16CTAP-C098308-02

건물에너지 평가 프로그램 신뢰성 확보를 위한 대한민국 주요지역 70개소의 표준기상데이터 제작 및 글로벌화

최 종 보 고 서

2017

국토교통과학기술진흥원

국 토 교 통 부

Infrastructure R&D Report

일반 과제(○) / 공개(○)

국토교통기술촉진연구사업 제 2017연도 최종보고서

16CTAP-C098308-02

건물에너지 평가 프로그램 신뢰성 확보를 위한 대한민국 주요지역 70개소의 표준기상데이터 제작 및 글로벌화 최종보고서

2017. 07. 20.

주관연구기관 / (사)한국패시브건축협회

공동연구기관 / 성균관대학교

국토교통부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부(국토교통과학기술진흥원장) 장관 귀하

'건물에너지 평가 프로그램 신뢰성 확보를 위한 대한민국 주요지역 70개소의 표준기상데이터 제작 및 글로벌화' (연구개발 기간 : 2015. 06. ~ 2017. 06.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2017. 07. 20.

주관연구기관명 : 사단법인 한국패시브건축협회 (대표자) 최 정 만 (인)

공동연구기관명 : 성균관대학교 산학협력단 (대표자) 유 지 범 (인)

주관연구기관책임자: 최 정 만
공동연구기관책임자: 송 두 삼

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>16CTAP-C098308-02</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2016.06.24.
~ 2017.06.23.</td><td>단계구분</td><td>2/2
(해당단계)/(총단계)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">기초원천</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">건물에너지 평가 프로그램 신뢰성 확보를 위한 대한민국 주요지역 70개소의 표준기상데이터 제작 및 글로벌화</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">최정만</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총: 12 명
내부: 12 명
외부: 명</td><td>해당단계
연구개발비</td><td>정부: 1800,000 천원
기업: - 천원
정부 외: - 천원
계: 180,000 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원 수</td><td>총: 15 명
내부: 15 명
외부: 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부: 360,000 천원
기업: - 천원
정부 외: - 천원
계: 360,000 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="2">사단법인 한국패시브건축협회
도시 · 건축환경 디자인연구소</td><td colspan="3">참여기업명</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명:</td><td colspan="3">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="2">연구기관명:</td><td colspan="3">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="3">요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)</td><td colspan="3">보고서 면수 : 101</td></tr>
</table>

〈 국문 요약문 〉

연구의 목적 및 내용	○본 연구과제는 고효율/ 저에너지 건축물 및 녹색도시 조성 확산을 유도하고 건축환경평가 및 건물에너지 해석분야의 선진화 및 객관성확보를 위하여 **“대한민국 주요지역의 표준기상데이터”** 를 제작하고자 함.				
연구개발성과	**○ 표준기상데이터 선정 및 산출 알고리즘을 기반으로 한 표준기상데이터 산출 프로그램** - 1년 8,760시간의 기상정보를 산출하는 알고리즘 및 프로그램 - 기상청 실측데이터의 값을 기반으로 한, ISO 15927-4 기준의 표준년 선정 및 기상데이터 추출 프로그램 제작 **○ 일사량(GHI, DHI, DNI) 산출 알고리즘 및 프로그램** - 직달/산란 일사분리 모델을 적용한 일사량 분리/산출 프로그램 - 1년 8,760 시간의 태양위치 계산모델과 전일사량 예측모델이 적용된 전일사량 산출 프로그램 **○ 대한민국 표준기상데이터 제작** - ISO 15927-4 기준에 의해 산출된 표준기상데이터 - 대한민국 70개소의 표준기상데이터 제작 - Trnsys, Energy Plus, WUFI 프로그램과의 연동성 검증 **○ 지속적인 Update가 가능한 기상데이터 산출 프로그램** - 제작된 프로그램은 실측 데이터의 추가 등록이 가능한 형태로, 매년 누적되는 기상청 실측자료를 업데이트하여 표준기상데이터 산출이 가능함 **○ 대한민국 표준기상데이터의 글로벌데이터화 기반 마련** - WUFI 시뮬레이션 프로그램과 Fraunhofer IBP 홈페이지를 연계한 대한민국 표준기상데이터 제공 및 공유 - Trnsys, Energy Plus, WUFI 등 유수의 건축환경평가 프로그램에서 요구하는 기상데이터 제작				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	- 건물에너지 성능저하/ 과설계 방지 - 건축환경평가 및 건물에너지 시뮬레이션 해석결과의 신뢰성 확보 - 에너지 부하해석 프로그램 사용자의 지역적 기후 및 부하저감 이해도 향상 - 우리나라 기후대역에 대한 국제 연구자의 관심 유도와 우리나라 연구진에 의한 건축물 에너지평가 등에 관한 국제적 논문의 신뢰성 제고 - 건물에너지 부하 해석분야의 연구인력 양성과 미세 기후까지의 분석을 통해 국가 건축물 또는 신재생에너지 분야에 대한 정책 수립의 기초데이터로 활용				
핵심어 (5개 이내)	건물에너지	건물에너지 시뮬레이션	기상 자료	표준기상데이터	표준기상데이터 산출 프로그램

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	○ The purpose of this project is "creation of Korean standard weather data" in order to promote the development of high-efficient / low-energy buildings and green cities and enhance the technical level of building environment analysis with its reliability.
Results	○ Development standard weather data and the program to create it based on a reasonable algorithms - Algorithms to determine the standard weather data consisted of 8,760 hours by year. - A program was developed based on the methods of ISO 159727-4 to determine the standard weather data with the measured data by Korea Meteorological Administration. ○ Development of a program based on algorithms to calculate the solar radiations; global horizontal irradiance (GHI), diffuse horizontal irradiance (DHI), and direct normal irradiance (DNI) - A program to have algorithms that can calculate DHI and DNI from measured GHI has to be prepared - Calculation models to predict the hourly position of the sun and a program to predict global horizontal irradiance ○ Creation of Korean standard weather data - Standard weather data based on the ISO 15927-4 methods - Korean standard weather data of 70 stations - Verification of conversion algorithms enable the standard weather data compatible with a variety of building energy simulations, such as TRNSYS, Energy Plus, WUFI, etc. ○ Sustainable program for standard weather data - The final output will be presented as a form of a program that can interlock with the weather data measured by Korea Meteorological Administration. It will be introduced for the model that can generate the standard weather data by annually updating the recent measured weather data. ○ Globalization of Korean standard weather data - Korean standard weather data is unrestrictedly distributed integrating with WUFI simulation programs and the website of Fraunhofer IBP. - Standard weather data was prepared as the weather data formats for the different international energy building simulations, such as TRNSYS, Energy Plus, WUFI, etc.
Expected Contribution	- Preventing degradation and over designs of building energy - Warranting the reliable analysis of building environments and building energy performance - Improving knowledge of regional climates and climatic strategies to reduce building energy demand - Attracting the notice of Korean climate condition from international researchers and securing reliability of international papers in terms of a building energy evaluation research in Korea - Training research manpower in the field of a building energy analysis and utilizing Korean standard weather data as a guiding data in establishing a policy on the industries of a building and renewable energy

Keywords	building energy	building energy simulations	meteorological data	standard weather data	standard weather data-generating program

〈 Contents 〉

1. Summary of R&D project ····· 6
2. Current state of level of technical development ····· 14
3. Research contents and results ····· 19
4. Research achievement and contribution ····· 78
5. Applicable plans of R&D results ····· 84
6. International scientific and technical information in R&D project ····· 86
7. Security level of R&D results ····· 90
8. Results of safety implementation in laboratories ····· 91
9. Representative R&D results ····· 92
10. References ····· 93

〈 목 차 〉

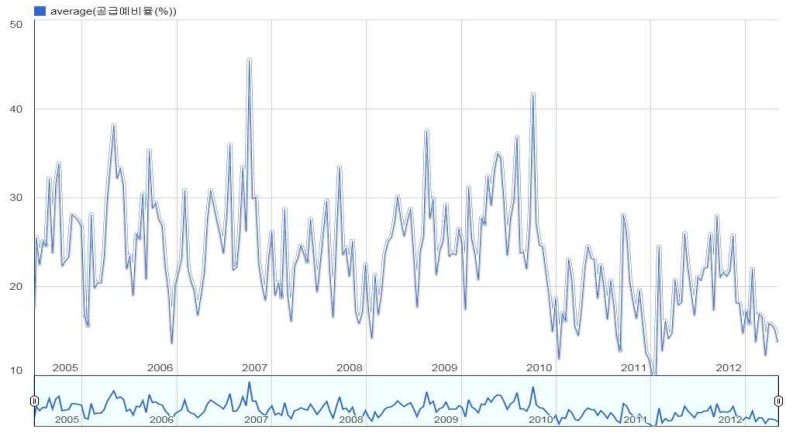
1. 연구개발과제의 개요 ····· 6
2. 국내외 기술 개발 현황 ····· 14
3. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 19
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 78
5. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 84
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 86
7. 연구개발성과의 보안등급 ····· 90
8. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 91
9. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 92
10. 참고 문헌 ····· 93

제1장. 연구개발과제의 개요

1.1 연구개발의 목적

가. 新기후변화체제와 건물에너지 절감 정책의 강화

- 21세기 인류가 당면한 가장 큰 과제중 하나는 지구온난화로 인한 환경파괴와 이로 인한 문명의 재앙을 막는 일이다. 지구온난화(Global Warming)는 무분별한 화석연료의 사용으로 인한 온실가스의 증가가 주된 원인이며, 그 영향을 최소화하거나 방지하기 위해서는 에너지절약을 통하여 화석연료의 사용을 최대한 억제하고 대체에너지를 적극적으로 활용하여야 한다. 온실가스의 배출은 근본적으로 화석연료의 사용에서부터 기인하는데, 국내총생산(GDP)을 감안할 때 우리나라는 OECD국가 중 에너지 소비량이 가장 많은 나라이며, 세계 5위의 원유 수입국, 세계 4위의 LNG 수입국으로 에너지의 수입의존도가 96%에 이른다.



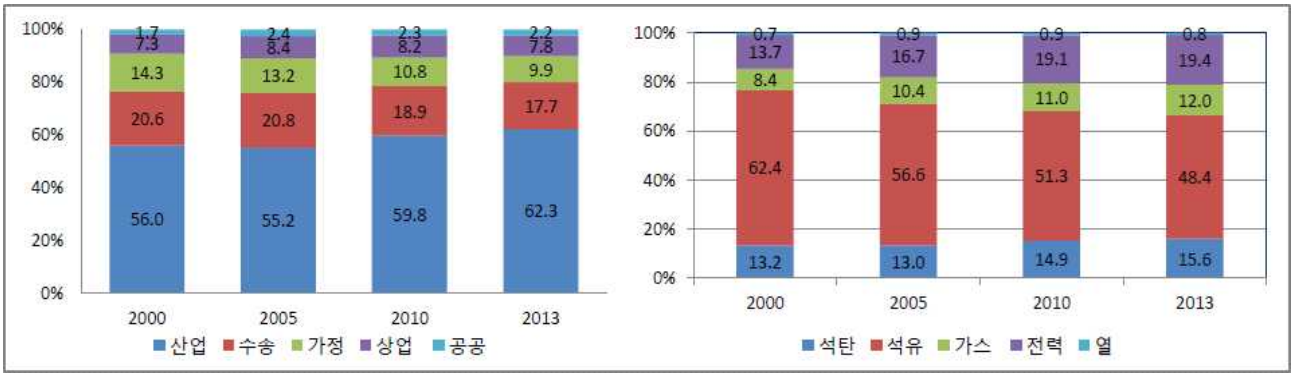
(그림 1) 전력사용량 대비 공급예비율

[표 1] 전력수급 동향 (단위:만kW)

연도	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
최대전력수요	5,126	5,463	5,899	6,229	6,279	6,680	7,131	7,314	7,599	7,652
전년대비 증감률(%)	8.2	6.6	8.0	5.6	0.8	6.4	6.8	2.6	3.9	0.7
설비용량	5,913	6,174	6,478	6,720	7,035	7,331	7,608	7,613	8,181	8,230
공급능력	5,753	6,082	6,518	6,678	6,852	7,207	7,575	7,718	7,997	8,071
예비전력	626	619	619	449	573	527	444	404	398	419
공급예비율(%)	12.2	11.3	10.5	7.2	9.1	7.9	6.2	5.5	5.2	5.5
설비예비율(%)	15.3	13.0	9.8	7.9	12.0	9.7	6.7	4.1	7.7	7.6

출처:e-나라지표, www.index.go.kr

- 우리나라는 新기후변화체제에서 2030년도 BAU(Business As Usual)대비 37%의 절감량을 달성하기로 국제사회에 약속하였으며, 이에 따라 전 산업분야에 걸쳐 보다 적극적인 에너지 소비 절감 정책이 시행될 것으로 예상된다. 건축부분의 에너지 소비는 그림 2와 같이 가정, 상업 및 공공 건축물에서 전 국가에너지의 20~25%를 차지하는 수준을 나타내고 있으며, 이중 냉·난방을 위한 에너지 소비는 그 절반을 차지하고 있는 실정이다. 이에 따라, 에너지 소비량이 비교적 많은 건축부문에서도 에너지소비를 절감하기 위한 다양한 대책들이 논의되고 있으며, 추후 저에너지/ 제로에너지 건축물을 구현하기 위한 다양한 정책의 강화 제도가 시행될 것으로 예상된다.



(그림 2) 부문별/원별 최종에너지 소비구조 변화 (2000~2013)

출처:통계청, http://kostat.go.kr

- 건물부문에서의 에너지 소비증가는 현대인의 쾌적한 실내환경에 대한 요구 증대와 밀접한 관련이 있다. 현대인의 삶의 질이 향상됨에 따라, 온열환경, 실내공기질, 음환경에 대한 관심과 수요가 증가하고 있으며, 이는 저에너지 건축물을 의뢰하는 건축주의 증가, 건축환경 컨설팅 업체의 증가, 냉·난방 전력사용에 따른 누진세에 대한 사회적 이슈 등 건축환경 및 건물에너지에 대한 인식이 전반적으로 제고되고 있다. 이는 최근 전력사용 통계에서도 확인 가능하듯이, 난방에너지 사용에 초점이 맞추어져 있던 건물에서의 에너지 소비가, 지구온난화와 이상기후의 잦은 발생으로 인해 하절기 냉방에너지의 소비를 가속화하고 있으며, 냉·난방 부하의 증가는 에너지소비의 증가와 함께 하절기/동절기 전력피크부하를 증가시킴으로서 국가 경제와 에너지관리 측면에서 커다란 부담으로 작용하고 있다.

- 정부정책과 현재 수행중인 R&D의 내용을 통해서도 범국가적인 건물에너지 절감에 대한 노력과 의지를 확인 할 수 있으며, 대표적인 사례로, 국토교통부는 2016년 11월 16일 보도 자료를 통해 국가 온실가스 감축 및 국민 주거비 경감을 위하여 신축 공동주택의 에너지 의무절감률을 상향 조정(30~40% → 50~60%) 하겠다는 내용을 골자로 하는 「에너지절약형 친환경주택의 건설기준」 개정안을 12월에 공포 후, 2017년 6월부터 시행한다고 발표한 바 있다. 이처럼 정부정책의 강화, 요소기술의 개발과 친환경/ 저에너지 건축물에 대한 소비자 인식의 저변이 확대됨에 따라, 고효율 건축물에 대한 소비자의 수요와 건축환경, 온열 및 에너지성능 분석사례는 급격하게 증가할 것으로 예상되며, 이에 대한 수요를 대처하고, 건축계획 단계에서 쾌적한 에너지 고효율 건축물을 구현하기 위하여 건축환경 연구진과 건축환경 해석 프로그램 경험자에 대한 수요 또한 증가할 것으로 예상할 수 있다.

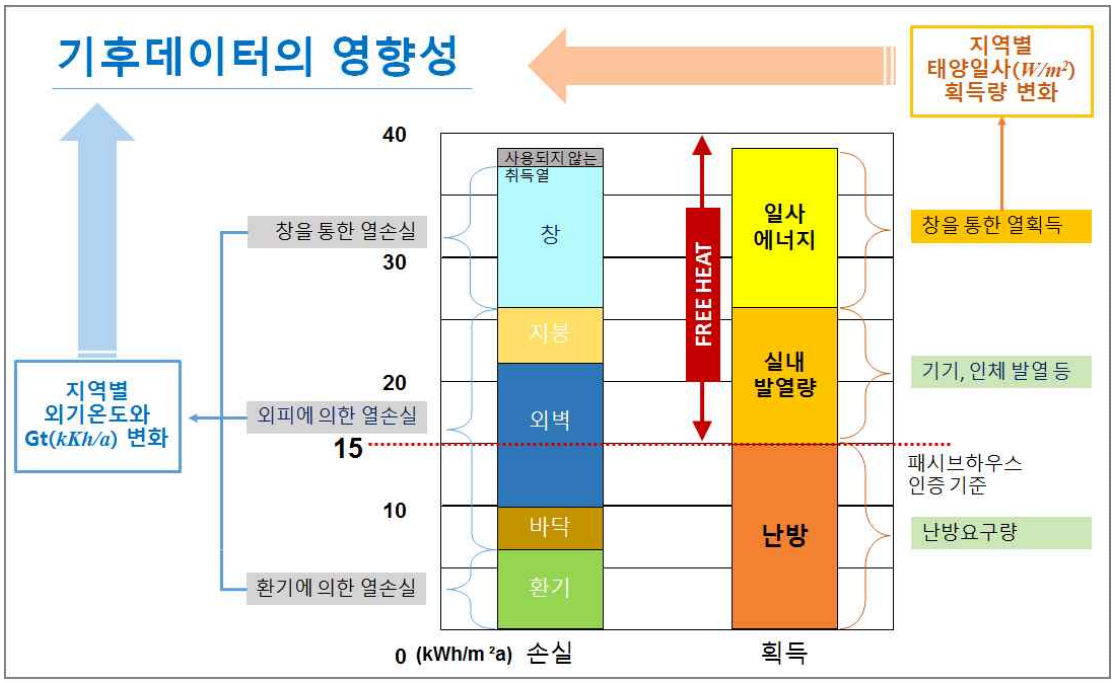
나. 표준기상데이터의 중요성

- 건물에너지 소비에 대한 관심의 증대와 막대한 에너지의 소비처인 건물의 에너지 효율향상을 위하여 고성능의 단열재 개발, 기밀성능 확대, 열교차단 기술, 공조 설비 최적제어 등의 연구들이 수행 중에 있으나, 그 이전에 건축 계획 단계에서 정밀한 건물에너지 해석을 통해 고효율의 건축물을 구현할 수 있는 설계방안이 마련되는 것이 건축물의 에너지소비를 절감 할 수 있는 초석이라 할 수 있다. 하지만 국내의 건물에너지 해석분야는 전문연구기관, 건축환경 컨설팅 기관 및 고등교육기관 등 건축환경 전문연구진에 의하여 수행되는 수준에 머물고 있으며, 건축재료의 성능 발전, 시공능력 향상, 창호/문의 단열 및 기밀성능 향상 등 요소기술은 나날이 진화하고 있으나, 건물에너지 해석을 위한 기초 자료인 대한민국 표준기상데이터는 부재의 상태에 머물러 있다.

- 건축물의 에너지 소비량은 기본계획단계에서 결정되는 건축물의 구체 및 건축설비에 크게 의존된다. 따라서 에너지 고효율의 건축물이나, 저에너지 소비 형태의 주거건축물을 구현하기 위

해서는 에너지 성능평가 프로그램을 통해 기획 단계에서부터 건축물의 성능을 검증하여, 에너지 고효율 및 저에너지 건축물을 구축하는 것이 바람직하며, 쾌적한 실내공간을 목표로 하는 냉·난방 부하 계산에 가장 큰 영향을 주는 요인은 해당지역의 기상상태라고 할 수 있다. 즉, 수평전일사량, 확산일사량, 직달 일사량, 평균외기온도, 강수량, 평균바람속도 등 다양한 기상데이터를 통하여야만 보다 정확한 건축물의 냉난방 부하 및 성능을 예측할 수 있으며, 이미 선진국에서는 주요 지역의 기후데이터를 정리하여 대상지역의 표준기상데이터를 활용해 건물에너지 해석을 하고 있다.

- 그림 3은 건축물의 열손실, 열획득으로 인한 요소별 에너지 밸런스와 난방에너지 부하의 개념을 나타내고 있다. 그림에서 나타낸 바와 같이 건축물은 실외기후의 외기온도, 풍속, 풍향 및 강수에 따라서 난방도시(Gt;kKh/m^{2}a)가 변화할 수 있으며, 이는 건축물의 외벽, 지붕, 바닥, 창 및 문 등 외피로 인한 열손실에 지대한 영향을 미치게 되며, 환기량에 따른 열손실에 직접적인 영향을 미치게 된다. 또한 건축물이 구현되는 해당지역의 일사량은 건축물이 획득할 수 있는 에너지량과 직접적인 연관성을 나타내며, 냉·난방부하를 결정짓는 중요한 기후데이터로 작용한다. 따라서 정밀한 건물에너지 해석을 위해서는, 해당지역을 대표할 수 있는 외기온도, 습도, 강수량, 풍향, 풍속, 대기압, 일사량 등의 기상데이터를 기반으로 건물에너지 해석이 이루어져야 한다.



(그림 3) 건축물의 Energy Balance와 기후데이터의 영향성

- 하지만 국내의 경우 대표적인 표준기상데이터의 지점이 부족하여, 정밀한 해석의 어려움을 겪고 있는 실정에 머물러 있다. 또한, 건물에너지, Hygrothermal 분석을 위해서는 전일사량(Glonal Radiation)과 확산일사량(Diffuse Radiation) 데이터가 모두 필요하나, 국내의 관련 기관에서는 일부지점에 한하여 전일사량(Glonal Radiation)의 데이터만 제공하고 있는 것을 알 수 있다.
- 본 연구의 수행 이전에는 국내에서는 건물에너지 해석을 위한 공인된 표준기상데이터가 그림 5와 같이 미국 DOE(Department of Energy)에서 개발한 건물 부하 해석프로그램인 EnergyPlus 에서 제공되는 주한미군에서 수집한 데이터로 작성된 4개 도시(인천, 강릉, 광주, 울산)가 유일하며, 그 외의 해외 유수의 건물에너지 해석프로그램에서도 우리나라 기상데이터는 지역에 부합되지 않게 제공되거나, 제공되고 있지 않는 실정이었다.

- 따라서, 각 지역별 건물에너지 해석을 위한 표준기상데이터의 적용이 불가능한 상태였으며, 고효율화 되어가는 건축물의 에너지해석 결과의 신뢰성을 확보할 수 없는 수준이었다. 이에 따라, 본 연구에서는 국내 건물에너지 해석분야의 선진화와 신뢰성 확보를 위하여, 국내 주요지역을 대상으로 건물에너지 해석에 필요한 표준기상데이터를 작성하고자 하였으며, 유수의 건축환경 시뮬레이션 프로그램에 국내 표준기상데이터를 적용하여 유효성을 검증받고자 하였다.

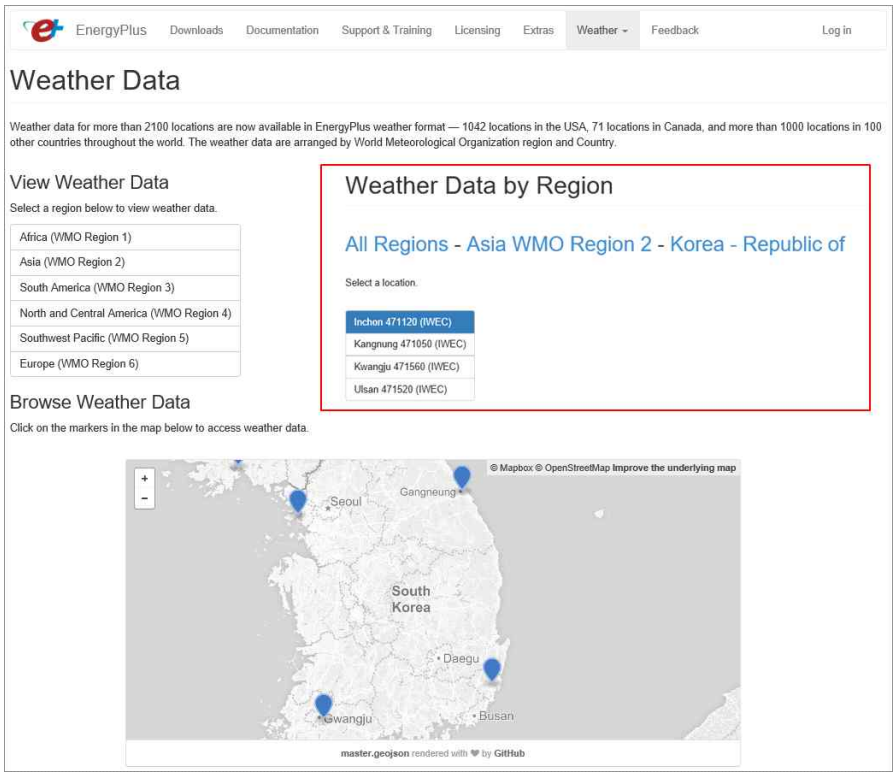
서울지역 연간 일사량 비교 (단위 : kWh/m2)

프로그램	전일사	확산일사	직달일사
메테오놈	1184	730	823
기상청	1188	-	1486
에기연	1184	-	846
태양E학회	1156	-	468
에관공(ECO2)	1189	-	-

에너지효율등급 인증기준(ECO2) 서울지역 일사

월	월별평균 외기온도 [℃]	수평면/수직면 월평균 전일사량 [W/m²]								
		수평면	남	남동	남서	동	서	북동	북서	북
1월	-2.1	83.0	116.0	87.5	94.6	46.6	52.0	28.7	28.7	28.3
2월	0.2	117.4	134.4	98.9	127.3	66.7	90.8	44.2	44.2	41.0
3월	6.3	141.2	118.5	142.0	82.3	122.1	62.4	75.0	75.0	48.4
4월	13.0	180.3	110.6	105.7	120.2	95.5	112.5	77.1	77.1	66.5
5월	17.6	189.3	85.6	97.5	96.9	97.0	95.9	76.9	76.9	56.3
6월	21.8	183.1	86.0	104.6	94.5	113.0	97.4	99.3	99.3	77.3
7월	25.2	145.9	75.1	94.2	73.2	102.0	72.0	88.7	88.7	67.0
8월	26.4	147.4	86.7	99.6	84.3	100.4	80.9	85.0	85.0	68.1
9월	21.2	157.7	117.7	115.7	112.2	99.6	97.8	72.9	72.9	60.2
10월	14.7	129.1	138.7	128.9	106.8	92.1	72.7	49.5	49.5	38.3
11월	6.9	82.4	103.9	83.5	84.4	51.8	52.6	32.5	32.5	31.3
12월	0.9	72.1	105.8	87.8	79.6	50.2	43.5	28.5	28.5	26.9

(그림 4) 일사데이터 제공 기관 및 데이터 비교 사례



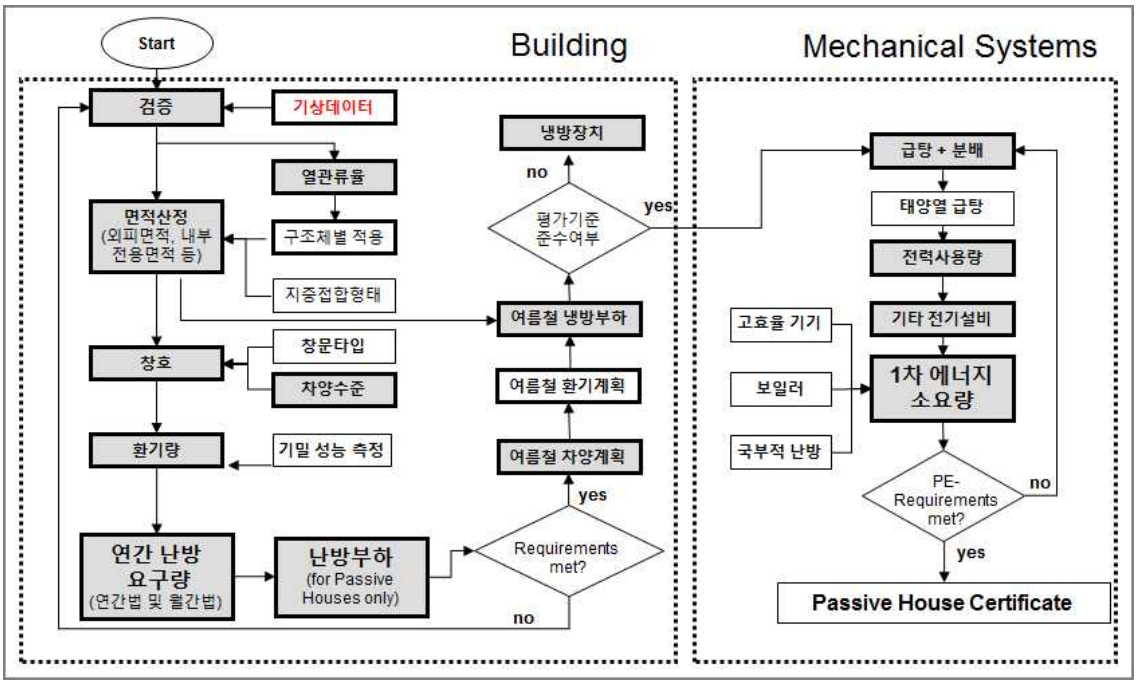
(그림 5) EnergyPlus 기상데이터 자료실(대한민국)

1.2 연구개발의 필요성

가. 표준기상데이터와 건물에너지 성능

- 표준기상데이터란 건물에너지 및 건축환경 성능 평가 시에 입력되는 기초 입력 자료로 356일의 8,760 시간의 각종 시간상태 데이터를 말하며, 이러한 표준기상데이터는 건물에너지 및 건축환경 시뮬레이션 해석 결과에 영향을 미치는 주요 인자로서, 대상 건축물의 해석결과는 해당지역의 수평직달 일사량, 평균외기온도, 강수량, 평균바람속도 등의 기상데이터를 기반으로 산출되어야 한다.

- 그림 6은 패시브하우스 인증을 위한 ISO 13790에 따른 건물에너지 해석 프로세스 개요를 나타내고 있다. 그림에서 나타난 바와 같이 건축물의 에너지 해석을 위해서는, 건축물의 열적성능, 외피면적, 체적, 지중접합형태, 창호, 환기량, 기기 및 보일러 등 건축물의 정보를 입력하기 이전에 해당 건축물의 지역적인 기후상태를 확인하기 위한 기상데이터의 입력이 우선 시 되고 있는 것을 알 수 있다. 이는 해당지역의 외기온도(℃), 일사량(kWh/m^2), 상대습도(%)의 영향으로 난방도시와 냉방도시가 변화, 일사획득량에 따라 난방에너지 부하 변동이 발생하며, 하절기 실내로 유입되는 일사량과 외기의 상대습도는 여름철 냉방에너지 부하와 제습 잠열(Latent Heat)량에 많은 영향을 미칠 수가 있기 때문이다.



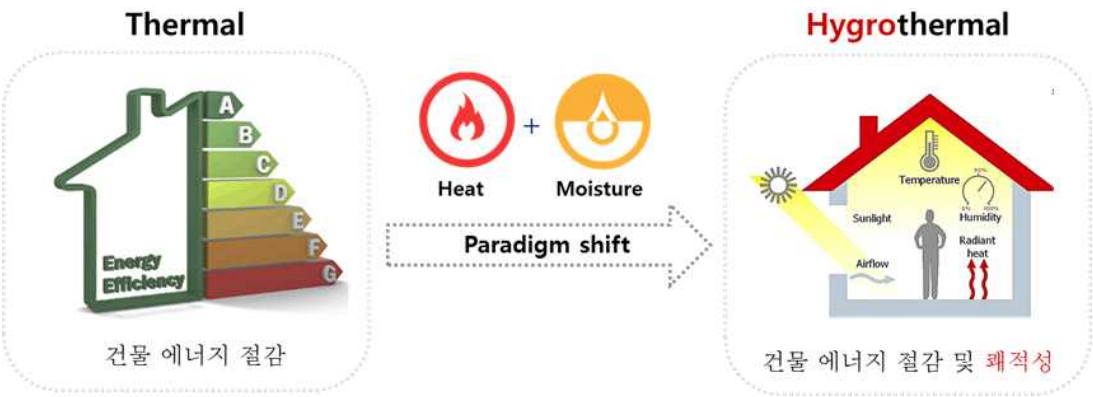
(그림 6) ISO 13790 건물에너지 시뮬레이션 프로세스(PHPP)

나. 표준기상데이터와 건물 Hygrothermal 성능

- 국내의 경우 겨울철 춥고 건조한 외기환경, 하절기 고온 다습한 외기환경이 나타내어, 실내·외의 수증기분압차이로 인한 습기의 영향성이 큰 외기조건을 가지고 있으며, 대부분의 도시에서는 대형건축물·공동주택 위주로 건축물이 건설되고, 에너지 소비 절감과 침기로 인한 열손실을 방지하기 위해 벽체성능의 향상과 고기밀성 창호가 설치되는 사례가 증가하고 있는 실정이다. 하지만, 외부로부터의 침기량 감소와 고기밀화된 실내환경은 실내의 수증기압과 절대습도가 높아지는 경향을 나타내고, 그림 7과 같이 실내표면과 구조체 내부의 곰팡이와 결로발생 가능성을 높이는 결과를 초래하여 거주자와 건설 주체 사이의 빈번한 소송이 발생하고 있다.

- 이는, 국내의 외기조건과 동일한 생활습관 내에서 건축물의 성능향상에 따른 실내 온/습기 영향성을 고려하지 않았기 때문이며, 에너지 측면에서는 이점으로 작용하였던 부분이 생활환경 관점에서는 악영향을 발생시키는 원인으로 작용하였기 때문이다. 따라서 이에 대한 문제를 사전에 방지하고, 쾌적한 실내환경을 구현하기 위해, 건축환경분야에서는 건물에너지 분석 외에도 Hygrothermal 분석에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있는 추세에 있으며, 건축 온열환경의 쾌적성이 구조체의 열적성능 만족에서,「**건축물의 열적성능과 열/습기 거동을 함께 고려한 쾌적 상태**」를 의미하는 패러다임의 변화가 발생하고 있다.

(그림 7) 국내 건축물의 습기로 인한 실내 하자발생사례
(출처 : 한국패시브건축협회 질문게시판)

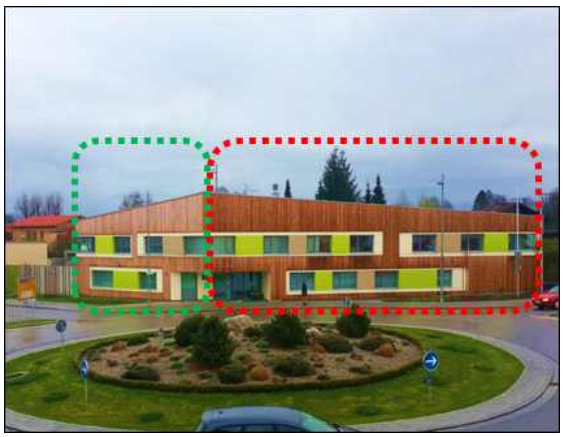


(그림 8) 건축 온열환경 쾌적성의 패러다임 변화

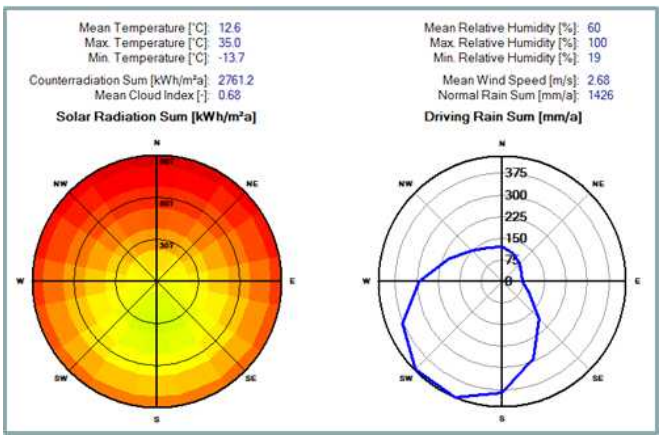
- 건물에너지 해석 프로세스와 마찬가지로, 표준기상데이터는 건축물의 Hygrothermal 거동 분석을 위한 필수적인 요소이다. Hygrothermal 분석은 건물에너지와는 달리 건축물의 재료 물성에 따른 습기의 거동과 열적성능을 복합적으로 분석하는 것을 의미하며, 구조체 내부의 결로발생, 곰팡이 성장, 습기 증발로 인한 잠열 손실량 등을 분석하기 위해 실시된다. 기존의 온열환경 분석에서는, 구조체의 열적성능과 손실열량 계산을 기반으로 에너지 해석이 이루어진 반면,

Hygrothermal 분석은 습기로 인한 하자발생, 실내쾌적성 등에 초점이 맞추어져 있다.

- <u>Hygrothermal 거동 분석 시뮬레이션의 정확성을 확보하기 위해서는, 분석 대상 건축물의 해당지역 1년 8,760 시간의 외기온도(°C), 일사량(kWh/m2), 상대습도(%), 평균 풍속(m/s) 등과 같은 기상데이터 정보 외에 추가적으로 강수량(mm), 풍향(-), 운량(-) 등의 기상데이터 정보를 추가적으로 요구</u>하게 된다. 이는, 바람의 방향과 풍속에 따라 향별로 연간 건축물 외피에 들이치는 비의 양이 달라질 수 있으며, 이로 인해 구조체별 열/습기 거동이 달라지기 때문이다. 그림 9는 동일 건물에서 방위가 다른 두 벽체(좌: 북서측, 우: 남서측)에 대한 사진이며, 비가 온 이후에 북서측을 바라보는 벽체에 비해 남서측을 바라보는 벽체가 더 습윤해지는 것을 확인할 수 있다. 따라서, Hygrothermal 분석을 위해서는 단순히 실내·외의 온·습도 조건만을 고려하여 벽체의 성능변화를 분석하는 것이 아니라, 그림 10과 같이 표준기상데이터를 통해 바람의 주방향, 풍속 및 강수량 등을 정확하게 고려해야 함을 알 수 있다.



(그림 9) 동일 건물에서 방위가 다른 벽체 사진



(그림 10) Hygrothermal 분석을 위한 실외 기후데이터 (WUFI Tool)

1.3 연구개발 범위

가. <u>기상청 실측 데이터(10년; 2005년~2014년)의 유효성 검증 및 보간</u>

- 대한민국 지역별 기후 성을 고찰하기 위하여 기상청 홈페이지 (http://www.kma.go.kr) 와 기상청에서 제작한 1981~2010 한국기후도와 1981~2010 한국기후표를 인용 및 참고하였으며, 시간당 측정된 기상청 실측 데이터의 유효성을 검증하였음

나. <u>표준기상데이터 선정 알고리즘을 기반으로 한 표준기상데이터 산출 프로그램 제작</u>

- 기상청 실측데이터의 값을 기반으로 한, ISO 15927-4 기준의 표준년 산출 알고리즘 제작
- 1년 8,760시간의 기상정보를 산출하는 알고리즘 및 프로그램을 제작함

다. <u>일사량(GHI, DHI, DNI) 산출 알고리즘 및 프로그램 제작</u>

- 기상관측소 22개 지점의 전천일사량 데이터를 활용한 DHI, DNI 일사 분리 프로그램 제작
- 일사 데이터가 존재하는 22개 지점을 제외한 나머지 48개 지점의 일사량은 일조시간, 운량을 이용하여 전천일사량을 추정 알고리즘을 적용하고, 이를 건물에너지 해석을 위하여 DHI, DNI로 분리·산출하는 알고리즘 및 프로그램을 개발함

라. <u>대한민국 70개소 표준기상데이터의 제작</u>

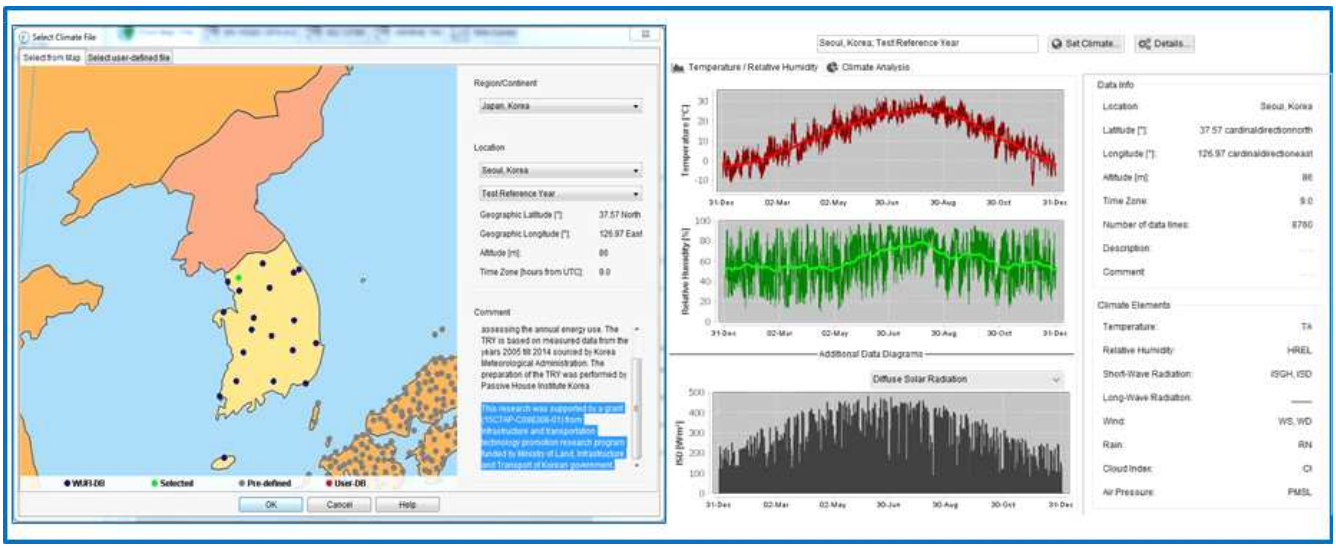
- ISO 15927-4 (Hygrothermal performance of buildings -- Calculation and presentation of climatic data -- Part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling) 기준에 따른 대한민국 표준기상데이터
- 작성된 표준기상데이터의 유효성 검증을 위해 EnergyPlus, Trnsys, PHPP 및 WUFI 기상데이터로 변환하여 프로그램과의 연동성이 검증되었음
- 건물에너지 해석과 Hygrothermal 분석이 모두 가능하도록 산출된 대표연/월 8,760 시간의 외기온도(°C), 전일사량(Global radiation), 확산일사량(Diffuse radiation), 상대습도(%), 평균 풍속(m/s) 등과 같은 기상데이터 정보 외에 추가적으로 강수량(mm), 풍향(-), 운량(-) 등의 기상데이터를 포함하고 있음

마. 지속적인 Update가 가능한 기상데이터 산출 프로그램

- 표준기상데이터 산출 프로그램은「표준년 산출 프로그램」, 일사량 관측이 이루어지고 있지 않은 지역을 위한 「전천일사량 산출 프로그램」과「직달/확산 일사 분리 모델」로 이루어져 있으며, 관련 연구진의 활용이 가능하도록 제작되었음

바. 건축환경평가 분석분야의 국제 연구교류 기반 마련

- 제작된 표준기상데이터의 유효성 검증을 통해 신뢰성을 확보하였으며, 공신력 강화를 위하여 주요지역 20개소에 대하여 WUFI 시뮬레이션 프로그램에 기본 탑재함
- 또한, 국내·외 연구진의 활발한 연구교류 및 보급을 위하여 WUFI 홈페이지와, 한국패시브건축협회 홈페이지에 업로드 하여 배포 중에 있음



(그림 11) WUFI Pro 프로그램에 적용된 대한민국 표준기상데이터 제공 모습

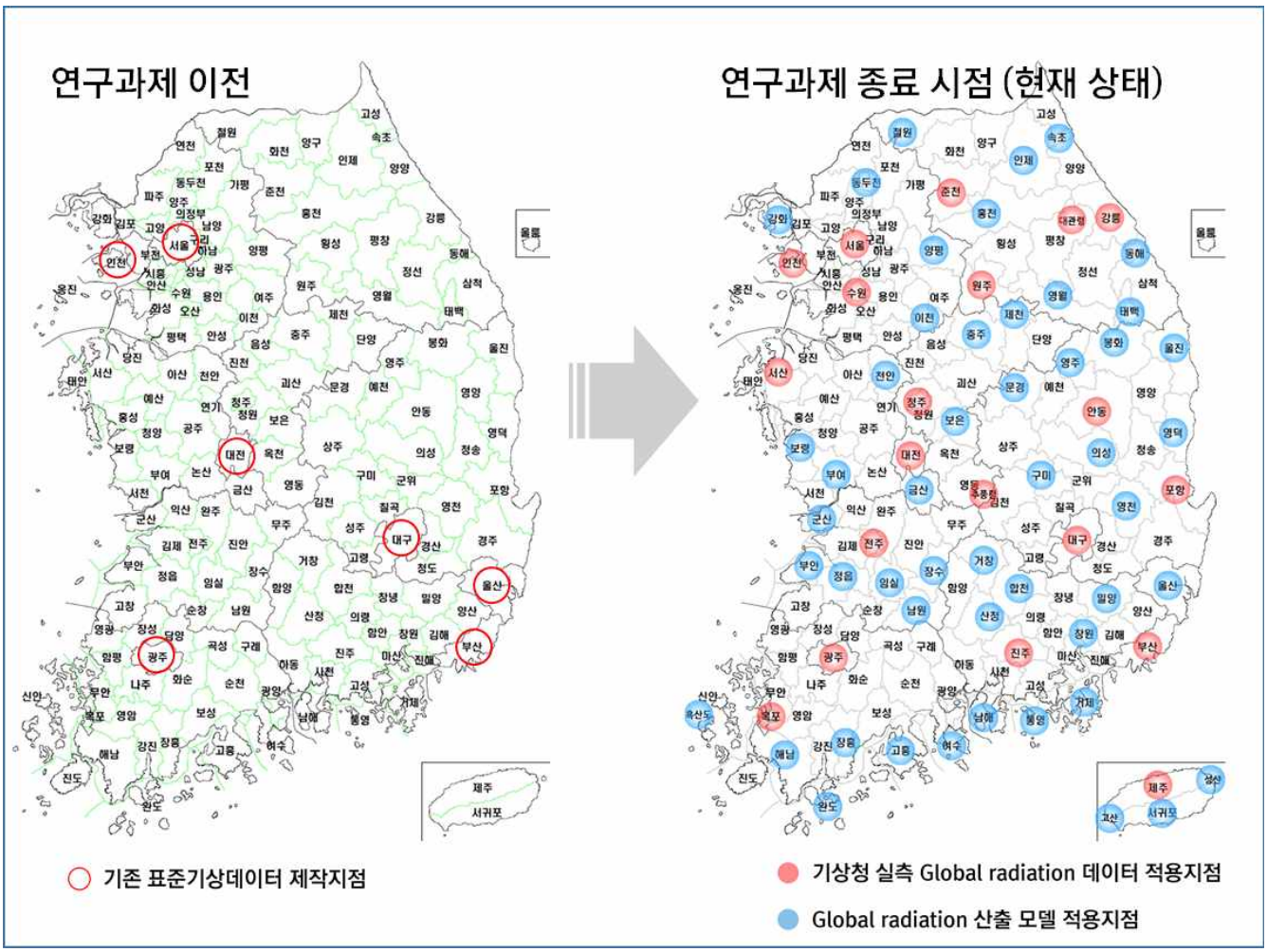
제2장. 국내외 기술 개발 현황

2.1 대한민국 표준기상데이터

가. 연구과제 전/후 표준기상데이터 제작지점

- 기존의 대한민국 표준기상데이터는 수도 서울 및 광역시를 기준으로 7개 지점에 대하여 연구가 진행된 바 있다. 하지만 기존의 표준기상데이터는 2010년 이후로 실측된 기상청 자료를 반영하고 있지 않으며, 좁은 지역 내에서도 심한 해발차이를 나타내는 국내지형을 커버하기에는 한계점을 지니고 있어, 향후에는 표준기상데이터로 활용이 어려울 것으로 판단되었다.

- 따라서, 본 연구에서는 기존에 연구되었던 대도시를 포함하여, 기상관측소 70개소의 실측데이터를 바탕으로 표준년/월을 선정하고 표준기상데이터를 작성하였다. 기상데이터 제작 지점은 그림 12와 같이 기상청 실측데이터 분석 내용을 토대로, 시간단위의 전일사량(GHI; W/m^2) 측정데이터가 존재하는 20개소와 시간단위의 전일사량이 없는 50개소를 분류하여 총 70개소의 표준기상데이터를 완성되어, 지역적 기후정보를 기반으로 한 정밀한 건물에너지의 해석과 건축환경 및 열/습기 거동 평가가 가능할 것으로 예상된다.



