

# 자연형하천조성사업에 대한 치수안정성 확보방안



장 원 재  
(주)동아기술공사 수자원부

## 1. 서론

하천에 대한 접근이 과거에는 이·치수사업에 대한 하천정비나 개발개념의 접근이었으나, 산업의 발달과 생활수준의 향상 및 사회구성원의 다양한 요구 등에 따라 최근에는 자연환경에 대한 관심까지 포함하게 되었다. 하천을 단순한 수로(水路)가 아닌 인간과 함께 공유될 수 있는 자연친화적인 공간으로 여기기 시작한 것이다. 변화하는 하천개념을 실제적으로 구현하기 위하여 자연형하천조성사업, 하천환경정비사업(이하 자연형하천정비사업으로 통일) 등이 시행되고 있으며, 사업이 어느 정도 정착되고 나면 하천이 자연스럽게 주변 환경과 조화를 이루는 아름다운 모습이 되리라 여겨진다.

최근 몇 년 사이에 생태환경적인 측면을 고려한 자연형하천조성사업이 활발하게 이루어지고 있으나, 생태 또는 환경이 오히려 강조되다보니 하천의 가장 원천적인 기능인 치수측면이 간과되기도 한다. 특히 하천구역내에 조성되

는 생태시설(식생지역, 생태탐방로 등)로 인하여 발생하는 퇴적이나 통수능 감소에 의해서 수위를 증가시켜 수해가 가중되기도 한다. 이러한 시설물은 인공 구조물(교량, 복개시설물 등)과 더불어 수해에 취약한 시설물이다.

이러한 문제점을 인식하여 최근에는 자연형하천을 조성함에 있어 수리적 문제점을 검토하여 치수안정성을 확보하고자 하는 노력이 이루어지고 있으며 특히 도시지역에 있어서의 연구는 상당한 성과를 거두고 있다.

그러나 자연형하천의 조성사업이 이제는 도시지역을 벗어나 농촌지역, 산지지역 등 다양한 지역에 계획되어지고 있다. 이러한 현실을 반영하여 다양한 지역의 자연형하천에 대한 치수안정성을 확보하는 문제는 지역주민의 생명과 직결되는 문제인 것이다.

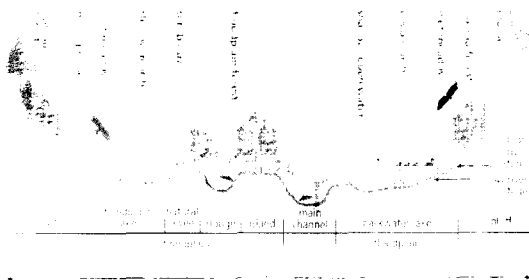
본 검토에서는 자연형하천조성사업의 계획특성을 검토해보고 수리적 문제점을 파악한 다음 해결방안을 제시하는 과정을 수행하였다.

## 2. 자연형하천의 조성특성

### 2.1 자연형하천의 구조적 특성

자연형하천사업은 도시화나 산업화로 인공화된 하천을 가급적 자연환경이 크게 훼손되지 않는 자연상태의 하천 모습에 가깝게 유지되도록 하천구조를 인위적으로 변경시키는 것이다. 조성사업의 구조에는 이수적인 측면, 치수적인 측면, 친수적인 측면 및 환경적인 측면이 포함되어야 한다. 이수적인 측면은 우리나라와 같이 계절적으로 강수량이 편중되는 지역은 일정량의 수자원을 안정적으로 공급하기 위한 수자원 확보에 대한 접근이고, 치수적인 측면은 홍수에 의한 피해를 방지하는 접근이고, 친수적인 측면은 물과 접촉할 수 있는 공간을 마련 할 수 있는 접근이다. 마지막으로 환경적인 측면은 자연친화적인 환경을 보전할 수 있도록 하는 접근이다. 자연형하천조성사업은 하천특성에 적합한 치수구조와 안정성을 갖추면서 생태계와 조화를 이루고, 친수성 및 경관 등 하천의 환경기능을 향상시켜야 한다.

〈그림 1〉은 하천경관의 횡단구조를 나타내고 있다.



