

하천유사와 오염을 고려한 하도의 친환경 이용기술개발



남 경 필 ▶▶▶

서울대학교 건설환경공학부 교수
kpnam@snu.ac.kr



류 권 규 ▶▶▶

동일대학교 토목공학과 교수
purrumi@deu.ac.kr



김 원 재 ▶▶▶

한국건설기술연구원 연구위원
wjkim1@kict.re.kr

1. 연구개발 배경 및 내용

본 연구는 ‘하천유사와 오염을 고려한 하도의 친환경 이용기술개발’이라는 대주제 하에 비시가화지역에서 배출되는 오염원의 하천 유입 저감기술을 분석하고, 하상 변화 예측 및 안정화도 설계기술을 개발하며, 준설된 오염퇴적토의 재활용을 위한 정화기술을 개발하는 세부 내용으로 나누어 수행되었다.

도시화지역보다 상대적으로 넓게 분포되어 있는 비시가화 지역에서 발생하는 오염원 제어를 통하여 하천으로의 오염물질 유입을 저감시킴으로써 하천의

친수기능 향상 및 친수환경 제공을 도모하였다.

또한 하천 유사와 함께 수반되는 오염물질의 이송 및 거동해석을 통하여 안정하도 설계기술을 개발함으로써 하천의 중단 및 평면적 변화를 고려한 안정하도 설계 기법과 안정화 기법을 제시하였다. 그리고 토사 유입 또는 준설에 의하여 발생하는 하천 생태계에 대한 영향을 정량적으로 평가할 수 있는 기법을 제시하여 강수에 따른 토사유입 및 준설에 의한 하천 생태계의 변화를 지수화하여 하천 생태계의 건강성을 유지할 수 있는 방안을 마련하였다.

한편 다양한 오염원에 의해 오염된 하상 퇴적토는 장기적으로 하천 생태계에 영향을 미친다. 이러한 퇴적토의 오염수준에 대한 조사를 통하여 정화 및 재활용에 필요한 기초 자료를 제공하고 골재 등으로 재활용할 수 있는 방안을 설립하였다. 또한 준설된 오염퇴

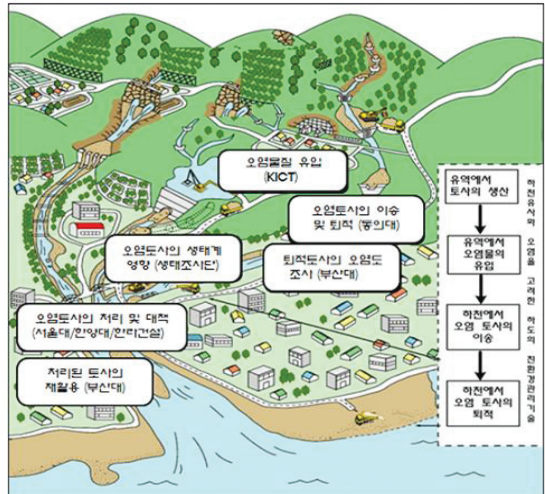


그림 1. 본 연구의 과제별 역할 및 구성

적토를 처리하는 세척 및 안정화 기술을 개발하였다. 일반적으로 세척기술은 미세토에 대한 세척효율이 떨어지기 때문에 입도분리를 통하여 조립토에 대한 세척을 고효율로 수행하고 분리한 미세토에 대해 활성탄 및 다양한 안정화제를 적용하여 처리함으로써 보다 고효율의 처리효과를 확보하는 기술을 개발하였다. 이를 통하여 종합적인 준설토 관리 방안을 수립하였다.

“본 연구의 과제별 역할 및 구성은 [그림 1]의 연구계통도에 자세히 설명하였다.”

