

미활용에너지 발굴을 위한 에너지 진단기법

건물 공장의 미활용에너지를 발굴 활용도를 제고할 수 있도록 개선된 에너지 진단기법을 소개하고자 한다.

요약

에너지절감의 원리는 공정간 에너지의 균형, 운전 최적화, 그리고 고효율에너지설비 교체이다. 이중 효과가 가장 큰 것은 공정간 에너지 균형을 달성하는 것이며, 그 대표적인 방법이 공정에서 발생하는 미활용에너지를 발굴하여 적절한 변환을 거쳐 다른 공정의 입력으로 재활용하는 것이다. 이를 위해서 기존의 공정을 “에너지 흐름” 중심으로 재해석하고 에너지시스템을 모델링하며 미활용에너지의 재활용 방안을 도출하여 그 성과를 예측할 수 있어야 한다.

서론

에너지경영과 관련하여 에너지 다소비사업자에 대하여 구체적인 에너지절감을 제시해 주기 위해 에너지의무진단 제도가 만들어진 지 10년이 지나고 있으나 아직도 에너지 컨설팅 제도로 정착하지 못하고 오히려 성과 없이 의무적으로 지출되는 법정비용 정도로 전락해 가고 있다. 이는 기존의 에너지 진단기관들이 측정 및 분석 기술로 접근한 데 원인이 있다고

본다. 에너지 진단의 근본 목적은 에너지 절감방안을 제시하고 효과를 예측해서 의사결정에 도움을 주고자 하는 것인데 공정에 대한 분석과 이해가 부족한 상태에서 몇몇 에너지 설비의 효율만 측정 분석하다 보니 건물 공장의 에너지 관리자에게 실질적으로 도움을 주지 못했다.

에너지 진단은 반드시 목적 진단이어야 한다. 목표가 명확할수록 에너지 진단의 효과는 커질 것이다. 그런 의미에서 미활용에너지의 발굴을 위한 에너지 진단방법론의 정립은 꽤 의미 있는 작업이 될 것이다.

에너지관리의 이론적 배경

에너지관리의 대표적인 방법은 바로 에너지비용 관리이다. 에너지비용관리는 에너지 사용량에 에너지 단가를 곱한 총금액으로 관리하는 방법이다. 에너지 비용은 에너지관리 중 가장 손쉬운 지표이기는 하나 생산량에 따라 에너지 사용량이 크게 변동할 수 있으며 경우에 따라서는 에너지 단가마저 크게 변동하므로 에너지효율 지표로서는 객관성을 확보하기 어렵다

에너지 비용관리와 더불어 널리 사용되고 있는 관리방법이 바로 에너지 원단위 관리이다. 에너지 원단위는 생산활동을 기준으로 얻어지는데 특정제품을 생산하는 데 소비한 에너지 소비량을 해당 생산물량으로 나눈으로써 산출된다. 에너지 원단위는 생산기술의 수준, 생산설비의 효율성 등 생산조건의 우열을 판단하거나 생산량 증감과 관계없이 에너지 효율의 변화추이를 분석하는 데는 매우 유용하다. 그러나 유사 공정이라도 공법, 생산능력, 가동률 등 운전조건이 다른 두 설비에 대해 에너지 관리 효율성을 비교하기에는 무리가 있다.

에너지비용관리나 에너지 원단위 관리는 에너지경영지표로서는 의미를 가지나 에너지관리를 수

행하는 실무자에게 에너지 효율화 운전이나 에너지 절감방안의 창출과 관련하여서는 어떤 도움도 되지 않는다. 에너지관리 실무자에 에너지 절감활동 수행을 위한 구체적인 방법을 제공하는 것이 바로 에너지 진단이라고 할 수 있다. 에너지이용합리화법은 에너지 진단을 “에너지를 사용하거나 공급하는 시설에 대한 에너지 이용실태와 손실요인 등을 파악하여 에너지이용효율의 개선 방안을 제시하는 모든 행위”로 정의하고 있다.

에너지 진단은 건물 또는 공장에서 조명, 냉방, 난방, 급탕, 가열, 냉각, 이송, 가공, 기계구동 등 에너지 설비의 운전과 관련하여 에너지 사용현황 및 운전현황을 분석하고 손실요인을 발견하며 에너지 절감 대안을 제시하며 경제성과 적용 가능성을 분석하여 최적의 에너지절감 개선안을 도출하는 기술컨설팅 서비스라고 정의할 수 있다.

엑서지란 계가 보유하는 에너지가 환경과 평형을 이룰 때까지 추출할 수 있는 최대 일, 즉 사용가능한 에너지를 말한다. 가열 공정에서 비가역적인 열전달 단열연소 등은 에너지 손실과는 관련되지 않지만, 에너지의 질적인 저하를 야기시키는 것들로서 엑서지분석에 의해서 파악될 수 있다. 이와 같이 엑서지분석을 이용하면 에너지의 질적인 저하가 일어나는 위치를 파악할 수 있고 공정의 열역학적 비효율성의 원인을 정량적으로 파악할 수 있다.¹⁾

건물이나 공장의 에너지를 실효적으로 절감하기 위해서는 에너지 효율화의 원리를 먼저 이해할 필요가 있다. 에너지 효율화의 첫 번째 원리는 공정간 에너지밸런스이다. 에너지관리기준점검표(지경부 고시)에 따르면 공정을 증발, 농축, 증류, 건조, 열분해, 소성, 발효 등 46개 공정으로 분류하고 있으나, 에너지 변환의 성격에 따라 공정을 크게 넷으로 나누어보면 동력, 승온, 강온, 조명으로 볼 수 있다. 이중 승온과 강온은 적절한 변환과정을 거치기만 하면 상호 열교환을 통해 각각 공정에서 냉열원

과 온열원을 따로따로 생산하는 비용을 획기적으로 절감할 수 있다.

