

# 하천구역 내 물질순환을 고려한 자연정화기술



김원재 ▶▶▶

한국건설기술연구원 수자원환경연구본부  
연구위원  
wjkim1@kict.re.kr



박재로 ▶▶▶

한국건설기술연구원 수자원환경연구본부  
연구위원  
jpark@kict.re.kr

## 1. 개요

본 연구개발은 국토교통부의 국토교통기술연구개발사업 중 물관리연구사업에 속하는 ‘자연과 인간이 공존하는 생태하천 조성기술 개발(Green River)’ 연구단의 세부과제의 일환으로 수행되고 있다. 이 연구단에서는 모두 세 분야의 세부과제를 수행하고 있으며, 1세부 과제로서 ‘환경변화에 대응하는 하천관리기술 개발’, 2세부 과제로서 ‘하천복원 소재 응용 및 하천환경 평가/모니터링 체계구축 기술 개발’ 및 3세부 과제로서 ‘하천구역 내 물질순환을 고려한 자연정화기술 개발’ 등으로 구성되어 있다. 본 논문은 3세부 과제를 중심으로 하여 관련 분야에 대한 연구개발동향 분석결과와 함께

향후 2017년까지의 주요 연구방향 및 최근까지 수행된 연구개발 성과의 일부를 제시함으로써 본 연구개발에 대하여 개괄적으로 소개하는 것을 목적으로 하고 있다.

특히 본 3세부 과제에서는 수질 개선이 필요한 오염된 하천수를 대상으로 별도의 동력원 및 시설물 추가를 최소화하고, 자연적 정화기능을 극대화하는 물질순환을 고려한 정화기법을 개발하고자 하고 있다. 이는 다양한 오염원의 직접 유입에 따른 하천수질의 저하를 막기 위한 융복합 기술로서, 하천의 수변공간을 효율성 있게 연계하여 오염물질을 차단, 제어, 정화할 수 있는 물리적, 생태적 기작을 중심으로 한 다기능성 종합적 수질정화 기술을 제시하고자 한다. 3세부 과제 또한 3개의 세세부 과제로 구성되어 있다. 1세세부 과제에서는 수변공간을 활용하여 오염부하 저감 및 차단이 가능한 융복합 요소기술을 개발하고, 요소기술들을 연계한 통합관리시스템 구축을 통하여 건강한 하천을 조성하고 장기적으로 유지할 수 있는 기술 개발을 도모하고 있다. 2세세부 과제에서는 하천공간의 기능적 가치 및 활용성을 높일 수 있고, 하천수와의 연계성을 유지 및 향상시켜 수질을 개선할 수 있는 하천구역 내 물질순환을 고려한 자연정화기술 개발(하천의 자정능력을 활용하고 하도 내 적용 가능한 다기능 자연정화공법 및 소재를 개발하여 오염된 하천수를 대상으로 BOD(유기물) 및 SS 제거율 50% 이



Fig. 1. 연구개발 과제의 구성 및 예상 최종 연구성과(안)

상 달성)을 추진하고 있다. 또한 3세세부 과제에서는 그린에너지를 이용하여 수체의 수질을 직접적으로 개선할 수 있는 장치 및 기술 개발을 통하여 미래 친환경 하천 수질관리 녹색기술 개발(BOD & SS 제거효율 70% 이상, 영양염류 제거율 60% 이상)을 수행하는 것을 목표로 삼고 있다. 여기에서 1세세부와 3세세부 과제의 연구는 2013년 7월 말 현재 수행 중이며, 2세세부의 연구는 추후 개시될 예

정이다. 아래의 Fig. 1은 본 연구개발 과제의 구성과 예상되는 최종 연구성과(안)를 도시하고 있다.

