creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000233055

2006년 2월
박사학위논문

원격모니터링기법과 열화상계측기술을 이용한 태양에너지시스템 신뢰성 평가

조선대학교대학원
정 밀 기 계 공 학 과
양 동 조

원격모니터링기법과 열화상계측기술을 이용한 태양에너지시스템 신뢰성 평가

Reliability Evaluation of Solar Energy System by using Remote Monitoring Method and Thermography Measurement Technology

2006년 2월 24일

조 선 대 학 교 대 학 원

정 밀 기 계 공 학 과

양 동 조

원격모니터링기법과 열화상계측기술을 이용한 태양에너지시스템 신뢰성 평가

지도교수 김 재 열

이 논문을 공학 박사학위신청 논문으로 제출함

2006년 2월 24일

조 선 대 학 교 대 학 원

정 밀 기 계 공 학 과

양 동 조

양동조의 박사학위 논문을 인준함

위원장	조선대학교 교수	심재기 인
위원	한국표준과학연구원	최만용 인
위원	여수대학교 교수	김옥삼 인
위원	조선대학교 교수	이동기 인
위원	조선대학교 교수	김재열 인

2005년 12월 31일

조 선 대 학 교 대 학 원

목 차

LIST OF FIGURES iv

LIST OF TABLE ix

NOMENCLATURE xi

ABSTRACT xvi

제 1 장 서론 1

제 1 절 연구배경 1

제 2 절 연구동향 3

1. 태양에너지시스템 연구동향 3

2. 열화상계측기술의 연구동향 10

제 3 절 연구목적 13

제 2 장 원격 모니터링 기법 15

제 1 절 태양에너지 실증연구 시스템 개요 15

1. 태양광발전시스템 15

2. 태양열온수시스템 19

제 2 절 태양에너지 모니터링시스템 구축 24

1. 태양광발전 모니터링시스템 24

2. 태양열온수 모니터링시스템 30

제 3 절 통합 데이터베이스 구축 ····· 43
1. 통합 데이터베이스 프로그램 설계 ····· 43
2. 데이터베이스 체계 및 구성 ····· 46

제 3 장 열화상계측 분석 ····· 58
제 1 절 열화상계측 시스템 ····· 58
1. 열 측정 이론 ····· 58
2. 시스템 구성 ····· 64
제 2 절 성능평가 적용을 위한 선행연구 ····· 68
1. 열부하 모니터링시스템 개발 ····· 69
2. 플룸 측정에 따른 결함 분석 ····· 72
3. 가스터빈 블레이드 코팅층 건전성 평가 ····· 76
제 3 절 태양에너지시스템 적용 ····· 81

제 4 장 태양에너지시스템 신뢰성 평가 ····· 85
제 1 절 태양광발전시스템 성능평가 ····· 85
1. 성능분석 기준 ····· 85
2. 운전특성 분석 ····· 92
제 2 절 태양열온수시스템 성능평가 ····· 94
1. 성능평가 알고리즘 ····· 94
2. 운전특성 분석 ····· 104
제 3 절 열화상계측기술을 통한 성능평가 ····· 114

제 5 장 결과 및 고찰 ····· 118

제 1 절 태양에너지시스템 분석 결과 ····· 118

1. 태양광발전시스템 ····· 118

2. 태양열온수시스템 ····· 122

제 2 절 열화상계측 분석 결과 ····· 124

제 6 장 결론 ····· 125

REFERENCE ····· 127

APPENDIX ····· 130

LIST OF FIGURES

Fig. 2-1 Block diagram of interconnection of power system ····· 16
Fig. 2-2 Block diagram of one-side interconnection of power system ····· 16
Fig. 2-3 Block diagram of both-side interconnection of power system ····· 17
Fig. 2-4 Schematic diagram of PV site for demonstration research ····· 17
Fig. 2-5 Demonstration research a housing development of PV site ····· 18
Fig. 2-6 Schematic diagram of solar heat energy system ····· 20
Fig. 2-7 Schematic diagram of solar heater for demonstration research ····· 21
Fig. 2-8 View of solar heater in demonstration experiment ····· 22
Fig. 2-9 Measurement item of PV system ····· 24
Fig. 2-10 Schematic diagram of monitoring system in PV system ····· 25
Fig. 2-11 View of monitoring program in PV system ····· 27
Fig. 2-12 Data report of PV system monitoring system ····· 28
Fig. 2-13 Schematic diagram of solar heater monitoring system ····· 31
Fig. 2-14 Test of digital I/O board and terminal board ····· 32
Fig. 2-15 Schematic diagram of control panel circuit ····· 33
Fig. 2-16 The finished control desk panel ····· 34
Fig. 2-17 Control box of solar heater system ····· 34
Fig. 2-18 Connect line diagram of solar heater system control box ····· 35
Fig. 2-19 View of monitoring program main screen ····· 39
Fig. 2-20 Screen view of experimental select ····· 40
Fig. 2-21 Data format stored by monitoring program ····· 41
Fig. 2-22 Experiment data changed to excel ····· 41
Fig. 2-23 ERD of database ····· 45
Fig. 2-24 Screen view of data change select ····· 46

Fig. 2-25 Screen view of converting completion ····· 46
Fig. 2-26 Search of measurement day ····· 47
Fig. 2-27 Output screen of graph to search data in irradiation ····· 48
Fig. 2-28 Output screen of average outlet temperature ····· 49
Fig. 2-29 Output screen of data and graph in array power ····· 50
Fig. 2-30 Output screen of data and graph in PCS power ····· 51
Fig. 2-31 Output screen of data and graph in array efficiency ····· 52
Fig. 2-32 Output screen of data graph in PCS efficiency ····· 53
Fig. 2-33 Output screen of data and graph generation efficiency ····· 54
Fig. 2-34 Output screen of data and graph in drain test ····· 55
Fig. 2-35 Output screen of data and graph in effective storage ····· 56
Fig. 2-36 Output screen of data in heat performance ····· 57
Fig. 2-37 Output screen of data and graph in electric power ····· 57
Fig. 3-1 Atmospheric transmission over 1 nautical mile ····· 58
Fig. 3-2 Radiation contributions to the general measurement situation ····· 59
Fig. 3-3 Component of thermovision 900 system ····· 64
Fig. 3-4 Schematic Diagram of system controller ····· 65
Fig. 3-5 Exploded view of the scanner optical path ····· 66
Fig. 3-6 Schematic diagram of scanner ····· 67
Fig. 3-7 System composition and defect monitoring system flow chart ····· 69
Fig. 3-8 Schematic diagram of signal processing device ····· 70
Fig. 3-9 Visual basic development program ····· 70
Fig. 3-10 Infrared thermography image of thermal load part ····· 71
Fig. 3-11 Diagram of electrical line temp. by time ····· 71
Fig. 3-12 Schematic diagram of the experimental system ····· 72
Fig. 3-13 Experimental apparatus of SAT ····· 73
Fig. 3-14 Infrared thermal image for plume form ····· 74

Fig. 3-15 Plume quantity of process variable ····· 74
Fig. 3-16 Analysis of welding defect position ····· 75
Fig. 3-17 Produced specimens ····· 77
Fig. 3-18 Component of experiment equipment and halogen lamp test ····· 78
Fig. 3-19 Surface temp. change of specimen by coating thickness ····· 78
Fig. 3-20 IR image of abstracted crack ····· 79
Fig. 3-21 Temp. distribution curved of Line 1 ····· 80
Fig. 3-22 General structure of solar collector ····· 82
Fig. 3-23 Discrimination of defect part in solar collector ····· 82
Fig. 3-24 Each part name by kind of solar storage tank ····· 83
Fig. 3-25 Discrimination of defect part in solar storage tank ····· 84
Fig. 3-26 Discrimination of defect part in a piping ····· 84
Fig. 4-1 Quantity of solar radiation change distribution ····· 87
Fig. 4-2 Output power of array ····· 88
Fig. 4-3 Output power of PCS ····· 88
Fig. 4-4 Conversion efficiency of array ····· 89
Fig. 4-5 Diagram of PCS efficiency ····· 89
Fig. 4-6 Generation efficiency of system ····· 90
Fig. 4-7 Coefficient utilization of system ····· 90
Fig. 4-8 Control algorithm of agitation test ····· 99
Fig. 4-9 Control algorithm of drain test ····· 100
Fig. 4-10 Control algorithm of continuous drain test ····· 102
Fig. 4-11 Control algorithm of short period test ····· 103
Fig. 4-12 Average of heat loss factor each company ····· 104
Fig. 4-13 Comparison of test collect energy-analysis collect energy in A ····· 108
Fig. 4-14 Solar collect energy by the solar radiation in A ····· 109
Fig. 4-15 Diagram of hot water temp.-solar radiation in A ····· 109

Fig. 4-16 Comparison of test collect energy-analysis collect energy in E ····· 110
Fig. 4-17 Solar collect energy by the solar radiation in E ····· 111
Fig. 4-18 Diagram of hot water temp.-solar radiation in E ····· 111
Fig. 4-19 Distribution irradiation of continuous drain test in A ····· 112
Fig. 4-20 Distribution drain temperature of continuous drain test in A ····· 112
Fig. 4-21 Temp. measurement that used IR image of solar cell ····· 115
Fig. 4-22 Distribution of PV array average temperature ····· 115
Fig. 4-23 Diagram of IR analysis method ····· 116
Fig. 4-24 Distribution surface temp. for kind of PV system ····· 117
Fig. 5-1 Output power change property of array by irradiation ····· 118
Fig. 5-2 Conversion efficiency change property of array by irradiation ····· 119
Fig. 5-3 Change property of PCS efficiency by irradiation ····· 120
Fig. 5-4 Diagram of change property by output and voltage in array ····· 121
Fig. 5-5 Diagram of array surface temperature-generation efficiency ····· 124

LIST OF TABLE

Table 1-1 Basic plan of new & recycle energy technology development ····· 5
Table 1-2 Technology development research trend of domestic(solar heat system) 8
Table 1-3 Technology comparison to solar energy utilization device ····· 8
Table 1-4 Technology level comparison to solar heat system ····· 9
Table 2-1 Standard of solar cell module and composition of array ····· 18
Table 2-2 Specification of solar heater by company ····· 22
Table 2-3 Excel address of measurement data ····· 29
Table 2-4 Channel assignment in NetDAQ 2640A ····· 36
Table 2-5 Design summary of monitoring program ····· 37
Table 2-6 Monitoring program input by each examination ····· 38
Table 2-7 Excel data format in solar heater monitoring system ····· 42
Table 3-1 Process parameters for experiment set up ····· 74
Table 4-1 Array area and PV rated capacity ····· 86
Table 4-2 Analysis result of operating property in operating room 1 ····· 91
Table 4-3 Analysis result of operating property in operating room 2 ····· 92
Table 4-4 Analysis result of operating property in operating room 3 ····· 93
Table 4-5 Drain time and drain ratio in continuous drain test ····· 101
Table 4-6 Analysis result of heat loss factor in company A ····· 105
Table 4-7 Analysis result of heat loss factor in company G ····· 106
Table 4-8 Result table of continuous drain test in A ····· 113
Table 5-1 Performance analysis result of PV system ····· 121
Table 5-2 Performance analysis result of solar hot water heater ····· 123

NOMENCLATURE

A_c : Available thermal collect area

C_F : PCS trouble time

C_O : PCS working time

C_p : Specific heat at constant of thermal storage medium

C_S : PCS working number

G_H : Irradiation

H : Irradiation of total on day

I : Sola collector irradiation of day

I_A : Output ampere of solar cell array

I_m : Thermal value for the measured total radiation

I_o : Digital value for the object radiation

KA : Thermal loss coefficients

P_A : Output electric power of solar cell array

P_L : Load power dissipation

P_P : PCS output power

P_U : Delivered power KEPCO

Q : Thermal collect energy

S_c : Thermal collect quantity

T : Time of test start to end

T_{amb} : Temperature of surroundings

T_{atm} : Atmospheric temperature

t_a : Outside temperature

t_{main} : Feed water temperature

t_n : Storage tank temperature in center

t_u : Feed water temperature

V : Solar storage tank capacity

V_c : Available drain quantity

V_A : Output voltage of solar cell array

V_{PV} : Rated voltage

γ : Specific gravity of thermal storage medium

ε : Emissivity

$\Theta_1 \sim \Theta_n$: Outside Temperature of test to end

Θ_w : Feed water temperature

Θ_{A1} : Temperature of test start in solar storage tank

Θ_{A2} : Temperature of storage thank center after feeding hot water

ρ : Reflected ratio

σ : Stefan-Boltzman constant

τ : Efficient atmospheric transmission

ABSTRACT

Reliability Evaluation of Solar Energy System by using Remote Monitoring Method and Thermography Diagnostic Technology

Yang Dong-Jo
Advisor : Prof. Kim Jae-Yeol Ph. D.
Department of Precision Mechanical Engineering,
Graduate School of Chosun University

After Industrial Revolution, energy has been recognized as an important factor which enhances the motive power for industry in the industrial society. However recently the excessive consumption of energy pursuant to the rapid expansion of industry created serious problems of the exhaustion of fossil fuels as well as unusual change in the weather due to the mass discharge of carbon dioxide.

Especially the changes in weather created irreversible confusion to global ecological system and together with the confusion it became clear that whole fundamentals of current civilization of mankind will be shaken from the bottom. Recently people came to think that it is urgently required to explore the alternatives for the energy system based on current fossil energy which created the energy problem we encountered. After entering into the United Nations Framework Convention on Climate Change through the Global Environment Forum held in Rio de Janeiro of Brazil in 1992, the consciousness that the development should be done

in the sustainable pattern in harmony with the environmental preservation has been closed up as an issue. We can say that after all these proposal will boil down to the development of New & Renewable energy. The method of solving the problem of disequilibrium between such energy supply system and ecology system is to establish small scale, decentralized and labor-intensive energy supply system. Under such system we can make ecological equilibrium again. The most suitable source of energy for this required change is solar energy. The advantages of solar energy are that it is renewable, infinite supplied and environmentally safe energy source, and the method of energy supply is in small scale and is decentralized. However, solar energy related products have the problems such as the limitation for installation, problems in maintenance and insufficient reliability, which have been the barrier to consumers to satisfy the purchase need for solar heat related products. In order to enhance the performance and reliability of solar energy related products and to expand the supply of the products, it is judged that the introduction of a certification system which will enable to limit the supply of the products with higher quality above certain level should be preceded at this point of time. However, as most solar heat related manufacturers are small in size and have insufficient facilities and manpower, it is not only difficult to develop products but also they have to go through inefficient procedures in terms of cost and time because in general newly developed products are required to go through many trial and errors up until new products can be commercialized. In this regard, in order to support the solar energy related companies, the necessity for various technical information required for the commercialization of new products such as various performance test necessary for the certification of solar energy system, standardization for facilities and products, performance evaluation method and the measurement of performance is suggested. The purpose of this paper is to design

the monitoring system for positive tests of system linked 3kW solar light power generation system for household supplies and household hot water system using solar heat out of various solar energy systems, to establish an analysis and monitoring system for performance maintenance and operation technique, and to configure the centralized detection network by utilizing remote monitoring system. This research also aims at conducting monitoring for operation and performance evaluation in relation to database establishment and analytical evaluation and at describing the method of enhancing the reliability of solar energy system through the development of performance evaluation program. Furthermore this research will perform thermodynamic analysis through the application of infrared ray thermal imaging camera and will discuss about the applicability of solar energy system and other fields as well. The researcher hope that this research serves the cornerstone from the development process of solar energy system to its selection process and supply projects

제 1 장 서 론

제 1 절 연구배경

산업혁명 이후 에너지는 산업의 원동력을 제고하는 중요한 요소로 인식되어 왔다. 하지만 최근에 이르러 산업의 팽창에 따른 에너지의 과도한 소비로 인해 화석연료의 고갈 그리고 이산화탄소의 대량 배출에 따른 기상이변이라는 매우 심각한 문제에 봉착하게 되었다. 특히 기후변화는 지구 생태계를 돌이킬 수 없는 혼란에 빠트리고, 이와 함께 현재의 인류문명을 밑바닥부터 뒤흔들 것이라는 사실이 제기되어 왔고 최근에는 그것을 유발한 현재의 화석에너지에 기반을 둔 에너지시스템에 대한 대안을 모색하는 것이 급선무라는 인식이 확산되고 있다. 그 대안으로는 크게 두 가지 방향으로 제안되고 있으며, 하나는 현재의 에너지 다소비형 산업체계와 소비구조를 유지하면서 그것을 지탱하는 에너지원의 중심을 화석연료에서 다른 에너지원으로 바꾸는 것이며, 또 다른 하나는 현재의 에너지 다소비형 생활문화에서 에너지를 적게 사용하는 방향으로 바꾸고, 동시에 이에 필요한 에너지를 대부분 화석연료로 조달하는 체계로부터 상당부분을 다른 에너지원으로 바꾸는 방안이다[(1)].

1992년 브라질 리우에서 개최된 지구환경회의를 통한 기후변화협약 이후, 전 세계적으로 개발이 환경보전을 조화시킨 지속 가능한 형태로 이루어져야 한다는 의식이 대두되었다. 또한 1997년 기후변화에 대한 교토협약(Kyto protocol to UN Framework Convention on Climate Change)이후 2005년 2월 16일 발효됨에 따라 2013년 이후의 온실가스 감축방안이 전 세계적으로 논의되고 있으며 이로 인해 우리나라 등 선발 개도국의 감축 참여문제가 EU를 중심으로 선진국으로부터 제기 될 것이다. 이에 따라 화석연료를 대체할 에너지로 신・재생에너지에 대한 기술개발 및 보급 확산을 위한 노력이 전 세계적으로 가속화되고 있는 상황이다.

우리나라는 2004년 3월부터 시행되는 대체에너지개발이용・보급촉진법에 의해 공공건물 3,000㎡이상 신축건물에 대해 건축비의 5%이상을 대체에너지로 사용하는데 의무화

하고 있으며, 2011년까지 총에너지의 5%를 대체에너지로 공급한다는 제 2차 국가에너지기본계획을 추진하고 있는 등 환경문제를 외면하고 경제적 이익만을 추구하던 종래의 개발방식에서 탈피하여 환경 친화적이고 공해유발이 적은 신·재생에너지 개발, 교통문제, 환경과 경제의 통합적 운용, 지방정부의 실천프로그램 그리고 국제협조체제 구축 등의 정책이 추진되고 있다. 결국 이러한 제안은 신·재생에너지의 개발로 귀착된다고 할 수 있다. 따라서 재생가능 에너지원을 통해서 에너지를 얻는 가장 바람직한 방법은 전기는 태양광과 풍력을 통해서 얻고, 열은 바이오매스와 태양열을 통해서 얻는 것이다. 현재의 화석에너지 시스템이 계속 유지될 경우 닥쳐올 화석연료의 고갈과 기후변화에 따른 생태계의 혼란이 야기될 것이며 이를 해결하기 위한 유일한 방안은 신·재생가능 에너지공급 시스템으로의 전환이 유일한 방법일 것이다.

현재 우리의 경제 및 자연환경은 심각한 불균형 상태에 있으며, 이러한 불균형은 주로 무분별한 성장에서 오는 것이다. 즉 경제적·사회적 규모가 너무 크거나 너무 밀집되어 있으면 이것은 전체적인 불균형을 초래한다. 그것의 한 예가 현재의 에너지공급 시스템이며, 이것은 대규모적이며, 중앙집중식이며 또한 자본 집약적인 거대한 에너지공급 시스템(화력발전소, 원자력발전소, 수력발전소 등등)이라는 특징을 가지고 있다. 따라서 이러한 에너지공급시스템과 생태계와의 불균형을 해소하는 방법은 소규모적이고 지방 분산적이며 노동집약적인 에너지공급체계를 수립하는 것이다. 이러한 체제에서 우리는 다시 생태적 평형을 이룰 수 있다. 이러한 요구되는 변화에 가장 적절한 에너지원은 바로 태양에너지이다. 태양에너지의 장점은 재생 가능하고, 무한정 공급되며, 환경에 무해한 에너지원이라는 것이다. 또한 에너지 공급의 방식이 소규모적이며, 지방분산적이다. 에너지 기술은 제 2의 에너지 자원이라는 말이 있듯이 에너지 자원이 거의 없는 우리나라의 경우 에너지기술개발이 향후 에너지 문제를 해결하는 유일한 길이 될 것이다. 따라서 태양에너지를 근간으로 하는 신·재생 에너지공급시스템과 그와 관련된 에너지 기술개발은 우리의 미래를 좌우하게 될 중요한 과제가 될 것이다.

제 2 절 연구동향

1. 태양에너지시스템 연구동향

가. 태양광발전시스템

(1) 국외 동향

미국은 1960년대부터 태양광발전을 인공위성의 전원으로 이용해 왔는데 지상용 태양광발전시스템의 실용화를 위하여 1972년부터 5년 주기의 국제 태양광 프로그램(National Photovoltaic Program)을 수립하여 기술개발을 추진해오고 있다. 최근에는 태양전지의 효율향상과 가격목표를 달성하기 위한 기술개발과 병행하여 태양전지의 저가 제조기술을 개발하기 위한 태양광 제조 기술 프로젝트(PVMaT, Photovoltaic Manufacturing Technology Project)와 태양광발전의 상업화에 필요한 실증실험 및 주변장치의 가격을 낮추기 위한 시스템 기술개발을 목적으로 하는 태양광 설비법 응용 프로젝트(PVUSA, Photovoltaic Utility Scale Application Project)와 태양광 발전기술을 건물에 적용하기 위한 태양광발전 건축(PV:BONUS, Building Opportunities in the United States for PV)계획이 동시에 추진되고 있다. 또한 개발된 제조기술을 상업화하기 위하여 관련 제조업체들로 구성된 태양광 설비 그룹(Photovoltaic Utility Group)이 주관하는 시장 활성화를 위한 기술체험 프로젝트(TEAM-UP, Technical Experience to Accelerant Market)도 추진되고 있다.

일본은 1974년에 태양광발전기술을 개발하기 위한 국가 주도의 선샤인 프로젝트(Sunshine Project)를 수립하여 추진하였으며, 1980년에는 신에너지 산업기술 종합개발기구(NEDO, New Energy and Industrial Technology Development Organization)를 설립함으로써 본격적인 태양광 발전 기술의 개발에 착수하였다. 이와 함께 1987년부터 기업과 연구기관등으로 구성된 태양광발전회(JPEA, Japan Photovoltaic Energy Association)에서 기술 및 시장에 관한 정보교환과 공동연구를 수행하기 시작했다.

1990년에는 24개 기업과 2개 단체로 태양광발전 기술연구조합(PVTEC, Photovoltaic Power Generation Technology Research Association)이 결성됨에 따라 정부와 기업 및 연구소의 상호 협력뿐만 아니라, 대민 홍보와 연구개발의 기능을 수행하기 시작했다. 특히 1993년에는 경제성장, 에너지, 환경보전에 대한 균형 있는 대책과 종합적인 기술개발을 위하여 기존의 Sunshine Project, Moonlight Project 및 지구환경 기술개발 계획을 통합한 에너지 환경 영역 종합 기술개발 추진계획(New Sunshine Program)을 수립하여 체계화하였다. 1999년부터는 환경을 보호하고 신・재생에너지의 보급을 촉진한다는 추진 아래 이러한 시스템을 설치할 경우 반액을 국가에서 지원하고 있다.

유럽공동체의 태양광 발전 기술개발은 비록 소규모이기는 하나 1975년 이후 꾸준히 계속되고 있으며, 1989년부터는 3년 3개월의 계획기간을 가진 1차 Non-Nuclear Energy Program JOULE(Joint Opportunities for Unconventional or Long-term Energy Supply)계획을 수립하여 태양광발전 기술의 연구개발을 가속화하고 있다. 이 계획은 2000년까지 모듈 가격을 1ECU/Wp로 목표로 하고 있으며 1994년까지의 JOULEⅡ 계획은 상업화를 목적으로 다결정 규소 태양전지 제조기술개발과 태양광발전시스템 연구에 중점을 두고 있다. 또한 저가의 박막 태양전지를 개발, 실용화하기 위한 목적으로 EUROCIS 컨소시엄을 구성하여 독일을 중심으로 C_uInSe_2태양전지 연구에 주력하여 괄목할 만한 성과를 얻었다. 이와는 별도로 유럽 각국은 자체적인 장기계획에 의해 태양광발전 기술개발을 추진하고 있으며, 독일의 소규모 태양광 발전 시스템의 실증 실험 및 개인 주택에의 실용화 보급을 위한 '2250 Roofs Project, 이탈리아의 100kW급 태양광 발전 시스템의 표준화 및 보급을 위한 PLUG Project, 스위스의 MW House Project 및 프랑스의 PV 20 Project 가 진행되고 있다. 또한 미래의 태양광 발전은 우주공간에서의 태양광 발전과 마이크로웨이브 송전, 사막 지대의 대규모 태양광 발전에 의한 초전도 송전 또는 수소 생산 이용 등이 구상되고 있으며, 제로에너지 개념의 지하 공간, 또는 해상 구조물 전원으로서의 이용도 검토되고 있다.[(2)(3)]

(2) 국내 동향

국내의 태양광발전 기술개발은 결정질 규소 태양전지와 주변장치의 국산화 이용 기술의 개발을 실현하고, 저렴한 가격의 고효율 박막 태양전지의 기초기술의 확보와 주변장치의 저가화 및 신뢰도를 확립함으로써 실용화의 기반을 구축하고 향후 박막 태양전지의 상용화와 응용기술의 저변 확대를 통한 태양전지 보급 확대와 태양광발전 시스템의 실용화를 목표로 설정하고 있다. 이와 같은 정부의 노력에 의해 지난 95년 세계 최고 수준의 상업용 태양전지인 변환효율 19%의 BCSC(Buried Contact Solar Cell) 단결정 실리콘 태양전지가 개발됐다. 또한 변환효율 19.2%의 PESC(Passivated Emitter Solar Cell) 태양전지를 개발해 세계적 공인기관인 독일 프라운호퍼 태양전지연구소의 PV-Chart에 기록됐다. Table 1-1에서는 정부에서 추진하고 있는 국내 태양광분야 신재생에너지기술개발 기본계획을 나타내었으며 보다 높은 효율의 태양전지 개발에 따른 상용화 기술을 개발하는데 역점을 두고 있다.

Table 1-1 Basic plan of new & recycle energy technology development[1]

제 1, 2단계(~'96까지)	제 3단계('97~2001)	제 4단계(2002~2006)
· 태양전지 제조 기술 확립 · 결정질 Si태양전지 국산화 · 신형 태양전지 기반기술 · 태양광발전 요소기술 · 주변장치 국산화 · 독립형이용 기술개발 보급 · 계통연계형 및 복합이용 기반기술	· 고효율 태양전지 실용화 · 저가, 고효율 Si 태양전지 실용화 · 신형 태양전지개발 및 효율향상 · 태양광발전 이용기술 주변장치 신뢰성 향상 및 표준화 · 계통연계형 및 복합이용 기반기술 응용제품 개발	· 고효율 태양전지 상용화 · 저가, 고효율 태양전지 대량생산 기술개발 · 신형 태양전지 고효율화 · 태양광발전 활용기술 주변장치의 저가화 · 대규모발전 플랜트 실증운전 응용제품 개발 보급

나. 태양열온수시스템

(1) 국외 동향

선진국들은 대체에너지분야에 대해 1970년대부터 중장기 계획을 수립하여 기술개발을 추진하여 왔으며, 기술개발 성과를 실용화하여 자국에서의 보급촉진 뿐만 아니라 개발도상국의 시장을 개척하기 위한 다양한 지원 정책을 시행하고 있다. 또한 공급자와 수요자의 양측에서 동시에 요구되는 저가화 및 대량생산 기술, 신뢰도의 확립, 제품의 성능향상 및 품질관리, 그리고 보급 촉진 방안을 강구하기 위하여 연구기관 또는 전력회사, 제조업체를 중심으로 지속적인 실용화 연구와 실증 시험을 병행하고 있다.

세계 태양열 활용 시스템의 기술 표준을 선도하고 있는 미국의 경우, 이미 1980년대 초반 국가표준국(National Bureau of Standards)주관으로 태양열 온수 급탕시스템 운전제어장치의 신뢰성 및 성능 평가를 위한 연구를 수행하였으며, 이는 당시 시장에서 유통되고 있는 운전제어장치 45종에 대한 특징 및 평가를 위한 성능 평가 항목의 결정, 운전제어장치의 성능 평가를 위한 규정의 제정 등을 포함하고 있다. 태양열 활용 시스템 기술 선진국의 경우 운전제어장치가 시스템의 운전 효율에 미치는 영향을 실험적으로 또는 실증 적용을 통하여 평가하며, 이를 통하여 시스템의 최적 운전을 보장할 수 있는 운전제어장치의 개발 및 보급을 지속하고 있다.

미국의 경우 에너지성(DOE, Department of Energy)의 지원 하에 국립연구소인 국립재생에너지 실험실(NREL, National Renewable Energy Lab.)과 산디아국립실험실(SNL, Sandia National Lab.)이 실증시험과 성능평가 업무를 수행하며, 양산 기술개발과 보급 확대를 위한 솔라 2000 프로그램, PVMaT project, PVUSA등의 목표달성에 기여하고 있다.

일본의 경우 통산성의 지원과 NEDO의 주도하에 전력회사를 중심으로 신에너지발전기술의 실증시험을 계속하고 있다. 특히 관서지역의 ROKKO Island Test Center와 오끼나와 전력의 Enertopia 시설물을 성공적인 사례로 평가되고 있으며 실용화 기술개발을 위한 연구시설 제공과 공동 연구를 담당하는 중앙전력연구원의 Agaki Test Center의

역할은 매우 크다.

유럽의 경우도 국가별로 수행된 요소 기술개발을 실용화하기 위하여 이탈리아 전력공사(ENEL)의 연구협력센터 등에서 EC공동으로 효율적인 실증 시험을 추진하고 있다. 독일 남서부에 위치한 프라이버그(Freiburg)시의 경우, 이 지역에 위치한 국립 프라운호퍼 태양에너지연구소를 중심으로 지역의 기후 특성에 적합한 기술을 도출하여 이를 연구하고, 이에 따른 시범시설을 설립하여 대민홍보에 힘쓰고 있으며, 이를 기반으로 도시를 솔라에너지타운화하는 사업을 성공적으로 시행하고 있다.[4]

(2) 국내 동향

태양에너지 시스템은 주택보급형을 중심으로 기초 연구단계를 지나 실용화 단계의 설비가 진행되고 있으나 각 시스템들에 대한 실증실험 수행 자료는 실험단계 상태 또는 데이터베이스화가 미비한 실정이며 원격 모니터링 시스템에 대한 표준화 및 규격화된 모델은 전무한 상태이다. 따라서 태양에너지 시스템의 비표준화 및 비규격화로 인한 중앙감시 및 원격 모니터링에 대한 기술적인 문제 해결이 시급한 실정이다. 산업자원부 주관의 대체에너지 기술개발사업 10개년 계획에 맞추어 관련기술의 지속적인 연구사업이 추진되고 있으며 태양열 이용, 태양광발전을 중심으로 시범보급 사업이 수행되고 있으나 신뢰성 확보를 위한 체계적인 모니터링 시스템 구축이나 데이터분석 없이 적용됨으로서 시행착오가 발생하고 있다. Table 1-2에 국내 태양열시스템 기술개발에 따른 연구동향을 나타내었다. 저온용 태양열시스템의 경우 효율 상승에 많은 연구를 수행중이며, 중・고온용의 경우 적용 기술에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

Table 1-3의 국내외 태양에너지 이용기기 기술비교에서와 같이 국내 소재기술과 코팅기술 등 전반적인 기초기술의 부족으로 상당부분 수입에 의존하고 있는 실정이다.

2002년 조선대학교에 개소한 태양에너지 실증연구단지에서 태양에너지시스템의 실증연구를 수행하고 있으나 전문 인력의 부족과 예산 부족으로 인하여 많은 문제점들이 발생하고 있다.

Table 1-2 Technology development research trend of domestic(solar heat system)[2]

구분	내용
저온용 태양열시스템 상용 개발	· 평판형 집열기 상용화 · 주택용 소규모 온수기(자연대류형, 상변화형) 상용화 · 설비형 태양열 온구급탕시스템 실용 보급 중 · 차온 제어장치 개발
중·고온용 집열 시스템 및 응용기술	· 중고온용 집열장치 개발 중(PTC[1)]형, DISH형) · 태양열 냉방시스템 연구 중 · 수질, 대기처리용 시스템 개발 중 · 태양열 축열시스템 개발 중(저온축열재 및 중고온용 축열재) · 태양열 발전시스템 개발 기초단계
건물 응용기술	· 복합이용 조명 및 냉난방기술 기초단계 · 자연형 태양열시스템 요소개발 수준 · 주택 유형별 설계도면 작성 및 통합제어 기초단계 · 건물 및 시스템 통합설계 및 평가 기술 부분적 개발 단계

Table 1-3 Technology comparison to solar energy utilization device[2]

	국내	국외
소재기술	· 기초단계	· 전용 소재개발 활용 특수 플라스틱 및 스테인레스, 법랑처리 등
코팅기술 (집열기)	· 블랙크롬 도장기술 개발보급단계, 블랙페인팅 혼용상태	· 산화피막처리 · 블랙크롬 도장기술의 일반화
생산기술	· 수동, 반자동 혼재	· 자동화 단계 · 대량생산체계 구축, 품질 균일
사후관리	· 기초단계	· 글로벌화
고장발생률 관계	· 소재기술 낙후로 인한 고장 발생율이 높다. · 비전문 시공기술에 의한 고장 발생 배가(교육과정 미비) · 부속류 고장발생률이 높다.	· 소재로 인한 근본적 결함률이 낮다. · 시공기준 표준화로 고장발생률 최소화 · 태양열 전용 부속개발 사용으로 고장률이 낮다.

註 * PTC : Parabolic Trough solar Collector

Table 1-4 Technology level comparison to solar heat system[3]

국내기술수준	국외기술수준
■ 태양열 집열기 및 온수기 개발 (요소기술) - 저온용 태양열 집열기 국산화 · 평판형 집열기 생산보급 (온수기 및 설비형 용) - 주택용 태양열온수기 국내생산 공급 · 자연대류형, 상변화형 생산보급 · 97년 약 7만7천대 보급	■ 태양열 집열기 및 온수기 개발 (요소기술) - 다양한 저가 고효율 제품 보급 · 상변화형, 진공관형 집열기 상용화 · 복합형 집열기 실용화연구단계 - 다양한 적용분야에 맞는 고효율 태양열 온수기 실용화(공동시설, 농수산업 등) · 일본 년 10만대규모 생산보급 · 미국, 유럽 시장규모 확대
■ 중고온용 태양열 집열시스템 및 응용기술 개발(시스템 및 산업응용) - 중·고온용 태양열 집열장치 개발 · PTC형 집광장치 개발 중 · DISH형 설계분석 수준 - 태양열 냉난방시스템 개발 · 태양열 흡수식시스템(5RT) 개발 중 - Solar Detoxification 시스템 개발 중 · 수질, 대기처리용 - 태양열 축열시스템 개발 중 · 저온 축열재 개발 중 - 태양열 발전시스템 개발 기초단계 · 이론분석 수준	■ 중고온용 태양열 집열시스템 및 응용기술 개발 - 상용화단계, 산업 공정열 응용 상용화 · PTC형, CPC형 미국, 호주, 유럽 상용화 · DISH형 미국, 스페인 실용화단계 - 설계기술 확립, 상용화 단계 · 흡수식 3RT급 개발완료(일본) · 흡착식 개발 중(미국, 일본, 프랑스) - 유독성폐기물, 폐수처리 태양 반응기 · 실용화단계 - 태양열 축열 시스템 실용화 개발 중 · 중고온 축열재 개발 연구 중(일, 미, 프) · 태양열 발전시스템 실용화 · '96 미국7.5kW, 스페인9kW, 이스라엘 등 · 상업화('97;미국25kW, 50kW)
■ 태양에너지건물 응용기술 - 자연에너지 복합이용 조명 및 냉난방기술 · 기초단계 - 자연형 태양열시스템 · 요소개발 수준 - 태양열 주택 유형별 설계도면 작성 및 태양열건물 요소기술 개발 · 모범도면작성, 통합제어 기초수준 - 태양열건물 및 시스템 통합설계, 평가기술 기초단계 - 태양열시스템 성능평가 및 표준화사업 부분적 개발단계	■ 태양에너지건물 응용기술 - 건물적용 실용화 단계 · PV겸용집열창, TAP, 일사조절창 개발중 - 태양열건물 통합적용 및 실용화 · 최적설계기술 확립, 첨단요소 개발중 - 태양열건물 통합제어기술 확립 · 에너지자립형 건물 설계기술 완료단계 - 통합설계 및 평가기술 확립, 태양열건물 모니터링 및 진단기술 확립 - IEA사업 등을 통한 국제표준화 수행 중(태양열집열기, 온수기, 일사조절창 등)

2. 열화상계측기술의 연구동향

적외선 열화상 계측 기술은 광범위한 적용과 편리성으로 최근에 많은 각광을 받고 있는 검사 방법이다. 적외선 검사방법은 물체의 단위 면적당, 단위 시간당 방출되는 복사에너지 즉, 복사 에미턴스(Radiant emittance)의 차이를 영상화하여 물체의 온도를 측정하는 방법으로 1930년대부터 군사용으로 개발되기 시작하였다. 개발초기에는 적외선 검출기의 응답지연으로 실시간 열영상 구현이 불가능하였지만 1950년대 초반에 검출재질의 개발과 냉각방식의 도입으로 짧은 시정수를 갖는 소자가 개발되면서 활성화되었다. 1960년과 1970년대에 많은 활용 방법이 제시되면서 산업용으로 광범위한 개발이 이루어져 최근에는 산업용 검사 장비로 자리 메김하고 있다.

적외선 열화상 카메라는 제2차 세계대전 당시 일본과 독일에서 적외선 탐지기술을 연구하기 시작한 이래, 전승국들 역시 군사용/민용의 적외선 열화상 카메라의 핵심 기술인 적외선 센서 개발에 박차를 가하였다. 초전형 적외선 센서와 비냉각형 적외선 열화상 시스템에 대한 연구와 개발은 영국의 GEC-Marconi 연구소와 Malvern Institute를 중심으로 1960년대부터 본격적으로 시작되었으며, 미국에서는 DOD의 DARPA를 중심으로 1970년대부터 군사적인 목적으로 연구개발이 본격화되었다. 1995년도까지 미국의 Texas Instrument와 영국의 GEC-Marconi에서 군사적인 용도와 상업적인 용도의 시제품을 경쟁적으로 발표한 바 있다. 또한 스웨덴의 AGEMA, 미국의 Inframetrix, FSI, Indigo 4개사가 FLIR로 흡수 합병되면서, 전 세계시장에 있어서 상당한 기술적 우위를 차지하고 있다.

국내 적외선열화상카메라 개발기술은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 한 가지는 적외선 검출 센서의 개발과 다른 한 가지는 적외선 카메라 개발 기술이다. 센서의 개발 기술은 선발 기업이던 (주)정풍이 경영난으로 단소자 생산에서 손을 때었으며, 몇몇 유관 세라믹업체들이 경영악화로 폐쇄되었다. 최근 (주)메타텍이 이 분야에 뛰어들어 국내 유일의 초전 센서 생산업체로 남아있을 따름이다. 또한 국방연구소나 군수 생산업체등에서 그 개발을 주로 하고 있고 적외선 센서는 한국전자(주) 종합연구소에서 개발하고

있으나 그 성능은 선진국에 크게 못 미치고 있는 실정이다. 적외선 센서는 반도체 기술의 맥락 하에 있으며 기초 물리학적인 기반을 상당히 요하는 기술로써 많은 어려움을 겪고 있다. 또한 선진국의 경우 적외선 센서 기술이 군 기밀 기술로 취급되어 기술 유출은 물론 적외선 센서나 장비의 수출 또한 그 쓰임새 등을 자국에서 관리하고 있는 수준이다. 적외선 검출용 재료의 제조 공정 기술 개발은 KIST, 고려대학교, 동국대학교가 주축이 되어 많은 연구를 수행하고 있으나 선진국과 같은 고성능의 적외선열화상카메라를 사용화 하는 데는 그 기술이 못 미치고 있는 실정이다.

국내의 경우 적외선열화상카메라의 활용 면에서 보면 의료 분야에서 인체의 체온을 측정하여 질병의 유무를 판단하고 있으며, 산업현장의 경우 단순히 열화상 촬영에 국한되어 있으며 이 역시 측정자의 주관적인 판단에 따라서 평가가 이루어지고 있는 실정이다. 이렇게 적외선열화상카메라를 이용하여 촬영한 열화상의 분석을 보다 객관적인 판단 근거가 반드시 필요하다고 판단된다.

적외선 검사방법은 기존의 비파괴검사방법으로는 검사하기 어려운 분야인 고온부, 고속회전부, 탐촉자의 접촉을 요할 수 없는 부분의 검사를 대체할 뿐만 아니라 번거로운 검사 방법을 대신한다는 점에서 많은 주목을 받고 있는 부분이다. 특히 열화로 인한 각종 설비의 결함부분을 검출하기 위한 방법으로는 그 유용성이 이미 검증된 부분이다. 또한 비접촉으로 검사가 이루어지기 때문에 설비의 멈춤 없이 평가가 가능하다는 장점이 있다.

이러한 장점에도 불구하고 결함의 건전성을 판별하기 위해서는 외부 열원이 반드시 필요하기 때문에 외부 열원의 공급 문제에 대한 기술적인 해결방법이 이루어질 경우 획기적인 비파괴 평가 방법이 될 수 있을 것이다.

산업전반에 걸쳐 대단히 광범위한 응용을 보이고 있음에도 불구하고 적외선열화상카메라의 핵심기술부분인 적외선 검출 센서는 선진국에 국한된 군사 기밀 기술로서 거의 모든 제품군이 수출규제 품목에 해당되며, 민수용으로 사용하더라도, 각 최종사용자의 정확한 사용목적을 기술하고 수출허가를 취득한 후 납품이 될 정도이다. 이런 이유로 적외선열화상카메라의 제품 가격은 상당히 고가이며, 그 응용 기술 또한 단순히 제품

을 그대로 사용하는데 그치고 있는 실정이다.

본 연구를 통해서 적외선열화상카메라의 열화상 처리 기술을 확보할 수 있으며 영상처리 기술을 활용한 결함의 자동 검출기술 개발은 낙후된 산업 설비의 비파괴검사기술과 접목시킬 수 있다.

현재 국내 산업 플랜트의 시설 낙후로 인한 재해의 위험성은 이미 많은 전문가들로부터 제시되고 있다. 이런 낙후된 시설들의 검사방법 중 다양한 비파괴 검사 방법이 활용되고 있다. 하지만 기존에 사용되어지고 있는 검사 방법들 중에서는 신뢰성이 검증되지 않고서 사용되고 있는 경우가 있으며 무분별한 사용으로 인한 장비의 오작동 및 판단 미숙으로 인한 부작용이 나타나고 있다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 이미 미국이나 일본의 경우 비파괴검사기술 분야 중 적외선열화상 검사 기법이 하나의 분과로 나뉘어져 관리되고 있으며 그 표준화 작업이 마련되어 있어 사용자들로 하여금 그 표준에 맞는 사용과 결과의 활용을 유도하고 있으나 국내의 경우 열화상 판단의 기준이 거의 전무한 실정이며 개인의 판단에 맞기고 있는 실정이다. 한국표준과학연구소에서는 2004년도부터 적외선열화상 진단기술의 중요성을 판단하고 적외선열화상 진단 기술의 국제 표준인 ISO TC 135 SC8의 간사국으로서 세계 표준화 작업을 선도해나가고 있어 앞으로 적외선열화상 진단기술의 많은 부분에 있어서 그 활용에 대한 기준을 제시해 줄 것으로 판단된다.

제 3 절 연구목적

최근 국제 유가의 폭등과 화석에너지 고갈에 대한 에너지 문제를 해결하기 위한 대안으로 신·재생에너지가 초두의 관심사로 떠오르고 있다. 이러한 가운데 태양에너지시스템은 기술의 속성상 하이테크 기술이 포함되어 있지 않아 일찍이 기술 개발이 수행되어 상당수의 제품이 이미 보급되었으며, 신·재생에너지 중에서도 비교적 많은 보급이 이루어지고 있다. 그러나 설치의 제한성, 관리상의 문제점, 제품의 신뢰성 결여 등으로 인하여 소비자들에게 제품에 대한 구매 목적을 충족시키지 못하고 있다.

이러한 실상에서 태양에너지시스템의 건전한 보급 확대를 위해서 제조업체는 그들의 제품을 엄격히 시험하여, 소비자들에게 믿을 수 있는 인증된 제품과 시설을 제공함으로서 소비자를 보호하며, 기업체는 신뢰성을 회복하여 건전한 시장을 육성할 수 있도록 하는 체계화된 국가 프로그램의 필요성이 요구되어왔다. 따라서 태양에너지시스템 기자재의 성능 평가 및 신뢰성 있는 제품 인증 제도의 확립은 정부차원에서 보급 확대를 위해 노력하는 현 시점에서 볼 때 반드시 필요하다고 판단된다.

태양에너지 제품의 성능과 신뢰성을 향상시키고 보급 확대를 위해서는 일정 기준 이상 품질의 제품만이 시장에 보급될 수 있도록 하는 인증제도의 도입이 현 시점에서 반드시 선행되어져야 할 것으로 판단된다. 그러나 기업차원에서는 태양에너지시스템 업체 대부분 관련 시설과 전문 인력이 부족하고 또한 영세한 실정이므로 제품의 개발이 어려울 뿐만 아니라 제품을 개발했다 하더라도 상용화 단계까지 많은 시행착오를 겪어야 하므로 비용과 시간적인 면에서 비경제적인 절차를 밟고 있다. 이를 위해 태양에너지시스템의 인증 시험에 필요한 각종 성능시험, 시설 및 제품에 대한 표준화/규격화, 성능평가 방법 및 성능측정 등 제품의 상용화에 필요한 여러 기술적 정보의 필요성이 제시되고 있다.

이런 이유로 정부에서는 제품 개발을 통한 상용화 단계에서 실증실험의 필요성을 파악하고 광주광역시 조선대학교 태양에너지 실증연구 단지를 구축하여 태양에너지 제품의 실증시험을 통한 신뢰성 향상을 도모하고 있다.

본 논문은 태양에너지 시스템 중에서 주택보급용 계통연계 3kW 태양광발전시스템과 가정용태양열온수시스템의 실증 시험을 위해 모니터링 시스템을 설계하고 각 시스템의 성능유지 및 운전기법 등에 대한 분석 및 감시체계를 구축하고 원격감시 시스템을 이용하여 중앙감지식 네트워크를 구성하는데 그 목적이 있다. 또한 데이터베이스 구축 및 분석적 평가에 관련하여 운전, 성능 평가를 위한 모니터링을 실시하고 성능평가 프로그램의 개발 등을 통해 태양에너지 시스템의 신뢰성 향상을 위한 방법을 기술하고자 한다. 아울러 적외선열화상 진단기법의 확립을 통해 태양에너지시스템의 성능평가를 보다 편리하고 신속하게 분석하고 태양에너지 시스템뿐만 아니라 여러 분야의 적용가능성을 위한 응용에 관해 논하고자 한다. 본 연구를 통하여 태양에너지시스템 뿐만 아니라 신・재생에너지 전반에 걸친 실증연구의 성능평가를 위한 개발과정에서부터 시스템 선정과정, 보급 사업에 있어서 초석이 되고자 한다.

제 2 장 원격 모니터링 기법

제 1 절 태양에너지 실증연구 시스템 개요

태양에너지시스템의 실증연구를 위해 광주광역시 조선대학교에 태양에너지 실증연구단지를 구축하여 3kW급 계통연계형 태양열발전시스템 6기와 가정용태양열온수시스템 11기를 2002년에 설치하였다. Fig. 2-5와 Fig. 2-8에 태양광발전시스템과 태양열온수시스템의 설치 모습을 나타내었다.

1. 태양광발전시스템

태양광발전(Photovoltaic generation)시스템은 독립형 시스템(Stand alone system)과 계통연계 시스템(Interconnection of power system), 복합형 시스템(Hybrid system)으로 나눌 수 있다.

본 실증연구에 사용된 계통연계형 시스템은 Fig. 2-1에서와 같이 PV모듈과 인버터를 직접 연결함으로서 PV 모듈로부터 발생되는 직류전원과 계통선의 교류전원을 균형 있게 유지하여 AC부하에 전력을 공급하는 시스템이다. 계통연계형 태양광발전 시스템은 단방향연결형과 양방향 연결형으로 구분할 수 있으며 단방향 계통선 연결방식은 주택용, 공장용 전원 등으로 많이 이용되는 시스템으로서 단방향 계통선 연계형 인버터를 사용하여 부하측에 전력을 공급하며 축전지를 사용하지 않고 운전한다. 그리고 계통선에서는 태양전지에서 공급되는 전력의 부족분만을 부하측으로 공급하는 시스템으로서 Fig. 2-2에 구성도를 나타내고 있다. Fig. 2-3에서와 같이 양방향 계통선 연계방식은 대용량발전소의 경우나 주택용 전원등에 이용하는 시스템으로 계통선 연계형 인버터를 직접 태양전지와 연결하여 PV모듈로부터 발생된 인버터출력이 부하가 필요로 하는 전력보가 클 경우 그 잉여전력은 계통선으로 공급되며, PV모듈로부터 발생된 인버터출

력이 부하가 필요로 하는 전력보다 적을 경우 부족한 전력은 계통선에서 공급된다. 또한 독립형 시스템에서와 같이 고가의 축적설비가 필요 없기 때문에 축전지의 충방전 손실이 없고 효율이 개선되는 장점을 가지고 있다. 그러나 계통연계형 시스템에서 PV 모듈의 발생전력은 인버터를 지나 계통선과 직접 연결되어 있기 때문에 인버터 발생고조파와 유효전력과 무효전력의 동요는 직접 계통선에 영향을 미치게 된다.

계통선에는 많은 시스템이 연결되어 있고 시스템의 발생전력과 수요전력이 균등상태에 있다면 계통선에서의 문제들은 찾기가 매우 어렵다. 그러므로 안정성에 관련된 기술적인 문제들이 나타나게 되며, 이러한 기술적인 문제점 해결을 위해 태양전지와 계통선 사이에 전기적인 절연이 필요하며, 시스템의 제어장치가 복잡해진다. 그러나 연계시스템은 보수가 없고 고가의 축적설비가 필요 없으며 시스템효율이 높기 때문에 주택용 PV시스템으로 사용하기 위한 가장 이상적인 시스템 형태라 할 수 있다.

