

최 중
연구보고서

신소재 상변화물질(PCM253)을 이용한 농업용
잠열축열식 난방기 개발

Development of agriculture latent heat storage
boiler using a phase change material(PCM253)

(주)에이치엔엘

농림자료실



0013414

농림부

제 출 문

농림부장관 귀하

본 보고서를 “신소재 상변화물질(PCM253)을 이용한 농업용 잠열축열식 난방기 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007년 4월 24일

주관연구기관명 : (주)에이치엔엘

총괄연구책임자 : 나 규 동

연 구 원 : 남 상 현

연 구 원 : 손 철 민

연 구 원 : 허 상 수

연 구 원 : 김 강 수

위탁연구기관명 : 경북대학교

위탁연구책임자 : 박 경 규

연 구 원 : 하 유 신

연 구 원 : 홍 동 혁

연 구 원 : 김 혁 주

요 약 문

I 제 목

신소재 상변화물질(PCM253)을 이용한 농업용 잠열축열식 난방기 개발

II 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구의 필요성

○ 기존의 농업용 난방기는 경유/중유/가스 등을 이용하여 난방부하에 따른 온도제어가 용이하였으나 최근 유가상승 등으로 경제성에서 매우 불리한 면이 있다. 그러므로 농가에서는 난방비 부담을 줄이기 위해 손쉽게 구할 수 있는 폐목/잡목과 저렴하게 사용할 수 있는 석탄/연탄/코크스 등 고체연료를 이용하여 난방을 이용하고 있지만 온도조절이 용이하지 못하여 난방부하량 변동에 탄력적으로 대응하기가 어려워 주난방보다는 보조난방수단으로 많이 활용되고 있는 실태이다.

○ 석탄 등의 고체화된 연료는 연소시작에서부터 재가 될 때까지의 온도편차가 크고 한번 연소가 시작되면 지속되는 시간이 있어 온도를 제어하기 힘들기 때문에 이러한 단순제어방식의 고체연료로부터 발생하는 열을 축열조에 저장하였다가 필요시 이용할 수 있다면 난방 부하량 변동에 장시간 동안 탄력적으로 대응이 가능할 것이다.

○ 최근 세계화 추세에 따라 각 국가간에 체결되고 있는 FTA로 국내 농업시장의 붕괴가 예견되어 그 대안으로 주로 시설농가에서 재배되는 수출이 자유로운 고소득 작물들을 중심으로 국제경쟁력 강화를 위한 노력을 하고 있다. 이러한 작물들을 재배하는데 필수적인 보일러의 유류비용은 매출액 대비 30%에서 최대 60%이상을 차지하여 가격경쟁력에 상당한 장애요인으로 작용되고 있다. 따라서 친환경적이며 저렴한 비용으로 손쉽게 제어가 가능한 난방을 수행할 수 있는 난방 시스템의 개발이 절실한 상태이다.

2. 연구개발의 목적

○ 본 연구에서는 경유나 등유에 비하여 가격이 저렴한 석탄을 이용한 난방방법을 새롭게 개발하고자 하는데 기존의 고체연료를 이용함에 따라 발생하는 난방이 불균일한 문제점과 또한 기존의 부피가 큰 수축열조를 사용해야하는 축열 난방기의 문제점을 해결하기 위하여 같은 온도 구간대의 물 65kcal/kg보다 4배 이상으로 열에너지를 저장할 수 있는 신소재 물질(물질특허 제042008호)인 PCM253의 상변화를 이용하여 농업용 잠열축열식 난방기를 개발함을 본 연구의 목적으로 하고 있다.

○ 본 연구의 세부적인 목표는 다음과 같다.

- ① 난방기의 주열원으로 석탄을 사용하고, 필요시 보조열원으로 전기를 사용하며,
- ② 열원의 열에너지를 축열과 현열로 동시에 사용할 수 있으며,
- ③ 온실내의 온도조절이 용이하여 난방부하량 변동에 탄력적으로 대응가능하며,
- ④ 열효율이 타 석탄 연료형 난방기보다 우수하며,
- ⑤ 연료의 투입과 재처리가 용이하며,
- ⑥ 난방기는 친환경적이며,
- ⑦ 비닐하우스, 화훼농원, 축사, 잠사, 양어장 등에 사용가능하고,
- ⑧ 기계비용은 약 1천만원 정도인 기능을 가지는 난방기의 개발을 목표로 하고 있다.

III 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 고체연료를 난방에 이용함에 있어 발생하는 문제점과 기존의 축열식 난방기의 문제점을 해결하기 위해 열에너지의 저장용량이 물의 65kcal/kg(유효한 온도 구간대에서의 흡열량)보다 4배 이상의 열저장용량을 가지는 신소재 상변화물질인 PCM253을 이용한 농업용 잠열축열식 난방기를 개발하는 것이며, 주관기관인 (주)에이치엔엘과 위탁기관인 경북대학교에서 총 연구기간 2년에 걸쳐서 시작1호기(50,000 kcal/hr급)와 시작2호기(200,000kcal/hr급)의 형태로 개발을 완료하였다.

(1) 위탁연구기관인 경북대학교에서, PCM253의 열특성 분석을 수행하기 위해 흡방열 측정을 위한 실험장치를 제작하고, 시차주사열량계(DSC)를 이용하여 흡열량을 측정하였고, 흡열 및 방열 테스트를 통해 상변화 구간을 측정한 후, 축열량을 계산하였다. 이로써 이론적인 난방기의 용량을 산정하였다.

(2) 위탁연구기관에서 시작기의 제작을 위해서 발열부, 축열부, 제어부로 나누어 설계기준을 설정하고, 주관연구기관에서 부분별 설계 및 제작을 통해 전체 시스템을 조립하고 성능테스트를 실시하였다. 발열부는 연료공급부, 점화부, 재처리부로 설계/제작하였고, 축열부는 연소열-PCM, PCM-물 간의 열교환부로 설계/제작하였으며, 제어부는 전체 제어 알고리즘 개발내용을 통해 자동 컨트롤러를 설계/제작하여 전체 난방 시스템을 완성하였다.

(3) 위탁연구기관에서 성능 분석을 위해 가동 중 난방능력, 열효율, 연료소비량 등을 측정하고 수정 보안을 통해 문제점을 해결하였으며, 분석결과를 활용하여 온실의 규모별 난방기의 적정한 용량을 산정하고 설비비용, 운전비용 및 수리비용 등을 비교하여 경제성 분석을 실시하였다.

IV 연구개발 결과

1. 연구개발 결과

가. 본 연구의 핵심이 되는 신소재 상변화물질인 PCM253의 열특성분석을 수행한 결과, 여러차례의 흡열 및 방열과정의 반복에 대해서도 일정하게 열적성능이 유지되는 우수한 특성을 가진 물질로 확인하였다. 실험결과 본 물질을 60~110℃ 범위에서 흡열 및 방열하였을 경우 흡·방열량은 물질의 단위무게당 216kcal로 산출되었다. 이 결과를 바탕으로 하여 시작기의 각 구성부를 설계 및 제작하였다.

나. 개발된 난방기의 발열부는 ① 연소열 열교환부, ② 연료공급부, ③ 점화부, ④ 재처리부로 구성되며 연소열 열교환부를 구성하는 열교환 파이프의 규격은 65A(외경 76.3mm, 두께 5.2mm) 파이프를 사용하였으며, 개수는 16개, 총 길이는 각각 3,870mm로

구성되었다. 연료공급부의 석탄투입방법은 버킷형 투입식으로서 연료의 형상이나 크기가 일정하지 않은 석탄의 경우에 있어서 연료의 투입시 걸림현상이나 막힘현상이 나타나지 않았으며, 1회 공급시 석탄의 공급량은 약 8.45kg이 되도록 제작하였다. 점화부는 가스버너의 화염을 화격자의 아래부분으로 공급하며 약 10분의 가동으로 연소실내의 석탄이 안정적으로 착화될 수 있도록 설계 및 제작하였다.

다. 개발된 난방기의 축열부는 ① 열매체유, ② 축열물질, ③ 물의 세가지 전열유체로 구성하였는데, 발열부에서 석탄의 연소가스와 열교환 된 열매체유가 축열물질을 가온시켜 상변화 축열하고, 방열시에는 물자켓의 물이 축열물질 내를 순환하면서 열교환하여 온실에 필요한 열량을 공급할 수 있도록 온수식으로 설계, 제작하였다.

열매체유조는 물자켓을 포함한 외형치수를 1370 × 2448(φ × L)로 열매체유조는 400A 파이프를 사용하여 406 × 2655(φ × L)로, 축열물질조는 1360 × 1846(φ × L)으로 설계 및 제작하여 열매체유는 430 ℓ, 축열물질은 1,050 ℓ, 물은 2,200 ℓ가 되도록 하였다.

라. 개발된 난방기의 제어부는 축·방열모드의 설정인자를 온실의 설정온도를 기준으로 하여, 온실내의 기온이 최저 설정온도 미만 또는 최고 설정온도 초과일 경우 축열모드로 전환되도록 하였다.

한편, 온실내의 기온이 최저 설정온도 초과, 최고 설정온도 미만일 경우에 방열모드로 전환되도록 하였다. 방열모드에서는 온수 순환펌프가 작동, 온실에 가온을 수행하도록 하였으며, 축열조 물자켓의 수온이 설정온도 미만으로 측정되면 석탄의 공급 및 발열이 재개되어 축열동작과 방열동작이 동시에 수행되도록 하였다.

마. 성능시험은 1차년도에 50,000kcal/hr 난방기를 150평 온실에 적용하여 수행하였으며, 2차년도에 200,000kcal/hr 난방기를 600평 온실에 적용하여 수행하였다. 최종적으로 개발된 시작2호기(200,000kcal/hr)의 현장적용 및 성능시험의 결과는 다음과 같다.

① 성능시험 시 난방기 축의 열매체유 온도를 110~150℃로 제어하여 발열, 축열 및 방열시험을 수행하였으며 그 중 열매체유의 온도를 130℃에서 제어한 경우에 비교적 난방효율면에서 좋은 결과를 얻었다.

그 때의 연료투입량은 101kg, 발열량은 489,305kcal로서 난방능력이 163,101kcal/hr

로 산출되었으며, 또한 발열효율은 76.9%로 산출되었다. 방열량은 457,599kcal로서 투입열량 대비 방열효율이 71.92%로 산출되었으며 축열조에서의 방열효율은 93.52%로 산출되었다.

② 이 때, 발열과정 중 열매체유의 입·출구 평균온도차는 29.5℃, 순환유량은 평균 85.3 l/min으로 측정되었으며, 방열과정 중 온수의 입·출구 평균온도차는 14.4℃, 순환유량은 평균 17.5 l/min으로 측정되었다. 또한, 축열과정 및 축열조에서의 방열과정 중 손실된 열량은 31,706kcal로서 전체 투입열량 대비 약 4.9%로 축열 및 방열효과가 우수한 것으로 나타났다.

③ 방열시험시 가온 중의 온실내부 기온의 온도편차가 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 정도로 나타나 온도변화의 폭이 그다지 크지 않았음을 확인할 수 있었고, 난방기의 표면온도는 연소실의 온도가 최고 800℃로 유지되었을 경우 단열부위는 최고 50℃, 비단열 부위는 최고 240℃로 측정되었다.

바. 온실규모별 적정 Size 선정결과 450~600평 사이의 온실에는 200,000kcal/hr 보일러를 적용하는 것이, 300~450평 사이의 온실에는 150,000kcal/hr 보일러를 적용하는 것이, 150~300평 사이의 온실에는 100,000kcal/hr 보일러를 적용하는 것이, 150평 이하의 온실에는 50,000kcal/hr 보일러를 적용하는 것이 경제적으로 적정한 온실의 규모별 기기의 Size였다.

경제성 분석결과 온실면적 600평인 경우, 같은 용량의 타 석탄보일러와 비교하여 연간 이용비용에 있어서 49,407천원에 비해 34,206천원으로 약 30.8%의 에너지 비용 절감효과를 기대할 수 있으며, 기존의 경유 보일러와 비교하였을 경우는 연간 이용비용 87,409천원에 비해 약 60.9% 이상의 난방비 절감효과가 있을 것으로 나타났다.

2. 활용에 대한 건의

가. 시설원에 농가용 난방기의 모델 공급

본 연구에서 개발된 시작2호기(200,000kcal/hr)를 시설원에 농가 또는 농림기술센터 등에 시연회를 개최하여 농업용 난방기로서 보급, 농가의 경영비용중 대부분을 차지하는 난방비용의 절감을 이루어낼 수 있는 제품으로서 시설원에 농가에게는 농업생산비를 크게 절감할 수 있는 수익성 있는 모델이 될 수 있을 것이다.

또한 본 개발품의 적용으로 농가의 경영비 부담이 줄어들게 되면 생산물량의 안정적인 공급과 가격의 안정화로 농산물 소비 증대와 경쟁력 강화로 농산품의 수출이 증가 될 수 있을 것이다.

작물의 생육적인 면에서도 본 제품은 안정적인 열량의 공급으로 작물의 상품수량과 품질이 증가하여 생산성의 향상에도 기여 할 수 있을 것이다.

나. 후속연구

본 연구에서 개발된 제품은 석탄의 연소열을 열매체유를 통해 상변화물질을 잠열축열시켜 시설하우스에 난방열을 공급하는 농업용 석탄난방기이다. 본 연구를 통하여 설계, 제작한 축열조는 석탄의 열에너지 뿐만아니라 모든 열사용기기에 잠열축열식 폐열회수장치 분야로 확대할 수 있어 타 산업분야에의 기술과급 효과가 높을 것으로 기대되는데, 특히 근래에 관심도가 높아지고 있는 신·재생에너지 분야의 태양열 에너지 활용분야에도 적용하여 농업용 태양열 난방기의 축열장치 개발에 대한 연구를 지속할 계획이다.

다. 학술대회 발표

본 연구의 결과에 대해 향후 한국농업기계학회 및 생물환경조절학회 등의 학술대회에 참가하여 연구결과를 발표할 예정이며 국내 전문 학술지에 논문 기고할 예정이다.

SUMMARY

I. Title

Development of agricultural latent heat storage boiler using a phase change material(PCM253)

II. Objectives and Necessity

Diesel boiler is very convenient for heating in green house. Major problem is its energy cost. In order to save the energy cost, some of farm are using wood and coal instead as its fuel. However, this system has another big problem. It is very hard to control the heating temperature as well as managing the control system. Recently a phase change material(PCM253) which having very high level of latent thermal storage was developed in HNL Co. Ltd. Its latent capacity has 4 times higher than that of water has.

In order to save the energy cost and to make easy to control the temperature of a green house, new heating system for the green house by using both PCM 253 as latent heat material and solid-fuel boiler is developed in this research. The followings are the final goals in this project.

- ① main fuel is coal, use electric energy as sub-fuel,
- ② thermal energy can be used by directly and storage both of ways,
- ③ easy to control temperature in greenhouse,
- ④ thermal efficiency is higher than other boiler using coal fuel,
- ⑤ easy to fuel supply and remove ashes,
- ⑥ to good for environment,
- ⑦ be able to use in greenhouse, flower farm, cattle shed, fish farm, etc.,
- ⑧ the price for installing this boiler is about 10 million won.

III. Methods of studies

The research have been performed for 2 years in cooperation with Kyungpook National University and executed as following steps;

- 1) In order to estimate the design capacity of the thermal storage boiler, test equipment for measuring the heat absorption emission of PCM253 is developed.
- 2) As a model system, a testing boiler which is consist of ① combustion part, ② thermal storage part, ③ controller and test of each parts and boiler carried on is manufactured.
- 3) Two different size(50,000 Kcal and 200,000 Kcal) of prototype boiler are tested and modified in order to applicate greenhouse in order to avoid any problem in the future for the farmer.
- 4) Based on the manufactured prototype boilers developed in this project, a series of test are performed and a lots of data are collected and analyzed to develop the mechanized operation model, mechanical technology, energy efficiency, optimum size of the greenhouse for application to the green house farm.
- 5) Also, the economic feasibility is analyzed in order to determine the optimum boiler size for green house.

IV. Results and conclusion of the research

The results of the research project are summarized as follow;

- 1) According to the result of heat absorption and emission test, the phase change material PCM253 has very high latent heat capacity. The absorption thermal energy is 216 Kcal per unit weight of material(kg) within the range from 60°C to 110°C. This result proved that PCM253 is a very useful material for using as a latent heat storage from solid-fuel boiler energy for a green house. Also, this test results are used for designing and manufacturing of prototype boilers.
- 2) The combustion part of prototype is consist of ① heat exchange part, ② fuel supplying part, ③ ignition part and ④ ashes removal part. The outside diameter

was 76.3mm, the thickness is 5.2mm in the heat exchange pipes. The number of pipes is 16 ea and the length is 3,870mm.

3) The thermal storage part of prototype is consist of thermal oil tank(430 ℓ), PCM253 tank(1,050 ℓ) and water jacket(2,200 ℓ). At thermal storage mode, the energy of thermal oil of combustion part is supplied to the PCM253 with thermal energy from coal fuel. At thermal emission mode, the PCM253 is supplied to the water with thermal energy and the water warm the air in the greenhouse.

4) The control unit of prototype is designed as two modes which are heat storage mode and heat emission mode. They can be converted by temperature of inside greenhouse. If temperature of green house is below the setting temperature which is located in the water jacket in the thermal storage part, coal fuel is supplied to boiler and start to ignite and burn. From this moment the control units is carried out as a heat storage mode and emission mode at the same time.

5) Thermal oil which used as a heat exchange material in this heating system can be controlled withen the range from 110~150°C without any difficulties. Withen this range, optimum temperature which produces the maximum efficiency is examined at 130°C. At this temperature, combustion efficiency is 76.9% and emission efficiency is 71.92%, respectively.

6) The 101 kg of coal in this burner developed can generate 489,395 Kcal. As the result, the temperature difference of oil inlet and outlet is 29.5°C when oil flux is 85.3 ℓ /min. Also, the temperature difference of water inlet and outlet is 14.4°C when water flux is 17.5 ℓ /min.

7) The temperature distribution difference of inside greenhouse is $\pm 1^\circ\text{C}$. Also, the surface temperature of boiler case is measured 50°C at insulation part and 240°C at no insulation part. Therefore, it can be conclude that the performance of this

boiler developed in this project research seems to be excellent.

8) The costs of latent heat storage boiler developed in this project is analyzed by comparing with traditional system. According to the results, operating cost of prototype is estimated as 34,206,000 won/yr. This system costs lower by 30.8% than that of traditional coal-fuel system which is estimated as 49,407,000 won/yr. Also, this model system can save energy cost by 60.9% compare with that of traditional diesel heating system which is estimated as 87,409,000 won/yr.

As an overall conclusion, the model boiler designed in this project can be recommended as a very useful. Also it is expected that the effect of cost reduction will be very large for the greenhouse farm.

CONTENTS

Chapter I. Introduction	20
Section 1. Necessity and Objectives	20
1. Necessity	20
2. Objectives	24
Section 2. Objectives and Contents	25
1. Objectives	25
2. Appraisal	25
3. Methods	26
Chapter II. Present conditions and points	28
Section 1. Domestic · World level	28
Section 2. Present conditions and points	29
Chapter III. Results of the research	32
Section 1. Analysis character of PCM253	32
Section 2. Design and manufacture of prototype I (50,000kcal/hr)	42
1. Research for combustion part	42
2. Design and manufacture of combustion part	45
3. Research for thermal storage part	62
4. Design and manufacture of thermal storage part	63
5. Design and manufacture of control part	70
Section 3. Performance test of prototype I (50,000kcal/hr)	76

Section 4. Design and manufacture of prototypeII (200,000kcal/hr)	78
1. Research for combustion part	78
2. Design and manufacture of combustion part	81
3. Research for thermal storage part	99
4. Design and manufacture of thermal storage part	99
5. Design and manufacture of control part	106
Section 5. Re-engineering of prototype	116
1. Re-engineering of combustion part	116
2. Re-engineering of thermal storage part	118
Section 6. Performance test of prototypeII (200,000kcal/hr)	120
1. Test list and method	120
2. Measuring of heating value	124
3. Heat flux and efficiency	125
4. Measuring of a power consumption	130
Section 7. Economic feasibility analysis of prototype	131
1. Introduction	131
2. Methods	131
3. Summary and Conclusion	132
Chapter IV. Achievement and Contribution	144
Section 1. Achievement	144
Section 2. Contribution	146
Chapter V. Plan of application use	148
Section 1. Outcome of research	148

Section 2. Plan of application use	149
Chapter VI. Overall Conclusion	150
Chapter VII. References	153

목 차

제 출 문	1
요 약 문	3
SUMMARY	9
CONTENTS	13
목 차	16
제 1 장 연구개발과제의 개요	20
제1절 연구개발 목적 및 필요성	20
1. 연구의 배경	20
2. 연구의 목적	24
제2절 연구개발 목표와 내용	25
1. 연구개발의 목표	25
2. 연구평가의 착안점	25
3. 연구 방법	26
제 2 장 국내외 기술개발 현황	28
제1절 국내·외 수준	28
제2절 국내·외의 연구현황	29
제 3 장 연구수행 내용 및 결과	32
제1절 잠열축열물질(PCM253)의 특성분석	32
1. 열교환 구조의 기본 설계방안	32
가. 상변화 물질의 열 특성 분석	32
나. 흡방열 특성분석을 위한 장치 제작	33
다. 잠열축열식 열교환기의 열전달 특성 분석	38

제2절 시작1호기의 설계 및 제작	42
1. 시작1호기의 발열부의 설계기준 연구	42
가. 연소열 열교환부의 설계기준 연구	42
나. 연료공급부의 설계기준 연구	43
다. 점화부의 설계기준 연구	43
라. 재처리부의 설계기준 연구	45
2. 시작1호기의 발열부의 설계 및 제작	45
가. 연소열 열교환부의 설계 및 제작	45
나. 연료공급부의 설계 및 제작	53
다. 재처리부의 설계 및 제작	58
3. 시작1호기의 축열부의 설계기준 연구	62
4. 시작1호기의 축열부의 설계 및 제작	63
5. 시작1호기의 제어부의 설계 및 제작	70
가. 범용 제어알고리즘의 개발	70
나. 통합 컨트롤러의 설계 및 제작	74
제3절 시작1호기의 성능시험	76
제4절 시작2호기의 설계 및 제작	78
1. 시작2호기의 발열부의 설계기준 연구	78
가. 연소열 열교환부의 설계기준 연구	78
나. 연료공급부의 설계기준 연구	79
다. 점화부의 설계기준 연구	80
라. 재처리부의 설계기준 연구	80
2. 시작2호기의 발열부의 설계 및 제작	81
가. 연소열 열교환부의 설계 및 제작	81
나. 연료공급부의 설계 및 제작	87
다. 점화부의 설계 및 제작	95
라. 재처리부의 설계 및 제작	96

3. 시작2호기의 축열부의 설계기준 연구	99
4. 시작2호기의 축열부의 설계 및 제작	99
가. 연소열-PCM 열교환부의 설계 및 제작	99
나. PCM-물 열교환부의 설계 및 제작	103
5. 시작2호기의 제어부의 설계 및 제작	106
가. 범용 제어알고리즘의 개발	106
나. 통합 컨트롤러의 설계 및 제작	109
제5절 잠열축열식 석탄보일러의 수정 및 보완	116
1. 발열부의 수정 및 보완	116
가. 연료 공급 방식의 수정 및 보완	116
나. 자동 점화장치의 수정 및 보완	117
2. 축열부의 수정 및 보완	118
제6절 시작2호기의 성능시험	120
1. 난방 성능시험의 항목 및 방법	120
2. 발열량의 측정	124
3. 방열량(kcal) 및 방열효율(%)	125
4. 소비전력(kw)의 측정	130
제7절 잠열축열식 석탄보일러의 온실규모별 적정 Size 선정 및 경제성 분석	131
1. 서론	131
2. 연구의 방법	131
3. 분석 결과	132
가. 온실규모별 적정 Size 선정	132
나. 경제성 분석	142
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	144
제1절 목표달성도	144

제2절 관련분야에의 기여도	146
1. 기술적 측면	146
2. 경제 · 산업적 측면	146
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	148
제1절 연구성과	148
제2절 활용계획	149
제 6 장 종합 결론	150
제 7 장 참고문헌	153

제 1 장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발 목적 및 필요성

1. 연구의 배경

가. 환경적 배경

기존의 농업용 난방기는 경유/중유/가스 등을 이용하여 난방부하에 따른 온도제어가 용이하였으나 최근 유가상승 등으로 경제성에서 매우 불리한 면이 있다. 그러므로 농가에서는 난방비 부담을 줄이기 위해 손쉽게 구할 수 있는 폐목/잡목과 저렴하게 사용할 수 있는 석탄/연탄/코크스 등 고체연료를 이용하여 난방을 이용하고 있지만 온도조절이 용이하지 못하여 난방부하량 변동에 탄력적으로 대응하기가 어려워 주난방보다는 보조난방수단으로 많이 활용되고 있는 실태이다.

석탄 등의 고체화된 연료는 연소시작에서부터 재가 될 때까지의 온도편차가 크고 한번 연소가 시작되면 지속되는 시간이 있어 온도를 제어하기 힘들기 때문에 이러한 단순제어방식의 고체연료로부터 발생하는 열을 축열조에 저장하였다가 필요시 이용할 수 있다면 난방 부하량 변동에 장시간 동안 탄력적으로 대응이 가능할 것이다. (그림 1)

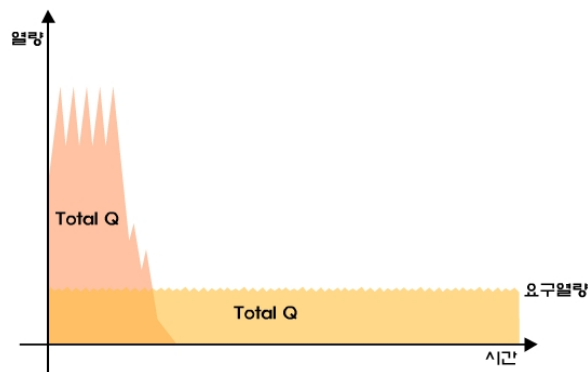


그림 1 고체연료의 연소형태 및 요구열량

또한, 최근 세계화 추세에 따라 각 국가간에 체결되고 있는 FTA로 국내 농업시장의 붕괴가 예견되어 그 대안으로 주로 시설농가에서 재배되는 수출이 자유로운 고소득 작물들을 중심으로 국제경쟁력 강화를 위한 노력을 하고 있다. 이러한 작물들을 재배하는데 필수적인 보일러의 유류비용은 매출액 대비 30%에서 최대 60%이상을 차지하여 가격경쟁력에 상당한 장애요인으로 작용되고 있다. 따라서 친환경적이며 저렴한 비용으로 난방을 수행할 수 있는 난방 시스템의 개발이 절실한 상태이다.

그리하여 본 연구에서는 난방부하량 변동에 탄력적으로 대응이 가능한 신소재 상변화물질(PCM253)을 이용하여 고체연료(석탄)를 사용하는 농업용 잠열축열식 난방기를 개발하고자 한다.

나. 경제적 배경

(1) 우리나라의 시설원예 현황

우리나라는 전체 시설원예 면적 52,135ha(2001년) 중 난방을 하고 있는 시설원예 면적은 12,710ha로서 약 24%를 차지하고 있다.

표 1에 따르면 1990년대 이후 고급 원예작물의 지속적인 수요증가와 시설원예 현대화 지원사업이 본격적으로 추진되면서 시설원예 재배면적이 크게 증가되어 2000년도 우리나라 전체 채소재배면적 386,000ha(2000년) 중 시설채소면적은 90,627ha로서 약 24%를 차지하고 있으며 1990년 대비 2배 이상 증가하였다.

표 1 채소 및 시설채소 재배면적

(단위 : ha, %)

	1990	2000	2000/1990
채소 재배면적(A)	317,000	386,000	1.2
시설채소 재배면적 (B)	35,994	90,627	2.5
시설재배면적 비율 (B/A)	11.4	23.5	2.1

* 출처 : 농림부(2002)

2000년도 과채류 생산액은 2조8천억 원으로 전체 채소생산액(6조7천억 원)의 41%를 차지하고 있으며, 이는 1990년도 생산액 8천9백억 원에 비하여 3.1배 증가하였다.

표 2에 따르면 2000년도 시설재배에 의한 과채류 생산액은 2조5천억 원으로 1990년도보다 4.6배 증가하여 동 기간 중 노지재배에 의한 생산액 증가율(1.3배)을 크게 상회하고 있으며, 과채류 전체 생산액 중 91%를 차지하고 있다.

또한, 난방연료의 90% 이상이 경유나 등유와 같은 유류로 한정되어 있으며 농가에서는 면세유 가격에 대해 민감한 반응을 보이고 있어 최근 들어 작물재배를 포기 할 의향을 갖고 있는 농가가 속출하고 있는 실정이다.

표 2 시설재배에 의한 과채류 생산량 변화

(단위 : 백만원)

	1990(A)	2000(B)	2000/1990(B/A)
전체 채소류	3,323,243(100%)	6,724,215(100%)	2.0
과채류	893,920(26.9%)	2,806,333(41.7%)	3.1
- 시설재배	563,071	2,563,973	4.6
- 노지재배	330,849	445,802	1.3

* 출처 : 농림부(2002)

(2) 시설원예 난방의 현황과 종류

시설원예에서는 외기 온도가 목표 온도보다 낮은 겨울철에 작물의 생육 적온을 유지해 주기 위하여 1차적으로 커튼장치 등에 의해 보온을 해 주고 부족한 열은 난방기로 공급해 주어야 한다. 현재 사용되고 있는 시설 원예 난방방식의 종류에는 직열식 난방, 전열식 난방, 온풍식 난방, 온수식 난방 등이 있으며 우리나라 난방방식은 온도 상승이 빠르고 난방기의 열효율이 높은 온풍식 난방이 대부분이지만, 기온의 공간적 시간적 변화 폭이 크고 공급되는 열량 가운데 건조한 현열의 비중이 높아 작물 생리에 적합하지 못한 단점이 있다. 난방 방식간의 장·단점은 아래 표 3에 나타나 있는 바 와 같다.

