

생물 서식환경 조성 기술 개발



김규호 >>

한국건설기술연구원 책임연구원,
하천·해안연구실실장
kxkim1@kict.re.kr



김철 >>

호남대학교 토목환경공학과 교수
kuchul@honam.ac.kr



안홍규 >>

한국건설기술연구원 선임연구원
ahnhk@kict.re.kr

1. 머리말

건설교통부는 2000년대에 들어 치수 기능만을 위한 공학적 하천관리 정책에서 벗어나 국민 삶의 질 향상과 다음 세대를 위한 깨끗하고 살기 좋은 국토환경 조성 및 복원 차원에서 하천의 환경 기능을 개선하기 위한 복원사업을 시작하였다. 이와 같이 치수 위주의 정책에서 환경기능을 동시에 고려하는 자연친화적 하천 정책으로의 전환을 위해서는 관련 기술의 뒷받침이 필요하며, 이를 위해 수차례의 중소규모의 정책과 시범 연구용역을 통해 하천 환경관리를 위한 기술 및 정책, 제도 등을 개발하였다. 그러나 하천 환경 보전 및 복원에 대한 구체적인 체계적인 기술 개발은 이루어지지 않았으며, 특히 생물을 대상으로

하는 하천 생태유량 산정 및 생물서식처 관련 연구는 시급히 수행되어야 할 과제로 부상되었다.

하천은 통상 물리, 화학, 생물의 3대 요소로 구성되며, 특히 물에 의한 수생역의 생태 기능이 중요하다. 일반적으로 하천공간을 횡방향으로 분리하면 물이 흐르는 수역(水域), 수역과 접하여 물의 영향을 받는 수제역(水際域), 그리고 일상적으로 물의 영향을 받지 않는 육역(陸域) 즉, 홍수터로 구분할 수 있으며, 이를 통틀어 수변공간이라고 한다. 생물 서식환경은 이러한 수변 공간 내에 다양한 생물 서식처 구조로 이루어진다. 그러나 기존의 직선 일변도의 하천 정비와 관리기술은 사실상의 생물 서식처를 파괴함으로써 생물 다양성 소멸을 초래하고 있는 실정이다. 따라서 성공적인 하천복원사업을 위해서는 각 생물의 서식환경 특성을 고려할 수 있는 생물 서식환경 조성 기술 개발이 필요하다.

본 연구단의 제 3세부과제에서는 (1) 흐름영역에서의 하천생태계 서식처 공간 해석 및 조성 기술 개발 (2) 생태호안의 안정성 확보와 생물 서식기능 보전을 동시에 고려할 수 있는 기술 개발 (3) 생물 서식공간의 잠재성과 구조에 대한 평가 및 조성기술 개발과 같은 3개의 세세부과제로 구분하여 단계별 연구계획을 수립하여 추진하고 있다.

2. 연구목표 및 연구내용

제 3세부과제인 “생물 서식환경 조성 기술 개발” 연구에서 다루고 있는 3가지 세세부과제는 다음과 같다.



사진 1. 서식처 및 생태 호안 예

• 제 3-1 세세부과제

- 최종목표: 하천 생태 유량 산정 및 확보기술 개발
- 연구내용: 하천 생태환경 모니터링을 통해 생태계의 성장 및 이동 등의 다양한 생태계 특성을 정량화 하며, 이 자료와 하천 특성과의 상호 관계 분석을 통해 단일종과 군집종의 생애주기 설정 및 서식처 적합도 지수를 개발한다. 또한 개발된 적합도 지수와 기존의 하천생태 유량산정 프로그램 등을 활용하여 국내 실정에 적합한 물리적 하천 생태유량 산정 기법을 개발한다.

• 제 3-2 세세부과제

- 최종목표: 생태호안 설계기술 개발
- 연구내용: 국내 하천 특성에 맞는 생태호안 수리안정성 평가 기법을 개발한다. 특히 식생 조건별

호안 안정화 기술과 관련된 제품의 평가 및 개발을 수행하고, 생태호안 설계 가이드라인을 제시한다.

• 제 3-3 세세부과제

- 최종목표: 하도 서식처 조성기술 개발
- 연구내용: 하도내 생물 서식처 형태를 유형별로 구분하고 분석함으로써 하도내 서식처의 질과 양을 결정짓는 인자 추출 및 이에 적합한 서식처 개발 기술을 도출한다. 실험 등을 통하여 개발된 기술의 타당성을 검토한다.

이와 같은 3세부과제는 2011년까지 5개년 동안 진행되며, 각 연차별 세세부과제의 연구목표 및 주요 연구내용은 표 1과 같다.

