DBpia

도시 및 기후특성이 에너지 회복력에 미치는 영향 - 정전발생시간을 중심으로 -

The Effect of Urban and Climate Characteristics on Energy Resilience - Focusing on Blackout Time -

저자
(Authors)

이동성, 문태훈
Lee, DongSung, Moon, Tae-Hoon

출처
(Source)

국토계획 54(4), 2019.8, 122-130(9 pages)
Journal of Korea Planning Association 54(4), 2019.8, 122-130(9 pages)

발행처
(Publisher)

대한국토도시계획학회
Korea Planning Association

URL

http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08765580

APA Style

이동성, 문태훈 (2019). 도시 및 기후특성이 에너지 회복력에 미치는 영향 - 정전발생시간을 중심으로 -. 국토계획, 54(4), 122-130

이용정보
(Accessed)

중앙대학교
165.194.94.***
2019/11/07 10:36 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s)and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s)for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

pISSN: 1226-7147, eISSN: 2383-9171
https://doi.org/10.17208/jkpa.2019.08.54.4.122

Journal of Korea Planning Association Vol.54, No.4 (2019)
대한국토·도시계획학회지 「국토계획」 제54권 제4호 pp.122-130

도시 및 기후특성이 에너지 회복력에 미치는 영향*
– 정전발생시간을 중심으로 –

The Effect of Urban and Climate Characteristics on Energy Resilience
– Focusing on Blackout Time –

이동성** · 문태훈***
Lee, DongSung · Moon, Tae-Hoon

Abstract

The purpose of this study is to analyze effect of climate and urban factors on energy resilience, and to explore policy alternatives to strengthen resilience of energy system. For this purpose, this study used extensive literature review on resilience studies and multiple regression analysis. In this study, blackout time was set as a dependent variable. And the independent variables were divided into climate and urban (robustness, countermeasure capacity) characteristics. As a result of the analysis, in terms of climate characteristics, maximum wind speed and cooling/heating degree-day have statistically significant impact on blackout time. With regard to urban characteristics, number of consumer, ratio of deteriorated housing and coast dummy variables have statistically significant impact on blackout time. And the ratio of government employees and road ratio were found to be the most influencing factors to shorten time taken to restore original level of electricity supply. Based on the study results, several policy suggestions to improve energy resilience were made such as continuous management of vulnerable areas and strengthening disaster response services. This study only considered engineering dimension of resilience. Further studies need to be approached on ecological & social-ecological dimension.

키워드 에너지 회복력, 전력시스템, 정전발생시간, 도시특성, 기후특성
Keywords Energy Resilience, Electric Power System, Blackout Time, Urban Characteristics, Climate Characteristics

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

도시를 구성하는 다양한 사회 시스템들은 서로 긴밀하게 연결되어 있다. 따라서 도시에 재난이 발생한다면, 그 피해는 각 사회 시스템에 연쇄적으로 나타나게 될 것이다. 또한 도시에 발생하는 여러 재난들은 발생시기 및 범위를 정확하게 예측하기 어렵기 때문에, 재난에 완벽하게 대응하는 것은 불가능하다. 이러한 특징을 가지고 있는 재난에 대응하기 위해 시스템 기능의 회복 능력 또는 복구능력을 의미하는 회복력(resilience) 개념이 국제기구 및 정부의 미래대응전략, 학계, 기업 등에 등장하게 되었다. 회복력은 재난의 예측과 대응이 어렵기 때문에 예방전략보다는 회복성 강화전략이 더 유효하다는 이론적 주장 하에 제시된 개념이다(Folke et al., 2010; Gunderson, 2000). 현재까지 회복력 개념은 도시 분야를 비롯하여 공학, 경제학, 심리학 등 다양한 분야에서

* This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) Grant funded by the Ministry of Science and ICT for convergent research in Development program for convergence R&D over Science and Technology Liberal Arts (NRF–2017M3C1B6070096).
** Researcher, The Incheon Institute (primary author: baby8803@gmail.com)
*** Professor, Chung–ang University (corresponding author: sapphire@cau.ac.kr)

중앙대학교 | IP:165.194.94.*** | Accessed 2019/11/07 10:36(KST)

그 개념이 활용되고 있다.

기후변화가 점점 더 가속화되고 있는 상황에서 기후변화에 많은 영향을 받는 부문은 에너지 부문이다. 기후변화로 인한 지구온난화 가속화, 그리고 극한 기후 일수의 증가는 지역 내 에너지 사용량을 증가시킨다. 또한 기후변화로 인한 태풍, 폭설, 폭우 등 자연재해의 증가는 에너지 공급 측면에서 문제를 발생시킨다(이동성·문태훈, 2017; 안영환·오인하, 2010; Hammer and Parshall, 2009; U.S. Climate Change Service Science Program, 2007).

특히 이러한 에너지 시스템 상황은 에너지 부문[1] 중에서도 전력 시스템이 가장 잘 보여주고 있다. 지구온난화와 극한 기후 일수의 증가는 냉난방도일의 증가를 야기하고, 이는 전력 사용량의 증가를 초래한다. 또한 자연재해로 인한 배전시설, 송전시설 등의 파괴는 전력공급의 중단을 초래한다. 그리고 이러한 전력 시스템의 수요-공급에 대한 불균형은 정전으로 표출된다.

이렇듯 기후변화는 전력 시스템에 막대한 피해를 주는 재난으로 분류될 수 있고, 기후변화가 가속화됨에 따라 그 피해는 더욱 커질 것으로 예상된다. 또한 이러한 전력 시스템에서 발생하는 피해는 전력 시스템뿐만 아니라 이와 연결되어 있는 에너지 시스템과 도시 시스템 등 또 다른 시스템에 악영향을 줄 수도 있다. 따라서 기후변화로부터 발생한 전력 시스템 피해를 해결할 수 있는 방안마련이 필요한 시점이다. 그리고 폭우, 태풍, 폭염, 한파와 같은 기후변화의 경우 다른 기타재난과 마찬가지로 발생시기 및 범위를 예측하기 힘들기 때문에 예측전략이 아닌 회복력 강화전략으로 대응할 필요가 있다. 하지만 현재까지 이러한 전력 시스템 피해에 적극적으로 대응하고, 피해를 최소화시킬 수 있는 회복력 강화방안 마련에 대한 연구는 미흡한 상태이다.

