



적응경로 기반 지자체 기후변화 적응계획 강화를 위한 의사결정 지원 전략

현정희* · 김지연** · 윤석환** · 박채연* · 정휘철*** · 정태용**** · 이동근*****†

*서울대학교 협동과정 조경학 박사과정, **서울대학교 대학원 석사과정, ***한국환경정책평가연구원 선임연구원,
 ****연세대학교 국제대학원 교수, *****서울대학교 조경·지역시스템공학부 교수

A Decision-making Support Strategy to Strengthen Korea's Local Adaptation Planning toward a Pathways Approach

Hyun, Jung Hee*, Kim, Jiyeon**, Yoon, Seokhwan**, Park, Chae Yeon*,
 Jung, Huicheul**, Jung, Tae Yong**** and Lee, Dong Kun*****†

*PhD Student, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University, Seoul, Korea

**Master Student, Graduate School, Seoul National University, Seoul, Korea

***Senior Research Fellow, Korea Environment Institute, Sejong, Korea

****Professor, Graduate School of International Studies, Yonsei University, Seoul, Korea

*****Professor, Dept. of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea

ABSTRACT

Planning for adaptation is difficult without tools for communicating climate science and methods that measure the local climate impacts and solutions. The purpose of this study is to review recent decision-support tools that assist the planning process to enhance the effectiveness of climate adaptation plans. First, a review of recent developments in adaptation planning literature is conducted to identify the prerequisites, procedure, and methods of decision support systems. Second, "Implementation Plans for Climate Change Adaptation" from Korea's local municipalities were analyzed to assess execution of the decision-making processes in Korea. Lastly, strategic directions for decision-support tools that can enhance the efficiency and quality of climate adaptation planning were suggested. Korea's local adaptation planning has been mainly concerned with completing the list of required plan components. While the plan outcomes have yet to be evaluated and monitored, the process of creating plans is inadequate to promote actual adaptation due to lack of climate information, quantitative assessment, and methodologies for long-term planning. Adaptation planning based on a pathway has been proposed as an effective approach to allow decision-makers to flexibly adjust long-term plans according to uncertain future conditions while considering path dependency. This study finds that the most effective format of a decision support tool is in an online, web-based portal that includes general to context-specific information and methods.

Key words: Adaptation planning, Decision-support system(DSS), Adaptation Pathway, Framing adaptation

1. 서 론

기후변화 적응은 미래에 가속화될 기상변화에 대응하기 위해 다양한 시나리오에 따른 기후 영향을 현재 시점에서 분

석하고(Stern, 2007), 잠재적인 적응 옵션을 확인하며(Iglesias et al., 2012), 정책 결정 과정에서 제기될 수 있는 의문들을 식별할 수 있어야 한다 (Huntjens et al., 2012). 그러나 기후적응의 중요성이 부각됨에도 불구하고, 실제로 이행된 적응 정

† **Corresponding author:** dklee7@snu.ac.kr, (Room 9211, Bldg. 200, Gwanak-ro 1, Gwanak-Gu, Seoul, South Korea, 08826)
 Received November 9, 2018 / Revised December 3, 2018 1st, May 14, 2019 2nd / Accepted May 27, 2019

책은 상대적으로 적다 (Wise et al., 2014). 이행 부족의 원인으로서는 미래에 대한 예측이 어렵고, 이에 대비할 수 있는 최적의 대응책이 무엇인지를 판단하기 위한 정보가 부족하며, 판단할 수 있는 명확한 방법이 없다는 점을 들 수 있다. 또한, 기후변화 적응정책의 특성상 다양한 이해관계자가 관여되어 있고 막대한 비용이 소요된다. 그럼에도 적응계획을 세울 때 다양한 이해관계자들을 설득하고 지지를 얻기 위해서는 합리적으로 판단을 내릴 수 있는 정책평가 자료가 필요하다 (Park and Son, 2007). 따라서 기후변화 적응정책을 효율적으로 이행하기 위해서는 정책에 대한 명확한 이해와 객관적인 평가가 바탕이 되어야 하지만 정성적인 판단으로 정책이 수립되고 있을 뿐, 정책 효과의 정량적인 판단이 이루어지지 않고 있다 (Myeong et al., 2013).

우리나라는 기후변화 적응정책의 수립 법제화를 통해 국가 및 지자체에서 기후변화 적응대책 세부시행계획이 수립되고 있으나, 적응정책의 적용 전후 대비 효과를 파악할 수 있는 체계가 마련되어있지 않다. 해외 적응계획 사례분석 연구에서도 적응계획의 기본 틀과 원칙에 초점을 맞출 뿐 실행된 적응대책의 결과에 대한 평가가 부족하다 (Miller et al., 2017). 이는 계획 단계에서의 자원, 제도 및 역량 부족과 같은 방해 요인으로 적응계획의 이행 지연을 유발하고 있다 (Berrang-Ford et al., 2011; Mimura et al., 2014). 국가 기후변화 적응 종합계획에서 적응의 목적은 기후변화로 인한 위험을 최소화하고 기회 요인을 확대하는 것이다 (MOE, 2008). 국가 및 지자체가 원하는 것은 적응 정책을 통해서 무엇이, 얼마나 나아질지에 대한 내용이므로 적응 정책의 효과에 대한 정량적 평가가 필요하며 비용-편익분석과 같은 경제성 평가와 기후변화의 장기성을 고려한 불확실성 평가가 이루어져야 더 구체적인 기준으로 적응 계획에 대한 의사결정을 할 수 있다 (Dittrich et al., 2016). 또한, 지자체에서 적응대책에 투입할 수 있는 재원, 조직, 입법 및 정책화 정도, 리더십 등의 제도적 대응능력을 고려해야 지자체별로 다른 적응대책 우선순위를 결정할 수 있을 것이다 (Shi et al., 2015).

위와 같은 사항은 지자체에서 자체적으로 수행이 어렵기 때문에 이해당사자 또는 전문가들이 적응대책의 효과를 확인하고 검토, 수정하는 모든 절차를 포괄하는 의사결정 지원체계가 필요하다. 그러나 수많은 종류의 기후변화 적응문제에 일일이 대응하기 어려우며, 이에 대한 대책 또한 지역적 특성에 따라 다르게 나타날 수 있다. 또한, 정책입안자가 기후변화 문제를 내면화하기에는 전문적 지식이 요구되는 강도가 높고, 특히 기후변화의 과학적 정보 접근성이 낮아 정보 해석의 어려움이 있다. 따라서 기후변화 적응계획수립을 위해서

는 위와 같은 어려움을 해결할 수 있도록 하는 의사결정 도구가 필요하다. 따라서 본 논문의 목적은 1) 적응의 이행과 실천에 관한 기후적응 연구의 동향을 파악, 특히 의사결정 도구와 접근 방식에 대한 연구를 살펴보고 2) 우리나라 기초지자체의 적응계획이 어떤 의사결정 방식을 사용하고 있는지 확인하여 기후적응을 위한 의사결정 방식의 개선 방향을 도출하고자 하였다.

2. 적응계획의 의사결정에 대한 이론적 검토

의사결정이란 이행계획 작성 시에 의사결정자가 판단기준을 설정하고, 이에 기반하여 여러 대안 중에서 선택을 내릴 수 있도록 하는 모든 과정을 의미한다. 즉 실행 가능한 대안을 확인하고 이로부터 대책을 선택하는 과정이다. 의사결정은 계획의 일부이며, 문제 식별에서 시작하여 선택을 내리는 것으로 끝난다. 계획과 의사결정은 밀접한 관계로, 계획 없이 의사결정이 내려질 수는 있지만, 의사결정 없이 계획이 완료될 수는 없다. 실무에서 의사결정 단계에 포함되는 계획 요소들은 1) 정보 수집 및 분석, 2) 문제 정의, 3) 목표 설정, 4) 이행과제 선정으로 구성된다 (Lee, 2018).

최근 적응연구에서 ‘의사결정’에 기초한 연구가 증가하고 있다 (Wise et al., 2014). 초기에는 영향 및 취약성 평가가 중점적으로 다루어졌으나, 이후에는 의사결정자가 복잡한 사회구조 및 환경에서 시급한 정책 옵션들을 선택하는 데에 도움을 주기 위한 연구가 이루어지고 있으며 (Eakin and Patt, 2011), 주로 장기적 불확실성과 광범위한 의사결정 과정을 다루기 위한 기술이나 도구 개발에 집중되어 있다 (Dessai and van der Sluijs, 2007; Ranger et al., 2010; Weaver et al., 2013). 이러한 연구의 일환으로 적응경로 (Adaptation Pathway; AP) 개념이 등장하였다. Stafford Smith et al. (2011) 와 Haasnoot et al. (2013) 은 ‘경로’ 개념을 이용해 시간 경과에 따른 외부 변화와 이에 적용 가능한 일련의 대안을 제시하는 접근 방식을 시각화하였다. 이 장에서는 의사결정 접근법에 초점을 맞춘 최근 연구를 검토하여, ‘적응경로’ 개념이 어떻게 더 나은 대안을 제시하는지를 살펴볼 것이다.

