

지역난방 사용자 구성비에 따른 열소비 패턴 분석

이훈 · 이민경 · 김래현[†]

서울과학기술대학교, 에너지환경대학원, 화공생명공학과
(2013년 2월 13일 접수, 2013년 4월 26일 수정, 2013년 4월 26일 채택)

Heat Consumption Pattern Analysis by the Component Ratio of District Heating Users

Hoon Lee · Min-Kyun Lee · Lae Hyun Kim[†]

Graduate School of Energy & Environment, Department of Chemical Eng.,
Seoul National University of Science and Technology

(Received 13 February 2013, Revised 26 April 2013, Accepted 26 April 2013)

요 약

본 연구에서는 서로 다른 위도의 도시 유형별로 주택과 건물 구성비를 가진 3지역을 선정하여 대상 지역별로 2008년 1년간(1.1~12.31)의 실제 운전실적을 이용하여 지역난방 사용자의 일일 및 연간 열소비 패턴을 분석하고, 지역별 상호 차이점을 파악하기 위하여 주택과 건물의 열소비 패턴을 비교 분석하였다.

특히 본 연구에서는 실제 주택 및 건물 지역난방 사용자가 사용한 열소비 패턴을 매시간대별로 파악하고, 연결 열부하(난방면적 × 단위열부하 : 시설용량과 지역난방 배관망의 설계기준이 되는 열부하로 난방면적에 용도별 단위열부하를 곱하여 산출[Gcal/h])와의 관계를 분석하여 일일, 연간 및 최대 부하율 결과값을 도출함으로써 주택 및 건물 지역난방 사용자 비율에 따른 최적의 열원시설 용량산정이 가능케 하고 수요개발(해당 시설용량으로 열공급이 가능한 지역난방 사용자의 범위로 각 사용자기계의 열연결열부하 합과 같음.)단계에서의 정확한 방향을 제시할 수 있는 근거를 도출하였다.

주요어 : 지역난방, 열소비패턴, 열부하, 최대열부하*, 열수요, 연결 열부하

Abstract - To run an optimal operation of Integrated energy supply facilities, we need to analyze heat consumption patterns of District heating users and derive optimum and maximum load ratio of heat production facilities unit.

This study selects three District heat production facilities. It also classifies District heating users into residential apartment buildings and eight non-residential buildings and analyzes heat consumption results for an year. Finally it carries out the analysis of how the ratio change of each type affects maximum load ratio, facility utilization ratio, heat supply range.

According to this study, three different District heat facilities of residential apartment building show similar daily and annual heat consumption patterns. Annual average load ratio, maximum load ratio and annual heat demand increase as outdoor temperatures decrease. Non-residential buildings in urban District focused on apartment buildings display similar by the daily and annual heat consumption patterns. Yet their daily and annual maximum load ratio differ according to outdoor temperature, District, building types and their composition ratio.

In the case of urban District focused on apartment buildings reach optimum and maximum load ratio when apartment buildings reaches 60-70% of the total. At that point heat supply range becomes maximized and the

[†]To whom corresponding should be addressed.

most economic efficiency is obtained.

Key words : District heating, heat consumption patterns, maximum load ratio, heat load forecasting.

1. 서 론

집단에너지사업은 대규모 열생산 시설에서 생산된 열을 특정 지역내에 있는 모든 열수요자에게 일괄 공급하는 방식이므로 해당 지역내에는 다양한 형태의 지역난방 사용자가 혼재하게 된다. 주거용 건물(이하 “주택”)과 비주거용 건물(이하 “건물”)의 에너지 사용량에 대한 연구는 데이터분석, 실측시험 및 시뮬레이션을 통해 그동안 많은 연구가 수행되었으며 최근에는 지역난방열을 사용하는 주택에 대한 연구도 진행되고 있다.

1990년 반 등¹⁾은 건축물의 에너지 소비량에 대해 자료 조사를 하였고 1994년 강 등²⁾은 주택 4,500 세대에 대한 실측을 통해 세대별 난방사용량을 조사하였다. 2007년 유 등³⁾은 건축공법발전과 건축자재 성능향상 등을 고려하여 주택 단위난방부하 산정방법을 연구하였고, 주택에서 실내환경, 건물 내에서 세대의 위치(층고, 측면 및 중앙 등), 건물의 방향 및 단열 조건에 따른 에너지사용량에 대한 연구 등도 다수 수행되었다.⁴⁻⁷⁾

2009년 정 등⁸⁾은 지역난방열을 사용하는 주택 484세대를 대상으로 외기온도 변화에 따른 난방 열부하 변화와 시간대별 난방열소비 실태를 실측하여 열소비 패턴을 연구한 바 있으며, 2009년 이 등⁹⁾은 수도권에서 열배관 네트워크로 연결된 여러 집단에너지 시설에 대하여 외기온도, 지리적 여건, 설비특성 및 경제성 등을 고려한 최적설비 운영방법에 대해 연구하였다. 2010년 최 등¹⁰⁾은 대구지역의 지역난방 사용자를 대상으로 주택과 건물의 비율별 열소비 패턴변화를 분석하였다.

국외의 연구로는 2002년 Erik Dotzauer¹¹⁾은 지역난방시설 최적운동을 위하여 외기온도 변화시 열부하 예측모델을 제시하였고, 2002년 A.J. Heller¹²⁾는 집단에너지시설 최적구성을 위한 열부하 추정모델을 제시하였으며, 2007년 Jacob Stang 등¹³⁾은 집단에너지

시설 최적구성을 위한 열 및 전기부하 예측모델을 제시하였다.

이상의 국내 연구들은 근래에 급속히 보급되고 있는 주택의 세대단위 또는 건물단위의 에너지사용량 또는 에너지사용실태에 대한 연구에 국한되어 있다. 세부적으로 보면 외기온도변화, 건축공법발전, 건축자재의 성능개선, 세대간 열이동, 건물의 방향, 세대의 위치, 시간에 따른 열부하변화 및 난방방식(간헐난방과 연속난방) 변화를 조사 분석한 것으로 지역난방사용 주택의 단위난방부하 산정 등에 한정적으로 유용한 기초연구들이다.

외국의 연구들은 기 정해진 지역난방 사용자를 대상으로 외기온도 변화 등에 따른 열부하 예측에 대한 연구로서 설비운영 최적화나 사업계획단계에서 최적설비 용량산정을 목적으로 수행되었다.

주택 및 건물의 시간에 따른 열소비 패턴은 차이가 있다. 본 연구에서는 운영실적을 토대로 지역난방사업장 단위 측면에서 주택과 건물의 구성 비율이 최대부하율(최대열부하 ÷ 연결열부하 : 연결열부하 대비 최대열부하의 비율), 연간열사용량 및 열 생산 시설의 이용률에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 본 연구에서는 연구대상 지역으로 주택이 약 90%를 차지하는 주택중심인 주거형 도시 중에서 2개 지역(남부지방 A-1지역, 중부지방 A-2지역)과 비주거용 건물이 약 60%를 차지하는 업무형 도시(중부지방 C 지역) 1개 지역을 선정하여, 1년 동안의 운영실적을 중심으로 분석하고, 일일, 연간 및 최대 부하율 결과 값을 도출함으로써 주택 및 건물 지역난방 사용자 비율에 따른 최적의 열원시설 용량산정이 가능케 하고 수요개발단계에서의 정확한 방향을 제시할 수 있는 근거를 도출하고자 하였다.

2. 지역난방 사용자 분류 및 자료수집

2-1 지역난방 사용자 분류

지역난방 사용자를 분류하는 방법에는 여러 가지가 있다. 현재의 지역난방 요금체계에서는 크게 아파트 중심의 주택용, 은행 및 개별 기업체 등 영리를 목적으로 하는 업무용, 학교 등 사회복지를 목적으로 하는 공공용 등으로 구분하여 3가지로 분류하고 있다. 하지만 효율적인 연구 수행을 위하여 본 연구에서는 Table 2-1 에서와 같이 지역난방 사용자를 열소비 특성별로 총 9가지로 세분화하였다. 이와 같이 지역난방 사용자를 세부적으로 분류함으로써 연구결과의 신뢰성을 높이고 다양한 분석을 할 수 있게 되었다.

