creative commons
COMMONS DEED

저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:48009-200000363662

工學碩士學位論文

가스사용량 데이터를 회귀모델에 적용한 울산지역 공동주택의 에너지 성능 평가

An Evaluation of Energy performance of Apartment Houses in Ulsan by Applying District Gas Utilities to Regression Models

蔚 山 大 學 校　大 學 院
建 築 學 科
崔 韓 星

가스사용량 데이터를 회귀모델에 적용한 울산지역 공동주택의 에너지 성능 평가

An Evaluation of Energy performance of Apartment Houses in Ulsan by Applying District Gas Utilities to Regression Models

指 導 敎 授　金 起 漢

이 論文을 工學碩士 論文으로 提出함

2021 年 2 月

蔚 山 大 學 校　大 學 院
建 築 學 科
崔 韓 星

崔韓星의 工學碩士學位 論文을 認准함

審査委員　孫基榮　(인)

審査委員　李在敏　(인)

審査委員　金起漢　(인)

蔚山大學校　　大學院

2021年 2月

국문 요약

온실가스 배출량 저감을 위해 정부에서는 건축물을 대상으로 건축물 에너지 관련 기준 강화와 건축물의 신축 과정에서 에너지 효율등급 기준을 개정하는 등 정책적 노력을 기울이고 있다. 그러나 이러한 노력들은 그 대상에 있어 신축 건축물을 대상으로 하고 있기 때문에 현재 국내 건축물의 대부분을 차지하는 기존 건축물에서의 에너지 성능 개선이 필요한 상황이다. 이러한 문제점이 대두됨에 따라 정부에서는 최근 노후화 건축물을 대상으로, 그린리모델링 관련 기관을 신설하고 본격적으로 기존 건축물에 대한 성능 개선 사업에 착수하고 있다. 그러나 아직 사업 초기로 표준사업모델이 구축되지 않았고, 구체적인 가이드라인 또한 미비한 실정이다.

그린리모델링 사업의 대상 선정에 있어서 정확한 기준이 존재하지 않는 이유는 노후화 건축물의 정의와 맞닿아 있다. 현재 국내에서는 노후화 건축물의 기준을 준공 후 30년 이상으로 정의하고 있다. 그러나 온실가스 배출량 감축 등을 고려한 건축물에너지 측면에서의 건축물의 노후화에 이와 같은 기준을 적용하기에는 무리가 있으며, 건축물에너지 측면에서의 노후화 건축물을 세부적으로 분류하는 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 공동주택의 에너지 성능에 대한 노후화 정도와 에너지사용량 절감 가능성의 모색을 위한 연구로서 연구대상 건축물의 에너지 성능을 분석하여, 노후화 건축물을 분류하고 노후화 건축물로 분류된 건축물에 적합한 개선방안을 제시한다.

연구대상 건축물은 울산지역에서 준공연도가 1991(A단지), 1996(B단지), 2001(C단지), 2006년(D단지) 각각 5년의 차이를 갖는 공동주택단지를 선정하였다. A, B, C, D 4개의단지는 각각 50개의 개별세대를 포함하고 있다. 공동주택의 에너지 성능 평가에 가스 소비량과 월별 평균온도 데이터를 사용했다. 수집한 데이터를 바탕으로 연구의 분석에 사용한 회귀분석 모델인 Change-point regression model을 이용하여 각 세대의 난방 에너지소비량을 산출하고 분석하였다. 세대의 난방에너지소비량을 분석하기 위해서는 Change-point regression model의 도출 계수인 Heating slope와 난방에너지소비량 추정치를 계산하였으며, 이를 통해 준공연도가 상이한단지별 에너지 성능을 분석하였다. 비교 분석 방법으로는 Heating slope와 난방에너지소비량 추정치를 X, Y 축으로 하는 평면상에 4개단지별 50세대 총 200세대의 분포를 도시하고 200세대의 계수의 평균을 에너지 성능을 판단하는 기준점으로 설정하여 이에 따른단지별 노후화 정도를 비교 분석하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

Change-point regression model을 통해 도출된 Heating slope과 추정된 난방에너지소비량을 X, Y 축으로 하는 그래프로 도시하였고, 노후화를 판별하기 위한 기준점을 설정함으로써 각

세대들의 분포를 비교했다. 그 결과, 에너지 성능에 있어 개선이 시급한 세대로 판별할 수 있는 1사분면에 B단지, A단지, C단지, D단지 순으로 분포하였고, 반대로 3사분면에는 D단지, C단지, A단지, B단지 순으로의 분포를 확인할 수 있었다.

본 연구의 판별법을 통해 노후화 건축물의 에너지 성능 개선을 위해 건축물의 요소를 분류하고, 건물에너지 시뮬레이션을 이용하여 적합한 개선방안을 도출하였다. 건축물을 구성하는 요소 중 대상 건축물의 에너지 성능 향상에 기여할 수 있는 요소를 선정하기 위해 건축물의 외피 성능을 나타내는 Building Design, 냉난방 공기조화 HVAC 시스템을 포함하는 System Design을 세분화하여, 외벽의 U-Value, 창호의 U-Value, 기밀성능, Boiler의 효율을 개선하였을 때 대상 건축물에서의 에너지절감 효율을 분석하였다. 각 요소의 에너지절감 효율에 있어서 기밀성능, Boiler의 효율, 외벽의 U-Value, 창호의 U-Value 순으로 영향이 큰 것으로 나타났다.

본 연구에서는 Change-point regression model의 계수를 이용하여 연구 대상 건축물의 노후화를 판별하였고, 노후화 건축물로 판별된 대상 건축물의 에너지 성능 개선 방안을 제시하였다. 그 결과, Heating slope와 난방에너지소비량 추정치를 이용하여 연구 대상 건축물 중 B단지를 노후화 건축물로 판별할 수 있었고, B단지의 에너지 성능의 개선방안을 도출하기 위해 건물에너지 시뮬레이션 DesignBuilder를 이용하여 각 요소별 에너지소비량에 미치는 영향을 파악하였다. 제시된 본 연구의 개선방안을 활용하여 국내의 노후화 건축물의 판별법과 개선에 있어 활용할 수 있을 것으로 사료되며, 향후 연구 대상에 있어 기존 울산지역을 국내로 확대시켜 현황이 파악되어야 기존 건축물에서의 에너지소비량 감소를 목표로 하는 그린리모델링 사업의 효율을 극대화할 수 있을 것이라 기대된다.

<목 차>

국문요약 ····· i
목 차 ····· iii
표 목 차 ····· v
그림 목차 ····· vi

I. 서 론 ····· 1
1.1 연구 배경 및 목적 ····· 1
1.2 연구 범위 및 방법 ····· 3
1.3 선행 연구 ····· 5

II. 회귀분석 모델 Change-point regression model의 개요 ····· 6
2.1 회귀분석 모델 Regression Model의 개요 ····· 6
2.2 회귀분석 모델 Change-point regression model 계수의 특성 ····· 12

III. 조사대상 공동주택 ····· 14
3.1 조사대상 개요 ····· 14
3.2 공동주택의 에너지 성능 평가자료 수집 및 정리 ····· 18
3.3 공동주택의 에너지 성능 평가를 위한 회귀분석 ····· 19

IV. 조사대상 공동주택단지에 따른 난방에너지소비량 ····· 22
4.1 조사대상 공동주택의 난방에너지소비량 분포에 따른 성능해석 ····· 22
4.2 조사대상 공동주택의 Regression Model 계수 분포에 따른 평가 ····· 25
4.3 Regression Model 계수와 난방에너지소비량의 상관관계 ····· 31
4.4 Heating slope와 난방에너지소비량에 따른 사분면 분포 해석 ····· 33

V. 노후화 주택의 성능 개선방안 ····· 37
5.1 노후화단지 선정 ····· 37
5.2 건물에너지 시뮬레이션을 통한 건축물의 에너지 성능 개선 ····· 38
5.2.1 대상 건축물의 건물에너지 시뮬레이션 모델링 구축 ····· 38

5.2.2 건물에너지 시뮬레이션 모델링 검증 ····· 41
5.2.3 건물 에너지 시뮬레이션 모델의 Change-point regression model 적용 ·· 42
5.3 건축물의 구성인자 분석 ····· 44
5.4 건축물의 구성인자 개선을 적용한 건축물 에너지 성능 변화 분석 ··· 46
5.5 건축물의 성능 개선 분석결과 ····· 48

VI. 결 론 ····· 50

참고문헌 ····· 52

Abstract ····· 54

감사의 글 ····· 56

부록 ····· 00

<표 목차>

표 3.1 조사대상 공동주택단지 개요 ····· 17
표 3.2 가스에너지소비량과 추정된 난방에너지소비량의 값 ····· 21
표 4.1 단지별 사분면 분포현황 ····· 34
표 4.2 단지의 에너지 성능 좌표와 표준편차 ····· 36
표 5.1 건물에너지 시뮬레이션 입력 개요 ····· 39
표 5.2 Base model과 개선 model의 시뮬레이션 입력 개요 ····· 45
표 5.3 요소별 에너지절감 효율 ····· 47

<그림 목차>

그림 1.1 시도별 건축물 노후도 현황 ····· 1
그림 1.2 건축물 용도별 노후도 현황 ····· 2
그림 1.3 연구 흐름도 ····· 4
그림 2.1 월별 에너지소비량의 예시 ····· 7
그림 2.2 Change-point regression model의 적용 예시 ····· 8
그림 2.3 Change-point regression model의 샘플 모델 ····· 10
그림 2.4 3-Parameter Change-point regression model에서의 에너지소비량 ····· 11
그림 3.1 국내 연구대상 공동주택의 위치 ····· 15
그림 3.2 울산시내 연구대상 공동주택의 위치 ····· 15
그림 3.3 단지별 세대 평면도 ····· 16
그림 3.4 난방에너지소비량 추정치 계산 순서도 ····· 18
그림 3.5 세대의 월별에너지소비량을 이용한 3-parameter change-point Regression model의 예시 ····· 19
그림 3.6 추정된 난방에너지소비량을 이용한 세대의 3-parameter Change-point regression model의 예시 ····· 20
그림 3.7 가스에너지소비량과 추정된 난방에너지소비량의 추정치 ····· 21
그림 4.1 공동주택 200세대의 난방에너지소비량 도수분포 ····· 23
그림 4.2 A단지 50세대의 난방에너지소비량 도수분포 ····· 23
그림 4.3 B단지 50세대의 난방에너지소비량 도수분포 ····· 24
그림 4.4 C단지 50세대의 난방에너지소비량 도수분포 ····· 24
그림 4.5 D단지 50세대의 난방에너지소비량 도수분포 ····· 24
그림 4.6 공동주택 200세대의 Heating slope 도수분포 ····· 25
그림 4.7 A단지 50세대의 Heating slope 도수분포 ····· 26
그림 4.8 B단지 50세대의 Heating slope 도수분포 ····· 26
그림 4.9 C단지 50세대의 Heating slope 도수분포 ····· 26
그림 4.10 D단지 50세대의 Heating slope 도수분포 ····· 27
그림 4.11 공동주택 200세대의 Change-point 도수분포 ····· 28
그림 4.12 A단지 50세대의 Change-point 도수분포 ····· 29
그림 4.13 B단지 50세대의 Change-point 도수분포 ····· 29
그림 4.14 C단지 50세대의 Change-point 도수분포 ····· 29
그림 4.15 D단지 50세대의 Change-point 도수분포 ····· 30
그림 4.16 공동주택 세대별 Heating slope, Heating Change-point와 난방에너지 소비량과의 관계 ····· 32

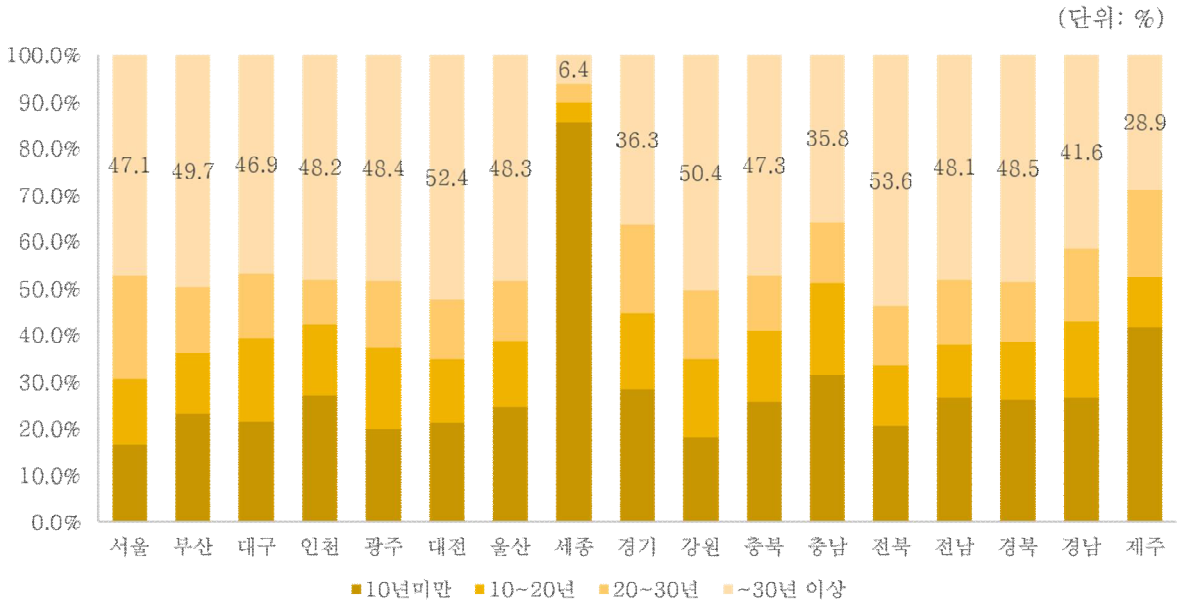
그림 4.17 연구대상 공동주택의 Heating slope와 난방에너지소비량 ····· 34
그림 4.18 연구대상 단지의 에너지 성능 분포 ····· 36
그림 5.1 연구대상 B단지의 Heating slope와 난방에너지소비량 ····· 37
그림 5.2 대상 건축물 세대 평면도 ····· 39
그림 5.3 Base model에 적용한 DesignBuilder Heated Floor, Boiler HW, Nat Vent 시스템 ····· 40
그림 5.4 DesignBuilder를 이용한 Base model 구축 ····· 40
그림 5.5 대상 건축물 B단지와 DesignBuilder를 통해 구축한 Base model의 난방에너지 소비량 ····· 41
그림 5.6 Base model의 Change-point regression model ····· 43
그림 5.7 Base model과 대상 건축물 B단지의 4 사분면에서의 분포 ····· 43
그림 5.8 개선 모델의 Change-point regression model ····· 47
그림 5.9 모든 개선방안 적용 후 모델의 Change-point regression model ····· 49
그림 5.10 4 사분면에 나타난 요소별 성능 개선 모델의 Heating slope와 난방에너지 소비량 ····· 49

I. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 건축물의 온실가스 배출량 저감을 위해 정부에서는 건축물을 대상으로 건축물 에너지 관련 기준 강화와 건축물의 신축 과정에서 에너지 효율등급 기준을 개정하는 등 정책적 노력을 기울이고 있다.[1] 그러나 이러한 노력들은 그 대상에 있어 신축 건축물을 대상으로 하고 있기 때문에 현재 국내 건축물의 대부분을 차지하는 기존 건축물에서의 에너지 성능 개선이 필요한 상황이다.

<그림 1.1>은 우리나라의 시도별 건축물의 노후도 현황을 보여주고 있다.[2] 일반적*으로 노후화 건축물을 정의하는 사용승인 후 30년 이상 지난 건축물의 비율이 37.8%를 차지하고 있다. 사용승인이 30년 이상 지난 건축물의 비율은 2017년에 36.5%, 2018년에 37.1%, 2019년에 37.8%로 상승하는 추세이다.[3]

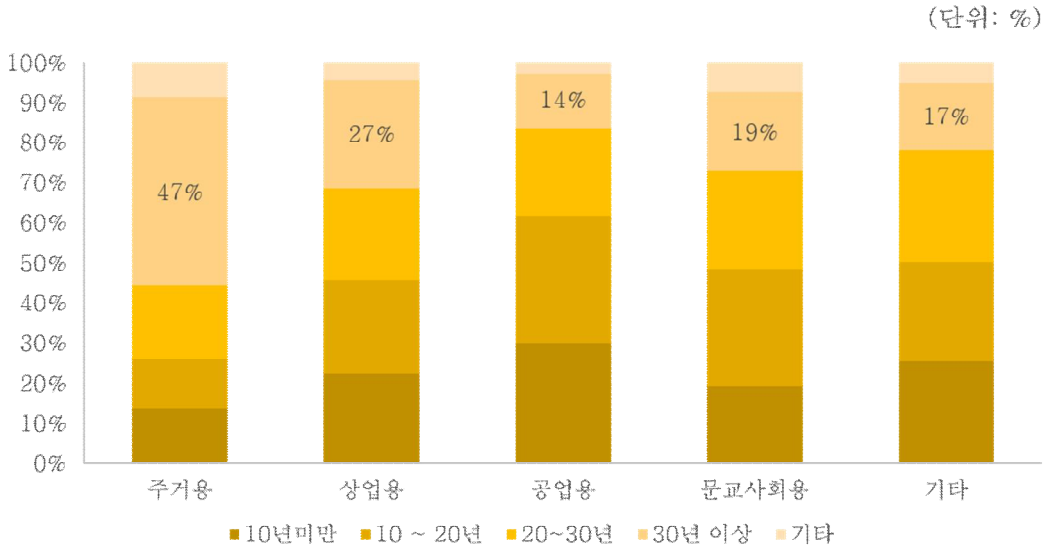


<그림 1.1> 시도별 건축물 노후도 현황

<그림 1.2>에 나타난 건축물의 용도별로 사용연한을 살펴보면 2019년 기준으로 주거용 건축물의 47%가 30년 이상 된 노후화 건축물이었으며, 이는 상업용의 27.0%, 공업용의 14%, 문교사회**용의 19.4%, 기타의 16.7%에 비해 월등히 높은 수치이다.[4]

---

* 서울특별시 도시정비법 시행령 제2조
** 문교사회용 건축물은 의료시설, 학교, 문화시설임



<그림 1.2> 건축물 용도별 노후도 현황

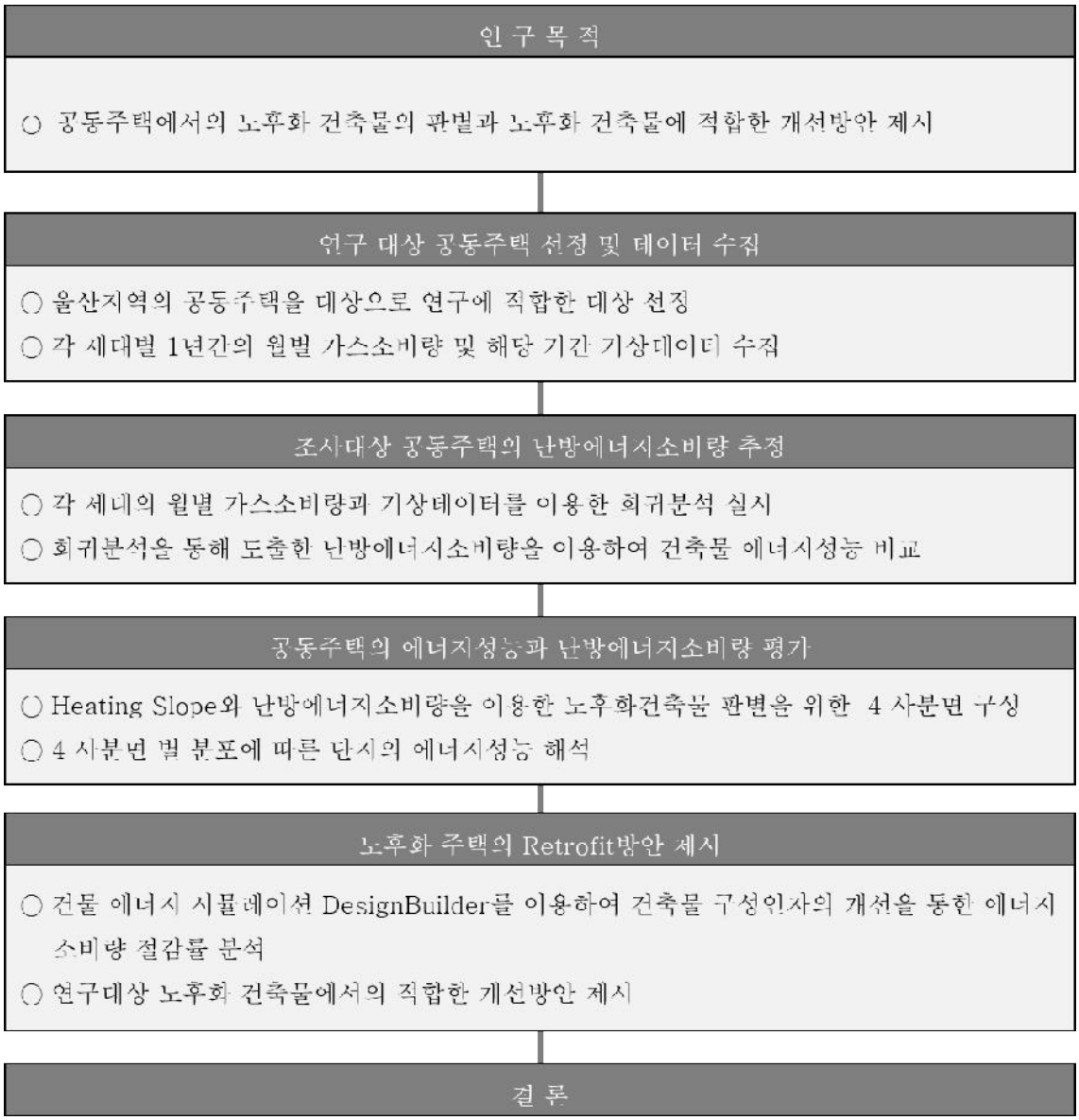
정부에서는 최근 노후화 건축물을 대상으로, 그린리모델링 관련 기관을 신설하고 본격적으로 기존 건축물에 대한 성능 개선 사업에 착수하고 있다. 사업 대상으로는 준공 후 15년 이상 경과한 영구임대주택과 준공 후 25년 이상이 지난 매입 임대주택을 선정하였다. 그러나 아직 사업 초기로 표준사업모델이 구축되지 않았고, 구체적인 가이드라인 또한 미비한 실정이다.

