

# 베이저안 네트워크를 이용한 기후변화 적응대책 정책평가 : 부산광역시를 대상으로

김나윤\* · 이상혁\*\* · 박창석\*\*\*†

\*울산과학기술원 도시환경공학과 박사과정, \*\*한국해양수산개발원 해양연구본부 전문연구원, \*\*\*한국환경연구원 물국토연구본부 선임연구위원

## Policy Assessment of Climate Change Adaptation Measures Using Bayesian Networks : Busan Metropolitan City

Kim, Na Yoon\* · Lee, Sang-hyeok\*\* and Park, Chang Sug\*\*\*†

\*Doctor Student, Department of Urban and Environmental Engineering, UNIST, Ulsan, Korea

\*\*Senior Researcher, Marine Policy Research Department, Korea Maritime Institute, Busan, Korea

\*\*\*Chief Research Fellow, Water and Land Research Group, Korea Environment Institute, Sejong, Korea

### ABSTRACT

Climate change adaptation predicts damage from global persistent climate change to various aspects and taking countermeasures. Accordingly, Korea has been establishing measures to adapt to climate change since 2010, but there are insufficiencies. Thus, the purpose of this study is to perform policy assessment of climate change adaptation measures and to suggest directions and policy implications for establishing further adaptation measures in the future. The spatial scope of the study was limited to Busan Metropolitan City, and the time range was set from 2000 to 2020.

Policy assessment of climate change adaptation measures was conducted by examining the prior distribution of damage caused by typhoons and heavy rain, and then demonstrating the relative effect of the measures based on the posterior probability of the damage. The study results suggest the following implications. First, the capacity to adapt to climate change in a new climate system is essential, as extreme climate phenomena occur frequently. Secondly, as the number of complex disasters caused by the effects of climate change increases, the implementation of a number of climate change adaptation measures will have a substantial effect on climate change adaptation. Interest in adapting to climate change is increasing, but studies demonstrating policy effects are very rare, and the system for demonstrating policy effects is insufficient. Therefore, this study is meaningful in trying to demonstrate the policy effects of climate change adaptation measures, and it is expected to be used as basic data for future adaptation measures and implementation plans.

*Key words: Climate Changes Adaptation, Policy Assessment, Bayesian Networks, Busan Metropolitan City*

### 1. 서론

기후변화는 우리가 직면하고 있는 가장 시급하고 중대한 위기로 전 세계적으로 이상기후의 빈도와 규모는 급격히 증가하고 있다(IPCC, 2021). IPCC 6차 보고서(2021)에 따르면, 현재의 온실가스 배출량을 유지할 경우 2030년 지구와 인류에 치명적인 영향을 미칠 것을 경고하고 있다.

기후변화 위험(Climate Change Risk)은 내륙대비 연안에 더욱 취약하다(Brown et al., 2014; Petzold and Ratter, 2015). 최근 해수면 상승 속도는 예상했던 것보다 가속화되었고, 이는 저지대 침수와 더불어 극한 태풍과 폭풍해일 위험 증가, 영토손실 등 막대한 피해를 유발한다. 다양한 도시·환경 요소 간 상호적 연결은 주민들의 생활환경에 광범위한 피해를 유발할 수 있으며 특

†Corresponding author : [plade290@kei.re.kr](mailto:plade290@kei.re.kr) (30147, Korea Environment Institute, 370, Sicheong-daero, Sejong, Korea. Tel. +82-44-415-7771)

ORCID 김나윤 0000-0001-8652-4718  
박창석 0000-0001-5154-808X

이상혁 0000-0001-5393-2483

히, 연안은 기후변화 적응을 위한 보다 적극적인 자세가 요구된다.

세계적으로 기후변화 영향에 대비하기 위한 다양한 정책을 수립하고 있지만, 온실가스 배출이 줄어들더라도 향후 수십년 이상은 기후변화 영향이 잔존할 것으로 평가되고 있다. 이에 기후변화 적응(Climat Change Adaptation)이 기후 노출, 재난재해 등 전반적인 위협에 대한 근본적 대응책으로 그 중요성이 더욱 강조되고 있다(Smith et al., 2011; KEI., 2019; Kim and Park, 2021). 기후변화 적응은 기후변화 영향에 대한 피해를 최소화하기 위해 대응 능력을 높이는 것을 의미하며(Kang et al., 2016), 도시 및 지역 수준에서 이루어지기 때문에 도시의 실정을 반영한 적응대책 마련의 중요성도 제기되고 있다(Huang, 1997; Ahn et al., 2016).

우리나라는 2010년 「제1차 국가 기후변화 적응대책(2011~2015)」을 수립하였고, 현재 「제3차 국가 기후변화 적응대책(2021~2025)」을 수립·이행 중이다. 이와 더불어, 광역 및 기초지방자치단체는 기후변화 적응 세부시행계획을 수립하고 있지만, 국가 기후변화 적응대책의 연계성이 미흡한 실정이다(An appropriate central administrative agency, 2020). 또한, 지방자치단체가 기후변화 적응 세부시행계획을 수립함에 있어 필요한 역량에 대한 논의가 부족하고(Kim, 2019), 활용할 수 있는 기후 공간환경 정보 미흡(Kim, 2015) 등 한계가 존재한다. 최근 기후변화 적응대책의 미흡함과 더불어 잦은 이상기후 발생에 따라 기후변화 적응대책 이행체계 강화를 강조한 연구들이 다수 등장하였으며(Yu, 2020; Bae, 2021; Kim and Park, 2021), 국가 기본계획을 중심으로 유연성과 일관성을 고려하여 추진되어야 함을 피력하고 있다.

2001년 IPCC 제3차 보고서 발간 이후 기후변화 영향과 적응에 관한 논의는 지속된 반면, 기후변화 적응 정책 평가를 위한 체계 및 방법론은 아직까지도 미흡한 실정이다(Ford et al., 2013; KEI, 2019). 2022년 우리나라는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(탄소중립기본법)」 시행으로 기후변화 적응을 위한 국가적 노력이 더욱 구체화 되었으며, 현재 수립·이행 중인 기후변화 적응대책의 정책평가가 선결된다면 더욱 효과적인 이행체계 마련이 가능할 것이다. 따라서 본 연구는 우리나라 기후변화 적응대책의 정책영향평가를 토대로 향후 효과적인 기후변화 적응대책 수립·이행체계 마련에 시사점을 제시하고자 한다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1. 기후변화 적응대책 정책평가

정책평가(Policy Evaluation)란 정책과 평가의 합성어로 연구자에 따라 정의는 상이하다. 정책평가는 협의적 의미로는 정책의 성패 여부를 측정하여 그것의 가치를 판단하는 것을 의미하며, 광의적으로는 성패여부의 측정뿐만 아니라 그러한 결과의 원인 규명에 중점을 두고 있다(Chung et al., 2007).

국가에서 시행 중인 다양한 정책은 국민의 삶에 개입하므로 국민은 국가의 정책이 삶의 질 향상에 기여하고 있는지 관심을 가질 수밖에 없다. 또한, 정책이 어떻게 수립·이행되었는지에 대한 점검은 정책목표 달성 여부를 좌우한다(Shim et al., 2011). 따라서 국가는 국가 활동의 정당성을 증명하도록 요구되며, 정부는 책무성 확보를 위해 정책평가를 수행할 필요가 있다(Greenberg, 1979; Vocino and Rabin, 1987; Chung et al., 2007). 여기에서, 책무성이란 직무수행의 내용, 예산지출, 결정, 노력 등을 정당화할 책임을 가리키며(Michael Scriven, 1981), 책무성 확보는 정책 실무자들이 본인의 의무를 충실히 수행했음을 판단하고자 함이다. 일반적으로 정책평가는 정책영향평가로 정책을 원인으로 보고, 정책 시행에 따른 사회에 미치는 영향과 그 결과를 추정한 뒤, 각 정책대안을 비교·분석하여 최선의 대안을 식별하는 것이다(Chung et al., 2007). 따라서, 효과적인 정책평가를 수행하기 위해서는 원인과 결과 관계에 대한 지식과 분석능력이 요구되며, 인과적 분석은 정책문제에 대한 원인을 실증하고 문제에 대한 올바른 정의를 내려 해결책 개발을 위해 정책 분석과정에서 필수적으로 선결되어야 할 작업이다.

