

전기설비의 기후변화 대응 표준화 동향

정상진 한국전자통신연구원 표준연구본부 융합표준연구실 기술총괄/책임연구원



1. 머리말

전 세계적 기후변화가 에너지 부문에 많은 영향을 미칠 것으로 보인다. 에너지 부문은 상거래, 제조, 운송, 통신, 보건, 물 공급 및 처리, 기타 중요한 인프라 및 시스템을 비롯해 사회와 경제를 추진하는 근간인 전기 및 연료를 포함하므로, 기후변화로 인해 정상적인 경제 운영이 어려워지고 삶의 질이 저해될 가능성이 크기 때문이다. 특히 기후변화는 자연재해 발생 빈도와 강도가 증가하는 원인 중 하나다. 이러한 기후변화를 감소시키고자 기후변화의 핵심 원인 중 하나인 온실가스 배출량을 저감하려는 다양한 기술과 표준이 개발 중이다[1][2][3]. 온실가스 배출량을 감소시키는 노력과 함께 기후변화 영향에 적응하고 준비하는 것 또한 필요하다고 여겨진다[4].

다양한 에너지 설비 중 전력 인프라는 주요 설비가 옥외에 설치되는 경우가 많아서 지진, 고온, 폭우, 강풍, 폭풍, 홍수와 같은 자연재해에 취약하다. 기후변화가 진행됨에 따라 평균 및 최고 기온 변화, 강수량 변화, 더 강력한 태풍 발생, 해수면 상승 등이 빈번하게 발생해 전기설비 설계 시 설계 지침 및 운용 지침을 개선할 필요가 있다. 본고에서는 기후변화가 전기설비에 미치는 영향을 추정하는 방법과 전기설비의 기후변화 대응 관리 지침에 대해 살펴본다.

2. 전기설비의 기후변화 대응 관련

표준화 동향

2.1 전기설비의 기후변화 영향

기후변화가 전기설비에 주는 영향과 관련해 ITU-T에서는 다양한 분석 표준이 개발됐다. ITU-T L.92에서는 옥외에 위치한 플랜트 설비

에 대한 재해 관리 개요 및 한국과 일본의 사례를 기술한다[5]. ITU-T L.1502에서는 기후변화로 인한 ICT 설비의 영향 및 적응 방안을 제시하며, 전력 설비 관련 사항이 일부 언급돼 있다[6]. ITU-T L.Sup24에서는 다양한 설비의 기후변화 관련 영향 및 적응방안을 제시하며, 에너지 부문의 설비에 대한 방안도 제시한다[7]. ITU-D Question 22-1/2 보고서에서는 ICT를 활용해 기후변화 완화 및 대응을 위한 사례와 가이드라인이 제시돼 있다[8]. 그 외 미국 에너지부에서는 에너지 부문의 기후변화 영향 및 대응 방안에 대한 상세 보고서를 발간했으며 에너지 부문 중 전력설비 부문에 대한 상세 내용을 기술한다[9]. 이 외에도 다양한 국가 및 표준화 기구에서 전기설비에 대한 기후변화 관련 영향 관련 연구가 진행 중이다.

주요 자연재해가 전기설비에 미치는 영향은 다음과 같이 요약된다[10].

- **온도 상승:** 전기설비의 최대 전류 등급은 일반적으로 장비의 최대 허용 작동온도에 의해 결정된다. 이 온도는 일반적으로 관련 도체/절연 재료의 유형에 따라 결정되지만 다른 고려 사항이 존재할 수 있다. 주변 온도가 상승하면 전기설비가 허용할 수 있는 온도 상승량이 감소하고 최대 전류 등급이 감소한다. 최대 전류 등급의 감소는 도시와 같이 계절별 전력사용 피크가 나타나는 지역 변압기의 냉각 부하량의 증가를 초래할 수 있다.
- **강수량 증가:** 지상 전력선은 일반적으로 홍수에 영향을 크게 받지 않으나, 하천의 범람으로 인한 설비의 안전 여유 공간이 영향을 받을 가능성이 있다. 변전소에서 작동하는 장비는 홍수로 인해 변전소 주변이 일정한 한계