본 연구에서는 용어 사용의 일관성을 기하기 위하여 분류기호 1에 해당되는 ‘주택’을 이후에는 ‘주택’으로 명기하고, 분류기호 2에서 9까지를 일괄하여 ‘건물’이라고 명기하였다.

2-2 열소비 실태 자료수집

연구수행을 위한 대상 지역별 운영실적 조사를 위하여 2008년 1월 1일 00시 부터 12월 31일 24시까지 총 8,760시간(1년) 동안의 모든 지역난방 사용자의 매시간 단위의 열사용 순시치를 수집, 분석하였다.

인류는 불을 발견한 이후 겨울동안에 거주지를 따뜻하게 유지하기 위하여 연료로 필요한 나무의 양을 통계적으로 예측하고 준비해왔다. 즉 난방에 필요한 에너지양을 예측한 것이다. 오늘날 인구증가와 도시화에 따라 주거형태는 대단위 아파트 단지로 업무공간은 대형건물 중심으로 바뀌었고 난방방법도 효율적이고 경제적인 중앙집중식으로 바뀌고 있다.

중앙집중식 난방방식을 채택하는 경우에는 각 사용자가 실제 사용한 에너지 사용량에 따라 난방비를 부담하도록 하여 사용자간 또는 에너지 공급자와 소비자 간의 분쟁의 소지를 없애는 것이 중요하다. 또한 각 사용자가 자신이 사용하고 있는 에너지 사용량을 인지하고 사용할 에너지양을 예측할 수 있도록 한다면 에너지 소비량을 감소시키는 효과도 기대할 수 있어서 에너지 자원을 수입에 의존하고 있는 우리나라에서 에너지 정책에도 도움이 될 것이다.

“지역난방 열사용시설기준 제13조(기계실 열

Table 2-1. The classification of district heating users

분류 기호	지역난방 사용자 종류	구분
1	주택	주택
2	교육시설 (학교, 유치원 등)	건물
3	공공기관	
4	업무용빌딩 (은행, 일반 기업체 등)	
5	대형상업시설 (E-mart, 홈플러스 등)	
6	목욕탕, 사우나 시설	
7	숙박시설, 오피스텔	
8	병원	
9	종교시설	

계량장치의 설치기준 등)”에 의하면, 모든 지역난방 사용자는 열사용량 검침을 위해 Fig. 2-1 과 Fig. 2-2 같은 열계량장치를 설치하여야 한다.

열계량장치는 최대 120 ℃로 공급되는 1차측 지역난방수 공급온도와 세대별 난방을 위해 열교환기에서 열을 전달해주고 환수되는 1차측 지역난방수 회수 온도를 측정하여 그 온도차와 유량부에서 측정한 유량값을 연산부에서 환산하여 사용한 열량을 측정한다. 즉 정확한 에너지 사용량을 산정하기 위해서는 에너지 공급매체의 유량을 측정하는 유량부와 에너지 공급매체의 입구·출구 온도를 측정할 수 있는 온도부 및 사용된 열량을 계산하는 연산부가 필요하다.

본 연구수행과 관련하여 설치한 열계량장치의 형식은 다음과 같다. 연산부의 경우, 전원은 AC Free Volt, 60 Hz/DC Volt 겸용이며 입력신호는 유량부는 Pulse 방식이고 감온부는 공급, 회수용 RTD(Pt 100 Ω 또는 Pt 500 Ω @ 0℃), 3 Wire 또는 4 Wire 이고 출력신호는 연산부 표시사항과 항상 일치하며, 출력항목 중 열량(적산순시)값은 열량단위 변경시 검침 PC에서 동일한 단위로 검침되도록 시스템을 구성하고 감온부 센서장애, 케이블 단선·단락 또는 감온부 설치위치 오류시 측정이 되지 않으며, 장애발생 표시 및 출력되도록 시스템을 구성하였다. 유량부의

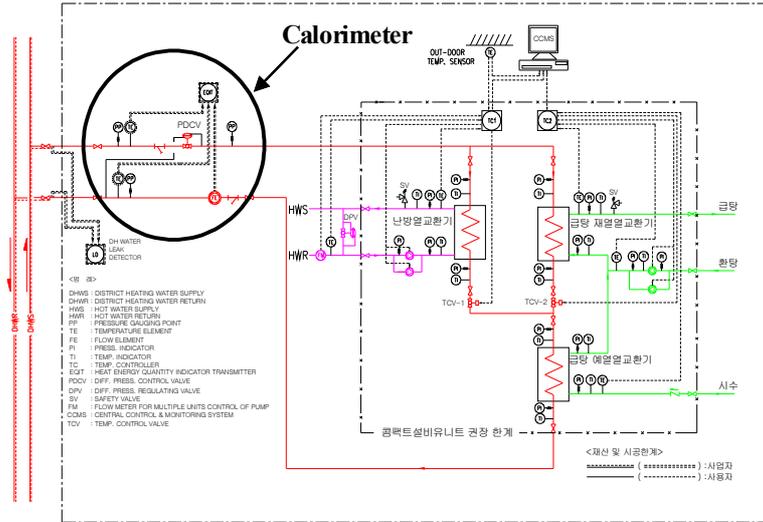


Fig. 2-1. The drawing for equipment installation and heat measurement



Fig. 2-2. The photo of device of heat measurement

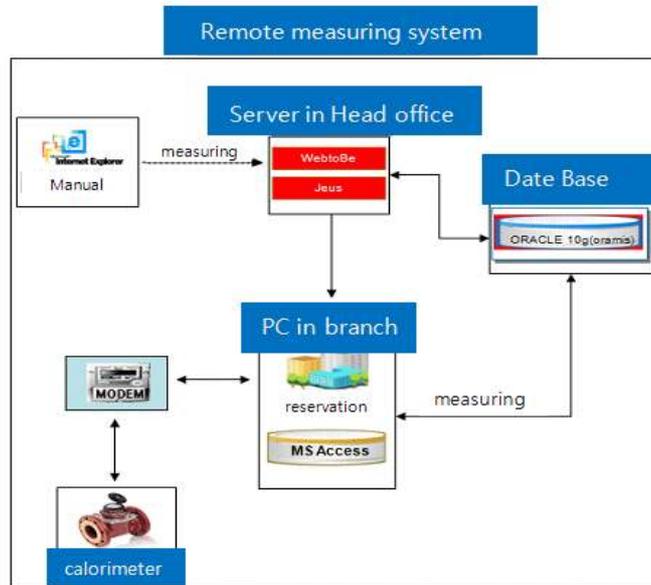


Fig. 2-3. The photo of device of heat measurement

Table 3-1. The classification of district heating users

구 분	A-1 지역	A-2 지역	C 지역
‘주택’ 사용자 (개소)	113	146	15
연결열부하 (Gcal/h)	488	618	41
난방면적 (천m ²)	7,455	8,959	624
개소당 연결열부하 (Gcal/h / 개소)	4.3	4.2	2.7
개소당 평균난방면적 (천m ² /개소)	66	61	42

경우는 난급탕용 형식은 임펠러 또는 터빈 Type 이고, 외형 재질은 KS D 4302(구성흑연 주철품) 또는 동등품 이상이며, 형식은 Counter 또는 LCD 6 Digits 이상으로 표시, 출력신호는 20A ~ 40A는 10 L/Pulse, 50A ~ 125A는 100 L/Pulse, 150A ~ 250A는 1,000 L/Pulse 이다.

Fig. 2-3 에서와 같이 개별 지역난방 사용자의 열사용량 실적자료 수집을 위해서 사용자기계실에서 검침한 열사용량 순시치를 모뎀을 통하여 해당 사업장의 원격검침 PC로 전송하고, 이것을 다시 본사의 데이터베이스를 통하여 웹서버에 일괄 저장하도록 하였다. 이러한 방식으로 3개 연구대상 사업장 내의 모든 지역난방 사용자의 2008년 1년간의 열사용 실적을 수집한 후 다운로드 과정을 통하여 금번 연구과제를 수행하게 되었다.