기후변화 적응대책의 정책평가는 기후변화 영향에 대한 적응대책의 불확실성을 최소화하여 효과적인 정책 실현에 목적을 둔다. 기후변화 적응대책 정책평가 방법은 다속성 효용이론, 계층화 분석법, 퍼지이론, 퍼지-계층화 이론 등 정성적 방법과 기후변화 영향 평가, 기후변화 취약성평가, 비용-편익분석, 비용-효과분석, 주성분분석 등 정량적 방법으로 구분할 수 있다(KEI, 2011).

기후변화 적응대책의 정책평가에 관한 연구를 살펴보면, Reeder and Ranger (2011)는 영국 런던 템스강의 기후변화 영향 정도에 따른 강 수위(Water Level Rise)를 설정한 뒤, 템스강 수위 변화량 추이를 분석결과를 기반으로 전문가 설문조사를 통해 필요한 기후변화 적응대책을 비교·분석하였다. Song et al.(2013)은 옥수수과 밀에 대한 주요 수출국인 미국과 중국을 대상으로 기온의 변화 경향을

의미하는 적응성과 기온의 변화 정도를 나타내는 민감도를 이용하여 곡물별 생산 취약성을 분석하였다. Yu (2020)은 IPCC 제5차 기후변화 평가보고서에서 정립한 위험도의 개념을 적용하여 대구광역시, 울산광역시, 경상북도, 강원도를 대상으로 설해 위험도를 평가한 뒤, 기후변화 적응대책 수립 시 인구 대비 건설장비 수와 공무원 수에 대한 검토가 선행되어야 하며, 노후주택과 재해 취약인구를 고려한 기후변화 적응대책 수립의 필요성을 제안하였다. Bae (2021)은 지방자치단체 공무원 인식조사를 수행한 뒤, 기후변화 적응대책의 집행과정에 영향을 미치는 요인을 파악하였고, 기후변화 적응대책의 수립-이행-평가 단계에서 지역주민, 시민단체, 지역 전문가 등 적응대책 거버넌스 운영의 필요성을 제안하였다. Kim and Park (2021)은 기후변화 적응대책간 시너지 효과와 상충 효과에 대한 전문가 설문조사를 수행한 뒤, 각 기후변화 적응대책의 상대적 중요도와 적응대책의 우선순위를 도출하였다.

기후변화 적응대책의 정책평가 연구는 기후변화 적응대책 간 비교·분석에 관한 연구와 적응대책 수립·이행 체계 개선에 관한 연구로 설명된다. 그러나, 기후변화 적응대책의 정책평가 관련 선행연구에서는 개략적인 적응대책 간 비교 및 이행체계 개선 필요성이 언급되는 등 향후 실질적인 기후변화 적응대책 이행체계 마련을 위한 총체적인 전략의 실체가 불분명하다. 따라서, 본 연구는 전문가 설문조사와 베이지안 네트워크 모형을 활용한 정책평가를 수행함으로써 향후 기후변화 적응대책의 효율적인 이행체계 마련을 위한 지렛대를 마련하고자 한다.

## 2.2. 베이지안 네트워크

본 연구에서는 기후변화 적응대책 정책평가 방법론으로 베이지안 네트워크(Bayesian Network, BN) 모형을 활용하였다. 베이즈 정리(Bayes's theorem) 기반의 베이지안 네트워크 모형은 정성적, 정량적인 확률변수의 인과관계를 네트워크 구조로 표현한 확률 모형으로 베이즈 정리와 그래프 이론을 결합한 모형이다. 베이즈 정리는 관측 이전의 원인에 대한 가능성과 관측 이후의 원인에 대한 가능성의 관계라 정의하며, 불확실한 상황에서 의사결정을 수행할 때 자주 활용되는 접근방법이다. 베이즈 정리에 대한 식 (1)을 살펴보면, 원인 B의 발생 이후 결과 A가 발생할 조건부 확률 P(A|B)는 원인인 B와 결과인 A의 동시 확률 P(A∩B)과 B의 발생확률 P(B)의 관계식으로 산정된다(Lee, 2018).

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

베이지안 네트워크 모형은 주관적인 사전분포에 대한 비판이 있지만, 입력변수와 출력변수를 구분하지 않고 시간에 따른 명확한 인과관계를 분석모형으로 구성하므로 예측력이 뛰어나다는 장점이 있다(Lee et al., 2016; Lee, 2018). 또한, 불확실성이 높은 분야의 데이터로부터 속성들 사이의 비선형적인 상호의존성을 비교적 정확하게 예측할 수 있는 계량적 도구로 평가(Jensen, 1996)되며, 질병 발생확률을 예측하는 의학 분야, 유전자 사이의 관계를 유전공학 분야, 전략 수립 및 시장분석 등의 경영 분야, 복합적인 자연현상 예측을 위한 방재 분야 등 다양하게 활용되고 있다(Morgan and Henrion, 1990, Heckerman et al., 1995; Park et al., 2010; Yoo et al., 2014).

베이지안 네트워크 모형을 활용한 기후변화 영향 및 적응 영향 실증을 시도한 연구를 살펴보면, Catenacci and Giupponi (2013)은 이탈리아 동서쪽 해빈을 대상으로 해수면 상승에 대한 주변 영향 관계 및 강도에 대한 베이지안 네트워크 모형을 구축하여 해수면 상승 관련 적응정책인 염습지 복원과 양빈 2개의 기후변화 적응정책의 효과를 비교·분석하였다. Nam (2014)은 복합재난의 특성을 파악하고 이에 대한 위험성 평가를 위해 태풍과 집중호우로 인한 복합재난 베이지안 네트워크 모형을 구축하였고, 연구결과 강우가 증가할수록 2차 재난 시 건물 붕괴와 선박 침몰의 발생확률이 증가함을 제안하였다. Lee et al.(2016)은 기후변화를 고려한 홍수 리스크 평가를 위한 베이지안 네트워크 모형을 구축하였고, RCP 4.5 기후변화 시나리오를 적용하여 2030년, 2050년 미래 침수발생 가능성을 추정하였다. 연구 결과 시간의 흐름에 따라 증가하는 예측강수량으로 침수 발생 가능성과 위험지역이 증가하며, 침수로 인한 2050년의 재산피해 리스크는 2030년 대비 약 6.6% 증가할 것을 추정하였다. Lee et al.(2020)은 기상요인과 영농투입재 비용이 농작물 생산량에 미치는 영향 정도를 파악하고자 베이지안 네트워크 모형을 구축하였다. 이 연구는 상대습도 변화에 따른 양파 단위 생산량 변화와 더불어 영농투입재 비용에 따른 변화를 추정하였다.

베이지안 네트워크 모형은 변수 간의 정량적 관계를 조건부 확률로 산정하여 기후변화 영향 및 기후변화 시나리오에 따른 사회경제에 미치는 영향평가에 다수 활용되는 이점이 있다. 따라서 기후변화 위험을 최소화하고 지자체에 적합한 적응대책을 선정하는 데 도움이 되고자 베이지

안 네트워크 모형을 연구방법론으로 선정하였다. 또한, 기후변화 적응대책 적용 전후의 피해 규모를 정량적으로 제시하여 해석에 대한 용이성을 확보하였다.

### 3. 분석의 틀

#### 3.1. 분석범위 및 절차

IPCC 기후변화 영향과 적응평가에 대한 가이드라인에 따르면, 기후변화 적응평가를 ① 문제의 정의, ② 방

법의 선택, ③ 방법의 테스트, ④ 시나리오 선택, ⑤ 생물물리와 사회경제에 미치는 영향 평가, ⑥ 적응방안 평가, ⑦ 적응전략 평가 7단계로 설명하였다(KEI, 2011). 본 연구는 이를 고려하여 분석의 범위 및 절차를 구성하였다.

