

전기 부하 특성 기반 제조업 수용가 에너지 진단 및 효율 향상에 관한 연구

이재윤*, 송준서*, 황영익*, 윤형익*, 홍공현*, 박천수*, 이연수* 임근하**
한국전기기술인협회*, ㈜유정이엔지**

A Study on Energy Diagnosis and Efficiency Improvement for Manufacturing Consumers Based on Electrical Load Characteristics

Jae-Yoon Lee*, Jun-Seo Song*, Young-ik Hwang*, Hyung-Ik Yoon*, Gong-Hyeon Hong*, Cheon-Soo Park*, Yeon-soo Lee*, Geun-Ha Lim**
Korea Electrical Engineers Association*, Yujeong Engineering**

Abstract - This study presents a field-based energy diagnostic analysis at a cosmetics container manufacturing facility (980 kVA). Power quality indicators—load profiles, insulation resistance, leakage current—were measured across five distribution panel points over seven days. Results confirm highly regular M-shaped load patterns and inverter-based controllable loads well-suited for Demand Response (DR) participation. Critical insulation failures (0 MΩ) were identified in multiple circuits requiring immediate remediation prior to DR enrollment. A load-shifting strategy is proposed as the most cost-effective optimization approach, with a total DR potential of 415-525 kW

1. 서 론

제조업 수용가의 전기 설비는 생산 효율과 에너지 비용에 직결되며, 전력수요관리(Demand Response, DR) 사업 참여를 통해 경제적·환경적 가치를 동시에 달성할 수 있다. 그러나 실제 현장에서는 전력품질 문제와 절연 열화로 인한 안전 리스크가 DR 참여의 장벽이 되고 있다. 본 연구는 수전용량 980 kVA인 인천소재 화장품 용기 코팅·증착 전문 제조업체를 대상으로, 5개 핵심 분전반에 전력분석기(KEW 6315)를 동시 투입하여 7일간 부하 데이터를 수집하고, 절연저항계·누설전류계를 이용해 33개 회로의 전기안전 상태를 진단하였다. 진단 결과를 바탕으로 DR 자원 잠재량을 정량화하고 단계별 실행 전략을 제시한다.

2. 본 론

2.1 DR 잠재량 분석

측정 데이터를 기반으로 설비별 DR 감축 가능 용량을 산출하였다(표 1). 하도라인은 최대 329 kW에서 Standby 모드(42~90 kW)로 전환 시 최대 287 kW 감축이 가능하며, 증착실은 저녁 피크 시간대 가동 중단 시 126 kW 감축이 가능하다. 컴프레서는 생산라인과 연동하여 40~92 kW 범위의 유연한 부하 조정이 가능하다. 총 DR 잠재량은 최소 415 kW, 최대 525 kW로 평가된다.

표 1. 설비별 DR 잠재량 집계

설비명	정격용량	측정 최대값	감축 가능량	비고
하도라인	800A MCCB	329 kW	239~287 kW	다단계 운전 모드
증착실	400A MCCB × 3	138 kW	126 kW	저녁 피크 가동 중단
컴프레서	500A MCCB	92 kW	40~92 kW	생산라인 연동 제어
사무실 (공조)	400A MCCB	107.7 kW	10~20 kW	냉난방 온도 조절
합 계			415~525 kW	운영 스케줄 최적화

2.2 부하 패턴 분석

평일 조업일 전체에서 동일한 "M"자형 이중 피크 패턴이 반복 관측되었다. 오전(09:00~13:00) 및 저녁(14:20~21:00)의 2개 뚜렷한 피크 구간이 형성되며, 주말 기저 부하는 3~15 kW 수준으로 CBL(고객부하 베이스라인) 산정이 용이하다. 하도라인 최대 329 kW, 증착실 최대 138 kW, 컴프레서 최대 92 kW가 관측되었다.

2.3 전력품질 진단 결과

5개 분전반에서 측정된 전력품질 주요 지표를 표 2에 정리하였다. 전압 고조파(THDv)는 전 계측 지점에서 2% 이하로 국제 기준(IEEE 519, 5%)을 충족하였다. 전류 고조파(THDi)는 인버터·UV 램프·IR 건조기 등 비선형 부하가 집중된 증착실(30~70%)과 옥상 컴프레서(40~47%)에서 기준치를 초과하였다. 전류 불평형은 하도라인(6.0%) 및 컴프레서(11.77%)에서 허용기준(2%) 대비 과도하게 나타나 DR 참여 전 부하 재분배 또는 고조파 필터 설치가 선행되어야 한다.

표 2. 분전반별 전력품질 측정 결과 요약

측정 위치	THDv (%)	THDi (%)	전류불평형	DR 적합성
1층 분전반	2.1	17~18	0.4~0.8%	우수/ 즉시 참여 가능
2층 사무실	2.06	12.87	1.78%	양호/ 냉난방 제어 필요
증착실	1.61	30~70	0.08%	공정 고유특성 이동전략 필요
하도라인	1.95	20.3~20.8	6.0%	부하 재분배 필요
옥상 컴프레서	2.0	40~47	11.77%	고조파 필터 재분배 필수

3. 결 론

본 연구에서는 대상 제조업체의 부하 특성 및 전기설비 진단을 통해 수요반응(DR) 사업 참여 가능성을 검토하였다. M자형의 규칙적인 부하 패턴과 인버터 기반 설비의 높은 제어 유연성으로 DR 참여 적합성이 높음을 확인하였으나, 일부 회로의 절연저항 불량 및 컴프레서의 고조파·불평형 문제는 등록 전 개선이 필요하다. 증착실 Load Shifting만으로 138 kW 피크 감축과 전기요금 절감이 가능하며, 하도라인 다단계 운전 적용 시 최대 287 kW 감축을 실현할 수 있다. 향후 EMS 구축을 통한 DR 이행 신뢰도 향상이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 기후에너지환경부(한국에너지기술평가원)지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

[참고 문헌]

- [1] IEEE Std. 519-2022, 'IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems,' IEEE, 2022.