

# 제로에너지 그린리모델링(2): 시공편

- 역삼동 청연빌딩을 중심으로 -



김 학 권

▶소속 : (주)친환경계획그룹 청연  
대표이사/공학박사/건축사/  
LEED AP/CPHD/CVS  
▶관심분야 : 친환경건축



윤 종 호

▶소속 : (주)친환경계획그룹 청연  
전무/친환경계획본부장/CPHD  
▶관심분야 : 친환경건축



민 현 준

▶소속 : (주)친환경계획그룹 청연 이사/  
부설연구소장/건축사  
▶관심분야 : 친환경건축

## 1. 서론

제로에너지건축물, 패시브하우스 등의 초에너지 절약형 건축물을 구현함에 있어서 설계 이상으로 중요한 공정이자 분야는 시공이다. 패시브, 액티브, 신재생에너지가 유기적으로 얽혀 있음을 무엇보다 잘 이해해야 하고, 시공 디테일에 대한 기술은 물론, 단열, 창호, 기밀, 열교, 환기에 대한 작업자의 열정과 노력이 최종 결과물의 성패를 좌우한다 해도 과언이 아니다.

청연빌딩의 기본 방향을 제로에너지 그린리모델링으로 설정했기에 인간을 생각하고 환경을 고려하는 건축물로의 탈바꿈은 기획단계부터 한결같은 지표였다. 단순히 임대 수익률과 시공 편의만을 고려한 리모델링 사업이었다면 단순 외관 디자인에만 투자했거나 과감한 철거를 진행했을 것이다. 하지만 이와는 다른 상황이었기에 철거과정부

터 기존 건물의 상당 부위를 최대한 재활용함으로써 환경에 미치는 영향을 최소화하는 것에 많은 노력과 시간을 할애했다. 이에 청연빌딩은 기존 건물의 재활용을 근간으로 종합적인 세부 시공 프로세스를 수립해 패시브 및 액티브 디테일의 완성도에 초점을 맞춰 시공을 진행해 나갔다.



## 2. 청연빌딩 시공

### 2.1 기존 건물의 재활용

‘제로에너지 그린리모델링’이라는 쉽지 않은 목표를 설정했기에 진행 프로세스를 좀 더 세부적이고 체계적인 절차를 통해 과업을 추진하였다. 먼저 용



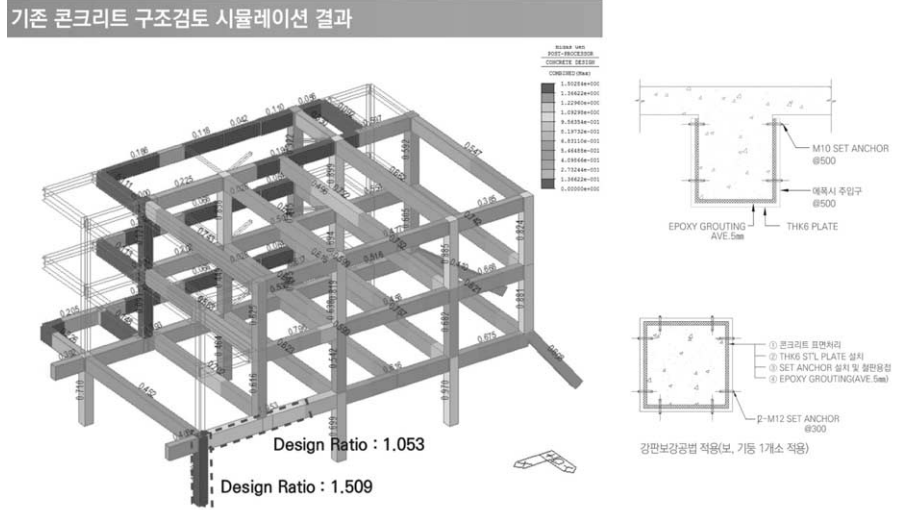
[그림 1] 기존 건축물 부분 철거 현장

적률 인센티브로 부여받은 증축부에 대해 구조적 안전성을 우선 검토했다. 구조 보강이 필요한 부위를 찾고, 증축부는 건식과 습식 중 어떤 공법으로 진행할지 결정했다. 다음으로는 벽체의 어느 부위를 재이용해 폐기물을 줄이고, 내구 연수를 넘은 부위는 어떻게 철거할지 고민을 거듭하여 진행하였다.

○ 구조성능 확보

리모델링에서 가장 중요한 것은 구조적 안전성 확보다. 특히 청연빌딩은 제로에너지 인증을 통해 용적률 인센티브 혜택을 받았기에 증축부를 고려한 구조부의 안전진단이 선행되어야 했다.

이후 구조기술사를 통해 구조부에 대한 안전진단이 전면적으로 이루어졌고, 현장실사를 통해 현장조사 체크리스트를 작성하고 성능도 측정해야 했다. 이와 함께 건축구조기준 KBC 2016에 따른 탄성 해석도 수행했다. 이를 기반으로 구조부 성능이 부족한 부분에 보강을 실시하고 성능기반 설계를 통해 내진 안전성까지 검토했다. 이러한 일련의 과정이 끝난 이후 보강방안 도면과 특기시방서가 작성될 수 있었다. 기존 콘크리트 구조물에 대한 구조검토 시뮬레이션을 수행한 결과, 강판보강공법



[그림 2] 구조검토 시뮬레이션 결과

을 활용한 보와 기둥 1개소의 보강이 필요했고, 철골 구조로 증축될 5층과 6층 부위에도 탄성해석 결과를 반영해 부재에 맞는 H-Beam을 추가 설치하였다.

시뮬레이션 결과를 보면 4층 남동측 기둥에서 증축으로 인한 하중의 변화가 생기면서 부재력에 비해 견딜 수 있는 비율이 기둥은 1.509, 보는 1.053으로 파악되어 보강이 필요하게 되었고, 강판보강공법을 통해 부재력을 키우기로 결정했다. 청연빌딩의 강판보강공

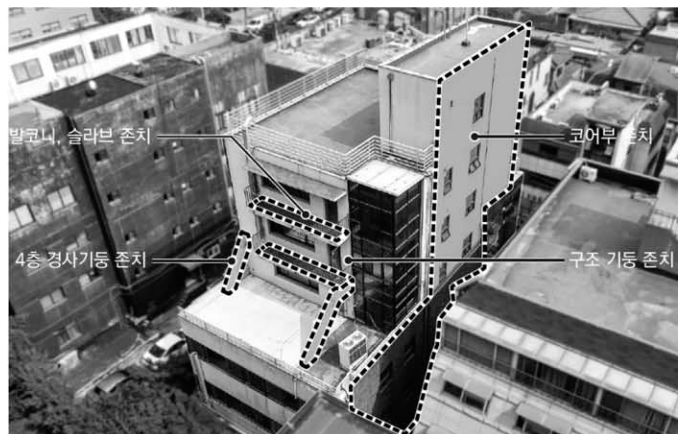
법은 구조적 안정성을 실현하기 위한 일환으로 6mm 보강 강판을 덧대었고, 기존의 기둥과 강판 사이에 에폭시 그라우팅을 5mm를 채웠으며, 철판 용접 및 M10 앵커볼트로 고정된 뒤 모서리 부분은 실리콘으로 마무리하였다.

