

## 제4회 그린리모델링 챌린지 아이디어 발굴 부문

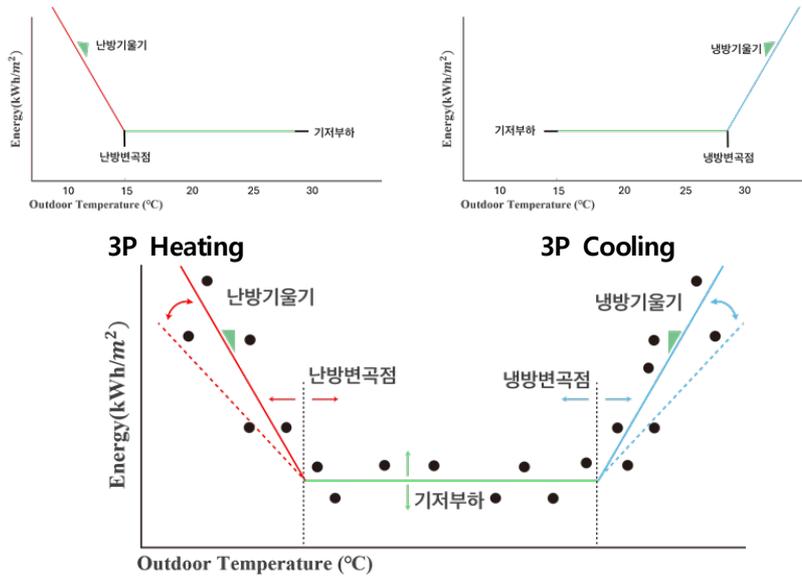
<b>그린리모델링 아이디어 발굴(요약본)</b>	
<b>제목</b>	실사용량 기반 에너지 시그니처를 활용한 그린리모델링 효과분석 및 우선순위 선정
<b>내용</b>	<p>기존 그린리모델링 사업의 에너지 절감효과는 ECO2 시뮬레이션으로 분석되고 있다. 하지만, 이러한 시뮬레이션 방식은 실제 에너지 절감 효과를 정확히 파악하기에는 한계가 있었다. 사업 초기에는 실제 데이터 기반의 성능평가를 하기에 데이터가 부족하였지만 그린리모델링 사업이 활성화되면서 충분한 데이터가 축적된 지금은 시뮬레이션 기반평가에서 데이터 기반의 성능평가 전환이 가능한 시점이다.</p> <p>이에, 데이터 기반의 그린리모델링 효과분석 방식으로는 외기온도를 고려한 건물 성능 평가방식인 Change Point Model(CPM)을 제안하는 바이다. 그 이유는 CPM을 통해 도출된 파라미터를 활용해 여러 가지 추가적인 분석이 가능하기 때문이다. 예를 들어 파라미터의 공사 전후 차이를 통해 에너지원 별 절감효과를 파악할 수 있고, 에너지 시그니처를 활용하여 그린리모델링이 시급한 건물의 우선순위를 결정할 수 있으며, 파라미터와 기술 요소 간의 상관관계 분석을 바탕으로 향후 최적의 설계를 제시할 수 있다. 따라서, 실사용량 기반의 CPM 분석을 통해 그린리모델링의 에너지 절감효과 분석을 제안하는 바이다.</p>
<b>기대효과</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 데이터 기반 그린리모델링 효과분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>- CPM 파라미터를 활용하여 리모델링 전후의 에너지 시그니처 변화를 정량적으로 평가함으로써 그린리모델링의 실제 효과를 검증</li> </ul> </li> <li>2) 그린리모델링이 시급한 건물 우선순위 결정               <ul style="list-style-type: none"> <li>- CPM 분석을 통해 각 건물의 에너지 사용패턴과 시그니처 파악</li> <li>- 리모델링이 시급한 건물을 효과적으로 선별</li> </ul> </li> <li>3) 그린리모델링 기술 요소 파악 및 최적 설계 제시               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 축적된 데이터를 바탕으로 요소기술과 시그니처 변화의 관계성 파악</li> <li>- 건물 사용 특성에 맞춘 그린리모델링 기술요소 최적 설계 제시</li> </ul> </li> </ol>