깊이 이상으로 침수되면 설비가 범람에 취약할 수 있다. 강수량이 증가하면 변전소 설비의 안전을 위협할 수 있는 지표수 및 지하수 범람의 위험이 있다. 홍수는 전기설비에 가장 심각한 위험을 초래하며 현재의 기후변화로 인한 홍수 위험과 강수량 증가 및 해수면 상승 등이 주요 위험요인으로 지목된다.

- **해수면 상승과 해일:** 하천의 범람과 유사한 영향을 줄 수 있으나, 영향을 주는 물의 양이 훨씬 많으므로 광범위한 홍수, 기반 시설에 대한 더 큰 손상 및 더 긴 복구 기간을 초래할 수 있다. 해상 풍력 등의 설비에 큰 영향을 줄 수 있다.
- **폭풍:** 온도 및 강수량 상승으로 인한 더 강력한 폭풍이 발생할 수 있으며, 이로 인한 전기설비들의 고장이 초래될 수 있다.
- **폭설 및 눈보라:** 폭설 및 눈보라는 폭풍보다 오랜 기간 전력공급을 중단시킬 가능성이 있으며 캐나다와 같은 국가에서 많은 피해 사례가 발생했다. 기후변화로 인해 폭설 및 눈보라의 빈도가 증가할 수 있으며 이로 인해 나무의 넘어짐, 폭설로 인한 지상 설비의 고장 등이 더 빈번히 발생할 수 있다.
- **벼락:** 번개 폭풍은 여러 지역에서 자주 발생하며 지상 전력선 및 연결된 설비를 손상시킬 수 있다. 배전 설비는 일반적으로 송전 설비보다 벼락으로부터 보호하기 더 어려우며 일반적으로 전송 장비보다 손상이 더 크다.
- **식생:** 증가된 초목 성장률과 성장 가능한 기간의 증가는 이미 지상 전력선과 수목 간의 거리를 유지하기 위해 더 많은 비용을 발생시키고 있다.

이상의 분석 결과에 따르면, 기후변화는 전기

설비에 영향을 줄 수 있는 다양한 자연재해와 연관된다. 현재의 전기설비는 대부분 역사적 기후 데이터 및 천연자원의 존재와 같은 지역 특성을 기반으로 설계됐다. 이에 기후변화 및 전기설비의 취약성에 대한 단기 및 장기간의 위험은 지역 또는 지역에 따라 크게 다를 수 있다. 또한 전기설비에 대한 적절한 가용성 유지 전략은 가용 자원, 인구 동향, 전력 수요 및 예측된 기후 영향의 혼합으로 인해 동일 지역에서도 지역의 상황에 따라 영향이 상이할 수 있다. 따라서 기후변화로 인해 재해빈도 및 강도가 증가할 수 있는 자연재해에 대한 전기설비의 관리 지침을 개발하는 것이 필요하다.

2.2 자연재해의 전기설비에 대한 위험도 평가 방법

앞 절에서는 기후변화로 인한 자연재해가 전기설비에 미치는 영향에 대해 살펴보았다. 본 절에서는 다양한 자연재해가 전기설비에 줄 수 있는 영향을 정량적으로 평가할 수 있는 평가 방법 관련 표준에 대해 살펴본다. 전기설비의 자연재해별 위험도 평가방법은 ITU-T L.1506 [11]과 TTA TTAK.KO-10.0999[12] 표준으로 제정돼 있다.

