

하천 고수부와 제방 비탈면의 생태적 복원을 위한 표토의 집토와 부설

The Stockpiling and Spreading of Topsoil for the Ecological Restoration of Floodplains and the Levee Slope of a Stream

한승완^{1*} · 김형준¹ · 채병구¹ · 김정구²

¹주식회사 삼안 수자원부, ²국토교통부 대전지방국토관리청

Seung-Wan Han^{1*}, Hyoung-Joon Kim¹, Byoung-Koo Chae¹ and Jeong-Goo Kim²

¹Department of Water Resources, Saman Corp., Gwacheon 407-707, Korea

²Daejeon Regional Construction Management Administration, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Daejeon 300-723, Korea

Received 2 March 2015, revised 11 March 2015, accepted 20 March 2015, published online 31 March 2015

ABSTRACT: Topsoil including numerous soil seedbanks has been known to be a valuable material for ecological restoration. There is a lack of specific study for its utilization in the field of stream restoration. This study conducted a reevaluation of the value of topsoil as a material for stream restoration. Furthermore, an ecological technique using topsoil was applied in an improvement project of a stream environment at the Hwanggugjicheon Stream in Korea. Stockpiling and spreading topsoil was specifically applied to the revegetation of a low slope revetment and a high flow plain. The result of this application showed that topsoil played an integral role in eco-friendly restoration in terms of ecological, flood control, economic, and constructional aspects. In conclusion, this study's findings suggest that topsoil is a suitable candidate material for stream restoration.

KEYWORDS: Soil seedbank, Stream restoration, Topsoil preservation, Vegetation

요약: 다수의 매토종자를 함유하고 있는 표토는 중요한 생태복원 재료로서 많이 알려져 있으나, 이를 실제로 활용하는 구체적인 방법에 대한 자료는 부족한 실정이다. 본 연구에서 하천복원 재료로서 표토의 가치에 대해 재평가하였다. 또한 실제로 황구지천 하천환경정비사업에서 완경사 호안, 고수부 복원, 식재 등에 표토를 활용한 결과 생태적, 치수적, 경제적 및 시공적 측면에서 자연친화적 하천 복원에 매우 효과적이었다. 결론적으로 표토가 하천복원의 유용한 재료인 것을 확인하였다.

핵심어: 매토종자, 하천복원, 표토 보존, 식생

1. 하천복원 재료로서 표토의 가치

하천에 서식하는 식물은 생물다양성 유지 및 증진, 서식처 (먹이, 번식, 은신, 휴식 등) 제공, 수질자정능력 개선, 홍수시 유속 저감 및 토사 유출 방지, 친수 기능 (생태 학습, 경관 개선 등) 등 다양한 기능을 수

행하고 있다. 식물 식재는 하천복원에 있어 가장 기본적이고 효율적인 방법 중 하나로서 하천환경 사업에서 식물 식재 관련 공종의 비용은 사업마다 차이가 있기는 하지만 일반적으로 전체 공사비의 20% 정도를 차지하고 있는 중요한 작업이다. 하천식생 복원을 위하여 많은 예산을 투자하지만, 대규모의 면적을 식

*Corresponding author: ecoriver@naver.com

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

재하는 것이 현실적으로 불가능한 경우가 많다.

하천식생을 복원하는 방법으로 종자 산포, 포트 묘 식재, 블록 식재, 지하경 식재, 줄기 식재, 삽목, 표토 활용 등 다양한 방법이 현장 여건에 따라 적용되고 있는데 이들은 각각 장단점을 가지고 있다. 이중 표토 활용은 고유의 식생을 복원하고 대면적의 식생 복원에 가장 효과적인 방법이라 할 수 있다 (Rokich et al. 2000, Rivera et al. 2014).

표토란 일반적으로 표층 30 cm 정도의 상층토로서 식물의 생육기반으로 역할을 함은 물론 식물 생장에 필요한 양분 및 수분을 공급하고, 주변 생물에게 서식처를 제공하고 있다. 또한 표토에는 매토종자(식물체로부터 산포된 종자가 토양 중에 묻혀 휴면상태를 유지하고 있는 종자로 환경조건이 갖추어지면 발아할 수 있는 능력을 가진 종자 집단)가 다수 포함되어 있어 생태복원 재료로서 매우 유용하다 (Zhang et al. 2001). 특히 하천에 분포하는 표토는 유기물 함량이 10% 이상인 경우가 많아 비옥하고 다년생 초본의 지하경을 다량 함유하고 있어 하천복원 재료로서 매우 유용하다 (Han 2001).

