

논문 2025-4-18 <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2025.12.18>

데이터센터 운영 회복력 및 보안·에너지 관리 서비스 표준안 설계

최재명*†

Design of a Service Standard for Operational Resilience, Security, and Energy Management in Data Centers

Jae Myeong Choi*†

요 약

최근 전 세계는 디지털 전환 가속화로 데이터센터의 에너지 수요와 위기 대응 요구가 급증하고 있다. 또한, 데이터센터는 디지털 경제의 핵심 인프라로 자리 잡고 있으나, 에너지 소비 증가, 보안 위협, 운영 중단 위험이 동시에 심화되고 있다. 본 논문에서는 데이터센터 운영 회복력 및 보안·에너지 관리 서비스 표준안을 설계하고, 운영자의 관점에서 통합적으로 적용할 수 있는 서비스 표준화 프레임워크를 제시하였다. 본 표준안에는 회복력 관리, 보안 관리, 에너지 효율화, 지속가능성 관리 등을 포함하며, ISO 22301(업무연속성), ISO 50001(에너지경영), ISO/IEC 30134(데이터센터 지표), ISO TC 292(보안·회복력) 등 국제표준과의 정합성을 확보하였다. 제안한 표준은 데이터센터 운영자, 정책 결정자, 산업계 이해관계자가 활용할 수 있는 종합적 지침으로서 안정적이고 안전하며 에너지 효율적인 데이터센터 운영을 보장한다. 또한, 탄소중립 정책 대응과 글로벌 경쟁력 강화에도 기여할 수 있다.

Abstract

The rapid acceleration of global digital transformation has significantly increased energy demand and heightened crisis-response requirements in Data Center environments. As Data Centers have become core infrastructure for the digital economy, they face escalating challenges, including rising energy consumption, increasingly sophisticated security threats, and elevated operational disruption risks. This paper develops a service standard for operational resilience, security, and energy management, presenting a unified framework applicable from the operator's perspective. The proposed standard integrates resilience management, security controls, energy-efficiency mechanisms, and sustainability practices while ensuring alignment with international standards such as ISO 22301, ISO 50001, ISO/IEC 30134, and ISO TC 292. By offering structured requirements and actionable guidelines, the standard supports stable, secure, and energy-efficient Data Center operations and contributes to carbon-neutrality initiatives and global competitiveness.

한글키워드 : 데이터 센터, 회복력, 보안, 에너지, 표준

keywords : Data Center, resilience, security, energy, standard

* Mokwon University Computer Engineering

접수일자: 2025.12.02. 심사완료: 2025.12.12.

† 교신저자: 최재명(email: jmchoi@mokwon.ac.kr) 게재확정: 2025.12.20.

1. 서론

최근 전 세계적으로 인공지능(AI), 클라우드 컴퓨팅, 고성능 연산(HPC, High Performance Computing) 수요가 급격히 증가함에 따라서 데이터센터의 전력 소비와 운영 리스크가 구조적으로 확대되고 있다. 국제에너지기구(IEA, International Energy Agency)의 최신 분석에 따르면 2024년 전 세계 데이터센터 전력소비량은 약 415TWh(세계 전력소비의 1.5%)에 달하며, 최근 5년간 연평균 12%가 증가하였다[1].

특히 AI 모델 학습·추론을 담당하는 가속서버의 용량은 기존 서버보다 4배 빠른 속도로 증가하고 있으며, 2024년부터 2030년까지 세계 데이터센터의 전력소비는 연평균 15% 증가해 945TWh에 이를 것으로 전망된다. 더불어 데이터센터 전력소비는 미국·중국·유럽에 85% 이상 집중되어 있으며, 전력망 병목, 냉각 부담, 인프라 확충 지연 등 지역적 운영 리스크도 동반되고 있다[1].

국내에서도 데이터센터는 탄소중립 정책의 핵심 관리 대상으로 간주되고 있으며, 고효율 전력·냉각 기술, 재생에너지 기반 운영, 에너지 사용 모니터링, ESG 요구 대응 등이 필수 요건으로 부상하고 있다. 데이터센터의 전력수요는 국가 온실가스 감축 목표에 직접적인 영향을 미치며, 향후 효율적인 기술 표준화와 통합 운영체계가 필요하다. 그러나 국내외 정책은 주로 인프라 확충·효율성 향상을 강조할 뿐, 운영 단계의 회복력·보안·에너지 관리가 통합된 운영 표준은 부재한 상황이다[2][3].