표 1. 연차별 연구목표 및 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차 년도	• 3-1: 생태 수리해석 및 서식 평가 기법 개발	- 생태 수리해석 기술 개발(I) - 서식조건 평가 기법(I) - 서식처 적합도 지수 설정 기법(I) - 하천 생태서식 환경 모니터링(I)
	• 3-2: 호안 수리 안정성 평가 기법 개발	- 호안 평가 기법 개발 - 생태호안 수리적 안정성 개발
	• 3-3: 생물 서식처 평가 및 조성 기술 개발	- 생물서식처의 물리적 구조결정 및 적합성 평가 - 복원대상종 생물서식처 복원기법개발 - 하도 생물서식처 조성 기술개발

표 1. 연차별 연구목표 및 연구내용(계속)

연 차	연구목표	주요 연구내용
2차 년도	• 3-1: 생태 수리해석 및 서식 평가 기법 개발	- 생태 수리해석 기술 개발(II) - 서식조건 평가 기법(III) - 서식처 적합도 지수 설정 기법(III) - 하천 생태서식 환경 모니터링(II)
	• 3-2: 생태호안 수리 안정성 및 호안 안정화 기술 개발	- 호안 평가 기법 개발(II) - 생태호안 수리적 안정성 개발(II) - 저수/고수호안 안정화 기술 개발
	• 3-3: 생물 서식처 평가 및 조성 기술 개발	- 생물서식처의 물리적 구조결정 및 적합성 평가 - 복원대상종 생물서식처 복원기법개발 - 하도 생물서식처 조성 기술개발 - 생물서식처 설계 및 안정화 기술개발
3차 년도	• 3-1: 하천 생태유량 산정 기법 개발	- 서식처 적합도 지수 개발 - 하천 생태유량 산정 기법 개발 (K-PHABSIM 개량) - 하천 생태서식 환경 모니터링(III)
	• 3-2: 호안 안정화 기술 개발	- 호안 평가 기법 개발(III) - 생태호안 수리적 안정성 개발(III) - 저수호안 안정화 기술 개발(모형실험) - 고수호안 안정화 기술 개발(모형실험)
	• 3-3: 생물 서식처 평가 및 조성 기술 개발	- 생물서식처의 물리적 구조결정 및 적합성 평가 - 복원대상종 생물서식처 복원기법개발 - 하도 생물서식처 조성 기술개발 - 생물서식처 설계 및 안정화 기술개발
4차 년도	• 3-1: 하천 생태유량 산정 및 확보 기술 개발	- 하천 생태유량 산정 기법 개발 (RCHARC 개량) - 조절 및 비조절 하천 생태유량 확보 기술 개발(I) - 하천 생태서식 환경 모니터링(IV)
	• 3-2: 생태 호안 안정화 기술 개발	- 저수호안 안정화 기술 개발(원형실험) - 고수호안 안정화 기술 개발(원형실험)
	• 3-3: 생물 서식처 복원 및 조성 기술 개발	- 복원대상종 생물서식처 복원기법개발 - 하도 생물서식처 조성 기술개발 - 생물서식처 설계 및 안정화 기술개발
5차 년도	• 3-1: 하천 생태유량 산정 및 확보 기술 개발	- 하천 생태유량 산정 기법 개발 - 조절 및 비조절 하천 생태유량 확보기술 개발(II) - 하천 생태서식 환경 모니터링(V)
	• 3-2: 생태 호안 안정화 기술 현장 검증	- 저수 및 고수 호안 안정화 기술 개발 (시범사업 및 모니터링) - 생태호안 설계 가이드라인 작성
	• 3-3: 하도서식처 조성 기술 개발	- 복원대상종 생물서식처 복원기법개발 - 하도 생물서식처 조성 기술개발 - 생물서식처 설계 및 안정화 기술개발

3. 연구진 구성

제 3세부과제의 연구진 구성은 그림 1과 같다. 한

국건설기술연구원이 주관연구기관이고, 이 외에 산업체 2곳과 6개의 대학 및 1개의 출연 기관이 각 세세부과제를 맡아 수행한다. 특히, 3차년도 부터는 일본

