

日本에서 溪流邊의 環境復元 發展戰略(Ⅲ)

- 林道 및 治山·砂防을 中心으로 -

朴在鉉¹⁾·禹保命²⁾·李憲浩³⁾

¹⁾임업연구원 · ²⁾서울대학교 산림자원학과 · ³⁾영남대학교 산림자원학과

Strategic Prospects of Environmental Restoration of Stream Side in Japan(Ⅲ)

- With a Special Reference to the Forest Road, Forest Conservation
and Erosion Control -

Jae-Hyeon Park¹⁾, Bo-Myeong Woo²⁾ and Lee Heon-Ho³⁾

¹⁾ Korea Forestry Research Institute

²⁾ Dept. of Forest Resources, Seoul National University

³⁾ Dept. of Forest Resources, Yeungnam University

ABSTRACT

This study was carried out to introduce current status and development strategy for an environmental restoration of stream side in Japan, and to consider a methodology which could be effectively applied for the environmental restoration of stream side in Korea. The strategy prospects of environmental restoration in Japan were summarized as follows :

1. When we establish the long term erosion control planning, we should make detail planning after considering of a certain block of watershed units. Because most of the disaster is caused by soil movement which was occurred by water contents.
2. Nowadays, the general torrent erosion control planning system in Japan focused on reducing the sediment such as by placement of erosion control facility and by restoration of afforestation, after calculation of several factors including expected amount of sediment, and the different amount of planned sediment and allowable sediment.
3. In the past, the goal of forest conservation and erosion control planing was to fix the amount of soil movement by construction of permanent facilities. While, the goal of forest conservation and erosion control planning in the future needs to change the techniques to a small and middle scale's soil movement which could prevent soil movement from large scale of soil disasters, but allow soil movement effectively. Also, it is considered to change erosion control dams from non passing type to passing type.
4. Restoration of stream-side ecology, erosion control for the conservation of ecology should be planned and conducted cautiously based on concepts of ecology conservation and development of environmentally sound techniques.

Key words : *stream side, environmental restoration, erosion control planning, afforestation*

I. 緒論

일본에서 근대의 치산·사방사업은 메이지유신으로 인한 황폐한 국토환경을 배경으로 발전하였으나, 치산·사방사업은 산지와 계류변의 자연생태계, 경관보전 문제와 상치되는 문제를 안고 있다. 따라서 국민의 생명과 재산을 지키는 방재사업이라 하더라도 자연환경의 보전과 조화된 사업의 실시는 시대적 요청이 되었다. 그리고 개개 사업현장에서의 환경보전이 곧 지구환경의 보전과 직결된다는 것을 생각한다면 치산·사방기술자가 사업의 실행에 있어서 환경보전을 고려하는 것은 필수 조건이라 할 수 있다. 결국 환경보전과 조화되지 않는 치산·사방사업의 실행은 불가능하다고 해도 과언은 아니다. 실제로 일본의 경우 建設省, 林野廳, 道都府縣에서 환경을 배려한 각종사업이 전개되고 있고, 하천사업도 환경복원을 위한 치산·사방사업과 같이 근대 치수사업으로서 홍수범람 방지와 수자원의 개발에 큰 공헌을 해왔다. 그러나 최근 들어 대규모의 인공댐과 견고한 호안의 건설이 결국 계류생태계와 친수성의 파괴로 이어지고 있다는 사실이 판명되어 각종 건설사업은 환경을 고려하지 않고는 어렵게 되었다.

자연생태계와 자연경관보전에의 국민적 관심의 증대는 대다수 사람들이 살고 있는 평지에서 숲이나 수변 등 자연이 급속하게 사라지는 것이 하나의 원인이 되고 있다. 더구나 자연이 원형대로 남아 있다고 생각되는 산지와 산림도 최근 현저하게 변화하고 있다. 이러한 시점에서 산지와 계류변에서의 생태계보전과 환경복원을 위한 치산·사방사업과의 관계에 대해서 생각해 볼 필요가 있다(森本, 1998; 朴在鉉 等, 2000a; 朴在鉉 等, 2000b).

일본의 산림은 19세기 후반 근대적인 치산·사방사업이 시작될 때 민둥산이나 황폐산지가 전국에 존재하였고, 토사재해와 수해가 빈발했다. 또한, 태풍으로 인한 침식토사의 증가로 하천이 범람하는 사태가 자주 발생하였다. 따라서 산복에는 나무를 심고, 계류에는 댐을 시공하여 토사가 유출되는 것을 방지하고자 하였는

데, 이것이 국토보전사업의 추진법으로서 공포된 당시의 森林法·砂防法の 사상이었다(太田과 高橋, 1999). 이러한 결과로 최근에는 산림이 건전하게 육성되어 표층붕괴도 감소하고 있으며, 그 결과 산림의 수원함양기능에도 유리한 영향이 나타나게 되었다. 그러나 갈수기에는 유량이 감소하는 사태도 발생하고 있으며(太田, 1998), 계류와 하천으로 유입되는 유출토사량도 감소하고 있고(大野, 1999), 축설된 사방댐에 토사가 퇴적되지 않는 곳도 증가하는 등 사방공사의 영향이 나타나게 되었다.

이 논고는 일본에서 계류변의 환경복원을 위한 실태 및 그 발전전략을 소개함으로써 장래 우리 나라에서 수행될 수 있는 계류변의 환경복원을 위한 각종 사업에 효율적으로 적용할 수 있는 전략을 모색하는데 그 목적이 있다.

II. 溪流環境 實態와 變化

1. 계류재해원인과 토사이동

재해의 원인이 되는 토사이동 가운데 가장 큰 문제는 토석류라 할 수 있다. 토석류는 다량의 토사와 물이 큰돌과 섞여서 유하하며, 토사와 물이 섞여 죽탕과 같은 상태로 빠르게 유동, 강력한 파괴력을 가지고 직진하는 것이 큰 특징이다. 토석류는 어느 정도 모여진 토사가 한번에 유동할 때 발생하고, 임도건설시 등으로 부터의 붕괴나 산사태에 의해 계곡으로 유입되어 온 토사가 그대로 토석류로 되는 것, 호우에 의해 계상의 토사 그 자체가 토석류로 유동하는 것, 비탈면에서 붕괴된 토사가 계류를 막고, 그것이 무너져 토석류화 된 것, 화산활동에 따라서 토석류가 발생하는 것 등으로 구분할 수 있는데, 특히 대규모 붕괴나 화산활동에 수반해서 생기는 토석류는 규모가 커서, 피해도 광범위하게 나타난다(玉井 等, 1993).

특히, 유수의 힘에 의해서 토사가 계상을 따라 유송되는 현상이 掃流인데, 소류에는 계상을 돌고 자갈이 미끄러지듯 이동하는 유형, 구르듯이 이동하는 유형, 계상을 따라 도약하면서 이동하는 유형으로 구분할 수 있다. 또한,

미세한 입자는 유수에 뜬 채로 장거리를 이동하는데, 이와 같은 토사이동은 계상에 있던 토사가 움직이고 모여지는 등 교환을 반복하며, 비탈면에서 공급된 토사 가운데 미세한 토사는 계상과의 토사 교환이 이루어지지 않고 유하하기도 한다. 즉, 소류나 부류에 의한 토사이동은 그 자체로 토석류 정도의 파괴력을 가지지는 않지만, 하상의 상승이나 저하의 원인이 되어 재해로 이어지기도 한다. 예를 들면, 하상의 상승은 하천 횡단면 안쪽 물이 흐르는 부분의 면적을 감소시켜 유수의 범람을 발생시키기 쉽다. 또한, 하상의 저하는 교각 주변이나 호안의 일부부분을 세굴시켜 이들의 파괴나 유출의 원인이 된다. 아울러 저수지로 유입되어 퇴적되는 토사에 의해 다목적댐이나 취수댐의 기능이 저하되는 일도 심각한 문제로 이어지고 있고, 유목의 유출도 때로는 하류지역에 큰 피해를 초래하기도 한다. 따라서 토사 유출의 대부분은 물에 의해서 발생되기 때문에 임도 건설 및 사방사업계획을 세울 때는 유역 단위로 면밀한 계획을 수립할 필요가 있다.

