

건물생체기후도를 이용한 자연형 기후설계 도구 개발 및 활용

Development and Application of Passive Climatic Design Tool Using Building Bioclimatic Chart for Energy Efficient Building

송 승 영*

Song, Seung-Yeong

Abstract

It is essential to know climatic characteristics of the site for energy efficient building design. However, it is difficult to obtain a climate data. Even though the climate data is obtained, it is difficult to be applied to the building design since it is usually consisted of just series of numbers. Also, designers cannot know the effective climatic design strategies suitable for the site with ease. Thus, this study aims to develop the climatic design tool working on the personal computer operated by windows 95/98/2000/XP. WYEC weather data and building bioclimatic chart are adopted for the climate analysis. Climatic Characteristics(distributions of the dominant factors, bioclimatic needs, needs to each passive design strategy, and the order of priority, etc.) of Seoul are analysed and presented as an example. Also, passive climatic design process making use of this tool is presented.

Keywords : Building Bioclimatic Chart, Climatic Design, Computer Program

1. 서론

건물 에너지 소비가 연간 총 에너지 소비량의 25% 정도를 차지하고 있고, 에너지 수입 의존도가 98%에 달하는 국내 실정에서는, 경제적 측면 및 환경오염 방지 측면에서 건물 에너지 절약이 무엇보다 중요하다고 할 수 있을 것이다. 건물에서 발생하는 에너지 소비의 대부분은 외부 기후 조건에 대해 실내 환경을 쾌적하게 조절하는 과정에서 발생한다. 건물의 실내 환경 조절 방법에는 크게, 별도의 설비를 동원하지 않고 건물 자체로써 조절하는 자연형(passive)과 설비형(active)의 두 가지가 있으며, 에너지 절약을 위해서는 이 두 가지가 효과적으로 병용되어야 한다. 이 중 특히 자연형 조절의 경우 적용이 쉽고, 경제적이며, 적용에 의한 효과가 설비형 조절에 즉각적으로 영향을 미친다는 점에서 우선적이고 필수적으로 고려되어야 할 사항이다. 또한 국내에서 건물 에너지 소비의 많은 부분을 차지하고 있는 주거용 건물의 경우 외피부하 지배형 건물(envelope load dominated building)이라는 특징이 있으므로 자연형 조절에 의한 에너지 절약

효과가 매우 클 것으로 기대할 수 있다.

건물의 효과적인 자연형 조절을 위해서는 설계시 해당 지역의 기후특성 반영이 필수적이다. 왜냐하면 자연형 조절 기능에 영향을 미치는 여러 인자중 가장 기본적인 것이 기후특성이기 때문이다. 한 예로 하계에 통풍·환기에 의한 자연형 냉방 효과를 높이고자 할 경우에는 해당 지역의 풍속, 풍향 조건을 파악하여 개구부의 위치, 방향, 크기 등을 설계할 때 반영해 주어야 한다. 또 다른 예로 자연형 조절 방법중 동계를 위한 태양열획득, 침기 차단은 각각 하계를 위한 태양열차단, 통풍·환기와 서로 상충된다. 따라서 설계자는 기후특성 파악을 통해 어떤 것이 보다 중요한지를 결정하여 설계에 반영해 줄 수 있어야 한다.

그러나 기후특성 파악을 위한 기후데이터 자체가 산재하고 있고, 단순한 숫자의 나열인 경우가 대부분이어서 설계자가 쉽게 획득 및 해석하기 곤란한 실정이다. 또한 자연형 조절 방법 자체는 이미 기존 연구를 통해 어느 정도 정립되어 있는 상태라고 할 수 있으나, 국내 각 지역의 기후특성에 적합한 자연형 조절 방법과 우선순위 등을 손쉽게 알 수 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는, 표준 기후테

* 이화여대 건축학과 조교수

이터와 건물생체기후도(building bioclimatic chart)에 의한 자연형 기후설계 도구(컴퓨터 프로그램)의 개발 및 이를 이용한 서울 지역의 기후특성 분석 사례를 제시하고, 개발 도구를 이용한 자연형 기후설계 프로세스를 보임으로써, 기후특성 반영에 의한 효과적인 자연형 건축설계에 도움을 주고자 하였다.

2. 자연형 기후설계 도구

2.1 표준 기후데이터 및 건물생체기후도

(1) 표준 기후데이터

동일 지역이라 하더라도 기후는 매년 달라지므로 해당 지역의 기후특성을 대표하기 위해서는 다년간의 기후데이터에 대한 통계처리가 필요하게 된다. 이러한 과정을 거쳐 작성된 기후데이터를 표준 기후데이터라 할 수 있으며, 통계처리 방식에 따라 TRY(Test Reference Year), TMY(Test Meteorological Year), WYEC(Weather Year for Energy Calculations), CTZ(California Climate Zone) 등 여러가지 형식이 있을 수 있다.¹⁾²⁾

표준 기후데이터는 기간부하 계산시 입력자료로 많이 사용되며, 미국의 경우 60개 도시에 대한 TRY, 234개 도시에 대한 TMY, 44개 도시에 대한 WYEC 기후데이터가 확보되어 있다.³⁾ 일본의 경우 HASP(일본에서 개발된 기간부하 계산용 프로그램)용 표준 기후데이터로서 25개 도시에 대한 평균년 기후데이터가 확보되어 있다.⁴⁾ 국내의 경우에는 1989년에 공기조화냉동공학회에서 서울 지역의 표준 기후데이터를 선정한 바 있으며 현재는 13개 도시에 대한 WYEC 및 HASP용 평균년 기후데이터가 확보되어 있다.⁵⁾

보다 정확한 기후설계를 위해서는 실제 건물이 위치할 대지의 미기후(microclimate) 데이터를 적용하는 것이 가장 바람직할 것이다. 그러나 이에 대한 획득이 용이하지 못한 경우가 대부분일 것으로 판단되며, 해당 도시의 표준 기후데이터를 적용해도 설계자에게 충분히 유효한 정보를 제공해 줄 수 있을 것⁶⁾으로 판단된다.

