

# 공조시스템에너지진단지침서

김천용

한미설비(주)(cykim@hanmitab.co.kr)

## 서론

### 배경

에너지자원 고갈과 온실가스 배출에 따른 지구온난화가 세계적 직면 과제로 대두된 오늘 날, 전체 에너지 소비량의 약 30%를 차지하고 있는 건축분야에서의 에너지 소비 감축이 중요한 과제로 떠오르고 있다. 그러나 건축분야는 타 산업분야와는 달리 건축행위의 결과물인 건물이 긴 생애주기를 갖는 특징이 있다. 이러한 특징으로 인해 신축 건물의 에너지 효율 향상은 물론, 기존 건물에 대한 에너지 효율 관리 및 개선이 건축분야의 에너지 소비 감축에 있어 매우 중요한 부분을 차지하게 된다. 때문에 기존 건물의 에너지에 대한 관리가 체계적이고 효율적으로 이루어져야 하지만 실제로는 그렇지 못한 것이 현실이다. 정부도 이 같은 사실을 인지하고 2006년부터 연간 2000 toe 이상을 소비하는 사업자의 시설에 대한 에너지 진단을 의무화 하였다. 지난 5년간 정부와 진단기관들의 노력으로 에너지 진단 제도가 자리를 잡게 되었고 이에 따라 관계자들도 건물 에너지관리의 중요성에 관심을 갖게 되었다. 그러나 기존 건물에서의 효과적인 에너지 절약을 위해서는 건물 에너지에 대한 에너지 진단이 보다 체계화, 객관화될 필요가 있으며, 전문가에 의한 일시적인 에너지 진단은 물론 건물 관리자에 의한 자체적인 진단·감시·관리가 상시 이루어져야 할 것이다.

이러한 배경에서 건물 에너지 소비량의 절반 이상을 차지하고 있는 건물의 공조시스템에 대한 에너지 진단 방법을 체계화, 객관화하고, 누구나 쉽게 그 내용을 활용할 수 있도록 공조시스템 에너지 진단에 대한 지침서를 작성하였다. 본 지침서를 통해 전문가부터 실제 건물 관리자에 이르는 다양한 관계자들이 건물 공조시스템의 에너지 효율 향상에 기여할 수 있기를 바란다.

### 지침서 구성

지침서는 크게 조사분석, 진단착안점, 진단엔지니어링 및 경제성분석, 측정 및 조사, e-Audit 프로그램 소개로 구성되어 있다.

조사분석에는 건물 공조시스템에 대한 본격적인 에너지 진단을 수행하기에 앞서 이루어져야 하는 건물의 에너지 사용설비, 기존 에너지 사용 현황 등에 대한 조사, 분석 방법을 수록하였다. 또한 복잡성으로 인해 기존에 생략되었던 건물의 에너지 부하 분석의 필요성과 그 방법을 소개하였다.

진단착안점은 건물 유형별 진단 착안점과 각 시스템별 진단 착안점으로 구성되어 있다. 건물 유형별 진단 착안점에서는 건물을 사무용, 상업용, 병원, 호텔로 구분하고 각 유형별 에너지 및 운영 특성과 그에 따른 진단 착안점을 수록하였다. 각 시스템별 진단 착안점에서는 건물 공조시스템을 구성하는 보일러, 냉동기, 공기조화기, 반송설비, 자동 제어, 건축요소, 신재생 에너지에 대한 진단 착안점

을 다루었다.

진단 엔지니어링 및 경제성분석에서는 보일러, 냉동기, 반송설비, 건축요소에 대한 구체적인 엔지니어링 계산과 경제성분석 방법을 다루었다. 이외에 실제 진단 및 분석 사례, 기초적인 설비 관련 공식, 공사비 산출 방법을 수록하여 독자의 이해를 돕도록 구성하였다.

측정 및 시험기준에는 각 설비에 대한 구체적인 측정 방법 및 시험기준을 수록하였으며, 마지막 e-Audit 소개 부분에서는 에너지·자원기술개발 사업을 통해 개발된 진단 보조 프로그램 e-Audit에 대해 소개하였다.