적응경로 이전의 적응계획 의사결정 연구는 적응의 추진 요인 (driver)과 방해 요인 (barrier)을 알아내어 취약성과 적응역량을 평가, 특정 상황에서의 적응 정책을 확인하고 적응 기회를 창출하였다 (Burch, 2010; Moser and Ekstrom, 2010; Ford and King, 2015). 적응을 가로막는 잠재적인 문제를 파악하는 것도 중요하지만, 방해 요인이 계획과 의사결정 과정에서 문제를 해결하는 방법을 알려주지는 않으므로 실제로

도움이 된다고 하기 어렵다 (Wise et al., 2014). 초창기 적응 경로 접근법은 뉴욕과 런던의 적응계획에 적용되었으며 (Reeder and Ranger, 2011; Rosenzweig and Solecki, 2013), 다른 분야에서 적용되기도 했다 (Wage, 1968). 적응경로는 목표를 달성하지 못하는 시점 (tipping points)에 초점을 맞춘 단계별 접근 방식이고 (Haasnoot et al., 2012; Wise et al., 2014; Cradock-Henry et al., 2018), 상황에 대한 장기 비전이 포함되어야 하며, 적응대책기술의 적응효과가 얼마나 크지와 그 효과가 어느 정도 지속되는지에 대한 평가 값이 존재해야 한다는 점이 가장 중요하다 (Wise et al., 2014). 이를 바탕으로 불확실성 요소가 반영된 적응경로를 나타낼 수 있으며, 초기 단계의 기술 효과가 다음 단계의 기술 선정에 영향을 준다. 이러한 기능은 적응대책의 평가결과의 수용성 재고를 통해서 차년도 추진과제의 목표 달성도를 증진할 수 있도록 하여, 지속적으로 계획의 효과성을 입증하여 결과적으로 시스템적인 환류가 가능하도록 해준다는 장점이 있다.

의사결정 과정이 위와 같은 접근을 통해서 시스템적 환류가 될 수 있도록 하기 위해서는 의사결정 단계 이전에 진행되어야 하는 요소들을 만족해야 한다 (Figure 1). 적응경로 접근 방식으로 계획을 세우기 위해서는 우선 구체적인 목표 설정이 되어있어야 하며, 정량적인 영향평가와 적응대책기술 평가가 이루어졌을 때 설정한 목표달성이 가능한지를 파악할 수 있다.

2.1 적응계획 특성을 고려한 정보 제공

IPCC (2014) 는 기후변화의 속도와 강도에 따라 적응대책이 잠재적으로는 수십 년의 기간에 걸쳐 고려되어야 함을 제시하며, 적응대책을 언제 어떻게 적용하는가에 따라 의사결정 과정에서 선택 가능한 옵션도 변화할 수 있다고 설명한다. 일반적으로 기후변화의 영향은 긴 시간에 걸쳐 관찰되며, 적응정책의 효과 또한 장기기간에 걸쳐 나타나므로 계획 또한 이

러한 특성을 반영해야 한다 (Morand et al., 2014). 그러나 기후변화에 대응하기 위해 장기적 관점에 정량적인 적응계획을 마련하기에는 미래 기후정보에 대한 과학적 지식의 제약, 미래 온실가스 배출 추세의 가변성, 미래의 기후변화가 경제·사회·환경에 미칠 영향의 불확실성 등으로 어려움을 겪는다 (Moser and Ekstrom, 2010). 따라서 부문별 국가기후변화 적응대책의 대상 공간, 도입 시기 및 적응대책기술의 도입 규모 등의 효과평가를 통해 불확실성을 줄임으로써 기후변화 적응 정도의 정량화를 기대할 수 있다. 특히, 개별 적응 정책의 영향 평가기술 신뢰도와 정확성을 높임으로써 실효성 있는 적응대책 수립과 원활한 이행이 가능해질 것이다.

하지만 정량평가라고 해서 무조건 정책평가의 객관적 지표가 되는 것은 아니다. 예를 들어 완화에 대한 정책 대응이 환원 방식 (reductive science)으로 이루어져 과학적인 평가와 정책의 연계가 기계적으로 이루어지는 문제가 발생하며 (Howarth et al., 2018), 적응정책을 세우기 위해 과학적 증거를 사용하는 것이 인식론적으로 문제라는 주장이 증가하고 있다 (Dessai et al., 2009; Howarth et al., 2016). 영국의 제2차 기후변화 리스크 평가 (CCRA)가 어떻게 과학적 분석방식을 사용했는지에 대해 논의한 것을 보면 (Brown et al., 2018), 정책 의사결정을 지원하기 위해서 보다 폭넓은 증거 자료를 사용하는 것을 지향하였으나 실제 사용한 자료는 2009년도 기후 전망 예측 자료를 ‘저, 중, 고’ 시나리오별로 본 것뿐이었다. 유의미한 기후변화 정보를 구축하는 것도 중요하지만, 이러한 정보를 정책으로 치환하는 것이 정책적 판단을 내리는 데 있어 더욱 큰 과제이다. 의사결정 과정에 있어서 객관적인 데이터가 주관적인 우선순위와 규범적인 판단으로 치환되는 과정에서 모순이 발생한다 (McDermott and Surminski, 2018). 또한, 정량평가는 일반화된 방식으로 이루어져서는 안되며, 지역 특성이 잘 반영된 영향 및 적응정책의 효과 분석이 이루어져야 한다. 이를 통해 보다 객관적이고 정확한 계획

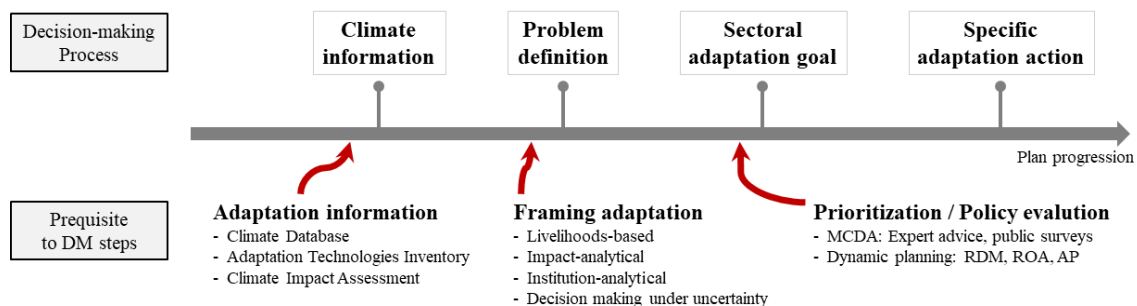


Fig. 1. Prerequisites for successful decision-making.

수립 (목표 설정부터 세부사업 선정)과 이행평가가 수행될 수 있다. 향후 보다 고도화된 정량적 평가를 위해서는 적응대책 평가기술 개발과 대책 간의 우선순위 도출 방법론이 함께 개발되어야 하며, 객관성을 가진 지자체의 적응능력에 대한 정성평가와 함께 활용하여 기후변화 정책의 질적 수준을 높일 필요가 있다.

2.2 적응 프레임링 기반 계획의 문제 정의 및 목표 설정

동일한 사건을 인식하는 데 있어 문제의 표현 방식에 따라 개인의 판단이나 선택이 달라질 수 있다. 이때 정보제공자가 제시하는 관점을 프레임링 (framing)이라 하고, 프레임에 따라 의사결정에 영향을 미치게 된다. 예를 들어 적응 프레임링은 일차적인 원인을 문제로 삼을지, 혹은 이차적인 원인을 문제로 삼을지를 결정하는 것이다. 이때 기후정보의 불확실성, 목표의 구체성과 권력의 분포 정도에 따라 변화하는 상황의 복잡성을 고려해야 한다. UNEP (2013) 는 다양한 프레임링 방식을 제시하여 여러 적응 관점을 기술하였다 (Table 1). 이들은 상황의 다양성, 그리고 의사결정자들의 관점과 가치평가체계, 이해관계와 전망이 다르기 때문이다 (Juhola et al., 2011). ‘생활 기반 (Livelihood-based)’ 프레임은 지역의 기존 관행이나 사회 문화적 상황에 초점을 맞추는 반면, ‘제도 분석 (Institution-analytical)’ 프레임은 상위 정책 의제가 적응을 주류화하는 방식을 평가한다. ‘영향 분석 (Impact-analytical)’ 프레임은 가장 일반적으로 쓰이는데, 미래 기후 영향이 적응 문제를 형성한다. 마지막으로 ‘불확실성 하에서의 의사결정 (Decision-making under uncertainty)’은 구체적으로 문제를 형성하기 이전에 평가해야 하는 적응방안들을 사전에 선정한다.

