

碩士學位論文

自然刑 河川公法の適用에 關한 研究



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

土木工學專攻

趙 鶴 喆

2 0 0 5

碩士學位論文

自然刑 河川公法の適用에 關한 研究

指導教授 楊 城 基



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

趙 鶴 喆

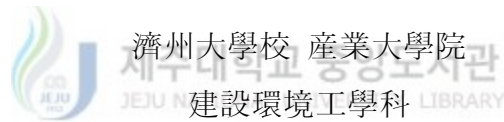
2 0 0 5

自然刑 河川公法の適用에 關한 研究

指導教授 楊 城 基

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2005 年 1 月 日



濟州大學校 産業大學院
建設環境工學科

土木工學專攻

趙 鶴 喆

趙鶴喆의 工學 碩士學位論文을 認准함.

2005 年 1 月 日

委 員 長	印
委 員	印
委 員	印

目 次

目 次	i
LIST OF TABLES	ii
LIST OF FIGURES	iii
I. 서론	1
II. 자연형 하천공법과 역사	4
1. 자연형 하천공법의 정의	4
2. 자연형 하천공법의 역사	5
III. 자연형 하천정화사업의 주요공법	7
1. 자연형 하천의 정비내용	7
2. 자갈 접촉산화공법	9
3. 끈상접촉산화공법	11
4. STORMSYS를 이용한 비점오염원관리 기법	13
5. 인공근을 부착한 수초재배섬	14
6. 조립식 아이스하바식 어도블록	15
IV. 자연형 하천공법의 국외 적용	18
1. 독일	18
2. 스위스	20
3. 오스트리아	22
4. 영국	24
5. 미국	26
6. 일본	29
V. 자연형 하천공법 국내 적용	39
1. 양재천	39
2. 안양천	50
3. 수원천	59
4. 산지천	62
VI. 자연형 하천정화의 적용성과	71
1. 생태이동통로	71
2. 인공적인 수초재배섬	78
3. 자연형 하천공법의 적용성과	83
VII. 결 론	86
참고문헌	88

LIST OF TABLES

Table 5-1. Drainage basin and physical characteristics of Yangjae Stream	40
Table 5-2. Waterway condition of drainage basin of Anyang Stream	51
Table 5-3. Basic course for construction of ecologic waterway	52
Table 5-4. Scope of Sanji Stream business	65
Table 5-5. Major schedule and execution status of Sanji Stream restoration	65



LIST OF FIGURES

Figure 3-1. Mechanism of purification by gravel contact oxidation method	9
Figure 3-2. Bird's-eye view of gravel contact oxidation facility	10
Figure 3-3. Principles of purification by string contact oxidation method	11
Figure 3-4. String filter material (media)	11
Figure 3-5. Bird's-eye view of string contact oxidation method	12
Figure 3-6. Treatment mechanism of stormwater treatment system	13
Figure 3-7. Concept map of water plant cultivation with attachment of artificial muscle	14
Figure 3-8. Spawn and incubated fishes with attachment of artificial muscle	15
Figure 3-9. Model and Diagram of sectional type Iceharbor fish way block	17
Figure 4-1. Feature of ENZ River pre- and post-maintenance work	19
Figure 4-2. Feature of Haselbach in Zurich after maintenance work	21
Figure 4-3. Sihl River protected with groyne of railway side	21
Figure 4-4. Feature of Reuss River after maintenance work	22
Figure 4-5. Pre- and post-restoration Alterbach River	23
Figure 4-6. Hotophia Creek test section	27
Figure 4-7. Hotophia Creek test section	29
Figure 4-8. Waterway decoration in consideration of ecology in Japan	30
Figure 4-9. Feature of pre- and post-restoration of waterway with hydrophilic function	32
Figure 4-10. Examples of installation of gravel contact oxidation waterway as drainage into waterway	35
Figure 4-11. Examples of installation of string contact material oxidation waterway	36

Figure 4-12. Examples of feature of string contact material	37
Figure 4-13. Plantation-purification facility in Sanno River and Gasnigaura Lake	38
Figure 5-1. Comparison of pre- and post-application of natura waterway construction method in Guacheon section of Yangjae Stream	41
Figure 5-2. Low-flow revetment construction applied in Guacheon section of Yangjae Stream	42
Figure 5-3. Low waterway and high level berm(April 2000)	43
Figure 5-4. Bank of Guacheon section in Yangjae Stream (March 2000)	44
Figure 5-5. Flood damage in Guacheon of Yangjae Stream in August 1998	44
Figure 5-6. Feature of pre- and post-application of natural waterway construction method in Woomyeon-dong section of Yangjae Stream	45
Figure 5-7. Revetment construction method applied in Woomyeon-dong section of Yangjae Stream	46
Figure 5-8. River channel construction method in Woomyeon-dong section of Yangjae Stream	47
Figure 5-9. Biotop installed in Woomyeon-dong section of Yangjae Stream	48
Figure 5-10. Upstream type gravel contact oxidation facility (April 2000)	49
Figure 5-11. Feature of constructed marsh of free surface with quality purification	49
Figure 5-12. Feature of constructed marsh of gavel filtration with quality purification	50
Figure 5-13. Status of waterway in the drainage basin of Anyang Stream	51
Figure 5-14. Concept map of aeration oxidation treatment racility	55
Figure 5-15. Concept map of gravel contact oxidation facility	56
Figure 5-16. High-flow revetment in Anyang Stream	57
Figure 5-17. Reed in the remetment in Anyang Stream	57

Figure 5-18. Plantation zone of filtration	58
Figure 5-19. Anyang Stream	58
Figure 5-20. Negligence as low area of upper stream of Gaehua Stream	58
Figure 5-21. Revetment plantation of upper stream of Gaehua Stream	58
Figure 5-22 Suwon Stream of Bokwon Stream	59
Figure 5-23. Falling works with use of natural stones and concrete	60
Figure 5-24. Suwon Stream showing its river bed due to drought	60
Figure 5-25. Esplanade on the waterside	61
Figure 5-26. Natural stone revetment	61
Figure 5-27. Feature of decoration with natural stone revetment	61
Figure 5-28. Artificial island decorated with concrete and natural stones	61
Figure 5-29. Location of Sanju Stream	62
Figure 5-30. Feature of covering structure of Sanji Stream in Jeju City	63
Figure 5-31. Feature of covering structure removal of Sanji Stream in Jeju City	64
Figure 5-32. Feature of restoration work of Sanji Stream in Jeju City	67
Figure 5-33. Feature of post-restoration of Sanji Stream in Jeju City	67
Figure 6-1. Chitose Denill type fish way	73
Figure 6-2. The whole surface pitching fish way	74
Figure 6-3. Muromathbara Iceharbor type & pass type Denill type fish way	74
Figure 6-4. Fish stream of Chitose made stone the whole surface fish way	75
Figure 6-5. vertical slot type fish way of Muromathbara	75
Figure 6-6. Muromathbara iceharbor type fish way & pass type Denill type fish way	76
Figure 6-7. Stepped type fish way of Ojima	76
Figure 6-8. Fish way of Ohno dams	77
Figure 6-9. Fish way facility of downstream of Tan Stream (after water flow)	77

Figure 6-10. Installation of fish way block - under construction 78
Figure 6-11. Installation of water plant cultivation island in Japan 81
Figure 6-12. Island of water plant cultivation on Paldang Lake 82



Study on Application of Natural Waterway Construction Method

Hak-Cheol Cho

Department of Construction and Environmental Engineering



Supervised by Professor Sung-kee Yang

ABSTRACT

Waterway with various functions has maintained close relationship of our daily lives and becomes the resource of various cultural remains and valuable tourism. Therefore, waterway should be maintained with activation to be the waterway of the life which supplies with various

types of culture and art places and relaxation spaces for health.

Recently, there are important changes in maintenance and management of waterways in advanced countries , especially in Europe territory, and one of them is to maintain the function as the ecologic inhabitation places. In case of our country, with rapid progress of industrialization and urbanization since 1960's, waterway management was conducted focused on water use, such as water supply and water drainage, and water control, such as measures against the risk of flood and drought with overlook of ecology of waterway.

In case of local situation, as shown in Yangjae Stream, Anyang Stream, Suwon Stream, and Sanji Stream in Jeju, lots of investment and planning is continuously made for natural waterway, and natural waterway construction should be applied in sufficient consideration of the characteristics and application condition of the construction method, condition of the place, economic efficiency, and maintenance in selection of construction method because natural waterway construction method requires various characteristics and application condition by applied construction method.

In application of natural waterway construction method, plan and design of waterway should be established with supportive and cooperative system with various areas of professionals and hydrophilic natural waterway might be constructed within the range of no affection of water use and water control of waterway only when strict construction and follow-up maintenance is performed.

I. 서론

인간은 예전부터 하천변을 생활터전으로 삼고 이에 적응하며 생활해 왔다. 또한 하천변에는 각종문화 유적이 풍부하게 분포하고 있으며, 귀중한 관광자원이 되고 있다. 하천은 다양한 형태의 문화예술의 장과 건강을 위한 휴식공간을 제공하는 생활속의 하천으로 활성화 되도록 있도록 정비되어야 한다(이, 2000).

일반적으로 하천은 이수와 치수의 기능이 있다고 알려져 있다. 이수는 하천과 물이 주는 가치(Value)를 말하며, 치수는 기능이라기보다는 엄밀한 의미에서 하천관리의 목표이다. 하천은 이러한 이수적 가치와 치수적 관리대상 이외에도 가장 기본적인 기능인 환경기능이 있다. 하천의 환경기능은 하천 동식물의 서식처 기능, 수질의 자정기능 그리고 심미적 기능으로 구분할 수 있다. 심미적 기능은 다른 표현으로 친수기능이라고 할 수 있다. 따라서 이수는 가치이며, 치수는 관리의 목표이며 환경만이 진정한 의미의 기능은 하천의 가치(이수)와 관리(치수)의 기능(환경)은 상충될 수 있다. 이같은 하천의 요소는 모두 인간사회에 필수적인 요소이며, 지금까지 하천의 관리는 이수와 치수를 위해 환경의 기능을 희생시켜 왔다.

1960년대 산업화와 도시화가 본격적으로 이루어진 이후로 우리나라의 하천의 관리는 치수기능과 경제성만을 위해 획일적이고 인공적인 하천정비에만 초점이 맞추어져 왔다. 현재 전국 3,600km의 국가하천 및 지방1급 하천의 대부분은 콘크리트로 덮이고, 직강화가 이루어져 인공화(Channelization)가 되어 그보다 규모가 작은 지방2급 하천, 소하천의 상황도 비슷한 실정이다(김, 1990; 조, 1991; 이, 1991)

최근 선진국에서는 하천정비 및 관리에 중요한 변화들이 일고 있다. 특히

유럽지역에서 이러한 변화를 쉽게 확인 할 수 있는데 그 중 하나가 하천을 생태적 서식처로서의 기능을 가질 수 있도록 정비하고 관리한다는 점이다(나 등, 1999). 지금까지 하천을 이치수의 관점에서 경제성을 강조하던 기존의 정비방식에서 벗어나 하천의 자연적 특성을 살리고 특히 생태계의 서식처를 고려한 다양한 기법들이 시도되고 있다. 그 동안 직선화하던 하도를 본래의 자연하도로 복귀하고자 하는 노력과 함께 하천주변의 우각로나 늪지대를 생태계의 서식지로 보존하고 이같은 환경을 인위적으로 창조하는 “바이오톱” 기술이 보급되고 있다. 이는 자연보존 운동을 기초로 하여 움튼 기운이지만 생물종의 다양성을 추구하는 세계적 조류로 더욱 활성화되고 있다. 또한 하천정비에 있어서도 자연적 공법을 이용하고자 하는 움직임이 일고 있다. 아직까지 선진국들의 관심사이며, 하천복원을 위해 일부 시도된 기존의 콘크리트 공법들을 해체하여 자연생태적 서식처로 복원하고자 하는 적극적인 대응책도 강하게 요구되고 있다(환경부, 2002).

하천의 특성을 살리기 위해서 하천정비시 세심한 고려가 필요하나 지금과 같이 획일적인 단면에 의한 하천정비는 하천이용과 재해에 많은 문제를 가지고 있다. 제방 및 호안의 급경사로 하천에 접근하기 어려우며 또한 하천에서 일어날 수 있는 행위에 위험을 초래할 수도 있다. 앞으로 하천의 정비와 관리에서는 수변으로의 접근성, 활용성 및 안정성등 하천의 이용 측면에서 보다 세심한 배려가 있어야 할 것이다. 예를 들면 제방 및 호안의 완경사화와 접근로의 설치, 환경생태적인 식생물의 분포, 동물들의 자연적인 이동통로와 환경친화적인 어도의 설치 등을 고려한 방안들이 강구되어야 할 것이다(이, 2001).

하천정비는 환경친화적이며 자연재해에 대비한 농경지 인공배수로 정비방안도 포함시켜 이루어져야 하며, 최근에 발생한 제주도 동부지역의 국지성 집중호우로 인한 농경지 및 시설물의 유실을 방지하기 위한 인공하천설치 논의가 이루어지고 있는데 인공하천 설치시에도 환경친화적인 공법의 필요하다고

본다.

최근에는 환경의 보전과 개선만이 우리의 삶의 질을 향상시키는 기본인자로 인식되고 있어 하천의 환경기능은 과거처럼 쉽게 포기하기 어렵다. 1990년대 들어 하천의 환경적 기능에 대한 인식이 확산되기 시작하여 하천환경의 보전과 복원에 대한 필요성이 대두되고 있다. 따라서 하천환경의 보전과 복원을 위한 방법으로 자연형 하천공법이 도입(우 등, 1997)되어 일부 하천에서 시행되고 있다.

이 연구에서는 자연형 하천의 생태적 복원을 위하여 인위적인 방법으로 개선할 수 있는 하천정비 방안을 분석 검토하였다. 자연형 하천의 생태적 복원에 대한 국내외의 선진사례를 분석하여 자연형 하천관리의 방향을 설정하고, 새로운 패러다임으로 대두되고 있는 자연형 하천의 관리와 생태적 복원의 추세를 파악하였다. 이들 결과로부터 우리나라 실정에 맞는 다양한 자연형 하천으로의 정비와 적용 공법들을 고찰하였다. 또한, 제주도의 하천관리 방안과 정비공법, 자연형 하천공법의 적용등에 대해서도 산지천의 복원사례를 분석하여 그 방향을 제시하였다.

II. 자연형 하천공법과 역사

1. 자연형 하천공법의 정의

자연형 하천이란 이수 및 치수의 기능에서 더 나아가 본래 자연하천의 모습을 갖도록 복원 또는 보전된 하천을 말하며 다양한 동식물이 서식할 수 있도록 자연하천에 가까운 환경요소들이 갖추어진 하천을 의미한다(한국건설기술연구원, 1997).

자연형 하천공법은 하천정비, 하천공사, 하천복원시 하천을 자연상태에 가깝게 만들기 위한 공법을 뜻한다. 자연형 하천공법에는 자연상태에 가까운 하천환경을 이루기 위해서 직선화되고 균일화된 단면을 갖는 인공하천은 만족이 있고 비대칭 단면이 있는 하천형태로 바꾸는 과정을 포함, 하천의 생태계가 자연스럽게 형성될 수 있는 여울과 소의 구조의 적용도 내포하고 있다. 자연형 하천공법에서는 콘크리트와 같은 인공적인 재료의 사용을 지양하고 살아있는 통나무, 풀, 야자섬유 등의 생태재료를 사용하는 것을 원칙으로 하고 있다(환경부, 2003).

자연형 하천공법의 적용 대상 구역은 하도 내, 저수로 선형과 저수호안, 고수부지, 고수호안(제방) 그리고 하천유역 등 기타 구역으로 구분할 수 있다. 하도 내에 적용되는 자연형 하천공법으로는 여울과 소의 연속 구조, 비대칭 단면의 조성 등이 있을 수 있고 저수로 선형과 저수 호안의 적용 대상구역이 되는 경우에는 하천 선형의 만족과 저수 호안의 생태재료 식재 등을 예로 들 수 있다. 또한 고수부지와 고수호안에도 생태계가 자연상태에 가깝게 형성될 수 있도록 인공적인 제방재료 대신에 그 지역에 적절한 식물의 식재도

자연형 하천공법의 범위에 속한다.

2. 자연형 하천공법의 역사

자연형 하천공법은 1970년대 독일에서 근자연형 하천공법(Naturnahe Wasserbau)에 그 기초를 두고 있으며, 이러한 하천공법은 1980년대에 들어 일본에서 다자연형 하천공법(多自然型 河川工法)으로 발전하였고 1990년대에 미국에서는 하천복원공법(Stream Restoration Technique)이라는 이름으로 자연형 하천공법을 정립한 바 있다(환경부, 2002).

우리나라는 1980년대 말부터 하천 전문가들 사이에 하천 환경의 보전과 개선의 필요성에 대한 공감대가 형성되기 시작하였고 자연형 하천공법의 기초라 할 수 있는 “하천환경 기초조사”가 1991년부터 1996년까지 건설부와 건설기술연구원에서 수행되었으며 한국 건설기술 연구원에서 1996년부터 환경부 G-7과제로서 “국내여건에 맞는 자연형하천공법의 개발”을 연구하는 등 1990년대 들어 자연형 하천 계획과 공법에 대한 연구가 본격적으로 시작되었다(이, 2001).

1990년대 중반에는 하천복원 측면에서 생태, 조경 전문가들에 의해 자연생태에 가까운 하천 구간을 대상으로 하천 생태계 구조와 기능에 대한 지속적인 연구도 병행되었다(조, 1997).

우리나라에서 자연형 하천공법이 적용된 사례로는 1980년대 중반에 일본 오사카市の 요도카와 국정공원의 사업을 참고하여 이루어진 서울 한강종합개발을 들 수 있으며, 그 이후 1980년대 말부터 환경부의 오염하천 정화사업이 이루어졌는데 이는 주로 오염하천의 오니를 준설하는 데 그 목적을 두었다.

1990년대 중반에는 하천복원 측면에서 생태, 조경 전문가들에 의해 자연생태에 가까운 하천 구간을 대상으로 하천 생태계 구조와 기능에 대한 지속적

인 연구도 병행되었다(조, 1997).

1990년대 중반에 들어 건설교통부의 하천 환경개선사업으로 오산천 15km 구간에 자연형 하천공법이 적용된 바가 있고 그 외에도 중소하천정비에 자연형 하천 개념이 부분적으로 포함되고 있으나 아직은 저수호안에 돌붙임, 하천 공간의 친수공간으로의 이용 수준에 국한된 상태이다(이, 2000).

수원천의 경우 옛모습 찾기 사업은 우리나라에서 가장 먼저 하천의 환경적 기능을 염두에 두고 실시한 사업이라 할 수 있고, 1990년대 중반에 들어 오산천 15km구간에 자연형 하천공법이 적용됨과 아울러, 2001년에는 양재천에 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 연구성과물로서 시험적용되어 모니터링이 진행되기도 하였는데, 이는 지자체에 의해 계획되고 추진된 최초의 사업이라 할 수 있다. 그 외에도 중소하천정비에 자연형하천 개념이 부분적으로 포함되고 있으나 아직은 저수호안에 돌붙임, 하천공간의 친수공간으로의 이용수준에 국한된 상태이다(이등, 1993; 박, 1995; 박등, 2001; 환경부, 2002).



