



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

工學碩士學位論文

k-means cluster를 이용한 기존 건축물의  
새로운 에너지성능 평가방법 개발  
- 그린리모델링의 대상 건축물 선정 -

A Study to Develop a New Energy Performance  
Evaluation Method of Existing Buildings  
using k-means cluster Analysis  
- Selection of Target Buildings for Green Remodeling -

蔚山大學校 大學院

建築學科

石素伊

k-means cluster를 이용한 기존 건축물의  
새로운 에너지성능 평가방법 개발  
- 그린리모델링의 대상 건축물 선정 -

A Study to Develop a New Energy Performance  
Evaluation Method of Existing Buildings  
using k-means cluster Analysis  
- Selection of Target Buildings for Green Remodeling -

指導教授 金起漢

이 論文을 工學碩士 論文으로 提出함

2024 年 2 月

石素伊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 尹나리 (인)

審査委員 金起漢 (인)

蔚山大學校 大學院

2024年 2月

## 국문 요약

산업혁명 이후부터 국가 단위에서 급증하는 화석연료의 사용으로 인하여 온실가스의 배출량이 늘어나면서 지구온난화가 가속화되고 있다. 이러한 현상으로 인하여 전 세계는 기후변화 문제에 대처하기 위해 국가 차원에서의 지원정책과 환경 개선 및 발전을 지향하고 있다. 특히, 건축물의 에너지소비량은 우리나라 전체의 에너지소비량의 28.1%를 차지하고 있으며, 오랜 기간 사용되는 건축물의 특성상 건축물의 에너지절감은 기후변화 대응에 장기적인 실효성을 가져올 것으로 기대된다. 이를 위해 우리나라 정부는 「제2차 녹색건축물 기본계획」을 발표하였으나, 절차나 규제 등이 구체적으로 명시된 신축 건축물의 정책에 비해 기존 건축물의 정책인 그린리모델링은 세부적인 계획이 미흡한 실정이다. 따라서 온실가스 감축목표를 효과적으로 실현하기 위해 향후의 정책에서는 에너지성능이 낙후된 기존 건축물을 환경친화적인 지속가능한 녹색건축물로 전환하고자 하는 그린리모델링을 전략으로 추진하려는 노력이 필요하다.

현재 그린리모델링은 「도시 및 주거환경정비법 시행령」 제2조에 따라 준공된 후 20년 이상 30년 이하의 범위에서 조례가 정하는 기간이 지난 노후·불량 건축물을 대상으로 그린리모델링을 시행하고 있다. 그러나, 준공 후 운영기간으로만 건축물의 에너지성능을 판단하는 현행 규정은 건축물의 운영 및 사용 정보를 고려하지 않아 실효성이 낮다. 따라서 효과적인 그린리모델링을 추진하기 위해서는 기존 건축물의 에너지성능을 평가하고, 이를 기반으로 그린리모델링의 대상 건축물을 선정하기 위한 방법론의 개발이 필요하다.

본 연구는 주거용 건축물의 에너지성능을 평가하고자 Change-point regression model(CPM)을 이용한 에너지성능 평가방법을 사용하였다. CPM은 건축물의 실제 에너지소비량과 외기온도의 상관관계에 기반한 선형회귀분석을 통하여 건축물의 에너지성능을 도출하는 방법이다. 이 방법의 한계점은 에너지소비량과 외기온도 사이의 상관관계를 바탕으로 건축물의 신뢰구간을 제한하고 있으며, 이를 불만족하는 건축물은 평가방법에서 제외한다. 따라서, 모든 기존 건축물의 에너지성능을 평가할 수 있는 새로운 에너지성능 평가방법이 필요하다.

본 연구에서는 CPM의 한계점을 극복하기 위해 전체 기존 건축물을 대상으로 에너지성능을 평가하고자 k-means cluster(KMC)를 도입하였다. KMC는 입력 데이터를 바탕으로 기계가 학습한 데이터의 패턴이나 유사도를 분석하고, 분류 목적에 따라 입력 데이터를 k개의 cluster로 할당하여 군집화를 수행하는 방법이다. 이를 통해 본 연구는 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법을 제안하였다.

연구의 조사대상 건축물로 대한민국의 기존 건축물의 연면적 현황에 따라 주거용 아파트를 채택하였으며, 울산광역시에 위치하는 조사대상 344개동 아파트를 선정하였다. 조사대상 아파트에 대한 고지서의 월별 단위면적당 가스사용량과 기상청의 월평균 외기온도를 수집하였으며, 에너지성능 평가방법의 입력 데이터로 활용하였다.

본 연구에서는 CPM의 신뢰구간을 고려하여 조사대상 아파트에 대한 선행작업을 실시하였으며, 이를 통해 신뢰구간을 만족하는 114개동 아파트의 축소형 범위와 신뢰구간이 미반영된 344개동 아파트의 기본형 범위로 두 가지의 범위를 규정하였다. 범위에 따른 조사대상 아파트의 입력 데이터를 바탕으로 각 평가방법을 적용하였으며, 이에 대한 그린리모델링의 대상 아파트 선정 결과와 비교 결과는 다음과 같다.

(1) 축소형 범위의 114개동 아파트에 CPM을 이용한 에너지성능 평가방법에서는 3-parameter heating을 사용하였다. 에너지성능을 평가하기 위한 base-load, heating slope(HS), change-point temperature의 세 가지 parameter를 파악하였으며, 이를 통해 heating energy(HE)를 산출하였다. CPM의 성능지표를 활용하여 HS-HE 사분면을 작성하였으며, 1사분면에 해당하는 34.2%의 39개동 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다.

(2) 축소형 범위의 114개동 아파트에 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법에서는 Optimum number of clusters를 사용하였다. 최적의 cluster 개수인 k를 ratio에 기반한 elbow point로 설정하였으며, 이를 통해 k는 ratio가 51.5%인 3으로 설정하였다. 각 cluster 중심점의 가스사용량을 추정하여 가장 에너지성능이 열악한 cluster를 도출하였으며, cluster 1에 해당하는 24.6%의 28개동 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다.

(3) 본 연구의 1차 세부 목표인 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법의 적용 타당성을 검증하기 위해 (1)과 (2)의 대상 아파트를 상호 비교하고자 하였다. 이를 통해 전체 41개동 아파트를 확인하였으며, 결과가 일치하는 63.4%의 26개동 아파트를 도출하였다. 이를 통해 KMC에 대한 적용 타당성을 검증하였다.

(4) 본 연구의 1차 목표를 달성함으로써, CPM의 한계점을 극복하기 위해 신뢰구간이 미반영된 전체 조사대상 아파트인 기본형 범위의 344개동 아파트에 KMC를 적용하였다. 기본형 범위의 344개동 아파트에 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법에서 k는 ratio가 55.0%인 4로 설정하였다. 가장 에너지성능이 열악한 cluster 1에 해당하는 21.8%의 75개동 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다.

(5) 마지막으로, 본 연구의 2차 세부 목표인 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법의 활용 유효성을 검증하기 위해 (2)와 (4)의 대상 아파트를 상호 비교하고자

하였다. 이 과정에서 각 범위의 아파트 수효 차이로 인해 발생하는 오차를 최소화하기 위해, 344개동 아파트에 대한 기본형 범위를 축소형 범위와 일치하는 114개동 아파트로 대상 아파트를 한정하여 비교하였다. 이를 통해 전체 28개동 아파트를 확인하였으며, 결과가 일치하는 75.0%의 21개동 아파트를 도출하였다. 이를 통해 KMC에 대한 활용 유효성을 검증하였다.

본 연구는 기존 건축물의 에너지절감을 위해 효과적인 그린리모델링을 추진하기 위한 전략으로 건축물의 에너지성능에 기반한 그린리모델링의 대상 건축물을 선정하는 방법론을 개발하고자 하였다. 이를 위해 신뢰구간으로 인해 조사대상을 제한하는 CPM의 한계점을 극복하는 KMC를 도입하여 새로운 에너지성능 평가방법을 제안하였다. 본 연구에서는 이를 통해 축소형과 기본형 범위에 CPM과 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 실시하고, 이를 기반으로 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하였다. 또한, 각 그린리모델링의 대상 아파트를 상호 비교하여, KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법에 대한 적용 타당성과 활용 유효성을 검증하였다. 향후 연구에서는 KMC의 조사대상 건축물의 수효나 용도에 대한 입력 데이터를 확장하고, 이에 따른 영향력과 안정성을 분석하는 등 세부적인 연구가 진행될 것으로 기대된다. 이러한 노력을 통해 그린리모델링의 구체적인 방법론에 대한 근거를 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

## <목 차>

국문요약	i
목 차	iv
표 목 차	vi
그림 목차	vii
<b>I. 서 론</b>	<b>1</b>
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 필요성	3
1.3 선행연구	4
1.3.1 기존 건축물의 에너지성능 분석 연구	4
1.3.2 현존하는 기존 건축물의 에너지성능 평가방법	5
1.3.3 새로운 에너지성능 평가방법	11
1.4 연구의 목적	14
<b>II. 연구의 방법</b>	<b>15</b>
2.1 연구의 흐름	15
2.2 연구의 대상	17
2.2.1 조사대상 아파트	17
2.2.2 월별 총 가스사용량	19
2.2.3 월평균 외기온도	20
2.3 조사대상 아파트의 Change-point regression model을 이용한 에너지성능 평가	22
2.4 조사대상 아파트의 k-means cluster를 이용한 에너지성능 평가	26
2.5 조사대상 아파트의 범위 설정	33



III. 건축물의 에너지성능 평가방법을 통한 그린리모델링 대상 아파트 선정	38
3.1 조사대상 아파트에 Change-point regression model을 적용한 결과	38
3.2 조사대상 아파트에 k-means cluster를 적용한 결과	43
3.3 축소형 범위에 k-means cluster를 적용한 결과	44
3.4 기본형 범위에 k-means cluster를 적용한 결과	51
IV. 그린리모델링 대상 아파트 비교를 통한 에너지성능 평가방법 검증	60
4.1 k-means cluster를 이용한 에너지성능 평가방법의 타당성 검증	60
4.2 k-means cluster를 이용한 에너지성능 평가방법의 유효성 검증	64
V. 결론	71
참고문헌	74
Abstract	77
감사의 글	80

## <표 목차>

<표 1.1> 2018년도 우리나라의 부문별 온실가스 총배출량 현황	1
<표 1.2> CPM의 parameter에 따른 건축물의 에너지소비량 계산식	8
<표 1.3> ASHRAE에서 제시한 CPM을 적용하는 건축물의 데이터에 대한 신뢰구간 기준	10
<표 2.1> 2011년도 울산광역시 월평균 외기온도	20
<표 2.2> 가스사용량의 오차기간을 보정한 울산광역시 월평균 외기온도	21
<표 2.3> CPM의 3PH에 적용한 월별 입력 데이터의 예시	23
<표 2.4> CPM의 3PH를 적용한 parameter의 예시	25
<표 2.5> CPM의 3PH를 적용한 아파트 신뢰구간의 예시	25
<표 2.6> KMC에 적용한 월별 입력 데이터의 예시	27
<표 2.7> CPM의 신뢰구간에 기반한 아파트의 축소형 범위와 기본형 범위	35
<표 2.8> KMC에 적용한 축소형 범위의 입력 데이터	36
<표 2.9> KMC에 적용한 기본형 범위의 입력 데이터	37
<표 3.1> CPM의 HS-HE 사분면에 적용한 축소형 범위의 아파트 위치 분포	42
<표 3.2> 축소형 범위에 KMC(k=3)를 적용한 cluster 분류 결과	45
<표 3.3> 축소형 범위의 cluster 중심점에 대한 월별 가스사용량	49
<표 3.4> 기본형 범위에 KMC(k=4)를 적용한 cluster 분류 결과	52
<표 3.5> 기본형 범위의 cluster 중심점에 대한 월별 가스사용량	57
<표 4.1> 축소형 범위에 CPM과 KMC를 적용한 아파트 분류 (개동)	61
<표 4.2> 축소형 범위에 CPM과 KMC를 적용한 그린리모델링의 대상 아파트 선정 (개동)	63
<표 4.3> 축소형과 기본형 범위의 114개동 아파트에 대한 cluster의 분류 (개동)	65
<표 4.4> 축소형과 기본형 범위에 KMC를 적용한 그린리모델링의 대상 아파트 선정 (개동)	70

## <그림 목차>

<그림 1.1> 2021년도 전국 건축물 노후도별 연면적 현황 .....	3
<그림 1.2> CPM의 parameter 개수에 따른 외기온도와 에너지소비량의 관계 ----	7
<그림 1.3> KMC에 대한 데이터 분류 과정의 알고리즘 개념도 .....	13
<그림 2.1> 연구의 흐름도 .....	16
<그림 2.2> 2021년 전국 건축물 용도별 및 주거용 연면적 현황 .....	17
<그림 2.3> 대한민국 울산광역시의 조사대상 아파트에 대한 위치 .....	18
<그림 2.4> 가스사용량의 통지기간과 사용기간에 관한 오차 추적 .....	21
<그림 2.5> CPM의 3PH에 적용한 월별 입력 데이터와 회귀선 .....	24
<그림 2.6> CPM의 3PH를 적용한 parameter의 예시 .....	24
<그림 2.7> SED를 적용한 월별 가스사용량 구분의 예시 .....	28
<그림 2.8> SED를 적용한 월별 난방에너지 추정의 예시 .....	28
<그림 2.9> KMC를 적용한 Optimum number of clusters와 elbow point의 예시 .....	30
<그림 2.10> KMC(k=2)를 적용한 cluster 분류 결과의 예시 .....	31
<그림 2.11> KMC를 적용한 통계지표의 예시 .....	31
<그림 2.12> CPM의 신뢰구간에 기반한 아파트의 선별 과정 및 범위 설정 .....	33
<그림 2.13> 조사대상 아파트의 범위에 따른 평가방법 적용 과정 및 세부 목표 .....	35
<그림 3.1> 축소형 범위의 CPM에 대한 Heating slope의 도수분포 .....	39
<그림 3.2> 축소형 범위의 CPM에 대한 Heating energy의 도수분포 .....	39
<그림 3.3> CPM의 성능지표를 활용한 HS-HE 사분면 작성 및 의의 .....	41
<그림 3.4> CPM의 HS-HE 사분면에 적용한 축소형 범위의 아파트 위치 분포 .....	42
<그림 3.5> 축소형 범위에 KMC를 적용한 Optimum number of clusters와 elbow point .....	44
<그림 3.6> 축소형 범위에 KMC(k=3)를 적용한 cluster 분류 결과 .....	45
<그림 3.7> 축소형 범위 cluster 1의 28개동 아파트에 대한 월별 가스사용량 ----	47
<그림 3.8> 축소형 범위 cluster 2의 67개동 아파트에 대한 월별 가스사용량 ----	47

<그림 3.9> 축소형 범위 cluster 3의 19개동 아파트에 대한 월별 가스사용량	48
<그림 3.10> 축소형 범위의 cluster별 중심점에 대한 월별 가스사용량	48
<그림 3.11> 축소형 범위의 cluster별 중심점에 대한 월별 가스사용량 통계수치	50
<그림 3.12> 기본형 범위에 KMC를 적용한 Optimum number of clusters와 elbow point	51
<그림 3.13> 기본형 범위에 KMC(k=4)를 적용한 cluster 분류 결과	52
<그림 3.14> 기본형 범위 cluster 1의 75개동 아파트에 대한 월별 가스사용량	54
<그림 3.15> 기본형 범위 cluster 2의 118개동 아파트에 대한 월별 가스사용량	55
<그림 3.16> 기본형 범위 cluster 3의 95개동 아파트에 대한 월별 가스사용량	55
<그림 3.17> 기본형 범위 cluster 4의 56개동 아파트에 대한 월별 가스사용량	56
<그림 3.18> 기본형 범위의 cluster별 중심점에 대한 월별 가스사용량	56
<그림 3.19> 기본형 범위 cluster 1과 cluster 4의 중심점에 대한 월별 가스사용량	58
<그림 3.20> 가스사용량의 오차기간을 반영한 울산광역시 월평균 외기온도	58
<그림 3.21> 기본형 범위의 cluster별 중심점에 대한 월별 가스사용량 통계수치	59
<그림 4.1> 축소형 범위에 CPM과 KMC를 적용한 HS-HE 사분면 위치 분포	61
<그림 4.2> 축소형 범위의 대상 아파트에 CPM과 KMC를 적용한 HS-HE 사분면 위치 분포	63
<그림 4.3> 축소형과 기본형 범위의 cluster 1 중심점에 대한 월별 가스사용량 비교	66
<그림 4.4> 축소형과 기본형 범위의 cluster 2 중심점에 대한 월별 가스사용량 비교	66
<그림 4.5> 축소형과 기본형 범위의 cluster 3 중심점에 대한 월별 가스사용량 비교	67
<그림 4.6> 축소형과 기본형 범위의 cluster별 중심점에 대한 월별 가스사용량	67
<그림 4.7> 축소형과 기본형 범위의 그린리모델링의 대상 아파트 선정 결과가 일치 / 불일치하는 아파트에 대한 월별 가스사용량 비교	70

# I. 서론

## 1.1 연구의 배경

산업혁명 이후부터 현재까지 국가 단위에서 급증하는 화석연료의 사용으로 인하여 발생한 온실가스 배출량이 늘어나면서 지구온난화가 가속화되고 있다. 이러한 현상으로 인하여 최근에는 전 세계적으로 극단적인 날씨 변화와 자연재해의 부작용이 동반되고 있다. 기후변화 문제에 대처하기 위해 설립된 기후변화에 대한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)는 기후변화로 인한 위험성을 인지하고 2015년 파리협정을 채택하였다. 이에 따라 전 세계는 탄소 및 온실가스 감축을 통한 탄소중립을 추구하고 있으며, 기후변화 대응을 위한 국가 차원에서의 지원 정책과 제도적인 차원에서의 환경 개선 및 발전을 지향하고 있다. 이러한 노력으로 우리나라 정부는 온실가스 감축목표를 상향 조정하고, 2030년도 배출전망치(Business As Usual, BAU) 대비 37%의 국가 온실가스 감축목표를 수립하였다.<sup>1)</sup>

효과적인 온실가스 감축 전략을 제시하고자 <표 1.1>의 2018년도 「우리나라의 부문별 온실가스 총배출량 현황」에 따르면, 건축물 부문은 전체 온실가스 총배출량의 24.6%로 2위를 차지하고 있다.<sup>2)</sup> 이는 우리나라의 온실가스 배출량 감축에 대하여 건축물 부문이 큰 잠재력을 가지고 있다는 것을 의미한다. 건축물의 오랜 기간 사용되는 특성을 고려하면, 건축물의 에너지절감은 기후변화 대응에 장기적인 실효성을 가져올 것으로 기대된다.

<표 1.1> 2018년도 우리나라의 부문별 온실가스 총배출량 현황

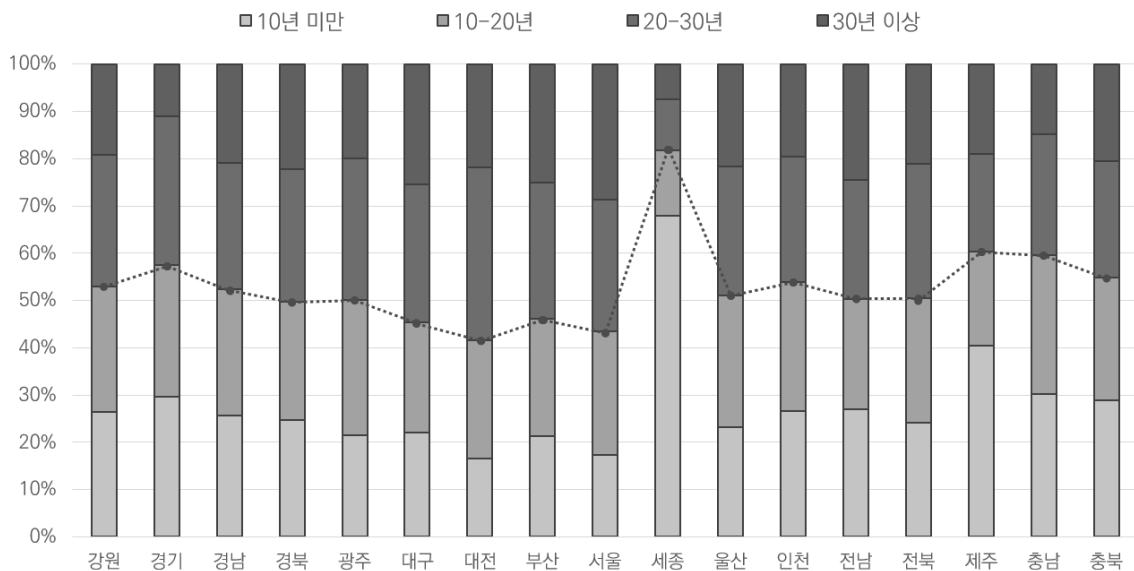
	배출량 (백만톤 CO <sub>2</sub> eq)	총배출량 대비 비율 (%)
산업	392.9	54.0
건축물	179.2	24.6
수송	99.6	13.7
기타	55.9	7.7

건축물 부문의 온실가스 배출량 감축과 관련하여 2019년에 우리나라 정부는 「제2차 녹색건축물 기본계획」을 발표하였으며, 온실가스 배출전망치를 2018년 18.1%에서 2030년 32.7%로 상향 조정하였다.<sup>3)</sup> 또한, 이를 효과적으로 달성하기 위해 저탄소·저에너지 사회를 선도하는 녹색건축을 실현하고자 건축물의 5대 추진 전략과 12대 정책과제를 마련하였다.<sup>4)</sup> 이에 따라 신축 건축물은 에너지성능을 강화하는 전략으로 제로에너지건축물 보급 가속화, 에너지성능 기준 고도화에 대한 세부 목표를 수립하였으며, 기존 건축물은 녹색화를 촉진하는 전략으로 노후 건축물의 그린리모델링 활성화, 건축물의 에너지 효율적 운영·관리에 대한 세부 목표를 수립하였다.

위에서 제시한 건축물의 성능개선에 대한 추진 전략은 탄소중립 기술 및 제도 확산을 유도하고 환경친화적인 지속가능한 녹색건축물로 전환하기 위한 노력을 추구하고 있다. 현행 건축물의 에너지절감을 위한 녹색건축물 조성 관련 정책에서, 신축 건축물은 정책의 절차, 규제, 지원 수단 등에 대해 구체적으로 명시하고 있다. 반면에, 기존 건축물은 낙후된 에너지성능 및 효율을 개선하기 위한 그린리모델링을 시행하고 있으나, 아직은 그린리모델링에 대한 범위, 계획 등의 규정이 신축 건축물의 정책에 비해 상대적으로 미흡한 실정이다. 따라서, 강화된 온실가스 감축목표를 효과적으로 실현하기 위해 향후의 정책에서는 우리나라 정부의 기술적인 지원과 함께 기존 건축물의 에너지성능 및 효율을 개선하고 녹색건축물로 전환하고자 하는 그린리모델링을 전략으로 추진하려는 노력이 필요하다.

## 1.2 연구의 필요성

그린리모델링은 기존 건축물의 열악한 에너지 효율을 개선하고 지속가능한 건축환경을 조성하는 정책이다. 현재 우리나라는 「도시 및 주거환경정비법 시행령」 제2조에 따라 준공된 후 20년 이상 30년 이하의 범위에서 조례가 정하는 기간이 지난 노후·불량 건축물을 대상으로 그린리모델링을 시행하고 있다.<sup>5)</sup> 이와 관련하여 <그림 1.1>로 나타난 건축물 생애이력 관리시스템의 2021년도 전국 건축물 노후도별 연면적 현황에 따르면, 준공 후 운영기간이 20년 이상인 건축물의 비율은 47.5%, 30년 이상은 23.4%로 나타났다.<sup>6)</sup> 이는 향후 그린리모델링을 강화하기 위해서는 전체 기존 건축물의 범위에서 그린리모델링의 대상 건축물을 선정하는 과정이 중요하다는 것을 의미하고 있다. 대체로 건축물의 특성상 건축물의 준공 후 오랜 기간 사용할수록 에너지성능이 저하되는 경향이 있으나, 이는 건축물의 설비효율, 유지보수 등 운영 및 사용 정보를 고려하지 않은 이론적인 결과이다. 따라서, 효과적인 그린리모델링을 추진하기 위해서는 기존 건축물의 에너지성능을 고려하고, 이를 기반으로 그린리모델링의 대상 건축물을 선정하기 위한 방법론의 개발이 필요하다.



<그림 1.1> 2021년도 전국 건축물 노후도별 연면적 현황

## 1.3 선행연구

### 1.3.1 기존 건축물의 에너지성능 분석 연구

기존 건축물의 에너지성능을 반영하여 그린리모델링의 대상 건축물을 선정하기 위한 방법론을 마련하고자 건축물의 에너지소비 특성을 파악하는 선행연구들을 고찰하였다. 그린리모델링 관련 정책 및 제도를 제고하기 위해 건축물의 외피, 창호, 단열재 등 건축물의 물리적인 특성을 활용한 연구들이 활발히 이루어지고 있다. 김성임(2020)<sup>7)</sup>은 기존 업무시설의 에너지소비량에 대한 추정 방법을 개발 및 검증하고자 공공데이터와 연간 급탕, 환기, 조명 등의 용도별 에너지소비량 계측데이터를 수집하여 이에 대한 다중회귀식을 실시하고 연간·월간에 따른 에너지소비량의 간이 추정 방법을 제안하였으며, 우혜지(2016)<sup>8)</sup>는 건축물의 특징과 재실자의 행태에 따른 에너지소비량의 특성을 분류하고자 건축물의 에너지와 외기온도의 상관관계를 통하여 에너지의 소비 특성을 분석하였다. 그리고, 윤진하(2017)<sup>9)</sup>는 다양한 용도로 구성된 캠퍼스 건축물의 전반적인 에너지절감을 위해 실제 에너지소비량을 조사하여 16가지의 소비패턴으로 유형화하였으며, 해당 건축물의 재실 특성과 설계정보를 활용하여 에너지의 효율적인 운영 방안을 직관적으로 제시하였다.

또한, 그린리모델링의 시행 효과를 홍보 및 장려하기 위하여 이를 시행한 건축물의 데이터를 활용한 연구 사례가 증가하는 추세이다. 이도형(2022)<sup>10)</sup>은 준공 후 35년 이상의 근린생활시설과 주택을 대상으로 ECO2 프로그램을 적용하여 그린리모델링을 통한 열 쾌적성 향상 및 탄소배출량 저감효과를 분석하였으며, 김동일(2020)<sup>11)</sup>은 업무시설, 숙박시설, 주거시설, 종교시설의 건축물을 대상으로 실제 그린리모델링을 시행하기 전·후에 따른 에너지소비량의 특성을 분석하였다.

다수의 선행연구에서는 주로 기존 건축물의 에너지소비량을 기반으로 건축물의 에너지소비 특성을 분석하거나 소비패턴을 유형화하는 연구를 수행하였으며, 이후의 선행연구에서는 그린리모델링을 시행한 기존 건축물의 에너지절감 효과를 분석하는 연구들이 진행되고 있었다. 이러한 선행연구들은 그린리모델링의 효용성을 뒷받침하는 방향으로 편중하고 있다. 따라서, 기존 건축물의 에너지성능을 정량적으로 평가하고, 이를 기반으로 실질적인 그린리모델링의 대상 건축물을 선정하는 새로운 방법론을 개발하는 것이 필요하다.



### 1.3.2 현존하는 기존 건축물의 에너지성능 평가방법

그린리모델링의 기대효과 향상을 위해 기존 건축물의 에너지성능을 정량적으로 평가하고자, 현재 사용하고 있는 건축물의 에너지성능을 평가하는 방법을 파악하였다. 미국 냉동공조학회(The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE)에 의하면, 건축물의 에너지소비량을 예측하는 방법은 크게 Forward Method와 Data-driven Method로 구분하고 있다.<sup>12)</sup>

먼저, Forward Method는 실제로 건축물이 지어지기 전에 자재의 단열성능, 설비의 효율, 용도별 운영스케줄 등 건축물의 물리적인 데이터를 이용하여, 실제 상황에서 적용이 어려운 설정 조건을 예측하는 시뮬레이션을 사용하는 방법이다. 이 방법은 설계 단계에서 건축물의 형태, 자재, 시스템 등 설정 조건을 편리하게 조정할 수 있으며, 주로 신축 건축물을 대상으로 건축물의 연중 월별 에너지소비량을 예측하거나 효율적인 에너지소비 계획을 수립하는 데 사용하고 있다.

이와 반대로, Data-driven Method는 전기사용량, 가스사용량과 같이 건축물의 실제 데이터를 활용하여 에너지소비량으로부터 건축물의 물리적 특성을 유추하는 방법이다. 이 방법은 건축물의 특성, 사용 용도, 환경 조건 등을 반영한 기존 건축물의 에너지사용량 데이터를 기반으로 건축물의 에너지성능을 추정하는 데 유용하다.<sup>13)</sup> Data-driven Method의 대표적인 도구인 Inverse Model Toolkit은 건축물의 에너지소비량, 외기온도, 바닥면적 등의 데이터를 활용한다. 또한, 이 방법은 건축물의 에너지소비에 영향을 미치는 외기온도와 같은 변수를 고려하여, 기존 건축물의 에너지소비량을 바탕으로 건축물의 열적특성을 역으로 추정하는 데 사용하고 있다.