## 2. 국내 · 외 관련 연구개발 동향분석

### 2.1 국내 · 외 특허 동향

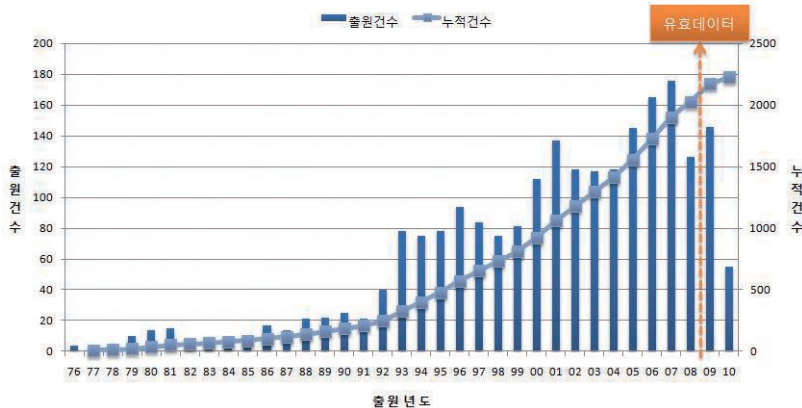


Fig. 2. 하천 분야 특허 출원동향 및 누적건수 추이

하천과 관련된 국내 · 외 기술 특허 동향에 대하여 한국, 일본, 미국, 유럽 및 PCT의 1976년 이후의 특허 동향을 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 2 및 3과 같다. 하천 분야의 특허는 전반적으로 증가 추세에 있으며, 일본의 특허가 956건(43%), 한국의 특허가 944건(43%), 미국의 특허가 250건(11%) 및 유럽의 특허

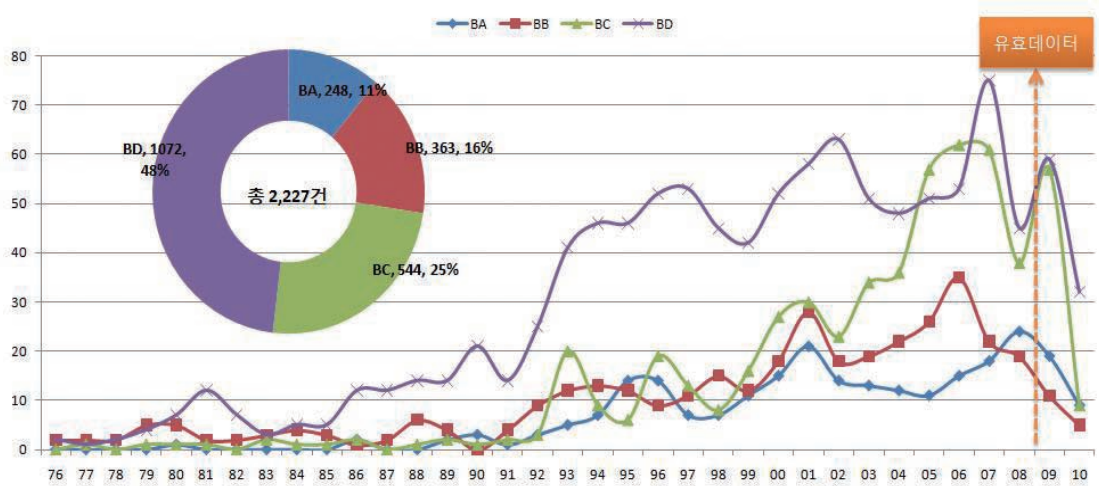


Fig. 3. 하천 분야의 연도별 특허 출원동향<sup>1)</sup>

가 24건(1%)으로 나타나 일본과 한국의 특허가 전체의 86%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

하천 분야의 기술별 국가별 출원동향을 살펴보면, 수변공간 조성 및 활용기술(BA) 분야는 한국(61%), 일본(34%) 순으로 나타났고, 하천 유량확보 및 교란적응 관리기술(BB) 분야에서는 일본(55%), 한국(25%) 순, 유역 네트워크 조성 및 관리기술(BC) 분야에서는 한국(61%), 일본(31%) 순, 하천수질 개선기술(BD) 분야에서는 일본(47%), 한국(34%) 순으로 나타나 전체적으로 한국과 일본에서 해당 분야의 기술개발을 주도하고 있는 것으로 조사되었다.

하천 분야의 전체 특허동향은 기술혁신의 주체인 출원인수와 기술혁신의 결과인 출원건수가 모두 증가하는 발전기에 있는 것으로 분석되었다. 특허건수와 출원인수 변화의 상관관계를 통해 기술의 위치를 살펴보는 포트폴리오 기본 모델에서, 한국과 미국의 경우 기술혁신의 주체인 출원인수가 증가하고, 기술혁신의 결과인 출원건수가 증가하는 발전기에 있는 것으로 판단되며, 일본은 출원인수와 출

원건수가 모두 감소하는 퇴조기에 있는 것으로 나타났다.

