

연구논문

친환경 소하천의 수리적 안정성 분석에 관한 연구

김태경 · 이경훈** · 선병진*** · 최천호****

전남과학대학 지리정보토목과**, 전남대학교 건설지구환경공학부**, 해동건설(주)***, 순천대학교 시설과****
(2007년 3월 28일 접수, 2007년 4월 29일 승인)

A Study on Hydraulic Stable Analysis of The Natural Small River

Kim, Tae-Kyoung* · Rhee, Kyoung-Hoon** · Sun, Byoung-jin*** · Choi, Cheong-ho****

Dept. of Gis-Civil Engineering, Chunnam Techno College*
Dept. of Civil Engineering, Chonnam National University**
Haidong Engineering & Construction Co., Ltd.***
Dept. of Facility, Sunchon National University****

(Manuscript received 28 March 2007; accepted 29 April 2007)

Abstract

It started road constructions around river in 1990s. These maintenances concentrate on city river. Because river lives no living things and men don't come near there. But in spite of these river environment go to rack, river maintenances still keep on using preexistence method since 1990s. Only a part of city river environment maintenances consider environmental ability of passive river, river maintenance of a purpose of flood control still don't consider in the concrete. Because propulsion device that consider environment ability of passive river and possible application techniques don't complete.

In accordance, A natural river maintenance needs absolutly a series of river projects. Because a natural river maintenance prevents a damage of environment ability.

This study is to assume the flood really happened and to carry out the flood damage simulation needed in overflow simulation about the inundated zone. Also, This study examine unstable part about the hydraulic characteristic as velocities, stream power, shear, hydraulic depth, flow area in basin. And this study applied the HEC-RAS(river analysis system) model to predict flood overflow in youngsan river basin. Project flood is used the return period 100 year and inputed data that was calculated in intensity figures of illumination.

Key words : The Natural Small River, HEC-RAS, flood damage, hydraulic characteristic

1. 서론

최근에 우리나라를 비롯한 인류사회의 자연환경에 대한 인식의 고조와 인간과 자연의 상호관계에 관심이 크게 높아짐에 따라 우리의 생활주변에서 많은 변화들이 나타나고 있다. 그 가운데 우리의 생활 환경에서 중요한 비중을 차지하고 있는 하천 환경에 큰 관심을 가지게 되었다. 우리나라는 1980년대 이후 고도의 경제성장과 더불어 하천은 홍수로 인한 재해가 대부분을 차지하는 재해 특성에 맞추어 치수 중심으로 계획 및 정비되어 과거의 하천 형상과는 크게 변화하기 시작하였다. 이러한 하천정비는 장래에 예기치 않은 수재해 및 자연환경에 크고 작은 문제점을 야기하여 오늘날 우리생활에 많은 인명과 재산의 손실 주게 되었다. 이에, 하천의 이·치수 기능뿐만 아니라 환경기능에 대한 중요성이 많이 고조되어 최근들어 자연친화적인 하천복원 및 재·정비 사업이 곳곳에서 시행되고 있다. 그러나 우리나라는 현재 자연형 하천공법 적용이 초기단계를 걷고 있는 실정으로 수리적 및 치수 방재적 측면에서 자연형 하천공법의 안전성에 대한 표준화되고 일관된 분석 체계가 아직 구성되지 못하여 자연형 하천정비 공법의 실무적용에 많은 어려움을 겪고 있다. 특히, 소하천 유역은 지역적 특성이 두드러지고 계절에 따른 유량변화가 심하여 하천의 수리적 안정성에 대한 분석체계가 적절하게 갖추어지지 있지 못하는 실정인 것이다. 그러므로 인명과 재산을 보호할 수 있는 하천의 순기능과 더불어 하천 생태계 안전하게 유지될 수 있는 자연형 하천 공법의 개발을 위해 수리적 안전성을 지속적으로 관찰하고 분석할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 대상유역의 수리 수문학적, 기하학적, 기상학적 자료들의 상호관계를 분석하여 그에 따른 강우유출을 해석하고, HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System)모형을 이용하여 대상유역의 홍수위를 모의함으로써 자연형 하천 공법에 따른 소하천의 수리적 안정성과 하천 정비 전 후의 치수기능의 변화를 알아보고자 하였다. 본 연구의 결과 값들은 국내에서의 자연형 하천공법 적용에 따른 하천의

수리적 안정성을 판단하는 표준화된 분석체계를 마련하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것이며, 자연형 하천정비의 기준과 적용성을 확립하는데 중요한 의미를 가질 것으로 판단된다.

