

碩士學位論文

濟州道 河川의 自然親和的 整備方案에
關한 研究



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

李 在 富

2 0 0 6

濟州道 河川의 自然親和的 整備方案에 關한 研究

指導教授 楊 城 基

李 在 富

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



2006 年 1 月
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

李 在 富의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 김 상 진

委 員 박 원 배

委 員 양 성 기



濟州大學校 大學院

2006 年 1 月

目 次

目 次	i
LIST OF TABLES	ii
LIST OF FIGURES	iii
I. 서론	1
1. 연구의 배경	1
2. 연구의 목적	3
3. 연구의 방법	4
II. 하천분류체계의 이론적 배경	5
1. 하천분류의 체계	5
2. 하천분류의 평가항목	9
3. 외국의 하천분류체계	15
4. 국내의 하천분류체계	22
III. 국내의 자연친화적 하천정비	30
1. 하천정비의 역사와 현황	30
2. 하천정비의 적용 기법과 기본방향	33
IV. 제주도 하천의 분류체계 적용성	41
1. 제주시 산지천	41
2. 제주시 도근천	50
3. 제주시 광령천	56
4. 서귀포시 연외천	61
5. 서귀포시 대포천	66
V. 제주도 하천의 자연친화적 정비 방안	71
1. 하천분류방법에 따른 하천정비의 추진	71
2. 제주도 하천정비의 문제점과 개선방안	76
VI. 결론	82
참고문헌	85

LIST OF TABLES

Table 1-1 The classification system of stream and the trend of study(Ministry of Construction &Transportation, 2001)	7
Table 1-2 41 type sofriver of Rosgend’s clssification system of stream(Ministry of Construction &Transportation, 2001) ...	17
Table 2-1 Montagomery and Buffington’s classification of stream(Ministry of Construction &Transportation, 2001) ...	18
Table 2-2 Classification of stream in England EA(Ministry of Construction &Transportation, 2001)	19
Table 2-3 Classification of stream in Japan(建設省, 1996)	20
Table 2-4 Revised classification map that is based on topography factor(Kim, 2004)	27
Table 2-5 Rough process of topography formation of stream by stream types(Kim, 2004)	29
Table 3-1 Influence of environment of stream by repairing of stream	36
Table 3-1 Influence of environment of stream by repairing of stream	37
Table 4-1 The topography of Sanji stream and the feature of water system	43
Table 4-2 The topography of Dogeun streamr and the feature of water system	51
Table 4-3 The topography of Gwangryeong stream and the feature of	57

Table 4-4 The topography of Yeonoe stream and the feature of water system	62
Table 4-5 The topography of Daepo stream and the feature of water system	67
Table 5-1 Classification system of five major stream in Jeju island	72
Table 5-2 The present condition of stream in Jeju island and improvement plans	77
Table 5-2 The present condition of tream in Jeju island and improvement plans	78
Table 5-2 The present condition of stream in Jeju island and improvement plans	79



LIST OF FIGURES

Fig. 1. Location map of the object stream	5
Fig. 2. Stream bed materials	11
Fig. 3. Oita stream in Japan	21
Fig. 4. Rsaka stream in Japan	21
Fig. 5. Location map of Sanji stream	42
Fig. 6. The map of Sanji stream basin	42
Fig. 7. The classification map of sanji river basin	44
Fig. 8. Sanji river before demolition	49
Fig. 9. Sanji river after restoration	49
Fig. 10. The map of Dogeun river basin	50
Fig. 11. Dogeun river before repairing	54
Fig. 12. Dogeun river that is changing into naturally favorable river	54
Fig. 13. Root sensitivity of naturally favorable river after repairing	55
Fig. 14. Location map of gwangryeong river	56
Fig. 15. Naturally favorable river at the upper part of	60
Fig. 16. An overall view of the environs of woldae at the lower part of gwangryeong river	60
Fig. 17. Location map of yeonoe river	62
Fig. 18. Yeonoe river after changing into naturally favorable river	65
Fig. 19. Ecological river at the lower part of Yeonoe river	66
Fig. 20. Location map of Daepo river	67
Fig. 21. The upper part of Daepo river after repairing	70
Fig. 22. The lower part of Daepo river after repairing	71

A Study on Nature-Friendly Repairing Methods of Streams in Jeju Island

Jae-Bu Lee

*Department of Construction and Environmental Engineering
Graduate School of Industry
Cheju National University*

Supervised by professor Sung-Kee Yang



Abstract

This study is on five major streams in Jeju island -Sanji stream, Dogeun streams, Gwangryeong streams, Yeonoe streams, Daepo streams. The result of application of the classification system of stream, and survey and analysis of repairing technique and the methods of repairing are as follows

By the classification methods of streams, most streams in Jeju island are classified as steep mountainous district type, Segment M . If these streams are subdivided, Sanji stream, Gwangryeong stream, Yeonoe

stream are

subdivided into 1C(direct current type, mountainous district type, natural ground), Dogeun stream, Daepo stream are subdivided into 2C(direct current type, mountainous district type, boulder).

The side parts of the stream banks in Jeju island need to be reveted for good durability and safety against tractive force in order to prepare for flood control by localized heavy rain. While revetment, revetment technique should be adopted as naturally favorable structure form. and it should be stepped for gentle slope.

moreover, streams should be formed as ecological stream in order to creatures can live in.

As clasing dylce prevents the movement of fish and other creatures by cutting the connection of the upper part and lower part of stream, the fish way should be installed for nice view of stream and the surrounding and smooth movement of fish and other creatures and ecologically good environment of the habitat. the forms and techniques of the fish way are determined by close investigations

I. 서론

1. 연구의 배경

유사 이래 인간의 정주활동이 하천변에서 시작되면서 하천과 인간사회는 경제적·교통적·군사적 측면에서 서로 밀접한 관계를 가져왔다. 또한 하천과 사회는 정서적·문화적 측면에서 긴밀한 관계를 가져 왔다. 옛날의 하천은 인간생활과 어우러진 하천으로 맑고 수량이 풍부한 하천이었다. 맑은 물이 흐르는 하천은 스스로의 정화작용에 의해 적절한 수질을 회복하고, 동·식물이 서식처로서 하천은 흐르는 물과 함께 생명이 에너지가 흐르는 하천이었으며, 생활속의 하천은 우리 생활의 일부분이었다.

다양한 기능을 가지고 있는 하천은 우리 일상생활과 밀접한 관계를 유지해 왔다 농경사회에서는 농업용수로 산업사회에서는 공업용수로 이용되었으며 세계의 우수 도시들이 하천을 중심으로 발달 하였고 산업이 집중되었다. 산업화와 도시화가 급격하게 진행됨에 따라 이러한 도시하천은 심하게 오염되었으며 하천 생태계는 무시된 채 용수공급 등이 이수측면과 홍수 및 가뭄 등의 위협에 대비한 치수 측면으로만 하천관리가 이루어 졌다.

하천은 산, 들 바다 등과 같이 국토의 주요 구성 요소이다. 하천형태는 지형, 지질, 그리고 수문학적인 여건에 따라 매우 다양하였지만 국내의 많은 하천들은 현대사회로 들어오면서 점차 고유의 특성이 사라지고 훼손된 모습으로 변화하게 되었다. 그것은 기존의 하천정비는 홍수피해를 경감하

기 위해 하천구조를 변화시키는데 중점을 두어 왔기 때문이다. 이러한 하천정비 사업의 결과로 국내의 많은 하천들은 획일화된 단면과 직강화된 선형을 가지게 되었으며 하천이 가지고 있는 고유의 경관적인 특성과 매력은 사라지게 되었다. 그러나 실제의 하천은 유역이 형성된 기반조건에 따라 매우 다양한 특성을 나타낼 수 있다. 최근에는 훼손된 하천을 원래 모습으로 복원하여 하천이 가지고 있는 기능을 되살리고자 하는 자연친화적으로 하천을 정비하려는 움직임이 활발하게 전개되고 있다(건설교통부, 2001).

자연친화적 하천정비의 목적은 하천을 기존의 이·치수 위주에서 환경즉, 생태계를 고려한 경관하천으로 전환하는 것이다. 여기서 생태계를 고려한다는 것은 생물의 물리적 서식공간을 확보하는 것을 말한다. 따라서 인공구조물 일색으로 생물이 서식할 수 없는 하천을 생물의 서식처로 변모시키기 위해 수질 등 화학적인 측면 이외에도 하천의 물리적 형상을 서식처 기능을 제공하고 또는 유사한 특성을 가진 자연상태의 하천으로 정비하는 기법이 필요하다.(건설교통부, 2001).

산지형 하천의 발달한 제주도의 하천정비는 하천의 고유한 특성을 파악하고 이에 맞는 자연형 하천공법을 개발하고 적용하기 위해서는 기존 하천의 형상과 이에 영향을 미치는 각종 인자를 검토하고 관찰 할 필요성이 있다.

1.2 연구의 목적

하천을 정비하는데 있어서 기존의 자연하천을 재현시키는 데는 하천분류 체계가 유용한 도구로 사용된다. 또한 하천의 설계 및 관리에서 여러 가지 중요한 기초자료를 제공해 줄 수도 있다. 선진국에서는 생태계 회복 및 생물종 다양성 보존을 위해 하천 고유 형상의 특성 회복과 관련된 각종 사업이 활발히 수행되고 있다. 미국과 유럽에서는 하천의 분류체계를 적용시켜 유용성을 입증한 사례가 상당수 있으며, 지금도 활발히 연구가 진행되고 있다. 특히 독일, 스위스, 일본, 미국 등은 하천복원에 대한 다양한 시도가 진행되었으며, 수많은 사례들이 소개되고 있다. 이러한 외국의 자연형 하천개념에 대해 국내에서도 그 필요성이 인식되어 훼손된 하천환경과 생태계 복원을 위한 연구와 사업이 활발하게 수행되고 있다. 그러나 아직까지 자연형 하천의 정비는 일부지방자치단체만 시행하고 있는 수준이며, 하천의 다양한 형상의 특성에 관한 연구와 이들에 영향을 미치는 여러 인자에 대한 분석 및 적용성에 대한 연구와 사후 평가는 아직도 미흡한편이며 적극적으로 활용되지 못하고 있는 실정이다(건설교통부, 2001).

외국에서 제시된 하천분류 체계는 그 나라의 하천특성에 적합하게 적용된 것이기 때문에 우리나라의 하천분류에 그대로 적용하는 데는 무리가 따른다. 또한, 국내에서 제안된 하천분류 체계가 있으나 대부분 외국분류체계를 그대로 도입하거나 소수의 한정된 하천만을 대상으로 적용하여 국내 하천에 대한 범용적인 활용성을 확보하기에는 무리가 따른다. 또한 국내 하천을 대상으로 적용한 제한된 하천분류체계 역시 아직도 연구조사가 부족한 초보적인 단계라고 할 수 있다.

이 연구에서는 선진국과 국내에서 연구되어 현장에 적용한 하천정비 기법을 분석·검토하였다. 이들 결과와 제주도 관내의 5개 주요하천(산지천, 도근천, 광령천, 연외천, 대포천)을 대상으로 하천분류체계를 적용하여 그 성과를 확인하고 하천의 정비기법을 조사·분석하여 문제점을 도출 하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 제주도 하천의 자연환경을 고려한 자연친화적인 하천정비 방안을 제안하는데 그 목적이 있다.

1.3 연구의 방법

제주도 관내 주요하천의 특성을 분석하기 위해 5개 하천을 대상으로 현장조사를 실시하였으며, 하천분류체계와 관련된 조사인자를 중심으로 그 특성을 구분하여 분석하였다. 하천분류체계 조사인자는 하상경사, 하폭, 사행도, 수심, 지배유량, 하상재료 등 하천형상의 주요인자들이다. 제주도 관내의 하천에 대한 자연분류체계 적용성 확인을 위해 잘 알려진 제주시 산지천과 도근천, 광령천, 서귀포시 연외천과 대포천을 조사대상으로 하였으며, 그 위치는 Fig. 1과 같다. 본 연구의 내용은 현재 국내외에서 소개된 하천분류체계를 조사하여 비교·검토하고 국내 하천에 대한 사례를 검토하여 제주도 관내의 하천에 적용하기 위한 분류체계를 검토하였다. 본 연구에서는 산지천의 하상경사를 구간으로 분류하여 분석하였으며, 관련 계획과 비교·검토하였다. 또한 하천분류체계의 적용에 따른 검토결과를 기초로 하천특성을 규명하고 향후 하천정비의 추진 방안을 고찰하며, 이러한 적용 결과를 기초로 도출된 문제점 검토 및 추후 연구방향을 제시하였다.

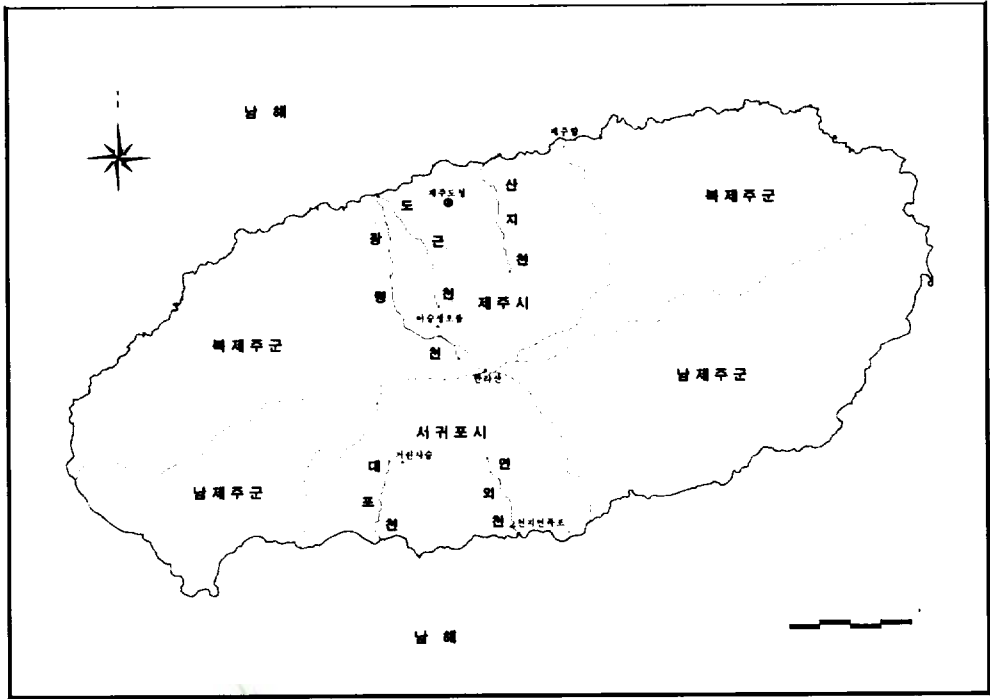


Fig. 1. Location map of the object stream

II. 하천분류체계의 이론적 배경

1. 하천분류 체계의 의의

하천분류는 하천의 특성을 이해하기 위해 하천형상의 주요인자 즉, 하상경사, 하폭, 사행도, 수심, 지배유량, 하상재료 등에 따라 구분하는 작업으로 정의 할 수 있다. 하천분류는 하천에 대한 지식을 체계화한 것으로

하천특성 연구에 대한 기초자료가 된다(건설교통부, 2001).

현재까지 많은 종류의 하천분류가 제시되고 있지만 하천의 모든 특성을 기술할 수 있는 범용화된 하천분류방법은 없으며 특정한 하천의 정비 목적에 맞게 개발되었음에 유의해야 한다. 대부분의 하천분류는 하천지형학적인 측면에서 자연하천을 대상으로 하고 있으며 아직까지 연구단계에 있는 실정이다. 전통적인 관점에서 하천분류(stream classification)는 단순하게 특정 기준에 따라 하천을 나누는 작업을 의미하였으나, 체계(system)라는 용어는 계층적인 하천분류가 등장하면서 사용되기 시작한 용어이다.

하천분류는 다양한 하천의 특성 중 하천의 형태특성에 초점을 맞추는데, 현재의 하천형태가 어떤 요인에 의해 결정되었는가에 대한 의문에서 출발한다. 하천공학적인 관점에서 이 같은 의문을 가지고 하천을 연구하지만, 하천분류는 그 방법론을 공학적 메카니즘에서 접근하기보다는 하천의 변수들을 하천의 형태 및 관찰과 통계적 방법으로 연결시키는 방법론에 초점을 두고 있다(김, 2004).

초창기의 하천분류는 학문적으로는 지리학의 한 분야인 하천 지형학에 속해 있었다. 최초의 하천분류는 Davis(1899)가 하천을 발달시기에 따라 유년기, 장년기, 노년기로 구분하였다. 국내에서 많이 사용되고 있는 대표적인 하천분류 방법으로 Horton(1945)이 개발하고 Strahler(1952)가 개량하여 보급한 하천치수(stream order)에 기초한 방법이다.

이후의 대표적인 하천분류는 Leopold와 Wolman(1957)이 제시한 하천의 사행도에 따른 하천분류 방법도 있으며, 현재까지 Table 1-1과 같이(건설교통부, 2001) 다양한 하천분류방법이 제시되었다.

Table 1-1 The classification system of stream and the trend of study(Ministry of Construction &Transportation, 2001)

연구자	분류 방법
Davis(1899)	침식윤회의 관점에서 하천지형의 발달시기에 따라 유년기(youthful), 장년기(mature), 노년기(old age)로 구분
Horton(1945) Strahler(1952)	하천차수(stream order)에 따라 구분
Leopold & Wolman(1957)	하도경사와 유량에 따라 하도 패턴이 직선(straight), 사행(meandering), 망상(braided)으로 변화될 수 있음을 밝힘
Lane(1957)	하상경사와 유량의 관계로 사행과 망상간의 경계 구분
Schumm(1963)	하도의 안정도(안정, 침식, 퇴적)와 유사이송형태(부유, 소류, 혼합)에 따라 구분
Culbertson(1967)	퇴적형태, 식생, 사행, 강터 높이, 제방형성, 홍수터 형태 등에 의해 구분
Thornbury(1969)	하곡의 형태에 따라 구분
Khan(1971)	모래하천을 대상으로 사행도, 경사, 하도형태에 따라 구분
Kellerhals(1976), Galay, Mollard(1973)	캐나다 지역의 하천에 묘사분류기법을 적용하여 분류
Schumm(1977)	유사이송 형태, 하도의 안정성, 하도 규모 등에 의해 구분
Blodgett(1978)	사주의 형태에 따라 구분(braided, braided point bar, wide-bend point bar, equi-width point-bar)
Church(1983)	층적하천의 하도에 대한 묘사분류기법에 의한 분류
Church(1987)	하도 규모에 따른 분류
Mosely(1987)	생태계를 고려한 하천분류
NRA(1990)	교란에 대한 민감도에 따라 구분
Alabyan(1992), Alabyan, Chalov(1998)	하천 지형의 구조적 성격과 평면형에 관여하는 지형 형성 변수를 토대로 계층인 분류 시도
Nanson & Croke(1992)	하상입자, 하도형태, 제방 구성재료 등을 기준으로 구분
Rosgen(1994,1997)	하천지형에 관여하는 유역특성과 하도의 평면·종단·단면 형변수를 계층적으로 고려하여 총 41개 하천군으로 분류
양희경(2001)	국내의 산지하천을 대상으로 지형 형성과정 변수와 인위적 요소 변수를 고려하여 총 27개 하천군으로 분류

이와 같은 하천분류 방법은 1990년대 이전에는 대부분 학문적 목적으로 인식되었다. 실제로 하천분류는 자연하천을 대상으로 하천의 고유한 형태 특성을 도출하는데 그 목적이 있었다. 또한 하천을 설계하고 관리하는 하천공학의 입장에서는 자연형 하천에 대한 개념이 도입되기 전까지 치수관점에서 효율적인 홍수 배제가 주목적이었기 때문에 자연상태에서의 하천 특성에 대한 관심이 적었다. 이로 인해 하천분류와 하천공학을 연결시킬 필요성이 적었으며, 두 분야는 각기 다른 방향으로 발달되었다(건설교통부, 2001).