이러한 맥락 하에 이 연구의 목적은 전력 시스템의 피해 결과물인 정전발생시간에 영향을 미치는 도시 및 기후요인들을 파악하고, 이를 통해 에너지 회복력 향상을 위한 정책적 시사점을 제시하는 것이다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 자료 구득이 가능한 최근 연도인 2015년으로 설정하였다. 또한 연구의 공간적 범위는 전국의 시·군·구를 한국전력공사의 지역별 지사(제2차 사업소)를 기준으로 186개의 시·군·구로 구분하였다. 한국전력공사의 지역별 지사를 기준으로 전국을 구분한 이유는 핵심변수로 활용한 지역 내 총 정전발생시간에 대한 자료가 한국전력공사의 지사를 기준으로 구분되어 있기 때문이다.

연구의 방법은 문헌연구와 다중회귀모형을 활용하였다. 먼저 문헌연구를 통해 회복력 및 에너지 시스템에서의 회복력을 정의하고, 에너지 회복력 관련변수를 도출하였다. 그리고 핵심변수인 총 정전발생시간에 영향을 미치는 기후요인 및 도시요인들을 다중회귀분석을 통해 각각 살펴보았다.

II. 회복력에 관한 이론적 고찰 및 선행연구 검토

1. 회복력의 정의

회복력(resilience)이라는 용어는 라틴어인 "resi-lire"에서 그 어원을 찾을 수 있다. "다시 뛰어오른다(to jump back)"의 어원을 가지고 있는 회복력은 다시 되돌아가려는 것(spring back)이라는 의미를 내포하고 있다(Davoudi, 2012; Manyena, 2006). 회복력 개념은 생태학 및 자연과학에서 비롯되었으며, 현재는 도시분야를 비롯하여 공학, 경제학, 심리학 등 다양한 분야에서 그 개념이 활용되고 있다(Folke et al., 2010; Gunderson, 2000).

회복력에 대한 정의는 여러 가지 차원으로 구분이 가능하다. 대표적으로 Folke(2006)는 회복력을 공학적 차원, 생태학적 차원, 사회·생태학적 차원으로 구분하였다. 먼저 Holling(1973)이 언급한 공학적 차원의 회복력(engineering resilience)은 가장 초기에 등장한 회복력 개념이다. 공학적 회복력이란 교란(disturbance)이 발생한 이후 기존의 정상 상태(steady-state)나 균형(equilibrium)으로 되돌아가는 능력이라고 정의할 수 있다. 공학적 회복력에서 중요하게 다루고 있는 개념은 속도와 시간이다. 따라서 외부충격 등 교란이 발생하였을 경우 얼마나 빠른 속도로, 또는 얼마나 빠른 시간 내에 원래의 상태로 돌아가는지가 중요하다(Davoudi, 2012).

이후 회복력 개념이 보다 복잡한 시스템에서 다뤄지게 되면서 회복력의 차원 또한 확장되었다. 이렇게 확장된 차원의 회복력을 생태학적 회복력(ecological resilience)이라고 한다. 공학적 회복력이 단순히 외부 충격에 대한 기능의 복구에 초점을 맞추었다면, 생태학적 회복력은 시스템의 본래 기능을 유지(maintenance)하는 것에 관심을 가진다(Folke et al., 2003). 생태학적 회복력은 다시 사회·생태학적 회복력으로 확장된다. 사회·생태학적 회복력(social-ecological resilience)은 생태학적 회복력에서 언급한 핵심기능의 유지뿐만 아니라 재조직화에 관심을 가진다. 여기서 재조직화란 외부충격을 학습하여 핵심기능의 회복력을 강화시키는 방향으로 사회시스템을 변화시켜나가는 것을 의미한다.

본 연구는 에너지 회복력 강화방안 마련을 위한 기초연구로서, 회복력의 가장 기본적인 개념인 공학적 차원을 활용하였다. 에너지 회복력에 대한 국·내외 연구가 미흡한 상황에서, 에너지 회복력에 영향을 미치는 주요 요인들을 분석하기 위해서는 공학적 차원의 접근이 생태학 및 사회·생태학적 차원의 연구보다 선행되어야 할 필요가 있기 때문이다.

공학적 차원에 입각한 에너지 회복력은 기후변화와 같은 에너

중앙대학교 | IP:165.194.94.*** | Accessed 2019/11/07 10:36(KST)

지 시스템에 피해를 줄 수 있는 외부충격으로부터 얼마나 빠르게 복구되는지에 따라 결정될 수 있다. 예를 들어 기존의 전력수급 상태가 100%라고 하였을 때, 태풍으로 인해 송·배전 시설이 파괴되어 전력수급이 기존의 50%로 떨어졌을 경우 파괴된 송·배전 시설을 복구하여 기존의 100% 전력수급 상태로 빠르게 돌아갈 수 있다면, 이는 높은 에너지 회복력을 가지고 있다고 할 수 있다.

2. 회복력의 속성

회복력이 높은 시스템은 회복력의 속성이 잘 갖춰진 시스템이고, 이 속성들을 제대로 이해하고 적용한다면 높은 회복력을 가진 시스템을 구축할 수 있다. Bruneau et al.(2003)는 회복력의 속성으로 견고성(robustness), 가외성(redundancy), 자원부존성(resourcefulness), 신속성(rapidity)을 제시하였다. 견고성이란 외부로부터 발생한 충격을 견뎌내는 시스템 능력 또는 요소의 강도를 의미한다. 또한 가외성은 외부충격이 발생하여 기능의 방해, 중단, 손실이 일어났을 때 시스템의 원활한 작동을 위한 시스템 또는 요소의 대체 정도를 의미하다. 즉, 외부충격으로 시스템 기능에 손상이 가해져도 작동을 지속시킬 수 있는 시스템 구성요소의 대체 능력이 있어 기존의 시스템을 유지할 수 있다면, 가외성이 높은 시스템이라고 할 수 있다. 자원부존성이란 문제를 해결하기 위해 다양한 자원을 이용할 수 있는 능력을 의미한다. 다시 말해 외부충격이 발생하였을 때, 자원부존성이 높은 시스템은 인적자원을 비롯한 재정, 정보, 기술 등 다양한 자원이 존재하기 때문에, 이를 조직화 및 활용하여 시스템 변화에 적응할 뿐만 아니라 시스템 변화 이전보다 더 나은 상태로 돌아갈 수 있는 가능성을 가지고 있다. 마지막으로 신속성이란 외부충격으로부터 발생한 문제를 최소화하기 위해 우선순위 설정 및 목표 설정을 통하여 문제를 빠르게 복구할 수 있는 능력을 의미한다.

