

기후변화 적응대책·기술의 지속가능성 평가방법 개발 및 적용

동아현* · 강정은**† · 이상혁* · 하지혜* · 이지윤***

*부산대학교 도시공학과 박사과정, **부산대학교 도시공학과 부교수, ***부산대학교 도시공학과 석사과정

Development and Application of Sustainability Evaluation Methodology for Climate Change Adaptation Policies and Measures

Dong, Ah Hyeon* · Kang, Jung Eun**† · Lee, Sang Hyeok* · Ha, Ji Hye* and Lee, Ji Yoon***

*Ph.D Student, Dept. of Urban Planning & Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

**Associate Professor, Dept. of Urban Planning & Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

***Master Student, Dept. of Urban Planning & Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

ABSTRACT

Climate change is the biggest risk facing many cities today due to extreme weather phenomena such as heat waves, droughts and floods. Achieving future sustainability in despite the risks associated with climate change is the goal of climate change adaptation measures and technologies. Among climate change adaptation measures seeking to decrease climate risk, some may cause mal-adaptation that undermines sustainability in the long-term. However, there is a lack of research on assessment of the sustainability of adaptation policies. Therefore, this study develops a methodology for assessing the sustainability of climate change adaptation measures and technologies and examines the degree of sustainability of widely used adaptation measures and technologies. The developed sustainability evaluation tool consists of 90 indicators in the social, economic, ecological and governance dimensions and is based on semi-quantitative assessment. Sustainability evaluation of 52 adaptation measures in disaster, health, land and infrastructure, and coastal sectors revealed that sustainability impact scores of the disaster sector were relatively higher than those of other sectors. Most measures scored high in the social dimension, while the economic and ecological dimensions showed a significant impact on the total scores of measures. This sustainability assessment methodology for assessing adaptation measures and technologies is expected to supplement the current priority assessment based on risk-reduction effects, urgency, feasibility and cost.

Key words: Climate Change Adaptation, Sustainability Assessment, Decision-Making Support

1. 서론

기후변화의 심화로 많은 지역에서 폭염, 가뭄, 홍수와 같은 극한 기상을 경험하고 있으며, 이로 인한 피해는 지속적으로 증가하는 추세이다(IPCC, 2014). 기후변화로 인한 부정적 영향은 사회·경제적으로 취약한 계층이나 취약

한 지역에 더 크게 나타나고, 이러한 기후변화 피해에 지속적으로 노출된 지역사회나 개인은 현재뿐 아니라 미래의 사회·경제적 역량까지 악화되는 악순환을 경험한다. 따라서 기후변화로 인한 피해를 줄이고, 기후변화로 발생할 수 있는 기회가 있다면 이를 최대한 활용하려는 기후변화 적응 노력은 반드시 필요한 상황이다(Lee et al., 2020;

† Corresponding author : jekang@pusan.ac.kr (46241, 2, Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan., Republic of Korea. Tel. +82-51-510-2451)

ORCID 동아현 0000-0003-2660-9589
강정은 0000-0002-4144-5984
이상혁 0000-0001-5393-2483

하지혜 0000-0003-2220-3127
이지윤 0000-0001-8080-6466

Kim and Kho, 2012; IPCC, 2007).

우리나라는 2010년 제정된 「저탄소녹색성장기본법」을 기반으로 2011년부터 5년마다 국가기후변화적응대책을 수립하고 있으며, 각 부처와 지자체는 기후변화적응대책 세부시행계획을 수립하여 기후변화 적응을 위한 정책적 노력을 기울이고 있다. 기후변화 적응을 위해 국가와 지자체가 수립하는 정책들은 단기적으로는 기후위험에 대한 대응 및 예방임과 동시에 장기적으로는 개인, 지자체, 국가의 사회·경제적 역량을 강화시키는 과정이 되어야 한다. IPCC (2014)는 기후변화 적응전략의 목적으로 지자체와 사회의 적응역량(adaptive capacity)과 회복력(resilience)을 강화시키고, 기후변화에 대한 취약성(vulnerability)을 줄이며, 궁극적으로 해당 사회가 지속가능한 발전(sustainable development)을 이루는데 기여해야 함을 명시하고 있다. 이러한 맥락에서 Yu and Yun (2015)은 지속가능한 적응을 강조하고, 지속가능한 적응은 기후변화로 발생하는 부정적 영향에 대한 단기적 대응뿐 아니라 빈곤의 극복, 사회와 환경의 지속가능성을 회복하고, 삶의 질 향상과 새로운 기회 모색까지를 포함한다고 강조한 바 있다.

현재 국내에서 수립되고 있는 적응전략들은 이미 시행 중인 대책들을 대상으로 기후변화 적응 연관성을 고려하여 도출되는 경우가 많았다. 이러한 과정으로 선택된 적응대책과 기술 중 일부는 위험에 대한 단기적이고 기술적인 처방은 될 수 있으나, 장기적으로는 오히려 지역사회 전체에 부정적인 사회·경제적 파급효과를 가져오거나, 지속가능하지 않은 사회·경제를 고착시키는 잘못된 적응(mal-adaptation)을 초래할 수도 있다. 실제로 미국 캘리포니아의 트라니티강에서는 홍수예방을 위하여 댐을 건설하였으나, 해당 지역의 어업과 레저, 관광 등에 부정적인 영향을 미쳐 지역경제와 환경 모두의 지속가능성을 저해하게 되었으며, 이후 이에 대한 대책으로 하류의 지형에 대한 환경유량과 지형복원 사업을 시행하여 생물서식처를 복원하기도 하였다(Ock, 2013).

또한, 일부 지자체는 세부시행계획의 적응대책 우선순위를 도출함에 단기적인 비용 편익을 기준으로 공무원들의 설문조사나 전문가의 의견을 활용하기도 하였으나, 대부분의 지자체는 평가에 대한 기준 없이 자의적으로 이루어져 왔다(Chae et al., 2012; Hyun et al., 2019). 이러한 우선순위 평가는 단기적인 효과는 낮아도, 중장기적으로 사회 전반의 지속가능성에 기여하는 정책대안들의 소외를 초래할 수도 있다. 선행연구들은 적응대책을 유형화하고(Kang et al., 2016), 위험성, 정책성, 효율성 등의 지표를

활용한 적응정책 우선순위를 평가(Chea and Jo, 2013)하기도 하였으나, 지속가능성에 대한 고려는 미흡했다. 기후변화 적응노력이 기후변화의 위험을 줄일 뿐 아니라, 빈곤계층의 적응을 향상시키고, 취약성을 유발하는 구조적 질차를 개선해야 함을 고려한다면(Yu and Yun, 2015), 적응정책이 사회의 지속가능성에 어떤 영향을 미치는지 평가하고, 의사결정에 반영하기 위한 연구가 필요한 상황이다.

이에 본 연구는 기후변화 적응을 위한 의사결정에 활용할 수 있도록 적응대책·기술의 지속가능성 평가방법론을 개발 및 프로그램화하며, 개발된 방법론을 주요 분야의 적응대책에 적용하여 평가를 수행하고 적용성을 확인하고자 한다.

2. 선행연구

지속가능한 발전은 1987년 세계환경개발위원회(WCED)가 발표한 “Our common future(브룬트란트 보고서)”에서 주장한 “미래 세대의 욕구를 충족시킬 수 있는 능력을 저해하지 않으면서, 현재 세대의 욕구를 충족시키는 발전”의 개념이 널리 알려져 있으나, 한마디로 정의하기는 쉽지 않다. 시대에 따라, 상황에 따라 다양한 방식으로 해석될 수 있으나, 지속가능한 발전은 경제성장과 환경보존을 별개의 관계 또는 대립적 관계로 보던 이전의 관점에서 벗어나 경제성장, 사회통합, 환경보존을 통합적으로 볼 필요가 있다는 관점을 견지하고 있다. 2016년 수립되어 현재 시행 중인 「제3차 지속가능발전 기본계획(2016~2035)」에는 다양한 기후변화 관련 과제들이 포함되어 있다. 이는 전 지구적인 기후변화 위험을 고려할 때 기후변화 적응은 지속가능한 발전을 위한 필수불가결한 조건임을 의미한다.

지속가능한 적응을 위한 적응대책·기술의 평가는 기본적으로 지속가능성 평가의 틀을 유지해야 하므로 계획 및 정책, 프로젝트, 지역 및 기관 등의 지속가능성을 평가하는 선행연구들을 살펴보았다. 대부분의 지속가능성 평가는 지표를 활용하여 평가를 수행하고 있었다. 지표법은 평가가 용이하고, 평가결과를 사람들에게 효과적으로 전달할 수 있어 많은 연구가 활용하고 있다(Lee and Kang, 2018). 지표를 활용한 지속가능성 평가도 평가의 목적과 시점에 따라 지표의 활용방식이 달라질 수 있다. 의사결정 과정에서 의사결정 지원을 위해 평가를 수행할 때에는 지표별로 전문가 또는 관련자의 전문가적 견해를 활용하는 분석적 계층화(Analytic Hierarchy Process, AHP) 기법이 주로 사용되며, 계획, 정책, 프로젝트 등이 실행된 이후 결

과와 모니터링의 관점에서 지속가능성을 평가할 때는 지표별 공식적이고 객관적인 통계자료를 주로 활용한다 (Jung et al., 2005).