그러나 최근에는 하천의 환경측면이 부각되어 하천생태계의 물리적·서식공간으로 하천이 재인식되면서 하천설계에서 자연상태의 하천형태를 고려하기 시작하였다. 이러한 경향으로 인하여 하천분류는 전통적인 학문분야에서 탈피하여 하천의 설계 및 관리에서부터 하천의 형태를 결정하고 하도의 진화를 예측할 수 있는 새로운 수단으로 인식되고 있다. 즉, 하천분류는 하천설계단계에서는 하천의 평면형, 종단형, 단면형에 대한 기초자료를 제공하고, 하천 관리단계에서는 교란에 의한 미래의 하천형태를 예측할 수 있는 기초자료를 제공하며, 하천 평가단계에서는 하천의 치수적 안정성과 환경상태를 평가할 수 있는 새로운 도구로 인식되고 있다.

최근의 하천분류 체계는 위와 같은 목적에 부합되게 개발되고 있으며 단순한 형태적 구분에서 탈피하여 다양한 하천의 상황을 반영할 수 있도록 계층적 분류방법과 묘사분류기법이 사용되고 있다. 계층적 분류방법에 의하면 하천의 분류는 여러 단계로 나뉘게 되며 묘사분류기법에 분류결과에 의한 하천의 안정성, 침식가능성을 예측할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 또한, 분류된 하천군의 현장관찰을 통하여 특정 하천형태가 생태계에 미치는 영향을 제시하여 주기도 한다.

2. 하천분류의 평가항목

하천분류를 위한 평가항목은 한국수자원공사(2003.11)에서 제시하고 있는 하천자연도평가 지침을 참고하면 다음과 같이 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 하천의 형태(물리적인)와 관련한 것이고 나머지는 하천의 환경적인 측면에서의 자연성이다.

가. 하천의 형태에 의한 평가

(1) 수로의 굴곡(sinuosity)

굴곡도는 하천이 얼마나 굽어 있는가를 평가하는 항목이다. 자연하천은 진정한 의미의 직류하천은 없고 어느 정도의 만곡이 있게 마련이다. 만약 하도가 상당구간에 걸쳐 직선이라도 가장 깊은 곳을 연결한 유심선은 하도내에서 만곡을 이룬다. Rosgen(1994, 1997)은 하천구간의 직선길이에 대한 곡선길이의 비를 굴곡도(sinuosity)로 표시하였고, 1.5 이상을 심한 굴곡, 1.2 이하를 굴곡도가 낮은 하천으로 분류하였다.

굴곡도를 평가하는 방법은 현장에서 직접 확인하면서 굴곡의 수를 세고, 도상에서 이를 확인하는 것이다. 만곡각을 잴 수는 없으므로 평가구간의 중심(주로 교량)에서 상하류의 평가구간 시점과 종점쪽을 주시하면서 그 시점(또는 종점)이 시야에 들어오지 않을 경우 1개의 굴곡이 있다고 가정한다(경기도, 2004).

(2) 종 · 횡사주

사주의 발달은 하천에서 토사의 공급/이동의 원활함과 흐름의 다양성을 대변하는 것으로, 하천변화의 반증이며, 생태계의 기반이다. 자연하천이면 하천폭의 4-6배마다 하나의 사주가 생긴다. 따라서 평가구간에서 최소한

2개(평가구간이 하천폭의 10배 정도이므로) 이상의 사주가 보여야 한다.

(3) 흐름의 다양성

흐름의 다양성은 여울과 소의 존재에 따라 종방향과 횡방향으로 물흐름의 다양한 정도를 나타내는 것에 의해 결정된다. 어류는 종별로 좋아하는 물의 속도, 깊이가 다르며, 따라서 흐름의 다양성은 물속에 존재하는 물고기의 다양성과 직접 연관이 있다. 인공적으로 직강화한 하천이나 저수로 호안을 축조한 도시하천의 경우 여울과 소가 자연스럽게 교차하여 나타나지 않으므로 흐름이 다양하지 못하며 서식하는 물고기도 다양하지 않다. 빠른 물살은 용존산소의 제폭기능을 활발하게 하고, 오염물질을 씻어내는 등의 자정작용을 활발하게 하는 역할도 한다(환경부, 2002).

(4) 하상재료

하상재료란 하상에 분포하고 있는 대표적인 하상재료의 구성(지배적인 하상재료를)을 말하며, 그 대표적인 예를 Fig. 2에 나타내었다. 하상재료는 하천생태계의 일차생산자인 부착조류가 서식하는 공간으로써 중요하다. 부착조류는 이동이 적은 호박돌에 가장 많이 서식하며, 모래나 실트처럼 쉽게 떠내려가는 하상재료에는 부착하며 살기 어렵다. 따라서 하천생태계(특히 어류)의 건전성을 평가하는 간접 척도로써 하상재료는 매우 중요하다(경기도, 2004).

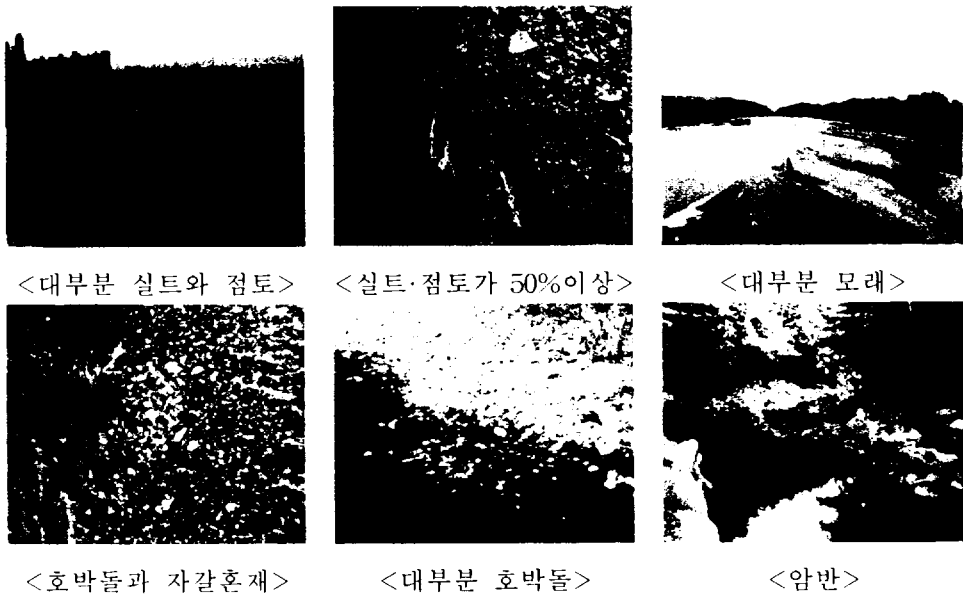


Fig. 2. stream bed materials

(5) 저수로 폭의 다양성

저수로폭은 흐름의 다양성과 밀접한 관계가 있고 어류 서식처의 다양성 과도 직접 연관된다. 저수로사면을 호안공으로 고정시킨 경우 흐름의 다양성은 떨어지며, 어류의 서식환경 또한 열악하다.

(6) 저수로의 호안공

저수로호안은 홍수시 완전히 물에 잠기고 저수시에는 드러나는 곳으로 수역과 육역을 연결하는 공간으로 생물의 이동과 생태계의 연속성 확보에 매우 중요하다. 저수로호안은 둔치와 수역의 물질교환이 얼마나 잘 이루어지는 구조인가에 따라 등급이 달라진다. 따라서 호안블럭이나 콘크리트 등의 불투수성 호안이 가장 낮은 등급, 사석·석축 등의 투수성호안이 다음 등급, 여기에 인공식생을 더하거나, 목재 등 자연소재와 인공 식생호안을 혼합한 경우가 자연하천으로서 좋다.

(7) 제방호안의 재료

제방은 하천과 비하천구역을 차단하는 인공구조물로 생태계의 연속성에는 매우 부정적인 영향을 미치며, 경우에 따라서는 단절을 의미하기도 한다.

나. 하천의 환경에 의한 평가

(1) 저수로변의 식생

저수로변은 수역과 육역을 연결하는 하천 구역으로 하천의 에너지, 물질, 유기체의 이동경로로써 생태계에게 중요한 위치를 차지하며, 자연상태의 저수로는 재현빈도 2년정도에 해당하는 수위 이상에 식생이 존재하게 되고 유사공급이 활발한 하천의 경우는 모래 등의 사주가 발달하게 된다.



(2) 둔치의 식생

둔치는 홍수시 유출되는 유사의 임시저장소 기능을 하며 매우 비옥하다. 따라서 예로부터 경작지로써의 유혹을 끊임없이 받고 있는 구역이다. 우리나라의 경우 실제로 많은 둔치가 경작지로 활용되고 있는 실정이며, 도시의 경우 주차장이나 하상도로, 체육시설 등이 들어와 생물의 서식처로써의 기능을 완전히 상실한 경우도 많다(환경부, 2002).

(3) 제내지 수변구역의 토지이용

하천의 생태계에 가장 큰 영향을 미치는 것이 토지이용이다. 이는 인간

이 하천에 직접적으로 영향을 미치는 영역이며, 특히 수질과 관련하여는 절대적이다. 우리나라 하천은 대부분이 인공제방에 의해 둔치와 제내지 토지의 생태계가 단절되어 있으므로 토지이용이 하천수질에 미치는 영향이 다른 것보다 더 크다고 볼 수 있다.

(4) 둔치의 이용

둔치는 인간활동에 의해 가장 많이 훼손된 하천구역의 하나로, 도시하천은 하상도로, 주차장, 체육시설 등으로, 농촌지역은 경작지로 이용하는 경우가 많아 유수의 에너지 및 물질 이송에 매우 불리한 상황이다. 향후 하천의 복원이라는 관점에서는 상기한 모든 시설을 철거하여야 할 것이나 하천환경에 대한 국민적인 합의가 부족할 경우 사업추진은 쉽지 않을 것으로 예상된다(환경부, 2001).



(5) 횡방향의 인공구조물

어류 등의 이동을 방해하는 인공구조물의 존재 및 방해정도를 말한다. 보는 하천의 가장 대표적인 횡방향 구조물로써, 주로 수위를 높여 인근 경작지에 필요한 물을 공급하기 위한 시설이다. 이러한 필요성에도 불구하고 보는 물고기의 상하류간 이동을 가로막는 생태계의 단절을 야기하고 있어 최근 그 용도가 없어진 것에 대하여는 철거의 필요성이 제기되고 있으나 철거비용에 대한 편익의 공감대는 크지 않는 실정이다. 최근에는 홍수시 어류의 피난처로써의 보는 역할을 말하는 학자들도 있다.

(6) 수질(BOD)

BOD는 하천의 건강성을 나타내는 지표 중 하나인 용존산소와 관련된 것으로, 그 원천은 동식물의 사체, 배설물 등이 있다. 이 중 가장 큰 영향을 미치는 것은 인간의 활동이나 동물의 배설물에 의한 것이다. BOD가 $1\text{mg}/\ell$ 이하면 1등급에 해당되며, 이는 우리나라 일부 하천의 상류에서만 볼 수 있으며 중류 또는 도시를 관통하는 하천에서는 거의 볼 수 없다.

(7) 수면폭/하천폭비

수면폭에 대한 하천폭은 하천구역 중에서 수역이 차지하는 비율을 나타내는 것으로 평상시에 물이 얼마나 많이 흐르고 있는지를 나타내는 간접 지표가 될 수 있다. 또한 심미적으로 물이 적게 흐르는 것보다 많이 흐르는 것이 우수하므로 이를 간접적으로 평가해주는 지표이다.

3. 외국의 하천분류체계

(1) 지형학적인 하천분류

지형학적 관점에서의 하천분류는 침식윤회의 관점에서 하천을 유년기, 장년기, 노년기로 나눈 19세기말 Davis(1899)로부터 시작되었다고 할 수 있다. 이후 Horton(1945)과 Strahler(1952)는 하천 차수 법칙을 기초로 하계망에 따라 하천을 분류하였으나 본질적인 의미에서 하도의 특성에 기인한 하천 분류는 아니었다(Knighton, 1998). 지형학적인 관점에서 하천의 평면형태는 주요한 관심사였다. 통상 직류, 사행, 망류로 구분되는 하천의 평면형태를 좌우하는 요인을 밝히려는 노력은 Leopold & Wolman(1957)의 연구로부터 시작되었으며, 하도의 평면형태가 연속성을 가지며 주로 유량과 하도 경사의 곱인 하천력(stream power)에 따라 임계치를 갖고 변화됨을 규명하였다(Lane, 1957; Ferguson, 1987; Thorne, 1997 등). Schumm(1977)은 하도 안정도, 유사 이송 양상, 하상 재료에 따른 하도의 평면형 변화를 모식적으로 제시하였다. Alabyan & Chalov(1998)는 기존의 하천력 대신 유효유량곡선을 적용하고 하천 지형의 구조적 성격을 반영한 분류법을 제안하였다. 한편, Nanson & Croke(1992)는 홍수터를 성인적으로(genetically) 유형화함으로써 하천의 특성을 간접적으로 분류하였다.

(2) 공학적인 하천분류

지형학적 하천분류와는 달리 하천의 설계시나 관리에 적용하려는 공학적인 목적으로 개발되어 사용되는 대표적인 하천분류 체계는 Rosgen(1996)의 하천분류 체계와 미국 북서태평양 하천분류

(Montgomery and Buffington, 1993), 영국Environment Agency(EA : NRA의 후신, 1990)의 하천 분류, 그리고 일본의 하천 분류(建設省, 1996) 등이 있다. 여기서는 이를 간략히 소개하고 장·단점을 비교하였다.

가. Rosgen의 하천분류

Rosgen의 하천분류(1996, 1997) 체계는 30여 년간 미국, 캐나다, 뉴질랜드 등의 약 419개 하천에서 얻어진 현장조사를 토대로 개발되었으며 4단계로 구성된 계층적인 분류 체계이다. 그는 하천이 놓인 하곡을 다양한 자연적인 환경(physiographic environment)을 반영하여 11개 유형으로 구분하였으며, 이를 하도분류와 관련시키고 있다. 이를 토대로 구성한 1단계와 2단계 분류에서는 하도의 지형학적 특성을 결정짓는 사행도, 굴입비, 하폭수심비, 하상재료 등을 주요 인자로 41개 군으로 하천을 분류하였으며, 3단계와 4단계에서는 분류된 현장 하도의 특성(수리, 지형, 퇴적상태)에 대한 관찰과 측정을 통해 하도의 상태를 평가하고 검증하는 방법을 제시하고 있다. Rosgen의 하천분류 체계(Table 2-1)는 다양한 자연지리적인 지역을 망라하고, 이를 하도의 특성에 연계시키는 장점을 가지고 있다 (Rosgen, 1996). 비록 Rosgen 분류 체계는 명확한 물리적 근거가 부족하다는 지적과 함께 이를 응용한 결과들이 하천공학적인 측면에서 논리적이기 못하다는 지적을 받고 있으나, 현재까지 개발된 분류체계 중에서는 가장 많은 현장자료를 활용하였으며, 현장 적용 실적이 상대적으로 풍부한 분류 체계이다(건설교통부, 2001).

Table 1-2 41 type softream of Rosgen's classification system of stream(Rosgend, 1996)

	A	B	C	D	DA	E	F	G
기압면								
전곡면								
수면								
사면								
모래								
간석								
규모비	< 1.4	1.4 - 2.2	> 2.2	n/a	> 4.0	> 2.2	< 1.4	< 1.4
에너지수질비	< 12	> 12	> 12	> 40	변동	< 12	> 12	< 12
사형도	1 - 1.2	> 1.2	> 1.2	n/a	변동	> 1.5	> 1.2	> 1.2
에너지지	0.04-0.09	0.02-0.039	< .02	< .04	< .005	< .02	< .02	0.02-0.039

나. 미국 북서태평양 하천의 분류

미국 북서태평양의 하천분류는 Montgomery & Buffington(1993)이 미국의 북서태평양지방의 하천조사 결과를 토대로 개발한 분류방법(Table 2 1)으로, Schumm(1977)의 하천 분류를 붕적하천(colluvial stream), 충적하천, 그리고 암반하천에 구분하여 적용하였다. 그리고 충적하천은 하상재료 및 하상지형을 주요 분류 인자로 적용하여 주로 하천의 종단상 변화에 따라 급류(cascade), 스텝-소(step-pool), 평하상(plane-bed), 여울소(riffle pool), 평형하천(regime), 망상(braided) 등 6가지로 세분하여 총 8개 군으로 하천형을 나누었다. 미국 북서태평양 하천분류는 각 군별로 주요한 지형형성 작용과 유사의 공급-운반-저장을 간략하게 유형화함으로써 대체적인 하도 특성을 파악하는 틀로서 이용되기에 적절하지만, 자연 지리적 배경과 같은 하천 주변 지형과의 관계를 파악 하는 데는 한계가 있다.