게다가, 가장 보편적으로 사용되는 ‘영향 분석’ 프레임 안에서도 어떤 지표를 영향으로 사용할 것인지에 따라서 대응하고자 하는 계획의 본래 목적과는 다른 방향의 결과를 도출할 수 있다. 예를 들어, Young et al. (2019) 에 따르면 이해관계자는 장기간의 기후정보를 계획에 적용하는 것보다는, 현재의 위험 및 도시화 문제를 해결하는 데에 우선순위를 두어 향후 발생할 수 있는 극한사상을 고려하여 계획을 수립하는 경향이 있다고 한다. 기후변화로 인한 인과관계가 고려되지 않더라도 극한기후 현상이 많은 적응 행동에 중요한 촉매가 되는 반면에, 기후변화 자체가 단독적으로 주요한 동기가 되는 경우는 드물다 (Berrang-Ford et al., 2011; Ford et al., 2013). 그러나 과학적인 측면에서 보았을 때 극한기후 정보는 내재된 기후 동향을 시사하는 경우에는 유용한 지표가 될 수 있지만 (Travis, 2014), 그러한 극한기후의 빈도 혹은 강도가 증가할 것이라고 잘못된 가정을 하는 경우에는 잘못된 적응 (maladaptation)으로 이어지거나 미래의 취약성을 더욱 증가시킬 수 있다 (Barnett and O’Neil, 2010).

‘문제’를 잘 진단하고 해결책을 제시하기 위해서는 의사소통과 참여, 협상이 합법적이고 공정한 과정에 따라 이루어져야 한다 (Striling, 2006). 적응 프레임링 과정에서의 소통을 통해, 복잡한 사회 시스템 내에서의 의사결정을 위한 명확한 문제 설명과 후속 목표가 설정이 수행될 수 있다.

2.3 장기적 불확실성을 고려한 적응대책 평가 및 우선순위 도출 방법

적응계획을 수행함에 있어 자원, 인력, 시간 등 자원의 한계가 있으므로, 효율적인 적응계획을 수립하는 것이 중요하다. 이런 이유로 적응대책들을 평가하여 어떤 대책이 이행되어야 할지를 확인하고 우선순위를 정하는 과정이 필요하게

Table 1. Summary of analytical framings of adaptation (UNEP, 2013)

Framing	Focus and emphasis
Livelihoods-based	Existing social conditions, individual perceptions, local experiences and informal institutions as critical aspects for determining how communities cope with current climate conditions as a starting point for developing appropriate adaptation responses
Institution-analytical	Need for horizontal integration of policy to mainstream climate change adaptation considerations into existing policy processes
Impact-analytical	This approach views adaptation as a single (or few) decision (s) that is (are) taken on the basis of projected future impacts, where it is assumed impacts and decisions can be singled out and formally quantified and evaluated
Decision-making under uncertainty	Analysis starts with a concrete decision (e.g., raise dikes) based upon all information on the range of possible impacts, rather than with climate scenarios and projections of impacts

된다. 평가를 위한 다양한 방법이 있는데 가장 일반적으로 사용되는 기법은 CBA (Cost Benefit Analysis), CEA (Cost Effectiveness Analysis) 및 MCA (Multi-Criteria Analysis)이다. MCA는 양적·질적인 평가 기준에 따른 적응 옵션 평가를 포함하고 있으며, 평가가 참여적으로 수행될 수 있도록 한다. UNFCCC (2002) 에 따르면, 기후적응대책을 평가할 때에는 1) 다양한 평가 기준과 지표를 고려해야 하고 2) 화폐단위로 기후변화 비용을 산정하는 것은 어려우며, 3) (직접적인 영향을 받게 되는) 지역사회 주민들의 시각이 반드시 고려되어야 한다. 이러한 조건들을 충족하기 위해서 MCA가 적응 옵션과 정책들을 평가하는 방법으로 선호되고 있다 (Kubal et al., 2009; de Bruin et al., 2009). 그러나 적응 옵션을 정태적으로 평가하는 것은 배수시설, 댐 또는 방파제 건설 등의 긴 수명을 가진 대형 인프라 프로젝트와 같은 장기간 계획이 요구되는 적응대책에는 충분하지 않을 수 있다. 어떤 경우에는 특정 종의 멸종과 같이 역치가 넘어가는 것을 피하고자 할 것이다. 더욱이 기후변화에 따라 극한사상은 더욱 빈번해지고 강해지고 있으므로 (IPCC, 2012), 개입이 필요한 시점이 되었다고 할 수 있다. 이에 따라 장기적인 적응 옵션 평가를 적절하게 평가할 수 있는 계획 방식이 제시되고 있다 (Table 2) (Vervoort et al., 2014; Woodward et al., 2013; Beh et al., 2015; Weaver et al., 2013; Butler et al., 2016).

리얼 옵션 분석 (Real Option Analysis; ROA)은 적합한 투자 시점을 평가해준다. 대규모 투자가 요구되는 적응기술 (연

안 보호, 대규모 저수지 프로젝트 등)의 적용 타이밍에 따라 기술 평가 결과가 다르게 나타나므로 의사결정에 적합하다 (Buurman and Babovic, 2016). 하지만 이 방법은 각각의 옵션에 대한 개별적인 분석 결과만을 가지고 계획이 수립되기 때문에 옵션 간의 상호작용과 시너지는 고려되지 않는 한계가 있다. 이를 극복할 수 있는 것이 다각화를 원칙으로 하는 포트폴리오 분석 (Portfolio Analysis; PA)인데, 단일 옵션보다는 옵션들의 목록을 개발하는 데 도움이 된다. 이 방법은 기후변화 적응계획에서는 많이 활용되고 있지 않는데 이는 시간적 요소가 고려 되지 않아 장기계획 방법에 쓰일 수 없기 때문이다. 강건한 의사결정 (Robust Decision Making; RDM)은 높은 불확실성 (deep uncertainty)이 있는 상황, 즉 시나리오와 결과에 대한 확률론적 정보가 없는 상황에서 사용된다. RDM은 경제적 효율을 기반으로 최적의 옵션을 식별하며, 데이터 마이닝 알고리즘 또는 계량 모델을 사용하여 미래의 상황을 반영하는 다양한 시나리오에서 전략들이 어떻게 수행되는지 평가한다.

반면 적응경로는 목표에 따른 세부사업들의 조합으로 장기적인 적응경로를 제시하여, 적응계획에 반영 시에 의사결정자가 1) 적응대책의 이행 가능성, 2) 최종 적응목표 시점에서 목표 달성도를 볼 수 있다. 적응경로의 목적은 결과물로 최적의 계획안 하나를 제공하는 것이 아니라, 경로안 도출 과정에서 불확실성과 동태적 장기계획으로 나타나는 의사결정의 피드백 과정을 보여주는 것이다 (Figure 2). Figure 2는 적

Table 2. Adaptation policy analysis approaches to support prioritization of adaptation options

Approaches	Description	Main Characteristics	Key references
Scenarios-based	Key focus on alternatives within a system and set process	Inflexible; case focused, Local, national and global scale	Moss et al., 2010; Vervoort et al., 2014
Real option analysis	Treating a range of adaptation options as 'real options' in the face of uncertainty and evaluating the merits of both action and inaction in this context	Flexible; uncertainty; case focused	Yang et al., 2008; Woodward et al., 2013
Portfolio analysis	Selecting a portfolio of adaptation options rather than single options and exploring which is most effective in terms of return and uncertainty	Flexible; experimental; uncertainty	Beh et al., 2015
Robust Decision Making	Quantitative decision-analytic approach for supporting decisions under conditions of deep uncertainty and informed by stakeholder driven processes	Flexible; uncertainty; stakeholder engagement	Lempert and Groves, 2010; Weaver et al., 2013
Adaptation Pathways	Key focus on policy reflexivity and adaptive nature of it. Emphasizes policy and transformational change; conceptually and theoretically in experimental phase, but some empirical evidences at local scale available	Flexible; reflexive; time-oriented; experimental; focuses on incremental change; deep uncertainty	Butler et al., 2016; Wise et al., 2014; Hassnoot et al., 2013