의사결정과정에서의 지속가능성 평가에 초점을 둔 선행 연구들로 Jeo et al. (2012), Lee (2013), Jeo et al. (2015)은 의사결정의 전 과정을 여러 단계로 나눈 후, 이를 단계별로 분석 해석함으로써 합리적인 의사결정에 이를 수 있도록 지원해 주는 AHP 기법을 이용하여 각 연구목적에 부합하는 지속가능성을 평가하였다. Moon (2000)은 생태환경을 대상으로 환경정책의 지속가능한 발전방향을 설정하고 기술·경제, 정치·행정, 사회·문화의 정책영역에 대한 지속가능성 평가를 실시하였다. Oh and Jin (2020)은 6대 광역시의 지방의제 21의 추진체계에 대한 지속가능성을 평가하기 위하여 이해관계자의 참여 및 제도화의 측면에서 지속가능성을 평가하였다. 해당 연구에서 지속가능성은 수립과정, 수립내용, 추진평가의 영역으로 구분하였으며 총 9개의 지표를 활용하여 평가를 실시하였다. Kim (2017)은 부산시 상수도사업의 지속가능성평가를 위해 환경, 경제, 사회, 제도적 측면에서 각각의 평가지표를 2-3개 선정하여 10점 척도를 이용해 평가를 실시한 바 있다.

지속가능성 평가의 가장 대표적인 지표로는 UN의 Sustainability Development Goals (SDGs)와 한국형 Sustainability Development Goals인 K-SDGs가 있다. UN은 지속가능발전의 개념을 구체화시켜, SDG 17개의 목표와 169개의 세부목표를 발표하였다. 세계 각국은 자국의 상황에 맞게 SDGs를 달성하기 위하여 노력을 기울이고 있으며, 우리나라도 SDGs를 수정하여 “국가 지속가능발전목표(K-SDGs)”라는 공식명칭으로 17개 목표와 122개 세부목표를 발표하였다(National Sustainable Development Portal, 2020). 이들은 본 연구의 지속가능성 평가를 위한 가장 기본자료로 활용하였다.

IFDD and University of Quebec in Chicoutimi (IFDD and UQAC) (2016)는 정책(Policy), 전략(Strategy), 프로그램(Program) 또는 프로젝트(Project)를 대상으로 지속가능성을 평가할 수 있는 틀인 지속가능한 발전 분석 그리드(SDAG : Sustainable Development Analysis Grids)를 개발하였다. 분석 틀은 지속가능성을 구성하는 6개 부문(사회, 생태, 경제, 문화, 윤리 및 거버넌스)에 대해 40개의 세부주제(Themes)로 구분하여, 세부주제별로 평가지표를 제안해 체계적인 분석이 가능하도록 하고 있다. 이 분석 그리드는 분석하고자 하는 정책이나 프로젝트에 따라 평가부문 및 주제에 대한 중요도 가중치를 자유롭게 부여하고,

목표와 관련한 지속가능성 성능(영향)을 평가하는 방식으로 활용될 수 있다. 분석결과는 부문별/세부주제별로 도출되어 다이어그램으로 표출 등 엑셀 기반의 자동화된 분석틀의 형태로 제공되고 있다.

도시계획 분야에서 정책이나 계획의 실행 이전에 계획 또는 대책 자체에 초점을 맞추어 평가하는 계획평가(plan evaluation)에 대한 선행연구들(Berke, 1994; Burby and Dalton, 1994, Brody, 2003; Kang et al., 2010)도 적응대책의 지속가능성 평가에 방법론적 시사점을 줄 수 있다. 계획평가 기법은 90년대 후반부터 현재까지 다양한 주제에 적용되고, 방법론의 수정·보완이 이루어져왔다. 대부분의 연구는 다루고자 하는 주제별로 구성요소에 해당하는 평가지표를 도출하고, 이에 대해 전문가의 의견을 기반으로 순서적도 형식의 점수를 부여하는 방법론을 주로 활용하였다. 이러한 과정을 통해 도출된 평가결과는 정성적 경향을 가진 계획을 정량적으로 평가함으로써 계획 간 비교가 가능하며, 다양한 이해관계자들과의 의사소통을 용이하게 하였다(Kang et al., 2014; Kang, 2012; Kim and Tran, 2018). 계획평가는 국내에서도 계획 및 사업의 영향을 사전에 평가하기 위해 제도화되어 시행되고 있는데, 국토계획평가제도와 지역균형발전영향평가 등이 대표적이다. 국토계획평가제도는 국토계획의 주된 목표가 성장, 효율성 중심에서 효율성, 형평성, 친환경성을 균형있게 고려하는 지속가능한 국토관리로 전환됨에 따라, 이를 반영할 수 있도록 국토계획을 수립하였는지 여부를 사전에 평가하는 것으로, 계획의 성과가 아닌 계획의 구성 및 내용에 대한 평가이다(Min et al., 2016). 지역균형발전영향평가는 지역균형발전의 측면에서 지역 간 균형발전의 실태를 측정하고 진단하여 정책의 효과성을 파악할 수 있도록 지역발전지표를 활용하고 있다(Kim et al., 2011).

다양한 분야의 선행연구를 검토하여 기후변화 적응대책·기술의 지속가능성 평가방법론 개발을 위한 다음의 시사점을 도출하였다. 우선, 의사결정 지원을 위한 적응대책·기술의 지속가능성 평가는 의사결정에 정보를 제공하고, 의사결정과정을 개선시키는 평가과정으로 이해하며, 다기준 접근을 기반으로 지표를 도출하여 평가하는 방식을 채택하기로 하였다. 이때 지속가능성 평가지표는 우리나라의 SDGs 지표를 기반으로 적응정책과의 연관성을 고려하여 선정하기로 하였다. 또한, 평가방식은 국토계획평가나 지역균형발전영향평가 등이 주로 활용하고 있는 영향 정도에 대한 리커트척도 기반의 평가방식을 활용한다. 또한, 대책이나 기술의 실행 이전에 이루어지는 평가인 만

큼 공식적인 통계자료가 부재하므로 전문가의 의견을 기반으로 평가를 시행하며, 평가를 지원하기 위해 IFDD와 UQAC의 지속가능한 발전 평가 그리드와 같은 엑셀기반의 평가틀을 개발하여 지자체나 부처의 의사결정을 지원하기로 하였다.

3. 적응대책·기술의 지속가능성 평가방법론 개발

3.1 적응대책·기술의 지속가능성 평가지표

적응대책·기술의 지속가능성 평가를 위한 부문, 세부주제, 지표를 도출하기 위해 일차적으로 UN의 SDGs와 한국형 지속가능한 발전을 위한 목표인 K-SDGs를 살펴보았다. UN SDGs는 지속가능한 발전의 개념과 목표를 이해하는 출발점이나 국가 차원의 목표와 국가 간 비교를 위한 지표를 포함하므로 적응대책·기술평가에 활용하기에는 어려운 측면이 있었다. 이에 반해 한국형 지속가능발전 목표인 K-SDGs는 국내에 적용하기 적합한 세부목표와 지표를 명시하고 있어 본 연구의 기초자료로 활용할 수 있었다. K-SDGs는 17개의 목표를 기준으로 총 122개의 세부목표로 분류되어 있다. 의사결정과정에서 적응대책·기술의 평가를 위해서는 목표기반의 분류보다는 지속가능한 발전의 구성부문으로 분류(Ahn et al., 2017; Moon and Yu, 2016; Song and Lim, 2015; Kim, 2017; Kim, 2013)하는 것이 더 적합하다는 판단으로 SDAG에서 활용한 사회, 경제, 생태, 거버넌스, 윤리, 문화의 6개 부문을 기본으로 활용하였다.

구체적인 평가부문 및 세부주제, 지표의 도출과정은 다

음과 같다. 먼저, 122개 K-SDGs 지표를 사회부문 51개, 경제 21개, 생태 18개, 거버넌스 25개, 윤리 6개, 문화 1개로 분류하였으며, 122개의 지표 외 SDAG에서 활용되는 10개의 지표를 추가하였다. 추가된 지표는 사회부문 1개(식량안보 보장), 생태부문 2개(온실가스 배출량 감축, 온실가스 배출량 정량화), 거버넌스 부문 7개(의사결정자에게 포괄적이고 다양한 정보제공, 모니터링 및 평가대책 수립, 관련 통신 메커니즘 활용 및 정보교환 최적화, 내재된 위험의 식별과 분석, 위험에 대한 예방적 방법 적용, 위험의 정도에 따른 우선적 대응 적용, 기관의 효율성 및 포괄성 개선)이다. 이후 기후변화 분야와의 연계성을 고려하여 문화부문과 윤리부문은 별도로 구분하지 않고 사회부문으로 포함시켜 4개 부문으로 재정리하였으며, 132개의 지표를 분야/주제의 적합성, 활용가능성, 중복성을 고려해 120개로 축소하고 사회 53개, 경제 19개, 생태 19개, 거버넌스 29개로 분류하였다.

최종 평가지표 도출은 제안된 지표들과 기후변화 적응대책·기술과의 연계성에 대한 전문가 및 실무자 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 2019년 2월 한 달 동안 인터넷 설문조사와 대면 설문조사를 함께 실시하였다. 설문조사는 학계 및 연구직 종사자 24명, 공무원 12명으로 구성된 36명에게 조사하였고, 모두 설문에 응답하였다. 5점 척도(5: 연계성이 매우 높다, 1: 연계성이 매우 낮다) 기반의 연계성 분석결과 3점 이상의 연계성 점수를 나타낸 지표들을 도출하고, 이후 전문가 자문을 바탕으로 세 차례의 수정과정을 거쳐 Table 1과 같이 지표를 확정하였다.