또한 기존 국제표준·정책·기술 연구는 에너지 효율성 또는 인프라 설계 중심의 단편적인 접근에 머물러 있으며, AI 기반 고밀도 연산 환경에서 증가하는 사이버·물리적 보안 리스크, 전력·냉각 장애 대응, 업무연속성 확보, 지속가능성 관리

(탄소·물사용량 등)를 통합적으로 다루는 운영 표준의 공백이 존재한다. 특히 IEA가 제시한 바와 같이 향후 AI의 확산으로 전력 수요가 비약적으로 확대되고, 지역별 전력공급 불균형이 심화될 경우, 기존 시설·지표 중심의 표준만으로는 운영 안정성과 회복력을 확보하기 어렵다.

이러한 배경에서 본 연구는 데이터센터 운영 단계에서 요구되는 회복력 관리, 보안 관리, 에너지 효율화, 환경·지속가능성 관리, 통합 데이터 기반 운영을 하나의 구조로 통합한 데이터센터 운영 회복력 및 보안·에너지 관리 서비스 표준안을 설계하는 것을 목표로 한다.

본 논문에서 제안하는 표준안은 ISO 22301(업무연속성), ISO 50001(에너지경영), ISO/IEC 30134(KPI) 등 주요 국제표준의 요구사항과 정합성을 확보하는 동시에, 실제 운영자가 사용할 수 있는 절차 기반 관리체제로 재구성한다.

2. 관련 연구 및 정책 동향

데이터센터 운영에 관한 기존 연구와 표준은 다양한 분야에서 제시되어 왔다. 그러나, 대부분 개별 요소를 중심으로 분리되어 있으며 운영 단계에서 회복력 및 보안·에너지 관리를 통합적으로 다루는 기준은 제한적이다. 본 장에서는 표준안 설계의 필요성 도출을 위하여 국제 표준, 국내 정책, 기존 연구의 흐름을 정리한다.

2.1 국제표준 동향

ISO/IEC TS 22237은 데이터센터 인프라 관리 및 운영 규격으로 인프라·설비 중심의 표준이다[4]. 이 표준은 데이터센터의 건축, 전력, 냉각, 배선, 물리보안 등 시설적 측면을 규정한다. 그러나 운영 과정에서 필요한 위험평가·오퍼레이션 절차·보안 이벤트 대응·에너지 운영 최적화와 같은

관리 요소는 포괄하지 않는다. 즉, 물리적 설계 중심 표준이라는 한계가 있다.

ISO/IEC 30134 시리즈는 PUE, WUE, CIE 등 운영 효율성 지표를 정의한 표준으로 운영 성능 지표 중심의 표준이다[5]. 이 지표는 운영 개선의 방향성을 제시하는 데 활용도가 높으나, 실질적으로 ‘어떻게 개선할 것인지’, ‘어떠한 운영 절차가 필요한지’, ‘위험 및 보안 요소와 어떻게 연동되는지’ 등과 같은 실질적 운영 기준을 제공하지 않는다.

ISO 50001 에너지 경영시스템[6], ISO 22301 업무연속성 관리[7], ISO TC 292 보안 및 회복력 국제 가이드라인[8]은 데이터센터 운영에 필요한 관리 체계 측면에서 의미가 있으나, 데이터센터 고유의 운영 환경(교밀도 전력, 냉각, 사이버 보안, 통합 관제 등)에 대한 구체적인 요구사항을 포함하지는 않는다.

종합적으로 보면, 국제표준은 개별 관리 분야의 기준을 제공하지만, 운영 단계에서 필요한 통합 지침은 제시하지 못하고 있다. 표 1은 주요 국제 표준과 표준안 설계의 반영 및 통합적인 관점을 나타낸다.

2.2 국내 정책 및 산업 동향

국내에서는 데이터센터의 중요성이 증가함에 따라 관련 정책·지침이 강화되고 있다.