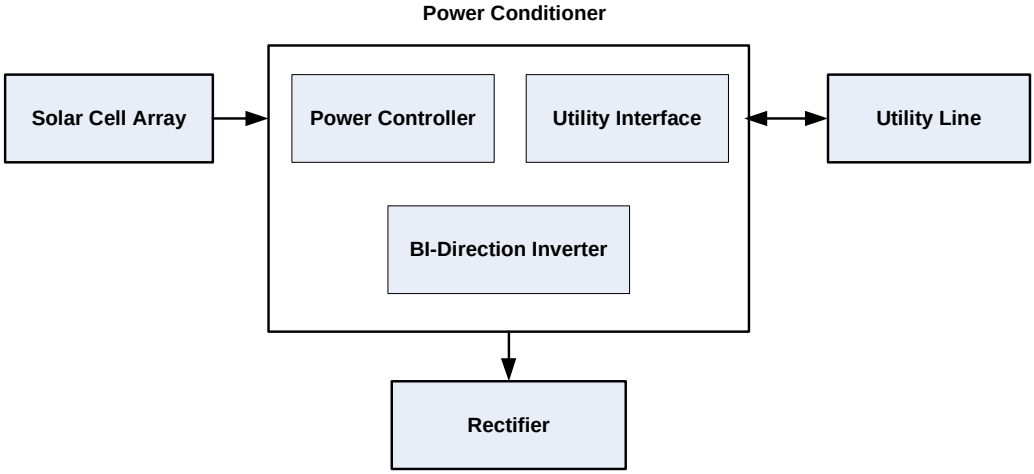


Fig. 2-1 Block diagram of interconnection of power system

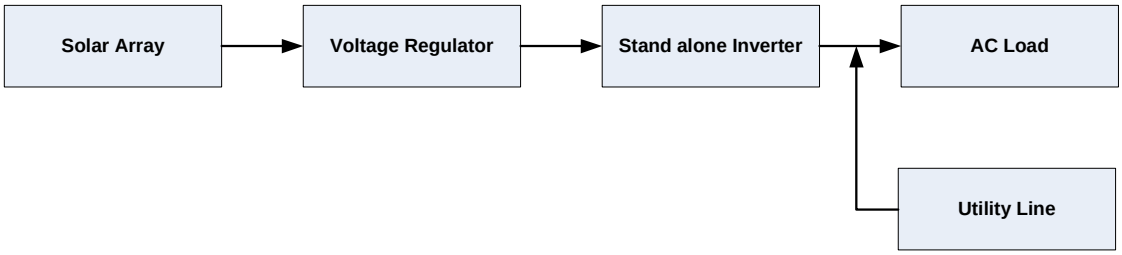


Fig. 2-2 Block diagram of one-side interconnection of power system

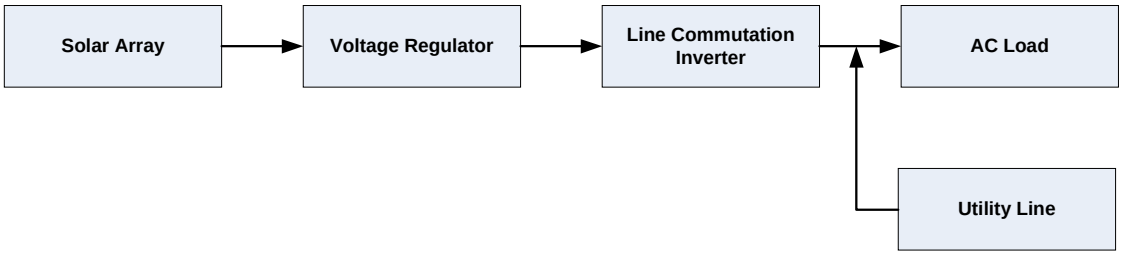


Fig. 2-3 Block diagram of both-side interconnection of power system

본 실증연구에 적용한 태양전지 모듈은 5개의 국내기업인 (주)한국쏠라, LG산전(주), 쏠라테크(주), (주)에스에너지, (주)ATS 쏠라에서 직접 설계, 제작하여 국내 지역에너지 사업 및 시범보급 사업 등에 보급하여 설치하였거나 설치 예정인 국내 제품을 대상으로 하여 실증시험을 수행하였다. 또한 외국의 태양전지 모듈과의 성능비교 분석을 통해 국내 태양전지 모듈의 기술개발 및 성능개선을 목적으로 BP Solar에서 제작한 태양전지 모듈을 Fig. 2-4에서와 같이 실증연구단지에 설치하여 장기간의 실증시험을 통해 국내 태양전지 모듈제품과의 운전 특성을 비교 분석할 수 있게 하였다.

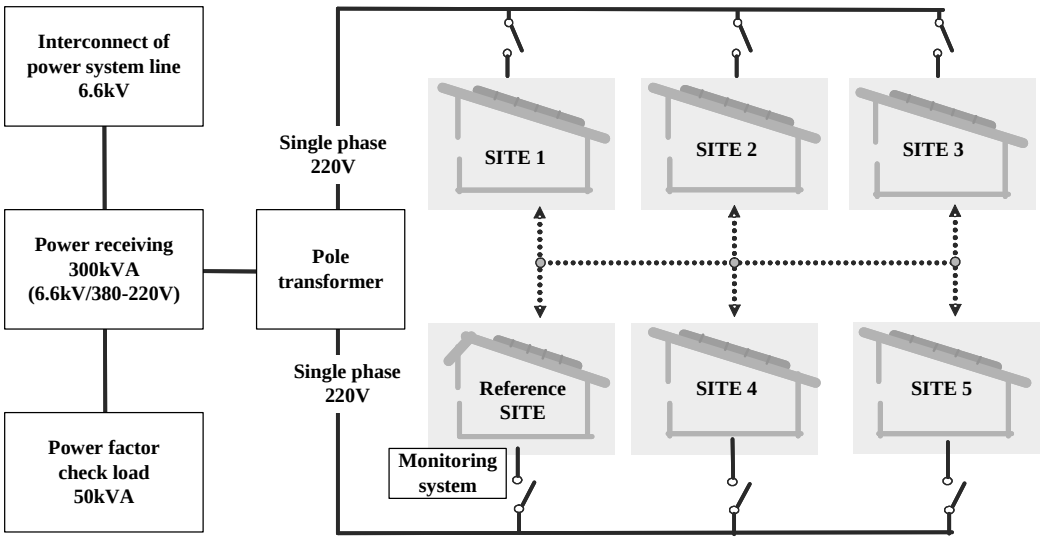


Fig. 2-4 Schematic diagram of PV site for demonstration research

Fig. 2-5에서와 같이 총 6기의 태양광발전시스템을 구축하여 실증연구를 수행하였으며 설치된 태양광발전시스템의 태양전지 모듈의 규격과 어레이 구성을 Table 2-1에 나타내었다.

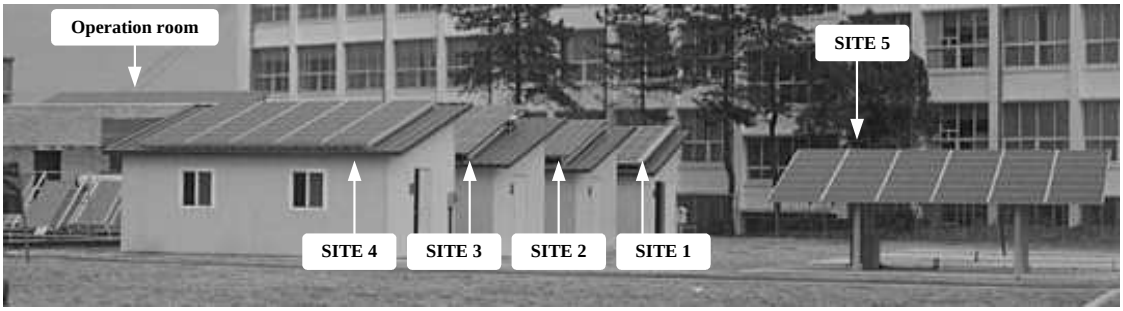


Fig. 2-5 Demonstration research a housing development of PV site

Table 2-1 Standard of solar cell module and composition of array

	BP Solar	Kor-Solar	LG	Solar Tech	S-energy	ATS Solar
Pmax(W)	75	53	53	68	75	73
Voc(V)	21.54	21.0	21.7	21.2	21.8	21.0
Isc(A)	4.88	3.17	3.35	4.7	4.75	4.8
Vm(V)	17.21	17.1	17.4	16.2	17.3	17.0
Im(A)	4.46	2.92	3.05	4.2	4.35	4.4
Cell type	Poly-crystal Si	Single crystal Si	Single crystal Si	Single crystal Si	Poly-crystal Si	Poly-crystal Si
Cell Size(mm)	125×125	103×103	103×103	125×125	125×125	125×125
Module weight (kg)	7.7	5	6.2	7.6	7.7	8.2
Modrle Size(mm)	1204×538×50	984×445×35	1291×328×35	1200×527×35	1204×538×50	1200×546×35
Array composition	14×3	15×4	20×3	22×2	20×2	14×3
Array area(㎡)	27.2	26.27	25.41	27.83	25.91	27.52

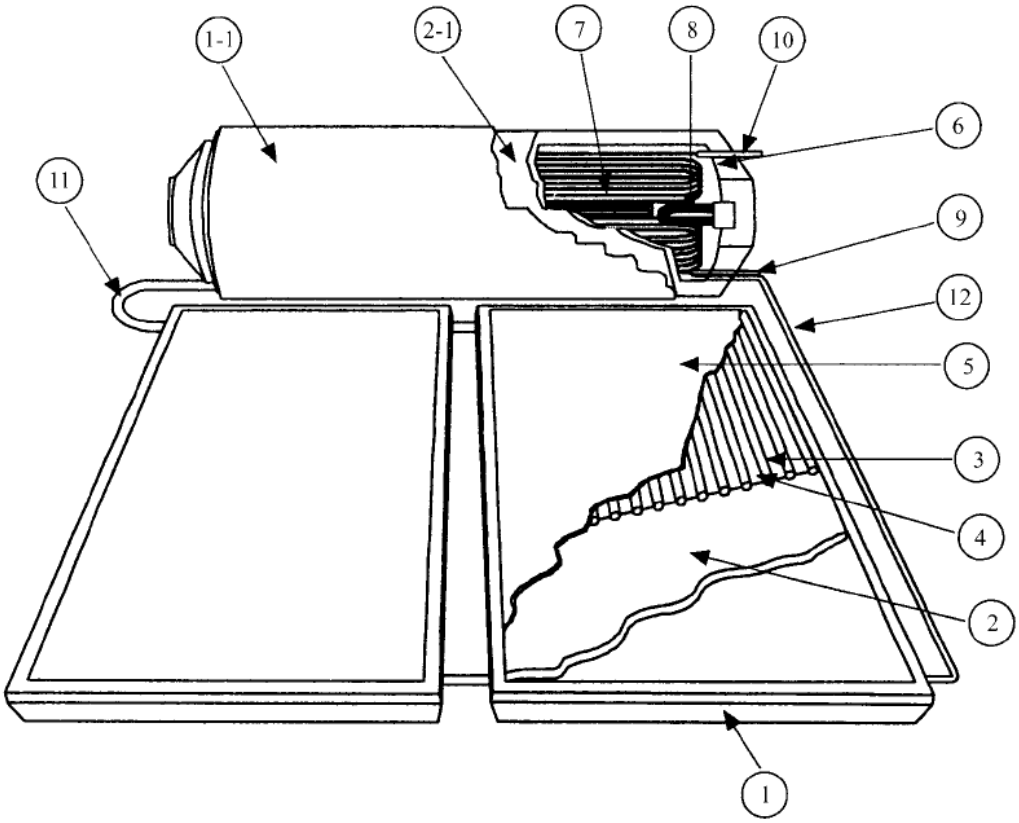
2. 태양열온수시스템

태양열온수시스템의 이용기술은 태양광선의 파동성질을 이용하는 태양에너지 열역학적 이용분야로 태양열의 흡수·저장·열변환등을 통하여 건물의 냉난방 및 급탕등에 활용하는 기술이다. 그러나 태양열온수시스템은 에너지밀도가 매우 낮고 계절별, 시간별 변화가 심한 에너지를 이용하는 시스템이므로 집열과 축열기술이 매우 중요시 되고 있다.

태양열온수시스템은 크게 태양으로부터 오는 에너지를 모아서 열로 변환하는 장치인 집열부와 흡수된 열매체를 저장하는 축열부로 이루어진다. 태양열온수기란 태양열을 이용하여 급탕하는 장치 중, 저탕부 사이의 열 수송에 자연 순환 작용을 이용하는 자연 순환형 온수기와 집열과 저탕 기능이 일체로 된 집열부에 급탕 용수를 탱크에 저장만 하는 탱크 저장형 온수기로서 주로 주택용으로 제조된 것으로 정의 할 수 있으며, 자연 대류형 및 강제 순환형 온수기는 집열부, 저탕부, 급수부와 그들의 접속관, 탱크 저장형 온수기는 집열부, 급수부와 그들의 접속관으로 구성된다.

집열부는 온수기에서 태양에너지를 열에너지로 변환하여 열전달 매체를 가열하는 부분을 말하며, Fig. 2-6과 같이 투과체, 집열체, 단열재, 내부 반사체, 외장 상자, 고정부 등으로 구성된다. 탱크 저장형 온수기에서는 태양 에너지를 열에너지로 변환하고 급탕 용수를 가열하여 저탕하는 부분을 말하며 투과체, 축열탱크, 단열재, 내부 반사체, 외장 상자, 고정부 등으로 구성된다.

저탕부는 자연 대류 또는 강제 순환형 온수기의 집열부에서 얻은 열에너지로 가열된 급탕 용수 및 열매체를 보온, 저장하는 부분으로 축열 탱크, 열 교환기, 팽창 탱크, 단열재, 외장 상자, 고정부, 집열체와의 접속관으로 구성된다. 또한 축열 탱크에는 급수부를 겸하는 것도 있다. 또 태양열로 가열된 급탕 용수를 승온시키기 위한 보조 가열장치를 내장시킨 것도 포함한다. 태양열온수시스템 중 자연대류형 태양열온수시스템(열매체 저장 방식)의 일반적인 구성을 Fig. 2-6에 나타내었다.



No.	Name	No.	Name
1, 1-1	Case	7	Heat exchanger
2, 2-1	Thermal insulation material	8	Electric heater
3	Solar collect pipe	9	Feed water inlet
4	Solar collect plant	10	Drain water outlet
5	Transmit glass	11	Heat medium pipe
6	Heat storage tank	12	Heat medium pipe

Fig. 2-6 Schematic diagram of solar heat energy system

국내에서 처음 시도되는 태양에너지 실증연구에서 태양열 부분에 참여하는 기업은 모두 10개 업체이며, 업체별로 실증에 참여하는 온수기의 사양을 Table 2-2에 나타내었다. 또한 실증연구에서는 국내 업체 제품의 객관적인 성능과 신뢰성을 비교 검증하고자 외국제품 중에서 현재 가장 신뢰성이 입증된 최근 모델인 Solarhart(호주)제품의 자연순환형과 강제순환형 태양열온수기를 Fig. 2-7에서와 같이 설치하였다.

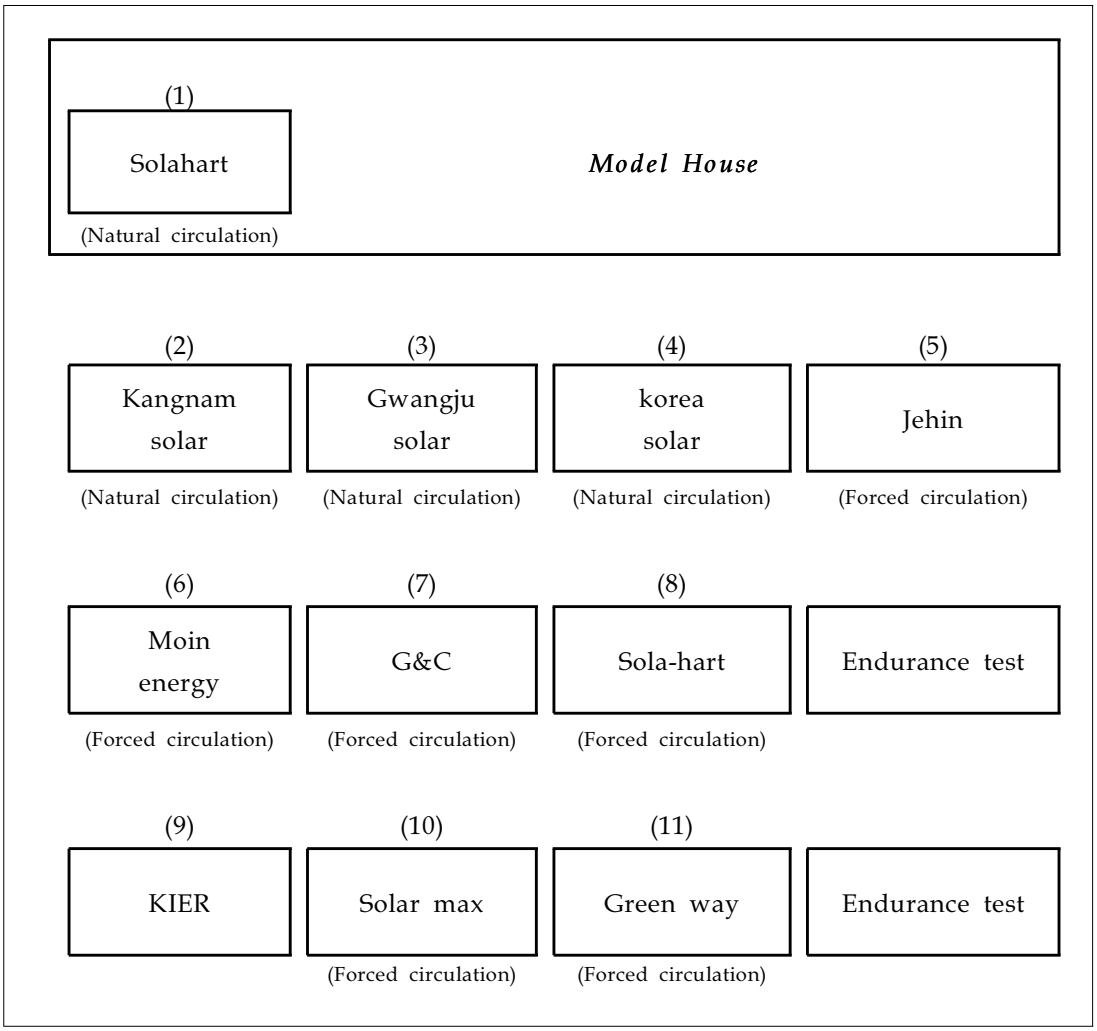


Fig. 2-7 Schematic diagram of solar heater for demonstration research

Fig. 2-8 View of solar heater in demonstration experiment

Fig. 2-8에서와 같이 광주광역시 조선대학교 태양에너지 실증연구단지내에 10개 업체의 11개 태양열온수시스템을 구축하여 2002년 10월부터 2005년 8월까지 실증시험을 수행하였다.

Table 2-2 Specification of solar heater by company

Company name	Spec		note
Kangnam solar	Type	Natural circulation	Heat exchanger internal type
	Solar collector size	101×201×8.5cm	×2
	storage tank size	280L	Heat medium type
	L/m^2 ratio	73.3	
Kwangju solar	Type	Natural circulation	Heat exchanger internal type
	Solar collector size	119×229×9cm	×3
	storage tank size	400L	Heat medium type
	L/m^2 ratio	52.2	
korea solar	Type	Natural circulation	Heat exchanger internal type
	Solar collector size	123×213×8.5cm	×3
	storage tank size	400L	Heat medium type
	L/m^2 ratio	54.3	

Company name	Spec		note
Green way	Type	Forced circulation	Heat exchanger internal type
	Solar collector size	102×204×8.6cm	×3
	storage tank size	320L	Heat medium type
	L/m^2 ratio	62.4	
Moin energy	Type	Forced circulation	Heat exchanger internal type
	Solar collector size	120×229×9cm	×2
	storage tank size	320L	Heat medium type
	L/m^2 ratio	62.4	
Solar max	Type	Forced circulation	Exterior heat exchanger type
	Solar collector size	122×227×8.5cm	×3
	storage tank size	430L	Heat medium type
	L/m^2 ratio	58.9	
Jehin	Type	Forced circulation	Exterior heat exchanger type
	Solar collector size	102×195×8cm	×3
	storage tank size	300L	Heat medium type
	L/m^2 ratio	53.2	
G&C	Type	Forced circulation	Exterior heat exchanger type
	Solar collector size	118×210×8cm	×4
	storage tank size	440L	Heat medium type
	L/m^2 ratio	48.1	

제 2 절 태양에너지 모니터링시스템 구축

1. 태양광발전 모니터링시스템

가. 하드웨어 구성

태양광발전 모니터링 시스템의 하드웨어 구성에는 크게 계측센서, 데이터 로거, 데이터 처리기로 구분된다. 계측센서는 트랜스듀서(Transducer), 트렌스포머(Transformer) 등과 같은 일반 전력 값을 강한 전기 신호로 변환해 주는 전기신호로, 트렌스듀서에 들어오는 신호를 디지털로 변환하여 다양한 통신 프로토콜에 의하여 데이터 처리기로 보내준다. 데이터 처리기에서는 이런 이산화된 신호를 실측 데이터로 변환하여 값을 모니터링 화면상에 보여주는 역할을 한다.

(1) 운전데이터의 계측 및 시스템 구성

본 태양광발전 모니터링 시스템을 통해서 수집된 데이터 계측항목은 운전특성을 계산하고 분석 및 평가하기 위해서 6분의 샘플링 시간간격으로 시스템 구성요소기기의 입출력 정보 및 기상조건을 계측하여 수집하였다. Fig. 2-9는 실증운전 및 시험에 따른 태양광발전시스템의 운전특성을 분석하기 위한 데이터의 계측항목을 보여주고 있다.

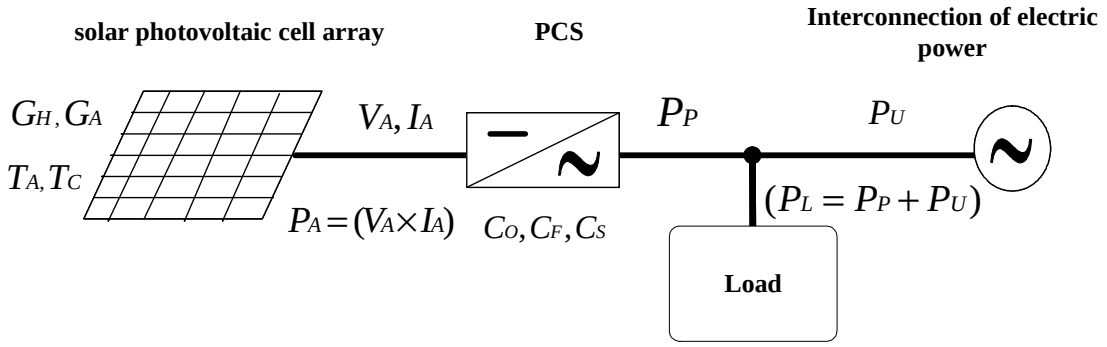


Fig. 2-9 Measurement item of PV system

계측시스템에서는 17개의 계측항목을 계측하여 6분 간격의 평균치로 계산하여 시간별, 월별 보고서로 작성하여 운전데이터를 자동으로 저장한다. 운전데이터 계측 및 수집에 사용된 측정기기는 기상조건 측정용 경사면 및 수평면 일사량계, 외기 온도센서와 태양광발전시스템 운전특성 분석용 모듈표면 온도센서, 전기적 신호의 전력변환기와 입·출력 운전데이터 처리를 위한 통신장치로 구별할 수 있다. 통신장치는 계측기기들에 대한 정보들을 수집하고 운영자의 조작 명령에 따라 전력감시 및 제어 요소에 전달하는 원격단말기를 설치하여 이로부터 수집된 정보를 네트워크로 연결하여 실시간으로 분석 및 처리, 보관하고 운전자와 정보를 교환하는 데이터서버로 구성된다. 데이터 수집 및 처리 등의 통신장치는 10Mbps까지의 고속 통신을 제공하는 네트워크로 설계하여 추가로 대상시스템의 설치확장이 용이할 수 있도록 유연성 있게 구성하였다.

Fig. 2-10은 실증연구단지내의 태양광발전시스템 실증시험을 통한 운전특성의 평가분석을 위한 태양광발전 모니터링시스템의 구성을 보여준다.

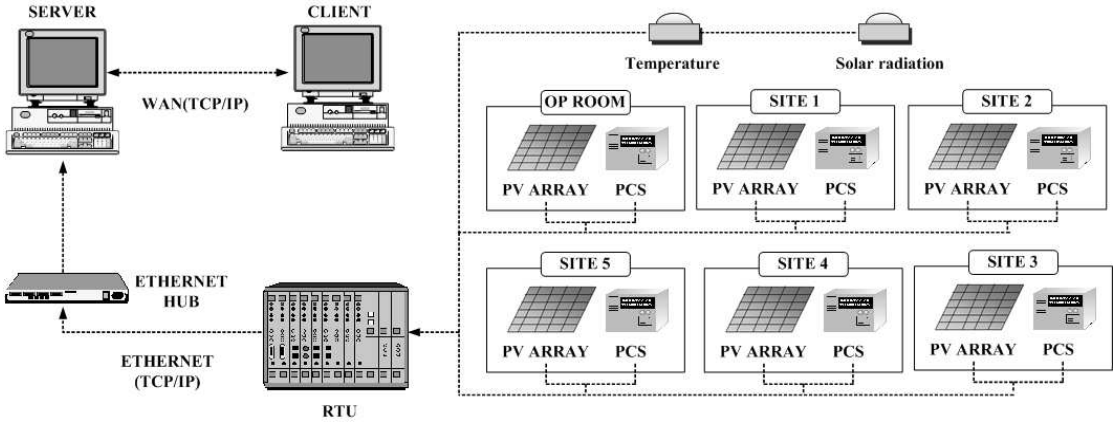


Fig. 2-10 Schematic diagram of monitoring system in PV system

(2) 원격단말기(Remote Terminal Unit)

태양광발전시스템에서 실증시험에 의한 운전특성분석 및 평가에 필요한 전기적 입·출력 정보를 받아 데이터서버에서 효율적으로 처리할 수 있도록 신호를 가공하여 전송

하며 또한 데이터서버로부터 제어신호를 출력신호로 발생시키는 인터페이스(Interface) 기능을 가진다. ELPM(Ethernet Loop Processor Module)과 CPM(Central Processor Module)의 고기능 CPU를 탑재하고 있어 독립적으로 또는 연계적인 감시가 가능한 분산 제어형 구조로서 데어터버서와의 통신 장애가 발생될 경우에도 제어계에는 영향을 주지 않으며 IPS(Integrated Personal Station)에서 독립적으로 운전데이터 감시가 가능하다.

(3) 데이터서버

모니터링시스템의 핵심이 되는 주 장치로서 Windows2000 server, SCO Unix/Open Desktop, Vax/VMS등의 Multi-User 구조의 OS를 기반으로 산업용 PC, Vax System, Dec/AXP등 다양한 형태의 개방형 시스템 플렛폼상에 동일한 기능을 수행하는 범용구조로 되어 있다. 또한 관제 포인트를 최대 20,000까지 수용할 수 있는 실시간 데이터베이스와 다양하고 사용하기에 편리한 구조의 사용자 인터페이스를 제공한다. 그리고 단일 네트워크상에 클라이언트 서버 형식의 구조로 최대 40 Station까지 IPS의 오퍼레이터 콘솔(Operators console)을 접속할 수 있다.

(4) 트랜스듀서

온도, 직류전압, 전류, 교류전압, 전류, 주파수, 전력, 역율 등을 측정하여 이에 대응하는 직류전압 또는 전류신호로 변환 출력하는 기기로서, 전력 감시 및 제어 시스템에 필수적인 기기이다.

나. 소프트웨어 설계

실증연구단지의 각 사이트에 설치된 원격단말기로부터 실시간으로 전송되어오는 각종 정보를 다양한 형태의 그래프로 보여주면서 감시계측시스템에서 수용된 모든 관측 포인트를 화면으로 보여줄 수 있게 설계하였다. 또한 일정한 시간 간격으로 데이터를 저장해 두었다가 사용자 요구에 따라 그래프 혹은 네트워크상의 응용 소프트웨어를 이용하여 분석 가능하며 출력시킬 수 있고 선택된 데이터를 가지고 운영자가 여러 가지 형태로 활용할 수 있는 Historical archive 기능을 구현하였다. 또한 각종 신호변환기 혹은 원격단말기로부터 실시간 전송되어오는 계측정보에서 오차의 설정치 이상 그리고 시스템 이상 등의 운전, 정지 및 경보 상황을 사용자에게 알려주고 프린트할 수 있게 구성하였다. Fig. 2-11은 실증연구단지에 설치된 전체 태양광발전시스템의 운전 상태를 실시간으로 감시·관리하고 세부적으로는 각 사이트별로 태양광발전시스템의 운전 상태를 감시하여 정상운전여부를 사용자가 신속히 판단할 수 있는 모니터링시스템의 감시화면을 보여준다.

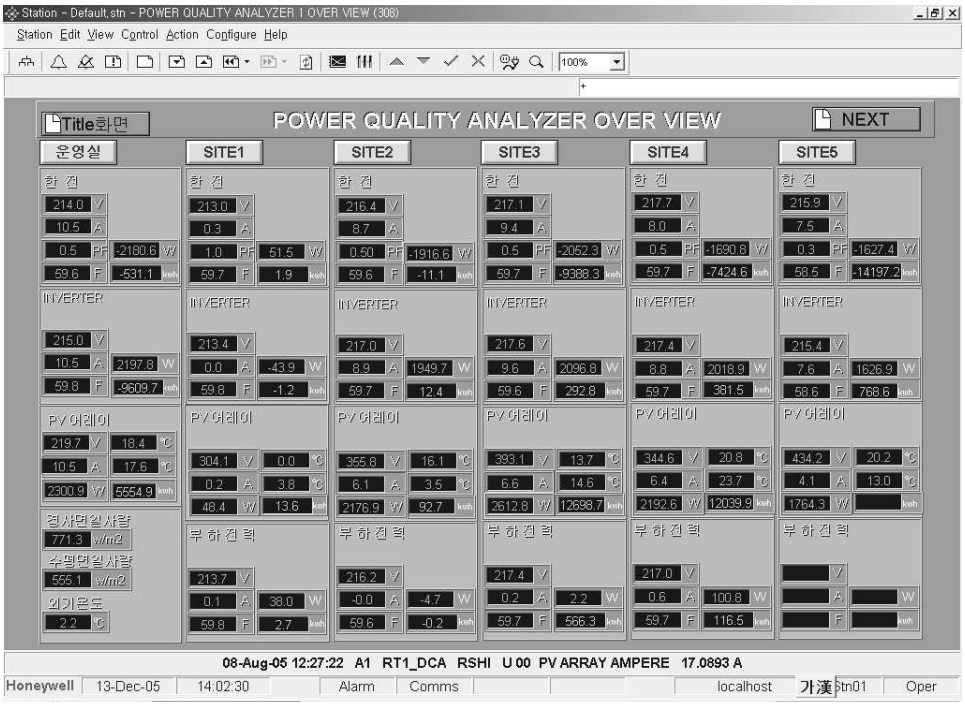


Fig. 2-11 View of monitoring program in PV system

태양광발전 모니터링프로그램은 NI(National Instrument)에서 만든 Labview를 이용하여 설계 및 개발하였다. 프로그램의 주요 기능은 AGO(Animation Graphic Object)를 사용하여 다양한 비트맵 그래픽 라이브러리와 애니메이션 설정이 이미 되어 원하는 모양의 대상를 조합하는 것만으로 최소의 작업 시간으로 입체적인 애니메이션 화면을 창조할 수 있도록 구성하였으며, 한 PC에서 디지털/아날로그의 총 120,000개의 대용량 제어 포인트를 동시에 감시 제어 할 수 있다는 것이다.

Fig. 2-12는 실증운전을 통해서 수집된 운전데이터에 대한 보고서 파일로 각 사이트의 일별, 시간별 운전데이터를 마이크로소프트 엑셀 파일로 저장됨을 보여준다. 실증운전 데이터는 6분 간격으로 측정된 데이터를 저장하는 방식과 6분 간격으로 측정된 데이터를 1시간 간격으로 변환시켜 저장하는 방식으로 되어 있다. 측정데이터는 Fig. 2-12에서와 같고 1시간 간격으로 변환된 데이터 값은 일사량의 경우 6분 간격으로 측정된 순시데이터를 1시간 동안의 평균값으로 변환시켜주고, 나머지 데이터들은 6분 간격으로 측정된 순시데이터를 시간단위로 합산하여 변환시켜준다.

Hour	Weather			Photo Voltaic Array					Inverter			Kepco		
	Global Irradiaition [㎾/m²]	Horizontal Irradiaition [㎾/m2]	Outdoor Temp [℃]	Voltage [V]	Ampere [A]	Power [W]	Surface Temp1 [℃]	Surface Temp2 [℃]	Voltage [V]	Ampere [A]	Active Power [W]	Voltage [V]	Ampere [A]	Active Power [W]
23:00	7.8076859	6.3710628	6.62779	-0.2842	0.25718	-0.0735	0.82868	0.94254	214.6767	0.02882	-34.025	214.149	0.20028	17.2102
22:00	7.0211329	5.5039268	6.68171	-0.3005	0.25711	-0.0774	0.28932	0.39246	213.6417	0.02839	-33.881	213.12	0.19986	16.9933
21:00	6.7913389	5.167697	6.97163	-0.2707	0.25692	-0.0695	0.80118	0.89117	213.6951	0.02836	-34.152	213.168	0.19979	16.9802
20:00	6.6727619	4.6226354	6.41537	-0.26	0.25709	-0.066	0.74352	0.88041	214.3297	0.02873	-33.648	213.807	0.20016	17.1768
19:00	7.2287927	5.2882977	5.88761	-0.2677	0.25712	-0.0687	0.32943	0.4786	214.0557	0.0285	-33.221	213.529	0.19977	17.09
18:00	5.9120965	4.8430305	4.76293	-0.2448	0.25712	-0.0632	-1.2834	-1.30823	213.5065	0.02828	-33.185	212.967	0.19942	16.8345
17:00	5.9402118	4.177165	2.95169	5.62398	0.25959	1.50674	-3.03324	-3.14696	212.8695	0.02848	-33.043	212.33	0.19977	16.8278
16:00	63.160896	40.211399	2.77093	181.152	0.33052	57.7481	-1.69053	-1.86793	213.1978	0.02857	-32.891	212.649	0.20072	17.133
15:00	327.72174	219.711	5.20099	295.233	0.31056	91.6526	9.53399	9.01229	213.1283	0.02917	-32.349	212.6	0.20091	17.6109
14:00	557.65155	399.45654	8.76294	288.223	0.3119	89.8966	24.9929	23.8434	212.6361	0.02864	-32.565	212.126	0.20064	17.625
13:00	712.33734	521.75452	11.0163	283.172	0.31274	88.5533	34.4149	31.6609	212.3896	0.02885	-33.228	211.915	0.20058	17.5482
12:00	790.34015	573.39825	13.0508	280.501	0.31179	87.4729	38.9573	35.4906	212.2682	0.02949	-33.731	211.809	0.19996	17.279
11:00	808.02869	587.63959	15.1382	276.345	0.31248	86.3564	43.5041	40.4131	212.4882	0.03042	-34.243	212.029	0.1999	17.1864
10:00	770.43732	567.02954	16.799	276.103	0.31262	86.3259	43.0206	40.4224	211.7509	0.03204	-34.759	211.294	0.19994	17.2185
9:00	671.25812	501.49292	17.7999	277.812	0.3125	86.8437	39.0455	36.5131	212.2613	0.03243	-35.12	211.815	0.1996	17.44
8:00	478.94479	351.43631	18.4312	279.3	0.31251	87.2751	31.4852	29.8972	212.4907	0.03219	-35.126	212.041	0.19937	17.3639
7:00	231.59868	163.09006	18.1375	275.541	0.31245	86.0637	21.5508	20.451	211.9085	0.03148	-34.824	211.455	0.19947	17.0705
6:00	26.235132	19.038395	15.3355	104.213	0.29549	32.7725	9.78785	9.32095	211.6499	0.03152	-33.957	211.175	0.19949	16.7366
5:00	8.0545492	6.2219048	12.2801	-0.0875	0.25734	-0.022	5.98792	5.74812	211.6	0.03171	-34.399	211.109	0.19983	16.5055
4:00	8.8612652	6.4745812	11.8739	-0.2632	0.25707	-0.068	5.29494	5.16302	211.9044	0.03183	-34.042	211.41	0.20044	16.7122
3:00	8.8709888	6.1853628	10.8179	-0.251	0.25703	-0.0643	4.33894	4.27564	212.4232	0.03212	-33.635	211.904	0.20118	16.667
2:00	8.5098295	xt be made w	9.63013	-0.2368	0.25723	-0.0613	3.341	3.25759	213.0997	0.03217	-33.542	212.573	0.20139	16.889
1:00	8.0740719	xt be made w	8.89326	-0.2347	0.25703	-0.0605	3.03897	2.89629	213.0036	0.03134	-33.194	212.477	0.20107	16.8796
0:00	7.9234385	xt be made w	8.34663	-0.228	0.25706	-0.0588	2.64541	2.5578	212.6835	0.03094	-32.761	212.156	0.20039	17.0253
Max	808.0287	587.6396	18.431	295.23	0.3305	91.653	43.504	40.422	214.68	0.0324	-32.35	214.15	0.2014	17.625
Aver	230.6409	190.434	10.191	117.51	0.2825	36.738	13.247	12.424	212.82	0.0302	-33.73	212.32	0.2002	17.083
Total	5535.383	3999.114	244.58	2820.3	6.7805	881.71	317.93	298.19	5107.7	0.7245	-809.5	5095.6	4.8039	410

Fig. 2-12 Data report of PV system monitoring system

Table 2-3에서는 태양광발전 모니터링 시스템을 통해 측정된 데이터의 엑셀 주소에 따른 형식을 나타내고 있다.

Table 2-3 Excel address of measurement data

Measure data of O/M		Measure data of site 1, 2, 3, 4		Measure data of site 5	
Item	address	Item	address	Item	address
Hour	A5~	Hour	A5~	Hour	A5~
Golbal Irradiation	B5~	PVA Voltage	B5~	PVA Voltage	B5~
Horizontal Irradiation	C5~	PVA Ampere	C5~	PVA Ampere	C5~
Outdoor Temp	D5~	PVA Power	D5~	PVA Power	D5~
PVA Voltage	E5~	PVA Surface Temp1	E5~	PVA Surface Temp1	E5~
PVA Ampere	F5~	PVA Surface Temp2	F5~	PVA Surface Temp2	F5~
PVA Power	G5~	Inverter Voltage	G5~	Inverter Voltage	G5~
PVA Surface Temp1	H5~	Inverter Ampere	H5~	Inverter Ampere	H5~
PVA Surface Temp2	I5~	Inverter Active Power	I5~	Inverter Active Power	I5~
Inverter Voltage	J5~	Load Voltage	J5~	Kepco Voltage	J5~
Inverter Ampere	K5~	Load Ampere	K5~	Kepco Ampere	K5~
Inverter Active Power	L5~	Load Active Power	L5~	Kepco Active Power	L5~
Kepco Voltage	M5~	Kepco Voltage	M5~		
Kepco Ampere	N5~	Kepco Ampere	N5~		
Kepco Active Power	O5~	Kepco Active Power	O5~		

2. 태양열온수 모니터링시스템

태양열온수시스템의 실증연구를 원활하게 진행하기 위해서는 11개 업체에서 설치한 온수기 제어와 모니터링의 자동화가 필요하게 된다. 따라서 한국에너지기술연구원에서 제공해준 시험방법과 제어방법 및 검출할 데이터를 파악하기 위해 비주얼베이직(Visual basic) 툴을 이용하여 제어 프로그램과 모니터링 프로그램을 설계 및 구성하였다. 개발초기에는 제어용 컴퓨터와 모니터링용 컴퓨터를 각각 사용하여 시스템을 구축하고자 하였으나, 시스템 구축비용의 부담에 따라 제어와 모니터링을 동시에 한 컴퓨터에서 구현하도록 수정하였다. 태양열 온수기 실증연구의 원활한 진행을 위하여 랜 기반의 모니터링 시스템과 계측장비를 구축하였고 제어 및 모니터링을 자동으로 수행하는 컴퓨터 프로그램 설계 및 개발하였으며 컴퓨터에 의한 완전 자동제어를 위하여 인터페이스 회로 및 제어 판넬을 적용하였고, 인터넷을 이용한 원격 모니터링과 원격 실험을 가능하게 하기 위하여 TCP/IP 기반의 Symantec pcAnywhere을 탑재하였다.

태양열온수시스템의 실증실험은 총 10개 회사에서 제작한 온수기를 사용하였으며 제어함에는 순환 및 배수를 제어할 수 있는 제어용 펌프와 솔레노이드밸브, 유량계를 설치하였다. 제어함을 운영할 수 있는 컨트롤 판넬은 자동·수동·Off 전환 스위치, SSR(Solid State Relay), 인터페이스 카드, 전원공급부, 전원차단기로 구성하였으며, 온도, 일사량, 풍향, 풍속, 유량을 측정할 수 있는 센서를 설치하여 NetDAQ을 통해 데이터를 취득하였다. 실증실험 수행을 위한 엔지니어링 워크스테이션급의 제어컴퓨터에는 비주얼베이직으로 프로그래밍한 모니터링 프로그램을 탑재하였다. Fig. 2-13에서와 같이 태양열온수기 모니터링 시스템은 크게 기상관측 시스템과 태양열온수시스템 환경측정, 제어부로 구성된다. 기상관측 시스템에서는 경사면일사량과, 수평면일사량, 외기온도를 측정할 수 있고, 태양열온수시스템 환경측정부에서는 시수온도, 배수온도, 축열조 온도, 집열기 입·출구 온도가 계측되며 측정된 데이터를 데이터로거를 통해 변환하여 컨트롤 판넬과 제어컴퓨터에 저장되게 된다. 제어컴퓨터와 컨트롤 판넬에서는 태양열 온수 시스템의 전동변을 각각 제어하여 배수와 순환을 조절하게 된다. 또한 제어컴퓨

터는 pcAnywhere를 통해 외부 컴퓨터에서도 네트워크상으로 제어와 모니터링이 가능하도록 하였다.

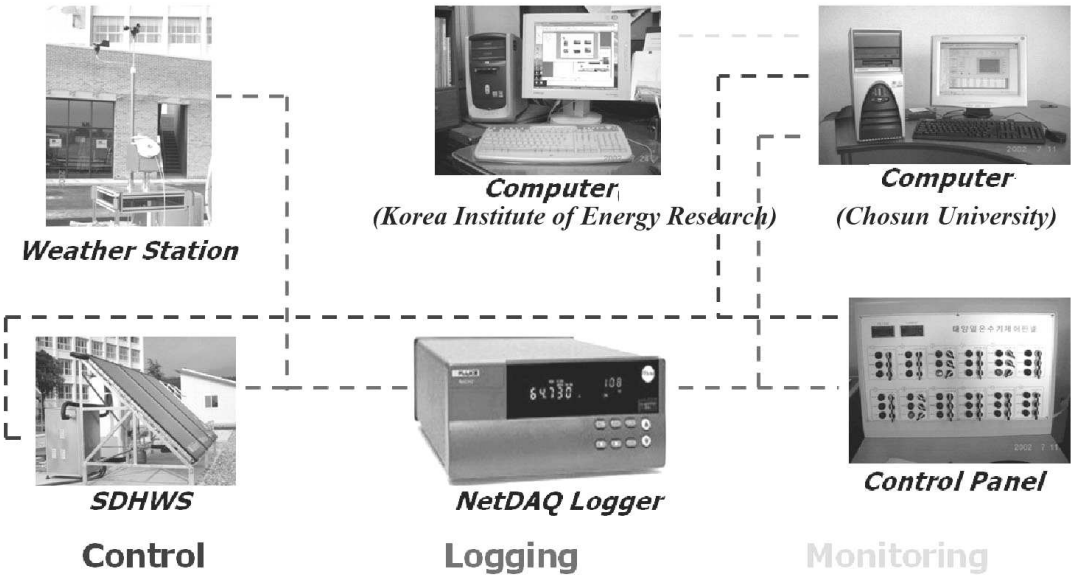


Fig. 2-13 Schematic diagram of solar heater monitoring system

가. 하드웨어 구성

(1) 온수기 설치

태양열온수시스템은 총 10개 업체의 제품을 사용하였고 보조열원을 포함하는 온수시스템의 경우 장착은 하였으나 가동은 하지 않았다. 또한 배관의 보온과 열손실, 동파를 최소화하기 위해 모든 배관에 열선을 설치하고 보온재를 사용해 보온하였으며 집열기에서 저탕조까지의 배관길이를 5m이하로 제한하였다. 실험 장치로는 제어용 컴퓨터, 수평면 일사량계, 경사면 일사량계, 릴레이를 작동시키기 위한 출력 발생기능이 포함되어 있는 플루크 데이터로거, 시수용 자동펌프 각 1대, 적산 기능이 포함된 전자식 유량계 각 1대, 전동변 각 2개(배수용, 교반용)가 사용되었으며, 경사면 전일사량, 수평면 전일사량, 외기온도(집열면 및 저탕조 주변), 시수온도, 급탕온도, 저탕조 내부온도(교

반 및 내부장착 센서값), 유량(시수 및 배수 동일값), 펌프 동력(강제순환식의 열매체 이송 동력), 열매체 입 출구온도를 측정할 수 있는 각종 계측기를 설치하였다.

(2) Digital Input/Output Board

태양열 온수기업체의 제어반을 컴퓨터에서 제어하기 위해서는 I/O 보드가 필요하게 된다. 이 I/O 보드를 통하여 컴퓨터 내부의 명령을 전압형태로 바꾸어 신호를 전송하게 된다. 사용된 I/O 보드는 ADLINK사의 PCI-7296 모델이며, 이 제품은 디지털 IO전용 보드이며 출력 96Ch, TTL신호레벨을 사용하고 있다. 따라서 TTL 레벨 신호를 이용하여 펌프나, 솔레노이드 밸브를 제어하기에는 너무 미약한 신호이므로 I/O 보드 출력단에 SSR을 사용하여 AC-220V를 제어하도록 하였다. Fig. 2-14에서는 모니터링 시스템에 사용된 Digital I/O board의 테스트 과정을 나타내고 있다.

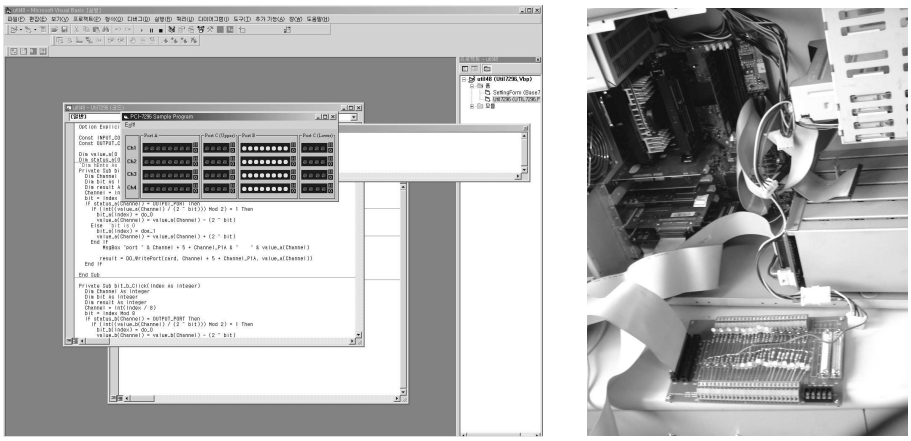


Fig. 2-14 Test of digital I/O board and terminal board

(3) 컨트롤 판넬

컨트롤 판넬은 컴퓨터와 외부에 장착되어 있는 펌프, 솔레노이드 밸브를 링크시켜주는 역할과 자동제어 모드, 수동제어모드를 선택할 수 있도록 하였다. 스위치 및 램프는 각 업체당 배수와 순환, 유량을 표시하기 위해 3조로 구성하였으며 판넬 제작시 각 램프 및 스위치에 해당 명칭을 기입하여 구분하였으며 가로방향에는 램프, 자동/수동 셀

렉타스위치, 수동 on/off 스위치 순서로 배치하였고 세로방향으로는 순환, 배수, 예비의 순서로 배치하였다. 컨트롤 판넬은 데스크 타입으로 제작하였으며, Fig. 2-16에서처럼 길이 850mm, 높이 490mm, 하단폭 270mm의 제어판넬을 제작하여 데스크 위에 설치하고 데스크 하부에 앞, 뒤로 문을 만들어 배선하였다. Fig. 2-15에서는 태양열온수기 컨트롤 판넬의 회로 배선에 대한 개략도를 나타내었다.

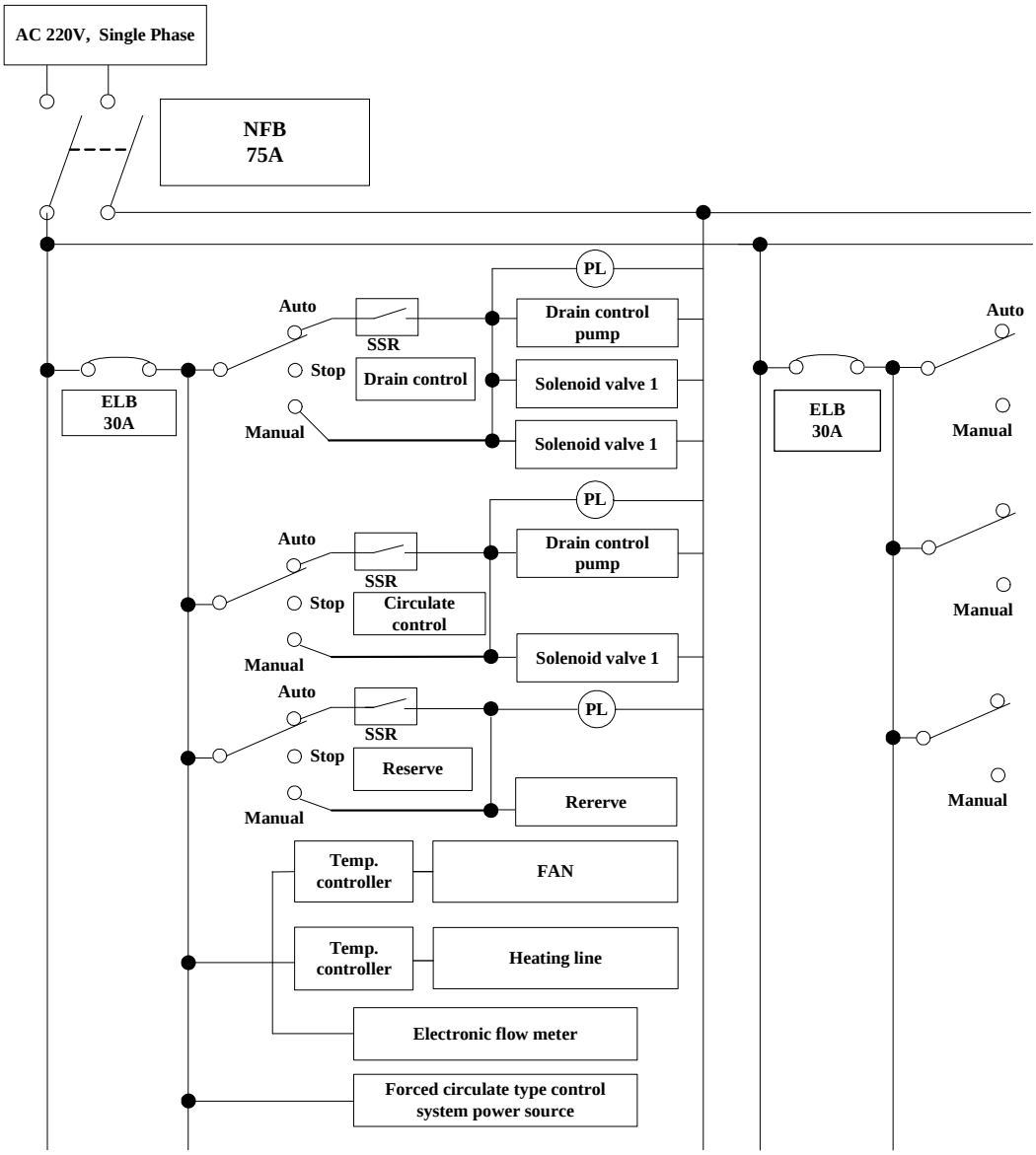


Fig. 2-15 Schematic diagram of control panel circuit

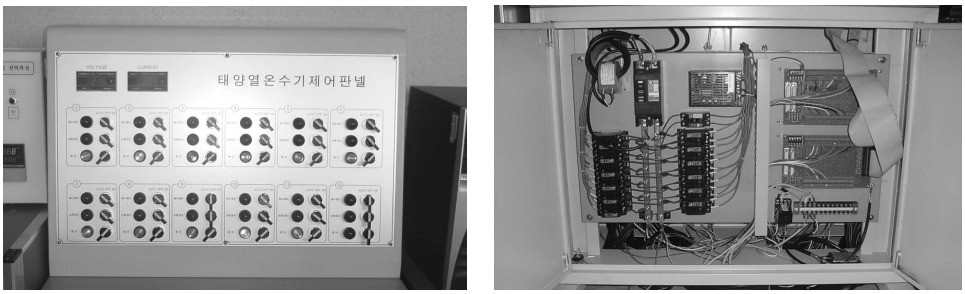


Fig. 2-16 The finished control desk panel

(4) 태양열 온수기 제어반

태양열온수기 제어반은 유량계, 순환펌프, 배수펌프, 배수용 솔레노이드 밸브, 순환용 솔레노이드 밸브, 전원차단기, 동파 방지용 히터 및 과열방지용 팬으로 구성되어 있다.