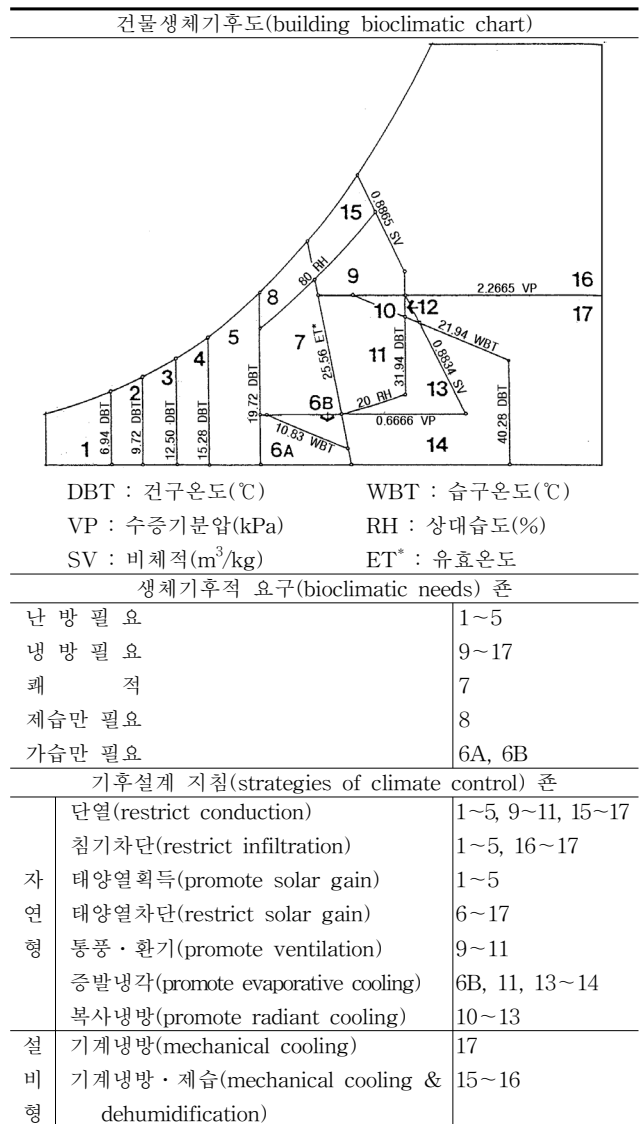
(2) 건물생체기후도

건물생체기후도란 인체가 느끼는 생체기후적 요구(bioclimatic needs)에 의거하여, 특정 기후조건에 대해 인체를 쾌적한 상태로 만들어주기 위해 필요한 기후설계

지침(strategies of climate control)들의 존을 습공기선도 상에 표시하고, 기후데이터를 plotting하여 쓸 수 있게 만든 차트이다.(표 17 참조) 건물생체기후도의 이용 예를 들면, 표 1 그림에서 만약 기후조건이 존번호 9에 해당하면 인체는 생체기후적으로 냉방이 필요하다고 느끼고, 단열, 태양열차단, 통풍·환기의 자연형 조절을 통해 인체를 쾌적하게 만들어 줄 수 있음을 알 수 있다.

건물생체기후도 상에 년간, 계절별, 월별, 시간별 등과 같이 원하는 기간 동안의 기후데이터를 plotting해 보면 대상 지역의 기후특성을 한 눈에 볼 수 있게 해주고, 대상기간 동안의 존별 해당 시간수를 알 수 있게 해주므로, 생체기후적 요구 및 기후설계 지침별 분포 특성과 우선 순위의 파악이 가능하다.

표 1. 건물생체기후도 및 존 구분



1) ASHRAE, ASHRAE Handbook 1993 Fundamentals, ASHRAE, 1993, pp.24.1~24.3.
 2) Group WX-4, DOE-2 Reference Manual Part 2 Version 2.1, U.S. Department of Energy, 1980.5, pp.VIII.1~VIII.2.
 3) 공기조화냉동공학회, 건물의 공조부하계산용 표준 전산프로그램 개발 및 기상자료의 표준화 연구에 관한 최종보고서, 통상산업부, 1996.9, p.118.
 4) Loc.cit.
 5) Ibid., p.4, p.17.
 6) U.S. Housing and Home Finance Agency, Application of Climatic Data to House Design, AMS Press, 1978, p.21.

7) Watson, Donald and Labs, Kenneth, Climatic Design: Energy Efficient Building, Principles and Practices, McGraw-Hill, 1983, p.206.

