

## 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 -

朴在鉉<sup>1)</sup> · 禹保命<sup>2)</sup> · 權台鎬<sup>3)</sup> · 李憲浩<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>임업연구원 · <sup>2)</sup>서울대학교 산림자원학과 · <sup>3)</sup>대구대학교 산림자원학과  
<sup>4)</sup>영남대학교 산림자원학과

## Strategy Prospects of Environmental Restoration of Stream Side in Japan

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

Park, Jae-Hyeon<sup>1)</sup>, Woo, Bo-Myeong<sup>2)</sup>, Kwon, Tae-Ho<sup>3)</sup> and Lee, Heon-Ho<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Korea Forestry Research Institute · <sup>2)</sup>Dept. of Forest Resources, Seoul National University  
<sup>3)</sup>Dept. of Forest Resources, Taegu University · <sup>4)</sup>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. We should establish a new paradigm of forest road, forest conservation and erosion control which can emphasize the restoration of the streamside ecosystem and reduce the effects of soil movement change in the areas. And we should maintain the biotic habitats to conserve native biotic community when we practice forest road, forest conservation and erosion control works.
2. In the point of view ecological conservation aspects, we should evaluate the effects of new forest conservation and erosion control methods which is emphasized on the restoration of the streamside ecosystem to apply desirable methodology to the environmental restoration of the streamside area.
3. In the past, the objective of forest conservation and erosion control was to fix a soil by construction of permanent structures. Whereas, the direction of future's forest conservation and erosion control needs to change new forest conservation and erosion control technology to prevent large scale soil movement but allow small scale soil movement to conserve sound ecosystem and biotic habitats.

4. The restoration of the streamside ecosystem should provide continuity of the streamside environment which allows desirable biological habitats, and environmentally sound facilities to harmonize the environment.

**Key words :** *strategy prospects, stream side, environmental restoration, forest road, forest conservation, erosion control*

## 1. 緒 論

일본은 建設省, 林野廳, 道都府縣에서 환경을 배려한 각종사업을 전개하고 있고, 하천사업도 환경복원을 위한 치산·사방사업과 같이 근대 치수사업으로서 홍수범람 방지와 수자원의 개발에 큰 공헌을 하고 있다. 그러나 최근 들어 대규모의 인공댐과 견고한 호안의 건설, 임도 건설 등이 계류 및 하천생태계와 친수성을 파괴한다고 하여 각종 건설 사업은 환경을 고려하지 않고는 실행이 어렵게 되었다(森本, 1998 ; 朴在鉉 等, 2000).

19세기 후반 河川法, 森林法, 砂防法이 공포되어 근대적인 치산·사방사업이 시작될 때 일본의 산림은 현재 중국, 북한, 필리핀, 네팔 등의 산지나 계류변과 같이 민둥산이나 황폐산지가 전국에 존재하였고, 토사재해와 수해가 빈발했다. 당시 임도건설 등으로 인한 산지에서 침식된 토사는 유출되어 선상지에 퇴적되고, 평지의 하천에도 토사가 증가하였다. 또한, 태풍으로 인한 침식토사의 증가로 하천이 범람하는 사태가 많이 발생하였다. 따라서 산복에는 나무를 심고, 계류에는 댐을 시공하여 토사가 유출되는 것을 방지하고자 하였다. 이것이 국토보전사업의 추진법으로서 공포된 당시의 森林法·砂防法의 사상이었다(太田과 高橋, 1999).

최근에는 산림이 건전하게 육성되어 표층붕괴도 감소하고 있고, 그 결과 산림의 수원함양 기능에도 유리한 영향이 나타나게 되었다. 그러나 갈수기에는 유량이 감소하는 사태도 발생하고 있으며(太田, 1998), 계류와 하천으로 유입되는 유출토사량도 감소하고 있다(大野, 1999a). 따라서 축설된 사방댐에 토사가 퇴적되지 않는 곳이 증가하고 있는데, 이는 계류 및 하천의 수

변립 복원 및 보전의 결과이기도 하다. 이러한 관점에서 이 논고는 일본에서 계류변의 환경복원을 위한 실태 및 그 발전전략을 고찰해 봄으로써 장래 우리 나라에서 수행될 수 있는 계류변의 환경복원을 위한 각종 사업에 적용할 수 있는 전략을 모색하는데 그 목적이 있다.

## Ⅱ. 溪流生態系 復元の 새로운 패러다임

### 1. 溪流生態系 復元の 새로운 패러다임

과거 임도건설·치산·사방사업계획이 갖는 문제점 즉, 하상변동의 감소, 생태적 연속성의 상실, 계류의 수온상승, 임도건설의 영향, 치산·사방사업효과에 관한 비과학적 평가, 지역 특성에 맞지 않는 유역퇴사계획 등에 대해 보다 광범위한 연구가 필요하고, 향후 계류 수변립 관리에 있어 고려해야 할 생물군집의 보전, 야생 동·식물 서식지의 보전, 유로의 소통성 확보, 방재효과의 과학적 평가 등에 대하여 검토할 필요가 있다.