모든 난방 시스템에서 가장 중요한 장치는 열을 공급해 주는 보일러인데, 현재 우

리나라에서 사용되고 있는 온풍난방 시스템에 사용되는 보일러의 용량은 20,000~350,000 kcal/hr 범위로서 시설원예, 잠사, 축사, 온실 등 약 5,000 ha에 달하는 농업용 시설재배면적에 실내 기온 또는 지온이 작물의 생육 가능한 적정 온도가 되도록 열을 공급하는 형태로 되어있다.

(3) 시설원예 가온면적 및 유류공급량 추정

표 3에 따르면 2001년도 시설원예 가온면적은 12,398ha로써 난방용 유류사용량은 농업용 전체 사용량의 47.8%에 해당하는 1,165,400kl로 추정된다.

표 3 시설온실 면적 및 난방유류사용량

시설온실 면적 (ha)		난방유류사용량 (kl)	
전 체	가온 면적	전 체	시설온실
52,085	12,398	2,439,967	1,165,400

* 출처 : 농림부(2002)

표 4에 따르면 면세경유가격은 리터당 96년 201원, 99년 330원, 2002년 10월 394원이었던 것이 2004년 이후 국제원유가 상승에 따라 급등하게 되어, 2004년 6월 현재 500원, 2005년 5월 현재 600원 내외로 연료비 부담이 급격히 증가함에 따라 농가에서는 난방에너지 절감기술에 대한 요구가 더욱 높아지고 있다.

표 4 면세유 가격 추이

구 분	1996	1999	2002.10	2004.06	2005.05
면세유 가격(원/ℓ)	201	330	394	500	600

* 출처 : 농협월보

현재 우리나라 대부분의 시설재배 농가에서 사용되는 보일러의 연료로는 경유에 주로 의존하고 있다. 그러나 최근 환율상승과 원유의 유가상승에 따른 고유가시대를 맞

이하여 경유보일러는 시설원예 농가의 난방비 부담(600평 기준, 월동시까지 난방비 약 15,000천원정도)을 가중시키고 있어 시설원예 농가의 가장 큰 부담으로 작용하고 있다.

2. 연구의 목적

우리나라는 에너지원의 90%이상을 수입에 의존하고 있어 에너지 비용 및 국제유가 변동에 민감할 수 밖에 없는 실정이며 전제 영농비 중 시설 난방에 소요되는 난방비용이 약 40%이상을 차지하고 있으므로 시설농가의 경쟁력 확보가 매우 어려운 상황이다. 그러므로 농업의 경쟁력 뿐만아니라 국가 경쟁력의 미래를 위해서도 시설원예에 있어서의 새로운 난방방법을 개발해야할 필요성이 있다.

따라서 본 연구에서는 경유나 등유에 비하여 가격이 저렴한 석탄을 이용한 난방방법을 새롭게 개발하고자 하는데 기존의 고체연료를 이용함에 따라 발생하는 난방이 불균일한 문제점과 또한 기존의 부피가 큰 수축열조를 사용해야하는 축열 난방기의 문제점을 해결하기 위하여 같은 온도 구간대의 물 65Kcal/kg보다 4배 이상으로 열에너지를 저장할 수 있는 신소재 물질(물질특허 제042008호)인 PCM253의 상변화를 이용하여 농업용 잠열축열식 난방기를 개발함을 본 연구의 목적으로 하고 있다.

제2절 연구개발 목표와 내용

1. 연구개발의 목표

본 연구의 세부적인 목표는 다음과 같다.

- ① 난방기의 주열원으로 석탄을 사용하고, 필요시 보조열원으로 전기를 사용하며,
- ② 열원의 열에너지를 축열과 현열로 동시에 사용할 수 있으며,
- ③ 온실내의 온도조절이 용이하여 난방부하량 변동에 탄력적으로 대응가능하며,
- ④ 열효율이 타 석탄 연료형 난방기보다 우수하며,
- ⑤ 연료의 투입과 재처리가 용이하며,
- ⑥ 난방기는 친환경적이며,
- ⑦ 비닐하우스, 화훼농원, 축사, 잠사, 양어장 등에 사용가능하고,
- ⑧ 기계비용은 약 1천만원 정도인 기능을 가지는 난방기의 개발을 목표로 하고 있다.

2. 연구평가의 착안점

구 분	세부연구목표	가중치	평가의 착안점 및 기준
1차년도 (2006년)	○ 시작1호기(50,000Kcal/h 잠열축열식 난방기) 설계 및 제작	37.5 %	각 열교환부 및 구성부를 설계하고 제작하였는가?
	○ 시스템의 수정보완		성능평가의 결과 및 변경된 설계에 의한 수정보완이 잘 되었는가?
	○ PCM253의 특성분석	12.5 %	물질의 특성분석을 위한 실험방법 및 결과는 석탄난방기에 적합한가?
	○ 각 Part 별 설계기준 마련		제시한 설계기준은 잠열축열식 난방기의 조건에 타당한가?
○ 시작기의 성능평가	성능평가의 방법은 타당한 것이며 결과는 만족할 만한 수준인가?		
2차년도 (2007년)	○ 시작2호기(200,000Kcal/h 잠열축열식 난방기) 설계 및 제작	37.5 %	각 열교환부 및 구성부를 설계하고 제작하였는가?
	○ 시스템의 수정보완		성능평가의 결과 및 변경된 설계에 의한 수정보완이 잘 되었는가?
	○ 열효율 최적화를 위한 알고리즘 개발	12.5 %	개발된 알고리즘은 잠열축열식 난방기의 조건에 타당한가?
	○ 온실규모별 적정 Size 선정		선정된 온실의 규모는 적정하며

	및 경제성 분석		유사 시스템과의 성능 및 열효율비교를 통한 경제성 분석결과는 어떠한가?
	○ 최종 성능평가		성능평가의 방법은 타당한 것이며 결과는 만족할 만한 수준인가?
최종 평가 (2007년)	연료소비량(kg/h)		연료소비량은 몇 kg/h인가?
	급수량(kg/h)		급수량 kg/h인가?
	입구 및 출구 온도(℃)		입구 및 출구 온도는 몇 ℃인가?
	난방능력(Kcal/h)		난방능력은 몇 Kcal/h인가?
	열효율(%)		열효율은 몇 %인가?
	표면온도(℃)		표면온도는 몇 ℃인가?
	소비전력(kW)		소비전력은 몇 kW인가?
	착화 및 소화 난이 여부		착화 및 소화가 용이한가?
	온도조절장치의 조작난이		온도조절이 용이한가?
	연료공급 및 재처리 용이 여부		연료공급과 재처리가 용이한가?
	정비점검의 용이		정비점검이 용이한가?
	안정성 및 정비 주유의 난이		안정성이 있으며 정비, 주유가 용이한가?
	안전장치(이상과열방지장치 등)		안전장치가 부착되어 있는가?
	안전방호장치(고온부, 회전부 등)		안전방호장치가 부착되어 있는가?

3. 연구 방법

연구 범위	연구수행방법	구체적인 내용	비 고
PCM253의 열특성 분석	흡방열 측정을 위한 실험장치 제작 → 흡열 테스트 → 방열 테스트 → 상변화 구간 측정 → 축열량 측정 → 이론적 난방기의 용량 산정	<ul style="list-style-type: none"> - 시차주사열량계(DSC)로 흡열량 측정 - PCM과 전열유체간의 열교환과정을 분석할 수 있도록 실험장치를 구성 - PCM의 흡열 및 방열 Test 실시 	위탁 기관

<p>시작기(50,000 및 200,000Kcal/h) 잠열축열식 난방기 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 발열부 설계/제작 	<p>설계기준 설정 → 부분별 설계 및 제작 → 전체 시스템 조립 → 성능 테스트</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 고체연료(석탄) 연소 장치 및 열교환 시스템을 ①연료공급부, ②점화부, ③재처리부, ④시스템 제어부로 구분하여 설계/제작/성능 시험 	<p>주관 기관 및 위탁 기관</p>
<p>시작기(50,000 및 200,000Kcal/h) 잠열축열식 난방기 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 축열부 설계/제작 	<p>설계기준 설정 → 부분별 설계 및 제작 → 전체 시스템 조립 → 성능 테스트</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 고체연료(석탄) 연소에 의해 발생된 열을 축열, 난방부로 열교환, 장치 및 열교환 시스템을 ①연료공급부, ②점화부, ③재처리부, ④보조 열원 시스템, ⑤시스템제어부로 구분하여 설계/제작/성능시험 	<p>주관 기관 및 위탁 기관</p>
<p>시작기의 제어시스템 개발</p>	<p>연소특성 및 축열물질의 축/방열특성 자료 수집 → 난방계획에 따른 변수 설정 → 제어 알고리즘 구성 → 컨트롤러 제작</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 석탄과 PCM의 열교환, 석탄의 연소특성에 따른 석탄의 공급 및 송풍시간 등을 고려하여 점화과정, 연소과정, 보조 열원, 재처리 과정의 세부과정으로 구성하여 축열/방열모드의 전체 알고리즘을 구성 	<p>주관 기관</p>
<p>시작기의 성능 분석</p>	<p>목표온도, 순환수량 등 가온계획수립 → 유량계, 전력계, 온도 측정장비 등 각종 계측기 구성 → 수집된 데이터 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 시작기의 난방능력, 열효율, 연료소비량 등을 측정할 수 있도록 성능시험방법을 제시 현장에 시작기를 설치하여 실험 완료 	<p>주관 기관 및 위탁 기관</p>
<p>온실규모별 적정 Size 선정 및 경제성 분석</p>	<p>성능분석 결과 → 온실의 난방부하별 난방기 용량 선정 → 타 난방기와의 경제성 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 성능분석결과를 활용하여 온실의 가온에 소요되는 난방부하별 난방기의 적절한 용량을 선정하고 적용처별 타 난방기와의 설비비용, 운전비용 및 수리비용 등을 비교하여 경제성 분석을 실시 	<p>주관 기관 및 위탁 기관</p>

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내·외 수준

국내의 연탄을 활용한 에너지 절감 연구를 살펴보면, 주간에 연탄이 연소되어 얻은 열에너지를 그대로 저장하여 야간에 이용할 수 있도록 열매체로 사용한 물을 보일러로 순환시켜 연탄이 연소되어 방출된 열을 흡수하여 물탱크에 축열하고 이 가온된 온수가 방열되도록 시스템을 구성한 연탄보일러가 있다. (농업기계화시험연구보고서, 1999)

축열식 나무보일러를 살펴보면 화목을 연료로 사용하는 나무보일러에 다량의 난방수가 저장되는 축열기구를 탑재하여 동일한 연료로 난방시간을 증대시키며 급탕부하가 증가될 때 난방수를 적절히 공급할 수 있는 축열식 나무보일러를 구성하였는데, 난방수 온도가 장기간 유지될 수 없기 때문에 축열조를 다단으로 탑재하였다. (실용신안 제0355957호)

이러한 기존의 연구에서 대부분 온도제어와 난방부하에 적절히 대응하기 위해 수축열조에 축열하였다가 장시간 쓸 수 있도록 구성하였으나, 물에 축열하는 현열축열법은 단위체적당 축열용량이 적기 때문에 축열시스템이 커지는 단점이 있으며, 현열재의 비열을 이용하여 열을 저장하기 때문에 방열시 일정한 온도로 열을 공급하기 어려운 단점이 있다.

이에 비하여 잠열축열법은 물질의 상이 변화하는 동안 열에너지를 흡수하였다가 방출하는 잠열특성을 이용하기 때문에 일정한 온도로 열을 공급할 수 있고, 축열용량도 현열재인 물보다 크기 때문에 축열시스템의 용적이 작아지는 장점이 있다.

제2절 국내·외의 연구현황

PCM을 이용한 고효율 축열시스템의 연구를 살펴보면 상변화 온도가 33℃이고 축열량이 59Kcal/kg인 10수 탄산나트륨(SCD)을 이용하여 축열을 시도하였으나(농업기계화시험연구보고서, 1998), 이는 주간에 태양에너지를 축열하여 야간에 활용할 수 있는 저온 PCM으로서 고온의 난방시스템에 적용하기에 단점이 있다.

상품화 되어 있는 열매체 축열식 난방기의 경우는 열매체유를 열교환기 내부에 진공장치로 밀폐 시킨 후 전기히터로 가열하여 열매체유의 팽창 압력변화에 의해 난방이 되도록 하였는데(특허 제0276593호), 열매체를 축열물질로 사용하기 때문에 열용량은 크나 축열조의 부식 및 자체 변질로 수명이 짧고, 열매체의 유출시 환경오염이 우려되는 단점이 있다.

축열물질에 관해서는, 종전에 국내외에 알려진 PCM의 문제점은 ①축열량이 미미하고, ②상변화 반복이 진행될수록 물질 변형에 의한 성능 저하가 현저하고, ③유독성이 강하거나 ④금속부식성이 커 물질의 안정성이 낮아 상업적 적용이 보류되고 있는 실정이었다.

따라서, 고체연료 등으로부터 발생된 열에너지를 효과적으로 저장하였다가 이용하기 위해서는 축열매체인 PCM을 이용하는 것이 중요한데, 이러한 PCM은 ①축열량이 커야하며, ②상변화 반복이 진행될수록 물질 변형 및 성능 저하가 거의 없어야 하며, ③유독성 및 금속부식성이 없는 물성을 있어야 하며, 고온대의 열에너지를 충분히 흡·방열할 수 있는 난방시스템에 적합해야 하는 열특성이 매우 중요하다고 할 수 있다.

특히 본사의 PCM253은 세계적인 원천기술을 확보하고 있으며, 미국 NASA 등에 적용되고 있는 세계적인 호주 TEAP사의 고온 PCM과 비교하면 본 제품에 적용될 PCM은 축열량과 Life Cycle 등이 매우 우수하며 고온 상변화로 난방기와 접목이 매우 유리하여 이를 이용한 난방기 개발을 하고자 하는 것이다. (표 8)

표 8 주요 PCM 비교표

구분	(주)HNL	TEAP 사	특징
제품명	PCM253	TH89	
상변화온도	103 ℃	89 ℃	고온 상변화로 난방기에 적합
상변화형태	Slurry ↔Gel	고체↔액체	열전도성 우수하여 열교환이 매우 유리
주성분	SiO ₂	Salt	부식으로 인한 저장용기의 제한이 없음
축열량	253kcal/kg	54kcal/kg	축열조의 초소형화가 가능
상변화회수	10,000회	1,500회	Life Cycle이 매우 큼

결국, PCM을 이용한 잠열축열식 고체연료형 난방기가 개발된다면 ①난방비용의 절감과 ②열저장 능력이 커 소형의 축열조를 구성할 수 있으며 ③온도조절이 용이하고 난방부하량 변동에 탄력적으로 대응 가능하며 야간부하시에 지속적 사용할 수 있는 장점이 있는 것이다.

앞서 언급한 PCM을 이용한 잠열축열식 고체연료형 난방기를 생산하고 있는 국내의 업체는 없는 것으로 판단되며, 고체연료형 난방기의 국내·외 개발현황 및 생산업체를 살펴보면 표 9 및 표 10과 같으며, 고체연료형 난방기는 무엇보다도 발열량의 경시적 변동이 크며, 혹한 비상시 충분한 온도확보와 온도의 자동제어가 곤란하여 가온시간 설정이 제한되는 가장 큰 문제점으로 나타나 이를 해결하는 것이 시급한 과제로 대두된다.

표 9 고체연료형 난방기 현황

항 목	개 발 현 황	비 고
가온방식	온수식, 온풍식, 온수+온풍, 온수+증기	
연탄 적층구조와 입로방식	레일이동식, 2단 화로	
초기 점화방식	번개탄, 경유버너	
발열량 편차해소방법	수동개폐식 공기량 조절판 부착, 에어펌프 부착	
기존 보일러 호환성	경유보일러와 호환	

표 10 고체연료형 난방기 생산업체

업체명	규격(Kcal/h)	구분	형식명	비고
(주)금정테크	100,000	연탄, 온풍	GJH-160	
(주)다향상공	160,000	연탄, 온풍	CSH-160	
	200,000	석탄, 보일러	DHB-200	
동광보일러(주)	40,000	연탄, 온풍	DK-2004	
(유)동양실업	60,000	연탄, 온풍	DYHB90-A	
(주)동화정밀	140,000~180,000	코코스, 보일러	EXCELLENT-2000	
동훈기계	30,000	연탄, 온풍	동훈REDSUN	
목민기업	80,000	코코스, 보일러	SSKB3000	
석광엔지니어링	50,000	코코스, 온풍	DH-2001	
신한테크	30,000	연탄, 보일러	SHPW-400	
	20,000~30,000	연탄, 온풍	SHP-300	
(주)와이케이영갑보일러	40,000	연탄, 보일러	영갑V-80	
(주)우성엔지니어링	70,000~100,000	연탄, 보일러	WS-02-001	
	300,000	코코스, 보일러	WS-02-004	
(주)윌히트	30,000	연탄, 보일러	H2001K	
창성기계	30,000	연탄, 보일러	CSB-300	
하나산업(주)	200,000	코코스, 보일러	SG200K	
한미산업	90,000~140,000	연탄, 보일러	HM-230	
(주)KET	15,000	코코스, 보일러	KE-103	

* 농업기계가격 (한국농기계협동조합, 2004. 7. 1기준)

제 3 장 연구수행 내용 및 결과

제1절 잠열축열물질(PCM253)의 특성분석

1. 열교환 구조의 기본 설계방안

가. 상변화 물질의 열 특성 분석

본 시작기에 사용될 PCM253을 농업공학연구소에 의뢰하여 시차주사열량계(DSC)로 측정된 결과 그림 30과 같으며, 이때 PCM253의 흡열량은 온도범위 55°C~138°C에서 377Kcal/kg 로 나타났으며, 개발될 시작기에 사용될 PCM253의 온도범위는 약 60~110°C 구간까지 사용될 예정이다. 따라서 이때의 흡열량은 약 216Kcal/kg으로 나타났다.

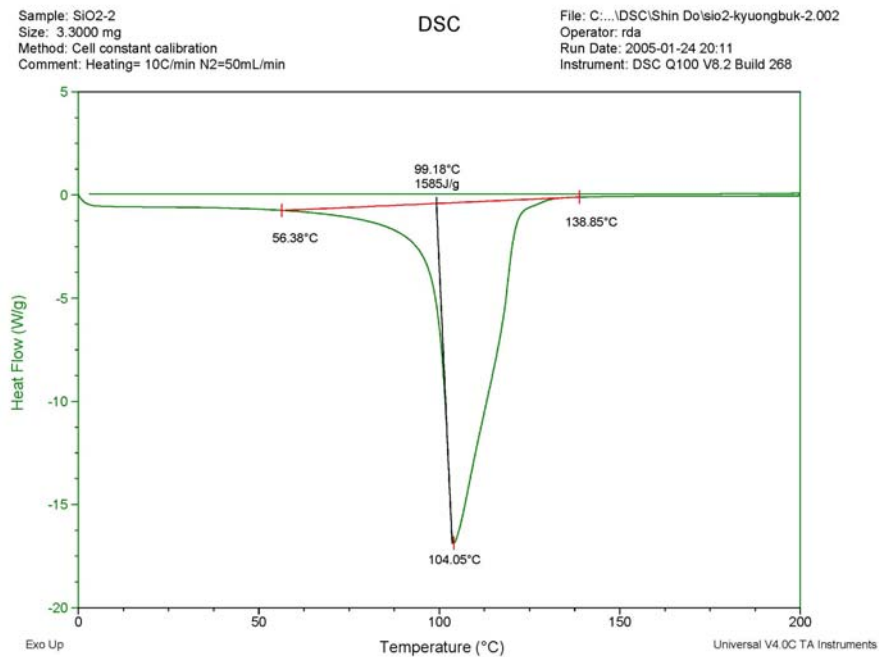


그림 2 PCM253의 흡열그래프

그러나 실제로 열교환기에 접목시켰을 경우에 축열조의 용량이 커지게 되면 축열조 내 유동현상, 열교환 구조 등으로 인하여 열특성이 다르게 나타날 수 있으므로, 실제로 개발될 시작기와 유사한 형태로 흡열 및 방열 성능을 조사하고자 하였다. 또한, 시작기의 열교환 구조를 설계하기 위한 기초단계로 관 배열 등을 결정하는 기초 자료로 활용하고자 분석을 실시하였다.

나. 흡방열 특성분석을 위한 장치 제작

PCM253을 사용하는 시스템에 대한 열적성능에서 흡열 및 방열에 대한 특성이 중점적으로 파악되어야 하며, 특히 PCM과 전열유체간의 열교환성능이 핵심적으로 파악되어야 하므로 이를 위해서는 열교환 과정을 분석할 수 있고, 전열유체의 유량, 흡열 및 방열 성능에 영향을 미치는 실험인자의 분석이 가능하도록 실험장치를 구성하였다.

(1) 흡열 Test

그림 3과 4는 흡열장치의 개략도와 장치도를 나타낸 것으로서, 단열박스 내에 온도 조절이 가능한 2kw의 전기히터를 장착하여 PCM 용기(축열조)에 열을 전달할 수 있도록 하였다.

그림 5는 단열박스 내의 열이 온도센서에 전달되지 않도록 특수 제작된 Thermocouple (K Type)을 삽입하여 PCM253의 온도를 측정하였다.

또한, PCM 용기는 그림 6과 7과 같이 여러 가지 형태로 제작하였으나, 그림 7과 같이 축열조는 실제로 열교환기에 사용되어질 파이프(50A SUS304, 130L)를 이용하였다. 용기의 상부에는 PCM을 충전하고 잘 밀봉될 수 있도록 나사덮개를 장착한 형태로 최종 실험을 실시하였다.

충진한 PCM253의 중량은 약 1.42kg이었으며, 히터의 온도는 150℃에서 제어될 수 있도록 하였고, PCM253의 온도가 약 110℃로 도달될 때까지 온도기록계(Yokogawa, DR230)를 이용하여 10초마다 온도상태를 측정, 기록하였다.

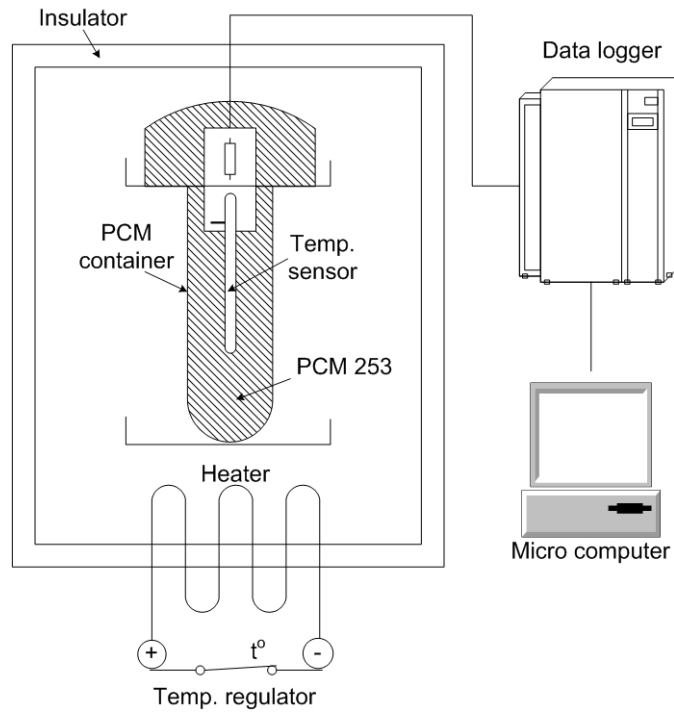


그림 3 흡열장치의 개략도



그림 4 흡열장치도



그림 5 단열처리된 온도센서

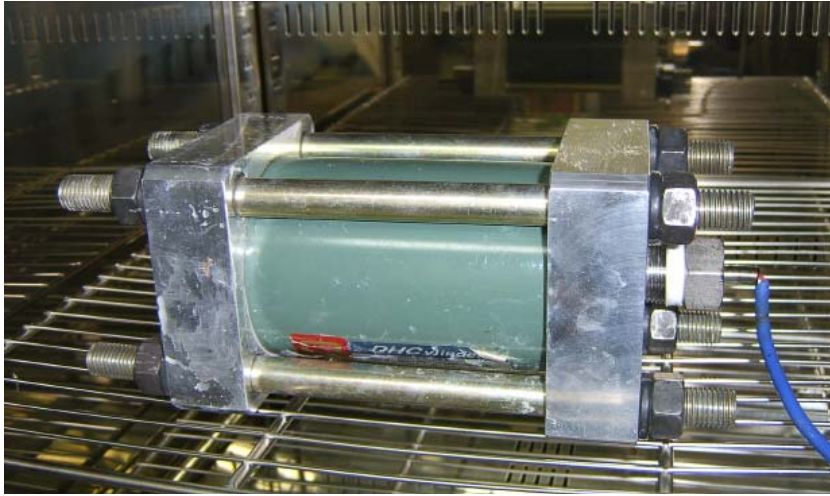


그림 6 PCM 용기(A)

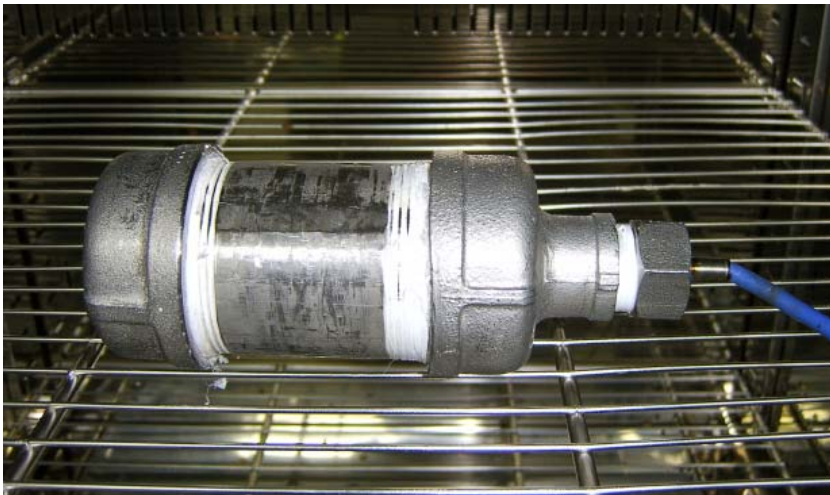


그림 7 PCM 용기(B)

(2) 방열 Test

그림 8과 9는 방열장치의 개략도와 장치도를 나타낸 것으로서, 실제로 적용될 PCM 열교환기를 이용하였다. 25kw의 전기히터를 장착하여 PCM253의 온도가 약 120℃로 도달될 때까지 흡열시킨 후 방열 성능을 측정하였다.

방열과정은 흡열과정이 완전히 종료되어 축열조 내의 PCM253의 온도가 약 120℃로 균일하게 되었을 때, 순환펌프를 이용하여 유량을 40 l/min으로 순환시켜 온풍 라디에이터에서 방열이 되도록 하였다.

온도기록계(Yokogawa, DR230)를 이용하여 PCM253의 온도와 입·출구의 순환수 온도 및 유량을 측정하였으며, 신속한 방열을 위하여 온풍 라디에이터(그린셀, GCH-312)를 이용하였다.

실험에 사용된 PCM 열교환기는 PCM253의 용량이 400 l, 물의 용량이 600 l, 열매체유(KD THERM 32)의 용량이 90 l로 구성되어 있다.

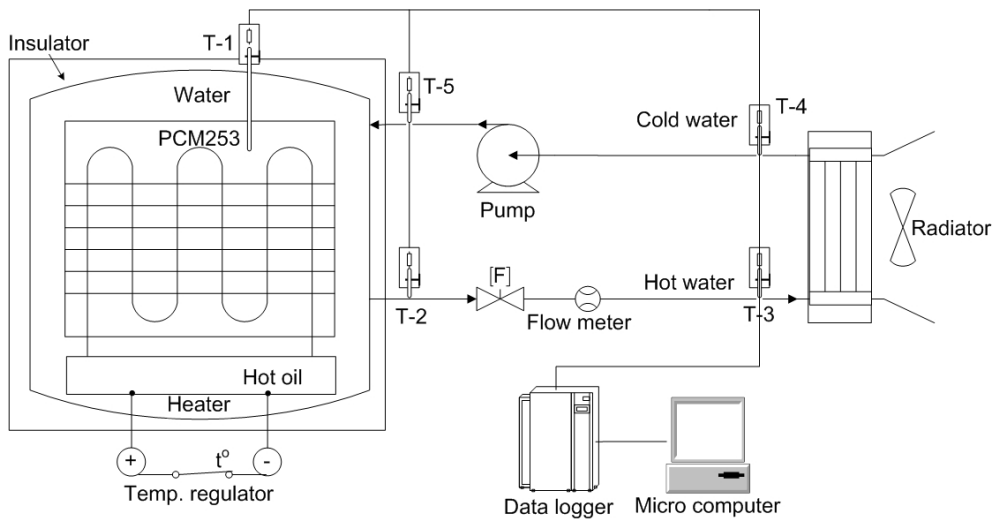


그림 8 방열장치의 개략도



그림 9 방열장치도

다. 잠열축열식 열교환기의 열전달 특성 분석

(1) 흡열 Test 결과

그림 10에 흡열성능 시험 결과를 나타내었다. PCM253의 시간에 따른 온도변화이며, 처음 급격히 상승하던 온도는 상변화 온도 근처에서 거의 완만한 상승으로 바뀌었다가, 다시 급격히 상승하여 110℃에 도달하였다. 온도가 완만한 상승으로 바뀌는 것은 이 부근 PCM의 상변화가 진행되어 열을 흡수하기 때문인 것으로 판단된다. 본 실험에서는 흡열과정이 약 2.5시간 소요되었으며, 흡열량은 약 216Kcal로 나타났다. 또한, 흡열이 완료된 PCM을 약 20℃까지 다시 방열시킨 후 계속 반복 실험한 결과 열적특성이 유지되는 것으로 나타났다.