그린리모델링 사업의 대상 선정에 있어서 정확한 기준이 존재하지 않는 이유는 노후화 건축물의 정의와 맞닿아 있다. 현재 국내에서는 노후화 건축물의 기준을 준공 후 30년 이상으로 정의하고 있으며, 최근 기존 건축물의 노후화 조사에 따르면 주거용 건축물의 45.7%를 노후화 건축물로 분류하고 있다. 그러나 온실가스 배출량 감축 등을 고려한 건축물에너지 측면에서의 건축물의 노후화에 이와 같은 기준을 적용하기에는 무리가 있으며, 건축물에너지 측면에서의 노후화 건축물을 세부적으로 분류하는 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 공동주택의 에너지 성능에 대한 노후화 정도와 에너지사용량 절감 가능성의 모색을 위한 것으로, 준공연도에 따른 공동주택의 성능을 파악하기 위해 각기 다른 준공연도를 가지는 공동주택 4개단지의 난방에너지소비량을 분석하였다. 본 연구의 결과는 그린리모델링 사업 등 정부의 기존 건축물의 에너지 성능 개선을 위한 대상을 선정함에 있어서 가이드라인으로 기초자료가 될 것으로 기대한다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구의 흐름도를 <그림 1.3>에 보여주고 있다. 조사대상 건축물은 공동주택으로 준공연도가 1991, 1996, 2001, 2006년 각각 5년의 차이를 갖는 울산시 남구에 위치한 도시가스를 열원으로 하는 개별난방단지를 선정하였다. 4개의단지는 각각 50개의 개별 세대를 포함하고 있다. 공동주택의 에너지 성능 평가에 사용된 데이터로는 2011년 2월부터 2012년 1월까지의 1년간의 가스 소비량을 수집하고, 분석을 위한 기상 데이터는 기상청에서 제공하는 지역별 월별 평균온도에서 울산시 월별 평균온도를 사용하였다. 수집한 데이터를 바탕으로 연구의 분석에 사용한 회귀분석모델인 Change-point regression model[5]을 이용하여 각 세대의 난방 에너지소비량을 산출하고 분석하였다. 세대의 난방에너지소비량을 분석하기 위해서는 Change-point regression model의 도출 계수인 Heating slope[6]와 난방에너지소비량 추정치를 계산하였으며, 이를 통해 준공연도가 상이한단지별 에너지 성능을 분석하였다. 비교 분석 방법으로는 Heating slope와 난방에너지소비량 추정치를 X, Y 축으로 하는 평면상에 4개단지별 50세대 총 200세대의 분포를 도시하고 200세대의 계수의 평균을 에너지 성능을 판단하는 기준점으로 설정하여 이에 따른단지별 노후화 정도를 비교 분석하였다. 노후화 건축물로 판별된 공동주택의 에너지 성능 개선방안으로는 건축물 에너지시뮬레이션 프로그램인 DesignBuilder를 이용하여 건축물의 구성요소인 외벽, 기밀성, 창호, 난방열원의 성능에 대한 민감도 분석을 실시하였다. 민감도 분석을 통해 구성요소별 개선시의 건축물 에너지 성능의 증감을 분석하였고 이릉 통해 적합한 건축물 성능 개선방안을 제시하였다.


연 구 목 적
○ 공동주택에서의 노후화 건축물의 판별과 노후화 건축물에 적합한 개선방안 제시
연구 대상 공동주택 선정 및 데이터 수집
○ 울산지역의 공동주택을 대상으로 연구에 적합한 대상 선정
○ 각 세대별 1년간의 월별 가스소비량 및 해당 기간 기상데이터 수집
조사대상 공동주택의 난방에너지소비량 추정
○ 각 세대의 월별 가스소비량과 기상데이터를 이용한 회귀분석 실시
○ 회귀분석을 통해 도출한 난방에너지소비량을 이용하여 건축물 에너지성능 비교
공동주택의 에너지성능과 난방에너지소비량 평가
○ Heating Slope와 난방에너지소비량을 이용한 노후화건축물 판별을 위한 4 사분면 구성
○ 4 사분면 별 분포에 따른 단지의 에너지성능 해석
노후화 주택의 Retrofit방안 제시
○ 건물 에너지 시뮬레이션 DesignBuilder를 이용하여 건축물 구성인자의 개선을 통한 에너지 소비량 절감률 분석
○ 연구대상 노후화 건축물에서의 적합한 개선방안 제시
결 론

<그림 1.3> 연구 흐름도

1.3 선행 연구

본 연구는 공동주택에서의 노후화를 판별하고 노후화 건축물에 적합한 개선방안을 제시하는 것을 목적으로 하고 있다. 건축물의 에너지 성능을 분석함에 있어 여러 방법론은 목적과 대상에 따라 다른 결과를 가져올 수 있기 때문에(Crawley, 2008)[7] 연구의 목적에 맞는 적절한 방법론을 선택하는 것이 중요하다.

최근 국내외 건물에너지 분석은 시뮬레이션 기반의 엔지니어링 분석 방법론[8]이 주로 사용되었으며, 이 또한 시뮬레이션 엔진에 따라 동적, 정적 시뮬레이션으로 구분할 수 있다. BLAST, EnergyPlus, TRNSYS등이 동적 시뮬레이션으로 보편적으로 많이 사용되고 있으며, (Beak, 2002) 장점으로는 비교적 정확하고 목적에 구분 없이 사용될 수 있지만 사용자에 따라 결과 값의 오차가 크게 발생하는 등 난이도에 있어 복잡하다는 문제점이 있다. 이를 보완하기 위하여 실제 에너지 사용량을 바탕으로 건축물의 에너지 성능을 진단하고 평가하는 역해석 (Inverse Analysis)이 사용되고 있다. 역해석 방법론은 1980년대 Goldber[9]와 Fels[10]의 주거용 건축물의 에너지 절감량 측정을 위한 개발을 시작으로 2002년 ASHRAE의 연구 프로젝트 1050-RP[11]를 통해 Kissock[12]의 Inverse Model Toolkit으로 발전되어 사용되고 있다. 이를 이용하여 본 연구에서는 Inverse Model Toolkit을 활용하여 공동주택의 에너지 성능을 판별하고자 하였다.

기존의 국내 건축물의 에너지 성능 비교에는 대부분 시뮬레이션 기반의 엔지니어링 분석방법론이 사용되었다. 이진현 외 3인(Lee, 2017)[13]은 기존 건축물 Retrofit에 따른 에너지 성능 개선 효과 분석에서는 정적 시뮬레이션인 ECO-2를 사용하여 Retrofit 전후의 건축물의 성능을 분석하였고, 김동석 외 2인(Kim, 2016)[14]은 동적 시뮬레이션 Revit과 DesignBuilder을 이용하여 건축물의 통합설계 효율 분석을 진행하였다. Inverse Model Toolkit을 활용하여 건축물의 에너지 성능을 비교한 연구로는 (Kissock, 2008)[15]이 14개의 병원을 대상으로 실측된 가스소비량 데이터에 기반하여 건축물의 난방에너지소비량과 예측된 난방에너지소비량의 변화량을 통하여 성능을 비교한 사례가 있다.

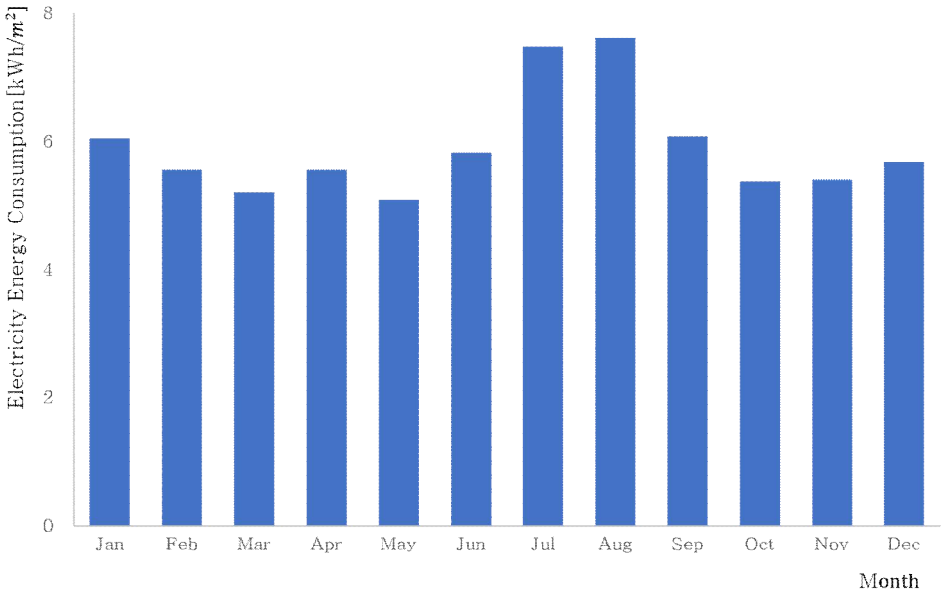
시뮬레이션을 활용하는 엔지니어링 분석방법과 실제 에너지 사용량을 바탕으로 평가하는 역해석 방법론은 각기 다른 장단점이 있지만, 본 연구는 공동주택을 대상으로 엔지니어링 방법을 통해 진행할 경우 연구 대상인 200개의 건축물을 모두 시뮬레이션 하고 분석해야 하는 문제가 있다. 이러한 이유로 건축물의 실제 사용량을 사용하여 비교적 간단히 건축물의 성능을 분석할 수 있는 역해석 방법론을 활용하여 대상 건축물의 성능을 분석하고 노후화 건축물을 판별하였다.

II. 회귀분석 모델 Change-point regression model의 개요

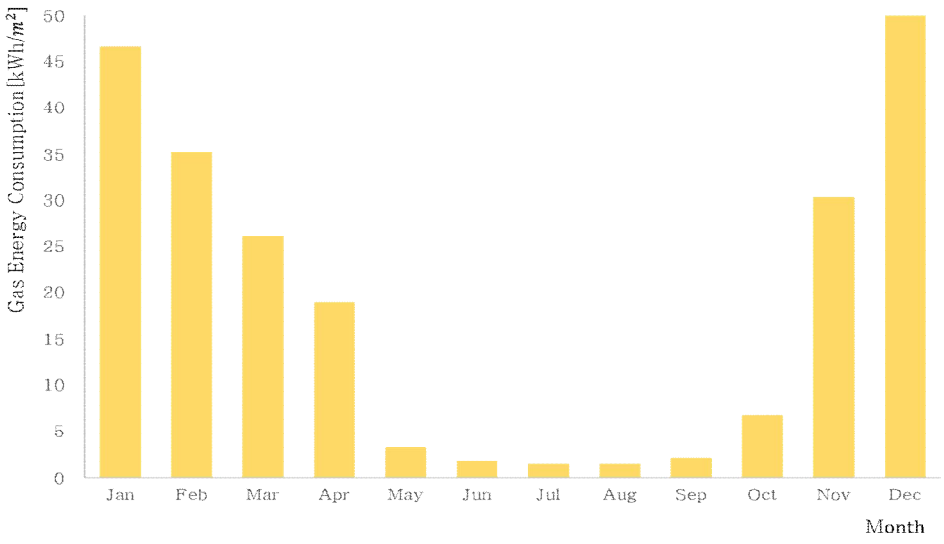
2.1 Regression Model의 개요

본 연구의 분석에 사용한 회귀분석 모델인 Change-point regression model[16]은 건축물의 에너지소비량으로부터 건축물의 열적 성능을 파악하는 Inverse Model Toolkit의 한 방법으로, 월평균 외기온도에 따른 월별 에너지소비량을 통계적으로 회귀분석하는 방법이다. Change-point regression model은 일반적으로 건축물의 에너지소비량을 분석할 때 사용하는 건축물 에너지시뮬레이션모델링 방법과는 반대로 월별 전기 혹은 가스소비량을 외기온도와 관련된 소비와 관련 없는 소비로 구분하여, 상세 분석이 가능하다는 장점이 있다.[17]

<그림 2.1>은 공동주택에서 1년간의 월별 전기소비량과 가스소비량의 예를 보여주고 있으며, <그림 2.2>는 앞선 월별 전기소비량과 가스소비량에 Change-point regression model을 적용한 경우의 예를 보여주고 있다. 월별 전기소비량을 Change-point regression model에 적용하여 나타나낸 <그림 2.2>(a)에서는, 외기온도가 특정 온도(B2)보다 상승했을 때, 선형적으로 전기소비량이 증가하는 냉방에너지 소비량의 기울기(B1), 외기온과 상관없이 측정되는 조명, 전자기기 등의 사용으로 인한 전력소비량(C)으로 구분이 가능하며, 월별 가스소비량의 Change-point regression model 그래프인 <그림 2.2>(b)에서는 특정 온도(B2) 이하에서 가스소비량이 선형적으로 증가하는 난방에너지 소비량의 기울기(B1), 그리고 외기온과 상관없이 소비되는 급탕 및 취사(C)로 구분이 가능하다.

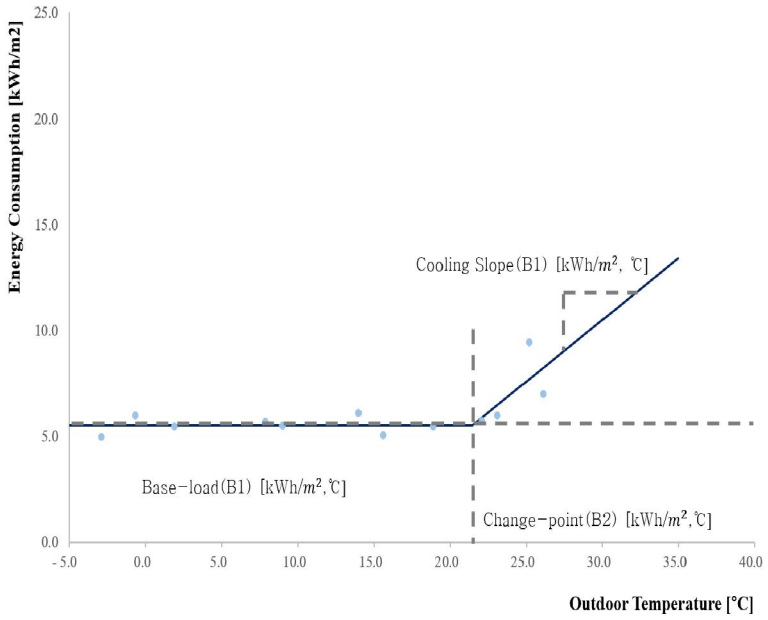


(a) 월별 전기소비량

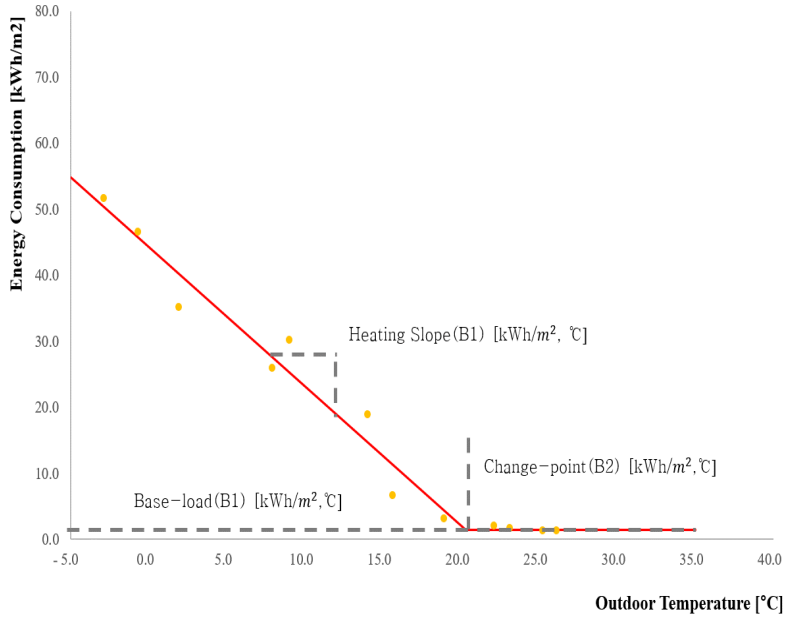


(b) 월별 가스소비량

<그림 2.1> 월별 에너지소비량의 예시 : (a) 월별 전기소비량, (b) 월별 가스소비량



(a) 월별 전기소비량에 Change-point regression model을 적용한 예시



(b) 월별 가스소비량에 Change-point regression model을 적용한 예시

<그림 2.2> Change-point regression model의 적용 예시 :
(a) 월별 전기소비량에 Change-point regression model을 적용한 예시
(b) 월별 가스소비량에 Change-point regression model을 적용한 예시

Change-point regression model의 종류는 <그림 2.3>과 같이 1-parameter model(1P)에서 5-parameter model(5P)로 건축물의 에너지 사용 특성에 따라 구분된다.[18] 각각의 모델의 특성은 다음과 같다.

(a) 1-parameter model (1P): 연중 일정한 사용량을 나타내는 건축물에 적용할 수 있다. 대표적으로 가스냉난방을 사용하는 건축물의 전기소비량을 분석하는데 적용 가능하다.

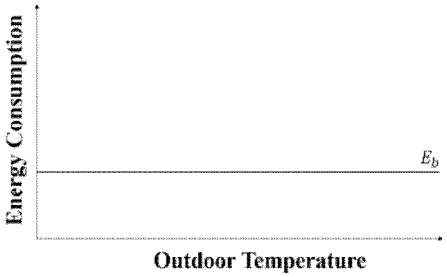
(b) 2-parameter model (2P): 외기온이 증가함에 따라 에너지사용량이 증가하는 냉방위주의 건축물에 적용된다.

(c) 3-parameter model heating (3PH): 일정온도 이상에서 에너지 사용량이 증가하는 건축물 유형에 적용된다. 이 때 C값은 외기 온도의 변화와 무관하게 사용되는 base-load로, 에너지원이 전기인 경우 조명, 전기기기 소비량으로 볼 수 있으며, 가스의 경우에는 급탕, 취사 소비량으로 볼 수 있다.

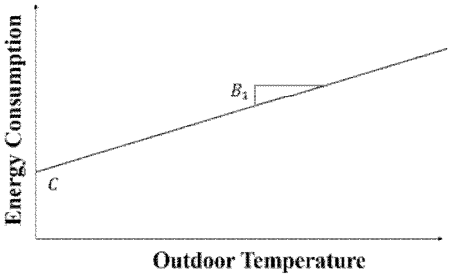
(d) 4-parameter model heating (4PH): (c)의 변형된 형태로 에너지 사용량 기울기가 꺾이는 패턴을 가진다.

(e) 5-parameter model(5P): 일반적인 상업용 건축물의 에너지 사용형태로 1개의 에너지원이 냉난방으로 사용하는 경우에 해당된다. 난방기울기 B1, 냉방기울기 B2, 기본사용량 C, 총 5개의 parameter을 가진다.

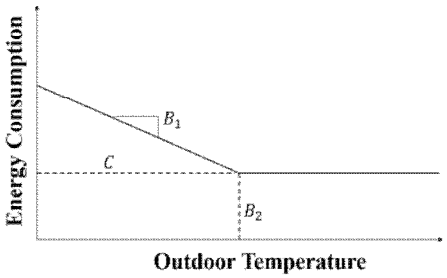
본 연구에서는 겨울철 개별난방 공동주택의 가스사용량의 분석을 함에 있어 용이한 (c) 3PH를 사용하였다.