II. 이론적 고찰

1. 국내 소하천의 특징

국내 소하천은 하천의 집수면적이 작고, 홍수량은 집중호우에 지배를 받으며, 유로연장이 짧다. 하폭은 2~52m 정도로 편차가 크나 2~10m 정도의 경우가 약 80%이며, 유로연장은 0.5~12.0km이다. 대부분의 유역형상이 협소하고 긴 모양이고 하상경사는 1/30~1/100의 급경사를 이루고 있으며 홍수시 유속이 매우 커서 수해발생의 위험이 내포하고 있다.

표 1. 국내 소하천의 규모

지역	유역면적(km ²)	유로연장(km)	수로폭(m)
산지 지역	10.5 이내	5.0 이내	2~10
평야 지역	5.5 이내	4.0 이내	2~10
평균	8.0 이내	4.5 이내	6 이내

2. 친환경(자연형) 하천계획

하천유역에서 인간 활동이 확대되고 경제발전과 도시화가 진전되면서 자연상태 그대로의 모습이었던 하천은 환경적으로 현저하게 변화하게 된다. 일반적으로 하천은 치수기능이나 이수기능만의 단순 목적하에서 일률적으로 정비되거나 개발되면서 하천의 환경적 요소는 간과되어 버리는 경향이 짙었다. 또한, 수변환경은 국토계획상 도로, 철도, 공항 등의 타 사회간접자본 시설보다 그 중요성이 매우 적다고 인식한 나머지 하천이 갖고 있는 순기능을 손상케하여 일차적으로 하천의 친수성을 떨어지게 하였고, 하천환경도 점차 나빠지게 되어 결국 하천 생태계에 큰 위협을 주고 있는 것이다. 따라서, 기존의 하천정비의 개념을 뛰어넘어 치수기능, 이수기능 및 하천환경기능을 종합적이며 유기적인 관계로 조화롭게 유지하면서 하천의 각 기능을 극대화 시켜나가는 친환경 하천계획 및 시공이 이루어져야 한다.

친환경(자연형) 하천계획은 하천환경기능 가운데 특히 자연보전 요소 즉, 하천생태계의 보전을 위한 서식처 환경을 조성하고 하천 수변식생과 하천경관의 보전 및 향상을 위한 하천환경정비 및 관리가 되도록 하는 하천계획을 말한다. 또한, 자연형 하천계획은 하천의 환경적 요소를 복원 및 유지하도록 하는 새로운 형태의 하천정비와 관리에 관련한 하천계획이라 할 수 있다. 실제 친환경 하천계획이 가시적이고 실질적인 효과를 거두기 위해서는 시공성 및 경제성 등을 충분히 고려하여 실시하여야 하며, 체계적이고 지속적인 유지관리 계획도 포함시켜야 한다.

우리나라는 현재 아직까지 치수 및 이수시설의 정비가 충분한 상황이라고 할 수 없으나, 지속적으로 확대되어 가고 있는 하천의 정비 및 이·치수사업 시행시 하천의 환경적 기능을 고려하여 실시한다면 UN에서 환경보호와 경제개발을 조화시킬 수 있는 대안으로 제시된 ESSD (Environmentally Sound and Sustainable Development) 개념에 부합될 뿐만 아니라 환경영향평가의 기본 원칙에 대응하는 종합적인 하천정비가 될 수 있을 것이다. 따라서, 앞으로 우리나라에서도 유럽의 ‘근자연형 하천공법’, 미국의 ‘서식처 수리학 및 하천복원’, 일본의 ‘다자연형 하천공법’ 등과 같은 자연적 하천정비 기법을 고려한 이른바 자연형 하천계획이 전국 하천

에 모두에 적용되어 하천정비가 종합적으로 이루어져야 할 필요성이 있다.

3. 친환경 하천공법의 정의

친환경(자연형) 하천공법이란 하천정비 및 하천복원 등의 하천 개·보수공사시 하천을 친환경적으로 자연과 가깝게 만들기 위한 공법을 말한다. 다음 그림 1(좌)는 직강화되고 호안이 콘크리트구조로 단순화된 기존의 하천공법이며, 그림 1(우)는 환경 친화적 하천공법으로 시공된 모습을 나타낸 사진이다.