〈그림 1〉 하천경관의 횡단구조(Sparks, 1995)

자연형조성사업의 공법은 제방, 홍수호안, 고수부지, 저수호안, 비탈멈춤공, 보, 낙차공, 수제, 저수로 등 시공 위치에 따라 같은 형태라도 내용은 달라질 수 있다. 특성 및 계획의 성격에 따라서 적절한 공법을 선택하여야 하며,

하천에서 생태계를 지배하는 요소는 수리적요소(유량, 유속, 수심, 평균유속 및 평균 소류력)와 수문적 요소(하천지역의 강우 특성, 강우량, 홍수량), 수질적인 요소(pH, DO, BOD) 그리고 하도의 형태(여울과 웅덩이의 분포)등을 고려하여야 한다.

홍수에 집중호우로 인한 하천의 범람을 방지하기 위한 치수적인 목적으로 가장 중요시되는 것은 제방 및 호안이 있으며, 제방과 호안에 대해서 간략히 설명을 하면, 제방의 정의는 유수의 원활한 소통을 유지시키고 제내지를 보호하기 위하여 하천을 따라 흙으로 축조한 공작물이다(2005년 하천설계기준, 건설교통부).

제방 설계시에는 하도와 제내지 상황, 사회 및 경제적 여건, 하천환경 등을 종합적으로 고려하여 설치장소 및 제방단면을 결정된 후 제방비탈면에 대한 안정 계산을 실시하여 그 안정성을 검토해야한다. 그러나 안정 계산 결과 필요한 안정성이 확보되지 못할 경우에는 그 대책을 마련하거나 제방단면의 제원을 수정하여 필요한 안정성이 확보될 수 있도록 해야 한다. 제방은 비탈경사, 독마루, 비탈기슭, 제외지, 제내지 등으로 구성되어있다.

제방을 유수에 의한 파괴와 침식으로부터 직접보호하기 위해서는 호안이 필수적이다. 호안은 설치 위치에 따라서 고수호안, 저수호안, 제방호안으로 나누어질 수 있다. 또한 자연형 호안은 치수뿐만 아니라 환경적인 측면도 고려하여 설계한 호안을 말하며, 친수/하천이용 호안, 생태계 보전 호안, 경관보전 호안으로 분류되어진다. 호안설계시에는 비탈덮기, 비탈멈춤, 기초, 밑다짐, 수충부 등 하천설계기준(2005)에 의해서 설계하여야한다.

### 2.2 기능적 특성 및 공법의 적용

자연형하천조성사업의 공법은 제방, 고수호안, 고수부지, 저수호안, 비탈멈춤공, 보, 낙차공, 수제, 저수로 등으로 나누어지며 각각의 기능 및 특성은 다음과 같다.

제방 및 고수호안은 상류에서 발생한 홍수를 안전하게

하류로 소통시키기 위한 치수목적하에 조성된 구조물로서 홍수시 이들의 붕괴난 국부세굴이 발생하지 않도록 내구성이 보장된 형태와 재질로 구성되어져야하며 하천공사표준시방서를 따라 형태와 규모를 결정해야한다.

저수호안 및 비탈멈춤공은 유수에 의한 국부세굴작용으로부터 호안 및 제방을 보호하기 위한 수로 유지공으로서 치수 및 이수기능뿐만 아니라 수충부에서의 하천생태계나 경관에 있어 중요하다. 따라서 수변의 생태계가 자연경관의 보전과 창출이 가능한 저수호안 및 비탈멈춤공이 되도록 계획한다. 치수상 안전하고 자연생태계에 유리하도록 다양한 구조 및 재질을 적용한 공법의 적용이 필요하다. 또한 제방의 붕괴를 막고 제방의 안정성을 확보하기 위해서는 호안에 대한 세부적인 설명은 다음과 같다. 호안 공법에는 비탈덮기공, 비탈멈춤공, 밀다짐공, 밀다짐수제가 있으며, 비탈기덮기공은 제방, 호안의 비탈면을 피복하여 유수력에 의한 침식을 방지하고, 비탈멈춤공은 비탈덮기공의 기초가 되는 비탈기습의 세굴을 견디도록한다 또한 밀다짐공은 호안 전면의 하상의 세굴을 방지하고 호안이 하부로부터 파괴되는 것을 막으며, 밀다짐수제는 호안 전면의 하상세굴을 방지하며, 흐름을 하천의 중심부로 향하게 하는 기능을 한다.

