

대형인공하천실험을 통한 하천기술개발의 새로운 방향(II)

- 자연공생하천 조성을 위한 다기능 하천실험장



김 창 완
수석연구원, 한국건설기술연구원 수자원연구부/
cwkim@kict.re.kr



이 두 한
선임연구원, 한국건설기술연구원 수자원연구부/
dhlee@kict.re.kr



우 효 섭
연구위원, 한국건설기술연구원 수자원연구부/
hswoo@kict.re.kr

4.2 일본 이와타케가와 실험하천

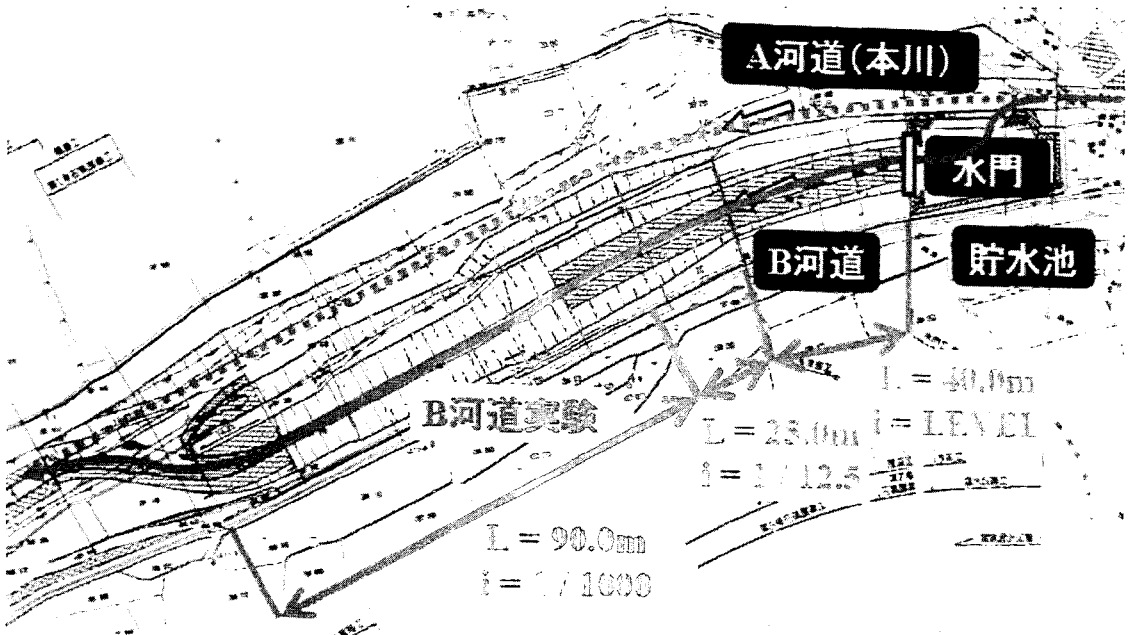
이와타케가와 실험하천은 자연소재를 이용한 하천 만들기의 가능성과 자연과의 조화를 실증하기 위한 실험하천으로 후쿠오카현의 동부에 위치하는 부젠시(豊前市)를 관류하는 이와타케천에 위치하며, 신설 방수로로 인하여 폐쇄된 구하도를 이용하고 있다. 실험하천의 운영은 부젠시, 서일본공업대학, (재)후쿠오카현 건설기술 정보센터로 구성된 이와타케 하천연구소에서 하고 있으며, 2003년 9월에 완공되어 현재 치수와 관련된 실험이 진행 중이며, 향후 하천환경기술의 실험도 계획하고 있다.

이 실험하천은 모형실험이나 시뮬레이션이 아닌 실제의 하천에서 홍수를 재현하여 돌쌓기호안의 내력 실험 등을 실시하는 시설로 실제 하천에서 호안의 강도나 하천바닥의 변형 등을 실험하는 시설로서는 일본 유일의 시설이다. 실험하천은 A하도(환경테마)와 B하도(치수테마)로 구성되며, 연장은 200m이다. A하도는 미정비, B하도는 돌을 붙인 호안과 낙차공을 설치하고 유량확보를 위해서 상류에 저수지와 게이트(최대 5.0 m³/s를 5분간 방류)를 설치하였다.

