

계획수립 사용자 중심의 기후적응 의사결정지원 시스템

현정희* · 김지연* · 이동근**† · 허주영*** · 배채영* · 정휘철**** · 정태용***** · 차동호*****

*서울대학교 협동과정 조경학 박사과정, **서울대학교 조경·지역시스템공학부 교수, ***서울대학교 농생명과학연구원, ****한국환경정책·평가연구원 선임연구원, *****연세대학교 국제대학원 교수, *****네이버시스템(주) 책임연구원

A User-centered Decision Support System for Climate Change Adaptation Planning

Hyun, Jung Hee* · Kim, Ji Yeon* · Lee, Dong Kun**† · Huh, Ju Young*** · Bae, Chae Young* · Jung, Huicheul**** · Jung, Tae Yong***** and Cha, Dong Ho*****

*PhD. Student, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University, Seoul, Korea
**Professor, Dept. of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea
***Researcher, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea
****Senior Research Fellow, Korea Environment Institute, Sejong, Korea
*****Professor, Graduate School of International Studies, Yonsei University, Seoul, Korea
*****Senior Researcher, Neighbor System

ABSTRACT

The extent to which climate information is used to support decision-making remains unclear for various adaptation planning contexts. Recent research efforts have sought to better understand the needs and requirements of users to better format climate information to relevant parameters. This study examines the development of practice-driven climate change services in South Korea's adaptation planning based on self-reviews and interviews. A review of current research trends confirmed the need for integrated, flexible, collaborative, and decision-driven climate services. Combining the two findings, we outline and describe the resulting climate change adaptation planning decision support system (ADAPT-Ko) made available for South Korea's adaptation planners.

Key words: Adaptation Planning, Decision-support, Climate Services, Science-policy, Policy Support Tools

1. 서론

기후변화로 인한 영향이 광범위한 영역에서 복잡하게 나타나고, 미래 시나리오를 적용하는 과정에서의 불확실성이 존재함에 따라 수많은 과학적 모델이 만들어졌으며, 동시에 기후과학의 정보 접근성은 매우 낮아지게 되었다 (Dilling and Lemos, 2011; Lemos et al., 2012; Jones et al., 2015). 이러한 과학적 정보를 계획 수립 및 정책 결정

과정에서 활용할 수 있도록 지금까지 기후정보 제공이라는 측면에서 많은 시도가 이루어졌다(Clar and Steurer, 2018). 하지만 기후정보의 정확성과 신뢰도가 높아지고 있음에도 불구하고, 이들이 더 나은 정보전달로 이어지지 않는 것은, 이는 과학자가 생산하는 기후정보와 실제 요구되는 높은 질의 기후서비스 사이에 격차가 있다는 것을 시사한다. 기후서비스(Climate Services)란, 의사결정을 위한 기후정보가 제공되며 사용자의 요구를 만족할 수 있어야

†Corresponding author : dklee7@snu.ac.kr, (08826, Room 9211, Bldg. 200, Gwanak-ro 1, Gwanak-Gu, Seoul, Republic of Korea. Tel. +82-2-880-4875)

ORCID
현정희 0000-0001-6960-9277
김지연 0000-0003-4566-4794
이동근 0000-0001-7678-2203
허주영 0000-0001-7700-5887

배채영 0000-0001-5790-800X
정휘철 0000-0002-1908-342X
정태용 0000-0002-3953-0725
차동호 0000-0003-0378-1706

하고, 이를 위해서는 편리하면서도 해당 지역에 맞춘 정보를 공동 생산 및 공급하여야 한다. 마지막으로 기후정보서비스는 과학 기반의 기후정보 활용 가이드라인을 포함할 수 있다(Bessembinder et al., 2019; Williams et al., 2020). 과학의 기술적 진보에 따라 이 격차는 기후서비스 개념 초기부터 존재했지만, 과학이 어떻게 전달·사용되는지와 더욱 밀접한 관련이 있다(Bremer et al., 2019). 현재까지도 대부분은 정보 제공자의 관점에서의 전문가 지식 공급에 초점이 맞춰져 있어(van Stigt et al., 2015) 실제 사용자가 이러한 정보를 어떻게 인식하는지, 혹은 사용자 요구가 어느 정도로 반영되고 있는지, 그리고 실제로 적응대책 수립에 얼마나 효과적인지에 대해서는 조사되지 않았다(Clar and Steurer, 2018).

우리나라의 경우에도 적응계획 수립과정이 진행되고 발달함에 따라 다양한 형태의 기후정보서비스가 제공되었는데, 적응대책 수립·발전 과정에서 계획 수립의 절차를 제시하고 있는 환경부의 적응대책 수립 가이드라인(MOE, 2017)을 바탕으로, 그 외 지원 도구를 활용하여 실제 계획 수립이 이루어지고 있다. 우리나라의 기후변화 적응대책은 ‘저탄소녹색성장기본법’ 제48조 및 동법 시행령 제38조에 따른 법정계획으로, 각 지자체는 5년 단위의 기후변화 적응대책 수립을 의무적으로 수행해야 한다(MOE, 2014; Hyun et al., 2019). 2012년 이후 현재까지 광역은 2차 계획까지 수립·시행 및 3차 대책수립을 준비 중이며 기초는 2차 대책을 마무리하고 이행하는 단계에 있다(MOE, 2020). 정부는 국가기후변화적응센터를 통해 광역·기초지자체를 대상으로 역량 강화 교육 및 컨설팅 등의 지원과 동시에(Lim et al., 2016), 기후적응계획 수립의 과학적 근거가 될 수 있도록 다양한 과학적 정보를 여러 도구의 형태로 제공하고 있다. 이들 지원 도구는 국가기후변화 적응포털과 기상청에서 제공하는 기후시나리오 자료, 웹사이트 기반의 영향·취약성 평가도구, 수립지침 가이드라인 이외에 적응 및 계획 수립과 관련된 기초 자료부터 정책·연구 동향을 종합하는 국가기후변화정보포털 플랫폼 등의 형태로도 제공되며, 각 지자체는 적응계획의 수립 단계에서 이들을 활용하고 있다(Hyun et al., 2019). 하지만 아직 기후정보와 의사결정지원 도구들은 파편화되어 제공되고 있어 의사결정자의 요구에 맞는 통합적 의사결정지원 시스템 및 맞춤형 기후서비스가 필요하다.