○ 철거 및 존치 부위 판단

기존 건축물의 벽체는 크게 조적조와 철근콘크리트조로 구성되어 있었다. 벽체를 에너지 관점과 자원 재활용 관점으로 본다면 기존의 조적조는 철거하



[그림 3] 기둥 및 보 보강판보강



[그림 4] 기존 건축물 존치 부위



[그림 5] 주요 구조부 외 존치 가능한 부분

[그림 6] 기존 건물의 커튼월과 창호

야 하고 철근콘크리트조는 남겨야 한다. 구조 검토 후, 상태가 좋았던 콘크리트조는 최대한 살리기로 결정했고 에너지 관점에서 특히 취약하고 기밀성도 떨어졌던 커튼월 부위는 철거하기로 했다. 따라서 존치하는 부위는 코어부, 발코니와 슬라브, 기둥부를 남겼고 나머지는 그린리모델링을 위해 철거하였다.

이밖에 존치 및 재활용 부분으로 검토한 공간이 다수 있는데, 지하 계단창고, 옥탑 엘리베이터 기계실, 자주식 주차램프 등이다. 지하 계단창고는 계단이 있기에 발생하는 공간으로 잡다한 물품을 보관하는 창고 용도로 사용된다. 소규모 건물일수록 잉여공간의 활용도를 높인다는 것은 중요한 사항이다. 따라서 기밀하지 못한 문은 교체하고 공간을 정비해 재활용하였다. 엘리베이터는 6인승에서 11인승으로 확장하기로 결정했지만, 기존의 엘리베이터 기계실은 그대로 사용하기 충분한 크기였고 자주식 주차램프도 비교적 상태가 양호하여 재활용하기로 결정했다.

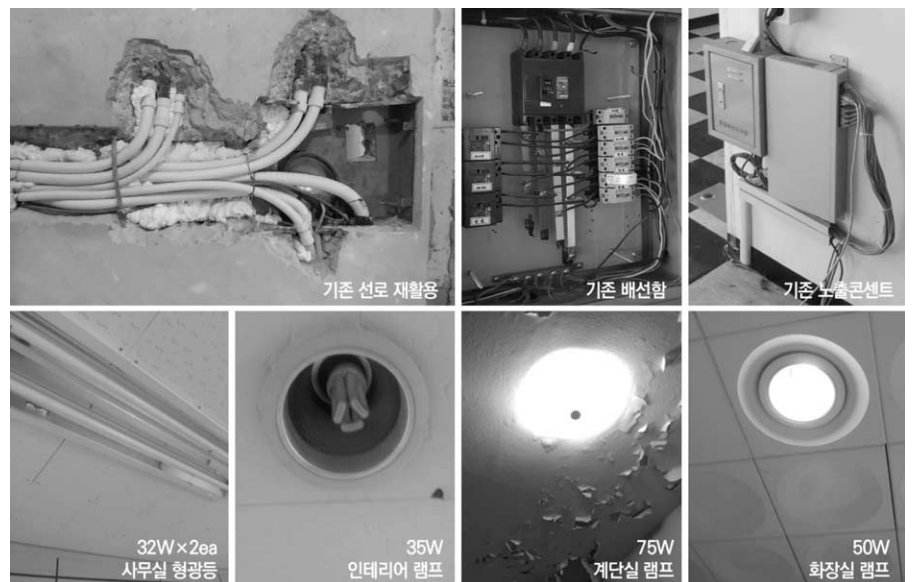
커튼월 부분은 16mm복층유리(6CL+4Air+6CL)로 설치되어 있지만 열관류율은  $2.8W/m^2 \cdot K$ 로서 성능이 현 법규기준에 비해 상당히 미흡하다. 2019년 2월 기준 서울시 외기에 직접 면하는 창의 단열 성능은  $1.5W/m^2 \cdot K$  이하로 규정하고 있다. 뿐만 아니라 서울시 녹색건축물 설계기준에서는 창의

기밀성을 2등급 이상( $1 \sim 2m^3/h \cdot m^2$ 미만)으로 규정하고 있는 현실에서 창호 교체는 필수불가결한 상황이었다.

단열재는 모든 단열재를 탈거한 것은 아니고, 실내 측 천장부에 있는 단열재는 재활용하기로 결정했다. 외피 전체를 패시브 외단열로 진행하기로 했기에 결국 옥상부에 외단열을 진행할 것이고 옥상슬라브 하단의 기존 내단열을 그대로 유지한다면 결국 이중단열로써 성능은 더욱 높아질 것이라 판단했다. 6층 천장부에는 경시변화가 적은 비드법보온판 2종 4호 100mm가 부착되어 있었고, 단열성능은  $0.214W/m^2 \cdot K$

로 현 법적기준 대비 70% 수준이었다. 전열 배선은 이미 20년이 되어 노후화가 심하게 진행되고 있는 단계였고 과거 세입자가 여러 번 바뀌면서 임의 교체 및 조정을 통해 배선과 선로가 노출된 부분도 일부 눈에 띄었다. 물론 건물의 사용처가 바뀌면서 수전용량이 커졌고, 이에 따른 안전상의 문제가 발생할 수 있기에 배선은 교체해야만 하는 상황이었다. 배선은 100% 교체하기로 했지만 일부 재활용이 가능한 부분도 있었다.

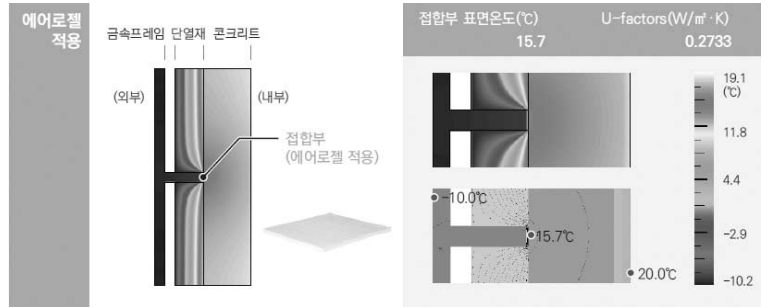
배선이 지나가는 선로는 구조부를 그대로 재사용하기로 했기에 대부분 재



[그림 7] 기존 건물의 전기설비 상태



[그림 8] 열교차단 패스너 시공



[그림 9] 에어로젤 적용 후 열교시뮬레이션

활용 방향으로 결정했고, 배선함에 있는 차단기는 노후 문제로 인해 전체를 교체했다. 배선함은 재활용하였고 노출된 콘크리트 부분은 안전상 문제로 모두 철거하였다. 조명의 경우 기존 건물에는 4가지 타입이 설치되어 있었는데, 평균 조명 밀도가 9.93W/m<sup>2</sup> 수준으로 효율면에서 좋지 않은 상황이었다. 따라서 건물의 에너지성능 개선을 위해 건물 전체의 조명을 효율 높은 LED 조명으로 교체하기로 결정했다.