Table 3-1과 3-2를 보면 2008년 1년 동안 A-1 지역의 주택과 건물 사용자는 113개, 80개로 총 193개에 대해서 매시간대의 열사용량의 순시값을 집계해보면, 193개 × 8,760h ≃ 1,690,000 개가 나왔는데 이를 다시 시간순으로 정리하면 8,760개의 Data가 얻어진다. 이를 지역난방 사용자의 분류기호로 이용하면 총 9 종류로 분류되어 상세한 분석이 가능하도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1 용도별 열소비 패턴 분석-주택

3-1-1 지역별 주택 연결 열부하 현황

Table 3-1 에서와 같이 A-1 및 A-2 지역과 C지역에 대한 각각의 특성을 제시하였다. C 지역은 상대적으로 주택 사용자 개소 및 난방면적이 소규모이다. 또한 개소당 평균연결열부하 및 평균난방면적에서도 C 지역은 개소당 2.7 Gcal/h, 42 천m² 에 불과하여 A-1 및 A-2 지역에 비하여 소규모의 아파트 단지로 구성되어 있다. 각 지역별 주택의 연결열부하는 A-2 지역이 가장 크고 C 지역은 상대적으로 매우 소규모인 것을 확인할 수 있다.

3-1-2 주택 일일 부하율 곡선

2008년 운영실적을 기준으로 주택의 연결 열부하 대비 실제 부하율이 어떠한 패턴으로 형성이 되었는지 일일 기준으로 분석하였다.

특정 날짜를 선정하여 분석할 경우에는 외기온도의 영향 또는 공휴일 등의 다소 특이한 패턴을 보일 수 있으므로 여기에서는 2008년 1월 1일 00시 부터 1월 31일 24시 까지의 기초자료를 활용하여 1월 월 평균 일일 부하율 곡선으로 분석하였다.

즉, 하루 중에도 외기온도가 급격히 낮아지는 시간이 발생될 수 있으며 평일과 휴일의 열소비 패턴의 차이를 감안하여 월평균으로 분석할 경우에는 전반적인 흐름을 파악하는데 유리하다.

Fig. 3-2 에서 보면 3개 지역의 일일 ‘주택’ 부하율 패턴은 매우 흡사하였다. 새벽시간까지 다소 낮아지는 추세에서 아침에 일어나는 시간에는 집중적으로 열소비가 컸으며 이후에는 급격히 하락하여 오후 15시 경에 가장 최저점을 형성하였다가 이후 다시 상승하여 밤 22시 전후에 일일 Peak를 기록하는 형태를 보이고 있다.

규모가 큰 A-1, A-2 지역과 규모가 작은 C 지역 모두 동일한 패턴을 보이는 것을 볼 때, 대부분의 주택은 이와같은 형태로 열소비를 하게 되며 일일 주택 열부하 또는 부하율의 Peak는 밤 22시에 걸리게 되는 것을 알 수 있었다.

다만, 부하율의 패턴은 동일하게 나왔음에도 불구하고 그 크기는 C 지역이 가장 크고 A-2, A-1 지역의 순서로 나타난 것은 외기온도에 따른 영향으로 판

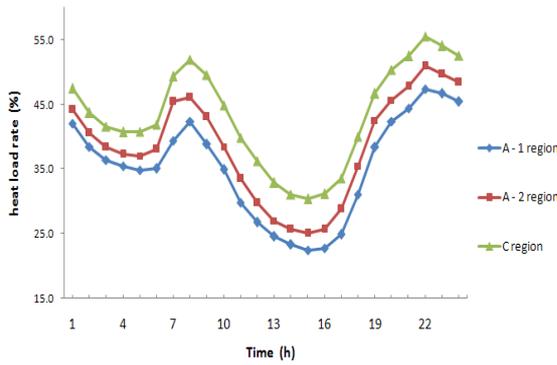


Fig. 3-2. Averaged daily curve of apartment heat load rate for three region during January

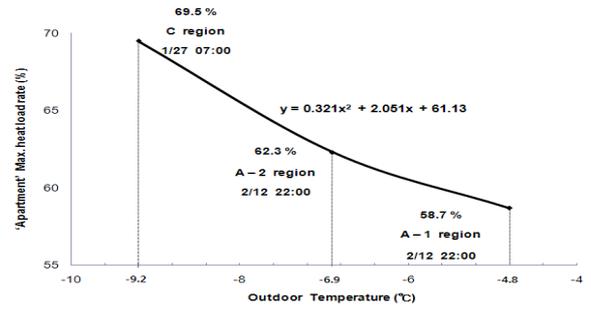


Fig. 3-4. Averaged daily curve of apartment heat load rate for three region during January

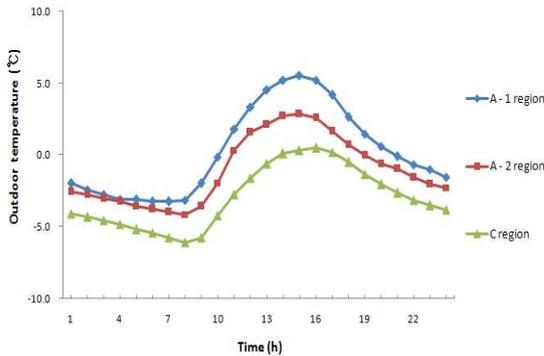


Fig. 3-3. Averaged daily curve of outdoor temperature for three region during January

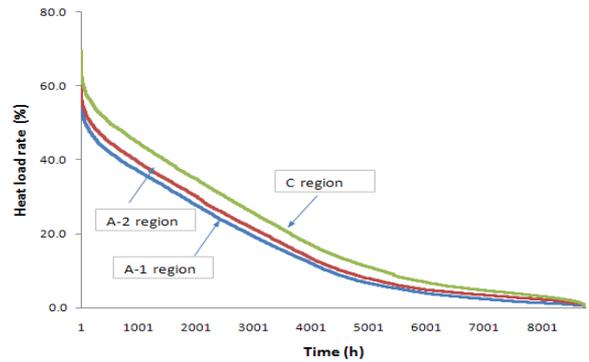


Fig. 3-5. Yearly duration curve of apartment heat load rate for three regions

단되며 Fig. 3-3 에서 하루 중 온도변화를 나타내었다. 즉, 2008년 1월 월평균 시간대별 외기온도 곡선을 3개 지역에 대하여 그래프에서 비교해본 결과 외기온도는 부하율 패턴과 정확히 반대 형상으로 나타났다.

이와같이 주택의 일일 부하율 곡선의 패턴은 모든 지역에서 동일하게 나타나게 되며, 크기는 외기온도와 반비례하는 것으로 나타났다.

3-1-3 외기온도와 주택 최대부하율 관계

2008년 실적을 기준으로 주택 부분에 대한 최대부하율 발생현황과 이때의 외기온도와의 관계식을 분석해 보았다.

주택의 연중 부하율 중 최대값은 남부지방에 위치한 A-1 지역이 가장 낮은 58.7% 이고, A-2 지역이 62.3%, C 지역이 69.5%를 기록하여 해당지역의 위도(Latitude)와 일치하였다.

Fig. 3-4 에서와 같이 최대부하율 발생시각을 비교해보면, A-1 지역과 A-2 지역은 2월 12일 22시로 같

은 시각에 발생하였으며, C 지역은 1월 27일 07시에 발생하였다. 최대부하율과 외기온도의 관계를 살펴보면, A-1 지역은 최대부하율 발생시 -4.8°C, A-2 지역은 -6.9°C, C 지역은 -9.2°C 로 이 또한 해당지역의 위도와 일치하였다.

외기온도와 최대부하율의 관계식을 나타내 보면 다음과 같다.

“ $y = 0.321x^2 + 2.051x + 61.13$ ” (y : 최대부하율, x : 외기온도)

3-1-4 주택 부하율 연간누적곡선

2008년 실적을 기준으로 주택 부하율의 연간누적곡선을 분석해 보았다.

Fig. 3-5 의하면, 주택 부하율의 패턴은 최대부하율을 기점으로 약 200 시간까지 급격히 하락하다가 이후에는 완만하게 낮아지는 형태를 보이고 있으며 대략 5000시간이 지나면 지역난방 사용자의 열사용량은 매우 미미해 짐을 알 수 있다.

Table 3-2. The relation of average outdoor temperature and average apartment heat load rate for three regions in winter

구 분	A-1 지역	A-2 지역	C 지역
동절기 평균외기온도 (°C)	0.7	-1.0	-1.4
연간열사용량 (천Gcal/연)	610	919	71
연결열부하 (Gcal/h)	432 ~ 487	618	40
주택 연평균부하율 (%)	15.8	17.5	20.8

이와같은 형태는 해외의 연구사례 중 Murakami 등37)이 연구한 스웨덴 지역의 주택에서 소비되는 열소비 패턴과도 거의 일치하였다.