두 번째 강력한 에너지 효율화 원리는 운전의 합리화이다. 일반적으로 건물이나 공장의 에너지 설비는 처음 설치 시 세팅된 파라미터를 변경하지 않고 그대로 운전하는 경향이 있다. 예를 들어 병원의 경우 연중 내내 냉동기를 가동하고 있고 냉각탑의 운전 파라미터 값은 여름철 혹서기를 기준으로 설정된 값을 사계절 동일하게 적용하여 운전하고 있다. 봄가을의 경우 냉수 하한값을 올리고 냉각수 온도를 낮춰 운전하는 것만으로도 3% 가까운 전기 비용을 절감할 수 있다.

세 번째 에너지 효율화의 원리가 우리가 가장 많이 시행하고 있는 고효율 에너지설비 교체이다. 프리미엄 전동기 교체, 고효율 LED 교체, 공기압축기 건조방식 변경, 인버터냉동기 교체, 고효율 콘덴싱 보일러 교체, 감압터빈 교체 등 수많은 고효율에너지설비 교체 방안이 알려져 있다. 그러나 설비의 효율차로 인한 에너지 절감금액만으로 설비교체 비용을 충당할 수 있는 사업은 그다지 많지 않다. 이것이 기존의 에너지의무진단제도가 시행이 10년이 지나도록 정착하지 못하는 가장 큰 이유가 되고 있다. 따라서 향후 에너지 진단은 첫 번째와 두 번째 원리, 즉 공정간 에너지밸런스와 운전 최적화를 달성할 수 있는 방안을 찾아내는 데 주력하여야 할 것이다.

에너지 진단 관련 선행연구

기존 건축물의 에너지 시뮬레이션에 대한 다양한 쟁점들과 사용자 간의 격차가 실측데이터의 부재로 구체적인 건물의 특성을 파악하지 못한 데에 기인한다고 보고, 성능진단 데이터로 보정된 모델을 이용한 기존건축물 시뮬레이션 방법을 제시하였다. 실제 성능진단을 기반으로 수행된 기존 건축물의 에너지 시뮬레이션을 통해서 발생할 수 있는 에

너지 사용량 변화에 대해 분석하였다.²⁾

이상적 성능을 구현한 표준모델의 시뮬레이션 결과와 실제 측정결과를 비교하여 준최적 성능의 확인과 정량화, 준최적 성능이 구현되는 조건의 파악, 대안적 운전방안의 에너지 성능비교, 그리고 설비운전 수정운전이 시행된 후의 성능개선을 근거화할 수 있는 실시간 모델기반 건물에너지 진단 방안을 제시하였다.³⁾

단위기기 중심이 아니라 시스템관점에서 공정 각 부분에서 발생하는 에너지손실, 소모, 위치, 원인 및 크기를 파악하여 에너지시스템의 설계 및 효율을 증가시킬 수 있는 엑서지기반 에너지 진단기술과 공정을 분석하여 이해하는 도구로서 엑서지 분석 가이드라인과 가이드라인을 이용한 공정 최적화 방법을 제시하였다. 공정 최적화 방법 중 무엇보다 먼저 모든 열 이용 공정을 충분히 이해하여야 한다는 부분은 에너지 진단 방법론상으로도 시사하는 바가 매우 크다고 본다.¹⁾

기존의 에너지 진단 방법론

기존의 에너지 진단은 에너지 사용현황 분석, 설비별 에너지 효율진단, 에너지관리수준 진단, 개선안 도출, 개선종합안 작성의 5단계로 진행되었다. 이하에서는 각 단계에서 기존에 일반적으로 행해지고 있는 에너지 진단을 분석하고 개선방향을 제시하며 마지막으로 개선된 에너지 진단방법론 모델을 제시하고자 한다(표 1).

공정 및 설비 계통 분석

공정분석은 공장에너지 진단에서 가장 중요한 부분임에도 불구하고 기존의 에너지 진단에서는 간과되는 경향이 있다. 그림 1은 어느 전문제조공장의 에너지 진단보고서에 나타난 분석사례이다.

〈표 1〉 에너지 진단 방법론 및 주요산출물

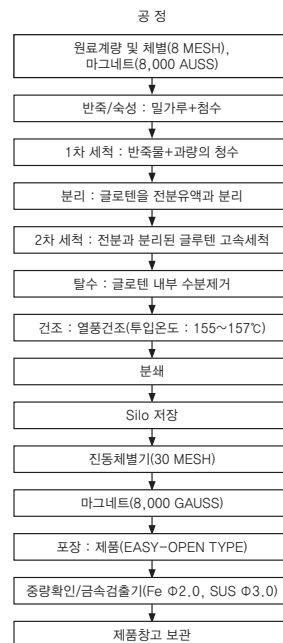
단계	작업	설명	주요산출물
현황 분석 및 진단	에너지사용 현황 분석	-사업장 일반현황 조사 -공정 및 설비 계통분석 -에너지 사용분석 -에너지 맵 작성	-사업장 에너지 사용 맵 -사업장 에너지 비용 맵 -사업장 에너지 원단위 맵
	에너지 효율진단	-설비별 에너지 효율 평가 -손실발견 및 정량화 -문제점 및 개선 필요사항 정의	-설비별 에너지 효율 진단표 -설비 에너지 효율 측정 집계표 -에너지 손실 분석표 -손실항목 Matrix -문제점 및 개선 필요사항
	에너지관리 수준 진단	-관리근거자료 수집 -면담 및 실사 -에너지관리 수준 진단표 작성 -문제점 및 개선 필요사항 정의	-에너지관리 수준 진단표 -문제점 및 개선 필요사항 목록
개선방안 수립	개선안 도출	-문제해결을 위한 개선기회 식별 -개선기획 평가 및 개선과제 확정	-에너지 개선과제 목록
	개선 종합안 작성	-과제별 수행방안 수립 -종합 실행계획 입안	-개선 종합보고서