의사결정지원 시스템 사용자의 니즈를 파악하기 위해, 본 연구에서는 적응계획 수립 지원방식에 대한 이론과 국외 사례 검토를 하고 국내의 기후서비스 수요를 파악하고

자 1차 수립계획의 이행평가 의견과 계획 수립 실무진에 대한 인터뷰를 진행하였다(Fig. 1). 이를 바탕으로 국내의 관련된 사용자가 필요로 하는 정보와 지원 도구 등이 무엇인지 정리하고, 실제 적응계획 수립과정에서 효과적으로 활용될 수 있는 의사결정지원 시스템의 형태를 제시한다.



Fig. 1. Visual representation of research methodology

2. 적응계획 수립 지원방식에 대한 이론적 검토

기후서비스의 이용에 있어 관련 정책과 수립의무가 주요하게 작용하는 것으로 나타났다. 정책은 미래의 기후 조건이 일상적인 업무에 통합될 수 있도록 하며, 이는 필연적으로 현재 프로세스 상태를 변화시킨다(Tart et al., 2020). 한국의 경우 각 지자체에 적응계획 수립의무가 부여되어 있는데, 이는 기후서비스에 대한 수요가 특히 높고, 이를 기후변화 적응에 적극적으로 활용하고자 한다는 측면에서 중요하다. 기후서비스 분야는 기후정보와 의사결정지원 도구의 개선이 항상 효과적인 적응으로 이어지지 않는다는 점에 대응하기 위해 생겨났다. 기후서비스는 사용할 수 있는(usable) 유용한(useful) 정보가 맞춤형으로 적시에 제공되어, 적응 가능성을 높이는 데 사용될 수 있음을 인식하는 것이다(Vincent et al., 2018). 기후서비스는 사용자 니즈, 역량과 의사결정 프레임워크를 충족시켜야 한다(Vaughan and Dessai, 2014). 기후서비스는 다양한 전제조건과 지역 특성, 관련 이해관계자의 존재로 인하여 범용으로 적용될 수 없고, 이를 목표로 만들어져서는 안 된다(Cotekar et al., 2016).

시스템으로 제공되는 기후서비스의 경우에는 협업(collaborative)을 유도하는 유연한(flexible) 사용자 인터페이스

이스(User Interface; UI)가 바탕이 되어야 하고, 시스템에 표출되는 정보와 의사결정 지원 내용은 과학적 근거를 바탕으로 한 결정 기반(decision-driven) 맞춤형 정보로 제공되어야 한다. 기후변화 적응계획을 다루고 식별하기 위해 개발된 기후서비스는, 의사결정 맥락과 기후서비스가 처리할 수 있는 특정한 결정에 대해 이해해야 한다. 또한, 서로 다른 필요와 지식 배경을 가진 사람들 간의 협업 프로세스를 장려하고 중재할 수 있어야 한다. 마지막으로 지속적인 지식 교환, 모니터링 및 학습을 통해 유연성을 확보해야 하며, 이는 제품 및 서비스 프로세스를 개선하고 업데이트하는 데 활용될 수 있다(Vincent et al., 2018). 본 장에서는 시스템에서 제공되는 기후서비스가 의사결정을 위한 맞춤형 정보로 제공될 수 있도록 이론적 배경과 해외 사례를 검토하였다.

2.1 결정을 위한(decision-driven) 기후서비스

IPCC에서 제시하는 효과적인 의사결정 지원의 공통 원칙은 과학이 아닌 사용자의 니즈(needs)가 바탕이 되어, 사용자와 연구원 간의 논의를 통해 규명될 수 있다는 점이다 (IPCC, 2014). Bessembinder et al. (2019)가 유럽의 시스템 사례를 검토한 결과(Table 1), 기후서비스의 특성을

구별할 수 있는 항목은: 1) 부문별 구분 여부, 2) 지역 또는 지자체화, 3) 기후변화 영향 정보 제공 4) 사용자의 사전지식 고려 여부, 5) 시간적 고려, 6) 정보의 격자화 등으로 분류할 수 있었다. 많은 사용자가 특정 위치, 지역 또는 국가에 대한 정보를 필요로 하기 때문에 지리 정보를 사용하는 것도 유용할 수 있다.

Table 1은 시스템에서 다양한 요인 고려 여부를 "√"로 표시하여 정리하였다. 예를 들어 전문가 사용자를 대상으로 하는 웹 사이트는 "배경 지식"에서는 "√"가 표시되어 있지 않지만, 전문가 사용자를 위한 세부 정보와 기본 사용자를 위한 요약 정보가 있는 웹 사이트는 "√"로 표시되어 있다. 기후서비스를 특정화할 수 있는 요인들은 사용자 중심적(기후정보에 대한 배경 지식이 제한된 사용자를 포함하여 사용자가 필요한 데이터 또는 정보를 쉽게 찾을 수 있도록 하는 방법, 예를 들어 기후 영향지도) 또는 공급자 중심적(사용 가능한 정보 및 데이터 세트의 제공을 더 잘 구성하는 방법)일 수 있다. 표에서 볼 수 있듯이 공급자 중심적인 기후서비스 유형은 부문을 고려한 지역 특성을 반영하는 영향평가자료이며, 사용자가 필요한 데이터는 의사결정을 위해 사전지식 이해도를 고려한 시계열, 격자 단위 또는 행정구역별 정보이다. 유럽에서 다양한 기후서비스를 제공하고 있음에도 불구하고 여전히 의사결정지원을

Table 1. Examples of European portals differentiated according to service factors

