

건물의 에너지 효율분석을 위한 성능개선 사례

이현수, 성노천, 장원복
(주)한일엠이씨

일반원고

1. 서론

최근 고유가 시대에 ‘저탄소 녹색성장’이라는 새로운 변화를 맞이하고 있다. 따라서 이제는 에너지절약뿐만 아니라 에너지를 어떻게 효율적으로 사용하느냐가 에너지 절약을 위한 첫 번째 대안이라 생각한다.

특히 여러 가지 다양한 건물들 중 에너지 소비량이 큰 호텔이나 백화점 같은 대규모 에너지 소비 건물은 이러한 부분에 더욱 더 초점을 맞추어 나가야 할 필요가 있다.

결국 건물에서의 에너지 효율 분석이라 함은, 현재 건물에서의 정확한 에너지 사용량을 검토하고, 각 부문별(건축, 기계, 전기 등)시스템 검토와 운

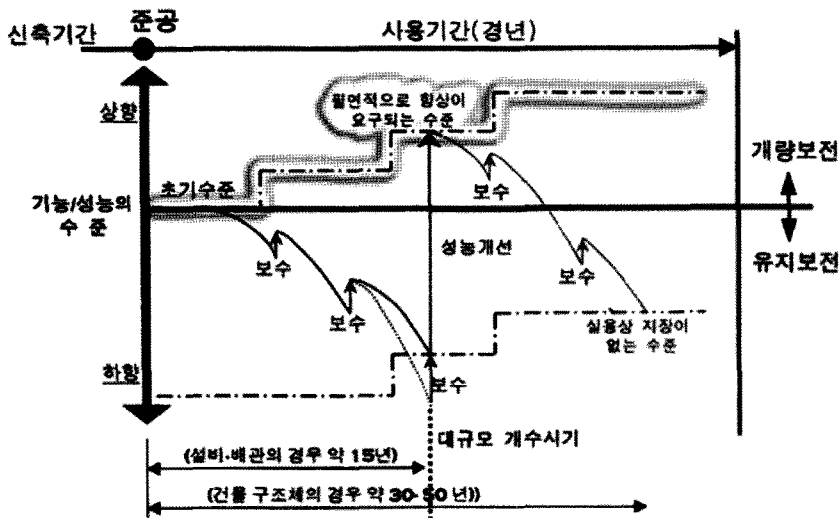
전방법 및 상태 등을 종합적으로 진단하여 분석한 후 그 결과를 바탕으로 건물의 성능개선을 목표로 두고 분석하는 것이라 할 수 있다.

이에 본 고에서는 준공 후 약20년 이상된 대규모 호텔건물을 선택하여 시스템검토 및 현장점검(자료검토, 1, 2차 진단, 성능 평가 등)을 통해 도출된 문제점을 바탕으로 건물에서의 에너지 효율을 위한 성능개선 사례에 대해 소개하고자 한다.

2. 에너지 효율 분석

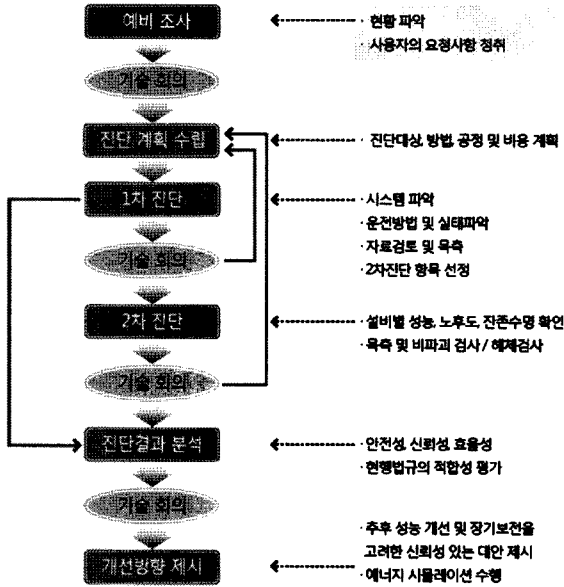
2.1 에너지 효율 분석 절차

사전조사 사항을 바탕으로 시설의 종류 및 중요도, 진단의 방법 및 업무의 효율성을 고려하여 단계적(예비조사, 1차 진단, 2차 진단)으로 시행하



[그림 1] 건물의 에너지 효율 분석 시기

일반원고

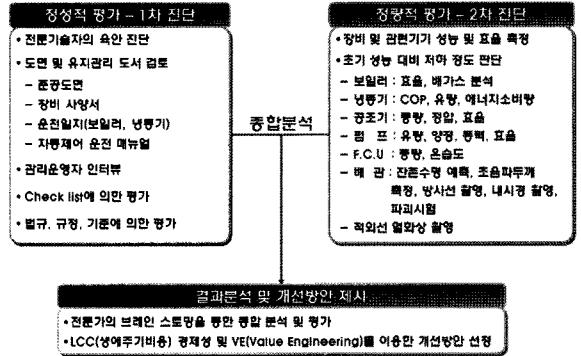


[그림 2] 에너지 효율분석 절차

고, 단계별 체계적이고 전문적인 검토 및 분석기법을 통해 효과적인 결론을 도출하며, 하드웨어 진단(기계 및 전기 등 기기의 노후화)은 물론 소프트웨어 진단(시설의 기능과 이용의 상태, 이용자와 운용관리자의 의견)을 통해 시설의 기능성과 쾌적성을 동시에 고려하여 최적의 개선방안을 도출한다.

