

에너지 절감 효과를 위한 보존 전압
감소 측정 및 검증 방법

Measurement and Verification Method of
Conservation Voltage Reduction for Energy
Saving Effects

표준초안 검토 위원회 디지털 융합 K-ESG 혁신 표준화 포럼 표준분과위원회
표준안 심의 위원회 디지털 융합 K-ESG 혁신 표준화 포럼 총회

	성명	소 속	직위	위원회 및 직위
표준(과제) 제안	김명일	한국과학기술 정보연구원	책임	표준분과장
	정진혁	Synergy	상무	표준분과 위원
표준 초안 에디터	정진혁	Synergy	상무	표준분과 위원
사무국 담당	최진철	(재)천안과학산업진흥원	팀장	간사

본 문서에 대한 저작권은 CISTEP에 있으며, CISTEP과 사전 협의 없이 이 문서의 전체 또는 일부를 상업적 목적으로 복제 또는 배포해서는 안 됩니다.

발행인 : 디지털 융합 K-ESG 혁신 표준화 포럼 의장
발행처 : 천안과학산업진흥원, 디지털 융합 K-ESG 혁신 표준화 포럼
31035, 충남 천안시 서북구 직산읍 직산로 110
Tel : 041-588-9161, Fax : 041-588-8827
발행일 : 2025.09.03.

서 문

1 표준의 목적

이 표준의 목적은 수용가 측면에서 보존 전압 감소 기술의 에너지 절감 효과를 측정하고 검증하기 위한 표준화된 방법을 수립하는 것을 목적으로 한다. 기존의 보존 전압 감소 구현이 주로 전력 회사의 계통 최적화에 초점을 맞추는 것과 달리, 본 표준은 최종 사용자(주거용, 상업용, 산업용)가 자체 시설 또는 시스템 내에서 보존 전압 감소 기술 적용으로 인한 이점을 정확하게 정량화할 수 있도록 지원한다.

2 주요 내용 요약

이 표준은 보존 전압 감소의 기본 원리와 최종 사용자에게 적용되는 에너지 절감 구조를 설명한다. 또한, 소비자 환경에 맞춤형 측정 및 검증 계획을 포함하여 측정 및 검증에 대한 구조화된 접근 방식을 상세히 설명한다. 에너지 소비 기준선을 설정하기 위한 주요 방법이 기술되며, 에너지 절감량 계산 및 관련 불확실성 정량화 절차도 다룬다.

본 기술보고서는 정확한 보존 전압 감소 측정 및 검증에 필요한 필수 데이터 항목 및 형식을 명시하고, 데이터 수집, 관리, 품질 및 유효성 검증을 위한 사례를 서술한다.

3 인용 표준과의 비교

해당 사항 없음

Preface

1 Purpose

The purpose of this technical report is to establish a standardized method for measuring and verifying the energy-saving effects of Conservation Voltage Reduction (CVR) technology from the customer's perspective.

Unlike existing CVR implementations that primarily focus on grid optimization by the power company, this standard enables end-users (residential, commercial, and industrial) to accurately quantify the benefits of applying CVR technology within their own facilities or systems.

2 Summary

This technical report explains the fundamental principles of Conservation Voltage Reduction (CVR) and the structure of energy savings as they apply to the end-user. It also details a structured approach to Measurement and Verification (M&V), including an M&V plan customized for consumer environments. Key methods for establishing an energy consumption baseline are described, and procedures for calculating energy savings and quantifying associated uncertainties are also covered.

Furthermore, this report specifies the essential data items and formats required for accurate CVR measurement and verification. It also describes best practices for data collection, management, quality assurance, and validation.

3 Relationship to Preference Standards

None

목 차

1 적용 범위 1

2 인용 표준 1

3 용어 정의 1

4 약어 2

5 에너지 절감 효과를 위한 보존 전압 감소 측정 및 검증 방법 개요 2

6 보존 전압 감소 측정 및 검증 방법 3

 6.1 측정 및 검증 계획 수립 3

 6.2 기준선 설정 방법 4

 6.3 에너지 절감량 개선 4

 6.4 보존 전압 감소 측정 및 검증 데이터 항목 항목 5

부록 I -1 지식재산권 협약서 정보 6

 I -2 시험인증 관련 사항 7

 I -3 본 표준의 연계(family) 표준 8

 I -4 참고 문헌 9

 I -5 영문표준 해설서 10

 I -6 표준의 이력 11

에너지 절감 효과를 위한 보존 전압 감소 측정 및 검증 방법 (Measurement and Verificaition Method of Conservation Voltage Reduction for Energy Saving Effects)

1 적용 범위

이 표준은 에너지 효율성을 개선하고 전력 소비를 절감하기 위해 전력 소비자 측에서 보존 전압 감소 기술을 적용하는 모든 시스템 및 솔루션에 적용된다. 이는 주거용 건물, 상업용 건물 및 산업시설을 포함하되 이에 국한되지 않는다.