3. 회복력 관련 선행연구

앞서 언급했듯이, 회복력 개념은 다양한 분야에서 연구되고 있다. 그 중에서도 도시 차원에서 실시된 연구들은 크게 회복력 산정방식에 대한 연구와 회복력 지표산정에 관한 연구로 구분된다. 먼저 회복력 산정방식에 대한 연구들을 살펴보면, 많은 연구들에서 회복력을 정량화시키기 시키기 위해 노력하였다. 회복력을 정량화한 대표적인 연구는 Vugrin et al.(2010)이다. Vugrin et al.(2010)은 회복력의 정량화 방법으로 회복력 비용(resilience cost) 개념을 제안하였고, 이를 통해 도시의 회복력을 평가하였다. 연구에 제안한 회복력 비용에서 강조하고 있는 부분은 재난으로 인한 피해의 개념인 시스템 영향과 재난으로 인한 피해를 복구하기 위한 복구노력을 고려했다는 점이다. Vugrin et al.(2011)이 제시한 회복력 비용 개념은 식(1)과 같은 형태로 정의할 수 있다.

$$RC=SI+\alpha\times TRE \quad (1)$$

식(1)에서 SI는 시스템 영향(system impact)을 의미하고, TRE는 총복구노력(total recovery effort)을 의미한다. 그리고 α는 가중치 및 단위환산 계수를 의미한다. 따라서 회복력 비용은 재난, 재해 등 외부 위협이 발생 한 후 그 지역이 입은 피해 정도인 시스템 영향과 피해를 복구하기 위한 복구노력으로 표현된다. 즉, 도시의 회복력 비용이 크다는 것은 해당 도시의 시스템 영향이 크거나 혹은 총 복구노력이 크다는 것으로 해당 도시의 회복력이 좋지 않다는 해석이 가능하다. 이러한 Vugrin et al.(2010)의 회복력의 정량화 방법은 국내·외에서 많은 방법으로 인용하였는데, 연구들에서는 재난으로 발생하는 피해총액과 총복구노력을 통해 회복력 비용을 산정하였다(유순영 외, 2012; 경기연구원, 2013; 박한나·송재민, 2015; 박소연, 2016).

다음으로 회복력 지표산정에 관한 연구들을 살펴보면, 홍수, 태풍 등으로부터 회복력을 증가시킬 수 있는 물리적·경제적·사회적·환경적 요인들을 찾는데 중점을 두었다. 회복력 지표에 관한 대표적인 연구들은 Cutter et al.(2008), Mayunga(2009), Burton(2012)이며, 이 후 많은 학자들은 이들의 연구한 지표들을 기초로 활용하고 있었다(국립방재교육연구원, 2010; 한국환경정책평가연구원, 2015; 박한나·송재민, 2015; 이제연, 2015; 박소연, 2016).

구체적으로 Cutter et al.(2008)은 지역 회복력의 경우 생물다양성 등 생태적 차원에 영향을 받고, 위험 인지, 복구 과정 등의 사회적 차원에 영향을 받으며, 재정 손실 등의 경제적 차원에도 영향을 받는다고 주장하였다. 또한 지역의 회복력은 제도적 차원과 기반시설 차원, 그리고 주민의 삶의 질, 정서적 건강 등의 개념을 내포하는 지역사회역량 차원에도 영향을 받는다고 주장하였다.

Mayunga(2009)는 커뮤니티의 재해 회복력에 대한 사회자본 지표 9개, 경제자본 지표 6개, 물리적 자본 지표 35개, 인적자본 지표 25개 등 총 75개의 지표를 제시하였고, 이를 통해 커뮤니티 재해의 완화, 대비, 대응, 복구의 4단계 개념에 적용하여 연관성을 파악하였다.

Burton(2012)는 도시 회복력 지표를 크게 사회적, 경제적, 제도적, 인프라, 커뮤니티, 환경 시스템 등 총 6개의 분야로 구분하여, 2005년 미국 미시시피주 일대에 발생한 카트리나로 인한 피해를 실증 분석하였다.

지금까지 논의한 도시 차원의 회복력 연구들을 살펴보면, 대부분의 연구들이 도시전체를 하나의 재난피해 대상으로 인식하고, 도시의 회복력을 대표할 수 있는 지표와 도시의 회복력 정도를 파악하고자 노력하였다. 하지만, 실제 도시는 인구, 교통, 에너지,

중앙대학교 | IP:165.194.94.*** | Accessed 2019/11/07 10:36(KST)

환경, 주택 등으로 구성된 대상이고, 각 분야마다 필요한 복구대책이 다를 수 있기 때문에, 도시전체를 하나로 보고 접근하고 있는 현재까지의 회복력 연구들로는 구체적인 회복력 강화전략을 수립하기 어려울 수 있다. 하지만 본 연구에서는 도시 안에서도 전력 시스템에 발생하는 피해를 중심으로 살펴보고 이를 통해 전력 시스템, 나아가 에너지 시스템의 회복력 강화전략을 제시한다는 측면에서 기존 연구들과 차별성을 가진다.