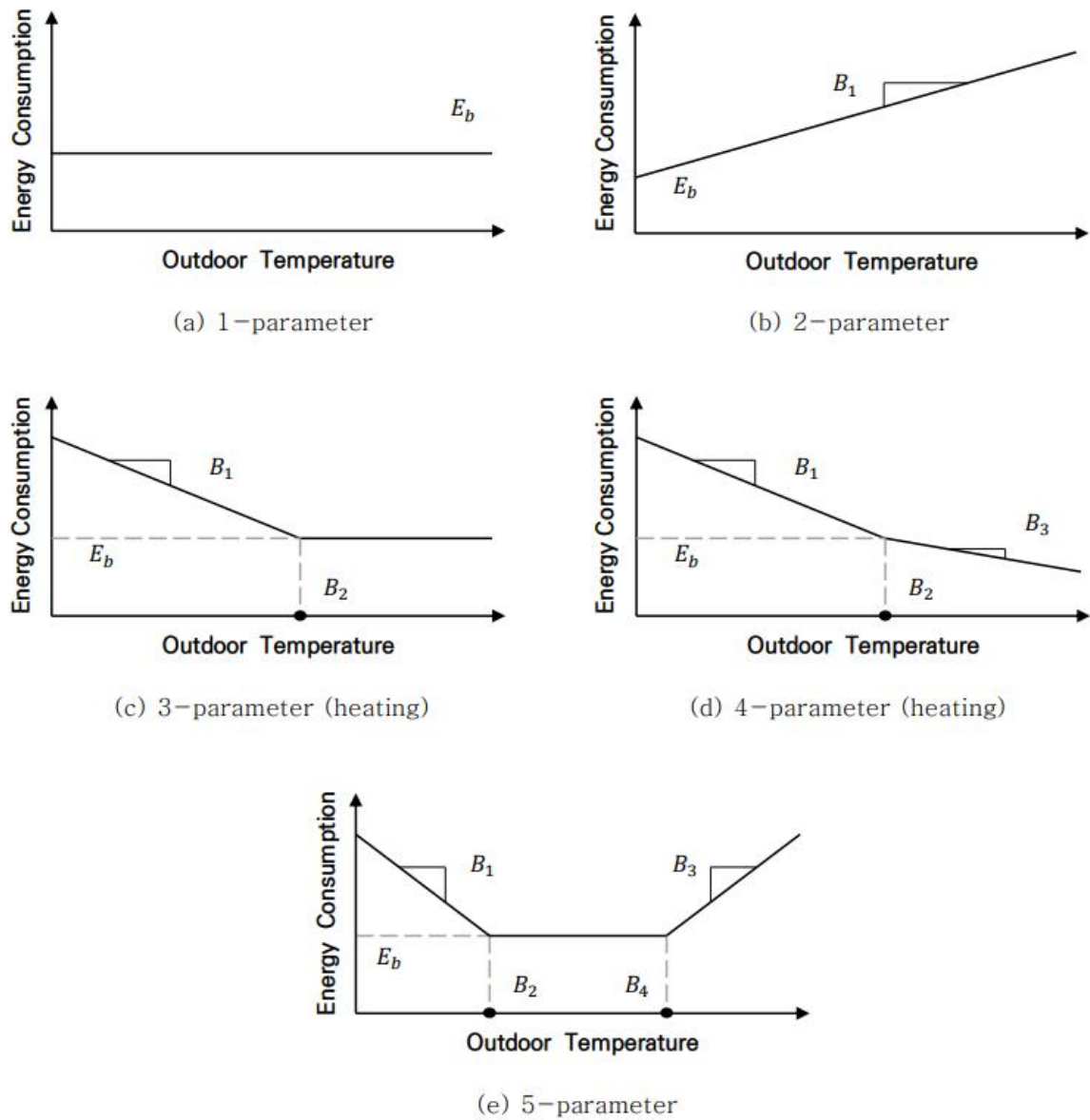
Inverse Model Toolkit의 여러 모델 중 하나인 Change-point regression model(CPM)은 건축물의 실제 에너지소비량과 외기온도의 상관관계에 기반한 선형회귀분석을 통하여 건축물의 열적특성을 도출하는 방법이다. CPM은 분석하려는 건축물의 에너지소비량에 대한 특성이 다양할수록 parameter의 개수가 증가하며, 이러한 CPM의 parameter 개수에 따른 다양한 유형은 <그림 1.2>와 같이 1-parameter에서 5-parameter로 구분하고 있다. <그림 1.2-(c)>의 3-parameter를 예시로 살펴보면, X축은 외기온도를 Y축은 에너지소비량을 나타내고 있으며, 외기온도에 따른 에너지소비량의 변화를 식별하는 세 가지의 parameter를 기반으로 건축물의 열적특성을 분석할 수 있다. 이러한 parameter는 건축물의 에너지소비량이 변화하는 특정한

외기온도  $B_2$  (Change point), 특정한 외기온도( $B_2$ ) 이하에서 선형적으로 변화하는 에너지소비량의 기울기  $B_1$  (heating slope), 그리고 외기온도의 변화와 무관하게 일상적으로 사용되는 일정한 에너지소비량인 기저에너지  $E_b$  (base-load)로 구분할 수 있다.<sup>14)</sup>

<그림 1.2>는 외기온도에 관한 에너지소비량의 특성을 기반으로 parameter의 개수를 규정하고, CPM 결과의 정확성을 향상하기 위해 이를 유형화하고 있다. CPM의 parameter 개수에 따른 건축물의 유형별 외기온도와 에너지소비량의 관계성은 다음과 같다.

<그림 1.2 (a)>의 1-parameter(1P)는 외기온도와 무관하게 연중 일정한 에너지소비량을 나타내는 건축물의 에너지성능 평가에 적합하며, 이는 지역난방을 사용하거나 가스로 냉·난방을 사용하는 건축물의 전기사용량 분석에 적용하고 있다. <그림 1.2 (b)>의 2-parameter(2P)는 외기온도가 증가함에 따라 에너지소비량이 비례하는 건축물의 에너지성능 평가에 적합하며, 이는 주로 냉방을 집중적으로 사용하는 건축물을 대상으로 적용하고 있다. <그림 1.2 (c)>의 3-parameter(3PH)는 특정한 외기온도 이하에서 에너지소비량이 증가하는 건축물의 에너지성능을 평가하는 데 유용하다. 이는 주로 가스를 사용하는 가정용 온수난방의 건축물을 대상으로 적용하고 있으며,  $B_2$ 를 기준으로 분류한 에너지소비량을 분석하여 해당 건축물의 열적특성을 도출하는 데 활용되고 있다. 연중 일정한 에너지소비량을 갖는 기저에너지는 급탕이나 취사에 사용되는 일상적인 에너지소비량으로 해석할 수 있으며, 외기온도에 따라 선형적으로 반응하는 에너지소비량은 외기온도가 낮아질수록 증가하는 특성을 반영하여,  $E_b$ 을 제외하고 난방에너지를 추정하는 데 활용되고 있다. 또한, 난방에너지를 도출하는 과정에서  $B_1$ 를 이용하여 외기온도에 따른 에너지소비량의 변화 정도를 유추할 수 있다. 이 값이 클수록 건축물이 상대적으로 외기온도에 민감하게 반응하여 건축물의 열악한 난방 에너지 효율을 나타낸다. <그림 1.2 (d)>의 4-parameter(4PH)는 다수의 VAV(Variable Air Volume) 시스템을 이용하는 건축물의 에너지성능을 평가하는 데 적합하며, 이는 건축물의 냉·난방 에너지소비량 분석에 사용되고 있다. 이 유형은 3PH에서 변형된 형태로, 기저에너지 없이 서로 다른 값을 갖는 두 개의 에너지소비량 기울기가 존재하는 것이 특징이다. <그림 1.2 (e)>의 5-parameter는 냉방·난방 에너지소비량을 동시에 분석하려는 건축물의 에너지성능 평가에 적합하며, 이는 상업용

건축물의 에너지소비량 분석에 사용되고 있다. 또한, 이 유형은 외기온도와 비례하는 에너지소비량을 냉방에 사용되는 에너지로, 반비례하는 에너지소비량을 난방에 사용되는 에너지로 구분할 수 있다.<sup>15)</sup> CPM의 유형별 에너지소비량을 계산하는 식은 <표 1.2>와 같다.



<그림 1.2> CPM의 parameter 개수에 따른 외기온도와 에너지소비량의 관계

<표 1.2> CPM의 parameter에 따른 건축물의 에너지소비량 계산식

		E (Energy Consumption)
(a)	1-parameter	$E = E_b$
(b)	2-parameter	$E = E_b + B_1(T)$
(c)	3-parameter	$E = E_b + B_1(B_2 - T)^+$
(d)	4-parameter	$E = E_b + B_1(B_2 - T)^+ + B_3(B_2 - T)^+$
(e)	5-parameter	$E = E_b + B_1(B_2 - T)^+ + B_3(B_4 - T)^+$

$E$  : 전체 에너지소비량 [kWh/ $m^2$ ]

$E_b$  : 기저 에너지소비량 (base-load) [kWh/ $m^2$ ]

$T$  : 외기온도 (outdoor temperature) [°C]

$B_1, B_3$  : 외기온도와 에너지소비량의 기울기 (heating slope) [-]

$B_2, B_4$  : 외기온도와 에너지소비량의 변환점 (change-point) [°C]

ASHRAE는 에너지소비량과 외기온도의 상관관계를 이용하는 CPM 결과의 신뢰성을 확보하기 위해  $R^2$  (R-Square), Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error ( $CV(RMSE)$ )라는 두 지표의 신뢰구간을 <표 1.3>과 같이 제시하고 있다.

첫 번째, <식 1>의 결정계수  $R^2$ 는 데이터의 변동성을 나타내는 신뢰구간이다. 이는 0부터 1 사이의 값으로 표현하며, 값이 1에 가까울수록 다양한 상황과 조건에서 데이터는 일관된 예측 결과를 제공하는 것을 의미하고 있다. 즉, 데이터의  $R^2$ 가 높을수록 예측성능이 우수하다는 것을 의미하고 있으며, ASHRAE는 CPM을 사용할 경우의  $R^2$ 를 0.75 이상의 범위로 제한하고 있다. 두 번째, <식 2>의  $CV(RMSE)$ 는 건축물의 실측치와 시뮬레이션을 이용한 예측치의 차이를 다수의 작업으로 비교하고, 이에 대한 평균값을 나타내는 신뢰구간이다. 이는 0%부터 100% 사이의 값으로 표현하며, 값이 0%에 가까울수록 데이터가 높은 설명력을 가진다는 것을 의미하고 있다. 즉, 데이터의  $CV(RMSE)$ 가 낮을수록 실측치와 예측치의 차이가 적다는 것을 의미하고 있으며, ASHRAE는 월별 에너지소비량 데이터를 사용하는 경우에  $CV(RMSE)$ 를 15% 이하의 범위로 제한하고 있다.<sup>16)</sup>

CPM에서 제공된 범위의 신뢰구간을 사용하여 제시하는 조건을 만족하는 건축물을 대상으로 에너지성능을 평가하는 경우, 신뢰구간을 만족하는 건축물들은 결과 예측성능이 향상된다. 반면에, 대학교의 학생 기숙사와 같이 학기와 방학 기간에 따라 공실이 발생하거나 입주 패턴이 달라지는 등의 특수한 건축물은 신뢰구간을 만족시키기 어렵다. 신뢰구간을 만족하지 않는 건축물들은 결과 예측성능이 저하될 수 있으며, 일반적으로 건축물의 에너지성능을 평가하는 대상에서 배제하고 있다. 이와 같이 신뢰구간으로 인하여 대상이 제한적인 CPM의 특성으로 인하여 전체 기존 건축물에 대한 에너지성능을 평가할 수 없다는 한계점을 갖고 있다. 이처럼 신뢰구간을 기준으로 대상을 제한하는 한계점으로 인해, CPM을 이용하여 기존 건축물의 에너지성능을 평가하고 이에 기반하여 그린리모델링의 대상 건축물을 선정하는 것은 제한적이다. 따라서, 기존의 에너지성능 평가방법인 CPM의 한계점을 극복하기 위한 새로운 에너지성능 평가방법이 필요하다.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)^2}{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2} \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

$$CV(RMSE) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \{(m_i - s_i)^2 / n\}}}{\bar{m}} \times 100 \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

- $n$  : 입력 데이터의 개수  
 $s_i$  : 시뮬레이션의 예측치  
 $m_i$  : 건축물의 실측치  
 $\bar{m}$  : 건축물의 실측치 평균

<표 1.3> ASHRAE에서 제시한 CPM을 적용하는 건축물의 데이터에 대한 신뢰구간 기준

	ASHRAE 14
$R^2$	$\geq 0.75$
$CV(RMSE)$	$\leq 15 \%$ (Monthly criteria)

### 1.3.3 새로운 에너지성능 평가방법

본 연구에서는 기존 건축물의 에너지성능을 기반으로 그린리모델링의 대상 건축물을 선정하기 위해 CPM의 신뢰구간으로 인한 대상 제한적인 한계점을 극복하고 전체 기존 건축물의 에너지성능을 평가하기 위한 새로운 에너지성능 평가방법을 제안하고자 한다. 새로운 평가방법을 모색하는 전제조건은 두 가지로 설정하였다. 첫 번째는 CPM과 동일한 입력 데이터인 에너지소비량과 외기온도를 사용하기로 한다. 이는 기존의 CPM을 이용한 평가방법과 결과를 비교하여 새로운 평가방법의 사용성을 검증하기 위한 조건이다. 두 번째, 건축물의 에너지소비량에 대한 대규모 데이터의 특성을 고려하고자 한다. 건축물의 동적인 데이터는 기간에 따른 운영스케줄이나 공실 등의 변수로 인해 누락 데이터가 발생할 수 있으며, 이러한 데이터의 이상값을 도출하거나 제거하는 데 유용한 방법을 모색하고자 전제조건으로 설정하였다.

위에서 설정한 두 가지의 전제조건을 반영하여, 현재 다양한 분야에서 널리 사용되고 있으며 빅데이터를 수용할 수 있는 기계학습(machine learning)을 채택하였다. 이 방법은 빅데이터를 기반으로 학습하여 데이터의 복잡한 패턴을 파악하고 통계적으로 예측하여 시각화함으로써 이전에 알려지지 않은 유용한 정보를 추출하는 데 유용하다. 기계학습은 지도학습(supervised learning)과 비지도학습(unsupervised learning)으로 구분되며, 각 방법은 기계가 스스로 학습한다는 유사한 원리를 적용한다. 그러나, 지도학습과 달리 비지도학습은 개인의 개입 없이 기계가 스스로 데이터를 학습하여 그 속의 패턴이나 유사도를 도출한다는 장점이 있다.<sup>17)</sup>

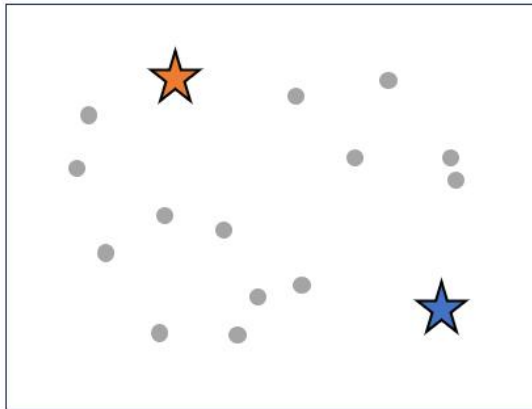
비지도 학습의 대표적인 분석방법인 군집분석(clustering analysis)은 입력한 데이터를 기반으로 기계가 학습하고 판단하여 각 데이터의 특성을 분석한다. 이 방법은 목적에 따라 유사한 특성을 가진 데이터를 군집화하여 분류하는 데 사용하고 있다. 또한, 이는 군집화 유형에 따라 크게 계층적 군집분석(hierarchical clustering)과 비계층적 군집분석(Non-hierarchical clustering)으로 구분한다. 먼저, hierarchical clustering은 데이터를 트리 구조로 나타내어 계층적으로 군집화하는 방법이다. 이는 n개의 입력한 데이터를 개별적인 n개의 cluster로 설정하고, 서로 유사한 성질의 데이터가 cluster로 결합하면서 단계적으로 cluster의 개수를 축소하며, 최종 분류 결과는 전체 입력 데이터가 하나의 cluster로 합쳐진 트리 구조의 계층 구조를 형성한다. 이 방법은 데이터의 분석 목적에 따른 cluster의 개수가 명시되지 않은 상황에서 유용하

게 사용될 수 있으나, 새로운 데이터를 갱신할 때마다 전체 데이터의 군집화를 재수행해야 하는 한계로 인해 상대적으로 빅데이터에 불리하다. 반면에, Non-hierarchical clustering은 분석 목적이나 입력 데이터에 따라 cluster를 재분류할 수 있으며, 다양한 변수를 여러 차원에서 비교할 수 있다. 이는 입력 데이터를 cluster로 할당하여 cluster 사이의 분리를 최적화하는 방법이다. 설정한 cluster의 개수에 따라 중심이나 기준을 설정하고, 입력한 데이터를 기반으로 학습한 알고리즘을 통해 cluster를 재설정한다. 최종 분류 결과는 임의의 데이터가 하나의 cluster에 할당된 형태로 다수의 cluster가 존재하는 결과를 도출한다.

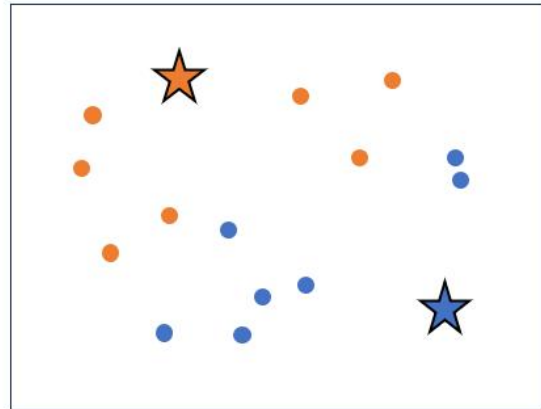
특히, Non-hierarchical clustering에서 k-means cluster(KMC)는 입력한 데이터를 바탕으로 기계가 학습한 데이터의 패턴이나 유사도를 분석하고, 목적에 따라 설정한 k개의 cluster로 데이터를 할당하여 군집화를 수행하는 방법이다. 이는 건축 분야에서 건축물의 에너지 소비패턴을 직관적으로 분류하고 이상값을 도출하는 등의 특성을 파악하는 용도로 활용되고 있다. KMC의 알고리즘을 단계적으로 살펴보면, <그림 1.3 (a)>에서는 사전에 설정한 k만큼의 중심점(mean)을 무작위로 설정하고, <그림 1.3 (b)>에서는 가까운 데이터 포인트(data point)를 중심점에 할당하여 중복되지 않은 cluster를 정의한다. 그리고, <그림 1.3 (c)>에서는 이전 단계에서 중심점에 따라 정의된 ‘데이터 포인트와 중심점 사이의 거리’를 산출하고, 이 거리의 평균값을 cluster 중심점으로 재설정한다. 이 단계에서는 각 cluster의 중심점이 하나의 값으로 수렴하기 위해 (b)와 (c)의 과정을 반복 수행하며, <그림 1.3 (d)>에서 최적의 cluster 분류를 도출한다. 또한, 알고리즘에서 언급된 ‘데이터 포인트와 중심점 사이의 거리’는 데이터의 유사성을 정량적으로 측정하는 지표로 사용되며, 이를 계산하는 방법은 입력 데이터에 따라 Dynamic Time Warping(DTW)과 Euclidean으로 구분하고 있다. DTW는 입력 데이터의 상관관계는 높으나, 시간 축이 정렬되지 않아 시계열 일부를 조정하는 방법이다. 반면에, <식 3>의 Euclidean은 비교적 상관관계가 낮으나 대등한 시간 축에서 유사성을 측정할 수 있다.<sup>18)</sup> 이와 관련하여, 본 연구에서는 사용한 에너지소비량이 데이터 간의 인과성이 약한 상관관계를 가진다고 판단하였다. 따라서, 본 연구에서는 CPM의 한계를 극복하고자 기존 건축물의 새로운 에너지성능 평가방법으로 Euclidean을 적용한 KMC를 제안하고자 한다.



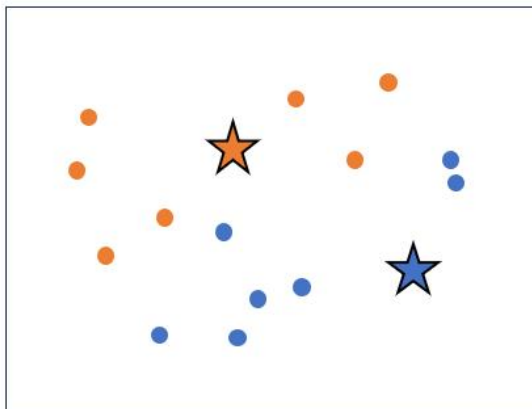
☆ Mean   ● Data point



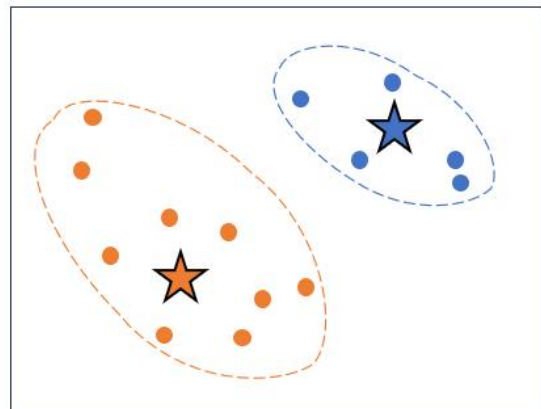
(a) 중심점 무작위 생성



(b) cluster 정의



(c) 중심점 재설정



(d) cluster 결과 수렴

<그림 1.3> KMC에 대한 데이터 분류 과정의 알고리즘 개념도

$$D_{Euclidean}(x, y) = \sqrt{\sum_{t=1}^{12} (x_t - y_t)^2}$$

<식 3>

$D(x, y)$  : 월별 입력 데이터  $x, y$  사이의 거리

$x_t, y_t$  : 시간  $t$  일 때의 값

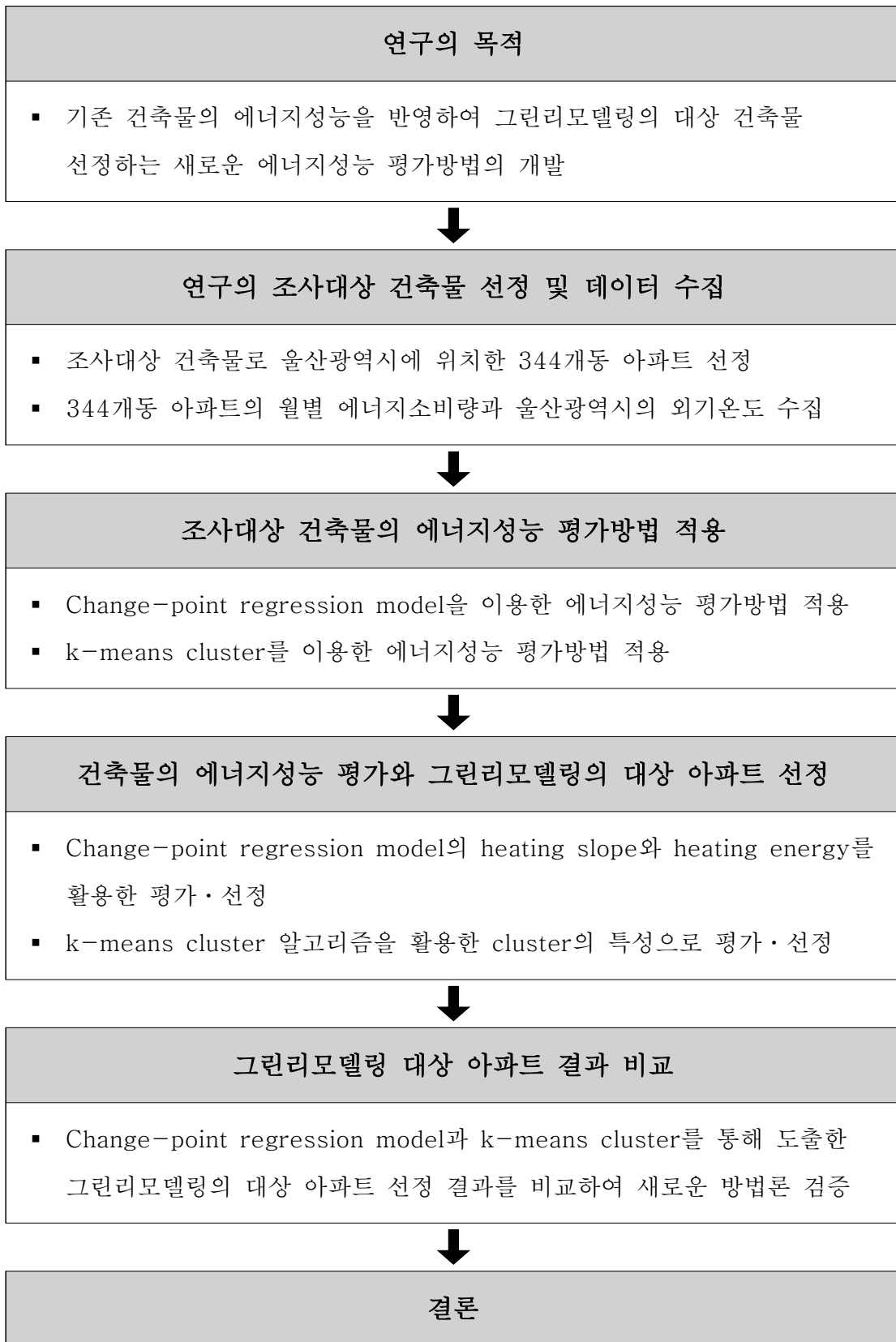
## 1.4 연구의 목적

기존 건축물의 열악한 에너지 효율을 개선하는 그린리모델링은 현행 규정에 따라 준공 후 운영기간을 기준으로 그린리모델링의 대상 건축물을 선정하고 있다. 또한, 선행 연구를 통하여 기존에 사용되는 CPM의 신뢰구간으로 인하여 전체 기존 건축물을 대상으로 진행할 수 없는 한계점을 확인하였으며, 이를 극복하기 위한 새로운 에너지성능 평가방법으로 KMC를 제안하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 기존 건축물의 에너지소비량을 바탕으로 CPM과 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 도입하여 기존 건축물의 에너지성능을 정량적으로 평가하고, 에너지성능이 열악한 건축물을 분류하여 그린리모델링의 대상 건축물로 선정하는 실질적인 방법론을 개발하고자 한다.

## II. 연구의 방법

### 2.1 연구의 흐름

연구의 흐름도는 <그림 2.1>과 같다. 본 연구에서는 기존 건축물의 에너지성능을 반영하여 그린리모델링의 대상 건축물을 선정하는 새로운 에너지성능 평가방법을 개발하고자 하였다. 조사대상 건축물은 울산광역시에 위치하는 344개동 아파트를 선정하였다. 2011년 1월부터 2011년 12월까지의 아파트 세대별 고지서로 수집한 월별 가스사용량과 기상청에서 제공하는 2011년도 월평균 외기온도를 수집하였다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 조사대상 아파트의 에너지성능을 정량적으로 분석하기 위해, CPM과 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 도입하고 적용하였다. 먼저, CPM은 아파트의 에너지소비량과 외기온도의 상관관계를 기반으로 heating slope와 heating energy라는 두 가지의 성능지표를 도출하였다. 이러한 두 지표는 주로 난방에 사용되는 에너지소비량을 예측하며, 두 값이 클수록 외기온도의 변화에 취약하여 난방에 소비되는 에너지가 많다는 것을 나타낸다. 이를 통해 해당 아파트의 난방에너지 효율이 낮다는 것을 확인하고, 이에 따라 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하였다. 그리고, KMC는 아파트의 월별 가스사용량 데이터를 기반으로 최적의 cluster 개수  $k$ 를 채택하기 위해 Optimum number of clusters의 elbow point를 사용하였다. cluster의 최종 분류 결과에서 각 cluster의 에너지소비 특성을 파악하고자, KMC의 알고리즘을 역으로 활용하여 각 cluster에 해당하는 아파트의 가스사용량의 평균치를 계산하였다. 이를 통해 cluster 중심점의 가스사용량에 따른 아파트의 에너지성능을 판단하였으며, 이에 따라 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하였다. 최종적으로 두 가지의 에너지성능 평가방법을 통해 도출한 그린리모델링의 대상 건축물 선정 결과를 비교하였고, 이를 통해 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법을 검증하였다.