III. 대상유역 및 입력자료

1. 대상유역의 현황

본 연구의 대상유역은 전라남도 서남부에 위치하는 진도군의 소하천으로 석교천, 군내천, 고군천, 의신천 등 지방2급 하천 수계로서 소하천이 당동천 등 20개소이고, 기타 수계의 소하천이 대사천 등 28개소이다. 그림 2와 같이 대사천, 신동천, 금노천 3지점의 소하천을 대상유역으로 선정하였으며, 대상유역의 평균고도는 EL.25.88m~EL.178.05m에 위치하여 기복이 심한 구릉지 형태를 이루고 있고 유역의 평균경사 역시 8.4%~69.2%로서 경사가 급한 지형을 나타내고 있다.



그림 1. 기존의 하천공법과 자연형 하천공법의 비교

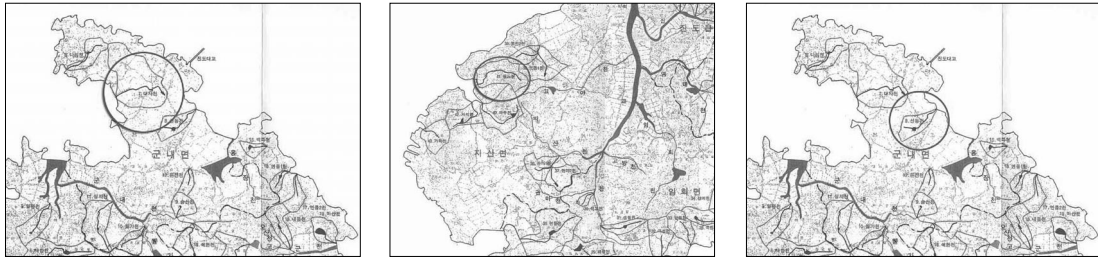


그림 2. 대상유역 위치도(좌로부터 대사천, 금노천, 신동천)

표 2. 대상유역의 유역현황

하천명	산정지점	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유역평균 (A/L)	형상계수 (A/L ²)	평균고도 (EL.m)	평균경사 (%)	하상경사
대사천	대사천하구	4.95	2.83	1.75	0.618	29.14	8.41	1/797
	무명천 합류점	2.06	1.98	1.04	0.525	26.70	12.8	1/1975
	대사2교지점	0.57	0.93	0.61	0.659	25.88	14.3	1/125
금노천	금노천하구	2.81	3.28	0.86	0.261	113.79	29.7	1/56
	금노3교 지점	2.37	2.57	0.92	0.359	127.32	30.8	1/57
신동천	신동천 하구	1.14	2.20	0.52	0.236	37.72	20.7	1/245

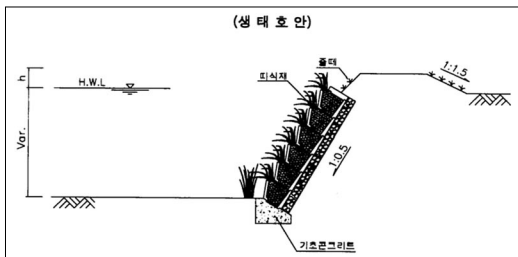


그림 3. 생태 호안

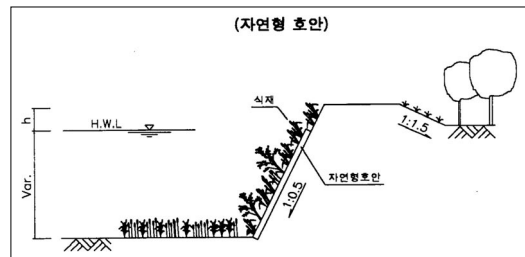


그림 4. 자연형 호안

2. 대상유역의 지형특성 및 적용호안

유역의 특성 중 유역면적과 유로연장은 하천을 이해하고 유역의 수문사상을 분석하는데 중요한 요소이다. 유출분석이 용이하고 소하천 정비의 기준이 될 수 있는 주요지점 중 각 하천 합류점의 유역면적과 유로연장, 형상계수 등을 구하였다. 또한, 평균고도는 진도군에 위치한 소하천중 대사천이 EL. 25.88m~29.14m로서 가장 낮게 위치하고 있다. 대상하천의 유역현황은 표 2와 같으며, 대상유역에 적용한 자연 하천공법의 호안은 그림 3과 그림 4와 같은 2종류이다.