## 2.2 패시브 시공 디테일

### ○ 단열성능 확보방안

제로에너지 건축물 구현을 위해서는 고성능 단열재의 적용이 수반되어야 한다. 현재, 건설 현장에서 적용되는 단

열재 중 진공단열재가 성능 면에서 가장 우수하지만 진공단열재는 시공과정이나 운영 중에 천공이 생기면 단열성능이 현격하게 떨어지기에 매우 세심한 주의가 필요하다.

따라서 유지관리 및 시공성을 고려해 청연빌딩에는 페놀폼보드(PF보드:열전도율 0.019W/m·K)를 메인 단열재로 사용하였다. 외벽체 구성 결과 단열성능은 0.140W/m<sup>2</sup>·K 이하로서 법적기준 대비 50% 이상 향상된 단열성능을 확보하였다. 단열재는 열교차단 패스너를 이용하여 부착하였고, 하지철물과 연결되는 부위는 철물과 벽체 사이에 에어로젤 단열재를 이용하여 열교를 최소화 하였다. 그 결과 외기 온도 -10.0°C 기준일 때 부착 전에는 표면온도가 -1.7°C로 결로발생 확률이 높았지만, 에

어로젤 부착 후에는 표면온도 15.7°C로 17.4°C가 상승하는 결과가 나타났다.

창호는 열에너지를 담당하는 일사와 환기를 담당하는 기류 성능을 고려하여 검토하였다. 가장 많은 부위에 적용된 제품은 THK44 로이삼중유리로써 아르곤 충전 AL시스템창(SH(Side hung) 케이스먼트 창), 기밀 0.77m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup>, 열관류율 1.302W/m<sup>2</sup>·K였다. 열관류율은 법적기준 대비 15.4% 향상된 단열성능이다.

### ○ 일사조절 성능 확보방안

추가적인 일사조절을 위해 광선반 및 외부전동블라인드도 남측면에 추가 반영하여 직달일사를 차단함과 동시에 간접광을 실내로 유입시켜 균제도를 향상시켰다.



[그림 10] 고성능 기밀성 창호 시공과정



[그림 11] 광선반 및 외부전동블라인드



[그림 12] 패시브 창호 시공



[그림 13] 기밀성 확보 시공

○ 기밀성능 확보방안

기밀한 건축물을 만들기 위한 시공기법도 도입했다. 우선적으로 기밀 1등급 0.56~0.77m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup> 수준의 고기밀 창호를 적용하여 침기와 누기를 해결했다. 과거에는 고정된 창틀 주변에 우레탄폼을 충전하여 기밀을 잡았지만 부풀어오르는 과정에 공극이 생기고 시간이 지나면서 노후되고 결로수에 의한 팽창과 수축 과정에서 기밀층이 깨지는 현상이 발생하곤 했다. 이를 방지하기 위해 청연빌딩은 제작된 창틀을 벽부에 고정하기 전 팽창테이프를 이용해 기본적인 기밀을 확보했다.

벽체에는 기밀시트와 기밀테이프 작업을 진행하였다. 가변형 투습방습지를 실내 벽측에 적용했고 투습방수지를 실외측에 적용해 벽부 기밀층을 확보

하였다. 투습방수지는 습기는 통하고 물과 바람은 통과하지 못하는 역할을 하고, 투습저항값(Sd Value)은 0.01~0.1m이다. 가변형투습방습지는 여름에는 투습의 성능을, 겨울에는 방습의 성능을 지닌 시트로서 방습지를 실내측에 적용할 경우 겨울철 구조체 내에서 발생할 수 있는 결로나 곰팡이 발생을 방지할 수 있다.

기밀한 건물을 만드는 마지막 공정은 기밀테스트라고 할 수 있다. 기밀테스트를 통해 지금까지의 기밀 시공 완성도를 확인할 수 있고 문제점이 있는 곳을 찾아 보완할 수 있다. 리모델링 전 기밀테스트의 결과는 n50 값이 시간당 16.38회로 기밀 성능이 매우 떨어지는 결과를 나타냈다. 특히 창호 주변이 심했다. 리모델링 후는 기준층을 대상으

로 두 가지 상황에서 각각 수행하였다. 첫 번째 측정은 창호부 코킹 시공 전이었고, 두 번째 측정은 코킹 시공 후였다. 코킹 시공 전의 가압은 10.08, 감압은 7.31로 평균 8.69회/h로 결과가 나타났다. 그리고 코킹 시공 후의 가압은 0.69, 감압은 0.47로 평균 0.58회/h로서 상당히 다른 결과가 도출되었다. 코킹 시공 후의 기밀 성능은 패시브 수준(n50≤0.6회)에 맞게 나왔다.

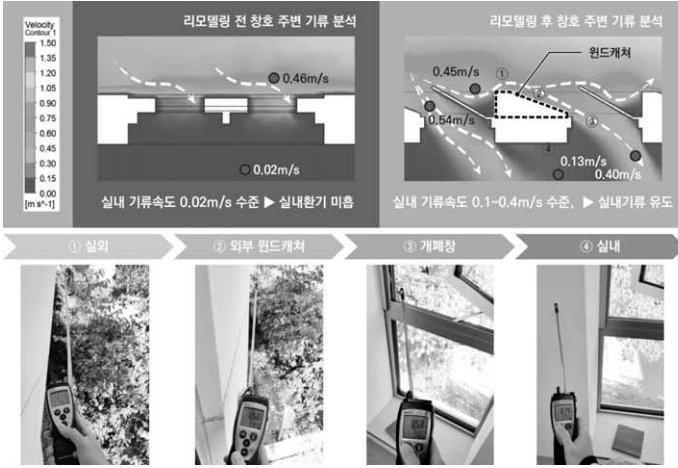
누기부위를 확인결과 화장실부 TH창(TH: TOP Hung, 창의 하부가 열리는 방식)에서 누기가 0.00m/s로 나타나 완벽한 기밀 성능을 보여줬으며, 나머지 창호부와 콘센트 배전함 일부도 0.04~0.07m/s로 양호한 기밀 성능을 보여주었다.



[그림 14] 리모델링 전후 기밀테스트 시행



[그림 15] 부위별 누기 측정



[그림 16] 윈드캐처와 창호 디자인



[그림 17] EHP 구성을 위한 기기

○ 환기성능 확보방안

환기성능은 건물 내 개구부의 위치와 형상에 따라서도 달라진다. 비록 인간이 바람의 주풍향과 풍속을 바꿀 수 있는 능력은 없지만, 건물의 형상과 개구부 계획, 주변 환경을 활용하여 어느 정도까지 건물 내의 기류 환경을 변화시킬 수 있다. 청연빌딩의 ZE.SKIN은 윈드캐처의 형상을 취하고 있으며, 이를 통해 외부의 기류를 실내로 유도하여 여름과 가을에 기존의 커튼월 건물보다 10배 가량 기류속도가 높아진 것을 준공 후 실측으로 확인했다.