또한 회복력은 공학적, 생태학적, 사회·생태학적 회복력 차원마다 추구하는 방향이 다르기 때문에 각 회복력 차원별로 제시하는 정책방안이 달라질 수 있다. 하지만 기존 회복력 관련 연구들에서는 회복력 차원을 구분하지 않아 연구에서 주장하는 회복력 강화방안이 궁극적으로 시스템의 어떠한 부분을 향상시킬 수 있는지 파악하기 힘들다. 더구나 에너지 회복력을 파악하는 연구는 현재까지 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 에너지 회복력을 분석하기 위한 기초연구로서 회복력의 기본적인 개념인 공학적 차원에 입각한 에너지 회복력에 대한 분석을 시도하였다.

Ⅲ. 분석의 틀

1. 변수의 구성

공학적 차원의 회복력 분석을 위해 연구에 활용한 종속변수와 독립변수는 〈표 1〉과 같다. 먼저 종속변수는 총 정전발생시간을 활용하였다. 총 정전발생시간은 각 수용가[2]들이 연간 정전을 겪었던 시간의 총 합이라고 정의할 수 있다. 전력 시스템에 문제가 생겼을 때 발생하는 대표적인 피해는 정전이다. 앞서 이론적 고찰 부분에서 공학적 회복력은 교란이 발생한 이후 기존의 정상 상태로 되돌아가기 위한 능력이고, 속도와 시간 개념이 중요하게 다뤄진다고 설명하였다. 정전발생시간은 외부충격으로 인해 정전이라는 피해가 발생한 후부터 다시 원래 상태로 복구될 시점까지의 시간을 나타낸다는 측면에서 공학적 회복력을 대리할 수 있다고 판단하였다. 따라서 분석에서는 총 정전발생시간에 영향을 미치는 요인들을 찾아, 총 정전발생시간을 단축시킬 수 있는 방안을 모색하였다.

Table 1. Definition of Variables

Parameter				Unit	Coding	Reference
Dependent Variable	Ln (Blackout Time)			Ln (Minute)	-	Korea Electric Power Corporation
Independent Variable	Climate Characteristics	Daily Precipitation		mm	Average Daily Precipitation	Korea Meteorological Administration
		Maximum Wind Speed		m/s	Average Maximum Wind Speed	Korea Meteorological Administration
		Cooling/Heating Degree-day		Degree-day	Cooling Degree Day+Heating Degree Day	Korea Meteorological Administration
	Urban Characteristics	Robustness	Customer	Household	-	Korea Electric Power Corporation
			Ratio of River Area	%	(River area/ Administration area)×100	Ministry of Land
			Ratio of Deteriorated Housing	%	(Above 30's Housing/ Total Housing)×100	Ministry of Land
			Coast Dummy	Dummy	1=Coastal area, 0=Inland area	Korea Hydrographic and Oceanographic Agency
		Countermeasure Capacity	Local Tax Per	Won	Local Tax/Population	Ministry of Public Administration and Security
			Ratio of Government Employees	%	(Government Employees/ Customer)×100	Ministry of Land
			Ratio of KEPCO Employees	%	(KEPCO Employees/ Customer)×100	Korea Electric Power Corporation
			Road Ratio	%	(Road area/ Administration area)×100	Ministry of Land

중앙대학교 | IP:165.194.94.*** | Accessed 2019/11/07 10:36(KST)

독립변수는 총 정전발생시간에 영향을 미치는 요인들을 회복력 속성에 입각하여 파악하고자 하였다. 본 연구에서는 에너지를 도시의 하위 분야 중의 하나로 보았다. 따라서 도시의 회복력 중 논리적으로 설명가능하고, 자료 구득이 가능한 지표를 회복력 속성에 따라 구분하여 변수를 구성하였다. 총 정전발생시간에 영향을 미치는 변수 중 기후요인들은 정전을 일으키는 요인들로서 외부충격, 즉 교란에 해당한다. 또한 도시 요인들은 다시 견고성 특성과 대응력 특성으로 구분하였는데, 회복력 속성 중 견고성의 성격을 가지고 있는 변수들은 외부충격으로부터 시스템이 얼마나 적은 피해를 받는지 확인하고자 설정하였다. 대응력 성격을 가지고 있는 변수들은 회복력 속성 중 가외성, 자원부존성, 신속성 등의 속성을 가지고 있는 변수들로 구성하여, 외부충격에 대해 얼마나 신속하게 대응하고, 얼마나 대체요인이 많으며, 얼마나 다양한 자원을 활용하는지 확인하고자 설정하였다. 그리고 추출된 변수들은 상관분석 및 다중공선성 검사(variance inflation factor)를 통해 다중공선성 여부를 확인한 후 최종적으로 결정하였다. 구체적으로 기후요인은 일강수량, 순간최대풍속, 냉난방도일[3]을 설정하였다. 한국전력공사와 SCE(Southern California Edison)는 정전을 발생시키는 원인으로 극심한 날씨와 자연 재해라고 주장하였다. 즉, 날씨가 더워지거나, 한파 등 극심한 추위가 발생한다면 전력소비가 증가하여 전력 수요가 많아져 전력의 수요-공급에 불균형이 발생하고(이동성·문태훈, 2017), 이는 정전을 야기한다는 것이다.

또한 도시 요인 중 견고성의 특성을 가지고 있는 변수들은 수용가, 하천면적 비율, 노후주택 비율, 내륙-해안 더미 변수들을 설정하였다. 하천면적 비율, 그리고 내륙-해안 더미 변수의 경우 홍수와 같은 자연재난이 발생하였을 때 주변지역의 침수를 야기하여 도시 시스템에 영향을 준다는 판단 하에 도시 회복력 연구에서 많이 사용되었다(박소연, 2016; 최충익, 2004). 본 연구에서도 지역 내 하천이 차지하고 있는 면적이 크다면, 그리고 해안가에 의한 지역이라면, 홍수 등으로 침수가 발생하여 전신주가 파괴되거나 쓰나미, 태풍 등 대형 자연재해 발생 가능성이 높기 때문에 지역 내 도시 전력 시스템에 더 많은 악영향을 미칠 수 있다고 판단하여 투입하였다. 한편 많은 연구들에서는 노후주택과 반지하 가구의 경우 자연재난이 발생하였을 때 피해를 많이 받을 수 있다는 취약 요인으로 파악하고, 노후주택 비율을 도시 회복력 지표로 활용하였다(Burton, 2012; 한국환경정책평가연구원, 2015). 도시의 전력시스템 측면에서도 지역 내 노후주택비율이 높으면 집중호우와 태풍으로부터 취약할 수 있고, 특히 한국전력공사에 따르면 더운 여름철에 전력 수요가 급격히 증가할 경우 노후주택의 노후 변압기 고장이 빈번히 발생하게 되고, 이는 정전 발생의 큰 원인이 된다고 하였다. 이에 본 연구에서도 노후주택 비율을 모형에 투입하였다.

