

생물다양성을 배려한 소하천과 수로의 정비

Stream and Irrigation Channel Maintenance for Consideration on Biological Diversity

박종화*

Park, Jong-Hwa

I. 서론

물순환 과정에서 작은 물줄기들이 모여 흐르는 하천과 각종 수로는 모세혈관처럼 분포하며 봄, 가을과 겨울에 가끔은 건천이 되기도 하지만, 비가 내리면 많은 물이 모래와 자갈, 크고 작은 나뭇가지들과 함께 흐른다. 이러한 소하천과 수로는 산소가 풍부하고 영양분이 적어 물을 좋아하는 작은 생물이나 어류의 서식처가 되기도 한다. 또한 사람들에게 가까운 자연환경을 제공하기도 하며 다양한 생물의 생활공간 역할을 담당한다. 따라서 소하천과 용·배수로에서 생물다양성(biological diversity; biodiversity)을 보전 또는 확보하기 위해서는 농업생산기반 정비사업 등을 통해 생명이 숨쉬는 공간으로 만들어 가는 것이 필요하다. 우리 농촌의 논밭에서 생물다양성의 보전은 안전하고 양질의 농산물을 공급하고 농촌의 경관 유지에도 매우 중요하다.

그러나 최근 들어 농업생산기반정비사업에서

농경지 유지관리의 어려움과 농작업 기계의 발달 등으로 유지관리가 편리한 형태로의 정비 사업이 빠르게 진행되면서 농업생산성은 향상된 반면 논과 수로의 생태계에 많은 영향을 미쳤고 생물 다양성은 많이 훼손 또는 소실되었다. 생물 다양성 소실의 원인은 크게 ① 서식환경의 파괴 (habitat destruction) ② 외래종의 도입 (introduced species) ③ 무분별한 난획 (overexploitation) ④ 먹이사슬의 혼란 (food chain disruption)을 들 수 있다. 지금까지 경제성과 효율성을 우선시한 농지와 수로 정비에서 훼손된 서식환경에 대해 우리에게도 생물 다양성을 배려한 농업생산기반정비 즉 환경과 조화를 이루고 생물 다양성 확보가 가능한 소하천과 수로 정비로의 방향전환이 필요한 시점에 와 있다.

따라서 본 연구에서는 자연소재를 활용한 소하천과 용·배수로에서 생물 다양성 확보가 가능한 방법과 그 특징에 대해 보고하고자 한다.

* 충북대학교 지역건설공학과 교수(jhpak7@cbnu.ac.kr)

II. 생물다양성 확보의 필요성

1992년 5월 케냐의 나이로비에서 채택되어 브라질 리우의 유엔환경개발회의(UNCED)에서 생물다양성 조약이 조인되었다. 이 조약은 열대 우림과 생물 종의 급격한 감소에 따른 위기감, 인류의 존속과 밀접한 생물자원의 소실에 따른 위기감을 배경으로 생물전반의 보전에 관한 포괄적인 국제적 틀을 만들었다. 이 조약의 목적은 ① 생물다양성의 보전 ② 그의 지속가능한 이용 ③ 유전자원에서 얻어지는 이익의 공정하고 형평 있는 배분이다. 생물다양성조약은 생물다양성을 전 생물들 사이에 차이가 있는 것으로 정의하고 있다. 또한 조약에서는 그림 1과 같이 생태계와 종 및 유전자 수준에서의 3가지 다양성이 있다고 하였다(CBD 홈페이지). 현재 지구상에는 3천만종의 다양한 생물이 각각의 개성을 가지고 서로 상호관계를 가지며 서식하고 있다. 그러나 최근 들어 인간 활동은 사람의 편의에 따라 주어진 환경을 바꿔나가 많은 생물들이

사라지고 있으며 그 속도도 빠르게 진행되고 있다.