2. 계류에서 사방공사의 실태와 변화

사방공사란 토사의 이동으로 인해 발생하는 직·간접적인 재해를 방지하기 위한 공사인데, 일본에서는 역사적으로 해안에서 발생하는 비사에 대한 재해대책이 중요하게 인식되어 왔으나, 최근에는 토석류에 대한 토사재해대책을 주요하게 다루고 있다. 또한, 절암지의 붕괴나 산사태에 대한 대책도 사방공사의 범주에 포함시켜 중요도를 높이고 있다. 따라서 야계사방공사는 토석류를 포함한 각종 토사의 억지와 조절을 목적으로 하고, 주로 산지원류지역에서 선상지까지의 계류에서 실행하고 있다.

일본에서는 사방공사 자체를 공공사업으로 선정하여 건설성에서 시행하고 있고, 임야청에서는 치산사업으로 일부 시행하고 있다. 이들 사업의 대부분은 각각 사방법과 삼림법을 토대로 실행하고 있고, 또 규모가 큰 사방사업은 국가가 직접 담당하지만, 그 외에는 都道府縣이 담당한다. 치산사업은 국가가 담당하는 직할치

산사업과 都道府縣이 담당하는 보조치산 및 단독사업으로 구분된다(建設省河川局, 1997).

사방사업과 치산사업은 그 목적이 다소 다른데, 사방사업은 토사재해 방지를 첫째 목적으로 하고, 치산사업은 산지원류부의 산림을 양호한 상태로 보호함으로써 하류지역으로의 토사유출 경감과 수자원함양 등을 도모하는 것이다. 따라서 이들 목적의 차이에 따라 사방사업과 치산사업의 대상지가 다소 다르다. 예를 들면, 하류지역으로의 토사유출을 방지·조절하기 위한 대형 사방댐이나 선상지에 시공하는 대규모 유평공 등은 사방사업에 의하여 실행하는 것이 많고, 치산사업은 산복비탈면에서 실행하는 경우가 많다. 그러나 실제 행해지는 공법은 매우 비슷하다. 따라서 엄밀하게 사방공사와 치산공사, 사방댐과 치산댐 등은 구별되어야 하지만, 일반적으로는 사방공사, 치산공사를 총칭하여 사방공사·사방댐 등으로 부르고 있는 것이 실상이다.

사방공사는 일반적으로 수계를 중심으로 한 야계사방공사와 산복에 대하여 실시하는 산복사방공사로 구분한다. 수계를 중심으로 한 사방공사는 수계 전체 즉, 원류부에서 하구에 이르는 계천 전체에 걸쳐 계천의 정상적인 기능을 보전하고, 안전한 수계환경의 확보를 피하도록 종합적으로 토사의 생산과 유출의 억지를 목적으로 실시하는 공사이다. 따라서 수계를 중심으로 하는 사방공사는 유역 전체에서 비탈면이나 하상 근처의 토사가 하도나 계류로 유입되거나 하류지역으로 유출되는 예상토사량, 하류지역으로 흘러도 되고 하류나 해안의 유지를 위해서 유하시킬 필요가 있는 토사량 등을 산출하고, 계획유출토사량과 허용토사량의 차를 산정하여 이를 사방시설의 배치 및 복원녹화사업을 통해서 감소시키는 것이 일본에서 야계사방의 흐름이다. 각종 토사량의 산정은 반드시 대상지를 상세히 조사하여 각각의 수치를 엄밀하게 구해야 하는 것은 아니다. 예를 들면, 계획토사생산량은 지질이나 유역의 크기 등에 의해 추정된 참고치를 사용한다. 그러나 하도의 토사조절량을 정확하게 수량화하는 것은 곤

란하므로 치산사업에서는 그 목적부터 산복비탈면 보전대책을 지향하는 경향이 크다. 단, 치산사업은 하류역의 안정도 고려해야 하므로 수계사방의 사상을 포함하고 있다고 할 수 있다. 이에 반해 산복사방은 특정한 보전대상을 토사재해로부터 지키기 위한 공사를 말한다. 즉, 산간부에 위치한 촌락, 작은 계곡의 하부에 있는 민가나 공공시설을 산지붕괴나 토석류에 의한 토사재해로부터 지키기 위한 직접적인 공사이다. 따라서 1990년부터 1992년까지 전국 79,300개소의 계류에 대하여 토석류 발생가능성이 높고, 범람 구역 내에 일정 호수 이상의 민가가 존재하고 있는 계류를 중심으로 토석류발생위험계류를 지정·정비하였으나 1996년 현재 정비율은 20% 정도에 불과한 실정이다(環境廳自然保護局, 1998).

산복비탈면에서의 사방공사는 토사생산을 방지·경감하기 위한 공사가 대부분이다. 이 공사는 산복공이라 부르고, 산복에서 행하여지기 때문에 직접 계류에는 관계하지 않는다. 그러나 산복비탈면의 안정을 피하기 위해서는 상부 계류부터 안정화를 피하지 않으면 안 되는 경우가 많다. 따라서 이와 같은 목적을 달성하기 위해서는 산복공사 시공지의 하부 계류에 사방댐이나 상고공, 호안공, 곡지공 등을 설치해야 한다. 뿐만 아니라 협곡부에서는 토사유출 조절을 목적으로 한 사방댐의 설치가 중심이 된다. 수계사방의 방법으로 설계되고 있는 계류에서는 토사의 억지와 조절이 실시되는데, 특히 유역 규모가 큰 직할사방사업에서는 제방높이 15m 이상의 대형 사방댐이 건설되는 경우가 많다.

사방댐의 기능과 구조에 대해서는 최근 커다란 변화가 나타나고 있다. 기존의 사방댐은 여러 개의 물을 뿜아내는 배수공이 설치된 콘크리트 벽이 계류를 막도록 시공되어 있어 토사를 저류하는 일 이외에 계상이나 계안의 토사이동을 방지하는 기능, 산각부를 고정하고 댐상류에 퇴사된 토사로 인하여 산각을 안정시키는 기능, 댐 상류의 퇴사면에서 상류로부터 유출되는 토사를 조절하는 기능 등을 수행한다. 그리고 댐 상류의 퇴사면은 원래의 하상보다

경사가 완만하고, 폭도 넓기 때문에 토사가 퇴적되기 쉬운 조건이 된다. 여기에 토석류나 고농도의 토사를 포함한 홍수가 유출될 경우 퇴사면에서 토사가 퇴적되고, 그 후의 유출수로 인해 여분으로 퇴적된 토사가 세굴되어 안정적인 경사면을 유지한다. 그러나 토사조절기능을 보다 적극적으로 발휘시키기 위해 최근에는 댐구조 자체를 변화시키고 있다. 즉, 종래의 사방댐이 폐쇄적인 데 반해 새로운 유형은 댐 본체의 중앙에 큰 슬릿트가 들어가거나, 댐의 주요 부분이 투과되는 구조로 조성되고 있다(西川等, 1996). 따라서 이러한 새로운 유형의 사방구조물들은 유수나 소량의 토사를 통과시키고, 다량의 토사유출 시에는 토사를 포착하며, 홍수가 지나간 후에 토사를 유출시켜 홍수조절을 피하는 기능을 하고 있는 동시에 기초지반에 대한 요구도가 적어 터파기를 줄일 수 있고 연약지반에도 시공할 수 있으며, 콘크리트를 사용하지 않아 비경관적이지 않고, 공사규모의 대소나 지형의 변화에 적응할 수 있는 등 장점을 가지고 있다(禹保命, 1992). 따라서 이러한 구조로 인해 이를 투과형 댐이라고 부르는데, 투과형 댐은 토사유송구역 뿐만 아니라 토사생산구역에 가까운 작은 계곡에서 토석류대책의 댐으로도 매우 유용하게 이용된다고 할 수 있다.