태양열에너지 실증단지 내의 컴퓨터에서 제어신호가 발생되면 컴퓨터와 연결되어 있는 컨트롤 판넬 내부 SSR이 동작되면서 태양열 온수기 제어반에 해당되는 제어요소에 전원을 공급하여 동작되도록 구성되어 있다. Fig. 2-17에서는 태양열온수기 제어반에 설치된 제어시스템의 구성을 나타내었고 그에 따른 제어반 내부 결선도를 Fig. 2-18에 나타내었다.

Fig. 2-17 Control box of solar heater system

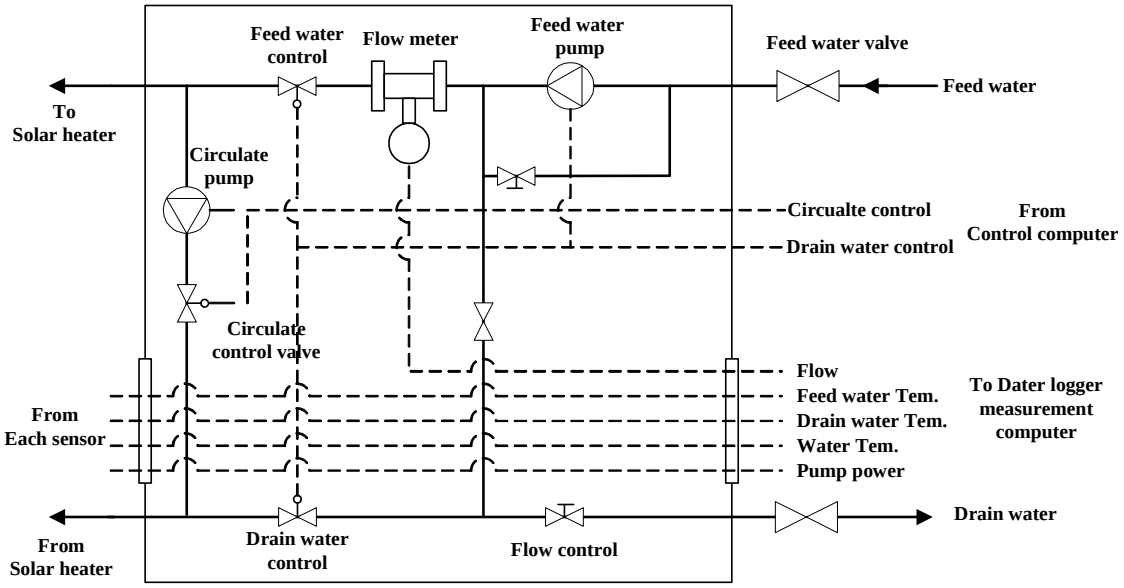


Fig. 2-18 Connect line diagram of solar heater system control box

(5) 기타센서

태양열온수시스템의 각종 데이터 취득을 위하여 사용된 기타센서로서는 경사면/수평면 일사량 센서 각 1기와 풍속계, 풍향계, 유량계, 온도센서 등이 있으며 이들 센서에서 측정된 값을 모니터링 컴퓨터로 전송하는 NetDAQ 2640A등이 있다.

온도센서로는 서머커플을 사용하였으며, 공통온도데이터는 온수기 주변의 온도를 측정하기 위해 지상에서 대략 1m 위, 집열기로부터 1.5m 이상, 10m이내의 그늘진 곳 2개소에 설치하였고, 각각의 태양열온수시스템에 시수온도, 배수온도, 축열조온도, 집열기 입구온도, 집열기 출구온도를 측정할 수 있는 곳에 각각 설치하였다. 온도센서 중에서 외기온도 측정용은 ±0.5℃정확도에 ±0.2℃의 정밀도, 냉수 및 온수온도와 기타 유체의 온도측정용은 ±0.1℃의 정확도에 ±0.1℃의 정밀도, 5sec의 응답속도를 갖는다.

사용된 유량계는 Promag 50 모델을 사용하였으며, 측정모드는 전류측정모드를 사용하였다. 전류측정모드로 전환하기 위하여 유량계 터미널 26번, 27번 단자에 ± 1% 250 Ω 1/4W 정밀급 저항을 사용하였다. 이들 센서로부터 취득된 데이터에 대한 NetDAQ 2640A의 채널할당 현황을 Table 2-4에 나타내었다.

Table 2-4 Channel assignment in NetDAQ 2640A[2)]

장비 / 채널	NetDAQ No.1		NetDAQ No.2		NetDAQ No.3		NetDAQ No.5
CH1	1 *Solahart*	101	5 Jehin	306	8 *Solahart*	503	Solahart
		F/W temp.		F/W temp.		S/T in temp.	Flow M
CH2		102		307		Pump power	Kangnam
		D/W temp.		D/W temp.			Flow meter
CH3		103		308		504	Gwangju
		S/T in temp.		S/T in temp.		H/M in temp.	Flow meter
CH4		104		Pump power		505	Korea
		H/M in temp.				H/M out temp.	Flow meter
CH5		105		309	9 *Solar max*	601	Jehin
		H/M out temp.		H/M in temp.		F/W temp.	Flow M
CH6	2 *Kangnam*	201		310		602	Moin
		F/W temp.		H/M out temp.		D/W temp.	Flow M
CH7		202	6 Moin	401		603	*G & C*
		D/W temp.		F/W temp.		S/T in temp.	Flow meter
CH8		203		402		Pump power	Solahart
		S/T in temp.		D/W temp.			Flow meter
CH9		204		403		604	Solar max
		H/M in temp.		S/T in temp.		H/M in temp.	Flow meter
CH10		205		Pump power		605	Greenway
		H/M out temp.				H/M out temp.	Flow meter
CH11	3 *Gwangju*	206		404	10 *Greenway*	606	KIER
		F/W temp.		H/M in temp.		F/W temp.	Flow meter
CH12		207		405		607	211
		D/W temp.		H/M out temp.		D/W temp.	Out temp. 1
CH13		208	7 *G & C*	406		608	212
		S/T in temp.		F/W temp.		S/T in temp.	Out temp. 2
CH14		209		407		Pump power	G irradiation
		H/M in temp.		D/W temp.			
CH15		210		408		609	H irradiation
		H/M out temp.		S/T in temp.		H/M in temp.	
CH16	4 *Korea*	301		Pump power		610	Air speed mater
		F/W temp.				H/M out temp.	
CH17		302		409	11 *KIER*	506	Air flow meter
		D/W temp.		H/M in temp.		F/W temp.	
CH18		303		410		507	
		S/T in temp.		H/M out temp.		D/W temp.	
CH19		304		501		508	
		H/M in temp.		F/W temp.		S/T in temp.	
CH20		305		502		Pump power	
		H/M out temp.		D/W temp.			

註 2) F/W : Feed water, D/W : Drain water, S/T : Storage tank, H/M : Heat Medium

나. 소프트웨어 설계

개발된 모니터링 프로그램은 데이타측정, 일일시험 교반식, 일일시험배수식, 단기간시험, 연속배수시험으로 나누어지며 풀다운 메뉴로 구성하였다.

그리고 모니터링 프로그램은 태양열온수시스템으로부터 데이터만을 취득하여 저장하고 관리하는 것뿐만 아니라 각각의 실험방법에 따라서 태양열온수시스템의 제어함을 제어하여야만 한다. 따라서 모니터링 프로그램에서는 각각의 시수제어변과 배수제어변, 순환제어변과 순환펌프를 제어할 수 있는 구조이여야만 한다. Table 2-5와 Table 2-6에서는 각각의 제어 장치들을 제어할 수 있는 제어알고리즘과 태양열온수시스템 제어반의 제어에 대한 프로그램 설계에 대해 개략적으로 나타내고 있다.

Table 2-5 Design summary of monitoring program

	Feed water controller Drain water controller		Circulate controller Circulate pump	
manual	on, off		on, off	
Auto	on	set timeblock	on	set timeblock
	off	set D.Volumeblock or set Tin=Tout	off	set timeblock or set Tin=Tout
	com	off	com	off
Note	timeblok : Test start time input D.Volumeblock : Drain water flow input Tin : Feed water temperature Tout : Hot water temperature			

Table 2-6 Monitoring program input by each examination

Division		Feed water controller Drain water controller	Circulate controller Circulate pump
Continuous drain test		• Drain start time input of over time(on work) • Drain flow input(off work)	• Working time input(AM 6:30, PM 6:30) • Off input(Time or Tin=Tout)
Daily test	Agitation test	• Feed water(Storage tank packing) after manual off	• Working time input(AM 8:30, PM 4:30) • Off Input(Time or Tin=Tout)
	drain type	• Working time input(PM 4:30) • Off input(Tout-Tin≤2℃)	• Manual off
	Keeping worm test	• Feed water(Storage tank packing) after manual off	• Working time input(21:00～06:00 3hour interval input) • Off input(Time or Tin=Tout)
	Hot water used test	• Working time input(anytime) • Off input(Tout-Tin≤0℃)	• Manual off

(1) 데이타 측정

초기 셋업을 마친 후 데이터 측정모드를 선택하면 Fig. 2-19와 같은 화면이 뜨게 되는데, 이 모드에서는 화면상에서 마우스로 테스트하고자 하는 업체의 배수와 순환 버튼을 클릭하면 각각 독립적으로 동작하게 되고 이때 측정된 값을 화면에 나타내게 된다. 이 데이터 측정 모드는 장비와 센서의 이상 유무 및 고장진단 시에 활용된다.

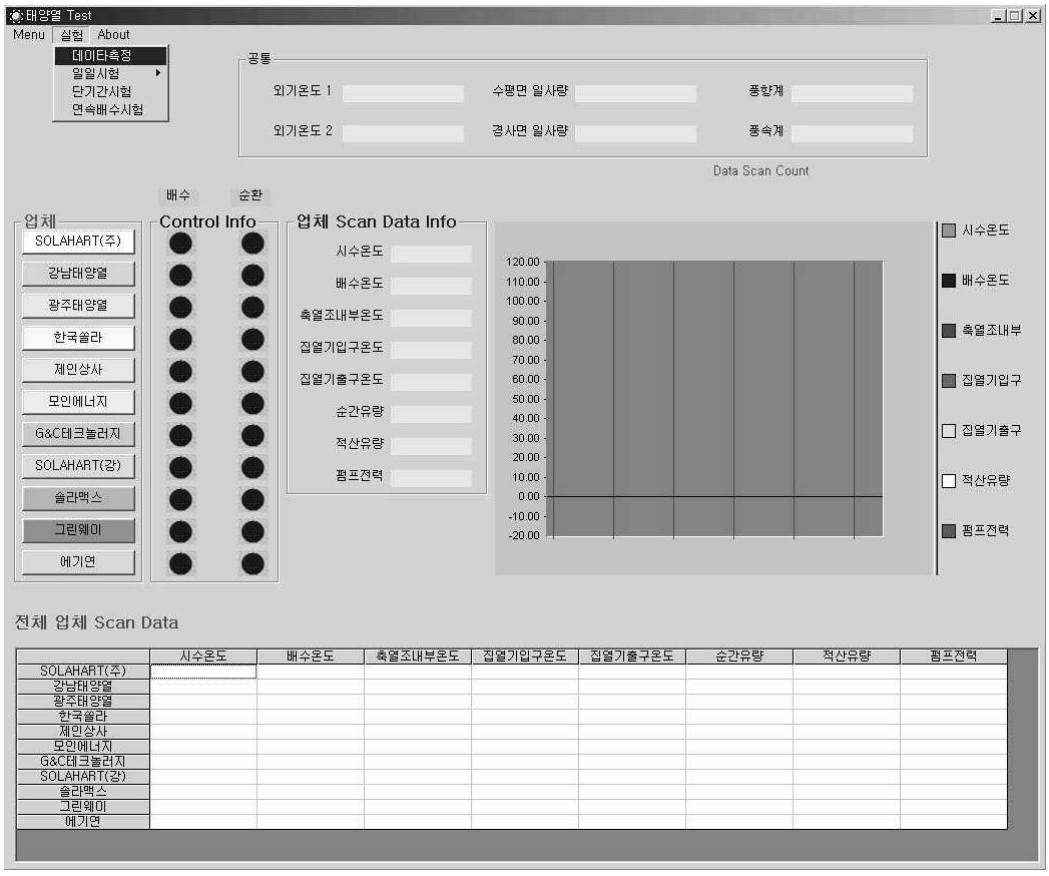
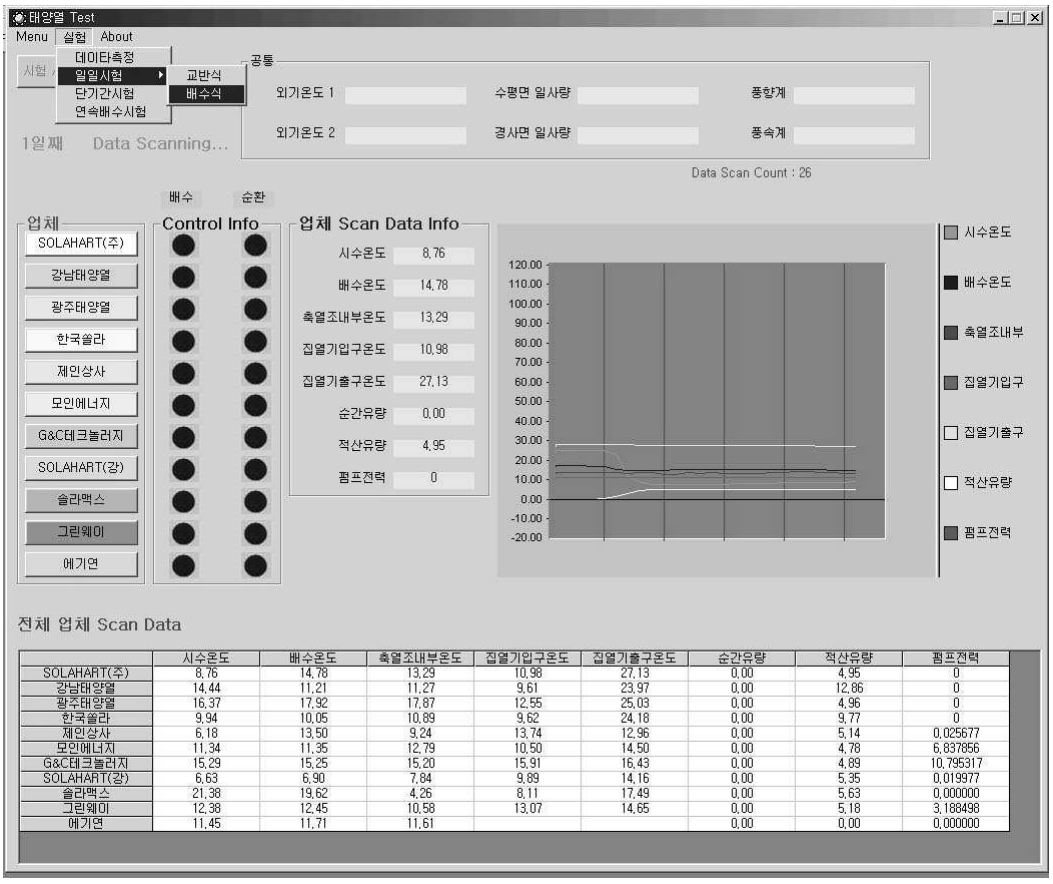


Fig. 2-19 View of monitoring program main screen

(2) 실험

실험모드는 Fig. 2-20에서와 같이 일일시험 교반식, 일일시험배수식, 단기간시험, 연속배수시험으로 나누어지며 수행하고자 하는 실험을 풀다운 매뉴에서 선택한 후 시험 시작버튼을 클릭하게 되면 자동으로 실험을 수행하게 된다. 화면 상단에는 공통데이터

를 실시간으로 표현해주며 해당업체를 선택할 경우 화면중앙 오른쪽에 태양열온수시스템의 상태를 그래프로 나타내어준다. 그리고 화면 하단에는 전체 데이터를 수치화하여 한눈에 데이터의 변화를 모니터링 할 수 있도록 하였다. 프로그램상에 표시되는 모든 데이터는 10초 간격으로 저장되며 화면에도 10초 간격으로 데이터의 표시가 업데이트 된다.



	시수온도	배수온도	축열조내부온도	집열기입구온도	집열기출구온도	순간유량	적산유량	펌프전력
SOLAHART(주)	8.76	14.78	13.29	10.98	27.13	0.00	4.95	0
강남태양열	14.44	11.21	11.27	9.61	23.97	0.00	12.86	0
광주태양열	16.37	17.92	17.87	12.55	25.03	0.00	4.96	0
한국쏠라	9.94	10.05	10.89	9.62	24.18	0.00	9.77	0
제인상사	6.18	13.50	9.24	13.74	12.96	0.00	5.14	0.025677
모인에너지	11.34	11.35	12.79	10.50	14.50	0.00	4.78	6.837856
G&C테크놀러지	15.29	15.25	15.20	15.91	16.43	0.00	4.89	10.795317
SOLAHART(강)	6.63	6.90	7.84	9.89	14.16	0.00	5.35	0.019977
솔라맥스	21.38	19.62	4.26	8.11	17.49	0.00	5.63	0.000000
그린웨이	12.38	12.45	10.58	13.07	14.65	0.00	5.18	3.188498
에기연	11.45	11.71	11.61			0.00	0.00	0.000000

Fig. 2-20 Screen view of experimental select

(3) 실험 데이터 저장

실험을 수행하게 되면 데이터로거에서 측정된 센서들의 값이 컴퓨터 하드디스크에 저장되는데 순수한 실험 데이터는 엑셀 폴더에 텍스트 파일로 생성되고, 실험 수행 시

발생되는 장비들의 상태는 Fig. 2-21과 같이 로그 폴더에 텍스트파일로 저장된다. 파일의 이름에는 실험수행날짜와 실험종류가 표시되게 된다. 저장된 텍스트파일들을 Fig. 2-22와 같이 엑셀파일로 변환하면 다양한 그래프로 데이터의 표현이 가능하며 엑셀파일로 변환하지 않더라도 데이터베이스 프로그램에서 데이터를 분석할 수 있도록 하였다. Table 2-7에서는 엑셀파일로 변환된 데이터의 셀 번호에 따른 데이터의 구성을 나타내었다.

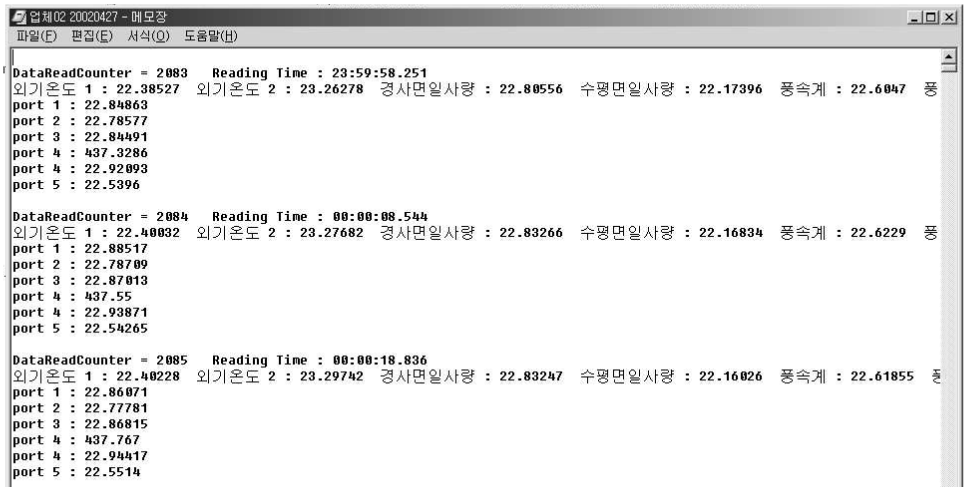
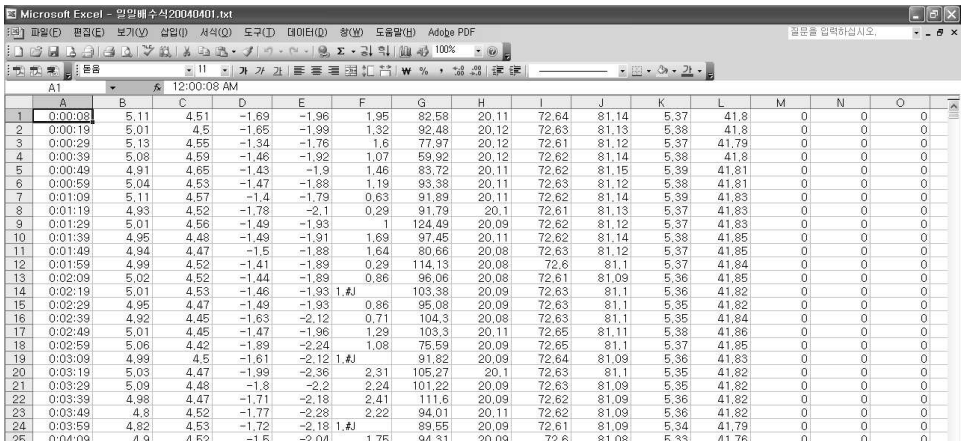


Fig. 2-21 Data format stored by monitoring program



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	0:00:08	5,11	4,51	-1,69	-1,96	1,95	92,58	20,11	72,64	81,14	5,37	41,8	0	0	0
2	0:00:19	5,01	4,5	-1,65	-1,99	1,32	92,48	20,12	72,63	81,13	5,38	41,8	0	0	0
3	0:00:29	5,13	4,55	-1,34	-1,76	1,6	77,97	20,12	72,61	81,12	5,37	41,79	0	0	0
4	0:00:39	5,08	4,59	-1,46	-1,92	1,07	59,92	20,12	72,62	81,14	5,38	41,8	0	0	0
5	0:00:49	4,91	4,65	-1,43	-1,9	1,46	83,72	20,11	72,62	81,15	5,39	41,81	0	0	0
6	0:00:59	5,04	4,53	-1,47	-1,88	1,19	93,38	20,11	72,63	81,12	5,38	41,81	0	0	0
7	0:01:09	5,11	4,57	-1,4	-1,79	0,63	91,89	20,11	72,62	81,14	5,39	41,83	0	0	0
8	0:01:19	4,93	4,52	-1,78	-2,1	0,29	91,79	20,1	72,61	81,13	5,37	41,83	0	0	0
9	0:01:29	5,01	4,56	-1,49	-1,93	1	124,49	20,09	72,62	81,12	5,37	41,83	0	0	0
10	0:01:39	4,95	4,48	-1,49	-1,91	1,69	97,45	20,11	72,62	81,14	5,38	41,85	0	0	0
11	0:01:49	4,94	4,47	-1,5	-1,88	1,64	80,66	20,08	72,63	81,12	5,37	41,85	0	0	0
12	0:01:59	4,99	4,52	-1,41	-1,89	0,29	114,13	20,08	72,6	81,1	5,37	41,84	0	0	0
13	0:02:09	5,02	4,52	-1,44	-1,89	0,86	96,06	20,08	72,61	81,09	5,36	41,85	0	0	0
14	0:02:19	5,01	4,53	-1,46	-1,93	1,#J	103,38	20,09	72,63	81,1	5,36	41,82	0	0	0
15	0:02:29	4,95	4,47	-1,49	-1,93	0,86	95,08	20,09	72,63	81,1	5,35	41,82	0	0	0
16	0:02:39	4,92	4,45	-1,63	-2,12	0,71	104,3	20,08	72,63	81,1	5,35	41,84	0	0	0
17	0:02:49	5,01	4,45	-1,47	-1,96	1,29	103,3	20,11	72,65	81,11	5,38	41,86	0	0	0
18	0:02:59	5,06	4,42	-1,89	-2,24	1,08	75,59	20,09	72,65	81,1	5,37	41,85	0	0	0
19	0:03:09	4,99	4,5	-1,61	-2,12	1,#J	91,82	20,09	72,64	81,09	5,36	41,83	0	0	0
20	0:03:19	5,03	4,47	-1,99	-2,36	2,31	105,27	20,1	72,63	81,1	5,35	41,82	0	0	0
21	0:03:29	5,09	4,48	-1,8	-2,2	2,24	101,22	20,09	72,63	81,09	5,35	41,82	0	0	0
22	0:03:39	4,98	4,47	-1,71	-2,18	2,41	111,6	20,09	72,62	81,09	5,36	41,82	0	0	0
23	0:03:49	4,8	4,52	-1,77	-2,28	2,22	94,01	20,11	72,62	81,09	5,36	41,82	0	0	0
24	0:03:59	4,82	4,53	-1,72	-2,18	1,#J	89,55	20,09	72,61	81,09	5,34	41,79	0	0	0
25	0:04:09	4,9	4,52	-1,5	-2,04	1,75	94,31	20,09	72,6	81,08	5,33	41,76	0	0	0

Fig. 2-22 Experiment data changed to excel

Table 2-7 Excel data format in solar heater monitoring system

A	Time	Common data	AV	Feed water temp.	Moinenergy
B	Out temperature 1		AW	Drain water temp.	
C	Out temperature 1		AX	Storage tank temp.	
D	Global irradiation		AY	Pump power	
E	Horizontal irradiation		AZ	Solar collector inlet temp.	
F	Air speed meter		BA	Solar collector outlet temp.	
G	Air flow meter		BB	Integration flow	
H	Feed water temp.	Solarhart(N)	BC	Instantaneous flow	
I	Drain water temp.		BD	Feed water temp.	G&C
J	Storage tank temp.		BE	Drain water temp.	
K	Solar collector inlet temp.		BF	Storage tank temp.	
L	Solar collector outlet temp.		BG	Pump power	
M	Reserve		BH	Solar collector inlet temp.	
N	Integration flow		BI	Solar collector outlet temp.	
O	Instantaneous flow		BJ	Integration flow	
P	Feed water temp.	Kangnam	BK	Instantaneous flow	
Q	Drain water temp.		BL	Feed water temp.	Solarhart(F)
R	Storage tank temp.		BM	Drain water temp.	
S	Solar collector inlet temp.		BN	Storage tank temp.	
T	Solar collector outlet temp.		BO	Pump power	
U	Reserve		BP	Solar collector inlet temp.	
V	Integration flow		BQ	Solar collector outlet temp.	
W	Instantaneous flow		BR	Integration flow	
X	Feed water temp.	Gwangju	BS	Instantaneous flow	
Y	Drain water temp.		BT	Feed water temp.	Solarmax
Z	Storage tank temp.		BU	Drain water temp.	
AA	Solar collector inlet temp.		BV	Storage tank temp.	
AB	Solar collector outlet temp.		BW	Pump power	
AC	Reserve		BX	Solar collector inlet temp.	
AD	Integration flow		BY	Solar collector outlet temp.	
AE	Instantaneous flow		BZ	Integration flow	
AF	Feed water temp.	KoreaSolar	CA	Instantaneous flow	
AG	Drain water temp.		CB	Feed water temp.	Greenway
AH	Storage tank temp.		CC	Drain water temp.	
AI	Solar collector inlet temp.		CD	Storage tank temp.	
AJ	Solar collector outlet temp.		CE	Pump power	
AK	Reserve		CF	Solar collector inlet temp.	
AL	Integration flow		CG	Solar collector outlet temp.	
AM	Instantaneous flow		CH	Integration flow	
AN	Feed water temp.	Jehin	CI	Instantaneous flow	
AO	Drain water temp.		CJ	Feed water temp.	KIER
AP	Storage tank temp.		CK	Drain water temp.	
AQ	Pump power		CL	Storage tank temp.	
AR	Solar collector inlet temp.		CM	Pump power	
AS	Solar collector outlet temp.		CN	Solar collector inlet temp.	
AT	Integration flow		CO	Solar collector outlet temp.	
AU	Instantaneous flow		CP	Integration flow	
			CQ	Instantaneous flow	

제 3 절 통합 데이터베이스 구축

1. 통합 데이터베이스 프로그램 설계

태양광발전과 태양열온수 모니터링시스템에 의해 계측된 데이터들은 일반적인 텍스트 파일이나 엑셀파일로 저장되어 있어 외부 사용자가 임의로 수정 및 삭제 등의 조작을 가할 수 있다. 그러나 해당 계측 데이터가 삭제되거나 변형될 경우 복구가 불가능하다는 단점이 있다. 따라서 태양광·태양열 계측 데이터들을 데이터베이스화하여 원하는 데이터를 손쉽게 검색할 수 있도록 하고 태양광·태양열에서 나올 수 있는 각종 도표 및 리포트들을 데이터베이스로 변환된 계측 데이터들을 이용하여 관리자가 원하는 시점에 바로 검색 및 출력할 수 있도록 해주는 산출물 기능을 지원할 수 있는 기능이 추가 되어야 한다. 또한 데이터의 변형 및 삭제를 방지하고 트러블이 발생할 경우 신속한 복구가 가능하여야 한다.

태양에너지 실증연구를 통해 모니터링 된 하루누적 데이터 수는 태양광발전시스템의 경우 20,880개 태양열온수시스템의 경우 786,204개에 이른다. 이렇게 많은 데이터를 분석하기 위해서는 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에 데이터의 특징들을 파악하고 저장 분석하기 위해서는 반드시 데이터베이스 구축이 필요하며 데이터베이스 구축에 따른 성능평가 프로그램 또한 필요하다고 볼 수 있다.

태양에너지시스템 실증시험에 사용된 데이터베이스는 비교적 가격이 저렴하면서 성능이 좋은 MS사의 SQL 서버를 채택하였다. 통합데이터베이스 프로그램은 텍스트 및 엑셀 기반의 로그 데이터들을 데이터베이스로 변환하여 통합관리가 되어야 하고 단순한 데이터의 관리뿐만 아니라 실험일자, 실험종류 등 부수적인 정보 관리가 가능하여야 하며 축적된 실험 자료들을 사용자들이 원하는 시점에 원하는 형태로 추출 가능하여야 한다. 따라서 개발된 프로그램은 이와 같은 기능들을 충분히 반영할 수 있도록 로그 데이터들을 데이터베이스로 변환/보정하는 프로그램과 텍스트 및 엑셀파일들을 데이터

베이스로 변환하는 기능, 실험 시 노이즈나 오동작으로 인한 잘못된 데이터들을 보정하는 기능, 각종 도표나 리포트를 산출하기 위한 리포트 프로그램 등을 세부적으로 설계 및 개발하였다.

Fig. 2-23에 나타낸 태양에너지시스템 통합데이터베이스의 개체관계도(ERD, Entity Relationship Diagram)와 같이 태양광발전시스템과 태양열온수시스템에서 취득한 데이터를 개별적이 아닌 통합적으로 하나의 프로그램을 통해 관리할 수 있는 데이터베이스를 구축하였다.

Solar_Master에는 태양열온수시스템의 실증시험의 종류 및 실험명에 대한 정보를 데이터베이스화 하였고 Company에는 태양열온수시스템의 회사 명칭에 따른 정보를 구분하였으며 Solar_LastFileNam에서는 태양열온수시스템의 최종 파일의 저장에 따른 처리 순서와 처리파일명을 저장하였다. 그리고 Light_Data에는 태양광발전시스템의 실증시험을 통한 계측일자를 구분하였으며 Light_Basic은 태양광발전시스템의 어레이면적과 정격용량을 입력하여 성능평가를 위한 기본 데이터로 활용하였다. Solar_History 태양열온수시스템의 시험일을 판단하여 각각의 성능평가 알고리즘에 따른 시험의 종류별 분류를 수행하도록 하였다. Light_Measure와 S_Light_Measure에서는 운영실과 각 사이트별 기본 측정데이터의 성능평가 항목에 대한 분석을 수행하도록 하였으며, Solar_Data에서는 태양열온수시스템의 측정데이터와 성능평가 항목에 대한 신뢰성평가를 수행할 수 있도록 설계하였다.

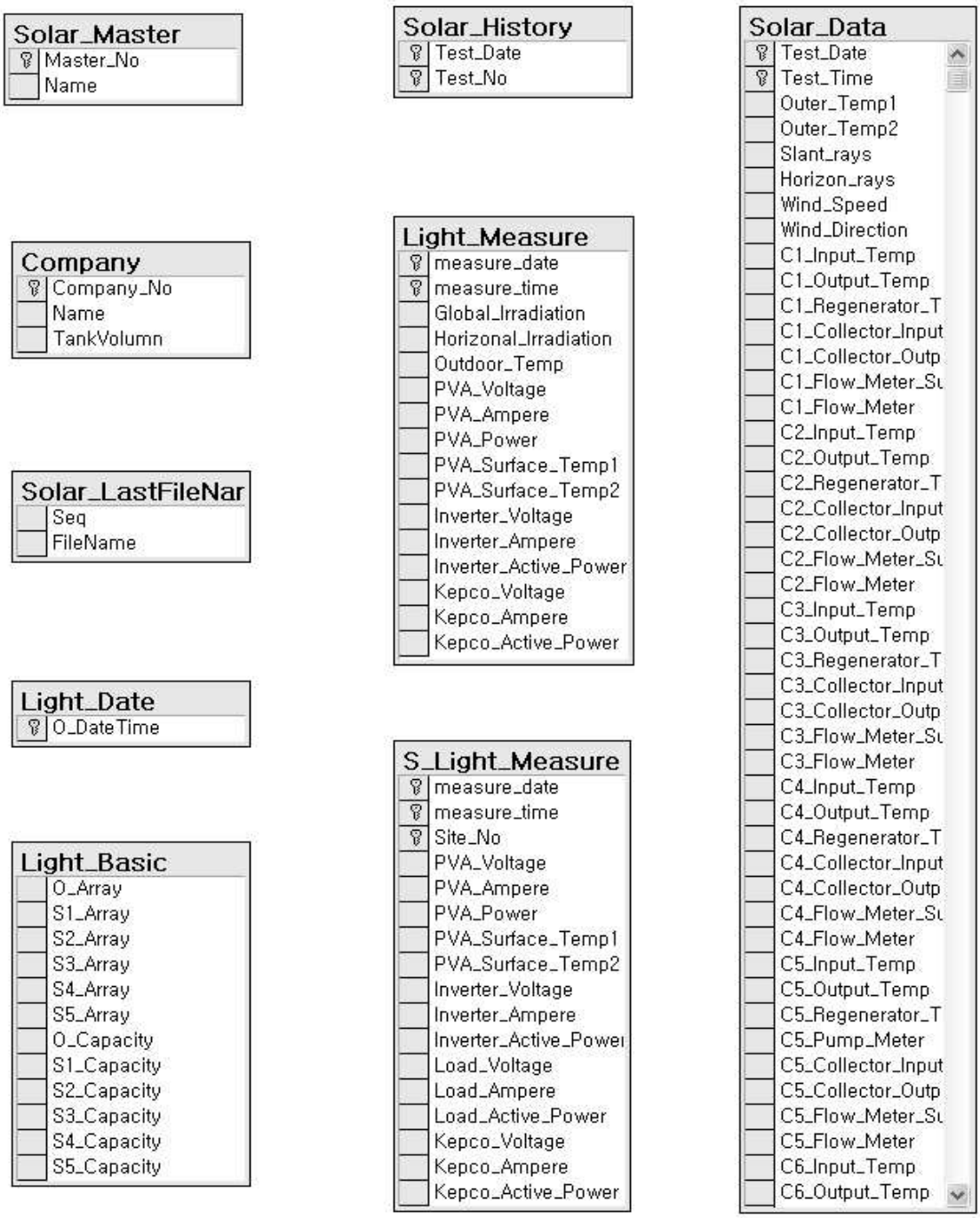


Fig. 2-23 ERD of database

2. 데이터베이스 체계 및 구성

가. 태양에너지시스템 계측데이터 변환

태양에너지 모니터링 프로그램을 통해 획득된 데이터의 종류는 태양광의 경우 엑셀파일 형식으로 저장이 되며 태양열의 경우 일반 텍스트파일로 저장되게 된다. 이 두 서로 다른 형식의 파일을 하나의 데이터베이스 프로그램에서 사용하기 위해서는 일정한 형식으로 변환하여 사용하게 되는데 그 과정이 데이터 변환 과정이다. 태양광과 태양열의 데이터 형식이 서로 다르므로 데이터 변환과정도 각각 나누어 데이터베이스에 탑재할 수 있게 하였다. Fig. 2-24에서와 같이 사용자는 메인 프로그램의 데이터 변환 메뉴에서 변환하고자 하는 데이터를 선택할 수 있다.

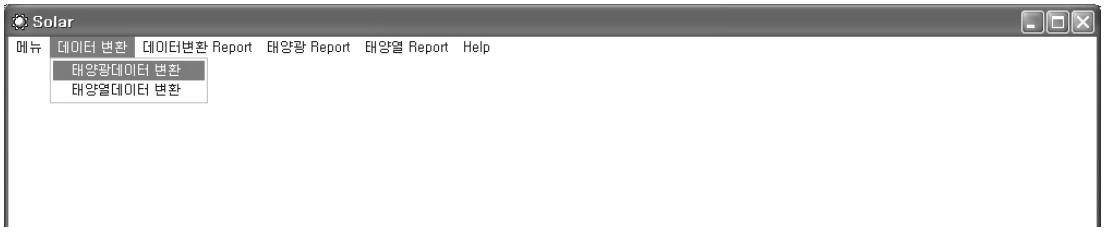


Fig. 2-24 Screen view of data change select

Fig. 2-25는 태양광과 태양열에서 취득한 데이터를 데이터베이스화 하는 과정을 나타내주고 있다.

Fig. 2-25 Screen view of converting completion

나. 태양에너지시스템 공통데이터 출력

태양광과 태양열의 공통데이터는 경사면일사량, 수평면일사량, 평균외기온도이다. 이 공통데이터는 태양광과 태양열분야별로 출력이 가능하며 각각 일별·월별 데이터와 그래프로 출력된다.

(1) 계측일 데이터 검색 및 출력

계측일 검색은 데이터베이스화된 데이터의 분석 기간을 결정하는데 필요한 과정이다. 따라서 계측일 검색 메뉴는 Fig. 2-26에서와 같이 데이터베이스화된 데이터의 계측일을 파악하여 각 분야별 성능평가에 활용된다.

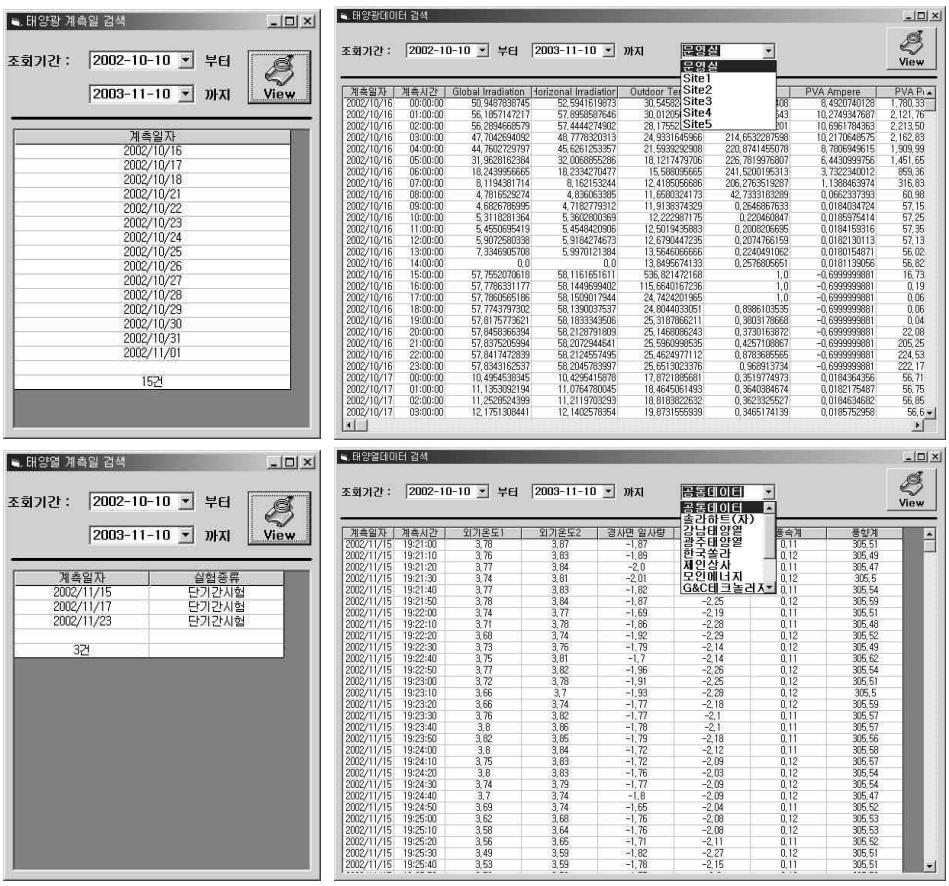


Fig. 2-26 Search of measurement day

(2) 일사량 데이터 출력

태양에너지모니터링 프로그램을 통해 얻어진 데이터를 데이터베이스화하여 Fig. 2-27과 같이 데이터를 다양한 형태로 출력할 수 있는 메뉴를 구성하였다. 일사량의 경우 일별·월별 경사면 일사량과 경사면 일사량의 누적일사량을 데이터로 보여주며 이러한 데이터를 그래프로 변환하여 화면에 출력할 수 있도록 하였다.

계측일자	경사면 일사량	수평면 일사량
2002/10/16	36,1649670998	36,5248898863
2002/10/17	21,9386451641	22,1508749922
2002/10/18	15,959950447	15,8338476816
2002/10/21	16,1715184251	16,2991995016
2002/10/22	11,6605203449	12,0091113646
2002/10/23	10,1682868598	10,2629091515
2002/10/24	14,3022943437	14,6960564851
2002/10/25	17,2074168125	17,7284899155
2002/10/26	12,5245654682	12,9072771171
2002/10/27	10,0810365577	10,4921609659
2002/10/28	6,836864543	6,9330519443
2002/10/29	9,8852184439	10,258251875
2002/10/30	13,6726132879	13,9720240533
2002/10/31	15,7147496342	15,8937801321
2002/11/01	218,2863070964	198,870428284

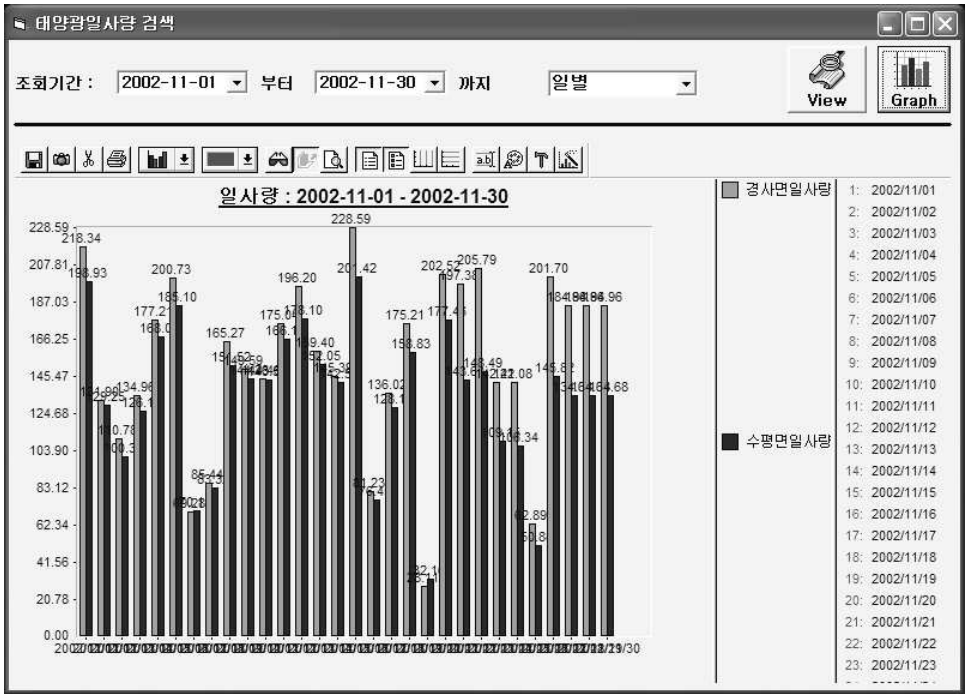


Fig. 2-27 Output screen of graph to search data in irradiation

(3) 평균 외기온도 데이터 출력

Fig. 2-28에서와 같이 평균 외기온도의 경우 태양광발전시스템에서 획득한 외기온도와 태양열온수시스템에서 획득한 외기온도의 데이터가 각각의 데이터로 존재하므로 일별·월별 평균기온의 데이터와 그래프는 각각 시스템별로 출력될 수 있도록 구성하였으며 태양열온수시스템의 경우 성능평가를 위한 기본데이터로 활용된다. 계측된 날짜로부터 평균온도 값과 그래프로 일별·월별 평균기온의 추이를 쉽게 판단할 수 있도록 하였다.

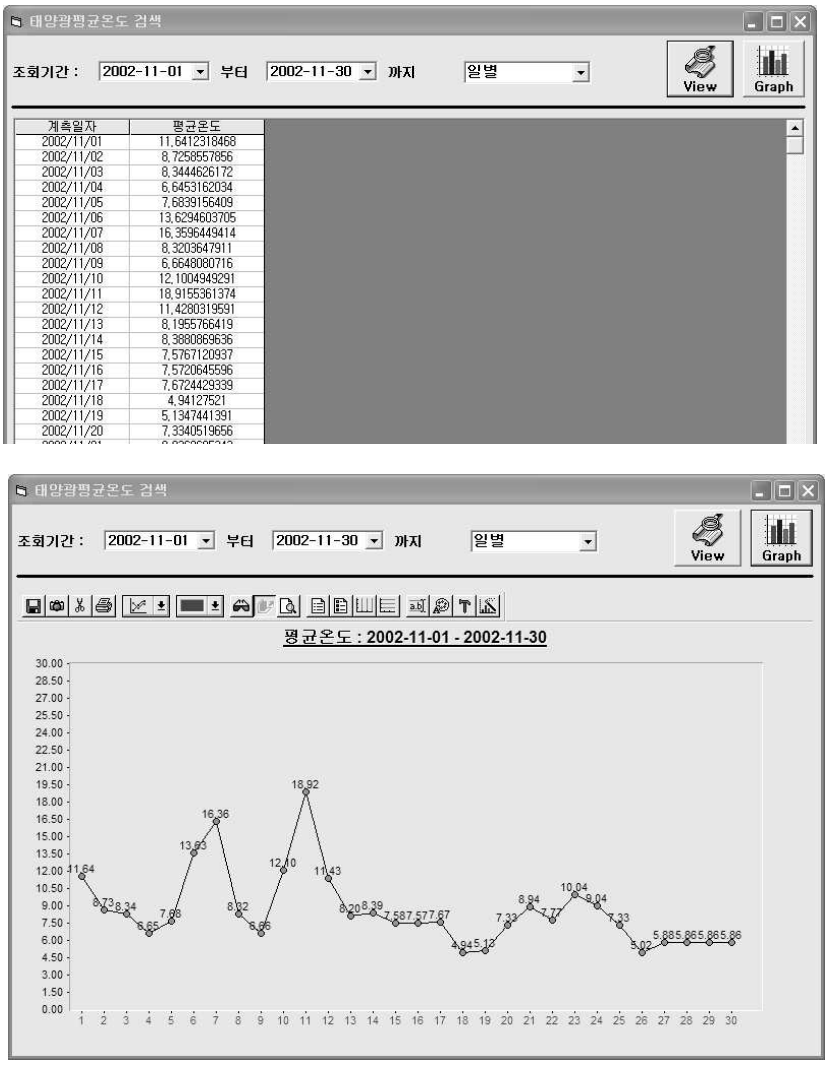


Fig. 2-28 Output screen of average outlet temperature

다. 태양광발전시스템 성능평가 데이터

태양광발전시스템의 성능평가데이터 출력은 어레이출력전력량과 PCS출력전력량의 기본 계측 데이터를 바탕으로 성능평가 함수를 이용하여 어레이변환효율, PCS효율, 시스템 발전효율, 시스템 이용률을 계산하여 데이터와 그래프로 출력할 수 있도록 데이터베이스 프로그램을 구성하였다.

(1) 태양광발전시스템 어레이 출력전력량

태양광발전시스템의 각 사이트별 어레이 총 출력전력량은 Fig. 2-29에서와 같이 조회기간에 따라 일별·월별 데이터와 그래프로 나타낼 수 있다.

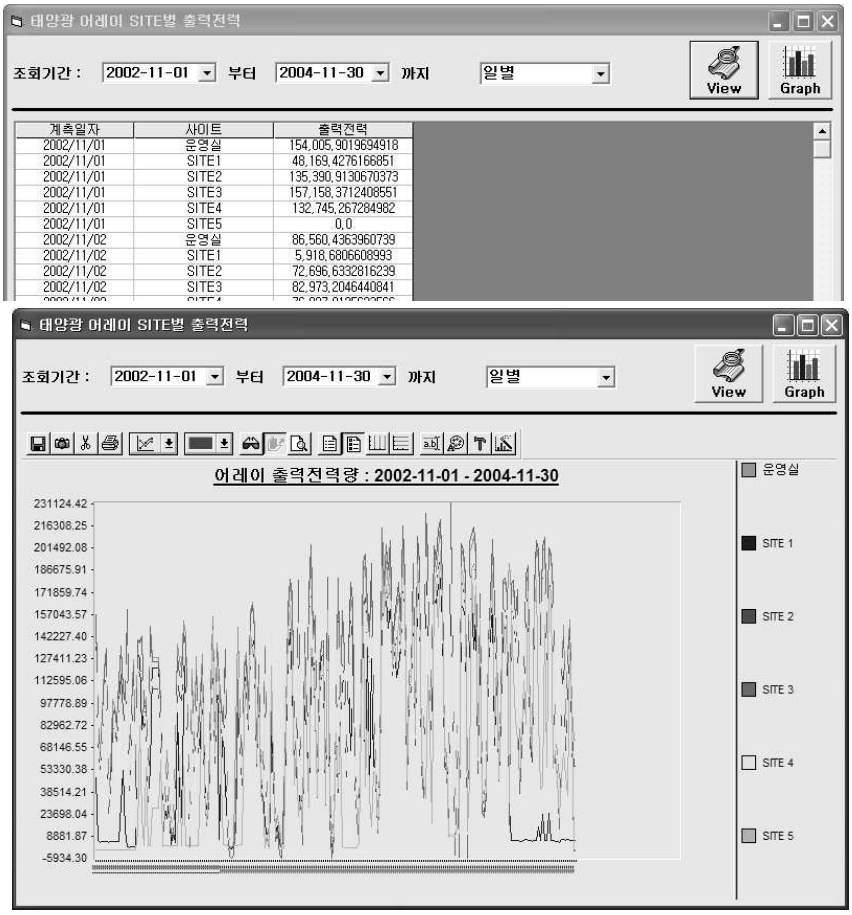


Fig. 2-29 Output screen of data and graph in array power

(2) 태양광발전시스템 PCS 출력전력량

해당기간 동안의 PCS 총 출력전력을 Fig. 2-30에서와 같이 일별·월별 데이터와 그래프로 나타낼 수 있다.