<표 1> 열원 구성

구분	형식	용량	수량	비고
냉열원 장비	흡수식 냉동기	690 RT	2 EA	냉방용
	터보 냉동기	979 RT	2 EA	냉방용
	흡수식 냉온수기	360 RT	2 EA	냉방용
	직교류형 냉각탑	1,184 CRT	1 SET	터보 냉동기용
		1,240 CRT	1 SET	흡수식 냉동기용
온열원 장비	노통연관식 증기보일러	1,290 CRT	1 SET	흡수식 냉온수기용
		8,000 kg/h	3 EA	냉?난방, 급탕, 사우나, 주방용
	열교환기	360,000 kcal/h	1 EA	난방용
		234,000 kcal/h	1 EA	난방용



[그림 3] 에너지 효율분석 평가 방법

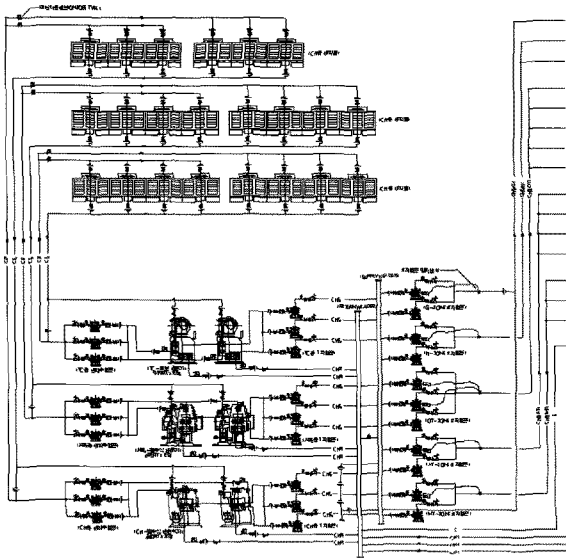
2.2 에너지 효율 분석 평가 방법

에너지 효율 분석을 위한 평가 방법은 크게 3가지로 분류할 수 있으며, 첫째, 육안진단/도서검토/인터뷰 등을 통한 정성적 평가와, 둘째, 장비 및 관련 기기의 성능 및 효율 측정 등을 통한 정량적 평가, 셋째, 두가지 방법을 종합적으로 분석하여 경제성을 고려한 개선방안을 선정하는 방법으로 나뉜다.

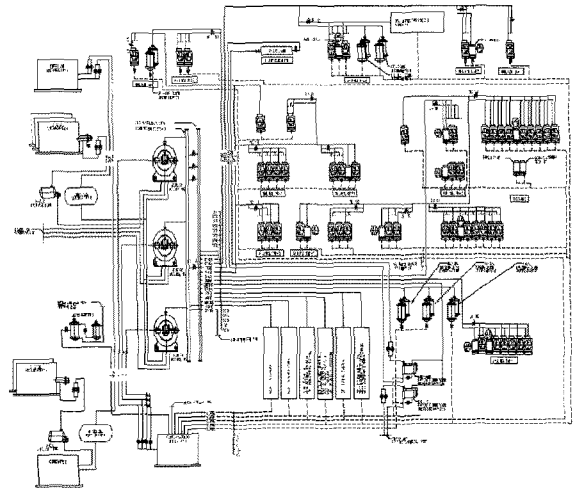
3. 에너지 효율 분석 내용

3.1 열원 설비

대상 건물의 냉열원 장비는 터보냉동기와 흡수식 냉동기, 용도가 변경된 흡수식 냉온수기로 구



[그림 4] 냉열원 흐름도



[그림 5] 온열원 흐름도

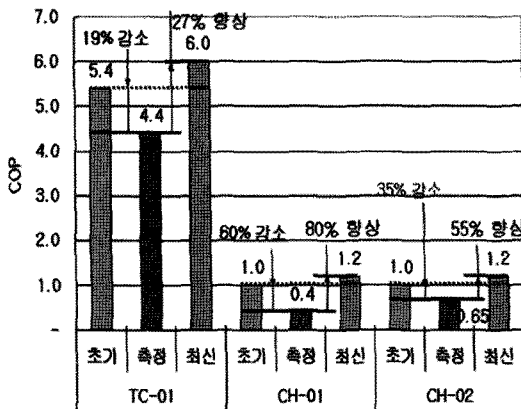
성되어 있다.

현재 터보냉동기는 수전용량 관계로 건물 완공 후 초기에 한번만 2대를 동시에 가동하였으며, 그 이후로 현재까지 1대씩 교번운전을 하고 있다.

