

하천환경 모니터링 시행방안



김형준
(주)삼안 수자원부 전문
hjkim@samaneng.com

1. 하천환경 모니터링 개요

(1) 모니터링의 개념

하천정비사업시 모니터링은 하천환경복원사업의 시행효과 및 완성도를 평가하기 위한 과정으로, 시행중인 사업의 영향 분석 및 장애 공법 개발, 문제발생시 대응방안 마련 등에 이용된다.

하천환경복원 사업에 영향을 미치는 요인으로 크게 수리·수문적 요인, 수질 환경적 요인, 생태적 요인으로 구분할 수 있으며, 이들은 상호간에 서로 영향을 미친다. 즉 수리·수문은 물리적 요인으로서 강우 및 물의 흐름에 따라 수질과 하천 생태에 영향을 미치고, 수질은 하천의 생태에 지대한 영향을 미친다. 또한 수변의 식생이나 야생 동물 서식 등의 하천생태는 하천 조도 및 흐름의 방향에 영향을 주는 등 하천 수리에 영향을 미치게 된다.

따라서 하천환경 정비 중 이들의 변화과정을 모니터링하면서 정비를 수행한다면, 보다 효율적이고 경제적인 사업 수행이 가능하게 된다.

이러한 모니터링을 수행하기 위한 팀은 하천수리/수문과 생태계, 수질, 하천설계 등에 대한 전문

적인 지식을 갖춘 전문가를 중심으로 구성하여야 하며, 대상하천의 특성 및 내포된 문제의 종류에 따라 경관, 지질, 대기, 인문·사회, 역사, 상하수도 등 다른 분야 전문가의 참여도 필요하다. 팀으로 선발된 구성원 전원은 자신의 전문분야에서 전문가로서의 깊은 지식과 함께 관련된 다양한 분야의 구성원과 대화와 협조를 할 수 있는 넓은 시야가 필요하다. 특히 적용공법 모니터링 조사자의 경우 설계부터 시공, 그리고 조사항목 전 분야에 걸쳐 폭넓은 지식을 가지고 있어야하며 객관적 관점으로 접근해야 한다.

(2) 모니터링의 목적

모니터링은 바라보는 관점에 따라 크게 지속가능한 발전을 위한 장기적인 목적과 시공상의 개선을 위한 단기적인 목적으로 구분할 수 있다.

모니터링의 목적은 모니터링 시행시기 및 사업특성, 조사방법 및 목적 등에 따라 여러 가지로 구분할 수 있지만, 본 기고문에서 다루고자 하는 하천환경사업 공사 중 모니터링의 주요 목적은 아래와 같다.

- ① 공사 착공 후 주요 기법 및 공종을 대상으로 공사 전/중/후 모니터링을 실시하여 예상치 못한 문제점 파악 및 대응을 통해 효율적인 사업 유도
- ② 주요 기법 및 공종이 하천의 물리·화학·생물에 미치는 영향을 모니터링하고, 그 결과를 공사중 신속히 피드백하여 시행착오 방지를 통한 경제적인 사업 유도
- ③ 모니터링 결과를 바탕으로 차년도 사업비 배정을 통한 체계적인 사업관리 유도

(3) 모니터링의 조사분야 및 세부항목

하천환경복원에 따른 모니터링 조사는 사업의 전·중·후에 걸쳐 실시하는 것이 바람직하다. 특히, 공사가 끝난 후에도 최소한 3년에서 5년 이상 지속적으로 사후모니터링을 실시하여 하천환경복원 시에 따른 적용공법 및 주변 환경의 변화를 파악하

는 것이 바람직하다.

모니터링 조사 분야는 적용공법, 홍수량측정 및 수리분석, 수질 및 저질, 생태계, 인문사회, 경관변화 모니터링 등으로 나눌 수 있으며, 각각 분야의 세부 조사항목은 다음과 같다. 특히 사업시 적용하는 공법이 주변에 미치는 수리적, 화학적, 생태적 영향을 파악하는 것이 중요하다.