치수실험으로 돌쌓기의 내력에 관한 시험, 하천바닥 다지기나 낙차공의 내력시험, 하안의 변형(하도내의 돌, 모래 등의 이동)에 관한 실험 등이 진행 중이다. 환경실험으로는 자연 호안이나 잔디 호안의 성능 시험, 환경호안공법의 성능 시험, 수생식물의 생식환경 적성에 관한 시험 등이 계획 중이다.

그림 10은 자연석 낙차보에서 홍수 중의 외력을 실험하기 위한 실험장치(삼분력계)와 실험결과를 나타내며, 그림 11은 인공홍수를 발생시켜 외력 실험을 하

1. 서론
2. 대형인공하천 실험이란?
3. 미국의 대형인공하천실험 사례
4. 일본의 대형인공하천실험 사례
 - 4.1 일본의 자연공생센터
 - 4.2 일본의 이와타케가와 실험하천
5. 한국형 대형인공실험하천 다기능 하천실험장
 - 5.1 다기능 하천기술 및 실험계획
 - 5.2 해외사례 분석결과
 - 5.3 한국형 다기능 하천실험장 계획
6. 결론



※縦断勾配はB河道の勾配である

그림 9. 이와타케가와 실험하천 평면도

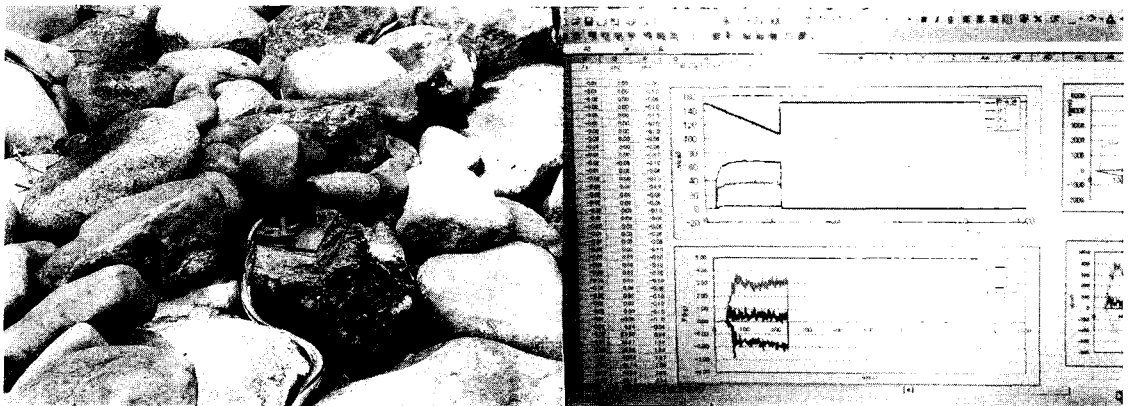


그림 10. 낙차보 외력 실험 장치 및 결과

고 있는 광경이다.

5. 한국형 대형인공실험하천 다기능 하천실험장

치수 및 환경 기능을 동시에 보장하는 다기능 하천 기술의 개발을 위해서는 실제 하천에서 발생하는 하천 구성요소(흐름, 하도, 유사, 식생, 생태, 구조물)들

의 상호작용에 대한 연구가 필수적이며, 이를 위해서 대형인공실험하천을 이용한 실험적인 하천 연구방법이 필요하다. 다음에서는 다기능 하천의 구현을 위한 요소기술을 제시하고, 일본의 사례를 참고하여 한국형 다기능 하천실험장을 통한 하천연구의 기본방향을 제시하고 마지막으로 구체적인 실험장 구축 계획을 소개하고자 한다.