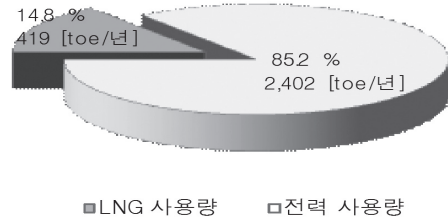
본 원고에서는 지침서 내용 중 일부를 요약하여 소개하였다.

## 공조시스템 에너지 진단 지침

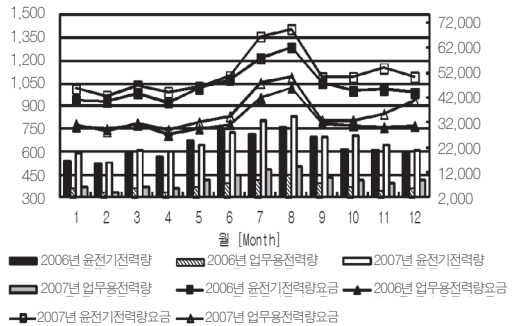
### 조사분석

건물공조시스템에 대한 에너지 진단은 기존 현황을 파악하는 것에서 시작된다. 기본적으로 준공연도, 연면적, 건물용도 등의 건물 일반 개요에서부터 건물 운영 패턴, 연간 에너지 사용량 및 에너지 비용, 각종 설비 종류 및 수량, 용량 등을 조사·수집한다. 수집한 자료를 바탕으로 에너지 사용 분포, 월별 사용량 및 요금, 설비별 사용 분포 등을 분석함으로써 주 에너지원, 주 사용설비, 건물의 에너지 이용패턴 및 특이사항을 파악할 수 있다(그림 1.2 참조).

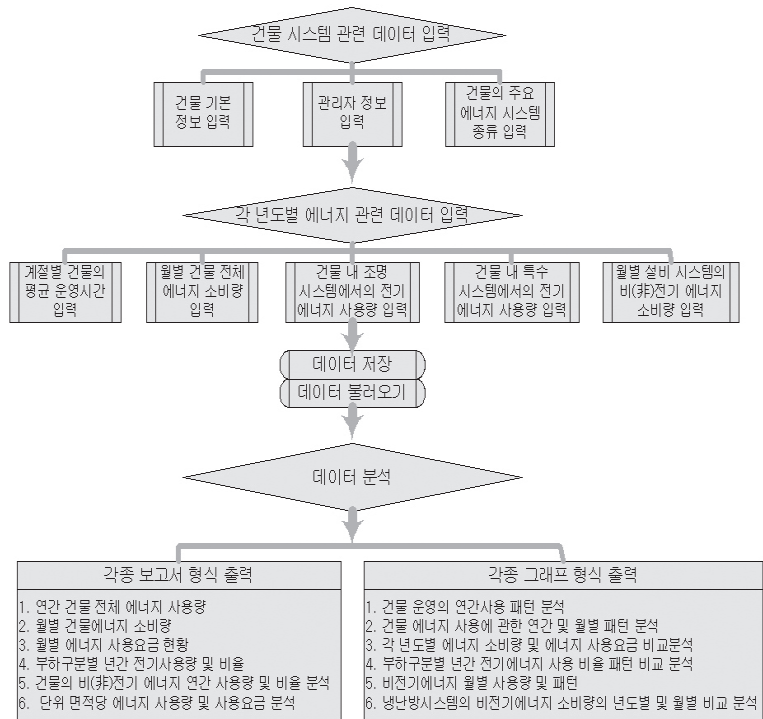
이러한 정보는 추후에



[그림 1] 연간 에너지 사용분포 예시



[그림 2] 월별 전력사용량 및 요금 분석 예시



[그림 3] BEST의 프로그램 진행절차

너지 진단을 진행하는데 있어 진단 아이টে를 도출하기 위한 바탕이 되기 때문에 체계적인 자료 수집·정리 및 분석은 에너지 진단에 있어 중요한 단계라 할 수 있다. 한미설비(주)와 동의대학교는 이러한 분석 과정을 지원하기 위해 에너지·자원기술개발사업을 통해 BEST(Building Energy Screening Tool)를 개발하였으며, 본 프로그램을 활용함으로써 보다 체계적이고 객관적인 자료 분석이 가능할 것으로 기대하고 있다(그림 3 참조).

