

지역난방 태양열시스템의 열성능 해석 프로그램 개발

백남춘*, 신우철**

*한국에너지기술연구원(shinuc@kier.re.kr), **대전대학교 건축공학과(shinuc@dju.ac.kr),

Development of Thermal Performance Analysis Program of Solar Heating System for District Heating System

Baek, Nam-Choon*, Shin, U-Cheul**

*Korea Institute of Energy Research(back@kier.re.kr),

**Dept. of Architectural Engineering, Daejeon University(shinuc@dju.ac.kr)

Abstract

In this study the thermal performance and economic analysis program of solar heating system for district heating was developed. This program, named SOLAN-DHS and based on TRNSYS, consisted of four modules like as user's interface for system input/output, library, and utilities and a calculating engine. SOLAN-DHS simplifies user's input data through the database of most system engineering data including weather data of 17 areas in Korea. Five different types of solar systems which can be applicable to district heating system were presented in this program. Due to the user-friendly layout, all design parameters can be changed quickly and easily for the influence on system efficiency. The reliability of SOLAN-DHS was finally verified by the experiments.

Keywords : 경제성 분석(Economic Analysis), 비례제어(Proportional Control), 지역난방시스템(District Heating System), 컴퓨터 프로그램(Computer program), 태양열시스템(Solar Heating System)

1. 서 론

현재 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 태양열시스템 열성능 분석프로그램은 TRNSYS¹⁾, F-Chart²⁾, T-Sol³⁾, PolySun⁴⁾ 등이 있다. 이 중에서 T-Sol이나 F-Chart 등은 비교적 단

순한 구조를 가지고 있어 사용하기 편리한 장점은 갖고 있으나, 해석 가능한 시스템이 기존에 통상적으로 사용되어 오던 단순 급탕이나 난방시스템이다. 따라서 작동온도가 높고 시스템 제어가 복잡한 변유량 항온제어의 지역난방용 태양열시스템에는 적용할 수 없

투고일자 : 2008년 11월 26일, 심사일자 : 2008년 11월 30일, 게재확정일자 : 2008년 12월 19일
교신저자 : 신우철(shinuc@dju.ac.kr)

는 단점이 있다. 한편 TRNSYS는 개발 초기부터 태양열시스템 해석을 위해 설계되어 그 타당성이 충분히 검증된 프로그램으로서 시스템 구성이 자유로우며 동적 시뮬레이션을 통한 상세해석이 가능한 장점을 갖고 있다. 그러나 태양열시스템과 프로그래밍에 대한 전문적인 지식은 물론이거니와 시스템 구성에 필요한 많은 엔지니어링 데이터와 기상자료가 필요하기 때문에 전문가들조차 TRNSYS를 활용해 새로운 시스템을 설계·분석하는 경우에 많은 시간이 소요되는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 시스템 설계 및 엔지니어링 데이터, 열부하 분포, 기상자료 등을 데이터베이스화하여 사용자의 입력조건을 줄이고 TRNSYS를 기반으로 한 시스템해석을 통합적인 운영 환경 하에서 구현할 수 있도록 설계함으로서, F-Chart나 T-Sol과 같은 단순한 입력구조에 TRNSYS의 상세해석이 가능한 지역난방용 태양열시스템 설계 및 분석 프로그램, SOLAN-DSH(Solar Heating System Design and Analysis Program for District Heating System)을 개발하였다.

2. 프로그램 개발

2.1 프로그램의 기본구조

SOLAN-DHS는 시스템 입·출력을 위한 사용자 인터페이스와 라이브러리, 시스템 해석엔진, 유틸리티 등 4개의 모듈로 구성되어 있다. 여기서 라이브러리는 시스템 해석을 위해 필요한 각종 자료를 데이터베이스화한 것으로 시스템 설계가 포함된 사용자 라이브러리, 지역별 난방수 공급 및 환수온도, 지역난방수 공급유량이 포함된 열부하 라이브러리와 기상자료 등으로 구성된다. 또한 유틸리티는 열성능 및 경제성분석 결과가 포함된 모듈로서 시스템의 최적화 설계를 위한 시스템 분석결과를 제공하게 된다.