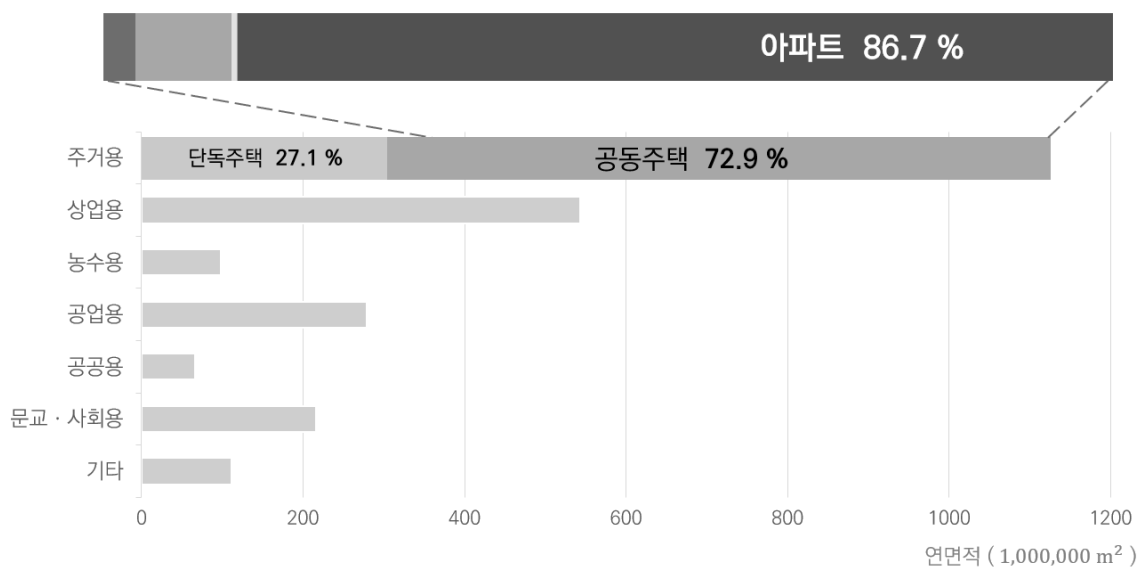


<그림 2.1> 연구의 흐름도

## 2.2 연구의 대상

### 2.2.1 조사대상 아파트

본 연구는 기존 건축물의 에너지소비량을 활용하여 에너지성능을 평가하고, 그린리모델링의 대상 건축물을 선정하는 데 목적이 있다. 건축물대장에서 추출한 2021년 전국 건축물의 연면적 현황은 <그림 2.2>와 같다. 이에 따르면, 주거용 건축물이 46.1%로 가장 높은 비율을 차지하며, 상업용 22.3%, 농수용 4.0%, 공업용 11.4%, 공공용 2.7%, 문교·사회용 8.9%, 기타 4.6%로 나타났다.<sup>19)</sup> 특히, 주거용 건축물 중에서도 단독주택은 27.1%, 공동주택은 72.9%로 확인하였으며, 아파트, 연립주택, 다세대, 기숙사 등을 포함한 공동주택에서 아파트는 86.7%의 비율을 차지하고 있다.<sup>20)</sup> 이를 통해 높은 비율의 연면적을 갖는 아파트가 전국의 기존 건축물을 대표한다고 판단할 수 있다. 또한, 「2021년도 에너지소비량 통계」의 건축물 부문에 의하면, 아파트는 업종별 에너지소비량 현황에서 20.3%로 1위를, 업종별 온실가스 배출량 현황에서 20.2%로 1위를 차지하였으며, 전체 건축물에 비해 상당한 영향력을 미치는 것으로 확인하였다.<sup>21)</sup> 따라서, 본 연구에서는 아파트를 우리나라의 대표적인 기존 건축물로 판단하고, 건축물 부문에서 탄소중립을 실현하기 위해 주요한 영향을 미치는 것을 파악하였다.

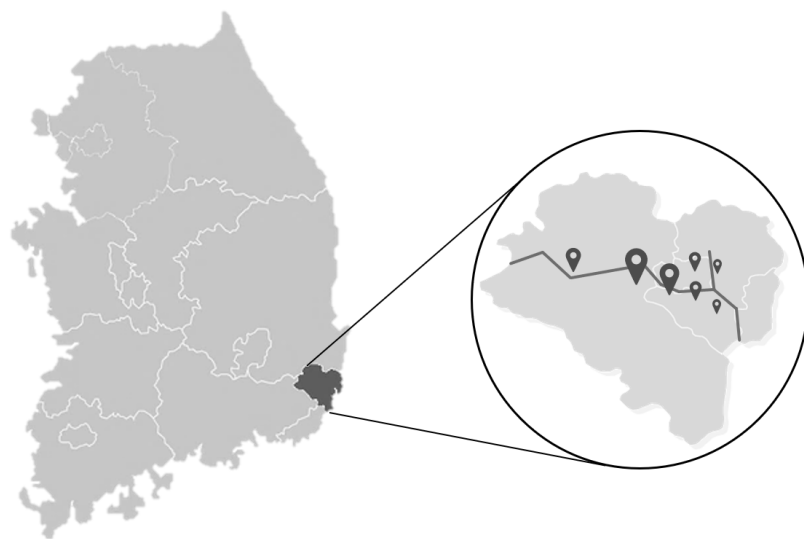


<그림 2.2> 2021년 전국 건축물 용도별 및 주거용 연면적 현황

위에서 조사한 현황에 근거하여, 본 연구에서는 기존 건축물의 에너지성능을 평가하는 방법론을 개발하기 위해 조사대상 건축물을 아파트로 한정하였다. <그림 2.3>과 같이 조사대상 아파트는 울산광역시에 위치하는 344개동 아파트이며, 조사대상 아파트를 선정한 조건은 크게 두 가지로 다음과 같다.

첫 번째는 1988년부터 2008년에 준공된 아파트를 선정하였다. 이는 20년 이상의 운영기간으로 노후·불량 건축물을 정의하는 현행 규정에 따라, 본 연구에서는 운영기간이 20년을 초과한 아파트의 에너지성능과 비교적 최근에 준공된 아파트의 에너지성능을 포괄적으로 평가하고자 하였다. 또한, 해당 기간에 단열재의 효율 향상과 에너지 절약 설계기준 개정 등 해당 기간에 걸친 다양한 환경 영향으로 인해 건축물의 에너지성능이 변화하는 가능성을 고려하였다.

두 번째는 도시가스를 열원으로 개별난방을 사용하는 아파트를 선정하였다. 「2020년도 에너지총조사 보고서」에 의하면, 가정 부문의 에너지소비량에서 아파트의 비율이 49.4%로 1위를 차지하고 있으며, 이 중 55.5%는 도시가스로 인한 에너지소비량으로 나타났다.<sup>22)</sup> 이를 통해 일반적으로 아파트에서는 주요한 에너지원으로 도시가스를 사용하고 있음을 확인하였다. 그리고 조사대상으로 개별난방을 사용하는 아파트를 선정하여 각 아파트의 난방시스템에 따른 다양한 에너지소비량의 패턴을 조사할 수 있으며, 이는 아파트의 에너지성능을 예측하는 데 유용할 것으로 기대된다.



<그림 2.3> 대한민국 울산광역시의 조사대상 아파트에 대한 위치

## 2.2.2 월별 총 가스사용량

본 연구의 조사대상인 344개동 아파트에서 주된 에너지원으로 사용되는 도시가스를 이용하여 에너지성능을 평가하고자, 본 연구는 조사대상 344개동 아파트의 2011년 1월부터 2011년 12월까지의 고지서 정보를 수집하여 1년간의 월별 총 가스사용량을 활용하였다. 가스사용량은 실측한 아파트의 바닥면적을 고려한 단위 데이터로 산출하였으며, LNG 도시가스의 유량 단위인  $m^3$  에서 열량 단위의 kWh로 변환하였다. 도시가스의 변환에 대한 계산식은 <식 4>와 같다.

$$1 \text{ kcal}/m^3 = 12.209 \text{ kWh}/m^2 \quad \text{<식 4>}$$

월별 고지서를 통해 수집한 아파트의 가스사용량은 세대별로 실측한 데이터이며, 이는 각 세대의 재실자 사용패턴이나 설비효율과 같은 실내의 환경설정에 따라 다양한 에너지소비 특성을 나타낸다. 특히, 개별적인 세대가 수직적으로 쌓아진 아파트의 다층 구조는 상하층 및 인접한 세대 간의 열전달로 인하여 외기와 접하는 면적 차이가 발생한다. 이와 관련하여 「건축물의 에너지절약설계기준」 제5호에 따르면, 일반적으로 아파트의 세대별 에너지소비는 아파트 측면의 외벽과는 별개로 지붕과 바닥을 통하여 외기와 직접 면하는 최상층과 최하층, 반면에 이웃한 세대로 인하여 상대적으로 외기와 간접 면하는 중간층의 세대로 구분하고 있다.<sup>23)</sup> 따라서, 본 연구에서는 아파트의 세대별 열적특성 차이를 반영하기 위해, 가스사용량을 세대별 고지서의 원본 데이터(raw data)에서 한개 동의 아파트에 대한 건축물 단위의 가공 데이터(processed data)로 변환하였다. 또한, 가공 데이터를 각 에너지성능 평가방법의 입력 데이터로 적용하여 조사대상 344개동 아파트에 대한 에너지성능을 평가하고자 하였다.

### 2.2.3 월평균 외기온도

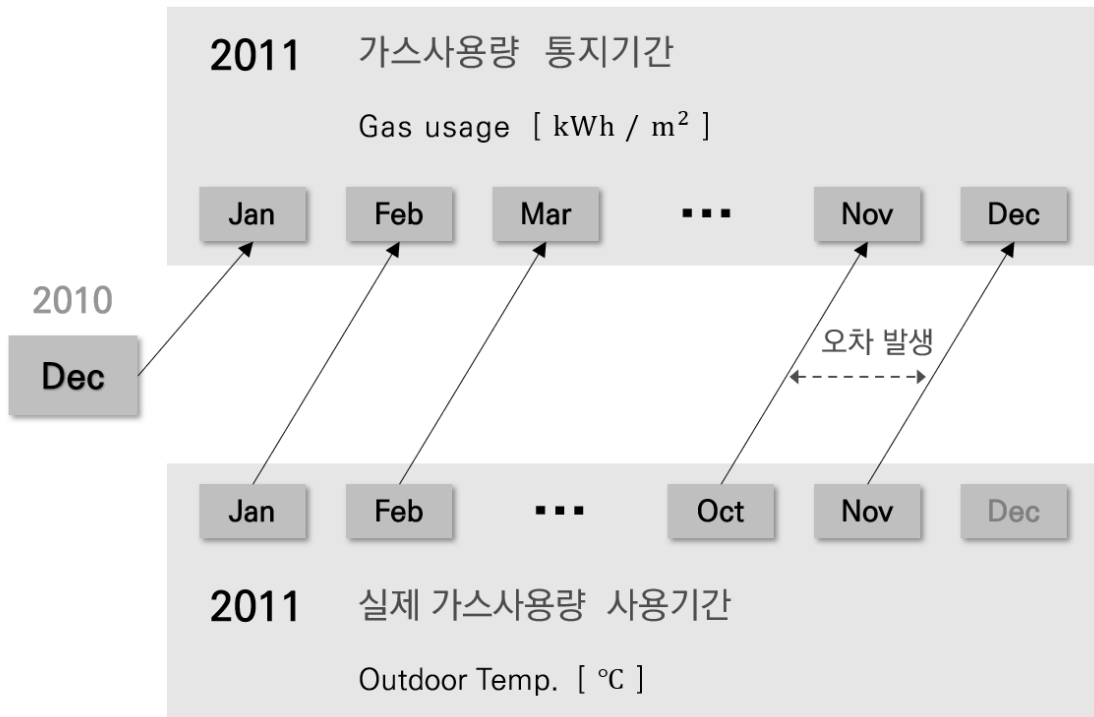
본 연구에서는 CPM을 이용한 에너지성능 평가방법을 도입하였으며, 이를 통해 기존 건축물의 에너지성능을 정량적으로 평가하기 위해서는 입력 데이터로 월별 총 가스사용량과 동일한 수집 기간의 월평균 외기온도가 필요하다. 따라서, 본 연구는 기상청에서 조사한 2011년 1월부터 2011년 12월까지 1년 동안의 울산광역시 외기온도를 수집하였으며, 울산광역시의 월평균 외기온도는 <표 2.1>과 같다.<sup>24)</sup>

그러나, 고지서를 통해 가스사용량을 통지한 기간과 아파트에서 실제로 가스사용량을 측정한 기간은 약 한 달만큼의 차이가 존재하며, 이는 CPM을 이용한 에너지성능 예측 결과의 정확성을 저하하게 된다.<sup>25)</sup> 따라서, 가스사용량에 관한 통지기간과 사용기간의 오차를 최소화하기 위해, 월별 가스사용량에 따른 월평균 외기온도를 추적하는 과정을 <그림 2.4>와 같이 보정하였다. 이를 통해 가스사용량의 오차기간을 반영한 2010년 12월부터 2011년 11월까지의 울산광역시 월평균 외기온도는 <표 2.2>와 같다.<sup>26)</sup>

<표 2.1> 2011년도 울산광역시 월평균 외기온도

		외기온도 수집기간 : 2011. 01 - 2011. 12 (Ulsan)					
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
월별 외기온도 (°C)		-1.9	4.3	6.7	12.6	17.2	22.0
		Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
		25.2	25.3	21.8	15.8	12.3	3.2





<그림 2.4> 가스사용량의 통지기간과 사용기간에 관한 오차 추적

<표 2.2> 가스사용량의 오차기간을 보정한 울산광역시 월평균 외기온도

		외기온도 수집기간 : 2010. 12 - 2011. 11 (Ulsan)					
월별 외기 온도 (°C)	통지	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
	실제 사용	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May
	기온	3.3	-1.9	4.3	6.7	12.6	17.2
	통지	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	실제 사용	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov
	기온	22.0	25.2	25.3	21.8	15.8	12.3

## 2.3 조사대상 아파트의 Change-point regression model을 이용한 에너지성능 평가

본 연구에서는 우선적으로 가스사용량과 외기온도를 활용한 CPM을 이용하여 조사대상 아파트의 에너지성능을 평가하고, 이를 바탕으로 에너지성능이 열악한 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하고자 하였다. 이를 위해 선행연구에서는 외기온도에 따른 에너지소비량의 특성을 바탕으로 CPM을 유형화하였다. 이에 근거하여, 본 연구에서는 도시가스를 열원으로 개별난방을 사용하는 아파트의 에너지성능을 예측하기 위해, 주거용 건축물의 난방에너지 분석에 적합한 3-parameter heating(3PH)을 채택하였다. CPM의 3PH에 적용하는 월별 입력 데이터는 울산광역시의 월평균 외기온도와 아파트의 월별 단위면적당 가스사용량이며, 월별 입력 데이터의 예시는 <표 2.3>과 같다.

<그림 2.5>에서는 CPM을 적용한 3PH의 월별 입력 데이터와 회귀선(regression line)을 시각화하였다. 이를 살펴보면, 그래프의 X축은 월평균 외기온도로, Y축은 월별 단위면적당 실제 가스사용량으로 작성하였으며, 1년간의 월별 입력 데이터에 따른 12개의 좌표를 생성하고 회귀선을 도출하였다.

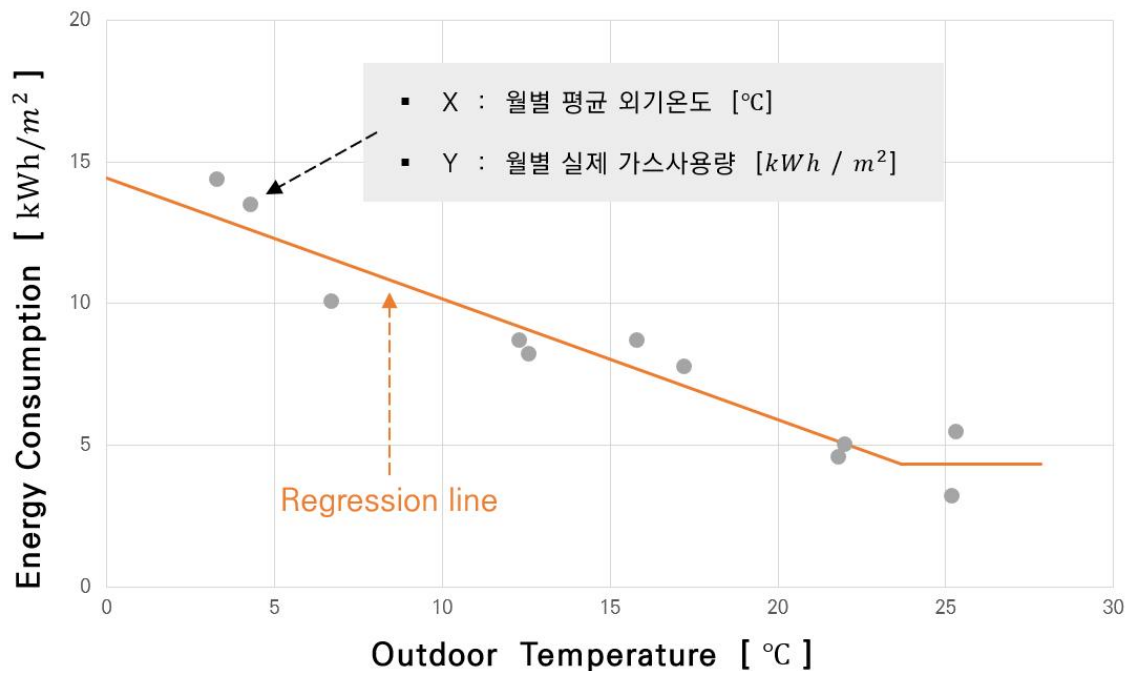
본 연구에서 사용하는 CPM의 3PH는 조사대상 아파트의 열적특성에 따라 크게 세 가지의 parameter인 기저에너지(base-load,  $E_b$ ), 난방에너지 민감도(heating slope,  $B_1$ ), 난방에너지 변환점(change-point temperature,  $B_2$ )을 도출할 수 있다. 첫 번째로 기저에너지는 외기온도의 변화와 무관하게 사용되는 일정한 에너지소비량을 나타내며, 주로 급탕이나 취사와 같은 일상적인 용도의 가스사용량으로 추측할 수 있다. 반면에, 기저에너지를 제외한 아파트의 에너지소비량은 외기온도가 낮을수록 가스소비량이 증가하며 외기온도와 반비례하는 특성을 가진다. 이를 난방에 집중한 에너지소비량으로 해석할 수 있으며, 본 연구에서는 이러한 에너지소비량을 난방에너지(heating energy,  $HE$ )로 규정하였다. 두 번째로 난방에너지 변환점은 아파트의 에너지소비량 특성이 변화하는 특정한 외기온도를 의미한다. 이는 실내에서 난방을 시작하는 온도에 대한 정보를 제공하며, 이를 기준으로 기저에너지와 난방에너지를 구분할 수 있다. 세 번째로 난방에너지 민감도는 외기온도에 따른 난방에너지의 변화를 나타내는 기울기이며, 난방에너지 변환점의 이하인 외기온도에서 증가하는 에너지소비량으로 난방에너지를 추정할 수 있는 지표이다. 이 지표의 절댓값이 클수록 계절이나 외기온도와 같은

외부 환경 조건에 민감하게 반응하는 아파트이며, 이는 난방에너지 효율이 열악한 아파트를 의미한다. 또한, 이 지표는 외기온도가 낮아질수록 에너지소비량이 많아지는 반비례 특성으로 인하여 음(-)의 기울기로 표현되나, 본 연구에서는 외기온도에 따른 난방에너지의 변화 정도를 비교하는 지표로서 기울기의 절댓값을 사용하였다. CPM의 3PH에 대한 parameter의 예시는 <그림 2.6>, <표 2.4>와 같으며, 이를 통해 아파트의 전체 에너지소비량(energy consumption,  $E$ )의 계산식은 <식 5>와 같다.<sup>27)</sup>

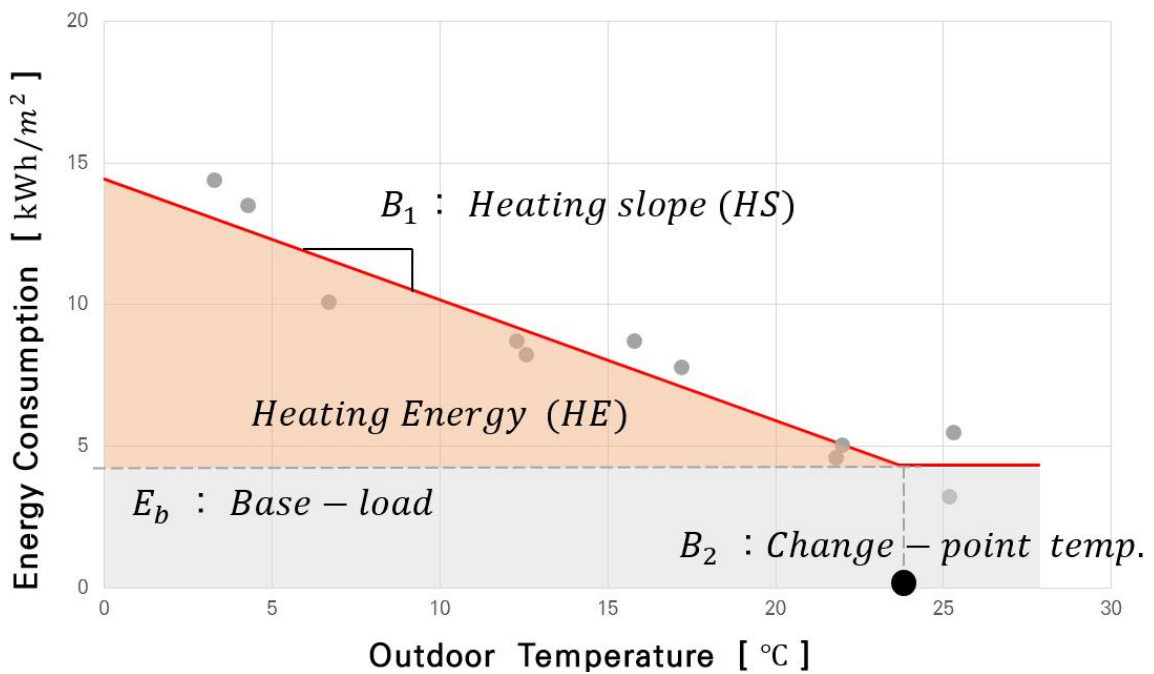
위에서 언급한 3PH의 parameter 정보를 기반으로 아파트의 에너지성능을 평가하는 CPM 특성을 고려하여, parameter를 도출하는 회귀선의 타당성을 확인하는 과정이 필요하다. 이를 위해 본 연구의 1.3.2장에서 조사한 ASHRAE의 신뢰구간 기준에 근거하여, 전체 조사대상 344개동 아파트를 대상으로  $R^2$ ,  $CV(RMSE)$ 을 확인하였다. CPM의 3PH에서 월별 입력 데이터를 적용한 조사대상 아파트의 신뢰구간 예시는 <표 2.5>와 같다.

<표 2.3> CPM의 3PH에 적용한 월별 입력 데이터의 예시

	1개동 아파트에 대한 CPM 입력 데이터					
월평균 외기온도 (°C)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
	3.3	-1.9	4.3	6.7	12.6	17.2
	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	22.0	25.2	25.3	21.8	15.8	12.3
월별 총 가스사용량 (kWh/m <sup>2</sup> )	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
	14.4	14.6	13.5	10.0	8.2	7.8
	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	5.0	3.2	5.5	4.6	8.7	8.7



<그림 2.5> CPM의 3PH에 적용한 월별 입력 데이터와 회귀선



<그림 2.6> CPM의 3PH를 적용한 parameter의 예시

<표 2.4> CPM의 3PH를 적용한 parameter의 예시

	$E$	$E_b$	$B_1$	$B_2$	$HE$
결과	239.70	120.04	0.427	23.67	119.66
단위	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	-	°C	kWh/m <sup>2</sup>

$$E = E_b + B_1(B_2 - T)^+$$

<식 5>

$E$  : 전체 에너지소비량 (energy consumption) [kWh/m<sup>2</sup>]

$E_b$  : 기저에너지 (base-load) [kWh/m<sup>2</sup>]

$B_1$  : 난방에너지 민감도 (heating slope) [-]

$B_2$  : 난방에너지 변환점 (change-point temperature) [°C]

<표 2.5> CPM의 3PH를 적용한 아파트 신뢰구간의 예시

	$R^2$	$CV(RMSE)$
ASHRAE 기준	$\geq 0.75$	$\leq 15.0 \%$
적용 예시	0.93	11.9 %

## 2.4 조사대상 아파트의 k-means cluster를 이용한 에너지성능 평가

본 연구에서는 CPM의 대상 제한적인 한계점을 극복하고자 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 도입하였다. CPM과 KMC의 두 가지 방법은 기존 건축물의 에너지성능을 기반으로 그린리모델링의 대상 건축물을 선정하려는 동일한 목적이 있으나, 적용하는 입력 데이터는 크게 두 가지의 차이점이 존재한다. 차이점은 다음과 같다.

첫 번째로 KMC에서는 전체 아파트의 가스사용량을 통합하여 입력 데이터로 적용한다. 조사대상 아파트의 개수만큼 parameter를 도출하고자 회귀분석을 반복적으로 수행하는 CPM과 달리, KMC에서는 전체 아파트의 가스사용량을 하나의 데이터로 통합하여 <표 2.6>과 같이 작성하고, 이를 입력 데이터로 적용한다. 이처럼 전체 아파트의 가스사용량을 통합한 빅데이터를 적용하는 KMC는 입력 데이터의 분석 범위를 유사하도록 조정하여 아파트 간의 차이를 줄이고, 효과적인 군집분석이 가능하도록 스케일링(scaling)이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 입력 데이터의 스케일링을 선행하여 데이터의 전체적인 경향을 파악하고, 이를 데이터 통계소프트웨어 프로그램 R-studio에 적용하여 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 실시하였다.<sup>28)</sup>

두 번째로 KMC는 아파트의 가스사용량을 바탕으로 난방에너지의 특성을 추정하고, 이에 따라 입력 데이터를 변환한다. 3PH의 세 가지 parameter를 통해 아파트의 난방 에너지를 예측하는 CPM과 달리, KMC는 기계학습의 비지도학습 특성상 개인의 개입 없이 입력 데이터를 통해 알고리즘을 형성하므로, 연구의 목적에 부합하는 입력 데이터를 적용하는 과정은 중요하다. 따라서, 본 연구는 KMC를 이용한 에너지성능 평가 방법에서 아파트의 가스사용량을 활용하여 난방에너지를 예측하고, 이를 기반으로 아파트의 에너지성능을 평가하고자 하였다. 이를 위해 원본의 월별 가스사용량에 Simplified Weather-Sensitive Energy Disaggregation Approach(SED)를 적용하고, 계절에 따른 아파트의 열적특성을 고려하였다. SED는 난방 비수기인 여름철의 연중 최저 가스사용량을 이용하여, 이를 기반으로 난방에 사용되는 에너지소비량의 영향력을 0으로 판단할 수 있다는 전제하에 진행하였다. 이러한 접근법은 계절의 변화가 뚜렷한 우리나라의 기후에 적합한 방법으로 사용될 수 있으며, SED를 고려한 월별 가스사용량에 대한 계산식은 <식 6>과 같다.<sup>29)</sup> <그림 2.7>에서는 한 개동 아파트에 대한 연중 최저 가스사용량의 가로 점선을 기준으로 회색의 에너지소비량은 급탕이나

취사로 사용되는 일상적인 기저에너지, 파란색의 에너지소비량은 기저에너지를 제외한 난방에너지로 구분하고 있다. 이를 통해 <그림 2.8>에서는 월별 난방에너지를 추정하였다. 따라서, 본 연구에서는 SED를 이용하여 조사대상 344개동 아파트를 대상으로 수집한 가스사용량을 변환하였으며, 이를 통해 정확도가 향상된 KMC를 이용하여 아파트의 에너지성능을 평가하고자 한다.