그림 11. 낙차보 외력 실험 전경

5.1 다기능 하천기술 및 실험계획

다기능 하천(자연공생하천) 조성을 위한 요소기술은 다음의 7가지 요약하여 제시할 수 있다.

- ① 다기능 하도형태 설계기술
- ② 다기능 하도 관리기술
- ③ 다기능 하천구조물 설계기술
- ④ 하천 서식처 설계 기술
- ⑤ 하도복원 유도기술
- ⑥ 다기능 호안공법
- ⑦ 하도내 수질 관리 기술

각각의 기술에 대하여 보다 구체적으로 서술하면 다음과 같다.

■ 다기능 하도 형태 설계기술

홍수에 안전하며, 생태가 풍부한 하도의 평면, 횡

단, 종단 구조를 설계하는 기술이다. 기존의 하도 설계 방법은 하천 유사 및 하상변동의 불확정성, 식생과 하도 변화의 상관관계, 홍수 규모에 따른 하도 응답, 생태계 영향 등으로 치수 및 환경 측면에서 개선의 여지가 많다.

다양한 규모의 인공홍수 실험을 통해서 하도 형태의 반응과 식생 등의 생태계 인자와 상호작용을 명확히 하여 하도 설계기술에 반영한다.

■ 다기능 하도 관리기술

기존의 하도관리는 통수능 확보를 위한 과도한 확폭, 주기적인 준설에만 의존하는 하도관리, 식생역의 확대에 따른 통수능 부족 등으로 요약할 수 있다. 하도 형태 변화 실험, 침수빈도에 따른 하도변화 실험, 자연 하안 형성 실험, 구조물에 의한 하도 변화 실험 등을 통해서 자연적 메카니즘에 의한 하도 관리기술을 개발한다.

■ 다기능 하천구조물 설계기술

기존의 하도 횡단구조물(보, 낙차공, 수제 등)은 자연하도의 발달을 제약하여 하도의 기형적 발달, 국부적인 흐름의 정체 및 과도한 유속발생의 문제를 발생시키며, 생태적으로 단절과 왜곡 효과를 주고 있다. 하천구조물이 하도 및 생태에 미치는 영향을 실험하여 다기능 하천구조물 설계기술을 개발한다.

■ 하천 서식처 설계 기술

자연하도의 평면구조(사행, 사주), 종단구조(소 및 여울), 횡단구조(자연 하안) 등이 고려되지 않은 기존의 하도 계획은 다양한 하천 서식처를 제공하지 못하고 있다. 자연의 하도 구조 실험 및 완도 등의 하도습지 실험을 통해서 다양한 서식처 공간 창출 기술을 개발한다.

■ 하도복원 유도기술

인공적인 하도복원은 흐름, 유사, 식생의 상호작용을 적절히 반영하지 못하는 경우, 하도 발달의 과도한 억제로 인하여 홍수시 치수안정성을 위협하기도

하고 생태적으로 다양한 서식공간을 제공하지 못할 수도 있다. 인공적 하도개수를 최소화한 자연적 하도 형성 및 생태형성 과정을 실험하여 자연의 복원력을 이용하는 하도복원 유도기술을 개발한다.

■ 다기능 호안공법

기존의 호안공법은 하도의 자연적 발달과 생태계 서식 공간으로서의 기능을 충분히 고려하지 못하여 치수적으로 불안정하고 생태적으로 불리한 측면이 많았다. 대형인공실험하천 실험을 통해서 하도 발달과 호안의 침식 억제력 및 기능, 생태계와의 상호작용을 연구하여 치수와 환경이 보장되는 다기능 호안공법을 개발한다.

■ 하도내 수질 관리기술

하도형태, 식생, 구조물, 홍수 등의 영향에 의한 수질의 자연적 변화를 연구하여 하도 내의 최적 수질 관리기술을 개발한다.