2002년에 열린 체결국회의에서는 “2010년까지 생물다양성 손실속도를 두드러지게 감소시킨다.”는 2010년 목표가 채택되었다. 2008년 5월 현재 이 조약의 체결국은 우리나라(154번째 서명)와 EU를 포함한 190개국이다. 이와 같이 생물다양성은 기후변화에 따른 지구온난화와 함께 지구환경문제로 국제적인 관심사항이 되고 있다.

III. 인간의 간섭과 그 결과

우리나라의 경우 한국전쟁(6.25)으로 국토의 초토화와 1960년대 이후 시작된 경제개발사업의 추진으로 거주지역과 공업지대가 확대되고, 경지정리사업, 도로건설 등 대형 인프라 정비가 실시되면서 오늘날과 같은 국토경관이 형성되었다. 그 과정에서 이수(방재)목적에 의해 하천과 수로는 직강화 되고 복개 또는 하상이 콘크리트로 덮어졌으며, 수변의 버드나무 등도




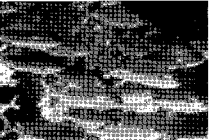

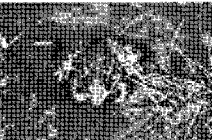




<p>생태계의 다양성 농업 생태계, 산림 생태계, 해양 생태계 등, 다양한 생태계 존재</p>	 농지	 초지	 산림	 해양
<p>해양종의 다양성 다양한 종류의 식물, 동물 등이 서식</p>	 황새	 개구리	 소나무	 쉬리
<p>유전적 다양성 같은 종에서도 개체간의 유전자가 다양</p>			<p>각 지역조건에 따라 발광주기 등에 차이</p>	

그림 1. 3가지 수준의 생물다양성

잘려 나갔다. 하천과 수로는 사면을 침식으로부터 보호할 목적으로 콘크리트 라이닝과 블록 공사가 행해지고, 철선 돌망태와 매트시공이 이용되면서 재해방지와 편의를 앞세워 바뀌어갔다. 또한 국지성호우 등으로 호안과 농경지의 침식이 늘어나고, 토사의 세굴과 퇴적 문제도 많은 지역에서 발생하여 공사완성 후의 유지 관리에 거액의 비용이 소요되게 되었다(Fischenich, 2001; USDA, 1996).

이와 같은 하천과 수로 공사의 사회적 필요성은 ① 재산과 인명을 홍수로부터 보호하고 ② 하천주변의 저지대를 홍수로부터 보호하고, 주택과 공장부지 등의 마련을 위해서 하천을 개수하거나 ③ 잘 정비된 도로망, 수로망을 구축하기 위하여 녹지를 경지로 전환하고 ④ 차량과 농기계의 발달에 맞춰 하천망을 정비하는 것이었다. 그 결과 우리의 하천은 ① 하폭이 넓어지고 수로는 평탄해졌으며, ② 하상경사가 증가하고, 수로경사는 급해지면서, ③ 유출속도는 빨라지고, 침투홍수량은 감소하였다. ④ 하루 하천의 범람 횟수는 줄었고, ⑤ 유출토사의 유송 상황이 달라지면서, ⑥ 개발 등에 따른 부유물질이 증가하였다.

이는 안정적인 물과 토사 관리가 가능해졌다는 긍정적인 면을 가져온 반면, 환경과 생태학적으로 풍부한 가치를 가진 많은 생물의 서식공간이 상실되었고, 소하천과 용배수로에 서식하던 생물도 두드러지게 줄어들게 되었다.

IV. 생물다양성 확보를 위한 하천과 용·배수로 정비

1. 하천과 수로정비 방향

하천과 용·배수를 관리하는데 필요한 기술

조건은 하천과 수로의 정비, 홍수방지, 수질 확보, 하천과 수로의 이용 등을 고려하고 지역 생태기능과 경관을 배려하는 공법 채용이 매우 중요하다. 즉, 생물다양성 확보를 위한 하천과 수로는 유역의 수질확보는 물론 자연 유출 시스템의 재구축을 통해 지역 고유의 생물서식공간을 창조하고 하천과 수로가 갖는 고유의 동적 특성을 살리고 수변주변의 초지 또는 수림을 조성하는 작업이 필요할 것이다(Allen 등, 1997).