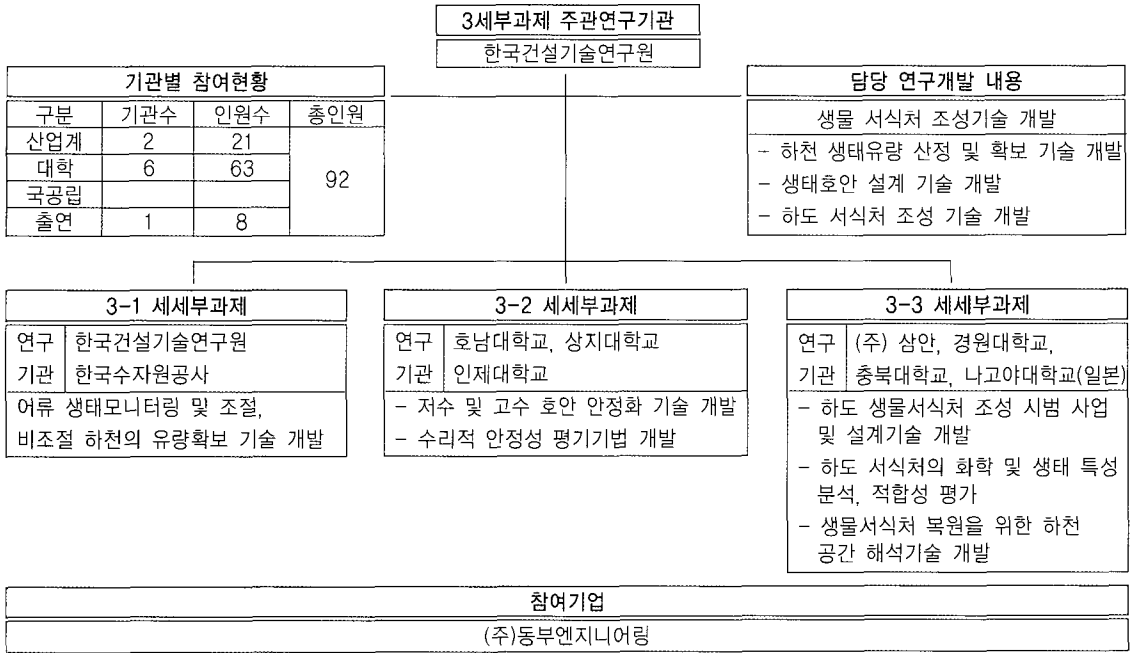


그림 1. 제 3세부과제 연구진 구성도

나고야 대학의 Tsujimoto 교수 연구팀과의 국제 공동연구가 계획되어있다. Tsujimoto 교수는 하천 생태수리학 분야에 있어 세계적으로 저명한 교수로서, 추후 본 연구단과 함께 생물서식처로서의 수계 활용 방안에 대해 연구를 진행할 예정이다.

4. 중간 연구성과

4.1 생태 유지 유량 산정 및 확보 기술 개발

하천 어류 서식 환경의 구성 성분은 크게 적절한 수질, 섭식과 생활을 위한 공간, 산란과 부화 공간, 휴식과 피난을 위한 은신처 등이 필요하다. 어떤 하천에서 서식처 구성 성분의 범위는 하천의 물리적, 생화학적, 수리학적 특성에 따라 달라진다. 하천이 크고 작건 완전한 서식처를 제공하기 위해서는 하천 자체가 어류 서식에 적합하게 형성되어 있는 하도의 구성과 형상을 통한 적절한 흐름 영역이 요구된다. 흐름 영역은 과거 자연 상태 홍수와 갈수, 시간 변동

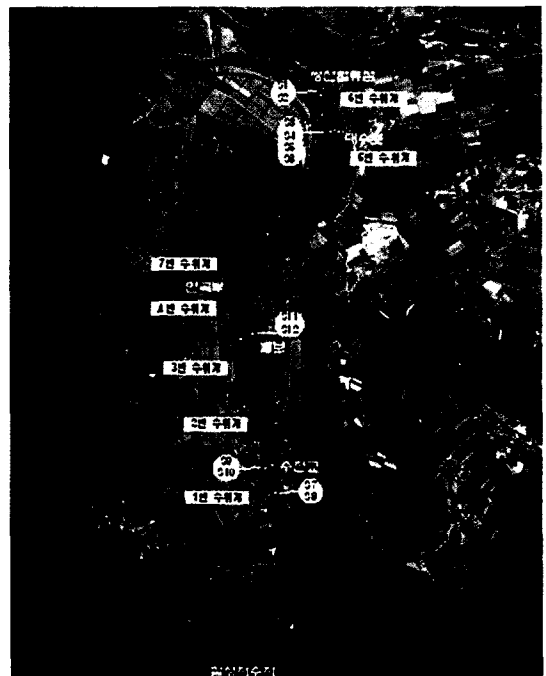


그림 2. 현장 항공사진 수위표

성을 갖는 유황 자체 뿐만 아니라 대규모 댐과 저수지 개발, 각종 취수로 인한 유황 변경까지 포함된다.

본 연구에서는 이와 같은 흐름 영역에서의 물리 서식처 구조를 모의 및 생태 유량을 산정하고, 지속적인 하천 모니터링을 통한 서식처 적합도지수를 제시하고자 한다.