한편, 선상지에는 농지나 택지 등이 있고 다양한 인간의 사회생활이 영위되고 있다. 그 때문에 선상지로의 물이나 토사유입을 방지하는 일, 즉 유로의 고정이나 범람방지, 침식에 의한 토지·가옥 등의 유실방지 등이 구체적인 방재목적이 된다. 하도를 고정해도 상류에서의 토사 유입이 심해지면 하상은 상승하고, 범람의 위험성은 높아진다. 따라서 이를 피하기 위해 퇴적구역에서의 공사는 상류에서의 사방공사가 진척되고 토사의 유입이 상당 부분 억제된 단계에서 본격적으로 실시하게 된다. 즉, 토사재해라는 관점에서 보면 보다 중대한 대책이 필요한데, 위험지역에 있어서 토지이용의 규제, 예지·예측, 경계·피난체계의 확립, 자주적인 방재의식의 향상 등이 보다 중요한 개념이라 할 수 있다.

Ⅲ. 林道 및 砂防工事が 溪流의 物理的 構造에 미치는 影響

1. 계류의 물리적 구조에 영향을 미치는 임도 및 사방공사

사방공사는 토사이동을 소규모화시키며 하상을 고정하는 역할을 한다. 따라서 댐이나 상공은 토사이동은 물론 물의 흐름도 불연속적으로 만들게 된다. 하상의 고정은 특히 유로공 시공지에 있어 현저하다. 이곳은 원래 다양한 지형과 수문환경이 전개되는 선상지나 범람원이기 때문에, 그 영향을 클 것으로 예상된다. 더구나 토사이동이 발생되기 어렵기 때문에, 이로 인하여 유지되었던 하상 근방이 다공질인 퇴적구조로 발달하지 못하거나, 이에 수반되어 발생된다고 생각되는 하상공극수의 존재방식, 다양한 사력퇴 등을 포함한 지표미지형이나 수문환경 등에 큰 영향을 미친다. 뿐만 아니라 유로공 시공지에서는 공사로 인하여 하도지형 그 자체가 단조롭게 변형되기 때문에 이에 대응해서 물의 흐르는 방향도 모두 알고 단조롭게 된다(Takahashi and Higashi, 1984).

최근에는 자연에 가까운 하천공법이 전개되고, 환경 문제에 대한 행정적인 측면에서도 변화가 나타나고 있다. 그러나 여전히 종래의 방식을 답습하는 공사가 존재하기도 한다. 따라서 이제까지의 임도 및 사방공사가 어떻게 환경에 영향을 미쳐왔는지 그리고 물리적인 환경 변화에 따른 생태계의 영향은 어떤지 하는 것들을 생각할 필요가 있게 되었다.

사방사업과 자연환경과는 시대에 따라 사회·경제조건을 반영하면서 변천을 거듭해 왔다. 1600년대 후반부터 시작된 토사억지공사는 당시 넓게 분포한 민둥산에 대한 산복식재를 주체로 한 산림복원의 기술이었다. 이후 1800년대 초기에는 공공연히 하천에서 자연석을 이용한 계류공사가 성행하였는데, 이는 대규모적이지 않으면서도 오랜 세월에 걸쳐 점진적으로 시공되었기 때문에 주변의 자연환경을 급속하게 변화시키지는 않았다. 명치시대 이후 사방사업이 계류공사를 주체로 하게 되었을 때, 토

사재해를 전면적으로 억지한다는 의식은 적었다. 따라서 계류에서의 인공구조물도 비교적 규모가 작고, 사용재료도 자연석이나 잡목 등 주변 환경에 영향이 적은 것들을 사용하였다. 그러나 이후 콘크리트의 사용이 일반화되자 시설 규모를 확대하는 것이 용이해졌다. 또한, 토사이동에 기인하는 재해위험도가 높은 지역으로 인구 및 시설의 집중이 진행된 결과 토사재해를 예방할 필요가 생겨나기 시작했으며, 임도건설 등으로 인한 절·성토의 붕괴 등으로 인한 토사유출 재해를 방지하기 위한 방재기능의 발휘를 지상 목적으로 하는 구조물이 시공되게 되었다. 따라서 현재는 계류공사나 하천정비가 상당히 진척되고, 재해의 방지·경감효과를 발휘하면서 한편으로는 원래 자연의 계류나 하천이 격감하는 상황이 발생하기에 이르렀다. 그 결과 주변 환경으로도 눈을 돌리게 되어 재해기능의 발휘와 생태계 보전 및 경관과의 조화 등 이들의 양립을 모색하는 노력이 진행되게 되었으며, 이는 사방사업이 환경과의 조화를 생각하고, 새로운 계류경관의 형성을 지향하고자 할 때 계류환경의 전체적인 구조를 분석하고 해석하는 데 많은 도움이 되었다(橫山, 1995). 아울러 사방사업이 환경이나 경관에 미치는 영향을 평가하는 관점에서는 지금까지 토사이동 현상의 관점만으로 정리하고 있던 공간규모의 서열을 경관생태학적 관점에서도 정리하는 등 양자의 상호관계를 명확하게 할 필요가 있게 되었다. 원래 사방 분야에서는 사방 전체계획을 책정하는 필요상 토사이동의 관점에서 본 유역구분이 행해져 왔고, 유역 차수에 의해서 공간적인 서열화가 행해져 왔다. 그로 인해 사방구조물이 환경이나 경관에 미치는 영향의 정도나 표현방식은 공간적 규모에 따라서 다르다고 생각하게 되었다. 즉, 어떤 크기의 사방구조물이 주변경관에 미치는 영향은 검토 대상이 되는 단위공간의 규모에 따라서 다른데, 이를 극복하기 위해서는 광역적으로 본 경관과 협의적으로 본 경관을 각각 구별하고, 양쪽에 대해서 조화를 이루는 것이 필요하다. 이제까지의 시공 사례에서는 사방시설 그 자체, 또는

그 주변부 만의 미세한 경관만이 고려되었고, 계류 전체를 대상으로 한 생태적 의미에서의 경관에 대한 영향을 고려한 광역적인 경관의 검토는 불충분했다고 볼 수 있다.

따라서 계류를 통과하는 임도, 사방사업의 대상이 되는 계류, 유역의 각 구간에서 경관의 특성이 도시주변에서 전원 또는 산지로 향해서 순차적으로 변화해 가는 과정을 검토해야 할 필요가 있게 되었다. 즉, 계류는 각각 도시경관, 전원경관, 산촌경관, 산림경관 등의 다른 성격을 갖는 경관 속을 순차적으로 유하하고, 각 구간에서 주변경관에 자연적 요소가 어느 정도로 존재하는가가 다르다. 따라서 경관과 조화되는 사방계획의 설정은 계류의 각 구간에서 경관 특성을 고려하고, 개개 사방구조물의 의장 등 디자인을 검토할 때에도 주변경관의 특성을 고려할 필요가 있다(島谷과 峯川, 1997).