#### 1) 林道 및 治山·砂防工事が 溪流生態系에 미치는 影響

임도 및 치산·사방공사가 계류생태계에 미치는 영향은 다양한데, 이 가운데 중요한 점은 임도 및 치산·사방공사가 토사이동이나 유로변동에 영향을 미친다는 것이다(大野, 1999b). 즉, 임도 건설 등으로 인한 침식토사의 이동으로 계류의 형상이 변경됨으로써 발생하는 환경구조의 동적변화는 기존의 계류형상에 적응한 생물에 영향을 미친다고 할 수 있다. 한 예로 하상의 얇은 둔덕, 웅덩이로 흘러 들어오는 곳 등은 수생곤충의 서식에 영향을 미치는데, 이들 서식지는 침식토사의 이동이나 유로변동에

쉽게 영향을 받는다. 또한, 수생곤충의 서식지로서 중요한 河床空隙水域에서는 땅속이라도 물이 흐르기 쉬워서 공극에 풍부한 퇴적구조를 보전하는 것이 필요한데, 이와 같은 조건은 토사이동이나 유로변동을 통해서 형성된다. 즉, 수생곤충의 서식지가 형성, 유지되기 위해서는 토사의 침식이나 퇴적이 필요하다. 그런데 임도 및 치산·사방공사나 유로공사로 인한 시설물은 유로의 직선화, 호안이나 하천바닥의 토사제거 등에 의해 토사의 침식이나 퇴적을 억제하고, 蛇行의 형성을 방해하여 계류 수생곤충의 서식에 악영향을 미치는 요인으로 작용한다.

수변림도 마찬가지로 토사이동에 의해 영향을 받고 있다. 즉, 임도건설 등으로 인한 토사의 침식, 운반, 퇴적 등에 의하여 미지형이 파괴되거나 복원되어 그 곳에 서식하는 수중, 수령의 복잡한 모자이크형 구조가 형성된다. 아울러 어류에 대해서는 계류의 얕은 곳이나 웅덩이 구조가 변경되어 그 곳에 서식하는 어류생태계가 영향을 받고 있다. 즉, 임도 및 치산·사방공사 등 유로공사로 인하여 토사의 억제가 계류에 서식하는 어류 등 계류생태계에 마이너스적 영향을 미치고 있다.

한편, 토사이동이나 유로변동은 그 시점에, 그 곳에서 서식하는 동물에 있어서는 치명적인 교란요인으로 작용하지만, 동시에 그 생물에 있어서는 필요 불가결한 서식지를 형성, 유지하는데 도움을 주기도 한다. 그러나 사방댐과 같은 치산·사방공작물은 이와 같은 동적인 구조를 억제하고, 토사나 유로를 고정화하여 야생 동·식물 서식지의 근본적인 변화를 가져오는 원인이 된다(竹門, 1991 ; 大野, 2000).

또한, 사방댐 등 落差를 요하는 구조물은 동물의 이동에 장애를 발생시키는데, 특히 생활사 중 상·하류, 계류와 해양을 왕복하는 회유어에 있어서는 상류로 이동하는데 장애가 되어 댐의 상류에서는 이들 개체군의 소멸을 야기시키기도 한다. 아울러 상류지역에서만 생존하는 개체군도 댐 등으로 분단되면 개체군이 쇠퇴하고, 심한 경우에는 멸종으로 이어질 우려도 있

다. 즉, 댐의 축설은 하천지표수의 연속성을 단절시킬 뿐만 아니라 하상공극수역도 분단시키게 된다. 그 결과 수생곤충 등 생물군집에게 영향을 주게 되고 지상으로 이동하는 동물들에게도 댐으로 인해 회유하는 거리가 길어져 그 영향이 나타나게 한다. 더구나 임도 및 치산·사방공작물이 설치되는 장소나 그 인근 지역은 식생이 제거되기에 수변림의 보전에 문제가 발생되고 있고, 선상지에서는 유로를 따라 설치되는 流路工에 의해서 수변림이 연속적으로 제거되고 있기도 하다.

대규모 공사가 시행되기 전 즉, 주변환경이 인위적으로 변화되어도 계류나 하천은 비교적 자연에 가까운 상태로 남아 있어 동물의 서식지나 이동장소로서 기능하고 있었다고 할 수 있다. 이와 같이 연속적인 생태적 회랑은 그 지역의 생물다양성을 보전하는데 중요한 역할을 담당하지만(Forman and Godron, 1986), 유로공이 시공되면 수변림이 갖는 회랑으로서의 기능은 저하되고, 流出過程에 따른 서식지의 연속성이 상실된다(崎尾와 鈴木, 1997).

