

## Ten Principles of River Restoration and Four Rivers Project of Korea

Randolph Hester (발표자), G. Mathias Kondolf, and Marcia McNally

Department of Landscape Architecture and Environmental Planning

University of California, Berkeley

For three centuries, from early European settlement up through the 1960s, the ecological aspects of rivers in the United States were consistently diminished or destroyed largely through dam building, dikes and levees, straight concrete channels, filling, and dredging. These actions provided temporary benefits and short-term profits, but in many cases the long-term costs far outweighed the public benefits, and we are just beginning to realize the extent of the cost of the damage. In just one case 96 million dollars has been allocated to study if only part of the Florida Everglades hydrology can be restored.

미국에서 유럽인의 정착부터 1960년 대까지- 지난 삼세기 동안, 미국 강의 생태는 댐건설과 제방, 수로 직강화, 습지 매우기, 준설 등으로 꾸준히 손실되고 파괴되어 왔습니다. 이런 사업들은 일시적 이익과 단기적 이윤을 줄 수 있지만, 대부분의 경우 장기적 비용이 공공의 이익을 훨씬 초과합니다. 미국은 이제 이런 손해 비용을 실제로 깨닫고 있습니다. 한 예로, 플로리다 에버글레이드 습지의 일부를 복원할 수 있는가를 연구하는데만도 9천 600만불의 예산이 배정되었습니다.

Most policy makers now recognize that destructive river engineering must be ended and replaced with ecological river restoration. We would characterize the U.S. as being in the first experimental stages of ecological river restoration. Decision makers recognize ecological restoration as essential for long-term management, fisheries health, drinking water, etc.; but we are just learning how to do it. We have some cases that have been ecologically ineffective or detrimental, a few successes, and more experiments in the planning stages (Palmer et al 2005, Kondolf 1998). But there is no question that we are trying to undo past damage. We are not building more dams. We are removing them. We are not engineering rivers with concrete channels, We are removing concrete channels. The definition of river restoration is to return rivers to predisturbance states in terms of fluvial process, biotic and abiotic process.

미국 대부분의 정책결정자들은 파괴적 방법의 강 공사를 더이상 하지 말아야 하며, 생태적인 하천 복원으로 대체해야 함을 깨닫고 있습니다. 저는 현재의 미국을 생태적인 강 복원이 첫번째 실험 단계에 있다고 봅니다. 정책 결정자들은 생태적 강 복원이 장기적인 하천 관리와, 어업, 식수 관리를 위해 꼭 필요하다고 보고 있습니다. 우리가 지난 과거에 해왔던 훼손을 복구해야 함에 의문의 여지가 없습니다. 우리는 더이상 댐을 만들지 않습니다. 우리는 더이상 콘크리트 수로를 건설하지 않고, 오히려 없애고 있습니다. 하천 복원의 정의는 강물과 강에 있는 생물, 무생물의 자연 과정이 인간의 교란을 받기 전의 상태로 되돌리는 것을 말합니다.

Over the 15-year period of 1990-2004 at least 37,000 restoration projects with over \$17 billion in investment were documented in the U.S. by a national study (Bernhardt et al. 2005). The goals of most of these projects were to rehabilitate river ecosystems degraded by previous actions such as channelization, dredging, straightening, dam building, gravel mining, or diversion. Below are the few lessons learned so far.

미국에서는 지난 1990년부터 2004년까지 15년동안, 170억불을 들여 적어도 3만 7천여개의 복원사업을 했다고 국가 기관 보고서는 기록하고 있습니다. 이런 복원사업의 목적은 수로 공사와 준설, 직강화, 댐건설, 자갈 채굴, 강의 물줄기를 전환하는 사업 등으로

훼손된 강 생태계를 복원시키는 것입니다. 이때까지 이런 과정을 통해서 배운 점들은 다음과 같습니다.

1. Preserve what's working first. Stop river destruction. Humans cannot control rivers. Preservation is the best form of restoration. Approach restoration in the context of historical changes pre-disturbance. If fluvial processes are intact they can sustain a healthy ecosystem. In these cases the purchase of floodplains to allow fluvial processes to work naturally is often the best prescription, even in urban areas.