Ⅲ. 자연형 하천정화사업의 주요공법

우리나라에서는 기존의 치수와 통수 개념을 만족하면서 생물과 사람들에게 친숙한 공간이 되고 풍부한 수량의 깨끗한 물이 흐르는 자연스런 모습의 바람직한 하천을 가꾸기 위한 시대적인 요구에 부응하고자 정부 및 기업을 중심으로 많은 노력이 이루어지고 있다(우등, 1997). 여기서는 자연형 하천 정화 사업의 주요 공법중 현재 이용되고 있는 공법을 간략히 소개하고자 한다.

1. 자연형 하천의 정비내용



1) 기본방향

(1) 자연친화형 하천의 복원

자연친화형 하천의 복원은 자연형 저수호안 공법 적용하여 징검여울 및 소의 조성으로 수생생물의 서식처 제공하고 용존산소량의 증대를 도모하여 시민이 가까이 찾는 즐거운 하천으로 조성하는 것이다.

(2) 자연학습 및 생태관찰 공간의 조성

둔치에 식생군락 및 습지를 조성하여 자연학습기능을 부여하고 수질정화시설과 더불어 자연학습 및 생태복원장으로 교육장화 한다.

2) 저수로 정비 및 저수호안

(1) 저수로 정비

저수로의 범선은 단조로운 제방선형을 그대로 따르는 것을 지양하고 완만한 선형으로 사행시켜 최대한 자연흐름에 가깝도록 계획한다.

(2) 계획하도의 안정성 검토

하상의 세굴에 의한 유실을 방지하기 위해 소류력을 산정한후 사석규모를 결정한다.

(3) 저수호안

저수로의 비탈면 및 비탈끝을 수류에 의한 세굴로부터 방지하기 위하여 기존의 콘크리트 블록을 철거한 후 자연석 및 자연형 재료를 이용하여 시공(비탈머리 보호공 : 자연석 호안공법 및 Stone Net 호안공법)하여, 자연친화적인 호안으로 계획한다(김등, 2003).



3) 징검여울 및 소

하도내에서 여울과 징검다리 기능을 겸할 수 있는 징검여울을 시공하고 징검여울의 경사는 상류측은 10%, 하류측은 5%구배를 주어 여울을 형성한다. 둔치에서 징검다리로의 자연스런 접근을 위해 진입계단을 설치하고, 어류 수생생물의 서식처를 제공하고 하천수내 용존산소량을 증대하기 위하여 하도내에서 다양한 하천수의 흐름을 창출한다. 그리고 주민들이 쉽게 물과 접할 수 있는 접근로를 제공하여 친수환경을 조성한다.

4) 습지

수질정화시설 하류부에 정화된 물을 이용하여 습지를 조성하고 수질정화효과를 학습할 수 있는 공간을 조성한다. 습지내에는 정화기능이 있는 다년생 수생식물, 꽃창포, 부들을 식재하여 수질정화기능을 부여한다. 그리고 일정량의 수

량을 확보하기 위해 수질정화시설 방류구에서 펌프로 송수한다(환경관리공단, 2003).

5) 식생군락

둔치에 다년생 식물을 식재하여 하천을 이용하는 시민들을 위한 자연학습 및 생태관찰의 장소로 제공하고, 선정수종은 천변에 자생하는 식물종이면서, 수급이 가능하고 자연형 하천공법을 지원하는 식물종으로 계획한다. 또한 둔치에 저목성 식물을 식재하여 수변부를 생태적 추이대로 조성하고 천변 초지를 서식공간으로 하는 생물종 서식처를 형성토록 계획한다. 또한, 억새, 갯버들, 수크령 등의 식물군락을 조성하여 생태학습 및 자연학습장으로서의 기능을 부여한다(이등, 1993; 환경부, 2002).

2. 자갈접촉산화공법



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1) 정화 원리

자연상태의 하천에서 일어나는 침전, 흡착, 산화분해 등의 자정작용을 인위적으로 극대화시켜 오염된 하천수를 정화한다(이, 1999).



Fig. 3-1. Mechanism of purification by gravel contact oxidation method(이, 1999)

2) 시설의 장점

하천의 유희지를 이용하고 시설의 상부를 체육공원 및 자연학습장으로 활용할 수 있는 이점이 있다.

3) 처리효율

자갈접촉산화공법의 BOD 및 SS의 처리 효율은 각각 65~85%와 70~90% 정도의 범위를 보인다.

4) 주요 적용사례

자갈접촉산화공법의 주요 적용 지역은 안양 학의천, 서울 양재천, 창원 가음정천/토월천 등 많은 지역에 적용을 하였다.

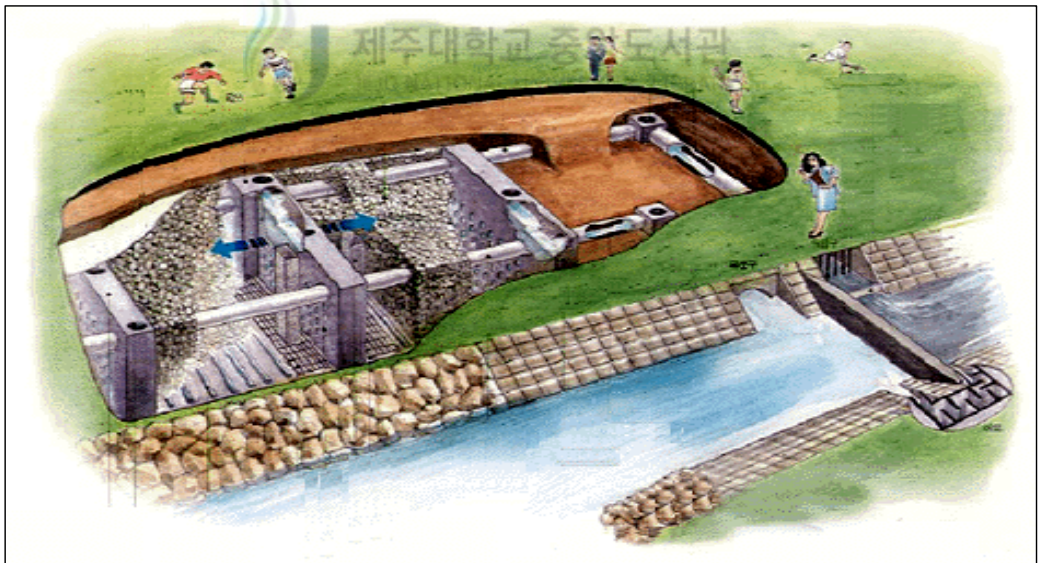


Fig. 3-2. Bird's-eye view of gravel contact oxidation facility

3. 끈상접촉산화공법

1) 정화 원리

끈상접촉산화공법은 자연상태의 수계에서 자정정화에 관여하는 미생물을 단위부피 또는 단위면적당 비표면적이 높은 매디아에 미생물을 대량으로 부착.성장시켜 매디아의 관성충돌, 차단, 여과 등의 물리적 작용과 미생물에 의한 흡착, 분해, 증식, 산화 등의 생화학적 작용이 복합적으로 작용하게 하여 수중의 오염 물질을 저감시키는 고효율의 직접정화 기술이다(군포시, 2001; 서울시정개발연구원, 2001).

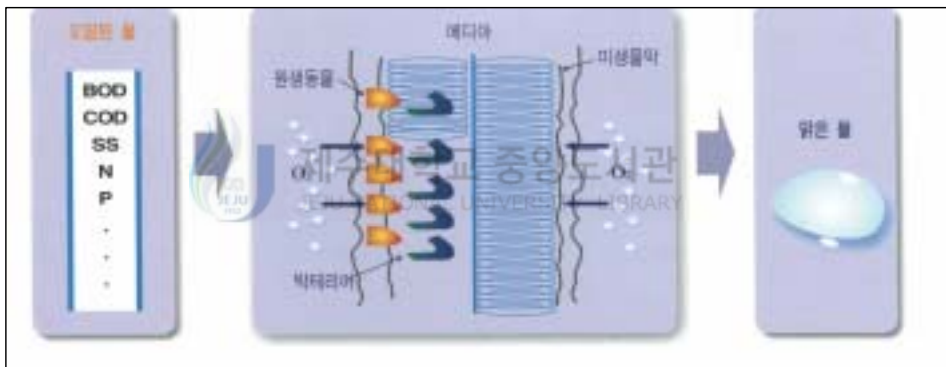


Fig. 3-3. Principles of purification by string contact oxidation method

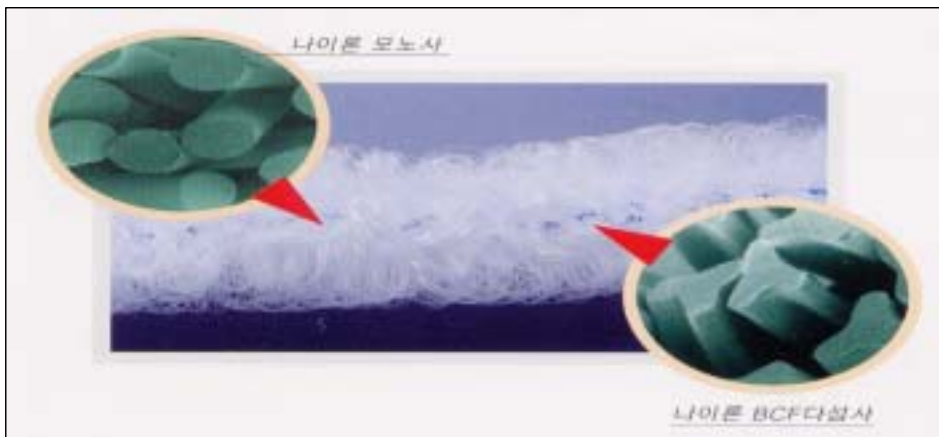


Fig. 3-4 String filter material (media)

2) 공법의 특징

Fig. 3-4에서 보는 바와 같이 미디어의 넓은 비표면적과 높은 공극률로 다량의 미생물을 부착, 성장시킬 수 있다. 그리고 끈상접촉여재는 수직으로 일정한 간격을 유지하도록 설치함으로써 슬러지의 침적 및 폐색과 부패현상이 없다. 또한 다른 시설에 비하여 규모가 작고 공정이 단순하여 경제적이며, 처리시설의 상부를 공원화 할 수 있는 장점이 있다.

3) 처리효율

끈상접촉산화공법의 BOD, SS의 처리 효율은 각각 60~80%와 70~85% 정도의 범위를 보인다.

4) 주요 적용사례

국내의 끈상접촉산화공법의 적용지역은 경안천, 덕소천, 당정천, 산본천, 안양천 등 많은 지역에 적용을 하였다.



Fig. 3-5. Bird's-eye view of string contact oxidation method

4. STORMSYS(Stormwater Treatment System)를 이용한 비점오염원 관리 기법

1) 기술개요

초기 강우유출수를 침전, 여과, 흡착등의 오염물질 제거기작에 의해 정화하여 배출하는 시설로서 수변구역 내지 주변지역의 고속도로, 일반도로 및 주차장 등으로부터 유입되는 초기강우시의 오염물질의 유입을 최대한 억제하기 위한 환경신기술 인증 장치형 비점오염물질 처리시설이다. 오염물질이 하천 및 호수로 직접 유입을 최대한 저감할 수 있는 장치이다(경기도보건환경연구원, 2001; 한국토지공사, 2001).

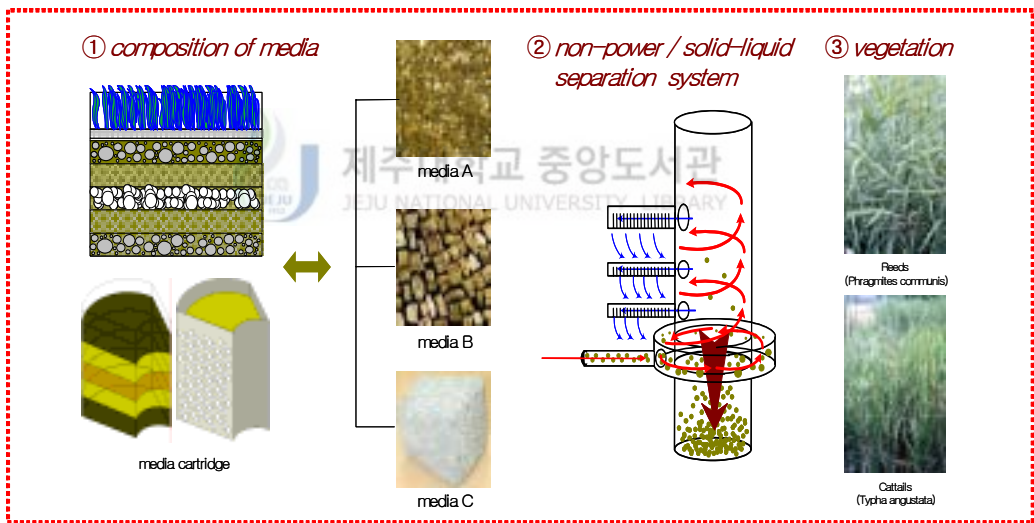


Fig. 3-6. Treatment mechanism of stormwater treatment system

2) STORMSYS 특징 및 장점

비점오염물질중에서도 초기강우에 포함된 오염물질만을 처리하는 시설로서 설치대상의 배수면적에 따라 그 형태가 가변적이다. 또한 강우유출량을 기준으로 설계되어 처리가능한 면적도 가변적이다. 그리고 미디어 충전층 상부의 식재식물은 미디어의 수명 및 효율을 배가시키며, 자연유하식 흐름으로 설계된

무인.무동력의 소규모 처리장치이다.

3) 처리효율

비점오염원의 관리를 위한 Stormwater Treatment System의 오염물질은 전 항목에 대해 80~98% 제거가 가능하다.

5. 인공근을 부착한 수초재배섬

1) 기술개요

기존의 식물만을 이용한 수초재배섬은 식물의 성장에 의한 영양염류 제거를 목적으로 하고 있기 때문에 식물이 자라지 못하는 겨울에는 수질정화의 효과가 없다. 특히 기존 수초재배섬은 영양염류 이외에도 뿌리에 미생물이 부착.성장하여 유기물을 제거할 수 있지만 그 양은 극히 미미한 것으로 판명되었다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 식물이 식재된 수초재배섬의 하부에 수질정화용 여재로 사용되는 끈상미생물 접촉재를 부착하여 인공근으로서의 기능을 하도록 한 수질정화작용기술이다(Fig. 3-7).

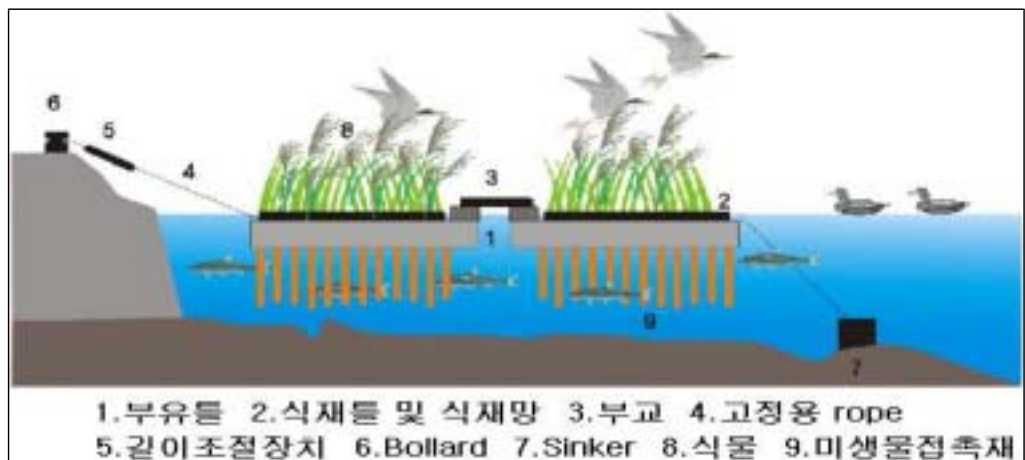


Fig. 3-7. Concept map of water plant cultivation with attachment of artificial muscle

2) 기대효과

인공근을 부착한 수초재배섬의 기대효과는 동물플랑크톤의 서식처, 은신처 및 어류의 산란처를 제공함으로써 생태계 제어가 가능하며, 식물에 의한 영양염류 제거 및 인공근(미생물접촉재)에 의한 수질정화가 가능하다. 또한 호소의 미적 경관을 향상시키고, 자연 생태공원의 조성으로 시민들의 친수공간, 자연학습장 및 휴식처를 제공한다(한국수자원공사, 2002; 안등, 2002).



Fig. 3-8. Spawn and incubated fishes with attachment of artificial muscle

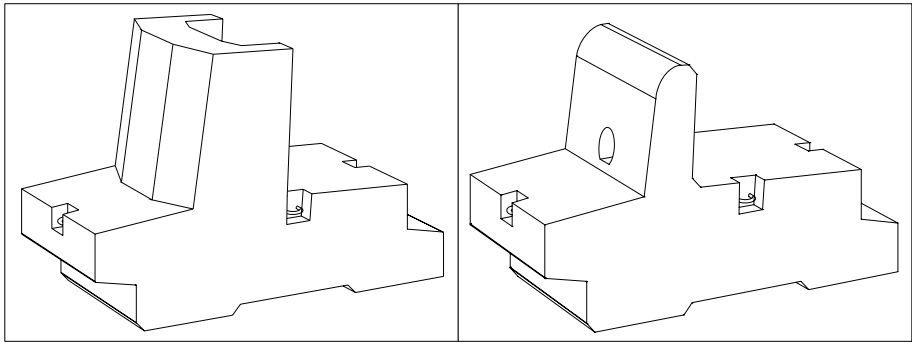
6. 조립식 아이스하바식 어도블럭

우리나라의 중소하천에 시공되고 있는 어도들은 설계가 미흡하고, 설계가 제대로 되었다고 하더라도 시공과정에서 정밀시공이 되지 않으므로 인해 어도로서의 기능을 전혀 발휘하지 못하고 있는 실정이다.