2. 동적 환경구조의 보전

자연상태의 계류 환경에서는 수계생태계의 다양성이 높다. 환경구조가 다양한 장소에서는 풍부한 비오톱이 형성되고, 생물군집의 다양성이 보전되는 상황이 나타나게 된다. 또한, 계류 환경의 질과 생태적 다양성은 상호 불가결한 관계에 있다. 따라서 우수한 계류환경을 보전할 수 있도록 하는 공법이야말로 생태적으로 우수한 계류공법이라 할 수 있다. 즉, 이와 같은 공법은 단순히 외형적으로 자연상태에 근접한 계류를 조성하는 것이 아니라, 계류의 생태군집 전체를 보전하는 것을 목표로 하는 것이다. 이를 위해서는 계류환경이 본래 가지고 있는 동적인 환경구조를 유지하고, 동적 교란에 의해 다양한 생물의 서식지를 유지하는 것이 필요하다. 그러나 동적인 환경구조의 보전을 계류나 하천의 전구간에서 실시하는 것은 방재 목적상 곤란한 문제가 발생할 수 있다. 즉, 계류를 통과하는 임도나 사방사업의 대상이 되는 각각의 계류나 하천, 또는 그것들의 대상이 되는 구간은 각각의 특성에 따라서 다른 처리를 필요로 한다. 따라서 자연에 가까운 하천공법

은 과거 20년 이상 실시되어 왔고 부단히 자연에 적합한 공법을 발전시켜 온 유럽·알프스 등 여러 국가에서의 선구적인 경험이 모델이 되고 있다. 현재의 사고방식은 자연상태로 남겨진 구간은 가능한 한 그대로 남긴다고 하는 'Zero-工法'을 우선시 하고, 필요한 경우에만 개수를 자연에 적합한 공법으로 실시하며, 결코 피할 수 없는 경우에 한해서만 자연에 적합하지 않은 공법을 허용할 수 있다(Klaiber, 1997).

개수에 대해서는 미개수의 계류나 하천 또는 그 구간과 기개수한 곳 등 계류나 하천 또는 각각의 구간으로 나누어 생각할 수 있다. 미개수구간에 대해서는 'Zero-工法'에 의해 자연 그대로 남겨지는 경우와 자연에 적합한 공법으로 개수하는 경우가 있다. 기개수구간에 대해서는 '재자연화'에 의해 하천의 자연 천이에 맡기는 경우와 자연에 적합한 공법으로 다시 개수하는 경우가 있다. 하천의 재자연화는 하안의 토지를 매입해서 범람구역의 위치를 표시하고 하천의 발달을 하천 스스로에게 맡기는 것이다. 즉, 자연에 가까운 자연하천개수는 인접한 토지이용의 변화를 가져오는 것이 아닌 현재 하천공간의 범위 내에서 유연하고도 다양한 구조를 추구하도록 하는 생태적 다양성을 높이는 개수방법으로, 이와 같이 동적인 환경구조의 보전은 단순히 경관에 변화를 가지게 하기 위한 것은 아니며, 다종다양한 비오톱을 보전·복원시킴으로써 계류생물군집 전체를 보전하고, 생태적으로 풍부한 계류환경을 형성하는데 도움이 되리라 생각된다.

3. 계류생태계를 고려한 사방댐과 어도(魚道)

어도는 소상장애가 되는 어떤 서식지에 있어서 그 장애를 경감시키기 위해 소상시기, 어류의 유영력, 유영형태, 유영습성, 소상량 등 대상 어류로부터 요구되는 조건, 낙차, 수리·수문조건 등 서식지로부터 요구되는 조건 및 그 외 법적규제, 경비, 경관 등 세 가지 조건을 가능한 만족하는 곳을 찾아야 한다. 일반적으로 모든 조건을 다 만족하는 곳은 존재하지 않는데, 예를 들면, 대상 어류로부터 요구되는 조건이

소상장애가 생기기 전 회유자유도의 확보를 필요로 하고, 그것을 완전히 달성할 때에만 조건을 모두 만족할 수 있다면 어떠한 어도도 그 조건을 모두 만족하기는 어려울 것이다. 따라서 회유장애의 제거 또는 장애발생 이전으로의 완전복원만이 어류의 소상장애를 해결할 수 있다 (Winter, 1993; 長瀬, 1998; 박상덕, 2000). 즉, 실제 설계에서는 어느 조건에 있어서나 타협 또는 완화가 필요한데, 예를 들면, 장애물이 아직 설치되어 있지 않고 어도의 설계시에 장애구조물 그 자체의 설계도 변경시킬 수 있다면 우선, 그 구조물에 의한 소상장애가 가능한 감소되도록 변경시키는 것이 필요하다. 일반적으로 사방댐에 있어서는 어류서식지의 조건이 항상 특수하게 설정되기가 어렵고 또한, 조건의 설정자체가 어도 본체의 좋고 나쁜 것에는 무관하게 결과의 좋고 나쁨을 좌우하는 일이 적지 않으므로 사방댐에 있어 어도의 설계는 매우 신중하게 검토해야 하는 것이다.

아울러 임도를 통과하는 계류에 있어서도 보통의 계천에 서식하는 어류와 같이 유량·수질·피난처·먹이·산란장소·회유로의 확보, 천적으로부터의 보호는 서식할 계천이 가져야 할 필수조건이며, 계류에 서식하는 어류에 있어서는 자연적인 계류가 갖고 있는 특수성을 고려해야 한다(玉井 等, 1993; 久保田와 無田, 1998; 久保田, 1999).

사방댐을 비롯한 대부분의 사방시설은 계류에 서식하는 어류에 영향을 미치는데, 특히 사방댐이 V자형 계곡에 설치되면 계반림에 덮인 V자상 계곡이 U자형의 열린 골짜기로 변화되고, 하상경사는 부분적으로 현저하게 완화되며, 하상사력의 입경이 세립화되고 하상사력에 의한 토사이동의 양이나 기회는 격감되고, 수온이 상승하는 등 문제가 발생될 수 있다. 이와 같은 변화는 계반지역의 중류역화를 가져오고 계류환경이 갖는 특수성을 부분적으로 소실시키게 된다. 따라서 사방사업의 목적을 달성하기 위해서는 산복 또는 계안이 고정되고, 하상경사가 완만하게 되며, 부분적으로는 유로가 고정되는 등의 문제를 피할 수 없음을 인정해