3개 지역을 비교해보면, 위도가 높은 지역에 위치하여 외기온도가 가장 낮은 C 지역의 경우 연중 3개 지역 중 부하율도 가장 높게 형성되었으며, 외기온도가 가장 높은 지역에 위치한 A-1 지역은 부하율도 가장 낮은 것으로 조사되었다

3-1-5 동절기 평균 외기온도와 주택 연평균부하율 관계

2008년 실적을 기준으로 동절기 평균 외기온도와 주택부문의 연평균부하율 관계를 조사한 결과는 Table 3-2 및 Fig. 3-6과 같다.

4계절의 변화가 뚜렷한 우리나라 기후 특성상 대부분의 열부하는 동절기에 집중되고 있다. 따라서, 동절기 3개월(1월, 2월, 12월) 동안의 외기온도와 주택의 연간 연평균 부하율의 관계를 조사해 봄으로써 외기온도가 낮을수록 열사용량이 많아진다는 것을 운영실적으로 확인해 보았다. 주택의 연평균부하율은 주택의 연간 총열사용량의 평균으로 계산되어진다.

Table 3-2 와 Fig. 3-6 에서 보면, 동절기 평균 외기온도가 가장 높은 A-1 지역에서 연평균부하율이 15.8 % 로 가장 낮고 A-2 지역은 17.5 % 그리고 동절기 평균 외기온도가 가장 낮은 C 지역은 연평균부하율이 20.8 % 로 가장 높게 나타났다.

즉, 동절기 평균 외기온도가 낮을수록 연평균부하율이 높고 열사용량이 많아진다는 것을 보여주었지만 외기온도와 연평균부하율이 선형적인 관계를 나타내

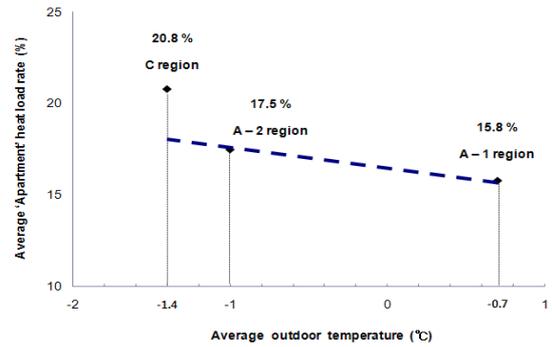


Fig. 3-6. The relation of average outdoor temperature and average apartment heat load rate for three regions in winter

지는 않았다. 이는 대부분 최근에 지어진 C 지역 주택의 건축 기술상의 차이 등으로 추측된다.

3-1-6 분석결과

2008년 운영실적을 기준으로 3개 지역에 대한 “주택” 부문의 열소비 패턴을 지역별로 비교 분석한 결과, 지역에 관계없이 일일 및 연중 열소비 패턴은 유사하게 나타났으며, 외기온도가 낮을수록 일일 부하율, 연평균부하율, 최대부하율은 상승하여 열사용량이 증가하였다. 즉, 일일 부하율, 연평균부하율, 최대부하율은 위도가 높은 쪽에 위치하여 외기온도가 가장 낮은 C 지역에서 가장 높게 나타났고, 상대적으로 외기온도가 높은 A-2 및 A-1 지역의 순으로 점차 낮아지는 것으로 분석되었다.

상기 분석결과에 의하면, 대부분의 주택 사용자들의 하루중 또는 연간 열소비 패턴은 지역에 관계없이 대체로 유사함을 알게 되었다. 하지만, 그 사용량의 크기는 외기온도와 직접적으로 관계가 있으며 외기온도가 낮을수록 지역난방을 많이 사용하게 됨을 본 연구에서는 운영실적을 통하여 입증하게 되었다.

3-2 용도별 열소비 패턴 분석-건물

3-2-1 지역별 건물 연결열부하 현황

Table 3-3 에서 보면, 주택부문에서와 같이 건물에서도 A-1 및 A-2 지역의 경우는 사용자수가 많으나, C 지역은 상대적으로 사용자수가 적다. 그렇지만 사용자당 연결열부하를 비교해보면 A-1 및 A-2 지역은 0.6 Gcal/h 이나, C 지역은 2.6 Gcal/h로 매우 크다. 이것은 C 지역 지역은 타 지역과는 다른 형태의 건물

Table 3-3. The comparison of building user data for three regions

구 분	A-1 지역	A-2 지역	C 지역
‘건물’ 사용자 (개소)	80	149	28
연결열부하 (Gcal/h)	48	92	72
난방면적 (천m ²)	331	777	598
개소당 연결열부하 (Gcal/h / 개소)	0.6	0.6	2.6
개소당 평균난방면적 (천m ² /개소)	4.1	5.2	21

들로 구성되어 있음을 추정해 볼 수 있다.

Table 3-4 는 건물의 세부구성을 상세히 보여주고 있으며 지역별로 상세히 살펴보면, A-1 지역의 경우는 교육시설과 공공기관 중심으로 구성되어 있고 A-2 지역은 교육시설, 공공기관 및 숙박시설(오피스텔 포함) 중심이나, C 지역은 업무용빌딩에 집중되어 있고 공공기관이 일부분 포함되어 있다.

특기사항은 A-1 지역과 A-2 지역의 교육시설 개소가 각각 42개소, 68개소이나, C 지역은 1 개소에 불과하였다.

즉, A-1지역과 A-2지역은 일반적인 주거형 도시의 형태로 볼 수 있으며, C 지역은 비주거형인 업무형 도시의 특성을 보여주고 있다.

또한, C 지역은 업무용빌딩과 공공기관을 제외하고는 대부분의 지역난방 사용자가 1 또는 2개소에 불과하여 A-1 지역 및 A-2 지역과 결과값을 비교하여 열소비 패턴을 일반화 시키는 것은 무리가 있다고 판단된다.

결론적으로 A-1 지역과 A-2 지역은 건물의 구성항목이 유사한 전형적인 주거형 도시의 지역난방 사용자 구성 형태를 보여주고 있으며, C 지역은 업무용빌딩과 공공기관 중심의 비주거형 업무형 도시로 타 지역과는 전혀 다른 지역난방 사용자 구성분포를 가지고 있다. 따라서 주거형도시의 열부하 패턴 예측시에는 C 지역을 제외시키는 것이 타당하다.

3-2-2 건물 일일 부하율 곡선

2008년 운영실적을 기준으로 건물의 연결열부하 대비 실제 부하율 패턴을 분석해 보았다. 앞서 기술한 바와 같이 특정 날짜를 선정하여 분석할 경우에는 외기온도의 영향 또는 공휴일 등의 다소 특이한 패턴을 보일 수 있으므로 여기에서는 2008년 1월 1일 00시 부터 1월 31일 24시 까지의 기초자료를 활용하여 1월 월평균 건물의 일일 부하율 곡선으로 분석하여 나타내었다.

Fig. 3-7 에서 보면 3개의 사업장의 일일 ‘건물’ 부하율 패턴은 대체로 흡사하였다. 새벽시간까지 다소 낮아지는 추세에서 직장인들이 출근하는 아침시간대에 건물의 열소비가 급증하여 일일의 Peak 를 기록하고 이후에는 지속적으로 하락하는 추세를 보였다.