Adapted from Vij et al. (2017) and McDermott and Surminski (2018)

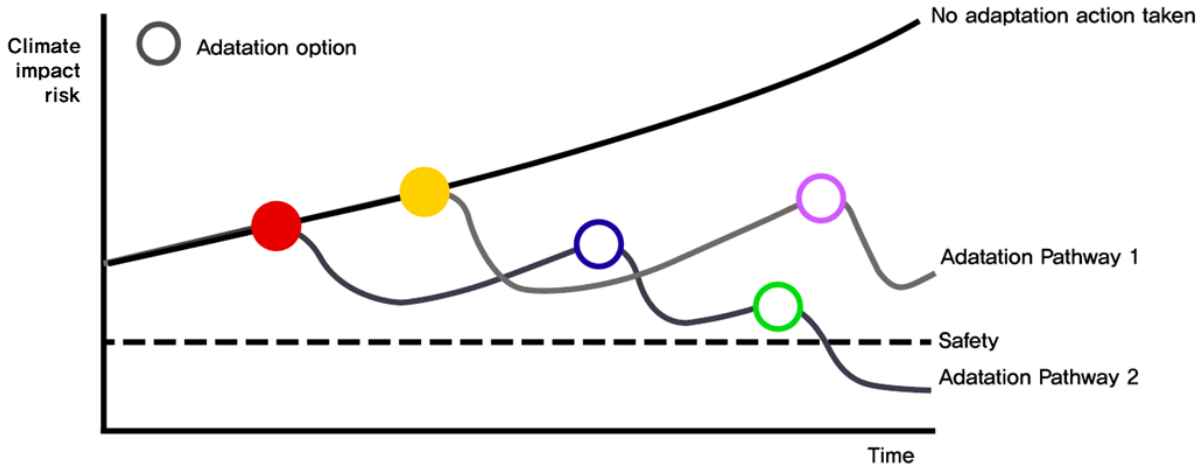


Fig. 2. Conceptual drawing of adaptation pathway.
Source: Figure created by the author based on Haasnoot (2013) and IPCC (2014)

응경로의 특징을 단순화하여 표현하였다. x축은 시간, y축은 기후변화 영향을 나타내며, 영향은 하나의 부문 혹은 여러 부문으로 인한 영향이다. 적응경로는 “무적응 (no-action taken)” 경로와 적응의 최소한의 기준이 될 수 있는 안전값 (safety threshold)에 대비하여 그려질 수 있다. 원으로 표현된 적응대책은 하나 또는 여러 개의 정책·기술일 수 있고, 정책·기술의 도입 규모 또한 명시할 수 있으며, 적용 시점에 따른 영향 저감효과를 알 수 있다. 이렇게 표현된 여러 적응경로를 비교분석 할 수 있다.

최근의 기후변화 적응계획 연구는 시나리오 기반, ‘예측 후 해결 (predict and plan)’ 프레임워크에서 벗어나 불확실성을 고려하고 장기적인 ‘행동 후 학습 (learning by doing)’을 장려하는 정책 접근법을 지향하는데 (IPCC, 2012), 적응경로가 이에 적합한 방법으로 제시될 수 있다. 장기적인 계획을 위해서는 시기별로 변화하는 여건에 따라 가장 효과적인 적응대책 및 기술을 선택될 수 있어야 한다. 따라서 적응대책 이행 시점에 따른 적응 효과평가가 사전적으로 이루어져야 한다. 다음 장에서는 우리나라가 과연 장기적인 계획을 수립할 수 있는 역량을 갖추고 있는지를 1) 의사결정 단계별 계획 과정, 2) 지원되는 의사결정 도구 현황을 통해 살펴보았다. 이를 통해 적응경로에 기반한 계획수립을 위한 의사결정지원 도구가 무엇인지를 확인하고자 하였다.

3. 우리나라 적응대책 세부시행계획의 의사결정 방식

우리나라에서는 저탄소 녹색성장 기본법 제 48조 및 시행령 38조에 따라 국가, 광역 및 기초지자체 적응대책 세부시행계획 수립이 의무화되어, 2015년도에는 189개, 2016년에는 37개의 지자체별 세부시행계획이 수립되었다. 2장에서 정의한 의사결정 요소들이 기초지자체의 기후변화 적응대책 세부시행계획에 포함되어있는지를 전국 19개 기초지자체의 제1차 계획서를 통해 검토하였다. 세부시행계획의 의사결정 과정을 평가하기 위해서 1) 적응목표 설정 방법, 2) 중점분야 선정 방법, 3) 우선순위 도출 방식을 확인하였다. 19개 기초지자체는 온라인으로 공개된 세부시행계획 중 광역별로 선정하였다. 계획을 검토하기 위해서 당시 제공된 수립지침, 취약성 평가도구, 기후정보 등의 의사결정지원도구를 살펴 보았다.

적응계획 수립 주체인 지자체는 수립지침 (MOE, 2015)에서 제시하는 과정을 충실히 따르고 있으나, 지자체 역량에 따라 기후변화와 관련된 다양한 이슈를 다루는 방식과 이를 통해 목표 수립에서부터 이행단계까지 연계하는 과정에서 차이가 있다. 지자체에 공통적으로 주어진 객관적인 자료와 의사결정 지원은 국가기후변화적응센터 (Korea Adaptation Climate Change Center; KACCC)에서 분야별 컨설팅을 통해 제공되고 있다 (NIER, 2010). 기후변화정보는 웹 기반의 통합적 취약성 평가도구인 VESTAP (Vulnerability Assessment Tool to build Climate Change Adaptation Plan)과 국가기후변

화적응포털 그리고 기상청에서 제공하는 기후 시나리오 자료가 있다. VESTAP은 사용자가 각자의 수요에 따라 직접 기후변화 취약성 평가를 수행할 수 있도록 지원해주는 도구로 (KACCC, 2019 a), 취약성 지수를 기후 노출, 민감도, 적응능력의 3가지 지표로 구분하여 평가를 수행한다 (Oh et al., 2016). 평가결과는 해당 지역의 상대적 순위를 나타내고, 취약성 평가 지역의 범위, 지표 및 가중치 구성 등에 따라 달라진다 (KACCC, 2019 b). 국가기후변화적응포털은 정책·연구동향, 교육자료, 행정구역 단위 기초자료 등의 정보를 제공하는 종합적인 플랫폼이다 (KACCC, 2019 a). 기후변화 시나리오 자료는 기상청에서 온라인으로 요청할 수 있으나 이를 활용하기 위해서는 전문성이 필요하다. 따라서 기상청은 보고서 형식으로 각 지자체에 기후정보를 제공하고 있다. 의사결정을 위한 정보 제공의 측면에서 우리나라에서 지원되는 도구는 위와 같으며, 지자체는 적응계획의 수립 단계별로 이들을 활용하고 있다.

3.1 적응목표 설정

수립지침에서 제시하는 적응계획의 기본 원칙은 “기후변화의 피해를 최소화하기 위한 지역 차원의 대책으로 기후변화뿐만 아니라 사회·경제 분야 등을 종합적으로 고려”하는 것이다 (MOE, 2015). 우리나라의 적응계획은 ‘영향 분석’ 프레임에 따라서 계획되어, 지자체는 취약성 평가를 통해 기후변화 적응목표 혹은 전략을 도출한다. 대부분 SWOT 분석, 설문지 기반 조사, 전문가 및 공무원 평가 등의 방식으로 목표 설정이 이루어진다. 지자체마다 차이가 있지만, 대체로 정성적인 방식으로 목표가 설정된다. 특히, 문제 정의와 목표 설정을 이해하는 정도에 따라 지자체별로 계획의 성격에 차이가 있었다. 예를 들어, 기존 사업이나 해당 지자체 운영 방향을 고려한 비전과 목표를 설정한 계획 또는 비전과 전략만을 선정하고 적응목표를 설정하지는 않았으나 적응 분야별 현황과 문제점을 분석하여 이와 연계되는 세부목표는 설정한 계획이 있었다. 대부분 적응목표 설정 방법을 기술하지 않았고, 일부 적응대책의 선정 과정은 다른 시군구의 정책 모방하거나 기존 사업과의 연계에 그쳐 실제 적응대책이 지자체의 취약성에 대해 효과적인지는 알 수 없었다.

