

기후환경 변화에 따른 전기재해 위험도 분석

김완석, 김영훈, 김재혁*, 오훈
원광대학교 전기공학과

Analysis and Risk Prediction of Electrical Accidents Due to Climate Change

Wan-Seok Kim, Young-Hun Kim, Jaehyuck Kim*, Hun Oh

Department of Electrical Engineering, Wonkwang University

요약 본 산업의 발달 및 화석연료 사용 증가로 인하여 지구온난화 및 기후변화가 가속화되어 기존보다 강도 높은 자연재해가 빈번하게 발생하고 있다. 전기시설물은 옥외에 시설된 경우가 많아 자연재해에 큰 영향을 받아 전기설비 관련 사고가 증가하는 추세이다. 본 논문에서는 국내의 기후변화에 따른 전기화재, 감전사고 및 전기설비사고의 통계 현황을 분석하여 기후변화와 연계한 위험도를 제시한다. 또한, 다양한 지역 별(광역시) 기후조건(온도, 습도)과 연계한 전기재해 데이터 분석을 통하여 각 지역의 월별 전기화재 위험도 분석 모델을 제시하고, 저압, 고압 설비의 자연재해에 대한 사고 위험도를 분석한다. 이러한 지역별, 설비별 위험도 분석 모델을 통하여 기초적인 전기재해 예측 모델을 제시하였다. 따라서 제시한 분석 데이터를 활용하여 향후 각 지역 및 전기설비를 대상으로 전기재해 위험도 예측 맵을 웹사이트나 스마트폰 앱을 통하여 전기안전 서비스를 제안할 수 있으며, 기후변화의 따른 자연재해에 대한 전기사고를 미연에 방지하기 위한 내성기준이나 전기설비의 내구성을 증가시키기 위한 노력이 필요하다.

Abstract The development of industry and the increase in the use of fossil fuels have accelerated the process of global warming and climate change, resulting in more frequent and intense natural disasters than ever before. Since electricity facilities are often installed outdoors, they are heavily influenced by natural disasters and the number of related accidents is increasing. In this paper, we analyzed the statistical status of domestic electrical fires, electric shock accidents, and electrical equipment accidents and hence analyzed the risk associated with climate change. Through the analysis of the electrical accidental data in connection with the various regional (metropolitan) climatic conditions (temperature, humidity), the risk rating and charts for each region and each equipment were produced. Based on this analysis, a basic electric risk prediction model is presented and a method of displaying an electric hazard prediction map for each region and each type of electric facilities through a website or smart phone app was developed using the proposed analysis data. In addition, efforts should be made to increase the durability of the electrical equipment and improve the resistance standards to prevent future disasters.

Keywords : Climate change, Electrical fire, Electrical accident, Electric safety, Risk prediction, Risk rating

1. 서론

지구온난화로 세계 곳곳에서는 빙하가 녹고 해수면이

상승할 뿐만 아니라 가뭄, 홍수, 태풍 등의 자연재해 발생 빈도가 높아지는 등 이상기후 현상이 나타났다. 이상기후는 생태계뿐만 아니라 사람들의 삶도 위협하는 상황

본 연구는 산자부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원(20162220200010) 교육부재원으로 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원(2015H1C1A1035928)으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jaehyuck Kim(Wonkwang Univ.)

Tel: +82-63-850-6733 email: jaehkim@wku.ac.kr

Received January 22, 2018

Revised (1st February 12, 2018, 2nd March 2, 2018)

Accepted April 6, 2018

Published April 30, 2018

을 몰고 오게 되었다. 산업의 발달에 따른 화석연료 사용 증가로 인한 지구 온난화로 기후는 혹한 및 혹서의 심화, 벼락 및 태풍의 발생 횟수 증가와 강도 상승 등과 같은 전기설비에 악영향을 주는 환경으로 변화되고 있다 [1][2][3].

지속적인 기후변화로 인하여 해수면 상승, 기온 및 강수 패턴의 변화 등 이상기후 현상 등은 점차 생태계, 수송, 에너지 공급 및 수요, 그리고 인프라 등과 같은 다양한 생활환경 및 시스템에 영향을 미치게 된다[4-5].