본 기술보고서는 전력이 사용되는 지점(예: 계량기, 하위 계량기)에서 수행되는 직접적인 에너지 절감을 정량화하는 데 중점을 두며, 송배전 손실 감소 또는 인프라 투자 연기와 같이 일반적으로 전력 회사에서 평가하는 계통 수준의 이점은 다루지 않는다. 측정 및 검증 계획 수립, 효율화 측정을 위한 기준선 설정 방법 및 에너지 절감량 계산 내용을 포함한다.

보존 전압 감소는 전통적으로 변전소 또는 배전선 수준에서 구현되는 전력 회사 주도로 구현되는 기술로, 시스템 전반의 에너지 절감 및 계통 안정성을 목표로 한다. 그러나 전력 소비자 중심이라는 점은 전력 소비자 측면에서의 보존 전압 감소 기술이 독립적으로 또는 전력 회사의 노력과 연계하여 등장하고 있음을 보여준다.

소비자 측면에서의 보존 전압 감소에 대한 표준을 제공함으로써, 해당 보존 전압 감소 관리 솔루션의 개발 및 채택을 장려한다.

2 인용 표준

해당 사항 없음

3 용어 정의

3.1 보존 전압 감소(CVR, Conservation Voltage Reduction)

전력 분배 네트워크에서 최종 사용자에게 공급되는 전압 수준을 의도적으로 낮춰 에너지 소비를 줄이는 전략적 접근 방식

3.2 기준선(Baseline)

보존 전압 감소 기술이 적용되지 않았을 경우의 예상 에너지 소비량. 에너지 절감 효과를 측정하기 위한 비교 기준점

3.4 스마트 미터(Smart Meter)

스마트그리드를 구성하는 요소로 일반 가정에도 전기료를 시간 단위로 측정할 수 있게 하는

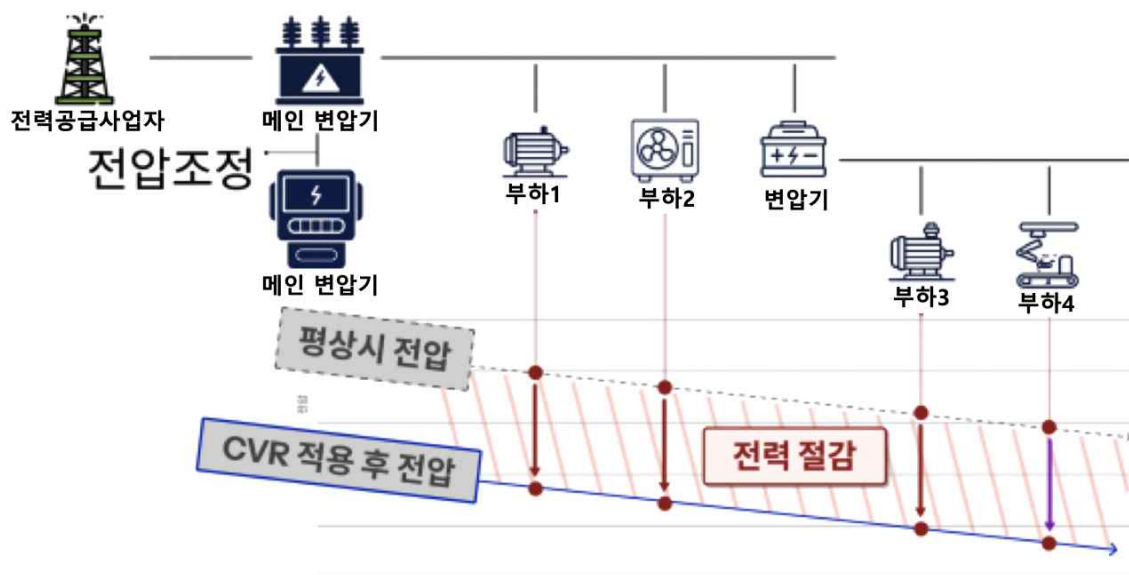
전력량계

[출처: TTA 정보통신용어사전]