## 그린리모델링 아이디어 발굴

제목	실사용량 기반 에너지 시그니처를 활용한 그린리모델링 효과분석 및 우선순위 선정
배경 및 목적	<p>그린리모델링이란 에너지 사용량이 높은 기존 건축물을 에너지 사용량이 저감된 건축물로 전환하기 위해 그린리모델링 요소기술을 적용한 것을 의미한다. 노후화된 건축물의 경우 에너지 성능이 저하되어 에너지를 비효율적으로 사용하게 되므로, 성능 개선이 반드시 필요하다. 현재 15년 이상된 노후 건축물이 한국 건축물 전체의 74%를 차지하며 약 710만 동으로 추정되고 있다. 따라서 그린리모델링을 통해 이러한 건물의 단열, 설비 등의 성능을 개보수하여 건물의 에너지 효율을 향상시켜 냉난방 비용을 절감하고, 온실가스 배출을 감소시켜 지속 가능한 건축환경을 조성하며, 거주자의 쾌적한 주거환경을 조성하도록 해야 한다.</p> <p>2020년에 시행된 공공건축물 그린리모델링 사업은 총 821개 건물 대상으로 하였으며, ECO2 시뮬레이션 성과분석을 통해 평균 33.6%의 에너지 절감효과를 확인하였다. 하지만, 시뮬레이션 결과는 <u>그린리모델링의 설계를 위한 예비 분석에는 적합한 방법일 수 있으나, 실제 효과를 파악하는 데에는 신뢰성 보장 부분에서 어려움이 있다는 한계가 있다.</u> 제한된 입력변수로 인해 모든 건물운영 정보를 반영하기 어려워, 실제 에너지 사용량과 예측 에너지 사용량 간의 오차가 발생하기 때문이다.</p> <p>반면, 데이터 기반 분석은 실제 건물에서 수집된 에너지 사용량을 통해 건물의 에너지 소비패턴을 이해하는 방식이다. 이러한 방식은 과거 데이터를 활용하여 미래의 에너지 사용량을 예측할 수 있으며, 다양한 건물의 운영정보를 반영하여 예측의 정확도를 높일 수 있다. 사업의 초기 단계에서는 충분한 데이터가 확보되지 못하여 주로 시뮬레이션 방식을 활용하였으나, 그린리모델링 사업이 성공적으로 지속됨에 따라 활용 가능한 데이터가 충분히 축적되었다.</p> <p>따라서 <u>이제는 기존의 설계 기반의 시뮬레이션 성과검증에서 벗어나, 실사용량 데이터를 활용하여 성능기반의 그린리모델링 효과분석으로 전환이 필요한 시점이다.</u> 추가로, 이를 통해 그린 리모델링 대상지 선정 및 추가 인센티브 정책도 고려할 수 있다.</p>
세부 내용	

이번 공모전에서 제안하는 실사용량 데이터 성능평가 방법은 Change Point Model (CPM)이다. ASHRAE에서 제안한 CPM은 실사용량을 기반으로 건물의 에너지 사용패턴을 분석하는 방법이다. 이 모델은 외기온도와 건물의 에너지 사용량 사이의 관계를 선형적으로 분석하여, 온도 변화에 따른 에너지 소비의 패턴을 도출하는 모델이다. 변곡점과 기울기를 통해 건물이 특정 외기온도에서 에너지를 사용하는 시점과 그 변화 양상을 시각적으로 확인할 수 있다. CPM은 구간별 선형회귀계수를 계산하여 에너지 소비특성을 나타내며, 파라미터 도출의 타당성은 CVRMSE나  $R^2$ 지표로 확인 가능하다. 참고로 ASHRAE 지침에 따르면, CPM을 사용하는 경우,  $R^2$ 는 최소 0.75 이상이어야 하며, CVRMSE는 월별 에너지 소비량 데이터인 경우 15% 이하의 범위로 제한하고 있다.