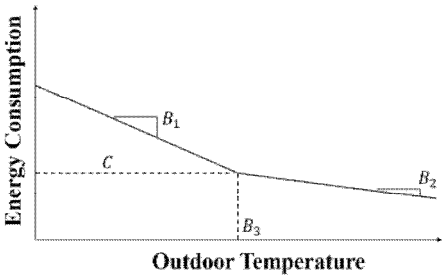
(a) 1P



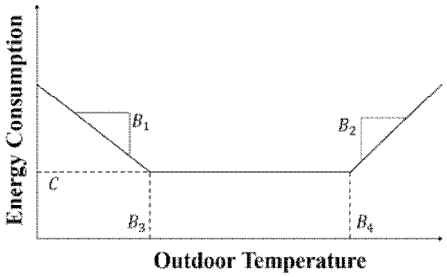
(b) 2P



(c) 3PH



(d) 4PH

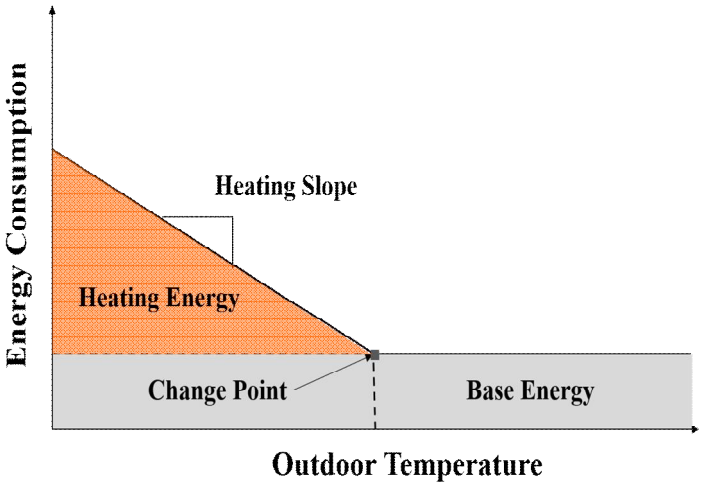


(e) 5P

<그림 2.3> Change-point regression model의 샘플 모델

앞서 설명한 Change-point regression model 5가지 모델 중 개별난방을 하는 본 연구의 대상 공동주택의 특성을 분석하기에 알맞은 3 Parameter model Heating (3PH) <그림 2.3>(c)를 사용하였으며, 본 연구에서는 <그림 2.4>로 표현할 수 있는 3PH을 이용하여 대상 건축물의 에너지소비량을 분석하였으며, 이에 대한 식은<식 2.1>과 같다. 3PH 모델의 적용 예시인<그림 2.4>에서 볼 수 있는 건축물의 에너지소비량은 두 가지로 나눌 수 있는데 주황색 부분으로 표현한 Heating Energy는 건축물에서 난방을 위해서 소비된 난방에너지소비량이며, 회색으로 표현한 Base Energy는 외기온과 상관없이 소비된 기저에너지(급탕, 취사 소비량)를 의미한다.

본 연구에서는 난방에 있어 외기온에 따라 변화하는 소비량을 분석하고자 하였기에 <그림 2.4>의 주황색 부분으로 표현되는 Heating Energy 난방에너지소비량을 이용하여 연구 대상 건축물의 에너지 성능을 비교하였다.



<그림 2.4> Parameter Change-point regression model에서의 에너지소비량

$$E = C + B_1(B_2 - T)_+ \qquad \text{<식 2.1>}$$

E : 에너지소비량 [kcal/h]

C : 기저에너지소비량 [kcal/h]

B_1 : Heating slope [kcal/h·℃]

B_2 : Change-point[℃]

T : 외기온도 [℃]

2.2 Change-point regression model 계수의 특성

가스에너지소비량을 Change-point regression model을 적용하여 도출되는 계수인 Heating slope(HS), Heating change-point(HCP) 그리고 건물의 난방부하(HC)의 계산 수식은 <식 2.2>, <식 2.3>, <식 2.4>로 나타낼 수 있다.

<식 2.2>는 HC에 관한 식으로서 건축물의 난방부하를 나타내며, 외피의 열관류율과 외피의 면적, 환기·침기량, 공기의 밀도 및 공기의 비열에 관한 함수로 구성된다.

<식 2.3>은 HS에 관한 식으로서 HC와 난방열원의 효율에 관한 식으로 나타낼수 있다. 본 연구에서의 난방열원의 효율은 개별난방시스템의 보일러 효율이다. Heating slope는 외기온도 1℃ 변화에 따른 난방에너지소비량의 변화를 나타내는 계수로서 그 수치가 클수록 건축물의 열적성능이 열성임을 나타낸다. 반대로 수치가 작을수록 열적성능의 우수함을 알 수 있다.

<식 2.4>는 Heating change-point 온도에 관한 식으로서 건축물에서 난방에너지소비량이 증가하기 시작하는 외기온도를 보여준다. Heating change-point온도는 실내 난방설정온도(Heating set-point temperature)와 실내발열부하(조명, 사람 등), HC에 관한 함수로 구성되며, HCP는 건물의 열적성능을 나타내기보다는 재실자의 난방설정온도에 좌우되는 생활습관과 관련된다.

본 연구에서는 Change-point regression model의 계수에서 건축물의 열적성능을 알 수 있는 HS와 HCP를 활용하여 건축물의 난방에너지소비량을 도출하여 대상 건축물의 성능을 판별하였다.

$$HC = UA + V \cdot \rho \cdot c_p \qquad \text{<식 2.2>}$$

HC : 난방부하 [kcal/h]

U : 외피의 열관류율 [kcal/m^{2}K]

A : 외피의 면적 [m^2]

V : 환기량, 침기량 [m^3/h]

ρ : 공기의 밀도 [kg/m^3]

cp : 공기의 비열 [kcal/kg·℃]

$$HS = \frac{HC}{\eta_H} \qquad \text{<식 2.3>}$$

HS : Heating slope [kcal/h·℃]

HC : 난방부하 [kcal/h]

□H : 난방시스템 효율

$$HCP = T_{set} - \frac{Qi}{HC} \qquad \text{<식 2.4>}$$

HCP : Heating Change-point 온도 [℃]

T_{set} : 난방설정온도 [℃]

Qi : 실내 발열부하 [kcal/h]

HC : 난방부하 [kcal/h]

III. 조사대상 공동주택

3.1 조사대상 개요

본 연구의 대상은 거주용 건축물 중 공동주택으로 위치는 울산시에 한정하였다. 울산시에 위치한 울산시 212개의 공동주택단지 중에서 최종 대상을 선정하기 위해 대상 선정의 조건을 설정하였다.

첫 번째로는 공동주택의 주동 형태로 기존의 공동주택은 크게 판상형과 타워형으로 나눌 수 있다. 본 연구의 대상으로 하는 노후화 건축물의 경우 타워형 아파트가 많이 시공된 2000년 이전에 준공된 단지들이기 때문에 판상형의 주동 형태를 가지는 공동주택을 선정하였다. 공동주택의 열원으로는 도시가스를 사용하는 개별난방 시스템이 적용된 단지로 하였으며, 데이터의 일관성과 신뢰도를 확보하기 위하여 개별세대 300세대 이상의 단지를 선정하였다.

조건에 알맞은 공동주택단지 중에서 건축물 에너지 성능에 미치는 노후화의 영향을 평가하기 위해 준공연도에 있어 각각 5년씩의 차이를 갖는 4개단지를 연구의 대상 건축물로 하였다. 각각의 공동주택단지는 1991년, 1996년, 2001년, 2006년에 준공되었으며, 단지별로 50세대를 선정하였다. 세대의 선정은 각단지에서 남향인 동을 선별하였으며, 회귀분석 방법인 3-parameter Change-point regression model을 적용하기 위해 ASHRAE에서 정의하는 회귀식의 신뢰도를 판단할 수 있는 척도인 <식 3.1> 결정계수 R^2와 평균제곱근 오차의 변동계수<식 3.2> CV(RMSE)를 이용하여 ASHRAE[19]에서 정의하는 신뢰구간인 R^2 0.8 이상 CV-RMSE 20% 이하의 세대로 구성하였다.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \qquad \text{<식 3.1>}$$

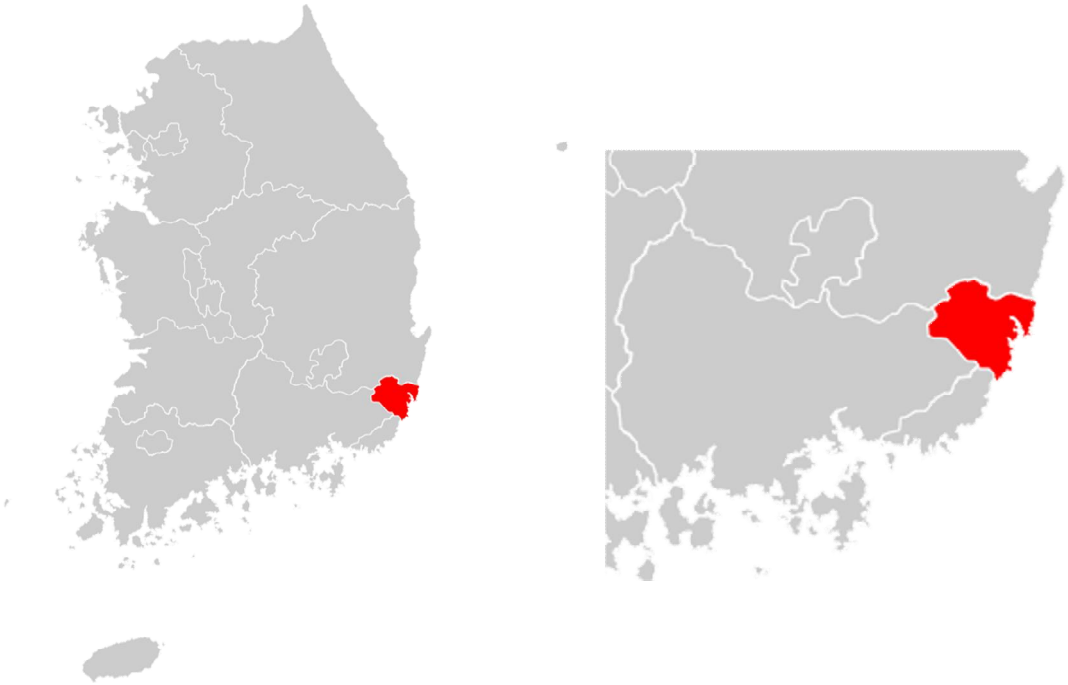
$$\text{Sum of Square Total(SST)} = \sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y_i} + \hat{y_i} - y_i)^2$$

$$\text{Sum of Square Error(SSE)} = \Sigma(y_i - \hat{y_i})^2$$

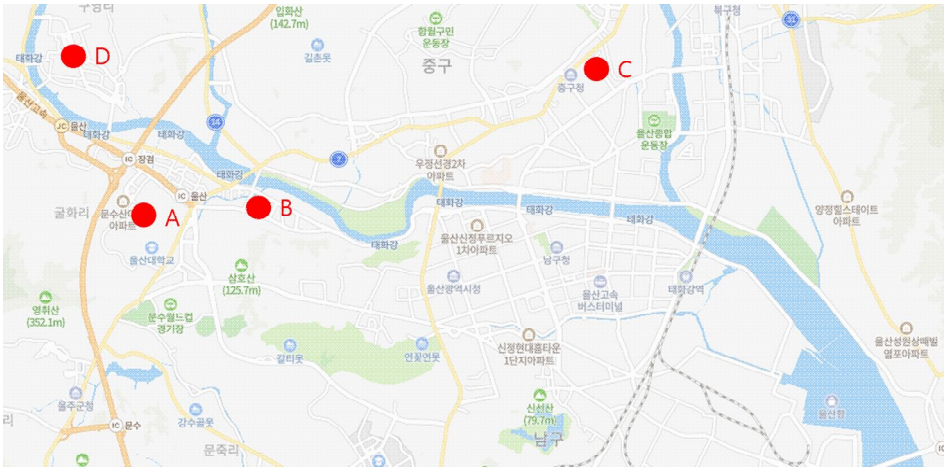
$$\text{Sum of Square Regression(SSR)} = \Sigma(\hat{y_i} - \bar{y})^2$$

$$\text{CV(RMSE)} = 100 \text{ X } [\Sigma(y_i - \hat{y_i})^2/(n-p)]^{\frac{1}{2}}/\bar{y} \qquad \text{<식 3.2>}$$

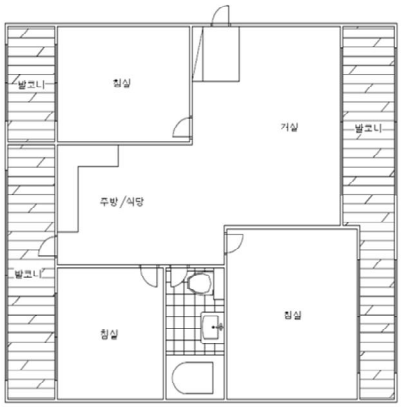
<그림 3.1>과 <그림 3.2>은 단지의 위치와 <그림 3.3>으로 단지 별 평면도를 보여주고 있으며, <표 3.1>에는 선정된 세대의 개요를 나타내었다. A, B, C, D단지의 개별 세대의 평면 면적은 상이하나 본 연구에서는 단위 면적당 사용된 에너지소비량을 사용하는 방법으로 변수를 조절하였다. 세대의 위치에서는 종으로는 최하층, 중간층, 최상층으로 나눌 수 있고, 횡으로는 측면 세대, 중간 세대로 나눌 수 있다. 같은 동에 위치해 있어도 세대위치의 조건에 따라 에너지 소비량에 있어서 차이가 있을 수 있기 때문에 적절한 비율을 유지하여 선정하였다.



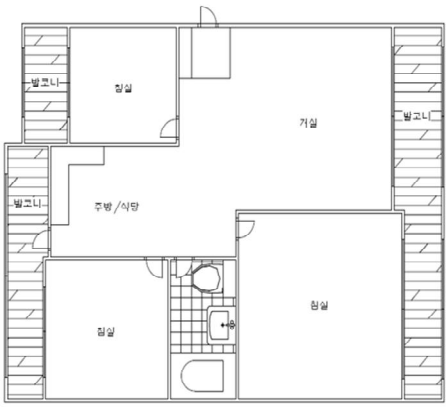
<그림 3.1> 국내 연구대상 공동주택의 위치



<그림 3.2> 울산시내 연구대상 공동주택단지의 위치(A ~ D단지)

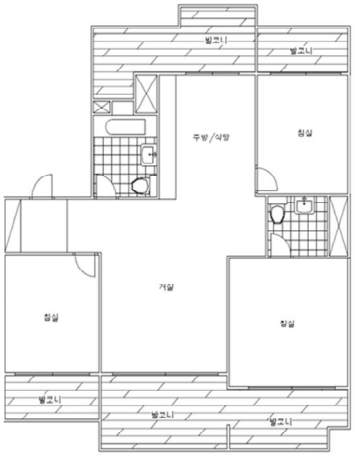


(a) A단지 세대 평면도



(b) B단지 세대 평면도

(c) C단지 세대 평면도



(d) D단지 세대 평면도

<그림 3.3> 단지별 세대 평면도 :
(a) A단지, (b) B단지, (c) C단지, (d) D단지

<표 3.1> 조사대상 공동주택단지 개요

단지	준공연도(년)	면적(m^2)	세대 위치(횡)	세대 위치(종)			세대 수
				최하층 (비율)	중간층 (비율)	최상층 (비율)	
A	1991	86.41	측면 세대	4 (8%)	5 (10%)	3 (6%)	50
			중간 세대	9 (18%)	16 (32%)	13 (26%)	
B	1996	84.28	측면 세대	4 (8%)	4 (8%)	2 (4%)	50
			중간 세대	14 (28%)	16 (32%)	10 (20%)	
C	2001	106.32	측면 세대	5(10%)	4 (8%)	4 (8%)	50
			중간 세대	16 (32%)	8 (16%)	12 (24%)	
D	2006	87.26	측면 세대	4 (8%)	5 (10%)	6 (12%)	50
			중간 세대	14 (28%)	10 (20%)	11 (22%)	

3.2 공동주택의 에너지 성능 평가 자료 수집 및 정리

조사 대상 공동주택의 에너지 성능을 평가하기 위한 도구인 회귀분석 모델 Change-point regression model을 적용하기 위하여 필요한 데이터인 대상 공동주택의 가스소비량 데이터와 해당지역의 기상데이터를 수집하였다. 가스소비량 데이터의 측정 기간은 2011년 1년간의 세대별 월간 가스소비량 데이터로 도시가스 요금 고지서 발부를 위해 측정된 자료를 수집하였다. 도시가스 고지서에 기록된 사용량은 전월의 사용량이 기록되어 고지되기 때문에 측정기간을 고려하여 2011년 2월부터 2012년 1월까지의 데이터를 사용하여 가스소비량 데이터 세트를 구성하였다.

기상데이터로는 연구 대상 지역인 울산시의 월평균 데이터를 기상청에서 측정한 월간 평균온도를 수집하여 사용했다. 측정 기간은 수집한 가스소비량 데이터의 기간과 동일한 2011년 1년간의 데이터이다.

수집한 가스소비량 데이터를 회귀분석 모델 Change-point regression model에 적용하기 이전에 단위를 변환하였다.

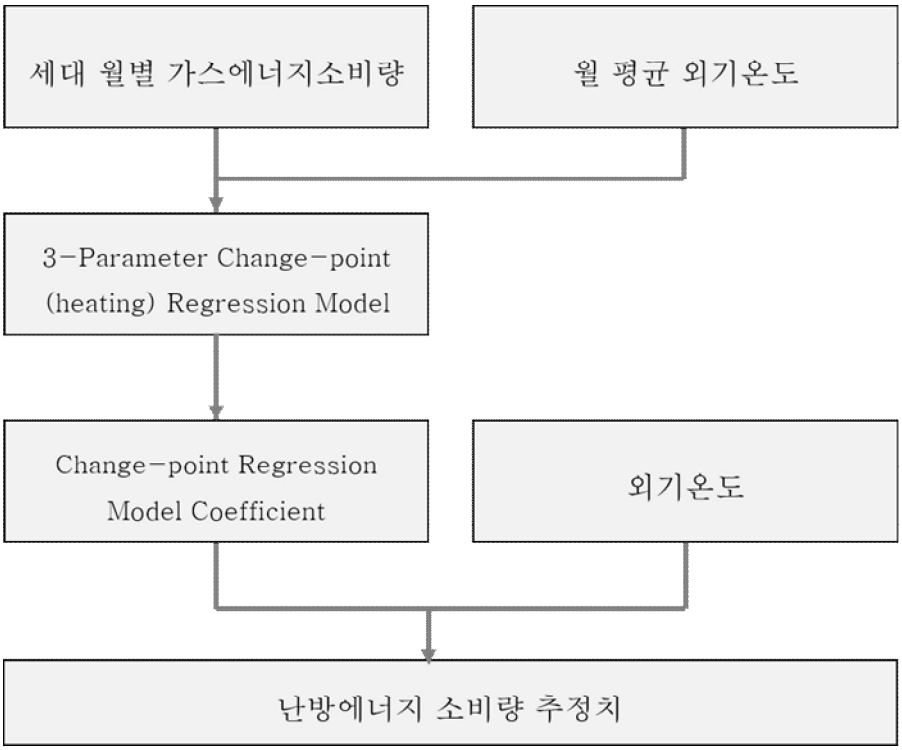
소비량의 단위는 건축법 시행령에 의해 2009년 이후 건축 승인된 아파트부터는 가스사용량 측정기가 기존의 유량계에서 열량계로 바뀌었다. 이에 따라서 수집한 도시가스의 유량단위 m^3에서 열량 단위 kWh로 변환하였다. 변환 수식은 다음 <식 3.3>같다.

$$1kWh/m^2 = 1/10.55m^3 \qquad \text{<식 3.3>}$$

열량단위로 변환한 가스소비량데이터를 단지별로 상이한 전용면적으로 나누어 단위면적당 월별 가스소비량으로 (kWh/m^2、$month$) 변환하여 연구를 실시하였다.

3.3 공동주택의 에너지 성능 평가를 위한 회귀분석

앞장에서는 Change-point regression model적용에 필요한 데이터를 수집 및 정리하였다. 이를 이용하여 건축물의 에너지 성능을 비교하기 위하여 Change-point regression model의 계수를 도출하였다. <그림 3.4>은 수집한 데이터를 이용하여 Change-point regression model을 적용하는 방법에 대한 순서도를 보여주고 있다. 먼저 공동주택 각 세대의 월별 가스소비량과 해당 지역의 월평균 외기온도로부터 본 연구에서 사용한 3-parameter Change-point regression model(Heating)의 계수인 Heating slope(B1), heating change-point 온도(B2), base-load(C)를 산출하였다. 그리고 산출한 계수와 기상데이터를 <식 3.4>의 난방에너지소비량 추정 식에 대입하여 월별 난방에너지소비량을 추정하였다.