조립식 아이스하바 어도블럭은 환경부에서 주관하고 있는 차세대 핵심기술 개발사업의 일환으로 “하천의 어도를 비롯한 생태통로 기술개발”이라는 프로젝트로 .우리나라의 하천실정에 맞도록 연구사업을 통한 자체 기술에 의해 개발

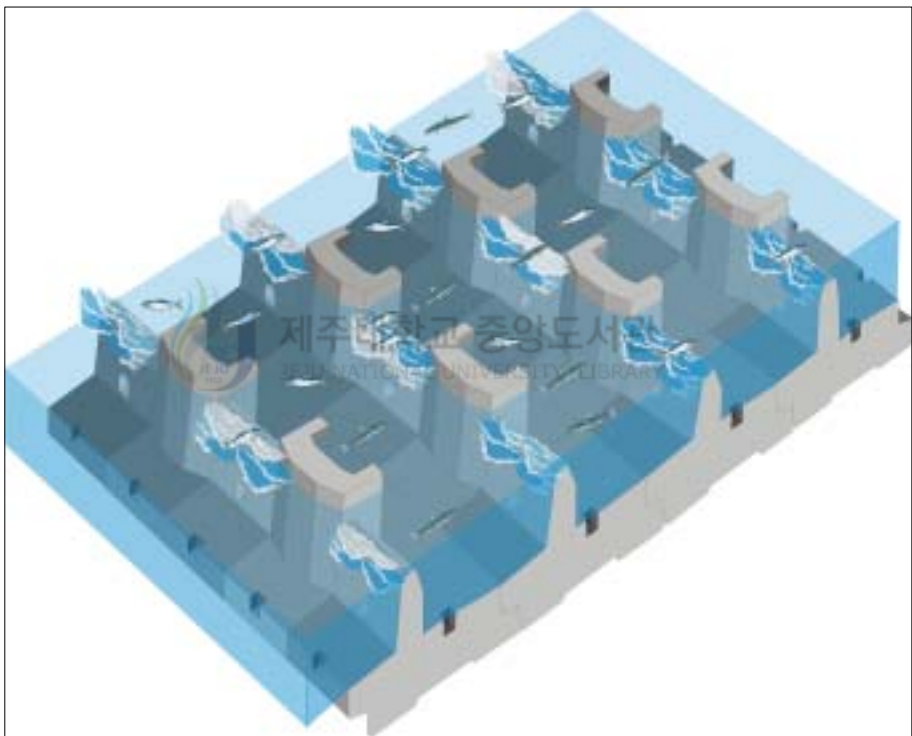
되었다. 현재 어도블럭으로 시판되고 있는 제품들은 대부분이 계단식 어도로서 일본의 기술을 여과없이 그대로 도입하여 제작되어지고 있다. 일본의 어도는 대부분 경제적인 어종으로서 은어를 대상으로 하고 있으며, 은어는 유연력 및 도약력이 뛰어나 타어종보다 높은 낙차와 빠른 유속에도 상류로 올라갈 수 있다. 그러한 은어를 대상으로 설계되고 제작되어진 어도블럭을 우리나라의 하천에 적용하는 것은 어도의 가장 핵심적인 기능이 배제되었다고 본다. 즉 일본에서 도입되어 현재 시공되어지고 있는 어도들은 우리나라의 유연능력과 이용대상어종에 대한 고려가 이루어지지 않고 설계되어 유연능력의 좋은 은어와 같은 어종을 위한 어도로만 제한되고 있다(해양수산부, 1999; 황, 2002).

따라서 어도를 통해 모든 어종이 이용하도록 어도를 설계하는 것은 상당히 어려운 일이나 아이스하바 어도는 다른 어도블럭과는 달리 피라미, 뱀장어, 밀어 등 모든 어종과 참계 등의 유연능력과 관계없이 모두 이용할 수 있도록 하기 위하여 물고기가 도약할 수 있는 충분한 수심과 도약거리를 제공하고 있다(Fig 9). 수리실험을 통하여 도출된 결과는 어도의 경사를 완만하게 하여 순환류의 발생 및 하류에서의 가속현상을 감소할 수 있는 구조로 설계되었다(해양수산부, 1999; 황, 2002; 한국수자원공사, 2002; 성남시, 2003).



<비월류형 어도블럭>

<월류형 어도블럭>



<설치 모식도>

Fig. 3-9. Model and Diagram of sectional type Iceharbor fish way block

IV. 자연형 하천 공법의 국외 적용

일찍부터 하천의 환경(친수)기능의 필요성을 인식하고 자연형 하천으로의 보전과 복원에 노력을 기울이기 시작한 곳은 유럽의 독일어권 국가들로서 독일, 오스트리아, 스위스등지에서 근자연형 하천공법이라는 이름으로 시작되었다. 이것이 1980년대 일본에 도입되어 다자연형 하천공법으로 발전하게 되었다(박, 1995). 이 연구에서는 선행 보고서 등 각종 문헌을 토대로, 유럽의 독일, 스위스, 오스트리아, 영국 및 미국과 일본을 중심으로 한 자연형 하천으로의 복원 및 보전 사례들을 살펴보고, 아울러 재해예방 및 처리개념의 하천수 직접정화시설 등 수질개선시설에 대해서도 간략하게 살펴보도록 한다.



1. 독일

1) 하천복원운동(Action Blau) ; 푸른운동

‘푸른운동’은 독일 라인란트-팔츠주(州)의 환경·산림부의 운동 프로그램으로서, 주된 목표는 자연에 근접한 하천의 상태를 복구하는 데에 있다. 하천만을 다루는 것이 아니라 항상 하천의 주위환경까지도 다루며, 하천과 하천변은 인간에게 특별한 생태학적인 의미를 지니고 있다고 여김으로써 물과 초지가 사람들에게 생태학적으로 유익하며 특수한 작용을 다시 할 수 있도록 한 운동이다. 이 운동에서는 주 정부와 군 및 지역 자치체들의 모든 활동, 그리고 하천(물)의 복구에 관심을 갖고 있는 모든 시민들의 활동을 포괄함으로써 자연형으로의 하천복원을 촉진토록 하였다(이등, 1993, 이, 2000).

2) 근자연형 하천공법(Naturnher Wasserbau)

근자연형 하천공법은 하천생태계의 자정능력을 복구하고 하천생태계의 복원을 목적으로 하천유역 전체를 대상으로 하는 정비공사 및 유지관리를 위한 토목공법을 총칭하는 것으로, 기본적인 개념은 다음과 같다.

우선, 하천의 직선화를 배제하고 자연적 형태를 최대한 고려하며 우수지 및 홍수지를 적절하게 배분하는 도시 중소하천의 자연복원사업은 하천을 중심으로 한 도시의 종합적 자연복원사업이 되도록 추진하였다. 하상의 변화에 관련한 충분한 자료를 확보하기 위한 기초사업을 실시하여 장래 하상변화를 예측함으로써 자연적 하상의 복원이 되도록 하였다.

투입재료는 가급적 자연재료를 사용하며, 고수부지 등 하천내에 형성된 각 형태물을 치수기능과 적절한 조정을 통해 자연생태계를 배려하고, 수변공간의 보전 및 이용에 관한 합리적 계획을 도출하였다(환경부, 2002).

3) 독일의 자연형 하천정비 사례

독일은 Baden주 'Enz 강'을 대상으로 직강화된 Enz강을 인공적으로 사행화하기 위하여 Karlsruhe 공대에서 수리·수문·생태학적 연구결과에 의하여 저수로, 경사면, 주변에까지 다양한 모형을 사용하여 하천의 자연성을 회복하고자 하였다. 그 결과, 단조로운 하천단면에서 자연생태계가 복원되고 하천주변의 환경이 생태계보전 지구로 변화함과 아울러, 하천주변의 공원과 연계하여 자연과 인간이 공존하는 공간으로 변화하였다.

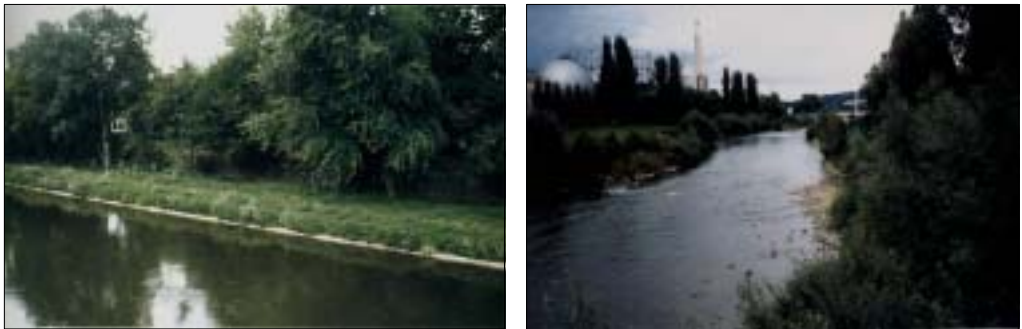


Fig. 4-1. Feature of ENZ River pre- and post-maintenance work

2. 스위스

1) 스위스 하천정비의 기본개념

스위스는 제주도와 같이 하계에는 하천에 유수가 생기나 동계에는 건천이 되는 하천의 특성을 나타내고 있다.

스위스는 자연에 가까운 도시 소하천을 조성하기 위해 자연석과 들풀, 야생화 등을 심고, 소하천을 따라 숲을 조성하며, 산과 도심을 연결하는 길을 만들어 휴식공간을 조성하였다. 또한 하천주변에 소규모로 하천 처리장을 많이 건설하여 하천의 건천화를 방지하고, 상류의 깨끗한 물을 직접 흐르게 하여 하천수질을 개선하는 것 등이다(이등, 1993).

2) 스위스의 하천정비 사례

스위스에서는 직선화된 하천과 복개된 소하천을 본래 상태로 되돌리기 위한 많은 실험을 수행하였는데, 쥐리히주에서는 1985년부터 지금까지 20여개 이상의 크고작은 프로젝트가 성공적으로 실현되었다. 이들 하천 프로젝트에서 다양한 경험을 얻어 계획과정의 철저한 검토와 하천보호의 미학적 관점, 자연에의 근접성, 안전성 그리고 기술적 요소들 제반을 고려하여 자연형 하천정화업을 추진하고 있다(환경부, 2002).

(1) 쥐리히주 'Haselbach'의 생물학적 하천정비공법

버드나무 등을 이용하여 저수로를 사행화시키면서 정비하는 방법으로 살아있는 버드나무를 직접 저수로에 사용하는 방법과 살아있는 나뭇가지를 죽은나무 뒤에 식재하는 방법을 저수로의 수면과 닿는 부분에 적용하여 나무의 최적 성장 환경을 조성하였다. 조성 결과, 유수의 체류시간 향상, 강가에 그늘 형성, 수초의 번식으로 수온상승 억제, 수중생물과 육상조류의 휴식장소 이용효과를 가져왔다(Fig. 4-2).



Fig. 4-2. Feature of Haselbach in Zurich after maintenance work

(2) 쥐리히주 ‘Sihl강’의 석재를 이용한 수제공법

홍수피해가 큰 sihl강의 주변시설물을 보호하기 위하여 석재를 이용, 여러 개의 수제를 설치하여 견고한 호안을 조성하였다. 그 결과, 수제의 배후는 완류부가 되어 하안이 보호되고, 물고기의 피난처 및 식생의 근거지로 이용되었다. 또한 수제를 이용하여 주위 자연 경관과 조화를 이루게 되었다(Fig. 4-3).



Fig. 4-3. Sihl River protected with groyne of railway side

(3) 쥐리히주 ‘Toss강’의 “Reuss’의 석재나 콘크리트 활용 호안공법

석재나 콘크리트를 이용하여 견고한 호안을 조성하고, 하천 인근에 인공유수지를 만들어 하천의 수위를 간접적으로 상시 측정하고, 홍수시에는 유수지로 사용하도록 하였다. 이 공법은 홍수류가 강한 하천의 특성을 고려한 공법으로, 조성결과, 하천의 통수 및 친수기능을 상호 보완하여 호안을 보호하는 기능을 하였다.



Fig. 4-4. Feature of Reuss River after maintenance work

3. 오스트리아

잘스부르크는 알프스 산맥 북쪽 기슭에 있는 오스트리아의 한 도시로서 모차르트의 출생지로 유명하다. 이 도시에는 소하천인 Alterbach 강이 시내를 관류하고 있으며, 이 하천은 1940년대 나찌 시대에 하천의 이·치수기능을 위해 정비되었다. 그러나 1980년대 후반 들어 지역 주민들의 하천 복원에 대한 욕구를 만족 시켜주기 위하여 치수기능 유지와 생태 서식처의 개선을 목표로 하천복원 사업을 시작하였다. 사업 후 생물과 무생물의 특성을 고려한

학제간 모니터링 결과에 의하면, 복원사업이 생물서식처의 가용성을 증가시킨 것으로 나타났다. 이 사업에 의해 100년 빈도의 홍수에 견디어냄과 동시에 자연에 가까운 서식처 조건이 달성된 것으로 나타났다.

이 하천은 유역 면적 30.2km², 길이 10.5km, 낙차 186m 정도의 급경사 산지 하천으로, 때로는 매우 큰 홍수가 발생한다. 복원 사업 대상 구간의 길이는 1.2km, 하상 경사는 8/1,000 정도이다. 복원 사업에는 하천정비 사업 전 19세기 하천 지도를 참조하여 만곡을 조성하였다.

이 하천의 구체적인 복원 대책은 1) 하천의 만곡을 살리기 위해 가능한 주변 토지 구입, 2) 종단변화와 하폭의 변화, 3) 얇은 구역을 만들기 위해 하폭의 확대, 4) 수심변화의 조정, 5) 깊게 놓인 안정공(安定工, Stabilization Elements)을 이용한 하도 형태의 자동 조절, 6) 초기 식생과 물가 그늘의 조성, 7) 강터의 변화(급함과 완만함), 8) 하상의 변화(교란요소의 조성), 9) 하수의 경감, 10) 위락기능, 자전거, 출구 등의 조성 등이다.

Fig. 4-5와 같이 Alterbach강 복원사업은 자연에 가까운 하천형태의 조성으로 생태계 기능을 회복하고 동시에 친수성을 증진시켰다는 점에서 긍정적으로 평가되고 있다. 비록 하천변 도로, 자전거도로, 건물, 기타 기존의 시설에 의해 완전한 하천복원이 되지 못하였지만 자연형 하천공법의 적용으로 서식처 가용성과 수중 유기체는 분명히 개선된 것으로 나타났다. 그러나 완전한 의미의 하천복원을 위해서는 장차 하천부근의 토지를 수용하여 하천에 편입시키는 노력이 필요하다(Mader, 1999).



<복원전>



<복원후>

Fig. 4-5. Pre- and post-restoration Alterbach River

4. 영국

1) 영국의 자연형 하천정비의 기본개념

자연형 하천 종합정비, 치수 및 이수 기능 증진과 함께 하천 환경기능, 특히 생태계 요소를 종합적으로 적극 배려하였다(이등, 1993).

2) 영국의 자연형 하천종합정비 내용

(1) 하도내 자연형 하천정비공법

- ① 부분준설(Partial Dredging/Desilting)
- ② 하상굴삭(Deepening Channels with or without some Widening) : 홍수 소통에 반드시 필요한 곳에 자연생태계 및 경관을 고려하여 적용한다..
- ③ 협수로 조성(Narrowing Channels) : 하상을 준설하여 수변에 성토하여 협수로를 만들거나 하도내 하중도를 조성하여 하천의 흐름을 빠르게 한다..
- ④ 사주(砂州, Shoals) : 평균 하상경사보다 윗부분에 위치한 퇴적지역을 말하는 것으로 침수로 또는 협수로 조성과정에서 만들어지기도 한다.(하중도와 소 등).
- ⑤ 여울, 소, 기저층 보전 및 복원

(2) 저수로 호안 공법

- ① 수제의 보전 및 창출(Retention and Creation of Margins) : 수제(Margins)는 수면과 제방의 경계부분으로써 이는 수변의 생태계 뿐만 아니라 어류 및 경관에도 매우 중요하므로 준설시 및 제방 축조시 수제를 최대한 보전하거나 조성한다..

- ② 셋강 및 얇은 만 조성(Backwaters and Bays) : 홍수시 임시 홍수소통 및 저류에 도움이 될 뿐만 아니라 홍수 및 수질오염 사고시 어류의 피난처가 되며, 다양한 생태계 서식환경을 조성한다.
- ③ 복단면 조성(Multi-stage Channels) : 자연에 가까운 하천 복단면으로 하천을 정비할 때 저수로에 있어 직선화가 아닌 굴곡성을 반영하면서 구간마다 다양한 복단면의 형태를 취한다.
- ④ 만곡부의 정비(Bend Reprofiling) : 자연상태를 최대한 유지하거나 창출하면서 제한적으로 추진한다..

(3) 하천구조물(Construction Works)

① 하도 개선형(Realignments)

- 정비될 하도의 변화를 충분히 검토.
- 원하도의 평형하상을 가급적 유지하고 자연하도 형태를 유지
- 개선형된 하도에 성급히 식생하지 않고 자연식생 유도
- 침식에 취약한 부분은 호안보강을 하되 가급적 자연재를 사용.
- 자갈 및 모래가 씻겨 내려가는 것을 방지하기 위해 국부적으로 하상을 높이되, 하상이 안정된 곳은 여울이 되므로 그대로 둠.

② 우회수로 조성(By-passes)

- 홍수의 일부를 소통
- 우회수로 분기점에 하상경사의 변화로 발생하는 낙차에 의한 에너지를 조절할수 있는 보 등 구조물의 설치 필요.
- 가능한 본류의 분기점에서 합류점까지 최단수로가 되도록 함.
- 유속을 줄일 수 있는 적절한 단면이 되도록 하면서 하상경사를 조절
- 우회수로에 의해 조성된 부지의 활용, 관리 등 최적방안 도출.
- 비홍수기에도 자연생태계를 고려하여 습윤상태가 되도록 함.

③ 수제(Deflectors/Groynes and Reventments)

④ 보(Weirs and Sluices)

⑤ 홍수저류지(Flood Storage)

- 일정 규모이상의 홍수 발생시 침투홍수량을 체내지로 월류시키는 치수기능뿐만 아니라 하천생태계의 서식환경을 조성함.

5. 미국

이 사례는 미국 미시시피주북부에 있는 HotophiaCreek에 대해 국립유사실험실(NSL)에서 1991년~1993년 사이에 수행된 하천복원 시험 결과이다(Shields 등, 1995). 이 하천은 상류 유역에서 인간 활동으로 토지이용과 흐름이 변화하여 하류 하천의 하상과 강턱이 침식되어(Incised) 하천 서식처가 악화되어 생태계는 물론 심미적으로도 문제가 되었다(우, 2000).

1) 시험구간의 개요

시험하천 구간은 길이 약 1km로서 평면도는 Fig. 4-6과 같으며 전형적인 하천 전경은 Fig. 4-7과 같다. 이 구간의 상류 유역면적은 91km², 만곡도는 1.2, 하폭은 44~77m, 하도 깊이는 3~4m, 최심선 경사는 0.0011, 하상 재료는 중앙 입경 0.2~0.56mm의 모래, 평균 유량은 1.9m³/s, 연평균 비유사량은 985ton/km²/yr이다. 이 유역은 1830년대 이주민들이 정착한 후 삼림벌채와 개간 등 토지이용의 급격한 변화로 하류 하천은 퇴적되어 하상이 높아지다가 1930년대 이후 하천정비와 홍수 조절용 저수지 축조 등으로 하류 하천은 하도와 하상이 다시 침식되기 시작하였다. 이러한 하천 침식은 두부 침식,

만곡도의 축소와 하도 확대 등으로 나타났다. 그에 따라 1976년~1991년 사이 하상은 평균 1.2m가 저하되었다. 이러한 하천변화는 결과적으로 생태 서식처를 악화시키고, 하천에 대한 친수성 또한 낮아졌다.