야 한다. 즉, 이것들은 언젠가 산복비탈면이나 임도건설로 발생되는 절·성토비탈면으로부터 다량의 토사공급이 있게 되는 시점에 있어서도 필요한 하도의 안정화를 이루는 것이어야만 한다. 즉, 어떻게 하면 사방의 기능을 유지하면서 계류환경을 보전할 수 있을까는 협착부 내에서의 사방댐 설치를 피해야만 한다는 결론에 도달하게 되는 것이다. 그러나 일반적으로 사방댐은 계류의 협착부에 설치하도록 되어 있기 때문에 급경사의 특정장소에서는 토사조절 효과가 적게 될 수 있다(東, 1982). 따라서 현재 조성하고 있는 사방댐의 위치를 보면 지천이 합류하는 하류점이나 상류쪽의 비교적 넓은 퇴사면이 존재하는 곳이 많게 된다(池谷, 1974). 아울러 저사조절을 주목적으로 할 경우에는 댐의 단위체적에 대한 저사량과 저사면적이 큰 만큼 유리하기 때문에 일반적으로는 댐 입지의 곡폭이 좁고, 상류부가 개방되어 저사량이 크고, 계상 경사도가 작은 곳에 사방댐을 설치하는 것이 바람직하다(系林, 1991). 즉, 이와 같은 논리대로라면 사방댐은 협착부의 상류에 설치하는 것이 원칙이라는 것이 되고, 상류 이외 협착부의 사방댐은 예외적 존재가 되기 때문에 실제 그렇게 되지는 않는다. 그 원인으로는 협착부의 댐은 전정부가 굴착되어 붕괴되기 쉽기 때문에 직하류의 부댐에 영향을 미치게 되고, 그 부댐을 포함한 댐군 전체를 보호하기 위해 하류에도 댐이 필요하게 된다는 연쇄반응적인 댐의 추가가 필요하게 된다. 또한, 협착부에서는 양질의 암반이 노출되어 있는 경우가 많고, 댐입지로서의 적지가 되기 쉬우며, 협착부 내 불안정 퇴적물의 이동을 방지하기 위한 계단모양 사방댐군의 설치 등이 이루어진다(東, 1969). 아울러 산복붕괴 발생에 따른 대규모 재해시기에 발생한 다량의 토사는 전부가 하류의 하천 내로 유하하는 것이 아니고, 오히려 대부분이 계곡 내에 멈춰있게 되어 불안정한 퇴적물이 되는 경우도 발생할 수 있다. 따라서 V자형 계곡에 잔존하는 댐은 불안정한 정도가 높기 때문에 응급조치로서가 아닌 항구적인 전략으로서 유출토사의 저류나 조절의 역할을 V자형 계

곡 내의 사방댐에 맡기는 것이 반드시 최선의 방책은 아닌 것이다. 더구나 산지계곡의 지형은 V자형만으로 대표되는 것이 아니고, 산지비탈면에서 발생하는 산사태에 의한 토사의 침식 등에 영향을 받아 하천 폭은 넓고 좁음을 반복해서 변화하기 때문에, 그러한 역할은 본래 퇴사구간으로서의 곡폭이 넓은 확폭부에 시설하는 것이 합리적이라 할 수 있다(溪畔林研究會, 1997).

사방댐은 단순히 저사·퇴사조절뿐만 아니라 계상경사의 완화와 중·횡침식 방지, 유로조정에 의한 횡침식방지, 계상을 높이는 데 따른 산복고정 등도 사방댐의 기능이라 할 수 있다(系林, 1991). 따라서 확폭부 내에 사방댐을 설치하고 본래의 퇴사역을 저류장소로 선택하는 것은 합리적이지만, 댐의 폭이 넓어지기 때문에 비경제적이므로 자연히 낮은 댐으로 시공하여야 한다. 따라서 외관상으로는 현재의 계상유지를 목적으로 하는 상공공 또는 대공인 저댐을 배치하고, 계상의 고정, 토사유출 억지를 피하는 저댐공법이 각 지역에서 효과를 발휘하고 있다. 그러나 계류에 서식하는 어류생태계 보전을 위한 환경보전적 측면에서 저댐공법이 종래의 유로공과 같이 불안정한 재료로 시공될 우려가 있다. 더욱이 짧은 간격마다 댐을 설치하는 것은 계안의 콘크리트화를 의미하고, 일련의 수평구조물의 설치는 전면적, 광역적인 하상의 평탄화를 의미하게 되므로 짧은 간격으로의 댐 설치는 충분한 검토를 통해 시공되어야 할 필요가 있다(東, 1982).

IV. 溪流生態系 復元을 위한 砂防工事의 問題點과 發展方向

1. 사방공사의 기술적 개량

종래의 사방공사는 계획대상 규모가 상당히 큰 토사이동현상에 의한 피해를 억제하는 것이 주요 목적으로 그 이하의 현상이나 평상시의 계류환경 등에 대해서는 거의 관심을 두지 않았다. 즉, 종래의 사방공사는 최소한의 비용으로 시설하는 것을 목적으로 하고, 수익범위를

인간사회에 한정해서 평가한 경우에는 합리적인 사고방식을 토대로 사업을 진행할 수 있었다. 그 결과 사방공사의 실시에 따라서 계류 주변의 원래 생태환경은 변하게 되었고, 생물군집의 다양성이 급속하게 변화되는 사태가 발생하게 되었다. 그 원인은 중·횡단면적의 연속성의 파괴, 교란의 억제, 공간의 개방, 환경과의 부조화, 공사에 따른 급작스런 환경변화 및 기존생태계의 제거 등으로 설명될 수 있다. 따라서 생태계 보전을 도모하는 사방공사는 이들 문제점을 극복하고 생태계 보전이란 기본적인 사고방식에 따라서 사방공사의 개별 기술을 발전시킬 필요가 있게 되었다.

현재 실시되고 있는 사방공사의 대부분은 계류생태계의 보전이라고 하는 관점에서는 많은 문제점을 안고 있다. 사방사업의 실시에 대해서 현재 기본적으로는 건설성하천사방기술기준(안)(建設省河川局, 1997)에 따라서 기술적 판단이 실시되고 있다. 이 기준(안) 가운데 사방사업의 실시에 있어서는 환경을 배려한다는 것이 명시되어 있다. 그러나 기준(안)의 내용은 하천공간을 이용하는 것을 전제로 한 환경정비의 이상적인 자세에 관한 기술에 중점을 두고 생태환경과의 조화에 대해서는 구체적인 대응방침이나 방법을 충분히 정리하여 나타내고 있지 않다. 그 때문에 방재기능을 발휘하기 위한 사방시설의 구조에 관한 검토와 더불어 생태환경과의 조화에 관해서도 상세한 검토를 거치지 않고 공사가 진행되고 있는 실상이다. 그러나 생태계보전의 필요성·중요성은 행정가·현장기술자 등에게도 인식되도록 하고 있고, 구체적인 문제점의 추출이나 대응책의 검토도 실시되고 있으며, 이를 점차적으로 사방공사에서도 반영하려고 노력하고 있다(竹門 等, 1995; 竹門, 1997).

따라서 계류에 있어서 생물군집의 존재는 생물종 상호관계로 규정된 것과 같이 상류에서 하류로 향한 여러 가지 환경요소의 연속적 변화로도 규정된다. 즉, 시설배치계획을 포함한 사방기본계획의 책정에 있어서는 시설시공가능개소 부근뿐만 아니라 보다 큰 범위를 포함해서

생태계 조사를 실시하고, 유역 생태계에 미치는 사방공사의 영향을 전제로서 평가하지 않으면 안 되게 되었다. 그래서 유역을 다음의 세 가지 영역으로 구분해서 생각할 필요가 있게 되었다. 즉, 자연 그대로 방치해야 할 영역, 생태계와 조화되는 공사를 행해야 할 영역, 방재기능을 우선해야 할 영역이 그것이다. 가령 생태환경을 배려하고 매우 영향이 적은 공법을 채용해도, 사방공사에 의한 생태계의 영향을 완전히 배제하는 일은 현 단계에서는 곤란하다고 평가된다. 따라서 유역 내의 귀중한 자연환경 또는 생태에 관해서 인위적인 변화에 의한 영향이 크고 대체가 곤란한 경우에는 해당 구역을 사업제의 구역으로 정하는 Zero-공법(Baden-Württemberg Umweltministerium, 1993)으로 시공하는 유연한 대응이 필요하게 되었다.