5.2 해외사례 분석 결과

일본의 자연공생센터는 세계 최초의 본격적인 수리생태실험시설로 그 동안 수많은 시행착오를 거듭하

여 제자리를 잡은 것이다. 그 결과 수리생태학 분야의 선진적인 연구를 수행하고 있다. 동 센터의 연구팀은 실험결과를 바로 현장에 적용하는 것은 어려우나 실제 하천의 상태를 평가할 수 있는 수준으로 자체 평가하고 있다. 현재는 하천과 생태계의 상관관계에 대한 기초연구에 집중하고 있다. 현재의 주된 연구 영역은 사행하천과 직선하천의 생태계 양상 비교, Band-aid 구조물(수제)의 생태계 영향, 자연유량과 인공유량에 따른 생태계 영향, 홍수터 유무에 따른 생태계 영향 등에 대하여 연구하고 있다.

본 연구진이 2003년 6월에 일본 토목연구소와 자연공생센터를 방문하여 일본측 연구진과 우리나라에 구축하고자 하는 다기능 하천실험장의 기능과 규모를 일본의 사례와 비교·분석한 바 있다(그림 12). 이 때 일본측 연구진은 일본 사례의 문제점을 다음과 같이 지적하면서 향후 우리나라에 다기능 하천실험장이 완공되면 서로의 실험장을 이용한 공동연구를 제안한 바 있다.

먼저 치수관련 실험의 부재가 가장 큰 문제이다. 이는 본류하천의 유량 부족, 본류하천과 같은 하상경사 유지, 식생에 의한 유속 저하 등의 복합적인 문제로서, 당초 계획한 2m/sec의 유속도 확보되지 않고



그림 12. 토목연구소와 대형인공하천실험 공동 검토 (일본 토목연구소, 2003년)

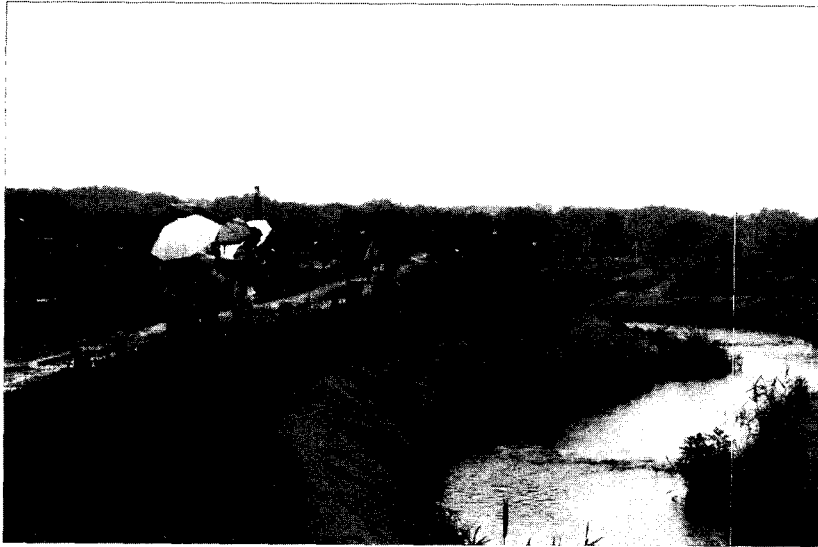


그림 13. 식생제어를 위한 매트 설치(일본 자연공생센터)

있다. 기본적인 유량 및 유속이 실험하천의 하상변동을 일으킬 규모가 아니므로 당초에 계획한 치수관련 실험을 실시하지 못하고 있는 실정이다. 특히 식생의 번무는 다양한 흐름 조건 형성에 큰 장애로 작용하고 있어 그림 13과 같이 매트를 이용해서 식생에 의한 흐름의 영향을 억제시키고 있다. 또한 유사공급 시설의 부재로 치수실험은 물론이고 유사와 관련된 다양한 생태실험도 이루어지지 않고 있다. 또한 자연유량을 일시 저류하여 인공홍수를 발생시키는 방식으로 인하여 홍수를 원하는 시기에 발생시키지 못하고 실험하천에 유량을 공급하는 신경전에서 일정 규모의 홍수가 발생한 경우에만 홍수 실험이 가능한 단점도 있다. 이 외에 예산부족으로 실험호소는 현재 실험이 이루어지지 않는 상태이다. 생물 추적을 위한 텔레미터 시스템은 많은 예산이 투입되었음에도 전문인력의 부족으로 활용이 되지 못하고 있다.