한편, 하천은 산악과 바다를 잇는 동맥과 같은 존재이고, 물은 상류에서 하류로 流下하기 때문에 물질은 상류에서 하류로 이동한다. 그러나 바다와 하천을 회유하는 회유어는 해양에서 섭취한 영양분을 상류지역으로 나르는 역할을 하고 있다. 따라서 계류생태계의 물질순환에 있어 정량적으로는 연구되어 있지 않지만 하천상류로 수송되는 영양분은 무시할 수 없는 양임에는 틀림이 없는 것이다. 최근 어업진흥을 위해서는 상류 산림의 존재가 중요하다는 인식이 확산되고 있음에도 불구하고, 산지에서 하천으로 공급되는 토사, 유기물, 무기영양염 등이 하류역, 하구, 연안, 해양생태계에 미치는 영향에 대해서는 연구가 전무한 실정이다. 따라서 구체적인 인과관계는 해명되어 있지 않지만, 치산·사방공사가 토사, 유기물, 동물의 이동을 억제함으로써 산지에서 바다까지 연속되어 있는 생태계에 영향을 미치고 있을 가능성은 잠재하고 있다고 할 수 있다(松永, 1993 ; 境, 1997).

뿐만 아니라 유로에서 횡단방향의 연속성도 문제가 되는데, 유로근방에서는 하상공극수역이라는 지하수와 하천수의 중간적인 수역이 있어(White, 1993), 선상지, 범람원, 협곡의 확폭부 등에서는 이와 같은 하상공극수역이 특유의 동물상을 갖는 것과 동시에 하천수와 지하수 사이의 물질순환에 중요한 역할을 담당하고 있다(Stanford *et al.*, 1994). 또한, 수변에는 특유한 식생이 분포하고 있고 계곡부는 비탈면과 유로가 연결해 있으며, 양자의 사이에서는 崖錐의 형성이나 洗掘에 의한 토사의 제거 등을 통한 상호관계가 존재한다. 즉, 비탈면은 그 바다이 토사, 유기물, 무기영양염의 공급원이 되고, 流水는 이들을 하류로 운반하고 비탈면 기부를 세굴함으로써 그 상부비탈면의 발달과정에 영향을 미치고 있다. 그러나 사방댐 축설에 따른 퇴사지의 발달이나 콘크리트호안은 이와 같은 횡단방향의 연속성을 단절하게 되고, 계류생태계가 사방댐이나 콘크리트호안에 의해서 분단되는 문제점을 안고 있다(建設省九州地建設局河川部, 1994).

## 2) 溪流生態系 復元을 위한 林道 및 治山·砂防工事 發展戰略

임도 및 치산·사방공사가 직접적으로 계류지형을 변화시킬 뿐 아니라, 토사동태를 변화시킴으로써 계류의 형태나 계류에 서식하는 동물상 등에 변화를 초래하여 앞으로의 임도 및 치산·사방기술은 자연환경이 생물과 물질과의 상호작용계로서 성립하고 있다는 생태계의 관점을 고려하지 않으면 안 되게 되었다. 따라서 최근 들어 임도 및 치산·사방공사가 계류생태계를 배려하도록 하고 있으나, 생물과 물질 상호작용계의 본질적 이해에 접근하고 있다고는 말하기 어렵고 계류생태계보전을 중시한 임도 및 치산·사방공사로 방향을 전환하기 위해서는 토사동태의 변화로 인한 영향을 저감할 수 있는 새로운 임도 및 치산·사방공사의 패러다임이 정립되어야 할 필요성이 대두되게 되었다(竹門, 1991; 北野 等, 1995).