<표 2.6> KMC에 적용한 월별 입력 데이터의 예시

		KMC의 적용 예시로 사용한 아파트 (총 100개동)						
		1	2	3	...	98	99	100
월별 총 가스 사용량 ( $kWh/m^2$ )	Jan	14.5	13.9	14.0	...	15.2	20.1	15.8
	Feb	12.7	12.6	13.7	...	15.5	18.2	15.1
	Mar	10.6	9.6	9.9	...	12.7	15.2	13.7
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	Oct	1.4	1.5	1.8	...	1.6	2.8	2.4
	Nov	5.4	5.5	7.0	...	5.7	10.1	6.9
	Dec	8.6	10.0	9.8	...	10.8	12.5	11.0

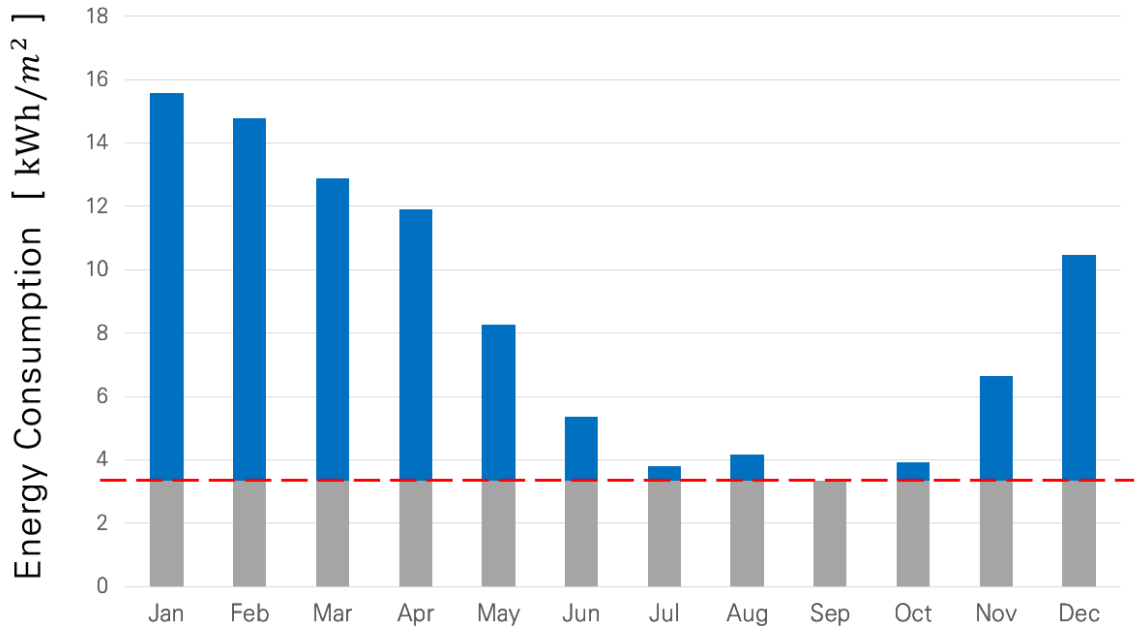
$$E_h = E_m - E_b$$

<식 6>

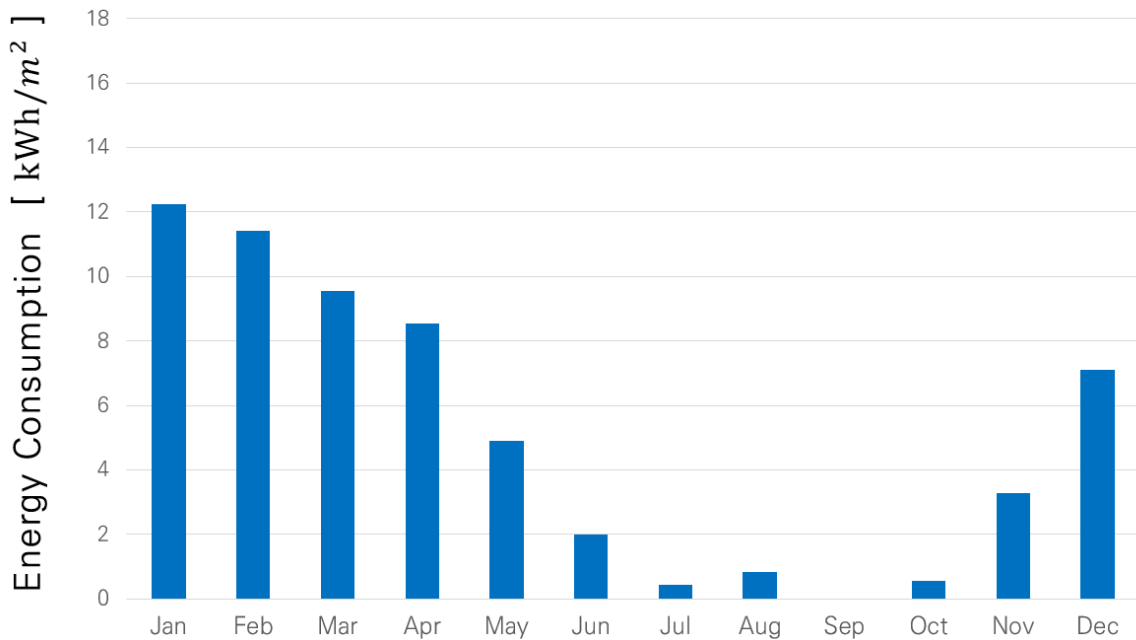
$E_h$  : 난방에너지로 추정되는 가스사용량 [ $kWh/m^2$ ] { $h = 1, 2, \dots, 12$ }

$E_m$  : 월별 가스사용량(raw data) [ $kWh/m^2$ ] { $m = 1, 2, \dots, 12$ }

$E_b$  : 연중 최저 가스사용량 [ $kWh/m^2$ ]



<그림 2.7> SED를 적용한 월별 가스사용량 구분의 예시



<그림 2.8> SED를 적용한 월별 난방에너지 추정의 예시



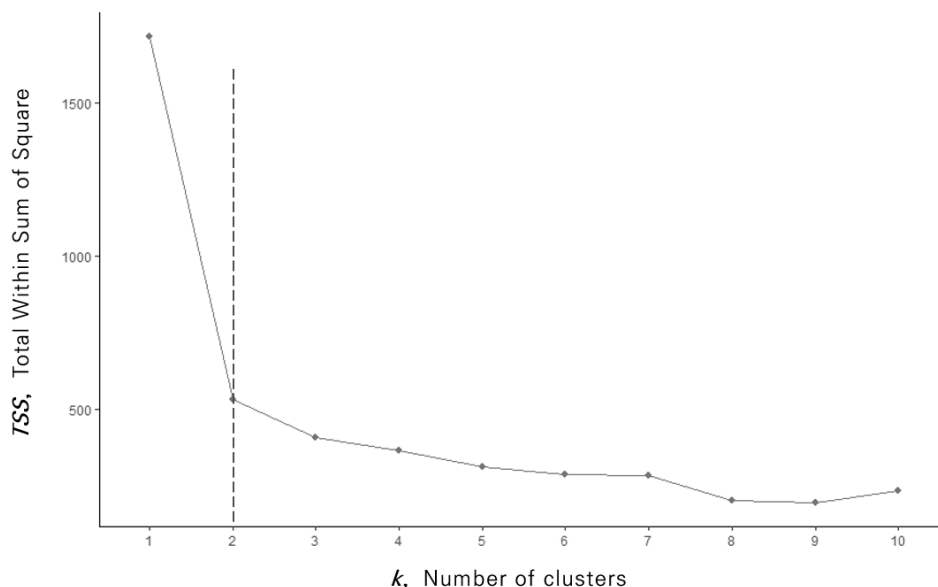
정확한 에너지성능 평가를 위해 KMC의 입력 데이터를 변환하였으며, 이를 바탕으로 알고리즘을 형성하는 KMC에서는 데이터를 분류하는 목적에 따라 적절한 cluster로 할당하는 것이 중요하다. 이를 위해 KMC에서는 최적의 cluster 개수인  $k$ 를 사전에 설정하여야 하며, 이를 위해 주로 Optimum number of clusters를 활용하여  $k$ 를 결정하고 있다. 이는 증가하는  $k$ 에 따라 입력 데이터의 분산(Sum of Squares, SS) 변화를 비교하고, 분산 변화가 크게 감소하는 지점을 elbow point로 도출하는 방법이다. 예로 살펴보면, <그림 2.9>의 Optimum number of clusters에서  $k$ 는 2로 도출할 수 있다. 또한,  $k$ 를 2로 설정한 KMC에서는 <그림 2.10>과 같이 두 개의 cluster로 데이터를 분류한 것을 확인할 수 있다. 이에 대하여 현재까지  $k$ 를 도출하는 방법론에는 명확하게 제시된 표준 해법이 없으며, cluster의 분류 결과와 밀접한 연관성을 가지는  $k$ 는 입력한 데이터와 분류하는 목적에 따라 유연하게 조정이 가능하다. 그러나, 일반적으로 부족한  $k$ 를 설정한 경우에는 데이터의 세부적인 분류가 어려워 편향된 결과를 초래하거나 분석하는 목적을 충분히 달성하지 못할 수 있다. 이와 대조적으로 과도한  $k$ 를 설정한 경우에는 필요 이상의 clustering으로 인하여 각 cluster에 대한 높은 수준의 해석을 요구하고, 이는 각 cluster에 할당된 데이터의 분류에 관한 설명력 저하를 유발할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 KMC를 이용한 분석 결과의 수준을 뒷받침할 수 있는 객관적이고 신뢰성 있는 지표가 필요하다고 판단하였다.

본 연구에서 사용하는 KMC는 입력 데이터와 분석하는 목표를 고려하여 최적의 cluster 개수인  $k$ 를 결정하기 위해 Optimum number of clusters에서 사용한 분산을 이용한 통계지표를 파악하였다. <그림 2.11>은 KMC에서 활용하는 통계지표를 도식화하였으며, 이에 대한 WSS(Within SS), BSS(Between SS), TSS(Total SS)의 세 가지 통계지표는 다음과 같다.

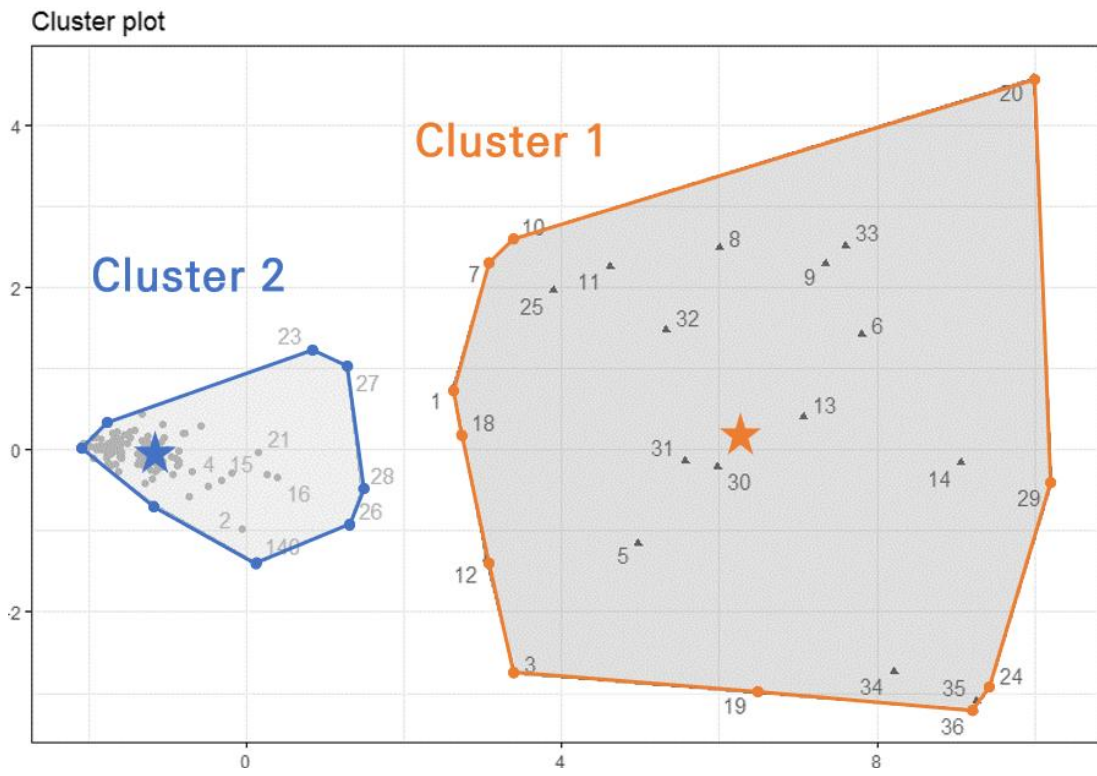
첫 번째로 <식 7>의 WSS는 임의의 데이터 포인트가 해당 cluster의 중심점에 얼마나 가까운지를 나타내는 수치이며, cluster 내부의 데이터 포인트와 해당 중심점 사이의 분산이다. 이 수치가 작을수록 cluster에 할당된 데이터들이 가까이 응집하고 있으며 데이터가 조밀하게 구성되어 있다는 것을 의미한다. 두 번째로 <식 8>의 BSS는 개별 cluster 중심점 간의 사이가 얼마나 멀리 떨어져 있는지를 나타내는 수치이며, cluster에 따른 중심점 사이의 분산이다. 이 수치가 클수록 cluster 간의 분리 확실하며 각 cluster의 서로 다른 특성이 명확하다는 것을 의미한다. 세 번째로 <식 9>의 TSS는 전체 데이터 포인트들의 거리를 나타내는 수치로, KMC의 전체 입력 데이터

포인트들과 전체 입력 데이터의 중심점 사이의 분산이다. 이 수치가 클수록 데이터 포인트들이 퍼져서 흩어진 상태로 전체 입력 데이터의 분산이 크다는 것을 의미한다.

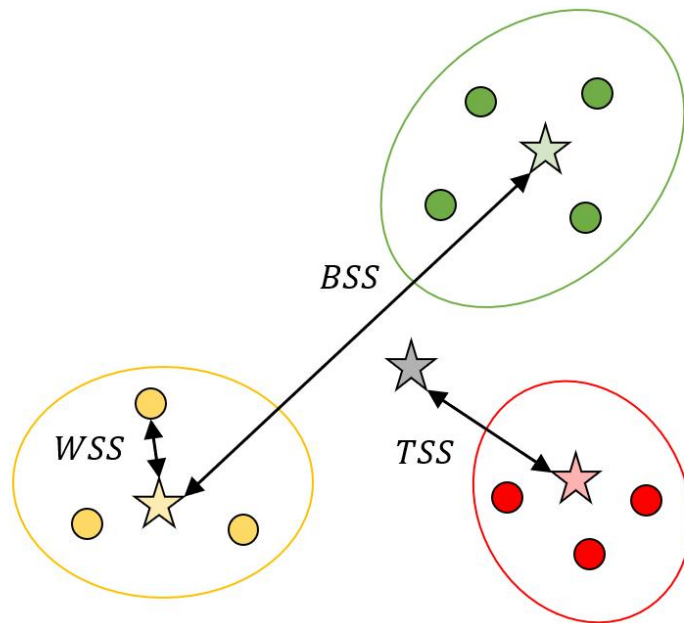
위에서 언급한  $k$ 에 따른 각 평가지표의 특성을 살펴보면, 일반적으로  $k$ 가 증가하여 cluster가 많아질수록, cluster 내부의 응집도를 의미하는 WSS는 감소하고 cluster의 분리도를 의미하는 BSS는 증가하며 전체 데이터의 분산을 나타내는 TSS는  $k$ 의 증가율에 비해 상대적인 증가율이 감소한다. 따라서, 본 연구에서는 변화하는  $k$ 에 따라 다양하게 반응하는 통계지표의 특성을 고려하고, KMC를 이용한 분류 결과의 신뢰성을 평가하기 위하여 일관적인 평가지표의 필요성을 확인하였다. 이를 위해, 전체 cluster 분류의 신뢰성을 평가하고자 TSS에 대한 BSS의 정도를 나타내는 <식 10>의 ratio를 활용하였으며, 이는 세 가지의 통계지표를 모두 고려한 수치이다. ratio가 높을수록 cluster 간의 분리가 확실하고 유사한 성격의 데이터 포인트들이 응집되어 있다는 것을 의미한다. 이에 근거하여, ratio는 KMC의 결과에 대한 정확성과 신뢰성을 나타내는 중요한 지표로 활용할 수 있다고 판단하였다. 따라서, 본 연구에서는 편향된 결과를 유발하거나 높은 설명력을 요구하는 부적절한  $k$ 의 설정을 방지하기 위해 KMC의 신뢰성 지표로 ratio 50.0% 이상의  $k$ 를 elbow point로 설정하는 조건을 규정하였다.



<그림 2.9> KMC를 적용한 Optimum number of clusters와 elbow point의 예시



<그림 2.10> KMC(k=2)를 적용한 cluster 분류 결과의 예시



<그림 2.11> KMC를 적용한 통계지표의 예시

$$WSS = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \overline{X}_j)^2 \quad \langle \text{식 7} \rangle$$

$$BSS = \sum_{j=1}^k n_j (X_j - \overline{X})^2 \quad \langle \text{식 8} \rangle$$

$$TSS = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \overline{X})^2 \quad \langle \text{식 9} \rangle$$

$k$  : Clusters의 개수

$n$  : 데이터 포인트의 개수

$X_{ij}$  : cluster 내부의 데이터 포인트 (Individual Data Point)

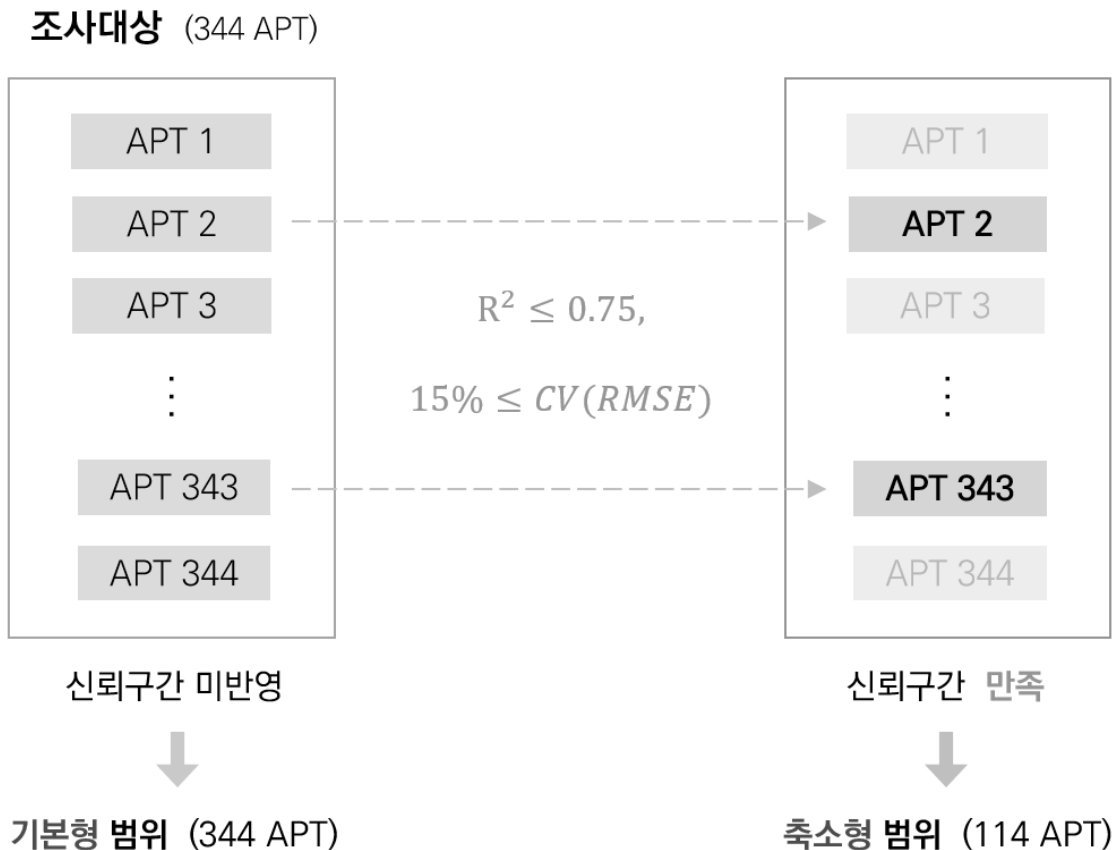
$\overline{X}_j$  : cluster의 중심점 (Mean in Cluster)

$\overline{X}$  : 전체 데이터 포인트의 중심점 (Mean in Total Data Point)

$$ratio [\%] = \frac{TSS - WSS}{TSS} = \frac{BSS}{TSS} \quad \langle \text{식 10} \rangle$$

## 2.5 조사대상 아파트의 범위 설정

앞 장에서는 아파트의 에너지성능을 평가하고, 이를 통해 에너지성능이 열악한 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하고자 CPM과 KMC를 도입한 에너지성능 평가방법을 제시하였다. 이를 위해 본 연구에서는 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법을 검증하기 위해 각 방법을 통해 선정한 대상 아파트의 결과를 상호 비교하고자 하였다. 이를 위해 본 연구는 CPM의 신뢰구간을 기반으로 조사대상 아파트를 선별하는 선행작업을 <그림 2.12>와 같이 수행하였다. 전체 344개동 아파트를 대상으로 CPM의 신뢰구간을 적용하여 조사대상 아파트의 범위를 신뢰구간을 미반영하는 기본형 범위와 신뢰구간을 만족하는 축소형 범위로 규정하였다.



<그림 2.12> CPM의 신뢰구간에 기반한 아파트의 선별 과정 및 범위 설정

본 연구에서는 그린리모델링의 대상 건축물을 선정하는 실질적인 방법론을 개발하기 위해 CPM과 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 제시하였다. 또한, 전체 조사대상 아파트를 대상으로 각 평가방법을 통해 선정된 그린리모델링의 대상 아파트 결과를 상호 비교하여 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 검증하고자 하였다. 이를 위해 신뢰구간을 기반으로 조사대상 아파트의 범위를 기본형과 축소형으로 규정하였으며, 이에 따른 연구의 세부 목표는 크게 두 가지로 타당성 검증과 유효성 검증으로 설정하였다. 아파트의 범위와 연구의 세부 목표는 <표 2.7>과 같다. <그림 2.13>에서는 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법의 검증 과정을 도식화하였으며, 이에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다.

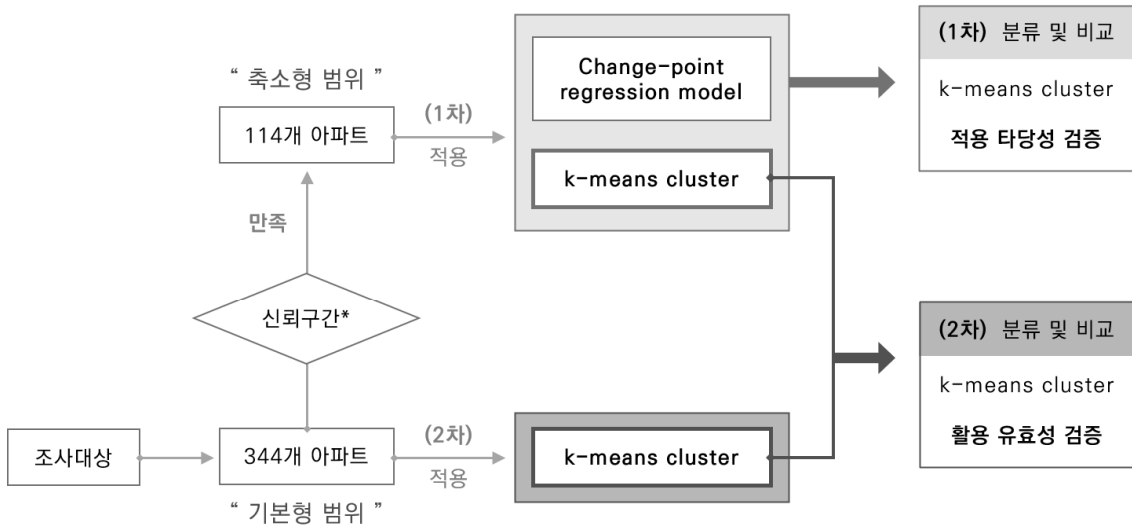
첫 번째 목표는 CPM과 KMC를 이용하여 아파트의 에너지성능을 평가하고 그린리모델링의 대상 아파트를 선정한 결과를 상호 비교하여, KMC의 적용 타당성을 검증하는 것이다. 이를 위해 신뢰구간을 만족하는 축소형 범위의 114개동 아파트에 CPM과 KMC를 적용하고, 각 방법을 통해 평가한 에너지성능을 기반으로 대상 아파트를 선정하고자 한다. 또한, 선정된 대상 아파트를 비교하고 결과의 유사도를 통해 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법의 적용 타당성을 검증할 수 있다고 판단하였다. KMC에 적용하는 축소형 범위의 114개동 아파트에 대한 입력 데이터는 <표 2.8>과 같다.

두 번째 목표는 KMC를 이용하여 전체 조사대상 아파트에서 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하고, 범위 설정에 따라 선정된 대상 아파트를 상호 비교하여, KMC의 활용 유효성을 검증하는 것이다. 이를 위해 CPM의 신뢰구간이 미반영된 기본형 범위의 344개동 아파트에 KMC를 적용하고, 아파트의 에너지성능을 기반으로 대상 아파트를 선정하고자 한다. 또한, 선정된 대상 아파트를 축소형 범위의 아파트와 비교하고, 결과의 유사도를 통해 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법의 활용 유효성을 검증할 수 있다. <표 2.9>는 KMC에 적용하는 344개동 아파트의 기본형 범위에 대한 입력 데이터이다.

위의 두 가지 세부 목표를 통해 KMC의 타당성 및 유효성을 검증한다면, 신뢰구간을 불만족하는 아파트를 평가대상에서 제외하는 CPM과 달리, KMC는 통합된 입력 데이터를 기반으로 통계지표를 활용하여 k에 따른 신뢰성을 설정함으로써 전체 아파트에 대한 에너지성능 평가를 수행할 수 있다. 이처럼 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법은 그린리모델링의 대상 아파트에 관한 결과의 정확도를 유지하는 데 기여하고, 전체 조사대상 아파트에 대한 포괄적인 평가가 가능할 것으로 기대된다.