(그림 12) 대한민국 표준기상데이터 제작 지점

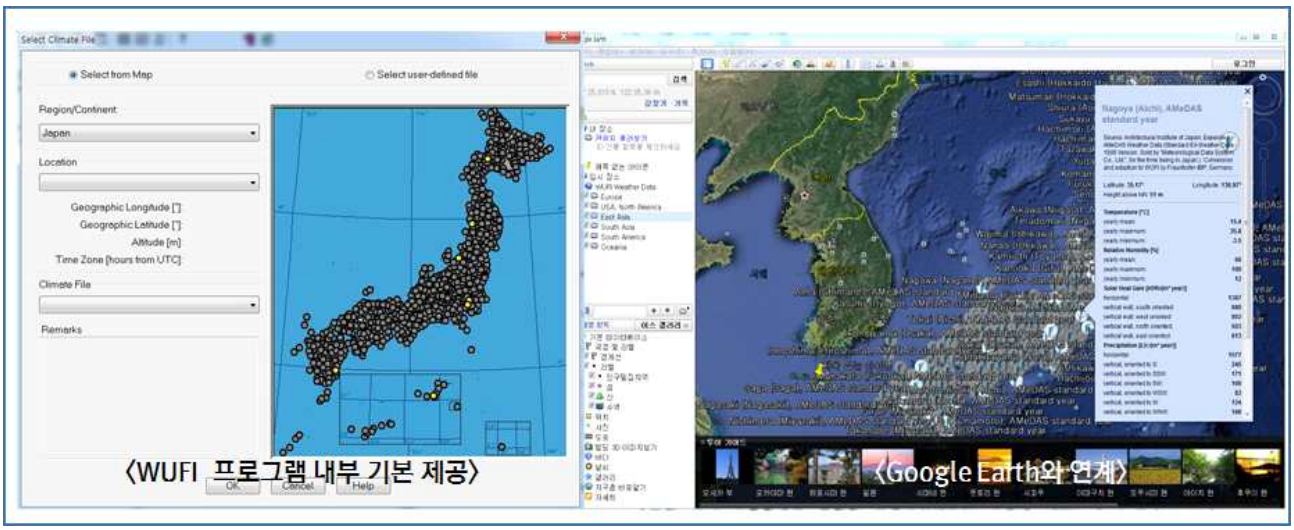
- 또한, 본 연구과제를 통해 기상청 실측 누락데이터를 보간하는 방안을 정립하였으며, 연구과제의 결과물인 「표준년 산출 프로그램」, 「전천일사량 산출 프로그램」과「직달/확산 일사 분리 모델」을 활용한다면, 향후에는 매년 실측되는 기상청의 자료를 반영한 최신의 표준기상데이터 제작이 간편하게 이루어질 것으로 기대한다.

2.2 국외 기상데이터 제작 및 연구사례

가. 선진국의 표준기상데이터 작성 사례

○ 일본

- 일본의 경우 태풍, 지진, 쓰나미 등 자연재해에 대한 정보를 분석하고, 추운지역과 덥고 습한 지역을 포함하고 있어, 일본 전역에 걸쳐서 수많은 기상관측소가 존재하고 있는 것으로 확인되었다. 그림 13에 WUFI 프로그램과 구글 어스에서 선택할 수 있는 아시아지역의 기후데이터 선택 모습을 나타내었다. 일본의 경우 기상관측소 지점별로 표준기상데이터를 작성하여 제공하고 있는 것을 확인 할 수 있으며, 독일 Fraunhofer IBP 연구소와의 협업을 통해 이를 구글 어스와 연계하여 제공하고 있는 것을 확인 할 수 있다.

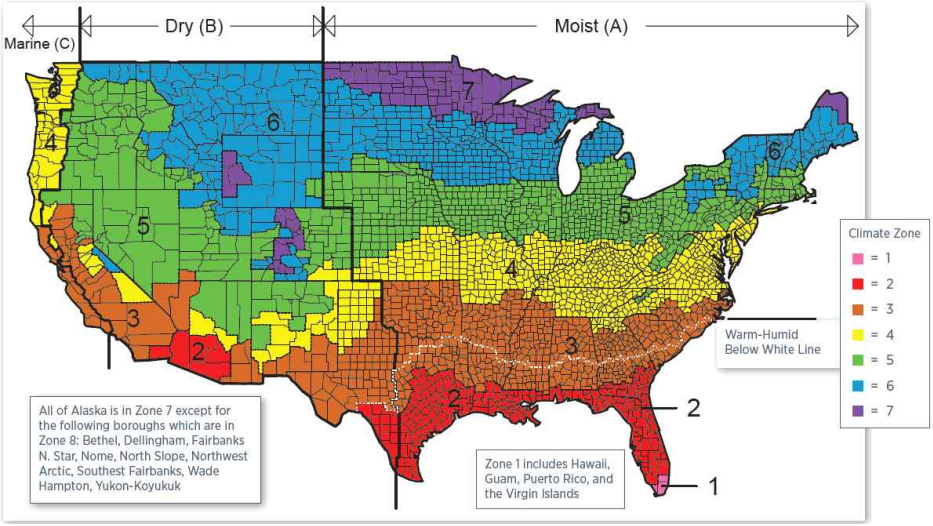


(그림 13) 일본의 표준기상데이터 제작 사례 모습

○ 미국

- 북미의 경우 넓은 국토를 기후적인 특징으로 분류하여 관리하고 있으며, 지역별 기후대를 적용하여 관리중인 것을 알 수 있다. 그림 14는 미국의 기후분류를 나타내고 있다. IECC (International Energy Conservation Code)에 따르면, 미국은 총 덥고 습한 지역, 해양성 기후, 추운지역, 아주 추운지역, 덥고 건조한 지역 등 7개의 기후대로 분류하여 건축물을 관리하고 있으며, 지역별 기후적인 특징에 따라 열/습기 거동으로부터의 하자발생 방지를 위해서 구조체의 재료 중 방습층의 설치를 달리 권고하고 있다. IECC에 따른 방습층 설치 기준과 예시는 표 2와 표 3에 각각 나타냈다.

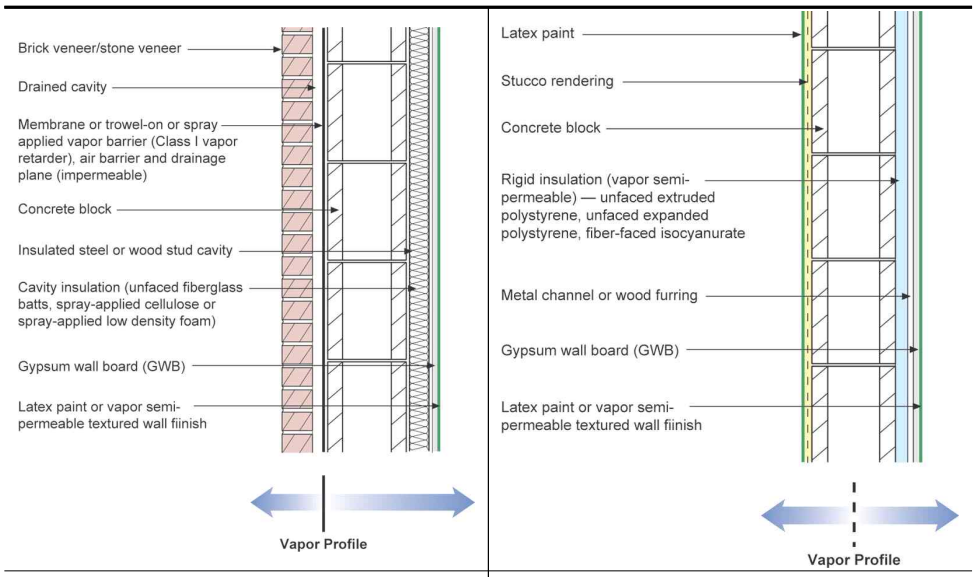
- 또한, 미국 DOE 에서는 그림 14와 같이 작성된 표준기상데이터를 TMY, TMY2, TMY3 의 형태로 미국 전역에 걸쳐 수백개의 표준기상데이터를 제공중에 있다.



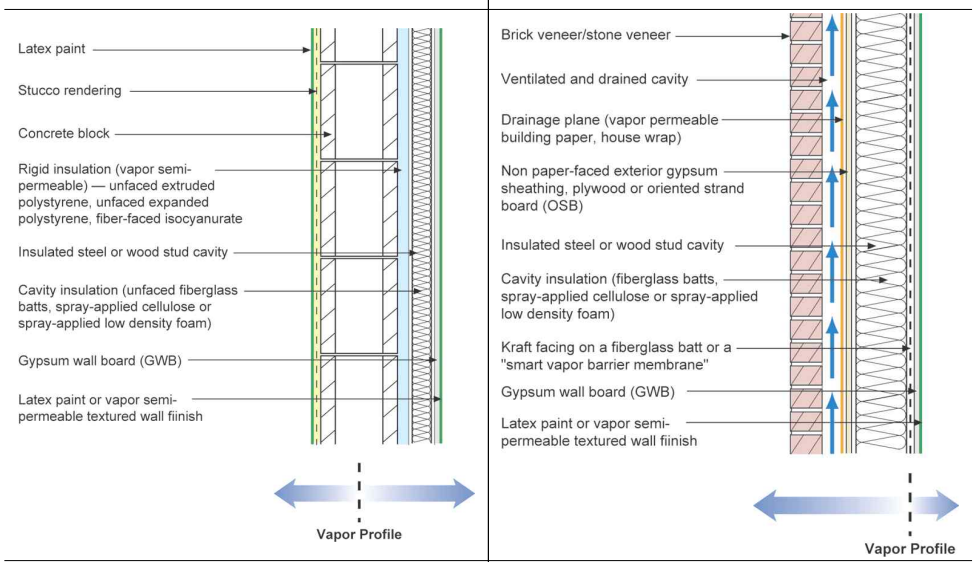
(그림 14) 미국의 지역별 기후대 분류지역

(출처 : International Energy Conservation Code, U.S. Department of Energy, 2012)

[표 2] 미국 지역별 방습층 설치 예시



(a) 덥고 습한 지역에 적용 | (b) 모든 Hygrothermal 지역에 적용



(c) 모든 Hygrothermal 지역에 적용 | (d) 추운 지역에서 적용

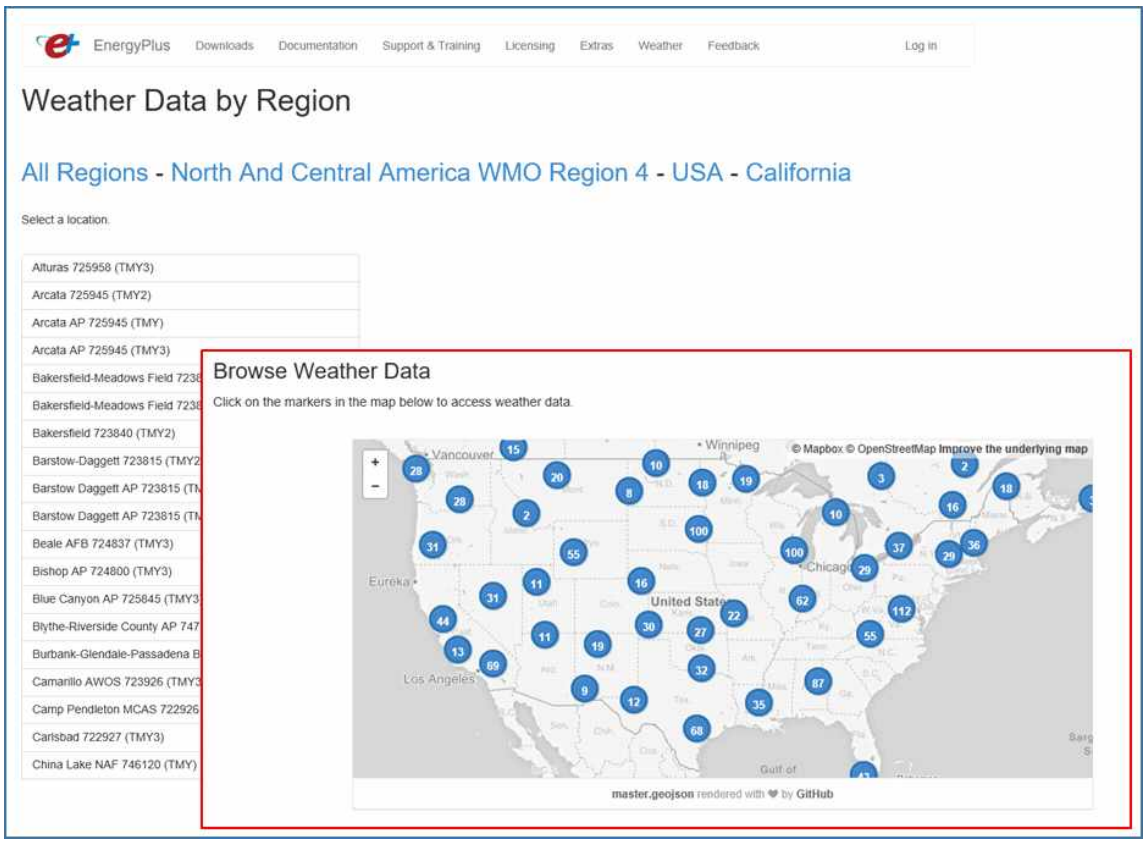
(출처 : Vapor Barrier Journal Paper, U.S Department of Energy, 2007)

[표 3] 미국의 지역별 방습층 설치 기준

<table>
<tr><th>분류</th><th>기후대를 구분으로 한 방습층 설치 기준</th></tr>
<tr><td>1</td><td>미국의 기후대 1 ~ 4 지역에서는 어떠한 등급의 방습층이 단열층의 실내표면 측에 필요하지 않다.</td></tr>
<tr><td>2</td><td>기후대 5 지역에서는 외부 피막의 투습성능이 ASTM E-96 의 컵 테스트 방법을 통해 실험했을 때 1.0 perm 이상일 때는 단열층 실내 표면측에 등급 3 혹은 그 이하의 방습층이 필요하다.</td></tr>
<tr><td>3</td><td>기후대 6 과 7 지역에서는 벽과 바닥 피막의 투습성능이 ASTM E-96 의 컵 테스트 방법을 통해 실험했을 때 1.0 perm 이상일 때는 단열층 실내 표면측에 등급 2 혹은 그 이하의 방습층이 필요하다.</td></tr>
<tr><td>4</td><td>기후대 지역 5, 6 및 7 지역에서는 벽과 바닥 피막의 투습성능이 ASTM E-96 의 컵 테스트 방법을 통해 실험했을 때 1.0 perm 이하일 때는 단열층 실내 표면측에 등급 3 혹은 그 이하의 방습층이 필요하고, 외부 피막층의 실내측 표면이 실내공기의 노점온도보다 높게 유지되어야 한다. 이 설계 방식에서는 표 1에 명시된 상대 습도에서 실내공기의 온도가 온도가 70°F (21°C)로 정적상태로 열전달이 이루어지고 있다고 가정하며, 외기의 온도는 해당지역의 연중 가장 추운 3개월에 대한 평균값으로 설정한다. (예 : 12 ~ 2월)

표 1. 정적상태 디자인 방법을 위한 설계 조건
<table><tr><td>기후대 5</td><td>(상대습도 30%, 실내온도21°C (노점온도 2.8°C)</td></tr><tr><td>기후대 6</td><td>(상대습도 25%, 실내온도21°C (노점온도 0°C)</td></tr><tr><td>기후대 7</td><td>(상대습도 20%, 실내온도21°C (노점온도 -2.2°C)</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>5</td><td>기후대 5 지역에서는 지붕과 다락 구조체 단열층 실내측 표면에 등급 3 혹은 이하의 방습층이 필요하다.</td></tr>
<tr><td>6</td><td>기후대 6과 7 지역에서는 지붕과 다락 구조체 단열층 실내측 표면에 등급 2 혹은 이하의 방습층이 필요하다.</td></tr>
<tr><td>7</td><td>기후대 5, 6 및 기후대 7은 내부에서 단열 된 아래 등급의 벽돌 및 콘크리트 벽의 단열층 실내측 표면에 등급 3 이하의 방습층이 필요하다.</td></tr>
<tr><td>8</td><td>지면 접촉부의 콘크리트 슬래브 바닥은 슬래브 또는 경질단열재와 직접 접촉하는 아래에 최소 R-5의 열 저항을 갖는 슬래브 또는 단열재와 직접 접촉하는 슬래브 아래에 등급 1 방습층이 있어야 한다.</td></tr>
<tr><td>9</td><td>동적 Hygrothermal 모델링으로 어셈블리를 평가할 때 상기 요구 사항의 예외가 허용되어야한다. 건축 구조체를 구성하는 건축 자재의 수분 함량은 이 평가 방법에서 ASHRAE 160 에 명시된 재료의 평형 수분 함량보다 낮아야한다. 실내, 외기 조건 또한 ASHRAE 160 에 명시된 실내 공기 조건 및 외부 공기 조건을 사용해야한다.</td></tr>
</table>

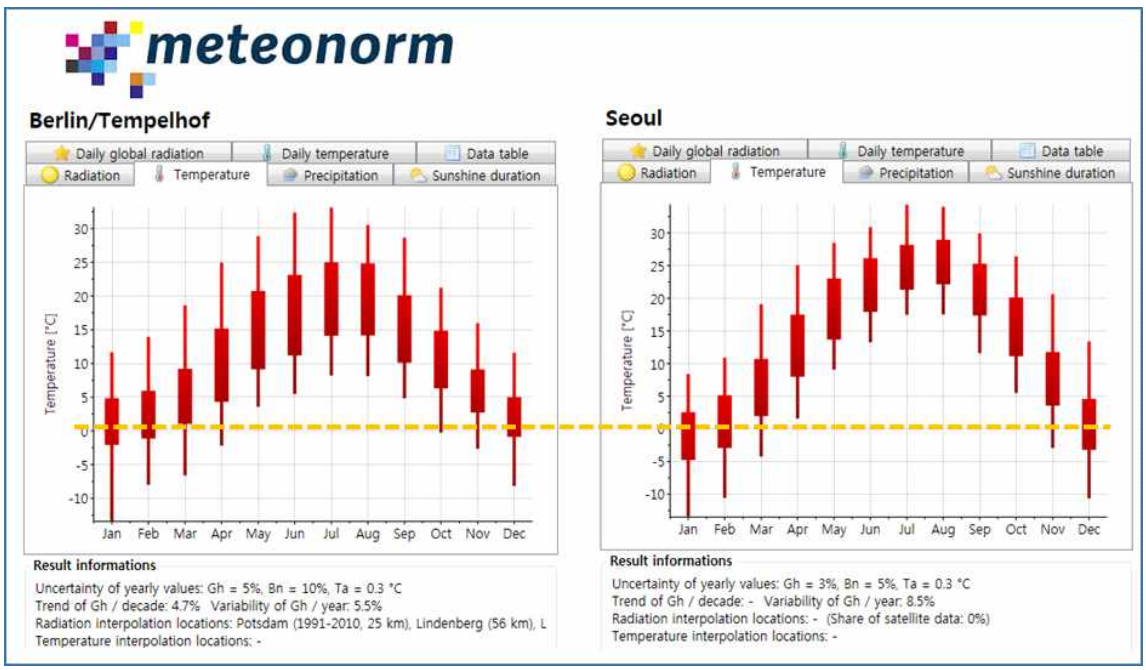
(출처 : Vapor Barrier Journal Paper, U.S Department of Energy, 2007)



(그림 19) EnergyPlus 기상데이터 자료실(미국 지역)

○ 스위스

- 유럽지역에서는 스위스가 기상관측 및 분석분야에서 선도적인 위치에 있으며, 축적된 기술자료와 know-how를 바탕으로 Meteonorm 프로그램 형태로 개발하였으며, 전 세계를 대상으로 제품을 보급 하고 있다. Meteonorm은 기상관측소의 실측데이터를 기반으로 시뮬레이션을 통해 그림 20과 같이 기후정보를 추출하며, 스위스의 Meteotest 에서 개발하여 보급중인 제품으로, Meteotest는 세계에서 가장 역사가 깊은 기상, 기후 및 환경적인 데이터를 제공하는 대표적인 업체이다.



(그림 20) 기상상태 시뮬레이션 프로그램의 데이터 추출 모습

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

3.1 우리나라 기후대의 특징 고찰 및 개요

가. 국내 지역별 기후대 고찰 방법 및 특징

- 대한민국 지역별 기후 특성을 고찰하기 위하여 기상청 홈페이지 (http://www.kma.go.kr)와 기상청에서 제작한 1981~2010 한국기후도와1981~2010 한국기후표를 인용 및 참고하였다.

○ 대한민국

- 우리나라는 지리적으로 중위도 온대성 기후대에 위치하여 봄, 여름, 가을, 겨울의 사계절이 뚜렷하게 나타난다. 겨울에는 한랭 건조한 대륙성 고기압의 영향을 받아 춥고 건조하며, 여름에는 고온 다습한 북태평양 고기압의 영향으로 무더운 날씨를 보이고, 봄과 가을에는 이동성 고기압의 영향으로 맑고 건조한 날이 많다.

[표 4] 대한민국 기후대의 특징

분류	특징 고찰 및 내용
기온	중부산간, 도서지방을 제외하고, 연 평균기온은 10~15℃이며, 가장 무더운 달인 8월은 23~26℃, 가장 추운 달인 1월은 -6~3℃이다.
강수량	연중 지역별 강수량은 중부지방 1200~1500mm, 남부지방 1000~1800mm이다. 경북지역은 1000~1300mm이며, 경남해안 일부지역은 1800mm 정도, 제주도지방은 1500~1900mm이다. 계절적으로는 연 강수량의 50~60%가 여름에 내린다.
바람	겨울에 북서풍, 여름에는 남서풍이 강하며, 계절에 따른 풍계가 뚜렷이 나타난다. 9월과 10월은 바람이 비교적 약하다. 해안지방에는 해륙풍의 영향이 뚜렷하다.
습도	전국적으로 연중 60~75% 범위이며, 7월과 8월은 70~85%정도이고, 3월과 4월은 50 ~ 70%이다.
장마	6월 중순 후반에 제주도 지방으로부터 시작하여 6월 하순 초반에 점차 중부지방에 이르게 되며, 장마기간은 30일 내외이다.
태풍	북태평양 서부에서 연중 26개 정도가 발생하며, 이 중 3개 내·외가 우리나라에 직·간접적 영향을 미친다.

[표 5] 서울,경기도, 인천 기후특성

지역 / 항목	서울	수원	이천	양평	인천	강화	동두천	백령도
평균기온 (℃)	12.5	12.0	11.6	11.5	12.1	11.1	11.2	11.2
최고기온 (℃)	17.0	17.2	17.8	17.7	16.4	16.2	17.5	14.5
최저기온 (℃)	8.6	7.5	6.2	6.3	8.7	6.3	6.0	8.6
평균습도 (%)	64.4	69.6	66.7	70.5	68.6	70.2	66.5	69.9
평균풍속 (m/s)	2.3	1.7	1.3	1.2	2.9	1.7	1.6	4.9
연강수량 (mm)	1450.5	1312.3	1370.8	1438.2	1234.4	1346.7	1502.9	825.6

○ 서울지방

- 서울은 대한민국의 수도로 북쪽으로는 북한산과 도봉산, 북악산과 인왕산, 그리고 안산이 위치하고, 동쪽에는 아차산이 있고 남쪽으로는 삼성산과 청계산 등이 위치하고 있으며, 중심부에 남산이 있다. 서울의 서쪽은 인천에서 시작되는 해안평야지대의 연장선상에 있으며, 동쪽으로 올수록 점차 고도가 상승하고 있다. 한강은 서울의 중앙을 동에서 서로 관통하여 서해로 흐르고 한강의 지류인 중랑천, 청계천, 홍제천, 불광천, 탄천, 안양천, 양재천 등이 서울 전역에 분포한다.

- 서울의 연평균기온은 12.5℃이다. 최한월 평균기온은 -2.4℃로 1월에 나타나고 최난월 평균기온은 25.7℃로 8월에 나타나며, 연교차는 28.1℃로 매우 크다. 여름철 (6월, 7월, 8월) 강수량 합은 892.1mm로 연강수량의 약 61%를 차지하여 전체 강수량 중 여름철 강수량의 비율이 매우 높다. 반면 겨울철 (12월, 1월, 2월) 강수량 합은 67.3mm로 연강수량의 약 5%에 불과하다. 연평균 풍속은 2.3m/s이며, 월별 평균풍속은 9월에 1.9m/s로 가장 낮고 3월과 4월에 2.8m/s로 가장 높다. 서울의 연평균 상대습도는 64%이며, 월별 상대습도를 보면 4월에 56%로 가장 습도가 낮고 7월에78%로 가장 높게 분포한다. 여름철의 평균 상대습도는 74%로 매우 습하며, 봄과 겨울철의 상대습도는 약 60%로 상대적으로 건조하다.

○ 인천지방

- 인천은 한반도의 중앙부 황해 연안에 자리 잡고 있으며, 북쪽으로는 옹진군 및 강화군 내의 여러 도서로 구성되어 있으며 북한의 황해도와 접하고 있다. 남쪽으로는 옹진군 내의 도서가 충청남도 및 경기도에 속한 여러 도서와 맞닿아 있고, 동쪽으로는 수도 서울 및 경기도 내의 여러 시,군과 접하고 있다.
- 인천의 연평균기온은 12.1 ℃이며, 가장 추운달은 1월로 -2.1℃, 가장 무더운 달은 8월로 25.2℃로 연교차는 27.3℃이다. 연평균강수량은 1234.4mm이며, 여름철 (6월, 7월, 8월) 강수량 합은 717.4mm로, 연강수량의 약 58%이며, 겨울철 (12월, 1월, 2월) 강수량 합은 60.7mm로 연 강수량의 약 5%이다. 연평균풍속은 2.9m/s이며, 3월이 3.7m/s로 가장 높고, 9월이 2.1m/s로 가장 낮다. 연평균 상대습도는 69%이며, 월별 상대습도를 보면 1월, 2월, 12월의 습도가 62%로 가장 낮고, 7월에 82%로 가장 높게 분포한다. 여름철 (6월, 7월, 8월)의 평균 상대습도는 79%로 매우 습하며, 봄철 (3월, 4월, 5월) 상대습도는 66%이며, 겨울철 (12월, 1월, 2월)의 상대습도는 62% 상대적으로 건조하다.

○ 수원지방

- 수원은 경기남서부의 내륙지방에 위치하고 있고, 지형은 대체로 동북에서 서남 방면으로 완만한 경사를 이루며 주위에 높거나 험한 산이 별로 없고 남쪽에 평야가 이어져 있다. 주변의 인천 또는 서울에 비해 여름이 무덥고 겨울은 비교적 한랭한 대륙성 기후의 특성이 나타난다.
- 수원의 연평균기온의 평년값은 12.0℃이다. 최한월 평균기온은 -2.9℃로 1월에 나타나고 최난월 평균기온은 25.6℃로 8월에 나타나며 연교차는 28.5℃이다. 수원의 연강수량의 평년값은 1312.3mm이다. 1월 강수량이 22.4mm로 가장 적고, 8월 강수량이 299.8mm로 가장 많다. 여름철 (6월~8월) 강수량의 합은 780.1mm로 연 강수량의 59.4%를 차지한다. 바람은 계절에 관계없이 서북서풍이 탁월하며, 운량은 여름철에 많고 겨울철에는 적게 나타난다.

[표 6] 강원도 기후특성

지역 / 항목	강릉	춘천	원주	속초	철원	대관령
평균기온 (℃)	13.1	11.1	11.3	12.2	10.2	6.6
최고기온 (℃)	17.5	17.2	17.4	16.2	16.2	11.5
최저기온 (℃)	9.2	5.9	6.0	8.5	4.7	2.0
평균습도 (%)	61.4	71.0	69.3	65.7	70.4	73.3
평균풍속 (m/s)	2.6	1.3	1.1	2.8	1.8	4.3
연강수량 (mm)	1464.5	1347.3	1343.6	1402.2	1391.2	1898.0

○ 춘천지방

- 춘천은 강원도의 중서부에 있으며 북쪽은 화천군·양구군, 서쪽은 경기도 가평군, 남쪽은 홍천군, 동쪽은 인제군과 접한다. 동단부는 해발고도 1,000m 이상의 태백산맥 지맥들이 북동-남서 방향으로 뻗어 있고, 그 지역 사이에 춘천분지가 있다. 분지 안쪽으로 해발고도 약 300m까지는 급사면을 이루나 그 이하에서는 구릉성 산지와 산록완사면이 넓게 발달되어 있다. 춘천을 중심으로 한 영서 지방은 한반도 내륙 중앙부에 위치하며 크고 작은 산악분지 형태로 형성되어 산악기후의 특성과 대륙성기후의 특성을 복합적으로 보이고 있다.
- 1981~2010년 기상요소에 대한 평년값을 보면 춘천의 연평균 기온은 11.1℃이다. 춘천의 최한월 평균기온은 1월 -4.6℃로 나타나고 최난월 평균기온은 8월 24.6℃로 나타나며, 연교차는 29.2℃로 다소 큰 편이다. 연강수량은 1347.3㎜로 우리나라의 연강수량 1308㎜ 보다 많다. 춘천은 1월 강수량이 20.3㎜로 가장 적고, 7월 강수량이 383㎜로 가장 많다. 장마와 집중호우가 주를 이루는 여름철 강수량은 824.4㎜로 연 강수량의 61.2%를 차지하고 겨울철 강수량은 매우적다. 장마와 집중호우가 나타나는 6~9월 사이에 주로 발생한다.

○ 원주지방

- 원주지방은 한반도의 중심부이자, 강원도의 남서부에 위치하고 있으며 백두대간의 서남쪽에 위치한다. 원주지방을 둘러싼 지역으로는 동쪽의 영월·평창군, 서쪽의 경기도 여주·양평군, 북쪽의 횡성군, 남쪽의 충청북도 충주·제천시 등이 있다. 특히, 남한강과 섬강을 경계로 경기도 여주군, 남한강과 운계천을 경계로 충청북도 충주시 등 2개의 다른 도와 접하고 있는 위치적 특성을 가지고 있다.
- 연평균 기온의 평년값은 11.3℃이며, 최한월 평균기온은 1월 (-4.3℃)에 나타나고 최난월 평균기온은 8월 (24.4℃)에 나타나며, 연교차는 29.1℃이다. 연강수량 평년값은 1343.6mm이며, 12월의 강수량이 24.1mm로 가장 적고 7월의 강수량이 362.2mm로 가장 많다. 여름철 강수량은 792.4 mm로 연강수량의 58.9%를 차지하며, 연강수량은 여름철에 집중되어 있다. 연평균 풍속 평년값은 1.1m/s이며, 월별 평균풍속은 9월과 10월에 1.0m/s로 가장 약하고, 4월에 1.6m/s로 가장 강하게 나타나며, 서풍과 남서풍이 주풍향이다. 연평균 상대습도의 평년값은 69.3%이다. 월별 상대습도를 보면 4월에 58.4%로 가장 낮고, 7월에 78.5%로 가장 높게 나타난다. 여름철의 평균 상대습도는 75.6%로 매우 습하며, 봄과 겨울철의 상대습도는 각각 61.4%, 66.8% 로 상대적으로 건조하다.

○ 대관령지방

- 대관령은 해발 772.4m의 고산지대에 위치하므로 바람, 안개, 기온 등 고산 기후 특성이 나타난다.
- 연평균기온은 6.6℃이고, 최고기온이 30℃이상 되는 날이 거의 없으며, 0℃이하의 일수는 110일 이상이다. 6~10월의 월 평균기온이 20℃를 넘지 않는 경우가 많으며, 6월에서 9월까지는 안개 발생이 잦아 연평균안개일수가 11일에 달하고, 이로 인한 일조시간의 감소도 나타난다. 연강수량은 1898.0㎜로 여름철에 50%로 편중되어 있으며, 바람은 주로 서풍으로 평균풍속이 4.3m/s로 연중 강한 편이다. 특히, 동절기에는 북동기류의 영향으로 기상변화가 심하고 대설현상이 많다.

○ 강릉지방

- 강릉지역은 동해바다에 접한 해안지역과 태백산맥에 접한 산간지역과의 중간에서 다양하고 복잡한 기후를 나타내어 행정구역상으로 강릉시에 속하더라도 산간이나 해안에 근접한 지역에서는 기후값에 있어 차이를 보일 수 있다.

- 연평균기온은 13.1℃이며, 연평균 최고기온과 최저기온은 각각 17.5℃와 9.2℃이다. 같은 위도의 서해안보다 기후가 온난하고, 여름에는 태백산맥의 서쪽보다 시원하다. 연평균 강수량은 1464.5㎜이며, 월별로 살펴보면 강수량은 7~9월의 여름철에 집중되어 있고, 12~2월의 겨울철에는 월평균 40~60㎜ 안팎으로 여름철과 비교하면 큰 차이를 나타낸다. 특히 8월에는 평균 298.9㎜의 높은 강수량을 나타낸다. 연평균풍속은 강릉이 2.6m/s이며, 겨울철과 봄철에 강풍현상이 자주 있으며, 계절에 관계없이 북동기류의 유입 시 날씨가 나빠지며 강수 현상을 나타내는 특징을 가진다.

[표 7] 충청지역 기후특성

지역 / 항목	청주	보은	충주	제천	추풍령	대전	부여	금산	천안	서산	보령
평균기온 (℃)	12.5	10.9	11.2	10.2	11.7	13	12.2	11.6	11.8	11.9	12.4
최고기온 (℃)	18.2	17.4	17.7	16.8	17.3	18.4	18.6	18.2	17.7	17.3	17.5
최저기온 (℃)	7.6	5.2	5.9	4.4	6.7	8.3	6.9	5.9	6.5	7.2	7.9
평균습도 (%)	67.7	70.3	71.9	69.8	67.6	66.7	73.3	71.2	71.7	74.1	73.3
평균풍속 (m/s)	1.8	1.3	1.2	1.4	2.7	1.9	1.2	1.1	1.6	2.4	1.9
연강수량 (mm)	1239.1	1297.4	1212.7	1387.8	1187.1	1458.7	1349.2	1296.8	1226.5	1285.7	1244.3

○ 청주지방

- 기후적으로 볼 때 청주시는 한반도의 대표적인 온대지역으로서 북한의 한대기후와 남단의 난대기후의 중간적인 기후특성을 가지고 있어 청주의 연평균 기온과 연평균 강수량은 우리나라 전체의 연평균과 대체로 일치하고 있다. 청주는 바다에서 떨어진 내륙에 위치하기 때문에 한서의 차가 비교적 심한 대륙성 기후를 보이고 있다.
- 연평균기온은 12.5℃, 가장 무더운 달인 8월 월평균기온은 25.8℃, 가장 추운 달인 1월의 월평균기온은 -2.4℃이며, 연교차는 28.2℃이다. 연강수량은 1239.1mm이다. 여름철 (6~8월) 강수량은 711.9mm로 연강수량의 57.5%를 차지하고, 겨울철 (12~2월) 강수량은 80.8mm로 연강수량의 6.5%를 차지한다.

○ 대전지방

- 대전은 한반도의 중부지방에 위치하며 대전광역시를 중심으로 동쪽에는 식장산, 서쪽에는 구봉산, 남쪽에는 보문산, 북쪽에는 계족산의 연봉에 둘러 쌓여있는 분지형태의 도시이다.
- 기온은 연평균기온 13.0℃, 가장 무더운 달인 8월 월평균기온 25.6℃, 가장 추운 달인 1월의 월평균기온 -1.0℃, 연교차는 26.6℃로 여름은 덥고 겨울에는 추운 대륙성 기후특성을 나타내고 있다. 강수량은 연평균이 1458.7mm이며 계절적으로 연강수량의 50~60%가 여름에 내리고, 5~10%는 겨울에 내린다. 바람은 일반적으로 북서계절풍이 남서계절풍보다 강하고, 특히 겨울철에는 북서풍이 분다.

○ 서산지방

- 서산시의 지형지세는 동쪽으로 가야산, 북쪽으로는 망일산이 있는 동고서저형의 지형지세로

해발 100m 이하의 평야와 구릉지가 전체 면적의 60%를 차지하고 있다. 충남서해안의 중심부인 서산지방은 해양기후 특성을 나타낸다.

- 연평균기온은 11.9℃로 내륙인 대전보다 조금 낮고, 가장 무더운 달인 8월 월평균기온은 25.1℃, 가장 추운 달인 1월의 월평균기온은 -2.0℃로 연교차는 27.1℃이다. 연평균강수량은 1285.7mm로 중부지방 연평균 강수량과 비슷하지만 내륙지방인 대전보다는 적고 여름철 강수량은 707.7mm로 연평균 강수량의 55%이다. 연평균풍속은 2.4m/s로 내륙지방보다 다소 강한편이다. 봄철에는 남풍이 비교적 강하며, 북동기류 유입 시 낮 최고기온이 많이 올라간다. 여름철에는 남서기류의 영향으로 습하고 겨울철에는 북서기류의 영향이 탁월해 눈이 자주 온다.

[표 8] 전라도 기후특성

지역 / 항목	전주	군산	남원	장수	부안	광주	목포	여수	흑산도	해남	고흥
평균기온 (℃)	13.3	12.8	12.3	10.5	12.6	13.8	13.9	14.3	13.3	13.4	13.6
최고기온 (℃)	18.9	17.1	19.2	17.0	18.0	19.1	18.6	18.0	16.2	18.8	19.3
최저기온 (℃)	8.6	9.2	6.4	4.9	8.0	9.5	10.3	11.3	11.2	8.5	8.4
평균습도 (%)	69.4	74.9	71.7	73.9	76.0	69.5	72.4	66.4	77.4	73.4	69.7
평균풍속 (m/s)	1.6	3.8	1.3	1.7	1.6	2.1	3.9	4.1	5.6	2.2	1.5
연강수량 (mm)	1313.1	1202	1380.4	1464.3	1250.4	1391.0	1163.6	1439.0	1107.3	1325.4	1453.4

○ 전주지방

- 전주지방 주변의 기후는 서쪽은 남부서해안형에 속하고 동부의 산악지대는 내륙형에 속한다. 따라서 서쪽지역은 서해의 영향을 받아서 내륙지방에 비해 기온의 연교차가 적고 우량이 산악지대 보다 적은 것이 특징이다. 동쪽 내륙지방은 서해안지방에 비해서 기온의 한서의 차가 심하고, 동절기는 건조하며 여름철은 고온 다습하다. 따라서 전주지방의 기후의 특징도 남북의 차이보다 동서의 차가 크며 그 이유는 동고서저의 지형을 이루고 있기 때문으로 사료된다.
- 전주지방의 연평균 기온은 13.3℃로서 인근지역 군산, 임실, 남원보다 높은편이며, 정읍지방과는 비슷하다. 연평균 강수량은 1313.1mm로서 앞의 인근지역 보다 적은 편이다. 바람은 비교적 약한 편으로 연중 정온 상태가 16.7%이며, 남-남동풍계열의 바람이 약 29%를 차지하며, 연평균 풍속은 1.6m/s이다.

○ 광주지방

- 무등산을 중심으로 동쪽은 우리나라 기후대의 남부내륙형, 서쪽은 남부 서해안형에 속하고 있어 점이지대로 볼 수 있으나, 남부서해안형에 가까운 특징을 보이고 있다. 겨울철에는 주로 서~북서풍에 의한 강설현상이 자주 나타난다.
- 광주지방은 비교적 온난하고 강수량이 많으며 연평균 기온 13.8℃, 1월 평균기온 0.6℃, 8월 평균기온 26.2℃로 연교차는 26.8℃이다. 여름철 (6월, 7월, 8월) 강수량 합은 788.3mm로 연강수량의 약 57%를 차지하여 전체 강수량 중 여름철 강수량의 비율이 매우 높다. 반면 겨울철 (12월, 1월, 2월) 강수량 합은 118.4mm로 연강수량의 약 8.5%에 불과하다. 광주의 연평균 상대습도는 69.5%이며, 월별 상대습도를 보면 4월에 61.9%로 가장 습도가 낮고 7월에 80%로 가장 높게 분포한다.

○ 목포지방

- 목포지방은 한반도의 남서쪽에 위치하여 전반적으로 하계에는 해양성기후, 동계에는 대륙동안형 기후대로 크게 온대동계건조기후대와 한대동계건조기후대로 구분 할 경우 전자에 속한다고 할 수 있다. 기후를 좀더 세분하여 구분하면 서해안형에 해당되며 편서풍지대에 해당되는 우리나라의 기상현상의 발생 및 이동의 전초기지로서의 그 중요성이 매우 크다.
- 연간 연평균기온은 13.9℃, 일 최고기온 37.0℃, 일 최저기온 -14.2℃, 최고기온이 30℃가 넘는 날은 년간 31일, 최저기온이 0℃이하인 날은 연간 58일이다. 연평균강수량은 1163.6mm이며, 연간 강수일수는 119일, 눈이 내리는 날은 연간 27일이다. 년 평균풍속은 3.9m/s로 비교적 강하게 불고, 여름에는 남서풍, 겨울에는 북서풍이 탁월하며, 겨울철 찬 대륙성 고기압 확장 시에는 돌풍현상과 소나기성 눈이 자주 내리고 있다.

[표 9] 경상도 기후특성

지역 / 항목	안동	포항	대구	문경	구미	울릉도	부산	울산	창원	진주	거제
평균기온 (℃)	11.9	14.2	14.1	11.8	12.5	12.4	14.7	14.1	14.9	13.1	14.2
최고기온 (℃)	18.0	18.7	19.5	17.6	18.7	15.8	18.9	19.2	19.4	19.5	18.9
최저기온 (℃)	6.6	10.4	9.5	6.6	7.1	9.8	11.3	9.8	11.1	7.6	9.9
평균습도 (%)	67.9	63.5	61.6	64.9	65.8	74.3	64.7	64.2	63.8	70.9	63.7
평균풍속 (m/s)	1.7	2.8	2.7	1.6	1.6	3.7	3.7	2.1	2.2	1.8	1.7
연강수량 (mm)	1066.4	1152.0	1064.4	1259.8	1072.5	1383.4	1519.1	1277.1	1545.4	1512.8	2007.3

○ 대구지방

- 대구지방은 경상북도의 중남부 내륙에 위치하며, 북부 팔공산과 남부 비슬산 1084m는 높은 산지이며, 동쪽과 서쪽은 비교적 개방된 분지형이다.
- 연평균 기온은 14.1℃로 인근의 구미보다 높고, 포항과 비슷하며, 해를 거듭할수록 기온이 높아지는 경향이다. 연평균 강수량은 1,064.4㎜이며, 바람은 연중 서-북서풍 계열이 많이 불고, 연평균 풍속은 2.7m/s이다. 봄철 (3~5월) 평년 평균기온 13.7℃, 강수량은 190.0㎜, 평균풍속 2.9m/s이다. 여름 (6~8월)은 평년 평균기온 25.0℃, 강수량은 602.5㎜, 평균풍속 2.7m/s. 분지의 특성상 열대야, 폭염이 빈번하게 발생한다. 가을철 (9~11월)은 평년 평균기온 15.5℃, 강수량은 207.8㎜, 평균풍속 2.3m/s 이며, 겨울 (12~2월) 철 평년 평균기온 2.2℃, 강수량은 63.7㎜, 평균풍속 2.8m/s이다.

○ 포항지방

- 한반도 남동쪽 동해안에 위치한 포항지방은 북서쪽으로는 1000m 이상의 준령들이 줄지어 태백산맥과 접해있고, 동쪽으로는 동해와 접해있다.
- 연평균 기온은 14.2℃, 연평균 강수량은 1,152.0㎜이다. 봄철 (3~5월) 평년 평균기온 13.3℃, 강수량 215.0㎜, 평균풍속 2.9m/s이며, 북동풍이 자주 불고, 이때 동해상의 다습한 기류가 유입되면서 태백산맥의 영향에 의해 지형성 강수현상이 자주 나타난다. 4월 초순까지 서리가 내릴 때도 있다. 여름 (6~8월)의 평년 평균기온 24.0℃, 강수량 572.2㎜, 평균풍속 2.6m/s이며, 남서

풍이 주풍으로 나타나고, 태풍이 대한해협을 통과하여 동해상으로 진출할 때 호우현상이 자주 발생한다. 가을 (9~11월)에는 평년 평균기온 16.2℃, 강수량 261.9㎜, 평균풍속 2.6m/s이며, 이동성 고기압의 영향으로 맑은 날이 많고, 10월 중순에 서리가 내리는 경우도 있다. 겨울 (12~2월)의 평년 평균기온 3.4℃, 강수량 103.3㎜, 평균풍속 2.8m/s이며, 북서계절풍이 탁월하고, 맑고 건조한 날이 많으며, 강한 대륙성 고기압 확장 시 산간지방에 눈발이 날릴 때도 있다.

○ 안동지방

- 경상북도의 북부내륙에 위치하고 있으며, 북서쪽은 소백산, 동쪽은 태백산맥으로 둘러싸인 분지형으로 기온의 일·연교차가 큰 지역이다. 주변에 안동댐, 임하댐이 위치하고 강이 시내를 가로질러 흐르고 있어 가을에 안개가 자주 발생한다. 우리나라 대표적인 과우(寡雨)지역이며, 바람은 연중 서북서풍이 주풍향이고, 그 다음은 동남동풍이 많이 불고 있다.
- 봄 (3~5월)의 평년 평균기온 11.6℃, 강수량 204.6㎜, 평균풍속 2.0m/s이며, 이동성 고기압의 영향을 받아 일교차가 매우 크다. 여름철 (6~8월) 평년 평균기온 23.5℃, 강수량 598.9㎜, 평균풍속 1.5m/s이며, 장마 이후 대기불안정으로 천둥번개를 동반한 소나기가 자주내리고, 산간지역을 중심으로 우박이 내리는 경우가 있다. 가을 (9~11월)의 평년 평균기온 13.0℃, 강수량 199.4㎜, 평균풍속 1.4m/s이며, 일교차가 크고 아침에 복사안개가 자주 발생한다. 겨울 (12~2월)의 평년 평균기온 -0.7℃, 강수량 63.6mm, 평균풍속 1.9m/s이며, 찬 대륙고기압의 주기적인 영향으로 한파가 나타나고, 북쪽으로 기압골이 지날 때 강설현상이 종종 발생한다.

○ 부산지방

- 부산지방은 금정산맥과 금련산맥을 중심으로 동부구릉지대와 서부평야지대로 이루어져있다. 낙동강 삼각주를 북쪽에서 남서쪽으로 신어산맥이 둘러싸고 있으며, 크고 작은 산들로 구성되어 있다. 낙동강이 태백산에서 발원하여 경상분지의 중앙을 남북으로 흘러 대한해협으로 들어간다.
- 연평균기온은 14.7℃로서 인근의 울산보다는 높고, 창원보다는 낮다. 연평균강수량은 1519.1mm로 울산보다는 많고, 창원보다는 적다. 바람은 겨울철에는 북-북서계열, 그 외 계절에는 북-북동풍의 빈도가 높다. 봄에는 남남서와 북북동풍이 강하고, 여름에는 남서풍, 가을에는 북동풍, 겨울에서는 북서풍이 강하다. 봄 (3~5월)에는 평년 평균기온 13.3℃, 강수량 370.8㎜, 평균풍속 3.9m/s이며, 남서풍이 불 때는 따뜻하나 북동풍이 불 때는 싸늘한 날씨를 보인다. 여름 (6~8월)의 평년 평균기온 23.6℃, 강수량 778.6㎜, 평균풍속 3.6m/s이며, 장마전선이나 발달한 저기압 통과 시 국지적인 집중호우가 자주 발생한다. 장마가 끝나면 남동계절풍으로 습도가 높고 무더운 날씨가 지속되며, 맑은 날 오후에는 해풍의 영향을 많이 받는다. 가을 (9~11월)철 평년 평균기온 17.2℃, 강수량 262.2㎜, 평균풍속 3.4m/s이며, 태풍으로 인한 피해를 제외하고는 가을철 이동성 고기압의 영향을 주로 받으며 대체로 맑은 날이 많으며, 가을이 되면서 일교차가 커진다. 겨울 (12~2월)의 평년 평균기온 4.7℃, 강수량 106.9㎜, 평균풍속 3.7m/s이며, 찬 대륙고기압 확장 시 바람이 강하게 불고, 남해상을 지나는 기압골과 동풍의 영향으로 비나 눈이 내린다.