건물의 부하분석은 건물의 냉난방과 관련한 고유의 물리적인 특성을 파악하는 과정으로써 HVAC 및 제어시스템의 적정성 검토, 공조시스템 에너지 진단에 따른 운전비 산출, 경제성 검토에 있어 매우 중요한 항목이라 할 수 있다. 그러나 에너지 진단을 포함한 많은 영역에서 그 복잡성으로 인해 부하 분석이 생략되어왔던 것이 사실이다. 그러나 건물 성능의 정량적 분석에 대한 요구가 증대되고 건물의 부속시스템이 복잡해지고 상호 유기적인 연관관계를 가지는 특성이 강해지고 있으며 자연적인 에너지를 활용하는 패시브 디자인의 적용이 일반화되어감에 따라 건물의 종합적인 성능평가를 수행할

수 있는 부하 분석 도구의 필요성이 증대되고 있다. 보다 객관적이고 정확한 공조시스템의 에너지 진단을 위해 부하 분석 도구의 활용이 보다 보편적으로 널리 이용되길 기대한다(표1 참조).

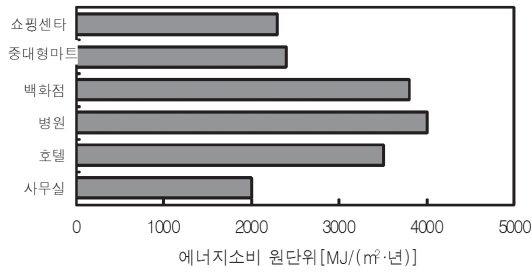
**진단착안점**

건물의 에너지관리는 소비되는 에너지가 ‘언제’, ‘어디서’, ‘어느 정도’, ‘무슨 목적으로’ 소비되는지를 파악하는 것에서 시작된다. 이러한 에너지 소비 특성은 건물의 용도 및 연면적에 의해 크게 좌우되므로 건물의 용도에 따른 일반적인 특성을 파악함으로써 진단착안점을 도출할 수 있다(그림 4~6 참조).

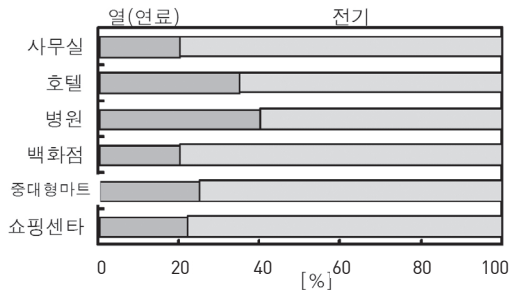
이러한 관점에서 사무용 건물의 경우 시간대별 에너지소비패턴을 바탕으로 절약 착안점을 도출할 수 있다(그림 7 참조). 그림 8은 사무용 건물의 시간대별 에너지소비패턴을 나타낸 것이다. 업무시작 전 시간대에는 공조 위밍업에 많은 에너지가 소비되므로 이 시간대에 소비되는 에너지를 줄이기 위해 건물 동측 창의 블라인드 조정, 나이트 퍼지 활용, 부하대응이 빠른 관류보일러 사용 등의