표1. 하천환경 모니터링 조사 분야

조사 분야	세부 조사 항목
적용공법	<ul style="list-style-type: none"> • 적용 공법의 수리적 대응도 • 적용 공법의 자연환경 적응도 • 식물을 식재한 경우 활착과정 및 생육상태
홍수량측정 및 수리분석	<ul style="list-style-type: none"> • 홍수량 측정 • 평·저수량 측정 • 수리분석 : 하상재료 분석, 적용공법의 수리적 변화 특성, 하도지형 및 평면-종단-횡단면 변화와 상-하류간의 수리적 영향분석, 하도의 퇴적-침식-세굴 조사, 공사에 따른 하도특성 변화조사
수질 및 저질	<ul style="list-style-type: none"> • 수질 : 수온, pH, DO, BOD, T-N, T-P, Chl-a, EC, 대장균군수, SS, Cr-, 중금속 등을 기본적으로 조사하며, 필요에 따라 기타 세부항목을 추가하여 실시 • 저질 : IL, COD, T-N, T-P, 황화물, Cd, Hg, Pb, Ts, Vs 등을 기본적으로 조사하며, 필요에 따라 기타 세부항목을 추가하여 실시 • 유량 : 수질측정과 동일 지점에서 동시에 실시
생태계	<ul style="list-style-type: none"> • 식물상· 및 식생 • 육상동물 : 포유류, 조류, 양서· 파충류, 곤충류 등 • 육수동물 : 어류, 저서성대형무척추동물, 부착조류 등
경관 및 인문사회	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 공사 지점의 전경 조망이 가능한 지점 선정 • 공사 전·중·후에 걸쳐 일정 간격으로 사진 촬영 • 주민 만족도 조사

2. 하천정비사업 모니터링 실시현황

국토교통부에서는 하천환경정비 시범사업 7개 사업(오산천, 경천, 경안천, 황구지천, 성환천, 동복천, 한강고양난지) 중 5개 사업(오산천, 경천, 경안천, 황구지천, 한강고양난지)을 대상으로 공사중 모니터링을 수행하였다.

환경부는 지방하천을 대상으로 실시하는 생태하

천 복원사업 수행시 2014년부터 공사중 및 공사후 5년간 모니터링을 실시하도록 지침에 명시하고 있다.

그 외에 환경부는 환경영향평가 대상사업을 대상으로 공사착공부터 공사 후 5년까지 사후환경영향 조사를 실시하고 있다. 사후환경영향조사는 환경영향평가기 협의된 내용을 제대로 준수하고 있는지에 대한 조사로써, 조사목적이나 조사 강도 등에서 상기의 모니터링과는 차이가 있다. 특히 공사 중 적용

표2. 환경부 수질 및 수생태계 모니터링 항목 및 조사주기

조사항목		세부항목	조사방법	조사주기
수리수문		유속, 수심, 유량, 강수량	수질오염공정시험법(환경부), 기상청, 유량관측소 자료	연 2회 (장마전후)
화학	수질	수온, BOD, COD, DO, SS, pH, TN, TP 등	수질오염공정시험법(환경부)	계절별
생물 다양성	식물상, 곤충류, 양서·파충류, 포유류, 조류(鳥類)	종조성, 우점종 등	전국 자연환경 조사 지침 (환경부)	연 2회 (장마전후)
수생태계 건강성	부착돌말류, 저서성대형무척추동물, 어류	종조성, 우점종, 지수 등	수생태계 건강성 조사 및 평가 시험기준(환경부)	연 1회
하천자연도		수로의 발달, 종단면, 횡단면, 하상구조, 저수로변 구조, 하천주변	하천자연도 평가지침(환경부)	연 1회

※ 생태하천 복원사업 업무지침(2014), 환경부

공법에 대한 피드백 측면에서 사후환경영향조사와 모니터링은 큰 차이가 있다고 볼 수 있다.

모니터링과 사후환경영향조사가 동시에 진행될 경우 생태계 및 수질 등 특정 분야에서 중복조사가 될

수 있지만, 모니터링 조사가 조사지점이나 회수, 항목 등에서 보다 세부적으로 수행하고 있는 실정이다.

국도교통부의 모니터링과 환경부의 모니터링, 사후환경 영향조사에 대해서 아래의 표에 나타내었다.

