

물관리를 위한 자연기반해법과 유사개념들의 유형분류 및 체계

Typological System of Nature-based Solutions and Its Similar Concepts on Water Management

우효섭^{1*} · 한승완²

¹광주과학기술원지구환경공학부 교수, ²(주)삼안 수자원부 이사

Hyoseop Woo^{1*} and Seung-wan Han²

¹Professor, School of Earth Science and Environmental Engineering, Gwangju Institute of Science and Technology (GIST), Gwangju 61005, Korea

²Director, Department of Water Resources, Saman Corporation, Gwacheon 407-707, Korea

Received 31 December 2019, revised 1 February 2020, accepted 6 February 2020, published online 31 March 2020

ABSTRACT: We've compared and conceptually evaluated the newly emerging concept of nature-based solutions (NbS's), in the aspect of water management, and existing similar solutions of different naming, all of which are based on ecosystem functions. In this study, it is found that NbS's seem significant and meaningful both educationally and understandably in the aspect that it can comprehensively cover and include the existing methodologies and solutions using the functions of natural ecosystem to socio-environmental challenges. It, however, seems not quite different from the broad-meaning of green infra, including Eco-DRR, in terms of the approaching methodologies in water management. The conceptual and spatial hierarchy of each practice in water management considered in this study can be expressed in the narrowing order of NbS-(EE)-BGI-(CRT)-GI-LID. Last, the term LID, which is the best management practice for storm water management in the development project, can be replaced with the term GI for clarification and less confusion both in academia and practice.

KEYWORDS: Blue-green Infra (BGI), Close-to-nature river techniques (CRT), Ecological engineering (EE), Ecological function and services, Green infra (GI), Low impact development (LID), Nature-based solutions (NbS's)

요약: 본 연구는 사회환경적 문제의 해결방안으로서 새롭게 등장한 자연기반해법 (NbS) 개념을 물관리에 초점을 맞추어 생태계에 기반을 둔 기존 유사개념들과 비교, 평가한 것이다. NbS는 (자연)생태계 기능이 사회환경문제 해결에 활용하기 위한 기존의 다양한 접근방법들을 포괄적으로 대표할 수 있다는 점에서 그 의미가 있으며, 특히 교육적, 설득적인 면에서 유익한 개념이다. 그러나 물관리 측면에서 접근방법론은 특히 Eco-DRR을 포함하는 광의의 그린인프라와 실제 크게 다르지 않다. 다만 협의의 그린인프라는 현재 우수관리에 초점을 맞추고 있기 때문에 NbS 개념은 여전히 유용하다. 물관련 제 방법론은 개념적, 공간적 포괄성 관점에서 NbS-(EE)-BGI-(CRT)-GI-LID 순으로 표시할 수 있다. 마지막으로, LID 용어는 토지개발사업과 같이 특정한 경우를 제외하고 혼돈스럽지 않도록 그린인프라 용어로 대체할 수 있을 것이다.

핵심어: 블루그린 인프라 (BGI), 자연형하천기술 (CRT), 생태기술 (EE), 생태계기능과 서비스, 그린인프라 (GI), 저영향개발 (LID), 자연기반해법 (NbS)

*Corresponding author: hswoo0603@gmail.com, ORCID 0000-0003-3708-8053

© 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.

1. 서론

지금은 많은 사람들에게 비교적 익숙해진 지속가능성 (sustainability)이라는 용어가 전 세계적으로 처음 등장한 것은 1972년 스톡홀름에서 열린 ‘인간환경에 관한 UN회의’ (UN conference on human environment)이다. 그 후 1987년에 발간한 ‘우리 모두의 지구’ (Our common future)라는 Brundtland 보고서 (WCED 1987)에서 ‘환경적으로 건전하고 지속가능한 개발’ (Environmentally sound and sustainable development, ESSD)이라는 용어를 환경보전과 개발을 병행하는 방법론으로서 강조되었다. 이 용어가 전 세계적으로, 특히 우리 사회에 친숙하게 된 계기는 1992년 ‘리우환경회의’ (Rio environment summit)에서 ‘Agenda 21’ (의제 21)의 실천전략으로서 정식 채택된 일이다. 의제 21의 제 18장은 특히 물관리에 초점을 맞춘 것으로서, 지속가능성을 담보하기 위한 통합적 물관리 (Integrated water resources management, IWRM)의 실천을 강조하였다. ESSD 개념이 물관리에 본격적으로 도입된 사례 중 하나는 자연환경의 개변 (engineering)을 수반하는 대규모 댐개발사업이다 (WCD 2000). 그러나 1992년 이후 ESSD 개념은 환경친화적, 자연친화적, 생태친화적, 또는 자연형이라는 실체성이 미흡한 추상적 용어로 우리 사회에 도입, 사용되어온 것도 사실이다. 이런 점에서 새롭고, 사회에 보편적으로 적용될 개념과 방법, 기술의 도입은 첫 단계부터 분명히 이해, 소화하는 것이 중요하다.

2000년대 후반 들어 세계자연보전연맹 (IUCN)과 세계은행 (World Bank)을 중심으로 Nature-based Solutions (복수형 약어로 NbS's 또는 단순히 NbS), 우리 말로 ‘자연기반해법’, 또는 대부분의 해법이 기술적인 것이라면 ‘자연기반기술’ 정도로 번역할 수 있는 개념이 등장하면서 관심을 받기 시작하였다 (McKinnon et al. 2008, IUCN 2009). 이 개념은 당초 기후변화대책에 초점을 맞추어 기후변화영향을 저감하고 적응하면서 동시에 종 다양성을 보호하고 지속가능한 삶을 지향하는 해법으로서 등장하였다. 그 후 이 개념은 사회환경적 문제를 해결하기 위해 자연을 지속가능하게 관리하고 이용하는 것으로 확대되었다. 여기서 사회환경문제란 기후변화를 시작으로 물안보, 보건, 재해위험, 사회경제개발 이슈 등이다.

본 연구에서는 NbS의 정의와 의미부터 시작하여, 생태계-접근 방식의 포괄적 상위개념으로서 NbS를 논하고, 다음 NbS와 유사한 기존 방법론들과 비교평가하고, 마지막으로 요약과 결론을 내리고자 한다. 본 연구는 일반적 NbS개념의 소개와 검토부터 시작하지만 유사한 기존 개념과 구체적인 비교분석과 검토는 어디까지나 물관리에 초점을 맞추어 진행한다.