2.2 이론해석

시스템 해석을 위한 계산엔진은 상용 프로그램으로서 모듈구조를 갖고, 다양한 에너지 시스템의 동적 시뮬레이션 해석에 사용되고 있는 TRNSYS¹⁾를 이용하였다. 시뮬레이션 시스템 구성시 TRNSYS에서 제공되지 않는 '변유량 정온제어장치'와 전동변 등의 컴포넌트는 본 연구를 통해서 개발하였다.

변유량 정온제어는 태양열 열교환기의 1차측 입구온도나 2차측 출구온도를 기준으로 1차측과 2차측의 순환유량을 제어함으로서 2차측 출구온도를 일정하게 유지하게 된다. 이때 유량의 제어는 인버터가 부착된 펌프의 회전수(RPM) 조절을 통해 이루어진다. 본 연구에서 펌프의 RPM 제어는 비례제어(Proportional control)방식을 사용하였다.

2.3 시스템 설계

SOLAN-DHS에서 지역난방시스템에 적용 가능한 태양열시스템을 크게 보면 다음과 같은 5가지로 분류될 수 있으며, 각각에 대해 요약 정리하면 다음과 같다.⁵⁾

① 지역난방수 환수 승온방식

그림 1의 환수 승온방식은 상대적으로 낮은 온도로 환수되는 지역 난방수 일부를 태양열로 가열(예열)한 후 환수관에 다시 넣어 주는 방식이다. 비교적 시스템이 단순하고 작동온도가 낮아 태양열시스템 효율이 높은 장점이 있다. 변유량 제어나 차온제어가 모두 사용될 수 있다.

② 보충수 예열방식

그림 2의 보충수 예열방식은 지역난방수와 보일러에 보충되는 보충수를 태양열로 예열하여 공급하는 방식으로 일반 급탕시스템과 동일하다. 보충수는 일반적으로 시수가 사용되므로 온도가 낮기 때문에 태양열시스템 효율측면에서 보면 가장 유리한 시스템이다.

변유량 제어나 차온제어가 모두 사용될 수 있다.

③ 지역난방수 축열조 가열방식

그림 3의 지역난방수 축열조 가열방식은 지역난방수 축열조 하단부를 태양열로 공급 온도(100℃ 정도)로 가열하여 상단부로 넣어주는 방식으로, 가열온도제어를 위하여 변유량 정온제어방식이 적용된다. 이 방식은 다음의 ④나 ⑤와 유사한 시스템이다. 이 시스템은 승온폭이 대략 45 ~ 60℃에서 100℃ 정도로 비교적 크다. 따라서 집열부는 2가지 다른 집열기(평판형과 진공관형)를 사용해서 1차로 저온용으로 일정온도까지 승온하고, 2차로 고온용으로 100℃까지 승온시킬 수가 있다. 이 경우에 열교환기를 2개를 사용해서 그림 5와 같이 저온집열부와 고온 집열부를 각각 분리시키는 방법도 있을 수 있다.

④ 정온 공급방식(단일 집열부 형)

그림 4의 정온 공급방식은 환수되는 지역난방수를 태양열로 공급수에 가까운 온도로 가열하여 공급배관에 넣어주는 방식으로, 변유량 정온제어방식으로 제어된다.

이 방법도 축열조 가열방식에서 처럼 2가지 다른 집열기를 사용해서 그림 5와 같이 집열열교환기를 사용해서 각각을 분리시킬 수가 있다.

⑤ 정온 공급방식(복합 집열부 형)

그림 5의 정온방식(복합 집열부 형)은 환수되는 지역난방수를 태양열로 공급수의 온도와 근사하게 일정온도로 가열하여 공급배관에 넣어주는 방식으로, 집열부 구성은 경제성을 고려하여 저온영역과 고온영역으로 집열회로로 분리하고 각각의 집열 열교환기를 직렬로 연결하게 된다.