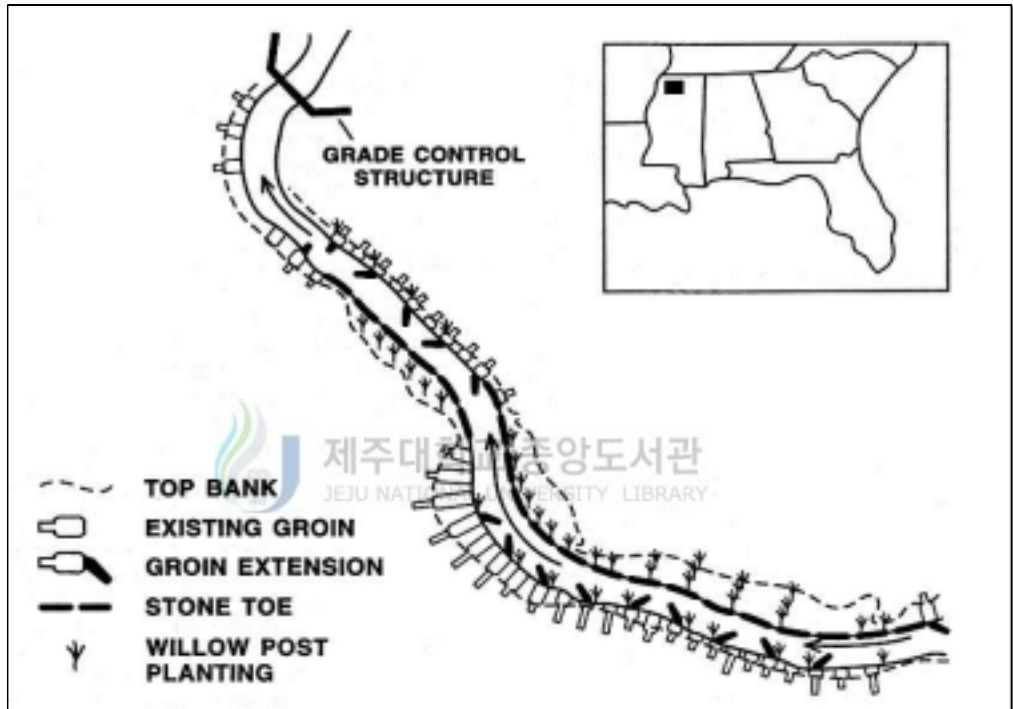


Fig. 4-6. Hotophia Creek test section

2) 설계와 시공

이 시험 사업에서는 사석과 생물 재료를 이용한 하천의 안정과 생태 서식처의 복원, 그리고 친수성 향상 등을 사업의 목적으로 두었다. 그러나 경제성 면에서 비용이 과다하게 소요되는 것은 고려하지 않았다.

하천복원 설계의 기본개념으로 1) 비용 절감을 위해 하천 경사를 바꾸거나 만곡도를 늘리는 대형 토목사업은 지양하고 기존의 수제를 활용하고 2)

기존의 사석 수제를 연장하여 여울과 소를 조성하되, 흐름 방향과 반대 방향으로 교대로 경사지게 설치하고(그림참조), 3) 수제의 연장으로 인해 생길 수 있는 맞은 편 강턱의 불안정을 막기 위해 강턱 밑에 사석 호안을 하고, 4) 호안 주위와 사주(Sand Bars)에 토종 버드나무(Salix)를 삼목하는 것 등을 채택하였다. 길이가 연장된 수제는 최심선의 만곡을 유도하며, 수제 뒤로 소(沼)를 형성한다. 물가 식생은 수중에 유기물 공급과 그늘을 만들어준다는 점에서 중요하다. 또한 하도 내 식생은 유사의 퇴적을 유발하여 다른 식생의 자연 활착을 도와준다. 물가 식생 활착을 위해 총 3,445개의 휴면 버드나무 삼목을 심었다. 삼목의 직경은 2~25cm, 길이는 150~180cm 정도이며, 시험구간의 주위 1km 범위에서 잘라서 그 날로 삼목 하였다. 삼목 위치는 1) 강턱 밑 끝 사석의 바로 뒤, 2) 사주, 3) 수제가 강턱과 만나는 곳 주위 점착성 강턱 등이다(우, 2000).



3) 모니터링 결과

하천복원 시험의 성과를 평가하기 위해 사업 전후에 걸쳐 자료를 수집하였다. 복원 공사는 '92년 2월에 시작하여 '93년 3월에 끝났다. 하천단면은 100m 간격으로 12개 단면에 대해 사업 전·후 측량을 하였다. 물고기는 100~137개의 격자점에서 1991~1994년에 주기적으로 조사하였다.

공사가 끝 난지 10일 만에 최대 유량 380m³/s의 강턱 유량에 가까운 홍수가 났다. 그러나 모니터링 기간 중 하천 단면의 변화는 거의 없었다. 기저 유량에 의한 평균 수심은 전체적으로 공사 후 처음 1년은 9cm에서 22cm로 대폭 늘었다가 그 다음 해부터 15cm 정도를 유지하였다. 어류 서식처 조사 결과 수제가 만든 세굴공에서 개체 수, 종의 수, 평균길이 등이 3~5배 정도 크게 증가하였다. 구체적으로, 종의 수와 물고기 평균길이는 약 50% 증가하였으며, 채집된 물고기 수는 사업 전 300마리 수준에서 사업 후에는 1,000마리 수준으로 3배정도 늘었다. 세굴공의 깊이도 32cm에서 84cm

정도로 크게 늘었다가 나중에 약간 줄었다. 이러한 세굴공 깊이의 감소는 시간이 감에 따라 돌 수제 바닥의 세굴로 수제가 점차 주저앉았기 때문이다. Fig. 4-7(b)는 복원 사업 후 두 번의 성장기를 지난 후 하천 사진이다. 버드나무의 짙은 삼목 후 바로 1개월 후에 나기 시작하여 1년 이내에 강바닥에서 높이 2cm 정도까지 자라고, 물가는 진한 숲으로 변화였다. 강터 밑 사석과 버드나무는 맞은 편에 연장 수제로 인한 강터 침식에 잘 저항하고 있었다(우, 2000; 서울시정개발연구원, 2001; 환경부, 2002).



(a) 사업 전



(b) 사업 후 2년

Fig. 4-7. Hotophia Creek test section(Shields 등, 1995)

6. 일본

유럽의 근자연형 하천정화사업의 효과가 입증됨에 따라 일본에서는 ‘청류 르네상스21’ 프로젝트이 일환으로 다자연형 하천정화사업이라는 용어로 그 기술을 도입·추진하였다. 이는 본래 하천이 가지고 있는 생물의 양호한 생육환경을 배려함과 아울러 아름다운 자연경관을 보전 및 창출하는 하천정비라 할 수 있다. 즉 다자연형 하천정화는 치수기능의 정비를 중심으로 하여 풍요로운 자

연과 하천경관의 보전, 재생 및 창출을 위해 다양하고 풍요로운 자연환경조건
의 창출을 기본이념으로 하고 있다(이등, 1993; 이, 1995; 서, 2000).



Fig. 4-8. Waterway decoration in consideration of ecology in Japan

1) 다자연형 하천정화사업의 적용

- (1) 매전천 : 주변의 풍부한 생태계와 조화되는 하천 조성
 - 단차 1m의 낙차공을 경사식으로 조성
 - 평상시 수심저하를 방지하는 저수지로 설치
- (2) 지별천 : 연어 등 회유성 어류의 이동 고려와 경관조성
 - 회유성 어종의 서식처 제공과 이동을 위해 하천전부를 계단식 어도로 조성하고, 각 단의 못에는 여울이 형성되는 구조
- (3) 소전천 : 고품 민속의 보존
- (4) 이따찌천 : 하천의 사행화 특성 재현, 여울과 소의 형성
 - 하천 하도 중앙부를 계획 하상고 보다 0.3m 복토
 - 저수로를 자연하천과 같은 유로로 조성(사행,언,주 조성)
- (5) 인정천 : 계단식 어도의 개수
 - 비효율적인 계단식 어도 철거
 - 여울과 같은 형태로 하천 전면에 어도 설치
- (6) 일판천 : 반딧불 등 곤충류의 서식환경 제공
 - 유속을 30cm/sec 이하로 억제
 - 하도 사행화, 강 주변 초지화, 그늘조성 및 곤충류 서식처 제공
- (7) 목회천 : 잠자리가 살수 있는 공간 제공
 - 잠자리 서식을 고려한 5,000톤 용량의 인공호수 조성
- (8) 다다치천 : 자연 체험학습장 조성
 - 강 주변의 본래 경관 유지
 - 하천 특의 범면부는 갈대 등으로 보전



(a) 친수기능형 하천의 복원전 전경



(b) 친수기능형 하천의 복원후 전경

Fig. 4-9. Feature of pre- and post-restoration of waterway with hydrophilic function

2) 하천 자연정화시설 설치(일본의 지류하천 수질개선시설을 중심으로)

일본의 경우 국가 및 지자체가 실시하는 하천의 수질정화사업은 크게 준설, 정화용수 도입 및 하천 정화시설의 설치로 구분된다. 이 중에서 오염된 하천수를 고수부지의 정화시설에서 처리하여 하천에 환류시키는 하천정화법은 오염된 하천수의 수질을 50-80% 정도 개선시킬 수 있다는 점에서 최근 급속히 보급되고 있다. 하천정화법 중에서도 역간접축산화법은 비교적 오염도가 낮은 다량의 하천수를 일정 시간에 걸쳐 정화할 수 있기 때문에 가장 많이 보급되고 있으나 비교적 대규모의 설치공간을 필요로 하기 때문에 적용가능한 수역이 제한되는 것이 단점으로 지적되어 왔다. 이에 제한된 공간의 도시하천에서도 설치가 가능하고, 처리효과 및 유지관리가 용이한 새로운 형태의 하천정화법의 개발이 요구되었다. 이러한 필요성에 입각해서 최근 국토개발기술연구센터(JICE)가 중심이 되어 민간기업의 협력하에서 새로운 하천정화법의 개발을 추진하고 있다(이등, 1993; 이, 1995; 서, 2000).

여기서는, 일본 전국 각지의 수많은 수질 개선시설 중에서 실험중인 시설과 준설 및 정화용수 도입에 의한 시설 등을 제외하고, 수변환경정비와 더불어 실시하여 다소 규모가 작은 지류하천의 정화시설들을 중심으로 선정하여 소개하고자 한다.

(1) 아이지현 안성시 동단정지내 하천환경 정비사업(유개연 유입 절간천)

유개연은 벽남시와 안성시의 경계에 위치하며, 어업을 중심으로 한 수자원과 인근 지역민들의 휴식처로 중요한 역할을 하고 있으나, 환경기준치를 초과하는 수질을 개선하기 위해 유입하천의 하나인 절간천에 역간접축산화법을 이용한 수질정화 시설을 설치하였다(한국건설기술연구원, 2001).

① 수질개선방법 : 자갈에 의한 접축산화법(폭기부)

② 주요 시설

- 쓰레기 등을 제거하는 시설과 취수시설
- 강우시의 초기 오탁물질 및 모래를 제거하는 시설
- 생물에 의한 유기물 등의 산화분해 제거시설
- SS 성분을 제거하는 시설
- 시설에 모여있는 오니를 농축,저류하는 시설

(2) 사가현 고도군 마키노정 대자해진(서내소 배수로)

서내소 배수로는 인가 밀집지역인 해진취락지구를 횡단하여 비파호로 유입되는 지역의 주요 하천으로서 나까노천의 지류이다. 주변의 산, 밭에서의 자연배수 외에 주로 해진3구의 대부분의 가정 잡배수가 유입하는 보통 하천이지만, 오염부하가 해마다 늘어나, 잡초의 번무 및 오니의 퇴적으로 악취를 풍기는 하천의 황폐화가 심각한 상황에 이르러,1992년부터 아름답고 살기좋은 마을 만들기 사업의 일환으로 수질개선시설을 설치하였다(한국건설기술연구원, 2001).

① 수질개선방법 : 자갈에 의한 접촉산화법 및 우수지 조정방식

유량 및 오염상황으로부터 선진사례 등에 착안하여 우수과정에서 수질정화시설에 의해 접촉침전, 흡착, 산화분해 촉진 등을 위한 석적공, 율석공 등에 의한 역간정화방식을 채용하였다. 또한, 오니를 제거하기 위해 오탁피트를 8개소(약 30m 피치) 설치하고, 체류시간 조정에 의해 BOD등의 제거효과를 높이기 위해 우수지를 정비하여 물고기를 방류하였다.

② 수질개선 효과

(BOD/COD)의 수질농도가 10~21mg/L에서 5.0~7mg/L로 약 30~50% 정도 제거되는 효과를 보였다.



Fig. 4-10. Examples of installation of gravel contact oxidation waterway as drainage into waterway

(3) 애기현 무풍정 하기지구 라라가케 배수로

라라가케 지구는 택지 등의 개발에 의해 생활 잡배수의 유입이 증대하여 수질오탁이 진행됨에 따라, 하천바닥에 직접 끈상 접촉산화재를 배치하여 하천의 자정작용을 촉진시켜 수질을 정화하였다(한국건설기술연구원, 2001).

① 수질개선 방법 : 끈상접촉재에 의한 접촉산화법

② 수질개선 요지

수로의 하상에 끈상접촉재를 흐름방향으로 배치하여 그 표면에 생성·증식된 생물막에 의해 유수중의 유기물을 분해하는데, 접촉재에 부유물질의 흡착작용을 이용하여 수질을 정화한다..

③ 시설의 개요

- 시설연장 : 수로폭 2m,연장 118m
- 접촉재 설치 : 10cm 간격으로 20열, 철근봉으로고정
(10M×20열×10블록 = 2,000M)

④ 수질개선 효과

하류지점 분석치의 대부분이 상류지점의 값보다 낮게 나타나 끈상 접촉

재에 의한 수질정화효과가 좋은 결과를 보였으며, 오염물질 항목별 평균 제거율은 BOD 20%,T-N 10%,T-P 2%이다. 그러나 제거율이 낮은 결과를 나타내고는 있지만,유입수가 BOD를 기준으로 50ppm 이상의 고농도이므로 상대적으로 제거율은 높은 것으로 평가되었다.



Fig. 4-11. Examples of installation of string contact material oxidation waterway

(4) 증아친 끈상접촉산화시설

나이론재질의 섬유형 끈상접촉재를 사용하여 접촉재의 비표면적을 $200\text{m}^2/\text{m}^3$ 이상으로 증가시켜 미생물에 의한 유기물의 산화분해율을 높이고, 하천 여유부지인 둔치를 이용한 직접정화 방식을 적용한 시설이다(한국건설기술연구원, 2001).

- 처리용량 : $259,200\text{m}^3/\text{일}$
- 시설규모 : $L7.5\text{m}\times W6.75\text{m}\times H8.3\text{m}\times 60\text{조}\times 20\text{계열}$
- 시설용량 : $9,842\text{m}^3$
- 체류시간 : 0.75시간

- 처리효율 : BOD 제거율 70%



Fig. 4-12. Examples of feature of string contact material

(5) 가스미가우라호의 식생정화시설(Sanno강)

일본 제 2의 호소면적을 자랑하는 가스미가우라호는 원래 토네가와와 저지역을 따라 깊숙이 들어간 하천의 일부였으나, 약 600년전 해저용기와 토사의 퇴적으로 해적호로 지형이 변하였으며, 300년전인 에도시대 중기에 완전히 호수화된 지역이다. 가스미가우라호는 유역면적이 넓고 수심이 얇기 때문에 원래 자연적인 부영양화가 진행한 호이며, 더욱이 유역의 생활활동이 증대됨에 따라 인위적인 부영양화로 오염이 가속화되었다.

가스미가우라호의 본질적인 수질보호는 호소로 유입되는 강의 오염원을 사전 제거함으로써 달성될 수 있다고 판단하여 호수의 준설과 함께 식생정화시설을 설치하였다(한국건설기술연구원, 2001).

- ① 식생정화수로의 목적 : 오염원의 중요한자인 질소와 인의 제거
- ② 식생정화의 방법 : 갈대습지(marsh-reed)의 자연정화능력을 이용

③ 인과 질소의 정화효과

- 갈대늪지에 의해 유입수는 탈질 24%, 침전13%, 흡수 29%로 나타나고, 유출수는 질소의 34% 감소효과가 나타남.
- 인의 경우, 유입수는 흡착 9%, 침전 39%, 흡수 6%로 나타나고, 유출수는 인의 46% 감소효과가 나타남.
- 갈대늪지에 의해 흡수된 인과 질소는 재방출되므로, 수질정화를 위해서는 갈대숲을 잘라주어야 하며, 가능할 경우 축적된 침전물을 제거함으로써 재유출을 방지할 수 있다.



Fig. 4-13. Plantation-purification facility in Sanno River and Gasnigaura Lake

(6) 그 외의 사례.

이 밖에도, 폭기풍차, 목탄, 다공성재료 등을 이용한 농업용 배수로인 아도호 유입 일번천의 교반폭기/접촉산화수로시설, 대전천의 끈상접촉산화시설, 파관상 또는 망상이나 구상의 플라스틱 접촉재를 이용한 강산懸 접촉산화시설 등이 있다(한국건설기술연구원, 2001).

V. 자연형 하천공법의 국내 적용

1. 양재천

1) 개요

한국건설기술연구원(1997)에서 환경부 G7 과제로 수행 중인 '국내 여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발' 연구에서 양재천을 시험하천으로 선정하여 자연형 하천공법을 시험·적용하였다. 양재천은 시흥의 청계산과 과천의 관악산에서 발원하여 서울특별시 서초구와 강남구 등을 거쳐 탄천으로 유입되는 지방2급 하천이다. 양재천의 유역과 물리적 특성을 Table 1에 정리하여 나타내었다.

양재천은 우리나라 중소하천의 전형적인 특징을 가진 하천이며, 1970년대에 정비되면서 복단면과 제방으로 이루어진 횡단면을 가지고 있다. 하천의 선형은 수직강화되어 있는 상태이다. 수질 특성은 상·하류에 걸쳐 큰 변화 없이 BOD 3~10ppm을 유지하고 있으며, 이는 도시하천의 수질로는 양호한 편에 속한다고 할 수 있다. 양재천의 생물 특성은 개수된 인공 하천의 특징으로서 하천내에 수목이 제거되어 존재하지 않으며 고수부지에는 환삼덩굴과 잡풀이 무성한 상태이었다. 하천의 직강화와 단면의 획일화로 인해 하천 서식처의 물리조건이 훼손되었으므로 생물상은 사실상 존재하지 않는다고 판단되었다. 다만 홍수 직후에 소수의 물고기가 관찰된 적이 있다(한국건설기술연구원, 1997).

Table. 5-1. Drainage basin and physical characteristics of Yangjae Stream

구 분	수 치
유역면적	58.6km ²
유역길이	15.6km
하천경사	상류 : 1/300이상 중류 : 1/500 내외 하류 : 1/1000 내외
유 량	평상시 : 1m ³ /s 내외 홍수시 : 하류부 최대 300m ³ /s
유 속	최대 3.0~3.5m/s
하 폭	저수로 : 5~30m 제방마루 : 20~100m
하상재료	상류 : 2~10cm이상 중류 : 1~10mm 하류 : 1mm이하

2) 양재천의 과천 구간

과천 구간은 양재천 상류에 속하는 구간으로서 시험구간은 과천시 부림동을 지나는 300 m 구간이다. 이 구간은 1996년도 말에 시험공법을 적용한 후 지속적인 모니터링을 실시하고 있으며 1997년 5월과 7월, 1998년 8월에 발생한 홍수로 인해 일부 구역에 피해가 발생하여 복구 및 보강 작업을 수행하였다. 현재 이 구간에 적용된 공법은 정착단계에 있다. Fig. 5-2는 양재천의 과천 구간에서 자연형 하천공법을 적용한 전후의 모습을 그림에 나타내었다.



(a) 1996년 4월



(b) 1997년 2월



(c) 1997년 5월



(d) 1997년 여름

Fig. 5-1. Comparison of pre- and post-application of natura waterway construction method in Guacheon section of Yangjae Stream

(1) 저수로 선형

저수로의 선형은 Fig. 5-1에서 1997년 여름의 사진에 나타나 있는 바와 같이 만곡을 가지게 하였다. 저수로의 만곡은 자연하천에서 나타나는 현상으로서 수로 횡단면에 걸쳐 유속이 빠른 부분과 느린 부분이 발생하게 하여 생물의 서식처를 제공하고 자연적인 유사의 퇴적이 일어나는 기능을 하도록 한다. 시험구간에 적용한 만곡은 그 파장의 길이가 하폭의 5~7배에 해당된다.