뿐만 아니라 건전한 생태계를 유지하기 위해서 필요한 자연도를 일정한 범위에 걸쳐 확보하기 위해서는 토사유출에 의한 하류로의 영향이 비교적 경미한 지역은 거의 인공적인 변화를 실행하지 않는 상태로 관리하는 것 즉, 교란을 허용하도록 사방계획을 책정해야 하고, 아울러 대규모 사방시설을 설치할 필요가 있는 경우에는 생태환경으로의 영향도 커지게 된다고 생각할 수 있기 때문에 사전조사를 면밀하게 실시하고, 그 결과를 기초로 하여 필요한 대책을 강구하면서 사업을 추진하여야 한다. 이때 분할시공이 가능하다면 공사를 여러 차례로 나누고, 중간 중간마다 영향조사를 실시함으로써 그 결과를 피드백 시키고 나서 공사를 재개하는 방법도 검토할 필요가 있다고 생각된다.

2. 사방시설계획

계류생태계 보전을 목표로 한다면 어느 정도 교란을 허용하도록 하는 사업계획이 필요하게 된다. 즉, 사방시설계획의 책정에 대해서는 평상시에는 토사석력을 통과시켜 상·하류의 연속성을 유지하면서 출수시에는 토사의 유출을 조절하는 기능을 발휘해야 한다. 따라서 사방댐은 투과형 댐으로 가능한 대처하는 것을 원칙으로 해야 할 필요가 있다고 생각된다. 즉,

사방댐은 보통 산각고정, 중침식방지, 하상퇴적물유출방지, 토석류억지, 유출토사억제·조절 등의 목적으로 시공되며, 또한, 사방댐은 일반적으로 다양한 목적을 갖고 시공되는 일이 많고, 댐의 수를 적게 하는 방법이 사업비에 대한 효과를 크게 한다. 그러나 산각고정댐을 제외하고는 꼭 폐쇄형의 사방댐일 필요는 없고, 규모도 클 필요가 없다. 아울러 사방시설로서 사방댐에만 의존할 필요가 없고, 토사조절기능이 유역 전체로 확보되어 있다면 문제는 크지 않다고 생각할 수 있는 것이다.

중침식방지 및 하상퇴적토사의 유출방지는 낮은 낙차의 상고공으로도 대응이 가능하다고 생각된다. 따라서 토석류대책, 유출토사억제·조절을 목적으로 하는 경우는 투과형 사방시설 즉, 개방형 사방댐 등을 채용하면 평상시에는 저사용량을 확보해 둘 수 있고, 필요한 시설규모를 작게 억제할 수도 있다. 더구나 계류연속성의 파괴, 교란의 억제 등 생태계로의 마이너스 영향을 제거할 수도 있게 된다. 또한, 투과형 사방시설의 경우 평상시에는 퇴사가 급격하게 진행되지 않기 때문에 퇴사부의 시설 주변에 있어서 급변하는 환경변화도 억제할 수 있다. 즉, 환경보전을 목표로 사방시설의 배치를 검토한다면 생태계의 연속성 보전이 가능한 투과형 사방시설을 우선적으로 배치하고, 필요한 경우에는 폐쇄형 사방댐을 배치할 수밖에 없을 것이다. 그러나 폐쇄형 사방댐을 설치할 경우 환경에 배치되는 문제는 어류를 비롯한 계류내의 생물이 뛰어 넘기가 곤란하게 되기 때문에 사방댐의 하류경사를 완만하게 되도록 하는 것이 대책으로서 유효한데, 이 때에는 강도상의 문제 등 기술개발을 필요로 하는 부분도 있다. 아울러 상고공의 낙차를 해소하기 위해서는 전면 계단식 공법도 검토할 필요가 있으며, 이 경우에도 세굴을 막는 등 배려가 필요하다고 생각된다.

폐쇄형 사방댐에 있어서 바로 시행할 수 있는 시공상의 배려로는 수부 사이에 채운 콘트리트에 작은 계단을 설치하고 관리용 통로로 사용함으로써 작은 동물이 뛰어 넘을 수 있도

록 해주는 일인데, 그 사이에 채운 콘크리트로 대응하기 힘든 경우에는 어도측벽부를 이용하는 등 대체시설을 설치해야 할 필요가 있다. 또한, 제체수부전면에 성토 가능한 공간이 있는 경우에는 공사 후 남은 토양을 이용해서 높이는 것으로, 소동물이 뛰어 넘을 수 있는 낙차를 경감하는 동시에 경관적으로도 개선을 기대할 수 있다. 사방댐이나 상고공의 낙차가 크고, 종적 분단을 어도의 설치로 대응할 경우에는, 수통부를 유하하는 어류 등의 낙하에 의한 피해를 경감하기 위해서 수고부는 사방댐 보호를 위한 부댐과 주댐 사이의 담수지로 하는 것을 기본으로 한다. 아울러 사방댐 전면의 계안에 어도를 설치할 공간을 충분히 확보할 수 없는 경우에는 물이 통과하는 천단을 차양모양으로 하류측으로 나오게 하고, 그 아래의 제체에 어도를 설치하면 어도 경사도를 완만하게 할 수 있다.

유로정비는 유로의 시정에 의해서 난류를 방지하는 일 및 종단경사의 규제에 의해 종·횡단침식을 방지하는 것을 목적으로 실시한다. 따라서 유로공은 일정한 단면으로 급격한 경사 변화가 없도록 계획하기 때문에 유로공 내부는 단조로운 영역이 되는 경우가 많다. 또한, 유로공 구간에 있어서는 계안침식으로 인한 토사공 급방지를 목적으로 계안에 시공하는 일이 일반적이기 때문에 육지지역과 수역을 분단하는 일이 많다. 유로공이 환경에 미치는 영향은 평상시 유수의 평탄화, 횡단방향의 분단성, 하상의 교란빈도의 적음 등을 들 수 있다. 유로공은 필요최소한의 폭으로 시공되는 일이 많기 때문에 호안으로 분할된 유로폭이 좁은 범위로 한정되므로 유로공 내에서 토사의 퇴적은 허용되지 않는다. 따라서 장래 유로정비는 유로폭의 확대가 필수적이고, 평상시에 상류로부터 일정량의 토사공급을 허용하는 정비가 필요하다. 아울러 유로정비의 기본방침으로서 유로형상을 단조롭게 하지 않는 것과 콘크리트 등 단단한 재료를 사용한 호안을 최소한으로 억제하는 일을 목표로 해야 한다. 그러기 위해서는 유로공 내부 영역의 자유도를 늘리고, 일정한 유로변

동을 허용하도록 단면을 고안하지 않으면 안 된다. 또한, 종래의 유로공 내부는 단조로운 단면으로 성립되는 경우가 많았는데, 평시 흐름을 집중시키는 저수로부, 중소규모의 유출수를 부드럽게 유하시키는 주수로부, 계획규모의 큰 유출수를 처리하는 고수부 및 출수 규모별 유로를 가진 복합적 단면계획을 만드는 일 등 장소의 다양성을 유지하도록 배려하는 일도 중요하다. 따라서 하도폭을 늘릴 때에는 기존의 암석 등을 잘 활용하여 변화가 있는 하상이 되도록 하고, 저수계안을 설치하지 않음으로써 횡단방향의 분단성을 대체로 해소할 수 있고, 적은 유출수시에는 교란 장소를 확보할 수 있는데, 용지폭을 풍부하게 확보할 수 있는 경우에는 상고공 등을 적절한 간격으로 배치하고, 수부의 길이를 측방침식의 영향범위 이상으로 함으로써 저수호안을 사용하지 않는 공법이 가능하다.