(1) 탄소중립·에너지 정책

「탄소중립 녹색성장 기본법(환경부)」은 산업·ICT 인프라의 효율성 향상을 요구하고, 데이터센터를 주요 관리 대상으로 포함하고 있다. 「제6차 에너지이용합리화 기본계획(산업부)」은 냉각 효율화, 재생에너지 연계, ESS 기반 전력 안전화 등을 강조한다. 다만, 정책은 방향성을 제시할 뿐, 실제 운영자 관점에서의 세부적 실행 기준은 부족하다.

(2) 디지털 정부·공공서비스 안정성 정책

정부의 클라우드 전환 정책과 「디지털 플랫폼 정부 전략(행안부, 과기정통부)」은 공공 데이터센터 운영 안정성과 보안성을 필수 요건으로 규정한다. 그러나 공공·민간 데이터센터 모두에 적용 가능한 표준화된 운영 기준은 마련되어 있지 않다.

표 1. 주요 국제 표준과 표준안 설계

Table 1. Key International Standards and the Design of the Proposed Service Standard

구분	국제표준	주요내용	제안표준 반영 여부
인프라/시설	ISO/IEC TS 22237	건축·전력·냉각·보안 시설 규격	운영·관리 항목 포함
지속가능성	ISO/IEC 30134	KPI 정의 및 측정	PUE ≤ 1.5 권장 WUE/CIE 활용
	ISO 50001	조직적 에너지 관리 체계	실시간 모니터링 및 자동 제어 반영
안전/연속성	ISO 22301	BCP/DRP, RTO, RPO 기준	RTO 4h, RPO 15min 권고
	ISO TC 292	위험관리, 보안, 복원력	회복력·보안 관리 체계 반영

(3) 산업계 기술가이드

한국인터넷진흥원(KISA), 한국전력(KEPCO), 환경부·산업부에서 제공하는 전력·냉각 효율화, ESG 및 지속가능성 체계 등의 가이드라인이 존재하나, 대부분 단일 분야 중심의 지침으로 구성된다.

즉, 국내 정책은 데이터센터 운영의 중요성을 강조하고 있으나, 통합 운영 표준의 부재로 인해 현장에서 일관된 운영체계 구축이 어려운 상황이다.

2.3 기존 연구의 경향 및 한계

학술 연구는 전력관리, 냉각 최적화, 보안 관제, 업무연속성 등 개별 분야의 연구가 활발히 이루어져 왔다. 그러나 다음과 같은 한계가 존재한다.

- 분야 간 연계 부족: 대부분 회복력, 에너지, 보안 연구가 독립적으로 수행되어 실제 운영환경의 복잡성을 반영하지 못함
- 운영 단계의 표준화 관점 부족: 연구는 주로 기술적 최적화에 집중하며, 운영자 관점의 절차·관리체계·정합성 확보에 대한 논의는 부족함
- 위기에 대한 실시간 대응 지침 부족: 냉각 시설 장애, 정전, 보안사고 등 다차원적 위험에 대한 통합 대응 연구는 제한됨
- 국제표준과 국내 운영환경의 연결 분석 부족: ISO/IEC 표준을 데이터를 기반으로 운영에 적용하는 실증적 연구가 매우 적음

2.4 표준안의 연구적·정책적 필요성

앞의 내용을 종합적으로 분석하면 다음과 같다.

- 국제표준: 부분적 기준 제공, 통합 운영 기준 부재
- 국내정책: 필요성 강조, 통합 프레임워크 부재

- 기존연구: 개별 기술 중심, 운영 통합 관점 부족

따라서 본 표준안은 이러한 공백을 해소하기 위해 개발되어야 하며, 다음의 특징을 갖는다.

- 회복력 및 보안, 에너지, 정보시스템, 지속가능성을 단일 체계로 구조화
- 운영자의 의사결정·절차·모니터링 기준을 구체적으로 제시
- ISO 22301, ISO 50001, ISO 30134, ISO TC 292와의 정합성 확보
- 국내 데이터센터 운영환경을 고려한 현실적 지침 제공

본 표준안 설계는 데이터센터 운영의 안정성, 효율성, 지속가능성을 확보하기 위한 국내 최초의 통합 서비스 기반 운영 표준으로서 연구적·실무적 의미가 크다.