Table 2-1 Montgomery and Buffington's classification of stream

	1	2	3	4	5	6	7	8
하상재료	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트
하상지형	평탄	평탄	평탄	평탄	평탄	평탄	평탄	평탄
구간특성	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트
지배적인 조도요소	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트
지배적인 유사공급원	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트
유사 저장요소	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트	모래, 실트
경사범위	$s > 0.20$	$0.05 < s < 0.20$	$s < 0.05$	$0.05 < s < 0.10$	$0.01 < s < 0.05$	$0.01 < s < 0.05$	$0.01 < s < 0.30$	변동
하곡 제약도	제한	제한	제한	제한	제한	제한	제한	제한
소의 간격	변동	변동	변동	변동	변동	변동	변동	변동

주] LWD : large woody debris

다. 영국 EA의 하천 분류

하천 분류 체계는 하도 구간의 유형화를 위하여 많은 계량적인 정보를 필요로 한다. 그러나 하천관리자의 입장에서는 현장 방문을 통하여 하천에 대해 즉각적으로 정보를 얻고자 하는 경우가 많다. 영국 EA(NRA,1990)의 하천분류(Table 2-2)는 하천의 지형학적 조사를 전제로 하며, 현장답사를 통하여 지형 변화를 야기하는 요인에 대한 하천의 민감도를 파악하며, 특히 저수로호안이나 직강화와 같은 인위적인 개수의 영향을 반영한다. 따라서, 이 분류법은 유역의 기후나 유사량의 변화와 같이 하도의 형태변화를 지배하는 인자들에 대한 기초 연구가 있어야만 하천의

형태가 유수의 작용에 대해 어떤 반응을 보일지를 예측할 수 있다. 이는 하천의 수리적·지형적 특성에 관여하는 인자들에 대한 연구가 충분히 축적되어 있어야 적용할 수 있음을 의미 한다.

Table 2-2 Classification of stream in England EA(Ministry of Construction & Transportation, 2001)

퇴적에 대한 민감도	점수	하천의 상태
높음	8-10	교란이 거의 없고 자연 상태에 가까우며 사행발달에 제약이 없으며 하상이 잘 발달함(사주, 여울-소 구조 발달)
중간	5-7	교란의 흔적이 있으나 여전히 자연도가 높고, 자연 상태로 회복되고 있음
낮음	2-4	대규모 공사에 의해 하천 형태의 근본적인 변화가 있었음. 단면은 인위적인 형태이며 하상이 발달하지 않았으며 강터에 식생이 부족함
개수화	1	강터와 하상이 콘크리트 등의 인공 재료로 구성되어 있음
암거형	0	하도 전체가 콘크리트 등으로 구성되어 있음

라. 일본의 하천 분류

일본은 토목연구소가 일본의 전국 1급 수계 하천에 대한 현장조사 후에 제시한 하천분류표(Table 2-3)를 실제 하천의 설계에 참고하고 있다. 주요 분류인자는 하상 경사, 하상 재료 등이며, 강턱의 침식을 비롯한 실제하천의 설계단계에서 유용하게 활용되고 있다. 이 분류법은 경계층 이론에서 출발하여 산지-선상지-범람원-삼각주로 연결되는 하천 지형의 종단 변화를 세그먼트로 구별하여 제시한다. 일본의 하천 분류법은 산지-선상지-범람원-삼각주로 이어지는 세그먼트 분할이 비교적 용이하므로 현장 하도가 종단곡선상에서 놓인 위치에 따라 쉽게 분류가 가능하지만, 반면에 다양한 자연지리적 지역이나 하천 주변의 지형 양상을 반영하지 않고 있다.

Table 2-3 Classification of stream in Japan(建設省, 1996)

	세그먼트 M	세그먼트 1	세그먼트 2		세그먼트 3
			2-1	2-2	
지형구분					
하상재료 대표입경 dr	여러 가지	2cm이상	1~3cm	0.3mm~1cm	0.3mm이하
강터구성물 질	곳곳에서 하상과 하안에 암반노출	표층은 세사 및 실트층 대개 하상재료와 동일	하층은 하상재료와 동일, 세사, 실트, 점토의 혼합물		실트, 점토
하상경사	여러 가지	1/60~1/400	1/400~1/5000		1/5000~수평
사행정도	여러 가지	작게 휜	사행이 심하지만, 하폭수심비가 큰 곳에서 8자사행 또는 하중도 발생		사행이 심한 곳도 있고 작은 곳도 있음
강턱침식정 도	아주 심함	아주 심함	중간 정도. 하상재료가 클수록 하도 이동 용이		미약. 하도는 거의 고정
저수로 평균수심	여러 가지	0.5~3m	2~8m		3~8m



Fig. 3. Oita stream in Japan



Fig. 4. Rsaka stream in Japan

4. 국내의 하천분류체계

국내에서 제안된 하천분류체계로는 자연친화적 하천정비기법 개발(건설교통부, 2001)에서 소개하여 이후 계속 수정되어 제시된 방법(김, 2004)이 있으며 그 구성 및 적용성을 보면 다음과 같다.

(1) 분류단위의 구간

하천을 분류하려면 먼저 일정 하도 구간을 분류 단위로 규정해야 한다. 하도에 부과된 유량과 유사량이 하도형태를 좌우하는 기본적인 인자이므로 그 변화를 기준으로 하도를 구분하는 것이 타당하다. 하도를 따라 지류의 유입이 없는 구간은 수리적·지형학적인 연속성을 가진다고 가정할 수 있다. 따라서, 지류의 유입이 없는 하도 구간 범위를 분류의 공간적인 기본 단위로 설정하였다. 하도를 통해 출입하는 수리량의 관점에서는 하도의 지형 변화가 지류의 유입 여부에 의존한다. 그러나 지류의 규모가 본류에 비해 월등히 작은 경우 지류의 영향이 종종 무시될 수 있다. 한편, 하곡의 지형적 변화는 하천의 거동을 제약하거나 허용하였다. 그러므로 본류에 비해 매우 작은 지류가 합류하면 단위 구간을 통합하였고, 하곡의 지형 변화가 뚜렷한 곳에서는 구간을 구분해서 적용하였다.

(2) 분류인자의 검토

하천분류 인자는 하천을 유형화하는데 구별하는 기준이 되고, 이러한 분류인자를 기준으로 유사한 특성을 갖는 구간끼리는 묶고 상이한 특성을 갖는 구간과는 구별할 수 있다. 하도는 여러 요소들이 기능적으로 얽혀 있는 지형 체계로서 계층적인 성격을 가지므로 이를 반영하는 분류 인자

도 계층적이다. 기후, 지질, 식생, 토양, 하곡 지형과 같은 유역 특성은 변화에 지질 시간이 소요되는 상위 계층의 요소이다. 반면에 현재 하도의 지형변화를 야기하는 하곡경사, 유량, 유사량과 같은 독립변수와 이들에 의해 좌우되는 종속변수인 하도 형태는 하상재료와 함께 하위 계층의 요소이다. 그러므로 하천체계의 계층성을 고려하여 분류인자를 적용하였다.

가. 곡저폭 지수(valley-floor width index, VI)

하천이 놓인 하곡의 지형은 하도의 이동과 유사 이동에 영향을 미친다. 하곡이 넓고 곡저에 충적층으로 이루어진 범람원이 펼쳐져 있을 때, 하도는 자유로운 수평이동이 가능하다. 반면에, 산지사면이나 기반암의 측벽을 끼고 있는 하천은 수평적인 이동에 제약을 받고, 홍수시 범람의 폭이 크게 제한될 뿐만 아니라 사면에서 공급되는 물질의 영향을 받는다. 이러한 약성은 하천의 상류뿐 아니라 하류까지 측방에 암반이 노출된 지형이 많은 국내 하천에서 주요한 변수가 된다(우효섭, 2001).

하곡 지형은 하도의 특성에 관여하는 기존의 분류 체계에서도 대표적인 상위 분류 인자로 적용되어 왔다. Rosgen 체계에서는 하곡을 1단계 분류에서 11개 유형으로 제시하고 있으며, 2단계의 분류와 관련시키고 있으나, 이중 U자형 빙식곡 등의 5가지 유형은 미국에 비해 다양하지 않는 국내의 자연지리적 환경에서 나타나지 않으므로 직접적인 적용에는 무리가 있다. 일본의 하천 분류에는 하곡의 유형이 세그먼트별로 주어진 것 외에 명시되어 있지 않아 이를 벗어나는 산지 사행 하천이나 분지를 관류하는 하천 등에는 적용하기가 어려운 실정이다(김규호, 2004).

따라서, 하곡의 제약 상황을 반영하면서도 비교적 용이하게 계산할 수 있도록 곡저폭지수를 개발하는 것이 필요하다. 곡저폭지수는 곡저의 폭과 만제하폭(bankfull width)의 비율로 나타낸다. 여기서, 곡저폭은 흐름방향

에 직각인 하폭을 하천좌우의 곡저경계(산지사면 하단이나 기반암 측벽하단)까지 연장한 횡폭이며, 만제하폭은 양쪽 강터끝을 기준으로 하는 하폭이다. 따라서, 곡저폭지수(VI)는 곡저폭/만제하폭으로 정의할 수 있다(김규호, 2004).

일반적으로 하천이 사행하는 수평적인 범위인 사행대(meander belt)의 폭은 대략 하폭의 5배 정도로 알려져 있으므로(Rosgen, 1996) 곡저폭지수가 5 이상인 경우 하천은 사행대 이상으로 자유롭게 수평 이동을 한다고 볼 수 있다. 이에 비해 그 미만은 수평이동의 제약을 받게 된다. 따라서, 여기서는 곡저폭지수가 5이하인 경우는 산지형(제약형, confined), 5이상인 경우는 평지형(비제약형, unconfined)으로 구분하였다.

나. 사행도(sinuosity, P)

하도의 평면형은 지형 변화를 유발하는 독립변수인 수리량의 영향을 잘 반영할 뿐만 아니라 하도 구간 범위에서 비교적 일정하며 하도의 단면형과 종단형을 포괄하는 성격을 지닌다. 무엇보다 하천 설계에서 가장 기초가 되는 것은 평면 특성에 기초한다. 단면형은 구간내에서도 평면상의 위치에 따라 상당히 다른 양상을 나타낸다. 따라서 구간내의 설계에서는 적용될 수 있으나 구간 전체로는 적용이 어렵다. 하도 경사로 대표되는 종단형은 하천의 하류구간에서 매우 작은 값을 나타내므로 수치적인 구분이 큰 의미를 갖지 못할 수도 있다. 또한 경사를 측정하는 방법에 따라 수치가 다르므로 일정하게 적용하기 어려운 점이 있다. 따라서, 여기에서는 하도형태 변수 중에서 단면형과 종단형을 대표하는 변수보다는 평면형을 표현하는 사행도를 분류 기준으로 채택하였다(우효섭, 2001).

사행도는 구간의 직선거리에 대한 하도 거리의 비로 계산된다. 사행도가 1.5 이상인 경우 사행으로 분류하는 것이 일반적이며, 종종 심한 사행

을 의미하기도 한다(Rosgen, 1996). 또한 사행도 1.5 미만인 경우 직류와 곡류로 구분한다(Leopold 등, 1964). 이중 직류와 곡류의 구분은 1.06에서 1.2로 연구자에 따라 다른 기준을 적용하고 있으나(Brice, 1975; Rosgen, 1996; 양희경, 2001), 건설교통부에서 제시한 하천분류에서는 1.2로 정하였다. 자연하천에서 완전한 직류는 존재하기 어려우므로, 하천사행발달이 미약한 1.2이하를 직류형(S, straight)으로 사행 일반적인 곡류 범위인 1.2에서 1.5까지를 곡류형(N, sinuous)으로, 1.5이상의 심한사행을 사행형(M, meandering)으로 구분하였다. 그리고 하도구간에서 하중사주나 하중도의 발달이 두드러지는 구간은 별개로 분기형(D, divided)으로 구분하여 취급하였다(김 규호, 2004).

다. 하상 재료(bed material, d_{50})

하상재료는 본래 하곡에서 유래한 것이지만 하천의 운반 과정에서 분급되어 재배치된다. 하상재료는 유사이송과 지형형성 작용을 동반하며 특징적인 하상지형 발달과 관계가 있다. 자갈하상에서는 강턱이 뚜렷하게 발달하지 않으나 여울-소 구조와 같은 하상지형이 발달하는 반면, 모래나 실트-점토로 구성된 하도는 강턱의 발달이 비교적 뚜렷하다. 또한 일정한 지질을 갖는 하천에서 하상재료는 하도 경사와 밀접하게 관련된다. 이러한 이유로 하상재료는 기존 하천 분류에서 주요 인자로 사용되었다. 본 분류 체계에서도 하상재료를 주요 인자로 채택하였다. 대표 변수는 입경 중앙값(d_{50})을 사용 하였으며 크기에 따라 전석(boulder, 256mm 이상), 자갈(cobble-pebble, 2~256mm), 모래(sand, 0.0625~2mm), 실트-점토(silt-clay, 0.0625mm 미만) 등으로 구분하고 기반암 하상을 추가하여 5가지 유형으로 구분하였다. 그리고 기호는 1-5 사이의 숫자를 사용하였다.

라. 하폭수심비(width-depth ratio, w/d)

하도의 단면형은 하천 에너지와 강덕과 하상재료의 저항 사이의 관계를 반영한다. 보통 단면형은 하폭수심비로 나타낸다. 하천에너지가 크고 하상재료입경이 크면 하폭수심비가 크고 반대의 경우 하도는 좁고 깊은 형상을 나타낸다. 하폭수심비는 하상재료 및 하도의 평면형과 밀접하게 관련된다. Rosgen 분류 체계에서는 하폭수심비를 직접적인 분류 인자로 채택하였으나 본 연구에서는 각 군별로 범위만을 제시하였다.

마. 하도 경사(channel gradient, s)

경사는 하천의 종단특성을 대표한다. 하도 경사는 상류에서 하류로 완만해지는 경향이 있다. 하도 경사는 하상재료와 밀접하게 관련되므로 하상 지형의 주요한 패턴을 결정짓는 요소가 된다. 그러므로 본 분류체계에서는 하도경사를 직접적인 분류 인자로 채택하지 않았다. 그 대신 하폭수심비와 함께 각 군별로 범위를 제시하였다.

(3) 수정 분류체계의 제시

수정 분류 체계에서 제시한 3가지 주요 분류 인자를 기초로 조합하면 35가지 유형이 나타나지만, 하천분류의 목적상 구별의 필요성이 약한 경우를 제외시켜 24개 유형으로 정리하였다(Table 2-4, kim, 2004). 기반암 하천의 경우 대부분 협착한 상류 산간지역에 위치하며 하천의 유로변화가 거의 제약된다. 또한, 하상에 유사한 경우가 거의 없으므로 분기형이 발생하기 어렵다. 전석 하천은 주로 산지 사면에서 공급되는 전석에 의해 좌우되며, 운반에 제한이 있으므로 기반암 하천과 마찬가지로 상류 산지에 국한되며, 단일 유로의 이동보다는 급경사 산지에서 완경사지로 급변하는 선상지와 같은 지형에서 망류 형태로 발견되므로 사행도에 따른 구분의 필요성이 약하다고 볼 수 있다.

Table 2-5(Kim, 2004)에는 Table 2-4(Kim, 2004)에서 제시한 각각의 하천 유형에 대한 지형학적 특성과 교란 요소를 요약하여 제시하였다. 각각의 하천유형은 독특한 주변 지형배치를 가지며, 관련된 하천의 지형형성작용과 주요 하상지형을 동반한다. 하곡 지형은 대상 하천 유형이 많이 나타나는 주변지형으로 하천에 의해 공학적 시간규모에서 변화되지 않는 지질특성 및 지형적 성격을 반영한다. 주요 하상지형(bedforms)은 하도에 발달하는 중규모 지형으로 하천 생태계의 서식처 기능을 하는 여울-소, 사주 등이 해당한다. 이는 유수의 지형형성 작용에 의해 형성되며 역으로 유수의 작용을 좌우하기도 한다(김, 2004). 교란요소는 하천지형과 유수작용 사이의 평형 상태를 변화시키는 요소로 작용한다.

Table 2-4 Revised classification map that is based on topography factor(Kim, 2004)

평면형	하곡 제약도 (VI)	大 <----- 하상재료의 입자 크기(d_{50}) -----> 小								
		기반암(1)	전석(2)		자갈(3)		모래(4)		실트-점토(5)	
			$d_{50} > 256$ mm		$256\text{mm} > d_{50} > 2$ mm		$2\text{mm} > d_{50} > 0.0625$ mm		$0.0625\text{mm} > d_{50}$	
직류형 $P < 1.2$ (S)	산지형(c) $5 > VI$	1c $w/d < 20$ $s > 0.03$	2c $w/d < 20$ $s > 0.01$	S3c	$w/d > 20$ $s < 0.01$	S3u	$w/d > 20$ $s < 0.015$	S5c	$w/d < 20$ $s < 0.005$	
	평지형(u) $VI \geq 5$			S3u	$w/d > 20$ $s < 0.01$	S4u	$w/d > 20$ $s < 0.005$	S5u	$w/d < 20$ $s < 0.001$	
곡류형 $P < 1.5$ (N)	산지형(c) $5 > VI$			N3c	$w/d > 20$ $s < 0.01$	N4c	$w/d > 20$ $s < 0.005$	N5c	$w/d < 20$ $s < 0.001$	
	평지형(u) $VI \geq 5$			N3u	$w/d > 20$ $s < 0.01$	N4u	$w/d > 20$ $s < 0.005$	N5u	$w/d < 20$ $s < 0.001$	
사행형 $P \geq 1.5$ (M)	산지형(c) $5 > VI$			M3c	$w/d > 20$ $s < 0.01$	M4c	$w/d > 20$ $s < 0.005$	M5c	$w/d < 20$ $s < 0.001$	
	평지형(u) $VI \geq 5$			M3u	$w/d > 20$ $s < 0.01$	M4u	$w/d > 20$ $s < 0.005$	M5u	$w/d < 20$ $s < 0.001$	
분기형 (D)		D2	$w/d > 20$ $s > 0.01$	D3	$w/d > 20$ $s < 0.02$	D4	$w/d > 20$ $s < 0.005$	D5	$w/d > 20$ $s < 0.005$	

Table 2-5 Rough process of topography formation of stream by stream types(Kim, 2004)