〈표 1〉 미국 및 EC에서 개발된 건물에너지 해석 프로그램

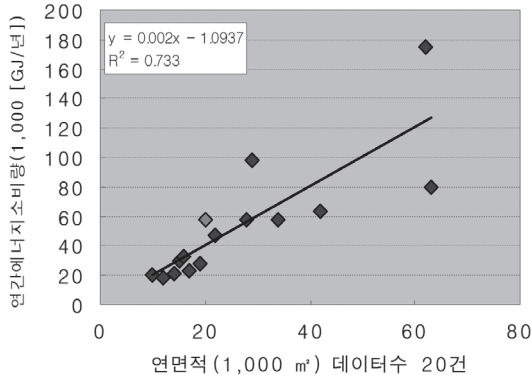
프로그램명(국명)	정적 부하 계산	동적 부하 계산	비고	프로그램명(국명)	정적 부하 계산	동적 부하 계산	비고
ADMITTANCE (아일랜드)	○	×		HEATGAIN (영국)	×	○	공조부하
ASRAM (미국)	○	×		HVACSIM+ (미국)	×	○	공조시스템
ATKOOL (영국)	○	×		KLIMASIM (네델란드)	×	○	
BA-4 (덴마크)	○	×		LOSALAMO (미국)	○	×	태양열
BLAST 3.0 (미국)	×	○	공조시스템	LPB (벨기에)	○	×	태양열
BLOCK LOAD (미국)	×	○	공조부하	METHOD5000 (프랑스)	○	×	태양열
CALSWING (미국)	○	×		NBSLD (미국)	×	○	공조시스템
CAMEL (호주)	×	○	공조부하	PASOLE (영국)	×	○	태양열
CARRY (영국)	×	○	공조시스템	SPIEL (영국)	○	×	태양열
COSAMO (프랑스)	○	×	태양열	SUNCOE (미국)	×	○	태양열
DEROB (미국)	×	○	태양열	SUNPAS (미국)	○	×	태양열
DOE-2 (미국)	×	○	공조시스템	TFMTAB (미국)	×	○	공조부하
ESP-r (영국)	×	○		THERM (영국)	×	○	
EURSOL (아일랜드)	○	○	태양열	TRAKLOAD (미국)	○	×	공조시스템
F-CHART (미국)	○	×	태양열	TRNSYS (미국)	×	○	공조시스템



[그림 4] 건물 용도별 에너지소비 원단위

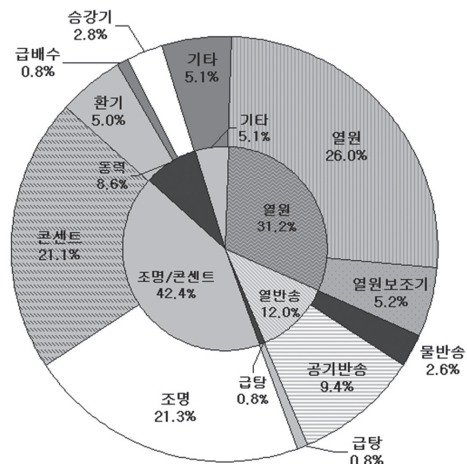


[그림 5] 건물 용도별 열(연료) 과 전기의 소비비율

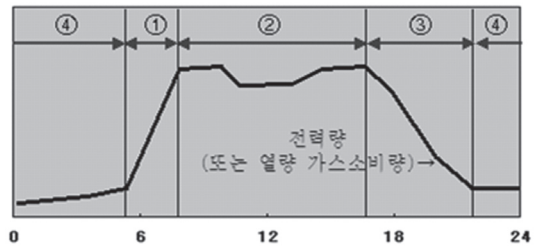


[그림 6] 사무용 건물의 연면적과 에너지소비량의 상관관계 (임대율 60% 이상, 자체열원 보유)

방안을 검토해 볼 수 있다. 피크 시간대는 하루 중 가장 많은 에너지가 소비되는 시간대로 설비의 운전 효율을 관리가 중요한 에너지 절약 포인트가 된다. 실내 냉난방 설정온도와 외기 도입량을 조절하는 방법 등이 있다. 연장근무시간대에는 건물 중 일부만이 사용되므로 부분부하에 대한 에너지 효율을



[그림 7] 사무용 건물의 에너지소비 구성도 (임대율 60% 이상, 자체열원 보유)



[그림 8] 시간대별 에너지 소비 패턴

제고하기 위해 구획의 설정 및 설비의 부분운전 효율관리가 중요하다. 비근무시간대에는 기저부하를 줄여 낭비를 줄이도록 해야 한다.