2. 연구개발결과

2.1 비시가화 지역에서 배출되는 오염원의 하천 유입 저감기술 (KICT)

비시가화 지역에서 배출되는 오염원의 하천유입 저감기술에 대한 연구는 다양한 토지이용특성을 갖는 비시가화 지역을 선정 (고양시 주교동)하여 건기 및 강우사상에 대한 오염물질 유출특성을 분석하고 기존에 이용되고 있는 국내 토지이용에 따른 오염원단위

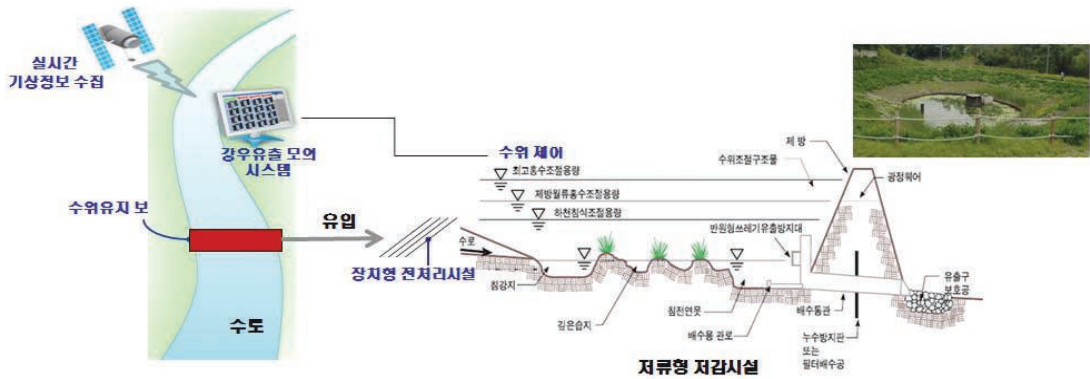


그림 2. 강우유출 모의시스템과 연계한 저류형 저감시설 관리기법

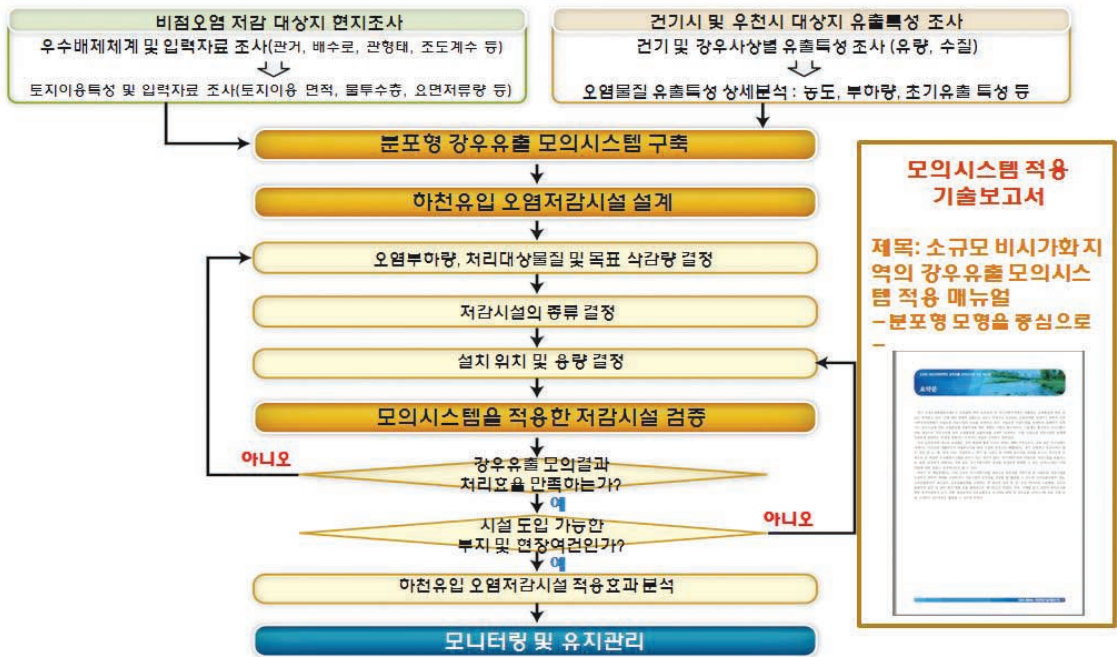


그림 3. 소규모 비시가화지역 강우유출 모의시스템 적용 방안

와 비교하여 강우유출 모의시스템을 구축하였다. 모의시스템 구축에 적합한 준분포형 및 분포형 모델을 상호 비교하였고, 적용성 검토를 거쳐 분포형 모델(XP-SWMM)을 활용하여 구축하였다. 적용한 모델을 사용하여 강우유출모형의 의한 오염물질 유출부하에 대해 단계적으로 모의한 결과를 평가하여 모델을 보정하여 모의시스템을 구축하였다 (배상호 외, 2010).