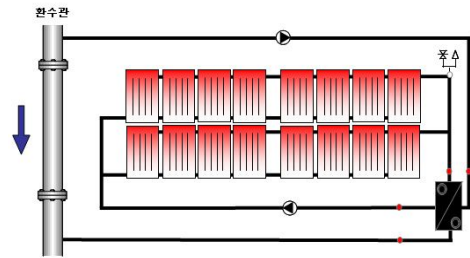


그림 1. 지역난방수 환수 승온방식

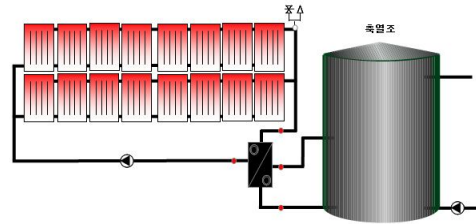


그림 2. 보충수 예열방식

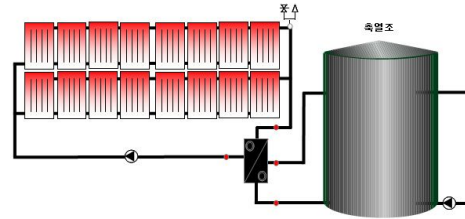


그림 3. 지역난방수 축열조 가열 정온방식

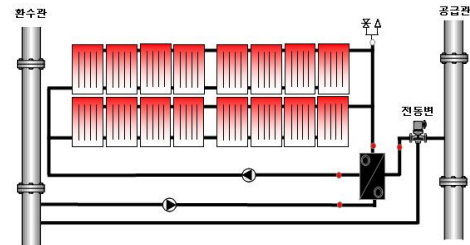


그림 4. 정온 공급방식(단일 집열부)

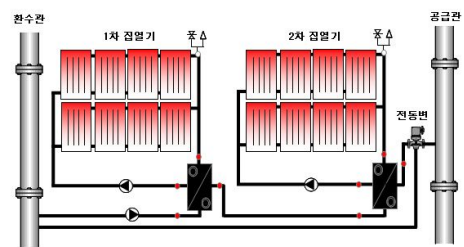


그림 5. 정온 공급방식(복합 집열부형)

3. 프로그램의 구현

3.1 프로그램 화면구성

그림 6은 SOLAN-DHS의 기본화면을 나타낸 것이다. 기본화면은 상단의 '메뉴바'와 11개 아이콘으로 이루어진 '툴바'로 구성된다. 하단은 프로젝트 창으로서 시스템 설계와 데이터의 입출력 등 모든 작업이 이루어진다.

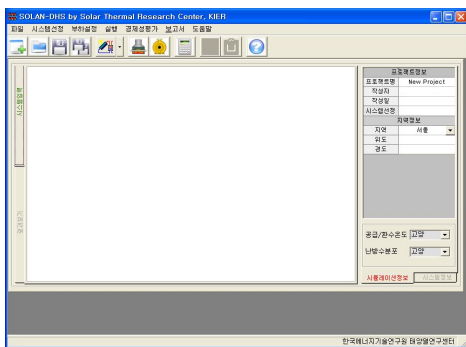


그림 6. SOLAN-DHS의 기본화면

3.2 프로젝트 창 - 시스템 입력

SOLAN-DHS에서 분석가능한 각각의 태양열시스템은 하나의 프로젝트로 정의되며, 시스템 설계와 시뮬레이션을 위한 데이터 입력과 결과보기가 '프로젝트 창'을 통해 이루어진다. '프로젝트 창'의 좌측은 2개의 탭으로 구성된 '시스템 입력' 화면과 '결과보기' 화면이 표시되며, 우측은 '시뮬레이션 정보'와 '시스템 정보' 입력을 위한 작업창이 된다. 여기서 '시스템정보 창'은 시스템이 선정될 때까지 비활성화 상태가 유지되며, '결과보기' 화면은 새로운 시스템해석이 선정된 후 시뮬레이션 종료 시까지 비활성 상태로 남게 된다.

'툴바'의 시스템 선정 버튼을 통해 해석하고자 하는 시스템을 선정하면 '프로젝트 창'의 '시스템 입력' 화면에 해당 태양열시스템 계통도가 그림 7과 같이 표시된다. 이와 같이 시스템이 선정되면 우측의 '시뮬레이션 정보 창'에서 프로젝트 정보와 지역정보 등을 입력하게 되며, 또한 활성

화된 '시스템 정보' 작업창을 통해 시스템의 주요 컴포넌트에 필요한 데이터를 입력한다.

'프로젝트 창'에서 시스템 선정과 데이터 입력이 완전히 종료되면 메뉴바나 툴바의 실행버튼을 통하여 시스템의 열 성능 분석을 수행하게 된다.