사무용 건물 외, 상업용 건물, 병원, 호텔 등에 대한 내용은 지면 관계상 생략하였다.

건물 용도에 따른 특성을 파악하고 에너지절약을 위한 큰 그림을 그렸다면, 이제 보다 세부적으로 접근할 필요가 있다. 건물 공조에 소비되는 에너지를 줄이기 위해서는 공조시스템을 구성하고 있는 보일러, 냉동기, 공기조화기, 반송설비, 자동제어, 건축요소, 신재생에너지 등 각 시스템의 효율관리 및 효율적 운용이 무엇보다 중요하다.

**표 2**는 대표적인 공조설비 중 하나인 냉동기에

대해 운전스케줄, 운전온도, 열전달 효율, 열방출 장치, 펌프, 압축기, 냉매 상태 등과 관련한 진단착안점들을 나열한 것으로, 냉동기에서 소비하는 에너지를 절약하고자 한다면 이를 중심으로 검토해보아야 할 것이다.

냉동기 외 각종 시스템에 대한 내용은 지면 관계상 생략하였다.

### 진단엔지니어링 및 경제성 분석

각 시스템에서 소비되는 에너지를 절약하고자 한다면 위에서 다루었던 진단착안점들을 바탕으로 현실성 있는 아이টে를 선정하여 구체적인 절감

량 산출, 경제성 분석을 함으로써 적용성을 검토해보아야 할 것이다. 이러한 분석은 각 시스템에 대한 공학적 지식과 엔지니어링 계산을 필요로 한다. 때문에 각 아이টে에 대한 절감량 산출은 복잡한 듯 보이지만 결국에는 ‘에너지가 빠져나가는 것을 얼마나 차단하였는가’, 혹은 ‘시스템의 효율이 얼마나 향상되었는가’로 귀결된다. 상당수의 아이টে에 대해서는 이미 검증되어 보편적으로 이용되고 있는 분석방법이 있으므로 이를 따르면 될 것이다.

경제성 분석은 LCC(Life Cycle Cost)를 기초로 한다. **그림 9**는 LCC를 구성하는 비용항목을 나타낸 것으로 LCC는 각 장비의 전생애주기에 걸쳐 투