○ 진주지방

- 진주지방은 소백산맥이 북서쪽으로 뻗어내려 있으며, 경남의 동맥인 남강이 저곡부를 따라 동쪽으로 흐르고 있음. 북서쪽으로 약 40km 거리에 소백산맥 최고봉인 지리산이 있고, 동·서·남쪽으로는 해발 200m 내외의 완만한 야산으로 둘러싸여 있는 내륙 분지형이다.
- 연평균기온은 11.7℃이며, 연평균강수량은 1,316.8㎜이다. 봄 (3~5월)의 평년 평균기온 12.4℃, 강수량 313.2㎜, 평균풍속 2.1m/s이며, 복사냉각 효과로 아침 최저기온 하강이 두드러진다. 여름

(6~8월)의 평년 평균기온 24.1℃, 강수량 830.0㎜, 평균풍속 1.9m/s이며, 일사에 의한 최고기온 상승효과가 높은 편이다. 가을 (9~11월)의 평년 평균기온 14.4℃, 강수량 274.5㎜, 평균풍속 1.4m/s이며, 진양호와 남강의 수증기원이 있어 안개가 자주 발생한다. 겨울 (12~2월)의 평년 평균기온 1.3℃, 강수량 94.9㎜, 평균풍속 1.9m/s이며, 맑고 건조한 날씨가 나타난다.

[표 10] 제주특별자치도 기후특성

지역 / 항목	제주	고산	서귀포	성산
평균기온 (℃)	15.5	15.5	16.2	15.2
최고기온 (℃)	18.7	18.2	19.8	19.0
최저기온 (℃)	12.4	13.1	13.0	11.3
평균습도 (%)	73.3	76.5	70.7	75.3
평균풍속 (m/s)	3.8	6.9	3.1	3.1
연강수량 (mm)	1456.9	1094.7	1850.8	1840.9

○ 제주지방

- 제주도는 한반도의 최남단에 위치하며 수리적으로 북위 33°10′~ 33°34′, 동경 126°10′~ 127°에 해당된다. 지리적으로는 목포에서 약 145㎞, 부산에서 약 268㎞ 떨어진 섬으로 일반적인 기후분류상 아열대기후대에서 온대기후대로의 전이지대에 위치하고 있다. 태양고도가 연중 높아 태양의 순복사량이 에너지 수치상 과잉이 시작되는 위도 대에 위치하고 있으며 여름에는 태양의 북상으로 열대기단의 영향권에 들기도 한다.
- 제주의 연평균기온은 15.8℃이다. 최한월 평균기온은 5.7℃로 1월에 나타나고 최난월 평균기온은 26.8℃로 8월에 나타난다. 여름철 (6월, 7월, 8월) 강수량 합은 683.8mm로 연강수량의 약 45.7%를 차지하여 전체 강수량 중 여름철 강수량의 비율이 매우 높다. 반면 겨울철 (12월, 1월, 2월) 강수량 합은 174.8mm로 연강수량의 약 11.7%이다. 연평균 풍속은 3.5m/s이며, 월별 평균풍속은 5~8월에 3.0m/s로 가장 낮고 1월에 4.5m/s로 가장 높다. 연중 내내 풍속이 매우 빠르다. 서울의 연평균 상대습도는 69.6%이며, 월별 상대습도를 보면 3, 4월에 64.9%로 가장 습도가 낮고 7월에78.3%로 가장 높게 분포한다. 여름철의 평균 상대습도는 77.2%로 매우 습하며, 겨울철의 상대습도는 약 65.1%로 상대적으로 건조하다.

3.2. 기상청 관측데이터의 특징 및 고찰

가. 기상청 관측데이터 현황

○ 기상관측 사항 및 관측 장비의 특징

- 선정지역의 기상데이터는 기상청의 기상자료개방포털 (https://data.kma.go.kr/svc/main.do)에서 수집되었다. 본 홈페이지에서는1973년 01월 01일 00시 이후의 기상데이터를 일(日), 시간단위로 수집 가능하다.

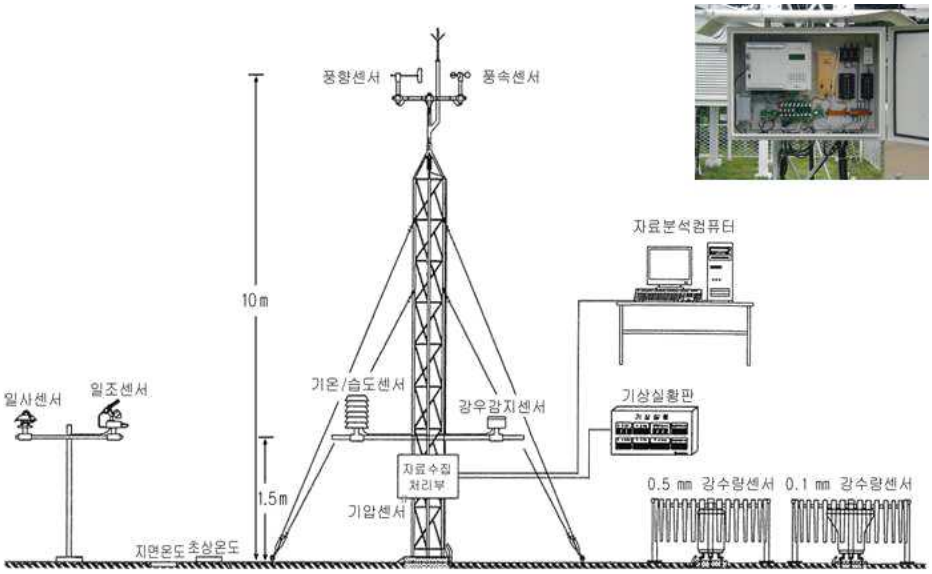
- 기상자료개방포털에서는 종관기상관측, 방재기상관측, 농업기상관측 등을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 다양한 관측자료 중 종관기상관측 기상데이터를 활용하여 표준기상데이터를 제작하였다. 종관기상관측이란 정해진 시각의 대기 상태를 파악하기 위해 모든 관측소에서 같은 시각에 실시하는 지상관측을 말하며, 관측방법은 기압, 기온, 풍향, 풍속, 상대습도, 강수량, 강수유무, 일사량, 일조시간, 지면온도, 초상온도, 지중온도에 대해서는 자동으로 관측하고, 시정, 구름, 증발량, 일기현상 등은 일부 자동과 특수 목적에 따라 관측한다. 방재기상관측장비는 기상관측소가 없는 곳에 설치되어 집중호우, 우박, 뇌우, 돌풍 등과 같은 국지적인 위험기상 현상을 실시간으로 감시한다. 농업기상관측이란 자연환경에서 시시각각으로 변하는 기상요소 중 농업에 필요한 요소와 기상현상에 관하여 기상관측장비 등의 측기를 사용하여 자동 또는 수동으로 관측하는 것을 말한다.

(그림 21) 기상자료개방포털 홈페이지, https://data.kma.go.kr/svc/main.do

○ **종관기상관측(ASOS)**

- 개요: 지상기상관측은 종관기상관측장비(ASOS ; Automated Synoptic Observing System)에 의한 자동관측과목측에 의한 수동관측으로 실시된다. 종관기상관측장비는 기상관서 관측자동화를 위해 1995년부터 기상대와 무인자동기상관측소에 처음 설치되었고 현재 전국에 94소를 운영하고 있다. 지상 부근의 대기상태를 실시간으로 관측하기 위한 기본 장비로서 기온, 습도, 풍향, 풍속, 기압, 강수량, 일조, 일사, 지면온도, 초상온도, 지중온도를 매분 자동 관측한다. 수동관측요소는 적설, 구름, 기타 일기현상 등이며, 실시간, 매정시 또는 3시간 간격으로 관측한다.

[표 11] 기상데이터 관측 장비설명

구분	내용
장비구성	• 종관기상관측장비는 측기탑, 관측센서, 자료수집기(Data Logger), 공급장치(축전지함), 기상상 황판 등으로 구성되어 있다.
측기탑 및 관측센서	• 10m 측기탑 상단은 풍향 및 풍속감지기가 좌우에 수평으로 설치되어 있다. • 지면으로부터 1.5m 높이에는 기온·습도계, 반대편에는 강수유무계가 설치되어 있다. 기압계는 자료처리기 내에 설치되어 있고, 강수량계는 지면으로부터 약 50~60cm 높이에 위치하도록 설계되었다.
자료수집 및 표출	• 관측된 자료는 자료처리기에서 신호 및 자료처리를 거쳐 일정한 양식으로 관측지점 현장에 설치된 기상상황판에 표출되고 자료처리컴퓨터로 전송된다. 이 시스템은 전원선로 장애에 따른 관측자료 유실을 방지하기 위해 비상전원을 공급하는 축전지를 갖추고 있다.
장비구성도	

나. 관측 기상데이터 분석

- 장소 : 기상청 주요 관측소 70 지점
- 기간 : 1996년 1월 1일 01:00 ~ 2015년 1월 1일 00:00 (총 20년)
- 요소 : 각 도시별 기상요소 온도, 습도, 일사량, 운량, 강수, 기압, 풍향, 풍속에 대한 시간 단위 기상데이터
- 기상요소 별 데이터 유효성 (O: 매 시간, Δ: 매 3시간, X: 데이터 누락)

[표 12] 기상데이터 관측지점별 측정 데이터 분석

지역	지점	위도(N)	경도(E)	고도(m)	온도	습도	강수	풍속	풍향	일사	일조	운량	기압
수도권 (7개지점)	동두천	37° 54′	127° 03′	109.1	O	O	O	O	O	X	O	Δ	Δ
	서울	37° 34′	126° 57′	85.9	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	인천	37° 28′	126° 37′	68.2	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	수원	37° 16′	126° 59′	34.1	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	강화	37° 42′	126° 26′	47	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	양평	37° 29′	127° 29′	78	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	이천	37° 15′	127° 29′	78	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ

강원도 (11개지점)	속초	38° 15′	128° 33′	18.1	O	O	O	O	O	X	O	Δ	Δ
	철원	38° 08′	127° 18′	153.7	O	O	O	O	O	X	O	Δ	Δ
	대관령	37° 40′	128° 43′	772.6	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	춘천	37° 54′	127° 44′	77.7	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	강릉	37° 45′	128° 53′	26	O	O	O	O	O	O	O	X	Δ
	동해	37° 30′	129° 07′	39.9	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	원주	37° 20′	127° 56′	148.6	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	영월	37° 10′	128° 27′	240.6	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	인제	38° 03′	128° 10′	200.2	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	홍천	37° 41′	127° 52′	140.9	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	태백	37° 10′	128° 59′	712.8	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
충청북도 (5개지점)	충주	36° 58′	127° 57′	115.1	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	청주	36° 38′	127° 26′	57.2	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	추풍령	36° 13′	127° 59′	244.7	O	O	O	O	O	O	O	X	Δ
	제천	37° 09′	128° 11′	263.6	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	보은	36° 29′	127° 44′	175	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
충청남도 (6개지점)	서산	36° 46′	126° 29′	28.9	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	대전	36° 22′	127° 22′	68.9	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	천안	36° 46′	127° 07′	21.3	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	보령	36° 19′	126° 33′	15.5	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	부여	36° 16′	126° 55′	11.3	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	금산	36° 06′	127° 28′	170.4	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
전라북도 (7개지점)	군산	36° 00′	126° 45′	23.2	O	O	O	O	O	X	O	Δ	Δ
	전주	35° 49′	127° 09′	53.4	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	부안	35° 43′	126° 42′	12	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	임실	35° 36′	127° 17′	247.9	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	정읍	35° 33′	126° 51′	44.6	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	남원	35° 24′	127° 19′	90.3	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	장수	35° 39′	127° 31′	406.5	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
전라남도 (8개지점)	광주	35° 10′	126° 53′	72.4	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	목포	34° 49′	126° 22′	38	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	여수	34° 44′	127° 44′	64.6	O	O	O	O	O	X	O	Δ	Δ
	흑산도	34° 41′	125° 27′	76.5	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	완도	34° 23′	126° 42′	35.2	O	O	O	O	O	X	O	Δ	Δ
	장흥	34° 41′	126° 55′	45	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	해남	34° 33′	126° 34′	13	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	고흥	34° 37′	127° 16′	53.1	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
경상북도 (11개지점	울진	36° 59′	129° 24′	50	O	O	O	O	O	X	O	Δ	Δ
	안동	36° 34′	128° 42′	140.1	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	포항	36° 01′	129° 22′	2.3	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	대구	35° 53′	128° 37′	64.1	O	O	O	O	O	O	O	X	Δ

)	봉화	36° 56′	128° 54′	319.8	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	영주	36° 52′	128° 31′	210.8	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	문경	36° 37′	128° 08′	170.6	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	영덕	36° 31′	129° 24′	42.1	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	의성	36° 21′	128° 41′	81.8	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	구미	36° 07′	128° 19′	48.9	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	영천	35° 58′	128° 57′	93.6	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
경상남도 (11개지점)	울산	35° 33′	129° 19′	34.6	O	O	O	O	O	X	O	Δ	Δ
	창원	35° 10′	128° 34′	37.2	O	O	O	O	O	X	O	Δ	Δ
	부산	35° 06′	129° 01′	69.6	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	통영	34° 50′	128° 26′	32.7	O	O	O	O	O	X	O	Δ	Δ
	진주	35° 09′	128° 02′	30.2	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	거창	35° 40′	127° 54′	221.4	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	합천	35° 33′	128° 10′	33.1	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	밀양	35° 29′	128° 44′	11.2	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	산청	35° 24′	127° 52′	138.1	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	거제	34° 53′	128° 36′	46.3	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	남해	34° 48′	127° 55′	45	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
제주도 (4개지점)	제주	33° 30′	126° 31′	20.4	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	고산	33° 17′	126° 09′	74.3	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ
	성산	33° 23′	126° 52′	17.8	O	O	O	O	O	X	O	X	Δ
	서귀포	33° 14′	126° 33′	49	O	O	O	O	O	X	O	Δ	Δ

다. 관측 기상데이터의 유효성 분석

- 기상청 관측데이터 분석을 통한 기상요소에 따른 데이터 유효성은 아래의 표와 같다. 온도, 습도, 강수, 풍속, 풍향, 일조 시간은 모든 관측소에서 1년 8,760시간의 관측데이터를 제공 중에 있으나 일사의 경우 전국에서 22개소만 측정하여 제공하고 있으며, 운량의 경우 전국 29개소에서 3시간 단위로 측정하여 제공 중에 있다.

[표 13] 기상청 실측 기상데이터의 유효성 및 관측소 미관측데이터 분석

구분	기상데이터
온도	70개소 관측지점의 1년 8,760시간 관측데이터 제공
습도	70개소 관측지점의 1년 8,760시간 관측데이터 제공
강수	70개소 관측지점의 1년 8,760시간 관측데이터 제공
풍속	70개소 관측지점의 1년 8,760시간 관측데이터 제공
풍향	70개소 관측지점의 1년 8,760시간 관측데이터 제공
일사	- 22개소의 1년 8,760시간 관측데이터 제공 (서울, 인천, 수원, 대관령, 춘천, 강릉, 원주, 청주, 추풍령, 서산, 대전, 안동, 포항, 대구, 부산, 진주, 전주, 광주, 목포, 흑산도, 제주, 고산)
일조	70개소 관측지점의 1년 8,760시간 관측데이터 제공
운량	- 29개소 매 1년 3시간단위의 관측데이터 제공 (동두천, 서울, 인천, 수원, 속초, 철원, 대관령, 춘천, 원주, 청주, 서산, 대전, 울진, 안동, 포항, 울산, 창원, 부산, 통영, 진주, 군산, 전주, 광주, 목포, 여수, 완도, 제주, 고산, 서귀포)
기압	70개소 관측지점의 1년 8,760시간 관측데이터 제공

라. 기상청 지중온도 실측데이터의 활용가능성

지중온도 데이터 분석

- 장소 : 기상청 주요 관측소 70 지점
- 기간 : 2005년 1월 1일 01:00 ~ 2015년 1월 1일 00:00 (총 10년)
- 요소 : 지중 5, 10, 20, 30 cm에서의 온도 데이터
- 기상요소 별 데이터 유효성 구분 (O: 매 시간, Δ: 매 6시간, X: 데이터 누락)

[표 14] 기상청 실측 지중온도데이터 분석

지역	지점	위도(N)	경도(E)	고도(m)	지중온도 실측데이터 현황
수도권	서울	37° 34′	126° 57′	85.9	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2009. 04. 10. 13:00
					O: 2009. 04. 10. 14:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
	인천	37° 28′	126° 37′	68.2	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2008. 04. 28. 17:00
					O: 2008. 04. 28. 18:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
	수원	37° 16′	126° 59′	34.1	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2008. 04. 29. 11:00
					O: 2008. 04. 29. 12:00 ~ 2013. 08. 01. 13:00
					X: 2013. 08. 01. 14:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
강원도	철원	38° 08′	127° 18′	153.7	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2008. 01. 01. 00:00
					O: 2008. 01. 01. 01:00 ~ 2014. 08. 01. 00:00
					X: 2014. 08. 01. 01:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
	춘천	37° 54′	127° 44′	77.7	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2008. 05. 07. 12:00
					O: 2008. 05. 07. 13:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
	강릉	37° 45′	128° 53′	26	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2008. 07. 31. 21:00
					X: 2008. 07. 31. 22:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
충청북도	청주	36° 38′	127° 26′	57.2	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2008. 01. 01. 01:00
					O: 2008. 01. 01. 02:00 ~ 2014. 08. 01. 00:00
					X: 2014. 08. 01. 01:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
충청남도	서산	36° 46′	126° 29′	28.9	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2008. 04. 29. 15:00
					O: 2008. 04. 29. 16:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
	대전	36° 22′	127° 22′	68.9	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2008. 04. 25. 19:00
					O: 2008. 04. 25. 20:00 ~ 2014. 08. 01. 00:00
					X: 2014. 08. 01. 01:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
전라북도	전주	35° 49′	127° 09′	53.4	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2008. 01. 01. 00:00
					O: 2008. 01. 01. 02:00 ~ 2014. 08. 02. 12:00
					X: 2014. 08. 02. 13:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00

전라남도	목포	34° 49′	126° 22′	38	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2008. 05. 07. 15:00
					O: 2008. 05. 07. 16:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
	여수	34° 44′	127° 44′	64.6	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2008. 04. 25. 15:00
					O: 2008. 04. 25. 16:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
경상북도	안동	36° 34′	128° 42′	140.1	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2008. 01. 01. 00:00
					O: 2008. 01. 01. 01:00 ~ 2014. 08. 01. 00:00
					X: 2014. 08. 01. 01:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
	포항	36° 01′	129° 22′	2.3	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2008. 05. 08. 15:00
					O: 2008. 05. 08. 16:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
경상남도	부산	35° 06′	129° 01′	69.6	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2009. 04. 10. 13:00
					O: 2009. 04. 10. 14:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
	진주	35° 09′	128° 02′	30.2	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2008. 08. 01. 00:00
					O: 2008. 08. 01. 01:00 ~ 2014. 08. 01. 00:00
					X: 2014. 08. 01. 01:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
제주도	제주	33° 30′	126° 31′	20.4	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2012. 06. 01. 15:00
					O: 2012. 06. 01. 16:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00
	서귀포	33° 14′	126° 33′	49	Δ: 2005. 01. 01. 01:00 ~ 2012. 12. 18. 03:00
					X: 2012. 12. 18. 04:00 ~ 2015. 01. 01. 00:00

▪ 지중온도 데이터 유효성 요약

- 지중온도 데이터의 유효성은 아래와 같이 3가지 경우로 구분할 수 있다. 이에 대한 자세한 내용은 아래의 표와 같다.

1. 서울, 인천, 춘천, 서산, 목표, 여수, 포항, 부산, 제주 (9개소) : 2005년부터 2008, 2009, 2012년 중반까지 매 3시간 단위로 지중온도를 측정하였고, 이 이후부터 현재까지 매 시간 단위로 측정함.
2. 수원, 철원, 강릉, 청주, 대전, 전주, 안동, 진주, 서귀포 (9개소) : 2005년부터 2008, 2009년 중반까지 매 3시간 단위로 지중온도를 측정, 이 이후부터 2012, 2013, 2014년 중반까지 매 시간 단위로 측정하였으며, 이 후부터는 지중온도 측정을 중지함.
3. 상기의 1, 2 경우를 제외한 나머지 52 개소 : 지중온도를 전혀 측정하고 있지 않음.

마. 기상청 관측데이터 기상요소의 미비점과 문제점

- 문제점 1 : 직달일사량과 확산일사량 데이터의 부재에 대한 해결방안

건물에너지 시뮬레이션을 위한 기상데이터에는 수평면 전일사량 뿐만 아니라 직달일사량과 확산일사량의 데이터가 있어야 한다. 하지만 현재 국내 기상청에서는 수평면 전일사량의 데이터만 제공하고 있는 실정이다. 그러므로 남은 직달일사량과 확산일사량을 계산할 수 있는 수치모델을 활용해야만 한다. 수평면 전일사량은 직달일사량과 확산일사량의 합이므로, 본 연구에서는 전일사량에서 확산일사량을 분리 하는 모델을 적용하여 Excel 기반의 프로그램을 제작하였으며, 이를 통해 직달/ 확산 일사량을 분리하였다.

- 문제점 2 : 운량 데이터의 보간 방법

기상데이터의 유효성을 확인한 결과 단 29개소에서만 해당기간 동안 운량 데이터를 제공하고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 운량 관측 데이터는 시간단위가 아닌 매 3시간 간격으로 관측하고 있기 때문에, 이 누락 부분을 선형보간법을 활용하여 보완하였다.

- 문제점 3 : 수평면 전일사량의 미관측 지점의 해결방안

전일사량을 관측하고 있는 22개소 외에 48개 지점에 대한 일사량를 도출한다. 일사량을 계산하기 위한 모델링법으로 운량을 활용하는 방법, 일조량을 활용하는 방법, 온도를 활용하는 방법 등 3 가지가 존재한다. 운량을 활용하는 방법과, 운량 데이터가 관측되지 않는 지점에 대해서는 일조시간을 활용하여 전일사량을 산출하는 방법을 적용하였다.

3.3 표준기상데이터 모델을 산출하기 위한 알고리즘 개발

가. ISO 15927-4(2005)를 활용한 국내 기후환경에 적합한 알고리즘 개발

○ ISO 15927-4 알고리즘 개요

- 국제규준 ISO 15927-4 “Hygrothermal performance of buildings-Calculation and presentation of climatic data”, Part 4 “Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling”에서는 평균 연간 냉·난방에너지 사용량을 평가하기 위한 시간단위의 표준기상데이터 제작법을 명시하고 있다. 이 규준에서는 표준기상데이터 제작을 위하여 단순히 일반적인 평균적을 방법을 사용하는 것이 아니라 통계학적으로 평균에 가까움과 동시에 기상의 빈도분포를 동시에 고려하는 알고리즘을 사용하고 있다. 1년의 시간단위 8760시간 표준기상데이터를 제작하기 위하여 이 규준에서는 최소 10년치 이상의 관측된 기상데이터를 요구하고 있다.

- ISO 15927-4을 활용하기 위해서는 건구온도, 수평면 전일사량, 상대습도, 풍속 등의 기상요소가 필수적으로 필요하다. 1년 8760시간의 표준기상데이터를 제작하기 위하여 건구온도, 일사량, 상대습도가 1차적인 주요 평가기준으로 사용되며, 풍속이 2차 평가기준이 된다. 규준에서 명시하고 있는 자세한 표준기상데이터 제작방법은 아래와 같다.

- ISO 15927-4 알고리즘 요약

선택된 기상요소 p (건구온도, 일사량, 상대습도, 풍속)를 활용한다.

① 최소 10년 이상의 시간단위 기상데이터를 일평균 p으로 계산한다.

② 전체 표본연도 (최소 10년치)에서 각 월별로 일평균의 누적분포함수 $\phi(p,m,i)$를 계산하기 위하여 아래 수식을 활용하여 그 값을 오름차순으로 정렬한다.

$$\phi(p,m,i) = \frac{K(i)}{N+1} \qquad \text{(Eq. 3.1)}$$

여기서, $K(i)$는 전체 표본연도의 선택된 달의 일평균 값의 i번째 크기 순서를 의미하며 (1~ 최소 28 또는 최대 31), N 은 전체 표본연도의 선택된 달의 총 일수 (10년일 경우 280~310)이다. p 는 기상요소, m 은 선택된 월을 의미한다.

③ 선택된 연도 별로 선택된 달의 일평균 누적분포함수 $F(p,y,m,i)$를 계산하기 위하여 아래의 수식을 활용하여 해당 연도 및 월의 일평균값을 오름차순으로 정렬한다.

여기서, $J(i)$는 해당 연도의 해당 월의 일평균값의 i번째 크기 순서를 의미하며 (1~ 최소 28 또는 최대 31), n은 그 선택된 달의 총 일수(각 월별 최대 28~31)이다. p는 기상요소, y 는 선택된 년도, m 은 선택된 월을 의미한다.

④ 기상요소 건구온도, 일사량, 상대습도에 대하여 각 해당 연도 및 월 별로 아래의 수식을 활용하여 Finkelstein-Schafer 통계값 $FS(p,y,m)$을 계산한다.

$$FS(p,y,m) = \sum_{(i=1)}^{n} |F(p,y,m,i) - \phi(p,m,i)| \qquad \text{(Eq. 3.2)}$$

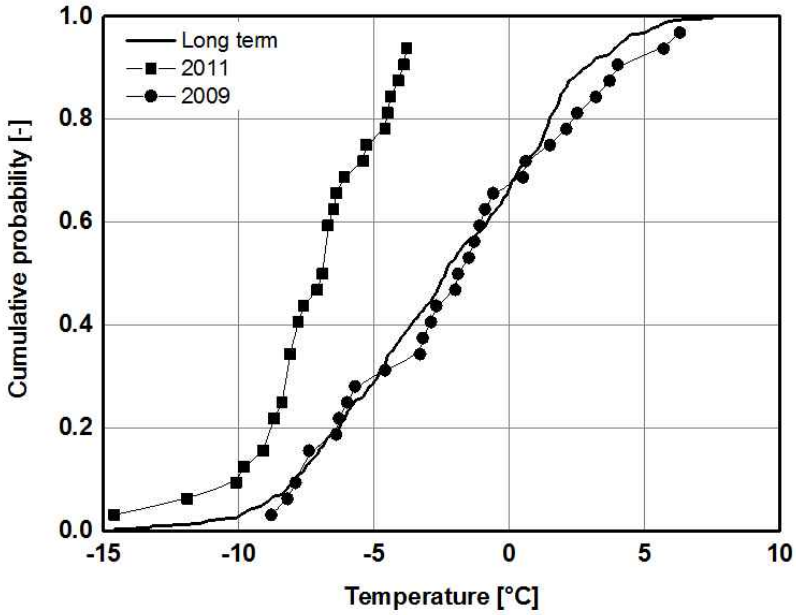
⑤ 월별로 3가지 기상요소의 $FS(p,y,m)$를 더한 후 오름차순으로 정렬한 후 순위를 매긴다.

⑥ 각 월별로 순위가 가장 높은 (= $FS(p,y,m)$의 합이 가장 작음) 3개의 월을 1차 후보로 뽑는다. 이 선택된 3개의 월에 대하여 기상요소 풍속의 전체 표본연도 평균과 선택된 연도의 월의 평균의 편차를 계산한다. 1차에서 선정된 3개의 월 중 가장 작은 풍속의

편차를 가진 해당연도의 월이 해당월의 대표로 선정된다.

⑦ 최종적으로 선택된 각 대표월의 앞부분과 뒷부분으로 부드럽게 연결시켜주기 위하여 그 달의 첫 8시간과 그 앞달의 뒷 8시간을 선형보간법을 적용시켜준다. 이때 온도와 습도만 선형보간법으로 연결시켜준다. 이 선형보간법 구간에서 일사량은 야간에 해당하므로 값이 존재하지 않으며, 풍속의 경우 연속변수가 아니기 때문에 선형보간법을 적용하지 않는다.

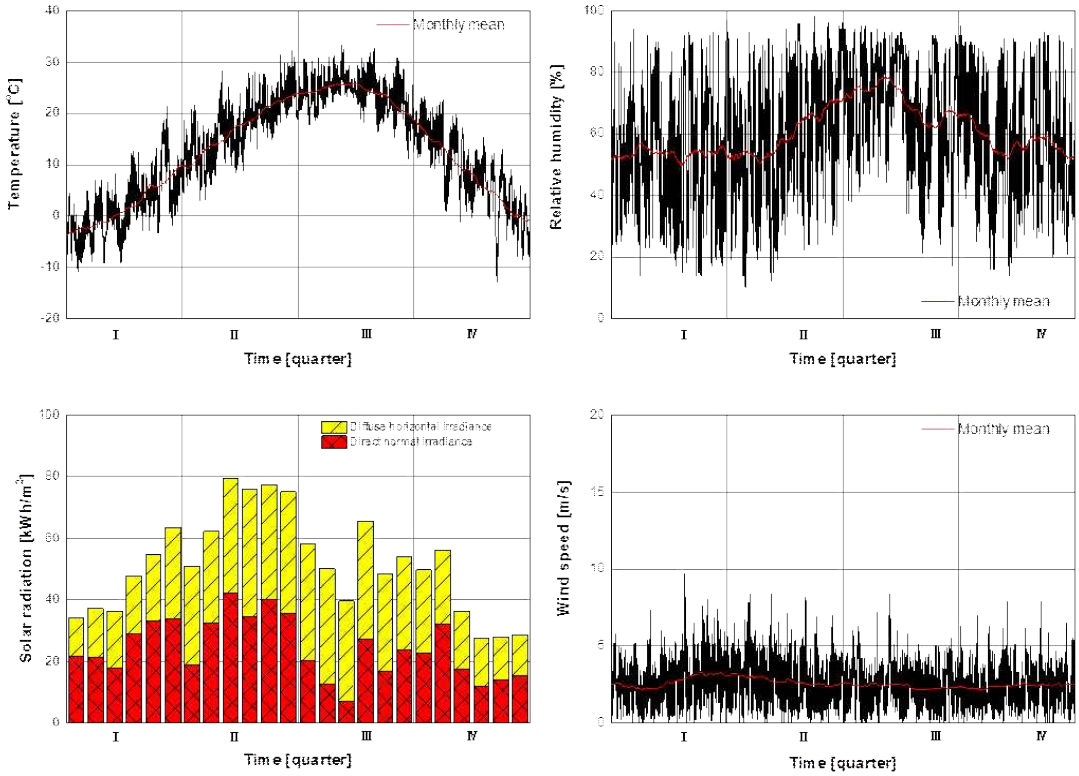
- 예를 들어 아래 그림 23은 ISO 15927-4 알고리즘을 기반하여 제작된 서울의 1월달 온도CDF 곡선을 보여주고 있다. 1월 달의 표준기상데이터 제작을 위한 표본연도 2005~2014년의 장기간 CDF 곡선과 비교 해보면 2009년 CDF 곡선이 가장 유사하게 표현된 것을 볼 수 있으나2011년의 경우 가장 상이한 CDF 곡선을 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 즉, 2009년의Fs(p,y,m)값이 가장 작다는 것을 의미하며, 반대로 2011년의 Fs(p,y,m)값은 가장 크다는 것이다. 최종적으로 2009년의 1월이 기상요소 중 기온에 대하여 가장 우수한 후보년이 되는 것이다. 이와 동일하게 상대습도와 전일사량에 대해서도 각 월별로 가장 우수한 후보년이 선정된다.



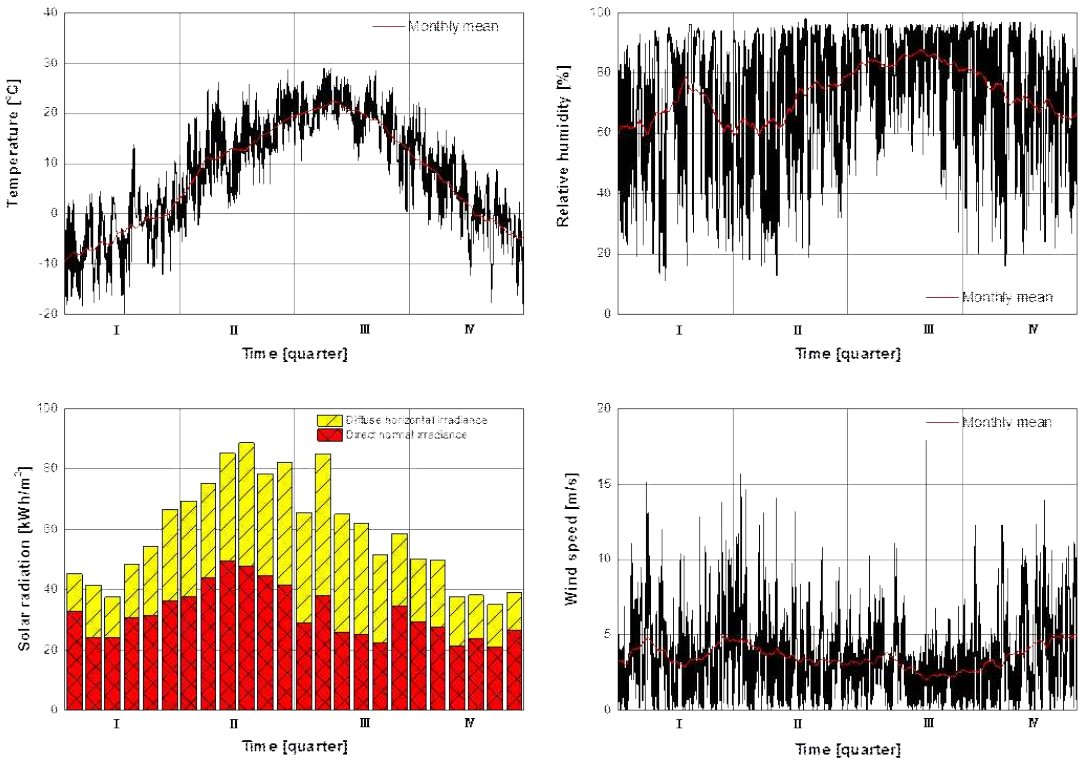
(그림 23) 서울 표준기상데이터 1월의 장기간 온도 CDF 곡선과 후보년 온도 CDF 곡선 비교

○ ISO 15927-4 기준에 의한 표준기상데이터

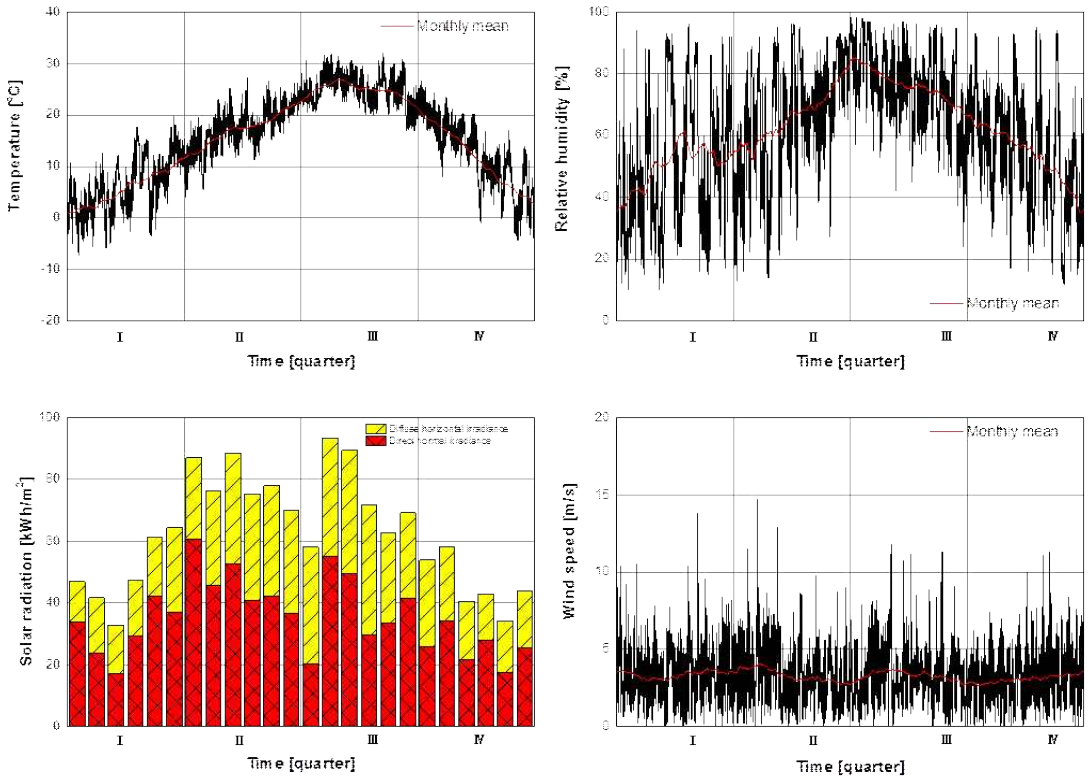
- 다음 그림 20은 ISO 15927-4 기준에 따라 작성된 표준기상데이터 예시를 나타내고 있다. 대표적으로 수도권 서울, 강원도 대관령, 경상남도 부산, 제주도의 온도, 습도, 수평전 전일사량 (직달일사량+확산일사량), 풍속을 아래에 그래프로 표현하였으며, 검은 색의 실선은 1년 8760시간 데이터이며 빨간색의 실선은 월평균을 나타내고 있다.
- 또한, ISO 15927-4 기준에 의한 70개 지역의 표준기상데이터 대표년/월과 기후적인 특성을 표 15, 16에 나타내었다.


Temperature [°C]
Monthly mean
Time [quarter]
Relative humidity [%]
Monthly mean
Time [quarter]
Solar radiation [kWh/m²]
Diffuse horizontal irradiance
Direct normal irradiance
Time [quarter]
Wind speed [m/s]
Monthly mean
Time [quarter]

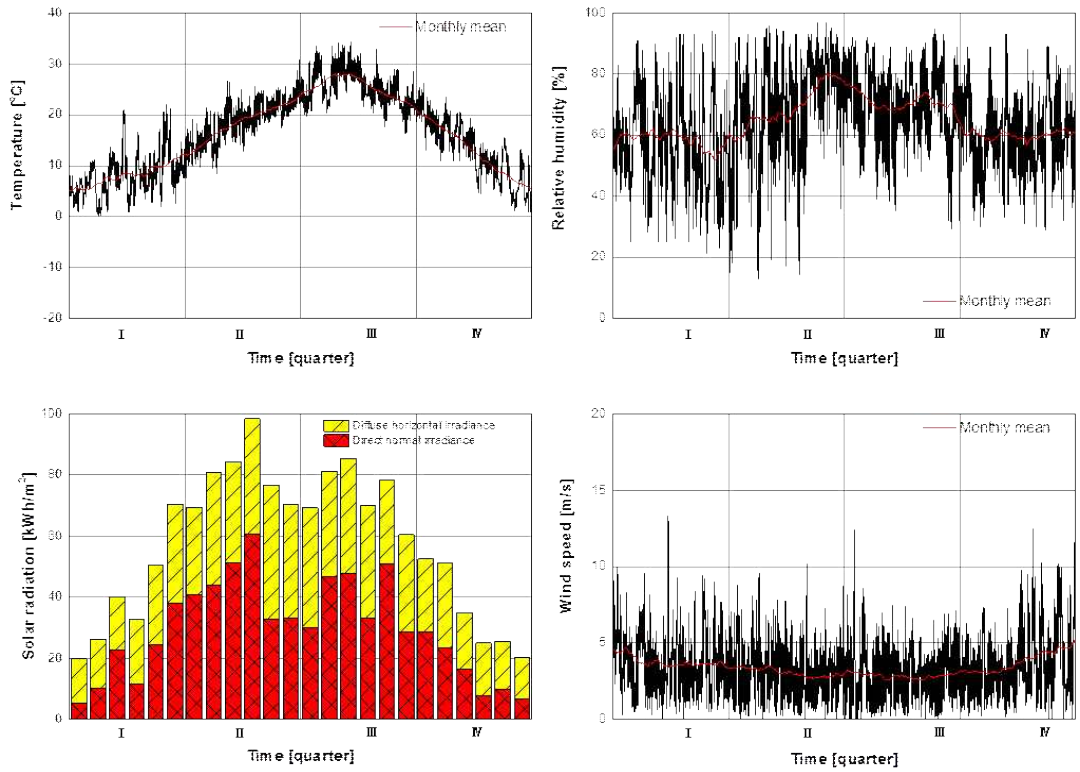
<서울지역>


Temperature [°C]
Monthly mean
Time [quarter]
Relative humidity [%]
Monthly mean
Time [quarter]
Solar radiation [kWh/m²]
Diffuse horizontal irradiance
Direct normal irradiance
Time [quarter]
Wind speed [m/s]
Monthly mean
Time [quarter]

<대관령 지역>



<부산지역>



<제주도 지역>

(그림 27) ISO 15927-4 기준에 의한 주요 지역의 표준기상데이터 작성예시

[표 15] ISO 15927-4 기준에 의한 지역별 표준기상데이터 대표년/월

Station		Month											
No.	Name	Jan.	Fab.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
90	속초	2008	2013	2009	2013	2013	2005	2012	2009	2013	2012	2007	2008
95	철원	2006	2013	2009	2012	2011	2007	2010	2014	2013	2013	2008	2008
98	동두천	2008	2007	2012	2007	2006	2007	2007	2009	2013	2012	2006	2011
100	대관령	2009	2010	2012	2012	2008	2009	2012	2011	2010	2013	2008	2008
101	춘천	2012	2010	2013	2012	2013	2006	2012	2011	2014	2010	2012	2009
105	강릉	2008	2007	2009	2011	2009	2007	2010	2007	2012	2014	2006	2009
106	동해	2012	2013	2013	2014	2013	2014	2012	2007	2010	2008	2007	2009
108	서울	2005	2011	2009	2006	2008	2009	2007	2011	2013	2010	2006	2008
112	인천	2009	2006	2010	2007	2009	2008	2011	2010	2010	2008	2009	2009
114	원주	2009	2006	2009	2007	2010	2009	2008	2007	2013	2007	2006	2009
119	수원	2012	2014	2009	2008	2008	2007	2010	2005	2013	2007	2010	2008
121	영월	2009	2013	2009	2008	2006	2011	2012	2007	2008	2013	2008	2010
127	충주	2009	2014	2012	2007	2013	2011	2008	2005	2014	2008	2006	2010
129	서산	2009	2006	2010	2007	2008	2007	2007	2010	2008	2007	2011	2006
131	청주	2008	2014	2012	2008	2010	2006	2010	2005	2009	2011	2010	2010
133	대전	2010	2010	2012	2007	2011	2007	2005	2007	2008	2007	2008	2010
135	추풍령	2012	2006	2006	2011	2008	2012	2011	2005	2013	2008	2014	2013
136	안동	2012	2013	2012	2013	2008	2011	2011	2011	2010	2013	2005	2009
138	포항	2009	2010	2007	2007	2007	2007	2011	2007	2014	2005	2009	2006
143	대구	2012	2010	2012	2011	2008	2012	2011	2005	2008	2010	2008	2009
146	전주	2012	2013	2013	2007	2011	2007	2012	2012	2006	2012	2008	2013
156	광주	2009	2006	2013	2009	2007	2007	2012	2005	2013	2012	2008	2013
159	부산	2005	2010	2007	2007	2010	2007	2010	2008	2010	2007	2008	2009
165	목포	2009	2013	2013	2007	2008	2012	2010	2009	2013	2007	2007	2013
169	흑산도	2012	2014	2006	2007	2005	2007	2014	2010	2011	2012	2014	2009
184	제주	2012	2009	2009	2008	2012	2014	2006	2005	2011	2007	2008	2009
185	고산	2008	2009	2006	2009	2010	2007	2010	2008	2010	2011	2009	2009
192	진주	2009	2006	2006	2012	2012	2006	2012	2010	2010	2010	2008	2009
201	강화	2012	2006	2013	2006	2009	2009	2008	2014	2014	2006	2008	2014
202	양평	2009	2006	2013	2008	2013	2009	2012	2013	2014	2013	2008	2008
203	이천	2012	2010	2012	2008	2013	2007	2010	2014	2012	2011	2006	2008
211	인제	2008	2007	2006	2008	2005	2014	2009	2007	2008	2012	2012	2011
212	홍천	2012	2006	2009	2009	2009	2011	2008	2011	2014	2014	2006	2011
216	태백	2012	2006	2012	2008	2008	2007	2011	2011	2005	2012	2008	2009

221	제천	2012	2006	2009	2009	2013	2009	2011	2008	2014	2008	2008	2008
226	보은	2009	2006	2012	2006	2013	2009	2011	2011	2005	2012	2014	2008
232	천안	2009	2006	2006	2009	2010	2009	2008	2014	2013	2007	2006	2011
235	보령	2005	2013	2012	2011	2010	2005	2008	2005	2012	2011	2012	2009
236	부여	2009	2013	2009	2007	2010	2007	2007	2008	2009	2007	2012	2008
238	금산	2012	2006	2012	2007	2013	2009	2011	2011	2013	2008	2006	2009
130	울진	2012	2013	2012	2007	2013	2011	2012	2010	2014	2008	2008	2009
271	봉화	2012	2014	2005	2009	2007	2009	2009	2013	2008	2005	2005	2009
272	영주	2012	2011	2014	2007	2008	2011	2008	2008	2014	2013	2005	2013
273	문경	2012	2011	2014	2005	2010	2011	2008	2007	2013	2013	2008	2013
277	영덕	2013	2013	2007	2011	2010	2009	2010	2007	2014	2010	2007	2011
278	의성	2012	2011	2009	2007	2012	2011	2010	2008	2013	2006	2008	2008
279	구미	2012	2011	2009	2008	2012	2011	2008	2007	2013	2011	2005	2008
281	영천	2012	2006	2009	2011	2013	2009	2010	2008	2013	2013	2007	2008
152	울산	2013	2010	2014	2011	2012	2014	2005	2005	2014	2011	2007	2011
155	창원	2012	2012	2009	2007	2013	2014	2005	2006	2014	2011	2008	2010
162	통영	2014	2012	2009	2014	2012	2007	2014	2008	2009	2014	2005	2009
284	거창	2012	2011	2014	2008	2005	2014	2005	2005	2008	2005	2008	2008
285	합천	2013	2011	2014	2014	2013	2006	2010	2005	2014	2005	2007	2008
288	밀양	2005	2013	2005	2008	2012	2014	2014	2009	2014	2011	2007	2008
289	산청	2012	2011	2014	2011	2009	2013	2005	2005	2014	2014	2005	2009
294	거제	2012	2013	2012	2008	2008	2007	2012	2007	2011	2012	2005	2008
295	남해	2012	2013	2012	2011	2013	2013	2012	2005	2009	2005	2005	2010
140	군산	2012	2014	2013	2007	2009	2010	2007	2010	2009	2014	2009	2008
243	부안	2013	2011	2012	2005	2013	2010	2012	2008	2008	2007	2007	2011
244	임실	2006	2011	2012	2007	2013	2007	2014	2009	2014	2005	2008	2013
245	정읍	2006	2011	2006	2007	2007	2010	2010	2005	2011	2005	2008	2011
247	남원	2006	2011	2014	2011	2009	2009	2011	2005	2009	2005	2013	2009
248	장수	2012	2014	2008	2008	2009	2007	2010	2006	2013	2011	2008	2011
168	여수	2012	2013	2012	2007	2009	2009	2005	2007	2013	2008	2005	2013
170	완도	2013	2011	2012	2013	2010	2010	2011	2006	2011	2011	2013	2010
260	장흥	2012	2014	2012	2007	2013	2007	2005	2006	2013	2005	2006	2013
261	해남	2012	2013	2009	2013	2010	2007	2011	2005	2011	2011	2008	2010
262	고흥	2013	2011	2009	2007	2010	2007	2005	2005	2008	2007	2005	2006
188	성산	2012	2005	2012	2006	2012	2007	2007	2005	2013	2007	2014	2011
189	서귀포	2013	2013	2014	2013	2010	2014	2011	2008	2014	2012	2008	2009