3.3 열부하 설정

지역난방 연계 태양열시스템 해석을 위해 요구되는 부하관련 자료는 2가지로 시간에 따른 공급 및 환수온도분포와 난방수 공급유량 분포가 된다. 기본적으로 SOLAN-DHS에서는 지역에 따른 월별 일일 평균 공급 및 환수온도분포와 난방수 공급분포를 DB로부터 각각 선정할 수 있으며, 프로젝트에 따라 새로운 유형의 부하패턴을 자유롭게 DB에 추가·삭제할 수 있다. 그림 8과 그림 9는 공급 및 환수온도분포 라이브러리와 난방수 공급분포 라이브러리를 나타낸 것이다.

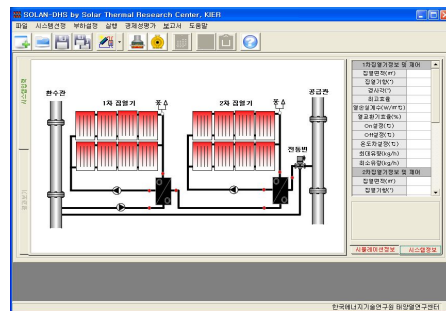


그림 7. 시스템 입력



그림 8. 공급 및 환수온도분포 라이브러리

3.4 결과 보기

시스템 해석이 종료되면 그 계산결과는 월 평균 '시스템 효율' 및 '태양열 집열량', '집열 면 일사량', '외기온' 등 4가지이며, DB의 데이터베이스에 자동 저장되어 '프로젝트창'의 '결과보기' 화면에 나타난다.

그림 10은 '결과보기' 화면에서 월별 시스템 효율을 나타낸 것으로, 주요 결과가 그래프와 테이블 형태로 표시된다.



그림 9. 난방수 공급분포 라이브러리

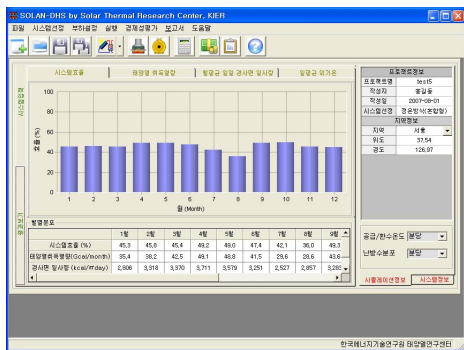


그림 10. 결과 보기

3.5 경제성 평가

SOLAN-DHS에서는 태양열시스템의 경제성평가를 위하여 수명가(Life Cycle Cost; LCC) 분석법을 사용하였다. 그림 11의 좌측은 '경제성평가 입력창'을 나타낸 화면으로서 시스템의 수명과 할인율, 시스템 설치비, 유

지비, 물가 상승율 등이 입력된다. 집열기 면적과 연간 연료비는 열성능 분석 시뮬레이션 결과가 직접 입력된다. '자료입력'이 끝난 후 '결과보기'를 선택하면 그림 11의 우측과 같이 LCC 현재가와 평균년가(Equivalent Annual Cost Calculation), 투자회수기간이 '경제성평가 결과창'에 출력된다

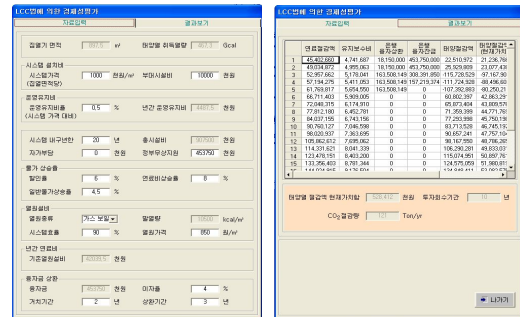


그림 11. 경제성평가

4. 프로그램의 신뢰성 검토

SOLAN-DHS의 신뢰성 검토를 위해서 한국지역난방공사 분당지사에 적용된 지역난방용 태양열 실증시험 장치의 열성능 측정 결과와 비교·검토하였다.

4.1 SOLAN-DHS의 입력자료⁶⁾

분당지사의 태양열 실증시험 장치는 지역난방수 환수를 1차로 저온에 적합한 평판형 집열기로 승온하고, 2차로 고온에 적합한 진공관형 집열기로 원하는 온도까지 승온하는 혼합형 정온 공급방식(그림 5 참조)이다.

