%로 구성. 강우시 농배수로를 통하여 비점오염물질이 경안천으로 유입.
처리방안	<ul style="list-style-type: none"> 경안천 하천부지 내 식생여과대를 설치하여 비점오염원관리



<그림 2-36> 식생여과대 사례(초부)지구 위치

(표 2-46) 식생여과대 사례(초부)지구 유역면적 분포비율

구분	면적 (ha)	비율 (%)
임야	6.38	30.1
논	2.97	14.0
밭	6.55	30.9
대지	5.29	25.0
계(유역면적)	21.19	100.0

나) 기본계획

- 도달시간 산정

연장 0.315km, 유로경사 0.009, CN 90.75, $\Delta H(m)$ 2.9, 산정식(kirpich) : 9.93

- 홍수유출량

임계지속시간(분) 110, 홍수유출량(m^3/sec) 2.87

- 배수구역의 유역특성

단위면적당 배출부하 5.940kgBOD/일/ha, 27.783kgCOD/일/ha, 1.995kgT-N/일/ha, 0.064kgT-P/일/ha

- 수질조사결과

발농사지역의 전형적인 근교농촌지역이다. 강우 누적량은 33mm(평균Q:0.0243 $m^3/초$)이었으며 강우량 증가에 따라 유출유량 증가와 더불어 COD, T-N는 증가경향, SS는 초기유출 후 감소하는 경향을 나타내고 있으며 BOD, T-P는 큰 유출변화는 없으나 일정한 농도를 유지하며 유출되는 것으로 분석되었다.

- 우수유출량 및 시설규모 산정

유출계수 (C)	처리대상강우량 (mm)	면적 ($100m^2$)	우수유출량 (Q, m^3/sec)	시설용량 (m^3)	체류시간 (hr)
0.219	30	2.119	0.016	210	1.9

다) 실시설계

- 기본방향

-유출수와 식생여과대의 속도관계 효율화 및 단일종 대규모 형태로 조성

-가급적 지피형태로 조성하여 제거효율 극대화

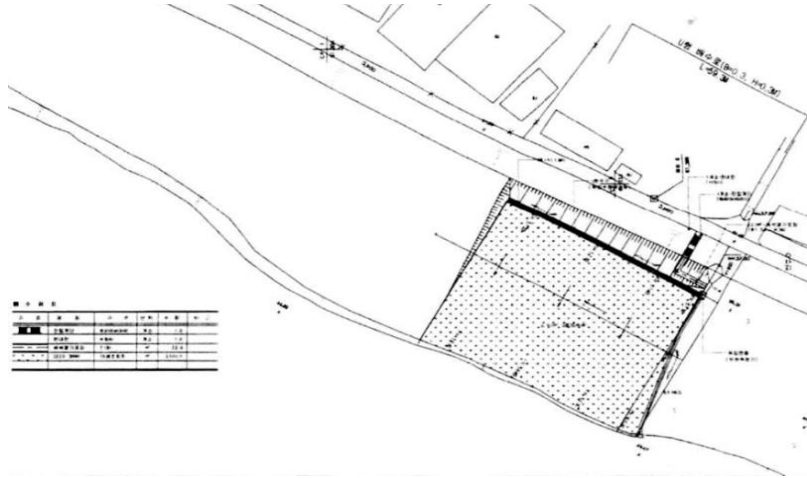
-경사를 완만(평균경사0.5~1.7%)하게 하여 식생여과 기능 도모

- 식재계획

넓은 면적으로 야생초화 seed spray과중하여 조성(유지관리의 용이)

- 시설물계획: 유지관리를 위한 진입계단 설치와 안내판 도입

- 동선 및 포장계획 : 쇄석깔기 포장을 시행하여 자연친화적인 형태로 조성
- 기대효율(%): SS 76, T-P 53, T-N 39, BOD 40, COD 39



<그림 2-37> 식생여과대 사례(초부)지구 실시설계도

라) 모니터링결과(제거효율,%)

TSS : 78.1~91.3

BOD : 44.0~86.3

COD : 37.5~86.3

-Monitoring Result of Demonstration Devices for Diffusion Pollution in the Han River Basin, 2009.10, Seo, Seong Cheol(EMC)



2. 식생수로(Grassed swales, 용인 갈담) 적용사례

가) 대상지 특성

대상지 특성	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 토지이용은 논과 밭, 대지 지역
처리방안	<ul style="list-style-type: none"> • 경안천 하천부지 내 식생수로를 설치하여 비점오염원관리



<그림 2-38> 식생수로 사례(갈담)지구 위치

(표 2-47)식생수로 사례(갈담)지구 유역면적 분포비율

구분	면적 (ha)	비율 (%)
논	4.18	59.5
밭	0.39	5.5
대지	2.46	35.0
계(유역면적)	7.03	100.0

나) 기본계획

- 도달시간 산정

연장 0.278km, 유로경사 0.013, CN 93.65, $\Delta H(m)$ 3.5, 산정식(kirpich) : 8.00

- 홍수유출량

임계지속시간(분) 100, 홍수유출량(m^3/sec) 3.27

- 배수구역의 유역특성

단위면적당 배출부하 2.742kg BOD/일/ha, 12.875kg COD/일/ha, 0.901kg T-N/일/ha, 0.029kg T-P/일/ha

- 수질조사 결과

농촌지역과 도시지역이 혼재된 복합형의 지역으로 조사시 강우누적량은 33mm(평균Q: 0.0741m³/초) 이였으며 강우강도가 증가하여 강우유출수가 증가 시 초기 SS는 First flushing 감소경향을 COD, T-N는 증가경향을 나타내고 있으며 BOD, T-P는 일정한 유출농도를 나타내고 있다.

- 우수유출량 및 시설규모 산정

유출계수 (C)	처리대상강우량 (mm)	면적 (100m ²)	우수유출량 (Q, m ³ /sec)	시설용량 (m ³)	체류시간 (hr)
0.251	30	703	0.00613	98	0.27(16분)

다) 실시설계

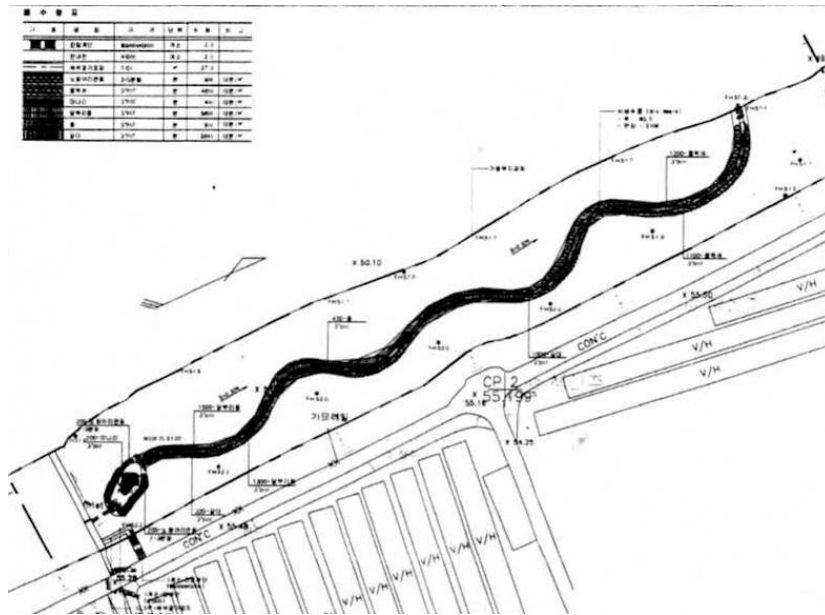
- 기본방향

- 대상지역 여건을 고려하여 2개소로 분리 배치
- 긴 수로 형태를 유지하여 수질정화 효과 기대
- 다른 시설과 조합이 곤란, 식생수로가 시작되는 지점에 침강지를 설치하여 1차적인 침전기능을 유도

- 식재계획

- 침강지는노랑어리연꽃,미나리등을 식재, 쯤개구리밥등 부수식물 자연발생유도
- 수로의 사면보호 및 조류의 서식처(은신처)가 되도록 조성
- 수로내는 갈대를 집중적으로 식재하고 수로 사면부는 달뿌리풀, 물억새, 줄등을 식재하여 정화 및 생물의 종다양성을 극대화

- 기대효율(%): SS 59, T-P 28, T-N 38, BOD 12, COD 18



<그림 2-39> 식생수로 사례(갈담)지구 실시설계도

라) 모니터링결과(제거효율, %)

TSS : 78.3~96.8

BOD : 49.5~95.8

COD : 56.4~94.2

-Monitoring Result of Demonstration Devices for Diffusion Pollution in the Han River Basin, 2009.10, Seo, Seong Cheol(EMC)



3. 식생수로(Vegetated Swales, Bioswales, Grassy Swales 국외(미국 Portland시)사례

- 개요

- 수로 내에 단일 및 복합 식생을 이용하여 우수를 포집하여 처리하는 시설

- 장점

- 식생수로는 비점오염원 저감 뿐 아니라 생태서식지 제공 및 탁월한 조경효과를 지님

- 단일 및 복합 식생수로를 통해 전 지역에서 발생하는 강우유출수를 포집하여 처리 가능함

- 식생수로를 통해 개발지역에 요구되는 우수 배관의 설치 개수 및 비용을 절감할 수 있음

- 시공 비용 : 일반적으로 사용되는 우수관망 시스템보다 적은 비용이 소요됨

- 적용 사례 : 부속 주차장, 중학교, Glencoe 초등학교 ,Siskiyou Green



<그림 2-40> 포틀랜드 식생 수로 개념도



<그림 2-41> 2가지 식생 비교 Test Site

4. 수생정화시설-일본 시가현 초기우수저류시설

◦ 시설기능

- 시가지의 경우 강우 시 특히 많은 오염부하를 함유한 강우초기 빗물을 저류하고 이를 처리하는 「비과호 수질보전대책 행동계획」에 의해 시가지에서 빗물에 의해 유입되는 초기오염물질을 제어하는 목적으로 시행하고 있음
- 분수시설을 통하여 우수관거를 초과하는 초기우수를 일단저류 시켜 침전시킨 후 접촉산화와 토양정화, 수생정화 후 하천으로 방류시킴
- 초기강우 초기강우량 6mm + 우수간선 체류수에서 총 유출부하의 70 ~ 80% 저류 처리

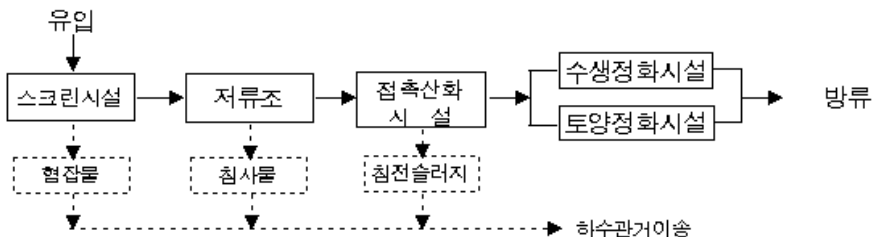
◦ 시설제원

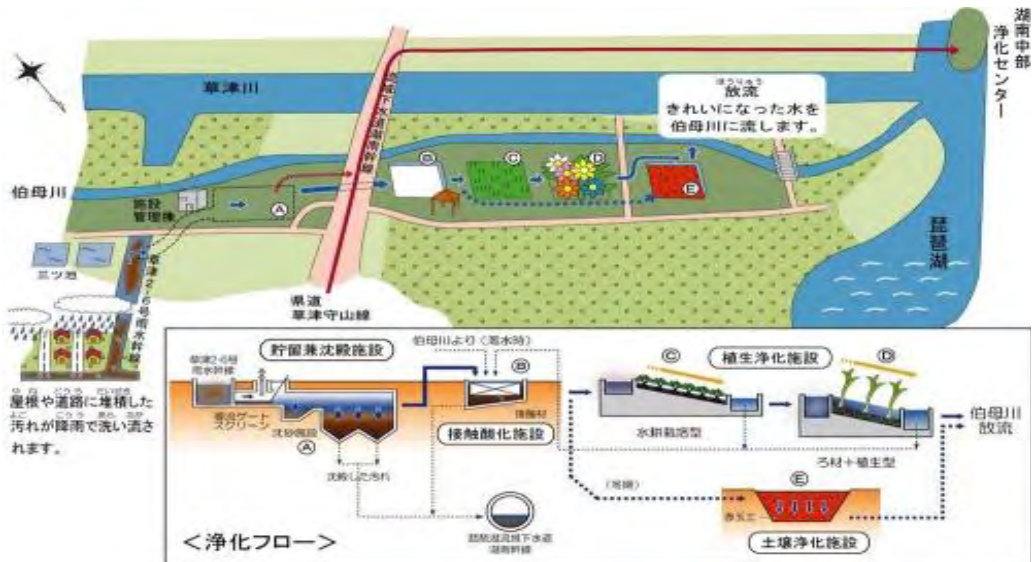
처리대상면적	설계우수량	저류용적	단위공정
약 80ha	초기강우량 6mm + 우수간선체류수	7,200m ³ (침사지시설 포함)	스크린, 접촉산화시설 토양정화시설, 수생정화시설

◦ 연간운영조건

- COD 70%, T-N 70%, T-P 80%(동절기 40%) 제거율

◦ 처리공정도





<그림 2-42> 시가현 초기우수 저류시설

5. 가스미가우라(霞ヶ浦) 자연정화 식생회복시설

●청명천 식생정화시설(Semeigawa Reed Planting Purification Facility)

-시설개요

가스미가우라호의 지천인 청명천 유입부에 식생대(갈대 이용)를 조성하여 오염물질의 호내 직접 유입을 차단하는 시설로 과거에는 가스미가우라에 자연갈대밭이 폭 50m정도로 조성 되어 있었으나, 호안 정비로 없어 짐

-시설용량

펌프용량 : 0.2m³/sec(17,280m³/일)

식생대 : 폭 40m x 길이 1,000m(950m + 50m)

●가와지리가와 Wetland(호내호 식생정화시설)

-시설물 구조

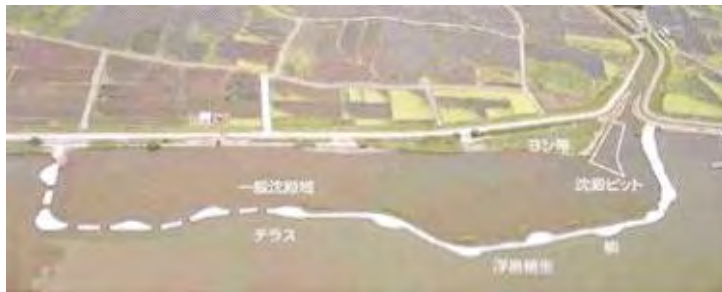
가스미가우라 호내에 돌로 쌓은 경계 제방을 구축하여 작은 호 즉 호내 호를 만들어 오염물질을 침전시키는 수심 2m 정도의 침전pit를 설치하고, 그 외 대부분의 지역은 수심 0~0.5m 정도의 植生帶를 조성 시설의 말단에는 경계 제방이 9개소가 열려있어 이곳으로 정화된 하천수가 유출되도록 되어 있다. 현재는 자연상태로의 식생복원이 어느 정도 이루어지고 있고 적극적인 식물이식을 실시하고 있지 않으며 호내호 식생정화시설의 효과는 조사연구 중에 있으며 효과 입증시 가스미가우라호 전체에 설치할 예정이다.

대상유량	6m ³ /sec	수심	침전pit 2.0m
체류시간	약 1.5시간		일반지역 0~0.5m
연장	약 350m	용량	약 30,000m ³
폭	약 60~100m	처리효과	T-P 50%제거

현재처리율은 SS 90% 정도, 질소 인 20~30% 정도가 제거되고 있으며 식생대에는 치어들이 많이 서식하고 있는 것으로 조사 되었다. 침전pit의 준설은 가스미가우라호 준설과 병행하여 실시하고 있다.

- 수질정화원리

오염물질의 호내 직접 유입을 방지하기 위하여 침전pit에서 오염물질을 침전시키고, 인공섬을 설치하고, 일반 침전지구에 갈대, 마코모, 향포 등의 식생대를 조성



<그림 2-43> 호내호 식생정화시설(위쪽으로 보이는 농경지는 연근을 재배 곳임)

6. 국내·외 사례 시사점 및 적용성

지금까지 살펴본 국내외 사례에서 나타난 시사점 및 적용성을 요약하면 다음 표와 같다.

(표 2-48) 국내·외 사례지구 시사점 및 적용성

구분	사례	시사점 및 적용성
국내	식생형 관리시설 부지확보 어려움	농촌저수지 수변 소규모 적용가능
	시범사업단계로 단일 공중 채용	다단형 시설배치 또는 직렬연결 등 구조개선
	제거효율의 불안정	사업실적 부족으로 정립단계이며 지속적인 연구개발이 요구됨
국외	강우유출수 처리 시스템 대안	생물서식공간 확보 및 친수경관 효과
	자연정화식생회복시설 (자연갈대밭 파괴→인공갈대밭 재생)	국내 적용성 있을 것으로 사료 됨
	호내호 식생정화시설 (돌 경계제방: 구간 개방 수심2m 침전pit, 수심0~0.5m 식생대 조성)	국내 적용성 있을 것으로 사료 됨

2-5 식생여과대(植生濾過帶, vegetated filter stripes)적용표준(안)

가) 기본개념

식생여과대는 지표강우유출수내 오염물질 제거를 위해 사용되며 종종 침투조 같은 다른 시설과 함께 사용된다. 유입된 유출수가 식생여과대를 통해 흐를 때 유출속도가 감소되고 침전물과 오염물질은 여과, 흡착, 중력 침전과정을 통해 오염물질이 제거된다. 만약 강우유출수가 여과대면을 균등하게 흐르고 단회로 현상이 없는 이상적인 환경이 유지된다면 여과대는 침전물 제거에 매우 효과적이다.

식생여과대는 식물체를 통한 여과와 토양침투에 의해 비점오염물질을 제거하도록 고안된 균일하게 경사진 지면에 조밀한 식생을 갖춘 넓은 초지로 정의된다.

식생여과대는 추이대 기능을 갖고 있으며 물 가장자리로 내부역의 주변을 완충하는 효과가 있어 여과대의 기능이 있고 다양한 생물종의 분포가 가능한 장소이다.

식생여과대의 1차적인 목적은 작은 지역으로부터 발생하는 강우유출수의 수질을 향상시키거나 다른 비점오염 저감시설의 전처리 공정으로 사용될 수 있다. 조밀한 식생과 토양은 오염물질의 포착, 식생을 통한 여과작용, 토사의 침적작용, 토양에 의한 흡착작용을 가능하게 한다.

식생여과대의 수생식물에 의한 수질정화는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- TSS제거 : 식물체가 존재하는 수역에 SS가 유입되면 식물체가 접촉재 구실을 하여 SS의 침강을 촉진한다.

- BOD제거 : 식물은 그 자신이 직접 유기물을 제거하지는 않지만 식물체에 많은 미생물들이 서식하며 그들이 유기물질을 제거하게 된다.

- 질소제거 : 수역에 들어온 유기성 질소는 미생물에 의해 $\text{NH}_4\text{-N}$ 으로 분해되고 호기성 상태에서 질산균에 의해 $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 분해되어 이 무기염을 식물에 흡수하여 수역으로부터 제거된다. 수생식물은 대기의 공기를 뿌리를 통하여 토양에 공급하여 질산화를 촉진하게 된다. 그러나 산소가 부족한 혐기성 상태에서는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 N_2 가스로 탈질화 되어 대기 중으로 방출된다.

- 인 제거 : 인이 수역에서 제거되는 주요인은 저질에 의한 흡착과 식물에 의한 흡수이다. 식물은 유기물을 직접 흡수하지 않으므로 수역에 유입한 유기인은 미생물에 의해 $\text{PO}_4\text{-P}$ 로 무기화되어 이루어진다.

- 기타 작용: 식물군락이 있으면 일광을 차단하여 식물플랑크톤의 발생을 억제하게 되며 또 어류의 서식과 새들의 서식처가 되어 주변 생태계를 다양화한다. 식생여과대가 다른 저감시설의 전처리 공정으로 사용될 경우 토사 제거와 주처리 시설로의 부하량을 감소시켜 유지관리 비용을 줄이고 효율을 향상시켜주는 기능을 수행한다.

여과대는 불투수층 지역 인근에 입지하거나 주택 및 상업지역 또는 고속도로나 일반도로 인근에 설치한다.

식생여과대는 여과대 표면에 얇은 수막형(또는 면상류, sheet flow) 흐름을 균일하게 유지하여야 하므로 처리대상 집수구역의 면적과 처리대상 강우유출 수량에 한계가 있다. 대규모 수역을 처리하는 여과대는 많은 토지가 필요해 도시지역에 설치하는 것이 어렵다.

식생여과대의 활용기술은 우수유출수가 넓고 평평하게 퍼지는 지역에 적용, 주로 완충녹지대 전면에 조성하여 수질개선을 위한 배수체계가 유지될 수 있도록 설계하여야 한다.

처리대상 유량을 식생여과대로 균일하게 유입시킬 수만 있다면 주차장, 도로, 빌딩으로부터 강우유출수를 직접 유입시켜 처리할 수 있다.

설치위치는 수변완충구역 외곽지점이 이상적이고 서로 상반되는 토지이용 사이의 완충지대로 적용하게 되면 경관을 향상시킬 수 있으며 투수성 토양에서는 지하수 재충전 기능도 기대할 수 있다.

식생여과대는 다음과 같이 3가지 형태로 분류될 수 있다.

- 인공여과대(constructed filter strips) - 인공여과대는 인공적으로 조성한 여과대로 주로 잔디류로 구성된 식생대를 통하여 지표면 흐름이 이루어지도록 설계한다.
- 자연여과대(natural filter strips) - 자연여과대는 토사가 함유된 강우유출수를 직접 자연식생대(수변식생지대)로 통과시켜 처리한다. 보통 이러한 곳에서의 흐름은 면상류가 아니라 작은 집중흐름을 보인다. 식생대는 잔디로 조성하는 것이 일반적이지만 지면을 벗짚이나 건초 등으로 멀칭(mulching)한다면 관목류까지 다양한 형태가 가능하다.
- 수변 식생완충 여과대(riparian vegetative buffer strips) - 하천변, 수로변을 따라 형성된 식생대로 식생은 인공적으로 조성 또는 자연적인 상태 그대로 이용할 수 있다. 수변지역 여과대가 효과를 발휘하려면 흐름방향에 수직으로 배치해야 한다.

여과대는 유출속도를 지연시켜 토사와 다른 오염물질을 여과하는 방식으로 제거한다. 작은 강우사상에서 발생한 유출량은 여과대를 통과하는 동안 침투가 이루어지므로 최종 유출량은 크게 줄어든다.

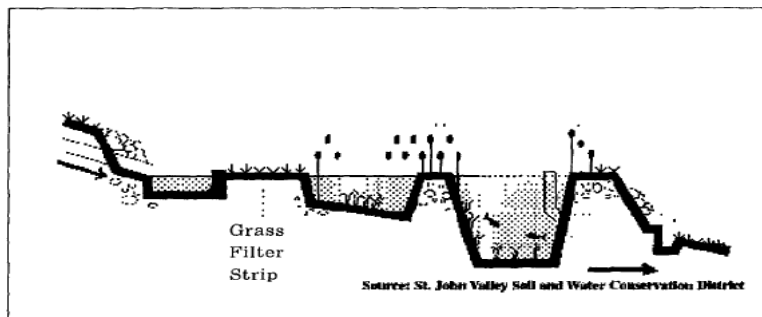
전체 여과대 표면으로 균일한 수막흐름이 이루어져야 하며, 유량이 여과대 특정구역에 집중되면 채널(channel)을 형성하게 되므로 처리용량이 크게 감소된다. 따라서 유량을 균일하게 분배하여 유입시킬 수 있는 유량 스프레더(flow spreader)의 설치가 필요하다.

-식생여과대는 습생식물, 정수식물, 부엽식물, 침수식물의 위계별로 조성되도록 하여야 하며 도입가능 식물은 다음 표와 같다.

(표 2-49) 식생여과대 도입식물 종류

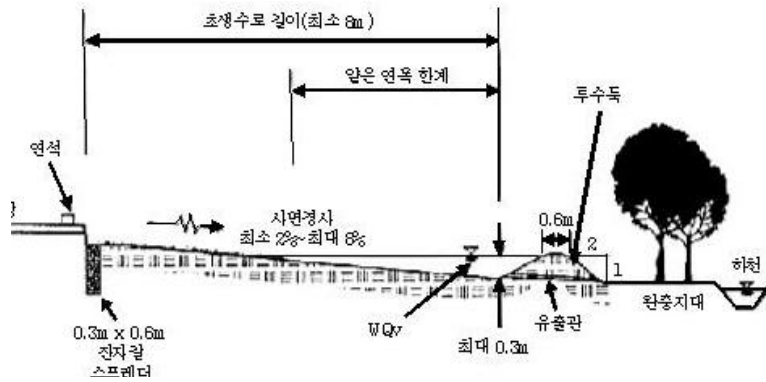
구 분	식 물 종
습생식물	갯버들, 버드나무, 용버들, 사초류, 물여귀, 물억새, 매자기 등
정수식물	갈대, 부들, 줄, 달뿌리풀, 애기부들, 미나리 등
부엽식물	연꽃, 수련, 부레옥잠, 마름, 개구리밥, 생이가래 등
침수식물	붕어마름, 검정말, 나사말, 자라풀 등

식생여과대의 구조를 보면 처리효과는 경사가 증가할수록 감소하는데 17%이상의 경사에서는 발휘될 수 없으며 5%미만의 경사에서 최적효과를 기대할 수 있다. 길이가 짧을수록 경사도는 작아야 하며 최소길이 6m가 사용 되었을 때 경사는 0에 가깝게 조성되어야 한다. 여과대 길이는 포획효율의 변동에 매우 민감하여 포획효율이 작게 증가하더라도 완충대 길이는 상당히 증가되어야 하는 것으로 알려져 있다. 여과대 최소길이는 6m가 되어야 하고, 미세침전물의 적절한 제거를 위해서는 30~90m가 필요하다. 침전속도가 클수록 여과대 길이당 포획효율도 커지며, 거친 silt와 고운 silt에 대한 침전속도 비는 5:9이다. 제거효율 100%를 나타내는 거리를 한계거리(critical distance)라 하고 이 한계 거리는 유출되는 토사의 종류에 따라 다양하며 보통 sand 8m, silt 15m, clay 122m의 거리는 되어야 한다는 실험결과가 있으며 대부분의 SS가 진흙과 실트로 구성되어 있기 때문에 이 한계거리는 일반적으로 30~120m사이에 있다. 식생형 관리시설들을 어느 한가지로 선정하여 설치하는 것보다는 다단계로 조합하여 활용하는 것이 가장 효과가 좋을 것이다. 단, 부지확보가 선결되어야 한다.

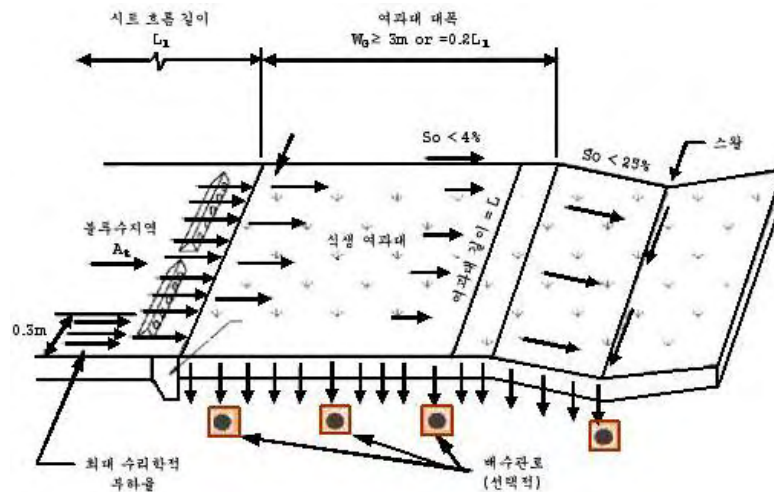


<그림 2-44> 다단계식 식생형 관리시설(NSCS system)적용 예

식생여과대의 설계에는 크게 2가지 방식이 있다. 여과대 끝에 투수둑(pervious berm)을 포함시켜 이것에 의해 여과대와 오염물질 사이의 접촉시간을 증대시킬 수 있어 궁극적으로 여과대 설치를 위한 부지면적을 줄일 수 있는 장점이 있다. 체크 댐(투수 둑)이 없는 단순여과대이다.



<그림 2-45> 투수 독(berm)을 갖춘 식생여과대 횡단면도



<그림 2-46> 시트 흐름 단순 식생여과대(+식생수로)

식생여과대를 설치하는 방안은 다음과 같다.

-식생형 여과시설의 효과를 높이기 위해서는 식생 및 토양층과 물의 접촉을 최대화하는 것이 중요하다. 자갈 및 모래로 구성된 토양은 식생의 유지가 어렵기 때문에 바람직하지 않으며 점토성의 토양 및 바위도 피해야 한다. 가능하다면 식생을 조성하기 전에 압축된 토양을 갈아 뒤집어 주는 것이 바람직하다.

-식생형 여과시설에는 침수에 저항력이 강한 식생을 조성한다. 건조 및 반건조지역의 경우 식생여과대를 건강하게 유지하기 위한 추가적인 관개를 필요로 한다. 식생형 여과시설의 식생조성은 가능하다면 그 지역의 토착식생을 이용하며 해당 지역의 기후 및 토양에 적합한 잔디 및 습지종을 선정하는 것이 중

요하다.

-잔디씨와 공급자에 의해 명시된 뿌리덮개의 적용율을 이용한다. 가급적 축분의 토지개량제로의 이용 및 화학비료의 이용을 피해야 한다. 화학비료를 사용해야만 한다면, 최소한의 양만을 적용해야 하며, 완효성 비료를 사용한다. 습지 식물이 이용된 경우, 식물이 자리를 잡는 동안 그물을 쳐서 포식자로부터 보호해야 할 필요가 있다.

-가능하면 식생이 자리를 잡는 기간 동안은 필요한 관개수 외의 다른 우수유출수는 우회시키도록 한다. 침식을 방지하기 위하여 상부 경사지역에 식생을 조성한다 사람과 가축의 침입을 감소시키기 위한 차단벽으로는 관목을 이용하며, 식생형 여과시설에는 그늘을 만드는 수목은 피하며, 만약 수목을 피할 수 없는 경우라면 적어도 6.6m 이상 거리를 두어야 한다.

-흐르는 방향으로 1.0~2.0%의 경사가 적당하며, 최대 경사는 6.0%, 최소 경사는 0.5%로 한다. 흐름 방향의 경사가 1.0~2.0%보다 작을 경우, 다공성의 압거를 설치하거나 수분이 적당하면 습지 중을 심는다. 경사가 2.0%보다 크다면 우수유출수에 의한 침식을 방지하기 위해 저지댐을 설치한다. 토지경사가 6.0%이상일 경우, 사면에서의 수로를Z자형으로 흘러가도록 설계할 수 있다.

-식생여과시설에 대한 고른 유량 분배를 위해 연석을 사용하는 경우, 막힘 현상을 방지하기 위하여 최소한 0.3m이상의 폭이 되어야 하며, 인접한 식생형여과시설의 수위보다 약간 높게 포장을 한다. 유량을 일정하게 분배하기 위해서는 식생수로의 유입구 부분이나 식생여과대의 폭을 가로질러서 침전물 제거장치를 갖춘 유량분배장치를 설치한다. 또한 우수유출수에 의해 움직이지 않을 정도로 큰 바위를 사용한 사석축대 및 감쇄공을 설치하여 유입구 부분을 침식으로부터 보호하도록 한다.

-식생여과대는 퇴적물 포획, 침식방지, 침투축진을 위해 조성하므로 경작지나 축사로부터 운반된 토양이나 각종 오염물질이 하천이나 배수도랑으로 유입되기 전에 식생으로 조성한다. 식생대의 최소한의 실용적 너비로는 초지대 일 경우 4m가 필요하고 관목과 초본식물이 혼재 될 경우에는 약 3m를 필요로 한다. 일반적으로 최소너비의 2배 이상을 확보하여 조성시키는 것이 바람직하다. 사용된 식생의 종류도 식생여과대의 효율에 영향을 미치는데 초지일 경우 잔디와 콩과 식물을 혼재시키는 것이 효과적이며 한중 이상의 관목을 식재 할 경우에는 경작지 옆에는 키 작은 종을 심는 것이 좋고 외부 쪽에 키가 큰 관목을 심는 것이 바람직하다.

-미국 IOWA주의 Bear creek에서 시도하고 있는 인공다중수변대(multi

species riparian buffer strip)을 예로서 설계방법은 3개 구역으로 설정되는데 제1구역은 방해 받지 않고, 현존하며 식중 되어 있는 야생대로서 4.5m로 되어 있고 이 수림은 제방의 안전성을 유지하는데 중요한 기능을 하고 있다. 제2구역은 관리수림대로서 18m로 되어있고 이는 영양물질을 흡수하는 기능을 가지고 있다. 따라서 왕성한 성장이 이루어지므로 주기적인 목재제거가 필요하게 된다. 제3구역은 야생초지대로서 6m로 되어있고 이는 지표면유출수의 차단과 그 유출수가 지하천층수로 될 수 있도록 침투역할을 하게 된다. 따라서 인공 다중 수변대는 약 20m정도의 야생종다양성 여과대로 구성된다. 하천부터 5열의 교목, 2열의 관목, 그리고 7m의 야생 가변형 초지(switch grass)등으로 이루어진다. 빠른 성장을 가져오는 종의 선택 즉 버들강아지(willow), 포플러, 은 단풍나무(silver maple), 물푸레나무(green ash)등은 영양염류의 신속한 섭취효과가 있다. 이러한 나무들에 대해 8~12년 주기로 가지치기를 해주는 것은 그 가지에 흡수되어 있는 영양염류를 제거하는 효과가 있게 되는 것이다. 이러한 가지치기된 나무들은 그루터기에서 싹이 다시 나오게 되고 그 뿌리는 그대로 남게 되어 그 위는 식생이 신속하게 성장하게 되므로 토양의 안전성을 가져오게 되고 자연적인 조건을 주게 된다. 인공다중 수변대에 있어서 초지대는 제3 구역의 역할을 하게 된다.

나) 오염물질 제거능력

오염물질 제거율은 수역의 크기, 경사, 그리고 토양의 침투성 및 여과성에 의존한다. 여과대는 부유고형물, 유기물질 그리고 일부 미량금속 같은 오염물질 제거에 가장 효과적이거나 영양물질 같은 용존성 오염물질의 제거에는 별로 효과가 없다.

식생여과대는 단독으로 사용하기보다는 다른 구조적인 저감시설과 함께 적용되어야 효과적이다.

여과대에 의한 오염물질 제거율의 변동 폭은 매우 크며 효율은 주로 식생밀도와 접촉시간(여과, 침투)에 의해 결정된다. 또한 식생밀도와 접촉시간은 토양과 식생의 형태, 여과대의 경사, 그리고 수막흐름의 구현여부에 의해서 좌우된다.

오염물질 제거율은 미국에서 현장경험과 모델링, 전문적인 판단에 의해 보수적으로 이루어진 평균제거율이다.

(단위 : %)

구분	TSS	T-N	T-P	중금속
식생여과대	50	20	20	40

다) 장단점

(1) 장점

- 불투수지역으로부터 발생하는 강우유출을 완화
- 토사와 오염물질의 제거
- 불투수지역으로부터 발생하는 유출량과 유출속도를 경감
- 지하수 충전 효과
- 도로와 가로를 따라서 선형으로 조성가능

(나) 단점

- 토사와 오염물질 제거효율이 여과대의 경사와 식생밀도에 의해 민감
- 경사도가 6%이하인 소규모 지역에만 적용이 가능
- 침적된 토사가 재부상하여 유출될 가능성이 상존

라) 설계기준

- 여과대는 On-Line 저감시설이므로 침식문제의 발생 없이 모든 강우사상에 서 운영되도록 설계한다.
- 여과대는 규정된 최대 수막흐름거리가 유지되도록 설계되어야 하며 일시적으로 WQv에 해당되는 물을 24시간 동안 저장할 수 있는지 검토하여야 한다. 여과대는 용적산출 설계기준에 의거하여 설계한다.
- 여과대를 설계할 때 가장 중요한 사항은 여과대에서 흐름경로가 균일하게 골고루 잘 유지되도록 하는 것이다. 과거에 많은 시행착오가 있었는데 그 중 하나는 식생여과대를 지나치게 큰 유역에 설치한 경우이다.
- 대부분의 경우 수막흐름 거리한계(sheet flow distance limitation)가 전체 설계과정을 결정하는 제한요인으로 작용한다.
- 식생여과대는 소규모 집수구역에 적용되어야 하며 가능하면 수변완충지역 외곽에 조성해야 한다. 여과대로 유입된 유량은 전체 폭에 걸쳐 균일하게 분 배되어야 하며 수막흐름(2.5~5.0cm 이하)이 이루어지도록 해야 한다. 보통 불 투수성 지표면의 경우 최대 2.3 m, 투수성 지표면의 경우 4.6 m 이내에서 유 량이 집중되도록 한다. 더 긴 흐름경로를 제공하기 위해서는 설계유량이 여과

대에 균일하게 분포하는지 여부를 검토해야 한다.

- 여과대의 경사는 2~6% 범위에서 결정한다. 이 보다 경사가 급할 경우 수로화(channeling) 문제가 일어날 수 있으며 또한 너무 경사가 완만하면 물이 여과대 표면에 정체될 수 있다.

- 조밀한 식생을 유지하기 어려운 토양에 식생여과대를 설치해서는 안 된다. 식생여과대 유입부에는 상대적으로 빠른 유속과 강우기뿐만 아니라 건기에도 견딜 수 있는 잔디품종을 선택한다.

- 여과대의 길이는 여과작용이 일어날 수 있도록 충분한 접촉시간을 제공해야 하는데 최소한 여과대의 길이가 4.6 m 이상이 되어야 하며 보통 7.6 m 정도가 적절하다.

- 여과대의 선단과 말단은 수막흐름을 유도하고 침식을 방지하기 위하여 가급적 경사가 거의 없이 평평하게 조성한다.

- 여과대 유입유량을 효과적으로 분배하기 위해서 잔자갈로 충전한 도랑형식의 스프레더(spreeder)를 설치한다. 스프레더는 전처리 용도로 토사입자를 제거하며 또한 수막흐름(sheet flow)을 유도하는 기능을 수행한다.

- 설계유량을 초과하는 유량에 대해서는 여과대를 손상시키지 않고 여과대 주위로 우회 배출되도록 하며 이러한 목적으로 별도의 우회수로나 월류 수로를 설치한다.

보행자가 식생여과대 위를 걸어 다니는 일이 발생하지 않도록 별도의 보행로를 제공한다.

- 여과대 단위 폭 당 최대 수리 부하율은 Manning 공식에 의해 결정하며 여과대 최소 폭을 결정한다.

식생여과대의 기본 설계 기준은 다음과 같다

- 수리학적 체류시간 : 최대 유출량 기준으로 5분 이상
- 평균유속 : 0.3m/s
- 정기적인 풀베기를 하는 식생수로의 경우 : Manning의 조도계수 $n = 0.20$
- 드물게 풀베기를 하는 식생수로의 경우 : Manning의 조도계수 $n = 0.24$
- 일정한 유량의 배분을 달성하기 위하여 식생여과대의 폭을 제한한다.
- 평균수심 : 20mm이하
- 설계깊이와 동일한 경심(hydraulic radius)

투수둑이 없는 여과대에서는 최소 접촉시간 5분이 제공될 수 있도록 여과대의 길이를 산출한다. 여과대 길이 산출은 SCS TR55 공식(유하시간 계산공식)을

사용한다.

투수독이 있는 여과대 설계의 경우에는 다음 사항을 준수하여야 한다.

- 유출관로의 설계 : 24시간 이내에 배수되도록 설계
- 빈번한 범람에 저항력이 있는 잔디품종 선정
- 독 구성에 필요한 재료 : 모래, 자갈, Sandy Loam(독 노출부 커버용)
- 독에 저장할 수량 WQv에 근거한 여과대 제원 산출
- 최대 독의 높이는 0.3m로 제한

한편 전처리 시설로서 여과대 설계에서는 아래사항을 고려해야 한다.

- 여과대는 침투트렌치(도랑)와 같은 다른 비점오염 저감시설과 연계하여 전처리시설로 활용될 수 있다.
- 요구되는 여과대의 길이는 집수구역 면적, 집수구역 면적 중 불투수 지역의 면적, 여과대의 경사에 의해 좌우된다.
- 전처리 시설로서 식생여과대의 개략적인 설계지침을 다음과 같다.

(표 2-50) 전처리용 식생여과대 설계 지침

설계인자	불투수지역				투수지역			
	<2%		>2%		<2%		>2%	
최대 유입유량 접근 길이(m)	10.7		22.9		22.9		30.5	
여과대의 경사(최대 6%)	<2%		>2%		<2%		>2%	
여과대의 최소길이(m)	3.0	4.6	6.1	7.6	3.0	3.7	4.6	5.5

식생여과대는 시설규모와 관리의 용이성을 확보하기 위하여 접근로 설치하여야 하며 자동차도로, 공공 또는 개인도로와 연결된 최소한 6.1m 넓이의 초생수로 유지관리 용지가 확보되어야 한다. 내부 통행로의 경사는 15% 이하, 노폭은 최소한 3.7m, 차량의 이동에 장애가 없어야 하며 지반은 차량이나 장비에 의해 침하가 일어나지 않을 정도로 안정화되어 있어야 한다.

마) 설계과정

- WQv와 WQv 침투유량Qwp를 산출한다.
- 식생여과대 단위폭 당 최대허용유량을 산출한다.

$$q = (1/n)D5/3S1/2$$

$$q = \text{단위 폭 당 최대유량}(m^3/\text{sec}/m)$$

$$D = \text{최대허용수심}(m)$$

$$S = \text{경사}(m/m)$$

Manning 공식에서 조도계수 n값은 중간정도의 잔디밀도의 경우 0.15, 조밀한 경우 0.25, 아주 조밀한 버뮤다 잔디의 경우 0.35를 적용한다.

- 식생여과대의 최소 폭을 산출한다.

$$Wf_{\min} = Qwq/q$$

$$Wf_{\min} = \text{식생여과대 최소 폭(m)}$$

- 식생여과대의 길이를 산출한다(투수 독이 없는 경우)

$$L_f = (Tt)1.25(P2-24)0.625(S)0.5 / 3.34n(\text{SCS TR 55 유하시간 산출식})$$

$$L_f = \text{여과대의 길이(ft)}$$

$$Tt = \text{접촉시간(min)} (\text{최소 5min이 적용})$$

$$P2-24 = \text{2-yr, 24hr 강우량(inches)}$$

$$S = \text{여과대의 경사(\%)}$$

$$n = \text{Manning 공식에서 조도계수}$$

- 식생여과대의 길이를 산출한다(투수독이 있는 경우).

- 투수독의 높이: 0.15m

- WQ_v의 산출

- 산출된 WQ_v는 투수독 후면에 저장된 물의 부피와 같다.

- 투수독 후면의 물 부피(빼기의 부피) = $(1/2)W_fL_fh = WQ_v$

$$W_f = \text{식생여과대의 최대 폭(m)}$$

$$L_f = \text{길이(m)}$$

$$h = \text{투수독의 깊이(m)}$$

- 따라서 식생여과대의 길이 $L_f = \frac{2WQ_v}{W_fL_f}$

바) 식생여과대 개략시방

-강우유출수가 여과대면을 균등하게 흐르고 단회로 현상이 없도록 하여야 한다.

-홍수로 인한 침식물 등을 방지하기 위해 식재밀도가 높아야 한다.

-강우유출수와 식생간의 충분한 접촉시간이 확보되어야 한다.

-5%이하의 완만한 구배를 유지하여 유속이 빠르지 않아야 한다.

-계절적 특성을 고려하여 식재를 조성하도록 한다.

-여과대의 길이: 30~90m(최소한 6m)

-토사종류에 따라 한계거리(critical distance)고려 : 모래 3m, 실트 15m, 진흙 122m

사) 유지관리

식생여과대의 유지관리는 다른 식생을 이용하는 비점오염 저감시설과 유사하다. 여과대의 유지관리는 수로형성(channeling)에 의한 단회로(short circuiting) 문제가 일어나지 않도록 해야 한다는 측면에서 매우 중요하다.

여과대 지역의 토양교란을 최소화 시킬 수 있도록 여과대 지역에서의 장비(skidders or other heavy machinery)사용을 억제한다.

·주기적으로 식생상태를 점검하여 우기시 유출수가 여과대를 거치지 않고 우회하는지 또는 여과대에 잠기어 BMP로서의 효능을 발휘하고 있는지를 파악하여야 한다.

·1년에 2~3회 정도 식생관리(풀 깎기, 비료주기, 제초 등)를 하여 건강하고 밀도 있는 식생여과대가 되게 한다.

·우수유출수 내의 오염물질을 여과하기 위해서는 밀도 있는 식생상태가 되어야 하므로 필요한 경우에는 파종, 식종 등을 주기적으로 실시하여야 한다.

·여과대에 퇴적되어 있는 침식물 및 입자성 물질들을 주기적으로 제거하여 우수유출시 그 지역에서 범람되지 않도록 한다.

·식생여과대내에서의 수로 및 실개천 개발은 지양되어야 한다.

·처리효율을 높이기 위해서는 얇은 흐름이 항상 유지되도록 하여야 한다.

·강우사상에 따른 여과대의 훼손을 주기적으로 검사하여 즉각적으로 복구하여야 한다.

·식물상, 동물상, 미생물상을 정기적으로 표본조사 하여 여과대의 기능성을 판단하는 지표로 삼는다.

식생여과대의 유지관리 사항은 다음 표와 같다.

(표 2-51) 식생여과대의 유지관리 활동 및 계획

유지관리활동	계획
<ul style="list-style-type: none"> 잔디는 5~10cm 높이로 유지 	<ul style="list-style-type: none"> 규칙적으로
<ul style="list-style-type: none"> 유입유량 스프레더의 폐쇄여부 점검과 퇴적물제거 	<ul style="list-style-type: none"> 1년 단위로 점검 (단 조성 후 첫해에는 1년에 2회 실시)
<ul style="list-style-type: none"> 침식방지용 식생의 점검 	
<ul style="list-style-type: none"> 잔디가 적절하게 성숙되었는지 점검 그렇지 않을 경우 다른 품종으로 교체 	

아) 모니터링

(1)모니터링 계획

관리대책으로 인한 사업대상지역의 오염부하량 저감 및 하천수역의 수질개선 효과, 관리시설의 성능을 평가하기 위하여 관리대상지역에 대한 관리시설의 설치 및 운영, 성능을 장·단기적으로 모니터링을 실시하는 것이 바람직하며 외국 선진지에서도 시행하고 있다.

모니터링에 의해 얻어지는 자료는 경제적이고 효율적인 관리를 유도할 뿐 아니라 관리기술을 더 한층 발전시킬 수 있을 것이다.

모니터링을 하기 위해서는 사전에 다음 사항을 유의하여야 한다.

- 모니터링 대상지역의 시스템을 전반적으로 이해한다.
- 목표에 알맞은 모니터링 체계를 수립한다.
- 초기에 여러 가지 세부사항에 대한 사전 지식을 습득한다.
- 대상지역의 여러 활동사항을 인지한다.
- 피드 백(feedback)체계를 구축한다.

또한, 모니터링의 목표를 다음과 같이 수립하여 시행하여야 한다.

- 관리대상지역의 오염물질별 오염부하량이 어떻게 변하는 지를 평가
- 관리대상지역의 방류수역(하천 또는 호소)의 수질개선 효과가 있는 지를 평가
- 생태학적으로 생물종이 어떻게 변화되는지를 평가
- 오염기여율의 변화추이를 평가
- 관리기술의 설치운영, 유지관리의 지표가 되는 자료를 제공
- 관리기술의 정착 및 보완자료 제공.

(2) 모니터링의 종류 및 수행기법

◦ 모니터링의 종류

- 추이(Trend)모니터링
- 기반(Baseline)모니터링
- 수행(Implementation)모니터링
- 성능(Effectiveness)모니터링
- 계획(Project)모니터링
- 타당성(Validation)모니터링
- 요구조건(Compliance)모니터링

◦ 모니터링 수행기법

- 유사수계 비교법(Paired-watershed design)

유사 수계를 2개 정도 선정하여 표준 수계(Control watershed)와 조사대상 수계(Study watershed)로 나누어 관리대책의 목표가 되는 표준수계와 관리대상 수계를 비교하는 기법이다. 이 두 수계는 유역크기, 형태, 특성, 경사, 표고, 토양, 기후 및 식생피복 등이 비슷하여야 한다. 이 기법은 농업지역의 모니터링의 기법으로 사용되어 왔다.

- 상류-하류 비교법(Upstream-Downstream design)

대상지역의 상·하류에 임의 지점을 각각 선정하여 모니터링을 실시, 조사결과를 비교 관리효과를 분석하는 기법이다. 특히 비점오염 부하량 및 수질 개선 효과를 분석하는데 이용된다.

- 유입-유출 비교법(Inflow-Outflow design)

상-하류 비교법과 매우 유사하나 규모와 대상지역의 활동사항에 따라 달리 불려지게 된다. 이 기법은 관리시설의 효능을 분석하는 데 국한되어 사용된다.

◦ 모니터링 범위

모니터링 범위는 관리시설 내부, 대상지역의 하천수계, 지하수계로 나누어진다.

◦ 모니터링 조사지점 선정

모니터링의 조사지점은 목표, 수행기법, 조사항목, 시료채취 방법, 자료 분석 계획 등을 종합적으로 고려하여 다음사항을 유의하여 선정한다.

- 조사지점은 직선적이고 층류 지역에 위치하여야 한다.

- 흐름을 방해하는 요소(생활오수, 변전소 등)가 위치하지 않는 지역이어야 한다.

- 지질과 지하수 흐름을 고려하여야 한다.

- 조사장비가 설치되는 지역은 항상 빛이 드는 장소여야 한다.

- 토사이동이 일어나는 지역에 대해서는 매일 연속 장비가 필요하다.

◦ 모니터링 주기와 기간

모니터링의 주기와 기간은 다음사항을 고려하여 결정한다.

- 수계의 반응시간

- 조사인자의 예상 변이성(Variability)

- 조사요소의 반감기와 반응시간

- 계절적 변화와 영향

- 상이한 흐름 조건하에서의 대표성

- 단기 오염사상

- 반응 량과 입력 값의 변이성

해수, 만, 지하수, 호수는 전형적으로 하천이나 강보다 반응시간이 더 길기 때문에 모니터링 주기는 하천과 강이 더 빈번하여야 하고 변이성이 높은 인자에 대해서는 특히 모니터링 주기를 더 짧게 하여야 한다.

(3)식생 모니터링

식생모니터링은 초기 식종과 식재의 성공여부를 평가하고 주변지역 또는 참고 가능한 자연, 인공습지의 식생과 습지식생의 발달을 지속적으로 비교·분석하는 것으로 바람직하지 못한 종의 유입을 막고 습지에 유리한 종의 성장을 지속하기 위해 식종계획과 뒤이은 모니터링 및 유지관리 활동을 철저히 하여야 한다. 바람직하지 못한 종에는 다른 토착종을 밀어낼 만큼 충분히 침략적인 외래종과 토착종이 포함되며, 또한 이들은 다른 식종을 배제하고 순수종 군락을 형성하는 경향이 있다. 또한 제방의 안정성이 불안정한 경우 등 필요에 따라 관목 종은 제거하며 기타 침략성 잡초 또한 제거해야 한다. 인공습지의 식생은 자연습지와 마찬가지로 매년 점차적으로 변화하여, 일부 종이 사라지고 다른 종에 의해 교체(交替)되는 경향이 있다.

개구리 밥 군락이나 조류의 발생과 같은 일시적 변화는 임의로 또는 계절적 기상변화에 따라 발생가능하나 일반적으로 식생변화는 느려서 단기적으로는 명확하지 않을 수 있으므로 기록을 잘 보존하는 것이 필수적이다. 따라서 매년 같은 시기, 같은 장소에 대한 근접 사진 또는 항공사진에 의한 식생밀도와 형태를 분석하고 전문가 조사 등의 작업이 시행되어야 한다.

시료채취 방법은 다음과 같이 실시한다.

◦격자 설치 : 직경 1.5m의 원형으로 각 식종 별 3개를 서로 겹치지 않게 설치하며 각 격자는 상부에 격자 번호를 표시한 영구말뚝을 박는다.

◦시료 채취방법 : 식생밀도는 지상으로 뻗어 나온 증기 수를 세는 것이 어렵기 때문에 격자내의 식생 율(%)과 식생의 키로 측정한다. 식생 율은 격자 면을 2.5m높이에서 고정시켜 찍은 사진(일관성 확보를 위하여 표준 50mm렌즈를 사용)에 의해 측정한다. 식생 키는 줄기 한줄을 잡아 평균 키를 측정하며, 대표 평균 키를 얻기 위해 각 격자에서 3차례 시행한다.