하천형	하곡 지형	주요 하상 지형	유수에 의한 주요한 지형형성작용	교란요소
1c	상류 계곡, 기반암 노출지	계단형 급류폭포, 하상 침식형	하천의 운반력이 유사 공급량 초과 기반암 침식, 국지적 침식형 형성, 사면물질의 제거	산지 사면의 인위적 절개, 사방류 공급
2c	상류 계곡, 가파른 곡사면 급경사-완경사 변환지	스텝 소, 급어울	수직적인 에너지 소비(스텝)와 저장(소) 사면 물질(전석과 세립질)의 분급	산지 사면의 인위적 절개, 사방류 공급, LWD의 투입
S3c	산지, 직선상의 구조곡 화강암 지질 기반 하곡 하안 단구 인접	급어울, 여울-소 평하상과 장갑화 교호사주, 하중사주 만곡사주(N3c, M3c)	최심하상의 주기적 승강과 수평적 이동, 갑입자갈과 모래의 입자분급, 사주 발달, 군집 하상지형 발달 만곡에 의한 수평적 에너지 소비(N3c, M3c) 수충부에 깊은 소 형성(N3c, M3c)	산지 사면의 인위적 절개, 사방류 공급, 골재채취
N3c				
M3c				
S3u	평지, 산지 전면의 평탄지, 산간 분지, 곡저 평지 강터재료에 따라 사형도 차이	여울-소, 평하상, 장갑화 하중사주, 교호사주 만곡사주(N3u, M3u)	최심하상의 주기적 승강, 급격한 수평적 유로 이동 자갈과 모래의 입자 분급, 범람원 발달 하중 사주와 하중도의 광범위한 발달	강터 붕괴, 골재채취 사주에 식생활착을 통한 조도 증가와 확폭
N3u				
M3u				
S4c	산지, 직선상의 구조곡, 화강암 분지 내 하천	사린, 사구 교호사주, 하중사주 만곡사주(N4c, M4c) 강터, 하중도 발달	최심하상의 주기적 승강과 수평적 이동 모래 하상의 형성저항에 의한 에너지 소비 하중 사주의 발달, 고수위시 침수로 형성된 망류와 경향 수충부에 깊은 소 형성(N4c, M4c)	상류에서 대규모 모래공급 산지사면의 인위적 절개, 사방류 공급, 강터 붕괴 골재채취
N4c				
M4c				
S4u	평지, 산지 전면의 평탄지, 화강암 풍화 분지 내 하천, 곡저 평지, 동해안 평지 강터재료에 따라 사형도 차이	사구, 사린 교호사주, 하중사주 만곡사주(N4u, M4u) 강터, 하중도 발달	최심하상의 주기적 승강, 수평적 유로 이동, 범람원 발달 모래 하상지형의 형성저항에 의한 에너지 소비 하중 사주와 하중도의 광범위한 발달 고수위시 침수로 형성된 망류화, 강터 침식에 의한 확폭	상류에서 대규모 모래 공급 골재채취, 강터 붕괴, 사주에 식생활착을 통한 조도 증가와 확폭 제방에 의한 수평이동 제약
N4u				
M4u				
S5c	산지, 좁은 하곡에서 미립질 풍화산물이 공급되는 하천, 곡저로 만입한 갯골 하천	평탄한 하상 교호사주, 하중사주 만곡사주(N5c, M5c) 강터 발달	최심하상의 주기적 승강과 수평적 이동 용집성 물질로 인한 강터 급사면 유지	산지 사면의 인위적 절개, 사방류 공급, 강터 붕괴
N5c				
M5c				
S5u	평지, 충적 평지 서해안 평지 대하천의 범람원 유수 에너지의 크기에 따라 사형도 차이 발생	평탄한 하상, 강터 발달 하중사주, 만곡사주(N5u, M5u), 하중도 강터 발달	용집성 물질로 인한 강터 급사면 유지 대하천 수위 상승에 따른 역류, 범람원 발달	강터 붕괴, 조위의 영향 인공 제방에 의한 수평적 이동의 제약
N5u				
M5u				
D2	유사 공급량이 운반량을 초과하는 구간, 하천 합류지, 지형의 영향으로 하곡이 크게 확대되는 구간	하중사주(망류화) 하중도	유수의 분류(anastomosing), 홍수시 월류로 인한 하중도의 수직적 성장	강터붕괴, 식생 활착을 통한 조도증가, 골재채취
D3				
D4				
D5				

Ⅲ. 국내의 자연친화적 하천정비

1. 하천정비의 역사와 현황

(1) 하천사업의 연혁

1910년~1940년대 중반까지 일제강점시대에 하천사업은 수력발전을 위한 대규모 댐 개발과 평야지대 관개를 위한 저수지 축조 등 이수사업이 주류를 이루었다. 해방후 1960년까지도 국내 치수사업은 소규모 농업용 저수지 축조와 치수목적 제방축조가 주류였다(우, 2004).

1960년대 들어 산업화와 도시화로 나타나는 국토개발의 시작이 이루어졌다. 이 시기의 하천사업은 홍수피해 경감과 이수 목적의 대규모 다목적 댐 개발로부터 치수를 위한 하천개수사업, 그리고 도시화에 따른 도시 소하천의 복개를 들 수 있다. 그러나 하천사업 대부분은 자연적으로 구부러진 하도를 직선화하고, 양안에 높은 제방을 쌓았으며, 도시의 작은 하천 상당수는 복개되어 사라졌다.

이와 같은 치수 목적의 하천개수는 전국의 국가 하천과 지방 1급 하천의 총 연장 4,000km의 대부분을, 지방 2급 하천 총 연장 32,000km의 70% 정도를 직강, 획일적인 단면, 저수로 정비 등으로 인공화 하였다. 이와 같은 치수 위주의 하천 정비는 어찌 보면 우리 사회가 산업화, 도시화, 현대화하는 과정에서 불가피하였을 것이다. 제한된 토지에서 최대한 활동을 하기 위해서는 유역의 배수를 한 쪽으로 국한시킬 필요가 있었을 것이다(우, 2004).

(2) 하천환경개선사업의 태동

국내의 이치수 위주의 하천정비 관행은 1980년대 중반까지 계속되었다. 그러다가 1980년대 중반 서울에서 아시안 게임과 올림픽의 개최를 계기로 새로운 하천정비의 행태가 시작되었다. 친수 기능을 강조한 하천종합개발 사업이 그것이다. 이는 그 당시 일본에서 한창이었던 하천환경정비사업, 특히 오사카시의 요도카와와 동경시의 아라카와, 타마카와 등의 하천환경정비사업을 차용한 것이다.

한강종합개발사업을 시작으로 하천관리자들은 초보적이지만 하천의 환경 기능에 눈을 돌리기 시작하여 그 이후 국내에서 대도시 하천을 대상으로 한강종합개발과 유사한 사업들이 계속되었다. 국내의 하천환경개선사업의 연혁을 검토하면 크게 보아 가) 서울시의 한강종합개발사업, 나) 환경부의 오염하천정화사업, 다) 지자체의 하천환경개선사업, 라) 건교부의 하천환경정비사업 등으로 나눌 수 있다.



가) 서울시의 한강종합개발사업(1982-1986)

한강종합개발은 하천공간을 활용하여 시민 편의시설과 도로, 주차장 등을 만드는 사업으로, 최초의 하천공간 활용사업이었다. 이는 하천이 주는 환경적 기능(생태서식처, 수질자정, 친수/공간) 중에서 공간 기능을 인간 활동에 맞게 개발하는 것이라 할 수 있다. 한강종합개발사업은 하천변을 따라 다양한 위락시설을 설치하고 관광선을 운항시켜 경관적으로나 친수적으로 시민들이 즐겨찾는 서울의 명소가 되었기 때문이다.

한강종합개발사업 이후 유사한 사업들이 다른 도시에서도 시작되었다. 대구의 신천, 청주의 무심천, 울산의 태화강 등 도시를 관류하는 하천에 대해 하천 부지를 주차장, 운동장, 시민들의 휴식 공간 등으로 이용하는 사업들이 계속되었다. 이러한 하천사업들은 하천부지를 활용하여 도시에

서 필요한 시설을 제공하는 것으로 초보적인 하천환경개선사업이었다. 그러나 하천에 필요하지 않은 주차장, 경기장, 놀이터 등을 설치하는 잘못된 하천환경개선사업의 관행을 낳기도 하였다. 그 결과 지금까지 많은 도시에서 하천부지는 주차장 등으로 사용되며 또 다른 하천환경 훼손을 가져오고 있다.

나) 오염하천 정화사업

오염하천 정화사업은 오염이 심한 도시의 중소하천을 대상으로 오염된 하상도를 준설하여 수질 개선을 꾀하는 것으로, 환경부에서 주관이 되어 1987년부터 시작하여 현재까지 진행 중에 있다(환경부, 2002). 이 사업은 부수적으로 하천부지에 휴식 및 체육시설 등 하천공간 정비를 수행하고 있다. 2000년 들어 환경부는 이와 같은 사업의 계획단계에서 자연형 하천의 개념 도입을 적극 권장하고 있으나, 아직 실질적인 자연형 하천 만들기의 수준까지 이르지 못하고 있으며 지금은 자연형하천 정비사업으로 사업명을 바꾸어 추진하고 있다.

다) 서울시 강남구의 양재천 사업

1990년대 중반 하천환경정비사업에서 하나의 획을 긋는 사업이 시작되었는데, 이것이 바로 양재천 사업으로, 1995~1998년에 강남구를 관류하는 4km 구간을 정비하여 주민들의 휴식 및 운동의 장을 제공하였다. 이 사업에는 특히 하천수를 정화하여 색깔과 냄새를 줄이는 노력도 행하여졌다. 이 사업의 영향은 유사한 조건을 가진 지자체에 널리 퍼져 서울시 우의천, 수원시 수원천 등 지금까지 하천환경개선사업의 선례가 되었다. 이 사업의 일차적인 목적은 하천의 친수성을 재창조하는 것으로, 하천의 환경 기능 중에서 공간, 경관, 친수성 기능을 강조한 것이다. 이러한 사업과

전술한 하천종합개발사업의 차이는 전자가 중소 하천을 대상으로 고수부지는 물론 하도와 수중의 자연성을 강조한 반면, 후자는 중대하천을 대상으로 단순히 고수부지의 친수성을 강조하였다는 점이다.

라) 오산천 하천환경정비사업

양재천 사업 이후에 우리나라 하천환경개선사업의 또 다른 획을 그은 것으로 오산천 하천환경정비사업이 있다. 이 사업은 1998~2000년에 안성천의 지류인 오산천 3.1km 구간의 하천환경의 재정비를 실시하였다.

이전 사업과의 주요한 차이점은 사업목적이 양재천과 달리 하천의 환경기능 중 생태서식처의 회복을 위한 것이었다는 점이다. 따라서 조정위주의 하천사업이 아닌 하천자연성 회복에 초점을 맞추어 졌으며, 국내 최초로 생태 서식처 회복을 의도한 하천환경개선사업 이라는데 그 의의가 있다.



2. 하천정비의 적용기법과 기본방향

자연친화적 하천정비는 하천의 정비목적을 기존의 이·치수 위주의 정비에서 생태계를 고려한 정비로 전환하는 것이다. 하천정비의 입장에서 생태계를 고려한다는 것은 생물의 물리적 서식공간을 확보하는 것으로, 이는 유사한 특성을 가진 자연상태의 하천으로 재현하는 것으로 정의할 수 있다(우, 2004). 이때 자연하천의 대표적인 서식공간인 여울과 소(沼)등을 정비된 하천에서 재현하고자 할 경우, 하상재료, 지배유량, 사행도 등의 영향을 받는 자연하천의 여울-소 구조특성에 대한 이해가 선행되어야

한다. 또한 정비된 여울과 소의 유지 가능성에 관한 문제도 자연하천의 특성에서 도출하여야 한다. 하천분류 체계는 이러한 자연하천 형태(평면형, 단면형)를 기술하고 유지관리 및 변화의 방향을 예측함으로써 하천정비의 방향을 제시해 주는 도구가 된다.

자연형 하천정비에 응용되는 최근의 하천분류는 자연하천을 주된 분류대상을 삼지만 인위적인 영향으로 교란된 하천도 분류대상에 포함시킨다. 또한 하천변화를 고려한 하도진화 모형 등을 제시하여, 공학적인 설계에 응용될 수 있도록 개발되었기 때문에, 하천의 안정성이나 기타 하천환경을 평가할 수 있는 방법론도 같이 제시하게 된다. 이때 공간 및 시간규모에서 공학적 의미가 있는 규모만을 대상으로 하는데 공간측면에서는 대략 10~1,000m, 시간측면에서는 1~100년이 대상으로 된다.

국내에서 자연친화적인 하천정비란 홍수의 피해를 저감하기 위한 치수정비의 목적을 달성하면서 가능한 하천환경의 기능을 최대한 고려하여 하천정비를 실시한다. 하천정비 시 다음의 영향 및 사항을 고려하여 반영하여야 한다.

(1) 치수 위주의 하천정비가 하천환경에 미치는 영향

홍수 소통능력 확보를 위한 치수위주 하천정비 사업에서 흔히 볼 수 있는 형태는 크게 자연하천의 생태환경을 인위적으로 제거하는 경우와 인위적인 구조물을 도입하여 건설하는 두 가지 경우로 나눌 수 있다.

인위적 제거에는 주로 굴착을 통한 하상준설, 하폭축소·확대, 하상굴착 등이 있다. 이는 주로 홍수 통수능력 확보 및 골재채취를 목적으로 시행되어 왔고, 하천내 서식공간과 수목제거를 통한 생태경관의 훼손으로 이어졌다. 이들이 하천환경에 미치는 영향은 수생 서식환경의 파괴, 수리학적 저항의 변화로 인한 흐름형태의 변화 및 하상 불안정, 지하수위 변화

로 인한 육역화의 가속 등을 들 수 있다. 그 결과 대부분 하천경관 및 생태계를 단조롭게 변화시킨다. 현재도 계획된 홍수소통능력을 유지하기 위해 지속적인 굴착이 진행되고 있다. 여기서 주목할 점은 정비된 저수로를 다시 굴착하였지만 홍수를 겪은 후 다시 어느 정도 원래 하천 형태로 돌아가려는 모습이다. Table 3-1은 하천정비 사업이 하천환경에 미치는 영향을 정리한 것이다.



Table 3-1 Influence of environment of stream by repairing of stream

정비내용		정비목적	변화내용	하천생태계 영향
하도 굴착	하상준설 및 별목제근	홍수소통 능력증대	<ul style="list-style-type: none"> 하상내 심저부의 상실 : 여울, 소, 시주 등의 발달 저해 하상재료의 균일화 수심 균일화 제방침식 증가 수온상승과 하도내 광합성 증가 관리 부주의시 뿌리본식물의 하도침입으로 홍수저항증가 	<ul style="list-style-type: none"> 어류 서식 및 산란장 파괴 동식물 종의 연속성파괴 수생곤충 감소 나뭇잎 등의 유입감소에 따른 먹이감소 자정능력 감소 수중생태계의 단일상화
	침수로 (방수로)	홍수소통 능력확보 및 토지 이용도 제고	<ul style="list-style-type: none"> 하상 경사의 변화 유속의 증가 침수로 구간내 침식운반 퇴적작용 활발 하상재료의 균일화 사수역의 형성 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> 새로운 수로에 어류서식 환경 조성 등 생태계복원에 장시간 소요 과다침식 및 퇴적에 따른 산란장 및 생육장 파괴
	하상굴착	홍수소통 능력향상 및 골재채취	<ul style="list-style-type: none"> 하상형태의 단순화 지천과의 낙차 발생 식생수제대 형성곤란 지하수위 저하 초래 단면적 확대에 따른 유속의 완화로 퇴적 가중 	<ul style="list-style-type: none"> 어류산란 및 피난장 감소 분류 및 지천간 어류의 왕복 불가 수생곤충 서식환경 파괴 고수부지의 식생의 종의 획일화 초래 어류개체군의 단순화 초래
	확폭	홍수소통 능력확보	<ul style="list-style-type: none"> 소류력감소에 의한 토사 이동의 감소 상시수위 저하 수온상승 	<ul style="list-style-type: none"> 갈수시의 어류 서식 및 피난처 감소 하천의 자정능력 감소 식생수제대 형성곤란
구조물 에 의한 정비	제방 및 저수로의 직선화	고수부지 개발 및 하천정비 의 간편성	<ul style="list-style-type: none"> 하상내 심저부의 상실 하상재료의 균일화 흐름형태의 단순화 수심 균일화 수온상승 	<ul style="list-style-type: none"> 어류서식 및 산란장 파괴 갈수기 어류 피난장 상실 수생곤충 감소 균일한 이토 및 모래퇴적에 따른 먹이확보 곤란 자정능력 감소 저수로변 식생상태 단순화

Table 3-1 Influence of environment of stream by repairing of stream

정비내용		정비목적	변화내용	하천생태계 영향
구조물에 의한 정비	하도포장	하상침식 방지	<ul style="list-style-type: none"> 수온상승 천연하상재료와 근본적 이탈 하상내 심저부의 상실 흐름형태의 단순화 수심 균일화 	<ul style="list-style-type: none"> 저생유기물의 배양기능 파괴 어류 산란 및 피난처 파괴 수생곤충 서식환경 파괴 동물의 접근성 감소
	콘크리트 호안	침식에 대한 예방보호	<ul style="list-style-type: none"> 지하수 흐름의 저해 유속의 증가 수온상승 하천조도의 균일 지수역 감소 유사량감소 	<ul style="list-style-type: none"> 어류의 산란장, 서식 및 피난장소의 감소 수변곤충의 감소 먹이의 감소 수변식생의 상실 동물의 하도접근성 감소
	낙차공 및 보	취수위 확보 및 하상의 안정	<ul style="list-style-type: none"> 담수에서 급류로 변화 (흐름의 급변) 토사 이동의 차단 국소세굴 및 하상저하 (장갑화 현상 초래) 구조물상류에서의 이토 퇴적 	<ul style="list-style-type: none"> 어류의 상하류 통과성 저해 초래 구조물 바로 아래에서 어류 산란 및 서식장소, 피난장소 감소
이용을 위한 정비	고수부지 개발	고수부지 조성 및 하도정비	<ul style="list-style-type: none"> 고수부지 높이 확일화 다양한 형태의 물길 상실 흐름 형태의 단순화 	<ul style="list-style-type: none"> 어류의 서식 및 산란장 파괴 수생곤충 서식환경 파괴 수변식생 단순화
	하천복개	주차장 및 도로건설	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 구조물의 배수로화 빛 및 공기의 차단 악취 및 유해가스 발생 물오염 가속 	<ul style="list-style-type: none"> 하천생태 환경의 근원적인 파괴초래 수변식생 상태 말살 하천환경 기능 상실
	하천내 도로 및 주차장	도로 및 주차장	<ul style="list-style-type: none"> 포장에 의한 강우의 비침투 수질오염 가속 강우초기 수온증가 	<ul style="list-style-type: none"> 하천생태환경 파괴 수변식생 감소 동물의 하도접근성 감소 수변곤충 및 수조류 등의 서식환경 파괴
	골재 준설	골재 준설	<ul style="list-style-type: none"> 하상변동 초래 하상저하 유속의 완화 여울 및 소의 상실 하상재료의 균일화 	<ul style="list-style-type: none"> 어류 산란 및 서식장소 파괴 먹이의 감소 2차오염에 의한 어류 서식환경파괴

(2) 하천환경을 고려한 하천정비의 기본방향

하천의 자연환경을 최적상태로 보전하기 위해서는 인간의 손길을 가하지 않고 그대로 보호하는 것이 가장 좋은 방법이나, 인간이 하천과 더불어 생활하고 있는 한 단어 뜻 그대로 완전한 보호는 사실상 불가능하다. 역설적으로 하천계획을 수립한다는 자체가 하천에 대하여 일종의 변화를 가한다는 의미를 내포한다고 볼 수도 있다. 어느 정도의 변화가 불가피한 경우 그로 인해 자연하천이 갖고 있는 특성이 손실되지 않도록 최대한 보장하는 방향에서 하천을 유도해야 한다. 따라서 하천환경을 고려하는 하천정비 계획에서는 다음과 같은 자연하천이 갖는 대표적인 특징을 충분히 고려하여 수립되어야 한다.