[표 16] ISO 15927-4 기준에 의한 표준기상데이터의 지역별 기후 특성

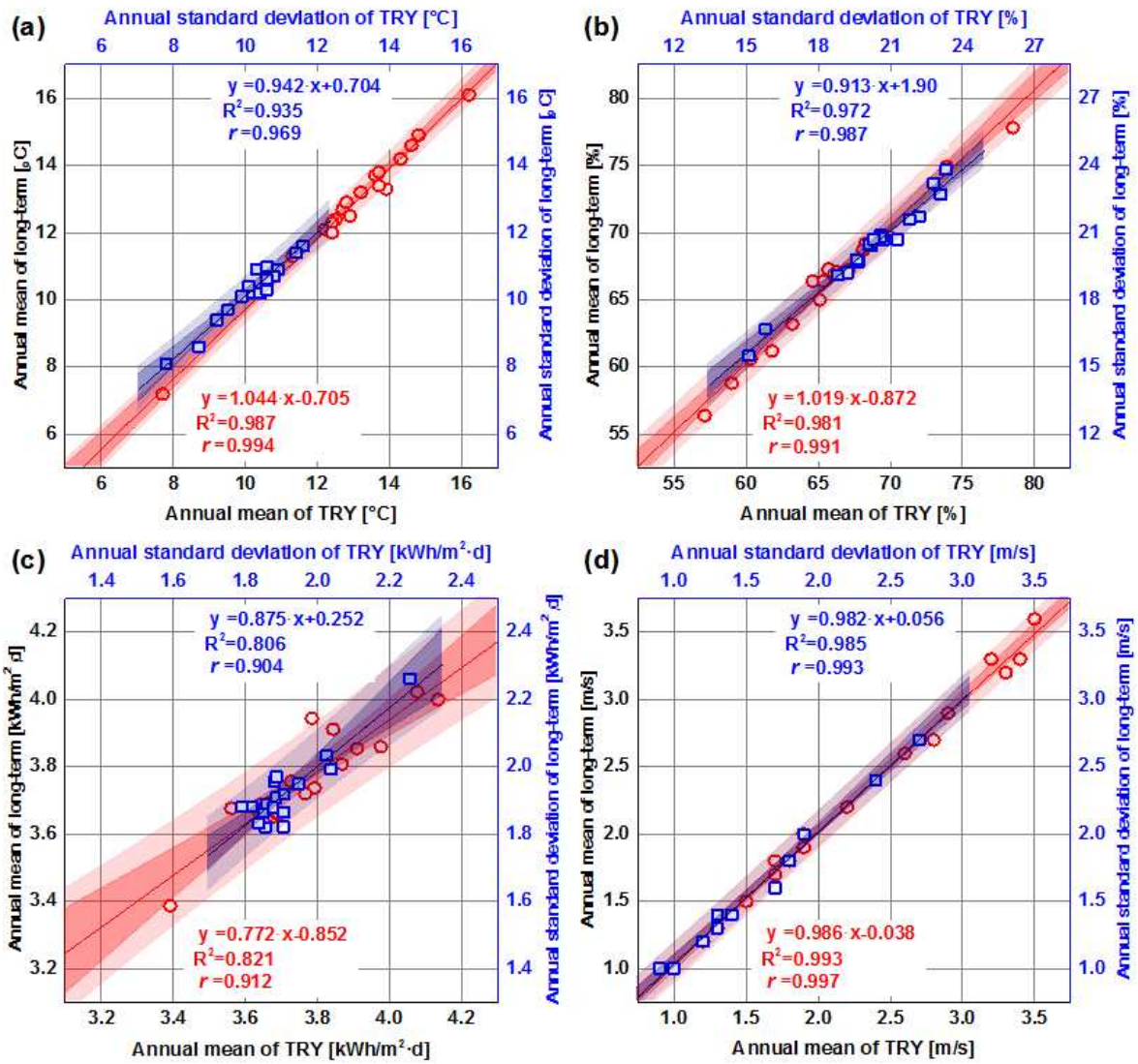
Station		Temperature			Relative humidity			Solar Global Horiz. [kWh/m²a]	Mean Cloud Index [-]	Mean Wind Speed [m/s]	Normal Rain [mm/a]
No.	Name	Mean [°C]	Max. [°C]	Min. [°C]	Mean [%]	Max. [%]	Min. [%]				
90	속초	12.7	34.7	-13.7	64	100	6	1328.7	0.5	2.4	1255
95	철원	10.7	34.9	-21.2	70	100	13	1290.4	0.5	1.8	1174
98	동두천	11.4	33.8	-14.6	65	100	8	1312.5	x	1.6	1229
100	대관령	7.7	28.9	-20.1	73	98	11	1411.5	0.6	3.5	1383
101	춘천	11.3	33.4	-16.3	70	100	9	1360	0.5	1.2	1144
105	강릉	13.9	35.7	-8.6	59	99	8	1347.5	0.5	2.8	1166
106	동해	13.2	34.2	-12.6	63	99	8	1374.8	x	2.6	1389
108	서울	12.7	33.4	-13	60	98	10	1237.8	0.5	2.6	1058
112	인천	12.5	33	-13.1	68	100	17	1299.8	0.5	2.9	2304
114	원주	12.2	34.1	-15.9	65	100	11	1328.9	0.5	1.3	1309
119	수원	12.9	34.8	-12.5	68	100	13	1345.3	0.5	1.8	1098
121	영월	11.5	33.9	-17.4	67	100	8	1318.8	x	1.4	1687
127	충주	12.1	34.6	-16.2	67	100	12	1318.7	x	1.6	1418
129	서산	12.4	31.6	-13.2	74	100	17	1336.4	0.6	2.6	1481
131	청주	13.2	34.6	-12.2	63	99	11	1342.4	0.5	1.5	1036
133	대전	12.8	34.2	-14.1	66	98	12	1381	0.5	1.7	1527
135	추풍령	11.8	33	-13.6	66	97	9	1373.7	0.5	2.5	1120
136	안동	12.4	33.6	-14.4	66	100	10	1383.5	0.5	1.7	1243
138	포항	14.7	35.7	-9.9	64	99	13	1415.2	0.5	2.4	927
143	대구	14.6	35.1	-9	57	97	7	1402.6	0.5	2.2	1240
146	전주	13.6	37.8	-11.6	65	99	10	1325.9	0.5	1.9	1262
156	광주	14.3	35	-11	66	98	9	1450.9	0.5	1.9	1232
159	부산	14.8	32	-7.4	62	98	10	1487.8	0.5	3.3	1526
165	목포	13.7	31.2	-8.2	78	100	18	1426.8	0.5	3.2	994
169	흑산도	13.5	31.1	-3.2	77	100	13	1449.1	0.6	5.2	725
184	제주	16.2	34.4	0.1	65	97	13	1374.4	0.6	3.4	1322
185	고산	15.9	31.5	-0.1	72	100	15	1441.4	0.6	6.9	1051
192	진주	13.7	34.7	-13.8	67	97	11	1508.8	0.5	1.3	1587
201	강화	11.1	34.6	-15.1	69	100	12	1339.2	x	2	1145
202	양평	12.2	34.3	-18.7	68	100	11	1342.4	x	1.4	1039
203	이천	11.7	33.9	-15.6	67	100	10	1299.8	x	1.3	1042
211	인제	10.5	32.7	-19.3	68	99	8	1304.3	x	1.9	1268
212	홍천	11.3	35.4	-18.7	67	100	9	1302.8	x	1.1	1483
216	태백	8.9	30.2	-18.7	66	99	8	1256.5	x	1.8	1391
221	제천	10.4	33.9	-19.1	69	97	9	1341.7	x	1.5	1499
226	보은	11.4	32.1	-17.3	70	100	13	1332.6	x	1.4	1615
232	천안	12.1	33.2	-17.1	68	98	8	1336.2	x	1.9	942
235	보령	12.2	34.2	-12.9	72	99	17	1343.5	x	1.9	1332
236	부여	12.4	34.3	-14.4	71	100	13	1326.8	x	1.4	995
238	금산	11.8	33.5	-16.2	69	99	10	1302.7	x	1.2	1576
130	울진	12.8	34.8	-12	67.8	100	9	1226.2	5	2.8	1166.9
271	봉화	9.8	33.2	-18.5	70.2	99	10	1158.4	X	1.2	945.4

272	영주	12	34.1	-13.4	64.9	99	12	1161.4	X	2.5	1402.6
273	문경	12.5	34.3	-14.3	63.8	97	9	1101.2	X	1.7	1523.9
277	영덕	13.3	35.8	-12.4	62.4	100	9	1122.3	X	2.8	976.8
278	의성	12.1	35	-16.8	68.5	99	9	1112.1	X	1.2	841.9
279	구미	13.5	34.9	-11.7	63.1	97	11	1151.7	X	1.6	990.7
281	영천	12.8	33.8	-13.8	63.6	99	8	1154.1	X	1.9	914.9
152	울산	14.2	34.5	-10.2	64.3	100	10	1354.5	4.9	2.1	1007.2
155	창원	14.5	34.7	-10	60.7	96	10	1380.8	4.7	1.9	1100.1
162	통영	14.7	33.6	-8.5	68.7	100	14	1282	4.5	2.3	1032.3
284	거창	12.2	36.7	-14.7	67.8	100	8	1160.9	X	1.4	1097
285	합천	13.3	34.7	-14.6	66.6	99	8	1127	X	1.2	1604.8
288	밀양	13.6	38.3	-11.4	62.3	97	7	1148.3	X	1.4	675.2
289	산청	13.3	36.4	-11.6	64.6	100	6	1155.9	X	1.7	1629.6
294	거제	14.5	35.2	-9.2	65.3	99	10	1155.3	X	1.8	1662.9
295	남해	14.3	34.4	-8.2	64	100	9	1210	X	1.5	1766.2
140	군산	13.1	33.8	-10.9	76.9	99	15	1273.2	5	2.2	1204.8
243	부안	12.9	35	-15.1	73.2	100	15	1144.5	X	1.6	928.2
244	임실	11.3	33.6	-15.3	71.6	99	9	1103.2	X	1.3	911.9
245	정읍	13.4	35.2	-9	65.7	95	8	1104	X	1.3	1562.2
247	남원	12.5	34.6	-16.8	71.8	98	9	1147.1	X	1.4	1338.3
248	장수	10.9	32.5	-15.1	72.2	100	10	1102.5	X	1.7	1074.8
168	여수	14.5	31.6	-9.3	62.8	100	10	1344.4	4.6	3.9	1359.9
170	완도	14.1	33.8	-6.6	70.1	100	13	1348.8	5.2	3	1316
260	장흥	13.6	34.7	-10.9	71.8	100	12	1133.2	X	2.1	1081.8
261	해남	13.3	34	-10.5	73	100	13	1120.7	X	2.3	1211.1
262	고흥	13.8	32.9	-10.4	70.6	99	10	1150.8	X	1.7	1051.2
188	성산	15.5	34.5	-3	73.6	99	14	1090.6	X	2.9	1898.5
189	서귀포	16.9	35.5	-0.9	69	99	13	1234.2	5.7	2.4	1475

○ **기상청 관측 값과 표준기상데이터의 통계학적 분석**

- 제작된 표준기상데이터는 장기간에 걸쳐 관측된 값들의 발생빈도와 연속성을 올바르게 대표해야만 한다. 이 과제에서 제작된 표준기상데이터가 이러한 특성들이 적절하게 표현하고 있는지를 평가하기 위하여 장기간 관측 값과 표준기상데이터의 통계학적 특성을 상호 비교하였다.
- 1차년도에서 제작된 우선제작 기상지점에 대하여 장기간 관측 값과 표준기상데이터의 기상요소 중 기온, 상대습도, 전일사량, 풍속의 연평균과 표준편차를 각각 계산하였다. 이 계산된 연평균과 표준편차의 상관성을 평가하기 위하여 대하여 단순회기모형에서 결정계수 R^2 과 Pearson r-지수를 활용하였다.
- 아래 그림29는 장기간의 관측 값과 제작된 표준기상데이터의 상관성이 통계학적으로 매우 우수하다는 것을 보여주고 있다. 각 그래프별로 각각 표준기상데이터와 장기간 관측데이터의 연평균온도는x1-y1 축에 그리고 연 표준편차는 x2-y2축에 표현되어 있다. 짙은 선과 색의로 표시된 면적은 각각 일반선형모델과 95%의 신뢰 및 예측구간을 나타낸다. 여기서 적색은 연평균값 그리고 청색은 연 표준편차 값을 의미한다. 그래프에서 보여지는 것과 같이 연 평균값과 연 표준편차 값의 배치가 제작된 표준기상데이터가 장기간 관측 값을 매우 우수하게 대표하고 있다는 것을 분명하게 보여주고 있다. 특히 기온, 상대습도, 풍속에 대하여 표준기상데이터와 장기간 관측 값의 상관성이 매우 우수하다는 것을 결정계수 R^2 과 Pearson r-지수가 기준 값인

1에 매우 가까움으로서 이를 입증하고 있다. 반면에 전일사량의 경우 타 기상요소에 비하여 다소 큰 편차를 보이고 있다. 이는 전일사량의 민감도에 의하여 나타난 결과 예측된다. 일평균 전일사량의 합은 하루 중 대기 속 구름, 증기, 에어로졸, 먼지 입자 등의 다양한 요소들에 의하여 민감하게 그 값이 변하기 때문이다.



(그림 28) 우선 관측지점의 장기간 관측데이터와 제작된 표준기상데이터간의 통계학적 특성 평가(적색-연평균, 청색-연표준편차) - (a) 기온, (b) 상대습도, (c) 전일사량, (d) 풍속

○ 표준기상데이터 산출모델 제시

- ISO 15927-4를 활용한 대한민국에 적합한 표준기상모델 도출

- 대한민국에 적합한 표준기상모델을 산출하기 위하여 ISO 15927-4를 통하여 제작한 기상데이터를 활용하였다. 각 기후대 별로 기상요소가 건축물에너지요구량에 미치는 영향도가 달라지는데, 그 영향도를 파악하기 위하여 온도, 전일사량, 습도, 풍속 기상데이터에 편차를 주어 민감도 테스트를 진행하였다.

- 가장 기본적인 기상요소인 온도 값을 각각 ±2℃ 편차를 주고, 이 편차에 의하여 결정되는 표준편차와 편차상수를 다시 전일사량, 습도, 풍속에 적용하였다. 이를 구하기 위한 자세한 수식은 아래와 같다.

$\triangle T$: 온도 편차, x : 편차상수, $\sigma_{Temp.}$: 온도 표준편차

$\triangle GHI$: 전일사량 편차, σ_{GHI} : 전일사량 표준편차

$\Delta T = 2℃ = x \cdot \sigma_{Temp.}$

$\Delta GHI = x \cdot \sigma_{GHI}$ $\triangle RH$: 상대습도 편차, σ_{RH} : 상대습도 표준편차

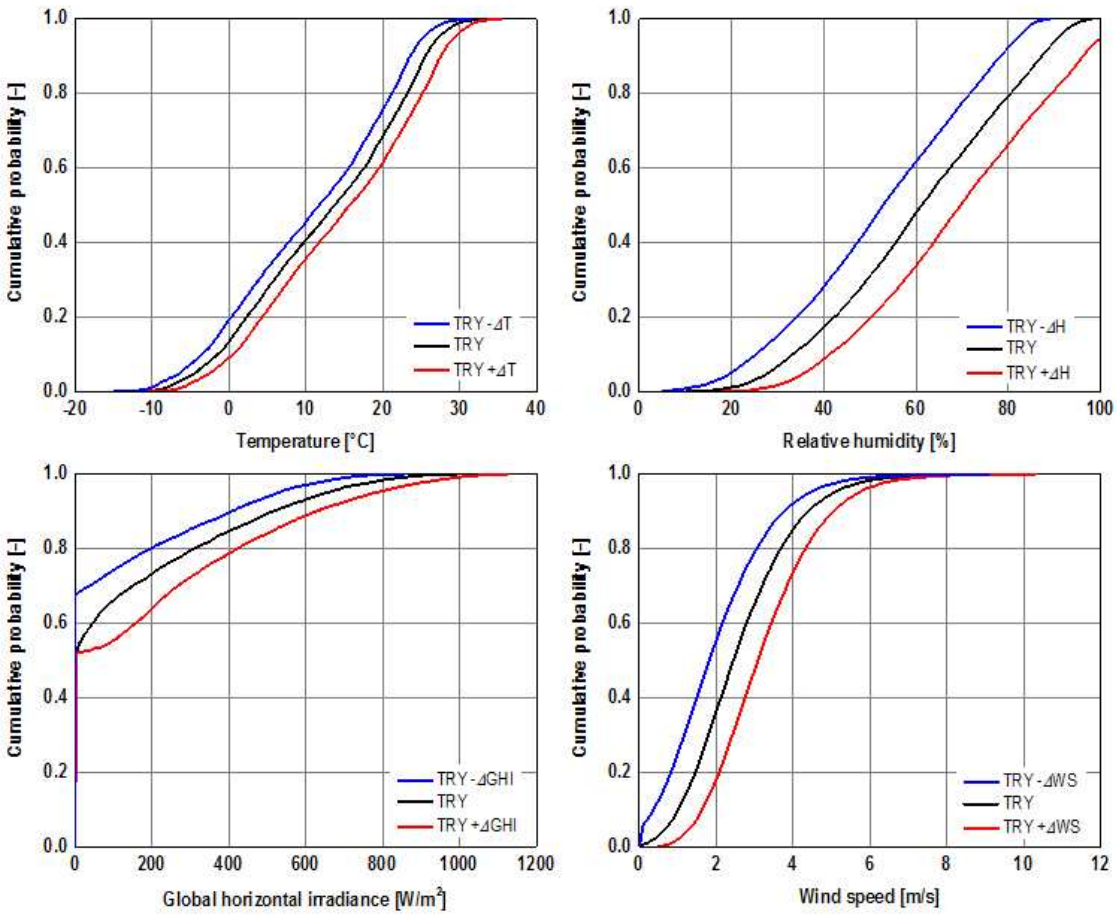
$\Delta RH = x \cdot \sigma_{RH}$ $\triangle WS$: 풍속 편차, σ_{WS} : 풍속 표준편차

$\Delta WS = x \cdot \sigma_{WS}$

위 수식을 통하여 계산된 기상데이터의 종류는 아래의 표와 같다. 그 예시는 아래의 그래프와 같다.

[표 15] 표준기상데이터 작성 시의 제한조건

구분	기상데이터 종류		제한조건
ISO 15927-4	-		-
온도 변화	+2℃	-2℃	-
전일사량 변화	+GHI	-GHI	+GHI: 해당시간에 발생할 수 있는 전 일사량을 초과할 수 없음
습도 변화	+RH	-RH	+RH: 일반 기상학적으로 실외 RH는 100%를 초과할 수 없음 -RH: 국내 기상관측 최소 RH 5% 미만이 될 수 없음
풍속 변화	+WS	-WS	-WS: 풍속 0m/s 미만이 될 수 없음



(그림 29) 기온, 상대습도와 전일사량 그리고 풍속의 변화 예시 - 서울

- 주요기상요소인 기온, 상대습도, 전일사량, 풍속이 월 에너지요구량에 미치는 영향성을 평가하기 위하여 각 월별로 상대영향 지수를 계산하였다. 이 상대영향 지수는 아래의 수식에 의하여 결정

하였다.

$$IF_w = \frac{E_w - E_i}{\sum_w^n (E_w - E_i)} \qquad \text{(Eq. 3.3)}$$

여기서,

IFw : 변환된 표준기상데이터의 상대영향지수

Ew : 변형된 표준기상데이터의 월 에너지요구량

Ei : 표준기상데이터의 월 에너지요구량

w : 변환된 표준기상데이터

i : 표준기상데이터

나. 수평면 전일사량을 활용한 확산일사량 산출 알고리즘 모델링

- 본 연구에서는 시간단위의 확산일사량을 계산하기 위하여 Skartveit과 Olseth (1998)에 의하여 개발된 시간에 따른 수평면 전일사량의 변환상수($\sigma 3$)를 활용한 알고리즘을 사용하였다. 이 모델은 노르웨이 베르겐에서 32년동안 관측된 기상데이터를 활용하여 알고리즘 모델이 개발되었으며, 유럽 전역에 설치된 기상관측소에서 실측된 기상데이터와의 상관성 연구를 통하여 그 우수성이 입증되었다.
- 시간에 따른 수평면 전일사량 변환상수 σ3는특정시간청명도상수Θ(t)과 그 시간 바로 앞·뒤 시간의 청명도상수 각각 $\Theta(t-1)$, $\Theta(t+1)$ 에 의하여 결정된다. 그 수식은 아래와 같다.

$$\sigma_3 = \left(\frac{[\theta(t)-\theta(t-1)]^2 + [\theta(t)-\theta(t+1)]^2}{2}\right)^{0.5} \qquad \text{(Eq. 3.4)}$$

여기서, 청명도상수(Θ)는 아래와 같이 정의된다.

$$\theta = \frac{k_t}{k_{(t,1)}} \qquad \text{(Eq. 3.5)}$$

이때 $k_{t,1}$ 는 하늘에 구름이 한 점도 없을 때 완전히 청명한 상태를 나타낸다.

$$k_{(t,1)} = 0.83 - 0.56 \cdot \exp(-0.06 \cdot \varnothing) \qquad \text{(Eq. 3.6)}$$

○ 비변화 구간

낮은$\sigma 3$ 는 하늘의 상태변화가 거의 없는 것을 의미한다. 그 예로는 지속적으로 구름이 가득한 상태 ($\Theta \approx 0$)와 지속적으로 청명한 상태 ($0.9 < \Theta < 1.0$)가 있다. 이 경우에는kt 값은 아래의 4가지 모델로 구성되어 있다.

1. kt ≤ 0.22 : 태양 고도에 상관없이 수평면 전일사량이 관측되지 않는 경우

$$k_d = 1.00 \qquad \text{(Eq. 3.7)}$$

2. 0.22 ≤ kt ≤ kt,2 : 태양이 잘 보이지 않을 정도로 구름이 지배적일 경우.

$$k_d = f(k_t, \varnothing) = 1 - (1 - k_{d,1})(0.11\sqrt{K} + 0.15K + 0.74K^2) \qquad \text{(Eq. 3.8)}$$

여기서,

$$K = 0.5(1 + \sin[\pi(\frac{k_t - 0.22}{k_1 - 0.22} - \pi/2]$$ (Eq. 3.9)

$$k_{t,2} = 0.95 \cdot k_{t,1}$$ (Eq. 3.10)

$$K_{d,1} = 0.07 + 0.046(\frac{90 - \varnothing}{\varnothing + 3})$$ (Eq. 3.11)

3. *kt,2≤kt ≤ kt,max* : 수평면 전일사량이 해당시간에 지구표면에 도달할 수 있는 최대 전천일사량 (*kb,max)* 을 초과하지 않을 경우

$$k_{t,\max} = \frac{k_{b,}\max + k_{d,2t,2}}{1 - k_{t,2}}$$ (Eq. 3.12)

여기서,

$$k_{b,\max} = 0.81^{\alpha}$$ (Eq. 3.13)

$$\alpha = (\frac{1}{\sin\varnothing})^{0.6}$$ (Eq. 3.14)

청명한 하늘이 지속될 경우, 대기 중의 수증기량과 에어로졸의 영향은 지배적이다. 이러한 영향을 고려하기 위하여 아래와 같은 수식이 함께 적용되었다.

$$k_d = k_{d,2}k_{t,2}\frac{1 - k_t}{k_t(1 - k_{t,2})}$$ (Eq. 3.15)

여기서,

$$k_{d,2} = f(k_{t,2}, \varnothing)$$ (Eq. 3.16)

4. *kt ≥ kt,max* : 수평면 전일사량이 *kt,max* 로 유지되면서, 하늘의 구름이 확산일사량에 큰 영향을 주지 않을 정도로 존재하는 경우

$$k_d = 1 - k_{(t,\max)}\frac{1 - k_{d,\max}}{k_t}$$ (Eq. 3.17)

○ **변화구간**

- 보통의 Θ는 구름에 의한 전일사량의 σ3에 의하여 결정된다. 결과적으로 σ3 > 0일 경우에는 일정하지 않은 운량에 의한 것이며, 그 가변성을 보여주는 실험적 결과가 아래의 수식들에 반영되었다.

$$\Delta(k_t, \emptyset, \sigma_3) = -3K_L^2(1 - K_L){\sigma_3}^{1.3}, \text{ for } 0.14 \le k_t \le k_x$$ (Eq. 3.18a)

$$\Delta(k_t, \emptyset, \sigma_3) = 3K_R(1 - K_R)^2{\sigma_3}^{0.6}, \text{ for } k_x \le k_t \le (k_x + 0.71)$$ (Eq. 3.18b)

$$\Delta(k_t, \emptyset, \sigma_3) = 0 \text{ , for } k_x \le 0.14 \text{ and } k_t \ge k_x + 0.71$$ (Eq. 3.18c)

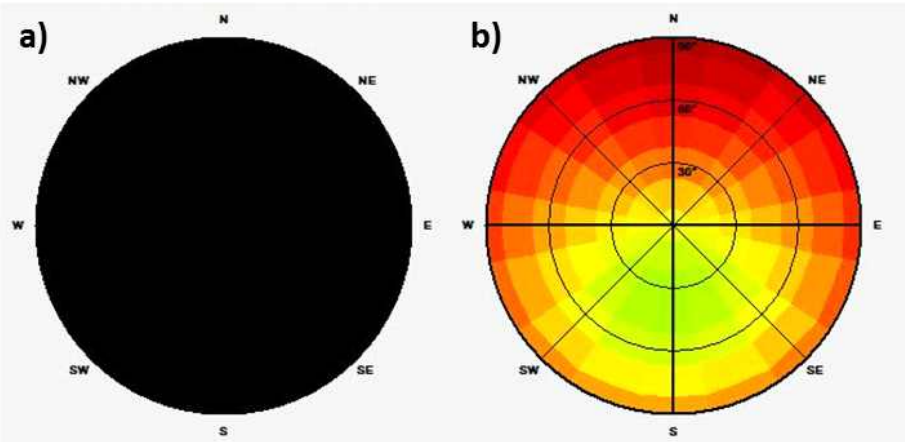
여기서 K 의 선형보간은 다음과 같다.

$$k_x = 0.56 - 0.32e^{-0.06\emptyset} \quad \text{(Eq. 3.19a)}$$

$$K_L = \frac{k_t - 0.14}{k_x - 0.14} \quad \text{(Eq. 2.19b)}$$

$$K_R = \frac{k_t - k_x}{0.71} \quad \text{(Eq. 3.19c)}$$

- 이 모델은 다양한 구름의 형태 및 양을 수평면 전일사량의 변화량에 반영시켜 개발되었다. 일반적으로 구름의 형태와 양을 동시에 수치적으로 반영하는 것에는 한계가 따르고 오차가 크기 때문이다. 즉, 이 모델은 운량 데이터 없이도 수평면 전일사량만을 사용하여 확산일사량을 계산할 수 있다는 장점이 있다. 이와 더불어 이 모델은 눈이 없는 지표면과 평균 알베도값이 0.15인 경우에 특히 상관성이 매우 높다. 눈으로 덮혀 있거나 또는 높은 알베도값이 있는 지표면일 경우에는 전일사량이 다중반사에 의하여 모델의 정확도가 떨어질 뿐만 아니라 이 영향들을 포함한 수치적 모델링을 하는 것은 매우 어렵기 때문이다.
- 아래의 그림은 건물에너지 시뮬레이션에서 수평면 전일사량만 단독적으로 존재할 경우(a)와 수평면 전일사량과 확산일사량이 동시에 존재할 경우(b)의 차이를 분명하게 보여주고 있다. 이 그래프는 각 향에 따라 일사량을 보여주며, 원의 중심은 수평면(벽체 기울기 0°)에서의 일사량을 보여주며, 원의 둘레에 가까워질수록 건축물 벽체가 90°에 가까워진다. a의 경우에는 일사량을 표현할 수 없는데, 그 이유는 단순히 수평면 전일사량만을 가지고는 각 향과 벽체의 기울기에 따른 일사량을 계산할 수 없기 때문이다.
- 대표적인 예로서 정북향을 향해 있는 건물벽체는 직달일사량을 받을 수 없고 오직 전일사량에 의하여 반사된 확산일사량만 받을 수 있기 때문이다. 즉, 건물에너지 시뮬레이션을 위해서는 수평면 전일사량과 함께 반드시 확산일사량 또는 직달일사량이 준비되어야 한다.



(그림 30) 향에 따른 일사량 분포: a) 수평면 전일사량만 있는 경우, b) 수평면 전일사량과 확산일사량이 함께 있는 경우

다. 일조시간 기반의 전일사량 산출 모델

○ Angström-Prescott Model

- 본 절에서는 전일사량이 관측되지 않고 있는 50여개 기상관측소 지점의 전일사량을 산출하기 위한 방법으로, 일조시간을 활용한 계절별GHI 산출모델을 분석하였다.
- 연구목적: 일조량 기상데이터를 활용한 GHI 예측모델 제작
- 대상지점: 1차년도 우선순위 대한민국 표준기상지점 20 곳

- 기상요소: 시간단위 데이터10년(2005 ~ 2014년) 동안의 일사량(GHI), 일조량
- 적용기준: Angström-Prescott Model 를 활용 계절별GHI 산출모델

-Angström-Prescott Model

$$\frac{G}{G_o} = a + b \cdot S \qquad \text{(Eq. 3.20)}$$

$$S = \frac{n}{N} \qquad \text{(Eq. 3.21)}$$

여기서,

G: 수평면전일사량(W/m2)
G0: 최대전천일사량(W/m2)
→ 모델링조건: 청면도상수(Kt) : 0 < Kt <= 1
S: 상대일조값
n: 관측된일조량(h)
N: 시간(h=1)

[표 16] Angström-Prescott Model의 계절별 국내 적용 상수

구분	기상데이터 종류	제한조건
봄(3~5월)	0.1989	0.4596
여름(6~8월)	0.1959	0.4592
가을(9~11월)	0.1968	0.4366
겨울(12~2월)	0.2023	0.4375

○ Sunshine-based GHI 모델 검증

- 연구목적: 기상청 실측 일조량 기상데이터를 활용한 GHI 예측모델의 정확도 평가
- 대상지점: 11 지점
  - 대한민국8도의 대표도시: 서울, 대관령, 청주, 대전, 전주, 광주, 대구, 부산
  - 제주도
  - GHI 측정중인 기상관측소 중, 우선제작 순위 20개소에서 제외된 곳: 흑산도, 고산
- 기상요소: 기상청에서 실측된 일사량, Angström-Prescott Model에 의한 일사량
- 평가결과: 측정된 GHI와 Angström-Prescott Model에 의하여 계산된 GHI의 상관계수는 평균 0.9571로서 예측GHI 모델의 신뢰성이 높음. 이 두 GHI의 상관계수와 연간 총 GHI 합의 오차는 기상청에서 제공하고 있는 일조량의 단위가 단지 소수 첫째 자리까지만 작성되는 것에 의한 것으로 판단된다. 소수 첫째자리 까지만 작성된 수치가 모델링에 사용되기 때문에 측정할 수 있는 미세한 GHI 수치들까지 예측하는데 한계가 있다.

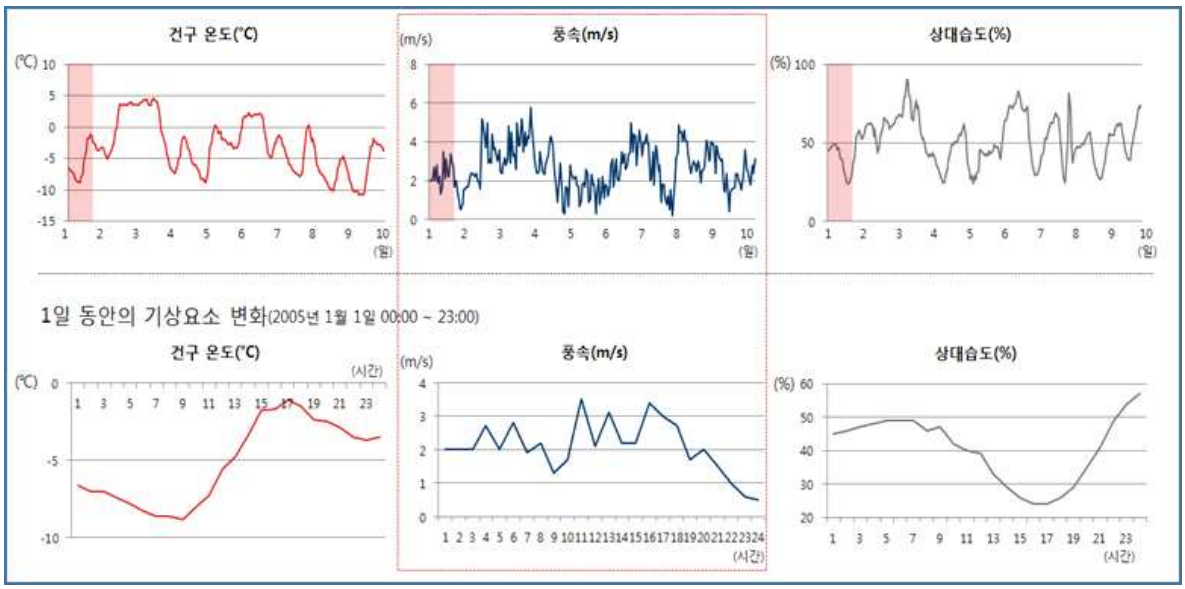
[표 17] Angström-Prescott Model과 실측데이터의 비교분석

구분	지 역	지점번호	관측지점	R^2
8도	경기도(수도권)	108	서울	0.9493
	강원도	100	대관령	0.9609
	충청북도	131	청주	0.9524
	충청남도	133	대전	0.9620
	전라북도	146	전주	0.9546
	전라남도	156	광주	0.9623
	경상북도	143	대구	0.9497
	경상남도	159	부산	0.9645
제주도		184	제주	0.9598
기 타		169	흑산도	0.9585
		185	고산	0.9542
			Ave.	0.9571
			Max.	0.9645
			Min.	0.9493

3.5 기상청 누락데이터 보간 방법

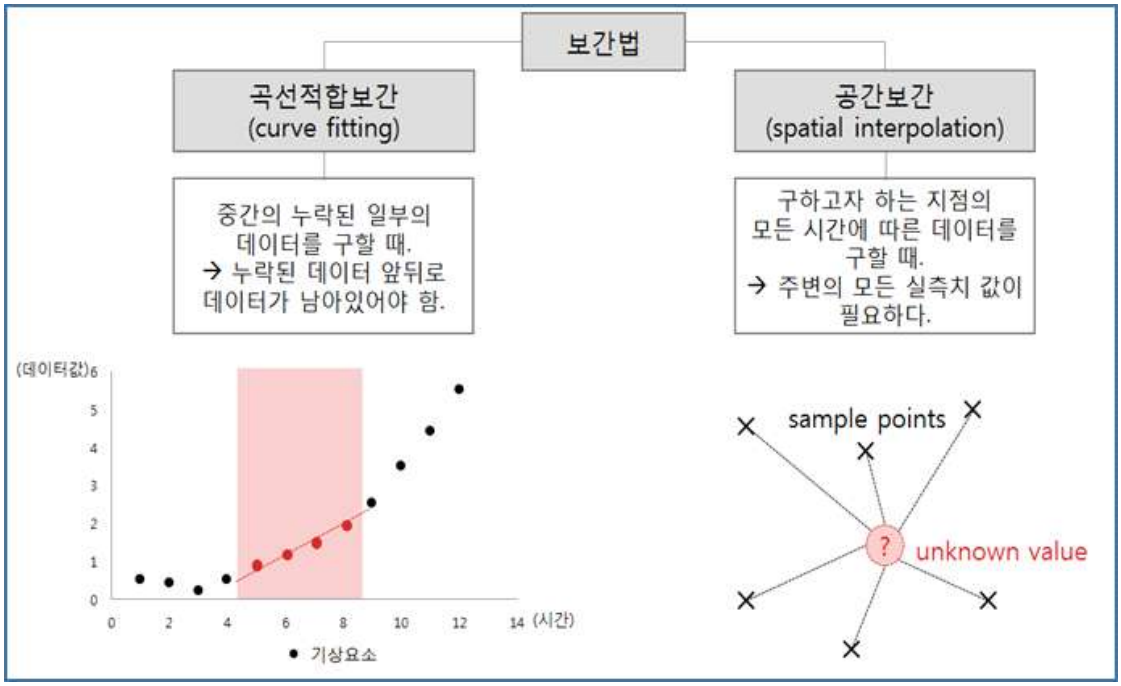
가. 누락데이터 보간 방법

- 기상청 실측데이터를 분석한 결과, 2005년 이후부터의 실측데이터는 1년 8,760 시간 기준으로 실측되고 있지만, 운량, 대기압과 같은 기상데이터는 3시간 단위로 구성되어 있거나, 장비의 고장/ 기타 사유로 장시간 누락된 시간대역이 존재한다. 따라서 최종적으로 10년 이상의 기상청 실측데이터를 통해, 1년 8,760시간 단위의 표준 기상데이터를 평가하고 작성하기 위해서, 2005년부터 2014년까지의 기상청 실측 10년 raw data에 대하여 보간 작업을 실시하였다. 일반적으로 표준기상데이터 보간 방법은 6시간 이내의 누락 데이터에 대해서 선형 보간법을 이용하여 보간 할 수 있다. 하지만, 장시간 누락데이터에 대해서는 적용하기가 어려우며, 실측된 기상데이터 중에서, 6 시간 이상의 누락 데이터가 발생 하는 지역이 존재하기 때문에 기상 요소에 따라 신뢰성이 높게 평가 된 보간 방법을 적용하고자 하였다.

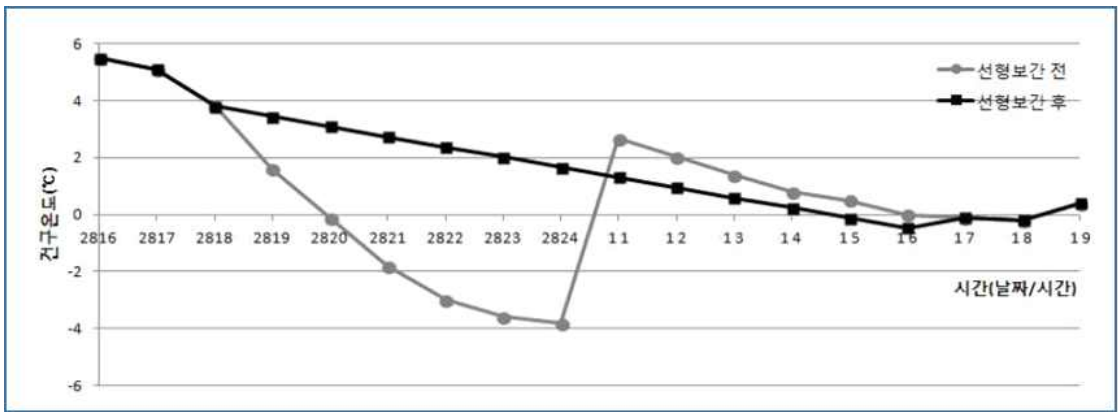


(그림 31) 기상요소(건구 온도, 상대 습도, 풍속)의 시간에 따른 변동성

- 그림 31에서 보여지는 것처럼, 건구온도와 상대습도는 시간에 따른 변동성이 비교적 작지만, 풍속의 경우는 시간에 따른 변동성이 크기 때문에, 보간 방법에 주의가 필요하다. 누락된 기상 데이터를 보완하기 위해 연구를 진행 한 보간 방법의 종류는 다음과 같다.
- 보간법은 그림 32, 33과 같이 크게 곡선적합보간법과 공간보간법 이 두 가지로 분류할 수 있다. 표준기상데이터 작성을 대상으로 하는 전국 70개 지역 중에서 데이터의 누락이 발생되어 보간이 필요한 지역은 총 46개 지역이며, 이와 같이 다수의 지역에 대해 보간 작업을 해야 하기 때문에 보간 방법의 편의성이 중요하다. 따라서 간단한 계산으로 가능한 선형보간법, 역거리 가중법, 상관계수 가중법 등이 용이하다고 판단하였다.



(그림 32) 누락데이터 보간법 개요



(그림 33) 기상데이터 건구온도의 선형보간 예시

○ **건구 온도, 상대 습도, 풍속 보간 방법에 대한 연구**

- 선형 보간법(Linear interpolation)은 통상적으로 기상데이터의 짧은 공백(6시간 이내)을 보간하는 방법이다. 국내의 70개 기상 측정 지점 중, 건구 온도와 상대 습도 데이터의 경우 대부분 6시간 이내로 누락 패턴을 형성하기 때문에 선형 보간법의 이용이 가능하다고 판단된다. 선형 보간법은 두 데이터 간 평균값의 유사성이 보장이 되는 장점이 있지만 장시간의 누락 데이터를 보간 하기에는 사용하기 힘든 단점이 있다.

$$f(x) = f(x_1) + \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1) \qquad \text{(Eq. 3.22)}$$

$f(x) : predicted value$
$f(x_1) : measured value 1$
$f(x_2) : measured value 2$

- 역거리 가중법(IDW, Inverse Distance Weighting)은 공간 보간법으로도 불리며, 인근 관측지점의 기상 정보를 거리에 반비례 가중하여 누락된 기상 정보를 보정하는 방법으로 6시간 간격 이상 연속적으로 누락된 경우 이 방법을 사용한다. 통상적으로 역거리 가중법을 위한 지역 선정에 있어서 반경 100km내에서 최소 10개, 최대 15개 지역을 사용한다.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{P_i}{D_i^b}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{D_i^b}\right)} \qquad \text{(Eq. 3.23)}$$

$R : predicted value$
$P_i : measured value$
$D_i : distance\,(km)$
$b : coefficient$
$i : \nu mber of data$

- 상관계수 가중법(CCW, Coefficient of Correlation Weighting)은 각 관측소 기상자료의 시간적 상관성을 이용하는 것으로 우선 가까운 관측소를 이용하여 두 관측소의 상관분석을 수행한 후 계산된 상관계수를 가중치로 활용하여 누락된 기상 정보를 보정하는 방법이다.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i C_i}{\sum_{i=1}^{n} C_i} \qquad \text{(Eq. 3.23)}$$

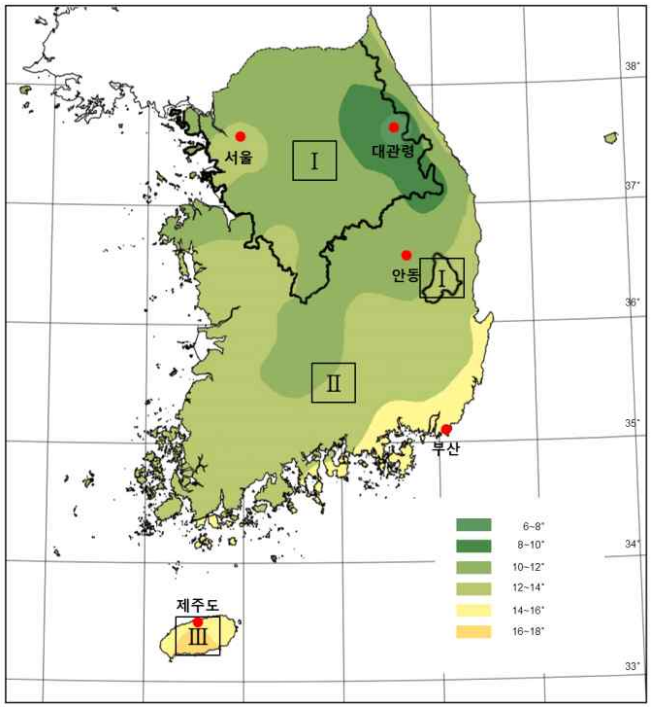
$R : predicted value$
$P_i : measured value$
$C_i : correlation coeeficient$

3.6 표준기상데이터의 건물에너지 시뮬레이션 민감도 분석

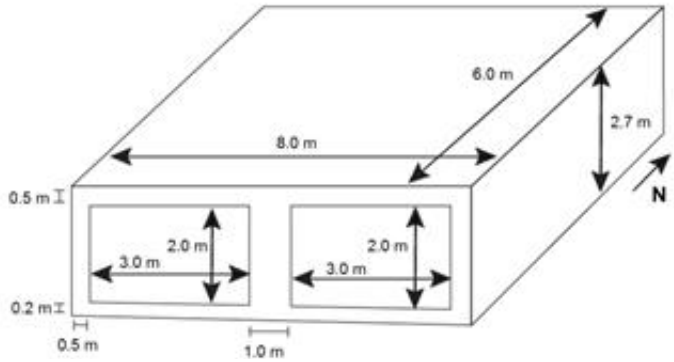
가. 시뮬레이션 설정 조건 및 대상 지역

- 앞에서 제작된 9종류 기상데이터들에 따른 건물에너지요구량의 민감도를 평가하기 위하여 Fraunhofer IBP에서 개발된 건물에너지 시뮬레이션 프로그램 WUFI® Plus을 활용하였다. 건축물 에너지요구량을 평가하기 위하여 난방, 냉방, 가습, 제습의 성능 갖춘 HVAC 시스템을 설정하고, 기상데이터 종류에 따른 월별 에너지요구량 증감율을 영향상수로 설정하였다. 시뮬레이션을 위한 조건은 아래와 같다.
- 외기조건 : 국토교통부 고시 제 2015-1108호 건축물의 에너지절약설계기준 따른 중부지역, 남부지역, 제주도를 기준으로 하였다. 아래의 그림과 같이 중부지역 (Ⅰ)에서 기온이 가장 높은 서울, 가장 낮은 대관령, 남부지역 (Ⅱ)에서 기온이 가장 높은 부산, 가장 낮은 안동, 그리고 제주도 (Ⅲ)를 기준으로 시뮬레이션을 진행하였다.
- 모델링: ASHRAE Standard 140-2007: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs의 기준을 인용하였다. 경량구조물과 중량구조물로서 48m^2

의 건물 바닥면적과 12m^{2}의 남쪽창이 설계되어 있다. 건축물의 모델링과 구성은 아래 그림 35와 같다.



(그림 34) 대한민국 건축물의 에너지절약설계기준 지역 구분 및 연구 해당 지역



(그림 35) ASHRAE Standard 140-2007 모델링

- 지중조건: 지중온도 = 10°C, 지중습도 = 90%
- 외기에 따른 건축물 에너지성능 평가를 분명하게 실행하기 위하여 슬라브의 단열을 매우 두껍게 하여 지중과 바닥슬라브 사이의 열전달을 최소하였다.
- 침기량 : Infiltration rate = 0.5 ach,
- 환기율 : 국토교통부령 제 219호 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에 따라 Ventilation rate = 0.5 ach
- 실내 열·습기획득 : Internal gains = 0 W
- HVAC 시스템: 설비시스템의 효율은 열손실 및 설비용량제한 없이 100% 라고 가정을 한다. 냉·난방시스템은 100% 대류방식이다.
- 실내온습도 기준은 국토교통부 고시 제 2015 - 1108호 건축물의 에너지절약설계기준의 냉·난방설비의 용량계산에 따라, 난방기준(20°C, RH 40%), 냉방기준(28°C, RH 60%)을 기준으로 하였다.