하천 분야의 대상특허 2,227건 전체에 대한 상세 분야별 출원동향에서는 하천수질 개선기술(BD, 48%) 분야, 유역 네트워크 조성 및 관리기술(BC, 25%) 분야, 하천 유량확보 및 교란적응 관리기술(BB, 16%) 분야, 수변공간 조성 및 활용기술(BA, 11%) 분야 순의 점유율을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

주요 국가의 AI(Activity Index : 특허활동지수)를 살펴보면, 한국은 유역 네트워크 조성 및 관리기술(BC) 분야를 중심으로 연구개발에 집중하고 있는 것으로 분석되었으며, 일본과 미국은 하천 유량확보 및 교란적응 관리기술(BB) 분야에서 연구개발을 집중하고 있는 것으로 나타났다. 특히 하천수질 개선기술(BD) 분야는 한국, 일본 및 미국에서 공통적으로 출원건수 측면에서 가장 많은 점유율을 차지하고 있어 연구개발이 집중되고 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 3세부 과제의 연구개발 또한 하천수질 개선기술 분야를 중심으로 수행되고 있다.

1) BA : 수변공간 조성 및 활용기술, BB : 하천 유량확보 및 교란적응 관리기술, BC : 유역 네트워크 조성 및 관리기술, BD : 하천수질 개선기술

## 2.2 국내 연구동향

하천수질 개선기술 분야와 연관성이 깊은 국가 연구개발사업의 유사연구 실적을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 국내의 하천 관련 연구개발에서 “Eco River21 연구단”이 기 수행한 성과는 주목할 만하다. 이 연구단에서는 하천과 관련된 종합적인 연구개발을 추진하였으나 하천과 수변공간을 연계

한 수질정화 관련 기술개발은 수행하지 못하였다. 한편 국토해양부의 “자연식생을 이용한 하천 및 하수 정화기술 실용화”, 환경부의 “하천 생태기능 복원을 위한 핵심기술 개발”, “국내 환경에 적합한 소택형 대체습지 조성기술 개발” 등의 연구개발 과제에서 부분적으로 하천 수질정화에 대한 접근을 시도한 바 있다.

Table 1. 하천수질 관련 유관연구 추진 실적

부처명	사업명	과제명	예산(억원)	비고
국토교통부 (구)건설교통부	건설핵심기술 연구개발사업 (Eco River21 연구단)	• 하천 유사와 오염을 고려한 하도의 친환경 이용기술 개발	17.5	2006~2011
		• 홍수터 보전·복원 기술 개발	64.6	
		• 생물서식환경 조성기술 개발	48.8	
		• 하천 계획·평가 및 적응 관리기술 개발	42.0	
국토교통부 (구)국토해양부	건설기술 기반구축사업 건설핵심기술 연구개발사업	• 하천제방 관련 선진기술 개발	2.0	2001~2004
		• 자연식생을 이용한 하천 및 하수 정화기술 실용화 • 수자원 보호를 위한 폐광지역 환경복원기술 개발	1.35 4.25	2000~2003 2001~2003
환경부	수생태 복원 사업단	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수생태계 생물서식처 복원기술 개발</li> <li>• 자연형 하상 복원 및 하도 육역화 관리기술 개발</li> <li>• 자연하안 창출 및 하안변화 유도기술 개발</li> <li>• 자연친화적 수질정화기술 개발</li> <li>• 효율적 비점오염원 관리기술 개발</li> <li>• 수생태계 복원을 위한 용수확보기술 개발</li> <li>• 수변녹지 및 생태벨트 조성기술 개발</li> <li>• 호소 수변추이대와 수변생태계 보전기술 개발</li> <li>• 온실가스 흡수·저감능이 특화된 습지 조성 및 관리기술 개발</li> <li>• 수생태 위해성 평가·관리기술 개발</li> <li>• 호수생태계 통합적 건강성 평가기법 개발</li> <li>• 하천자연도 평가기법 개발 및 적용방안 연구</li> <li>• 수생태 복원에 관한 교육 및 홍보 프로그램 개발</li> <li>• 수생태 복원·관리를 위한 법제도 개선 및 정책대안 연구</li> <li>• 수생태 복원사업 기획 연구</li> <li>• 생태하천복원 시범사업 기획 연구</li> </ul>	585.0	2007.12 ~2014.5
환경부	비점오염원 관리기술 연구단	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술 1 : 비점오염원 통합 DB 시스템</li> <li>• 기술 2 : 비점오염 유출 유역모델 개발</li> <li>• 기술 3 : 비점오염물질 통합관리시스템</li> <li>• 기술 4 : 통합 비점오염 분석 평가, 저감 및 관리기술</li> </ul>	100.0	2011.5 ~2016.3
환경부	G-7환경기술 개발사업 차세대 핵심환경 기술개발사업	• 국내 여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발	25.0	-
		• 하천 생태기능 복원을 위한 핵심기술 개발	8.0	2003~2004
		• 하천의 어도를 비롯한 생태통로 조성기술 개발	4.16	2003~2004
		• 국내 환경에 적합한 소택형 대체습지 조성기술 개발	2.7	2002~2003
		• 낙동강 하구역 습지 생태계 훼손지역 복원 및 관리기술	6.26	2006~2007