강이 제 기능을 하고 있는 지역을 보존하고, 강 훼손을 막아야 합니다. 인간은 물을 통제할 수 없습니다. 강을 보존하는 것이 가장 최상의 복원 방법인 것입니다. 복원을 할 때는 강이 교란 전 역사적으로 어떻게 변해왔는지에 기반하여 접근해야 합니다. 만약 하천 과정이 손상되지 않은채로 온전하게 있다면, 그것은 건강한 생태계를 지속시킬 수 있습니다. 이럴 때는 하천의 과정이 자연스럽게 진행될 수 있도록 하천 주변에 범람원을 매입하는 것이 심지어 도시지역에서조차도 최고의 처방책입니다.

In the U.S. the 1968 Wild and Scenic Rivers federal legislation has been most essential in preserving rivers that retain pre-disturbance ecological functions. More recently the strategy to preserve what is working has been extended to more urbanized river functions. The acquisition of undeveloped floodplains in the Sacramento River basin in California and the Neuse River basin in North Carolina support fluvial functions and provide recreation for large urban populations. These actions have saved billions of dollars in flood damage over the years.

미국에서는 1968년 연방법으로 제정된 야생과 경관 하천에 관한 법이 강을 보존하고 교란 전의 생태적 기능을 유지시키는데 중요한 역할을 해왔습니다. 그 후 제 기능을 하고 있는 지역을 보존하는 방법은 도시지역 하천 기능에까지 적용되었습니다. 캘리포니아의 새크라멘토 강 유역과 노스 캐롤라이나 뉴스 강 유역에 개발되지 않은 범람원 매입은 강의 기능을 지지하고 많은 도시 인구의 레크리에이션을 제공하고 있습니다. 이 방법으로 인해 홍수 피해를 줄이며 많은 돈이 절약되고 있습니다.

2. Restore process not form. Riverine species depend on connectivity and dynamics for rivers to function and require room for dynamic flow and channel migration. Rivers need space to roam. Natural rivers are seldom static. They do not stay in one alignment. The Skagit River in Washington State, for example, has wandered several miles north, south, east, and west as it flows near the town of Mount Vernon.

둘째로, 복원은 형태의 복원을 의미하는 것이 아니라 기능의 복원을 의미합니다. 하천 생물은 강의 연결성과 역동성에 의존하여 살아가고, 그 기능을 위해 강 주변에는 강의 역동적인 흐름과 수로의 변화를 대비한 공간이 필요합니다. 강은 배회할 수 있는 공간이 필요합니다. 자연하천은 거의 정적이지 않아서 가지런한 형태로 머물러 있지 않습니다. 한 예로 워싱턴 주의 스캐깃 강은 수 마일에 걸쳐 동서남북으로 굽이치면서 근처의 마운트 보논에 흐릅니다.

The most effective way to restore ecological function is to restore connectivity (longitudinal, lateral and vertical), and dynamic, natural flow regimes (with a supply of sediment and wood). In the U.S. connectivity disrupted by dams rivers has traditionally been achieved with fish ladders and more recently with dam removal. Dam removals including the Matilija Dam

on the Ventura River, California, is scheduled. Many of the dam removals are to protect fisheries for food supply and endangered species.

강의 생태적 기능을 복원하는 가장 효과적인 방법은 강 전체 길이에 걸쳐, 측면, 종적인 연결성과 역동성, 퇴적물과 나무를 포함한 자연적 하천의 흐름을 복원하는 것입니다. 미국에서는 댐에 의해 지장을 받은 하천의 연결성이 전통적으로는 어류의 이동을 돕는 사다리를 놓음으로서, 최근에는 댐 제거로 연결성을 회복하고 있습니다. 캘리포니아 벤투라 강의 마틸라 댐을 포함한 댐제거가 예정되어 있습니다. 댐 제거의 많은 경우는 어업을 보호하고 멸종위기종을 보호하기 위해서 이루어지고 있습니다.