<그림 3.4> 난방에너지소비량 추정치 계산 순서도

$$\text{Heating energy consumption} = \Sigma B1(B2 - T)_{+} \qquad \text{<식 3.4>}$$

B1 : Heating slope [kWh/m2・℃]

B2 : Heating change-point 온도 [℃]

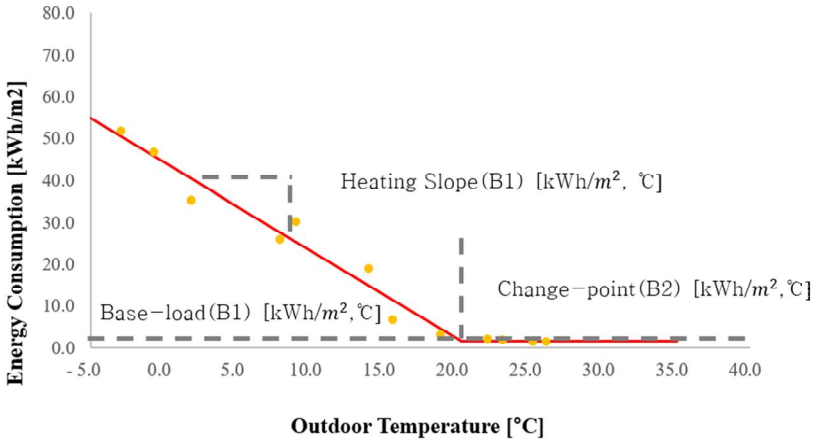
C : Base-load [kWh/m2,month]

T : 월평균 외기온도 [℃]

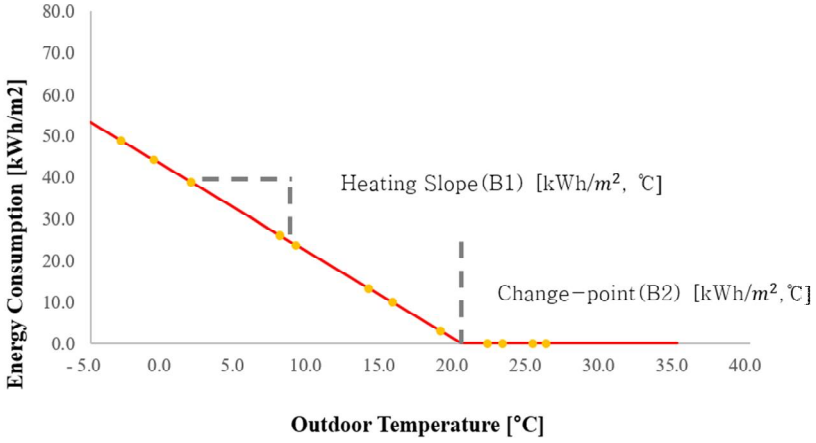
Change-point regression model을 통하여 난방에너지소비량을 추정 및 활용하는 이유는 건축물의 열적성능을 가늠할 수 있는 난방에 사용한 에너지소비량만을 비교 분석하고자함이다.

다음 <그림 3.5>, <그림 3.6>은 한 세대의 가스소비량을 이용하여 3-parameter Change-point regression model을 통해 도출된 난방에너지 소비량의 예를 보여주고 있다. 추정된 난방에너지소비량은 가스소비량에서 Base-load를 제거한 월별 사용량으로 나타나며, 그 값은 <그림 3.7>, <표 3.2>와 같다.

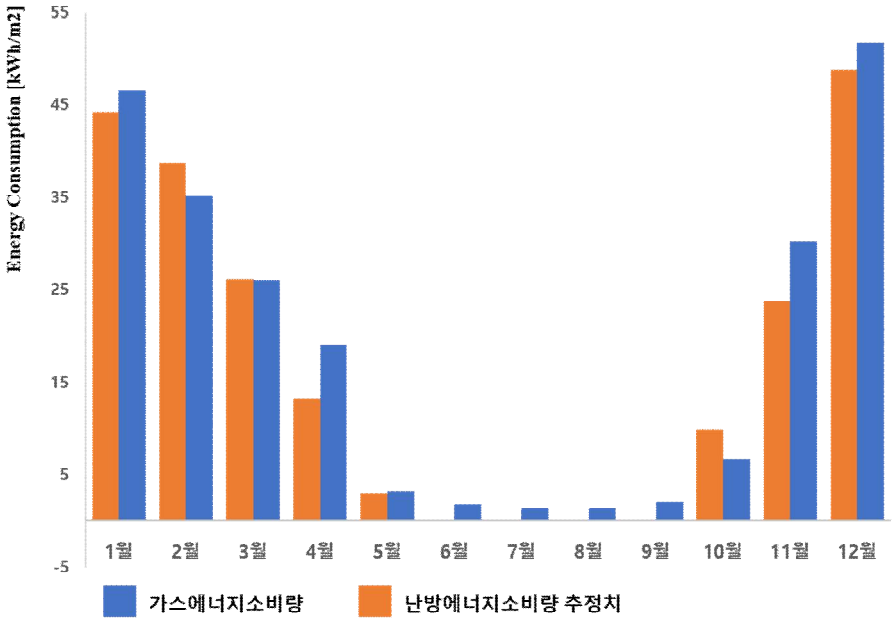
3-parameter Change-point regression model <그림 3.5>에서 점으로 표현되는 실측 데이터와 선으로 표현되는 예측 소비량과의 관계성을 R^2과 CV-RMSE로 나타내는데 각각의 값의 0.8이상 20%이하의 값으로 나타낼 때 신뢰할 수 있는 데이터로 정의하고 있다.



<그림 3.5> 세대의 월별에너지소비량을 이용한
3-parameter Change-point regression model의 예시



<그림 3.6> 추정 난방에너지소비량을 이용한 세대의
3-parameter Change-point regression model의 예시



<그림 3.7> 가스에너지소비량과 추정된 난방에너지소비량의 추정치

<표 3.2> 가스에너지소비량과 추정된 난방에너지소비량의 값 (kWh/m^2)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
가스 소비량	46.6	35.2	26.1	19.0	3.2	1.8	1.4	1.4	2.1	6.7	30.3	51.8
난방 소비량	44.3	388	26.1	13.3	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9	23.8	48.9
Base-Load	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45

IV. 조사대상 공동주택단지에 따른 난방에너지소비량

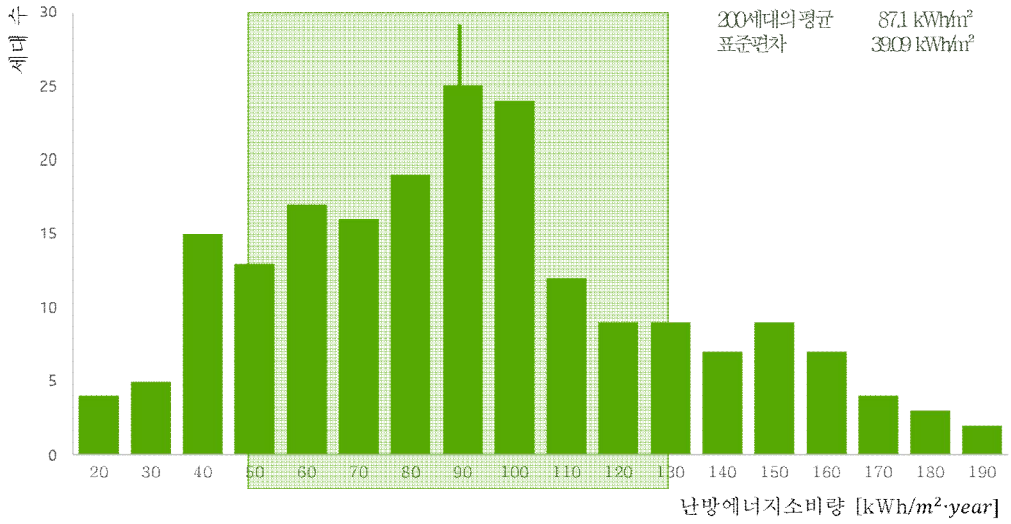
4.1 조사대상 공동주택의 난방에너지 소비량 분포에 따른 성능해석

앞장에서 건축물의 가스에너지소비량과 외기온을 바탕으로 Change-point regression model의 적용을 통해 계수를 도출하였다. 도출된 계수를 이용해서 난방에 사용된 에너지만을 나타내는 추정 난방에너지소비량을 계산하였다. 조사대상 공동주택 200세대의 난방에너지소비량을 비교하여 건축물의 열적성능을 비교하기 위하여 난방에너지소비량의 분포를 파악하였다.

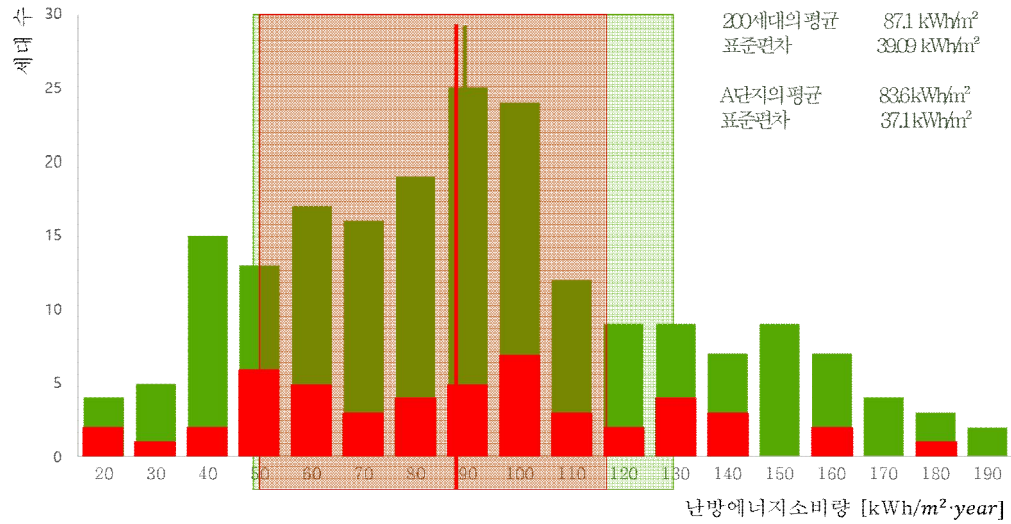
<그림 4.1>은 전체 세대 200세대의 난방에너지소비량 분포를 보여주고 있다. 세대별 난방에너지소비량은 10.4kWh/m²・year에서 186kWh/m²・year의 범위에 걸쳐 분포하고 있으며, 평균 87.1kWh/m²・year, 표준편차 39.09kWh/m²・year로 나타났다.

<그림 4.2>부터 <그림 4.5>까지는 조사대상 4개 단지의 단지별 분포를 200세대의 분포와 비교하여 나타내었다. <그림 4.2>에 나타낸 A단지 50세대의 난방에너지소비량의 평균은 3.6kWh/m²・year이고, 표준편차는 37.1kWh/m²・year으로 200세대의 분포와 크게 다르지 않은 모습을 알 수 있었다. <그림 4.3>의 B단지 분포를 살펴보면 난방에너지소비량의 평균은 116.4kWh/m²・year, 표준편차는 33.0kWh/m²・year로 전체분포에 비하여 우측으로 치우친 분포를 확인할 수 있었다. <그림 4.4>의 C단지는 난방에너지소비량과 표준편차에서 각각 70.3kWh/m²・year, 35.9kWh/m²・year를 나타내었고 분포에서 또한 전체분포 그래프에서 비교적 좌측에 많은 분포를 보였다. 마지막 D단지의 분포그래프인 <그림 4.5>를 살펴보면 난방에너지소비량의 평균은 82.9kWh/m2, 표준편차는 33.1kWh/m²・year의 값으로 나타났다. 이는 전체의 분포와 크게 다르지 않은 모습이었다.

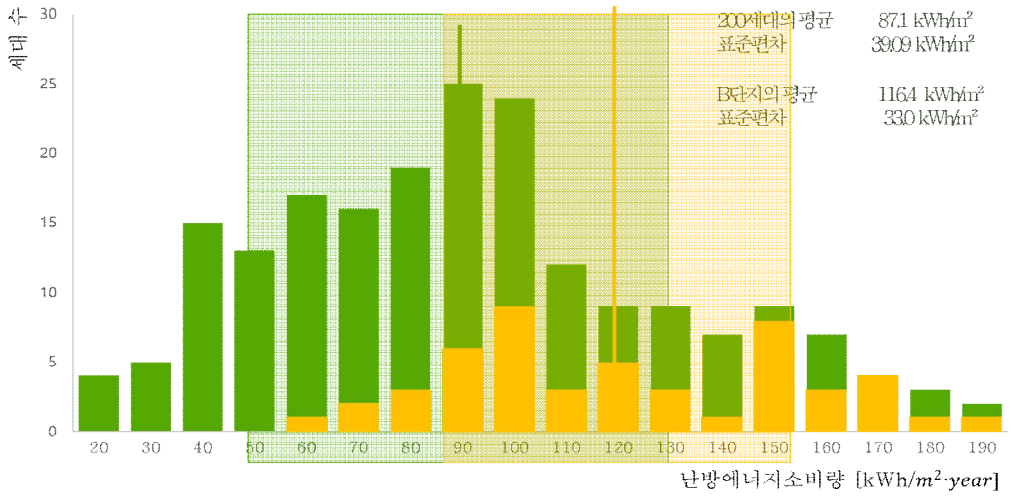
단지별 난방에너지소비량의 도수분포를 분석해보면, 가장 작은 평균 난방에너지소비량을 보이는단지는 C단지였고, 반대로 가장 높은 평균 난방에너지소비량의 단지는 B단지였다. 평균 난방에너지소비량은 B, A, D, C순으로 높게 측정되었다. 이는 주택의 준공연도에 따라 열적성능이 상이하여 에너지소비량에 있어 차이가 있을 것이라는 본 연구의 의도와 비슷한 순서를 나타났지만, B단지의 난방에너지소비량이 다른 단지에 비하여 크게 높게 나타나는 원인으로는 시공사의 시공능력등 기타 요인이 작용 하였을 것으로 사료된다.



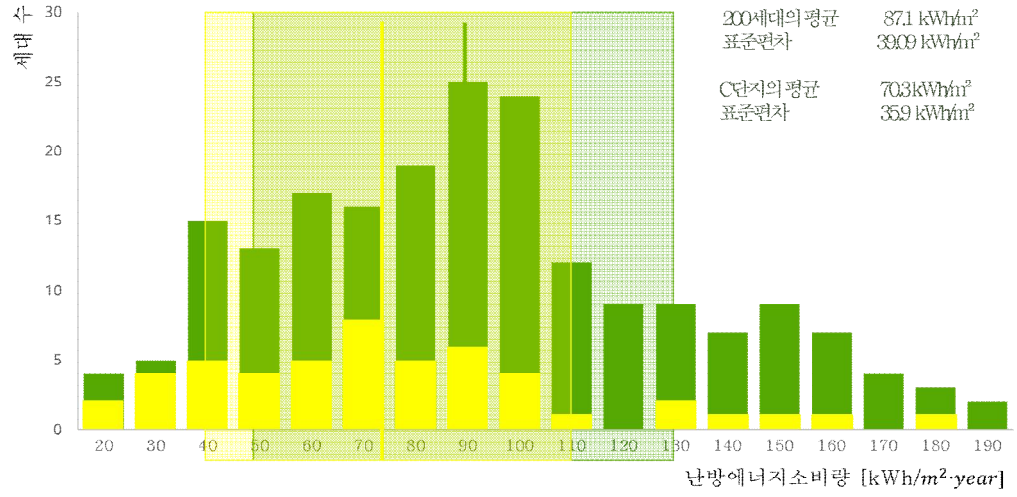
<그림 4.1> 공동주택 200세대의 난방에너지소비량 도수분포



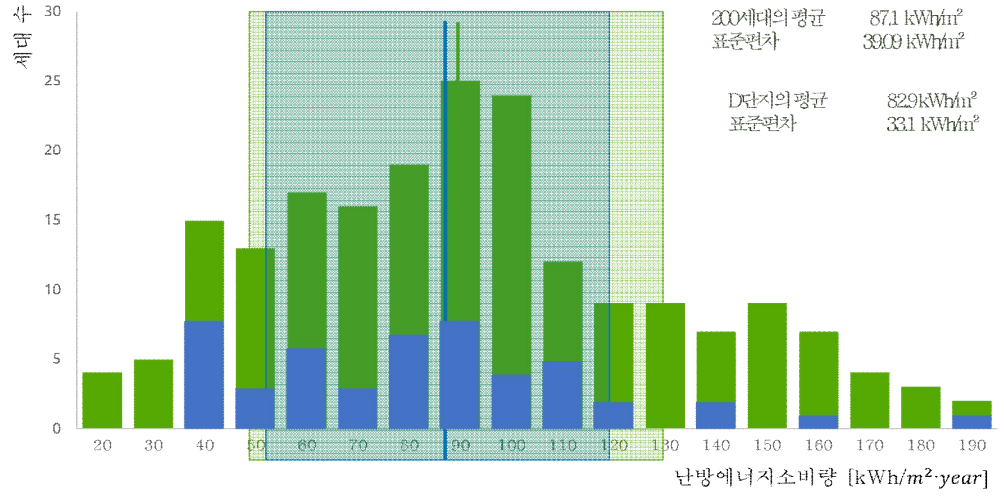
<그림 4.2> A단지 50세대의 난방에너지소비량 도수분포



<그림 4.3> B단지 50세대의 난방에너지소비량 도수분포



<그림 4.4> C단지 50세대의 난방에너지소비량 도수분포



<그림 4.5> D단지 50세대의 난방에너지소비량 도수분포

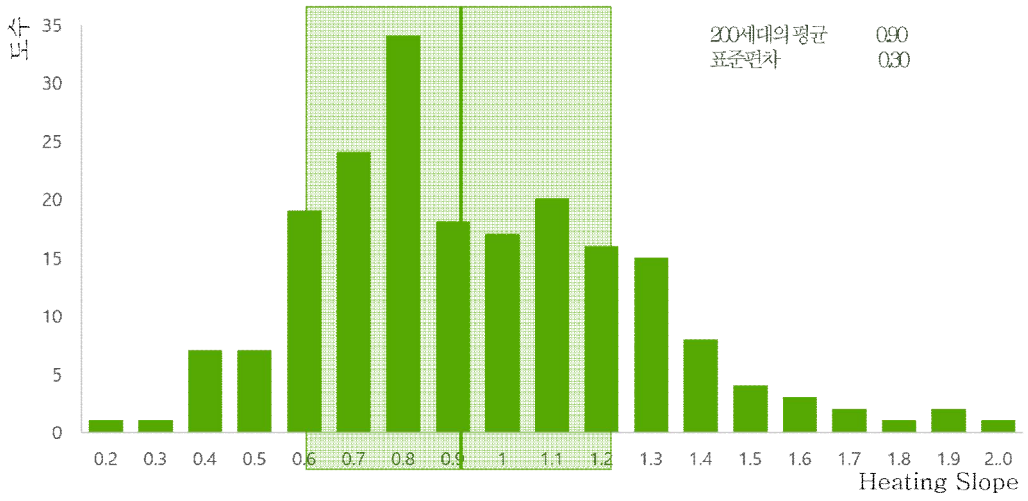
4.2 조사대상 공동주택의 Regression Model 계수 분포에 따른 평가

본 연구에서는 건축물의 열적성능 비교를 위하여 난방에너지소비량 분포를 비교 및 분석하였다. 또한 4.2장에서는 난방에너지소비량을 추론하는데 사용된 Change-point regression model 계수인 Heating slope과 Change-point의 분포를 파악하여 건축물의 열적성능을 비교하는데 있어서 유효한 계수를 알아보았다.

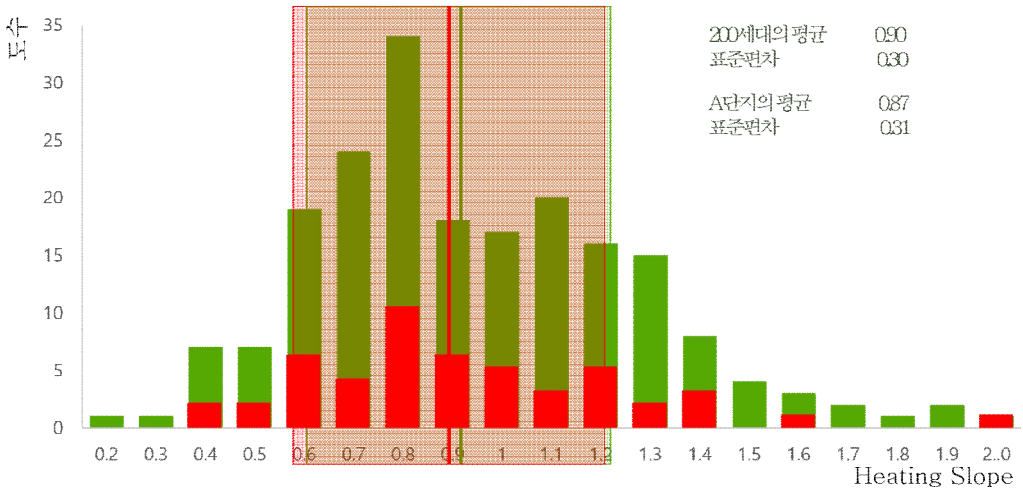
<그림 4.6>부터 <그림 4.10>까지 Change-point regression model 계수 중 Heating slope의 도수분포를 보여주고 있다. <그림 4.6>에서 볼 수 있듯이 200세대의 Heating slope은 0.13에서 1.96의 범위에 걸쳐 분포하고 있으며, 평균 0.90, 표준편차 0.33으로 나타났다.