3. 통합 서비스 표준안 설계

제안하는 표준안은 데이터센터 운영의 핵심 목표인 ‘안정성’, ‘보안성’, ‘지속가능성’을 달성하기 위해 5대 관리 영역을 정의하고 이들을 유기적으로 연계한다.

표 2는 제안하는 표준안의 구성 체계이다.

3.1 통합 프레임워크 구조

제안하는 표준안은 회복력 관리, 보안 관리, 에너지 관리, 통합 정보시스템, 지속가능성 관리 등 5대 핵심 영역으로 구성되어 운영 안정성, 보안성, 지속가능성을 달성하고자 한다. 그림 1은 5대 핵심 영역과 운영 사이클을 나타낸다.

3.2 적용 범위 및 운영환경 정의

표 2. 제안하는 표준안 구성 체계
Table 2. Structure of the Proposed Standard Framework

구성항목	주요 내용
적용범위	<ul style="list-style-type: none"> 데이터센터 설계·구축·운영 전 주기에 적용되는 에너지·안전 서비스 기준 정의
요구사항	<ul style="list-style-type: none"> 회복력 관리(위험 평가, 이중화, 복구) 보안 관리(물리·사이버 보안) 에너지 관리(PUE, 냉각 최적화, 재생에너지) 통합 정보시스템 운영 지속가능성 관리 포함
부속서	<ul style="list-style-type: none"> 실무 적용 사례, PUE 산정법, 위기 대응 시나리오, 대시보드 및 ESS 구성 예시
해설서	<ul style="list-style-type: none"> 제정 배경, 정책 연계, 기대효과 및 국제 표준 정합성 설명

본 표준안의 적용 범위는 다음과 같다.

(1) 적용 대상 시설 유형

- 인터넷데이터센터(IDC)
- 공공 및 민간기관 전산실
- 클라우드 기반 데이터센터
- 에지·하이브리드 형태의 분산형 데이터센터 환경

표준안은 신규 설비뿐 아니라 기존 시설의 운영 고도화에도 동일하게 적용 가능한 방식으로 설계하였다.

(2) 적용 대상 운영 영역

표준안은 운영자가 직접 관리하는 다음 운영 분야를 포함한다.

- 전력·냉각 등 설비 운영
- 물리적·사이버 보안 운영
- 실시간 데이터 모니터링 및 자동제어
- 업무연속성(BCP/DR)
- 에너지 효율 및 탄소배출 관리

(3) 제외 영역

- 건축·시공 단계의 세부 설계 기준
- 애플리케이션 운영 정책
- 데이터센터 외 일부 부대서비스(청소, 민원 등)

즉, 표준은 운영 단계에 특화된 서비스 기준임을 명확히 한다.

3.3 핵심 관리 영역별 요구사항 분석

표준안은 운영 단계에서 필수적인 다섯 가지 관리축을 제시한다.

3.3.1 회복력(Resilience) 관리

회복력 관리는 데이터센터의 중단 가능성을 최소화하고 장애 이후 복귀 시간을 단축하는 것

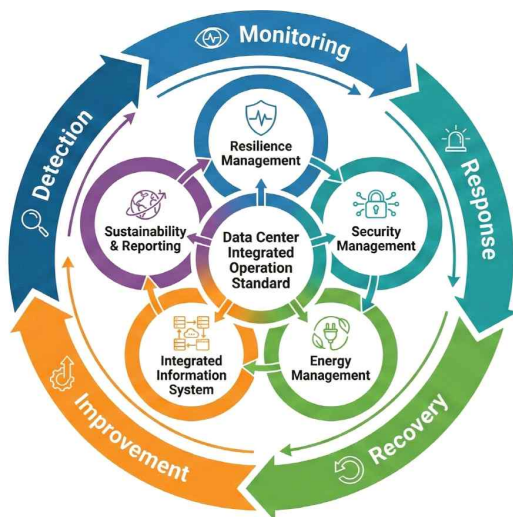


그림 1. 5대 핵심 영역과 순환 구조
Fig. 1. 5 Key Areas & Operational Cycle

이 핵심 목표이다. 다음은 주요 요구사항을 나타낸다.