대응력 특성을 가지고 있는 변수들은 인당 지방세 부담액, 공무원 비중, 한전인원 비중, 도로율을 설정하였다. 도시의 회복력 연구에서 높은 경제 수준을 유지하는 것은 재난의 예방과 신속한 복구 측면에서 유리하다고 주장한다(박소연, 2016; 이제연, 2015; 국립방재교육연구원, 2010; 최충익, 2004; Campanella, 2006). 즉, 경제 수준이 높은 지역의 경우 재정과 정보, 기술 등이 풍부하여 자연재해가 발생하기 전에 미리 재난에 대해 예방책을 마련할 능력이 있어 미리 준비를 해놓을 것이고, 또한 자연재해가 발생한 후에도 경제적 능력을 바탕으로 신속히 자연재해에 대응한다는 것이다. 이러한 경제 특성 지표들은 도시의 회복력 측면뿐만 아니라 도시의 에너지 회복력 측면에서도 큰 의미를 갖는다고 판단하였고, 경제 특성을 대표할 수 있는 인당 지방세 납부액을 모형에 투입하였다. 또한 소방서 수, 경찰 수, 공무원 수 등 지역의 행정 특성을 나타내는 변수들은 자연재해에 대해 사전준비를 하거나, 재해 발생 시 신속한 복구를 위해 필수적이다(박소연, 2016; 박한나 외, 2015; 이제연, 2015; 국립방재교육연구원, 2010; Burton, 2012; Cutter et al., 2008). 또한 김도훈·홍영교(2009)는 재해로부터 주민들의 피해를 줄이기 위해 공무원들의 재난대응 서비스 제공은 큰 역할을 한다고 주장하였고, 특히, 재해의 빈도가 많아지는 상황에서 재난에 대응하는 전문인력이 모자라다면, 재난에 대해 신속한 대처가 불가능하다고 주장하였다. 따라서 본 연구에서는 수용가 대비 공무원 수 비중을 나타내는 공무원 비중과 정전이 발생할 시 직접적으로 개입하여 조치를 취하는 한국전력공사 인원 비중을 모형에 투입하였다. 마지막으로 이러한 빠른 수송을 통한 공급을 위해서는 도로 등 교통기반시설의 확충이 필수적이다(국립방재교육연구원, 2010; Cutter et al., 2010; Shaw and Iedm, 2009). 전력시스템 측면에서 살펴보면 재해로 인해 정전이 발생할 경우 한전 인원이 직접 현장으로 출동하게 되는데 신속한 복구를 위해서는 정전 발생 지점으로 빠르게 이동하는 것이 필수적이다. 따라서 본 연구에서도 인적 자원의 즉각적인 수용을 대변할 수 있는 도로율을 모형에 투입하였다.

2. 변수의 기초 통계량

〈표 2〉는 분석에 사용한 자료들의 기술통계를 요약한 것이다. 먼저 분석에 사용된 표본 수는 전국의 시·군·구를 전국에 존재하는 한국전력공사 2차 사업소로 분류한 186개 지사이다. 한국전력공사의 지역별 지사를 기준으로 표본을 구축한 이유는 종속변수로 활용한 총 정전발생시간에 대한 자료가 한국전력공사의 지사를 기준으로 구분되어 있기 때문이다. 종속변수인 총 정전발생시간은 평균이 14,462,854분으로 최소 290,839분과 최대 96,176,096분 사이에 분포하고 있다. 기후요인을 살펴보면, 일강수량과 순간최대풍속, 냉난방도일의 평균은 각각 949.1mm, 18.1m/s, 3060.8도일 등으로 나타났다. 다음으로 도시 요인 중 견고성의 성격을 가지고 있는 변수들의 기술통계량을 살펴보면 수용가, 하천

중앙대학교 | IP:165.194.94.*** | Accessed 2019/11/07 10:36(KST)

Table 2. Descriptive Statistics

Parameter				Unit	N	Minimum	Maximum	Average
Dependent Variable	Log (Blackout Time)			Log (Minute)	186	290,839	96,176,096	14,462,854
Independent Variable	Climate Characteristics	Daily Precipitation		mm	186	502.4	2074.5	949.1
		Maximum Wind Speed		m/s	186	8.8	44.3	18.1
		Cooling/Heating Degree-day		Degree-day	186	2,278.1	3,834.8	3,060.8
	Urban Characteristics	Robustness	Customer	Household	186	91,459	5,429,792	1,406,879
			Ratio of River Area	%	186	0	23	3.3
			Ratio of Deteriorated Housing	%	186	1.4	69.8	27.1
			Coast Dummy	Dummy	186	0	1	0.3
		Countermeasure Capacity	Local Tax Per	Won	186	541.32	3,820,857.3	852,102.91
			Ratio of Government Employees	%	186	0.05	0.04	0.09
			Ratio of KEPCO Employees	%	186	0	0.02	0.01
			Road Ratio	%	186	0.9	33.3	5.3

면적 비율, 노후주택 비율의 평균은 각각 1,406,879호, 3.3%, 27.1% 등으로 나타났다. 마지막으로 도시 요인 중 대응력 성격을 가지고 있는 변수들의 기초통계량을 살펴보면 인당 지방세 부담액, 공무원 비중, 한전인원 비중, 도로율의 평균은 각각 852,102.91원, 0.09%, 0.01%, 5.3% 등으로 나타났다.