앞서 살펴본 바와 같이, 지방자치단체의 기후변화 적응 세부시행계획과 국가 기후변화 적응대책의 연계성이 미흡한 실정, 해수면 상승 가속화를 고려하여 본 연구의 범위는 우리나라 해안도시인 부산광역시 16개 기초자치단체로 설정하였다. 부산광역시는 인구의 절반 이상이 연안 인근에

Table 1. Climate Change adaptation measures index (Country and Coastal area)

Strategy	Climate change adaptation measures	Content
<b>Country</b>		
Road traffic management	Management of factors that directly affect traffic safety	Measures to Manage Factors Directly Influencing Traffic Safety
	Establishment of a response system for road deterioration caused by heavy snow	Corresponding system for deterioration of road due to heavy snow
Building facility management	Expansion of green architecture	Expansion of Green Architecture Considering Adaptation and Mitigation to Climate Change
	Infrastructure performance evaluation technology development	Precision Performance Evaluation Technology for Climate Change and Aging of Infrastructure
Urban planning	Development of Climate Change Adaptation Plan	Reflects climate change adaptation in national and local government policies and basic development plans
	Promotion of urban regeneration to adapt to climate change	Promotion of urban regeneration and village development projects in areas vulnerable to climate change
	Building a Citizen-participating Climate Change Response Platform	Creating a system in which citizens directly record, transmit, and share disaster-related natural phenomena and damages in order to cope with climate change
<b>Coast</b>		
Prevention and response of coastal disasters	Development of Coastal Disaster Vulnerability Evaluation System	Construction of a coastal disaster vulnerability assessment system, such as a Coastal Inundation Prediction Map, coastal disaster vulnerability assessment, and related DB construction in preparation for sea level rise
	Construction of coastal disaster monitoring system	Construction of a coastal disaster prevention monitoring system and information provision measures
	Construction and reinforcement of disaster prevention facilities	Measures to prevent flooding damage in coastal areas: Installation of large-scale disaster prevention facilities, reinforcement of breakwater sections, etc
	Coastal buffer space secured	Measures to secure coastal buffer spaces (coast forests, coastal sand dunes, etc.)
Coastal space planning	Construction monitoring systems of coastal waters and erosion	Measures for Detailed Investigation of Coastal Seas and Investigation of Coastal Erosion
	Construction monitoring system of coastal structure	Construction of Coastal Structure and Marine Environmental Monitoring System Using Advanced Observation Equipment
	Advancement of damage coastal maintenance and restoration	Promotion of Coastal Development Projects for Coastal Protection and Damaged Coastal Development
	Maintenance of port structures for erosion control	Measures to prepare port structures and improve fishing port facilities in areas vulnerable to disasters
	Restoration of natural coasts (coastal forests, dunes, etc.)	Environmentally friendly coastal management measures to restore natural coasts
	Composition of hydrophilic space	Measures to Create Port and Coastal Hydrophilic Spaces

거주하며, 다양한 사회적 기반시설 및 산업시설이 집중적으로 위치하고 있다. 또한 호우에 영향을 받는 산업의 성정이 두드러지는 한편, 해마다 집중호우로 인한 피해가 발생하므로, 실효성 있는 기후변화 적응대책 마련이 시급하다(KEI, 2017). 본 연구의 시간적 범위는 정확한 자료수집 가능 여부와 국가 기후변화 적응대책 수립 시기를 고려하여 2000년부터 본 연구를 수행하는 최근 시점인 2020년으로 설정하였다.

분석의 절차는 기후변화 적응대책 선정단계와 모델 구축단계로 구분할 수 있다. 우선, 기후변화 적응대책 선정단계에서는 국가 기후변화 적응대책(1차, 2차)과 광역·기초 기후변화 적응대책 세부시행계획(1차, 2차)을 토대로 기후변화 적응대책 목록(안)을 도출하였다. 도출된 기후변화 적응대책 목록(안)은 중복성, 유사성, 구체성 등을 고려하여 스크리닝 작업을 수행하고, 국회기후변화포럼(2018)에 참석한 40명의 전문가에게 효과성, 탄소저감 효과, 비기후효과, 시급성, 실행 가능성 등에 대한 의견을 수렴하였다. 다음으로, 수렴된 의견을 바탕으로 수정·보완하여 최종 기후변화 적응대책 목록(Table 1)을 도출한 뒤, 정책평가에 적용할 적응대책 선정을 위해 전문가 설문조사를 수행하였다. 전문가 설문조사는 기후변화 적응의 시급성과 효과성을 조사하였고, 두 항목의 평균점수가 높은 2개의 적응대책을 분석에 활용하였다.

모델 구축단계는 DPSIR 프레임워크를 기반으로 태풍과 호우에 의한 영향관계를 도출하였다. 효과적인 정책평가를 수행하기 위해서는 원인과 결과 관계에 대한 지식과 분석능력이 요구됨을 제시한 바, DPSIR 프레임워크를 활용하였다. DPSIR 프레임워크는 OECD가 제안한 압력-상태-반응 모형(PSR 모형)을 세분화한 체계로, D (Driving Force)는 P (Pressure)를 유발하는 요인이며, P는 환경상태를 악화시키는 직접적 압력요인이다. 상태지표로서 S (State)는 환경의 현황이며, S로 인한 생태계나 사회·경제적 영향은 I (Impact)로 구분한다. R (Response)은 환경문제에 대한 사회적·정책적 대응을 나타낸다(KEI, 2017). 최종적으로 본 연구는 DPSIR 프레임워크에 기초한 베이저안 네트워크 모형을 구축한 뒤 기후변화 적응대책의 정책평가를 수행하였다.

### 3.2. 전문가 설문조사

전문가 설문조사는 도시, 환경, 방재 등 관련 업무에 종사하는 27명(연구원, 교수, 공무원 등)을 대상으로 실시하

였다. 설문조사는 2020년 8월 11일부터 9월 8일까지 약 27일간 이메일 전송 후 회신하는 방법으로 진행되었고, 설문조사의 정확성을 높이고자 연구의 의도와 설문 문항에 대해 사전 설명회를 진행한 뒤 시행하였다. 설문조사는 국토·연안 부문 19개 적응대책의 시급성과 효과성을 조사하였고, 시급성은 나중으로 연기할 수 없으며 지금 바로 행해져야 하는 정도, 효과성은 해당 적응대책이 가져오는 기후변화 적응효과로 1점(매우 낮음)~5점(매우 높음) 척도로 조사하였다.

설문조사 대상자의 통계학적 특성(Table 2)을 살펴보면 40대 59.3%, 30대 18.5%, 20대와 50대가 각각 11.1% 순으로 나타났고, 연구원, 대학교수, 기타, 공무원 순으로 나타났다. 또한, 현 업무 종사기간은 5년 미만 11.1%, 5년 이상 10년 미만 29.6%, 10년 이상 15년 미만 18.5%, 15년 이상 20년 미만 25.9%, 20년 이상 14.8%로 분포하였다.

Table 2. Survey Respondent's Characteristics

Classification		Respondent	
		no	%
job	Professor	4	14.8
	Researcher	16	59.3
	Public official	1	3.7
	etc.	6	22.2
Related work period	Less than 5 years	3	11.1
	More than 5 years and less than 10 years	8	29.6
	More than 10 years and less than 15 years	5	18.5
	More than 15 years and less than 20 years	7	25.9
	More than 20 years	4	14.8
Affiliation	Urban	14	51.9
	Environment	5	18.5
	Disaster	2	7.4
	Climate change	4	14.8
	etc.	2	7.4

전문가 설문조사 결과(Table 3) 기후변화 적응대책의 시급성과 효과성 평균 점수의 합은 [기후변화 적응형 계획 수립]과 [방재시설 조성 및 보강]이 높게 나타났으며, 이들 적응대책의 정책평가에 활용하였다.