Table 1. Sustainability evaluation indicator

Sector	Theme	Indicator
Society	1. Reducing poverty and building a social safety net	1.1 Reducing the proportion of the poor population below the OECD average
		1.2 Strengthening the provision of basic social services for the poor and the vulnerable
		1.3 Reduce the exposure of the poor and the vulnerable to economic, social, and environmental shocks and disasters, and strengthen resilience
	2. Sustainable Agriculture and Food Security	2.1 Ensure access to food
		2.2 To increase farm household income (diversify farm household income sources and expand management safety net, etc.)
		2.3 Building a sustainable food production system
		2.4 Maintaining genetic diversity of native and wild species of seeds, crops and livestock
		2.5 Stabilization of the food market (reduction in price volatility of food crops)
2.6 Ensuring the nutritional quality of food		

Society	3. Ensure healthy life	3.1 Management of risk factors for chronic diseases and expansion of health protection
		3.2 Promote mental health and prevent substance abuse
		3.3 Prevention of death and physical injury due to various personal accidents such as traffic accidents
		3.4 Infectious disease prevention and management
		3.5 Protecting and promoting maternal/infant/child health
		3.6 Protecting and promoting elderly health
		3.7 Reduction of death and disease caused by pollution of hazardous chemicals, air, water, soil, etc.
		3.8 Overcoming low birthrate and preparing for an aging population
		3.9 Medical security through expansion of public health care services
	4. Education promotion	4.1 Ensure equal access to education and vocational training for the vulnerable
		4.2 Providing opportunities for all people to acquire knowledge and skills for sustainable development (education on human rights, sustainable development, gender equality, global citizenship, respect for cultural diversity, etc.)
		4.3 Provide a safe and effective learning environment for all learners
		4.4 Securing sufficient financial support and manpower for quality education at all levels of education
	5. Creating comfortable living environment	5.1 Guaranteed access to housing by providing various residential areas (economically burdenable price, basic service)
		5.2 Improvement of old residential environment
		5.3 Ensuring access to the transportation system and expanding sustainable transportation (public transportation, etc.)
		5.4 Reinforcement of participatory and integrated planning/management capabilities for residential areas
		5.5 Reduction of negative environmental impact of cities (air quality and waste management, etc.)
		5.6 Securing public green spaces and ensuring safe and easy access
		5.7 Reinforcement of national land and urban planning to support linkages (social, economic, environmental) between cities, suburbs, and rural areas
	6. Climate change/disaster management and strengthening resilience	6.1 Reduce damage due to climate change/disaster, and strengthen the ability to recover and adapt to disasters
		6.2 Reflected on climate change action plans and national and local policies
		6.3 Education on climate change mitigation, adaptation, impact reduction, early warning, etc., raising awareness
		6.4 Reinforcement of human and institutional capabilities to strengthen climate change/disaster management and resilience
		6.5 Try to keep the global temperature rise below 2°C compared to the pre-industrial level, and further limit the temperature rise to 1.5°C.
		6.6 Strengthening efforts to protect/preserve world cultural and natural heritage
	7. Resolving inequality	7.1 Expanding social, economic and political inclusion by providing fair opportunities for all
7.2 Achieving a higher level of equality through strengthening fiscal policy, wage policy, and social protection policy		
7.3 Gender equality		
Economy	1. Job expansion and economic prosperity	1.1 Promotion of economic growth
		1.2 Creating good jobs and increasing employment rates
		1.3 Protection of workers' rights and appropriate wages

Economy	1. Job expansion and economic prosperity	1.4 Economic loss reduction effect
		1.5 Creating a safe and healthy working environment
	2. Sustainable consumption and production	2.1 Pursuing eco-friendly economic growth through efficient use of resources
		2.2 Securing industrial competitiveness by pursuing industrial diversity and laying the foundation for sustainable activities
		2.3 Pursuing eco-friendly industrial activities through technological innovation
		2.4 Establish / implement integrated policies on sustainable consumption and production
		2.5 Expansion of management/support for corporate sustainable management activities
		2.6 Promote sustainable green consumption
	3. Eco-friendly energy production and consumption	3.1 Ensure stable access to energy services
		3.2 Increasing clean energy generation
3.3 Energy saving and efficiency improvement		
3.4 Minimize air pollution due to energy consumption in the transportation field		
Ecology	1. Pollutant emission/waste management	1.1 Health protection and environmental pollution prevention through eco-friendly management of chemical substances and hazardous waste
		1.2 Reduction of pollutants and waste generation (source prevention, reduction, reuse and recycling, etc.)
	2. Clean and safe water management	2.1 Safe drinking water supply for everyone
		2.2 Provide adequate and equitable sewer service
		2.3 Pursuit of efficiency through improvement of water resource facilities (water and sewage facilities, etc.)
		2.4 Restoration of aquatic ecosystem and improvement of health
		2.5 Water quality management and improvement
	3. Increasing the use of renewable resources and managing sustainable resources	3.1 Increase utilization of renewable resources and management of non-reusable resources
		3.2 Fair distribution of profits based on resource utilization
		3.3 Sustainable management of fishery resources and avoidance of excessive fishing
		3.4 Secure economic benefits through sustainable use of marine resources
	4. Ecosystem conservation	4.1 Establishment of pollutant (land/sea) management system to preserve the marine environment
		4.2 Sea ecological environment and habitat management of fishery resources
		4.3 Designation of protected areas for systematic conservation and wise use of the ecosystem
		4.4 Conservation and restoration for diversification of terrestrial ecosystem
		4.5 Reinforcing sustainable forest management (stopping deforestation, restoring desolate forests, etc.)
	5. Sustainable land use	5.1 Restoration of devastated land (drought, flood, development, etc.)
		5.2 Suppression of development in disaster-prone areas
		5.3 Control of excessive urban development and spread
		5.4 Restoration of disconnected ecological axes and maintenance and management of ecological networks
	6. Maintaining biodiversity	6.1 Prevention of biodiversity loss through protection of endangered and protected species
6.2 Take measures to prevent the influx of invasive alien species and reduce the impact on the ecosystem		
7. Greenhouse gas emission management	7.1 Reduction of greenhouse gas emissions	

Ecology	7. Greenhouse gas emission management	7.2 Quantification of greenhouse gas emissions
		7.3 Increased carbon absorption
Governance	1. Information collection and accessibility expansion	1.1 Ensure public access to information and protect fundamental freedoms
		1.2 Provides comprehensive and diverse information to decision makers
		1.3 Building monitoring and feedback system
	2. Build technical capabilities and expand research support	2.1 Strengthening international competitiveness through technical competency building and advanced technology commercialization
		2.2 Expansion of national research manpower and capital, planning and execution of appropriate research (R&D support)
	3. Securing transparency/consistency of policies and systems	3.1 Fighting corruption in all forms, all actors, and at all levels
		3.2 Establishment and implementation of effective and responsible government policies and systems
		3.3 Laying the institutional foundation for equity
		3.4 Strengthening policy coherence for sustainable development
	4. Facilitating participation and developing partnerships at various levels	4.1 Guaranteeing and promoting citizen participation from all walks of life
		4.2 Development / strengthen various global partnerships for sustainable development
		4.3 Development / encourage effective public, public-private and civil society partnerships

최종적으로 확정된 적응대책·기술의 지속가능성 평가 지표는 4개 부문(사회·경제·생태·거버넌스), 21개 세부주제, 90개의 지표로 구성된다. 사회부문은 사회의 안전과 통합, 형평성에 어떤 영향을 미치는지 평가하기 위한 지표로 7개 세부주제(빈곤감소 및 사회안전망 구축, 지속가능한 농업 및 식량안보, 건강한 삶 보장, 교육 증진, 살기 좋은 주거지 조성, 기후변화·재난관리 및 회복력 강화, 불평등 해소), 총 38개의 지표로 구성되어 있다. 경제부문은 기후변화 적응대책·기술이 국가 및 지역에 미치는 경제적 효과와 관련된 지표로 구성되어 있으며, 3개 세부주제(일자리 확대 및 경제 번영, 지속가능한 소비 및 생산, 친환경적 에너지 생산 및 소비), 15개 지표로 구성되어 있다. 환경부문은 건강한 환경 및 생태환경을 위한 지표로 구성되어 있으며, 7개 세부주제(오염물질 배출 및 폐기물 관리, 깨끗하고 안전한 물관리, 재생 가능 자원 활용증대 및 지속가능한 자원관리, 생태계 보전, 지속가능한 토지이용, 생물다양성 유지, 온실가스 배출 관리), 25개 지표로 구성되어 있다. 거버넌스부문은 국가 및 지역의 지속가능성을 달성할 수 있도록 하는 제도 및 참여와 관련된 지표로, 4개 세부주제(정보수집의 접근성 확대, 기술역량 구축 및 연구지원 확대, 정책 및 제도의 투명성/일관성 확보, 다양한 계층의 참여 촉진 및 파트너십 개발), 12개 지표로 구성되어 있다.