Project or platform	Website	Factors differentiating climate services					
		Sector	Region	Impact	Background knowledge	Time horizon	Down-scaling
Clim4Energy	c4e-visu.ipsl.upmc.fr/		√	√		√	
C3S CDS	cds.climate.copernicus.eu/	√	√		√	√	√
EdGE	edge.climate.copernicus.eu/		√	√		√	
GLORIOUS	climate.copernicus.eu/global-climate-impacts	√	√	√		√	√
SWICCA	swicca.eu/		√	√		√	√
UERRA	www.uerra.eu/					√	
WISC	wisc.climate.copernicus.eu/		√			√	
Climate-Adapt	climate-adapt.eea.europa.eu/	√	√	√			
Climate data factory	theclimatedatafactory.com/		√				√
Climate Explorer	climexp.knmi.nl/		√			√	√
Climate Impact Atlas	www.klimaateffectatlas.nl/		√	√		√	√
Climate-KIC	www.climate-kic.org/	√	√				
DWD climate data center	cdc.dwd.de/portal/		√			√	√
ECA&D	www.ecad.eu/		√			√	√
EEA data center	www.eea.europa.eu/themes/climate/dc	√	√	√			√

(Source: Adapted from Bessembinder et al. (2019))

위한 정보와 서비스는 부족한 것으로 확인된다(Bessembinder et al., 2019). 예를 들어, 부문에 기반한 정보 유형화를 엄격하게 따르는 경우 사용자가 필요한 서비스가 충분하지 않을 수 있다. 정보나 제품을 찾기 위해 부문 내의 세세부 정보가 필요하다. 적응계획을 지원하기 위해서는 사용자 니즈의 파악과 과학기술발전에 따른 기후정보의 상시적인 업데이트로 가장 정확한 기후서비스 제공이 되어야 한다.

2.2 사용자 요구(user needs)를 반영한 기후정보

Visser et al. (2020)은 기후정보의 복잡성과 지역 상황에 따라 현재 및 잠재적 기후서비스를 분류하는 프레임워크를 제시한다(Fig. 2). 제시되는 프레임워크는 정보의

과학적 복잡성과 사용자가 고려하는 공간 범위(지역 또는 범용)에 따라 기후정보 유형을 분류하고, 이는 사용자가 사용하려는 데이터 유형 식별에 도움을 줄 수 있다. 기후정보에 대한 배경 지식이 낮은 사용자는 필요한 기후서비스를 찾고 비교하기가 어렵기 때문에 그림 왼쪽의 ‘지도기반 데이터’ 및 ‘사례’ 정보를 참고하는 것이 바람직하다. 오른쪽 두 개의 기후서비스는 과학 기반의 기후정보이므로 이에 대한 지침 및 교육이 필요할 수 있다. 복잡성을 가진 미래 기후시나리오는 적응계획 수립 시 의사결정을 지원하는 핵심으로 간주되고 있지만(van den Hurk et al., 2018), 생성되는 기후정보의 양과 질은 꾸준히 증가하고 있음에도 불구하고 의사결정자들의 이해와 적응대책 구현



Adapted from Visser et al. (2020)

Fig. 2. Categorization of climate services according to level of scientific complexity and number of target users

은 여전히 부족하다(Dilling and Lemos, 2011; Olazabal et al., 2019; Webber, 2019). 특히, 기후 예측을 의사결정 및 정책계획과 통합하는 것에 대한 지식이 부족한 것으로 확인되었다(Hewitt et al., 2013). Williams et al. (2020)은 기후서비스가 사용자의 역량에 맞게 제공되면 기후정보의 활용도가 증폭될 것이라고 하였다. 따라서 기후서비스는 과학적 결과를 바탕으로 한 예측과 결과를 사용자 요구 및 역량에 맞게 조정, 의사결정 및 정책계획에 도움이 될 수 있도록 제공되어야 한다(Larosa and Mysiak, 2019; Palutikof et al., 2019).

3. 우리나라 적응계획 수립 및 수립지원 장애 요소

지역 여건 분석에서부터 정책 진단, 목표 수립과 집행관리로 이어지는 계획 수립과정(MOE, 2017)에서 적응계획 수립 주체인 지자체들은 국가지원 도구와 환경부의 수립 지침을 활용하고 있으나, 지자체 자원과 역량에 따라 이러한 정보를 다루는 방식이 다르며, 목표 수립에서 의사결정을 거쳐 이행단계까지 연계하는 과정에 차이가 있다(Hyun et al., 2019). 기후시나리오 자료의 경우에는 기상청이 제공하고 있지만, 미래 기후정보의 가공 및 활용을 위해서는 전문성이 필요하므로 이를 보고서 형식으로 각 지자체에 배포하는 형태로 이루어진다. 우리나라의 영향·취약성 평가도구로는 초기에 지자체를 기초단위로 하여 하부 단위 지역의 상대적 취약성을 평가하는 GIS 기반 기후변화 취약성 평가도구(Local government Climate Change adaptation toolkit based on GIS, 이하 LCCGIS; 광역의 경우 CCGIS)가 있었고, 이후에는 지역적 특성이 반영되지 않는 LCCGIS의 한계를 극복하기 위해 개발된 웹 기반의 통합적 취약성 평가도구(Vulnerability assessment tool To build climate change Adaptation Plan, 이하 VESTAP)가 만들어졌다(KACCC, 2019). VESTAP은 적응대책의 기본 참조자료를 제공하기 위하여 만들어져, 표준화된 기후변화 시나리오에 따른 기후노출, 민감도 및 적응능력의 함수로 정의되는 취약성을 평가하며(Oh et al., 2017), 평가지역의 범위, 지표 및 가중치 구성 등에 따라 평가결과가 달라진다(KACCC, 2019).

실제로 기후정보를 활용함에 이들이 수립과정에서 겪는 어려움과 장애요소는 광역지자체 2차 적응대책에 포함된 이행평가 서술부에서 확인할 수 있다. 본 장에서는 광역지자체의 적응계획 수립 부서 및 담당 공무원들이 도출한 이행 장애요소를 살펴보고 이를 바탕으로 적응계획 수립 이

해관계자를 인터뷰하여 우리나라에 필요한 지원 도구가 무엇인지 그리고 의사결정지원 시스템에 어떤 내용이 포함되어야 할지를 알아보았다.