Table 3. Expert survey results

Climate Change Adaptation Measures	Expert survey results		
	Urgency	Effective-ness	Sum
<b>Country</b>			
Management of factors that directly affect traffic safety	3.59	3.70	7.30
Establishment of a response system for road deterioration caused by heavy snow	3.37	3.74	7.11
Expansion of green architecture	3.44	3.70	7.15
Infrastructure performance evaluation technology development	3.52	3.67	7.19
Development of Climate Change Adaptation Plan	4.22	4.00	8.22
Promotion of urban regeneration to adapt to climate change	3.96	3.81	7.78
Building a Citizen-participating Climate Change Response Platform	3.63	3.59	7.22
<b>Coast</b>			
Development of Coastal Disaster Vulnerability Evaluation System	4.11	3.81	7.93
Construction of coastal disaster monitoring system	4.15	4.19	8.33
Construction and reinforcement of disaster prevention facilities	4.22	4.26	8.48
Coastal buffer space secured	3.93	4.19	8.11
Construction monitoring systems of coastal waters and erosion	3.81	3.85	7.67
Construction monitoring system of coastal structure	3.56	3.70	7.26
Advancement of damage coastal maintenance and restoration	3.81	3.81	7.63
Maintenance of port structures for erosion control	3.67	3.74	7.41
Restoration of natural coasts (coastal forests, dunes, etc.)	3.89	3.89	7.78
Composition of hydrophilic space	3.26	3.52	6.78

3.3. 분석모형 설정

우리나라는 물 관련 자연재해 피해액이 높고, 물 관련 재난이 증가할 것으로 전망한다(ADB, 2015). 이에 기후 동인(Driving forces)을 태풍과 호우로 선정하였다. 다음으로 기후 동인으로 선정된 태풍과 호우에 의하여 산사태와

홍수 발생의 압박(Pressures)이 발생하고, 이는 주거지 손실과 도로 유실 등 기반시설 상태(States)에 직간접적인 영향을 미친다. 결과적으로 D-P-S 영향 관계는 재산피해와 인명피해 등 사회·경제적 영향(Impacts)으로 연계되는 구조이다. 이에 태풍과 호우로 인한 연쇄적인 변화와 영향에 대한 대응(Responses)으로 기후변화 적응대책 및 기후변화 적응대책 세부시행계획을 제시하는 바이다(Fig. 1). DPSIR 프레임워크에 기초한 베이지안 네트워크 모형은 위해(Hazard), 취약성(Vulnerability), 노출(Exposure), 위험(Risk)을 대표할 수 있는 변수를 선정하여 구축하였다(Table 4).

Table 4. Network Variables for Policy Evaluation on Climate Change Adaptation Measures

Classification	Node name	Variable	Period
Hazard	TPE	Typhoon occurrence status	2000 ~ 2020
	FLE	Heavy rain occurrence status	2000 ~ 2020
	T_Size	Size of the typhoon	2000 ~ 2020
	T_Intensity	Typhoon intensity	2000 ~ 2020
Vulnerability / Exposure	TBD	Housing loss and loss due to typhoon	2000 ~ 2020
	TRD	Road Flooding and Losses Due to Typhoon	2000 ~ 2020
	FBD	Housing loss and loss due to heavy rain	2000 ~ 2020
	FRD	Road flooding and loss due to heavy rain	2000 ~ 2020
Risk	TPD	Property damage caused by a typhoon	2000 ~ 2020
	THD	Personal damage caused by a typhoon	2000 ~ 2020
	FPD	Property damage caused by heavy rain	2000 ~ 2020
	FHD	Personal damage caused by heavy rain	2000 ~ 2020
Climate change adaptation measures	POL1	Development of Climate Change Adaptation Plan	Expert survey results
	POL2	Construction and reinforcement of disaster prevention facilities	

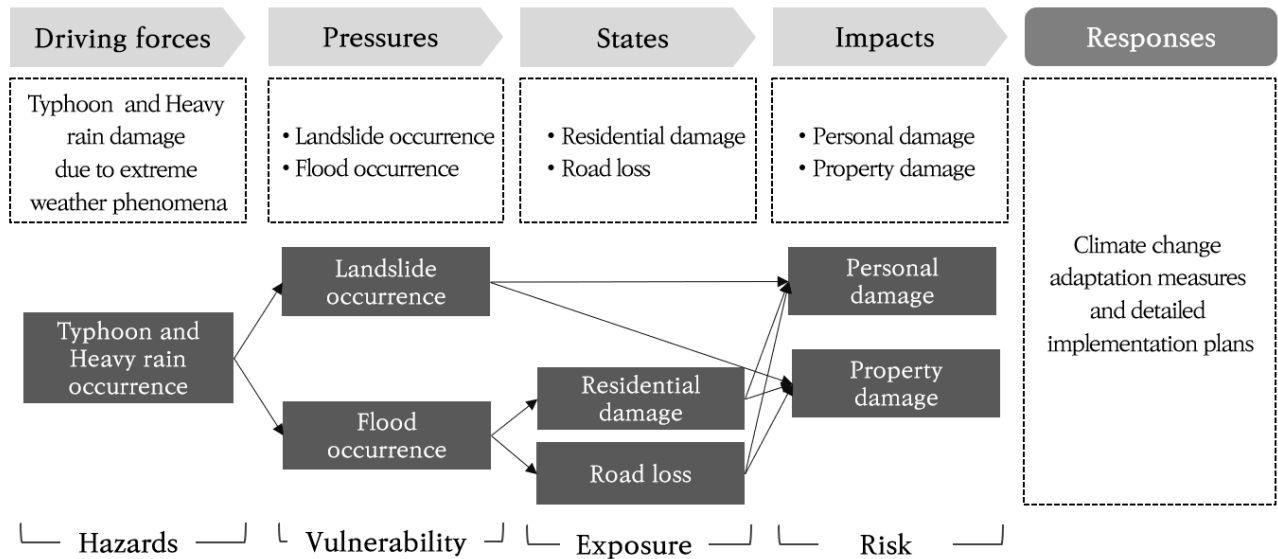


Fig. 1. DPSIR-based typhoon and heavy rain damage impact system diagram

### 4. 분석결과

#### 4.1. 베이지안 네트워크 분석

베이지안 네트워크 분석은 구간별 사전분포 형태를 기반으로 조건부확률 및 결합확률을 이용해 분석하는 방법으로 연속자료에는 등급화 과정이 필요하다. 따라서, 2000~2020년간 태풍과 호우로 인해 발생한 259건의 재산피해와 136건의 인명피해 백분위수를 이용해 5개의 등급(0.2 이하, 0.21~0.4, 0.41~0.6, 0.61~0.8, 0.81 이상)으로 구분해 피해 규모가 클수록 높은 등급을 갖도록 하였고, 비선형적 발생을 일으키는 홍수 및 침수 피해의 특성을 고려하여 발생하지 않은 경우를 N등급으로 구분하였다.

선정된 기후변화 적응대책의 적용은 행정적·공간적 범위에 따라 차이를 보인다. [기후변화 적응형 계획 수립](POL1) 적응대책은 부산광역시의 전체 자치구에서 수립·이행하고 있는 적응대책이고, [방재시설 조성 및 보강](POL2) 적응대책은 16개 구·군 중 연안지역을 포함하고 있는 행정구만(중구, 서구, 동구, 영도구, 남구, 해운대구, 사하구, 강서구, 수영구, 기장군) 수립·이행하는 적응대책이다. 기후변화 영향은 공간·환경적 특성에 따라 피해 형태와 규모가 상이하므로, 부산광역시 내륙지역과 연안지역으로 구분하여 두 개의 네트워크를 구

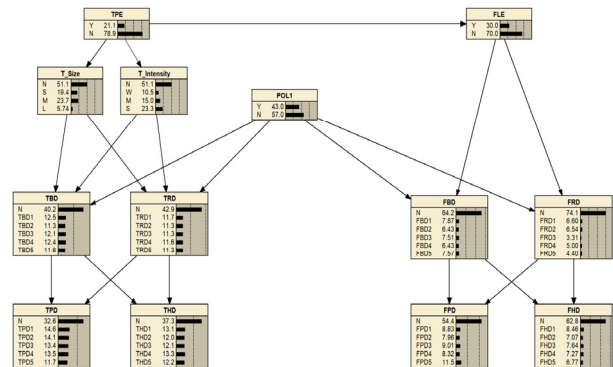


Fig. 2. Bayesian Network Structure and Pre-Distribution for Climate Change Adaptation Impact Assessment (Inland Area)

축하였다.

우선, 내륙지역 네트워크는 [기후변화 적응형 계획 수립](POL1) 적응대책이 내륙지역에서의 정책영향을 실증할 수 있으며, Fig. 2는 내륙지역 기후변화 적응대책 정책평가를 위한 베이지안 네트워크 사전분포이다.