4.1.1 2차원 생태수리 해석

2차원 생태수리 해석 모형인 River2D 모형을 이용하여 물리서식처 모의를 수행하였다. River2D 모형은 유량점증방법론(IFIM: Instream Flow Incremental Methodology)에 입각하여 개발된 수리 및 물리 서식처 평가 모형이다. 본 연구에서는 실내 수로에 수공 구조물이 존재하는 경우에 대한 흐름 변화와 이로 인한 물리 서식처 특성 변화를 수치모의하고, 실험 결과와 비교하였다. 또한 그림 2와 같이 달천 구간에 대해 유량 별 물리서식처 모의를 수행하였다. 계산 결과는 그림 3과 그림 4와 같다. 평시 발전방류량인 1.5 cms를 적용하여 물리서식처 모의를 수행한 결과, 가중가용면적이 5.7 m²이 산정되었으며, 서식처 공간이 최대가 되는 유량(20 cms)을 가정

하여 모의한 결과 가중가용면적이 190.2 m²인 것으로 나타났다. 또한 대상구간에 평시 발전방류량을 공급할 경우, 여울 구간에서 서식처가 확보되고 있는 것을 확인할 수 있으며, 이러한 결과는 어류를 포획하는 사람들의 현장 청문조사에서도 확인되었다. 한편, 서식처가 최대가 되는 유량을 공급할 경우 여울 구간의 서식환경은 과도한 유속 등의 원인으로 인해 악화되는 것으로 나타났다.

4.1.2 간편 물리서식처 해석 모형 개발

기존의 생태수리해석 프로그램의 경우 입력자료의 구축이 어렵고, 국내 실무 인력의 생태수리해석에 대한 경험 부족으로 인하여 물리서식처를 예측하는데 있어 많은 어려움이 있었다. 따라서 본 연구에서는 사전 계획단계에서 손쉽게 대상 하천 구간의 개략적인 생태수리해석을 수행을 하기 위한 간편 물리서식처 모형을 개발하였다. 본 모형은 각 단면을 대상으로 물리서식처를 평가하는 모형으로 필요한 입력자료는 대상 단면의 절점개수, 조도계수, 수위-유량 관계

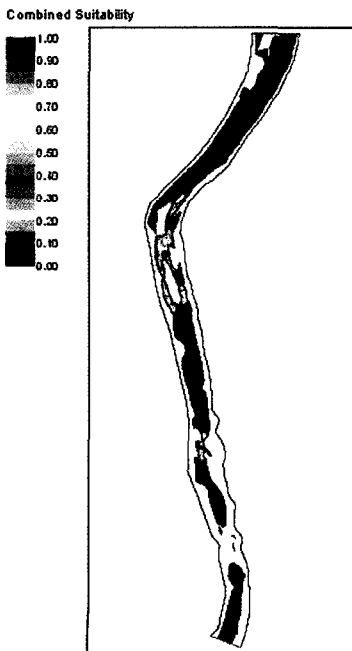


그림 3. 가중가용면적 분포(1.5 cms)

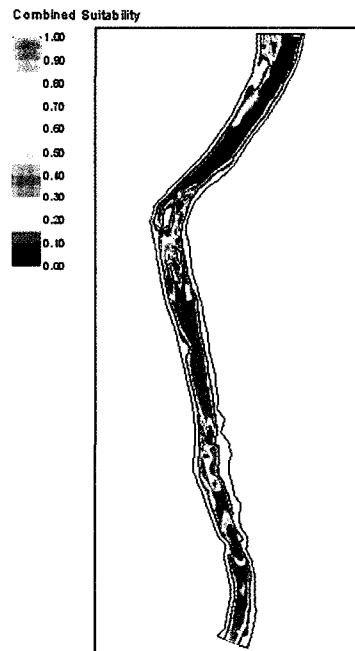


그림 4. 가중가용면적 분포(20 cms)

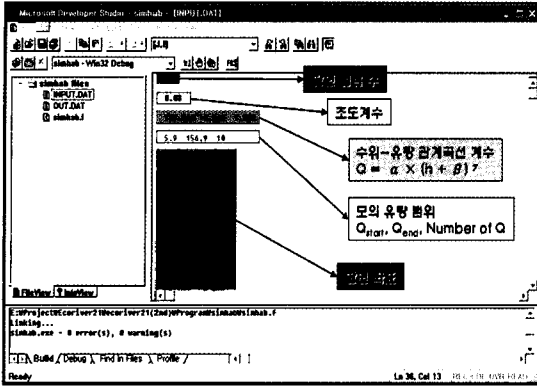


그림 5. 간편 물리식처 해석모형

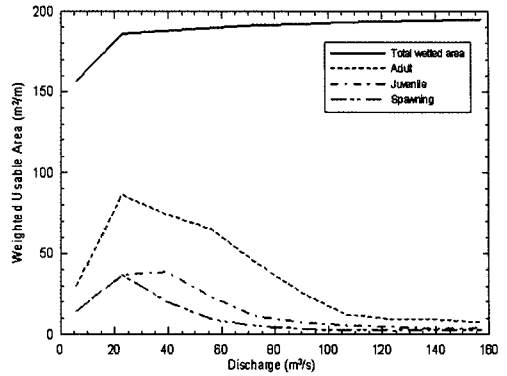


그림 6. 유량에 따른 가중가용면적 변화

곡선의 계수이다(그림 5참조). 본 모형은 입력된 유량 조건별 대상 단면에서의 수위, 유속 및 서식처 적합도를 도출한다. 그림 6은 금강수계 이원 수위표지점에서 계산된 유량에 따른 가중가용면적의 변화에 대한 결과 예이다.