3.2 의사결정 지원을 위한 적응대책·기술의 지속가능성 평가모형

적응대책·기술의 지속가능성 평가방법론을 평가틀로 구현하기 위해 평가 전 과정을 Fig. 1과 같이 설계하였다. 첫 번째 단계는 평가하고자 하는 적응대책·기술에 대한 데이터베이스(DB)를 작성하는 것이다. DB는 평가자가 해당 정책·기술에 대한 정보를 얻고 정확한 평가를 하기 위한 기본자료로 정책·기술별 목적/목표, 주요 내용(속성 및 특징), 부문(사회, 경제, 환경, 제도)별 영향, 자료 출처로 구성된다. 두 번째 단계는 본 연구를 통해 제안한 적응대책·기술의 평가지표(4개 부문, 21개 세부주제, 90개 지표)를 확인하고, 평가자가 지표를 선택하고, 가중치를 결정하는 단계이다. 본 연구의 시범적용에서는 모든 평가지표와 개별부문이 동일한 중요성을 가진다고 가정하고 가중치를 별도로 지정하지 않았다. 그러나, 본 평가 프로그램에서 사용자는 필요에 따라 지표별, 부문별로 가중치를 결정할 수 있으며, 평가지표도 선택할 수 있다. 세 번째 단계는 지표별 평가를 수행하는 단계이다. 본 연구는 기후변화적응대책·기술의 지속가능성 평가를 위해 “지속가능성”이라는 질적인 개념을 정량적 평가방식을 활용하여 평가하는 준-정량평가기법(Semi-Quantitative Assessment)을 채택하였다. 또한, 기후변화적응대책·기술이 개별 지표에 대해 미치는 긍정적 영향(이익, Gain)과 부정적 영향

(손실, Loss)을 모두 살펴보기 위하여 손실-이익점수(gain and loss)를 활용하였다. 해당 대책·기술을 수행했을 때 평가지표에 대한 영향도에 따라 -3점(매우 부정적 영향)에서 3점(매우 긍정적 영향)까지의 7점 척도를 활용하였다. 0점은 아무 영향도 미치지 않을 것으로 예상될 때 할당되는 점수이다. 다음 단계는 개별 적응정책·기술의 부문과 종합 평가결과를 표와 다이어그램으로 가시화하고 객관적 결과를 제공한다. 평가결과는 지표별 평가 점수를 종합해 도출되며, 도출된 점수를 기반으로 순위법을 통해 대책·기술 간 비교가 가능하도록 하였다. 이 단계에서 해당 대책·기술의 평가결과에 대한 검토를 실시하고, 경우에 따라 재평가를 수행할 수도 있다. 마지막 단계는 다양한 대책·기술들을 평가한 후 이들을 비교하는 단계이며, 비교 결과는 표와 그림으로 정리되어 사용자에게 정보로 제공될 수 있다.

실제 부처나 지자체에서 적응대책·기술과 관련된 의사결정에 쉽게 활용할 수 있도록 엑셀기반 VBA 프로그램을 활용해 Fig. 2와 같이 구축하였다. 엑셀 기반 프로그램은 평가자들이 접근하기 쉬운 장점이 있으며, 본 프로그램은 적응대책기술의 추가 및 삭제, 평가지표 및 가중치 선택기능, 평가결과의 가시성을 고려하여 구축되었다.

3.3 시범적용

개발된 적응대책·기술의 지속가능성 평가방법론을 적용하기 위해 현재 가장 일반적으로 사용되고 있을 뿐 아니라 중요하게 고려되고 있는 적응대책·기술을 선정하였다. 국회기후변화적응포럼 부설 기후변화정책연구소와 서울대학교는 공동으로 개최한 전문가 간담회 및 설문조사를 통해 기후변화적응대책 세부시행계획 이행과제 가운데 주요 적응대책·기술을 선정하였으며(National assembly forum on climate change, 2020), 본 연구는 지속가능성 시범평가를 위해 기후변화의 영향을 시민들이 가장 크게 체감하고, 적응정책의 시급성 크며, 연구진의 전문성을 발휘할 수 있는 재난/재해, 건강, 국토, 연안의 4개 분야의

정책을 선정하였다. 본 연구는 4개 분야(재난재해, 건강, 국토, 연안) 총 52개의 적응대책·기술을 대상으로 지속가능성 평가를 실시하였다.

시범적용은 평가의 타당성을 확보하기 위해 다음을 고려하였다. 우선, 평가대상 적응대책·기술의 DB를 작성하였다. 평가자별로 해당 대책·기술을 다르게 이해한다면 전문가가 평가를 수행한다고 해도 제대로 평가하기가 어려우며, 평가결과를 신뢰하기도 쉽지 않다. 평가를 위해 작성된 기후변화적응대책·기술 DB는 개별 대책·기술의 내용, 특징 및 속성, 사회, 경제, 생태, 거버넌스에 미칠 것으로 예상되는 영향을 작성하였다. 이렇게 작성된 기후변화적응대책·기술에 대한 DB를 토대로 지속가능성 평가를 실시하였다. 둘째, 본 연구는 평가를 위한 가이드라인을 작성하여 평가자가 평가에 활용할 수 있도록 제공하였다. 가이드라인은 연구에서 구축한 시스템 소개, 지표, 평가방법에 대한 자세한 설명이 포함되어 있다. 또한, 평가의 타당성을 높이기 위해 연구진과 4개 분야에 대해 전문성이 있다고 판단되는 전문가(교수 또는 국책연구기관 박사)를 섭외하여 평가를 진행하였다. 평가를 위해 분야별 평가자 2인이 각각 1차 평가점수를 도출하고, 평가결과를 함께 논의하여 1차 평가점수에 대한 수정 보완 과정을 거쳐 최종점수를 도출하는 방식을 사용하였다(Kim and Tran, 2018).

본 연구는 도출된 지속가능성 평가결과의 신뢰성 확보를 위해 평가결과에 대한 상세한 해석과 함께 Cronbach's Alpha 테스트를 실시하였다. 신뢰성이란, 측정자가 측정대상을 얼마나 일관성 있게 측정하고 있는지 정도를 의미한다. 동일한 구성개념에 대하여 반복적으로 측정하였을 때 발생하는 측정치들의 분산(오차)을 계산하여 분산(오차)이 작을수록 일관성 있는 측정치가 얻어짐을 확인할 수 있다. 신뢰성 측정에는 Cronbach (1951)에 의해 개발된 알파계수(alpha coefficient)가 많이 활용되고 있으며(Yoo, 2011), 일반적으로 Cronbach's Alpha 계수가 0.7보다 크면 신뢰할 수 있는 결과로 받아들여진다.

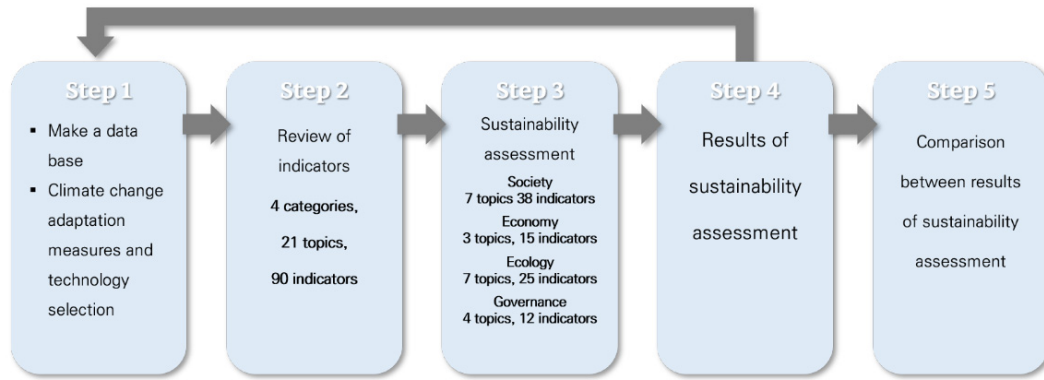


Fig. 1. Process of sustainability evaluation for adaptation measures

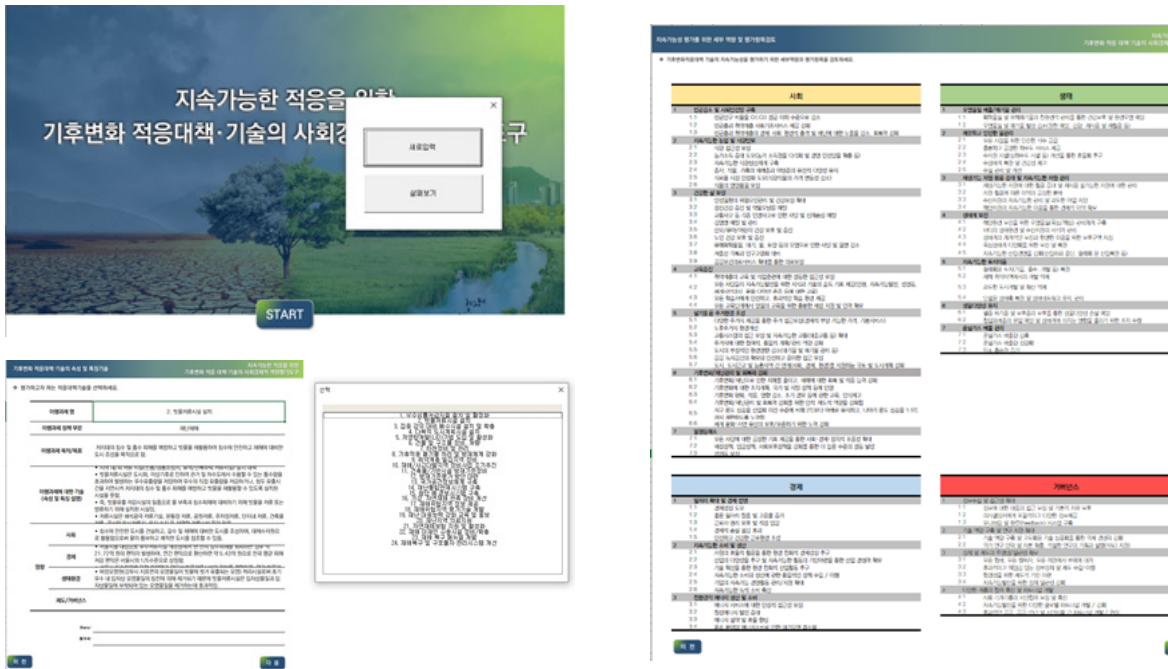


Fig. 2. Program of sustainability evaluation for adaptation measures

4. 지속가능성 평가방법론 시범적용 결과

4.1 주요 적응대책·기술 목록 및 DB

Table 2에서 보여주듯 재난·재해분야는 재난관리의 4단계인 예방(위험성 분석 및 위험지도 작성, 재해관측장비 개선, 재난보험, 집중호우 대비시설, 가뭄 대비시설, 토사 재해 대비시설, 연안 정비시설), 대비(예경보체계 및 전달