Another trend is to restore flow regimes even when dams are not removed. In a precedent-setting case, the courts ruled that the Friant Dam must be re-operated to release flows sufficient to restore downstream to restore populations of spring-run Chinook salmon, which had been extirpated by dam-reduced flows which dried out reaches of the channel. This required detailed analysis of pre-and post- disturbance seasonal and episodic flow cycles necessary for fish migration and bed gravel mobilization essential to spawning. This was a precedent setting case because the judged relied on extensive research on river science.

또 다른 경향은 댐을 제거하지 않고 강의 흐름을 복원하는 방법입니다. 선례를 보면 법원은 프리엔트 댐이 봄철 찾아오는 치쿠스 연어 개체군을 복원하기 위해 하류로 충분한 물을 방류하도록 재가동 해야 한다는 판결을 내렸습니다. 치쿠스 연어는 댐 때문에 느려진 물의 흐름이 수로의 직선부분을 마르게 해서 없어져왔었습니다. 이는 교란 전후의 계절별 또는 일시적 물의 순환에 대한 자세한 조사를 요구합니다. 이런 물의 순환에 대한 분석은 물고기 이동과 산란에 필수적인 자갈의 움직임에 도움을 주기 위해 필요합니다. 이것은 판사들이 하천 과학에 대한 충분한 연구에 근거하여 결정을 내렸기 때문에 판례로 남았습니다.

Often by simply stopping alterations, the river can heal itself. On the Cosumnes River, California, flood control levees were breached, allowing overbank flow and sedimentation – and these natural processes restored the cottonwood forest. We expect it to continue to restore itself to pre-disturbance condition when the levees of Cosumnes River were breached, flood water spread out and slow down and reducing flooding downstream.

많은 경우, 단순히 변경을 중단하는 것 만으로도 강은 스스로 치유됩니다. 캘리포니아의 커섬니스 강에서는 퇴적물을 허용하기 위해 홍수 조절용 제방에 틈을 내었고, 이런 자연적 과정이 미루나무 숲을 다시 살려냈습니다. 우리는 이 과정이 계속되어 커섬니스 강이 교란되기 이전 상태로 스스로 복원되기를 기대하고 있습니다. 이 제방에 틈이 생긴 후 홍수 때 물은 옆으로 퍼져 유속이 낮아지고 하류의 홍수를 줄이는 효과가 생겼습니다.

3. Do no harm. Because there is strong and growing support for river restoration in the U.S. there is considerable danger in doing more harm than good. When viewed from the perspective of ecological effectiveness (Palmer et al. 2005), many so-called restoration projects have been arguably ineffective or outright detrimental (Kondolf 1998). As an example the Apalachicola River hosts the greatest number of fish species of any river in Florida, but dredging and straightening sent the ecosystem into serious decline. 셋째는 해로운 복원을 하지 말아야 한다는 것입니다. 미국에서는 현재 강 복원에 대한 지지가 높아지고 있기 때문에, 좋은 복원이 아닌 오히려 더 해로운 복원을 하게 될 위험이 많습니다. 생태적인 관점에서 봤을 때, “복원”이라는 이름으로 불리는 사업이

효과적이지 못하고 오히려 큰 해를 끼치는 경우가 많아왔습니다. 한 예로 애팔래치콜라 강은 플로리다에서 가장 많은 수의 어류 종이 서식하고 있었지만, 준설이나 하천 직강화 같은 사업으로 인해 많은 종이 감소하게 되었습니다.

4. Set goals in the context of constraints and opportunities. Optimize restoration investments. Employ triage so that investments return dividends. Do not invest in cases that are impossible to restore. In urban areas so-called restoration may be more like ersatz nature. In more natural areas where pre-disturbance condition is possible.

넷째는 제한요소와 기회요소를 가려서 복원 목표를 정하라는 것입니다. 복원 사업을 최적화해야 합니다. 선별적으로 사업을 하고, 사업에 투자한 이익을 회수할 수 있게 하십시오. 복원이 불가능한 것에는 사업하지 마십시오. 도시지역에서는 소위 복원이라고 하는 것이 자연의 모조품 정도 밖에 되지 않습니다. 그보다는 교란전 상태로 복원이 가능한 자연지역에 복원사업을 하는 것이 더 바람직한 복원입니다.