4.1.3 어류생태 모니터링 및 서식처 적합도 지수 산정

본 연구에서는 금강수계 13개 지점에 대하여 하천 단면, 유량, 수심, 하상토 입도 분석 및 어류 모니터링을 실시하였다. 표 2는 정읍천에서의 어류생태 모니터링 및 서식처 적합도 지수 산정에 대한 한 예를 보여준다. 서식처 적합도 지수는 하천 측량 및 어류 조사 자료를 근거로 하여 각 조사지점에서 WDFW (Washington Department of Fish and Wildlife) 에서 제시한 어류서식처 적합도 기준을 이용하여 작성하였다. 특히, 서식처 적합도 지수는 하천 생태유

량을 산정하는데 있어 가장 중요한 기본 자료이고, 좀 더 정확한 적합도 지수를 산정하기 위해서는 지속적인 현장 모니터링이 필요하다. 따라서 선진 외국의 경우 수십 년 전 부터 하천 모니터링을 수행 중에 있다. 이에 본 연구에서는 5개년 전체에 걸쳐 다양한 어종에 대한 지속적인 모니터링을 수행할 예정이고, 좀 더 정확한 서식처 적합도 지수를 산정하기 위한 접근법을 개발 중에 있다.

4.2 생태 호안 설계 기술 개발

4.2.1 호안평가기법

한강수계 19개 하천, 영산강과 섬진강 10개 하천 및 낙동강 수계 하천에서의 호안 공법 평가를 위한 현장 조사를 실시하였다. 평가 항목은 크게 호안재료, 수리안정성, 환경성, 어메니티와 관련된 사항으로서 각각의 세부 항목 별로 1-5점의 점수를 부여하

표 2. 조사 방법 및 지점(예: 정읍수위관측소 지점 정읍천)

조 사 결 과			
			
유량계를 사용한 유량조사	투망을 사용한 어류조사	포획어류의 분류	서식처 적합도 지수 산정

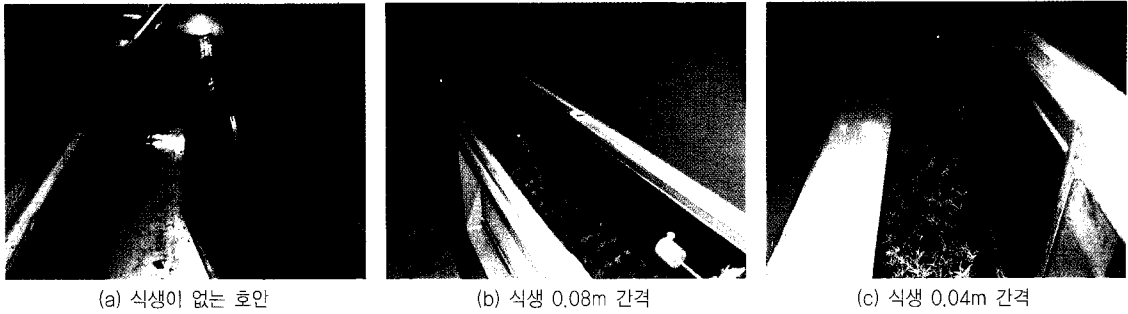


그림 7. 실험 수로 전경

는 방식으로 진행하였다. 또한 영산강, 섬진강 유역의 10개 하천을 선정하여 하천에 자생하는 식생종과 군락을 파악하였다. 그 결과 가장 많은 지점에서 나타난 군락은 총 25개 지점 중 12 지점에서 자생하고 있는 것으로 확인된 쑥군락이었으며, 그 다음으로 달뿌리풀군락, 개밀군락 순으로 나타났다. 이 외에도 한강호안 시범조성지역에 대한 모니터링을 수행 중에 있다. 이를 통해 지속적인 호안의 피해상황과 식생재료의 활착과정 및 식생 양육 상태 등을 기록하고, 이는 추후에 생태호안의 안정성 평가에 있어 중요한 자료로 활용될 것으로 기대된다.