계측일자	사이트	출력전력
2002/11/01	운영실	140,260,4575195312
2002/11/01	SITE1	42,155,2678222442
2002/11/01	SITE2	115,322,4795527463
2002/11/01	SITE3	127,345,1499462121
2002/11/01	SITE4	118,365,6121978759
2002/11/01	SITE5	-231,840,0
2002/11/02	운영실	72,922,8156746631
2002/11/02	SITE1	-165,4837647192
2002/11/02	SITE2	57,948,5717201229
2002/11/02	SITE3	64,279,2937071325
2002/11/02	SITE4	63,199,3387451167
2002/11/02	SITE5	0,0
2002/11/03	운영실	52,742,0862437481
2002/11/03	SITE1	-368,6876221538
2002/11/03	SITE2	41,505,9309170244
2002/11/03	SITE3	45,468,0276489248
2002/11/03	SITE4	45,428,4341726298
2002/11/03	SITE5	0,0
2002/11/04	운영실	76,819,0096130372
2002/11/04	SITE1	-642,3413086852
2002/11/04	SITE2	60,617,1660157437
2002/11/04	SITE3	65,979,9525754441
2002/11/04	SITE4	65,666,8935623174
2002/11/04	SITE5	0,0
2002/11/05	운영실	107,522,2241204978
2002/11/05	SITE1	-524,723388931
2002/11/05	SITE2	85,475,5017704967
2002/11/05	SITE3	94,587,136230469
2002/11/05	SITE4	90,497,7291297913

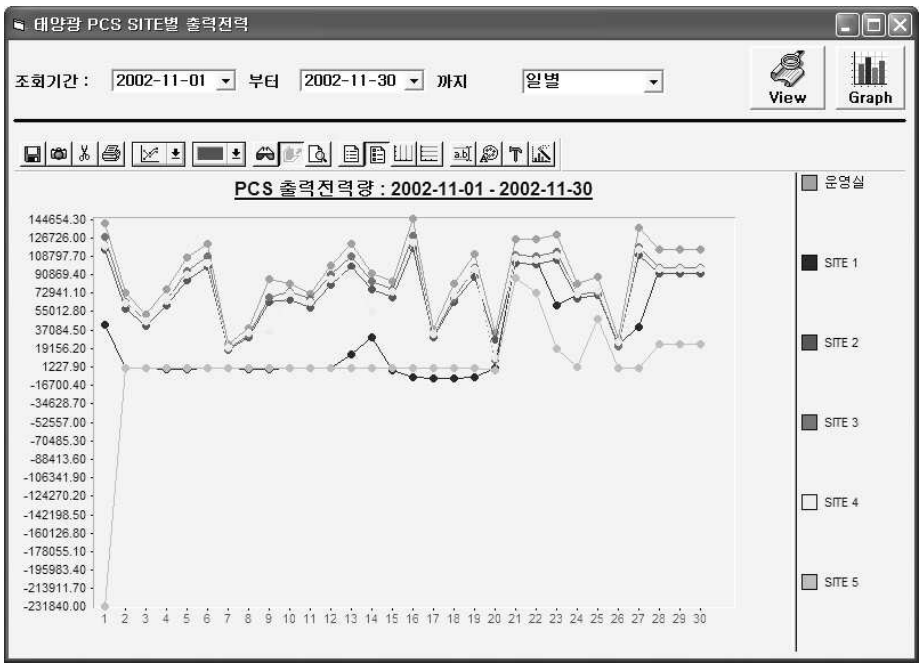


Fig. 2-30 Output screen of data and graph in PCS power

(3) 태양광발전시스템 어레이 변환효율특성

해당기간동안의 어레이변환효율특성을 Fig. 2-31에서와 같이 일별·월별 데이터와 그래프로 나타낼 수 있다.

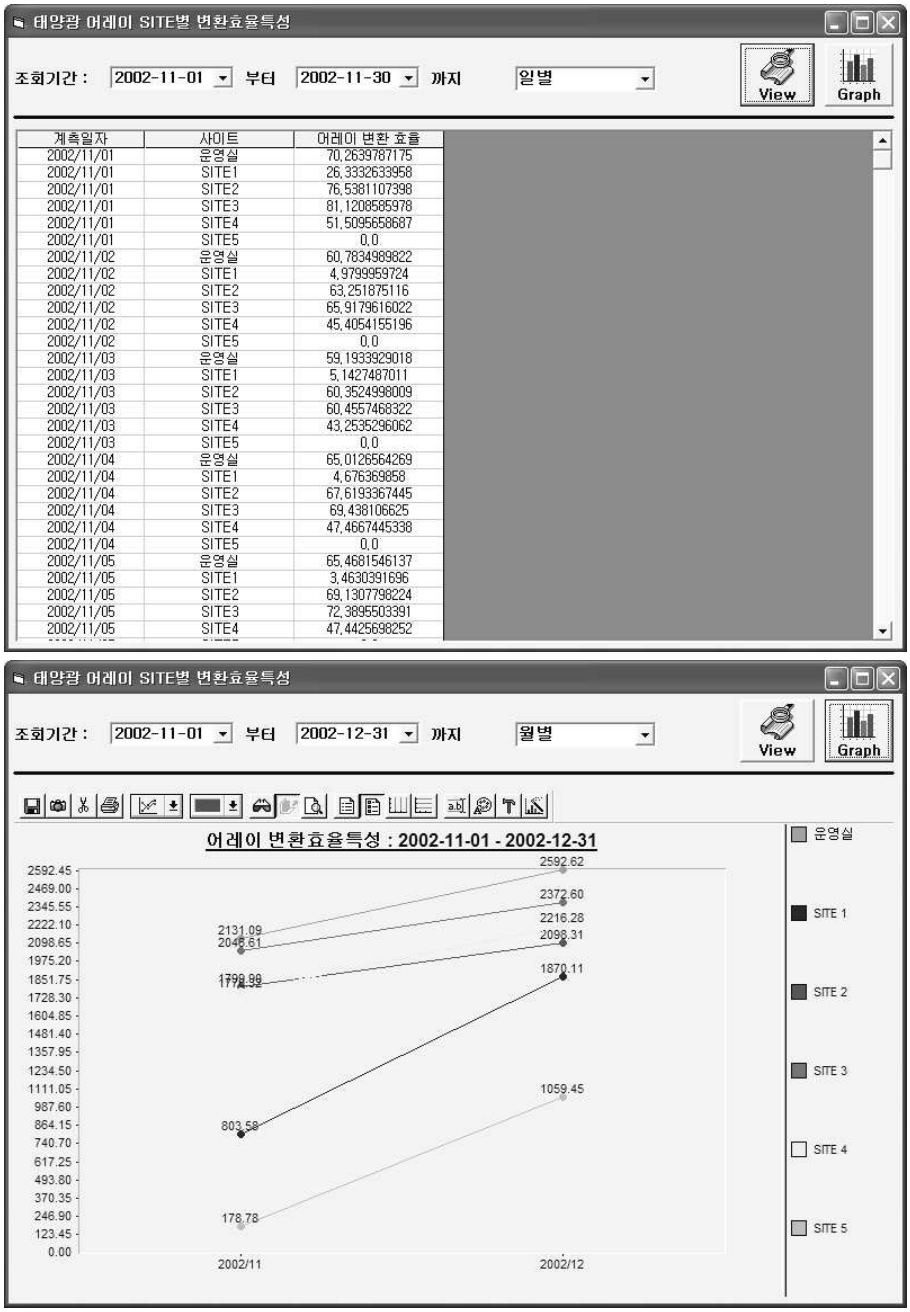


Fig. 2-31 Output screen of data and graph in array efficiency

(4) 태양광발전시스템 PCS 효율특성

해당기간 동안의 PCS 효율특성을 Fig. 2-32에서와 같이 일별·월별 데이터와 그래프로 나타낼 수 있다.

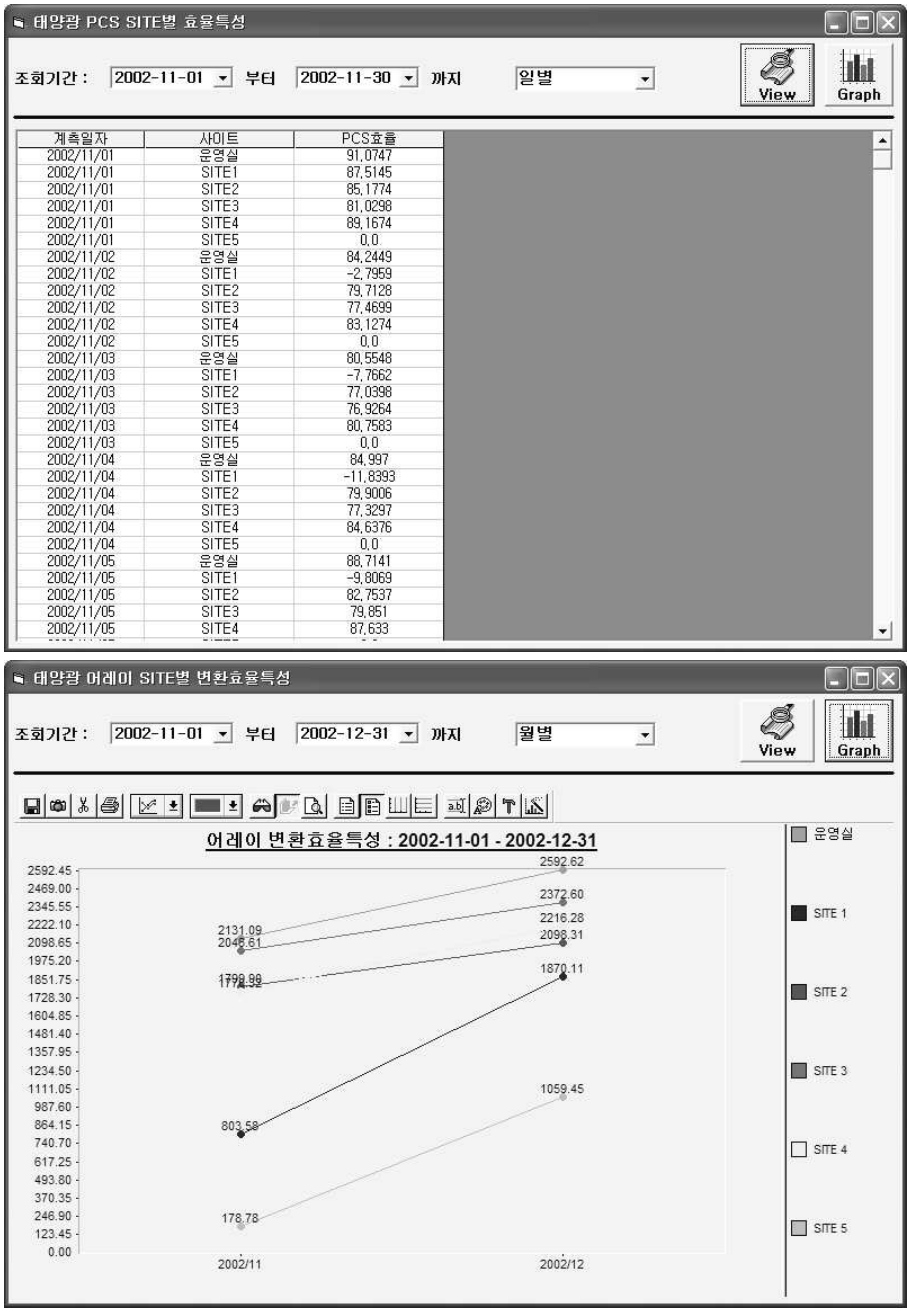


Fig. 2-32 Output screen of data graph in PCS efficiency

(5) 태양광발전시스템 발전효율특성

해당기간 동안의 발전효율특성을 Fig. 2-33에서와 같이 일별·월별 데이터와 그래프로 나타낼 수 있다.

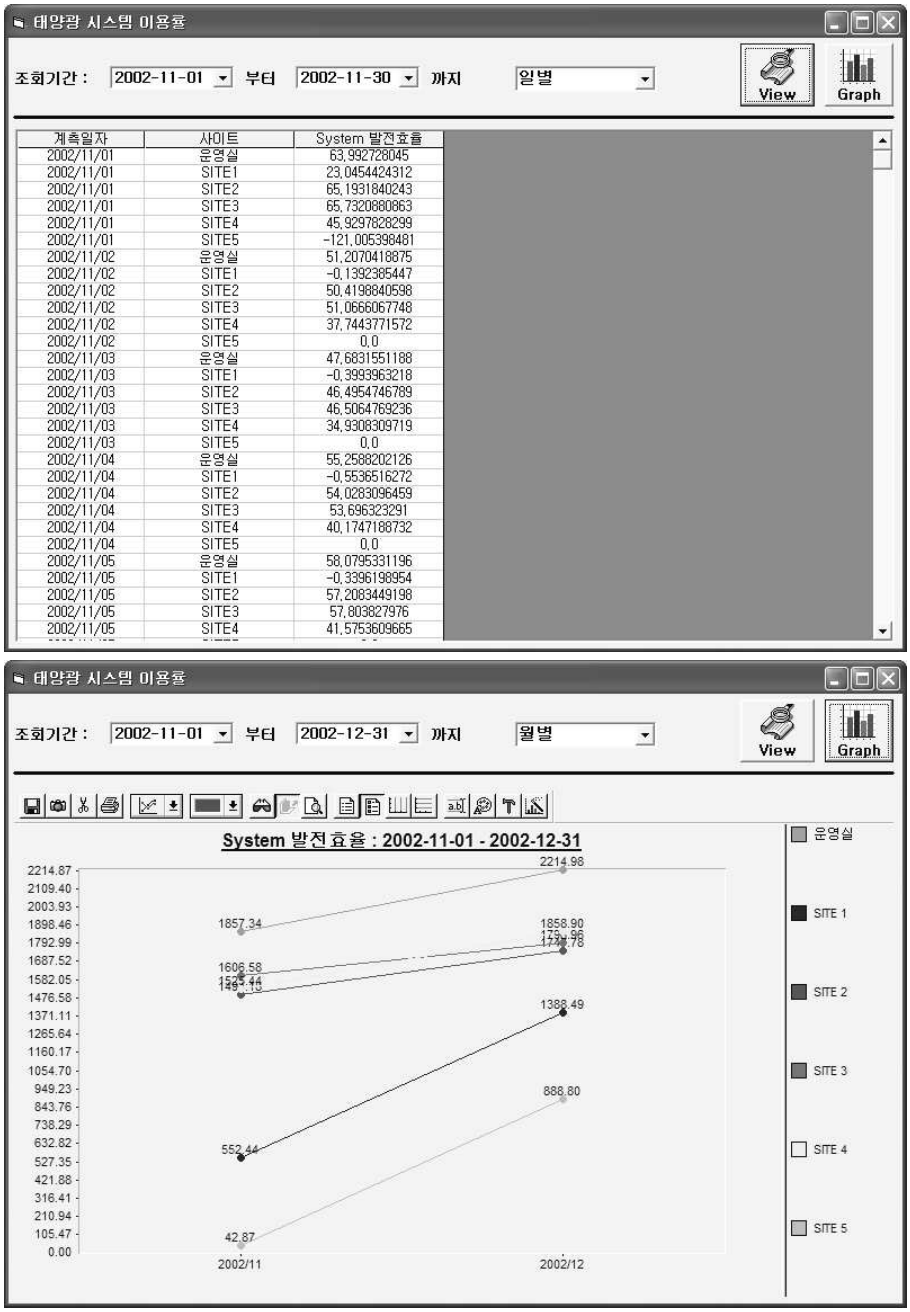


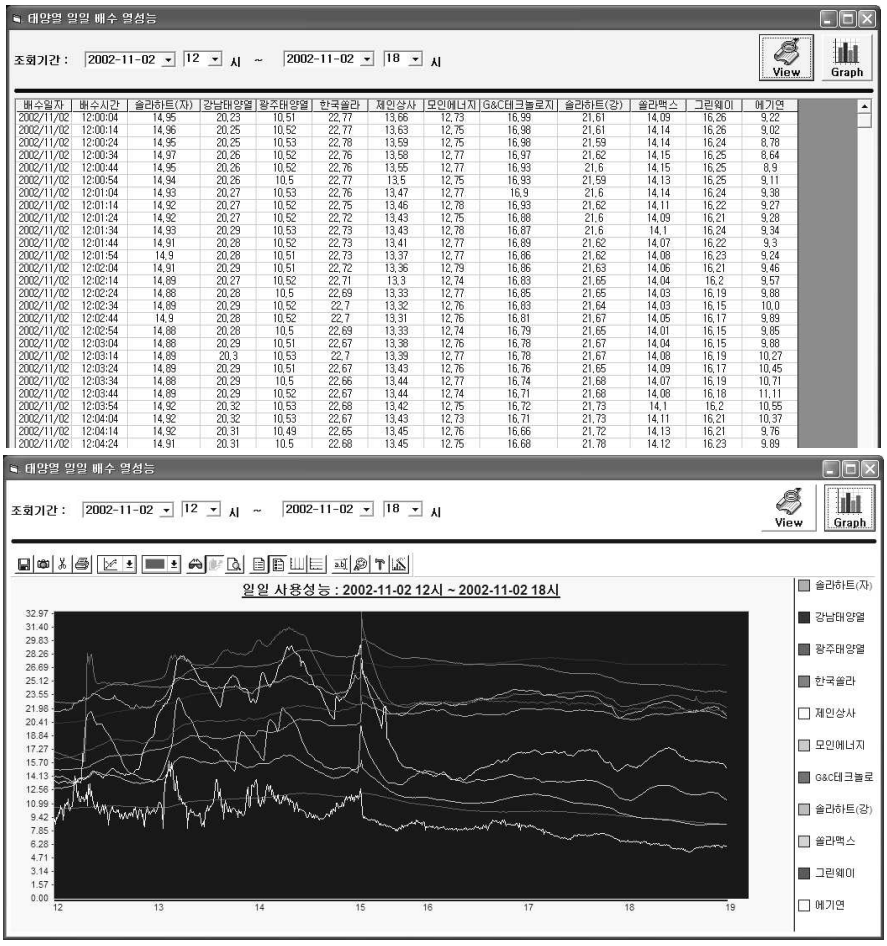
Fig. 2-33 Output screen of data and graph generation efficiency

라. 태양열온수시스템 성능평가 데이터

태양열온수시스템의 성능평가데이터 출력은 일일배수 열성능시험, 유효 축열 에너지량, 축열조 보온성능, 강제순환형 태양열온수시스템의 전력량 평가를 계산하여 데이터와 그래프로 출력할 수 있도록 데이터베이스 프로그램을 구성하였다.

(1) 태양열온수시스템 일일 배수 열성능

해당기간 동안의 일일 배수 열성능을 Fig. 2-34에서와 같이 데이터와 그래프로 나타낼 수 있다.



배수일자	배수시간	솔라하트(자)	강남태양열	광주태양열	한국솔라	제인상사	모인에너지	G&C테크놀로지	솔라하트(강)	솔라맥스	그린웨이	예기연
2002/11/02	12:00:04	14,95	20,23	10,51	22,77	13,66	12,73	16,99	21,61	14,09	16,26	9,22
2002/11/02	12:00:14	14,96	20,25	10,52	22,77	13,63	12,75	16,98	21,61	14,14	16,26	9,02
2002/11/02	12:00:24	14,95	20,25	10,53	22,78	13,59	12,75	16,98	21,59	14,14	16,24	8,78
2002/11/02	12:00:34	14,97	20,26	10,52	22,76	13,58	12,77	16,97	21,62	14,15	16,25	8,64
2002/11/02	12:00:44	14,95	20,26	10,52	22,76	13,55	12,77	16,93	21,6	14,15	16,25	8,9
2002/11/02	12:00:54	14,94	20,26	10,5	22,77	13,5	12,75	16,93	21,59	14,13	16,25	9,11
2002/11/02	12:01:04	14,93	20,27	10,53	22,76	13,47	12,77	16,9	21,6	14,14	16,24	9,38
2002/11/02	12:01:14	14,92	20,27	10,52	22,75	13,46	12,78	16,93	21,62	14,11	16,22	9,27
2002/11/02	12:01:24	14,92	20,27	10,52	22,72	13,43	12,75	16,88	21,6	14,09	16,21	9,28
2002/11/02	12:01:34	14,93	20,29	10,53	22,73	13,43	12,78	16,87	21,6	14,1	16,24	9,34
2002/11/02	12:01:44	14,91	20,28	10,52	22,73	13,41	12,77	16,89	21,62	14,07	16,22	9,3
2002/11/02	12:01:54	14,9	20,28	10,51	22,73	13,37	12,77	16,86	21,62	14,08	16,23	9,24
2002/11/02	12:02:04	14,91	20,29	10,51	22,72	13,36	12,79	16,86	21,63	14,06	16,21	9,46
2002/11/02	12:02:14	14,89	20,27	10,52	22,71	13,3	12,74	16,83	21,65	14,04	16,2	9,57
2002/11/02	12:02:24	14,88	20,28	10,5	22,69	13,33	12,77	16,85	21,65	14,03	16,19	9,88
2002/11/02	12:02:34	14,89	20,29	10,52	22,7	13,32	12,76	16,83	21,64	14,03	16,15	10,0
2002/11/02	12:02:44	14,9	20,28	10,52	22,7	13,31	12,76	16,81	21,67	14,05	16,17	9,89
2002/11/02	12:02:54	14,88	20,28	10,5	22,69	13,33	12,74	16,79	21,65	14,01	16,15	9,85
2002/11/02	12:03:04	14,88	20,29	10,51	22,67	13,38	12,76	16,78	21,67	14,04	16,15	9,88
2002/11/02	12:03:14	14,89	20,3	10,53	22,7	13,39	12,77	16,78	21,67	14,08	16,19	10,27
2002/11/02	12:03:24	14,89	20,29	10,51	22,67	13,43	12,76	16,76	21,65	14,09	16,17	10,45
2002/11/02	12:03:34	14,88	20,29	10,5	22,66	13,44	12,77	16,74	21,68	14,07	16,19	10,71
2002/11/02	12:03:44	14,89	20,29	10,52	22,67	13,44	12,74	16,71	21,68	14,08	16,18	11,11
2002/11/02	12:03:54	14,92	20,32	10,53	22,68	13,42	12,75	16,72	21,73	14,1	16,2	10,55
2002/11/02	12:04:04	14,92	20,32	10,53	22,67	13,43	12,73	16,71	21,73	14,11	16,21	10,37
2002/11/02	12:04:14	14,92	20,31	10,49	22,65	13,45	12,76	16,66	21,72	14,13	16,21	9,76
2002/11/02	12:04:24	14,91	20,31	10,5	22,68	13,45	12,75	16,68	21,78	14,12	16,23	9,89

Fig. 2-34 Output screen of data and graph in drain test

(2) 태양열온수시스템 유효 축열 에너지량

해당기간 동안의 유효 축열 에너지량을 Fig. 2-35에서와 같이 데이터와 그래프로 나타낼 수 있다.

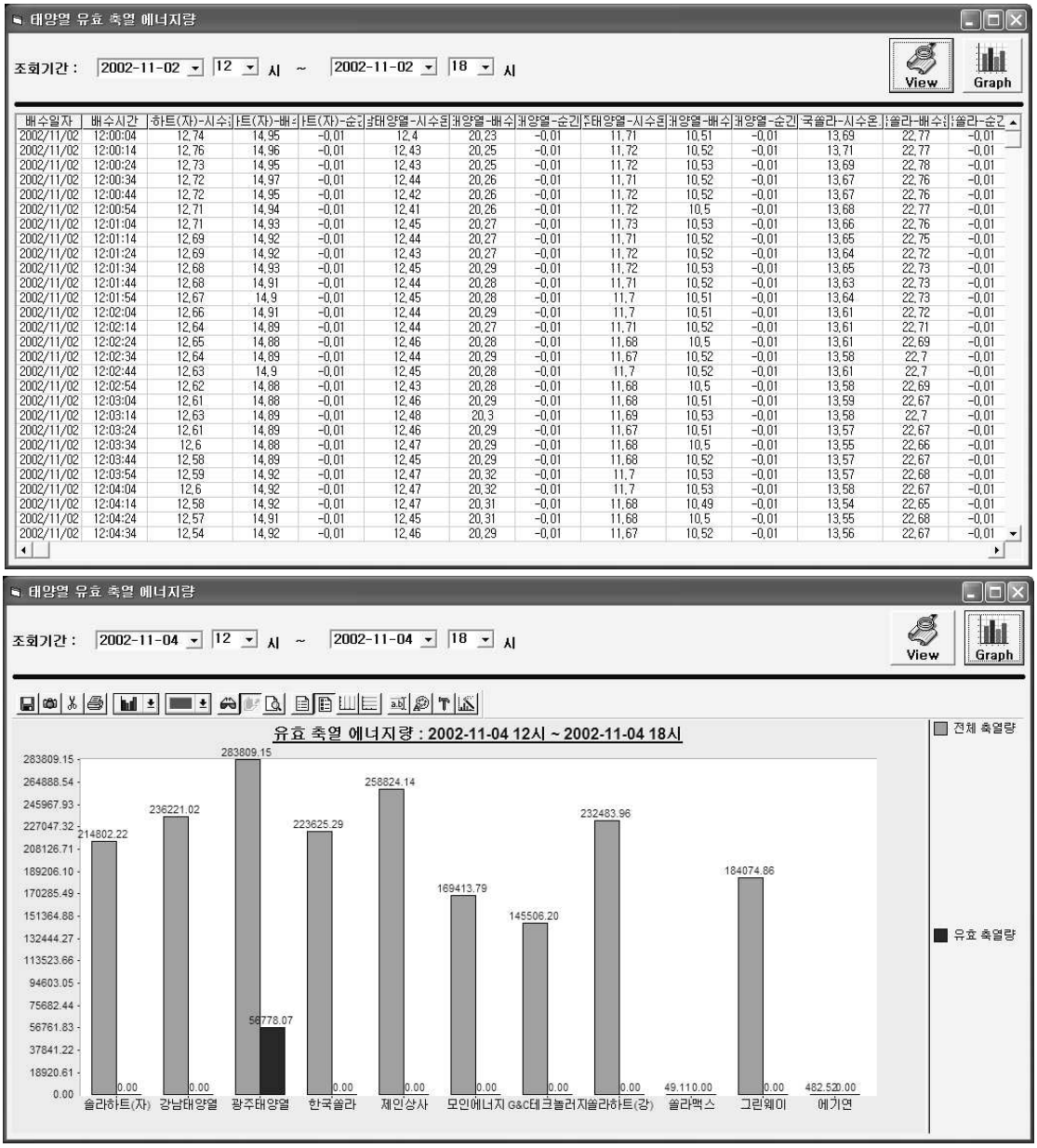


Fig. 2-35 Output screen of data and graph in effective storage

(3) 태양열온수시스템 축열조 보온성능

해당기간 동안의 축열조 보온성능을 Fig. 2-36과 같이 데이터로 나타낼 수 있다.

업체	저탕량	평균외기온도	초기충진온도	방치충진온도	평균충진온도	dt	방치시간	단열성능
솔라하트(자)	300	11,595132699	24,13	18,67	26,9489564377	15,3538257386	6	17,7805847641952
강남태양열	280	15,6265197797	20,08	16,78	22,2949374061	6,6684176264	6	23,093934517449
광주태양열	400	13,0422784176	39,81	19,58	38,7114521783	25,6691737606	6	52,540322460032
한국솔라	400	14,8873660491	22,11	17,85	24,1433049574	9,2559389084	6	30,6830028602946
제인상사	300	17,5265798698	27,47	17,89	28,4314922384	10,9049123686	6	43,9251581132666
모인에너지	320	15,4741712569	22,54	16,92	23,4701452178	7,9959739609	6	37,485531443382
G&C 테크놀러지	440	23,5989534301	27,66	32,46	32,230686029	8,6317325989	6	-40,7797618805899
솔라하트(강)	300	21,5447170756	23,69	16,78	25,6645718578	4,1198547822	6	83,862179195002
솔라맥스	240	9,7968803205	9,86	13,25	11,2709964947	1,4741161743	6	-91,9873225513874
그린웨이	200	8,5515823736	17,51	15,09	20,6433049574	12,0917225839	6	6,6712303484563
에기연	300	7,4834651978	11,23	5,07	7,5585327992	0,0750676014	6	4102,96844773527

Fig. 2-36 Output screen of data in heat performance

(4) 태양열온수시스템 강제순환형 온수기 전력량 평가

해당기간동안의 강제순환형 온수기의 전력량을 Fig. 2-37에서와 같이 데이터와 그래프로 나타낼 수 있다.

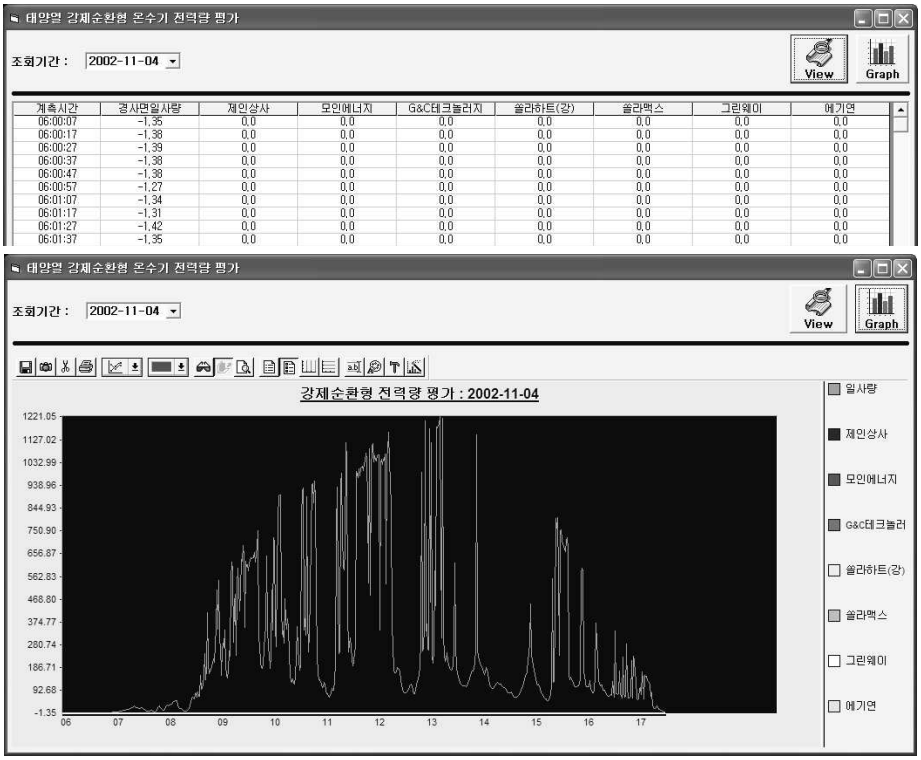


Fig. 2-37 Output screen of data and graph in electric power

제 3 장 열화상계측 분석

제 1 절 열화상계측 시스템

1. 열 측정 이론[7]

전자기 스펙트럼은 대역(band)이라고 부르는 많은 파장의 영역으로 나눌 수 있다. 여기에는 전자기 스펙트럼의 다른 대역간의 기본적인 차이점은 없고 모두가 동일 법칙에 의한 지배를 받고 있으며 유일한 차이점은 단지 파장의 차이 뿐이라는 사실이다. 적외선 열화상 카메라는 Fig. 3-1에 나타낸 바와 같이 2㎛~13㎛ 대역을 사용한다.

여기서 SW(Shortwave) 영역은 2㎛~5㎛의 대역을 사용하고 LW(Longwave) 영역은 8㎛~12㎛의 대역을 사용한다. 중간에 5㎛~8㎛의 대역에서는 공기 중 수증기에서의 전달률이 0%를 나타내고 있으므로 적외선 검출이 불가능하기 때문이다. 또한 SW 영역에서는 고온의 적외선 검출이 용이하고 LW 영역에서는 저온의 적외선 검출이 용이하다.

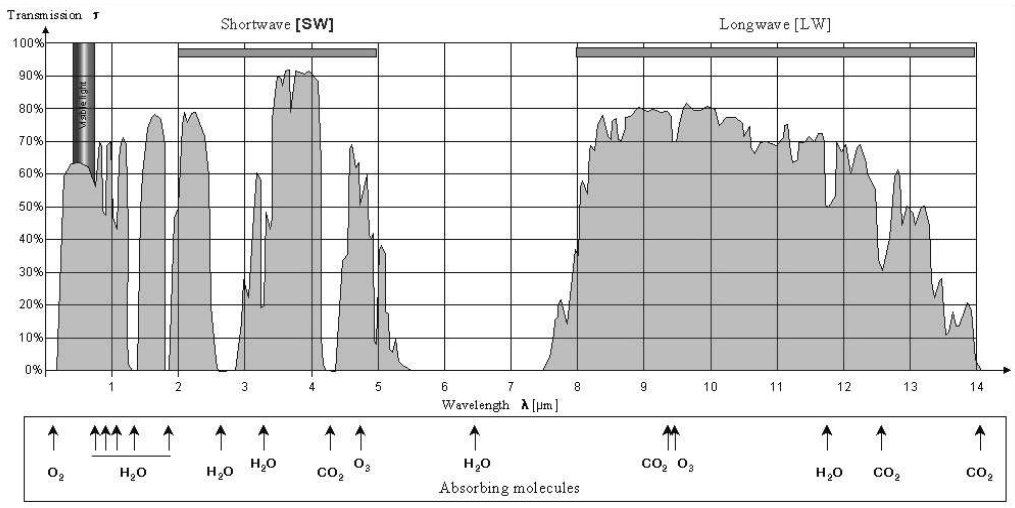


Fig. 3-1 Atmospheric transmission over 1 nautical mile

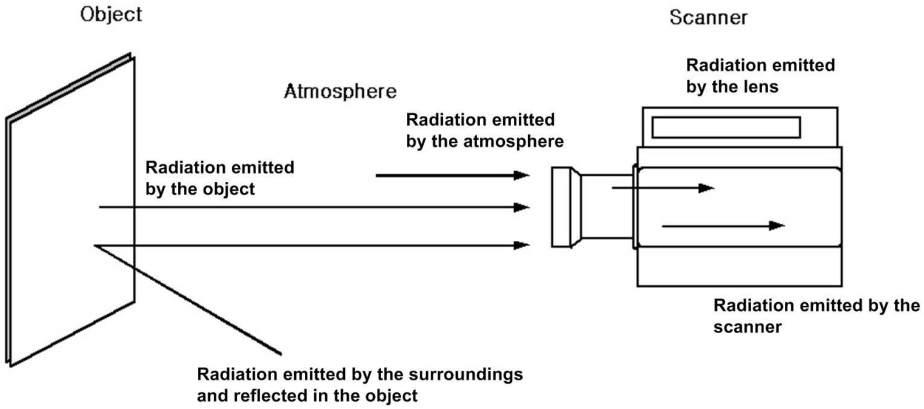


Fig. 3-2 Radiation contributions to the general measurement situation

대기와 물체 방사율에 영향을 미치는 보정은 열상에 존재하는 부수적인 방사에너지와 대기에 의해 감쇄된 피사체의 방사에너지뿐만 아니라 주위로부터의 방사에너지, 즉 대기 자체에서 방사된 방사에너지와 대기에 의한 감쇄와 물체에서 반사되어진 방사에너지로 존재한다. 피사체 방사에너지 강도는 존재하지 않는 완전한 흑체 방사율의 함수와 같다. 이에 상응하는 측정공식은 시스템 컨트롤러에 포함된 ERIKA 소프트웨어 안에 주어진다. 열 측정 공식은 식 3-1에서와 같이 표현된다. 여기에서 첫 번째 항은 피사체의 방사, 두 번째 항은 주위에서 반사된 방사, 세 번째 항은 대기에서의 방사를 나타내고 있다.

$$I_m = I(T_{obj}) \times \tau \times \varepsilon + \tau(1-\varepsilon) \times I(T_{amb}) + (1-\tau) \times I(T_{atm}) \qquad (3\text{-}1)$$

이 측정 공식은 Thermovision 900에 의해 자동적으로 계산되며 오퍼레이터가 피사체에 대해 입력해야하는 매개변수는 대상체의 방사율, 피사체거리, 상대 습도, 대기 온도, 반사된 주위 온도 등이다.

식 3-1에서 $I(T)$는 온도 T일 때 흑체로부터 방사량에 비려하는 신호 값으로서 물체, 대기, 주변에 관한 함수이다. 식 3-1은 불투명 물체, Lambertian 표면, 일정 분광 방사율(grey body)이라는 가정을 갖는다.

스캐너로부터 반사된 방사에너지의 교정, 다시 말해 스캐너와 그 고유 광학계로부터 반사되어진 스캐너 온도에 의한 방사에너지 교정은 Thermovision 900에서 자동적으로 실행된다. 이것은 두 흑체 온도를 기준으로 4개의 온도센서 스캐너를 사용하는 마이크로프로세서로 컨트롤된 시스템에 의해 실행된다. 이러한 교정기능은 블랙바디온도와 스캐너의 신호 출력간의 비선형 관계를 표현해 주는 것이며 각 렌즈와 각 필터, 영역 조합은 그 자신이 교정 기능을 가지고 있다. 이 기능에 대한 상수는 스캐너에 저장되어 있고 시스템은 자동으로 사용된 조합에 대하여 적당한 상수를 선택한다. 또한 플랭크법칙과 스캐너 및 필터의 분광 응답을 이용하여 계산하지만 더 많은 정확한 결과는 측정에 의해서 얻을 수 있다. 이는 많은 블랙바디 소스가 스캐너로 측정되었을 때 측정 중에 이루어 질 수 있는 것이다. Thermovision 900에 사용되어진 교정기능은 일부 플랭크법칙과 일부 경험적인 것에 의존한다.

$$I = \frac{R}{\exp(\frac{B}{T}) - F} \qquad (3\text{-}2)$$

식 3-2에서 I는 온도 값이고 R은 대응인자, B는 분광인자, F는 모형인자며, T는 물체의 온도이며 스캐너의 출력 신호는 입사된 방사에너지와 비례한다는 가정을 갖는다.

검출기의 응답은 비선형이기 때문에 네 번째 측정 상승의 보정 기능이 Thermovision 900에 덧붙어 작은 비선형 에러를 보정하여 준다.

$$I_s = \frac{U}{1 - (U \times L)} \qquad (3\text{-}3)$$

식 3-3에서 U는 스캐너 안에 A/D 변환기로부터의 비디오 신호이며 L은 비선형 상수, I_s는 Object signal이다. 또한 Object signal은 측정 표시 단위이고 이 신호는 비선형적인 교정을 거친 후 표시된다. 이 신호는 광 방사에너지와 비례한다.

피사체 매개변수들의 선정은 특정한 측정 상황을 설명한다. 그리고 대상물 온도에서 방사에너지 값의 전환에 앞서 피사체의 교정을 위해 요구한 매개변수들 즉 방사율과 대기에 의한 영향을 소프트에서 포함하고 있다. 피사체 매개변수들은 방사 계수, 대기 온도, 주위 온도, 피사체거리, 상대 습도, 반사된 주위 온도 영향을 포함하고 있다.

방사율의 경우 실제 피사체는 거의 "블랙"이 아니기 때문에 방사요인은 측정 식으로 나타난 적외선 온도 측정으로 고려하여야 한다. 피사체 방사는 측정 될 수도 있고 표에서 찾을 수 있다. 보통 피사체 재질과 표면은 약 0.1~0.95 범위에서 방사율을 갖는다. 광택이 많이 나는(거울) 표면은 0.1이하로 떨어지고 산화 혹은 페인트 표면은 방사가 아주 크게 증가한다. 사람 피부 방사율은 1에 가깝게 표시된다. 반사된 주위온도에서 불투명한 피사체의 반사요인은 $\rho=1-\varepsilon$로서 얻을 수 있다. 따라서 낮은 방사 요인은 피사체로부터의 방사율이 같은 온도의 흑체의 그 것보다 낮을 뿐만 아니라, 주위로부터 바람직하지 않은 복사가 피사체에서 반사되어 스캐너로 들어오게 됨을 의미한다. 측정 식은 이 복사를 보정하며, 이 보정은 반사된 주위온도(피사체 주위 온도의 평균값)에 근거한 것이다. 대부분 대기온도, 반사 주위 온도 값은 같은 것이라 생각한다. 대기온도는 피사체와 스캐너 사이의 대기의 온도를 말한다. 그 경로의 온도가 과도하게 변화한 경우, 그 때의 평균값이 사용된다.

계산된 투과율은 스펙트럼 대역에서 대기흡수 적외선 복사의 구성을 사용하고 있다. 가장 중요한 가스들은 물(기체)과 이산화탄소이다. 이 흡수는 피사체에서 측정은 적외선 복사를 엷게 할 것이다. 이 대기 희박 효과는 측정 공식에 의해 보상된다. 측정 공식은 피사체와 스펙트럼 안의 복사에 의한 앞 렌즈사이의 대기 투과율을 의미하는 상수 τ를 사용한다. 이 τ는 피사체 거리, 대기 온도, 상대습도의 기능으로써 τ가 계산된 소프트웨어로 계산 할 수 있고, τ값이 측정에 의해 또는 Lowtran과 같은 고기능 대기용 모델로부터 알려 질 수 있다면 직접 입력에 의해 계산될 수도 있다. 만약 오퍼레이터가 τ값을 입력한다면 추정된 τ는 소프트웨어에 의해 계산된 값을 무시 할 것이다. 공식은 효과적인 대기 투과율을 계산하기 위해서 소프트웨어가 사용한 식은 3-4와 같이 경험적이다.

$$\tau = X \times \exp(-\sqrt{d}(\alpha_1 + \beta_1\sqrt{W})) + (1-X) \times \exp(-\sqrt{d}(\alpha_2 + \beta_2\sqrt{W})) \quad (3\text{-}4)$$

식 3-4에서 τ는 효과적인 대기 투과율이고, X는 무게 요인, α_1와 α_2는 감쇠 계수, β_1과 β_2는 수증기과 관련된 감쇠 계수, d는 물체와 스캐너 렌즈 앞쪽 사이의 거리, W는 equivalent water content(소프트웨어로부터 계산된 상대습도와 대기온도의 함수)이다. 대기 상수 $X, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$는 수증기 함수와 피사체 거리 사이에 계산된 것으로 알고리즘에 알맞게 계산되며 Lowtran 대기 모델에서 모든 스펙트럼은 Thermovision 900 스캐너와 전형적인 대기 안에 표준 필터에 의해 값은 이끌어내 사용된다. 이 모든 대기 상수는 새 필터를 선택했을 때 자동적으로 적재된 것과 스캐너 안에 포함된다.

추정 투과율에서 가끔 측정 조건은 트릭이 있을 수 있고, 대기를 통한 전송 계산에 있어서 정상적인 연산 방식이 적용되지 않을 수 있다. 그와 같은 경우 그것은 종렬 추종 투과율로 값을 세팅하므로 자동적으로 계산된 대기 전송을 무시 할 수가 있다. 즉 이는 측정통로에서 사파이어 윈도우가 있을 경우인 것이다. 이러한 윈도우는 0.87의 투과율을 갖고 있고, 이는 계산된 투과율을 곱해야 한다. 추정 투과율 값은 보통 전혀 값을 갖지 않으나 0은 사용되지 않는다.

상대습도는 피사체와 스캐너 사이의 대기의 상대 습도이다. 이 매개변수는 유효 대기 투과율의 계산에 사용된다.

$$I_o' = \varepsilon_o \tau_d I_o + \tau_d (1-\varepsilon_o) I_a + (1-\tau_d) I_{atm} \quad (3\text{-}5)$$

$$I_o = \frac{R}{e^{B/T_o - F}} \quad (3\text{-}6)$$

식 3-5에서 I_o는 물체 방사를 위한 디지털 값이고, I_o는 스캐너로부터 받아들인 총 방사량(디지털 값에서), R, B, F는 보정 매개변수, T_o는 물체의 온도, ε_o는 물체의 방사

율, τ_o는 물체의 투과율, I_a은 (a)에 의하여 변환된 주변의 온도, I_{atm}은 식 3-6에 의하여 변환된 대기의 온도이며, 투과율 τ는 계산된 투과율 공식 의해 계산된다. 공식에서 W인자는 다음 식에 의해 계산된다.

$$W = \text{RelHum} \times \text{precipitable water content} \tag{3-7}$$

Water content는 다음 식에서 표현할 수 있다.

$$\text{PrecWater} = \exp(A1 + A2 \times T + A3 \times T^2 + A4 \times T^3) \tag{3-8}$$

$$W = \text{RelHum} \times \exp(A1 + A2 \times T + A3 \times T^2 + A4 \times T^3) \tag{3-9}$$

식 3-8과 식 3-9에서 $A1$= 1.5587, $A2$= 6.939E-2, $A3$= -2.7816E-4, $A4$= 6.8455E-7의 값을 갖는다.

2. 시스템 구성

본 연구에 사용한 적외선열화상카메라 Thermovision 900 system은 AGEMA 적외선 SYSTEM AB에서 생산한 적외선 SCANING SYSTEM을 사용하였다.

이중 채널 마이크로프로세서를 기초로 하는 제어기 부분에서는 2개의 68020 프로세서가 사용되고 32비트 VME버스, 2개의 16비트 IR버스가 사용된다. 스캐너의 냉각방식은 열 전기적이며 검출형태는 2개의 스프리트, 직렬 스캐닝, 2~5.4 마이크론 스펙트럼 응답을 보이며 온도 범위는 -10℃~500℃(고온 필터 사용 시 2,000℃까지 검출 가능), 민감도는 30℃에서 0.1℃, 공간 해상도는 140원소/Line(50%변조), IR라인 주파수 3.5kHz, 심플/라인 204를 갖추고 있다. Fig. 3-3은 적외선 열화상 카메라 Thermovision 900 system의 전체적인 모습과 이동성을 위해 노트북컴퓨터와 연결할 수 있는 Research package 900의 구성도를 나타낸다.

No.	Description
1	SW/TE Scanner
2	25°Lens
3	Focus control motor
4	Monitor
5	Keyboard
6	Computer

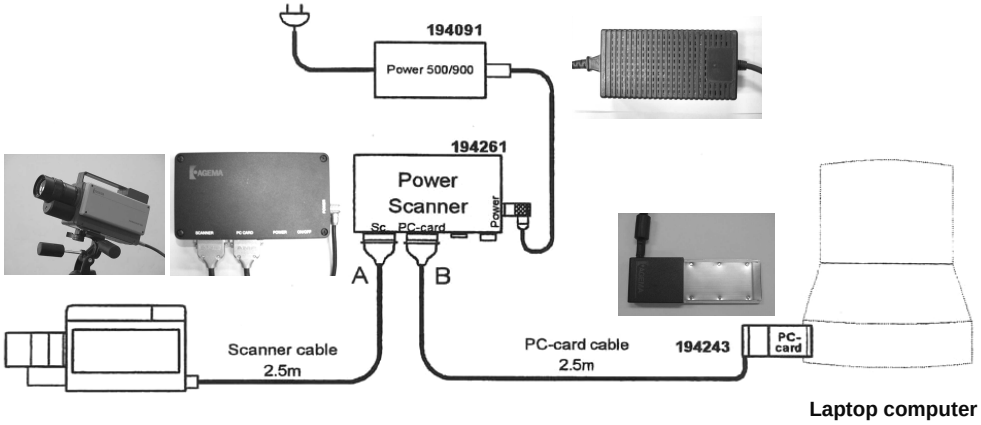


Fig. 3-3 Component of thermovision 900 system

가. 시스템 제어기

시스템 제어기는 산업표준 VME bus를 기초해서 만들어진 마이크로컴퓨터이며 OS9 운영시스템 아래 X윈도우 시스템을 사용하고 2개의 68020 프로세서를 사용하며 화상 조절을 위해 특별히 내장된 조절 장치와 Enhanced 키보드를 사용하고 4+8Mb DRAM를 포함하고 있다. 또한 두 개의 스캐너 신호를 동시에 전송 할 수 있는 시스템을 가지고 있다. Fig. 3-4는 시스템 제어기의 신호 처리 방식과 제어 이동 경로를 나타내었다.

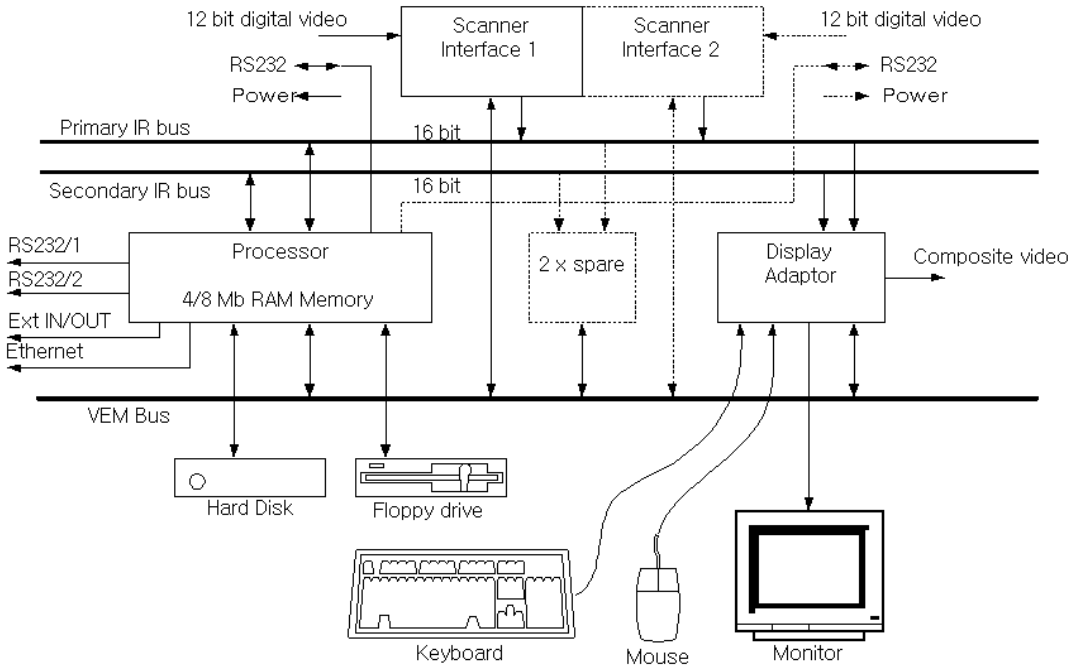


Fig. 3-4 Schematic diagram of system controller

3개의 메인 버스는 산업표준 VME 32비트 시스템버스, 스캐너 인터페이스를 위한 2개의 IR버스로 프로세서 장치에서 사용한다. 프로세서 장치는 기본적인 싱글 혹은 듀얼 스캐너 시스템을 위해 사용 할 수 있는 5개의 보드 슬롯 중 프로세서를 위한 것 1개, 스캐너 인터페이스와 디스플레이 인터페이스 보드 등 3개를 사용한다. 스캐너로부

터 데이터입력은 완전한 온도범위에서 고 해상도를 주는 12비트 디지털 형태이다. 화상데이터는 12비트 형태로 저장됨으로써 차후 분석은 리얼 분석과 같은 정확도로 수행될 수 있다. 시스템 Ethernet interface 혹은 2개의 RS232-C 커넥터 중 하나를 경유해서 멀리 호스트 컴퓨터에 연결되어 제어 될 수 있고 데이터를 교환 할 수 있다.

나. 스캐너

스캐너 기기는 적외선을 디지털신호로 전환 할 수 있고 이는 시스템 컨트롤러로써 해석 할 수 있다. 또한 칼라 혹은 그래이스케일로 물체의 상을 보여주는데 사용되고 있다. 스캐너에서 적외선 복사는 12비트 디지털신호로 변환된다. 이는 중간 케이블 또는 광섬유 접속 부위를 지나 Process unit로 들어간다. 스캐너는 광 스캐닝 모듈 LK4, 검색 모듈 합병 신호 변조기, 신호-수치 변환기, 마이크로프로세서 보드 및 서보 모터 제어 보드로 구성된다. 주사는 부교착이고 2개의 다른 프레임 레이트에서 발생된다.

Fig. 3-5에서는 스캐너의 광학 경로의 전개도를 나타내고 있다.

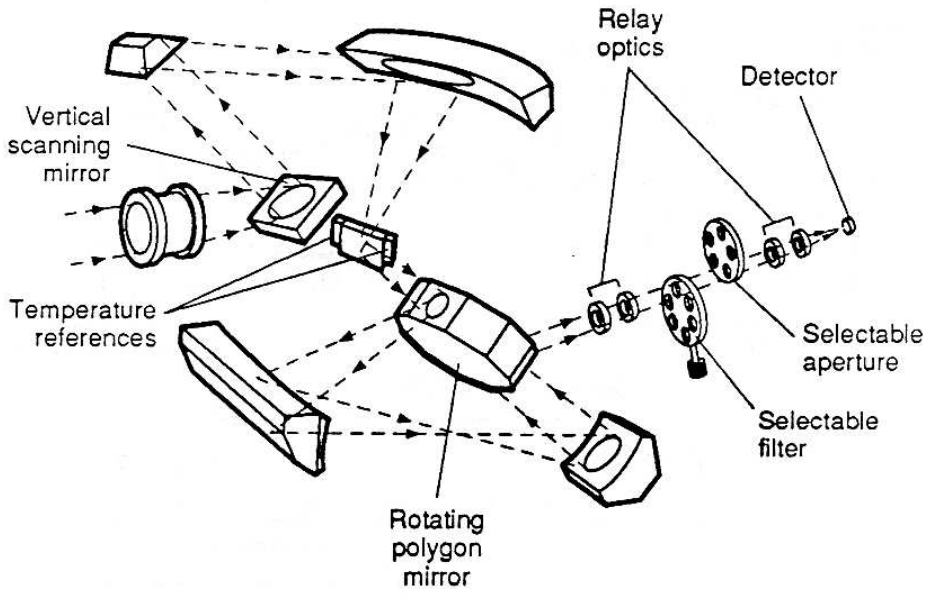


Fig. 3-5 Exploded view of the scanner optical path

스캐너는 복사선을 광학 스캐닝 모듈에 있는 첫 번째 스캐닝밀러에 초점을 맞추고 이 거울은 DC모터토크에 의해 수평면으로 진동한다. 진동밀러의 빔은 3개의 고정 밀러에 의해 회전다각형밀러의 꼭짓점으로 도달한다. 진동밀러와 회전다각형밀러는 서보 모터 제어 보드로부터 제어된다. 회전다각형밀러로부터 관련된 빔은 다각형의 반대 면에 2개의 멀리 고정된 밀러에 의해 초점이 맞추어져 있다. 필터, 휠, 최종으로 검출기의 초점이 맞추어지고 선택할 수 있는 구경을 포함하여 교체 시각을 설치함으로 통과한다. 검출기 출력은 전치증폭기를 통하여 통과되고 아날로그에서 디지털 컨버터로 제어 회로를 얻을 수 있다. 12비트 신호 통과로부터 프로세서 보드까지 시스템 제어기에 전송을 위한 병렬에서 직렬형태로 바뀐다. 2개의 온도를 보상하기 위해 스캐너는 3개의 분리된 온도센서와 스캐너에 의해 복사 방출을 보상하기 위한 2개의 기준이 있다.