### 1) Change Point Model 파라미터 설명



### 5P Heating & Cooling

Fig. 1. CPM 모델 형태

CPM의 parameter의 개수에 따라 건물의 에너지 유형을 다양하게 표현할 수 있으나, 한국에서 주로 사용되는 건물의 유형은 Fig. 1과 같다.

- 3-Parameter Model Heating & Cooling : 기저 에너지가 일정하다가 특정 외기온도 시점부터 냉난방 에너지를 사용하는 건물의 유형이다. 3P Heating 유형의 경우, 주로 가스를 사용하는 가정용 온수난방 건축물에 적용되며, 기본적인 에너지 소비는 급탕이나 취사와 같은 일상적인 에너지 사용량으로 해석된다.
- 5-Parameter Model : 동절기, 하절기, 중간기가 구분이 뚜렷한 우리나라 기후 조건에서 건물 에너지 소비를 표현하는 데 5P 모델이 가장 적합하게 활용된다. 냉난방 에너지 소비량을 동시에 분석할 수 있어, 상업용 건축물의 에너지 성능평가에 유용하다.

CPM 파라미터로 얻을 수 있는 건물에너지 시그니처는 아래와 같다.

- 기저부하 : 외기온도의 변화와 무관하게 사용되는 일정한 에너지 소비량을 나타내는 값으로 주거용 건축물에서는 주로 조명, 가전기기와의 연관되어 있다.
- 냉난방 기울기 : 파라미터의 절댓값이 클수록 해당 건축물은 외기온도의 변화에 취약하여 냉난방에 소비되는 에너지가 많다고 해석할 수 있다. 이를 통해 건축물의 냉난방 효율을 판단할 수 있다.
- 냉난방 변곡점 : 해당 건축물의 에너지 소비특성이 변하는 특정 외기온도를 의미한다. 이를 통해 실내에서 냉난방이 시작되는 온도에 대한 정보를 유추할 수 있고, 기저에너지와 냉난방에너지를 구분할 수 있다.

2) CPM을 통해 도출된 파라미터를 활용하여 그린리모델링 전후 건물의 에너지 성능을 진단하는 방법론

I. 그린리모델링 전후 효과검증 방법론 제안

- I. Change Point Model을 통해 파라미터 도출
- II. 그린리모델링 전후 차이 파라미터를 생성하여 *그린리모델링 성과검증 파라미터 생성*

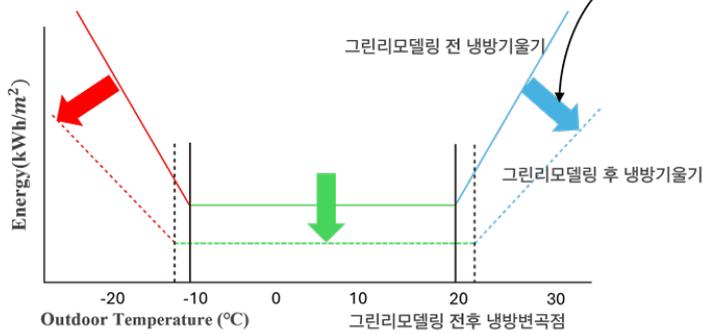


Fig. 2. 그린리모델링 전후 효과 검증 방법론

그린리모델링 전후 건물의 에너지 성능을 진단하는 방법은 아래와 같다.

1. CPM을 통해 그린리모델링 전과 후의 파라미터를 도출한다.
2. 도출된 파라미터의 전후 차이를 계산한다.
  - \* 본 제안서에서는 그린리모델링 후에서 전의 차이를 계산하여 그린리모델링 성과검증 파라미터를 도출했다고 가정한다.
3. 새롭게 도출된 파라미터를 바탕으로 그린리모델링 효과 검증을 진행한다.

도출된 파라미터로부터 얻을 수 있는 건축물 정보는 아래와 같다.