3.1 실무진 자체평가를 바탕으로

광역지자체의 1차 적응대책이 5년간 이행 완료되고, 이에 대한 이행평가가 이루어졌다. 각 지자체는 적응대책 수립 주관부서인 기후과 등에서 각 세부 사업별 소관부서의 의견수렴 과정을 거쳐 매년 적응대책 이행평가 보고서를 작성하여 제출하였다. 4년간의 이행평가를 종합하여 1차 세부시행계획에 대한 평가가 2차 대책에 기술되어 있으며, 해당 내용을 살펴보면 이행평가 내용을 비롯하여 계획 수립의 장애요소와 어려움이 나타난다(MOE, 2020). 각 지자체 계획 수립과정에서 확인된 문제는 크게 네 가지로 나누어 볼 수 있다(Table 2). 첫째는 정책수립 담당자의 기후변화 적응에 대한 인식·의식이 낮다는 점이다. 이로 인해 기후변화 적응대책보다는 유사 부문의 정책을 끌어와, 기후변화 적응과 방재, 환경보전 등 개념을 혼동하여 정책이 수립되는 경우가 생긴다. 순환보직으로 인한 담당자 전문성 문제는 차치하고서라도, 기후변화에 대한 교육이 대부분 온실가스 감축과 관련 내용에 집중되고 있어 기후변화 적응인식 확산 및 의식적 정책수립에 기여하지 못한다는 어려움이 있다. 둘째는 실무진의 전문성과 역량에 따라 계획이 달라질 수 있다는 것이다. 공무원의 인력 배치 특성상 담당 공무원의 교체가 잦고, 이에 따라 업무의 연속성이 단절되는 문제가 있다. 게다가 단기간에 기후변화 적응과 관련한 정보 습득이 어려우므로 인수인계 등이 잘 이루어지지 않는데, 이러한 정보 부족 상황에서 적응계획이 수립되면 그 계획 내용의 타당성이 의심받을 수 있다. 셋째로는 영향·취약성 분석 및 조사된 기후자료에 대한 분석이 부족하다. VESTAP 등의 분석 도구를 이용하여 미래 기후시나리오에 따른 상대적 취약성 결과는 표출하지만, 그것이 적응목표 혹은 적응대책 목록과 어떻게 연계되는지, 어떠한 상호관계가 있는지는 나타나지 않는다. 정보의 활용이 미진하므로 정보의 수집-공급체계도 미흡해지는 결과가 나타나게 된다. 넷째는 상위계획 및 관련 계획의 방향성 및 내용을 수용하지 못하여, 국가 정책과 연계성이 부족하다는 것이다. 부문별 적응대책 세부사업과 중앙부처 소관 사업 등이 중복되고, 그럼에도 불구하고 관련 부서와의 협업체계가 미흡하여 계획 간 중복성 검토가 되지 않는다.

Table 2. Solutions for challenges in adaptation planning identified by municipalities

Challenges in adaptation planning	Resulting issues from identified challenges	Planning support system solutions
<ul style="list-style-type: none"> • Education on climate change is mostly focused on mitigation efforts and thus awareness of climate change adaptation remains limited 	<ul style="list-style-type: none"> • Low awareness and understanding of climate change adaptation among policy makers • Many policies categorized as climate adaptation from are cross-listed with similar sectors' policies creating confusion in difference between climate change adaptation, disaster prevention, and environmental conservation 	<ul style="list-style-type: none"> • Climate change adaptation information platform • Inventory of adaptation measures • Use of climate services and provision of educational programs and materials
<ul style="list-style-type: none"> • Due to the nature of public officials mandatory work rotation there is frequent replacement of officials in charge of adaptation • Discontinuity of work and the handover is not well executed 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptation plan quality varies according to the expertise and competence of the staff/public-official in charge of planning 	<ul style="list-style-type: none"> • Document and data storage function in the system to enable rolling plans • Operation of online forums for information exchange through knowledge sharing and online workshops
<ul style="list-style-type: none"> • Insufficient climate change information and insufficient integration and collection of information 	<ul style="list-style-type: none"> • Lack of assessments in impact and vulnerability and analysis of climate data • Insufficient interrelationships and connections between adaptation goals, impact/vulnerability analysis, and list of adaptation measures 	<ul style="list-style-type: none"> • Regional climate change scenarios, impacts, and vulnerability assessment tools and assessment results
<ul style="list-style-type: none"> • Lack of collaboration with relevant departments to consider the synergies with climate change adaptation 	<ul style="list-style-type: none"> • Redundancy in projects between those named under climate adaptation, similar sectors and projects • Inconsistency with national policy due to failure to accept the directions and contents of higher-level plans and related plans 	<ul style="list-style-type: none"> • Inventory of adaptation measures • Integrated linkage system for mainstreaming and adaptation of climate change adaptation within the higher-level policies

위와 같이 나타나는 현재 적응계획 수립의 장애요소를 지원시스템의 구조 및 기능을 통해 해결할 수 있다. 우선 기후변화 적응 정보 플랫폼을 구축하여 기후서비스 사용에 대한 교육 프로그램과 자료를 제공할 수 있다. 이는 자주 교체되는 실무진 역량 유지에도 도움이 되며, 실무자가 입력하는 데이터가 시스템에 보관되어 정보교류에도 활용될 수 있다. 업무 공유 및 온라인 워크숍 창구로써 플랫폼이 기능하게끔 할 수 있으며, 기 수립된 적응대책에 대한 인벤토리 구축이 가능하다. 또한, 시스템에서 다루는 정책 영역을 기후변화 주류화 및 적응을 위한 범위로 넓혀 상위 정책과 부합하는지를 확인·검토할 수 있는 연계 시스템이 마련될 수 있다. 가장 주요하게 사용될 수 있는 시스템의 기능은 지역 조건을 반영한 맞춤형 기후변화 영향·취약성 평가이다. 각 시나리오에 따른 결과가 제공된다고는 해도, 그것이 어느 정도의 피해를 가져올 수 있는지에 대한 효과

평가결과가 명확히 명시되지 않기 때문에 적응목표에의 반영이 어렵고, 이로 인해 기존사업을 답습하는 경우가 많아지는 것으로 나타났다. 과학적 정보 기반의 정량적 효과 평가가 이루어질 수 있다면 실효성 높은 적응계획이 수립될 수 있고, 이를 위해서는 체계적인 정보 수집·공급체계가 제공되어야 한다.