현재까지 환경보전사업은 보전대상 동식물에

한정되고, 그들 서식지의 조건이 되는 환경요소를 존중시키는 것에 주안점을 두는 경향이 있었다. 그 결과, 어떤 환경요소를 인위적으로 존립시키는 것으로 환경보전이 달성된다고 생각하는 오류가 발생되었다. 즉, 생태계를 구성하는 각 생물종은 단독으로 서식하고 있는 것이 아니며, 먹고 먹히는 먹이연쇄, 서식지나 먹이 자원에 대한 경쟁, 협력관계 등 다양한 종간 관계를 가지면서 서식하고 있다. 따라서 이와 같은 생물종군의 전체 즉, 생물군집 그 자체가 보전 대상이 되어야 할 필요가 있게 되었다. 가령 희소종이나 멸종위기종의 보호를 목적으로 하는 경우에도 대상종에 있어서 필요한 환경요소를 보전하는 것만으로는 불충분하게 되었고, 결국 그 중에 관계하는 다양한 종간관계를 유지하는 것, 나아가서는 생물군집을 보전하는 일이 필요하게 되었다. 게다가 생태계의 관점에서 평가한다면 물질순환을 담당하고 있는 중요한 생물은 오히려 희귀하지 않은 보통 종들이 많은데, 그들 생물종군을 통합하여 보전하는 가치는 희소종의 보호와 같이 높게 평가되어야 하는 것이다. 아울러 생물종군을 보전대상으로 하기 위해서는 다수의 생물에 대해서 환경조건을 고려할 필요가 있게 되었다. 즉, 대표적인 생물, 각 종의 생활사에 필요한 환경요소, 그들의 배치방식을 정리하는 것이 필요하게 되었다. 이는 종개체군이 일정한 유역에서 계속 서식하기 위해서는 생활사의 각 단계에서 필요로 하는 서식지가 시간적, 공간적으로 이용가능하도록 조건을 마련하지 않으면 안 되기 때문이다. 따라서 치산·사방공사의 영향을 생물군집의 조성에서부터 평가함으로써 계류생태계보전상 바람직한 공종·공법 및 사업의 이상적인 자세를 모색해 가는 것이 바람직하며, 각 계류에서 목표로 해야 할 생물군집과 생물다양성보전과의 관계에 대해서 검토할 필요가 있는 것이다(竹門, 1991).

각 계류에서는 지역특성을 반영한 생물군집이 발달하고, 원래의 자연환경에 있어서도 종다양성이 낮은 곳이 있을 수 있다. 즉, 종다양성에 있어서 다양한 계류생태계가 존재하는 것

이다. 따라서 각 계류의 생물군집 평가에 대해서는 일률적인 기준설정이 어렵고, 기존의 자연조건 하에서 추정할 수밖에 없다. 더욱이 생물군집의 성립 과정은 서식지의 종류, 양, 배치 방식 등으로 추정되는 서식지의 공간구조 파악이 효과적이는데, 그 공간구조가 형성되고, 유지되는 과정에서는 토사이동이나 유로변동 등 동적 변화 현상이 작용하고 있다. 따라서 생물군집을 보전하기 위한 대책으로는 이와 같은 서식지 자체가 유지되도록 임도 및 치산·사방공사를 실시하는 것이 필요하다.

계류의 불안정성이 계류생태계의 형성, 유지에 얼마나 중요한 역할을 하는가는 중요한 문제이다. 다만 서식지의 구조는 다양한 공간규모에 연결되어 있고, 대상 생물마다 고려해야 할 서식지의 공간규모도 다르기 때문에 서식지의 보전에는 여러 가지 공간구조를 고려하는 것이 필요하다. 즉, 토사이동 등의 교란으로 인한 계류지형이나 퇴적구조의 변화가 서식지 유지에 중요한 역할을 하고 있어(中村, 1995; 竹門 等, 1995), 원래의 계류생태계를 보전하기 위해서는 교란체계를 완전하게 배제하는 일이 없이 자연적인 계류가 가진 서식지의 동적 변화 자체를 유지하지 않으면 안 된다. 이는 계류에서의 임도 및 치산·사방사업뿐만 아니라 하천계획도 포함되고, 토사의 침식, 퇴적작용의 과정 그 자체를 보장하는 발상으로의 전환을 의미한다. 따라서 과거 치산·사방사업의 방향이 영구적 시설에 의한 토사의 고정화였다면, 이제부터는 대규모 토사재해를 방지하면서 가능한 토사이동을 허용하는 중소규모의 토사이동에 대한 대책으로 임도 및 치산·사방사업기술을 전환할 필요가 있다(太田, 1997).

### 3) 溪流生態系 復元을 위한 林道 및 流域管理

계류생태계 복원에 필요한 기본적 인식은 국소지역에서의 대응이 아닌 유역 전체를 대상으로 하는 목표를 설정해야 한다는 것이다. 즉, 계류에서 생물군집의 조성은 源流에서 하구까지 각각의 유출과정마다 특징 있는 종 조성을 유지하고 있기 때문에 계류생태계 복원을 위해

서는 상류지역에서 하류지역에 이르기까지 생물상의 推移나 환경구조의 변화를 인식하여 임도 및 치산·사방공사의 영향을 고려하지 않으면 안 된다. 아울러 각 계류에 대한 개별적인 대책을 강구하기보다는 유역 전체에서 임도 및 치산·사방사업과 계류생태계 복원과과의 조화를 검토해야 한다. 즉, 계류생태계 복원을 위해서는 하류역, 하구역, 해안역, 연해역 및 인접한 유역과의 관계를 검토하고, 토사공급량 및 이동량을 적절한 수준으로 유지하는 것이 필요하며, 각 유출과정에 따른 서식지보전에 대해서도 이와 같은 전체 계획 아래에서 실현해 가야 한다(玉井 等, 1993).