또한 비점오염물질을 저감시키기 위한 기법의 적용을 위하여 국내 운영되었던 비점오염저감 실증사업의 운영 사례를 자연형 시설 중심으로 검토하였고 시설의 설계인자를 분석하였다. 그 결과 소규모 비시가화 지역에 적합한 자연형 저감시설에 대해 제안하였으며, 강우유출 모의시스템과 연계한 저류형 저감시설 적용 방안을 (그림 2)와 같이 제안하였다.

최종적으로 비시가화 지역을 대상으로 친환경적인 오염저감기술의 적용과 하천유입 저감을 위한 사전모의시스템의 연계를 통하여 저감기술을 적용할 수 있는 기법을 제시하였다. (그림 3)

2.2 하상변화 예측 및 안정하도 설계기술 (동의대, (주)생태조사단)

하천유사와 오염물질을 고려한 안정하도 설계기술 연구 (동의대)에서는 국내의 토사수지 분석 기법 및 사례를 조사하고 토사 유출량 예측기법들을 조사하였다. SWAT 모형을 통한 토사 산출량 추정과 HEC-RAS를 이용한 토사 수지 기법을 제안하였으며, 이를 내성천 유역에 적용하여, 하천정비 기본계획 수립 시 토사수지 분석을 하상 변동 예측을 할 수 있는 방안을 제시하였다 (류권규, 2011). 또한 HEC-RAS에 의한 수면 계산 결과를 활용하여 실제 하상 변동량을 산정하는 소프트웨어를 개발하였으며 (그림 4), 이를 이용한 1차원 장기 하상 변동 계산의 실무 지침을 작성하였다.

그리고 하도안정화를 위한 구조적 대책에 대한 기술 분석을 통하여 국내의 대부분의 하상유지공이 부

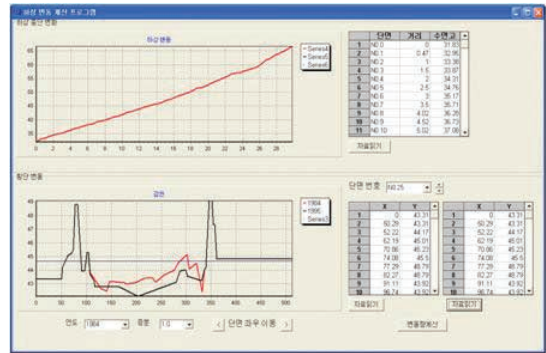


그림 4. 하상 변동량 산정 소프트웨어 주화면

적절하게 설계되어 있음을 확인하고, 이에 대한 대책으로 국내/한국의 하상유지공 설계기법을 분석하여 하상유지공 설계에 대한 가이드라인을 제시하였다.

토사유입 및 준설이 하천생태계에 미치는 영향에 대한 연구 ((주)생태조사단)는 산곡천 및 경안천 수계를 대상지역으로 선정하여 수행되었다. 조사 결과 준설이 수질을 포함하여 생태계를 개선시키는데 있어서 단기적 효과는 있으나 (산곡천) 사후 관리가 제대로 이루어지지 않을 경우 다시 원래 상태로 돌아갈 수 있다는 것 (경안천)을 확인할 수 있었다.

조사 결과를 바탕으로 물리적 교란에 따른 생물군집 변화 및 수생태계 건강성을 평가하였다. 하천의 이화학적 환경인자와 생물 간의 상관관계에 대한 분석 결과 pH, EC, 탁도, TDS, SS, BOD, 클로로필-a, 총질소, 총인 등에서 높은 유의성을 보였다. 그리고 하상구성입자와 생물분석결과와의 상관분석 결과에서는 Cobble 및 Sand의 비율에 대하여 높은 상관성을 타나내었다. 즉, 하천 생태계에 미치는 영향은 인위적인 교란뿐만 아니라, 주변환경 및 다양한 오염물질의 유입 정도에 큰 영향을 받는다고 할 수 있으나, 하상구성입자에 대해 높은 상관성을 나타내는 것으로 판단할 때, 인위적인 변화로 인한 토사의 유입 및 퇴적은 하천 생태계에 부정적인 영향을 주고 있다고 판단할 수 있다. 이를 바탕으로 상관성이 높은 환경요인 중 물리적인 하상변화에 큰 영향을 줄 수 있는 요인인 탁도와 부유물질농도가 생물군집 및 지수에 영향을 미치고 있음을 재확인하였다. 최종적으로