전기재해에 대한 예측 가능성을 향상하기 위해서는 전기설비의 기후변화에 따른 취약성 분석을 통해 위험을 확인하고 평가 및 분석함으로써 환경 변화에 대응 가능한 기술의 개발이 필요하다. 본 논문에서는 지구온난화가 고온, 국지성 폭우 등 이상 기후 환경으로 나타나 전기재해 및 고장(화재, 고장 등) 자연재해가 전기설비에 어떠한 영향을 미치는지 통계 내어 분석하고 이를 기반으로 전기설비의 위험도를 제시하여 예측하고자 한다[6].

2. 본론

2.1 기후변화에 따른 전기설비사고 원인별 통계

국내의 이상기후에 의한 전기설비의 피해는 폭우, 홍수, 태풍, 지진, 벼락, 빙설, 염해 등으로 인해 설비가 파손되거나 화재가 발생하는 등의 피해가 점차 증가 추세이며, 폭염이나 강추위로 인한 냉·난방기의 사용이 증가하여 전력사용량이 증가하고 있다. 이 같은 다양한 기후 환경 변화는 전기설비에 영향을 미치며 피해 감소를 위해 자연재해에 대한 전기설비의 내성이 매우 중요하다[7].

지속적인 지구온난화로 온도 상승으로 인한 변압기 폭발 사고 및 전기설비 영향이 증가하며 빙하가 녹음으로써 해수면 상승에 따라 지하 전기설비 침수 및 태풍 발생의 빈도 및 강도 증가로 인해 염해 피해증가 할 것으로 예상하며[8], 다양한 기후 현상에 의해 발생하는 각종 전기설비 사고의 건수 및 구성비의 다변화가 이루어질 것이다. Table 1은 2006년부터 2015년까지 국내 자연재해에 의한 전기설비의 사고 중 홍수에 의한 전기설비의 사고 건수와 전체 사고에서 차지하는 구성비에 대한 통계를 나타낸다.

Table 1. Electrical equipment accident by flooding

Year	no. of accidents	Ratio (%)
2006	399	6.7
2007	494	7.1
2008	319	5.6
2009	361	4.2
2010	464	5.6
2011	571	7.3
2012	451	5.3
2013	415	5.6
2014	273	4.3
2015	170	2.9

Table 2는 2006년부터 2015년까지 바람(돌풍, 태풍)과 빙설(폭우, 폭설)에 의한 전기설비 고장 건수 및 전체 고장 수에서 차지하는 구성비를 나타낸다. 자연재해에 의한 설비사고는 2010년까지 다소 감소추세이다. 2010년 이후부터 다시 급증하고 있다. 2015년까지 다시 감소하고 있으나 2015년 이후 최근에 이르러 다시 증가하고 있다. 이상기후에 의한 자연재해는 점차 늘어나거나 그 강도가 강해지고 있으므로 향후 전기설비의 피해는 더욱 확대될 것이다. 자연재해에 취약한 개별 설비의 내성 강화 매우 시급한 실정이다.

Table 2. Electrical equipment accidents by wind, snow, and ice

Year	no. of accidents	Ratio (%)
2006	180	3
2007	260	3.7
2008	262	4.6
2009	149	1.7
2010	214	2.6
2011	424	5.4
2012	476	5.6
2013	150	2
2014	158	2.5
2015	80	1.4

Table 3. Electrical equipment accidents by salt and dust

Year	no. of accidents	Ratio (%)
2006	74	1.2
2007	57	0.8
2008	47	0.8
2009	62	0.7
2010	55	0.7
2011	45	0.6
2012	62	0.7
2013	50	0.7
2014	47	0.7
2015	33	0.6

2.2 전기화재와 다양한 기후변수의 상관관계 분석

대표적인 기후변수인 기온과 습도와 전기화재와의 상관관계를 분석하기 위하여 각 지역의 연간 월 평균 기온 및 평균 습도를 조사하였고, 각 지역의 연간 월별 전기화재 수를 조사하였다. 전기화재의 경우는 발화원인에 따라 분류하였다. 지역은 서울 및 각 도의 광역시 별 조사하였으나 지면 제약 상 서울지역의 기후와 전기화재 상관관계 분석만 제시한다. Fig. 1에서 Fig. 5까지는 서울 지역의 연평균 월 온도와 월별 전기화재의 상관관계를 비교하였으며 5가지 발화 원인에 따라 각각 비교한 결과를 보여준다. Fig. 6에서 Fig. 10까지는 서울 지역의 연평균 월 습도와 월별 전기화재의 상관관계를 5가지 발화 원인에 따라 각각 비교한 결과를 보여준다[9].