따라서 한국형 다기능 실험장에서는 수로의 유량과 유속을 충분히 활용하는 시스템으로 계획할 필요가 있다. 또한, 실험하천의 이동상 현상이 발생이 용이하도록 하도를 계획할 필요가 있다. 아울러 유사공급계획 및 생태환경을 적절히 제어할 수 있는 계획이 필수적이다. 특히, 다양한 치수관련 실험을 동시

다발적으로 수행할 수 있도록 실험하천의 개수를 늘리는 것이 바람직하다.

5.3 한국형 다기능 하천실험장 계획

일본의 자연공생센터 사례를 참고하고, 치수실험의 계획을 강화하여 한국형 다기능 하천실험장 구축계획을 수립하였다. 치수실험의 강화를 위해서 구조물의 파괴와 하천의 이동상 현상이 재현되는 유량과 유속을 확보하도록 계획하였다. 위치는 유량의 상시확보가 가능한 경안천 하류부(그림 14)로 구상하였다. 경안천 하류부의 폐천부지에는 습지생태원이 조성되어 있어 향후 본 다기능 하천실험장과 연계하여 실험, 교육, 홍보가 연계되는 하천환경 테마파크로 발전시키는데 매우 유리한 입지조건으로 판단된다. 다기능 하천실험장의 주요 시설은 실험수로 3개(각 400m 규모, 장래에 5개로 확장), 실험호소 3개, 우입수조 및 저류조, 유입펌프시설(최대 16m³/s), 기타 조명 및 모니터링 시설, 실험동 등으로 구성되어 있다(그림 15 및 16). A1번 수로는 호안 안정성 등 치수실험을 위한 수로이며, 최대 유속 5m/sec을 확보하는 구조이며, A2번 수로는 장기간의 생태모니터링을 통해 물리구조와 생태구조의

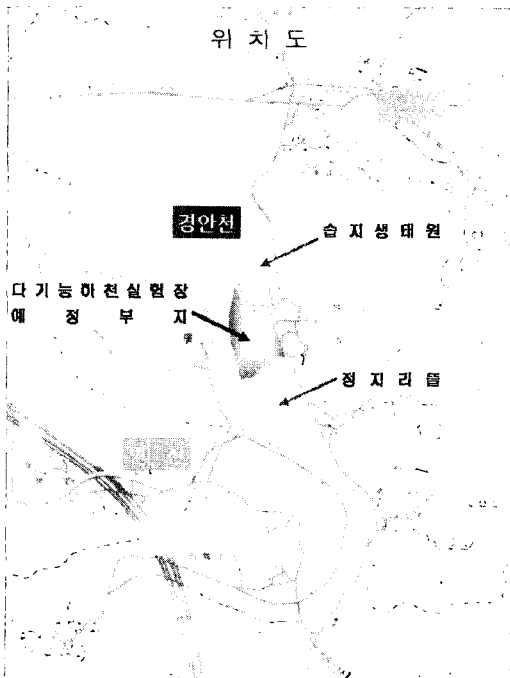


그림 14. 한국형 다기능 실험장 위치도(예정지)