SOLAN-DHS의 시뮬레이션을 위해 입력된 주요 데이터는 표 1과 같다. 여기서 집열매체 순환펌프의 순환유량 및 열교환기의 효율은 측정자료를 사용하였다.

4.2 신뢰성 검토

본 연구의 타당성 검토는 일조조건이 비교적 양호한 2007년 4월 4일부터 5월 10일 사

이에서 데이터가 정상적인 31일간의 자료를 이용하였다. 그림 12는 평판형 집열부와 진공관형 집열부의 일별 집열효율을 비교한 것이다. 평판형 집열부의 경우 4월 8일과 4월 10일을 제외하고 일별 집열효율은 시뮬레이션과 실측결과 간에 오차가 5% 미만인 것으로 나타났다. 이 기간의 평균 집열효율은 각각 38.5%(시뮬레이션)와 37.5%(실측)로서 대체적으로 일치하는 것을 알 수 있다.

그림 13은 진공관형 집열부의 일별 시스템 효율을 시뮬레이션과 실측 결과에 간에 비교한 것이다. 각각 58.1%와 59.1%로서 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 한편 일별 집열효율에서는 평판형 집열부와 동일하게 최대 5% 미만의 차이를 보이고 있다.

표 1. 시뮬레이션의 주요 입력자료

항 목	구 분	사 양
집열기면적 (전면적 기준)	평판형	432 m ²
	진공관형	637.5 m ²
제어방식		변유량 차온방식
태양열시스템 난방수 공급유량	최대	12,500 liter/h
	최소	5,500 liter/h
평판형 집열부 순환유량	최대	15,000 liter/h
	최소	8,500 liter/h
진공관형 집열부 순환유량	최대	11,000 liter/h
	최소	7,600 liter/h
열교환기 효율 (일정효율)	평판형 집열기	82%
	진공관형 집열기	90%
태양열시스템 난방수 공급설정온도		85℃

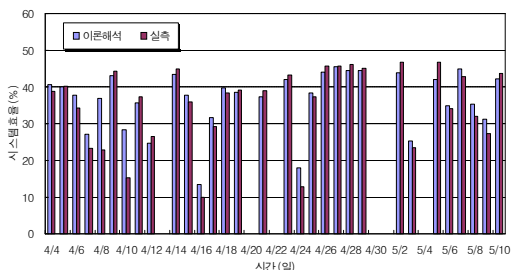


그림 12. 평판형 집열부의 집열효율

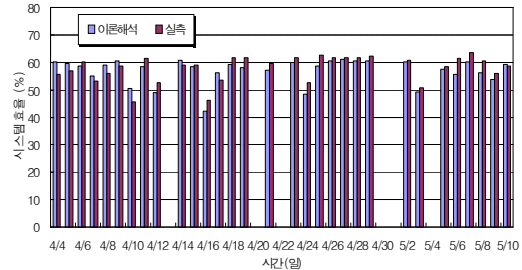


그림 13. 진공관형 집열부의 집열효율

5. 결 론

본 연구에서는 지역난방에 적용되는 태양열시스템의 열성능 해석 및 경제성 평가 프로그램인, SOLAN -DHS을 개발하고 실증실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다. 이 프로그램은 개발단계부터 시스템 설계 및 부하크기와 분포, 기상자료 등 관련 엔지니어링 자료를 모두 데이터베이스화하고 입력자료를 최대한 단순화하였다. 따라서 태양열시스템에 대한 기초적인 상식만으로 손쉽게 사용할 수 있도록 하였다. 이 프로그램은 향후 지역난방에 적용되는 태양열시스템의 설계 및 최적화를 위한 열성능 분석 및 경제성 평가도구로서 그 활용이 기대된다.

참 고 문 헌

1. TRNSYS 15 Reference manual, SEL, University of Wisconsin-Madison, 2000.
2. F-CHART User's Manual, F-Chart Software, 2001.
3. T*SOL 4.x User's Manual, Valentin EnregieSoftware, 2005.
4. User's Manual for Polysun 3.3, SPF, 2003
5. 백남춘 외, 대규모 태양열 지역난방 및 급탕 시스템 개발 및 적용 연구, 산업자원부, 2007.
6. 백남춘, 신우철, "지역난방 적용 태양열시스템의 장기 열성능 분석", 한국태양에너지학회논문집, Vol. 27, No 4, 2007