서식지 평가법					어류평가법				
서식 환경 평가 메트릭		등급기준			범주	어류평가 모델 메트릭	등급별 빈도 분포		
		5	3	1					
·아장구조 및 식생 피복도: Substrate structure and vegetation coverage					#1 토착어종수 (Total Number of Native Fish Species)	>67%	33~67%	<33%	
M1: 아장구조/식생 피복도 (Substrate / Instream cover)	20~16	15~11	10~6	5~1					
M2: 아장매몰도 (Embeddedness)	20~16	15~11	10~6	5~1					
M3: 유속/수심 조합 (Flow velocity / depth combination)	20~16	15~11	10~6	5~1					
M4: 아장유실 및 토사유적도 (Bottom scouring & sediment)	저서성대형무척추동물 평가법				#2 상류성 어류 개체어종수 (Total Number of Riffle-Benthic Species in the Headwaters)	>67%	33~67%	<33%	
M5: 흐름 양태 (Channel flow status)									
·유로 특성 - Channel characteristics	Metric				Biological Condition Scoring Criteria				
M6: 수로 변경도 (Channel alteration)					8	4	2	0	
M7: 어류 빈도 및 아장굴곡도 (Frequency of riffles or bends)	A. Richness: 군집구조의 구성과 평가				species)				
M8: 계방 안정도 (Bank stability)	1. Taxa richness				>80%	80~80%	40~80%	<40%	
·계방 특성 및 구조 - Bank characteristics and structure	2. EPT richness				>80%	85~80%	50~85%	<50%	
M9: 계방식생 보호도 (Bank vegetative protection)	B. Composition: 다른 분류군의 상대 풍부도를 평가				s)				
M10: 연변 식생대의 폭 (Riparian vegetative zone width)	3. Total abundances				>80%	80~80%	40~80%	<40%	
M11: 소규모 댐의 생태유무 (Dam construction impact)	4. Ratio of EPT abundance to Chironomidae				>75%	50~75%	25~50%	<25%	
종합	C. Community diversity: richness 및 enumeration의 요약 통계				sectivores)				
등급	5. Diversity index [H']				>3	2-3	1-2	<1	
환경양태	6. Species richness index [R1]				>3	2-3	1-2	<1	
	D. Biotic indices: 분류군에 미리 설정된 내성치를 이용				Tumors, Fin Damage,				
	7. ESB index (KSI 지수도 이용가능)				>80	80-80	40-80	<40	
	E. Functional Feeding Groups: 군집의 기능을 반영								
	8. Ratio of CF and Scrapers to total abundance				>50%	35-50%	20-35%	<20%	
	등급	점수	생물학적 조건						
	A	> 40	교란없음 (Nonimpaired)						
	B	26-38	약간 교란 (Slightly impaired)						
	C	10-24	다소 교란 (Moderately impaired)						
	D	< 8	심한 교란 (Severely impaired)						

그림 5. 생물을 이용한 하천평가 기법

이러한 자료를 바탕으로 생물을 이용한 하천평가기법을 제안하였다 (그림 5).

2.3 준설 오염퇴적토 재활용을 위한 정화기술개발 (서울대, 한양대, 부산대, 한라건설)

본 연구는 이원화된 오염 퇴적토 처리 시스템을 통하여 세척공정의 효율을 극대화하고, 재활용 양을 최대화 하는 종합적인 준설토 관리방안을 제시하고 있다. 재활용 양과 오염준설토 처리효율을 극대화하기 위하여 입자선별을 통한 처리 및 재활용 시스템을 제안하고 (김영진 외, 2010), 안정화제 (버네사이트, 인회석) 및 개질된 활성탄을 이용한 미세 오염준설토 처리기술을 개발 (서울대, 한양대)하는 한편, 준설토 재활용 기준(안)과 재활용 방안을 제시하였으며, 준설토를 골재로 재활용 할 수 있는 기존의 준설토 고�형화 기술을 저탄소형 기술로 개선 (부산대)하였다.