5. Prioritize projects at the system-wide scale. Start with the reach scale but consider the entire watershed. Develop conceptual models of watershed function and identify critical points in time and space, especially reproductive bottlenecks, limiting factors in the entire life cycle of endangered species, and other fluvial and ecological processes (Kondolf et al. 2008). Model and rest small environmental improvements before construction.

다섯째는 전체 하천시스템 스케일에서 복원사업에 우선순위를 매겨라 합니다. 강의 한 구역에서 시작하되, 전체 유역을 고려하십시오. 유역 기능에 대한 모델을 만들어 본 뒤 중요한 시간과 공간, 멸종위기종 생태에 방해가 되는 요소 및 하천생태의 전 과정을 확인해봐야 합니다. 건설하기 전에 개선될 상황에 대해 모델링을 해봐야 합니다.

Restore upstream first on smaller tributary to reduce flooding downstream. Reducing peak flood runoff and non-point source pollution are critical issues to hydrological health. Seattle, Portland and San Francisco each have aggressive projects to create green streets, rain gardens to slow water down before it gets to the main river.

하류의 홍수를 줄이기 위해서는 상류의 작은 지류부터 먼저 복원해야 합니다. 피크 타임의 유거수를 줄이고 비점오염원을 줄이는 것이 수문학적으로 매우 중요합니다. 시애틀, 포틀랜드, 그리고 샌프란시스코 등에서는 본류에 물이 도달하기 전에 유속을 낮추기 위해서 녹지로를 늘리고, 우수를 보유할 수 있는 녹지 등의 계획이 활발히 이루어지고 있습니다.

6. Approach each restoration project as an experiment, from which we can learn lessons that can improve future efforts. Experiment small-scale projects first and then conduct large-scale projects based on what we learned from the experiments.

여섯째는, 각 복원사업을 실험이라 여기고 미래에 더 나은 방향으로 가도록 교훈을 얻어야 합니다. 실험이기 때문에 소규모 사업을 실시해 본후 그 교훈을 바탕으로 대규모 사업으로 가야 합니다.

7. Empower rivers to provide natural ecological and biological functions through legislation understood by the public. In the U.S. the National Environmental Protection Act (NEPA), the Wild and Scenic Rivers, Clean Water, and Endangered Species Acts have dramatically

contributed to successful river restoration. This was because these environmental laws were strictly enforced into projects.

일곱번째로, 시민들이 이해한 법률을 통해서 하천이 생태적 기능을 제공하도록 하게 해야 합니다. 미국에 국가환경보호법, 야생 및 경관 하천법, 맑은물법, 멸종위기종법 등의 법률은 미국의 하천 복원이 성공적으로 수행되는데 큰 공헌을 했습니다. 이럴 수 있었던 이유는 이런 환경법들이 실제 사업에 엄격하게 적용되었기 때문입니다.

In the San Francisco Bay Area, local legislation created the Bay Conservation and Development Commission (BCDC) in 1965 and stopped filling the bay. This made San Francisco one of the most beautiful cities in the world surrounded by water. Statewide in California over 25% of river water is now designated by law for environmental purposes. 샌프란시스코 베이 에어리어에서는 지방 법원이 1965 년에 연안만 보전 및 개발위원회를 만들고 연안만 매립을 중단할 것을 선언했습니다. 이것이 바로 오늘날 샌프란시스코를 물에 둘러 쌓인 세계에서 가장 아름다운 도시 중 하나로 만들었습니다. 캘리포니아에는 현재 25%가 넘는 강물이 환경보호를 목적으로 법으로 지정되어 있습니다.

8. Make river decisions transparent. This requires freedom of information, scientifically-grounded public debate.

여덟번째로, 정책결정과정을 투명하게 해야 합니다. 이것은 정보의 자유, 과학에 기반을 둔 공공의 토론을 필요로 합니다.

9. Make river restoration science a part of everyday public life and knowledge. Most urban people suffer from ecological illiteracy. In the U.S. many restoration efforts now include 1. “re-education” so that the public will understand basic principles of how rivers work and 2. “hands-on” involvement so that citizens collect science in daily life.