(표 2-52) 지역별 모니터링 인자

대상지역	화학적/물리적인자	생물학적 인자	생물서식지 상태
농경지	침전물, 영양물질 농약물질, 온도	저서생물, 대형무척추동물	침전물 퇴적상태, 보존상태
초지	침전물, 영양물질 온도	대형무척추동물 어류, 대장균	제방안정성, 산란장소, 보존상태
도시건설지역	TSS, 온도	저서생물, 대형무척추동물	제방안정성, 수로상태, 보존상태
고속도로	중금속, 독성물질, 유량, 온도	저서생물 대형무척추동물	수로상태, 보존상태
산지	침전물, 온도	어류, 저서생물 대형무척추동물	대형목재폐기물, 보존상태
산지도로	침전물, DO, 온도	어류, 저서생물 무척추동물	수로상태, 보존상태
해안산책길, 배 정박지	중금속, DO, 온도	대장균	습지 식생상태, 기질합성물질, 보존상태
수로	유량, 수온, 침식물	어류, 저서생물 무척추동물	수생식생상태, 수로침식형태, 보존상태

(표 2-53) 식생조성 비율 예측치

조성 년수	식생 Cover(%)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
3 4 년차										
5 년차										
7 년차										
10 년차										

주) □ 계획식종 ■ 침입종

◦ 식생비율 정량화 : 식생지역과 비 식생지역의 비율을 정량화하기 위해 사진 위에 격자를 표시하여 결정하며, 모든 사진은 연속된 변화의 기록을 위해 파일로 정리한다. 또한 컴퓨터 scanning 작업에 의해 정량화 작업을 시행 한다.

(4) 수질 모니터링

처음 2년 동안 매월 기본항목(BOD, COD, SS, T-N, T-P, pH, 온도, 알카리도 등)에 대하여 분석을 시행하며, 2년 이후에는 분기별 1회 시행한다. 초기 3~4회의 시료채취 분석결과에 따라 항목을 조정할 수 있으며, 2년 후 년말에 결과를 분석, 적절한 시료채취 빈도와 항목을 결정한다.

(가) 지점 : 유입부, 유출부, 관리시설 내부

(나) 조사항목 : 유입/유출량, 수리학적 부하율, 수리학적 체류시간, 유입/유출수의 수질, 관리시설 내부 DO, BOD 등

(표 2-54) 수질모니터링 빈도 및 항목

빈 도	항 목	비 고
매년: 분기별 1회	pH, BOD, SS, DO, 대장균수, Cd, As CN, Hg, 유기인, Pb, 6가크롬, PCB, ABS등	
초기 2년 까지 (월 1회)	pH, BOD, COD, SS, T-N, T-P 등	수질분석 시 Total 과 Souble 로 구분 분석 실시

(5) 야생생물 모니터링

야생생물의 형태와 범위를 정성적(定性的)으로 평가하는 것으로서 척추동물은 목적과 시간에 따라 서식지 이동이 가능하기 때문에 년 중 다양한 시기에 조사하여야 한다.

◦ 지점 : 관리시설과 주변에 적당한 개소수의 지점을 선정하여, 야생생물의 종류, 빈도 등을 기록한다. 이들의 조사지점은 다양하여, 새는 고정된 장소에서 조용히 관찰하는 반면, 양서류는 강우기에 관리시설 주위를 걸으며 관찰하는 것이 최적이다.

◦ 시간 : 야생식물, 특히 양서류는 낮 시간으로 제한할 수 없으며 야간조사를 위해 플래쉬를 준비해야 한다. 또한 내업을 위해 일부 소리를 녹음 할 필요가 있다. 새의 경우 해 뜨기 30분전부터 적어도 4시간 동안 지속적으로 관찰한다.

(표 2-55) 일반적인 모니터링 종합계획

구분	조사지점	빈도	시료수
식생/토양 -식물 현존량 -식종 변화 -토양염분도 변화	현장여건에 맞게 선정	년 2회 년 2회 년 1회	현장여건에 맞게 선정
수질분석 -유입수 -관리시설내부 -유출수	현장여건에 맞게 선정	월1회 및 분기별 1회 시행	현장여건에 맞게 선정
Water balance -유입수량 -유출수량 강우·증발산량	현장여건에 맞게 선정	월 1회 월 1회 월 1회	현장여건에 맞게 선정
포기등 훼손 -유출조사 -성출조사 -천적조사	현장여건에 맞게 선정	년 4회 년 3회 년 3회	현장여건에 맞게 선정
야생동물조사 -서식지 평가 -조류 -어류 및 양서류 -기타	현장여건에 맞게 선정	반기 별 1회 반기 별 1회 반기 별 1회	현장여건에 맞게 선정
오락 및 휴양 -음도 -형태	현장여건에 맞게 선정	매월 매월	현장여건에 맞게 선정
기타 시설관리 -제방 -댐어 -펌프 -수문 및 수중보 등	현장여건에 맞게 선정	지속적으로 시행 지속적으로 시행 지속적으로 시행	현장여건에 맞게 선정

자료 : 환경관리공단, 2004년도 한강수계 비점오염관리시설 시범설치사업 기본 및 실시시설계보보고서, 2004, 10.

2-6 식생수로(植生水路, Wet swale)적용 표준(안)

가) 기본개념

식생수로는 강우시 토양의 침식을 줄이기 위한 식생으로 덮인 수로이다. 우수 유출수는 식생수로를 통과하면서 강우 유속이 감소하고 부유고형물의 제거가 촉진된다. 오염물질의 침투는 식생수로를 통해 수행되는 가장 중요한 오염물질 제거공정이다. 식생수로는 또한 식물에 의한 여과와 고형물의 침전에 의해서도 오염물질이 제거된다. 이들 오염물질 제거 기작 때문에 수로는 부유고형물과 금속 같은 오염물질 제거에도 효과적이고 침투 기작에 의해 박테리아도 제거된다.

식생수로는 영양물질 같은 용존성 오염물질은 잘 제거하지 못하며, 금속과 입자성 물질의 제거효과는 높다

식생수로는 식생을 갖춘 개수로로 집수구역으로부터 발생하는 WQv를 포착하여 처리/운송하는 수로를 말한다. 이것은 강우유출수에 함유된 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있는 고유의 특성을 가지고 있다는 측면에서 일반수로와 큰 차이가 있다.

식생수로의 경사는 매우 완만하게 설계되므로 유출이 느리고 얇게 흘러서 입자상 오염물질의 침전이 일어나고 침식발생 가능성을 줄일 수 있다. 흐름방향으로 투수둑이나 체크 댐을 설치하여 침전이나 침투를 도모한다.

건식과 습식(습지수로) 두 가지 형태의 식생수로가 있다. 건식 침투형 식생수로(dry swale)는 식생을 갖춘 수로로 배수시스템 상부에 여과상(filter bed)을 두고 있다. 이러한 형태의 수로에서는 WQv 전량이 여과상을 통과하고 수로 바닥을 통하여 침투가 일어나도록 설계된다. 대부분의 시간동안 건조한 상태로 있게 되며 주거지역에서 선호되고 있는 저감시설이다. 습식 식생수로(wet swale or wetland channel)는 수분의 보유와 늪지의 조건을 갖추도록 설계되므로 수로를 따라 습지식생을 유지할 수 있다. 수분을 보유하기 위해서 낮은 지하수위와 투수성이 불량한 토양이 필요하다. 이와 같은 형태의 수로는 기본적으로 수로형태의 습지(wetland channel)와 동일한 기능을 수행한다.

식생수로를 식생여과대(vegetative filter strip)나 초생수로(grass channel)와 혼동해서는 안 된다. 왜냐하면 식생수로는 후자의 시설과 비교하여 훨씬 높은 수준의 오염물질 처리를 달성하기 때문이다. 보통의 초생수로는 여과상을 갖춘 건식침투형 수로와 동일한 처리능력을 갖도록 설계되지 않는다. 식생여과

대는 수로형 흐름이 아닌 지표면을 따라 넓은 흐름을 수용하도록 설계된다. 초생수로와 식생여과대를 결합하여 통합 비점오염 저감시설로도 사용될 수 있다.



건식 식생수로



습식 식생수로

그림 6.3.1 건식 식생수로와 습식 식생수로

나) 오염물질 제거능력

(단위 : %)

구분	TSS	T-N	T-P	중금속
건식	90	50	50	40
습식	75	40	25	20

다) 장단점

(1) 장점

- 강우유출수의 운송과 비점오염물질 처리를 동시에 달성 가능
- 경계석(또는 연석)을 갖춘 배수로 설치비용과 비교하여 저렴
- 유출속도의 경감으로 도랑이나 수로침식 방지

(나) 단점

- 경계석을 갖춘 배수로보다 훨씬 많은 유지관리 필요
- 경사가 급한 곳에는 적용 불가능
- 침적된 토사의 재부상 가능성
- 잠재적으로 위생해충 문제가 발생될 가능성이 큼
- 대수층 오염 가능성

라) 적용성 및 타당성 평가

식생수로는 다양한 형태의 개발지역에 적용될 수 있으나 주로 집수구역에서 불투수면적이 작은 저밀도에서 보통 밀도의 주거지역이나 상업지역 또는 노면이나 고속도로 등 선형오염원의 강우유출수 처리에 널리 적용된다.

식생수로는 연석을 설치하고 배수시스템을 재정비해야 하기 때문에 기존의 개발된 지역에서는 갱신하는 것이 어렵다

식생수로는 강우시 토양의 침식을 줄이기 위해 수로에 식생을 도입하는 것으로써 부유고형물과 금속 같은 오염물질 제거에도 효과적이고 침투관에 의해 박테리아도 제거되나 영양물질 같은 용존성 오염물질의 제거효율은 낮은 편이다. 식생수로는 강우유출에 포함된 오염물질 제거뿐만 아니라 강우유출수량 조절기능도 갖고 있다

오염물질 제거효율은 경사감소, 식생밀도 증대, 소규모 조절 댐의 설치 등에 의한 우수유출수의 유속감소에 의해 증가될 수 있고 하부토양의 여과율이 높을 때 제거율도 향상 된다. 최대측면경사는 토양조건, 우수종류, 그리고 수로 라이닝의 종류에 따라 결정 된다

건식 식생수로는 주로 보통 밀도를 갖는 대규모 주거지역이나 주차장 또는 지방 강우유출수 처리나 농촌지역을 통과하는 고속도로 노면 유출수 처리에 사용된다. 습식 식생수로는 고속도로 노면 유출수의 처리나 소규모 주차장과 상업지역에서 경관조성을 목적으로 하는 부속시설로 적용된다.

식생수로는 상대적으로 부지요구도가 크기 때문에 고밀도 지역에는 적절하지 않다. 또한 습식 식생수로에는 물이 상시적으로 고여 있으므로 악취나 모기 등과 같은 위생해충 문제가 발생할 가능성이 높으므로 주거지역에는 바람직하지 않다.

(1) 일반적 타당성

- 소규모 주거지역 또는 비주거지역에 적합
- 부지요구도가 지나치게 크므로 고밀도 주거지역에는 부적합
- 지역단위 강우유출수 관리에는 부적합

(2) 물리적 타당성

- 집수구역 : 2ha 미만
- 필요부지 : 불투수지역의 10~20%
- 수로경사 : 4%를 초과해서는 안 됨
- 최소수두 : 유·출입구의 수두차가 건식은 0.9~1.5m, 습식은 0.3m

- 지하수위까지 최소 이격거리 : 건식은 0.6m, 습식은 투수성이 매우 불량한 토양
- 토질 : 건식인 경우 상업적인 미디어 사용

마) 설계기준

최대강우의 침투유출량을 기준으로 식생수로를 설계하며, 최대강우는 유출계수(c) 1.0과 배출시간 12시간을 이용하여 산출된 강우량에 근거한다. 이 최대강우량을 가정하여 강우강도-지속곡선을 구한다. 집수지역에 대한 집중시간과 유출계수 C를 이용하여 설계유출속도를 구한다. 식생수로에 우회수로를 설치하지 않는 경우, 10~100년 침투유량의 홍수유출수를 통과시킬 수 있도록 용량을 설계한다.

-식생수로의 일반적인 기준은 다음과 같다.

- 수리학적 체류시간 : 최대 유출량 기준으로 5분 이상
 - 최대유속 : 0.3m/s 이하
 - 정기적인 풀베기를 하는 식생수로의 경우 : Manning의 조도계수 $n = 0.20$
 - 드물게 풀베기를 하는 식생수로의 경우 : Manning의 조도계수 $n = 0.24$
 - 바닥의 최대 폭 : 2.4m
 - 바닥의 최소 폭 : 약 0.6m
 - 흐름의 최대 깊이
- ㉠ 불규칙적으로 풀베기를 하는 경우 : 식생 높이의 1/3 이하
 ㉡ 정기적으로 풀베기를 하는 경우 : 식생 높이의 1/2 이하
 ㉢ 잔디의 경우 : 최대 깊이를 75mm 이하로 함
 ㉣ 가장 낮은 습지 식물종의 평균 높이보다 50mm아래로 함
- 최소길이 : 30m

일반적으로 건설의 용이성을 위해 사다리꼴 형태의 단면을 이용하며 유지관리의 용이성을 위해 측면경사는 4:1이하로 한다. 측면강사가 3:1 보다 가파른 경우 계단식 단을 이용하고 최대 측면경사는 토양조건, 수로라이닝의 종류에 따라 결정되며 일반적으로 다음의 기준을 넘지 않아야 한다.

식생수로의 입지는 지형학적으로 매우 완만한 경사를 갖는 지역이 좋으며 침식을 일으키지 않을 정도의 유속이 유지될 수 있도록 충분히 큰 통수단면적을 확보할 수 있는 지역이어야 한다.

완충지대가 훼손되지 않고 자연 상태를 그대로 유지하고 있는 지역을 입지 후

보지로 고려할 수 있으며, 시설은 최대한 주위경관과 어울리도록 설계한다.

식생수로를 설치하고자 하는 지역의 집수면적은 2ha 미만이 좋다.

습식 식생수로의 입지는 지하수위가 수로바닥과 거의 일치하는 지역이 좋으며 이와 같은 입지조건에서 수로 내부의 습지상태와 식생을 유지할 수 있다.

On-Line으로 설계된 식생수로라고 해도 시설보호를 위하여 호우시 발생하는 고유량(高流量)을 우회 시킬 수 있도록 우회수로를 설치해야 한다. 강우유출수는 침사지에 의해 미리 전처리를 실시한다.

건식 식생수로는 하부배수시스템 상부에 위치한 투수성 여과상과 유출수를 운송하는 개수로(開水路)로 구성된다. 오염물질은 수로의 주요부에 위치한 토양 여과지를 통과하면서 처리된다. 강우유출수는 여과상 하부에 위치한 자갈배수계통과 다공성 관로를 통하여 집수된 후 유출구로 운송된다.

습식 식생수로(수로형 습지)는 지하수위 또는 투수성이 불량한 토양까지 굴착하여 조성한 수로로 구성된다. 다단형의 작고 수심이 얇은 습지 셀(wetland cell)을 이루도록 중간 중간에 체크 댐을 설치할 수도 있다.

설계시 고려할 사항은 식생수로에서 오염물질 제거효율은 경사 감소, 식생밀도 증가, 소규모 조절댐의 설치 등에 의해 우수유출수의 유속감소에 의해 증가될 수 있다. 또한 포장하부의 토양은 침투를 증진시키기 위해 높은 여과율을 가져야 한다.

식생수로의 경사는 최소 1%, 최대 4%를 초과하지 않도록 설계해야 하며 1~2%의 경사가 이상적이다. 지형적인 특성상 경사가 2%를 초과할 경우에는 에너지 경사를 제한하여 권장된 1~2% 경사를 만족하도록 15~30cm의 낙차공을 설치한다. 낙차공 직하부에는 에너지 소멸장치를 구비한다.

식생수로에서 최대수심은 식생수로의 끝에서 0.46m를 초과하지 않도록 한다. 평균수심은 0.31m 정도가 유지되어야 한다.

식생수로의 바닥 폭은 적절한 여과작용이 일어날 수 있도록 0.6~2.4m가 적당하다. 폭의 크기를 확장할 수 있으나 수로 내 물골형성 방지를 위하여 둑이나 벽체를 갖추거나 컴파운드 단면으로 시공하여야 한다.

식생수로는 사다리꼴 단면이나 컴파운드 단면으로 설계되어야 한다. 측벽 경사는 2:1을 초과해서는 안 된다.

식생수로는 2년 빈도의 홍수시 발생하는 최대유속이 주어진 토양과 식생조건 하에서 침식을 일으키지 않을 정도의 흐름이 유지되어야 한다.

- 건식 식생수로

건식 식생수로는 전체 WQv를 46cm 이하로 저류하여 투수성 토양층을 통하여

침투시킬 수 있는 크기이어야 한다. 완전배수시간은 48시간 이하가 최대값이나 24시간 정도가 적당하다.

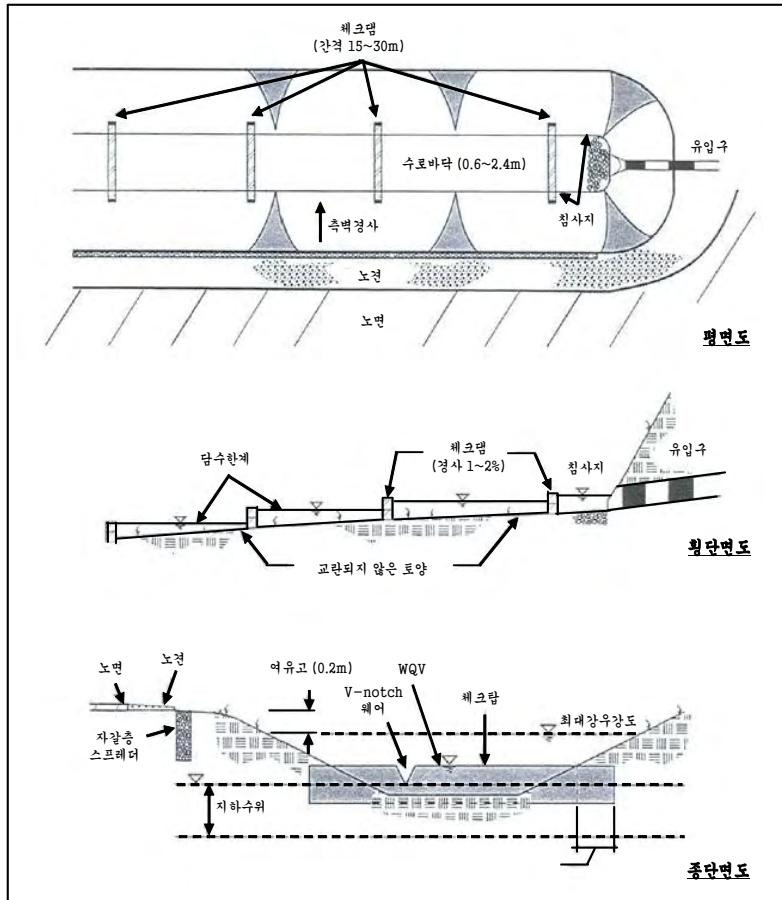
건식 식생수로의 바닥은 76cm 깊이 정도의 투수성 토층과 길이방향으로 관경 10cm 크기의 유공 PVC 또는 HDPE 배수관으로 구성된다. 투수성 미디어의 투수속도는 0.3m/일(최대 0.46m/일)이 적당하며 오염물질의 제거가 이루어질 수 있도록 유기물질 함유량이 큰 것이 좋다. 투수성 여과섬유(permeable filter fabric)는 자갈층과 그 상부의 토층사이에 위치한다.

건식 식생수로의 굴착과 이와 관련된 배수계통의 공사는 설계에서 명기된 깊이와 폭으로 제한하여야 한다. 굴착된 트렌치(도랑)의 바닥토층이 압밀되어서는 안 되며 자갈과 투수성 토양을 넣기 전에 흙을 긁어 뒤집는다. 수로의 측부에 돌출된 나무나 식물의 큰 뿌리는 잘라낸다. 측벽에는 공극이 없고 균일한 상태가 되도록 깎아내리는 것이 좋다.

- 습식 식생수로

습식 식생수로의 크기는 최대수심을 나타내는 지점에서 46cm 깊이로 WQV를 저장할 수 있어야 한다.

식생수로에는 체크댐(check dam)을 설치하여 다단형 습지 셀로 조성할 수도 있다. 체크 댐에는 V-notch 웨어를 설치하여 아주 작은 유량도 흐를 수 있도록 한다.



<그림 2-47> 습식 식생수로의 평면도 및 종단면도

○ 전처리/유입구

식생수로 유입구는 견치석(rip-rap)이나 돌망태(gabion)를 사용하여 에너지 소산장치(energy dissipator)를 구비하여야 한다.

건식 또는 습식 식생수로에는 전처리 시설로 유입구에 침사지를 설치한다. 침사지의 용량은 전체 집수구역 중 불투수 면적 1ha 당 강우유출수 60m³을 처리할 수 있는 규모로 설치되어야 한다.

이와 같은 저류용량은 체크댐 또는 식생수로를 가로질러 조성한 우수통행로(driving crossings, 임시로 하천을 통과하고자 할 때 만든 암거를 갖춘 도로)를 만들어 확보할 수 있다.

수로의 선단을 시점으로 강우시 수로측부에서 유입되는 수막유량(sheet flow)을 처리하기 위해서 잔자갈 여과대를 설치하고 측벽의 경사는 완만하게 조성

한다.

- 유출구의 구조

건식 식생수로: 하부배수관을 통하여 유출된 처리수는 우수배체계통이나 침식을 일으키지 않는 안정적인 낙차공을 통하여 유출시킨다.

습식 식생수로: 수로 유출구는 세굴과 침식으로부터 보호될 수 있도록 설계한다.

- 유지관리를 위한 접근성

식생수로를 따라서 공공도로 또는 자가용 도로와 연결된 최소 노폭 6m 크기의 유지관리를 위한 도로를 개설한다.

식생수로 내부도로의 경사는 최대 15% 이하가 되도록 하고 도로로부터 3.7m 이내에는 장애물이 있어서는 안 되며 중장비와 차량의 이동을 위하여 도로가 안정화되어야 한다.

- 경관

식생수로의 경관설계 사항을 명기하며, 여기에는 지역여건과 토질 그리고 수리조건에 맞는 잔디종과 습지 식생종이 포함되어야 한다. 식생은 잔디와 비관목류 습지식물로 제한되어야 한다. 나무나 관목류는 식생수로 식물로 적절치 않다.

건식 식생수로 : 유지관리가 쉬운 뗏장잔디가 건식수로의 식생으로 적당하다. 자연 상태의 잔디가 좋으나 필수조건은 아니다. 뗏장잔디의 유지관리는 안정된 상태에서 지속적으로 수로의 바닥과 경사면을 피복할 수 있을 정도로 수행한다.

습식 식생수로 : 공사기간 동안 수로에 정수식물을 식재하고 상시적으로 습지 식생을 유지할 수 있는지를 검토할 수 있도록 물수지 분석을 수행한다.

- 지형학적 특성

완만한 경사지 : 체크댐의 필요성이 줄어든다.

급한 경사지 : 경사가 4% 이상일 경우 타당성이 없다.

- 하류유역 고려사항

지하수오염 : 오염물질 대량배출 잠재성이 큰 유역으로부터 발생하는 강우유출수의 침투를 방지하여 지하수 오염가능성을 사전에 차단한다.

이러한 지역에서 바닥 라이닝 토양으로 수리학적 토양그룹 "A"나 "B" 형태의 토양이 적당하다. 라이닝을 하지 않을 경우 전처리 과정을 통하여 오염물질을 처리하고 지하수위와의 거리가 최소한 0.6~2.0m 이상이 되도록 한다.

바) 설계과정

- WQv와 WQv 침투유량 Qwp를 산출한다.
- 현장여건이 식생수로를 설치하기에 적합한지 검토한다.
- 전처리시설의 용량을 산출한다. 침사지의 용량은 전체집수구역 중 불투수 면적 1ha 당 강우유출수 60m³을 처리할 수 있는 규모로 설치되어야 한다.
- 식생수로의 제원을 결정한다. 수로 말단의 수심이 45cm 이하가 되도록 바닥 폭, 깊이, 길이, 수로경사를 결정한다.
 - 경사는 4%를 초과할 수 없다(보통 1 ~ 2%).
 - 수로바닥 폭은 0.6~2.4m 사이가 적당하다.
 - 수로측벽의 경사가 2:1을 초과해서는 안 된다.
- 배수 및 유출시간
 - 건식 식생수로에서는 48시간 동안에 WQv를 전량 침투시킬 수 있어야 한다.
 - 식생수로에서는 전체 WQv를 차집 처리할 수 있어야 한다.
- 침투 덕의 오리피스의 크기를 결정한다. 6시간 이내에 WQv를 완전히 통수시킬 수 있어야 한다.
- 식생조성과 경관계획을 수립한다.

사) 식생수로(Grassed Swales)개략시방

- 식생대 계획 시 평수위 및 홍수위를 고려하도록 한다.
- 계절적 특성을 고려하여 식생을 조성하도록 한다.
- 최대측면경사는 토양조건, 유수종류, 그리고 수로라이닝의 종류에 따라 결정되며 일반적으로 다음의 기준을 넘지 않아야 한다.

(표 2-56) 식생수로의 측면경사

종류	폭 : 깊이
식재초지	3:1
잔디지역	3:1
사석	2:1
돌망태	수직
돌망태 매트	2:1

아) 유지관리

식생수로 설계의도에 맞게 효율적으로 운전하기 위해서 규칙적인 점검과 유지관리는 필수적이다.

유지관리 지침에 따라 저감시설을 유지관리 하는 것은 시설 운영자의 중요한 책무이다. 필요할 경우 행정당국에서는 추가적인 유지관리 지침을 하달하도록 한다.

개별적인 시설에 따라 유지관리 빈도에 차이가 있으며 이것은 대형 강우사상의 발생여부, 지역적인 수리학적 여건, 시설이 위치한 상류지역의 개발행위 등 많은 요인에 따라 상이하다.

유지관리는 적합한 식물성장을 지속시키기 위해 계절에 따른 풀 깎기, 비료 주기, 전지, 잡초와 병충해조절, 식종 등을 토양과 기후에 따라 정기적으로 행해야 한다. 식생형 시설에서 오염물질의 흡수를 촉진하기 위해서는 식물의 생장기 동안에 정기적으로 풀베기를 수행한다. 베어진 풀은 퇴비화와 같은 방법을 통해 적절히 처분한다. 풀베기의 목적이 영양물질의 재용출을 방지하기 위해서라면 생장기간의 종료시점에서 잔디 및 창발성 습지식물을 최대수심 이상에서 가급적 낮은 높이로 풀베기를 실시한다. 그러나 부유물질의 포획 및 쓰레기 오염방지의 목적을 위해서라면, 생장기간의 종료시점에서 설계수심 보다 최소한 50mm이상 식물의 높이를 유지하도록 한다. (한국환경정책.평가연구원, 1977).

홍수에 의한 침전물질이 식생을 덮거나 또는 생물학적 처리시설 용량을 감소시키기 시작하면, 침전물을 제거하여야 한다. 식생형 시설이 손상된 경우에는 초기 식종을 이용하여 재식재하거나 인접한 경사면의 상부지역의 잔디를 이용하여 식재한다. 그리고 가능하다면 새로운 식생이 완전히 자리를 잡기 전까지 물의 유입을 제한하며, 그렇지 못할 경우에는, 양질의 침식방지 천으로 씨를 뿌린 표면을 덮도록 한다.

정기적으로(가능한 매달) 특히 큰 유출 후 식생형 시설을 점검하도록 한다. 토양 및 식생의 축적을 막기 위하여 연석을 깨끗이 유지한다. 식생형 여과시설에 정원폐기물 또는 애완동물의 폐기물을 버리는 일이 없도록 지역 주민들을 교육한다.

식생수로의 오염물질 제거 효율은 경사감소, 식생밀도를 증가시키는데 있으므로 수로의 경사, 식생상태를 주기적으로 점검하여야 한다.

식생수로 양안에는 연석을 설치하는 경우가 많으므로 연석의 축조상태를 점검하여 붕괴 우려가 있거나 붕괴된 지역에 대해서는 즉시 복구하여야 한다.

정화능력이 뛰어난 수생식물이 조성되어야 하고 과 성장된 식물에 대해서는 주기적으로 풀 깎기를 하여 수로의 유수흐름에 지나친 장애요인이 되지 않도록 한다.

식생수로만으로 정화기능을 발휘하지 못하는 경우에는 접촉산화방식의 Media를 포 설치하여 효과를 상승시키는 방법을 모색하여야 한다.

식물상, 동물상, 미생물상을 정기적으로 표본 조사하여 수로의 제 기능을 판단하는 지표로 삼는다.

(표 2-57) 식생수로의 유지관리활동 및 계획

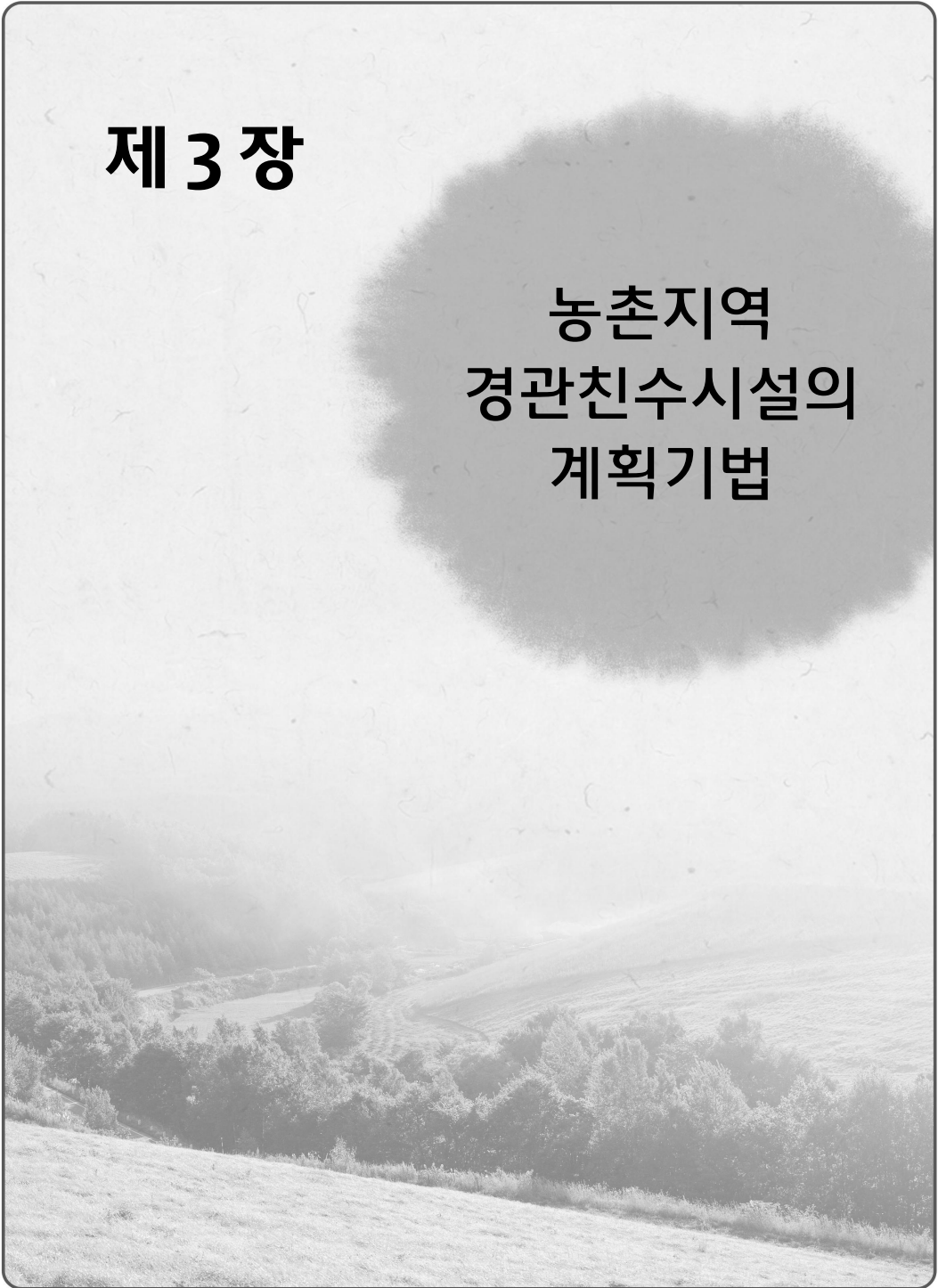
점검활동	계획
<ul style="list-style-type: none"> • 씨앗과종 후와 공사완료 후, 첫 번째 대형호우 후 식생상태, 수로 측벽과 바닥의 피해여부 점검 	공사후
<ul style="list-style-type: none"> • 침식여부, 불건전한 식생상태와 피해, 침수지역, channeling, 쓰레기, 퇴적물 축적상태 점검, 장마기 전후에 점검하고 폭우발생 후 점검 	6개월 간격으로
<ul style="list-style-type: none"> • 레벨 스프레더 폐쇄여부와 수로측벽 경사면의 잔디상태와 침식여부 점검, 잔자갈 가로막이 폐쇄여부 점검 • 침사지 또는 기타 전처리 시설 쓰레기와 퇴적물 축적상태 점검 	1년에 한번씩
유지관리활동	계획
<ul style="list-style-type: none"> • 안전과 심미적 또는 기타 목적으로 잔디의 키를 7~10cm로 유지키 위해 별초작업 실시, 별초 작업 전에 반드시 쓰레기 제거, 별초 후 식물잔재물이 수로로 유입되는 일이 없도록 할 것 • 건기동안 또는 식생유지에 필요할 경우 수로에 물을 댈것 • 피해지역(침식)을 보수하고 필요할 경우 식생의 재건작업을 실시하며 침입종을 제거, 비료, 제초제, 살충제의 사용은 절대적으로 필요하다고 판단될 때를 제외하고는 금함(살포량 최소화) 	필요할 경우(빈번하게 또는 계절에 한번)
<ul style="list-style-type: none"> • 쓰레기, 돌맹이 등을 제거하고 적절히 처분 • 유입구와 잔자갈 가로막이의 퇴적물과 쓰레기 청소 	6개월 간격으로
<ul style="list-style-type: none"> • 잔자갈 가로막이 폐쇄여부 점검 및 청소 작업 • 초기에 식재한 잔디가 정착하지 못한 경우 대체 잔디종으로 교체, 재파종하거나 객토작업 실시 	1년에 한 번씩 또는 필요할 경우

<ul style="list-style-type: none"> ●수로에서 물흐름에 장애가 되는 퇴적물 제거. 토사가 수로나 암거에서 8cm 이상 축적될 때, 식생을 덮고 있거나 전체 수로유효용적의 10% 이상 퇴적물이 쌓일 때 제거. 퇴적물 청소과정에서 훼손된 잔디의 교체 ●침사지와 전처리 지역의 축적된 퇴적물 제거 ●수로인근, 유출부 침식지역의 보수. 필요하면 안정화 작업(견치석 쌓기, 멧장잔디)을 수행 ●건식수로의 배수시간이 48시간을 초과할 때에는 모래와 토양여과층을 갈아 엷음, 작업 후 다시 식생을 조성함 	<p>필요할 경우(불규칙적으로)</p>
---	---------------------------

자) 모니터링 : 전술한 식생여과대와 같음

제 3 장

농촌지역 경관친수시설의 계획기법



제3장 농촌지역 친수경관 시설의 계획기법

3-1 농촌지역의 친수자원의 정의

1. 친수의 정의

친수기능에서 (친수)란 호칭의 용어는 주거성과 동의어처럼 시민과 전문가 사이에서 사용되고 있으나, 그 어원에 대해 다루고 있는 내용은 많지 않다.

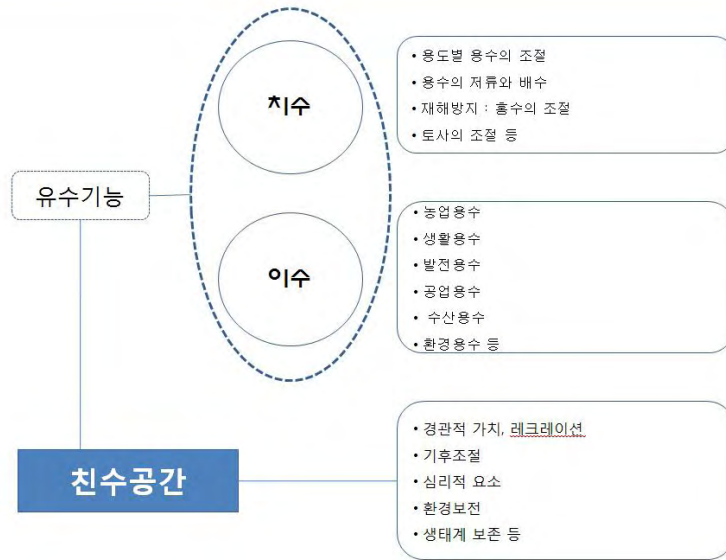
“친수”란 용어는 1960년대 후반에 일본 (사)토목학회에서 처음으로 사용하였으며, 당시 일본은 급격한 도시화로 도시하천은 수질오염과 수해에 직면하고 있었다.

이러한 시대적인 배경 속에 동경의 하천계획 기술자들의 연구활동을 계기로, 하천이 가지고 있는 치수, 이수, 각 기능과 함께 중요시되어야 할 기능으로 하천환경에 관한 제반기능에 “친수기능”이라는 단어를 사용하게 된 것이다.

이때 제안된 “친수기능”의 위치 매김은 그림과 같다. 여기서 치수, 이수기능을 물리적인 기능에 중점을 두면 “유수기능”을 들 수 있으며, 이에 대해 새로운 개념으로 “친수기능”을 대치시켜 경관, 생태학, 레크리에이션, 기후 조절, 심리적 존재 등을 포함해 제안하였다.

“친수성”이란 말 그대로 수변환경에서 물과 친숙한 것을 말하며, 물이 가진 물리적, 화학적 제반작용을 통하여 인간의 지각작용으로 느낄 수 있는 의식 및 사상을 의미하는데 삶의 일부를 구성하는 개념이다.





<그림 3-1> 농어촌지역 친수공간 개념도

2. 농촌지역의 친수자원 유형

농촌지역의 자원의 유형을 목적, 물리적 형태, 이용방법 등에 따라 다양한 유형으로 분류가 가능함. 이에 최근에는 농어촌지역의 자원에 대한 다양한 분류가 진행되고 있음. 아래의 표는 농촌진흥청에서 진행된 농어촌지역의 어메니티 자원목록이다.

아래의 표에서 보듯이 농어촌자원은 자연적 자원, 문화적 자원, 사회적 자원 등 크게 3가지 대분류자원으로 분류되면, 각 대분류 자원 내에 중분류 자원, 소분류(어메니티 자원)등을 세분화하였다.

(표3-1) 농어촌 어메니티 자원현황

대분류	중분류	농촌 어메니티자원의 종류	
자연적 자원	환경관리 시설자원	경작지	
		축사	
		마을	
		업체	
		기타	
	지형자원	습지	소

대분류	중분류	농촌 어메티니자원의 종류	
	(G)	생물서식지	담
		바위	폭포
		절벽	특이토양
		붕	미기후발생지역
	동물자원 (A)	포유류	양서파충류
		조류	무척추동물
		어류	기타
		곤충	
	수자원 (W)	하천	댐 등 친수공간을 제공해주는 지역
		저수지	
		호수	
		약수터	
		공동우물	
	식물자원 (P)	마을숲	보호수
		비보호숲	노거수 등의 독립수
		군락 등 일정면적을 갖는 녹지 공간	
문화적 자원	전통자원 (T)	전통건조물	마을상징물
		신앙공간 (성황당, 돌무덤, 당나무 등)	유명인물
		전통주택 (기와, 너와, 돌기와, 초가 등)	풍수지리나 전설 (마을유래, 설화 등)
		전통적인 마을 안 길	
	경관자원 (L)	농업경관 (다락논, 마을평야, 밭, 과수원 등)	
		하천경관 (갈대, 하천의 흐름, 하천별 수림 등)	
		산림경관 (산세, 배후, 구름지 등)	
		주거지경관 (건축미, 주거지 스카이라인 등)	
		해안경관	

대분류	중분류	농촌 어메티니자원의 종류	
		기타	
사회적 자원	시설물자원 (F)	공동생활시설 (마을회관, 노인정, 마을마당, 어린이 놀이터 등)	
		기반시설(방범등, 상수도, 하수도, 공동주차장 등)	
		공공편익시설(구판장, 슈퍼, 보건소, 학교 등)	
		환경관리시설 (오폐수 정화시설, 소각장, 공동 퇴비장 등)	
		정보기반시설 (인터넷, 컴퓨터네트워크, 마을 홈페이지 등)	
		농업시설 (공동창고, 작업장, 집하장, 관정, 농로, 용배수로 등)	
	특산자원 (S)	수공예품	특용작물
		도자기	섬유
		친환경농업	기타
		식품	
	공동체자원 (C)	생활공동체 활동(관혼상제부조, 경로잔치, 친목계 등)	
		농업공동체 활동(품앗이, 작목반, 판매, 유통조직 등)	
		씨족행사(성묘, 제사 등)	
		마을 문화 활동(공연, 축제, 전시회 등)	
		마을 놀이(명절놀이, 생산놀이, 단체관광 등)	
마을 관리 및 홍보 활동 (마을정비, 마을청소, 쓰레기분리수거, 마을홍보안내)			

※자료출처 : 농촌진흥청 농어촌지역 어메티니자원 현황

다음은 (표3-1) 농어촌 어메티니 자원 중에 본 연구와 관련된 친수자원에 해당하는 자원유형을 정리한 것으로 대부분이 중분류목록의 수자원항목에 해당되며, 지형자원 목록에 폭포, 소, 담 등도 포함된다.

(표3-2) 농어촌지역 친수자원목록

대분류	중분류	농촌 어메티니자원의 종류	
자연적 자원	지형자원 (G)	습지	소
		생물서식지	담
		바위	폭포
	시설물자원	농업시설	용·배수로
	수자원 (W)	하천	댐 등 친수공간을 제공해 주는 지역
		저수지	
약수터			
공동우물			
문화적 자원	경관자원 (L)	하천경관 (갈대, 하천의 흐름, 하천별 수림 등)	

3-2 농어촌 친수자원 현황

1. 하천

농어촌지역의 대표적인 친수자원은 하천이라고 할 수 있음. 하천은 인류가 생산 활동을 시작한 시대부터 현재까지 인류에게 없어서는 안 될 중요한 자원으로 역할을 수행하고 있다.

특히 우리나라의 경우에는 농어업, 주거, 문화, 생산활동 등 대부분에 하천이라는 수자원과 연관되어 있으며, 지역 내 거점지역들도 대부분이 하천에 입지하고 있다.

하천법에 의한 하천의 정의를 살펴보면 “하천”은 지표면에 내린 빗물 등이 모여 흐르는 물길로서 공공의 이해에 밀접한 관계가 있어 하천법제7조제2항 및 제3항에 따라 국가하천 또는 지방하천으로 지정된 것을 말하며, 하천구역과 하천시설을 포함된다.

최근에 도시의 경우에는 하천을 도시지역의 중요한 생태경관요소로 다루어지고 있으며, 이와 더불어 지역주민들의 편의, 휴식공간으로 다양하게 활용되고 있음. 또한, 농어촌지역에서도 마찬가지로 지역 내의 하천정비를 통하여 농어촌지역주민들의 삶의 질 향상 및 지역경관개선 등에 많은 효과를 제공하고 있는 친수자원의 역할을 수행하고 있다.

2. 저수지

저수지는 농어촌용수를 확보할 목적으로 하천, 하천 구역 또는 연안 구역 등에 물을 가두어두거나 관리하기 위한 시설로 홍수위(洪水位 : 하천의 최고 수위) 이하의 수면과 토지를 말한다.

저수지는 주위의 논과용·배수로, 야산, 도랑 등과 연속성을 가지며 농촌의 수변환경을 형성하고 있고, 농어촌 지역에 서식하는 많은 생물은 생활과 먹이조건에 따라 저수지에 다양한 환경을 형성하며 생활하고 있다.

또한, 저수지는 농업용수로서의 용수이용량에 따라 계절적으로 수위가 크게 변동하는 수역으로, 이와 같은 수위변동에 적응하는 많은 동식물이 서식하는 특유의 생태계를 형성하고 있다.

또한 저수지의 수변공간은 유지관리 작업에 따라 다양한 생물이 유지되는 특징을 갖고 있고, 저수지의 수변공간 활용은 연안대의 형성과 수질 등 저수지 자체의 환경은 물론 수역과 인접한 습지나 야산 등 육지와의 환경의 연속성을 확보하도록 노력하고 적절한 유지관리에 대해서도 충분히 배려하여 수변환경을 조성해야 할 것이다.

최근 들어 저수지는 단순한 농업용 편의시설이 아닌 지역주민들의 휴식공간, 친수공간 등으로 다양하게 활용되고 있음. 이러한 측면에서 저수지라는 친수공간으로 농업용 기반시설에서 앞으로는 지역의 경관, 자연지형, 지역주민들의 다양한 욕구 등을 반영할 수 있는 지역의 대표적인 어메니티 자원으로 발전시켜야 할 것이다.



<그림 3-2> 저수지 전경사진

3. 용배수로

농어촌지역의 용배수로는 농경지에 필요한 농업용 용수를 공급하고 잉여수 등

을 적기에 배제하기 위한 농업생산기반시설¹⁾의 하나임. 현재의 우리나라의 대부분의 용·배수로는 농어촌지역의 친수공간의 활용보다는 농업생산지원기능에 중점적으로 이용되고 있는 자원이다.

이와 같은 용·배수로는 농번기에는 용수의 이동을 위한 시설로 이용되지만, 농한기 또는 건기에는 농어촌지역에 서식하는 동식물의 이동통로 및 서식공간으로 많이 활용되고 있다.

최근 농촌체험마을 등을 중심으로 일부 용수로 등을 활용한 다양한 친수공간의 활용의 시도가 이루어지고 있으나, 지역 전체의 친수자원의 네트워크체계의 미확보 등으로 인하여 유지관리 및 운영에 많은 어려움을 겪고 있다.

농업용 용·배수로의 정비방향도 관개기의 물 공급, 홍수 등 재해예방과 농업용수확보의 중요성만이 강조되던 것에서 주민이용의 편의와 이곳에 서식하는 동식물에 대한 배려는 물론 농촌경관개선과 환경보전 등 다양한 기능을 확보하고 적용하는 기술을 개발하여 적용해야 할 것이다.

4. 생활친수자원(우물, 약수터 등)

농어촌지역의 생활친수자원이란, 농어촌지역의 공동체 사회활동을 통해 생산된 친수자원으로 마을내의 우물, 약수터, 빨래터 등이 대표적인 자원이라고 할 수 있을 것이다.

이러한 자원들은 농어촌지역의 현대형 주거생활, 기능 중심의 도로, 교통체계, 상하수도의 보급률 증가 등을 통하여 대부분이 소멸되거나, 이용 빈도가 낮아 지역 내의 불량경관요소로 취급되고 있는 실정이다.

하지만, 이러한 생활친수공간은 지역 커뮤니티 활성화, 교류증진 등 중요한 역할을 수행했던 자원이며, 현재에도 대다수의 지역주민들의 지역 내 생활환경 개선의 우선순위로 제시하고 있음. 이러한 측면에서 향후 생활친수자원은 친수자원으로 가치보다는 지역 내의 교류중심공간으로써 활용되어야 할 것이며, 농어촌지역의 새로운 친수공간의 이미지로 재탄생되어야 할 것이다.

1)농업생산기반시설"이란 농업생산기반정비사업으로 설치되거나 그 밖에 농지의 보전이나 농업 생산에 이용되는 저수지, 양수장(揚水場), 관정(管井 : 우물) 등 지하수 이용시설, 배수장, 취입보(取入淤), 용수로, 배수로, 웅덩이(溜池), 도로, 방조제, 둑(堤防) 등의 시설물 및 그 부대시설과 농수산물의 생산·가공·저장·유통시설 등 영농시설을 말한다.

5. 친수자원개발과 관련된 정책사업 현황

본 장에서는 현재 농어촌지역의 친수자원과 연관된 정책사업(농림수산식품부)을 정리해 보았다.

대부분의 정책 사업이 친수라는 명칭을 직접적으로 사용하고 있지는 않지만, 지역 내의 친수자원을 포함하여 사업을 진행하고 있는 사업이다.

특히, 농업농촌테마공원사업의 경우에는 농업용 저수지의 다원적 활용이라는 측면에서 사업을 중점적으로 진행하는 사례가 많이 포함된 사업이라고 할 수 있다.

(표3-3) 농어촌 친수자원 관련 정책사업 현황

사업명	사업내용
농촌마을종합개발	○ 쾌적한 농촌공간조성 및 잠재자원 특성화를 통한 농촌자립기반 구축을 위해 지역특성에 맞게 생활환경, 경관개선, 소득기반확충, 지역역량강화 등 종합개발(권역만 5년간 40~70억원)
어촌종합개발	○ 낙후된 어촌의 생산기반시설, 소득원개발, 생활환경개선등을 종합적으로 시행하여 소득증대 및 정주여건 개선(3년간50억원이내)
농촌생활환경정비	○ 마을기반정비, 경관개선, 문화 복지시설, 환경보전시설 등 기초생활환경 정비·확충(면당 3~5년간 25~30억원)
농촌농업생활용수개발	○ 생활용수, 농업용수 등 농어촌에 필요한 다목적 용수를 공급키 위한 암반관정, 이용시설설치(마을당 2.2억원)
산촌생태마을조성	○ 산촌지역의 소득원개발과 생활환경개선으로 산촌지역의 거점지역으로 육성키 위해 생활환경개선, 생산소득기반시설, 특화품목개발, 산촌체험시설 조성, 프로그램 개발 및 운영, 주민역량 강화 등(마을당2년간 16억원이내)
농어촌테마공원조성	○ 농촌주민과 도시민의 자연친화적 휴식·레저·체험공간을 제공하기 위해 테마공원을 조성. 생태공

사 업 명	사 업 내 용
	<p>원·경관시설·진입로 등 기반시설, 휴양·체험시설, 소득기반시설(위락·판매·숙박시설 등은 민자유치), (지구당 50~100억원)</p>
어촌어항관광개발	<p>○ 어업인의 소득증대와 도시/어촌간 교류확대를 위한 어촌지역 관광기반 확충<시설비 및 마을사무장 인건비> (체험형 5억원 이상/1년, 관광모델형 50~60억원/3~5년)</p>
복합낙시공원조성	<p>○ 어촌에 가족단위의 해양레저 수요를 유치할 수 있는 복합공간을 조성하기 위해 해상 낚시터, 낚시연선 접안시설, 수산물직거래장, 어촌생태 체험장 등 지원 (30~120억원/3~4년)</p>
소규모용수개발	<p>○ 물 공급시설이 부족한 50ha미만 가뭄지역에 저수지, 양수장, 보, 용수로 등 수리시설을 설치하여 농촌용수확보를 통한 안정영농기반 구축(3-5년간, 실 소요사업비)</p>
지표수보강개발	<p>○ 농업용수 확보가 부족한 기존시설을 확장하여 소요용수의 안정적인 공급(3-5년간, 실 소요 사업비)</p>
수산종묘관리사업	<p>○ 해역별 특성에 적합하고 부가가치가 높은 수산종묘방류를 통해 지속이용 가능한 어업생산체제 구축하기 위한 해역특성에 맞는 우량종묘 생산, 종묘방류효과조사 및 시·도립 수산종묘배양시설 설치</p>
내수면어업생산시설	<p>○ 국제경쟁력 있는 지역특화 품종 양식단지 조성으로 FTA협정으로 인한 어려움에 처해있는 어업인의 새로운 소득창출 및 다양한 내수면 생물자원을 이용한 생태관건립으로 도시민, 어린이에게 체험학습 제공하기 위한 내수면양식단지·토속어류생태관·종묘배양장 시설 설치</p>



<그림 3-3> 농업농촌테마공원 조성사업계획사례(화순군)



<그림 3-4> 단양군 한드미권역 친수공간 조성조감도(팔래터 정비)

6. 친수공간 조성 관련된 법제적 검토

아래는 친수공간 조성과 관련된 법제적 검토이다. 법제적 검토는 건설교통부 저류시설의 설치 및 운영지침, 지속가능한 신도시계획기준 내용 중 본 연구와 관련된 부분을 검토 정리하였다.