이는 아침시간대에 급격한 상승을 이루고 하락한

Table 3-4. The comparison of building composition for three regions

구 분		A-1 지역		A-2 지역		C 지역	
주택 : 건물 (%)		91 : 9		87 : 13		36 : 64	
건물 구성 [%]	교육시설	3.4	(42)	4.6	(68)	0.7	(1)
	공공기관	2.7	(18)	1.5	(21)	12.4	(6)
	업무용빌딩	0.2	(4)	0.9	(12)	38.4	(14)
	대형상업시설	0.4	(2)	1.9	(5)	3.5	(1)
	목욕탕	0.6	(5)	1.1	(6)	1.4	(2)
	숙박시설	0.2	(3)	2.2	(27)	6.8	(2)
	병원	1.0	(4)	0.1	(3)	0.0	(-)
	종교시설	0.1	(2)	0.1	(7)	0.4	(2)
	계	9.0	(80개소)	13.0	(149개소)	64.0	(28개소)

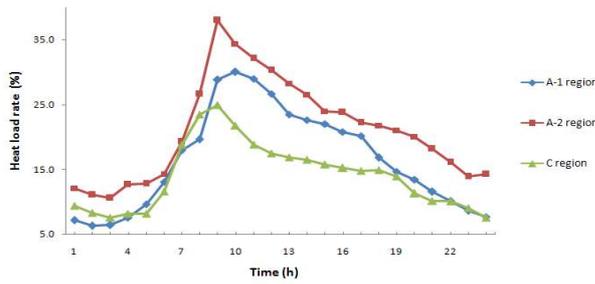


Fig. 3-7. Averaged daily curve of building heat load rate for three region during January

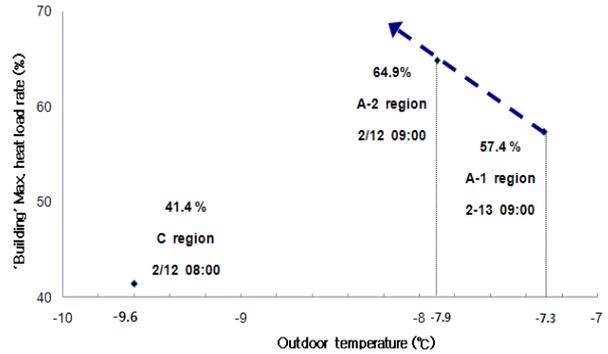


Fig. 3-8. The relation of outdoor temperature and building maximum heat load rate for three regions

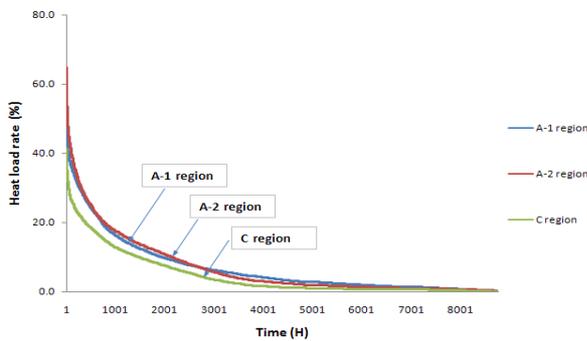


Fig. 3-9. Yearly duration curve of building heat load rate for three regions

후 모든 사람들이 귀가하는 저녁시간대에 다시 급증하여 일일 Peak를 기록하는 주택의 일일 부하율 곡선과는 큰 차이를 보여주고 있다. 즉, 주택과 건물은 아침시간에는 동시에 부하율이 높지만 저녁시간에는 주택만 높고 건물은 매우 낮은 차이점을 나타낸다.

지역별 비교 시에는 건물 구성이 비슷한 A-1 과 A-2 지역은 거의 유사한 부하율 패턴이지만 외기온도가 낮은 A-2 지역의 부하율이 하루내내 높게 나타났으며, 이와는 달리 C 지역은 외기온도가 낮음에도 불구하고 하루내내 가장 부하율이 낮게 나타나서 특이한 패턴을 보여주고 있다. 이는 건물구성 항목별 차이와 대부분이 최근에 건축된 건물로 구성되어 있어 건물의 단열 등 건축기술의 차이 등에 의한 요인으로 추정된다.

3-2-3 외기온도와 건물 최대부하율 관계

2008년 실적을 기준으로 건물 부분에 대한 최대부하율 발생현황과 이때의 외기온도와의 관계를 분석하였다.

Fig 3-8을 보면 건물의 연중 부하율 중 최대값은 남부지방에 위치한 A-2 지역이 64.9 % 로 가장 높고, A-1 지역이 57.4%, C 지역이 41.4% 순서로 나타났다. 즉, A-1 지역과 A-2 지역만 비교해보면 외기온도가 낮은 A-2 지역에서 더 높게 나타났으므로 외기온도가 낮을수록 최대부하율은 높게 나타나는 것으로 분석되었으나 C 지역은 외기온도가 -9.6 °C로 가장 낮음에도 불구하고 최대부하율 또한 가장 낮은 것으로 분석되어 특이한 형태를 보여주고 있다. 이것은 건물 구성항목별 열소비 패턴의 차이 및 건물의 건축연도 차이로 인한 단열 등의 건축물 특성의 차이로 설명될 수 있다.

Fig 3-7을 보면 최대부하율 발생시각을 비교해보면, A-1 지역은 2월 13일 09시 이고 A-2 지역은 2월 12일 09시, C 지역은 2월 12일 08시로 3개 지역 모두 아침 출근시간인 08시 ~ 09시 에 발생하였다.

3-2-4 건물 부하율 연간누적곡선

2008년 실적을 기준으로 건물 부하율의 연간누적곡선 형태를 분석해 보았다. Fig. 3-9 에 의하면, 건물 부하율의 패턴은 최대부하율을 기점으로 약 500시간 까지 급격히 하락하다가 급격히 하락하다가 이후에는 완만하게 낮아지는 형태를 보이고 있으며 대략 3000시간이 지나면 지역난방 사용자의 열사용량은 매우 미미하게 한 것을 보여주고 있다. 여기서 주택과 건물의 연간 열부하 누적곡선을 비교해보면 대체로 유사하지만 한 가지 특이하게 다른 점이 있다. 주택의 경우는 최대부하율에서 급격히 하락한 후 이후에는 다소 완만하게 하락을 하지만 건물의 경우는 급격히 하락하는 구간이 더 길다.

Table 3-5. The relation of average outdoor temperature and average building heat load rate for three regions in winter

구 분	A-1 지역	A-2 지역	C 지역
동절기 평균외기온도(°C)	0.7	-1.0	-1.4
연간열사용량 (천Gcal/연)	27	40	24
연결열부하 (Gcal/h)	43 ~ 48	54 ~ 92	53 ~ 72
연평균부하율 (%)	7.0	7.0	4.9

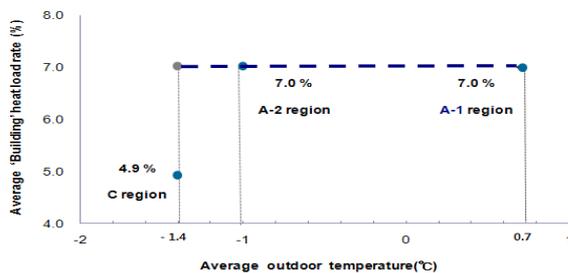


Fig. 3-10. The relation of average outdoor temperature and average building heat load rate for three regions in winter

즉, 건물은 열부하 Peak 값은 주택과 비슷하게 발생되지만 연간 열사용량 관점에서 보면 훨씬 열을 적게 사용하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 건물의 비중이 높아질수록 연간 열사용량 및 열원시설의 이용률 등은 낮아질 수밖에 없다.

3개 지역을 비교해보면, A-1과 A-2 지역에서는 연중 열부하가 비슷한 것으로 분석되었으나, 외기온도가 낮은 C 지역은 오히려 연중 열부하도 낮게 나타나는 특이한 패턴을 보였다. 이는 C지역의 건물들이 최근에 건축되어 건물의 단열 등 건축기술이 우수하며 단위건물의 규모가 크기 때문에 건물 내 열소비 관리를 체계적으로 하는 등에 의한 것으로 판단되나 추가 연구가 필요하다.

3-2-5 동절기 평균 외기온도와 건물의 동절기 평균 부하율 관계

2008년 실적을 기준으로 동절기 평균 외기온도와 건물부문의 연평균부하율 관계를 조사해 보았다. 4계절의 변화가 뚜렷한 우리나라 기후 특성상 대부분의 열부하는 동절기에 집중되고 있다.

따라서, 동절기 3개월(1월, 2월, 12월) 동안의 외기온도와 건물의 연간 연평균 부하율의 관계를 조사해 봄으로써 외기온도가 낮을수록 열사용량이 많아진다는 것을 운영실적으로 증명해 보고자 하였다.

건물의 연평균부하율은 건물의 연간 총열사용량을 건물의 연결열부하로 나누어서 계산할 수 있다.