공정도를 보면 건조공정에서 열풍생산에 에너지가 소요될 것으로 예상할 수 있을 뿐 전체 공정 중 전기 또는 열의 입출력을 알 수 있는 분석이 되어 있지 않다. 이는 기존 공정도가 에너지 진단을 목적으로 작성된 것이 아니라 생산 표준화와 업무분장을 위해 작성되어 에너지의 입출력이 고려되지 않았기 때문이다. 이런 이유로 공장에서 사용하고 있는 기존 공정도를 차용하여 에너지 진단에 적용해서는 에너지 절감/개선방안을 발굴해내기 어렵다.

에너지 진단을 목적으로 하는 공정도는 에너지의 입출력을 중심으로 작성하여야 한다. 이때 자칫 공정도가 지나치게 복잡해질 수 있으므로 에너지 투입산출을 제어할 수 없는 공정은 과감하게 삭제 해버리고 에너지 효율화 방안을 도출해낼 수 있는 공정을 중심으로 작성하는 것이 바람직하다. 전분공장을 예를 들어 설명해 본다.

기존의 공정도를 보면 원료의 계량 체별, 반죽/숙성, 1차 세척, 분리, 2차 세척, 탈수, 건조, 분쇄, Silo 저장, 진동체별, 마그넷, 포장, 금속검출, 보관의 순으로 정리되어 있으며 에너지 입출력에 대한 고

려 없이 생산작업을 중심으로 작성되었음을 볼 수 있다. 상기의 전분제조 공정 중 제어 가능한 에너지 입출력과 관련된 공정은 탈수, 해쇄, 건조 등이며 이

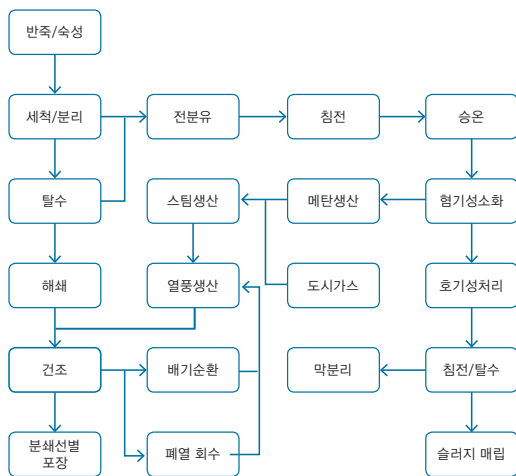


〔그림 1〕 전분생산 공정도(기존)

중 특히 중요한 부분은 건조공정이다. 건조공정은 스팀을 이용하여 열풍을 생산하는 공정, 해쇄기를 통해 잘게 부순 전분케익을 열풍건조기류에 접촉시켜 순간적으로 건조시키는 공정, 배기가스를 순환시키는 공정, 배기가스로부터 폐열을 회수하는 공정 등 다양한 세부공정을 포함하고 있다. 따라서 에너지 진단을 위한 공정도 작성 시 스팀생산 열풍생산, 해쇄, 폐열회수, 배기순환 등 에너지 순환과 관련된 공정을 포함시켜 공정도를 작성하여야 한다.

또한, 폐수처리, 기계세척 또한 상당량의 에너지를 소비하고 있으며, 혐기소화조에서 발생한 메탄가스를 건조기 열풍생산에 활용하고 있어 메탄생산 활성화 정도가 에너지 비용에 큰 영향을 미치고 있으므로 이 또한 공정도 작성에 포함시켜야 한다. 에너지는 전기, 가스뿐만 아니라 스팀, 용수, 압축공기, 진공을 모두 포함하여야 한다. 이렇게 공장 전체 시스템의 운영과 관련하여 전기, 가스, 스팀, 용수, 압축공기, 진공의 입출력을 중심으로 공정도를 작성하여야 에너지의 흐름을 파악할 수 있으며, 나아가 미활용에너지를 발굴하고 사용처를 확보할 수 있다. 개선된 전분생산 공정도는 그림 2와 같다.

기존의 설비계통 분석을 보면 주로 유틸리티 설



[그림 2] 전분생산 공정도(개선 후)

비를 중심으로 설비의 제원을 파악하는 수준에 그치고 있다. 상기 전분공장을 중심으로 설비계통 분석결과를 살펴보면, 보일러의 형식, 정격용량, 사용연료, 전열면적, 수량, 설치연도와 건조기의 형식, 증발량, 사용열원, 수량, 설치연도와 블로어의 형식, 유량, 압력, 동력, 수량, 설치연도, 설치위치와 공기압축기의 형식, 동력, 용도, 사용연료, 수량, 설치연도, 설치위치와 조명설비의 형식, 정격용량, 수량, 일평균가동시간을 분석하였다. 기존의 분석방법론에서는 공정설비를 제외시키고 유틸리티 설비에 집중하였으며 설비의 운전현황이나 현재 성능보다는 제작 제원에 집중하는 경향이 있어 에너지 소비량 추정이나 에너지 효율 개선방안 도출에 대한 단초를 찾아내기 어렵다(표 2).