2.2 자연형 기후설계 도구

(1) 개요

표준 기후데이터와 건물생체기후도를 이용, 해당 도시의 기후인자별 분포 특성과 생체기후적 요구 및 기후설계 지침별 분포 특성 및 우선 순위 등을 파악할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하였으며, 세부 내용은 다음과 같다.

- 프로그램명 : 자연형 기후설계 도우미(climatic design advisor) 2.0
- 저작 언어 : MS visual basic 6.0
- 구동 OS : Windows 9x/ME/NT/2000/XP
- 기후데이터 : 국내 13개 도시의 WYEC 표준 기후데이터(원 자료의 통계기간 : 1984~1993)⁸⁾
- 프로그램 다운로드 위치 : 그린빌딩 홈페이지(이화여대 친환경건축연구실, <http://greenbuilding.ewha.ac.kr>) -> 설계도구 -> 자연형 기후설계 도우미
- 참고 : 본 자연형 기후설계 도구는 인터넷 웹 상에서 직접 구동되는 온라인 버전으로도 함께 개발되었으며, 그린빌딩 홈페이지(이화여대 친환경건축연구실, <http://greenbuilding.ewha.ac.kr>) -> 온라인 시뮬레이션 -> 기후특성 분석을 통해서도 이용 가능함

(2) 주요 기능

자연형 기후설계 도우미의 기능 체계 및 주요 기능별 프로그램 화면은 그림 1~그림 12와 같다.

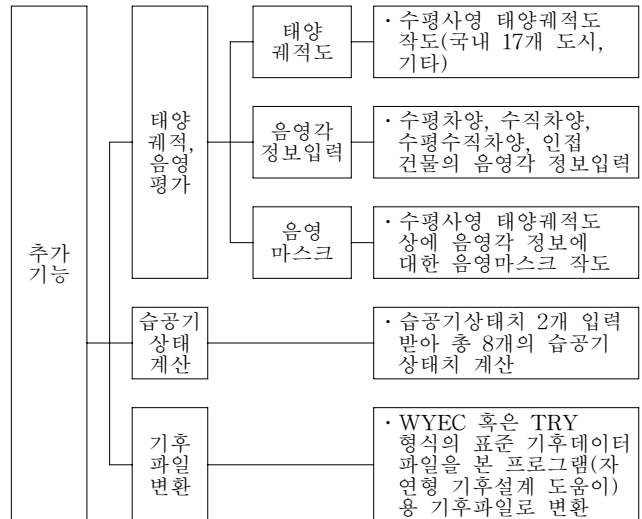


그림 1. 자연형 기후설계 도우미 2.0 기능체계

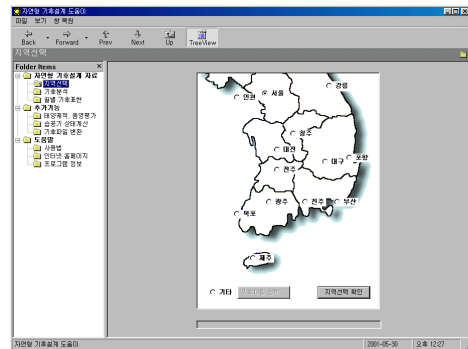


그림 2. 지역선택

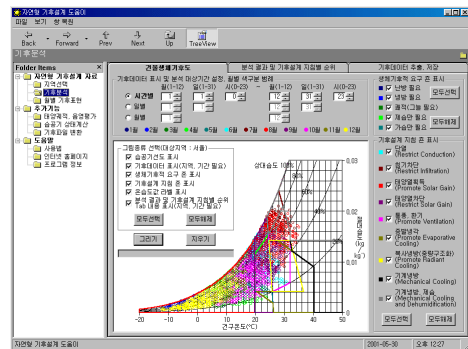
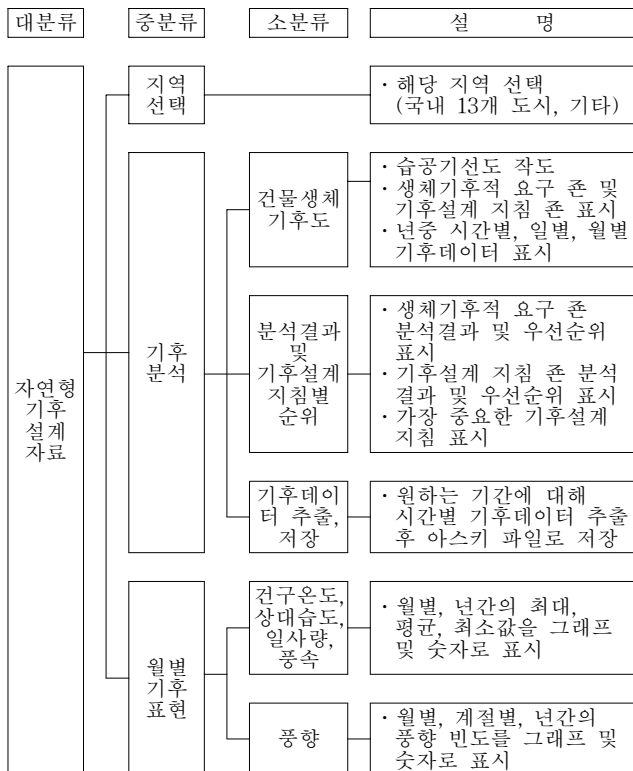


그림 3. 건물생체기후도

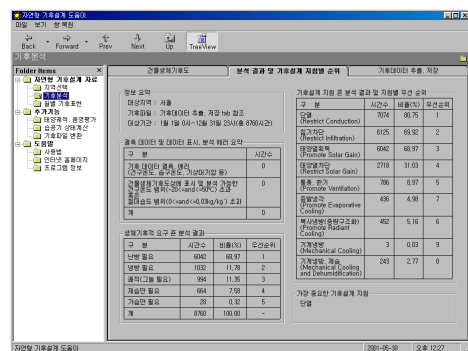


그림 4. 분석결과 및 기후설계 지침별 순위

8) 공기조화냉동공학회, 건물의 공조부하계산용 표준 전산프로그램 개발 및 기상자료의 표준화 연구에 관한 최종보고서, 통상산업부, 1996.9.