가. 도시공원 내 저류시설의 설치 및 운영지침(건설교통부,2000)

□ 계획기준

- 저류시설내 설치하여야 하는 녹지(공원녹지시설 중 조경시설과 상시저류면적포함)의 면적은 상시저류시설의 경우 60%, 일시저류시설의 경우 40%이상으로 함
- 저류시설부지는 잔디밭, 자연학습장, 운동시설 및 광장 등의 기능을 가진 다목적 공간으로 조성하고 침수로 인한 피해가 적고 유지관리가 용이한 시설을 설치함

□ 수변공간 조성기준(제16조)

- 상시저류시설에 대하여 자연생태계복원에 의한 자연학습장 및 주변환경과 조화되는 수변공간을 조성하고자 하는 경우
 - 수변고유의 생태적 기반을 조성하여 생태적으로 건강하며 자연성과 쾌적성을 살린 다양한 환경을 조성하고
 - 수변부의 경사·바닥의 형태 및 깊이를 다양하게 조성하여 저류기능 유지와 함께 동식물 군집이 풍부하게 유지되도록 함

□ 호안설계기준(제18조)

- 호안은 이용자의 안전을 고려하고 생물의 이동·서식이 원활하도록 완경사로 하고, 자연석, 목재 및 토사를 이용한 자연형 호안으로 조성함
- 식생복원·침식방지 등을 고려하여 식생호안, 돌망태, 자연석, 식생마대 등 자연적 재료를 활용하여 식생도입을 위한 기반을 제공하여야 함

□ 식생기준(제19조)

- 갈수기를 견딜 수 있는 식생으로서 수생식물·습지식물·건생식물군으로 조성하고 초본류, 목본류, 교목류를 적절히 혼합하고 야생동물의 서식환경을 다양하게 제공하도록 함



<그림 3-5> 실개천조성 및 우수지 조성사례

나. 지속가능한 신도시계획기준(건설교통부, 2005)

수생태계 보전과 창출

- 생태계 기능향상 및 생물서식환경 조성을 위해 자생종 식재를 원칙으로 함
- 생태수로가 되도록 실개천 주변에 최소5m이상의 생태녹지대를 확보하고, 인공수로일 경우에는 폭포, 계류, 분수, 상징수로, 보행로변 실개천, 호수 등과 연계하여 물길 연계망(blue network)을 형성하도록 함
- 주요수계가 만나는 곳에는 넓은 면적의 습지를 조성하여 생물서식공간을 확보하고 생물 다양성을 증진시킬 수 있도록 함
- 저수지는 주변 주거지역의 실개천과 연계하여 생물서식공간을 확보하고 어도를 조성하여 생물다양성을 확보하며, 수질정화기능을 수행하는 생태적 수체계로 조성하는 것이 바람직함

생태적 식재계획

- 식재 후 녹지는 각종야생동물의 서식지로서 가능하므로, 조류, 곤충류, 파충류, 양서류, 어류의 생태를 먼저 파악하고 이들의 서식환경을 고려한 식재설계가 되어야 함
- 식생밀도를 강화하고 녹지의 종다양성을 높이며 단위면적당 임목축적량을 높이기 위해서는 다층적 식재구조가 요구되며, 특히 방풍림이나 방재림 등의 기능을 수행하기 위해서는 교목이나 관목류 등의 단일종류의 수목에 의한 단층식재보다는 층고를 달리하여 다층식재를 하는 것이 바람직함
- 종다양성 보호하고, 식생연속성 유지를 위해 향토수종의 식재를 적극 권장하며, 생태계 기능향상 및 생물서식환경 조성을 위한 식재에는 자생종 식재를 원칙으로 함
- 휴식과 놀이형 수림인 경우에는 초본류와 교목류 위주로 식재하고, 생태보전 및 시각차폐형수림인 경우에는 초본류→목본류→아교목류→교목류로 구성함
- 식재계획의 경우, 다층식재와 자생종식재를 원칙으로 하고, 생물서식처 기능을 수행할 수 있도록 교목파일이나 고목 등을 활용한 biotope를 조성하는 것이 바람직함

복원녹화계획

- 공사 후 발생하는 사면과 절도지역은 경관 생태학적 측면에서 생물복원이 필요하며, 이를 위해서는 그 지역의 특성에 가장 맞는 생태복원방법

을 도입하여 자연천이가 이루어지도록 계획하여야 함

○ 보전가치가 높은 습지와 녹지가 개발로 인하여 불가피하게 훼손될 경우에는 대체습지 및 녹지를 조성함

○ 저류지 사면에는 생태적 사면녹화공법을 사용하여 생태 복원하도록 함

□ 생물 서식공간 조성

○ 생태녹지체계상 생태성이 강조된 비오톱을 조성하여 생태거점으로 활용하여야 할 지역에는 별도의 비오톱조성용지를 확보하여야 함

○ 저류지 및 연못주변 습지대에는 갈대, 줄, 부들 등의 습지성 식물을 식재하여야 하고, 동식물 보호지 주변에는 녹지대를 확보하여야 함

□ 생태연결로 확보

○ 계획 이전에 연속을 유지하던 생태계가 개발로 단절되었을 경우 생태기능의 유지 강화 및 생태공간의 창출 차원에서 생태연결로를 확보하여 녹지네트워크를 구축하여야 함

○ 저류지는 주변녹지와 연계되고 지구내 식생대 및 수로를 중심으로 생태연결로를 조성하는 것이 바람직함

3-3. 농업용저수지 친수경관조성 계획지침

1. 농어촌지역 친수공간 범위

농어촌지역의 친수공간의 범위는 주택내의 우물에서부터 용·배수로, 저수지, 하천, 연안역, 폭포, 소, 습지 등 수면과 접한 모든 부분이 해당된다고 할 수 있다.

도시와 비교해 본다면 도시의 경우에는 공원내 호수, 분수, 도섬지 등의 인공 구조물에 의한 친수공간이 대부분이라면, 농어촌지역의 친수공간은 자연적인 지형과 농어업을 위한 기반시설 등으로 구성되어 있는 특징을 지니고 있다.

(표3-4) 도시지역 및 농어촌지역 친수공간의 특성

구분	친수공간범위
도시지역	· 친수자원 : 분수, 하천, 인공호수, 도섬지 등 · 친수공간 조성목적 - 도시민 휴식, 경관용

	<ul style="list-style-type: none"> - 도시 내 생태계보전 및 미기후의 조절 등 · 친수공간 조성특징 <ul style="list-style-type: none"> - 하천고수부지 정비를 통한 산책로 등 조성 - 호수내 고사분수 및 인공호안정비를 통한 접근성강화 - 인공수로 등은 도섭지 등의 경관용 수로로 리모델링 - 광장, 유희지 등의 분수설치를 통한 경관용 분수 등의 설치를 통한 인공적 친수공간 조성
농어촌지역	<ul style="list-style-type: none"> · 친수자원 : 저수지, 우물, 빨래터, 폭포, 용배수로등 · 친수공간 조성목적 : 농어업용 또는 치수, 이수 등 · 친수공간 조성특징 <ul style="list-style-type: none"> - 자연지형의 의하여 발생한 자연 친화형 친수공간 - 대부분의 인공 친수공간은 농어촌지역주민들의 일상생활, 농어업 활동을 위한 시설 - 자연형 호안 등으로 구성되어 생태적으로 안정화된 친수공간의 특징을 지니고 있음

본 연구에서는 농어촌지역의 대표적인 친수공간이 농업용 저수지를 중심으로 농어촌지역의 친수공간조성방안에 대한 다양한 방안의 제시 및 생태적으로 생태 공학적 수질개선기법 등의 저수지내에 도입될 경우에 친수자원으로써 활용 방안 등에 대해서 제시하고자 한다.

아래부터는 친수공간은 농업용저수지를 지칭하는 것이며, 농업용저수지를 구성하는 시설물중 제당내의 수면 부지를 의미하는 것이다.

2. 국내외 농업용 저수지 친수공간 활용사례

가. 국내 사례

(1) 도시공원형 개발사례

(가) 용인 기흥저수지

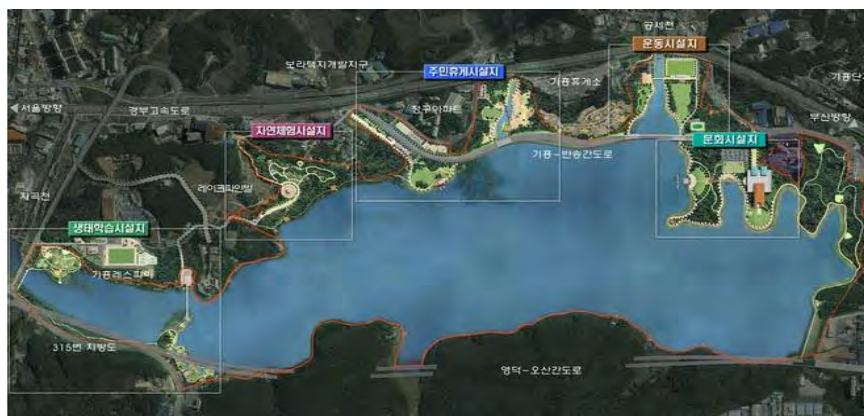
용인시 기흥구 고매동, 하갈동, 공세동에 걸쳐있는 총면적 2.2km²의 기흥저수지는 농업용저수지 조성을 목적으로 1957년 착공하여 1964년 준공한 저수지로 용인시 기흥구 동백동 석성산에서 발원한 물이 저수지로 흘러들어 신갈천, 지

곡천 등의 지류와 합치고 오산천으로 흘러 진위천에 이른다.
 현재 농업용수공급 및 홍수조절용으로 이용되고 있으나, 주변의 물리면적 감소 등으로 인해 불용지가 발생하고 있는 상태이며, 이외 현재 주변의 한국민속촌 등과 연계하여 많은 이용객들이 찾아들고 있어 주민 여가 활용시설로서의 개발이 진행되고 있는 사례이다.



<그림3-6>기흥저수지 전경

저수지의 개발방향은 자연환경보존을 위선한 도입시설 선정 및 이용프로그램 개발, 시민들의 삶의 질 향상을 위한 도시공원적 성격과 도시와 자연의 완충 역할을 할 수 있는 생태공원적 성격확보, 시설도입시 기존 자연환경을 적극 활용한 시설도입, 문화활동 등의 엔터테인먼트요소와 휴식/운동시설 강화, 생태적/자연친화적인 휴식위주의 자연테마공원으로 설정하여 진행 중에 있다.



<그림3-7> 기흥저수지 개발계획 평면도

저수지 개발은 총2개 지구로 구분하여 계획되었고, 제1지구에는 생태학습시설지, 자연체험시설지, 주민휴게시설 등이 입지할 예정이며, 제2지구에는 운동시설, 문화시설 등의 공간을 조성할 계획이다.

본 연구와 연관성이 높은 제1지구의 공간계획을 살펴보면, 아래와 같다.

구분	주요내용
	<ul style="list-style-type: none"> · 생태학습장, 수생식물을 관찰할 수 있는 수변관찰로, 습지에서만 살아가는 어류, 곤충 등의 생태를 학습할 수 있는 습지생태원 등 다양한 자연생태 학습공간과 데크, 광장 등을 조성
	<ul style="list-style-type: none"> · 수백캠핑전용차량인 캐라반과 목조형 연립주택인 코티지, 통나무집 등 취향에 따라 즐길 수 있는 각종야영시설은 물론 취사장 샤워장, 정자 등의 시설을 도입하여 4,200명의 방문객을 수용

(나) 오창 저수지

오창저수지는 한국농어촌공사 충북본부에서 미호천 II단계 종합개발사업으로 오창저수지(총 사업비 711억원) 수원공 공사와 이주단지 조성 등에 100억원을 투자하여 개발한 저수지로서 총759만t를 저장할 수 있는 농업용 저수지다.

최근에 충북 청원군 오창과학산업단지 내에 5만평 규모의 호수공원을 조성하여 8,500여 가구 규모의 산업단지 배후 주거지 주민의 휴식 공간으로 활용하며, 오창저수지의 완공으로 청원군 오창·옥산·강외면과 충남 천안시 동면 등 4개 면 24개리 857ha의 농경지에 농업용수를 안정적으로 공급하고 있다.

또한, 농업용저수지를 주변 환경의 변화에 따른 신도시지역 주민에게 휴식 공간 제공하고 있다.



<그림3-8> 오창저수지의 다원적 활용 사례

오창호수공원 조성방향은 ① 저수지의 적극적인 보존, ② 조성지역은 생태계를 고려한 생태학습공간으로 조성이다.

지자체의 주거환경개선과 수변공간 활용노력과 의지로 저수지의 활용을 다양화한 사례이다.

주요시설은 산책로와 수생식물 관찰데크, 공연과 문화행사를 위한 광장 등이 있으며, 지역의 문화행사와 연계하여 각종 이벤트를 마련하여 운영 중에 있다.



<그림 3-9> 오창호수공원의 활용 (호수주변의 산책로와 광장)



<그림 3-10> 오창호수공원의 활용 (수생식물 관찰데크)

저수지 내 생태적 환경 및 수질보전을 위한 수생식물을 도입하고 관찰로 및 데크를 설치하여 연꽃 등의 관찰과 학습장으로 활용하고 있으며, 동식물서식 공간의 관찰을 위한 전망데크를 설치하여 잉어와 오리 등의 생활상을 관찰할 수 있도록 조성하였다.

저수지 주변 수변부에는 야생초화를 이용한 생태학습장 조성과 산책로 및 숲을 이용한 휴식공간으로 활용하고 있으며, 저수지 내 유출입부는 자연적 환경과 조화되는 마감처리를 하여 제방 위는 산책로 등으로 활용하여 부자연미를 억제한 공원조성 방법을 적용하였다.

(2) 농어촌테마공원형 개발사례 : 충북 진천군 백곡저수지

백곡저수지는 충북 진천군 장관리 일원에 위치한 농업용저수지로써 충북 진천, 음성, 괴산, 경기도 안성 등 2도 4군에 걸친 광대한 지역을 한수해없도록 농업용 용수를 제공하는 농업기반시설이다.

백곡저수지는 공사비 191억원을 들여 개발면적 3,089ha를 개발하고 총 저수량 2200만톤, 만수면적 232ha, 제방높이 27m, 길이 410m의 재원현황을 가진 저수지다.

백곡저수지 개발사업의 내용은 국내 가장 앞선 것으로 조사된 진천 석장리 고대철생산 유적지인 진천에 종박물관 및 역사테마공원을 조성하여, 지역주민 및 관광객들의 휴식처 제공하는 목적으로 시행되었으며, 총사업비는 119억원(국비 30원, 지방비 89억원)을 투자한 사업이다.

주요 개발계획은 역사테마공원 71,521㎡, 종박물관10,383㎡ 등을 조성하는 사업으로 사업시행기간은 1999년부터 2005년까지 시행되었다.

주요 시설로는 야외소공연장 1개소, 운동시설 6개소(축구장, 배구장, 족구장, 농구장, 테니스장, 그라운드골프장, 체력단련기구등) 주차장, 휴게시설, 관리사무소, 분수대 등 기타 편의시설이다.

<그림3-11>는 저수지 직하류 수변공간을 이용한 분수대이며 분수대 주변으로 <그림3-12>와 같은 물 흐름 시설이 있어 유아들의 놀이시설로 구성하였으며 유수통로 바닥을 자갈로 하여 실제 하천에서의 물소리가 나도록 하였다.

또한, 주변에 종박물관이 위치하고 있어 평일에는 관람객이 200명 정도이며 주말에는 300에서 400명 수준이며, 대다수의 많은 관광객은 가족단위이며 종박물관을 이용한 사람들이 주변의 분수대 등과 같은 수변공간 활용 시설물을 이용하고 있는 실정이다.

<그림3-13>과 같이 인라인스케이트장 및 주변에 운동경기를 즐길 수 있는 체육시설 및 산책로가 있어 각종 단체의 행사장으로 활용되고 있다.



<그림3-11> 분수대



<그림3-12> 물 흐름 시설



<그림3-13> 인라인스케이트 장



<그림3-14> 다중체험 코너

(3) 생태보전형 개발사례

(가) 의왕 왕송저수지

경기도 의왕시에 위치한 왕송저수지는 넓이 1.65km², 제방길이 640m로, 부곡역 남쪽에 있으며, 수면이 넓어 호반의 정취를 느낄 수 있으며, 붕어·잉어 등이 많이 잡혀 낚시터로도 널리 알려져 있다.

특히 부곡하수종말처리장이 가동되면서 수질개선이 이루어져 왜가리·두루미·청둥오리·원앙(천연기념물 327) 등 각종 철새들이 많이 찾고 있고, 부곡하수종말처리장에서는 하수처리 과정을 한눈에 볼 수 있는 컴퓨터시뮬레이션과 농구장, 테니스장, 산책 코스, 환경홍보관 등을 갖추고 지역 주민에게 이를 공개하고 있다.

의왕시는 저수지를 찾는 주민이 늘어나자 이 일대를 환경생태공원으로 꾸미기 위해 2001년부터 총 사업비 51억 원을 들여 토종 꽃과 식물을 중심으로 한 자연학습공원을 조성하고 있으며, 주변에 철도박물관·백운호수·청계사 등의 관광지가 있고, 지하철 1호선 의왕역에서 도보로 20분 정도면 갈 수 있는 편리한 교통 때문에 관광객이 늘고 있는 실정이다.

의왕시 왕송저수지는 총사업비 253억원의 예산으로 2011년까지 생태공원, 여가·운동시설, 문화시설 등을 갖춘 도시공원형태로 개발할 예정에 있음. 아래의 그림은 왕송저수지의 개발계획 조감도이다.



<그림3-15> 왕송저수지 개발계획(안)

(나) 길동 자연생태 공원

길동 자연생태공원은 서울특별시 강동구 길동에 위치한 자연생태공원으로 생물의 서식처를 제공하고 종다양성을 증진시키며 자연생태계의 생물들을 관찰, 체험할 수 있도록 하여 시민들에게 건강한 생태공간을 제공하고 환경의 중요성을 일깨워 주기 위한 목적으로 1999년에 개원한 자연생태공원이다.

현재 주요시설로는 탐방객안내센터 1개소, 화장실 1개소, 관찰데크(습지지구) 100m, 저수지 3,490㎡, 조류관찰대 3개소, 원두막 1개소, 초가집 2개소, 움집 3개소, 석담 및 석축 60m 자연탐방 관찰데크(산림지구) 30m, 야외관찰대, 야외강의장, 파고라 등이 입지해 있다.



<그림3-16> 길동자연생태공원 현황도

본 연구와 관련된 저수지부의 조성 관련된 내용을 살펴보면, 저수지부는 전체 공원지구에 사용되는 물을 확보하기 위한 저수시설, 호소와 관련된 생물들의 생태적 안정과 활동을 위한 서식환경 조성, 저수지 내 환경별 생물서식처 조성(어류, 조류) 등을 주요 목적으로 조성한 공간이다.

- 조성 면적 11,353㎡, 교목류 : 물푸레외 4종 88주, 관목류 : 갯버들의 1종 14,285주, 지피류 : 갈대외 20종 27,680본, 저수지, 수중섬, 햇대, 조류관찰대 등.

서식환경조성은 호소서식어류의 영역성 (은어와 피라미)을 감안하여 조성, 저수지내 수중섬을 설치하였다.



<그림3-17> 수변 공간 구분

저수지 수변부에는 경계부를 구성하고 있는 다양한 서식환경조성 및 식생군락지, 모래밭, 자갈밭 등의 조성환경을 조성하였고, 호소에서 생활하는 조류도입은 인위적으로 조절이 불가하므로 조류 유인시설인 통나무 말뚝, 식생군락지 등을 조성 후에 자연적 유도를 시도하였다.

또한 공원 개장후, 조류서식이 모니터링에 의해 확인이 되면 조류 보호시설(조류관찰대, 및 시각 차단시설)을 추가 설치하였다.



<그림3-18> 수변 생태계 개념도

(4) 농가소득 증대 및 지역경제 활성화 : 무안군 회산백련지

무안군 일로읍 복용리에 위치한 회산 백련지는 일제의 암울했던 시대에 조상들의 피와 땀으로 축조된 저수지로, 대부분의 저수지는 골짜기나 계곡을 막아서 축조하는 데, 회산백련지는 평야지대를 삼과 가래로 파서 독을 쌓아 만든 저수지다.

면적은 10만여 평으로 2개의 저수지가 합하여져 인근 250ha의 농경지에 농업용수를 공급하는 농작물의 젖줄 역할을 하였으나 영산강 하구둑이 건설된 후, 풍부한 농업용수가 공급되면서 사실상 농업용 기능을 상실하였다.

당시, 저수지 옆 덕애부락에는 6세대가 살고 있었는데, 이 마을에 주민이 우물 옆 저수지 가장자리에 백련 12주를 구해 심은 후, 그 날 밤 꿈에 하늘에서 학(鶴) 12마리가 내려와 앉은 모습이 흡사 백련이 피어있는 모습과 같아 그 날 이후 매년 열과 성을 다해 연(蓮)을 보호하고 가꾸어 지금은 동양 최대의 백련 자생지가 되었다.

현재 백련지에는 백련체험관 및 홍보관, 관찰데크, 자연생태원 등의 시설이 입지하여 무안군의 백련축제의 중심지 역할을 수행하고 있다.

앞의 사례와 본 사례의 큰 차이는 무안군 백련지는 단순히 친수경관조성 뿐만 아니라 농가의 수익증대, 2차 가공 상품의 개발, 3차 농촌체험프로그램의 운영

등으로 연계됨으로 지역사회 및 경제 활성화 크게 이바지하고 있다는 점에서 큰 차이점을 보이고 있다.



<그림3-19> 회산백련지 전경



<그림 3-20> 연 앞차 체험 및 백련체험관

(5) 레저형 개발사례 : 용인시 낙생저수지

낙생저수지는 1956년 착공하여 1961년에 준공한 저수지로 총저수량 1,490㎥, 유효 저수량 1,416㎥, 유역 면적 1,950ha, 만수 면적 29ha, 제당 연장 238m, 제당 최대고 17.2m, 최대수심 12m, 홍수위고 13m로, 분당지역에서 최대 규모의 저수지다.

용인시 동원동의 동막골 웃말 서북쪽에 위치하는데, 저수지의 제방 둑이 예전 낙생면 관내에 해당하여 낙생저수지라 불리며, 용인시 고기동에 면하고 있어 고기리 저수지라고도 불리기도 함. 최근에는 낙생저수지 주변에 낙생공원과 유원지가 조성되어 많은 지역주민들이 방문하고 있다.

낙생저수지의 정비사례는 저수지를 활용한 레저산업의 사례로써 수상골프연습장 및 주변에 도시공원정비 등을 중점적으로 진행한 사업이다.

- 수상골프장은 부동산개발시행업체인 (주) 한백CNT가 용인시 고기리에 위치한 용인낙생도시자연공원사업의 일환으로 조성하였음

본 사례는 도시자연공원사업을 민자유치를 통하여 조성한 사례로써 레저와 자연공원의 연계를 통하여 다양한 계층의 저수지접근과 명소화한 사례다.



<그림 3-21>낙생저수지 수상골프장 조성사례

나. 해외사례

해외의 농업용저수지의 친수공간 조성사례는 인터넷 및 선행연구 등의 문헌자료를 중심으로 조사하였다.

일본과 EU의 사례를 중심으로 작성하였으며, 대부분의 저수지의 경우에 하나의 테마를 설정하여 중점적으로 진행되었다.

우리나라와 큰 특징은 지역사회, 경제 등과 밀접한 연관성을 가지면서 진행되고 있다는 점에서 많이 차이점을 보이고 있다.

(1) 독일 (Schwarmstedt) 마을

- 마을 및 권역현황
- 인구 : 12,000명(중심가 5,000명), 100여 가구 정도가 겸업
- 마을 및 권역 추진현황
- 니더작센주에서 선정한 지역개발 17개 지역 중 하나
- 고속도로, 철도, 학교, 병원등 생활기반시설이 잘 갖추어져 있음
- 40여개의 LAG(Local Action Group) 단체가 활동 중(납시협회, 버스협회 등)
- 저수지를 정비하여 보트타기, 낚시, 조류관찰 등 행사를 개최하고 있으나, 별도의 인공구조물의 설치보다는 기존의 자연환경을 최대한 이용하고 있는 실정임.
- 또한, 낚시대회 및 민물어족자원을 활용한 향토음식 등의 개발을 통하여 지역향토산업 홍보 및 방문객유치에 노력을 기울이고 있음

- 특히, 뉘시협회는 폐건물을 지자체와 공동으로 리모델링하여 사용하고 있으며 지역내 호수 및 어종 보호·관리 등의 환경활동을 하고 있으며, 말라가는 연못, 저수지 등의 보호를 위한 신규프로젝트 추진 중



뉘시 관련 커뮤니티 센터
(시민단체 - 뉘시 및 알레강 환경보호)



수변공간 정비 모습

(2) 독일 프라이부르크

- 독일 프라이부르크는 독일남부 바덴뷔르템베르크 주의 남서쪽에 위치한 인구22만명의 친환경 도시
- 독일의 환경수도로 불리며, 또한 지역성·환경성을 고려한 마을 가꾸기로 유명한 도시, 시내 곳곳을 통과하는 베히레 라는 수로로 유명하며 전통적 요소를 보전하고 관리하는 도시 관리체도가 운영중인 도시임
- 전통적 요소를 보전하고 관리하는 제도 및 시민의 참여를 통한 수로(베히레), 전통건축물의 보존 및 건축규제 등이 대표적인 친수공간 조성사례라고 판단됨

- 베히레(baechle) -

- 차도와 인도 경계에 위치한 작은 수로로 깊이 30cm, 폭 50cm, 총 연장 15km
- 흑림(슈바르츠발트)에서 시작된 수로는 프라이부르크 구시가 곳곳을 흘러 라인강까지 이어짐
- 전통적 요소의 보전을 통한 중요 관광자원화한 친수공간으로 과거에는 거의 대부분의 도시에 베히레가 있었으나, 현재 베히레가 남아있는 도시는 프라이부르크가 유일하여 관광자원으로서 큰 역할(시에서 ‘베히레’ 홈페이지 운영)하고 있음
- 도시 미기후 개선
 - 흑림에서 라인강으로 이어지는 물길, 바람길 조성
 - 도시 쾌적성 향상에 기여(도시의 천연에어컨 역할)



<그림 3-22> 베히레 전경모습

(3) 일본 고라쫘우정

- 일본 고라쫘우는 일본의 대표적인 농촌정책인 농업농촌정비사업의 일환으로 시행되었던 사례이며, 주민참여를 통한 마을가꾸기의 대표적인 사례임
- 일본 고라쫘우 1989년에 “약진하는 물이 흐르는 공원같은 마을”이라는 목표아래 13개마을이 고라쫘우정의 마스터플랜을 수립하여 친수공간으로 마을내외부, 농경지공간내에 조성한 사례임
- 특히, 2003년에는 고라쫘우마을만들기 조례 등을 제정하여 친수경관가꾸기를 위한 다양한 노력을 민·관에서 노력을 기울이고 있음

※ 고라쵸우의 마을가꾸기의 기본원칙

- 1) 사업개시 전에 이미지나 그림을 그리는 방식으로 계획단계부터 주민들의 참가, 협의를 중시
- 2) 행정기관은 사업계획과 기술적 부분을 담당
- 3) 현(縣)의 담당자는 지방정부 차원의 개발계획을 담당
- 4) 검토위원회를 배치하여, 대학교수 등의 전문적 지도를 거치도록 함
- 5) 이상을 정리하여 컨설턴트가 설계



<저수지 하단 어도전경>



<마을내 친수로 정비사례>

(4) 일본 오이타 농업문화공원

- 농업용저수지와 주변부지를 활용하여 도시민과 지역주민이 교류하는 농업테마공원 조성
 - 위 치 : 일본, 큐슈 오이타현
 - 규 모 : 총면적 118만㎡ 중 40만㎡을 조성·운영
 - 조성기간 : 제3섹타방식(관+민간사업자)
 - 사 업 비 : 86억엔 (입장료 : 현재무료)
- 주요도입시설
 - 놀이 및 관람시설 : 순환열차, 놀이터, 식물원, 원예치료실, 곤충관, 자전거도로, 오리보트 등
 - 체험시설 : 요리체험장, 목공예체험장, 체험농장
 - 숙박시설 : 펜션, 자동차야영장
 - 편의시설 : 지역농특산물 판매장, 매점, 식당, 안내센터 등



<그림3-23> 오이타현 농업문화공원 조감도



<그림 3-24 > 오이타현 농업문화공원 주요시설

(5) 일본 나가사키현 사이카이정

- 나가사키시 북쪽 50km지점에 위치하고 있으며, 농업용저수지를 이용한 공원정비로 도시민과의 교류 및 지역주민 소득창출을 도모한 사례
- 이사노우라 공원 조성
 - 저수지 주변의 아름다운 친수경관을 활용하여 수변환경정비사업으로 산책로, 공원 등을 조성하고 유럽식 숙박시설인 코테지를 조성하여 도시주민들의 농촌체험과 휴식장소로 활용할 수 있는 테마공간을 조성



<그림3-25> 나가사키현 사이카이정 이사노우라 공원

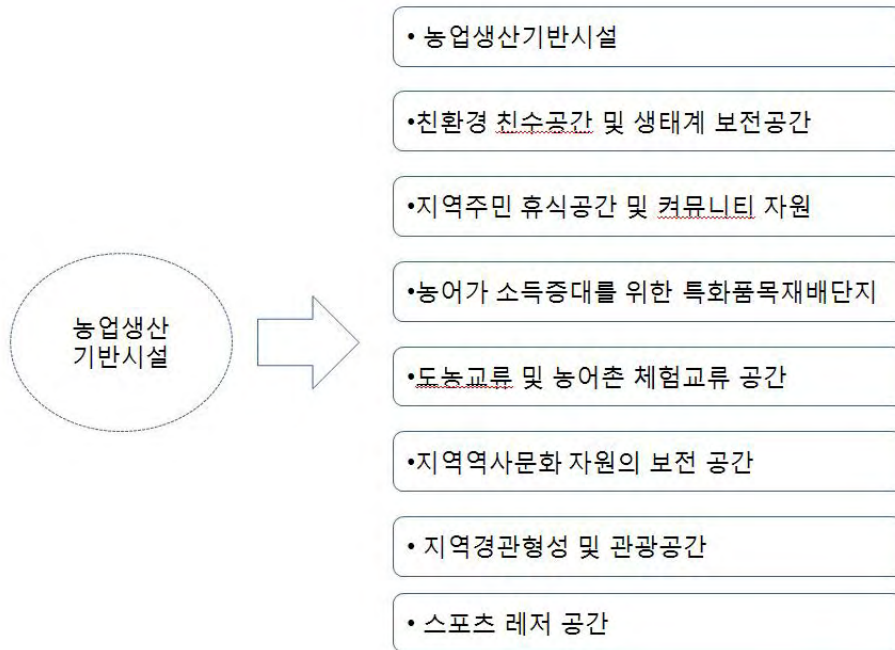
다. 국내의 사례 시사점

국내외 사례조사 결과 최근 친수공간 개발의 트렌드 변화를 예측할 수 있다.. 과거에 농업용저수지는 단순히 농경지의 농업용수를 공급하는 농업생산기반시설의 일환으로 취급되었으나, 최근 들어 농업용저수지를 농촌어메니티 자원으로 다루어지고 있다.

국내의 경우에는 수도권 주변의 도시개발의 압력이 높은 지역에서는 도시민들의 휴식공간과 레크리에이션, 생태체험 공간 등으로 재활용되고 있다.

농어촌지역에서도 지역주민들의 휴식공간 및 도농교류체험공간 등으로 활용되고 있으며, 연재배 등의 농어가 소득증대를 위한 특화품목육성을 위한 공간으로도 활용되어 지고 있다.

해외선진국의 경우에는 단순히 농업용저수지공간이 아닌 지역전체의 환경개선, 보전 등으로 접근하고 있음. 특히 계획수립에서 사업시행까지 지역주민의 직·간접적인 참여를 기본전제로 설정하여 사업을 추진함으로써 사업시행이후의 유지·관리에 효율성을 도모하고 있다.



<그림 3-26> 농업용저수지 다원적 기능

3. 농업용저수지 호소주변 친수공간의 경관형성가이드라인

가. 농업용저수지의 유형별 친수공간 경관형성 가이드라인

본 장에서는 농업용저수지의 조성목적 및 활용적 측면에서 6가지 유형으로 분류하여 유형별 친수공간조성 및 경관적 가치를 평가해 보았다.

- 총 평가항목은 6가지 대항목에 대하여 5점만점을 기준으로 점수를 부여하였다.

저수지의 유형을 농업전용, 방재형, 친수교류, 지역자원활용, 교류거점형, 생태보전형으로 분류하여 평가를 실시하였다.

평가결과 친수교류형이 22점, 생태보전형 21점, 농업용, 지역자원활용, 거점교류형 19점, 방재형 16점으로 평가되었다.

이는 친수교류형, 생태보전형의 농업용저수지가 다양한 측면의 활용기능을 지닌 저수지로서 향후 기존 농업용저수지 및 신설 저수지의 친수 및 생태보전기능을 강화할 필요성을 보여주는 중요한 결과라고 판단된다.

또한, 친수공간조성 및 기능강화에서 있어서도 입지, 지역주민교류, 경관적 가치가 있는 농업용저수지를 선정하여 사업을 시행하는 것이 바람직하다고 판단된다.

(표 3-5) 농업용저수지의 유형별 평가결과

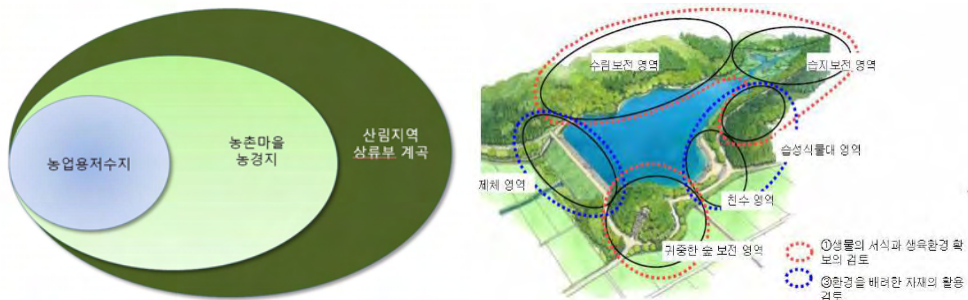
유형	입지 및 접근성	지역주민 교류성	생태적 가치	농어업지원 기능	도농교류 및 경관적 가치	방재 기능	총계
농업용	4	3	2	5	2	3	19
방재용	2	2	2	3	2	5	16
친수교류	4	5	3	3	5	2	22
지역자원 활용	5	5	1	2	4	2	19
거점교류	5	5	1	1	5	2	19
생태보전형	3	3	5	4	4	2	21

나. 농업용저수지 친수공간 조성의 범위

- 1차 범위 : 농업용저수지의 친수공간 조성의 범위는 농업용저수지의 시설물인 제당, 수면, 수변부, 취수탑 등의 시설물이 1차적으로 대상이 될

것임

- 2차 범위 : 농업용저수지 주변부의 마을, 농경지 등이 부수적 친수공간의 조성의 범위가 될 것임
- 3차 범위 : 농업용저수지 상류부 산림지대가 범위에 포함될 수 있음
 - 삼림지역의 경우에는 농업용저수지 유입수의 원천으로 삼림지대의 훼손 및 파손은 농업용저수지의 수질악화 등 환경영향에 직접적인 영향을 미칠 수 있음
- 각 범위별 친수공간의 조성개념은
 - 1차범위인 농업용저수지는 수변부의 식생호안, 인공습지 등의 자연정화 시설의 설치를 통한 수질개선 및 환경개선
 - 2차범위인 주변 농촌마을, 농경지의 경우에는 생태수로의 도입 및 식생여과대, 초생수로, 생태연못 등을 통한 친수공간의 조성이 될 것임.
 - 3차범위인 산림지대의 경우에는 생태연못, 비오톱 등의 도입이 가능할 것임



<그림 3-27> 농업용저수지 친수공간 조성범위

4. 농업용저수지의 유형별 친수공간 경관형성 가이드라인

가. 농업용 저수지

농업용 저수지는 안정된 농업용수를 확보 및 재해 등을 예방함으로써 농어촌 지역의 삶의질 향상 및 농업생산기능을 제고하고자 하는 목적으로 조성된 저수지가 해당된다.

이러한 저수지는 대부분이 농경지 상류부에 입지하고 있으며 지역주민들의 교류보다는 농업용으로 많이 활용되는 저수지다.

농업용 저수지의 친수경관 형성방향은

- ① 저수지의 저류기능 및 하부의 농경지에 대한 배려가 최대한 고려되어야 함
- ② 저수지 내부의 인위적인 또는 생태형 친수공간 등 시설이 설치 가능하나 용수 이용 빈도가 높은 계절의 수위저하에 대한 수변공간의 경관악화 등에 대한 대처방안 등이 동시에 검토되어야 함
- ③ 저수지에서 수로로 연결되는 수로 등에 대한 경관형성방안 등에 검토가 필요할 것임
- ④ 저수지 제당 등의 친환경 화단 및 경관농업단지의 조성을 통하여 수직적인 경관위해요소의 경관형성을 유도하여야 함



<그림 3-28> 농업용 저수지

나. 재난 방지형 저수지

지역의 안전 및 방재를 목적으로 조성한 저수지으로써 저수지 하류의 농경지 및 마을 등의 생활환경 및 농업환경을 보호하기 위한 목적으로 조성된 저수지가 해당된다.

저수지의 치수능력과 저수능력을 높이는 것에 의해 홍수나 토사의 유출을 막고 갈수, 재해시 생활용수나 화재시의 소방용수 확보 등 수원으로서의 저수지 활용을 추진하고 안심하고 생활할 수 있는 지역 환경 만들기에 참여하고 있다.

재난방지용 저수지의 친수경관 형성방향은

- ① 저수지의 방재기능에 최대한 고려한 경관형성이 이루어져야 함
- ② 저수지내의 유입되는 우수 등을 저류할 수 있는 저류지, 습지 등의 시설의 도입을 통한 생태적 친수공간은 적극적 도입이 가능함
- ③ 저수지 내부에 인위적인 시설 설치는 방재기능을 방해하지 않는 범위내에서 이루어져야 할 것임. 특히 수변부에 교목류의 식재는 강우시 수목에 의한 제당 등에 피해가 발생할 수 있으므로 최소화하여야 함



<그림 3-29> 농업용 저수지 경관형성개념도

다. 친수 교류형 저수지

지역주민들의 커뮤니티 및 교류증진을 목적으로 조성된 저수지 또는 당초에 농업용저수지 목적으로 개발되었으나, 농경지의 축소 및 도시개발 등으로 인하여 본래목적이 축소 또는 기능을 상실한 농업용수 저수지가 해당된다.

수변공간에 다양한 산책로, 경관관찰, 농업체험, 전통행사, 축제 등 가족이나 지역주민이 저수지 주위에 모여 호기심을 채우고 배우며 교류하는 저수지 수변공간을 조성한 저수지가 여기에 해당된다.

최근 들어 대도시 주변의 농업용저수지가 대부분 친수형 저수지로써의 기능으로 전환하고 있는 실정이다.

친수교류용 저수지의 친수경관 형성방향은

- ① 저수지의 입지 및 접근성이 뛰어난 저수지가 해당됨

- ② 저수지내부의 수위가 일정하기 유지될 수 있는 저류시설 또는 지하관정 등의 시설이 별도로 설치되어 있어야 함
- ③ 저수지 수변공간에는 생태호안 등을 설치하여 수생식물 등이 생육할 수 있는 조건을 조성해 주어야 하며, 관찰로 등의 인공시설물은 목재 등의 자연재료를 최대한 도입하여 수질오염 등 최소화하여야 함
- ④ 저수지내부의 수질개선을 위한 지속적인 수질 및 유지관리가 이루어져야 할 것이며, 수변부의 안전사고 등을 방지하기 위한 안전펜스 등의 시설물도 도입되어야 할 것임. 이와 더불어 경관개선을 위한 수변부에는 자갈 및 어류 등의 서식처공간을 조성하여 생태적으로 안정된 친수공간을 조성하여야 할 것임



<그림 3-30> 방재용 저수지 친수경관형성개념도

라. 지역자원 활용형 저수지

농업용저수지가 농업생산기반시설이 아니라 또 하나의 농어촌지역 어메니티 자원으로 조성되는 저수지들이 여기에 해당된다.

지역 어메니티 자원으로써 지역 진흥이나 도시와 농촌의 교류를 연결하는 등의 다양한 역할을 수행하는 저수지로써, 낚시, 스포츠, 레크리에이션 등 다양한 활동 등이 적용 가능하게 정비하고 지역의 사회 및 경제 활성화에 도움이 되는 저수지를 의미한다.

지역자원형 저수지의 친수경관 형성방향은

- ① 지역 내 주민 및 도시민들의 접근성이 양호하여야 할 것임
- ② 저수지 내부의 정비가 아닌 저수지를 포함한 주변 지역의 연계한 개발 방식으로 저수지가 큰 시설내의 소규모 시설물로 존재되는 것을 의미함
- ③ 개발목적,테마 등에 따라 개발형태 및 저수지 용도가 결정되는 것이 큰 특징임
- ④ 농업용 기능 및 생태적 기능 보다는 레크리에이션 용도로써의 개발 방식이라고 할 수 있음



<그림 3-31> 지역자원 활용형 저수지 친수경관 형성개념도

마. 교류 거점 친수 저수지

도시민과 지역주민의 폭넓은 교류를 목적으로 하거나 동식물과의 만남과 체험을 목적으로 하는 저수지가 해당된다.

공원이나 산책로, 어린이 놀이터, 문화시설 등 시민이 모이는 거점이 되는 친수공간을 정비를 목적으로 하는 저수지다.

교류거점형 저수지의 친수경관 형성방향은

- ① 저수지로의 지역 주민 및 도시민들의 접근성이 양호하여야 할 것임
- ② 저수지 내부에 분수 및 벽천 등의 수경시설이 도입이 가능할 것이며 주변공간에는 개발테마 및 목적에 따라 생태체험장 또는 산책로 등의 시설의 도입이 가능할 것임

- ③ 지역의 거점마을, 읍·면소재지 등과 인접한 저수지가 이러한 개발대상에 해당될 것임



<그림 3-32> 교류 거점형 저수지 친수경관 형성개념도

바. 생태보전형 저수지

지역자연환경의 보전 및 역사·문화, 전통 등의 지역특색이 있는 저수지를 조성하는 것으로 의미하는 것으로 어류, 조류, 수생식물 등의 서식공간의 보전, 조성을 목적으로 하는 저수지를 의미한다.

생태보전형 저수지는 저수지 수변공간에 식생을 풍성하게 하고 저수지 주변 자연생태계를 보호하며, 수질정화 등 저수지와 자연을 키워가는 수변으로서 재생시킨다.

생태보전형 저수지의 친수경관 형성방향은

- ① 농업용수의 공급 뿐만 아니라 주변생태계 보전이라는 측면을 동시에 고려하여야 함
- ② 특히, 저수지 내외부의 자연생태계의 훼손 등을 최소화하는 시설물을 도입하여 설치하여야 함
- ③ 생태체험, 교육 등의 소프트웨어 개발방식이 연계되어 진행되어야 할 것임
- ④ 농업용소류지, 자연형 배수로, 저수지 주변생태계가 양호한 저수지가 이러한 개발대상에 해당됨



<그림 3-33> 태보전형 저수지 친수경관 형성개념도

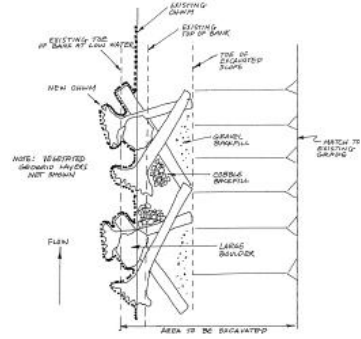
사. 농업용저수지의 공간별 경관형성 가이드라인

(1) 저수지 수면공간

- 저수지내 농업용수 및 우수 등을 저류하는 저수지내의 대표적인 수면공간임
- 우수량, 농업용수의 이용량 등에 따라 수면공간의 변화가 발생함

(가) 갈수기

- 농업용수의 이용량이 많은 농번기에 나타나는 친수공간
- 수변부의 사면발생이 높으며, 급격한 수위변동에 따라 수생식물의 생육환경이 불리한 지역
- 사면부에 식생호안 등을 조성하여, 갈수기에 발생될 수 있는 수면부의 불리한 경관요소를 완화하여야 함
- 또한, 인위적인 식생호안의 조성이 어려움 급경사 호안의 경우에는 계단형 사면과 자갈 포설 등을 통하여 급사면발생으로 인한 경관악화를 최소화함



<그림 3-34> 통나무를 활용한 호소비탈면 경관형성 사례

(나) 평수위 ~ 만수위 구간

- 농업용저수지에 적정수위가 유지되는 경우 나타나는 친수공간
- 대부분의 친수시설물의 계획의 기준이 되는 수위임
- 이 구간도 갈수위 구간과 마찬가지로 발생사면의 경사도 및 주변자원과의 연계성 등에 따라 이용방법 및 활용유형을 달리하여야 함
- 도입가능시설물은 간헐적인 침수 등을 고려하여 스테인레스스틸, 방부목재 등의 소재를 사용한 이용시설 조성

(나) 만수위 ~ 홍수위

- 농업용저수지의 불량경관구간으로 사면노출율이 가장 심각한 공간임과 동시에 활용가능성이 가능 높은 공간
- 침수위험에 노출되어 있기 때문에 방수소재, 이용객을 위한 대피시설, 안내시스템 등을 도입할 수 있음
- 홍수위 주변 공간의 경사도에 따라 도입시설물의 종류 및 유형을 달리 할 수 있음



<그림3-35> 싱가포르 보타닉가든

<그림3-36> 일본요코하마 잠자리 연못

(2) 유입부

- 저수지 상류유역으로부터 유입되는 지표수와 주변마을에서 발생하는 생활하수, 농경지의 배수로 등을 통해 저수지로 유입되는 공간임

(가) 마을내 수로

- 마을내 수로의 경우에는 농어촌지역마을주민들의 일상생활과 밀접한 관계를 가진 공간임
- 실개천 등의 적극적인 수로공간으로 조성하는 것이 바람직함
- 효율적인 저수지의 수질개선을 목적으로 한다면 생태수로의 개념을 도입하여 조성하는 것이 바람직함



<그림3-37> 부천 시민의 강



<그림3-38> 파주 출판단지 실개천조성사례

(나) 농경지 배수로

- 농경지에서 발생하는 지표수 및 농업용수가 저수지로 유입되는 유입 공간
- 대부분의 토공수로로 구성되어 있으며, 주변부에 식생이 양호한, 영농 목적으로 위해서 수초 등은 배수에 지장이 없도록 제거하는 공간
- 식생매트 등을 도입하여 배수효과 및 경관향상을 개선할 수 있음

(3) 제당

- 농업용저수지의 경계공간으로 저수지 몽리구역의 농경지에서는 수직경관 요소로써 주변 자연경관에 영향력의 범위가 큼
- 저수지 전체를 조망할 수 있는 대표적인 조망공간으로 산책로, 경관도로 등 다양한 형태를 수용할 수 있는 공간임
- 외측 제당사면부에는 다양한 경관작물 및 초화류등의 식재가 가능함으로 지역경관개선을 위해서는 적극적인 경관시설물 및 식생의 도입이 필요할 것임

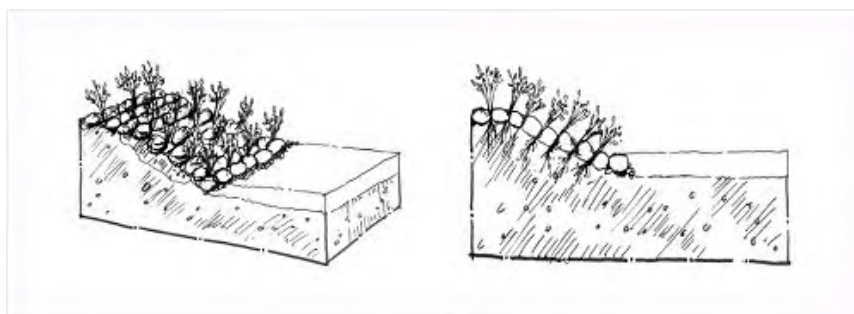
- 단, 지나친 하중을 주는 시설물의 설치는 안전상의 문제로 지양하여야 함



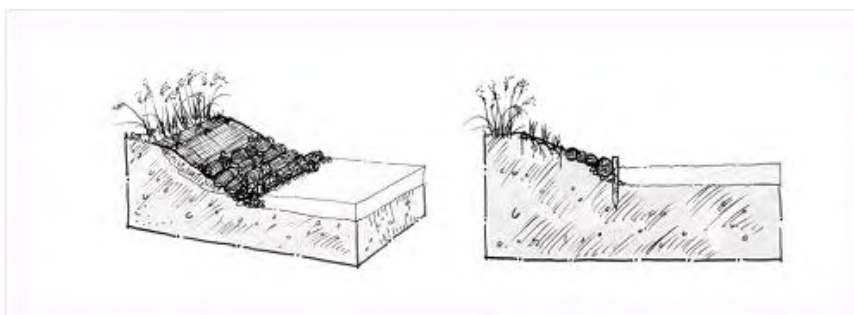
<그림3-39> 농업용저수지 제당구간 활용계획도 (한국농어촌공사 지식제안자료)

(4) 저수지 호안부

- 저수지 호안부 공간은 저수지 수변경관에 가장 큰 영향을 주는 공간임
- 특히 노출사면이 발생하는 호안의 경우에는 저수지의 대표적인 불량경관 요소 임
- 노출사면발생구간의 경관형성을 위해서는
 - 사면의 경사도를 완화하여 수생식물의 성장이 가능토록 하여야 할 것이며,
 - 호안에 식생호안, 돌망태, 자연석, 식생마대 등 자연적 재료를 적극적으로 활용하여 식생생육기반을 인위적으로 조성하여야 함
 - 또한 수위변동에 따른 에코톤(ecotone) 지역의 경우에는 양서과충류 등의 이동통로, 수성곤충류, 어류 등의 서식장소로 활용될 수 있도록 바닥의 형태와 깊이, 도입재료 등을 다양하게 조성해야 함
 - 통나무 등으로 호안처리를 할 경우, 식물의 뿌리가 토양을 결속시키고 난 후 통나무 썩어 없어지도록 하는 것이 바람직하므로, 통나무는 방부처리를 하지 않고 썩기 쉬운 재질을 사용하며, 이 경우 생태적 수질 정화방안과 연계되어야 함



<그림3-40> 돌망태+거석 놓기



<그림3-41> 돌망태+식생마대

3-4 친수자원 활용방안

1. 친환경 친수시설물(자연정화시설)의 경관시설 활용방안

가. 자연정화시설물 유형

다양한 비점오염관리 기법 중 식생형의 최적관리방안(Best Management Practice)을 농촌지역의 시가화구역 또는 농업용저수지내 적절한 위치에 도입하여 농촌지역의 오염원을 저감함과 동시에 농촌경관의 보전 및 형성함으로써 빗물 유출량과 비점오염을 저감시키고 동시에 효과적으로 녹지공간 및 수변경관공간을 확대할 수 있다.

아래 표는 다양한 비점오염관리기법으로서 장치형, 침투형, 저류형, 식생형 시설의 원리와 용도를 보여주는 것으로 그 중 식생형 또는 식생형과 조합을 이룬 주요 최적관리기법(BMP)의 내용과 적용 가능성을 검토한 것이다.

식생형 BMP시설은 우수유출수량의 감소와 비점오염원의 저감뿐만 아니라, 동·식물 서식공간제공, 수변경관 조성 등의 기능도 수행하고, 농촌지역에서의 식생은 불투수 면적을 감소시키고 우수유출수의 침투 및 고형물 포획 효과의 기능이 있음. 이들은 다른 물리적 방법에 의해 집중 처리되기 전에 우수유출수로부터 부유고형물을 제거하기 위한 전처리방법으로도 적합하다.

농업용저수지의 수변경관요소를 형성하는 식생형 BMP는 식생을 이용하고 저류를 할 수 있는 미지형 설계가 되어 있는데 본 연구에서는 인 식생수로 (grassed swale), 식생여과대(filter strip), 수변완충대(buffer strip), 공(유수)습지(stormwater wetlands), 오염물질 침강지, 부도(인공식물섬) 등의 개념, 농업용저수지내에 도입가능공간, 경관형성기준 등을 검토하였다.

여기서는 농업용저수지 수변공간에 도입 가능한 친수시설물의 유형 및 계획시 고려사항 등으로 제시코자한다.

농업용저수지 도입 가능한 시설물은 수질개선 및 수변생태보전을 위한 생태시설물과 접근성 개선을 위한 데크 등의 친수시설물 두 가지 유형으로 분류하여 검토하였다.