체계, 재난통합관체, 민방위 경보시설, 교육훈련 및 연습), 대응(비상계획/사고대책본부 가동 운영지침, 재난 진압, 구조구난, 긴급의료지원), 복구(재해복구 지침 개발, 재해복구모델 및 복구공법 개발, 재해복구 및 구호물자 관리체계, 재난/재해 폐기물 처리)로 구분되었으며, 각각의 세부부분에 해당되는 16개의 대책·기술이 포함되었다. 건강분야는 크게 이상기온 및 기상재해(기상재해 피해 현장 응급의료지원체계, 온열·한랭질환감시체계, 기상이

변 취약계층 지원체계, 이상기온 대비 공동편의 시설, 도시열섬 완화 설비, 감염병(권역별 감염병 감시망 구축, 감염병 예방접종 지원, 집단급식/공중이용 시설 관리, 종합적인 방제체계), 대기오염(대기오염 예·경보 및 전달체계, 환경성 질환 감시체계, 미세먼지 고농도시 비상저감조치, 대기오염 측정망, 도로분진청소), 건강부문 공공서비스(기후보건영향평가체계, 건강영향 예방/행동요령 홍보 및 교육, 건강부문 담당자 교육, 지역단위 건강취약계층 관리체계, 건강취약계층 주거환경 개선)의 4개 세부부문, 19개 대책·기술을 포함한다.

국토분야는 도로교통관리(교통안전에 직접적 영향을 미치는 요소관리, 폭설 영향 도로 기능저하 대응체계 구

축), 건물시설관리(녹색건축 확대, 기반시설 성능평가 기술 개발), 도시계획(기후변화 적응형 계획수립, 기후변화 적응형 도시재생 추진, 시민참여형 기후변화 대응 플랫폼 구축)으로 구분하여 7개의 대책·기술을 고려하였다.

연안분야는 연안재해예방 및 대응(연안재해 취약성 평가체계 개발, 연안재해 감시체계 구축, 방재시설 조성 및 보강, 연안완충공간 확보)과 연안공간계획(연안해역 및 침식 모니터링 체계 구축, 연안 구조물 모니터링 구축, 훼손 연안 정비 및 복구 추진, 침식관리를 위한 항만구조물 정비, 해안립, 사구 등 자연해안 복원, 친수공간조성)으로 크게 구분되며, 10개의 대책·기술을 평가하였다.

Table 2. Climate change adaptation measures and technologies

Section	Category	Adaptation measure·technology
I. Disaster / Hazard	1. Prevention	1.1 Risk analysis and risk map creation
		1.2 Improvement of disaster observation equipment
		1.3 Disaster insurance
		1.4 Disaster prevention facilities
	2. Preparedness	2.1 Forecast and warning system and delivery system
		2.2 Disaster Integrated Control System
		2.3 Civil defense warning facility
		2.4 Education and training
	3. Response	3.1 Emergency plan/accident countermeasure headquarters operation guidelines
		3.2 Disaster suppression
		3.3 Rescue
		3.4 Emergency medical support
	4. Recovery	4.1 Develop disaster recovery guidelines
		4.2 Disaster recovery model and recovery industry development
		4.3 Disaster recovery and relief supplies management system
		4.4 Disaster/disaster waste treatment
II. Health	1. Abnormal temperature and meteorological disaster	1.1 Emergency medical support system for sites affected by meteorological disasters
		1.2 Thermal and cold disease monitoring system
		1.3 Support system for vulnerable groups in extreme weather
		1.4 Common convenience facilities for abnormal temperatures
		1.5 Urban heat island mitigation facility
	2. Infectious disease	2.1 Establishment of infectious disease surveillance network by region
		2.2 Infectious disease vaccination support
		2.3 Group meal service/public use facility management
		2.4 Comprehensive control system
	3. Air pollution	3.1 Air pollution forecast/alarm and delivery system
		3.2 Environmental disease monitoring system
		3.3 Emergency reduction measures in cities with high concentration of fine dust
		3.4 Air Pollution Monitoring Network
		3.5 Road dust cleaning
	4. Health sector public service	4.1 Climate Health Impact Assessment System
		4.2 Health impact prevention/action method promotion and education
		4.3 Training for health staff
		4.4 Management system for the underprivileged by region
		4.5 Improving the residential environment for the underprivileged

III. Land and Infrastructure	1. Road traffic management	1.1 Management of factors that directly affect traffic safety
		1.2 Establishment of a response system for road degradation affected by heavy snowfall
	2. Building facility management	2.1 Green building expansion
		2.2 Infrastructure performance evaluation technology development
	3. Urban planning	3.1 Establishment of climate change adaptation plan
		3.2 Promotion of climate change adaptive urban regeneration
3.3 Establishment of a platform for responding to climate change with citizen participation		
IV. Coast	1. Coastal disaster prevention and response	1.1 Coastal disaster vulnerability assessment system development
		1.2 Establishment of coastal disaster monitoring system
		1.3 Creation and reinforcement of disaster prevention facilities
		1.4 Secure coastal buffer space
	2. Coastal spatial planning	2.1 Establishment of coastal sea area and erosion monitoring system
		2.2 Building offshore structure monitoring
		2.3 Promote maintenance and restoration of damaged coasts
		2.4 Port structure maintenance for erosion management
		2.5 Restoration of natural coasts (coastal forests, sand dunes, etc.)
		2.6 Creation of hydrophilic space

4.2 지속가능성 평가결과

재난재해분야는 4개 세부부문, 16개의 적응대책·기술로 구성되었으며, 평가결과는 다음 Fig. 3과 같다. 재난재해분야는 타 분야에 비해 지속가능성 평가점수가 상대적으로 높게 나타났으며, 최소 32점에서 최고 58점의 분포를 보이고, 대책·기술 간 점수 차이도 적은 편이다. 16개 과제 중 “재난통합관제체계”가 가장 높은 평가점수(58점/270점)를 획득했으며, “재해복구 및 구호물자관리체계(57점/270점)”, “위험성 분석 및 위험지도 작성(56점/270점)”의 순으로 점수가 높게 나타났다.

가장 높은 점수를 획득한 “재난통합관제체계”는 재난에 효과적으로 대응하기 위한 정부와 기관 간 소통과 협업을 통해 효율적인 지휘체계를 구축하는 대책이므로 타 과제들에 비해 거버넌스 점수가 높게 나타났다. 구체적으로 살펴보면, 이 대책은 거버넌스 부문에서는 26점(26점/36점)을 획득하였는데 “의사결정자에게 포괄적이고 다양한 정보제공”, “모니터링 및 환류(Feedback) 시스템 구축”, “정보에 대한 대중의 접근 보장 및 기본적 자유 보호”와 같은 정보의 수집과 접근성의 확대와 관련된 지속가능성 지표와 “효과적이고 책임감 있는 정부정책 및 제도 수립·이행”과 “효과적인 공공, 공공-민간 및 시민사회 간 파트너십 개발/권장” 등의 제도기반 마련에 매우 긍정적인 영향을 주는 것으로 판단되었다. “재난통합관제체계”는 사회부문에서는 20점을 획득하였으며, 기후변화와

회복력과 관련 있는 “기후변화/재난으로 인한 피해를 줄이고, 재해에 대한 회복 및 적응능력 강화”, “기후변화에 대한 조치계획, 국가 및 지방 정책 등에 반영”, “기후변화/재난관리 및 회복력 강화를 위한 인적·제도적 역량을 강화함” 등의 지표에서 매우 긍정적인 영향을 미치는 것으로 평가되었다. 11점을 획득한 경제부문에서는 “경제적 손실 절감효과”에서 매우 긍정적인 영향 점수를 받았으며, 생태부문의 영향력은 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

지자체가 보유하고 있는 정보를 토대로 지역 간 연계를 통한 재해지원 및 구조물자에 대한 효율적 배분을 위한 시스템인 “재해복구 및 구호물자 관리체계”와 재난피해 지역과 재난 위험도가 높은 지역에 대한 정보를 구축하고 제공함으로써 주민과 의사결정자들의 의사결정을 지원하는 “위험성 분석 및 위험지도 작성”도 사회부문과 거버넌스부문의 점수를 기반으로 높은 지속가능성 평가점수를 획득하였다. 지속가능성 측면의 평가는 대체로 비구조적 대책들이 높은 점수를 획득했으며, 각종 재난대비 시설에 대한 대책은 영향력의 범위가 작아 상대적으로 낮은 점수를 나타내었다. 종합적으로 재난재해분야는 대부분의 대책·기술에서 기후변화·재난관리 및 회복력 강화의 세부주제를 포함하고 있는 사회부문의 점수가 가장 높게 나타났으며, 경제부문과 생태부문의 점수는 대체로 높지 않은 반면, 순위에 결정적인 영향을 미친 부문은 거버넌스부문으로 나타났다.

4개 세부부문 19개의 적응대책·기술로 구성된 건강분

야는 대책·기술의 종합 지속가능성 점수가 18점에서 53점의 다양한 분포를 보이며, 공통적으로 사회 및 거버넌스 부문에서 대부분의 점수를 획득했다. 부문의 특성상 생태와 경제부문 점수의 비중이 다른 부문에 비해 매우 낮은 것으로 나타났다(Fig. 4 참고). 19개의 적응대책·기술 중 “기상이변 취약계층 지원체계”가 가장 높은 평가점수(53점/270점)를 획득하였고, “지역단위 건강취약계층 관리체계”가 다음으로 높은 점수(52점/270점)를 획득하였다.