(2) 저수호안

저수호안공법은 치수의 안정성을 만족시킴과 동시에 자연성과 수변 생태계를 유지할 수 있는 재료와 시공방법을 사용한다. 돌바구니, 나무수제, 나무틀, 사석쌓기, 야자섬유, 습생식물 군락 등 다양한 공법이 시험적용되었다. Fig. 5-2에는 나무틀 공법, 사석과 갯버들 공법의 적용구간을 도시하였다.



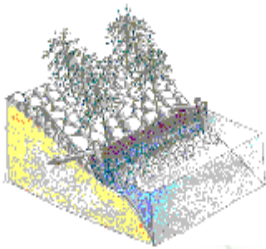
(a) 나무틀 공법 공사직후



(b) 나무틀 공법 97년 8월



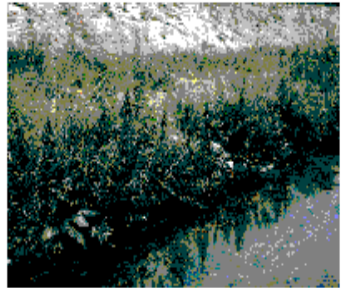
(c) 나무틀 공법 - 98/5



(d) 사석과 갯버들 공법 공사
직후



(e) 사석과 갯버들 공법(97/8)



(f) 사석과 갯버들 공법(98/5)

Fig. 5-2. Low-flow revetment construction applied in Guacheon section of Yangjae Stream

(3) 하도내

양재천의 과천 구간에서는 하상의 재료가 대부분 자갈 보다는 큰 돌로 이루어져 있어 여울과 소로 인한 물고기의 서식처 효과가 미흡할 것으로 판단되었기 때문에 여울과 소의 연속 구조를 새로 조성하지 않았다. 하상에는 큰 돌이 다양한 크기로 산재되어 있어 하천흐름의 다양성을 제공하고 있다.

(4) 고수부지

고수부지에는 갯버들, 부들, 갈대, 창포, 달뿌리풀, 물억새 등을 이식하였으나 갯버들을 제외한 식물의 상당부분이 고사하였다. 식재한 식물이 고사한 이유로는 원래 서식하고 있던 환삼덩굴로 인한 원인과 지하수위가 낮은 원인으로 분석되었다. 즉, 식물종과 위치의 선정이 적절하지 못했다는 판단

을 할 수 있다. 다만 과천구간의 고수부지에는 달뿌리풀의 성장률이 다른 식물에 비해 비교적 높은 결과를 나타내고 있다.



Fig. 5-3. Low waterway and high level berm(April, 2000)

(5) 제 방

제방에 적용된 공법은 돌망태와 인동 덩굴, 블록떼기와 식생공법이다 (Fig. 5-4). 이 같은 공법은 1998년 8월 홍수에도 큰 피해 없이 잘 유지되었다.

(6) 1998년 8월 홍수의 피해와 영향

양재천 구간에는 1998년 8월 8일과 9일에 걸쳐 24시간 동안 약 430mm의 강우가 발생하였다. 이는 설계호우 385mm를 초과하는 집중 호우로서 양재천은 국부적으로 제방이 월류하였으며, 시험구간 내에도 상류 만곡부에서 월류가 일어났다. 이 때의 유량은 $250\text{m}^3/\text{s}$ 를 초과하였고 최대 유속은 3~4 m/s를 나타내었다. 이 홍수시에 수목 식재로 인한 홍수위상승 효과는 약 5% 정도에 국한된 것으로 추정되었다.



(a) 돌망태와 인동 덩굴 공법



(b) 블록떼기와 식생 공법

Fig. 5-4. Bank of Guacheon section in Yangjae Stream (March 2000)



(a) 구간내 소규모 구조물의 세굴



(b) 하안 야자망의 세굴



(c) 고수부지의 세굴



(d) 홍수 후의 시험구간 전경

Fig. 5-5. Flood damage in Guacheon of Yangjae Stream in August 1998

또한 시험구간 내에서 국부적인 세굴 현상은 있었지만 심각한 피해는 발생하지 않았다. 이는 생물 재료와 돌 등을 적절히 혼합한다면 기존의 콘크

리트 호안을 대신하여 설계 홍수에서도 충분히 유지될 수 있는 호안을 이루고 있음을 나타내고 있다(Fig. 5-5).

3) 양재천의 서초구 우면동 구간

양재천 우면동 구간은 양재천의 종류에 해당하는 구간으로서 하천 경사가 비교적 완만하며 하상은 모래로서 자연형 하천공법 적용 전에는 양안 고수부지에 환삼덩굴이 주로 번식하고 있었다. 저수호안은 콘크리트로 이루어져 있고 하상 재료가 퇴적하여 식생이 활착된 상태를 유지하고 있었으며, 고수호안은 콘크리트 블록으로 홍수위까지 시공되어 있었다(Fig. 5-6).

자연형 하천공법의 적용 목표는 하천서식처의 물리기반을 복원하여 생태서식처로서의 기능을 담당할 수 있는 기반을 제공하는데 있다. 또한 하천의 경관을 자연형으로 복원하여 기존의 인공화된 하천을 개선하여 친수성을 제고하는 것이 자연형 하천공법의 궁극적인 목표라 할 수 있다. 물론 공법 적용시에는 치수능력은 계속 유지되어야 한다.

우면동 구간에 적용된 기본원칙은 저수로의 만곡을 하천폭의 2~3배의 반경으로 설치하는 것이 포함되어 있다. 또한 저수로의 단면은 비대칭으로 만들고, 하천 단면을 하도, 저수로 호안, 고수부지, 제방의 4개의 소구간으로 구분하여 자연형 하천공법을 적용하였다. 치수를 위하여 하천제방을 그대로 유지하였으며 시범적인 하천수질정화시설을 설치하여 운영하고 있다.



(a) 적용전 저수로와 고수부지

(b) 적용 후 첫 홍수 (1999. 8)

(c) 성숙기(2000. 9)

Fig. 5-6. Feature of pre- and post-application of natural waterway construction method in Womyeon-dong section of Yangjae Stream

(1) 저수로 호안

저수로 호안에 적용된 공법은 강자갈 호안, 윗가지 호안, 사석 섣단 호안, 사석 거석 호안, 녹화 마대 호안, 돌심기 호안, 돌망태 호안 등 다양한 공법이 시험하천구간에 적용되었다. 이들 저수로 호안공법은 세굴에 충분히 견딜 수 있는 치수의 기능 뿐만 아니라 하천 생태계에 서식처를 마련하는 환경적 기능을 담당할 수 있는 재료와 공법을 선택하였다. 적용된 이들 공법 중에서 갯버들을 이용한 윗가지 호안공법과 녹화 마대 호안공법은 Fig. 5-7에 나타내었다.



(a) 갯버들 윗가지 호안공법



(b) 녹화 마대 호안공법

Fig. 5-7. Revetment construction method applied in Woomyeon-dong section of Yangjae Stream

(2) 하도내

하도내에 적용된 자연형 하천공법은 하천흐름의 속도에 변화를 주어 하천생물이 살아갈 수 있는 공간을 제공하며 하천의 자정기능을 되살리는데 주된 목적이 있다. 이러한 목적을 위해서 외톨이 거석공법, 거석 수제공법, 징검다리 거석공법, V자 여울공법 등이 시험구간 내에 적용되었다. 외톨이 거석공법과 거석수제공법은 하천에 장애물을 설치하여 그 주변에 유속이 작아져서 생물의 서식처를 제공하는데 주된 목적이 있고 징검다리 거석공법과 V자 여울공법은 하천수의 유속을 증가시키고 공기와의 접촉면을 늘려 자정기능을 증대시키는데 목적이 있다(Fig. 5-8).



(a) V자 여울공법



(b) 외돌이 거석 공법



(c) 징검다리 거석공법



(d) 거석 수제공법

Fig. 5-8. River channel construction method in Woomyeon-dong section of Yangjae Stream

(3) 제 방

제방은 치수의 기능을 위해 녹화블록 공법을 부분적으로 적용하였다. 녹화블록 공법은 콘크리트 블록 중간을 비워 식물을 식재하는 방법으로서 식생이 안착한 이후에는 충분한 지지력을 갖게 하였다.

(4) 비오톱과 수질정화시설

자연하천의 서식처에 대한 다양성을 창출하기 위하여 개방형과 폐쇄형 비오톱(Biotop)을 설치하였다(Fig. 5-9). 개방형 비오톱은 하도와 연결되어

셋강과 같은 구조로 이루어져 있고 폐쇄형 비오톱은 고수부지에 고립된 형태로 형성되었다. 시험적용된 비오톱은 개방형의 경우 토사의 유입으로 인해 일부가 매몰되었고 폐쇄형은 지하수위가 낮아 하천변의 지하수가 유입되지 않아 말라 버리는 문제가 발생하였다.

이러한 시험적용의 결과로부터 개방형 비오톱의 위치선정에 유의해야 하고 폐쇄형 비오톱을 설치시에는 지하수를 공급받을 수 있도록 충분한 깊이를 유지하거나 물을 외부로부터 유입할 수 있게 해야 한다.



(a) 식물 군락 (b) 개방형 비오톱 (c) 폐쇄형 비오톱

Fig. 5-9. Biotop installed in Woomyeon-dong section of Yangjae Stream

수질 정화시설로는 상향류식 자갈점촉산화시설, 수질정화 자유수면 습지와 수질정화 자갈여과 습지가 적용되었다. 상향류식 자갈점촉산화시설은 콘크리트 박스 안에 직경 20~50mm, 50~100mm, 100~150mm의 자갈을 순서대로 깔고 물을 아래에서 윗쪽으로 이동시키면서 수질을 정화하는 공법으로서 처리용량은 500m³/day이며, BOD와 SS의 제거률은 40~70% 정도를 나타내었다.

수질정화용 자유수면 습지와 수질정화 자갈여과 습지는 각각 자유수면 또는 자갈 여과층을 가진 습지에 부들 또는 갈대를 심어 수질을 정화하는 시설이다(Fig 5-10~Fig. 5-11). 이들 시설은 방류수를 고도처리하고 양재천의 하천수 정화에 사용되며 BOD, SS, 및 질소, 인 등을 제거하는 능력을 갖추고 있다.



Fig. 5-10. Upstream type gravel contact oxidation facility (April 2000)



Fig. 5-11. Feature of constructed marsh of free surface with quality purification



Fig. 5-12. Feature of constructed marsh of gavel filtration with quality purification



2. 안양천

1) 하천현황

안양천은 서울 및 수도권 지역의 젓줄인 한강으로 유입되는 4대지천 중 제1지천으로서 유하거리 32.2km, 유역면적 275.0km²이며, 안양시, 군포시 등을 거쳐 서울의 강서구 양화교에서 한강 본류와 합류하게 된다(Table. 5-2, Fig. 5-13).

한강이 안양천과 합류되기 전에 2급수를 유지하다가 합류된 후 3급수로 관리되는 점을 고려할 때 안양천의 수질오염이 한강 본류에 미치는 영향이 크다. 안양천은 도림천, 개화천, 목감천, 학의천, 당정천, 산본천 등 다수의 지천이 있으며, 유역이 광범위하고, 안양천 주변도시들의 급속한 발전으로 유입인구의 증가와 토지이용 변화에 의해 오염이 심한 상황임. 특히 서울에 비해 경기도 지역의 생활하수 차집이 불완전하여 상류지역이 하류에 비해 오염도가 높은 상황이다.



Fig. 5-13. Status of waterway in the drainage basin of Anyang Stream

Table. 5-2. Waterway condition of drainage basin of Anyang Stream

하천명	수계				유로연장 (km, L)	유역면적 (km ² , A)	유역평균폭 (A/L)	형상계수 (A/L ²)
	본류	제1지류	제2지류	제3지류				
안양천	한강	안양천			32.20	275.00	8.54	0.27
안양천	한강	안양천			20.67	126.60	6.12	0.30
왕곡천	한강	안양천	왕곡천		4.20	4.40	0.95	0.23
오전천	한강	안양천	오전천		4.75	4.40	0.93	0.20
당정천	한강	안양천	당정천		4.20	5.83	1.39	0.33
산본천	한강	안양천	산본천		4.95	9.71	1.96	0.40
학의천	한강	안양천	학의천		11.60	42.6	3.67	0.32
청계사천	한강	안양천	학의천	청계사천	6.20	6.40	1.03	0.17
갈현천	한강	안양천	학의천	갈현천	3.00	3.25	1.08	0.36
수암천	한강	안양천	수암천		7.00	7.96	1.14	0.16
삼성천	한강	안양천	삼성천		7.25	13.15	1.81	0.25
삼막천	한강	안양천	삼성천	삼막천	4.60	5.03	1.09	0.24
시흥천	한강	안양천	시흥천		2.05	4.52	2.20	1.08
목감천	한강	안양천	목감천		15.50	52.95	3.42	0.22
가학천	한강	안양천	목감천	가학천	2.50	3.20	1.28	0.51
계수천	한강	안양천	목감천	계수천	3.00	3.80	1.27	0.42
개화천	한강	안양천	개화천		3.20	46.13	14.42	4.50
오류천	한강	안양천	개화천	오류천	4.67	5.52	1.18	0.25
도림천	한강	안양천	도림천		14.20	49.24	3.47	0.24
봉천천	한강	안양천	도림천	봉천천	5.15	9.34	1.81	0.35
대방천	한강	안양천	도림천	대방천	7.40	8.32	1.12	0.15

자료 : 한국하천일람, 2000, 건설교통부

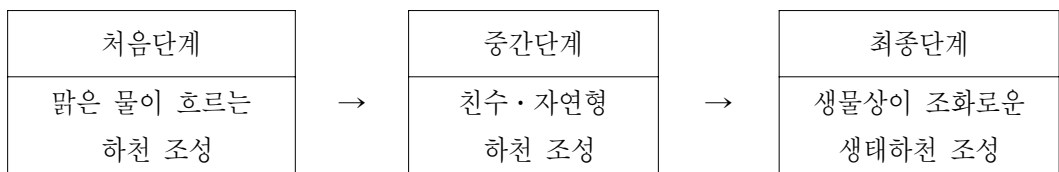
2) 하천정비 기본구상 및 추진방향

(1) 기본방향

대도시권에 위치한 도시하천인 안양천은 생태하천이 최종목표로서만 남을 가능성이 있으나 많은 투자와 노력을 하면 제한된 여건에 적합한 자연형 하천을 조성할 수 있다. 「생물상이 조화를 이루는 생태하천 조성」이라는 최종목표를 달성하기 위한 기본방향으로는 깨끗하고 맑은 물이 흐르는 하천과 친수·자연형하천 조성, 이러한 두 개의 방향을 지원하는 평가·모니터링과 주민협력·교육 등이 있다. 특히 자연형 하천은 하천이 최종적인 모습이나 도시하천인 안양천은 Table. 5-3과 같은 점진적인 변화상태로 나아가는 것이 바람직할 것이다.

현재 안양천은 시민공원이 여러 지역에 조성되어 있고, 우리 하천 특성인 치수적 문제와 유역의 특성인 생활하수와 공장폐수의 방류수를 획기적으로 개선하기 어렵고, 복개된 하천을 일시에 원상으로 회복하기 어려우므로 생태하천으로 나아가는 중간단계로서 친수·자연형 하천이라는 개념을 설정하였다. 최종단계로는 물고기가 살고, 수초가 조성되고 유역에는 수목이 번성하며, 개구리가 물가에서 뛰고, 새가 날아드는 자연형하천을 조성한다.

Table. 5-3. Basic course for construction of ecologic waterway



(2) 추진전략

① 처음단계 : 깨끗하고 맑은 물이 흐르는 하천

가) 하수도 및 하수처리시설 조속 확충

군포시 주변과 산본시, 안양시, 의왕시 유역의 하수관정비가 시급함. 즉 안양천 상류지역의 개발이 촉진되고 있으므로 상류지역의 하수관 정비가 필요하다.

안양시 하수처리장의 확충(현재 30만톤/일 → 2002년 60만톤/일로 증설 예정)과 더불어 역곡천 하수처리장의 조속 설치, 또한 역곡천 하수처리장 건설전까지 임시처리가 필요하다.

안양하수처리장으로 하수를 방류하지 못하는 안양시의 하수구역(석수동지역)은 서울하수도를 이용하여 처리할 수 있도록 하여야 한다.

나) 하천생태유량 확보

인덕원역과 범계역의 지하철 용출수확보 및 협약에 의한 양질의 공장폐수 방류수를 확보하고, 안양하수처리수를 하천유지용수로 재이용한다. 그리고 지하철 차량기지 사업소의 처리수 활용과 천왕역 용출수를 이용하여 하천생태유량을 확보한다.

다) 수역특성별 수질관리

생활하수를 주로 배출하는 지역, 공장폐수를 주로 배출하는 수역(공장밀집지역, 공단지역) 등으로 구분하여 특성에 맞는 수질관리를 실시하고, 안양천 상류의 삼막교의 석산 용출수(중금속 함유)를 차집처리한다.

라) 하천의 직접정화에 의한 수질개선

안양천 저수로 호안을 하천생태용수가 흐르는 수로폭으로 조성한 후 흐름을 조정하는 인공여울 조성 및 저수로의 식생 조성을 통하여 자정작용 및 자연정화에 의한 수질개선을 실시하고, 자연정화를 통한 수질개선은 수질개선효과 뿐 아니라 생물서식처를 확보할 수 있고, 하천의 자연성을 풍부하게 할 수 있다.

안양천의 여러 지역에 끈상 접촉산화시설, 자갈층 접촉산화시설, 인공여울, 습지 조성 필요하고, 이러한 자연정화시설은 유지관리에 강점을 가진 시설로 설치될 필요가 있다.

마) 축산폐수관리

현장 조사 결과 시흥시에 산재되어 있는 축산시설에서 축산폐수가 처리되지 않은 채 역곡천으로 합류되므로 대책 필요하고, 시흥시는 산재되어 있는 축산시설의 단지화나 소규모 축산시설의 저류조 설치를 의무화하여 이를 수거 처리하는 방법을 강구할 필요가 있다.

바) 하상퇴적물에 대한 준설기준 필요

하상퇴적물은 악취를 발생하거나 수질오염(갈색퇴적물)을 일으키고 있어 매년 준설을 실시한다. 그리고 안양천 인근에 위치한 지역 주민들의 민원사항인 악취 발생 문제를 해결하기 위한 대책이 필요하다.

② 중간단계 : 친수·자연형 하천 조성

「친수·자연형 하천 조성」은 안양천과 같이 도시하천을 인공적으로 자연형 하천으로 조성하는 방안인데, 현재 유역에 물과 수목이 부족하여, 하천변을 시민공원으로 사용하는 지구가 많으므로 부분적으로 친수수역으로 조성하고, 점진적으로 생태하천으로 나아가는 기반으로 삼아야 할 것이나 가능하면 운동장과 단일성 꽃밭 조성은 최소화하여야 할 것으로 판단된다.

가) 호안 및 저수호안의 식생대 조성

호안 및 저수호안의 식생대 조성은 하천의 자연성 회복을 위해 필수적인 사항이며, 고수호안 콘크리트에 식생대 조성은 홍수시 발생하는 퇴적토를 청소하지 아니하고 방치하면서 잡초, 잔디 등의 식생의 조성이 필요하다. 저수호안에는 달뿌리풀, 부레옥잠 등 수초식생대를 조성한다.

나) 유역의 식목·식생에 의한 완충대 설치

공장이적지 및 나대지 등에 식목 및 식생지 설치로 완충대 유지/생물서식공간 확보가 필요하다. 따라서 구로공단 및 의왕시 등의 지역내 공장이적지는 필히 식목·식생을 통해 유역의 완충지로 조성하고, 생물서식공간을 확보한다.