3.2 중점분야 선정

지자체에서는 적응중점 추진분야를 선정하기 위해 분야별 기후변화 취약성평가, SWOT분석, 지자체 분야별 예산일치율 분석을 바탕으로 T/F팀 회의를 시행한다 (Chae et al.,

2012). 수립지침에서는 “종합분석을 통한 핵심부문을 선정” 하라고 명시되어 있으며, 종합분석에는 “지역현황 및 특성 파악, 기후변화 현황과 전망의 비교, 기후변화 영향 및 피해사례 조사, 기후변화 취약성평가 결과 등”을 포함한다 (MOE, 2015). 실제 세부시행계획을 검토한 결과 지자체별로 다양한 방식으로 실행하는 것으로 나타났다 (Table 3). 19개의 지자체 중 6개의 지자체에서는 정량적인 기준으로 평가 항목의 가중치를 주어 우선순위를 도출한 반면 나머지 지자체는 어떤 항목들을 고려했는지만 서술하였다. 분석된 지자체 모두가 취약성평가를 통해 중점분야 선정을 하였는데, 현재 VESTAP에서 제공되는 평가는 상대인 결과이기 때문에 실제로 기후변화 리스크가 어떤 규모로 다가올지는 알 수 없다. 또한, 선정된 중점분야는 지자체 적응대책 시행계획의 적응목표와 연계되지 않는 경우가 많다.

3.3 적응대책 우선순위 도출

분야별 적응대책 리스트 선정 과정에서는 대부분 어떤 방식으로 세부사업을 선정하였는지 기술없이, 목표에 따른 사업 리스트가 곧바로 제시되었다. 그 외에는 해당 지자체에서 수립·추진 중인 정책 현황을 조사한 후 국가와 광역 지자체 등 상위 계획과 연계하여 세부사업을 구성한 경우, 해당 부서와의 협의를 통해 적응대책 리스트가 선정된 경우 등이 있다. 적응대책 구성은 기존 사업, 보완 사업, 신규 사업으로 구별할 수 있는데 계획 대부분은 20~30개의 기존 및 보완사업에 10개 내외의 신규 사업을 추가하는 정도에서 이루어졌다. 사업추진 우선순위 선정과 시민·공무원 참여 형태는 대부분 적응협의체 혹은 거버넌스 구성을 통해서 제시되었다. 지자체별로 적응협의체 혹은 적응협의회, 추진위원회, 이행추진단, T/F팀 등 이름은 다양하지만, 대부분의 지자체는 지자체 정부와 실무 담당자, 민간 사업체와 시민 등 다양한 이해당사자의 참여를 바탕으로 계획 단계에서의 정책 우선순위 선정, 추진정책 이행 모니터링 등의 역할을 부여하였다. 사업추진 우선순위를 도출한 지자체는 많았으나 이 중 구체적인 선정 기준을 제시한 곳은 적었다. 기초지자체에서 이루어진 기후변화 적응대책의 우선순위 평가는 아직 평가 방법에 대한 기준 없이 산발적으로 이루어지고 있으며 (Chae et al., 2012) 우선순위를 선정하지 않은 지자체도 존재하였다.

종합해보면, 계획과정 내 의사결정 방식에 대해서는 지침이 제공되지 않기 때문에, 중점분야와 적응목표 선정 단계에서는 대부분의 지자체가 어려움을 겪고 있다. 일반적으로 선정한 중점분야와 적응계획의 목표를 현황분석, 영향평가, 주

Table 3. Methods for determining adaptation priorities by sample municipalities

Municipality	Vulnerability Assessment	Citizen Survey	Civil Servant Survey	Past Climate Impacts	Expert Evaluation	Other
Gwanak-gu, Seoul	80%		20%			
Dalsung-gun, Daegu	50%	30%	20%			
Namdong-gu, Incheon	√*	√	√	√		
Dong-gu, Gwangju	√				√	√
Seo-gu, Daejeon	√			√	√	√
Dong-gu, Ulsan	√	√	√	√	√	
Pocheon, Gyeonggi	20%	30%	30%	20%		
Taebaek, Gangwon	√	√	√	√	√	√
Hwacheon-gun, Gangwon	√	√	√	√	√	
Cheongju, Chungbuk	√	√	√	√		
Goesan-gu, Chungbuk	20%	25%	25%	10%		20%
Asan, Chungnam	√	√	√			
Yaesan-gun, Chungnam	20%	30%	30%	20%		
Gwangyang, Jeonnam	20%	30%	30%	20%		
Hwasun-gun, Jeonnam	√	√	√	√		
Pohang, Gyeongbuk	√	√	√	√	√	√
Youngyang-gun, Gyeongbuk	√	√			√	√
Gimhae, Gyeongnam	√	√	√			
Sanchung-gun, Gyeongnam	√			√		

*Represents a ratio only if weights are specified. √ is the actual ratio not specified

민 및 공무원 설문 등의 방식을 통해 종합분석한 결과를 이용하지만 (Table 2), 연계성이 미흡하다 (Lee, 2018). 모든 지자체는 국가기후변화적응센터의 지원 도구인 VESTAP을 활용하여 기후변화 현황조사와 취약성 평가결과를 적응계획에 반영하고 있으나, 취약성 평가만으로 적응정책을 선정하는 것은 한계가 있다. 또한, 적응계획의 구체적인 적응대책 선정이 정성적이고 직관적인 방식으로 이루어지고 있는 것 또한 문제이다. 적응 분야별 현황과 문제점을 분석하여 이와 연계되는 세부목표와 추진전략을 세우기보다는 해당 지자체 운영 방향과 부합하는 비전 설정을 통해서 기존 사업을 선정하는 경우가 많았다. 일부는 다른 시군구의 정책을 모방하거나 기존 사업과의 연계에서 그칠 뿐, 실제로 적응대책이 지자체의 취약성에 대해 효과적이지는 알 수 없었으며, 연차별 계획은 사업별로 나열된 후 집행되는 예산 위주로 행해지고 있었다.

환경부 혹은 국가기후변화적응센터에서 제공하는 일반화된 적응정책 및 계획수립의 지원체계와 가이드라인, 매뉴얼, 사례집 등의 도구로는 대상지 맞춤형 계획수립이 어렵기 때문에, 취약성 외 리스크 등의 개념을 포괄할 수 있는 새로운

지원 도구가 필요하다. 특히, 적응목표와 적응대책 선정을 지자체의 적응능력과 수용성에 맞추어 결정할 수 있는 체계가 도입되어야 하며, 적응정책의 적용 전후 대비 효과를 파악할 수 있는 체계와 적응대책 지원을 위한 객관화된 도구가 마련되어야 한다. 이런 정보와 도구들을 어떠한 방식으로 제공해야 할지, 그리고 어떤 정보가 포함되어야 할지에 대해서 해외 적응 의사결정지원시스템 리뷰를 통해 정리하였다.

4. 적응대책 세부시행계획의 의사결정지원 전략 방향

IPCC에서 제시하는 효과적인 의사결정 지원의 공통 원칙은 다음과 같다. 과학적 연구 우선순위가 아닌 사용자의 수요에 맞게 이루어져야 하고 사용자의 수요는 사용자와 연구자 간의 논의를 통해 규명될 수 있다. 또한, 제도적 안정성을 추구함으로써 사용자와 생산자를 효율적으로 연계하여 필요한

신뢰와 친숙함을 확보할 수 있다. 따라서 모든 당사자가 “용통성, 적응성 및 경험을 통한 학습이 가능한 구조적 의사결정 지원”의 필요성을 인식하고 이에 기여할 수 있도록 해야 한다 (IPCC, 2014). 우리나라는 아직 의사결정 단계를 지원하는 정보와 도구가 분산되어 있어 적응경로 기반 의사결정을 지원하는 통합적 시스템을 구성하기는 어렵다. 특히, 광범위하고 복잡한 기후변화 정보를 다룸에 있어서 의사결정자의 전문지식과 역량이 다르고, 지역적 특성을 반영함에 따라 다양한 대안이 나타날 수 있다는 점에서 기후변화 의사결정에 어려움이 있다 (Howarth and Painter, 2016). 미래의 장기적 계획을 위한 의사결정지원시스템의 구성 요소를 파악하기 위해서 해외의 의사결정지원시스템 사례를 선정하여 의사결정 단계에 필요한 3가지 측면 (Figure 1; (a), (b), (c))에서 검토하였다 (Table 4). 사례 선정 기준은 1) 웹 기반이며 대중에게 개방된 포털이고 2) 공공 단계에 의해 지원되어야 하며 3) 기후 정보, 기술 인벤토리, 의사결정지원도구가 모두 제시되는 통합적인 시스템이어야 한다는 것이다.