또한, 우리나라에서 현재 제공하는 일반화된 적응정책 및 계획수립의 지원체계와 도구(가이드라인, 매뉴얼, 사례집)로는 대상지 맞춤형 계획수립이 어려우며, 이를 진화하는 의사결정 과정과 계획 방식에 따라 보완할 필요가 있다. 특히, 취약성 외 리스크 등의 개념을 포괄할 수 있도록 해야 하고 적응목표와 적응대책 선정을 지자체의 적응능력 및 수용성에 맞추어 결정하고 적응정책의 적용 전후 대비 효과를 파악할 수 있는 체계와 적응대책 지원을 위한 객관화된 도구가 마련되어야 한다(Hyun et al., 2019). 이

런 정보와 도구들은 통합적인 웹 기반 시스템으로 제공하는 것이 적합하며 어떻게, 누가, 무엇이 제공되어야 할지에 대한 내용을 다양한 예비 사용자 의견을 정리하였다.

3.2 이해관계자 인터뷰를 바탕으로

기후변화 적응대책 수립과정 전반에 참여하는 행위자를 인터뷰하여, 실제 업무에서 필요한 사용자 정보가 무엇인지, 그리고 시스템이 어떤 식으로 구성되어야 하는지를 확인하였다. 기초지자체 등 사용자 의견을 청취하여 시스템 개발이 이루어진다면 담당 공무원과 실무진이 활용할 수 있는 시스템이 만들어질 수 있다는 의견이 반복적으로 언

급되었다. 인터뷰는 크게 국가기관(환경부 및 국가기후변화적응센터) 소속 연구원(N1, N2, N3; 총 3명), 광역지자체 소속 적응대책 담당 공무원(서울: A1 ~ A3, 부산: B1 ~ B2, 인천: C1 ~ C2, 충남: D1 ~ D2; 총 9명), 적응대책 수립 용역사(F1, F2: 총 2명)로 나뉘어 진행되었으며, 인터뷰 내용을 5개의 범주로 정리하였다(Table 3).

개발 과정 중에 기후적응지원시스템의 구성 요소와 그 기능을 제시하였을 때, 추후 시스템 사용자로서 응답자들은 정량적인 적응기술 효과 평가결과를 기초자료로 활용할 수 있다고 하였으며, 실제로 계획 수립에 실용적인 데이터(Usable scientific results)가 구축되기를 원했다. 또한, 지자체 여건을 반영한 평가가 이루어져야 함을 강조하면

Table 3. Categorized user-needs in an adaptation planning decision support system identified from interviews

Category	Description of needs
Usable scientific results	<ul style="list-style-type: none"> Quantitative evaluation of adaptation effect of options can be helpful to establishing and selecting options for plan establishment and the monitoring and evaluation of plan implementation (N2, D2) Climate data serves as the base for practitioners to guide discussions in TFT operation (F1) The central and local governments require different information, but the same format is required, so the information that the local government does not need constitutes a category (A1)
Flexibility	<ul style="list-style-type: none"> The results should be able to be expressed in consideration of local government conditions. Evaluation values for modeling different results depending on conditions such as inland urban areas and coastal islands should be provided (C1, D1) Prefer a system that can partially modify the results to reflect the characteristics of local governments (A1) We want an effective system that can reflect new issues (A2, F2) If the system is too complex and requires a lot of input data, it may not be used (A3) Information entered by the user can be localized and applied by using other local government values as a reference (D1) If the results from the previous plan can be reflected (feedback), a more advanced plan can be established (F1)
Reduced paperwork	<ul style="list-style-type: none"> Difficulty in preparing adaptation plan due to insufficient competence/data and time consuming nature of writing specialized comprehensive plan (C1) Administrative tasks can be reduced if existing policies/projects are provided in an inventory (C2) Prefer a system that allows detailed implementation plans to be prepared directly on the web and completed in a standardized report form to be directly submitted (C1) Currently, the degree to which projects/policies related to climate change are collected, and information on policy/technology options for adaptation to climate change is insufficient (D1) Prefer a system where data such as climate status and forecast data necessary for planning in visual formats such as picture, tables, charts, etc. (A2)
Fast turnover and efficient use of human resources	<ul style="list-style-type: none"> Due to required job rotation for public servants, interest/professionalism in one area is low and thus adaptation plans are composed to meet the bare minimum in comparison to the quality and expertise of other local governments within the region (C2) A system that can develop practical skills and increase efficiency in a short period of time due to replacement of personnel from rotational positions will be beneficial (N1, A3) A system capable of suggesting climate change adaption options suitable for local conditions, the need for specialized staff and budget for the search can be minimized and used for other planning expenses (C2)
Knowledge sharing	<ul style="list-style-type: none"> Basic local governments have data on detailed regions, but their capabilities are insufficient, and large local governments do the opposite. As a window to collect local government data for a wide area, it can function as a manual for basics (N3) The system will be helpful to the problems arising from the timing discrepancy between national/regional/basic adaptation measures (A1) It is hoped that connection with other cities or experts can be established (B1) I hope that more education will be provided for the ward office managers. Wanting to organize more curriculum by using organizations such as climate network (B1) It is not easy to set a reference point for how much budget should be calculated. Among the ratios of government expenses + fertilization + equipment, the high provision input reflects the degree of interest (B2)