IV. 분석 결과

본 연구의 실증분석 결과는 〈표 3〉과 같다. 본 연구에서 구축한 다중회귀모형은 F 검정 결과 25.653으로 1% 수준에서 유의하여 모형에 대한 적합성은 유의하다고 볼 수 있다. 또한 모형 설명력(adj R-square)도 59.4%로 높게 나타났다.

분석결과를 구체적으로 살펴보면, 먼저 기후 요인으로 설정한 일강수량, 순간최대풍속, 냉난방도일 중에서 순간최대풍속과 냉난방도일만이 총 정전발생시간에 영향을 미치는 변수로 나타났고, 일강수량은 유의미하지 않은 것으로 나타났다. 또한 순간최대풍속과 냉난방도일의 영향력 부호를 보면 모두 (+)로 나타나 지역 내 총 정전발생시간을 증가시키는 요인으로 작용하였다. 이러한 결과를 통해 살펴보았을 때, 순간최대풍속과 냉난방도일 등 기후변화와 관련된 재난은 전력공급시설을 파괴하고, 전력소비를 증가시켜 전력 시스템에 피해를 주는 요인으로 작용한다는 사실을 파악할 수 있었다.

다음으로 도시 요인 중 견고성의 성격을 가지고 있는 변수들의 분석결과를 살펴보면, 수용가, 하천면적 비율, 노후주택 비율, 내륙-해안 중에서 수용가, 노후주택 비율, 내륙-해안 더미 변수만이 유의미한 것으로 나타났다. 또한 수용가가 증가할수록 총 정전발생시간은 증가하고, 노후주택 비율이 증가할 경우에도 총 정전발생시간은 증가하며, 내륙 지역보다 해안에 위치한 지역일수록 총 정전발생시간이 증가하는 것으로 나타났다. 노후주택은 노후 변압기가 설치되어 있을 확률이 더 크고, 이로 인해 빈번한 변압기 고장 및 전력소비가 급증하였을 때 변압기가 과부하 될 가능성이 크다. 노후 주택의 경우 재난에 더 취약하다는 분석은 기존 연구결과와 같은 결과라고 볼 수 있다(박소연, 2016; 최충익, 2004). 또한 기존 연구들에서는 해안가에 위치한 지역의 경우 내륙 지역보다 침수 피해 및 태풍 등 재난으로 인한 피해가 더 크다고 주장하고 있다(박소연, 2016; 한국환경정책평가연구원, 2015; 국립환경과학원, 2013). 따라서 내륙-해안 더미 변수에 대한 분석결과는 해안가의 위치한 지역일수록 내륙 지역보다 더 큰 재난이 발생할 가능성이 크고, 이로 인해 정전피해가 커 총 정전발생시간이 증가하는 것으로 판단된다.

마지막으로 도시 요인 중 대응력의 성격을 가지고 있는 변수들의 분석결과를 살펴보면, 인당 지방세 부담액, 공무원 비중, 한전인원 비중, 도로율 중에서 총 정전 발생시간에 영향을 미치는 유의미한 변수는 공무원 비중과 도로율로 나타났다. 공무원 비중이 증가할 경우 총 정전발생시간은 감소하고, 도로율이 증가할 경우도 총 정전발생시간은 감소하는 것으로 나타났다. 기존 연구들에서는 공무원 비중이 높은 지역일수록 재난대비능력 및 신속한 복구활동 등 재난에 대한 행정 역량이 크다고 주장하였고(박소연,

중앙대학교 | IP:165.194.94.*** | Accessed 2019/11/07 10:36(KST)

Table 3. The Effect of Climate and Urban Characteristics on 'Blackout Time'

Parameter				Coef.	t Value	Pr > |t|	VIF
Dependent Variable	Log (Blackout Time)			13.264***	15.609	0.000	-
Independent Variable	Climate Characteristics	Daily Precipitation		-0.000	-0.139	0.890	1.942
		Maximum Wind Speed		0.037***	3.818	0.000	1.377
		Cooling/Heating Degree-day		0.001***	3.040	0.003	3.171
	Urban Characteristics	Robustness	Customer	0.000***	9.321	0.000	2.456
			Ratio of River Area	0.011	0.854	0.394	1.318
			Ratio of Deteriorated Housing	0.011**	2.494	0.014	3.618
			Coast Dummy	0.173*	1.657	0.099	1.956
		Countermeasure Capacity	Local Tax Per	0.000	1.303	0.194	1.350
			Ratio of Government Employees	-0.537***	-4.945	0.000	3.850
			Ratio of KEPCO Employees	3.872	0.303	0.762	1.142
			Road Ratio	-0.030***	-2.938	0.004	1.922

note) * P < 0.1, ** P < 0.05, *** P < 0.01

2016; 박한나·송재민, 2015; 이제연, 2015; 국립방재교육연구원, 2010; 김도훈·홍영교, 2009; Burton, 2012; Cutter et al., 2008), 도로 등 교통기반시설이 확충된다면 재난 발생 시 신속한 이동 및 수송이 가능하다고 주장하였다(국립방재교육연구원, 2010; Cutter et al., 2010; Shaw and Iedm, 2009). 따라서 공무원 비중이 높은 지역일수록 전력피해가 발생하였을 때, 이에 대한 대비 및 신속한 복구활동이 가능하고 전력피해가 상대적으로 적어 다른 지역보다 총 정전발생시간이 감소하는 것으로 보인다. 또한 도로율이 높은 지역일수록 신속한 이동이 가능하고, 이를 통해 빠른 전력피해 복구가 가능하여 상대적으로 다른 지역보다 총 정전발생시간이 감소하는 것으로 보인다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 기후변화에 전력 시스템이 대응하기 위해, 어떠한 도시 및 기후요인들이 총 정전발생시간에 영향을 미치는지 살펴보고, 에너지 회복력 향상을 위한 정책적 시사점을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 회복력에 대한 문헌검토와 더불어 한국전력공사에서 제공받은 총 정전발생시간 자료를 활용하여 실증분석하였다.