설비계통의 분석 또한 에너지의 입출력과 관련된 공정설비 중 제어 가능한 공정설비를 대상으로 하여야 하며 에너지 소비를 예측할 수 있는 운전현황정보와 미활용에너지 및 그 사용처를 발굴할 수 있도록 에너지의 입출력 형태와 양에 관한 정보를 포함하여야 한다. 에너지 설비의 입력은 전기 또는 연료이며 공정 후 버려지는 에너지는 열, 진동, 소음 등이다. 여기서 재활용할 수 있는 에너지는 주로 열이며 그 형태는 온수, 온공기, 스팀, 연료온도 등이다. 따라서 설비계통의 분석시할 설비에서 버려지는 온수, 온공기, 스팀이 일정한 변환을 거쳐 다른 설비에 입력되는 용수, 연료, 공기 등의 온도를 올리는 데 재활용될 수 있는지를 파악하는 것이 중요하다. 이를 고려하여 설비계통 분석항목을 정리

<표 2> 설비별 에너지 효율 분석항목(기준)

구 분	분석항목
보일러	형식 정격용량 사용연료 전열면적 수량 설치연도
건조기	형식 증발량 사용열원 수량 설치연도
블로어	형식 유량 압력 동력 수량 설치연도 설치위치
공기압축기	형식 동력 용도 사용연료 수량 설치연도 설치위치
조명설비	형식 정격용량 수량 일평균 가동시간

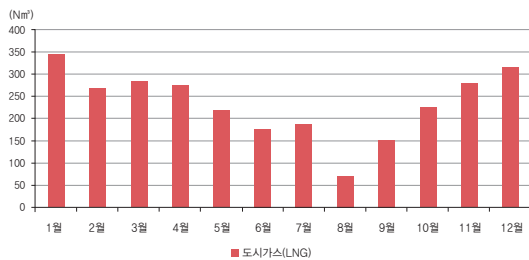
(표 3) 설비별 에너지 효율 분석항목(개선 후)

구분	분석항목
보일러	형식, 정격용량, 사용연료, 스팀생산량, 연료사용량, 배기열량, 응축수회수율, 응축수 회수방식, 응축수 온도, 증기사용압력
건조기	형식, 증발량, 스팀사용량, 배기순환율, 폐열회수량, 건조온도, 배기습도, 배기풍량, 배기열량, 건조물 열량, 건조물 함수율
블로어	형식, 유량, 압력, 동력, 토출열량, 열원과외의 거리
공기압축기	형식, 동력, 부하율, 냉각열량, 냉각방식, 배관방식, 열원과외의 거리
조명설비	형식, 정격용량, 수량, 연간가동시간
탈수기	형식, 정격용량, 연간탈수량, 함수율, 매립비용
원심분리기	형식, 정격용량, 연간가동시간, 함수율
해쇄기	형식, 정격용량, 연간해쇄량, 해쇄효율, 발생열량
협기조	형식, 유량, 승온열량, 메탄생산량, 스팀소비량, SRT, 운전온도

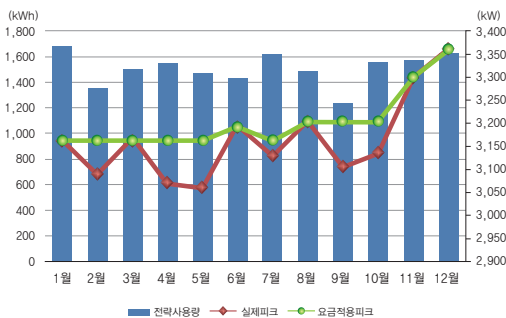
하면 표 3과 같다.

에너지 사용분석

기존의 에너지 사용분석은 주로 에너지원별 사용량의 시계열분석과 원단위분석이 주종을 이루고 있다. 시계열분석이라 함은 에너지원을 전기, 도시가스, B/C, 경유 등으로 분류하고 각각의 에너지원



[그림 3] 도시가스 월별 사용량 분석 그래프



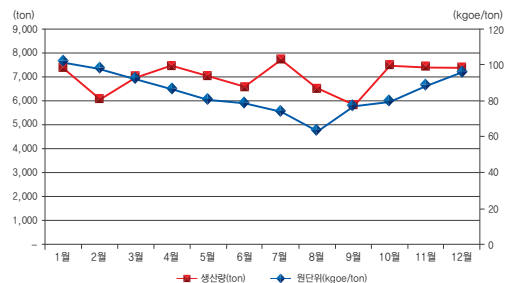
[그림 4] 전기 월별 사용량 분석 그래프

별로 월별 사용량 사용금액 TOE 환산 사용량을 분석하는 것이다(그림 3, 그림 4)

일반적으로 월별 에너지 사용량은 당월 생산량과 온도, 습도 등 생산조건과 밀접한 관계가 있다. 상기의 월별 도시가스 사용량 그래프는 도시가스 사용량이 월별 특성을 따르는 것처럼 보인다. 그러나 이것만으로는 에너지 진단의 목적인 에너지절감 방안을 발견해내기 어렵다.

생산활동을 고려하여 에너지 사용량을 분석하는 원단위분석이 널리 이용되고 있으며, 그 사례는 그림 5와 같다.

원단위분석은 동일설비의 월별 에너지 효율의 차이를 보여주며 동종의 다른 설비와 비교해서 에너지 성능을 보여주는 장점이 있지만, 에너지절감 방안의 도출과 관련하여서는 별반 도움이 되지 않으며 동종의 다른 설비와 비교해서 운전 효율성의



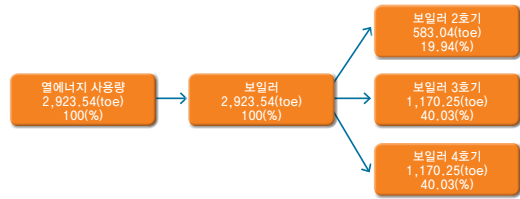
[그림 5] 월별 원단위 분석 그래프

차이를 보여주지도 않는다.