- 기저부하 : 기저부하가 음(-)의 값을 나타낸다면, 이는 그린리모델링 후 기저부하가 감소했다고 해석이 가능하다. 기저부하와 관련있는 그린리모델링 필수 공사는 대표적으로 고효율조명, 고효율 냉난방 장치, 폐열회수형 환기장치가 있다. 따라서, 기저부하가 음의 값을 나타내면 이러한 기술요소가 기저부하 절감에 효과를 나타냈음을 유추할 수 있다.  
반대로, 양(+)의 값을 나타냈다면 이는 그린리모델링 후 추가 기기를 설치함에 따라 기저부하가 증가하였음을 유추할 수 있다.
- 냉난방 기율기 : 냉난방 기율기가 음(-)의 값을 나타낸다면, 이는 건물의 효율이 좋아졌다고 해석이 가능하다. 건물의 효율과 관련 있는 그린리모델링 필수 공사는 대표적으로 단열보강, 고성능 창호가 있다. 따라서, 냉난방 기율기가 음의 값을 나타낸다면 이러한 기술요소가 건물의 냉난방 효율 향상에 효과가 있었음을 확인할 수 있다.  
반대로 냉난방 기율기가 양(+)의 값을 나타낸다면, 이는 건물의 효율이 그린리모델링 전보다 오히려 감소했다고 판단된다. 따라서, 그린리모델링 기술요소에 대한 시공상태의 불량 유무를 판별할 수 있는 지표로도 활용이 가능하다.
- 난방 변곡점 : 난방 변곡점이 음(-)의 값을 나타낸다면, 외기온도에 미치는 영향에 건물이 난방을 필요로 하는 시점이 더 느려졌다고 해석된다. 예를 들어 그린리모델링 전에는 외기온도 15°C에서 난방을 필요로 했다면 그린리모델링 후에는 10°C에서 건물에 난방이 필요하다고 해석된다.  
난방 변곡점이 양(+)의 값을 나타낸다면, 오히려 건물이 난방을 필요로 하는 시점이 이전보다 더 빨라졌다고 해석된다.  
Fig.3을 통해서 확인할 수 있듯이, 냉난방기율기와 변곡점을 연계해서 해석하게 된다면 건물의 시공상태 불량 유무 판별뿐만 아니라 재실자의 행실 또한 판별할 수 있는, 지표로도 활용이 가능하다. 예를 들어 제2사분면은, 난방 기율기는 감소하였지만, 난방 변곡점은 증가한 것을 확인할 수 있다. 이는 리바운드 효과를 나타낸 건물들을 파악할 수 있는 지표로도 활용할 수 있다. 추가로, 제1사분면과 제4분면에 속한 건물들은 그린리모델링 후에 오히려 건물의 난방 기율기가 증가한 경우이다. 이러한 건물들은 시공상태 불량을 의미할 수도 있다.

- 냉방 변곡점 : 냉방 변곡점이 양(+)의 값을 나타내면, 외기온도에 미치는 영향에 건물이 냉방을 필요로 하는 시점이 더 느려졌다고 해석된다. 예를 들어 그린리모델링 전에는 외기온도 27°C에서 냉방이 필요했다면 그린리모델링 후에는 30°C에서 건물이 냉방을 필요로 한다고 해석된다.