단지별 분포를 살펴보면 <그림 4.7>의 A단지 50세대의 Heating slope 도수분포에서 Heating slope의 평균은 0.87이고, 표준편차는 0.31 으로 나타났다. 이는 평균과 크게 차이가 없는 수치로 A단지의 난방에너지소비량 분포와 유사했다. <그림 4.8> B단지의 Heating slope 평균은 1.11, 표준편차는 0.26으로 200세대의 평균에 비하여 높은 평균과 전체분포 대비 우측에 치우친 분포를 보였다. <그림 4.9> C단지는 Heating slope의 평균과 표준편차에서 각각 0.84, 0.37로 전체 세대에 비하여 약간 작은 평균을 보였다. <그림 4.10> D단지는 평균 0.77, 표준편차 0.23의 값을 보였다. 이는 4개단지 중 가장 작은 Heating slope의 평균값으로 나타났다.

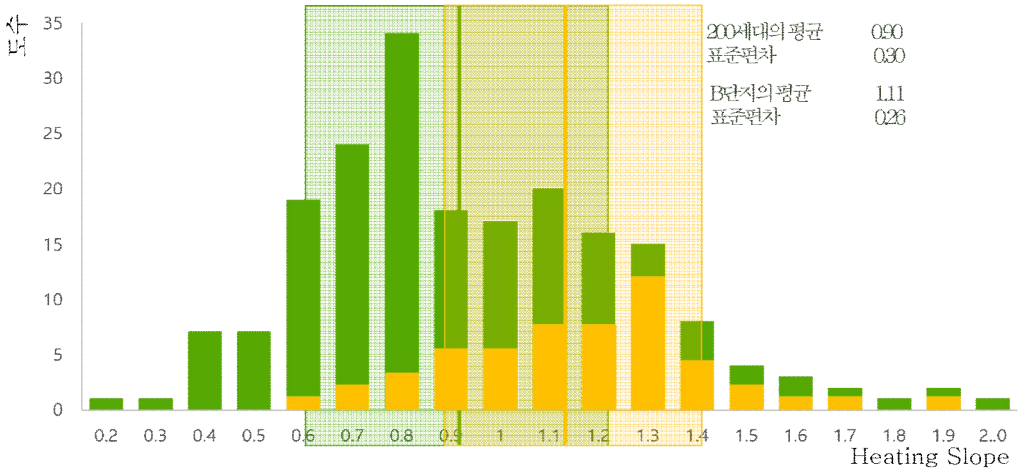
평균 Heating slope은 B, A, C, D 순으로 앞선 난방에너지소비량의 순서와 비교하였을 때 비슷하게 나타났다. 세대의 Heating slope 분포 또한 B단지에 위치한 세대들이 전체의 평균과 분포에 비하여 우측에 많이 분포하는 것으로 나타나 난방에너지소비량에서의 분포와 유사함을 보였다.



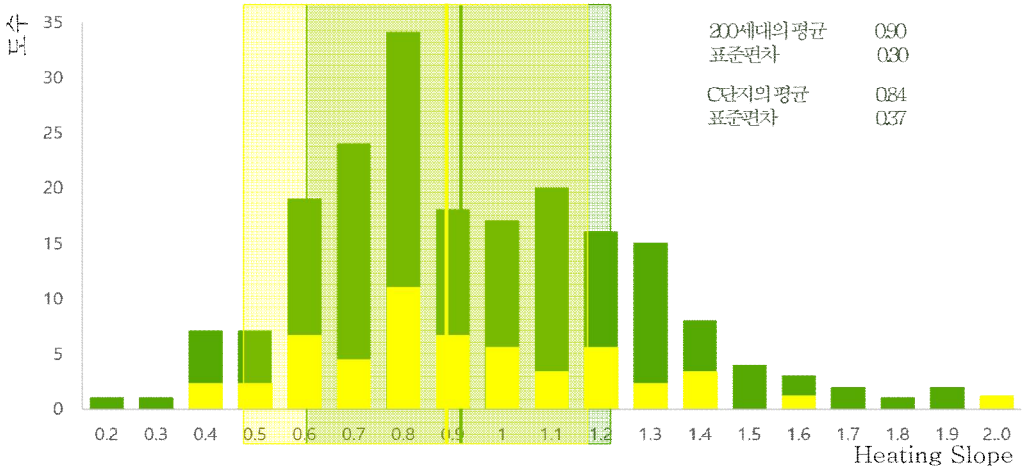
<그림 4.6> 공동주택 200세대의 Heating slope 도수분포



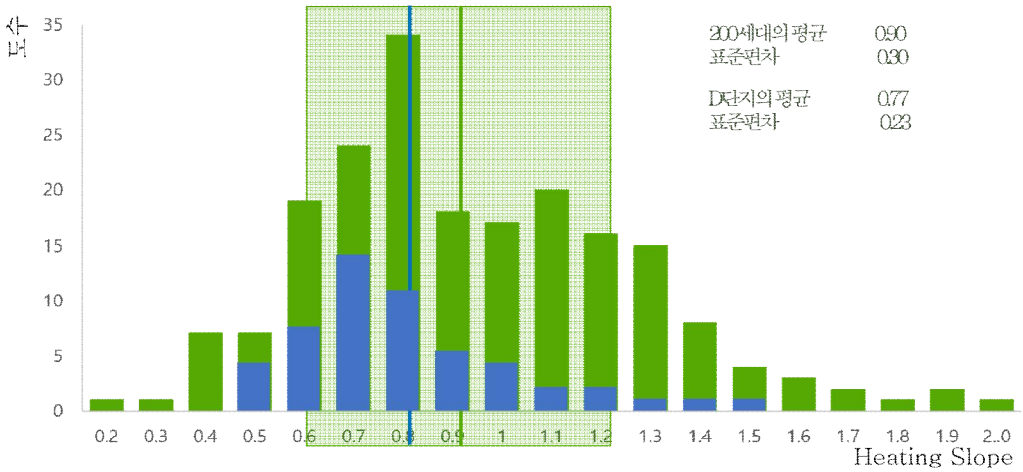
<그림 4.7> A단지 50세대의 Heating slope 도수분포



<그림 4.8> B단지 50세대의 Heating slope 도수분포



<그림 4.9> C단지 50세대의 Heating slope 도수분포

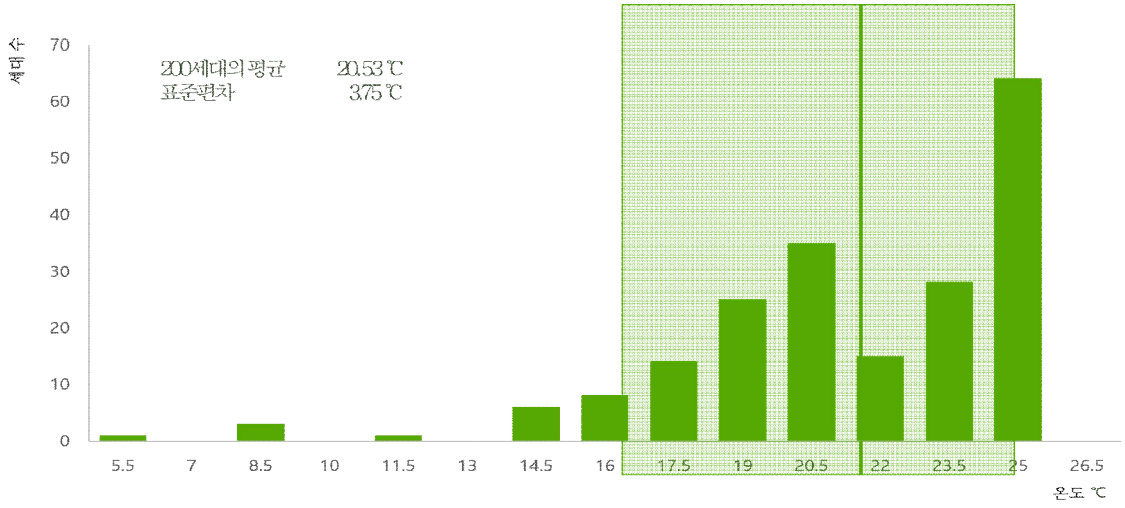


<그림 4.10> D단지 50세대의 Heating slope 도수분포

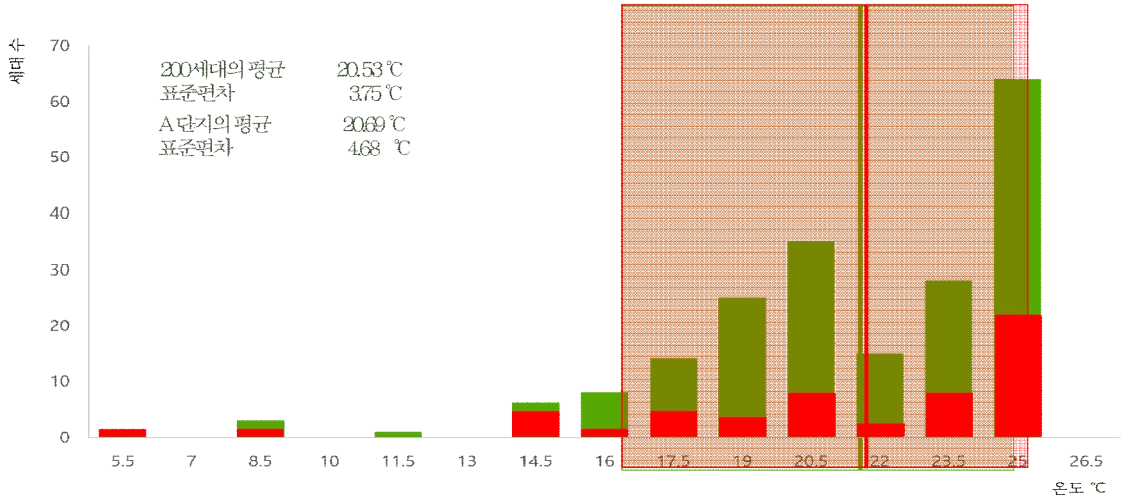
본 연구에 사용한 Change-point regression model 계수 중 마지막 계수인 Change-point의 도수분포 그래프는 <그림 4.11>부터 <그림 4.15>에 나타나있다.

<그림 4.11> 공동주택 200세대의 Change-point 도수분포는 연구대상 전체의 평균과 표준편차 및 분포를 나타내고 있으며, 분포 범위는 4.63℃에서 24.76℃사이로, 평균 20.53℃, 표준편차 3.75℃을 보였다. <그림 4.12>부터 <그림 4.15>까지는 연구대상 4개단지별 50세대의 Change-point 도수분포를 나타내었다. <그림 4.12> A단지 50세대의 Change-point는 평균 20.69℃이고, 표준편차는 4.68℃이다. <그림 4.13> B단지의 평균은 21.61℃, 표준편차는 2.54℃로 보였고, <그림 4.14> C단지는 평균과 표준편차에서 각각 19.36℃, 4.16℃를, <그림 4.15> D단지는 평균 21.05℃ 표준편차 2.79℃를 보였다.

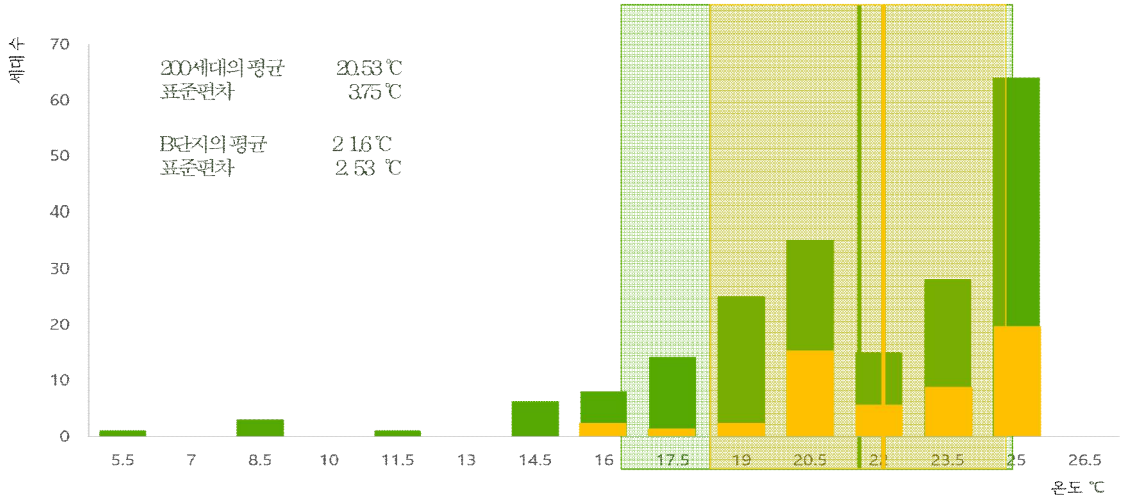
평균 Change-point는 B, D, A, C 순으로 나타났으나, 그 값과 표준편차에 있어서 <그림 4.11> 공동주택 200세대의 Change-point 도수분포와 크게 다르지 않았다. 도수분포의 범위에서도 17.5℃ ~ 25℃ 사이에 200세대 중에서 167세대가 분포하는 모습을 나타내었다. 이는 건축물의 열적성능보다는 재실자의 사용습관으로 인해 결정되는 Change-point 특성상 건축물의 사용기한으로 인한 영향은 없는 것으로 파악된다.



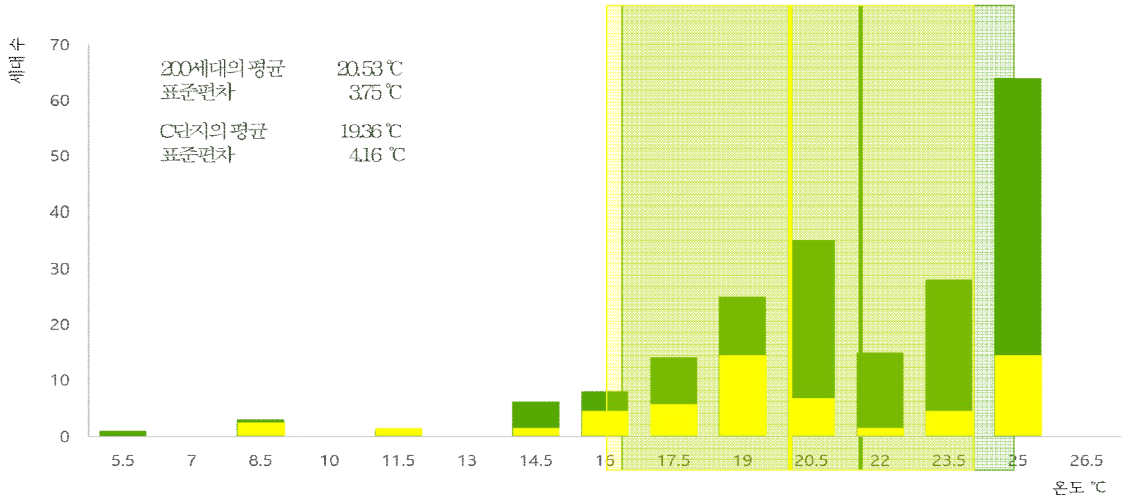
<그림 4.11> 공동주택 200세대의 Change-point 도수분포



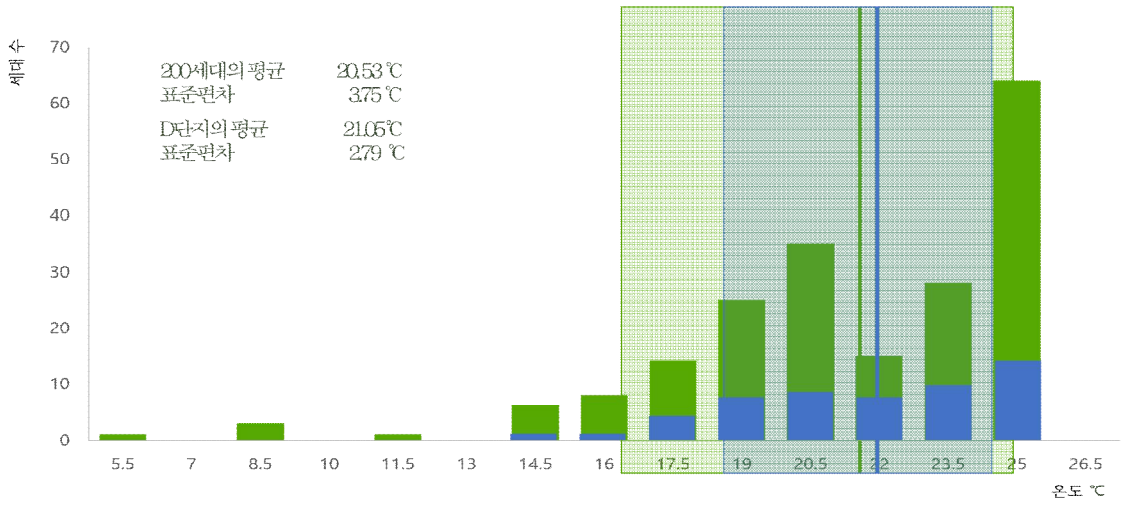
<그림 4.12> A단지 50세대의 Change-point 도수분포



<그림 4.13> B단지 50세대의 Change-point 도수분포



<그림 4.14> C단지 50세대의 Change-point 도수분포



<그림 4.15> D단지 50세대의 Change-point 도수분포

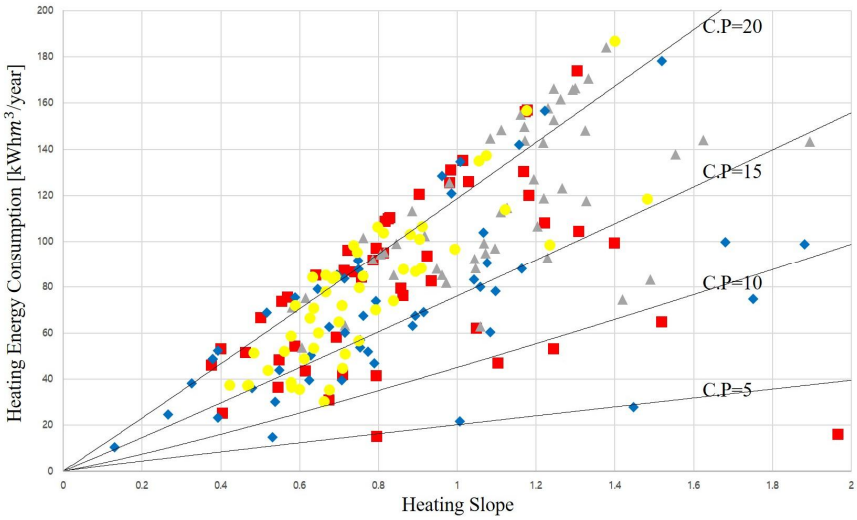
4.3 Regression Model 계수와 난방에너지 소비량의 상관관계

조사대상 공동주택의 난방에너지소비량과 3-parameter Change-point regression model(Heating)을 통해 산출한 계수인 Heating slope, heating change-point 온도와 난방에너지소비량과의 상관관계를 분석하였다.

앞선 난방에너지소비량과 3-parameter Change-point regression model 계수의 각각의 도수분포를 통하여 조사대상단지별 분포를 확인하였다. 도수분포의 단지별 분포에서는 난방에너지소비량과 Heating slope의 분포에 있어 유사점이 확인되었지만, 재실자의 사용습관에 따라 달라지는 Change-point의 분포에 있어서는 앞선 난방에너지소비량과 Heating slope의 분포와의 상관성을 보이지 않았다. <그림 4.16>은 Heating slope, Change-point와 난방에너지소비량의 관계를 보여주고 있다. 그림의 곡선은 Heating slope를 0.2 간격으로 0에서부터 2까지 보여주고 있으며, 200세대의 평균 Heating slope는 0.89, 표준편차는 0.32로 폭넓게 위치하고 있었다.

<그림 4.16>에서 건축물의 열적성능을 나타내는 계수인 Heating slope가 동일한 세대에서도 난방에너지소비량에 차이가 발생하는 이유로는 change-point 즉 재실자의 난방 행위에 의한 영향인 것으로 판단된다. change-point의 높고 낮음은 재실자의 사용 습관에 따라 결정된다.