2.3 액티브 설비 디테일

○ 냉난방기의 검토와 적용

EHP 설치를 위한 실내 카세트와 실외기가 현장에 배송되기 전, 미리 실내·외 배관을 설치해 두어야 한다. 냉매 유입관, 냉매 배출관, 드레인관 총 3개의 관이 설치되는데, 냉매 유입관과 배출관은 실외기와 실내기간에 연결되어 냉매가 이동하며 토출온도를 제어하게 된다. 냉매의 원활한 흐름을 위해 실외기와 실내기가 가장 먼 편도 배관거리는 Y분 지관만을 사용할 경우 150m 이내로 설치하여야 하고, 헤더를 적용할 경우에는 200m 이내로 설치해야 한다.

그리고 전체 배관 거리도 1,000m 이하가 되도록 설계하여 효율 저하를 막아야 한다. 냉매 배관을 설치할 때 빠지

면 안 되는 것은 보온재인데, 이때 사용되는 보온재는 관경별로 단열재의 두께를 달리함으로써 냉매가 이송 중에 열손실이 발생되지 않도록 주의해야 한다. EHP는 실외기 위치 선정은 대단히 중요하다. 실외기는 실내의 열을 배출하는 설비로, 배출된 열이 다시 실내로 들어오지 못하게 해야 한다. 4층의 북측 테라스 상부에 실외기 설치 공간을 별도로 구획했고, 페놀폼보드 130mm가 이미 설치된 곳에 압출법보온판 특수 100mm를 추가로 덧대어 진동과 열이동을 막고자 노력했다.

청연빌딩에는 에너지 절감을 위해 인체감지센서가 적용된 EHP를 적용했다. 사람이 없는 시간에 수동으로 기기



[그림 18] EHP 구성을 위한 부속기기



[그림 19] EHP 공사



[그림 20] 폐열회수환기장치 시공



[그림 21] 폐열회수환기장치 덕트 시공

작동을 멈추게 하면 되지만, 깜박 고 퇴근하는 경우가 더러 있다. 적용한 EHP는 실내기에 부착된 센서를 통해 사람의 수, 위치, 활동량을 감지하여 바람의 세기와 방향을 컨트롤한다. 물론 재실자가 자리를 비우는 점심시간에는 전력소비를 최소화하여 에너지 절약을 도모하였다.

○ 폐열회수환기장치의 검토와 적용

EHP에서 해결하기 힘든 문제는 환기와 가습이다. 가습은 주로 겨울철 중요한 기능으로 개별적으로 가습기를 두어 해결할 수 있지만, 환기는 창문을 여는 방법 또는 배기팬 설치 이외에는 없다. 이로 인해 열손실이 발생하는 것은 물론, 결로 및 열교도 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하는 방법으로 폐열회수환기장치가 등장한다.

청연빌딩에 폐열회수환기장치를 적용할 때 기존 건축물의 낮은 층고에 폐열회수환기장치의 덕트를 설치하려다 보니 많은 고민이 필요했다. 따라서 낮은 층고로 인해 공간이 덜 필요한 간선 덕트방식을 채택하고, 토출구는 사무공간에 배치하고, 흡입구는 복도 측에 배치하여 재실공간의 환기성능을 높이는 방향으로 결정했다.

덕트는 원형덕트가 손실률이 가장 적어 좋지만, 층고를 가장 많이 차지하는 단점으로 인해 청연빌딩에는 적용하기 어려웠다. 이에 장방형 덕트를 선택했으며 가로로 길게 제작해 층고를 살리고 마찰 손실은 최소화하도록 시공했다.

폐열회수환기장치는 회전형 전열교환기인 로타리식 전열교환기를 적용하였다. 흡습성이 있는 허니컴의 로터가 외기의 유로와 배기의 유로에 교대로

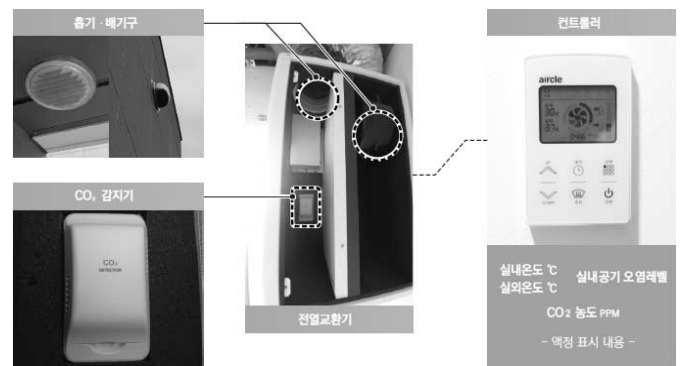
회전하는 구조로 여름철에는 도입 외기의 유로에서 흡열과 흡습을 하고 배기의 유로에서 방열과 방습을 하는 시스템으로 실내로 공급되는 외기와 배기가 전열교환하며 냉각과 제습이 된다. 겨울은 여름철과 반대로 실내공급 외기가 가열과 가습이 된다.

미세먼지 등의 이슈를 고려한 3중 필터도 적용하여 실내 유입 공기질도 확보하였다. 첫 번째 프리필터(Pre Filter)는 부직포형이고 전처리용 필터로서 10 $\mu$ m 이하의 분진을 포집하게 된다. 두 번째 미디엄필터(Medium Filter)는 G4 수준의 필터로서 1 $\mu$ m 이상의 분진을 처리하게 된다.

마지막인 헤파필터(HEPA Filter)는 가장 작은 입자인 0.3 $\mu$ m 입자의 크기를 99.97% 이상 포집할 수 있는 고효율 필터이다. 폐열회수환기장치를 통과한 공



[그림 22] 폐열회수환기장치 설치 결과



[그림 23] 폐열회수환기장치 컨트롤



[그림 24] 사무실 조명기와 일괄소등 스위치



[그림 25] 다양한 에너지절감 센서 적용

기는 0.3 $\mu$ m 이하의 입자로 청정공기라 할 수 있다. 사무공간에서 실내공기가 오염되는 것은 주로 재실자가 내뿜는 이산화탄소와 사무용기기에서 나오는 포름알데히드, VOCs 등이 주된 원인으로 꼽힌다. 이를 잡기 위해서는 환기장치의 배기구가 위치한 곳에 프린터와 같은 사무용기기를 배치하여 유해물질이 사무공간에 퍼지는 것을 막고, 급기구를 사무공간에 배치함으로써 맑은 실내공기를 유지시킬 수 있다. 물론 사무공간은 재실 밀도가 높으므로 폐열 회수환기장치에 이산화탄소 계측기를 추가 설치하여 실내 이산화탄소 농도가 높아지면 팬을 강하게 돌리고 농도가 낮아지면 팬을 약하게 돌려서 항상 맑은 공기를 유지하도록 했다

○ 에너지 절약형 전기설비 시스템 적용  
 업무공간 조명설계는 균질한 조도 확보와 모니터 빛반사로 인한 쾌적성 저하를 최소화하기 위해 40W LED 면발광 조명등을 적용하였고 복도 부분은 빛환경 개선 측면보다 인테리어에 초점을 맞추면서 은은한 조명을 위해 옐로우색이 감도는 10W 3,000K 등을 설치하였다. 층 입구 정면부의 아트월은

회사의 이미지를 강조하기 위해 15W 다운라이트를 적용하였다.