현재까지 자연생태계보전과 방제사업은 서로 배치되는 경향이 강했다. 그러나 계류생태계 복원 원칙이나 방향이 반드시 방제에 위배되는 것은 아니며, 관점을 바꾸면 오히려 임도 및 치산·사방사업기술의 본질적인 발전으로 이어질 가능성을 가지고 있다고 할 수 있다. 따라서 그 핵심이 되는 토사이동의 양과 질을 과학적으로 평가해서 장래의 토사이동을 예측하는 방법과 기술의 확립이 절실히 요구되는 것이다.

토사이동에 관한 문제는 과거에도 미래에도 임도 및 치산·사방사업기술의 중점 과제이고, 토사이동에 관해 정확한 예측을 하는 것은 긴급대책을 요하는 임도 및 치산·사방사업의 현장, 장기적인 전망을 가지고 하는 임도 및 치산·사방사업계획 모두에 필요한 부분이다. 따라서 이들 기법이나 기술을 발전시킴과 동시에 실제 축설된 사방댐 등의 기능 평가와 검증, 그에 기초한 치산·사방사업계획으로의 피드백도 중요하다. 즉, 계류생태계 복원 원칙은 토사이동 즉, 교란이 있어도 계류지형이나 퇴적구조가 유지되는 것을 목표로 해야 하는 것이다. 따라서 토사이동의 양과 질을 평가하고 예측함으로써 방제, 계류생태계의 복원에 기여할 수 있도록 해야 하는 것이다.

### Ⅲ. 溪流生態系 復元을 위한 林道 및 治山·砂防事業의 推進方向

#### 1. 溪流生態系 復元을 위한 林道 및 治山·砂防事業의 推進方向

계류생태계 복원을 위한 임도 및 치산·사방 사업을 추진하기 위해서는 여러 가지 문제를 해결해야 한다. 즉, 계류생태계와 조화되는 임도 및 치산·사방공중, 공법 등 기술적 문제를 해결해야 한다.

현재까지 임도 및 치산·사방사업분야에서 계류는 물과 토사가 이동하는 장소이지 생물이 이동하는 장소라고는 생각하지 않았다. 그러나 계류는 물과 토사뿐만이 아니라 생물이 서식을 위해 상·하류로 이동하는 장소이고, 수질형성 물질 즉, 이온이나 유기물의 이동도 주목되고 있다. 따라서 그와 같은 이동에 방해가 되는 구조물, 특히 낙차가 큰 비투과형 구조물은 생물군집의 보전에 좋지 않은 영향을 미치고 있고, 생물군집의 건전한 서식을 가능하게 하는 서식지의 유지를 위해서는 계류환경의 연속성을 확보해야 한다(川道, 1997).

한편, 계류에 시공하는 치산·사방공작물 가운데 중력식 콘크리트댐은 대표적인 비투과형 댐으로 토사의 저류, 조절효과 때문에 토사의 제어방식으로는 매우 유효하고, 긴 역사를 갖는 대표적인 구조물이다. 따라서 침식토사의 유출이 심한 계류에서 치산·사방공법으로 이보다 새로운 토사조절방식을 개발하는 것은 어렵다. 그러나 계류생태계와의 조화를 고려할 때 대안이 될 수 있는 것이 투과형 구조물이라 할 수 있다(西川 等, 1996). 즉, 유로를 횡적으로 차단하지 않고 토사를 저류하거나 조절할 수 있도록 구조물을 개발하지 않으면 안 된다. 구체적으로 물구멍의 거대화나 슬릿트댐과 같은 댐 구조의 변화뿐만 아니라 인공적인 협착부를 만들어 중소규모의 토사이동에 대해서는 토사의 유출을 허용하지만, 대규모 토사이동에 대해서는 이를 억지, 조절할 수 있도록 해야 한다. 소규모 댐이나 유로공 등에 대해서도 각각의 장소에서 기대되는 기능을 확보하면서 계류

물리환경의 연속성도 확보할 수 있는 구조물의 개발이 필요한 것이다.