연안지역 네트워크는 [기후변화 적응형 계획 수립](POL1) 적응대책의 단일 효과와 더불어 [방재시설 조성 및 보강](POL2) 적응대책과의 시너지 효과를 확인할 수 있다. Fig. 3은 연안지역 기후변화 적응대책 정책평가를 위한 베이지안 네트워크 사전분포이다.

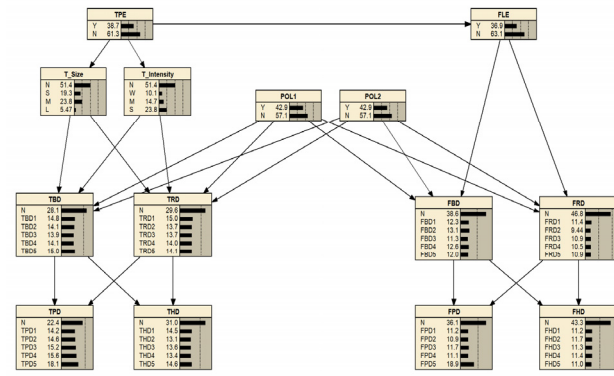


Fig. 3. Bayesian Network Structure and Pre-Distribution for Climate Change Adaptation Impact Assessment (Coastal Area)

구축된 베이زي안 네트워크는 노드(변수)별 사전분포를 기반으로 노드 간의 관계를 조건부확률이 계산되고 이를 바탕으로 사후 예측이 가능하다. Fig. 4는 연안지역을 대상으로 한 베이زي안 네트워크 중 태풍으로 인한 재산피해(TPD) 노드와 연계된 상위 노드(TBD, TRD) 간의 조건부확률 표(Conditional Probability Table, CPT)이다. 상위 노드인 태풍으로 인한 건물과 도로 피해의 빈도가 커질수록 높은 재산피해 발생확률도 증가하는 것으로 나타났다.

TBD	TRD	N	TPD1	TPD2	TPD3	TPD4	TPD5
N	N	73.248	5.733	5.733	6.369	5.733	3.185
N	TRD1	9.091	18.182	18.182	9.091	27.273	18.182
N	TRD2	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667
N	TRD3	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667
N	TRD4	14.286	14.286	14.286	14.286	14.286	28.571
N	TRD5	14.286	14.286	14.286	28.571	14.286	14.286
TBD1	N	5.882	23.529	5.882	23.529	17.647	23.529
TBD1	TRD1	11.111	11.111	11.111	22.222	33.333	11.111
TBD1	TRD2	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667
TBD1	TRD3	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667
TBD1	TRD4	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667
TBD1	TRD5	14.286	14.286	14.286	28.571	14.286	14.286
TBD2	N	8.333	33.333	16.667	8.333	25	8.333
TBD2	TRD1	12.5	12.5	12.5	25	12.5	25
TBD2	TRD2	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667
TBD2	TRD3	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667
TBD2	TRD4	14.286	14.286	14.286	14.286	14.286	28.571
TBD2	TRD5	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667
TBD3	N	8.333	8.333	41.667	16.667	8.333	16.667
TBD3	TRD1	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667
TBD3	TRD2	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667
TBD3	TRD3	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667
TBD3	TRD4	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667
TBD3	TRD5	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667

Fig. 4. Bayesian Network Conditional Probability Table (Coastal Area, TPD)

구축된 네트워크 모델의 검증을 위해 민감도 분석을 수행하였다. 민감도 분석은 여러 요인 중 대상 노드에 큰 영

향을 미치는 민감한 요소를 식별하는 데 사용되며 대상 노드는 모델 예측을 위한 검증 변수로도 선정 가능하다 (Zou and Yue, 2017). 도출된 민감요인을 기반으로 모델 정확도 검증을 수행하였다. 민감도 분석은 대상 노드에 관한 여러 영향 정도를 나타내며, Netica를 통해 분석이 가능하다. 대상 노드를 선택한 후 다른 노드의 영향 정도를 도출할 수 있으며, 연구에서는 CPT 대상 노드였던 태풍으로 인한 재산피해의 민감도 분석을 수행하였다. 민감도 분석결과 태풍으로 인한 재산피해(TPB)에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 태풍으로 인한 건물피해(TBD)로 분석되었다(Table 5).

Table 5. Sensitivity analysis result (TPD)

Node	Mutual	Percent	Variance of
TPD	2.5653	100	0.6874
TBD	0.0899	3.5	0.0086
TRD	0.0558	2.18	0.0048
THD	0.0523	2.04	0.0046
T_Intensity	0.0099	0.386	0.0006
T_Size	0.0095	0.37	0.0006
FRD	0.0060	0.234	0.0004
FBD	0.0029	0.113	0.0002
FHD	0.0027	0.103	0.0002
FPD	0.0025	0.0981	0.0002
TPE	0.0013	0.0523	0.0001
POL1	0.0003	0.0096	0.0000
POL2	0.0003	0.0096	0.0000

#### 4.2. 기후변화 적응대책 정책평가

기후변화 적응대책의 정책평가는 기후 동인으로 인한 피해의 사전분포를 살펴보고, 적응대책의 유무에 따라 피해 등급별 변화하는 사후확률을 통해 상대적 효과를 확인한다. 내륙지역 사전분포 네트워크(Fig. 2)는 태풍으로 인한 상위 40% 재산피해 25.2%(TPD4 13.5%, TPD5 11.7%), 인명피해는 25.5%(THD4 13.3%, THD5 12.2%)이다. 반면, 호우로 인한 상위 40% 재산피해는 19.8%(FPD4 8.3%, FPD5 11.5%), 인명피해는 14.1%(FHD4 7.3%, FHD5 6.8%)이다.

먼저, Fig. 5는 내륙지역의 [기후변화 적응형 계획 수립](POL1) 적응대책의 미적용 시 상위 40% 피해 발생확률을 보여준다. 태풍으로 인한 상위 40% 재산피해 25.2%(TPD4 13.4%, TPD5 11.7%), 인명피해는 25.4%(THD4



13.2%, THD5 12.2%)이다. 반면, 호우로 인한 상위 40% 재산피해는 18.8%(FPD4 7.8%, FPD5 11.0%), 인명피해는 13.6%(FHD4 7.0%, FHD5 6.6%)이다. Fig. 6은 내륙지역의 [기후변화 적응형 계획 수립](POL1) 적응대책의 적용시 상위 40% 피해 발생확률을 보여준다. 태풍으로 인한

상위 40% 재산피해는 15.3%(TPD4 13.5%, TPD5 11.8%), 인명피해는 25.7%(THD4 13.4%, THD5 12.3%)로 나타났다. 호우로 인한 상위 40% 재산피해는 21.2%(FPD4 9.1%, FPD5 12.1%), 인명피해는 14.5%(FHD4 7.59%, FHD5 6.99%)로 나타났다.

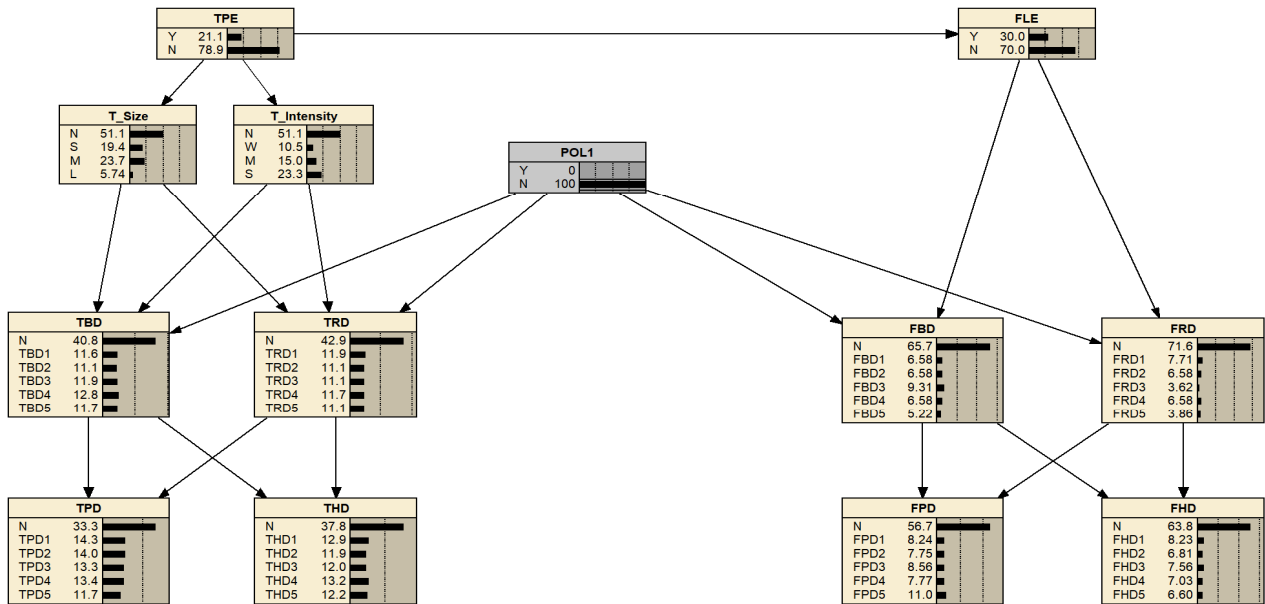


Fig. 5. Result of damage When [POL 1] is not applied (Inland Area)