본 연구에서 제시하는 에너지 회복력 강화방안은 다음과 같다. 실증분석 결과 중 도시의 견고성 요인인 노후주택 비율과 내륙-해안 더미는 총 정전발생시간을 증가시키는 요인으로 작용하였다. 견고성이란 자연재해와 같은 외부충격에 대해 도시가 얼마나 잘 견딜 수 있는지에 따라 결정된다. 해안가에 위치한 도시의 경우 폭우 및 태풍에 대해 기타 내륙 지역보다 취약할 가능성이 상대적으로 높고, 노후주택의 경우 신규주택에 비해 자연재해에 대한 피해에 취약할 뿐만 아니라 전기 변압기 고장 등이 빈번하게 발생할 가능성이 높다. 견고성 측면에서 전력피해 및 복구시간을 단축시켜 에너지 회복력을 높이기 위해서는 폭우 및 태풍에 상대적으로 더 취약한 지역을 중심으로 우선적인 사전대비가 이뤄져야 할 것이고, 노후주택의 경우 전력 시스템에 대한 지속적인 관리가 요구된다.

다음으로 도시의 대응력 변수로 활용한 공무원 비중과 도로율은 지역의 총 정전발생시간에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 분석결과는 전력피해 및 복구시간을 단축시켜 에너지 회복력을 높이기 위해 재해복구인력의 신속한 이동이 가능하도록 도로 확장이나 또는 위급 상황 발생 시 재난대응차량의 신속한 이동을 도울 수 있는 긴급서비스차로의 지정 등 도로 재정비의 필요성, 그리고 도시의 전력 피해 복구 인원 확충 등 재난대응서비스 확대의 필요성을 강조한다.

또한 추가적으로 분산형 전원을 확대할 필요가 있다. 분산형 전원은 소규모 발전설비의 설치 및 적정 규모의 수요지 발전설비를 의미한다. 즉, 수요지와 가까운 곳에서 전력을 공급하고, 소규모로 여러 곳에서 전력을 공급하기 때문에 기후변화와 같은 재난으로부터 전력 시스템의 피해를 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 빠른 복구도 가능하게 될 것이다.

본 연구는 에너지 회복력 강화방안을 모색하기 위한 기초연구

중앙대학교 | IP:165.194.94.*** | Accessed 2019/11/07 10:36(KST)

로서, 공학적 차원의 회복력개념을 활용하였다. 본 연구는 에너지 회복력에 영향을 미치는 주요 요인과 그 영향력을 파악한 실증분석 연구라는 점, 생태학 및 사회·생태학적 차원의 에너지 회복력 연구에 활용할 수 있는 기본적인 변수를 제시한 기초연구라는 점에서 의의가 있다.

본 연구의 한계는 다음과 같다. 첫째, 공학적 차원에 입각한 에너지 회복력 연구는 전력 시스템의 상호연계성과 복잡성을 고려하지 못한다는 측면에서 한계가 존재한다. 추가 연구는 생태학적, 사회·생태학적 차원에서 접근할 필요가 있다.

둘째, 본 연구에서는 자료의 한계로 인해 시간적 범위를 2015년으로 한정하였다. 추후 연구에서 다양한 시간적 범위의 자료를 구득할 수 있다면, 그리고 이를 통해 패널 분석 등 다양한 분석방법을 활용하여 연구를 수행할 수 있다면 보다 정확하고 객관적인 결과를 도출할 수 있을 것이라 기대한다.

셋째, 정전시간에 영향을 미치는 정기점검 및 신규시설보급과 같은 기술적 요인에 대해 자료의 한계로 고려하지 못하였다. 이 또한 관련 자료의 확보를 통해 연구를 수행한다면, 보다 의미있는 결과를 도출할 수 있을 것이라 기대한다.

주1. 에너지 분류 및 사용량: 석유 사용량: 50%, 전력 사용량: 20%, 도시가스 사용량: 14%, 석탄 사용량: 13%, 열에너지 사용량: 2%, 기타 사용량: 0.5%

주2. 자신이 사용할 목적으로 전기를 구입하는 고객

주3. 난방도일은 냉방도일과 난방도일의 합을 의미한다. 여기서 냉방도일은 일평균기온이 기준 온도보다 높은 날들의 일평균기온과 기존 온도와의 차를 구하여 매일 매일 누적 합산한 것을 의미한다. 또한 난방도일은 반대로 기준 온도가 일평균기온보다 높은 날들의 기존 온도와 일평균기온과의 차를 구하여 매일 매일 누적 합산한 것을 의미한다. 즉, 냉방도일이 높을수록 더운 지역, 난방도일이 높을수록 추운지역이라고 할 수 있다.