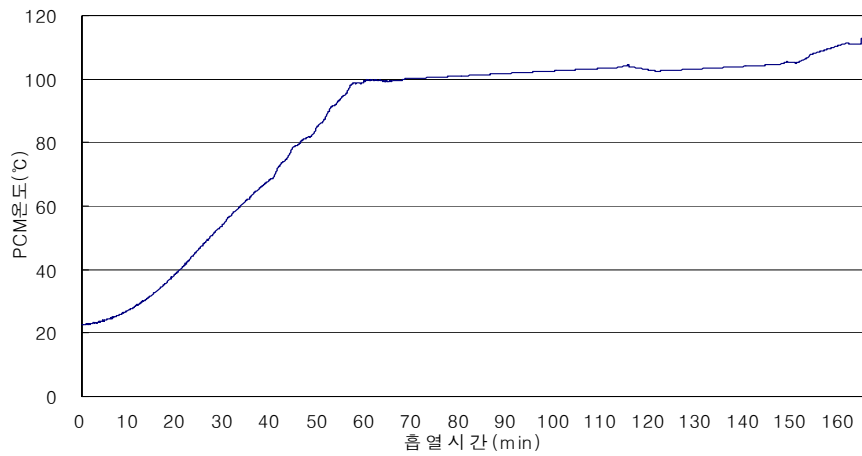


그림 10 시간에 따른 PCM253의 온도변화

(2) 방열 Test 결과

그림 11에 방열성능 시험 결과를 나타내었다. 낮은 온도의 순환수가 유입되면서 축열조 내 PCM253의 온도가 상변화 온도 근처에서 완만하게 낮아지거나 또는 거의 일정한 온도를 유지하고, 재차 서서히 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이와 같이 온도가 완만하게 낮아지거나 또는 거의 일정한 상태를 유지하는 것은 이 부근 PCM의 상변화가 진행되어 열을 방출하기 때문인 것으로 판단된다.

PCM 열교환기의 예측되는 흡열량(Q_T)은 PCM253(Q_p)과 고온수(Q_w)와 열매체유(Q_o)의 축열량을 더한 것으로 나타낼 수 있는데, 이때 열량은 약 170,000Kcal로 나타났다.

$$Q_T = Q_p + Q_w + Q_o$$

실제 측정된 결과를 살펴보면, 아래의 식을 이용하여 시간에 따라 변화하는 입출구의 온도편차($\Delta T = T_{in} - T_{out}$)와 질량유량(\dot{m})을 계산하면 총 방열량은 약 148,700Kcal로 나타났다. 따라서 계산치와 실험치가 일치하지 않는 것은 장시간 방열에 따른 축열조의 열손실, 배관의 열손실 및 열교환기의 구조적 문제점으로 판단된다.

$$Q = \int \dot{m} c_p (T_{in} - T_{out})$$

여기서, \dot{m} : 물 유량(kg/h)

c_p : 물 비열(kJ/kg°C)

T_{out} : 관출구 물온도(°C)

T_{in} : 관입구 물온도(°C)

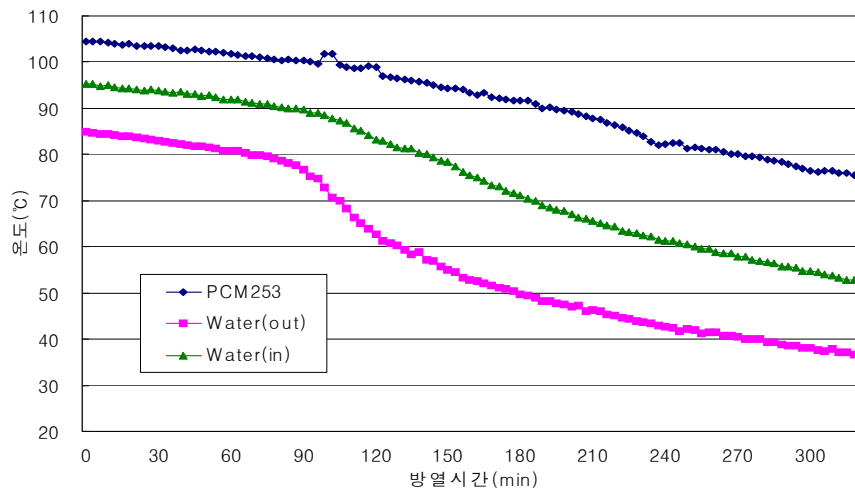


그림 11 시간에 따른 PCM253의 방열특성

(3) 결론

흡열 및 방열성능 실험을 통하여 열적성능을 살펴본 결과, 여러 차례의 흡열 및 방열과정 반복 실험에 대해서도 일정하게 열적성능이 유지되는 우수한 특성을 갖고 있음을 확인하였다. 그러나 계산치보다 실험치의 방열량이 적게 나타나는 것은 장시간 방열에 따른 축열조의 열손실, 배관의 열손실도 있지만 축열조 내부의 온도분포가 균일하지 않고 열량을 원활하게 방열하지 못하는 것이 주요인으로서, 이것은 열교환기 설계시의 구조적 문제점으로 판단된다. 따라서 열교환성능을 높이기 위하여 축열조 내부에는 흡열 및 방열시 전열유체의 자연순환이 원활하게 일어날 수 있도록 유로가 확보될 수 있는 분리판을 설치해야 할 것으로 판단된다. 하단부 열매체유에 있는 공

간에 전기히터를 수평방향으로 길게 설치하여 자연대류에 의해 흡열 및 방열성능을 향상시킬 수 있도록 설계하는 것도 필요할 것이다.

제2절 시작1호기의 설계 및 제작

1. 시작1호기의 발열부의 설계기준 연구

가. 연소열 열교환부의 설계기준 연구

연소열 열교환부에서 전열유체는 석탄의 연소로부터 발생되는 가스와 그 가스와 열교환하는 물로 구분할 수 있으며, 열교환 형태는 가스는 혼합되고 물은 혼합되지 않는 관군 직교류형 열교환기로 결정하고, 배관 배열 조건은 바둑무늬 배열(◇배열 : 45°)로 결정하였다. 또한, 열교환기에서 전열유체는 서로 평행하거나 반대방향으로 흐르는데 여기서는 그림 12와 같이 대향류 형태이며 이때 가스입구온도(T_{h1})는 600℃, 가스출구온도(T_{h2})는 150℃, 물입구온도(T_{c2})는 60℃, 물출구온도(T_{c1})는 90℃로 설계하였다.

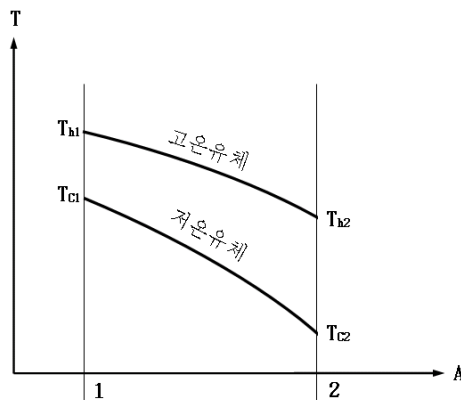


그림 12 연소열 열교환기의 온도분포

따라서 다음의 식을 이용하여 열교환 형식을 결정하였다.

$$q = UA\Delta T_m$$

여기서, U : 총괄열전달계수

A : U 에 정의에 일치되는 열전달 면적

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln [(T_{h2} - T_{c2}) / (T_{h1} - T_{c1})]} : \text{열교환기 내의 대수평균온도차}$$

총열전달율(q)은 설계목표치가 50,000Kcal/h(58.1kw)이며, 평균온도차(ΔT_m)는 242.1℃로 나타났으며, 관 내부에 물과 관을 횡단하는 유체가 공기인 경우의 계략적인 총괄열전달계수(U)는 28~280W/m²·℃로 결정되어지는데, 설계에서는 154W/m²·℃으로 계산하였다.

따라서 계산식에 의하여 전열면적(A)은 1.56m²로 나타났으며, 정해진 전열면적(A)으로 관의 사양을 결정하였는데, 설치 공간의 제약으로 인해 관의 길이를 1m로 제한하고, 관은 32A(OD 42.7mm)를 이용하도록 하였다. 관내 물의 속도는 일반적인 시설원예용 순환펌프를 기준으로 물의 속도를 1.7m/s로 이용하였다.

관내의 평균 물 유속 및 질량유량을 사용하여 총유동면적을 계산하여 보면, 관의 수는 11로 나타나는데, 이때 단일 통로 열교환기의 경우 관 단위길이당 표면적으로 관 길이를 계산하여 보면 1.163m로 계산되어진다. 이 길이는 허용치인 1m보다 크므로 통로수를 증가시켜야 한다.

관 통로가 2개인 경우에 대해 다시 계산하여 보면, 더 많은 통로 유동을 사용해야 하기 때문에 수정계수(F=0.88)로 인하여 대수평균온도차(ΔT_m)가 줄어들게 되어 전열면적(A)은 1.77m²로 다시 증가하게 되며, 이때에도 속도제약조건으로 인해 관의 수는 11이다.

따라서 최종 설계 선택은 통로의 수는 2이며, 통로당 관의 수는 11, 관의 길이는 0.66m로 나타났다.

연소열 열교환부는 연료가 직접 닿아 연소가 이루어지는 부분으로 적절한 강도와 재질의 선정이 되어야 하는데, 연료량과 내구성을 고려하여 열교환 관은 스테인레스 재질의 Schedule no.40으로, 화격자는 강철주물로 열처리하여 고온에 의한 재질변화를 최소화하도록 하고, 화격자의 형상은 석탄크기에 알맞은 10~50mm의 슬롯을 일자형으로 설계되도록 하였다.

나. 연료공급부의 설계기준 연구

발열량 50,000Kcal/h 용량의 석탄난방기를 설계하기 위하여 열량이 약 6,500Kcal/kg

무연탄을 사용할 경우 약 7.7kg/h 가 필요하다. 그런데, 시작기의 경우 주간축열과 야간방열을 동시에 하기 때문에 1일 약 20시간의 가동이 필요하며, 이를 기준으로 할 경우 약 150kg의 용량을 동시에 저장할 수 있는 연료투입호퍼의 용량이 필요하다.

큰 입자 곡물의 경우 안식각이 약 28~32°인데 석탄 가루에 의한 막힘현상을 줄이도록 투입호퍼의 각도는 약 30°로 설정하여 설계하였다.

또한, 연료투입시 연소실의 화염이 투입호퍼의 석탄에 착화되지 않도록 투입후 자동으로 닫힐 수 있도록 설계하였다.

연료의 투입은 1회 투입시 일정량의 석탄이 투입되도록 구동모터의 회전수를 조절하여 일정량이 투입될 수 있도록 실험하였다.

다. 점화부의 설계기준 연구

표 11은 석탄 종류에 따른 착화온도를 나타내고 있는데, 석탄의 연료특성상 초기점화는 코크스는 경유나 LPG로, 연탄은 번개탄으로 점화하는 경우가 많다.

표 11 석탄 종류에 따른 착화온도

종류	갈탄	역청탄	무연탄	코올라이트	코우크스	목탄	활성탄
착화온도 (°C)	250~350	250~400	350~500	450~500	500~600	320~460	370

시작기의 점화부는 난방을 시작하기 위해 처음 한번은 수동으로 불꽃 점화용 탄을 이용하여 연소실 내부의 석탄에 착화시키고, 일단 연소가 시작된 이후에는 컨트롤박스가 온실 내부 온도센서의 설정온도에 따라 석탄 연소량을 자동으로 조절하여 불꽃을 관리하기 위한 노력을 줄일 수 있도록 설계하였다.

불꽃관리를 위하여 산소공급기를 원심형 송풍기를 이용하도록 설계하였다. 제어부에서 모터의 회전수를 조절하여 안정적인 불꽃유지의 최적조건을 찾아낼 수 있도록 실험할 예정이다.

라. 재처리부의 설계기준 연구

석탄이 연소되면 그 주성분인 탄소는 거의 소모되고 회재에는 회분을 포함한 기타 미소 성분(K, Na, Mg, Fe 등)과 미연소 부분만이 남게 되어 그 부피는 연소 전 석탄에 비해 20~30%정도로 감소한다. 따라서 재처리과정의 경우 연소 과정이후 석탄공급 장치의 작동 횟수에 따라 재처리 장치의 가동시기 및 시간을 성능시험시에 실험하여 제어부에서 제어할 수 있도록 설계할 예정이다. 재처리 장치의 작동 중 분진이 발생하는 문제를 방지하기 위해 재처이용 스크류가 작동될 때에는 송풍기의 작동을 멈추도록 설계하였다.

2. 시작1호기의 발열부 설계 및 제작

가. 연소열 열교환부의 설계 및 제작

앞서 제시된 설계기준으로 다음의 연소열 열교환부를 설계 및 제작하였다. 열교환부는 석탄 연료가 화격자에 직접 닿아 연소실에서 연소가 이루어진 후 그 연소열이 연소열 열교환부의 열교환 파이프를 통해서 물과 접촉하여 열전달이 이루어지는 구조로 되어있다.

그림 13은 연소실 및 화격자 어셈블리의 설계도를 나타낸 것으로서, 각 부분의 구성 및 사양은 다음과 같다. 연소실은 연소열이 직접 닿기 때문에 내화도가 높고 강도나 열충격 저항이 크며 화학적 침식에 강해야 하는 등의 구비조건이 필요한데, 이와 같은 조건을 만족시키기 위하여 연소실 내부에 내화벽돌(WJC-SB35, 230×114×65mm)을 장착하였다. 연소실 벽면은 팽창압력을 고려하여 압력용기 설계기준에 의하여 4.5t의 저온 압력배관용 강판(KS-D 3541-91)을 이용하였다. 화격자(470×420×50mm)는 강철주물로 열처리하여 고온에 의한 재질변화를 최소화하도록 하였고, 석탄의 크기를 고려하여 화격자의 간격은 40mm로 하였다. 또한, 화격자는 석탄의 연소열에 의하여 손상이 가장 많은 부분으로서 이 부분에 대한 설계보강이 필요한데, 본 시작기에서는 화격자 아래에 사각파이프(50×40×3.2t) 5개를 장착하여 그 내부로 물이 흐르도록 하여 화격자의 수명연장과 열손실을 최소화할 수 있도록 설계하였다.

그림 14는 연소열 열교환부의 설계도를 나타낸 것으로서, 앞서 제시된 설계기준의 전

열면적으로부터 열교환 파이프(32A, 3.6t)를 2개의 통로에 11개의 파이프를 삽입하여 설계하였는데, 총 열교환 파이프의 길이는 1,320mm로서 연소열이 하단 통로의 파이프(505mm)를 거쳐 상단 통로의 파이프(815mm)를 통해서 열교환이 이루어지도록 하고 연소가스가 배기되도록 설계하였다. 또한, 열교환 파이프 외부면, 연소실 벽면 및 화격자 아랫면은 물재킷으로 감싸는 구조로 설계하여 열을 최대한 집적시킬 수 있도록 하였으며 물재킷의 체적은 약 0.230m³으로 되어 있다.

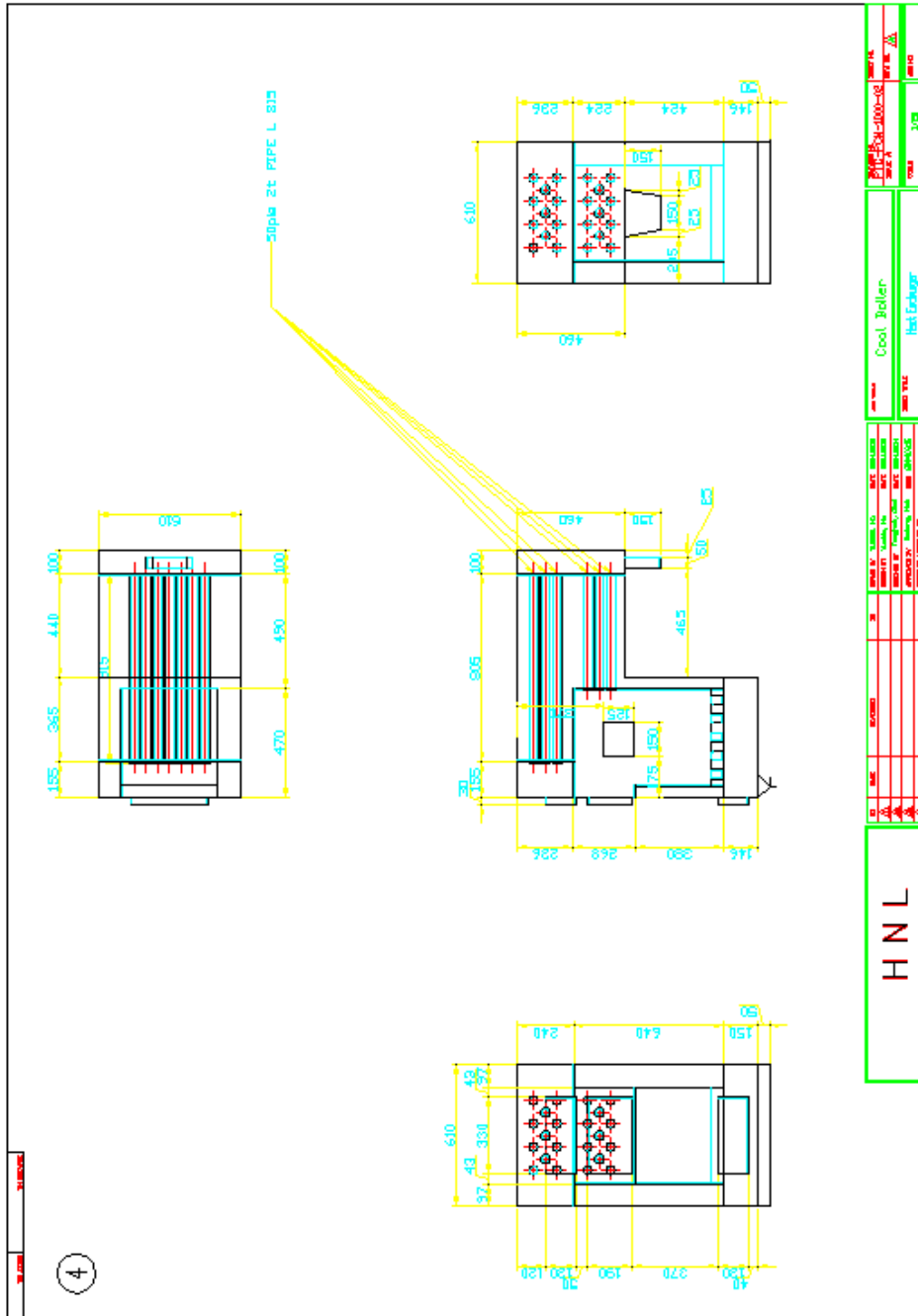


그림 14 잠열축열식 난방기의 연소열 열교환부 설계도면

그림 15는 연소공기 공급장치의 외관도 및 송풍특성을 나타낸 것으로서, 화격자 아래

로부터 연소공기를 공급시켜 석탄의 연소가 이루어지도록 구성하였다. 설계에 적용된 송풍기(MB-8, 100W)의 사양은 다음과 같다. 송풍기의 배출구 직경은 $\phi 55$, 최대풍량은 $2.8\text{m}^3/\text{min}$, 회전수 $3,250\text{rpm}$ 로 나타났으며, 공급량은 수동으로 연소공기 공급을 조절할 수 있도록 하여 성능시험으로부터 연소공기의 최적치를 찾을 수 있도록 설계하였다.

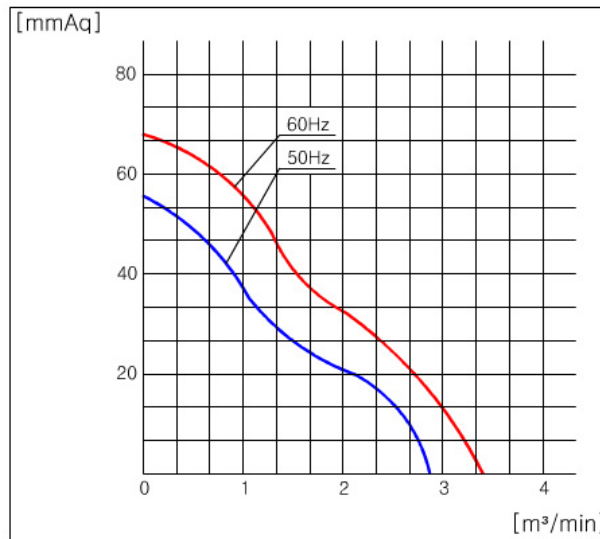
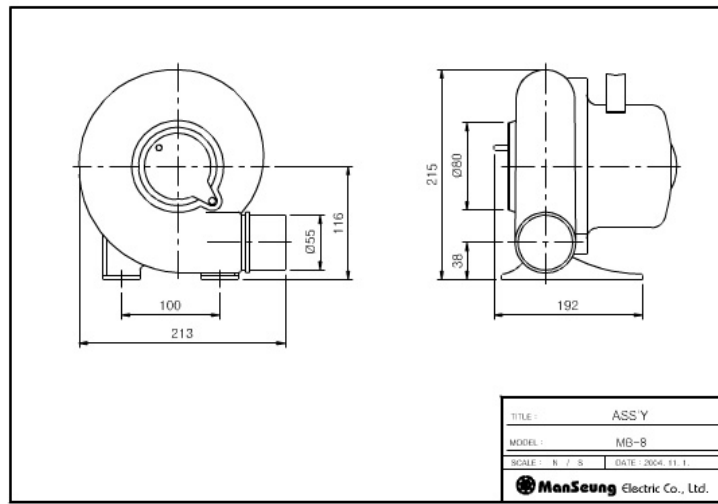


그림 15 연소공기 공급장치의 외관도 및 송풍특성

그림 13의 설계도로부터 다음의 열교환부를 제작하여 그림 16, 17, 18, 19, 20에 나타내었다. 그림 16은 화격자의 외관을 나타내고 있으며, 그림 17은 연소실의 내부모습을, 그림 18은 연소열 열교환부를, 그림 19는 열교환부의 열교환 파이프를, 그림 20은 연소공기 공급부의 송풍기를 나타내고 있다.



그림 16 화격자의 외관



그림 17 연소실 내부의 모습



그림 18 연소열 열교환부



그림 19 열교환부의 열교환 파이프



그림 20 연소공기 공급부의 송풍기

나. 연료공급부의 설계 및 제작

연료공급부는 본 시작기의 자동화를 위하여 중요한 부분으로서, 석탄의 경우 그 크기가 일정치 않아서 연료 공급시에 막힘현상이 발생할 수 있기 때문에 기존의 스크류식을 변형하여 정량으로 투입할 수 있도록 하였으며, 투입시에 투입구 일측에 연료투입시 연소실의 화염이 연료투입호퍼의 석탄에 착화되지 않도록 설계하였다.

그림 21은 연료공급부의 설계도로서, 각 부의 구성 및 사양은 다음과 같다. 연료투입호퍼의 크기는 1일 석탄공급량에 부합하도록 650×450×425mm로 설계되었으며, 스크류 하우징의 내경은 145mm, 길이는 370mm로 설계하였다. 나선형의 스크류는 $\Phi 8$ 의 원형봉을 이용하여 100mm의 피치로서 투입구로 방향으로 갈수록 크게 되도록 설계하였다. 또한, 투입구 측에는 중력식 자동개폐장치를 장착하여 스크류의 작동이 없을 경우에는 석탄 자중의 무게를 감지하지 못하여 자동으로 닫힐 수 있도록 되어 있다.

그림 22는 연료공급부에 사용된 구동모터의 설계도로서 모터의 사양은 400W, 감속비 1/200이며, 연료의 종류에 따라서 석탄의 투입량을 달리해야 하기 때문에, 투입량을 조절할 수 있도록 1회 투입량을 작동시간에 따라 조절할 수 있도록 설계하였다.

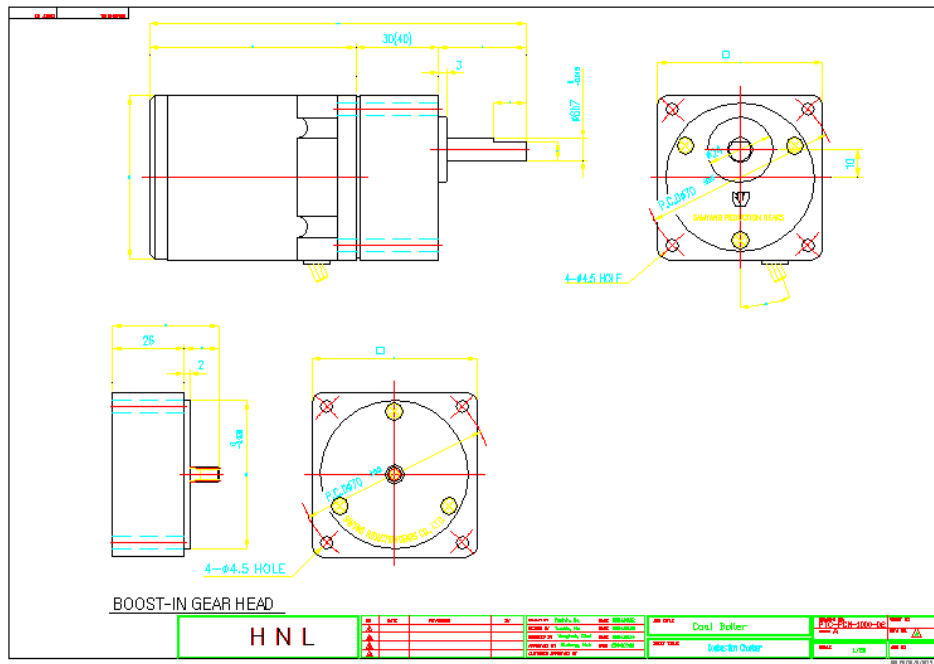


그림 22 연료공급부에 사용된 구동모터의 설계도

그림 21의 설계도로부터 다음의 연료공급부를 제작하여 아래의 그림 23, 24, 25, 26에 나타내었다. 그림 23은 연료공급부의 연료공급호퍼를 나타내고 있으며, 그림 24는 연료공급부의 스크류 하우징을, 그림 25는 연료공급부의 스크류를, 그림 26은 조립된 연료공급부의 외관을 나타내고 있다.



그림 23 연료공급부의 연료공급호퍼



그림 24 연료공급부의 스크류 하우징



그림 25 연료공급부의 스크류



그림 26 조립된 연료공급부의 외관

다. 재처리부의 설계 및 제작

연소실 내부의 화격자 위에서 연소되는 석탄은 연소가 된 후에 재로 남게 되는데, 연소공기공급과 연속적인 석탄의 연소를 위해서 화격자 상의 재를 자동으로 처리해 주어야하는 한다. 이를 위해서, 화격자 위에 재처리판을 장착하여 기구적으로 재처리판을 회전시켜 잔류된 재를 화격자 아래로 재받이통으로 배출시킬 수 있도록 설계하였다.

그림 27은 재처리판의 설계도를 나타낸 것으로서, 형상과 재질은 별모양의 내열성이 강한 SUS304를 이용하였으며, 구동모터(400W, 감속비 1/200)를 이용하여 일정각도 범위 내에서 정역으로 회전할 수 있도록 기구적으로 설계하였다. 작동시간과 횟수는 성능시험을 통하여 제어부에서 타이머로 설정할 수 있도록 하였다.

그림 27의 설계도로부터 다음의 재처리부를 제작하여 아래의 그림 28, 29에 나타내었다. 그림 28은 재처리판의 외관을 나타내고 있으며, 그림 29는 재처리판의 구동장치를 나타내고 있다.



그림 28 재처리판의 외관



그림 29 재처리판의 구동장치

3. 시작1호기의 축열부의 설계기준 연구

PCM 열교환부에서 전열유체는 석탄의 연소로부터 가열된 물과 보조열원인 열매체유, 그리고 축열을 하는 PCM253으로 구분할 수 있으며, 열교환 형태는 모두 혼합되지 않는 관군 직교류형 열교환기로 결정하였다. PCM253을 최적으로 사용하는 축열조 내부의 배관 배열 조건은 바둑무늬 배열(□배열 : 90°)로 결정하였는데, 오염의 제거가 용이하고, 난류의 경우에 적합하며, 압력손실이 적다는 장점이 있다.

PCM253의 상변화 온도범위와 열교환 시간에 따른 배관 간의 간격을 결정하였는데, 앞서 PCM253의 특성분석에서 실험된 데이터를 근거로 시간에 따라 경계조건이 변화하는 비정상상태 열전도에 대해서 다음의 차분방정식으로 계산하였다. 이때, x 와 y 방향의 공간좌표 증분은 같으며, 해석대상을 2차원으로 한정하였다. 따라서 상변화 경계단 위치로부터 8시간 열교환시에 배관의 중심으로부터 상변화 위치까지의 거리가 약 200mm으로 나타났다.

$$\frac{T_{m+1,n}^P + T_{m-1,n}^P - 2T_{m,n}^P}{(\Delta x)^2} + \frac{T_{m+1,n}^P + T_{m-1,n}^P - 2T_{m,n}^P}{(\Delta y)^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{T_{m,n}^{P+1} - T_{m,n}^P}{\Delta t}$$

8시간 주간축열(8시~16시) 및 야간방열(현열량 및 축열량 동시 방열)시간으로 계산하면, 50,000Kcal/h의 열량을 축열할 수 있는 PCM 축열조의 용량은 약 400,000Kcal로 나타났으며, 이를 PCM 특성분석을 통하여 얻어진 PCM의 흡열량을 216Kcal/kg으로 계산하였을 경우 약 부피비로 PCM253의 용량이 960ℓ, 물의 용량이 1450ℓ, 열매체유(KD THERM 32)의 용량이 210ℓ로 계산되었다. 계산되어진 용적을 각 열교환매체의 비중 등을 고려하여 설계에 반영하였다.