2. NbS의 정의와 의미

NbS는 한 마디로 기후변화, 식량안보, 자연재해 등 인류가 당면한 사회적 도전에 대처하기 위해 생태계 기능과 서비스를 이용하는 것이다. IUCN은 조금 더 구체적으로 NbS는 ‘인간복지와 종다양성 모두의 이익을 위해 사회적 도전과제에 효과적, 적응적, 동시적으로 대처할 수 있도록 자연 및 개변 생태계를 보호하고, 지속적으로 관리하고, 복원하는 행위’라 하였다 (IUCN 2016). NbS의 좋은 사례로서 해안에서 폭풍해일의 위험을 감소하기 위해 전통적인 기술적 대책으로 해안방벽을 건설하기 보다는 기존의 맹그로브 해안수림대를 보전, 복원하는 대안을 고려하는 것을 들 수 있다. 이 방법은 후술할 생태기반 재해위험저감 (Eco-DRR) 대책의 좋은 예로 소개되고 있다.

NbS 용어 자체는 2002년부터 사용되기 시작하였으나, 사회적 도전과제에 대한 새로운 대처방안으로서 본격적으로 등장한 것은 2008년 세계은행 보고서 (World Bank 2008)이며, 이어서 유엔기후변화협약 (UNFCCC)의 제 15차 당사국총회 (COP 15)에 대한 2009년 IUCN의 성명서 (IUCN 2009)이다. 그 이후 유럽을 중심으로 몇 번의 관련 워크숍이 열려서 그 개념과 유용성을 전파하였으며, 최근까지 IUCN, EU 등에서 꾸준히 관련 발간물을 개발, 제공하였다 (EC 2015, IUCN 2016). 결과적으로 NbS는 2000년대 말에 유럽의 IUCN, EU 등을 중심으로 개발, 발전, 보급된 개념이며, 여기에는 세계은행 (WB)의 역할이 컸다.

NbS를 이해하고 활용하고 전파하기 위해서는 새로운 개념의 목표, 정의, 원칙 등에 대해 정확한 설정이 필요하다. IUCN 자료를 기준으로 검토하면, NbS의 궁극적 목표는 기후변화, 물안보, 보건, 재해위험, 사회경제개발 등 당면한 사회적 도전에 대처하도록 설계하는 것이다 (IUCN 2016). 다음, IUCN이 제시한 NbS의 정의

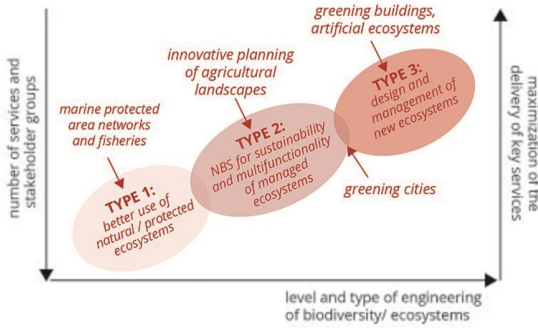


Fig. 1. A categorization of NbS's according to the levels of engineering applied to ecosystems and of ecosystem services delivery (Eggermont et al. 2015).

는 위에서 이미 소개하였으며, EU의 정의는 ‘다양한 사회적 도전에 자원효율적이고 적응적인 방법으로 대처하면서 동시에 경제, 사회, 환경 편익을 얻기 위하여, 자연에 의해 영감을 받고 지속적으로 지원을 받는, 나아가 자연을 이용하는 살아있는 대책’ 이라 하였다. 여기서 NbS에 대한 두 기관의 정의는 모두 생태계 서비스를 이용하는 것은 같으나, IUCN의 정의는 인간사회와 생태계 모두에게 혜택이 되는 방향으로 생태계의 조절 및 공급 서비스를 활용하는데 초점을 둔 표현으로 보이며, EU의 정의는 인간사회 혜택에 조금 더 초점을 둔 표현으로 보인다.

마지막으로, IUCN의 NbS 원칙 (IUCN 2016)은 자연보전의 규범과 원칙 준수, 독자적 또는 기존 방법과 통합적 추진, 대상 현장에 맞는 자연적 및 문화적 맥락에서 결정, 투명성과 참여를 보장하면서 공평하고 공정한 방법에 의한 사회적 이익창출, 종과 문화의 다양성 및 생태계의 진화능력 등의 유지, 경관규모의 생태계에 적용, 당장의 개발이익과 장차 생태계 서비스가 주는 생산과의 교환성의 인식 및 제기, 특정적 도전에 대처하기 위한 정책/대책/행동 등의 전체적인 설계의 핵심적 요소로서 위상 등이다.

다음, NbS는 야생생태계의 보전/보호라는 대규모 자연환경 그 자체부터 시작하여 ‘자연형하천공법’이라는 인간의 적극적인 ‘조정’이 요구되는 소규모 하천환경에 이르기까지 광범위한 대상을 포괄하기 때문에 NbS의 유형구분이 필요하다. Fig. 1에서 황축은 대상 생태계의 인간에 의한 개변 정도, 즉 NbS 목표달성을 위해 인간이 생태계를 어느 정도 개변하는 지를 나타낸다. 반면에 좌측 종축은 그에 따른 생태계 서비스와 이해

당사자의 범위를 나타내며, 우측 종축은 그를 통해 얻어지는 생태계 서비스 전달 수준을 나타낸다 (Eggermont et al. 2015). 이 그림에서 NbS의 유형은 크게 셋으로 구분되며, 유형 1은 자연생태계나 보호생태계를 그대로 이용하는 것으로서, 인간에 의한 개변은 최소한이며 제공되는 서비스와 이해당사자 수는 상대적으로 많으나, 기대되는 서비스 수준은 적은 유형이다. 여기에는 자연적 습지에서 어류의 개체 수를 늘려 식량안보에 도움을 준다던지, 해안생태계를 보전하여 폭풍해일 위험을 저감하거나, 우리나라의 경우 삼림을 보전하고 최소한만 관리하여 삼림의 함수량을 늘려서 물안보에 도움을 주는 경우이다. 유형 2는 자연생태계를 적극적으로 관리하거나 복원하는 것으로서, 인간의 개변 정도는 중간이며 그에 따른 서비스 기대치도 중간 정도이다. 여기에는 자연상태의 삼림에서 경제성이 높은 수종으로 대체하여 전통적인 농업-삼림 체계를 재확립하거나, 우리나라의 경우 하천복원을 통해 자연하천이 주는 조절서비스를 확대하는 것이다. 마지막으로 유형 3은 새로운 생태계를 창출하는 것으로서, 인간의 개변 정도가 가장 크고, 그에 따른 의도한 특정분야의 생태계서비스 수준 또한 가장 크나, 서비스와 이해당사자 수는 제한적이다. 여기에는 지역특화적인 그린빌딩이나 인공습지 등이 포함될 것이다.