(표3-6) 자연정화시설 유형2)

시설명		정화원리	용도·
식생형 시설	식생수로	- 수로에 식생을 조성하여 여과·침전·침투작용으로농경배수나 강우 유출수에 포함된 오염물질을 정화하는 시설	-도로, 건물 등의 강우유출수, 농경배수 처리 -침투형시설의 전처리
	식생여과대	-도로, 산림, 농경지 등에서 직접 하천으로 오염물질이 유입되는 경우 일정한 폭(10~20m)에 식생대를 조성하여 오염물질이 식생대를 지나면서 차단되도록 하는 시설	-하천을 따라 오염원이 분포하는 도로, 훼손된 산림지역, 농경지, 축사주변 등에서 적용가능
식생+저류	인공습지	-자연습지의 수질정화기능을 활용하여 인공적으로 조성된 습지로서 오염된 물을 저류하여 수초에 의해 수질이 정화되도록 하며, 비점오염원 처리에 많이 활용되는 방법	-농경배수, 축사주변 유출수, 폐광 유출수 등의 처리에 다양하게 활용가능하며, 특히 경관이 중시되는 지역에 설치
	연못	-고형물질 외에 용존성 오염물질 제거 가능 -미관적으로 쾌적한 경관제공 -관리빈도가 작음	-이중목적 저류조보다 비용이 고가 -대규모의 저류용량이 필요하여 토지를 많이 요구 -침전물 제거 등 준설에 비용이 소요
장치형 시설	업체별 다양	-도시지역과 같이 시설부지 제한을 받는 지역에 정화조와 같은 용기에 여재를 넣어 강우유출수를 여과·처리 하는 방법	-주차장, 건물, 공장 등의 소규모 강우유출수가 분류식 하수관거지역의 우수관 또는 하천으로 직류입하는 지역
저류형 시설	지역내 저류	- 소규모 저수지와 같은 형태로 강우유출수를 저류하여 오염물질을	-주택단지 또는 아파트 단지내 유출수 저류및 교정, 주차장 및 지

2) 물 순환을 고려한 도시녹지기능제고방안. 2001. 경기개발연구원

시설명		정화원리	용도·
		침전제거하는 동시에 홍수유출량도 조절할 수 있는 방법	하공간을 이용한 저류
	지역외 저류	-지역외 저류시설은 유역의 말단부에 설치되어 유역으로부터 유입된 우수를 조절할 목적으로 설치된 것	-유역으로부터 유입된 우수를 말단부에서 저류
	장치형 + 저류지	-저류지의 앞부분에 장치형시설을 두어 장치형 시설에서 입자가 큰 오염물질을 제거한 후 저류지에서 추가적으로 오염물질이 처리되도록 하는 방법으로 저류지의 면적을 줄일 수 있는 장점이 있음	-저류지 설치지역에 부지의 제한을 받는 지역에 설치 -우리나라 특성에 맞는 비점오염원 시설을 개발하기 위해 처리시설의 다양한 조합이 필요함
침투형 시설	침투지	-자연배수시스템을 사용하는 동안 해당 지역의 자연수 균형을 유지	-대규모 배수지역에 부적합
	침투도랑	-도랑을 관 후 도랑에 자갈, 모래 등의 여재를 넣어 강우유출수를 유입시켜 오염물질을 여과처리 하는 방법	-부지가 협소하고, 침투성이 높은 토양으로 구성된 지역
	유공포장	-현지의 자연적인 물 균형 유지방법으로 별도의 토지소요량이 없고, 도랑 등의 운송시스템이 불필요	-신규개발지나 기존의 개발지에 적용 가능 주차장 등 소규모지역에만 적용가능
침투+저류	침투형 저류지	-저류지와 같은 형태이나 저류지의 바닥에서 침투기능이 발휘될 수 있도록 만든 구조로 오염물질의 침전뿐만 아니라 침투기능을 통해 질소와 인을 추가적으로 처리할 수 있는 시설	-저류지 설치에 충분한 부지가 있고, 침투성이 높은 토양으로 구성된 지역에 활용

나. 자연정화시설물의 경관형성지침

(1) 식생수로

■ 개념

식생수로는 잔디 또는 초본, 수목으로 고정된 얇은 개방 배수로이고 유출수의 이동과 오염물질 여과 역할을 하는 장치로써, 잔디나 초지에서 여과, 침전, 토양을 통한 침투 등으로 유출수의 오염물질을 제거하며 다른BMP와 결합될 때 더욱 효과적으로 작용하며 침투증가를 위한 댐의 설치로 기능이 향상될 수 있고, 낮은 경사의 배수로는 습지를 창출하기도 한다.

식생수로의 경사는 매우 완만하게 설계되므로 유출이 느리고 얇게 흘러서 입자상 오염물질의 침전이 일어나고 침식발생 가능성을 줄일 수 있다. 흐름방향으로 투수둑이나 체크댐을 설치하여 침전이나 침투를 도모한다. 건식과 습식(습지수로) 두 가지 형태의 식생수로가 있다.

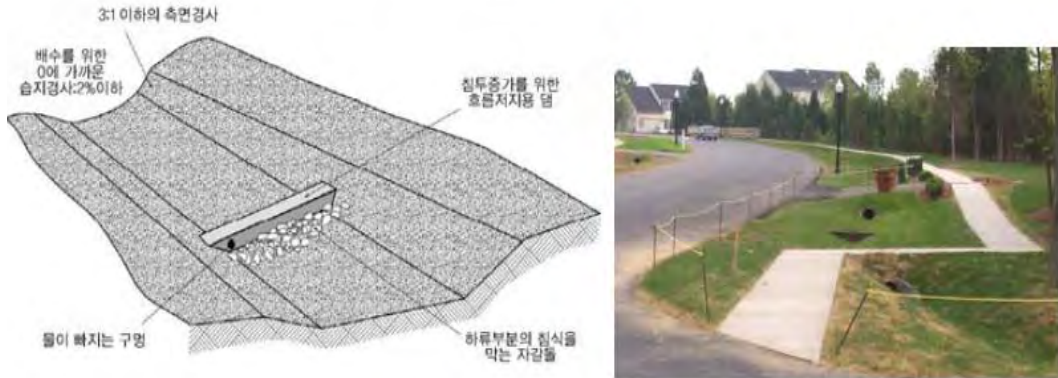
건식 침투형 식생수로(dry swale)는 식생을 갖춘 수로로 배수시스템 상부에 여과상(filter bed)을 두고 있음. 이러한 형태의 수로에서는 WQv 전량이 여과상을 통과하고 수로바닥을 통하여 침투가 일어나도록 설계됨. 대부분의 시간 동안 건조한 상태로 있게 되며 주거지역에서 선호되고 있는 저감시설이다.

습식 식생수로(wet swale or wetland channel)는 수분의 보유와 늪지의 조건을 갖추도록 설계되므로 수로를 따라 습지식생을 유지할 수 있다.. 수분을 보유하기 위해서 낮은 지하수위와 투수성이 불량한 토양이 필요하다. 이와 같은 형태의 수로는 기본적으로 수로형태의 습지(wetland channel)와 동일한 기능을 수행한다.

식생수로를 식생여과대(vegetative filter strip)나 초생수로(grass channel)와 혼동해서는 안 된다. 왜냐하면 식생수로는 후자의 시설과 비교하여 훨씬 높은 수준의 오염물질 처리를 달성하기 때문이다.

■ 도입가능공간

식생수로는 다양한 형태의 개발지역에 적용될 수 있으나 주로 집수구역에서 불투수면적이 작은 저밀도에서 보통 밀도의 주거지역이나 상업지역 또는 노면이나 고속도로 강우유출수 처리에 널리 적용된다.



<그림 3-42> 잔디식생수로 설계도 및 시공사례

건식 식생수로는 주로 보통 밀도를 갖는 대규모 주거지역이나 주차장 또는 지방 강우유출수 처리나 농촌지역을 통과하는 고속도로 노면 유출수 처리에 사용됨. 습식 식생수로는 고속도로 노면 유출수의 처리나 소규모 주차장과 상업 지역에서 경관조성을 목적으로 하는 부속시설로 적용된다.

식생수로는 상대적으로 부지요구도가 크기 때문에 고밀도 지역에는 적절하지 않음. 또한 습식 식생수로에는 물이 상시적으로 고여 있으므로 악취나 모기 등과 같은 위생해충 문제가 발생할 가능성이 높으므로 마을내부 주거지역에는 바람직하지 않다.

식생수로 경사 4%이하에서 효율이 양호하며, 토양층으로 이루어진 지역은 가능한 피하는 것이 좋으므로, 농업용저수지 상류부 유입부 농업용 토공배수로 등에 적용이 가능하다.

식생수로의 경우에는 유입되는 수량이 적을 경우에 식생으로 인한 수로환경의 악화가 적으므로, 농업용저수지 상류부 또는 인접 마을내 소하천으로 유입되는 수로 등에 적용이 가능할 것이다.

도로 및 마을안길주변의 수로의 경우에는 거주 지역의 교통 통행에 위험을 줄 수 있으나, 측면 경사 6H:1V의 얇은 수로 또는 평평한 곳은 큰 문제를 일으키지 않음. 이런 문제를 완화하기 위해 깎인 연석을 설치할 수도 있다.

■ 경관형성지침

식생수로의 형상은 사다리꼴 또는 타원형의 평탄에 가까운 단면(3:1 이하 경사)으로 하며, 수로 바닥의 식생형성을 위하여 식생매트를 설치하여 우수로 인한 침식가능성을 최소화 한다.

또한, 일부구간의 경우에는수로 바닥에는 자갈, 돌 등을 설치하여 낙차로 인한 폭기 등의 효과를 제고한다.

수로의 폭원을 0.6~1.8m 범위가 적당함으로 일정폭을 지속하는 것보다는 폭원의 변경 및 수로 깊이의 조절을 통하여 단순한 수로경관이 아닌 친수형 수로공간으로 조성한다.

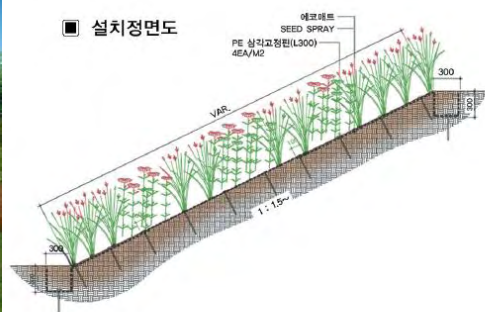
자연적으로 형성된 곡류수로의 비대칭성을 보전하고 수로 내부의 실개천, 습지등의 지형특성과 호안식물군락, 수생식물, 어류, 파충류 등의 동식물상을 최대한 보전·복원한다.

수로 주변부에는 유속흐름에 지장을 주지않는한도내에서 다양한 수변식생 또는 계절초화류를 식재하여 농어촌지역의 경관개선을 도모한다.

- 생태수로 조성되도록 수로주변에 최소 폭5m이상의 생태녹지대를 확보 수로의 중간 중간에 체크댐을 설치하여 유하시간을 증가시키고, 식생수로 유입부에는 비교적 빠른 유속조건에서 건기뿐 만 아니라 강우시의 침수조건에서도 생존할 수 있는 식물종을 식재하여야 한다.

또한, 수로 하류부에는 어류의 서식을 위한 여울설치를 제고해 볼 필요가 있음. 여울은 유수의 변화를 줄뿐만 아니라, 폭기효과도 있으며, 물소리 등을 통하여 수로의 또 다른 경관효과를 연출할 수 있다.

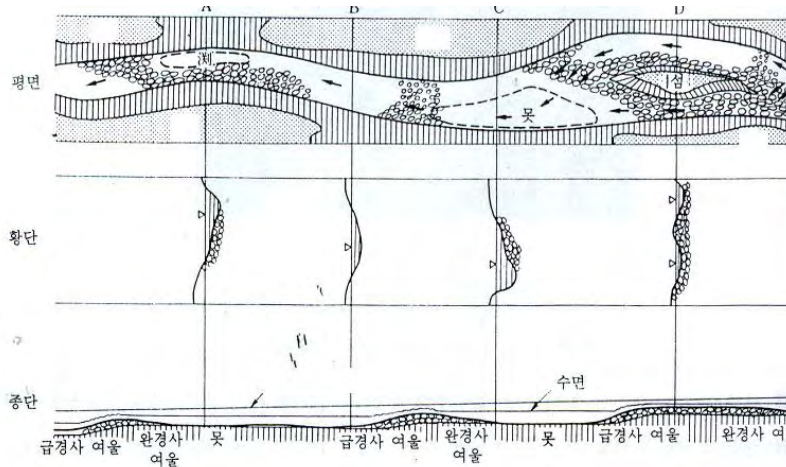
- 여울의 형성을 위해서는 지름30mm내외의 자갈을 깔아 여울을 조성하되, 자갈의 유출을 억제하기 위하여 나무말뚝을 박아 넣음
- 이러한 여울은 수로의 유속조절 및 건기시 수로의 일정수위를 유지시켜 줌으로써 수로의 수변환경을 건강하게 유지시킬 수 있음



<그림 3-43> 식생수로 주변 식생매트 설치도(한림에코텍 자료집)

최근까지 식생수로의 경우 수질개선효과에 집중해 경관개선 등에 다소 소홀히

하였다. 이에 식생수로가 농촌마을 통과하는 경우에는 식생수를 건너다닐 수 있는 다리 등을 조성하는 것도 또 하나의 농촌어메니티 공간을 형성하는 효과를 거둘 수 있다.



<그림3-44> 식생수로 수로폭원 변화 및 여울 조성개념도



<그림 3-45> 낙차공을 활용한 수로 조성사례

(2) 식생여과대

■ 기본개념

식생여과대는 잔디 또는 숲처럼 되거나 식생으로 덮인 땅의 선형 구역으로서 물의 주변, 다른 BMP 또는 비탈 개발지로부터 보호 받을 필요가 있는 지역을 따라 경계 형성하게 된다.

식생여과대는 비탈 개발로 인해 생기는 sheet flow 유출수를 받아들이기 위해서 설계된다.

식생여과대는 우수관과 선형 수로, 불투수 표면을 대체하고 제거하기 때문에, 유효 불투수성을 감소시키고 이동시간을 증가시키며 총 유출량의 일부를 흡수함으로써 침투유출량을 감소시킨 효과가 있다.

유속을 느리게 하고 침투를 촉진시키며, 유속이 빠른 집중 개발 지역이나 가파른 경사의 넓은 지역에는 일반적으로 적용되지 않는다.

식생여과대의 일차적인 목적은 작은 지역으로부터 발생하는 강우유출수의 수질을 향상시키거나 다른 비점오염 저감시설의 전처리 공정으로 사용가능하다.

조밀한 식생과 토양은 오염물질의 포착, 식생을 통한 여과작용, 토사의 침적작용, 토양에 의한 흡착작용을 가능하게 한다.

식생여과대가 다른 저감시설의 전처리 공정으로 사용될 경우 토사제거와 주처리 시설로의 부하량을 감소시켜 유지관리 비용을 줄이고 효율을 향상시켜주는 기능을 수행한다.

여과대는 불투수층 지역 인근에 입지하거나 주택 및 상업지역 또는 고속도로나 일반도로 인근에 주로 설치된다.

설치위치는 수변완충구역 외곽지점이 이상적이고 서로 상반되는 토지이용사이의 완충지대에 설치된다.

식생여과대는 다음과 같이 3가지 형태로 분류될 수 있다.

■ 도입가능공간

농업용저수지의 경우 식생여과대의 도입가능공간은 크게 3가지로 구분된다.

- ① 마을내에서 유출되어 저수지로 유입되는 유입수를 대상으로 하는 식생여과대
- ② 인근 농경지의 배수로 연계한 식생여과대
- ③ 저수지 수변공간에 수생식물 등과 연계한 식생여과대

아래의 그림은 본 연구의 사례지구인 아산 영인상성지구에 대한 식생여과대 도입가능 공간을 분석해 본 것이다.

- 영인상성지구의 경우에는 마을에서 유입되는 공간과 도로변 수변공간에 양호한 수변식생공간이 있으므로 이 공간의 일부를 식생을 활용하여 평상시 유입되는 유입수의 오염원을 제거 할 수 있는 식생여과대를 설치한다면, 기존 식생의 보전 및 수질개선 등의 효과를 기대할 수 있다.



(표3-7) 농업용저수지 식생여과대 조성유형

구분	주요내용
농촌마을 연계된 식생여과대	<ul style="list-style-type: none"> · 마을 내에서 발생·통과한 저수지 유입수를 대상으로 하는 식생여과대로써, 마을내 일부 유휴지 또는 기존 습지 등을 활용함 · 가능한 식생수로, 인공습지 등과 연계하여 마을내 생태 체험공간으로 조성함
농경지와 연계된 식생여과대	<ul style="list-style-type: none"> · 농경지에서 유출된 유입수를 대상으로 하는 식생여과대로써 농경지와 저수지와 접하는 완충녹지공간으로 최대한 활용 · 가능하다면 농경지의 일부공간을 식생여과대로 조성하는 것도 바람직함
저수지 수변공간과 연계된 식생여과대	<ul style="list-style-type: none"> · 저수지 수변에 있는 수변녹지공간을 활용하는 것으로 마을, 농경지 등에서 유입되는 유입수를 저수지 수변녹지공간을 최대한 활용한 식생여과대, 수변부 생태습지 등의 공간으로 조성가능

이와 더불어 마을 내부에 유입되는 유입수의 일부분을 농경지와 소하천 사이의 유희지를 활용한 식생여과대를 조성한다면 농촌마을의 녹지공간으로도 활용이 가능할 것이다.

또한, 앞서 다룬 식생수로와 연계하여 식생수로의 수원을 식생여과대로 유입되도록 한다면 수질개선 및 농촌지역의 물순환 시스템에 효과적인 방안이 될 수 있을 것이다.

■ 경관형성지침

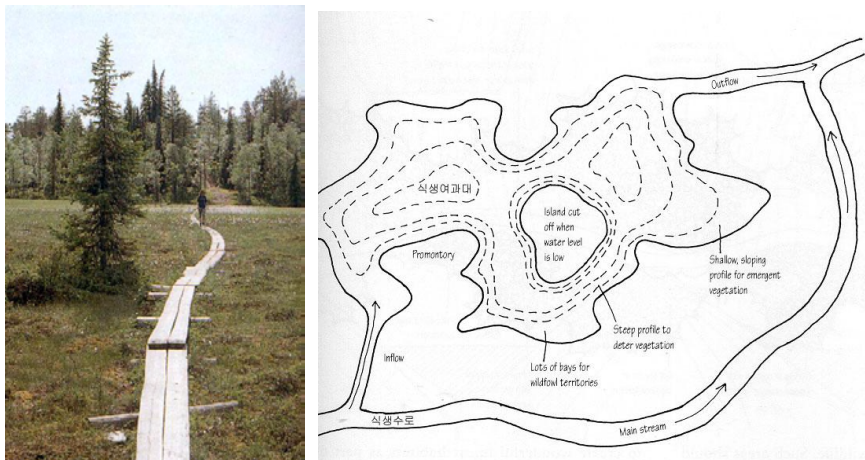
농업용저수지의 식생여과대는 단순히 자연정화 수질개선시설물이 아닌 녹지공간으로 조성되어야 할 것이다.

특히, 수변식생과 연계될 수 있도록 식재계획 및 녹지계획을 수립하여야 할 것이며, 이러한 식생 여과대의 경우에는 이용자의 보행이 가능한 산책로 및 자연관찰로 등 인공시설물이 병행되어 식생체험 및 학습공간으로 조성되는 것이 바람직하다.

식생여과대 도입되는 식생은 단순히 수생식물 뿐만 아니라, 갯버들, 오리나무 등의 교목류 등을 식재하여 수변녹지공간으로 조성하여야 될 것이다.

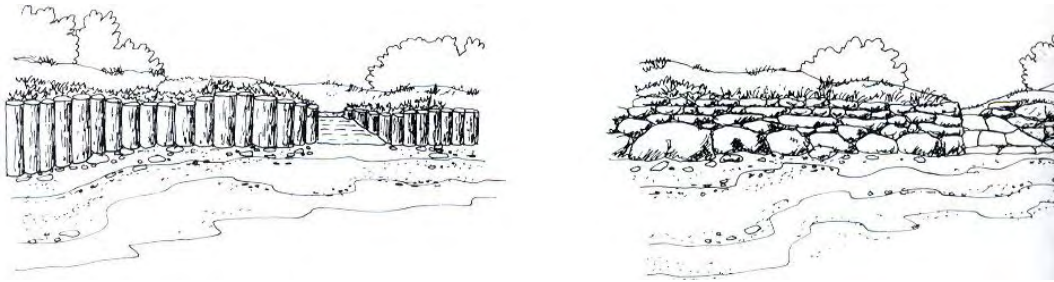
특히, 식생여과대 내부에 저수지내의 조류 등을 관찰할 수 있는 관찰대등을 설치하고 이를 관찰로 등과 연계한다면 또 하나의 지역의 명소를 조성할 수 있을 것이다.

식생여과대의 경계부에는 주변 녹지대와 구분을 위하여 낮은 폭의 경계호안을 설치하여 이용자의 혼선을 최소화함과 동시에 수변경관을 개선한다.



<그림 3-46> 식생여과대 보행로 및 식생수로+식생여과대 개념도

자생식물은 갈대, 부들, 매자기 등 습지성 식물을 활용하되, 관상적·경관적으로 아름답고 다양한 곤충을 유인할 수 있는 습지성초본식물(검정말, 나사말 등)을 식재하여 용존산소량 증가, 수서곤충의 다양성을 회복하게 되어 먹이원이 풍부하게 되도록 조성한다.



<그림 3-47> 식생여과대 호안경계부 스케치(목재호안 및 석재호안)



<그림 3-48> 친환경 수로



<그림3-49> 창포원

(3) 인공습지

■ 개념

자연습지의 기능을 모방한 인공 습지 시스템으로 비점오염원과 강우 유출량 영향을 완화시키는 목적으로 조성된다.

효과적으로 침투 유출 속도를 낮추고 부유물질과 각종 오염물질을 효과적으로 제거하며, 인근 저수지와 하천으로 유입되는 유량을 안정화시키고, 습지의 식물은 물의 흐름을 둔화시켜 물리, 화학, 생물학적 반응이 잘 일어나게 해서 물을 정화시키도록 하며 고체 물질을 정착시켜 오염물질을 전환시키거나 고정함으로써 수질을 개선하고 미생물(박테리아, 균류)을 위한 환원된 탄소와 부착지점을 제공한다.

습지 식재 계획 시 고사한 초본식물은 오염원이 될 수 있으므로 일년생 식물을 식재하고 관리하여야 한다.

물리적, 화학적, 생물학적 과정이 포함된 기반을 만들어 오염물질을 총체적으로 제거하고, 부유물질 감소를 위한 환경을 만든다. 비교적 높은 효율로 부유입자의 표면에 흡수된 인, 미세량의 금속, 탄화수소를 제거하고, 침투유량을 낮출 수 있다. 관리가 잘 이루어진다면 경관상의 아름다움을 제공하며, 물새와 같은 야생동물을 위한 서식지 역할을 할 수 있고 비교적 적은 초기시설비용과 유지관리비가 요구된다.

단점으로는 다른 빗물관리 BMP들보다 더 많은 면적을 차지하고, 면적의 대부분이 개발되어 불투수면이 70% 이상인 지역이나 하천을 끼고 위치하지 않은 지역에 적용하기 어려움이 있다.

위치하고 있는 유역이 작아 유량이 충분하지 않을 경우 자주 말라버리거나 그 기능을 제대로 발휘하지 못하는 경향이 있고, 이 경우 습지의 크기를 적절히 조정함으로써 피할 수 있으나 체류시간이 1주일 이내여야 모기 번식을 피할 수 있다.

기존에 있던 습지식물과의 경쟁에서 유리한 침입종 식물이 침입할 수 있음. 따라서 식재계획시 주변 식물의 관계를 고려하여 선정해야 하며 공업단지나 상업지역이 있을 경우 과도한 오염물질이 야생동물 서식 환경을 해칠 가능성을 염두에 두어야 한다.

연중 물을 공급할 수 있는 배수구역이 넓은 지역에 가능하며, 개발단지나 개발지구의 저지대에 위치가 가능하며, 경사가 있는 지형인 경우 작은 습지들이 단차를 두고 연속적으로 배치될 수 있으며 안정적인 물의 공급이 있어야 가능하다.

■ 유형

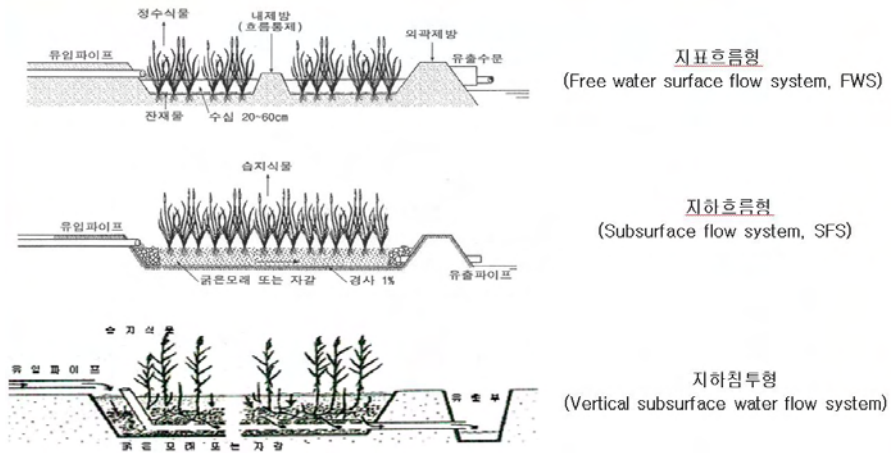
○ Extended detention wetlands

- Extended detention wetlands는 일시적으로 유출수를 지연시킬 수 있고 그 양은 얕은 늪지보다 많음. Standard wet detention pond와 extended detention stormwaterwetland의 차이점은 extended detention wetland의 상시연못 깊이는 최대 90cm로 제한된다는 것이고 더 넓은 지역에서 BMP는 그 깊이를 0에서 30cm로 해야 한다는 것이다.

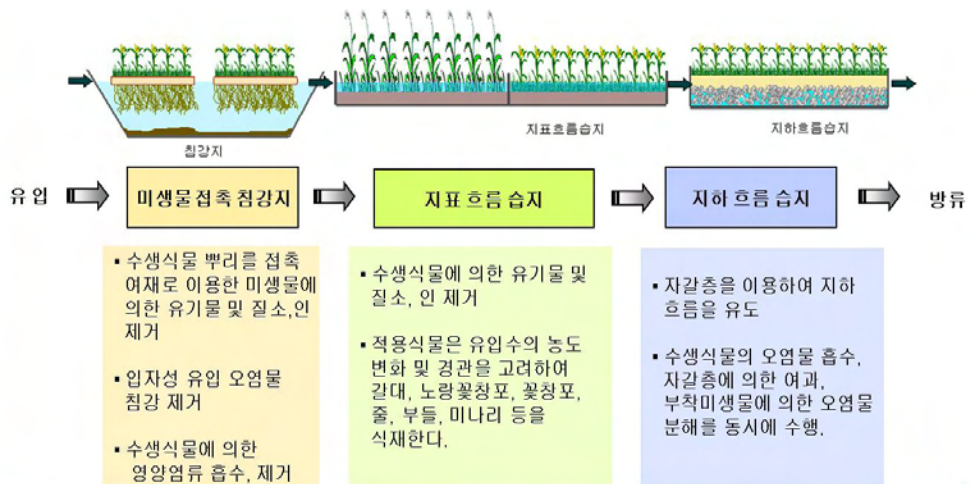


<그림 3-50> Extended detention wetlands

- Pocket Wetlands
 - Pocket Wetlands는 식생여과대(filter strip)와 식생수로(grassed swale)가 결합되었을 때 사용 가능하며 작은 지역에서 더 쉽게 사용할 수 있다. Pocket Wetlands는 pocket wetland가 grassed swale 또는 vegetated filter strip으로부터 유출수를 받아들인다고 하면 Extended detention basins보다 작은 상시연못이 필요하며 취수지는 필요하지 않다.
- Pond/Wetland System
 - Pond와 wetland 시스템은 얇은 wetland의 상류에 건설된 깊은 상시연못을 포함하고 있으며, 이 디자인은 유출수를 처리하고 저장하는 wet detention basin과 얇은 wetland의 특징을 결합한 것이다.
- 또한 물의 흐름에 따라 지표흐름형, 지하흐름형, 지하침투형의 인공습지를 조성할 수 있으나, 최근에는 별도의 유형을 적용하기 보다는 침강지에 정수식물을 도입하거나, 지표흐름습지, 지하흐름습지 등을 적용하는 형태의 다양유형을 복합적으로 적용하는 기법 등의 등장하고 있다.



<그림 3-51> 물의 흐름에 따른 인공습지의 유형



<그림3-52> 한국농어촌공사와 아셈이 공동개발한 인공습지 개념도

■ 도입가능공간

- 인공습지는 농업용저수지에서 적용할 경우 식생수로, 식생여과대 등 보다는 유입량이 비교적 일시적으로 많은 곳에 적용이 가능하다.
- 본 사례지구인 아산시 영인면 상성지구의 경우에는 마을과 인접한 공간과 영인면사무소 소재지와 인접한 공간이 조성 가능할 것으로 판단된다.



- 상성리 마을과 인접한 장소는 생태테마형 인공습지로 조성하여 마을주변환경 개선 및 상성지구 수질개선, 생태체험, 교육 등의 다목적 공간으로 조성될 수 있도록 계획하였다.
- 영인 면소재지의 유입부에 조성 계획된 인공습지의 경우에는 기존의 수련이 식재된 공간으로, 도로의 통행량이 많고, 영인면소재지의 주 출입공간으로 인공습지를 도입하여 수질개선 및 수변경관개선을 도모하고자 하였다.
- 특히, 잠자리인공습지와 영인면소재지의 유입부의 인공습지는 식생여과대 테크 등으로 연계함으로써 생태탐방 및 산책공간으로 활용될 수 있도록 한다.

위의 계획에서 보는바와 같이 농업용저수지의 인공습지의 도입공간으로 주로 외부에서 유입수가 유입되는 공간이 주 대상이 될 것이며, 이 외에 조성가능한 공간은 저수지수변부 수심이 완만한 공간으로써 인공습지 조성을 통하여 지역주민 및 도시민들의 생태·여가공간으로 활용가치가 높은 공간이 될 것이다.

■ 경관형성지침

○ 규모

- 겨울의 동결과 여름의 고온으로 인한 서식생물의 피해를 최소화 할 수 있도록 최소 5×5m의 크기와 11.5m의 수심을 확보하며 식생도입시에는 도입식생의 특성에 따라 깊이를 결정한다.

○ 습지 주변부의 조성

- 수변부는 경사, 바닥의 형태 및 깊이를 다양하게 조성하여 풍부한 동식

물 균집발생을 유도하며, 습지의 가장자리는 식생호안으로 조성하여 인접한 토양층에 지하수의 원활한 수직적 변동을 유도하여 다양한 식물군락이 발생되게 함으로써 식물군락에 의한 오염물질의 흡수, 분해가 이루어 질수 있도록 한다.

- 진흙 위에 초지를 조성함으로써 진흙속에 사는 벌레가 조류의 좋은 먹이가 되도록 하며, 갈대밭 등 야생 습초지를 조성하여 야생조류의 서식처가 될 수 있도록 한다.
- 호안과 인접지역은 초본, 관목, 교목류를 혼합식재하여 야생동물의 서식처로 이용될 수 있도록 한다.
- 추이대에는 갈대군락조성, 저습지조성, 저술의 세굴방지 등의 식생복원 기법을 도입한다.
- 조류, 곤충류 등의 유인을 위하여 습지내부와 주변부에 수생식물을 식재하며 주변에는 지역에 자생하고 있는 수종을 위주로 하여 식재한다.
 - 잠자리못을 조성할 경우 규모는 폭5m이상을 확보하고 잠자리가 설 수 있는 막대기를 연못과 그 주변에 설치하며, 연꽃, 제비붓꽃, 창포, 미나리, 속새 등 수생식물을 식재한다.
- 인공습지의 수변부에는 다양한 수생식물을 도입하여 수변공간을 연출 될 수 있도록 한다. 특히 호안부의 식생조기정착을 위한 다양한 식생호안을 조성하여야 한다.
 - 계단호안, 완경사호안, 어소호안, 경관호안, 녹화호안, 사주부호안, 수층부 호안, 하중도 식생호안, 웅덩이 등을 적용하여 다양한 식생호안을 조성한다.
- 저수지내의 인공습지와 저수지와 경계부에는 자연형 방수공법(S/B 공법)을 도입하여 식생의 서식공간을 조성하는 것이 바람직하다.
- 인공습지에는 다양한 생태관찰로 와 다리 등의 인공시설물을 도입하여 습지내의 수생식물을 관찰 할 수 있는 공간을 조성하도록 한다.
- 특히, 인공습지 조성시 각 인공습지에 테마를 부여하여 지역특성을 반영한 인공습지공간으로 조성하는 것이 바람직하다.
 - 예) 무안군 인공습지 = 백련 식재 등
- 또한, 인공습지 주변부에는 인공습지의 유지관리를 위한 도로를 조성하여 유지관리의 효율성을 제고한다.
- 또한 인공습지내부에는 넓은 수면부에는 부유분수 등 수경시설물을 도입하여 다이내믹한 친수공간 조성하는 것도 고려할 만하다.



<그림 3-53> 목재형 다리 설치사례

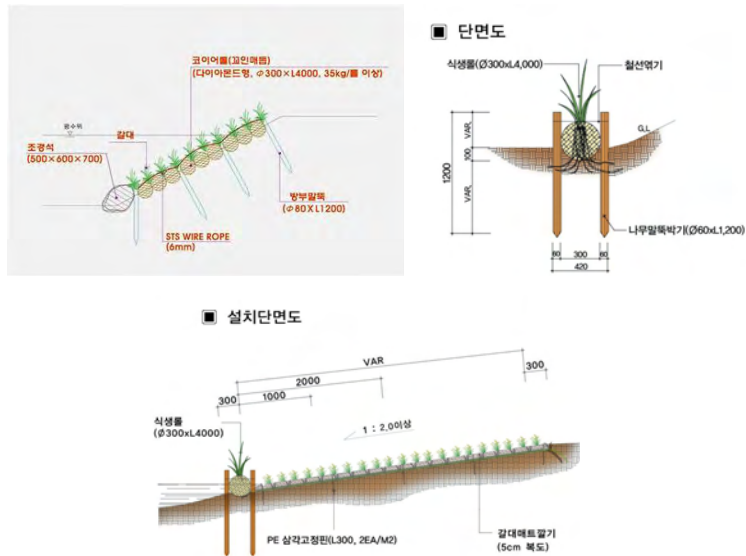


<그림 3-54> 남양주가운배수펌프장 인공습지 조성개념도

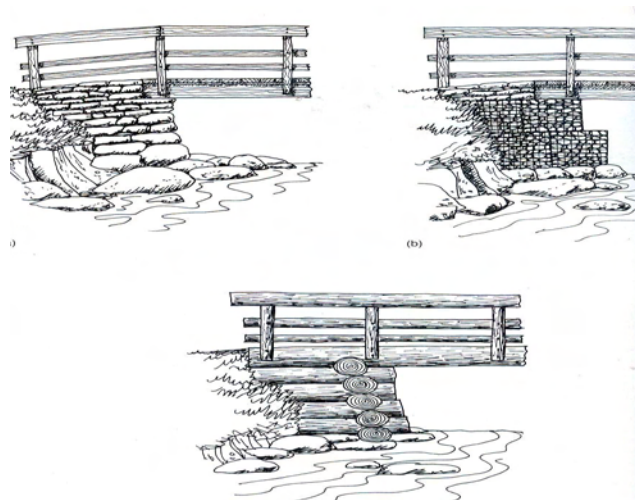


<그림 3-55> 서울우유 거창공장 인공습지 사례

- 생태교육·체험형 인공습지의 경우에는 안내시설, 교육장 등의 시설물의 추가되어야 할 것이며, 이와 더불어 생태해설사 등의 인적자원도 보충되어야 할 것이다.
- 이 경우에는 단순한 생태체험공간으로 조성하기보다는 지역의 생태자원 1~2개를 선택하여 인공습지가 특화될 수 있도록 하는 것이 바람직하다.



<그림 3-56> 식생호안 및 갈대매트, 식생롤 단면도



<그림 3-57> 데크 및 목재다리 하단부 호안디자인

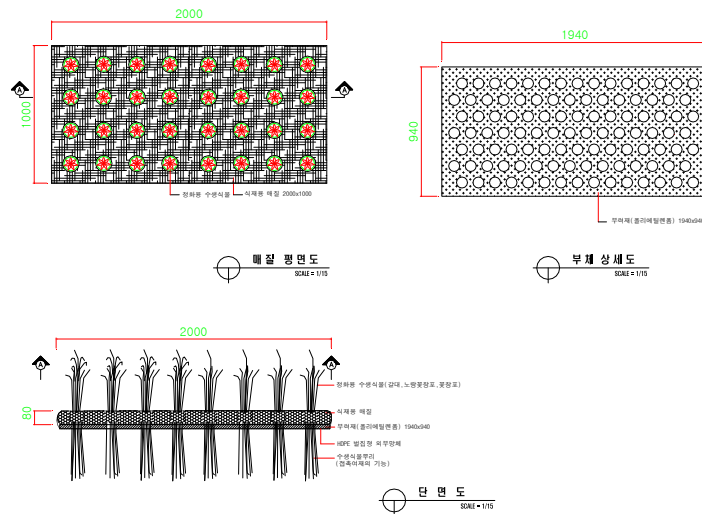
- 생태관찰 및 유지관리 등을 위해서 도입되는 데크 등의 설치시에는 가능한 자연재료(목재, 석재 등)를 최대한 활용하여 조성하며, 데크상부에는 보행자의 안전을 위하여 1.2m이상의 펜스를 설치하여야 한다.
- 보행자 및 이용자의 안전을 위하여 안전펜스 등의 시설물을 설치하여야 함. 펜스의 경우에는 가급적 자연재료 소재의 펜스를 설치하여 주변자연 환경과 조화를 이룰 수 있도록 한다.

(4) 인공식물섬

■ 개념

인공식물섬은 수체의 수면위에 부유하여 조성되는 식생공간으로서, 부유습지의 개념으로 부력재, 식생기반재, 정수식물, 고정장치 등의 시설물로 구성되어 있다. 인공식물섬은 식물의 오염물 흡수, 기반재 및 뿌리에 공생하는 미생물의 오염물 분해, 수중의 뿌리에 의한 여과, 흡착, 침강 효과로 비점오염물질이 제거하는 효과가 있으며, 별도의 부지가 필요 없이 수체위에 조성되므로 호소, 인공습지, 저류지 등에 연계하여 다양하게 적용될 수 있고, 인공식물섬에 의한 비점오염물질 제거를 위하여 고효율식생저류조 형태로 조성할 수도 있다.

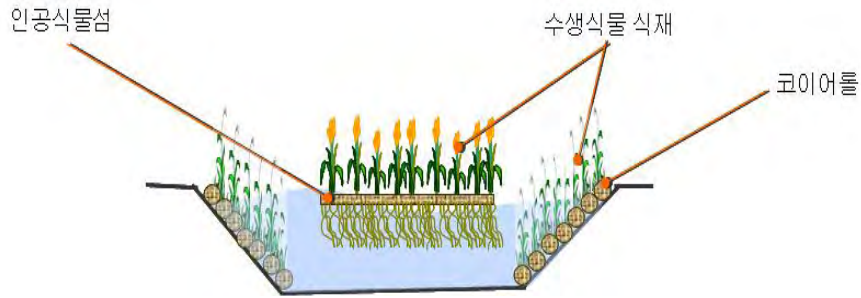
인공식물섬의 형태는 기본규격의 식물섬을 조합하여 별모양, 새모양, 꽃모양, 물고기모양, 사각형, 부정형 등 다양한 모양으로 연출이 가능하다.



<그림 3-58>인공섬의 조성 관련 설계서

■ 도입가능공간

인공식물섬은 저류지 형태로 조성되는 모든 비점오염저감시설에 적용이 가능하다.



<그림 3-59> 저수지 수변부에 시공사례(자료 : 아썸 기술자료)

위의 그림에서 보는바와 같이 저수지의 경우에는 저수지 수변부 모두가 적용 가능 대상지가 될 수 있으나, 저수지 치수에 영향을 줄 수 있는 여수토 인접한 공간 등에는 설치를 지양하여야 한다.

수면부의 흐름으로 인하여 부체가 떠다니면서 저수지내의 시설물에 영향을 줄 수 있으므로 일정한 길이의 이동을 방지하는 이동방지장치 등을 설치 하여야 함. 이는 부체 상부의 수생식물의 관리 시에도 활용된다.

■ 경관형성지침

- 비점오염저감을 위해 조성되는 인공습지의 침강지 또는 저류지의 경우에는 계획 수표면적의 10% 이상 설치할 수 있도록 계획하고, 인공식물섬을 이용한 고효율식생저류조로 조성할 경우 수표면적의 40% 이상이 되도록 조성
- 기존의 수체인 저수지 및 호수 등에 설치할 경우 인공식물섬의 단위면적당 제거량 또는 단위면적당 제거 속도 값을 이용하여, 제거대상 오염물질량을 기준으로 환산하여 설치규모를 산정하여야 함
- 인공식물섬에 식재되는 수생식물은 수질정화능력이 탁월한 수종, 질소·인 등의 오염원별 수질 개선 목표에 따라 특정 오염원의 제거효율이 뛰어난 수종, 구입 및 유지관리가 용이한 수종, 환경조건에 잘 적응하며 월동이 가능한 수종 그리고 설치목적에 적합하고 전체적인 분위기에 조화되는 수종을 선택해야 함

- 수생식물재료의 선택 : 식재수종은 수질정화 능력이 검증된 것 중에서 현장여건과 설치목적에 맞는 수종을 선택하여야 한다. 경관적인 측면을 우선으로 할 경우에는 창포류를 식재하고, 생태적인 측면을 고려할 경우에는 갈대, 창포류, 부들 등을 식재하고 조류 유치를 위한 식물섬인 경우에는 먹이가 있는 식물을 설치. 활착용이성을 고려하여 용기 내에서 최소 3개월 이상 경과한 식물을 사용하고, 바람과 높이, 앞의 폭과 넓이 등을 고려하여 식재순서를 정하고 식재밀도는 12~16본/m²으로 함

(표3-8) 인공식물섬 식재수종 선정기준

단위: g/m²/日

수종명	정화가 가능한 오염물질					흡수능력	영양염류제거능력	수집능력	유반성	재활용성	내한성	내공해성	맹아력	구입난이도
	N	P	K	Ca	Mg									
꽃 창 포						○	○	△	△	△	○	○	○	○
애기부들	1.413	0.0248	1.3255	0.3157	0.2302	○	○	△	○	○	○	○	○	○
갈 대 류	2.796	0.0425	1.6982	0.1127	0.1443	○	○	△	△	△	○	○	○	○
줄	1.9011	0.0384	1.1455	0.0935	0.0834	○	○	△	△	△	○	○	○	○
달뿌리풀						○	△	△	△	△	○	○	○	△
물 억 새						○	○	△	△	△	○	○	○	△
부레옥잠화	1.3557	0.286				△	○	○	×	○	×	○	○	△
좀개구리밥	0.243	0.0627				△	○	○	×	○	△	○	○	○
마 름 류	0.150					△	△	×	×	△	△	○	○	○
미 나 리	0.734	0.0925				○	○	○	△	△	○	○	○	○
연 꽃						△	△	×	△	△	×	○	○	△
검 정 말						△	△	×	×	△	△	○	○	△

※ 자료출처 : 팔당호 수질관리 특별대책 수립을 위한 오염 저감기술, 국립환경연구원
수생식물에 의한 수질개선기법 연구(Ⅱ), 농어촌진흥공사

2. 친수경관시설물을 활용한 호소주변 공간별 경관형성계획 수립지침

가. 친수시설물을 활용한 호소주변 공간별 경관형성계획 수립지침

최근 들어 농업용저수지의 다원적 활용에 대한 지역의 수요 및 도시민의 수요가 증가하고 있다.

특히 지역주민들의 운동, 문화, 휴양, 도시민들을 위한 자연학습장 등에 대한 수요가 급격히 증가하고 있으며, 이를 위한 지방정부 및 지역주민의 수요의 수용을 위한 다양한 형태의 개발이 진행되고 있다.

여기서는 농업용저수지의 호소주변에 운동, 문화/휴양, 교육 공간, 녹지공간, 생물서식공간 5개 공간에 대한 계획수립가이드라인을 제시코자 한다.

(1) 운동공간

- 지역주민이 쉽게 이용할 수 있도록 테니스장, 배드민턴장, 게이트볼장 등의 운동시설을 농업용저수지 주변에 조성함
- 철봉, 평행봉 및 각종 운동시설 등 근린체육시설 조성
- 운동시설은 농업용저수지 수질 등의 환경에 영향을 주지 않도록 일정한 간격을 이격하여 조성함
- 또한, 지역주민들의 접근이 양호하고, 유지관리가 수월한 저수지 진입부 등의 공간을 적극적으로 활용하는 것이 바람직함



<그림3-60> 저수지 주변의 운동시설 조성사례

(2) 문화/휴양공간

(가) 어린이놀이터

- 녹지 및 자연소재 사용 등으로 친환경 공간이 형성되므로, 어린이에게 안전한 공간으로 활용하고, 어린이들이 뛰어 놀 수 있는 놀이터 조성

(나) 광장

- 저수지 주변의 다양한 행사 및 공동활동 등을 위한 수변광장 조성

(다) 특산물 판매장

- 지역특산물 및 농업용저수지와 연계된 농산물, 가공품 등을 판매하는 공간
- 또한, 낚시장습, 요리장습 등의 문화강좌를 개설하여 지역주민들의 취약한 문화활동을 제공하는 공간으로 조성

(3) 교육공간

- 저수지에서 생태교육을 목적으로 하는 관찰테크, 자연학습장, 생태학습관 등의 교육시설을 조성
- 교육시설을 조성하여 다음과 같은 연령별 생태교육, 계절별 생태관찰 프로그램 진행

(표3-9) 계층별, 계절별 생태관찰프로그램

연령층	생태교육프로그램	계절	생태관찰프로그램
초년층	· 나무이름 알아맞히기 · 나무,꽃 그리기 대회	봄	· 벌·나비 관찰 · 초화류 관찰
청년층	· 수생동식물 교육 · 소생물 찾아보기	여름	· 저수지내 어류관찰 · 새소리 구별하기
장년층	· 자연의 향기 맡기 · 다양한 낙엽모으기	가을	· 반딧불이 관찰 · 낙엽밟기
노년층	· 마을역사 스토리 텔링 · 생태관련 경험 들려주기	겨울	· 나무 겨울눈 및 소생물 겨울나기 관찰 · 월동 동물 보금자리 관찰



<그림3-61> 관찰테크 조성사례



<그림3-62> 자연학습장 조성사례

(4) 녹지공간

- 저수지 주변의 녹지공간 조성 시에는 주변지형과 조화가 되도록 마운딩 등의 계획요소를 도입
- 사계절 특색 있는 저수지 녹지계획을 수립(식재계획, 탐방로 등)
- 주민들에게 열려있는 공간으로 접근성 등을 종합적으로 고려
- 주변 친수공간과 연계될 수 있도록 계획수립

(표3-10) 사계절 특색 있는 수종목록

구분	흰색계	노랑색계	붉은색계(보라)
봄	둥글레, 노루귀, 돌단풍, 바위취, 야애기나리, 은방울꽃, 흰민들레, 수염 등	노랑제비꽃, 동의나물, 양지꽃, 민들레, 돌나물, 복수초, 팽이밥 등	쥐오줌풀, 앵초, 산달래, 긴병꽃풀, 깽깽이풀, 꿀풀, 금낭화, 할미꽃, 금란초 등
여름	흰매발톱꽃, 기름나물, 꿩의다리, 톱풀, 부추, 누룩차, 단풍취, 참취 등	원추리, 미나리아재비, 좁쌀, 돌망지꽃, 매미꽃, 기린초, 솔나물, 곰취	꽃창포, 상사화, 석잠풀, 하늘나리, 엉겅퀴, 꼬리풀 등
가을	구절초, 물매화, 바위솔, 천궁 등	감국, 털머위, 미역취, 산국 등	꽃무릇, 용담, 벌개미취, 해국, 백양꽃 등
겨울	백문동, 꽃무릇, 자금우, 송악, 속새, 바위손, 부처손, 차나무, 인동, 석창포, 처녀치마 등		



<그림3-63> 저수지 주변 공원화 사례

(5) 생물서식공간

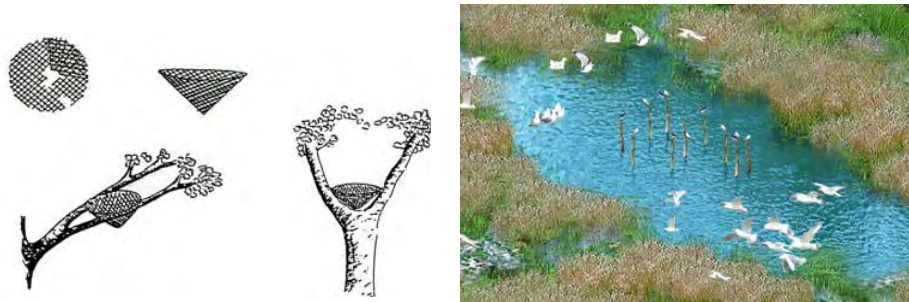
- 생물서식처란 생물 다양성을 높이고 야생동식물 서식지간의 이동가능성을 높이거나 특정한 생물종의 서식조건을 개선하기 위하여 조성하는 생물서식공간을 일컫음(자연환경보전법 제2조)
- 소생물서식공간은 될 수 있는 한 넓은 곳이어야 하며, 이럴 경우 생물다양성 풍부, 안정성증가 및 멸종률의 감소 등 긍정적 효과가 기대됨
- 같은 면적이라면 여러 개로 분할되는 것 보다는 하나로 통합되는 것이 좋으며, 넓은 면적이 필요한 생물종은 서식지가 분할되면 생존율이 저하됨
- 서식지를 여러개로 분할 할 경우에는 고립화를 최소화하기 위하여 가능한 한 분산하지 않는 것이 좋음. 인접해 있으면 어떤 종이 1개의 생물공간에서 멸종되어도 인접 생물서식공간에서 동일종의 공급이 가능함
- 생물서식공간의 형태는 가능한 둥근형태가 좋음,, 서식지내 분산거리를 감소시켜 종의 확산을 증진시키고 둘레의 길이를 감소시켜 외부로부터의 간섭을 최소화 할 수 있음

(가) 조류 서식처 조성기법

- 조성원칙 및 고려사항
 - 다양한 서식처 조성으로 조류 종다양성 증대
 - 모래, 자갈밭의 자연적 형성 유도
 - 먹이원인 수서생물, 곤충, 어류 등 서식공간 확보
 - 다양한 하층식생을 형성하여 은신처 제공
- 조류의 유인 및 서식환경조성
 - 저수지 주위에 물새류를 유인하기 위해서는 수변부에 물을 숨길 수 있는 갈대와 습지수목의 숲을 조성하도록 하며, 물새들이 먹을 수 있는 각

중 수생식물과 곤충류의 서식밀도를 높이도록 저수지 수변부를 다양하게 조성

- 다층구조의 식생구조 형성, 중도 조성, 나무구멍을 이용하는 종을 위해 인공새집 가설
- 식이식물식재
 - 식생은 야생동물, 특히 조류의 은신처나 피난처로 이용될 뿐만 아니라, 먹이원으로 활용되므로 다양한 종자식물을 선정하여 식재
- 조류의 휴식처 조성기법
 - 가볍게 앉아서 쉴 수 있는 식물섬이나 고목, 햇대, 새집 등 설치



<그림3-64> 수변부 조류의 서식공간 조성기법

(나) 어류 서식처 조성기법

- 조성원칙 및 고려사항
 - 어류의 생활주기를 보면 주로 봄과 여름 사이에 산란하며, 성장은 계절 변화와 관련이 많은데 일반적으로 4~6월에 활발하면, 10~3월에 저조
 - 어류서식처 주변지역의 자생어종 선정
 - 수질환경개선을 전제로 다양한 서식기반 형성
 - 산란과 치어를 위한 얇은 만, 수변식생 그늘의 확보
- 돌무덤서식처 및 산란장조성기법
 - 여울, 소, 웅덩이를 다양하게 조성하고 다양한 미소서식지(배후습지, 사행여울, 거석소, 하중도 사구, 천수만, 셋강), 하상구조물(돌, 자갈, 모래 등) 수변부에 목본(버드나무류) 및 초본(줄, 애기부들, 갈대 등)의 식물 군락을 조성함
 - 어류 서식에 유독은 크게 문제가 되지 않으므로 현재의 수량으로 여울의 수심이 최소한 20cm이상 되도록 조성

나. 경관형성유형별 도입 가능한 친수시설물

(1)자연관찰시설

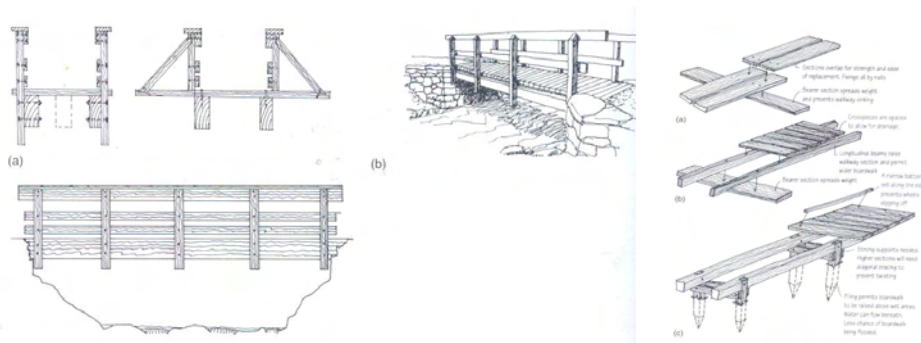
- 안내원 없이 이용자의 독자적인 탐방이 가능토록 관찰로 및 탐방표지를 설치하고, 관찰로는 지형에 부합되고 인공요소의 흔적을 감출 수 있도록 하며 직선코스의 설치는 피함
- 관찰로를 단일코스로 설치하는 경우에는 연장 1.55km의 루프형태로 하며, 코스를 다변화하는 경우에는 단위코스를 2km 정도로 하여 34개의 단위코스를 연결토록 함
- 관찰로의 폭은 1.2m(2인통행기준)로 하되 최소 60cm 이상이 되도록 하며, 서비스도로를 필요로 하는 경우에는 최소 2m의 노폭을 확보해야 하며 소방로를 겸하는 경우에는 최소 2.4m로 함
- 탐방로의 노면은 비포장을 원칙으로 하나 강우 또는 유수에 의한 침식 등을 방지할 필요가 있을 경우에는 부분적으로 포장을 할 수 있음.
- 이용이 집중되는 관찰점 등에는 다소간의 내구성을 확보할 수 있는 재료를 사용함
- 안내표지판 방향표지, 안내표지, 해설표지 등의 표지판을 설치함.
- 배수와 침식방지를 위하여 배수로를 설치하며 인위적인 요소가 눈에 띄지 않도록 조성함



<그림 3-65> 탐방로의 개념 스케치

(2) 관찰데크

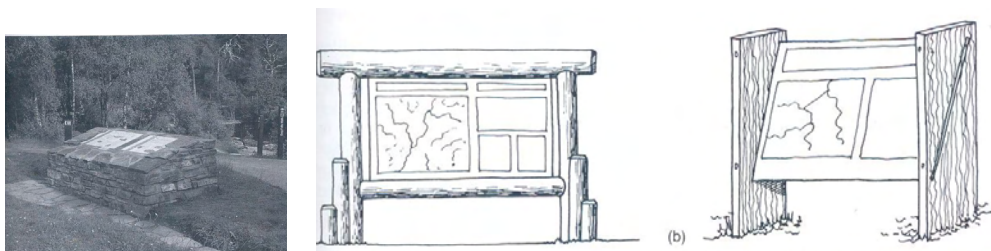
- 관찰데크는 일반적 생태습지 등의 녹지공간에 가장 보편적으로 이용되는 친수 시설물임
- 관찰데크는 가능한 경로의 다양한 변화를 줄 수 있도록 동선을 디자인하여야 함
- 일부 생태관찰포인트 지점에는 안내시설 및 소광장형의 데크공간을 조성하여 동선간의 충돌을 최소화함
- 관찰데크의 목재는 방부원목을 사용하여 부식을 최소화하여야 함
- 데크 상부에는 양측으로 난간을 설치하여 보행 중에 안전이 확보될 수 있도록 함
- 데크는 수면으로부터 높이는 60~70cm로 하여야 함, 침수시 부식방지를 막고 수면에 가깝게 위치하고 있으므로, 스테인레스 스틸 등의 재료를 도입
- 관찰데크는 하부 식생의 구조에 따라 높이를 결정하여야 함.