또한, 계류생물군집 서식지의 동적안정성이 확보되는 공법을 실현시켜야 한다. 즉, 교란에 의한 동적 변화, 유출토사에 의한 단구의 형성, 계안침식에 의한 유로의 변동, 세굴과 퇴적의 반복에 의해서 계상이나 계안에 형성되는 사력 퇴적물을 비롯하여 여러 가지 퇴적형태 등이 유지되어야 한다. 더구나 이로 인해 형성되는 역류지역 등 여러 가지 계상 내의 미세구조나 하상공극수역, 동적 서식지를 유지하는 것이 계류생태계에서 군집보전의 요건이다. 즉, 사방댐이 토사의 조절을 목적으로 하는 등 계류에서 토사의 동적안정을 의식한 치산·사방공법은 과거에도 행해지고 있었지만, 대다수의 공법은 계상이나 계안의 고정이라는 목적이었고, 수심을 억제해서 掃流力을 저하시키고, 溪床을 평준화해서 국소적인 세굴을 막고, 계안비탈면을 피복시켜 침식을 막아왔다. 그 결과, 계류 내에서의 동적변동은 억제되었으나 계류생태계에는 마이너스적 영향이 있어 왔다. 따라서 계류생태계와 조화되는 치산·사방사업을 추진하기 위해서는 사력퇴적물의 이동이나 계안의 붕락을 허용하면서 토사재해를 방지하는 공법을 찾아내지 않으면 안 된다. 아울러 임도 및 치산·사방사업시 계류생태계에 미치는 영향을 최소화시켜야 한다. 임도 작업용 도로나 작업지의 계획, 설계, 시공을 신중하게 해야 하는데, 이는 기술적인 면 이외에도 시공관리면 즉, 기술자의 의식개혁이나 작업원의 교육, 공사비 등 모든 면에서 노력이 필요하다.

경관과 조화되는 임도 및 치산·사방공법의 계획, 설계, 시공에 대해서도 계류생태계와의 조화를 충분히 고려해야 한다. 임도 및 치산·사방시설은 계류나 비탈면상의 자연생태계를 포함하는 자연경관 속에서 존재한다. 따라서 경관과 조화되는 임도 및 치산·사방사업시설의 계획, 설계, 시공에 대해서도 계류생태계의 보전 및 복원을 충분히 고려할 필요가 있다. 그러나 계류생태계와 조화되는 임도 및 치산·사방사업을 추진하기 위해서는 현시점에서 극복

하기 곤란한 문제가 많다. 따라서 이러한 문제를 극복하기 위해서는 많은 임도 및 치산·사방기술자, 생태학자, 과학자들의 지혜를 모은 기술개발이 필요한 것이다.

## 2. 溪流生態系 復元을 위한 林道 및 治山·砂防技術 發展戰略

유역의 계안비탈면에서 표면침식, 비탈면붕괴, 산사태 등에 의해서 침식된 토사는 대부분 직접 계류에 유입되지만 일부는 애추형태로 비탈면각부에 머무르기도 한다. 이러한 붕적토는 계류에 의하여 서서히 유출되는 한편 종종 계류를 막아 토석류로서 유하하기도 한다. 계류내로 공급된 토사는 계상의 상승과 저하를 반복하면서 유하하는데, 계류의 밑바닥이 넓은 구간에서는 토사가 정체하여 범람원을 발달시킨다. 계류의 지형은 이런 계상변동의 반복에 의해서 형성되고, 계류나 수변에 생육하는 동·식물은 이 지형의 구조와 변화 빈도에 의해 규제되면서 그 서식지를 확보하고 있다. 따라서 환경과 조화되는 새로운 임도 및 치산·사방사업을 실현하기 위해서는 환경보전형 임도 및 치산·사방사업기술이 필요하다.

한편, 산림이 국토면적의 65%를 차지하는 우리 나라와 유사한 국토면적 약 67%를 점하는 일본에 있어 토사생산형태는 비탈면붕괴가 주가 된다는 사고방식이 강하게 인식되어 있다(柳井, 1989; 清水 등, 1995). 즉, 산림으로 덮여 있는 비탈면에서 표면침식의 주된 원인이 되는 지표유하수가 발생하는 경우는 거의 없다. 강우의 대부분은 낙엽낙지층, 부식층 및 하부산림토양으로 흡수되고, 중간류 혹은 기저류로서 계류로 유출된다. 또한, 몇몇 특수한 지형, 지질구조를 나타내는 구역을 제외하고는 붕괴발생 후 신속하게 식생에 의해 복구·녹화되기 때문에 표면침식은 적다고 할 수 있다(中村, 1990; 川道, 1997). 그러나 비탈면에서 토사생산과 하도의 유송을 장기적으로 논의한 연구는 매우 적고(Nakamura *et al.*, 1995), 이 문제는 토사수지와 토사운반경로의 문제로 계류에서의 생물상과 관계되며, 임도 및 치산·사방사업계

획시 해결하지 않으면 안 되는 과제이다. 따라서 기존 임도 및 치산·사방사업시설의 모니터링은 임도 및 치산·사방사업계획의 타당성 및 계류생태계의 복원을 목적으로 한 계류생태계 관리에 필수적이라 할 수 있다(Dietrich and Dunne, 1978; Swanson *et al.*, 1982; 池田 등, 1986; 久保田, 1999).