본 연구에서 제안하는 오염준설토 처리 및 재활용 시스템은 [그림 6]과 같다. 입도분리를 통하여 오염토 처리 공정을 다르게 선정하였으며 처리된 퇴적토를

재활용할 수 있도록 하였다.

또한 준설된 오염퇴적토의 재활용을 위한 정화기술 개발에서는 버네사이트와 인회석을 안정화제로 활용하여 처리하는 안정화 기술을 개발하여, 안정화 효율을 검증하였다 (Lee et al., 2011). 한편, 개질된 활성탄을 이용하는 안정화 기술도 개발하였다. 활성탄 개질 방법을 정립하고 개질된 활성탄의 흡착 저해 요소를 파악하여 처리 효율을 증대시켰다 (Kim et al., 2011).

그리고 준설토를 재활용하기 위하여 오염준설토의 물리/화학적 특성을 평가하고 국내의 퇴적토 환경기준을 비교·분석하여 준설토 재활용 기준(안)을 제시하였으며, 준설토 재활용 방안으로써 기존 고�형화제 기술을 분석하여 저탄소형 고�형화제를 적용한 고�형화 기술을 개발하여 골재로서의 재활용 가능성을 확인하였다.

본 연구는 퇴적토의 오염도 조사에서부터 준설된 오염 퇴적토의 고효율 정화기술 개발 및 재활용 기준 및 방안 제안에 이르는 종합적인 준설 퇴적토 관리방안을 제시였다.