4.2.2 식생에 의한 호안의 안정성 분석

본 연구에서는 식생 호안에 대한 수리적 안정성을 분석하기 위한 실내 실험을 수행하였다. 먼저, 국내 호안에서 주로 자생하고 있는 갈대, 달뿌리풀, 억새 등의 식생을 이용하여 실험실 성장실험을 통해 생육 속도, 활착정도, 뿌리내림 등을 관찰하였다. 또한 성장 실험과정 중 각 수종별, 토양 타입별, 수분 공급 정도 등에 따라 생육과정을 모니터링하고, 뿌리의 인발력 실험과 전단강도, 인장력 실험 등을 수행하였다. 한편, 국내 하천에 가장 많이 적용되고 있는 콘크리트 식생블록을 선정하여, 식생블록 호안에 식생 조건 별 수리특성 변화를 분석하기 위한 실내 실험을 수행하였다. 그림 7은 식생이 없는 수로와 식생이 식재된 수로의 모습을 보여주고, 표 3은 식생조건별, 유량 변화별 측정된 유속 분포도이다. 표를 살펴보면, 식생밀도가 증가할수록 호안부의 유속이 감소되면서

수로 쪽의 유속이 증가되는 것을 볼 수 있다.

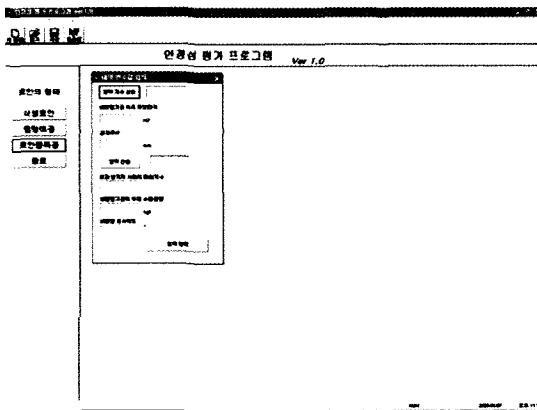
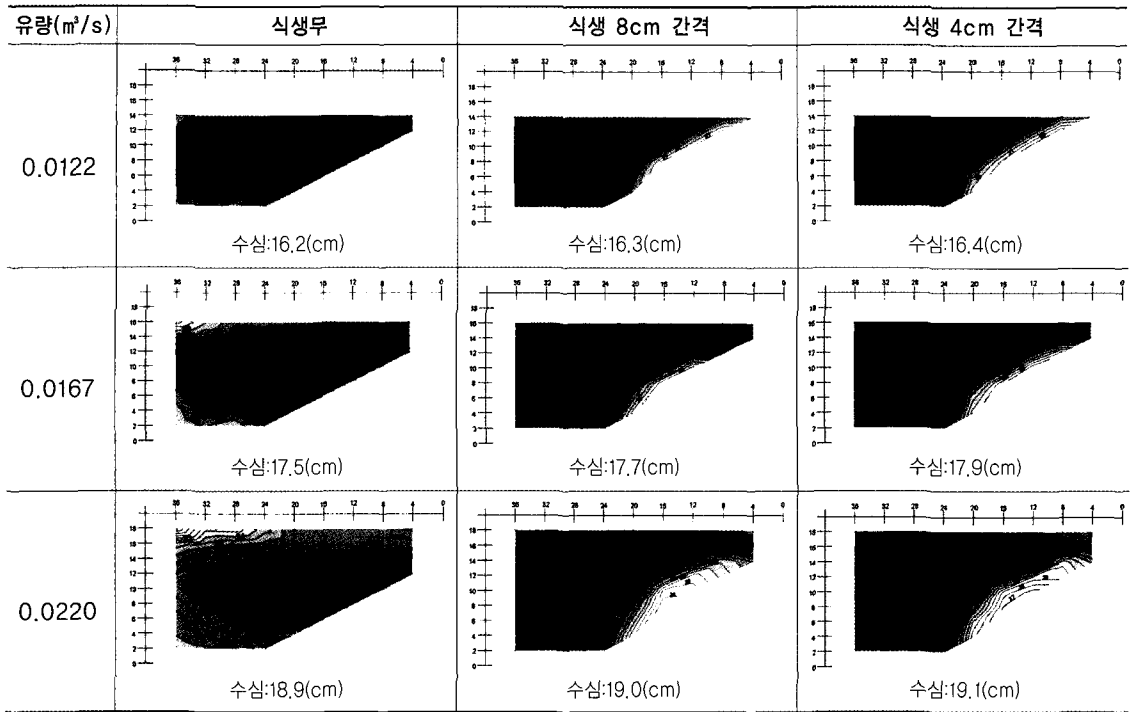
4.2.3 호안 안정성 평가

본 연구에서는 사석보호공의 안정성을 고찰하기 위한 실내 실험을 수행하고, 호안 안정성 평가 프로그램 개발하였다. 먼저, 형상계수가 1.0, 0.75, 0.35의 모형사석을 놓고 유속을 서서히 증가시켜 사석이 움직이기 시작할 때를 한계유속이라 설정하고, 이때의 유속 및 수위분포를 측정하였다. 또한 측정 결과를 이용하여 기존의 사석 안정식을 검토하였다. 그 결과 Maynard의 사석 직경공식과 미 캘리포니아 주에서 제시한 중량공식이 가장 적합한 것으로 나타났다. 또한 사석이 규칙적으로 배열된 경우와 랜덤하게 배열된 경우의 공식을 비교한 결과, 규칙배열에서는 Pilarczk의 직경공식과 Netherlands 간이 무게 공식이 적합하고, 랜덤 배열시에는 Isbash 공식이 적합한 것으로 나타났다. 실내 실험과 함께 식생 호안공, 돌망태공, 호안 블록공 등에 대한 호안 안정성 평가 프로그램을 개발하였다. 그림 8은 평가 프로그램의 한 예를 보여준다. 본 프로그램에서는 호안의 내력 소류력과 외력 소류력을 비교하여 소류력 값의 크기에 따라 호안의 안정성을 판단하게 된다.