아홉번째로, 하천 복원에 대한 과학적 지식을 일반 시민들의 매일의 삶과 얹의 일부가 되도록 해야 합니다. 미국에서는 많은 복원사업에 하천의 기본 생태를 이해할 수 있도록 재 교육을 하고, 시민들이 직접 과학적 지식을 조사하도록 하는 과정을 포함하고 있습니다.

10. Build a public constituency of river stewardship system wide as well as locally.

In conclusion, restoration of fluvial process and ecological function is slowly replacing traditional river engineering in the U.S. Future successes will depend on improving both system-wide fluvial science and informed public knowledge.

열번째로, 시민들이 강 지킴이가 될 수 있도록 하는 시스템을 지역적으로, 또는 전체적으로 구축해야 합니다.

결론적으로 하천의 생태적 기능을 살린 복원 방법이 기존의 강을 공학적으로 공사하는 방법을 점차적으로 대체하고 있습니다. 앞으로 미국에서의 하천복원 성공 여부는 유역 전체를 아우르는 과학을 향상시키고 시민들이 하천 생태에 대한 지식을 알게 되는 것에 달려있을 것입니다.

## References

- Bernhardt, E.S., M.A. Palmer, J.D. Allan, G. Alexander, K. Barnes, S. Brooks, J. Carr, S. Clayton, C. Dahm, J. Follsted-Shah, D. Galat, S. Gloss, P. Goodwin, D. Hart, B. Hassett, R. Jenkinson, S. Katz, G.M. Kondolf, P.S. Lake, R. Lave, J.L. Meyer, T.K. O'Donnell, L. Pagano, B. Powell, and E. Sudduth. 2005. Synthesizing U.S. river restoration efforts. *Science* 308:636-637.
- Community Development by Design. The Los Angeles River Urban Wildlife Refuge: A Vision for Parks, Habitat, and Urban Runoff. Plan for the Santa Monica Mountains Conservancy, 2005.
- Randolph T. Hester. *Design for Ecological Democracy*. MIT Press: Cambridge, MA, 2006.
- Kondolf, G.M. 1998. Lessons learned from river restoration projects in California. *Aquatic Conservation* 8:39-52.
- Kondolf, G.M. 2000. Process vs. form in restoration of rivers and streams. In D.L. Scheu (ed.) *2000 Annual Meeting Proceedings of the American Society of Landscape Architects, St. Louis, MO* (pp.120-124). American Society of Landscape Architects, Washington D.C.
- Kondolf, G.M., and C-N. Yang. 2008. Planning river restoration projects: Social and cultural dimensions. pp.43-60 in D. Sear and S. Darby (eds.) *River Restoration: Managing the Uncertainty in Restoring Physical Habitat*. Wiley, Chichester.
- Kondolf, G.M., P. Angermeier, K. Cummins, T. Dunne, M. Healey, W. Kimmerer, P.B. Moyle, D. Murphy, D. Patten, S. Railsback, D. Reed, R. Spies, and R. Twiss. 2008. Prioritizing river restoration: Projecting cumulative benefits of multiple projects: an example from the Sacramento-San Joaquin River system in California. *Environmental Management* 42:933-945 (DOI: 10.1007/s00267-008-9162-y)
- Light, H.M., K.R. Vincent, M.R. Darst, and F.D. Price. 2006. Water-level decline in the Apalachicola River, Florida, from 1954-2004, and effects on floodplain habitats. Scientific Investigations Report 2006-5173, US Geological Survey, Reston, Virginia.
- Palmer, M.A., E.S. Bernhardt, J.D. Allan, P.S. Lake, G. Alexander, S. Brooks, J. Carr, S. Clayton, C. Dahm, J. Follstad Shah, D.L. Galat, S. Gloss, P. Goodwin, D.H. Hart, B. Hassett, R. Jenkinson, G.M. Kondolf, R. Lave, J.L. Meyer, T.K. O'Donnell, L. Pagano, P. Srivastava, and E. Sudduth. 2005. Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology* 42:208-217.