[표 18] 창호의 성능과 표면흡수율/ 복사율

종류	분류	성능 값	표면흡수율 및 복사율		
창호	글레이징	Double-pane glass	표면흡수율	실내 표면	0.6
	시공 열관류율 (W/m2·K)	3.0		실외 표면	
	프레임 상수 (-)	0.8	표면복사율	실내 표면	0.9
	SHGC	0.691		실외 표면	
	복사율	0.9			
	총합	-			

[표 19] 경량구조체의 벽체구성

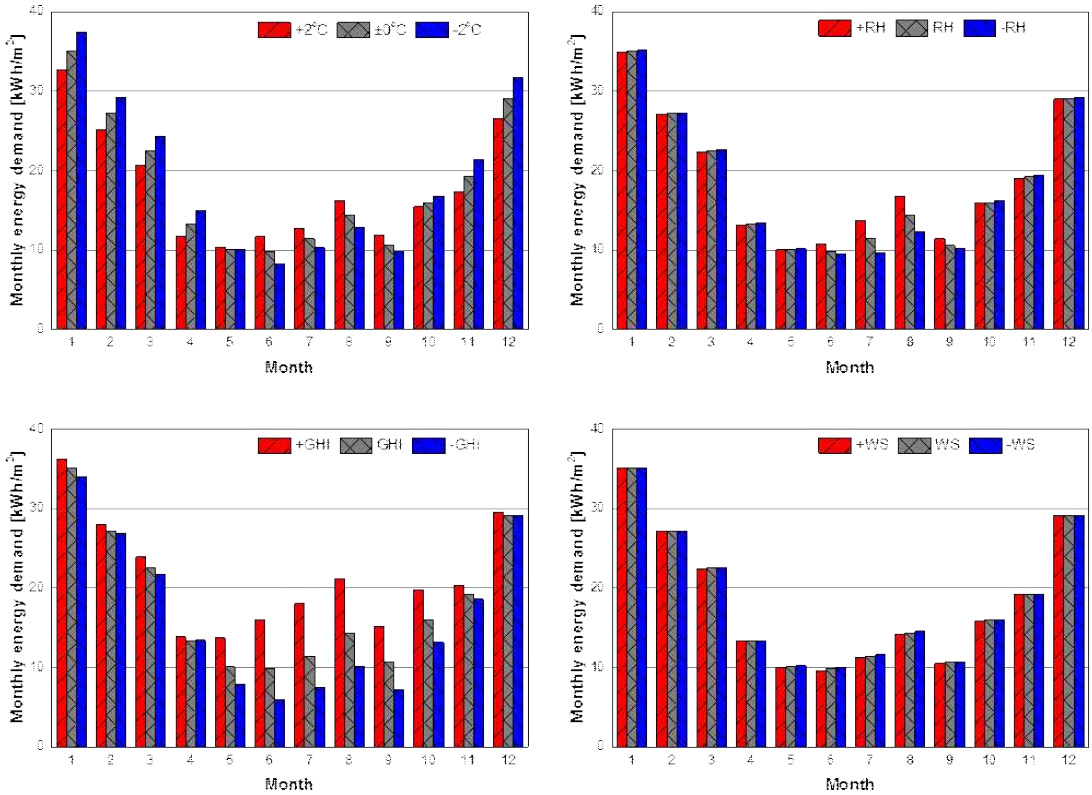
구분	건축재료	열전도율 (W/m·s)	두께 (m)	열관류율 (W/m2·s)	밀도 (kg/m3)	비열 (J/kg·K)
외벽	실내 표면	-	-	8.29	-	-
	석고보드	0.16	0.012	13.333	950	840
	글라스울	0.04	0.066	0.606	12	840
	목재 사이딩	0.14	0.009	15.556	530	900
	실외 표면	-	-	29.3	-	-
	총합	-	-	0.559	-	-
바닥	실내 표면	-	-	8.29	-	-
	목재 플로링	0.14	0.025	5.6	650	1200
	XPS	0.04	1.003	0.04	40	1500
	실외 표면	-	-	0	-	-
	총합	-	-	0.04	-	-
지붕	실내 표면	-	-	8.29	-	-
	석고보드	0.16	0.01	16	950	840
	글라스울	0.04	0.112	0.358	12	840
	목재데크	0.14	0.019	7.368	530	900
	실외 표면	-	-	29.3	-	-
	총합	-	-	0.334	-	-

[표 20] 중량구조체의 벽체구성

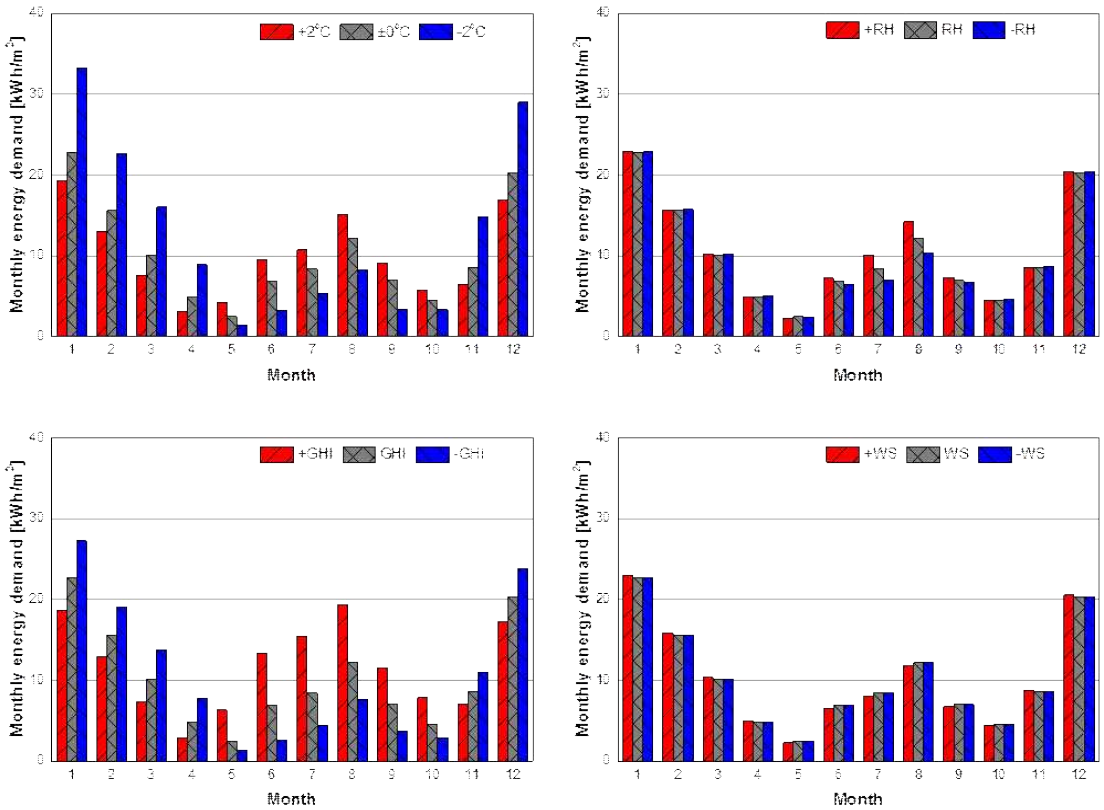
구분	건축재료	열전도율 (W/m·s)	두께 (m)	열관류율 (W/m2·s)	밀도 (kg/m3)	비열 (J/kg·K)
외벽	실내 표면	-	-	8.29	-	-
	콘크리트 블록	0.51	0.1	5.1	1400	1000
	EPS	0.04	0.0615	0.651	10	1400
	목재 사이딩	0.14	0.009	15.556	530	900
	실외 표면	-	-	29.3	-	-
	총합	-	-	0.556	-	-
바닥	실내 표면	-	-	8.29	-	-
	콘크리트	0.14	0.025	5.6	650	1200
	XPS	0.04	1.003	0.04	40	1500
	실외 표면	-	-	0	-	-
	총합	-	-	0.04	-	-
지붕	실내 표면	-	-	8.29	-	-
	석고보드	0.16	0.01	16	-	-
	글라스울	0.04	0.112	0.358	-	-
	목재 데크	0.14	0.019	7.368	-	-
	실외 표면	-	-	29.3		
	총합	-	-	0.334	-	-

[표 21] 건물에너지 해석의 실내유입 일사량 분배 설정비율

	바닥	천정	동향 벽	서향 벽	북향 벽	남향 벽	창호
비율	0.642	0.168	0.038	0.038	0.053	0.026	0.035



(그림 36) 기상요소 변화에 따른 경량구조체의 월별 에너지요구량

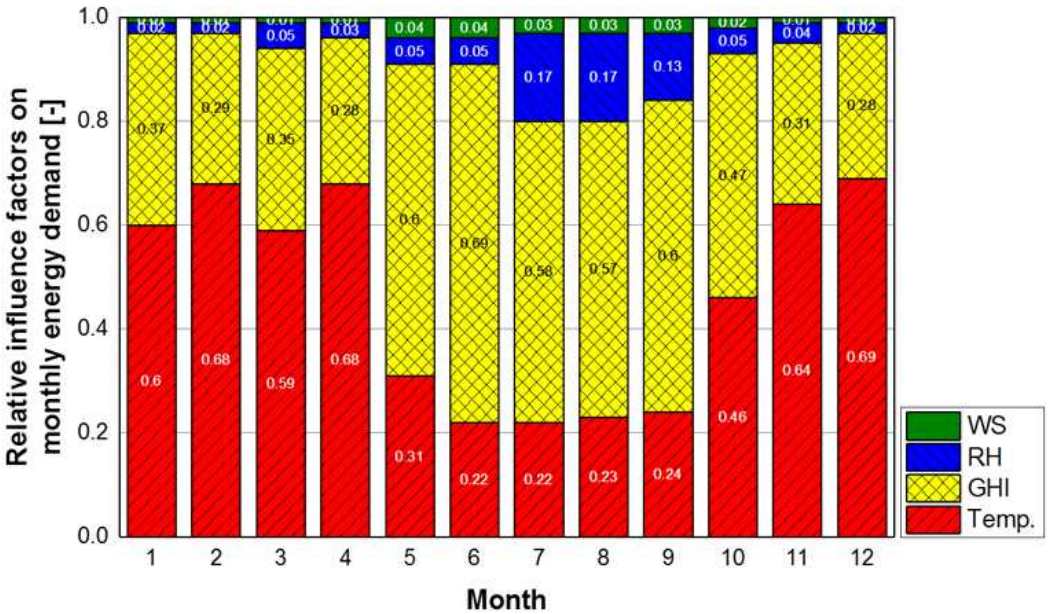


(그림 37) 기상요소 변화에 따른 중량구조체의 월별 에너지요구량

나. 표준기상데이터 산출 모델의 적합도 분석·

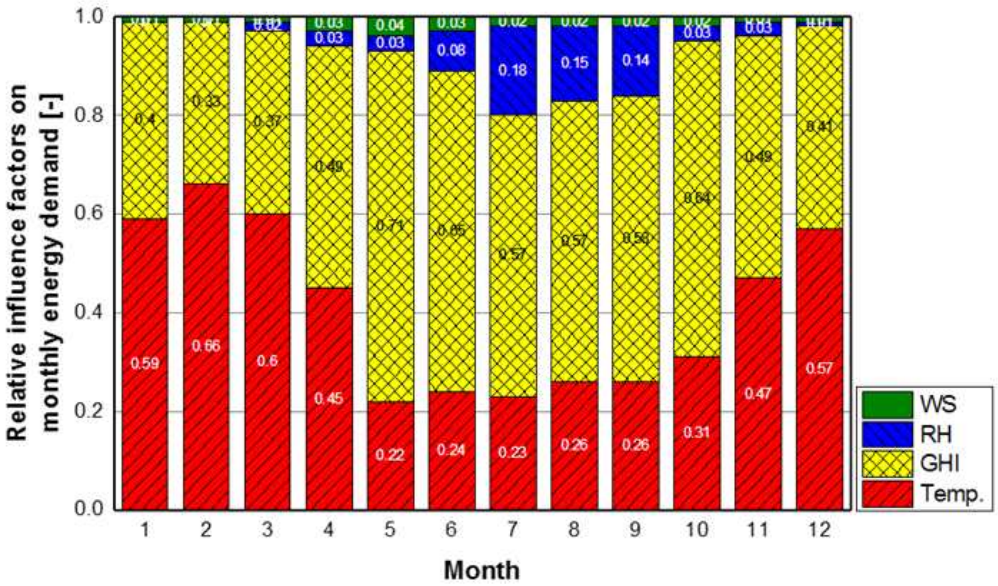
- 대한민국에 적합한 표준기상모델 도출 결과

중부지역 (Ⅰ), 남부지역 (Ⅱ) 그리고 제주도 (Ⅲ) 지역에서의 월별 기상요소에 따른 영향도는 아래의 그래프와 같다. 아래의 그래프에서 명확하게 보이는 바와 같이 겨울철 (12월, 1월, 2월)과 간절기 (3월, 4월, 11월)에서는 난방을 위하여 온도가 건물에너지요구량에 미치는 영향도 50%가 넘는 반면에 전일사량과 습도, 풍속에 대한 영향도가 매우 낮은 것으로 나타났다. 그 이유는 이 기간에 전일사량이 존재하는 시간이 여름철에 비하여 매우 짧기 때문이고, 습도의 경우 우리나라 겨울철이 매우 건조하여 가습량이 증가하나 가습을 위한 에너지 사용량이 냉·난방 시스템에 비하여 매우 적기 때문에 비율이 매우 작은 수치를 보여주고 있다.

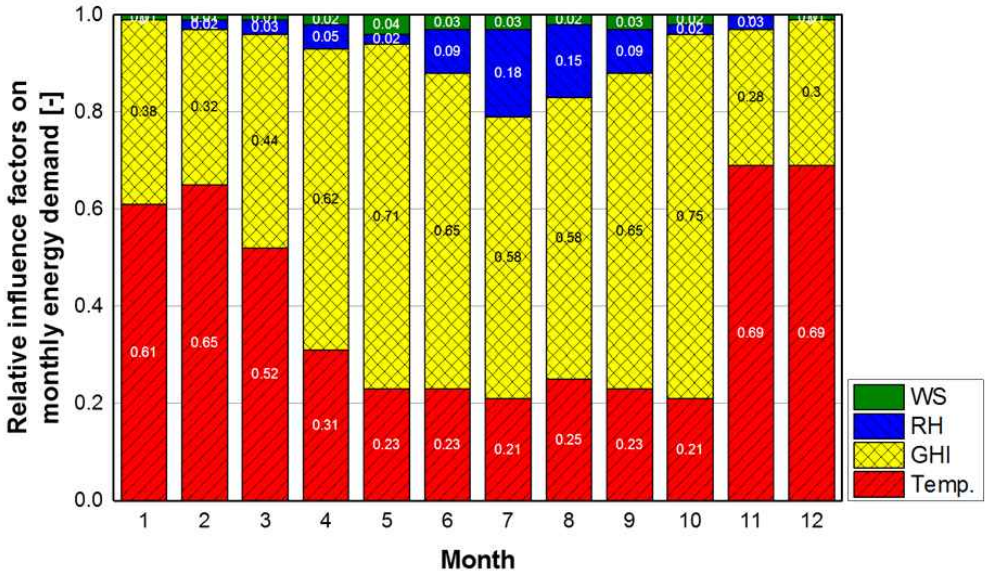


(그림 38) 월별 에너지요구량 기상요소 영향도 - 중부지방

여름철 (6월, 7월, 8월)과 간절기 (5월, 9월, 10월)에는 전일사량에 따른 실내 냉방에너지요구량이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 여름철에는 전일사량의 강도뿐만 아니라 유입시간이 증가하기 때문이다. 또한 대한민국의 여름에는 고온 다습한 북태평양 고기압의 영향과 장마, 태풍의 영향으로 상대습도가 급격히 상승하게 되고, 실내 습도의 쾌적조건을 위한 제습기의 가동율이 증가하게 된다. 미국 Energy Star®에서 제시하고 있는 제습기의 에너지소비량 기준에 따르면, 그 성능이 1.85 L/kWh 로써 가습기의 에너지소비량 20 L/kWh에 비하여 매우 높음을 알 수 있다. 이 때문에 여름철 습기에 의한 영향도가 높아지게 된다. 풍속 변화에 따른 영향도는 연중 0~4%의 차이를 보이고 있으나, 연간 전체 건물에너지요구량에서 매우 미비함을 알 수 있다.



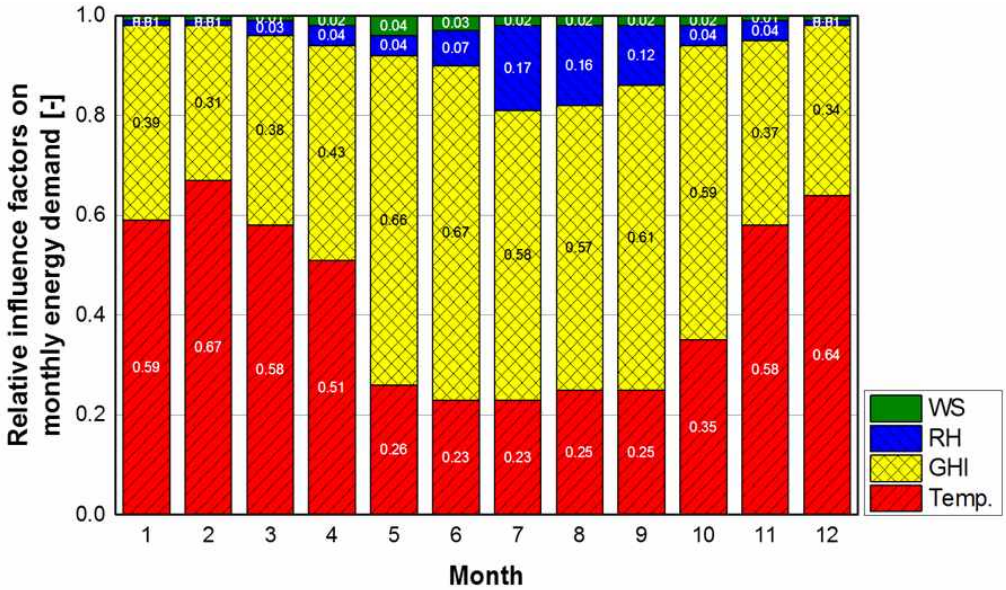
(그림 39) 월별 에너지요구량 기상요소 영향도 - 남부지방



(그림 40) 월별 에너지요구량 기상요소 영향도 - 제주도

- 중부지역, 남부지역, 제주도를 기준으로 기상요소에 따른 영향도가 조금씩 상이 하지만 그 경향성과 그 차이가 크게 다르지 않다. 그렇기 때문에 국가적으로 하나의 통일된 기상요소 영향상수를 정립 가능하다고 본다. 아래의 그래프는 중부지방, 남부지방, 제주도의 월별 건축물에너지요구량에 미치는 영향상수의 평균값을 나타낸 것이다. 크게 난방기와 냉방기로 두 기간으로 나누어 영

향상수를 정립할 수 있다. 난방기 (11월, 12월, 1월, 2월, 3월, 4월)에는 난방을 위한 온도의 영향상수가 60%가 넘는 기간이다. 반대로 냉방기 (5월, 6월, 7월, 8월, 9월, 10월)에는 냉방을 위한 전일사량의 영향상수가 60%가 넘는 동시에 상대습도에 의한 영향상수가 평균 15% 이상 증가하는 기간이다. 풍속의 경우 월별 건물에너지요구량에 미치는 영향상수가 5% 미만으로 그 영향이 매우 미비함을 알 수 있다. 그러므로 풍속을 제외하고 겨울철과 여름철을 나누어 아래의 표와 같이 영향상수를 제시할 수 있다.



(그림 41) 월별 에너지요구량 기상요소 영향도 - 대한민국

표 17. 난방기, 냉방기에 따른 표준기상데이터의 인자의 영향상수

구분	건구온도	전일사량	상대습도	적용기간
난방기	0.60	0.40	-	(1월, 2월, 3월, 4월, 11월, 12월)
냉방기	0.25	0.60	0.15	(5월, 6월, 7월, 8월, 9월, 10월)

다. 국내 기후에 적합한 표준기상데이터 제작을 위한 산출모델 제시

- ISO 15927-4 규준에 앞에서 정립한 기상요소 인자의 영향상수를 적용시키기 위해서는 아래와 수식을 통하여 수정해야 한다. ①~④, ⑥, ⑦의 절차는 동일하다.

⑤ 월별로 3가지 기상요소의 $FS(p,y,m)$를 계산한 후 아래의 수식에 대입한 후 그 값을 오름차순으로 정렬한 후 순위를 매긴다.

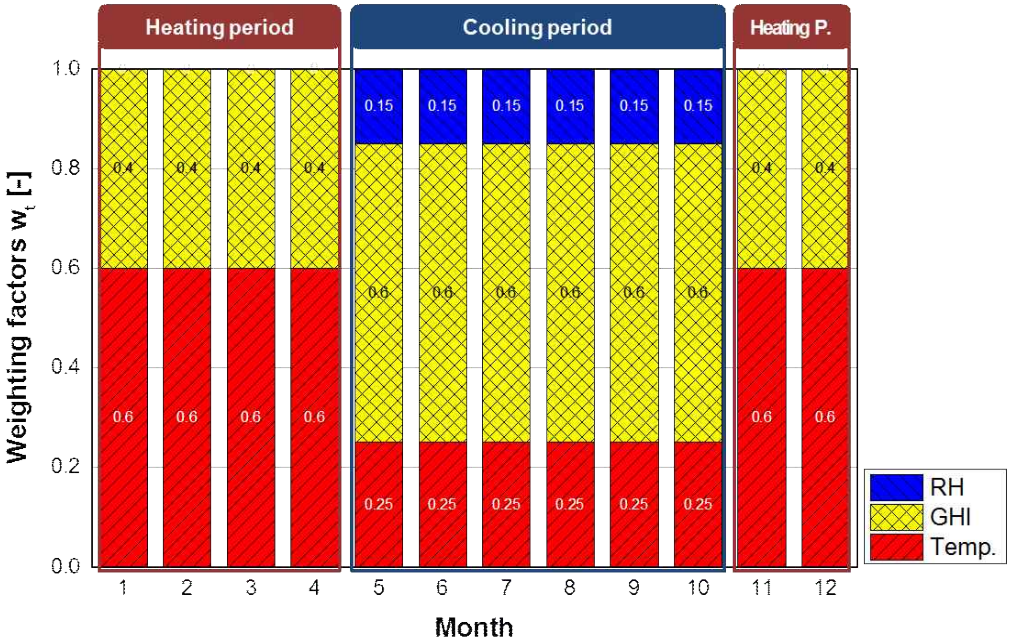
$$\sum FS = w_{(temp.)} \cdot FS_{temp.} + w_{GHI} \cdot FS_{GH}I + w_{RH} \cdot FS_{RH} \quad \text{(Eq. 3.24)}$$

여기서, $w_{(temp.)}$: 온도의 영향상수, w_{GHI}: 전일사량의 영향상수, w_{RH}: 상대습도의 영향상수

겨울 : $\sum FS = 0.6 \cdot FS_{temp.} + 0.4 \cdot FS_{GHI}$ (Eq. 3.25)

여름 : $\sum FS = 0.25 \cdot FS_{temp.} + 0.6 \cdot FS_{GHI} + 0.15 \cdot FS_{RH}$ (Eq. 3.26)

- 인자의 영향상수를 적용한 난방기간과, 냉방기간의 기상요소의 가중치는 그림 14와 같다.



(그림 42) 난방(1, 2, 3, 4, 11, 12월) 및 냉방 (5, 6, 7, 8, 9, 10월) 기간에 따른 기상요소의 가중치

○ **기상요소 측정 유무에 따른 건물에너지 평가 신뢰도**

- 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 건축물의 에너지성능을 높은 신뢰도로 예측·평가 시 온도, 습도, 풍속, 풍향, 강수량, 기압, 전일사량, 운량 이상 8가지 기상요소는 반드시 기상데이터에 포함되어야 할 정보이다. 현재 대한민국 기상청에서는 이 8가지 기상요소를 아래 표에 명시되어 있는 것과 같이 측정 중이다. 온도, 습도, 풍속, 풍향, 강수량, 기압의 경우 측정 장비의 용이성, 활용성, 경제성이 우수하여 대한민국 주요 기상지점 70개소 모두에서 관측 중이다. 하지만 전일사량의 경우에는 해당 장비가 다른 기상관측장비에 비하여 첨단 고급 장비라는 이유로 기상지점의 지역적 중요도과 기상의 특이성이 강조되는 지점 22개소에서만 측정하고 있으며, 운량도 마찬가지로 전일사량이 측정되고 있는 22개소와 더불어 추가적으로 11개소에서 측정 중에 있다.

[표 16] 표준기상데이터 작성 시의 제한조건

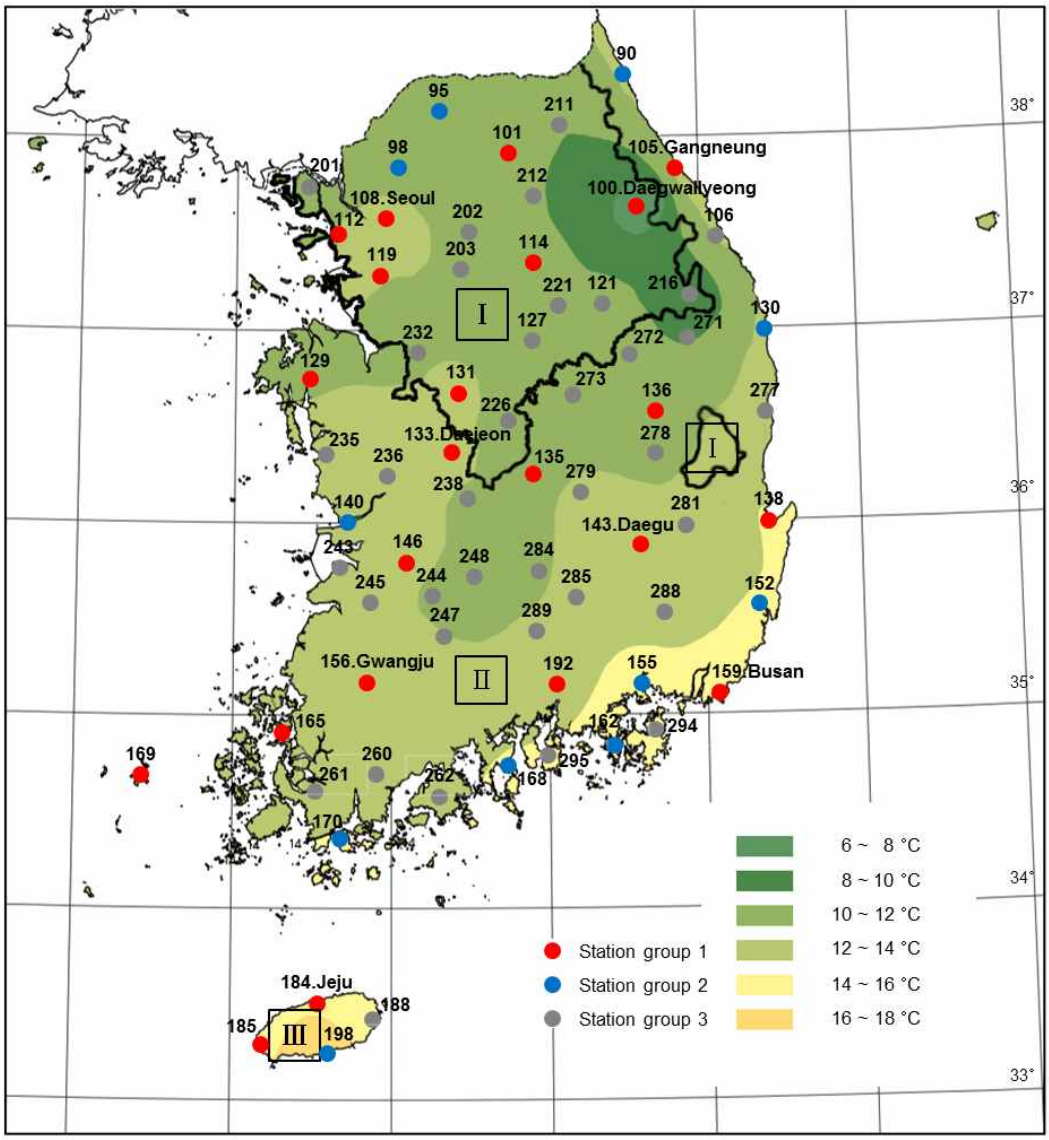
기상요소	국내 기상청 기상데이터 측정 현황
온도(Temperature - TA)	총70개소 시간대별 기상데이터 존재
습도(Relative humidity - HREL)	총70개소 시간대별 기상데이터 존재
풍속(Wind speed - WS)	총70개소 시간대별 기상데이터 존재
풍향(Wind direction - WD)	총70개소 시간대별 기상데이터 존재
강수량(Rain - RN)	총70개소 시간대별 기상데이터 존재
기압(Air pressure - PMSL)	총 70개소 매3 시간 간격으로 기상데이터 존재
전일사량(Solar radiation - ISGH)	총 22개소 시간대별 기상데이터 존재 - 대관령, 춘천, 강릉, 서울, 인천, 원주, 수원, 청주, 추풍령, 서산, 대전, 안동, 포항, 대구, 부산, 진주, 전주, 광주, 목포, 흑산도, 제주, 고산
운량(Cloud index - CI)	총33개소 매3시간 간격으로 기상데이터 존재 - 전일사량 측정소22개소+ 동두천, 속초, 철원, 울진, 울산, 창원, 통영, 군산, 여수, 완도, 서귀포

- 건축에너지 평가를 위한 모든 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 구동을 위해서는 건축물의 경계조건인 기상데이터 정보를 반드시 필요로 한다. 특히, 가장 기본적으로 기온, 상대습도, 일사량, 풍속 이상의 기상데이터가 반드시 존재해야 한다. 하지만 앞에서 언급된 사실과 같이 대한민국 주요 기상지점70곳 중에서 전일사량과 운량의 경우 특정 지점에서만 관측 중에 있다. 이 현황에 따라 기상

측정지점을 3그룹으로 구분할 수 있고, 각 그룹 별로 측정 중인 기상요소를 아래의 표에 나타내었다. 국내 주요 기상관측지점 70개소를 3그룹으로 구분하여 아래의 그림과 같이 표시하였고, 관측지점 별 위치정보를 표에 정리하였다.

[표 17] 기상요소 측정 현황에 따른 기상관측소 분류 표

	No. of Stations	TA	HREL	WS	WD	RN	PMSL	ISGH	CI
Station group 1	22	O	O	O	O	O	Δ	O	Δ
Station group 2	11	O	O	O	O	O	Δ	X	Δ
Station group 3	37	O	O	O	O	O	Δ	X	X



(그림 43) 기상요소 측정 현황에 따른 기상관측소 지점 (Station group 1 ~ 3)

[표 18] 기상관측소 그룹별 분류 지역

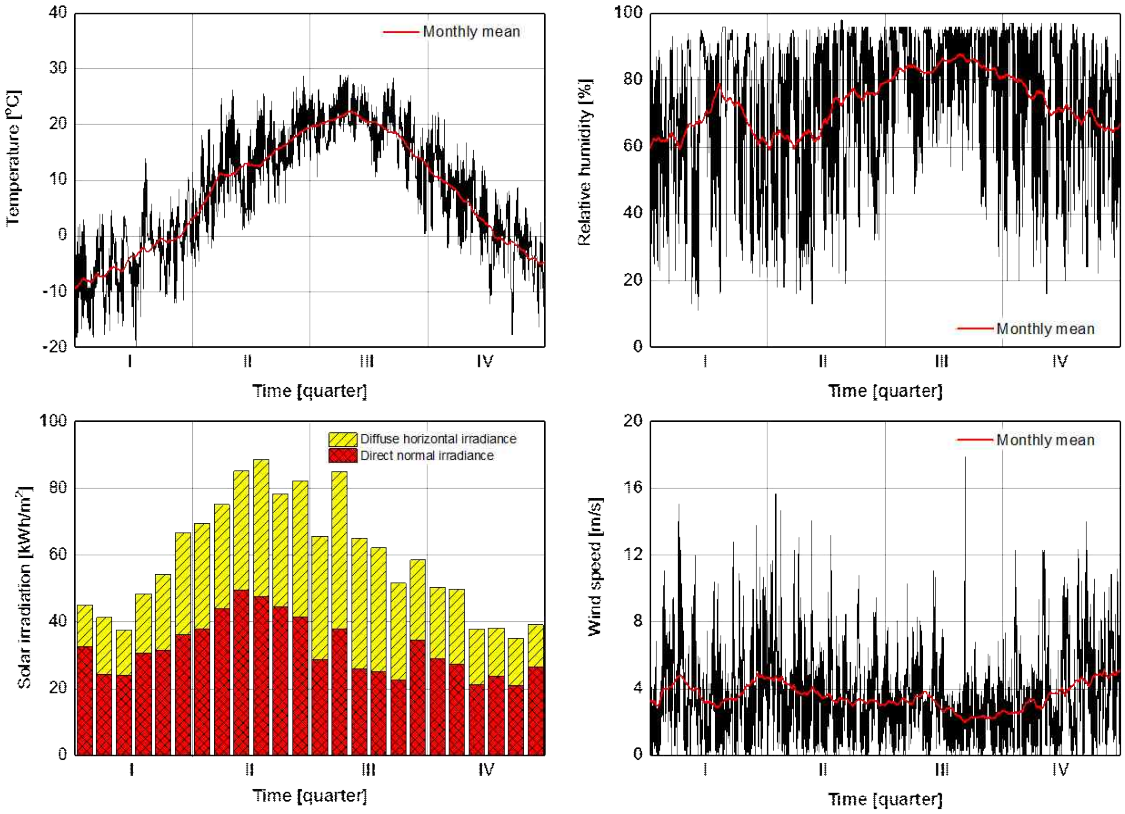
분류	기상지점
Station group 1 (22개 지점)	대관령(Daegwallyeong), 춘천(Chuncheon), 강릉(Gangneung), 서울(Seoul), 인천(Incheon), 원주(Wonju), 수원(Suwon), 서산(Seosan), 청주(Cheongju), 대전(Daejeon), 추풍령(Chupungnyeong), 안동(Andong), 포항(Pohang), 대구(Daegu), 전주(Jeonju), 광주(Gwangju), 부산(Busan), 목포(Mokpo), 흑산도(Heuksando), 제주(Jeju), 고산(Gosan), 진주(Jinju)
Station group2 (11개 지점)	속초(Sokcho), 철원(Cheorwon), 동두천(Dongducheon), 울진(Uljin), 군산(Gunsan), 울산(Ulsan), 창원(Changwon), 통영(Tongyeong), 여수(Yeosu), 완도(Wando), 서귀포(Seogwipo)
Station group3 (37개 지점)	동해(Donghae), 영월(Yeongwol), 충주(Chungju), 성산(Seongsan), 강화(Ganghwa), 양평(Yangpyeong), 이천(Icheon), 인제(Inje), 홍천(Hongcheon), 태백(Taebaek), 제천(Jaecheon), 보은(Boeun), 천안(Cheonan), 보령(Boryeong), 부여(Buyeo), 금산(Geumsan), 부안(Buan), 임실(Imsil), 정읍(Jeongeup), 남원(Namwon), 장수(Jangsu), 장흥(Jangheung), 해남(Haenam), 고흥(Goheung), 봉화(Bongwhoa), 영주(Yeongju), 문경(Mungyeong), 영덕(Yeongdeok), 의성(Uiseong), 구미(Gumi), 영천(Yeongcheon), 거창(Geochang), 합천(Hapcheon), 밀양(Miryang), 산청(Sancheong), 거제(Geoje), 남해(Namhae)

- 본 연구과제에서는 건축물 시뮬레이션을 활용하여 건물에너지를 예측할 경우 기상요소 유무에 따라 그 정확도의 변화를 평가하였다. 이를 위하여ISO 15927-4 알고리즘에 따라 제작된 표준기상데이터를 활용하여 이에 포함된 기상요소 존재 유무에 따라 동일 기상지점에 대하여 6 종류의 기상데이터를 제작하였다.
- Case 1의 경우 건축물에너지 가장 정확하게 측정할 수 있는 경우로서 모든 기상요소가 실측된 데이터를 기반으로 제작된 경우이다. 앞서서 측정현황에 따라 구분한 것에 의하면 Station group 1에 해당한다. Case 2는 전일사량을 제외하고 모든 기상요소가 측정되는 경우로서Station group 2에 해당한다. 이 경우, 기상데이터의 필수 기상요소 중 하나인 전일사량을 예측하기 위하여 국내 주요 기상지점 70곳에서 모두 측정 중인 일조량을 활용할 수 있는 모델인Angström-Prescott Model이 사용되었다. Case 3의 경우에는 모든 70개소에서 측정 중이지만 매 3시간 간격으로 측정 중인 기압과 운량이 누락된 경우이다. Case 4의 경우는 강수량, 기압, 운량이 누락된 경우이며, Case 5의 경우 앞 케이스에 더불어 풍향까지 누락된 경우이다. 마지막으로 Case 6은 기상데이터에서 반드시 기본적으로 존재해야 하는 기온, 상대습도, 전일사량, 풍속만 있는 경우이다. 각 케이스 별 포함하고 있는 기상요소 정보는 다음과 같다.

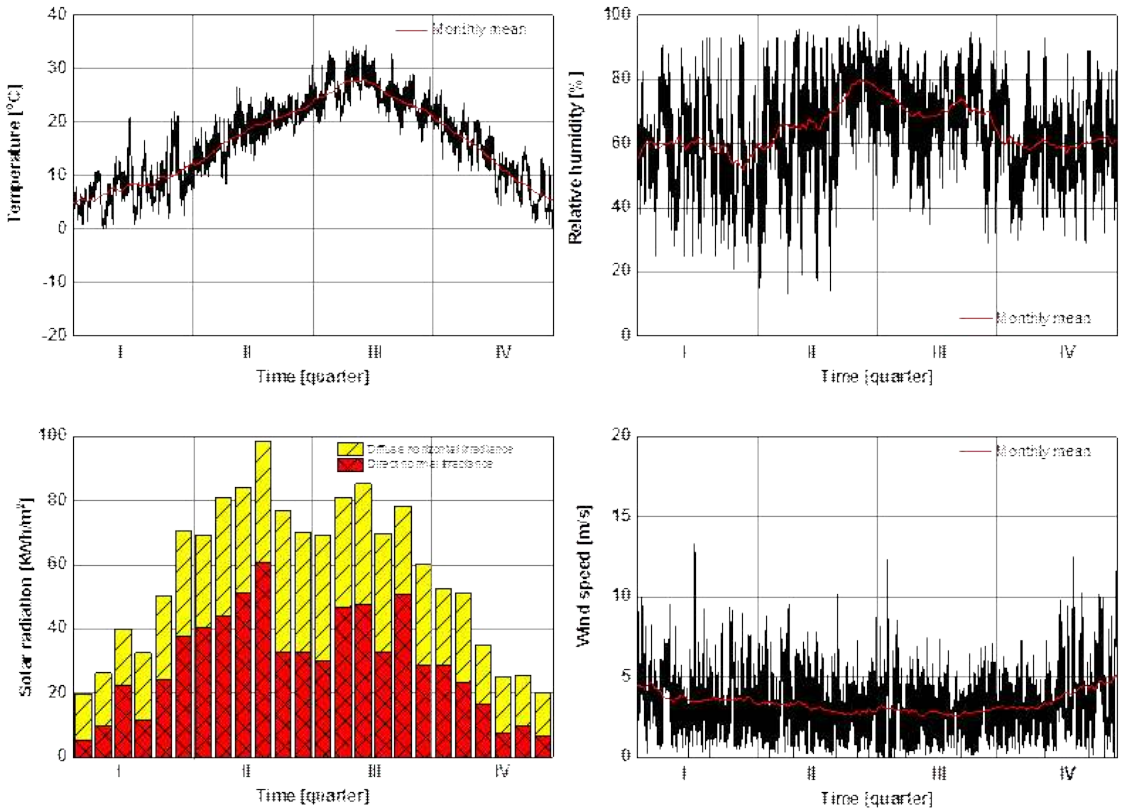
[표 19] 표준기상데이터 케이스별 포함하고 있는 기상요소

	TA	HREL	ISGH	WS	WD	RN	PMSL	CI
Case 1	O	O	O	O	O	O	O	O
Case 2	O	O	O (Modeling)	O	O	O	O	O
Case 3	O	O	O	O	O	O	O	X
Case 4	O	O	O	O	O	O	X	X
Case 5	O	O	O	O	O	X	X	X
Case 6	O	O	O	O	X	X	X	X

- 본 연구과제에서 제작된 모든70개소 모두를 평가지점으로 선정하지 않고, 필수 기상요소 중 앞서 건물에너지에 가장 민감한 영향을 주는 것으로 평가된 기온을 주요 기준으로 하였다. 따라서 국내에서 연평균온도가 가장 낮은 대관령과 가장 높은 곳인 제주도를 기상요소 측정 유무에 따른 건물에너지 평가 정확도 연구의 지점으로 선정하였다. 대관령과 제주도의 표준기상데이터 기상정보는 아래의 그림과 같다.



(그림 44) 대관령의 표준기상데이터(ISO 15927-4)- 기온, 상대습도, 일사량, 풍속



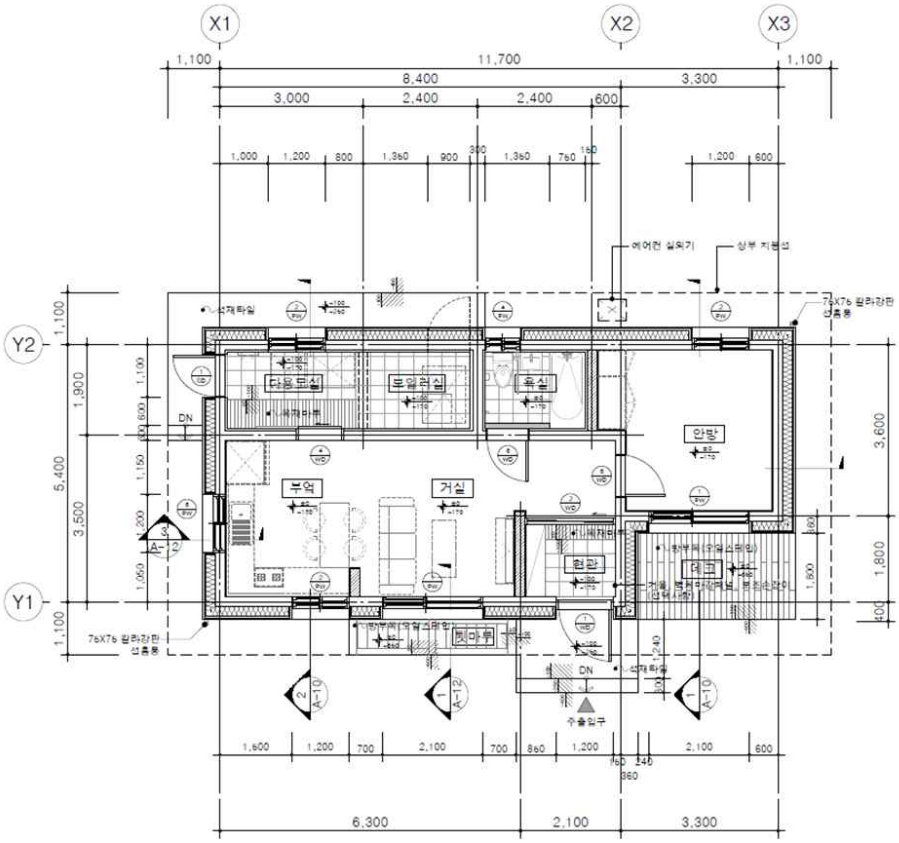
(그림 45) 제주도의 표준기상데이터(ISO 15927-4)- 기온, 상대습도, 일사량, 풍속

- 국내에서 건설되고 있는 다양한 종류의 건축물을 대상으로 하기 위하여 단독주택의 경우 국토교통부 농촌주택 표준설계도서 제 2014-1548호에 따른 철근콘크리트조와 목조의 단독주택과 철근콘크리트조의 공동주택 한 세대를 시뮬레이션 연구대상으로 선정하였다. 모든 건축물의 정면을 정

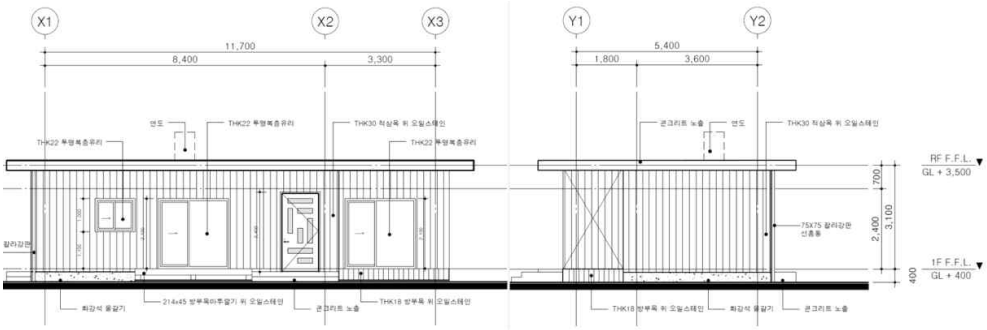
남측으로 면하고 있는 것으로 하였으며, 건축물 설계도서에 명시된 치수, 부재조합, 구성 등 모든 것을 동일하게 모델링 하였다. 본 연구의 대상 건축물의 정보는 아래 표에 명시하였다.