2. 생물다양성 확보 공법 적용의 기본원칙

지금까지 우리 농촌에서 적용되고 있는 공법은 지역과 위치 및 주변조건을 크게 고려하지 않고 모든 지역에 일률적이고 거의 비슷한 방법을 적용해 왔다. 그러나 앞으로는 각 지역의 조건과 특징을 최대한 배려하고 수로 등의 적용에 있어서도 각 지역과 주변여건에 맞는 방법 채용이 매우 중요하리라 생각된다. 기존의 콘크리트 등을 활용한 방법은 유지관리 중심의 공법으로 조건에 따라서는 생물의 이동통로에 장애를 주는 경우가 많다. 생물다양성 확보를 위한 공법은 기존의 토목 공법과 생태 공법을 조건에 따라 달리 적용하여 하천과 수로의 모습을 자연에 가까운 상태로 보전하여 그 환경에서 생물다양성이 확보될 수 있도록 배려하는 공법일 것이다. 이러한 자연과 환경을 배려한 공법은 기본적으로 하천 생태계 시스템의 변화를 매우 적게 하고, 지속 가능한 보호와 개수 공법으로 하천과 수로 주변에 서식하는 식물들을 이용하는 공법일 것이다(Firehock 등, 1995).

지역에 따라 환경이 서로 다르고 환경요인들 간의 네트워크가 매우 복잡하게 상호작용을 하고 있다. 따라서 생물다양성 확보를 위한 공법 적용에는 각 지역조건에 따라 다음과 같은 관련

요소들을 고려할 필요성이 있다. ① 하천과 수로 주변의 식물뿌리는 하천의 자정작용에 중요한 역할을 한다는 점. ② 갈대류, 버드나무, 물오리 나무 등의 수변식물 뿌리는 수생 생물의 중요한 서식처이며 휴식공간이라는 점. ③ 지역 향토 수목의 잎은 외래종 수목보다 훨씬 썩기 쉬워 영양분으로 쉽게 환원된다는 점. ④ 나무와 풀이 제공하는 그늘은 과도한 광엽초본류의 번성을 억제하고 산소 수지를 개선하며, 수생 동물의 쉼터로 활용되고 있는 점. ⑤ 종(種)이 다양하고 꽃이 많이 피는 다년생 초본의 초지나 하안의 수목은 수생동물의 중요한 서식처인 점. ⑥ 암석 풍화 물질과 콘크리트 등은 물의 화학작용에 영향을 미친다는 점. ⑦ 많은 동물에 영향을 미치는 물의 화학작용은 중요한 환경요소라는 점. ⑧ 다양한 하천과 수로의 형태는 동식물 각각의 특유한 서식처가 되고 있는 점. ⑨ 하상의 균일화와 하상 폭 확장은 생물의 서식환경을 악화하고 생물이 서식할 수 있는 수심확보가 되지 않는 점. ⑩ 하천과 수로의 단순화는 생물의 다양성을 저해하는 요인으로 작용한다는 점 등이다.

3. 생물다양성 확보를 위해 필요한 식물

생물다양성 확보를 위해 호안 등에 적용할 수 있는 식물은 하천과 수로부근에 자생하는(또는 자생하였거나 자생 가능성이 높은) 식물로 대상지의 환경조건에 적합한 식물과 종을 선정하는 것이 중요하다. 또한 식물종의 유전적 계통 보전 목적에서 동일종이다 하더라도 다른 지역에서 육묘 도입을 하는 경우 문제가 되는 경우도 있다. 유전적 계통 보전이 필요하다고 판단될 때는 지역소재 계통의 종자로부터 육묘에 의한 계약생산도 염두에 둘 필요가 있다.