- 정기적 위협평가(연 1회 이상)
- 전력·냉각 인프라의 이중화(N+1 또는 2N 구조)
- 비상운영 매뉴얼 작성 및 훈련
- RTO≤4시간, RPO≤15분 기준의 업무연속성계획(BCP) 수립

회복력 관리는 ISO 22301 및 ISO TC 292의 원칙과 적합성을 가지며, 설비 중심이 아닌 운영 중심 복구 체계를 강조한다[7][8].

3.3.2 보안(Security) 관리

보안 관리는 물리적·사이버 보안을 통합하여 정의한다.

- 출입통제, CCTV, 침입탐지 등 물리적 보안
- 방화벽, IDS, SIEM, MFA 등 정보보안 기술
- 사고 발생 시 즉각 차단 및 보고 절차
- 주기적 취약점 분석 및 로그관리

보안 영역은 ISO/IEC 27001과 연계되나, 데이터센터 특수성을 고려하여 24/7 관제·실시간 탐지·사고 연계 대응을 필수로 요구한다[7][9].

3.3.3 에너지(Energy) 관리

에너지 관리의 목표는 안정적 운용과 효율성 향상 두가지를 동시에 달성한다.

- PUE, CIE, WUE 등 KPI 정기 측정
- 자유냉각·액체냉각·모듈식 냉각 등 기술 적용
- 실시간 에너지 모니터링 및 자동제어 기능
- ESS·태양광 등 재생에너지 연계 운영

표준안은 ISO/IEC 30134 지표를 준용하면서, 실제 운영자의 측정·보고 절차를 구체화해 측정-분석-개선의 운영 사이클을 제시한다[5].

3.3.4 통합 정보시스템 운영(Integrated Information System)

데이터센터 운영 전반을 종합적으로 관제하는 시스템에 대한 기준이다.

- 에너지·보안·환경 데이터를 통합 수집
- API 기반 외부 시스템 연동(RESTful 등)
- 자동 알람(주의-경고-비상) 체계
- 이벤트 기반 대응 프로세스 자동화

이는 설비 중심 관리의 한계를 넘어 지능형 운영체계 구축의 기반을 제공한다[10].

3.3.5 지속가능성(Sustainability) 및 성과 보고

ESG 프레임워크와 정책 대응을 위한 요소가 포함된다.

- 탄소배출량(Scope 1/2) 측정 및 감축 계획
- 연 1회 지속가능성 보고서 작성
- 운영 중 발견된 문제점 기반 표준 개선

이는 단순 운영지표를 넘어 정책·사회적 요구에 대응하는 운영관리 체계의 수립이다.

3.4 운영 프로세스 기반 통합 프레임워크

표준안은 다음과 같은 순환 구조의 운영 프레임워크이다.

- 위험요소 감지
- 실시간 모니터링 및 자동제어
- 이상징후 대응
- 복구 및 재가동
- 성과 분석 및 개선

이 구조는 개별 기술요소가 아니라, 데이터센터 운영의 전 과정(Lifecycle)을 하나의 관리체제로 연결하는 방식이다.

4. 기대효과 및 결론

4.1 기대효과 분석

데이터센터 운영 회복력 및 보안·에너지 관리 서비스 표준안 도입은 다음과 같은 다각적인 긍정적 효과를 가져올 것으로 분석된다. 첫째, PUE 1.5 이하 목표 및 냉각 최적화 요구사항을 통해 운영 비용을 절감하고, 국가적 탄소중립 목표 달성에 직접적으로 기여한다. 기존 PUE 1.8 기준, 10MW급 데이터센터에서 PUE 1.5 달성 시 연간 약 20GWh 이상의 비 IT 전력 소비 절감 효과가 발생하는데 이는 약 9,000톤의 연간 탄소 배출량 감축과 동일하다. 둘째, 명확한 RTO/RPO 목표와 정기적인 BCP 훈련을 통하여 위기 발생 시 서비스 연속성을 보장하여 고객의 신뢰도와 산업 경쟁력을 높인다. 셋째, 물리·사이버 보안을 통합 관리하고 SIEM 시스템을 통해 위협 대응력을 제고하여 데이터센터 자산 보호를 강화한다. 마지막으로, 국제표준과의 정합성을 확보하고 지속가능성 보고를 의무화함으로써 국내 데이터센터 산업의 글로벌 신뢰도를 향상시키고, ESG 경영 요구에 선제적으로 대응할 수 있는 기반을 마련한다.