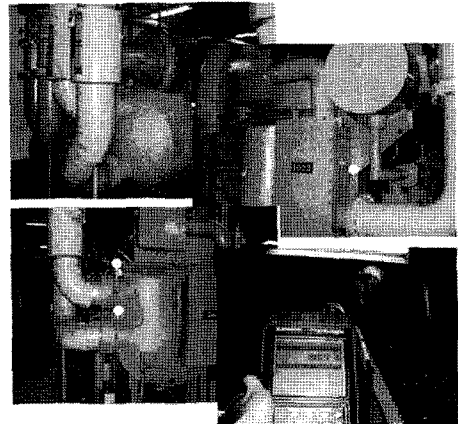
따라서 하절기 피크시에는 터보냉동기 1대 대신, 흡수식 냉온수기 2대를 건물의 주 열원으로 사용하고 있다. 중간기 및 동절기에는 호텔 객실 부만의 냉방을 담당하고 있다. 흡수식 냉동기는

증기보일러에서 8 kg/cm²의 증기를 공급받아 냉수를 생산하고 있으며, 냉열원장비의 2차측 냉수 입출구 온도의 설계조건은 13℃/7℃로서, 온도차 6℃로 운전되도록 설계되어 있다.

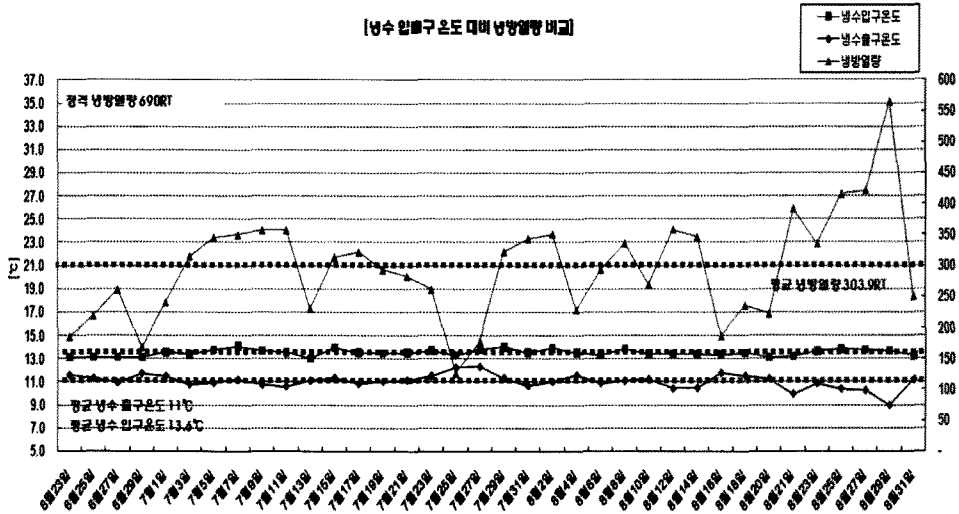
냉열원 시스템의 2차측 터미널 유닛 장비용량 변화를 분석한 결과, 일부 공조기의 냉수코일이 20% 상향되어 교체되었고, 용도변경 및 추가에 따른 공조기 신설로 인해 전체적인 장비의 냉방



[그림 6] 냉열원 성능 측정



[냉수 입출구 온도 대비 냉방열량 비교]



[그림 7] 흡수식 냉동기 운전일지 분석

코일열량은 초기에 비해 약 11%가 증가된 것으로 나타났다.

호텔이라는 건물의 용도 및 부하 특성상 각 존에 대한 동시 피크 부하율은 일반 사무용 건물 등에 비해 낮다. 따라서 2차측 터미널 유니트의 용량 증설은 안정적인 냉방성능 확보측면에서 큰 문제는 없으나, 향후 공조기 신설 등과 같이 2차측 용량이 증가할 경우 예는 안정적인 시스템 운영을 위해 순환펌프에 대한 용량 재검토가 필요하다.

운열원 장비로는 노통연관식 증기보일러 8 ton/h 3대가 설치되어 있으며, 냉·난방, 급탕, 사우나, 주방 등의 용도로 사용되고 있다. 현재는 증기공급 감소로 인해 전체적인 증기 사용량은 줄어든 것으로 나타났다.

냉열원 장비의 성능측정은 장비가 최대 부하율로 운전이 가능한 시기, 즉 하절기 7~8월에 측정하는 것이 바람직하나, 측정시기상 그렇지 못했던 관계로 현재 운전조건을 기준으로 장비를 측정하였다. 따라서 좀더 구체적인 장비의 성능 및 부하패턴을 알아보기 위해 운전일지를 분석하였다.

현장에서 운전일지에 기록된 각 측정값(온도,

압력, 전기 소비량 등)을 실측하여 비교한 결과 큰 차이를 보이지 않았으므로, 운전일지 분석에 의한 data 결과 값에 큰 오차는 없을 것으로 판단된다.

흡수식 냉동기는 입력에 해당되는 Steam의 사용량을 측정할 수가 없으므로, 냉방열량과 냉수 및 냉각수의 입출구 온도에 대한 분석만 이루어졌다. 정격 690 RT 대비 50% 이하의 저부하로 운전되고 있었으며, 냉수 출구온도도 10℃ 이상으로 높아서 장비의 성능이 많이 저하된 상태인 것으로 나타났다.

흡수식 냉동기는 성능이 크게 저하되어 있는 상태이며, 1대로도 운전이 가능한 부하패턴에서도 2대를 동시에 운전하고 있어서 장비 부하율은 낮은 편이다. 장비가 저부하 상태로 운전되는 것과 성능이 저하된 장비와 성능이 양호한 장비의 병렬 운전은, 장비 및 냉방 시스템 효율면에서 효율적이지 못하다. 또한 전체적인 에너지 소비도 증가하게 되므로 운전비 상승의 원인이 되기도 한다.