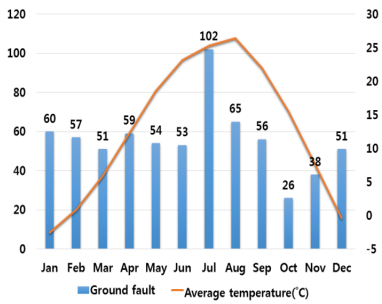


Fig. 1. Comparison between the number of fires due to ground fault and average temperature

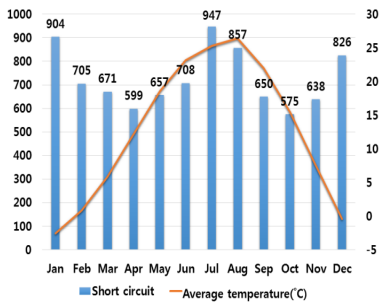


Fig. 2. Comparison between the number of fires due to short circuit and average temperature

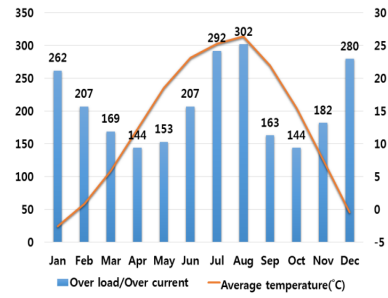


Fig. 3. Comparison between the number of fires due to overload/over current and average temperature

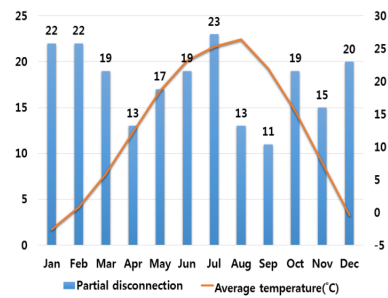


Fig. 4. Comparison between the number of fires due to partial wire breaks and average temperature

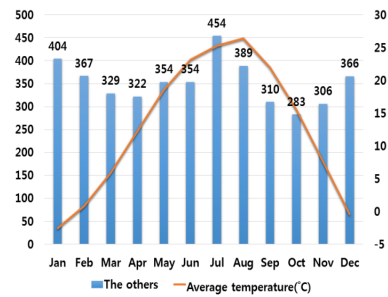


Fig. 5. Comparison between the number of fires due to other causes and average temperature

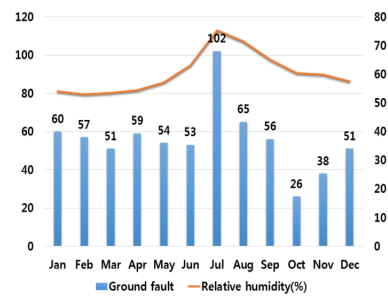


Fig. 6. Comparison between the number of fires due to ground fault and average humidity

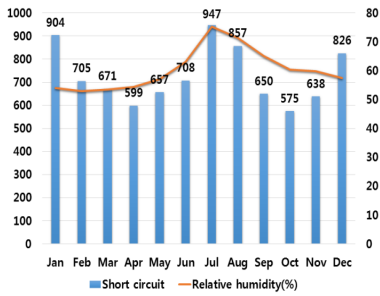


Fig. 7. Comparison between the number of fires due to short circuit and average humidity

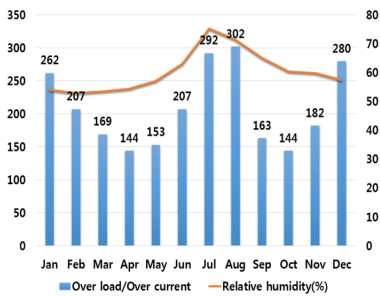


Fig. 8. Comparison between the number of fires due to overload/over current and average humidity

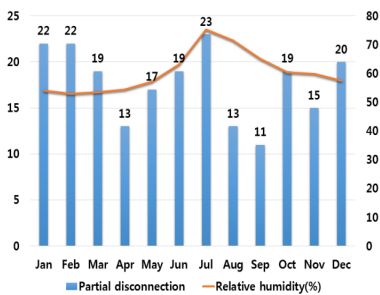


Fig. 9. Comparison between the number of fires due to partial wire breaks and average humidity