4 약어

M&V	Measurement and Verification
IPMVP	International Performance Measurement and Verification Protocol
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ESCO	Energy Service Company

5 에너지 절감 효과를 위한 보존 전압 감소 측정 및 검증 방법 개요



(그림 5-1) 보존 전압 감소 개념도

보존 전압 감소는 전력 분배 네트워크에서 최종 사용자에게 공급되는 전압 수준을 의도적으로 낮춰 에너지 소비를 최적화하고 전체 시스템 효율성을 향상 시키는 전략적 접근 방식이다. 이러한 전압 감소는 전기 서비스 성능이나 품질을 저하 시키지 않으면서 이루어진다. 많은 전기 장치는 약간 낮은 전압에서도 효율적으로 작동하며, 종종 동일한 성능을 유지한다.

- 부하 감소 : 백열전구, 전기 히터와 같은 저항성 부하의 경우, 전압 감소는 전력 소비의 거의 비례적인 감소로 이어진다. 이는 이러한 유형의 부하에서 소비되는 전력이 전압의 제곱에 비례하기 때문이다 ($P = V^2/R$). 정전류 또는 정임피던스 부하에서도 전압 감소는 전력 감소를 가져온다.
- 효율성 향상 : 많은 전기 장비는 낮은 전압에서 더 적은 에너지를 사용하는데, 이는 코어 손실, 솔리드 스테이트 스위칭 손실, 변환 손실 감소와 같은 효율성 향상 구조를 통해 발생한다.
- 선로 손실 감소 : 전압 감소로 인한 전류 흐름 감소는 배전선에서의 전기 회로에서의 전력 손실을 줄여 추가적인 에너지 절감에 기여한다.

- 역률 개선 : 일부 경우, 전압 감소는 특정 부하의 역률을 약간 개선하여 보다 효율적인 전력 공급으로 이어질 수 있다.

전력 소비자 측면에서 보존 전압 감소는 개별 건물 또는 시설 내에서 전압을 최적화하는 것을 포함한다. 이는 스마트 미터, IoT 장치, 또는 건물 관리 시스템과 통합된 분산형 전압 제어 장치를 통해 이루어질 수 있다. 보존 전압 감소를 통한 에너지 절감 잠재력은 부하 유형 및 구성에 따라 달라지지만, 일반적으로 연간 에너지 소비량의 약 0.5%에서 4% 범위로 추정된다. 특정 연구에서는 최대 4.7%의 절감 효과가 관찰되기도 했다.

전력 소비자 측 보존 전압 감소의 효과는 단순히 전압 감소에만 있는 것이 아니라, 소비자의 부하 구성(예: 저항성 부하 대 정전력 부하)과 제어 시스템의 지능에 따라 달라진다. 예를 들어, 백열등은 직접적인 이점을 얻지만, 스위칭 전원 공급 장치를 사용하는 최신 전자 기기는 비례적인 절감 효과를 보지 못할 수 있다. 그러나 스마트 인버터 및 가변 주파수 드라이브는 보존 전압 감소를 보완하도록 제어될 수 있다. 이는 전력 소비자 측 보존 전압 감소 솔루션이 독립적인 장치가 아니라 더 넓은 스마트 에너지 관리 시스템의 통합 구성 요소임을 보여준다. 보존 전압 감소의 활용은 다른 에너지 효율성 조치(예: 스마트 온도 조절기, LED 조명)와 결합되고, 시스템이 실시간 부하 프로파일 및 외부 요인에 따라 전압을 동적으로 조정할 수 있을 때 극대화된다. 이는 단순한 고정 전압 감소를 넘어 소비자 수준에서 정교한 알고리즘과 데이터 분석이 필요하다.

6 보존 전압 감소 측정 및 검증 방법

보존 전압 감소 측정은 공급 전압 변화에 따른 실제 전력 사용량 감소를 기록하고, 검증은 이를 통해 얻어진 에너지 절감 효과가 지속적이고 안정적인지 확인하는 과정이다.

6.1 측정 및 검증 계획 수립

에너지 절감 효과를 정확하고 신뢰성 있게 정량화하기 위해서는 보존 전압 기술 적용 전에 상세한 측정 및 검증 계획을 수립하는 것이 필수적이다. 측정 및 검증은 에너지 효율성 투자의 결과를 정량화하고 투자 증가를 유도하는 데 중요한 역할을 한다.