냉각탑은 옥외에 노출되어 있으므로 전반적으로 부식이 많이 진행된 상태지만, 주요 구성품에 대

한 교체는 이루어진 상황이므로, 냉각탑의 성능에는 큰 영향을 주지 않을것으로 판단된다.

하지만 충전재 및 상부수조의 경우 노후 및 내구성 저하로 인해, 파손 및 부식이 많이 진행되었으므로 교체가 필요하다. 충전재는 냉각탑 성능에 큰 영향을 미치는 구성품이며, 주기적인 유지보수 및 교체를 필요로 한다. 충전물의 노후화 및 스케일이 많이 흡착되게 되면 미생물의 번식이 가속화되며, 레지오넬라균의 번식도 증대되게 된다. 또한 스케일이 물의 순환 및 공기와의 열교환을 방해하므로 냉각효율이 저하되고 이는 냉동기의 성능저하를 초래한다.

냉각탑 케이싱은 일부분 노후된 부분이 있지만 전반적으로 상태가 양호하므로 부분적인 유지보수만 이루어진다면 재사용이 가능하다.

보일러의 상태는 사용년수가 20년인 것을 감안한다면 전반적으로 효율은 양호한 상태이지만, 증기생산 능력은 크게 저하되어 있는 것으로 나타났다. 따라서 향후 장비 운영의 안전성 및 에너지 절감 차원에서 교체가 필요하다.

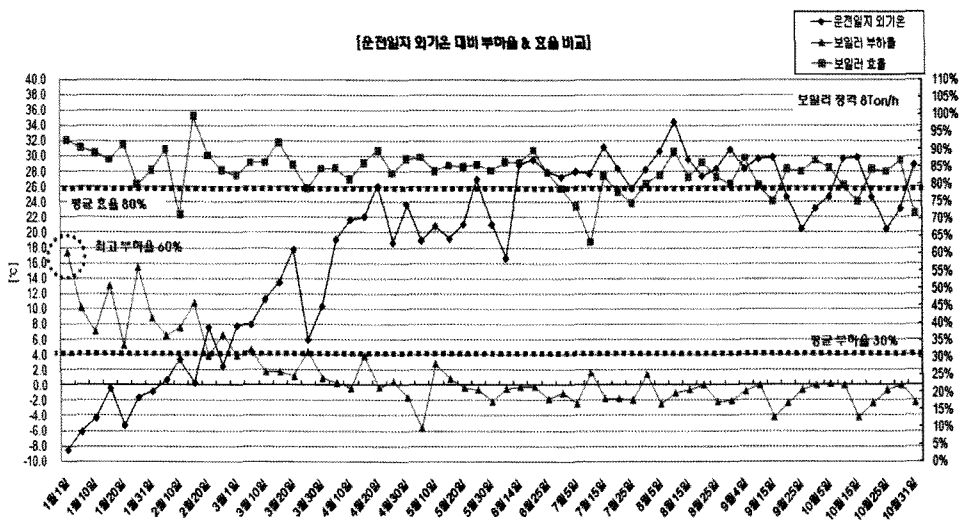
운전일지 분석에서 나타나듯이 현재 보일러는 대부분 저부하상태로 운전이 되고 있다. 즉, 건물

준공 당시보다 내주부의 인체, 전등, 기기의 증가로 인한 난방부하 감소와 용도변경에 따른 증기 미사용, 미가동중인 장비 등으로 인해 보일러의 부하율은 많이 감소된 것으로 판단된다. 따라서 향후 장비 교체 시 보일러의 용량을 줄이는 방안으로 재검토할 필요가 있다.

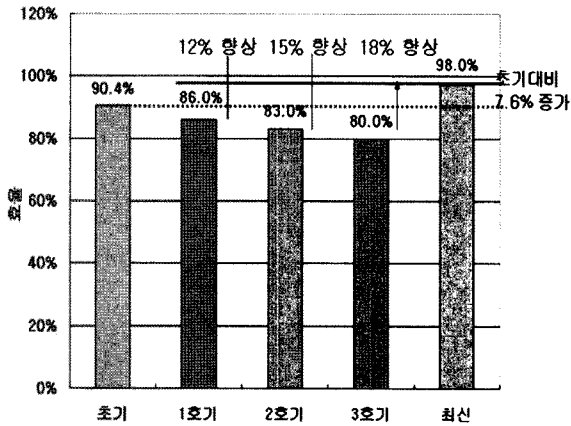
펌프는 전반적으로 교체가 필요한 시점이다. 현재 시스템 운영상 큰 문제가 발생된 것은 아니지만, 사용년수가 대부분 20년을 넘었기 때문에 케이싱, 임펠러 및 모터 등 주요 구성품에 대한 내구성 및 효율이 저하되어 있을것으로 판단된다. 따라서 향후 열원장비 교체시 2차측 열량 변동을 고려하여 적정성능의 펌프로 재선정하여 교체하는 것이 바람직하다.

펌프의 효율을 분석하기 위해서는 펌프 양정이 측정되어야 한다. 따라서 기존 펌프의 입출구 배관에 압력계 설치가 반드시 필요하다.