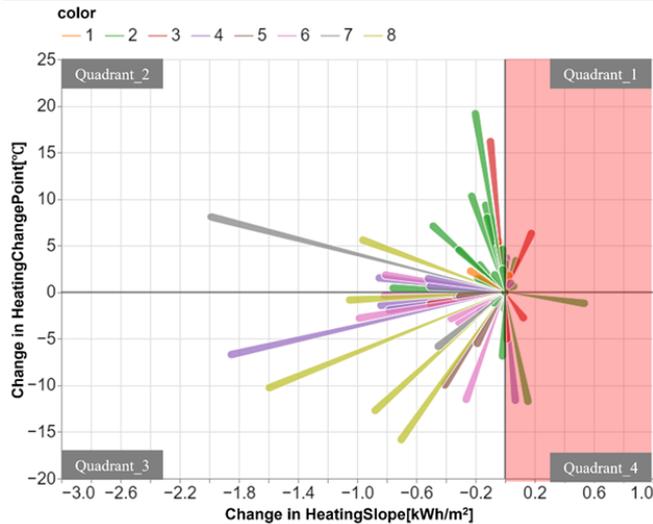


Fig. 3. CPM 난방 파라미터의 전후 비교분석

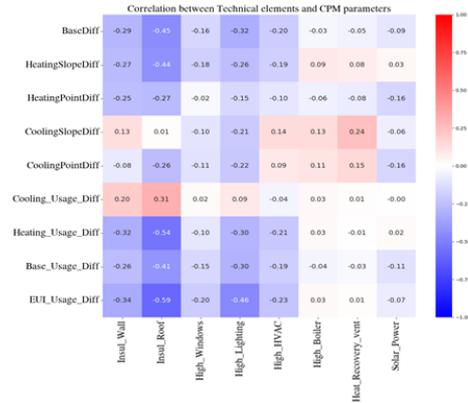
### 3) 그린리모델링 시급한 건물 우선순위 설정

그린리모델링이 시급한 건물을 선정하는데 CPM을 활용할 수 있다. CPM을 사용하여 각 건물의 월별 에너지 소비량과 외기온도 사이의 상관관계를 분석하여, 건물의 유형, 각 파라미터를 얻는다. 예를 들어 난방 기울기는 외부 기온이 변할 때 에너지 소비량이 얼마나 증가하는지를 나타내며, 이 값이 높을수록 건물이 난방에 많은 에너지를 소모하고 있음을 파악할 수 있다.

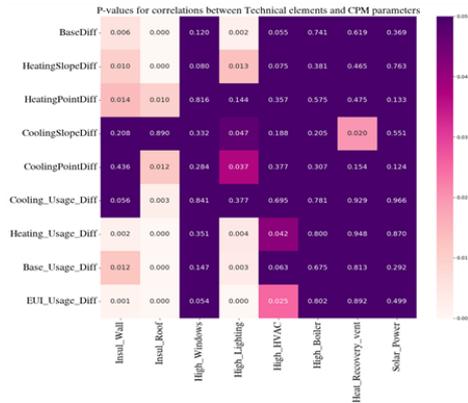
이러한 분석을 통해 난방 에너지 소비량이 높고, 외기온도 변화에 민감하게 반응하는 건물들이 에너지 효율이 낮고 개선이 필요하다는 것을 파악할 수 있다. 따라서 동일한 지역의 여러 건물 중에서 CPM을 통해 도출된 난방 기울기와 난방 에너지 소비량을 기준으로, 에너지 성능이 가장 열악한 건물들을 우선적으로 선정할 수 있다.

#### 4) 그린리모델링 기술 요소 파악 및 최적 설계 제시

그린리모델링 성과검증 파라미터와 개보수 기술요소 적용 여부 간의 상관관계를 분석할 경우, Fig.4에서 확인할 수 있듯이 에너지 절감과 관련성 있는 그린리모델링 기술요소를 선별할 수 있다. 먼저, Fig. 4(b)에서 p-value가 0.05 미만인 값을 선별한다. 이는, 통계적 유의성을 검증한 후 상관관계 분석을 진행하면 더 정확한 결과를 도출할 수 있다. 다음으로 Fig. 4(a) 상관관계 분석의 해석은 다음과 같이 할 수 있다. EUI 에너지 절감효과와 관련 있는 그린리모델링 기술요소로는 단열지붕, 고효율 조명, 단열 벽 순으로 상관관계가 높다는 것을 파악할 수 있다.