Fig. 3-6에서는 스캐너의 신호 처리와 제어 경로를 나타내었다.

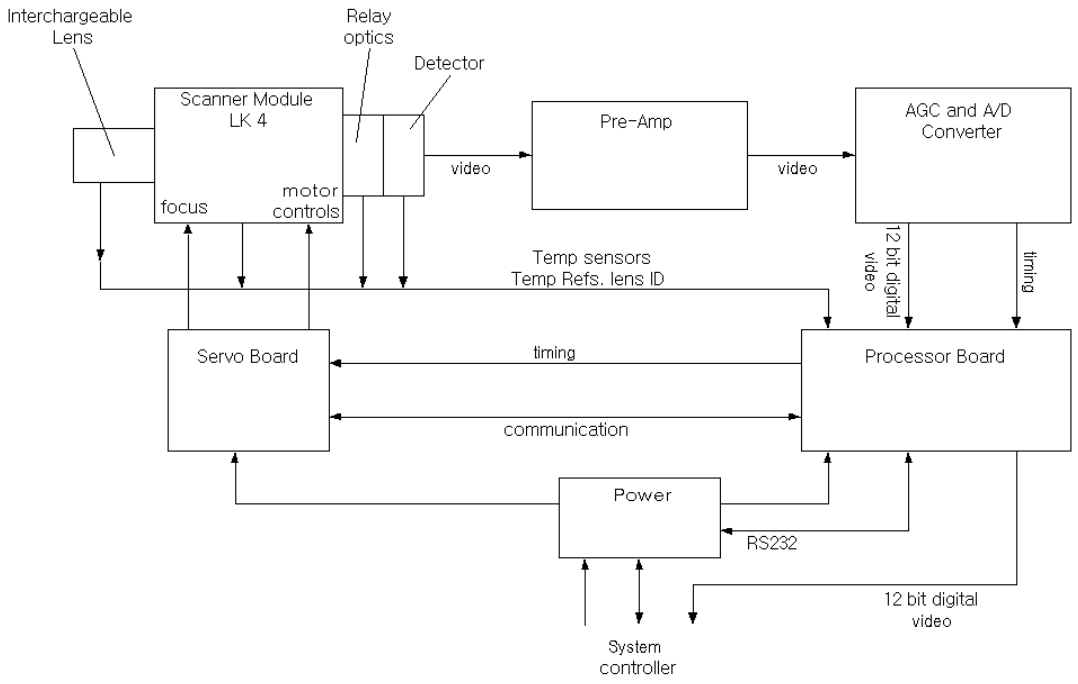


Fig. 3-6 Schematic diagram of scanner

제 2 절 성능평가 적용을 위한 선행연구

적외선열화상카메라를 이용한 다양한 진단기술은 광범위한 대상체의 온도분포를 열영상화시킴으로서 매우 빠르고 편리하게 열역학적 진단을 할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 여러 가지 측정변수와 진단기법의 미확립으로 인해 신뢰성이 저하 된다는 문제점이 있다. 따라서 적외선열화상카메라를 이용하여 태양에너지시스템의 성능평가를 수행하기에 앞서 열화상 진단기법의 검증이 필요하다. 적외선열화상카메라를 이용한 태양에너지시스템 진단기법의 신뢰성을 향상시키기 위해 3가지 선행연구를 수행하여 이러한 단점을 해결하고자 하였다.

첫 번째 선행연구로서 적외선열화상카메라는 그 운영 프로그램의 사용이 한정되어 있기 때문에 태양에너지시스템의 성능평가를 위한 모니터링 시스템을 구축하기에는 한계가 있다. 따라서 이러한 한계를 극복하기 위해 적외선열화상카메라를 이용하여 사용자가 원하는 설정 온도 값을 입력받아 일정한 신호를 외부의 기기에 보내기 위해서 열적결함부 모니터링 시스템을 개발하였다. 이는 태양에너지시스템의 열 성능 평가를 위한 모니터링 시스템 구축에 적용하기 위함이다. 이 연구를 통해 태양전지의 표면온도를 모니터링 함으로서 태양전지의 변환효율을 평가하는데 적용시켰다.

두 번째 선행연구를 통해 레이저용접 시 플륨을 적외선열화상카메라로 측정하여 발생되는 결함과 비교 평가함으로서 기화된 금속증기의 촬영이 가능하다는 것과 그 형상을 통한 용접결함의 비파괴적인 평가에 적용할 수 있는 기법을 확립하였다. 이 연구를 통해 태양열온수시스템의 집열부에 대한 용접 결함을 평가하여 열매체 누출에 따른 성능저하요인을 분석하였다.

마지막으로 가스터빈 블레이드의 코팅 층에 대한 건전성을 평가하기 위해 시편에 대한 기준데이터를 확보하고 분석함으로서 태양에너지시스템의 단열성능 평가를 위한 기반을 조성하였다. 이를 통해 태양열온수시스템의 축열조 단열성능 평가에 적용하고 또한 축열조의 열손실부를 체크함으로서 적외선열화상카메라를 사용하여 신속하고 정확한 태양열온수시스템의 사후관리에도 적용시킬 수 있는 기틀을 마련하였다.

1. 열부하 모니터링시스템 개발[10]

태양에너지모니터링 시스템은 많은 전기적 부하장치들로 구성되어 있다. 이러한 부하장치들은 많은 열적 결함요인에 노출되어 있으며 이로 인해 발생되는 시스템 정지와 고가의 실험 장비들에 대해 심각한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 이러한 사고를 미연에 방지하기 위해 각각의 설비에 대한 모니터링 기술이 필요하게 된다. 이와 같은 맥락으로 태양광발전시스템 또한 어레이 표면온도를 측정하여 어레이 변환효율을 파악하기 위한 열화상 진단기술의 개발이 요구된다.

Fig. 3-7에서와 같이 열적부하에 대한 장비를 구축하고 모니터링 및 프로그램을 개발하여 상시 모니터링을 수행하였다. 이를 통해 설정 온도 값을 초과할 경우 시스템의 정지 및 여러 가지 신호를 외부기기에 전달함으로서 열적결함으로 인해 예상되는 시스템의 결손을 미연에 방지할 수 있는 기반을 구축하였다.

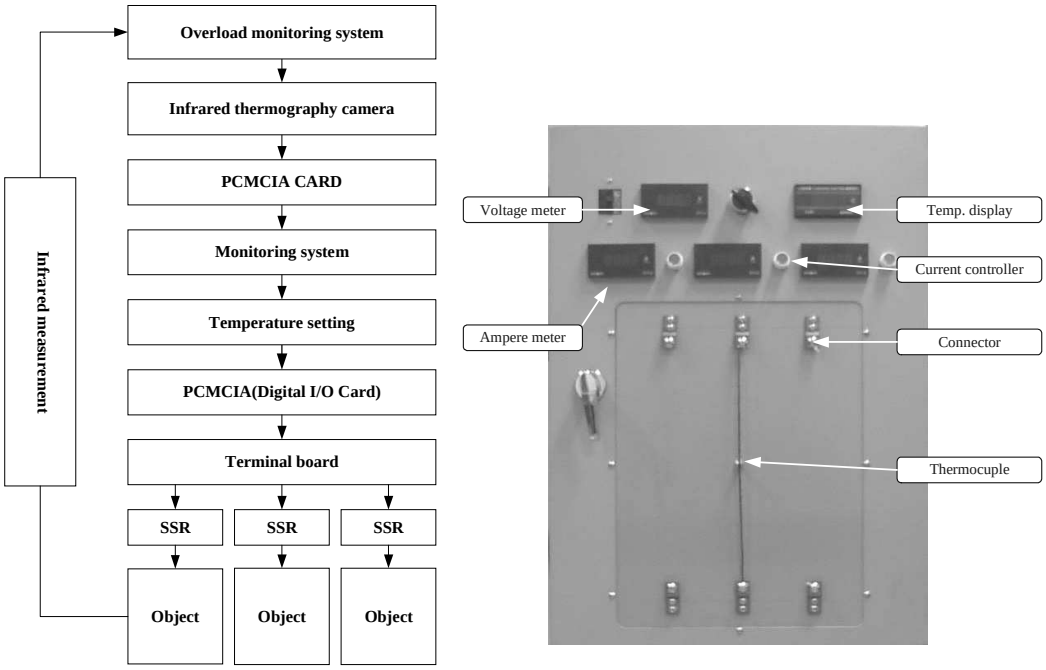


Fig. 3-7 System composition and defect monitoring system flow chart

Fig. 3-8에서와 같이 적외선열화상카메라를 통해 들어오는 열화상 온도데이터는 제어용 컴퓨터로 상시 모니터링 되고 설정온도에 대한 신호는 개발한 모니터링 프로그램에 의해 Digital I/O board로 전송되게 된다. 전달된 신호는 Host bus adapter로 신호를 보내주고 FPGA Controller를 통해 각 채널에 해당되는 82C55 Control 쪽으로 신호를 분배한다. 분배된 신호는 각각의 채널에 해당하는 터미널보드에서 다시 분배되고 이 신호들은 각각의 외부기기에 부착되어 있는 SSR을 작동시킴으로서 결손을 방지하게 된다. 신호처리 장치의 전체적인 개략도를 Fig. 3-8에 나타내었다.

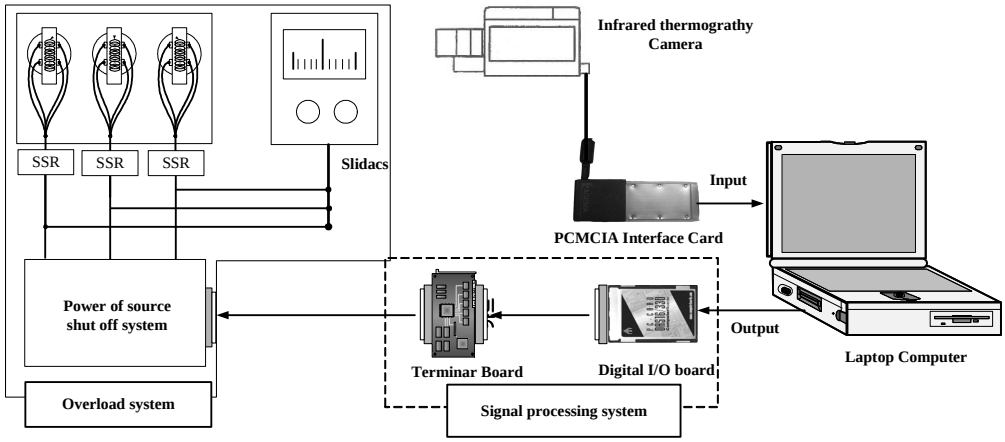


Fig. 3-8 Schematic diagram of signal processing device

비주얼베이직 개발툴을 이용한 모니터링 프로그램의 메인 화면은 Fig. 3-9와 같다.

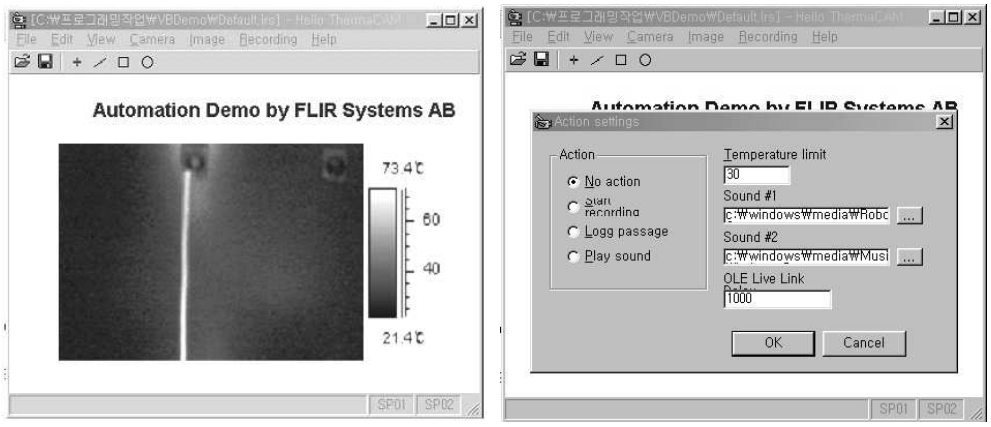


Fig. 3-9 Visual basic development program

개발된 모니터링 시스템의 평가를 위해 열적 과부하 장치의 열선에 전기적 부하를 가하여 설정 온도 값(60℃) 이상이 되었을 경우 외부기기의 작동 정지에 걸리는 시간을 체크하였다. 전선에 대한 적외선열화상카메라의 온도 분포 촬영 영상은 Fig. 3-10에 나타내었고 외부 정지장치의 작동 유무를 Fig. 3-11 시간에 따른 전선의 온도 변화 그래프를 통해 확인하였다.

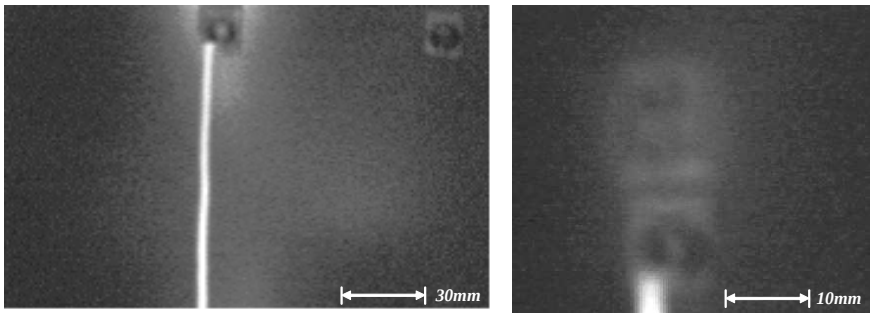


Fig. 3-10 Infrared thermography image of thermal load part

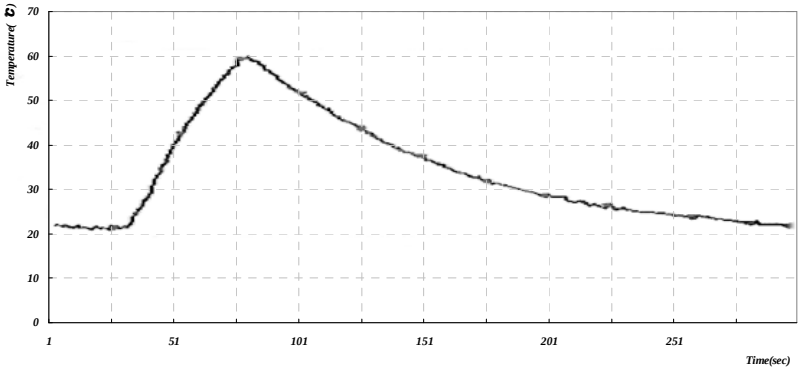


Fig. 3-11 Diagram of electrical line temp. by time

열적 결함부를 상시 모니터링 할 수 있는 시스템의 개발을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 열적 결함부의 검출온도 표준화에 따른 상시 모니터링의 신호처리부와 프로그램 구동부를 구현하였으며 접촉식 온도 검출이 어려운 다양한 플랜트의 열적 결함부 상시 모니터링에 대한 적용 가능성을 파악하였다.
- 과부하 전기장치를 차단시키는데 걸리는 모니터링 시스템의 응답속도는 0.05초로 나타났다.

2. 플륨 측정에 따른 결함 분석[13]

태양열온수시스템의 집열 장치 중에서 많은 양의 태양에너지를 집열하는 부분이 집열판이며 집열판으로 흡수된 태양에너지를 열매체로 전달해주는 부분이 통수관이다. 통수관의 용접 부위는 태양에너지에 의한 열 피로 현상으로 인해 열매체의 누수가 발생하게 된다. 열매체에 누수가 발생되면 열매체 순환 루프에 공기가 유입되어 에너지의 순환이 이루어지지 않아 축열조에 에너지를 전달할 수 없게 된다. 이러한 요인을 분석하기 위하여 용접부위에 대한 결함 평가가 매우 절실하게 요구되고 있다. 따라서 레이저용접 시 발생하는 금속증기의 형상을 적외선열화상카메라로 측정하고 발생되는 결함을 분석함으로서 통수관 용접결함 평가 적용가능성을 진단해 보고자 한다.

레이저용접 시 발생하는 금속증기를 측정하기 위해 SM45C의 용접 시편을 제작하고 Nd:YAG레이저를 이용하여 bead-on-plate 용접을 수행하였다. 이에 따르는 실험장치의 구성을 Fig. 3-12에 나타내었다.

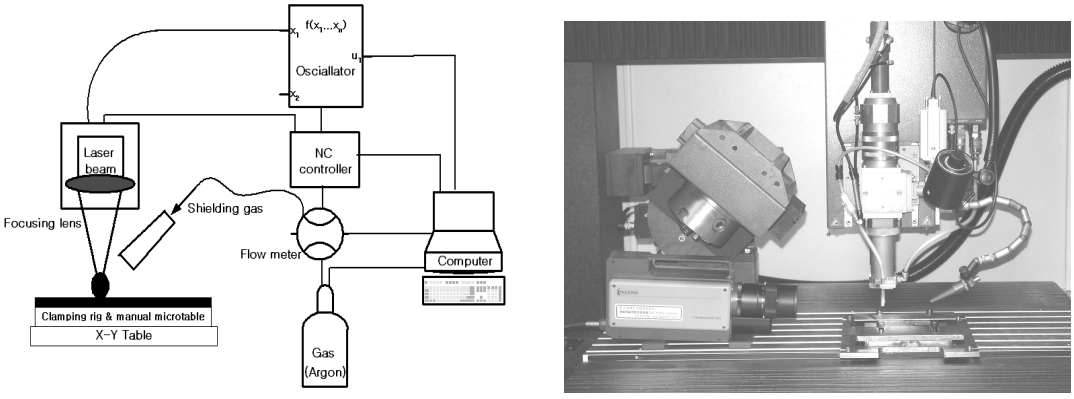


Fig. 3-12 Schematic diagram of the experimental system

초음파 탐장 장치인 SAT(Scanning Acoustic Tomograph)를 이용하여 용접결함을 측정하였으며 레이저의 용접 공정변수(이송속도, 출력, 초점)에 따른 플륨(Plum)의 형상을 측정하고 용접결함과 비교분석하였다. 용접하는 동안 플륨의 형상을 측정하기 위해

적외선열화상카메라를 이용하여 실시간으로 데이터를 취득하였으며 용접면으로부터 310mm 거리를 두었다. 정밀한 측정을 위해 용접헤드와 열화상 카메라는 고정시키고, y축으로만 작업대를 이송시켰다. 적외선열화상카메라 측정은 측정하고자 하는 플륨이 기화된 금속증기, 전자 및 금속이온으로 구성된 고온·고휘도의 플라즈마 상태이며, 동시에 측정된 용접 비드는 고체이다. 이것은 열화상 검출에 매우 중요한 인자인 방사율이 심하게 차이가 나므로 서로 다른 방사율의 중간 값인 0.5로 그 값을 정하여 측정하였다. 플륨량 측정은 열화상위에 사각영역을 그려 그 사각형 내에 임계 온도 값을 350℃로 정하고 사각 영역의 히스토그램 분포를 파악하였다. 플륨량과 세 가지 레이저 용접 공정변수와 비교하여 그 상관관계를 분석하고 플륨량의 변화와 초음파 탐상에 의한 결함의 위치 관계를 규명해 보았다.

본 연구에서 사용한 SAT 시스템은 Fig. 3-13에서와 같이 히타치(Hitachi)사의 장비로서 3축 스캐너를 포함하며, 수침법에 의한 결함 탐상으로 초음파 변환기의 주파수는 15Mhz를 사용하였다. 초음파의 송·수신 유닛들로부터 수신된 초음파 신호는 SAT 장비 내에서 자체적으로 화상으로 변환되어 출력되다.

Fig. 3-13 Experimental apparatus of SAT

시편에 대한 CW Nd:YAG 레이저 용접의 용융 특성을 파악하기 위해 주요 공정변수는 Table 3-1과 같이 변화시켜 실험을 수행하였다.

Table 3-1 Process parameters for experiment set up

Specimen No.	01	02	03	04	05	06	07
Change power	2000w 1m/min z=0	1800w 1m/min z=0	1600w 1m/min z=0	1500w 1m/min z=0	1400w 1m/min z=0	1200w 1m/min z=0	1000w 1m/min z=0
Specimen No.	21	22	01	23	24	25	26
Change speed	2000w 0.6m/min z=0	2000w 0.8m/min z=0	2000w 1m/min z=0	2000w 1.2m/min z=0	2000w 1.4m/min z=0	2000w 1.6m/min z=0	2000w 1.8m/min z=0
Specimen No.	31	32	33	01	34	35	36
Change focus	2000w 1m/min z=-3	2000w 1m/min z=-2	2000w 1m/min z=-1	2000w 1m/min z=0	2000w 1m/min z=+1	2000w 1m/min z=+2	2000w 1m/min z=+3

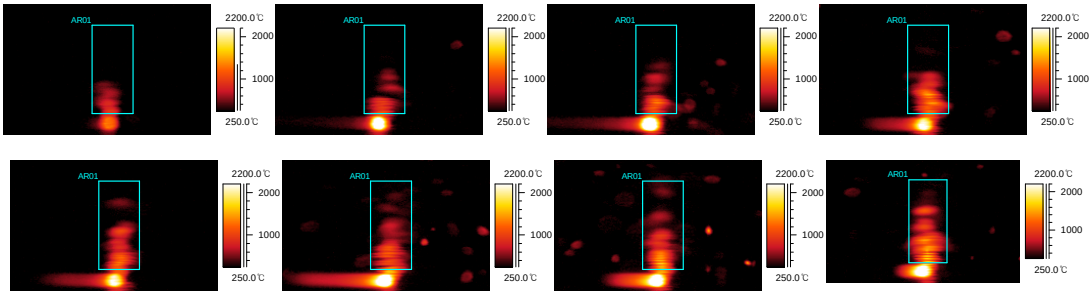
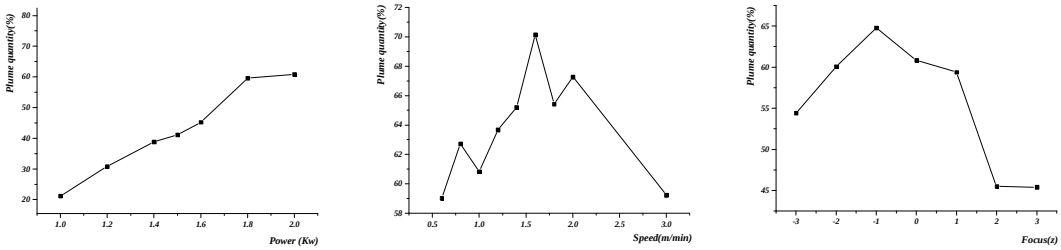
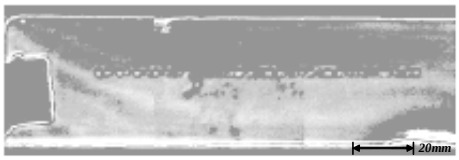


Fig. 3-14 Infrared thermal image for plume form

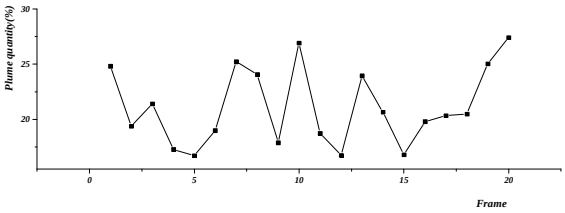


(a)power changed value (b)speed changed value (c)focus changed value

Fig. 3-15 Plume quantity of process variable



(a)SAT image



(b)Plume quantity by frames.

Fig. 3-16 Analysis of welding defect position

Fig. 3-14는 적외선열화상카메라를 이용하여 측정된 플륨의 다양한 형태를 보여주고 있으며 Fig. 3-15에서는 레이저용접 공정변수의 변화에 따른 플륨의 양을 나타내고 있다.

레이저 용접시 발생하는 금속증기의 형태인 플륨을 측정하여 용접결함과의 상관관계를 분석함으로서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 출력전력과 이송속도의 변화에 따라 플륨의 양이 증가하는 것으로 보아 용접결함이 증가하는 것으로 판단되었다.
- 초점 변화의 경우 z=-1에서 용접결함이 최대인 것으로 파악되었으며 이송속도의 변화에 따른 플륨의 양이 2.75m/min에서 급격히 감소하는 이유는 적외선열화상카메라의 데이터저장속도가 한정되어 있어 촬영 프레임수가 이송속도에 못 미쳐 나타나는 현상으로 판단된다.
- SAT로 용접결함의 위치를 파악하고 플륨의 형상과 비교 분석하였으나 좀 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.
- 적외선 열화상 계측 기법을 통한 플륨 측정으로 레이저 용접시 용접결함을 실시간으로 판단하여 최적의 용접 공정 변수를 유지하기 위한 기반을 구축하였다.

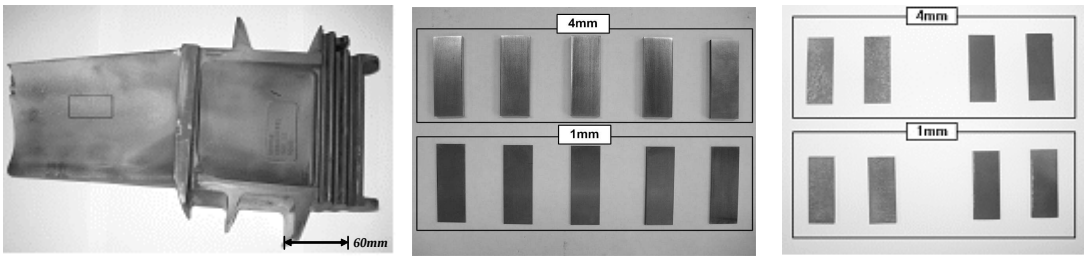
3. 가스터빈 블레이드 코팅층 건전성 평가[12]

태양에너지시스템의 많은 부분은 단열과 부식을 방지하기 위하여 다양한 코팅기술이 적용된다. 이러한 코팅부분에서의 결함을 판단하고 각 부품들의 크랙을 진단하는데 필요한 열화상 진단기법을 적용하기 위하여 가스터빈의 블레이드 코팅층 건전성 평가라는 선행연구를 진행하였다. 이번 연구를 통해 태양에너지시스템의 단열성능을 파악하고 부식에 대한 크랙의 발생여부를 판별할 수 있는 기반을 조성하였다.

가스터빈의 주요 설비는 고온・고압・고속회전등으로 인하여 중요 부품의 손상빈도가 높다. 이로 인하여 유지보수 비용의 증가는 물론 발전정지로 이어지는 경우가 많다. 또한 정비를 위한 부품의 수가 증가하고 있으며 그에 따르는 진단기술의 발전은 크게 발전하지 못하고 있는 실정이다. 블레이드 코팅층에 대한 정기적인 정비 방법은 형광침투탐상시험법(FPI, Fluorescent Penetrant Inspection)와 자분탐상검사(MPT, Magnetic Particle Testing)가 사용되어 왔다. 그러나 이 같은 방법은 복잡하고 시간이 오래 걸리며 많은 비용이 소요되는 문제점을 지니고 있다. 이런 문제점을 다소 해결하기 위한 방법의 하나가 적외선 열화상 진단 기법을 활용하는 방법이다. 이 기법은 빠른 진단시간과, 비용절감의 장점을 가지고 있는 반면 평가 결과의 정량적인 분석이 어렵고 검사대상체의 가열 문제 등으로 인하여 가스터빈 블레이드의 코팅층 건전성 평가에 적용하지 못했다. 따라서 본 연구에서는 Thermography기법을 가스터빈 블레이드 코팅층의 건전성 평가 방법으로 적용하기 위해서 Reference data의 구축에 필요한 가스터빈 블레이드(버킷) 시편 제작과, 제작된 시편의 열적 부하를 가하는 방법, 적외선 열화상 카메라의 촬영 기법과, 열화상 분석 기법, 가스터빈 블레이드 코팅층 결함 분석을 위한 선행 실험에 대해 기술하고자 한다.

시편은 GE에서 생산한 7FA형 가스터빈의 1단 버킷에 사용되는 DS GTD-111을 이용하여 54mm(L)×19mm(W)×4mm(T)의 크기와 54mm(L)×19mm(W)×1mm(T)의 크기를 각각 4개씩 총 8개를 제작하였다. 이와 같이 두 가지 부류로 나누어진 시편에 코팅층의 두께를 Fig. 3-17과 같이 변화시켜 코팅을 하였다. 여기에서 코팅층의 두께는 가

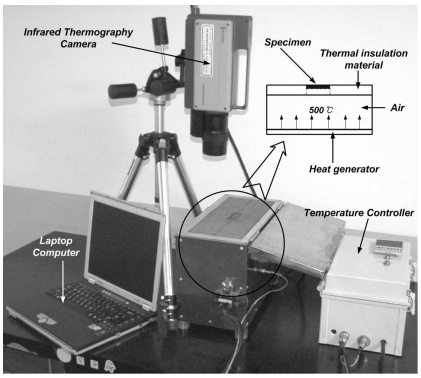
스터빈 블레이드의 코팅부에서 쓰는 패스(pass)의 개념을 사용하였다. (패스의 값이 클수록 코팅층의 두께는 증가함, 적정 패스의 값은 8~16pass) 모재의 두께를 변화시킨 것은 가스터빈 블레이드의 Wall 두께가 다양하고, 코팅층의 두께를 변화시킨 것은 가스 터빈 기동 후에 블레이드의 코팅층이 손상되면서 두께가 변하여 모재에 손상을 주기 때문이다. 따라서 시편 종류 또한 이와 같이 실제 정비 상황을 유사하게 재현하기 위해 다양하게 제작하였다. 또한 실제 Fig. 3-17 (a)와 같이 가스터빈에서 기 사용된 블레이드에서 크랙이 심하게 발생한 안쪽과 심각한 산화 손상을 입은 바깥쪽에서 각각 추출한 시편을 Fig. 3-17의 (c)와 같이 제작하였다. Fig. 3-17의 (b)는 블레이드에서 와이어커팅을 통해 새로 재작된 시편을 나타내고 있다.



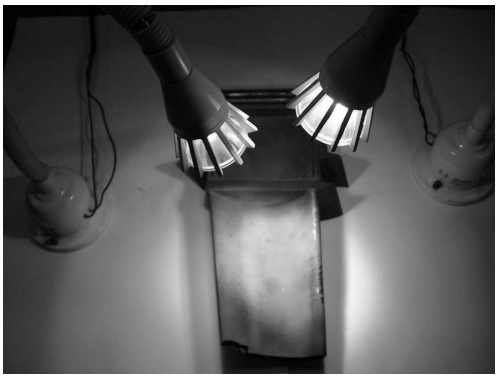
(a)Produced position of spec. (b)New produced spec. (c) Used produced spec.

Fig. 3-17 Produced specimens

제작된 시험편의 적외선열화상카메라 촬영을 위해서는 시편을 일정한 온도로 가열시켜주는 히팅시스템(Heating system) 필요하다. Fig. 3-18의 (a)에서와 같이 전기적 저항을 이용하여 금속부를 가열시키고 금속부로부터 110mm 높이에 시편을 위치시켜 공기층에 의해 간접적으로 시편을 가열할 수 있는 히팅시스템을 제작하였다. 또한 가열공기가 시편 측정면으로 유입되는 것을 차단하기 위하여 시편 주위를 차단하였다. 그리고 외부 열원을 차단하여 최적의 실험 상태를 유지하기 위한 암실을 제작하여 시험을 시행하였다. 각 종류의 크랙을 검출하기 위해 블레이드 표면을 Fig. 3-18 (b)와 같이 할로겐램프로 일정시간 가열 하였다.

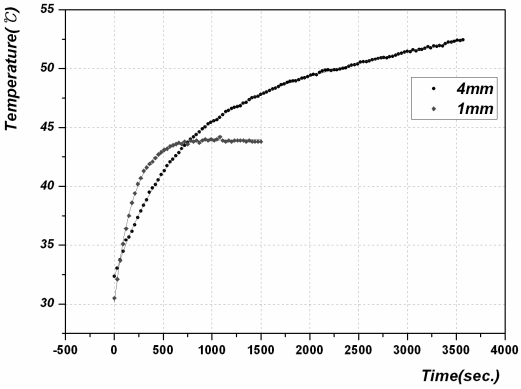


(a) Heating system component

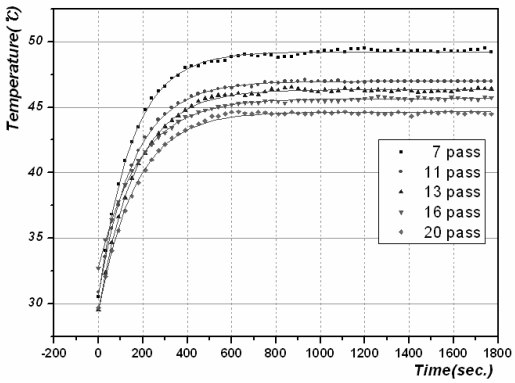


(b) Crack detecting component

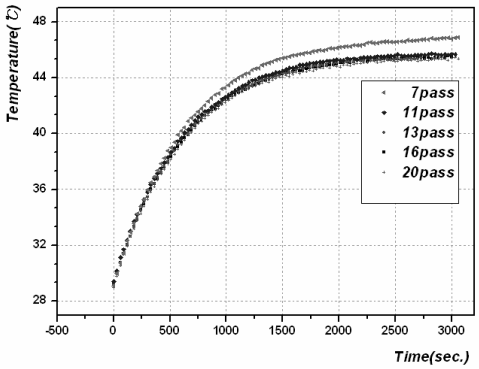
Fig. 3-18 Component of experiment equipment and halogen lamp test



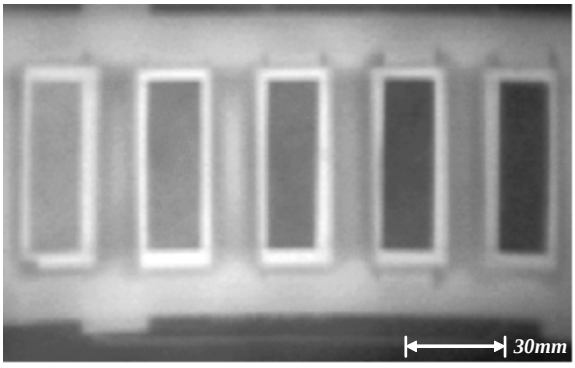
(a) Temp. distribution before coating



(b) Temp. follow incoating thickness(1T)



(c) Temp. follow in coating thickness(4T)



(d) IR image for specimens

Fig. 3-19 Surface temp. change of specimen by coating thickness

Fig. 3-19 (a)에서 보듯이 모재의 두께가 작을수록 측정 온도는 증가하고, 코팅층의 두께가 클수록 측정 온도는 감소함을 알 수 있다. 또한 Fig. 3-19 (b), (c)에서와 같이 코팅층이 적정 두께 이하일 경우 그렇지 않은 부분과 2그룹으로 나누어짐을 알 수 있다. 이로써 코팅층의 적정 두께 이하일 경우와 건전한 코팅층의 온도가 확연한 온도차를 보임으로서 적외선열화상 기법이 코팅층의 적정 두께 판별에 유용하다는 것을 판단할 수 있었다. 가스터빈 블레이드 표면의 크랙을 검출하기 위하여 할로겐램프로 30분을 가열하여 방사되어 나오는 열에너지를 적외선열화상카메라로 측정하였다. Fig 3-20은 실제 크랙 부분의 영상과 적외선열화상이미지를 비교하였으며 크랙에 따른 각각의 온도를 Fig. 3-21에 나타내었다. 검출 가능한 크랙의 폭은 약 0.15mm정도였으며 동일한 열에너지를 가하였을 경우 크랙 부분에서 측정된 서로 다른 온도 값을 파악하여 크랙이 모재 부분까지 진전했는지를 파악할 수 있다.

Fig. 3-21의 그래프에서 알 수 있듯이 왼쪽 크랙부분의 온도가 다른 부분의 온도보다 높게 검출되어 이 부분의 크랙이 모재까지 진전된 것임을 판별할 수 있으며 크랙이 모재까지 진전되었는지의 여부를 확인하기 위해 와이어컷팅하여 금속현미경으로 분석하였다. X축의 거리는 픽셀의 번호를 나타내며 열 영상 왼쪽 상단의 라벨이 보이는 부분부터 1에 해당한다. 열 영상에서와 같이 크랙은 다른 부분보다 온도가 높음을 알 수 있으며 크랙과 인접한 온도 차이가 적게는 1℃ 많게는 3℃까지 차이를 보여 크랙의 검출이 용이함을 알 수 있다.

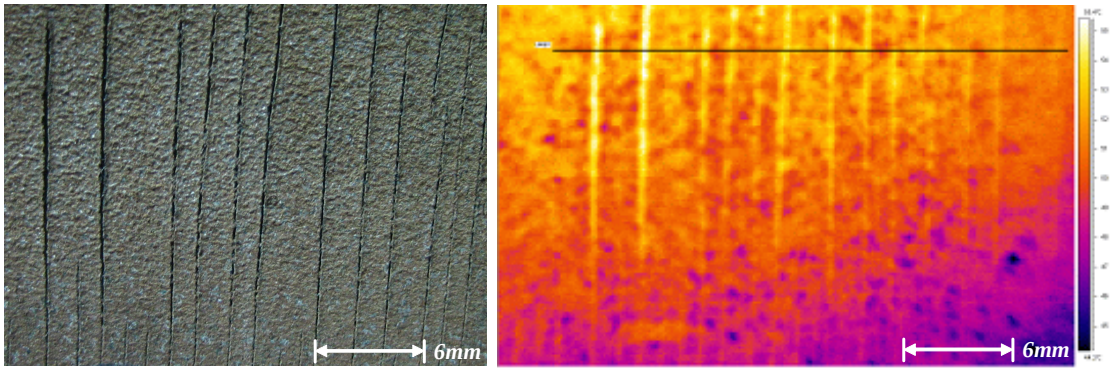


Fig. 3-20 IR image of abstracted crack

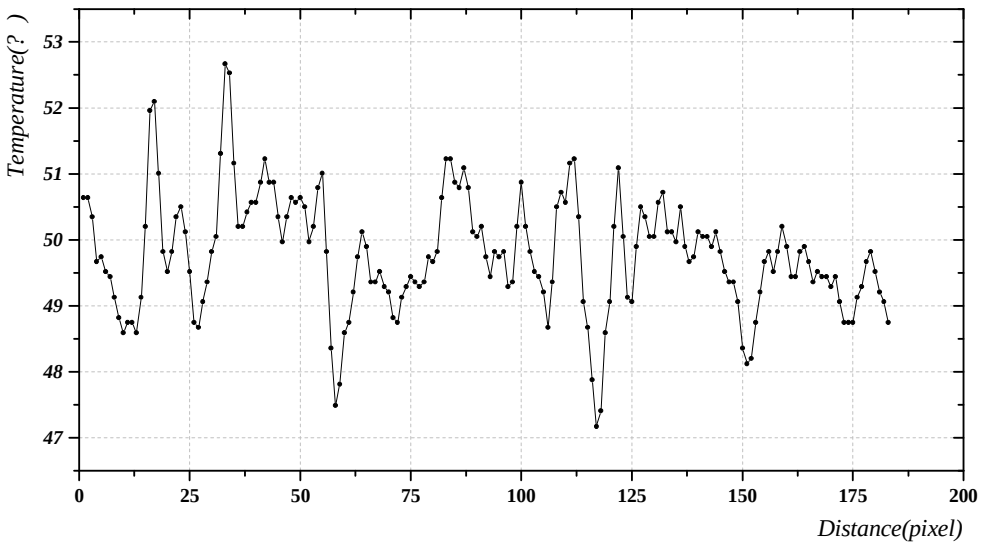


Fig. 3-21 Temp. distribution curved of line 1

적외선열화상카메라를 이용하여 가스터빈(GE 7FA) 1단 버킷 코팅층 건전성 평가를 위한 기준데이터의 구축에 대한 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 정량화된 적외선 열 영상을 통해 블레이드 wall 두께에 따른 코팅층의 건전성 평가를 위한 기준데이터를 확보하였다.
- 이로 인해 매우 복잡하고 비 환경적인 방법에 의해 가스터빈 블레이드의 코팅층 건전성을 판별했던 기존의 방법을 적외선 열화상 진단기술로 대체할 수 있는 기반을 조성하였다.
- 블레이드 코팅층의 두께는 사용 시간에 따라 감소되지 않으며 다만 고온에서 장시간 운영되기 때문에 코팅층을 구성하는 입자의 성장에 따라 수명은 다하는 것으로 판단된다.
- 크랙의 모재 진전여부는 컷팅 후 금속현미경과 IR 이미지를 분석한 결과 51.5℃이상 부분의 크랙이 모재까지 진전됨을 확인 할 수 있었다.

제 3 절 태양에너지시스템 적용[14],[15]

적외선열화상카메라를 이용하여 태양열온수시스템의 성능을 평가하기 위해 집열부와 축열부에 대한 측정을 실시하였다. 태양열온수시스템의 경우 열성능 평가가 매우 중요하기 때문에 적외선열화상카메라를 이용하여 각 부분에 해당하는 열 손실을 측정하였다. 집열부의 경우 태양에너지를 집열하는 통수관에서 용접결함으로 인한 열매체의 누수가 발생하게 된다. 이로 인하여 순환 루프에 공기가 유입되어 열매체의 순환이 이루어지지 않아 축열조에 에너지를 전달하기 어려워진다. 그러나 이런 심각한 손상은 강화유리로 인해 육안 식별이 상당히 어려우며 태양열온수시스템의 사후관리에 많은 문제점을 야기하게 된다. 또한 축열부의 경우 태양으로부터 받은 열에너지를 저장하는 곳으로 단열에 대한 문제점과 축열조 내부 압력으로 인한 외부적인 결함이 주요 문제점으로 파악된다. 단열의 경우 온수의 사용성능을 높이기 위해서는 축열조에 저장된 에너지의 외부유출 유무와 시수에 포함된 공기 유입으로 축열조가 팽창되어 외부 케이싱이 파손되는 부분을 점검하여야 한다. 이런 문제점을 해결하기 위한 방안으로 적외선열화상카메라를 이용하여 집열부와 축열조의 손상부위를 판별하였다.

일반적인 평판형 집열기의 경우 Fig. 3-22와 같은 구성으로 이루어진다. 태양광중 적외선 부분의 파장은 금속이나 다른 물체에 흡수되면 진동 운동을 일으켜 열을 발생시키게 되는데 태양열 집열기의 표면은 태양광 파장의 빛을 잘 흡수하고 적외선 부분의 파장이 방사하여 나가지 못하도록 특수한 방법으로 표면을 가공한다. 투과체의 경우 투과율을 92%이상 높이기 위해 저철분강화유리(LIT Glass : Low Iron Tempered Glass)를 사용한다. 흡수판의 경우 적외선의 방사를 최소화하기 위해 블랙크롬, 블랙니켈산화동을 철판에 도포하여 방사율이 10%미만인 선택적 흡수막을 사용하게 된다. 이와 같이 구성된 집열부는 통수관의 용접부분에서 많은 손상이 나타난다. 이는 태양에너지의 열 피로 하중과 열매체의 높은 압력, 용접부위의 부식 등에 의한 원인으로 발생된다.

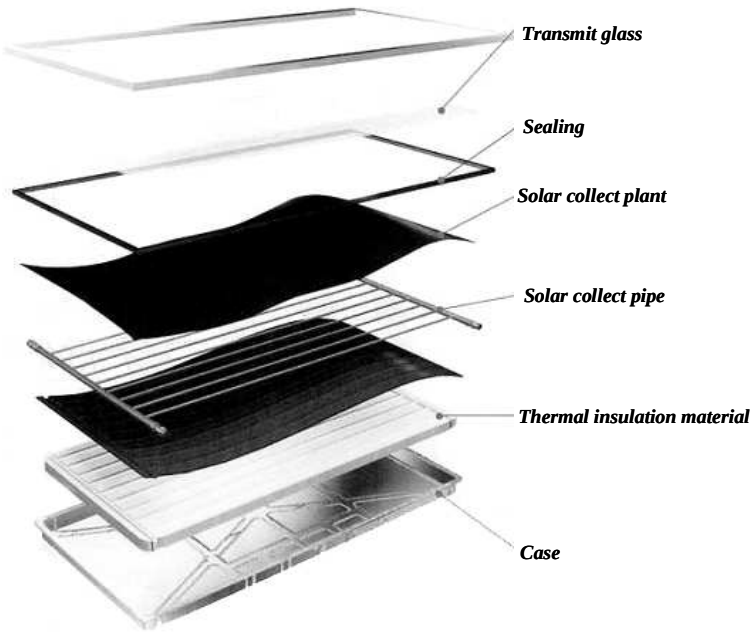


Fig. 3-22 General structure of solar collector

Fig. 3-23에서와 같이 집열부를 적외선열화상카메라로 촬영한 결과 통수관의 용접부위에서 열매체의 누수로 인한 온도 상승 부분이 측정되었으며, 이로 인해 용접결함위치를 판단할 수 있었다. 따라서 육안으로는 판별이 잘 되지 않은 결손부위를 신속하고 정확하게 판별함으로서 시스템 유지 관리와 성능 향상에 적외선열화상카메라의 진단기술이 매우 유용하리라 판단된다.

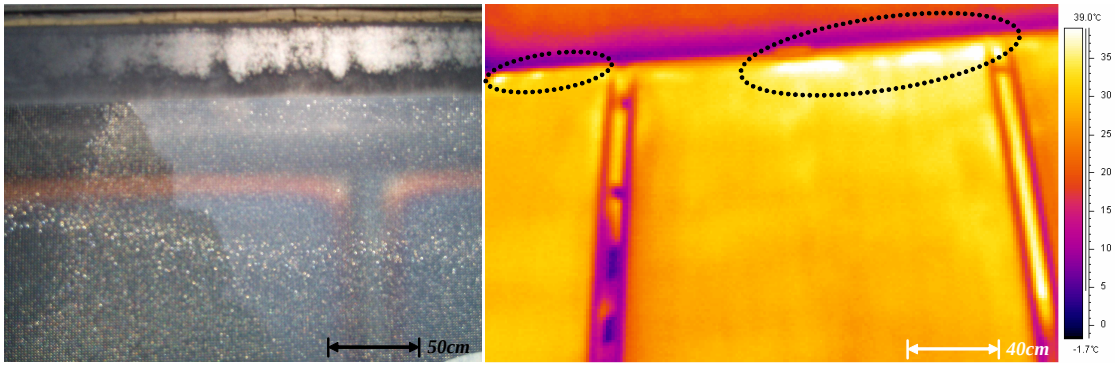
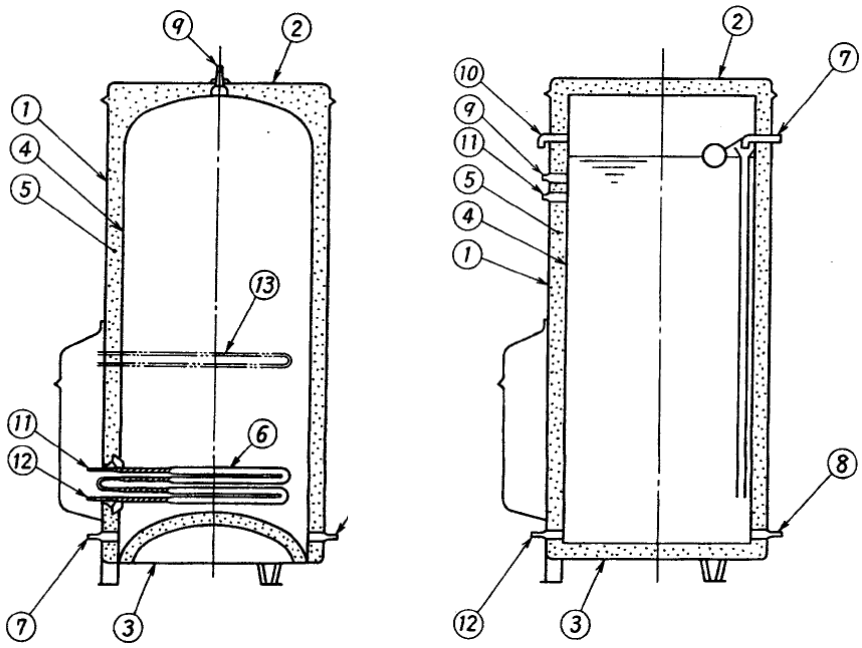
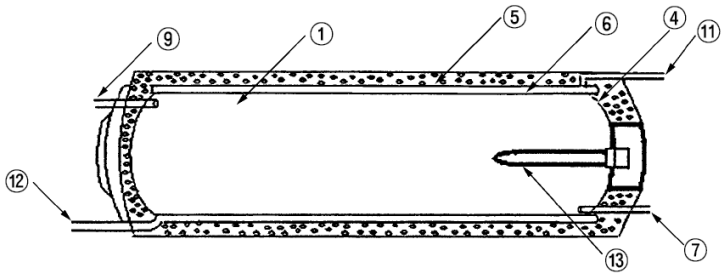


Fig. 3-23 Discrimination of defect part in solar collector



(a) Direct storage type(open type) (b) Indirect storage type(close type)



(c) Horizontal type(close type)

No.	Name	No.	Name
1	Case	8	Drain water channel
2	Case	9	Hot water channel
3	Case	10	Safe pipe
4	Body	11	Heat medium recovery channel
5	Thermal insulation material	12	Heat medium supply channel
6	Heat exchanger	13	Assistance heat source equipment
7	Feed water channel		

Fig. 3-24 Each part name by kind of solar storage tank

Fig. 3-24에서 나타낸 축열조의 구성과 같이 외부 단열재와 케이싱으로 인해 내부 온수의 온도는 적외선열화상 진단 기법으로는 판별이 불가능하다. 그러나 위에서 설명한 바와 같이 축열부의 외부 케이싱 손상으로 인한 열 손실은 적외선열화상 진단 기법으로 판단이 가능하다. Fig. 3-25는 대표적인 축열조의 외부 케이싱 결손부위에 대한 적외선열화상 진단기법을 적용한 예이다. 이는 매우 극단적인 경우이며 육안으로 판별이 매우 어려운 미세한 결함은 외부 에너지 유입이 없고 축열조에 많은 양의 에너지가 축적되어 있는 경우 외부로의 열 손실량이 크기 때문에 적외선열화상 진단기법으로 그 유무를 충분이 판단할 수 있다.

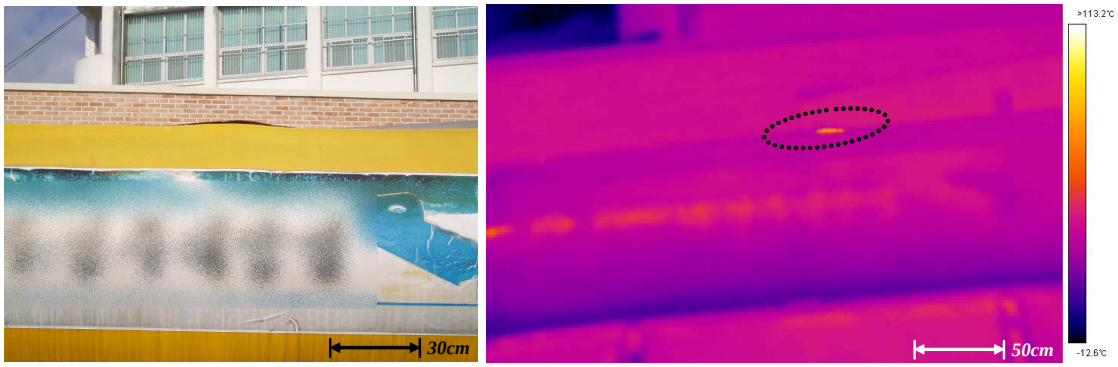


Fig. 3-25 Discrimination of defect part in solar storage tank

Fig. 3-26은 열에너지를 전달하는 배관에 대한 단열 유무를 적외선열화상 진단 기법으로 진단한 결과이다. 이처럼 에너지의 손실이 시스템의 성능에 크게 좌우되는 태양열온수시스템의 경우 적외선열화상 진단 기법을 활용한다면 광범위한 부분에서의 열 손실부위를 신속하고 정확하게 판단할 수 있다는 큰 장점이 있다.