서 영향·취약성 평가 자체도 지역 유형이나 특성이 반영될 수 있도록 조건에 따라 다른 결과가 표출·제공되어야 한다고 언급하였다. 기후적응지원시스템의 탄력성(Flexibility)은 다른 지자체의 정보 활용을 가능하게 하면서도, 과거 계획의 이행평가 결과와 새로운 이슈 반영을 통해 계획안이 발전될 수 있도록 하는 핵심 특성으로, 맞춤형 정보제공을 위해 요구되었다. 또한, 계획 수립과정에서 현실적으로 많은 시간과 인력이 소요되고 있어 시스템은 이러한 행정 소요를 줄여줄 수 있는(Reduced paperwork) 역할이 기대되었다. 기존에 수행되던 정책/사업들이 국가 차원에서만 관리되고 있어, 이를 계획 수립 참여자인 지자체 공무원이 열람할 수 있도록 하여 유사사례 혹은 해당 사례에 대한 정보를 확인할 수 있도록 하기를 원했다. 다음으로는 시스템을 통해서 빠르게 교체되는 담당자의 실무 역량 유지에 도움이 될 수 있는(Fast turnover and efficient use of human resources) 부분도 효율성 향상 측면에서 지적되었다. 마지막으로 각 지자체가 적응계획을 수립하는 과정에 있어 소통할 수 있는 창구로 기능하여(Knowledge sharing), 광역-기초 간 데이터 공유 혹은 전문가와의 연계가 용이해질 수 있으며 담당자들 간의 네트워크 형성 및 교류가 가능하도록 하는 역할이 기대되었다.

4. 기후변화 적응계획 수립 의사결정지원시스템

우리나라는 아직 기후변화 적응대책 계획 수립을 위한 의사결정 단계를 지원하는 정보와 도구가 분산되어 있다. 따라서, 기후정보, 기술 인벤토리, 의사결정지원도구가 모두 제시되는 통합적인 시스템이 개발되었다. ‘기후변화 적응 의사결정지원시스템’(이하 의사결정시스템, ADAPT-Ko)은 광역 및 기초 지방자치단체의 기후변화 적응 세부시행계획 수립·이행 과정 개선을 목적으로 한 사용자 중심의 웹 기반 서비스이다. 의사결정지원시스템은 기초 및 광역 지방자치단체 소속 공무원을 비롯하여 환경부, 중앙 및 지방연구원, 용역업체, 학계 연구자가 활용할 수 있다.

특히 앞서 ‘3.1 실무진 자체평가’에서 언급된 바와 같이 예산과 전문인력이 부족하여 수립지침이 제시하는 복잡한 절차에 따라 세부시행계획을 마련하는 데 어려움을 호소하는 기초 지방자치단체의 의사결정과정을 지원한다. 의사결정지원시스템을 활용코자 하는 사용자는 시스템에 접근할 수 있는 계정을 발급받은 후 담당 지역을 기반으로 한 기후변화 대응에 필요한 각종 정보 조회와 함께 세부시행계획 수립·관리가 가능하다(Fig. 3). 그리고 기후변화 의

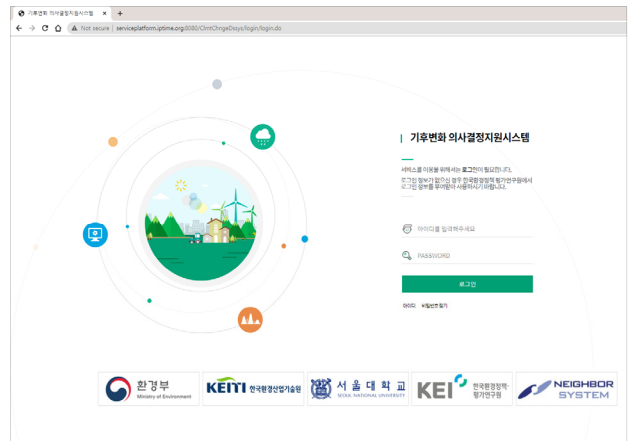


Fig. 3. Log-in interface of climate change adaptation planning decision support system (ADAPT-Ko)

사결정지원시스템은 기후변화 세부시행계획 수립지침에 따라 기능을 구성함으로써 사용자가 지침 절차와 요구 사항에 맞춰 종합적인 계획을 수립할 수 있을 뿐만 아니라 필요한 정보만을 획득할 수도 있다. 본 장에서는 3장에서 도출된 적응계획 수립 및 수립지원 장애 요소들과 이를 해소하기 위해 본 시스템에 탑재된 내용을 소개하고자 한다.

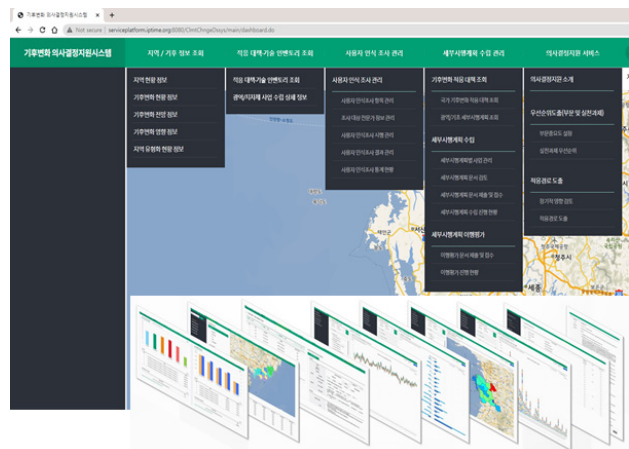


Fig. 4. ADAPT-Ko's various climate services categorized into five drop-down menus and their front page

의사결정지원시스템의 메뉴는 크게 지역 및 기후정보 조회, 적응대책·기술 인벤토리 조회, 사용자 인식조사, 세부시행계획 수립관리, 의사결정지원서비스로 구분하며, 각 메뉴에 관한 자세한 설명은 다음과 같다(Fig. 4). 첫째,

지역 및 기후정보 조회는 기후변화환경을 고려한 지역의 기후변화 현황 및 전망에 관한 기초자료를 제공한다. 이는 지침에서 요구할뿐더러 지역 특성에 따라 필요한 여러 정보를 수집·정리하는 불편함을 해소하기 위해 산재각처한 정보를 유형별, 항목별로 구축하였다. 지역 및 기후정보 조회에서 광역 및 기초 수준의 지역 현황(자연환경, 인문 사회환경, 공공기반시설현황, 취약계층 현황, 취약지역 현황, 취약시설 현황), 기후변화 현황(기후요소, 극한기후지수), 기후변화 전망(기온 변화, 강수량 변화, 극한기후지수 현상일수 변화, 분야별 응용 시나리오), 기후변화 영향(기후변화 적응분야별 기후변화 영향)이 확인된다. 지자체 수준에서 계획 수립에 실제로 사용할 수 있는 정보를 제공하기 위해 고해상도 격자기반 기상정보와 행정구역별 사회·인구 정보를 구축하였다. 마지막으로 지역 유형화(지역의 기후영향과 적응역량에 따른 취약성 유형)를 확인할 수 있다. 동일한 기상현상이 발생하더라도 각각의 지역이 처한 제반 여건(지리적, 기반시설, 인구특성, 물적·인적·사회적 자본 등)은 영향을 다르게 받기 때문에 지역 차원의 대응이 달라져야 한다. 기후영향과 적응능력을 축으로 평가되는 지역 유형화 도구는 지자체별로 어떤 대응을 해야하는지에 대한 파악을 돕기 위한 지원 도구이다.