생물다양성 확보를 위한 식생호안은 ① 유실되기

쉬운 제방주변의 토양을 식물의 줄기와 뿌리로 결속하고, ② 수중 식물은 물의 흐름과 파의 힘을 확산시켜 침식을 방지하는 등 식물이 갖는 기능을 발휘하도록 하여야 한다. ③ 지상의 노출부는 다년생 풀로 유연한 종류를 채택하고, ④ 지하의 줄기와 뿌리는 증식이 잘 되고 뿌리를 잘 내릴 수 있는 소재로 하며, ⑤ 재생이 빠르고 빨리 군락을 형성하는 식물을 채택하고, ⑥ 유량증가에 따른 토사 유출과 침식에 강도 확보가 가능한 수중과 초종을 선택하여 식재할 필요가 있다.

한편 하천과 수로의 수변에 서식하는 식물은 갈대나 부들과 꽃창포 등이 널리 사용되면서 운치를 주고 있다. 그러나 용·배수로의 경우 갈대와 부들은 큰 초장과 왕성한 번식력으로 수면을 덮는다든지, 바람에 날린 종자가 주변농지에 들어가 정착하는 문제 등이 발생하기도 하므로 주의하여야 한다. 또한 꽃창포는 물의 흐름에 충분한 강도확보가 되지 않는 문제를 안고 있다. 따라서 식물을 활용한 호안은 물의 흐름과 파의 영향 및 유속과 전단응력에 관계하는 지속 시간, 수면의 크기와 수심 등 수위변화, 하상



그림 2. 논외 배수로에 적용한 식물활용 (일본 토찌기현)

토사와 부유물질의 운반에 의한 침식과 세굴, 하천과 수로의 특성과 이용목적 등을 고려하여 채용할 필요가 있다. 또한 최근에 각 지역별로 실시되고 있는 농촌마을종합개발사업에서 권역의 수익과 경관사업으로 논주변에 식물을 활용하는 경우가 많은데 이러한 지역의 경우 권역을 대표하고 지역의 경관을 최대한 살리고 생물다양성이 확보될 수 있도록 식물을 채택하는 것이 중요할 것이다.

논에서 경관과 생물다양성 확보를 위해 적합한 지역의 일례를 제시하면 그림2와 같다.

V. 생물다양성 확보 공법의 선택

1. 기본 원칙

공법 적합성 판단의 결정적인 기준은 수위가 되겠지만, 공법은 하천과 수로의 특성에 맞게 다음 사항을 고려하여 선택한다. ① 물의 흐름은 하상경사에 따라 좌우되고, 유속과 전단력은 제방과 호안 침식의 주요 요인이 된다. 나무를 밀집하여 심으면 하안사면 부근의 유속은 현저하게 줄어들게 된다. ② 호안에서 식생의 생존은 토양 구성과 유기물 함량 등 토양특성에

좌우된다. 예로 두드러지게 높은 밀도의 토양은 뿌리 정착 등에 제약을 받는다. ③ 유역조건에 따른 우수 관리는 각 지역조건에 따라 매우 다양하므로 적용지점의 수위변화 등을 고려해야 한다. 다발공이나 망태공 같은 생태공법 적용의 경우 하천공사가 지체되는 일이 있다. 한편, 오리나무와 버드나무는 토지가 항상 습윤상태일 필요가 없어, 오랜 저수위 기간에도 한해 피해 발생이 드물다. ④ 유송 토사와 부유물의 질과 크기는 생물다양성 확보에 적합한 공법 적용의 결정적 요소가 된다. 생물다양성 확보를 위해 하상과 하안은 이미 존재하는 암질과 유사한 것을 사용하며, 기본적으로 현장에 있는 석재보다 입경이 큰 것은 가급적 피하는 것이 좋다. 또한 부유물이 많은 하천은 완경사 사면에 퇴적대가 형성되고, 소단이나 하안전면에 빠르게 토사의 퇴적이 진행되기도 하므로 이 점에 유의하여야 한다.