3. 생태계-접근방식의 포괄적 상위개념으로서 NbS

그렇다면 생태계 서비스 기능을 이용한 다양한 목적별, 방법별 기존 대책이나 해법들과 NbS와의 관계를 어떻게 설정할 수 있을까? IUCN은 이에 대해 다음 Table 1과 같은 5개의 접근유형을 구분하였다.

이러한 관계를 IUCN에서는 Fig. 2와 같이 생태계-기반 기존의 유사개념들을 아우르는 모식도로서 표시하였다.

이 그림을 보충적으로 설명한다면 앞서 Table 1에 제시한 5가지 다양한 접근방식을 통해 기후변화, 식량 및 물 안보, 자연재해 등 현안을 해결하여 궁극적으로 인간복지와 종다양성의 이익을 도모한다는 것이다.

그러나 Table 1이나 Fig. 2에서 제시된 5가지 NbS 접근방식은 Fig. 1의 3가지 유형과 쉽게 연결되지 않는다. 예를 들면 Table 1에서는 생태계복원-여러 별개 사안

Table 1. A categorization of existing ecosystem-related approaches with different approaches of NbS's (IUCN 2016)

Category of NbS approaches	Examples
Ecosystem restoration approaches	Ecological restoration Ecological engineering Forest landscape restoration
Issue-specific ecosystem-related approaches	Ecosystem-based adaptation Ecosystem-based mitigation Climate adaptation services Ecosystem-based disaster risk reduction
Infrastructure-related approaches	Natural infrastructure Green infrastructure
Ecosystem-based management approaches	Integrated coastal zone management Integrated water resources management
Ecosystem protection approaches	Area-based conservation approaches including protected area management

※ Eco-disaster risk reduction (생태계기반 재해위험저감)



Fig. 2. NbS as an umbrella term for ecosystem-related approach (IUCN 2016).

생태계보호 순으로 제시되었으나, Fig. 1에서는 생태계 창출/복원-관리-보호 순으로 제시되어 혼돈스럽게 보인다. 더욱이 Table 1에서 생태기술은 복원이나 창출 모두에 해당할 수 있고, 그린인프라 역시 생태계의 복원이나 창출 모두에 해당할 수 있다. 다시 말하면 Fig. 1에서는 인간이 개변, 간섭하는 정도와 그에 따른 생태계서비스 수준과의 관계설정에 따른 논리적인 유형화를 하였으나, Table 1이나 Fig. 2에서는 기존 생태계-관련 대책이나 해법들을 특별한 기준 없이 유형화한 것으로 보인다.

따라서 본 연구에서는 Fig. 1에 제시된 유형화에 기

초하여 기존 생태계기반 대책이나 해법들의 상호위계를 체계적으로 제시하고자 한다. 본 연구에서 대상으로 하는 해법들은 최상위 개념으로서 NbS를 포함하여 Table 1에 제시된 항목들 중 생태기술 (Ecological engineering, EE), 생태계기반 재해위험저감 (Disaster risk reduction, DRR), 그린인프라 (Green infra, GI) 등이다. 그 밖에 이 표에는 제시되어 있지 않지만 물관리와 관련하여 우리 사회에 보급된 생태계 관련 대책/해법으로서 저영향개발 (Low impact development, LID), 그리고 하천에 초점을 맞추어 이른바 자연형 하천기술 (Naturnaher Wasserbau) 등을 추가한다. 여기서 ‘Naturnaher Wasserbau’는 독일어로서 영어로 직역하면 ‘Close-to-nature river work (techniques)’, 우리 말로 직역하면 ‘근자연형 하천만들기’이나 보통 ‘자연형 하천공법’으로 불린다 (MOE/KICT 1999).

4. 새로운NbS유형화

위에서 제시한 다양한 기존 자연기반 대책이나 해법을 Fig. 1에 맞추어 유형화하기 위해 우선 각각의 개념과 정의를 검토한다.

4.1 생태기술 (EE)

생태기술, 또는 생태공학은 ‘인간사회와 자연생태계 모두에게 이익이 되도록 인간사회와 자연환경을 통합하는, 지속가능한 생태계를 설계하는 기술’이라 정의할 수 있다 (Mitsch 2012). 이 개념은 1960년대 미국

Table 2. Major areas of EE and corresponding cases (Mitsch and Jorgensen 2004)

Major areas	Cases
1. Sustainable use of ecosystem	Traditional uses of ecosystem: Natural resources (woods for building material and firewood), nexus of agriculture and forest, nexus of agriculture and aquaculture
2. Purification using ecological function	Purification of air, soil, and water using microbe and plants and disposal of waste and reuse
3. Mitigation of natural environmental degradation	Avoidance, reduction, replacement, creation, and restoration of natural environment
4. Enhancement of amenity using organism	Hyman-oriented amenity enhancement by architecting ecological landscape

에서 Odum에 의해 처음 주창된 것으로서 (Odum 1962), 주요 대상분야는 생태계의 지속가능한 이용, 생태계 기능을 이용한 환경정화, 자연환경훼손의 저감, 생물을 이용한 쾌적성(amenity)의 증진 등이다(Mitsch 2012). 이와 같은 생태기술의 대상분야를 구체적으로 제시하면 Table 2와 같다.

Table 2의 EE 주요분야와 Fig. 1의 NbS의 유형을 상호비교 하면, Table 2의 분야 1은 Fig. 1의 2번째 유형에 해당하고, 나머지 분야는 대부분 유형 3에 해당한다. 따라서 EE는 전체적으로 유형 3에 해당한다고 할 수 있다.