<표 2> 냉동기 계통의 진단착안점

운전스케줄 운전순환	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 전체 운전비를 최소화할 수 있도록 각 냉동기별로 냉방부하 분배한다.</li> <li>● 냉방부하가 없을 때 전체 냉동기설비를 정지할 수 있는 자동 제어기를 설치한다.</li> <li>● 냉동기가 정지하였을 때 대응하는 냉각수 장치를 정지하거나 해당 냉동기로의 냉각수 이송을 정지한다.</li> <li>● 여러 대의 냉수용 냉동기가 있는 설비에서는 냉수펌프의 가동을 최소화하거나 작동하지 않는 증발기로의 냉수 순환을 정지한다.</li> <li>● 전원절환 장치를 설치하여 예비펌프의 불필요한 운전을 방지한다.</li> <li>● 오랜 기간 정지할 경우에는 압축기 용기에 있는 오일히터의 전원을 끈다</li> </ul>
최적의 운전 온도	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 가능한 한 냉수 공급온도를 높게 유지한다.</li> <li>● 응축온도를 최적화한다.</li> </ul>
응축기와 증발기의 열전달 효율	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 개방형 냉각수 시스템의 경우 응축기의 냉각수 측을 정기적으로 청소한다.</li> <li>● 냉수제조용 냉동기의 경우, 증발기의 냉수 측을 적절한 간격으로 청소한다.</li> <li>● 수랭식 응축기를 가진 냉동설비의 경우, 지속적으로 냉각수를 측정하고 수처리한다.</li> <li>● 수랭식 냉동장치에서, 물 소비를 최소화하면서 적절한 물의 상태를 유지할 수 있는 물 배출량(bleed rate)을 조절한다.</li> <li>● 냉수제조용 냉동기의 경우, 증발기의 전열관에 난류형성기(turbulator)를 설치한다.</li> </ul>
열방출 장치 (heat rejection system)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 냉방부하에 따라 열방출장치의 팬 출력을 조정한다.</li> <li>● 멀티셀(multi-cell)형 열방출 장치의 경우, 팬 운전의 정도와 순서를 효율적으로 배열한다.</li> <li>● 열방출 장치를 적절한 간격으로 청소한다.</li> <li>● 중력식 물 분배 계통을 가진 냉각탑의 경우, 적절한 물 분배를 확보하여야 한다.</li> <li>● 열방출 장치의 틀(housing)과 부속품(fitting)은 손상되지 않아야 한다.</li> <li>● 같은 열방출장치 또는 인접한 열방출장치로 공기가 재순환하는 것을 피해야 한다.</li> </ul>
펌프	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 시스템에서 요구하는 유량과 압력에 맞추어 펌프의 배출량을 조정한다.</li> <li>● 변유량(variable-flow) 냉수 분배 시스템을 설치한다.</li> <li>● 고효율의 경제적인 펌프용 모터를 장착한다.</li> </ul>
압축기	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 만약 압축기 모터가 고장이 났다면, 보다 효율적인 모터로 교체한다.</li> <li>● 비효율적인 압축기는 효율적인 압축기로 교체한다.</li> <li>● 원심식 냉동기의 경우, 가변속(variable-speed) 압축기 드라이브를 설치한다.</li> </ul>
냉매 상태	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 냉동기의 누설을 수리한다.</li> <li>● 적절한 냉매 충전량을 유지한다.</li> <li>● 추기장치(purge unit)를 적절하게 운전한다.</li> <li>● 장시간 냉동기가 가동하지 않을 때, 증발기와 응축기의 물을 배출(drain)한다.</li> </ul>
저부하 냉방 시, 효율적인 시스템 구성방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 냉동기와 부속장치의 용량을 적절하게 분배하여, 냉동기가 저부하로 운전되는 것을 피한다.</li> <li>● 부하가 낮은 기간에 중앙식 냉방설비가 운전을 정지할 수 있도록 별도의 분산형 냉방장치를 설치한다.</li> </ul>
냉수 냉각에 낮은 외기온도 이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 냉동기를 가동하지 않는 냉방방법인 “프리쿨링(free cooling)”이 가능하게 냉동기를 개조한다.</li> <li>● 냉각탑과 연결된 열교환기를 이용하여 냉수를 냉각한다.</li> <li>● 여과 장치(strainer system)를 설치하여 냉각수를 냉수로 직접 사용한다.</li> <li>● 별도의 냉수코일을 이용하는 “냉수 측 이코노마이저” 장치를 설치한다.</li> <li>● 냉수순환 장치에 공기를 이용하여 냉각하는 밀폐형 냉각장치를 설치한다.</li> </ul>

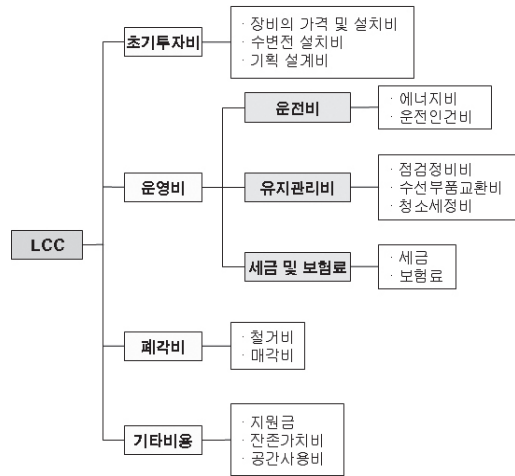
입되는 비용을 의미한다. 많은 발주자들은 초기투자비에 가장 민감하게 반응하지만 초기투자비 못지않게 중요한 것이 바로 운영비이다. 특히 화석연료 고갈과 지구온난화가 심화됨에 따라 에너지 가격이 상승하고 있어 운영비 중에서도 운전비 부분이 차지하는 중요도가 날로 커지고 있다. 따라서 각 아이টে에 대한 LCC 분석은 가장 비용 효율적인 개선 방안을 도출하는데 있어 매우 중요한 과정이라 할 수 있다.