<표 2.7> CPM의 신뢰구간에 기반한 아파트의 축소형 범위와 기본형 범위

	축소형 범위	기본형 범위
신뢰구간	만족 / 불만족	미반영
데이터 규모	114개동 아파트	344개동 아파트
적용 평가방법	CPM, KMC	KMC
KMC 적용 순서	1차	2차
용도	CPM과 KMC 비교	축소형과 기본형 비교
최종 목표	KMC 타당성 검증	KMC 유효성 검증



신뢰구간\* :  $0.75 \leq R^2$  ,  $CV(RMSE) \leq 15\%$

<그림 2.13> 조사대상 아파트의 범위에 따른 평가방법 적용 과정 및 세부 목표

<표 2.8> KMC에 적용한 축소형 범위의 입력 데이터

		아파트의 축소형 범위 (총 114개동)						
		1	2	3	...	112	113	114
월별 총 가스 사용량 (kWh / m <sup>2</sup> )	Jan	15.4	11.1	12.6	...	13.1	12.9	14.9
	Feb	13.9	9.7	11.4	...	15.6	12.6	14.9
	Mar	10.7	9.1	9.8	...	12.2	10.1	11.2
	Apr	10.1	7.3	9.6	...	9.7	9.0	10.2
	May	6.3	4.8	7.0	...	7.3	5.5	6.3
	Jun	3.5	1.8	3.5	...	3.8	2.6	3.1
	Jul	1.0	0.4	1.2	...	1.6	0.9	0.9
	Aug	0.6	0.1	0.4	...	0.6	0.4	0.5
	Sep	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0
	Oct	2.6	0.6	0.9	...	1.4	1.1	1.2
	Nov	6.9	3.1	3.7	...	5.8	3.9	4.8
	Dec	11.2	7.4	7.2	...	8.0	8.0	9.4



<표 2.9> KMC에 적용한 기본형 범위의 입력 데이터

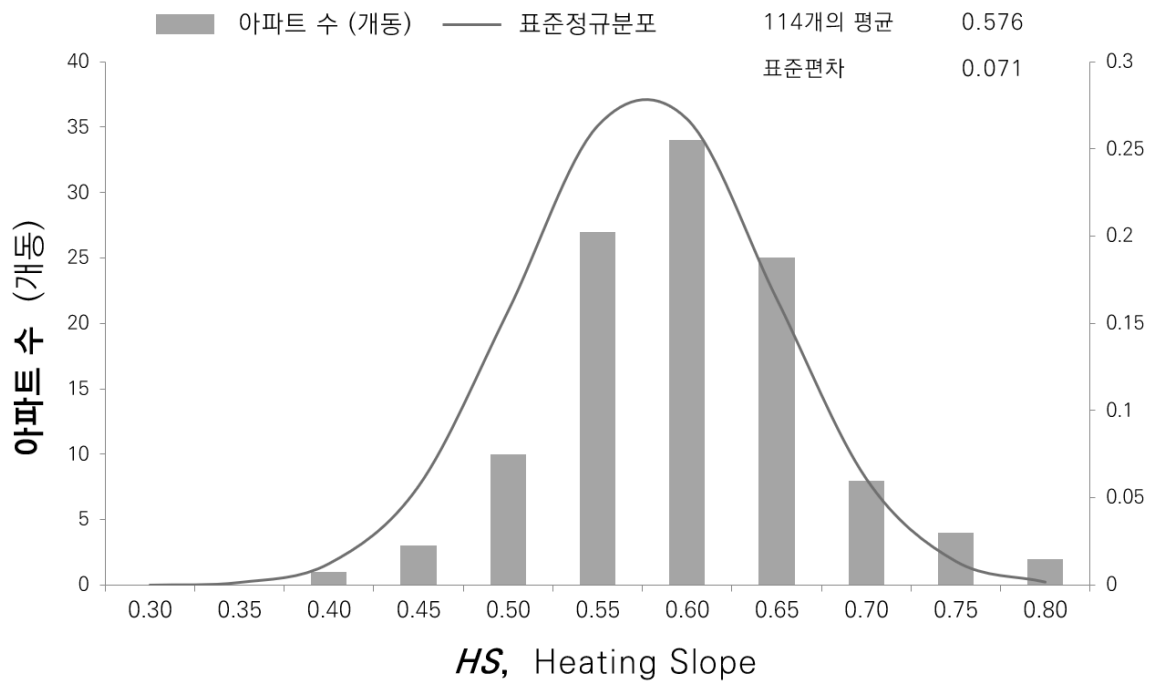
		아파트의 기본형 범위 (총 344개동)						
		1	2	3	...	342	343	344
월별 총 가스 사용량 (kWh / m <sup>2</sup> )	Jan	15.3	11.9	13.4	...	15.4	15.5	15.7
	Feb	12.8	11.4	11.6	...	14.6	15.6	14.8
	Mar	9.8	8.5	8.3	...	11.2	11.7	11.5
	Apr	9.0	7.2	7.7	...	10.5	10.2	10.5
	May	7.3	4.0	3.7	...	6.4	6.4	6.8
	Jun	2.7	1.7	1.8	...	2.9	3.0	3.4
	Jul	0.9	0.5	0.4	...	1.0	1.0	1.1
	Aug	0.0	0.0	0.0	...	0.4	0.5	0.6
	Sep	0.0	0.2	0.0	...	0.0	0.0	0.0
	Oct	1.9	1.4	1.6	...	1.0	1.4	1.3
	Nov	7.0	4.7	5.7	...	4.5	5.5	5.1
	Dec	11.2	8.0	10.3	...	9.4	10.4	10.0

### III. 건축물의 에너지성능 평가방법을 통한 그린리모델링 대상 아파트 선정

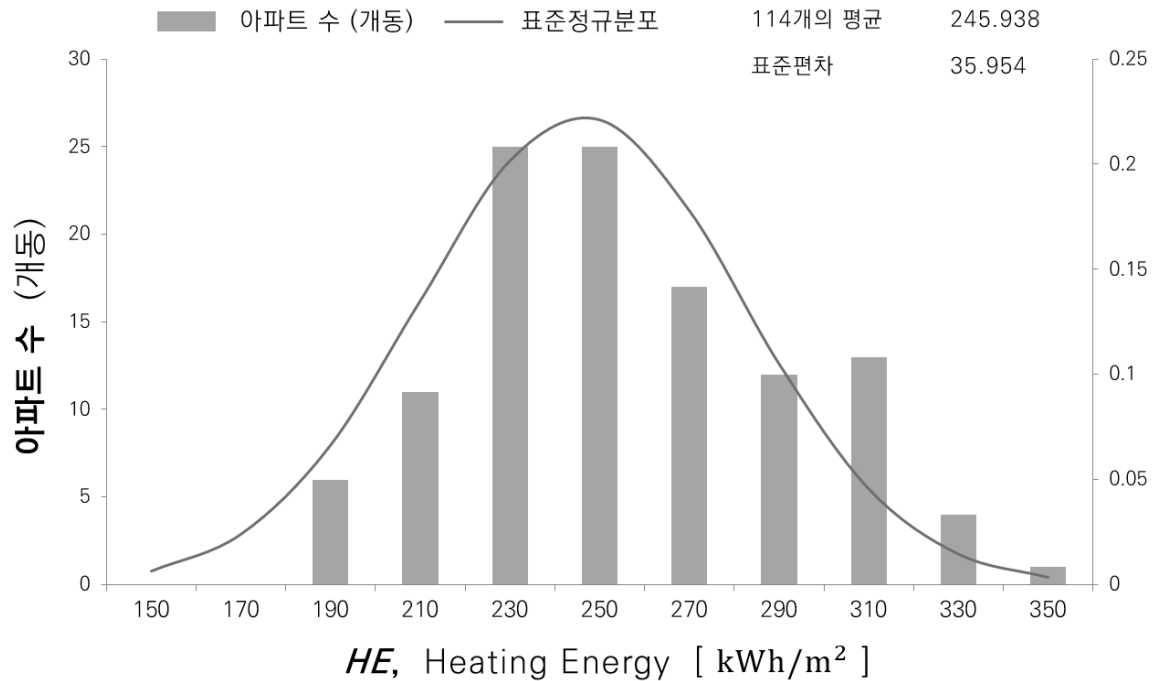
#### 3.1 조사대상 아파트에 Change-point regression model을 적용한 결과

본 연구에서 사용한 CPM에서는 114개동 아파트의 축소형 범위에 대한 가스사용량과 외기온도를 활용한 3PH의 parameter를 도출하였다. 특히, 외기온도가 낮아질수록 가스사용량이 많아지는 에너지 소비패턴으로 아파트의 열적특성과 실내 난방효율을 예측할 수 있는 난방에너지 민감도(HS)와 난방에너지(HE)는 가스를 사용하는 아파트의 난방기간에 대한 에너지성능과 밀접한 지표로 확인되었다. 따라서, 본 연구에서는 CPM을 이용한 에너지성능 평가방법에서 HS와 HE를 성능지표(performance index)로 활용하고자 한다.

CPM에서 성능지표로 HS와 HE를 조사하기 위해서는 하나의 아파트에 대한 가스사용량과 외기온도의 두 가지 월별 입력 데이터를 적용하고, 이에 대한 회귀분석을 실시하여 parameter를 도출한다. 이는 축소형 범위의 114개동 아파트를 대상으로 조사하는 과정에서 114번의 회귀분석을 반복적으로 수행한다는 것을 의미하며, 이를 통해 조사한 아파트의 HS와 HE는 독립적인 회귀분석으로 도출한 개별적인 지표이다. 이처럼 독립적인 과정에서 도출한 성능지표인 HS와 HE를 일괄적으로 비교하기 위하여 본 연구에서는 각 성능지표의 도수분포를 파악하였다. HS의 도수분포는 <그림 3.1>과 같으며, 0.385에서 0.779의 분포 범위를 확인하였다. 이는 평균 0.576, 표준편차 0.072로 조사되었으며, 표준정규분포를 따르는 것을 확인하였다. 그리고 HE의 도수분포는 <그림 3.2>와 같으며, 178.148kWh/m<sup>2</sup>에서 337.823kWh/m<sup>2</sup>의 분포 범위를 확인하였다. 이는 평균 245.938kWh/m<sup>2</sup>, 표준편차 35.954kWh/m<sup>2</sup>으로 조사되었으며, 표준정규분포를 따르는 것을 확인하였다.



<그림 3.1> 축소형 범위의 CPM에 대한 Heating slope의 도수분포



<그림 3.2> 축소형 범위의 CPM에 대한 Heating energy의 도수분포

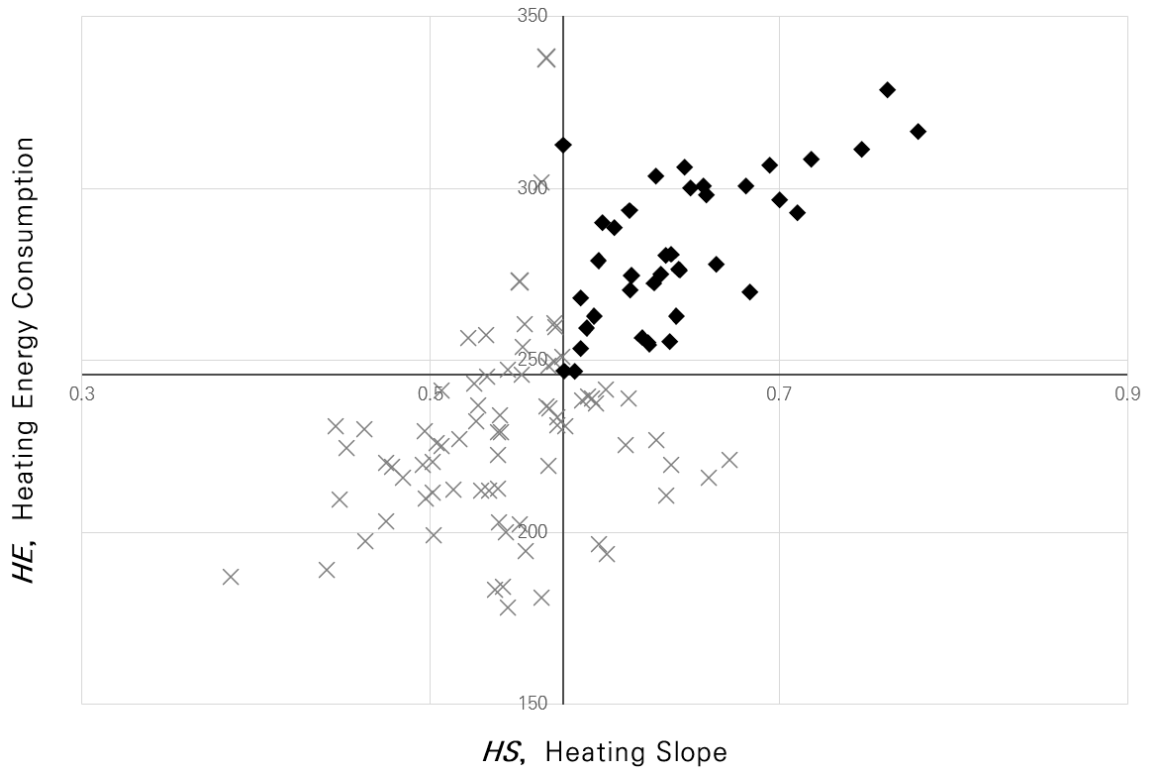
본 연구에서는 축소형 범위를 대상으로 아파트의 난방기간에 대한 에너지성능에 직접적으로 관련된 HS와 HE를 CPM의 성능지표로 산출하였다. 두 가지의 성능지표를 동시에 고려하여 아파트의 에너지성능을 평가하기 위하여 HS-HE 사분면을 작성하였으며, X축은 HS, Y축은 HE로 구성된 HS-HE 사분면이다. 사분면의 기준점은 114개동 아파트에 대한 각 성능지표의 평균값으로 X축의 HS는 0.576, Y축의 HE는  $245.938\text{kWh}/\text{m}^2$ 으로 설정하였다. 따라서, 본 연구에서는 CPM의 성능지표에 대한 HS-HE 사분면을 이용하여 아파트를 대상으로 에너지성능 평가방법을 수행하고, 이를 기반으로 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하고자 한다. 이를 위해 HS-HE 사분면을 <그림 3.3>과 같이 작성할 수 있으며, HS-HE 사분면의 위치에 따른 의미는 다음과 같다.

HS와 HE가 평균값을 초과하는 1사분면에 해당하는 아파트는 외기온도에 민감하게 반응하여 난방에너지가 높은 것이 특징이며, 아파트의 열적특성 및 에너지소비 효율이 가장 열악한 아파트로 판단할 수 있다. 반면에 HS와 HE가 평균값에 미달하는 3사분면에 해당하는 아파트는 사분면에 위치하는 전체 아파트에 비해 외기온도에 민감하게 반응하지 않으며 전반적으로 난방에너지가 낮고, 에너지소비 효율이 우수한 아파트로 판단할 수 있다. 그 외에, 평균 이하의 HS와 평균 이상의 HE로 2사분면에 해당하는 아파트는 재실자의 사용 습관으로 인한 과소비로, 상대적으로 HE가 높게 나타난 것으로 추측된다. 또한, 평균 이상의 HS와 평균 이하의 HE로 4사분면에 해당하는 아파트는 난방을 사용하는 빈도가 낮은 아파트로 추측할 수 있다.<sup>30)</sup> 따라서, 본 연구에서는 HS-HE 사분면의 위치별 아파트의 의미를 바탕으로, CPM을 이용한 에너지성능 평가방법을 통해 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하는 기준을 아파트의 난방에너지 효율 및 에너지성능이 열악한 1사분면에 해당하는 아파트로 설정하였다.

위에서 언급한 방법을 적용하여 축소형 범위의 114개동 아파트를 대상으로 작성한 HS-HE 사분면은 <그림 3.4>로 나타내었으며, 사분면의 위치별 아파트 분포는 <표 3.1>과 같다. 전체 114개동 아파트 중 1사분면은 39개의 아파트로 34.2%, 2사분면은 13개의 아파트로 11.4%, 3사분면은 47개의 아파트로 41.2%, 4사분면은 15개의 아파트로 13.2%를 확인하였다. 따라서, 최종적으로 본 연구에서는 CPM을 이용한 에너지성능 평가방법을 통해 HE-HS 사분면에서 1사분면에 해당하는 39개의 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하고자 한다.



<그림 3.3> CPM의 성능지표를 활용한 HS-HE 사분면 작성 및 의의



<그림 3.4> CPM의 HS-HE 사분면에 적용한 축소형 범위의 아파트 위치 분포

<표 3.1> CPM의 HS-HE 사분면에 적용한 축소형 범위의 아파트 위치 분포

	1사분면	2사분면	3사분면	4사분면	합계
아파트 (개동)	39	13	47	15	114
비율 (%)	34.2	11.4	41.2	13.2	100

### 3.2 조사대상 아파트에 k-means cluster를 적용한 결과

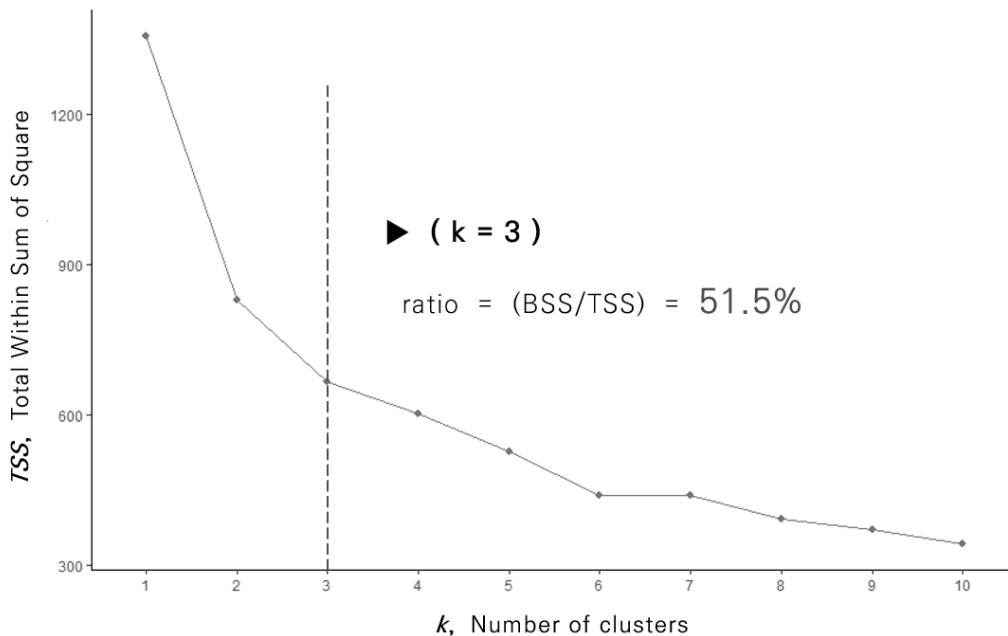
본 연구에서 에너지성능 평가방법으로 도입한 KMC는 입력 데이터를 기반으로 특정한 알고리즘을 사용하여 규정되지 않은 내용이나 구조 등 입력 데이터의 본질적인 특성을 파악하고, 유사한 특성의 데이터를 k개의 cluster로 묶어 분류하는 방법이다.<sup>31)</sup> 이 방법은 기계가 알고리즘을 통해 스스로 학습하여 데이터를 분류하며, 이는 분류 결과를 도출하는 데 유용하다. 그러나 데이터의 분류 기준에 대한 정량적인 정보를 파악하기 어려워 cluster의 내부에 할당된 아파트의 데이터를 분석하는 과정에서 해석의 여지가 있다.<sup>32)</sup>

KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 통해 각 cluster의 분류 결과를 효과적으로 해석하기 위하여, 본 연구에서는 KMC의 알고리즘을 역으로 활용하여 각 cluster의 특성을 파악하고자 한다. KMC의 알고리즘은 cluster 내부에 할당된 데이터 포인트 간의 평균치로 해당 cluster의 중심점을 설정하고, 이를 바탕으로 최종 cluster 분류 결과를 도출한다. 이러한 알고리즘을 역으로 활용하여 cluster 중심점을 추정하고, 이를 기반으로 각 cluster의 특성을 분석함으로써 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법에 대한 해석의 정확도를 향상시킬 수 있다. 다시 말해, 각 cluster에 할당된 아파트의 월별 가스사용량을 조사하고, 이를 평균으로 산출한 수치를 해당 cluster 중심점의 월별 가스사용량으로 유추할 수 있다고 판단하였다. 또한, 아파트의 가스사용량과 난방 에너지는 비례한다는 SED의 전제를 반영하여 cluster 중심점으로 도출한 가스사용량을 기반으로 해당 cluster의 에너지성능을 평가하였다. 따라서, 본 연구에서는 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 통해 도출한 각 cluster의 중심점에 대한 가스사용량을 상호 비교하고, 가스사용량이 최대인 cluster 중심점을 선정하여 해당 cluster에 할당된 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하고자 한다.

### 3.3 축소형 범위에 k-means cluster를 적용한 결과

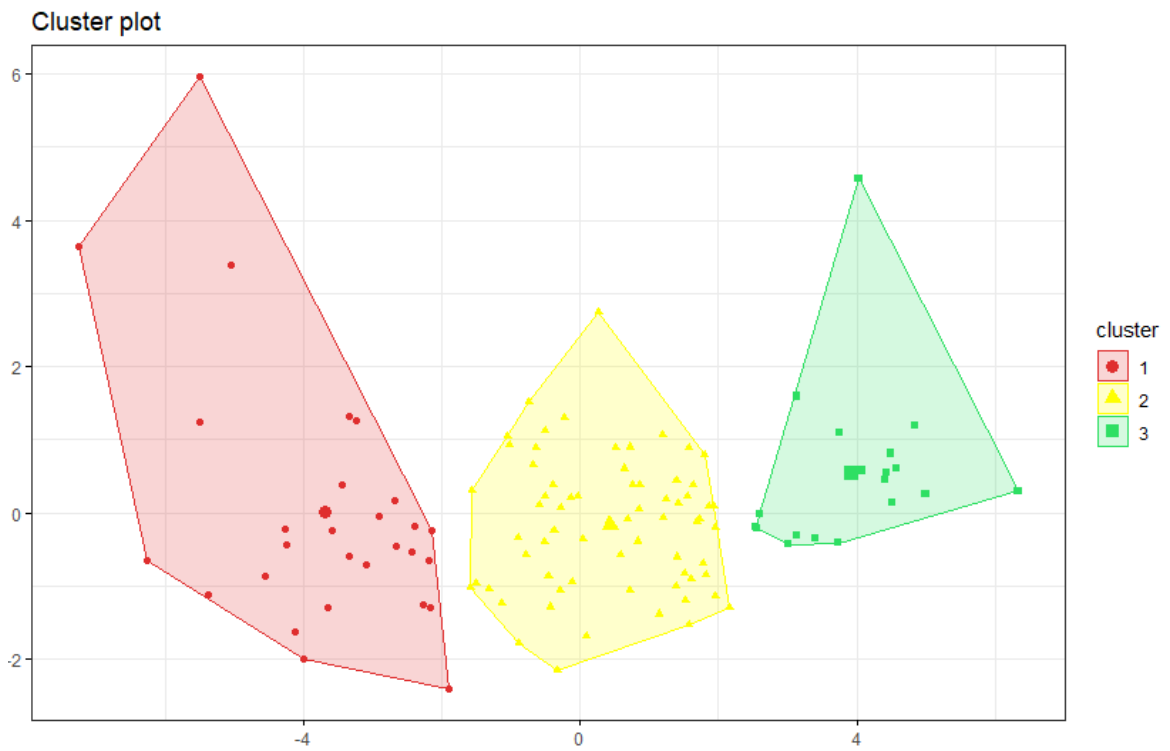
본 연구의 2.5장에서 제시한 연구의 세부 목표에 따라, 1차 KMC를 이용한 에너지 성능 평가방법의 적용 타당성 검증에서 축소형 범위에 적용한 KMC를 통해 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하고자 한다. 또한, 이를 효과적으로 수행하기 위해 KMC의 알고리즘을 역으로 활용하여 cluster의 특성을 도출하는 방법을 적용하고자 한다.

본 연구에서는 114개동 아파트의 축소형 범위에 대한 월별 가스사용량을 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법에 적용하였다. 114개동 아파트의 통합된 입력 데이터를 기반으로 Optimum number of clusters를 <그림 3.5>와 같이 나타내었으며, elbow point에서는 k를 3으로 도출하고 이에 대한 ratio는 51.5%로 확인하였다. 축소형 범위의 아파트에 대한 KMC의 분류 결과는 <그림 3.6>과 <표 3.2>와 같다. cluster 1은 28개동 아파트로 24.6%, cluster 2는 67개동 아파트로 58.8%, cluster 3은 19개동 아파트로 16.7%를 확인하였다.



<그림 3.5> 축소형 범위에 KMC를 적용한 Optimum number of clusters와 elbow point





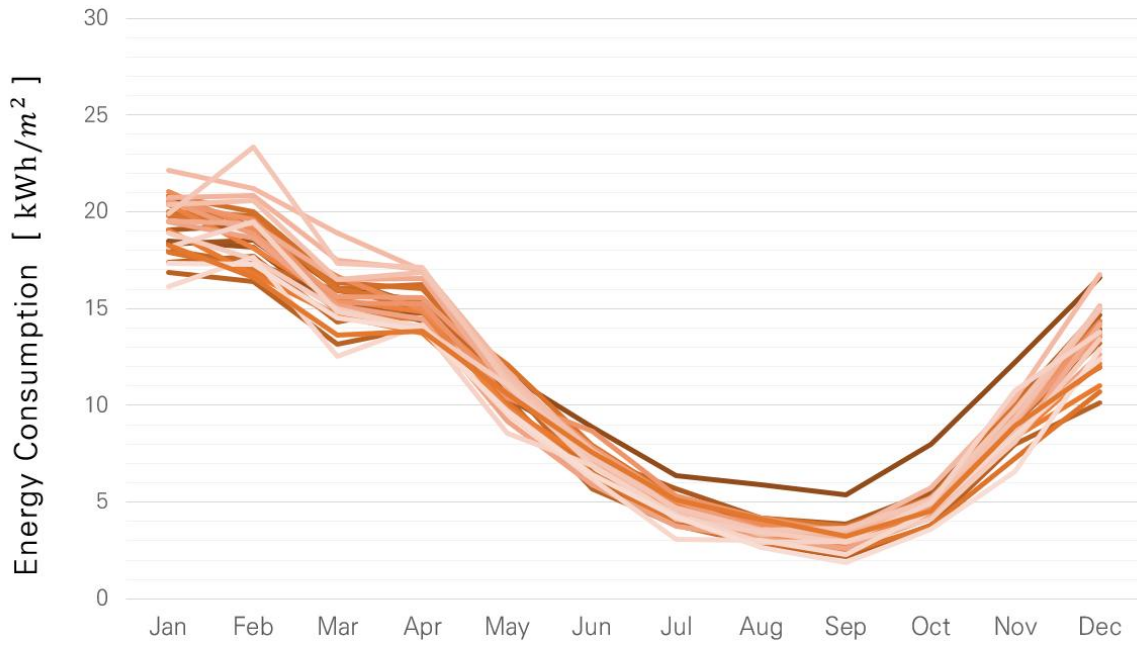
<그림 3.6> 축소형 범위에 KMC(k=3)를 적용한 cluster 분류 결과

<표 3.2> 축소형 범위에 KMC(k=3)를 적용한 cluster 분류 결과

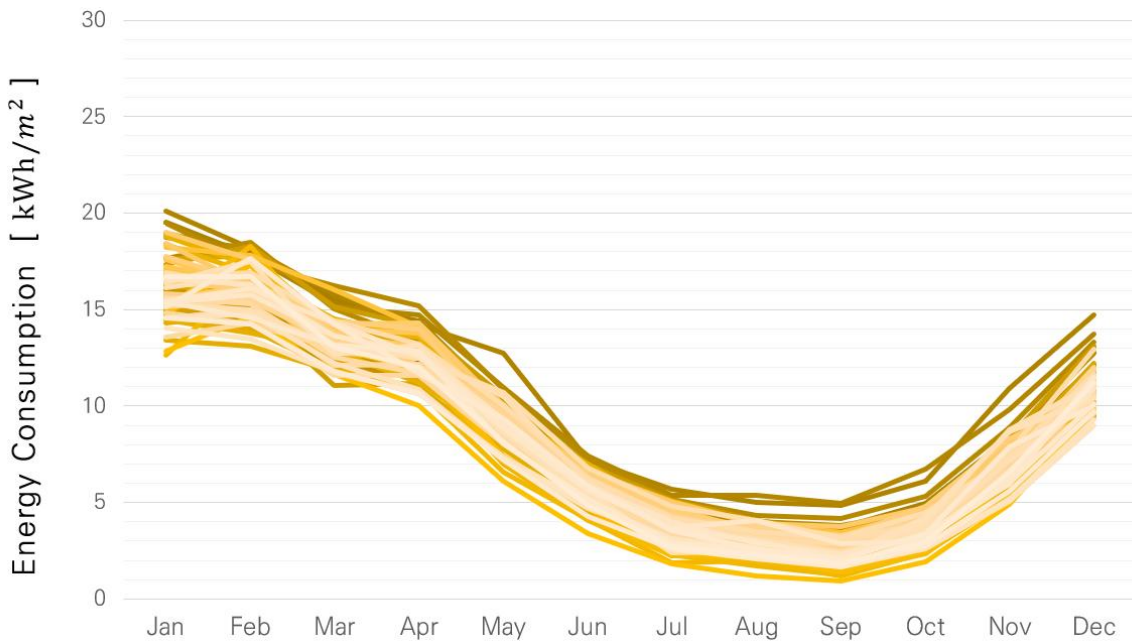
	cluster 1	cluster 2	cluster 3	합계
아파트 (개동)	28	67	19	114
비율 (%)	24.6	58.8	16.7	100

KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 통해 분류한 각 cluster의 특성을 도출하기 위해 KMC의 알고리즘을 역으로 활용하고자 하였다. 축소형 범위를 적용한 KMC에서 각 cluster에 할당된 아파트의 월별 가스사용량을 조사하였으며, cluster 1, cluster 2, cluster 3의 아파트에 대한 월별 가스사용량은 <그림 3.7>, <그림 3.8>, <그림 3.9>와 같다. 그리고 이에 근거하여, 각 cluster의 중심점을 추정하기 위해 cluster로 할당된 아파트의 월별 가스사용량을 평균으로 산출하였으며, 이에 대한 cluster 중심점의 월별 가스사용량은 <그림 3.10>, <표 3.3>과 같다. KMC를 통해 각 cluster 중심점에 대한 연중 가스사용량을 비교할 경우, 1월부터 12월까지의 모든 기간에서 cluster 1 중심점의 가스사용량이 가장 많은 것으로 확인하였다.

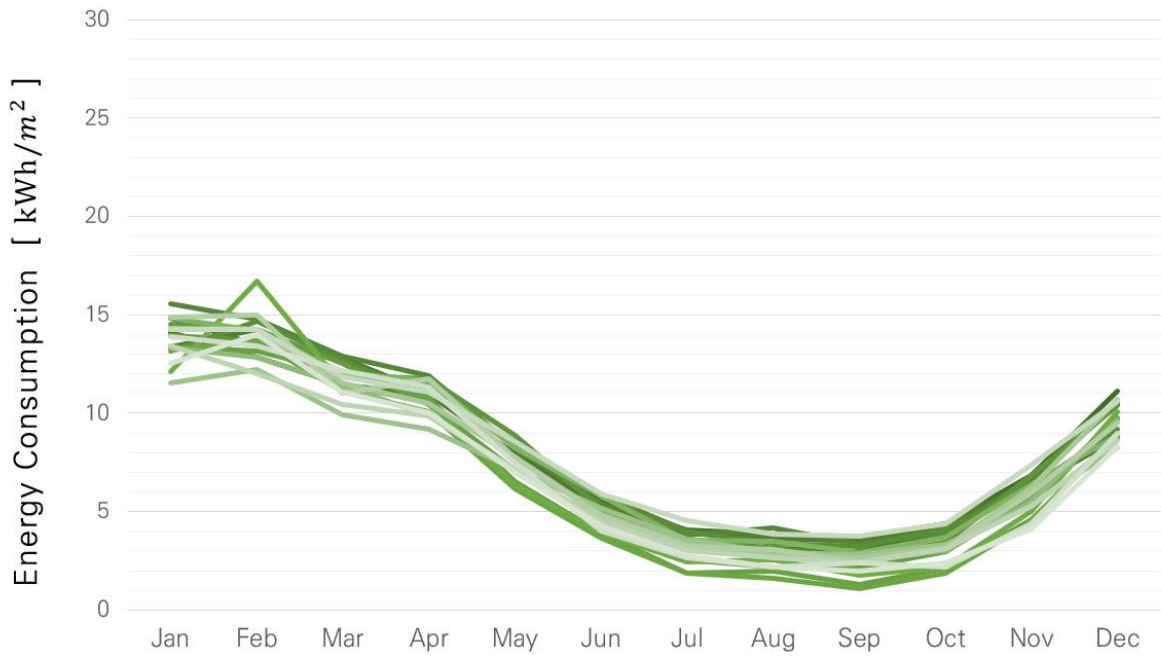
또한, 각 cluster 중심점의 월별 가스사용량에 대한 최솟값, 평균값, 최댓값의 통계수치를 나타낸 <그림 3.11>을 살펴보면, cluster 1 중심점의 가스사용량은 최솟값  $3.13\text{kWh}/m^2$ , 평균값  $10.48\text{kWh}/m^2$ , 최댓값  $19.29\text{kWh}/m^2$ 이며, cluster 2 중심점의 가스사용량은 최솟값  $2.64\text{kWh}/m^2$ , 평균값  $8.68\text{kWh}/m^2$ , 최댓값  $16.13\text{kWh}/m^2$ 이다. 그리고 cluster 3 중심점의 가스사용량은 최솟값  $2.61\text{kWh}/m^2$ , 평균값  $7.50\text{kWh}/m^2$ , 최댓값  $13.88\text{kWh}/m^2$ 으로 확인하였다. 월별 가스사용량에 대한 세 가지의 통계수치에서 cluster 1 중심점의 가스사용량이 가장 많으며, 이는 cluster 1에 할당된 아파트의 에너지성능이 가장 열악하다는 것으로 판단할 수 있다. 따라서, 최종적으로 본 연구에서는 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 통해 cluster 1에 해당하는 28개동 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다.