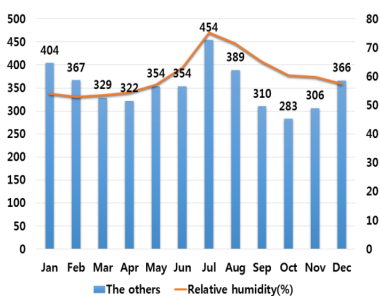


Fig. 10. Comparison between the number of fires due to other causes and average humidity

전반적으로 기온 및 습도가 제일 높은 7~8월과 가장 기온 및 습도가 낮은 12~1월에 화재가 가장 자주 발생하였으며 이는 냉난방기, 전열기 등의 사용이 이 시기에 집중되기 때문으로 분석된다. 대부분의 화재 원인의 경우 여름, 겨울에 발생 건수가 높지만, 누전·지락의 경우는 유독 여름(7월)에만 화재 발생 건수가 높음을 알 수 있다. 반 단선의 경우는 다른 원인과 비교하여 더운 여름보다는 추운 겨울(12~2월)에 화재 건수가 더욱 집중됨을 알 수 있다.

습도의 경우도 전반적으로 기온과 마찬가지로의 경향을 보인다.

2.3 전기화재의 원인에 따른 지역 별 전기화재 재위험도 예측

각 지역의 인구 10만 명당 전기화재 발생 건수를 화재 원인별로 분석하여(Table 4), 이를 바탕으로 각 지역에 따른 월별 전기화재발생 위험도를 분석하였다. Table 5의 위험도 테이블을 기준으로 각 지역의 화재 원인별 전기화재 위험도는 Table 6과 같이 나타낼 수 있다.

서울과 부산은 인구는 많지만 다른 지역과 비교해 다소 적은 전기화재가 일어났고, 특히 강원 지역은 인구 대비 많은 전기화재가 일어남을 알 수 있었다. 이는 소방시설 등 방재 인프라의 부족 영향도 미쳤을 것으로 예상된다.

Table 4. Number of electrical fires by cause per 100 thousand

Region	Ground fault	Short circuit	Overload	Wire break	Others
Seoul	68	880	252	21	427
Gwangju	49	991	182	36	621
Daegu	53	726	165	11	825
Daejeon	88	1296	186	17	428
Busan	80	764	180	25	640
Jeju	50	1300	295	26	477
Cheongju	116	526	214	7	605
Jeonju	78	807	181	8	732
Chuncheon	110	1268	413	64	1411
Incheon	59	1073	145	29	433
Min.	49	526	145	7	427
Avg.	75	963	221	24	660
Max.	116	1300	413	64	1411

Table 5. Risk rating table of electrical fire by cause

Rating	Ground fault	Short circuit	Overload	Wire break	Others
Very low (1)	0~53	0~673	0~155	0~17	0~462
Low (2)	54~68	674~867	156~199	18~22	463~594
Moderate (3)	69~84	868~1060	200~243	23~26	595~726
High (4)	85~98	1061~1252	244~287	27~31	727~858
Very high (5)	99~	1253~	288~	32~	859~

Table 6. Risk rating of electrical fire by region

Region	Ground fault	Short circuit	Overload	Wire break	Others
Seoul	2	3	4	2	1
Busan	3	2	2	3	3
Incheon	2	4	1	4	1
Daejeon	4	5	2	1	1
Daegu	1	2	2	1	4
Gwangju	1	3	2	5	3
Cheongju	5	1	3	1	3
Jeonju	3	2	3	1	4
Chuncheon	5	5	5	5	5
Jeju	1	5	5	3	2

Fig. 11에서 Fig. 15까지는 Table 6의 각 지역별, 원인별 전기화재 위험도 스파이더 웹 차트로 표시한 것이다.