표3. 하천정비사업 모니터링 실시 현황

구분	국토부	환경부	
대상사업	하천환경정비사업 7개시범사업 중 5개 사업	생태하천복원사업	사후환경영향조사 대상사업
근거법령	-	생태하천복원사업추진지침	환경영향평가법
시행시기	공사 중(5개사업) 공사후 3년(3개사업)	공사중 공사후 5년	사업중 사업준공후 5년
시행목적	효율적인 사업유도 사업전반의 기술 평가 하천환경변화과정 평가	수질 및 수생태계 변화 조사	환경피해방지 평가시 협의내용 이행상황 조사
조사항목	수리/수문, 홍수량, 수질/저질, 생태계 등 적용공법이 하천환경에 미치는 영향조사	물리적/화학적/생물학적/ 수생태계건강성 조사 (지침서에 수록)	평가시 제시된 대기질, 수질, 토양, 동식물상, 소음/진동 등
조사시기	공사 진행에 따라 필요시 수시조사	항목에 따라 분기별, 월별 조사	분기별 조사 (항목별 연 3~4회)
문제점	시범사업에 한정 적용	모니터링 결과의 공사중 반영(피드백) 미비	평가시 제시된 지점의 단순 환경 변화 비교

3. 모니터링 시행 효과

(1) 효율적 시공

하천사업의 타 사업과의 가장 큰 차이점은 생물을 다루는 부분이 많고, 강우에 따라 끊임없이 변한다는 것이다. 하천환경 설계시 이러한 부분을 고려하여 설계하더라도 급변하는 하천의 현장 여건을 반영하는 데는 한계가 있다.

공사중 하천환경 모니터링은 이러한 변화에 대응하여 설계시 적용된 공법을 적용 목적에 맞게 최적화함으로써 효율적인 시공을 유도할 수 있다.

(2) 하천설계의 한계성 보완

지속적으로 변화하고 살아있는 생물을 다루는 하천공사는 설계만으로는 성공적인 사업을 유도하기

에는 한계가 있으며, 모니터링을 통해 보완함으로써 효율적이고 경제적인 사업을 이룰 수 있다.

모니터링을 통해서 사업이 설계 의도대로 기능을 하고 있는지, 또는 그 사업의 목적과 목표가 달성되었는지를 평가할 수 있다.

(3) 예산절감 효과

모니터링을 통해 변화하는 현장 여건에 대한 유연한 대응으로 시행착오의 재발을 방지함으로써, 예산절감 효과를 거둘 수 있다.

모니터링에 의한 예산절감 효과는 환경개선에 대한 부분이 다수 포함되어 있기 때문에 정량화하기는 쉽지 않다. 아래의 표에 황구지천 하천환경 정비사업에서 모니터링 수행을 통해 예산 절감한 사례의 일부를 나타내었다.

표4. 황구지천 하천환경 정비사업 모니터링 수행을 통한 예산절감 사례

공종	공법변경내용	금액		
		당초	변경	절감액
시드스프레이	완경사 호안 성토후 잔디분사파종 → 잔디분사파종 삭제	1,228	-	1,228
식물재호안	붓꽃, 달뿌리풀, 꽃창포, 갯버들 혼식 → 물억새, 갈대 군식	1,442	609	833
갈대심기호안	실개천 및 본류저수호안 사면보호공 → 현지에 적합한 공법으로 변경	2,755	688	2,067
줄떼	계획홍수위 상단 제방 사면보호용 잔디식재 → 표토활용에 의한 잔디 삭제	1,082	36	1,046
계		6,507	1,333	5,174

(4) 현장 상황에 신속한 대응

하천은 지속적으로 변화하고 살아있는 생물을 다루는 특성상 공사 중 예상치 못한 문제점이 빈번히 발생하고 있다. 이러한 문제점 발생시 모니터링이 없다면 하천에 대한 전문가의 개입이 어려워지고 의

사결정에 많은 혼선을 불러일으킬 수 있다. 모니터링을 통해 신속하고 올바른 의사결정으로 효율적 사업 유도가 가능하다.

또한 적용공법이 현장에 부적절한 경우 설계변경이나 관리방법의 변경에 대한 근거자료를 모니터링

을 통해 제시할 수 있다.

4. 하천환경 모니터링 시행방안

(1) 모니터링 개념 정립

현재 하천에 대한 조사는 조사항목 및 내용, 시기, 방법 및 공사 전·중·후에 관계없이 하천사업과 관련하여 시행되는 모든 조사 및 평가가 모니터링으로 분류되고 있는 실정으로서 이에 대한 세부적인 개념 정립 및 구분이 필요하다. 즉, 하천관련 모든 조사를 모니터링이라 칭하고 있어 그 개념이 불명확하므로 모니터링의 목적에 따라 세부적인 개념정립이 필요

하다. 예를 들어 공사 중 사업의 효율을 높이기 위한 모니터링이나, 공사 전후의 사업의 평가를 위한 모니터링은 구체적으로 구분될 필요가 있다.