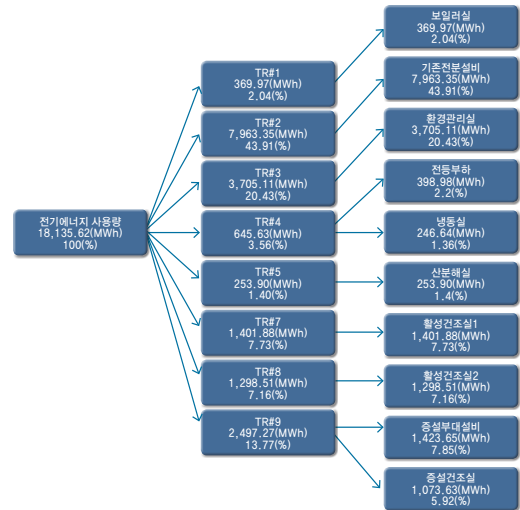
에너지 맵 작성

에너지 맵은 건물이나 공장의 에너지흐름을 가시화해주는 도구로 에너지원별로 에너지의 주요 사용처의 에너지 사용량을 TOE와 점유율로 보여준다. 점유율을 쉽게 인식할 수 있도록 파이차트를 많이 사용한다(그림 6, 그림 7).

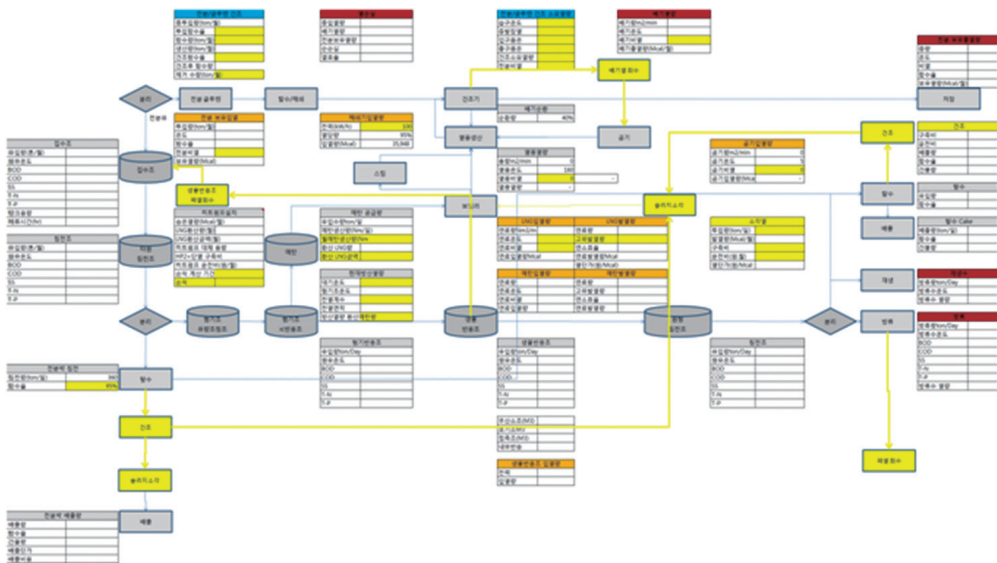
기존의 주요 에너지 사용처의 사용량과 점유율을 쉽게 인식할 수 있는 장점이 있으나 공정과 연계되지 않아 실제 에너지의 흐름을 보여주지 못하며 공정 간의 에너지 변환관계는 더욱더 설명해 주지 못한다. 이에 저자는 공정도를 기반으로 하여 에너지의 입출력을 표시하며 상호변환관계와 변환비용을 분석하는 개선된 에너지 맵을 제안한다. 공정도는 전장에서 서술한 바와 같이 제어 가능한 에너지 입출력과 관련된 모든 공정을 포함해야 하며 생산 공정뿐만 아니라 유틸리티생산 공정과 폐기물처리와 같은 부대공정까지 포함하여야 한다. 에너지의 흐름은 전기, 가스, 용수, 스팀, 압축공기, 진공을 포



[그림 6] 열에너지 맵



[그림 7] 전기에너지 맵



[그림 8] 개선된 에너지 맵

함하며, 공정의 에너지 사용량뿐만 아니라 입력, 출력시 원료, 연료, 공기가 함유하고 있는 에너지양을 포함하여야 한다. 혐기조를 통한 메탄의 생산과 이를 사용한 메탄보일러와 같이 에너지의 생산흐름을 포함하며 배기순환 폐열회수와 같은 에너지의 재활용 관계를 포함하여야 한다. **그림 8**은 개선된 에너지 맵의 예시이다. 보안상의 이유로 데이터는 모두 삭제하였다.

에너지 효율진단

에너지 효율진단은 설비별 에너지효율평가, 손실발견 및 정량화, 문제점 및 개선사항 정리의 3단계로 이루어지며 설비별 에너지효율측정 집계표, 설비별에너지 효율진단표, 에너지손실분석표, 손실항목 Matrix, 문제점 및 개선필요사항표를 산출물로 작성한다. 기존의 많은 에너지 진단보고서를 보면 설비별 에너지 효율진단표는 작성 보고되고 있으나, 에너지손실 관련 보고는 거의 이루어지지 않고 있으며, 개선 필요사항을 직관적으로 도출해 내는 경향이 있다.