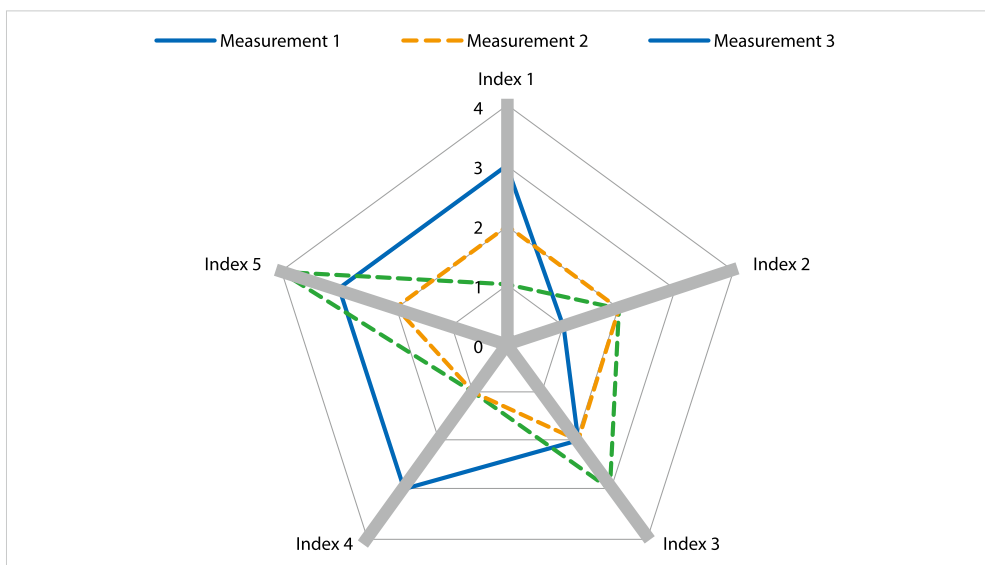
전기설비의 자연재해별 위험도를 평가하기 위해 사용되는 방법은 스파이더웹 차트를 이용하는 것이다. 스파이더 웹 차트는 복수의 평가 지표를 원에 배열한 형태의 차트로, 일반적으로 각 지표의 값을 0에서 1의 범위로 정규화해 1이 가장 높은 값을 나타내도록 표시한다. 그러나 정규화하지 않은 지표의 값을 사용할 수도 있다. 지표에 따라 값이 작을수록 높은 달성도를 나타내는 경우에는 정규화한 값을 역으로 스파이더 웹 차트에 표시할 수도 있다. 스파이더 웹 차트의 품질은 평가 지표의 타당성, 신뢰성 및 포괄성에

달려 있다. 스파이더 웹 차트는 평가 지표의 상태를 시각화하는 데 강점이 있다. 시각화 기능과 관련해 스파이더 웹 차트는 여러 지표의 측정값에 대한 개괄적인 상태를 제공하고 측정지표 간의 균형 정도를 표시한다. [그림 1]은 5개의 측정 지표별 3개의 측정결과를 이용해 구성된 스파이더 웹 차트의 예시를 나타낸다. [그림 1]에서 각 측정 지표의 값은 정규화되지 않은 원래의 측정값이며 차트 중심에서 멀어질수록 더 좋은 상태를 표시한다. 차트를 사용해 여러 측정 및 지표 간의 전반적인 상태를 시각적으로 비교할 수 있다.

앞서 말한 장점으로 인해 스파이더 웹 차트의 시각화 기능은 전기설비 관리자가 설비의 안정성과 위험을 관리하기 위해 설비의 안정성 지표를 모니터링할 수 있도록 도와준다. 예를 들어 각 위험도 지표의 상태를 보여주는 스파이더 웹 차트를 정기적으로 구성함으로써 전기설비 관리자는 지표의 시간적 변화 정도를 효과적으로 모니터링할 수 있다. 또한 스파이더 웹 차트는 여

러 지표의 복수 측정값을 평가할 때 막대형 차트와 같은 기존 차트보다 기후변화 위험 지표를 평가하는 데 더 유용하다.