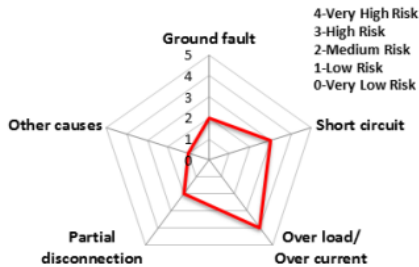


Fig. 11. Electrical fire risk rating for Seoul

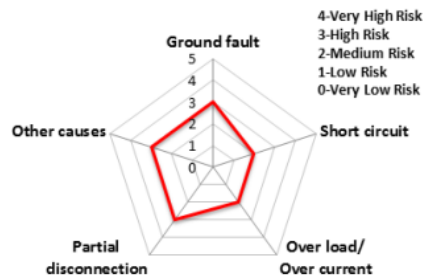


Fig. 12. Electrical fire risk rating for Busan

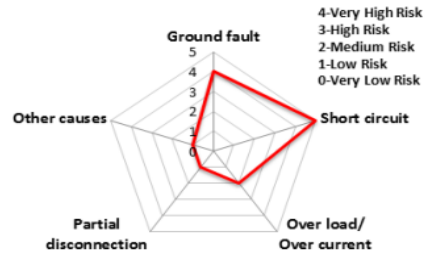


Fig. 13. Electrical fire risk rating for Daegu

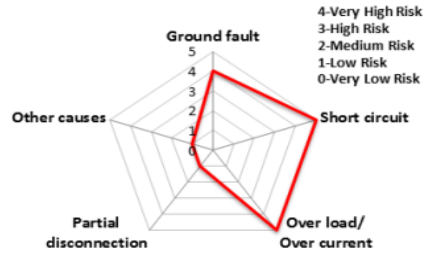


Fig. 14. Electrical fire risk rating for Daejeon

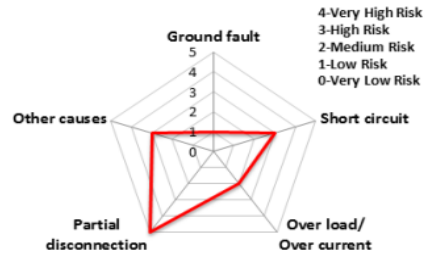


Fig. 15. Electrical fire risk rating for Gwangju

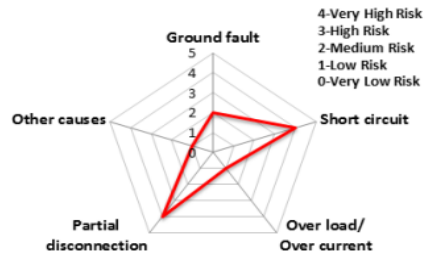


Fig. 16. Electrical fire risk rating for Incheon

지금까지의 기후변수와 전기사과의 상관관계, 지역별 전기화재 위험등급을 각 지역의 연간 월별 전기화재 위험도 예측을 matrix table 형태로 나타낸 전기화재위험 매트릭스(electrical fire risk matrix)[10]는 Fig. 17과 같다. 대부분 지역이 7~8월 및 12~1월이 위험도가 높게 예

측되고, 특히 강원 지역이 다른 지역에 비교해 연중 전기화재의 위험도가 높은 것으로 예측할 수 있다.

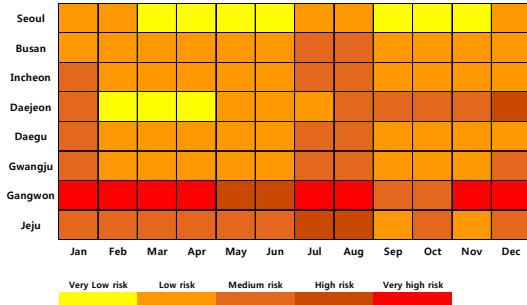


Fig. 17. Prediction of electrical fire per month in each region

2.4 전기설비 별 사고위험도 분석

저압·고압 전기설비 및 발화기기 별 사고 건수를 이용하여 각 설비 사고 위험 등급 범위를 지정하였다. Table 7은 저압 및 고압 전기 설비와 발화기기 별 사고 건수에 대한 위험등급을 나타내는 표이다. 이 표를 바탕으로 전기설비에 대해 사고 위험도를 표와 스카이드트 차트의 형식으로 나타내었으며 Table 8과 Fig. 18에 대하여, 그리고 Table 10과 Fig. 20은 발화기기에 대한 사고위험도를 각각 나타낸다.