다) 생물서식공간 확충

호안 블록에 복토식생공법을 도입하여 초지조성 필요하고, 불량한 직강 콘크리트 호안에 담쟁이덩굴 식재 및 하도내의 수로폭 조절과 식생여과대를 설치로 생물서식지 개선이 요구된다.

라) 하천 고수부지의 주차장 등 최소화

안양천 고수부지에 주차장과 운동장 등 체육시설, 유체꽃밭 등 단일성 꽃밭 조성을 최소화한다.

③ 최종단계 : 생물상이 조화로운 자연형하천 조성

「생물상이 조화로운 자연형하천 조성」은 안양천의 최종 목표이며, 현재 도시

하천인 안양천을 자연형하천으로 조성하기에는 많은 투자 및 노력과 더불어 시간이 필요할 것이다. 그럼에도 불구하고 안양천이 지니고 있는 한계, 즉 주변유역이 도시화되어 있고, 하천유량이 계절별로 집중되어 있고, 또한 홍수 등 수해방지에 우선적으로 대처하고 있는 현실을 고려할 경우 생태하천은 달성 불가능할 지도 모른다. 그러나 하천의 최종목표를 점진적으로 달성하기 위해 사고를 전환하는 등 여러 정책 대안이 필요하다.

3) 수질개선 공법 검토

역곡천의 수질관리는 하수처리장 건설까지 임시적으로 운영하는 시설이어야 하므로 시설비 및 유지관리비가 적게 들고, 비교적 간단한 공정을 가진 시설로 하수처리장 설치시 쉽게 대체될 수 있거나 하수처리장과 연계하여 사용할 수 있는 공법이어야 하고, 따라서 하천내에 설치하는 직접정화공법을 적용이 필요할 것으로 판단된다..

수질개선 방안은 첫째, 역곡천의 상류에서 폭기산화처리+식생정화처리방안과 둘째, 자갈층접촉산화처리+식생정화처리방안이다.

(1) 폭기산화처리+식생정화처리

역곡천의 수질이 수질이 비교적 높으므로, 저류조를 만들어서 폭기를 하고, 폭기조 처리후 침전지를 거쳐 식생정화처리하는 방안이 비교적 필요하다. 이 방안은 비교적 시설비 및 처리비, 유지관리비가 적게 소요되나 처리효율이 높지 않은 단점이 있을 수 있다(Fig. 5-14).

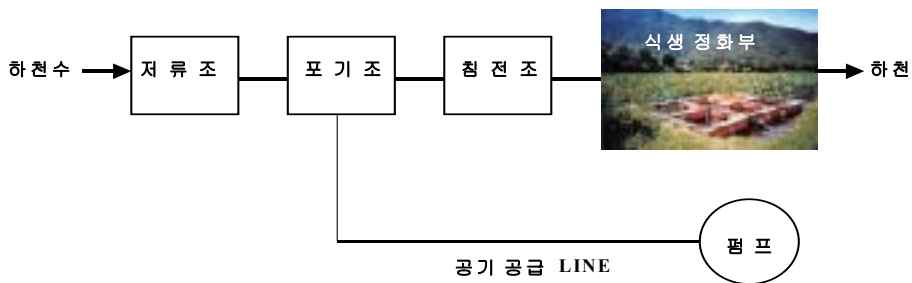


Fig. 5-14. Concept map of aeration oxidation treatment facility

(2) 자갈층접촉산화처리+식생정화처리

자갈층 접촉산화법은 하천에서의 자정작용을 인위적으로 증가시키는 것으로 하천

내 오염물은 하상에 침전, 흡착되거나, 하상에 서식하는 생물에 의해 형성된 생물막에 흡착, 분해되어 정화된다. 하상의 면적을 인위적으로 늘려서, 단위 용적에 있어서의 정화능력을 증대시키는 것이 자갈층 접촉산화법으로 비교적 BOD가 높지 않은 하천에 적용할 수 있는 공법이다. 유입 BOD가 높으면 자갈층에서 처리효율이 떨어지고, 슬러지가 많이 발생하는 단점이 있다.

자갈층 접촉산화는 유입수 중에 포함되는 수 mg/l의 산소를 이용하여 정화되므로, BOD가 20~30mg/L 이상의 하천수를 대상으로 하면 DO가 곧바로 소모되어 처리상태가 악화된다. 따라서 유입수의 DO농도에 따라 다르지만, BOD는 20~30mg/L이상의 하천수에는 부적절하다. 역곡천의 경우 유입하천수의 농도가 30mg/L를 초과하므로 폭기가 필수적이라 판단된다.

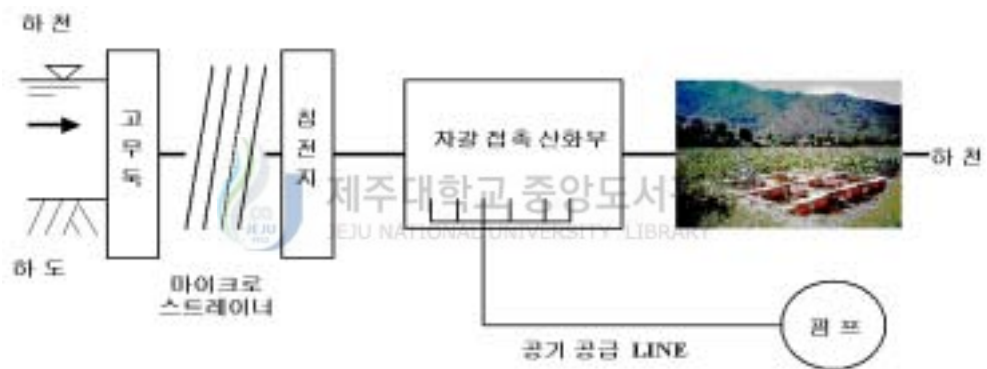


Fig. 5-15. Concept map of gravel contact oxidation facility

4) 친수·자연형 하천 조성 방안

안양천을 친수 및 자연형 하천으로 조성하기 위해 전체적인 마스터플랜을 세워서 진행하는 것이 필요하나, 여러지차체의 관할구역 문제, 치수를 고려한 안양천의 수로정비 등의 여건을 고려하면 쉽지 않다. 따라서 안양천의 수역별 여건에 따라 가능한 부분부터 조성하는 것이 바람직 하다.

(1) 생물상의 종합분석

현재 안양천 및 지천은 하천의 선형이 치수안정성 목적으로 직강화, 제방의 축조, 저수로 호안부의 인공재료 시공 등으로 고유한 식물상의 특징이 크게 교란되어진 상태이다. 채집된 어류는 주로 오염에 대한 내성이 강한 잉어과로 한정되는데 그 이유

로 여울, 소의 부족, 산란장, 은신처로 이용되는 수초지대의 협소화, 오수의 유입으로 인한 DO의 부족 등을 이유로 꼽을 수 있다.

조류의 경우 철새는 대부분 수면형으로 한강의 밤섬 주변에 도래하여 월동하다 먹이를 찾아 안양천으로 이동한 것임. 이들의 먹이가 되는 수초의 잎, 줄기, 열매, 무척추동물, 곤충류 낱알, 풀씨가 풍부한 철새서식처로서의 기능을 갖춘 생태적으로 안정된 하천으로 조성해야 한다.

수서생물은 단순하게 출현하고 특히 오염에 내성이 큰 종의 점유율이 높은 것으로 미루어 오염된 도시하천의 저서동물 분포상을 보이고 있다.

(2) 호안블록에 복토식생공법을 도입하여 초지조성

하천단면에 따라 저수호안, 준고수호안, 고수부지, 고수호안 등으로 구분함. 이 중 저수호안에는 침수, 정수식물 조성을 조성하고, 고수부지는 체육공원 등의 간섭을 최소화하면서 초지를 조성하고, 가능하면 관목을 식재하고, 고수호안은 자연적으로 조성되는 흙 또는 인공적으로 흙을 덮어 초지를 조성할 수 있도록 한다..

고수부지에 초지를 조성하는 방안은 호안블록을 뜯어내지 아니하고, 초지대를 조성할 수 있는 방안으로 예산을 절감할 수 있음. 특히 현재까지 하천 호안공사는 호안블록으로 시행되고 있음을 감안하면 이러한 방안은 실용적인 방안이다. Fig. 5-16, Fig. 5-17은 안양천 일부구간에서 호안블록위에서 조성된 초지를 보이고 있으며, 비교적 양호한 초지 조성 현상을 보이고 있다.



Fig. 5-16. High-flow revetment in Anyang Stream



Fig. 5-17. Reed in the remetment in Anyang Stream

(3) 불량한 직강 콘크리트 호안에 담쟁이덩굴 식재

안양천 중상류의 호안은 하상과 호안을 콘크리트로 조성하여 거의 복토식생공법을

적용하기 어려워 고수부지에 담쟁이덩굴을 식재하여 콘크리트로 인한 인공성을 제거토록 하였다.

(4) 하도내의 수로폭 조절과 생물서식지 개선

안양천 중하류는 하폭이 30~40m이므로 생태적 기법을 이용한 저수호안을 도입하기에 어려움이 많다. 따라서 자연적으로 사행수로가 생기는 구간을 위주로 수로폭을 조절하고, 식생대를 조성하여 생물서식지를 조성하였다.



Fig. 5-18. Plantation zone of filtration



Fig. 5-19. Anyang Stream

특히 하천변에 식생을 조성하거나 부도를 설치하여 어류서식처 등을 조성하고, 자연정화능력을 향상시켰다(Fig. 5-18).

(5) 개화천 상류의 방치관리로 자연하천 조성

개화천 상류는 아직 호안블록이 시설되어 있지 아니하므로 고수호안 사면에 형성된 토양층과 이를 기반으로 발생하는 초본 식생은 예초관리하지 않고 방치관리하여 자연형성과정을 촉진하였다(Fig. 5-20, .Fig. 5-21).



Fig. 5-20 Negligence as low area of upper stream of Gaehua Stream



Fig. 5-21. Revetment plantation of upper stream of Gaehua Stream

3. 수원천

1) 배경

경기도 수원시에 위치하며 장안구, 권선구, 팔달구를 포함하여 유역면적 23.57 km², 유로연장 16km에 이르는 콘크리트 옹벽으로 설치된 도시하천인 수원천은 주거 및 상가 밀집지역을 통과하고 있어, 주변에서 배출되는 생활하수로 인하여 심하게 오염된 상태였다.

오염하천의 악취에 의한 혐오감과 복개후 지가상승 등을 기대한 주민들의 요구에 의해 복개도로 건설을 계획하였고, 이미 30%가량 시공 중이었으나 “수원천 되살리기 운동본부” 등 지역 민간단체의 끈질긴 설득과 반대로 결국 하천복개 계획은 철회되었고, 수원천 복원사업을 착수하게 되었다.

자연형 하천으로 복원 대상수역은 상류에 과거 식수원인 광교 저수지와 그 아래에 위치한 경기도 영연교-매향교에 이르는 폭 10-30m의 2.35km구간이며 이후에도 연차적으로 수원천을 복원하기 위한 계획을 수립해 놓고 있다.

Fig. 5-22는 수원천의 복원전의 모습으로 하천호안과 저수호가 콘크리트로 조성되어 있었다.



Fig. 5-22 Suwon Stream of Bokwon Stream

2) 사업내용

수원천의 호안은 대부분 콘크리트 옹벽이 수직으로 설치되어 있고, 정비된 저수로는 직강되어 있었다. 이를 자연형 하천으로 복원하기 위하여 제방은 기존의 석축을 그대로 유지하면서 저수로 및 둔치를 새로 정비하였다.

저수로의 경우 사행하도록 변화시켰고, 기존의 콘크리트 저수로를 뜯어내고 호박돌과 같은 자연석을 이용하여 저수로 호안을 만들었으며 자연석들 사이의 틈에 부들과 같은 식생 정화종을 식재하여 경관향상과 생태계 서식처로서의 기능을 유지하도록 하였다.

생태계 복원을 위한 노력으로 사주를 대신하여 인공섬을 조성하였고, 기존의 횡단보를 자연스런 낙차보로 개량하였으며 저수로 하안에 거석 및 자연석을 이용하여 소와 여울을 조성하였다.

둔치에는 자전거도로와 산책로를 두었고 잔디등을 식재하였으며 하천내 거석을 이용한 자연형 보와 징검다리, 분수대 등을 설치하여 주민의 이용성을 높여 친수성을 확보하였다.

수원천에 유입되는 생활하수는 관거시설에 의해 찻집하여 오수의 하천유입을 차단하여 하천의 수질이 개선되었고 악취가 줄어들게 되었으나 반면 하천내 유수량이 줄어들어 건천화가 심각하게 되어 이에 대한 대안으로 광교 저수지에서 물을 흘려 보내도록 하고 있다.



Fig. 5-23. Falling works with use of natural stones and concrete



Fig. 5-24. Suwon Stream showing its river bed due to drought



Fig. 5-25. Esplanade on the waterside Fig. 5-26. Natural stone revetment



Fig. 5-27. Feature of decoration with natural stone revetment

Fig. 5-28. Artificial island decorated with concrete and natural stones

3) 사업결과

수원천은 상류에 광고 저수지가 있어서 유량의 조절이 가능하며 하천유지 용수 확보면에서 유리한 하천으로 수원천의 자연형 하천 조성사업의 성과를 볼 때 하천의 생태계 서식처 기능복원 및 주민들의 이용빈도가 높아져 친수성 확보 등에서 성공적이라 할 수 있다.

그러나 도시하천의 한계인 콘크리트 옹벽을 그대로 유지한채 저수로만을 정비하였으므로 자연형 하천으로 나아가는데 필요한 기반은 여전히 부족한 실정이라고 판단된다.

4. 산지천

1) 산지천의 개황

그림은 제주시의 산지천을 나타낸 것으로 사지천의 시점은 제주시 아라동 518번지선이고, 종점은 제주시 건입동 984번지선이다. 산지천의 하천연장길이는 10.60km이며, 유로연장길이는 11.35km, 유연면적은 8.0km²이다.

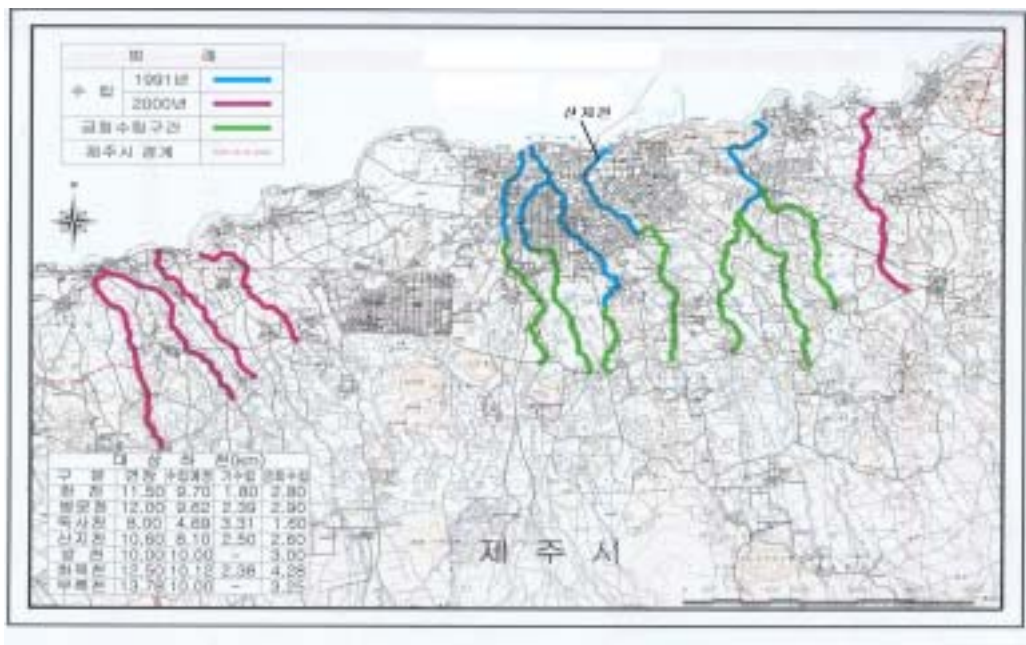


Fig. 5-29. Location of Sanju Stream

2) 산지천 복개 및 철거

(1) 복개구조물의 시설

제주시 산지천의 복개는 하천주변에 주거시설이 밀집되면서 각종 오물이 쌓여 도시미관을 해친다는 이유로 지난 1965년부터 동문로터리에서부터 용진교 사이의 486m(너비16~29m)구간에 걸친 복개사업을 추진하였다. 이 사업으로 산지천에는 14동의 건물이 들어서게 되었고 286세대의 건물주(158명)와 세입자(239명)가 입주하게 되었다. 그러나 세월이 흐르면서 많은 문제점을 드러내기 시작했다. 덮어버리고자 했던 불결한 환경은 전혀 개선되지 않았으며 오히려 도심지에서 가장 심각한 오염지대로 변해 갔다. 한때 주요상권으로 떠 오른 적도 있었으나 악취가 풍기고 미관을 해쳤다.(제주시, 2003).

제주시의 젓줄인 산지천을 복개한후 제주시민들은 친수환경이 단절되게 되었다. 하천 생태계의 소멸과 생태서식지의 파괴, 홍수범람시 도시의 침수요인제공, 보이지 않은 복개공간으로의 오물투기, 폐수방류 그리고 비위생적인 부패 현상이 심각하여 사회문제로 대두되었다.



Fig. 5-30. Feature of covering structure of Sanji Stream in Jeju City

(2) 복개구조물 철거

산지천 건물의 노후화로 인해 1991년부터 안전성 검사결과 붕괴위험이 전문가에 의해 계속 제기 됐다. 마침내 제주시는 1995년 8월 24일에 이곳을 경계구역을 설정함과 동시에 입주자 들의 퇴거를 공식적으로 명령하였으나 철거를 위한 보상작업에 돌입했다. 보상과 철거에는 1백76억원이라는 막대한 예산이 투입됐다. 잘못된 복개사업은 결국 시민의 부담으로 나타난 것이다. 이 과정에서 해당 주민과 시당국간에 갈등이 빚어졌지만 철거를 지지하는 시민들의 여론과 제주시의회의 산지천특위구성운영등 시의회의지원속에 철거작업도 지난 98년 6월까지 완전 마무리 짓고 2000년6월부터 산지천정비복원사업을 본격적으로 추진하게 되었다(제주시, 2003).



Fig. 5-31. Feature of covering structure removal of Sanji Stream in Jeju City

(3) 생태계의 복원

2000년 6월부터 산지천은 본격적인 탈바꿈을 하기 시작하여 우리나라에

서는 처음으로 하천을 복원하는 사업을 시행하였다. 하천의 옛모습을 되살리고 맑은물이 흐르며 각종물고기가 서식하는 하천으로 점차 변해갔다. 산지천변 도시계획도로에 수목을 식재하고 산책로를 개설하여 시민과 관광객들이 즐겨 찾을수 있는 수변공원으로 되살려 도심속의 친환경적인 경관하천으로 만들고 하천생태계를 복원하는데 많은 기여를 하였다.