고수부지 친공간적으로 사용되는 곳이며, 주기적으로 침수됨에 따라 다양한 식생이 발달하고 생물의 양호한 서식환경이 된다. 그러나 하도계획에 따른 고수부지 정비시는 이와 같은 환경조건 대신 운동장 등 공간활용의 장으로 바꾸는 경우가 많아 단조로운 공간의 조성 및 하천생태계의 빈곤을 야기하는 사례가 많다. 따라서, 하천공간기본계획에 의해 고수부지 정비계획안의 수립이 필요하며 자연보전구역에서는 자연생태계를 재생하는 것을 기본으로 한다.

보, 낙차공은 횡단경사를 완화하여 흐름을 제어하고, 하상세굴을 방지하기 위해 설치되며, 경우에 따라 취수 목적을 위한 하천 횡단시설물이다. 이에 따라 보 및 낙차공은 하천의 상하류의 연속성을 단절함으로써 어류의 상하

이동을 저해하게 된다. 따라서, 이들은 하천주변을 포함한 하천경관이나 하천생태계의 서식환경 및 어류의 이동을 배려하여 시설물을 배치하고 적절한 구조와 재질을 선택하는 것이 중요하다.

수제는 제방으로 향하는 유로의 방향을 하천중심부 방향으로 제어함으로써 제방의 국부적인 세굴을 방지하는데 있다. 그러나 최근 수제는 이와 같은 치수기능외 하천생태계에 유리한 유로의 사행 및 여울이나 소의 조성이 가능하다.

저수로는 치수상 큰 제약받지 않고 어류의 서식환경인 여울과 소의 조성이 가능하고 다양한 자연경관의 창출이 가능한 공간이다. 따라서 하천의 유출특성이나 치수상의 기능을 충분히 파악하여 흐름방향, 유속 등 상세한 하도 및 생태계현황에 대해 조사하여 계획할 필요성이 있다.

### 2.3 적용공법의 수리적 특성

자연조성사업에서 치수적인 측면에서 가장 중요시 되는 부분인 제방 및 호안에 관한 수리적인 특성은 다음과 같이 설명되어진다.

제방은 제방 설계시에 계획홍수량, 여유고, 제방고, 둑마루 폭, 비탈경사, 턱의 설치 등을 하천설계기준(2005)에 의해서 설계를 하여야하며, 무엇보다도 치수적인 측면인 제방의 안전성이 강조되어야한다.

호안에 따른 수리적인 분류는 하상경사, 대상유속, 유선과의 관계로 나누어 질수 있으며, 하상경사는 하천전체에 발생하는 홍수의 응력을 평가하는 지표가 된다. 급류는 1/400 이상인 급경사 구간, 중류는 1/400~1/1000 정도의 경사구간, 완류는 1/1000이상인 완경사 구간으로 분류되어진다. 대상유속은 일정구간에 대한 홍수시의 외력을 평균적으로 평가하는 경우, 부분적으로 협착부가 발생하는 경우와 지형적인 조건에 의해 하상경사가 급변하는 구간 등에는 유속의 변화를 고려하여야한다. 대상유속에 따른 분류는 소류력과 2차류의 발생상태를 고려하여, 다음과 같이 4가지로 분류한다.

[표 1] 호안공법의 선정 및 적용지표(유속)

구분	유속 변화	구간의 분류
분류 1	1.0m/s	완류구간
분류 2	1.0m/s~2.0m/s	중완류구간
분류 3	2.0m/s~3.0m/s	중급류구간
분류 4	3.0m/s이상	급류구간

유선과의 관계는 홍수류의 유선을 고려하여, 대상하안에 미치는 흐름의 영향을 평가하고 분류한다. 분류는 다음의 3단계로 한다.

[표 2] 호안공법의 선정 및 적용지표(유선)

구분	홍수류의 구분	구간의 흐름 영향
분류 1	수 총 부	평균유속보다 큰 유속발생구간
분류 2	직 선 부	평균유속 발생구간
분류 3	사 수 부	만곡내측 등 홍수시에도 큰 유속을 받지 않는 구간

호안은 사용재료나 목적, 위치, 등에 따라 여러 가지 종류로 분류될 수 있으며, 공법별 분류에 따른 각 호안공법의 특성은 아래와 같다.