기존의 에너지 효율진단은 냉동기, 냉각탑, 보일러, 히트펌프, 공조기, 공업로, 농축기, 건조기, 공기압축기 등의 설비성능 측정을 위주로 한다. 효율진단항목은 소비전력, 가스소비량, 스팀소비량 같은 에너지 사용량과 COP, 보일러효율, 건조기효율과 같은 설비효율이 주종을 이룬다. 설비운전현황

〈표 4〉 냉동기 에너지 효율 분석사례

구 분	터보냉동기 #1	터보냉동기 #2	흡수식 냉온수기
환산효율(%)	38.81	55.65	50.0
부하율(%)	62.90	60.17	50.45
COP	1.82	2.61	0.58
kW/USRT (냉동기)	1.93	1.35	6.02
원/Ton (냉동기)	187.65	131.26	5,330.02

파악과 관련하여서는 냉동기, 보일러, 히트펌프, 공기압축기, 변압기 등 유틸리티 설비의 부하율 측정에 그치는 경우가 많은데, 운전의 효율성을 파악하기 위해서는 냉동기의 냉수왕복온도차율, 냉각수 왕복온도차율, 보일러의 기동정지횟수 등 설비운전 특성 지표까지 살펴봐야 한다.

표 4는 에너지 진단보고서 중 냉동기 효율 부분만 발췌한 것이다. 터보냉동기 #1호기의 부하율이 62.9%인 상태에서 효율 38.8%를 보이므로 냉동기 자체의 성능이 매우 저하되어 있다고 추정할 수 있으나, 운전과 관련된 어떤 정보도 파악되지 않아 운전개선을 통한 에너지절감방안을 도출해 내기 어려운 상황이다.

(사)한국 그린비즈니스협회는 에너지관리기준 점검표를 기초로 하여 개선대상 및 문제점을 파악하는 진단방법을 제안하고 있다. 에너지기자재의 설치 수준이나 열발생설비 관리표준 등을 3단계로 분류하여 평점하는 에너지 효율 및 손실 분석모델을 제시하고 있다⁴⁾(**표 5**).

그러나 기존의 연구는 에너지 손실분석의 구체적인 방법을 제시하지 않아 실제 손실분석과 이에 따

〈표 5〉 에너지 손실 분석모델

공정	세부공정	
설비식별명 및 코드		
평가유형	평가항목	
평가 값 및 내용		
에너지 손실 분석		
개선대상 및 문제점		
개선방안		
개선효과산출		
개선시 절감량	개선시 절감액	
연간온실가스 절감량		
투자비	회수기간	

〈표 6〉 에너지 손실 유형

손실유형	구분	간단한 설명
변환손실	전력변환 손실	변압기 인버터 등 계동전력을 운전전력으로 변환 시 손실
	연료-스팀변환 손실	도시가스 B/C 등을 스팀으로 변환 시 손실
	동력-열 변환 손실	파쇄기 등 운전 시 동력이 열로 변해 없어지는 손실
전송손실	전력 전송 손실	배전선로 저항 손실
	온수/스팀 전송 손실	배관저항 손실
	압축공기 전송 손실	배관저항 손실
누설손실	방열 손실	공업로 건조기 농축기 등 열설비의 방열 손실
	배기열 손실	보일러 공업로 건조기 등 스팀 고온공기 생산시 배기열 손실
	누기, 누증, 누수 손실	압축공기, 증기, 수관계 시스템에서 누기 누증 등 손실
	제품 함유열 손실	제품이 포함되어 나가는 열 손실
과잉손실	공운전	불필요하게 운전되어 발생하는 손실
	과잉투입운전	스팀, 온수, 냉수, 환기, 순환의 과잉으로 인한 손실
	고가 에너지원	바이오가스, RDF 등 저가 열원 가능한 경우 기회비용 손실
저효율손실	승온-강온 반복 공정	승온공정과 강온공정을 별개로 운전함에 따른 비효율 손실
	저온도차 운전 손실	에너지 이동시 저온도차 운전으로 전달 동력의 비효율
	비효율 열전달 손실	건조 농축 등 공정에서 스케일 습도 등 문제로 비효율적 열전달
기타손실	수율 손실	부품 중간재 완제품의 불량으로 인한 무효에너지
	요금제 손실	요금제 선택에 따른 부과요금차이

른 개선대상을 도출해내는 데 어려움이 있다. 에너지 진단 전문기관은 대부분 에너지 손실분석표를 작성하지 않고 경험적, 직관적으로 개선사항을 도출한 후 해당 분야 전문업체와 협력하여 에너지 절감량과 투자비를 산정하는 것이 현실이다.

에너지손실을 경로손실, 변환손실, 누설손실, 공운전손실, 과잉손실, 관리손실, 전달손실, 수율손실의 8가지로 분류하고 설비 관리 유틸리티 영역에서 손실구조를 구체화하였다. 필자는 전력, 스팀, 연료, 압축공기, 용수분야에서 변환손실, 전달손실, 누설손실, 과잉손실, 저효율손실을 도출해내는 에너지손실 모델을 제시한다⁵⁾(표 6).

손실요소를 정의하고 손실량을 정량화하게 되면 이에 대한 개선방안은 용이하게 도출해낼 수 있다. 산업에서 가장 많이 제안되는 개선방안은 폐열 회수, 공기비 조정, 응축수회수, 히트펌프설치, 인버터설치, LED조명교체, 건조기/보일러열원교체,

소각로설치, 혐기조설치 등이나 지면관계로 상세한 설명은 하지 않기로 한다.

에너지 진단에서 에너지관리수준진단은 사실상의 이루어지지 않고 있으므로 필자 또한 본고에서는 언급하지 않기로 한다.