둘째, 적응대책·기술 인벤토리 조회는 기존 수립·이행한 적응대책·기술의 구체적인 내용을 제공한다. 이를 통해 사용자는 기초자료 또는 후술할 의사결정지원서비스의 결과를 바탕으로 기후변화 적응대책기술을 검색하여 담당 지역 또는 다른 지역의 세부사업의 이행내용을 확인 및 비교함으로써 적응대책·기술을 발전 또는 발굴할 수 있다. 부문, 정책, 실천과제 선택 후 적응대책·기술 상세정보에서는 사업의 유형, 계획 목표, 사업의 성격 및 성과 분석을 확인 후 본 기술활용 세부시행계획을 볼 수 있다. 이 지원 도구는 계획 수립과정에서 많은 시간과 인력이 소요되고 있는 부분으로 시스템 사용으로 이러한 행정 소요를 줄여 줄 수 있다. 셋째, 사용자 인식조사 관리는 공무원과 시민을 대상으로 지역의 기후변화 영향·피해 체감 정도와 지역 사회가 요구하는 정책 사항을 파악하기 위한 기후변화 적응 인식조사의 설계부터 분석까지의 표준적인 틀을 제시한다. 특히 인식조사의 문항 유형을 제공함으로써 사용자는 담당 지역에 맞는 문항을 추출하여 설문지를 구성한 후 설문조사를 수행하여 지역사회의 적응인식을 파악할 수 있다. 넷째, 세부시행계획 수립관리를 통해 사용자는 세부시행계획을 탑재한 후 세부시행계획의 관할 기관인 기후변화 적응센터의 처리절차를 확인할 수 있어 행정 소요를

줄여주어 실무자에게서 긍정적인 피드백을 얻었다.

마지막으로, 의사결정지원시스템의 핵심 요소인 의사결정지원서비스는 지역 차원에서 기후변화에 선제적으로 대응할 수 있도록 단기 및 중장기적 계획 마련의 도구를 제공한다. 의사결정지원서비스는 기존 시행계획에서 적응대책기술을 과학적으로 평가하는 방법론과 기준이 부재하여 적응계획의 전문성과 객관성을 확보하지 못하는 문제를 보완하고자 표준적인 분석방법 틀을 제시한다. 지자체 맞춤형 우선순위 도출 결과를 얻기 위해사용자는 의사결정지원서비스가 설정한 기본값을 담당 지역에 맞게 변경함으로써 지역 특성을 반영하는 세부시행계획을 수립할 수 있다. 우선 5년 단기계획을 위한 부문 및 실천과제 우선순위도출 기능을 통해 사용자는 지역 특성에 맞게 부문, 전략, 실천과제를 선택하고 전략과 지표에 대한 가중치를 설정함으로써 부문 및 부문별 실천과제의 우선순위 도출결과가 제공된다. 아울러, 사용자는 실천과제 속성 및 특징, 관련 적응대책·기술 리스트 및 상세정보, 사용자가 설정한 지역의 비용편익(Benefit-Cost Ratio)을 확인할 수 있다. 사용자는 우선순위 도출결과와 상세정보를 바탕으로 지역에 적합한 부문별 세부시행계획을 마련한다. 마지막으로 보다 정량적이고 과학적인 근거로 중·장기계획을 위한 적응경로 도출은 2020년부터 2100년까지 서울과 부산 지역을 대상으로 분석한 사례를 보여준다. 장기적인 계획 수립을 지원하기 위해서는 기후변화 시나리오를 통해 미래피해를 과학적인 방법으로 계산되어야 한다. 피해를 추정하는 지표 또는 변수를 사용자의 지역 특성 및 역량에 맞게 선택 및 사용하여 적응계획의 목표로 활용가능하다. 적응 목표에 따른 예산 제한 하에 어느 시점에 얼마만큼의 적응대책 기술 도입이 필요한지를 적응경로를 통해 미리 확인할 수 있다. 의사결정자의 비용편익, 부문 우선순위 선호도에 따른 적응경로를 확인할 수 있다. 또한, 10년 단위로 기술도입 규모를 부문별로 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 적응계획에서의 의사결정을 지원할 수 있는 기후서비스의 정의와 방식에 대해 검토를 하고 예상 수요자들의 니즈를 파악하고자 자체평가와 인터뷰를 진행하여 기후변화 적응 의사결정지원시스템의 설계를 하였다. 우리나라의 경우에는 기후정보와 평가도구들이 제공되고 있으나 사용자의 역량을 고려하지 않고 적응계획 수립에 사용되기에는 부족한 것을 확인하였다. 어떤 의사결

정지원도구가 마련되어야 하는지를 파악하기 위해 해외 사례와 이론을 검토한 결과, 의사결정을 지원을 위한 실효성 있는 기후정보가 부족하다. 이를 해결하기 위해 최근 연구는 사용자의 요구 사항을 더 잘 이해하기 위해 노력하고 있어 이해관계자 참여를 통한 사용자 맞춤형 기후정보 가공(매개 변수 및 형식 조정)의 중요성을 강조하고 있다.