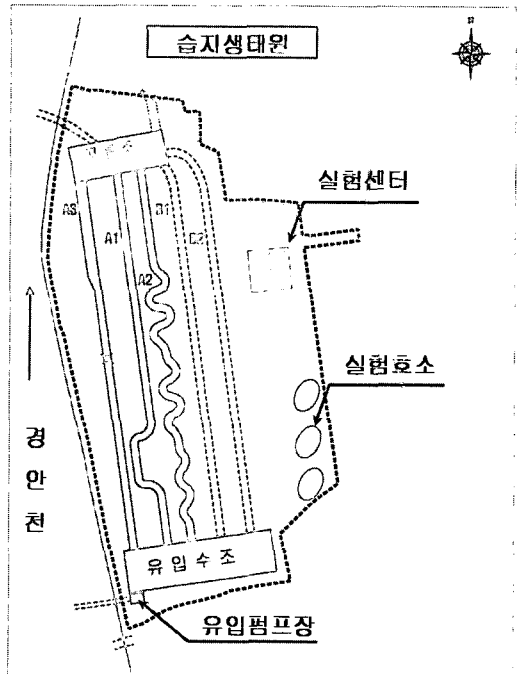


그림 15. 다기능 하천실험장 배치도

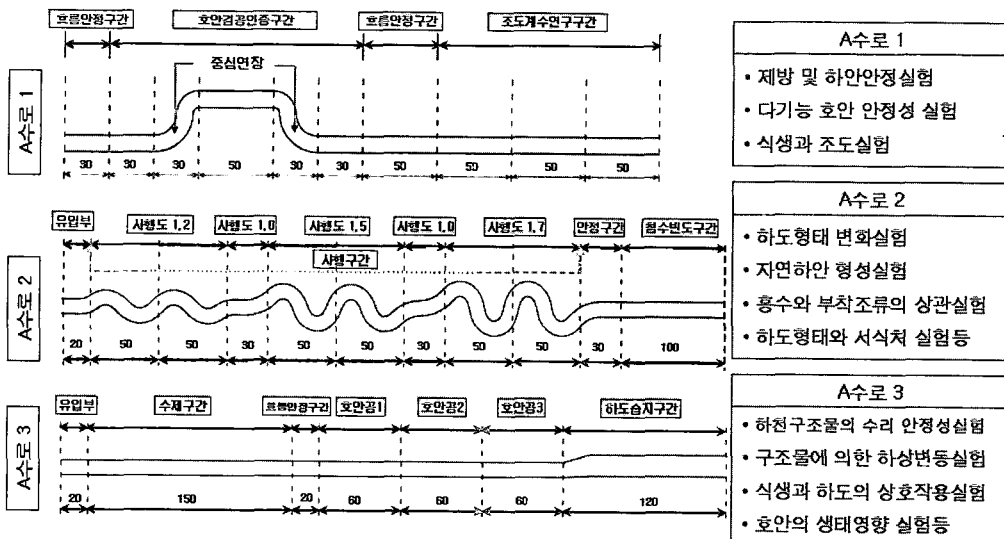


그림 16. 다기능 하천실험장 수로계획

상관성을 실험하는 수로이며, A3번 수로는 하천 구조물과 식생의 수리특성을 실험하는 수로이다. 경안천 습지 생태원과 연계하여 구축된 다기능 하천실험장의 조감도는 그림 17에 보인 바와 같다.

다기능 하천실험장에서 수행할 하천실험을 치수실험과 다기능 생태 실험 범주로 나누어 볼 수 있으며, 각 범주의 실험항목과 특징은 표 2와 3에 보인 바와 같다.