모니터링의 시행시기 및 구체적 목적에 따라 모니터링의 개념을 다음과 같이 두 가지로 구분할 수 있을 것이다.

- ① 시행 모니터링 : 사업 시행시 주요 적용기법 및 공종이 하천의 물리·화학·생물 측면에 미치는 영향을 조사·분석·평가하여 개선하는 과정으로 공사중 주요 공종에 대한 피드백을 통하여 효율적 사업 유도
- ② 평가 모니터링 : 사업 전·후 하천의 변화 과정 및 평가를 위한 모니터링

표5. 모니터링 개념 정립 및 구분

구분	시행 모니터링(효율중심)	평가 모니터링(목표중심)
목적	- 적용기법 및 공종이 하천의 물리·화학·생물에 미치는 영향 모니터링 후, 현장에서 피드백하여 효율적 사업유도	- 공사 전후의 물리/화학/생물 모니터링을 통한 하천의 전반적 변화정도 및 사업 효과에 대한 평가
시기	- 공사 전/중/후	- 공사 전/후 or 공사 후
대상	- 주요 적용 공법 중심 - 주요 구간 및 사업으로 인한 영향권	- 주요 구간 및 사업으로 인한 영향권
조사	- 주요 적용공법이 하천의 물리/화학/생물에 미치는 영향 조사 및 분석 - 하천의 주요 구간 조사 및 분석 - 주요 공종에 따라 수시로 실시	- 하천의 주요 구간에 대한 물리/화학/생물 변화 조사 - 홍수 전/후의 변화를 중심으로 조사
장단점	- 공사중 피드백으로 설계변경을 통한 모니터링 결과 현장 반영 - 경제적/효율적 사업 유도 가능 - 평가 모니터링 내용 포함	- 공사중 겪지 못하는 큰 홍수에 대한 안정성 평가 가능 - 사업종료 후 적용공법의 지속적인 평가/개선 - 하천 생태계의 복원은 긴 시간 필요 - 세부적 공법에 대한 평가 어려움

(2) 하천환경 모니터링 시행 방안

최근 하천환경에 대한 관심이 증가하고 사업이 늘어나면서 모니터링 수행의 필요성을 인식하고 있지만, 시행을 위한 법적 근거가 미비한 상황이다. 모

니터링의 원활한 진행 및 정착을 위해서는 모니터링 제원, 대상사업, 발주방식, 대가, 참여기술자, 관리방식 등 구체적 사항에 대한 제도화 및 보완이 필요하다.

모니터링 대상 사업은 하천을 자연친화적으로 정비하는 사업 중 지역특성, 사업비, 지역안배 등을 고려하여 감리가 포함된 사업을 대상으로 하는 것이 바람직할 것이다.

발주 방식에 있어서는 분리발주, 설계포함 발주, 감리포함 발주 등을 고려할 수 있으며, 각각의 발주 방식이 장단점을 가지고 있다. 단지 모니터링의 취지를 살리기 위해서는 감리에 포함시키는 발주 방식이 바람직할 것으로 판단된다.

모니터링 항목은 사업특성에 따라 하천수리, 수질, 생태, 조경, 역사·문화, 인문사회 등에 대한 전문적 지식을 갖춘 인력을 포함하여 구성하도록 하며, 보다 효율적인 모니터링을 위해 하천복원 관련 학회 및 협회 등에서 주기적으로 자연친화적 하천

조성에 관한 교육을 의무적으로 받도록 하는 것이 바람직할 것이다.

또한 모니터링의 효율을 높이기 위해 주요공법에 대한 시험시공을 의무화하고, 이를 위해 예산을 적절히 배정하는 것도 고려해야 한다.

이 외에도 원활한 모니터링을 위해서는 모니터링 계획 및 시행의 적절성을 평가하고 모니터링의 결과 및 제언사항이 설계변경 및 시공에 충실히 반영되었는지 여부를 판단할 수 있는 주체의 설립이 필요하다.

이러한 주체를 통해 하천환경 사업의 전반적인 내용을 모니터링/관리하고 우수성과에 대한 인센티브를 제공하며, 우수사례에 대해서는 홍보 및 전파함으로써 보다 바람직한 하천환경 조성에 기여할 수 있을 것이다.