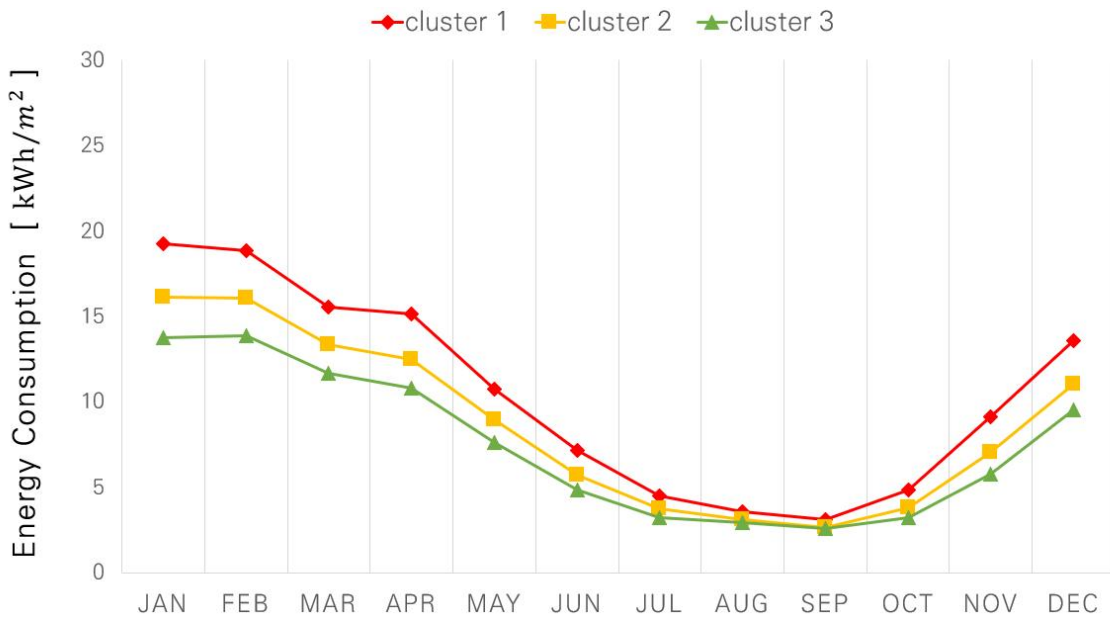
<그림 3.7> 축소형 범위 cluster 1의 28개동 아파트에 대한 월별 가스사용량



<그림 3.8> 축소형 범위 cluster 2의 67개동 아파트에 대한 월별 가스사용량



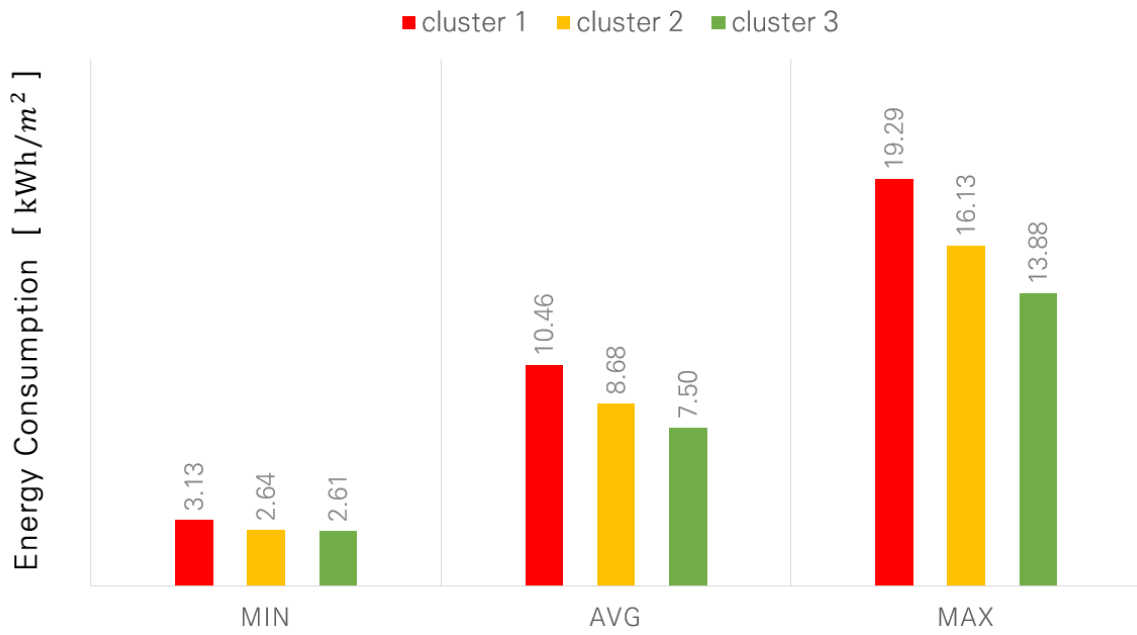
<그림 3.9> 축소형 범위 cluster 3의 19개동 아파트에 대한 월별 가스사용량



<그림 3.10> 축소형 범위의 cluster별 중심점에 대한 월별 가스사용량

<표 3.3> 축소형 범위의 cluster 중심점에 대한 월별 가스사용량

		아파트의 축소형 범위 (총 114개동)		
		cluster 1	cluster 2	cluster 3
월별 총 가스사용량 (kWh / m <sup>2</sup> )	Jan	19.29	16.13	13.75
	Feb	18.83	16.10	13.88
	Mar	15.55	13.37	11.70
	Apr	15.16	12.50	10.79
	May	10.76	8.96	7.62
	Jun	7.15	5.70	4.87
	Jul	4.52	3.73	3.24
	Aug	3.58	3.11	2.93
	Sep	3.13	2.64	2.61
	Oct	4.87	3.79	3.25
	Nov	9.15	7.04	5.77
	Dec	13.58	11.04	9.56

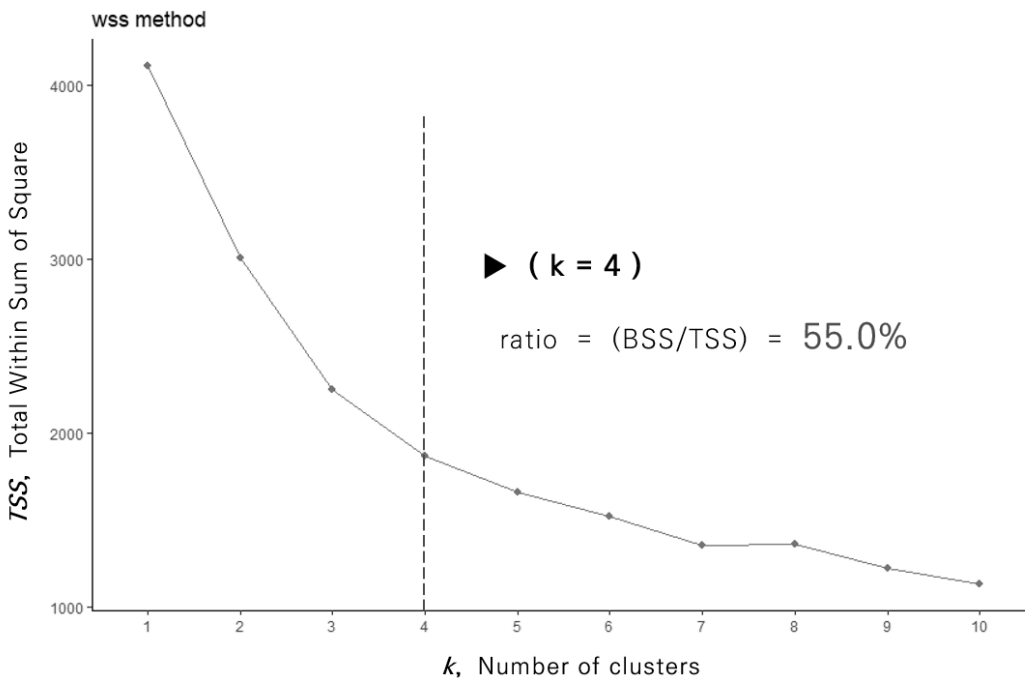


<그림 3.11> 축소형 범위의 cluster별 중심점에 대한 월별 가스사용량 통계수치

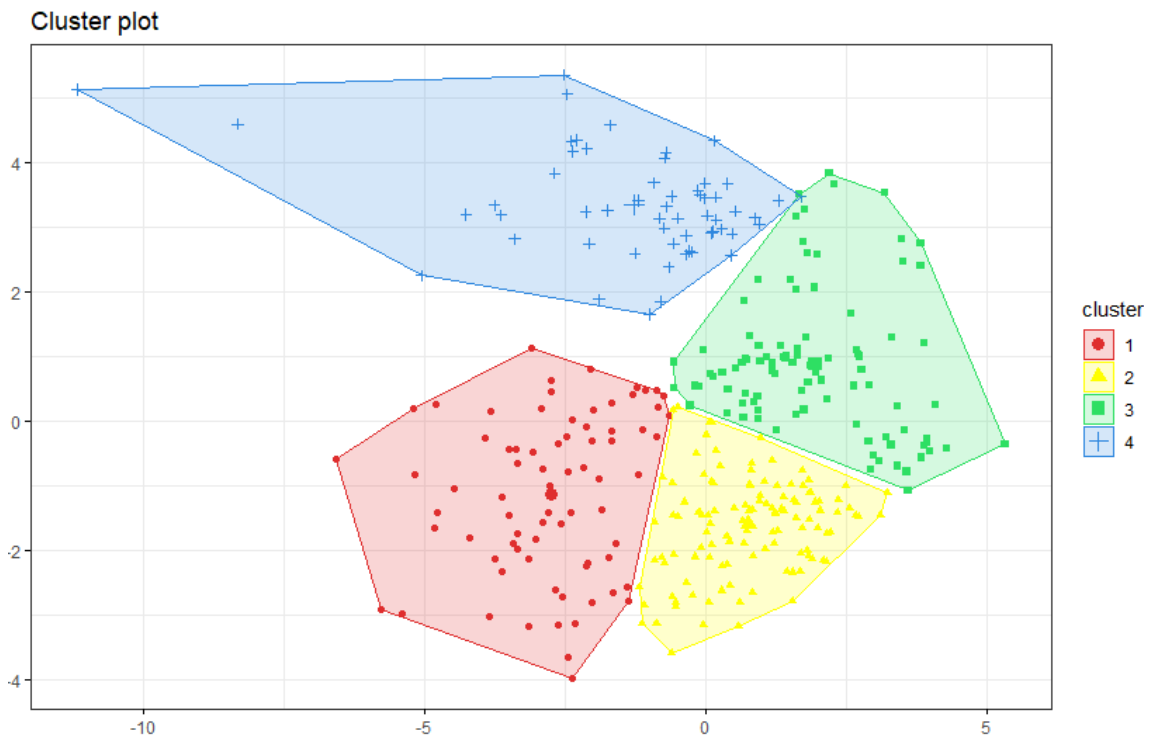
### 3.4 기본형 범위에 k-means cluster를 적용한 결과

앞 장에서 연구의 세부 목표를 실현하기 위하여 1차로 축소형 범위에 적용한 KMC를 통해 적용 타당성을 검증하고자 하였다. KMC를 이용한 에너지성능 평가방법의 활용 유효성 검증에서는 2차로 기본형 범위에 적용한 KMC를 통해 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하고자 한다. 또한, 이를 효과적으로 수행하기 위해 KMC의 알고리즘을 역으로 활용하여 cluster의 특성을 도출하는 방법을 적용하고자 한다.

본 연구에서는 344개동 아파트의 기본형 범위에 대한 월별 가스사용량을 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법에 적용하였다. 344개동 아파트의 통합된 입력 데이터를 기반으로 Optimum number of clusters를 <그림 3.12>와 같이 나타내었으며, elbow point에서는 k를 4로 도출하고 이에 대한 ratio는 55.0%로 확인하였다. 기본형 범위의 아파트에 대한 KMC의 분류 결과는 <그림 3.13>과 <표 3.4>와 같다. cluster 1은 57개동 아파트로 21.8%, cluster 2는 118개동 아파트로 34.3%, cluster 3은 95개동 아파트로 27.6%, cluster 4는 56개동 아파트로 16.3%를 확인하였다.



<그림 3.12> 기본형 범위에 KMC를 적용한 Optimum number of clusters와 elbow point



<그림 3.13> 기본형 범위에 KMC(k=4)를 적용한 cluster 분류 결과

<표 3.4> 기본형 범위에 KMC(k=4)를 적용한 cluster 분류 결과

	cluster 1	cluster 2	cluster 3	cluster 4	합계
아파트 (개동)	75	118	95	56	344
비율 (%)	21.8	34.3	27.6	16.3	100

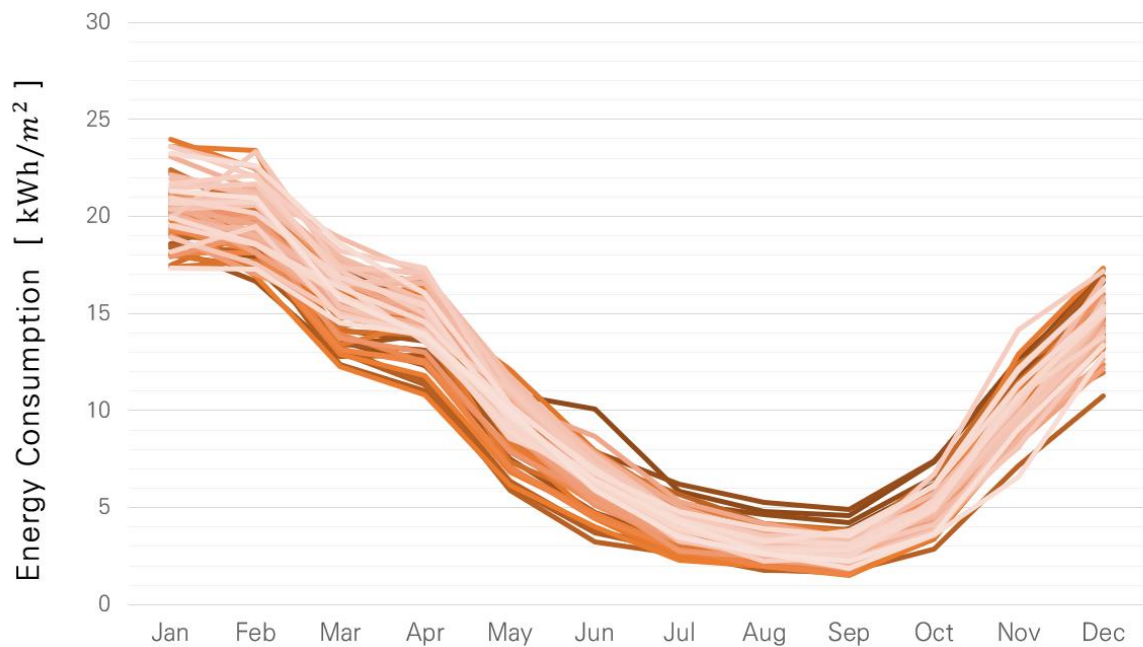


KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 통해 분류한 각 cluster의 특성을 도출하기 위해 KMC의 알고리즘을 역으로 활용하고자 하였다. 기본형 범위를 적용한 KMC에서 각 cluster에 할당한 월별 가스사용량을 조사하였으며, cluster 1, cluster 2, cluster 3, cluster 4의 아파트에 대한 월별 가스사용량은 <그림 3.14>, <그림 3.15>, <그림 3.16>, <그림 3.17>과 같다. 그리고 이에 근거하여, 각 cluster의 중심점을 추정하기 위해 cluster로 할당된 아파트의 월별 가스사용량을 평균으로 산출하였으며, 이에 대한 cluster 중심점의 월별 가스사용량은 <그림 3.18>, <표 3.5>와 같다.

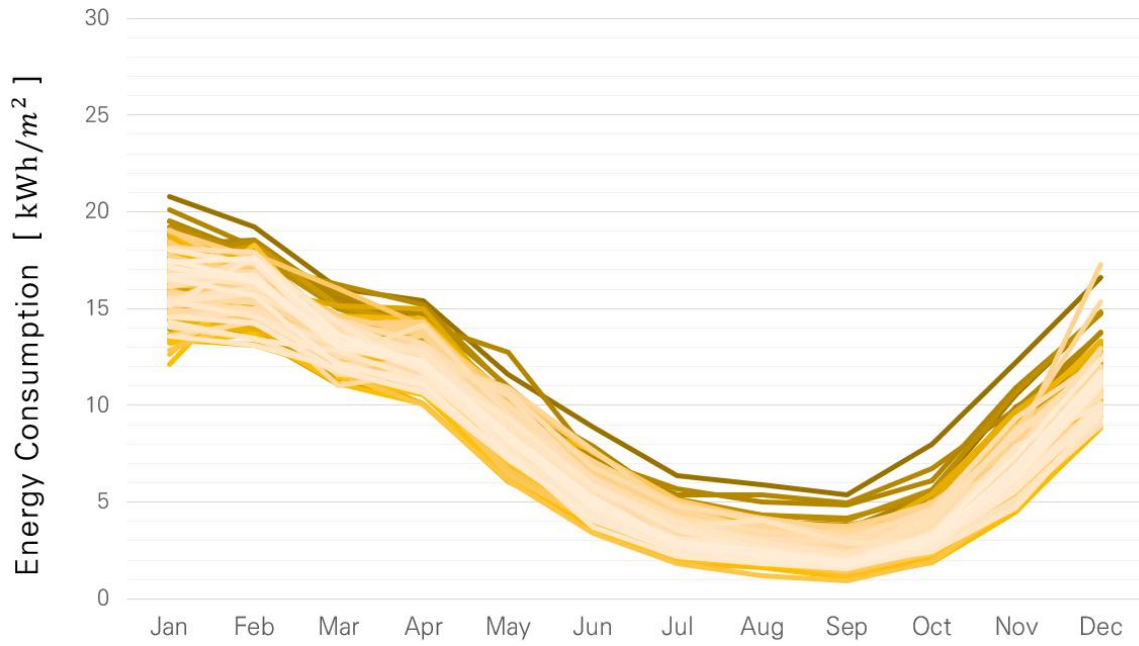
가스사용량이 가장 많은 cluster별 중심점을 도출하기 위해 각 중심점에 대한 월별 가스사용량을 비교하였다. <그림 3.19>에서는 344개동 아파트의 기본형 범위 전체에 대한 월별 가스사용량을 조사하고, 이를 초과하는 cluster 1 중심점과 cluster 4 중심점에 대한 월별 가스사용량을 나타내었다. 이에 따르면, 1월부터 8월까지의 가스사용량은 cluster 1 중심점이 가장 많았으며, 9월부터 12월까지의 가스사용량은 cluster 4 중심점이 가장 많은 것을 확인하였다. 이를 효과적으로 분석하기 위해 본 연구의 2.2.3장에서 언급한 울산광역시의 월평균 외기온도를 <그림 3.20>과 같이 나타내었으며, 이는 가스사용량을 수집한 고지서의 통지기간을 기준으로 명시되어 있다. 외기온도가 가장 낮은 난방기간은 1월부터 4월까지로 파악하였으며, 난방기간의 감소한 외기온도로 인해 증가한 가스사용량은 아파트의 단열성능이나 난방 효율 등이 미흡하여 에너지성능이 열악하다는 것으로 판단할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 난방기간의 가스사용량이 가장 많은 cluster 1에 할당된 아파트의 에너지성능이 가장 열악하다고 판단하였으며, 난방기간에 비해 상대적으로 외기온도가 높은 기간에서 가스사용량이 많은 cluster 4에 할당된 아파트는 단열성능은 양호하나 채실자의 과도한 사용 습관으로 인해 가스사용량이 높은 것으로 추측하였다.

또한, 각 cluster 중심점의 월별 가스사용량에 대한 최솟값, 평균값, 최댓값의 통계수치를 나타낸 <그림 3.21>을 살펴보면, cluster 1 중심점의 가스사용량은 최솟값 2.78kWh/m<sup>2</sup>, 평균값 10.45kWh/m<sup>2</sup>, 최댓값 20.31kWh/m<sup>2</sup>이며, cluster 2 중심점의 가스사용량은 최솟값 2.50kWh/m<sup>2</sup>, 평균값 8.59kWh/m<sup>2</sup>, 최댓값 16.31kWh/m<sup>2</sup>이다. 그리고 cluster 3 중심점의 가스사용량은 최솟값 2.51kWh/m<sup>2</sup>, 평균값 8.03kWh/m<sup>2</sup>, 최댓값 15.85kWh/m<sup>2</sup>이며, cluster 4 중심점의 가스사용량은 최솟값 2.87kWh/m<sup>2</sup>, 평균값 9.85kWh/m<sup>2</sup>, 최댓값 19.15kWh/m<sup>2</sup>을 확인하였다. 월별 가스사용량에 대한

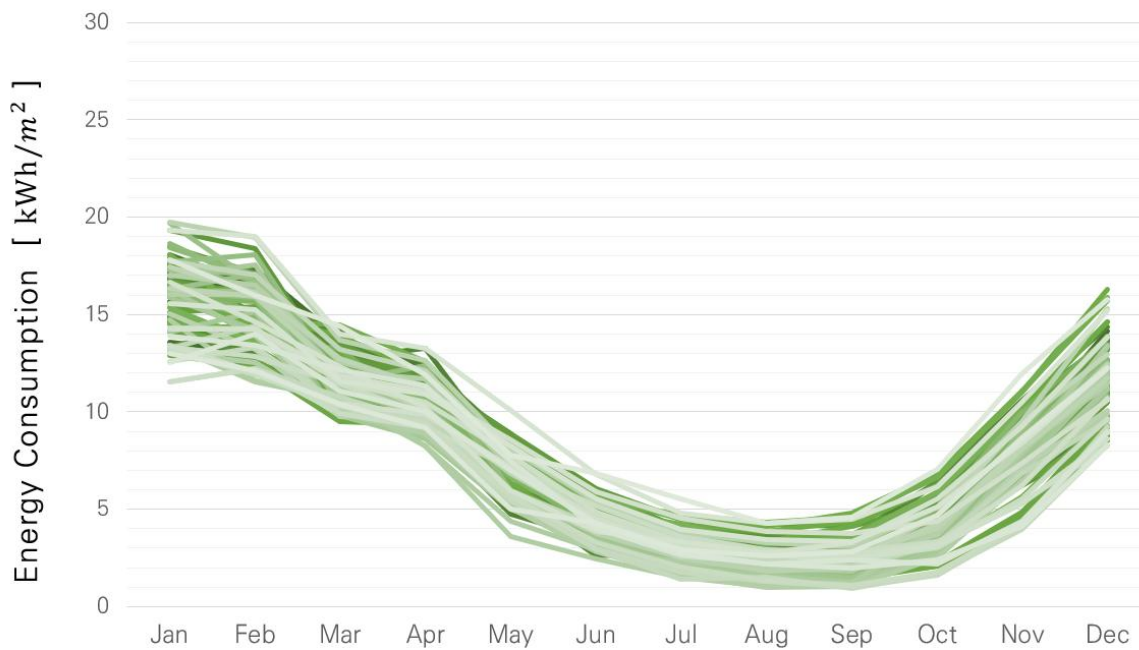
세 가지의 통계수치에서 최솟값은 cluster 4 중심점의 가스사용량이 가장 많으며, 평균값과 최댓값은 cluster 1 중심점의 가스사용량이 가장 많은 것으로 파악하였다. 이는 재실자의 과도한 사용 습관으로 추정되는 cluster 4 중심점의 특성을 반영하여, 평균값과 최댓값이 가장 많은 cluster 1에 할당된 아파트의 에너지성능이 가장 열악하다는 것으로 판단할 수 있다. 따라서, 최종적으로 본 연구에서는 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 통해 cluster 1에 해당하는 75개의 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하고자 한다.