가장 초기의 시스템인 Climate-ADAPT는 기후변화 적응 지원을 위해서 EU에서 제공하는 기후적응 플랫폼이다 (EEA, 2019). 이들은 지역별·분야별·시점별 취약성 정보와 미래 기후정보, 유럽 내 다양한 지역에서 적용되는 적응대책 사례들을 제공한다 (a). 또한, 계획 내 의사결정을 돕기 위한 지침을 제시하여 사용자가 참고자료로 사용할 수 있도록 하였다

다 (c). Climate Resilience Toolkit은 미국의 NOAA (해양대기청)에서 기후 복원력을 증진하기 위해서 만든 의사결정지원시스템으로 (NOAA, 2019), 해수면상승과 같은 잠재적인 미래 기후 영향을 정량적 수치와 지도로 제공, 지역에서 적응 대책을 수행하였을 때에 복원력이 변화되는 과정을 모의할 수 있다 (a). 또 캘리포니아주에서 제작된 Cal-Adapt (CEC, 2019)는 기후변화시나리오 (RCP 4.5, RCP 8.5)에 따라서 기후 변수들의 미래 예측치를 제공하며 (a), 지자체의 적응능력에 대한 가이드라인을 제공하여 제도적 능력을 향상하고 이해관계자의 참여를 유도할 수 있도록 하였다 (b).

가장 최근의 시스템인 호주의 NCCARF는 적응경로 기반의 적응계획과 의사결정을 지원하는 것을 목적으로 제작된 시스템 (NCCARF, 2019)으로, 기후변화 정보를 위치, 자원유형 및 주제에 핵심어에 따라 검색할 수 있도록 적응 라이브러리를 제공하며 (a), 적응대책이 지역에 따라 다르게 갖는 민감도를 사례로 보여준다 (a). 또 해수면 상승에 대처하기 위한 의사결정 지원 도구 (C-CADS)를 제공하거나 지자체 네트워크 구축 플랫폼을 구성하여 의사결정자가 구체적인 예시를 활용, 의사결정에 유용하게 사용할 수 있도록 한다 (c).

해외의 시스템 사례를 검토한 결과, 현재 또는 미래의 단편적인 시점에서의 기후정보를 제공하던 방식에서 점차 미래 시나리오를 고려한 정량적 값을 제공하는 방식으로 변화하고 있다. 또 불확실성과 지역 상황을 고려하여 문제를 형성하고

Table 4. Summary of web-based adaptation decision-making support portals

	Overview	(a) Adaptation Info	(b) Framing Adaptation	(c) Decision-making Tools
Climate-ADAPT	Supports Europe’s adaptation by providing data on climate information, assessments, case studies and tools	Climate indicators, options, research and tools are provided	-	- Adaptation Support Tool: step by step guideline of the decision making process
Climate Resilience Toolkit	Tools, information and expertise to build climate resilience for U.S. developed by NOAA	200+ assessment tools, maps, information, etc.	Based on hazard, risk & vulnerability assessments on future climate projections	100+ tools to investigate options, prioritize and take action
Cal-Adapt	Cal-Adapt provides tools, data, and resources to conduct research, develop adaptation plans by providing a view of how climate change might affect California	Charts, maps and data of observed and projected climate variables in terms of RCP 4.5 and 8.5	Based on climate impacts on seven sectors; published fourth climate change assessment	- ADAPT-CA: improve institutional capabilities - Adaptation Planning Guide
NCCARF	Support decision makers to prepare and manage the risks of climate change in Australia	Climate risk information and adaptation library of technical notes	Risk management based information and tools provided	Provides network/conferences, research and tools (CoastAdapt)

적응목표를 설정할 수 있도록 하고, 어떤 부문에 자원을 우선 투입할 수 있는지 결정할 수 있도록 우선순위를 정하는 의사결정 과정에 지침을 제공하도록 한다. 이와 같이 적응경로 기반의 적응계획을 지원하기 위한 방향으로 시스템이 변화하고 있으며, 우리나라에서도 이와 같은 방향으로 지침과 지원시스템을 제공하여, 의사결정 과정과 계획 방식을 보완할 필요가 있다. 특히, 우리나라에서 적응계획의 의사결정 지원 내용에서는 정책결정자 및 이해관계자들의 지속적인 논의를 강조하고 있으나 이에 대한 방법론 또는 프레임워크는 결여되어 있다. 지자체의 기후변화 적응정책 결정에 있어 고려해야 하는 요소들을 나열, 또는 강조하고 있으나 의사결정 과정이나 방법론이 부족하므로 의사결정 프레임의 개발이 필요하다. 적응계획을 위한 의사결정지원시스템과 관련된 국외 현황을 종합하였을 때, 기후변화와 적응대책을 다양한 측면 — 이해관계자의 가치와 목적, 과학기술정보, 기후변화 영향·취약성·리스크 평가, 불확실성 — 에서 고려할 수 있도록 지원하고 있다. 목표 설정의 초기 단계에서부터 정량적 평가에 기초하도록 하여, 이후 이행평가에서 목표달성의 여부를 확인하고 추후 정책이 더 나은 방향으로 수정해나가는 과정이 가능하도록 통합된 시스템이 설계되었다. 이러한 시스템에는 수립지침, 취약성 평가도구, 기후정보 등의 지원 도구들이 지속해서 개발 및 진화되어 포함될 수 있다 (Figure 3).

의사결정 과정에 있어서 본 연구의 시사점은 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 의사결정자들의 합의 하에 지역 상황에 맞는 문제 정의가 필요하며, 이를 기반으로 더욱 명확한 목표가 수립되어야 한다. 둘째, 과학적인 적응대책 평가는 지

역의 특성에 맞게 구축되어야 하며 지역 의사결정자들에게 정보가 제대로 전달되어야 한다. 그렇지 않으면, 문제 해결을 위한 정보들이 검증된 것인지, 유의미한 것인지 평가가 이루어지지 않은 상태에서 정보 부족 접근 방식 (information deficit approach)으로 의사결정이 이루어져, “의사결정자에게 필요한 정보는 없고, 과학자는 사용되지 않는 정보를 만들어 내는 문제”가 발생할 수 있다 (Cash et al., 2002; Brunsson, 2007). 따라서 의사결정자에게 필요한 정보가 무엇인지를 우선적으로 파악해야 하며 이후의 적응대책 평가 과정에서 사회적으로 통용될 수 있는, 객관성이 담보된 자료가 구축되어야 한다. 셋째, 장기적 미래를 포함하는 적응경로에 기초하여 의사결정자가 유연한 적응대책을 구성할 수 있도록 함으로써 미래 기후변화의 불확실성에 대응할 수 있어야 한다. 구체적으로 적응정책의 적용에 따른 효과와 비용을 제시할 수 있으며 이것은 지역 의사결정자의 이해를 돕고, 다양한 이해관계자 간의 협의할 수 있는 안을 제시할 수 있다. 또한, 중장기 계획수립과 대상지의 이행능력을 고려할 수 있는 전략을 제안할 수 있다. 이 전략들은 향후 이행평가 및 모니터링 단계에서 유용한 자료로 활용될 수 있다.