열매체유(KD THERM 32)의 경우 비중은 0.867, 인화점은 220℃, 팽창율은 170℃에서 13% 증가하는 것으로 나타나 있다. 따라서 축열조 상단부에 부피팽창에 의해 높아지는 열매체유 수위만큼의 빈 공간을 두었으며, 이로 인해 발생할 수 있는 축열조 내의 압력상승을 방지하기 위하여 다이아프램식 압력조절변을 설치할 수 있도록 설계하였다.

4. 시작1호기의 축열부의 설계 및 제작

석탄의 연소로부터 가온된 온수가 축열부의 상단부로 공급되어 축열부 중앙부의 PCM253 충전부를 통과하면서 PCM253을 상변화온도에 가깝도록 가온시켜 축열하며 축열부 하단 중앙의 보조열원부에 취부된 전기히터는 축열물질의 내부에 수직으로 설치된 열교환 파이프와 상·하단의 열매체유 저장공간에 주입된 열매체유를 가온시켜 PCM253을 상변화 축열할 수 있도록 구성하였다.

그림 31과 32에 축열부의 내·외부 설계도면을 나타내었으며, 물자켓을 포함한 외형치수는 900×1700×1900 (W×H×L)이며 내부의 PCM253 충전부는 500×1450×1600 (W×H×L)으로 구성하였다.

그림 31과 32의 설계도에 따라 그림 33, 34, 35, 36에서 제작된 열교환부를 나타내었다. 그림 33은 축열부의 외관 모습이며 그림 34는 축열부 내부의 PCM 충전부를 지나는 열교환 파이프의 구성모습이며 PCM 충전부의 내부에는 석탄의 연소로부터 가온된 온수의 통로가 SGP 50A로서 49개를, 열매체유가 주입되어 축열물질을 가온시키는 SGP 25A 통로가 32개로 구성되어 있다.



그림 33 축열부의 외관



그림 34 축열부의 내부 열교환 파이프

그림 35와 36은 보조열원 취부 및 보조열원으로 사용된 봉상 전기히터의 모습이며 50A 외관에 5kw 용량을 사용하였다.



그림 35 축열부의 보조열원 취부



그림 36 보조열원으로 사용된 봉상 전기히터

그림 37에는 시작기의 발열부와 축열부가 인접하여 위치한 시작기의 전체 도면을 나타내었다.

5. 시작1호기의 제어부의 설계 및 제작

가. 범용 제어알고리즘의 개발

석탄의 연소 특성은 석탄 입자의 크기나 생산지에 따라 큰 차이가 나타난다. 따라서 다양한 종류의 석탄을 개발된 보일러 시스템에서 사용하기 위해서는 이러한 특성을 고려한 범용 제어 알고리즘이 필요하다. 이를 위해 기본적 알고리즘에서 석탄과 PCM의 열교환 알고리즘, 석탄의 완전 연소 시간, 화염 전파 속도 및 미송풍시 연소 시간 등 석탄의 연소 특성에 따라 석탄공급시기와 송풍시간을 사용자가 유연하게 설정할 수 있도록 개발하였다. 제어 알고리즘의 구성은 크게 점화과정, 연소과정, 보조 열원, 재처리 과정의 세부과정으로 나누고 이를 통합하여 크게 축열모드와 방열모드의 전체 알고리즘을 구성하였다.

각 알고리즘의 구성도를 그림 38과 39에 나타내었다. 그림 38은 축열모드 제어알고리즘의 흐름도를, 그림 39는 방열모드 제어알고리즘의 흐름도를 나타내고 있다.

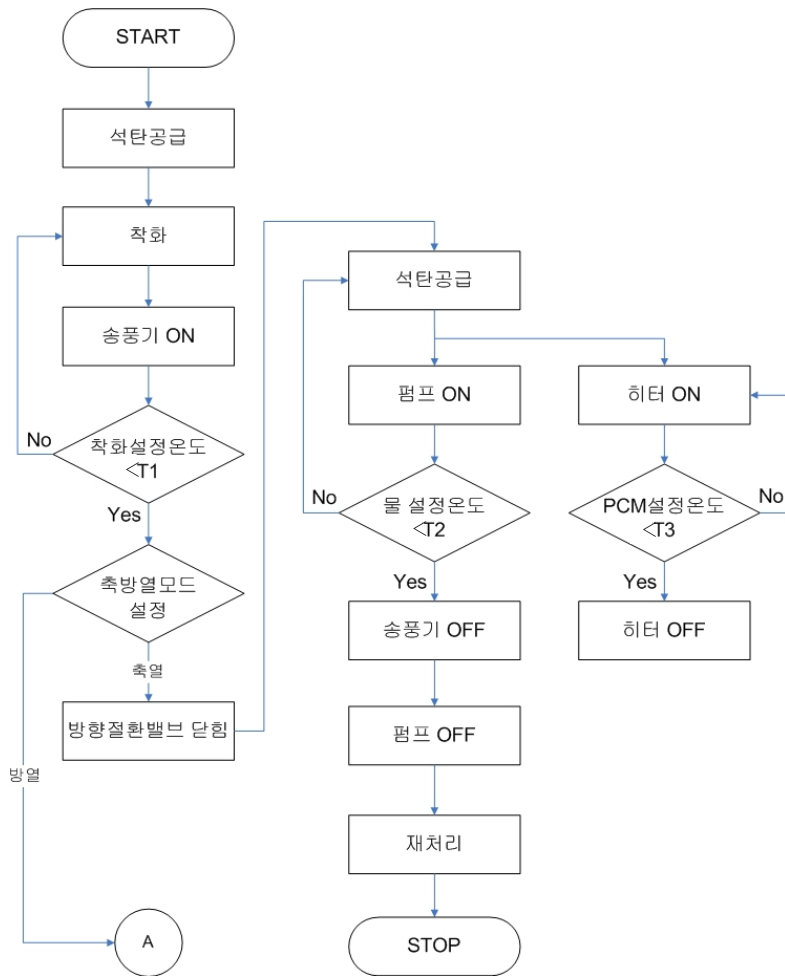


그림 38 축열모드 제어 알고리즘 흐름도

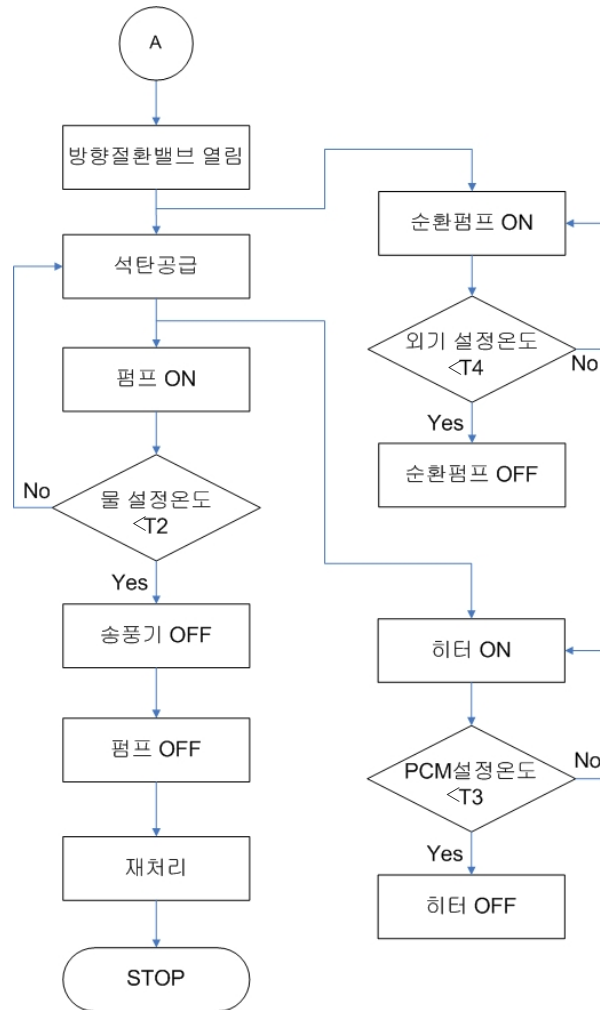


그림 39 방열모드 제어 알고리즘 흐름도

착화과정의 경우 외부에서 점화 신호를 입력받으면 석탄공급장치를 연속 작동시켜 석탄이 점화장치에 도달되게 한다. 이후 점화장치로부터 석탄이 착화되고 연소실에 설치된 온도 센서를 통해 확인(약 500℃)되면 석탄공급장치가 작동되어 새로운 석탄이 히터에 공급되면서 착화과정이 반복된다. 이때에는 착화된 연료가 화격자 위에 놓이게 된다. 히터에 의해 착화된 석탄은 아직까지는 히터와의 접촉부분에만 점화된 상태이며 다른 주위 연료까지 착화된 상태는 아니다. 석탄의 경우 점화열 및 휘발분 분해열이 매우 크므로 점화된 부분의 자연 송풍만에 의해서는 주변으로 화염을 전파

시킬 수 없기 때문에 초기 점화시 화염 확산을 위해 강제 송풍이 필요하다. 따라서 안정된 화상을 이룰 때까지(화격자 어셈블리의 온도센서 온도가 약 500℃) 송풍기를 가동하고 점화과정을 마치고 연소 과정으로 전환되도록 하였다. 그러나 1차년도 시작기의 경우에는 자동점화가 아닌 수동으로 처음 한번은 불꽃 점화용 탄을 이용하여 착화시키고, 일단 연소가 시작된 이후에는 온실 내부 온도센서의 설정온도에 따라 석탄 연소량을 자동으로 조절하여 불꽃을 관리하기 위한 노력을 줄일 수 있도록 하였다.

다음으로 축열모드와 방열모드를 설정하도록 하였는데, 타이머에 의해서 주간인 경우는 축열모드로 야간의 경우에는 방열모드로 바뀌도록 설정하였다. 축열모드일 경우에는 방향절환밸브가 닫히면서 발열부와 축열부만 열교환이 이루어지도록 하였으며, 방열모드일 경우에는 방향절환밸브가 열리면서 발열부와 축열부의 열교환이 이루어짐과 동시에 발열부와 방열장치(온실)와의 열교환, 축열부와 방열장치(온실)와의 열교환이 이루어지도록 하였다.

발열부와 축열부의 열교환 유체는 펌프에 의해서 물이 순환하게 되는데 물설정온도(90℃)에 도달하였을 경우에는 펌프의 가동이 중지된다. 또한, 축열부의 PCM253의 온도는 전기히터가 작동을 하여 PCM설정온도(110℃)에 따라 ON/OFF 하도록 되어있다.

석탄은 예열 - 연소 - 후연소 - 재처리 쪽으로 이동하게 되면서 연속적인 연소가 이루어진다. 난방부하가 필요 없을 때에는 송풍기의 작동이 멈추게 되어 잠열만에 의한 열량이 공급된다. 그러나 장시간 이와 같은 상태가 지속되면 석탄의 불씨가 꺼질 염려가 있다. 이를 방지하기 위하여 항상 일정한 시간 간격으로 송풍기를 작동하여 주어야 하는데 본 시스템에서는 실험을 통하여 송풍기 작동시간을 산정하여 불씨가 꺼지는 것을 방지하도록 제어부를 구성하였다.

또한, 재처리의 경우는 연소 과정이후 석탄공급장치의 작동 횟수에 따라 재처리 장치의 가동시기 및 시간을 성능시험시에 실험하여 제어부에서 타이머로 제어할 수 있도록 하였다. 이때 재처리 장치의 작동 중 분진이 발생하는 문제를 방지하기 위해 재처리부가 작동될 때에는 송풍기의 작동을 멈추도록 하였다.

앞서 내용을 요약하여 표 12에 시작기의 주요 제어설정인자를 나타내었으며, 이를 통합컨트롤러 제작에 이용하였다. 특히 연소실 온도, 석탄공급량 및 재처리시간의 설정에 있어서, 1차년도에는 성능시험 통하여 개발목표에 부합하도록 수동으로 설정조건을 찾아내었으며, 2차년도에는 수동분석을 통하여 얻어진 데이터를 근거로 자동으

로 제어될 수 있도록 설계하여 제작하였다.

표 12 시작기의 주요 제어설정인자

분류	제어장치	설정인자	입력신호	구동부	비고
발열부	연소공기 공급장치	연소실온도 설정	연소실 온도센서	송풍기	800℃
	연료투입장치	석탄공급량 설정	타이머	모터1	1h 30m
	재처리장치	재처리시간 설정	타이머	모터2	3h
축열부	PCM 열교환장치	PCM온도 설정	PCM 온도센서	전기히터	110℃
	물재킷 열교환장치	물온도 설정	물 온도센서	순환펌프1	90℃
기타	축방열모드	축방열시간 설정	타이머	방향절환밸브	축열 8시간 설정
	방열장치	온실온도 설정	온실 온도센서	순환펌프2	20℃

나. 통합 컨트롤러의 설계 및 제작

앞서 기술한 제어 알고리즘을 기초로 제작한 잠열축열식 석탄난방기의 제어부를 그림 40과 41에 나타내었다. 제어부는 그림 40의 주열원 제어부(A)와 그림 41의 보조열원 제어부(B)로 나뉘어 제작하였으며 주열원 제어부(A)는 석탄의 완전 연소 시간, 화염 전파 속도 및 미송풍시 연소 시간 등 석탄의 연소 특성에 따라 석탄공급시기와 송풍시간을 사용자가 유연하게 설정할 수 있도록 제작하였다. 보조열원 제어부(B)는 잠열물질이 적정한 축열온도에 도달하면 보조열원인 전기히터의 작동을 멈추고 방열이 계속되어 설정된 온도이하로 내려가게 되면 전기히터가 작동하도록 제작하였다.

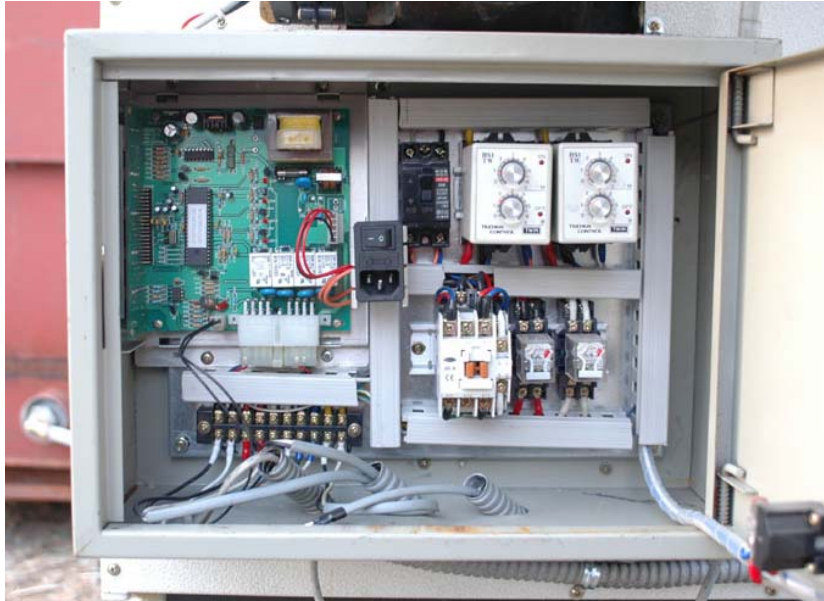


그림 40 잠열축열식 석탄난방기의 주열원 제어부(A)



그림 41 잠열축열식 석탄난방기의 보조열원 제어부(B)

제3절 시작1호기의 성능시험

잠열축열식 석탄보일러의 각 구성부를 50,000kcal/hr로 설계, 제작하여 성능시험을 실시하였는데 그 항목은 발열량, 발열효율, 방열량, 방열효율 및 소비전력을 측정하였고 연료소비량(kg/h)을 체크하였다.

그림 42에 시작기의 성능시험 시 각 부의 온도 변화를 측정, 기록하여 그래프로 나타내었으며 이 때, 연료투입량은 48.1kg으로 약 6시간 동안 발열하였다. 시험결과 발열량은 219,753kcal로서 난방능력은 36,625kcal/hr로 계산되며 투입열량 대비 발열효율은 72.52%로 산출된다. 축열 후 방열량은 138,000kcal로서 투입열량 대비 방열효율이 45.54%로 산출되었다. 이 때 축열과정 및 축열조에서의 방열과정 중 손실된 열량은 81,753kcal로서 전체 투입열량 대비 약 27%로 나타났다.

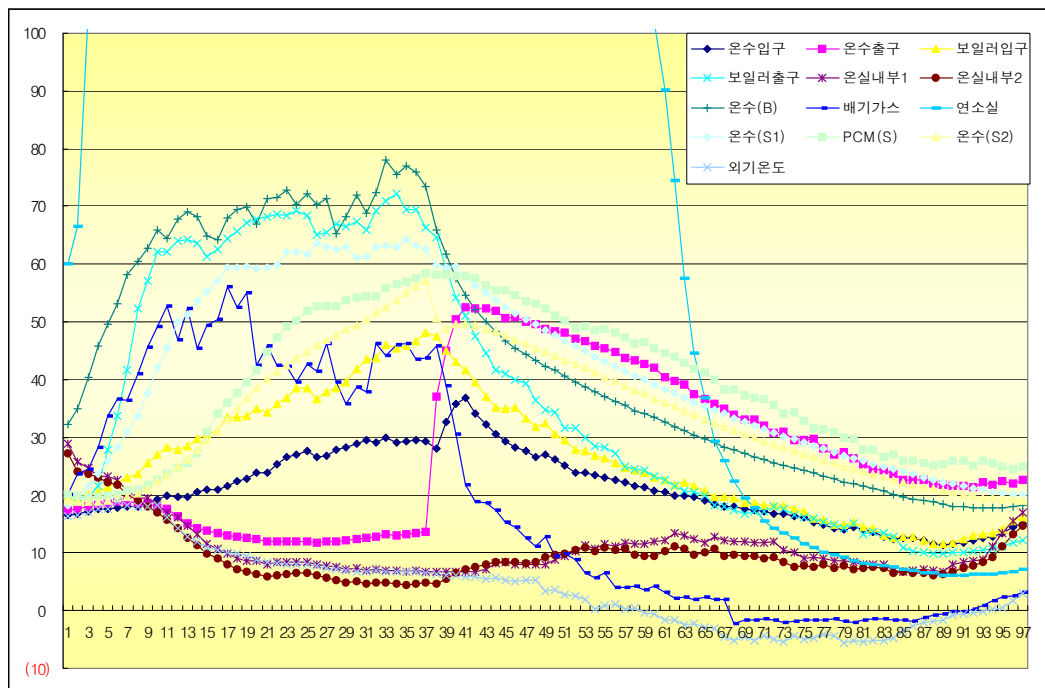


그림 42 성능시험 시 온도 변화 그래프(시작1호기)

반면, 난방성능 이외에 초기 착화과정은 화격자의 온도를 측정하여 설정치 이상이 되었을 경우 송풍기의 연소공기 공급으로 정상적인 연소상태로 용이하게 진행되었으며 연소 후 및 설정온도 이상일 경우 송풍기의 동작 OFF로서 연소 중지 및 소화 작동 또한 사용자가 쉽게 조작할 수 있었다.

온도조절장치의 조작은 자동 컨트롤러에서 설정값을 임의로 입력하여 연소실의 온도를 측정하여 송풍량을 조절함으로써 연소가 원활히 이루어 질 수 있었고, 연소열교환부의 열교환 전열유체의 온도, 축열조의 물 및 축열물질의 온도를 측정하여 설정값에 맞도록 연소과정을 조절하기가 용이하였다. 방열과정에서도 온실의 내부온도를 측정하여 온도조절장치에서 설정한 목표온도치에 가깝도록 온수의 순환펌프를 ON-OFF하여 온실을 가온할 수 있도록 하였다.

본 성능시험을 통하여 축열부의 열교환 효율이 그다지 예상보다 좋지 않다는 문제점을 발견하게 되었고, 이를 2차년도의 축열부의 열교환부 설계기준 연구 및 설계제작시에 수정, 보완하여 최종 성능시험을 수행하였다.

제4절 시작2호기의 설계 및 제작

1. 시작2호기의 발열부의 설계기준 연구

가. 연소열 열교환부의 설계기준 연구

연소열 열교환부에서 전열유체는 석탄의 연소로부터 발생하는 가스와 그 가스와 열교환하는 열매체유로 구분할 수 있으며, 열교환 형태는 가스는 혼합되고 열매체유는 혼합되지 않는 관군 직교류형 열교환기로 결정하고, 배관 배열 조건은 바둑무늬 배열(◇배열 : 45°)로 결정하였다. 또한, 열교환기에서 전열유체는 서로 평행하거나 반대방향으로 흐르는데 여기서는 그림 43과 같이 대향류 형태이며 이때 가스입구온도(T_{h1})는 600℃, 가스출구온도(T_{h2})는 150℃, 물입구온도(T_{c2})는 60℃, 물출구온도(T_{c1})는 90℃로 설계하였다.

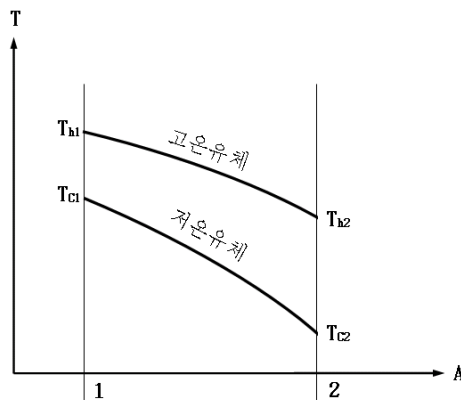


그림 43 연소열 열교환기의 온도분포

따라서 다음의 식을 이용하여 열교환 형식을 결정하였다.

$$q = UA\Delta T_m$$

여기서, U : 총괄열전달계수

A : U 에 정의에 일치되는 열전달 면적

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln [(T_{h2} - T_{c2}) / (T_{h1} - T_{c1})]} : \text{열교환기 내의 대수평균온도차}$$

총열전달율(q)은 설계목표치가 200,000Kcal/h(232.5kw)이며, 평균온도차(ΔT_m)는 242.1℃로 나타났으며, 관 내부에 물과 관을 횡단하는 유체가 공기인 경우의 계략적인 총괄열전달계수(U)는 28~280W/m²·℃로 결정되어지는데, 설계에서는 154W/m²·℃으로 계산하였다.

따라서 계산식에 의하여 전열면적(A)은 6.24m²로 나타났으며, 정해진 전열면적(A)으로 관의 사양을 결정하였는데, 설치 공간의 제약으로 인해 관의 길이를 1.5m로 제한하고, 관은 65A(OD 76.3mm)를 이용하도록 하였다. 관내 물의 속도는 일반적인 시설원예용 순환펌프를 기준으로 물의 속도를 1.7m/s로 이용하였다.

관내의 평균 물 유속 및 질량유량을 사용하여 총유동면적을 계산하여 보면, 관의 수는 16으로 나타나는데, 이때 단일 통로 열교환기의 경우 관 단위길이당 표면적으로 관 길이를 계산하여 보면 1.625m로 계산되어진다. 이 길이는 허용치인 1.5m보다 크므로 통로수를 증가시켜야 한다.

관 통로가 3개인 경우에 대해 다시 계산하여 보면, 더 많은 통로 유동을 사용해야 하기 때문에 수정계수(F=0.88)로 인하여 대수평균온도차(ΔT_m)가 줄어들게 되어 전열면적(A)은 7.09m²로 다시 증가하게 되며, 이때에도 속도제약조건으로 인해 관의 수는 16이다.

따라서 최종 설계 선택은 통로의 수는 3이며, 통로당 관의 수는 16, 관의 길이는 3.87m로 나타났다.

나. 연료공급부의 설계기준 연구

발열량 200,000Kcal/h 용량의 석탄난방기를 설계하기 위하여 열량이 약 6,500 Kcal/kg 무연탄을 사용할 경우 약 30.7kg/h 가 필요하다. 그런데, 시작기의 경우 주간 축열과 야간방열을 동시에 하기 때문에 1일 약 20시간의 가동이 필요하며, 이를 기준으로 할 경우 약 600kg의 용량을 동시에 저장할 수 있는 연료적재호퍼의 용량이 필요하다.

석탄 투입시에는 연료적재호퍼에 위치한 석탄을 연료투입버킷에 이송시켜 연결 부

착된 구동축을 회전시켜 석탄을 연료투입구에 공급할 수 있도록 해야하는데 이 때 연료투입버킷이 공급의 위치에 있을 경우, 석탄투입이 원활하도록 투입버킷의 각도는 공급시 최대 경사각을 약 45°로 설정하여 설계하였다.

또한, 연료투입시 연소실의 화염이 투입호퍼의 석탄에 착화되지 않도록 연료의 투입후 연료투입구의 개폐도어는 공급버킷과 함께 움직여 자동으로 닫힐 수 있도록 설계하였다.

연료의 투입은 1회 투입시 일정량의 석탄이 투입되도록 진동모터의 운전시간을 조절하여 일정량이 투입될 수 있도록 실험하고 자동제어 컨트롤러 설계/제작에 반영하였다.

다. 점화부의 설계기준 연구

1차년도 시작기의 제작 및 성능시험에서 얻은 결과 및 알려진 석탄 종류에 따른 착화온도를 바탕으로 하여, 석탄의 착화온도 범위를 알아내었으며 초기 착화방법을 연소실 내부에 가스버너의 화염을 공급하여 석탄에 착화시키고, 연소가 시작된 이후에는 컨트롤박스에서 온실 내부 온도, 발열부의 연소실 온도, 열매체유 온도 및 축열부의 물자켓 수온의 측정온도와 설정온도를 판단하여 석탄의 연소량을 자동으로 조절하여 불꽃을 관리하기 위한 노력을 줄일 수 있도록 설계하였다.

불꽃관리를 위하여 산소공급기를 원심형 송풍기를 이용하도록 설계하였다. 제어부에서 송풍기 모터의 회전수를 조절하여 안정적인 불꽃유지의 최적조건을 찾아낼 수 있도록 실험하여 자동 조작용을 위한 알고리즘 개발시 적용하였다.

라. 재처리부의 설계기준 연구

석탄이 연소되면 그 주성분인 탄소는 거의 소모되고 회재에는 회분을 포함한 기타 미소 성분(K, Na, Mg, Fe 등)과 미연소 부분만이 남게 되어 그 부피는 연소 전 석탄에 비해 20~30%정도로 감소한다. 따라서 재처리과정의 경우 연소 과정이후 석탄공급 장치의 작동 횟수에 따라 재처리 장치의 가동시기 및 시간을 성능시험시에 실험하여 제어부에서 제어할 수 있도록 설계/제작하였다. 재처리 장치의 작동 중 분진이 발생하는 문제를 방지하기 위해 재처리용 구동모터가 작동될 때에는 송풍기의 작동을 멈추도록 설계하였다.

2. 시작2호기의 발열부의 설계 및 제작

가. 연소열 열교환부의 설계 및 제작

시작기의 연소열 열교환부는 연소열 열교환 파이프, 연소실, 연료공급부, 점화부, 재처리부, 연소공기 공급장치로 구성된다. 열교환부는 석탄 연료가 화격자에 직접 닿아 연소실에서 연소가 이루어진 후 연소열이 연소열 열교환부의 열교환 파이프를 통해 열매체유와 접촉하여 열전달이 이루어지는 구조로 되어 있다.

그림 44, 45에 시작기(200,000kcal/hr)의 발열부 및 연소열 열교환부의 설계도면을 나타내었으며, 연소실의 화격자 형상 및 위치, 점화장치의 가스버너 및 송풍기의 위치, 연소열 열교환부의 열교환 파이프의 배치, 연료공급부 석탄투입구의 크기 및 위치, 석탄공급호퍼의 구동모터를 나타내었다.

연소열 열교환부의 설계도에서, 열교환 파이프는 65A, 5.2t를 3개의 통로에 16개의 파이프를 삽입하고 총 열교환 파이프의 길이는 3,870mm로서 연소열이 하단 통로의 파이프(1,000mm)를 거쳐 중앙 통로 파이프(1,435mm), 상단 통로 파이프(1,435mm)를 통해서 열교환이 이루어지고 외부로 연소가스가 배기될 수 있도록 설계하였다. 그리고 열교환 파이프의 외부면은 열매체유 공간으로 설계하여 연소열과 열매체유가 효율적으로 열교환을 할 수 있도록 하였으며 열매체유 공간의 체적은 약 0.364m³로 되어 있다.