3. 대상유역의 수문자료 및 홍수량 산정

1) 수문관측

대상유역의 지역에는 우량관측소가 없으므로 대상유역 인근에 위치한 해남관측소의 자료를 이용하였으며 관측기록은 1972년 관측을 시작한 이후 현재까지 관측을 계속하고 있다. 해남관측소의 년평균 강우량은 1972년~1999년의 기록을 산정해본 바 약 1,302.7mm로 우리나라 연평균 강우량 1,274.0mm보다 다소 높은 것으로 나타났다.

2) 유출

대상하천 내에는 실측된 유량측정 자료가 없으므로 Kajiyama 월별 유출고 공식에 의하여 유출량을

표 3. 대상구역의 월평균 유출량 (단위: 10⁶m³)

하천명	월 별												계
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
대사천	0.06	0.06	0.11	0.21	0.19	0.28	1.08	1.01	0.46	0.13	0.10	0.07	3.76
신동천	0.01	0.01	0.02	0.05	0.04	0.07	0.25	0.23	0.11	0.03	0.02	0.02	0.86
금노천	0.03	0.04	0.06	0.12	0.11	0.16	0.61	0.57	0.26	0.07	0.05	0.04	2.12

표 4. 대상구역의 수자원 부족량

하천명	유역면적 (km ²)	연평균 강우량 (mm)	수자원 부족량 (10 ⁶ m ³)	유출량(10 ⁶ m ³ /년)			손실량 (10 ⁶ m ³ /년)
				홍수시	평상시	계	
대사천	4.95	1302.7	6.45	2.83	0.93	3.76	2.69
신동천	1.14	1302.7	1.49	0.66	0.20	0.86	0.63
금노천	2.81	1302.7	3.66	1.60	0.52	2.12	1.54

산정하여(해남관측소의 강우자료를 이용) 산정하였으며, 하천별 월평균 유출량 계산결과 및 수자원 부족량은 다음 표 3과 및 표 4와 같다.

3) 홍수량 산정

대상구역내의 홍수량 산정은 강우량 및 유역의 특성으로부터 기본공식들을 이용한 간접적인 방법

표 5. 빈도별 홍수량 산정

하천명	산정지점	산정방법	빈도별 홍수량(m ³ /sec)						
			10년	20년	30년	50년	80년	100년	
대사천	대사천하구 (DS0)	유역추적법	64.4	73.1	77.6	84.3	90.1	92.8	
		NAKAYASU	51.0	58.8	63.0	69.0	74.4	76.9	
		KAJIYAMA	98.5	111.1	119.4	129.7	139.9	144.9	
		합리식	54.8	59.9	62.4	66.8	70.5	72.3	
	무명천합류전 (DS1)	유역추적법	29.7	33.6	35.6	38.6	41.2	42.4	
		NAKAYASU	21.5	24.7	26.4	28.8	31.0	32.0	
		KAJIYAMA	43.8	49.4	53.1	57.7	62.2	64.4	
		합리식	24.4	26.6	27.6	29.5	31.0	31.8	
	대사2교지점 (DS2)	유역추적법	10.0	11.3	11.9	12.8	13.6	14.0	
		NAKAYASU	7.8	8.8	9.3	10.1	10.8	11.1	
		KAJIYAMA	12.3	13.9	15.0	16.3	17.5	18.2	
		합리식	7.4	8.0	8.3	8.9	9.3	9.5	
금노천	금노천하구 (GN0)	유역추적법	33.1	39.1	42.2	46.7	50.5	52.3	
		NAKAYASU	26.7	31.9	34.7	38.6	42.0	43.6	
		KAJIYAMA	55.0	62.1	66.7	72.5	75.1	80.9	
		합리식	32.0	34.9	36.3	38.8	40.8	41.8	
	금노3교지점 (GN1)	유역추적법	29.9	35.4	38.2	42.2	45.6	47.2	
		NAKAYASU	21.6	25.9	28.2	31.3	34.1	35.4	
		KAJIYAMA	48.1	54.2	58.3	63.4	68.3	70.8	
		합리식	27.6	30.0	31.2	33.3	35.0	35.8	
		신동천하구 (SD0)	유역추적법	16.5	18.8	20.0	21.6	23.1	23.8
			NAKAYASU	23.1	14.0	14.9	16.3	17.5	18.0
KAJIYAMA	23.0		26.0	28.9	30.3	32.7	33.9		
합리식	13.5		14.6	15.2	16.2	17.1	17.5		

으로 산정하였다. 10년, 20년, 30년, 50년, 80년, 100년의 6개 빈도에 대하여 산정하였으며, 빈도별 홍수량은 100년 빈도값을 사용하였다. 빈도 홍수량은 표 5와 같다.