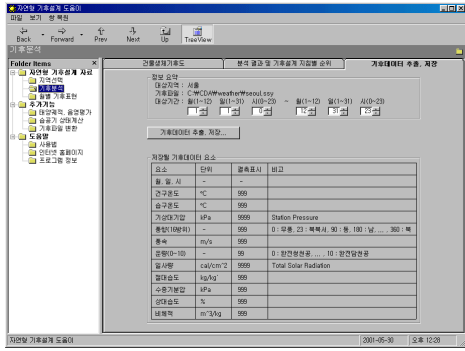


그림 5. 기후데이터 추출, 저장

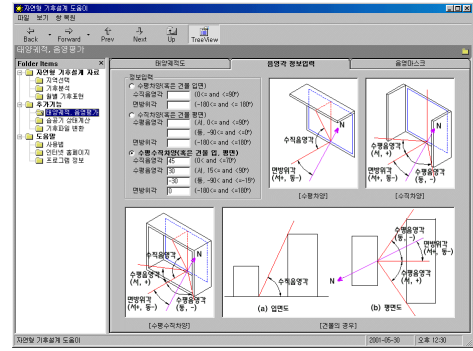


그림 9. 음영각 정보입력

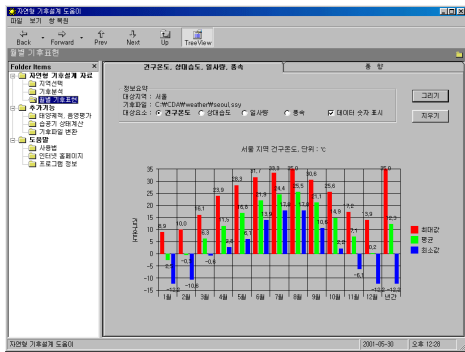


그림 6. 건구온도, 상대습도, 일사량, 풍속

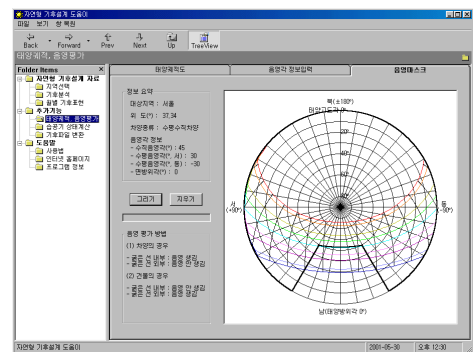


그림 10. 음영마스킹

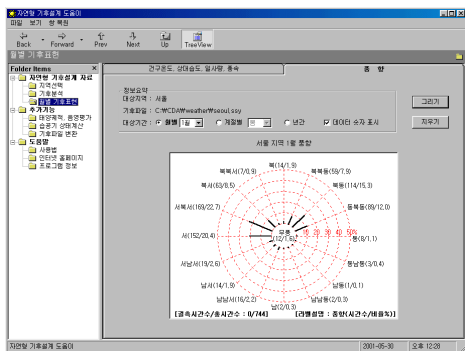


그림 7. 풍향

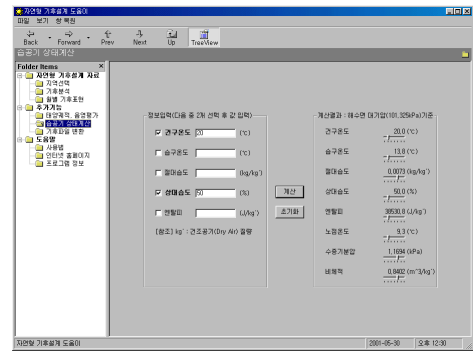


그림 11. 습공기 상태계산

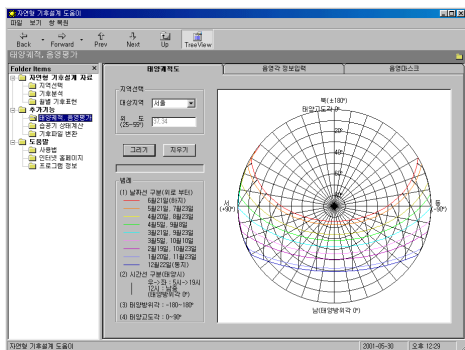


그림 8. 태양제척도

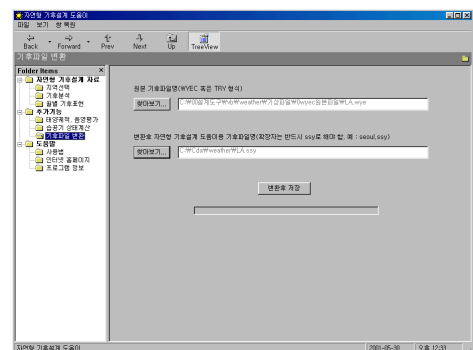


그림 12. 기후파일 변환

3. 서울 지역의 기후특성 분석

3.1 주요 기후인자별 분포 특성

자연형 기후설계 도움이 2.0 프로그램을 이용, 서울 지역을 대상으로 기후설계와 밀접한 관련이 있는 건구온도, 일사량, 풍속, 풍향의 분포 특성을 분석하였다. 건구온도의 경우 년중 최고치는 35.0℃, 최저치는 -12.2℃, 평균치는 12.3℃인 것으로 나타났다. 