계류생태계 복원과 임도 및 치산·사방사업의 효과적인 접목은 기술적으로 생태계구성요인의 연계를 유지하는 것이다. 이를 위해서는 토사나 물질의 이동, 유로변동 등 계류가 가진 동적구조가 유지되지 않으면 안 된다. 일본에서는 1997년에 새로운 하천법이 공포되어 하천환경의 정비, 보전이 내부목적화 되고, 현재는 산지에서 평야, 바다에 이르기까지 유역종합토사관리가 요구되고 있다. 이제까지 치산·사방사업의 목적은 다양한 방법으로 토사생산을 억제함으로써 이 토사를 어떻게 하면 하류까지 유하시키지 않도록 할 것인가에 초점을 두었으나, 현재는 어떤 하류로 공급하는가가 중심과제가 되고 있다. 따라서 재해방지책으로서의 토사억제, 계류생태계유지를 위해 필요 불가결한 토사조절의 발상전환이 필요한 것이다. 즉, 내구년수가 긴 구조물의 설치에 계상의 안정화를 초래하고, 계류가 본래 가진 동적구조를 억제한다. 따라서 동적구조유지의 관점에서는 대상지에 적합한 구조물의 내구성을 설정하는 것이 타당하고, 짧은 시간단위에서 파괴되는 것을 전제조건으로 한 구조물설치도 생각하지 않으면 안 된다. 이러한 관점에서 구조물파괴는 실패사례가 아니고, 유로나 계상변동 등 자연교란을 허용하는 성공사례로서 해석될 수 있다. 식물 등 생물재료에 의해서 만들어진 구조물은 파괴돼 유출되어도 유해한 폐기물이 되지 않으며, 토지이용과 그에 따른 계류재해를 생각하면 이런 변동의 허용성, 구조물의 유연성은 한계가 있다.

계류에 대한 계층구분은 이미 Frissell 등(1986), Swanson 등(1990)에 의해서 제안되었고, 구조물의 안정성이 요구되는 크기는 유역 및 수계차수에 따라 다른데, 이보다 넓은 구역에

서 발생하는 자연재해에 대해서 현재의 임도 및 치산·사방사업이 기술적으로 대응하는 것은 불가능하다고 할 수 있다. 또한, 이보다 좁은 영역에서 발생하는 자연교란에 대해서는 유역 전체를 고려한 유연한 구조물의 설치가 필요한데, 유역적 관점에서는 수 십년에서 수 백년단위로 발생하는 토사재해로부터의 안전확보가 중심과제로서 계류환경의 분단을 최소한으로 억제하는 시설계획을 생각하지 않으면 안 된다. 결국, 생물과 물리현상의 상호작용을 허용하기 위해서는 계상의 유지관리가 필요하고, 지금까지 토사관리를 목적으로 한 치산·사방사업계획의 사고방식이 계류횡단을 차단하는 사방댐에 의한 계류안정의 수립이었던 것에 반해서(武居, 1998), 장래에는 계류생태계의 소통성이 유지되는 공법·공종으로 전환되어야 할 필요가 있다. 즉, 계류에 시공된 사방댐이나 바닥막이 등의 횡단구조물은 국소 세굴이나 퇴적을 막는 효과는 매우 높지만, 계류생태계의 기본구조인 하천과 웅덩이의 구조를 상실시키므로 허용범위 내에서 형성되는 얇은 하천과 웅덩이의 반복, 사력퇴적지, 범람원의 발달, 유로변동 등은 생물서식지를 제공한다는 의미에서도 보전되고 확보되지 않으면 안 된다. 그러기 위해서는 환경친화적 임도 및 치산·사방사업 기술의 발전이 필수적이라 할 수 있다.

#### IV. 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. 계류생태계 복원을 증진한 임도 및 치산·사방사업으로 방향을 전환하기 위해서는 토사동태의 변화에 따른 영향을 저감할 수 있는 새로운 임도 및 치산·사방사업의 패러다임을 만들어야 하며, 치산·사방사업시 생

물군집을 보전하기 위한 서식장소가 유지되도록 해야 한다.

2. 계류생태계 복원시 치산·사방사업의 영향을 생물군집의 조성에서부터 평가함으로써 생태계보전상 바람직한 공종·공법을 계류변의 환경복원에 적용하여야 한다.
3. 과거 치산·사방사업의 방향이 영구적 시설에 의한 토사의 고정화였다면, 장래에는 대규모 토사재해를 방지하면서 가능한 토사이동을 허용하는 중·소규모의 토사이동에 대한 대책으로 치산·사방기술을 전환할 필요가 있을 것으로 판단된다.
4. 계류생태계 복원은 생물군집의 건전한 서식이 가능하도록 계류환경의 연속성을 확보해야 하며, 환경과 조화되는 환경보전형 임도 및 치산·사방시설이 되어야 한다.