난방을 시작하는 온도인 change-point는 평균 20.53℃, 표준편차 3.75℃로 나타났다. 이 그림에서 거주자의 난방 행위를 나타내는 계수인 change-point 온도가 동일한 세대에서도 난방에너지소비량에 차이가 발생하는 이유로는 준공연도에 따라 세대의 열적성능이 상이하기 때문으로 판단하였다. 같은 단지 내에서의 세대별 난방에너지 소비량 차이는 단지 구성에서 세대의 위치와 외기에 접한 면의 구성에 의한 영향인 것으로 판단된다. 따라서 그림에서와 같이 난방에너지 소비량이 다양하게 분포한 원인에는 세대의 준공연도가 가장 큰 영향을 미치고, 세대 높이와 접한 면의 구성 및 거주의 사용 행태가 모두 포함되어 있는 것으로 판단된다.



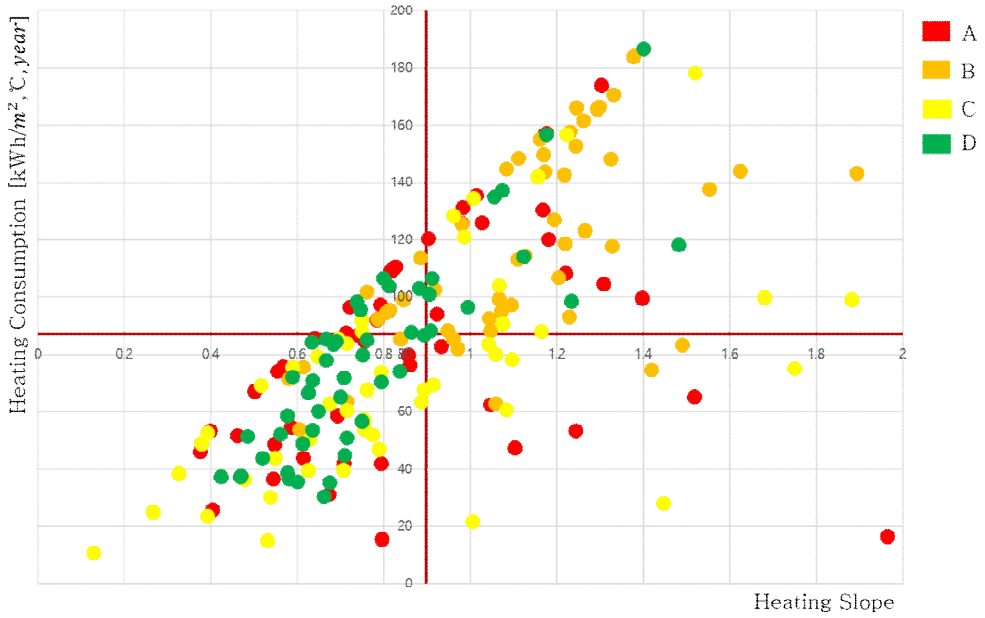
<그림 4.16> 공동주택 세대별 Heating slope, Heating Change-point와 난방에너지 소비량과의 관계

4.4 Heating slope와 난방에너지 소비량에 따른 사분면

본 연구에서는 3-parameter Change-point regression model(Heating)을 통해 산출한 Heating slope, change-point중에서 Heating slope(HS)와 단일세대에서의 연간 난방에너지소비량을 건축물의 열적 성능을 나타낼 수 있는 지표로 설정하고 두 가지 값을 이용하여 건축물의 열적 성능을 비교하였다.

HS와 단일세대에서의 연간 난방에너지소비량을 각각 X, Y 축으로 하는 평면상에 4개 단지별 50세대인 총 200세대의 계수를 <그림 4. 17>과 같이 도시하였다. 각 세대의 에너지 성능을 판단하는 기준점을 연구대상 200세대의 평균인 X축 0.89, Y축 87.09으로 설정하였으며, 기준점으로 인하여 만들어지는 4 사분면을 통해 건축물의 성능을 구분하였다. 각각 사분면의 의의를 살펴보면 1 사분면은 HS와 난방에너지소비량 모두 기준점을 상회하는 수치를 보이는 세대들이 위치하는 사분면이다. 이는 건축물 에너지 성능이 노후화된 세대로 볼 수 있다. 2 사분면은 HS는 기준점보다 낮지만 난방에너지 소비량은 높은 세대이다. 이는 건축물의 열적성능은 평균보다 높지만, 재실자의 사용습관으로 인하여 Change-point가 다른 세대에 비해 높기 때문에 나타나는 현상이다. 3 사분면은 HS, 난방에너지소비량 모두 기준점을 상회하는 건축물 에너지 성능이 우수한 세대로 볼 수 있다. 4 사분면은 HS는 기준점보다 높지만 난방에너지소비량은 높지 않은 난방을 많이 하지 않는 세대로 구분이 가능하다. 본 연구에서는 1 사분면에 구분되는 건축물 에너지 성능이 노후화된 세대들을 에너지 개선이 필요한 대상 세대로 정의하고, 연구대상 4개단지에서 1사분면에 포함되는 세대의 분포를 파악하였다.

<그림 4.17>와 <표 4.1>을 통해 대상단지에 속해 있는 개별세대들의 분포를 확인할 수 있다. 준공연도가 가장 오래된 A단지는 1사분면에 50개 세대 중 30%인 15개의 세대가 분포하였고, 3사분면에는 20%인 10개 세대가 분포하였다. B단지의 경우 1사분면에 68%인 34개 세대가 분포하여 가장 높은 수치로 나타났다. 반대로 3사분면에는 10%인 5개 세대가 분포하였다. 또한, C단지의 경우 1사분면에 22% 11세대가 위치하였고, Heating slope에 있어 기준점 보다 낮은 2, 3사분면에 80%의 세대가 위치하였다. 특히 Heating slope와 난방에너지소비량 모두 작은 3사분면에 58%세대가 분포하였다. 비교적 가장 최근에 지어진 D단지의 세대들은 3사분면에 66%가 위치하여 가장 높은 수치를 나타내었고, 4개단지 중 가장 많은 세대가 평균 이상의 에너지 성능을 갖는 것으로 나타났다.

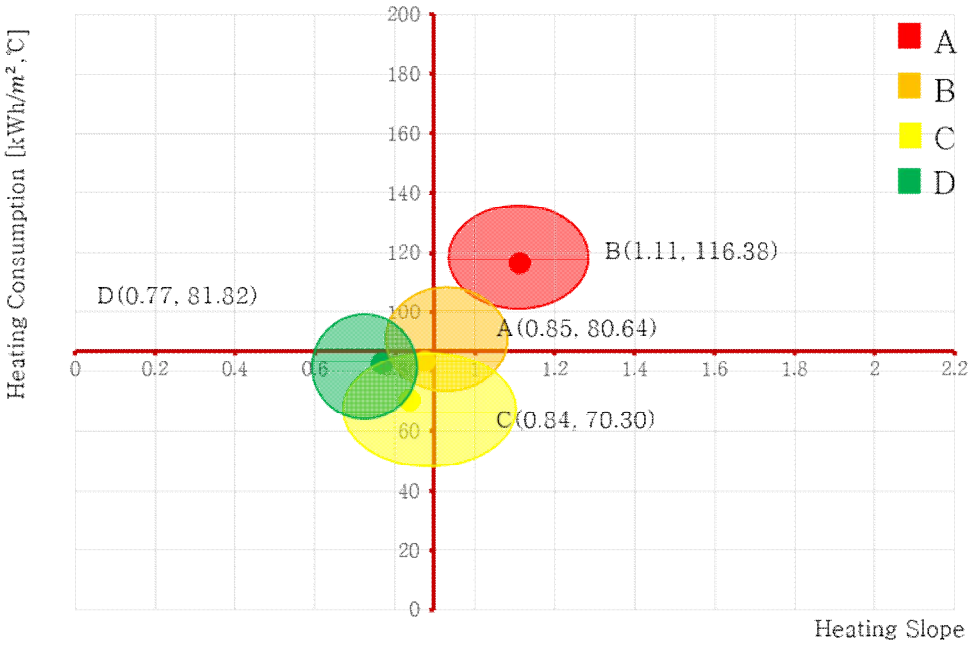


<그림 4.17> 연구대상 공동주택의 Heating slope와 난방에너지소비량

<표 4.1>단지별 사분면 분포현황

단 지	1사분면	2사분면	3사분면	4사분면
A	15 (30%)	10 (20%)	10 (20%)	15 (30%)
B	34 (68%)	5 (10%)	5 (10%)	6 (12%)
C	11 (22%)	8 (16%)	29 (58%)	2 (4%)
D	11 (22%)	0 (0%)	33 (66%)	6 (12%)
합 계	71 (35.5%)	23 (11.5%)	77 (38.5%)	29 (14.5%)

<그림 4.18>은 단지별 세대들의 분포를 Heating slope와 난방에너지소비량의 평균값을 중심으로 표준편차를 적용한 분포를 나타내어단지에 속한 세대의 에너지 성능 분포를 나타내었다. A, B, C, D단지의 분포는 X 축 Heating slope의 평균을 중심으로 표준편차를 적용하여 분포를 나타내었으며, Y 축은 난방에너지소비량의 평균을 중심으로 난방에너지소비량에서의 표준편차를 적용하여 나타내었다. <표 4.2>에는 연구대상단지의 에너지 성능을 도시화하기 위해 사용한 좌표와 표준편차를 정리하였다. 연구대상단지의 에너지 성능 평균과 표준편차를 이용하여 단지별 에너지 성능좌표를 도시화한 결과 사분면에서의 세대 분포와 유사하게 B단지의 건축물 에너지 성능이 다른 3단지에 비하여 현저히 저하되어있는 모습을 확인할 수 있었다.



<그림 4.18> 연구대상단지의 에너지 성능 분포

<표 4.2>단지의 에너지 성능 좌표와 표준편차

단 지	X축 좌표 Heating slope 평균	X축 길이 (Heating slope 표준편차)	Y축 좌표 난방에너지소비량 평균	Y축 길이 (난방에너지 소비량 표준편차)
A	0.85	1.56 (0.31)	80.64	1.85 (37.07)
B	1.11	1.31 (0.26)	116.38	1.65 (33.04)
C	0.84	1.87 (0.37)	70.30	1.79 (35.87)
D	0.77	1.13 (0.23)	81.82	1.66 (33.12)
합 계	71 (35.5%)	23 (11.5%)	77 (38.5%)	29 (14.5%)

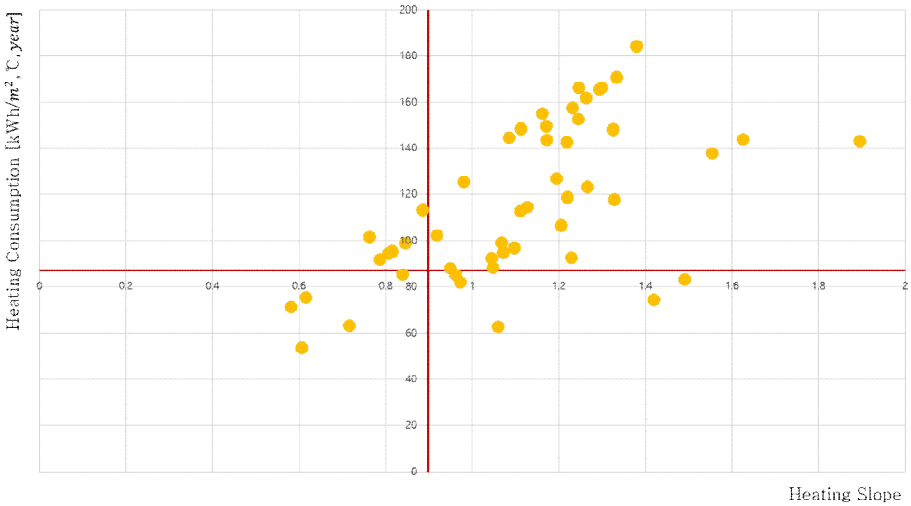
V. 노후화 주택의 에너지 성능 개선 방안

5.1 노후화단지 선정

본 연구의 4장에서는 연구 대상 4개 단지 200세대의 에너지 성능을 세대의 Heating Slope와 난방에너지소비량을 축으로 하는 4 사분면에 투영하여 세대의 분포에 따른 단지의 건축물에너지 성능을 평가하였다. 그 결과 Heating Slope와 난방에너지소비량 모두 기준점을 상회하는 1 사분면을 건축물 에너지 성능이 노후화된 세대로 정의하였다.

5장에서는 4장에서 노후화 건축물로 분류된 건축물의 에너지 성능 개선을 위해 건축물의 요소를 분류하고, 건물에너지 시뮬레이션을 이용하여 본 모델에 적합한 개선방안을 도출하였다.

4장에서의 에너지 성능 평가를 통해 분석 대상 건축물로 선정한 B단지는 노후화 건축물로 분류되는 1 사분면에 <그림 5.1>과 같이 50세대 중 34세대가 위치하여 조사대상에 속한 다른 3개 단지와 비교하여 2배 이상의 분포를 나타내었다. 그뿐만 아니라 1 사분면으로 분류되지 않은 세대들의 경우에도 대부분의 세대의 성능이 기준점에 약간 못 미치는 1 사분면에 가까운 성능을 보였다. 이를 통하여 본 연구에서는 B단지를 에너지 성능의 개선이 필요한 노후화 단지로 정의하고, B단지의 에너지 성능을 개선하기 위한 방안을 연구하였다.



<그림 5.1> 연구대상 B단지의 Heating slope와 난방에너지소비량

5.2 건물에너지 시뮬레이션을 통한 에너지 성능 개선

5.2.1 대상 건축물의 건물에너지 시뮬레이션 모델링 구축

본 연구에서는 노후화 건축물의 에너지 절감 요소를 분석하기 위하여 대상 건축물의 현재 성능과 개선 후 건축물의 에너지 성능을 비교하기 위해 건물에너지 시뮬레이션을 활용하였다. 건물에너지 시뮬레이션 툴을 이용하여 대상 건축물의 에너지 성능을 반영한 Base model을 구축하여 에너지 성능 개선이 이루어진 개선 model과의 비교를 통해 난방에너지소비량과 Heating slope의 변화 추이를 분석하였다.

연구에 사용한 건물에너지 시뮬레이션 툴은 미국 DOE (The U.S Department of Energy)에서 개발된 EnergyPlus를 엔진으로 사용하여 3D로 건축물을 시각화하여 프로그램을 구축할 수 있게 도움을 주는 DesignBuilder를 사용하였다. EnergyPlus 프로그램은 연간 시각별 기상자료를 이용하여 부하 계산과 에너지 소비 특성을 해석하는 프로그램이다.[20)]

DesignBuilder를 통해 모델링을 구축하는 입력 조건은 크게 Activity, Construction, Lighting 그리고 건축물의 냉난방 공기조화 시스템을 의미하는 HVAC으로 나눠져 있다. 각각의 의미는 다음과 같다.

(1) Activity는 실내 환경에서의 변수를 입력할 수 있는 입력란으로 재실 스케줄, 실내외 설정온도, 습도, 환기, 조명, 사무장비, 외기 도입량 등을 입력 및 수정할 수 있다.

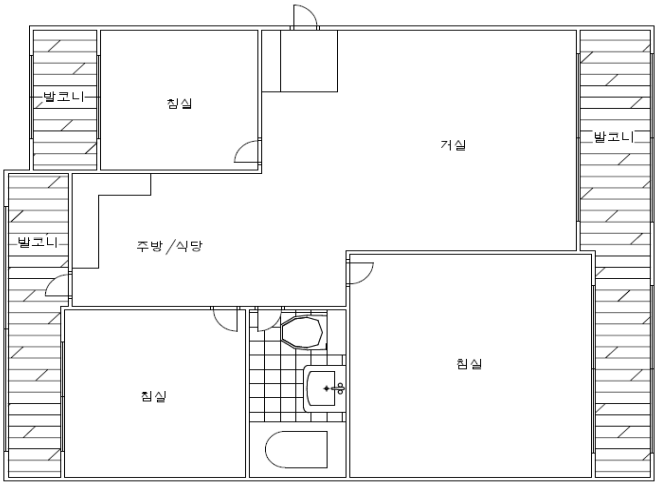
(2) Construction은 건축물의 외피에 관련한 입력 값을 조정할 수 있는 란으로 건물의 재질, 형태 등의 입력이 가능하다. 건축물의 열관류율은 Construction에서 입력한 각 재료의 열전도율과 두께를 통해 계산되며, 침기율을 의미하는 Airtightness의 입력 또한 가능하다. Construction에서는 외피의 열관류율과 Airtightness의 영향이 건축물의 난방 에너지 소비량에 미치는 영향이 크다.

(3) Lighting은 건축물의 용도에 맞게 Template이 적용이 되며, 각각의 조도 및 스케줄의 입력이 가능하다.

(4) HVAC은 건축물의 각종 설비를 입력하는 란으로 DesignBuilder에서는 기본 Template을 제공하여, 시각화된 개념도를 통해 대상 건축물의 특성에 맞는 HVAC 입력이 가능하다.

본 연구에서는 DesignBuilder 모델링을 구축하기 위하여 대상 건축물의 평면 <그림 5.2>와 준공연도(1996)에 부합하는 에너지절약계획서[21)] 자료, 공동주택의 현황 사례조사의 참고문헌[22),23),24)]을 활용하여 설계 항목별 데이터를 도출하고 모델링을 작성하였다. 건축물의 열원으로는 도시가스를 사용하는 개별난방 시스템을 DesignBuilder의

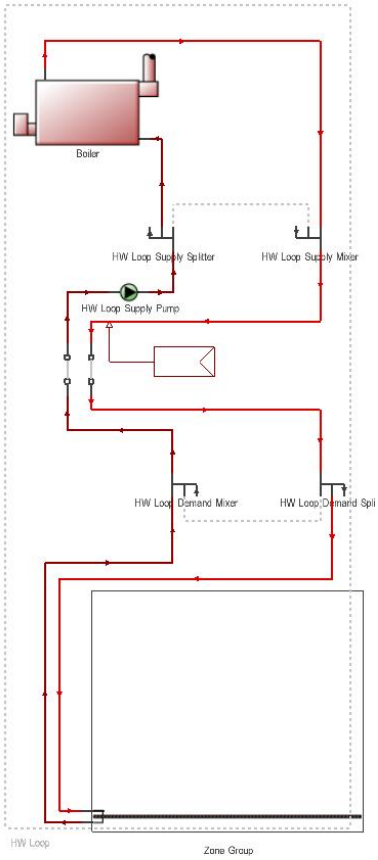
HVAC 템플릿 중 <그림 5.3> Heated Floor, Boiler HW, Nat Vent를 적용하였다. 건축물에너지모델링의 입력 개요를 <표 5.1>에 나타내었으며 DesignBuilder를 통해 모델링의 위치, 기상데이터, Activity, Construction, Lighting, HVAC을 입력하여 <그림 5.4> 대상 건축물의 건물에너지 시뮬레이션 모델인 Base model을 구축하였다.