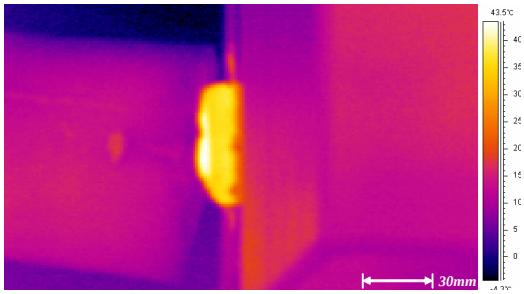


Fig. 3-26 Discrimination of defect part in a piping

제 4 장 태양에너지시스템 신뢰성 평가

제 1 절 태양광발전시스템 성능평가

1. 성능분석 기준

태양전지 모듈사양 및 전기적 성능시험은 태양전지 모듈의 각 사이트별로 규격 및 사양이 각기 다르기 때문에 전기적 성능시험에 대한 비교분석이 반드시 필요하다. 각각의 사이트별로 10개의 태양전지 모듈을 선정하여 전기적 성능시험을 수행한 후 출력의 균일도 분포를 분석하였다.

태양광발전시스템의 성능평가 기법은 태양열온수시스템에 비하여 비교적 간단하다. 태양광발전시스템의 실증연구를 통해 경사면일사량과 어레이 출력전력량, PCS 출력전력량의 데이터를 취득하고 태양전지어레이의 변환효율, PCS 효율, 시스템 발전효율, 시스템 이용률 등으로 각 사이트별 성능평가를 수행하였다.

$$E_A = \frac{P_A}{G_H \times P_{AS}} \tag{4-1}$$

$$E_P = \frac{P_P}{P_A} \tag{4-2}$$

$$E_G = \frac{P_P}{G_H \times P_{AS}} \tag{4-3}$$

$$U = \frac{P_P}{V_{PV} \times D_M \times T_H} \tag{4-4}$$

태양전지 어레이 변환효율 E_A는 식 4-1에서와 같이 어레이출력전력과 경사면일사량에 대한 함수로 표현되며, PCS 효율 E_P는 식 4-2에서와 같이 PCS 출력전력과 어레이 출력전력량과의 함수로 표현된다. 시스템 발전효율 E_G는 식 4-3에서와 같이 PCS 출력전력량과 경사면일사량에 대한 함수로 표현되며 시스템 이용률 U는 식 4-4에서와 같이 PCS 출력전력과 정격용량에 대한 함수로 표현된다.

또한 각 사이트별로 경사면일사량과 어레이출력량과의 관계, 경사면일사량과 어레이 변환효율과의 관계, 어레이출력전력량과 PCS 변환효율과의 관계, 어레이 전압과 어레이 출력전력량과의 관계를 통해 특성을 분석하였다.

Table 4-1에서는 태양광발전시스템의 성능평가에 필요한 사이트별 어레이 면적과 정격용량을 나타내고 있다.

Table 4-1 Array area and PV rated capacity

	O/M	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5
Array area (m^2)	27.2	26.27	25.41	27.825	25.91	27.52
PV rated voltage (kW)	3	3.18	2.992	3	3	3.066

태양광발전시스템의 성능평가는 태양에너지 실증연구단지에 6기의 3kW급 계통연계형 태양광발전시스템을 설치하고 장시간 실증운전을 시행하여 태양광발전시스템의 종합적인 운전특성을 비교 분석함으로서 태양광발전시스템의 국내 보급화를 위한 신뢰성, 안정성 등 실용화 기술의 확립을 위한 연구를 수행하였다.

태양광발전시스템의 실증운전을 통해 일별, 시간별 운전 데이터를 수집했으며 기간은 2002년 10월부터 2004년 6월까지 약 20개월 동안 태양광발전시스템의 운전특성분석을 수행하였다.

실증운전에 의한 특성분석을 위해서 기상측정기기를 설치하여 태양광발전시스템들의 운전특성분석에 있어서 중요한 분석항목인 수평면 및 경사면일사량, 외기온도를 측정하였다. Fig. 4-1은 분석기간 동안 실증연구용 태양광발전시스템이 설치된 실증연구단지내의 일별 경사면 일사량의 변화분포를 보여주고 있다. 일사량이 가장 높은 달은 4월에서 5월 사이이며, 1월의 일사량이 가장 낮게 나타났다.

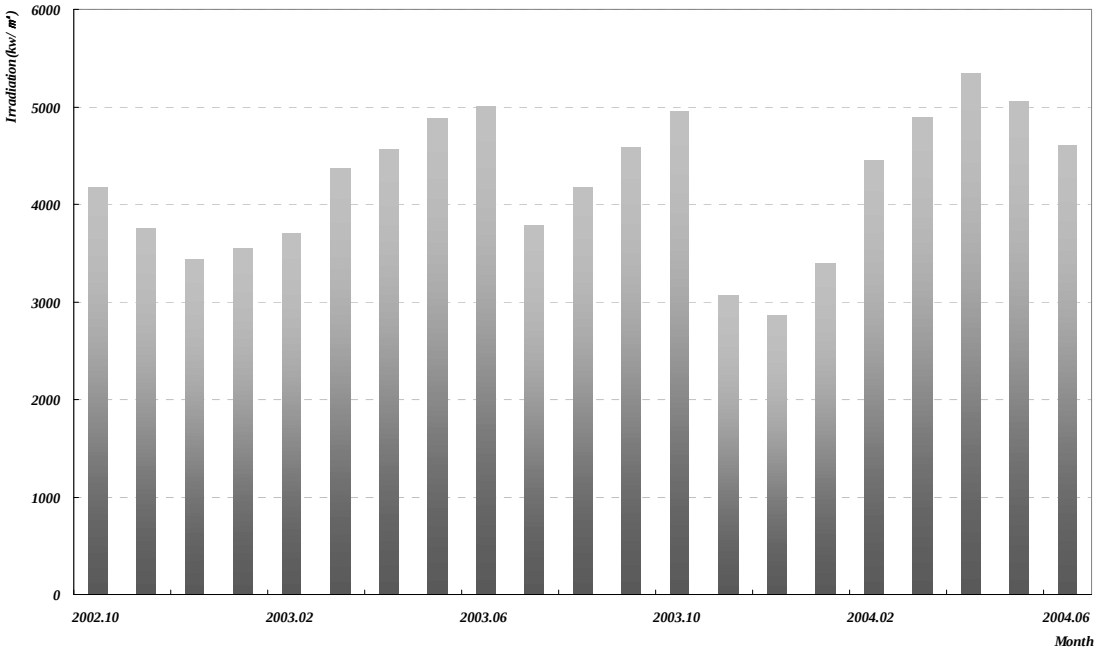


Fig. 4-1 Quantity of solar radiation change distribution

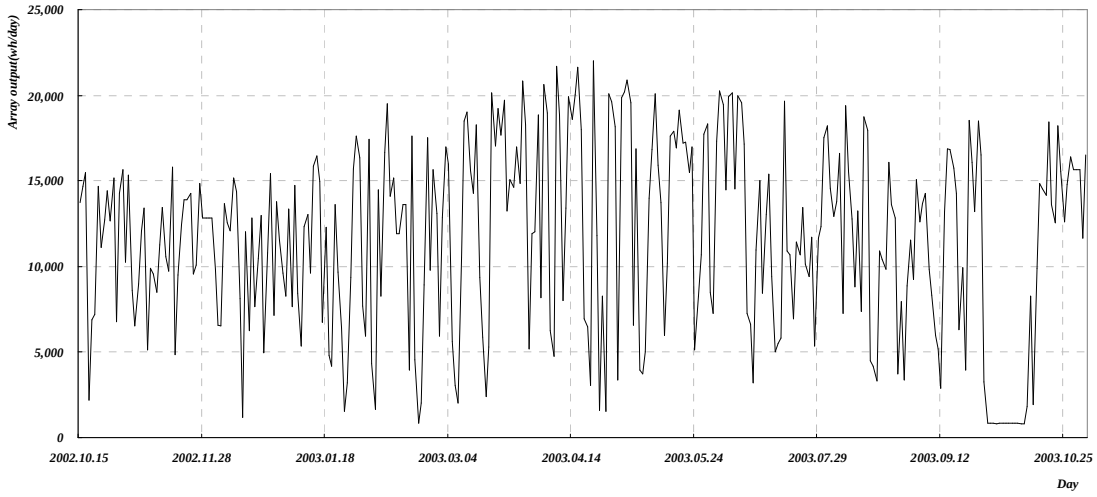


Fig. 4-2 Output power of array

Fig. 4-2는 운영실의 일별 태양전지 어레이 출력량을 나타내고 있으며 일사량이 가장 높은 4월에 높게 나타났으며 일사량이 상대적으로 낮은 1월에 낮은 출력량의 나타내고 있다.

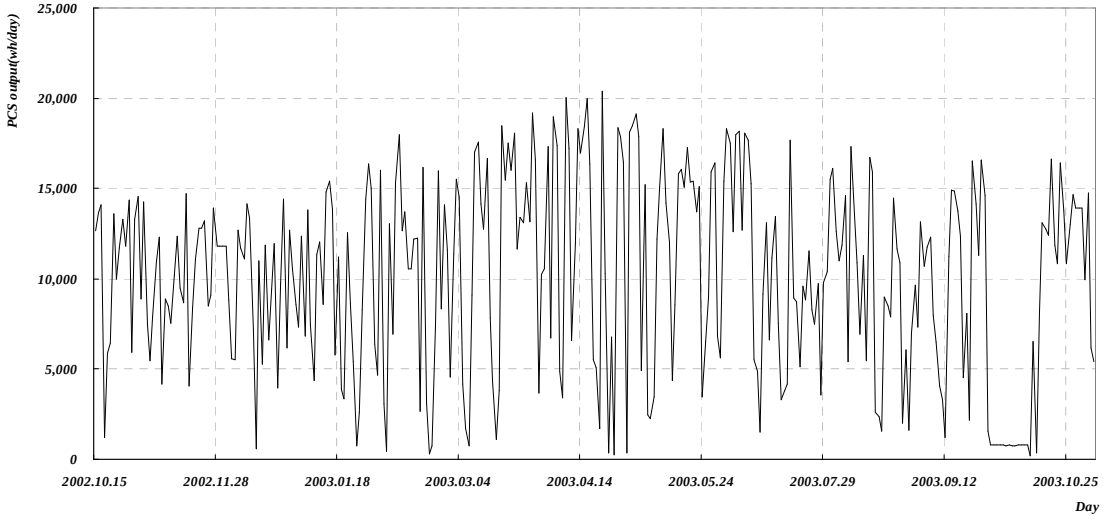


Fig. 4-3 Output power of PCS

Fig. 4-3은 운영실의 태양광발전시스템 PCS 출력 전력량을 나타내고 있으며 일사량과 어레이 출력량이 많은 4월에 높은 출력량을 나타내고 있다.

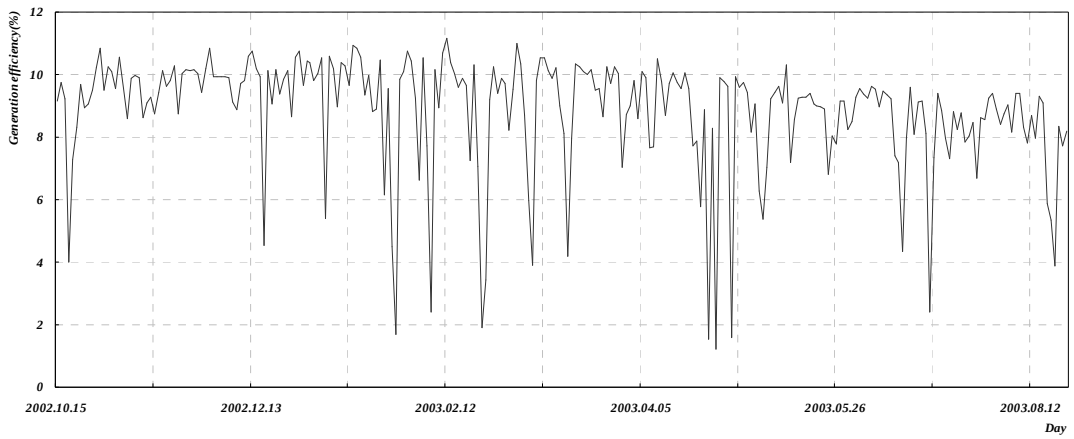


Fig. 4-4 Conversion efficiency of array

Fig. 4-4는 태양광발전시스템 운영실의 어레이 변환효율 분포를 나타내고 있다. 변환효율은 11% 부근이며 2003년 4월 이후로 27.3%가 감소되었다. 이것은 시스템의 노후로 인한 어레이 성능 저하에 원인을 두고 있다.

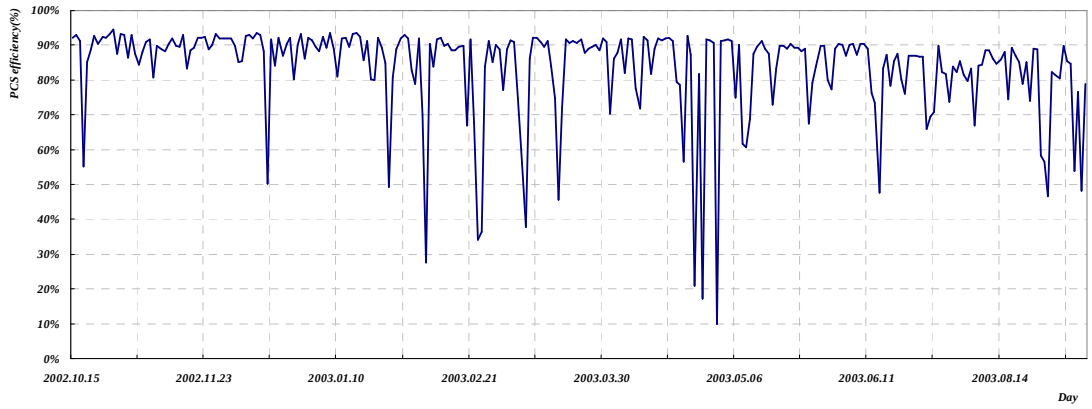


Fig. 4-5 Diagram of PCS efficiency

Fig. 4-5는 태양광발전시스템 운영실의 PCS 변환효율 분포를 나타내고 있다. 변환효율은 90% 부근이며 2003년 6월 이후로 급속히 감소하고 있다. PCS 변환효율은 어레이 변환효율과는 무관하며 90%이상의 변환효율이 요구되고 있으나 그 이하의 변환효율을 나타내는 부분이 많이 나타나 PCS 안정성에 있어 성능이 저하됨을 알 수 있다.

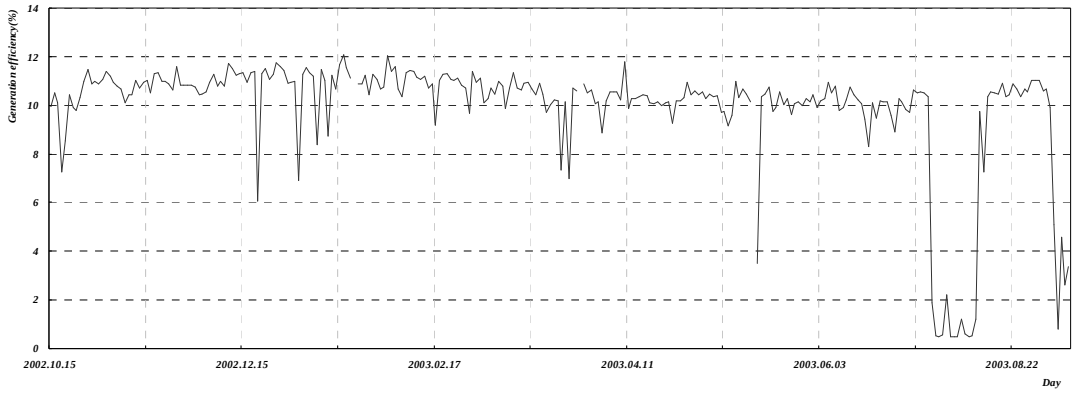


Fig. 4-6 Generation efficiency of system

Fig. 4-6은 태양에너지시스템 운영실의 전체 발전 효율 분포를 나타내고 있다. 발전 효율은 어레이변환효율과 PCS 변환효율과의 상관관계가 매우 크며 전체 시스템의 성능평가에 매우 중요한 자료이다. 운영실의 발전 효율은 10%의 분포를 보이다가 2003년 4월부터 감소하는 경향을 보이며 어레이 변환효율과 PCS 변환효율이 이 시기에 성능저하를 나타내고 있어 어레이와 PCS의 성능 저하의 원인으로 인해 발전효율 역시 감소하는 것으로 판단된다. 따라서 어레이와 PCS 모두 점검이 필요하리라 사료된다.

Fig. 4-7은 시스템의 이용률로서 어레이 발전전압을 토대로 시스템의 발전 유무에 대한 분포를 나타내었다.

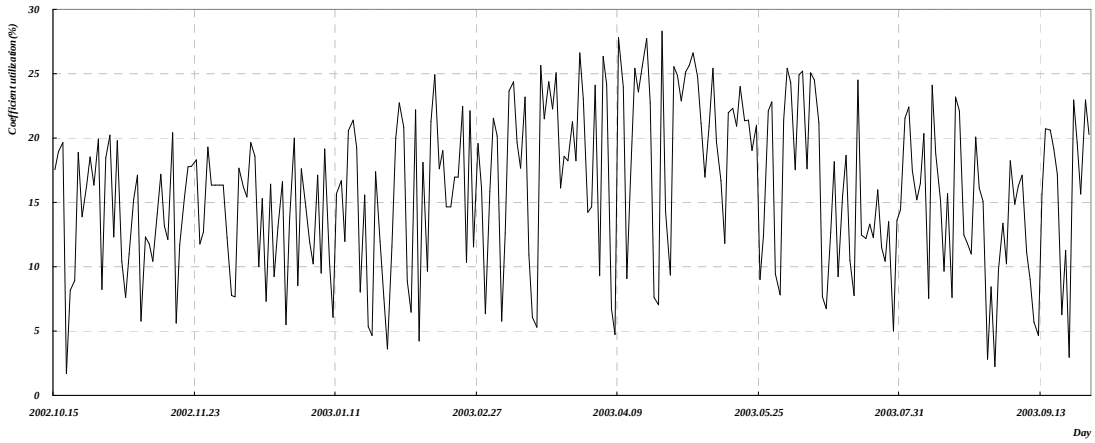


Fig. 4-7 Coefficient utilization of system

Table 4-2 Analysis result of operating property in operating room 1

O/M	Measurement composition	Measurement and analysis result			
Condition	Global solar radiation (unit : Wh/m^2)	Oct. 2002	68,749	Nov. 2002	105,794
		Dec. 2002	89,534	Jan. 2003	96,610
		Feb. 2003	824,962	Mar. 2003	1,781,001
		Apr. 2003	3,714,518	May. 2003	7,480,551
		Jun. 2003	15,241,187	Jul. 2003	60,529
		Aug. 2003	30740,342	Sep. 2003	128,321
		Total	49,143,029		
Solar	Array power (unit : Wh/m^2)	Oct. 2002	192,283	Nov. 2002	312,959
		Dec. 2002	267,218	Jan. 2003	219,167
		Feb. 2003	319,882	Mar. 2003	90,766
		Apr. 2003	404,357	May. 2003	425,195
		Jun. 2003	2,147,358	Jul. 2003	155,676
		Aug. 2003	324,324	Sep. 2003	294,222
		Total	5,153,407		
	Array efficiency (unit : %)	Oct. 2002	10.15	Nov. 2002	10.85
		Dec. 2002	10.95	Jan. 2003	10.46
		Feb. 2003	11.4	Mar. 2003	10.95
		Apr. 2003	10.283	May. 2003	10.28
		Jun. 2003	10.28	Jul. 2003	11.4
		Aug. 2003	10.09	Sep. 2003	10.06
		Total	10.6		

Table 4-3 Analysis result of operating property in operating room 2

PCS	PCS power (unit : Wh/m^2)	Oct. 2002	174,754	Nov. 2002	281,586
		Dec. 2002	237,480	Jan. 2003	194,449
		Feb. 2003	281,328	Mar. 2003	80,961
		Apr. 2003	356,773	May. 2003	371,432
		Jun. 2003	1,890,810	Jul. 2003	127,657
		Aug. 2003	270,665	Sep. 2003	246,985
		Total	4,514,880		
	PCS efficiency (unit : %)	Oct. 2002	89	Nov. 2002	90
		Dec. 2002	88	Jan. 2003	87
		Feb. 2003	88	Mar. 2003	89
		Apr. 2003	88	May. 2003	87
		Jun. 2003	87	Jul. 2003	82
		Aug. 2003	83	Sep. 2003	84
		Total	86.8		
	Work time (unit : hour)	Oct. 2002	176	Nov. 2002	286
		Dec. 2002	253	Jan. 2003	231
		Feb. 2003	297	Mar. 2003	308
		Apr. 2003	297	May. 2003	341
		Jun. 2003	198	Jul. 2003	176
		Aug. 2003	308	Sep. 2003	308
		Total	3179		
	working ratio of system (unit : %)	Oct. 2002	43	Nov. 2002	40
		Dec. 2002	34	Jan. 2003	31
		Feb. 2003	44	Mar. 2003	41
		Apr. 2003	41	May. 2003	46
		Jun. 2003	28	Jul. 2003	24
		Aug. 2003	43	Sep. 2003	43
		Total	32		

Table 4-4 Analysis result of operating property in operating room 3

PV system	Generation efficiency of system (unit : %)	Oct. 2002	9.1	Nov. 2002	9.74
		Dec. 2002	9.68	Jan. 2003	9.56
		Feb. 2003	8.63	Mar. 2003	9.17
		Apr. 2003	8.32	May. 2003	8.65
		Jun. 2003	8.63	Jul. 2003	7.82
		Aug. 2003	8.15	Sep. 2003	
		Average	8.86		
	Capacity factor (unit : %)	Oct. 2002	15	Nov. 2002	14
		Dec. 2002	13	Jan. 2003	12
		Feb. 2003	14	Mar. 2003	16
		Apr. 2003	17	May. 2003	17
		Jun. 2003	17	Jul. 2003	13
		Aug. 2003	13	Sep. 2003	13
		Total	14.5		

실증연구단지에 설치된 운영실의 태양광발전시스템에 대한 분석기간(2002년 10월부터 2004년 06월) 동안에 수집된 운전데이터를 토대로 비교 분석한 운전 특성의 결과를 정리하면 Table 4-2에서 Table 4-4와 같이 요약할 수 있다. 운전특성 및 분석결과는 경사면일사량, 어레이 출력전력량, 어레이 변환효율, PCS 출력 전력량, PCS 효율, 운전시간, 시스템 운전율, 발전효율, 시스템 이용률을 종합적으로 파악할 수 있도록 각 사이트별로 Table을 작성하였으며 분석기간 동안의 월별 측정값을 나타내었다.

운영실의 경우 어레이 변환효율과 PCS 변환효율은 각각 2003년 4월, 6월에 저하됨을 나타내고 있으며 다른 사이트에 비해 안정성 측면에서 크게 떨어짐을 판단할 수 있었다. 또한 어레이 출력 전력량과 PCS 출력량도 다른 사이트에 비해 다소 떨어지는 것으로 판단되어 시스템 전반에 걸쳐 검토가 요구된다.

제 2 절 태양열온수시스템 성능평가

1. 성능평가 알고리즘

태양열온수시스템의 성능평가를 위해 한국에너지기술연구원과 한국표준협회에서는 일정한 기준을 마련해 두고 있다. 따라서 이러한 기준을 바탕으로 태양열온수시스템의 성능평가 함수에 필요한 계측인자들의 데이터를 보다 정확하게 측정하기 위한 실험 알고리즘 구성이 매우 필요하다.

태양열온수시스템의 성능평가를 위한 시험의 종류는 축열조의 단열성능을 평가하기 위한 보온성능시험과 시스템의 예상급탕온도를 평가할 수 있는 집열성능시험, 사용자의 온수 사용능력을 평가할 수 있는 연속배수시험으로 나눌 수 있다.

가. 보온 성능 시험

태양열온수시스템의 축열조 단열성능을 평가하기 위한 보온성능시험은 시험체에 미리 초기 주위 온도보다 35±2℃ 높은 온도의 축열 매체를 축열조 용량까지 채우고 급수구를 닫는다. 다만, 직접 축열조의 경우는 열교환기 내의 집열 매체 또는 공기의 출입이 없는 상태에서 측정한다. 시험체의 축열 매체 온도가 충분히 안정된 다음(약 10분) 시험을 개시하고, 시험체의 중앙부에서 상·하 같은 간격으로 3개소 이상을 측정하며 측정한 값의 평균값이 시험개시시보다 3℃ 이상 온도차가 날 때까지 방치한다. 시험 개시시 및 시험 종료시의 축열 매체 온도를 측정함으로써 다음 식의 축열조 열손실 계수를 구한다. 다만 시험 개시시와 시험 종료시의 축열 매체 온도는 5m 이내의 충분히 단열된 호스를 급수구와 배수구 사이에 연결하고, 축열조 안의 집열 매체를 교반하여 평균온도를 측정한다.

$$\overline{KA} = \frac{V \cdot C_p \cdot \gamma(\Theta_s - \Theta_e)}{T \cdot \Delta\Theta} \ (W/K) \qquad (4\text{-}5)$$

$$\Delta\Theta = \frac{\Theta_s + \Theta_e}{2} - \frac{\Theta_1 + \Theta_2 + \cdots\cdots + \Theta_n}{n} (K) \qquad (4\text{-}6)$$

이와 같은 보온성능 시험은 태양열온수기 모니터링 프로그램에 의한 일일 교반식 시험으로 수행되며 태양열 축열조의 보온성능을 테스트하기 위한 시험으로서 열효율 인자와 더불어 태양열온수시스템의 장기성능 예측에 필수적으로 포함되는 축열조의 열손실계수를 산출하기 위한 시험이다. 실증연구단지는 실외시험을 수행하기 때문에 KS B 8201(태양열 축열조의 축열 성능 시험 방법)에서 명시한 바와 같이 미리 시험체에 초기 주위 온도보다 35±2℃ 높은 온도의 축열 매체를 미리 축열조 용량까지 채울 수 없으므로 시험전날 태양열온수시스템을 태양에 노출시켜 축열 매체의 온도를 상승시켰으며 시험기간은 일몰 후로부터 일출 전 사이의 야간(00시～05시 30분)에 수행하였다.

위와 같은 방법으로 얻어진 데이터를 통해 축열조 열손실율 $\overline{KA}$(기준 : 5.81 W/K이하)를 구하였다. 식 4-5와 같이 태양열온수기의 축열조 열손실 계수를 파악하기 위해 태양열온수 모니터링 프로그램으로 일일 교반식 시험을 수행하였다.

나. 집열 성능 시험

태양열온수시스템의 집열 성능을 평가하기 위한 시험의 환경 조건은 1일(일남중시 전후 4시간으로 총 8시간) 집열면 일사량 4,000 $kcal/m^2$이상의 조건하에서 15℃ 이상 30℃이하의 평균온도를 만족하는 날로 시험에 임해야 한다. 시험방법은 집열면을 미리 차폐용 시트로 덮어 두고 시험 개시 직전에 시수압으로 급수한다. 급수 평균 온도는 정밀도 ±0.1℃이상, 분해능 0.05℃ 이상의 교정을 마친 온도계로 측정하며 급수 평균 온도는 시험 개시시의 기온과의 차가 ±5℃이내이어야 한다. 일남중시의 4시간 전에 일사 차폐 시트를 벗기고 집열을 시작한 후 일남중시의 4시간 후 일사 차폐시트를 덮어 집열을 정지한다. 즉시, 충분한 보온을 한 배관을 경유하여 시험용 보온 탱크에 전량을 출탕한다. 출탕시 실제 유효 출탕량은 공칭 유효 출탕량의 ±5℃이내이어야 한다. 이후

시험용 보온 탱크의 물을 교반하고 온도계로 탱크 중앙부의 수온을 측정한다. 측정된 데이터로부터 식 4-7에서 집열량을 계산한다.

$$S_c = \frac{V_c \cdot C_p \cdot \gamma(t_n - t_w)}{A_c} (kJ/m^2)\{kcal/m^2\} \qquad (4\text{-}7)$$

다시, 식 4-8에서와 같이 S_c를 1일 집열면 일사량 20,930 kJ/m^2 $\{5,000 kcal/m^2\}$때의 집열량 (S)으로 환산한다.

$$S = \frac{20,930}{I} \times S_c (kJ/m^2) \left\{ S = \frac{5,000}{I} \times S_c (kcal/m^2) \right\} \qquad (4\text{-}8)$$

이와 같은 태양열 온수기 집열 성능 시험방법은 집열기의 성능을 평가하기 위함이며, 태양열온수기 모니터링 프로그램의 일일 배수식 시험으로 수행된다. 실증연구단지는 실외시험을 수행하기 때문에 KS B 8202(주택용 태양열 온수기)에서 명시한 바와 같이 일사 차폐용 시트로 집열기를 차폐하기 어려우므로 08시부터 17시까지의 일사량으로 모두 동일하게 적용하였다.

다. 유효급탕 사용 성능 시험

유효급탕 사용 성능 시험을 수행하기 위해서는 시험체에 미리 급수 온도보다 20±5℃ 높은 온도의 온수를 축열조 용량까지 채운 후 축열조 내의 온수 온도가 충분히 안정되고 나서 축열조 용량이 500L 이하의 것은 매분 10±2L의 비율로, 500L초과 1,000L이하의 것은 매분 15±3L의 비율로서, 보온 탱크에 축열조 용량과 같은 양을 급탕한 후 충분히 교반한다. 다음에 보온 탱크 중앙부의 온수 온도를 측정함으로서 식 4-9로부터 유효 급탕 사용 성능을 구한다.

$$\eta_\gamma(\%) = \frac{\Theta_{n2} - \Theta_w}{\Theta_{n1} - \Theta_w} \times 100 \qquad (4\text{-}9)$$

이와 같은 유효급탕 사용 성능 시험은 축열조에 있는 온수가 사용자들이 사용하는데 느끼는 온수의 온도인 37℃(본 연구에서는 온수의 기준을 40℃로 취함)이상의 축적된 에너지량을 구하기 위함이다. 그러나 본 연구에서는 일일 배수식 시험을 통해 배수온도와 시수온도와의 차가 2℃가 될 때까지 출탕한 에너지량을 전체축열에너지량 이라고 정의하고 배수온도가 40℃로 떨어질 때 까지 출탕한 에너지량을 유효축열에너지량이라 하여 유효축열에너지 값을 평가 기준으로 취하였다.

라. 성능시험 결과 및 분석

시험 결과는 시험데이타를 이용하여 ($t_{a(day)} - t_{main}$)의 여러 가지 값에 대해 H(일사량)값을 x축으로 하고, Q(일일 에너지 집열량)를 y축으로 한 시스템 열성능 도표로 나타낼 수 있으며, 이는 다음 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = a_1 H + a_2 (t_{a(day)} - t_{main}) + a_3 \qquad (4\text{-}10)$$

여기서 H는 온수기 집열면에 떨어진 일일 총 일사량(MJ/㎡)이며, Q는 집열성능시험에서 정의된 시험절차에 따라 출탕되는 온수의 온도로부터 산출되는 열량(즉, 집열량)이다. 열성능 인자인 계수 a_1, a_2, a_3은 측정데이터 인 H와 Q로부터 최소자승법(least-squares fitting method)을 사용하여 구하였다. 또한, 시험 결과는 다음 식에 의해 나타내어진 H와 $t_{a(day)} - t_{main}$의 다양한 값에 대한 온수 온도증가 ($t_{a(day)} - t_{main}$)에 대한 도표로 표현할 수 있다.

$$t_{a(\max)} - t_{main} = b_1 H + b_2 (t_{a(day)} - t_{main}) + b_3 \qquad (4\text{-}11)$$

시험 결과로 시스템 열성능 도표를 ($t_{a(day)} - t_{main}$)=-10℃, 0℃, 10℃, 20℃에 대한 4가지 조건에 대해 도시했다. 위와 같은 성능을 파악하기 위해 태양열온수 모니터링 프로그램으로 일일 배수식 시험을 수행했다.

마. 태양열온수시스템 실증시험 알고리즘

위에서 언급한 보온 성능 시험, 집열 성능 시험, 유효 급탕 사용 성능 시험에 대한 평가 함수와 시험조건 및 방법을 고려하여 태양열온수기 모니터링 프로그램을 통해 실증시험을 하기 위해서는 실험 루틴에 대한 알고리즘이 필요하다. 실험 알고리즘은 크게 4가지 방법으로 이루어져 있으며 보온 성능 평가를 위한 일일 교반식 시험과 집열 성능과 유효 급탕 사용 성능 평가를 위한 일일 배수식 시험, 실제 사용자 입장에서 온수를 출탕하고 성능을 분석할 수 있는 연속배수식 시험, 태양열온수시스템의 한계상황을 파악할 수 있는 단기간 시험으로 성능 평가 알고리즘을 구축하게 되었다.

(1) 일일 교반식 시험

1일차 : 시험준비 단계

실험을 수행하기 위하여 시작버튼을 클릭한 후 측정개시

2일차 : 노출

06시 30분 ~ 50분까지 배수(용량2배 배수, 배수-시수≤2℃ 온도제어)

08시 30분 ~ 50분까지 교반

15시 40분 ~ 16시까지 집열면 차폐 경고메세지/경고음

16시 00분 ~ 20분까지 교반

21시 00분 ~ 20분까지 교반

3일차 : 보온성능시험 루틴 수행

00시 00분 ~ 20분까지 교반

03시 00분 ~ 20분까지 교반

05시 00분 ~ 20분까지 교반

05시 30분 실험종료

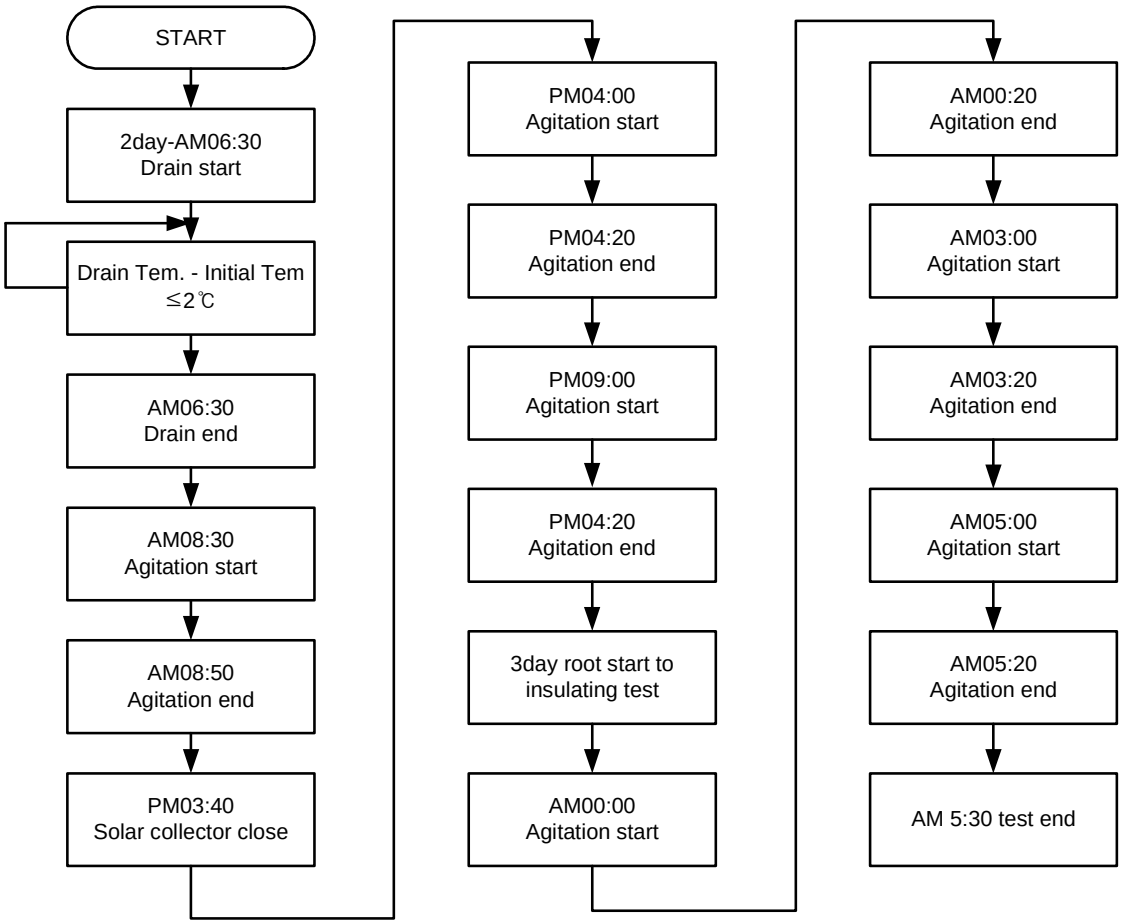


Fig. 4-8 Control algorithm of agitation test

(2) 일일 배수식 시험

1일차 : 실험을 수행하기 위하여 시작버튼을 클릭한 후 측정개시

2일차 : 06시 20분 ~ 50분까지 배수 (축열조 용량의 2배 배수 후, 배수-시수 ≤2℃ 온도 제어에 의해서 정지)

08시 00분 ~ 30분까지 교반

15시 40분 ~ 16시까지 집열면 차폐 경고메세지/경고음

16시 30분부터 용량의 2배만큼 배수 한 후 배수-시수≤2℃ 온도제어에 의하여 배수정지 (1시간안에 배수가 종료되면 실험종료)

18시에 배수가 완전종료가 되었는지 확인 후 배수 강제종료

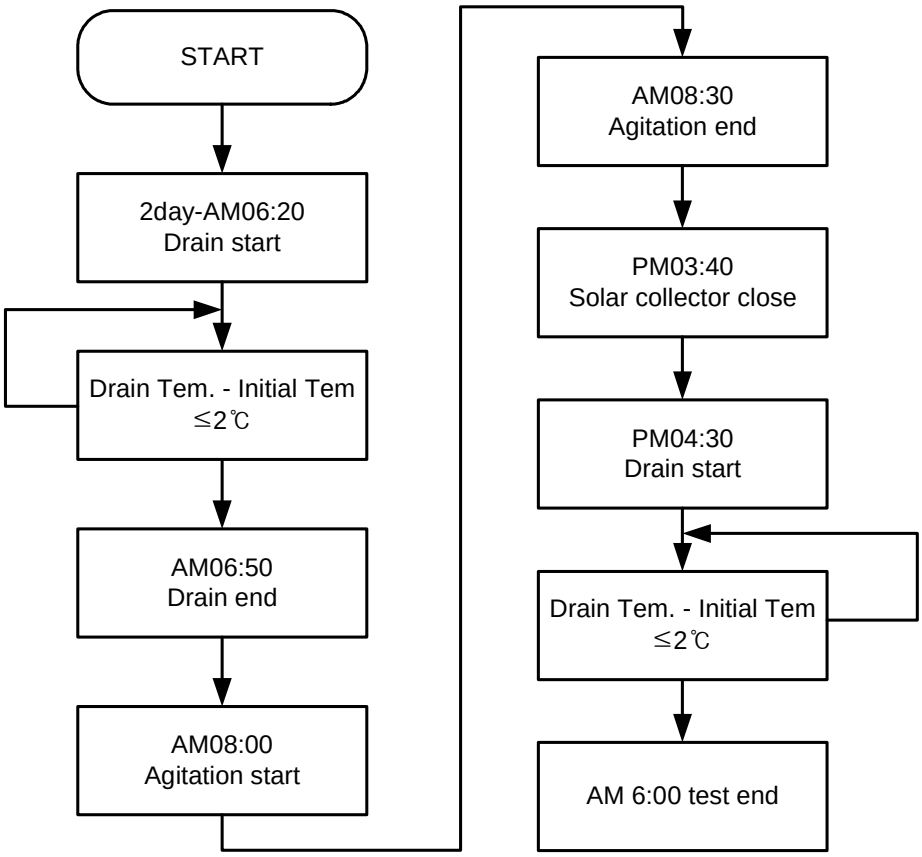


Fig. 4-9 Control algorithm of drain test

(3) 연속 배수 실험

1일차 : 시수 후 노출

2,3,4,5,6일차

06시 30분 ~ 50분까지 교반

07시부터 15% 배수

08시부터 15% 배수

11시부터 10% 배수

13시부터 10% 배수

15시부터 12.5% 배수

16시부터 12.5% 배수

17시부터 12.5% 배수

18시부터 12.5% 배수

7일차

17시까지는 용량의 2배, 배수-시수≤2oC 온도제어에 의하여 배수

18시 00분부터 배수 (1시간 안에 배수가 종료되면 실험종료)

20시에 배수가 완전종료가 되었는지 확인

Table 4-5 Drain time and drain ratio in continuous drain test

Drain time patten	Drain ratio (%)	Note
07:00	15	30%
08:00	15	
11:00	10	20%
13:00	10	
15:00	12.5	50%
16:00	12.5	
17:00	12.5	
18:00	12.5	

4인 가족을 기준으로 하는 온수 사용 패턴을 Table 4-5에 나타내었다.

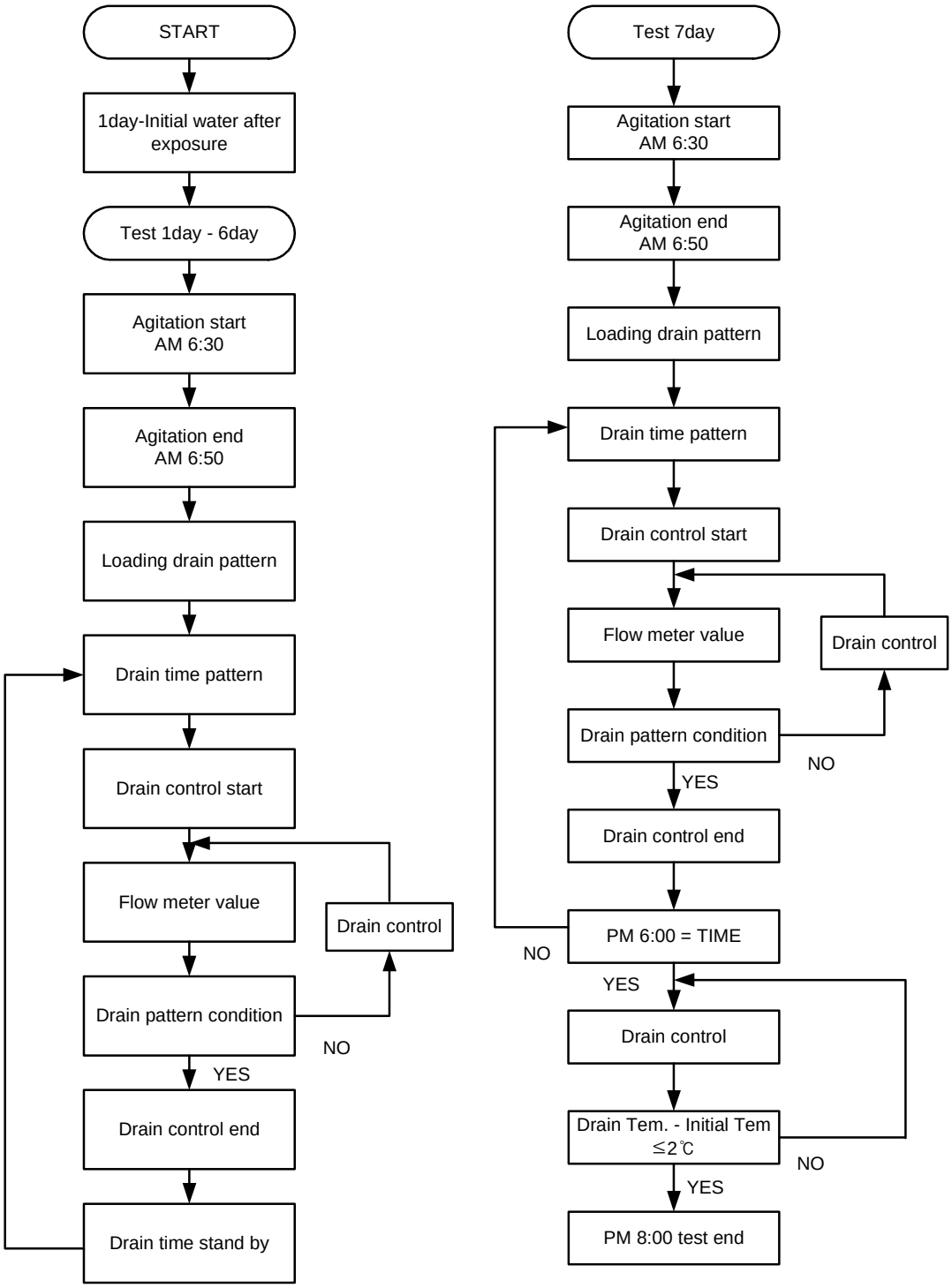


Fig. 4-10 Control algorithm of continuous drain test

(4) 단기간 시험

단기간 시험은 혹서기와 혹한기를 택하여, 3일~5일 동안 용수 및 열매체를 충진한 상태로 배수 없이 노출시킨 후, 열충격 및, 장기 열적성능 변화를 살펴보는 시험이다.

3일~5일 노출한 후, 일일 배수실험과 동일한 방법으로 실험한다.

1일차 ~ 4일차 계속 노출 및 측정

5일차 :

00시 00분 ~ 20분까지 교반

03시 00분 ~ 20분까지 교반

05시 00분 ~ 20분까지 교반

05시 30분에 실험종료

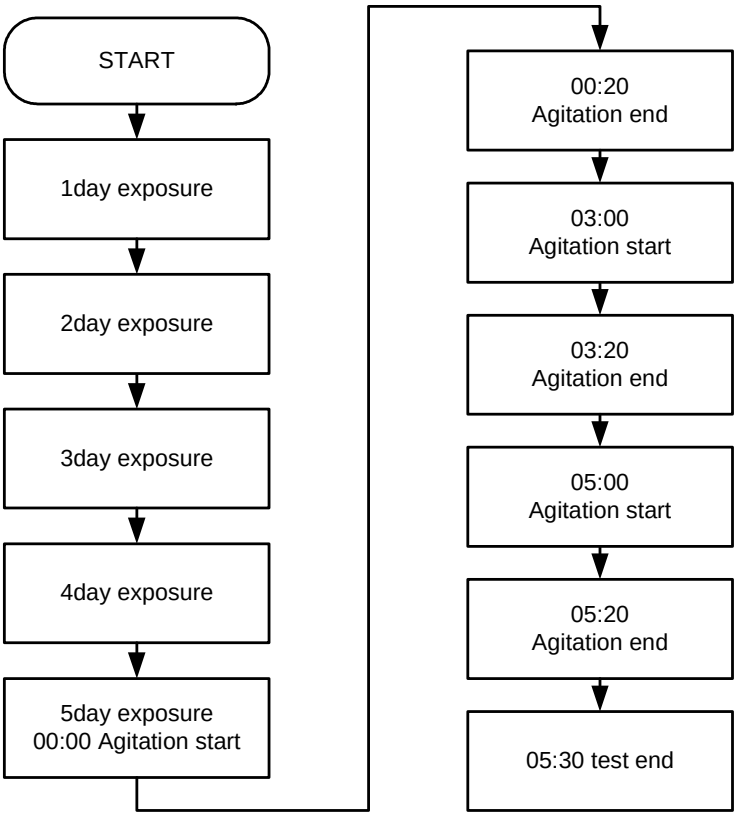


Fig. 4-11 Control algorithm of short period test

2. 운전특성 분석

가. 보온성능 분석

태양열온수시스템에서 축열조는 집열기로부터 얻어진 에너지를 열매체에 축열하여 온수를 저장하는 부분으로서 사용하고자 하는 온수의 에너지를 외부에 빼앗김이 없어야 한다. 따라서 축열조는 보온성능 평가를 통해 시스템의 효율과 신뢰성에 대한 기준을 제시하게 된다. 열손실 계수를 계산하기 위해 사용된 태양열온수시스템의 성능평가는 제어 알고리즘을 통해 구현된 모니터링 프로그램으로 일일 교반식 시험을 수행하였다. 취득된 데이터는 성능평가 알고리즘이 내장되어 있는 데이터베이스에 탑재되어 열손실 계수와 각종 그래프로 나타내어진다. Table 4-6과 Table 4-7에서는 대표적으로 단열성능이 우수한 제품과 그렇지 않은 제품을 선정하여 축열조 열손실계수를 구하는데 필요한 변수와 열손실계수를 나타내었다. 제품별 분석 자료는 부록에 명시하였다. Fig. 4-12에서는 제품별 열손실계수의 평균값을 나타내고 있다.