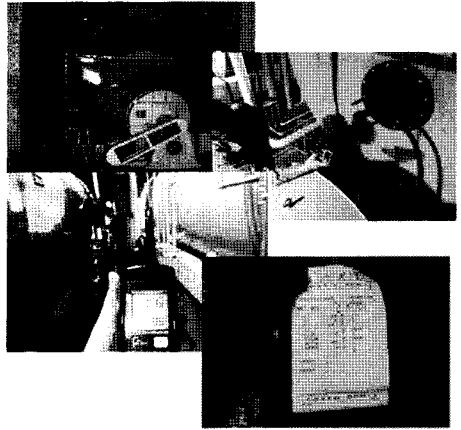
펌프의 교체도 중요하지만, 펌프의 성능에 영향을 미치는 것은 대부분이 펌프 자체의 문제이기 보다는 배관 시스템에서의 문제가 원인인 경우가 많다. 따라서 우선적으로 행해져야 할 것은 펌프 성능이 저하된 원인을 찾는 것이며, 아래와 같은



[그림 8] 보일러 운전일지 분석



[그림 9] 보일러 성능 측정



여러 원인들이 있을 수 있다.

- 1) 스트레이너, 수동밸브 및 자동제어밸브에 이물질로 인한 막힘
 - 2) 배관내 스케일로 인한 배관마찰저항 증가
 - 3) 펌프 교체시 적정하지 못한 성능의 펌프선정 (유량, 양정)
 - 4) 시스템 압력의 증가로 인한 펌프성능 및 효율 저하
 - 5) 펌프 자체의 노후로 인한 내구성 및 성능 저하
 - 6) 밸런싱 밸브의 작동불량으로 인한 유량 불균형
- 펌프 교체시에는 고효율 모터를 적용하여 에너지를 절감하는 방안과 함께, 성능이 우수한 인라인 펌프를 적용하여 설치 공간 및 유지보수에 대

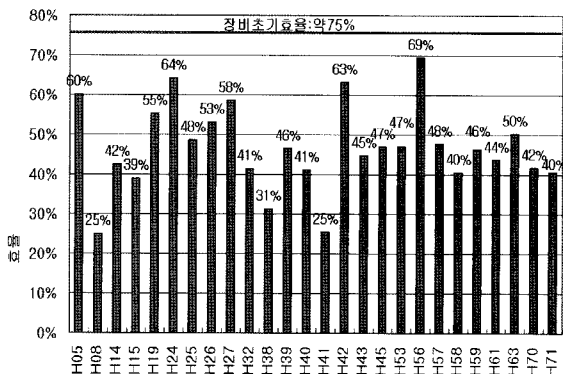
한 부분도 향상시키는 것이 바람직하다.

3.2 공조 설비

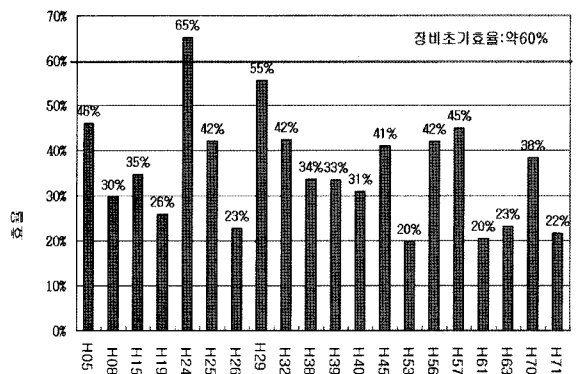
공조기는 지하 4/2/1층, 지상2/3 층의 공조실에 1988년에 설치되어 사용되고 있다.

공조방식으로는 정풍량, 변풍량 단일덕트 방식과 이중덕트 방식을 사용하고 있다.

지하1층 판매시설부분과 미팅룸, 1층 ~ 3층 오피스 및 비즈니스센터에는 VAV가 설치되어 공실 제어가 가능하게 설계가 되었으나, 판매시설은 복도와 OPEN되어 실별제어의 필요성이 없어진 상태이고 미팅룸과 오피스 및 비즈니스 센터는 전체적인 실의 부하 부족으로 100% 운전을 해야



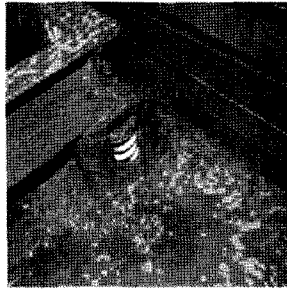
[그림 10] 공조기 급기 효율



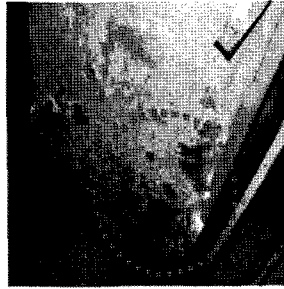
[그림 11] 공조기 환기 효율



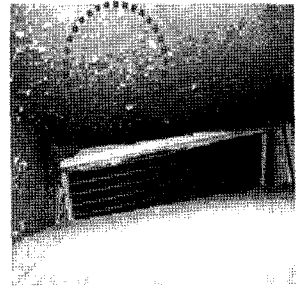
[그림 12] 전이부식



[그림 13] 내부부식



[그림 14] 보온재 비산우려



[그림 15] FCU-석면 박리 우려

하기 때문에 사용하지 않고 있다. 비즈니스센터는 설계 부하조건 (재실인원수)보다 증가하였기 때문에 Peak부하 때 용량이 부족한 실정이다.