4.2 생태계기반 DRR

생태계기반 DRR은 보통 Eco-DRR이라 하며, 생태계에 기반한, 생태계의 구조와 기능을 이용한 자연재해 저감을 의미한다. 조금 더 구체적으로 정의하면 Eco-DRR은 지속가능 하면서 회복탄력성(resilience)이 높은 개발을 목표로 재해위험을 저감하기 위해 생태계를 지속 가능 하게 관리, 보전, 복원하는 것이다 (Estrella and Saalismaa 2013). 여기서 회복탄력성이란 외부충격에 의한 피해로부터 상대적으로 쉽고 빠르게 회복하는 능력을 의미한다.

이 용어는 그와 비슷한 시기에 쓰이기 시작한 이른바 기후변화적응 (Climate change adaptation, CCA)을 위한 생태계기반 접근 (Ecosystem-based approach, EBA) 개념과 매우 유사한 면이 있다(UNEP 2015). 두 방법 모두 생태계 서비스를 적극 이용한다는 점은 같으며, 다만 이용목적이 전자는 기후변화적응을 위한 것이며, 후자는 자연재해 저감대책이다. 그러나 기후변화에 의한 문제는 상당부분 자연재해로 나타나기 때문에 이 점에서는 두 개념은 사실상 같다고 할 수 있다. 또한 Table 1과 같이 이 두 개념 모두 자연에 기반하고 있다

는 점에서 NbS라 할 수 있다.

Eco-DRR의 비근한 예로 잘 관리된 습지, 삼림, 해안 수림대는 자연적인 인프라 역할을 하여 재해에 대한 물리적 노출을 줄이고, 나아가 지역 삶의 기반을 유지하면서 식량, 물 기타 건축자재 등과 같은 필수 자연자원을 제공함으로써 주민과 지역사회의 사회경제적 회복탄력성을 견고하게 해주는 것을 들 수 있다. Table 3은 생태계 특성 별로 Eco-DRR의 구체적인 사례를 보여주고 있다.

Table 3의 생태계 4가지 지리적 유형 별 재해위험저감 사례는 Fig. 1의 NbS의 유형 (자연생태계 이용, 생태계 관리 및 복원, 생태계 창출 등) 모두에 해당된다. 다만 같은 지리적 유형의 생태계라도 자연생태계를 그대로 이용하는 것보다는 자연재해의 특성에 대응하여 생태계를 적절히 관리, 복원하거나 창출하는 것이 일반적으로 DRR효과가 높을 것이다.

4.3 그린인프라 (GI)

GI는 물, 토지, 식생의 통합체인 생태계를 대상으로 하는 ‘녹색’ 사회기반시설로서, 전통적으로 콘크리트를 이용한 그레이 인프라(grey infra)에 대응하는 용어로 출발하였다. 이 개념은 1980년대 중반 미국에서 도시지역 호우로 인한 홍수, 토양침식, 지하수 대수층 충전 등 수량적인 문제에 대처하기 위한 이른바 BMP (Best management practice)에서 시작하여, 1987년 개정된 ‘맑은 물법 (Clean Water Act)’에 따라 도시화로 인한 비점오염물질의 공공수역 유입증대 문제를 해결하기 위하여 오염물질의 발생원에서부터 처리하는 방안으로 대두되었다(Woo 2017). 구체적으로, 동법 502조에서 그린인프라는 식생이나 토양, 투수성 포장, 빗물모으기와 재활용, 조경 등을 이용하여 우수가 하수관

Table 3. Selected hazard-mitigation functions of ecosystems (CNRD/PEDRR 2013)

ECOSYSTEM	REGULATING SERVICES - HAZARD MITIGATION
Mountain forests and other vegetation on hillsides	<ul style="list-style-type: none"> • Vegetation cover and root structures protect against erosion and increase slope stability by binding soil together, preventing landslides. • Forests protect against rockfall and stabilise snow reducing the risk of avalanches. • Catchment forests, especially primary forests, reduce risk of floods by increasing infiltration of rainfall, and delaying peak floodwater flows, except when soils are fully saturated. • Forests on watersheds are important for water recharge and purification, drought mitigation and safeguarding drinking water supply for some of the world's major cities.
Wetlands and floodplains	<ul style="list-style-type: none"> • Wetlands and floodplains control floods in coastal areas, inland river basins, and mountain areas subject to glacial melt. • Peatlands, wet grasslands and other wetlands store water and release it slowly, reducing the speed and volume of runoff after heavy rainfall or snowmelt in springtime. • Coastal wetlands, tidal flats, deltas and estuaries reduce the height and speed of storm surges and tidal waves.
Coastal ecosystems, such as mangroves, saltmarshes, coral reefs, barrier islands and sand dunes	<ul style="list-style-type: none"> • Coastal ecosystems function as a continuum of natural buffer systems protecting against hurricanes, storm surges, flooding and other coastal hazards – a combined protection from coral reefs, seagrass beds, and sand dunes/coastal wetlands/coastal forests is particularly effective. Research has highlighted several cases where coastal areas protected by healthy ecosystems have suffered less from extreme weather events than more exposed communities. • Coral reefs and coastal wetlands such as mangroves and saltmarshes absorb (low-magnitude) wave energy, reduce wave heights and reduce erosion from storms and high tides. • Coastal wetlands buffer against saltwater intrusion and adapt to (slow) sea-level rise by trapping sediment and organic matter. • Non-porous natural barriers such as sand dunes (with associated plant communities) and barrier islands dissipate wave energy and act as barriers against waves, currents, storm surges and tsunamis.
Drylands	<ul style="list-style-type: none"> • Natural vegetation management and restoration in drylands retain moisture to ameliorate the effects of drought and control desertification, as trees, grasses and shrubs conserve soil. • Shelterbelts, greenbelts and other types of living fences act as barriers against wind erosion and sand storms. • Maintaining vegetation cover in dryland areas, and agricultural practices such as use of shadow crops, nutrient enriching plants, and vegetation litter increases resilience to drought.

거나 지표수로 유입하는 것을 감소하는 대책이라 정의하고 있다.