과거의 기존건물에서는 형광등, 백열등, 할로겐등이 사용되었으나 청연빌딩에 새로 적용된 10가지 종류의 조명은 모두 LED 방식이 적용되었다. LED 조명 사용으로 상당한 조명부하 절감 효과가 있었는데 기존 조명 밀도가 9.93W/m<sup>2</sup>에서 4.76W/m<sup>2</sup>로 52%의 에너지소비량이 줄어든 결과가 나타났다. 전체 에너지소비량에서 보면 대략 5% 정도가 줄었으니 상당한 절감량이다.

이밖에도 지하주차장의 디밍센서, 화장실 카운터센서, 실내 천정의 모션감지 센서, 실내 천정 매입등 인체감지센서, 전원 타이머 스위치를 설치하여 에너지 사용을 자동으로 절감케 하였다.

○ 물절약 수전설비

청연빌딩은 수자원 절약을 위해 모든 위생기구를 초절수형 제품으로 적용하였다. 먼저 양변기는 비데일체형 절수형 양변기를 적용해 위생을 도모함과 동시에 물사용량을 절감하였다. 양변기



[그림 26] 다양한 절수형 기기의 적용





[그림 27] BEMS 종합구성 화면

의 1회 물사용량은 일반적으로 15L 정도이나 적용된 양변기의 물사용량은 5.7L로서 사용 수량을 1/3로 대폭 절감했다. 소변기는 전자감응식 소변기를 적용했고 세면용 수전과 탕비실 수전도 전자감응식 수전으로 적용하였다. 지하 샤워실의 헤드샤워는 4.0 l/min, 핸드샤워는 3.8 l/min의 절수형 제품을 적용해 물사용량을 대폭 절감시켰다.

### 2.4 BEMS의 적용

청연빌딩은 제로에너지건축물 인증을 추진하는 과정에서 에너지관리를 위해 BEMS를 적용하였다. 인증 기준에서는 원격검침 전자식 계량기만으로 가능했으나 최적화된 에너지관리를 위해 BEMS를 적용하기로 결정하였고 다음의 기능을 추가하면서 건물환경에

적합한 최적의 에너지관리시스템을 구축하고자 했다. 청연빌딩에서 사용하는 에너지원은 전기·가스·수도 세가지였다. 건물에서 생산·저장·사용하는 에너지 데이터를 원별로 수집하고 표시하였으며, 원하는 기간설정을 통해 에너지사용량 조회가 가능토록 했다. 냉난방, 조명, 환기, 급탕, 전열, 운송 에너지사용량과 메인전력 피크값, 실내온·습도 목표값을 입력할 수 있으며,

실제 측정되는 관제값과 비교하면서 건물에너지를 관리할 수 있다. 각 데이터는 년, 월, 일, 시간 등의 고정된 기간 또는 특정기간을 설정하여 조회할 수 있으며, 단위면적 및 인원수에 따른 에너지소비현황 트렌드 분석이 가능하다. 또한 과거 에너지사용량(전년도, 2개년, 3개년 평균)을 바탕으로 관리자가 목표치를 설정하여 현재 사용량 대비 증감을 예측 가능하도록 설계하였다.



[그림 28] EV홀 및 6층 복도의 BEMS 모니터



[그림 29] 옥상과 외벽 태양광 패널



[그림 30] 건축상 명판 및 인증 성능

주요 열원설비인 EHP의 경우에는 실시간 COP를 확인할 수 있으며, 온도설정, 풍량, 풍향 제어를 인터넷과 연동하여 관리할 수 있다. 또한, 실내·외 온도, 실내습도의 환경정보를 그래프로 보여줌으로써 에너지효율을 최적화하는 적정온도 도출이 가능토록 하였다.

### 2.5 태양광발전 시스템

태양광 발전은 옥탑부에는 수평면에 태양광 패널 400W 36개로 14.4kWp, 6층 입면에는 건물일체형 태양광패널 250W 10개로 2.5kWp를 적용해 총 16.9kWp를 설치하였다. 이를 통해 1차 에너지소요량의 30.34%를 신재생에너지로 대체했고, 제로에너지건축물인증 5등급을 획득할 수 있었다.

태양광패널에서 생산되는 전기는 DC(직류)전기로 AC(교류)로 변환시켜야 사용이 가능하다. 이를 위해서는 인버터가 필요하며, 청연빌딩에는 분산형 인버터를 적용했다. 소형의 인버터 6대를 설치하고, 각각의 인버터에 발전용량을 분산시켜 특정 인버터가 고장이 날 경우에는 해당 인버터만 교체가능토록 구성하여 발전 손실을 최소화했다. 각 인버터의 LCD화면에는 총발전량, PEAK 발전량, 1일 발전량, 입력·출력 전압, 전류 등을 실시간으로 표시

해 주며 옥상조경과 함께 디자인 요소로 구성함으로써 누구나 쉽게 태양광 발전 정보를 확인할 수 있다. 또한 각각의 인버터에서 변환되는 전력은 BEMS 데이터로 전송되어 태양광 발전량과 소비량의 실시간 모니터링이 가능하다.

### 3. 청연빌딩 운영

#### 3.1 본 사업이 이룬 성과들

청연빌딩은 2016년 11월 설계에 착수해 2017년 8월 공사를 시작했고, 약 10개월간의 공사를 거쳐 2018년 5월에 준공하게 되었다. 계획부터 준공까지 약 1년 7개월이 소요된 사업이다. 민간 업무용건축물로는 최초로 제로에너지건축물인증(5등급)을 취득하였고, 건축물에너지효율등급 1++등급(연간 1차에너지소요량 104.1kWh/m<sup>2</sup>y)이라는 대단히

수준 높은 에너지절감형 건축물을 구현했으며, 녹색건축인증 리모델링부문 최우수 등급이면서 동시에 100점 만점을 받는 쾌거를 이뤘다. 그리고 그린리모델링 이자지원 사업의 민간이자 3%도 지원(최고수준, 에너지요구량 144.6 → 68.3으로 절감률 52.8%) 받았다.

이러한 결과를 토대로 용적률 인센티브도 7.62% (연면적 75.61m<sup>2</sup>)를 획득하여 건물을 보다 쓸모있고 사용하기 편리하게 개선할 수 있었다. 하지만 이상의 성과들 보다 소규모 리모델링 건축물에서도 제로에너지 그린리모델링 구현이 가능하다는 선례를 남겼다는 점에 의미가 더 크다.