가장 높은 점수를 획득한 “기상이변 취약계층 지원체계”는 90개의 지표 중 22개의 지표에서 점수를 획득하였으며, 취약계층의 건강관리 및 지원이라는 대책의 특성상 사회부문의 지속가능성에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 이 부문에서만 39점을 획득하였다. 구체적으로 “빈곤층과 취약계층 사회기초서비스 제공 강화”, “빈곤층과 취약계층의 경제·사회·환경적 충격 및 재난에 대한 노출을 감소, 회복력 감소”, “만성질환의 위험요인 관리 및 건강

보장 확대”, “산모/유아/어린이 건강 보호 및 증진”, “노인 건강 보호 및 증진”, “공공보건요서비스 확대를 통한 의료보장” 등의 사회안전망 구축 관련 지표, “기후변화/재난으로 인한 피해를 줄이고, 재해에 대한 회복 및 적응능력 강화”, “기후변화에 대한 조치계획, 국가 및 지방 정책에 반영”, “기후변화/재난관리 및 회복력 강화를 위한 인적·제도적 역량을 강화함” 등의 기후변화 관련 지표, “모든 사람에 대한 공정한 기회 제공을 통한 사회·경제·정치적 포용성 확대”, “재정정책, 임금정책, 사회보호정책 강화를 통한 더 높은 수준의 평등 달성” 등의 형평성 증대 관련 지표에 매우 긍정적인 영향을 미치는 것으로 평가되었다. “기상이변 취약계층 지원체계” 대책은 거버넌스 부문에서는 14점을 획득하였는데 “효과적이고 책임감 있는 정부정책 및 제도 수립·이행”, “형평성을 위한 제도적 기반 마련” 지표에서 매우 긍정적인 영향을 미치는 것으로 평가되었다.

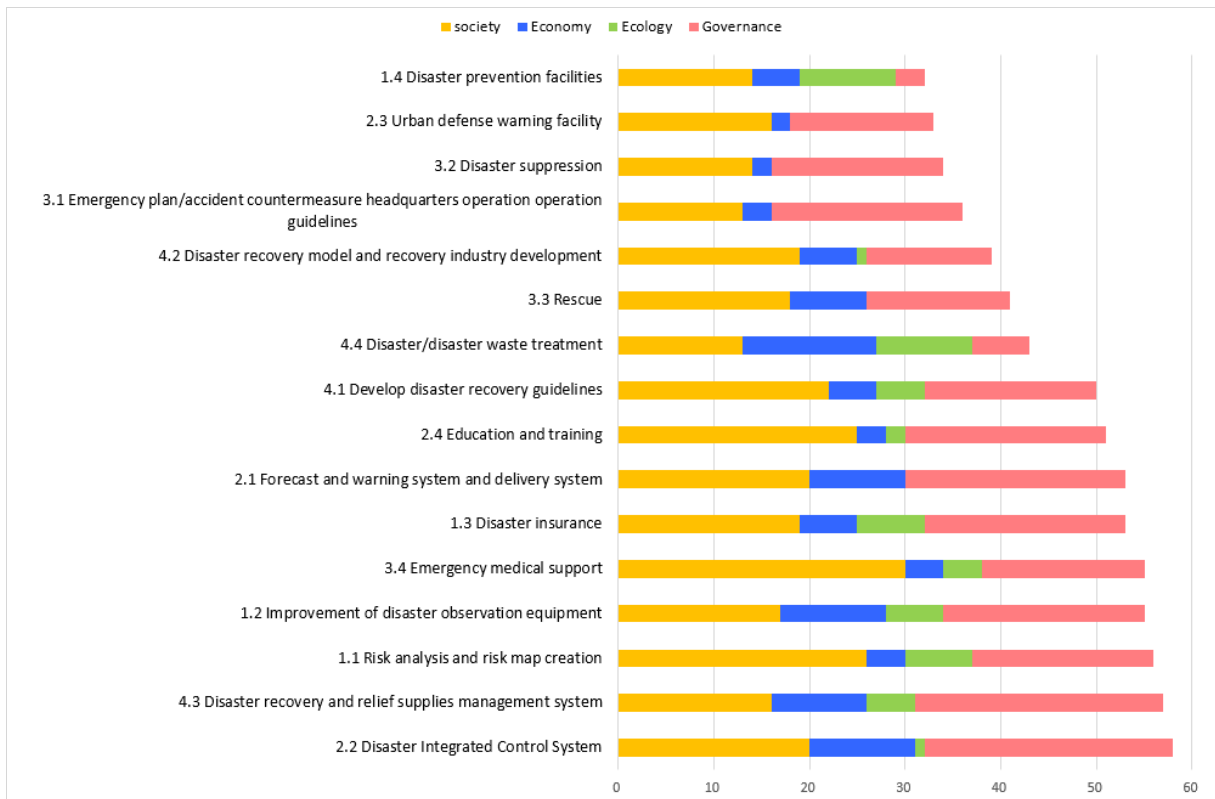


Fig. 3. Sustainability evaluation result of disaster and hazard



Fig. 4. Sustainability evaluation result of health

두 번째 높은 점수를 얻은 “지역단위 건강취약계층 관리체계” 역시 건강취약계층 관리 및 지원이라는 대책의 특성상 사회부문의 건강한 삶 보장, 기후변화/재난재해 및 회복력 강화, 불평등 해소의 여러 세부부문에서 높은 점수를 획득하였고, 형평성 있는 사회 구축을 위한 제도적 기반이 강조되어 거버넌스부문에서도 상대적으로 좋은 평가를 받았다.

최근 기후변화로 심화되는 폭염 및 한파에 의한 건강피해 현황을 모니터링하는 “온열·한랭질환 감시체계”와 다양한 건강영향 관련된 정보를 시민들에게 알리고 교육하는 “건강영향예방 행동요령 홍보 및 교육”도 지속가능성 평가에서 높은 점수를 획득하였다. 건강부문에서는 취약계층관리 및 다양한 시민들을 대상으로 수행되는 대책들이 상대적으로 높은 지속가능성 점수를 획득한 반면, “미세먼지 고농도시 저감대책” 또는 “도로분진청소처럼 특정 발생원에 대한 영향 저감대책”은 상대적으로 영향 범위가 적어 낮은 점수를 획득하였다.

국토분야는 2개 세부부문, 7개의 적응대책·기술로 구성되어 있으며, Fig. 5에서 보여주듯 지속가능성 평가점수는 22점에서 50점까지 다양하게 분포되어 있다. 7개 대책·기

술 가운데 “녹색건축확대(50점/270점)”와 “기후변화 적응형 도시재생추진(48점/270점)”, “기후변화 적응형 계획 수립(40점/270점)”이 상위 평가점수를 획득하였다.

“녹색건축확대”는 최근 국가적으로 추진되고 있는 그린뉴딜의 대표과제 중 하나로 저탄소 녹색건축을 통해 지역의 에너지 자립률을 높이고 온실가스 배출량을 줄이기 위한 대책이다. 이 대책은 사회부문에서 19점, 경제부문에서 10점, 생태부문에서 9점, 거버넌스부문에서 12점을 획득하여 다른 대책에 비해 전 부문에 걸쳐 긍정적 영향을 미칠 것으로 판단되었다. “녹색건축확대”는 사회부문의 “도시의 부정적인 환경영향감소(대기질 및 폐기물 관리)”, “기후변화/재난으로 인한 피해를 줄이고, 재해에 대한 회복 및 적응 능력 강화”, “기후변화 완화, 적응, 영향 감소, 조기 경보 등에 관한 교육, 인식제고”, “기후변화/재난관리 및 회복력 강화를 위한 인적·제도적 역량을 강화함”, “지구 온도 상승을 산업화 이전 수준에 비해 2℃보다 아래로 유지하고, 나아가 온도 상승을 1.5℃까지 제한하도록 노력함” 등의 기후변화 대응과 회복력 구축 관련 지표에 매우 긍정적인 영향을 미칠 것으로 평가되었다. 이 정책은 타 정책과 비교하면 경제부문의 효과도 클 것으로 예

상되어, “경제성장도모”, “좋은 일자리 창출 및 고용을 증가”의 지표에서 긍정적인 영향(2점)을 미치는 것으로 평가되었고, 친환경 에너지 생산 및 소비와 연계된 “자원의 효율적 활용을 통한 환경친화적 경제성장 추구”, “산업의 다양성을 추구 및 지속가능한 활동의 기반마련을 통한 산업 경쟁력 확보”, “기술 혁신을 통한 환경친화적 산업활동 추구”, “청정에너지 발전 증대”, “에너지 절약 및 효율 향상”등의 지표에도 약한 긍정적인 영향(1점) 점수를 획득하였다.

“기후변화 적응형 도시재생추진”은 도시쇠퇴에 대응하는 도시재생에 기후변화, 재난재해, 에너지 취약성 등을 종합적으로 고려하는 대책으로 도시계획에 기후변화 적응을 통합적으로 고려하는 정책특성이 반영되어 사회부문과 거버넌스 부문에서 높은 점수를 획득하였다. “기후변화적응형 계획수립”은 다양한 계획 및 정책이 기후변화 적응요소를 반영하여, 기후변화로 인한 피해를 줄이고 적응의 주류화를 실현하기 위한 대책이다. 국가 및 지자체

의 도시계획 및 다양한 개발계획에 적응을 반영하도록 하는 정책의 특성상 지속가능성 실현을 위한 정책 및 제도기반 마련에 관한 지표들을 포함하고 있는 거버넌스부문에서 높은 점수를 획득하였다. 이에 반해 “교통안전에 직접 영향을 미치는 요소관리”, “폭설영향 도로기능저하 관리체계” 등 특정시설에 대한 물리적 대책은 영향력의 범위가 상대적으로 적어 지속가능성 평가점수가 낮게 도출되었다.