에너지 절약을 위해 게스트룸용 공조기에 전열교환기를 설치하였으나 계속되는 오염과 노후로 인해 성능이 저하되어 현재는 사용을 하지 못하는 실정이다.

전체적인 실별 부하의 증가와 시설의 노후로 설계당시 계획했던 에너지 절약방식의 시스템을 노후로 인하여 적극적으로 이용되지 못하고 있는 실정이다.

장비의 내구년수가 15년을 감안해 보면 현재 사용하고 있는 장비들은 모두 사용년수가 20년을 지나 오염과 부식이 발생하고 성능이 저하된 상태다. 또한 코일의 오염으로 열적 성능도 저하된 상태이다. 따라서 공조기는 전체를 교체하여 장비의 성능 향상은 물론 쾌적한 실내환경 조성이 가능하도록 개선하는 것이 바람직하다.

전체적인 공조기의 상태는 노후로 인한 성능저하와 내부 부식으로 인해 각종 불순물의 발생으로 실내환경의 쾌적성확보가 어려운 것으로 판단된다.

공조기의 외부와 내부의 각종 부속은 꾸준한 관리로 양호한 편이나 내부 부식으로 인한 실내공기의 오염은 교체를 통하여 문제를 해결해야 하며, 대부분의 공조기는 20년 이상의 사용기간으로 내구연한이 지난 상태로 위생과 시설을 안전성을 고려해 보면 순차적으로 교체를 해야 할 것

으로 판단된다.

팬코일 유니트는 전체적으로 성능이 저하된 것으로 나타났다. 또한 육안 진단과 배관의 두께측정을 실시한 결과 교체를 실시하지 않은 부분에서 노후로 인한 부식으로 문제가 발생되고 있어, 미교체 장비를 중심으로 순차적인 교체를 해야 할 것으로 판단된다.

패키지 에어컨은 장비의 특성상 지속적인 관리와 보수가 이루어지지 않으면 성능저하로 인한 에너지의 낭비와 안정성에 문제가 생길 우려가 있어 원활한 모니터링이 필요하며, 기타 급/배기 팬 등은 고효율 모터를 적용한 팬으로의 교체가 필요하다.

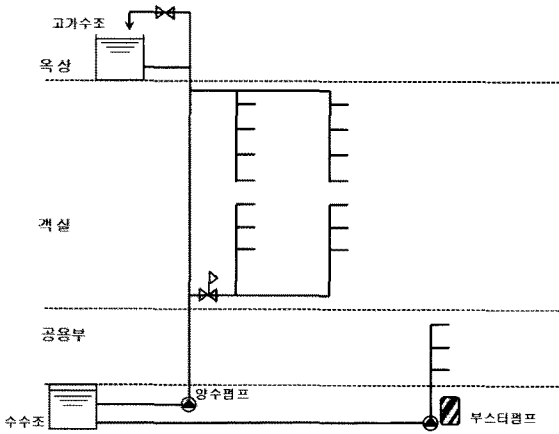
3.3 위생 설비

수원은 크게 시수, 정수 두 가지로 나누어 사용되고 있으며, 두 수원 모두 안정적으로 사용하고 있다.

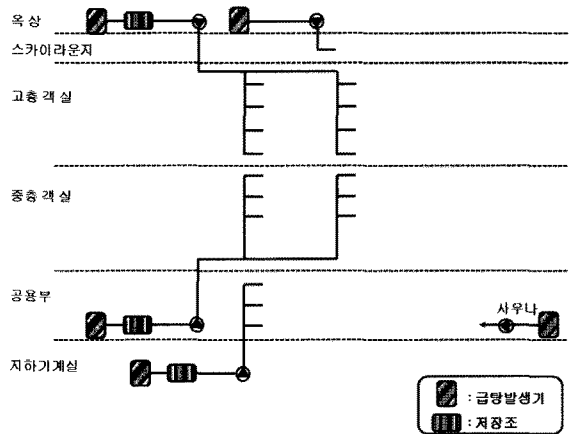
시수와 정수를 3년간 평균 사용한 수원의 용량을 검토해본 결과, 중수는 전체수원 약 329,564 m³/year 중 155,985 m³/year 로 약 47%의 비율 분포를 보였으며, 이를 통해 수자원 절약과 운영비용을 경감 시키고 있는 상황이다.

급수 방식으로는 양수펌프를 사용하여 시수 및 정수를 고가수조로 양수하는 고가수조 방식을 사용하고 있다.

고가수조에서 자연압으로 하양공급하며 저층부는 주관 감압, 자연압으로 상향 공급을 하고 있다.



[그림 16] 급수시스템 개념도



[그림 17] 급탕시스템 개념도

시수와 정수의 양수 펌프는 두장비 모두 현재 내구년수를 약 5년이상 초과 하였고, 외관 노후가 진행중인 상태이다. 또한, 기동/정지 시 배관의 수충격으로 인해 진동이 발생하여 펌프의 내구성이 저하되고 있다.

시수와 정수의 부스터 펌프 또한 내구년수를 초과하였고, 시수 부스터펌프의 제어판넬은 고장상태로 Lead 펌프는 동작하지 않고, 부스터펌프시스템의 기능을 상실하였다.

마찬가지로 정수 부스터펌프의 제어판넬도 고장상태이며, 펌프토출측 입상배관의 분기 주관에 감압밸브를 설치하여 자연압으로 공급하고, 고가수조 담당 수량이 증가하여 잦은 양수펌프의 잦은 기동을 유발시킬 우려가 있다.