따라서 GI의 당초개념은 후술할 LID와 사실상 같으나, LID보다 조금 일찍 시작하였다. 현재 USEPA (미국환경보호청)는 GI는 도시우수를 수질, 수량 모두의 측면에서 처리하기 위해 자연생태계 기능을 모방한 자연적, 기술적 시스템으로서 지역 수준에서 우수유출을 관리하는 것에 초점을 맞추고 있다 (USEPA 2019). USEPA에서 제시된 전형적인 GI 사례로는 건물우수 직접낙수 (우수관거와 단절), 빗물저장, 빗물정원 (rain garden), 생태수로 (bio-swale), 투수포장, 그린 가로 및 골목, 그린주차장, 옥상녹화, (자연상태의) 토지보전 등으로서 사실상 LID와 같다.

그 후 EU에서는 GI 개념을 도시의 우수처리 문제에 국한하지 않고 조성환경 (built environment)과 주변 농

경지/삼림/하천/호소 전체로 확대하여 이른바 blue-green infra (BGI)라 하여 도시지역의 물과 비점오염물질 문제는 물론 일반 토지의 물순환과정의 복원 및 생태축 보전·복원까지 고려하고 있다. 구체적으로 EU는 GI (표현은 그대로 GI라 하지만 사실 BGI)의 기능을 지속가능한 자원관리, 생물다양성 향상, 휴양기능, 경관향상, 지역개발과 홍보 등으로 광범위하게 확대하였다 (EC 2009). 특히 EU의 종다양성 전략 (EC 2011) 목표 2에는 ‘2020년까지 (블루)그린인프라를 확립하고 훼손된 생태계를 최소 15%까지 복원하여 유럽의 생태계 및 생태계 서비스를 유지하고 증대한다’고 명시하고 있다.

나아가 EU (EC 2013)와 일본 (MOE 2016)은 그린인프라 개념에 홍수와 지진해일 같은 자연재해위험 저감을 위해 전통적인 제방, 댐과 같은 그레이인프라 정책과 더불어 해안역 복원, 홍수터 연결, 습지복원, 농업

지역 저수지 조성, 도시지역의 투수성 증대 등을 통해 자연의 흡수능력을 복원·증대하는 것까지 고려하고 있다. 즉 GI의 개념을 Eco-DRR까지 확대하고 있다.

우리나라의 경우 환경부에서 이른바 ‘한국형 그린인프라’라 해서 특히 도시물순환체계에 초점을 맞추어서 ‘기후변화 적응차원에서 전략적으로 계획, 관리된 네트워크로서 도시 및 인접지역 생태계의 가치와 기능을 보전하고, 나아가 인간에게 이익을 가져다 주며 물순환 과정을 이용하고 향상하기 위한 접근기반시설’이라고 다소 모호하게 정의하였다(MOE/Korea Univ. 2009).

이 논문에서는 USEPA의 GI 개념과 EU의 BGI 개념을 구분하기 위해 전자는 단순히 GI, 후자는 BGI로 명명한다. 따라서 GI는 Fig. 1의 유형 3에 주로 해당하며, BGI는 유형 2에 주로 해당할 것이다. 다만 GI에도 지역에서 우수처리를 위해 개별적인 요소 이외에 인접한 자연상태토지를 보호하여 생태서비스를 기대하는 것이 있으므로 일부 유형 2의 특성도 있다고 할 수 있다.

4.4 저영향개발 (LID)

LID는 개발사업 등에서 호우유출수를 가능한 발생원 가까이 (begin-of-pipe)에서 자연적으로 (또는 자연현상을 모사하여) 처리함으로써 개발 전 그 지역의 수문순환 상태를 유지하도록 하는 방안 (또는 기술)이다. 이는 1990년대 말 미국 메릴랜드 주의 Prince George’s County에서 저류지 등 기존의 BMP만 가지고 개발사업으로 인해 증가한 호우유출을 제어하기 어렵다는 점에서 시작된 기술이다 (Prince Georgy’s County 1999). LID의 2대 원칙은 자연경관을 최대한 보전, 재현하고, 호우유출수 처리를 위해 우수관거 시스템이 아닌 발생원에서 자연적인 현장배수를 촉진하기 위해 불투수층을 최소화하는 것이다. 그 후 USEPA에서 당초 개발지역의 호우관리에서 출발한 LID를 빗물에 연행된 비점오염물질 관리까지 확대 적용하였다.

따라서 이것만 보면 구체적인 방법론에서 LID는 기술한 협의의 GI와 다르지 않아 보인다. GI는 토지개발 지역이나 기존 도시지역 모두에 대하여 유역이나 지역의 토지보전 구상과 통합적으로 검토하여 다양한 우수처리 방안을 고려하는 반면에, LID는 토지개발/재개발 지역에서 그 지역의 여건에 맞는 우수처리방안에 초점을 맞춘다. 따라서 두 방법 모두 생태계에 기반한 우수처리방안이라는 점만 고려하면 사실상 같다 (Dickson 2013).

그린인프라(GI)와 저영향개발(LID) 개념은 2000년대 이후 우리사회에 처음 도입되었다. 시기적으로 LID가 먼저 들어왔고, GI는 조금 늦게 소개되었다. LID의 중요성을 인식하여 정부차원에서 연구를 시작한 것은 2009년으로서, 당시 환경부는 비점오염물질 관리 차원에서 접근하였다(MOE/KEI 2009). 그러나 본격적인 연구개발사업은 2012년부터 시작한 국토교통부의 LID 연구단으로서(MOLIT/Busan Univ. 2012 - 2018), 특히 도시와 개발지역에서 호우관리에 초점을 맞추었다. 그 후 GI 개념의 중요성이 대두되어 2016년에 환경부에서 별도의 연구단을 발족하여 도시지역에서 GI 적용을 위한 연구를 시작하였다. 그러나 그 연구단 이름에는 ‘저영향개발’이 그대로 들어있다.

문제는 국내에서 LID 개념이 먼저 들어와 지자체와 공공기관에 보급되는 중간에 GI 개념이 들어오면서 둘이 혼용, 중복되어 사용되어 왔다는 점이다. 그러나 토지개발사업이건 기존 도시지역이건 자연상태의 토지보전구상과 맞물려서 개별적인 생태계기반 우수처리 방안을 통합적, 거시적으로 고려하는 것이 합리적인 것이다. 국제적으로 이 두 개념은 시작은 서로 달랐지만 지금은 점차 하나로 통합되어 가고 있다. 따라서 두 용어 간 혼동을 피하고 일관된 개념을 전파하기 위해서 토지개발사업에서 늘어난 우수의 처리방안 등 꼭 적합한 경우가 아니면 LID라는 용어 사용은 신중하여야 할 것이다.