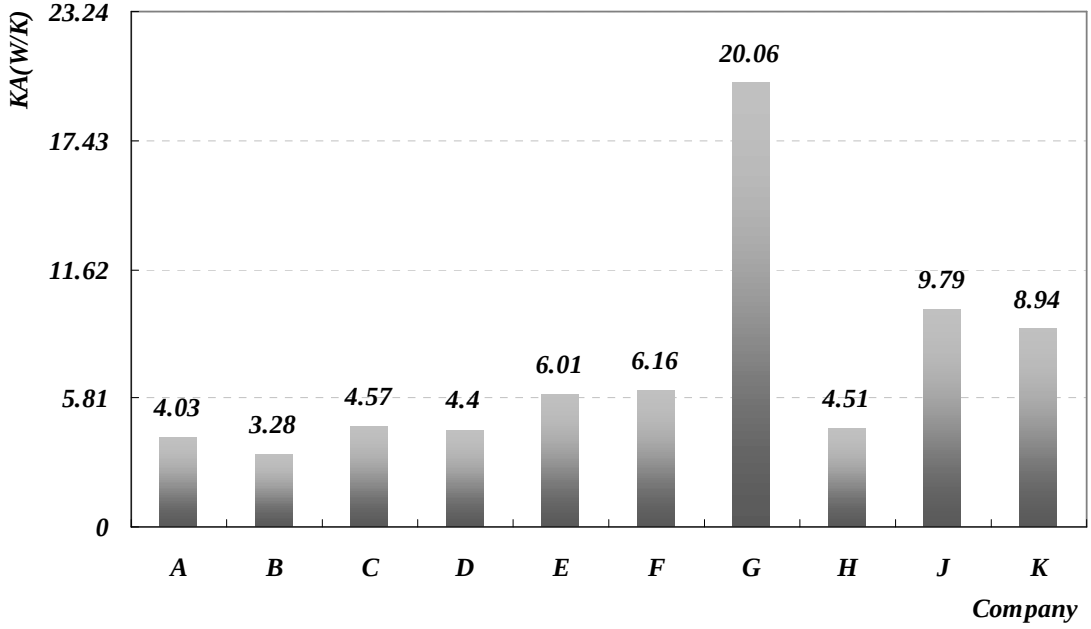


Fig. 4-12 Average of heat loss factor each company

Table. 4-6 Analysis result of heat loss factor in company A

Test day	Irradiation kcal/m^2	Outlet temp. (℃)	Initial S/T temp. (℃)	Last S/T temp (℃)	Heat loss factor (KA)
2002.08.27	3285.57	24.39	59.70	57.80	3.86
2002.10.31	2841.09	10.62	43.03	41.15	4.17
2002.11.22	4724.07	1.70	57.46	54.64	3.62
2003.01.09	2443.74	0.32	39.52	38.12	2.54
2003.02.12	6073.01	-5.97	64.90	61.85	3.07
2003.02.15	908.40	4.38	31.33	29.80	4.08
2003.02.22	153.93	5.83	25.92	24.44	5.34
2003.02.25	5354.97	5.43	58.23	55.80	3.29
2003.02.28	3744.93	5.48	54.96	52.46	3.62
2003.03.02	3526.67	5.87	37.81	36.10	3.84
2003.03.06	553.82	3.62	17.41	16.70	3.69
2003.03.08	2668.42	-1.82	27.75	26.31	3.48
2003.03.14	2248.26	2.92	23.22	22.25	3.42
2003.03.18	5906.94	2.58	55.54	52.88	3.60
2003.04.23	307.90	11.55	19.73	19.29	3.86
2003.07.11	1195.50	21.90	34.59	34.02	3.21
2004.02.24	4260.52	20.70	70.98	67.14	5.54
2004.04.03	2069.03	0.90	27.84	26.75	2.88
2004.07.02	776.55	24.36	56.03	53.73	5.26
2004.10.19	1374.08	17.40	37.53	36.04	5.36
2005.05.31	4565.92	15.23	81.16	76.86	4.70
2005.10.12	5053.65	14.23	91.53	86.59	4.61
2005.10.15	5539.95	9.60	86.84	81.77	4.74

Table. 4-7 Analysis result of heat loss factor in company G

Test day	Irradiation kcal/m^2	Outlet temp. (℃)	Initial S/T temp. (℃)	Last S/T temp (℃)	Heat loss factor (KA)
2002.08.27	3285.57	24.39	64.93	62.77	5.60
2002.10.31	2841.09	10.62	52.85	50.49	5.88
2002.11.22	4724.07	1.70	60.21	55.13	9.29
2003.01.09	2443.74	0.32	45.46	42.06	8.01
2003.02.12	6073.01	-5.97	36.09	23.77	35.12
2003.02.15	908.40	4.38	19.20	16.19	23.14
2003.02.22	153.93	5.83	14.22	13.31	11.74
2003.02.25	5354.97	5.43	41.90	32.15	31.58
2003.02.28	3744.93	5.48	35.46	26.80	34.55
2003.03.02	3526.67	5.87	30.60	24.19	30.48
2003.03.06	553.82	3.62	13.18	11.79	16.05
2003.03.08	2668.42	-1.82	22.68	16.34	30.42
2003.03.14	2248.26	2.92	22.48	18.10	25.81
2003.03.18	5906.94	2.58	40.50	29.40	35.09
2003.04.23	307.90	11.55	23.49	22.83	5.82
2003.07.11	1195.50	21.90	32.69	32.01	6.66
2004.02.24	4260.52	20.70	57.85	51.97	17.59
2004.04.03	2069.03	0.90	0.00	0.00	0.00
2004.07.02	776.55	24.36	26.54	26.76	-9.83
2004.10.19	1374.08	17.40	28.53	26.99	15.21
2005.05.31	4565.92	15.23	67.72	55.42	27.17
2005.10.12	5053.65	14.23	34.01	28.80	31.05
2005.10.15	5539.95	9.60	42.21	32.14	37.37

나. 집열성능 분석

태양열온수시스템의 성능평가 항목 중 집열성능 평가는 일일 배수식 시험을 통해 이루어진다. 보온성능 평가 방법과 동일하게 일일 배수식 시험 또한 태양열온수시스템의 성능을 평가하는데 매우 중요한 결과를 도출시킨다.

일일 배수식 시험을 통해 얻을 수 있는 평가 항목은 집열부의 집열에너지량을 나타내주는 시험집열량을 포함해서 일사량을 통해 얻어지는 에너지를 사용에너지원으로 변환하는 집열 효율, 태양열온수시스템의 전체 성능을 파악할 수 있는 예상급탕온도, 시험집열량을 통해 최소자승법(Least square method)으로 얻어지는 각 변수들을 통해 파악할 수 있는 태양열온수시스템의 열성능 도표 등이 있다.

시험집열량의 경우 일일배수식 시험을 통해 배수되는 배수열량값과 배수 종료 후 축열조에 축열되어 있는 잔여에너지량, 시수온도, 축열조용량에 대한 함수이며, 분석집열량은 시험집열량의 변수들에 대해 최소자승법을 통하여 얻은 변수들의 함수이다. 집열효율은 배수열량값과 집열면적, 누적일사량에 대한 함수이며, 예상급탕온도는 집열성능, 집열면적, 축열조 용량에 대한 함수이다.

이와 같이 분석된 성능평가 항목들을 바탕으로 각 업체별 태양열온수시스템의 성능에 따른 특징들을 평가할 수 있으며 평가 당일의 날씨, 즉 외기온도와 일사량만으로 각 업체별 태양열온수시스템의 집열성능과 예상되는 급탕온도를 파악할 수 있다. 이렇게 얻은 데이터를 기반으로 최소자승법에 의해 얻은 3가지 변수에 대한 결과값과 집열성능(집열량), 집열효율, 예상급탕온도를 나타냈고, 시험집열량과 분석집열량의 비교 그래프, 일사량에 따른 표준 집열량 그래프, 일사량에 따른 표준 온수 그래프로 각각 나타내었으며 대표적인 2개의 제품에 대한 데이터를 명시하였다. 나머지 제품에 대한 성능평가 데이터는 부록에 나타내었다.

최소자승법에 의한 회귀분석은 선형분석을 통해 시험집열량을 종속변수로 취하고 하루누적일사량과, 평균외기온도와 평균시수온도와의 차이값을 독립변수로 취하여 분석하였다. 회귀분석에 사용된 상용프로그램은 SPSS 10.0을 사용하였다.

(1) A업체 집열성능 분석 결과

Regression analysis result			Heat collect performance (kcal/㎡)	Heat collect efficiency (%)	Expect hot water temp. (℃)
a_1(㎡)	a_2(kcal/(℃·㎡))	a_3(kcal)			
3.513	271.39	-1961.49	2821.61	56	67.01

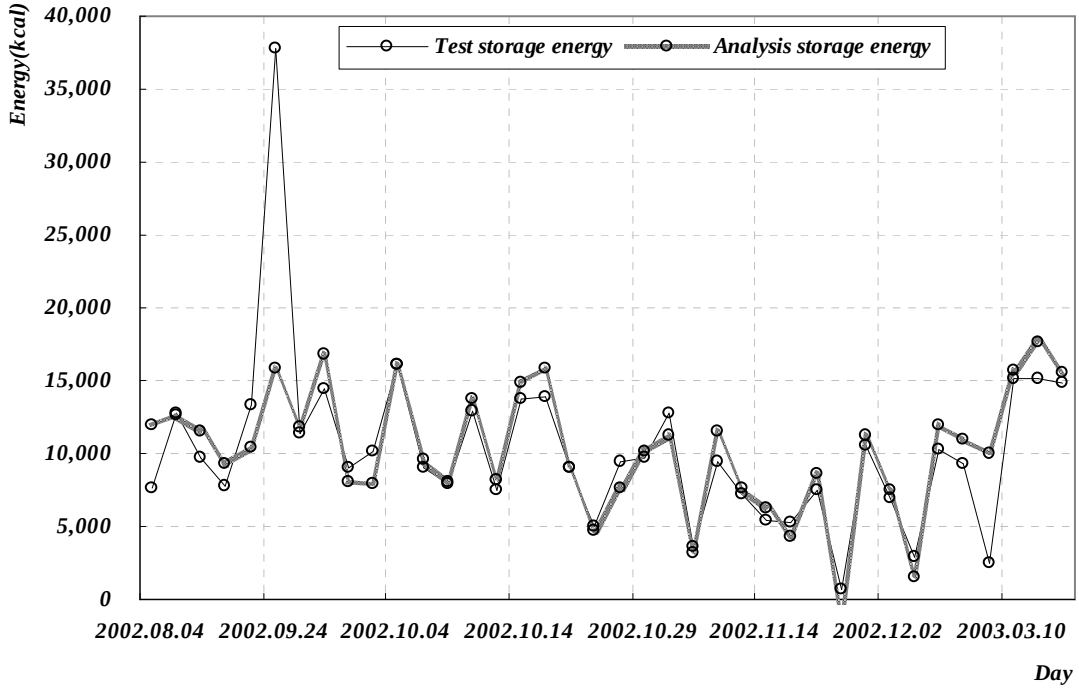


Fig. 4-13 Comparison of test collect energy-analysis collect energy in A

A 업체의 경우 시험집열량에 대한 최소자승법을 통해 태양열온수시스템의 집열성능은 2,821.61 kcal/㎡로 기준 집열량인 2,000 kcal/㎡보다 높게 나타나 집열성능은 양호하며 집열효율 또한 다른 업체들에 비해 우수한 것으로 판단된다. 또한 예상급탕온도도 67.01℃로 온수 사용성능 면에서 매우 우수한 것으로 판단된다. Fig. 4-14와 Fig. 4-15 시스템 열성능 도표를 통해 분석한 결과 dT(-10)일 때 즉 겨울철 온수 사용성능은 비교적 저조함을 나타내고 있어 겨울철 온수기의 성능을 높이기 위한 방안이 요구되고 있다.

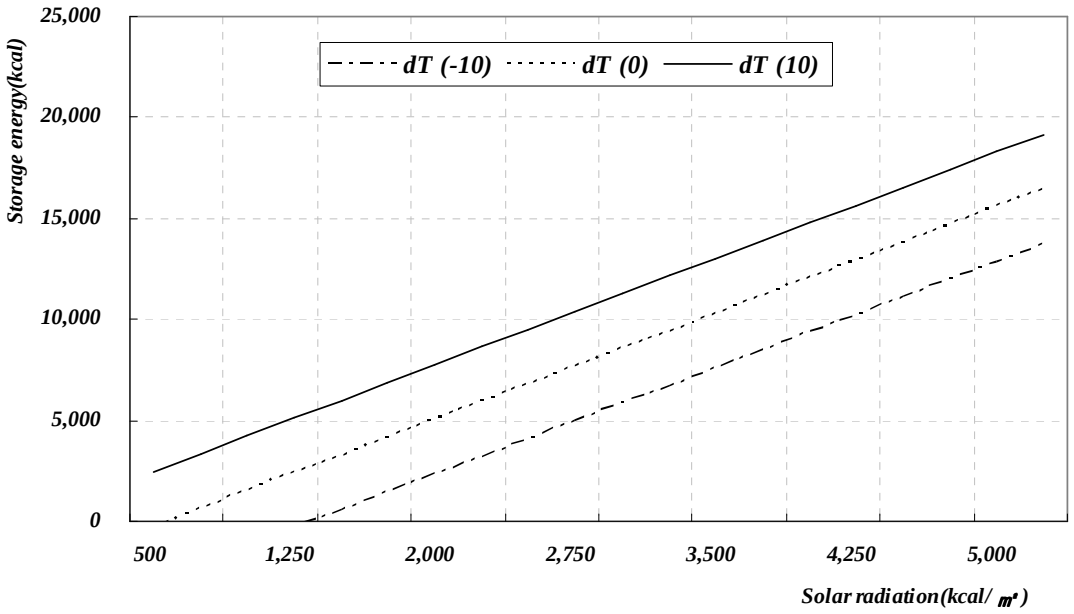


Fig. 4-14 Solar collect energy by the solar radiation in A

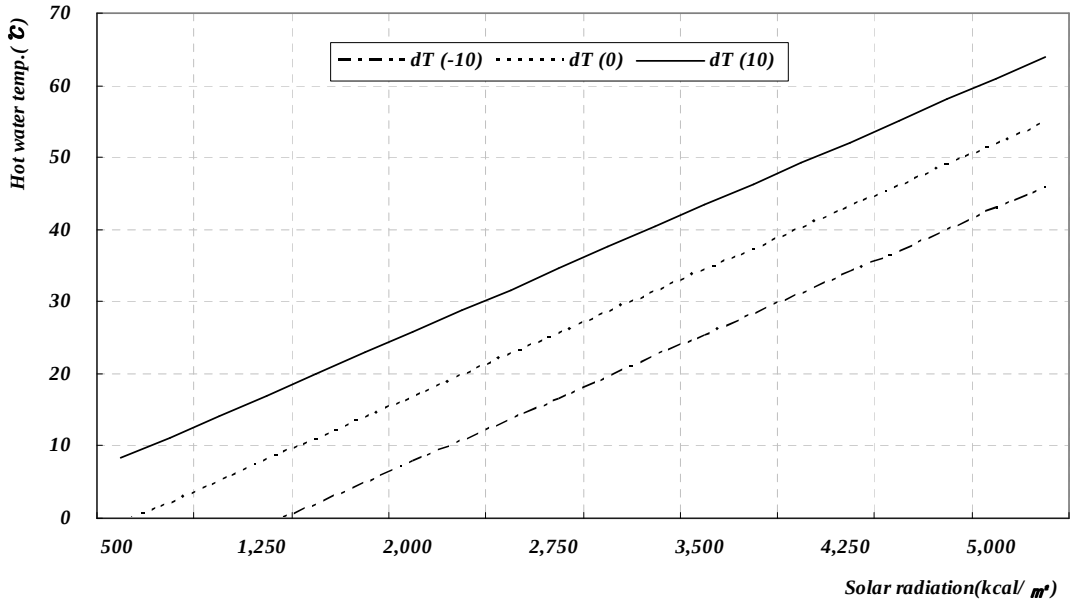


Fig. 4-15 Diagram of hot water temp. - solar radiation in A

(2) E업체 집열성능 분석 결과

Regression analysis result			Heat collect performance (kcal/㎡)	Heat collect efficiency (%)	Expect hot water temp. (℃)
a_1(㎡)	a_2(kcal/℃)	a_3(kcal)			
2.811	194.734	-542.598	153	3.01	17.88

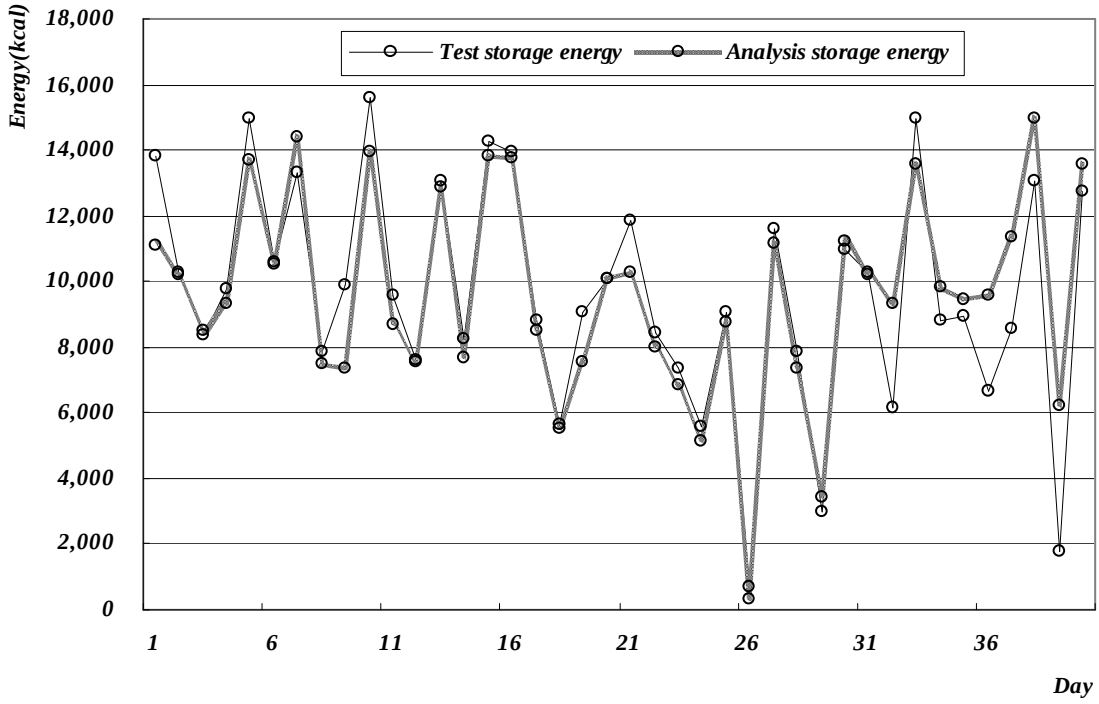


Fig. 4-16 Comparison of test collect energy-analysis collect energy in E

E 업체의 경우 시험집열량에 대한 최소자승법을 통해 태양열온수시스템의 집열성능, 집열효율, 예상급탕온도 모두 다른 업체에 비해 최저를 나타내고 있으나 Fig. 4-17과 Fig. 4-18 시스템 열성능 도표를 통해 분석한 결과는 축열에너지량과 여름철 온수 사용 성능면에서는 비교적 양호함을 나타내고 있다. 따라서 집열기의 성능이 개선될 경우 온수기의 성능은 향상되리라 판단된다.

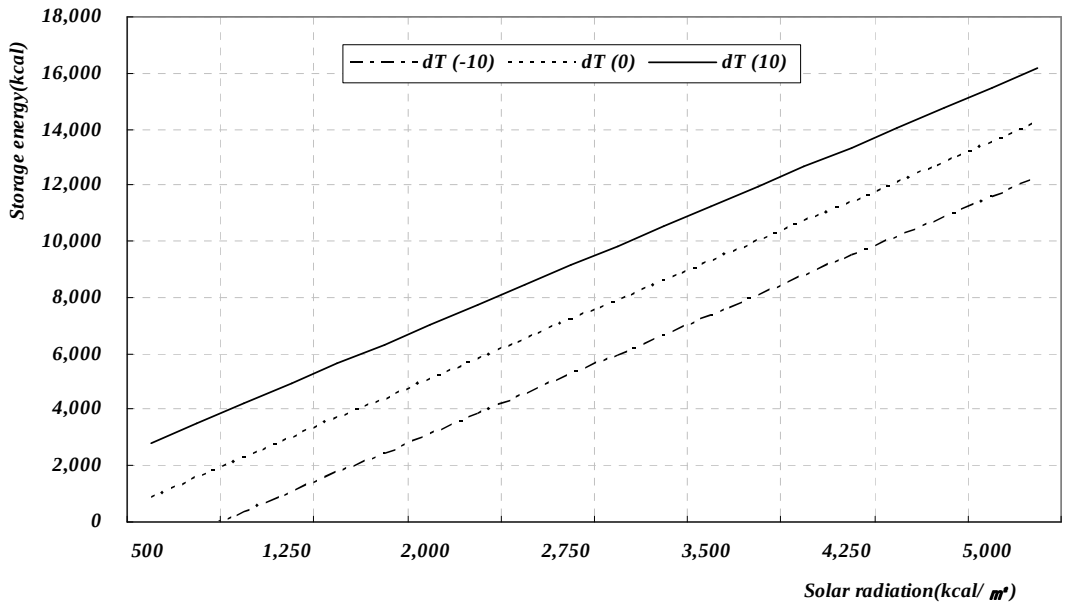


Fig. 4-17 Solar collect energy by the solar radiation in E

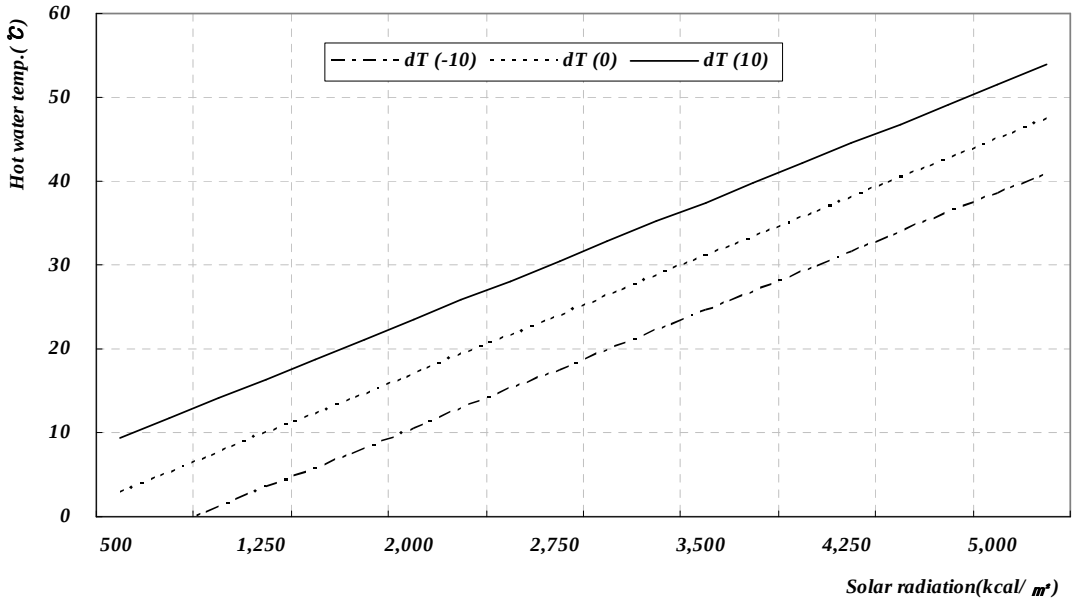


Fig. 4-18 Diagram of hot water temp. - solar radiation in E

다. 장기성능예측 분석

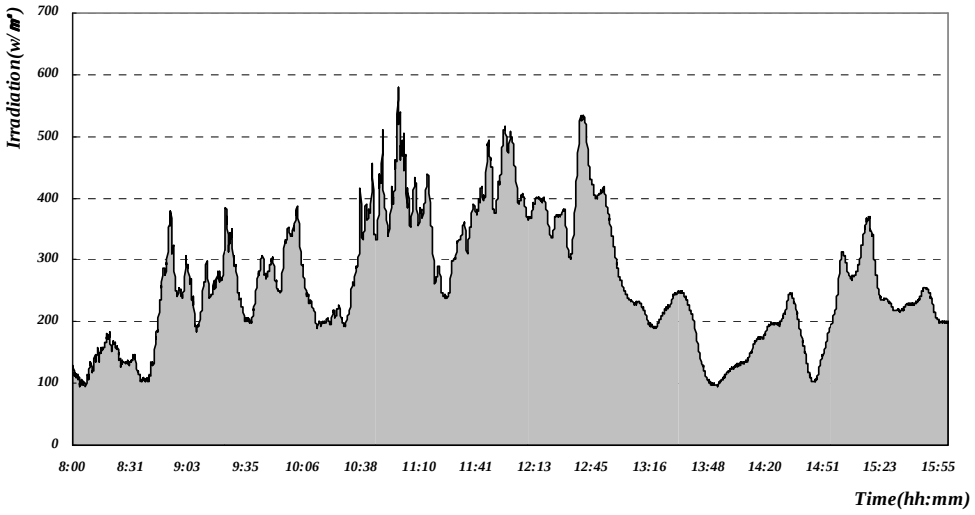


Fig. 4-19 Distribution irradiation of continuous drain test in A

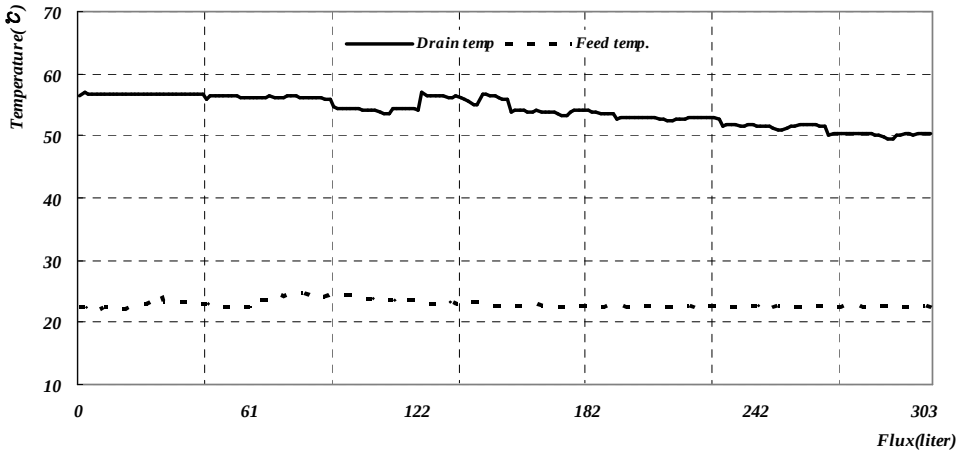


Fig. 4-20 Distribution drain temperature of continuous drain test in A

A 업체의 연속배수시험을 수행한 결과 Fig. 4-19에서와 같은 낮은 일사량에도 불구하고 배수 온도가 온수의 기준인 40℃를 항상 넘고 있어 온수 사용성능에서 매우 우수한 성능을 나타내고 있으며 이 기간 동안 집열효율은 80%를 넘어 집열성능 또한 우수한 것으로 판단된다. 또한 유효축열에너지량도 배수 시간동안 100%를 유지하고 있는 것으로 파악된다. A 업체의 연속배수 시험결과를 Table 4-8에 나타내었다.

Table 4-8 Result table of continuous drain test in A

Result of continuous drain test			
Division	A	Test day	18 Jun 2003
Collector area	5.53㎡	Storage tank	300liter

EXPOSURE

test time		irradiation	sum irradiation	outlet temp.
hr		W/㎡	kcal	℃
06:00	07:00	77.84	66.83	19.70
07:00	08:00	113.59	97.42	21.57
08:00	09:00	165.66	142.14	23.47
09:00	10:00	267.45	229.40	25.95
10:00	11:00	302.62	259.40	26.61
11:00	12:00	374.71	321.09	27.47
12:00	13:00	394.16	337.70	27.33
13:00	14:00	191.74	164.22	26.73
14:00	15:00	170.66	146.46	25.04
15:00	16:00	255.21	218.80	26.48
16:00	17:00	135.21	115.79	25.32
17:00	18:00	47.42	40.56	23.74
total		208.02	2139.81	24.95

DRAIN

drain ratio	drain flux	flux	feed temp.	drain temp.	output energy
%	liter	l/min	℃	℃	kcal
15.0%	45.25	10.14	22.52	56.78	1929.34
30.0%	90.95	10.22	23.05	56.22	1516.28
40.0%	122.34	10.23	23.78	54.24	956.49
50.0%	153.61	10.14	24.44	56.19	992.95
62.5%	191.27	10.08	23.98	53.86	1125.03
75.0%	228.93	10.23	23.23	52.82	1114.29
82.5%	266.54	10.21	23.03	51.58	1073.68
100.0%	304.19	10.09	22.73	50.22	1016.29

heat collect efficiency	82%	output of total energy	9724.35kcal
heat collect performance	4108.94kcal/㎡	effectivity energy	9724.35kcal

제 3 절 열화상계측기술을 통한 성능평가

태양광발전시스템의 성능을 평가하기 위해서는 앞에서 기술한 바와 같이 매우 복잡한 과정을 거쳐야만 한다. 태양광발전시스템의 성능평가를 위해 수행하여야하는 이러한 일련의 과정들을 적외선열화상카메라를 활용함으로서 문제점을 해결할 수 있다.

태양전지 어레이는 반도체의 원리를 이용하기 때문에 태양전지의 온도와 발전량은 매우 밀접한 관련이 있다. 이는 태양전지의 온도가 높음에 따라 발전량은 상대적으로 낮아지게 된다. 따라서 지붕일체형 태양광발전시스템을 설계함에 있어서 태양전지 어레이의 냉각방법은 발전효율을 높이기 위해 매우 중요한 요인으로 작용하고 있다.

따라서 적외선열화상카메라를 이용하여 태양전지 어레이의 온도분포를 광범위하게 측정함으로서 보다 신속하고 정확하게 태양전지 어레이의 성능을 평가하고 분석된 데이터를 기반으로 태양광발전시스템의 설계에 있어서 중요한 자료로 활용될 수 있다.

태양전지 어레이의 성능평가를 위해 적외선열화상카메라를 이용하여 태양전지 어레이의 표면온도를 측정하고, 측정된 데이터와 실증연구를 통해 얻은 동일한 측정시간 포인트에서의 태양전지어레이 출력량과 비교 분석하였다. 데이터 분석은 총 3가지 방법을 통해 이루어졌으며 경사면일사량과 태양전지어레이 표면온도, 경사면일사량과 태양전지어레이 출력, 태양전지어레이 출력과 태양전지어레이 표면온도와의 관계를 규명하였고, 이 데이터를 바탕으로 적외선열화상카메라를 이용하여 측정된 온도 데이터만을 이용하여 태양전지 어레이의 효율을 분석할 수 있도록 하였다.

또한 3kW급 계통연계형 가정용 태양광발전시스템에 국한되지 않고 추적형 태양광발전시스템, 지붕일체형 태양광발전시스템, 일반 태양광발전시스템의 표면온도를 서로 비교하여 분석한 자료를 토대로 태양전지 어레이의 냉각 방식에 대한 설계 요인을 결정하는데 중요한 자료로 활용하였다.

Fig. 4-21은 태양전지 어레이의 표면을 적외선열화상카메라로 촬영하여 얻은 열영상이다. 이렇게 획득한 열영상을 이용하여 태양전지어레이 표면온도의 평균값을 구할 수 있었다.

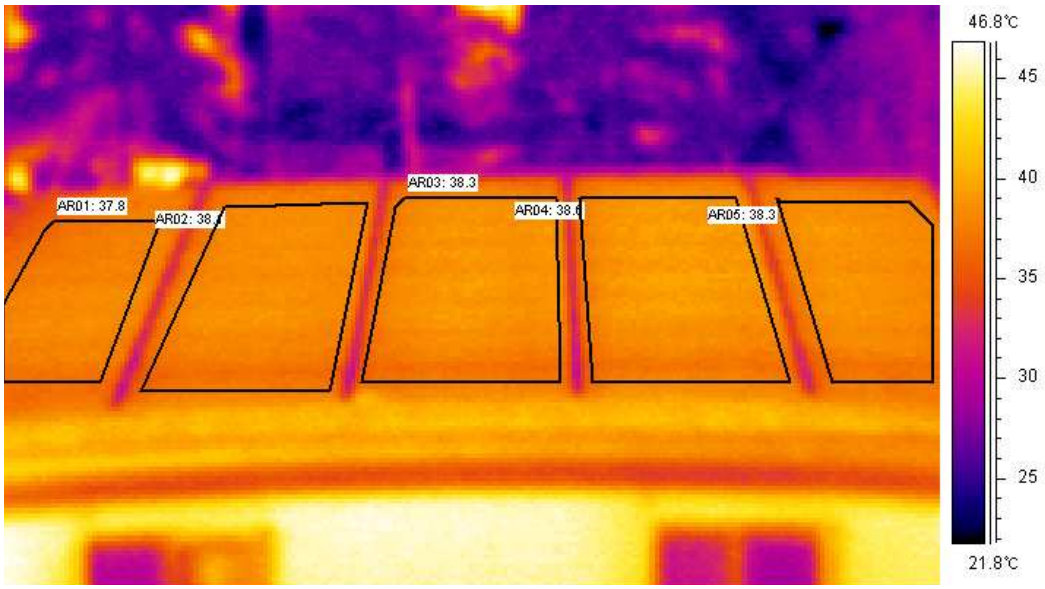


Fig. 4-21 Temp. measurement that used IR image of solar cell

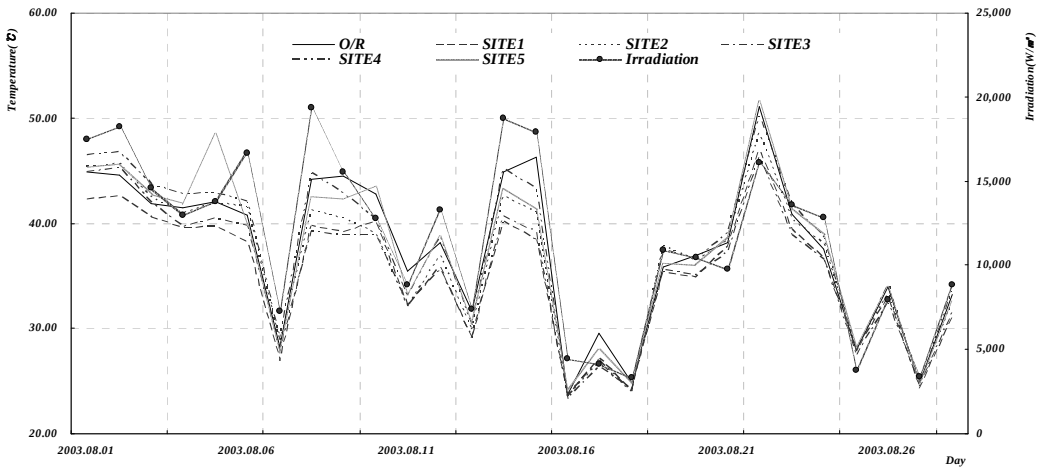
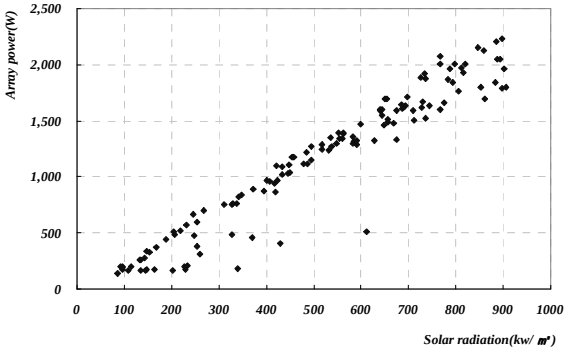


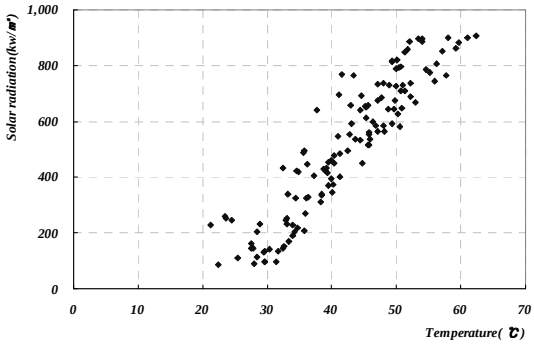
Fig. 4-22 Distribution of PV array average temperature

Fig. 4-22는 각 사이트별 2003년 8월 한 달간 적외선열화상카메라를 이용하여 어레이 표면의 평균온도를 측정하였다. 각 사이트별로 25℃에서 50℃이상의 온도 분포를 보이고 있다. 일사량이 높을수록 어레이 표면온도 또한 증가하는 양상을 보여주고 있으며

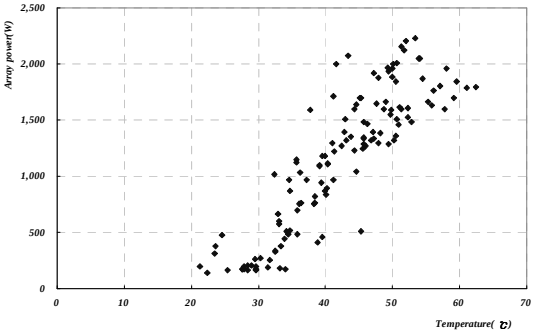
특히 표면온도가 높을수록 각 사이트별로 온도 간격이 큼을 알 수 있다. 이를 통해 각 사이트별로 표면 온도 특성에 따라 어레이 성능을 판단할 수 있었다.



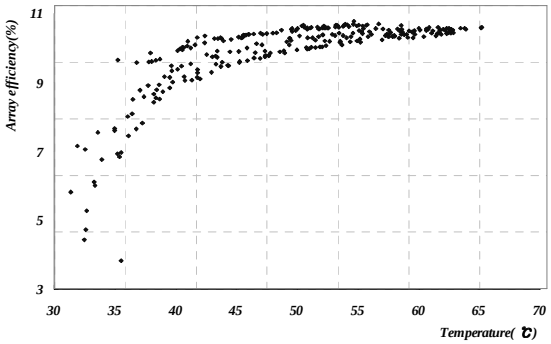
(a) Array power-Irradiation



(b) Irradiation-Temperature



(c) Array power-Temperature



(d) Array efficiency-Temperature

Fig. 4-23 Diagram of IR analysis method

Fig. 4-23의 (a)에서와 같이 경사면일사량이 증가할수록 태양전지어레이 출력량은 선형적으로 증가함을 알 수 있으며 경사면일사량이 증가할수록 어레이 표면온도 또한 선형적인 증가를 보여주고 있다. 그러나 태양전지어레이 출력량과 태양전지어레이 표면온도와의 관계는 그 데이터의 분산값이 매우 커 선형적인 관계를 보여주고 있지는 않았다. 따라서 이와 같은 데이터를 바탕으로 적외선열화상카메라를 이용하여 태양전지어레이 표면온도를 측정값과 태양전지어레이 변환 효율값을 비교분석한 결과 태양전지어레이 표면온도가 증가함에 따라 태양전지어레이 변환 효율은 11%에서 더 이상 증가

하지 않았다. 물론 태양전지어레이 변환효율의 한계값에 도달한 것으로 판단될 수 있으나 이것은 또한 태양전지어레이 변환효율의 한계값이 태양전지 표면온도와 무관하지 않다는 것을 나타내주고 있다. 이것은 일사량이 증가할수록 태양전지어레이 출력양은 증가하나 태양전지어레이 표면온도가 그만큼 상승하여 변환효율에 영향을 미치는 것으로 판단된다. Fig. 4-24에서는 태양전지어레이 출력량, 태양전지 표면온도, 일사량과의 상호작용에 의한 태양전지어레이 변환 효율과 적외선열화상카메라를 이용하여 측정한 태양전지어레이 표면온도와의 관계를 그래프로 정리한 것이다.

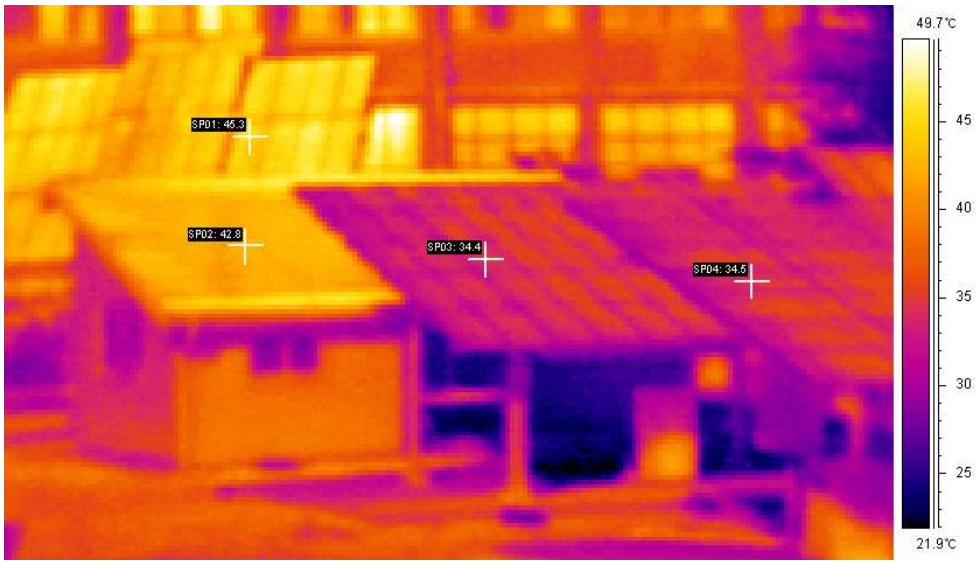


Fig. 4-24 Distribution surface temp. for kind of PV system

Fig. 4-24는 추적형 태양광발전시스템과 지붕일체형 태양광발전시스템, 일반 태양광발전시스템의 표면온도를 적외선열화상 계측기술로 측정한 열영상이다. 추적형의 경우 일사량을 최대한 많이 받는 구조이므로 어레이 표면온도가 45.3℃로 가장 높게 나타났으며 일반 태양광발전시스템의 경우 하부 통풍 구조로 이루어져 있기 때문에 표면온도가 34.5℃로 가장 낮게 나타났다. 따라서 태양광발전시스템의 시공과 구조적 설계 단계에서 어레이의 냉각이 잘 이루어지는 구조로 구성되어야 함을 알 수 있다.

제 5 장 결과 및 고찰

제 1 절 태양에너지시스템 분석 결과

1. 태양광발전시스템

실증단지에 설치된 국내외 PV시스템의 장기적인 실증운전을 통해서 수집된 운전데이터를 이용하여 시스템의 발전성능, 효율등의 운전특성을 비교 분석하였다. 실증연구를 통해서 수집된 운전데이터를 데이터베이스화하여 분석기간 동안의 각 사이트별에 대한 태양광발전시스템의 운전특성을 분석 평가하여 향후 국내 태양광발전시스템의 보급화를 위한 실용화 기술을 개발하고 확립하기 위한 기초 연구 자료로 제시하기 위해 운영실의 운전데이터를 바탕으로 하는 운전특성을 아래와 같이 분석하였다.

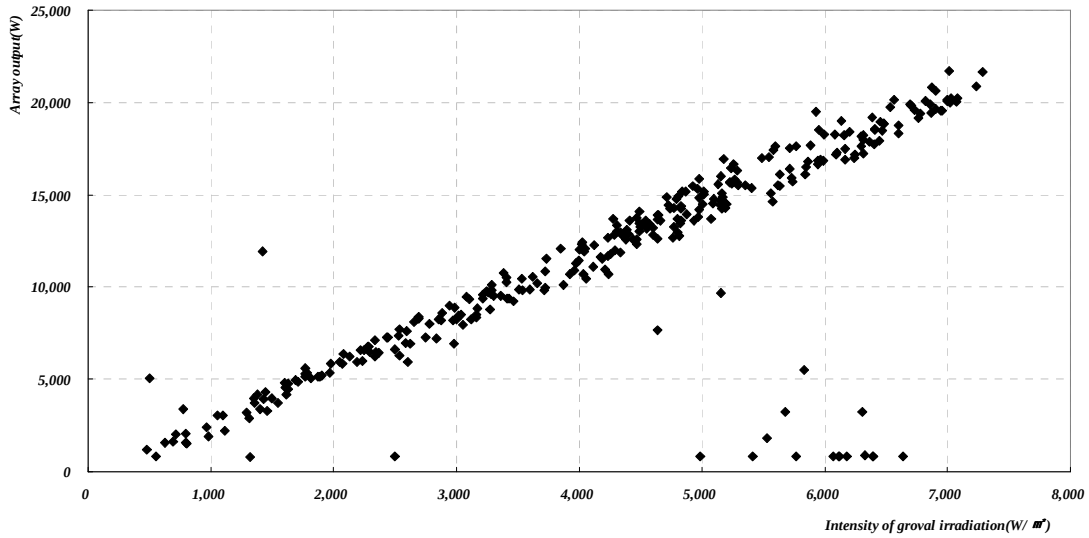


Fig. 5-1 Output power change property of array by irradiation

Fig. 5-1은 실증연구단지의 운영실에 설치된 PV시스템의 일사강도 및 환경조건이 변

화되는 경우 일사강도 변화에 대한 태양전지 어레이의 출력전력 변화특성을 보여주고 있다. 일사강도가 증가할수록 태양전지 어레이의 출력전력은 거의 선형적인 비례관계로 증가되는 것을 알 수 있다. 실증운전을 통해서 분석한 운전특성을 토대로 표준상태 즉, 일사강도가 1,000W/m^2, 25℃, A.M 1.5에서 운영실에 설치된 태양전지 어레이 발전성능을 예측해서 계산하면 출력전력이 약 3.12kW로 추정할 수 있다. 운영실에 설치된 태양전지 어레이의 정격출력이 표준상태에서 3.23kW와 비교하였을 경우 발전성능의 차이가 거의 없다고 판단할 수 있으며, 태양전지 어레이의 배열 및 배선 등의 설치시공에 있어서도 문제점이 없고 정상적으로 운전되고 있음을 알 수 있다.

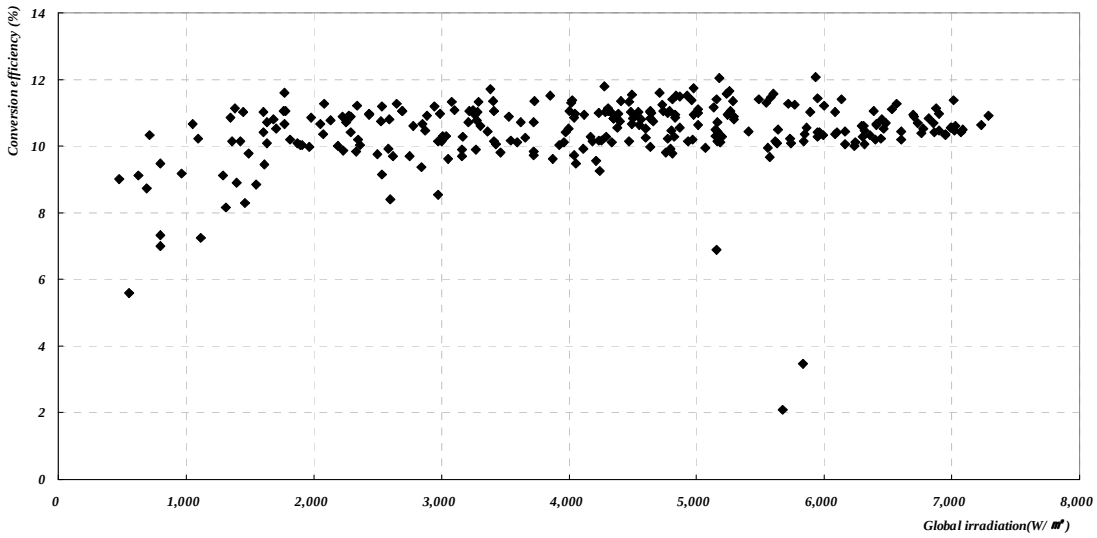


Fig. 5-2 Conversion efficiency change property of array by irradiation

Fig. 5-2는 분석기간 동안 일사강도 및 환경 조건이 변화되는 경우, 운영실에 설치된 PV시스템의 구성요소기기인 태양전지 어레이의 변환효율 변화특성을 보여준다. 저일사강도(1,800W/m^{2}이하)에서는 어레이 변환효율이 8%~12%로 변동범위가 다소 크지만, 일사강도 1,800W/m^2 이상에서는 어레이의 변환효율이 10%~12%내의 일전한 효율특성을 가지고 있다. 따라서 환경조건의 변화 및 계측오차를 고려한다면 운영실에 설

치된 태양전지 어레이의 변환효율은 균일한 변화효율특성을 가지고 있다.

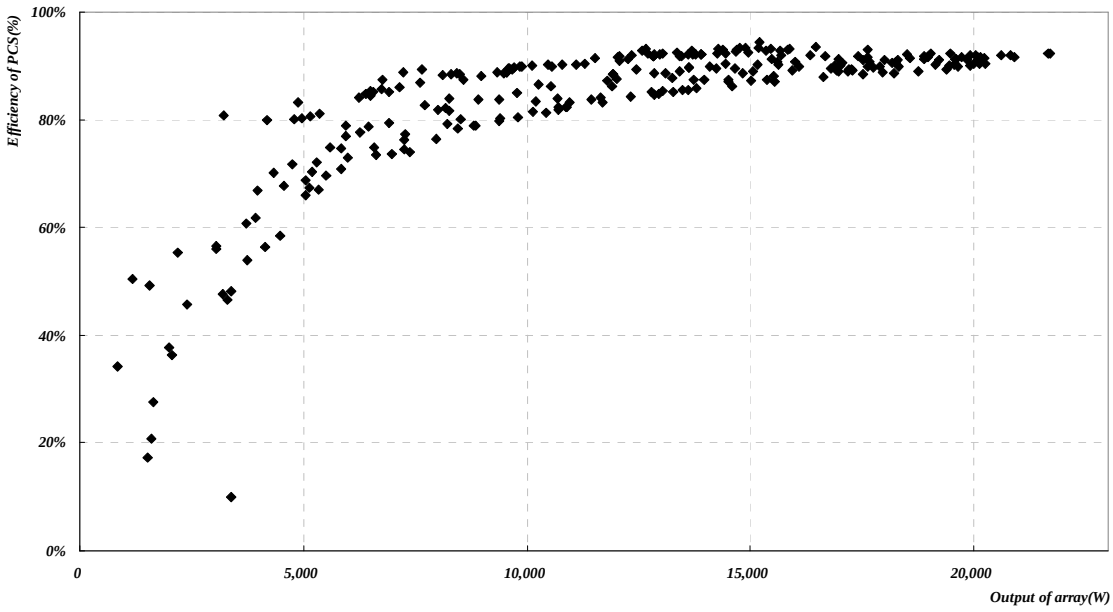


Fig. 5-3 Change property of PCS efficiency by irradiation

Fig. 5-3은 분석기간 동안 일사강도 및 환경 조건이 변화되는 경우, 운영실에 설치된 PV시스템의 구성요소기기인 PCS 효율 변화특성을 보여준다. PCS가 정격출력 30%이상에서 90%이하의 효율특성을 가지고 있는 것을 알 수 있다. 또한 전범위 동작영역에서도 기상조건의 변화에 의한 태양전지 어레이의 출력전력의 변화에 대해서도 일정한 효율특성을 가지면서 안정되게 동작하고 있음을 할 수 있다. 전력품질면에 있어서 전압변동률 및 주파수 변동률이 계통전압의 ±2%이내, 계통주파수의 ±1% 이내로 운전되고 있다.

Fig. 5-4는 어레이 출력전력량에 따른 전압발생량을 나타내고 있다. 어레이의 출력전력량의 많고 적음에 관계없이 200V～250V의 일정한 전압이 발생되고 있음을 알 수 있다.

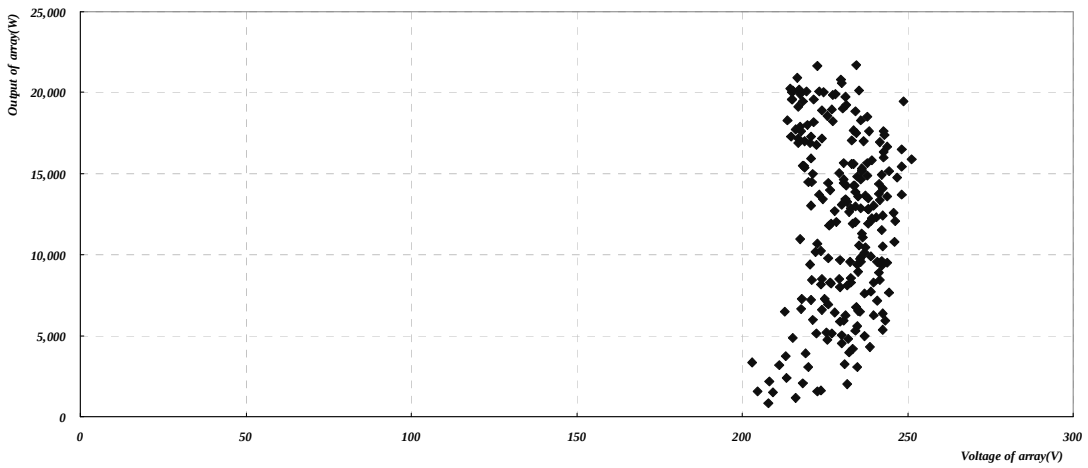


Fig. 5-4 Diagram of change property by output and voltage in array

각 사이트별 운전데이터의 특성을 분석하기 위해 데이터의 변동계수를 분석하는 방법을 제시한다. 변동계수를 바탕으로 운전환경의 변화에 따른 시스템의 안정성을 파악할 수 있다. Table 5-1에서는 태양광발전시스템의 성능평가를 위해 2002년 10월부터 2004년 6월까지 6기의 제품에 대해 실증시험을 수행하였으나 6개의 대상 업체 중 2개 업체가 인버터 고장으로 데이터 생성이 되지 않아 4개 업체의 자료를 대상으로 분석하였다. 대상업체는 상호를 사용하지 않고 편의상 사이트 1, 2, 3, 4로 표기하였다.

Table 5-1 Performance analysis result of PV system

Division	PV array output coefficient of variance	PCS output coefficient of variance	PCS efficiency
SITE 1	0.419	0.397	0.838
SITE 2	0.272	0.279	0.860
SITE 3	0.258	0.265	0.833
SITE 4	0.236	0.245	0.880

PV 발생량의 경우 사이트 3에서 가장 높은 발생량을 나타내고 있으며 사이트 1의 경우 상대적으로 낮은 발생량을 보이고 있다. 또한 각 업체들의 발생량에 대한 변동성은 사이트 4가 가장 안정적이며 사이트 1의 경우 높은 변동성을 나타내고 있다.