월별 평균 건구온도는 6~9월을 제외한 나머지 달에서 모두 20℃ 미만으로 나타나 난방필요에 대한 생체기후적 요구가 클 것임을 예상할 수 있다. 일사량의 경우 년중 최고치는 88.2cal/cm², 평균치⁹⁾는 11.6cal/cm²인 것으로 나타났다. 월별 평균 일사량은 5월이 가장 많고, 6, 4, 8, 7, 10월의 순으로 나타났으며 나머지 달에서는 년 평균 일사량 보다 적은 것으로 나타났다.

풍속의 경우 년중 최고치는 10.8m/s, 평균치는 2.3m/s이며, 월별 평균 풍속간 편차는 그리 크지 않은 것으로 나타났다. 풍향의 경우 하계(6, 7, 8월)에는 북동풍(475시간/21.5%), 동계(12, 1, 2월)에는 서풍(495시간/22.9%), 년간에는 서풍(1640시간/18.7%)의 출현빈도가 가장 높은 것으로 나타났다.(이상 그림 13. 참고)

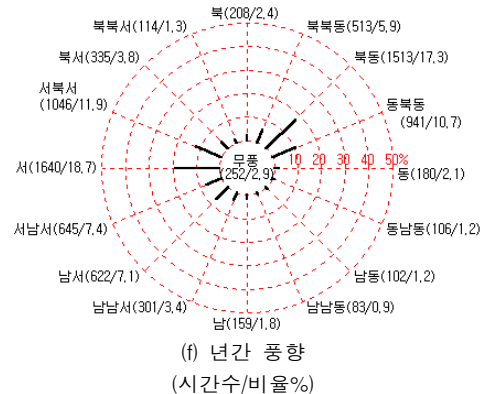
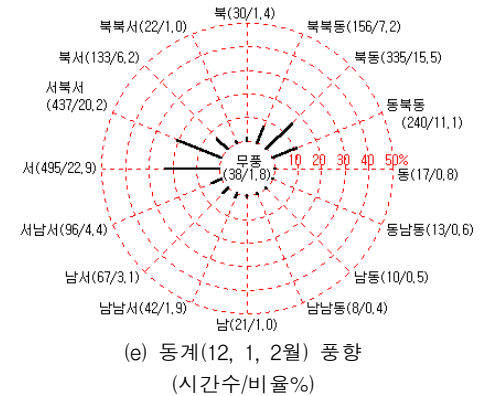
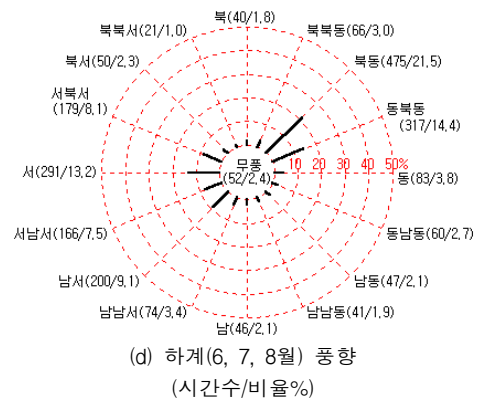
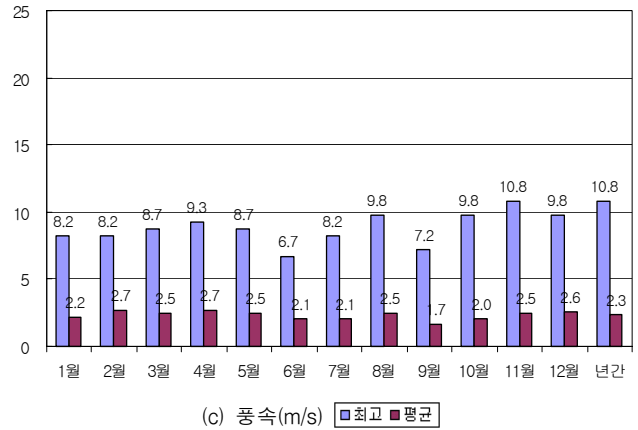
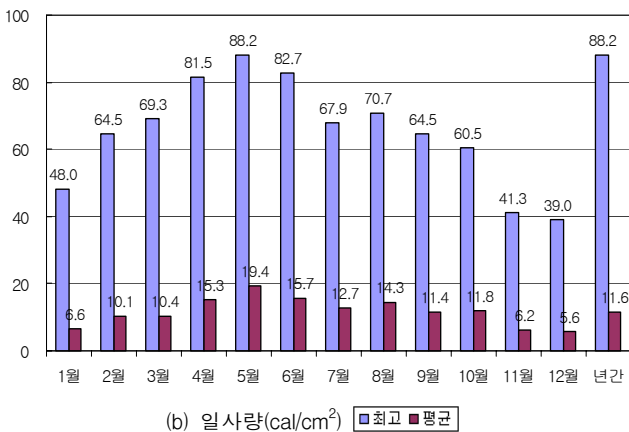
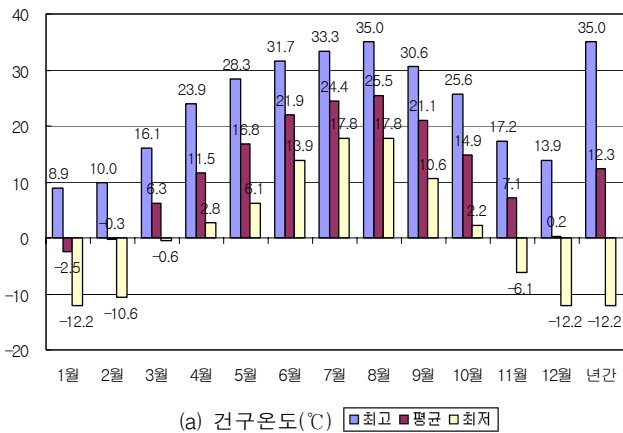