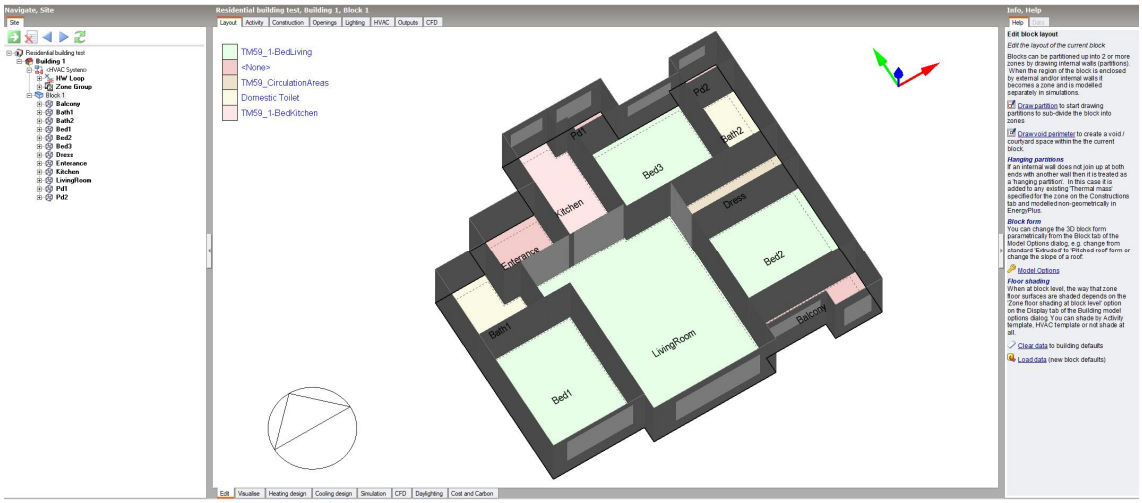
<그림 5.2> 대상 건축물 세대 평면도

<표 5.1> 건물에너지 시뮬레이션 입력 개요

디자인 요소		값
특성	건물 용도	아파트
	적용 면적	84.99 m^2
	층고	2.8 m
	천장고	2.3 m
	창면적비	25.15
	향	남
건물	위치	대한민국 울산
	기상	Hourly weather data KOR_ULSAN_IWEC
	외벽 U-Value	0.72 W/m^2K
	창 U-Value	3.48 W/m^2K
	창 종류	22mm double glass + 22mm double glass
	기밀성능	13.71 ACH 50
난방장비	열원	가스보일러 20,000 kcal/h, 70%
조명	조도	150 lx
	밀도	8.5 W/m^2



<그림 5.3> Base model에 적용한 DesignBuilder
Heated Floor, Boiler HW, Nat Vent 시스템

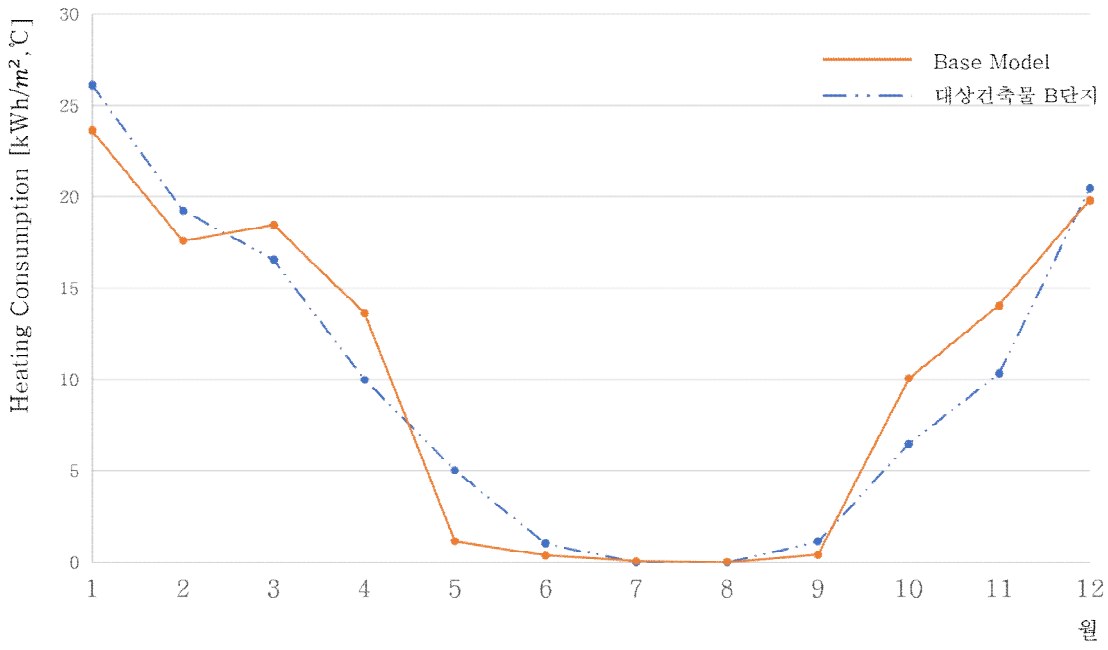


<그림 5.4> DesignBuilder를 이용한 Base model 구축

5.2.2 건물에너지 시뮬레이션 모델링 검증

본 연구에서는 대상 건축물인 B단지의 에너지 성능 개선을 통한 난방에너지소비량과 Heating slope의 변화 추이를 분석하기 위해 B단지의 설계 현황과 건물의 가스에너지 소비량, 울산지역의 연간 외기 온도 데이터를 기반으로 DesignBuilder를 이용하여 Base model을 구축하였다. 에너지 성능 개선에 따른 건축물의 에너지 성능 변화 분석에 앞서 시뮬레이션의 유효성 검증을 실시하였으며, 검증 기준은 ASHRAE 지침에서 규정하는 건축물에너지 시뮬레이션 모델링의 유효 오차 범위인 연간 사용량의 오차율이 20% 이내를 만족하여야 한다.

본 연구의 시뮬레이션 모델링으로 구축된 Base model의 연간 난방에너지소비량의 값은 <그림 5.5>에서 볼 수 있듯이 123.03kWh/m²·year으로 대상 건축물 B단지의 실측 가스소비량을 통해 추정한 난방에너지소비량의 값인 116.39kWh/m²·year와 4.7%의 오차율을 나타냈으며, 본 오차율은 ASHRAE의 기준을 만족한다.



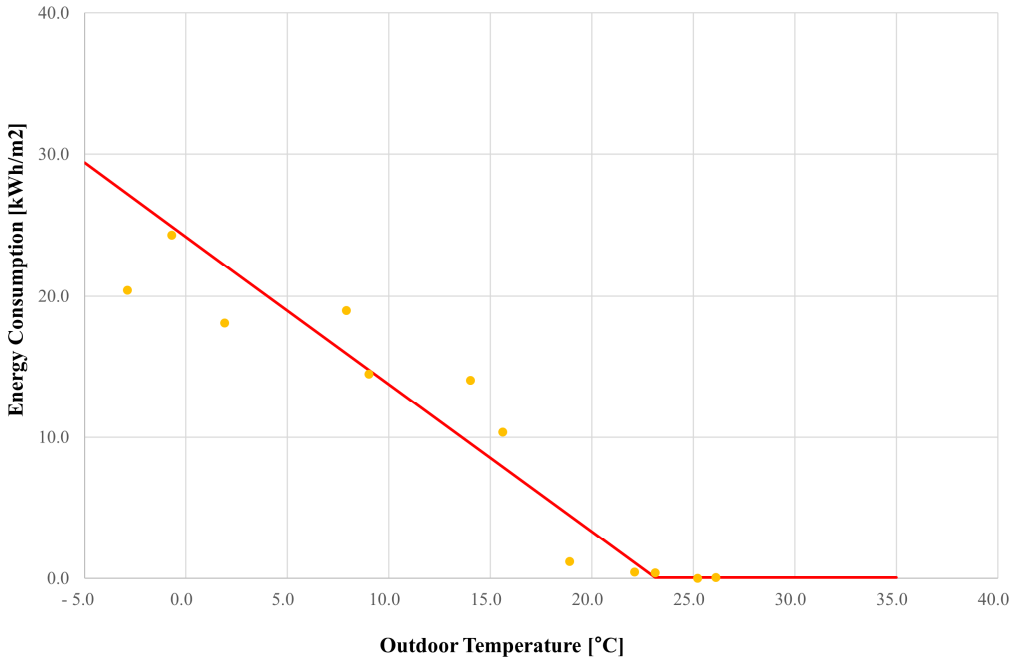
<그림 5.5> 대상 건축물 B단지와 DesignBuilder를 통해 구축한 Base model의 난방에너지소비량

5.2.3 건물에너지 시뮬레이션 모델의 Change-point regression model 적용

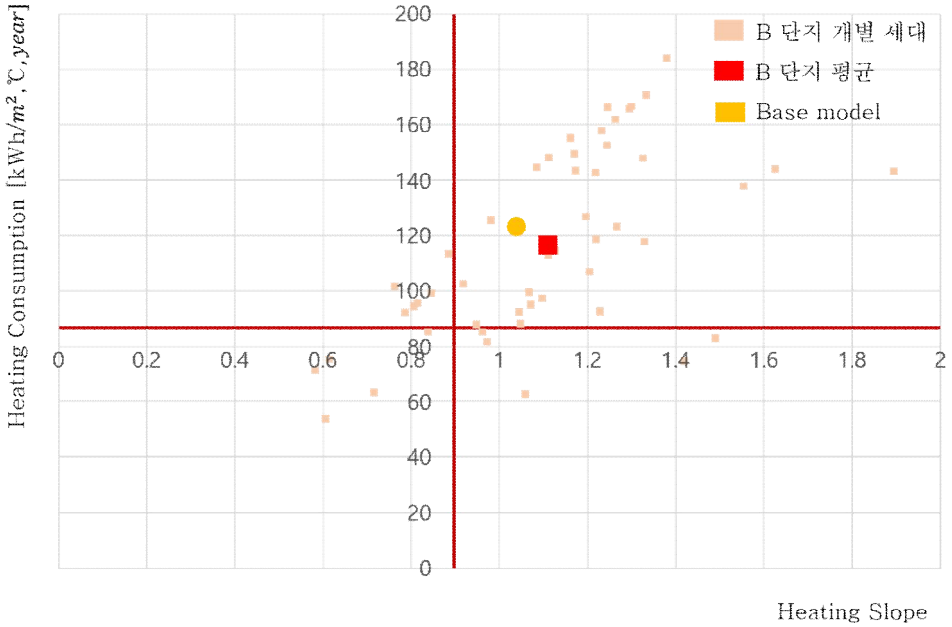
본 연구에서는 건물에너지 시뮬레이션 DesignBuilder를 이용하여 대상 노후화 건축물의 성능을 Base model로 구축하였다. 앞 장에서는 시뮬레이션 모델로 구축한 Base model의 신뢰도를 대상 건축물과의 연간 난방에너지소비량의 오차율을 통해 검증하였다. 본 장에서는 검증된 Base model의 에너지 성능을 4장에 사용한 노후화 건축물의 판별을 위해 적용한 4 사분면에 도시하기 위해 건물에너지 시뮬레이션 구축 모델인 Base model을 Change-point regression model에 적용하였다.

<그림 5.6>은 시뮬레이션을 통해 모델링 한 Base model을 Change-point regression model에 적용한 모습이다. Change-point regression model의 신뢰도는 3장의 <식 3.1>과 <식 3.2>의 회귀식의 신뢰도 평가 척도인 R^2 0.8 이상 CV-RMSE 20% 이하를 만족하였다.

<그림 5.7>에 Base model의 연간 난방에너지소비량과 Change-point regression model을 적용하여 도출한 Heating slope를 대상 노후화 건축물인 B단지의 성능과 함께 4장의 노후화 건축물의 판별을 위해 적용한 4 사분면에 도시하여 비교하였다. DesignBuilder를 통해 구축한 Base model의 Heating slope는 기존에 비해 조금 낮게, 난방에너지소비량은 조금 높게 분석되었지만 그 오차에 있어 ASHRAE의 기준을 만족하기에 적절한 모델링의 구축이 이뤄졌음을 알 수 있다.



<그림 5.6> Base model의 Change-point regression model



<그림 5.7> Base model과 대상 건축물 B단지의 4 사분면에서의 분포

5.3 건축물의 구성인자 분석

앞 장에서는 DesignBuilder를 이용하여 대상 건축물을 건물에너지 시뮬레이션으로 구축한 Base model의 신뢰도를 검증하였고, 그 결과 건물에너지 시뮬레이션 Base model은 대상 건축물의 특성이 잘 반영되어 연구에 적합함을 확인하였다. 본 연구에서는 검증된 시뮬레이션 모델인 Base model의 건축물의 성능 개선을 통해 나타나는 난방에너지소비량과 Heating slope의 변화를 분석하기 위해 건축물의 성능 개선 방안에 관한 분석을 하였다. 앞선 5.2장의 대상 건축물의 건물에너지 시뮬레이션 모델링 구축에서 DesignBuilder의 입력 조건은 크게 Activity, Construction, Lighting 그리고 건축물의 냉난방 공기조화 시스템을 의미하는 HVAC으로 구성됨을 서술하였다. 입력란을 크게 두 가지로 분류하면, 건축물의 외피 성능을 나타내는 Construction, HVAC 등을 포함하는 Building Design, 재실자의 사용 행태를 나타내는 Activity, Schedule 등의 Operation 측면으로 나눌 수 있다.[25] 이중 본 연구의 목적인 대상 노후화 건축물에 적합한 에너지 개선을 도출하기 위해 건물의 성능을 나타내는 Building Design의 개선을 통한 에너지 성능 추이 분석을 목적으로 하고, Base model과 에너지 성능 개선을 적용한 개선 model 간의 영향을 평가하였다. Operation 측면의 경우 건축물의 노후화에 의한 영향이 아닌 재실자의 사용 행태가 주된 변수로 건축물의 성능을 판별함에 있어 유효하게 작용하지 않기 때문에 본 연구에서는 고려하지 않았다.

본 연구는 Building Design 입력 요소 중에서 공동주택의 난방에너지소비량과 밀접한 관계를 갖는 요소를 선정하였다. 요소의 선정 방법으로는 Design Builder의 입력란인 Activity, Construction, Lighting 그리고 냉난방 공기조화 시스템 HVAC에서 건축물 에너지소비량에 직접적으로 영향을 미치고, 선행 연구[26]에서 건축물에너지 소비량에 영향이 크다고 판단되며, 그린리모델링 사업에서 지원 대상[27]으로 하고 있는 외벽과 창호의 U-Value, 기밀성능, Boiler의 효율 4가지의 요소를 연구 대상으로 선정하였다.

<표 5.2>는 Base model 구축에 입력한 데이터와 개선 model의 입력 데이터를 확인할 수 있다. Base model의 구축은 대상 건축물의 준공연도인 1996년을 기준으로 해당 연도의 건축법과 사례 조사를 통해 앞선 5.2장 <표 5.1>을 작성하여 입력하였다. 개선 model의 입력 데이터는 건축물의 효율적인 에너지 관리를 위하여 에너지 소비량을 절감한 건축을 활성화하기 위한 건축물의 에너지절약설계기준 최신 개정 고시안을 적용하여 구성하였다.

본 연구는 대상 노후화 건축물인 Base model의 성능을 최신의 기준을 적용한 저에너지 소비 건축물로 개선하였을 때 절감되는 에너지 소비량과 4가지의 적용 요소 각각의 에너지 절감 효율을 분석하여, 대상 노후화 건축물에서의 적합한 에너지 개선방안을 도출하였다.

<표 5.2> Base model과 개선 model의 시뮬레이션 입력개요

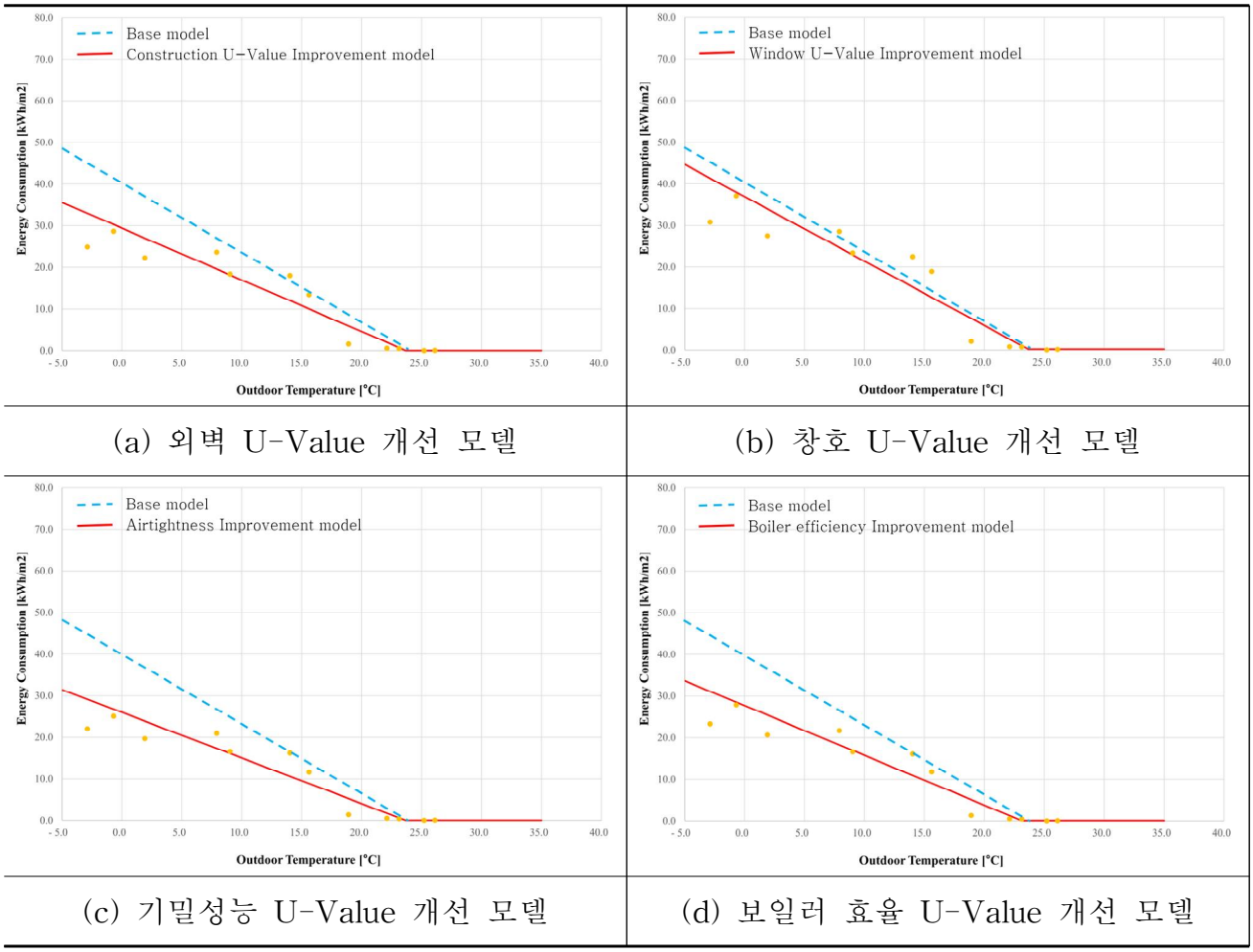
구분		Base model	개선 model
Building Design	외벽 U-Value	0.72W/m²K	0.22W/m²K
	창호 U-Value	3.48W/m²K	1.2W/m²K
	기밀성능	13.71 ACH50	0.85 ACH50
System Design	Boiler 효율	70 %	98 %

5.4 건축물의 구성인자 개선을 적용한 건축물 에너지 성능 변화 분석

DesignBuilder를 이용하여 구축한 Base model의 에너지 절감 개선방안을 도출하기 위해 요소별 개선 값을 적용하여 각 요소별 난방에너지소비량과 Heating slope의 절감률을 분석하였다. 개선이 이루어진 요소들의 에너지 성능은 <그림 5.8> 각 요소별 개선 model을 Change-point regression model에 적용하여 Base model과 함께 나타낸 그래프와 <표 5.3>에서 각 요소의 난방에너지소비량과 heating slope의 절감률을 통해 나타내었다. 4가지 요소에서 모두 Heating slope, 난방에너지소비량의 절감이 이루어졌으며, 요소 각각의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

(a) 외벽 U-Value의 성능 개선에서는 Base model 대비 Heating slope는 25.59%, 난방에너지소비량은 22.57%로 절감이 된 것을 확인할 수 있었다. (b) 창호 U-Value 성능 개선에서는 Heating slope는 7.36%, 난방에너지소비량은 2.06%로 절감이 되었지만 큰 폭의 변화 없이 4가지 요소 중 가장 작은 절감률을 보였다. (c) 기밀성능 U-Value 성능 개선에서는 Heating slope는 34.42%, 난방에너지소비량은 31.59%로 4가지 요소 중 가장 큰 절감률을 보였다. (d) 보일러 효율 U-Value 성능 개선에서는 Heating slope는 28.57%, 난방에너지소비량은 28.57%로 절감을 확인할 수 있었다.

본 연구는 앞 장에서 건축물의 여러 요소 중 개선 시 큰 효율을 나타낼 것으로 판단한 건축물의 4 가지 요소를 적용하여 Base model 대비 나타나는 난방에너지소비량과 Heating slope의 절감률을 분석하였다. 분석 결과 가장 큰 절감률을 보이는 요소는 <그림 5.8>의 (c) 기밀성능 개선 모델로 나타났다. 다음으로는 (d) 보일러 효율, (a) 외벽 U-Value, (b) 창호 U-Value 순으로 나타났으며, (b) 창호 U-Value의 경우 다른 3가지 요소가 20% 이상의 절감률을 나타낸데 비해 7% 정도의 Heating slope 절감률을 보여 가장 적은 개선 효율을 나타냈다.