측정 및 검증 계획 수립 시 국제적으로 인정받는 두 가지 주요 가이드라인을 참고한다.

- IPMVP(International Performance Measurement and Verification Protocol):
IPMVP는 에너지 및 수자원 절감 효과를 측정하고 검증하기 위한 국제적으로 인정된 표준이다. 이는 에너지 성능 계약의 조건으로 유럽과 미국에서 표준으로 인정받고 있다.
- ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Guideline 14-2014:
IPMVP와 함께 ASHRAE 가이드라인은 측정, 검증 및 보고를 포함한 M&V를 위한 포괄적인 프레임워크를 제공한다. 주요 단계는 계획, 측정, 검증, 보고로 진행된다.

IPMVP 및 ASHRAE와 같은 프로토콜은 측정 및 검증의 투명성, 신뢰성 및 확실성을 강조한다. 이러한 프로토콜은 주로 ESCO 및 성능 계약과 관련된 대규모 에너지 효율성 프로젝트를 위해 개발되었다. 이를 소비자 측에 적용한다는 것은 개별 에너지 절감에 높은 수준의 엄격함을 도입하는 것이다. 이는 전력 소비자 측면에서의 에너지 효율성 시장으로의 확대를 보여준다. 전력 소비자가 단순히 어떤 제품이나 서비스가 에너지를 절약한다고 정형화된 정보를 확인하는 대신, 표준화되고 신뢰할 수 있는 방법으로 이를 검증할 수 있게 되었다. 이러한 "절감 효과를 보여달라"는 접근 방식은 보존 전압 감소와 같은 신기술 채택에 대한 소비자의 신뢰를 높이고 인지된 위험을 줄이며, 주거용 및 소규모 상업용 에너지 효율성 분야에 대한 더 큰 투자 유치가 가능하다. 또한, 검증된 절감 효과를 투명하게 입증할 수 있는 제공업체에게 경쟁 우위를 제공한다.

6.2 기준선 설정 방법

에너지 절감 효과를 정확하게 측정하기 위해 보존 전압 감소 적용 전의 에너지 소비 기준선을 설정하는 것이 중요하다. 기준선은 보존 전압 감소가 구현되지 않았을 경우의 예상 에너지 소비량을 나타낸다. 보존 전압 감소 기준선 설정의 주요 과제는 보존 전압 감소가 활성화된 기간 동안 벤치마크 부하 소비 측정이 부족하다는 것이다.

- 비교 기반 방법(Comparison-Based Methods) : 보존 전압 감소가 적용된 기간 동안의 에너지 소비량을 보존 전압 감소가 적용되지 않은 유사한 기간 또는 유사한 부하 조건의 다른 시설의 에너지 소비량과 비교하여 절감 효과를 측정한다.
- 회귀 분석 기반 방법(Regression-Based Methods) : 에너지 소비량이 날씨(예: 온도)나 점유율과 같은 외부 요인의 함수로 모델링된다. 보존 전압 감소 적용 전의 데이터를 사용하여 회귀 모델을 구축하고, 이 모델을 통해 보존 전압 감소 적용 기간 동안 보존 전압 감소가 없었을 경우의 예상 에너지 소비량(기준선)을 예측한다.
- 부하 모델링 기반 방법(Load Modeling-Based Methods) : 부하 소비를 전압 및 기타 외부 요인의 함수로 표현하는 수학적 모델(예: ZIP 부하 모델)을 설정하여, 부하의 전압 민감도를 실시간으로 식별한다. 이를 통해 보존 전압 감소 인자를 시간 가변적으로 추정할 수 있다.

스마트 미터 데이터 및 IoT 센서 의 소비자 수준에서의 가용성 증가는 회귀 분석 및 단순화된 부하 모델링과 같은 더욱 정교한 측정 및 검증 방법을 더 넓은 범위의 소비자에게 실현 가능하게 만들고 있다. 이는 과거에는 전력 회사나 대규모 상업 기관에만 제한되었던 분석 수준이다. 이러한 추세는 소비자 에너지 관리 시스템 이 AI/머신러닝 을 사용하여 기준선 계산 및 절감 검증을 자동화하는 고급 측정 및 검증 기능을 통합할 수 있다.

6.3 에너지 절감량 계산

에너지 절감량은 보존 전압 감소가 적용되지 않았을 경우의 예상 에너지 소비량(기준선)과 보존 전압 감소 적용 후의 실제 에너지 소비량 간의 차이로 계산된다.