급탕은 순간식 급탕발생기와 저장조로 구성되어 있으며, 객실 고층부와 중층부, 주방과 공용부는 급탕발생기 + 저장조, 그 외 샤워나, 스카이라운지는 급탕발생기에서 직접 공급하는 시스템으로 구성되어 있다.

급탕발생기는 전반적으로 약 5 ~ 8년 전에 순차적으로 교체가 완료되었다.

하지만, 현재 장비와 배관의 연결플랜지의 신축팽창에 의한 가스켓 파손으로 인해 잦은 보수가 발생하여 보수비용 및 인력투입이 증가하고 있으며, 전반적으로 급탕에너지 손실이 발생하고

있다.

온수 저장조는 총 3개의 존으로 구획되어져 있으며, 주방 및 공용부용 저장조는 약 12년 전에 교체되었고, 객실용 저장조는 약 15년 전에 신설되었다.

탱크의 배관 및 게이지부분 아크용접을 사용한 연결부위에서 점부식이 발생하고 있고, 보온재의 노후로 열적손실을 가중시킨다. 현재 기능상의 문제는 크게 없으나 부식이 계속해서 진행된다면 추후 누수의 우려가 있다.

4. 개선방안

종합적으로 검토한 결과를 바탕으로 각 분야별 개선안을 수립 하였고, 도출된 개선안에 대한 경제성 분석은 냉열원 시스템과 온열원 시스템으로만 검토하였으며, 각 시스템에 대한 개선안 수립 및 대안별 초기투자비, 연간 운전비에 대한 검토를 통해 최적의 열원 및 반송시스템을 선정하였다.

건물의 열원 및 반송시스템을 결정짓는데 있어서 고려해 보아야 할 요소들로는 무형(無形)의 요소와 유형(有形)의 요소가 있다.

실내 환경의 쾌적성, 유지관리의 용이성 및 효율적인 시스템 운영 등은 무형(無形)의 요소들에 속

하며, 유형(有形)의 요소들은 초기투자비, 연간 운전비 및 유지보수 비용 등 건물의 냉난방 설비 설치 및 전반적인 운영에 걸쳐 소요되는 비용 등을 말한다. 이들 두 요소는 시스템의 선정에 있어서 가장 큰 영향을 끼치는 요소이다.

무형(無形)의 요소와 유형(有形)의 요소는 상호간에 유기 보완적이며, 이들 두 요소의 종합적인 측면을 고려하여 경제성을 분석하고 시스템을 선정하여야 한다.

경제성 분석의 방법으로는 LCC(Life Cycle Cost) 분석 기법과 단순 투자비 회수법이 있으며, 본 경제성 분석에서는 두 방법을 모두 활용하

였다.

4.1 열원 설비

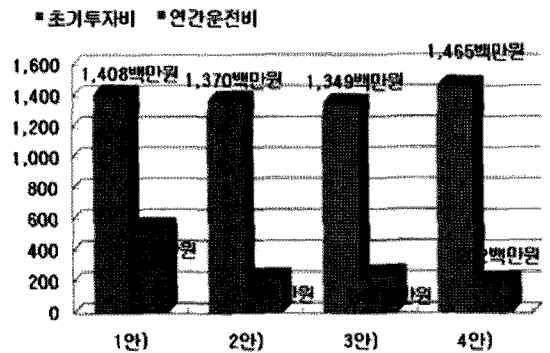
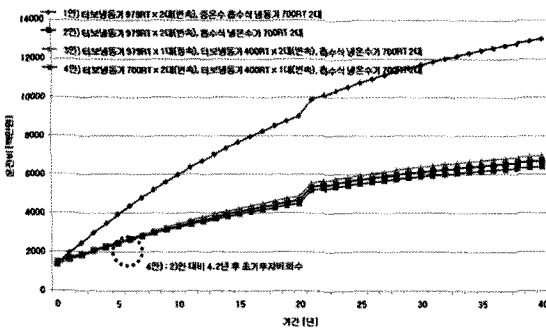
냉열원 시스템은 전체 장비용량 대비 실제 부하율이 70%이하로 운전되는 시간이 많았으며, 장비의 성능저하로 인해 평균 냉수 공급온도가 높았고, 온열원 시스템은 난방부하 감소 및 미사용 장비로 인한 증기사용량 저감을 고려하여 적정용량의 장비로 재구성하고, 부분부하 운전에 따른 대응이 가능하도록 개선안을 선정 하였다.