개선종합방안 및 과제별 수행방안 작성

개선방안 목록이 완성되면 각각의 과제별로 투자비와 에너지절감량을 산출하여 사업성분석을 거쳐 최종 개선방안종합장표를 작성하게 된다. 개선방안 종합장표는 전기(변압기, 공기압축기, 전동기, 펌프, 송풍기 등)와 열원부분(보일러, 냉동기, 공정열설비 등)으로 분류하여 개선방안과 에너지절감량, 절감률, 투자비와 투자비 회수기간 등을 정리한다. 과제별 수행방안에는 개선 대상설비의 현황과 개선 내용, 관련 성능지표 에너지 절감량과 그 산출내역,

〈표 7〉 에너지 진단 개선종합방안 사례

구 분	개선내용	절감량 (toe/년)	절감율 (%)	절감액 (백만 원/년)	투자비 (백만 원)	투자비 회수기간(년)	
전기	수배전설비	역률보상을 진상콘덴서 설치	8.95	0.36	3.06	9.5	3.1
	공기압축기	토출압력 하향조정	25.37	1.02	8.67	-	-
	전동기	유압펌프 모터절전기 도입	5.30	0.21	1.81	3.4	1.9
	소각로	Fan 회전수 제어	70.54	2.85	24.11	16.8	0.7
	진공펌프	설비교체(진공펌프→터보블로워)	99.42	4.01	33.98	10.0	2.9
	이송펌프	인버터에 의한 회전수제어	152.60	6.16	52.16	50.3	0.9
	소 계		362.18	14.61	123.79	90.0	0.7
열	폐열 보일러	연소공기 승온	41.9	1.69	3.24	12.0	3.7
	폐열 보일러	Blow-Down량 조정	25	1.01	0.42	0.08	0.2
	초지건조기	배기 절대습도 상향조정	23.3	0.94	0.34	2.0	5.9
	열수송설비	단열보온 강화	9.6	0.39	0.89	3.6	4.2
	소 계		99.8	4.03	4.89	17.68	3.6
합 계		461.98	18.65	128.68	107.68	0.9	

〈표 8〉 에너지 진단 과제별 수행방안 사례

대상설비	수배전설비	개선코드	355
개선안	역률보상용 진상 콘덴서 추가 설치		
현 황	2008년도 연평균 역률은 91(%)로 각 부하별 역률을 측정할 바 구동력부하의 일부분을 제외하고 대체로 저역률 현상을 보이고 있다. 이는 역률저하로 인한 선로손실이 발생된다.		
	개선 전	개선 후	
	- 2008년 12개월 평균 역률 : 91%	- 진상 콘덴서를 추가 설치 - 개선 역률 : 95%	
효과산출	1. 선로손실 계=4.9 kW 2. 연간 절감전력량=4.9 kW×8,500 시간/년=41,652.6 kWh/년 3. 연간 절감액=41,652.6 kWh/년×73.5원/kWh=3,061천 원/년 4. 예상투자비 : 9,500천 원(전력용 콘덴서 19개소 설치) 5. 투자비 회수기간 : 3.1년		
절감량	41,652.6 kWh/년	절감액	3,061천 원/년
투자비	9,500천 원	회수기간	3.1년

투자비와 투자비 회수기간 등을 포함한다. 표 7, 표 8은 개선종합방안 및 과제별 수행방안 작성 사례이다. 기존의 개선종합방안과 관련하여 두 가지 이슈가 존재한다. 첫째는 에너지 진단 및 손실요소의 정리방법론이 에너지시스템 관점에서 정립되지 못하고 에너지 설비를 중심으로 정립되어 있는 관계로 개선방안 또한 그에 종속되어 절감효과가 큰 다양한 에너지절감 개선안이 도출되지 못한다는 것이며, 둘째는 도출된 개선안이 전체 시스템에 미치는 영향이

나 개선안 상호 간에 미치는 간섭효과 분석을 결여하고 있어 개선안으로 제시된 모든 방안을 시행할 경우 절감량 총량을 달성하기 어렵다는 것이다.

에너지 절감방안의 도출은 단순한 고효율에너지설비 도입에 그치지 않고 에너지절감 3원리를 전력, 가스, 스팀, 압축공기, 용수의 관점에서 공정 및 에너지설비에 적용하여 도출하되 변환, 전송, 누설, 과잉, 저효율 등의 손실구조를 파악하고 손실을 제거하는 방법을 도출함으로써 개선방안을 이끌어내

어야 한다.

또한, 개선종합방안의 제시는 개별과제의 합체가 아니라 전체 시스템 관점에서 에너지소비량을 모델링하고 각각 과제의 적용에 따른 전체 시스템의 에너지 소비량 변화를 분석하여 절감량을 산출하여야 할 것이다.

미활용에너지 발굴을 위한 에너지 진단 방법론 제안

미활용에너지는 그동안 건물 공장에서 활용해 오지 않았던 에너지로 바닷물, 강물, 지열, 공정냉각수, 냉각탑냉각수, 폐수, 하수, 소각로, 지하공동구, 전기실, 기계실 등의 폐열이 그것이다. 우리나라의 에너지소비 중 약 60%가 폐열로 배출되고 있다고 할 정도로 버려지는 폐열은 넘쳐나고 있는 실정이다. 따라서 미활용에너지 활용의 관건은 에너지의 활용처를 찾는 것과 활용처에 적합한 형태로 변환시키는 기술과 비용이 관건이 될 것이다.