마지막으로 LID와 Fig. 1의 NbS의 유형을 상호비교하면, 이는 유형 3에 해당하는 것은 명백해 보인다.

4.5 자연형 하천기술 (CRT)

마지막으로 자연에 기반을 둔 해법이나 기술 중에서 하천에 초점을 맞추어 CRT (close-to-river techniques)의 상대적 위상에 대해 검토한다. CRT는 험으로 나무, 풀, 돌 등 자연재료, 특히 살아있는 식물재료를 이용하여 하천의 형태를 자연하천에 가깝게 만드는 것이라 정의할 수 있다. 이른바 재료의 자연형과 형태의 자연형이다(MOE/KICT 1999, MOE/KICT 2001). 여기서 재료의 자연형은 이른바 토양생물공학(soil bio-engineering)을 하천에 적용한 꼴이다.

자연형 하천기술을 하도와 하안의 보전/복원 기술이라는 측면만 강조한다면 인간의 조정 (자연형 하도/호안 만들기 등) 정도가 상당하고 그에 따른 생태계 서비

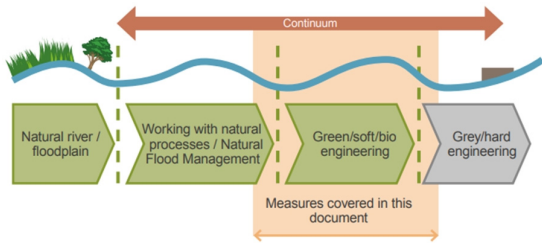


Fig. 3. Range of the broad-meaning of green infra within a context of river management (NERC 2017).

스(수생/수변 서식처 개선 등)가 분명하지만 서비스 수와 수혜자가 제한적이라는 면에서 Fig. 1에서 유형 3에 포함되는 것은 분명하다. 그러나 자연형 하천기술 속 하도 외에 홍수터를 포함한다면, 예를 들어 자연에 기반한 홍수터관리 기술 등을 포함한다면 이는 광의의 GI로 해석될 수 있을 것이다. 실제 영국에서는 CRT는 기존의 전통적인 하천기술 (그레이 인프라)를 대신하여 GI 식 접근을 한 것이라 본다(NERC 2017). 구체적으로 하천기술에 GI식 접근 방법으로서 Fig. 3에서와 같

이 1) 맨 좌측의 자연상태의 하천에서부터 자연에 기반한 하도와 홍수터 관리, 나아가 2) 인간의 조정이 상당히 있는 자연형 하천기술, 그리고 3) 맨 우측의 그레이 인프라 같은 전통적 하천기술 등 세 가지 접근 방법을 제시하고 있다. 여기서 광의의 그린인프라는 나중에 ‘5. 제 유형의 비교평가’에서 논하겠지만 바로 유형 2와 3에 해당한다. 중요한 것은 이러한 구분은 개념의 유형화를 위한 것이지 실제 적용에서는 이 그림과 같이 단속적이 아닌 연속적으로 연결되어야 할 것이다.

5. 제 유형의 비교평가

지금까지 검토한 제반 해법이나 기술의 기본개념, 주요 적용대상 등을 정리하면 Table 4와 같다. 이 표에서와 같이 NbS는 관련 해법이나 기술을 망라한 통합적(overarching), 포괄적(umbrella) 개념으로서, 기타 다른 용어들은 사실상 NbS의 응용프로그램 성격이다.

특히 인프라 관점에서는 Table 1과 같이 자연인프라

Table 4. Summary of NbS and the similar concepts and practices

Type	Basic concept	Targets (scope)	Notes
NbS	Solving socio-environmental issues using ecosystem	Socio-environmental issues	- Emerged from 2000 as an overarching concept of existing similar ones (utilization and mimicking of ecological functions) - Introduced to Korea since the late 2010s, its meaning and significance not established yet
EE	Integrated design of human society and ecosystem	Environmental issues	- Started in USA since 1960 as a new engineering discipline - A relevant academic society created in Korea, 2013
Eco-DRR	Reduction of disaster risk by protection and management of ecosystem	Disaster risk management	- Another type of NbS - May be called DRR-green infra for better understanding and dissemination
GI	(narrow meaning) Urban storm water management by mimicking nature (broad meaning) Solving socio-environmental issues by ecosystem management	- Urban stormwater management - Ecosystem management both in built and natural environments - Disaster risk management	- Started in USA, 1980s as broad meaning, but focused by USEPA water quality group on the quantitative and qualitative treatment of stormwater - The broad meaning is preferred in Europe as BGI - Extended to disaster risk reduction management in Europe and Japan (DRR-green infra) - Adopted to Korea since the late 2000s (MOE/Korea Univ. 2009) and used mixed with the concept of LID
LID	Maintaining hydrological condition at pre-development	Land development works	- Started in USA since 1990s as a BMP (now being gradually merged to GI) - In Korea, relevant national research projects started since 2010 (Technical guidelines published by EPA)
CRT	Use of natural material in river works and restoration of natural river morphology	River restoration works	- Utilized in German-speaking countries in Europe since the 18century as river work techniques (soil bioengineering) - Adopted in Korea in the mid-1990 by MOE/KICT and disseminated nationwide soon

와 그린인프라를 망라한다. 여기서 자연인프라(natural infra)라는 용어는 NbS가 나오기 전부터 사용되었으며, 자연생태계 자체를 사회의 기반시설로 간주하는 것이다. 그 대표적인 예가 삼림을 잘 관리하여 수자원의 자연적 저수지 역할을 기대하는 것으로서, Table 3의 산지 및 구릉 생태계에 해당한다.

EE는 자연생태계의 원리를 활용, 모방한다는 점에서 NbS와 사실상 크게 다르지 않으나. 전자는 ‘새롭게 설계하는’ 기술에 한정된 반면에 후자는 비기술적 방법론까지 망라한다는 점에서 후자가 상위개념으로 보인다.