### 3. 연구추진전략

융복합기술 개발을 통하여 생태하천 조성 시스템 기술을 제시하고자 한다.

#### 3.1 연구방향

본 연구에서는 하천공간의 기능적 가치 및 활용성을 높일 수 있고 하천수와의 연계성을 향상시켜 수질을 개선할 수 있는 하천구역 내 물질순환을 고려한 자연정화기술 개발을 주요 목표로 하고 있다. 이를 위하여 하도 및 정체수역과 수변공간을 활용하여 수질을 개선하고 오염부하를 저감할 수 있는

#### 3.2 연구방법

3세부 과제의 연구방법에 대하여 이미 추진되고 있는 1세세부 및 3세세부 과제를 중심으로 설명하면 다음과 같다.

1세세부 과제에서는 기존 저류지의 단점인 저류수의 연계처리 곤란, 하수처리장에 미치는 부하량

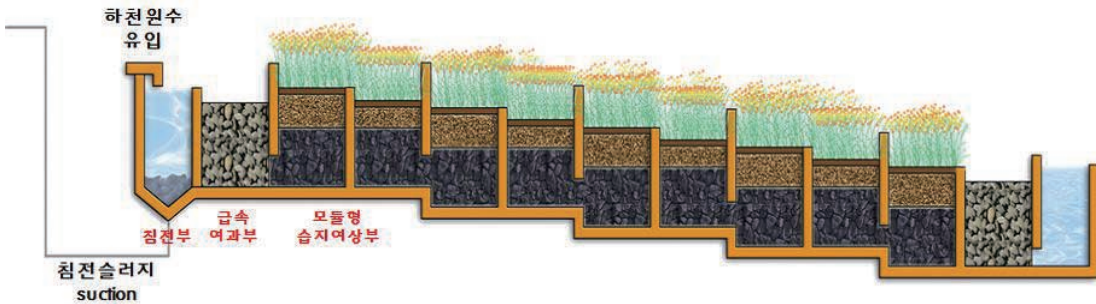


Fig. 4. 지능형 습지여상 개요도

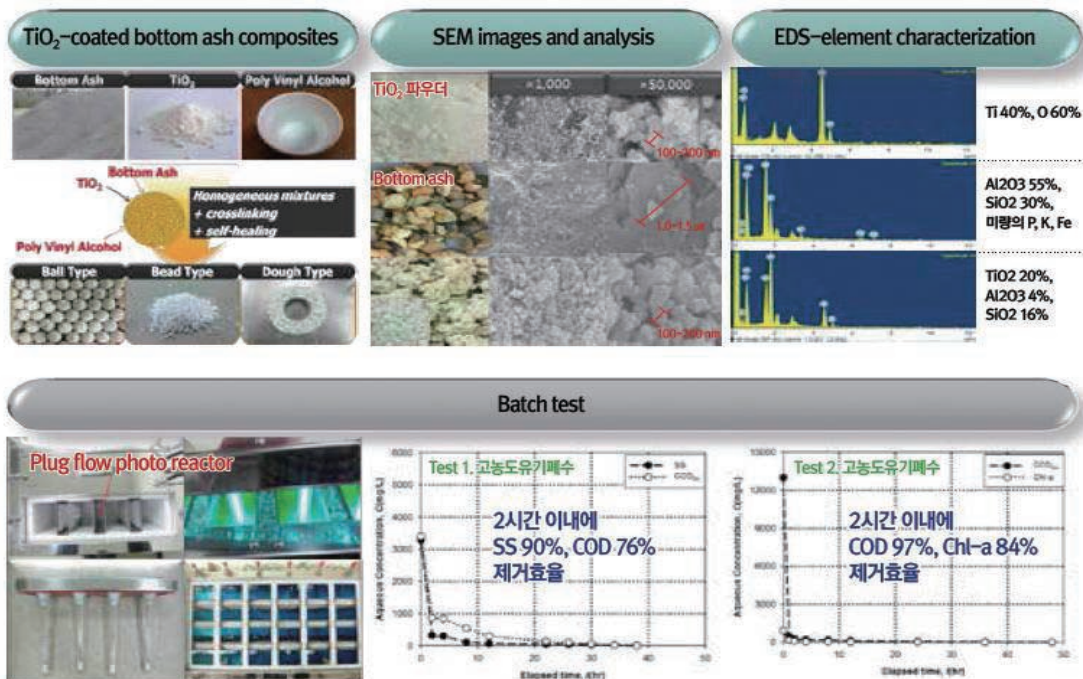