[표 20] 분석 대상 건축물 기본정보

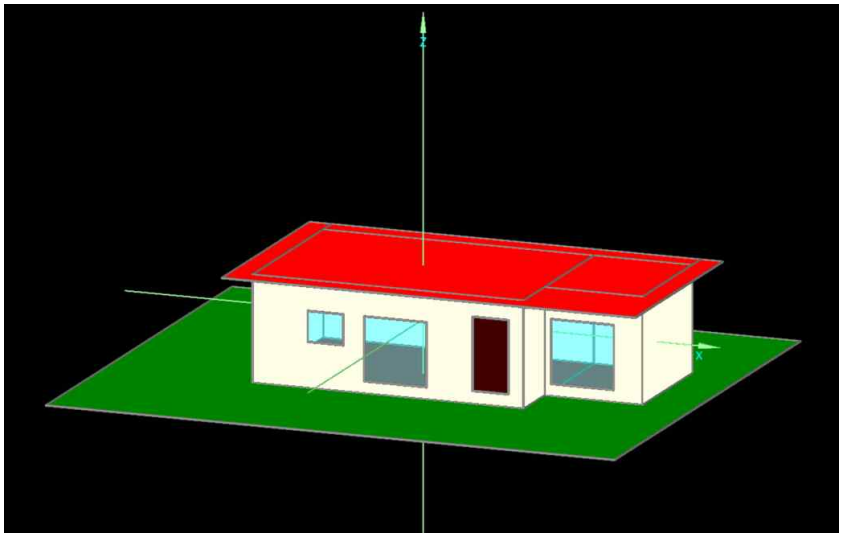
분류	농림-12-20-가	농림-14-21-가	공동주택
건축구조	철근콘크리트조	목조	철근콘크리트조
외피체적 [m^3]	244.5	274.6	312.5
내피체적 [m^3]	167.6	181.6	234.3
연면적 [m^2]	69.9	75.7	97.6



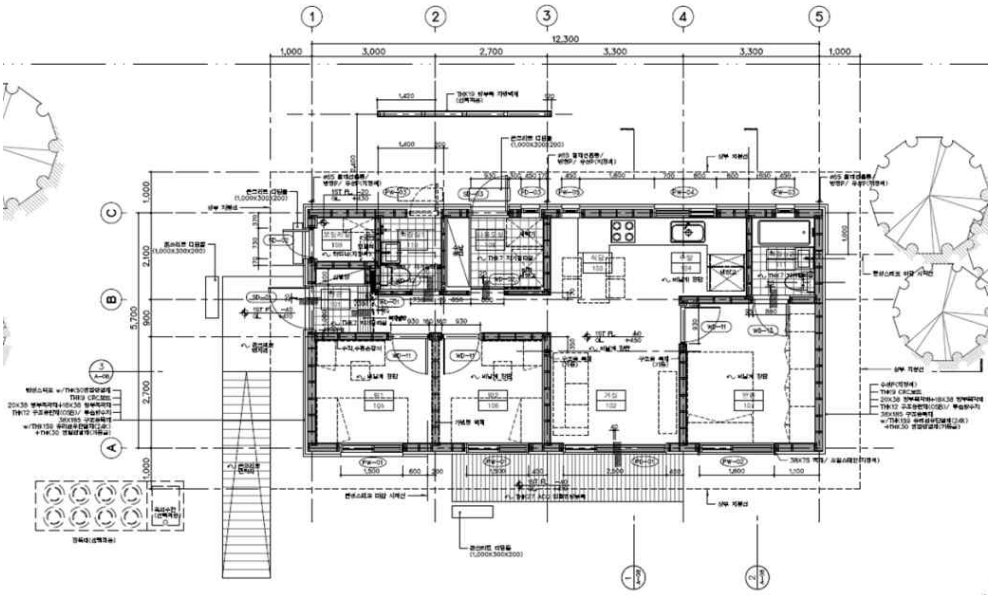
(그림 46) 국토교통부 농촌주택 표준설계도서 농림-12-20-가 - 평면도



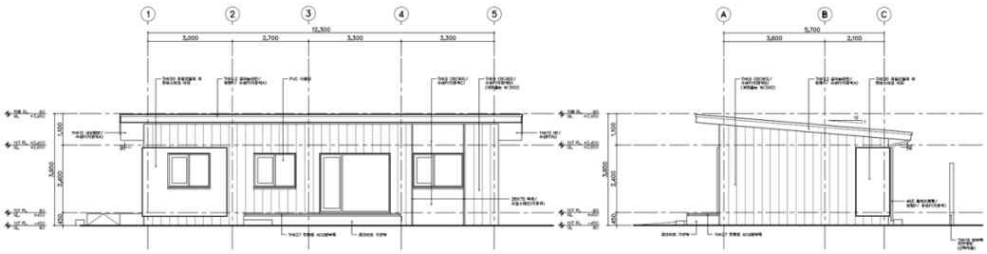
(그림 47) 국토교통부 농촌주택 표준설계도서 농림-12-20-가 - 입면도



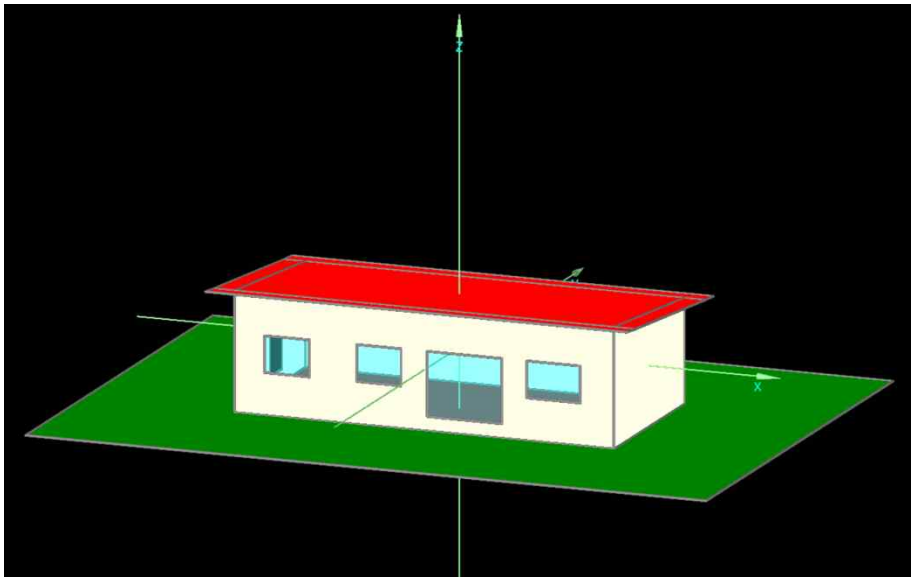
(그림 48) 국토교통부 농촌주택 표준설계도서 농림-12-20-가 - 시뮬레이션 모델링



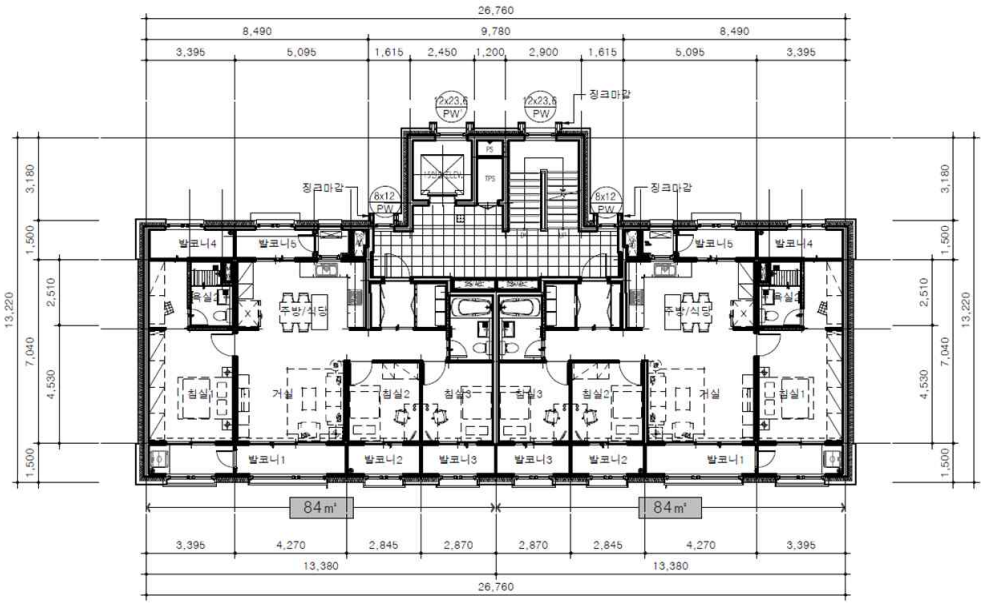
(그림 49) 국토교통부 농촌주택 표준설계도서 농림-14-21-가 - 평면도



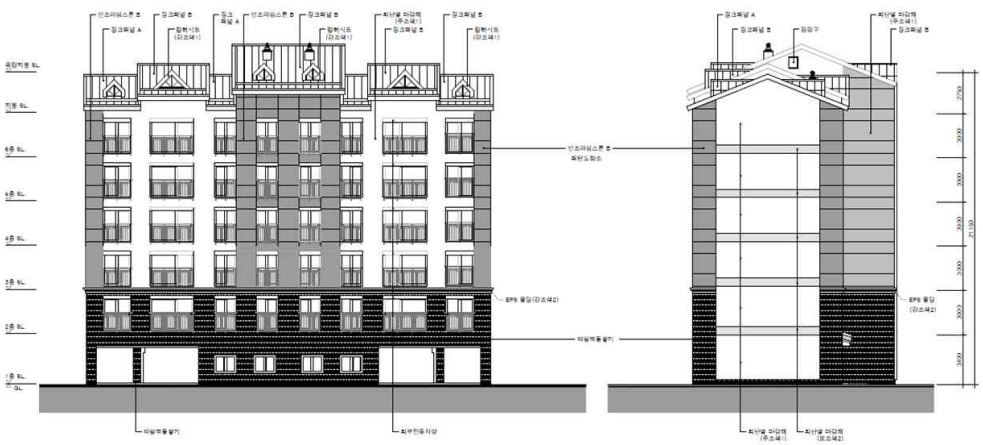
(그림 50) 국토교통부 농촌주택 표준설계도서 농림-14-21-가 - 입면도



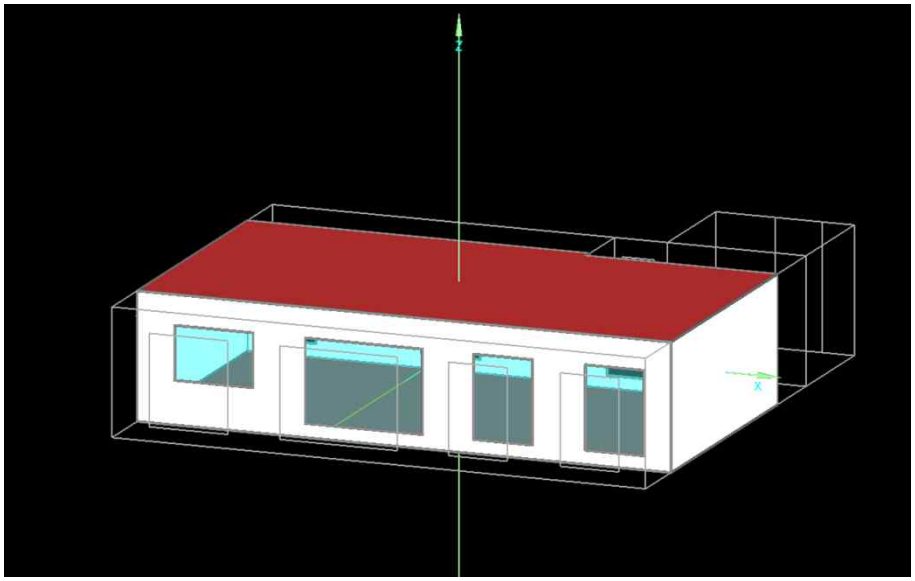
(그림 51) 국토교통부 농촌주택 표준설계도서 농림-14-21-가 - 시뮬레이션 모델링



(그림 52) 비교 분석대상 공동주택 - 평면도



(그림 53) 비교 분석대상 공동주택 - 입면도



(그림 54) 비교 분석대상 공동주택 한세대 - 시뮬레이션 모델링

[표 21] 단독주택의 벽체구성 및 재료 물성

건물종류	건축부재	건축재료 (외부 →내부)	두께 [m]	열전도율 [W/m·s]	밀도 [kg/m3]	비열 [J/kg·K]
농림 (12-20-가) 단독주택 RC조	벽체	적삼목	0.03	0.3	685	1500
		내수합판	0.024	0.12	427	2500
		PE 필름	0.001	2.3	130	2300
		비드법 보온판2종	0.2	0.034	15	1500
		콘크리트	0.2	1.6	2300	850
		석고보드	0.01	0.2	850	850
		합계	0.465	0.153 W/m^2·K	-	-
	바닥	버림콘크리트	0.05	1.6	1970	850
		PE 필름2겹	0.002	2.3	130	2300
		비드법보온판2종	0.2	0.034	15	1500
		콘크리트	0.15	1.6	2300	850
		기포콘크리트	0.11	0.12	500	850
		보호몰탈	0.051	1.2	2000	850
		목재온돌마루	0.009	0.13	650	1500
		합계	0.572	0.139 W/m^2·K	-	-
	지붕	콘크리트	0.15	1.6	2300	850
		비드법보온판2종	0.2	0.034	15	1500
		석고보드	0.019	0.2	850	850
		합계	0.369	0.161 W/m^2·K	-	-
농림 (14-21-가) 단독주택 목조	벽체	CRC 보드	0.009	1.2	2000	850
		방부목각재 18×38 + 20×38	0.038	-	-	-
		투습방수지	0.001	2.3	130	2300
		구용판재(OSB)	0.012	0.13	615	1500
		유리섬유단열재	0.155	0.035	21	840
		비드법보온판2종	0.03	0.034	15	1500
		PE필름	0.001	2.3	130	2300
		석고보드	0.019	0.2	850	850
		합계	0.265	0.171 W/m^2·K	-	-
	바닥	버림콘크리트	0.03	1.6	1970	850
		PE필름2겹	0.002	2.3	130	2300
		콘크리트	0.16	1.6	2300	850
		콘크리트 바탕	0.01	1.6	1890	850
		비드법보온판2종	0.1	0.034	15	1500
		PE필름2겹	0.002	2.3	130	2300
		보호몰탈	0.051	1.2	2000	850
		목재온돌마루	0.009	0.13	650	1500
		합계	0.354	0.299 W/m^2·K	-	-
	지붕	아스팔트싱글	0.001	0.5	2400	1000
		구용판재(OSB)	0.012	0.13	615	1500

	유리섬유단열재	0.16	0.035	21	840
	비드법보온판2종	0.075	0.034	15	1500
	PE필름	0.001	2.3	130	2300
	합판	0.005	0.12	427	2500
	석고보드	0.01	0.2	850	850
	합계	0.264	0.141 W/m^2·K	-	-

[표 22] 공동주택의 벽체구성 및 재료 물성

건물종류	건축부재	건축재료 (외부 →내부)	두께 [m]	열전도율 [W/m·s]	밀도 [kg/m3]	비열 [J/kg·K]
공동주택 - RC조	외벽 - 외기에 직접 노출	미네랄 플라스터	0.01	0.8	1900	850
		비드법보온판2종	0.155	0.034	15	1500
		콘크리트	0.2	1.6	2300	850
		CRC 보드	0.018	1.2	2000	850
		합계	0.383	0.205 W/m^2·K	-	-
	외벽 - 외기에 간접 노출	CRC 보드	0.018	1.2	2000	850
		콘크리트	0.2	1.6	2300	850
		비드법보온판2종	0.105	0.034	15	1500
		석고보드	0.013	0.2	850	850
		합계	0.336	0.282 W/m^2·K	-	-
	격벽	석고보드	0.013	0.2	850	850
		기포콘크리트 블록	0.2	0.12	500	850
		석고보드	0.013	0.2	850	850
		합계	0.226	0.51 W/m^2·K	-	-
	바닥	콘크리트	0.21	1.6	2300	850
		비드법보온판2종	0.03	0.034	15	1500
		기포콘크리트	0.05	0.12	500	850
		보호몰탈	0.051	1.2	2000	850
		목재온돌마루	0.009	0.13	650	1500
		합계	0.35	0.571 W/m^2·K	-	-
	천장	목재온돌마루	0.009	0.13	650	1500
		보호몰탈	0.051	1.2	2000	850
		기포콘크리트	0.05	0.12	500	850
		비드법보온판2종	0.03	0.034	15	1500
		콘크리트	0.21	1.6	2300	850
		합계	0.35	0.571 W/m^2·K	-	-

[표 22] 시뮬레이션 분석 모델의 창호성능

분류	창호	
	외기에 직접 노출	외기에 간접 노출
시공 열관류율 [W/m^2·K]	1.2	1.6
글레이징의 수	4	3
공기층 두께 [mm]	16	12
창틀 상수[-]	0.7	0.7
SHGC [-]	0.46	0.46
복사율 [-]	0.8	0.8

[표 23] 시뮬레이션 경계조건

시뮬레이션 경계 조건				건축설비시스템의 용량과 디자인 설정값		
창호 표면 복사율	흡수율 [-]	0.6		시스템	용량	디자인 설정값
	방사율[-]	0.9		난방	1,000 kW	실온 < 20 °C
표면열저항	실외 표면[m^2·K/W]	풍향,풍속에 따라 변함		냉방	1,000 kW	실온 > 28 °C
	실내 표면[m^2·K/W]	벽체	0.13			
		지붕	0.10			
		바닥	0.17	가습	50 kg/h	실내 상대습도 < 40 RH%
환기율	자연환기 [h-1]	0.5				
	기계환기 [h-1]	0		제습	50 kg/h	실내 상대습도 > 60 RH%
	침기 [h-1]	0.1				

*환기율 [참고문헌: 국토교통부 고시 제2015-219호 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙
**디자인 설정 값 [참고문헌 : 국토교통부 고시 제2015-1108호의[별표8] 냉.난방설비의 용량계산을 위한 실내 온,습도 기준]

- 설비시스템의 효율은 열손실 및 설비 용량 제한 없이 100%라고 가정하였으며, 냉・난방시스템은 100% 대류방식인 것으로 설정하여 분석하였다.

- 본 연구에서 활용된 건물에너지 시뮬레이션에서는 가습과 제습요구량을 kg/h로 결과를 보여준다. 이를 에너지 요구량으로 변환시키기 위하여 에너지 지수가 필요하며 가습의 경우 0.05 kWh/L과 제습의 경우 0.54 kWh/L가 사용되는 것을 알 수 있다. [참고문헌 : Energy Star, Energy Star Market and Industry Scoping Report – Residential Humidifiers, 2012. Energy Star], [참고문헌 : Energy Star, Energy Star Program Requirements Product Specification for Dehumidifiers e Eligibility Criteria Version 3.0, 2012]

○ **시뮬레이션을 통한 표준기상데이터 유효성 분석**

- 본 연구과제에서는 건축물 시뮬레이션을 활용하여 건물에너지를 예측할 경우 기상요소 유무에 따라 그 정확도의 변화를 평가하기 위하여 대한민국 기상청에서 직접 실측한 기상요소를 포함하고 있는 Case 1를 기준으로 필수 기상요소 (기온, 상대습도, 전일사량, 풍속) 외 기상요소가 예측모델에 의하여 보완 또는 누락됨에 따른 연간 건물에너지요구량의 변화를 고찰하였다. 철근콘크리트 및 목조 단독주택과 철근콘크리트조 공동주택의 모든 경우에서 실측된 일사량과 운량이 누락될 경우 복사에너지 밸런스를 정확하게 예측하지 못하여 실측된 모든 기상요소를 가진 경우와 비교하여 연간 건물에너지요구량에 차이가 발생하는 것을 확인되었다. 또한 풍향 데이터가 존재할 경우 풍속 데이터와 함께 건축부재별로 표면열저항이 순풍과 역풍 그리고 풍속에 의한 영향을 동적으로 평가할 수 있어 에너지요구량의 차이가 발생하였다.

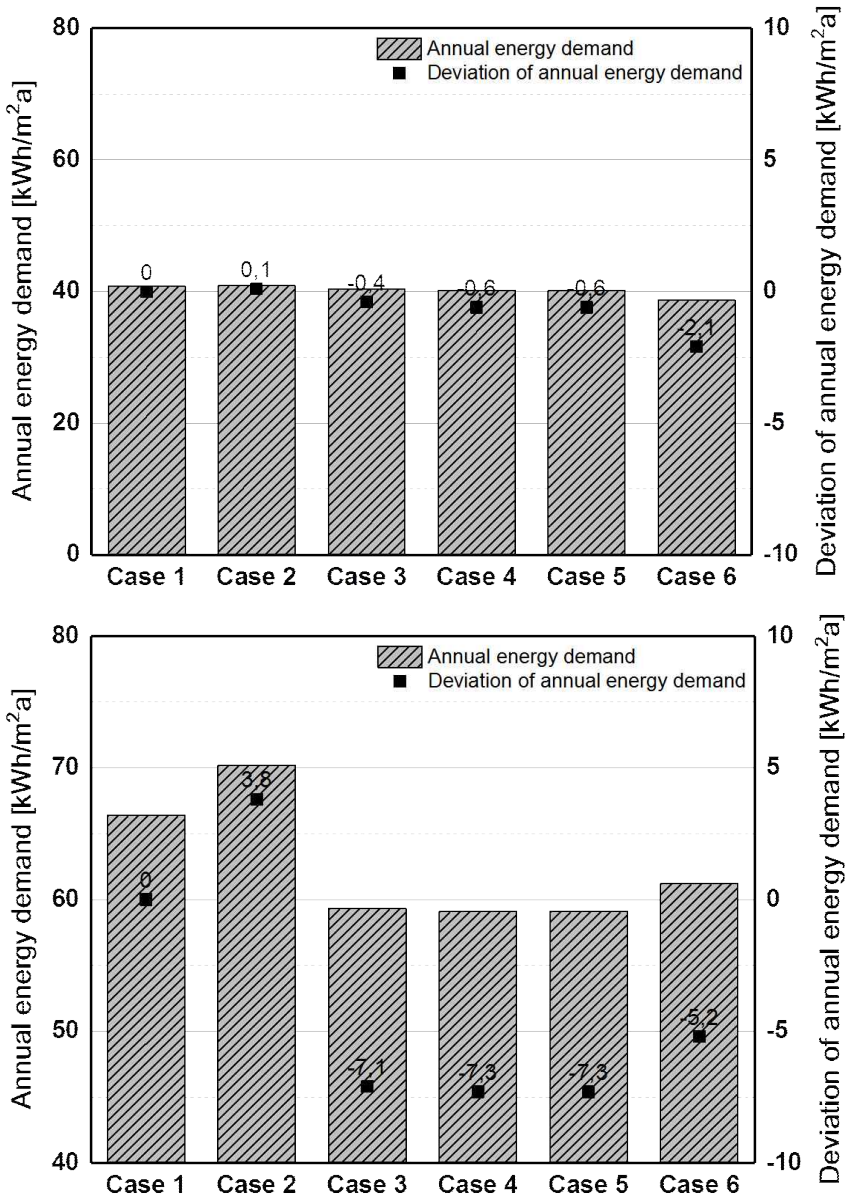
- 전일사량 예측모델을 제외하고 모든 경우에서는 완벽한 기상요소를 갖추고 있는 Case 1에 비하여 연간 건물에너지를 낮게 평가하게 되어, 이를 현실에 그대로 적용할 경우 건물에너지 예측 평가 후 건물에너지 인증에서 규정하고 있는 성능보다 불량하게 발현 될 가능성이 크다. 결론적으로 필수 기상요소 외 건물에너지 예측 정확도에 영향을 크게 미치는 요소를 순서대로 나열하면 풍향, 운량, 기압, 강수량과 같다. 건물에너지를 높은 신뢰도로 예측하고 평가하기 위해서는 건물에너지 산출 알고리즘에 영향을 미치는 기상요소를 실측 가능하도록 측정장비를 국가적 차원에서 구축해야만 한다.

- 단독주택의 경우 연평균기온이 가장 낮은 대관령과 가장 높은 제주도에 대하여 구조체의 종류에 상관없이 Case에 따라 유사한 변화를 보여주었다. 연평균 온도가 낮아 난방 에너지요구량이 지배적인 지점에서는 일사량, 운량, 풍향이 총 연간 에너지요구량을 위한 평가 정확도에 큰 영향을 미치며, 연평균 온도가 높은 지역에서는 Case에 따라 총 연간 에너지요구량의 차이가 크지 않지만, 기상요소 누락에 따라 난방과 냉방 에너지 요구량의 변화가 나타남을 확인하였다. 대관령에서 기준 기상데이터인 Case 1의 경우 철근콘크리트조 단독주택 연간 에너지요구량이 66.4 kWh/m2a, 목조는 74.5 kWh/m2a로 평가되었다. 두 구조체의 총 연간 건물에너지요구량에 차이가 있지만 구조체의 종류에 상관없이 Case가 변함에 따른 그 편차가 분명하게 나타나는 것을 확인 할 수 있으며 이 변화의 경향도 매우 유사하다. 설비시스템 별 연간 건물에너지 요구량 변화의 경우에는 대관령이 연평균 기온이 가장 낮은 지역으로서 난방에너지 사용이 지배적인 것에 반하여 타 설비시스템에 의한 에너지요구량이 가시적이지 않은 것을 확인 되었다.

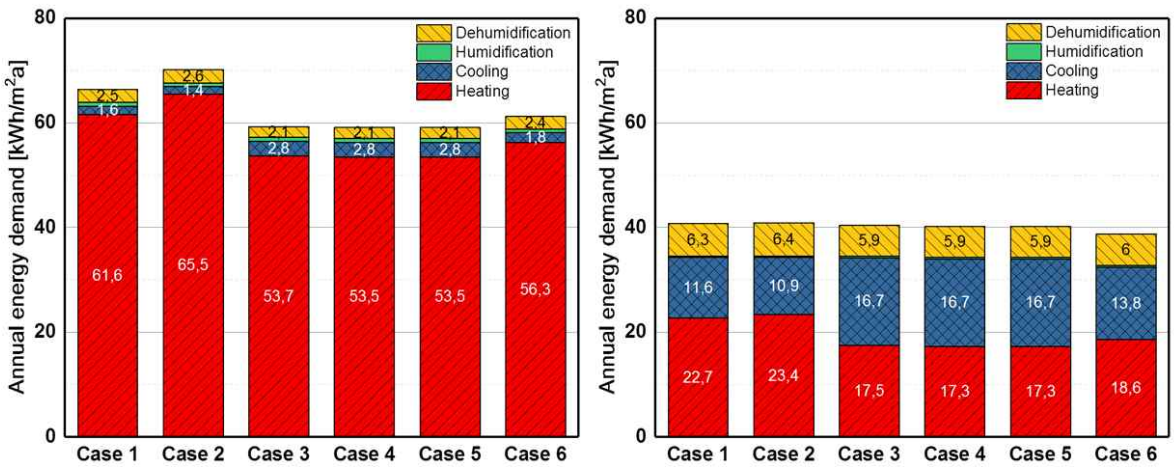
- Case 2는 전일사량이 실측되고 있지 않으므로 이를 위하여 예측모델을 활용한 경우이다. 전일사량 예측모델과 실측데이터 사이의 신뢰도에 따라 Case 1과의 편차가 변경될 수 있지만, 대관령과 같이 연간 난방에 의한 에너지를 많이 소모하게 되는 지점의 경우 겨울철 낮 동안에 실내로 유입되는 일사량 정도에 따라 건물에너지 성능의 차가 분명하게 나타날 수 있다. Case 3의 경우는 운량이 누락된 경우이다. 운량 데이터가 누락됨에 따라 연간 에너지요구량의 차가 급격하게 발생하는 것을 확인할 수 있다. Case 1과 Case 2의 경우와 같이 시간대별 운량 데이터가 존재하면 구조체와 경계조건 사이의 복사에너지 교환을 정확하게 예측할 수 있다. Case 3에서 급격하게 난방에 의한 에너지요구량이 감소하는 이유는 운량이 없는 기상데이터로는 야간복사냉각에 의한 구조체의 복사에너지 밸런스를 예측하지 못하기 때문이다. Case 4와 5는 각각 기압과 강수량이 누락된 경우이다. 두 경우 모두 그 편차가 미비하거나 없는 것으로 평가되었으므로 이 두 기상요소는 건물에너지에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 마지막으로 Case 6의 경우 풍향이 누락된 경우로 Case 5와 비하여 연간 에너지요구량 차이가 약 2.0 kWh/m2a가 있는 것으로 평가되었다. 풍향과 풍속 데이터가 존재할 경우 건축부재별로 표면열저항이 순풍과 역풍 그리고 풍속에 의한 영향을 동적으로 평가할 수 있다. 이 영향에 의하여 이와 같은 에너지요구량의 차이가 나타난 것으로 보인다.

- 제주도의 경우 Case 1의 경우 철근콘크리트조 단독주택 연간 에너지요구량이 40.8 kWh/m2a, 목조는 44.3 kWh/m2a로 평가되었다. 철근콘크리트조의 경우 Case 변화에 따라 그 편차가 분명하게 들어나지 않지만, 목조의 경우 상대적으로 그 편차가 최대 연간 에너지요구량3.4 kWh/m2a이 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 특히 철근콘크리트조에서 그 편차가 분명하게 들어나지 않는 이유는 제주도가 국내에서 연평균기온 16.2 °C로 가장 높지만, 현재 국내 건축물의 에너지절약설계기준 하에서 타국의 혹서지역에 비교하여 냉방기가 지배적이지 않기 때문인 것으로 보인다. 때문에 현 에너지절약설계기준을 따르는 철근콘크리트조는 외부 경계조건에 매우 안정적으로 유지됨을 알 수 있다. 하지만 목조의 경우 Case 3에서 약 2.0 kWh/m2a 차이 (철근콘크리트조의 경우 0.4 kWh/m2)가 나타났는데, 이 이유는 목조가 철근콘크리트조에 비하여 축열성능이 떨어지기 때문에 운량 데이터가 없는 경우 복사에너지 밸런스 예측 시 열손실 및 획득에 민감하게 반응하는 것으로 볼 수 있다.

○ 단독주택 (농림-12-20-가), 철근콘크리트조

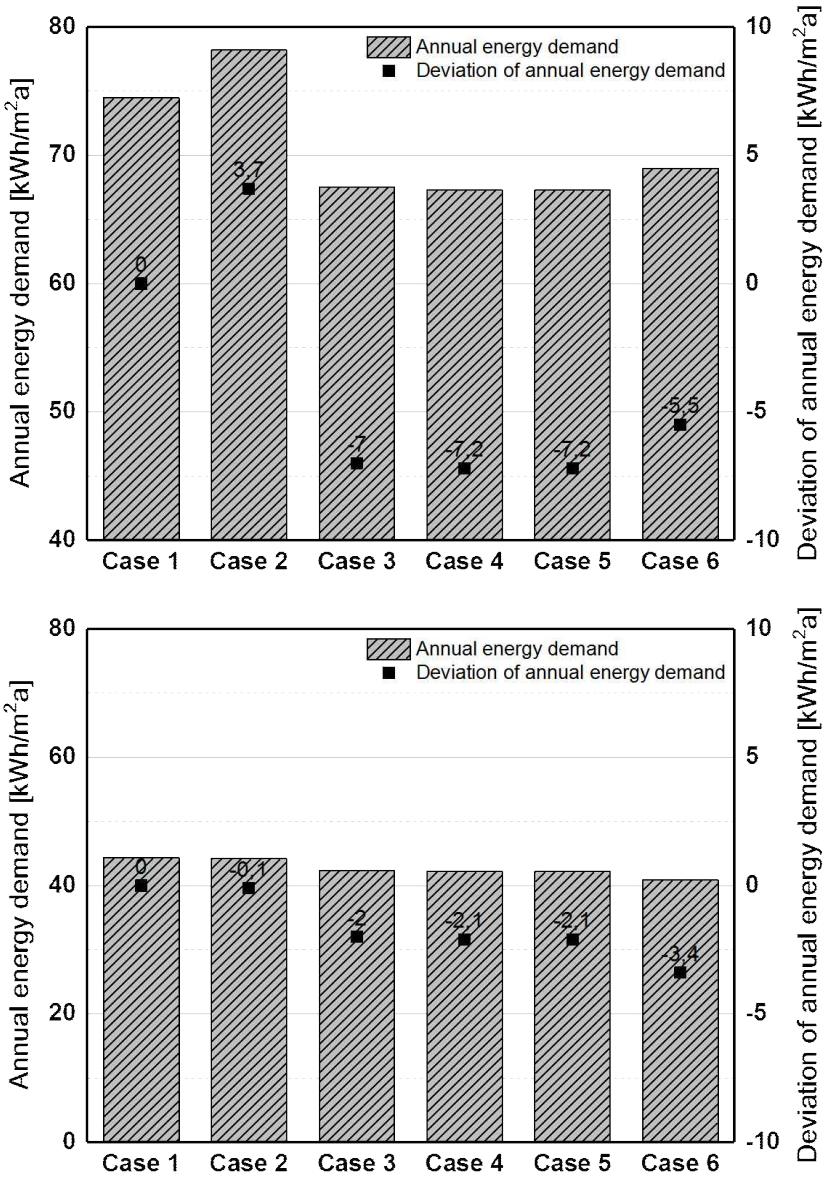


(그림 55) 기상요소 유무에 따른 철근콘크리트조 단독주택의 연간 건물에너지요구량과 편차 (상 : 대관령, 하 : 제주도)

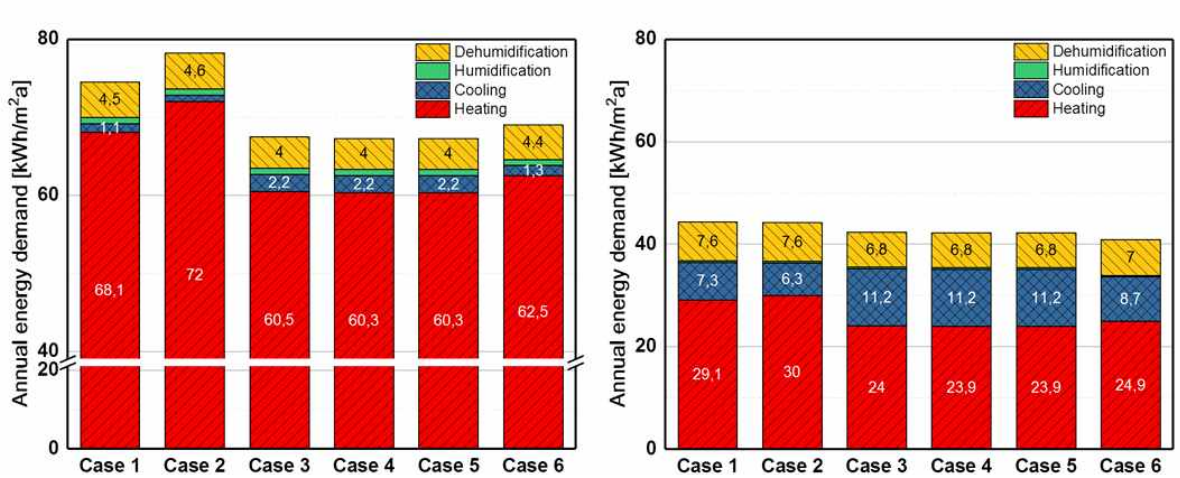


(그림 56) 기상요소 유무에 따른 철근콘크리트조 단독주택의 설비시스템 별 연간 건물에너지요구량 (좌 : 대관령, 우 : 제주도)

○ 단독주택 (농림-12-20-가), 목구조

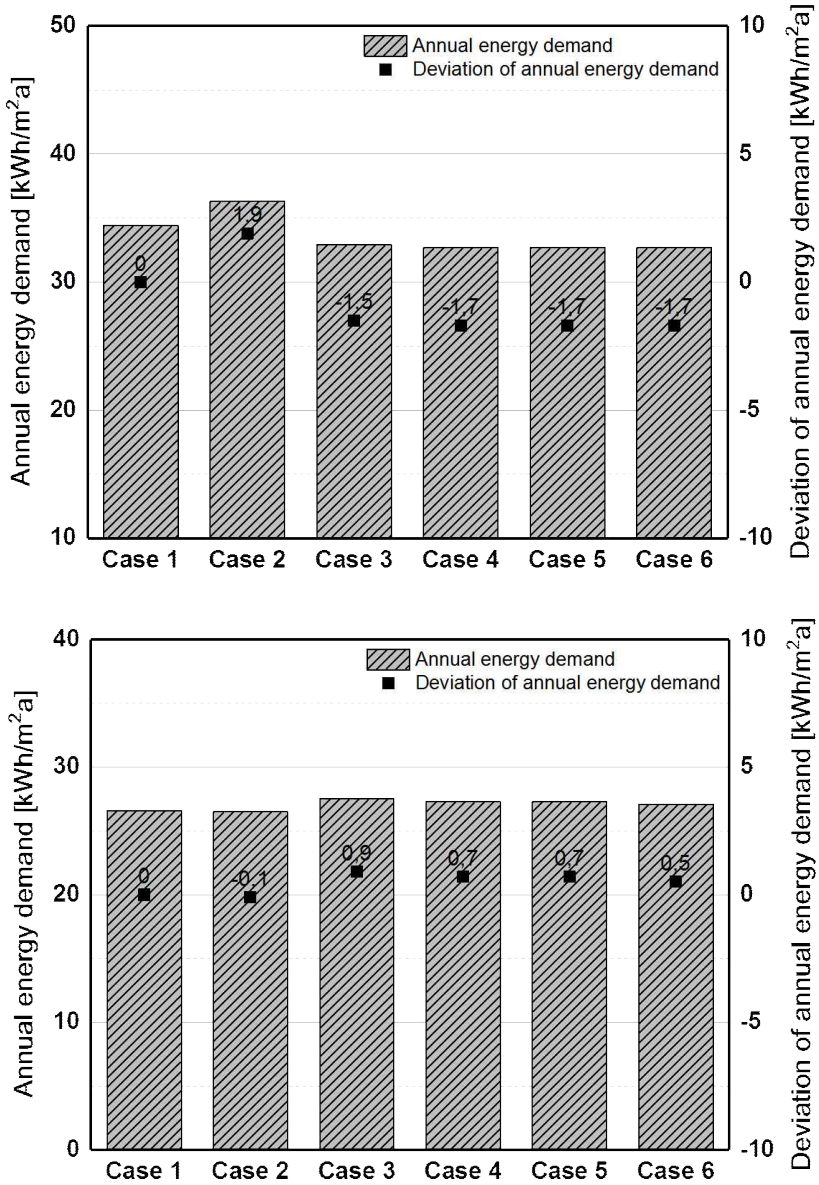


(그림 57) 기상요소 유무에 따른 목구조 단독주택의 연간 건물에너지요구량과 편차 (상 : 대관령, 하 : 제주도)

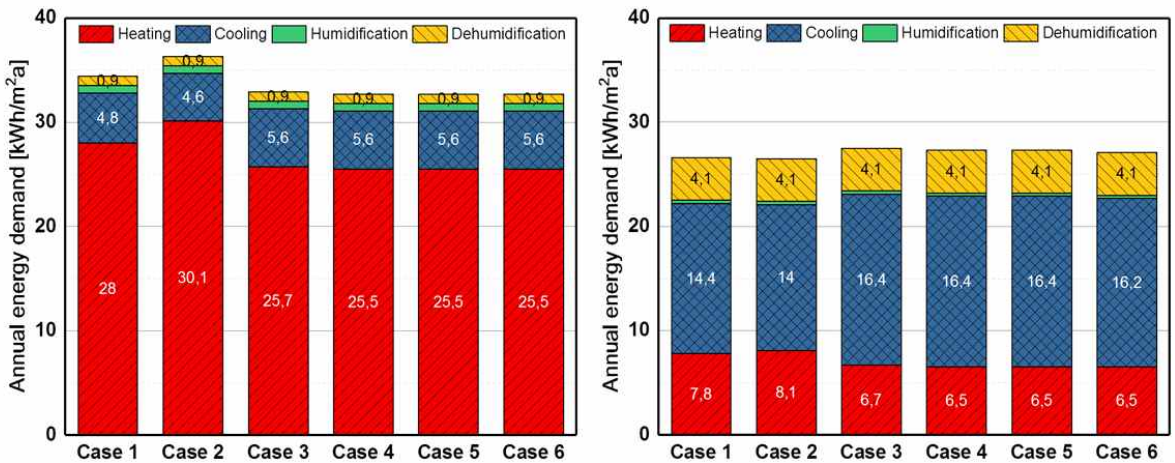


(그림 58) 기상요소 유무에 따른 목구조 단독주택의 설비시스템 별 연간 건물에너지요구량 (좌 : 대관령, 우 : 제주도)

○ 공동주택, 철근콘크리트조



(그림 59) 기상요소 유무에 따른 철근콘크리트조 공동주택의 연간 건물에너지요구량과 편차 (상 : 대관령, 하 : 제주도)



(그림 60) 기상요소 유무에 따른 철근콘크리트조 공동주택의 설비시스템 별 연간 건물에너지요구량 (좌 : 대관령, 우 : 제주도)

- 본 연구 대상인 철근콘크리트조 공동주택의 세대는 남향과 북향에 외기경계 조건에 대하여 완충

역할을 해주는 발코니가 존재하고, 해당 세대 옆으로 나란히 타 세대가 존재하고 있어 아래의 그림과 같이 기상요소의 누락이 발생함에도 불구하고 위 단독주택에 비하여 연간 건물에너지요구량 예측 정확도의 차이가 크지 않는 것으로 판명되었다. 그 정확도의 차이가 크지는 않지만 단독주택의 경우와 마찬가지로 일사량과 운량이 누락되어 복사에너지 밸런스를 정확하게 예측하지 못 할 경우에는 연간 건물에너지요구량에 차이가 발생할 수 있음을 주의해야 한다.

3.7 건물에너지 평가 프로그램과의 호환성 검증

- 표준 기상데이터는 다양한 분야에서 사용된다. 건축 분야에서는 건물 시뮬레이션을 통한 건물의 에너지 소비량을 예측하고 에너지 절감을 위한 다양한 방법을 연구 하기 위해 표준 기상데이터가 활발하게 사용된다. 본 장에서는 건물 시뮬레이션 내에서 이용 가능한 표준 기상데이터 프로그램 형태에 대하여 설명 하고 이용 방법을 기술한다. 다양한 건물 시뮬레이션 프로그램들이 존재 하지만 건물 에너지 평가를 위하여 활발하게 사용되는 세 가지 프로그램 (Energyplus, Trnsys, Wufi)을 중심으로 설명하고자 한다.

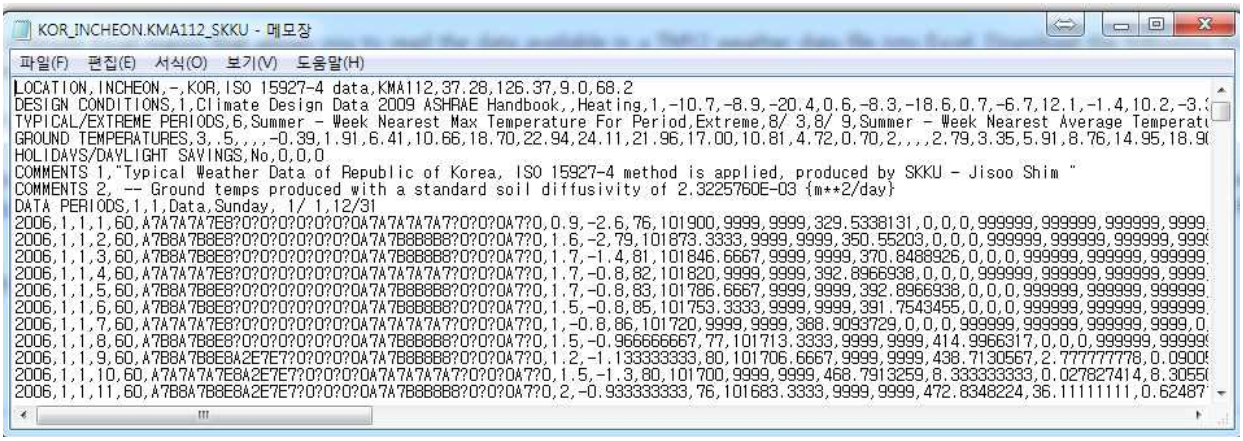
○ EPW(에너지플러스) 입력 값 분석

- 건물 시뮬레이션 프로그램 중에 하나인 EnergyPlus 에서 표준 기상데이터를 적용시키기 위해서는 epw 형태의 파일로 제공 되어야 한다. 표준 기상데이터에서 중점적으로 이용한 건구 온도, 상대 습도, 풍속, 수평면 전 일사량 데이터 이외에도 표 24와 같은 데이터 들이 요구 된다. 제작된 epw 형태의 표준 기상데이터 파일은 그림 61과 같다.

[표 24] EnergyPlus epw 제작 입력 정보

분류	입력값	단위	비고
1	Year		
2	Month	1-12	
3	Day		
4	Hour	1-24	
5	Minute	1-60	
6	Data Source and Uncertainty Flags		표 26 참고
7	Dry bulb temperature	℃	
8	Dew point temperature	℃	
9	Relative humidity	%	
10	Atmospheric Station pressure	Pa	
11	Extraterrestrial Horizontal Radiation	Wh/m²	
12	Extraterrestrial Direct Normal Radiation	Wh/m²	
13	Horizontal Infrared Radiation Intensity	Wh/m²	표 27 참고
14	Global Horizontal Radiation	Wh/m²	
15	Direct Normal Radiation	Wh/m²	
16	Diffuse Horizontal Radiation	Wh/m²	
17	Global Horizontal Illuminance	lux	
18	Direct Normal Illuminance	lux	
19	Diffuse Horizontal Illuminance	lux	
20	Zenith Luminance	Cd/m²	
21	Wind direction	0(북)-90(동)-180(남)-270(서)	
22	Wind speed	m/s	
23	Total sky cover	10분위	
24	Opaque Sky cover	10분위	
25	Visibility	km	
26	Ceiling Height	m	
27	Present Weather Observation		표 26 참고
28	Present Weather codes		표 26 참고
29	Precipitable Water	mm	
30	Aerosol Optical Depth	1000 분위	

31	Snow depth	cm	
32	days since Last snowfall		
33	Albedo		
34	Liquid Precipitation depth	mm	
35	Liquid precipitation quantity	hr	



(그림 61) 인천 지역 EPW 형태의 표준기상데이터

- 참고적으로 Horizontal Infrared Radiation Intensity의 경우에는 일반적으로 예측하는 방식을 이용하며 예측 식은 그림 아래와 같다. (43,44)

$$Horizontal_{IR} = \epsilon \sigma T_{drybulb}^4$$

where

- $Horizontal_{IR}$ is the horizontal IR intensity {W/m²}
- ϵ is the sky emissivity
- σ is the Stefan-Boltzmann constant = 5.6697e-8 W/m²-K⁴
- $T_{drybulb}$ is the drybulb temperature {K}

The sky emissivity is given by

$$\epsilon = \left(0.787 + 0.764 \ln\left(\frac{T_{dewpoint}}{273}\right)\right)\left(1 + 0.0224N + 0.0035N^2 + 0.00028N^3\right)$$

where

- $T_{dewpoint}$ is the dewpoint temperature {K}
- N is the opaque sky cover {tenths}

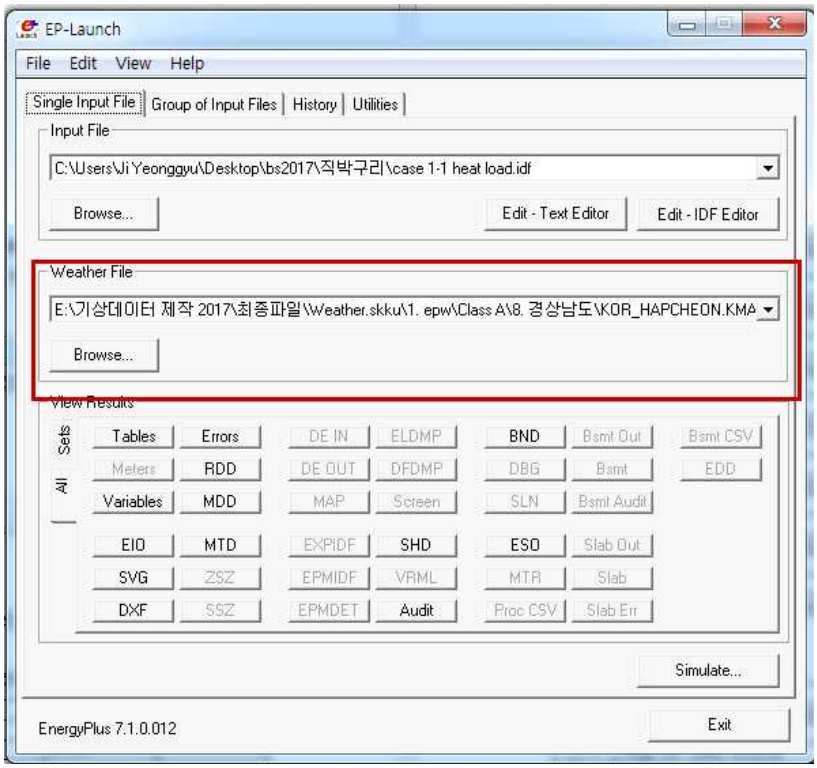
Example: Clear sky ($N = 0$), $T_{drybulb} = 273 + 20 = 293K$, $T_{dewpoint} = 273 + 10 = 283K$:

$\epsilon = 0.787 + 0.764 * 0.036 = 0.815$

(그림 62) 수평면 적외선 강도 예측 식 [43, 44]

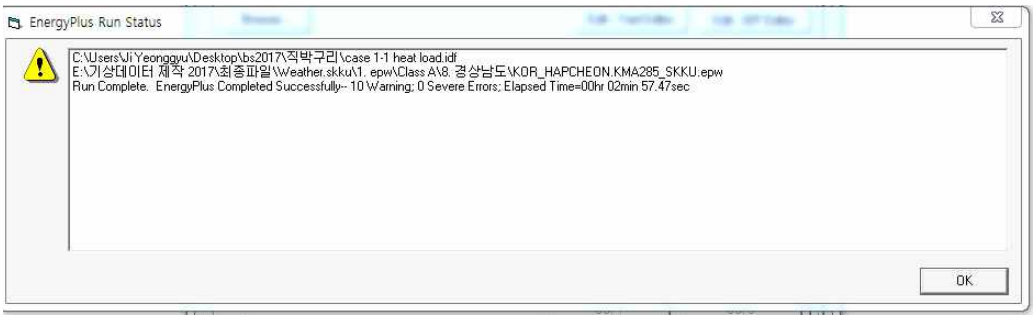
○ EPW 파일의 호환성 검증

- 앞서 설명한 방법으로 작성된 epw형태의 표준 기상데이터 파일을 Energyplus 프로그램에서 작동시키기 위해서는 다음 일련의 과정을 거치면 된다.
- 에너지 플러스 프로그램 (EP-Launch)를 작동 시킨 상태에서 <그림 7-1-2-1>의 붉은 선 안에 표시된 Weather file의 Browse를 누른다. Browse를 통하여 epw 형태의 표준 기상데이터를 입력한다.



(그림 63) EP-Launch 표준 기상데이터 입력 모습

- Input file, 일반적으로 건물의 모델링 및 입력 데이터가 입력된 파일을 함께 제작 한 후, Simulate 파일을 선택 하면 아래와 같은 상태창이 뜬다. 실험 결과 epw 형태의 표준기상데이터는 정상적으로 작동하는 것으로 나타났다.



(그림 64) EnergyPlus 시뮬레이션 결과 창

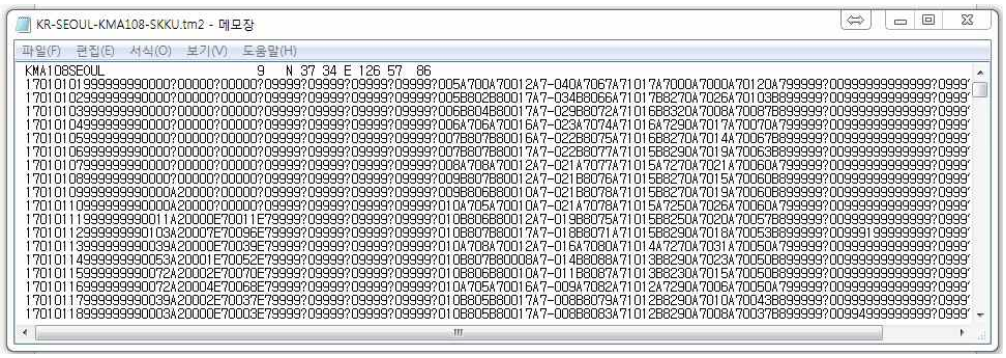
○ **Trnsys 표준기상데이터 입력 값 분석**

- 건물에너지 시뮬레이션 프로그램 중인 트랜시스(Trnsys)(45)에서 표준 기상데이터를 적용시키기 위해서는 TM2 형태의 파일로 제공 되어야 한다. 일반적으로 TM2 파일 형식의 표준기상데이터는 TMY 방식을 통하여 제작된 표준기상데이터를 이용한다. 하지만 표준 기상데이터 작성 방식 별 차이가 적기 때문에, 본 연구에서 작성한 표준기상데이터를 활용하여 TM2 형식을 제작하고자 한다. TM2 형식의 표준기상데이터를 작성하기 위해서는 표 25와 같은 데이터 들이 요구 된다. 제작된 TM2 형태의 표준 기상데이터 파일은 그림 65와 같다.