냉열원 시스템에 대한 초기투자비, 연간운전비 및 LCC분석을 통해서 초기투자비는 다소 고가이

<표 2> 열원 개선방안

구분		개선안
냉열원	기준	TC 979RT 1대 + ABS 690RT 2대 + CH 360RT 2대
	1안	TC 979RT 2대(변속) + 중온수 ABS 700RT 2대
	2안	TC 979RT 2대(변속) + CH 700RT 2대
	3안	TC 979RT 1대(정속) + TC 400RT 2대(변속) + CH 700RT 2대
	4안	TC 700RT 2대(변속) + TC 400RT 1대(변속) + CH 700RT 2대
온열원	기준	노통연관식 증기보일러 8ton/h 3대
	1안	지역난방 + 멀티형 관류보일러 2ton/h 3대
	2안	인버터 콘덴싱 노통연관 증기보일러 5ton/h 3대

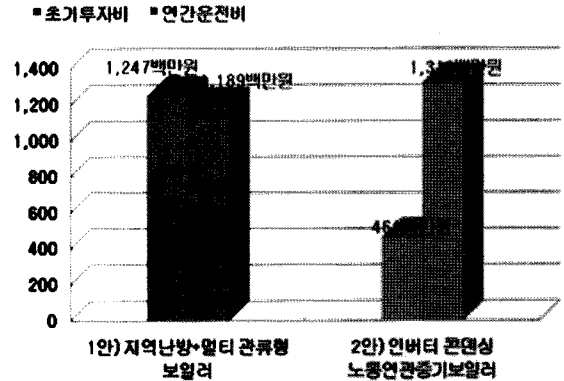
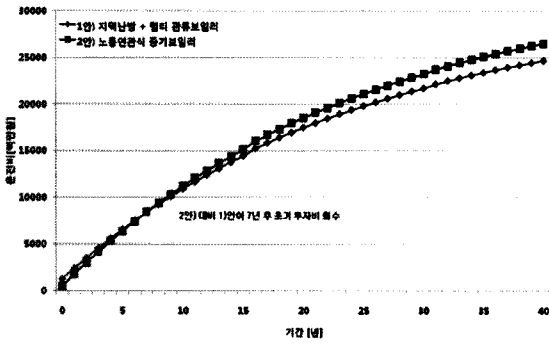
TC : 터보냉동기, ABS : 흡수식냉동기, CH : 흡수식냉온수기



[그림 18] 냉열원 LCC 분석



일반원고



[그림 19] 온열원 LCC 분석

지만, 장비 운전면에서 성능이 우수하고, 효율이 높은 4)안이 가장 경제적인 것으로 분석되었다.

냉열원 시스템 개선을 통한 기대효과는 중간기 및 동절기 부분부하 운전을 고려한 장비 대수 분할 및 인버터 운전을 통해 운전비를 절감할 수 있으며, 열원 장비의 부분부하 운전시 정격 운전점 미만에서 운전됨으로 장비 내구성이 향상된다. 또한, Peak 및 부분부하시에도 항상 일정 온도의 냉수를 공급하여 2차측 부하변동에도 항상 쾌적한 실내환경 조성이 가능할 것으로 판단된다.

온열원 시스템의 개선안은 냉열원 시스템과 마찬가지로 크게 지역난방 도입 + 개별열원공급방식과, 개별열원공급 방식으로 나뉘어진다. 각 대안별 열원장비들은 부분부하 운전시에 에너지 절감이 가능한 장비들로 선정되었으며, 인버터 및 이코너마이저 등이 적용된 고효율 장비들이어서 운전비 절감효과가 크다.

초기투자비는 지역난방을 도입하는 1)안이 가장 크며, 지역난방 도입에 따른 기계실 배관 및 장비설치 공사 외, 주변에 설치되어 있는 기존 지역난방 배관에서 그랜드인터컨티넨탈 호텔로 배관을 인입하는데 소요되는 인입분담금이 필요하기 때문이다.

온열원 시스템 개선을 통한 기대효과는, 증기에 비해 예열 및 배관 열손실이 줄고, 열원장비 효율

저하에 따른 에너지손실도 적다. 또한 가스에 비해 상대적으로 에너지 단가가 저렴하여 운영비 측면에서도 기계효과가 크다.

4.2 공조 및 위생 설비

공조설비는 전체적으로 사용년수가 약 20년으로 내구년수를 초과 하였고, 노후로 인한 내부 녹, 도장박리, 보온재 경화로 비산발생 우려 등으로 인해 추후 환경 악화 및 쾌적성 저하가 예상됨으로 공조기, 팬코일유닛, 급/배기팬, 주차장팬 등의 교체가 필요하다.

위생설비는 노후로 인한 저수조의 오염, 펌프의 효율저하, 급탕발생기의 잦은 보수 발생, 정수처리 시스템의 제어 고장 등으로 교체가 필요하다.

또한, 급수시스템은 기존의 고가수조방식 대신 부스터 펌프 방식으로 개선하여 건물전체의 안정적인 급수의 공급과 배관 수층격 완화를 통한 배관 및 기타 연결부위 손상을 최소화하여 배관계통의 수명을 연장시킬 수 있으며 인버터 제어로 펌프의 운전비를 절감시킬 수 있도록 개선이 필요하다.

5. 결론

본 고에서는 건물에서의 에너지 효율분석을 위

해 건물 전체를 진단하여 성능개선을 위한 개선안 도출과정과 경제성 분석 방법에 대하여 살펴 보았다.

건물의 성능개선을 위해 각 시스템과 장비의 교체가 필요하였으며, 교체가 필요한 열원, 공조, 위생 관련 시스템 및 장비는, 효율이 우수하고 운전비가 저렴한 장비를 우선적으로 선택하여 교체

할 경우 전체 운전비를 절감하여 에너지를 절감할 수 있었다.

결국 건물에서의 에너지 효율분석이라 함은, 건물에서의 현 상태를 명확히 분석하여 저비용/고효율 운전을 실현할 수 있도록 하기 위한 기초 과정이라 생각한다. 