Fig. 5. Bottom ash 광촉매 복합체의 물리화학적 특성

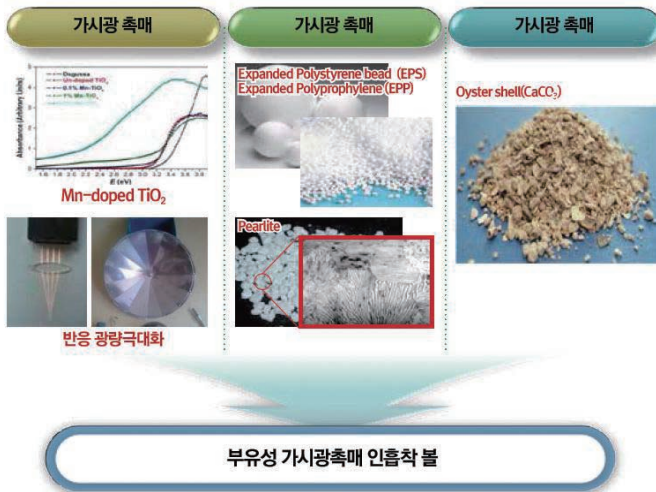


Fig. 6. 가시광 반응형 부유세라믹 ball의 특성

증대, 별도의 이송관로 필요, 저류수의 이용 곤란 등의 문제를 해결할 수 있는 기술을 개발하고자 한다. 발생원에서 on-site 처리가 가능하도록 함으로써 수자원 이용효율을 제고한 경제적 기술을 개발하고자 하며, 하천수의 오염부하 및 유입유량에 따라 가변할 수 있는 시스템을 개발함과 동시에 유입부하에 대한 적극적 대응을 위하여 하천의 오염물질 저감능력을 향상시킨 지능형 습지여상을 개발하고자 한다. 또한 오염 정화용 기능성 EM균을 활용한 생태블록은 호안, 둔치의 하상재료로 활용이 가능하고, 하천의 구조적 안정성을 확보하며, 식생 서식공간으로의 활용이 가능하다. 이를 위한 EM균을 사용한 수질정화용 생태호안기술을 개발하고자 한다.