#### 3.2 거주 후 만족도 평가

준공 직후, 청연빌딩으로 전체 임직원이 이주해 이제 1년을 조금 넘게 지냈다. 구사옥의 경우, 과거 설문조사에서

<표 1> 청연빌딩 인증 및 수상 내역

구분	구분	구분	구분
2018	대한민국 녹색건축 대전	대상	국가건축정책위원회 위원장상
2018	그린리모델링 우수사례 공모전	대상	국토교통부장관상
2018	서울시 건축상	우수상	서울시장상
2018	녹색건축인증	최우수등급	100점 / 100점
2018	건축물에너지효율등급	1++	104.1kWh/m <sup>2</sup> y
2018	제로에너지건축물인증	5등급	30.34%



[그림 31] 건축 전시회 출품

겨울철 창가 자리는 좁고 극한의 건조함으로 가슴기 없이는 생활이 불편했고 대로변(남부순환로)에 인접하여 소음 및 대기 오염으로 인해 창문을 열어 환기하기도 쉽지 않았다는 의견이 다수 있었다.

따라서 실내공기질은 좋을 수가 없었고, 직원들은 적잖이 답답함을 호소한 바 있다. 이런 이유로 청연빌딩 설계시에는 요구사항을 다음의 다섯 가지로 수렴해 내용을 설계도면에 충분히 담고자 노력했다.

○ 공간 만족도 조사

거주 만족도를 공간별로 조사하였다. 만족도 결과는 만족도 값의 평균값으로 공간에 대한 만족 수준을 분석하였으며, 점수가 높을수록 ‘매우 만족’을 의미한다. 조사한 전체 공간의 만족도 평균은 3.67점으로 ‘만족’ 수준에 가깝다. 아홉 가지 공간 중 업무공간, 옥상정원은 평균 점수 4점 이상으로 ‘만족’ 수준이고 휴게실, 양치실, 계단실 및 엘리베이터실, 체력단련실, 화장실, 지하주차장, 회의실은 ‘보통’으로 만족 수

- 첫째, 외부기온에 영향을 받지 않는 사무실
- 둘째, 환기 및 CO<sub>2</sub>제어가 가능한 쾌적한 사무실
- 셋째, 외부소음 및 주변 소리에 영향을 덜 받는 사무실
- 넷째, 자연광 이용, 적정 및 균일한 조도를 제공하는 사무실
- 다섯째, 수납공간이 많고 휴게공간이 있는 사무실

[그림 32] 청연빌딩의 5대 개선요소

준에 가까운 3.4 이상의 점수를 나타냈다. 만족도 평가 점수가 기대치보다 낮았던 화장실, 지하주차장, 회의실의 공통된 의견은 시설과 아이디어는 훌륭하나 작은 규모에 대한 아쉬움이 포함되어 있었다.

하지만 청연빌딩은 리모델링 건물로서 지하층 및 기본구조를 변경하기가 현실적으로 어려웠기에 처음부터 태생적 한계를 어느 정도 가지고 있었던 상황이었다.

○ 온열환경 만족도 조사

여름철의 만족도 중 온도에 대한 ‘만족’ 응답률은 구사옥 대비 40% 증가하였으며 ‘불만족’ 응답률은 13% 감소하였다. 또한 습도의 ‘만족’ 응답률은 34% 증가하였으며 ‘불만족’ 비율은 8% 감소하였다.

이를 통해 청연빌딩의 온열환경에 대한 변화는 대다수 임직원이 만족하고 있는 것으로 확인되었다. 건물의 패시브 외피가 외부의 열은 차단하고 내부



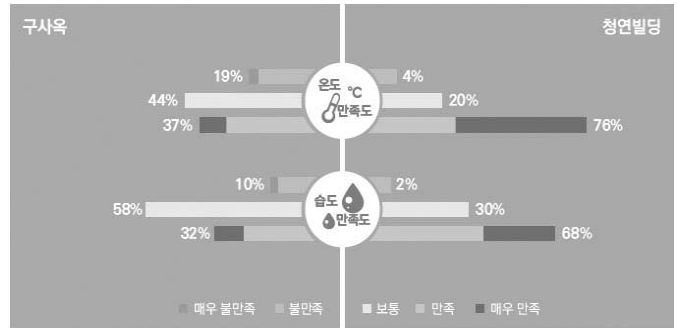
[그림 33] 공간만족도 ‘매우 만족’ 공간



[그림 34] 공간만족도 ‘만족’ 공간



[그림 35] 공간만족도 '보통' 공간



[그림 36] 업무공간의 온열환경 만족도

의 냉기는 오랫동안 유지한다는 사실을 온도변화를 통해 유추할 수 있었다. 이와 같이 청연빌딩의 고단열은 여름철 낮은 온도설정으로 인해 냉방비에 고통받던 직원이 사라졌고, 층과 위치에 상관없이 실내 온열환경에 대해 만족하는 것으로 나타났다.

○ 실내공기질 및 음환경 만족도 조사  
[표 2] 업무공간의 실내공기질 비교  
실내공기질에 대한 불만족도는 구사옥과 비교했을 때 70% 감소하였으며

만족도는 51% 증가하였다. 실내공기질 만족도를 가르는 중요한 요소는 깨끗한 공기이다. 청연빌딩은 창문을 통해서 자연 환기를 할 수 있을 뿐 아니라, 환기가 어려운 여름과 겨울에는 폐열회수환기장치를 가동하여 열은 빼가지 않으면서 실내공기질을 개선할 수 있었다. 뿐만 아니라 봄·가을 미세먼지로 자연환기가 어려울 때를 대비해 폐열회수환기장치에 3중 프리 필터를 추가 적용해 실내공기질을 개선하였다. 이러한 폐열회수환기장치는

단순 미세먼지 뿐만 아니라 사무실 내 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 농도를 줄여줘 쾌적한 업무 공간을 제공한다. 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 농도가 높으면 졸음이 오는 현상이 발생한다.

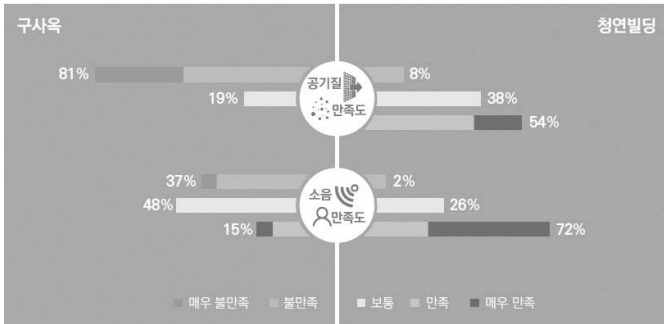
설문조사에서 가장 높은 만족도를 보인 요소는 음환경이었다. 대로변에 있던 구사옥에 비해 신사옥은 도로 소음에 큰 영향을 받지 않는 상태였고, 로이 삼중유리가 적용된 시스템창호를 닫으면 외부 소음이 내부로 침투되지 않아 업무에 집중할 수 있는 환경이 조성됐다는 의견이 다수였다. 실제 실내유입 소음을 측정된 결과 약 30%의 감소한 34.2dB(A) 수준으로 매우 정숙한 환경이었다. 또한 실내 환기를 위해 전열교환기를 설치·활용하다 보니 막상 환기를 위해 창문을 열고 있는 시간이 줄어들어 조용한 실내를 유지할 수 있었다. 따라서 실내소음에 대한 불만족도는 35% 감소하였으며, 만족도는 약 57%가 증가하였다.