IV. 분석방법

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System)모형은 자연하천이나 인공하천에서의 정상류(Steady Flow) 상태의 점변류 수면곡선의 계산을 위해서 미 공병단이 개발하였다. 또한, 정상류의 해석 이외에도 비정상류(Unsteady Flow) 시뮬레이션, 이동하는 침전물 운반 계산, 교량의 세굴 계산을 할 수 있고 수공구조물의 영향을 수면곡선에 반영할 수 있으며, 하천의 홍수터 잡식

과 제방의 영향을 모의하고 분석하는데 널리 이용되고 있다. HEC-RAS모형에 입력되는 지형자료에는 하도의 형태, 합류점, 분류점 등이 쓰이며 하천의 횡단면 자료로 하도단면의 지반고과 제방의 위치, 구간별 길이와 조도계수 값 등이 들어가며, 본 연구에서는 조도계수 값을 제외한 하천의 기하학적 자료들을 '2001년 장성군 소하천 정비종합계획'의 자료로 구성하였다. HEC-RAS모형을 이용하여 정상류를 해석하려고 할 때에는 재현기간별 확률홍수량을 입력하고 모의 적용구간의 경계조건을 입력함으로써 표준축차법에 의해 수면곡선이 계산되어진다. 흐름에 대한 하도 저항의 정도를 표시하는 조도계수는 하천의 여러 가지 수리계산을 시행할 경우 가장 중요하고 기본적인 인자의 하나이며, 하천수위 산정시 조도계수가 수위에 미치는 영향이 크므로 정확도가

표 6. 자연형 하천 정비 전 후의 조도계수

Station Number	개수전 조도계수(n)	개수후 조도계수(n)	조도계수 변화량(증가량)	Station Number	개수전 조도계수(n)	개수후 조도계수(n)	조도계수 변화량(증가량)
47.24	0.048	0.03	0.018	25	0.042	0.03	0.012
47	0.042	0.03	0.012	24	0.042	0.03	0.012
46	0.042	0.03	0.012	23	0.042	0.03	0.012
45.32	0.042	0.03	0.012	22	0.042	0.03	0.012
45.27	0.042	0.03	0.012	21	0.048	0.03	0.018
45	0.055	0.03	0.025	20	0.042	0.03	0.012
44	0.042	0.03	0.012	19	0.042	0.03	0.012
43	0.042	0.03	0.012	18	0.048	0.03	0.018
42	0.042	0.03	0.012	17.03	0.048	0.03	0.018
41	0.042	0.03	0.012	17.02	0.048	0.03	0.018
40	0.042	0.03	0.012	17	0.048	0.03	0.018
39	0.066	0.03	0.036	16	0.042	0.027	0.015
38	0.042	0.03	0.012	15	0.042	0.027	0.015

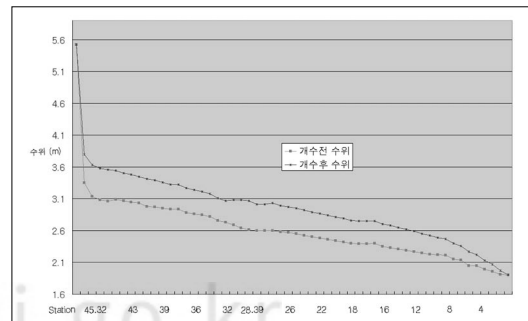
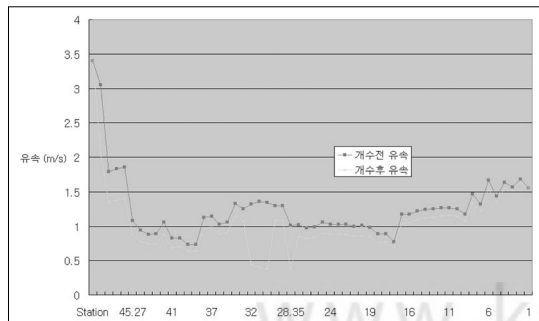


그림 5. 대상하천의 수리적 특성 변화

높은 조도계수가 요구되고 있다.