Table 3-5. 와 Fig. 3-10. 에서 보면, 동절기 평균 외기온도가 0.7 °C로 가장 높은 A-1 지역에서 연평균 부하율이 7.0 %, 외기온도가 -1.0 °C로 다소 낮은 A-2 지역은 7.0 % 로 유사한 것으로 분석되었으며 이와는 달리 외기온도가 가장 낮은 C 지역은 연평균 부하율이 오히려 4.9 % 로 가장 낮게 나타났다

3-2-6 건물구성 항목별 최대부하율 및 연평균부하율

건물구성이 타 지역과 전혀 다른 C 지역을 제외하고 A-1 및 A-2 지역에 대하여 건물구성 항목별로 최대부하율 및 연평균부하율을 분석하였으며 그 결과는 Table 3-6 과 같다.

A-1 지역에서는 교육시설, 업무용빌딩, 목욕탕 및 사우나 등에서 최대부하율이 높게 나타났으며 대형 상업시설 및 병원 등에서는 낮게 나타났다. 연평균부하율은 목욕탕 및 사우나에서 특히 높게 나타났으며 교육시설 및 대형 상업시설에서는 낮은 것으로 나타났다.

A-2 지역에서는 최대부하율은 교육시설, 공공기관 및 종교시설에서 높고 숙박시설은 낮은 것으로 분석되었으며 , 연평균부하율은 공공기관, 업무용빌딩 및 병원이 높고 교육시설, 숙박시설 등은 낮은 것으로 분석되었다.

두 지역에서 공통점을 찾아보면, 교육시설의 경우는 최대부하율은 높고 연평균부하율은 낮은 특징이 있었다.

이와같은 결과는 “Institute of Building Environment and Energy Conservation 2004” 에 발표된 일본의 상업건물에 대한 열소비 패턴과 매우 흡사한 결론을 얻었다. 또한 우리나라에서도 이와 유사한 자료를 Oh 등(38)이 발표한 사례가 있다.

최대부하율 발생시간은 교육시설, 공공기관 및 업무용빌딩은 아침시간에 발생되었고, 그 외 시설은 아침 또는 저녁시간에 혼재되어 발생되었다.

3-2-7 건물구성 항목별 일일 부하율 곡선

Table 3-6. Maximum heat load rate and yearly average heat load rate of Building for three regionsr

구 분	A-1 지역			A-2 지역			
	최대부하율(%)		연평균부하율(%)	최대부하율(%)		연평균부하율(%)	
건 물 구 성	교육시설	79.0	2-13 09시	4.6	94.0	2-12 09시	5.7
	공공기관	68.0	2-27 07시	7.3	82.0	2/12 09시	10.5
	업무용빌딩	86.0	12-31 10시	6.4	57.0	1/8 09시	10.5
	대형상업시설	52.0	12-31 19시	5.3	70.0	1/18 10시	5.6
	목욕탕, 사우나	82.0	2-3 18시	18.0	62.0	1/13 16시	7.5
	숙박시설, 오피스텔	67.0	12-7 11시	9.0	43.0	2/23 20시	6.0
	병원	52.0	2-12 12시	7.6	62.0	2/3 9시	11.8
	종교시설	67.0	2-10 07시	8.0	77.0	2/18 02시	9.0

건물구성이 유사한 A-1 및 A-2 지역에 대하여 건물구성 항목별로 일일 건물 부하율의 변화 패턴을 조사하기 위하여 항목별로 2008년 1월 1일 00시에서 1월 31일 24시까지의 매시간대별 부하율의 평균치를 그래프화 해보았다.

Fig. 3-11 은 건물 중 교육시설에 대한 부하율 일일곡선으로 학생들이 등교하는 아침시간에 집중적으로 높고 이후에는 지속적으로 낮아지는 패턴을 보였으며 A-1 및 A-2 지역의 패턴은 비슷하게 나타났다. 다만, 외기온도가 낮은 A-2 지역의 부하율이 하루내내 높게

나타나서 부하율은 외기온도와 밀접한 관련이 있음을 보여주고 있다. 이와같은 열소비 패턴은 국외의 열부하 패턴 경향 연구들 중 Pedersen 등13)이 수행한 노르웨이 Trondheim 지역의 학교의 열소비 패턴 조사결과와 매우 흡사하였다. 즉, 학교의 열소비 패턴은 국가 또는 지역에 관계없이 아침시간에 열소비가 급증하고 이후 점차적으로 감소하는 패턴을 보여 주었다.

Fig. 3-12 은 건물 중 공공기관에 대한 부하율 일일곡선으로 교육시설의 부하율 패턴과 거의 유사하였다.

Fig. 3-13 은 건물 중 업무용빌딩에 대한 부하율 일일곡선으로 교육시설 및 공공기관과는 다소 다르게 나타났다. 아침시간에 집중적으로 부하율이 높은 것은 일치하지만 A-2 지역의 경우는 오후 또는 저녁시간 까지도 부하율이 지속적으로 높은 것으로 나타났다. A-1과 A-2는 다소 다른 부하율 패턴을 보이고 있으며 이는 업무용 빌딩에는 워낙 다양한 종류의 특성

을 가진 건물 등이 많기 때문인 것으로 판단되었다.

Fig. 3-14 은 건물 중 이마트, 홈플러스 등 대형 상업시설에 대한 부하율 일일곡선으로 기존의 건물과는 또 다른 패턴을 보여주고 있다. 아침시간에 집중적으로 부하율이 높고 이후 낮 시간 동안에는 낮아졌다가 다시 저녁시간에 높아지는 패턴을 보여주고 있으며 이것은 대형 상업시설은 대부분 밤늦게 까지 영업을 하기 때문인 것으로 판단되었다.

Fig. 3-15 는 건물 중 목욕탕 및 사우나 시설에 대한 부하율 일일곡선으로 출근시간 이전 또는 저녁시간에 부하율이 높은 것으로 판단되었다.

Fig. 3-16은 모텔 및 오피스텔 등의 숙박시설에 대한 부하율 일일곡선으로 대체로 저녁시간에 부하율이 가장 높은 것으로 판단되었다.

Fig. 3-17 은 건물 중 병원에 대한 부하율 일일곡선으로 하루내내 대체로 비슷한 패턴을 보이는 것으로 판단되었다.

마지막으로 Fig. 3-18 은 건물 중 종교시설에 대한 부하율 일일곡선으로 다양한 종교시설의 특성상 다른 항목과는 달리 다소 특이한 패턴을 보이고 있다.

3-2-8 건물 분석결과

2008년 운영실적을 기준으로 3개 지역에 대한 “건물” 부문의 열소비 패턴을 분석한 결과, 지역에 관계없이 연중 열부하 패턴은 유사하게 나타났으며, 일일 열부하 패턴은 건물 구성항목이 유사한 A-1 및 A-2 지역은 유사하였으나 세부 구성항목이 전혀 다른 C 지역은 다소 상이한 패턴을 보여주고 있다.

A-1 및 A-2 지역 비교시에는 일일 부하율, 연평균

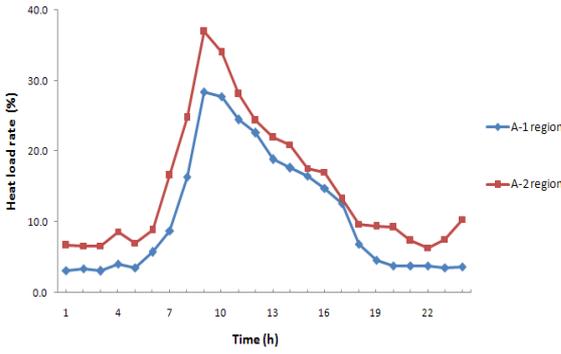


Fig. 3-11. Averaged daily curve of educational facilities heat load rate for two regions during January

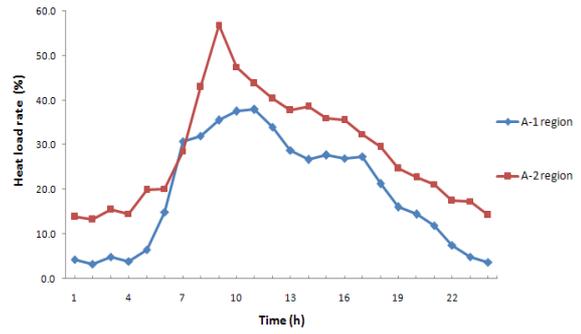


Fig. 3-12. Averaged daily curve of public institutions heat load rate for two regions during January