3세세부 과제에서는 융복합 자립형 생태부도와 가시광촉매 ball을 연계한 Ad-hoc 정체수역 수질개

선 기술을 개발하고자 한다. 생태기능 복원에 초점을 맞춘 기존 생태부도를 탈피하여 마이크로버블 장치를 연계하여 하천 및 호소의 정체수역 수질개선 효과의 극대화를 도모하고자 한다. 또한 여재에 담지된 UV광 반응형 광촉매의 경우 플랜트에서만 적용가능한 제한적 활용으로 인하여 현장적용이 미미한 실정이라는 점을 고려하여 산화활성도 및 수질개선 효과의 효율성을 높이고자 하였다. 본 개발기술의 핵심은 하천 또는 호수의 정체수역에 부유하여 자연 태양광을 활용하여 유기물질의 광분해와 영양염류의 흡착·제거가 동시에 가능한 에너지 자립형의 유지관리가 불필요한 수질정화 공법의 개발이라고 할 수 있다.

### 3.3 연구 흐름도

본 연구에서는 선행 기술조사 및 특허분석, 목표 성능 설정, 기 개발 기술의 문제점 파악 등을 통한

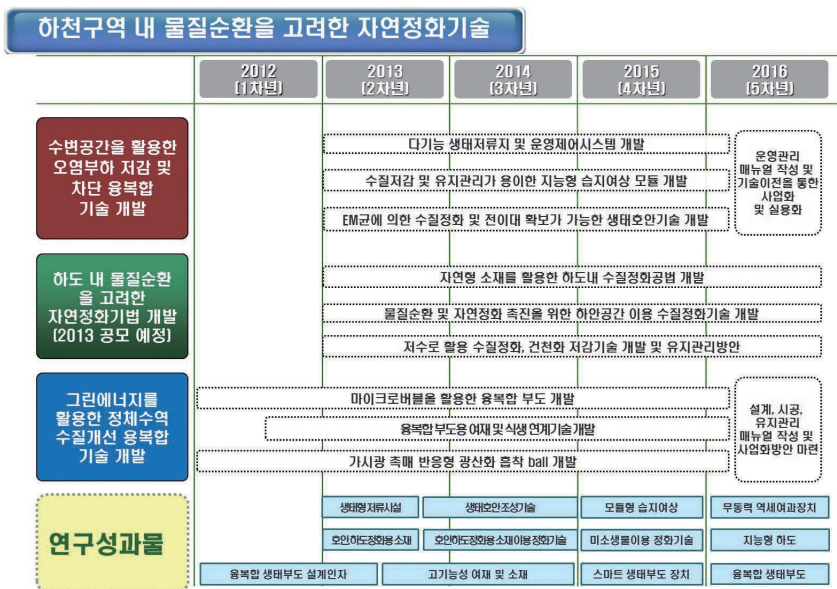


Fig. 7. 연구개발 추진일정

히 실시하고, 이를 바탕으로 초기에 연구개발의 방향성을 설정하고 원천기술에 대한 지적재산권을 확보하고자 한다. 또한 시범 사업지를 선정하여 요소기술의 현장적용성을 검증하고 성능평가 후 통합관리 시스템을 구축하고 제품화 단계를 거쳐 상용화 및 제도화를 도모하고자 한다.

#### 4. 기대효과 및 활용방안

본 연구개발의 기술적 측면에서의 기대효과 및 활용방안은 다음과 같다. ET·BT 산업과의 효율적 접목을 통하여 신성장 동력원을 창출하고, 하천공간의 적극적 활용 및 수질관리 우수 사례로서 국내외에 연구개발 성과를 보급할 수 있게 될 것이다. 경제적 측면에서의 기대효과로서, 정체수역 수질 정화기술 및 유역관리기술개발을 통하여 물산업 기술 육성, 수출상품화에 기여할 수 있을 것이다. 또한, 사회·문화적 측면에서는 4대강 사업 등과 관련하여 하천수질 개선 및 수생태계 건강성 증대와 저탄소 녹색도시 정책과 관련하여 하천환경 개선 및 온실가스 배출량 저감효과 등이 기대된다.



Fig. 8. 연구개발 흐름도

또한, 수질오염 총량관리 차원에서 오염부하 감소로 양질의 상수원수 확보가 가능하다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원(12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다. 🌊

#### 참고문헌

1. 건설교통부(2002), 생태도시 조성 핵심기술 개발 연구보고서
2. 국토해양부, 한국건설교통기술평가원(2011), Green River 연구단 기획보고서
3. 국토해양부, 한국건설기술연구원(2011), 하천복원 통합매뉴얼