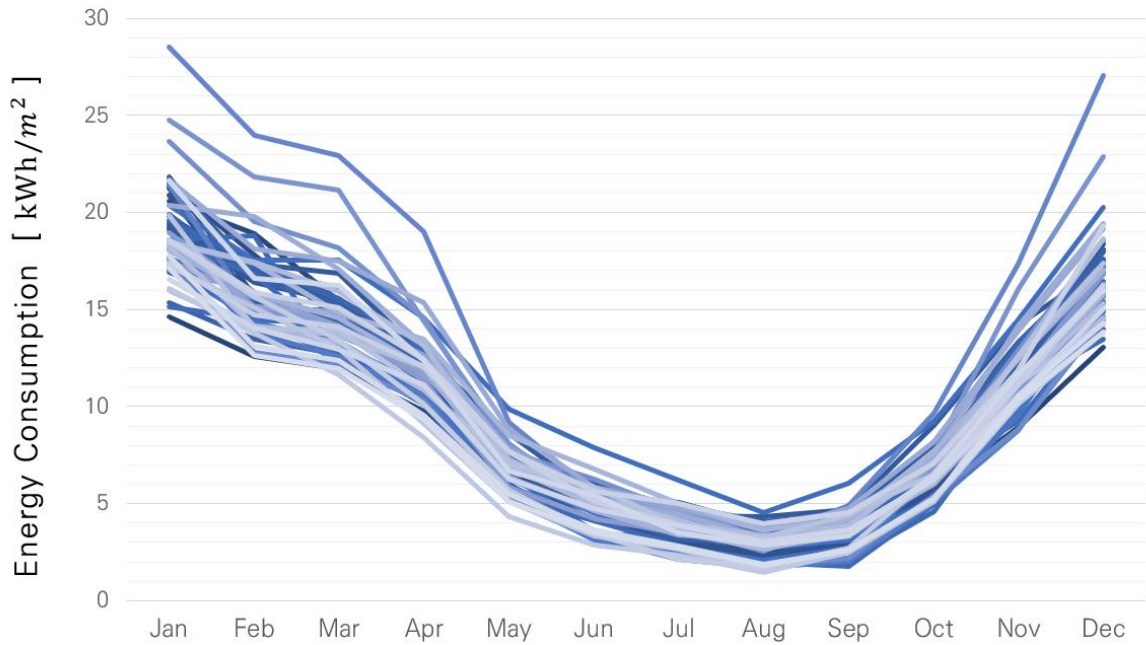
<그림 3.14> 기본형 범위 cluster 1의 75개동 아파트에 대한 월별 가스사용량



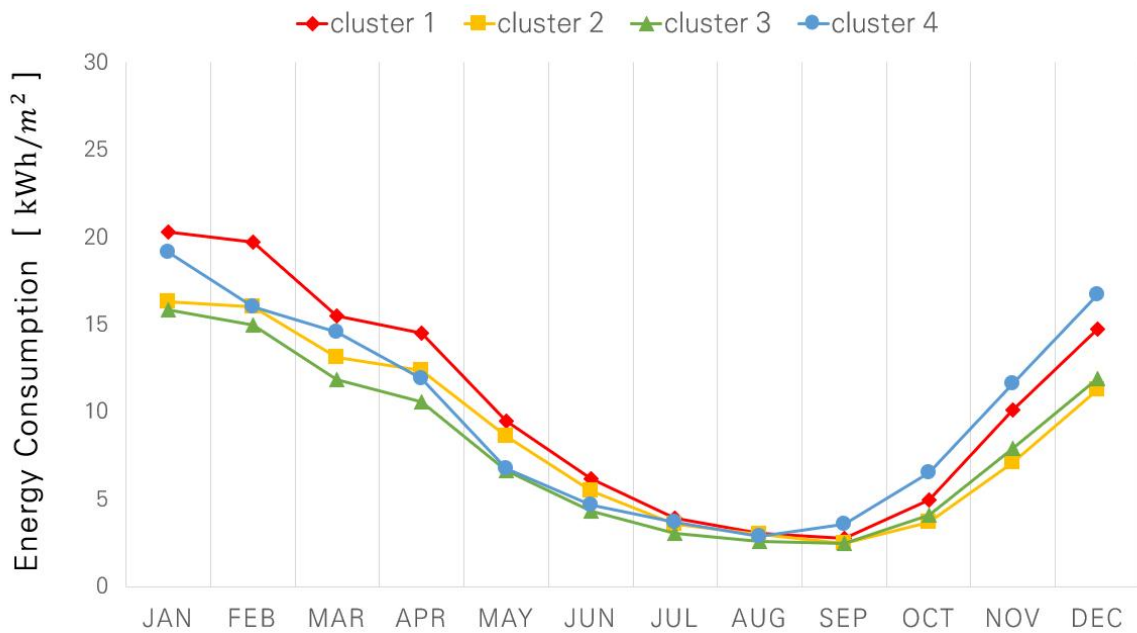
<그림 3.15> 기본형 범위 cluster 2의 118개동 아파트에 대한 월별 가스사용량



<그림 3.16> 기본형 범위 cluster 3의 95개동 아파트에 대한 월별 가스사용량



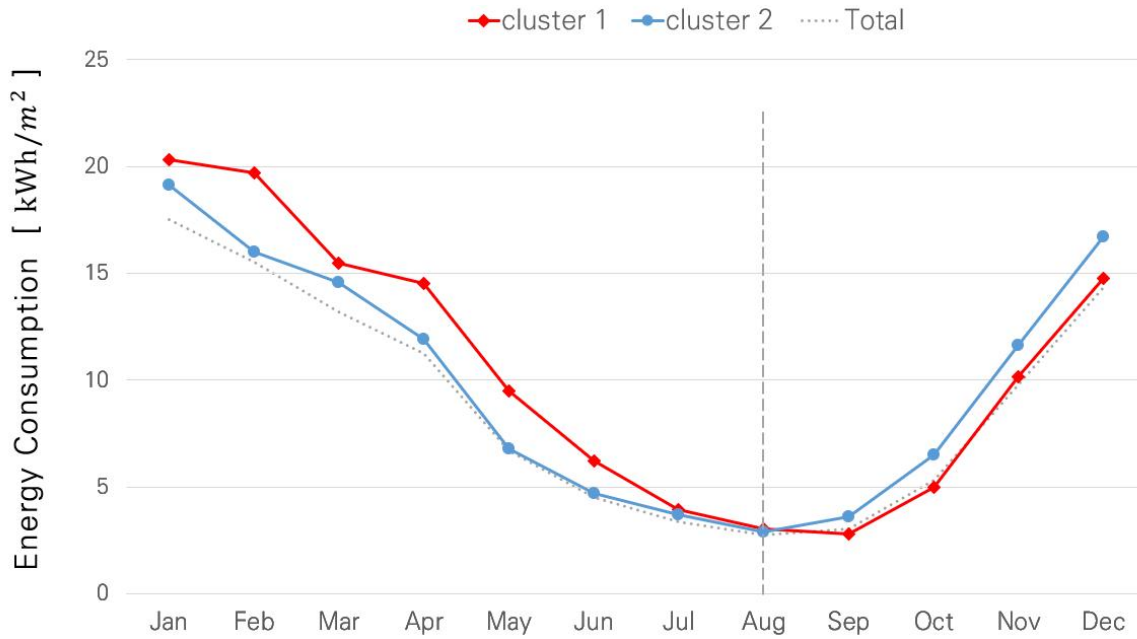
<그림 3.17> 기본형 범위 cluster 4의 56개동 아파트에 대한 월별 가스사용량



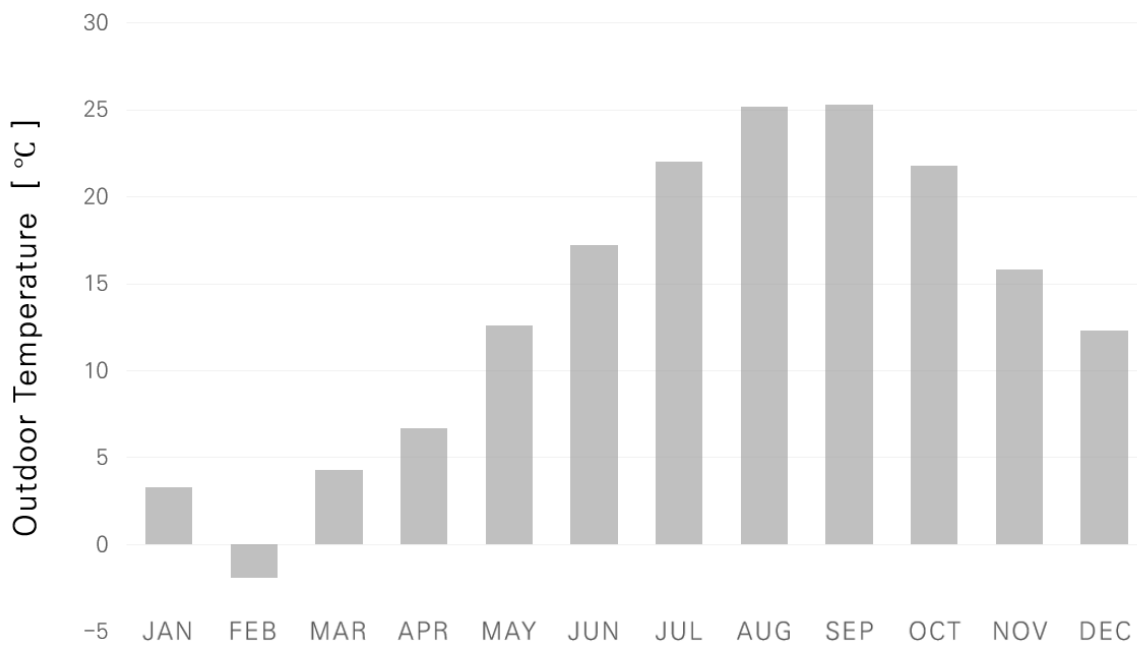
<그림 3.18> 기본형 범위의 cluster별 중심점에 대한 월별 가스사용량

<표 3.5> 기본형 범위의 cluster 중심점에 대한 월별 가스사용량

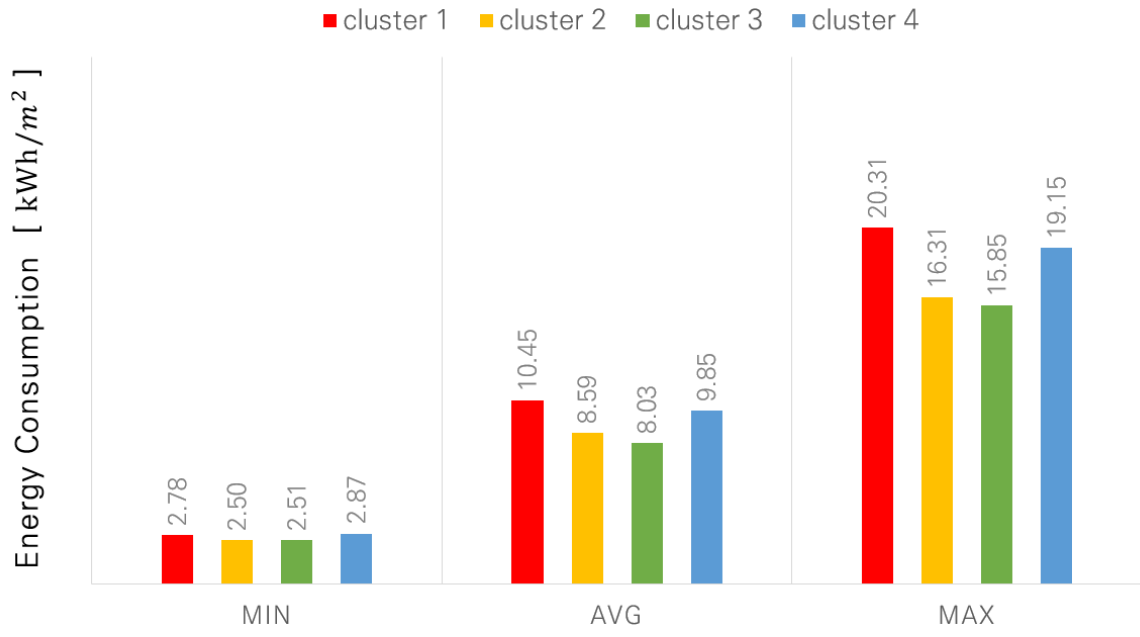
		아파트의 기본형 범위 (총 344개동)			
		cluster 1	cluster 2	cluster 3	cluster 4
월별 총 가스사용량 (kWh / m <sup>2</sup> )	Jan	20.31	16.31	15.85	19.15
	Feb	19.71	16.01	14.99	16.02
	Mar	15.50	13.13	11.84	14.60
	Apr	14.54	12.35	10.57	11.91
	May	9.47	8.63	6.65	6.77
	Jun	6.21	5.49	4.36	4.70
	Jul	3.94	3.57	3.08	3.69
	Aug	3.05	2.98	2.58	2.87
	Sep	2.78	2.50	2.51	3.59
	Oct	4.97	3.72	4.08	6.52
	Nov	10.14	7.11	7.90	11.61
	Dec	14.74	11.29	11.91	16.73



<그림 3.19> 기본형 범위 cluster 1과 cluster 4의 중심점에 대한 월별 가스사용량



<그림 3.20> 가스사용량의 오차기간을 반영한 울산광역시 월평균 외기온도



<그림 3.21> 기본형 범위의 cluster별 중심점에 대한 월별 가스사용량 통계수치

## IV. 그린리모델링 대상 아파트 비교를 통한 에너지성능 평가방법 검증

### 4.1 k-means cluster를 이용한 에너지성능 평가방법의 타당성 검증

본 연구에서는 아파트의 에너지성능을 기반으로 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하기 위한 방법론을 개발하고자 KMC를 도입하였으며, 연구의 1차 세부 목표로 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법에 대한 적용 타당성을 검증하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 CPM의 신뢰구간을 만족하는 축소형 범위의 114개동 아파트에 관한 월별 단위면적당 가스사용량을 활용하여 본 연구의 3.1장에서 CPM을 이용한 에너지성능 평가방법을, 3.3장에서 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 실시하였다. 또한, 이를 통해 도출한 에너지성능을 기반으로 축소형 범위의 114개동 아파트에서 에너지성능이 열악한 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다.

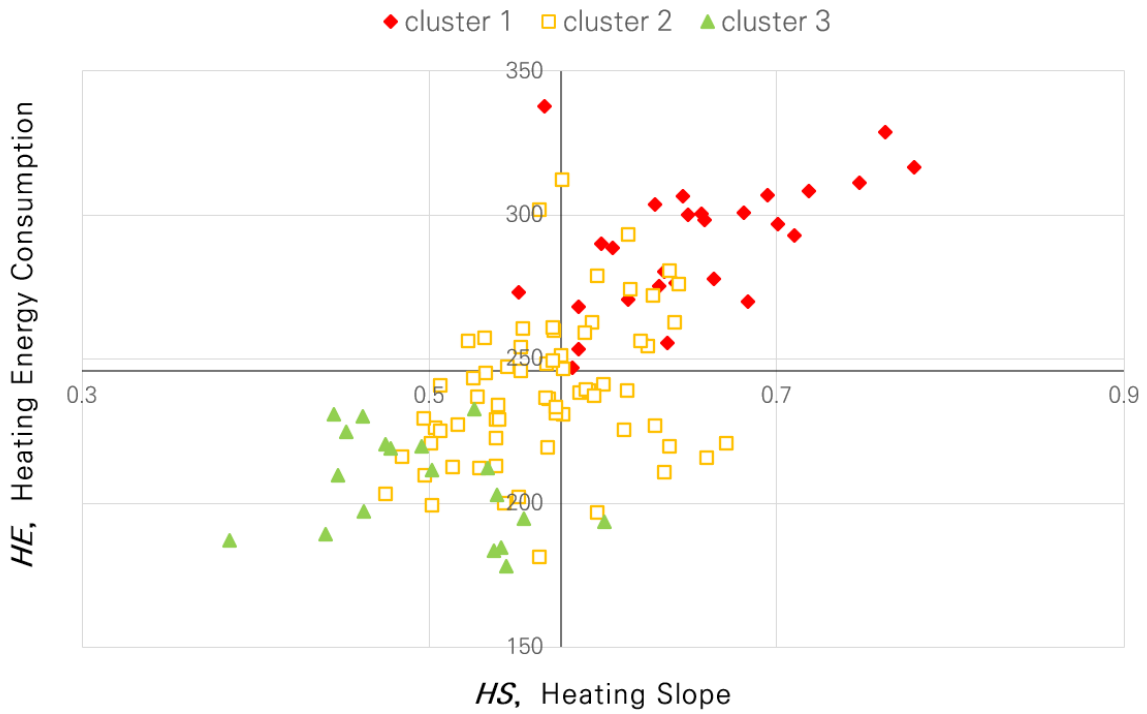
본 연구의 3.1장에서는 CPM을 이용한 에너지성능 평가방법을 통해 난방에너지에 관한 성능지표를 활용하여 HS-HE 사분면을 작성하였으며, 이를 바탕으로 전체 114개동 아파트에서 아파트의 에너지성능이 가장 열악한 1사분면에 해당하는 34.2%의 39개동 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다. 그리고, 3.3장에서는 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 통해 월별 가스사용량의 평균치를 활용하여 cluster별 중심점의 월별 가스사용량을 추정하였으며, 이를 바탕으로 전체 114개동 아파트에서 에너지성능이 가장 열악한 cluster 1에 해당하는 24.6%의 28개동 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다.

본 연구에서는 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법의 적용 타당성을 검증하기 위해 CPM과 KMC를 통해 선정한 그린리모델링의 대상 아파트를 상호 비교하고자 한다. <표 4.1>은 축소형 범위의 114개동 아파트에 CPM과 KMC를 적용한 아파트의 분류를 비교한 결과이며, 이를 효과적으로 파악하기 위하여 <그림 4.1>에서는 CPM의 HS-HE 사분면에 KMC의 cluster 분류 결과를 도식화하였다.



<표 4.1> 축소형 범위에 CPM과 KMC를 적용한 아파트 분류 (개동)

		CPM, HS-HE 사분면				합계
		1사분면	2사분면	3사분면	4사분면	
K M C	cluster 1	26 (22.8%)	2 (1.8%)	-	-	28 (24.6%)
	cluster 2	13 (11.4%)	11 (9.6%)	29 (25.4%)	14 (12.3%)	67 (58.8%)
	cluster 3	-	-	18 (15.8%)	1 (0.9%)	19 (16.7%)
합계		39 (34.2%)	13 (11.4%)	47 (41.2%)	15 (13.2%)	114 (100%)

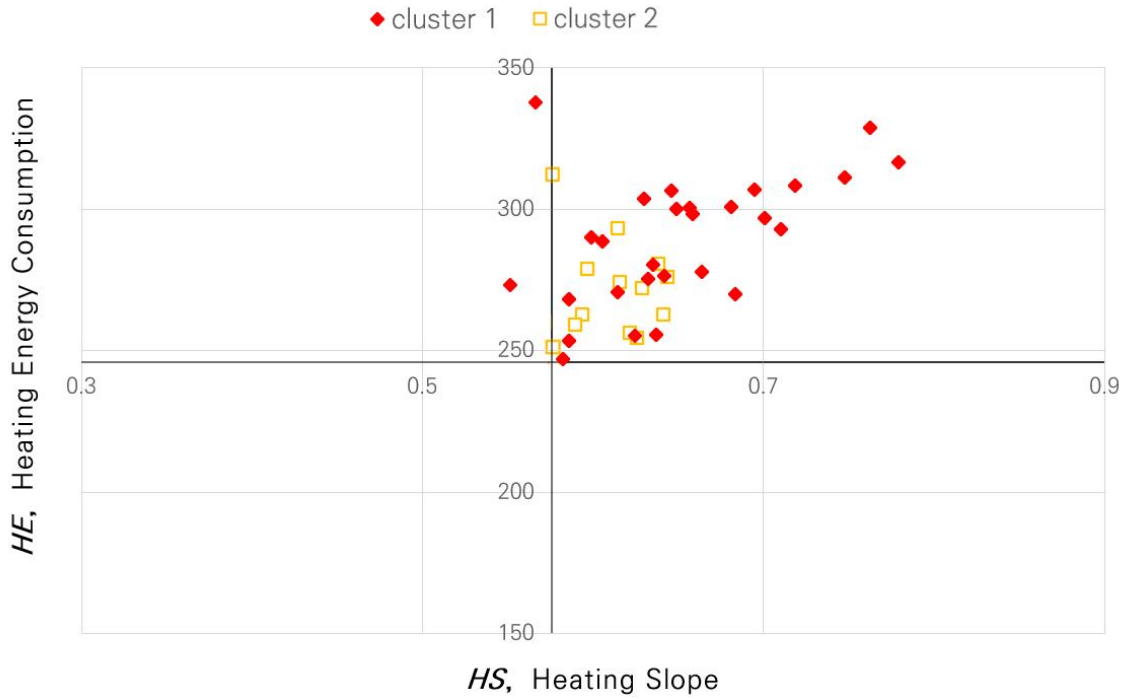


<그림 4.1> 축소형 범위에 CPM과 KMC를 적용한 HS-HE 사분면 위치 분포

전체 114개동 아파트에서 KMC의 cluster 1로 분류된 24.6%에 해당하는 28개동 아파트는 CPM의 1사분면에서 22.8%에 해당하는 26개동, 2사분면에서 1.8%에 해당하는 2개동 아파트로 확인하였으며, KMC의 cluster 2로 분류된 58.8%에 해당하는 67개동 아파트는 CPM의 1사분면에서 11.4%에 해당하는 13개동, 2사분면에서 9.6%에 해당하는 11개동, 3사분면에서 25.4%에 해당하는 29개동, 4사분면에서 12.3%에 해당하는 14개동 아파트로 확인하였다. 그리고 KMC의 cluster 3으로 분류된 16.7%에 해당하는 19개동 아파트는 CPM의 3사분면에서 15.8%에 해당하는 18개동, 4사분면에서 0.9%에 해당하는 1개동 아파트로 확인하였다.

본 연구에서는 축소형 범위의 114개동 아파트에 대한 에너지성능을 바탕으로 CPM의 1사분면에서 39개동, KMC의 cluster 1에서 28개동 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다. 최종적으로, CPM과 KMC에서 중복으로 선정된 그린리모델링의 대상 아파트를 고려하여, 하나 이상의 에너지성능 평가방법을 통해 선정한 그린리모델링의 대상 아파트는 총 41개동 아파트로 도출하였다. 또한, 축소형 범위에서 CPM과 KMC를 통해 선정한 그린리모델링의 전체 대상 아파트에 관한 HS-HE 사분면 위치 분포는 <그림 4.2>와 같다.

<표 4.2>는 축소형 범위에서 CPM과 KMC를 적용한 그린리모델링의 대상 아파트 선정 결과이다. 축소형 범위의 114개동 아파트에서 CPM과 KMC의 결과가 일치하는 아파트는 26개동 아파트로 확인하였으며, 이를 통해 그린리모델링의 대상 아파트에 대한 일치율은 63.4%로 도출되었다. 그 외의 결과가 불일치하는 36.6%에 해당하는 15개동 아파트는 CPM에서 1사분면에 해당하였으나 KMC에서 cluster 2로 분류된 31.7%에 해당하는 13개동 아파트, KMC에서 cluster 1로 분류되었으나 CPM에서 2사분면에 해당하는 4.9%에 해당하는 2개동 아파트로 확인하였다. 이에 대하여, 본 연구는 CPM과 KMC에서 선정한 그린리모델링의 대상 아파트 선정 결과를 비교하기 위해, 결과가 불일치하는 15개동 아파트의 에너지성능을 파악하고자 하였다. CPM의 HS-HE 사분면에서 결과가 불일치하는 아파트는 결과가 일치하는 아파트와 매우 근접한 위치에 존재하며, 이를 통해 일치하는 아파트에 비해 상대적으로 불일치하는 아파트의 에너지성능이 양호하다는 것을 조사하였다. 따라서, 본 연구에서는 축소형 범위에 CPM과 KMC를 통해 그린리모델링의 대상 아파트를 상호 비교한 결과에 따라, 아파트의 에너지성능을 기반으로 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하는 방법론으로써 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법에 대한 적용 타당성을 검증하였다.



<그림 4.2> 축소형 범위의 대상 아파트에 CPM과 KMC를 적용한 HS-HE 사분면 위치 분포

<표 4.2> 축소형 범위에 CPM과 KMC를 적용한 그린리모델링의 대상 아파트 선정 (개동)

		CPM, HS-HE 사분면		합계
		1사분면	2사분면	
K M C	cluster 1	26 (63.4%)	2 (4.9%)	<b>28 (68.3%)</b>
	cluster 2	13 (31.7%)	—	13 (31.7%)
합계		<b>39 (95.1%)</b>	2 (4.9%)	41 (100%)

## 4.2 k-means cluster를 이용한 에너지성능 평가방법의 유효성 검증

본 연구에서는 아파트의 에너지성능을 기반으로 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하기 위해 앞 장에서 연구의 1차 세부 목표로 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법에 대한 적용 타당성을 검증하였다. 이에 더 나아가 연구의 2차 세부 목표로 회귀분석의 신뢰구간으로 인하여 조사대상 아파트의 범위를 제한하는 CPM의 한계점을 극복하고, 전체 조사대상 아파트의 에너지성능을 평가하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 3.3장에서 신뢰구간을 모두 만족하는 축소형 범위의 114개동 아파트와 3.4장에서 신뢰구간이 미반영된 기본형 범위의 344개동 아파트에 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 실시하였다. 또한, 이를 통해 분류한 cluster별 중심점의 특성을 기반으로 cluster에 할당된 아파트의 에너지성능을 평가하고, 이에 따라 에너지성능이 열악한 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다.

본 연구의 3.3장에서는 축소형 범위에서 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 실시하였으며, 이를 바탕으로 전체 114개동 아파트에서 아파트의 에너지성능이 가장 열악한 cluster 1에 해당하는 24.6%에 해당하는 28개동 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다. 그리고, 3.4장에서는 기본형 범위에 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법을 실시하였으며, 이를 바탕으로 전체 344개동 아파트에서 에너지성능이 가장 열악한 cluster 1에 해당하는 21.8%에 해당하는 75개동 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다.

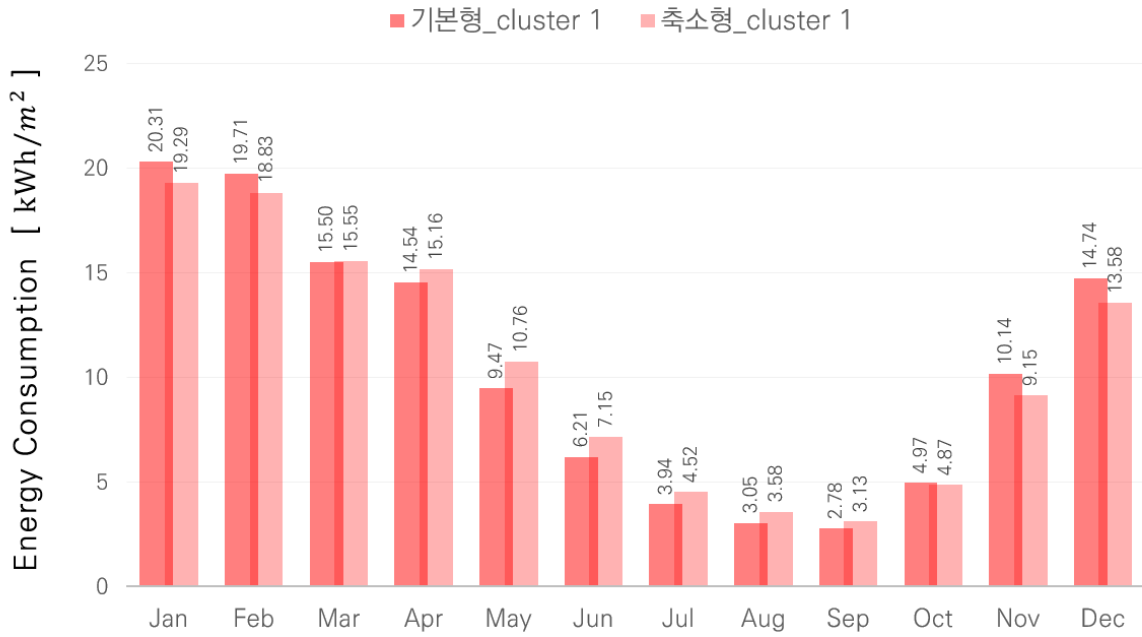
본 연구에서는 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법의 활용 유효성을 검증하기 위해 축소형과 기본형에 KMC를 통해 선정한 그린리모델링의 대상 아파트를 상호 비교하고자 한다. 이 과정에서 축소형과 기본형 범위의 아파트 수효 차이로 인해 발생하는 오차를 최소화하기 위해, 344개동 아파트에 대한 기본형 범위를 축소형 범위와 일치하는 114개동 아파트의 범위로 한정하여 그린리모델링의 대상 아파트를 비교하였다. 축소형과 기본형 범위의 114개동 아파트에 대한 KMC의 cluster 분류 결과는 <표 4.3>과 같다. 이에 따르면, 기본형 범위의 cluster 4에 해당하는 아파트는 0개동으로 확인하였으며, 본 연구에서는 축소형과 기본형 범위에 따른 그린리모델링의 대상 아파트를 비교하는 모든 과정에서 기본형 범위의 cluster 4를 생략하였다. 최종적으로 축소형과 기본형 범위의 114개동 아파트에 대한 cluster 분류 내용은 다음과 같다.

<표 4.3> 축소형과 기본형 범위의 114개동 아파트에 대한 cluster의 분류 (개동)

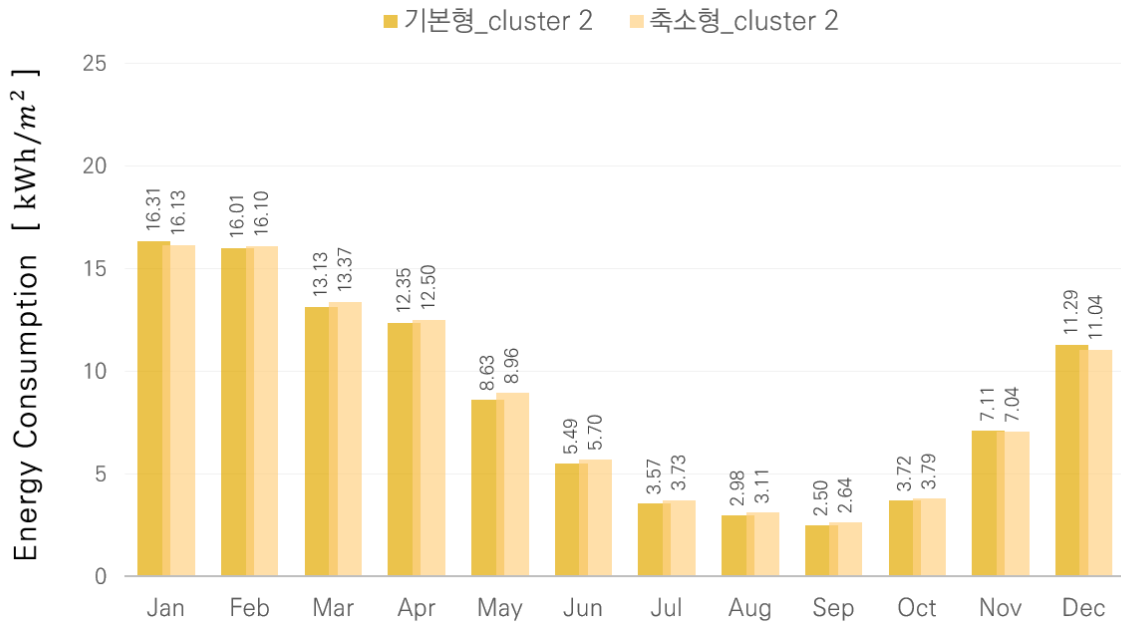
		기본형 범위 KMC				합계
		cluster 1	cluster 2	cluster 3	cluster 4	
축소형 범위 KMC	cluster 1	21 (18.4%)	7 (6.1%)	-	-	28 (24.6%)
	cluster 2	-	67 (58.8%)	-	-	67 (58.8%)
	cluster 3	-	7 (6.1%)	12 (10.5%)	-	19 (16.7%)
합계		21 (18.4%)	81 (71.1%)	12 (10.5%)	-	114 (100%)

전체 114개동 아파트에서 기본형 범위의 cluster 1로 분류된 18.4%에 해당하는 21개동 아파트는 축소형의 cluster 1에서 18.4%에 해당하는 21개동 아파트로 확인하였으며, 기본형의 cluster 2로 분류된 71.1%에 해당하는 81개동 아파트는 축소형의 cluster 1에서 6.1%에 해당하는 7개동, cluster 2에서 58.8%에 해당하는 67개동, cluster 3에서 6.1%에 해당하는 7개동 아파트로 확인하였다. 그리고 기본형의 cluster 3으로 분류된 10.5%에 해당하는 12개동 아파트는 축소형의 cluster 3에서 10.5%에 해당하는 12개동 아파트로 확인하였다.