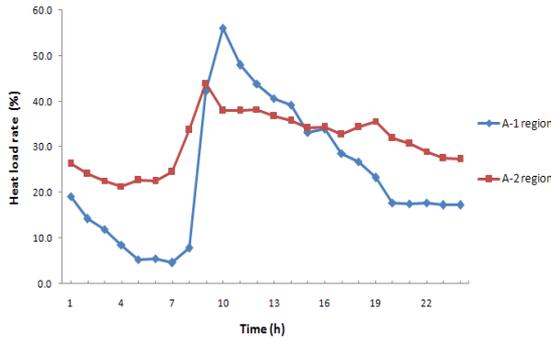


Fig. 3-13. Averaged daily curve of business buildings heat load rate for two regions during January

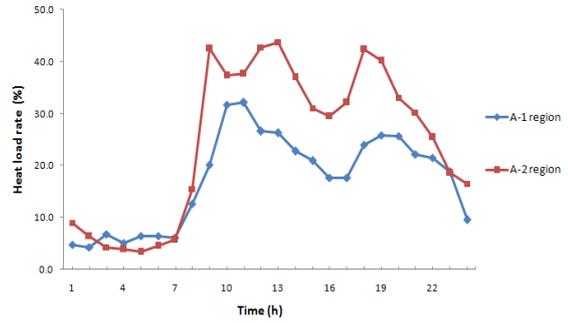


Fig. 3-14. Averaged daily curve of "A large scale commercial facilities" heat load rate for two regions during January

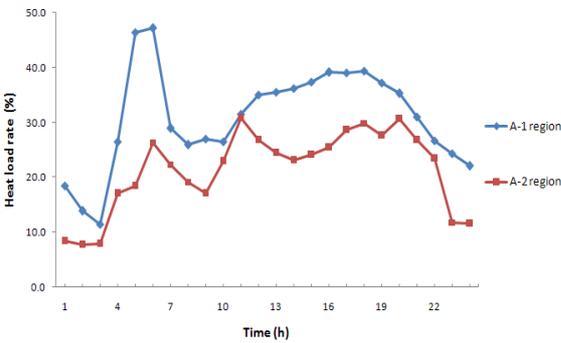


Fig. 3-15. Averaged daily curve of bathhouse heat load rate for two regions during January

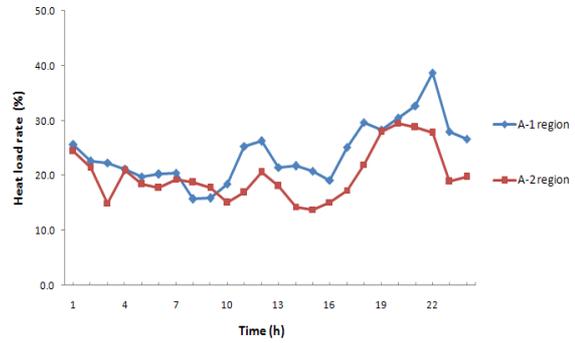


Fig. 3-16. Averaged daily curve of accommodations heat load rate for two regions during January

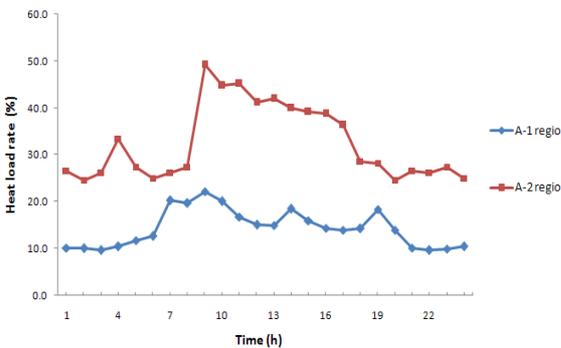


Fig. 3-17. Averaged daily curve of hospitals heat load rate for two regions during January

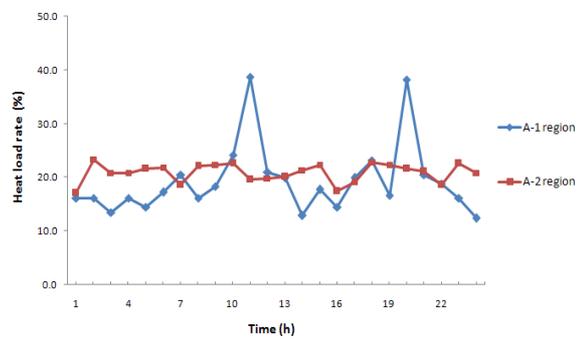


Fig. 3-18. Averaged daily curve of religious facilities heat load rate for two regions during January

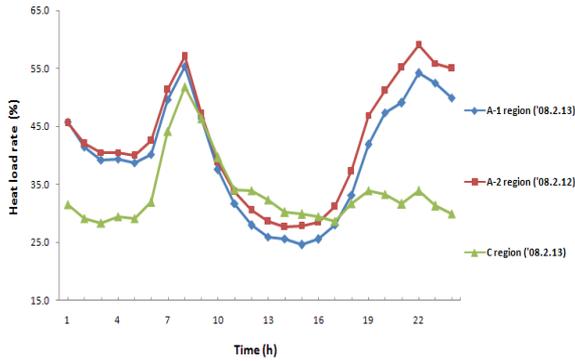


Fig. 3-19 Daily curve of heat load rate of sum of apartment and building at the day of maximum heat load generation

부하율, 최대부하율은 외기온도가 낮은 A-2 지역에서 더 높게 나타났다. C 지역은 외기온도가 가장 낮음에도 불구하고 일일 부하율, 연평균부하율, 최대부하율은 타 지역보다 더 낮게 나타났으며 이것은 C 지역을 구성하고 있는 세부 구성항목의 특수성 및 최근에 건설된 건물의 건축기술의 차이 등의 영향이 일부 미치는 것으로 판단되었다.

또한, 건물구성 세부종별 열소비 패턴을 분석해보면, A-1과 A-2 지역은 전형적인 주거형 도시형태의 건물구성을 보여주고 있으며, C 지역은 비주거형 상업중심의 도시 특징을 잘 보여주고 있다.

3-3 열소비 패턴 분석결과

2008년 1년간의 지역난방 사용자의 운영실적을 토대로 3가지 지역에 대하여 열소비 패턴을 종합적으로 다시 분석해 보면, 연간 열부하 누적곡선의 패턴은 동절기인 1월에서 2월 사이에 열부하가 집중적으로 높았으며 이후에는 점차 감소되어서 하절기에는 거의 열사용량이 미미하다가 다시 가을철에 열사용량이 서서히 증가한 후 12월이 되면 열사용이 크게 늘어났다. 크기순으로 배열해보면 열부하 Peak인 최대열부하 발생일을 기점으로 이후에는 급격하게 곡선이 하락하는 추세를 동일하게 보여주고 있다.

최대열부하 발생일의 일일열부하 곡선의 패턴은 주택과 건물이 다소 상이한 패턴으로 사용자가 열을 소비하고 있었으며 주택의 경우에는 밤 12시 이후로 새벽까지 점차적으로 감소하는 추세에서 아침시간에 급격히 상승을 한 후 다시 낮시간에는 크게 하락을 하며, 일반인들이 하루의 일과를 마치고 귀가하는 저

녁시간이 되면 열소비가 급증하게 되고 대개 22시 전후에서 열소비 Peak를 기록하는 추세였다. 건물의 경우에는 밤시간에는 거의 사용량이 미미하다가 아침시간인 08~09시 경에 열소비의 Peak를 기록하고 이후에 점차적으로 밤까지 하락하는 추세를 보였다.

즉, 주택의 경우에는 일반적으로 22~23시에 최대 열사용량을 기록한 반면, 건물의 경우에는 대개 08~09시에 최대 열사용량을 기록하여 서로 상이한 시간대에서 열부하 Peak를 나타내었다.

각 지역별 최대열부하 발생시각을 상호 비교해보면, 다음과 같다.