<표 2> 업무공간의 실내공기질 비교

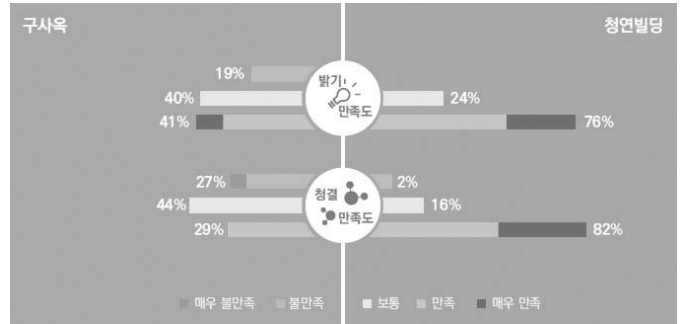
구 분	SW빌딩(구사옥)	청연빌딩(신사옥)	기 준
미세먼지(PM10)	127.5 ppm	95.3 ppm	150 ppm 이하
초미세먼지(PM2.5)*	114.0 ppm	68.9 ppm	50 ppm 이하
이산화탄소	1,912 ppm	809 ppm	1,000 ppm
포름알데히드	0.042 ppm	0.01 ppm	0.1 ppm 이하
	52.2 µg/m <sup>3</sup>	63.5 µg/m <sup>3</sup>	120 µg/m <sup>3</sup> 이하
일산화탄소	0.80 ppm	0.60 ppm	10 ppm 이하
이산화질소	0.02 ppm	0.01 ppm	0.05 ppm 이하
TVOCs	369 µg/m <sup>3</sup>	81 µg/m <sup>3</sup>	500 µg/m <sup>3</sup> 이하
오존	0.01 ppm	0.01 ppm	0.06 ppm 이하
쾌적도(PMV)**	-0.56	-0.34	-0.5 < PMV < +0.5
예상 불만족비(PPD)**	28.16%	8.15%	PPD ≤ 10%
조사시점	2017.02.06-08	2019.03.11	

※ 적용기준 : '사무실 공기관리 지침(고용노동부 제2015-43호)'  
\* '실내공기질 관리법 [별표2] 실내공기질의 유지기준'의 다중이용시설 기준 (사무실 기준 없음)  
\*\* ASHRAE 55의 만족기준, 세부조건 : 구사옥 쾌적도 등 조사시는 냉난방기 가동상태, 신사옥은 미가동 상태

○ 실내 밝기 및 청결 만족도 조사  
청연빌딩은 항별로 창면적비를 고르게 설계해 자연광으로 실내 밝기를 최대한 제공하고, 추가로 인공조명을 사용한다. 특히 남측에 건축적 차양 디자인을 통해 직달일사는 감축시키고 자연광을 활용할 수 있는 사무공간을 만



[그림 37] 공기질과 음환경 만족도



[그림 38] 실내 밝기와 청결 만족도

들어 사원들의 눈 피로감을 조금이나마 줄이고자 했으며, 부족한 밝기는 LED조명으로 충족시켰다. 이에 따라 실내 밝기 만족률은 77%이고, 불만족 사항은 0%에 가까웠다. 청결도 역시 구사옥 때와 비교했을 때 상당히 많이 개선되었다는 의견이 대다수였다.

### 3.3 사업비용 결산

#### ○ 제로에너지 그린리모델링 추가 비용 결산

새로이 신축건물을 짓거나 리모델링을 추진하는 건축주의 최대 관심사는 단연 건축비용일 것이다. 실제 녹색건축, 제로에너지건축에 뜻은 있지만, 비용을 가늠할 수 없어 선풍 시도하지 못

하는 건축주도 상당한 것으로 알고 있다. 중소규모 업무시설을 건축할 때, 자재와 기기를 어떻게 선택하느냐에 따라 총 비용은 천차만별이 날 수 있다.

때문에 어떤 기준과 비교를 하느냐도 중요한데, 여기서는 편의상 법적 기준에 맞춘 일반적인 전면 리모델링 사업을 비교 대상으로 설정했다. 법적 기준에 맞춘 리모델링은 현재의 법적 단열 성능 기준 등을 준수하는데 투입된 공사비라 할 수 있다.

반면, 청연빌딩은 법적기준 이상의 성능 향상을 위해 추가된 단열재, 창호, 외부차양, 폐열회수환기장치, BEMS(원격검침계량기), 신재생에너지 등에 비용이 더 추가되었다. 결과적으로 청연빌딩이 제로에너지 그린리모델링 건축

물로 탈바꿈하는 데 투입된 비용은 일반 리모델링 공사비 대비 약 11% 상승한 것으로 파악되었다.

#### ○ 에너지 절감 수준

에너지사용량에 대해 이전에 사용하던 구건물(강남구 도곡동 소재 5층 건물)과 청연빌딩(강남구 역삼동 소재 6층 건물)과 비교해 보았다.

전기사용량은 청연빌딩이 구건물에 비해 매달 35% 정도의 전기 사용량이 줄었으며, 월별로는 최대 52%의 차이를 보였다. 대체적으로 전기사용량 중 냉난방 사용량이 많이 포함된 여름과 겨울의 전기 절감률이 높았으며, 간절기 중 5월, 11월은 상대적으로 절감률이 낮았다. 그러나 청연빌딩이 구건물에 비해 사용면적도 36%늘고, 사용인원도 8% 증가한 상황에서 전기사용량이 줄어든 결과였기에 의미는 더 크다고 할 수 있겠다. 단위면적당 전기에너지 소비량을 보면 구건물은 156.5kWh/m<sup>2</sup>·y, 태양광발전을 포함한 청연빌딩은 73.3kWh/m<sup>2</sup>·y로 53%가 절감되었다. 청연빌딩 사용층(4개층)의 2018. 07월~2019.06월까지의 전기요금(기본요금+전력량요금+기타) 월 평균은 약 84만원 수준이다. 수도는 전기와는 다르게 건물 전체를 대상으로 계량하다 보니, 실제 사무실의 사용량을 고지서