그림 13. 서울 지역의 주요 기후인자별 분포

9) 평균치의 경우 비 일조시간도 포함하여 계산한 값임

3.2 생체기후적 요구별 분포 특성

춘계(3, 4, 5월)에는 난방필요(1,986시간, 89.9%)가 가장 높고, 그 다음이 쾌적(181시간, 8.2%)이며, 하계(6, 7, 8월)에는 냉방필요(910시간, 41.2%)가 가장 높고, 그 다음이 제습만 필요(534시간, 24.2%)인 것으로 나타났다. 추계

(9, 10, 11월)에는 춘계와 유사하게 난방필요(1,610시간, 73.7%)가 가장 높고, 그 다음이 쾌적(335시간, 15.3%)이며, 동계(12, 1, 2월)에는 모든 시간이 난방필요(2,160시간, 100.0%)에 해당하는 것으로 나타났다.

년간의 경우에는 난방필요(6,042시간, 69.0%)가 가장 높

표 2. 서울 지역의 생체기후적 요구 및 기후설계 지침별 분포

월	구분	생체기후적 요구					기후설계 지침								
		난방필요	냉방필요	쾌적	제습만필요	가습만필요	단열	침기차단	태양열획득	태양열차단	통풍환기	증발냉각	복사냉방	기계냉방	기계냉방제습
3	시간수	744	0	0	0	0	744	744	744	0	0	0	0	0	0
	비율(%)	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	순위	1	2	2	2	2	1	1	1	4	4	4	4	4	4
4	시간수	692	0	18	0	10	692	692	692	28	0	3	0	0	0
	비율(%)	96.1	0.0	2.5	0.0	1.4	96.1	96.1	96.1	3.9	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
	순위	1	4	2	4	3	1	1	1	4	6	5	6	6	6
5	시간수	550	12	163	12	6	563	550	550	194	13	19	13	0	0
	비율(%)	73.9	1.8	21.9	1.6	0.8	75.7	73.9	73.9	26.1	1.8	2.6	1.8	0.0	0.0
	순위	1	3	2	4	5	1	2	2	4	6	5	6	8	8
춘계	시간수	1,986	12	181	12	16	1,999	1,986	1,986	222	13	22	13	0	0
	비율(%)	89.9	0.5	8.2	0.5	0.7	90.5	89.9	89.9	10.1	0.6	1.0	0.6	0.0	0.0
	순위	1	4	2	4	3	1	2	2	4	6	5	6	8	8
6	시간수	229	151	223	117	0	380	229	229	491	150	105	110	0	1
	비율(%)	31.8	21.0	31.0	16.3	0.0	52.8	31.8	31.8	68.2	20.9	14.6	15.3	0.0	0.1
	순위	1	3	2	4	5	2	3	3	1	5	7	6	9	8
7	시간수	46	340	112	246	0	386	83	46	698	207	66	74	0	133
	비율(%)	6.2	45.7	15.1	33.1	0.0	51.9	11.2	6.2	93.8	27.8	8.9	10.0	0.0	17.9
	순위	4	1	3	2	5	2	5	8	1	3	7	6	9	4
8	시간수	11	419	143	171	0	430	57	11	733	307	160	168	3	109
	비율(%)	1.5	56.3	19.2	23.0	0.0	57.8	7.7	1.5	98.5	41.3	21.5	22.6	0.4	14.7
	순위	4	1	3	2	5	2	7	8	1	3	5	4	9	6
하계	시간수	286	910	478	534	0	1,196	369	286	1,922	664	331	352	3	243
	비율(%)	13.0	41.2	21.6	24.2	0.0	54.2	16.7	13.0	87.0	30.1	15.0	15.9	0.1	11.0
	순위	4	1	3	2	5	2	4	7	1	3	6	5	9	8
9	시간수	258	109	235	118	0	367	258	258	462	109	82	87	0	0
	비율(%)	35.8	15.1	32.6	16.4	0.0	51.0	35.8	35.8	64.2	15.1	11.4	12.1	0.0	0.0
	순위	1	4	2	3	5	2	3	3	1	5	7	6	8	8
10	시간수	632	0	100	0	12	632	632	632	112	0	1	0	0	0
	비율(%)	85.0	0.0	13.4	0.0	1.6	85.0	85.0	85.2	15.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
	순위	1	4	2	4	3	1	1	1	4	6	5	6	6	6
11	시간수	720	0	0	0	0	720	720	720	0	0	0	0	0	0
	비율(%)	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	순위	1	2	2	2	2	1	1	1	4	4	4	4	4	4
추계	시간수	1,610	109	335	118	12	1,719	1,610	1,610	574	109	83	87	0	0
	비율(%)	73.7	5.0	15.3	5.4	0.5	78.7	73.7	73.7	26.3	5.0	3.8	4.0	0.0	0.0
	순위	1	4	2	3	5	1	2	2	4	5	7	6	8	8
12	시간수	744	0	0	0	0	744	744	744	0	0	0	0	0	0
	비율(%)	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	순위	1	2	2	2	2	1	1	1	4	4	4	4	4	4
1	시간수	744	0	0	0	0	744	744	744	0	0	0	0	0	0
	비율(%)	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	순위	1	2	2	2	2	1	1	1	4	4	4	4	4	4
2	시간수	672	0	0	0	0	672	672	672	0	0	0	0	0	0
	비율(%)	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	순위	1	2	2	2	2	1	1	1	4	4	4	4	4	4
동계	시간수	2,160	0	0	0	0	2,160	2,160	2,160	0	0	0	0	0	0
	비율(%)	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	순위	1	2	2	2	2	1	1	1	4	4	4	4	4	4
년간	시간수	6,042	1,031	994	664	28	7,074	6,125	6,042	2,718	786	436	452	3	243
	비율(%)	69.0	11.8	11.3	7.6	0.3	80.8	69.9	69.0	31.0	9.0	5.0	5.2	0.0	2.8
	순위	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	7	6	9	8