4.2 결론 및 향후 연구

본 논문은 데이터센터 운영 단계에서의 회복력, 보안, 에너지 관리의 통합적인 관점에서의 필요성을 제시하였고, 이를 만족시키는 표준 프레임워크 설계를 제안하였다. 이 표준안은 기존의 단편적인 기준을 넘어선 종합적인 서비스 표준으로써 국내외 데이터센터 운영의 안정성과 지속가능성에 크게 기여할 것으로 판단된다.

향후 연구에서는 제안된 표준을 엣지 컴퓨팅 및 고성능 컴퓨팅(HPC) 환경 등 특수 데이터센터 환경에 적용하는 모델을 개발하고, 통합 정보 시스템 데이터를 활용한 AI 기반 전력/냉각 부하 예측 및 능동적 관제 시스템 구축 방안을 제시하는 방향으로 확장되어야 한다. 또한, 제안한 통합 프레임워크를 ISO TC 292 등 국제 표준화 활동

에 제안하여 글로벌 표준 개발에 기여하는 노력이 필요하다.

이 논문은 2025년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (P0024164, 2025년 지역혁신클러스터육성)

참 고 문 헌

- [1] Energy and AI: Global Data Center Power Demand and Supply Outlook, International Energy Agency (IEA), 2025.4, URL: <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/energy-demand-from-ai>
- [2] S. Jeong, "Standardization status for net-zero data center", Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers, 41(5), pp. 29-35, 2023.5, URL: https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE11413268&language=en_US&hasTopBanner=true
- [3] Standardisation landscape for the energy management and environmental viability of data centres, Edition 8, CEN/CENELEC/ETSI, 2021. URL: https://www.cencenelec.eu/media/CEN-CENELEC/AreasOfWork/CEN%20sectors/Digital%20Society/Green%20Data%20Centres/standardizationlandscapepgdc_edition8_2021.pdf
- [4] Information Technology - Data Centre Facilities and Infrastructures, ISO/IEC JTC 1/SC 39, ISO/IEC TS 22237, 2018~2021. URL: <https://www.iso.org/standard/78550.html>
- [5] Information Technology - Data Centres and Data Centre Facilities - Key Performance Indicators (KPIs), Parts 1~9, ISO/IEC 30134 Series, 2016~2023. URL:

- <https://www.iso.org/standard/63450.html>
- [6] Energy Management Systems – Requirements with Guidance for Use, International Organization for Standardization, ISO 50001, 2018. URL: <https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html>
- [7] Security and Resilience – Business Continuity Management Systems – Requirements, International Organization for Standardization, ISO 22301, 2019. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22301:ed-2:v1:en>
- [8] ISO Technical Committee 292, Security and Resilience – Community Resilience, Emergency Management, and Protective Security, ISO TC 292 Publications, 2015~2024. URL: <https://www.iso.org/committee/5259148.html>
- [9] Ahmad Mtair Al-Hawamleh, “Cyber Resilience Framework: Strengthening Defenses and Enhancing Continuity in Business Security”, International Journal of Computing and Digital Systems, 15(1), 2024.3, DOI: 10.12785/ijcds/150193
- [10] Vlatko Milic, “Next-generation data center energy management: a data-driven decision-making framework”, Frontiers in Energy Research, 12, 2024.9, DOI: 10.3389/fenrg.2024.1449358

저 자 소 개



최재명(Jae Myeong Choi)

2014.8 목원대학교 대학원 IT공학과
(공학박사)

2015.4~현재 목원대학교

컴퓨터공학과 조교수

<주관심분야> 무선통신시스템, 지능형 재난
시스템, 사회안전, 재난관리, 통신재난, 멀
티미디어통신, IoT, 디지털콘텐츠 등