현저한 횡침식을 방지하기 위해서 호안공을 시공할 필요가 있는 경우에도 유로 내외의 생태적 연속성을 보전하기 위해서 유연한 구조의 시설을 사용해야 할 필요가 있다. 호안공을 시공할 경우 소류 구간에 있어서는 그 영향범위를 제외하고, 계획고수위 이상의 계안은 완경사의 흙으로 피복된 비탈면으로 하고, 식재를 실시하는 경우도 있다. 따라서 호안공을 시공할 때에는 비탈면경사가 급한 호안에서 일정폭의 유로를 고정하는 것 같이 단조로운 수로의 조성을 피하도록 주의해야 한다. 현재의 하도형상을 활용하여 사행의 반과장으로 1개소 정도 확폭부 또는 좌우계안에 서로 변갈아서 완경사부를 설치하는 것도 횡단방향의 분단성을 완화하는 것과 함께, 평수시의 적절한 사행, 수운의 변화를 기대할 수 있다. 또한, 홍수시 사력퇴적의 이동억제효과도 기대할 수 있고, 호안의 연속적인 재해방지에 대해서도 유리하다. 아울러 유로단면에 여유를 가질 수 있는 경우에는 대공에도 축을 설치하거나 호안에 수제공을 설치하는 등 단면에 변화를 일으키도록 하는 것이 필요하다. 또한, 단단한 재료로 호안을 시공할 경우에는 수생곤충 등의 서식지를 확보

하기 위해서 수층부가 안 되는 장소의 호안에서는 자연석 등의 요철을 활용함과 동시에 토사를 사이에 채운 것 등을 채용하는 것이 바람직한데, 중공블록 등 2차 제품을 사용하는 경우도 포함해서 호안 배면을 투수성 재료로 하든가, 물을 뽑아내는 구멍을 다수 확보하는 등 습윤성을 유지하는 것이 중요하다. 호안의 받침을 단단하게 하는 것은 큰 돌 또는 공극이 큰 블록을 사용해서 어류나 작은 동물의 피난처를 확보할 수 있게 한다. 그 때, 토사의 유입에 의한 막힘의 영향을 적게 하기 위해서 받침을 단단하게 하는 재료는 평상시의 수면보다도 높은 위치까지 임의로 쌓아 두는 것이 바람직하다(玉井 等, 1993).

유로정비를 실시할 때에는 비탈면 선형을 원활하게 설정하고 계획중단형상을 설정하는 일이 일반적이지만, 그 때에는 현지 지형에 있어서 노출된 암석 부분이 조정점이 되는 것을 의식해야 한다. 토사의 거동은 하상 경사나 하도 폭이 규정하지만, 현지 지형이 하도조절효과에 대해서 플러스로 작용하여 주변 후배지에 위험이 미치지 않는 경우에는 무리하게 처리하지 말고, 적극적으로 유사공간으로서의 이용을 생각해야 할 필요가 있다. 또한, 현지 지형이나 노출된 암석의 존재를 잘 활용함으로써 인공적인 낙차가 발생하는 것을 억제할 수 있으며, 상고공이나 대공의 간격을 길게 함으로써 평상시 저수로 부분에서 하상사력의 교란을 조장할 수 있고, 자연적 동적과정을 유지할 수 있다. 아울러 비교적 좁은 폭밖에 확보할 수 없는 유로에서 하상면을 보호할 필요가 있는 경우에는 투과성이 있는 재료를 사용하거나, 식생대를 설치하는 등 어느 정도 교란을 허용할 필요가 있음을 검토해야 한다.

유로정비에 있어서 대공은 주로 종침식을 방지하는 것을 목적으로 설치하는데, 대공을 상고공 상류측의 계획하상 유지를 위한 보조시설로서 설치하는 것보다도 낮은 낙차의 상고공으로 설치하는 쪽이 각 상고공의 낙차를 작게 할 수 있기 때문에 중단방향의 분단을 완화할 수 있어 유리하다. 아울러 상고공, 대공을 계류 내

에 시공하면 계상폭이 크게 되고 수심이 작게 되기 때문에, 물이 통과하는 천단에는 큰돌을 배치하거나 콘크리트 천단을 제거하는 등 저수시에도 유수를 평탄화시키지 않도록 해야 할 필요가 있다. 그렇게 하면 물이 통과하는 천단의 일부를 낮춤으로써 낙차를 더욱 작게 할 수 있고, 또 유량이 적은 시기에도 유로가 연속하게 되어 어류의 중단방향 이동이 쉬워지게 된다. 아울러 현지의 하도 주변에 수변림이 있는 경우에는 유로폭을 그 외부에 설정하고, 확폭부를 유사공간으로 설정하는 등, 현지의 식생을 잘 활용하도록 계획할 필요가 있다. 그 때에는 횡단방향의 환경조건 연속성이 분단되는 일이 없도록 하고, 또 식생부로의 평상시 유수 침입상황이 크게 변화하지 않도록 해야 한다. 또한, 유로단면의 확보를 실시하려고 하면 일반적으로 하도확폭에 따른 공간의 개방이 발생하고, 수심의 저하와 더불어 하도로의 일사공급이 비약적으로 증대하고, 콘크리트 등의 시공 재료로 인해 수온은 크게 상승하는데, 계류구간에 서식하는 생물은 수온의 상승에 적응할 수 없는 것이 많기 때문에 유로 주변에는 적극 식생을 도입하는 등 온도상승을 억제할 필요가 있다. 따라서 유로가 적어도 한쪽 계안에는 수면에 녹음을 줄 수 있는 높이의 수변림을 확보하고, 주변식생과의 연속성도 잘 보호하도록 해야 하는 것이다(溪畔林研究會, 1997).

3. 계류에 사방공작물 시공시 유의점

환경과 조화되는 사방사업을 실시하기 위해서는 전체계획의 책정, 시설·설계시 및 현장에서의 실제 시공에 따른 영향에도 충분히 유의하고, 생태계를 고려한 시공을 하지 않으면 안 된다. 공사에 의한 환경영향은 공사용 도로, 작업지의 조성 등 본 공사에 부수되는 가설공사에 의한 것도 포함해 사전에 충분히 검토하지 않으면 안 된다. 또한, 탁수, 소음 등 시공작업시 발생하는 상황에도 충분히 고려해야 한다. 시설배치계획을 검토할 때에는 이들을 포함하여 영향정도를 평가해야 한다. 시공에 따른 환경영향은 어류나 양서류 등의 소상·산란, 조

류의 보금자리틀기 등 계절에 크게 관계된 것이기 때문에 시공시기의 검토도 중요하다. 계곡 부나 산복비탈면 등 공사용 도로에 의한 환경영향이 크게 발생하는 등 영향이 예상되는 개소에서 시공이 필요하게 될 경우에는 도로의 신규개설에 의한 환경영향을 적게 하기 위해서 공중 가선이나 철로에 의한 운반수단을 포함하여 검토할 필요가 있다(森本幸裕, 1998). 기존의 사방시설에 있어서도 생태환경의 보전상 문제가 되는 시설은 적극적으로 개량해야 할 필요가 있다. 즉, 개량 방법은 해당 사방시설의 규모나 사방계획상의 위치를 충분히 고려해서 선정해야 한다. 기본적으로는 어도, 전면계단식 수로공, 물이 통과하는 친단의 절개 등 부대시설의 추가, 평상시 물의 흐름에 변화를 주는 석력의 이동 등 자연재료의 부가사용이나 수립대의 도입 등의 방법을 생각할 수 있다. 그러나 기존 사방시설의 방재상 기능을 환경에 대한 영향이 적은 다른 방법으로 대체해도 유역 전체의 안전성을 확보할 수 있고, 그것이 생태환경의 보전상 큰 효과를 기대할 수 있는 경우에는 시설 그 자체의 철거를 포함해서 근본적인 개량을 검토해야 한다(太田과 高橋, 1999).