3) 산지천 정비 복원사업

(1) 사업의 필요성

산지천은 제주의 관문인 제주항과 연결되어 제주시의 중심을 흐르는 하천으로서 1960년대 후반부터 1970년대 후반에 걸쳐 남수각에서 용진교까지 600m 구간을 복개하여 상가건물을 지어 그동안 제주시의 중심상가로서 지역경제 활성화에 이바지하여 왔다. 그러나 1990년대 들어 복개구조물의 노후화로 인해 안전상에 문제가 발생하여 1995년도에 전문기관에 의한 안전진단 결과 복개구조물을 철거하여야 된다는 결론에 따라 1996년도부터 1998년도까지 복개구조물 및 건물을 철거하게 되었다. 그동안 이구간에 대한 정비방안을 놓고 여러 가지 의견들이 있었으나 각계전문가 및 시민의견을 공모한 결과 대다수 시민들의 지배적인 의견에 따라 산지천을 문화의 정취가 살아 숨쉬는 옛모습으로 되살림과 동시에 도심속의 친환경적인 자연형 경관하천으로 조성하여 시민들의 휴식공간으로 제공하고자 하였다.(제주시, 2003).

(2) 산지천의 사업개요는 Table 5-4에 복원의 주요 일정 및 추진상황은 Table 5-5에 나타내었다.

Table 5-4. Scope of Sanji Stream business

구 분	적 요
위 치	제주시 일도1동 , 건입동(용진교 ~ 동문교간)
사 업 량	하천정비 L=474m, B=21~36m, 도로개설 L=474m, B=21~36m
사 업 비	34,777백만원 (기투자 28,894)
사업기간	1996. 3 ~ 2002. 6

Table 5-5. Major schedule and execution status of Sanji Stream restoration

일정	세부추진 상황
1965. 5. 8.	제주시도시계획 산지천 복개 결정(건설부 고시 1567호)
1966. 12. ~ 1982. 1.	복개공사(4개공구16,123m ²)
1991. 10.	복개구조물 위험성 예측
1992. 8. 26.	복개구조물 대책협의회 구성(부시장외 건물주 19명)
1993. 4~1995. 8	복개구조물 변위(기울기)측정- 9개소, 주2회
1993. 8.	응급보수 보강공사 시행 - 슬라브 및 기둥 165개소 보강
1995. 8. 21	산지천 복개구조물 재안전 진단 의뢰(구조적인 내구수명 상실 판단)
1995. 8. 24	경계구역설정 및 퇴거명령(보수 보강공사로 인한 안전성유지 가능기간 만료) - 거주자 이주 조치
1996. 4. 1. ~ 5.30	산지천 용두암 연계 관광개발 구상에 관한 의견모집 - 접수건수 46건
1997. 7. 29.	도시계획시설(하천복원)사업 실시계획 변경 인가 - 하천복원 사업으로(제주시 고시 제 1997 - 42호)
1998. 6. 17.	건물철거 완료(14개동)
1998. 9. 1 ~ 9. 30.	산지천을 되살리기 위한 시민의견 모집 - 접수건수 69건
1998. 10. 8.	복개건축물 철거완료로 재난위험시설 해제
2000. 6. 30.	산지천 정비 복원공사 착공
2002. 6. 29.	산지천 정비 복원공사 준공



Fig. 5-32. Feature of restoration work of Sanji Stream in Jeju City



Fig. 5-33. Feature of post-restoration of Sanji Stream in Jeju City

4) 산지천의 생태복원 효과

산지천을 옛 모습으로 되살림으로써 사라봉공원과 탐동광장, 목관아지, 칠성통 새즈른해 거리를 잇는 새로운 관광명소가 탄생하여 관광산업 부흥에 기여하게 되었다. 또한 항상 시민들이 즐겨 찾을 수 있는 도심속의 환경친화적인 자연형 하천으로 조성하여 생태도시의 틀을 마련하고 새로운 휴식공간을 제공함으로써 시민의 삶의 질을 향상시키고 있다. 그리고 제주의 관문인 제주항과 연결되어 있는 산지천을 문화의 정취가 살아 숨쉬는 옛 모습으로 되살림으로써 시민의 애환이 서려있고 갖가지 전설과 수많은 이야기가 간직되어 온 제주시의 문화향기를 재현하는 계기가 되었다(제주시, 2003; 제주지역환경기술개발센터, 2004).

5) 산지천 정비 복원사업의 과제



산지천의 정비 복원사업 시행에 앞서 인근 일부 지역주민들은 상권형성을 위해 주차장 및 도로등으로 사용할 수 있도록 일부 구간을 복개하는 의견이 있었다. 그러나 주민의견을 수렴한 결과 의회 및 대다수 시민들은 산지천을 역사와 문화유적을 최대한 복원하면서 자연형 경관 하천으로 되살리기 위하여 사업으로 추진되었다.

산지천의 모습은 자연 친화적인 하천환경으로 점차 원상이 회복되고 있다. 산지천을 어떻게 관리하면 빠른 시일 내에 과거의 하천으로 최대한 되살릴 수 있을지에 대하여 종합적으로 검토하면 다음과 같다.

(1) 생태계의 복원 문제

지금까지 이·치수의 관점에서 경제성을 강조하던 기존의 정비 방식에서 벗어나 하천의 자연적 특성을 살리고 생태계의 서식처를 고려하여 하천

호안을 제주자연석으로 쌓았다. 또한 수문을 설치하여 어도를 조성하고 항상 물고기가 어도를 통하여 왕래 할 수 있도록 자연적 공법을 이용하여 시행하였다. 이는 하천정비 방식을 국내최초로 도입한 자연생태적 서식처로 복원하고자 하는 노력을 알 수 있다. 산지천의 생태계 복원을 위해서는 생태계 복원 계획을 지속적으로 수립하여 많은 노력을 기울려야 할 것이다.

(2) 하천의 친수성 회복 문제

산지천의 하천특성을 살리기 위해 용진교에서 북성교까지 해수를 이용하여 항상 물을 채울 수 있도록 하였으며, 북성교에서 동문교까지는 하천으로 유입되는 용천수를 이용하여 물을 채우고 담수가 항상 흐를 수 있도록 하였다. 그리고 부분적으로 계단을 설치하여 수변으로의 접근성, 활용성 및 안정성 등 하천의 이용 측면에 보다 많은 배려를 하였다. 그러나 하천을 이용하는 시민들의 친수성을 회복하기 위해서는 보다 철저한 하천이용이 필요한 실정이다. 예를 들면 하천을 깨끗하게 이용하기 위해서는 오염물질을 하천으로 유입하지 말아야 하며, 양질의 수질확보에 주위를 기울여야 한다. 보다 깨끗한 하천으로 가꾸어 하천과 함께 편안한 마음으로 항상 접할 수 있도록 노력하여야 할 것이다.

(3) 하천주변의 환경개선 문제

제주시민들은 예전부터 하천변이나 해안변을 생활터전으로 삼고 이에 적응하며 생활해 왔다. 따라서 산지천변에는 각종문화 유적이 풍부하게 분포하고 있어 귀중한 관광자원이 되고 있다. 산지천은 다양한 형태의 문화예술의 장과 건강을 위한 휴식공간을 제공하는 생활속의 하천으로 정비되었다. 제주시민 모두가 공유하기 위해서는 함께 주변정화에 노력하지 않으면 안 된다. 하천관리자는 적절한 관리로, 이용자는 적절한 이용으로, 그리고 보다

나은 하천환경을 만들기 위해서 서로의 의지와 힘을 모아야 할 것이다. 여기에 앞으로 하천환경을 개선하기 위해서 추진하여야 할 분야는 다음과 같다.

첫째, 이·치수의 기능과 조화를 이루어야 한다.

둘째, 맑은 하천이어야 한다.

셋째, 풍요로운 자연환경이어야 한다.

넷째, 사람들간에 공유 되어야 한다.

이러한 조건들을 만족시키기 위하여 제주시에서는 산지천(동문교~용진교)을 옛 모습으로 되살리는 사업을 지속적으로 펼치고 더 나아가 시민모두가 산지천을 옛 모습으로 되살리는데 온 힘을 기울여 나가야 할 것이다.



VI. 자연형 하천정화의 적용성과

1. 생태이동 통로

1) 개요 및 어도의 역사

어도를 가장 먼저 시공한 것은 17세기 프랑스에서 일종의 평면식(平面式) 어도로서 경사수로에 감세공(減勢工)으로 돌을 군데군데 박은 간단한 것이었다. 그러나 본격적으로 어도를 설치하기 시작한 것은 19세기 후반에 유럽이나 북미에서 그들의 중요한 어업자원의 하나인 연어가 감소하면서 이를 보호할 목적으로 시공되고 연구되기 시작하였다. 이 결과 오늘날과 같은 도벽식(導壁式)어도, 계단식(階段式)어도가 개발되었으며, 1910년에는 벨기에의 테닐이 급경사에서 유속을 줄일 수 있는 데닐(Denil)식어도를 개발하고, 1920년대에는 갑문식과 엘리베이터(Elevator)식어도가 개발되었다. 가장 현대적인 어도로 1949년 H.H.T Borland에 의해 높은 댐에 설치할 수 있는 Borland식 어도를 아일랜드의 Leixlip댐에 처음으로 설치하였다. 그후 아일랜드와 스코트랜드를 중심으로 12개 이상의 같은 형식의 어도가 설치되었으며 댐 높이가 61m까지 어도를 설치하기에 이르렀다. 이 Borland식 어도는 1년에 8,000마리 이상의 연어가 이용하여 매우 성공적이었다. 이후 이 Borland식어도는 유럽 다른 나라와 미국, 소련까지 설치하였으며 우리나라에서도 현재 댐높이가 50m가 넘는 양양양수발전소 하부댐에 시공중이다. 또한 새만금 간척지의 갑문에도 설치하고 있다. 미국에서는 Columbia 강의 Bonneville dam에 연어를 위하여 계단식어도를 설치하였으며 1950년대 소하성어류 보호법이 발효되면서 동부지방을 중심으로 엘리베이터식어도가 시공되었으며 이의 기능을 monitoring 하기 위하여 어도 이용에 관

한 많은 연구가 시작되어 1993년 미국 포트랜드에서 열린 어도 심포지움에 29건의 논문이 발표 될 정도로 많은 연구가 진행되고 있다(해양수산부, 1999; 안 등, 2002; 황, 2002).

일본에서는 1872년 十和田湖에서 유출하는 폭포에 처음으로 어도를 설치하였으며 1884년 大日本水産會譜에 魚道란 말이 처음으로 사용되었다. 1888년에는 倭怒川에 길이 55m의 魚梯를 시공하고 1912년에는 瀨田川에 뱀장어 전용 어도를 만들었으며 1916년에는 長田에 의해 魚道叢說이 발간되었다. 이렇게 발전한 일본의 어도는 현재는 수로를 막으면 반드시 어도를 설치하여 10,000개 이상의 어도가 설치되었다. 일본인들은 그들이 즐겨 먹는 뱀장어와 은어, 송어를 위한 어도를 중심으로 연구사업을 실시하여 1990년 10월에는 기후현에서 세계에서 처음으로 어도 심포지움이 열렸는데 여기서 발표한 논문만도 77건이었고, 1995년의 2회 국제 심포지움에서는 67건의 어도관련 논문이 발표되었다(박, 1995; 한국수자원공사, 2003).



2) 일본의 어도 설치

스위스, 독일 등의 유럽 선진국에서 70년대 이후 근자연공법이 발전하였으며 80년대 후반부터 일본은 근자연공법을 기초로 수변을 다양한 동식물의 번식과 서식을 위한 다자연공법으로 발전시켜 어도는 물론 식물이나 바위 등 자연재료를 사용한 어류의 산란장, 숨을 장소 등을 자연에 가깝게 조성하는 공법을 개발하고 있다(해양수산부, 1999).

일본의 어도 설치현황은 1990년 篠邊 三郎이 일본농업토목학회지에 발표한 것이 있는데 그의 논문에 의하면 일본에서는 어도를 연어, 송어, 은어, 뱀장어 등의 내수면어업을 위한 소하성어류의 보호를 위하여 취수보에 설치한 것이다. 일본어도 1396개소를 조사한 결과 어도의 경사도는 1/5~Fig. 5~1/10이 45%이고, 다음은 1/5이 19%, 1/10~1/15이 15%순으로 많았으며, 5%정도는 1/20 이하의 경사도이다.

어도의 폭은 1.5~2m가 28%로 가장 많았으며, 다음은 1~1.5m가 16%, 2.5~3m가 14%순이었으며 3m이상은 약 18%였다. 어도의 높이는 0.5~1.0m가 33%로 가장 많았고, 다음은 1.0~1.5m가 17%, 0.5m이하가 15%, 1.5~2.0m가 13%였으며, 10m 이상은 0.4%에 불과해 조사된 1396개소의 어도중에 6개소뿐이었다.

어도의 형식은 계단식이 약 60%로 가장 많고, 다음이 도벽식이 24%로 이들 2가지가 대부분이었고, 이외에 평면수로, 심도벽형, 갑문식, 뱀장어 어도, 엘리베이터식어도, 역류식 등 매우 다양한 어도가 설치되어 있다. 그러나 1990년대 들어와서 일본에서는 풀타입중에서는 아이스하바식어도를 많이 설치하고, 버티칼슬롯식도 설치하기 시작하였다. 수로식에서는 테널식을 많이 설치하고 낙차공의 높이가 낮은 곳에서는 간단하게 돌을 쌓아 만든 곳도 많았으며, 오노 취수원 같은 낙차공의 높이가 높은 곳에서는 계단식 어도위에 내수위 적응을 위해서 갑문식어도를 설치하고 계단식 어도 아래 진입부는 유량이 적을때는 풀타입 유량이 늘어나면 테널식으로 작용하는 하이브리드식 어도를 설치한 예가 있다 (Fig. 6-1~Fig. 6-8).



Fig. 6-1. Chitose Denill type fish way



Fig. 6-2. The whole surface pitching fish way



Fig. 6-3. Muromathbara Iceharbor type & pass type Denill type fish way



Fig. 6-4. Fish stream of Chitose made stone the whole surface fish way



Fig. 6-5. vertical slot type fish way of Muromathbara



Fig. 6-6. Muromathbara iceharbor type fish way & pass type Denill type fish way



Fig. 6-7. Stepped type fish way of Ojima



Fig. 6-8. Fish way of Ohno dams



3) 어도의 국내 적용

(1) 탄천 고정보 어도설치

탄천에 현재 설치되어 있는 저류보 중 일부에 어류나 참게 등 회유성생물이 이동할 수 있는 어도를 시범적으로 설치하여 수중생태계 회복과 더불어 탄천의 수질과 수중생태계 개선에 따른 시민의 환경개선 참여 도모 및 홍보를 하고 있다 <Fig. 6-9> (성남시, 2003).



Fig. 6-9. Fish way facility of downstream of Tan Stream (after water flow)

(2) 탐진댐 어도시설 설치

탐진댐 건설과 관련한 탐진강의 어족보호방안 수립을 위하여 댐건설이 이루어지고 있는 지점의 하류지역에 위치하고 있는 어류의 댐상부로의 원활한 이동통로를 제공할 수 있는 기반시설조성과 댐 상,하류 및 유입부에 다양한 어종의 산란처 조성을 통하여 어족을 보호하고 친환경적인 댐건설이 이루어질 수 있는 가장 효과적인 방안의 일환으로 조립식 아이스하바 어도블럭의 설치(강동교상류 제3보,돈지교상류 제4보,댐하류 심천보 등 3개소)가 적용되었다(Fig. 6-10)(한국수자원공사, 2002).



Fig. 6-10. Installation of fish way block - under construction

2. 인공적인 수초재배섬(學島)

수초재배섬은 20년전부터 독일에서 “Schwimmakampen”이란 이름으로 베스트만롤로 알려진 베스트만사에서 제작되었다. Hugger는 인공 뜬섬의 기능을 ①호소침식의 방지, 호안보호 ②생물서식처 ③경관설계, 계획, 관리 ④수질정화와 여과 ⑤물을 매체로 한 전염병 방지로 기술하고 있다. 이외에 인공 뜬섬의 설치예로는 일본의 土浦港, 琵琶湖, 渡良瀬遊水池, 댐의 저수지(飯田댐, 奥野댐)

등과 미국의 후버댐 등이 있다(이, 1995; 나 등, 1999; 황, 2002).

이 연구에서는 국내사례로 경기도 광주군 팔당호에 설치된 수초재배섬과 외국의 설치사례로 세계최대 규모인 일본의 쓰찌우라항 수초재배섬을 소개함과 아울러 비교하고자 한다.

1) 일본의 土浦港(쓰찌우라항) 수초재배섬

土浦港(쓰찌우라항)에 설치된 수초재배섬은 세계 최대 규모로 그 길이는 91.5m, 폭이 9m(면적 : 823.5m²)이며 단위길이가 4.5m x 4.5m인 부유체를 40개 연결하여 구성되어 있다. 이 부유체는 강철 프레임과 부유를 위한 발포 스티로폼(12cm x 12cm, 타포린으로 싸여 있음)으로 되어 있고 식물 식재를 위해 30cm간격으로 십자홈을 낸 다공성 스폰지가 설치되어 있어 그 위에 블록별로 줄, 부들, 갈대 등을 식재하였다(이, 1995; 한국수자원공사, 2002). 이 수초재배섬의 효과에 대한 조사결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 식물성 플랑크톤

[부도 있음]과 [부도 없음]에서 구성종의 차이는 없었으며, [부도 있음]의 경우 [부도 없음]에 비하여 현존량이 많았다.

(2) 동물성 플랑크톤

부도하에서의 현존량이 많았으며 특히 수표층 부근의 현존량이 많았다.

(3) 어류, 새우

잡힌 어류, 새우등은 [부도 있음]의 경우 8종 778개체였고 [부도 없음]은 3종 3개체였으며, [부도 있음]에서 잡힌 어종은 대부분이 생후 1년 이내이었다.

(4) 수질

[부도 있음]이 나쁜 경향이었으며, 이는 채수시에 부도의 프레임이나 식물 뿌리의 부착물을 함유했기 때문으로 생각된다.

(5) 저니

부도 바로 아래 지점에서의 COD_{Cr}, COD_{Mn}, T-P, PO₄-P, T-N, NH₄-N의 값이 부도없음 지점보다 낮았다.

(6) 부도상의 식생

줄, 부들, 갈대 등을 식생하였으나 그 식생은 이행을 계속하고 있다. 이 결과를 기초로 탄소피라미드에 있어 수초재배섬상의 대형식물에 축적되는 탄소량이 압도적으로 많으며, 뿌리에 부착된 플랑크톤이 부도 아래의 동물, 식물 플랑크톤의 현존량을 끌어올리고 있음을 알 수 있다. 또한 수초재배섬이 상위포식자가 많은 구조로 생태계를 변화시키고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 수초재배섬은 생물 서식공간으로서의 역할이 있음이 명확한 반면 수질의 정화효과확인 불가능하였으며, 논리적으로는 식물체의 성장량에 대비된 만큼의 영양염류가 제거되었을 것으로 추론될 수 있다.

부도 바로 아래 지점에서의 COD_{Cr}, COD_{Mn}, T-P, PO₄-P, T-N, NH₄-N의 값이 부도없음 지점보다 낮았다.

(7) 부도상의 식생

줄, 부들, 갈대 등을 식생하였으나 그 식생은 이행을 계속하고 있다. 이 결과를 기초로 탄소피라미드에 있어 수초재배섬상의 대형식물에 축적되는 탄소량이 압도적으로 많으며, 뿌리에 부착된 플랑크톤이 부도 아래의 동물, 식물 플랑크톤의 현존량을 끌어올리고 있음을 알 수 있다. 또한 수초재배섬이 상위포식자가 많은 구조로 생태계를 변화시키고 있음을 알 수 있다. 이와 같이

수초재배섬은 생물 서식공간으로서의 역할이 있음이 명확한 반면 수질의 정화효과확인엔 불가능하였으며, 논리적으로는 식물체의 성장량에 대비된 만큼의 영양염류가 제거되었을 것으로 추론될 수 있다.