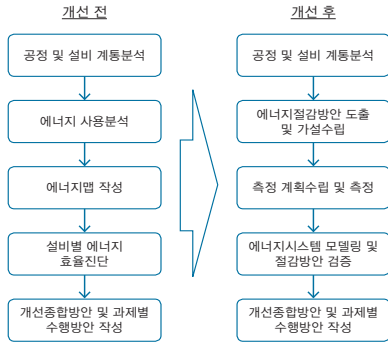
미활용에너지의 활용을 위해서는 공정 및 설비 계통을 분석하고 우선 건물 또는 공장의 운영과 관련한 각각의 공정에서 에너지의 입출력과 그 형태와 양을 산정하며 재활용 가능한 공정으로의 변환관계를 설명하는 에너지시스템 모델을 작성하여야 한다. 전력, 온수, 스팀, 고온공기 등 에너지가 투입되는 부분과 방산열, 배기열, 냉각수열, 제품함유열이 방출되는 공정을 최소단위로 기술하여야 미활용에너지와 활용처의 발굴이 용이해진다. 특히 온수, 스팀, 고온공기의 생산과정에서는 연료, 보충수, 흡입공기가 함유하고 있는 열량까지 고려하여 모델을 작성하여야 미활용에너지를 다양하게 재활용할 수 있다.

공정을 최소 단위까지 분할하여 모델링하는 것이 중요한데, 예를 들어 공정폐수 처리과정을 침전-혐기성소화 같이 통합공정으로 모델링할 경우 에너지의 입출력을 발견하기 어렵다. 침전-유량조

정조-승온-내부순환혐기소화-강온과 같이 세부 공정으로 분해하여 모델링할 경우 내부에 감춰진 에너지 입출을 발견하고 그만큼 미활용에너지의 활용기회가 증대되는 것이다.

미활용에너지 활용을 위한 에너지 진단의 2단계는 에너지 절감방안의 도출 및 가설수립이다. 공정의 속성과 해당 공정에 사용되는 설비를 알면 적용 가능한 미활용에너지 활용방안을 개략적으로 알 수 있다. 이미 알려진 미활용에너지 활용방안 테이블 중 예상 에너지절감량과 투자비를 고려하여 적용 가능성이 높다고 판단되는 방안을 선정한다. 공정에 입력되는 에너지의 형태는 40℃ 내외의 저온수, 60℃ 내외의 중온수, 80℃ 이상의 고온수, 2 kg/cm² 내외의 저압스팀, 7 kg/cm² 내외의 중압스팀, 1℃ 내외의 저온냉수, 7℃ 내외의 냉수 등이 있다. 미활용에너지를 곧바로 공정에서 요구하는 형식의 에너지를 제공하기에는 제한적일 수 있다. 중온수 히트펌프, 고온수 히트펌프, 스팀히트펌프 등을 사용하면 활용범위가 크게 확장 가능하며 보일러에 투입되는 연료, 보충수, 공기 등의 온도는 대체로 5℃에서 25℃ 사이이므로 연료, 보충수, 흡입공기, 예열 등에 사용할 경우, 미활용에너지의 활용범위는 매우 넓다고 할 수 있다. 여기서 열교환시 분진이나 스케일의 농축으로 열교환효율이 떨어지거나 저온부식으로 인해 열교환기가 파손되는 경우를 고려해야 하는데 은 세정식 열교환기나 물 유동층 열교환기가 대안이 될 수 있다.

미활용에너지 활용을 위한 에너지 진단의 3단계는 측정계획의 수립 및 측정이다. 2단계에서 도출한 미활용에너지 활용방안의 성과예측을 위해 회수 가능한 열량을 산정하여야 한다. 이를 위해서는 풍량, 온도, 습도를 측정하여야 한다. 기존의 진단방법론에서는 에너지절감방법에 대한 고려 없이 일정 설비의 일정 요소를 측정하여 측정비용과 노력이 과다하게 소요되었고 에너지절감방안의 검증



[그림 9] 에너지 진단 방법론 개선 전과 개선 후 비교

에 정확하게 활용되지 못하는 경우도 많았다. 새로운 방법론에서는 2단계에서 도출한 미활용에너지의 활용방안과 무관한 요소는 측정할 필요가 없다는 점에서 기존방법론과 차별화된다.

미활용에너지 활용을 위한 에너지 진단의 4단계는 에너지시스템의 모델링 및 미활용에너지 활용방안의 성과 예측이다. 모델링 및 성과예측은 앞에서 설명하였으므로 생략한다. 5단계는 기존의 방법론과 동일하므로 설명을 생략한다(그림 9).

맺는말

미활용에너지의 발굴을 위해 가장 중요한 것은

기존의 공정분석에서 벗어나 에너지의 입출력을 중심으로 공정을 재해석하는 것이다. 에너지는 전기, 가스, 온수, 스팀, 용수, 압축공기를 모두 고려하되 열의 흐름과 열로 변환되는 부분을 중점적으로 분석하여야 한다. 열을 전달하는 매체 또한 공기, 연료, 온수, 냉수, 냉각수, 스팀 최대한 자세하게 나누어 분석해보면 발굴된 미활용에너지를 더욱 다양하게 재활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 하영진, 박수억, 2000, EXERGY기법을 이용한 산업체 에너지진단기술, 한국에너지기술연구소.
2. 공동석, 김두환, 장용성, 허정호, 2014, 성능진단 데이터로 보정된 모델을 이용한 기존건축물 시뮬레이션 기법, Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 26, No. 5, pp. 231-239.
3. 신영기, 2013. 5, 실시간모델기반 건물에너지 진단연구, 대한설비공학회, 설비저널, Vol. 42.
4. (사)한국그린비즈니스협회, 2013, 중소기업의 제조공정 자가진단 매뉴얼.
5. 한문규, 2005, 에너지관리혁명(I). 