V. 결과 및 고찰

대상유역에서의 조도계수 결정은 Cowan 방법을 적용하였으며, 조도계수 산정 결과는 표 6에 나타내었듯이 전 유역에 걸쳐 조도계수가 상승하였다. 또한, 대상 하천의 수리적 특성 변화 중 유속변화는 그림 5에서 나타내었듯이 하천 개수전의 유속이 개수 후의 유속보다 전체적으로 높게 나타났으며, 수위변화는 개수후가 개수전보다 높게 나타났다.

VI. 결론

본 연구에서는 친환경 자연형 소하천 공법에 따른 조도계수의 변화를 살펴보고, 대상유역을 HEC-RAS모형을 이용해 친환경 자연형 소하천정비에 따른 소하천의 수리적 특성 및 안정성을 모의 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 대상유역인 전라남도 진도군의 소하천 3지점에 대해 HEC-RAS모형을 이용하여 모의한 결과, 개수전의 대사천의 평균수위는 2.62m, 금노천의 평균수위는 12.99m, 신동천의 평균수위는 3.69m로 나타났다. 자연형 하천으로 개수 후 대사천의 평균수위는 2.96m, 금노천의 평균수위는 13.07m, 신동천의 평균수위는 3.96m로 자연형 하천 정비 후 모든 대상유역의 평균 수위가 높아지는 것으로 나타났다. 따라서 자연형 하천정비시 수위 상승에 따른 제방의 여유고 확보에 대한 검토를 해야 할 것으로 판단된다.

2. HEC-RAS 모형 모의 결과 개수 전의 대사천 평균유속은 1.26m/s, 금노천 평균유속은 3.55 m/s, 신동천의 평균유속은 1.85m/s로 나타났다. 자연형 소하천으로 정비 된 후의 대사천 평균유속은 1.05m/s, 금노천 평균유속은 3.39m/s, 신동천 평균 유속은 1.56m/s으로 나타나 대상 소하천 3지점 모두 자연형 하천정비로 인해 유속이 감소하였다. 자연형 소하천 정비에 따른 지나친 유속의 감소는

유수의 정체를 야기하므로 수질 악화 등의 예기치 못한 환경적 문제점도 신중히 검토해야 할 것으로 판단된다.

3. 금노천의 개수 전과 후의 유속을 비교하면 Station Number 27~22구간인 상류측에서만 유속이 크게 감소하고 중 하류부는 개수 전과 후의 유속이 일치하였다. 이는 상류부에 비해 중 하류 쪽으로 갈수록 하폭이 넓어지고 선형의 곡률이 작아 조도계수의 영향을 거의 받지 않았기 때문으로 판단된다.

4. 유속이 감소하는 구간들 중 특히 만곡이 심한 대사천의 Station NO. 47에서의 유속감소량은 0.99m/s로 대사천의 평균 유속 감소량인 0.21m/s의 4.7배로 나타났고, 금노천의 Station NO. 26에서는 유속감소량이 1.02m/s로 평균 유속감소량인 0.16m/s의 6.4배로 나타났다. 그리고 신동천의 Station NO. 15의 경우 유속감소량이 0.68m/s로 평균유속 감소량인 0.29m/s의 2.3배를 초과하는 것으로 나타났다. 만곡에 의한 유속의 감소는 수위의 상승을 야기하지만 반면에 유수소통의 지연을 가져와 유수소통 시간이 짧음으로 인해 발생하는 소하천의 급작스런 범람피해에 대한 재해대책에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

참고문헌

- 한국건설기술원, 1999, 국내 여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발.
- 건설부, 1994, 자연형 하천설계기법 및 하천유량과 수질의 상관성 조사 연구
- 행정자치부, 1994, 자연형 하천설계 기법 및 하천유량과 수질의 상관성 조사 연구.
- 국립방재 연구소, 1999, 자연형 하천공법의 재해특성 분석에 관한 연구.
- 이경열, 1998, 양재천 자연형 하천 복원 계획.
- 심영욱, 1998, 자연형 하천 공법과 국내 적용에 관한 연구.
- 이종상, 1998, 자연형 하천 공법과 그 적용에 관한 연구.

이병창, 2002, 자연형 하천 시공에 따른 하도의 홍수위 변화를 예측.

도준현, 2002, 분포모형을 이용하여 자연하천의 강우-유출해석에 관한 연구.

송경석, 2002, 자연형 하천공법 적용 후의 지속적인 모니터링에 관한 연구.

최종원고채택 07. 05. 14