절감량 계산공식

- 에너지 절감량 = 기준선 에너지 소비량 - 실제 에너지 소비량

보존 전압 감소 계수)는 전압 변화율에 대한 전력 변화율의 백분율 변화로 정의되며, 보존 전압 감소의 효과를 정량화하는 데 사용될 수 있다.

- $CVFf = (\text{에너지 변화율 } \%) / (\text{전압 변화율 } \%)$
- $\text{에너지 변화율 } \% = ((\text{기준선 에너지} - \text{실제 에너지}) / \text{기준선 에너지}) * 100$
- $\text{전압 변화율 } \% = ((\text{기준선 전압} - \text{실제 전압}) / \text{기준선 전압}) * 100$

6.4 보존 전압 감소 측정 및 검증 데이터 항목

보존 전압 감소에 대한 효과적인 검증을 위해서는 전압, 전류, 전력, 역률 및 위상각과 같은 핵심 지표를 모니터링하는 것이 중요하다. 총 에너지 소비량(kWh)은 기본적이다. 온도와 같은 외부 요인도 기준선 조정을 위해 사용한다. 이 표는 에너지 관리자나 소비자가 보존 전압 감소 검증을 준비하는 데 실용적인 체크리스트 역할을 한다. 이는 신뢰할 수 있는 분석을 위해 일관되고 적절한 빈도로 데이터를 수집하는 것의 중요성을 강조하며, 동적 보존 전압 감소 애플리케이션을 위한 세분화된 실시간 데이터의 필요성을 보여준다.

<표 6-1> 데이터 항목

데이터 항목	단위	설명
전압 (Voltage)	볼트 (V)	보존 전압 감소 적용 지정 또는 부하 말단에서의 실제 전압 수준
전류 (Current)	암페어 (A)	보존 전압 감소 적용 부하 또는 회로의 실제 전류 흐름
유효 전력 (Active Power)	와트 (W)	보존 전압 감소 적용 부하의 실제 유효 전력 소비량
무효 전력 (Reactive Power)	바르 (VAR)	보존 전압 감소 적용 부하의 실제 무효 전력 소비량
에너지 소비량 (Energy Consumption)	와트시 (Wh)	보존 전압 감소 적용 부하 또는 전체 시설의 누적 에너지 소비량
역률 (Power Factor)	퍼센트(%)	전압과 전류 간의 위상 관계 효율성
위상각 (Phase Angle)	라디안(rad)	전압과 전류 파형 간의 위상차
외부 온도 (Ambient Temperature)	섭씨(°C)	건물/시설 외부의 기온
점유율/사용 패턴 (Occupancy/Usage Patterns)	퍼센트(%)	건물 또는 주요 장비의 점유/사용 시간 및 강도
운영 조건 (Operational Conditions)	-	보존 전압 감소 적용 부하의 특정 운영 모드, 설정값 변경 등
시간 스탬프 (Time Stamps)	시간형식 (HH-MM-SS)	모든 데이터 측정의 정확한 시간 기록

부 록 1-1

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

지식재산권 확약서 정보

아래에 기재된 지식재산권 확약서 이외에도 본 표준이 발간된 후 접수된 확약서가 있을 수 있으니, 디지털 융합 K-ESG 혁신 표준화 포럼 웹사이트에서 확인하시기 바랍니다.

해당 사항 없음.

부 록 1-2

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

시험인증 관련 사항

해당 사항 없음.

부 록 1-3

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

본 표준의 연계(family) 표준

해당 사항 없음.

부 록 | -4

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

참고 문헌

아래 기재된 참고 문헌의 발간일이 기재된 경우, 해당 표준(문서)의 해당 버전에 대해서만 유효하며, 연도를 표시하지 않은 경우에는 해당 표준(권고)의 최신 버전을 따른다.

- [1] ISO 50015 (Energy management systems — Measurement and verification of energy performance of organizations — General principles and guidance), 2014
- [2] FEMP M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects, 1996

부 록 1-5

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

영문표준 해설서

해당 사항 없음.

부 록 1-6

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

표준의 이력

판수	채택일	표준번호	내용	담당 위원회
제1판	2025.09.03.	제정 ESGTVS-1-2025-06-R1-V1.0	에너지 절감 효과를 위한 보존 전압 감소 측정 및 검증 방법	표준분과위원회