으며, 그 다음이 냉방필요(1,031시간, 11.8%)인 것으로 나타났다. 이를 통해 서울 지역의 경우 년중 난방에 대한 요구가 매우 크므로 난방부하를 줄일 수 있는 자연형 건축설계에 중점이 두어져야 함을 알 수 있다.(이상 표 2, 그림 14 참고)

3.3 기후설계 지침별 분포 특성

춘계(3, 4, 5월)에는 단열(1,999시간, 90.5%)이 가장 중요하며, 그 다음이 침기차단 및 태양열획득(각 1,986시간, 89.9%)이고, 하계(6, 7, 8월)에는 태양열차단(1,922시간, 87.0%)이 가장 중요하며, 그 다음이 단열(1,196시간, 54.2%)과 통풍·환기(664시간, 30.1%)인 것으로 나타났다. 추계(9, 10, 11월)에는 춘계와 유사하게 단열(1,719시간, 78.7%)이 가장 중요하며, 그 다음이 침기차단 및 태양열획득(각 1,610시간, 73.7%)이고, 동계(12, 1, 2월)에는 단열, 침기차단 및 태양열획득(각 2,160시간, 100.0%)이 똑같이 중요하며 다른 기후설계 지침은 전혀 해당되지 않는 것으로 나타났다.

년간의 경우에는 단열(7,074시간, 80.8%)이 가장 중요하며, 그 다음이 침기차단(6,125시간, 69.9%)과 태양열획득(6,042시간, 69.0%)의 순인 것으로 나타났다. 따라서 서울 지역의 경우 자연형 조절에 의한 생체기후적 요구의 해소를 위해서는 단열에 가장 유의해야 하고 침기차단 및 태양열 획득을 잘할 수 있는 건축설계가 요구됨을 알 수 있다.(이상 표 2, 그림 14 참고)

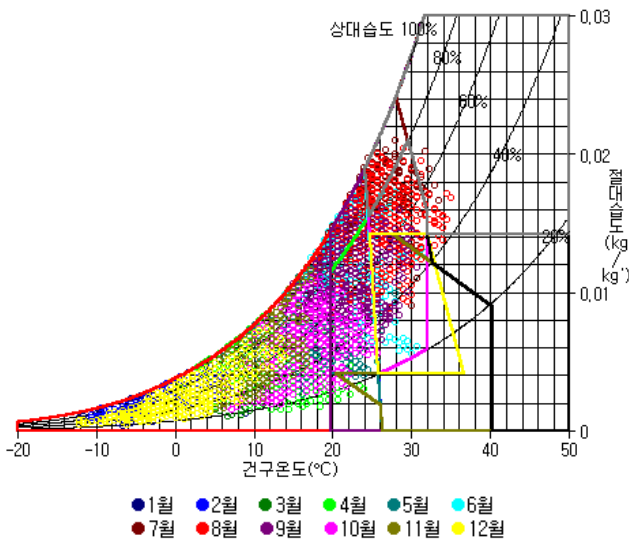


그림 14. 서울 지역의 연간 시간별 건물생체기후도

4. 자연형 기후설계 프로세스

서울 지역의 기후특성 분석 사례에 나타난 바와 같이, 자연형 기후설계 도구를 이용한 기후특성 반영에 의한 효과적 건축설계를 위해 요구되는 프로세스를 요약 정리하면 그림 15와 같다.