(a) 외벽 U-Value 개선 모델 (b) 창호 U-Value 개선 모델

(c) 기밀성능 U-Value 개선 모델 (d) 보일러 효율 U-Value 개선 모델

<그림 5.8> 개선 모델의 Change-point regression model

<표 5.3> 요소별 에너지절감 효율

	Heating slope	절감률	난방에너지소비량	절감률
Base model	1.04	-	123.03 kWh/m²·year	-
(a) 외벽 U-Value 성능 개선	0.78	25.59%	95.27 kWh/m²·year	22.57%
(b) 창호 U-Value 성능 개선	0.97	7.36%	120.50 kWh/m²·year	2.06%
(c) 기밀성능 성능 개선	0.68	34.42%	84.16 kWh/m²·year	31.59%
(d) 보일러 효율 성능 개선	0.75	28.57%	87.88 kWh/m²·year	28.57%

5.5 건축물 성능 개선 분석결과

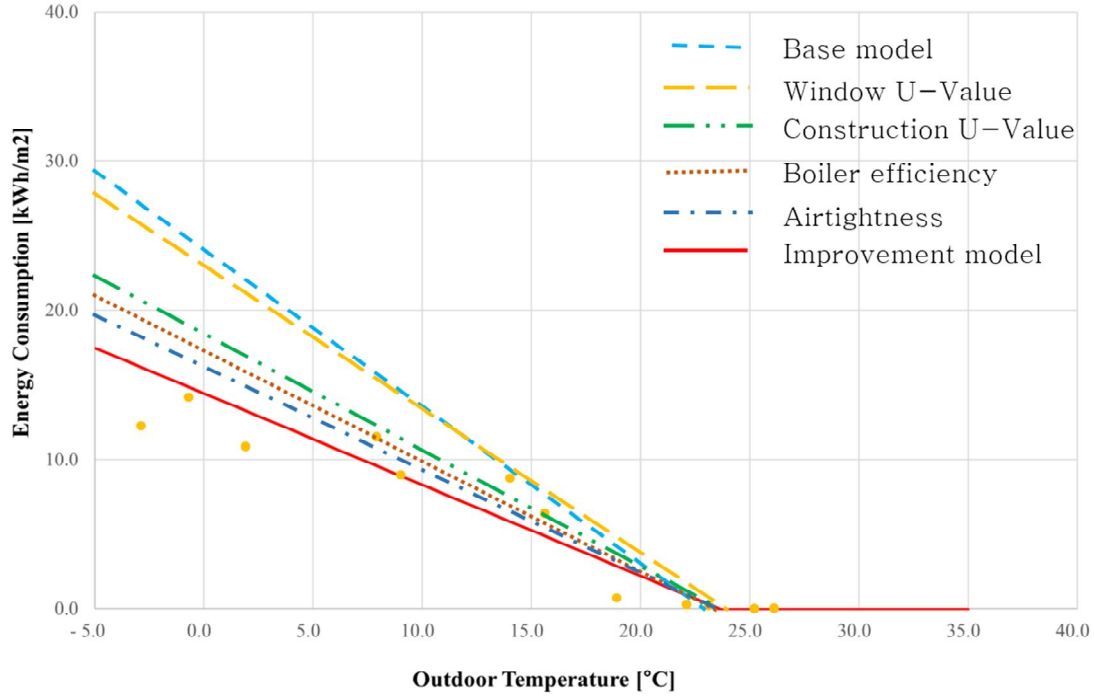
본 대상 건축물에서 Building Design과 System Design 측면에서 요소의 성능을 개선함으로써 Heating slope와 난방에너지소비량에서의 소비를 상당히 줄일 수 있으며, 그중 기밀성능에서의 성능 개선이 가장 큰 폭의 효과를 보였다.

<그림 5.9>은 앞선 4가지 요소들과 4가지의 요소들을 복합적으로 적용하여 나타낸 Change-point regression model이다. 4가지 요소를 복합적으로 적용한 경우에 Heating slope은 0.61, 난방에너지소비량은 74.38 kWh/m²·year으로 각각 41.44%, 39.54% 절감률을 보여 가장 큰 성능 개선이 이루어졌다.

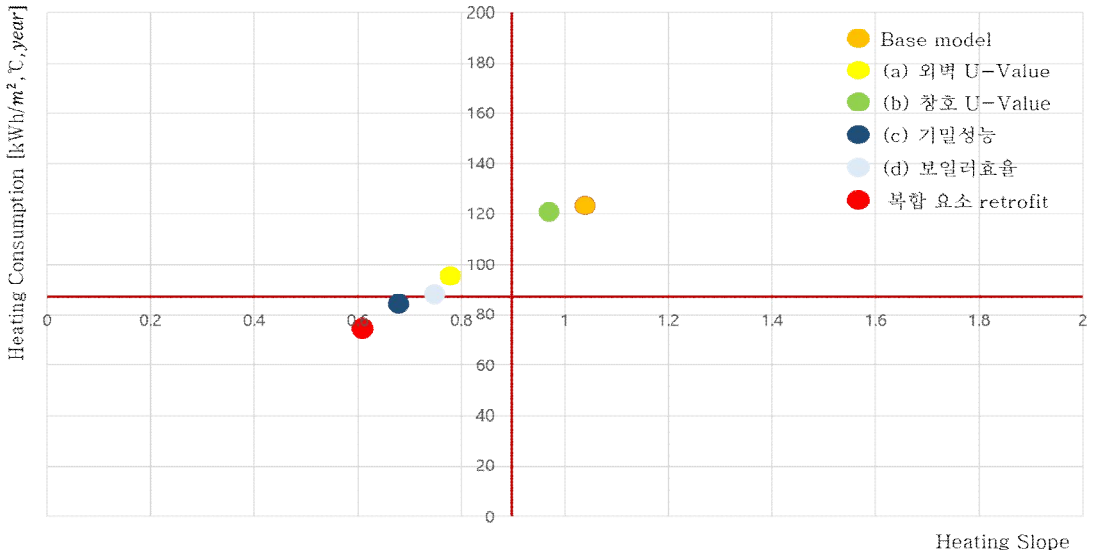
<그림 5.10>은 4가지 요소의 성능 개선 적용 후 4 사분면에서의 분포와 기존 Base model의 분포를 확인할 수 있다. 기존 1 사분면에 위치해있는 Base model이 요소별 성능 개선의 개선 효과에 따라 본 연구의 건축물에너지 성능 평가도구에서 어느 지점으로 이동하였는지를 분석하였다. (a) 외벽 U-Value의 개선에서는 유효한 절감률을 나타냈지만 난방에너지소비량에서 평균보다 약간 높은 수치를 나타냈기에 2사분면에 분포했다. (b) 창호 U-Value의 개선은 절감률에 있어 4가지 요소 중 가장 적은 개선이 나타났는데 4 사분면에서의 분포 또한 여전히 1사분면에 위치하는 모습을 보였다. (c) 기밀성능 성능 개선은 4가지 요소 중 가장 큰 절감률을 보여 제일 개선 효과의 효율이 뛰어났다. 4 사분면에서는 기존 1 사분면에서 3 사분면으로 건축물의 에너지 성능이 우수한 세대로 판별할 수 있었다. (d) 보일러효율 성능 개선 또한 기밀성능과 더불어 효과적인 절감률을 보인 요소이다. 4 사분면에서 분포 또한 3사분면에 위치한 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 4가지 요소를 복합적으로 성능 개선 하여 나타낸 경우에는 기준점에 비해서도 우수한 Heating slope을 보여 건축물 에너지절감 효과가 크게 나타났다.

본 연구에서는 노후화 건축물로 판별된 대상 건축물의 에너지 개선을 위하여 Building Design과 System Design 측면에서 성능 개선을 진행하였고 그 결과는 다음과 같다. 4 가지 건축물 Design 요소 중 가장 에너지 개선 효율이 큰 요소는 기밀성능으로 개선 시 Heating slope은 34.42%, 난방에너지소비량은 31.59% 개선 효과를 보였다. 보일러, 외벽 U-Value 성능 개선 효율이 뒤를 이어 높게 나타났으며 창호 U-Value의 개선 효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 4 가지 요소를 복합적으로 적용했을 시 Heating slope은 0.61, 난방에너지소비량은 74.38 kWh/m²·year으로 각각 41.44%, 39.54% 절감률을 가장 큰 개선 효과를 보였다. 요소별 성능 개선을 적용한 모델의 4 사분면에서의 분포를 살펴보면 복합 요소 개선 모델, 기밀성능, 보일러 효율 개선 모델은 3 사분면에 위치하여 우수한 에너지 성능을 가진 건축물로 판별할 수 있

었고, 외벽의 U-Value개선 모델은 2사분면에, 창호의 U-Value 개선모델은 1사분면에 위치하여 비교적 적은 개선 효과가 있었다.



<그림 5.9> 모든 개선방안 적용 후 모델의 Change-point regression model



<그림 5.10> 4 사분면에 나타난 요소별 성능 개선 모델의 Heating slope와 난방에너지소비량

VI. 결론

본 연구에서는 공동주택의 노후화 판별과 성능 개선 방안 제시를 목적으로 수행하였다. 연구 대상 건축물의 노후화 판별을 위해 가스에너지소비량을 바탕으로 Change-point regression model을 이용하여 세대별 난방에너지소비량과 Heating slope를 이용한 공동주택의 에너지 성능 평가를 실시하였다. 에너지 성능 평가를 통해 노후화 건축물로 판별된 대상 건축물을 건물에너지 시뮬레이션 프로그램 DesignBuilder를 통해 건축물의 구성요소의 개선을 통한 에너지소비량 절감률을 분석하였고, 대상 건축물에서의 적합한 개선방안을 제시하였다.

본 연구의 결론은 다음과 같다.

1) 울산지역에 위치한 공동주택단지 1991(A단지), 1996(B단지), 2001(C단지), 2006(D단지) 4개 단지 200세대를 대상으로 노후화건축물을 판별하기 위해 대상 건축물의 실측 가스소비량데이터와 기상데이터를 활용하여 Change-point regression model을 통해 난방에너지소비량을 추정하였다.

2) Change-point regression model을 통해 도출된 Heating slope과 추정된 난방에너지소비량을 이용하여, 대상 건축물의 에너지 성능 분포를 전체의 Heating slope과 난방에너지소비량의 평균을 노후화를 판별하기 위한 기준점으로 하는 그래프로 도시하였고, 각 세대들의 4사분면에 걸친 분포를 분석하였다. 그 결과, 에너지 성능에 있어 개선이 시급한 세대로 판별할 수 있는 1사분면에 B단지, A단지, C단지, D단지 순으로 분포하였고, 반대로 3사분면에는 D단지, C단지, A단지, B단지 순으로의 분포를 확인할 수 있었다.

3) 4 사분면에서 노후화 건축물로 분류되는 1사분면에는 B단지가 68%의 수치로 가장 높은 수치를 나타내 에너지 개선이 가장 시급한 단지로 판별할 수 있었다.

4) 본 연구의 노후화 건축물 분류 방법론에 따라 노후화 건축물로 판별한 B단지를 대상으로 건물에너지 시뮬레이션 프로그램 DesignBuilder를 이용하여 성능 개선 방안 제시를 위한 요소별 개선을 통한 에너지소비량 절감률을 분석하였으며 분석을 위해 선정한 요소는 외벽의 U-Value, 창호의 U-Value, 기밀성능, 보일러 효율 개선을 선정하였다.

5) 노후화 건축물 B단지의 성능 개선에 있어 가장 큰 영향력이 있는 요소는 기밀성능으로 나타났으며, 다음으로는 보일러 효율개선, 외벽의 U-Value, 창호의 U-Value 순

으로 나타났다. 다른 3가지 요소들이 효과적으로 난방에너지소비량의 감소율을 보이는 반면, 창호의 U-Value 개선에 있어서는 기존 대상 건축물의 에너지 성능과 개선 후 건축물의 에너지 성능이 유의미한 차이를 보이지 않았다.

6) 앞서 제시한 4가지 요소를 모두 적용하여 개선한 모델의 경우 기존 대상 건축물의 에너지 성능에 비하여 Heating slope은 41.44%, 난방에너지소비량은 39.54%의 절감률로 가장 큰 성능 개선이 나타났다.

본 연구는 울산지역의 공동주택을 대상으로 준공연도가 상이한 4개 단지를 선정하여 노후화 건축물을 판별하고, 판별한 노후화 건축물에 적합한 개선방안을 적용하여 효율을 분석하였다. 향후 과제에 있어서는 대상을 울산지역에서 국내로 확대하여 국내 공동주택의 노후도를 판별하여 그린리모델링 적용이 시급한 지역을 선별하여 보다 효과적인 사업의 확장을 가능하게 할 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 국토교통부(2020), “그린리모델링 지원사업 운영 등에 관한 고시”, 국토교통부, 국토교통부고시 제2020-510호

2. 김예성(2020), “노후건축물 현황과 향후과제”, 국회입법조사처, 제 133호, pp.2-4

3. 통계청(2019), “주택의 종류, 연면적 및 건축연도별 주택-시군구”, 통계청, 2019「주택총조사」

4. 통계청(2019), “주택의 종류 및 노후기간별 주택-시군구”, 통계청, 2019「주택총조사」

5. Raffio, G., Isambert, O., & Kissock, K.(2007), “Targeting Residential Energy Assistance Energy” Sustainability, pp.489-495

6. Kissock, J. K., & Haber J. S.(2004), “Development of a toolkit for calculating linear, change-point linear and multiple-liner inverse building energy asnalysis models”, ASHRAE Research Project 1050-RP,

7. D. B. Crawley, J. W. Hand, (2008), Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs, Building and Environment 43, pp.661-663.

8. 조수연, 이승복. (2017), 건물에너지 분석 방법론 비교, KIEAE Journal, pp.77-86.

9. Goldberg, M. L., (1982), A Geometrical Approach to Nondifferentiable Regression Models as Related to Methods for Assessing Residential Energy Conservation, Princeton University, NJ

10. Fels, M. F., (1986), PRISM : An introduction, Energyand Buildings, Vol. 9, No. 1-2, pp.5-18.

11. ASHRAE 2002 Guideline 14(2002),“ Measurement of energy and demand savings American Society of Refrigerating and Air-Conditioning Enginneers”, ASHRAE

12. Haberl, J. S. and Cho, S.(2004), “Literature review of uncertainty of analysis method(inverse Model Toolkit) report to the Texas Commission on Environmental Quality”, Energy Systems Laboratory, Texas A&M University

13. 이진현, 신지현, 김선숙, 조영흠. (2017), 건축물 설비시스템 에너지 효율화 대안의 에너지 성능평가 및 경제성 분석에 관한 연구. 한국생활환경학회지, 24(5), pp.588-596.

14. 김동석, 박세빈, 이정재. (2016), 통합설계를 위한 건설정보화모델링의 에너지해석 활

용방안에 대한 연구 . 대한건축학회지회연합회 논문집, pp. 135-142.

15. Kisscck, J. K., & Mulqueen, S(2008), Targeting Energy Efficiency in Commercial Buildings Using AdvancedBilling Analysis, ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, pp.159-170

16. ASHRAE, ASHRAE Guideline 14-2002, (2002), Measurement of Energy Demand Savings

17. 권경우, 이석주, 박준석,(2014), Inverse Model Toolkit을 이용한 리모델링 건축물의 에너지 성능평가 사례, 설비공학논문집 Vol.26, No.8, pp.394-400

18. Choi, H.S. and K. Kim(2020), “An energy evaluation of multi-residential buildings in South Korea using gas utilities”, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020(505), 012012.

19. ASHRAE Guideline 14,(2002), Measurement of Energy and Demand Savings, ASHRAE

20. 김신혜, 곽영훈, 김창성. (2018), 에코2와 디자인빌더 프로그램을 이용한 공동주택 에너지 성능 비교 분석, KIEAE Journal, pp.47-54.

21. 국토교통부(2018), “건축물의 에너지절약설계기준”,국토교통부

22. 박소현, 송두삼. (2020), 건물 열적 성능 수준별 실내 복사환경에 따른 재실자의 열적 쾌적성의 변화를 고려한 건물에너지 소비량 산출. 설비공학논문집, 32(1), pp.27-36.

23. 정해권, 정영선, 허정호. (2017), 공동주택의 표준건물 설정에 따른 에너지소비량 산정 및 특성분석. 대한건축학회 논문집 - 계획계, 33(9), pp.45-52.

24. 최경석. (2005), “가정용 가스보일러 시험기준 정립 및 열효율 개선방안 연구”, 한국가스안전공사 가스안전연구개발원

25. 김현수, 최기원, 장지훈, 강경모, 이승복. (2017). BEAT 프로그램을 이용한 건물에너지 retrofit 요소들 간의 에너지 절감 관계분석. 대한건축학회 논문집 - 구조계, 33(2), pp.97-105.

26. Duncan Prahl and Robert Beach(2014), “Analysis of Pre-retrofit Building and Utility Data”, U.S Department of ENERGY, Energy Efficiency & Renewable Energy

27. 최한성, 이영아, 김기한(2019), “가스사용량 데이터를 이용한 아파트의 에너지 성능 해석”,대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol.39 N02 (2019-10), pp. 353-354.

Abstract

For the reduction of greenhouse gas emissions, Korean government has put lot of efforts to strengthen building energy standards and building energy efficiency ratings are continuously revised to ensure that an effective implementation is attained. However, these efforts have been mainly aimed at new buildings; hence it is important to improve energy performance of existing buildings which make the majority of domestic buildings. To tackle this, the government has recently established a new institution for green remodeling of aging buildings. Although the institution has launched its project to improve energy performance of existing buildings, no standard model has been established and specific guidelines are still lacking.

The complexity of aging building definition is the reason why it has been difficult to set up specific standard for green remodeling. Generally, in Korea a building is considered as an aging building 30 years after its completion. However, there is no scientific findings linking building age, energy performance deterioration and greenhouse gas emissions. More research is still needed for the classification of aging buildings relating to building energy performance. Therefore, this study investigates the energy performance of existing apartments, analyzes potential for building energy reduction, and suggest effective improvements for buildings classified as aging buildings.

The investigated buildings were selected from existing apartments complexes in Ulsan that were completed between year 1991 and 2006. Four apartment complexes completed in 1991 (complex A), 1996 (complex B), 2001 (complex C) and 2006 (complex D), were selected and each apartment complex contained 50 individual housing units. Monthly gas consumption and outdoor average temperature data were used to evaluate the energy performance of the selected apartments. Based on the collected data, the heating energy consumption of each house unit was calculated and analyzed using the change-point regression model. Heating slope and heating energy consumption estimate from change-point regression model were used to assess energy performance of each housing unit. The comparative analysis method shows the distribution of a total of 200 housing

units from the 4 apartment complexes on a plane with the heating slope and heating energy consumption estimates on the X and Y axes, respectively and sets the average of the 200 housing units households as a reference point to determine energy performance.

The results indicates the number of housing units in quadrant 1, which is defined as the quadrant for building needing urgent green remodeling (building with the lowest energy performance), were in order of B, A, C, and D; while the number of housing units in quadrant 3, defined as the quadrant for highest building energy performance, were in order of D,C,A and B. Based on heating slope and heating energy consumption estimates, apartment complex B was defined as an aging building. Through a discriminant analysis, building elements namely external wall U-value, boiler efficiency, window U-value and building air-tightness, were classified according to their importance in improving energy performance of aging building and suitable improvements measures were derived using building energy simulation program. The energy saving potential was highest for building air-tightness, followed by boiler efficiency, external wall U-value, and window U-value.

The findings of this study can be used to set energy related standards for aging buildings in Korea. Moreover, it is expected that the green remodeling project can be effective if only relevant guidelines are established.

감사의 글

2013년부터 시작한 울산대학교에서의 생활이 2020년 석사논문의 마무리와 함께 끝나가고 있습니다. 저에게는 잊을 수 없는 순간들로 기억될 생활을 마치며, 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.

먼저 그저 그렇게 졸업 후 떠나갈 저를 연구실로 이끌어주시고 졸업을 앞둔 지금까지 학문의 길과 방향에 대해 항상 아낌없이 지도해 주신 김기한 교수님께 진심으로 감사의 마음을 전합니다. 연구실의 스타팅 멤버로 부족한 제가 함께하게 되어 많은 걱정을 안겨드렸던 것 같습니다. 그 어떤 대학원생보다도 지도 교수님과 많은 대화와 콘택트가 많았기에 정말로 많은 것을 배울 수 있던 순간순간이었습니다. 연구실에서의 경험은 앞으로 삶을 살아가는 데 있어 그 어떤 경험보다도 값지고 도움이 될 것이라 믿어 의심치 않습니다.

저의 부족한 논문을 심사해주신 손기영 교수님, 이재민 교수님과 부족한 저에게 많은 가르침을 주신 울산대학교 건축대학 모든 교수님들께 진심으로 감사드립니다.

연구실의 시작을 함께한 아미나 너무도 고맙게 내 짧은 영어를 다 이해해 주고 랩 메이트로 또 친구로서 너무도 많이 배우고 도움을 받았습니다. Thanks. I really appreciate it!

서울에서 2년이 넘는 시간을 기다리며, 많이 힘들었을 우리 예솔이! 절대 쓰지 마라 했지만 그러기엔 너무도 고맙고 미안한 마음이 커서 몰래 적어요. 오래 기다리게 해서 미안해 금방 갈께

마지막으로 전적으로 저를 응원해주시고 집을 떠난 후 8년간의 생활을 어떠한 불편함 느낄 수 없이 지원해주신 저희 부모님 엄마! 아빠! 이제는 사회로 나가게 될 저와 반대로 40여 년에 가까운 교직생활을 뒤로하시고 제 2의 인생을 살아가실 두 분을 응원하며 아들은 두 분의 염원으로 멋진 어른으로 잘 살아보겠습니다. 감사합니다.

감사의 글을 쓰는 시점의 저는 2년간의 연구실로의 출근의 끝을 앞두고 있고 새로운 시작의 문 앞에 서있습니다. 가진 능력에 비해 함께해주신 여러 인연의 복으로 행운이 함께하는 삶을 살고 있다 생각합니다. 받은 것 이상으로 베풀 수 있는 사람이 되기를 매일 기원하며 열심히 나아가 보겠습니다.

미쳐 지면으로 담지 못한 많은 친구들이 있습니다. 그분들께는 직접 감사함을 담아 만나서 밥한 끼 사도록 하겠습니다.

많은 분들의 도움으로 저는 학업을 마치고 한 발짝 앞으로 디뎌보려 합니다. 베풀어 주신 도움이 더욱 빛나도록 앞으로 최선을 다하겠습니다. 감사합니다.

최한성 드림