2. 표토를 이용한 하천복원 사례

2.1 황구지천 하천환경 정비사업

황구지천 하천환경 정비사업은 국토교통부에서 실시한 하천환경정비 시범사업 7개 하천 중 하나이다 (SRCMA 2003-2012). 본 사업은 2003년부터 2012년까지 10년 가까이 진행되었으며, 공사 중 모니터링을 실시하고 결과를 공사에 반영하여 약 70%의 설계 내용이 현장 여건에 맞춰 변경이 이루어졌으며, 51억 이상의 사업비를 절감하였다 (Table 1). 황구지천 하

천환경 정비사업은 경기도 수원시 대왕고동으로부터 화성시 양감면까지 16.3 km 구간에서 이루어졌으며, 축제 11.4 km (보축 1.0-1.5 m), 호안 14.1 km (자연 재료), 완경사 호안 조성 161만 m², 습지 조성 14개소, 고정보 개량 6개소 등의 사업이 이루어졌다. 특히 황구지천은 사업 전 대부분 농경지로 이용되던 고수부지의 경작을 금지하여 완경사호안을 조성하고, 11개소의 생태습지를 조성하여 하천의 자연성을 회복하였는데, 이 과정에서 하천의 표토를 최대한 활용하여 자연친화적 하천으로 복원하는데 크게 기여하였다.

2.2 고수부 완경사 호안에서 표토이용 식생 복원

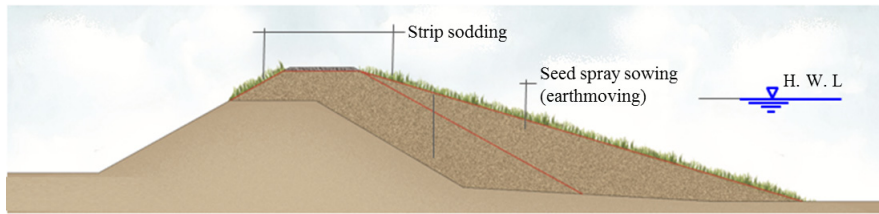
완경사호안 조성공법은 황구지천 하천환경 정비사업에서 적용된 대표적 공법 중 하나로서 (면적 283,611 m²), 호안 경사를 1:10 이상으로 완만하게 조성한 후 우기 전 식물활착에 의한 비탈면 보호를 위해 종자분사파종을 실시하는 계획이었다 (Fig. 1). 종자분사파종은 비탈면의 조기 녹화를 위하여 적용하고자 하였는데, 양잔디 종자 4종을 혼합하고 비료와 염료 등을 함께 분사하므로 생태계 교란 및 수질오염 등 하천환경에 악영향을 미칠 것이 우려되었다. 공사 전 대상지역은 대부분 농경지로 이용되었으나, 갈대, 물억새, 갈풀 등의 자연 군락이 섬상으로 분포하고 있었으며, 경작으로 인해 토양이 매우 비옥한 상황이었다.

이러한 상황을 고려하여 당초 종자분사파종 계획을 보류하고 대상지역의 표토 활용 후 모니터링한 후 공법적용 여부를 결정하도록 유도하였다. 본 변경계획은 황구지천의 토양이 비옥하고 표토에 포함된 매토종자 및 식물 지하경의 자연 발아능력 이용하고자 하였으며, 계획변경시 종자분사파종과 함께 줄떼 및 면고르기 공종을 삭제하여 생태성, 경제성, 시공성 등에서 큰 효과를 거두었다 (Fig. 2).

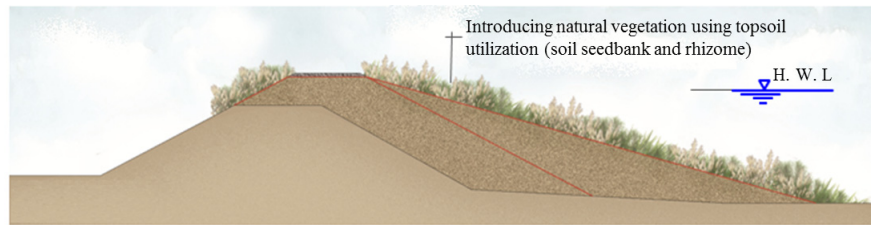
Table 1. The economic impact of topsoil utilization at the improvement project in a stream environment at the Hwanggujicheon Stream (Korean Won m²).

| Planting | | Seed spray sowing | | Topsoil utilization* | |
|-----------------|-------|-------------------|-------|----------------------|------------|
| Topsoil removal | 161 | Earthmoving | 814 | Topsoil removal | 161 |
| Sandy soil | 436 | Seed spray sowing | 3,497 | Spreading topsoil | 478 |
| Planting | 5,516 | - | - | - | - |
| Total | 6,113 | | 4,311 | | 639 |

*The additional cost of topsoil transport could be added according to conditions.



(a) Original design



(b) Changed design

Fig. 1. Map showing the study area in the Mangyeong River, Korea. The opened circles indicate study sites. Dotted lines indicate river levee.