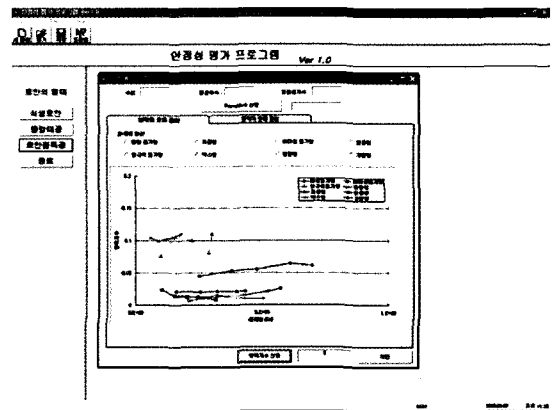
4.3 하도서식처 조성기술 개발

본 연구에서는 갑천과 금강에서의 (1) 토지이용 현황 및 지질적 특성, 유역면적 및 하상경사, 유황분석 등의 물리 특성 조사와 (2) 계절별 수질 및 퇴적물과

표 3. 식생조건, 유량 별 유속 분포도



(a) 호안블록공의 내력 소류력



(b) 양력계수 산출

그림 8. 호안 안정성 평가 프로그램 예

같은 화학적 조사(그림 9 참조) (3) 식생(그림 10 참조), 어류, 저서형 대형무척추동물 등과 같은 생태 특성을 조사하였다. 또한 폐쇄형 하도 습지 및 개방형 하도 습지 구간 등에서의 물리, 화학, 생태 조사를 통하여 서식처 유형별 생물 서식 특성을 파악하였다. 이와 함께 갈대/버드나무 숲단을 이용한 토사퇴적 유

도 자연 하중도 조성 공법을 개발 중에 있다. 이는 토사 퇴적을 유도하는 자연하안을 창출할 수 있고, 형성된 자연 하중도는 어류, 저서동물, 조류 등의 생물 서식처의 기능이 있다. 또한 토사 퇴적 전에서는 여울 기능을 하여 수질 개선을 향상 시키는 등의 환경적인 이점이 있다.