[표 25] Trnsys TM2 제작 입력 정보

분류	입력값	단위	비고
1	Year		
2	Month	1-12	
3	Day		
4	Hour	1-24	
5	Extraterrestrial Horizontal Radiation	Wh/m²	
6	Extraterrestrial Direct Normal Radiation	Wh/m²	
7	Global Horizontal Radiation	Wh/m²	
7-1	Flag for Data source		표 26 참고
7-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
8	Direct Normal Radiation	Wh/m²	
8-1	Flag for Data source		표 26 참고
8-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
9	Diffuse Horizontal Radiation	Wh/m²	
9-1	Flag for Data source		표 26 참고
9-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
10	Global Horizontal Illuminance	lux(1/100배)	
10-1	Flag for Data source		표 26 참고
10-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
11	Direct Normal Illuminance	lux(1/100배)	
11-1	Flag for Data source		표 26 참고
11-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
12	Diffuse Horizontal Illuminance	lux(1/100배)	
12-1	Flag for Data source		표 26 참고
12-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
13	Zenith Luminance	Cd/m²	
13-1	Flag for Data source		표 26 참고
13-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
14	Total sky cover	10분위	
14-1	Flag for Data source		표 26 참고
14-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
15	Opaque Sky cover	10분위	
15-1	Flag for Data source		표 26 참고
15-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
16	Dry bulb temperature	℃ (10배)	
16-1	Flag for Data source		표 26 참고
16-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
17	Dew point temperature	℃ (10배)	
17-1	Flag for Data source		표 26 참고
17-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
18	Relative humidity	%	
18-1	Flag for Data source		표 26 참고
18-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
19	Atmospheric pressure	mbar	
19-1	Flag for Data source		표 26 참고
19-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
20	Wind direction	0(북)-90(동)-180(남)-270(서)	
20-1	Flag for Data source		표 26 참고
20-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
21	Wind speed	m/s (10배)	
21-1	Flag for Data source		표 26 참고
21-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
22	Visibility	km (10배)	
22-1	Flag for Data source		표 26 참고
22-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
23	Ceiling Height	m	
23-1	Flag for Data source		표 26 참고
23-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
24	Present Weather		표 26 참고
25	Precipitable Water	mm	
25-1	Flag for Data source		표 26 참고
25-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
26	Aerosol optical depth		

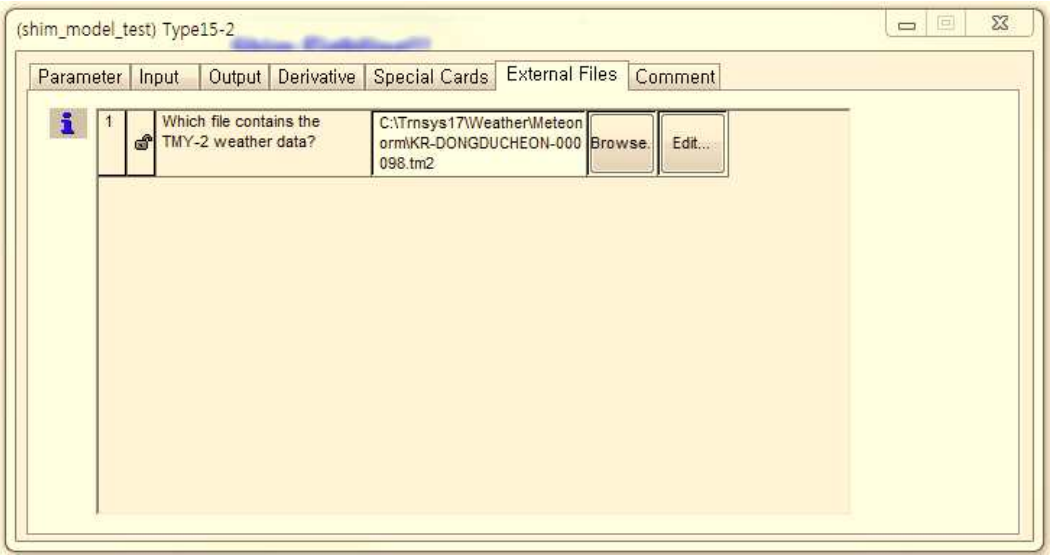
26-1	Flag for Data source		표 26 참고
26-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
27	Snow depth	cm	
27-1	Flag for Data source		표 26 참고
27-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고
28	Days since last snowfall		
28-1	Flag for Data source		표 26 참고
28-2	Flag for Data uncertainty		표 26 참고



(그림 65) Trnsys TM2 형태의 표준기상데이터

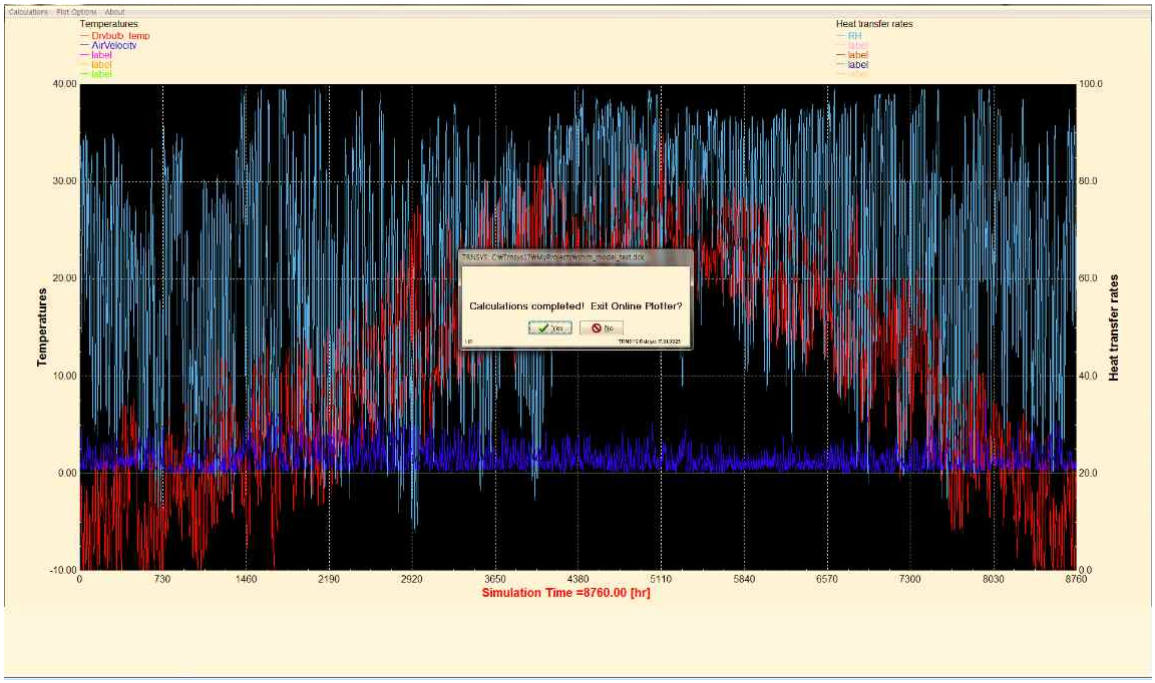
○ TM2 파일의 호환성 검증

- 위의 방법으로 작성된 TM2형태의 표준 기상데이터 파일을 Trnsys 프로그램에서 작동시키기 위해서는 다음 일련의 과정을 거치면 된다. Trnsys 프로그램을 작동 시킨 상태에서 External Files을 선택하게 되면 <그림 7-2-2-1>와 같은 창이 형성된다. Browse를 선택하여 TM2 형태의 표준기상데이터를 입력한다.



(그림 66) Trnsys 표준기상데이터 입력 모습

- 건물의 모델링 및 입력 데이터가 입력된 파일을 함께 제작 한 후, Simulate 파일을 선택 하면 아래와 같이 8,760시간에 대한 결과창이 뜬다. 시뮬레이션 분석결과 TM2 형태의 표준기상데이터는 정상적으로 작동하는 것으로 확인하였다.



(그림 67) Trnsys 시뮬레이션 결과 창

○ **Flag code 및 현상 번호 설명**

- 건물에너지 시뮬레이션 프로그램에서 표준 기상데이터가 정상적으로 작동 위해서는 기본 기상 데이터 이외에도 각 기상 요소의 측정 상태와 불확실성(flags for uncertainty), 그리고 현상 번호에 대하여 반드시 입력되어야 한다. flags for uncertainity는 데이터의 측정 방식 (실측된 데이터 인지 혹은 예측된 데이터 인지에 대한 기입) 및 각 측정 방식에 대한 불확실성을 표기하는 방식이다. 따라서 기상 요소가 정확하게 입력되었다 할지라도 flags for uncertainty의 데이터가 정확하게 입력되지 않는다면, 입력된 데이터 자체의 신뢰성이 낮아진다. 기상 요소 측정상태와 불확실성을 나타내는 기호는 epw(EnergyPlus) 방식과 TM2(Trnsys) 방식이 동일하다. 차이점은 epw의 경우, 기상 요소 상태와 불확실성 (flags for uncertainty) 데이터가 동시에 입력되는(표1의 6번 란에 전체 flag 데이터가 입력된다.) 반면, TM2의 경우에는 기상요소에 따라서 하위 데이터로, 각각 입력된다. 기상 요소 상태와 불확실성(flags for uncertainty)의 기호는 아래 표 26과 같다.

- Present Weather Code에 해당되는 기상 현상 번호를 입력하기 위해서는 아래 <표7-3-2>와 같은 기상 상태에 대한 평가를 진행 하여야 한다. 예를 들어 강수량 혹은 적설이 입력된 기상 상태에 대하여 현상 번호가 입력되지 않는 경우 시뮬레이션 작동에 있어서 적합한 데이터가 활용되지 못한다.

[표 26] 기상 데이터 상태와 불확실성 코드 번호

분류	Data Flag	Flag Code
1	Dry bulb temperature Data Source	A-F
2	Dry bulb temperature Data Uncertainty	0-9
3	Dew point temperature Data Source	A-F
4	Dew point temperature Uncertainty	0-9
5	Relative humidity Source Uncertainty	A-F
6	Relative humidity Uncertainty	0-9
7	Atmospheric Station pressure Source	A-F
8	Atmospheric Station pressure Uncertainty	0-9
9	Horizontal Infrared Radiation Source	A-H, ?
10	Horizontal Infrared Radiation Uncertainty	0-9
11	Global Horizontal Radiation Source	A-H, ?
12	Global Horizontal Radiation Uncertainty	0-9
13	Direct Normal Radiation Source	A-H, ?
14	Direct Normal Radiation Uncertainty	0-9
15	Diffuse Horizontal Radiation Source	A-H, ?
16	Diffuse Horizontal Radiation Uncertainty	0-9
17	Global Horizontal Illuminance Source	I,?
18	Global Horizontal Illuminance Uncertainty	0-9
19	Direct Normal Illuminance Source	I,?
20	Direct Normal Illuminance Uncertainty	0-9
21	Diffuse Horizontal Illuminance Source	I,?
22	Diffuse Horizontal Illuminance Uncertainty	0-9
23	Zenith Luminance Source	I,?
24	Zenith Luminance Uncertainty	0-9
25	Wind direction Source	A-F
26	Wind direction Uncertainty	0-9
27	Wind speed Source	A-F
28	Wind speed Uncertainty	0-9
29	Total sky cover Source	A-F
30	Total sky cover Uncertainty	0-9
31	Opaque Sky cover Source	A-F
32	Opaque Sky cover Uncertainty	0-9
33	Visibility Source	A-F, ?
34	Visibility Uncertainty	0-9
35	Ceiling Height Source	A-F, ?
36	Ceiling Height Uncertainty	0-9
37	Precipitable Water Source	A-F
38	Precipitable Water Uncertainty	0-9
39	Aerosol Optical Depth Source	A-F
40	Aerosol Optical Depth Uncertainty	0-9
41	Snow depth Source	A-F,?
42	Snow cover Uncertainty	0-9
43	days since Last snowfall Source	A-F,?
44	days since Last snowfall Uncertainty	0-9

[표 27] 기상 현상 번호

항목	요소 개요	입력 값	정의
1	Occurrence of Thunderstorm, Tornado, or Squall	0 - 2, 4, 6- 9	0 = Thunderstorm-lightning and thunder, 1 = Heavy or severe thunderstorm-frequent intense lightning and thunder, 2 = Report of tornado or waterspout, 4 = Moderate squall-sudden increase of wind speed by at least 8.2 m/s, reaching 11.3 m/s or more and, lasting for at least 1 minute, 6 = Water spout, 7 = Funnel cloud , 8 = Tornado, 9 = None if Observation Indicator element equals 0
2	Occurrence of Rain, Rain Showers, or Freezing Rain	0 - 9	0 = Light rain, 1 = Moderate rain, 2 = Heavy rain, 3 = Light rain showers, 4 = Moderate rain showers, 5 = Heavy rain showers, 6 = Light freezing rain, 7 = Moderate freezing rain, 8 = Heavy freezing rain, 9 = None if Observation Indicator element equals 0
3	Occurrence of Rain Squalls, Drizzle or Freezing Drizzle	0, 1, 3-9	0 = Light rain squalls, 1 = Moderate rain squalls, 3 = Light drizzle, 4 = Moderate drizzle, 5 = Heavy drizzle, 6 = Light freezing drizzle, 7 = Moderate freezing drizzle, 8 = Heavy freezing drizzle, 9 = None if Observation Indicator element equals 0
4	Occurrence of Snow, Snow Pellets, or, Ice Crystals	0 - 9	0 = Light snow, 1 = Moderate snow, 2 = Heavy snow, 3 = Light snow pellets, 4 = Moderate snow pellets, 5 = Heavy snow pellets, 6 = Light ice crystals, 7 = Moderate ice crystals, 8 = Heavy ice crystals, 9 = None if Observation Indicator element equals 0
5	Occurrence of Snow Showers, Snow, Squalls, or Snow Grains	0 - 7, 9	0 = Light snow, 1 = Moderate snow showers, 2 = Heavy snow showers, 3 = Light snow squall, 4 = Moderate snow squall, 5 = Heavy snow squall, 6 = Light snow grains, 7 = Moderate snow grains, 9 = None if Observation Indicator element equals 0
6	Occurrence of Sleet, Sleet Showers,, or Hail	0 - 2, 4, 9	0 = Light ice pellet showers, 1 = Moderate ice pellet showers, 2 = Heavy ice pellet showers, 4 = Hail, 9 = None if Observation Indicator element equals 0
7	Occurrence of Fog, Blowing Dust, or Blowing Sand	0 - 9	0 = Fog, 1 = Ice fog, 2 = Ground fog, 3 = Blowing dust, 4 = Blowing sand, 5 = Heavy fog, 6 = Glaze (beginning 1984), 7 = Heavy ice fog (beginning 1984), 8 = Heavy ground fog (beginning 1984), 9 = None if Observation Indicator element equals 0
8	Occurrence of Smoke, Haze,Smoke, and Haze, Blowing Snow,, Blowing Spray, or Dust	0 - 7, 9	0 = Smoke, 1 = Haze, 2 = Smoke and haze, 3 = Dust, 4 = Blowing snow, 5 = Blowing spray, 6 = Dust storm (beginning 1984), 7 = Volcanic ash, 9 = None if Observation Indicator element equals 0
9	Occurrence of Ice Pellets	0 - 2, 9	0 = Light ice pellets, 1 = Moderate ice pellets, 2 = Heavy ice pellets, 9 = None if Observation Indicator element equals 0

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4.1 연구달성 내용

가. 주요연구개발 내용 및 달성 항목

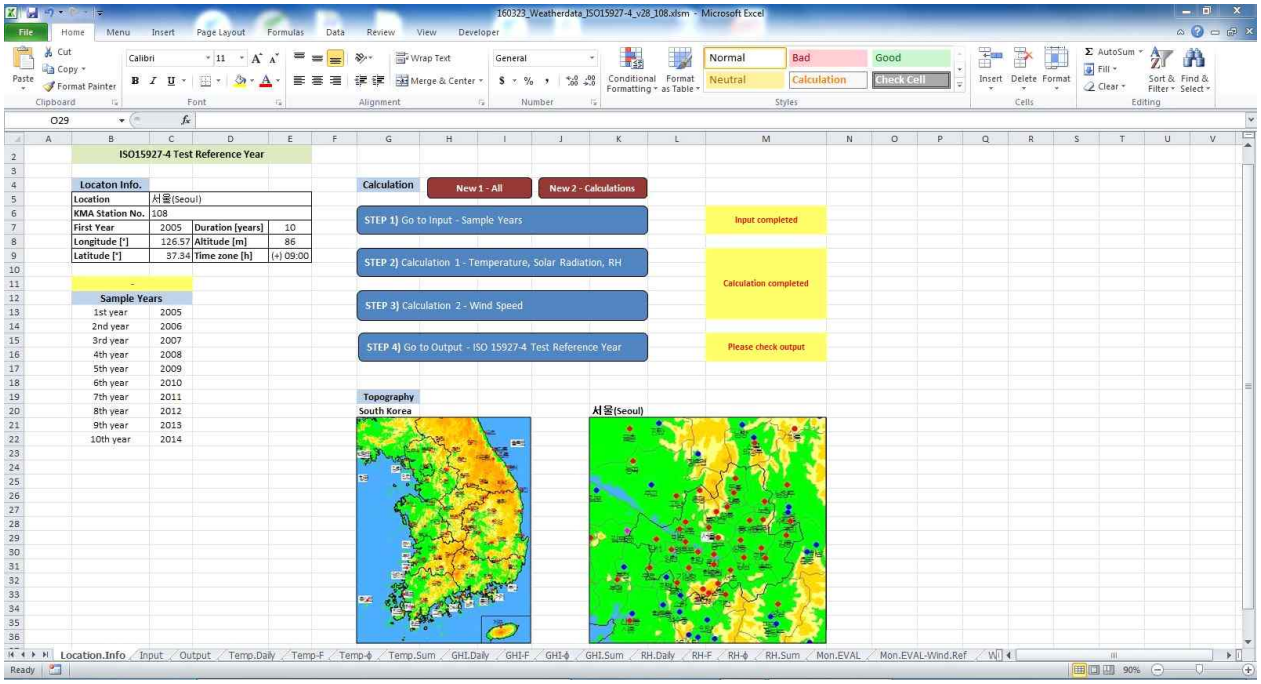
연구기간	연구개발내용	연구개발 세부항목
2015/06/24 ~ 2017/06/23	○ 표준년 선정, 기상 데이터 추출, 전천일사량, 직달일사량, 확산일사량 산출 프로그램	- ISO 15927-4 표준기상데이터 산출 프로그램 - 전천일사량을 직달일사/ 확산일사량으로 분리 산출하는 알고리즘의 프로그램화 - 일조시간, 운량을 활용한 전천일사량 산출 알고리즘 및 프로그램화
	○ 미측정 기상데이터의 보정방안 도출 및 보정 데이터 작성	- 건물에너지 해석에 필요한 기상데이터 중 해당 관측소 별로 미측정 된 기상데이터의 보정 - 일조시간, 운량을 활용한 전천일사량 산출 알고리즘 및 프로그램화
	○ 지속적인 Update가 가능한 형태의 표준기상데이터 산출 프로그램	- 매년 기상청 1년치의 기상데이터 실측자료를 업데이트하여 표준기상데이터를 작성하는 방법 및 가이드라인 작성 - 업데이트 된 표준기상데이터의 유효성 검증
	○ 대한민국 표준기상데이터 제작 및 DB 구축	- 지역적 중요도, 기후 특성도에서 선순위/ 차순위로 지정된 지점의 70 개소의 표준기상데이터 제작 - 전일사량 관측지점(20개소), 일사량 미관측 지점(50개소)을 분류하여 총 70개소의 표준기상데이터 DB 구축

나. 주요 연구성과 개요 및 설명

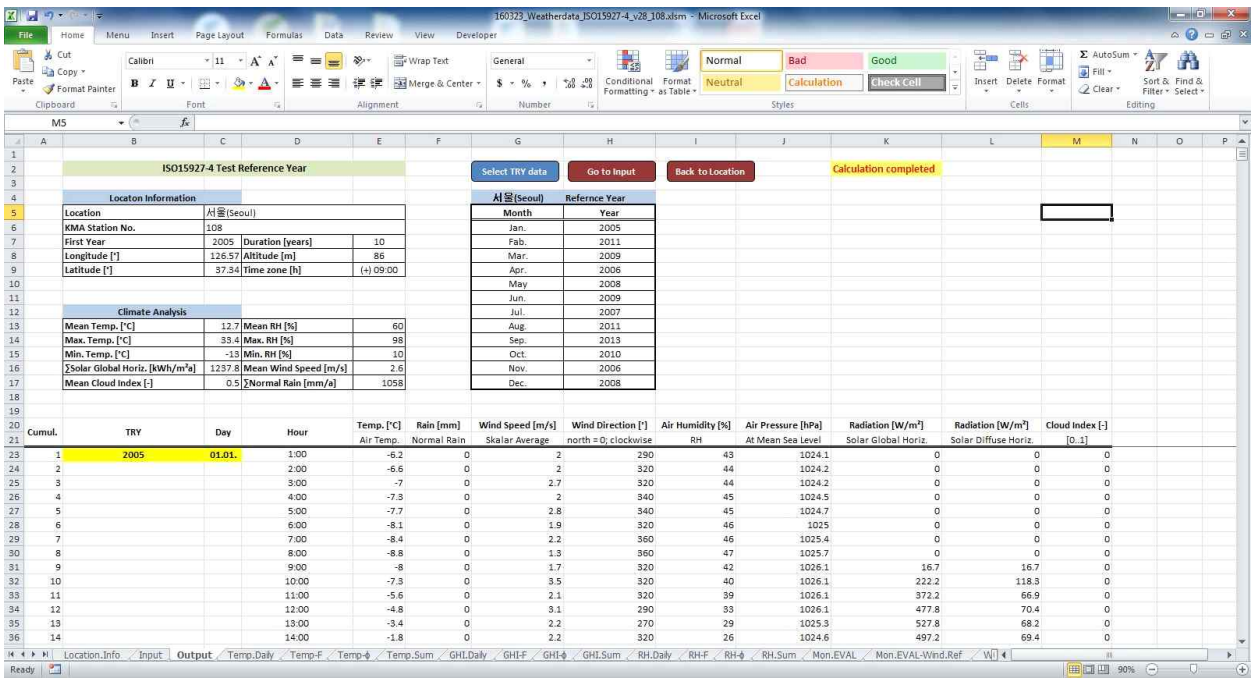
○ 대한민국 표준기상데이터 산출 알고리즘 및 Proto-type의 산출 프로그램

- 대한민국 표준기상데이터를 제작하기 위해 TRY (Test Reference Year), TMY2s (Typical Meteorological Year), WYEC2 (Weather Year for Energy Calculations), HASP 등의 기상데이터 산출 방법을 고찰하여, ISO 15927-4의 국제기준에 부합하는 표준년 산출 알고리즘과 프로그램을 개발하였다.

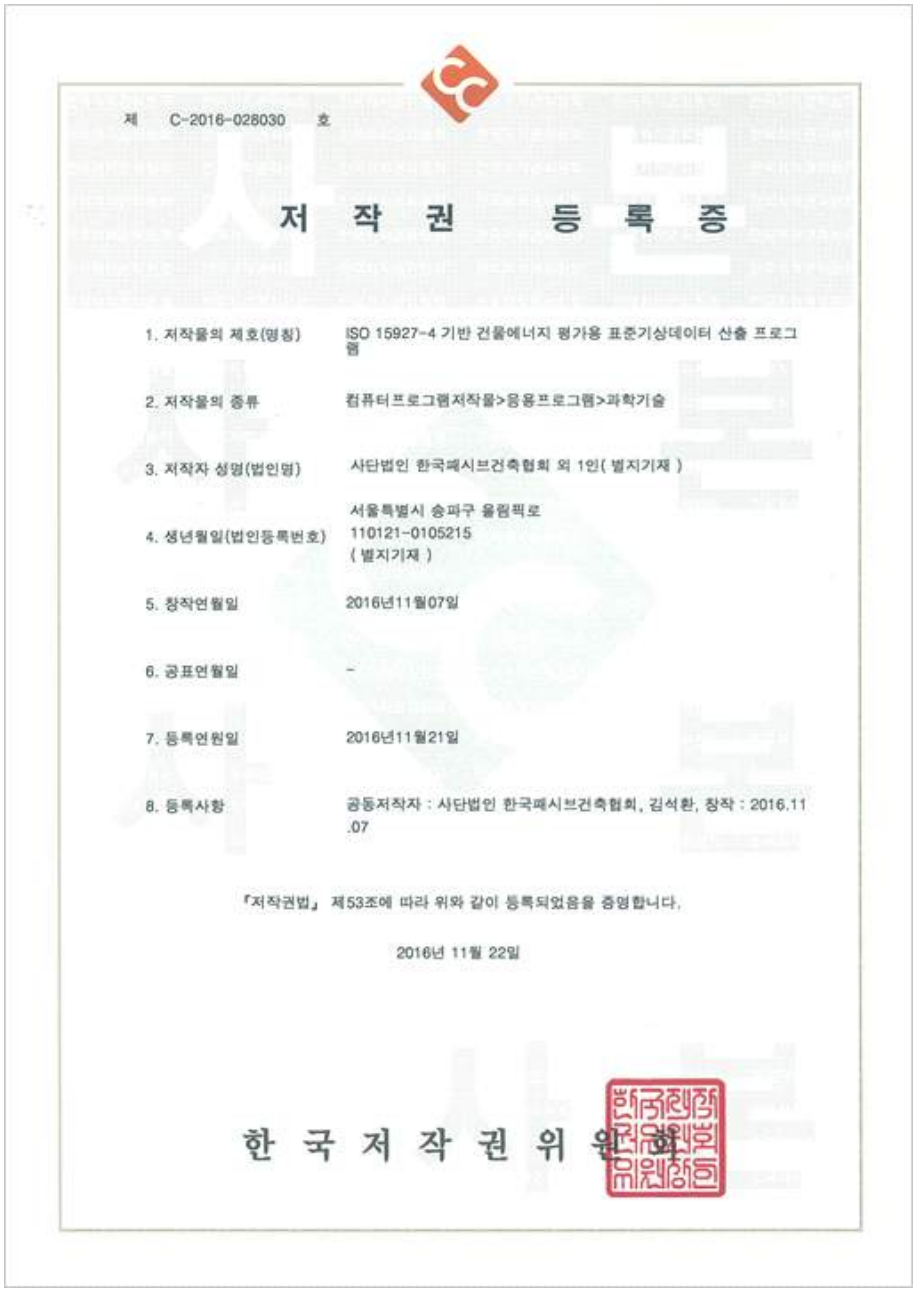
- 그림 68과 69에 제작이 완료된 표준년 산출 프로그램의 기상청 raw data 입력 모습과 표준년 산정 및 표준기상데이터의 산출 모습을 보여주고 있다. 그림 70은 개발프로그램의 한국저작권 협회의 저작권 등록증을 나타내었다.



(그림 68) 기상데이터 산출 프로그램의 raw data 입력모습



(그림 69) 표준년 산정 및 표준기상데이터 산출 모습



제 C-2016-028030 호

저 작 권 등 록 증

1. 저작물의 제호(명칭)	ISO 15927-4 기반 건물에너지 평가용 표준기상데이터 산출 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술
3. 저작자 성명(법인명)	사단법인 한국패시브건축협회 외 1인(별지기재)
4. 생년월일(법인등록번호)	서울특별시 송파구 올림픽로 110121-0105215 (별지기재)
5. 창작연월일	2016년11월07일
6. 공표연월일	-
7. 등록연원일	2016년11월21일
8. 등록사항	공동저작자 : 사단법인 한국패시브건축협회, 김석환, 창작 : 2016.11.07

『저작권법』 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2016년 11월 22일

한 국 저 작 권 위 원 회

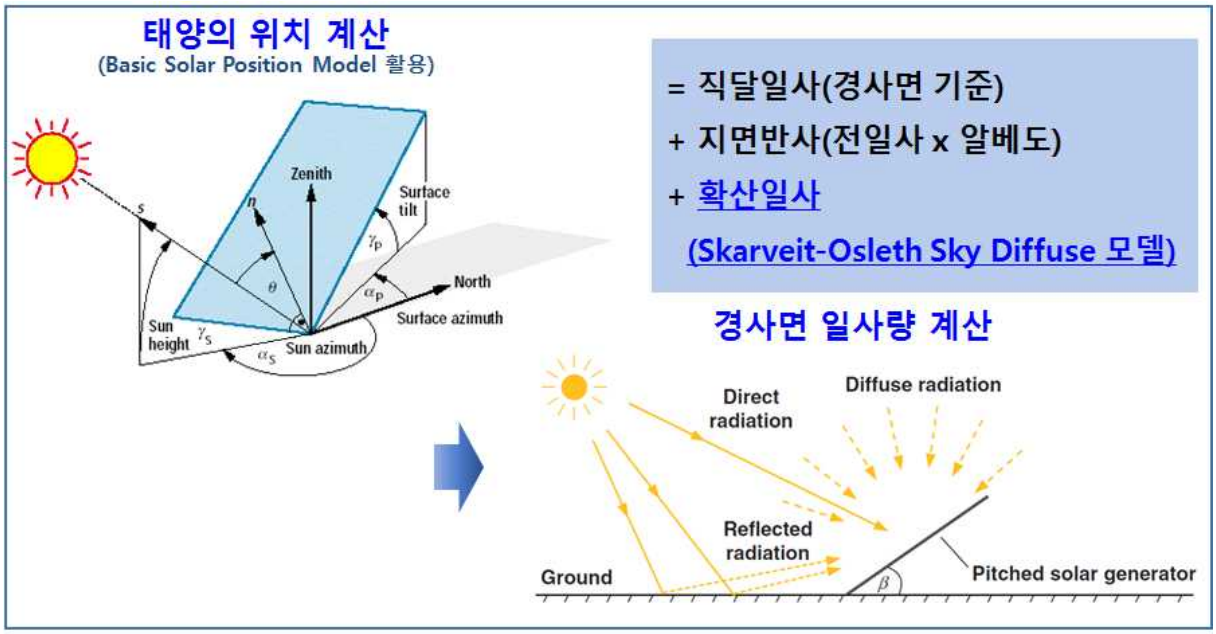
(그림 70) ISO 15927-4 기준의 표준기상데이터 산출프로그램 저작권 등록증

○ **표준기상데이터의 작성을 위한 분석기간 및 미관측 자료의 보정**

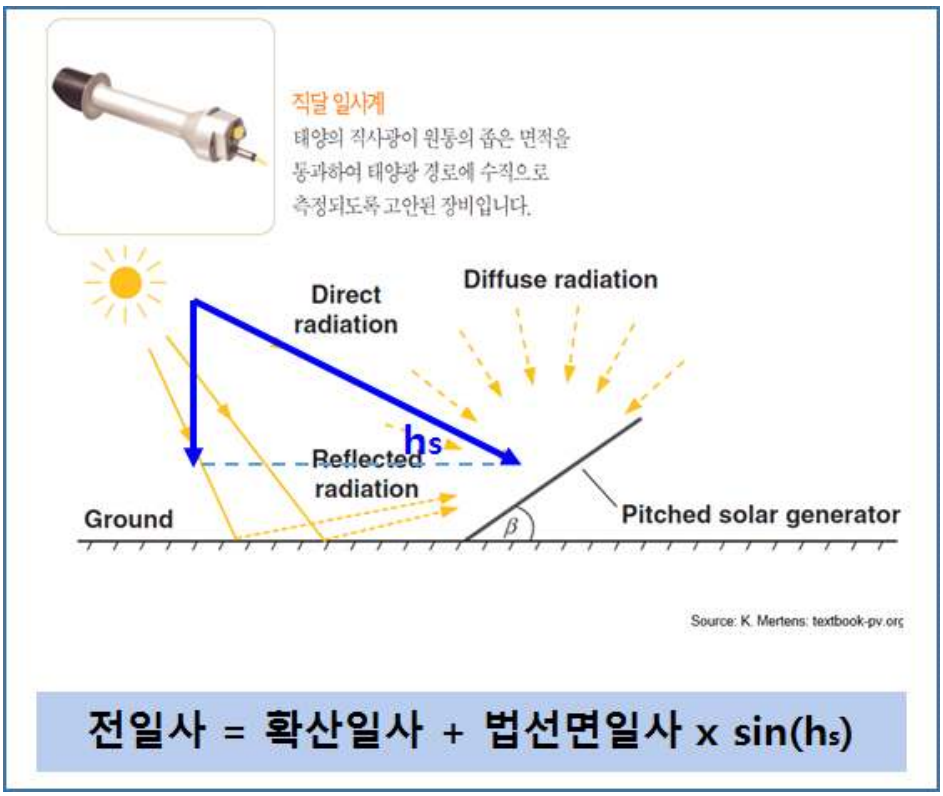
- 건물에너지 평가 프로그램 표준기상데이터 제작을 위해서는 사용되는 기온, 습도, 일사, 강수, 풍향, 풍속, 해면기압, 운량 등의 Hourly 데이터가 필요하지만, 앞서 설명한 바와 같이, 기상청 실측 데이터에는, 관측소 지점별 기상요소별 운용목적, 관측기기의 유지관리, 기기의 고장, 및 기타 사유 등으로 인하여 누락된 시간을 포함하고 있다. 따라서, 본 연구과제에서는 2005년 ~2014년의 기상청 실측 raw 데이터의 누락시간을 보간 방법을 통해 누락데이터를 보정하였다.

○ **일사량(GHI, DHI, DNI) 산출 알고리즘 정립 및 프로그램화**

- 건물에너지 해석을 위해서는 전일사량(Global radiation), 직달일사량(Direct radiation), 확산일사량(Diffuse radiation) 이 반드시 필요하다. 본 연구과제에서는 산악지역에 적합한 Skaveit & Osleth 모델을 적용하여 전일사량의 데이터를 직달/ 확산일사량으로 분리하는 Excel 기반의 프로그램을 제작하였다. 그림 72은 제작된 프로그램의 입력 시트를 나타내고 있다.



(그림 71) 일사량 산출 프로그램의 제작 방법 개요

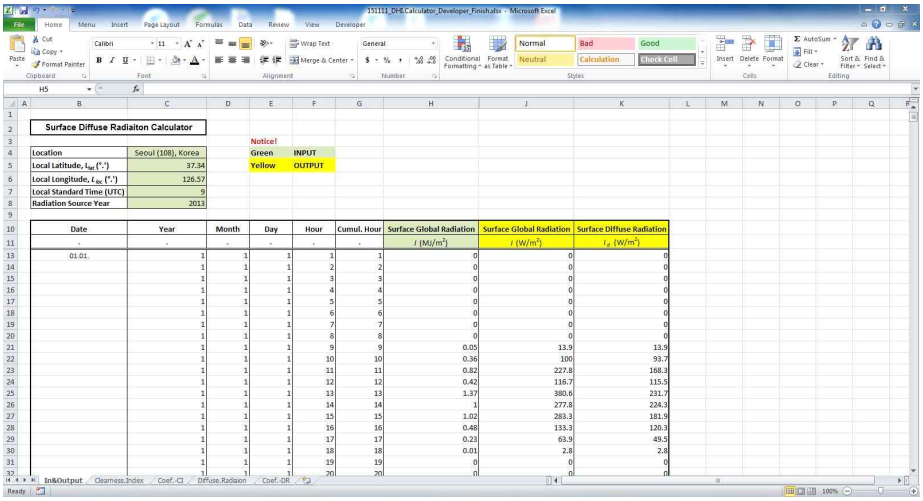


(그림 72) 경사면 일사량 계산을 위한 방법

- 또한, 제작된 상기의 Excel 프로그램에서는, 전일사량이 관측되고 있지 않는 50개 지역을 위해 전일사량 산출모델이 적용된 입력 시트를 포함하고 있다. 그림 74는 한국저작권 위원회에 등록된 개발 프로그램의 저작권 등록증이다.

  - 일사 데이터의 경우 국내 주요 관측지점 70곳 중 단 22곳에서만 전천일사량을 관측하고 있으며, 전천일사량을 측정하고 있는 지점은 아래의 직달일사/ 확산일사를 분리 산출하여 건축 환경 평가를 위한 기상자료로 산출할 수 있다.
  - 전일사량을 산출하기 위한 방법으로는 운량/ 일조량/ 온도를 활용하는 3가지의 방법이 존재한다.
  - 전천일사량 데이터가 없는 나머지 48곳의 일사량은 관측지점 정보 및 기타 관측자료를 활용하여 데이터를 추출하고 표준기상데이터로 제작하는 방안으로 Angström-Prescott Model이 프로그램에 적용되

었다.



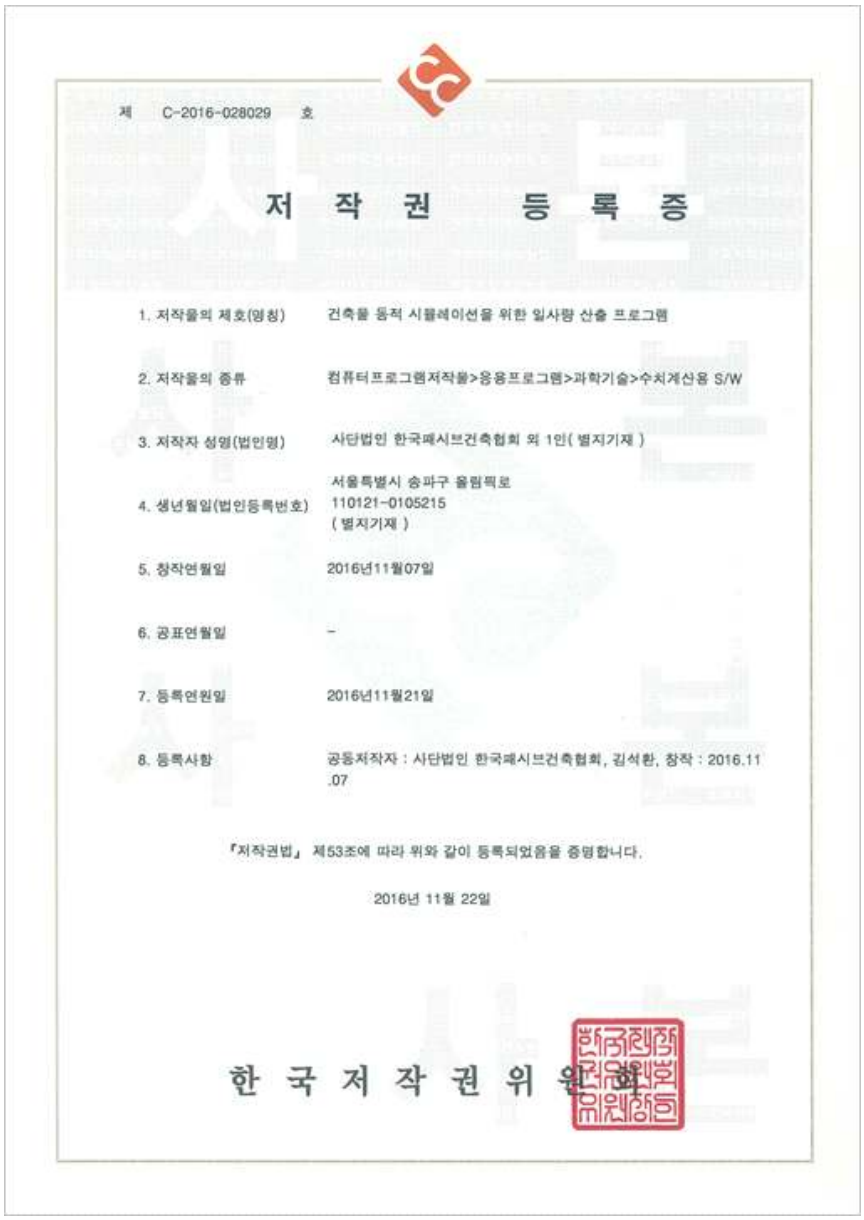
Surface Diffuse Radiaiton Calculator

Location	Seoul (108), Korea
Local Latitude, L_{at} (°.')	37.34
Local Longitude, L_{lo} (°.')	126.57
Local Standard Time (UTC)	9
Radiation Source Year	2013

Notice!
Green INPUT
Yellow OUTPUT

Date	Year	Month	Day	Hour	Cumul. Hour	Surface Global Radiation	Surface Global Radiation	Surface Diffuse Radiation
-	-	-	-	-	-	I (MJ/m²)	I (W/m²)	I_d (W/m²)
01.01.	1	1	1	1	1	0	0	0
	1	1	1	2	2	0	0	0
	1	1	1	3	3	0	0	0
	1	1	1	4	4	0	0	0
	1	1	1	5	5	0	0	0
	1	1	1	6	6	0	0	0
	1	1	1	7	7	0	0	0
	1	1	1	8	8	0	0	0
	1	1	1	9	9	0.05	13.9	13.9
	1	1	1	10	10	0.36	100	93.7
	1	1	1	11	11	0.82	227.8	168.3
	1	1	1	12	12	0.42	116.7	115.5
	1	1	1	13	13	1.37	380.6	231.7
	1	1	1	14	14	1	277.8	224.3
	1	1	1	15	15	1.02	283.3	181.9
	1	1	1	16	16	0.48	133.3	120.3
	1	1	1	17	17	0.23	63.9	49.5
	1	1	1	18	18	0.01	2.8	2.8
	1	1	1	19	19	0	0	0
	1	1	1	20	20	0	0	0

(그림 73) 직달/ 확산일사량 Calculator 프로그램 및 결과 값 산출 예시



제 C-2016-028029 호

저 작 권 등 록 증

1. 저작물의 제호(명칭) 건축물 동적 시뮬레이션을 위한 일사량 산출 프로그램

2. 저작물의 종류 컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술>수치계산용 S/W

3. 저작자 성명(법인명) 사단법인 한국패시브건축협회 외 1인(별지기재)

4. 생년월일(법인등록번호) 서울특별시 송파구 올림픽로 110121-0105215 (별지기재)

5. 창작연월일 2016년11월07일

6. 공표연월일 -

7. 등록연원일 2016년11월21일

8. 등록사항 공동저작자 : 사단법인 한국패시브건축협회, 김석환, 창작 : 2016.11.07

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2016년 11월 22일

한 국 저 작 권 위 원 회

(그림 74) 전일사량 예측 모델이 적용된 일사량 산출 프로그램의 저작권 등록증

4.2 관련 분야 기여도

가. 표준기상데이터의 지속적인 작성 기반 마련

○ **지속적인 Update가 가능한 형태의 표준기상데이터 산출 프로그램**

- 제작된 표준기상데이터 산출프로그램은 연구성과로 한국저작권위원회에 등록하였으며, 관련 연구자 누구나 확인할 수 있도록 자료를 제공 중에 있다. 본 연구성과를 기반으로, 관심있는 연구진은 자유롭게 기상청 실측 기상데이터를 설정하여 표준기상데이터를 작성할 수 있으며, 장시간/ 고도의 인력투입이 요구되는 연구의 작업능률을 개선하였다.

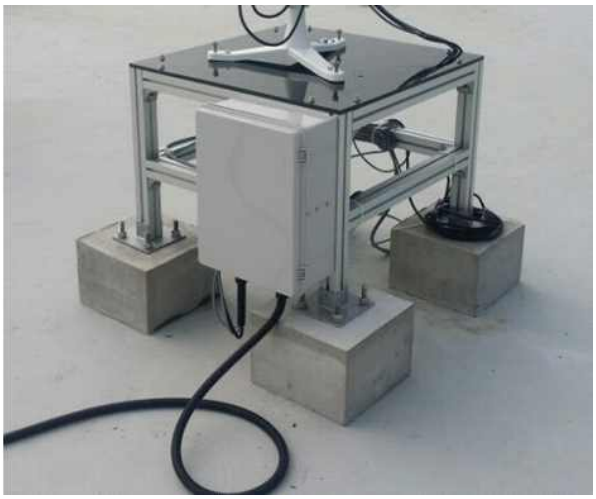
- 또한, 현재의 표준기상데이터 1.0ver 을 토대로 매년 실측되는 기상데이터와, 업데이트 되는 표준기상데이터와의 비교를 통해 표준기상데이터의 변화 추이를 분석하여, 지역별 정밀한 건축 환경 평가가 이루어질 수 있으며, 건축물의 열적성능을 지역별로 제시할 수 있다.

○ **수평면 전일사량 예측 연구 정립**

- 수평면 전일사량이 관측되지 않는 50개 지점의 표준기상데이터를 작성하기 위하여, 일사량 예측 모델을 비교분석하여, 각 모델별로 특징과 결과 값에 대하여 고찰하였으며, 이는 관련 연구진에게 일사량 예측모델에 대한 경험과, 관련 지식을 쉽게 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

○ **연구진의 일사량 실측데이터 수집을 통한 예측 모델의 추가 보정 가능**

- 예측모델의 정확도를 향상하기 위해, 본 연구진은 일사측정 장비를 구축하였으며, 누적되는 실측데이터와 예측 모델의 비교분석을 토대로, 지속적인 예측모델의 보정을 실시하고자 한다. 누적된 데이터는 국내 건축환경 연구진과의 데이터 공유를 통해 건축환경 연구의 기초자료로 활용 할 수 있도록 제공할 예정이다.



(그림 75) 전일사량, 직달일사량 실측 모습(성균관대학교 수원캠퍼스)

제5장. 연구개발성과의 활용계획

5.1 관련 분야 기여도

○ **표준기상데이터 산출 프로그램, 표준기상데이터 DB 제공 및 성과확산 방안 설정**

- 본 연구과제를 통해 개발 된 표준기상데이터는 건물환경 평가 및 분석을 위한 주요 에너지 해석 프로그램과 Hygrothermal 프로그램의 대한민국 기후데이터로 활용 할 수 있으며, 지역별 정밀한 건물에너지 해석 및 결과의 신뢰성을 부여할 것으로 기대된다.

- 본 연구진은 다음의 후속연구와 세부 활용방안을 통해 연구의 성과를 확산하고자 한다.

  - 지역별 기상데이터 적용으로 인한 건물에너지 성능변화 분석
  - 국내 지역별 기후조건의 특징 및 냉·난방도시 분석
  - 기술세미나 개최 및 관련 연구진과의 의견 교류
  - 연구진 자체적인 일사량 실측, 예측 모델 결과 값과의 비교 분석 및 보정을 통한 유효성 향상
  - 우리나라 기후대역에 대한 국제 연구자의 관심 유도와 우리나라 연구진에 의한 건축물 에너지평가 등에 관한 국제적 논문의 신뢰성 제고
  - 건물에너지 부하 해석분야의 연구인력 양성과 미세 기후까지의 분석을 통해 국가 건축물 또는 신재생에너지 분야에 대한 정책 수립의 기초데이터로 활용
  - 지역별 건축물 과설계/ 성능저하 방지를 위한 단열기준 설정 연구

- 또한, 본 연구진에서는 연구과제를 통해 일사량 관측 장비를 구축하였으며, 연구진의 실측 일사량 데이터의 누적을 통해, 국내지형에 보다 적합하고 신뢰성이 확보된 일사량 및 기상상태 추출 방정식의 완성이 추가 연구를 통해 가능할 것으로 예상된다.

- 마지막으로, 해당 자료는 건물에너지 해석분야을 위한, 설계, 시공, 컨설팅 업체 및 건축물 전열해석을 수행하는 연구기관에서 건물에너지 부하 해석을 위한 기초 데이터로 활용 될 것으로 예상되며, 다양한 해석사례의 증가를 통해 건물에너지 및 건축환경평가 해석의 신뢰성 확보, 산업활성화, 관련분야의 선진화 및 활발한 연구 교류를 기대할 수 있다.