종래의 스파이더 웹 차트는 각 평가항목별 동일한 가중치를 가지도록 설정된다. 그러나 전기설비가 설치된 환경이나 운용조건 등에 따라 자연재해별 상이한 가중치를 가질 수 있다. 예를 들면 해안가에서는 태풍이나 해일 등의 가중치를 높게 고려할 수 있다. 이를 위해 TTAK.KO-10.0999에서는 상이한 가중치를 가지는 스파이더 웹 차트의 구성을 제시하고 있다. [그림 2]는 사용자가 4개의 평가 지표에 대해서 가중치를 각각 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ ($\alpha+\beta+\gamma+\delta=1, 0\leq\alpha\leq1, 0\leq\beta\leq1, 0\leq\gamma\leq1, 0\leq\delta\leq1$)로 부여한 뒤, 가중치 기반으로 스파이더 웹 차트를 구성하는 예를 나타낸 것이다. 스파이더 웹 차트는 각 평가 지표별 동일한 가중치를 가정하므로 각 평가 지표별로 구성되는 부채꼴 호의 중심각을 동일하게 설정하여 차트를 구성한다. 각 평가 지표별 상이한 가중치를 설정하기 위해서는 평가지표의 가중치 값에 따라 평



[그림 1] 망5개의 측정지표를 사용해 구성된 스파이더 웹 차트의 예시[12].

가 지표별 중심각의 크기를 결정한다. 일반적으로, i 번째 평가 항목의 가중치가 W_i 인 경우, 스파이더 웹 차트 상 평가 지표의 비중을 나타내는 부채꼴 호의 중심각 θ_i 는 다음과 같이 계산된다.

$$\theta_i = 360 \times \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}, 1 \leq i \leq n$$

그 후, 각 평가 지표별 측정값이 r_i ($1 \leq i \leq n$, $0 \leq r_i \leq 1$)라고 주어진 경우의 스파이더 웹 차트를 구성하는 방법은 각 평가 지표별 계산된 θ_i 를 이용해 하나의 원상에서 θ_i 를 호의 각도로 가지는 부채꼴을 구성하면 된다. 원의 반지름이 1로 구성되어 있으므로 분할된 각 부채꼴들의 반지름 상에서 r_i 의 위치를 표시한 뒤 r_i 지점을 연결하면 상이한 가중치가 부여된 스파이더 웹 차트의 구성이 완료된다.

이상의 방법으로 상이한 가중치를 가지는 스파이더 웹 차트를 구성한 후, 전체적인 위험도는 SMOP(Surface Measure of Overall

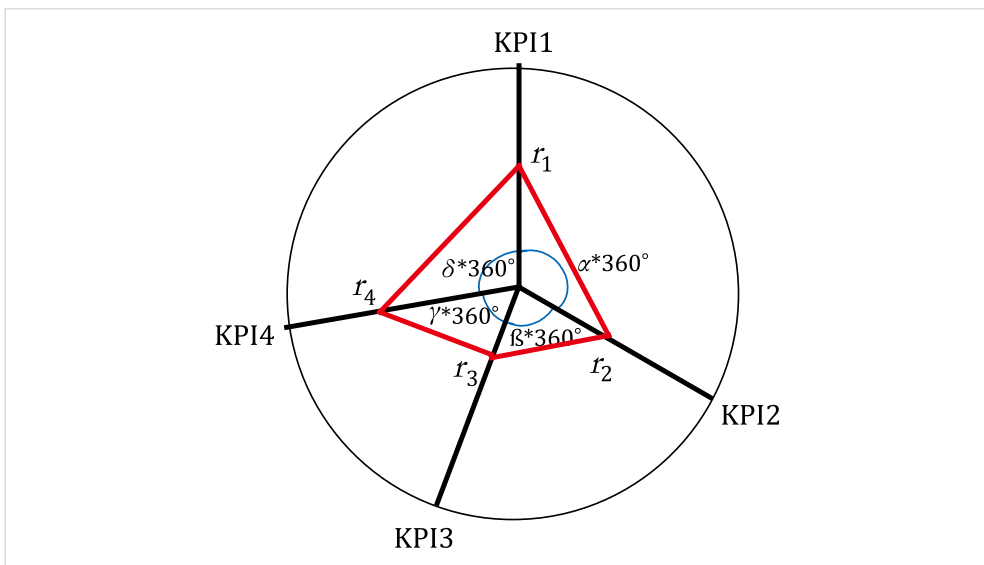
Performance) 방법을 활용할 수 있다. SMOP 방법은 스파이더 웹 차트의 다각형의 넓이를 이용하여 전체의 위험도를 표현한다. [그림 2]의 스파이더 웹 차트에서 각 지표별 값이 <표 1> 및 <표 2>에 제시된 경우, 전체적인 위험도는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{SMOP} = \{(0.5 \times 0.4) \times \sin(360 \times 0.35) + (0.4 \times 0.3) \times \sin(360 \times 0.2) + (0.3 \times 0.6) \times \sin(360 \times 0.15) + (0.6 \times 0.5) \times \sin(360 \times 0.3)\} \div 2 = 0.14$$