실제 업무에서 필요한 사용자 정보가 무엇인지, 그리고 시스템이 어떤 식으로 구성되어야 하는지를 확인하기 위해 기후변화 적응대책 수립과정 전반에 참여하는 관계자를 인터뷰한 결과, 사용자 의견을 청취하여 시스템 개발이 이루어진다면 담당 공무원과 실무진이 활용할 수 있는 시스템이 만들어질 수 있다는 의견이 반복적으로 언급되었다. 특히, 적응대책의 효과 평가와 이를 인벤토리를 통해 확인할 수 있는 지원도구 필요성이 반복해서 제기되었다. 또한, 지역 간 업무 공유가 가능한, 혹은 성과관리를 체계적으로 할 수 있는 플랫폼 등의 정보교류 기능을 요구하였다. 이를 반영하기 위해 본 연구에서 제시되는 ‘적응 의사결정지원 시스템(ADAPT-Ko)’은 기후정보, 기술 인벤토리, 의사결정지원도구가 모두 제시되는 통합적인 시스템이며 사용자 중심의 웹 기반 서비스이다. 적응에 관련한 무수히 많은 정보와 분석 도구 등이 사용자의 니즈를 바탕으로 유연하게 제공되는 지원시스템이 요구되고 있음을 확인하였다.

사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 기후변화대응환경기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2018001310002).

References

- Bessembinder J, Terrado M, Hewitt C, Garrett N, Kotova L, Buonocore M, Groenland R. 2019. Need for a common typology of climate services. *Climate Services* 16: 100135.
- Bremer S, Wardekker A., Dessai S, Sobolowski S, Slaattelid R, Sluijs JV, 2019. Toward a multi-faceted conception of co-production of climate services. *Climate Services*, 13, 42-50.
- Clar C, Steurer R.2018. Why popular support tools on climate change adaptation have difficulties in reaching local policy-makers: Qualitative insights from the UK and Germany. *Environmental Policy and Governance* 28(3): 172-182.
- Cortekar J, Bender S, Brune M, Groth M. 2016. Why climate change adaptation in cities needs customised and flexible climate services. *Climate Services*, 4, 42-51.
- Dilling L, Lemos MC. 2011. Creating Usable Science: Opportunities and Constraints for Climate Knowledge use and their Implications for Science Policy. *Global Environmental Change* 21 (2): 680-689.
- Hewitt C, Buontempo C, Newton P. 2013. Using Climate Predictions to Better Serve Society's Needs. *Eos* 94 (11): 105-107.
- Hyun JH, Kim J, Yoon S, Park CY, Jung H, 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.
- IPCC. 2014. Climate-resilient pathways: adaptation, mitigation, and sustainable development. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp 1101-1131.
- Jones L, Dougill A, Jones RG, Steynor A, Watkiss P, Kane C, Koelle B, 2015. Ensuring Climate Information Guides Long-Term Development. *Nature Climate Change* 5(9): 812-814.
- Korea Adaptation Center for Climate Change (KACCC); [accessed 2020 September 20, b]. VESTAP. <https://vestap.kei.re.kr/loginPage.do>

- Larosa F, Mysiak, J, 2019. Mapping the landscape of climate services. *Environmental Research Letters*, 14(9), 093006.
- Lemos MC, Kirchhoff CJ, Ramprasad V, 2012. Narrowing the Climate Information Usability Gap. *Nature Climate Change* 2 (11): 789-794.
- Lim YS, Bin SJ, Yoo SH. 2016. Local Climate Adaptation Effectiveness and Adaptation Capacity Enhancement Support. Ministry of Environment
- Lourenço TC, Swart R, Goosen H, Street S. 2015. The rise of demand-driven climate services. *Nature Climate Change*, 6(1), 13-14.
- Ministry of Environment. 2014. Korean Climate Change Assessment Report 2014.
- Ministry of Environment. 2017. The Second National Climate Change Adaptation Implementation Monitoring and Evaluation Support, Korea Environmental Institute, Korea Adaptation Climate Change Center.
- Ministry of Environment. 2020. Korean Climate Change Assessment Report 2020. ISBN 978-89-93652-57-4.
- Oh KY, Lee MJ, Han DE. 2016. Development of web-based supporting tool (VESTAP) for climate change vulnerability assessment in lower and municipal-level local governments (in Korean with English abstract). *Journal of Korean Association of Geographic Information Studies*. 19 (1) : 1-11.
- Olazabal M, Gopegui M, Tompkins R, Venner EL, Smith KR. 2019. A cross-scale worldwide analysis of coastal adaptation planning. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124056.
- Palutikof JP, Street RB, Gardiner EP, 2019. Decision Support Platforms for Climate Change Adaptation: An Overview and Introduction. *Climatic Change* 153 (4): 459-476.
- Soares M, Alexander B, Dessai S, 2018. Sectoral use of climate information in Europe: A synoptic overview. *Climate Services*, 9, 5-20.
- Tart S, Groth M, Seipold P, 2020. Market demand for climate services: An assessment of users' needs. *Climate Services*, 17, 100109.
- van den Hurk B., Hewitt C, Jacob D, Bessembinder J, Doblas-Reyes F, Döscher R, 2018. The Match between Climate Services Demands and Earth System Models Supplies. *Climate Services* 12: 59-63.
- van Stigt R, Driessen P, Spit TJM. 2015. A user perspective on the gap between science and decision-making. Local administrators' views on expert knowledge in urban planning. *Environmental Science & Policy* 47: 167-176.
- Vincent K, Daly M, Scannell C, Leathes B. 2018. What can climate services learn from theory and practice of co-production? *Climate Services*, 12, 48-58.
- Visscher K, Stegmaier P, Damm A, Hamaker-Taylor R, Harjanne A., Giordano R. 2020. Matching supply and demand: A typology of climate services. *Climate Services*, 17, 100136.
- Vaughan C, Dessai S, 2014. Climate services for society: Origins, institutional arrangements, and design elements for an evaluation framework. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(5), 587-603.
- Webber S, 2019. Putting climate services in contexts: Advancing multi-disciplinary understandings: Introduction to the special issue. *Climatic Change*, 157(1), 1-8.
- Williams C, Fenton A, Huq S. 2015. Knowledge and Adaptive Capacity. *Nature Climate Change* 5 (2): 82-83.