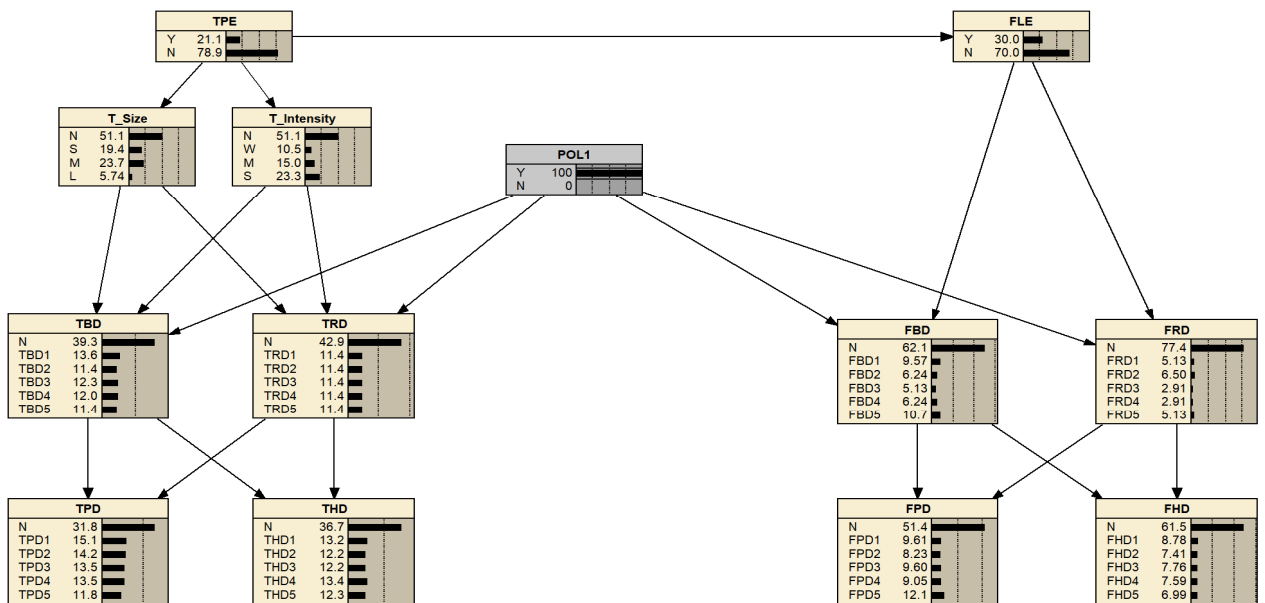


Fig. 6. Result of damage when applying [Policy 1] (Inland Area)

내륙지역의 기후변화 적응대책 정책평가 결과 태풍으로 인한 상위 40% 이상의 피해는 적응대책 유무에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 반면, 호우로 인한 재산피해는 적응대책 적용 시 발생확률이 2.4% 증가하고, 인명피해는 0.9% 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 연구의 시간적 범위 내 2014년 부산광역시에서 발생한 태풍과 호우피해의 원인이라 판단한다. 2014년 부산광역시에 이례적인 폭우가 발생하였고, 이는 2000년 이후 발생한 호우 전체 피해액의 50% 이상을 차지하므로, 상위 40% 이상 등급의 피해가 증가하는 결과가 도출된 것으로 추론할 수 있다.

연안지역 네트워크는 [기후변화 적응형 계획 수립](POL1)과 [방재시설 조성 및 보강](POL2) 적응대책의 적용 여부에 따른 피해 발생확률을 보여준다. 분석 결과는 상위 대책인 [기후변화 적응형 계획 수립](POL1) 적응대책이 단일하게 적용되는 경우(Fig. 7)와 [방재시설 조성 및 보강](POL2) 적응대책과 함께 적용되는 경우(Fig. 8) 두 가지로 구분하였다. 이는 [기후변화 적응형 계획 수립] 적응대책이 상위 적응대책으로 [기후변화 적응형 계획 수립] 적응대책이 선행된 후, [방재시설 조성 및 보강] 적응대책이 수립됨을 고려하여 순차적으로 살펴보았다. 분석 결과, 태풍과 호우 모두 피해 발생확률이 감소하는 것으로 나타났다.

연안지역 사전분포 네트워크(Fig. 3)는 태풍으로 인한

상위 40% 재산피해 33.7%(TPD4 15.6%, TPD5 18.1%), 인명피해는 28.0%(THD4 13.4%, THD5 14.6%)이다. 반면, 호우로 인한 상위 40% 재산피해는 30.0% (FPD4 11.1%, FPD5 18.9%), 인명피해는 22.4%(FHD4 11.4%, FHD5 11.0%)이다.

먼저, Fig. 7은 연안지역의 [기후변화 적응형 계획 수립](POL1) 적응대책만 적용 시 상위 40% 피해 발생확률을 보여준다. 태풍으로 인한 상위 40% 재산피해 29.4%(TPD4 14.3%, TPD5 15.1%), 인명피해는 24.4%(THD4 12.1%, THD5 12.3%)이다. 호우로 인한 상위 40% 재산피해는 23.4%(FPD4 8.7%, FPD5 14.7%), 인명피해는 13.1%(FHD4 6.98%, FHD5 6.15%)이다. 반면, Fig. 8 [기후변화 적응형 계획 수립](POL1)과 [방재시설 조성 및 보강](POL2) 적응대책을 모두 적용했을 때 상위 40% 피해 발생확률을 보여준다. 태풍으로 인한 상위 40% 재산피해 29.1%(TPD4 14.2%, TPD5 14.9%), 인명피해는 24.3%(THD4 12.1%, THD5 12.2%)이다. 호우로 인한 상위 40% 재산피해는 21.2%(FPD4 7.8%, FPD5 13.4%), 인명피해는 11.0%(FHD4 6.06%, FHD5 4.94%)이다.

연안지역의 기후변화 적응대책 정책평가 분석 결과, [기후변화 적응형 계획 수립](POL1) 적응대책만을 적용했을 때(Fig. 7)보다 두 개의 적응대책을 모두 적용했을 때 (Fig. 8) 호우로 인한 상위 40% 재산피해 발생이 2.2% 감소하였고, 인명피해는 2.1% 감소하였다. 즉, 하나의 적응