5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 적응계획에서의 의사결정을 ‘이행계획 작성 시에 의사결정자가 판단 기준을 설정하고, 이에 기반하여 여러 옵션 중에서 선택을 내릴 수 있도록 하는 모든 과정’으로 정의하였으며, 적응계획에서의 의사결정 단계는 1) 정보

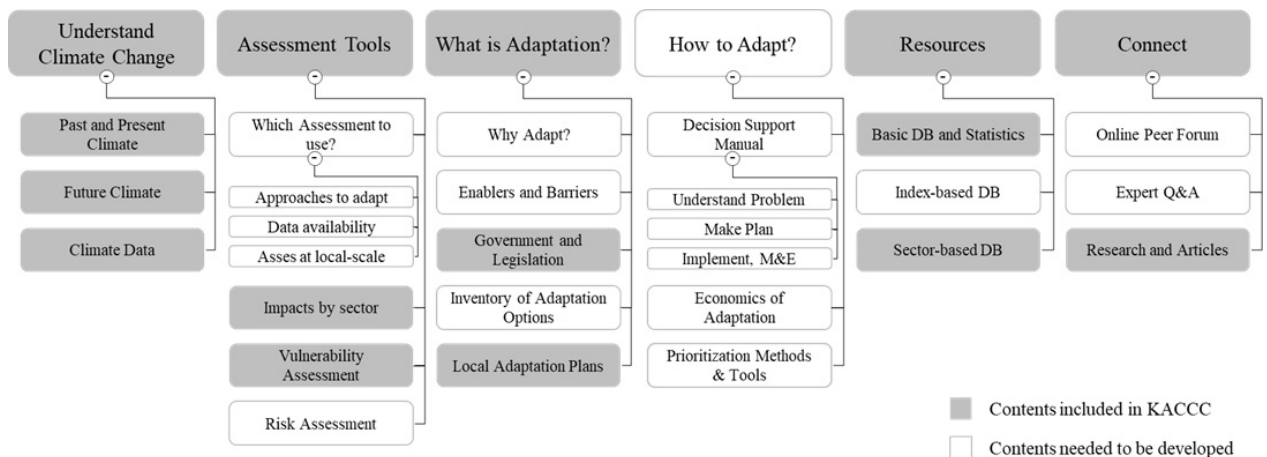


Fig. 3. Sitemap of an online climate adaptation decision support system.

Source: Figure created by the author based on KACCC and NCCARF

수집 및 분석, 2) 문제 정의, 3) 목표 설정, 4) 이행과제 선정으로 구성된다. 앞으로의 적응계획은 불확실성을 고려하여 장기적으로 계획되어야 하므로, 최근 화두로 떠오르고 있는 ‘적응경로’ 개념을 살펴보았다. 이를 위해서 적응계획 의사결정 단계별로 선행되어야 하는 전제조건을 3가지 측면, (a) 적응 정보 (b) 적응 프레이밍 (c) 우선순위 및 적응정책 평가로 정리하였다. 우리나라에서 현재 제공되고 있는 의사결정지원 도구가 정량적 평가 기반 장기계획에 사용될 수 있는지를 보았으며, 이들이 계획수립 과정에서 어떤 결과물을 가져오는지를 기초지자체의 적응대책 세부시행계획을 통해 확인하였다. 세부시행계획 내의 의사결정 과정인 적응목표 설정, 중점분야 선정, 적응대책 우선순위 도출 과정을 살펴본 결과, 우리나라의 경우에는 지원 도구들이 제공되고 있으나 불확실성을 고려한 장기적 계획에 사용되기에는 부족한 것을 확인하였다. 그렇다면 어떤 의사결정지원도구가 마련되어야 하는지를 파악하기 위해 해외의 대표적인 사례들을 검토한 결과, 적응에 관련한 무수히 많은 정보와 분석 도구, 접근 방식, 가이드라인 등이 제시되어야 한다. 실제로 이들을 통합적으로 제공하는 의사결정지원시스템이 성공적으로 활용되고 있음을 확인하였다.

그러나 기후적응의 필요성을 인식하고 있음에도 불구하고 효과적인 의사결정을 저지하는 제약들이 무수히 많다. 제약의 범위는 다양한 정치적·제도적 규제에서부터, 충분한 자료가 확보되기 어려워 기후 영향 또는 적응 과제를 정량적으로 분석하는 데 어려움을 겪는 것에 이른다. 이러한 제약들은 해당 지역의 적응계획 수립 및 이행 주체에 따라 달라지는데, 그들의 적응능력에 따라서 위와 같은 제약이 가중되기도 하고, 극복되기도 하기 때문이다. 따라서 통합적 의사결정지원 시스템 내의 항목들을 구성하기 위해서는 이행에서 평가단계까지 이르는 적응계획의 모든 측면에 걸친 연구 개발이 이루어져야 한다. 또, 시스템에서는 단순히 구성 요소만을 제공하는 것이 아니라 그 요소들이 실제로 수행될 수 있도록 하는 구체적인 방법이 지시 혹은 제안되는 것이 중요하다.

지금까지는 기후변화의 직접적인 영향에 대한 사회적인 합의가 진행됐다면 앞으로는 정량적인 기후변화 영향 저감효과가 반영된 지속적인 적응정책이 이루어지도록 노력하는 것이 중요하다. 보다 직관적이며 정확하고 사용하기 쉬운 웹 기반 의사결정지원시스템이 개발되어야 하며, 적응경로 개념으로 계획을 수립하고 의사결정을 내리기 위해서는 적응대책에 대한 평가가 선행되어야 한다. 장기적인 계획에서는 적용되는 적응대책의 효과-결과 피드백을 통해 이후 시점의 계획을 수정하여 목표가 달성되도록 하고, 이러한 과정을 통해 계획

의 효과성을 증진할 수 있으므로, 대안 평가를 위한 의사결정 지원 도구가 개발되어야 할 것이다. 적응정책의 적용 전후 대비 효과를 검증하여 대응을 설득해 나가는 것이 중요한데, 객관적인 효과를 가시적인 형태로 지속적으로 제공해야 한다. 이를 통해 대응이 기후변화 대처에 귀 기울이도록 하고, 미래의 기후변화에 대응할 수 있도록 할 수 있다.

사 사

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

REFERENCES

- Alliance of Regional Collaboratives for Climate Adaptation; [accessed 2018 Oct 25]. <http://arccacalifornia.org/adapt-ca>
- Barnett J, O'Neil S. 2010. Maladaptation. *Global Environmental Change* 20: 211-213.
- Beh EHY, Maier HR, Dandy GC. 2015. Adaptive, multiobjective optimal sequencing approach for urban water supply augmentation under deep uncertainty. *Water Resources Research* 51 (3): 1529-1551.
- Berrang-Ford L, Ford JD, Paterson J. 2011. Are we adapting to climate change?. *Global Environmental Change* 21: 25-33.
- Brown K, DiMauro M, Johns D, Holmes G, Thompson D, Russell A, Style D. 2018. Turning risk assessment and adaptation policy priorities into meaningful interventions and governance processes. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 376: 20170303
- Brunsson N. 2007. *Consequences of Decision-Making*. Oxford University Press. Oxford: GBR
- Burch S. 2010. Transforming barriers into enablers of action on climate change: insights from three municipal case studies in British Columbia, Canada. *Global Environmental Change* 20 (2): 287-297.
- Butler JRA, Wise RM, Skewes TD, Bohensky EL, Peterson N, Suaunya W, Yanuartati Y, Handayani T, Habibi P, Puspadi K, Bou N, Vaghelo D, Rochester W. 2016. Integrating Top-Down and Bottom-Up Adaptation Planning to Build Adaptive Capacity: A Structured Learning Approach. *Coastal Management* 43 (4): 346-364.