따라서 전체적인 위험도는 0.14로 표시할 수 있다.

2.3 기후변화를 고려한 전기설비 관리 지침

본 절에서는 기후변화로 인해 발생할 수 있는 자연재해에 대한 전기설비의 대응 방안을 다음과 같이 기술한다. 전기설비의 기후변화 대응 관리 방안은 TTAK.KO-10.1078에 제시돼 있다 [10].



[그림 2] 4개의 상이한 가중치를 가지는 평가 지표 기반 스파이더 웹 차트 구성[12].

<표 1> 상이한 가중치를 가지는 평가지표별 측정값

평가 지표	KPI1	KPI2	KPI3	KPI4
측정값	0.5	0.4	0.3	0.6

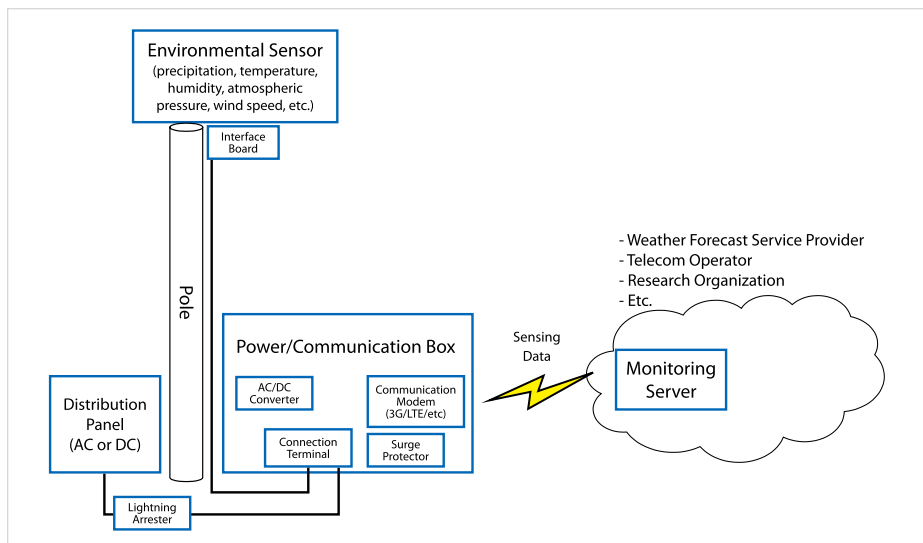
<표 2> 평가 지표 별 가중치

평가 지표	KPI1	KPI2	KPI3	KPI4
측정값	0.32	0.2	0.15	0.3

송배전망의 설비들을 물리적 손상에 견딜 수 있도록 전력선과 송전탑을 강화하면 산불에 대한 개별 라인의 대응력을 개선하는 동시에 피해를 감소시킬 수 있다.