이러한 점을 감안하여 지역 생태계의 보호와 생물다양성 확보를 위해 적용하고자 하는 경우 매우 많은 공법이 개발되어 각 지역조건에 적용되고 있다. 따라서 본보에서는 그 예를 두 가지만 제시하고자 한다.

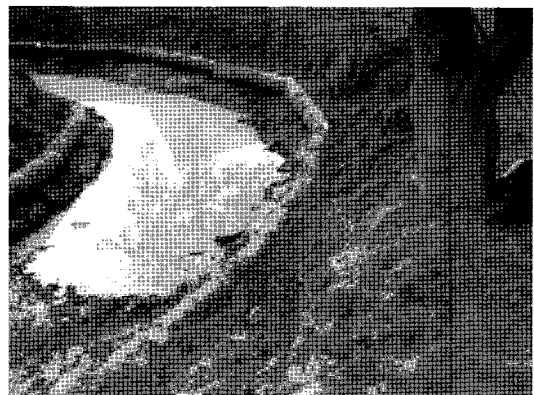
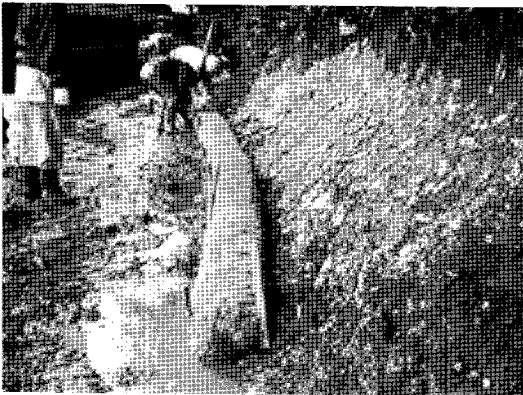


그림 3. 식생물을 현장에 직접 배치하는 방법

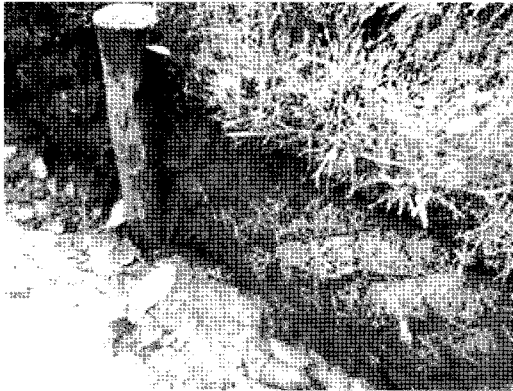


그림 4. 식재와 육성을 마친 식생률 사용

2. 식생률공법

일반적으로는 야자수섬유를 식생기반으로 사용하여 식물재료(식생률)에 의한 공법이다. 야자수섬유가 하천과 수로 등의 수변 식물의 서식기반과 초기의 토사 안정에 유효하게 기능하는 점에서 식생호안 형성을 목적으로 이용되고 있다. 야자수섬유는 초기의 식생기반과 호안 재료 역할을 하는 것으로 사용되는 식물이 줄기와 뿌리를 내리고 활착하여 식생호안을 형성하는 보조소재 역할을 담당한다. 내용물은 하천과 수로 주변에 분포하는 나무의 부산물을 채워 활용한다. 이러한 자연재료는 지역 서식 생물에 유리하며 생물다양성 확보에도 유리하다. 식생률의 이용형태는 크게 현장에 직접 배치하는 방법(그림 3)과 빠르고 확실한 식생호안형성을 위해 미리 생산농지에서 식재와 육성을 하여 뿌리가

단단하게 활착한 식생률을 사용하는 방법(그림 4)이다.