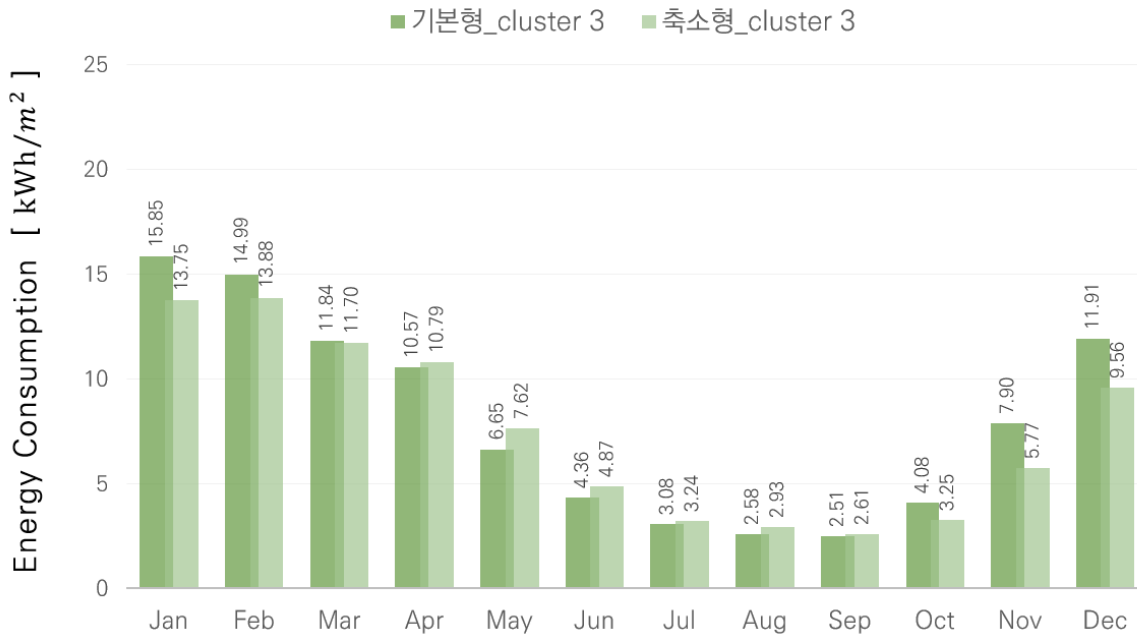
축소형과 기본형에 KMC를 적용하여 각 cluster 중심점을 도출하고, 아파트의 범위와 KMC의 cluster 분류 결과에 따른 cluster 1, cluster 2, cluster 3의 중심점에 대한 월별 가스사용량은 <그림 4.3>, <그림 4.4>, <그림 4.5>와 같다. 그리고, <그림 4.6>에서는 축소형과 기본형 범위에 적용한 KMC의 cluster별 중심점에 대한 월별 가스사용량을 효과적으로 비교하기 위해 하나의 그래프로 시각화하였다.



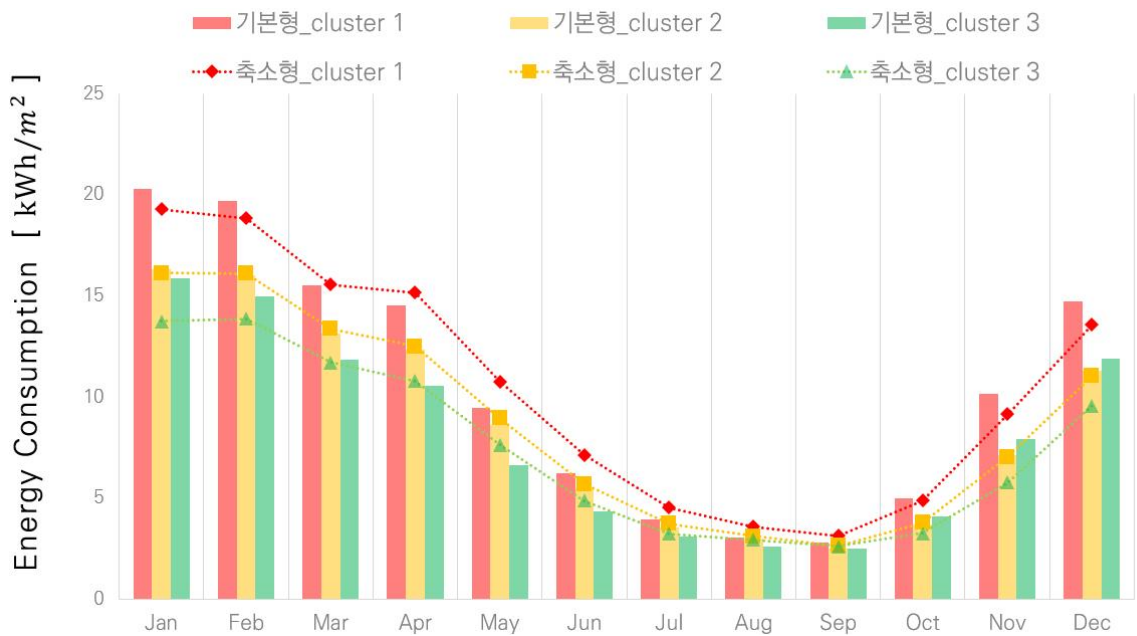
<그림 4.3> 축소형과 기본형 범위의 cluster 1 중심점에 대한 월별 가스사용량 비교



<그림 4.4> 축소형과 기본형 범위의 cluster 2 중심점에 대한 월별 가스사용량 비교



<그림 4.5> 축소형과 기본형 범위의 cluster 3 중심점에 대한 월별 가스사용량 비교



<그림 4.6> 축소형과 기본형 범위의 cluster별 중심점에 대한 월별 가스사용량

축소형과 기본형 범위에서 KMC의 cluster별 중심점에 대한 월별 가스사용량의 차이는 cluster 1은  $0.05\text{kWh}/\text{m}^2$ 에서  $1.28\text{kWh}/\text{m}^2$ , cluster 2는  $0.07\text{kWh}/\text{m}^2$ 에서  $0.33\text{kWh}/\text{m}^2$ , cluster 3은  $0.10\text{kWh}/\text{m}^2$ 에서  $2.35\text{kWh}/\text{m}^2$ 의 범위임을 확인하였다. 이를 통해, CPM의 신뢰구간을 불만족하는 230개동 아파트를 기본형 범위에 추가했음에도 불구하고, 축소형과 기본형 범위에 적용한 KMC의 cluster별 중심점의 월별 가스사용량에 대한 높은 유사도를 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 KMC의 각 cluster 중심점에 대한 월별 가스사용량을 기반으로 축소형 범위의 cluster 1에서 28개동, 기본형 범위의 cluster 1에서 21개동 아파트를 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다. 최종적으로, 축소형과 기본형에서 중복으로 선정된 그린리모델링의 대상 아파트를 고려하여, 하나 이상의 에너지성능 평가방법을 통해 선정한 그린리모델링의 대상 아파트는 총 28개동 아파트로 도출하였다.

<표 4.4>는 축소형과 기본형에 KMC를 적용한 그린리모델링의 대상 아파트 선정 결과이다. 114개동 아파트에서 기본형과 축소형의 결과가 일치하는 아파트는 21개동 아파트로 확인하였으며, 이를 통해 그린리모델링의 대상 아파트에 대한 일치율은 75.0%로 도출하였다. 특히 이에 따르면, 기본형 범위의 cluster 1에 해당하는 21개동 아파트가 모두 축소형 범위의 cluster 1에 해당하는 것을 확인하였으며, 이를 통해 본 연구에서 CPM의 한계점을 극복하고자 제안한 KMC를 이용한 에너지성능 평가방법의 기대효과를 단편적으로 입증할 수 있었다. 그리고, 그 외에 결과가 불일치하는 25.0%에 해당하는 7개동 아파트는 기본형 범위에서 cluster 2로 분류되었으나, 축소형 범위에서 cluster 1에 해당하는 것을 확인하였다.

본 연구는 축소형과 기본형에서 선정한 그린리모델링의 대상 아파트 선정 결과를 비교하기 위해, 결과가 불일치하는 7개동 아파트의 에너지성능을 파악하고자 하였다. 이를 위해, <그림 4.7>에서는 결과가 일치하는 21개동 아파트와 불일치하는 7개동 아파트에 대한 월별 가스사용량을 꺾은선 그래프로, 각 범위에 따른 cluster 2에 대한 월별 가스사용량은 세로 막대형 그래프로 비교하였다. 이에 따르면, 결과가 불일치하는 아파트는 일치하는 아파트에 비해 월별 가스사용량이 적으나, cluster 2와 비교하면 확연히 높은 수준을 확인하였다.

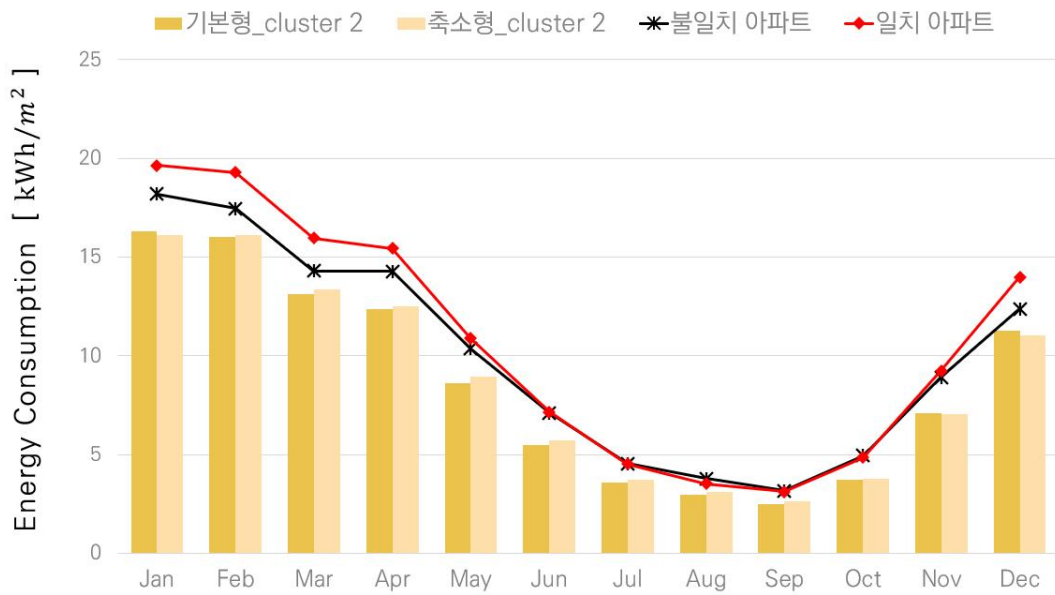


이처럼 결과가 불일치하는 7개동 아파트는 기본형 범위 입력 데이터에 신뢰구간을 불만족하는 230개동 아파트에 대한 가스사용량 추가하고 KMC를 진행하여 기본형 범위에 KMC의 전체 cluster 평균값이 상향됨에 따라 cluster 1에서 탈락한 아파트로 추정할 수 있다. 즉, 축소형 범위의 114개동 아파트와 344개동 아파트의 기본형 범위에 대한 KMC의 입력 데이터 차이에서 발생한 오차로 판단할 수 있다.

본 연구에서는 축소형과 기본형 범위의 KMC를 통해 그린리모델링의 대상 아파트를 상호 비교한 결과에 따라, CPM의 신뢰구간과 무관하게 전체 조사대상 아파트를 대상으로 KMC를 통해 아파트의 에너지성능을 평가할 수 있었다. 이를 통해, 아파트의 에너지성능을 기반으로 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하는 방법론으로써 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법에 대한 활용 유효성을 검증하였다.

<표 4.4> 축소형과 기본형 범위에 KMC를 적용한 그린리모델링의 대상 아파트 선정 (개동)

		기본형 범위 KMC		합계
		cluster 1	cluster 2	
축소형 범위 KMC	cluster 1	21 (75.0%)	7 (15.0%)	28 (100%)



<그림 4.7> 축소형과 기본형 범위의 그린리모델링의 대상 아파트 선정 결과가 일치 / 불일치하는 아파트에 대한 월별 가스사용량 비교

## V. 결론

본 연구에서는 울산광역시에 위치한 조사대상 아파트의 실제 가스사용량을 바탕으로 CPM과 KMC를 적용하여 아파트의 에너지성능을 평가하였다. 아파트 범위와 에너지 성능 평가방법에 따라 축소형 범위의 CPM, 축소형 범위의 KMC, 기본형 범위의 KMC로 총 세 가지의 에너지성능 평가방법을 실시하였다. 또한, CPM의 HS-HE 사분면과 KMC의 cluster 중심점을 활용하여 에너지성능이 가장 열악한 아파트를 분류하였으며, 이를 기반으로 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하였다.

아파트의 에너지성능 평가를 통해 선정한 대상 아파트를 상호 비교함으로써, 본 연구에서 제안하는 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법을 검증하고자 하였다. 먼저, 축소형 범위의 CPM과 KMC에서 에너지성능 평가방법으로의 적용 타당성을 검증하였으며, 축소형과 기본형 범위의 KMC에서 전체 조사대상 아파트를 대상으로 전반적인 평가에 대한 활용 유효성을 검증하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 조사대상 건축물로 울산광역시에 위치한 344개동 아파트를 채택하였으며, 아파트의 에너지성능을 평가하기 위해 고지서의 가스사용량과 울산광역시의 외기온도를 수집 및 변환하였다. 또한, 본 연구에서는 아파트의 범위를 CPM의 신뢰구간에 따라 114개동 아파트의 축소형 범위와 344개동 아파트의 기본형 범위로 규정하였다.

(2) CPM에서는 가정용 온수난방의 가스사용량을 효과적으로 추정하기 위해, 3PH의 parameter를 파악하여 아파트의 에너지성능을 평가하기 위한 성능지표로 HS와 HE를 도출하였다. 이를 기반으로 HS-HE 사분면을 작성하였으며, 1사분면에 해당하는 34.2%에 해당하는 39개동 아파트를 축소형 범위에 CPM을 적용한 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다.

(3) KMC에서는 cluster 분류 기준에 대한 정량적인 정보를 파악하고 각 cluster의 특성을 파악하기 위해, KMC의 알고리즘을 역으로 활용하여 cluster 중심점을 추정하였다. 이를 위해 cluster별 중심점의 가스사용량을 산출하였으며, 가스사용량이 최대인 cluster 중심점을 기준으로 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하였다.

(4) 축소형 범위의 114개동 아파트에서 k는 3일 경우, ratio는 51.5%로 확인하였으며, cluster 중심점의 가스사용량이 최대인 cluster 1에 해당하는 24.6%에 해당하는 28개동 아파트를 축소형 범위에 KMC를 적용한 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다.

(5) 기본형 범위의 344개동 아파트에서 k는 4일 경우, ratio는 55.0%를 확인하였으며, cluster 중심점의 가스사용량이 최대인 cluster 1에 해당하는 21.8%에 해당하는 75개동 아파트를 기본형 범위에서 KMC를 적용한 그린리모델링의 대상 아파트로 선정하였다.

(6) 축소형 범위에 CPM과 KMC를 통해 선정한 대상 아파트를 비교한 결과에서 전체 41개동 대상 아파트를 확인하였으며, 63.4%에 해당하는 결과가 일치하는 26개동 아파트를 도출하였다. 또한, 결과가 불일치하는 36.6%에 해당하는 15개동 아파트는 HS-HE 사분면에서 일치하는 아파트와 매우 근접한 위치임을 확인하였으며, 상대적으로 아파트의 에너지성능이 우수함을 도출하였다. 이를 통해 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법에 대한 적용 타당성을 검증하였다.

(7) 축소형과 기본형 범위에 KMC를 통해 선정한 대상 아파트를 비교한 결과에서 전체 28개동 대상 아파트를 확인하였으며, 75.0%에 해당하는 결과가 일치하는 21개동 아파트를 도출하였다. 또한, 결과가 불일치하는 25.0%에 해당하는 7개동 아파트는 일치하는 아파트에 비해 가스사용량이 적으나, cluster 2에 비해 높음을 확인하였다. 이는 범위에 따른 아파트의 수효 차이로 인하여 발생한 오차로 판단하였다. 이를 통해 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법에 대한 활용 유효성을 검증하였다.

본 연구에서는 기존 건축물의 실제 에너지소비량을 바탕으로 건축물의 에너지성능을 평가하는 CPM의 한계점을 극복하기 위해 새로운 방법론을 개발하고자 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법을 제안하였다. 이를 위해 신뢰구간에 따른 축소형과 기본형 범위에 CPM과 KMC를 적용하여 아파트의 에너지성능을 평가하고, 이를 기반으로 그린리모델링의 대상 아파트를 선정하였다. 그리고, 각 평가방법을 통해 선정한 대상 아파트를 상호 비교함으로써 KMC를 이용한 새로운 에너지성능 평가방법에 대한

적용 타당성과 활용 유효성을 검증하였다. 향후 연구에서는 KMC의 조사대상 건축물의 수효나 용도에 대한 입력 데이터를 확장하고, 이에 따른 영향력과 안정성을 분석하는 등 세부적인 연구가 진행될 것으로 기대된다. 이러한 노력을 통해 구체적인 방법론에 대한 근거를 제시할 수 있을 것으로 기대한다.

## 참고문헌

- 1) 관계부처 합동. (2018). “2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안”, p.3.
- 2) 2050 탄소중립위원회. (2021). “2050 탄소중립 시나리오”, p.12.
- 3) 국토교통부. (2021). “국토교통 탄소중립 로드맵”, pp.4-7.
- 4) 국토교통부. (2019). “제2차 녹색건축물 기본계획”, pp.8-22.
- 5) 도시 및 주거환경정비법 시행령 제2조 제3항 (2016. 01. 25).
- 6) 국토교통부(건축물 생애이력 관리시스템). (2022). “전국 노후도별 건축물 현황”.
- 7) 김성임, 양인호, 하수연, 이수진, 진혜선, 서인애, 송승영. (2020). 계측데이터를 이용한 업무시설에서의 에너지용도별 사용량 추정방법 연구. 대한건축학회 논문집 - 구조계, 36(5), 165-176.
- 8) 우혜지. (2016). 실측 에너지 데이터를 통한 건물 에너지 소비 패턴 분류에 관한 연구: A study on classifying building energy consumption pattern using actual energy data.
- 9) 윤진하, 이병희, 여명석, 김광우. (2017). Change Point Model을 활용한 대학건물의 에너지 소비패턴 분류 및 에너지 영향인자에 따른 분석. 대한건축학회 논문집 - 구조계, 33(11), 71-78.
- 10) 이도형, 김태연, 원종연, 최동호. (2022). 그린리모델링을 통한 노후 근린생활시설 및 주택의 에너지성능 및 열환경 개선 효과 분석. 한국건축친환경설비학회 논문집, 16(6), 449-464.
- 11) 김동일, 이병호. (2020). 그린리모델링 건물에 대한 에너지소비량 및 보정 사례연구. 한국태양에너지학회 논문집, 40(5), 47-58.
- 12) Mehregan, M., Naminezhad, A., Vakili, S., & Delpisheh, M. (2022). Building energy model validation and estimation using heating and cooling degree days (HDD-CDD) based on accurate base temperature. Energy Science & Engineering, 10(9), 3638-3649.
- 13) 김성임, 양인호, 하수연, 이수진, 진혜선, 서인애, 송승영. (2020). 업무시설에서의 에너지용도별 사용량 추정방법에 관한 연구. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 257-260.
- 14) 정성혁, 손은조, 이승복. (2021). Change Point Model을 활용한 건물의 에너지 소

비패턴 분석 방법. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 297-300.

15) 최한성. (2021). 가스사용량 데이터를 회귀모델에 적용한 울산지역 공동주택의 에너지 성능 평가 (Doctoral dissertation, 울산대학교 일반대학원 건축학과).

16) ASHRAE Guideline 14. (2014). Measurement of energy, demand, and water savings. ASHRAE guideline. 4. 1-150.

17) 윤영란, 신상현, 문현준. (2017). 클러스터링 기반 건물 용도별 에너지 소비 패턴 분석. 한국생활환경학회지, 24(2), 232-237.

18) 오지현, 김혜기, 최병주, 김선숙. (2022). 월별 에너지 사용량 패턴 분석을 통한 업무시설 에너지 절감 방안 도출. 대한건축학회논문집, 38(5), 139-146.

19) 국토교통부(건축물 생애이력 관리시스템). (2022). “2021년 전국 용도별 건축물 현황”.

20) 국토교통부(건축물 생애이력 관리시스템). (2022). “2021년 전국 주거용 건축물 현황”.

21) 산업통상자원부, 한국에너지공단. (2022). “2021년도 에너지소비량 통계”. pp.10-34.

22) 산업통상자원부. (2022). “2020년도(2019년 기준) 에너지총조사 보고서”.

23) 건축물의 에너지절약설계기준. 제5조 10항 (2023. 02. 28).

24) 기상청. (2022). 종관기상관측(ASOS), “2011년도 울산광역시 월평균 외기온도”.

25) 김혜기, 김덕우, 이승언, 김선숙. (2022). 건축물 에너지 사용 청구기간 조정에 따른 Change Point Linear Model 비교. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 467-468.

26) 기상청. (2022). 종관기상관측(ASOS), “2010년도 울산광역시 월평균 외기온도”.

27) 김혜기, 김덕우, 이승언, 김선숙. (2023). Change Point Linear Model을 활용한 사용용도별 에너지소요량 및 사용량 비교. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 860-861.

28) Pandey, R. (2015, December). Elective Recommendation Support through K-Means Clustering Using R-Tool. In 2015 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN) (pp. 851-856). IEEE.

29) Kim, D. W., Ahn, K. U., Shin, H., & Lee, S. E. (2022). Simplified Weather-Related Building Energy Disaggregation and Change-Point Regression: Heating and Cooling Energy Use Perspective. Buildings, 12(10), 1717.

30) 최한성, 이영아, 김기한. (2019). 가스사용량 데이터를 이용한 APT의 에너지성능 해석. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 353-354.

31) 황혜미, 이성희, 박종배, 박용기, 손성용. (2015). 계층적 군집분석방법을 활용한 건물 부하의 전력수요예측. 전기학회논문지, 64(1), 41-47.

32) 김선호, 윤영란, 문현준. (2016). Load shape parameter 및 overlay load profiling 을 활용한 건물 에너지 사용 특성 분석 및 분류. 한국건축친환경설비학회 논문집, 10(2), 175-182.



## Abstract

Since the industrial revolution, the use of fossil fuels has increased rapidly at the national level, resulting in an increase in greenhouse gas emissions and accelerating global warming. Due to this phenomenon, the world is aiming to improve and develop the environment and support policies at the national level to cope with the problem of climate change. In particular, the energy consumption of buildings accounts for 28.1% of the total energy consumption in South Korea, and energy saving in buildings is expected to bring long-term effectiveness in responding to climate change given buildings' long life-span. To this end, the government of South Korea has released the "The 2nd Green Building Basic Plan". However, unlike energy regulations for new buildings, policy in green remodeling, a project for energy remodeling of existing building, lacks relevant strategic plans.

Currently, green remodeling is being implemented for old buildings, defined as buildings that have passed the period stipulated by the ordinance, ranging from 20 to 30 years after completion, according to Article 2 of the Enforcement Decree of the Urban and Residential Environment Maintenance Act. In general however, this approach is less effective as it does not take into account the impacts of individual building' characteristics and occupant related factors on energy performance of a building. Therefore, in order to promote effective green remodeling, it is necessary to develop a systematic procedure to assess energy performance of existing buildings and identify buildings for green remodeling.

In this study, a Change-point regression model(CPM) was used to evaluate energy performance of residential buildings. CPM is a method to derive the energy performance of a building through linear regression analysis based on the correlation between the actual energy consumption of the building and the outside air temperature. One of the shortcomings of this method is that there must be a linear correlation between building energy consumption and outdoor climate conditions. in other words, CPM is less applicable for buildings with inconsistent energy use. therefore, a new energy performance evaluation method, applicable to all existing buildings, is needed.

In effort to overcome CPM shortcoming, this study applies k-means cluster(KMC) to assess energy performance of existing buildings. KMC is a method that analyzes the pattern or similarity of machine-learned data based

on input data and performs clustering by assigning input data to k clusters for classification purposes. This study proposes a new energy performance evaluation method using KMC to overcome the limitations of CPM.

Residential buildings are selected for this study as they make the majority of existing buildings in South Korea, and 344 apartment complexes in Ulsan City are selected for the study. Monthly gas consumption per unit area and average monthly outside air temperature from the South Korea Meteorological Administration were collected from the bills of the sampled apartments and used as input data for the energy performance evaluation method.

In this study, we conducted preliminary work on the sampled apartment complexes by considering the confidence interval of the CPM, and defined two scopes: a reduced scope of 114 apartments that satisfied the confidence interval and a basic scope of 344 apartments that did not reflect the confidence interval. Based on the input data of the sampled apartments according to the scope, each evaluation method was applied, and the results of Green Remodeling's target apartment selection and comparison are as follows.

(1) The energy performance evaluation method using CPM for 114 apartments in the scaled-down scope used three-parameter change-point for heating. Through the model, 3 parameters, namely base-load, heating slope(HS), and change-point temperature, are derived and heating energy(HE) is calculated for each apartment. Using the model's parameters, the HS-HE quadrant is created, and 39 apartments ( 34.2% of the sampled apartments) are identified as target apartments for green remodeling.

(2) In the case of KMC for 11 apartments in the scale-down scope, the optimal number of cluster, defined as an elbow point based on the ratio, is set to 3 with a ratio of 51.5%. Through KMC results, cluster of 28 apartments (24.6% of the sample) with the highest energy consumption is identified as the target for green remodeling.

(3) To verify the applicability of KMC as an energy performance evaluation method for existing buildings, the identified target apartments from CPM and KMC are compared. Results indicate that 63.4% of green remodeling target apartments are identified by both approaches. In addition, 15 apartment, 36.6% of the non-match, are located very close to the match apartment in the HS-HE quadrant, suggesting that their energy performances are relatively good. This indicates that KMC can be applied to assess and

prioritize existing buildings for energy remodeling.

(4) After confirming KMC applicability, the approach is now applied to identify green remodeling target when all the sampled apartments are included in the clustering dataset (full scope of 344 apartments). The optimal number of clusters is set to 4 with a ratio of 55.0%. KMC identified 75 apartments (221.8% of the sample) as target apartment for green remodeling.

(5) Lastly, the identified target apartments by KMC from both reduced scope (114 apartments) and full scope (344 apartments) are compared. In this process, in order to minimize the error caused by the difference in the number of apartments in each scope, the comparison of the results from full scope is limited to 114 apartments that matched the reduced scope. The results indicate that 75.0% of the identified target apartments match from both the reduced and full scope. In addition, we found that 7 apartment, 25.0% of the non-match results, consume less energy compared to match apartments, but more than cluster 2. This is considered as an error due to the difference in the size of the dataset for reduced and full scope.

This study aimed at developing a methodology for selecting buildings for green remodeling based on their energy performance as a strategy to promote green remodeling of existing buildings. For this purpose, a new energy performance evaluation method was proposed by introducing KMC, in effort to overcome the limitations of CPM. In this study, the energy performance evaluation through CPM and KMC is conducted and target apartments for green remodeling are identified based on both methods. In addition, by comparing the target apartments of each green remodeling, the applicability and validity of the new energy performance evaluation method using KMC are verified. Future work will expand the input data of KMC to include the age and use of the sampled buildings, and to analyze the impact and stability of KMC. These efforts are expected to provide a basis for a specific methodology for green remodeling.

## 감사의 글

학위논문을 마무리하면서, 제가 받을 수 있었던 도움과 지원에 모두 감사드립니다.

먼저 논문을 지도해 주신 김기한 교수님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 교수님의 지혜로운 조언과 끊임없는 격려 덕분에 이 연구를 완성할 수 있었습니다. 2년의 짧지 않은 시간 동안 부족한 저에게 많은 가르침을 주셔서 진심으로 감사드립니다.

저의 미흡한 논문을 심사해 주신 손기영 교수님, 윤나리 교수님과 조언을 아낌없이 나누어 주신 김대경 교수님, 임명관 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 교수님들의 귀중한 시간과 의견을 통해 이 논문이 더욱 완성도 높게 성장할 수 있었습니다.

또한, 학위논문을 완성하기까지 희로애락을 함께한 BEEL 연구실의 동료인 Amina Irakoze와 정소현에게 감사의 인사를 전하고 싶습니다. 함께한 동료들 덕분에 항상 연구실의 활기찬 분위기를 유지할 수 있었습니다. 연구실에서 함께한 시간 동안 소통했던 모든 순간에서 항상 긍정적이고 협력적인 모습으로 저에게 큰 힘이 되어주셔서 진심으로 감사합니다.

인생에서 가장 소중한 가족들에게도 감사의 인사를 전하고 싶습니다. 저의 연구 활동을 지지하고 격려해 주신 아버지, 어머니, 동생에게도 고마움과 사랑의 마음을 전합니다. 앞으로는 그 무한한 사랑에 보답하기 위해 항상 최선을 다하는 딸이자 누나의 모습으로 더 큰 행복을 선사할 수 있도록 노력하겠습니다.

“어려움은 항상 기회를 감추고 있는 것.”이라는 말은 어려운 순간에도 새로운 가능성과 기회가 숨어있다는 의미입니다. 이처럼 앞으로의 수많은 도전을 긍정적인 마음가짐으로 받아들이고, 그 속에서 성장하고 배우며 나아가겠습니다. 감사합니다.

석 소 이 드림