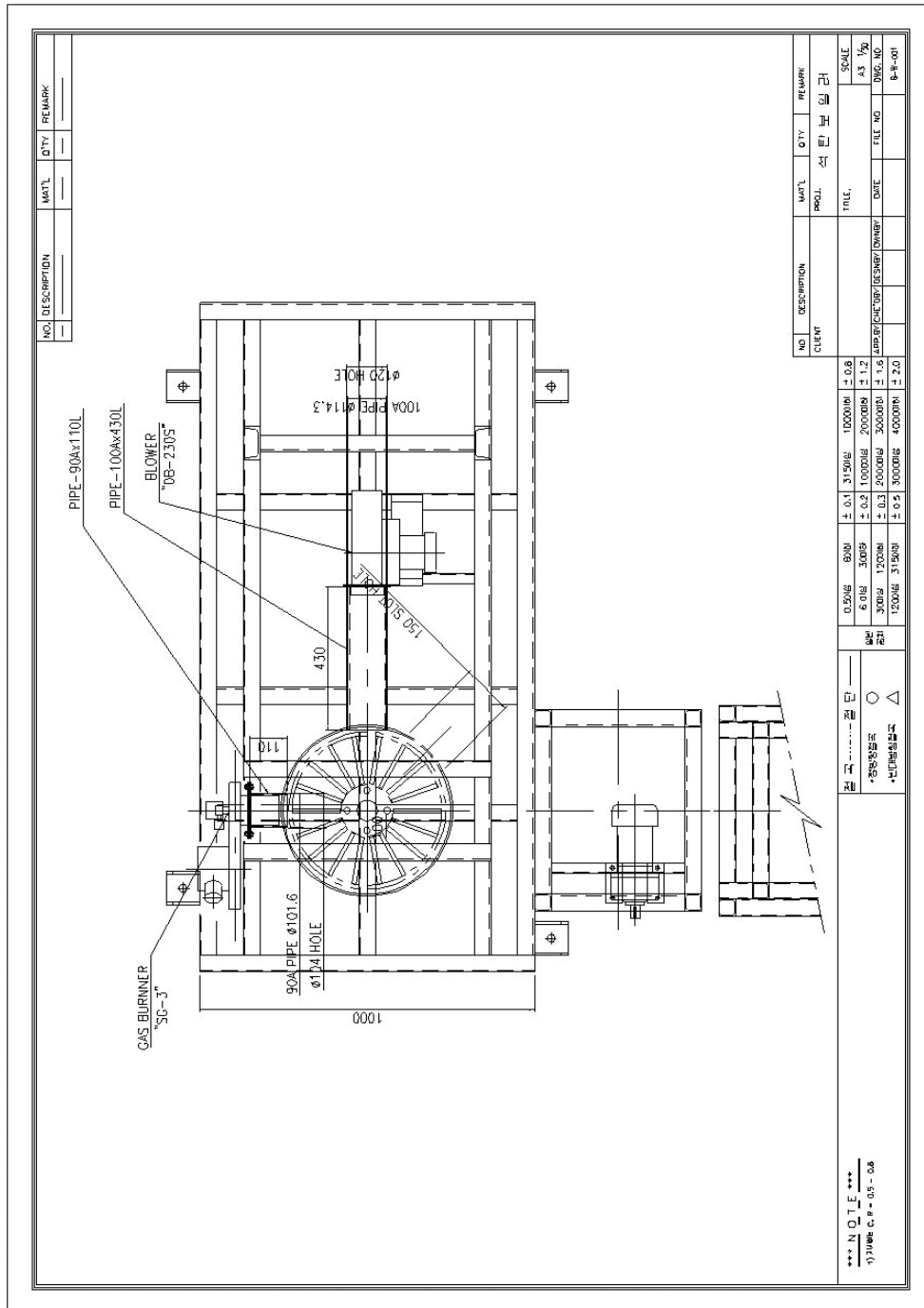


그림 44 시작기의 발열부 설계도면

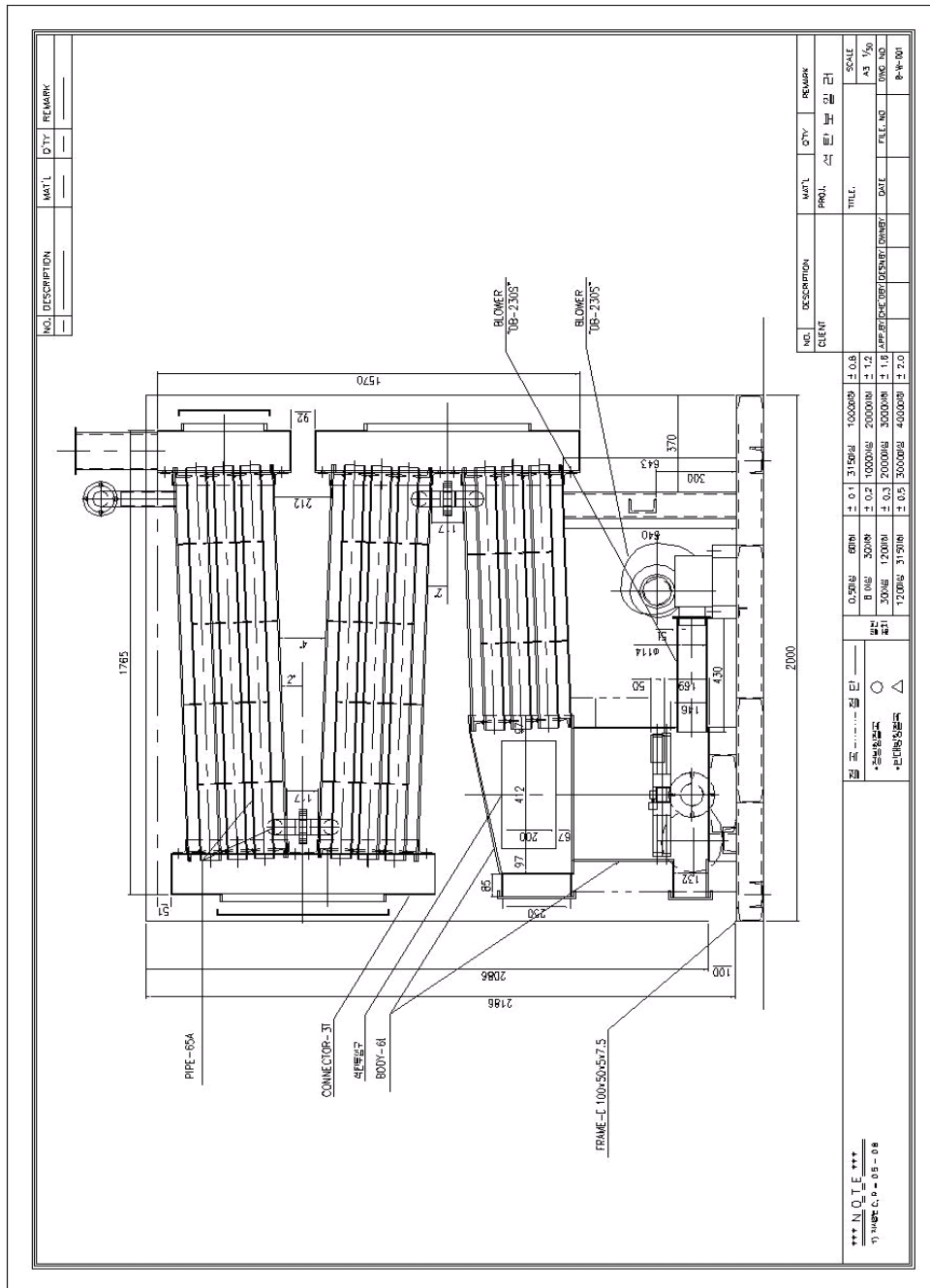


그림 45 시작기의 연소열 열교환부 설계도면

그림 46에 연소실 및 화격자의 모습을 나타내었으며, 원의 중심으로부터 원주방향으로 19개의 평철을 붙여 수레바퀴 형상을 하고 있는 두 개의 원형판을 연결한 화격자 그리고 화격자 주위를 둘러싸고 있는 연소실의 모습이다.



그림 46 발열부의 연소실 및 화격자의 형상

그림 47, 48은 그림 44의 연소열 열교환부의 설계도면에 따라서 제작한 연소열 열교환 파이프 및 연소열 열교환부의 구성을 나타낸다.

연소열 열교환 파이프는 65A 강관 16개를 1,000mm, 1,435mm, 1,435mm의 세 구간으로 나누어 구성하였다.



그림 47 연소열 열교환 파이프의 제작

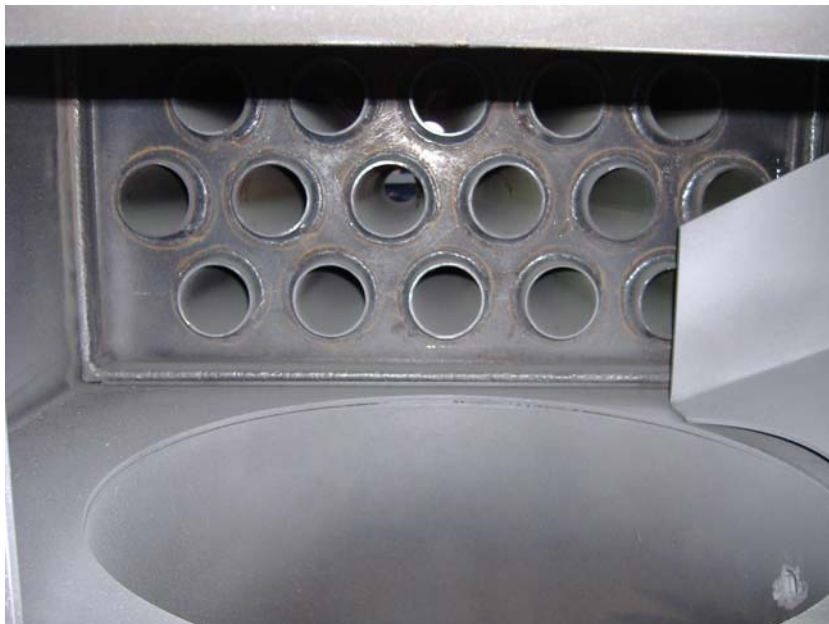


그림 48 연소열 열교환부

그림 49에 시작기의 연소공기 공급장치로 적용된 송풍기(DB-230S, 360W)의 설계도면과 성능특성 곡선을 나타내었으며 사양은 다음과 같다. 송풍기의 배출구 직경은 ϕ 100, 최대풍량 11m³/min, 최대회전수 2000rpm 으로 구성되었다.

송풍량은 자동 컨트롤러의 인버터를 통하여 수동으로 조절할 수 있도록 하였고, 성능시험을 통하여 연소공기의 최적치를 찾을 수 있도록 하였으며 자동제어 프로그램에 반영 할 수 있도록 하였다.

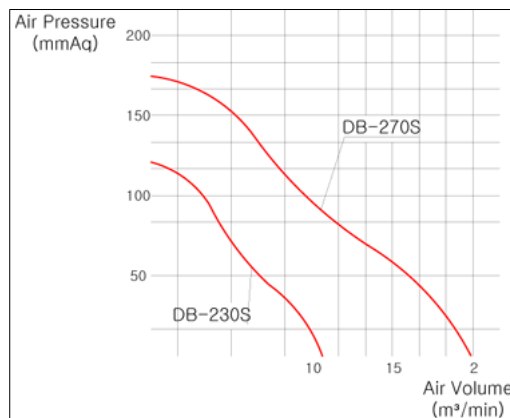
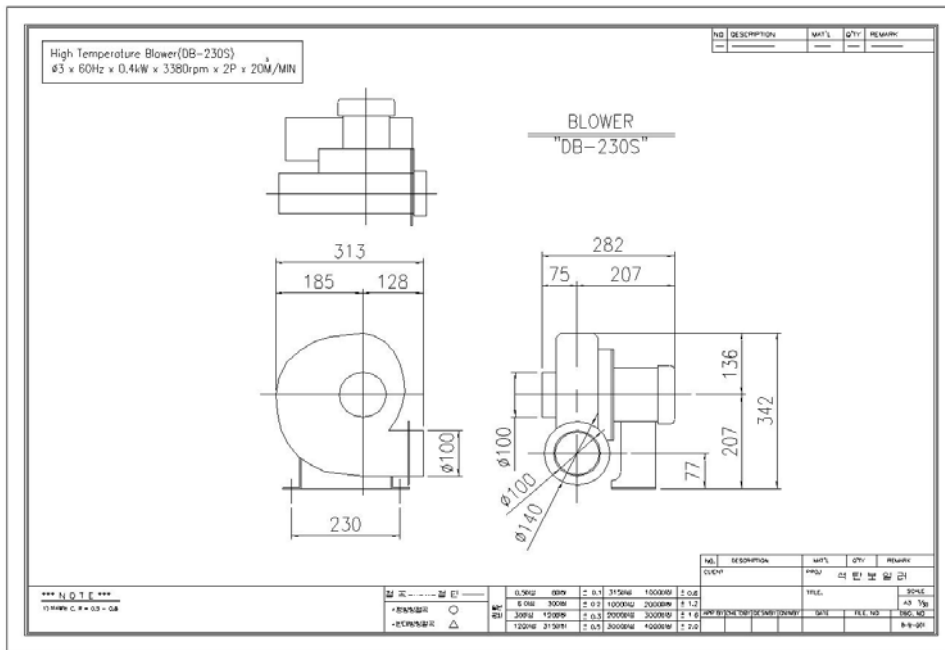


그림 49 시작기의 발열부에 사용한 송풍기의 설계도면 및 성능특성곡선

그림 50에는 연소공기 공급부 송풍기의 외관 및 장착위치를 나타내고 있다. 연소실의 화격자 아래로부터 연소공기가 원활하게 공급될 수 있도록 수평면과 약 2°정도 경사를 주어 장착하였다.



그림 50 연소공기 공급용 송풍기

나. 연료공급부의 설계 및 제작

연료공급부는 시작기의 자동화를 위하여 중요한 부분이라 할 수 있다. 석탄의 경우 미분탄을 제외하고는 그 크기와 형상이 일정하지 않아 연료의 공급시 그 방식에 따라서 막힘 현상이 발생할 수도 있다. 그리하여 1차년도에 시작기와는 달리 공급방식을 버킷방식으로 하여 기존의 스크류 방식을 사용할 때 발생하였던 연료의 막힘 현상을 제거하면서 석탄투입구의 덮개는 공급 버킷의 움직임에 따라 개·폐 동작이 가능하도록 취부하여 석탄 연소시 화염이 외부로 유출되지 않도록 설계하였다.

그림 51에 시작기의 석탄공급부의 설계도면을 나타내었으며, 석탄의 투입구는 412×200(L×H)의 크기로 제작하여 석탄공급호퍼에 이동된 석탄이 원활하게 연소실로 공급될 수 있도록 하였다. 석탄공급호퍼는 약 0.015m³의 용량으로 1회 공급시 석탄을

평균 8.45kg 씩 공급할 수 있도록 제작하였다.

그림 52에 석탄투입구를, 그림 53에 석탄적재용 호퍼를, 그림 54에 석탄적재호퍼에 적용된 진동모터를, 그림 55에 석탄공급부의 damper를 나타내었다.

진동모터는 100W(모델 No. SVH-401)의 3상 4극식 모터를 사용하였으며 1회 공급 시 12초 동작하여 석탄공급버킷에 연료를 이송시키도록 구성하였다.

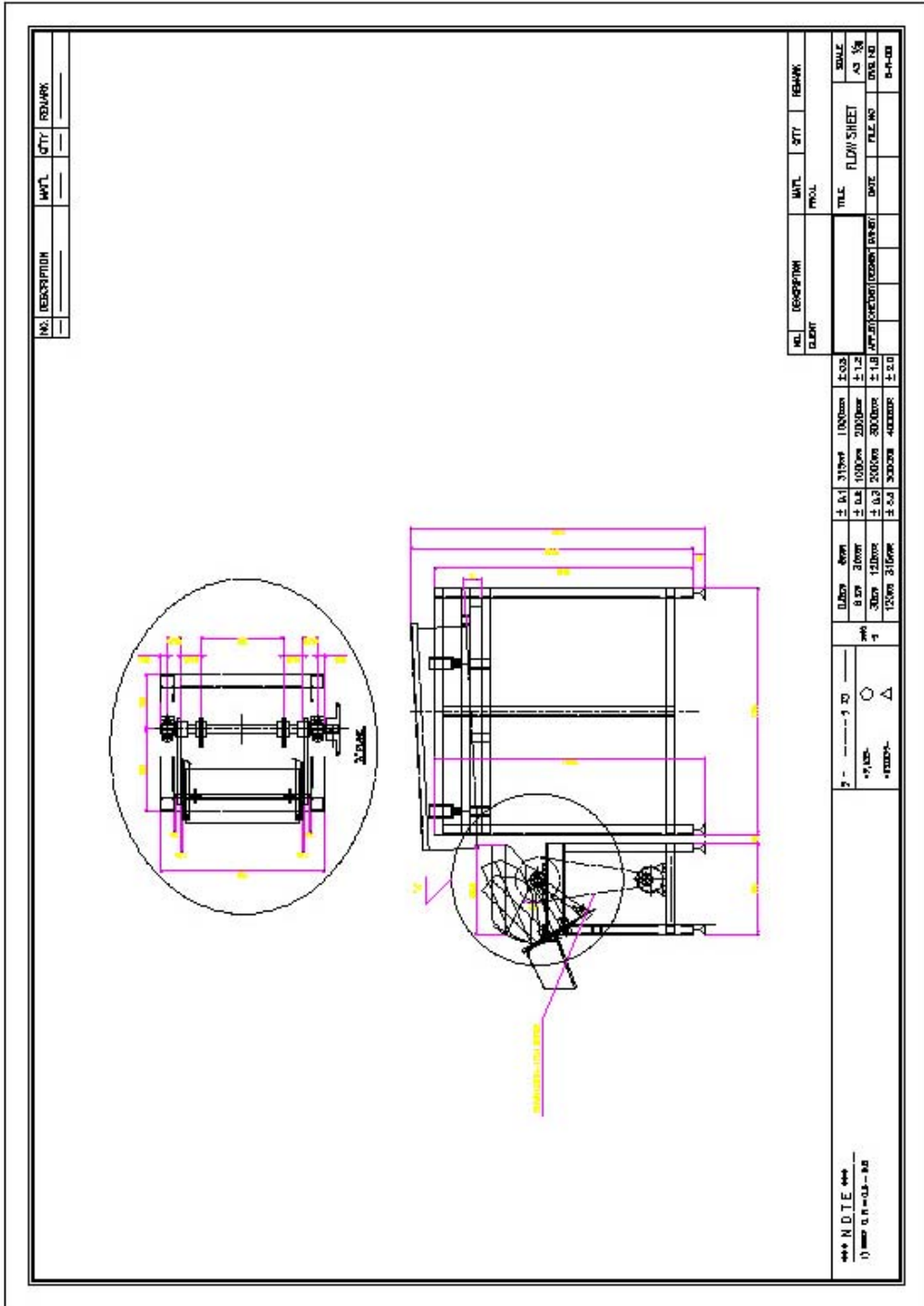


그림 51 시작기의 연료공급부의 설계도면

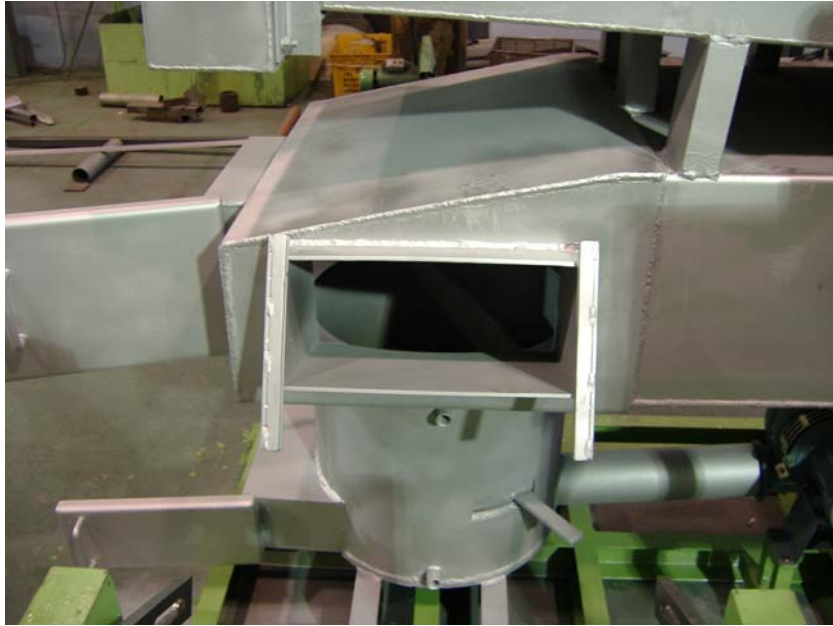


그림 52 시작기의 석탄투입구



그림 53 시작기의 석탄적재용 호퍼



그림 54 석탄적재호퍼에 적용된 진동모터



그림 55 석탄공급부의 damper

그림 56, 57에는 석탄공급호퍼의 구동부, 석탄공급 호퍼의 구동축 및 제어용 센서와 스위치를 나타내었다.

그림 56에 석탄공급호퍼의 구동부를 나타내었으며 감속모터의 정·역회전에 따라 체인에 연결되어 구동되는 상단부의 공급 버킷에 이송된 석탄이 연소실로 공급될 수 있도록 제작하였다.



그림 56 석탄공급호퍼의 구동부

그림 57에는 석탄공급호퍼의 구동시 감속모터와 체인으로 연결된 상단부의 구동축의 모습과 정회전 및 역회전으로 석탄의 공급 및 다음 동작을 준비하는 각각의 동작을 검출하고 종료시킬 수 있는 신호를 줄 수 있도록 위치검출 센서와 리미트 스위치를 부착한 모습을 나타내었다.



그림 57 석탄공급 호퍼의 구동축 및 제어용 센서와 스위치

그림 58에 석탄공급호퍼의 구동 모터에 적용된 감속 모터의 설계도면을 나타내었으며 그림 59에는 구동 감속 모터의 외형을 나타내었다. 400W의 감속모터를 사용하여 구동축의 정·역 회전을 통해 석탄 공급호퍼에 이송된 석탄을 연소실에 투입하는 동작을 수행할 수 있도록 하였다.

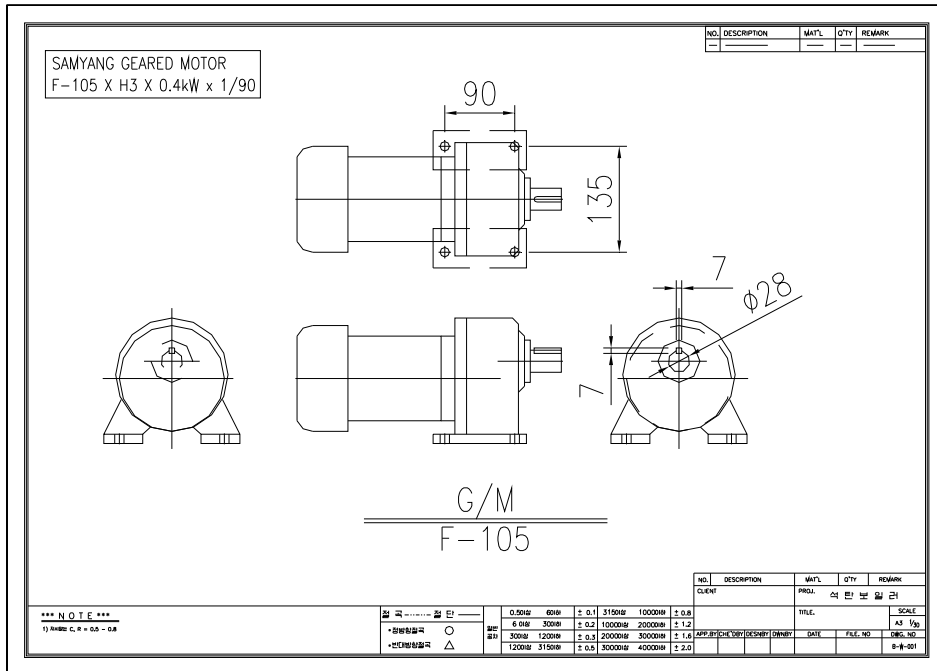


그림 58 시작2호기 석탄공급 호퍼의 구동부에 적용된 감속모터의 설계도면



그림 59 석탄공급 호퍼의 구동부 감속모터

다. 점화부의 설계 및 제작

그림 60에 시작기의 점화부에 적용한 가스버너의 설계도면을 나타내었으며, 초기 자동점화 시 약 10분의 가동으로 안정적으로 착화시킬 수 있도록 설계/조립하였다. 실제 성능시험 시에는 가스버너의 동작 타이머의 설정 및 연소실 내부의 온도센서의 설정값을 기준으로 ON-OFF 할 수 있도록 하였다.

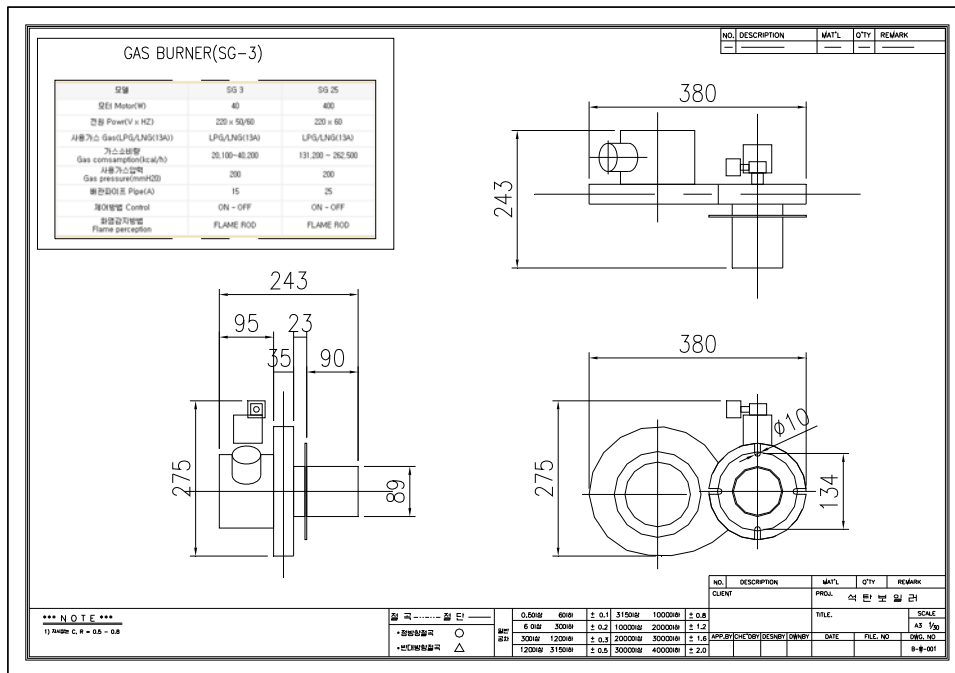


그림 60 시작기의 점화부에 적용된 가스버너의 설계도면

그림 61에는 자동점화 장치를 구성하는 가스버너 및 점화연료를 공급하는 LPG 보 관용기의 모습을 나타내었다. 시작기에 적용된 가스버너의 사양은 다음의 표 13과 같다.

표 13 시작기에 적용된 가스버너의 사양

구 분	모 터(W)	전 원	사용가스	가스소비량
사 양	40	220×50/60	LPG/LNG(13A)	20,100~40,200(kcal/h)
구 분	사용가스압력	배관파이프	제어방법	화염감지방법
사 양	200(mmH ₂ O)	15(A)	ON-OFF	FLAME ROD



그림 61 자동점화장치에 적용된 가스버너 및 LPG 보관용기

라. 재처리부의 설계 및 제작

시작기의 재처리부는 석탄의 연소 후 연속적으로 재투입되는 석탄의 원활한 연소를 위하여 화격자 윗부분에 재처리판을 장착하고 회전시켜 주어 잔류된 석탄의 재를 화격자 아래부분의 배출구로 이동시킬 수 있도록 설계하였다.

그림 62는 재처리판의 모습이며 이는 화격자와 유사한 형태 및 치수를 가진 것으로서 구동시 고정된 화격자와 회전하는 재처리판으로 구성되어 있다. 석탄보일러의 가동 중 재처리판의 작동시간과 회수는 자동 컨트롤러에서 시간 설정 및 석탄의 투입회수와 연동하여 제어 알고리즘을 통해 작동될 수 있도록 설계/제작하였다.



그림 62 발열부의 재처리판

그림 44, 45, 49, 51, 58, 60의 설계도면에 의해 그림 63, 64에는 각 구성부의 조립이 완성된 석탄보일러의 외부 모습을 나타내었으며, 그림 63은 측면 모습 및 석탄공급부, 그림 64는 정면 모습을 나타낸다.



그림 63 석탄보일러의 외부 모습(측면)



그림 64 석탄보일러의 외부 모습(정면)

3. 시작2호기의 축열부의 설계기준 연구

PCM 열교환부에서 전열유체는 석탄의 연소로부터 가열된 물과 보조열원인 열매체유, 그리고 축열을 하는 PCM253으로 구분할 수 있으며, 열교환 형태는 모두 혼합되지 않는 관군 직교류형 열교환기로 결정하였다.

전술한 3장의 1절, 잠열축열물질의 특성분석의 결과에 따라서 축열물질의 흡열량을 60~110℃ 범위에서 216kcal/kg으로 계산하였고, 각 전열유체의 용적은 부피비로서 PCM253의 용량이 1,050 ℓ, 물의 용량이 2,200 ℓ, 열매체유(극동유화 KD 32)의 용량이 430 ℓ로 계산되었다. 축열조의 최대 축열량은 전열유체 별로 각각 PCM253에 360,650 kcal, 물자켓에 110,000kcal, 열매체에 19,350kcal로서 총 490,000kcal 이다. 계산된 용적으로 열교환기의 각 구성부를 제작함에 있어 설계에 반영하였다.

열매체유의 경우 본 연구에서 적용한 KD 32는 비중이 0.867, 인화점이 220℃, 팽창율은 170℃에서 약 13% 증가하는 것으로 나타나있어, 축열조의 상단부에 부피팽창에 의해 높아지는 수위만큼의 비어 있는 공간을 두었으며 발열 및 축열과정에서 발생할 수 있는 압력상승을 방지하기 위해 열매체유의 유로에 다이어프램식 압력조절변을 설치하는 설계를 수행하였다.

4. 시작2호기의 축열부의 설계 및 제작

가. 연소열-PCM 열교환부의 설계 및 제작

축열부는 크게 연소열과 축열물질간의 열교환이 이루어지는 과정과 축열물질과 물간의 열교환이 이루어지는 과정을 담당한다. 먼저 연소열-PCM 열교환부의 구성을 보면 다음과 같다.