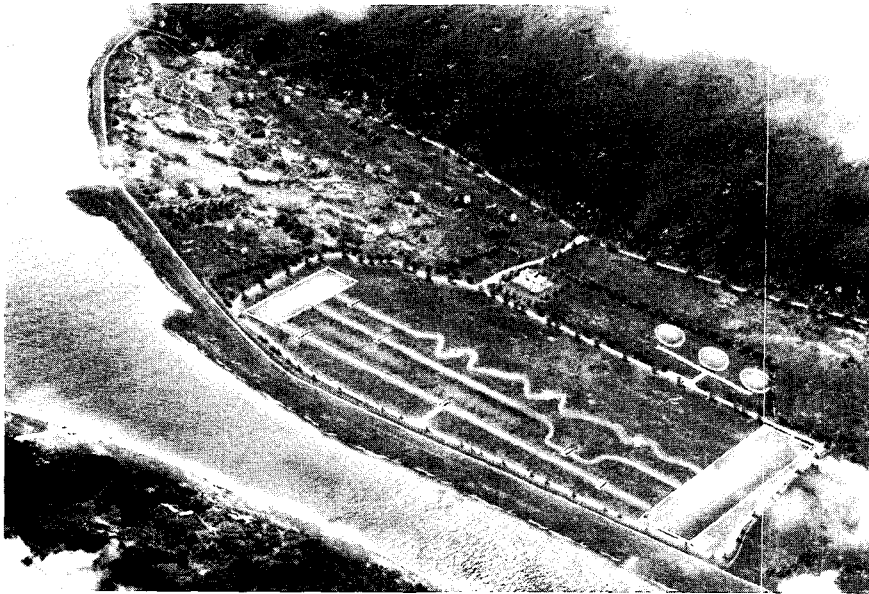


그림 17. 다기능 하천실험장 조감도

표 2. 치수실험 계획

실험항목		특 징
제방 및 하안 안정실험	제어사항	경사 : 1:2경사를 기준으로 다양한 경사로 제방 설계 재료 : 좌·우안을 동일한 형태로 유지하나 재료만 상이하게 설계
	관찰사항	홍수 모의시 주목할 만한 변화가 나타난 위치 파악
호안 안정성 실험	제어사항	호안 : 서로 다른 두 종류의 호안 설계
	관찰사항	홍수 모의시 주목할 만한 변화가 나타난 위치 파악 호안에 문제가 발생하는 유량, 유속, 소류력 관찰
하천 수리구조물 안정성 실험	제어사항	하천구조물 : 수제, 보, 어도 등의 설치 유무
	관찰사항	하천구조물의 파괴시기 및 기능 상실 여부 하천구조물로 인한 유수소통 변화
하도형태 변화 실험	제어사항	사행도 : 사행도를 상이하게 설계 1.0구간 : 60m, 1.2구간 : 100m, 1.5구간 : 100m, 1.7구간 : 100m
	관찰사항	홍수 모의 전·후로 하여 하천의 단기적인 하도 변화 관찰실험이 전체적으로 완료된 후 하도 변화 관찰 ← 장기적인 하도 변화 관찰
식생과 조도 실험	제어사항	하상 및 호안 재료 : 콘크리트 호안과 서로 다른 특성을 가진 두개의 식생 호안 설계 식생 : 식생의 종류, 성장상태, 조밀도 등을 다르게 설계, 여러 종류의 식생이 동시에 존재하게 설계
	관찰사항	식생의 특성에 따른 조도계수 산정
하상재료 분급 실험	제어사항	경사 : 1/100~1/1,000의 경사가 이루어지게 설계 유량 : 유량변동(홍수)의 발생 유무
	관찰사항	경사에 따른 하상재료의 분급 특성 파악 홍수가 발생된 하천과 발생되지 않은 하천의 하상재료 분급 연구, 홍수 전후에 하상재료 분급 특성 분석
구조물에 의한 하상 변동 실험	제어사항	유량 : 하상의 상태가 변할 수 있도록 홍수량의 모의 발생
	관찰사항	홍수의 발생 등 유량의 급속한 변화가 있을 때, 해당 사상의 직후의 변화를 구조물 위주로 조사 유량 변동이 없는 경우 일정한 기간마다 하상의 변화를 구조물 위주로 조사