<그림 3-66> 관찰데크 설치 개념도

(3) 안내시설

- 인공습지, 식생수로, 인공식물섬, 식생여과대 등에 대한 설치 목적, 설치 효과 등에 대한 안내 및 학생들의 생태교육자료의 제공을 목적으로 설치됨
- 시설물은 입구부에 설치되는 안내시설과 시설내에 부수시설물을 안내하는 안내시설, 수목, 식생 등을 설명하는 안내시설 크게 3가지 유형을 분류됨
- 안내시설물은 목재, 석재 등의 자연재료를 활용하여 설치하되, 설치문구 등은 시설물의 설치목적, 효과 등을 자세히 설명될 수 있도록 디자인함
- 또한, 색채 등은 원색의 강렬한 색채보다는 중성의 색채톤으로 디자인하며, 안내판이 계절변화로 인하여 손상을 최소화 될 수 있도록 코팅 처리를 함



<그림 3-67> 안내시설 스케치



이근처는 낚시금지구역입니다.
 야생조류보호를 위해 지도의 빨간색안쪽에
 서는 낚시를 금지해 주세요.
 새들이 낚시줄에 감기는 사고가 있습니다.
 야생조류와 인간이 공존하기 위해 낚시금
 지구역을 설정했습니다. 협조해 주세요.

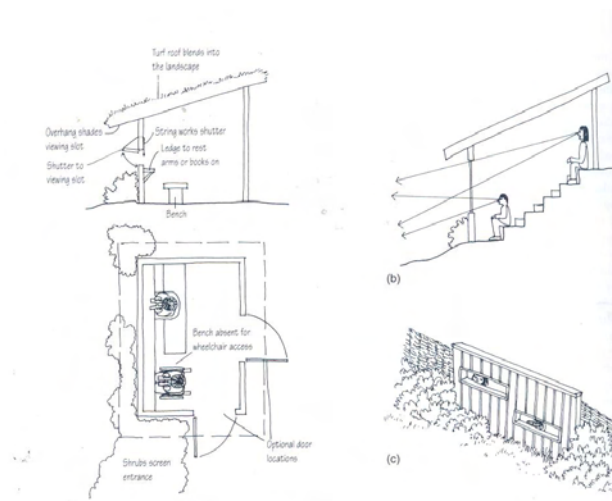
<그림 3-68> 안내시설 사례

(4) 주차시설

- 농업용저수지 주변에 주차시설은 가능한 최소화하여 차량의 오염물질이 저수지내로 유입되는 것을 최소화하여야 함
- 산림지역과 인접한 저수지의 경우에는 인공적인 콘크리트, 아스콘의 포장 재료 보다는 잔디블럭, 자갈 등의 투수성이 있는 자연형 포장 재료를 도입하여야 함

(5) 교육시설

- 지역주민 및 도시민 등의 농업용저수지의 생태 공학적 수질개선기법 및 저수지내 생태계에 대한 교육을 위한 별도의 교육시설을 제공함
- 저수내의 생태계 등의 관찰을 위한 교육시설은 위요된 공간을 조성하여 생태계의 접근을 최대화함과 동시에 조류 등이 달아나지 않도록 함



<그림 3-69> 교육시설 및 조류 관찰대 시설개념 스케치



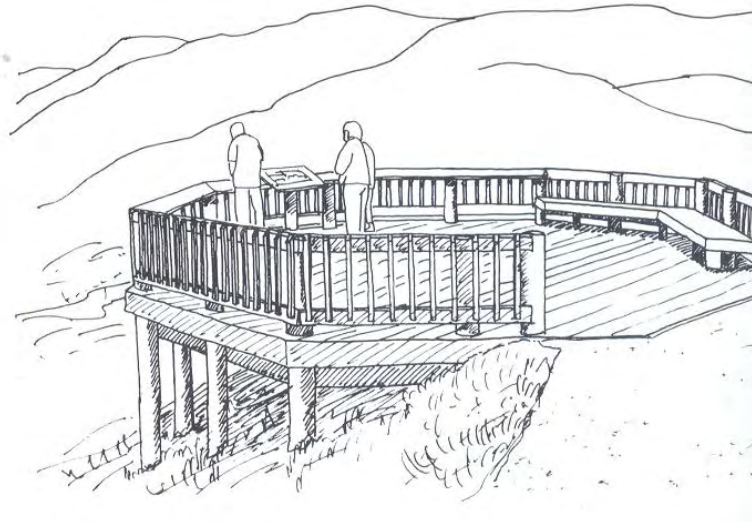
<그림 3-70> 수생식물 관찰코스



<그림 3-71> 탐조대

(6) 전망대

- 농업용저수지 공간 중 주변경관이 양호하거나 , 특이한 관찰대상이 있는 지점에 전망시설을 설치하여 저수지 방문객, 지역주민의 휴식공간을 제공함
- 전망시설은 가능한 수변부에 가까운 곳까지 접근이 용이하도록 설계하며, 하부에 식재를 최대한 고려하여 배치함
- 시설물의 재료는 목재 등의 자연재료로 조성하되, 침하가 발생할 수 있는 지반의 경우에는 석조 등의 인공구조물을 설치함



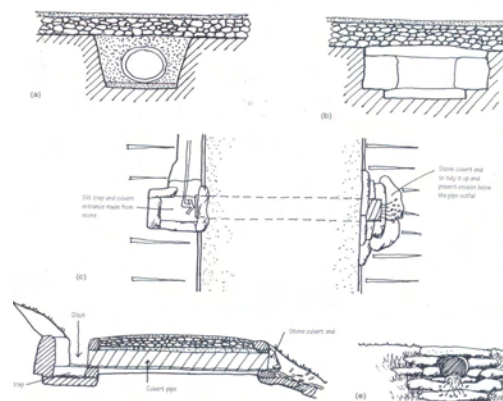
<그림3-72> 전망시설 스케치



<그림3-73> 전망시설 사례

(7) 관수로 유입부

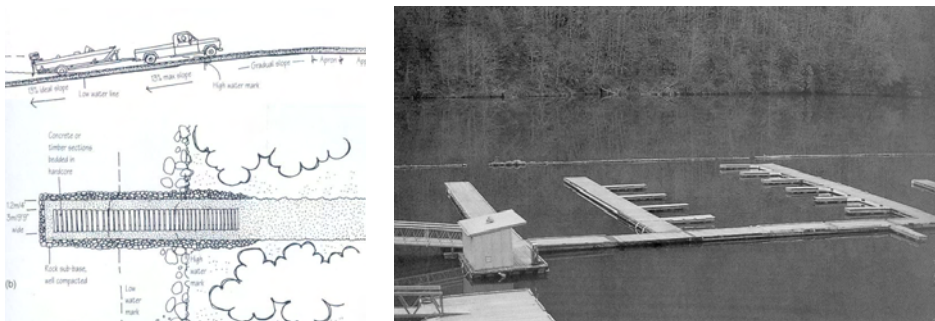
- 농업용저수지 내의 관수로 유입부의 경우에는 일시적인 유입으로 인하여 관수로 하부의 쇄굴 등으로 인한 경관악화를 초래함. 이에 관수로 하부의 경관형성 및 처리의 접근이 시급함
- 관수로 유입공간의 경우에는 관수로 저수지 내로 돌출되는 것을 최소화 하되, 유입수에 의한 하부지반의 쇄굴 등을 최소화할 수 있는 장치가 필요함
- 이에 관수로 하부 지반과 관수로 유입부 일체형의 경관형성계획을 수립 하여야 함
 - 하부 지반의 경우에는 자갈, 호박돌 등의 석재를 활용하여 일시적인 유입수의 유입으로 인하여 하부지반의 쇄굴을 최소화하여야 함
 - 또한, 관수로 주변부의 사면공간에는 관수로를 최대한 차폐할 수 있도록 자연석 등으로 주변부를 정리해 주어야 함



<그림3-74> 관수로 유입부 경관스케치

(8) 낚시 및 접안시설

- 농업용저수지내의 낚시 및 어업, 유지관리 등을 위한 접안시설을 설치가 요구됨
- 최근에 도농교류 및 농어촌지역에 다양한 레저 활동 등으로 인하여 농업용저수지의 다원적 기능이 강조되고 있음. 특히 낚시, 보트 등의 다양한 레저시설물들이 도입되고 있음
- 최근에 도농교류 및 농어촌지역에 다양한 레저 활동 등으로 인하여 농업용저수지의 다원적 기능이 강조되고 있음. 특히 낚시, 보트 등의 다양한 레저시설물들이 도입되고 있음
- 접안시설의 경우에는 수변부의 자연식생을 최소화 할 수 있도록 수변부의 친수공간 조성과의 연계되어 계획되어야 함
- 또한, 요트, 보트의 이동 등이 용이하도록 아래 그림과 같은 보트 유인차량의 수변부 접근이 용이하도록 별도의 공간을 조성할 필요가 있음
 - 이와 같은 시설물은 자연석, 자갈, 목재 등의 자연재료를 최대한 활용하여 조성하되, 13%의 경사도를 유지하여 차량이 접근이 용이하도록 함



<그림 3-75> 저수지내 접안시설 계획도 및 사례



<그림 3-76> 호수에서 낚시하기

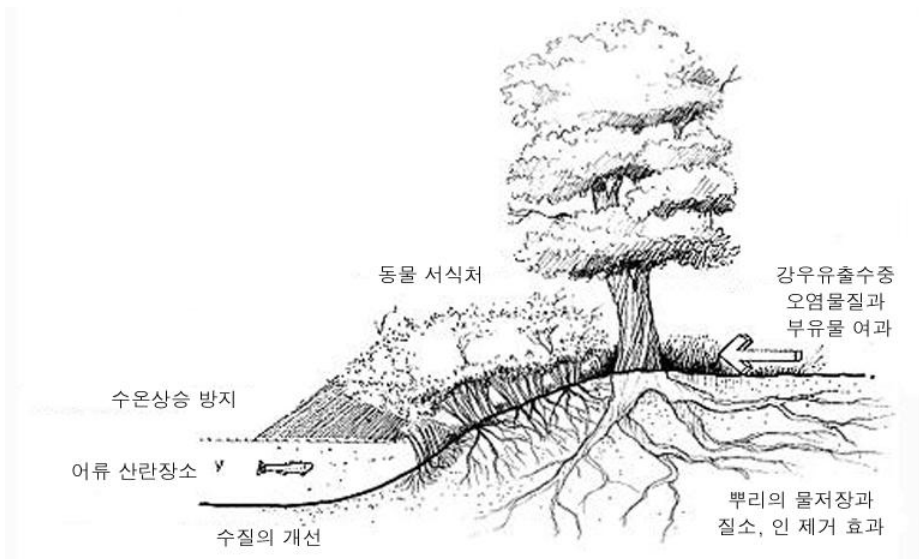


<그림 3-77> 정비된 낚시장

- 낚시 및 보트 접안시설물은 수변부의 경관을 고려하여 목재 부도 형태로 조성하여 수위변동에 따라 시설물의 유동적으로 적응할 수 있도록 함
- 이동로 양측 면에는 안전사고를 예방할 수 있는 난간, 밧줄 등을 설치하여 측면 안전사고에 대비하여야 함
- 가급적 쾌적한 시설물을 유지하기 위하여 목재는 오일스텐 등의 표면처리를 통하여 부식 등을 최소화하여야 함

(9) 식재계획

- 농업용저수지의 수변공간 목적 및 활용방안 등을 종합적으로 고려하여 도입수종 및 배식 등의 계획을 수립하여야 함
- 휴식과 놀이형 수림인 경우에는 초본류와 교목류 위주로 식재하고, 생태보전 및 시각차폐형 수림인 경우에는 초본류+관목류+아교목류+교목류로 구성함



<그림3-78> 수변식생의 주요기능

(가) 저수지 식물생육 환경의 특성

- 저수지 주변식생은 시설의 특성상 평상시에는 건조하고 일정량 이상의 강우시 침수되는 특성을 나타냄
- 저수지 생태계는 침수와 건조가 교대로 나타나는 환경적 특성이 예상
- 저수지 환경과 하천의 호안과의 차이점을 유속에 의한 식물스트레스가 하천보다는 적을 것으로 예상됨

(나) 식물선정시 고려사항

- 기후 : 식물은 한정된 기후조건(온도, 일조량, 강수량)에서 성장하므로, 해당지역의 기후에 적합한 수종선택
- 지하수 : 저수지의 갈수기~홍수위의 지하수위 변화에 적응하는 식물종 선택
- 토양 : 해당지역의 토양에 적합한 수종 선택
- 음양성 : 식물 중에는 양수와 음수가 있으므로 식재장소를 고려하여 수종선택
- 내습성/내건성 : 저수지는 건조와 침수가 반복적으로 일어나 수분변화가 큰 지역이므로 수분환경변화에 적응할 수 있는 식물종 식재
- 재생력 : 재생력이 강한 수종으로 침수 후 스스로 되살아나는 탄력이 큰 수종을 선택
- 성장력 : 유지관리를 위한 가지치기에 성장력이 강한 수종

(다) 식재시 고려할 사항

- 식물유형 : 그 지역의 기후 토양 등 생태적 특성에 적응하여 성장하기 때문에 토착식물이나 귀화식물을 일반적으로 선정
- 저수지 환경특성 : 선정식물은 건조와 침수가 반복되는 환경에 적응하여 성장하는 수종을 위주로 선정

(라) 도입권장수종

(표3-11) 저수지 수변부에 도입권장 수종

성상	내습성	호습성	근계성	식재권장수목	
				우선수종	보조수종
교목	강함	강함	심근성	왕버들, 물푸레나무	메타세퀘이아, 회화나무, 때죽나무
			중근성		전나무, 귀룽나무, 청단풍
			천근성	버드나무, 능수버들	낙우송
	보통	보통	심근성	느릅나무, 양버즘	느티나무, 피나무, 모감주나무, 이팝나무, 감나무
			중근성	팽나무	뽕나무
			천근성	이테리포플러, 은사시나무	오리나무, 붉나무

성상	내습성	호습성	근계성	식재권장수목	
				우선수종	보조수종
관목	강함	강함	-	갯버들, 눈갯버들, 키버들	수수꽃다리, 영산홍, 진달래, 자산홍
	보통	보통	-	꼬리조팝	조팝나무, 개나리, 짚레, 앵도, 줄사철, 명자나무
초화류	강함	강함	-	털부처꽃, 금불초, 왕원추리, 물억새	별개미취, 범부채, 옥잠화, 층꽃
	보통	보통	-	쑥부쟁이, 패랭이, 꽃창포, 부채붓꽃, 노루오줌, 붓꽃	구절초, 꽃향유, 비비추, 기린초, 영춘화, 수호초

○ 한국조경학회(1997)에서 제시한 습한 곳에 식재가능한 수종과 대한주택공사에서 습지에 강한수종, 국외 치수성 실험에서 습지에서 생육이 양호한 수종을 아래의 표와 같이 정리하였음

(표3-12) 내습성 수종목록

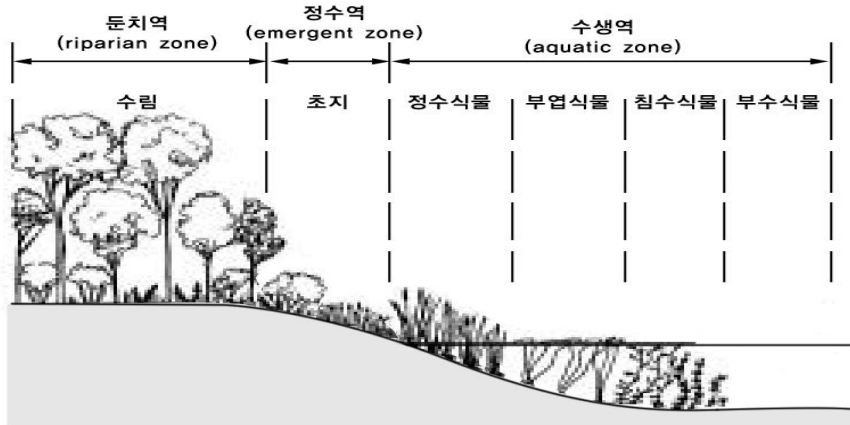
수종	생육실태	조경학회 (1997)	주택공사 (1998)	Hammer (1997)	Ferguson (1994)	Honser (1960)
낙우송	적습	●	●	●	●	
은백양	다습	●				
현사시나무	다습	●				
미류나무	다습	●		●		
양버들	다습	●				
왕버들	다습	●		●	●	
용버들	다습	●		●	●	
자귀나무	다습	●				
쪽제비사리	적습	●			●	
박태기나무	약습	●				
꽃아카시아	약습	●			●	
회화나무	적습	●	●			
등나무	적습	●	●			
중국단풍	다습	●	●	●	●	
신나무	약습	●	●			
네군도단풍	적습	●	●	●	●	
단풍나무	약습	●	●	●	●	
홍단풍	적습	●	●			
당단풍	적습	●	●			

수종	생육실태	조경학회 (1997)	주택공사 (1998)	Hammer (1997)	Ferguson (1994)	Honser (1960)
은단풍	적습	●	●	●	●	●
복자기	적습	●	●			
피나무	적습	●				
염주나무	적습	●	●			
다래	약습	●				
노각나무	적습	●	●			
석류	적습	●				
팔손이	적습	●	●			
송악	적습	●				
식나무	적습	●	●			
층층나무	적습	●			●	
말채나무	적습	●				
산수유	적습	●				
곰의말채	다습	●				
황철쭉	적습	●	●			
진달래	적습	●	●			
철쭉나무	적습	●				
백량금	적습	●				
자금우	적습	●				
매죽나무	적습	●				
쪽동백	적습	●	●			
물푸레나무	적습	●		●	●	●
광나무	적습	●				
목서	적습	●				
좁작살나무	적습	●	●			
치자나무	적습	●				
아왜나무	다습	●	●			
분꽃나무	적습	●				
대추나무	적습	●	●			
조록나무	적습	●				
풍년화	다습	●	●			
홍철쭉	적습		●			
자작나무	적습	●		●	●	
오리나무	적습				●	

※ 출처 : 남상채, 2002 고밀도 주거단지내 우수저류녹지 도입 타당성연구, 서울대 석사학
위논문

(마) 단면구조에 따른 식재 기법

- 저류지 단면은 아래의 그림과 같이 평수위 중심으로 수생역(aquatic zone), 정수역(emergent zone), 둔치역(riparian zone)으로 구분 가능함



<그림3-79> 저수지 단면구조에 따른 식생분포

- 수생역
 - 수생역은 365일 물이 있는 지역으로 부수식물(물위에 떠 있는 식물), 침수식물(물속에 잠겨 살아가는 식물), 부엽식물(뿌리를 땅속에 내리고 잎만 수면위로 떠 있는 식물), 정수식물(뿌릴 땅속에 내리고 서 있는 식물) 등의 수생식물이 생육하는 구간
 - 부수식물 : 좁개구리밥, 부레옥잠, 개구리밥, 생이가래, 물개구리밥 등
 - 침수식물 : 퉁미나자스말, 물수세미, 붕어마름, 말즘 등
 - 부엽식물 : 연꽃, 수련, 마름, 가래, 노랑어리연꽃, 어리연꽃, 자라풀, 네가래 등
 - 정수식물 : 부들, 애기부들, 갈대, 달뿌리풀, 창포, 꽃창포, 골풀, 줄 등
 - 이들 수생식물 등은 어류서식 및 수질정화측면에서 큰 의미를 가지고 있음
- 정수역
 - 정수역은 185일 이상 물이 닿는 지역으로 수심의 변동이 많은 것이 특징이고, 흔히 갈대 등이 우점하는 지역임
 - 유속이 아주 느린곳 또는 정체된 곳의 평수위 경계부에 침수에 강한 식물류가 나타남
 - 동의나물, 갈대, 부들, 흑삼릉 등

○ 둔치역

- 둔치역은 침수되지 않지만 습기가 있어 호습성 식물이 자라는 곳임
- 30일 이내 침수에 견디는 경수목 : 참나무-물푸레나무군락
- 30일 이상 침수에 견디는 연수목 : 버드나무 군락

(바) 초본, 목본류의 내침수성 비교

○ 내침수성 초본식물

- 생존율 기준 내침수성 : 노랑꽃창포·달뿌리풀·갈대>애기부들, 수크령, 물억새>개솔새, 억새, 매듭풀, 이탈리아안아그라스
- 노랑꽃창포 : 활착이 빠르고 물 속에 완전히 침수된 조건에서도 생존력이 강함(60일까지의 완전침수 조건에서도 생존과 성장이 양호함)
- 부들 : 완전 침수된 조건에서는 잎이 시드는 단점이 있음
- 육상식물인 수크령과 매듭풀은 부분침수조건에서 생존과 성장이 양호하여 내습성이 비교적 강한 특성이 있음
- 달뿌리풀 : 장기간의 완전침수 조건에서는 고사하나, 자연 상태에서의 성장특성으로 보아 단기간의 완전침수조건과 장기간의 부분침수 조건에서는 생존이 가능할 것으로 판단됨

○ 내침수성 목본식물

- 족제비싸리 : 장기간 물속에 완전 침수되면 고사하지만 부분적으로 장기간 침수된 조건에서는 부정근이 발생시키면서 생존할 수 있는 특성이 있음
- 갯별들 : 60일 장기간 완전침수 하에서도 생존율이 높고 성장도 계속함. 특히, 비침수 조건보다 부분침수 조건에서 생장이 양호함
- 등나무 : 30일까지의 침수조건에서 60%이상 생존하여 저수지 사면녹화용으로 이용가능성이 확인됨

(사) 저수지에 조성 가능한 잔디의 내침수성

- 저수지에 잔디류의 식재도 예상되므로, 침수기간별로 생존하는 잔디종을 다음과 같이 분류하였음
- 버뮤다 글라스, 베타로 글라스, 바인매스킷, 노트글라스 등이 20일 이상 침수기간에 살아 있는 것으로 나타났음

(표3-13) 침수기간에 따른 잔디분류

침수가능기간	생존하는 잔디종
20일이상	버뮤다글라스, 버팔로글라스, 바인매스킷, 노트글라스
20일까지가능	Kanlow switchgrass, lowland switchgrass, Reed canarygrass, Praire cardgrass, Florida pasapalm
15일이상	Caddo switchgrass,Upland switchgrass, Western wdategrass, Rice cutgrass, Smooth seed paspalum
10일까지	Big bluestem, Sand bluestem, Virginia wildrye, Beaked panicum
5일까지	Easter gamagrass, Klka sacanton, Elkan bluestem, Weeping lovegrass, Kenturky fescue, Smooth brome, Knotroot B간신킨 grass

3. 경관형성유형별 도입 가능한 친수시설물

농업용저수지에 적극적으로 도입을 고려해 볼 만한 시설물을 두가지 유형을 분류될 수 있다.

첫째, 수질개선 및 자연경관의 보전을 위한 자연정화시설물, 둘째, 농업용저수지의 이용 및 방문객을 위한 친환경 시설물이 있다.

(표3-14) 농업용저수지 도입 가능한 시설물

구 분	도입가능시설물	적용 가능 공간
자연정화 시설물	· 식생수로	· 상류부 유입부, · 마을내 유입수로 · 농경지 토공배수로 등
	· 식생여과대	· 농경지와 저수지 전이대 · 마을과 저수지 전이공간 · 농경지에서 저수지로 유입되는 공간의 휴경지 또는 마을 주변 수립대
	· 인공습지	· 저수지 주 유입공간으로 퇴적층이 발달한 공간 · 기존의 습지공간을 형성하고 있는 공간 등
	· 인공식물섬	· 수면부 전체
	· 식생호안	· 저수지 수변부 공간
친환경 경관시설물	· 관찰시설물	· 관찰데크, 조류관찰대, 탐방로, 안내시설물 등
	· 경관시설물	· 전망시설, 조망시설, 진입광장, 실개천 등
	· 교육시설물	· 교육안내시설, 체험관, 옥외교육시설 등
	· 녹지시설	· 경관녹지대, 수변녹지대, 차폐녹지대, 소생물서식 공간등
	· 기타	· 화장실, 벤치, 쉼터 등

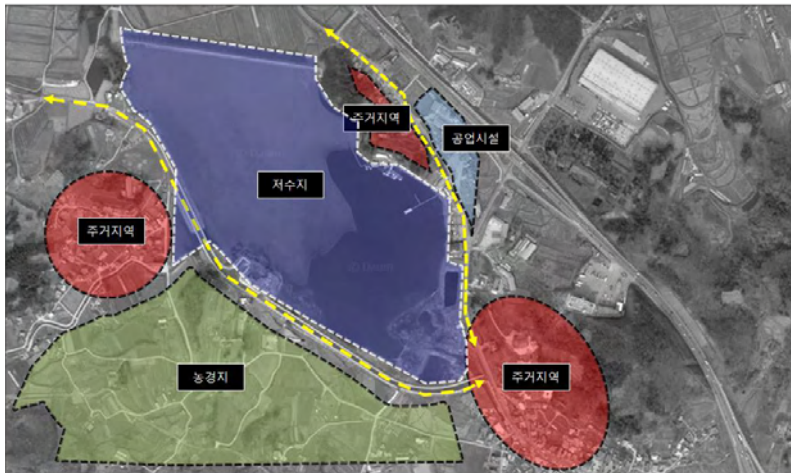
4. 친수시설물 활용한 호소주변 공간별 경관형성계획 사례적용

가. 사례지구 현황

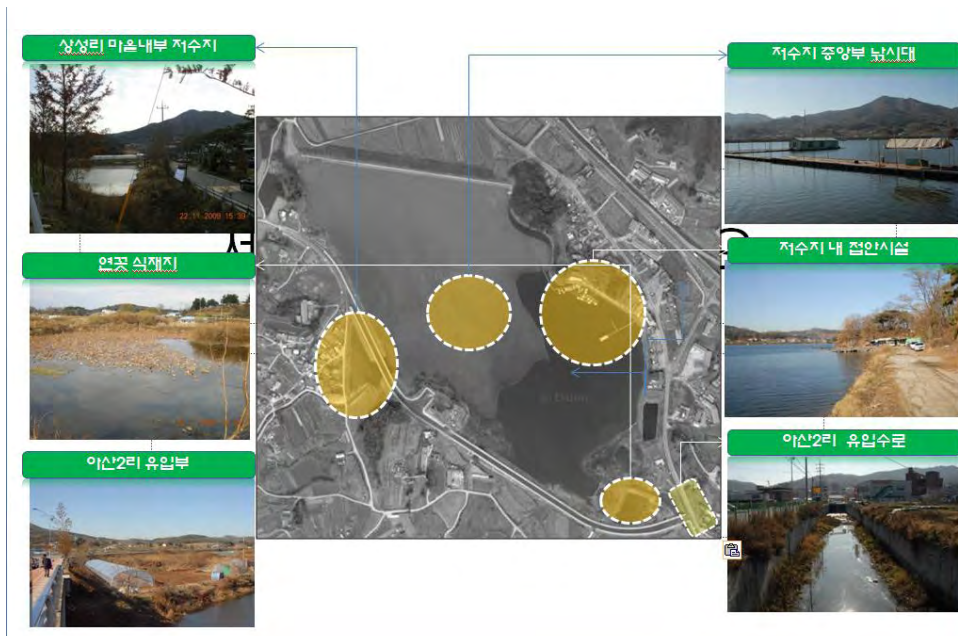
- 위치 : 충청남도 아산시 영인면 상성리
- 농업용수 수질개선사업 계획 수립 진행지구

유역면적	804ha	저수량	1,107천m ³
수혜면적	253ha	만수면적	35ha
설치년도	1958년		

- 아산시 영인면은 아산시 중북부에 위치하고 있으며 아산온천, 아산호 국민관광단지, 영인사 자연휴양림, 김옥균 묘소를 연결하는 문화관광자원의 중심부에 위치하고 있음. 또한 수리안전율98%로 수도작 등에 양호한 영농조건을 구비하고 있으며, 농공단지 등의 다수의 공업시설이 입지하고 있는 지역임
- 영인면 상성지구는 아산리, 상성리 주거지역에 접하고 있으며, 아산3리에 일부 소규모 공업시설물 등이 입지하여 있음.
특히 남동측에 위치한 아산2리의 경우에는 영인면소재지(950명)로써 저수지 수질, 수변환경에 가장 영향을 주는 주거지역을 분석되었음
- 주거지역을 제외하고는 대부분의 농경지로 구성되어 있으며, 영농현황을 수도작이 대부분을 차지하고 있음
- 본 연구의 주요 대상인 상성지구의 경우에는 1958년에 조성된 농업용저수지로써 상류부에 영인면 아산2리(면소재지)와 인접하고 있으며, 수질은 4등급 수준을 매우 불량한 것으로 기존자료에 분석되어 있음



<그림3-80> 사례지구 공간현황



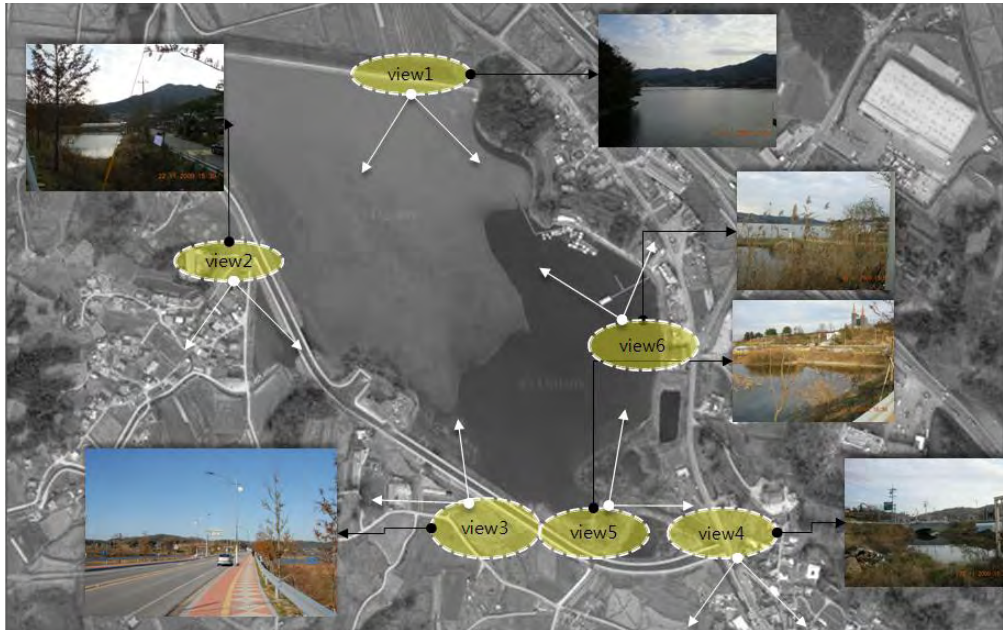
<그림3-81> 사례지구 주변 현황

나. 경관현황

- 사례지구의 경관분석은 사례지구를 답사하면서 사진기로 촬영한 사진을 근경, 중경, 원경 단위로 분석하여 상성지구의 수변경과의 현황 분석하였음
- 총6개의 주요경관조망점을 지정하여 경관현황분석을 실시하였음

(표3-15) 경관조망점현황 및 경관자원

경관 조망점	위치	주요 경관 자원		
		근경(0~10m)	중경(10~50m)	원경(50m이상)
View1	저수지 제당→상성리	저수지수면	저수지수면 낚시시설물	상성리 마을, 야산
View2	상성리 마을입구	마을내 저수지	마을전경, 주택	야산
View3	아산1리→상성리방향도로	도로,수면	도로, 마을전경	야산
View4	아산1리 저수지유입부	수로, 다리	마을전경	야산
View5	아산1리 진입부→아산2리조망	수생식물 수면	교회, 농경지	스카이라인
View6	아산2리→저수지조망	수생식물, 수면	수면	야산



<그림3-82> 경관조망점 선정위치도

○ 6개 지점의 경관현황을 살펴보면

- view1 : 저수지 제당위에서 상성리 마을을 조망한 경관조망점으로 대부분의 경관이 수면이 차지하고 있음. 경관상태는 수면으로 인하여 비교적 양호함. 저수지내의 조류 등을 점경경관요소로 가치가 매우 높음
- view2 : 상성리 마을입구 조망점으로 마을전면부에 있는 저수지 일부공간이 근경경관요소로 크게 차지하고 있으며, 저수지 수면부 수생식물은 점경경관요소로 활용가치가 높음. 단 전주, 건축물 등과 주변자연환경과의 부조화에 대한 추후 개선이 필요할 것임
- view3 : 아산1리에서 상성리방향 도로를 조망한 경관조망점으로써 대부분의 경관자원은 도로시설물로 구성되어 있음. 단, 우측에 저수지 수변부와 수면은 인공적인 도로경관을 완화해 줄 수 있는 양호한 자연경관으로 이를 적극적으로 보전·활용하여야 함
- view4 : 아산1리에서 저수지로 유입되는 수로의 경관으로 경관상태가 매우 불량함. 특히 수로내 쓰레기 등은 경관을 저해하는 요인으로 작용하고 있음. 이에 대한 적극적인 대처가 필요함
- view5 : 아산1리에서 아산2리를 조망한 경관점으로 저수지수변부에 양호

한 수생수립대가 근경요소로써 양호한 경관상태를 보여주고 있으며, 일부 수련재배지도 계절적으로 경관연출이 가능한 경관요소로 판단됨

- view6 : 아산2리에서 농촌공사 시설물로 조망한 경관점으로 view5와 마찬가지로 수변수립대가 양호한 경관요소 작용하고 있으나, 주변에 다양한 인공시설물 등과의 부조화로 건강한 경관상태를 보여주지는 못하는 상황임
- 6개지점의 경관현황을 종합해 보면, 대부분의 경관조망점에 수로, 저수지 수면, 수생식물대 등의 경관요소들이 공통적으로 나타났으며, 경관의 질도 보통수준으로 분석됨. 단지, 주변의 마을전경, 인공구조물, 무계획적인 수변정비 등으로 인하여 전체경관의 질은 매우 불량한 것으로 분석됨. 이에 저수지 수변공간정비 마을경관의 정비를 연계하여 시행하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

다. 기본구상

- 본 연구의 사례지구인 영인면 상성지의 개발에 장기적인 비전을 다음과 같이 제시코자 함



<그림3-83> 사례지구(저수지) 개발개념

- 수질개선 및 건강한 수변생태계회복 보전
 - 수질개선사업 및 수변친수공간조성을 통하여 건강한 저수지 생태공간 조성
- 저수지 명소화
 - 저수지내의 생태탐방로, 수질개선 학습장 등을 도입하여 저수지 지역의 명소공간으로 재탄생될 수 있도록 함
 - 이와 더불어 저수지 주변에 분포한 부대시설물(취수탑 등), 낚시터 등을 다양한 형태의 테마공간으로 조성하여 지역 활성화 거점자원화
- 수질개선 및 생태체험·학습장
 - 저수지 수질개선을 위해 도입되는 각종 자연정화공법에 대한 학습과 체험공간 조성
- 매력적인 농어촌지역 조성
 - 단순히 저수지 수변공간을 정비하는 차원에서 벗어나 지역전체를 통합적으로 정비하는 지역개발시스템을 병행하여 매력적인 농어촌지역을 조성하여야 함

라. 공간계획

- 상성지의 공간구상은 크게 6개공간으로 구분되며 아래의 공간구상도와 같음. 저수지제당부와 녹지공간을 연계한 테마 및 녹지공간, 낚시터 및 접안시설물 리모델링하는 수변레저공간, 저수지 유입수의 자연정화를 통한 수질개선공간인 생태보전공간, 저수지이용객을 위한 홍보서비스공간, 마을내부 저수지를 활용한 생태테마공간으로 구분됨

● 수변레저공간

① 현황

- 낚시을 위한 공간으로 좌대 등의 설치로 불량한 경관을 연출하고 있음
- 수면부에 접근할 수 있는 가장 가까운 공간임

② 조성개념

- 접안시설물의 정비를 통한 수상레저시설물의 진입 및 접안을 위한 시설물 설치를 통하여 수면위까지 접근할 수 있도록 함
- 목재형 부체 접안시설물의 도입 및 휴게편의시설(화장실, 쉼터)의 집약적으로 설치
- 또한, 수면부에는 부유분수 등의 설치를 통하여 수질개선 및 동적인 수

변경관을 연출

③ 도입시설물

- 자연정화시설 : 식생호안, 부유분수 등
- 친수시설 : 화장실, 벤치, 쉼터, 목재 접안시설, 야간조명 등

● 생태보전공간

① 현황

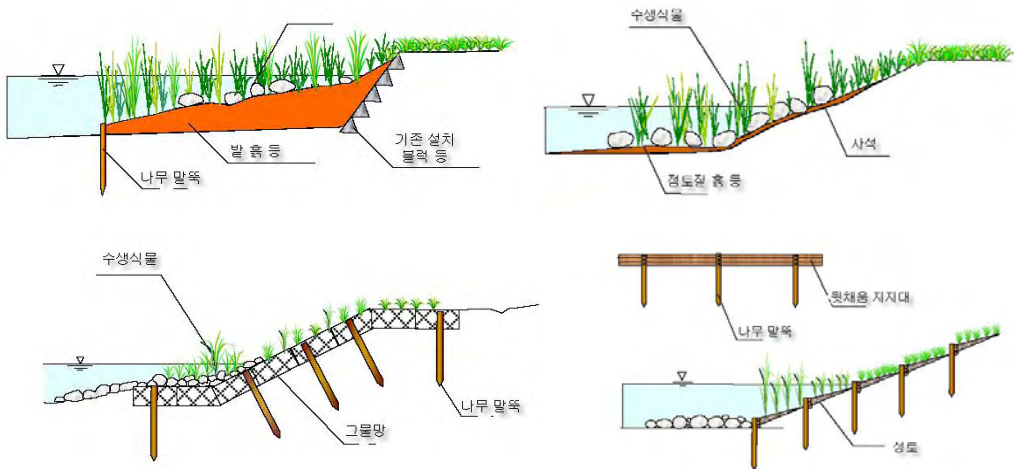
- 저수지의 주 유입부로서 저수지내에 퇴적층이 발달하여 있으며, 다양한 수생식물이 서식하고 있음
- 수변부에수로 설치로 인한 급사면 발생 및 쓰레기 투척 등으로 인하여 수생수립대와 부조화를 이루고 있음
- 일부 공간에는 수련 등을 재배하는 등 농업활동도 이루어지고 있음

② 조성개념

- 유입부의 수질개선을 위한 자연정화시설물의 통합적으로 적용되어야 함
- 자연정화시설물을 활용한 생태체험 및 학습공간으로 조성
- 수생식물의 보전을 위한 지역주민들의 유지관리 참여가 필요한 공간

③ 도입시설물

- 자연정화시설 : 인공습지, 침강지, 부유분수, 식생호안 등
- 친수시설 : 목재데크, 안내 및 교육시설 등



<그림3-84> 농업용저수지 수변부 식생호안 정비계획(안)

● 홍보 및 서비스공간 : 저수지내의 유래 및 역사와 저수지내에 설치되는

자연정화시설, 경관시설물, 자연식생, 조류 등에 대한 사전교육 및 홍보공간

- 도입시설 : 특산물판매장, 안내시설, 교육시설, 주차장, 광장 등

● **생태테마공간**

① 현황

○ 상성리 마을내의 저수지로써 현재 마을주민들의 휴게시설물 등이 일부 설치되어 있음

② 조성개념

○ 잠자리연못, 반딧불이공원, 빗물공원 등의 생태공원개념을 도입
○ 상성리 마을주민과 마을자원을 연계한 생태도농교류공간으로 육성
○ 마을내 수로, 농경지 배수로 등을 생태수로로 조성하여 저수지내로 유입되는 유입수의 수질 개선

③ 도입시설물

○ 자연정화시설 : 분수, 식생매트, 식생수로, 식생여과대 등
○ 친수시설 : 목재데크, 안내 및 교육시설, 휴게시설 등

● **테마동선**

① 현황

○ 저수지 주변부의 녹지 및 농경지공간임

② 조성개념

○ 저수지를 순환할 수 있는 생태테마공간으로 조성
○ 저수지를 순환할 수 있는 테마탐방로를 조성하여 지역주민, 방문객에게 색다른 볼거리를 제공하고자 함

③ 도입시설물

○ 목재 산책로, 벤치 등 휴식시설



<그림3-85> 농업용저수지 주변 개발사례



<그림3-86> 제주도 올레길



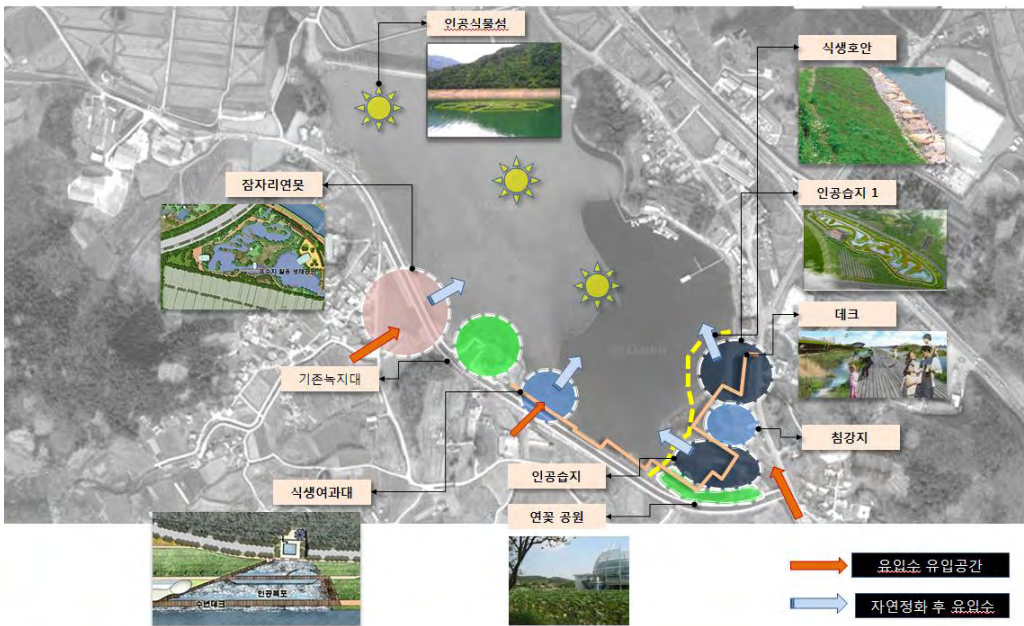
<그림3-87> 생태수로

마. 주요계획내용

- 특히, 저수지를 순환할 수 있는 테마탐방로를 조성하여 지역주민, 방문객에게 색다른 볼거리를 제공함
- 본 연구에서 주로 다루는 자연정화시설물의 배치도는 아래와 같음
- 아산1리 유입부에 침강지를 설치하고, 양측으로 인공습지를 조성하여 친수경관의 조성, 수질개선을 도모
- 기존의 호안식생은 최대한 보존하는 측면에서 기존의 수련재배공간을 공

원화하여 연꽃공원으로 조성함

- 침강지, 인공습지와 저수지의 접하는 부분에는 식생호안을 조성하여 제당 등의 반대편에서 조망했을때 나타날 수 있는 저수지 중·원경요소를 개선시킴
- 기존녹지대와 인공습지 공간을 목재데크 등의 탐방로로 연계하여 생태탐방공간으로 조성하고, 상성리 전면부의 저수지는 생태연못으로 조성하여 농촌생태체험공간으로 조성
- 수면부에는 인공식물섬을 조성하여 수면경관개선 및 수질개선을 제고함

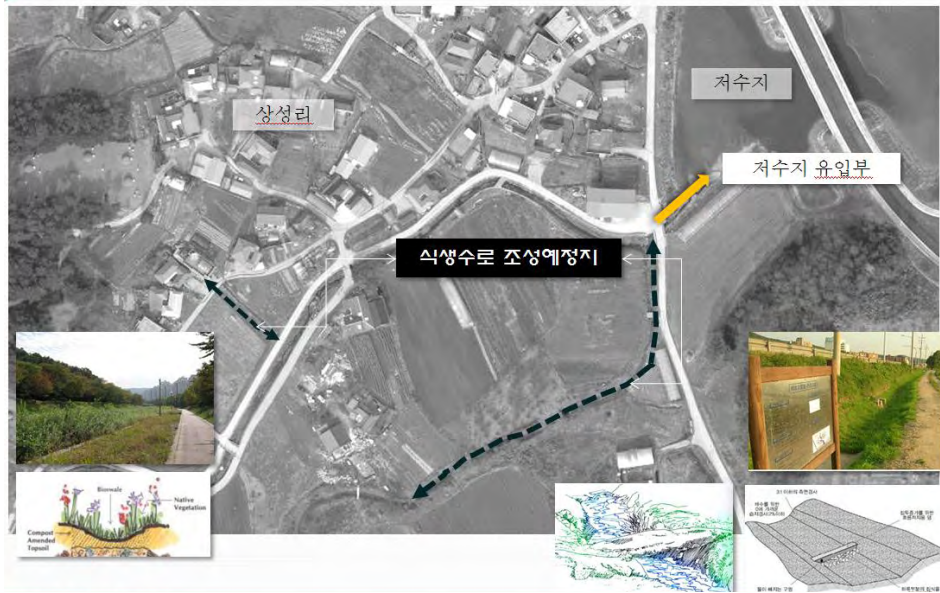


<그림3-88> 사례지구 공간구상도

(1) 식생수로 계획

- 본 사례지구의 식생수로의 적지는 아산2리에서 저수지로 유입되는 수로가 가장 적합하지만, 경사가 급하며, 대부분이 콘크리트 조성로 구성되어 있어 식생수로로 조성시에 치수와 유지관리에 어려움이 예상됨
- 본 연구에서는 식생수로 조성예정공간을 상성리마을에서 유입되는 마을안길 수로와 상성리 남측의 농경지의 배수로가 주요 조성공간으로 분석되었음
- 마을내의 식생수로의 경우에는 식생매트 등을 주변부에 설치하여 마을내 동선과 연계한 친수공간을 조성하며, 수로 측면에는 수로기능에 지장을

- 초래하지 않는 수변식생(갯버들, 꽃창포 등)을 도입하며, 마을내 안길 등과 연결할 경우에는 관목(철쭉, 회양목, 옥향 등)을 식재
- 경관작물(보리,메밀,해바리기 등)을 식재하여 지역경관보전 등도 적극적으로 고려해 볼 필요가 있음



<그림3-89> 사례지구 식생수로 계획(안)



<그림3-90> 식생수로+비오톱 연계계획

(2) 인공습지 계획

- 인공습지는 저수지 유입량이 가 큰 아산2리 수로말단부에 조성하여 저수지내로 유입되는 오염원을 차단하도록 계획하였음
- 기존의 발달된 퇴적층과 수생식물군락을 최대한 보존하는 것을 원칙으로 인공습지의 호안부를 곡선형으로 계획하였음
- 1차적으로 침강지에 유입되어 오염원을 우선제거한 다음 양측의 인공습

지1,2로 각기 유입되어 수질개선이 진행되도록 함

- 또한 인공습지내에는 관찰테크 등의 친수경관시설물이 도입될 수 있도록 함
- 사방 10m이상의 폭을 유지하고 주변식재를 위한 공간을 확보, 잠자리, 개똥벌레를 비롯한 여러 곤충류와 어류가 공존할 수 있는 소생물권 조성
- 작고 얕은 습지는 동절기에 동결과 여름의 고온으로 인해 서식생물에 치명적인 영향을 받을 수 있으므로 최소 25㎡크기와 1~5m수심을 확보함
- 잠자리 연못을 조성할 경우, 규모는 폭5m이상 확보하고 잠자리가 될 수 있는 막대기를 연못과 주변에 설치하며, 연꽃, 제비붓꽃, 창포, 미나리, 속새 등 수생식물을 식재함
- 습지의 호안은 계단호안, 환경사호안, 어소호안, 경관호안, 녹화호안, 사주부호안, 수층부호안, 하중도 식생호안, 웅덩이 등 지형에 적합한 호안을 적용함

인공호안	인공호안	다단	다단
인공호안형		계단형	
자연호안	자연호안	자연호안	중도
자연호안		중도조성형	
자연호안	저습지	자연호안	중도
저습지형		중도조성형2	

<그림3-91> 인공습지 호안유형



<그림3-92> 사례지구 인공습지 계획(안)

(다)식생여과대 계획(안)

- 식생여과대는 가능한 기존의 식생이 양호한 공간을 중심으로 조성하는 것이 바람직할 것으로 판단되어 본 연구에서는 3개공간을 식생여과대를 조성하는 것으로 계획됨
- 식생여과대 조성가능공간은 식생수로와 연계하여 식생수로가 조성되는 농경지 배수로 남측의 일부 유희농경지와 상성리 남측 유입부 전면부의 수생식생대, 아산2리 유입부의 수생수림대가 적지로 판단됨
- 이 중 아산2리의 경우에는 식생여과대 조성보다는 인공습지형태로 조성하는 것이 바람직할 것으로 판단됨



<그림3-93> 사례지구 식생여과대 조성계획(안)

3-5 친수경관시설물 유지관리

1. 취입관리

봄, 겨울, 가을 갈수기의 유량감소와 여름철 습지 표면 및 식물에서의 높은 증발산량에 의해 수위가 저하되지 않도록 수위 및 유량을 지속적으로 모니터링 하여야 함. 수위는 수위계 및 자를 이용하여 측정하고, 유량은 용기법 등 현장 환경에 따라 적당한 방법을 선택해 측정하고 변동사항을 점검한다.

- 유입수로 : 유입수로는 토사 또는 이물질의 퇴적 가능성이 높음. 특히 홍수기에는 혼탁한 물이 유입됨으로써 유입수로에 퇴적되는 양이 많기 때문에 심할 경우 시스템가동을 중단하고 퇴적물을 제거하여야 함
- 현장 설치된 인공습지 실용화시스템의 유입관로 유지관리 : 유입시설은 습지상부 200 m지점에 설치되었으며 지하에 매설된 유입관로를 통해 습지로 유입됨, 하천의 유량 및 유속증가 시 유입관로에 모래 및 이물질이 퇴적될 가능성이 있으므로 홍수기에는 유입구를 수시로 점검하고 수중에 이물질의 농도가 과다하게 존재하여 유입관로의 막힘을 유발할 수 있다고 판단될 시에는 유입구를 폐쇄하여 유입을 일시 차단하여야 함.

하천의 유량이 정상으로 회복되고 수중의 모래나 이물질농도가 감소하였을 경우 유입구와 집수조의 오염물질을 깨끗하게 제거하고 인공습지로 정상 유입시킴

- 양수장 : 유입수를 확보하기 위해 불가피하게 양수장을 설치할 경우 적정 용량의 펌프를 복수로 설치하여 운영. 과다한 용량의 펌프는 정밀한 유량조절이 어려운 것 뿐 만아니라 펌프 수명에 영향을 줄 수 있기 때문에 향후 펌프 선택 시 반영하도록 하여야 함. 특히 하천 수변에 설치할 경우 홍수에 의해 침수되지 않는 구조물을 가져야 함
- 유출수로 : 유출수로는 시스템의 처리효과를 육안으로 확인하기 위해 바닥에 밝은색 자갈을 깔 작은 연못이나 어도형식으로 조성할 수 있지만 소규모일 경우 파이프를 설치할 수 있음. 대규모로 조성될 경우 식물잔재 등의 하천 또는 저수지의 유출을 막기 위해 스크린을 설치할 수 있으며 정기적으로 점검한다. 유출수로와는 별개로 홍수기 시스템이 물에 잠겼을 경우 신속하게 물을 배제할 수 있는 비상 수로를 설치하도록 함

2. 수위 관리

식재직후에는 식물의 성장에 따라 수위를 조금씩 증가시켜야 하며, 의도하는 식물종 조성을 유도하고 잡초를 제어하기 위해 식물 성장에 따라 정확한 수위조절이 필요하다. 또한 습지의 유지관리를 위해서는 물을 완전히 배제해야 하는 경우도 있어 다양한 수심을 유지할 수 있는 수위조절 구조물의 설치가 필요하다.