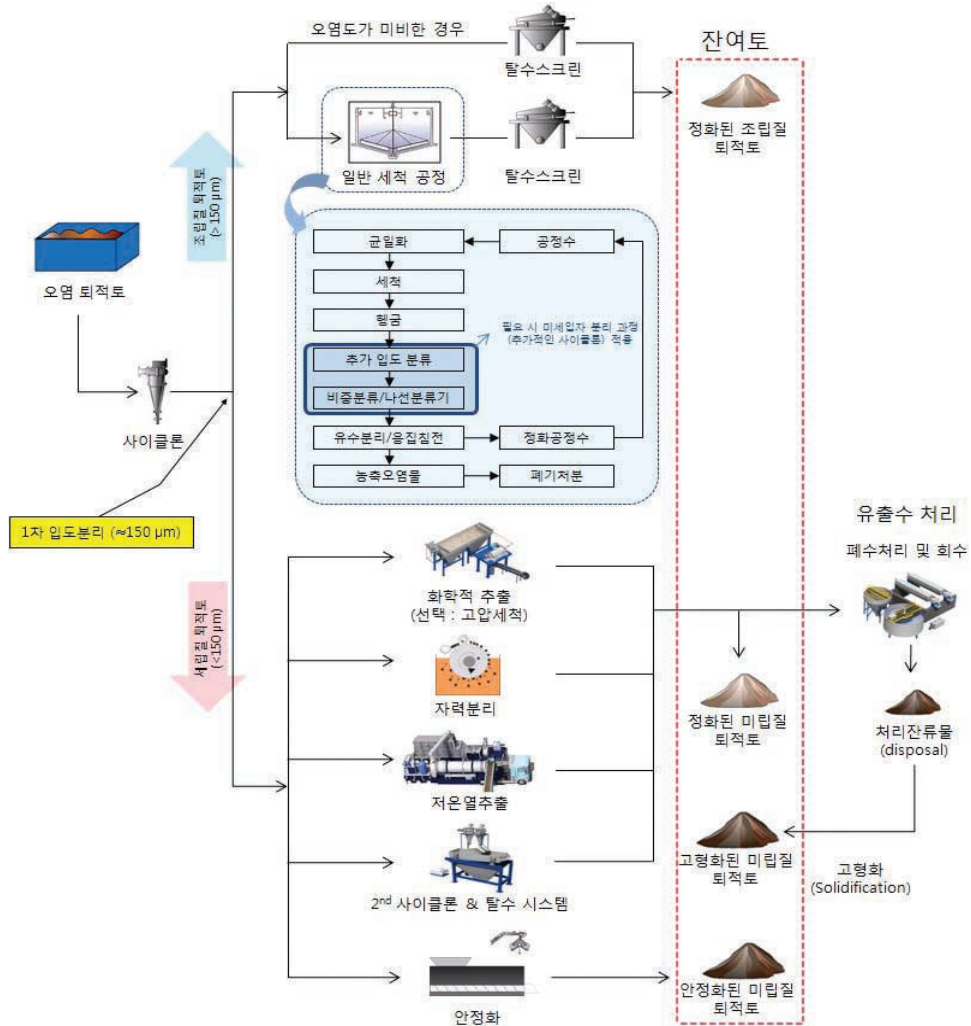


그림 6. 오염준설토 처리 및 재활용 시스템

3. 기대효과 및 활용방안


‘비시가화 지역에서 배출되는 오염원의 하천유입 저감기술’의 연구결과는 소규모 비시가화 지역의 하천유입 오염물질 저감에 적합한 친환경적인 저감기술을 제시하였으며, 이를 활용한 관리 대책을 수립할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 강우에 의한 하천유입 오염물 뿐 아니라 가정, 공장, 농경지 등의 배수에 포함된 오염물질 관리에도 적용가능할 것으로 기대한다.

한편 ‘하천 유사와 오염물질을 고려한 안정하도 설

계기술’을 통하여 하도안정화를 위한 구조적/비구조적 대책을 제시하여 홍수, 하안의 침식/퇴적 등의 문제에 대한 적합한 관리 및 운영 방안을 마련하였다. 그리고 국내실정에 적합한 하상변동 예측 기술을 개발하여 이를 활용한 안정적인 하도 설계가 가능할 것으로 기대한다. 더불어 물리적 교란에 따른 하천생태계 변화에 대한 기초자료를 구축하여 하천생태계 교란을 최소화하여 하천생태계 보전 및 복원 전략 수립 시 활용될 수 있을 것으로 전망한다.

‘준설 오염퇴적토 재활용을 위한 정화기술개발’은

오염퇴적토 내의 중금속 및 유기물질 안정화 및 세척에 대한 신기술을 개발하여 기술경쟁력을 확보하는 한편, 해당 기술은 퇴적토 외에 오염토양, 폐광산 복원 등에도 활용 가능하므로 다양한 적용이 가능하다. 또한 퇴적토 재활용 기준(안)과 오염준설토 처리 및

재활용 시스템을 제안하여 준설토를 재활용할 수 있는 법 또는 제도적인 근거를 마련하여, 준설토 처리 비용 저감 및 친환경적인 골재/건설 재료 공급 등의 효과가 기대된다. 

참고문헌

1. 김영진, 남경필, 이승배, 김병규, 권영호, 황인성, 2010, 세척과 안정화기술을 적용한 오염 준설토의 처리 및 재활용 시스템 개발, 한국지하수토양환경학회지, 15(2), pp. 47-54
2. 류권규, 2011, 새로운 평균하상 개념과 낙동강의 하상 변동 경향성 분석, 한국콘텐츠학회논문지, 11(6), pp. 486-494
3. 배상호, 김원재, 윤영한, 임현만, 김은주, 박재로, 2010, 토지이용 특성을 고려한 소규모 농촌유역의 비점 오염물질 유출특성 해석, 한국물환경학회지, 26(4), pp. 654-663
4. Kim, D., Jung, Y.W., Kwon, S., Park, J-W., 2011, Adsorption of cadmium(II) from aqueous solutions by thiol-functionalized activated carbon, Water Science & Technology: Water Supply, 11(1), pp. 61-66
5. Lee, S., An, J., Kim, Y-J., Nam, K., 2011, Binding strength-associated toxicity reduction by birnessite and hydroxyapatite in Pb and Cd contaminated sediments, J. Hazard. Mater., 186(2-3), pp. 2117-2122