### 측정 및 시험기준

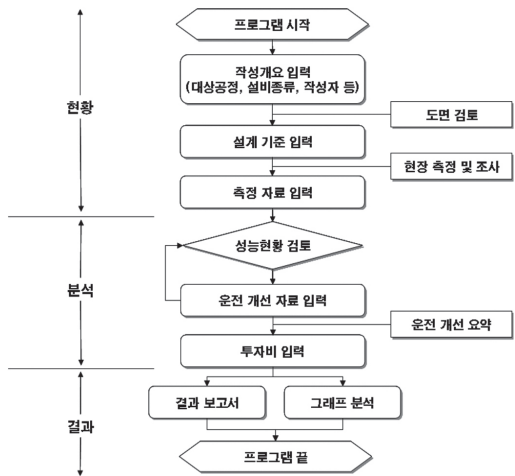
앞에서 언급한 진단에너지니어링 및 경제성 분석은 각 시스템의 현재 상태를 정확하게 파악하는데서 시작되므로 시스템에 대한 객관적 측정 및 시험은 매우 중요한 과정이라 할 수 있다. 다행히 우리가 필요로 하는 각 시스템 성능 및 효율에 대한 측정, 시험 기준이 대부분 제정되어 있으므로 이를 준수하도록 한다.

### e-Audit 프로그램 소개

현재까지 많은 양의 진단 기술 자료가 축적되었지만 이에 대한 일반인들의 접근이 용이하지 않고, 또 어떻게 이용해야하는지 알지 못해 실제 현장에 이를 적용하는 것은 다분히 전문가의 영역으로만 치부되어 왔다. 때문에 전문적인 진단 기술력을 확보하고 있는 진단전문 기관에 진단을 의뢰함으로써 시간과 비용을 부담해야 했다. 더군다나 전문 기관의 신뢰성 확보의 여부도 문제가 있는 것이 현실이다. 본 e-Audit 프로그램은 누구라도 쉽게 이용할 수 있도록 개발된 도구로, 편리하면서도 정확하게 에너지 진단을 수행할 수 있도록 지원한다. **그림 10**은 e-Audit의 프로그램 진행절차를 나타낸 것으로 현장 측정 자료와 개선 자료를 입력하는 것만으로 체계화된 분석결과를 얻을 수 있음을 보여준다. 현재 보일러 연소효율 개선, 고효율 전동기, 인버터 제어, 외기 취입 냉방에 대해 개발되어 있



[그림 9] 건물 용도별 에너지소비 원단위



[그림 10] e-Audit의 프로그램 진행절차



[그림 11] e-Audit의 보일러 연소효율 개선 시작화면

다. e-Audit을 통해 전문가는 물론 누구라도 자신이 가장 잘 알고 있는 자신의 현장에서 스스로 주인 의식을 가지고 직접 객관적이고 체계적인 에너지 진단을 수행할 수 있기를 기대한다(그림 11 참조).

### 맺음말

건물 공조시스템에 대한 에너지 진단과 그에 따른 관리, 개선은 기존 건물에서의 에너지 절약에

있어 핵심적인 요소이다. 그러나 공조시스템에 대한 에너지 진단이 객관적, 체계적으로 이루어지지 못하고 있으며 전문인력에 의한 일시적 진단에 의존하고 있는 것이 현실이다. 본 공조시스템 에너지 진단지침서를 통해 보다 체계적, 객관적인 에너지 진단이 이루어지길 바라며, 전문인력 뿐만 아니라 건물주, 관리자, 사용자에 의한 에너지 관리가 효율적으로 이루어지길 바란다. ⑩