○ **기대효과**

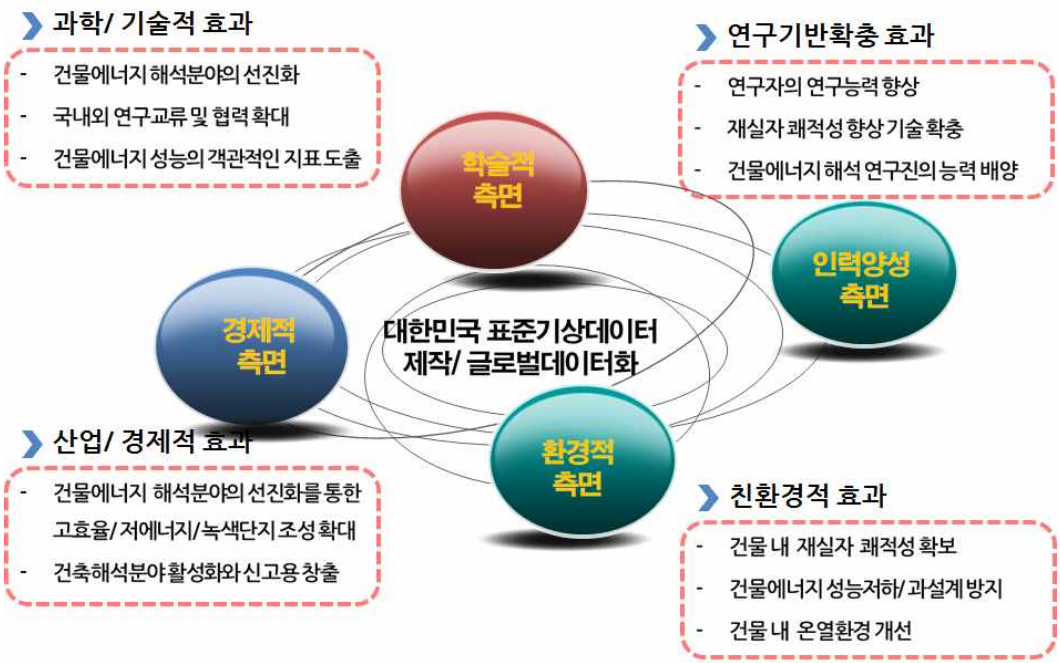
- 기술적 측면
  - 기상청 관측자료를 기반으로 한 대한민국 전역에 걸친 국제적 표준기상데이터 확보
  - 지역적 미세 기후에 기반한 건물에너지 부하해석, 에너지성능평가의 정밀성과 신뢰성 확보
  - 저에너지/ 고효율/ 패시브 건축물의 정밀 설계 용이성 확대
  - 건물에너지 해석분야의 선진화
  - 국내·외 연구 교류 및 협력 확대

- 경제적 · 산업적 측면
  - 기후 조건을 활용한 각종 산업 분야에 정밀한 국제공인 기상데이터를 제공함으로써 제품 개발 또는 개선에 필요한 기회비용을 획기적으로 낮추고, 기후에 대한 불확실성을 최소화
  - 건축 분야의 가장 기본이 되는 데이터를 제작함으로써 건축물의 과설계, 성능저하 방지를 유도하며 건축물에 투입되는 에너지 및 소비량 절감효과 발생
  - 건물에너지 해석분야의 선진화를 통한 고효율/ 저에너지/ 녹색단지 조성 확대

- 건축환경 해석분야 활성화와 신고용 창출

- 사회적 측면
  - 건물에너지 해석분야의 선진화 기반 마련
  - 탄소거래제에서 건축물의 탄소 저감 효과에 대한 평가결과를 국제적으로 인정받을 수 있는 토대 마련
  - 건물 내 재실자의 쾌적성 확보 및 설계기준 도출
  - 에너지 부하해석 프로그램 사용자의 지역적 기후 및 부하저감 이해도 향상
  - 건물에너지 부하 해석분야의 연구인력 양성과 미세 기후까지의 분석을 통해 국가 건축물 또는 신재생 에너지 분야에 대한 정책 수립의 기초데이터로 활용

- 기술수요처
  - 건축 설계/ 에너지컨설팅/ 시공 업체
  - 건축 전열해석 연구기관
  - 국내 고등 교육기관 및 관련 분야 연구소
  - 국·내외 유수의 건물에너지 평가 연구기관



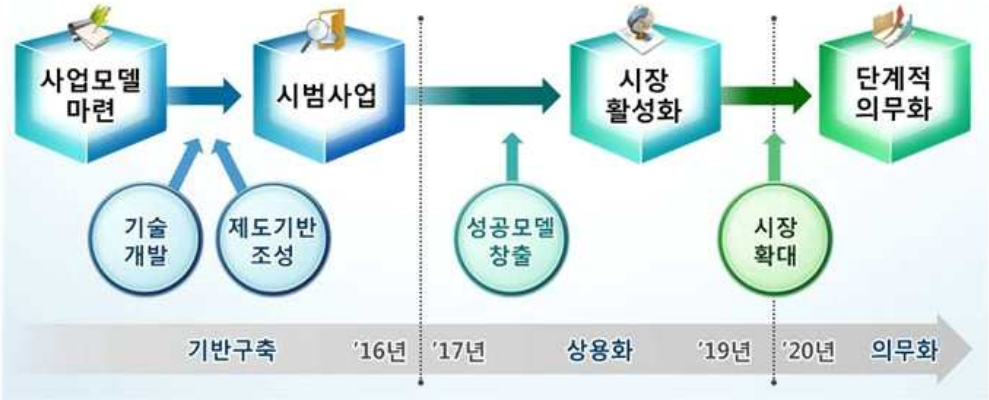
(그림 76) 연구결과의 기대효과

5.2 연구결과물의 활용방안

○ 2025 제로에너지빌딩 의무화 정책과의 연계성

- 정부는 에너지고갈 및 기후변화에 대응하고, 지속가능한 발전을 실현하기 위한 국제사회의 노력에 동참하기 위하여, 건축물 설계기준의 단계적 강화 및 R&D 사업을 추진해 '25년 제로에너지빌딩 의무화를 목표로 하고 있다.

  - 국가 온실가스 배출량 감축목표
    ('09.11 코펜하겐회의): '20년 BAU 대비 30% 감축(건물부문 26.9%)
    ('15.12 파리회의): '30년 BAU 대비 37%(건물부문 18.1%)



(그림 77) 제로에너지 빌딩 중장기 로드맵>
(출처: "제로에너지빌딩 조기 활성화 방안", 국토부 녹색건축과)

- 제로에너지빌딩 의무화의 주요 추진경과는 다음과 같다.

- 「기후변화 대응 제로에너지빌딩 조기 활성화 방안」발표(제7차 국가과학기술자문회의, '14.7.17.)
- 선도형 제로에너지빌딩 시범사업 추진('14년~)
- 제로에너지빌딩 지원센터 지정(한국건설기술연구원.한국에너지공단, '15.1.16)
- 핵심개혁과제 선정(기후변화 대응을 위한 에너지 신산업 육성, '15.2월) 및 제1차 점검회의('15.6.25.)
- 「2030 에너지신산업 확산전략」발표(에너지신산업 토론회, '15.11.23. 국무총리주재)
- 정책홍보 : 2015 녹색건축한마당(10.20~23. COEX), 홍보동영상 제작·배포(11월), 특집기획기사(11.24.매일경제), 국가전광판광고(12월) 등
- 제로에너지건축물 정의 및 인증제 등을 위한 녹색건축물조성지원법 개정완료('16.1.19.)
- 「기후변화 대응을 위한 제로에너지건축 활성화 추진방안」발표(국가건축정책위원회, '16.12.)
- 제로에너지건축물 인증제 시행('17.1.20.)

- 따라서, 앞으로의 건축물은 보다 고효율적이고, 설계기준 및 단열기준에서 강력한 강화를 예상할 수 있다. 이미 올해부터 제로에너지건축물 인증제도가 실행되어 인증제도가 운용중에 있으며, 신재생에너지 설치보조금 우선지원, 주택건설사업 기반시설 기부태납 부담률 완화, 세제혜택의 인센티브로 인해 제로에너지건축물 인증사례 건축물의 확산 및 건물에너지 성능평가에 대한 수요는 더욱 증가될 것으로 예상할 수 있다. 제로에너지건축물 인증제('17.1.20 시행)의 주요 특징은 다음과 같다.

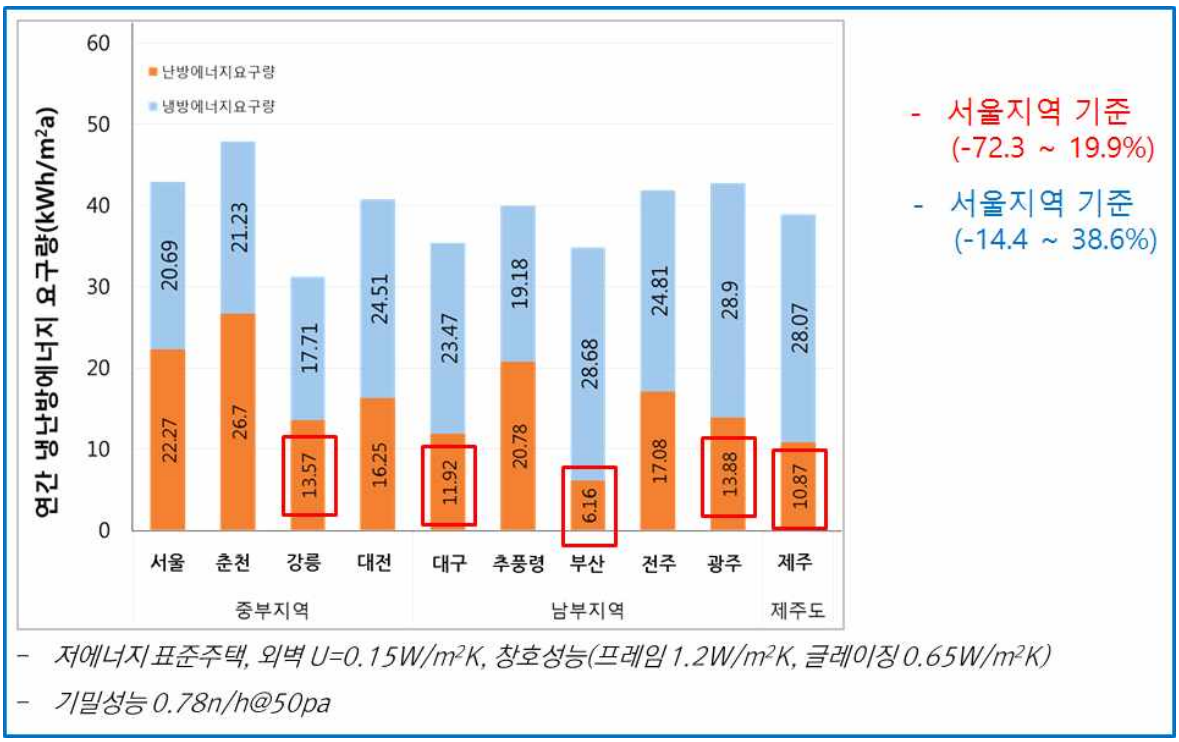
- 목적: 제로에너지건축물의 기술기준 정립 및 상용화 촉진 및 민간사업 확살을 위해 제로에너지건축물 인증제 시행
- 인증대상: 건축물 에너지효율등급 인증대상 중 건축주가 제로에너지건축물 인증을 신청하는 건축물
- 평가기준: 건축물 에너지소요량(효율등급 1++이상)과 모니터링 시스템(BEMS 등)이 설치된 건축물을 대상으로 신재생에너지를 통한 에너지자립률을 기준으로 5개 등급으로 평가

[표 28] 에너지 자립률에 따른 ZEB 등급

ZEB등급	에너지 자립률*
1등급	에너지 자립률이 100% 이상인 건축물
2등급	에너지 자립률이 80 이상 ~ 100% 미만인 건축물
3등급	에너지 자립률이 60 이상 ~ 80% 미만인 건축물
4등급	에너지 자립률이 40 이상 ~ 60% 미만인 건축물
5등급	에너지 자립률이 20 이상 ~ 40% 미만인 건축물

- 다음 그림 78은 저에너지 표준주태의 건물에너지성능을 나타내고 있다. 그림에서 보여지는 바와 같이 고효율의 건축물은 지역별 기상데이터의 변화에 따라 건물에너지 성능이 크게 달라지는 것을 알 수 있다. 따라서 고효율건축물보다 상위 개념인 제로에너지건축물은, 지역별 기상상태에 따라서 건물에너지 성능변화가 더욱 심할 것으로 판단되며, 제로에너지건축물의 구현은 신뢰성 있는 건물에너지 성능평가를 바탕으로 이루어질 수 있다.

- 따라서, 건축물의 제로에너지건축물 인증제에 적용되는 건물에너지 성능평가 프로세스를 고찰하여, 지역별로 정밀한 건물에너지 해석이 가능토록 해야 할 것으로 판단되며, 본 연구과제의 결과물인 대한민국 전국 70개소의 표준기상데이터는 지역적 기후를 반영한 건물에너지 해석의 기초자료로 활용 될 수 있다. 본 연구기관은 향후, 제도적인 방침과 건물에너지 평가방법의 Tool 사이에서 본 연구결과물을 적용할 방법론 및 기준을 제안하고자 한다.



(그림 78) 지역별 표준기상데이터 적용으로 인한 저에너지 건축물의 성능변화

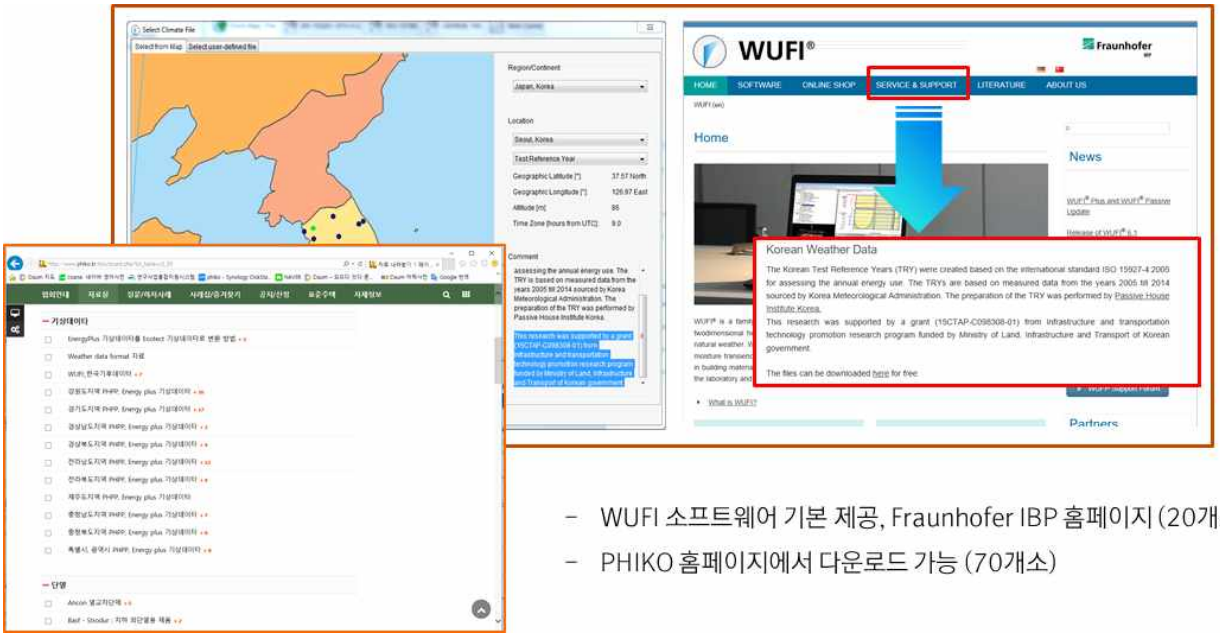
5.3 연구결과물의 확산 및 배포방안

○ 표준기상데이터 홍보 및 배포방안

- 본 연구과제의 결과물인 대한민국표준기상데이터 70개소의 정보와 표준기상데이터 작성에 활용되는 Excel 기반의 프로그램은 현재 온라인상에서 관련 연구진 누구나 정보를 제공받을 수 있다.

  - 한국저작권위원회 (ISO 15927-4 기반의 표준년 선정프로그램/ 일사량 산출프로그램)
  - 한국패시브건축협회 기술자료실 (국내 20개 지역의 표준기상데이터)
  - WUFI 프로그램 내부 탑재 (국내 20개 지역의 표준기상데이터)
  - Fraunhofer IBP 홈페이지 정보제공란 (국내 20개 지역의 표준기상데이터)

- 추가적으로, 한국태양에너지학회, 대한건축학회, 대한설비공학회를 주축으로 기상데이터 연구팀을 구성하고자 하는 논의가 진행 중에 있으며, 추후에 본 연구진의 노력과 연구협력기반을 바탕으로 해당 학회를 통해서도 표준기상데이터의 정보제공이 가능 할 것으로 판단된다.



- WUFI 소프트웨어 기본 제공, Fraunhofer IBP 홈페이지 (20개소)
- PHIKO 홈페이지에서 다운로드 가능 (70개소)

(그림 79) 표준기상데이터 온라인 제공 모습

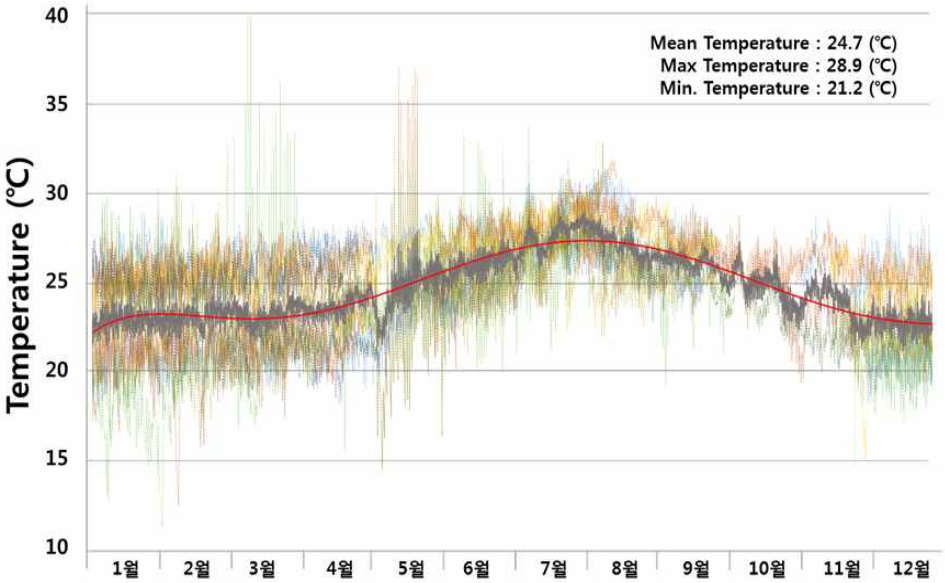
○ **표준기상데이터/ 건물에너지/ Hygrothermal 기술세미나**

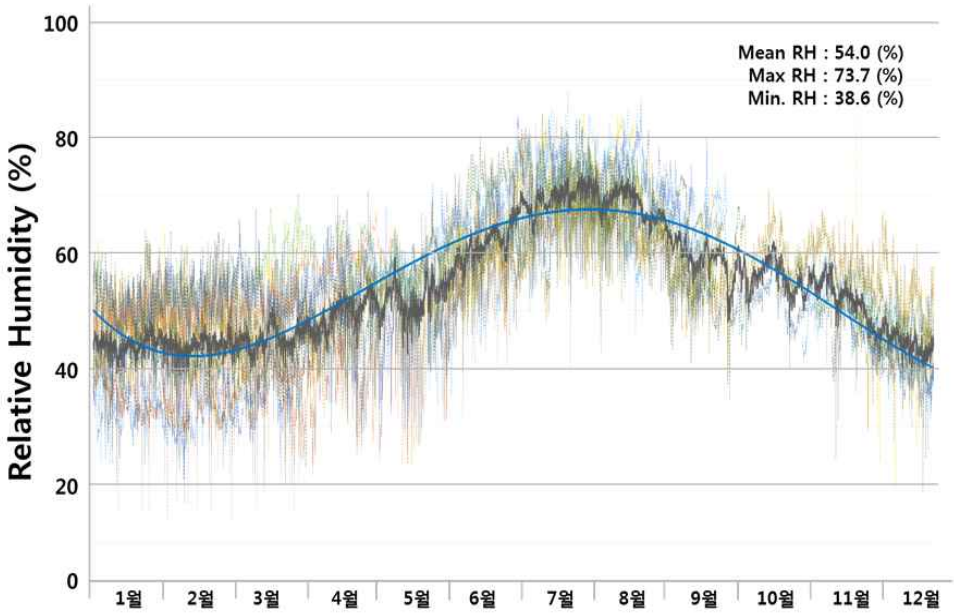
- 본 연구기관은 매년 자체기술세미나를 개최하고 있으며, 기후대의 변화에 따른 건축물의 쾌적성능 변동과 국내 주택의 실내기후 환경을 정립하기 위해 다양한 연구를 수행 중에 있다. 이는 건축물의 하자발생 분석과 실내환경 쾌적성에 실내·외 기후환경이 복합적으로 작용하며, 국내의 경우 주거환경의 연간 실내환경 온/습도에 대한 정확한 지표가 없는 상태로, 기초적인 연구가 필요하기 상황이기 때문이다. 제작된 표준기상데이터와 실내환경 데이터가 구축된다면, 에너지 성능, 결로/곰팡이로 인한 악영향성, 구조체 결빙, 부패 분석등 다양한 측면에서 건축물을 평가 할 수 있을 것으로 판단된다.

- 실제로 실내환경에 악영향을 미치는 결로, 곰팡이의 생성은 단열결손, 열교, 크랙 등 건축물의 상태 뿐만 아니라 실내생활습관에 따른 실내 온/습도에 대한 영향성이 크다.

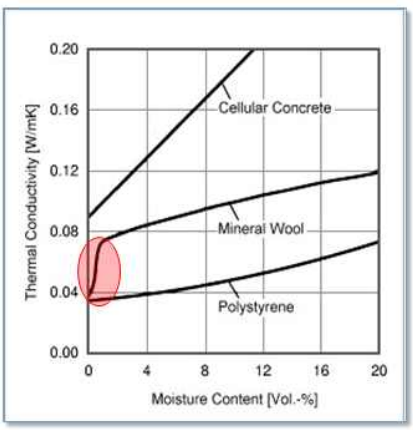
(그림 80) 기후환경에 따른 건축물 실내 · 외 하자 발생 사례

- 그림 81은 국내 저에너지 주택 10채를 2~3년간 모니터링한 실내환경 온/습도 그래프이며, 그림 82는 실내외 온/습도 환경에 따른 구조체 내부의 연간 습기거동을 나타내고 있다.





(그림 81) 국내 저에너지 주택의 연간 실내 온/습도 그래프



(그림 82) 단열재 재료의 함수량에 따른 열전도율 상승과 외피의 습기 증가/건조 거동

- 상기의 그림과 같이 건축물의 환경성능은 실내·외 기후환경에 많은 영향을 받으며, 습기량 증가로 인한 결로/곰팡이 발생, 열관류율의 증가, 증발잠열로 인한 구조체의 열손실, 건축부재의 부패 및 부식 등에 밀접한 연관성을 가지고 있다.

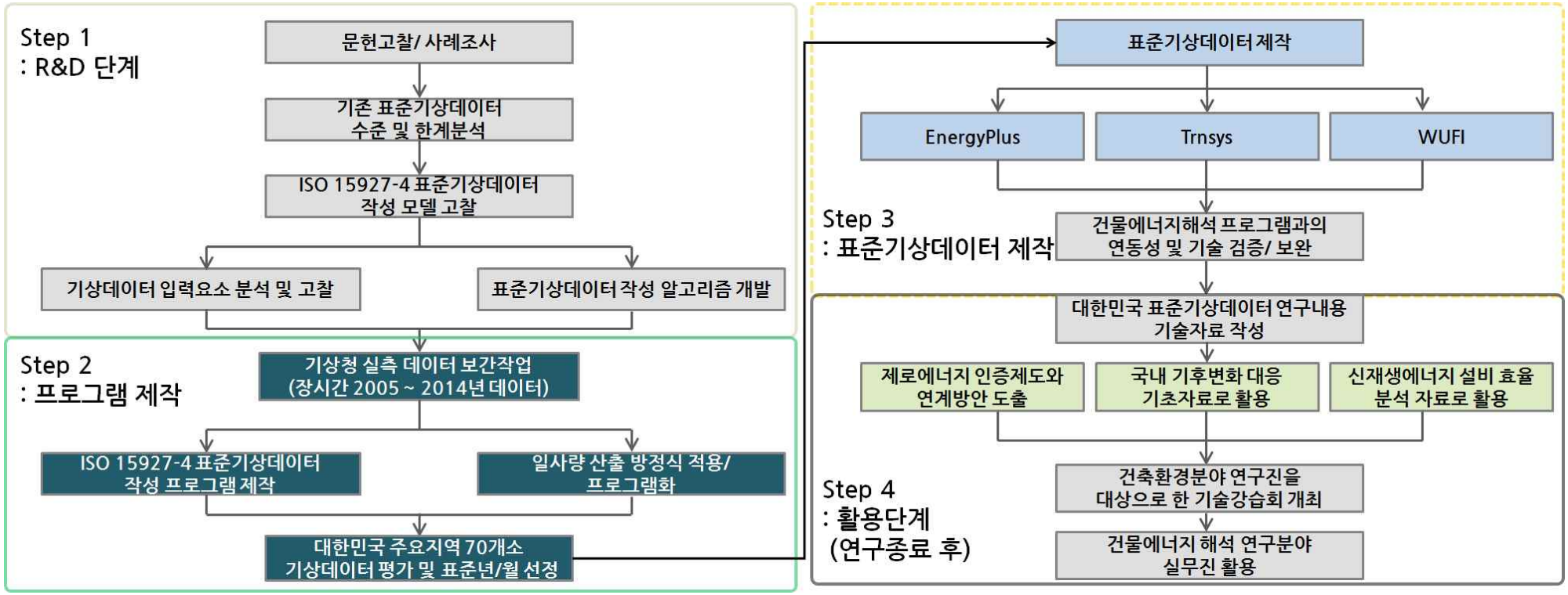
- 국내에서는 건축물의 성능평가는 건축물 에너지성능 측면에서의 분석이 주를 이루고 있으며, 습/열거동으로 건축물 쾌적성에 대한 분석은 아직 미흡한 실정이다. 이에 본 연구기관은 건축물 실내환경 쾌적성 분석의 이론 전달, 신뢰성 확보, 건축환경 해석분야의 선진화를 위해서 표준기상데이터의 개념, 건물에너지, Hygrothermal 성능에 따른 쾌적성 변화와 실내환경 조건에 대한 중요성을 지속적으로 관련 연구진에게 전달하고 있으며, 매년 1회 이상의 기술세미나를 바탕으로 관련 연구의 이해도 향상과 건축환경분야 실무진의 인식 제고에 초점을 맞추고 있다.

(그림 83) 2016년 한국패시브건축협회 기술세미나 모습

(그림 84) 2017년 한국패시브건축협회 기술세미나 모습

- 또한, 제작된 대한민국 표준기상데이터는 건축환경 해석분야 외에 일조분석, 기류분석, 기후변화 연구분야 등 다양한 기상데이터를 이용하는 연구분야에서도 기초자료로 활용이 가능하며, 신재생에너지 설비의 효율 분석, 농작물 재배 등 기상학 및 사회·경제 분야 전반에 걸쳐 다양한 파급효과를 기대 할 수 있기 때문에, 앞으로의 기술세미나에서는 상기의 관련 분야 전문가들을 초청하여 연구진과의 토론회를 개최할 예정에 있다.

○ 연구 과정 및 연구내용의 활용방안 체계도



(그림 85) 표준기상데이터 제작 과정 및 활용 방안

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

6.1 국외 주요 선행연구 기술

가. 수평면 전일사량 주요 예측 모델

○ 수평면 전일사량 예측 연구

- 수평면 전일사량이 관측되지 않는 50개 지점의 표준기상데이터를 작성하기 위하여, 일사량 예측 모델을 비교분석하여, 각 모델별로 특징과 결과 값에 대하여 고찰하였으며, 이는 관련 연구진에게 일사량 예측모델에 대한 경험과, 관련 지식을 쉽게 제공할 수 있을 것으로 기대한다. 주요 수평면 전일사량 예측모델에 대한 개요는 다음의 내용과 같다.

[표 28] 일사량 예측모델 기호 설명

I_g	: Estimated solar radiation [W/m²]	T_n	: dry-bulb temperature [℃]
I_0	: Extraterrestrial horizontal irradiance [W/m²]	φ	: relative humidity [%]
h	: Solar altitude angle [degree]	Vw	: Wind speed [m/s]
z	: Site elevation [m]	$e_s(T)$	: Saturation vapor pressure at T [℃]
Φ	: Site latitude [degree]	$Prep$	: Precipitation [mm]
S	: Sunshine duration [hr]	S_i	: Model predictive value
S_0	: Duration of possible sunshine [hr]	M_i	: Observed value
CC	: Cloud cover in tenth	M_{avr}	: Observed average value

- 수평면 전 일사량은 다양한 기상 요소들로 인해 천공에서 지표면 도달 시 반사, 산란 등에 의해 감소한다. 정확한 수평면 전 일사량 예측을 위해서 수평면 전 일사량에 영향을 미치는 기상 요소들의 상관관계에 관한 다양한 연구가 진행되었다(21). 본 연구에서는 각기 다른 기상 요소들을 바탕으로 작성된 수평면 전 일사량 예측모델을 통해, 국내의 기후 특성별 수평면 전 일사량 예측모델의 적용 가능성에 대해 분석하고자 하였다. 또한 표준기상데이터 작성에 국내외적으로 적극적으로 활용되는 수평면 전 일사량 예측모델을 선정하였다. 검토를 위한 수평면 전 일사량 예측모델로써 Kasten model(22), Zhang&Huang model(23), Angstorm-Prescott model(24), Winslow model(25)등을 선정하였다.

[표 29] 수평면 전 일사량 예측 모델 별 요구 기상 조건

Model	CC	T_n	φ	S	$Prep$	TS	Note
Kasten(1983)	○					Hour	
Zhang&Huang(2002)	○	○	○			Hour	Vw
Angstrom-Prescott				○		Day	S_0
Winslow(2001)		○	○		○	Day	S_0

○ Kasten model

- ASHRAE에서 제공하는 전 지역의 IWEC 파일을 작동시키는데 사용되는 회귀식이다. 또한 건물 에너지 시뮬레이션 프로그램인 EnergyPlus의 기상데이터 작성에 사용되었다. 표 29와 같이 Kasten 모델은 전운량 정보를 통해 지표면에 도달하는 수평면 전 일사량을 예측하는 모델로 이후

Muneer 모델 등이 Kasten 모델을 바탕으로 개발되었다. 다음의 식 A, B, C, D는 지역계수로 각 지역의 운량 및 태양 고도를 바탕으로 산출 되는 계수이다. 본 연구에서는 Kasten 모델에서 제공하는 대표 지역계수를 사용하였다.

$$I_0 = (A \cdot \sin(h) - B) \quad \text{(Eq. 6.1)}$$

$$\frac{I_g}{I_0} = 1 - C \cdot (CC/8)^D \quad \text{(Eq. 6.2)}$$

$$A = 910, B = 30, C = 0.75, D = 3.4 \quad \text{(Eq. 6.3)}$$

○ Zhang&Huang model

- 중국 몇개 지역의 수평면 전 일사량 실측데이터를 바탕으로 개발된 수평면 전 일사량 예측 모델로 현재 EnergyPlus의 중국 지역과 북아프리카 지역에 해당하는 기상데이터 작성에 사용되고 있다. Zhang and Huang 모델은 다양한 기후 요소(전운량, 상대습도, 운속, 건구온도, 풍속)의 관계식으로 이루어져 있다. 전 세계 대부분의 지역에 대해 높은 정확성을 보인다. 다음 식의 c_{0-5}, d, k는 지역계수로, 베이징과 광저우의 실측값을 바탕으로 제안 되었다. 국내의 연구 대상 지역의 대부분이 위도 상 베이징(N 39.9°)과 광저우(N 23.1°)의 사이에 위치하기 때문에 본 연구에서는 Zhang and Huang 모델에서 제공하는 대표 지역계수를 동일하게 사용하였다.

$when\ I_0 \geq 0,$

$$I_g = [I_0 \cdot \sin(h) \cdot \begin{Bmatrix} c_0 + c_1 \cdot (CC) + c_2 \cdot (CC)^2 \\ + c_3 \cdot (T_n - T_{n-3}) + c_4 \cdot \varphi \\ + c_5 \cdot Vw \end{Bmatrix} + d]/k \quad \text{(Eq. 6.4)}$$

$when\ I_0 < 0, \quad I_0 = 0$

$$c_0 = 0.5598, c_1 = 0.4982, c_2 = -0.6762, c_3 = 0.02842$$
$$c_4 = -0.00317, c_5 = 0.014, d = -17.853, k = 0.843. \quad \text{(Eq. 6.5)}$$

○ Winslow model

- 전 지역에 해당하는 수평면 전 일사량을 예측하기 위해 고안된 식으로 일 최고, 최저 온도와 강수량만으로 수평면 전 일사 예측을 하기 위해 고안된 Bristow & Campbell 모델을 바탕으로 열대, 해안 지역, 습한 지역에 대한 기상요소를 보완하여 제시된 수평면 전 일사량 예측모델이다. 이를 위해 대부분 지역에서 관측하는 기상요소들을 바탕으로 한 연구가 진행 되었다.

$$I_g = \tau_{cf} \cdot D \cdot [1 - \beta \cdot e_s(T_{\min})/e_s(T_{\max})] \cdot I_0 \quad \text{(Eq. 6.6)}$$

- τ_{cf}는 청공상태의 대기투과율로 대기압(P/P_o), 지역 위도 변수(τ_o), 에어로졸에 관한 산란계수 (τ_a), 회귀계수(τ_v)의 관계로 구성된다. 여기서 T_{mean}은 연 평균온도이다. D는 지역별 가조시간에 의한 오류 발생을 줄이기 위해 고안된 계수이다. β는 회귀계수로써 일반적으로 1.041의 값을 사용한다.

$$\tau_{cf} = (\tau_o \cdot \tau_a \cdot \tau_v)^{P/P_O} \quad \text{(Eq. 6.7)}$$

$$\tau_o = 0.947 - (1.033 \cdot 10^{-5})(|\Phi|^{2.22})$$
$$\text{for } |\Phi| \leq 80^\circ \text{ and } \tau_o = 0.774 \quad \text{(Eq. 6.8)}$$
$$\tau_a = 1.0$$

$$\tau_v = 0.9636 - 9.092 \cdot 10^{-5}\left[(T_{mean} + 30)^{1.8232}\right] \quad \text{(Eq. 6.9)}$$

$$P/P_o = \left[1 - (2.2569 \cdot 10^{-5}) \cdot z\right]^{5.2553} \quad \text{(Eq. 6.10)}$$

$$D = \left[1 - (S_0/2 - \pi/4)^2/2 \cdot (S_0/2)^2\right]^{-1} \quad \text{(Eq. 6.11)}$$

나. 수평면 직달/산란 일사량 예측 모델

○ Perez model

- 미국과 유럽 15개 지역에서 실측한 시간별 수평면 직달/산란 일사량을 기반으로 적립한 회귀 모델이다. Perez 모델은 Maxwell 모델을 발전시킨 모델로써, Maxwell 모델에서 추가적으로 청명계수, 태양 천정각, 가강 수량, 안정 계수 등을 고려한 모델이다. 참고로 Maxwell 모델은 직달일사량 시뮬레이션 코드(DISC)프로그램에 의하여 수평면 직달 일사량을 계산하는 방식이며, Perez 모델을 적용시켜 수평면 직달/산란 일사량을 예 하기 위해서는, Maxwell 모델의 DISC 계산 값이 요구된다.

[표 30] Perez model의 직달/산란 일사량 예측 방정식

Define clearness index	Constraints	Direct-Diffuse Fraction	confer.
N/A	N/A	$I_b = I_{b,DISC} \cdot x(K_t', \theta_z, W, \triangle K_t')$ $1. K_t' = \dfrac{K_t}{1.031 \cdot e^{\frac{-1.4}{0.9+9.4/m_{air}}+0.1}}$ $2. W = e^{0.07T_d - 0.075}$ $3. T_d = \dfrac{243.12H}{17.62-H}$ $4. H = \ln(R_h + e^{17.62T_{air}/(243.12+T_{air})})$ $5. \triangle K_t' = \lvert K_{t,i}' - K_{t,i\pm1}' \rvert$	1. K_t'=normalized clearness 2. θ_z=solar zenith 3. W=precipitable water 4. $\triangle K_t'$=stability index 5. T_d=dew temperature 6. T_{air}=surface temperature 7. R_h=relative humidity 8. $I_{b,DISC}$=Maxwell model

○ Watanabe model

- 일본 후쿠오카에서 측정된 수평면 전 일사량과 산란 일사량을 기반으로 구성된 회귀식이다. 흐린날(cloudy)을 포함하여 직달, 산란 일사량 관계식을 적립 하였다. Watanabe 모델에서 청명일 기준 계수(Kt)를 기준으로 맑은 날(clear)과 흐린날(cloudy)를 구분하여 산란 일사율 Kds를 계산하는 방식으로 구성되어 있다.

[표 31] Watanabe model의 직달/산란 일사량 예측 방정식

Define clearness index	Constraints	Direct-Diffuse Fraction	confer.
N/A	N/A	$1. K_{t,clear} = 0.4268 + 0.1934\sin\alpha$ $2. I_b = \dfrac{I_0 \cdot \sin\alpha \cdot K_{DS}(1-K_t)}{1-K_{DS}}$	1. α=solar elevation 2. I_0= horizontal global radiation 3. K_{DS}=diffuse radiation rate
Clear	$K_t \geq K_{t,clear}$	$K_{DS} = K_t - (1.107 + 0.03569\sin\alpha + 1.681\sin^2\alpha) \cdot (1-K_t)^3$	
Cloudy	$K_t < K_{t,clear}$	$K_{DS} = (3.996 - 3.862\sin\alpha + 1.54\sin^2\alpha)K_t^3$	

○ Erbs model

- Erbs 모델은 미국의 5개 지역에 대하여 (latitude 31°-42°) 시간 별로 실측된 수평면 직달/산란 일사 자료로 clearness index인 kt와 diffuse fraction 간의 관계를 나타낸 회귀식 모델이다. 해당 모델의 특징은 diffuse fraction을 clearness index 만으로 표현함으로써 회귀식 자체의 단순성을 높

였다는 점이다.

[표 32] Erbs model의 직달/산란 일사량 예측 방정식

Define clearness index	Constraints	Direct-Diffuse Fraction	confer.
Clear	$0.8<K_t\leq 1$	0.165	
Partly Cloudy	$0.22<K_t\leq 0.8$	$0.9511-0.1604K_t+4.388K_t^2-16.638K_t^3+12.336K_t^4$	
Cloudy	$0\leq K_t\leq 0.22$	$1.0-0.09K_t$	

○ Reindl-2 model

- Reindl-2 모델은 미국과 유럽 6개 지점에서 1년 이상의 수평면 직달/ 산란 일사량의 실측을 통하여 적립된 회귀식이다. 또한 다양한 기상 요소간의 관계의 연구를 통하여 태양 고도와 한 직달/산란 일사량 간 관계를 통한 회귀식을 나타냈다.

[표 33] Reindl-2 model의 직달/산란 일사량 예측 방정식

Define clearness index	Constraints	Direct-Diffuse Fraction	confer.
Clear	$0.78\leq K_t\leq 1$	$0.486K_t-0.182\sin\alpha$	1. α=solar elevation
Partly Cloudy	$0.3<K_t<0.78$	$1.4-1.749K_t+0.177\sin\alpha$	
Cloudy	$0<K_t\leq 0.3$	$1.02-0.254K_t+0.0123\sin\alpha$	

제7장. 연구개발성과의 보안등급

○ 보안등급의 분류 및 결정 사유

보안등급 분류	보안	일반
		○
결정 사유	○ 본 연구의 결과물은 국내 건물환경평가 해석분야의 선진화와 정밀한 건물에너지 해석을 위한 기초자료로 활용되며, 건물에너지 해석 분야의 연구진이 쉽게 접할 수 있도록 공유방안을 마련하였음. ○ 개발된 프로그램은 한국저작권위원회에 연구성과로 등록되어 있으며, 관련 연구진은 누구나 키워드 검색을 통해 해당 프로그램에 접근이 가능함. ○ 또한, 연구의 결과물은 국·내외 연구진들과의 공유를 통해, 신뢰성에 대한 검증을 받고자 하며, 연구결과물 중의 하나인 기상데이터 산출 프로그램의 사용성과 편리성을 제공하여 연구개발 성과를 확대하고자 함. ○ 따라서, 본 연구의 내용 및 결과는 다수의 전문가들의 의견을 요하는 형태의 과제라고 할 수 있으며, 연구교류를 통해 제작된 데이터의 정밀도를 보다 높일 수 있을 것으로 판단함.	

제8장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

○ 본 연구과제는 컴퓨터 프로그램을 활용하여 알고리즘과 PC에서 구현할 수 있는 프로그램과 데이터를 제작하는 연구로서, 본 기관의 부설연구소 내에 유해물질 혹은 기타 폭발물의 비치가 없는 상태이며, 일반적인 안전관리를 위하여 다음과 같이 안전조치를 실시하였음.

○ 연구실 안전 환경 조성에 관한 법률」 및 「환경안전관리규정」에 의거 연구활동종사자를 대상으로 분기별 연구실의 안전환경 조성 및 사고예방을 위한 환경안전교육 정기적으로 실시하였으며, 부설연구소내에 위험 및 유해물질을 비치하지 않았음. 또한, 필요시 환경안전교육을 수시로 병행하여 실시하였음.

제9장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일/특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	Development of test reference year using ISO 15927-4 and the influence of climatic parameters on building energy performance	한국패시브건축협회	공동저자	Building and Environment	4.05	2017.01.	단독 사사	SCI(E)
2	S/W	건축물 동적 시뮬레이션을 위한 일사량 산출 프로그램	한국패시브건축협회	개발자	한국저작권위원회	-	2016. 11	단독 사사	등록번호 C-2016-028029
3	S/W	ISO 15927-4 기반 건물에너지 평가용 표준기상데이터 산출 프로그램	한국패시브건축협회	개발자	한국저작권위원회	-	2016. 11	단독 사사	등록번호 C-2016-028030
4	논문	Impact of external insulation and internal thermal density upon energy consumption of buildings in a temperate climate with four distinct seasons	성균관대학교	주저자, 교신저자	Renewable and Sustainable Energy Reviews	8.05	2016.11.	단독 사사	SCI(E)
5	논문	표준기상데이터 작성을 위한 국내 기후특성을 고려한 일사량 예측 모델 적합성 평가	성균관대학교	주저자, 교신저자	대한설비공학회		2016. 12	단독 사사	비 SCI

제10장. 참고 문헌

- 국내 주요도시의 표준기상자료를 이용한 시간당 표면온도 산출 및 분석, 한국태양에너지학회, 2013
- 유호천, 이관호, 박소희, 김경률, 표준기상데이터 형식 분석 및 TRY 가중치 적용, 한국태양에너지학회, 2007
- 김언용, 전한종, 기상데이터 종류별 건물 에너지 성능 분석 결과에 미치는 영향에 관한 연구, 대한건축학회, 2013
- 이건호, 이승언, 저탄소 녹색성장의 실현을 위한 제로카본 그린빌딩 동향, 한국과학기술기획평가, 2010
- Ministry of Trade, Industry and Energy, 2015, Korean quantified emission limitation & reduction objects.
- Kim, M. K., 2009, Passive house design methods using microclimate modifications, Korean journal of architecture, Vol. 25, No. 8.
- Younes, S., Muneer, T., 2006, Improvements in solar radiation models based on cloud data, Building Service Engineering Research Technology, Vol 27, pp. 41-54.
- Energyplus, EngineeringReference, Energyplus program schematic
- International Standard, 2005, Hygrothermal performance of buildings- Calculation and presentation of climatic data - Part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling.
- J. M. Finkelstein and R. E. Schafer, 71, Improved goodness-of-fit tests, Biometrika, Vol 58, pp. 641-645.
- Korea Meteorological Administration, 2010, Synoptic Climate Data.
- Korea Meteorological Administration, 2015, Automated synoptic observing system.
- Shim, J. S., Song, D. S., 2016, Applicability of the Solar irradiation model in preparation of typical weather data considering the domestic climate conditions, Korean Journal of air-conditioning and refrigeration engineering, Vol 28, pp. 467-476.
- Hui Chen and David E. Claridge(2000) Procedures for filling short gaps in energy use and weather data-Proceedings of the Sixth Annual Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates, Texas A&M University, College Station, TX, pp. 314-326
- Luo, W., M. C. Taylor, and S. R. Parker. A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England and Wales, International journal of climatology 28.7 (2008): 947-959.
- Han, Myoung Sun, Kim, Chung Soo, Kim, Hyoung Seop Kim, Hwi rin, A Study on the Revised Methods of Missing Rainfall Data for Real-time Forecasting Systems, Korea Water Resources Association journal, 42.2 (2009): 131-139.
- Yoo, H. C., Lee, K. H., Park, S. H., 2008, Analysis of Data and Calculation of Global Solar Radiation based on Cloud Data for Major Cities in Korea, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 28, pp. 17-24.
- Jo, D. K., Kang, Y. H., 2010, A Study on the Solar Radiation Estimation of 16 Areas in Korea Using Cloud Cover, The Korean Solar Energy Society, Vol. 30, pp. 15-21.
- Jo, D. K., Yoon, C. Y., Kim, K. D., Kang, Y. H., 2012, A Study on the Estimating Direct Normal Insolation Using Horizontal Global Insolation for Solar Thermal Generation System

Installation in Korea, The Korean Solar Energy Society, Vol. 32, pp. 77-87.
- Kim, K. H., Oh, J. K. W., 2014, Impact by Estimation Error of Hourly Horizontal Global Solar Radiation Models on Building Energy Performance Analysis, Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol. 14, pp. 3-10.
- Yoon, K. C., Jeon, J. U., Kim, K. S., 2012, Comparative Analysis of Measurements and Total Solar Irradiance Models on Inclined Surface for Building Solar Energy Prediction, The Korean Solar Energy Society, Vol. 32, pp. 44-52.
- Kim, T. H., Yoo, S. Y., Han, K. H., Kang, H. C., Yoon, H. I., 2013, A Study on Solar Radiation Model for Prediction of Solar Insolation, The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 670-675.
- Reno, M. J., Hansen, C. W., Stein, J. S., 2012, Global Horizontal Irradiance Clear Sky Models: Implementation and Analysis, Sandia Report.
- Kasten, F., Czeplak, G., 1980, Solar and terrestrial radiation dependent on the amount and type of cloud, Solar Energy, Vol. 24, pp.177-189.
- Zhang, Q., Huang, J., Lang, S., 2002, Development of Typical Year Weather Data for Chinese Locations, ASHRAE Transactions, Vol. 108, pp. 1063-1075.
- Angstrom, A., 1924, Solar and Terrestrial Radiation, Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society Vol. 50, pp 121-126.
- Winslow, J. C., Hunt, E. R., Piper, S. T., 2001, A globally applicable model of daily solar irradiance estimated from air temperature and precipitation data, Ecological Modelling, Vol. 143, pp. 227-243.
- Copper, J. K., Sproul, A. B., 2010, Influence of Solar Radiation Models in the Calibration of Building Simulation Models, Solar 2010, the 48th AuSES Annual Conference.
- Yoo, H. C., Lee, K. H., Park, S. H., 2008, Analysis of Data and Calculation of Global Solar Radiation based on Cloud Data for Major Cities in Korea, Journal of The Korean Solar Energy Society, Vol 28, pp. 17-24.
- Kim, K. H., Oh, J. K. W., Jeong, W. S., 2016, Study on Solar Radiation Models in South Korea for Improving Office Building Energy Performance Analysis, Sustainability, Vol. 8, p. 589.
- Choi, M. H., Yoon, J. I., Jung, Y. R., Moon, K. H., 2010, Performance of Angstrom-Prescott Coefficients under Different Time Scales in Estimating Daily Solar Radiation in South Korea, Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 12, No. 4, pp. 232-237.
- Bristow, K.L., Campbell, G.S., 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. Agric. For. Meteorol. 31, 159-166.
- Fabrizio, E., Monetti, V., 2015, Methodologies and Advancements in the Calibration of Building Energy Models, Energies, Vol. 8, pp. 2548-2574.
- Korea Meteorological Administration, 2011, Climatological normals of Korea 1981~2010.
- Korea Institute of Energy Research, New & Renewable Energy Data Center. http://kredc.kier.re.kr/
- Perez, R. R., Ineichen, P., Maxwell, E. L., Seals, R. D., Zelenka, A., 1992, Dynamic global-to-direct irradiance conversion models, ASHRAE Transactions, Vol. 98, pp. 354-369.

- Watanbe, T., Urano, Y., Hayashi, T., 1983, Procedures for separating direct and diffuse insolation on a horizontal surface and prediction of insolation on tilted surfaces, Architectural institute of Japan, pp. 96-108.
- Erbs, D. G., Klein, S. A., Duffie, J. A., 1982, Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly daily and monthly-average global radiation, Solar Energy, Vol. 28, pp. 293-302.
- Reindl, D. T., Beckman, W. A., Duffie, J. A., 1990, Diffuse fraction correlations, Solar Energy, Vol. 45, No. 1, pp. 1-7.
- Kim, B. W., Kang, I. J., Han, K. B., 2010, Insolation Modelling using Climate and Geo-Spatial Elements, Journal of the Korean Society for Geo-Spatial Information System, Vol. 18, pp. 79-86.
- Maxwell, E. L., 1987, A quasi-physical model for converting hourly global horizontal to direct normal insolation, Solar Energy Research Inst.
- Dutton, S., Shao, L., 2007, Raytracing simulation for predicting light pipe transmittance, International Journal of Low-Carbon Technologies, Vol. 2, No. 4, pp. 339-358.
- Auxiliary Energyplus programs, 2015, Energyplus documentation.
- Walton, G. N. 1983. Thermal Analysis Research Program Reference Manual. National Bureau of Standards, p. 21.
- Clark, G. and C. Allen, "The Estimation of Atmospheric Radiation for Clear and Cloudy
- Key World Energy Statistics 2013 from the IEA 2013 edition
- 국가에너지통계종합정보시스템, www.kesis.net
- 2011 에너지총조사보고서, 지식경제부, 2012
- e-나라지표, www.index.go.kr.
- Global green building trends, Macglaw Hill, 2008
- 45. TM2 Data, National Renewable Energy Laboratory (NREL).

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.