연소열 열교환부에서 석탄의 연소로부터 가온된 열매체유는 축열부의 축열물질조 내 2개의 열교환 파이프 중 바깥측 열교환 파이프로 공급되어 축열물질의 충전부를 코일형태로 통과하고 그 후 내부의 열매체유조를 거쳐 다시 연소열 열교환부로 Inlet 된다. 이 과정에서 축열물질 충전부의 열교환 파이프를 이동하면서, 열매체유조와 축열물질이 접하고 있는 열매체유조의 외측부와 열교환되도록 설계하였다.

그림 65에 축열부의 설계도면을 나타내었으며, 물자켓을 포함한 외형치수는 1370×2448(φ×L)로 열매체유조는 400A 파이프를 사용하여 406×2655(φ×L)로, 축열물질조

는 1360×1846(φ ×L)으로 설계하였다.

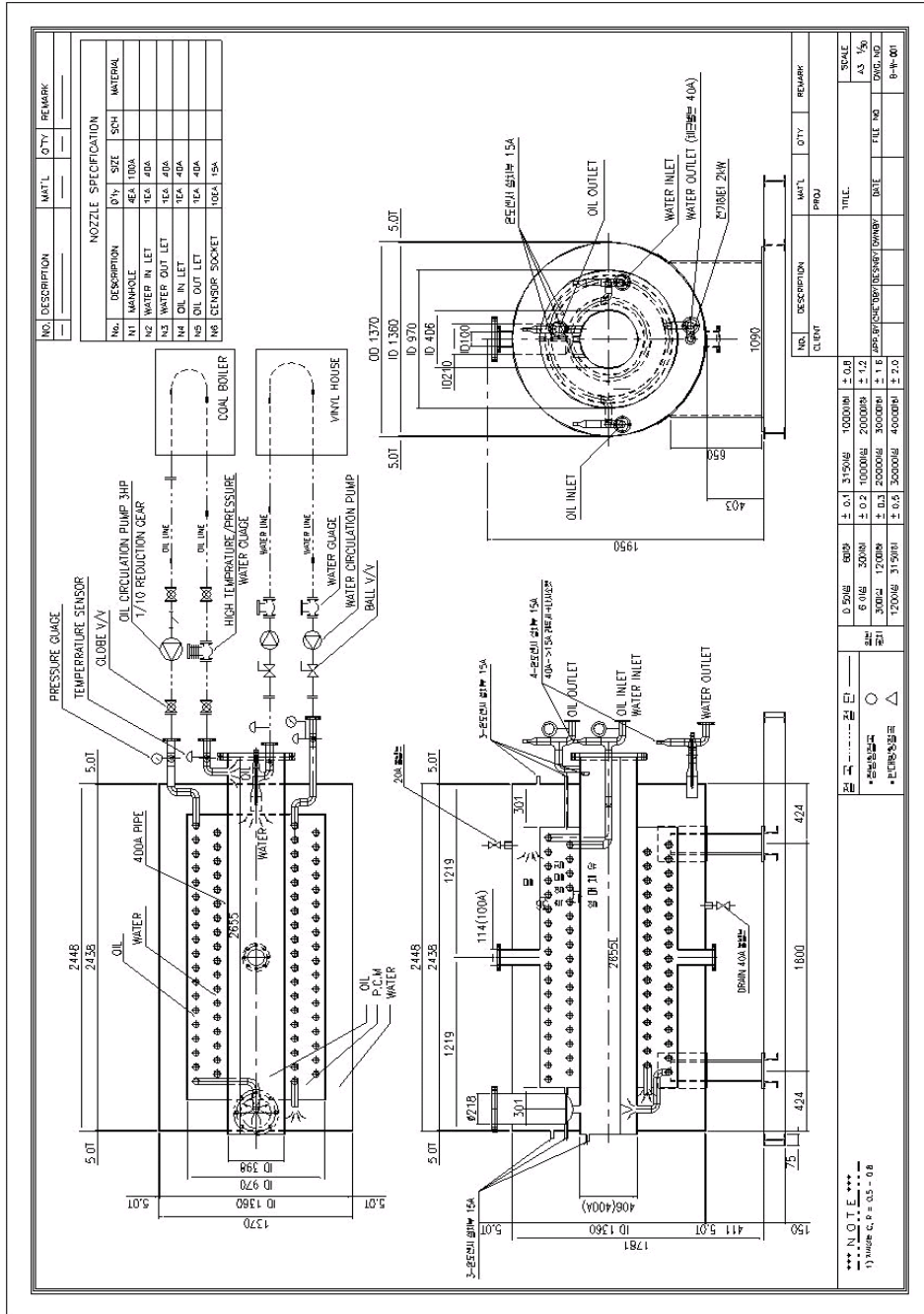


그림 65 200,000kcal/hr 급의 석탄보일러 축열부의 설계도면

그림 65의 설계도로부터 다음의 PCM 열교환부를 제작하여 아래의 그림 66, 67, 68에 나타내었다. 그림 66은 PCM 열교환부의 열매체유조를, 그림 67은 PCM 열교환부의 축열물질조 및 열매체유 열교환 파이프를, 그림 68은 PCM 열교환부의 열매체유조와 축열물질조의 외관을 나타내고 있다.



그림 66 PCM열교환부의 열매체유조



그림 67 PCM 열교환부의 축열물질조 및 열매체유 열교환 파이프



그림 68 PCM 열교환부의 열매체유조와 축열물질조의 외관

나. PCM-물 열교환부의 설계 및 제작

PCM 열교환부에서 물자켓에 보유된 물의 이동통로는 가장 외부의 출수관으로부터 온실내부의 방열장치를 통해 온실에 가온을 수행한 후 축열물질조 내의 2개의 열교환 파이프 중 안쪽의 열교환 파이프로 입수되어 축열물질과의 열교환을 수행한 후 PCM 열교환부의 최외측 물자켓으로 이동하여 다시 온실내부로 순환할 수 있도록 설계하였다.

PCM-물 열교환부의 구성은 상기한 그림 67에 포함되어 나타나 있으며, 그림 69, 70, 71에 PCM 열교환부의 PCM-물 간의 열교환부 제작 모습을 나타내었다.

그림 69는 PCM 열교환부의 물자켓을, 그림 70은 PCM 열교환부의 조립된 외관을 모습을, 그림 71은 PCM 열교환부의 펌프 및 유량계를 부착한 모습을 나타내고 있다.



그림 69 PCM열교환부의 물자켓



그림 70 PCM열교환부의 조립된 외관 모습



그림 71 PCM열교환부의 펌프 및 유량계를 부착한 모습

그리고, 그림 72에 PCM 열교환부에 부착한 압력스위치를 나타내었으며, 이것은 열매체유가 연소열 열교환부에서 석탄의 연소가스와 열교환하여 축열조에 Inlet 되는 배관 중에 설치되어 있으며, 설정된 배관압력 이상일 경우 열매체유 펌프 및 시스템을 중지시켜 고온부의 안전방호장치 역할을 담당한다.



그림 72 열매체유 배관의 압력스위치 및 압력게이지

5. 시작2호기의 제어부의 설계 및 제작

가. 범용 제어알고리즘의 개발

1차년도에서는 축열모드와 방열모드를 각각 시간대를 설정하여 구성하였으나 2차년도에서는 제어 알고리즘을 개발함에 있어서 축·방열모드 설정인자를 온실의 설정온도를 기준으로 하였다. 온실내 기온의 측정온도가 최저 설정온도 미만 또는 최고 설정온도 초과일 경우 축열모드로 전환되며, 온실내 기온이 최저 설정온도 초과, 최고 설정온도 미만일 경우에 방열모드로 전환되어 온수 순환펌프가 작동되어 온실에 방열을 수행하도록 설정하였다.

그림 73에 축열 및 방열모드에 적용된 제어알고리즘의 흐름도를 나타내었다.

- ① 최초 점화시 석탄공급을 위해 진동모터 및 석탄공급버킷의 구동모터가 작동하여 초기 점화에 적당한 양의 석탄을 연소실에 공급한 다음
- ② 착화동작 전에 연소실에 남아있는 잔류가스를 제거하기 위해 연소공기 공급 송풍기를 최대 송풍량으로 120초 작동한 후 가스버너를 작동하기 위해 OFF한다.
- ③ 가스버너의 작동으로 착화에 필요한 열량을 공급한 뒤, 연소실에 장착한 온도센서의 측정값이 착화온도에 다다랐을 때 가스버너는 자동으로 OFF된다.
- ④ 정상적인 착화 후 연소실에 연소공기를 공급하기 위하여 송풍기의 작동이 시작되며 발열된 열량을 축열조에 축열하기 위하여 열매체유 펌프가 작동되어 연소열 열교환부에서 열교환이 이루어지게 된다.
- ⑤ 축열 및 방열 모드를 판단하기 위한 방법은 온실의 내부온도를 측정하여 설정치 이상일 경우 축열동작으로 위하여 온실에 공급되는 온수의 순환펌프는 작동하지 않는다.
- ⑥ 축열모드로 동작 중에 연소열 열교환부로부터 공급받은 열매체유가 축열조의 축

열물질을 가온시키고 동시에 축열조의 물자켓에도 가온이 이루어져 축열조내 온수의 측정온도가 설정치 이상이 되면 연소공기를 공급하는 송풍기를 멈추고 발열을 중지한다.

⑦ 석탄의 공급은 연소열 열교환부내 열매체유 온도가 설정치 미만이고, 축열부의 물자켓 온수 온도가 설정치 미만일 때 연소실 온도가 설정치 미만일 경우 석탄적재호퍼의 진동모터 및 석탄공급버킷의 구동감속모터를 작동하여 연소실내로 석탄을 추가로 공급한다.

⑧ 방열모드로 동작하는 경우는 온실의 내부온도가 설정치 보다 낮은 경우이며 온실에 공급되는 온수의 순환펌프를 작동하여 온실을 가온하게 된다. 이 경우 온실의 내부온도가 설정치 이상까지 상승하면 순환펌프를 정지시켜 더 이상 온실내부로의 가온을 수행하지 않고, 축열모드에서 판단하는 연소열 열교환부의 열매체유 온도와 축열조 물자켓의 온수 온도를 측정하여 설정치 미만일 경우 재착화를 위해 연소공기 공급 송풍기와 석탄적재호퍼의 진동모터 및 석탄공급버킷의 구동감속모터를 작동시켜 추가적인 발열동작을 수행한다.

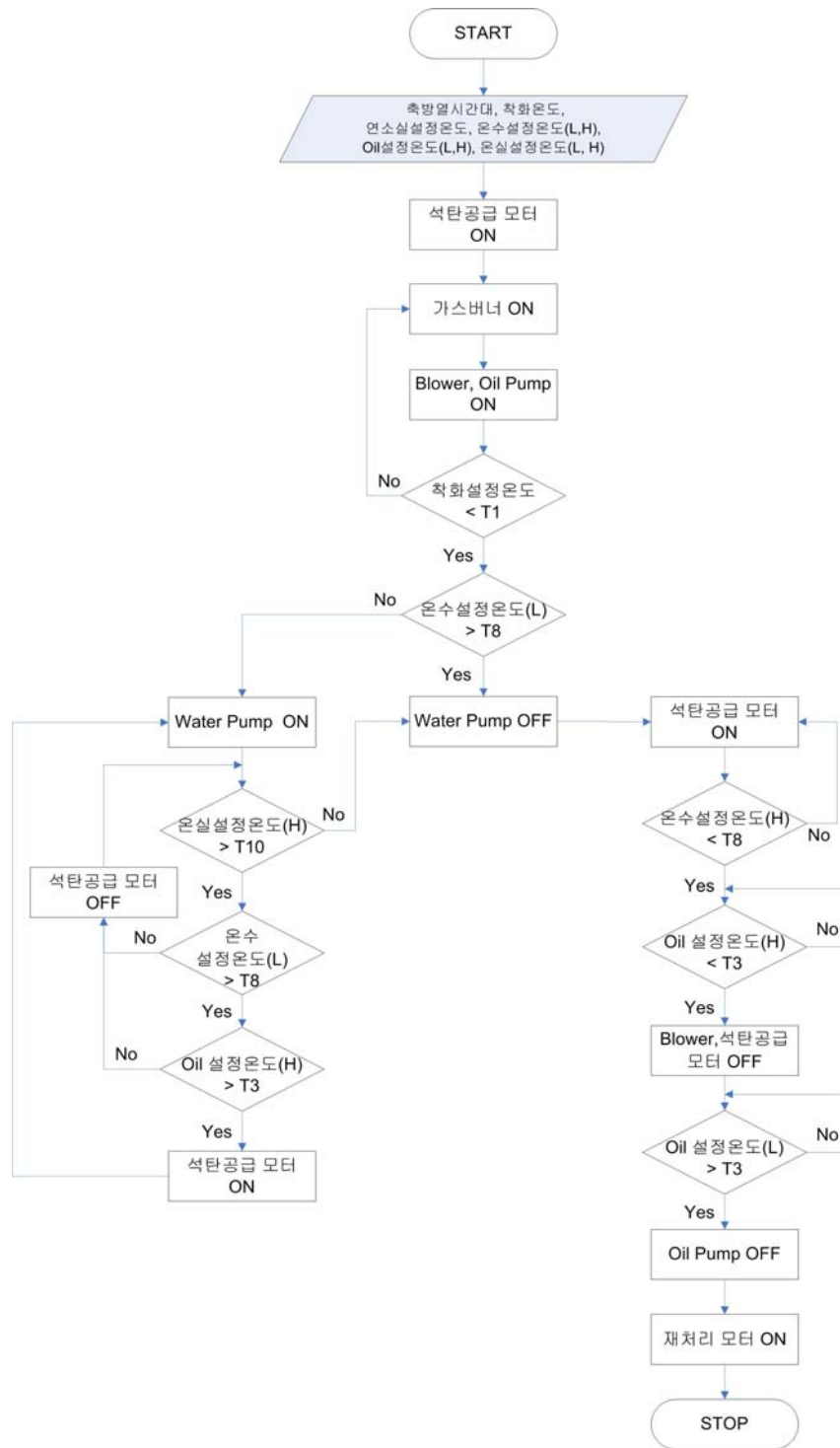


그림 73 시작기에 적용된 축·방열 제어 알고리즘

나. 통합 컨트롤러의 설계 및 제작

그림 74, 75, 76에 시작기 제어부의 설계도면을 나타내었으며, 그 설계도면에 따라 제작한 시작기 제어부의 내·외관 모습을 그림 77에 나타내었다.

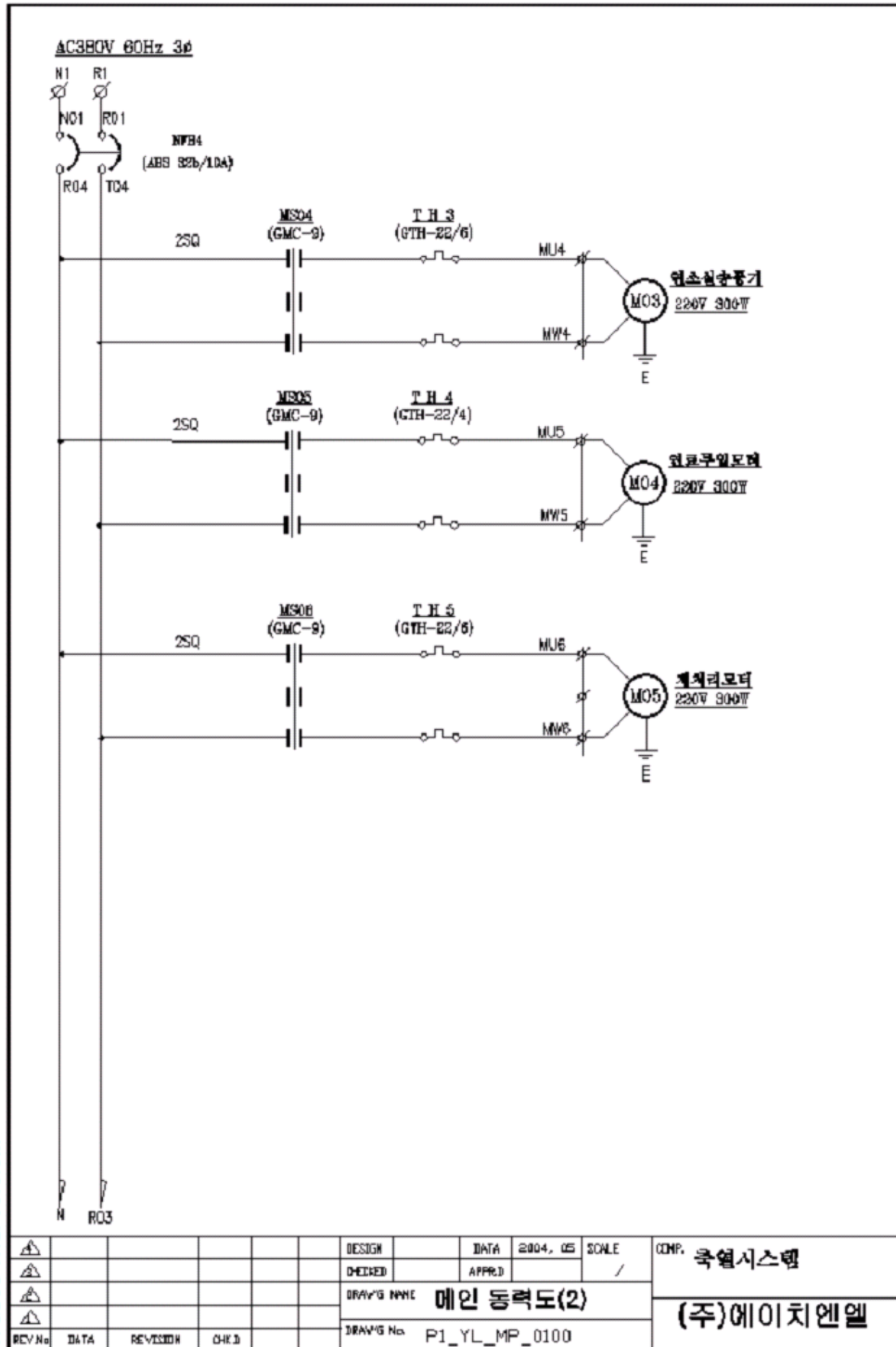


그림 75 제어부의 설계도면(B)

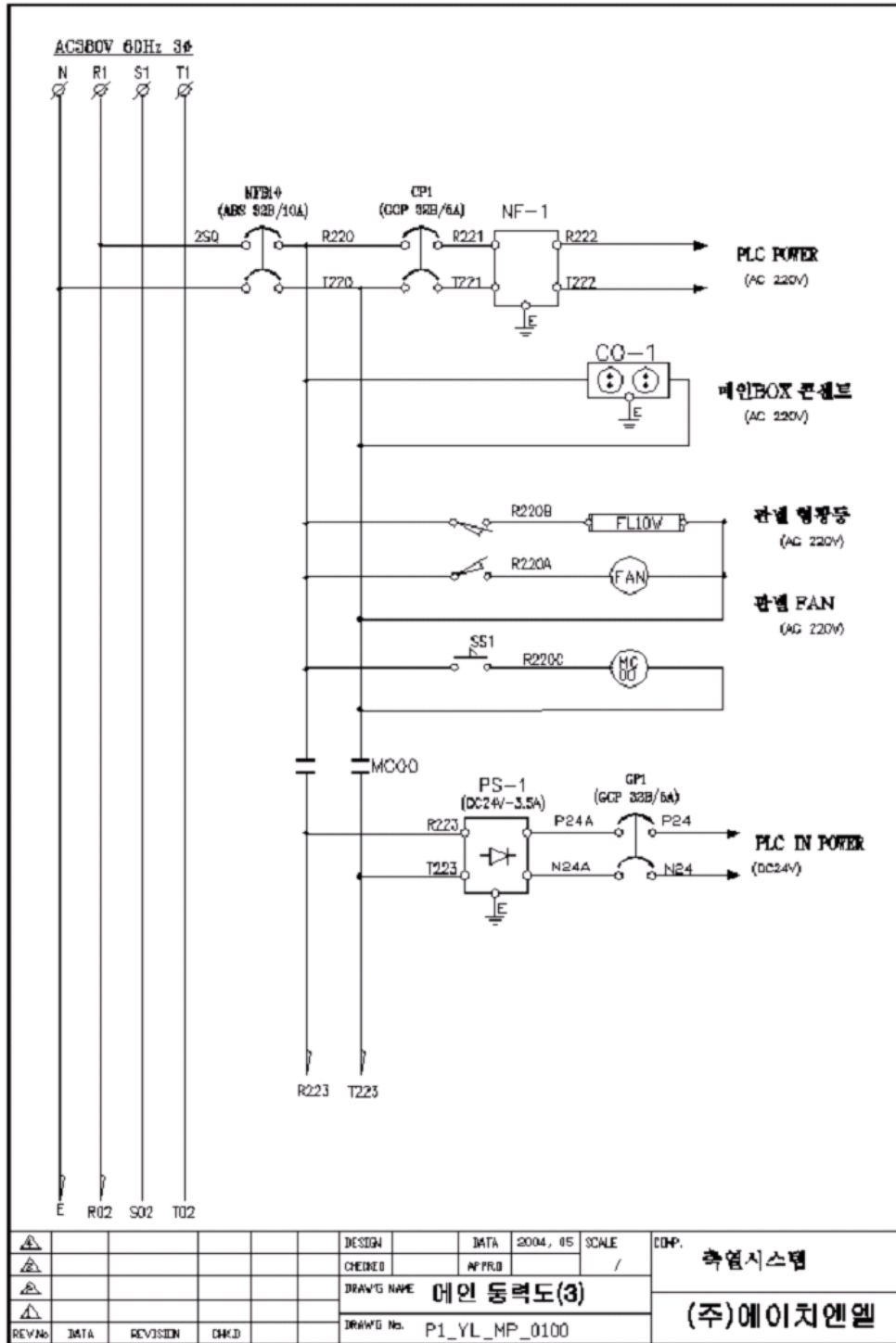


그림 76 제어부의 설계도면(C)



그림 77 시작기 제어부의 내·외관 모습

그림 78에는 제어부의 조작판넬을 나타내었으며, 발열부 및 축열부 외 온실내부 온도 등을 설정하거나 표시할 수 있는 온도제어기, 수동 및 자동모드를 선택하는 스위치, 순환펌프 및 각종 모터들을 선택하여 On/Off 할 수 있는 선택스위치 및 작동 스위치 등으로 구성되어 있다.



그림 78 제어부의 조작판넬

그림 79에 석탄공급을 위한 진동모터의 작동을 제어하는 타이머, 재처리시간의 제어 위한 타이머 그리고 연소공기 공급을 위한 송풍기의 송풍량을 제어할 수 있는 인버터의 모습과 적산전력계를 나타내었다.

석탄공급 및 재처리 타이머는 작동시간 및 지연시간을 자유롭게 설정할 수 있도록 구성되어 있고, 송풍량 조절을 담당하는 인버터는 연소실의 온도 측정값을 받아서 설정치에 가깝게 발열할 수 있도록 송풍기에 공급되는 전류값을 조절하여 송풍량을 조절할 수 있도록 구성하였다.

그러므로 성능시험 시에 아래의 타이머와 인버터를 통하여 연료의 발열 및 난방부하의 특성에 따라서 연료공급량 및 송풍량을 자유롭게 설정하여 발열량을 조정할 수 있도록 설계/제작하였다.

통합 제어장치에 부착되어 있는 적산전력계는 석탄보일러의 운전 시에 소요되는 연료공급장치의 모터, 물 및 열매유 순환펌프, 연소실송풍기, 재처리 모터, 보조히터 등 모든 전기장치에 소요되는 전력량을 측정할 있도록 하였다.



그림 79 시작기의 타이머, 인버터 및 적산전력계

제5절 시작기의 수정 및 보완

1. 발열부의 수정 및 보완

가. 연료공급 방식의 수정 및 보완

그림 80에는 시작1호기 및 시작2호기의 석탄공급 방법의 변경사항을 나타내었다. 스크류 방식은 구동축의 감속모터를 작동시켜 석탄을 일정하게 연소실로 공급하는 데에는 무리가 없었으나, 고체연료의 특성상 모양과 크기가 일정하지 않은 석탄의 공급에 있어서는 스크류의 간격보다 크기가 더 큰 석탄이 투입되었을 경우, 막힘 현상이 발생하여 이상 신호를 받지 못하고 그것이 지속되었을 시에는 감소구동 모터의 파손까지 초래하게 되는 단점도 우려할 수 있었다.

그리하여 시작2호기에서는 석탄공급 시에 버킷방식으로 변경하여 일정한 양의 석탄이 적재호퍼로부터 공급버킷으로 운반되었을 때 연소실의 석탄투입구를 열고 한번에 공급할 수 있도록 구성하였다.



그림 80 석탄공급방법의 변경

그림 81에는 석탄공급버킷의 형상에 관한 수정 보완사항을 나타내었다. 초기의 설계/제작시에는 석탄의 1회 공급에 적합한 버킷의 용량은 맞추었지만 실제 시험가동시에는 공급되는 석탄의 대부분이 석탄적재호퍼 부근으로 집중되어 수정/보완 시에 공급버킷의 한쪽 끝단에 가이드를 추가로 장착하여 의도했던 대로 1회 공급에 적절한 용량으로 변경할 수 있었다. 그림 82에는 수정 보완 후 정상적인 석탄의 공급 모습을

나타내었다.



그림 81 석탄공급버킷의 수정 보완



그림 82 정상적인 석탄의 공급 모습

나. 자동 점화장치의 수정 및 보완

그림 83에는 자동 점화장치에 적용된 가스버너의 부착 방법에 대한 수정 보완 사항을 나타내었다. 가스버너는 초기 착화를 위해 열량을 공급한 뒤 정상적인 연소상태일 때는 오히려 가스버너의 불꽃 공급구로 연소실의 고온공기가 접촉하여 버너의 손상을

초래할 수도 있다. 그러므로 연소실의 고온공기 유입을 차단하기 위하여 그림과 같이 차폐막을 장착하여, 초기 점화시에는 차폐막을 열어 가스버너를 작동시키고 착화가 안정적으로 이루어진 약 10분 후에는 차폐막을 닫아서 가스버너의 구성품을 화염으로부터 보호할 수 있었다.



그림 83 가스버너의 수정 보완

2. 축열부의 수정 및 보완

시작1호기에서는 축열부의 열교환 파이프를 축열물질조내에 그림 84의 왼쪽과 같이 구성하였는데 축열효율이 그다지 높지는 않아 시작2호기에서는 그림 84의 오른쪽과 같이 축열물질조내에 코일형태로 열교환 파이프를 가공하여 열매체유를 통해서 축열물질이 가온될 수 있도록 하였다. 그리고 축열물질조 내부에는 열매체유조가 위치하여 연소열 열교환부에서 열교환된 열매체유가 축열물질을 균일하게 가온시킬 수 있도록 설계, 제작하였다.

그리하여 수정 보완 후에는 의도했던 바 대로 석탄의 발열 후 축열 및 방열과정에서의 열손실을 감소시킬 수 있었다.



그림 84 축열부의 내부 열교환 파이프의 구조 변경

제6절 시작2호기의 성능시험

1. 난방 성능시험의 항목 및 방법

그림 85은 시작기의 성능시험을 위하여 경북대학교 부속 실습농장의 비닐하우스에 잠열축열식 석탄난방기를 설치한 모습이며, 그림 86, 87, 88에 온실내의 방열장치, 열매체유 펌프, 열매체유 유량계, 온수 순환펌프, 온수용 유량계 등을 나타내었다.



그림 85 성능시험 중인 시작기



그림 86 온실내 가온을 위한 방열팬

그림 87은 석탄보일러의 열매체유 펌프 및 고온고압용 유량계의 모습이며 열매체유 펌프는 3HP(2.2kW)의 기어드 모터(Samyang, 모델 No. i03HK1GSN), 3HP(2.2kW)의 감속기(기어비 1:10)와 로터리기어펌프(세안펌프, 모델 No. DSR-B-MKSA 50구경)로 구성되어 최대유량은 95ℓ/min 이다.

유량계는 고온고압용수량계(대홍계량기, 모델 No. DHWS-40)로서 기준유량 10m³/h, 최고사용압력 30kgf/cm²이며 100℃ 이상의 고온에서도 사용하기에 적합한 것을 장착하였다.



그림 87 시작기에 적용된 열매체유 펌프 및 고온고압용 유량계

그림 88에 석탄보일러의 온수 순환펌프 및 온수 유량계를 나타내었으며 온수 순환 펌프는 250W의 비자동 펌프(WILO, 모델 No. PH-250)를 사용하여 최대유량은 155 ℓ/min(전양정 4m 일때)으로 구성되었다.

유량계는 일반형 Water Meter(대흥계량기 제작)로서 기준유량 2m³/h, 최고사용압력 10kgf/cm²인 것을 적용하였다.



그림 88 시작기에 적용된 온수 순환펌프 및 온수용 유량계

성능시험은 아래의 그림 89와 같이 구성하였으며 그 방법은 아래의 표 14와 같다.

온도의 측정은 발열부에서 연소실, 연소열 교환부의 열매체유, 연소가스 배출부 및 순환하는 열매체유의 입·출구에 온도센서(Thermocouple K-type)를 각각 설치하고 적산유량계를 설치하여 난방능력을 산출할 수 있도록 하였다.

축열부에는 온실의 가온시에 방열되는 난방온수의 입·출구에 온도센서를 각각 설치하고 적산유량계를 장착하여 방열량을 산출할 수 있도록 하였으며, 전력사용량은 시작기가 안정되어 모든 기기가 정상으로 작동할 때의 연료공급모터, 송풍기, 재처리모터 및 순환펌프 그리고 축열부의 전기히터에 소요되는 전력량을 측정할 수 있도록 적산전력계를 설치하였다.