하천과 수로조건에 따라 수로 폭과 수심이 한정된 경우 식물이 울창해져 유수단면 확보 등이 문제가 될 수 있다. 이 경우는 적절한 유지관리를 필요로 한다. 따라서 공법 채용에 있어서는 표 1과 같이 계획단계에서 적절한 수심을 설정함으로써 번무를 방지하고 유지관리 노력을 줄일 수 있다.

흐름이나 파의 영향을 받는 장소는 수로내에 식물이 자라지 않으므로 식생호안으로서의 기능을 충분히 발휘하지 못한다. 이 경우 그림 5와 같이 수로에 사석과 말뚝을 조합하여 식생호안 기초부의 세굴을 방지하고 유수에 의한 식물에 미치는 영향을 약화시켜 식물이 물의 흐름조건에서도 서식할 수 있는 환경을 확보할 필요가 있다(USDA, 1992).

표 1. 식생호안에 이용되는 식물의 적응조건과 수심의 관계

식물명	생활형태	인공수로	소하천	최적수심 (cm)	서식가능수심 (cm)
논두렁사초	습생식물	◎	△	0~5	20
삿갓사초	습생식물	○	○	0~15	40
갈대	추수식물	△	○	0~20	150
줄	추수식물	△	○	20~50	200

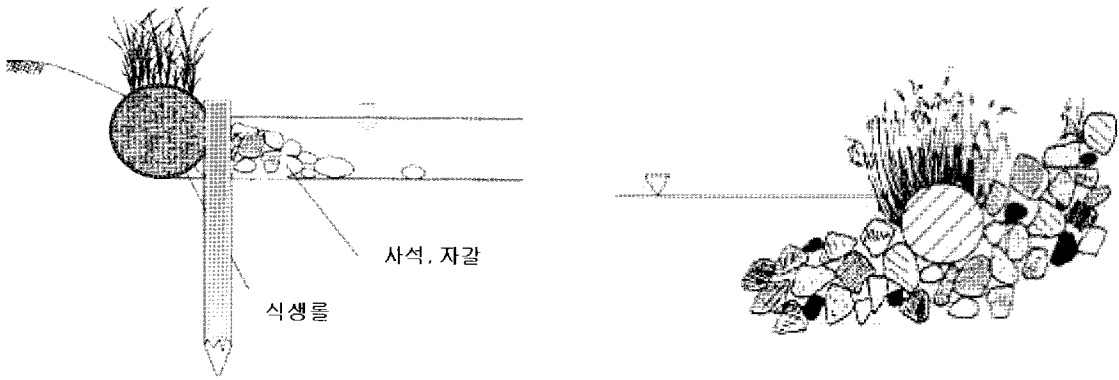


그림 5. 흐름과 파에 저항할 수 있도록 사석을 배치하여 식물의 서식범위를 확장

한편, 그림 6과 같이 내수면의 침식지역 보호를 위해 식생롤과 말뚝을 겸용하여 사면을 보호하는 방법과 그림 7과 같이 사면 말단에 식생롤과 말뚝을 같이 사용하여 하천과 수로 사면을 보호하는데 이용된다(Schiechtel 등, 1997).

3. 나뭇가지 다발공 (fascine)

나뭇가지 다발공은 하천과 수로주변에 분포하는 싱싱한 버드나무 등의 연한 가지를 다발로 만들어 하안사면 기슭에 시공해서 나무뿌리가 사면보호와 안정 기능을 발휘하고 하안 세굴과

침식 방지를 위한 공법이다(그림 8).

이 공법의 효과는 사면의 일시적 보호는 물론 받아들여진 가지 다발에서 사면 하부로 뿌리를 내려 강도가 확보되고, 하천과 수로에 사는 어류 등에게 서식 공간 제공 등 생물다양성 확보에 유리한 공법이다. 공법의 적용구간은 저수역과 천이역의 하안사면을 빠른 시간에 보호하기 위해 시공하는 방법으로 하상이 세립토와 잔돌로 구성된 구역에 적용이 가능하다. 사면에 나무를 심으면 장기적으로 하안을 보호할 수 있으며 저수역의 다발 수명은 유지관리 정도에 따라 약 10~30년간 지속되는 것으로 보고되고 있다.