Eco-DRR은 NbS의 중요한 실천방안 중 하나로서, 사실상 기후변화적응(CCA)을 위한 생태계기반 접근(EBA)과 다르지 않아 보인다. 본 연구에서는 EBA-CCA를 별도로 다루지 않으며, 나아가 유사한 개념들이 혼재함에 따른 개념 이해 및 실천의 어려움 등을 고려하여, Eco-DRR은 다음에 설명할 광의의 그린인프라에 포함한다.

GI는 협의의 그린인프라부터 시작하여 광의의 그린인프라를 포함하고, 궁극적으로 자연재해저감(DRR) 효과를 도모한다는 차원에서 본다면 사실상 NbS과 크게 다르지 않다. 따라서 GI와 NbS 개념을 구분하기 위해서 도시의 우수처리 방안이 목적인 경우 그냥 ‘그린인프라’, 조성환경과 주변 자연/반자연환경의 생태 네트워크 보호, 복원을 통한 사회환경문제 해소가 목적인 경우 ‘블루그린인프라’, 특히 자연재해위험 저감이 목적인 경우 ‘DRR-GI’라고 구분하여 부를 수 있을 것이다.

LID는 토지개발사업에 한정하여 쓰이면 여전히 유용하며 비교적 분명한 개념이다. 다만 개발지역과 기존 도시지역을 구분하지 않고 ‘자연을 모방한’ 우수처리 방안이 목적이면 LID와 GI라는 두 용어와 개념을 구분하거나 혼용하지 않고 GI로 통일할 수 있을 것이다.

CRT는 ‘자연에 가까운 하천만들기’라는 비교적 제한된 분야에 한정하여 쓰인다는 점에서 이 역시 분명한 개념이다. 다만 Fig. 4에서와 같이 GI를 블루그린인프라로 확대하면, 이는 하도와 하안에 국한된 자연형 하천기술인 CRT를 포함하여 하도와 홍수터 관리 차원까지 망라하게 된다.

5.1 제 유형 간 위계

지금까지 검토한 총 5가지 자연기반 해법, 기술의 상호 위계를 도식적으로 표시하면 Fig. 4와 같다. 여기서

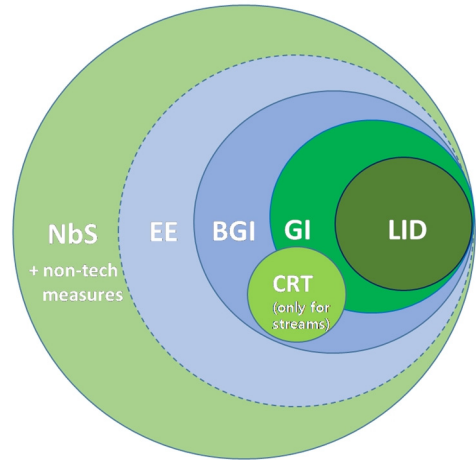


Fig. 4. Conceptual diagram for the hierarchy of NbS and similar practices (dotted line means EE is somewhat different from others as it is an engineering discipline).

위계라 함은 각각의 해법이나 기술의 대상영역의 개념적, 공간적 포괄성을 의미한다.

이 그림에서와 같이 NbS는 개념적, 공간적으로 가장 큰 의미로서, 특히 비기술적 해법도 포함한다. 다음은 EE로서, 이는 특히 기술이라는 제한적이고, 학술적인 면이 강한 의미로 쓰이기 때문에 하위개념으로 그려졌지만 내용면에서는 사실상 NbS와 수준을 같이 한다. 이 개념도에서는 다른 실무와 달리 기술/학술 면을 강조하기 위해 특히 점선으로 표시하였다. 다음은 GI로서, Eco-DRR을 포함한 광의의 그린인프라(BGI)라는 실제 방법론에서 NbS와 크게 다르지 않다. 다만 전자는 주로 계획단계에서 고려하는 것으로서, NbS의 실천적 방법론이라 할 수 있다. 또한 협의의 그린인프라(GI)는 개념적으로는 LID와 사실상 같지만 공간적 의미에서 더 포괄적이다. 마지막으로 LID는 자연생태계의 기능을 이용, 모방한 것으로서, 주로 개발사업에서 이용되고 있는 일종의 BMP이다. 여기서 CRT에 주목하면, 하천은 사회인프라인 동시에 자연환경의 일부이기 때문에 협의의 그린인프라보다는 광의의 그린인프라, 즉 BGI 범주에 포함될 것이다.

5.2 IUCN의 NbS 개념도에 대한 평가

지금까지 논의는 물관리에 초점을 맞추어 NbS를 중심으로 관련개념들의 상호 비교평가를 하였다. 여기서 다시 강조할 것은 Table 1이나 Fig. 2에 제시된 5가지 NbS의 방법론들의 성격과 위계 상 일관성 문제이다.

이 표나 그림에서 제시된 5가지 항목 중에서 복원, 보호 등은 (자연)생태계의 기능을 보전하기 위한 보편적 접근방식인 반면에, 특정사안이나 인프라, 생태계기반 관리 등은 구체적 목표와 방법론을 가지고 비교적 단 시간 내에 체계적으로 진화한 접근방식이다. 따라서 생태계의 보호, 관리, 복원/창출 등을 통한 NbS라는 ‘우산’ 아래, 구체적인 방법론으로서 Eco-DRR, 기후적응 서비스, BGI, IWRM 같은 생태계기반 관리/접근 등을 별도로 제시하는 것이 논리적일 것이다. 즉, Fig. 2에서 부채꼴의 맨 위 층에 Fig. 1과 같은 생태계의 보호, 관리, 복원/창출만 두고 그 밑에 기후적응 서비스, 인프라, 통합해안관리, IWRM 등 구체적인 접근방법론을 제시하는 것이 이해하기 쉬울 것이다. 참고로, Pauleit et al. (2017)은 NbS와 EBA, UGI (Urban green infra), ESS (Ecosystem service) 등 3가지 유사개념들을 비교평가하면서, NbS는 그린인프라와 크게 다르지 않음을 지적하였다.