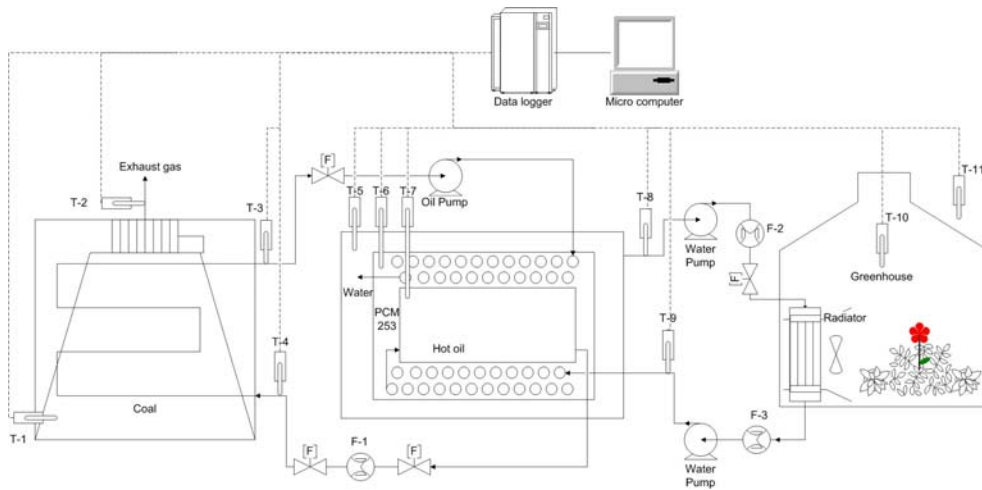


그림 89 성능시험 개략도

표 14 난방성능시험 항목 및 방법

성능시험항목	성능시험방법
연료소비량 (kg/h)	난방능력 측정시간 동안 사용된 연료의 중량을 측정하여 단위 시간당 사용량으로 환산
급 수 량 (kg/h)	급수량은 시작기 급수 입구부에 설치된 유량계로 측정하며 비중을 적용하여 중량으로 환산
입·출구 온도 (℃)	시험 중 물의 입구 및 출구 온도를 매 10분 간격으로 측정하고 각각의 평균온도를 산출
난 방 능 력 (Kcal/h)	$Q = G_w \times C_p \frac{\sum_{i=1}^n (t_{2i} - t_{1i})}{n}$ Q : 난방능력(kcal/h), G _w : 급수량(kg/h) C _p : 물의 평균비열(1.0kcal/kg℃), n : 측정회수 t _{2i} : 출구 온도(℃), t _{1i} : 입구 온도(℃)
열 효 율 (%)	$\eta = \frac{100Q}{F \times H_f}$ η : 열효율(%), Q : 난방능력(kcal/h) F : 연료소비량(kg/h), H _f : 연료의 저위발열량(kcal/kg)
표 면 온 도 (℃)	시작기의 전후, 좌우, 상면부 등의 중앙부위의 표면온도를 측정
소 비 전 력 (kw)	시작기가 안정되어 모든 기기가 정상적으로 작동하고 있을 때의 소비전력(kw)을 측정

시작기의 가동 중 표면온도의 측정부위는 연소실의 상단부 외측으로 하였으며 단열재의 내·외측에 각각 설치하였다. 표면온도의 변화는 단열재의 내측부에서 연소실의 온도가 최고치(800℃)에 달하였을 경우 약 240℃를 기록하였으며 단열재의 외측부에서는 최고 50℃로 측정되었다.

2. 발열량의 측정

잠열축열식 석탄보일러의 각 구성부를 200,000kcal/hr로 설계, 제작하여 성능시험을 실시하였으며 시험항목은 발열량, 발열효율, 방열량, 방열효율 및 소비전력의 측정이었으며 연료소비량(kg/h)을 체크하였다.

그림 90에 석탄보일러의 성능시험 시에 각 부의 온도 측정 및 기록을 위해 휴대용 Data Logger와 컴퓨터를 설치한 모습을 나타내었다.



그림 90 온도측정 및 기록을 위한 Data Logger

3. 방열량(kcal) 및 방열효율(%)

그림 91에 200,000kcal/hr 급 시작기의 성능시험 중 각 부의 온도 변화를 3회 반복 측정 및 기록한 그래프를 나타내었으며 그림 92, 93, 94에는 연소열 열교환부의 열매체유 온도를 각각 110, 130, 150℃로 제어하면서 가동한 경우의 온도 변화를 측정, 기록한 그래프를 나타내었으며, 표 15에 연소열 열교환부의 열매체유 온도를 각각 110℃, 130℃, 150℃로 제어하면서 시험한 결과를 요약하여 나타내었다.

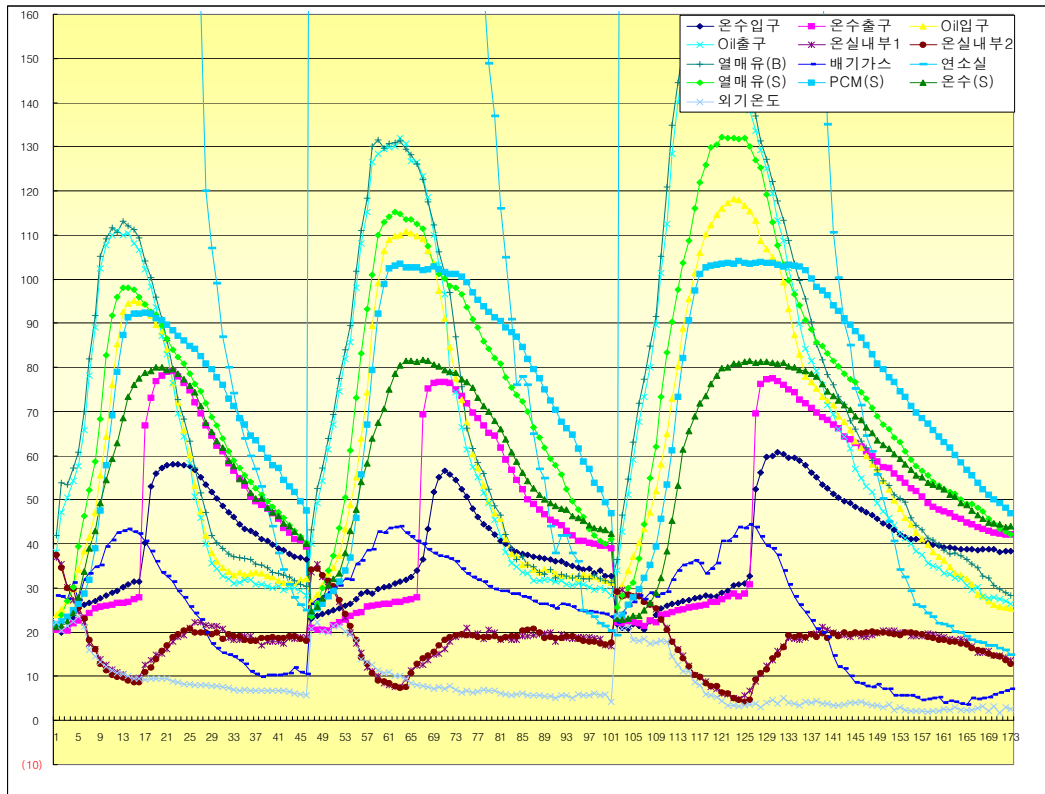


그림 91 성능시험시 온도 변화 그래프

표 15 시작2호기의 성능시험 결과

구 분	110℃	130℃	150℃	비 고
연료소비량(kg)	76.5	101	126.7	
입출구온도차①(℃)	28.3	29.5	35.3	열매유 온도차
입출구온도차②(℃)	11.4	14.4	11.3	온수 온도차
발열량(kcal)	356,404	489,305	611,617	연소가스-열매유
난방능력(kcal/h)	142,561	163,101	152,904	
발열효율(%)	73.9	76.9	76.6	
방열량(kcal)	302,696	457,599	571,732	축열물질-온수
방열효율(%)	84.9	93.5	93.4	
전체효율(%)	62.8	71.9	71.6	

그림 92에 시작기의 성능시험 시 연소열 열교환부의 열매체유 온도를 110℃로 제어 하면서 각 부의 온도 변화를 측정, 기록하여 그래프로 나타내었으며 이 때, 연료투입 량은 76.5kg으로 약 2시간 30분 동안 발열하였다. 시험결과 발열량은 356,404kcal로서 난방능력은 142,561kcal/hr로 계산되며, 투입열량 대비 발열효율은 73.95%로 산출된다. 축열 후 방열량은 302,696kcal로서 투입열량 대비 방열효율이 62.81%로 산출되었다. 또한, 축열부에서의 방열효율은 84.93%로 계산된다.

발열과정 중 열매체유의 입·출구 평균온도차는 28.3℃, 순환유량은 평균 86.2ℓ/min으로 측정되었으며, 방열과정 중 온수의 입·출구 평균온도차는 11.4℃, 순환유량은 평균 17.4ℓ/min으로 측정되었다. 이 때 축열과정 및 축열조에서의 방열과정 중 손실된 열량은 53,708kcal로서 전체 투입열량 대비 약 11.1%로 나타났다.

그림 93에 시작기의 성능시험 시 연소열 열교환부의 열매체유 온도를 130℃로 제어 하면서 각 부의 온도 변화를 측정, 기록하여 그래프로 나타내었으며 이 때, 연료투입 량은 101kg으로 약 3시간 동안 발열하였다. 시험결과 발열량은 489,305kcal로서 난방

능력은 163,101kcal/hr로 계산되며, 투입열량 대비 방열효율은 76.9%로 산출된다. 축열 후 방열량은 457,599kcal로서 투입열량 대비 방열효율이 71.92%로 산출되었다. 또한, 축열부에서의 방열효율은 93.52%로 계산된다.

방열과정 중 열매체유의 입·출구 평균온도차는 29.5℃, 순환유량은 평균 85.3ℓ/min으로 측정되었으며, 방열과정 중 온수의 입·출구 평균온도차는 14.4℃, 순환유량은 평균 17.5ℓ/min으로 측정되었다. 이 때 축열과정 및 축열조에서의 방열과정 중 손실된 열량은 31,706kcal로서 전체 투입열량 대비 약 4.9%로 나타났다.

그림 94에 시작기의 성능시험 시 연소열 열교환부의 열매체유 온도를 150℃로 제어 하면서 각 부의 온도 변화를 측정, 기록하여 그래프로 나타내었으며 이 때, 연료투입량은 126.7kg으로 약 4시간 동안 방열하였다. 시험결과 방열량은 611,617kcal로서 난방능력은 152,904kcal/hr로 계산되며, 투입열량 대비 방열효율은 76.62%로 산출된다. 축열 후 방열량은 571,732kcal로서 투입열량 대비 방열효율이 71.63%로 산출되었다. 또한, 축열부에서의 방열효율은 93.48%로 계산된다.

방열과정 중 열매체유의 입·출구 평균온도차는 35.3℃, 순환유량은 평균 84.3ℓ/min으로 측정되었으며, 방열과정 중 온수의 입·출구 평균온도차는 11.3℃, 순환유량은 평균 16.4ℓ/min으로 측정되었다. 이 때 축열과정 및 축열조에서의 방열과정 중 손실된 열량은 39,885kcal로서 전체 투입열량 대비 약 5%로 나타났다.

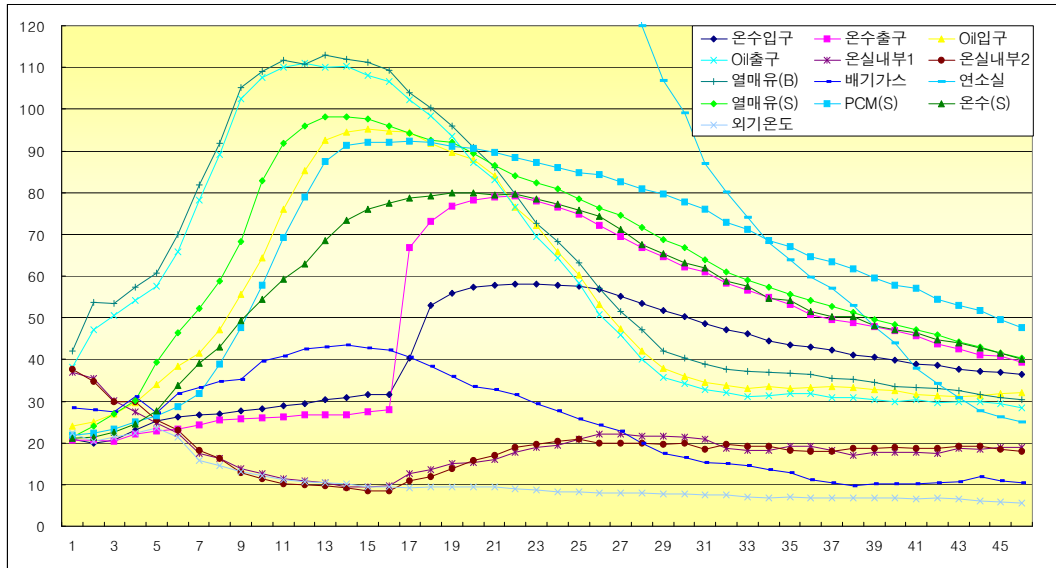


그림 92 성능시험시 온도 변화 그래프(110°C에서 제어)

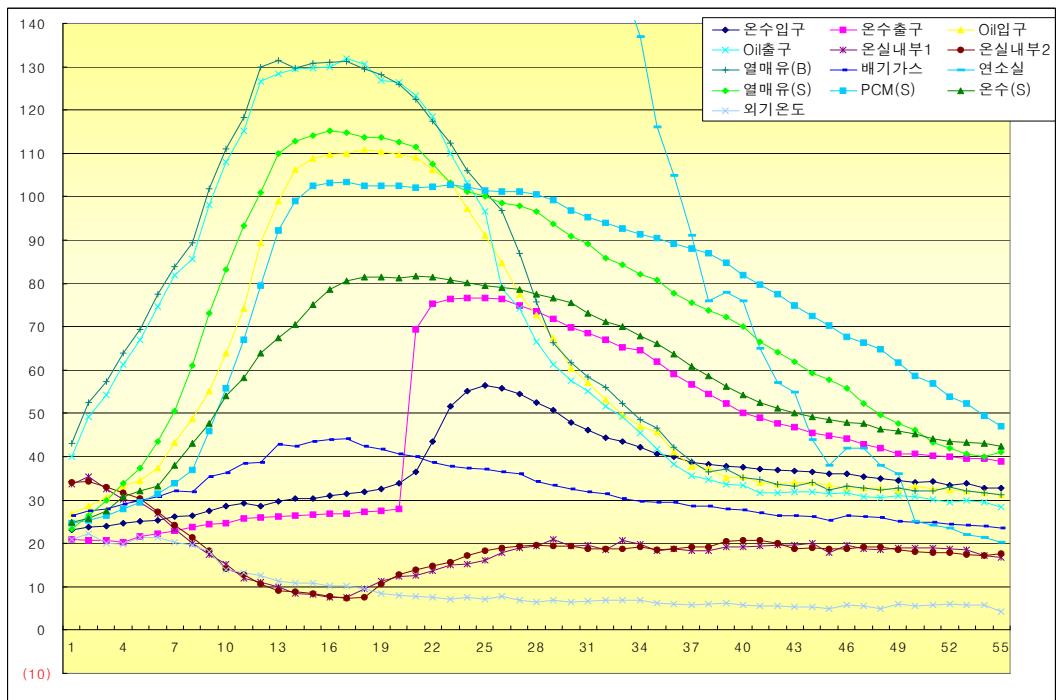


그림 93 성능시험시 온도 변화 그래프(130°C에서 제어)

제7절 잠열축열식 석탄보일러의 온실규모별 적정 Size 선정 및 경제성 분석

1. 서론

본 연구에서 개발된 석탄보일러의 온실규모별 적정 Size 선정을 위하여 150~600평의 온실에 50,000~200,000kcal/hr의 석탄보일러를 적용하였을 경우 투입되는 비용을 산출하여 각각의 규모에 적합한 보일러의 Size를 선정하였다.

개발된 석탄보일러의 경제성 분석은 현재 사용되고 있는 보일러와 난방기에 사용되는 유류 및 석탄과 대비하여 분석하기로 하였다.

표 16에 각 연료별 저위 발열량과 단위 가격을 나타내었으며, 경유의 가격은 면세 공급가격이며, 석탄의 가격은 대한석탄공사의 산지가격을 기준으로 하였다.

표 16 연료별 발열량 및 공급가격

구 분	경 유	석 탄
저위 발열량	8,450(kcal/ℓ)	6,300(kcal/kg)
공급가격	650(원/ℓ)	160(원/kg)

※ 출처 : 대한석유협회('07. 2), 대한석탄공사('07. 1)

연료소비량은 일반 보일러와 난방기에 사용중인 경험적인 석유의 연료소비량을 근거로 하여 1년간의 난방에 소요되는 총 열량을 산출하여 비교 분석하였다.

2. 연구의 방법

온실규모별 적정 Size 선정을 위해 50,000~200,000kcal/hr의 보일러를 각각 150~600평 온실에 적용하였을 경우 소요되는 구입비용, 운전비용 등 이용비용을 비교하여 온실의 규모에 각각 적합한 보일러의 Size를 선택하기로 했다.

이때 각각의 경우, 보일러의 가동시간은 연간 180일, 1일 12시간으로 가정하였으며,

내용연수는 모두 6년이며 그 6년 후의 잔존가액은 0원, 구입 및 사용에 따른 이자비용은 연간 4%, 수리비는 연간 3%, 창고비용은 연간 1%를 각각 적용하였다.

고정비용에는 감가상각비, 구입비용에 따른 이자비용, 수리비용, 창고비용 외 전력 시설 및 기본요금에 포함되었으며, 변동비용에는 난방기를 사용함에 따라 추가되는 임금, 연료비, 전력비용 등이 포함된다.

노임은 농업노동임금(남자, 1일 8시간 기준) 57,467원을 적용하였으며, 노동시간은 난방온도 설정시간, 석탄의 적재에 소요되는 시간 등을 계산하여 난방면적에 따라 1일 1.13~1.5시간을 각각 적용하였다.

연료소모량은 난방능력과 효율을 감안하여 계산된 수치를 이용하였고, 보일러의 효율은 시작기의 성능시험시 산출된 71.93%를 적용하였으며, 전기소모량에 대한 비용은 농업용(병)의 기본요금(1,070원/kW) 및 사용요금(36.4원/kWh)을 기준으로 계산하였다.

경제성 분석은 석탄보일러를 포함한 경우보일러 제품의 투자효과가 일정하다고 가정할 경우 투자비용과 이용비용을 합산한 총 합계비용이 가장 저렴한 제품을 우수한 제품으로 하기로 했다.

3. 분석 결과

가. 온실규모별 적정 Size 선정

표 17, 18, 19,20에 온실규모별 적정 Size 선정을 위해 50,000~200,000kcal/hr의 보일러를 각각 150~600평 온실에 적용하였을 경우 소요되는 구입비용, 운전비용 등 연간 이용비용을 비교하여 나타내었으며, 표 17에 50,000kcal/hr 보일러의 온실규모별 이용비용을, 표 18에 100,000kcal/hr 보일러의 온실규모별 이용비용을, 표 19에 150,000 kcal/hr 보일러의 온실규모별 이용비용을, 표 20에 200,000kcal/hr 보일러의 온실규모별 이용비용을 나타내었다. 그리고, 그림 95, 96, 97, 98에는 각각의 경우에 보일러의 적정 Size를 선정하기 위하여 이용비용의 비교 그래프를 나타내었다.

① 50,000kcal/hr 보일러를 50평, 100평, 150평에 적용하였을 경우의 이용비용을 표 17에 비교하여 나타내었고 그 결과를 그림 95에 이용비용의 예측 곡선식과 함께 나타내었다. 연료소모량은 난방면적에 따라 각각 3.6kg/h, 7.1kg/h, 10.7kg/h으로 계산하였고, 노동시간은 각각 1.13시간, 1.17시간, 1.2시간을 적용하였다.

고정비용의 경우 각각의 난방면적에 연간 2,227,570원으로 동일하게 나타나 연간 이용비용의 14.6%, 13.2%, 12.1%를 차지한다. 변동비용에 있어서 연간 12,996,778원, 14,639,906원, 16,179,594원으로 계산되어 연간이용비용은 각각의 난방면적별로 1,692원/일-평, 937원/일-평, 682원/일-평으로 산출되었다. 그러므로 50,000kcal/hr 보일러는 150평의 온실에 사용하는 것이 이용비용면에서 유리할 것으로 판단된다.

표 17 50,000kcal/hr 보일러의 온실규모별 이용비용

구 분		50평	100평	150평
기계비용(원)		9,000,000	9,000,000	9,000,000
전기소모량(kw/h)		1.00	1.00	1.00
연료소모량(l/h, kg/h)		3.6	7.1	10.7
노동시간(h/일)		1.13	1.17	1.2
고정비용 (원)	감가상각	1,500,000	1,500,000	1,500,000
	이자	360,000	360,000	360,000
	수리비	270,000	270,000	270,000
	창고비	90,000	90,000	90,000
	전력비(기본)	1,070	1,070	1,070
	기타(전기시설비)	6,500	6,500	6,500
	소 계	2,227,570	2,227,570	2,227,570
변동비용 (원)	노 임	11,688,788	12,102,550	12,412,872
	연료비	1,229,366	2,458,732	3,688,098
	전력비(사용)	78,624	78,624	78,624
	소 계	12,996,778	14,639,906	16,179,594
연간 이용비용	원/년	15,224,348	16,867,476	18,407,164
	원/년-평	304,487	168,675	122,714
	원/일-평	1,692	937	682

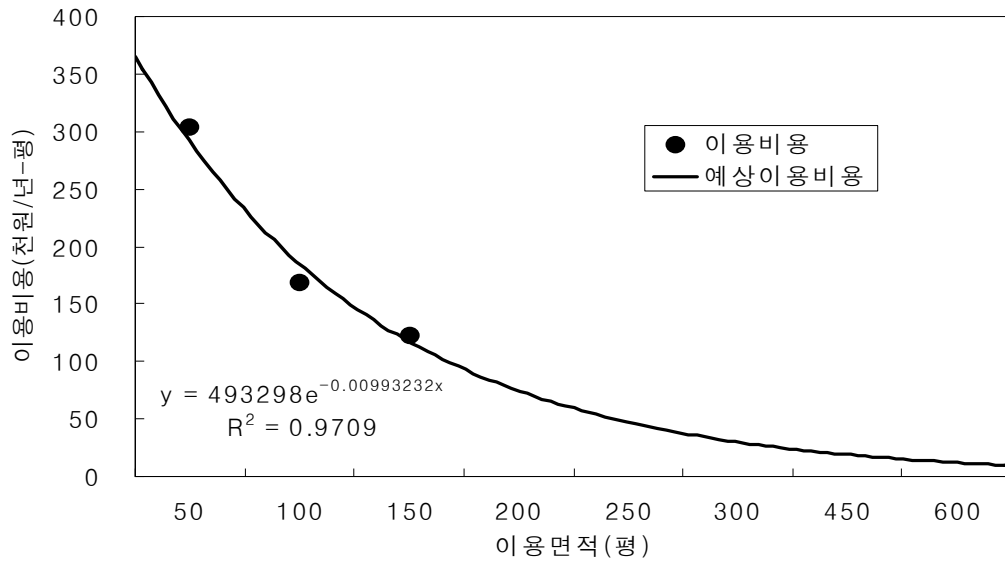


그림 95 50,000kcal/hr 보일러의 온실규모별 이용비용

② 100,000kcal/hr 보일러를 50평, 100평, 200평, 300평에 적용하였을 경우의 이용비용을 표 18에 비교하여 나타내었고 그 결과를 그림 96에 이용비용의 예측 곡선식과 함께 나타내었다. 연료소모량은 난방면적에 따라 각각 3.6kg/h, 7.1kg/h, 14.2kg/h, 21.3으로 계산하였고, 노동시간은 각각 1.13시간, 1.17시간, 1.2시간, 1.3시간을 적용하였다.

고정비용의 경우 각각의 난방면적에 연간 2,724,688원으로 동일하게 나타나 연간 이용비용의 17.3%, 15.7%, 13.3%, 11.5%를 차지한다. 변동비용에 있어서는 연간 13,036,090원, 14,679,218원, 17,758,594원, 20,941,410원으로 계산되어 연간이용비용은 각각의 난방면적별로 1,751원/일-평, 967원/일-평, 569원/일-평, 438원/일-평으로 산출되었다. 그러므로 100,000kcal/hr 보일러는 300평의 온실에 사용하는 것이 이용비용면에서 유리할 것으로 판단된다.

표 18 100,000kcal/hr 보일러의 온실규모별 이용비용

구 분		50평	100평	200평	300평
기계비용(원)		11,000,000	11,000,000	11,000,000	11,000,000
전기소모량(kw/h)		1.50	1.50	1.50	1.50
연료소모량(l/h, kg/h)		3.6	7.1	14.2	21.3
노동시간(h/일)		1.13	1.17	1.2	1.3
고정비용 (원)	감가상각	1,833,333	1,833,333	1,833,333	1,833,333
	이자	440,000	440,000	440,000	440,000
	수리비	330,000	330,000	330,000	330,000
	창고비	110,000	110,000	110,000	110,000
	전력비(기본)	1,605	1,605	1,605	1,605
	기타(전기시설비)	9,750	9,750	9,750	9,750
	소 계	2,724,688	2,724,688	2,724,688	2,724,688
변동비용 (원)	노 임	11,688,788	12,102,550	12,723,194	13,447,278
	연료비	1,229,366	2,458,732	4,917,464	7,376,196
	전력비(사용)	117,936	117,936	117,936	117,936
	소 계	13,036,090	14,679,218	17,758,594	20,941,410
연간 이용비용	원/년	15,760,778	17,403,906	20,483,282	23,666,098
	원/년-평	315,216	174,039	102,416	78,887
	원/일-평	1,751	967	569	438

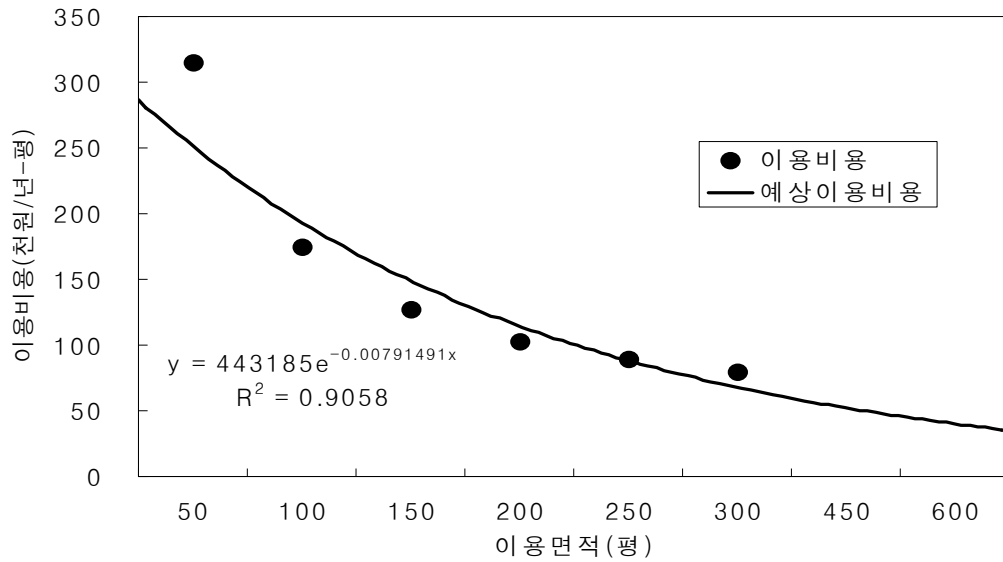


그림 96 100,000kcal/hr 보일러의 온실규모별 이용비용

③ 150,000kcal/hr 보일러를 100평, 150평, 300평, 450평에 적용하였을 경우의 이용비용을 표 19에 비교하여 나타내었고 그 결과를 그림 97에 이용비용의 예측 곡선식과 함께 나타내었다. 연료소모량은 난방면적에 따라 각각 7.1kg/h, 10.7kg/h, 21.3kg/h, 32kg/h 으로 계산하였고, 노동시간은 각각 1.17시간, 1.2시간, 1.3시간, 1.4시간을 적용하였다.

고정비용의 경우 각각의 난방면적에 연간 3,221,807원으로 동일하게 나타나 연간 이용비용의 17.9%, 16.5%, 13.3%, 11.1%를 차지한다. 변동비용에 있어서는 연간 14,718,530원, 16,258,218원, 20,202,528원, 25,703,226원으로 계산되어 연간이용비용은 각각의 난방면적별로 997원/일-평, 721원/일-평, 448원/일-평, 357원/일-평으로 산출되었다. 그러므로 150,000kcal/hr 보일러는 450평의 온실에 사용하는 것이 이용비용면에서 유리할 것으로 판단된다.