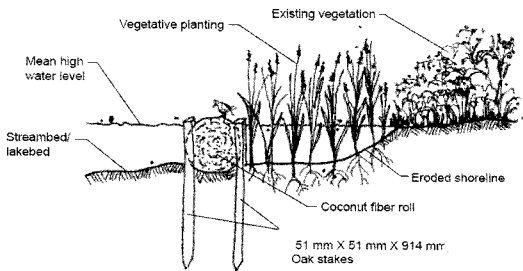


그림 6. 내수면의 침식지역을 보호하기 위해 식생롤과 말뚝을 활용

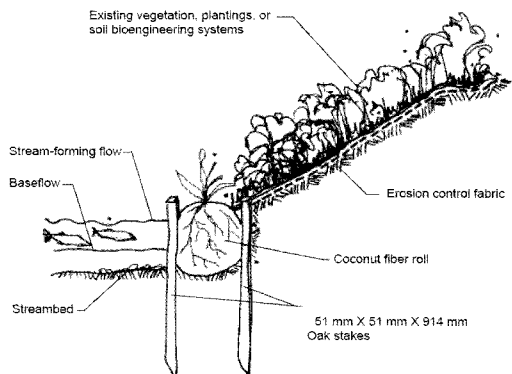
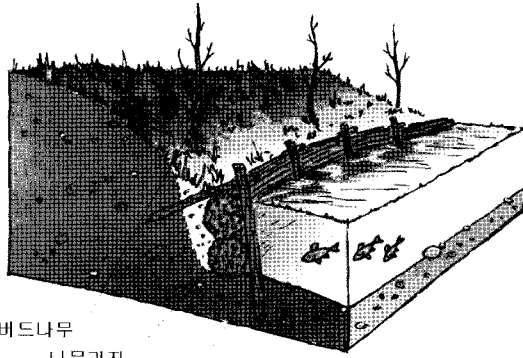


그림 7. 하안사면 말단에 식생롤과 말뚝을 같이 사용하여 하안을 보호



버드나무
나뭇가지
다발공
말뚝



그림 8. 나뭇가지 다발공을 이용한 소하천정비 (하안침식 방지와 서식공간 확보)

사용 재료는 발아능력이 있는 3~4년생의 모든 버드나무 종류로 건조방지를 위해 잎이 좁은 버드나무의 비율을 30%이상 사용하여야 한다. 재료는 절단 후 바로 시공한다. 또한 나무말뚝은 낙엽송을 제외한 가공하지 않은 썩기 쉬운 침엽수림을 사용하고, 말뚝 길이는 1.2~1.5m로 하며, 말뚝 지름은 8~12cm, 끝 부분은 뾰족하게 하고, 1m당 1~2그루가 필요하다(MUBW, 1993).

시공법은 ① 버드나무 등의 연한가지를 길이 3~10m, 직경 10~40cm의 다발을 만든다. ② 하안사면 기슭에 삼 깊이의 흠을 파고 다발을

넣는다. ③ 파낸 흠으로 다발 주변을 메운다. ④ 다발공 사이의 빈 공간을 흠으로 메우고, 나뭇가지 다발은 나무말뚝으로 하층토에 고정시킨다. 나무말뚝의 간격과 길이는 표준간격을 약 1m로 하고 하안사면과 기초의 토질과 부하에 따라 달리할 수 있다. 버드나무의 다발 시공은 개화기나 동결기는 실시하지 않는 것이 좋으며, 시공후의 관리는 손상된 것만 하고 특별한 관리를 필요로 하지 않는다. 이 공법은 시공이 빠르고 중기적으로 유리한 공법으로 하천과 수로 주변의 재료를 쉽게 이용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 버드나무 등은 생태적으로도 뛰어난