(a) 그린리모델링 기술요소와 그린리모델링 성과검증 파라미터 상관관계분석



(b) 유의성 검정(p-value)

Fig. 4. 상관관계 분석

	<p>이러한 분석은 건물의 에너지 감축량뿐만 아니라 그린리모델링 기술요소의 적용 여부에 따른 절감효과 또한 직관적으로 파악할 수 있는 이점이 있다.</p>
<p>기대효과</p>	<p>CPM은 입력 정보가 많이 필요한 에너지 시뮬레이션과 달리 건물의 기본적인 정보만으로 건물의 부하분석, 냉난방 민감도 분석, 에너지 소비 특성 분석 등이 가능하다. 따라서, CPM을 활용하게 되면, 에너지 사용량 데이터를 기반으로 건축물의 에너지 소비패턴뿐만 아니라 그린리모델링 후 실제 절감량을 도출하는 데 유용하다.</p> <p>그러나, CPM분석 방법에는 에너지 소비량과 외기온도 사이의 상관관계를 바탕으로 건물의 신뢰구간을 제한한다는 한계가 있다. 이로 인해 신뢰구간을 만족하지 않는 건물들은 평가에서 제외될 수 있다. 이는 모든 기존 건물의 에너지 성능을 평가하는 데 한계가 있으나, 이러한 한계는 추후 클러스터링 및 다양한 분석기법을 도입하여 더 발전된 에너지 성능평가 방법을 제안할 수 있다.</p> <p>1) 데이터 기반 그린리모델링 효과분석</p> <p>건축물의 용도 및 지역별로 에너지 사용데이터를 구분하여 CPM 분석을 활용하면, 건물별 에너지 사용 형태를 이해하고, 기저부하량, 냉난방 변곡점, 기울기 파라미터와 같은 에너지 소비특성을 도출할 수 있다. 이를 기반으로 <u>그린리모델링 전후의 기저부하, 냉난방 기울기, 변곡점 등의 파라미터의 차이를 계산함으로써, 리모델링의 실제 에너지 절감효과를 정량적으로 검증할 수 있다.</u> 이는 리모델링의 효과를 직관적으로 파악할 수 있게 하며, 에너지 절감 목표를 보다 명확하게 설정하고 달성 여부를 확인할 수 있다. 따라서, 그린리모델링 후에도 지속적인 운영관리를 할 수 있다.</p> <p>2) 그린리모델링 시급한 건물 우선순위 설정</p> <p><u>CPM을 활용한 그린리모델링 시급한 건물의 우선순위 설정은 단순히 건물의 건축연도나 크기만을 기준으로 하는 것이 아니라, 실제 에너지 소비특성을 반영한 데이터 기반의 접근 방식이다.</u> 따라서, 그린리모델링이 시급한 건물들을 정확히 파악하는 것은 한정된 예산 안에서 최대의 효과를 거두기 위한 첫걸음이다. CPM 분석을 통해 리모델링 효과가 클</p>

것으로 예상하는 건물들을 선별하여 우선순위를 설정함으로써, 투자 대비 에너지 절감효과를 극대화할 수 있다는 이점이 있다. 이는 국가 온실가스 감축 및 에너지 절감을 크게 늘리기 위해서는 민간부문으로의 그린리모델링 확대하는 데 큰 도움이 될 것이다.

### 3) 리모델링 기술 요소의 성과 평가 및 최적화

도출된 파라미터를 통해 그린리모델링에 적용된 기술 요소들이 에너지 효율에 미친 영향을 분석할 수 있다. 이를 바탕으로 그린리모델링 기술 설계와 적용을 건물의 용도별 지역별로 최적화함으로써, 향후 그린리모델링 사업의 성공 가능성을 높이고, 자원과 비용을 효율적으로 사용할 수 있다.

더 나아가, 축적된 데이터를 활용하여 건물의 특성에 따른 맞춤형 개보수 설계가 가능해진다. 각 건물의 에너지 사용패턴과 그린리모델링의 효과를 면밀히 분석하여, 건물의 생애주기 전반에 걸쳐 에너지 성능을 개선할 수 있는 전략을 수립할 수 있다. 이러한 접근은 건물의 지속 가능성을 높이고, 장기적으로 더 큰 에너지 절감효과를 달성할 수 있도록 돕는다.