Table 7. Estimation of risk rating of electric equipment by voltage

Rating	Equipment (110~440V)	Equipment (3.3~22.9kV)	Ignited equipment
Very low (1)	~170	~47	~87
Low (2)	171~219	48~61	88~113
Moderate (3)	220~268	62~76	114~139
High (4)	269~317	77~90	140~164
Very high (5)	318~	91~	165~

Table 8. Number of accidents and risk rating of low voltage equipment

Device	no. of accidents	Rating
Inlet wiring	24	1
Indoor wiring	505	5
Switchboard	107	1
LV capacitors	49	1
MCCB	322	5
ELB	456	5
Magnet S/W	188	2
Electric heater	302	4

저압설비의 경우 옥내 배선의 사고 위험도가 높으며, 고압 전기 설비에선 변압기에서의 사고 위험도가 가장 높다. 발화기기 별 전기화재의 발생은 배전반/분전반에서 가장 높은 사고 위험등급을 나타낸다.

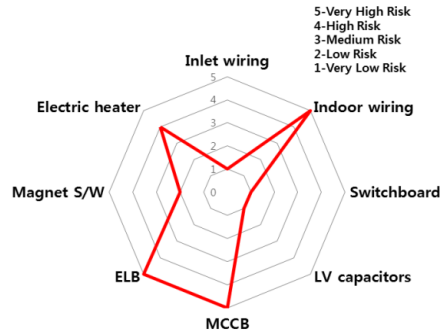


Fig. 18. Risk rating of low voltage equipment

Table 9. Number of accidents and hazard rating of high voltage equipment

Device	no. of accidents	Rating
Lead line	103	5
Lighting arrester	36	1
CT, PT	106	5
Transformer	140	5
Switchboard	30	1
Circuit breaker	115	5
High voltage wire	16	1
Power capacitor	3	1

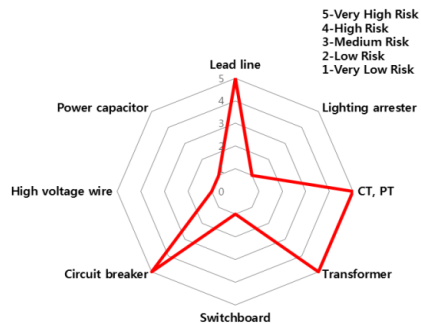


Fig. 19. Risk rating of very voltage equipment

Table 10. Number of accidents and hazard rating of ignited equipment

Device	no. of accidents	Rating
Electricity meter	123	3
HV circuit breaker	13	1
Transformer	49	1
LV circuit breaker	20	1
Distribution board	366	5
Others	187	5

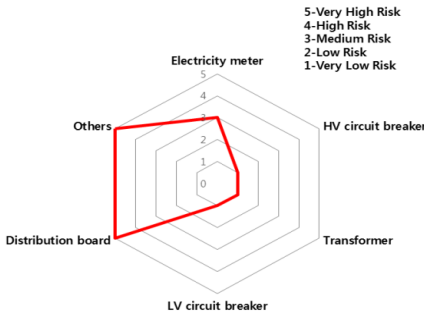


Fig. 20. Hazard rating of ignited equipment

지금까지의 다양한 전기설비의 사고위험등급을 바탕으로 각 설비의 연간 월별 전기화재 위험도 예측을 matrix table 형태로 나타낸 전기화재위험 매트릭스 (electrical fire risk matrix)는 Fig. 21과 같다.

7 월에 모든 설비의 사고 발생률이 높고 MCCB는 다른 기기에 비해 1월에 사고 발생이 잦은 것을 예측할 수 있다.

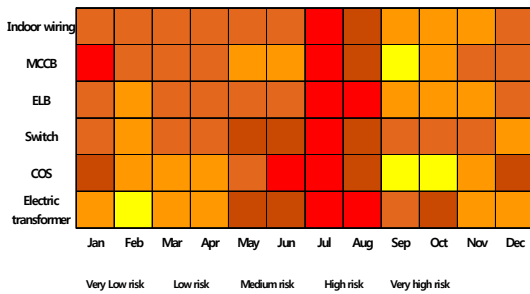


Fig. 21. Prediction of electrical fire risk per month for each equipment

3. 결론

본 논문에서는 다양한 지역 별(광역시) 기후조건(온

도, 습도)과 연계한 전기재해 데이터 분석을 통하여 각 지역의 월별 전기화재 위험도 분석 모델 제시하였다. 또한, 다양한 전기설비 전기재해 데이터 분석을 통하여 각 설비의 월별 전기화재 위험도 분석 모델 제시하였다. 이러한 지역별, 설비별 위험도 분석 모델을 통하여 기초적인 전기재해 예측 모델을 제시하였다.