- A-1 지역의 최대열부하 발생시각 : 2008년 2월 13일 08시
- A-2 지역의 최대열부하 발생시각 : 2008년 2월 12일 22시
- C 지역의 최대열부하 발생시각 : 2008년 2월 13일 08시

최대열부하 발생일의 각 지역별 일일 부하율을 참고적으로 비교, 분석해 보았으며 그 결과는 Fig. 3-19과 같다.

최대열부하 발생일은 A-1 지역과 C 지역은 2월 13일이며, A-2 지역은 2월 12일 이었다. A-1 및 A-2 지역은 일일 부하율 패턴이 매우 유사하나 C 지역은 아침시간에만 집중적으로 부하율이 상승하고 저녁시간에는 별로 높지 않은 다소 특이한 패턴을 보여주고 있다. 앞서 분석해 보았듯이 C 지역은 주택의 비율이 매우 높은 다른 지역과는 달리 주택과 건물의 비율이 36 : 64 (%)로 주택의 비율이 36%에 불과하여 저녁시간에 부하율이 상대적으로 낮게 나타난 것으로 분석되었다. A-1 과 A-2 지역만을 비교하면, 외기온도가 더 낮은 A-2 지역의 부하율이 상대적으로 하루내내 더 높게 나타났다.

이와같은 지역별 특성을 감안하여 해당 지역에서 주택과 건물 사용자의 열사용 기초자료를 별도로 구분하여 각각의 열소비 패턴의 특성을 비교 분석해보았다.

주택부분의 3가지 지역 비교분석 결과, 대부분의 주택 사용자들의 하루중 또는 연간 열소비 패턴은 지역에 관계없이 대체로 유사함을 알게 되었다. 하지만, 그 사용량의 크기는 외기온도와 직접적으로 관계가 있으며 외기온도가 낮을수록 지역난방을 많이 사용하

게 됨을 본 연구에서는 운영실적을 통하여 입증하게 되었다.

또한, 건물부분의 3가지 지역 비교분석 결과, 지역에 관계없이 연중 열부하 패턴은 유사하게 나타났으며, 일일 열부하 패턴은 건물 구성항목이 유사한 A-1 및 A-2 지역은 유사하였으나 세부 구성항목이 전혀 다른 C 지역은 다소 상이한 패턴을 보여 주고 있다. A-1 및 A-2 지역 비교시에는 일일 부하율, 연평균부하율, 최대부하율은 외기온도가 낮은 A-2 지역에서 더 높게 나타났다. C 지역은 외기온도가 가장 낮음에도 불구하고 일일 부하율, 연평균부하율, 최대부하율은 타 지역보다 더 낮게 나타났으며 이것은 C 지역을 구성하고 있는 세부 구성항목의 특수성 및 최근에 건설된 건물의 건축기술의 차이 등의 영향이 일부 미치는 것으로 분석되었다

연간 열부하누적곡선의 그래프에서 알 수 있듯이 주택대비 건물의 연간 열사용량이 매우 적은 것을 알 수 있으며 이것은 주택과 건물의 연평균부하율을 비교해보면 주택은 15 ~ 20 % 에 해당되나, 건물은 5 ~ 7 % 에 불과하기 때문이며 이에따라 건물이 많아 질수록 연간열사용량, 연간 열판매금액, 열원시설 이용률 등은 낮아질 수밖에 없다.

이와같이 주택과 건물은 서로다른 열소비 패턴의 특성을 가지고 있으므로 각 지역별 주택 및 건물 사용자의 비율에 따라 해당 지역의 열소비 패턴은 크게 달라질 수 있다.

4. 결 론

주거용 건물(이하“주택”)과 비주거용 건물(이하“건물”)의 시간에 따른 열소비 패턴은 차이가 있다. 본 연구에서는 운영실적을 토대로 지역난방사업장 단위 측면에서 주택과 건물의 구성 비율이 최대부하율, 연간열사용량 및 열생산시설의 이용률에 미치는 영향을 분석하였다.

연구대상 지역으로는 주택이 약 90% 를 차지하는 주택중심인 주거형 도시 중에서 2개 지역(남부지방 A-1지역, 중부지방 A-2지역)과 비주거용 건물이 약 60% 를 차지하는 업무형 도시(중부지방 C지역) 1개 지역을 선정하였으며, 1년 동안의 운영실적을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 즉 연간 열소비 패턴은 세 지역이 모두 “동고하저”형으로 유사하였으나, 하루 중 시간대별 열소비 패턴과 사용자

유형별 열소비 패턴 등은 A-1 지역과 A-2 지역이 유사한 반면 C 지역은 상이한 결과를 나타내었다.

주택의 일일 및 연간 열소비 패턴은 세 지역에서 모두 유사하였으며 외기온도가 낮을수록 일일 부하율, 연평균부하율, 최대부하율 및 열사용량이 증가하였지만, 외기온도와 선형적인 비례관계로 나타나지는 않았다. 또한, 건물의 일일 열소비 패턴은 A-1 지역과 A-2 지역이 유사하였지만 C 지역은 다른 결과를 나타내었다. 이것은 A-1 및 A-2 지역의 건물은 학교 및 공공기관 중심으로 구성되어 있으나, C 지역은 업무용 빌딩 중심으로 구성되어 있기 때문이다.

또한 본 연구에서는 현재 운영 중인 3개의 지역난방 사업장만을 대상으로 주택과 건물 사용자의 비율 변화에 따른 영향을 분석하였으나, 향후에는 더 많은 사업장을 대상으로 다양한 형태의 건물들의 열소비 패턴을 분석하여 각 형태별로 미치는 영향을 에너지경제학적 관점에서 연구할 필요가 있는 것으로 판단된다.

이와같이 주택과 건물은 서로다른 열소비 패턴의 특성을 가지고 있으므로 각 지역별 주택 및 건물 사용자의 비율에 따라 해당 지역의 열소비 패턴은 크게 달라질 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2012년 서울과학기술대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌습니다

참고문헌

1. 반영식, 이영재, 이건영, “건축물의 에너지 소비량에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, Vol. 6, No. 3, pp. 125~132 (1990)
2. 강재식, “주택의 열성능 향상 방안에 관한 연구 (II)” 한국건설기술연구원 (1994)
3. 유호선, 정주혁, 문정환, 이재현, “주택 단위난방 부하 계산을 위한 단위공법 제안”, 대한설비공학회 논문집, Vol. 19 No.1, pp. 68-76, (2007)
4. 유호선, 조균형, 이영아, "전과정 평가에 의한 주택의 에너지 소비량 평가연구", 대한건축학회 논문집, Vol. 18 No.5, pp. 212-221, (2002)
5. 이봉진, 정동열, 이선, 홍희기, 한국형 아파트의 난방에너지 분석 2 : 난방방식에 따른 차이, 대

- 한설비공학회 논문집, Vol. 16 No.5, pp.286-295, (2002)
6. 박유원, 유호선, 홍희기, 한국형 아파트의 난방에너지 분석 3 :실내 설정조건의 영향, 대한설비공학회 논문집, Vol. 17 No.8, pp. 342-350, (2002)
 7. 최원기, 김현중, 이현근, 서승직, "주택의 세대별 냉난방에 따른 온도변화 및 열부하 양상에 관한 이론적 연구", 대한건축학회지, Vol. 23 No.6, pp.279 ~ 288 (2007)
 8. 정광섭, 김성민 "지역난방 주택에서 외기온도가 난방부하 패턴에 미치는 영향에 관한 연구" 대한건축학회지, Vol. 25 No.2, pp. 233~240 (2009)
 9. 이 훈, 김래현, 장원석, "광역에너지이용 통합 최적화 운전 시스템 개발 및 경제적 효과", 에너지공학 (Journal of EnergyEngineering), Vol. 18, No. 4, pp. 220~228 (2009)
 10. 최정희, 김주영, 홍원화, "대구광역시 주택의 열병합발전시스템 운전패턴에 따른 경제성 분석에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 Vol.22, No. 9 pp.299-306 (2006)
 11. Erik Dotzauer, "Prediction system of heat loads in District heating systems", Applied Energy Vol. 75 pp.182~189 (2004)
 12. A. J. Heller, "Heat-load Districting for large systems", Applied Energy, Vol. 72, No.1, pp. 371-387 (2002)
 13. Linda Pedersen , Jacob Stang, Rolf Ulseth , "Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems", Energy and Buildings Vol. 40 pp. 1124~1134 (2008).