환경과 조화되는 생물군집의 다양성을 보전하는 일을 목적으로 한 계류공간을 정비하기 위해서는 유지관리가 필수 불가결한데, 이를 위해서는 새로운 유지관리체계가 필수적이라고 생각된다. 그러나 유지관리비를 경감하기 위한 기술개발이 필요하다고 해도 생태계의 보전을 피하기 위해서는 기본적으로 섬세하고 치밀한 관리도 필요하다. 또한, 재해에 의한 시설의 손상을 예상해서 회복시키거나 수리를 포함하여 대응할 필요가 있고, 투과형 사방댐이나 유목방지시설, 토사에 의한 어도의 매몰이나 손상 등의 상태가 방치되지 않도록 하기 위해서는 평상시의 점검도 유지관리시스템에 포함시킬 필요가 있고, 유지관리시스템을 구축함과 동시에 유지관리 전반에 관한 예산확보도 필요하다고 생각된다.

V. 結論

이 논고는 일본에서 계류변의 환경복원을 위한 실태 및 그 발전전략을 소개함으로써 장래 우리 나라에서 수행될 수 있는 계류변의 환경복원을 위한 각종 사업에 효율적으로 적용할 수 있는 방법을 모색하는데 그 목적이 있다. 일본에서 계류변의 환경복원 발전전략은 다음과 같다.

1. 재해의 원인이 되는 가장 큰 원인은 토사이동이고, 토사 유출의 대부분은 물에 의해서 발생되기 때문에 사방사업계획을 세울 때는 유역 단위로 면밀한 계획을 수립하여 시행해야 한다.
2. 수계를 중심으로 하는 사방공사는 유역 전체에서 비탈면이나 하상 근처의 토사가 하도나 계류로 유입되거나 하류지역으로 유출되는 예상토사량, 하류지역으로 흘러도 되고 하류나 해안의 유지를 위해서 유하시킬 필요가 있는 토사량을 산출하고, 계획유출토사량과 허용토사량의 차를 산정하여 이를 사방시설의 배치 및 복원녹화사업을 통해서 감소시키는 것이 일본에서 야계사방의 흐름이다.
3. 과거 치산·사방사업의 방향이 영구적 시설에 의한 토사의 고정화라면, 장래에는 대규모 토사재해를 방지하면서 가능한 토사이동을 허용하는 중·소규모의 토사이동에 대한 대책으로 치산·사방기술을 전환할 필요가 있으며, 비투과형 사방댐은 투과형 사방시설로 전환해야 할 필요가 있을 것으로 판단된다.
4. 환경과 조화되는 사방사업을 실시하기 위해서는 전체계획의 책정, 시설·설계시 현장에서의 실제 시공에 따른 영향을 충분히 검토하고, 수계생태계를 고려하여 시공해야 한다.
5. 계류생태계 복원, 생태계 보전을 도모하는 사방공사는 생태계 보전이란 기본적인 사고를 근간으로 하여 사방공사의 개별 기술을 발전시킬 전략을 수립·시행해야 할 것이다.

引用文獻

- 박상덕. 2000. 어도와 어류 역학. 韓國水資源學會誌 33(2) : 31-40.
- 朴在鉉·禹保命·李憲浩. 2000a. 日本에서 溪流邊의 環境復元 發展戰略 I. 韓國환경복원 녹화기술학회지 3(1) : 80-90.
- 朴在鉉·禹保命·權台鎬·李憲浩. 2000b. 日本에서 溪流邊의 環境復元 發展戰略 II-林道 및 治山·砂防을 中心으로-. 韓國환경복원녹화기술학회지 3(2) : 66-74.
- 禹保命. 1992. 新制 砂防工學. 郷文社. 310pp.
- 環境廳自然保護局. 1998. 日本の河川環境 II. 自然環境研究センタ. 16-48pp.
- 横山秀司. 1995. 景觀生態學. 147-152pp.
- 島谷辛宏·皆川朋子. 1997. 河川改修後の河川の自然景觀の變化-山梨縣中小河川を對象に-. 土木技術資料 39(6) : 34-39.
- 建設省河川局. 1997. 改訂新版建設省河川砂防技術基準(案) 同解説·計畫. 山海堂. 30-75pp.
- 太田猛彦. 1998. 森林と木. 河川 619 : 14-23.
- 太田猛彦·高橋剛一郎. 1999. 溪流生態砂防學. 東京大學出版會. 246pp.
- 大野宏之. 1999. 砂防事業における現場發生土の有效利用(6). 砂防と治水 32(4) : 56-60.
- 池谷 浩. 1974. 砂防入門. 山海堂. 25-49pp.
- 西川修司·荒牧 浩·水山高久·阿部宗平. 1996. 基礎コンクリートを打設しない鋼管製透過型砂防ダム(L型)の開発. 新砂防 48(5) : 21-24.
- 久保田哲也. 1999. 溪流魚道の流水音環境. 砂防學會誌 51(6) : 35-39.
- 久保田哲也·無田朋子. 1998. 砂防構造物の魚道が溪流の溶存酸素濃度における影響. 砂防學會誌 50(6) : 25-32.
- 系林芳彦. 1991. 河川·砂防および海岸. 山海堂. 15-26pp.
- 溪畔林研究會. 1997. 水辺林の保全と再生に向けて. 日本林業調査會. 16-24pp.
- 竹門康弘·谷田一美·玉置昭夫·向井 宏·川端善一郎. 1995. 棲み場所の生態學. 32-49pp.
- 竹門康弘. 1997. 溪流における水生昆虫の棲み場所保全. 砂防學會誌 50(1) : 52-60.
- 玉井信行·水野信彦·中村俊六. 1993. 河川生態環境工學-河川生態と河川計劃-. 東京大學出版會. p.321.
- 長瀬迪夫. 1998. 米國エルワダム撤去をめぐる背景. 土木學會誌 83(1) : 43-46.
- 東 三郎. 1969. 治山計畫のすすめかた. 北海道林務報林 1 : 25-29.
- 東 三郎. 1982. 低ダム群工法. 北海道大學圖書刊行會. 14-27pp.
- 森本幸裕. 1998. 日本の水邊生態系 復元と緑化. 韓國環境復元緑化技術學會誌 1(1) : 114-118.
- Baden-Württemberg Umweltministerium. 1993. Handbuch Wasserbau Naturgemäße Bauweisen, Heft 5, Ufer. und Böschungssicherungen, 16-21pp.
- Klaiber, G. 1997. Gewässerentwicklung und naturnahe Bauweisen. 1-9pp.
- Takahashi, G. and S. Higashi. 1984. Effects of channel alteration on fish habitat. Jap. J. Limnol. 45(3) : 178-186.
- Winter, B. D. 1993. Restoration of salmon and steelhead in the Elwha River, Fish passage by dam removal, Proc. of a Symposium on Fish Passage Policy and Technology, Portland, Oregon USA, Amer. Fisheries Soc., 47-52pp.

接受 2000年 9月 10日