가. 자연 하천 고유의 매력 유지

- 하도의 형태, 지질조건, 하상재료 등에 유의한다.
- 하천작용인 침식, 운반, 퇴적기구를 반영한다.
- 동물의 습성과 식물의 서식환경을 고려한다.

나. 자연과 조화를 이룬 정비

- 필요에 따라 최소한으로 개량하는 수준으로 정비한다.
- 하천 자연 복원력의 한계를 벗어나지 않도록 계획하고 정비한다.
- 하천의 자연성 유지 및 회복에 대한 타당성을 충분히 검토한다.

다. 다양한 자연재료의 사용 및 적절한 정비기법 도입

- 돌, 식생 등 자연재료 이용을 우선적으로 검토한다.
- 콘크리트 제품을 도입할 필요가 있는 경우 다공질의 형상이나 자연에 가까운 형태를 최대한 도입한다.
- 각 대상하천의 특성을 확인하여 이수·치수 및 환경기능의 조화를 이룰 수 있는 정비기법을 도입한다.

라. 다양한 수변공간의 창출

- 하천형태 및 흐름의 상황에 대응한 다양한 수변 환경을 조성한다.
- 하천의 자연성을 최대한 살릴 수 있는 친수공간을 창출한다.

마. 본류와 지천, 하천 상하류와의 연속성을 고려

- 본류와 지천, 하천 상하류의 연속성을 확보하여 하천생태계의 단절을 방지한다.
- 도시하천의 경우 독립적인 하천정비가 아니라 도시정비와 일체감을 갖도록 고려한다.

(3) 자연친화적 하천정비계획의 고려 사항

하천환경을 고려하는 하천정비에서 사실상 중요한 것은 자연 생태계를 보전하거나 복원하면서 홍수피해를 최소화 할 수 있는 하천계획을 수립하는 것으로, 기존 하천 계획과는 다르게 하도 구역에 따라 다음과 같은 사항에 유의하여야 한다.



가. 수역(평상시 물이 흐르는 하도 구역)

- 해당 하천의 원래 저수로 폭을 유지, 조성시에도 하천의 역동성을 고려하여 자연의 힘에 의해 조성되도록 유도한다.
- 현재의 횡단형을 존중하고 저수로는 가능한 보전하며, 불가피하게 확대하거나 축소할 경우에는 현행 횡단형태를 유지한다.
- 하천의 원래 사행형태를 최대한 보존한다.
- 하상유지공은 최대한 배제하는 것을 원칙으로 하고, 설치가 불가피한 경우는 수생생물의 이동과 서식 방안을 확보한다.
- 여울과 소는 보전 및 재생하는 것을 원칙으로 한다.
- 지천 및 수로의 합류부분은 수면과 하상의 연속성을 확보한다.

나. 수제역(평상시 물의 영향을 받는 하천 구역, ecotone)

- 다양한 형상을 보전하며, 가능한 고착화를 지양하고, 외력을 감당하는 최소한의 방어를 원칙으로 한다.

다. 육역(평상시 물의 영향을 받지 않으나 홍수 등에 영향을 받는 구역)

- 고수부지 샐강, 웅덩이, 하도습지 등은 최대한 보존한다.
- 제방의 선형은 하천구역을 최대화하면서, 하천 주변의 자연상황과의 인위적인 단절 지양한다.
- 제방 법선은 하천구역을 규정하는 구분선이 아니라 자연재해 방어를 위해 관리범위를 결정하는 재해방어선으로 전환한다.
- 치수안전도에 따른 치수경제성과 수계전체에 대한 홍수량 배분계획을 충분히 고려하여 축제구간을 최소화하고, 필요한 구간에서 놀둑(霞提, open levee)을 적극 활용한다.
- 가능한 한 완만한 제방경사를 원칙으로 하고, 하천형태를 존중하여 무리한 완경사는 지양하고 수제역의 다양성을 확보한다.
- 하천변 숲을 보전·복원하는 것을 원칙으로 하고, 보전시 홍수의 유하능력 확보 계획을 수립한다.
- 제외지에 하천변 숲을 보전·복원하는 경우에는 제내지의 수림과의 횡방향 연결성을 확보한다.
- 구제방이 존재하는 경우도 가능한 한 제방후퇴(set-back levee)를 통해 치수안전도를 높이고 생태 서식공간을 최대화한다.

IV. 제주도 하천의 분류체계 적용성

제주도의 5개 주요 하천을 대상으로 하천분류를 실시하기 위하여 외국의 공학적 하천 분류기법 중 대표적인 일본의 세그먼트 분류방법과 국내에서 제안된 하천분류 방법을 적용하고, 이들 하천에 대한 향후의 하천변화를 예측하였다. 하천분류를 실시하기에 앞서 하천의 곡저폭지수, 사행도, 하상재료, 하폭수심비 및 하도경사 등의 하천분류인자를 조사하여 결정하였다.

1. 제주시 산지천



(1) 산지천의 개황

산지천은 관음사 남쪽 해발 720m에서 발원하여 북북서 방향으로 유하한 후 제주시를 남북방향으로 가로질러 도심을 통과하고 산지포구(제주항)로 유출하고 있다(Fig. 5). 산지천의 유역면적은 12.22km²이고 유로연장은 13.15km로 지류가 거의 없는 하천형태를 보이고 있다.

산지천 유역의 상류는 하상경사가 급한 산지계곡이며, 하류는 제주시를 가로질러 흐르는 전형적인 도시하천이다. 하천의 표고별 변화량은 매우 큰 편이며 하상은 암반과 큰 자갈로 이루어져 있고 건기에는 유량이 거의 없는 건천으로서 하상에 수생 동·식물이 서식하지 않는다. 이와 같은 산지천의 유역은 Fig. 6에 나타내었다.

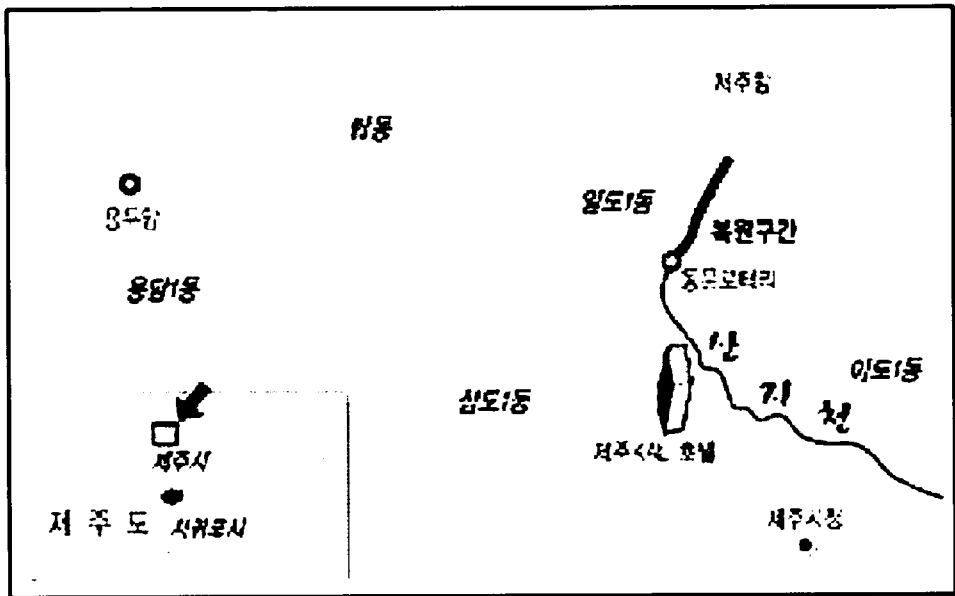


Fig. 5. Location map of Sanji stream



Fig. 6. The map of Sanji stream basin

산지천 하구부 구간은 1960년대에 복개되어 복개구조물과 생활 하수 등에 의한 악취가 진동하였으나 2002년6월 자연형 하천으로 복원된 이후 주민들의 사랑을 한껏 받는 친수(親水)공간으로 변모하였다. 이를 통해 산지천은 국내 최초로 이루어진 복개하천을 복원한 사례로 기록 되었으며, 하천복개가 이익보다 손해가 크다는 교훈을 보여 주었다. 산지천의 복개 구조물은 복원전보다 오염을 가중시켰으며 도시의 침수를 유발하는 부작용이 컸으며, 복개된 하천 474m를 복원하는데 모두 363억원이 투입되었다. 따라서 한번 파괴된 자연이 회복하는 데는 막대한 비용이 든다는 사실을 입증하였다.

본 연구의 대상 구간은 Fig. 7과 같이 산지천의 전 구간을 4개구간으로 구분하여 하천분류의 체계를 적용하였다. 산지천의 수계특성을 살펴보면 구성상 지류가 없는 단일하천으로 구성되어 있다. 각 구간별로 수문학적 특성분석에 필요한 지형인자를 조사한 결과는 Table 4-1과 같다.

Table 4-1 The topography of sanji stream and the feature of water system

유역 (No.)	유역 구분	유역 면적 (km ²)	유로 연장 (km)	유역 평균폭	유역 형상계수	표고차 (m)	유로 경사
산지천	전체	12.22	13.15	0.93	0.071	720	0.055
sub 1	산림	2.86	3.98	0.72	0.181	292	0.074
sub 2	도시 계획	2.46	3.90	0.63	0.162	290	0.035
sub 3	준도시	3.45	4.02	0.86	0.214	139	0.032
sub 4	도시	3.43	3.49	0.98	0.282	111	0.055

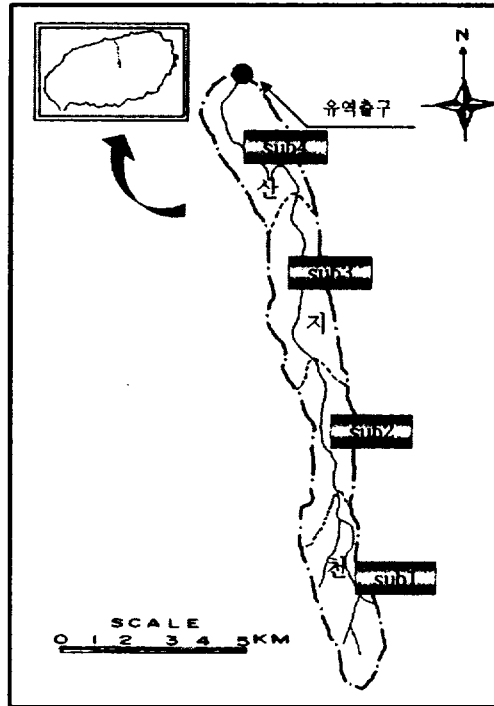


Fig. 7. The classification map of Sanji stream basin

(2) 하천분류 인자의 산정

가) 일본의 세그먼트 분류방법 적용

일본에서는 하천분류를 하상 경사 및 재료에 따라 세그먼트 M, 세그먼트 1, 세그먼트 2-1, 세그먼트 2-2, 세그먼트 3 으로 분류하여 각 구간의 특성을 제시하고 이에 따른 하도 설계 및 관리를 하고 있다. 여기서 세그먼트(Segment)는 유사한 하도특성을 가지고 있는 하도구분을 나타내는 용어로서, 기본적으로는 하상 경사와 재료의 특성을 통해 구분되며, 분류된 하천구간은 그 특성을 고려하여 하도의 종횡단 및 평면계획을 실시하고 있다.

본 연구에서는 산지천의 하상고를 조사하고 이에 따른 하상경사를 분석하였다. 하상경사는 한 하천의 전하도를 몇 개의 구간으로 분류하여 각각의 구간에서 나타나는 하상경사를 분석하고 경사가 특이하게 변화하는 구간을 확인하였다. 또한 관련계획 등을 조사하여 제시된 하상재료의 조사결과를 이용하여 조사 위치를 확인하고 해당 구간에서 하상재료의 분석결과와 하상경사를 연관시켜 분석하였다.

분석된 각 구간별 하상 경사와 재료의 연관성을 통해 하천이 나타내는 특성을 파악하고 이에 따라 하천분류 방안을 제시하였다. 문헌조사와 현장 조사를 통해 수집된 자료를 이용하여 하상 경사와 재료 사이의 상관관계를 파악하는 것이 가장 큰 분석목적이다. 일반적으로 하천에서는 상류에서 하류로 내려감에 따라 하상경사는 점차 완만해진다. 이때, 완만해지는 경사는 하천지형과 유사특성에 따라 변곡점을 나타낼 것으로 예상된다. 따라서 조사된 하상고를 이용하여 경사를 도시한 후, 경사가 다른 지점에 비해 급하게 변화하는 특성을 나타내는 지점을 선별하고 이 지점을 기준으로 하천구간을 분류하는 과정이 필요하다.

산지천의 전체구간은 4개로 구분할 수 있으며 각각의 하상경사는 $1/13 \sim 1/28$ 로 $1/60$ 보다 작아 상대적으로 급한 산지형 하천임을 알 수 있다. 하상재료 역시 많은 구간에서 하상에 암반이 노출되고 있다. 이와 같은 하상재료 및 하상경사 검토 결과에 따르면 산지천의 하천분류는 세그먼트 M이라고 판단할 수 있다.

이와 같은 하천분류는 Table 2-3의 일본의 하천분류와 같이 지형적으로는 산간지이며, 하상재료로서 대표입경은 여러 가지이며 이때 강턱 구성물질은 곳곳에 암반 노출되어 있으며, 사행정도와 하상경사는 다양하다. 또한 강턱침식이 아주 심하고 저수로의 평균수심이 다양한 특성과도 일치한다.

나) 국내의 하천분류방법 적용

곡저폭지수를 산정하기 위하여 곡저폭과 만제하폭을 검토한 결과 대부분의 구간에서 두 개의 폭이 거의 일치하는 것으로 나타나 곡저폭지수가 5이하이므로 본 산지천 구간은 산지형(제약형, confined)이었다. 산지천의 사행도를 산정하기 위하여 구간의 직선거리와 하도거리를 산정하였으며, 구간의 직선거리는 2,452m, 하도거리는 2,713m로 얻어져 사행도가 1.106로 1.2보다 작기 때문에 산지천 구간이 직류형(S, straight)이었다.

하상재료의 측면에서는 하상의 구성물질인 암반이 많이 노출되어 있으므로 기호 1의 하천분류에 해당함을 알 수 있다. 하폭수심비와 하도경사는 충적하상(자갈, 모래 또는 실트-점토하상)의 경우에는 분류에 직접적으로 영향을 미치나 기반암 하상이나 전석(boulder) 하상인 경우에는 하천분류에서 크게 중요하지 않다.

상기 하천분류 결정인자를 검토한 결과 Table 2-4 에서 본 산지천 구간이 "1c"의 구분에 해당함을 확인할 수 있으며, 1c 하천의 경우 주로 하곡지형으로 기반암이 노출되어 있다. 또한 하상지형은 계단형 급류폭포를 이루면서, 하상침식혈이 형성되어 있을 것으로 판단된다. 이러한 하천의 형성과정은 하천의 운반력이 유사공급량을 초과하면서 기반암 침식, 국지적 침식혈 형성 그리고 사면물질의 제거를 통해 이루어진 것으로 추측할 수 있으며 향후 하천진화의 교란요소는 산지사면의 인위적 절개나 사방류의 공급이 있을 경우 발생할 것으로 판단된다.

다) 하천의 정비현황

이 하천의 정비방안을 놓고 여러 의견들이 분분하였으나 각계의 전문가 및 시민단체들의 의견을 공모한 결과 산지천을 문화의 정취가 살아 숨쉬는 옛 모습으로 되살림과 동시에 도심속의 친환경적인 자연형 경관하천으

로 조성하여 시민들의 휴식공간으로 제공하는 방향으로 의견이 모아졌다 (제주시, 2003)(Fig. 8).

이로서 산지천 하류부 L=474m B=21~36m구간에 2000년6월 착수하여 2년만인 2002년6월 사업비9,500백만원을 투입하여 복원사업을 완료하였다. 이 사업은 음악분수1개소 (공기압축 조절방식으로 L=13.5m B=10m 노출121개 수중등340개) 와 벽천분수(계단폭포) 1개소를 만들고 수문2개소를 만들어 유수천이 되어 자체적인 수질정화가 되도록 하였다. 주민과 관광객들이 산지천의 친환경적인 경관 하천을 조망할 수 있도록 조성되었다. 산지교와 광제교는 구조용 집성재 위에 전통적 한옥 개념으로 거대한 짜임형성 목교로 복성교는 제주의 돌문화를 바탕으로 하였으며, 이 자리에 제주석 돌다리를 만들어 오랜 세월 제주 선인들과 애환을 함께한 흥예교를 표현하였다. 동문교 난간은 우리 제주인과 함께한 생활방식인 수눌음정신을 들로 형상화 하였으며 빨래터1개소 선착장1개소 복원하여 옛 모습으로 되살렸다. 야간조명시설(수변등89개, 조명등40개) 과 주변계획도로 (L=474m B=15m)를 하천공원화(7,323m²) 함으로써 사라봉공원과 탐동광장, 목관아지, 칠성통 새즈문해 거리를 잇는 새로운 관광명소가 탄생하여 관광산업 부흥에 기여하게 되었다.

산지천의 복원(Fig. 8)은 복개건물을 철거하여 복원한 최초의 사례로서 산지천은 숲이 있고 새소리 물소리와 음악분수 폭포등이 어우러져서 도심속의 하천공원으로 자리매김 하였다. 이러한 사업은 세계지방자치단체의 사례발표와 지방자치개혁박람회 우수사례로 선정된 이후 환경부장관, 서울특별시장이 견학차 내도 하였다. 또한 관련전문가 및 공무원 등도 하천복원이 모범사례로 견학 하고 있으며, 특히 2005년11월 한국하천협회가 주관하고 건설교통부가 후원하는 아름다운 하천환경조성을 위한 하천사랑 원년선포 기념식 2005아름다운 하천공모전에서 “산지천”이 아름다운 하천

대상을 차지하여 시민들로부터 찬사를 받고 있다.