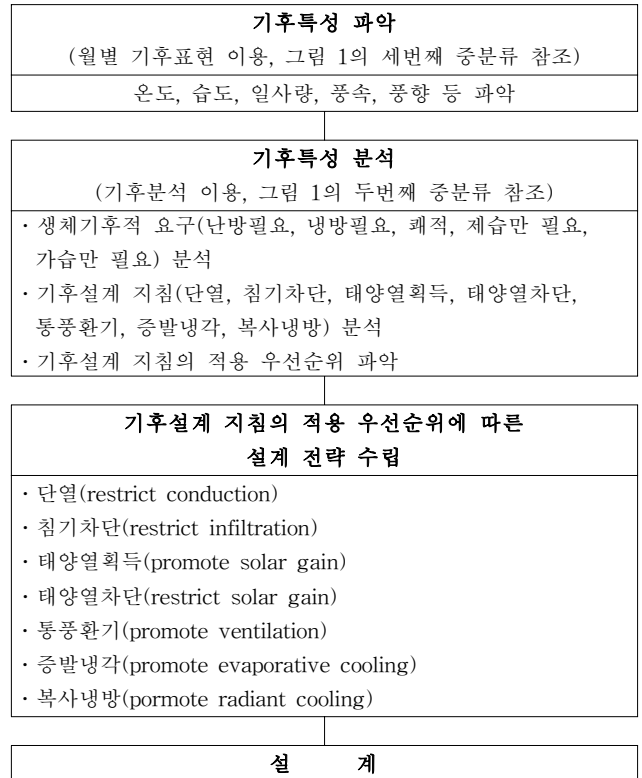


그림 15. 자연형 기후설계 프로세스

5. 결 론

그린빌딩에 요구되는 성능 항목에는 여러 가지가 있을 수 있으나 그 중 가장 중요한 성능 항목은 에너지 성능일 것으로 판단된다. 건물에서의 에너지 절약을 위한 여러 방법 중 자연형 건축설계는 가장 우선적이고 필수적으로 고려되어야 할 사항이라고 할 수 있을 것이며, 이의 효과적 수행을 위해서는 건물이 위치할 지역의 기후특성 분석 및 설계 전략 수립이 가장 선행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 표준 기후데이터와 건물생체기후도(biometric chart)를 이용, 정량적 데이터에 근거한 자연형 기후설계 전략 수립이 가능함을 보이고자 하였다. 또한 컴퓨터 프로그램화된 도구를 이용한 전반적인 자연형 기후설계 프로세스를 보임으로써 건축 설계자의 기후특성 반영에 의한 효과적 자연형 건축설계 수행에 기여하고자 하였다.

※ 참고사항 : 기후설계 지침별 상세 설계기술 및 국내의 여러 건물 사례, 관련 자료 등은 그린빌딩 홈페이지(이화여대 친환경건축연구실, <http://greenbuilding.ewha.ac.kr>)에서 참고 가능

참고문헌

1. 공기조화냉동공학회, 건물의 공조부하계산용 표준 전산프로그램 개발 및 기상자료의 표준화 연구에 관한 최종보고서, 통상산업부, 1996.9.

2. 김광우 외, 건축환경계획론, 태림문화사, 1996.
3. 서울대학교 공학연구소, 서울 구로구 고척동 서립아파트 일조 영향에 대한 분석 연구, (주) 대우, 1997.
4. 송승영, 에너지절약형 건축설계를 위한 기후설계 도구 개발, 대한건축학회논문집(계획계), 17권 10호, 2001.10, pp.241~248.
5. 송승영, 정종민, 자연형 건축설계를 위한 국내 주요도시의 기후특성 분석, 대한건축학회논문집(계획계), 17권 12호, 2001.12, pp.185~196.
6. 송승영, 건축 환경분야 온라인 시뮬레이션을 위한 웹 애플리케이션의 작성방법 및 개발 사례, 대한건축학회논문집(계획계), 18권 11호, 2002.11, pp.255~262.
7. 이경희, 건축환경계획, 문운당, 1994.
8. Arens, E. A. et al., A New Bioclimatic Chart for Passive Solar Design, 5th. NPSC, AS/ISES, Univ. of Delaware, Newark, 1980, pp.1202~1206.
9. ASHRAE, ASHRAE Handbook 1993 Fundamentals, ASHRAE, 1993.
10. Givoni, Baruch, Climate Considerations in Building and Urban Design, Van Nostrand Reinhold, 1998.
11. Givoni, Baruch, Man, Climate and Architecture 2nd. Edition, Van Nostrand Reinhold, 1981.
12. Group WX-4, DOE-2 Reference Manual Part 2 Version 2.1, U.S. Department of Energy, 1980.5.
13. Lechner, Nobert, Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects, John Wiley & Sons, 1991.
14. Milne, Murray and Givoni, Baruch(Watson, Donald edited), Energy Conservation through Building Design, Chap. 6: Architectural Design Based on Climate, McGraw-Hill, 1985.
15. Milne, Murray and Li, Yung-Hsin, Climate Consultant 2.0: A New Design Tool for Visualizing Climate, ACSA Architectural Technology Conference, Ann Arbor, Michigan, 1991.
16. Olgyay, Victor, Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism, Princeton University Press, 1963.
17. U.S. Housing and Home Finance Agency, Application of Climatic Data to House Design, AMS Press, 1978.
18. Watson, Donald and Labs, Kenneth, Climatic Design: Energy Efficient Building, Principles and Practices, McGraw-Hill, 1983.
19. 宇田川光弘, パソコンによる空気調和計算法, オーム社, 1986.