일반적으로 식물의 완전한 정착은 약 2년을 거쳐야 평형상태에 이르는 것으로 알려져 있어 식생초기부터 유입수질, 식물생존 및 번식률에 대하여 지속적인 관리를 수행하여야 한다.

3. 식생 관리

가. 수생식물

- 여름철에 성장한 수초는 겨울철에 말라서 연못 내에 잔존하게 되는데, 이것은 부영양화를 가져와서 경관 및 수질을 악화 시킬 수 있음
- 2~3년 주기로 적절한 크기로 수초를 깎아주어야 하며, 이와 함께 저수지내에 오랫동안 쌓인 진흙을 걷어내 주는 것이 좋음

- 깎기는 늦여름부터 시작하고 겨울철에 마무리하는 것이 좋으며, 부수식물이 지나치게 번성하였을 경우에는 부수식물이 차지하는 면적이 수면적의 1/3이하가 되도록 수시로 제거해 줌
- 바람이 많이 부는 곳에서는 부수식물이 한쪽으로 몰리지 않도록 그물망을 돌 위에 띄우고 그물망 사이에서 부수식물이 자라도록 함
- 정수식물의 생육밀도가 지나치게 높아 수생동물이나 양서류의 이동에 장애를 줄 때에는 부분적으로 제거하거나 솎아줌

나. 초본식물

- 초본류의 특성을 연중 발휘할 수 있도록 배식계획을 수립하며, 초화류 관리일정을 수립함
- 야생초지는 별도의 식재 및 인위적 관리보다 자연천이가 일어나도록 유도함
- 습지토양은 가급적 현지에서 조달하며, 토양에서 발생하는 외래종은 주기적 제거
- 일부 조류는 다양한 초장이 유지되는 초지를 선호하므로 야생초화류의 경우 부분적으로 초장의 길이를 조절해 주면 생물다양성을 증진시키는 데 기여할 수 있음
- 우점종이 출현하여 식물종이 단순화 될 우려가 있을 때에는 우점종의 수를 줄여주고, 우점종의 확산을 방지할 대책을 세움

다. 식물보식

- 식재 후 년 중 두 번의 성장기 이후에 식재지역의 최소 50% 식생유지 조건이 달성되지 않는다면 추가로 보식을 실시하여야 함
- 보강식재를 할 때 3인치 포트를 사용할 경우 식재초기 충분한 수분공급이 가능하도록 깊이 식재하는 것이 바람직하고, 노지에서 1년이상 성장해서 뿌리와 잎이 견고한 식물을 채취해서 사용할 경우 고사율을 줄일 수 있음

라. 식물절취

- 식물을 절취해줌으로써 식물의 2차 성장을 유도하여 물질의 흡수 및 연간 생물량을 증가시키고 도복으로 인한 물질의 재용출을 방지함
- 따라서 인공습지에서 식물의 제거는 영양염류를 최대로 보유하고 있을 때(7월

말)와 식물의 생장이 끝났을 때(11월말)로 1년에 2회 제거가 적당하며, 식물의 생장이 끝난 후 식물의 제거는 동절기 보온재역할 측면에서는 다음해 봄에 제거하는 것이 적당하지만 수표면 동결에 의한 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 휘발성 제한과 영양염류 재용출을 막기 위해 겨울에 하는 것이 추천된다. 정연숙 등(1999)의 연구에서는 우리나라 습지의 주요 우점종인 갈대, 줄 및 애기부들을 대상으로 하여 지상부를 제거함으로써 생산력과 영양염류 제거기능에 미치는 영향을 분석하여 관리의 경제적인 측면에서 갈대는 5~6월과 10월의 2회, 줄과 애기부들은 8월과 10월의 2회 제거하는 것을 추천하고 있다. 실용화시스템에서 추천되는 식물절취와 관련된 연구결과와는 처리하고자 하는 대상수의 차이 그리고 관리를 목적으로 한 절취시기의 결정 등에서 다소 상이한 결과이다.

마. 침입식물 관리

인공습지에서 침입종을 조절하는 방법은 침입식물의 생장을 감소시키고 더 확산되는 것을 막는 것이다. 자연적으로 유입되는 식물들에 대해 과도한 제어방법을 도입하는 것은 오히려 인공습지가 가지는 수질정화효과와 자연스러움을 훼손하게 되므로 침입식물의 특성을 정확하게 파악하여 최소한의 인위적인 제어방법을 도입하도록 한다.

바. 병충해 관리

습지에서 초식동물에 관련된 문헌에 따르면 무척추동물과 척추동물이 정수 식물 생물량의 5~83%까지 손상시킬 수 있다. 이러한 생물들은 습지식물을 완전히 감소시키지 않지만 식물 개체군의 일부를 충분히 감소시키는 추가적인 스트레스로 작용하여 잡초가 침입할 수 있는 개방지역을 만든다. 또한 식물의 생물량 감소는 다른 스트레스를 주는 요인과 결합하여 습지식물 피도에 장기적 손실을 초래할 수 있다.

다른 스트레스를 주는 요인은 녹병균, 곰팡이, 바이러스, 박테리아를 포함하는 식물 병원균으로서 관찰이 더 어렵다. 이러한 병원균은 특별히 치명적이지는 않지만 습지식물 군집에서 일반적으로 내재하는 생물이고 다른 요인으로부터 스트레스를 받고 있는 식물에게 추가적인 스트레스를 주고, 식물 병원균의 전염은 종종 연령, 영양염류부족, 초과수심 때문에 이미 스트레스를 받고 있는 식물들과 연관되어 일어나기도 한다.

사. 생태적 수질정화 비오톱 관리

생태적 수질정화 비오톱은 지형,수문을 고려하여 설계·조성함으로써 overflow나 건천화가 발생하지 않도록 한다. 이를 위해 전문가의 자문 및 설계가 이루어져야 한다.

주기적인 동식물종 개체변화 파악, 영향요인의 분석을 통해 생태시설고유의 기능을 잃지 않도록 해야 한다.

생태환경의 변화 발생시 원인규명을 통해 이용프로그램을 조정하며, 조치 후 회복되지 않을 경우, 전문가 조사를 통해 수용인원감축, 적절한 휴식기간 확보 등 추가조치를 취하도록 한다.

생태적 수질정화습지는 완공된 후 일정기간동안 운영을 하면서 침강저류와 개수면, 침전지 등에 부유물질이 쌓이게 되므로 퇴적심 측정표시장치나 측정장치를 사용하여 정기적으로 체크해야 한다.

가급적 관리를 최소화 할 수 있도록 시설물의 배치를 지양하였으나, 최소한의 시설물에 대한 관리방안이 마련되어야 한다.

나무, 돌 등 자연소재를 활용한 시설물은 외부의 장기간 노출시 부식이 우려가 있으므로 정기적으로 점검한다.

4. 경관관리

시설 내에 쓰레기가 쌓이거나 잡초가 자라 경관을 해치지 않도록 관리하여야 한다. 특히 유출입수로나 습지 내부에 쓰레기가 방치되면 관이 막히거나 물의 흐름에 영향을 주기 때문에 관리인을 두어 상시 점검해야 한다.

정기적인 시설물의 점검은 관리인을 두고 일일단위의 일상점검을 하기보다는 주단위 시설점검 후 문제발생시 상시 운영하는 방안이 있다. 유지관리인을 운영하고자 한다면 다음과 같은 사항에 대해 기본지식을 갖출 수 있도록 최소 1년마다 정기적으로 교육을 실시해야 한다.

- 시설물 정상가동 상태를 판단할 수 있는 능력 배양
- 문제발생시 긴급 대처요령 숙지

또한, 정기점검의 경우 습지에 대한 지식이 어느 정도 있는 전문가에 의해 이뤄지며, 시설의 전체적인 운전상황과 시스템의 문제점을 분석하고 더 효과적인 운영관리를 위해 매월 1회 이상 모니터링을 실시하고, 점검결과는 모니터링 요소와도 결부되며 습지의 장기적 운영시의 유지관리 비용 등을 추정할 수 있는 기초자료를 제공한다.

5. 이용자관리

가. 이용자 안전성확보

수심이 1m이상으로 어린이들의 안전사고가 발생할 우려가 있는 지역은 접근 방지시설이나 안내판 설치한다.

웬스의 설치는 어린이의 안전성확보와 이용자의 접근을 통제함으로써 식물과 동물의 서식처를 보호할 수 있다.

나. 생물의 서식을 위한 일반이용자 관리

출입제한을 위한 웬스나 안내판 등을 설치하고 생물의 서식특성을 고려한 관찰로를 조성하도록 한다.

관찰로의 조성은 가급적 데크를 설치하여 조성하되, 생태연못의 중앙을 관통하는 방법보다는 호안의 일부를 따라가게 하는 방법이 좋다.

다. 환경교육을 통한 이용자 관리

생태연못의 조성현황과 함께 서식하는 주요생물종의 특성을 제시할 수 있는 안내판을 설치하여, 이용자의 행위가 생물의 서식에 미치는 영향을 파악할 수 있도록 한다.

이러한 환경교육은 생태학자와 같은 전문가와 함께하는 것이 이상적이다.

6. 유지관리비

유지관리비는 침강연못-지표흐름-지하흐름인공습지의 활용목적에 따라 크게 달라질 수 있다. 예를 들어, 만약 유입 오염물저감을 위해서라면 습지는 자연정화능력을 채택하였으므로 일부 시설물 보수비만 소요될 것이다. 이 또한 초기 몇 년간 보수가 이루어지면 그 이후로는 비용이 발생하지 않을 것이다.

그러나 자연학습장, 생태공원 등으로 연계하여 운영한다면 습지의 잡초관리가 함께 이루어져야 하므로 관리인 인건비, 식물보식비, 시설물 보수비가 소요될 것이다.

이러한 유지관리비의 절감을 위해서는 지역주민들의 직접적인 참여가 절실할 것이다.

7. 지역주민참여형 유지관리모델

농업용저수지의 친수공간의 구성에 따른 가장 이상적인 유지관리는 지역주민

들이 자발적으로 참여하는 유지관리 시스템일 것이다.

지역주민들의 참여를 통한 유지관리는 우선 근거리 유지관리로 수시 유지관리가 가능하며, 강우시, 홍수위 등의 긴급 상황 발생에 따른 유지관리 및 상황대처가 신속할 것이다.

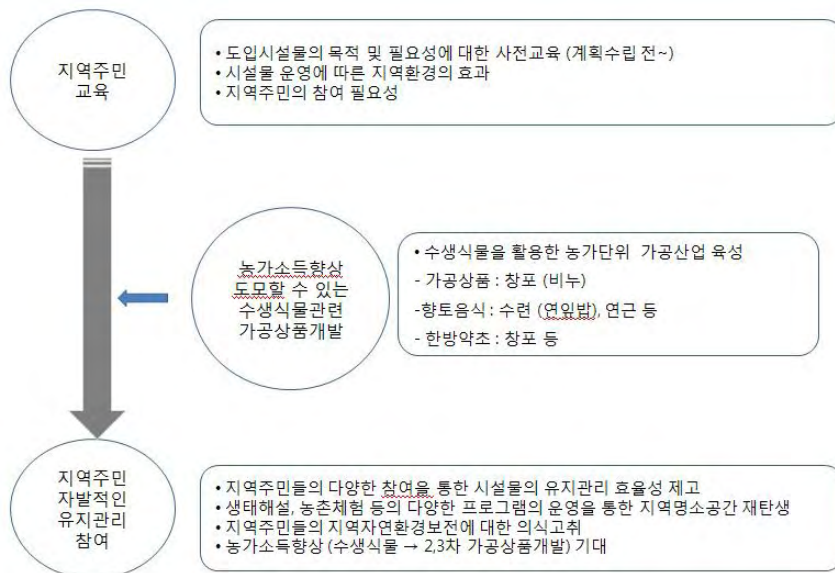
지역주민들의 유지관리에 참여를 위해서는 우선 지역주민들의 의견수렴을 계획수립 이전부터 진행되어야 할 것이다.

계획수립시 지역주민들에게 자연정화시설의 목적과 필요성에 대한 교육과 의견수렴이 지속적으로 시행함으로써 지역주민들에 농업용저수지 친수공간의 중요성과 향후 진행상황을 예측하게끔 한다.

이와 더불어 지역생태계의 현황 및 보전방안, 활용방안 등에 대한 생태해설가 프로그램을 개설하여 지역주민중 일부를 생태해설가로 양성하여 지역주민들에게 지역의 자연자원과 생태자원의 중요성을 지속적으로 숙지시킨다.

가능하다면, 수련, 창포 등의 수생식물을 활용한 농산품의 개발 등을 통하여 지역농가의 소득창출과 경제 활성화에 도모하는 것도 강구하여야 한다.

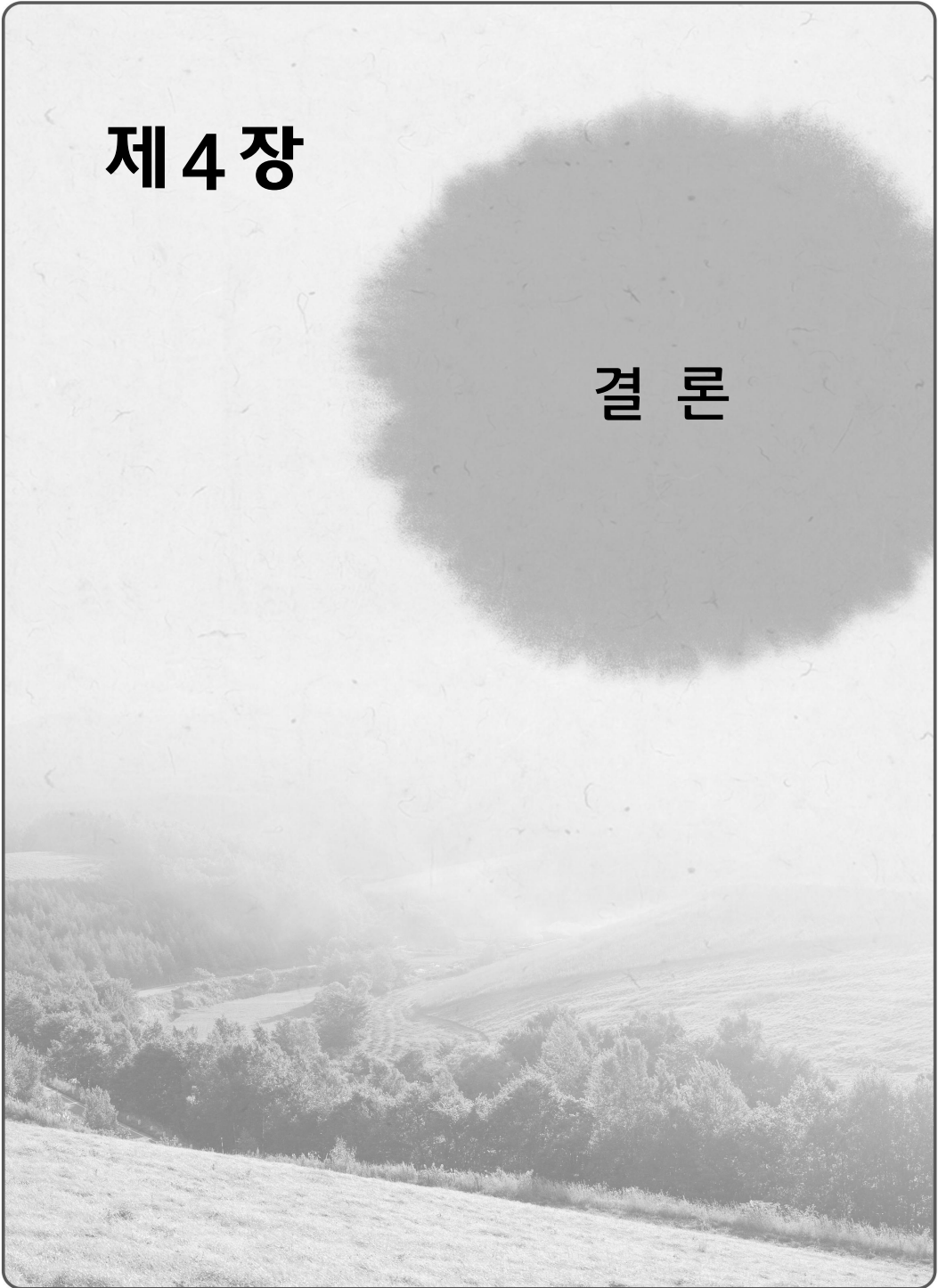
위와 같이 사전에 다양한 교육과 농가소득과 연계, 생태해설사 양성 등이 진행된다면, 지역주민 스스로가 지역내 친수공간에 대한 유지관리에 참여하게 될 것이며, 이는 바로 지역 환경개선, 경관개선에 가장 이상적인 성과를 기대할 수 있다.



<그림3-94> 주민참여형 유지관리 방안(안)

제 4 장

결 론



제4장 결론

본 연구 과제를 수행하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

농촌지역 물 환경정비가 건전한 농업·농촌의 창출·발전에 공헌하기 위해서는 농촌 물 환경의 개별 기능성이나 효율성을 특화하지 말고 농촌지역 환경을 종합적으로 이해하여야 하며, 수질개선 시설 설계 등에 있어서 규격화와 획일화를 피하여야 한다. 계획수립 시 주민의 참여를 적극적으로 유도하여 생명력 있는 계획이 되어야 하며 계획방법의 확립 및 기술적 축적을 기여하도록 하여야 한다.

한편 농촌지역에 부존하는 풍부한 생태계와 아름다운 경관에 배려한 농업용 저수지 의 수질개선이 중요하며, 생산의 장과 생활의 장으로써의 기능이 합쳐진 농촌지역의 특성상 생산기반과 생활환경을 일체적인 관점에서 접근하는 것이 합리적이고 중요하다. 궁극적으로는 쾌적한 농촌지역 환경조성을 위해서는 지역경관의 기반되는 농업용수, 농업시설 등을 활용한 수질개선계획이 되어야 하며 지역에서 산출하는 소재를 이용하는 것도 매우 중요하다.

생태공학적 수질개선기법으로 식생정화시설인 식생여과대 및 식생수로의 기본 개념, 오염물질 제거능력, 장단점, 적용성 및 타당성 평가, 설계기준, 설계과정, 개략시방, 유지관리, 모니터링 계획 등을 제시하였다.

· 식생정화시설의 계열화

식생정화시설의 특성상 단일공종으로 수질개선 목표를 달성할 수 있는 곳은 한정적일 것이므로 2개 이상의 구조적(경우에 따라서 비구조적) 저감시설을 직렬연결하여 활용할 수도 있다. 이와 같이 계열화된 비점오염 저감시스템은 수질-수량관리 목표달성을 위하여 동원 가능한 설계개념과 비구조적/구조적 저감시설로 구성된다.

-오염물질 발생원(runoff and load generation)에서는 문제의 근본이 되는 오염물질 발생량의 저감에 초점을 맞춘다.

-다음 단계에서는 전처리 시설이 위치하며 여기서는 처리목표의 달성을 의도하기 보다는 WQv(처리하여야 할 강우유출수의 양) 처리 요구수준 달성을 보완해주기 위해 적용된다. 이러한 단계에서 검토되는 기술은 다음과 같다.

- 근본적으로 강우 유출발생량을 저감하여 궁극적으로 WQv를 저감
- 전처리를 제공하는 제한된 용도의 저감시설
- 일반적으로 널리 적용되는 저감시설 중 침사지(forbay)와 같은 전처리시설

-마지막으로 주처리는 일반 저감시설의 적용을 통하여 이루어진다. 유출제어 시스템의 적용목표(비점오염처리/홍수제어)와 전처리 시스템에 따라서 주처리 시스템의 용량이 결정된다.

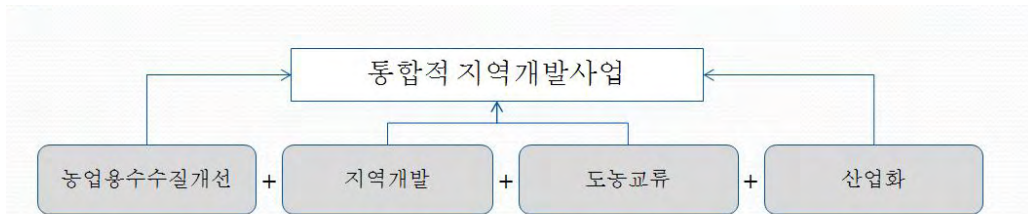
◦ 다단형 저감시설의 적용

또한 현장여건에 따라서 다양한 형태의 저감시설 조합하여 다단형 저감시설의 적용이 가능하다. 식생수로, 식생여과대는 WQv 처리기준을 충족시키기 위하여 다른 저류형 시설과 결합될 수 있으며, 처리목표를 달성하지 못할 경우 직 하류에 다른 구조적 시설을 추가하여 최종 목표를 달성할 수 있게 하여야 한다.

◦ 통합적 개발 개념 도입

-자연정화시설물이 농업용저수지로 도입시 친수경관자원으로써 활용될 수 있는 방안을 제시하였다. 최근 들어 수질개선을 목적으로 도입되는 자연정화시설물을 친수경관시설물으로써의 활용을 위해서는 단순히 자연정화시설물 도입공간의 정비를 통한 것이 아니라, 1차적으로 저수지, 2차적으로 주변마을까지 포함하는 친수공간의 종합적 정비가 이루어져야 할 것이다.

-현재에는 자연정화시설물의 농업용수수질개선사업의 개별사업으로 진행되고 있으나, 2010년부터 시행되는 포괄보조사업 제도 하에는 좀 더 통합적인 지역개발사업으로 진행되는 것이 바람직할 것이다.

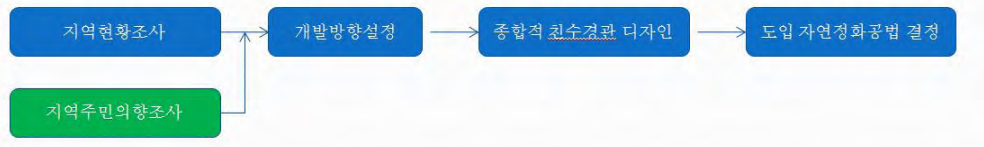


<그림 4-1> 통합적 지역개발 개념도

◦ 내생적 발전 개념 도입

-수질개선을 위한 자연정화시설물 계획수립시의 절차도 좀 더 개선이 필요할 것으로 판단되며, 지역주민들의 의식고취 및 참여가 이루어지지 않는다면 수질개선사업 시행에 어려울 것이므로 이에 계획초기단계부터 지역주민들에게 수질개선의 필요성 및 저수지 공간의 중요성 등에 대한 홍보 및 교육 프로그램을 수행하여야 한다.

-자연정화시설물의 도입 시에도 지역주민의향조사를 통하여 설치목적 및 배경을 인지시키고, 영농활동과의 연계성을 고려해서 계획 및 사업시행이 이루어져야 할 것이다.

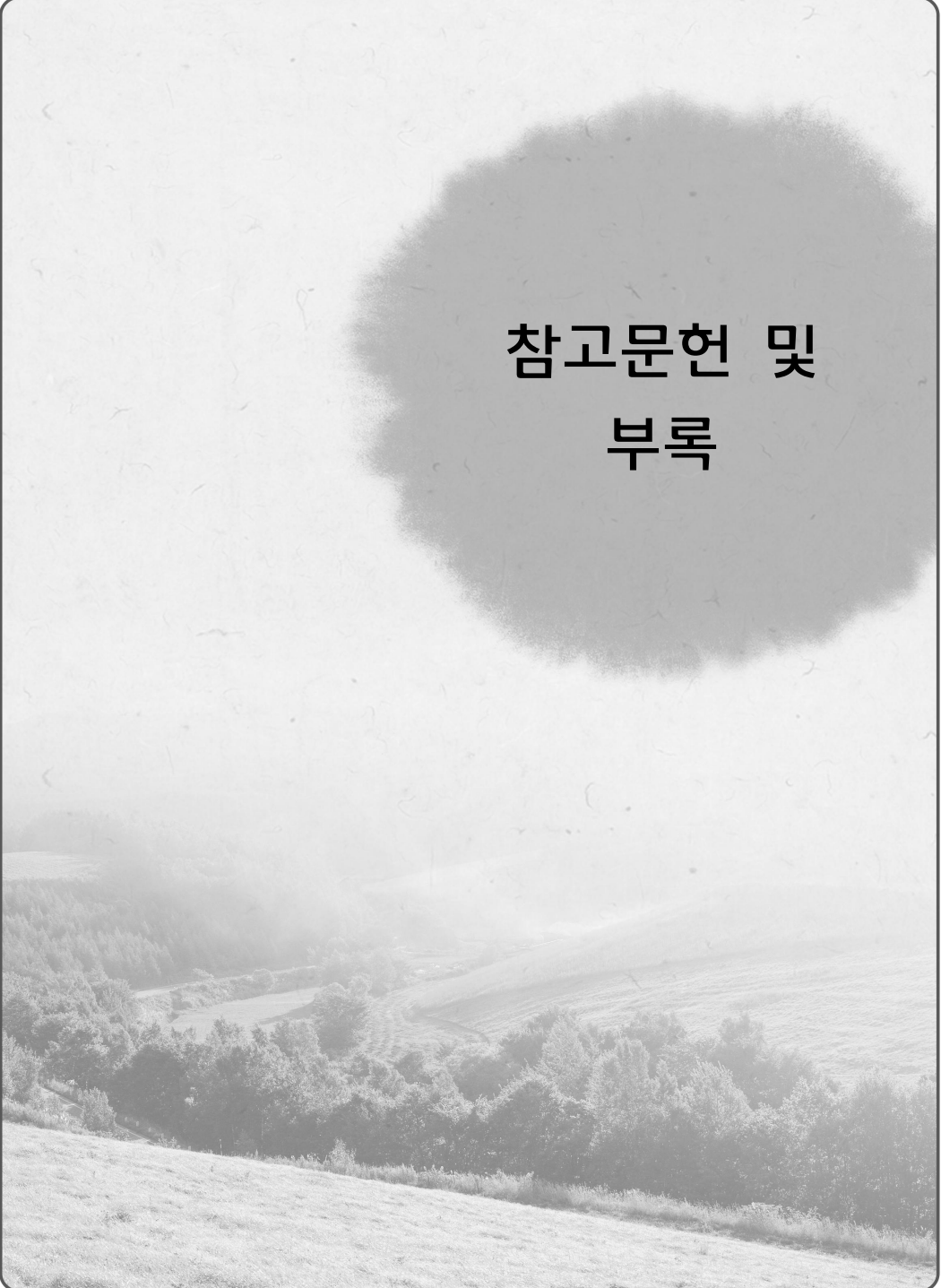


<그림 4-2> 농업용저수지 친수경관 계획수립 절차(안)

- 지역 생태계의 거점자원화
 - 지역의 거점생태계공간으로 조성될 수 있도록 다양한 수변식생의 생육조건을 개선·조성하여야 하며, 면적 생태공간, 선적 생태공간, 점적 생태공간 등 지역 내 다양한 생태공간으로 연계한 농어촌지역 생태종합계획 하에서 농업용저수지의 수질개선 및 개발이 시행되는 것이 바람직할 것이다.
 - 이와 더불어 지역 내의 생태트레킹 등의 주요 거점공간으로 조성하여 도시민들이 쉽게 찾아와서 농어촌지역의 생태공간을 체험·학습할 수 있는 공간으로 조성되어야 할 것이다.
- 농업용저수지 입지여건에 따른 개발지표 설정 시급
 - 최근 들어 무분별한 농업용저수지 개발 등이 각 지방자치단체에서 시행되고 있으며, 대부분의 사업내용이 관광 등을 목적으로 하고 있으나 이에 친수경관형, 생태보전형 등 다양한 유형의 저수지 수변개발이 이루어질 수 있도록 최소한의 평가지표 및 선정지료를 개발하여 이를 통한 저수지의 특성을 판단하고 사업을 시행할 수 있도록 하여야 한다.
- 지역농가 소득향상을 수생식물의 활용방안

또한 저수지 수변식생을 통한 지역농가의 소득창출을 위한 다양한 2,3차 산업의 개발을 국가차원에서 지원함으로써 지역농가의 소득증대 및 지역경제 활성화를 도모하여야 함

 - 전남 함평군 : 창포를 활용한 가공상품 개발
 - 전남 무안군 : 백련을 통한 지역산업육성 및 지역홍보



참고문헌 및
부록

<참고문헌>

1. 농림부, 한국농촌공사, 농촌지역 비점오염관리 가이드북, 2007.
2. 환경관리공단, 2004년도 한강수계 비점오염원관리시설 시범설치사업 기본 및 실시설계보고서, 2004.
3. 건설교통부, 국가하천 도시구간 하천정비 기본조사(2권역)보고서, 2004.
4. 환경부, 팔당상수원 비점오염원 최적관리사업 기본계획 및 타당성조사 수립 보고서, 2000.
5. 환경부, 흙탕물 저감시설 표준설계지침 작성용역, 2006.
6. 환경부, 비점오염시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼, 2008.
7. 한국환경정책·평가연구원, 수질개선을 위한 수변녹지의 조성 및 관리방안 연구, 2000.
8. 공동수의 5, 호소 내 오염하천 유입부의 식물에 의한 정화처리 연구 (Ⅱ)-수생식물을 이용한 2차 하수처리 방류수의 정화, 1996.
9. 공동수의 6, 호소 내 오염하천 유입부의 식물에 의한 정화처리 연구 (Ⅲ)-오염하천 유입부의 물질순환 및 식물의 정화능 평가, 1997.
10. 국립환경과학원, 수 환경에 따른 수생생물의 분포특성, 2006.
11. 윤진옥, 도농교류활성화를 위한 저수지 수변개발 방안, 2009
12. Seo, Seong Cheol, Monitoring Result of Demonstration Devices for Diffusion Pollution in the Han River Basin, 2009.
13. 전라북도, 만경강 생태하천가꾸기사업 기본계획연구 및 기본설계, 2001.
14. 우효섭, 수변복원의 이해-미국의 수변복원 가이드라인을 중심으로, 2000.
15. 오종민, 수변완충지대를 이용한 비점오염물질 유입저감과 수변서식처 조성, 2005.
16. 건설교통부, 하천공사 설계실무 요령, 2006
17. 김종근, 도시하천변의 식물생태계 특성에 관한 연구, 1998.
18. 환경부,환경관리공단, 비점오염관리를 위한 강우유출수 관리 매뉴얼, 2003.
19. 조동길, 생물다양성증진을 위한 습지식생의 관리모델에 관한 연구, 2000.
20. 환경부, 수로형 인공습지를 이용한 하천수질 정화기술 개발, 2007.
21. 조동길, 소택형 습지의 복원 및 창출을 위한 생태적 식재설계기법에 관한 연구, 2004

22. 건설교통부, 자연식생을 이용한 하천 및 하수정화기술 실용화, 2004.
23. 전승훈, 천변저류지조성의 생태적 접근방법, 2007.
24. 김종원, 이율경, 하천습지의 관리기본계획에 대한 생태학적 접근, 2002
25. 전북대학교, Vegetation Filtering System(VFS)을 이용한 하천유역의 환경오염개선 기술개발, 2004.
26. 환경부, 수생태계 건강성 회복을 위한 하천복원 모델과 기준 조사계획 연구-모델 및 계획, 2007.
27. 환경부, 수변구역 해외출장 보고서, 2007.
28. (재)동화기술, 자연환경복원의 기술, 1999
29. Simon bell. Design for Outdoor Recreation.
30. 농어촌연구원. 농촌테마공원 조성방안 연구. 2006
31. 농어촌연구원. 농촌지역 수변공간 활용방안 및 사례연구. 2006
32. 환경부. 비점오염원관리 업무편람. 2006
33. 경기개발연구원. 생물서식공간조사 및 조성지침연구.2003
34. 농업기반공사. 어메니티증진을 위한 농촌경관보존 및 관리방안연구, 2005
35. 환경정책평가연구원. 저수지 비점오염원 저감을 위한 인공습지의 설치 효과 및 개선방안. 2007
36. 환경부. 사람과생물이 어우러지는 자연환경의 보전·복원·창조기술의 개발. 1997
37. 구진혁. 농촌지역 생태공원 조성기법에 관한 연구. 1996. 고려대
38. 한국토지공사, 저류지공원조성계획에 관한 연구, 2006
39. 한국조경학회, 조경설계기준. 1997

부록1. 용배수로, 호소, 마을동산의 환경보전과 대책

현재 환경문제는 도시지역 뿐 만 아니라 농촌지역에서 까지 확대되고 있다. 따라서 농촌의 생활환경을 개선하기 위한 설계에서도 환경보전의 관점을 빼놓을 수 없다.

생태계보전과 대책의 필요성

- 유전자 보고로서 생태계를 보전할 필요가 있다.
- 생태계의 보전은 인간의 인격형성에 기여한다.

선진국을 중심으로 한 경제발전이나 개발도상국의 인구증가는 대기오염, 수질오염이라고 하는 국지적인 공해문제를 시작으로 오존층의 파괴, 온실효과에 의한 기온의 상승, 사막화의 발전, 열대우림의 감소라고 하는 지구적 규모에서의 환경문제를 일으키고 있다. 이러한 지구적 규모에서의 환경문제의 하나로써 생물종의 절멸을 들 수 있다. 현재 열대우림의 감소에 따라서 하루에 10 ~ 300종류의 생물이 절멸되고, 금후 20 ~ 30년 사이에 지구상의 생물의 1/4이 절멸될 위험성이 있다고 하고 있다.

종래 이들 환경문제는 독립적인 문제로 다루는 경우가 많았고, 종의 절멸에 대해서도 최근까지 그다지 의식하지 못했다. 이것은 생태계의 빈곤화 즉, 야생생물의 개체수 및 종의 감소가 인간생활과 밀접하게 연결되어 있다고 하는 인식이 약했기 때문이다. 인간에게 큰 이용성이 없는 생물이 절멸해도 경제나 사회의 발전에 그다지 큰 영향을 미치지 않는다고 하는 인식이 일반적이었다고 할 수 있다.

그러나 현재는 식물품종개량의 육종재료나 의약품의 재료로서, 야생종이나 미생물이 주목을 받게 되어 지금까지 별 효용성이 없다고 여겨졌던 생물이 유전자원으로서 주목을 받게 되었다.

종의 절멸은 그대로 유전자원의 감소로 연결되기 때문에 유전자보호를 위해 식물의 종자나 미생물을 일정조건하에서 보전하는 것이 선진국에서 이루어지고 있다. 그러나 140만종인 것으로 이야기되고 있는 모든 생물종의 다양한 유전자를 인공적으로 보존하는 것은 불가능하므로 이들 귀중한 유전자 균을 후세에 남겨주기 위해서는 생태계의 보전이 반드시 필요하다.

또한 이러한 직접, 물질적인 필요성에 더하여 다양한 자연을 보전함으로써 균형 있게 생태계를 보전해 나가는 것은 인간의 인격형성이라고 하는 교육적인 효과를 들 수 있다. 이것은 인간도 또한 생물로서 생태계의 일부이므로 인격형성에 있어서도 건전한 생태계가 유지될 필요가 있는 것으로 생각되기 때문이다.

본 절에서 이야기 하는 생태계 보전도 그 근원은 자연보호운동으로부터 출발한다고 할 수 있다. 자연보호운동은 주로 「우수한 자연환경」을 그 대상으로 하여 실시되어 왔다. 여기서 말하는 「우수한」이라고 하는 의미는 먼저 학술적으로 귀중한 동식물이 자연 상태로 존재하는 장소라고 할 수 있다. 일반적으로 대부분은 인간의 손을 타지 않은 원생환경이라고 할 수 있다. 이에 대해 최근에는 직접인간의 생활과 관련된 수준에서의 환경에도 주목하고 있다. 이와 같은 환경은 본래 그와 같은 귀중한 생물도 특수한 경관도 없는 시가지 주변에서 흔히 볼 수 있는 평범한 자연환경이다.

어떤 환경에 있어서도 생태계보전은 중요한 과제라고 할 수 있는데 일상 설계 업무의 계획대상지를 염두에 둔다면 농촌지역의 자연환경에 대하여 기술할 필요가 있다고 생각된다. 일반적으로 인간의 손이 닿으면 생태계가 나빠진다고 생각할 수 있으나 농촌을 구성하는 포장, 전통적인 가옥, 용배수로, 호소, 산촌 등의 다양한 요소가 일체가 되어 풍부한 생태계를 존속시켜오고 있는 것도 사실이다. 이것은 예부터 농촌의 주문이 진정한 의미에서 자연과 공존해 온 하나의 증거이다. 이 자연과 공존하는 시스템도 근년의 농촌의 도시화가 진행되면서 해체되고 있다.

본 절에서는 농촌을 구성하는 제요인 중에서 용배수로, 호소, 마을동산의 생태계 보전을 위한 방법을 검토해 보고자 한다.

(부록 표-1) 용배수로, 호소, 마을동산의 생태계 보전을 위한 방법

구분	용배수로 정비	호소정비	마을동산 정비
요점	① 다양성 부여 ② 생물의 상호관계 파악 ③ 수생생물의 서식 환경 창출	① 연안대 식물군락의 생태적 기능 ② 풍요로운 수변의 자연 환경조성 기반육성 ③ 군락의 질과 구조와 적정 규모	시대의 추이에 따라 마을동산의 역할의 변화 · 낙엽활엽수림과 생태계 · 인간의 유지관리를 전제로 하는 마을동산의 생태계
방법	① 생물과 수로환경 파악 ② 구조물의 파악 ③ 공법의 파악	① 수변식물의 파악 ② 연안대 식물군락과 서식환경의 보전 ③ 식재계획 수립 ④ 식재기반 정비	① 정비목표의 설정 ② 마을동산의 특수한 생태계의 파악 ③ 구체적인 정비 포인트 추출 ④ 마을동산 정비유의점
유지관리	① 호안의 유지관리계획 ② 식재수종과 유지관리 계획	① 식재식물의 초기대응 ② 식재식물의 가치부여후의 유지관리	① 전형적인 마을동산의 유지관리 작업 ② 임상별 유지관리 작업

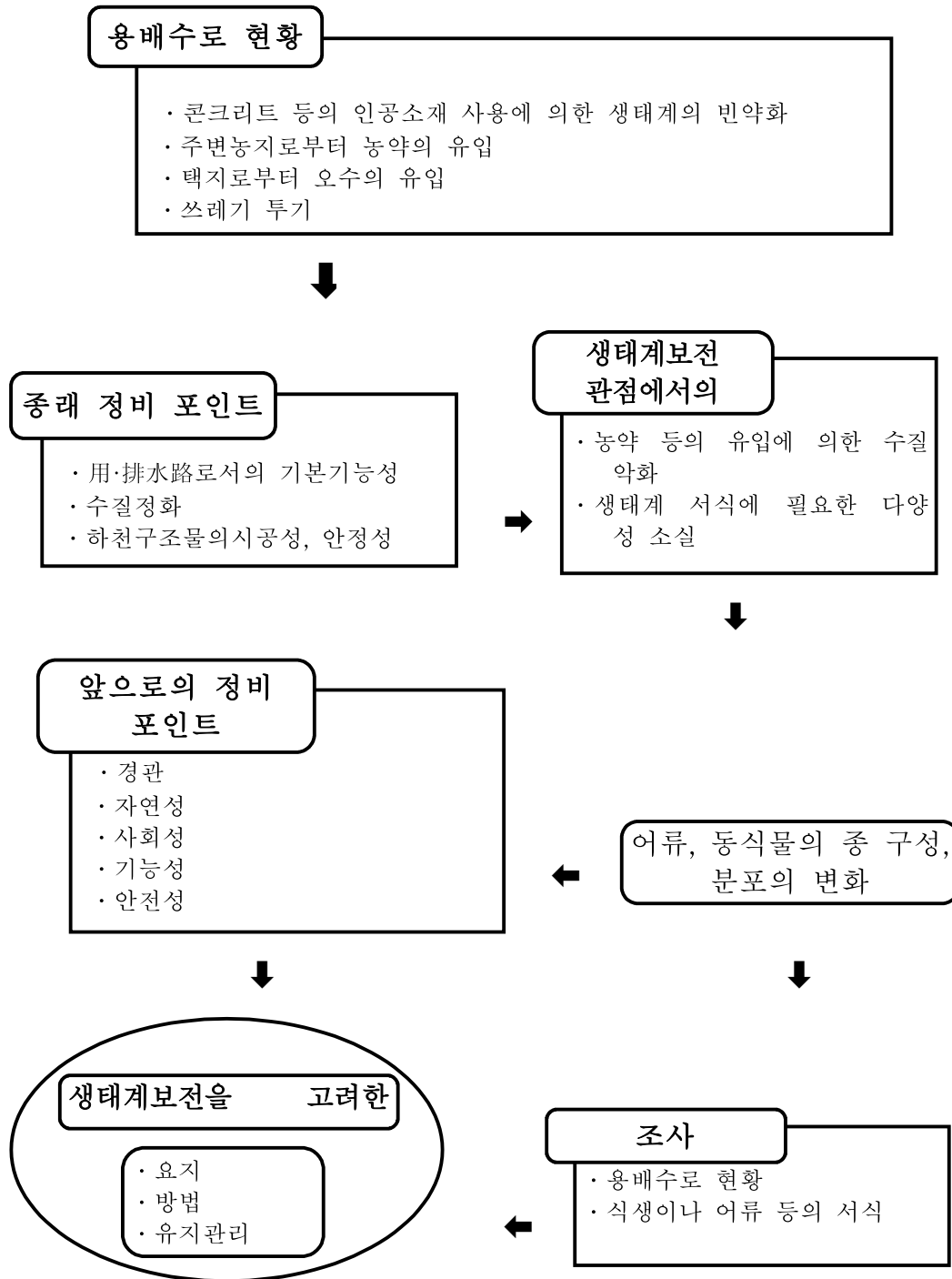
1-1 용·배수로 정비

생태계보전을 목적으로 한 용·배수로 정비는 그 기본기능을 중시하고, 경관, 환경 등에 주의를 기울인 계획을 수립할 필요가 있다. 여기서는 용·배수로 정비에 대해 다음의 3가지 항목에 대하여 설명한다.

- (1) 용·배수로 정비의 요점
- (2) 용·배수로 정비의 방법
- (3) 용·배수로 정비 후의 유지관리

용·배수로는 인공적으로 조성된 수로이기 때문에 수변부나 하상이 콘크리트로 되어 있거나 선형이 직선으로 되어 있어 식생이 들어 올 수 없는 상황인 경우가 많고,

생물의 종류도 제한되어 있다. 따라서 생태계보전을 목적으로 한 정비계획에서는 용·배수로의 깊이나 폭 등의 조건, 규모, 유량이나 주변의 자연환경을 고려하고, 이에 더하여 자연하천 등의 유황이나 형태를 모델로 하여 수로자체의 자연회복력을 전제로 한 계획을 수립한다. 또한 계획대상지역 만을 보고 기획을 수립하지 말고 용·배수로 전체를 보고 정비해야 한다.



<부록 그림 1> 생태계보전을 위한 용배수로 정비계획

(1) 용·배수로 정비의 요점

인공소재로 되어 있는 용·배수로에서 생태계는 극히 제한된다. 생태계보전을 생각한 수로정비를 하는 경우에는 그 형태, 법면의 식생, 건설소재 등에 다양성을 갖도록 할 필요가 있다. 그 요점은 다음 3가지 항목이 있다.

- ① 다양성 부여
- ② 생물 상호간의 관계 파악
- ③ 수생생물의 서식환경 창출

① 다양성 부여

생태계보전을 생각한 수로 개보수의 중요한 키워드는 「다양성」이다. 자연하천은 다양하게 사행을 반복하고, 수류의 변화가 일어나며, 여울과 소가 반복적으로 나타난다. 이에 따라 수심도 변화하고, 정수역이나 유속이 빠른 소 등이 생기고, 수생생물의 생활의 무대가 되고, 그 다양한 흐름이 퇴적물에도 다양성을 갖게 한다. 용·배수로에서도 수질의 정화나 기본기능인 용·배수 기능에만 주안점을 두지 않고 금후에는 다양성을 부여할 수 있도록 정비하는 것이 바람직하다.

또한 수로형태의 다양성뿐만 아니라 법면의 식생에도 다양성을 빼놓을 수 없다. 수생생물에게 식생은 먹이연쇄에서 빼놓을 수 없는 것이며, 외부의 적으로부터 몸을 보호하는 은신처가 되고, 곤충, 조류의 생활권으로서도 대단히 중요하다. 습도가 높은 육지나 얇은 수중에서 생육하는 식물의 종류가 많고, 군락의 면적이 넓으며 그리고 고목(高木)이나 저목(低木)이 혼이 혼재하는 등 군락의 구조가 복잡하게 될수록 서식환경은 풍요롭게 되어 생육하는 동물의 종류도 많아진다, 또한 수로의 흐름이 완만하고 수위가 안정되어 있으면 호소와 비슷하게 다양한 종이 서식하는 식물군락이 나타나고, 흐름이 빠르면 빠를수록 수중의 식물은 적어진다, 수로는 직선이나 단순한 곡선이 아니라 가능하면 변화가 많은 것이 경관도 좋아지고 야생동물의 서식환경으로서의 질도 높아진다. 인공적으로 조성된 용·배수로는 시공성이나 안전성만을 생각해서 형태가 단순하게 되기 쉬우나 생태계 보전의 관점에서는 형상이나 소재에 유의해서 하상의 미지형 형성을 다양화시키는 등 많은 고려를 할 필요가 있다.

② 생물 상호간의 관계 파악

수로환경에 서식하는 생물은 수역에는 부착조류, 수생곤충, 어류 등이 있고, 육지에는 식물, 곤충, 조류 등이 있다. 이들 식물은 수역과 육지 각지에서 또

는 육지와 수역을 포함하는 지역에서 먹이연쇄의 관계를 이룬다. 수로생태계를 생각한다면 수로라고 하는 제한된 서식환경에 있어서 생물 상호간의 관계를 고려할 필요가 있다.

③ 수생생물의 서식환경 창출

㉠ 수생생물의 서식환경

수생생물의 서식환경으로서 수질이 가장 중요시되는 경향이 있다. 그러나 많은 수생생물은 생활의 적응범위가 넓어 오히려 유속의 대소나 흐름 방향, 퇴적물 등에 좌우되는 경우가 많다. 많은 수생곤충은 유속의 대소와 퇴적물에 가장 많은 영향을 받는다. 어류는 같은 종이라도 그 성장과정에서 서식장소와 유속의 대소가 다르다. 유어(幼魚) 단계에서는 유속이 빠른 곳에서는 서식할 수 없는 경우가 많고, 또한 대형어(大型魚) 등의 침입으로부터 몸을 보호하기 위해서도 본류와 접하거나 또는 본류로부터 독립된 지수역(止水域), 얇은 소(沼) 등의 장소가 필요하다. 한편 1일의 생활행동에서 보면 활동, 휴식, 휴면에 대응한 유속이나 수심의 대소 등의 변화도 필요하다.

㉡ 용·배수로 형태

수질이 좋아도 수로형태가 단순하면 서식하는 종이 제한되어 적어진다. 이것은 서식환경으로서의 다양성이 없기 때문이다. 자연하천은 다양한 생물의 서식환경을 잘 갖추고 있다. 이 조건의 대부분은 하천형태와 식생에 의해 창출된다고 할 수 있다.

㉢ 식생

수로형태에 더하여 중요한 것은 식생이다. 이것은 초식동물의 먹이가 되기도 하고 산란장, 피난처로서의 역할이 크다.

(2) 용·배수로 정비 방법

용·배수로 정비는 다양성이 중요하다는 것을 기술하였는데, 그 방법은 다음의 3가지 항목으로 분류할 수 있다.

- ① 생물과 수로환경의 파악
- ② 구조물의 파악
- ③ 공법의 파악

용·배수로는 최근의 기술의 발달과 강도, 내구성, 경제성이 우수한 콘크리트 등의 재질의 등장으로 기본적인 기능면에서는 만족할 수 있는 상태이다. 그러나

이들 콘크리트 등의 인공소재를 사용함으로써 전술한 바와 같이 수로의 다양성이 소실되어 생물의 서식환경으로서는 적합하지 않다. 수로의 생태계 회복의 관점에서 최근 자연형 하천공법이 활용되고 있다. 이것은 독일이나 스위스에서 이용되고 있는 공법으로 하천구조물의 재질을 자연소재(나무말뚝, 버드나무가지, 돌)를 이용하고, 하상이나 흐름에도 여울, 소 등 다양한 흐름이 가능하도록 배려하여 하천 전체에 다양성을 부여함으로써 생태계의 회복을 도모하는 것이다. 전통적인 하천공법도 기본적으로 자연소재를 이용하여 하천구조물을 구축하는 면에서는 자연형 하천공법과 차이가 없다. 용배수로 정비에서도 전통적 공법에 의해 발달 되어온 지식과 경험의 축적을 활용하여 각 지역에 적합한 공법을 적용할 필요가 있다.

① 생물과 수로환경의 파악

수로와 생물의 관계는 다음 항의 표를 참고하고, 수로정비 시에는 무엇을 복원할 것인지, 정비대상은 무엇인지를 명확히 하여 수립한다.

용·배수로는 비관개기에 통수가 중단되어 어류의 서식이 불가능하게 되는 것이 일반적이다. 따라서 연간 통수를 하는 것이 생태계 보전, 회복의 기본이라는 것을 염두에 두고 공법을 선택할 필요가 있다.

(부록 표-2) 하천형태와 기능

구분	여울	못	흐름 속 식생	흙 수변과 흙 제방	강변 모래밭, 모래톱	수변초원	수변림
부착조류	착생기반제		착생기반제				
수생곤충	서식처 (특히 중요), 먹이	먹이, 서식처	먹이, 서식처	반딧불이 우화		성충먹이, 서식처	먹이(낙엽 등) 성충서식처
육생곤충					먹이, 서식처	먹이, 서식처	먹이, 서식처
어류	먹이, 산란, 서식처	피신처, 먹이, 서식처	먹이, 서식처 (특히치어)				먹이(낙하곤충), 피난장소
야생조류	먹이	먹이	먹이, 영소, 피신처	영소	먹이, 영소	먹이, 영소, 보금자리	먹이, 영소, 보금자리
수질정화	자정작용 (특히 중요)		자정작용			오염물질의 유입방지	
침식방지						(+)	+

② 구조물의 파악

개보수 시 고려해야 할 구조물 개요는 다음과 같다.

(부록 표-3) 구조물과 생태계 보전대책의 방침

공종	방침	자연형 수로 조성 사례
제방	법선형상, 구조, 재질 등에 신경을 써서 동식물의 다양한 생육환경의 보전, 육성할 수 있도록 배려	현 수로를 최대한 활용하여 굴곡이나 불룩한 곳을 갖는 법 선형 채용
호안	상동	물이용 특성에 따라서 식생과 목재 또는 석재를 겸용한 하안보호공법 채용 등
근고공	구조, 재질에 신경을 써서 동식물의 다양한 생육환경의 보전, 육성을 배려	돌망태, 사석 등 다양한 공극을 갖는 재질의 채용 등
낙차공		계단식 낙차공, 슬로프식 낙차공(전단면 어도화), 어소 설치 등
수제	구조, 재질, 길이, 간격 등에 신경을 써서 동식물의 다양한 생육환경의 보전, 육성을 배려하여 유속억제 대책, 수충부대책 으로 활용	거석 등 다양한 공극구조를 갖는 재질의 활용, 근고공을 겸한 짧은 수제군의 채용 등
여울과 못	어류의 휴식, 피난장소로서 중요한 여울, 소의 보전, 육성에 배려 통수중단 때 피난장소의 확보	못의 보전을 위한 근고공 위치, 수로내의 돌 놓기 등

③ 공법의 파악

㉠ 호안

호안은 유수에 의한 침식을 방지하기 위하여 제방이나 호안을 보호하기 위해 설치되며 법면피복공과 법면유지공(기초공)으로 분류된다. 법면피복공은 법면을 피복해서 침식을 방지하고, 법면유지공은 법면피복공을 지지하는 동시에 법면 끝단의 세굴에 의한 피복공의 파괴를 방지하는 것이다. 또한 호안전면의 세굴을 방지하고 호안을 보호하기 위해 근고공이 설치된다.

◆ 호안의 정비

수로의 환경보전을 생각할 때 가장 중요한 것은 호안의 정비 방법이다. 생태계에 있어서 자연석을 이용한 호안이나 사석 등의 공법은 돌과 돌 사이의 공극이 어류 등의 소동물의 서식장소를 제공하고, 또한 이들 공극에 버드나무나 수생식물을 식재하면 소동물의 서식환경을 개선하고 경관적으로도 좋다.