산지천의 하천환경을 개선하기 위해서 이·치수의 기능과 조화를 이루어 맑은 하천과 풍요로운 자연환경이 시민들에게 공유되는 계기가 되었다. 따라서 향후도 산지천을 옛 모습으로 되살리고 잘 정비될 수 있게끔 지속적인 사업을 펼쳐나가야만 하고 시민 모두가 산지천의 옛 모습을 재현할 수 있도록 자연형 하천으로 되살리는데 온 힘을 기울여 나가야 할 것이다.





Fig. 8. Sanji stream before demolition



Fig. 9. Sanji stream after restoration

2. 제주시 도근천

(1) 도근천 개황

도근천(Fig. 10)은 제주시 한라산 EL.1,950m 고지에서 발원하여 외도동 해안으로 유입되는 하천으로서 유로연장 15.71km, 유역면적 75.08km²인 지방2급하천이며 지류로는 소하천인 학곶내천과 제1지류인 어시천과 광령천이 있다.



Fig. 10. The map of Dogeun stream basin

도근천은 하천수가 흐르는 상시하천으로서 중산간 지역이 협곡화 되어 있고 하상재료는 굵은 자갈이 많다(Fig. 11).

연구대상 구간은 지방2급 하천정비 기본계획이 수립되어 하천의 기본적인 특성을 확인할 수 있는 11.68km이며, 하천의 특성분석에 필요한 지형 인자를 조사한 결과는 Table 4-2와 같다.

Table 4-2 The topography of dogeun stream and the feature of water system

유역	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유역 평균폭	유역 형상계수	표고차 (m)	유로 경사
도근천	75.08	15.71 (21.30)	4.78 (3.52)	0.30 (0.17)	1,950	0.093

주) ()는 도근천 지류인 광령천의 유로연장을 기준으로 한 결과

(2) 하천분류를 위한 인자의 산정

가) 일본의 세그먼트 분류방법 적용

하천정비기본계획에서 측량조사한 도근천의 하상고를 조사하고 이에 따른 하상경사를 분석하였다. 도근천의 하상경사는 약 1/11로 1/60 보다 작아 급경사인 산지형 하천임을 알 수 있다. 하상재료 역시 많은 구간의 하상에서 암이 노출되고 있거나 굵은 자갈로 구성되어 있다. 이와 같은 하상재료와 하상경사 검토에 따르면 도근천의 하천분류는 앞서 산지천의 하천분류와 같이 세그먼트 M이라고 판단할 수 있다.

이와 같은 하천분류는 Table 2-3의 하천분류와 같이 지형적으로는 산간지, 하상재료로서 대표입경은 다양하며, 강덕 구성물질은 곳곳에 암반 노출, 사행정도와 하상경사가 다양하다. 그리고 강덕침식이 아주 심하고

저수로 평균수심이 다양한 특성을 나타내고 있다.

나) 국내의 하천분류방법 적용

곡저폭지수를 산정하기 위하여 곡저폭과 만제하폭을 검토한 결과 대부분의 구간에서 두 개의 폭이 거의 일치하는 것으로 나타나 곡저폭지수가 5이하이므로 본 구간은 산지형(제약형, confined)이었다. 사행도를 산정하기 위하여 구간의 직선거리와 하도거리를 산정하였으며, 구간의 직선거리는 10,443m, 하도거리는 11,680m로 얻어져 사행도가 1.12로 1.2보다 작아 본 구간이 직류형임을 알 수 있다. 실제 지형도 상에서 확인할 수 있는 바와 같이 도근천은 유로의 중간지점에서 한차례 크게 만곡되어 흐르고 있을 뿐 큰 사행성은 없었다.

하상재료 측면에서는 하상의 구성물질상 직경 25.6cm이상의 굵은 자갈(전석)이 많이 발견되고 있으므로 기호 2의 하천분류에 해당함을 알 수 있다. 하폭수심비와 하도경사는 충적하상(자갈, 모래 또는 실트-점토하상)의 경우에는 분류에 직접적으로 영향을 미치나 기반암 하상이나 전석(boulder) 하상인 경우에는 하천분류에서 크게 중요하지 않다.

도근천의 하천분류 결정인자를 검토한 결과 Table 2-4에서 본 도근천 구간이 "2c"의 구분에 해당함을 확인할 수 있으며, 2c 하천의 경우 주로 상류의 계곡을 포함하는 가파른 급경사 지형이 완경사로 변화는 곳에서 많이 발견되었다. 하상지형은 스텝-소, 급여울이 많다. 이러한 하천의 형성 과정은 수직적인 에너지가 심한 스텝과 수직적인 에너지를 저장하는 소, 그리고 사면물질의 분급 등이 원인이 되는 경우가 많다. 향후 하천진화의 교란요소는 산지사면의 인위적 절개나 사방류의 공급이 있을 경우 발생한 것으로 판단된다.

다) 하천의 정비현황

제주시가 태풍피해복구 사업으로 시행한 도근천 하천정비공사가 최근 준공되었다. 이 사업은 2003년 9월 태풍 '매미' 영향에 의해 집중호우 시 하천 범람으로 교량(내도교)과 호안이 유실되어 태풍피해 복구와 더불어 자연형 하천으로 조성하기 위해 추진되었다. 제주시는 지방 2급하천인 도근천 하류(내도교 주변) 250m(하폭 56m~96m) 구간에 대해 교량 재가설과 호안을 정비를 실시하였다(Fig. 12).

도근천 수해상습지 개선공사에 투입된 예산은 총 45억6600만원으로 교량 1개소(연장121.8m 폭15m), 아스콘포장 240m, 제방관리용 도로 643m, 호안(전석)쌓기 7643평방m, 여울 3개소(4300평방m), 보2개소, 소 1개소(1200평방m), 징검다리 1개소를 시설하였다. 제주시는 자연형 하천 조성을 위한 낙차보, 징검다리, 여울, 소(물엉덩이) 등 자연석을 이용, 친환경적으로 시설하여 항상 물이 흐르고 은어 등 물고기가 서식하면서 생태계가 복원되어 아름다운 하천으로 지역주민들도 매우 좋은 반응을 얻고 있다. 이 공사가 완료됨에 따라 종전 하천변 경작지가 대부분 맹지 상태로 농사용 차량출입이 어려웠었는데 제방관리용 도로 조성으로 농로로 사용도 가능해졌다(Fig. 13).

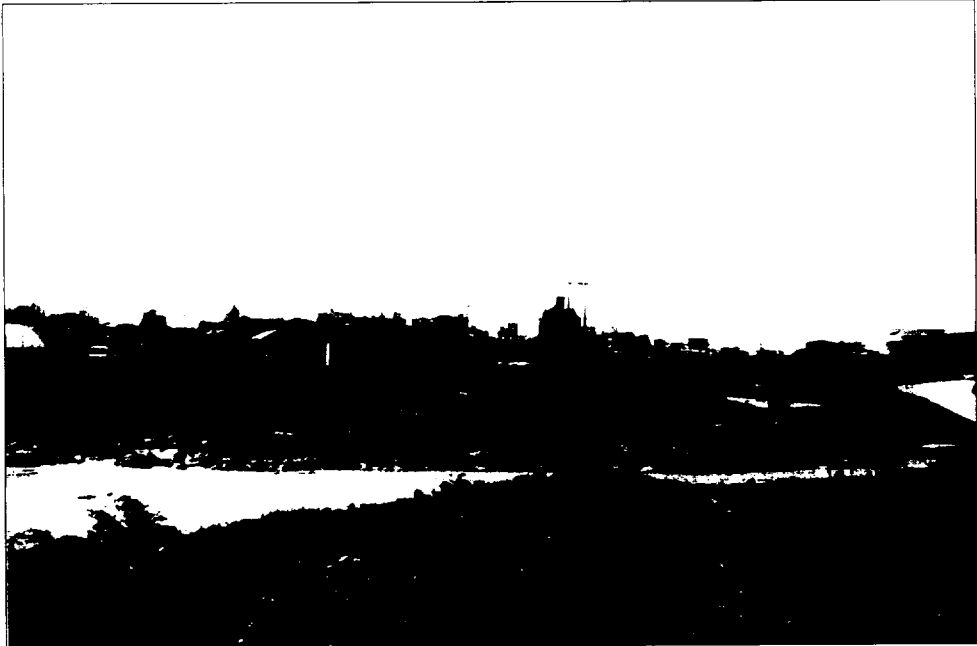


Fig. 11. Dogeun stream before repairing



Fig. 12. Dogeun stream that is changing into naturally favorable stream



Fig. 13. Root sensitivity of naturally favorable stream after repairing

3. 제주시 광령천

(1) 광령천의 개황

광령천(Fig. 14)은 제주시와 북제주군의 경계지역인 한라산 EL.1,950m 고지에서 발원하며, 도근천의 제1지류로서 도근천에 합류한 후 해안으로 유출되는 하천형태를 보이고 있다. 하류지역인 월대교 직상류 수원지 시설에서 배출된 지하수로 인하여 하천수가 흐르며 유역면적 43.25km², 유로 연장 21.30km인 하천이다.

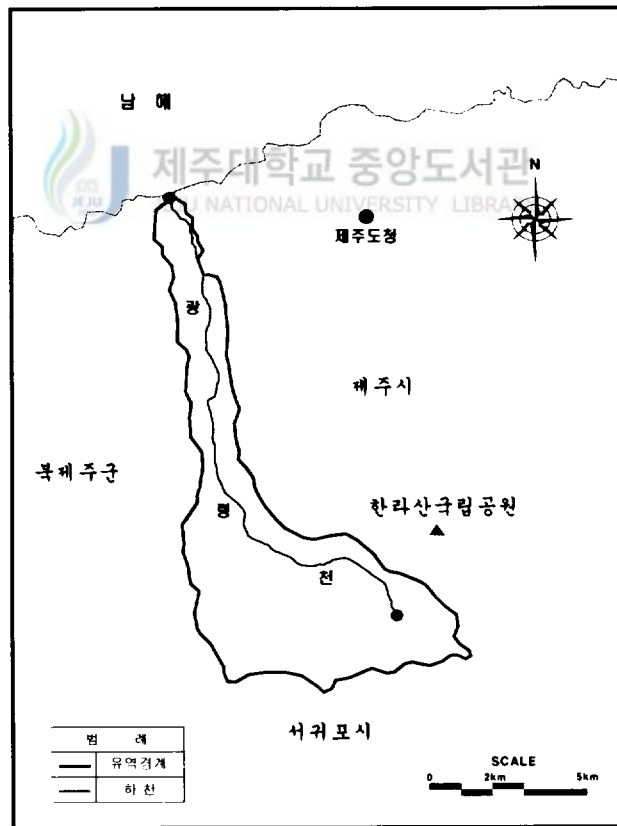


Fig. 14. Location map of gwangryeong stream

광령천은 하천수가 흐르는 상시하천으로 하천바닥은 대부분 암이나 거석으로 이루어져 있으며, 중산간 지역이 협곡화 되어 있고 수질은 1등급을 유지하고 있다(Fig. 15). 본 연구의 대상 구간은 지방2급 하천정비 기본계획이 수립되어 하천의 기본적인 특성을 확인할 수 있는 18.30km를 대상으로 하였으며, 특성분석에 필요한 지형인자를 조사한 결과는 Table 4-2와 같다.

Table 4-3 The topography of gwangryeong stream and the feature of water system

유역	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유역 평균폭	유역 형상계수	표고차 (m)	유로 경사
광령천	43.25	21.30	2.03	0.10	1,950	0.093

(2) 하천분류를 위한 인자의 산정

가) 일본의 세그먼트 분류방법 적용

광령천의 하천정비기본계획에서 측량조사한 광령천의 하상고를 조사하고 이에 따른 하상경사를 분석하였다. 광령천의 하상경사는 약 1/10로 1/60 보다 작아 굉장히 급한 산지형 하천임을 알 수 있다. 하상재료 역시 많은 구간의 하상에서 암이 노출되고 있거나 거석으로 구성되어 있다. 이와 같은 하상재료와 하상경사 검토에 따르면 광령천의 하천분류는 앞서

산지천의 하천분류와 같이 세그먼트 M이라고 할 수 있다.

이와 같은 하천분류는 Table 2-3 일본의 하천분류와 같이 지형적으로는 산간지, 하상재료로서 대표입경은 다양하며, 강덕 구성물질은 곳곳에 암반 노출, 사행정도와 하상경사가 다양하다. 그리고 강덕침식이 아주 심하고 저수로 평균수심이 다양한 특성을 보이고 있다.

나) 국내의 하천분류방법 적용

곡저폭지수를 산정하기 위하여 곡저폭과 만제하폭을 검토한 결과 대부분의 구간에서 두 개의 폭이 거의 일치하는 것으로 나타나 곡저폭지수가 5이하이므로 본 구간은 산지형(제약형, confined)이었다. 사행도를 산정하기 위하여 구간의 직선거리와 하도거리를 산정하였으며, 구간의 직선거리는 14,202m, 하도거리는 18,300m로 얻어져 사행도가 1.29로 1.2보다 크고 1.5보다 작기 때문에 본 구간이 곡류형임을 알 수 있다. 실제 지형도 상에서 확인할 수 있는 바와 같이 광령천은 산지의 1/3정도 되는 구간에서 한 차례 크게 만곡되어 흐르는 하천으로 큰 사행성은 없었다.

하상재료 측면에서는 하상의 구성물질인 암반이 많이 노출되어 있으므로 기호 1의 하천분류에 해당함을 알 수 있다. 하폭수심비와 하도경사는 층적하상(자갈, 모래 또는 실트-점토하상)의 경우에는 분류에 직접적으로 영향을 미치나 기반암 하상이나 전석(boulder) 하상인 경우에는 하천분류에서 크게 중요하지 않다.

상기 하천분류 결정인자를 검토한 결과 Table 2-4 에서 본 광령천 구간이 "1c"의 구분에 해당함을 확인할 수 있으며, 1c 하천의 경우 주로 하곡 지형으로 기반암이 노출되어 있다. 하상지형은 계단형 급류폭포를 이루는 경우가 많다. 이러한 하천의 형성 과정은 하천의 운반력이 유사 공급량을 초과하면서 기반암 침식, 국지적 침식형 형성 그리고 사면물질의

제거를 통해 이루어 졌을 것으로 예측할 수 있으며 향후 하천진화의 교란 요소로는 산지사면의 인위적 절개나 사방류의 공급이 있을 경우 발생할 것으로 판단된다.

다) 하천의 정비현황

광령천은 2001년 수해상습지정비 사업으로 용천수가 흐르는 광령천 하류지역 (월대주변) L=750m구간에 대하여 배수처리를 원활히하여 침수피해를 예방하고 하천을 효율적으로 이용하고 보전하기 위한 '하천 정비사업'을 실시하여 2003년 사업을 마무리 했다. 이 정비 사업에는 1,653백만원 사업비를 들여 교량시설1개소(L=22.7m) 및 도류제1개소 산책로(L=1,042m) 와 호안(L=318m)을 자연석으로 쌓아 자연형 하천으로 정비하였으며 자연석화단(L=248m)과 목재울타리(L=78m) 낙차보 및 어도설치3개소 정자1 파고라3 노천목욕탕1 화장실1 시설하여 친수공간으로 시민들이 휴식공간과 어린이들이 생태학습장으로 조성 하였다. 상류지역에는 급류계곡 및 산지하천 등 자연상태가 유지되는 구역이 많아 이러한 자연하천 구간에는 불가피하게 통수단면 확장이 필요한 지역에 한하여 최소한으로 하천정비 사업을 실시하여 하천변 자연생태계를 그대로 유지 보전되도록 계획하여야 한다(Fig. 16).



Fig. 15. Naturally favorable stream at the upper part of gwangrveong stream



Fig. 16. An overall view of the environs of woldae at the lower part of gwangrveong stream

4. 서귀포시 연외천

(1) 연외천 개황

연외천은 속칭 솜반천이라 부르며 제주도의 남부에 위치한 하천으로서 한라산 중턱에서 시작하여 서귀포시 서홍동과 천지동 그리고 천지연 폭포를 거쳐 서귀포항으로 유입하고 있다. 한라산 동서쪽에 위치한 시오름(EL.760m)에서 발원하여 남동쪽으로 흐르다 미악산(EL.550m) 사이의 작은 계곡에서 지표면 유출을 하고 하жат성 지점에 이르러 유로를 형성하며 서홍교 직상류에서 지하수가 다량으로 용출하여 호근천과 합류한 후 바다로 유입하고 있다(Fig 17).

연외천은 지방2급 하천정비 기본계획이 수립되어 하천의 기본적인 특성을 확인할 수 있는 서귀포시 서홍동, 천지동 관내의 연외천 서귀교 상류 구간 1.2km 구간을 대상으로 하였으며, 특성분석에 필요한 지형인자를 조사한 결과는 Table 4-3과 같다.

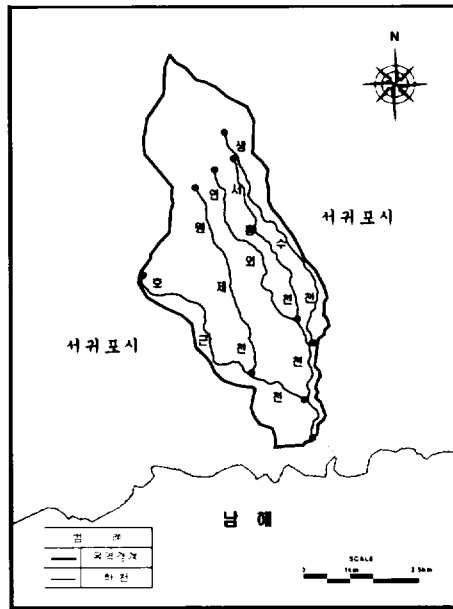


Fig. 17. Location map of Yeonoe



Table 4-4 The topography of Yeonoe stream and the feature of water system

유역	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유역 평균폭	유역 형상계수	표고차 (m)	유로 경사
연외천	22.20	12.0	1.82	0.15	760	0.02

(2) 하천분류를 위한 인자의 산정

가) 일본의 세그먼트 분류방법 적용

하천정비기본계획에서 현장을 측량하여 조사한 연외천의 하상고와 이에 따른 하상경사를 분석하였다. 조사구역내 하천 하폭은 15~25m 이며 하상경사는 1/50 정도로 급경사를 이루어 홍수나 평시에도 유속이 빠른 것으로 나타났다. 또한 하상이 대부분 암반이 드러나 있고 대체로 용암이 분출되어 생성된 화산암으로 구성되어 있다. 이와 같은 하상재료와 하상경사 검토에 따르면 연외천의 하천 분류는 세그먼트 M이라고 판단할 수 있다.