(a) Before the removal of topsoil



(b) Directly after spreading topsoil (May 2005)



(c) June 2005



(d) November 2011

Fig. 2. Photographs showing the general view at the low slope levee of the high water flow channel before and after introducing the topsoil utilization technique at the Hwanggujicheon Stream.



(a) Stockpiling topsoil



(b) Spreading topsoil



(c) Germination from topsoil

(d) Establishment of *Miscanthus sacchariflorus* patches

Fig. 3. Photographs showing the general view at the revetments of the low water flow channel after introducing the topsoil utilization technique at the Hwanggujicheon Stream.

2.3 저수부 호안에서 표토이용 식생 복원

황구지천 하천환경정비사업에는 14개소의 습지조성과 14 km 이상의 저수로 호안이 계획되어 있었으며, 각각의 습지와 호안에는 식물식재 계획이 수립되어 있었다. 당초 황구지천의 식재계획은 호안 비탈면에 달뿌리풀, 노랑꽃창포, 붓꽃, 갯버들 등 혼식하여 다양한 식생 및 양호한 경관을 유도하고자 하였으나, 식물 식재 후 모니터링을 한 결과에 의하면 여러 가지 문제점이 발생하였다. 즉 식재 위치별로 생존율의 차이가 크고, 표토에서 자연 발아되는 식물과의 경쟁에서 뒤지는 것으로 판단되었다. 따라서 당초 식물재호안 식재계획을 삭제하고 표토 활용 방안 (면적 32,267 m²)으로 계획을 수정하였다. 인위적 식물 식재를 최소화하였고, 주요구간과 기능적으로 조기에 식물을 활착시킬 필요가 있는 구간에 대해서만 갈대, 물억새, 부들 등 다년생 대형수생식물을 입지에 따라 군식하도록 계획을 수립하였다 (Fig. 3).

2.4 고수부에서 표토이용 식생 복원

대규모 하천의 경우 제외지의 모든 공간을 대상으로 계획을 세우는 것은 현실적으로 불가능하다. 황구지천은 하폭이 넓은 구간은 400 m 이상이며, 정비 전 대부분 농경지로 이용되고 있었다. 공사를 진행하면서 모니터링을 통하여 다양한 물리적 환경을 통한 생물다양성 증진을 유도하고자, 기존 농경지 및 공사장비 진입로 등을 대상으로 장비를 철수할 때 다양한 형태의 마운드와 물웅덩이를 조성하고 이곳에 자연천이를 유도하였다 (Fig. 4). 이와 더불어 거석, 돌무더기, 햇대, 관목 식재 등을 조합하여 이곳의 기능 향상을 도모하였다. 이는 토공 작업시 마운드와 물웅덩이 등의 물리적 환경 차이 (빛, 수분조건 등)에 따라 발아되는 매토종자가 다른 특성을 이용하여 자연천이를 유도하고자 의도한 것이다. 이에 따라서 다양한 식물 출현이 출현하였고 이것이 곤충, 조류 등의 생물서식에 크게 기여하였다 (Fig. 5).

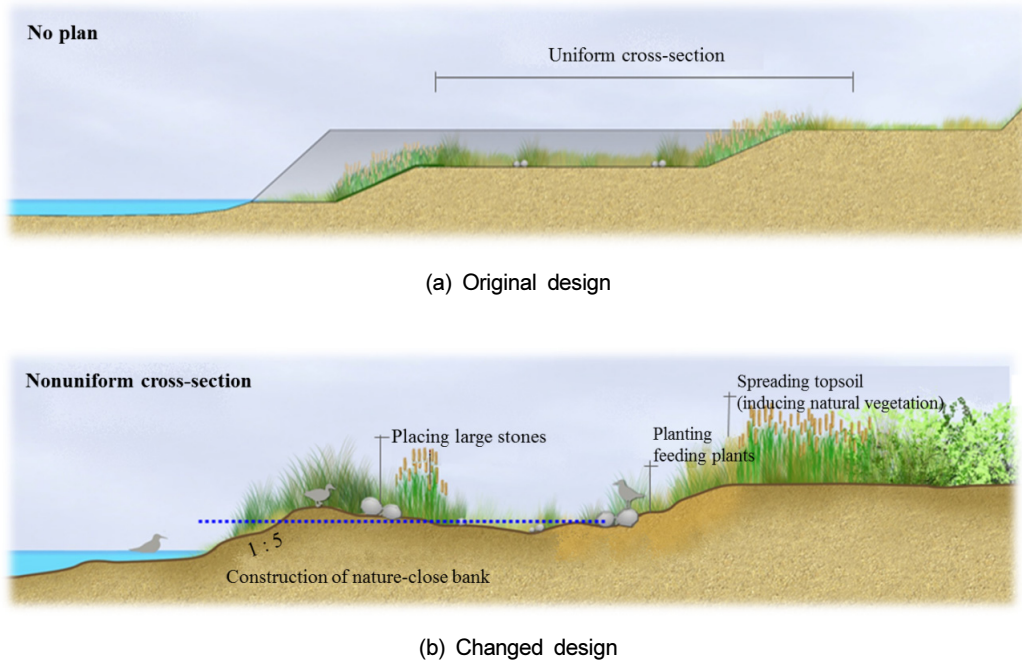


Fig. 4. Comparisons of the standard cross-sections at the floodplain on the terrace land before and after introducing the topsoil utilization technique at the Hwanggujicheon Stream.