그림 9. 독일 Templin하천에 적용한 나뭇가지 다발공의 예



그림 10. 독일 농촌의 농경지주변 수로에 나뭇가지 다발공을 적용한 예

뿌리내림 특징이 있어 하안의 지속적인 보호 효과를 갖는다. 그러나 주변에 버드나무 등의 재료가 없을 경우는 많은 비용이 소요될 수 있으며, 높은 수위가 지속될 경우 나무다발이 약해지는 단점을 갖는다.

우리나라의 경우도 각 지역의 수종 개량과 간벌목 등이 많이 생산되고 있어 이러한 재료 활용이 필요할 것으로 생각된다.

그림 9는 독일 Templin하천에 적용한 나뭇가지 다발공의 예를 나타낸 그림으로 작은 배의 운행에도 하안 보호 효과가 큰 것으로 나타나 있다. 그림 10은 독일 농촌의 농경지주변 수로에 나뭇가지 다발공과 식생 덮개공을 적용한 예이다. 거의 일정한 초장과 식생 형태를 이루어 유지관리에도 큰 문제점이 없고 아름다운 경관을 유지하는 특징을 갖는다.

VI. 결 론

농촌지역에서 생물다양성을 확보할 수 있는 공간 창출은 매우 중요하다. 또한 최근 들어 콘크리트와 골재 등 원자재 가격의 급등은 농업생산기반정비사업 수행에도 적게나마 영향을 미칠 것으로 생각된다. 농촌의 경관을 유지하면서 지역의 자연소재를 활용하는 공법의 개발과 활용은 자원 활용 측면뿐 아니라 생물의 서식공간 창출에 있어서도 가치를 갖는다. 친환경농법 등의 도입이 많아지고 부가가치가 높은 농산물을 생산하는 공간으로 만들기 위해서는 소하천과 수로의 친환경정비가 필요하다. 생물다양성이

확보될 수 있도록 하천과 수로의 규모와 수심의 변동, 흐름의 상황, 사행정도, 사람의 접근정도에 따라 앞에서 소개한 지역의 자연소재를 활용하는 방법을 일부 구간이나마 채용하여 모니터링 후 확대 여부를 결정할 필요성이 있을 것이다. 생물다양성 확보는 우리 농촌의 수변공간에서 수로 네트워크와 생태이동통로를 제공한다면 소하천과 수로는 다양한 생물이 사는 공간이 되고 사람이 다시 찾는 공간이 될 것이다.

참고문헌

1. Allen H. H., and Leech, J. R., 1997, Bioengineering for streambank erosion control; Report 1, guidelines, Technical Report EL-97-8, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
2. Convention on Biological Diversity(CBD), UNEP, <http://www.cbd.int/>.
3. Firehock, K. and Doherty, J., 1995, A Citizen's streambank restoration handbook, Izaak Walton League.
4. Fischerich, J. C., 2001, Stability thresholds for stream stabilization materials, ERDC TN EMRRP-SR-29, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
5. Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg(MUBW), 1993, Handbuch Wasserbau. Naturgemäß e Bauweisen. Ufer-und Bschungssicherungen. Heft 5, 101 S., Stuttgart.
6. Schiechtl, H. M., and Stern, R., 1997, Water bioengineering techniques for watercourse bank and shoreline protection., L. Jaklitsch and D. H. Barker, ed., Blackwell Science, Inc., Cambridge, MA.
7. USDA, Natural Resource Conservation Service(NRCS), 1992, Soil bioengineering for upland slope protection and erosion reduction, Engineering Field Handbook, Chapter 18.
8. USDA, Natural Resource Conservation Service(NRCS), 1996, Streambank and shoreline protection, Engineering Field Handbook, Chapter 16.