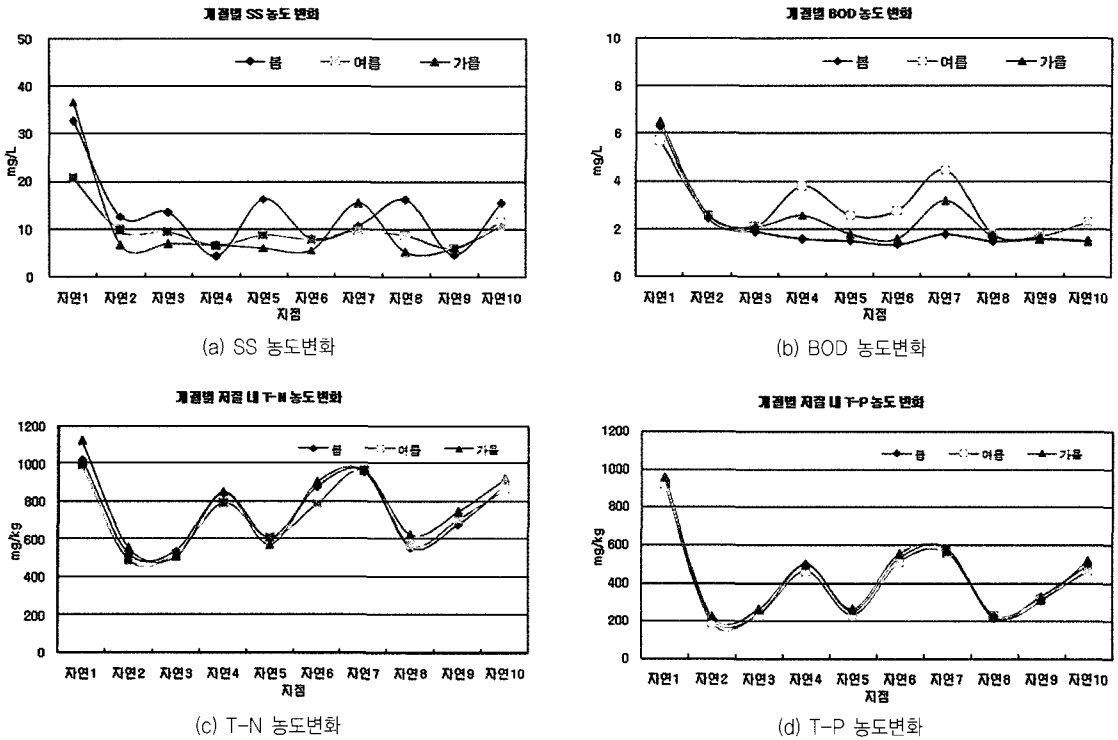


그림 9. 계절별 수질 및 퇴적물 조사 결과 예

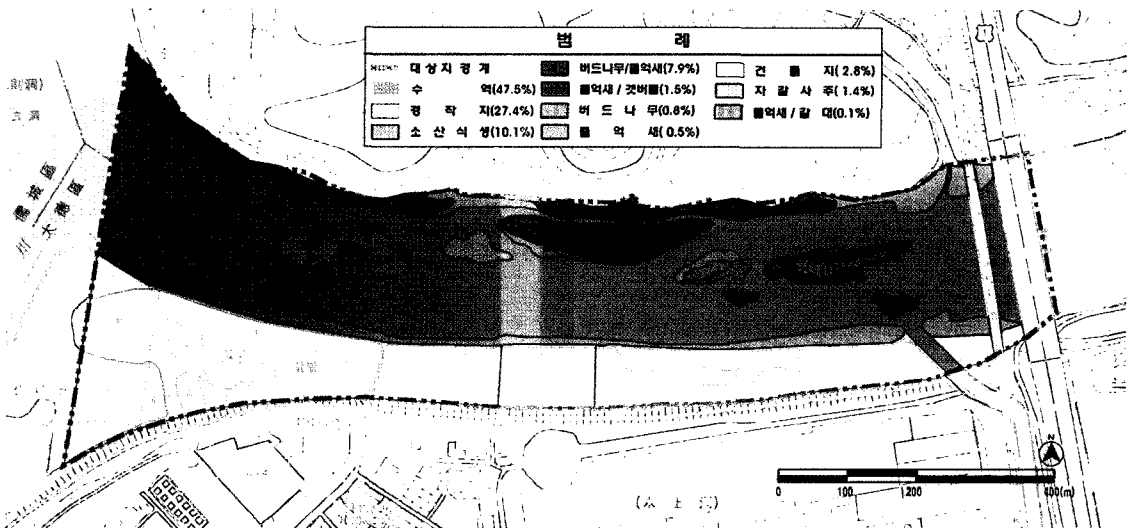


그림 10. 금강 조사 구간의 현존식생도

5. 맺음말

본 연구과제가 성공적으로 수행되었을 경우에 예상되는 기대효과로는, 우선 지속적인 하천 생태모니

터링을 통해 좀 더 정확한 서식처 적합도 지수를 산정하여 하천 물리서식처 평가 및 생태유량 산정의 정확도를 높일 수 있을 것으로 기대되며, 이와 관련된 실무 프로그램 개발을 통해 관련 산업의 기술력을 증

진 시킬 수 있을 것으로 예상된다. 또한 식생 조건 별 호안 안정화에 대한 연구 개발을 통해 얻어진 기술을 바탕으로 협동업체와 공동으로 시범사업을 추진하고, 개발된 설계기술 및 개별기술의 실용화를 도모하며 최종 성과물로서 생태호안 가이드라인을 작성하고자 한다. 이와 같은 가이드라인은 능률적인 하천복원 사업을 시행하는데 적극 활용될 수 있을 것으로 보인다. 또한 지금까지 각 부처별 다른 지침과 기준으로 적용되던 생태호안설계 기술의 구체화 및 통합 지침을 제시함으로써 체계화된 생태호안 설계 기술을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 개발된 기술을 국내 엔지니어링 회사, 연구소, 학계 등에 활용할 수 있도록 기여하고, 상업용 프로그램화하여 관련 기술의 보급 및 관련 산업의 육성에 기여할 것으로 보인다.

지금까지 본 3세부과제의 연구는 계획된 기본 연구들을 유지하면서 순조롭게 진행되고 있다. 앞으로 본 연구단은 새로운 아이디어 및 연구자의 발굴 등을 통해 더욱 진취적이고 창의적인 연구 성과를 낼 수 있도록 노력할 것이며, 아울러 학회 회원 여러분의 지속적인 관심과 조언을 부탁드립니다.

감사의 글

본 특집기사는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업(06건설핵심B01)인 “ECORIVER21 자연과 함께하는 하천복원 기술개발” 연구단의 제 3세부과제인 “생물 서식환경 조성기술 개발”에 대한 연구 사업에 대한 소개 및 수행된 연구결과와 일부이며, 지원에 감사드립니다. 🍷