2개 세부 부문, 10개 적응대책·기술을 포함한 연안분야는 최저 16점에서 최고 40점의 지속가능성 평가결과가 나타나 타 분야와 비교하여 상대적으로 낮은 점수대를 보였다(Fig. 6 참고). 10개 적응대책·기술 중 “자연해안(해안림, 사구 등) 복원(40점/ 270점)”은 가장 높은 지속가능성 점수를 나타냈으며, “훼손 연안 정비 및 복구추진(33점/270점)”, “연안해역 침식 모니터링 체계 구축(30점/270점)”도 높은 점수를 획득하였다.

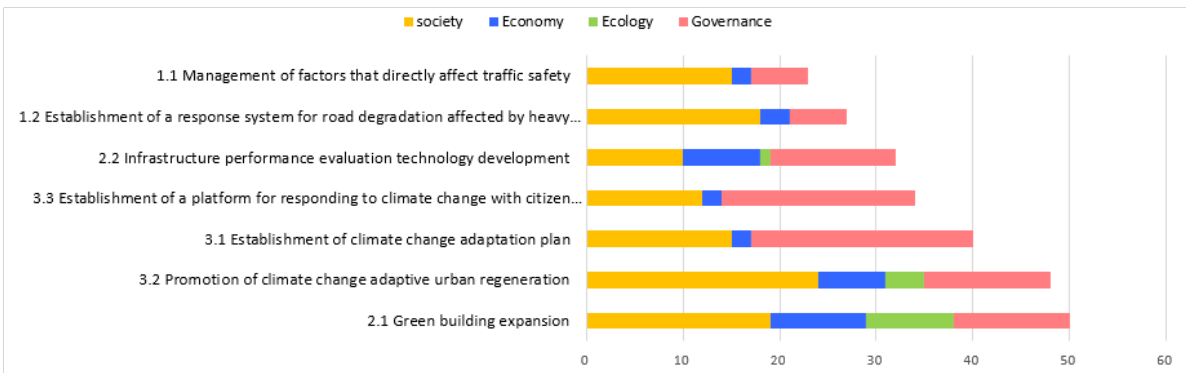


Fig. 5. Sustainability evaluation result of land and infrastructure

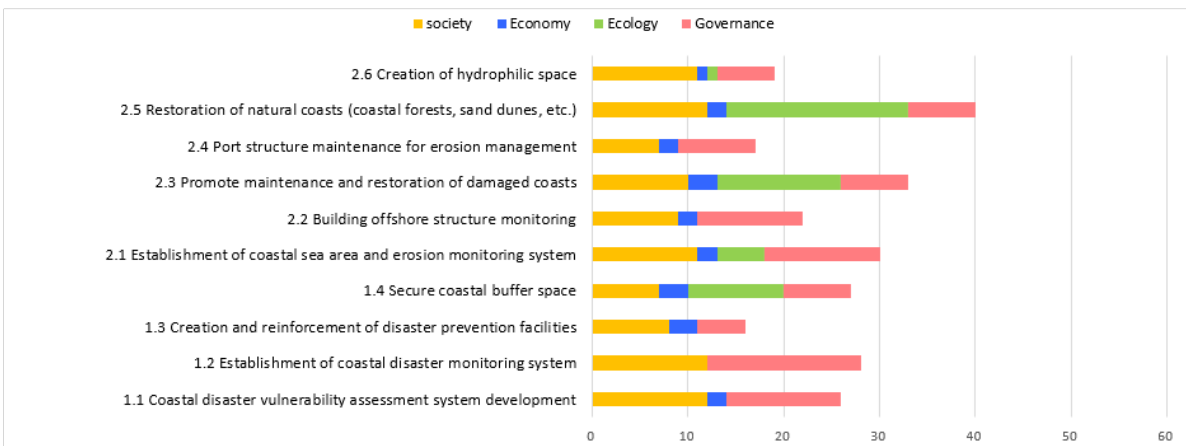


Fig. 6. Sustainability evaluation result of coast

가장 높은 순위를 나타낸 “자연해안(해안림, 사구 등) 복원”은 대표적인 친환경 연안관리 대책으로 해안림, 해안사구 복원을 통해 재난 발생 시 완충 역할을 해 피해를 줄이고, 해안 생태계 복원, 자연경관 개선 등 생태적 측면에서 긍정적 영향이 커 평가대상이 된 모든 정책 중 가장 높은 생태부문 지속가능성 점수(19점)를 획득하였다. 특히, 생태계 보전과 관련된 “해양환경 보전을 위한 오염물질(육상/해양) 관리체계 구축”과 “바다의 생태환경 및 수산자원의 서식처 관리”와 생물 다양성 유지를 위한 지표인 “멸종 위기종 및 보호종의 보호를 통한 생물다양성 손실 예방” 측면에서 매우 긍정적인 영향을 미칠 것으로 평가되었다. 12점을 획득한 사회부문에서는 다른 대책들과 유사하게 기후변화 및 재난관리, 회복력 강화와 관련된 지표에서 매우 긍정적인 영향점수를 획득했으며, 추가적으로 “공공 녹지공간의 확보와 안전하고 용이한 접근 보장”에도 긍정적인 영향점수를 획득하였다.

“훼손 연안 정비 및 복구추진”은 연안정비사업을 통하여 훼손 연안환경 및 연안생태계를 보전하기 위한 과제로 사회부문과 생태부문의 점수가 높게 나타났다. “연안해역 및 침식 모니터링 체계 구축” 대책은 장기적인 연안 침식의 현황과 특성에 대한 자료를 수집·분석하여 대책 마련에 활용할 수 있으므로 정보의 수집 및 접근성 확대의 측면을 포함한 거버넌스부문에서 상대적으로 좋은 평가를 받았다. 이해 반해 가장 일반적으로 채택되는 “방재시설 조성 및 보강”, “침식관리를 위한 항만구조물 정비” 등의 대책·기술은 지속가능성 평가에서는 영향을 미치는 범위가 한정되어 평가점수가 상대적으로 낮게 나타났다.

적응대책·기술의 지속가능성 평가결과의 신뢰성을 살펴보기 위해 Cronbach's Alpha를 활용하여 신뢰성 분석을 실시하였다. 전체 분석결과의 Cronbach's Alpha는 0.78로 전반적으로 신뢰할 수 있는 수준으로 판단되며, 분야별로 살펴보면 재난재해분야는 0.81, 건강분야는 0.74, 국토분야는 0.81, 연안분야는 0.70으로 나타났다. 네 분야 모두 0.7 이상으로 평가결과는 신뢰할 수 있는 수준으로 평가되었다.

5. 결론 및 시사점

본 연구는 기후변화 적응대책·기술의 평가에 지속가능성이라는 가치를 포함할 수 있는 방안을 마련하는 것을 주요 연구목적으로 한다. 선행연구, 전문가 설문조사 등을 기반으로 기후변화 적응과 연계성이 있는 지속가능성 평

가지표를 4개 부문(사회, 경제, 생태, 거버넌스), 21개 세부주제, 90개의 지표로 구성하여 도출하였다. 도출된 평가지표를 기반으로 의사결정지원에 쉽게 활용될 수 있도록 엑셀기반의 프로그램 툴로 구현하였다. 구현된 툴은 적응대책·기술의 추가, 삭제가 용이하며, 평가지표 및 가중치를 선택가능하고, 평가결과를 다이어그램, 표 등을 통해 가시적으로 살펴볼 수 있도록 구축하였다.

본 연구는 지속가능성이라는 질적 개념에 대한 평가지표를 선정하여 정량적으로 평가하는 준-정량적 평가(Semi-Quantitative Assessment) 방식을 활용하였다. 이를 통해 적응대책·기술들의 지속가능성에 대한 영향을 정량화하고, 정량화된 결과를 제시함으로써 의사결정자들이 쉽게 이해하고, 정책의 우선순위를 결정하는데 중요한 정보를 제공할 수 있도록 하였다. 또한, 지속가능성을 구성하는 모든 요소를 고려하여 평가지표를 선정함으로써 기존의 적응대책 기술이 고려하지 못했던 부분을 최대한 포함하려고 노력하였다.

개발된 툴은 주요 기후변화 적응대책·기술에 적용하여 시범평가를 실시하였다. 평가결과, 분야별, 적응대책·기술별 평가점수의 편차가 컸으며, 재난·재해분야 적응대책·기술들의 지속가능성 평가점수가 타 분야보다 상대적으로 높게 나타났다. 대부분의 적응대책·기술들은 사회부문에서 점수가 높게 나타났으며, 경제부문, 생태부문의 평가결과가 과제 간의 점수 차이에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

분야별로 살펴보면 재난재해 분야에서는 “재난통합관제체계”, 건강분야에서는 “기상이변 취약계층 지원체계”, 국토분야에서는 “녹색건축확대”, 연안분야에서는 “자연해안(해안림, 사구 등) 복원” 적응대책·기술이 높은 순위로 나타났다. 지속가능성 평가점수가 높은 대책·기술들의 공통된 특징은 사회부문과 거버넌스부문에서 높은 점수를 획득했을 뿐 아니라 다른 대책·기술에 비해 환경, 경제부문까지 다양하게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이에 반해 특정한 재난에 초점을 맞추고 있거나, 사회적, 경제적, 환경적 영향의 범위가 상대적으로 좁은 시설중심의 적응대책·기술들은 낮은 순위를 보였다. 적응대책·기술의 지속가능성 평가는 피해저감효과, 시급성, 설치 및 관리비용 등에 초점을 맞춘 기존의 우선순위평가를 보완하여 기후변화적응을 통해 지속가능한 사회로 발전하는데 기여할 수 있는 대책들을 발굴하는데 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에서 개발하여 적용한 지속가능성 평가는 지속가능성을 구성하는 세부부문별로 평가결과를 확인할 수

있다. 예를 들어 사회부문의 점수가 높은 적응대책·기술은 사회의 안전과 통합에 기여하며, 사회의 형평성에 긍정적으로 영향을 미칠 수 있는 정책을 의미하며, 경제부문 점수가 높은 대책·기술은 좋은 일자리 확대, 지속가능한 소비 등 국가 및 지역의 경제 변영에 긍정적 영향을 미치는 것으로 이해할 수 있다. 생태부문의 점수가 높은 적응대책·기술은 폐기물 및 오염물질관리, 생태계 다양성, 건강한 생태환경, 온실가스 배출저감 등 생태분야에 기여할 수 있는 과제들이며, 거버넌스점수가 높은 적응대책·기술은 정보에 대한 접근성, 정책참여의 확대, 정책의 투명성 등 지속가능한 제도 마련 및 참여확대에 긍정적 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다.