[표 3] 자연형 하천공법의 유형별 특성

자연형 공법의 종류	기능	수리적인 특성
식생계 호안공법	경관양호, 둔치의 건조화방지, 생태계보전기능, 수질정화기능	큰 유속에 대해서 저항력이 약함 비탈면경사가 완만한 곳
연결블록계 호안공법	수공구조물의 상하류부에 적합	큰 유속에 대해서 저항력이 강함 큰 유속에 대해서 저항력이 약함 비탈면경사 완만한 곳
목재계 호안공법	생태학적으로 양호	큰 유속에 대해서 저항력이 강함 비탈면 경사 급한 곳
석재계 호안공법	경관양호, 생태학적으로 양호	큰 유속에 대해서 저항력이 강함 비탈면 경사 급한 곳
블록계 호안공법	경관양호, 수총부나 수공구조물의 상하류부에 적합	큰 유속에 대해서 저항력이 강함 비탈면 경사가 급한 곳

### 3. 자연형하천조성의 문제점

#### 3.1 구조적 문제점

자연형하천조성사업은 이수, 치수, 환경 등 제반 기능을 가지고 있으며, 이들은 모두 인간의 생활환경에 직접적

인 영향을 미친다. 따라서 이 기능들이 충분히 조화를 이루도록 관리하여야 한다. 하천조성사업을 실시함에 있어 치수·이수기능 위주의 정비를 할 것인가 또는 하천환경 보전을 취할 것인가 하는 문제는 양자택일의 차원이 아니라, 양쪽이 전체로서 조화를 이룰 수 있도록 관리방향을 설정하는 것이 필요하다. 현재 하천이 갖고 있는 문제점의 주된 원인으로 한정된 구간만을 고려한 하천정비와 지속적이고 체계적인 관리가 이루어지지 않고 있음을 들 수 있다.

우리나라의 하천특성에 적합한 자연형하천조성사업을 적용하려면 여러 가지 어려움이 직면하게 되므로 기술적으로 충분한 검토를 거치지 않으면 홍수시 재해를 자초할 지도 모른다. 우리나라 하천에 적용하는 데에는 몇 가지의 고려하여야 할 사항이 있다. 첫 번째, 유럽 등과 비교해볼 때 하상계수(홍수량과 저수량의 비)가 높고 홍수시 유속이 빠르다는 점이며, 두 번째, 자연하천공법 및 자재의 검증된 자료가 부족하다는 점이다.

#### 3.2 기능적 문제점

치수적으로 가장 중요한 방지사업은 제방붕괴 및 호안 파괴이다.

침투수는 흙의 강도를 저하시키는 주요한 인자로서, 균열을 통해 침투한 물은 공극수압의 상승뿐만 아니라 체제에 중량을 증가시키게 되어 제방붕괴의 위험성을 증가시키게 된다. 체제내의 높은 수압은 홍수후 하천수위가 빠르게 낮아지는 반면에 체제의 토양으로 침투한 물은 상대적으로 훨씬 늦게 배수가 되기 때문에 발생하게 되며, 제방의 재료가 투수성 낮은 세립토인 경우에 이러한 현상이 발생하기 쉽다. 과잉공극 수압은 흙의 전단강도를 저하시키고 제방 뒤비탈에 파이핑을 유발하며, 급기야는 제방을 파괴에 이르게 한다. 제방의 붕괴는 월류, 침식, 제방 구조물 불안정, 하천구조물에 의한 붕괴 등에 의해서 일어난다. 그 중에서도 월류와 침식에 의해서 가장 많이 일어난다.

호안은 홍수시에 빠른 유속에 의해서 침식이 발생하여

제방의 안정성에 큰 영향을 미친다. 호안의 파괴 원인은 국부세굴, 유수력에 의한 블록유출, 유수력에 의한 이음매 탈락, 잔류수압, 호안머리의 침식, 직접충격 등에 의해서 파괴가 된다. 그 중에서도 국부세굴 및 호안머리의 침식에 의해서 가장 많이 발생한다. 호안에서 하도에 관하여 살펴보아야한다. 하도는 일반적으로 평균유사이송율이 평균 유사공급율과 같아지는 평형하상에 도달하려는 경향이 있다. 안정하도인 경우에는 유로의 만곡부에서는 하상침식과 유사퇴적의 형태로 하상과 제방의 불안정성이 발생하게 되며, 불안정하도인 경우 이러한 현상이 더욱 심화되어 나타나고, 특히 큰 세굴과 지역적 규모와 유사퇴적의 변화양상을 나타낸다.