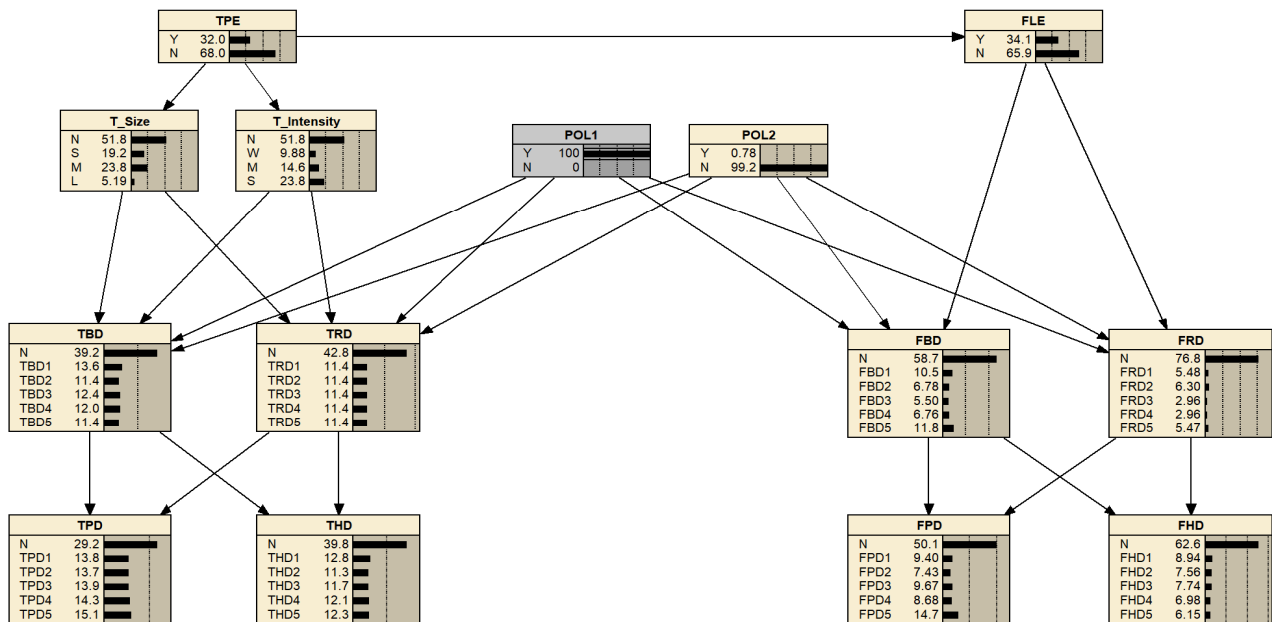


Fig. 7. Result of damage when applying [Policy 1] (Coastal Area)

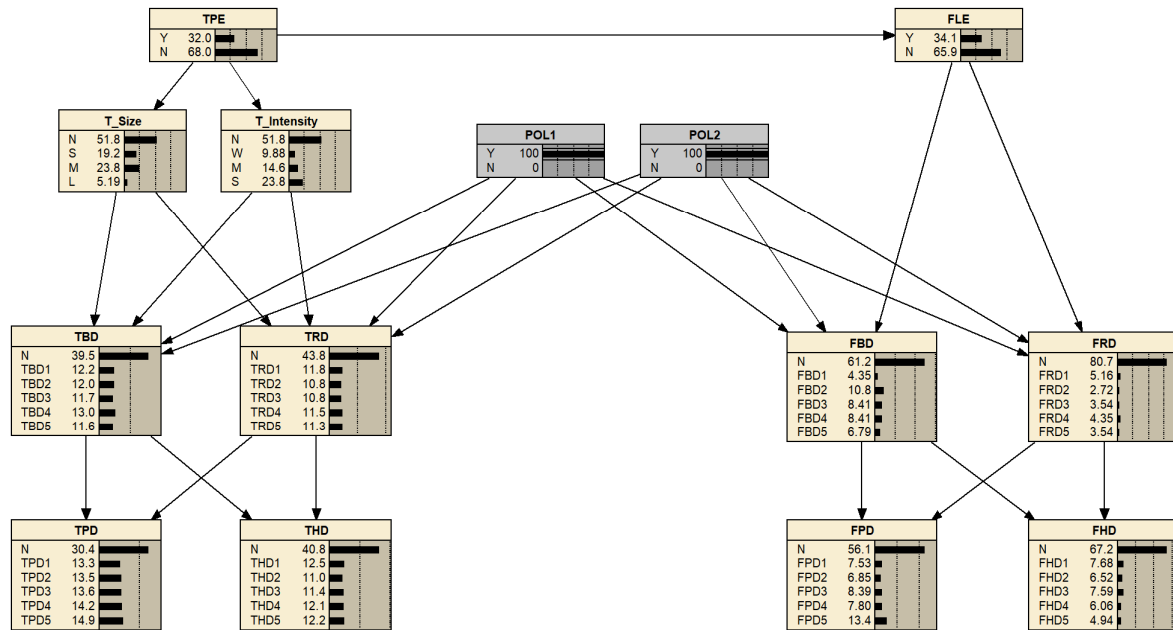


Fig. 8. Results of damage when applying [Policy 1] and [Policy 2]

대책 수립·이행보다 연관성 있는 다수의 적응대책이 함께 수립·이행될 경우 실질적인 기후변화 영향에 대응하는데 시너지 효과가 발생함을 의미한다.

또한, 분석 결과상 정량적으로 발생하는 피해가 크게 감소하지 않는 것처럼 보일 수 있으나, 앞서 언급한 바와 같이 2012년 기후변화 적응대책이 수립된 이후 2014년 기록적인 폭우로 인한 막대한 피해, 2016년 태풍 차바로 인한 피해가 전체 피해 중 상위 40% 피해의 대부분을 차지하고 있음을 고려하면, 기후변화 적응대책의 수립·이행이 태풍과 호우로 인한 피해 저감에 효과가 있음을 시사한다.

### 5. 결론

우리나라는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(탄소중립기본법)」 제정에 따라 기후변화 적응 관련 시책의 이행체계가 강화되었고, 이에 유연성과 일관성을 고려한 기후변화 적응대책 수립이 필요하다. 따라서, 현재 이행 중인 기후변화 적응대책의 정책평가가 이루어진다면 효과적인 기후변화 적응대책 이행체계를 제안할 수 있을 것이다.

정책이 어떻게 이행되었는지에 대한 점검은 정책목표 달성에 매우 중요하다. 기후변화 적응은 2001년 IPCC 제 3차 보고서 발간 이후 지속적으로 논의되었으나 이에 대

한 평가체계 및 방법론은 미흡하다. 이에, 본 연구는 베이지안 네트워크 모형을 활용하여 기후변화 적응대책의 정책평가를 수행한 뒤, 기후변화 적응대책 수립·이행체계 마련에 시사점을 제안하고자 하였다.

본 연구는 부산광역시를 공간적 범위로, 시간적 범위는 2000년부터 2020년으로 설정하였다. 주요 연구 결과를 요약하면, 첫째, 국가 기후변화 적응대책 및 광역 및 기초지자체 기후변화 적응대책 세부시행계획을 검토한 뒤, 국회기후변화포럼 전문가 의견을 수렴하여 최종 기후변화 적응대책 목록을 도출하였다. 둘째, 분석에 활용할 기후변화 적응대책 선정을 위해 27명의 전문가를 대상으로 설문조사를 수행하였다. 전문가 설문조사는 국토·연안 부문의 19개 적응대책의 시급성과 효과성을 조사하였고, 최종적으로 [기후변화 적응형 계획 수립]과 [방재시설 조성 및 보강] 적응대책을 분석에 활용하였다. [기후변화 적응형 계획 수립] 적응대책은 내륙지역과 연안지역에서 모두 이행중이었지만, [방재시설 조성 및 보강] 적응대책은 연안지역에서만 이행 중이다. 따라서, 베이지안 네트워크 모형 도출 시 내륙지역 네트워크와 연안지역 네트워크로 구분하여 두 개의 네트워크 모형을 제시하였다. 셋째, 태풍과 호우를 기후 동인으로 설정한 DPSIR 프레임워크를 기반으로 베이지안 네트워크 모형을 구축하였다. 베이지안 네트워크 모형은 기후 동인에

따른 피해의 사전분포를 살펴본 뒤, 기후변화 적응대책 수립·이행 여부에 따라 피해 등급별 변화하는 사후확률을 도출하므로 상대적 정책영향을 평가한다. 부산광역시 내륙지역 네트워크는 [기후변화 적응형 계획 수립] 적응대책 적용에 따라 태풍 피해는 큰 차이가 없었지만, 호우로 인한 피해는 적응대책 적용 시 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 기후변화 적응대책 수립 이후인 2014년 부산광역시에 이례적 폭우가 발생하였고, 당시의 피해는 2000년부터 2020년까지 부산광역시의 호우로 인한 전체 피해액의 50% 이상을 차지하기 때문에 나타난 결과라 사료 된다. 반면, 연안지역 네트워크는 [기후변화 적응형 계획 수립]과 [방재시설 조성 및 보강] 적응대책을 모두 적용하여 정책평가를 수행하였다. 우선, [기후변화 적응형 계획 수립] 적응대책만 단일하게 적용된 경우 태풍으로 인한 재산 및 인명피해는 29.4%, 24.4%로 나타났다. 호우로 인한 재산 및 인명피해는 22.8%, 13.2%로 나타났다. 다음으로, [기후변화 적응형 계획 수립]과 [방재시설 조성 및 보강] 적응대책이 모두 적용된 경우 태풍으로 인한 재산 및 인명피해는 29.1%, 24.3%로 나타났고, 호우로 인한 재산 및 인명피해는 21.2%, 11.1%로 각각 2.2%, 2.1% 감소하였다. 이러한 결과는 하나의 적응대책 이행보다 연관성 있는 다수의 적응대책이 함께 이행될 경우 기후변화 적응에 효율적이며, 정책간 시너지 효과가 유발됨을 의미한다.