Fig. 5. Photographs showing the introduction of a natural succession after the pond construction on terrace land using the topsoil utilization technique at the Hwanggujicheon Stream.

2.5 기타 표토 이용 사례

이 외에도 표토활용으로 호안과 식생의 일체화를 통해 치수 안전성 증대효과를 확인할 수 있었다. 호안 설치시 사용하는 필터 매트는 식물의 활착을 방해하여 수직적 연속성 저해하여 하천의 고유식생 복원 곤란하지만, 표토의 특성을 이용하여 필터 매트 사용을 최소화하는 것도 가능하다. 다만 이럴 경우는 해당 지역에 분포하는 표토의 특성 및 공사시기를 고려하는 것이 필요하다.

3. 결론

이번 표토 이용 사례는 하천환경 정비사업시 표토를 효율적으로 활용하기 위하여 다양한 방법으로 표토를 활용한 후 모니터링을 실시하였다. 표토는 해당 하천의 고유 식생을 복원하는데 있어 다음과 같이 자연친화적이고 경제적이며 효율적인 자연재료 중 하나임을 알 수 있었다. 1) 치수적 측면에서 매토종자와 지하경의 조기발아 및 비옥한 토양에 의한 식물의 조기 활착으로 비탈면 안전성 확보 및 호안재와 식물체의 일체화를 통하여 안전성을 증대하였다. 2) 생태적 측면에서 하천의 고유 식생을 나타내 줄 수 있는 매토종자가 포함되어 있어 자연친화적 복원에 효율적이고, 다년생 식물의 지하경에서 생장한 개체는 일년생 식물 및 귀화식물과의 경쟁에서 우위에 있으며, 경관개선 및 자연경관 형성에 효과적이었다. 3) 경제적 측면에서 시공성, 효율성 측면에서 타 공법에 비해 경제적이고, 대부분의 현장에서 특별한 표토가 아닌 현장마다 분포하는 표토 활용이 가능하였다.

4. 표토 활용에 대해 제언

하천 현장에서 대부분의 표토는 활용이 가능하지만, 토지이용 현황, 매토종자 분포 정도, 토성, 유기물 함량 등에 따라 차이가 있을 수 있다. 그리고 일반적

으로 모래질 하천의 경우 효과가 미미하게 나타날 수 있다. 이에 표토를 활용할 경우에는 해당 지역의 표토 상황에 대한 기초적인 조사를 실시하고, 모니터링을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 하천에서 시공 시기는 우기 전에 식물이 발아하여 활착할 수 있도록 이른 봄 (3월-4월) 식물이 발아하기 전에 시공하거나, 식물의 생장이 멈춘 가을 (10월-11월)에 시공하는 것이 유리하다. 또한 물웅덩이, 마운딩, 돌무더기, 거석 등 타 공법과 함께 시공하여 조화를 유도한다면 자연친화적인 하천 복원에 크게 기여할 수 있을 것이다.

감사의 글

원고 작성에 도움을 주신 인하대학교 조강현 교수에게 감사드립니다.

References

- Han, S.W. 2001. Study on the Habitats and Absorptive Potential of Aquatic Macrophytes in Change of Biomass. Master Dissertation, Chungnam National University, Daejeon, Korea. (in Korean)
- Rivera, D., Mejias, V., Jauregui B.M., Costa-Tenorio, M., Lopez-Archilla, A.I., and Peco, B. 2014. Spreading topsoil encourages ecological restoration on embankments: soil fertility, microbial activity and vegetation cover. *PLoS ONE* 9: e101413. doi:10.1371/journal.pone.0101413.
- Rokich, D.P., Dixon, K.W., Sivasithamparam, K., and Meney, K.A. 2000. Topsoil handling and storage effects on woodland restoration in Western Australia. *Restoration Ecology* 8: 196-208.
- SRCMA 2003-2012. Report on Monitoring of the Improvement Project of Stream Environment in the Stream Hwanggujicheon. Seoul Regional Construction Management Administration, Seoul, Korea. (in Korean)
- Zhang, Z.Q., Shu, W.S., Lan, C.Y., and Wong, M.H. 2001. Soil seed bank as an input of seed source in revegetation of lead/zinc mine tailings. *Restoration Ecology* 9: 378-385.