이와 같은 하천분류는 Table 2-3 일본의 하천분류와 같이 지형적으로는 산간지, 하상재료로서 대표입경은 여러 가지, 강덕구성물질은 곳곳에 암반 노출, 사행정도와 하상경사는 여러 가지, 그리고 강덕침식이 아주 심하고 저수로 평균수심이 다양한 특성을 보이고 있다.

나) 국내 제안 하천분류방법

우선 곡저폭지수를 산정하기 위하여 곡저폭과 만제하폭을 검토한 결과 대부분의 구간에서 두 개의 폭이 거의 일치하는 것으로 나타나 곡저폭지수가 5이하이므로 본 연외천 구간보 산지형(제약형, confined)임을 확인할 수 있다. 사행도를 산정하기 위하여 구간의 직선거리와 하도거리를 측량하였으며, 구간의 직선거리는 1,401m, 하도거리는 1,500m로 얻어져 사행도가 1.07로 1.2보다 작기 때문에 본 구간이 직류형이었다. 하상재료 측면에서는 하상의 구성물질이 암반이 많이 노출되어 있으므로 기호 1의 하천 분류에 해당함을 알 수 있다.

하폭수심비와 하도경사는 총적하상(자갈, 모래 또는 실트-점토하상)의 경우에는 분류에 직접적으로 영향을 미치나 기반암 하상이나 전석(boulder) 하상인 경우에는 하천분류에서 크게 중요하지 않다. 연외천의 하천분류 결정인자를 검토한 결과 Table 2-4 에서 본 연외천 구간이 "1c"의

구분에 해당함을 확인할 수 있으며, 1c 하천의 경우 앞서 산지천의 하천 분류에서 소개한 바와 같이 주로 하곡 지형으로 기반암이 노출되어 있으며, 하상지형은 계단형 급류폭포를 이루는 경우가 많다. 이러한 하천의 형성 과정은 하천의 운반력이 유사 공급량을 초과하면서 기반암의 침식, 국지적 침식형 형성 그리고 사면물질의 제거를 통해 이루어 졌을 것으로 예측할 수 있으며 향후 하천변화의 교란요소는 산지사면의 인위적 절개나 사방류의 공급이 있을 경우 발생할 것으로 판단된다.

(다) 하천의 정비현황

서귀포시 연외천(솜반천)은 2003년도 환경부 자연생태복원 우수사례로 선정됐다. 16일 서귀포시에 따르면 2000년부터 3년간 29억원을 들여 주변 건물을 철거하고 하천변 습지를 조성한 데 이어 자연친화적인 호안과 하천생태공원 등을 조성해 1급수의 수질을 회복, 도심 속의 시민생태휴식공간으로 탈바꿈한 사례가 환경부 우수사례로 선정됐다. 이에 따라 서귀포시는 2002년 예래마을이 보존이 잘 된 자연생태우수마을로 선정된 것과 더불어 생태도시로서 이미지를 확고히 하게 됐다. 솜반천은 원래 천지연폭포의 모천으로 사계절 샘물이 솟아나는 지역이었으나 무허가 건축물의 난립과 생활하수, 인근 농경지 오염물, 쓰레기 투기 등으로 2급수 이하의 오염된 하천으로 환경오염의 한 원인이었다.

서귀포시민의 여름 휴식터임에도 무허가 건물로 인해 주변환경이 어수선했던 선반천 주변(연외,호근천)을 시민휴식공간으로 조성하는 사업이 추진돼 친환경적인 자연석으로 교체하고 주변 1000평을 매입해 잔디광장을 조성하는 한편 파고라 6개동, 목재산책로, 하천진입계단을 설치하였다. 또한 아울러 연외 호근천 내에 산재한 고냉이소 옷습반내물 풍덩이소 등 9개소의 용천수도 자연친화적으로 정비하고 하천 주변에 나랑꽃창포, 송

이고랭이 등 수변식물을 식재하는 한편 향토수종으로 조경수를 식재해 자연관찰장으로 이용할 수 있도록 했다. 이에 따라 연외, 호근천 정비사업은 천지연 갈매생태공원과 연계돼 시민들이 즐겨 찾는 명소가 되었다. 이와 관련, 이 지역 주민들은 선반천 상류에 과수원이 밀집됨으로 인해 발생하는 농약오염이 하천은 물론 무태장어 서식지인 천지연 일대에 악영향을 줄 우려가 있어 선반천 보호를 위해 과수원을 연차적으로 매입, 시민 휴식공간을 확대하는 선반천 종합보호계획 수립이 필요하다는 의견을 제시하고 있다.



Fig. 18. Yeonoe stream after changing into naturally favorable stream



Fig. 19. Ecological stream at the lower part of Yeonoe stream

5. 서귀포시 대포천  제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

(1) 대포천 개황

대포천(Fig. 20)은 한라산 남측의 산록인 거린사슴 남단에서 발원한 하천으로 대포하천의 전형적인 특징을 가지면서 남류하고 있다. 상류는 삼림이 무성한 임야지로 구성되어 있고, 중·하류 지역은 주거지 또는 과수원(감귤밭)을 통과하고 있다. 대포천은 홍수시에만 물이 흐르고 평상시에는 거의 물이 흐르지 않는 건천에 해당하며, 하류에서 약 1.7km 이상에 해당하는 상류구간은 하상이 주로 암반으로 구성되어 있고 암의 노출가 많이 발견되며, 그 이하 구간은 호박돌과 일부 모래로 구성되어 있다(Fig. 21).

본 연구의 대상 구간은 지방2급 하천정비 기본계획이 수립되어 하천의

기본적인 특성을 확인할 수 있는 구간 중 하구에서 1.75km까지를 대상으로 하였으며, 특성분석에 필요한 지형인자를 조사한 결과는 Table 4-4와 같다.



Fig. 20. Location map of Daepo stream

Table 4-5 The topography of Daepo stream and the feature of water system

유역	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유역 평균폭	유역 형상계수	표고차 (m)	유로 경사
대포천	3.76	7.60	0.49	0.063	-	0.160

(2) 하천분류를 위한 인자의 산정

가) 일본의 세그먼트 분류방법 적용

대포천의 하천정비기본계획에서 측량조사한 대포천의 하상고를 조사하고 이에 따른 하상경사를 분석하였다. 연구대상 구간에 해당하는 대포천의 하상경사는 약 1/20로 1/60보다 급하기 때문에 굉장히 급한 산지형 하천임을 추정할 수 있다. 하상재료는 연구구간의 경우 호박돌과 모래가 일부 발견되고 있어 세그먼트 1의 가능성이 있기는 하지만 하상경사가 워낙 급하며 세그먼트 1의 하천은 선상지에 해당하는 경우가 많기 때문에 하천분류는 앞서 다른 하천의 분류와 같이 세그먼트 M이라고 판단할 수 있다.

이와 같은 하천분류는 Table 2-3 일본의 하천분류와 같이 지형적으로는 산간지, 하상재료로서 대표입경은 여러 가지, 강덕구성물질은 곳곳에 암반 노출, 사행도와 하상경사는 여러 가지, 그리고 강덕침식이 아주 심하고 저수로 평균수심이 다양한 특성과도 일치할 수 있다.

나) 국내의 하천분류방법 적용

우선 곡저폭지수를 산정하기 위하여 곡저폭과 만제하폭을 검토한 결과 대부분의 구간에서 두 개의 폭이 거의 일치하는 것으로 나타나 곡저폭지수가 5이하이므로 본 대포천 구간도 산지형(제약형, confined)이었다. 사행도를 산정하기 위하여 구간의 직선거리와 하도거리를 산정하였으며, 구간의 직선거리는 1,602m, 하도거리는 1,750m로 얻어져 사행도가 1.09로 1.2보다 작기 때문에 본 구간이 직류형임을 알 수 있다.

하상재료 측면에서는 하상에 호박돌이 많고 모래도 일부 발견되기 때문에 기호 2의 하천분류에 해당함을 알 수 있다. 하폭수심비와 하도경사는

충적하상(자갈, 모래 또는 실트-점토하상)의 경우에는 분류에 직접적으로 영향을 미치나 기반암 하상이나 전석(boulder) 하상인 경우에는 하천분류에서 크게 중요하지 않다.

상기 하천분류 결정인자를 검토한 결과 Table 2-4 에서 본 대포천 구간이 "2c"의 구분에 해당되었다. 2c 하천의 경우 주로 상류측 계곡이나 가파른 곡사면 또는 급경사에서 완경사로 변환되는 하천구간에서 발견되는 분류로 주요 하상지형으로 스텝-소 또는 급여울이 발견되는 경우가 많다. 이러한 하천의 형성 과정은 스텝에 의한 수직적인 에너지 소비와 소에 의한 에너지의 저장으로 형성되는 경우가 많고 사면물질이 전석과 세립자의 분급되는 현상이 자주 발생한다. 향후 하천진화의 교란요소는 산지사면의 인위적 절개나 사방류의 공급이 있을 경우에 한정되는 것으로 판단된다.

다) 하천의 정비현황

대포천은 지금은 폐촌되어 버린 사단동 마을 동쪽을 거쳐, 임페리얼호텔 서쪽을 통과한 다음 회수 마을 서쪽에 이른다. 회수 마을과 불목당 사이에서는 하천 모습이 사라지는 듯하다가 중문동사무소 북동쪽에 와서 하천 모습을 정비한 다음, 새로 개통된 대포 마을 진입 도로를 따라 내려온다. 큰술동산과 풍림빌리지를 깊게 갈라놓은 다음, 동동네 및 기정목을 지나 큰개물에 와서 바다와 만난다. 대포천은 마치 사막의 와디(wadi)처럼 사시사철 물이 흐르지 않는 전형적인 간헐하천이다(Fig. 22). 그러나 폭우가 쏟아질 때는 엄청난 물이 밀려 내려와 '내치면서' 대포동 동네 주민들에게 수해를 입히기도 한다. 여러 곳에 물웅덩이(沼)가 발달해 있는데 큰술동산 동북쪽의 '큰소'와 대포 마을 영안소 앞의 '제비낭소'가 많이 이용된다. 특히 큰소는 과거에 웃동네 주민들이 목욕하기도 했었고, 동네

어린이들이 잠자리, 소금쟁이, 개구리 등을 잡으면서 놀던 놀이터이기도 했다.

중·상류 지역에서 지하로 복류해 흐르던 수맥의 일부가 이르러 해안가에서 용출하기도 하는데, 그 대표적인 샘이 큰개물에 있는 '구명물'이다. 구명물은 얼마나 차가운지 삼복더위가 기승을 부리는 한여름에도 몇 분을 견디기 어려울 정도이다. 사시사철 일정하게 솟아나는 것은 아니며, 여름에 가장 많이 용출된다. 이곳은 마을 공중목욕탕 역할을 하기도 했다.

대포천은 원래 동물개동산 앞으로 흘렀다고 한다. 이것을 과거 원씨 집안에서 풍수지리의 이점을 살리기 위해 기정목 쪽으로 물길을 돌렸다고 전해지고 있지만 이에 대한 정확한 검증이 필요하다.

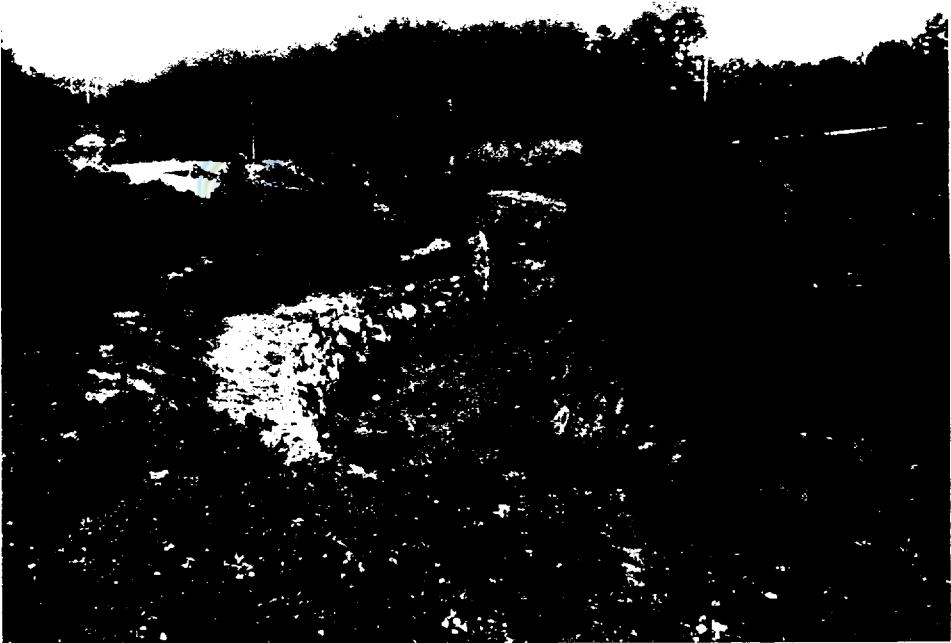


Fig. 21. The upper part of Daepo stream after repairing



Fig. 22. The lower part of Daepo stream after repairing



V. 제주도 하천의 자연친화적 정비 방안

1. 하천분류방법에 따른 하천정비의 추진

(1) 제주도의 하천분류 적용

제주도의 5개 주요하천에 대해 일본의 하천분류법과 국내의 하천분류 방법을 적용한 결과 일본의 분류방법에 의하면 세그먼트 M으로, 국내의 하천분류방법에 의하면 대부분 1c로 구분되었다. 그러나 일부 구간만을 대상으로 판단할 때 2c로 구분되는 경우도 있었다. 이러한 하천분류결과는 Table 5-1 같이 요약할 수 있다.

Table 5-1 Classification system of five major stream in Jeju island

구 분	국내의 분류방법	일본의 분류방법
제주시 산지천	1c (직류형, 산지형, 기반암)	세그먼트M (산간지)
제주시 도근천	2c (직류형, 산지형, 전석)	세그먼트M (산간지)
제주시 광령천	1c (곡류형, 산지형, 기반암)	세그먼트M (산간지)
서귀포시 연외천	1c (직류형, 산지형, 기반암)	세그먼트M (산간지)
서귀포시 대포천	2c (직류형, 산지형, 전석)	세그먼트M (산간지)



일본의 하천분류방법은 그 근간이 하천의 종단변화가 모식적으로 산지-선상지-범람원-삼각주로 연결되어 나타나는 것을 토대하여 구성되어 있다. 또한 하천의 유로연장은 길지 않고, 세그먼트의 분할이 비교적 용이하므로 현장의 하도가 종단곡선상에 놓인 위치에 따라 경사에 의해 쉽게 분류가 가능하다.

우리나라 내륙지방의 하천은 일본에 비해 지질적으로 복잡하여 상-중-하류가 산지-선상지-범람원-삼각주의 단순한 종단적 특성을 보이기보다는 복합적인 경향이 크다. 따라서 우리나라 하천의 종단적 특성에 대한 다양한 정밀 조사가 추가되어야만 일본의 하천분류방법을 적용할 때 조금 더 적용성이 높아질 것으로 판단된다. 그러나 제주도의 하천은 산지형 하천으로서 상대적으로 하천의 형상이 간단하고 짧은 편이므로 복잡한 하천

분류 체계보다 오히려 단순한 하천분류의 적용이 가능하며 하천분류체계의 활용방안이 많을 수 있다. 일본의 하천분류체계 방법이 당초 하천개수 계획과 관련하여 주로 안정하상의 검토나 하천에 설치되는 호안의 안정성 검토와 관련하여 제시된 것이기 때문에 그 분류체계에서 유속 및 소류력에 영향을 미치는 경사에 의한 결정 비중이 크다고 할 수 있다.

제주도의 하천들은 대부분 경사가 급한 산지형 하천이 대부분이므로 세그먼트 M 으로 분류될 수밖에 없다. 또한 이러한 검토결과에서 제주도 관내의 하천정비 방향은 제방 등을 설치하거나 하천시설물을 설치할 경우 내구성이 강해야 하고 소류력에도 안정한 호안계획이 우선적으로 반영되어야 한다.

(2) 하도지형의 변화 가능성 고려

국내의 하천분류체계를 기초로 하여 Rosgen의 하천분류체계에서 분류된 유형별 하도지형의 변화가능성을 검토하였다. 하천지형의 변화 가능성을 정성적으로 고려하여 분류할 때 큰 차이가 있을 것으로 판단할 수 있다.

하상 재료가 기반암인 1c형과 전석인 2c형은 교란에 대해 민감한 반응을 보이지 않는 반면, 하상 재료가 자갈이나 모래인 경우(Table 1-2의 3번과 4번 분류)는 교란에 대해 지형적인 변화가 민감하며, 특히, 강턱의 침식이 활발하게 나타날 수 있는 것으로 알려져 있다. 이는 하상재료가 자갈이거나 모래인 하천에 하도(강턱)와 인접한 사면에서의 공급되는 토사의 양이 비교적 많은 사실과 깊은 관련이 있다. 한편, 실트-점토와 같이 세립질 물질로 구성된 하도(Table 1-2의 5번 분류)의 경우에는 식생의 정착이 용이하여 식생뿌리에 의해 지지력을 얻을 수 있으므로 강턱의 침식이 방지되고 강턱에서의 토사 공급은 감소할 수 있을 것으로 판단할 수

있다.

이러한 하도의 변화 가능성은 어류, 저서생물, 수변 식생 등의 생장에 영향을 미친다. 하도가 교란에 대해 민감하게 반응하거나 하도의 강턱과 주변 사면에서 토사공급을 많이 받는다면 수생생물은 서식이 어렵게 될 확률이 높다. 그러나 교란에 민감하지 않아서 항상성을 유지하거나 교란에 대한 복원력이 강하면 그만큼 생물의 서식 환경이 지속적으로 유지 될 수 있는 것이다.

이러한 검토결과에 따라 5개소의 제주도 하천은 모두 1c 또는 2c로 하도지형이 홍수 등에 의해 크게 변화를 보이지는 않을 것이다. 따라서 상대적으로 고유의 수생생물이 있을 경우 항상성을 유지하고 서식환경이 지속적인 유지 측면에서 유리할 것으로 판단할 수 있다.