[그림 39] 제로에너지 그린리모델링 추가비용

<표 3> 제로에너지 그린리모델링으로 추가된 공사비용 산출

구분	총 공사비 내역 (VAT 제외, 백만원)			
	공사내역	일반리모델링	제로에너지 그린리모델링	증감액
면부추진	1 가설공사	47.7	47.7	-
	2 철거공사	91.7	91.7	-
	3 철근콘크리트공사	36.4	36.4	-
	4 철골공사	32.9	32.9	-
	5 조적방수미장공사	84.9	84.9	-
	6 들공사	265.6	276.6	+11.0
	7 수장공사	267.8	280.7	+12.9
	8 금속, 지붕, 환풍공사	86.2	93.3	+7.1
	9 청호공사	170.0	182.7	+12.7
	10 철공사	64.4	64.4	-
	11 목공사, 가구공사	66.1	87.9	+21.8
	12 기타 건축공사	53.3	53.3	-
면부비밀리모델링	13 냉난방공사	83.8	83.8	-
	14 폐열회수환기장치	0	25.0	+25.0
	15 신재생에너지	0	40.0	+40.0
	16 엘리베이터	52.0	52.0	-
	17 전동블라인드	0	5.5	+5.5
	18 전기전동공사	112.4	112.4	-
	19 BEMS	1.0	66.0	+65.0
	20 배관배수공사	27.0	27.0	-
	21 소방	58.3	58.3	-
	22 화장실공사	24.1	24.1	-
기타	23 싸인 및 간판공사	16.9	16.9	-
	24 조경공사	32.3	32.3	-
합 계		1,674.8	1,875.8	+201.0

<표 4> 구사옥과 청연빌딩의 전기사용량 비교 (태양광발전 포함)

구분	단위 : kWh												
	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	계
SW빌딩 (구사옥)	7,369	8,858	6,505	4,566	4,303	8,234	10,828	12,666	6,818	5,338	3,799	5,098	84,382
청연빌딩 (신사옥)	5,751	6,376	4,573	2,448	3,873	5,742	6,429	6,019	3,737	3,435	3,177	3,160	54,717
절감률	22%	28%	30%	46%	10%	30%	41%	52%	45%	36%	16%	38%	35%

※ 2017.07~2018.06까지 구사옥은 3개월 사용량, 2018.07~2019.06까지 신사옥은 4개월 사용량을 비교함. 신사옥의 사용량만 태양광 발전량 포함.

<표 5> 구사옥과 청연빌딩의 수도 사용량 비교

구분	단위 : m <sup>3</sup>						
	7월	9월	11월	1월	3월	5월	계
SW빌딩 (구사옥)	413	547	582	504	398	338	2,782
청연빌딩 (신사옥)	125	216	161	170	157	169	998
절감률	70%	61%	72%	66%	61%	50%	64%

※ SW빌딩은 2015.12~2017.01까지의 2개월 근생시설 사용량이 포함되었고, 청연빌딩은 2018.06~2019.06까지의 1개월 근생, 체육난방실 운영이 포함된 비교임. 수도는 2개월마다 계량함.

에서 확인할 수는 없었다.

또한, 건물이 근생 종류, 옥상정원 운영여부, 절수형 수전 도입 여부 등으로 인해 객관적 비교는 사실상 어려운 상황이었다. 그럼에도 총 사용량으로 비교해 보면 청연빌딩은 구사옥 대비 물 사용량이 64% 줄어들었다. 연간 단위면적당 물 소비량은 구사옥이 2,350 l/m<sup>2</sup>·y 이고, 청연빌딩은 740 l/m<sup>2</sup>·y로 69%가 절감된 수준이다. 청연빌딩의 2018.06월~2019.05월까지의 수도요금 은 약 220만원/년(18.3만원/월)이었다.

#### 4. 결론

이전 구사옥 사무실에서의 책상 위치는 북측 창가 자리였다. 겨울이 되면, 항상 닫혀 있는 창문 틈으로 매서운 황소 바람이 들어오곤 했고, 난방 온도를 웬만큼 높게 설정해 놓지 않으면 겨우내 감기를 달고 살아야 했던 기억이 있다. 극심한 건조함은 두번째 문제였다.

반면, 청연빌딩에서는 두 면에 걸쳐 창이 접해 있음에도 불구하고, 창가에 서 불어오는 바람은 커녕, 콜드드래프트 현상도 거의 느낄 수 없다. 창은 물

론, 벽측의 온도 차도 거의 나지 않는 환경이다. 덕분에 한참 추운 지난 겨울날, 상당 시간을 난방기가 꺼진 채로 지낸 바 있다. EHP에 자동온도 조절장치가 내장되어 일정 온도 이상이면 절전모드가 되는데, 대개 난방한 지 얼마 되지 않아 가동이 멈추곤 했다. 이후는 오전의 난방 열기와 남측 일사열만으로 충분히 따뜻해서 가동될 일이 없었던 것이다. 하루 약 3시간 정도의 난방으로 하루종일 따뜻했던 겨울철은 스스로에게도 놀라운 체험이었다.

그린리모델링 사업이 시대적 상황이



[그림 40] 인증 명판 및 준공 현판



[그림 41] 아간 조감도

고 당면한 과제이기에 주변에서 적잖게 경험한 이들도 다수 있어 이제는 특별히 어려운 과업이라 생각하지 않고 있다. 하지만 제로에너지 그린리모델링 사업은 상황이 많이 다르다. 제로에너지건축물인증 사업이 시행된 지 벌써 3년여가 가까워졌음에도 불구하고 2019년도 10월 기준으로 총 71개 건축물만이 예비인증을 받았고, 본인증을 받은 건축물은 8개 뿐이며 그마저도 민간건축물은 총 7건에 불과하고 나머지는 모두 공공건축물이다.

또한 리모델링으로 제로에너지에 접근한 건축물은 아직까지 청연빌딩이 유일하다. 그래서인지 제로에너지 그린리모델링 사업에 대해 경험이 없고, 자료도 없으며, 정보도 얻기 어렵다고 생

각해 사업 시도 자체를 대단히 망설이는 경향이 있는 것 같다. 하지만 결론부터 말하면, 제로에너지 그린리모델링 사업은 크게 어렵지 않으며 조금만 에너지와 건축환경에 주의를 기울인다면 누구나 수준 높은 건축물로 탈바꿈시킬 수 있다.

이후 다수의 제로에너지건축물이 준공되고, 모니터링 데이터가 누적되어 평가보고서가 쌓이기 시작하면 머잖아 건물 매매가에도 분명히 영향을 줄 것이라 기대한다. 또 이러한 상황은 제로에너지 그린리모델링이 더욱 확산되는 계기도 될 것이다. 아무쪼록 청연빌딩이 작은 참고 사례가 되어 제로에너지 그린리모델링 사업이 나라 전반에 널리 퍼지길 가슴깊이 희망해 본다.

후기

본 원고는 단행본인 「국내 최초 도심 노후 빌딩의 에너지 자립기 \_ 제로에너지 그린리모델링」의 내용 중 일부를 발췌하여 작성되었음.

참고문헌

1. 김학건 외 5인, 「국내 최초 도심 노후 빌딩의 에너지 자립기 \_ 제로에너지 그린리모델링」, 주택문화사, 2019. 09 KGBC