- 전향적인 식물 관리도 증가하는 산불로 인해 발생하는 송전선 및 배전선 파손에 대한 대응력을 증대하고 송전선과 나무의 접촉으로 인한 산불 위험을 감소시키기 위해 중요한 절차다. 이러한 관리 절차에는 가연물 축적과 잠재적인 발화 지점을 감소시키기 위한 가지치기, 산림 간벌, 규정에 따른 맞불 등이 있다.
- 지역 송전 용량의 확대는 기온상승과 여름철 냉방 에너지 수요 증대로 인한 용량 감소를 해결할 수 있다. 송전선의 중복 설비 증대도 기후변화 충격에 대한 시스템 대응력을 개선할 수 있다.
- 전력설비의 운영 절차 수립도 과열된 변압기의 물리적 손상을 방지하는 데 도움이 된다. 기온이 높은 날에 온도를 모니터링하고 변압기 부하를 관리함으로써 전기사업자는 과도한 손상과 조기 노후화를 방지할 수 있다. 변압기 손상을 방지하는 물리적인 방안으로는 더 높은 작동온도를 감당할 수 있도록 절연재의 개선, 고온 발생 시 열부하를 감소시키는 냉각팬 설치 등이 있다.

또한 전기설비를 원활히 관리하기 위해서는 기후정보의 상세 측정방법이 필요하다. 송배전 설비의 경우 자체적인 환경정보 수집용 장치를 설치하기도 하지만 비용 등의 이유로 설비에 환경정보 측정을 위한 장치를 탑재하기 쉽지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위해 ITU-T L.1507에서는 통신망 기지국을 활용한 환경정보 수집 방법을 제시한다[13]. 통신망 기지국은 상시 전원 공급, 안정적인 통신망 연결성 제공, 주기적인 인력방문을 통한 관리를 필요로 하므로 기후환경 정보를 수집하기 위한 기상센서 설치에 최적의 요건을 가지고 있다. 이에 기존에 설치된 ICT 설



[그림 3] 통신망 기지국을 활용한 환경정보 수집 장치의 구조[13].

비에 기후변화 모니터링을 위한 환경 센서를 추가 장착해 기후변화를 모니터링하는 방법의 표준화가 진행됐다. [그림 3]은 통신망 기지국을 활용한 환경정보 수집 장치의 구조를 나타낸 것이다. 아래 구조의 장치를 통신망 기지국에 설치하여 국지적인 환경정보를 수집하고 기후변화 정도를 측정할 수 있다.

3. 맺음말

본고에서는 기후변화 위험도가 증가함에 따라 전기설비에 기후변화로 인해 발생할 수 있는 영향을 분석하고 재해의 위험도를 계량화하는 방

법으로 스파이더 웹 차트 기반의 기후변화 위험도 평가 방법 관련 표준을 살펴봤다. 또한 기후변화에 대응하여 전기설비를 관리하기 위한 관리 지침 및 효과적인 환경정보 수집을 위한 통신망 기지국 기반의 환경정보 수집 방법 표준을 제시했다. 기후변화로 인해 다양한 기상이변 및 자연재해의 발생이 증가함에 따라 전기설비를 포함한 에너지 설비를 안정적으로 관리할 중요성이 증대되고 있다. 본고에서 제시된 다양한 기후변화 대응 관련 국내외 표준들이 전기설비의 기후변화 대응에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. TTA

※ 본 연구는 2021년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제임. (No. 70300038)

참고문헌

- [1] ITU-T L.1400
- [2] ITU-T L.1460
- [3] ITU-T L.1470
- [4] ITU-T L.1500
- [5] ITU-T L.92
- [6] ITU-T L.1502
- [7] ITU-T L.Sup24
- [8] ITU-T Q22-1/2: Utilization of telecommunications/ICTs for disaster preparedness, mitigation and response
- [9] Climate Change and the U.S. Energy Sector: Regional Vulnerabilities and Resilience Solutions
- [10] TTA TTA.KO-10.1078
- [11] ITU-T L.1506
- [12] TTA TTA.KO-10.0999
- [13] ITU-T L.1507