본 연구는 기후변화 적응대책·기술에 관한 의사결정에 있어 지속가능성을 평가할 수 있는 틀을 제공했다는 점에서 의미가 있지만, 다음의 한계점을 포함한다. 우선, 적응대책·기술의 지속가능성 평가는 기존에 사용해왔던 우선순위 평가기법이 고려하지 못한 부분을 평가할 수 있는 보완적 측면의 성격이 강해, 지자체 또는 의사결정자의 의지에 따라 반영성이 결정될 수 있다는 한계가 있다. 그러나, 지자체에서 활용하게 된다면 지역의 사회·경제적 특성 및 지속가능성과 관련된 정책목표에 알맞은 이행과제를 우선적으로 도출할 수 있는 장점이 있다. 둘째, 평가지표, 가중치의 선정, 평가점수 산정 방식 등이 대책을 수립하는 기관과 평가자의 주관적 결정에 따라 달라질 수 있다. 이러한 부분은 평가의 유연성 측면에서 장점일 수 있으나, 지자체 또는 평가 주체의 의지, 지식, 정보 등에 따라 평가결과가 달라질 수 있는 한계점을 동시에 내포하고 있다. 마지막으로 본 연구의 지속가능성 평가방법에서 활용하고 있는 평가지표는 기본적으로 동일한 중요도를 가지는 것을 가정하고 있다. 그러나, 지속가능성을 달성하는 것에 있어 핵심적이며, 선행되어야 하는 핵심지표가 존재하며, 핵심지표는 평가주체가 되는 대상에 따라 달리 적용될 수 있으므로, 세부주제별 핵심지표 선정에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 추후 연구를 통해 적응대책·기술의 평가범위를 확대하고, 실제 계획과정에 반영하여 기후변화 적응이 지속가능한 발전에 더욱 기여할 수 있도록 노력할 필요가 있겠다.

사사

이 논문은 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업과 환경부 「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Ahn SH, Ki JH, Yun SJ. 2017. The Use of Indicators for Evaluating Urban Sustainability: A Comparative Analysis of Korean and International Major Cities. *Space&Environment* 62(0): 183-217.
- Berke PR, 1994. Evaluating environmental plan quality: the case of planning for sustainable development in New Zealand. *Journal of environmental planning and management* 37(2): 155-169.
- Brody SD. 2003. implementing the principles of ecosystem management through local land use planning. *Population and Environment* 24(6): 511-540.
- Burby RJ, Dalton LC. 1994. Plan can matter! The role of land use plans and state planning mandates in limiting the development of hazardous areas. *Planning Administration Review* 54(3): 229-238.
- Chae YR, Jo HJ. 2013. Analysis of Methodologies for Prioritizing Climate Change Adaptation Measures. *Journal of Environmental Policy and Administration* 12(4): 23-44
- Chae YR. 2012. Development of integrated climate change vulnerability assessment framework considering socio-economic scenarios. Korea Environment Institute.
- Cho HG, Kim JD, Lee YD, Shin YS, Kim GH. 2015. Assessment Model on Building Sustainability Using Multi-Criteria Decision Making Methodology. *The Korean Society of Science & Art* 19: 635-645.
- Hyun JH, Kim JY, Yoon SH, Park CY, Jung HC, Jung TY, Lee DK. 2019. A Decision-making Support Strategy to Strengthen Korea's Local Adaptation Planning toward a Pathways Approach. *Journal of Climate Change Research*, 10(2): 89-102.
- IDFF. 2016. Sustainable development analysis grid-system. UQAC.
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and
- Jeong HS, Jeon DU. 2005. An Integrated

- Ecological-Economic System Dynamics Model Analysis on the Ecosystem Restoration Policy : The Case of King Crabs in Korea. *Journal of Korea Planning Association* 40(7): 165-184.
- Kang JE. 2012. An assessment of flood mitigation policies integrated in local comprehensive plans. *Journal of Environmental Policy and Administration* 11(4): 59-84.
- Kang JE, Hyun KH, Park JB. 2014. Assessment of Low Impact Development (LID) Integrated in Local Comprehensive Plans for Improving Urban Water Cycle. *Journal of The Korean Society of Civil Engineers* 34(5): 1625-1638.
- Kang JE, Peacock WG, Husein R. 2010. An assessment of coastal zone hazard mitigation plans in Texas. *Journal of Disaster Research* 5(5): 526-534.
- Kang YG, Ahn YJ, Park CS. 2016. Analysis of the Importance of Climate Change Adaptation Strategies and Systematization. *Journal of Environmental Policy and Administration* 24(1): 243-262.
- Kim CS. 2017. An Analysis on the Sustainability of Water Use Charge System around Nakdong River Basin. *The Korean Journal of Local Government Studies* 21(3): 409-428.
- Kim CS. 2013. An Evaluation on the Sustainability of the 4 Major Rivers Restoration Project. *The Korean Journal of Local Government Studies* 17(1): 319-324.
- Kim DS, Park HJ, Byun CU, Lee WB. 2011. Regional development index analysis and policy implications .Korea Institute for Industrial Economics and Trade.
- Kim HW, Tran T. 2018. an evaluation of local comprehensive plans toward sustainable green infrastructure in US, *sustainability* 10:4143.
- Kim JH, Koh JK. 2012. A Study on Local Public Officials Perception on Climate Change Adaptation: the case of Gyeonggi-Do. *GRI REVIEW* 14(1): 319-343.
- Kim SW, Kim JY, Kim HJ. 2016. Improvement of the Current Evaluation System of Sustainability and Infrastructure for Citizen' well-Bing. The Seoul Institute.
- Lee CG. 2013. A Study on ex-ante Sustainability Assessment of Urban Regeneration Plans, Focused on the Application of Multi-Criteria Decision Analysis(MCDA) Methods. [dissertation], Inha University.
- Lee JH, Lee HY. 2012. A Study on the Development of the Indicator Sets for Evaluating the Sustainable Eco-tourism and Its Application. *Journal of the Korean Geographical Society* 47(6): 853-869.
- Lee SH, Kang JE, Park CS, Yoon DK, Yoon SY. 2020. Multi-risk assessment of heat waves under intensifying climate change using Bayesian Networks. *INTERNATIONAL JOURNAL OF DISASTER RISK REDUCTION* 50: 1-29.
- Lee SH, kang JE. 2018. Urban Flood Vulnerability and Risk Assessments for Applying to Urban Planning. *Journal of Korea Planning Association* 53(5): 185-206
- Min SH, Bea IS, Im JY. 2016. Improvement plan for urban and county basic planning method seen as an example of national land planning evaluation. *KRIHS POLICY BRIEF* 553: 1-8.
- Ministry concerned. 2016. The Third Basic Plan for Sustainable Development.
- Moon SH, Jung GH, Jin SH. 2000. A Study on the Environmental Policy Evaluation Model from a Sustainability Perspective - A Case Study of Disposable Products Management Policy and Paldang Lake Management Policy. *Kyobo Education and Culture Conference* 3: 215-276.
- Moon SK, Yu BD. Articles : Development and Adaption of Sustainability Evaluation Indicators for Chungcheongbuk-Do Province -Adopting Quantitative & Qualitive Indicators-. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 19(1): 85-100.
- National Sustainable Development Portal; [accessed 2020 September 25]. <http://ncsd.go.kr/>
- Ock GY. 2013. Trends of Overseas Studies on Sediment Replenishment below Reservoir Dams. *Journal of the Environment* 10(1): 41-48.
- Oh YS, Jin SH. 2020. A Study Evaluating the Sustainability of the Local Agenda 21 System in Metropolitan Cities. *The Korean Society of Climate*

- Change Research 11(2): 77-93.
- Regional development index analysis and policy implications .Korea Institute for Industrial Economics and Trade.
- The World Commission on Environment and Development. 1987. Our common future. Oxford, Oxford University Press.
- Song JY, Yim SH. 2015. Theoretical Exploration of Social Sustainability for the Qualitative Development of Cities. Journal of the Korean Geographical Society 50(6): 677-694.
- Yoo K. 2011. An Empirical Analysis of the Validity and Reliability of Evaluation Measures for the Self-Assessment of Budgetary Programs in Korea. Korean Journal of Policy Analysis and Evaluation 21(1): 1-26.
- Yu JM, Yun SJ. 2015. A Comparative Study on the Institutionalization of Climate Change Adaptation Policies and their Governance Structure of London and New York City. Journal of Social Science 26(3): 217-247.