◆ 공법

(부록 표-4) 호안 종류별 공법 및 그 개요

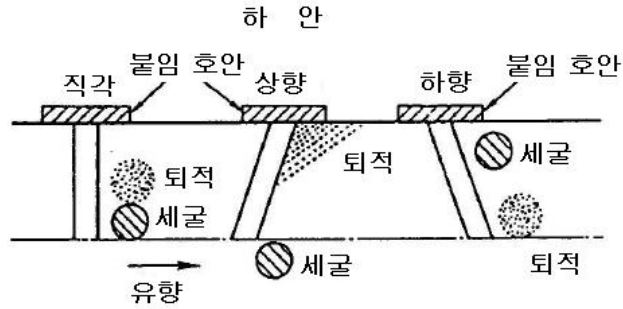
호안	공법	개요
식생 호안	식생돌망태공	철선돌망태로 하안을 보호하고, 돌망태 내에 잡목(버드나무 등)을 식재하여 하안을 자연상태로 복원한다.
	블록공	블록으로 호안을 보호하고, 이음부 등에 토사가 퇴적되어 자연적으로 풀 등이 자라도록 하여 자연 상태에 가깝게 만든다.
	식생호안	콘크리트제 블록 속에 부들이나 억새 등을 식재하여 종래의 생태계에 가깝게 하는 동시에 소파효과를 기대할 수 있다.
돌붙임 호안	옥석붙임 호안	주변 하천변의 옥석을 이용해서 호안 주변 하천변에서 발생한 거석을 이용한 호안 자연석을 이용한 호안 자연석을 법면에 뿌려서 법면을 피복 목재를 이용해서 울타리를 만들고 돌을 채워 계단형으로 법면을 보호한다.
	거석붙임 호안	
	잡석붙임 호안	
	사석 호안	
	돌채우기 호안	
생태계 호안	어소블록	콘크리트제의 어소블록을 이용한 호안 호안전면에 갈대 등을 식재하여 소파효과를 기대하는 동시에 생태계를 보전한다.
	식생소파	
	생물보전공	

㉠ 수제

수제는 법면으로부터 수로중심을 향해서 돌출된 구조물로서 수류의 방향을 변화시키거나 수세를 약화시키는 등 수류를 제어하여 유로를 고정하는 동시에 제방이나 하안을 보호하기 위해 설치된다. 최근에는 하천에서 수제가 많이 이용되고 있지 않으나 설치함으로서 수제 간에 토사가 퇴적되어 튼튼한 호안을 설치하지 않아도 되는 경우가 있으므로 수로를 자연에 가까운 상태로 보전할 수 있게 된다. 따라서 수로의 생태계 보전대책으로서 큰 단면의 수로에서는 채용가능성을 고려해볼 수 있다.

◆ 수제공

인공적으로 만드는 용·배수로는 단조로움이나 부자연성을 동반하기 때문에 하상의 미지형 형성을 다양화시키는 공법으로서 수제공의 활용을 생각할 수 있다. 수제공을 설치하면 세굴이나 퇴적현상을 발생시켜 못이나 지수역을 형성할 수 있다.



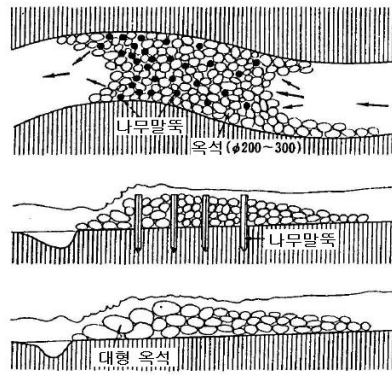
<부록 그림-2> 수제공의 설치방향과 퇴적 및 세굴 위치

㉔ 기타

- 여울과 소의 형성

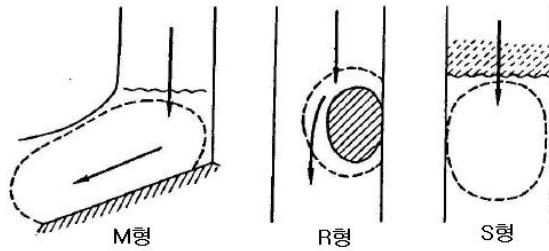
여울과 소는 어류 등의 서식조건으로서 중요하며, 다음과 같은 방법이 있다.

- 사행부에 소를 설치한다.
- 바닥에 큰 돌을 부설하여 유수작용으로 소를 형성한다.
- 수로에 옥석을 부설하고, 자갈의 유출을 방지하기 위해 나무말뚝을 박아서 여울을 형성한다(아래 그림).



<그림 부록3> 여울 설계 사례

소의 기본적인 3가지 형식



<부록 그림- 4>소의 기본적인 3가지 형식

(3) 용·배수로의 유지관리

용·배수로 정비에 의해 보전, 창출된 다양한 생태환경을 유지해 나가기 위한 다음의 2가지 항목을 설명한다.

- ① 호안의 유지관리 계획
- ② 식재수종과 유지관리 계획

① 호안의 유지관리 계획

호안의 유지관리는 호안공법에 따라서 크게 좌우된다. 현재 호안은 다양한 공법이 이용되고 있고 모두 장단점이 있어 완전한 시공방법은 없다고 할 수 있다. 각 계획대상지의 실정을 고려해서 생태계도 배려한 가장 현실적인 공법을 채용할 필요가 있다. 또한 자연소재 등의 이용에도 한계가 있으므로 유지관리라고 하는 관점에서 보면 내구성, 시공성 등의 면에서 콘크리트나 강판 등의 재질이 우수하다고 할 수 있다. 자연소재를 이용하는 경우는 시공 후의 유지관리에 대하여 충분히 배려하여 계획할 필요가 있다.

② 식재수종과 유지관리 계획

가. 식재수종

식재하는 식물은 기본적으로 키가 크지 않고, 척박지에서도 생육할 수 있으며, 병원균 등에 강한 식물이 바람직하다. 이러한 이유로서 초장이 너무 큰 것은 이것이 수로에 유입하여 막히는 경우가 있기 때문이다. 또한 원예용과 같이 사람의 손이 가지 않으면 유지할 수 없는 종류의 녹화식물은 유지관리비가 많이 필요하기 때문에 수로의 호안법면의 녹화식물로서는 바람직하지 않다.

나. 유지관리계획

용·배수로는 호안법면의 잡초를 깎아 줄 필요가 있다. 유지관리를 전혀 하지

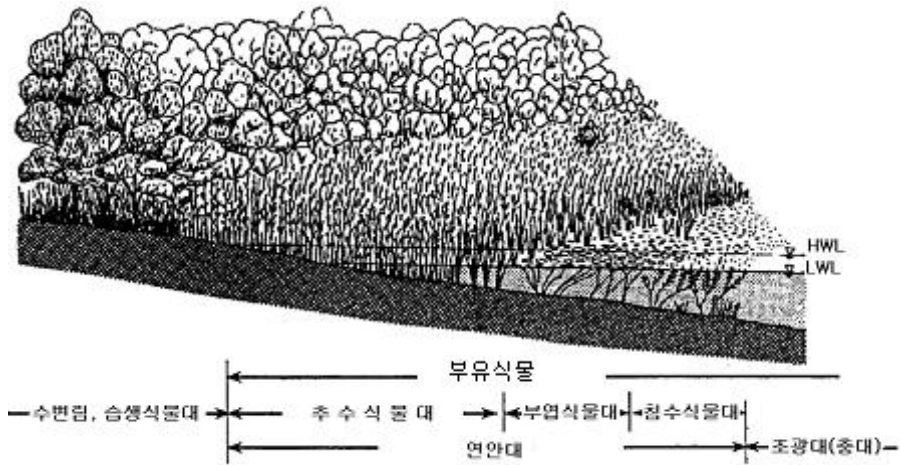
않고 깨끗한 법면을 유지할 수 없다. 이에 대해서는 법면녹화와는 완전히 반대로 생각할 필요가 있다. 또한 병충해방제는 예방과 조기발견에 노력하고, 필요하다면 환경보전을 고려해서 발견되는 즉시 신속하게 방제할 필요가 있다.

1-2 호소정비

호소의 생태계보전은 호소환경을 이해하는 것이 중요하다. 호소환경은 크게 조광대(沖帶)와 연안대의 2개의 존으로 구분된다.

- (1) 호소정비의 요점
- (2) 호소정비 방법
- (3) 호소정비 후의 유지관리

호소의 자연환경보전 분야에서 제기되는 대부분의 문제가 연안대의 식물군락이 갖는 기능에 관련되고, 연안대의 식생과 그 입지인 얇은 여울의 보전이 호소환경보전의 중요한 과제이다. 호소의 연안대란 아래 그림에서 알 수 있는 바와 같이 고수위 시 수변선에서부터 호 내의 침수식물대의 최심부까지의 지대이다. 충적지에 있는 호소나 호안에 다소라도 충적지대를 갖는 호소에서는 수변선을 포함해 완경사의 폭넓은 연안대가 형성되고, 이와 같은 환경조건 특유의 여러 가지 생활형을 갖는 식물군락이 발달한다. 생태학에서는 연안대와 같이 2개의 성질이 다른 환경이 인접하고 그 사이에 제 환경조건이나 식물군락, 동물군집이 변화되는 부분을 에코톤(ecotone : 추이대 또는 이행대)라고 부른다. 여기서는 어류만이 아니라 야생조류, 곤충류, 양서류 등 다양한 서식환경을 제공하여 그 지역전체의 생물군집이나 자연경관을 풍부하게 하기 때문에 중요한 역할을 하고 있다. 최근 이와 같은 수변의 에코톤이 치수공사나 지역개발에 의해 급속히 감소되고 있는데 호소의 에코톤을 복원함으로써 생태계보전을 실현할 수 있다.



<부록 그림-5> 안정된 호안대에 발달한 식물군락의 단면

(1) 호소정비의 요점

호소정비는 다양한 생태환경의 보전과 창출이 중요하다. 생태계 보전을 고려한 호소정비의 관점에서 다음의 3가지 항목에 대하여 설명한다.

- ① 연안대 식물군락의 생태적 기능
- ② 풍요로운 수변의 자연환경 조성기반의 육성
- ③ 군락의 질과 구조와 적정규모

① 연안대 식물군락의 생태적 기능

연안대에서 볼 수 있는 식물에 대하여 생태적인 기능과 인간생활과의 관계 등을 정리하면 다음과 같다. 단, 이와 같은 광범위한 기능은 식물의 종류, 군락의 규모, 식물군락이 발달한 연안대의 면적과 조광대의 면적 비, 계절 등의 제 조건이 크게 다르기 때문에 다음 표는 정성적인 내용이다.

이것을 보면 호소의 자연환경보전 분야에서 제기되고 있는 대부분의 문제가 연안대의 식물군락이 갖는 기능에 관련되어 있으며, 따라서 연안대의 식물과 그 입지인 얕은 여울 지대의 보전이 중요하다는 것을 알 수 있다.

(부록 표-5) 연안대 식물군락과 그 역할

역할	식물군락	수변				
		수변림	습지 식물군락	추수 식물군락	부엽 식물군락	침수 식물군락
동물의 서식처	어류·새우류의 산란과 치어·유생의 서식처			○	○	○
	야생조류의 영소, 생장, 피신처	○	○	○	+	
	야생조류의 먹이 공급	○	○	○	○	○
	곤충류, 양서류의 서식처와 먹이 공급	○	○	○	○	○
	저서생물이나 패류의 먹이 공급 부착생물의 착생기반	+	+	○	○	○
수질 정화	토사나 오염물질 혼입방지	○	○	○	○	+
	유기물의 분해정화		○	○	○	○
	호소수와 퇴적물로부터 영양염의 흡수 식물플랑크톤의 억제			○	○	+
호안 보호	밀생한 근경에 의한 침식방지	○	○	○		
	밀생군락에 의한 소파와 물보라 방지	○	○	○	+	+
자원 공급	인간의 음식물	○	○	○	○	○
	생활용품의 재료	○	○	○	+	+
	가축의 먹이와 농지의 비료	○	○	○	○	○
경관	온화한 수변경관의 형성	○	○	○	○	+

표에서 ○는 적합한 것을 +는 조금 적합한 것을 나타냄

② 풍요로운 수변의 자연환경 조성기반의 육성

연안대 식물의 종류가 많고 고목이나 저목도 혼재하는 등 구조가 복잡할수록 자연환경이 풍요롭게 되어 생육하는 동물의 종류도 많아진다.

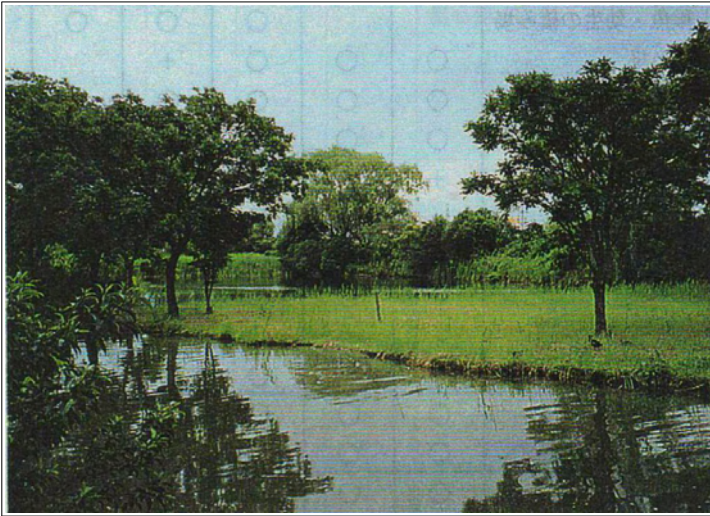
또한 식생 외에 지형이나 얇은 여울지대의 기반이 되는 흙의 성질 등도 대단히 중요한 요소이다. 수변의 지형은 직선이 아니고 요철이 있는 것이 어류나 조류의 서식환경에 적합하다. 흙은 연못이나 호소에서는 수변의 육지에서 얇은 여울지대에 걸쳐서 입자가 미세한 퇴적토의 완만한 경사로 되어 있는 것이 풍부한 식생이 생육하는 기반이 된다.

수변 식생의 재생이나 보전을 생각할 때에는 기본적으로 이와 같은 연안의 모양이나 조건을 이해할 필요가 있다.

③ 군락의 질과 구조와 적정규모

다양성을 창출하는 요소로서 군락의 질(군락의 종조성), 구조(군락의 밀도, 높이, 계층구조와 같은 물리적 성상) 및 규모(군락면적)도 빼놓을 수 없는 요소이다. 예를 들면 일본의 수와호에서는 유입하천을 매립한 호안에 폭 5m의 갈대군락을 길이 200m 조성하였는데, 야생조류나 어류의 서식환경으로서 거의 역할을

하지 못하고 있다. 야생조류의 서식환경으로서의 독립된 갈대밭은 최소한 폭 10m, 길이 수 100m가 필요하기 때문이다. 이와 같이 식재를 하는 경우에도 이것이 생태계에게 충분히 필요한 크기가 아니면 의미가 없게 된다. 따라서 정비시에는 식재목표를 정확하게 파악하여 설계하는 것이 대단히 중요하다.



식생이 풍부하게 관리되고 있는 수변. 먹이나 등지가 되는 조용한 장소가 확보되어 있기 때문에 야생조류가 많이 나타난다.
촬영지:동경 수원공원
촬영:92. 6

<부록 그림-6 > 생물다양성이 풍부한 수변환경

(2) 수변정비 방법

호소정비는 식생이 중요하다. 그 방법의 요인을 다음의 4가지 항목으로 설명한다.

- ① 수변의 식물 파악
- ② 연안대 식물군락과 서식환경의 보전
- ③ 식재계획의 수립
- ④ 식재기반의 정비

① 수변의 식물 파악

호소 연안대의 식물군락에는 앞에 보였던 식물군락 단면에 있는 바와 같이 6개 생활형의 식물이 있다. 각각 생활형은 다양하고, 그 생태학적 특징이나 특성에 대하여 알 필요가 있다.

㉠ 수변림

수변림이라고 하는 것은 연안대로부터 그 내측(육지측)에 걸쳐서 생육하는 목본식물군락의 통칭이다. 수변선의 가까이에 있어 뿌리부의 많은 부분이 지하

수위 보다 깊게 분포하고 있는 연목대(軟木帶)와 이보다 높은 지대에 생육해서 근권의 대부분이 지하수 보다 위에 분포하는 경목대(硬木帶)로 분류된다. 이 중 연목대는 종종 습생식물대의 초본군락과 혼생한다. 주요 주종은 다음과 같다.



1. 연목대 - 버드나무류, 오리나무, 백양, 낙상홍, 관목, 호공목(糊空木) 등
2. 경목대 - 느릅나무, 들메나무, 신나무, 개굴피나무, 팽나무, 좀참나무 등

<부록 그림-7 버드나무 식생대>

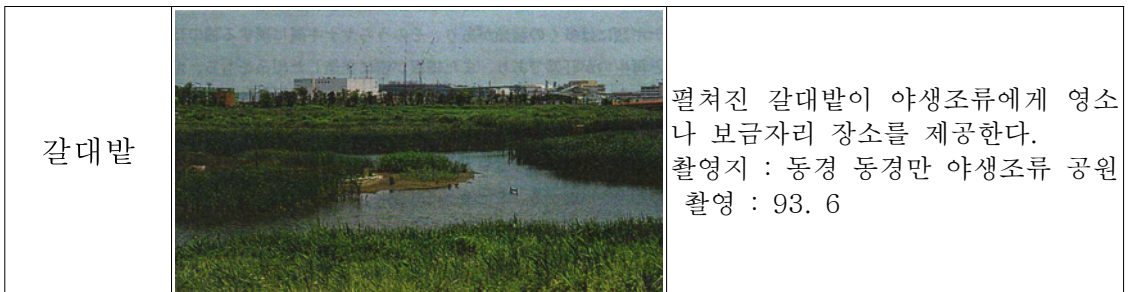
호소나 하천의 수면에 생육하는 버드나무류에는 많은 종류가 있는데, 그 중 버드나무속에 속하는 종의 대부분은 삼목번식이 용이하여 오래 살고 재생력도 왕성하고, 또한 잔뿌리가 많이 발달한 근계를 갖고 있어 지상부가 유연하여 식생호안으로의 이용가치가 높다.

이와 같은 호변림은 습생식물과 같이 농약 등 오염원의 유입을 방지하고, 가지가 수면에 그늘을 만들어 어류의 피난처가 되고, 또한 수중에 공급된 낙엽이나 분해중인 낙엽 조각은 수생곤충이나 저서생물에 먹이나 서식처를 제공한다. 또한 육상에 있는 수변림은 야생조류의 먹이사냥, 영소, 보금자리이고, 반딧불이나 잠자리류에게도 성충의 은신처나 먹이사냥(잠자리류) 장소가 된다.

㉠ 습생식물대

수변대에 내접하는 지하수위가 높은 장소에는 습생식물 군락이 발달한다. 이 습생식물대에는 전술한 바와 같이 버드나무류, 오리나무와 같은 연목대의 수목이 혼재하는 경우가 많다. 출수나 매립, 그 외 토목공사에 의해 새롭게 만들어진 습지의 나지에는 돌피, *Bidens frondosa* Linn., 고마리 등이 우점하는데, 시간이 흐름에 따라 갈대나 부들 혹은 사초류 등이 우점하는 군락으로 천이되어 간다. 또한 지하수위가 낮고 다소 많은 장소에는 물억새 등이 우점한다. 갈대군락은 지하수 중의 추수식물군락으로 연속적으로 이행한다. 습생식물군락에는 사초류나 갈대 외에 입지의 환경조건이나 안정도에 따라서는 붓꽃, 부처꽃, 동의나물, 물 파초, 솜방망이 등과 같은 아름다운 꽃을 갖는 식물도 생육한다. 수역을 둘러싸고 있는 습생식물은 수변립과 함께 주위의 육지로부터 유입하는 비점오염물질을 여과하여 제거하는 외에 고수위 때에 파랑에 의한 호안대의 침식을 방지하는 역할을 한다. 또한 습생식물군락은 동물의 서식환경으로서도 중요한 역할을 하고 있다.

수변습지의 풀밭은 잠자리나 반딧불이의 우화 장소, 줄납작먼지벌레, 메뚜기 그 외 다양한 곤충, 소동물의 서식처가 되고, 수변의 작은 규모의 큰 갈대밭에는 흰뺨검둥오리, 쇠똥부기사촌, 덩불해오라기 등이 영소한다. 더욱이 육지부에 펼쳐진 갈대밭은 개개미, 개개미사촌 등의 영소지가 되며, 제비나 찌르레기 등의 집단 보금자리로서도 이용된다.



<부록 그림-8 > 물파초와 갈대밭

㉔ 추수식물대

추수식물은 물속의 토양 중에 뿌리를 박고, 경엽을 수면위에 나와있는 식물로 갈대, 줄, 부들류가 대표적이다. 이들 외에 대군락을 만드는 것은 적지만 큰고랭이, 창포, 흑삼릉 등도 넓게 분포한다. 세모고랭이, 송이고랭이, 개연꽃, 조름나무 등은 키가 짧은 추수식물이다.

추수식물군락은 퇴적물층 표면으로부터 영양염의 흡수나 그 수봉에 침수되어 있는 부분에 부착하는 부착생물군집이나 군락내에 공존하는 조개류의 활동을 통해서 유기물의 분해, 영양염의 흡수 등 호소의 정화에도 기여한다.

추수식물군락이 존재하는 천수대는 어류, 새우류, 양서류, 잠자리류 등이 산란하고, 그 새끼가 자라는 장소로서 대단히 중요하다.

대형추수식물군락에서는 논병아리, 물닭이 영소하고, 또한 많은 물새에 은신처를 제공한다. 줄류의 잎은 오리가 좋아하는 먹이가 된다. 갈대는 대형추수식물 중에서도 넓게 분포하고 그 군락의 생태학적 기능, 정수역의 호안작용, 자원공급 등의 면에서 대단히 중요하다.

갈대	세모고랭이	창포
		

<부록 그림-9> 대표적인 추수식물-갈대, 세모고랭이, 창포

㉕ 부엽식물대

부엽식물은 호소 바닥에 뿌리를 박고, 수면에 잎이 떠있는 마름류, 노랑어리연꽃, 수련, 순채 등과 같은 식물을 말하며, 그 군락은 어류, 새우류, 양서류, 잠자리류 등의 산란이나 그 새끼가 생육하는 장소로서 중요하다. 또한 이들 식물은 수중부분의 식물체나 부착생물에 의해 호수 중으로부터 영양염을 흡수하는 외에 수면을 덮은 잎이 수중에 햇빛의 투과를 방지하여 식물성플랑크톤의 증식을 억제한다. 부엽식물 중에서 수련이나 노랑어리연꽃은 아름다운 꽃을 피고, 또한 점액질이 둘러싸고 있는 순채의 새싹이나 마름의 열매는 먹을 수 있는 야채이기도 하다.



<부록 그림-10> 대표적인 부엽식물-수련

㉔ 침수식물대

침수식물도 호소바닥에 뿌리를 박고, 꽃 이외의 영양기관이 모두 수면아래에 있는 말즘, 말, 이삭물수세미, *Egeria densa*., 나사말과 같은 식물군이다. 이들은 다른 생활형의 군락과 혼재하는 경우도 있으나 연안대의 식물군락의 최심부에 분포하는 경우가 많고, 그 분포한계수심은 약 조광대의 보상심도(호수중의 물질생산과 분해가 같은 깊이, 투명도의 약 2배 수심에 해당)에 상당한다. 침수식물의 군락도 또한 앞에 기술한 2가지 생활형의 수생식물과 마찬가지로 수질정화나 연안대의 동물군집의 서식에 기여하고 있는데 그 분포는 특히 호수의 투명도가 낮아짐에 따라 현저히 제한되어 조류가 대발생하는 호소에서는 종류가 감소할 뿐만 아니라 그 생육면적도 감소한다.

나사말	<i>Egeria densa</i> .	육지에 올라온 구와말
		

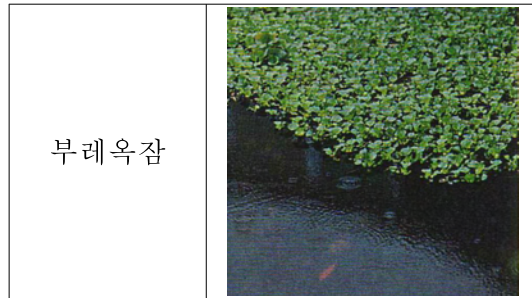
<부록 그림-11> 대표적인 침수식물-나사말 등

㉕ 부유식물대

뿌리가 호수바닥에 닿지 않고 수면에 떠서 생활하고 있는 식물을 부유식물이라 한다. 개구리밥류, 생이가래 등은 소형 부유식물이고, 호수나 용수로 등에

크게 번식하여 문제가 되는 부레옥잠도 부유식물이다.

부유식물은 성장에 필요한 영양염을 모두 수중에서 섭취하기 때문에 부레옥잠과 같은 성정이 빠른 식물은 효율적으로 질소나 인을 흡수한다. 이 기능을 생활하수 등에 의한 부영양화의 방지에 이용하는 것도 가능하여 기초시험이 이루어지고 있다.

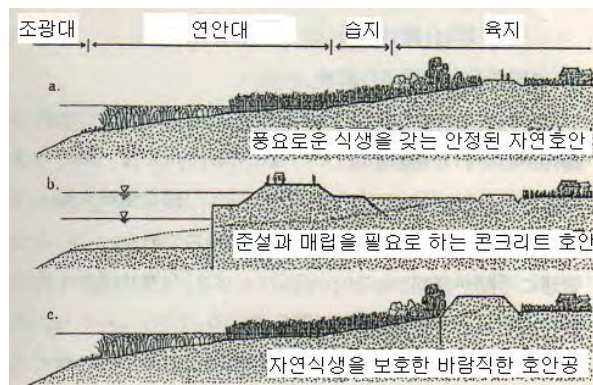


<부록 그림-12> 대표적인 부유식물-부레옥잠

② 연안대 식물군락과 서식환경의 보전

연안대 자연환경보전의 기초는 현존하는 식물군락과 그 서식환경인 입지조건을 보전하는 것에 있다. 현존하는 식물군락은 그 입지의 제 환경조건 위에 필연적으로 성립하고, 그 장소의 생태계의 구성부분으로서 동물군집을 생육하여 왔으므로 그것을 보전하는 것이 그 장소의 자연환경을 보전하는 길이다.

그러나 연안대의 자연환경을 개선할 필요가 있는 경우도 당연히 발생할 수 있다. 이 경우 자연환경의 보전과 필요한 개선을 양립시키기 위해서 제일 먼저 검토해야 할 것은 제방이다(그림 참조)



<부록 그림-13> 제방호안

또한 서식환경의 보전, 조성을 계획하는 경우에는 그 장소에 현재 서식하고 있는가? 또는 그 전에 서식하였던 야생생물군집 중에서 가능하면 먹이연쇄의 상위에 위치하고 수명이 길고, 또한 넓은 생활행동권을 갖는 동물의 서식을 목표로 하는 것이 바람직하다. 이것이 실현되면 이에 의해 하위의 동물의 서식이 가능하게 되는 것이다. 또한 보전하고 싶은 동물을 고려한 환경정비를 하는 것도 필요하다.



넓은 호수면에서 수변의 갈대밭이 충분히 조성되지 않은 장소에서는 야생조류가 안심하고 서식할 수 있도록 말뚝을 배치한다.
또한 수위의 변동이 있는 호소에도 말뚝이 효과가 있다.
촬영지 : 동경만 야생조류 공원
촬영 : 93. 6

<부록 그림-14> 넓은 호수면에 말뚝 설치

③ 식재계획의 수립

새롭게 조성하는 대상지역에서의 식재계획수립의 순서는 다음의 5항목으로 설명한다.

- ㉠ 계획대상지의 자연성의 파악
- ㉡ 많은 종의 생활형·수종의 도입
- ㉢ 식재계획도의 작성
- ㉣ 식재수종 구입계획 수립
- ㉤ 식재작업

㉠ 계획대상지의 자연성의 파악

식물을 식재할 수변에서 가능한 한 가까운 곳에서 표고, 수질, 토질이나 그 습한 정도 등의 환경조건이 비슷한 장소를 찾아서 그 식생을 참고한다. 수변의 개수사업을 하여 친수공원 등을 조성하면 특히 꽃창포 등의 원예식물을 식재하고 싶은 경우가 일반적이지만 생태계를 위한 자연환경을 만드는 의미에서는

원예식물은 부적당하다. 이와 같은 식재는 군락으로서 단순하고, 관리와 인력과 비용이 들 뿐만 아니라 비료를 주면 물을 오염시키고, 병충해의 방제를 위해 농약을 살포하면 생태계에 큰 영향을 준다. 한편, 원래 그 지역의 수변에 서식하고 있는 식물은 그 지역의 자연환경에 가장 잘 적응한 종류이기 때문에 식재한 후에 유지관리하지 않아도 자연적으로 증식한다.

㉞ 다양한 유형·수종의 도입

다양한 종에 의해 구성된 식물군락은 일반적으로 다양한 동물의 생활을 지지해주는 힘을 가지고 있다. 수변의 식재수종 중에는 판매되지 않는 것도 많으므로 첫 번째로 묘의 구입이 가능하고, 그 장소의 모든 조건이 허용하는 한 추수식물, 부엽식물, 침수식물, 부유식물 등 각각의 유형에 대하여 가능하면 많은 종류의 식물을 식재하도록 한다.

㉟ 식재계획도의 작성

식물을 식재하는 경우 식재하는 구역 전체에 무엇을 심을 것인지, 최종적으로 어떤 군락을 조성할 것인지에 관한 식재계획도를 작성한다.

또한 이 계획도를 검토함으로서 이 수역에 어느 정도의 생물이 서식할 수 있을까 등 개략적인 예측을 할 수 있다. 또한 각 식물의 식재면적으로부터 묘의 필요량을 계산할 수 있다.

㊱ 식재수종 구입계획 수립

위와 같이 각 식물 종류에 필요한 묘의 수량을 산출하고 그 구입계획을 수립한다. 수변에 자연적으로 생육하는 식물의 경우 묘를 판매하는 경우는 드물기 때문에 자신이 직접 준비해야 하는 경우도 있다. 또한 추수식물, 습생식물, 수목의 경우는 줄기나 어린 묘로 식재하기 때문에 미리 공급처를 가능한 한 가까운 곳에서 찾아둘 필요가 있다.

필요량의 묘를 일시에 구입할 수 없는 경우는 군락의 형성이 전체적으로 평균적으로 진전되도록 연차계획을 수립하여 식재를 진행한다.

㊲ 식재작업

자생지로부터 굴취하여 온 초본식물의 묘 중에는 보존기간이 길면 고사하는 경우도 있으므로 식재작업을 하기 전에 미리 필요한 인원을 확보한다.

④ 식재기반의 정비

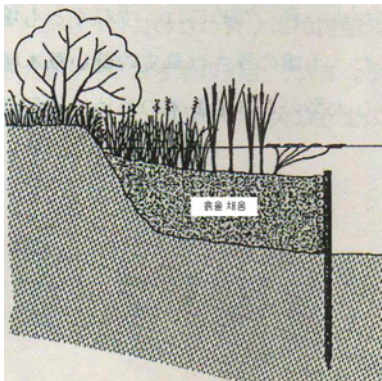

계획대상지역에서의 식재기반의 정비에서 중요한 것은 다음의 2가지 항목이 있다.

㉠ 계획대상지 지형의 파악

㉡ 적정 기반토양의 파악

㉢ 계획대상지 지형의 파악

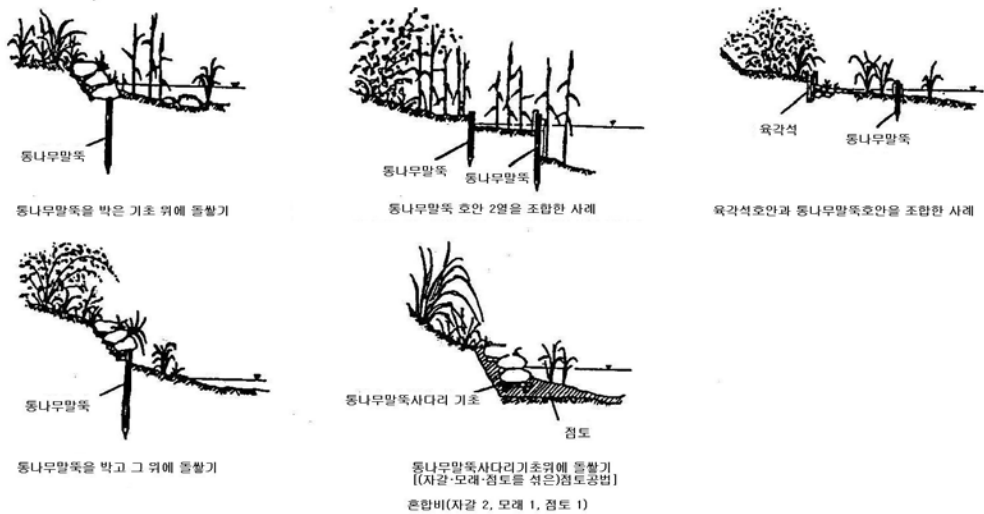
식재하는 주변의 지형으로서는 수면을 향한 지면의 경사와 호안선 등을 말한다. 새롭게 조성하는 호변에서 수면에 풍부한 식생이 생육할 수 있게 하기 위해서는 호변선 전후 지면의 경사를 적어도 1:4~1:5 정도를 갖도록 한다. 경사가 완만할수록 수중에 넓은 식물군락이 조성된다. 그러나 작은 규모의 호변에서 전체의 경사가 완만하면 중심부에서도 충분한 수심이 확보되지 않아 호소 전체가 수초로 덮여 개수면이 없어지기 때문에 연못의 크기와 조성하자 하는 자연환경의 질을 생각해서 호소의 단면도를 결정한다. 관찰 포인트 등을 설치하기 위해서 간단한 호안을 조성하고 싶은 경우는 가능하면 자연석을 쌓거나 말뚝을 박아 정상부와 수면과의 고저차를 30cm 이하로 한다. 수면과의 낙차가 큰 콘크리트 벽은 가능하면 사용하지 않는다. 호안선이 갑자기 깊어져서 식재가 불가능한 경우에는 다음 그림과 같이 수중에 흙 유실 방지 시설(토류시설)을 설치하고 일정한 폭의 얇은 여울을 조성하여 식물을 식재한다.

<p>흙 유실 방지 시설 (토류시설)</p>	<p>흙 유실방지시설 시공예</p>
	 <p>자연소재인 통나무말뚝 호안에 박아 토양 유실을 방지한 사례</p> <p>촬영지 : 일본 神奈川 川崎市 촬영 : 93. 7</p>

<부록 그림-15> 넓은 호수면에 말뚝 설치

[호소의 호안공법 예]

다음과 같은 자연소재를 이용하여 호안이나 옥석크기로 깎은 돌(割石)을 사용하여 생태계보전을 고려한 호안정비가 추진되는 경우도 있다(일본 群馬縣 西宿沼)



<부록 그림-16> 호소의 호안공법 예

㉑ 적정 기반토양의 파악

식재지의 식재기반토양은 식물군락의 성립과 성장을 좌우한다. 콘크리트로 조성된 호안에서는 어류가 산란할 수 없고 풍부한 식생을 기대할 수 없으므로 다시 바꾸는 것도 생각할 필요가 있다. 그러나 바닥에 흙이 있는 경우도 일반적으로 직경 0.25~0.5mm 이상의 거친 입자로 구성되어 있는 입지에서는 수생식물의 성장이 빈약하거나 군락이 조성되지 않을 가능성이 높다. 식물이 잘 생육하기 위해서는 적어도 양토(점토 함유율 25~30%) 이하의 세립질 토양이 적합하다. 또한 토양의 두께는 초장이 작은 초본식물에는 30cm 정도면 충분하지만, 갈대, 줄, 부들류와 같은 대형 초본이나 작은 나무에게는 최소한 50cm가 필요하다.

(3) 호소정비의 유지관리

호소정비에 의해 보전, 창출된 다양한 자연환경을 적절히 유지하기 위해서는 다음 2가지 항목에 유의해야한다.

- ① 식재식물의 초기대응
- ② 식재식물의 식재 후의 유지관리

① 식재식물의 초기대응

작은 호소 등의 수변 식재에서는 식재 후 특별히 보호할 필요는 없으나 풍랑이나 흐름의 영향을 받는 장소에서는 식물이 완전히 뿌리를 내리고 안정된 군락을 형성되기 까지 간단한 방파벽을 설치하거나 식재사면을 매트로 덮어서 뿌리부의 세굴을 방지하는 등의 보호가 필요하다.

② 식재식물의 식재 후의 유지관리

㉠ 식생의 생육관리

연안대의 식생군락은 원래 천이과정에 있으며 시간이 지남에 따라 육지부로부터 날아온 토사나 낙엽이 퇴적되어 육지화 되거나 건조화가 진행되어 식생도 변화된다. 일정한 식생을 유지하는 경우에는 식재 후에 방치하지 말고 바람직한 군락이 조성될 수 있도록 관리할 필요가 있다.

식재 후 1, 2년은 결손부의 보식을 하거나 물에 의해 토사가 침식되는 장소는 적당히 보수하여 군락이 조성될 수 있도록 돕는다. 식재 직후 아직 나대지가 남아있는 단계에는 번식력이 왕성한 귀화식물이 침투해서 식재하고 얼마 되지 않은 식물의 성장을 방해하는 경우가 있으므로 자주 살펴보고 제초할 필요가 있다. 또한 때로는 갈대나 *Eloдея nuttallii.*, 아나카리스, 말즘 등이 대번식해서 개수면을 덮어버려 수중의 다른 식물의 생육을 억제하는 경우가 있으므로 이와 같은 경우에는 인력이나 기계로 적절히 제거한다. 초어를 방류하는 경우도 있으나 방류량이 너무 많으면 수중의 수초의 뿌리마저 먹어버리므로 방류량은 사전에 충분히 검토해야 한다. 또한 식생의 생육관리에서 제나 살충제 사용은 엄격히 제한한다. 한편 생태계 보전상의 기본은 인공적으로 도입하는 것을 최소한으로 하고 새롭게 조성된 환경에 적응해서 살아가는 생물을 정착시키는 것이다.

㉡ 수질·수위

수질악화를 방지하는 것은 꼭 필요하다. 또한 퇴적토를 제거함으로써 그 수위를 유지하는 경우도 다양한 유형의 식생을 유지하는데 중요한 작업이다.

1-3 마을동산(마을에서 가깝고, 생활과 밀접한 낮은 산) 정비

마을동산 정비는 농촌 환경의 삼림생태계보전에서 중요한 역할을 하므로 본 항에서는 마을동산정비에 대한 3가지 항목을 설명한다.

- (1) 마을동산정비의 요점
- (2) 마을동산정비 방법
- (3) 마을동산정비 후의 유지관리

- 전통적인 농촌환경에서 마을동산의 중요성 인식
- 개개인의 생활에 중요한 역할을 하는 마을동산의 재생과 새로운 가치를 찾아낸다.

마을동산은 옛날부터 농촌에 여러 가지 혜택을 주는 농촌 환경의 중요한 요소였다. 문헌에 의하면 「인간생활에 꼭 필요한 연료 혹은 농업생산에 필요한 낙엽이나 부식토와 같은 유기비료를 얻기 위해, 자연림의 파괴에 의해 인위적으로 조성되고 유지관리 되어 온 마을주변의 임지」라고 정의되고 있다. 이것은 마을동산이 사람에게 장작, 유기비료라고 하는 물리적 가치를 지속적으로 주었기 때문에 유지되어왔다고 말할 수 있다. 그러나 농촌생활의 변화에 따라 그 역할이 상실되어 왔다.

그러나 최근 환경보전에 대한 사회적 관심이 높아지면서 「여유」에 대한 주목, 여가시간의 증가라고 하는 여러 가지 요인으로 인하여 마을동산을 새로운 관점에서 바라보고 있다. 하나는 「사람들의 생활에 여유와 윤택함을 주는 공간」으로서의 가치, 또한 환경이 지속적으로 파괴되고 있는 현재 상황에서 「풍요로운 자연환경, 생태계가 살아있는 장」으로서의 가치가 있다. 생태계는 일반적으로 사람의 손길이 미침에 따라서 생태계가 손상을 입는 것으로 지적되고 있다. 그러나 사람들의 관리를 전제로 하는 마을동산이 아니면 생존할 수 없는 생물종도 많은 것도 사실이다. 마을동산을 구성하는 대표적인 수종인 상수리나무는 전국 각지에서 볼 수 있음에도 불구하고 천연적으로 만들어진 것은 전혀 없다. 이 상수리나무가 없으면 살수 없는 나비(검정녹색부전나비,

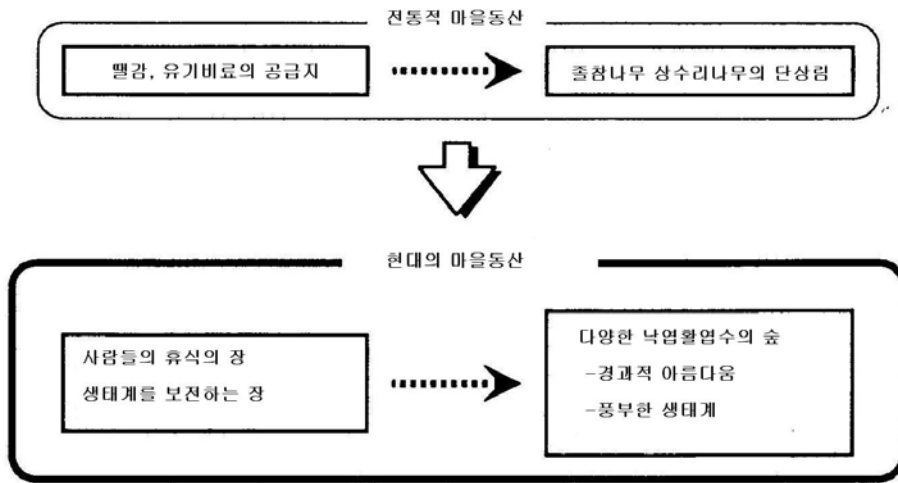
시가도굴빛부전나비)가 있다. 이들 작은 녹색부전나비류에 속하는 나비들은 마을동산을 구성하는 낙엽활엽수를 먹이식물로 하고 있으므로 낙엽활엽수가 없으면 생존할 수 없다. 생물 중 엘레지 등은 낙엽활엽수림이 없으면 역시 생존할 수 없다. 사람들이 지속적으로 유지관리해온 결과 다양한 생태계가 창출되어왔다고 할 수 있다. 또한 마을동산이 서로 네트워크로서 연결되어 생태계가 더욱 풍부하게 된 것이다.

마을동산이 풍부한 자연환경을 갖고 이것이 금후에도 유지되도록 정비함으로써 사람들에게 안락함을 주는 장으로의 역할을 할 것이다. 마을동산에는 사람들의 생활과 자연환경이 함께 조화를 이루며 유지되어온 역사가 있다. 농촌 환경에서 중요한 역할을 하여온 마을동산이 새로운 가치를 부여하는 가운데 한 번 더 사람들의 생활에 좋은 영향을 미치는 것으로 조성해 나가기 위해 필요한 방법을 검토해 나간다.

(1) 마을동산의 요점

농촌에서 풍부한 생태계를 창출하고 있는 마을동산은 그 생태계를 유지하기 위해 사람들의 관리를 전제로 하고 있다. 또한 마을동산이 갖는 사회생활에 대한 역할이 시대의 변화와 더불어 변화되고 있다는 것을 이해할 필요가 있다.

종래의 땀감·비료의 공급지로서의 기능만을 목적으로 한 마을동산에는 졸참나무, 상수리나무 등의 단상림으로 하는 것이 효율적으로는 좋다. 그러나 현재 사람들이 마을동산에서 찾고자 하는 「여유」나 「휴식」이라고 하는 것을 생각한다면 자연생태계에게 있어서도 보다 다양하고 풍요로운 서식환경을 창출한다고 하는 점을 배려할 때에는 단순히 졸참나무나 상수리나무와 같은 땀감을 위한 산림이 아니라 생태계의 다양화라고 하는 관점에서의 고려가 필요하다. 졸참나무, 상수리나무의 임상이 모인 낙엽활엽수림으로 더 나아가 벚나무, 밤나무, 목련, 소사나무, 때죽나무 등을 식재하여 보다 다양한 낙엽활엽수림으로 조성한다. 이렇게 함으로서 경관적으로도 매력적으로 되어 사람들과 마을동산이 가까워진다.



<부록 그림-17> 마을동산의 역할 변화

(2) 마을동산정비 방법

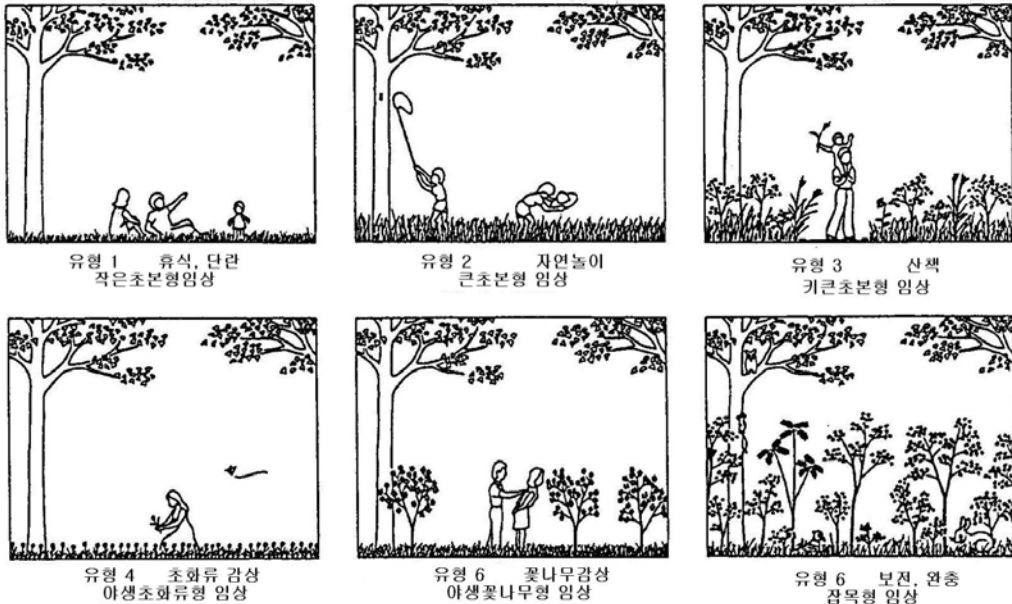
마을동산정비 방법을 결정하는 요인은 다음의 4가지 항목이 있다.

- ① 정비목표의 설정
- ② 마을동산의 특수한 생태계 파악
- ③ 구체적인 정비 포인트 추출
- ④ 마을동산 정비의 유의점

① 정비목표의 설정

마을동산정비는 휴식, 생태계보전, 완충 등의 제 기능 중 어느 기능을 우선시 하는가에 따라 정비방법이 달라진다. 다양한 기능을 손상시키지 않으면서 인간의 생활과의 공존을 도모하면서 환경을 보전할 필요가 있다. 이 점을 중요시해서 인간들의 자연회기의 장, 자연관찰이나 산림 레크레이션의 장, 야생생물의 다양성과 경관의 다양성 증진을 목표로 하여 보전방법을 고찰한다.

일반적으로는 계획대상 전체를 하나의 유형으로 정비하는 것이 아니라 그 지역의 구배, 일사 등을 고려해서 식재수종을 검토하고, 유지관리 유무 등을 고려하여 임상유형을 결정한다. 이와 같은 조건을 감안하여 정비목표를 설정한다.



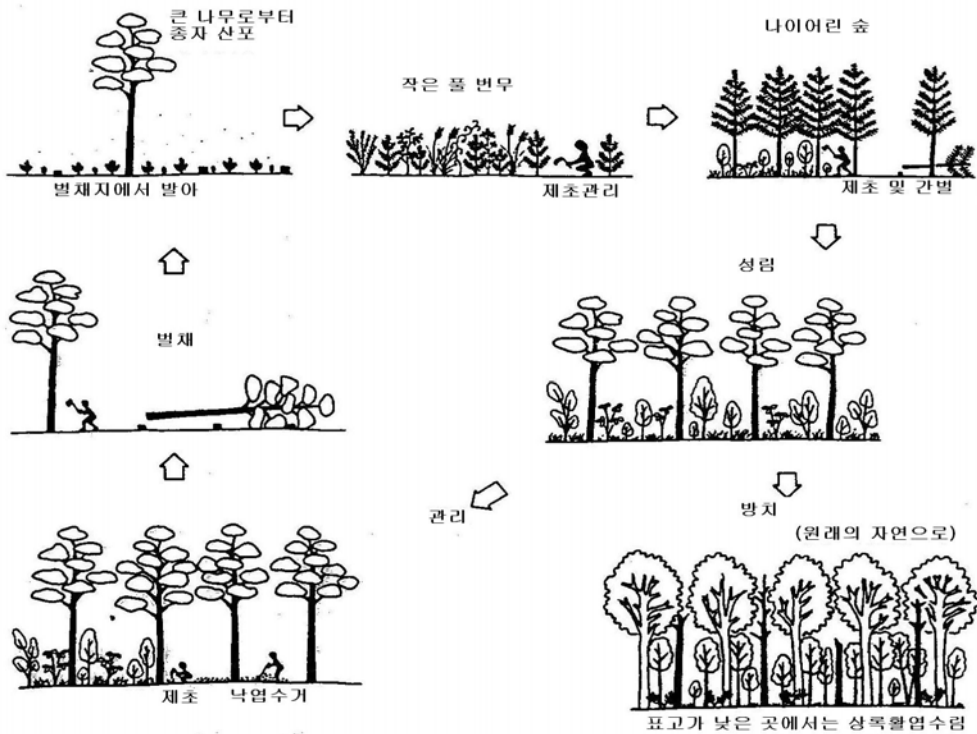
<부록 그림-18> 마을동산의 삼림 레크리에이션에 대응한 임상 유형

② 마을동산의 특수한 생태계 파악

마을동산의 생태계는 인간의 유지관리를 전제로 하여 성립되어 있다.

마을동산의 정비방법을 생각할 때 그 전제로서 마을동산의 생태계를 고려할 필요가 있다. 마을동산은 인간의 생활을 위해 만들어진 인공 숲이지만 인간의 유지관리에 의해 생태계가 유지발전 되었다는 특징도 갖고 있다. 이러한 특수성을 고려하여 계획을 수립할 필요가 있다.

마을동산의 식생은 인간이 자연림을 파괴한 후에 성립된 대상식생이므로 거기에 조성되는 삼림은 2차림이다. 상록활엽수림대의 많은 2차림은 적송림과 상수리나무, 졸참나무림이 우점하는 경우가 많지만 온대역이나 고랭지에서는 밤나무, 물참나무림으로 바뀌고, 또한 난대역의 해안부나 저지대에서는 구실잣밤나무, 종가시나무, 줄가시나무 등 상록활엽수의 2차림이 형성된다. 마을동산의 숲에는 연로를 얻기 위하여 임상에 자라나는 저목류가 5~6년마다 절취되고, 상층나무도 15~30년마다 벌채된다. 또한 논밭에 갈아 넣거나 퇴비를 얻기 위하여 많은 빈도로 절취하거나 낙엽을 수거하여왔다. 이와 같은 행위가 마을동산이 자연천이에 의해 자연림으로 되돌아 가는 것을 방지하여 2차림으로서의 임상을 지속(지속군락)시켜왔던 것이다.



<부록 그림-19> 마을동산의 적송림의 관리 사이클

③ 구체적인 정비 포인트 추출

마을동산의 정비방법을 결정하기 위해서는 구체적인 포인트를 추출하는 것이 중요하다. 본 항에서는 정비 포인트로서 다음의 3가지를 기술하고자 한다.

- ㉠ 수림지와 임상의 정비
- ㉡ 다양한 생태계를 위한 식재종의 검토
- ㉢ 마을동산 내의 영소지의 정비

㉠ 수림지와 임상의 정비

삼나무, 편백나무 등 인공 단상림은 야생생물의 도입을 위하여 수림지의 일부를 벌채하여 수림의 밀도를 변화시키거나 낙엽수나 식이목의 혼식에 의해 다양한 환경으로 변화시켜갈 필요가 있다. 또한 상수리나무, 졸참나무 등의 2차림이나 낙엽활엽수림은 임상식물의 유지 등도 포함해서 그 보전, 육성을 도모한다. 특히 숲의 가장자리는 많은 종류의 식물이 자라고, 망토 및 소매군락을 형성하여 가장 풍부한 생물상을 갖고 있으므로 이의 보전에 최대한 주의할 필

요가 있다.

또한 새로운 수림을 육성, 개선하는 경우에는 지역의 현존식생, 잠재자연식생의 구성종, 구조를 충분히 검토하여 지역의 자연조건에 맞는 숲을 조성해 나간다.



<부록 그림-20> 경사지의 자연관찰로

㉔ 다양한 생태계를 위한 식재종의 검토

낙엽활엽수인 상수리나무나 졸참나무에는 곤충류가 잘 모여드는 것으로 알려져 있으므로 보다 효과적으로 곤충류에 바람직한 서식환경을 만들어 주기 위하여 식재수종도 검토해 볼 필요가 있다.



<부록 그림-21> 수액에 모여드는 곤충

위 그림은 상수리나무, 졸참나무림과 그 수액에 모이는 곤충류와의 관계를 나타낸 것이다. 그 외에도 거지덩굴이나 버드나무, 구실잣밤나무 등은 곤충류가 좋아하는 수종이다. 이들이 일정한 균락을 이루도록 식재하면 더욱 효과적이다.