인용문헌
References

1. 경기연구원, 2013.「자연재해로부터의 지역사회 회복탄력성 도입방안」, 수원.
   Gyeonggi Research Institute, 2013. *A Policy Implication for Community Resilience from Natural Disaster*, Suwon.
2. 국립방재교육연구원, 2010.「도시 방재력 진단을 위한 지표 및 체크리스트 개발」, 울산.
   National Disaster Management Institute, 2010. *Development of the Indicators and Checklist for Diagnosis of the Urban Resilience*, Ulsan.
3. 국립환경과학원, 2013.「기후변화에 의한 자연재해위험 저감방안 연구: 해안지역을 사례로 Ⅰ」, 인천.
   National Institute of Environmental Research, 2013. *Reduction of Natural Disaster Risk due to Climate Change of Coastal Area*, Incheon.
4. 김도훈·홍영교, 2009. "재난 대응 시스템의 다이내믹스: 주민과 공무원의 인식차를 중심으로",「한국시스템다이내믹스학회 학술발표논문집」, 2009: 1-13.
   Kim, D.H. and Hong, Y.G., 2009. "The Dynamics of Disaster Response System: Focusing on the Difference between Residents and Public Officials", *The Proceedings of the Conference of the Korean Dynamics Society*, 2009: 1-13.
5. 박소연, 2016. "지역 특성이 자연재난 회복력에 미치는 영향 분석", 인하대학교 박사학위논문.
   Park, S.Y., 2016. "The Impact of Regional Characteristics on Resilience to Natural Disaster", Ph. D. Dissertation, Inha University.
6. 박한나·송재민, 2015. "회복탄력성 비용지수를 활용한 회복탄력성 주요 영향 요인 분석: 서울시 풍수해를 대상으로",「국토계획」, 51(8): 95-113.
   Park, H.N. and Song, J.M., 2015. "Identification of Main Factors Affecting Urban Flood Resilience Using Resilience Cost Index: A Case of Flooding in Seoul City, Korea", *Journal of Korea Planning Association*, 51(8): 95-113.
7. 안영환·오인하, 2010. "에너지부문의 기후변화 적응전략에 대한 탐색적 연구",「에너지경제연구」, 9(2): 153-185.
   Ahn, Y.H. and Oh, I.H., 2010. "Exploratory Study on Climate Change Adaptation Strategies in the Korean Energy Sector", *Energy Economy Research*, 9(2): 153-185.
8. 유순영·김성욱·박경호·오창환·박덕근·김창용, 2012. "사이클론에 대한 피지의 방재력 정량화 연구",「한국방재학회논문집」, 12(2): 55-63.
   Yu, S.Y., Kim, S.W., Park, K.H., Oh, C.H., Park, D.G., and Kim, C.Y., 2012. "Quantitative Resilience Analysis of Fiji to Cyclones", *Journal of Disaster Management*, 12(2): 55-63.
9. 이동성·문태훈, 2017. "도시특성과 기후특성이 지역 에너지사용량에 미치는 영향에 관한 연구",「한국지역개발학회지」, 29(1): 1-22.
   Lee, D.S. and Moon, T.H., 2017. "The Impacts of Urban and Climate Characteristics on Regional Energy", *Journal of the Korean Regional Development Association*, 29(1): 1-22.
10. 이제연, 2015. "지방자치단체의 기후재난 회복력 분석", 서울대학교 박사학위논문.
    Lee, J.Y., 2015. "Climate Disaster Resilience in Municipalities", Ph. D. Dissertation, Seoul National University.
11. 최충익, 2004. "수도권 도시지역 자연재해 유발요인에 관한 실증연구",「한국지역개발학회지」, 16(4): 23-50.
    Choi, C.I., 2004. "A Empirical Research on the Factors Causing Natural Disasters in Metropolitan Urban Area", *Journal of the Korean Regional Development Association*, 16(4): 23-50.
12. 한국환경정책평가연구원, 2015.「도시의 기후 회복력 확보를 위한 공간단위별 평가 체계 및 모형 개발 Ⅰ」, 세종.
    Korea Environment Institute, 2015. *Urban Climate Resilience: Operationalization and Evaluation Ⅰ*, Sejong.
13. Bruneau, M., Chang, S.E., Eguchi, R.T., Lee, G.C., O'Rourke, T.D., Reinhorn, A.M., Shinozuka, M., Tierney, K.T., Wallace, W.A., and Winterfeldt, D., 2003. "A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities", *Earthquake Spectra*, 19(4): 733-752.
14. Burton, C., 2012. "The Development of Metrics for Community Resilience to Natural Disasters", Ph. D. Dissertation,

중앙대학교 | IP:165.194.94.*** | Accessed 2019/11/07 10:36(KST)

University of South Carolina.

15. Campanella, T.J., 2006. "Urban Resilience and the Recovery of New Orleans", *Journal of the American Planning Association*, 72(2): 141-146.
16. Cutter, S.L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., and Webb, J., 2008. "A Place-based Model for Understanding Community Resilience to Natural Disasters", *Global Environmental Change*, 18(4): 598-606.
17. Cutter, S.L., Burton, C.G., and Emrich, C.T., 2010. "Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Condition", *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 7(1): 1-22.
18. Davoudi, S., 2012. "Resilience: A Bridging Concept or a Dead End?", *Panning Theory and Practice*, 13(2): 299-307.
19. Folke, C., Colding, J., and Berkes, F., 2003. Synthesis: Building Resilience and Adaptive Capacity in Social-ecological Systems", in *Navigating Social-ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*, Cambridge: Cambridge University Press.
20. Folke, C., 2006. "Resilience: The Emergence of a Perspective for Social-ecological Systems Analyses", *Global Environmental Change*, 26: 253-267.
21. Folke, C., Carpenter, S.R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., and Rockstrom, J., 2010. "Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability", *Ecology and Society*, 15(4): 20.
22. Gunderson, L., 2000. "Ecological Resilience: In Theory and Application", *Annual Review of Ecology & Systematics*, 31: 425.
23. Hammer, S. and Parshall, L., 2009. *Climate Change and New York city's Energy Sector: Vulnerabilities, Impacts and Adaptation Strategies*, New York: Columbia University Center for Energy, Marine Transportation and Public Policy.
24. Holling, C.S., 1973. "Resilience and Stability of Ecological Systems", *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4: 1-23.
25. Manyena, S.B., 2006. "The Concept of Resilience Revisited", *Disasters*, 30(4): 433-450.
26. Mayunga, J.S., 2009. "Measuring the Measure: A Multi-dimensional Scale Model to Measure Community Disaster Resilience in the U.S. Gulf Coast Region", Ph. D. Dissertation, Texas A&M University.
27. Shaw R. and Iedm, T, 2009. "Climate Disaster Resilience: Focus on Coastal Urban Cities in Asia", *Environment and Disaster Management*, 1: 1-15.
28. U.S. Climate Change Service Science Program, 2007. *Effect of Climate Change on Energy Production and Use in the United States*, *Synthesis and Assessment Product 4.5*, Washington D.C.
29. Vugrin, E.D., Warren, D.E., Ehlen, M.A., and Camphouse, R.C., 2010. "A Framework for Assessing the Resilience of Infrastructure and Economic Systems". in *Sustainable and Resilient Critical Infrastructure Systems: Simulation, Modeling, and Intelligent Engineering*, edited by Gopalakrishnan, K. and Peeta, S., 77-116. Berlin: Springer-Verlag.

Date Received 2019-04-23
Reviewed(1st) 2019-05-31
Date Revised 2019-06-13
Reviewed(2nd) 2019-06-30
Date Accepted 2019-06-30
Final Received 2019-07-05

중앙대학교 | IP:165.194.94.*** | Accessed 2019/11/07 10:36(KST)