- Buurman J, Babovic V. 2016. Adaptation Pathways and Real Options Analysis: An approach to deep uncertainty in climate change adaptation policies. *Policy and Society* 35 (2): 137-150.
- California Energy Commission (CEC); [accessed 2019 April 11]. Cal-Adapt. <https://cal-adapt.org/>
- Cash DW, Clark W, Alcock F, Dickson NM, Eckley N, Jaeger J. 2002. Salience, Credibility, Legitimacy and Boundaries: Linking Research, Assessment and Decision-making. KSG Working Paper Series RWP02-046, Harvard University, USA.
- Chae Y, Kang J, Bae H, Lee J, Cho K, Jo H. 2012. Prioritization of Climate Change Adaptation Measures by Sector. KEI, working paper No. 2012-01
- Cradock-Henry NA, Frame B, Preston BL, Reisinger A, Rothman DS. 2018. Dynamic adaptive pathways in downscaled climate change scenarios. *Climate Change* 150: 333-341.
- de Bruin K, Dellink RB, Ruijs A, Bolwidt L, Buuren A, Graveland J, Groot RS, Kuikman PJ, Reinhard S, Roetter RP, Tassone VC, Verhagen A, Van Ierland EC. 2009. Adapting to climate change in the Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives. *Climatic Change* 95 Springer: 23-45.
- Dessai S, van der Sluijs J. 2007. Uncertainty and Climate Change Adaptation - a Scoping Study. Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation, Utrecht, Netherlands.
- Dessai S, Hulme M, Lempert R, Pielke R Jr. 2009. Climate prediction: A limit to adaptation? In: Adger NW, Lorenzoni I and o'Brien K (eds). *Adapting to climate change: Thresholds, Values, Governance*. Cambridge University Press: UK, p515.
- Dittrich R, Wreford A, Moran D. A survey of decision-making approaches for climate change adaptation: Are robust methods the way forward?. *Ecological Economics* 122: 79-89.
- Eakin HC, Patt AG. 2011. Are adaptation studies effective, and what can enhance their practical impact?. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 2 (2): 141 - 153.
- European Environment Agency (EEA); [accessed 2019 April 11]. Climate-ADAPT. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>
- Ford JD, Berrang-Ford L, Paterson J. 2011. A systematic review of observed climate change adaptation in developed nations. *Climate Change* 106: 327-336.
- Ford JD, Berrang-Ford L, Lesnikowski A, Barrera M, Heymann SJ. 2013. How to track adaptation to climate change: a typology of approaches for national-level application. *Ecology and Society* 18 (3): 40.
- Ford JD, King D. 2015. A framework for examining adaptation readiness. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 20 (4): 505-526.
- Haasnoot M, Middelkoop H, Offermans A, van Beek E, van Deursen WPA. 2012. Exploring pathways for sustainable water management in river deltas in a changing environment. *Climatic Change* 115 (3-4): 795-819.
- Haasnoot M, Kwakkel JH, Walker WE, Maat J. 2013. Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global Environmental Change* 23 (2): 485-498.
- Howarth C, Painter J. 2016. Exploring the science-policy interface on climate change: The role of the IPCC in informing local decision-making in the UK. *Palgrave Communications* 2: 16058.
- Howarth C, Morse-Jones S, Brooks K, Kythreotis AP. 2018. Co-Producing UK Climate Change Adaptation Policy: An Analysis of the 2012 and 2017 UK Climate Change Risk Assessments. *Environmental Science & Policy* 89: 412-420.
- Huntjens P, Lebel L, Pahl-Wostl C, Camkin J, Schulze R, Kranz N. 2012. Institutional design propositions for the governance of adaptation to climate change in the water sector. *Global Environmental Change* 22 (1): 67-81.
- Iglesias A, Quiroga S, Moneo M, Garrote L. 2012. From climate change impacts to the development of adaptation strategies: challenges for agriculture in Europe. *Climatic Change* 112 (1): 143-168.
- IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p582.
- 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.
- Juhola S, Keskitalo ECH, Westerhoff L. 2011. Understanding the framings of climate change adaptation across multiple scales of governance in Europe. *Environmental Politics* 20 (4): 445-463
- Korea Adaptation Center for Climate Change (KACCC); [accessed 2019 March 24, a]. <http://kaccc.kei.re.kr/home/business/build.do>
- Korea Adaptation Center for Climate Change (KACCC); [accessed 2019 March 24, b]. VESTAP. <https://vestap.kei.re.kr/loginPage.do>
- Kubal C, Haase D, Meyer V, Scheuer S. 2009. Integrated urban flood risk assessment - adapting a multicriteria approach to a city. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9: 1881-1895.
- Lee, Y. 2018. A Study of Policy Evaluation in Local Climate Change Policy: Case of Incheon Metropolitan City (in Korean with English abstract). *The Korean Journal of Local Government Studies* 22 (1): 145-171.
- Lempert RJ, Groves DG. 2010. Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American west. *Technological Forecasting and Social Change* 77 (6): 960-974.
- McDermott T, Surminski S. 2018. How normative interpretations of climate risk assessment affect local decision-making: an exploratory study at the city scale in Cork, Ireland. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 376: 20170300.
- Miller DD, Ota Y, Sumaila UR, Cisneros-Montemayor AM, Cheung WWL. 2017. Adaptation strategies to climate change in marine systems. *Global Change Biology* 24: 1-14.
- Mimura N, Pulwarty S, Duc DM, Elshinnawy I, Redsteer M, Huang H, Sanchez Rodriguez R. 2014. Adaptation planning and implementation. In C. B. Field, et al. (Eds.), *Climate change 2014*. Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Ministry of Environment (MOE). 2008. Comprehensive plan for climate change response.
- Ministry of Environment (MOE). 2015. Local government vulnerability assessment support. 2015-003-2-3.
- Morand A, Saunders Hastings P, Douglas A, Wiles A, Sparling E. 2014. Research and analysis of monitoring and evaluation programs as analogues for climate change adaptation measurement. Report submitted to the Climate Change Impacts and Adaptation Division, Natural Resources Canada. 147.
- Moser SC, Ekstrom JA. 2010. A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 22026-22031.
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T, Meehl GA, Mitchell JFB, Nakicenovic N, Riahi K, Smith SJ, Stouffer RJ, Thomson AM, Weyant JP, Wilbanks TJ. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463: 747-756.
- Myeong SJ, Shim CS, Jung HC, Hwang SH. 2013. Measures to Enhance the Effectiveness of Climate Change Adaptation Policies, Korea Environment Institute, pp 17-254.
- National Institute of Environmental Research (NIER). 2010. Study on a Development Strategy for the National Climate Change Adaptation Center, pp 124-128.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); [accessed 2019 April 11]. U.S. Climate Resilience Toolkit. <https://toolkit.climate.gov/>
- National Climate Change Adaptation Research Facility (NCCARF); [accessed 2019 April 11]. <https://www.nccarf.edu.au/>
- 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.
- Park HJ, Son SH. 2007. Vulnerability due to climate change

- and countermeasures. Eco Horizon Institute.
- Ranger N, Millner A, Dietz S, Fankhauser S, Lopez A, Ruta G. 2010. Adaptation in the UK: A decision-making process. Policy Brief Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment/the Centre for Climate Change Economics and Policy
- Reeder T, Ranger N. 2011. How do you adapt in an uncertain world? Lessons from the Thames Estuary 2100 project. World Resources Report, Washington DC, USA.
- Rosenzweig C, Solecki WD. 2013. Hurricane Sandy and adaptation pathways in New York: lessons from a First-Responder City. *Global Environmental Change* 28: 395-408.
- Shi L, Chu E, Debats J. 2015. Explaining Progress in Climate Adaptation Planning Across 156 U.S. Municipalities. *Journal of the American Planning Association* 81 (3): 191-202.
- Stafford Smith M, Horrocks L, Harvey A, Hamilton C. 2011. Rethinking adaptation for a 4C World. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 369: 196-216.
- Stern NH. 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press: Cambridge, England.
- Travis WR. 2014. Weather and climate extremes: Pacemakers of adaptation?. *Weather and Climate Extremes* 5-6: 29-39.
- UNEP. 2013. *PROVIA Guidance on Assessing Vulnerability, Impacts and Adaptation to Climate Change*. The Programme of Research on Climate Change Vulnerability, Impacts and Adaptation (PROVIA). United Nations Environment Programme (UNEP).
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2002. *A Guide to the Climate Change Convention and its Kyoto Protocol*. UNFCCC Secretariat, Bonn.
- Vervoort JM, Thornton PK, Kristjanson P, Förch W, Ericksen PJ, Kok K, Ingram JSI, Herrero M, Palazzo A, Helfgott AES, Wilkinson A, Havlík P, Mason-D'Croz D, Jost C. 2013. Challenges to scenario-guided adaptive action on food security under climate change. *Global Environmental Change* 28: 383-394.
- Vij S, Moors E, Ahmad B, Arfanuzzaman M, Bhadwal S, Biesbroek R, Gioli G, Groot A, Mallick D, Regmi B, Saeed B, Ishaq S, Thapa B, Werners S, Wester P. 2017. Climate adaptation approaches and key policy characteristics: cases from South Asia. *Environmental Science & Policy* 78: 58-65.
- Weaver CP, Lempert RJ, Brown C, Hall JA, Revell D, Sarewitz D. 2013. Improving the contribution of climate model information to decision making: the value and demands of robust decision frameworks. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 4 (1): 39-60.
- Wise R, Fazey I, Stafford S, Park S, Eakin H, Archer Van Garderen E, Campbell B. 2014. Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response. *Global Environmental Change* 28: 325-336.
- Woodward M, Gouldby B, Kapelan Z, Khu ST, Townend I. 2011. Real options in flood risk management decision making. *Journal of Flood Risk Management* 4 (4): 339-349.
- Yang M, Blyth W, Bradley R, Bunn D, Clarke C, Wilson T. 2008. Evaluating the power investment options with uncertainty in climate policy. *Energy Economics* 30 (4): 1933-1950.
- Young HR, Cornforth R, Gaye A, Boyd E. 2019. Event Attribution science in adaptation decision-making: the context of extreme rainfall in urban Senegal. *Climate and Development*. DOI: 10.1080/17565529.2019.1571401