### 3.3 적용공법의 수리적 문제점

현재 호안공법의 설계는 수리적 설계인자를 제공하는 제품이 거의 전무하므로 경험과 소류력, 유속 등 일부 수리적특성을 감안하여 설계를 시행하고 있다. 그러나 이것은 설치 초기의 수리특성이고 식생공법 등이 적용된 경우 식생의 활착에 따라 수리특성이 상당한 변동을 나타나는 바 이에 대한 명확한 설계자료 제공이 어려운 현실이다. 아울러 유로부의 경우 호안주변에서 하천의 흐름이 느린 곳에서는 갈대 등이 번성하고, 흐름이 강한 곳에서는 버드나무 등 다양한 식물이 자생하게 되므로 식물의 번성에 따른 홍수소통단면적의 감소, 조도의 증가로 홍수의 유하능력을 감소, 식물의 유실에 따른 하류의 영향 등이 발생한다.

## 4. 해결방안

자연형하천조성사업에 올바른 방향은 이수적인 측면, 치수적인 측면, 친수적인 측면, 환경적인 측면의 네가지 측면을 함께 고려하는 것이다. 또한 지속적이고 체계적인 관리를 해야하며, 하천정비를 일정한 하천구간만을 대상으로 고려할 것이 아니라, 하천수계 전반에 걸친 충분한

검토와 계획수립을 통해 이루어져야 한다.

또한, 지속적인 모니터링으로 자연친화적 공법의 적용에 따른 예상치 못한 문제점을 파악하고 대응방안을 구축하며, 도입된 공법들이 하천환경에 미치는 영향에 관한 정보를 수집 및 정리할 수 있다. 또한 조성사업후 모니터링은 하천정비사업으로 인한 하천환경의 변화 및 천이 과정을 조사 및 분석할 수 있다.

제방붕괴의 원인을 분석하여 계획홍수량 및 홍수위 등에 따른 영향을 끼치는 인자에 대하여 검토, 유형별에 따른 붕괴양상을 검토 및 제방의 지역적인 하천특성에 따라서 제방의 설계기준이 달라질 수 있으므로 제방의 안정성이 확실히 보장되어야한다. 하천제방설계시 제방의 여유고와 독마루폭을 허용 여유고 및 독마루폭 폭 이상 확보하도록 할뿐만 아니라 홍수시 상류로부터의 유입량을 감안하여 여유고나 독마루를 결정해야 할 것이다.

자연형하천조성사업에서 호안은 제방을 보호하는 목적에 가장 충실한 공법을 선택하여야 하며, 유량, 유속, 소류력, 홍수위 등의 수리적인 특성을 고려한 안정성이 확보되어야한다. 또한 국내 현재에 검증할 수 있는 자료가 부족한 실정이므로 지속적인 수리적 모니터링을 통한 연구와 자연하천을 수치모의 할 수 있는 수치모형 개발에 관한 연구가 이루어져야할 것이다.

## 5. 맺음말

본 검토에서는 이·치수적인 안정성 및 생태환경적인 측면을 고려한 자연형하천조성사업의 중요성에 대하여 기술하였다. 특히 홍수기에 집중호우로 인한 수해가 증가 추세에 있으므로 수해예방을 위해서 치수안정성 확보의 중요성을 강조하였다.

국내에서는 자연형하천조성사업에 대한 치수안정성의 검토에 객관적 검증이 불확실하며 명확한 하천표준지표와 하천정비설계기준이 제시되지 못한 관계로 홍수시 제방 및 호안이 위협해질 수 있으므로 사업시행지역에 대한

지속적인 유지관리 및 모니터링을 구축하여 문제점 파악 및 수문·수리적인 관리에 관한 정보를 수집 및 정리하여야 할 것이다.

### 참고문헌

- 국립방재연구소(2000). 자연형 하천 공법의 재해특성분석에 관한 연구(Ⅰ),(Ⅱ)
- 국립방재연구소(2003). 자연형 소하천정비공법 개발(Ⅱ)
- 국립방재연구소(2005). 자연형 소하천정비공법 개발(Ⅳ)
- 한국건설교통부(2005). 하천설계기준·해설
- 한국건설교통부(2002). 자연친화적하천관리지침 보고서
- 한국건설기술연구원(2001). 한국형 다기능 하천설계기준 사업 기획 보고서
- 한국건설기술연구원(2001). 국내여건에 맞는 자연형하천공법의 개발(1998~2002), 환경부
- 이동섭, 안홍규, 우효섭, 권보애(2007). "치수 안전성과 환경성을 고려한 새로운 식생호안공법의 적용 및 평가", 한국수자원학회 논문집, 제 40권, 제 2호, pp. 125~134.