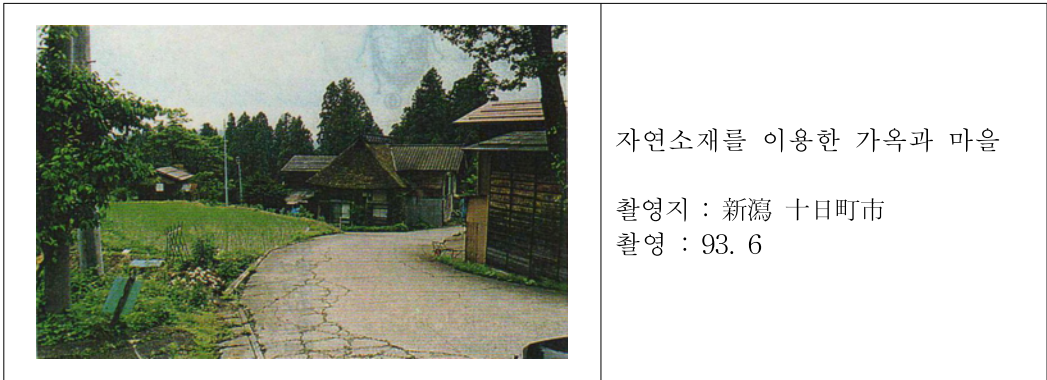
㉔ 마을동산 내의 영소지의 정비

마을동산 내에 자연재료에 의한 영소지를 만들어 생물의 다양한 생활환경을 창조한다.

생물영소지의 구체적인 사례

- ㉑ 활엽수 통나무 쌓기
- ㉒ 임상정비시 고려사항
- ㉓ 수변의 조성

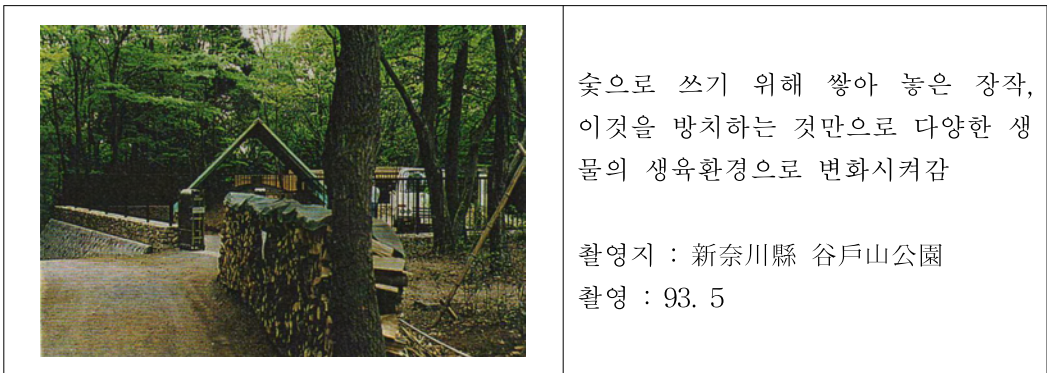
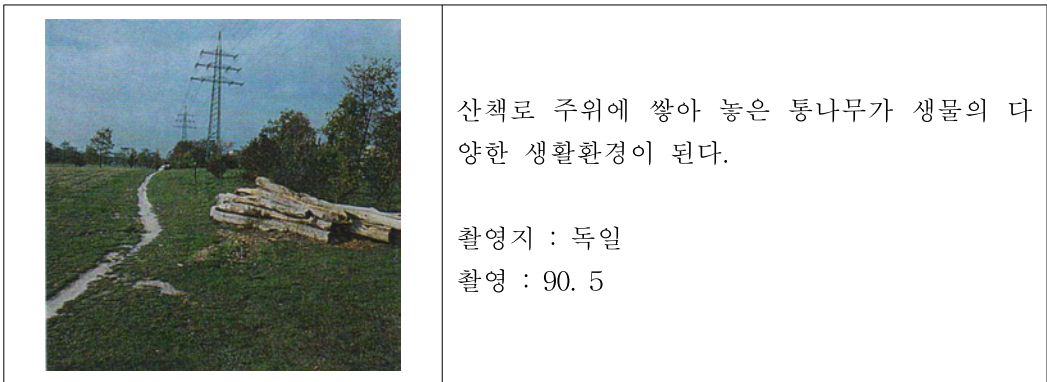
옛날의 가정에서는 나무·돌 등 자연소재를 사용하여 곤충류나 다지류의 좋은 영소장소가 되었다. 마을동산은 이들 건축물과 인접한 지역에 있고, 이러한 건축물과 일체화된 하나의 계를 이루는 것으로 인식되었다. 즉, 영소지로서의 가옥과 먹이섭취 등의 일상생활의 무대가 되는 마을동산과의 조화에 의해 마을동산의 생태계를 더욱 복잡하고 다양하였다. 현재, 건축재료의 변화 등에 의해 이러한 영소지가 크게 감소되었다. 마을동산 내에 생물의 영소지가 되는 환경을 창조하는 것은 중요하다.



<부록 그림-22> 동산과 어우러진 마을

㉠ 활엽수 통나무 쌓기

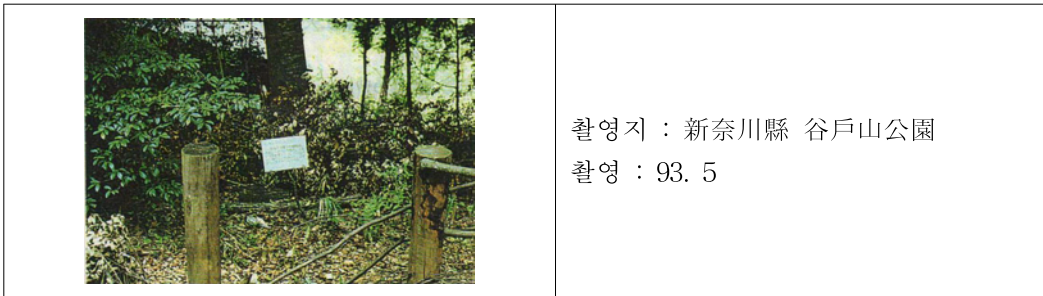
낙엽활엽수림의 유지관리 작업 시 나오는 간벌재나 가지 등을 쌓아 놓은 것. 벌의 영소장소로도 이용되는 외에 노후화 되는 단계에서 다양한 곤충류, 다지류 등이 서식하는 장소를 제공하게 된다.



<부록 그림-23> 통나무와 생물생육 환경 조성

② 임상정비시 고려사항

낙엽활엽수를 유지해 가기 위해서는 임상의 정비도 필요하다. 이 때 임상에 밀생한 키 작은 나무류를 절취하고, 이것을 어느 정도 쌓아준다. 이것만으로도 곤충류나 다지류의 서식에 좋은 조건을 만들어 준다.



<부록 그림-24> 키 작은 나무류 야적은 생물서식공간 제공

③ 수변의 조성

다양화라고 하는 점에서는 어느 정도의 수변을 창출하는 것도 대단히 효과적이다. 잠자리나 반딧불이 등 유충시기를 수중에서 지내는 곤충류가 서식하기 위해서는 결정적인 요인이 된다. 또한 습한 토양을 이용해서 등지를 만드는 벌에게는 유용한 장소이다.



<부록 그림-25> 추수식물로서 갈대를 식재한 수변조성

이상과 같이 다양한 생활환경을 조성한다고 하는 것은 일부러 전용 재료를 구입해야 한다고 하는 것은 아니다. 그 외에도 자연석 쌓기나 대나무를 쌓아 두는 등 생각에 따라 다양한 방법을 생각할 수 있다. 계획대상지에 적절한 방법을 구상해 볼 필요가 있다.

④ 마을동산의 유의점

- ㉠ 마을동산의 생태계를 확보하고, 그 경관적 특징을 유지하기 위해 정원수림이나 원예종을 도입한다.
- ㉡ 야생종이라 할지라도 다른 마을동산을 파괴하는 산에서 채취하는 상품이나 유전자 교란의 염려가 있는 다른 계통의 것을 도입하는 것은 적극적으로 피한다.
- ㉢ 콘크리트나 포장타일과 같은 인공재료의 사용은 최소한으로 하고 자연소재를 주로 검토한다. 노면도 흙 포장을 원칙으로 한다.

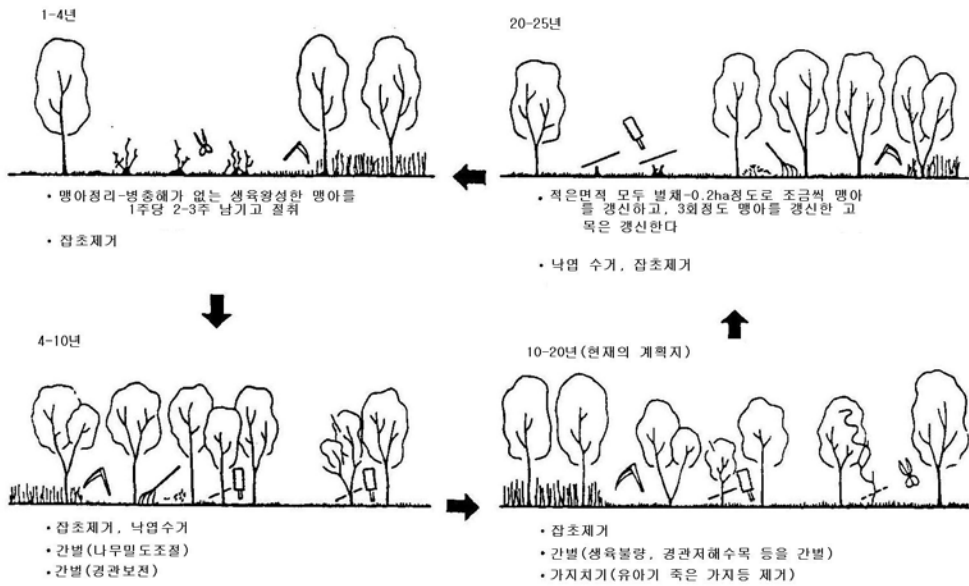
(3) 마을동산의 유지관리

마을동산은 인간의 유지관리가 없으면 존속할 수 없다. 이 때문에 어떻게 유지관리를 해야 하는가는 마을동산의 근본적 문제라 할 수 있다. 본 항에서 다음의 2가지 항목에 대하여 설명하고자 한다.

- ① 전형적 마을동산의 유지관리 작업
- ② 임상별 유지관리 작업

① 전형적 마을동산의 유지관리 작업

마을동산의 유지관리 작업에 대하여 검토할 때 실제 유지관리 작업의 사이클을 파악할 필요가 있다. 이하에 낙엽을 이용하는 나무의 유지관리 작업을 가장 전형적인 상수리나무, 졸참나무의 경우에 대하여 설명한다.



<부록 그림-25> 상수리나무, 졸참나무의 유지관리 작업

② 임상별 유지관리 작업

유지관리 작업은 어떤 임상의 구조를 목적으로 하는가에 따라 크게 바뀐다. 다음 표는 임상의 유형과 그에 따른 작업량을 나타낸 것이다. 임상의 분류도 다양한 의견이 있으나 여기서는 어떠한 유지관리 작업이 있는지 그 일례를 설명한다. 또한 삼림레크리에이션에 따른 임상유형은 (2) 마을동산 정비방법 ① 정비목표의 설정 항의 그림 참조하기 바란다.

(부록 표-6) 레크레이션림의 임상유형과 관리지침(삼림내 상대조도 20-25%의 경우)

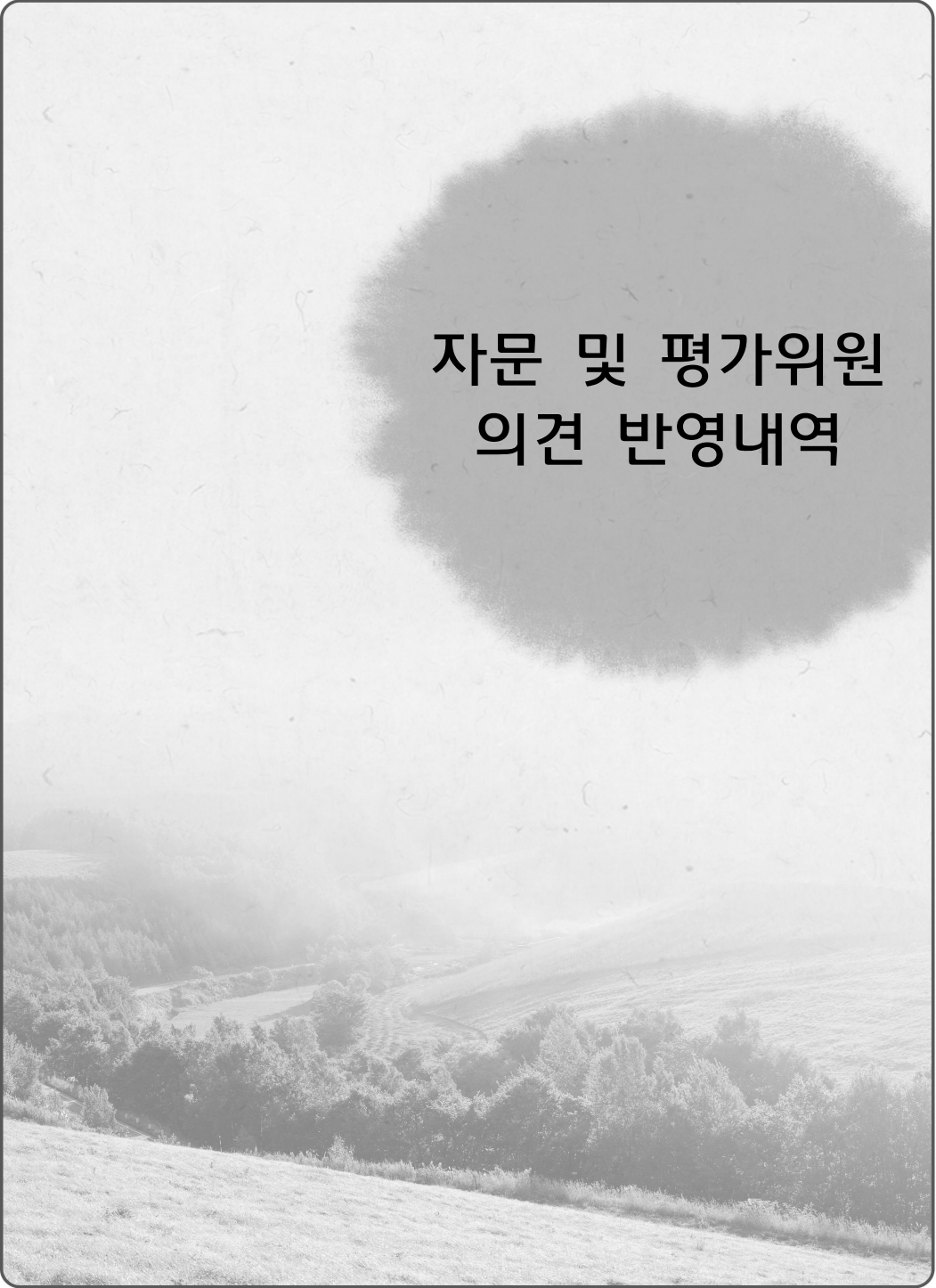
임상유형	입지조건	관리지침	대응하는 이용유형 기능
작은 초본형	고지임지·적응식물정착	연 2회 봄, 여름 제초	휴식체류형
	저지임지·적응식물미정착	적응식물도입, 연1회 여름 제초	
큰초본형	고지임지·적응식물정착	연 2회 여름 제초	산책, 자연놀이
	저지임지·적응식물미정착	적응식물도입, 연1회 봄 제초	
초본형	초화류 정착임지	연 1-2회 적기의 제초, 3년에 1회 정도 간벌과 가지치기	관상, 산책
	초화류 미정착 임지	임지적응초화류 도입 후, 위 향과 동일한 관리	
대나무형	좁해장죽 임지	연 1회 여름 제초	유식체류
	근세 임지	연 1회 늦은 봄 제초	
	대나무 임지, 대나무 미정착임지	연 1회 겨울 제초	산책, 자연놀이
자초형	잡목형 임상의 개량	연 1회 겨울, 또는 2년에 1회 여름 제초	산책
진달래과 관목형	진달래과 관목자생임지	1-2년에 1회 선택적 제초, 3년에 1회 간벌, 가지치기	관상, 산책
잡목형	급경사지, 경계구 등	출입, 관리 회피, 기존 종 및 임종의 존속을 목적으로 하는 5-10년 주기 제초	보전, 완충

위 표를 임상유형과 그 주요 유지관리 작업에 대하여 정리하면 다음 표와 같다. 기획단계에서 지형, 구배, 일조 등의 조건을 고려하여 어디에 어떻게 임상을 조성하고, 이것을 어떠한 프로그램으로 유지관리 해 나갈 것인가가 문제가 된다. 또한 임상의 유형에 따라 유지관리의 빈도도 달라진다. 계획대상지가 어느 정도 유지관리를 할 수 있을지도 고려할 필요가 있다. 또한 설계, 입안 시에는 유지관리의 체제를 만드는 것도 검토할 필요가 있다.

(부록 표-7) 임상의 유형과 유지관리 작업

임상유형/작업 기간	문 제 점	대책이 되는 유지관리	유의점
초본형 임상 매년 여름에 1회 또는 여름과 5월 중, 하순	키가 작은 나무가 밀 생한 임상에서는 초 본식물이 죽고, 비교 적 음지에 강한 식물 만이 생육 가능	키가 작은 식물의 번무 를 억제하기 위해 간별	토양수분조건, 임내의 광조건, 토양 속 종자 의 다소, 초지 등의 조 건의 차이를 고려
초화류형 임상 매년 여름 전후기에 1-2회의 제초, 3년에 1회 정도의 간별, 가지치기	키가작은 나무의 밀 생에 의한 발육부진	키가 작은 나무의 번무 를 억제하기 위해 간별	등나무 등의 두루미의 먹이식물에 대해서도 적절한 기계를 이용해 정전하고, 임상내부를 밝게 한다
대남유형 임상 근세:매년 여름에 1회 절취 좀해장죽:년 2회 5월 중순-하순에 절취	대나무가 밀집하고 있 기 때문에 다른 식물 이 생육할 수 없음	대나무절취 적 대나무는 매년 적절 한 높이로 근세를 밀생 시키기 위해서는 5월 중, 하순에, 좀해장죽은 여 름에 절취	밝은 개방지에는 양미 역취, 큰망초 등의 귀 화식물의 침입번무에 주의
자초형 임상	목본식물과 초본식물 을 적당한 높이로 관리	목본식물과 초본식물을 혼재시키고, 개방적인 삼 림공간과 열린 공간을 확보	목본식물을 혼재시키 므로 자유로운 임간이 용에는 적당하지 않 다.
진달래과 관목형 임상 1-2년에 1회의 선택적 간별, 3년에 1회 간별	상록활엽수의 번무에 의해 진달래과 관목 이 고사	선택적 간별에 의한 진 달래과 관목류의 보전	진달래과 관목류류는 여름에 일정정도 이상 의 광 조건이 필요. 다른 키가 작은 나무 에 의한 차광의 영향을 제거
잡목형 임상 5-10년 주기 간별	키가 작은 나무류의 밀생에 의한 생태계가 빈곤화됨	임내에 밀생한 키가 작 은 나무류의 간별	임지를 몇 가지로 구 분하여 간별년도를 늘 리고, 다양한 천이단 계의 잡목형 임상을 공존시킴

* 전항의 표에서 작은 초본과 큰 초본형의 임상을 합쳐서 초본형 임상으로 구
분 육상과 수중의 점이대로서 다양한 동식물의 서식장이기도 하다.



자문 및 평가위원
의견 반영내역

□ 자문 및 평가위원 의견 및 반영내역서

1) 착수세미나(2009.9.18)

no	주요 의견 내용	반영 여부 (○,×)	반영계획
1	농업용 저수지 생태적 기능 평가 요소 기술	○	연구결과보고서에 생태적 구성 및 평가 요소를 포함 시킬 계획
2	식생여과대 공법 적극 활용 권장	○	식생정화방법 중 인공습지부분을 제외하고 식생여과 및 식생수로 공법에 대한 기존 사례분석을 통한 연구결과를 도출할 계획 임
3	유입하천의 특성에 따라 수질정화 기법의 다양하게 적용	○	유입수질과 수량에 따라 적용공법이 다르지만 단일공법보다는 처리목표 달성을 위한 조합공법에 대하여 검토 제시할 계획 임
4	연구결과 활용계획 미흡	○	연구결과 활용은 현장여건을 고려하여 적용성이 다르기 때문에 일반적인 사항을 기술하고 특수조건에 대해서는 적용시 고려사항으로 제시할 계획 임
5	수질개선사업은 저수지 환경개선 사업으로 명칭 변경	○	사업명칭변경은 사업주체가 결정사항이므로 외국사례를 제시하여 충분히 검토할 수 있도록 할 계획 임
6	경관 및 친수시설의 계획기법 연구구부분 연구범위 축소	○	연구범위를 축소하여 수질개선시설의 경관향상 및 친수시설로서 가치 평가 부분으로 조정
7	선행연구 검토를 충실히 할 것	○	국내외 연구결과와 사례분석을 통한 조사·설계 기법 내용에 포함 시킬 계획임

착수세미나 검토 의견서 양식(자문위원 배부용)

연구착수세미나 검토 의견서	
자문위원 성명	2급 김호일
연구제목	농업용저수지 호소수변 생태공학적 수질개선기법 연구
연구책임자	(재)농어촌환경기술연구소 윤경섭이사
<p>○ 연구내용에 맞는 제목이 설정되었는가? - 농업용저수지 수질개선 적용기법에 대한 연구내용으로 적합한 제목으로 설정되었음</p> <p>○ 연구의 필요성 및 목적(목표)가 명확한가? - 연구필요성 및 목표가 미래지향적으로 명확히 설정되었음</p> <p>○ 선행연구에 대한 검토가 충실하게 이루어졌는가? - 선행연구 및 적용사례지구에 대한 검토는 충실히 이루어졌음</p> <p>○ 연구내용이 연구목적에 맞게 구성되었는가? - 적용대상 저수지에 적합한 기법이 선행검토가 필요하며, 다양한 기법에 대한 연구가 필요함</p> <p>○ 연구추진전략 및 방법, 추진체계가 적절한가? - 관련법령, 유사연구사례 등을 평가하고, 사례지구 문제점 파악 및 관련사업을 분석을 통해 적용안을 제시하는 연구추진방법은 적절한 것으로 판단됨</p> <p>○ 월별 추진계획이 적절한가? - 연구 잔여기간이 적어 내실있는 연구과제 수행을 위해서는 협동연구기관과 업무분야별로 보다 세부적인 연구추진계획수립이 필요함</p> <p>○ 연구의 내용 및 범위 대비 연구진 수는 적절한가? - 본 연구는 사례연구로 대상기법의 적용기준을 제시하는 연구로 연구참여진의 구성은 적절한 것으로 판단됨</p>	

연구착수세미나 검토 의견서

자문위원 성명	2급 김호일
연구제목	농업용저수지 호소수변 생태공학적 수질개선기법 연구
연구책임자	(재)농어촌환경기술연구소 윤경섭이사
<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구결과 기대효과 및 활용계획(방안)이 적절한가? <ul style="list-style-type: none"> - 관련 수질개선사업의 기술증진 및 사업활성화 등 기대효과는 적절히 파악하였으나, 본 과제 성과물의 활용계획에 대한 언급이 미흡함 ○ 연구계획의 변경 및 시행계획 변경사항이 있는가? <ul style="list-style-type: none"> - 본 연구가 기존 기법의 성능·적용성 향상에 목적이 있는지, 신규기법 개발인지에 대해 명확히 하여야 함 - 적용대상 저수지를 선정 후 저수지 환경특성에 적합한 다양한 기법선정 및 적용기법이 검토되어야 함 - 경관 및 친수시설 계획시 저수지 수변의 용수공급지역까지 감안한 계획이 제시되어야 농어촌의 포괄적인 경관향상이 가능할 것임 ○ 기타 연구수행에 필요한 사항 및 개선보완 사항 <ul style="list-style-type: none"> - 호소주변 수질개선기법 적용이 홍수면 부지에 해당하는 완충지역, 전이지역 등인데 이러한 부지가 없어 개선기법을 적용하기가 곤란한 저수지가 많으므로, 이에 대한 대안제시가 필요함 - 수질개선계획 검토절차에서 적용기법의 적정수질농도, 규모산정기준, 효과 등에 대해서 명확한 제시가 필요하며, 공법적용성 검토 및 설계에 필요한 인자가 많은데 각 인자에 대한 적용 가이드라인이 필요할 것임 - 연구내용대로 되면 향후 “수질개선사업”은 “저수지환경개선사업”으로 명칭·내용변경이 제시가 되어야 함 	

<덧붙임 1> 착수세미나 검토 의견서 양식(자문위원 배부용)

착수세미나 검토 의견서	
자문위원 성명	이 상 준
연구제목	농업용 귀산지 호도구비 생체유전적 수질개선 기념 연구
연구책임자	
※ 중점검토사항 <ul style="list-style-type: none"> ○ 연구내용에 맞는 제목이 설정되었는가? ○ 연구의 필요성 및 목적(목표)가 명확한가? ○ 선행연구에 대한 검토가 충실하게 이루어졌는가? ○ 연구내용이 연구목적에 맞게 구성되었는가? ○ 연구추진전략 및 방법, 추진체계가 적절한가? ○ 월별 추진계획이 적절한가? ○ 연구의 내용 및 범위 대비 연구진 수는 적절한가? ○ 외주용역(공동연구, 위촉연구, 위탁연구)의 필요성 및 사유, 용역범위 및 용역비가 적절한가?(외주용역이 있는 경우) ○ 연구평가의 착안점 및 기준이 적절한가? ○ 연구결과 기대효과 및 활용계획(방안)이 적절한가? ○ 연구계획의 변경 및 시행계획 변경사항이 있는가? ○ 기타 연구수행에 필요한 사항 및 개선보완 사항 	

착수세미나 검토 의견서

자문위원 성명	
연구제목	
연구책임자	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 전반적으로 연구필요성, 추진 체계 등이 적절하게 수립되었음. 2. 농업용 저수지의 현 수질 현황에 대한 자료를 수집하여 생태적 수질개선 기법의 필요성 강조할 필요성 있음 3. 기존의 생태공학적 기법이 주로 대하천, 준노, 인공습지 등 대체문시성분, 혹은 환경 개선 측면이 강함 → 새로운 농업용 저수지의 수질개선 및 생태적 개선 기법의 개발 및 도입의 필요성 역설 4. 농업용 저수지 비점오염 저감시설이 저자재의 비점 저감 대책으로 환경부(유역환경청) 인형 받을 수 있는지에 대한 정책 검토 5. 농업용 저수지 생태적 기능은 평가할수 있는 인자 (요소) 등을 기존 문헌 자료의 범위 내에서 정리 (비점오염 저감 대상) → 대상의 선정 및 사후 모니터링이 활용 6. 수질개선 대책은 1) 수체내 이용가능 대책 > 유입복합 저감 대책으로 구분하여 정리. <부영양, 인산염질소> <적색조류, 유지> 항목만쪽 7. 농업용 저수지의 현 수질 항목별 조사항목을 고려하여 유지의 저감 효과가 명확히 연계할 필요가 있음 8. 식생 여과대는 그 자체적 저감 효과보다는 인형 너미의 수변인경 구역에 대한 여농활동 제한의 효과도 있으므로 적극적으로 권장할 필요가 있음 	

착수세미나 검토 의견서

자문위원 성명	최 경 영
연구제목	농업용 저수지 호소주변 생태공학적 수질개선 기법연구
연구책임자	
<ul style="list-style-type: none"> - 유입하천의 특성에 따라 우월침하 기법이 다르게 적용되어야 함. · 초기 우수에 의한 비점 오염원 유입이 큰 경우에는 유입천의 전처리 시설에 관심을 두어야 함 · 특히 토사유입이 많은 경우, 침전지나 유폐지나 유지 반력을 위한 충분한 대안이 마련되어야 함. · 홍수시기 대한 대안 마련. - 연구의 범위가 너무 광범위 함 <ul style="list-style-type: none"> · 친수시설, 친수 정반자천 등 경관적 아메니티 선제 분야는 사례의 성격과 거리가 있으므로 범위를 축소 하는 것은 아예 관외? · 저수지 생태계의 다양성 확보는 저수지의 농촌 생태 Source로서의 기능과 어느 중심이로한 아메니타를 연구의 범위를 조정하는 것 필요. - 하천 및 비점 오염 저감 방안 연구에 대한 환경부나 국토 해양부의 선행 연구를 최대한 참고하고 농업용 저수지의 적용성 여부가 높을 통하여 기존 연구는 최대한 활용 할 것. - 연구 결과의 정책 항목에 대한 ^{자료} 설정이 필요함. 	

<덧붙임 1> 착수세미나 검토 의견서 양식(자문위원 배부용)

착수세미나 검토 의견서	
자문위원 성명	
연구제목	
연구책임자	
<p>※ 중점검토사항</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 연구내용에 맞는 제목이 설정되었는가? ○ 연구의 필요성 및 목적(목표)가 명확한가? ○ 선행연구에 대한 검토가 충실하게 이루어졌는가? ○ 연구내용이 연구목적에 맞게 구성되었는가? ○ 연구추진전략 및 방법, 추진체계가 적절한가? ○ 월별 추진계획이 적절한가? ○ 연구의 내용 및 범위 대비 연구진 수는 적절한가? ○ 외주용역(공동연구, 위촉연구, 위탁연구)의 필요성 및 사유, 용역범위 및 용역비가 적절한가?(외주용역이 있는 경우) ○ 연구평가의 착안점 및 기준이 적절한가? ○ 연구결과 기대효과 및 활용계획(방안)이 적절한가? ○ 연구계획의 변경 및 시행계획 변경사항이 있는가? ○ 기타 연구수행에 필요한 사항 및 개선보완 사항 <p>· 연구의 범위가 너무 광범위한.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수위 변동에 따른 생태변화 및 습지 혼란 - 하천 습지에서 위안된 공방들의 적용성 가능성 - 저수지의 생태 중심으로서의 역할 (Source) - 동종에서부터* 구분하의 연계성이 중요 	

연구착수세미나 검토 의견서

자문위원 성명	김 관호
연구제목	농업용 저수지 호소주변 생태공학적 수질개선 기법 연구
연구책임자	윤 경섭

- 연구내용에 맞는 제목이 설정되었는가?

 - 연구제목은 “농업용 저수지 호소주변 생태공학적 수질개선 기법 연구”이나 본문 주요연구 내용에서는 “호소주변 수질개선 계획기법”과 “경관 및 친수시설 계획기법” 2가지로 구성되어 있음. 연구의 선택과 집중을 통해 후자의 내용은 연구내용에서 제외하는 것이 타당하다고 판단됨

- 연구의 필요성이 및 목적이 명확한가?

 - 2010년부터 농어촌정비법이 개정되면서 농어촌용수구역 설정, 수질개선 및 수질오염 방지에 대한 내용이 강화되어, 이에 관련하여 연구의 필요성이 명확함
 - 호수주변 수질개선 계획기법연구로서 생태공학적 비점오염물질의 저감시설 기법 개발로 되어 있음

- 선행연구에 대한 검토가 충실하게 이루어졌는가?

 - 기존 유사사례 및 문헌연구를 통한 선행연구에 대한 검토가 미흡. 선행연구에 대한 검토가 자세히 이루어 져야 할것임

- 연구내용이 연구목적에 맞게 구성되었는가?

 - 세부연구내용으로는 수질개선계획 검토절차와 공법 적용성 검토 및 설계에 필요한 정보를 주요 연구내용으로 하고 있음

- 연구추진전략 및 방법, 추진체계가 적절한가 ?

 - 연구범위를 설정하고 현재 현황 및 문제점을 분석하여 수질개선 기법을 제시하는 방법으로 구성되어 있음

- 월별 추진계획이 적절한가 ?

 - 연구기간이 3개월임을 감안할 때 월별 연구 추진일정은 적절하게 구성되어 있음

- 연구의 내용 및 범위 대비 연구진 수는 적절한가 ?

 - 책임연구원 1인, 연구원 5인으로 적정하게 구성되어 있음

연구착수세미나 검토 의견서

◦외주용역 필요성 및 사유 용역범위 및 용역비가 적절한가?

- 해당사항 없음

◦ 연구평가의 착안점 및 기준이 적절한가?

- 연구평가의 착안점 및 기준을 설정하여야 할 것임.

◦연구결과 기대효과 및 활용계획이 적절한가?

-기술적 기대효과 측면에서는 생태공학적 비점오염정화시설 계획도입으로 수질개선 계획 설계 업무에 효율성을 제고 할 것으로 판단되며, 활용계획에서는 “표준설계 요령”이 실용화 될 수 있는 방안을 제시하여야 함

◦연구계획의 변경 및 시행계획 변경사항이 있는가?

- 세부연구과제인 “경관 및 친수시설 계획”에 있어서는 연구기간과 내용을 고려할 때 어려운 부분이 있으므로 실제 사례에 대한 내용부분이 열거 될 수 있으므로 본 연구계획에서 변경되는 것이 바람직하다고 판단됨

◦기타 연구수행에 필요한 사항 및 개선보완 사항

- 수질개선 계획기법 적용에 따른 수질개선 검증방법 모색 필요
- 수질개선 계획기법은 실무자들이 활용하기 용이하도록 구성되어야 하며 모니터링을 통한 유지관리 방안도 함께 제시되어야 할 것임.

2) 중간검토회의(2009.10.28)

no	주요 의견 내용	반영 여부 (○,×)	반영계획
1	식생여과대 및 식생수로의 설계 뿐 만 아니라 유지관리적 측면에 대한 검토가 필요함.	○	보고서에 유지관리 항을 설정하여 기술할 계획 임
2	기존의 조사 자료를 활용하여 이러한 수질개선 사업을 활용할 수 있는 대상지를 사전 조사하는 것이 좋겠음.	○	기존 저수지의 물리적,화학적 형태분류를 참고할 계획 임
3	저수지의 수위 변화를 고려한 식재 식물종 선정과 관리방안에 대한 검토.	○	기존 연구결과를 수집하여 정리할 계획 임
4	수질개선기법연구 중 “식생수로”와 “식생여과대”에 대한 계획가이드라인 또는 설계기준과 관련하여 “오염물질 처리효율”을 제시할 경우에는 설계·운전조건을 함께 제시 필요	○	설계사례를 충실히 검토하여 기술할 계획 임
5	저수지 친수공간 조성을 위한 시설계획시 경관, 생태적 기능, 환경적 기능 외에도 안전성, 생태축 연결, 사람의 접근 증가나 시설 자체발생 오염물질 관리대책이 고려되어야 함	○	계획수립시 고려할 사항으로 보고서에 반영할 계획 임
6	주변식생대 조성시 저수부 수생식물 도입은 서식밀도 조절이 가능하도록 계획하여 수생식물에 의한 역오염문제, 식물생태계 단순화를 방지하여야 함	○	자탁(自濁)오염문제에 대하여 향후 연구가 필요할 것으로 사료 됨

중간검토회의 자문의견서

자문위원 성명	임 상 준 (서울대학교 산림과학부)
연구제목	농업용저수지 호소주변 생태공학적 수질개선기법 연구
연구책임자	농어촌환경기술연구소 윤 경 섭
<p>1. 연구필요성 및 목적이 명확하게 설정되었는가? - 설정되었음</p> <p>2. 선행연구에 대한 검토가 충실하게 이루어졌는가? - 검토되었음</p> <p>3. 문제인식, 접근방법, 논리성 등에서 얼마만큼의 창의성을 발휘하였는가? - 농업용 저수지의 수질개선을 위한 방법론을 제시하였음</p> <p>4. 자료의 이용 및 제시는 적절한가? - 적절함</p> <p>5. 연구내용이 연구목적에 맞게 구성되었는가? - 구성되었음</p> <p>6. 분석결과를 적절히 해석하였는가? - 현재단계에서는 자료분석이 이루어지 못함. 과제 수행에 따라 이루어질 것으로 봄</p> <p>7. 공동연구 또는 위촉연구의 내용과 범위가 적절한가?(공동 및 위촉연구가 있는 경우) - 적절하게 연구범위를 설정하였음</p> <p>8. 공동연구 또는 위촉연구 내용이 적절히 활용되었는가? - 적절함</p> <p>9. 예상 연구결과가 해당 사업부서에 어느 정도 활용되겠는가? - 기존 저수지의 수질개선 및 수환경 개선을 위한 설계에 반영될 것으로 보임</p> <p>10. 예상 연구결과가 정책에 어느 정도 활용되겠는가?(농촌개발연구) - 저수지 등의 농촌 수변환경 및 저수지 주변 경관관리 등의 정책 개발에 활용될 것으로 보임</p> <p>11. 다음은 연구과제 평가에 필요한 자료입니다. -중간검토회의 보고서 받은 일자? 2009. 10. 28 -착수세미나 시 검토의견(지적사항)이 적절히 반영되었는가? 반영되었음</p> <p>12. 기타 개선보완 사항을 보고서 원고에 표시</p>	

자문위원 : 임 상 준 (인)

<기타 검토 의견>

1. 식생여과대 및 식생수로의 설계 뿐만 아니라 유지관리적 측면에 대한 검토가 필요함. 식생여과대는 그 기능을 발휘하기 위해서는 대면적을 필요로 하며, 식재 후에 식물의 관리가 주기적으로 이루어져야 함. 이러한 측면에서 시공 후 관리방안에 대한 언급이 필요할 것으로 보임
2. 기존의 조사 자료를 활용하여 이러한 수질개선 사업을 활용할 수 있는 대상지를 사전 조사하는 것이 좋겠음. 현재 관리중인 농업용 저수지를 몇 개의 유형으로 분류하여 이 사업을 통한 효과가 극대화될 수 있는 대상지를 사전에 평가하여 대략적으로 몇 개소에 사업 시행이 가능한지 살펴보는 것도 좋겠음
3. 저수지의 수위 변화를 고려한 식재 식물종 선정과 관리방안에 대한 검토. 저수지의 경우에는 농업용수 공급을 위하여 수위 변화가 습지와는 다르게 많음. 식물은 수위 및 수분에 민감하므로 이러한 수위 변화를 고려하여 적절한 식물종을 선정하는 것이 필요함
4. 침사지에 대한 검토. 일부 저수지의 경우에는 수질오염보다는 상류에서 유입되는 토사문제가 심각한 경우도 있음. 이러한 경우에는 상류에 침사지 등을 설치하는 것이 저수지 관리 및 수질개선에 효과적임. 이에 대한 검토도 필요함

중간검토회의 의견서

자문위원	김 호 일
연구제목	농업용 저수지 호소주변 생태공학적 수질개선기법연구
연구책임자	(재)농어촌환경기술연구소 윤 경 섭

- 수질개선기법연구 중 “식생수로”와 “식생여과대”에 대한 계획가이드라인 또는 설계기준과 관련하여 “오염물질 처리효율”을 제시할 경우,
 - 설계 · 운전조건을 함께 제시 필요
 - ※ 최적조건에서의 처리효율을 제시할 경우 과소설계로 인한 수질개선 효과 미흡이 우려됨
- 저수지 친수공간 조성을 위한 시설계획시 경관, 생태적 기능, 환경적 기능 외에도
 - 안전성, 생태축 연결, 사람의 접근 증가나 시설 자체발생 오염물질 관리대책이 고려되어야 함
- 저수지 유형을 구분함에 있어 분류기준을 좀더 세분화하여 제시 필요
- 주변식생대 조성시 저수부 수생식물 도입은 서식밀도 조절이 가능하도록 계획하여 수생식물에 의한 역오염문제, 식물생태계 단순화를 방지하여야 함

중간검토회의 자문의견서

자문위원 성명	박 창 원 (한국농어촌공사 농산업·도농교류지원본부)
연구제목	농업용저수지 호소주변 생태공학적 수질개선기법 연구
연구책임자	농어촌환경기술연구소 윤 경 섭

1. 연구필요성 및 목적이 명확하게 설정되었는가?
- 농업용저수지 호소주변 수질개선 및 친수경관 조성을 위한 연구필요성 및 목적이 명확하게 설정되었음.
2. 선행연구에 대한 검토가 충실하게 이루어졌는가?
- 다양한 선행연구 및 사례분석을 진행하였음
3. 문제인식, 접근방법, 논리성 등에서 얼마만큼의 창의성을 발휘하였는가?
- 농업용 저수지의 수질개선을 위한 경관형성기법 등에 대한 유형 및 지침에 대해서는 현실적인 접근이 이루어졌음
4. 자료의 이용 및 제시는 적절한가?
- 자료의 이용 및 제시가 적절함
5. 연구내용이 연구목적에 맞게 구성되었는가?
- 연구내용이 연구의 목적 및 필요성에 적합하게 구성되었음
6. 분석결과를 적절히 해석하였는가?
- 현재단계에서는 자료분석이 이루어지 못함. 과제 수행에 따라 이루어질 것으로 봄
7. 공동연구 또는 위촉연구의 내용과 범위가 적절한가?(공동 및 위촉연구가 있는 경우)
- 적절하게 연구범위를 설정하였음. 다만, 친수경관분야의 연구범위를 좀더 수질개선기법과 연계하여 집중적으로 진행되어야 할 것임
8. 공동연구 또는 위촉연구 내용이 적절히 활용되었는가?
- 적절함. 다만 공간별 수질개선기법과 연계될 수 있도록 추후 연구가 진행되어야 할 것임
9. 예상 연구결과가 해당 사업부서에 어느 정도 활용되겠는가?
- 농업용저수지 수변개발 및 수질개선 등과 관련된 정책개발 및 사업시행에 많은 도움을 줄 것으로 예상됨 (특히, 농업농촌테마공원 등 지역개발사업 활용가능성이 높음)
10. 예상 연구결과가 정책에 어느 정도 활용되겠는가?(농촌개발연구)
- 농업용저수지의 수질개선과 더불어 농어촌경관개선, 어메니티 자원활용 등 농어촌 지역개발분야 등 다양한 분야의 정책개발에 기초자료 등으로 활용이 가능함
11. 다음은 연구과제 평가에 필요한 자료입니다.
- 중간검토회의 보고서 받은 일자? 2009. 10. 28
12. 기타 개선보완 사항을 보고서 원고에 표시

자문위원 : 박 창 원 (인)

<기타 검토 의견>

1. 사업시행 후 유지관리에 대한 지침 제시 등을 통해 현재 사업진행 중인 저수지 및 사업예정지 등의 사업계획 작성 등에 실무지침서로 활용가능토록 하여야 함
2. 수질개선기법의 적용가능한 공간적범위를 제시와 함께 공간별 친수경관형성의 연계가 진행되어야 할 것임
3. 생태해설사 등의 소프트웨어 분야의 연구범위의 포함은 고 무적이라고 판단됨
4. 추가적으로 지역주민들의 소득향상 및 유지관리분야 등 참여방안에 대한 내용을 추가적으로 작성되었으면 함
5. 수질개선기법별 경관형성기법을 작성하기 보다는 1개소의 사례지구에 대한 개략계획수립을 통하여 공간별 적용범위를 작성하는 것이 바람직함

3) 연구결과발표회(2009.12.14)

no.	주요 의견 내용	반영 여부 (○,×)	반영계획
1	식생여과대 및 식생수로의 개념정리	○	결과보고서에 적용표준(안)에 반영하였음
2	저수지 유형분류 기준 및 관찰시설 규격 제시	○	결과보고서에 반영하였음
3	지역주민참여 유지관리 모델 추가과제 연구 필요	○	결론부문에 반영할 계획 임
4	친수시설 공간조성을 위한 선정 지표 제시	○	결과보고서에 반영하였음
5	농업용저수지가 호소 댐 등과 다른 수문환경, 수질관리 측면의 특이성 기술	○	연구결과보고서 식생정화방법 향에 기술 하였음

연구결과발표회 자문의견서

<덧붙임> 연구결과발표회 자문의견서

(A4용지, 40자×20줄, 12 point, 3매 정도)

연구결과발표회 자문의견서	
자문위원 성명	박 장근
연구 제목	농업통계자료 기반농업 스마트농업의 수확개선 기법연구
연구 책임자	(재) 농촌진흥청농업통계조사팀 유영성
<p>2009년 농어촌연구원에서 시행하는 농촌개발연구 및 자체자금연구는 “착수세미나→중간검토회의→결과발표회(10월~11월)→연구종료보고 및 보고서 유 인발주(12월)→연구보고서 제출(12월18일한)→과제평가(12월18일한)” 순으로 진행되며, 연구 효율성 및 성과 극대화를 위해 과제별 자문위원을 구성하여 착수세미나, 중간검 토회의, 결과발표회시 자문위원님의 소중한 자문의견을 받고 있습니다.</p> <p>또한, 연구종료 후 발간되는 연구보고서, 연구과정에서의 자문위원 검토의견 반영사항, 연구추진단계 및 일정 준수사항 등은 연구과제 평가에 기초자료로 활용됩니다.</p> <p>※ 중점검토 사항</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 착수세미나 및 중간검토회의시 검토의견(지적사항)이 적절히 반영되었는가? 2. 선행연구에 대한 검토가 충실하게 이루어졌는가? 3. 문제인식, 접근방법, 논리성 등에서 얼마만큼의 창의성을 발휘하였는가? 4. 자료의 이용 및 제시는 적절한가? 5. 연구내용이 연구목적에 맞게 구성되었는가? 6. 분석결과를 적절히 해석하였는가? 7. 공동연구 또는 위촉연구의 내용과 범위가 적절한가? 8. 예상 연구결과가 해당 사업부서에 어느 정도 활용되겠는가? 9. 예상 연구결과가 정책에 어느 정도 활용되겠는가?(농어촌개발연구) 10. 기타 개선보완 의견 등 	

※ 필요시 별지 사용

<덧붙임> 연구결과발표회 자문의견서

(A4용지, 40자×20줄, 12 point, 3매 정도)

연구결과발표회 자문의견서	
자문위원 성명	박 장근
연구 제목	농업농촌지역 개도지역 사생애학각 추진개선 기법연구
연구 책임자	(재)농촌진흥청장관실 유 경서
<p>2009년 농어촌연구원에서 시행하는 농촌개발연구 및 자체자금연구는 “착수세미나→중간검토회의→결과발표회(10월~11월)→연구종료보고 및 보고서 유 인발주(12월)→연구보고서 제출(12월18일)→과제평가(12월18일)” 순으로 진행되며, 연구 효율성 및 성과 극대화를 위해 과제별 자문위원을 구성하여 착수세미나, 중간검 토회의, 결과발표회시 자문위원님의 소중한 자문의견을 받고 있습니다.</p> <p>또한, 연구종료 후 발간되는 연구보고서, 연구과정에서의 자문위원 검토의견 반영사항, 연구추진단계 및 일정 준수사항 등은 연구과제 평가에 기초자료로 활용됩니다.</p> <p>※ 중점검토 사항</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 착수세미나 및 중간검토회의시 검토의견(지적사항)이 적절히 반영되었는가? 2. 선행연구에 대한 검토가 충실하게 이루어졌는가? 3. 문제인식, 접근방법, 논리성 등에서 얼마만큼의 창의성을 발휘하였는가? 4. 자료의 이용 및 제시는 적절한가? 5. 연구내용이 연구목적에 맞게 구성되었는가? 6. 분석결과를 적절히 해석하였는가? 7. 공동연구 또는 위촉연구의 내용과 범위가 적절한가? 8. 예상 연구결과가 해당 사업부서에 어느 정도 활용되었는가? 9. 예상 연구결과가 정책에 어느 정도 활용되었는가?(농어촌개발연구) 10. 기타 개선보완 의견 등 	

※ 필요시 별지 사용

연구결과발표회 자문의견서

자문위원 성명	박 창원
연구 제목	농림축산식품부 환경부령 시행에공학적 수질개선 기법연구
연구 책임자	

1. 자연장타 평립과 친수공간 조성 사업에 대한 부분은 연구목적에 적합함.
2. 친수시설·공간정용 위한 평립지점(선정지점) 제시(예)가 필요할 것임
 - 인공습지; 식생생량, 수지, 자연성 등을 중심으로 제시
3. 평립(보리사과매형(10여이후) 이씨의 친수공간 조성시 방류 방안, 물리환경에 대한 추가연구의 필요성 제시하는 것임 바깥쪽
 - 자연재해(수질개선) + 지역개발 + 농산업 ⇒ 통합적 Model 제시
4. 지역주민 참여를 통한 유지관리 모델은 가장 이상적이나, 향후 추가연구가 필요할 것임. 종리 구체적인 주민참여 방안을 제시하는 것이 어떨지?

※ 3, 4번은 추가연구가 필요한 항목으로 검토사항 제시를 중심으로 권해야 하는 것이 바람직함.

<덧붙임> 연구결과발표회 자문의견서

(A4용지, 40자×20줄, 12 point, 3매 정도)

연구결과발표회 자문의견서	
자문위원 성명	임상준
연구 제목	농업의 자생적 혁신을 위한 생태농림작물 유망기술 개발 연구
연구 책임자	(재) 농촌진흥청 농업과학기술원 유영기
<p>2009년 농어촌연구원에서 시행하는 농촌개발연구 및 자체자금연구는 “착수세미나→중간검토회의→결과발표회(10월~11월)→연구종료보고 및 보고서 유 인발주(12월)→연구보고서 제출(12월18일한)→과제평가(12월18일한)” 순으로 진행되며, 연구 효율성 및 성과 극대화를 위해 과제별 자문위원을 구성하여 착수세미나, 중간검 토회의, 결과발표회시 자문위원님의 소중한 자문의견을 받고 있습니다.</p> <p>또한, 연구종료 후 발간되는 연구보고서, 연구과정에서의 자문위원 검토의견 반영사항, 연구추진단계 및 일정 준수사항 등은 연구과제 평가에 기초자료로 활용됩니다.</p> <p>※ 중점검토 사항</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 착수세미나 및 중간검토회의시 검토의견(지적사항)이 적절히 반영되었는가? <i>ok</i> 2. 선행연구에 대한 검토가 충실하게 이루어졌는가? <i>ok</i> 3. 문제인식, 접근방법, 논리성 등에서 얼마만큼의 창의성을 발휘하였는가? <i>ok</i> 4. 자료의 이용 및 제시는 적절한가? <i>ok</i> 5. 연구내용이 연구목적에 맞게 구성되었는가? <i>ok</i> 6. 분석결과를 적절히 해석하였는가? <i>ok</i> 7. 공동연구 또는 위촉연구의 내용과 범위가 적절한가? <i>ok</i> 8. 예상 연구결과가 해당 사업부서에 어느 정도 활용되겠는가? <i>ok</i> 9. 예상 연구결과가 정책에 어느 정도 활용되겠는가?(농어촌개발연구) <i>ok</i> 10. 기타 개선보완 의견 등 <i>(번외)</i> 	

※ 필요시 별지 사용

연구결과발표회 자문의견서

자문위원 성명	
연구 제목	
연구 책임자	
<p>1) 기존의 연구결과를 검토하여 이 연구안의 성과는 정크하여 부끄러울 정도로</p> <p>① 농업용 저수지 + 생태공학적 기법 ⇒ 차별화</p> <p>② 태워서(환경부, 주민부) 따의 사업의 과방선 전과</p> <p>2) 환경적 측면과 생태공학적 기법의 적용 측면에서 농업용 저수지가 적용 조수 담 등과 다른 수질환경 수질적 관리 측면의 특이성 기술 → 차후 연구성과의 지속적 활용 측면에서 이음 가능</p> <p>① 수위 변동, 농업용수 이용 등</p> <p>② 상류에 위치하여 사업비 등 서술</p> <p>3) 현재 농업용 저수지의 생태-환경적 기법에 대해 알기 아름 더욱 더 향상시키기 위한 방안으로 이 연구성과가 활용될 수 있다는 방안으로 제출 서술</p> <p>4) 농업용 저수지 (a)의 수질정화공법에 대한 내용이 부족함</p> <p>① 수로 유입되는 오염 부하의 저감 내용이 많음</p> <p>② 저수지 주변부나 저수지 (b) 적용 기법에 대한 내용을 추가할 필요 있음. (인공 연못 포함) ← 인공연못, 유역, 호안 식생 축조</p> <p>5) 농업용 저수지의 기법을 유사하도 친수공간 계획과 저수지 기법을 호수 기법을 전라할 후의 친수공간 계획으로 구분하여 접근 할 필요가 있음 ⇒ 친수사업이 원래의 것 비치가 달라져야 함.</p>	

* 훼손된 호수 주변에 식생/생태공간 기반에 대한

차후 연계 사업의 제안



□ 공동연구 참여내역

분야별 공동연구 참여내역

구 분	연구항목	한국농촌공사		용역기관	
		부서명	성명	기관명	성명
관리	연구과제 관리	농어촌 연구원	장정렬 김형중		
공동	농업용 저수지 호소주변 생태 공학적 수질개 선 기법 연구 (최종)			농어촌 환경기술연 구소	윤경섭 이광식 권상필 유성곤 이호찬
				누리넷 (주)	구진혁 안 민 김진욱

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부로부터 연구비를 지원받아 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행한 연구보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용은 연구원의 공식견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.

■ 발 행 처

농업용저수지 호소주변 생태공학적 수질개선 기법 연구(최종)	
발행일	2009. 12
발행인	박 해 성
발행처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 사동 해안로 391번지 전 화 031 - 400 - 1700 FAX 031 - 409 - 6055
※ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다. 단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.	