6. 요약 및 결론

본 연구에서는 사회환경적 문제의 해결방안으로서 새롭게 등장한, 생태계에 기반을 둔 자연기반해법(NbS) 개념을 물관리에 초점을 맞추어 기존 유사개념들과 비교, 평가하였다. 이를 위하여 관련 논문, 보고서, 핸드북, 매뉴얼 등을 검토하여 먼저 NbS의 정의와 의미를 확인한 다음, 생태계기능을 수단으로 하는 다양한 접근방식의 포괄적 상위개념으로서 NbS를 검토하고, 물관리와 관련하여 NbS와 유사한 기존의 개념이나 방법론 등을 검토하였다. 마지막으로, 앞서 거론된 제 유형을 상호 비교평가하고, 개념적, 공간적 관점에서 상호위계를 제시하였다.

본 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

- 1) NbS는 (자연)생태계 기능을 사회환경문제 해결에 활용하기 위한 기존의 다양한 접근방법들을 포괄적으로 설명할 수 있는 점에서 의미가 있으며, 특히 교육적, 설득적인 면에서 유익하다.
- 2) 그러나 물관리 측면에서 접근방법론은 특히 Eco-DRR을 포함하는 광의의 그린인프라와 실제 크게 다르지 않다. 다만 협의의 그린인프라는 현재 우수관리에 초점을 맞추고 있기 때문에 NbS 개념은 여전히 유용하다.

3) 본 연구에서 다룬 물관련 제 방법론의 개념적, 공간적 위계는 포괄하는 순서로 Fig. 4와 같이 NbS-(EE)-BGI-(CRT)-GI-LID 등으로 표시할 수 있다. 여기서 괄호는 직접 비교대상이기 보다는 여타 방법론들을 지원하는 기술을 의미하기 때문에 개념적, 공간적 포괄성에서 비켜 서있음을 의미한다.

4) LID 용어는 토지개발사업에서 생태계에 기반한 호우관리의 최적관리대책에 국한하여 쓰이는 경우를 제외하면, 혼돈스럽지 않도록 그린인프라 용어로 대체할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 제 1저자가 연구책임자로 있는 ‘친환경 신소재를 이용한 고강도 제방 기술개발 연구사업 (2016. 6 - 2021. 5)’ (#17AWMP-B114119-02)에서 제방을 포함한 하천에서 자연생태계의 기능을 이용, 모방하는 방법론의 연구성과로 나온 것으로서, 이 연구사업을 지원한 국토교통과학기술진흥원에 깊은 감사를 표한다.

References

- CNRD/PEDRR. 2013. Master's module: disasters, environment risk reduction (Eco-DRR). Instructor's Manual, Version 2013.
- Dickson, D. 2013. LID vs. Green infrastructure. Center for Landuse Education and Research, UCONN.
- EC (European Commission). 2009. Green infrastructure: supporting connectivity, maintaining, and sustainability.
- EC (European Commission). 2011. Biodiversity strategy. https://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/strategy/index_en.htm#mid. Accessed 19 December 2019.
- EC (European Commission). 2013. Building a green infrastructure for Europe. Catalog.
- EC (European Commission). 2015. European Commission & Directorate-General for Research and Innovation.
- Eggermont, H. et al. 2015. Nature-based solutions: New influence for environmental management and research in Europe. GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society 24(4): 243-248.
- Estrella, M. and Saalimaa, N. 2013. Ecosystem-based DRR: An overview. In, The Role of Ecosystems in Disaster Risk Reduction.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2009. No time to lose: Make full use of nature-based

- solutions in the post-2012 climate change regime. Position paper on the Fifteenth session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP 15).
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2016. Nature-based solutions to address global societal challenges. Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. and Maginnis, S. edited.
- MacKinnon, K., Claudi, S. and Valerie, H. 2008. Biodiversity, climate change, and adaptation: nature-based solutions from the World Bank portfolio (English). The World Bank Group.
- Mitsch, W.J. 2012. What is ecological engineering? *Ecological Engineering* 45: 5-12.
- Mitsch, W.J. and Jorgensen, S.E. 2004. *Ecological engineering and ecosystem restoration*. John Wiley and Sons, Inc.
- MOE (Ministry of Environment)/KICT (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology). 1999. An interim report on the development of close-to-nature river improvement techniques adapted to Korean streams, Vol. 2. (in Korean)
- MOE (Ministry of the Environment). 2016. Ecosystem-based natural disaster risk reduction in Japan. A handbook for practitioner. The Government of Japan.
- MOE/KEI. 2014. Roles and responsibilities of landowners and occupiers to effectively manage non-point pollutions. Research Paper, 2014-11. (in Korean)
- MOE/KICT. 2001. River restoration manual. (in Korean)
- MOE/Korea Univ. 2009. A study of measures of establishment of Korea-fitted green infra for climate change adaptation - focusing on urban water cycle system. (in Korean)
- MOLIT (Ministry of Land and Transport)/Busan Univ. 2012 - 2018. The research and development of the technologies for the establishment and operation of urban water cycle infra. Sponsored by KAIA. 2012 - 2018. (in Korean)
- NERC. 2017. Green approaches in river engineering - supporting implementation of green infrastructure. H.R. Wallingford.
- Odum, H.T. 1962. Ecological tools and their use: man and the ecosystem. In, Waggoner, P.E. and Ovington, J.D. (eds.), *Proceedings of the Lockwood Conference on the Suburban Forest and Ecology*, The Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin 652. Storrs, CT, pp. 57-75.
- Pauleit, P., Zölch, T., Hansen, R. and Randrup, T.B. 2017. Nature-based solutions and climate change - four shades of green. Ch. 3, Kabisch, N. et al. (eds.), *Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas, theory and practice of urban sustainability transitions*. Springer Link.
- Prince George's County, Maryland. 1999. Low impact development design strategies - an integrated design approach.
- UNEP 2015. Promoting ecosystems for disaster risk reduction and climate change adaptation - opportunities for integration. Discussion paper written by N. Doswald and M. Estrella.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 2019. <https://www.epa.gov/green-infrastructure/what-green-infrastructure>. Accessed 9 December 2019.
- WCD (World Commission on Dams). 2000. Dams and development: a new framework for decision-making. The Report of World Commission on Dam (WCD), Earthscan.
- WCED (World Commissions on Environment and Development). 1987. *Our common future*. Oxford University Press.
- Woo, H. 2017. Green infra for disaster risk reduction, cases of application of ecological engineering in foreign countries - a series of articles, #11. Newsletter, Applied Ecological Engineering Society. (in Korean)
- World Bank. 2008. Biodiversity, climate change and adaptation: nature-based solutions from the World Bank Portfolio.