#### 引用 文 獻

- 中村太士. 1990. 地表變動と森林の成立についての一考察. 生物科學 42(2) : 57-67.
- 中村太士. 1995. 河畔域における森林と河川の相互作用. 日本生態學會誌 45 : 295-300.
- 朴在鉉·禹保命·李憲浩. 2000. 日本에서 溪流邊의 環境復元 發展戰略 I. 한국환경복원녹화기술학회지 3(1) : 80-90
- 太田猛彦. 1997. 生態系と調和した砂防の基本的な考え方. 砂防學會誌 50(2) : 55-60.
- 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.
- 北野文明·中野 繁·前川光司·小野有五. 1995. 河川型オシヨロコマの流程分布に對する水温の影響および地球温暖化による生息空間の縮小豫測. 野生生物保護 1 : 1-11.
- 崎尾 均·鈴木和次郎. 1997. 水辺の森林植生(溪畔林·河畔林)の現状·構造·機能および砂防工事による影響. 砂防學會誌 49(6) : 40-48.
- 川道武男. 1997. 溪流のオオサンショウウオなどと砂防工事. 砂防學會誌 50(2) : 50-54.



- 建設省九州地方建設局河川部. 1994. 川づくり参考資料(案)(多自然型川づくりの理解のために). (財)建設工法研究所.
- 境 一郎. 1997. 機焼けの海を救う. 農山漁村文化協會. 7-18pp.
- 竹門康弘. 1991. 動物の眼から見た河川のあり方. 關西自然保護機構會報 13 : 5-18.
- 竹門康弘・谷田一美・玉置昭夫・向井 宏・川端善一朗. 1995. 棲み場所の生態學. シリーズ共生の生態學 7. 平凡社. 24-56pp.
- 玉井信行・水野信彦・中村俊六編. 1993. 河川生態環境工學 - 魚類生態と河川計畫. 東京大學出版會. 16-45pp.
- 松永勝彦. 1993. 森が消えれば海も死ぬ - 陸と海を結ぶ生態學. 講談社. 112-145pp.
- 池田 宏・伊勢屋ふじこ・飯島英夫. 1986. 實驗水路に形成される河川の縦斷形. 筑波大學水理實驗センター報告 10 : 115-123.
- 清水 収・長山孝彦・齋藤正美. 1995. 北海道日高地方の山地小流域における過去8000年間の崩壊發生域と崩壊發生頻度. 地形 16(2) : 115-136.
- 大野宏之. 1999a. 砂防事業における現場發生土の有効利用(6). 砂防と治水 32(4) : 56-60.
- 大野宏之. 1999b. 砂防事業における現場發生土の有効利用(7). 砂防と治水 32(5) : 57-62.
- 大野宏之. 2000. 砂防事業における現場發生土の有効利用(8). 砂防と治水 32(6) : 65-67.
- 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透過型砂防ダム(L型)の開発. 新砂防 48(5) : 21-25.
- 久保田哲也. 1999. 溪流魚道の流木音環境. 砂防學會誌 51(6) : 35-39.
- 武居有恒. 1998. 砂防計畫に想う. 新砂防 16(2) : 29-30.
- 森本幸裕. 1998. 日本と水邊生態系 復元と緑化. 韓國環境復元緑化技術學會誌 1(1) : 114-118.
- 柳井清治. 1989. テフクロクロノロジーによる北海道中央部山地斜面の年代解析. 地形 10(1) : 1-12.
- Dietrich, W.E. and Dunne, T. 1978. Sediment budget for a small catchment in mountainous terrain. *Zeit. Geomorph. Suppl.* 29 : 191-206.
- Frissell, C.A., Liss, W.J., Warren, C.E. and Hurlley, M.D. 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification-Viewing streams in a watershed context. *Envir. Management* 10(2) : 199-214.
- Forman, R.T. and Godron, M. 1986. *Landscape Ecology*. Wiley and Sons. 100-150pp.
- Nakamura, F., Maita, H. and Araya, T. 1995. Sediment routing analysis based on chronological changes in hillslope and rivered morphologies. *Earth Surface Process and Landforms* 20 : 333-346.
- Stanford, J.A., Ward, J.V. and Ellis, B.K. 1994. Ecology of the alluvial aquifers of the Flathead River, Montana. Bibert, J., Danielopol, D.L., and Stanford, J.A. (eds), *Groundwater Ecology*. Academic Press. 367-390pp.
- Swanson, F.J., Janda, R.J., Dunne, T. and Swanson, D.N. (eds.). 1982. Sediment budgets and routing in forested drainage basins. USDA Forest Service General Tech. Rep. PNW-141. 15-20pp.
- Swanson, F.J., Franklin, J.F. and Sedell, J.R. 1990. Landscape patterns, disturbance, and management in the Pacific Northwest, USA. Zonneveld, I.S. and Forman, R.T.T. (eds.). *Changing Landscape-An Ecological Perspective*. Springer-Verlag. 191-213pp.
- White, D.S. 1993. Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. *Journal of the North American Benthological Society* 12 : 61-69.