(3) 어류 서식처 개선 기법 적용성 평가

자연형 하천의 조성계획 수립에서는 하천에 이수를 위한 수리구조물 댐, 보, 낙차공 등을 설치하게 되면서 단절된 하천내 어류의 원활한 이동을 가능토록 만들어진 수리구조물을 설치하여 단절된 생태적 서식처를 연결해 주는 어도를 설치해서 어류의 피난처를 확보하거나 서식처를 늘리려는 공법, 구조물이 하도 유형에 따라 적절하게 설치될 수 있는지를 평가하는 것이 필요하다. 어류의 서식처가 다양해지면 하천의 환경적 기능이 제고되며 생태가 보다 풍부해 질 수 있다. 하지만, 하천의 단면, 종단특성이나 하상재료에 따라 설치한 구조물이 지속적으로 기능을 발휘할 수도 있고 쉽사리 망가지는 경우도 있다. 한편, 하도 유형에 따라 인공적 구조물이 거의 필요하지 않을 만큼 생태적인 서식공간이 다양하게 분포하는 하도 유형도 있다.

국내의 하천분류방법을 Rosgen 분류체계와 비교하여 어류 서식처 확보

를 위한 구조물을 설치할 때, 구조물이 해당 하도 유형에 얼마만큼 적합한지를 평가해 보면 제주도 관내의 하천과 같이 경사가 급할 경우 대부분 어류 서식처 개선을 위한 시설형식(저수위 유지보, 중수위 유지보, 무작위 거석 배치, 강턱에 거석 배치, 강턱 밑 그늘, 부유 통나물 그늘 등)이 필요하지 않거나 오히려 적용 불가능함을 알 수 있다.

이는 1c나 2c에 대비되는 하천의 경우 하천의 특성상 강턱과 하천변에 거석이 자연적으로 존재하는 경우가 많고 도시구간이 아니라면 자연적으로 형성된 강턱의 안정성이 높을 경우가 많기 때문이다.

즉, 1c나 2c의 대비되는 Rosgen 분류체계 A1이나 A2와 대비해서 고찰할 때 일반적으로 우수한 어류 서식처를 스스로 구성하고 있는 경우가 많아 현재 자연하천구간으로 남겨져 있다면 인위적인 어류 서식처를 굳이 조성할 필요가 없다는 것을 의미한다. 그러나 광령천이나 연의천의 경우 물막이 보를 설치하여 수원지를 설치할 경우 필히 자연친화적인 구조물의 설치와 함께 어도를 설치하여야만 한다.

(4) 분류체계 적용의 문제점 및 개선방향

지금까지 소개한 국내의 하천분류방법은 Rosgen 체계에 기초하여 하천의 민감도 평가와 어류의 서식처를 제공하는 기법의 적용성을 평가하는데 초점을 두고 있는 것으로 다양한 장점이 있는 반면 다음과 같은 적용상 문제점이 발견되었다.

우선적으로 이 분류체계는 자연상태의 하천을 주요 대상으로 하고 있기 때문에 인공제방이 축조된 하천의 상태를 고려하는 방법에 대해서는 추가로 보완이 있어야 할 것이라는 점이다. 또한, Rosgen 분류체계는 오랜 연구와 모니터링을 통해 하천분류체계와 관련해 하도지형의 변화 가능성, 어류 서식처 개선 구조물 설치시 종류에 따른 적합성 여부 예비 판단이나

평가 등과 접목해서 계속해서 발전하고 있으나 현재까지 국내 분류체계는 단순히 분류된 결과만을 제시하는데 한정되어 있다.

그러나 국내 하천분류체계는 자연하천의 수리적, 지형적, 퇴적학적 상태를 세심하게 관찰하고 측정할 수 있는 방법론을 제공해 주기 때문에 꾸준한 관심으로 발전시켜 나간다면 하천을 복원하거나 자연친화적인 공법을 적용하여 설계하는데 필요한 매우 구체적인 현장정보로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 제주도 하천정비의 문제점과 개선방안

제주도 관내 하천에 대한 하천분류체계의 적용결과를 기초로 하여 향후 제주도의 여러 하천을 대상으로 자연형 하천을 조성할 때 필요한 추진방향 및 적용 원칙을 기술하면 다음과 같다.

(1) 제주도 하천의 정비현황과 문제점

제주도의 하천은 섬 전체가 하나의 산지를 이루고 있으며, 일반적인 내륙의 충적하천에 비해 특이한 지형특성을 가지고 있다. 이러한 특이한 하천 환경을 보호하기 위해서는 내륙의 다른 지역에서 천편일률적으로 이루어지고 있는 형태의 자연형 하천사업을 그대로 따르는 것은 무리가 있다. 제주도의 주요 5개 하천에 대한 하천정비의 현황과 개선방안은 다음 Table 5-2와 같다.

Table 5-2 The present condition of stream in Juju island and improvement plans

하천명 (소재지)	분류방법		하천정비 현황	개선방안
	국내	일본		
산지천 (제주시)	1c (직류형, 산지형, 기반암)	세그먼 트M (산간지)	<ul style="list-style-type: none"> ○정비전 하구부 구간의 복개구조물내부에 오염에 의해 심한 악취 발생. ○2002년 6월 자연형 하천으로 복원공사를 실시하여 친수공간 확보 ○용진교 부근에 설치된 보의 가장자리에 퇴적토현상 발생(유량의 통수단면의 부족으로 인한 병목 및 백워터현상 발생: 수문이 상류부에 10*1.8이-2조, 하류부에 2.0*1.5-2조가 설치됨) 	<ul style="list-style-type: none"> ○깨끗한 하천의 자연환경과 수질을 확보하기 위한 범 시민운동(산지천보존사랑회 등)의 활성화 방안 강구 ○하류부의 기존 수문 사이에 통수단면을 확보하기 위한 수문을 추가로 설치(백워터 현상 방지 및 퇴적토 발생과 준설로 인한 유지관리비 절감)
도근천 (제주시)	2c (직류형, 산지형, 전석)	세그먼 트M (산간지)	<ul style="list-style-type: none"> ○도근천 하류부에 교량의 재가설과 여울 3개소, 보2개소, 소1개소 등을 자연친화적·친수공간으로 하천정비를 실시 ○여도의 미설치로 인한 어류 등의 수생생물들의 이동이 원활하지 못함 	<ul style="list-style-type: none"> ○소에는 수생식물을 식재하고 저수호안에는 버드나무등 조경수를 식재하여 친 환경적인 생태하천으로 조성 ○친수성 어도설치로 어류서식처 자연적인 하천환경 유도

Table 5-2 The present condition of stream in Juju island and improvement plans

하천명 (소재지)	분류방법		하천정비 현황	개선방안
	국내	일본		
광령천 (제주시)	1c (곡류형, 산지형, 기반암)	세그먼 트M (산간지)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 광령천 하류부(월대지역)에 도류제1개소 낙차보 및 어도설치3개소 호안 화단 울타리 정자 파고라 노천목욕탕을 시설하여 친수공간 조성 ○ 상시 하천으로 하상은 대부분 암이나 거석으로 이루어짐 ○ 중산간 지역이 협곡화됨 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정비가 필요한 일부구간을 대상으로 하여 최소한으로 하천정비 사업을 실시 ○ 중상류부 구간은 식생 파괴를 최소화 하여 자연환경을 최대한 보존
연외천 (서귀포)	1c (직류형, 산지형, 기반암)	세그먼 트M (산간지)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 호안정비공사시 선반천 주변의 무허가 건물 철거로 시민의 쉼터 조성 ○ 하천변의 유휴지에 자연학습지와 자연학습장 등을 조성 ○ 상류부의 하수차집관이 하천하상에 노출되어 경관과 오염의 우려가 있음 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 선반천 유수의 수질보호와 오염방지를 위해 하천변의 농경지 매입 ○ 하천변의 수변공원과 자연학습장 조성으로 시민 휴식공간을 확대 계획수립 방안 강구 ○ 장기적으로 하수차집관 이설계획을 수립하고 오염원을 제거하는 방안 강구

Table 5-2 The present condition of stream in Juju island and improvement plans

하천명 (소재지)	분류방법		하천정비 현황	개선방안
	국내	일본		
대포천 (서귀포)	2c (직류형, 산지형, 전석)	세그먼 트M (산간지)	<ul style="list-style-type: none"> ○평소는 와디와 같은 하천이나 폭우시 급격한 유량이 증가함 ○호안쌓기의 형태가 방파제 형태로 되어 주변 경관과의 부조화와 생물의 생태환경에 저해됨 ○원활한 배수처리를 위해 하상굴착 시행함 	<ul style="list-style-type: none"> ○중간간 지역에 소규모 저류시설 설치 방안 강구(상류하천의 적의한 지점에 소 또는 보를 설치하여 홍수시 유출량을 조절하고 지하수 함양을 도모함) ○호안쌓기를 현재 전석 쌓기 형태를 조경식(계단식) 쌓기로 자연석을 이용한 호안쌓기 공법으로 변경여부 검토(자연식생이 가능하도록 조성) ○하천정비는 하상굴착은 최대한 억제하여 자연형 하천으로 정비하고, 통수단면을 확보하는 방안을 강구

(2) 하천정비 사업은 우선 치수를 위해 수해가 발생하는 원인을 명확히 판단하고 통수단면이 부족하여 병목현상을 일으키는 일부구간을 대상으로 하여 최소한으로 하천정비 사업을 실시하여야 한다. 또한 자연적으로 형성되어 있는 식생 파괴를 최소화 하도록 한다. 제주도 하천의 하상은 용암이 흐르던 다양한 현무암질로 이루어져 있으며 이러한 특이한 하천의 자연환경을 보호하기 위하여 하상굴착은 최대한 억제하면서 하천정비 사업을 시행되어야만 한다.

(3) 하천정비 기본계획 수립시에는 도시화 및 하천정비가 완료되어 통수단면 확보가 불가능한 하류부 침수피해를 방지하기 위하여 토지확보가 비교적 쉬운 중산간 지역에 수규모의 저류시설을 설치하고 하천구간의 적정한 지점에 소 또는 보를 설치하여 홍수시 유출량을 조절하고 지하수 함양도 가능하도록 하는 방안을 강구해야 한다. 이러한 시설은 친수공간으로서 하천공원화 사업과 병행하여 추진해 나가야 한다. 도심구간에 하천의 범람 시 피해가 극심하여 수해를 입을 수도 있다. 또한 시가지 하천의 일부구간이 복개되어 하천개수 공사가 사실상 불가능 하며 통수단면을 확보하기 위한 토지확보가 어려우므로 도심하천(예, 병문천)의 치수를 위한 하나의 대안이 될 수도 있다.

(4) 하천 양안의 수려한 경관과 하천변의 자연석과 수목은 최대한 보존하고 통수단면이 부족하여 확장이 불가피한 구간에는 우회하여 통수단면을 확보(예 화북천)하는 등 자연암반 및 양안 수목은 최대한 보존하고 호안의 시공은 노루 등의 동물들이 다닐 수 있도록 완만한 경사(1:2이상)을 이루도록 하여 동식물들이 서식할 수 있는 공간을 마련해야 한다.

(5) 제주의 하천호안은 제주석을 사용하여 쌓는 등 가급적 친환경적인 재료를 사용하여야 하며 호안의 시공은 조경식으로 시공하여 자연석 사이에는 관목류 및 넝쿨류등을 심어 식생이 서식할 수 있도록 생태하천으로 조성해 나가야 한다.

(6) 하천정비 계획 수립 시 사업구간에 대한 현황조사 결과를 토대로 자연하천구간, 전원하천구간, 도시하천구간으로 기능을 구분하여 정비구

간, 정비. 자연구간, 자연보전구간으로 나누어 보존할 곳은 보존하고 정비해야 할 곳만 정비하여 자연환경 보전에 철저를 기하도록 해야 한다.

(7) 하천의 횡단구조물인 물막이보가 유수의 저류에는 어느 정도 기능을 다하고 있으나 주변경관과는 조화를 이루지 못하여(예, 연외천) 이를 자연친화적인 구조물의 형태로 변경할 필요가 있다. 또한 수문과 관련한 구조물도 재정비하여 주변 환경과 일체감이 있게 검토함이 바람직하다.

(8) 물막이보는 하천 상하류의 연속성을 단절시킴으로서 어류나 수생동물들의 이동을 저해하게 된다. 이들은 하천주변을 포함한 하천의 경관이나 하천생태계의 서식환경 및 어류의 이동을 배려하여 시설물을 배치하고 적절한 구조와 재질을 선택하는 방안의 검토가 필요하며 어도의 형태 및 공법은 정밀조사를 실시하여 결정해야 한다.



VI. 결 론

이 연구에서는 자연친화적인 하천정비 기법에 응용될 수 있는 국내외 하천분류체계를 분석·검토하여 제주도의 하천을 대상(산지천, 도근천, 광령천, 연외천, 대포천)으로 하천분류체계로의 적용성을 확인하고 그 성과를 기초로 향후 하천을 개보수하고 정비를 위한 방안을 도출.

1. 국외에서 개발한 공학적 하천분류체계인 Rosgen 하천분류, 미국 북서태평양의 하천분류, 영국 EA의 하천분류, 일본 및 국내의 하천분류를 분석하여 검토 하였다. 이 중 일본의 세그먼트 분류법과 국내의 분류법을 적용하여 제주도의 주요 5개 하천에 대하여 적용해 본 결과 다소 차이가 있으나 하천의 특성을 기술하는 면에서 거의 유사한 결과를 보였다.

2. 제주도의 하천은 대부분 경사가 급한 산지형인 세크먼트M으로 분류되었다. 이들 하천을 더욱 세분화하면, 산지천, 광령천, 연외천은 1c(직류형, 산지형, 기반암)로 구분되었으나 도근천과 대포천은 2c(직류형, 산지형, 전석)으로 구분되었다.

3. 제주도의 하천정비는 제방을 설치하거나 하천 시설물을 설치할 경우 집중호우에 의한 치수에 대비하기 위하여 내구성이 강하고 소류력에도 안정한 측면의 호안계획이 우선적으로 반영되어야한다.

4. 제주 하천의 호안시공은 동물들이 다닐 수 있도록 완만한 경사(1:2이상)를 이루도록 하고 식물들이 서식할 수 있도록 조경식(계단형)으로 이

루어 져야 한다. 제주의 하천호안은 제주석을 사용하여 쌓는 등 가급적 친환경적인 재료를 사용하여야 하며 자연석 사이에는 관목류 및 덩굴류등을 심어 식생이 서식할 수 있도록 생태하천으로 조성해 나가야 한다. 이때, 호안의 정비는 주변경관과 조화를 이루는 자연친화적인 구조물의 형태로 호안공법을 채택하여야 한다.

5. 하천의 횡단구조물인 물막이보가 유수의 저류에는 어느 정도 기능을 다하고 있으나 주변경관과는 조화를 이루지 못하여(예, 연외천) 이를 자연친화적인 구조물로 시설 되어야 하며, 수문과 관련한 구조물도 재정비하여 주변 환경과 일체감이 있게 하여야 한다.

6. 물막이보는 하천 상하류의 연속성을 단절시킴으로서 어류나 수생 생물들의 이동을 저해하게 되므로 하천주변을 포함한 하천의 경관이나 하천 생태계의 서식환경 및 어류의 이동을 배려하여 어도를 설치하며, 어도의 형태 및 공법은 정밀조사를 실시하여 결정해야 한다.

자연친화적으로 하천의 조성계획을 수립하고 사업을 시행하기 위해서는 반드시 사전 현장답사 등을 통해 원래 하천의 자연환경이 가지고 있는 지형적 형태를 확인할 필요가 있다. 그 다음으로 위에서 제시한 분류체계 등을 적용하여 해당 지역의 고유한 하천의 특성을 발굴하고, 이를 기준으로 본격적인 사업에 앞서 시범사업 또는 시험시공 등을 통해 적용 예정인 자연친화적 하천조성 기법이 특정하천의 대상구간에서 적합한 것인지를 면밀히 검토하여야 한다. 이상의 연구 결과는 제주도의 하천을 계획하고 시행하는 관계자 및 관리자에게 자연형 하천으로 정비하는 계획의 수립과 활용 시 예비적인 전문지식으로 충분히 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 건설교통부, 2001, 자연친화적 하천정비기법개발, pp 110-125
- 경기도 건설교통국, 2004, 자연친화적 하천정비 지침(시안), pp 110-121
- 김규호, 이찬주, 이두한, 우효섭, 2004, 지형인자를 이용한 하천분류 체계의 적용성 검토, 한국수자원학회 제37권 제1호, pp. 1-11
- 서귀포시, 2001, 지방2급하천(대포·회수) 정비기본계획 보고서, pp. 68-69
- 양희경, 2001, 지형 및 인위적 변수에 의한 산지 하천의 분류, 서울대학교 박사학위논문, pp. 35-53
- 우효섭, 2004, 국내하천사업의 진화와 전망 - 하천환경기능의 적극적 고려, 한국수자원학회 2004 학술발표회, pp 8-15
- 우효섭, 2001, 하천수리학, 청문각, pp. 843-844
- 제주시, 2001, 지방2급하천정비기본계획 보고서(삼수천, 이호천, 원장천, 도근천, 광령천), pp. 144-145
- 제주시, 2001, 지방2급하천정비기본계획 보고서(산지천, 화북천, 병문천, 한천, 방천, 부록천, 독사천), pp. 168-169
- 한국수자원공사, 2003.11, 하천자연도평가 지침, pp 9-22
- 환경부, 2002, 하천복원 가이드라인, pp 58-72
- 환경부, 2001, 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발, 1-6차년도 보고서, pp 201-220
- 建設省, 1996, 河道計劃策定の手引き(案) pp 280
- Montgomery, D. R., and Buffington, J. M., 1993, "Channel classification, prediction of channel response and assessment of channel condition", Report prepared for the SHAMW committee of the Washington State Timber/Fish/Wildlife Agreement, pp. 201-225
- Rosgen, D. L., 1996, *Applied River Morphology*. Hilton Lee Silvey, Lakewood
- Thorne, C. R., 1997, "Channel types and morphological classification."

Thorne, C. R., Hey, R. D., and Newson, M. D., John Wiley & Sons,
*Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and
Management*, Chichester, pp. 175-222



감사의 글

이 논문의 완성되기까지 많은 격려와 지도를 아낌없이 해주신 양성기 교수님과 논문의 내용을 검토하시고 바로 잡아주신 김상진 교수님, 박원배 박사님께 감사드리며 대학원 생활 동안 학업을 지도해주신 김남형 교수님, 남정만 교수님, 박상렬 교수님, 이병걸 교수님께도 감사드립니다. 논문이 완성되기까지 옆에서 아낌없는 도움을 주었던 일반대학원생 태혁군, 학부학생 우열, 상봉군에게도 감사의 마음을 전합니다.

또한 직장에서 학업에 충실할 수 있도록 배려해주신 제주시청 김찬종 과장님 과 이하 모든 분들께도 진심으로 감사의 마음을 전합니다.

늦은 대학원입학으로 어려움이 많았지만 이를 극복할 수 있도록 용기를 주고 항상 든든한 마음이 되어준 사랑스런 아내와 아이들에게 이 논문을 드립니다.