본 연구는 현재 수립·이행 중인 기후변화 적응대책의 정책평가를 시도하였음에 의미가 있다. 우리나라 기후변화 적응대책은 물관리, 생태계, 국토·연안 등 다수의 부문으로 구분하여 수립하고 있다. 최근 잦은 이상기후 현상과 신기후 체제에 따른 적응역량 확보를 위해 단일의 기후변화 적응대책보다는 다수의 기후변화 적응대책 이행이 실질적인 기후변화 적응에 효율적일 것이다. 또한, 정책간 시너지 효과를 고려해 기후변화 적응대책이 수립되어야 한다. 기후변화 적응대책의 정책평가를 수행한 본 연구는 향후 적응대책 수립 및 세부계획 수립 시 기초자료로 활용될 것으로 기대되며, 의사결정자들이 참고할 수 있을 것이다. 그러나 기후변화는 예측 불가하다는 특성과 공간·환경 차이에 따라 피해가 상이하므로 이를 일반화하는 것은 한계가 있다. 이에, 부산광역시뿐만 아니라 다른 지자체에도 적용할 필요가 있으며, 다양한 부문의 기후변화 적응대책 정책평가가 수행되는 등 지속적인 연구가 필요하다.

## 사사

본 논문은 환경부의 “기후변화대응 환경기술개발사업 (2018001310004)”으로 지원받아 한국환경연구원이 수행한 “지자체 적응정책 의사결정 지원을 위한 기후변화 적응정보 DB·인벤토리 구축 및 격자기반 공간화 기법 개발 (우선순위평가)[2020-005-02(R)]”의 일부 내용을 발췌하여 논문화한 것입니다.

## References

- ADB (Asian Development Bank). 2015. Water-related disasters and disaster risk management in the people's Republic of China.
- Ahn YJ, Kang YE, Park CS, Kim HG. 2016. The Characteristics and Improvement Directions of Regional Climate Change Adaptation Policies in accordance with Damage Cases. *Journal of Environmental Impact Assessment* 25(4): 296-306.
- An appropriate central administrative agency. 2020. The 3rd national climate change adaptation plan (2021-2025).
- Bae YJ. 2021. Analysis of factors influencing the implementation of climate change adaptation plan in local governments - Focusing on the perception of public officials in local governments -. [Masters dissertation]. University of Seoul.
- Brown S, Nicholls R. J, Hanson S, Brundrit G, Dearing, J. A, Dickson M. E, Woodroffe C. D. 2014. Shifting perspectives on coastal impacts and adaptation. *Nature Climate Change* 4(9): 752-755.
- Catenacci M, Giupponi C. 2013. Integrated Assessment of Sea-Level Rise Adaptation Strategies Using a Bayesian Decision Network Approach. *Environmental Modelling & Software* 44: 87-100.
- Chung JT, Kim JR, Kim JH, Mun YS, Lee DH. 2007. Policy evaluation theory. Bobmunsa: Gyeonggi
- Ford J. D, Berrang-Ford L, Lesnikowski A, Barrera M, Heymann S. J. 2013. How to Track Adaptation to Climate Change: A Typology of Approaches for National-Level Application. *Ecology and Society* 18(3):

- 1-14.
- Greenberg Edward S. 1979. Understanding Modern Government. Newyork: Wiley.
- Heckerman D, Geiger D, Chickering D. M. 1995. Learning Bayesian Networks: The Combination of Knowledge and Statistical Data. Machine Learning 20: 197-243.
- Huang J. C. K. 1997. Climate change and integrated coastal management: A challenge for small island nations. Ocean and Coastal Management 37(1): 95-107.
- IPCC. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. In Press.
- Jensen F. V. 1996. An Introduction to Bayesian Networks. UCL Press, London.
- Kang YE, 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.
- KEI (Korea Environment Institute). 2011. Analysis of Methodologies for Prioritizing Climate Change Adaptation Measures.
- KEI (Korea Environment Institute). 2017. Development Strategies of Regional Climate Competitiveness Against Extreme Climate Occurrence.
- KEI (Korea Environment Institute). 2019. Climate Change Adaptation Policy, 10 years: Tracking Adaptation and Suggesting the Way Forward.
- Kim JH. 2019. An Analysis of Limiting Factors for the Establishment and Implementation of the Jeju Province Climate Change Adaptation Plan. [dissertation]. University of Seoul.
- Kim NY, Park CS. 2021. A priority Analysis on the Climate Change Adaptation Measures in the Disaster: Using AHP and ANP. Journal of Environmental Policy and Administration 29(1): 21-45.
- Kim TH. 2015. Linking and utilizing urban, environmental, disaster prevention spatial data for a climate change adaptation spatial planning. Journal of Environmental Policy and Administration 14(1): 85-112.
- Lee JG. 2018. Bayesian statistics based on the R program. Bullsbook; Seoul.
- Lee SH, Kang JE, Park CS. 2016. Urban Flood Risk Assessment Considering Climate Change Using Bayesian Probability Statistics and GIS : A Case Study from Seocho-Gu, Seoul. Journal of Association of Geographic Information Studies 19(4): 36-51.
- Lee SI, Son CS, Lee HR. 2020. An analysis of Changes Onion Yields in Korea using Panel Regression Analysis and Bayesian Network Model. Journal of Rural Development 43(2): 1-28.
- Morgan M. G, Henrion M. 1990. Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy analysis. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nam GH. 2014. A study on the compound-disaster risk assessment by utilizing the bayesian network. [Ph.D. diss]. Inje University.
- Park YE, Kim SH, Park HJ, Lee DK. 2010. Exploratory Study on the Factors Influencing the Profitability of Korean Movies. Korean Management Review 39(2): 459-488.
- Petzold, J, Ratter, B. M. W. 2015. Climate change adaptation under a social capital approach - An analytical framework for small islands. Ocean and Coastal Management 112: 36-43.
- 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.
- Scriven Michael. 1981. Evaluation Thesaurus. Inverness, California; Edgepress.
- Shim YH, Byun GS, Lee BG. 2011. Deriving Strategic Priorities of Green ICT Policy using AHP and ANP. Journal of Internet Computing and Services 12(1): 85-98.
- Smith M. S, Horrocks L, Harvey A, Hamilton C. 2011, Rethinking adaptation for a 4°C world. Philosophical

- Transactions of the Royal Society 369(1934): 196-216.
- Song YH, Lee WK, Kwak HB, Kim MI, Yang SR. 2013. Vulnerability Assessment of Maize and Wheat Production to Temperature Change - In Case of USA and China. *Journal of Climate Change Research* 4(4): 371-384.
- Vocino T, Jack R. 1987. *Contemporary Public Administration*, New York: Harcourt Brace Jovanovich, Inc.
- Yoo JY, Kim JY, Kwon HH, Kim TW. 2014. Sensitivity Assessment of Meteorological Drought Index using Bayesian Network. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 34(6): 1787-1796.
- Yu IS. 2020. Methodology of an Analysis of Snow Disaster Risk for Establishing Climate Change Adaptation Measures. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 20(1): 351-634.
- Zou X, Yue WL. 2017. A Bayesian network approach to causation analysis of road accidents using Netica. *Journal of Advanced Transportation* 1-18.