인버터발생량의 경우 PV 발생량과 비슷한 결과를 나타내고 있어 PV 발생량이 높은 경우 인버터의 발생량도 높은 것으로 나타났다. 변동성에 대한 데이터도 마찬가지의 결과를 나타내고 있다. 사이트 1의 경우 인버터의 불안정성이 상대적으로 큰 것으로 나타났으며 사이트 1 업체가 사용하는 인버터가 사이트 2, 3, 4의 업체와는 다른 공급업체의 것을 사용하기 때문에 객관적인 평가는 유보할 수밖에 없다.

위의 결과를 종합하면 사이트 1 업체가 사이트 2, 3, 4 업체보다 비효율적인 집광판, 어레이, 인버터등을 사용하고 있다고 볼 수 있다.

일사강도와 어레이변환효율의 경우 운영실의 변환효율이 10%~12%내로 균일한 특성을 나타내고 있어 매우 안정적임을 알 수 있었다.

환경 조건이 변화되는 경우, PV시스템의 구성요소기기인 PCS 효율 변화 특성을 통해 분석된 결과 정격출력 30%이상에서 90%이상의 효율특성을 가지고 있으나 사이트 1의 경우 상대적으로 낮은 효율특성을 나타내었다.

2. 태양열온수시스템

태양열온수시스템의 성능평가는 실증연구단지에 총 11개 시스템을 설치하여 장시간 운전특성을 분석하였다. 태양열온수시스템은 데이터의 크기가 태양광발전시스템에 비해 매우 방대하여 분석하는데 많은 시간이 요구되었다. 또한 태양광발전시스템과는 달리 태양열온수시스템은 성능평가 시스템이 매우 복잡하고 각종 센서나 시험의 방법 또한 세밀하게 이루어져야 하기 때문에 실제적인 성능평가 운전을 실시한 기간은 비교적 짧았다. 2002년 10월부터 2005년 10월까지 축열조의 보온성능 평가를 위해 실시한 일일 교반식 시험과, 집열기의 성능과 집열량, 예상급탕온도, 유효축열에너지량을 평가할 수 있는 일일 배수식 시험, 실제 사용자들의 온수 사용능력을 평가할 수 있는 연속배수시험을 수행하여 각각의 성능을 분석한 결과를 다음과 같이 요약하였으며 각 업체별

보온성능과 집열성능에 대한 결과를 Table 5-2에 나타내었다.

Table 5-2 Performance analysis result of solar hot water heater

Division	Thermal loss factor (W/K)	Heat collect efficiency (%)	Expect hot water temp. (℃)
A	3.97	56	67.01
B	2.94	48.40	48.02
C	6.07	34.45	47.99
D	4.12	15.98	29.71
E	5.86	3.01	17.88
F	5.49	37.33	44.94
G	20.31	50.18	67.12
H	3.63	42.57	54.37
J	8.78	36.08	48.94

Table 5-2에서와 같이 태양열온수시스템의 신뢰성을 분석한 결과 열손실 계수를 통해서는 A, B, C, D, E 업체의 경우 기준 열손실계수(KA=5.81) 보다 낮은 결과가 나와 보온성능에는 문제가 없었으나 E, F, J의 경우 보온성능에 약간의 문제점을 발견하였으며 G 업체의 경우 가장 큰 열손실계수 값을 나타내어 성능개선이 요구됨을 알 수 있었다. 집열성능을 분석하기 위하여 일일 배수식 시험을 수행하였으며 통합데이터베이스 구축을 통한 신뢰성 평가에서 D, E 업체의 집열량과 효율이 가장 낮아 집열부의 개선이 필요하겠다. 예상급탕온도의 경우도 온수로 여겨지는 40℃에 도달하지 못하는 업체는 2개 업체로서 온수기의 역할을 수행하지 못하고 있었으며 예상급탕온도가 40℃를 겨우 넘긴 업체도 4개 업체에 달하는 것으로 나타났다. 연속배수시험의 경우 실 사용자의 온수사용능력에 맞게 실증시험을 수행한 결과 2개 업체에서 온수 사용 성능이 매우 떨어지는 것으로 판단되었다.

제 2 절 열화상계측 분석 결과

태양에너지시스템의 성능평가를 위해서는 앞에서 제시한 바와 같이 매우 복잡하고 장기간에 걸친 실증운전을 수행하여야만 한다. 이런 문제점을 해결하기 위해 적외선열화상 계측기술의 적용에 대한 타당성을 분석하였고 신뢰성 있는 평가 방법의 기반을 구축하였다. 적외선열화상 계측기술을 태양에너지시스템의 성능평가에 적용하기 위한 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

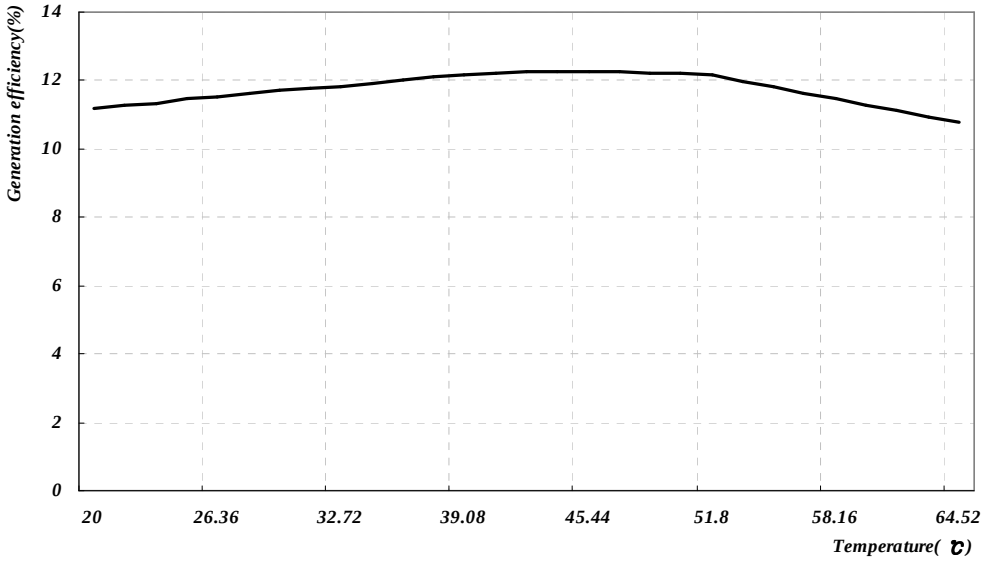


Fig. 5-5 Diagram of array surface temperature-generation efficiency

적외선열화상계측을 통한 어레이표면온도와 태양광발전시스템의 발전효율과의 관계를 Fig. 5-5에 나타내었다. 적외선열화상 계측기술을 이용하여 태양광발전시스템의 성능평가 기법을 확립하였으며 이로 인해 PV시스템의 어레이 표면온도가 증가할수록 출력전력이 감소됨을 알 수 있었다. 표면온도가 50℃ 이상 상승할 경우 어레이 변환효율은 급격하게 감소하는 경향을 파악할 수 있었다. 적외선열화상 계측 기술을 태양에너지시스템 성능평가 방법의 새로운 평가 기술로 적용할 수 있었고 또 다른 분야로의 활용 가능성을 확인하였다.

제 6 장 결 론

6기의 3kW급 계통연계형 태양광발전시스템과 11기의 가정용 태양열온수시스템을 광주광역시 조선대학교 실증연구단지에 설치하고 모니터링시스템 구축을 통한 데이터 수집과 성능평가 알고리즘 개발에 의한 실증시험을 약 30개월 동안 수행하여 취득한 데이터를 기반으로 통합데이터베이스 프로그램을 개발하고 태양에너지시스템의 성능을 평가·분석하였다. 또한 적외선열화상 계측기술을 이용하여 기존의 태양에너지 성능평가 방법 보다 신속하고 정확하게 분석할 수 있는 기반기술을 확립하고 실제 적용한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. 태양에너지시스템의 실증시험에 따른 성능을 평가하기 위해 원격 모니터링 시스템을 구축하였고 이를 기반으로 하는 실증시험 알고리즘을 설계하였으며 태양광발전시스템과 태양열온수시스템의 통합 데이터베이스를 구축하여 태양에너지제품의 신뢰성을 분석하기에 매우 적합함을 확인하였다.

2. 본 연구의 실증시험에 사용된 태양광발전시스템은 PV 어레이와 PCS 인버터, 시공업체가 모두 다른 개별시스템으로서 각 파트별 성능평가를 수행한 결과 일체형시스템에 비해 성능이 저하됨을 알 수 있었다. 따라서 태양광발전시스템의 정격용량에 맞는 각각의 파트에 대한 선정이 매우 중요함을 판단할 수 있었으며 각 파트에 따른 성능 평가를 통해 전체 시스템의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 정보를 제공할 수 있었다.

3. 11기의 태양열온수시스템에 대한 실증시험을 수행하고 각각의 제품에 대한 문제점을 정량적으로 제시하였다. 그러나 계절변화에 따른 일몰과 일출의 시간 차이가 크게 발생함으로 이에 맞는 시험 시간의 변화에 따른 성능평가 방법이나 기준이 확립되어야 할 것으로 판단된다.

4. 기존의 태양에너지시스템 성능평가 방법에 대한 문제점을 파악하고 그 대안으로서 적외선열화상 진단 기법의 적용 가능성을 제시하였다. 본 논문을 통해 파악된 태양에너지시스템의 성능 데이터와 적외선열화상 진단 기법을 통해 분석된 데이터와의 관계를 규명하였다.

5. 적외선열화상 진단 기법을 활용한 태양에너지시스템의 성능분석은 태양광발전의 경우 태양전지 어레이의 표면온도와 발전효율과의 관계를 통해 신뢰성 평가를 할 수 있었으며 기존의 평가 방법에 비해 광범위한 온도 분포를 빠른 시간에 평가할 수 있는 장점으로 인해 경제적, 시간적으로 매우 우수한 평가 방법임을 확인 할 수 있었다.

6. 태양열온수시스템의 성능평가 방법에 대한 적외선열화상 진단 기술의 적용은 보온성능이나 집열성능, 온수사용성능 등의 거시적 평가를 하기에는 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 판단되나 축열조의 손실여부나, 집열부의 용접 결함으로 인한 열매체의 누수, 배관의 단열 평가와 같은 제품의 신뢰성 분석과 사후관리에는 매우 유용함을 확인하였다.

REFERENCE

1. "The Field Demonstration Study of Residential 3kW PV System and Domestic Solar Hot Water Heater", Ministry of Commerce, Industry and Energy Research Report, 2002, pp. 1～15

2. "The Research of Field Demonstration for Solar Energy Succeeding Monitoring", Ministry of Commerce, Industry and Energy Research Report, 2004, pp. 3～8

3. "DOE Annual Report", Renewable energy world, 2001, pp. 2～29

4. "Proceeding of International Solar Energy Society", Adelaide, Australia, Solar Means Business Section. to be published, 2004, pp. 205～207

5. "Solar heating-Domestic water heating systems - part2 : Outdoor test methods for systems performance characterization and yearly performance prediction of solar-only systems", KS B ISO 9459-2, 2003, pp. 6～33

6. J. XIE, A.KAR, "Laser welding of Thin sheet steel with surface oxidation", The welding journal research supplement , 348-s, 1999, pp. 59～67

7. "Level I Course Manual" Infrared Training Central, 1998, pp. 12～56

8. Blackman, "A Transformation for Extracting New Descriptors of Shape", 1987, pp. 19～20

9. "ASNT Programs and Paper Summaries", American Society for Nondestructive Testing, 1989

10. D. Y. Yang, C. H. Kim and J. Y. Kim, "Evaluation of defects in the bonded area of shoes by using infrared thermal vision camera", International journal of modern physics B, Vol. 17 No. 8&9, 2003, pp. 1947～1952

11. J. Y. Kim, D. J. Yang, Y. T. Yoo et al., "UT system composition and welding flow classification for SWP stability estimation", Key engineering materials, Vol. 261-263, 2004, pp. 1385～1390

12. D. J. Yang, J. Y. Kim, et al., "A study on the infrared thermography camera application for the evaluation of 7FA gas turbine blade coating integrity", Key engineering materials, Vol. 261-263, 2004, pp. 1683～1688

13. J. Y. Kim, D. J. Yang, Y. T. Yoo et al., "Estimation of laser behaviors of SM45C steel by plume monitoring", Key engineering materials, Vol. 274-276, 2004, pp. 463～468

14. J. Y. Kim, D. J. Yang, J. H. Ho, "A Study on the demonstration experiment of the solar hot water heater for dwellings", Key engineering materials, Vol. 297-300, 2005, pp. 2320～2326

15. Dong-Jo Yang, Jae-Yeol Kim et al., "The Development of Monitoring System for Experiment Demonstration of the Solar Energy System", ISES Asia-Pacific 2004, pp. 740～745

16. J. Y. Kim, D. Y. Yang, C. H. Kim, "Evaluation of defects in the bonded area of shoes using infrared thermal vision camera", International journal of control automation and system, Vol. 1, No. 4, 2003, pp. 511～514

17. Young-Tea Yoo, Jae-Yeol Kim, Dong-Jo Yang et al., "Estimation of laser welding of SM45C steels by plume monitoring", Transactions of korean society of machine tool engineers, Vol.12, No.6, 2003, pp. 14～21

18. J. Y. Kim, D. Y. Yang, "Heat Analysis of Welding-bead using Infrared Thermography Camera", Journal of the korean society of machine tool engineers, Vol.10, No.3, 2001, pp. 38～44

19. Jae-Yeol Kim, Sung-Un Yoon, Noh-Bin Yim, Sin Yu, Sang-Dong Ma, Dong-Jo Yang and In-Suk Song, "Thermo-Analysis of Machining Center Main-Axis Thermo-Displacement for Infrared Rays Thermo-Image Camera", Proceedings of the KSMTE spring conference, pp. 125～130.

20. J. Y. Kim, Y. K. Oh, D. J. Yang, et al., “The development of data base for performance evaluation on solar energy system”, Proceeding of the KSMPE Spring Conference 2004, 2004, pp. 187

21. J. Y. Kim, Y. K. Oh, D. J. Yang, et al., "Development of monitoring program for performance evaluation in solar heat hot water boiler", Proceedings of the KSMTE spring conference 2003, 2003, pp. 260～264

APPENDIX

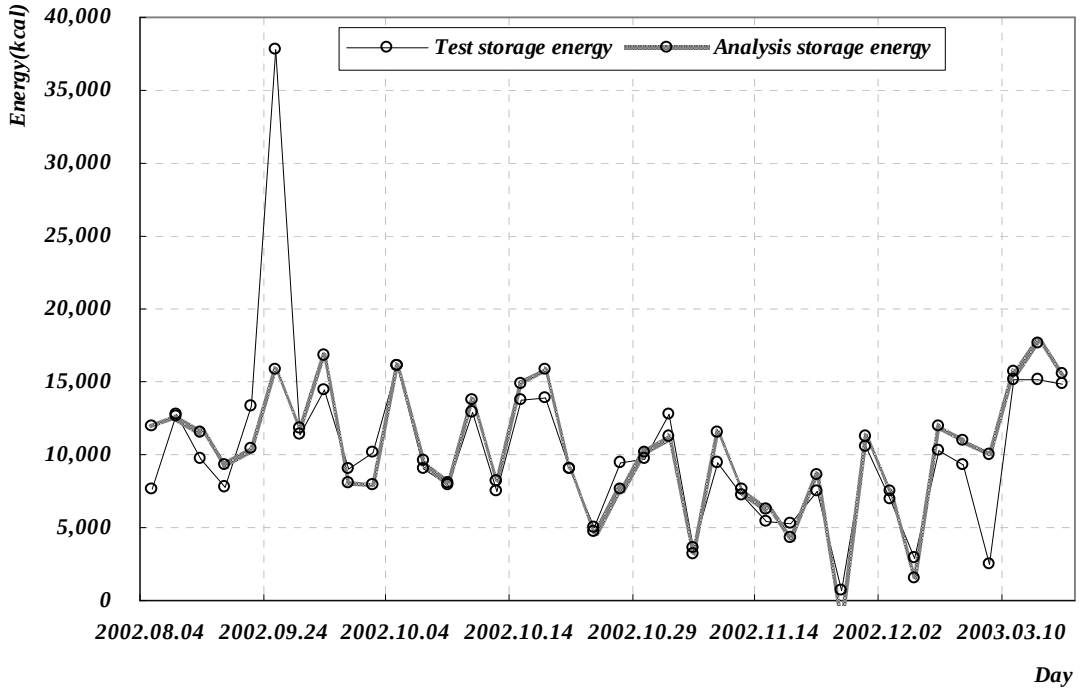
1. 보온성능 분석 데이터

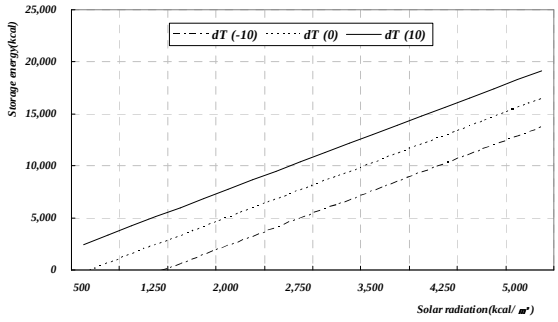
Test day	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2002.10.31	4.17	3.26	4.59	4.58	4.27	15.7	5.88	4.21	10.86	26.91	-
2002.11.22	3.62	3.29	4.93	4.51	8.85	6.93	9.29	4.79	82.89	9.34	9.68
2003.01.09	2.54	2.18	4.13	3.47	9.34	3.91	8.01	3.62	-	9.84	7.18
2003.02.12	3.07	3.25	4.85	4.32	13.43	7.13	35.12	4.87	47.02	9.89	5
2003.02.15	4.08	1.56	4.42	3.23	7.95	2.64	23.14	2.27	104.32	1.14	-
2003.02.22	5.34	0.19	4.01	2.77	5.67	1.77	11.74	1.12	48.89	-	-
2003.02.25	3.29	2.77	4.57	3.98	5.82	6.38	31.58	4.23	98.85	9.69	8.98
2003.02.28	3.62	3.21	5.01	4.35	5.1	6.16	34.55	4.06	88.6	9.18	7.43
2003.03.02	3.84	2.08	0	3.2	4.09	4.85	30.48	3.45	62.77	7.42	6.3
2003.03.06	3.69	1.17	0	1.73	8.72	3.44	16.05	0.97	36.18	0.51	-
2003.03.08	3.48	2.27	4.12	3.15	15.89	4.8	30.42	3.16	54.32	5.38	2.96
2003.03.14	3.42	1.45	0	2.22	9.57	3.76	25.81	2.45	44.64	3.87	2.17
2003.03.18	3.6	2.99	4.83	4.12	0.08	7.09	35.09	4.45	94.73	10.63	8.95
2003.04.23	3.86	1.53	149.64	2.49	2.67	3.59	5.82	2.92	49.81	2.35	2.38
2003.07.11	3.21	2.87	-	5.12	11.77	6.6	6.66	0.44	114.49	3.96	4.97
2004.02.24	5.54	7.46	-	8.11	8.46	16.34	17.59	10.59	-	24.7	19.4
2004.04.03	2.88	3.64	11.81	3.66	3.38	5.62	0	4	104.22	5.16	2.6
2004.07.02	5.26	2.69	-	3.73	-	4.19	-	-	0.73	3.5	3.92
2004.10.19	5.36	3.46	8.85	4.61	3.77	-	15.21	3.91	4.65	5.75	7.51
2005.05.31	4.7	3.99	10.38	4.94	2.26	3.73	27.17	2.56	3.2	12.92	12.08
2005.10.12	4.61	3.47	11.31	5.87	1.92	2.96	31.05	2.12	1.84	5.25	23.88
2005.10.15	4.74	21.17	-	28.35	2.47	4.46	37.37	2.81	5.1	117.94	4.82

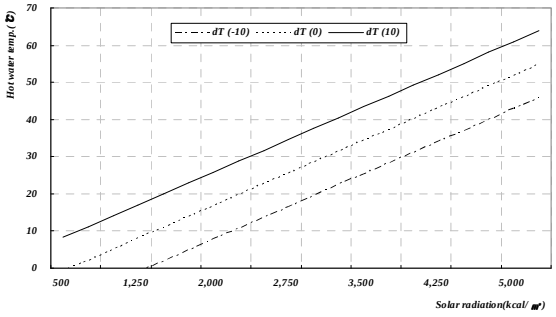
2. 집열 성능 분석 데이터

가. A업체 집열성능 분석 결과

Regression analysis result			Heat collect performance (kcal/㎡)	Heat collect efficiency (%)	Expect hot water temp. (℃)
a_1(㎡)	a_2(MJ/K)	a_3(MJ)			
3.513	271.39	-1961.49	2821.61	56	67.01

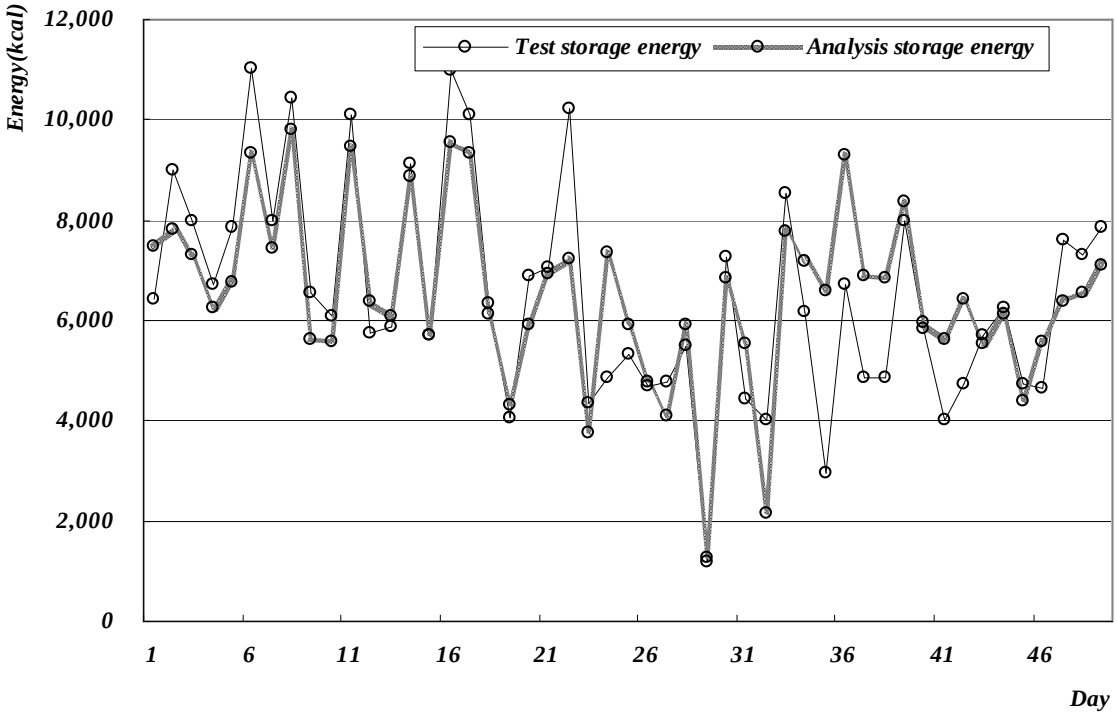


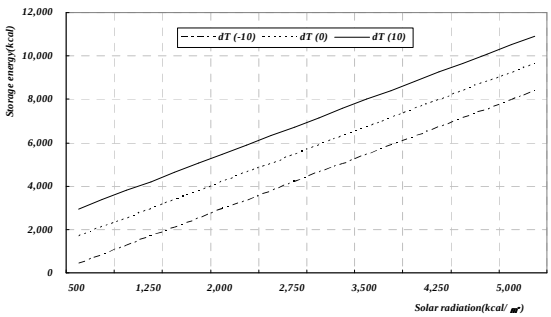


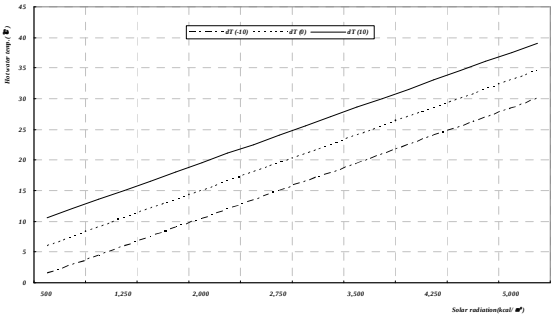


나. B업체 집열성능 분석 결과

Regression analysis result			Heat collect performance ($kcal/m^2$)	Heat collect efficiency (%)	Expect hot water temp. (℃)
a_1(㎡)	a_2(MJ/K)	a_3(MJ)			
1.680	126.971	844.360	2419.99	48.40	48.02

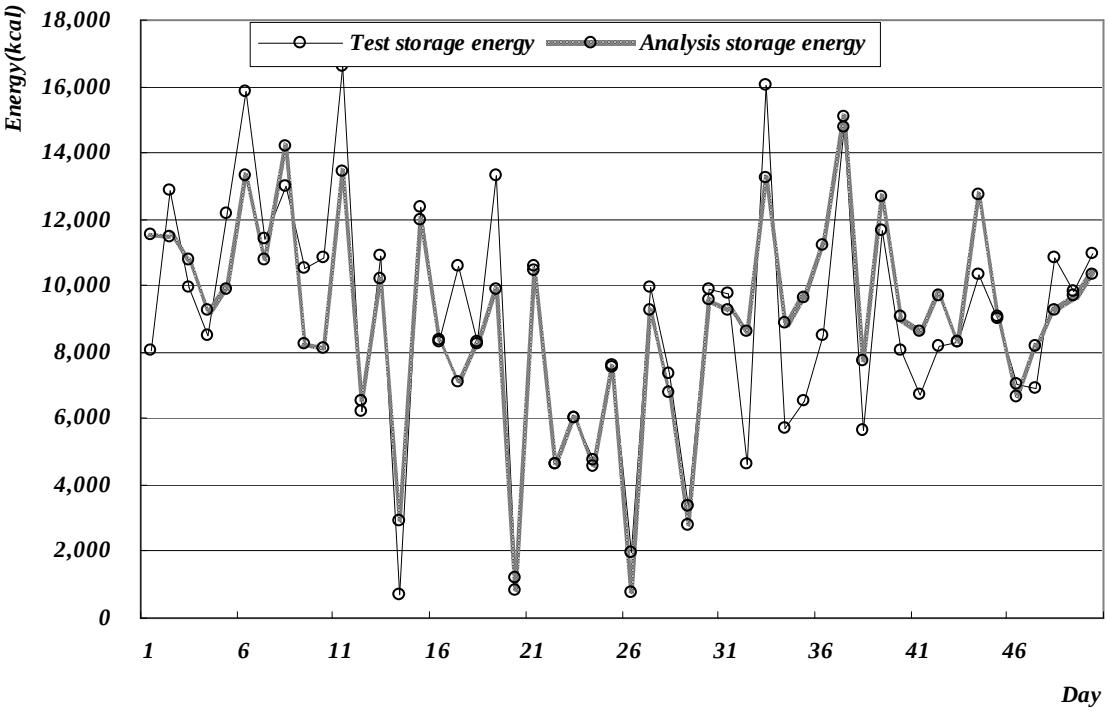


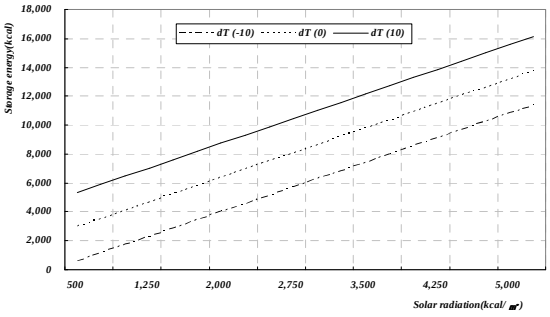


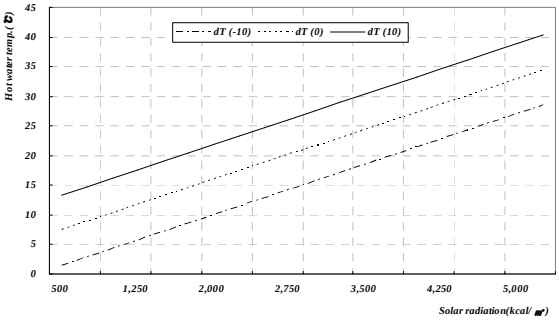


다. C업체 집열성능 분석 결과

Regression analysis result			Heat collect performance (kcal/㎡)	Heat collect efficiency (%)	Expect hot water temp. (℃)
a_1(㎡)	a_2(MJ/K)	a_3(MJ)			
2.273	237.018	1830.497	1722.65	34.45	47.99

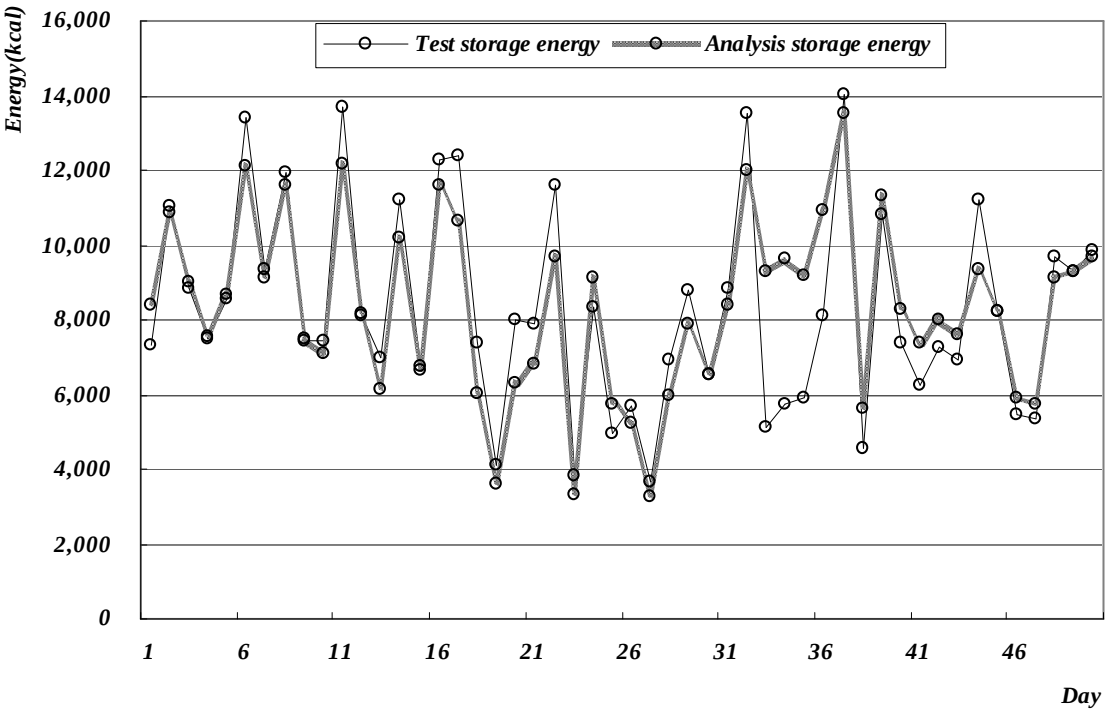


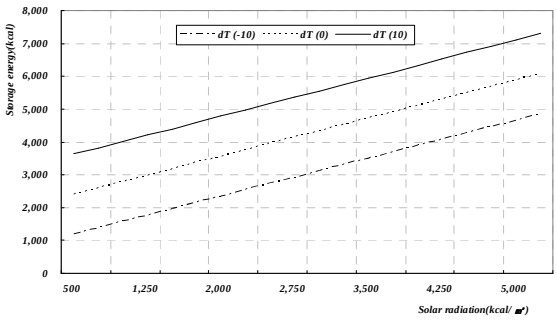


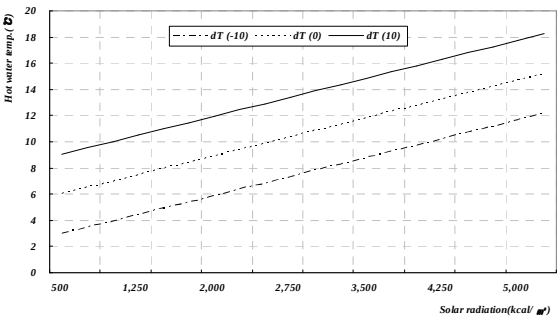


라. D업체 집열성능 분석 결과

Regression analysis result			Heat collect performance ($kcal/m^2$)	Heat collect efficiency (%)	Expect hot water temp. (℃)
a_1(㎡)	a_2(MJ/K)	a_3(MJ)			
0.772	121.949	2022.293	799.22	15.98	29.71

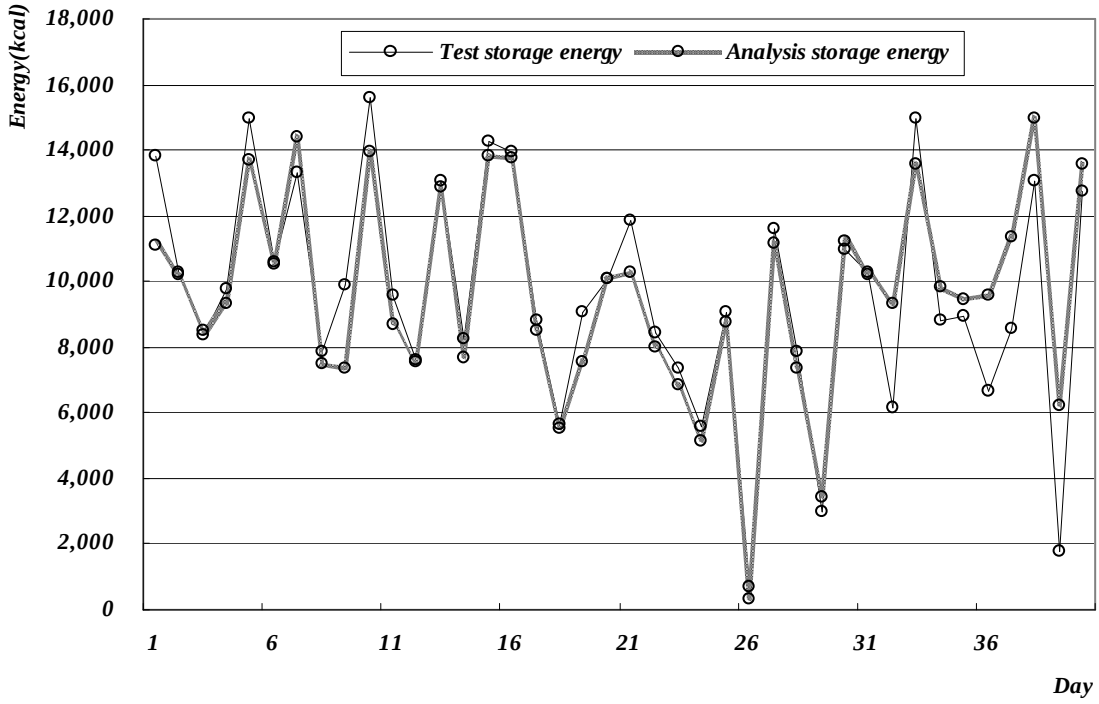


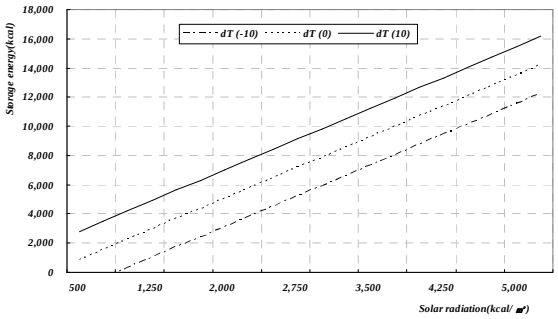


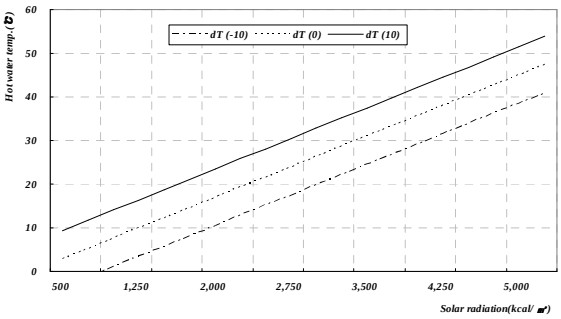


마. E업체 집열성능 분석 결과

Regression analysis result			Heat collect performance ($kcal/m^2$)	Heat collect efficiency (%)	Expect hot water temp. (℃)
a_1(㎡)	a_2(MJ/K)	a_3(MJ)			
2.811	194.734	-542.598	153	3.01	17.88

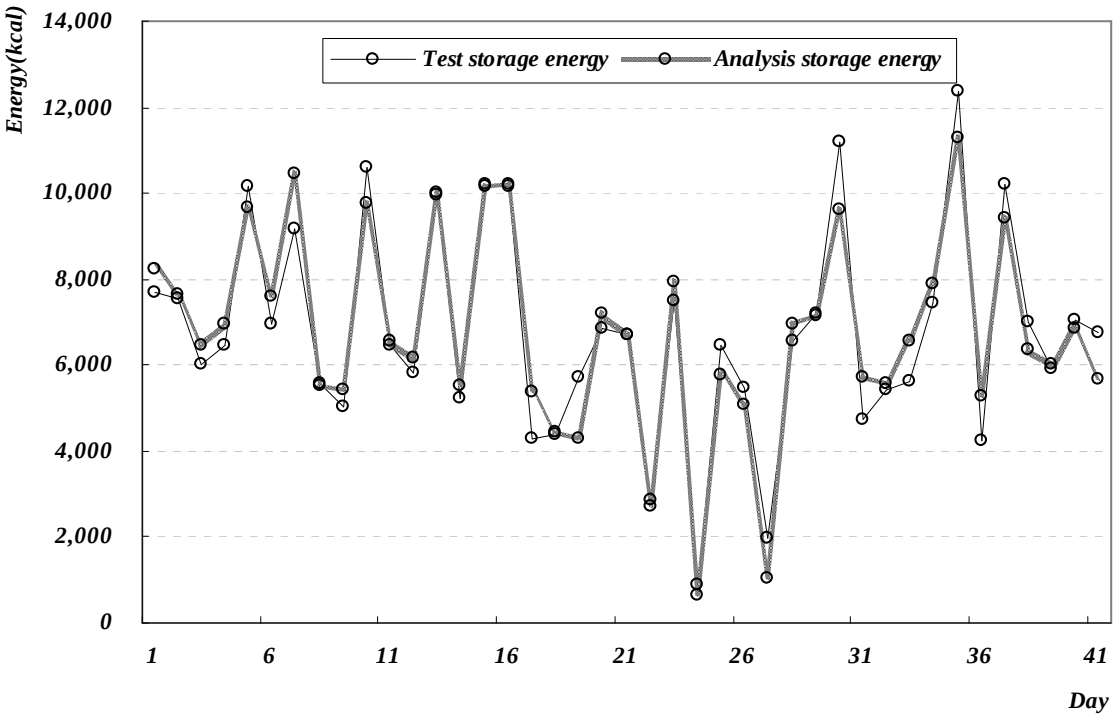


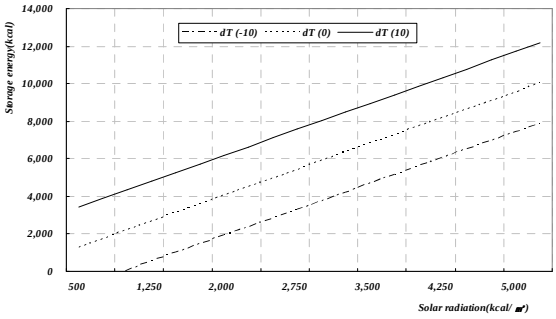


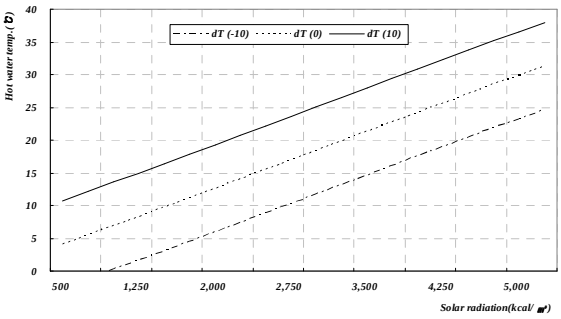


바. F업체 집열성능 분석 결과

Regression analysis result			Heat collect performance (kcal/㎡)	Heat collect efficiency (%)	Expect hot water temp. (℃)
a_1(㎡)	a_2(MJ/K)	a_3(MJ)			
1.843	213.393	361.101	1866.69	37.33	44.94

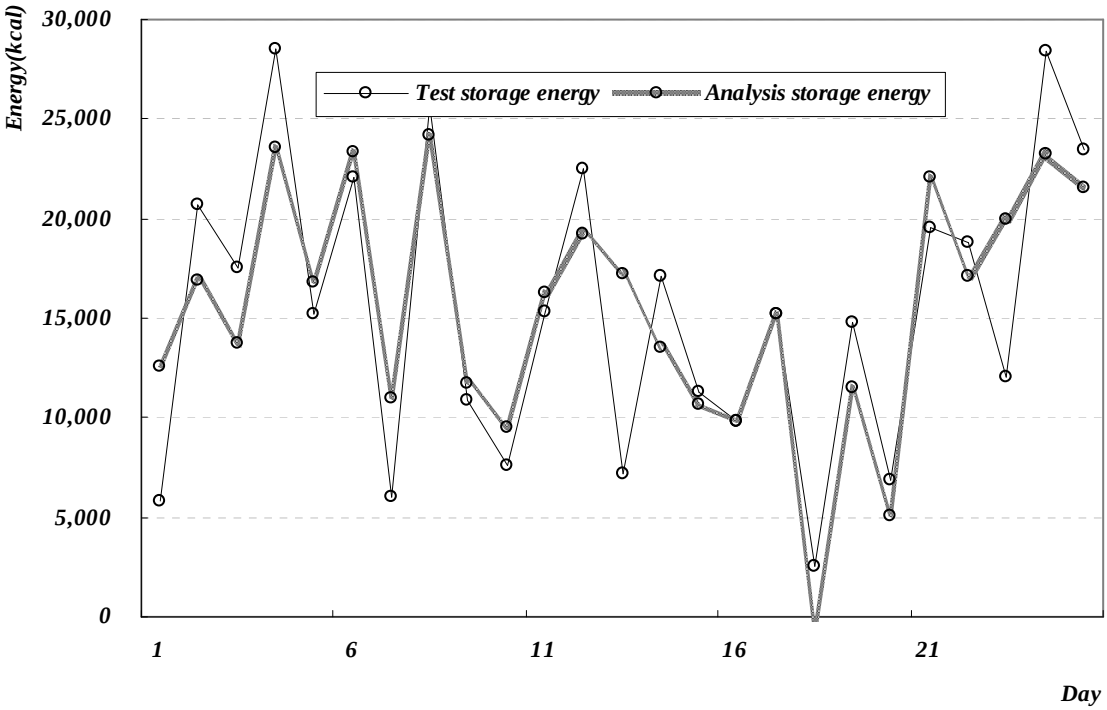


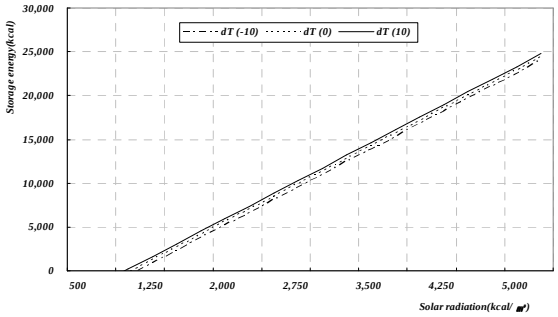


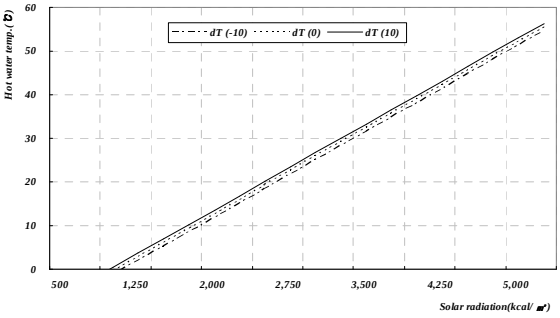


사. G업체 집열성능 분석 결과

Regression analysis result			Heat collect performance ($kcal/m^2$)	Heat collect efficiency (%)	Expect hot water temp. (℃)
a_1(㎡)	a_2(MJ/K)	a_3(MJ)			
5.783	38.214	-5982.483	2509.03	50.18	67.12

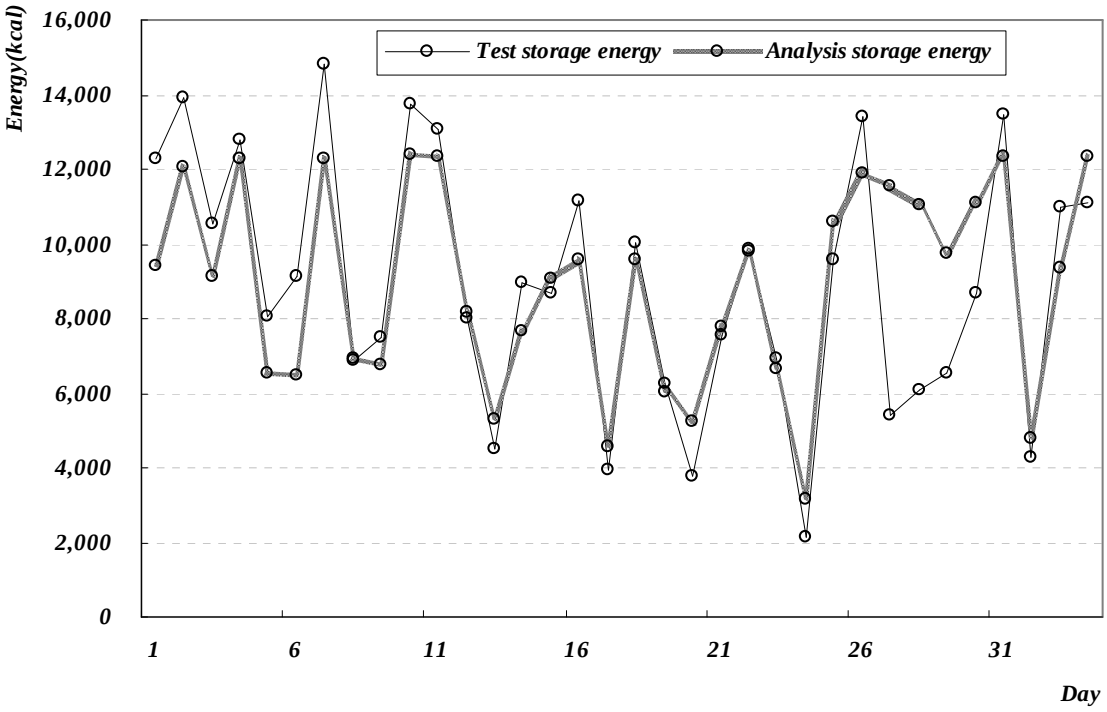


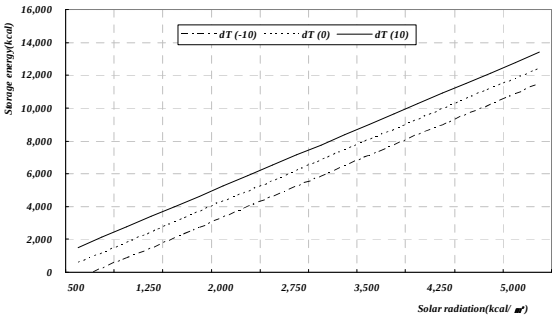


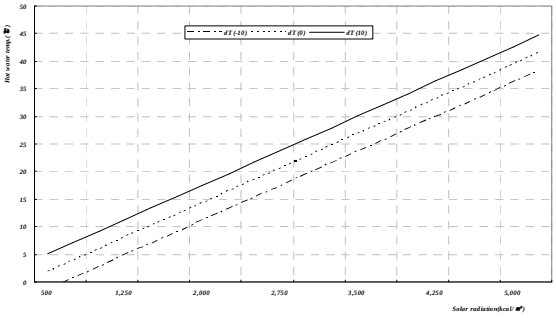


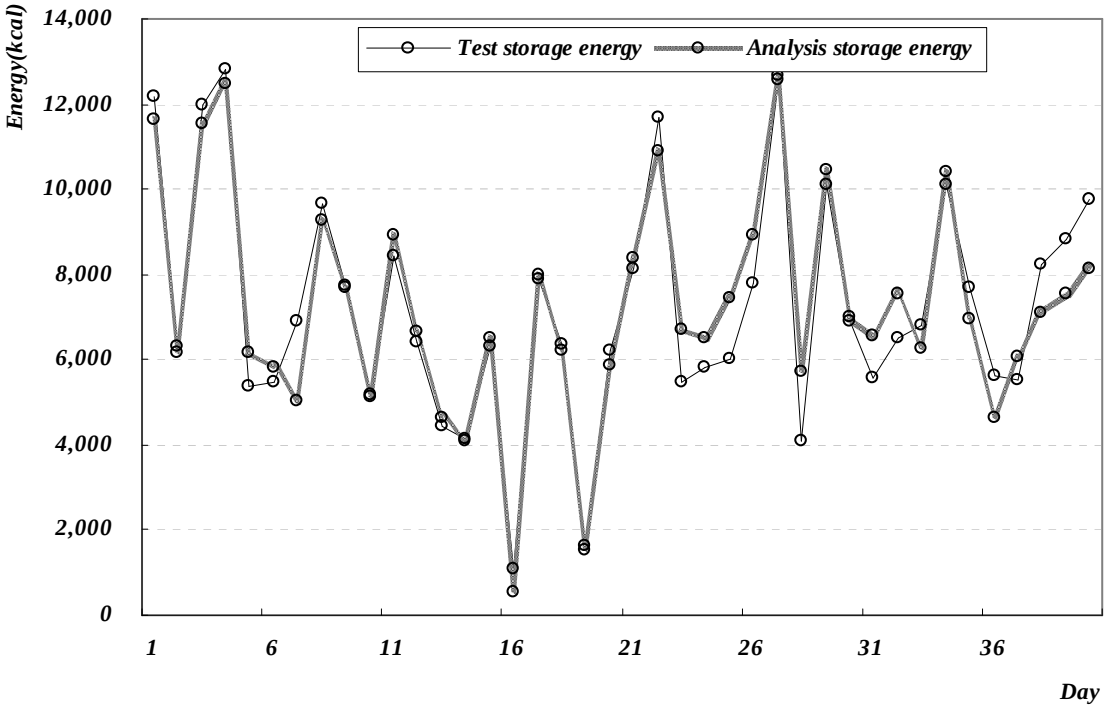
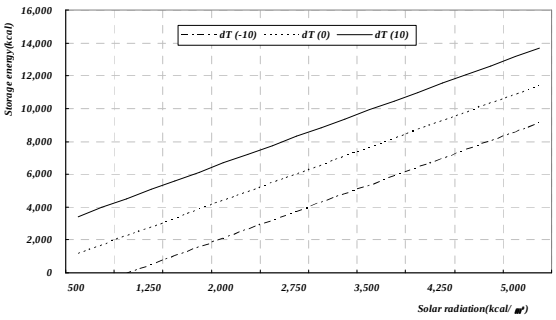
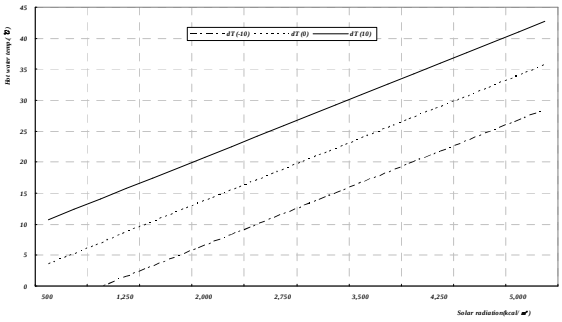
아. H업체 집열성능 분석 결과

Regression analysis result			Heat collect performance ($kcal/m^2$)	Heat collect efficiency (%)	Expect hot water temp. (℃)
a_1(㎡)	a_2(MJ/K)	a_3(MJ)			
2.503	96.074	-702.735	2128.34	42.57	54.37







자. J업체 집열성능 분석 결과

Regression analysis result			Heat collect performance ($kcal/m^2$)	Heat collect efficiency (%)	Expect hot water temp. (℃)
a_1(㎡)	a_2(MJ/K)	a_3(MJ)			
2.158	228.741	70.131	1804.01	36.08	48.94