Fig. 6-11. Installation of water plant cultivation island in Japan

2) 국내적용(경기도 광주군 팔당호 수초 재배섬)

(1) 시설개요

- 시설위치 : 경기도 광주군 퇴촌면 오리
- 시설규모 : 2,690m²(식재면적 : 2,560m²)

- 식물종류 : 갈대, 줄, 애기부들, 달뿌리풀

(2) 설치목적

증식속도가 빠르고, 영양염류의 흡수효율이 우수한 수생식물을 수초재배섬에 재배하여 수생식물에 의한 주변 생태계 복원 및 수중의 오염물질 제거한다.

(3) 정화원리

- 생태계 : 어류 및 동물성 플랑크톤 등의 서식처 제공을 통한 식물성 플랑크톤의 증식제어
- 식물에 의한 영양염류 제거 : 호소 부영양화의 원인물질인 질소, 인을 식물체가 흡수하여 녹조발생 억제

(4) 기대효과

- 수생생물의 산란 및 서식공간 제공 및 생태계 먹이사슬을 이용한 조류 증식억제
- 인공근에 의한 수질정화
- 자연 환경기능의 향상
- 미생물 접촉재에 의한 수질정화 : 수초재배섬 하부에 설치된 미생물접촉재 부착 미생물이 유기물질을 분해하여 수질정화



Fig. 6-12. Island of water plant cultivation on Paldang Lake

3. 자연형 하천공법의 적용 성과

자연형 하천공법의 적용에 대한 모니터링은 시공 모니터링(Implementation Monitoring), 효과 모니터링(Effectiveness Monitoring) 그리고 검증 모니터링(Validation Monitoring)으로 나눌 수 있다. 시공 모니터링은 계획한 시공이 설계대로 수행되었나를 확인하는 모니터링으로 모니터링의 단계 중 가장 기본이 되는 것이라 할 수 있다. 효과 모니터링은 사업의 목적이 달성되었는가를 확인하는 모니터링의 단계로서 사업의 계획과정에서 설정하였던 목표와 공법을 적용하고 나서 나타난 결과와의 비교단계이다. 검증 모니터링은 설계에 이용된 가정과 원인 결과 관계가 적절했는가를 확인하는 단계로서 모니터링을 통한 공법 적용의 결과의 면밀한 분석이 요구될 뿐만 아니라 차후의 공법의 개선을 위해서 필수적인 단계라고 할 수 있다.

모니터링의 내용은 하천의 물리적, 화학적, 생물학적 특성을 계속적으로 조사하는 것으로서 하천의 수위 유량, 하천형태의 사진 촬영, 하도변화, 세굴과 퇴적 등이 물리적 조사내용의 범주에 든다. 화학적 조사로는 하천수질 및 저니질 조사가 있으며 생물학적 조사로는 식생 조사, 수서곤충, 양서파충류, 포유류, 어패류, 무척추동물, 조류 등의 조사가 이루어지고 있다(이등, 2000; 거제시, 2001; 환경부 2002).

‘국내 여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발’ 및 각종 문헌에서의 자연형 하천공법을 적용하여 지속적인 모니터링을 통해 얻은 성과는 요약하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) 홍수에 의한 홍수위상승과 세굴 우려

하천내에 식생에 의한 홍수위의 상승 효과는 식생이 없는 경우에 비해 5~

10% 수위상승이 추정된다. 홍수로 인한 세굴피해는 1997년 5월 홍수로 인한 피해 이후에 1998년 8월 홍수때 또다시 발생하였다. 이는 자연형 하천공법이 처음 개발된 유럽과 달리 우리나라의 경우 유역면적에 비해 침투유량이 매우 크고 따라서 유속이 커서 홍수로 인한 세굴의 취약성을 보여준다. 그러나 대부분의 저수로 호안공법은 홍수에 견디는 결과를 보였고 특히 버드나무 다발은 설계 홍수를 초과하는 홍수에도 지탱하는 결과가 나타났다. 이는 살아있는 나무, 돌, 통나무 등의 생태 재료가 콘크리트를 대신하여 하천정비에 이용될 수 있다는 점을 시사한다.

2) 하천 퇴적

시험하천 적용 이후로 여러 번의 홍수로 인해 시험구간 내에 하천 유사 퇴적이 발생하였다. 인공적으로 직강화된 하천은 통수능과 유사 이송측면에서 자연형 하천공법 하천 보다 유리하다. 자연형 공법 구간 하천에서는 식생과 하도 만곡 등으로 와류발생이 많아 퇴적이 가속되어 과천 구간의 경우 1997년 시험적용 이후 현재 평균 10cm 정도의 퇴사가 발생하였다. 특히 저수로 호안에 대부분의 퇴사가 발생하여 공법이 적용된 호안의 특징이 부분적으로 소멸한 구간이 발생하였다. 퇴사로 인한 홍수위의 상승은 5% 이내로 간접 추정된다.

3) 하도형태의 변화

양재천 우면동 구간에는 자연형 하천공법의 일부분으로 인공사주를 조성하였는데 그 이후 인공사주는 예상과 달리 퇴사가 계속되어 인공사주가 하안에 붙어버리는 결과가 나타났다. 이는 예상하지 못했던 하도 형태의 변화로서 자연하천공법의 적용시 하천형태에 대한 예측은 충분한 수리학적 검토가 필요

하다는 점을 시사한다.

4) 원하지 않는 식물의 우점

양재천 우면동 구간은 자연형 하천공법의 시험적용 전에는 고수부지에 환삼덩굴이 주로 서식하였다. 이 구간에 갯버들, 부들, 갈대 등 물가 식물을 식재하자 바로 환삼덩굴이 지배적으로 자생하여 새로 식재한 식물을 고사시켰다. 이러한 결과는 자연형 하천공법의 적용에 있어서 적용 지역의 지배적인 식물과 그 특성을 이해하고 식재를 해야 한다는 교훈을 준다. 또한 식재종과 위치의 선정 역시 중요한데, 자연형 하천공법 시험적용에서 갯버들이 아닌 일반 버드나무를 물가에 심어 너무 크게 자라서 통수능에 장애를 주거나, 물가 식물을 고수부지에 심어 상당부분이 고사하는 시행착오를 거친 바가 있다.

5) 자연형 공법의 유지·관리



자연형 하천공법은 공법의 적용과 함께 유지 관리가 중요하다. 양재천 과천 구간의 경우 물가 우안 하류에 심은 버드나무는 심은 지 3년 만에 높이 5~7m, 줄기 직경 10cm 정도로 곧게 성장하여 홍수시 통수능에 지장을 주었고, 이에 따라 버드나무 다발 일부분을 밀동치기를 하여 나무를 속아내었다. 이 경우 처음부터 갯버들이 아닌 버드나무를 심어 문제가 되었지만 자연형 하천이 자연성을 가지면서 치수능력을 유지하기 위해서는 하천내 식생의 주기적인 관리가 필요하다고 사료된다.

VII. 결 론

하천환경이란 물과 그 주변 공간과의 통합체인 하천 그 자체를 지칭하며, 수량, 수질, 하천공간으로 구성된 자연적, 인공적 모습이다. 하천환경은 이수 및 치수와 더불어 하천의 3대 고유기능 중 하나로 수질자정이나 생태적 서식처로서 자연 보전기능과 수상위락, 수변경관 정서함양 기능으로서 친수기능, 그리고 하천부지이용, 피난 및 방재공간, 지적분할 등 공간기능을 가지고 있다. 이러한 하천환경 기능은 종래 전통적인 하천기능인 이.치수 기능보다 매우 늦게 인식되었다.

우리나라의 도시하천의 경우 '60, '70년대의 급속한 산업화와 도시화에 따라 건천화, 하천수 오염확대, 하천공간의 황폐화 등 하천환경이 점점 열악화되며, 트여진 공간 및 녹색의 숲과 푸른물에 대한 도시시민들의 욕구가 증대됨에 따라 하천의 환경기능 증진이라는 것이 하천관리의 주요 과제로 부각되기 시작되었다. 그러나 대부분의 도시하천 정비사업들은 일부구간에 대해서 획일적인 단순정비를 실시하여 조성된 고수부지를 체육공원, 또는 주차장으로 이용하고 있으며 이러한 정비는 오히려 수질이나 자연형 하천과는 거리가 떨어진 것은 사실이다.

국내 및 선진 외국의 하천관리에서는 하천의 자연생태계 보전을 위하여 많은 관심을 가지고 이미 오래전부터 수많은 시행착오를 거쳐 자연형하천 정비에 관한 기술이 현재의 단계에 이르게 되었다. 현재 우리나라는 자연형 하천정비의 시작단계라고 할 수 있는데 향후 우리나라의 자연형 하천으로의 복원 및 보전 방향은 선진국의 사례를 충분히 고찰하여야 하며 국내에 자연형 하천으로 정비된 양재천, 안양천, 수원천, 산지천 등에서 보다 더 세밀한 모니터링을 실시하여 생물종과 생태서식환경에 대한 조사를 거쳐 생태복원 과정등의 검증을 하

고, 우리나라의 하천 실정에 맞는 공법의 도입 및 개량을 통한 적용이 필요하다고 하겠다.

하천자연정화공법은 공법마다 다양한 특성과 적용조건이 있으므로 공법의 선정을 위해서는 공법의 특성과 적용조건, 현지여건, 경제성, 유지관리 등을 충분히 고려하여 적용되어야 할 것이다. 또한 국내적용 기술에 있어서 발생될 수 있는 문제점들을 충분히 고려하여 인간과 생물이 함께 어우러질 수 있는 친환경적인 하천으로 조성되어야 할 것이다. 아울러, 하천이나 호소오염을 사전에 예방하는 개념의 비점오염원 관리방안에 대해서도 충분히 연구개발하여 가장 바람직한 하천의 모습을 되찾을 수 있도록 노력해야 할 것이다.

자연형 하천공법은 콘크리트 공법, 직선 하도, 획일적인 단면 등으로 인공화 되어 배수로의 역할밖에 하지 못하고 있는 기존의 하천정비 관행의 문제를 해결할 수 있는 바람직한 방법으로 하천관리자의 이에 대한 적극적인 검토와 응용이 요구된다. 즉, 나무, 풀, 돌과 같은 생태 재료가 콘크리트를 대체할 수 있고 생물재료와 자연형 하천형태의 시공으로써 생태 서식처를 조성하고 하천의 친수성을 증진시키면서도 치수기능을 유지한다는 점이 자연형 하천공법의 시험적용을 통해서 밝혀졌다. 개별적인 시행에 있어서는 하천의 특성이 각기 다르므로 어떤 공법을 선정해야 할 것인가는 경험을 가진 전문가의 자문을 얻는 것이 필요한 것으로 판단된다.

자연형 하천공법은 하천 계획과 설계의 구체적 방안으로서 대상 하천의 하천환경관리 기본계획을 수립하여 하천구간을 특성별로 구역을 구분한 후 적극적인 정비와 복원이 필요한 구간에 대해 공법의 적용이 바람직하다.

제주의 하천에 자연형 하천정비공법을 도입할 때는 치수기능을 유지시킬 수 있는 방안을 모색하면서 단편적이고 일률적인 자연형 하천정비공법으로 하천을 정비하는 것보다 여러 가지 자연형하천 정비공법의 수리학적 안정성을 충분히 검토하고 연구과제를 마련하여 시범사업을 실시한 후 점차적으로 하천전반에 실시하는 것이 타당할 것이다. 그러므로 하천은

입지적 특성과 자연적 형태가 다양하기 때문에 획일적이고 전형적인 하천정비를 지양해야 할 것이며 하천을 이용하는 관점에서 판단할 때 성급한 정비로 인하여 자연성 회복을 지연시키지 않도록 하고, 수리적 안정성에 대한 충분한 검증자료로 활용하여 제주형 자연하천으로 정비해 나가야 한다.

제주에서도 산지천의 복원으로 시민들의 휴식처 및 관광자원화가 되고 있으며, 산지천 복원사례가 여러 분야에 홍보되어 제주의 위상을 떨치고 있다. 산지천 복원사례 및 국내외 우수사례 연구에서와 같이 추후 제주도의 중소하천을 자연형 하천으로 잘 정비하였을 때 후세에게 좋은 자연환경을 물려줄 수 있을 것이다.



참고문헌

- 거제시, 2001, 거제시 고현천 수변공원조성에 관한 학술 용역 결과 보고서
- 경기도보건환경연구원, 2001, 비점오염원관리방안
- 군포시, 2001, 안양천하류 오염하천정화사업 실시설계보고서
- 김재한, 1990, 하천정비 및 재해예방, 대한토목학회지, 제 38권 제 4호 104-107
- 김종성, 1990, 하천정비와 재해예방, 대한토목학회지, 제 38권 제 4호 69-72
- 김혜주, 김찬완, 우효섭, 2003, 하천횡단 구조물이 하천의 생태적 발전에 미치는 영향과 대안, 대한토목학회지, 제 51권 제 3호 42-58
- 나원중, 최경식, 이동수, 김종석, 유만식, 1999, 하천자연공업 및 부지 선정사례 소개, 대한환경공학회 추계학술발표회 논문집, 336-338
- 박상길, 김상두, 김가야, 2001, 동천하구의 친자연형 하천공법에 관한 연구, 부산대학교 도시문제 연구소 도시연구보 제 11호 65-73
- 박재근, 1995, 일본의 하천환경조사보고서
- 서울시정개발연구원, 1996, 자연형 하천으로의 정비 방안 연구
- 서울시정개발연구원, 2001, 안양천의 수질개선과 생태하천 조성을 위한 기초 연구
- 서규우, 2000, 동경의 치수방재 시설과 하천관리 방안, 대한토목학회지, 제 48권 제 10호 82-89
- 성남시, 2003, 탄천 고정보 어도설치공사 기본 및 실시설계보고서
- 안승섭, 최운영, 이수식, 2002, 수공구조물이 하천 환경에 미치는 영향에 관한 연구, 한국환경과학회지, 제 11권 제4호, 309-318
- 우효섭, 2000, 수변복원의 이해-미국의 수변복원 가이드라인을 중심으로, 대한토목학회지, 제 48권

- 우효섭, 이삼희, 1997, 환경친화적 하천 계획, 대한토목학회지, 제 45권 2호, 48-56
- 이동근, 김이신, 2000, 생태도시 조성을 위한 녹지 네트워크 수립에 관한 연구, 상명대학교 산업과학연구 제8호, 13-27
- 이상호, 1999, Bio-contactor를 이용한 하천수 정화에 관한 연구, 상명대학교 산업과학연구 제7호, 1-7
- 이상호, 2000, 하천평가 기법을 이용한 의왕시 구간의 안양천 하천정비 계획에 관한 연구, 상명대학교 산업과학연구 제8호, 1-12
- 이상호, 2001, 안양천의 자연형 하천 설치구간 설정을 위한 하천평가 기법 적용에 관한 연구, 상명대학교 산업과학연구 제9호, 1-14
- 이용주, 2001, 도시 자연하천 설계과정 개선에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위 논문
- 이원희, 1995, 일본의 하천 환경, 대한토목학회지, 제 43권 제 3호 86-91
- 이재변, 1991, 하천정비 및 재해예방, 대한토목학회지, 제 39권 제 1호 113-117
- 이진원, 김영석, 우효섭, 이상태, 1993, 하천환경정비 방법의 개발 방향(I), 대한토목학회지, 제 41권 제 2호 85-93
- 이진원, 김영석, 우효섭, 이상태, 1993, 하천환경정비 방법의 개발 방향(II), 대한토목학회지, 제 41권 제 3호 77-82
- 이진희, 김훈희, 2000, 도시하천에 있어서 생태적 복원을 위한 주민 평가에 관한 연구, 상명대학교 산업과학연구 제8호, 14-21
- 제주시, 2001, 제주시하천정비기본계획 사전환경성검토서.
- 제주시, 2003, 산지천의 어제와 오늘(산지천 화보집)
- 제주시, 2003, 자연형 경관하천으로 생태복원
- 제주지역환경기술개발센터, 2004, 제주지역 하천 특성에 적합한 친환경적 하천정비 방안

- 조여진, 진기옥, 2003. 주민참여로 생태하천으로 복원된 제주 산지천, 대한토목학회지, 제51권 제4호, 40-47
- 조용현, 1997, 생태적 복원을 위한 중소하천 자연도 평가 방법의 개발, 서울대학교 박사학위논문
- 조흥제, 1991, 하천정비 및 재해예방, 대한토목학회지, 제 39권 제 1호 137-140
- 환경관리공단, 2003, 자연형 하천정화를 위한 인공습지 조성 방안
- 환경부, 2002, 하천복원 가이드라인
- 환경부, 2003, 2004 자연형 하천정화사업 추진지침
- 한국건설기술연구원, 1997, 국내여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발(Ⅱ)
- 한국건설기술연구원, 2001, 일본의 하도계획 관련 자료집
- 한국수자원공사, 2002, 탐진댐 어도시설 기본계획 및 설치방안 수립 보고서
- 한국토지공사, 2001, 단지내 비점오염원 유출에 의한 수질오염 저감방안에 관한 연구
- 해양수산부, 1999, 어도시설 표준 모형 개발에 관한 연구 최종보고서
- 행정자치부, 2002, 자연형 소하천 정비공법 개발
- 황종서, 2002, 하천의 어도를 비롯한 생태통로 기술개발(Ⅰ)
- Mader, H., "Successful River Restoration within the Urban Area of Salzburg 45. shown at River Alterbach," 3rd International Symposium on Eco Hydraulics, Salt Lake City, Utah, July, 1999.
- Shields, Jr., F. D. and Cooper, C. M., and Knight, S. S., "Experiment in Stream Restoration", J. of Hydraulic Engineering, ASCE, vol. 121, no. 6, June, 1995.

감사의 글

산업대학원에 입학한지도 3년이란 시간이 흘러가고 이제 논문을 발표하여 마무리를 지어가는 시점이 되고 보니 홀가분함보다는 후회가 더욱 더 앞섭니다. 그리고 입학할 때 마음가짐으로 학업에 정진하지 못한 아쉬움을 가지며 감사의 글을 몇 자 적어보고자 합니다.

산업대학원을 다니는 동안 많은 지도를 해주신 여러 교수님께 감사의 말씀을 드리고 특히 논문 초기에서부터 끝까지 정성으로 지도해 주신 양성기 지도교수님께는 진심으로 고마운 말씀을 드립니다. 그리고 논문편집 및 여러 방면으로 도와주신 일반대학원생 고건씨에게도 깊은 감사를 드립니다.

산업대학원을 다니면서 서로 서로 격려를 해주신 선배님이자 동기가 되는 여섯분께도 감사를 드리며 앞으로 많은 발전과 건강하시기를 진심으로 기원해 봅니다.

시골에 홀로 계시면서 셋째아들 잘 되라고 지켜봐 주시는 어머님께도 너무도 감사하고 항상 건강하시기를 바랍니다.

이 논문을 위해 有耶無耶 도움을 주신 아는 지인들께도 감사드리며 언제나 건강하시고 하시는 일이 잘 되기를 바라며 좋은 관계로 지낼 수 있으면 더욱 고맙겠습니다.

끝으로 맞벌이를 하면서도 우리 윤지, 예지를 건강하게 잘 자라게 해 준 사랑하는 윤지 엄마에게도 이 논문으로 전할까 합니다.