본 논문에서 제시한 분석 데이터를 활용하여 향후 각 지역 및 전기설비를 대상으로 시기 별(월 단위, 분기 단위) 전기재해 위험도 예측 맵을 웹사이트나 스마트폰 앱을 통하여 표시하는 방법을 제안하고자 한다.

최근 기후변화에 따른 이상기후로 인하여 증가하고 있는 전기재해에 대하여 중앙정부 및 관련 기관에서의 하향식 대책만이 아닌 미국, 호주에서 시행하고 있는 것과 같이 안전, 재난에 관심이 많은 국민들의 참여를 이끌어 각 지역 마을 단위의 안전, 재난 정보 수집 및 홍보 활용할 수 있도록 방안 필요하다

또한 재난 후 트라우마 치료 상담 등의 다양한 재해 관련 정보제공 서비스를 활용하여 기후변화에 따른 국민 안전정보제공 서비스를 확대할 필요가 있다.

References

- [1] Sangjin Jeong, Yoon-Young An, "Climate Change Risk Assessment Method for Electrical Facility", *Proc. of Information and Communication Technology Convergence(ICTC)*, pp. 184-188, October, 2016.
- [2] ITU, "Resilient pathways: the adaptation of the ICT sector to climate change", pp. 13-19, April, 2014.
- [3] David Yates, Byron Quan Luna, "Stormy Weather: Assessing Climate Change Hazards to Electric Power Infrastructure: A Sandy Case Study", *IEEE Power and Energy Magazine*, pp. 66-75, August 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/MPE.2014.2331901>
- [4] DeTao Mao, Jose R. Marti, K. D. Srivastava, "Mitigating Blackout along the Cascading Pathways", *IEEE Conferences*, pp. 159-164, May 2009.
- [5] P. Hoeppe, G. Berz, "Risk of climate change - the perspective of the (re) insurance industry", *IEEE Power Engineering Society General Meeting 2005*, pp. 1367-1370, August 2005. DOI: <https://doi.org/10.1109/PES.2005.1489359>
- [6] Judith Cardell, "The Electric Power Industry and Climate Change: U.S. Research Needs", *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1-3, August 2008. DOI: <https://doi.org/10.1109/PES.2008.4596411>
- [7] Ching-Lai Hor, "Analyzing the Impact of Weather Variables on Monthly Electricity Demand", *IEEE*

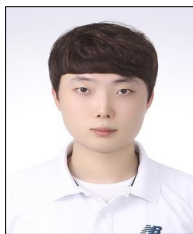
Transactions on power system, pp. 2078-2085, November 2005.

DOI: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2005.857397>

- [8] Tom Overbye, Judith Cardell, "The Electric Power Industry and Climate Change: Power Systems Research Possibilities", PSERC Publication, June 2007.
- [9] Korea Electrical Safety Corporation, "Statistical analysis of electric disaster", 2006~2016.
- [10] Northern Powergrid, Adapting to Climate Change, Executive Summary, pp. 3-12, June 2015.

김 완 석(Wan-Seok Kim)

[정회원]



- 2017년 2월 : 원광대학교 전기공학과 졸업
- 2017년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 대학원 전기공학과 석사과정

<관심분야>

전기, 전력전자, 전동기 제어

김 영 훈(Young-Hun Kim)

[정회원]



- 2017년 2월 : 원광대학교 전기공학과 졸업
- 2017년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 대학원 전기공학과 석사과정

<관심분야>

전기, 전력전자, 전동기 설계

김 재 혁(Jaehyuck Kim)

[정회원]



- 1998년 11월 ~ 2000년 6월 : UL Korea, Engineer
- 2004년 8월 : Univ. of Wisconsin at Madison (공학석사)
- 2010년 5월 : Virginia Tech(공학박사)
- 2010년 1월 ~ 2010년 6월 : Ramu Inc. Senior Engineer
- 2010년 9월 ~ 현재 : 원광대학교 전기공학과 부교수

<관심분야>

전력전자, 전동기 설계 및 제어, 에너지변환

오 훈(Hun Oh)

[정회원]



- 1993년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 2011년 10월 ~ 현재 : 원광대학교 전기공학과 조교수

<관심분야>

재생에너지, 전기안전 진단, 계측기 개발