표 3. 다기능 생태실험 계획

실험항목		특 징
유량 및 침수빈도 변화에 따른 생태 영향 실험	제어사항	고수부지 고도 : 서로 다른 표고(1.4, 1.25, 1.10, 0.95, 0.80, 0.65m)를 가지는 고수 부가 존재하게 설계 침수빈도 : 고수부지 고도에 따라 침수빈도를 다르게 모의
	관찰사항	침수빈도별 식생의 개체수, 번무 정도, 종 다양성, 우점종, 생태구성의 특성 등을 파악
식생과 하도의 상호작용실험	제어사항	호안 재료 : 상류는 콘크리트로 피복, 하류는 서로 다른 식생으로 조성
	관찰사항	서로 다른 호안 및 식생의 종류에 따른 하도의 형태적 변화 양상 파악 식생이 하천수, 하상재료, 침식 및 퇴적, 유사의 발생·이송에 어떤 영향을 주는가를 파악 하도의 여러 특성 변화에 따른 식생의 반응 관찰
호안의 생태영향실험	제어사항	호안 : 서로 다른 형태를 가진 호안 설계
	관찰사항	서로 다른 형태를 가진 호안이 생태계에 주는 영향 파악
하천 구조물의 생태 영향 실험	제어사항	수제의 형태 : 동일한 재료로 여러 가지 형태의 수제 설치 수제의 재료 : 동일한 형태로 다양한 재료의 수제 설치
	관찰사항	수제의 설치 유무에 따른 수생동물의 생태 특성(개체수, 종 다양성, 우점종 등) 조사 수제의 형태 및 재료에 따른 생태 특성 비교 분석
하도 형태와 서식처 실험	제어사항	사행도 : 사행도를 상이하게 설계 1,0구간 : 60m, 1,2구간 : 100m, 1,5구간 : 100m, 1,7구간 : 100m 습지형태 : 서로 다른 표고와 하천수의 유입형태를 가지는 4개의 습지 설계
	관찰사항	각 사행도별 서식처의 제공 여부 및 이에 따른 생물 특성 파악 분석 각 습지가 가지는 특성에 따른 생태 특성 조사
하천 식생 종간의 경쟁 실험	제어사항	식생 : 외래종과 고유종을 각각 3종류 이상씩 선택하여 파종
	관찰사항	전체 식생에 대한 우점종을 조사하여 식생간 경쟁에서 나타나는 특성 파악
홍수와 부착조류의 상관 실험	제어사항	유량 : 부착조류에 영향을 줄 만한 홍수 모의
	관찰사항	홍수발생 전·후에 부착조류에 대한 조사
식생과 수질의 상관 실험	제어사항	식생 : 수질개선 효과가 기대되는 식물과 일반적인 하천에서 발견되는 식물을 식재
	관찰사항	하천수질의 영향이 이루어졌다고 판단될 경우 수질 측정

6. 결론

이상홍수에 대비하고 하천환경의 향상에 기여하는 하천 설계 및 관리기술이 절실히 요구되고 있다. 특히, 실험실증을 통한 과학적인 기술개발의 방향을 설정하고 그 방법론을 정립하는 것이 시급한 실정이다.

기후환경 변화에 따른 이상홍수는 전세계적인 문제로 선진외국에서도 자국의 하천 특성에 맞는 새로운 기술개발에 주력하고 있다. 하천환경 기술은 현재 우리나라에서 적용되고 있는 단순한 환경정비에서 벗어나 우리나라 하천 특성에 맞는 자연 복원 또는 자연재생의 개념으로 급격히 변화하는 추세이다.

이와 같은 국내외적인 기술환경의 변화는 우리나라 특성에 맞는 보다 선진화된 치수기술 및 환경기술 개발이 시급히 요구된다는 사실을 재확인시켜 주고

있다. 이 시점에서 다기능 하천기술개발을 표방하는 ‘한국형 다기능 하천실험장’은 국내의 하천관리 및 하천관련 기술개발의 새로운 방향을 제시할 것으로 기대되며 하천기술개발의 유일한 대안으로 판단된다. 더 나아가 경안천 습지생태원과 연계하여 국내 유일의 하천환경 테마파크로 발전할 것으로 기대된다.

■ 감사의 글

‘한국형 다기능 하천실험장’은 한국건설기술연구원 기관고유사업 “한국형 다기능 하천실험사업”의 일부로 연구가 수행 중이다. 본 하천실험장 구축 계획에 대하여 법률검토, 예산확보 및 추진절차에 대하여 면밀히 검토해주신 건설교통부 하천계획과 및 서울지방국토관리청 하천국 담당자 분께 심심한 감사를 드립니다.