표 19 150,000kcal/hr 보일러의 온실규모별 이용비용

구 분		100평	150평	300평	450평
기계비용(원)		13,000,000	13,000,000	13,000,000	13,000,000
전기소모량(kw/h)		2.00	2.00	2.00	2.00
연료소모량(l/h, kg/h)		7.1	10.7	21.3	32
노동시간(h/일)		1.17	1.2	1.3	1.4
고정비용 (원)	감가상각	2,166,667	2,166,667	2,166,667	2,166,667
	이자	520,000	520,000	520,000	520,000
	수리비	390,000	390,000	390,000	390,000
	창고비	130,000	130,000	130,000	130,000
	전력비(기본)	2,140	2,140	2,140	2,140
	기타(전기시설비)	13,000	13,000	13,000	13,000
	소 계	3,221,807	3,221,807	3,221,807	3,221,807
변동비용 (원)	노 임	12,102,550	12,412,872	13,447,278	14,481,684
	연료비	2,458,732	3,688,098	7,376,196	11,064,294
	전력비(사용)	157,248	157,248	157,248	157,248
	소 계	14,718,530	16,258,218	20,980,722	25,703,226
연간 이용비용	원/년	17,940,337	19,480,025	24,202,528	28,925,032
	원/년-평	179,403	129,867	80,675	64,278
	원/일-평	997	721	448	357

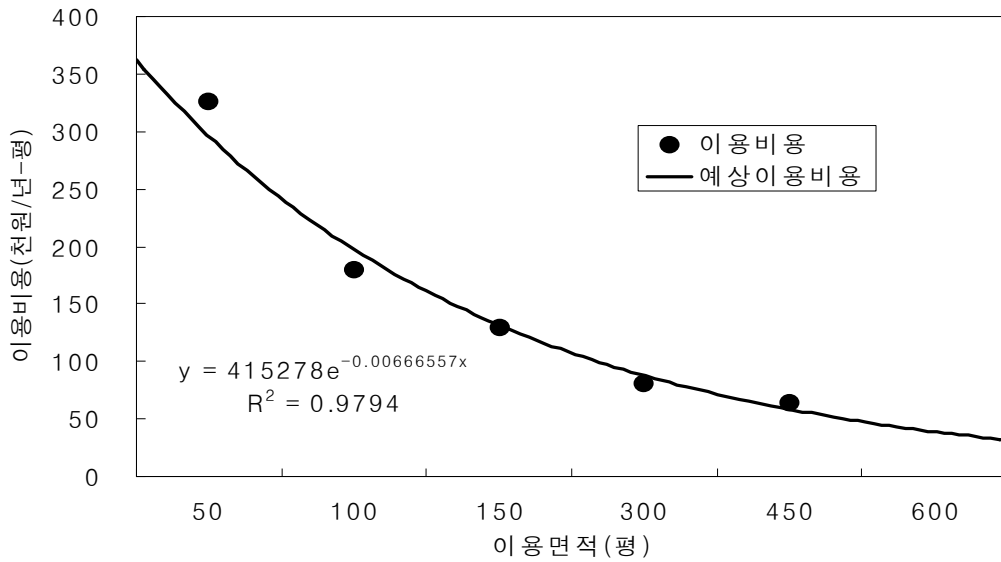


그림 97 150,000kcal/hr 보일러의 온실규모별 이용비용

④ 200,000kcal/hr 보일러를 150평, 300평, 450평, 600평에 적용하였을 경우의 이용비용을 표 20에 비교하여 나타내었고 그 결과를 그림 98에 이용비용의 예측 곡선식과 함께 나타내었다. 연료소모량은 난방면적에 따라 각각 10.7kg/h, 21.3kg/h, 32kg/h, 42.7kg/h 으로 계산하였고, 노동시간은 각각 1.2시간, 1.3시간, 1.4시간, 1.5시간을 적용하였다.

고정비용의 경우 각각의 난방면적에 연간 3,720,893원으로 동일하게 나타나 연간 이용비용의 18.6%, 15.0%, 12.6%, 10.9%를 차지한다. 변동비용에 있어서는 연간 16,317,972원, 21,040,476원, 25,762,980원, 30,458,484원으로 계산되어 연관이용비용은 각각의 난방면적별로 742원/일-평, 459원/일-평, 364원/일-평, 317원/일-평으로 산출되었다. 그러므로 200,000kcal/hr 보일러는 600평의 온실에 사용하는 것이 이용비용면에서 유리할 것으로 판단된다.

표 20 200,000kcal/hr 보일러의 온실규모별 이용비용

구 분		150평	300평	450평	600평
기계비용(원)		15,000,000	15,000,000	15,000,000	15,000,000
전기소모량(kw/h)		2.76	2.76	2.76	2.76
연료소모량(l/h, kg/h)		10.7	21.3	32	42.7
노동시간(h/일)		1.2	1.3	1.4	1.5
고정비용 (원)	감가상각	2,500,000	2,500,000	2,500,000	2,500,000
	이자	600,000	600,000	600,000	600,000
	수리비	450,000	450,000	450,000	450,000
	창고비	150,000	150,000	150,000	150,000
	전력비(기본)	2,953	2,953	2,953	2,953
	기타(전기시설비)	17,940	17,940	17,940	17,940
	소 계	3,720,893	3,720,893	3,720,893	3,720,893
변동비용 (원)	노 임	12,412,872	13,447,278	14,481,684	15,516,090
	연료비	3,688,098	7,376,196	11,064,294	14,752,392
	전력비(사용)	217,002	217,002	217,002	217,002
	소 계	16,317,972	21,040,476	25,762,980	30,485,484
연간 이용비용	원/년	20,038,865	24,761,369	29,483,873	34,206,377
	원/년-평	133,592	82,538	65,520	57,011
	원/일-평	742	459	364	317

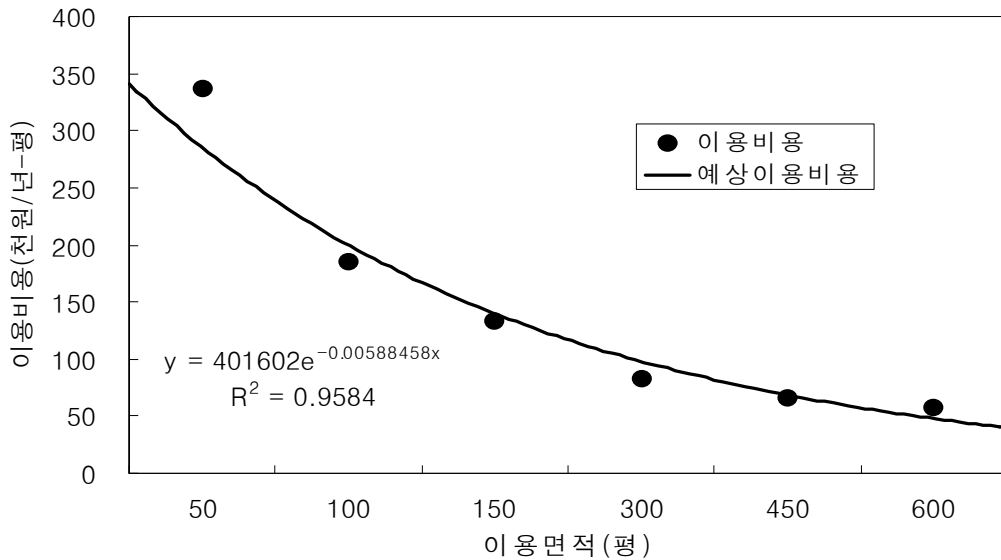


그림 98 200,000kcal/hr 보일러의 온실규모별 이용비용

온실규모별 적정 Size 선정에 있어서 다음의 그림 99에 온실의 면적별 적용 기기에 따른 이용비용의 변화 그래프를 나타냈다. 그림에서 이용면적은 평단위로, 이용비용은 천원/년·평 단위로 나타내었다. 이용면적별 적정한 기기의 Size를 찾아보면, 150평 이하의 경우에는 50,000kcal/hr 보일러가 111,193~182,707원/년-평으로, 150평 초과 300평 이하의 경우에는 100,000kcal/hr 보일러가 41,244~91,013원/년-평으로 저렴하게 나타났다. 또한, 300평 초과 450평 이하의 경우에는 150,000kcal/hr 보일러가 20,686~40,286원/년-평으로, 450평 초과 600평 이하의 경우에는 200,000kcal/hr 보일러가 11,760~15,783원/년-평으로 저렴하게 나타났다.

결과적으로 그림 100과 같이 450~600평 사이의 온실에는 200,000kcal/hr 보일러를 적용하는 것이, 300~450평 사이의 온실에는 150,000kcal/hr 보일러를 적용하는 것이, 150~300평 사이의 온실에는 100,000kcal/hr 보일러를 적용하는 것이, 150평 이하의 온실에는 50,000kcal/hr 보일러를 적용하는 것이 경제적으로 적정한 온실의 규모별 기기의 Size라 할 수 있었으며 가능한 온실의 규모를 크게 하는 것이 연간 평당 이용비용이 저렴하게 계산되었다.

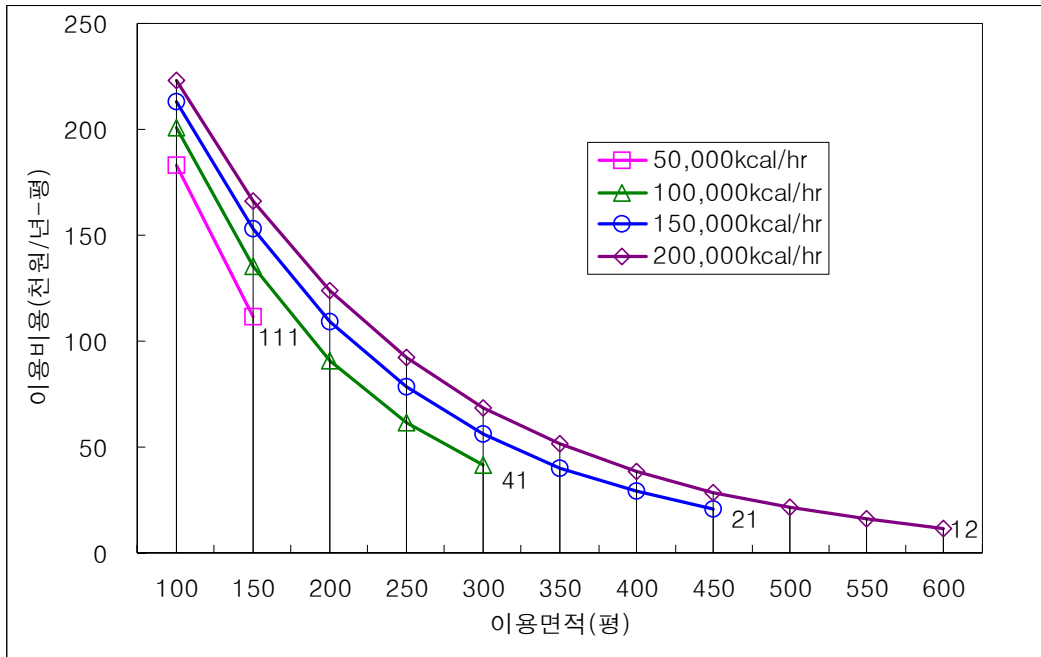


그림 99 온실의 면적별 적용 기기의 이용비용 변화

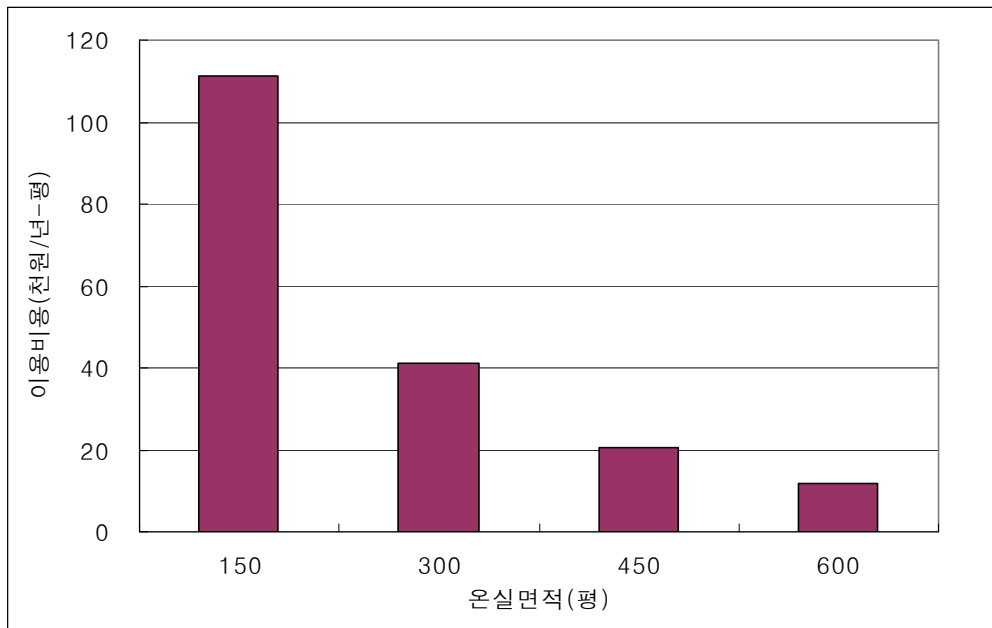


그림 100 온실 면적별 석탄보일러의 이용비용

나. 경제성 분석

표 21에는 각 사용연료별 보일러의 경제성 분석을 위해 구입비용, 투자비용 및 이용비용을 산출하기 위한 데이터들을 나타내었으며, 각 제품별 고정비용 및 변동비용을 합산하여 연간 이용비용을 나타내었다.

고정비용에는 감가상각비, 구입비용에 따른 이자비용, 수리비용, 창고비용 외 전력 시설 및 기본요금이 포함되었으며, 변동비용에는 난방기를 사용함에 따라 추가되는 임금, 연료비, 전력비용 등이 포함된다. 이 때 노임은 농업노동임금(남자, 1일 8시간 기준) 57,467원을 적용하여 계산하였다.

각각의 운전조건은 적정 Size의 선정에 있어서와 같이, 보일러의 가동시간은 연간 180일, 1일 12시간으로 가정하였으며, 내용연수는 석탄보일러가 6년(6년 후 잔존가액은 0원), 경유보일러는 10년(10년 후의 잔존가액은 5%), 구입 및 사용에 따른 이자비용은 연간 4%, 수리비는 연간 3%, 창고비용은 연간 1%로 설정하여 계산하였다.

표 21에서 각 제품별 투자비용과 이용비용을 비교 분석한 결과 본 연구의 시작기와 경유보일러를 비교하였을 경우, 600평 온실에 가장 적절한 Size인 200,000 kcal/hr 보일러에서, 고정비용면에서는 구입시의 가격이 5,000천원 비싸고, 연간 약 2,000천원이 추가되지만, 변동비용면에서는 연간 약 55,150천원이 절감되어 전체 이용비용은 53,200천원이 절감된다. 그러므로 본 연구의 시작기는 경유보일러 대비 연간 60.9% 정도의 에너지 비용절감 효과를 나타내었다.

또한, 본 연구의 시작기와 기존의 석탄보일러를 비교해 보면, 고정비용면에서는 구입시 약 3,000천원이 비싸고, 연간 약 740천원이 추가되지만, 변동비용면에서는 약 15,940천원이 절감되어 전체 이용비용은 15,200천원이 절감된다. 그러므로 본 연구의 시작기는 기존의 석탄보일러와 비교해 보아도 연간 30.8% 정도의 에너지 비용절감 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

표 21 제품별 구입비용 및 기타 비용 내역

구 분		시작기	경유보일러	석탄보일러
기계비용(원)		15,000,000	10,000,000	12,000,000
내용연수(년)		6	10	6
잔존율(%)		0%	5%	0%
전기소모량(kw/h)		2.76	3.00	3.00
연료소모량(l/h, kg/h)		42.7	57.1	43.9
효율(%)		71.92%	70.00%	70.00%
노동시간(h/일)		1.5	0.5	3.0
이용면적(평)		600	600	600
고 정 비 용 (원)	감가상각	2,500,000	950,000	2,000,000
	이자	600,000	400,000	480,000
	수리비	450,000	300,000	360,000
	창고비	150,000	100,000	120,000
	전력비(기본)	2,953	3,210	3,210
	기타(전기시설비)	17,940	19,500	19,500
소계		3,720,893	1,772,710	2,982,710
변 동 비 용 (원)	노 임	15,516,090	5,172,030	31,032,180
	연료비	14,752,392	80,228,571	15,157,029
	전력비(사용)	424,570	235,872	235,872
소 계		30,485,484	85,636,473	46,425,081
합 계	원/년	34,206,377	87,409,183	49,407,791
	원/년-평	57,011	145,682	82,346
	원/일-평	317	809	457

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 목표달성도

본 연구는 기존의 고체연료를 이용하는 난방기에서 발생하는 문제점과 축열식 난방기의 문제점을 해결하기 위하여 신소재 상변화물질을 이용하여 농업용 잠열축열식 난방기를 개발하는 것이 그 목표이며 2년에 걸쳐 이루어졌다. 아래의 표 22에 연차별 목표달성도를 요약하여 나타냈으며, 전체적으로 연구개발 목표 대비 달성도는 100%이다.

표 22 연차별 연구개발 대비 목표달성도

구 분	연구개발목표	연구개발 내용 및 범위	연구개발달성도
1차년도 (2005~ 2006)	1. PCM253의 특성 분석	1) 흡열량 측정	• 시차주사열량계(DSC)를 이용하여 흡열량 측정 완료
		2) 흡열 및 방열 Test	• 흡열장치 및 방열장치를 구성하여 흡·방열 Test 완료
	2. 잠열축열식 난방기의 각 Part별 설계기준 마련	1) 발열부의 설계기준 제공	• 세부구성부의 적정 Spec 결정 완료
		2) 축열부의 설계기준 제공	• 세부구성부의 적정 Spec 결정 완료
		3) 제어부의 설계기준 제공	• 세부구성부의 적정 Spec 결정 완료
	3. 잠열축열식 난방기(50,000kcal/h) 의 설계 및 제작	1) 발열부의 설계/제작	• 각 구성부의 설계/제작 완료
		2) 축열부의 설계/제작	• 각 구성부의 설계/제작 완료

		3) 제어부의 설계/제작	<ul style="list-style-type: none"> • 각 구성부의 설계/제작 완료
	4. 잠열축열식 난방기의 시작기 성능 시험	1) 시험장치의 구성 및 난방효율 산출	<ul style="list-style-type: none"> • 발열량, 축열량, 방열량 및 난방효율을 산출하기 위한 성능시험 완료
	5. 시작기의 수정/보완	1) 각 구성부의 문제점 발견을 통한 수정/보완	<ul style="list-style-type: none"> • 문제점 발견 및 수정/보완 완료
2차년도 (2006~ 2007)	1. 열효율 최적화를 위한 알고리즘 개발	1) 난방 시스템의 각 구성부 별 알고리즘 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 발열부, 축열부, 방열부에 최적화된 알고리즘을 하여 난방기의 제작 완료
	2. 잠열축열식 난방기(200,000kcal/h)의 설계 및 제작	1) 발열부의 설계/제작	<ul style="list-style-type: none"> • 각 구성부의 설계/제작 완료
		2) 축열부의 설계/제작	<ul style="list-style-type: none"> • 각 구성부의 설계/제작 완료
		3) 제어부의 설계/제작	<ul style="list-style-type: none"> • 각 구성부의 설계/제작 완료
	3. 잠열축열식 난방기(200,000kcal/h) 성능시험	1) 시험장치의 구성 및 난방효율 산출	<ul style="list-style-type: none"> • 발열량, 축열량, 방열량 및 난방효율을 산출하기 위한 성능시험 완료
	4. 시작기(200,000kcal/h)의 수정/보완	1) 각 구성부의 문제점 발견을 통한 수정/보완	<ul style="list-style-type: none"> • 문제점 발견 및 수정/보완 완료
	5. 온실규모별 적정 Size 선정 및 경제성 분석	1) 온실규모별 적정 Size 선정	<ul style="list-style-type: none"> • 온실규모 및 난방부하에 적합한 난방기의 적정 Size 선정 완료
2) 경제성분석		<ul style="list-style-type: none"> • 타 난방기와의 비교분석을 통한 경제성 분석의 완료 	

제2절 관련분야에의 기여도

1. 기술적 측면

가. 에너지이용의 합리화

흡열 및 방열이 원활하게 이루어질 수 있도록 열교환 구조를 최적화한 열교환기에, 열에너지를 PCM에 고농축으로 저장할 수 있어 그 요구열량에 대한 시스템의 열효율이 크게 향상되는 효과가 있다.

물질의 상변화 기간에 열에너지를 흡수하였다가 방출하는 잠열특성을 이용하기 때문에 일정한 온도로 열을 공급할 수 있고, 축열용량도 현열재인 물보다 크기 때문에 축열시스템의 용적이 작아지는 장점이 있다.

나. 관련 산업분야의 기술파급 효과

개발된 잠열축열식 고체연료형 난방기의 열교환기 기술부분을 응용하면 폐열을 회수할 수 있는 잠열축열식 폐열회수장치 분야로 확대할 수 있어 타 산업분야의 기술파급 효과가 있다.

2. 경제 · 산업적 측면

가. 농가의 경영비 절감효과

폐목이나 잡목은 농촌에서 쉽게 구할 수 있는 연료이며, 가격대비 열효율이 경유보다 2.7배 이상 높은 연탄 등 고체연료의 사용과 난방기의 열효율이 높기 때문에 난방비의 부담을 크게 줄일 수 있어 농업생산비를 크게 절감할 수 있는 효과가 있음.

나. 농업 경쟁력 확보

난방비의 절감으로 농가의 경영비 부담이 줄어들게 되어 생산물량의 공급안정과 가격의 안정화로 농산물 소비 증대와 경쟁력 강화로 농산물의 수출이 증가할 것이며,

온도는 작물의 생육에 직접적인 영향을 미치는 중요한 요인으로 열을 안정하고 균일하게 공급할 수 있기 때문에 작물의 상품수량과 상품률이 증가하여 생산성이 향상될 것이다.

다. 외화 절감 효과

국내에서 생산된 폐목/잡목/연탄 등을 사용으로 할 수 있어 농업용 석유류 수입액의 연간 약 4,000억 원 중 상당액의 외화를 절감할 수 있다.

라. 수출기대 품목

잠열축열식 고체연료형 난방기는 석탄 등 연료가격이 아주 저렴하고 기온이 낮은 지역인 북한, 중국, 러시아 등으로 수출을 할 수 있어 난방기의 수출증대 효과가 있다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제1절 연구성과

1. 특허 출원 및 등록

- 출원번호 : 10-2006-0063128
- 등록번호 : 10-0614173
- 발명명칭 : 축열재 조성물 및 그의 제조방법
- 출 원 일 : 2006년 7월 5일
- 등 록 일 : 2006년 8월 11일
- 출 원 인 : (주)에이치엔엘
- 발 명 자 : 나 규 동 외 2인

제2절 활용계획

1. 본 연구팀은 설계 및 제작된 200,000kcal/hr 급의 잠열축열식 난방기를 경북대학교 실험농장에서 성능시험을 완료하고, 경산시의 시설원에 농가에 적용하여 농림기술센터 또는 시설원에 농가 등에서 시연회를 개최하고 한국농업기계학회 및 생물환경조절학회에 연구내용을 발표할 예정이다.

2. 개발된 시작기는 농림부의 농업신기술을 획득하여 사업화자금을 융자받고, EM 등 우수신기술인증을 획득하여, 정부의 저리 융자 등 자금지원 대상품목의 자격을 취득하여, 난방기를 신설 또는 교체할 시설원에 농가에 확대보급을 통하여 고유가시대에 경영난을 해소시킬 것이다.

3. 본 연구에서 개발된 농업용 잠열축열식 난방기는 시설하우스 재배단지(화훼, 과일, 유기농, 채소농가, 버섯 등) 뿐만 아니라, 돈사, 양계장, 우사, 잠업장 등 시설양축농가, 수산물(미역, 멸치, 김, 오징어, 어류양식장 등) 가공시설 등의 경유 및 증유, 가스, 고체연료형 난방기를 대체할 수 있도록 판매 할 수 있으며, 중국 및 러시아에도 난방기의 형태로 수출이 가능하다.

제 6 장 종합 결론

본 연구는 기존의 고체연료의 이용시 발생하는 문제점과 또한 기존 축열 난방기의 문제점을 해결하기 위하여 열에너지의 저장용량이 같은 온도 구간대의 물 65Kcal/kg 보다 4배 이상의 열용량을 가지고 있는 신소재 물질(물질특허 제042008호)인 PCM253의 상변화를 이용하여 농업용 잠열축열식 난방기를 개발하기 위하여 수행되었다.

본 연구는 세부적으로 ① 난방기의 주열원으로 석탄을 사용하고, 필요시 보조열원으로 전기를 사용하며, ② 열원의 열에너지를 축열과 현열로 동시에 사용할 수 있으며, ③ 온실내의 온도조절이 용이하여 난방부하량 변동에 탄력적으로 대응가능하며, ④ 열효율이 타 석탄 연료형 난방기보다 우수하며, ⑤ 연료의 투입과 재처리가 용이하며, ⑥ 난방기는 친환경적이며, ⑦ 비닐하우스, 화훼농원, 축사, 잠사, 양어장 등에 사용가능하고, ⑧ 기계비용은 약 1천만원대 정도인 기능을 가지는 난방기의 개발을 수행하였다.

이러한 목표를 가지고 추진된 본 연구는 모두 2년의 기간 동안 최종적으로 시작1호기(50,000Kcal/h)와 대용량의 시작2호기(200,000Kcal/h)의 형태로 제작되었으며 PCM 253의 열전달 특성을 분석하고, 그 기준에 따라서 잠열축열식 난방기의 발열부와 축열부의 각 Part별 연소열 열교환부 구조, PCM 열교환부 구조, 연료공급부, 점화부, 재처리부 등을 설계 및 제작한 후, 열효율 최적화를 위한 알고리즘을 개발하고, 개발된 시작기의 성능평가 및 현장적용시험을 통하여 수정보완을 하고 온실규모별 적정 Size 선정 및 경제성 분석을 진행하였다. 따라서 본 연구의 종합 결론은 다음과 같다.

1. 본 연구의 핵심이 되는 신소재 상변화물질인 PCM253의 열특성분석을 수행한 결과, 여러차례의 흡열 및 방열과정의 반복에 대해서도 일정하게 열적성능이 유지되는 우수한 특성을 가진 물질로 확인하였다. 실험결과 본 물질을 60~110℃ 범위에서 흡열 및 방열하였을 경우 흡·방열량은 물질의 단위무게당 216kcal로 산출되었다. 이 결과를 바탕으로 하여 시작기의 각 구성부를 설계 및 제작하였다.

2. 개발된 난방기의 발열부는 ① 연소열 열교환부, ② 연료공급부, ③ 점화부, ④ 재처리부로 구성되며 연소열 열교환부를 구성하는 열교환 파이프의 규격은 65A(외경 76.3 mm, 두께 5.2mm) 파이프를 사용하였으며, 개수는 16개, 총 길이는 각각 3,870mm로 구성되었다. 연료공급부의 석탄투입방법은 버킷형 투입식으로서 연료의 형상이나 크기가 일정하지 않은 석탄의 경우에 있어서 연료의 투입시 걸림현상이나 막힘현상이 나타나지 않았으며, 1회 공급시 석탄의 공급량은 약 8.45kg이 되도록 제작하였다. 점화부는 가스버너의 화염을 화격자의 아래부분으로 공급하며 약 10분의 가동으로 연소실내의 석탄이 안정적으로 착화될 수 있도록 설계 및 제작하였다.

3. 개발된 난방기의 축열부는 ① 열매체유, ② 축열물질, ③ 물의 세가지 전열유체로 구성하였는데, 발열부에서 석탄의 연소가스와 열교환 된 열매체유가 축열물질을 가온시켜 상변화 축열하고, 방열시에는 물자켓의 물이 축열물질 내를 순환하면서 열교환하여 온실에 필요한 열량을 공급할 수 있도록 온수식으로 설계, 제작하였다.

열매체유조는 물자켓을 포함한 외형치수를 1370 × 2448(φ × L)로 열매체유조는 400A 파이프를 사용하여 406 × 2655(φ × L)로, 축열물질조는 1360 × 1846(φ × L)으로 설계 및 제작하여 열매체유는 430 ℓ, 축열물질은 1,050 ℓ, 물은 2,200 ℓ 가 되도록 하였다.

4. 개발된 난방기의 제어부는 축·방열모드의 설정인자를 온실의 설정온도를 기준으로 하여, 온실내의 기온이 최저 설정온도 미만 또는 최고 설정온도 초과일 경우 축열모드로 전환되도록 하였다.

한편, 온실내의 기온이 최저 설정온도 초과, 최고 설정온도 미만일 경우에 방열모드로 전환되도록 하였다. 방열모드에서는 온수 순환펌프가 작동, 온실에 가온을 수행하도록 하였으며, 축열조 물자켓의 수온이 설정온도 미만으로 측정되면 석탄의 공급 및 발열이 재개되어 축열동작과 방열동작이 동시에 수행되도록 하였다.

5. 성능시험은 1차년도에 50,000kcal/hr 난방기를 150평 온실에 적용하여 수행하였으며, 2차년도에 200,000kcal/hr 난방기를 600평 온실에 적용하여 수행하였다. 최종적으로 개발된 시작2호기(200,000kcal/hr)의 현장적용 및 성능시험의 결과는 다음과 같다.

성능시험 시 난방기 측의 열매체유 온도를 110~150℃로 제어하여 발열, 축열 및 방열시험을 수행하였으며 그 중 열매체유의 온도를 130℃에서 제어한 경우에 비교적

난방효율면에서 좋은 결과를 얻었다.

그 때의 연료투입량은 101kg, 발열량은 489,305kcal로서 난방능력이 163,101kcal/hr로 계산되며 따라서 발열효율은 76.9%로 산출되었다. 방열량은 457,599kcal로서 투입열량 대비 방열효율이 71.92%로 산출되었으며 축열조에서의 방열효율은 93.52%로 산출되었다.

이 때, 발열과정 중 열매체유의 입·출구 평균온도차는 29.5℃, 순환유량은 평균 85.3 l/min으로 측정되었으며, 방열과정 중 온수의 입·출구 평균온도차는 14.4℃, 순환유량은 평균 17.5 l/min으로 측정되었다. 또한, 축열과정 및 축열조에서의 방열과정 중 손실된 열량은 31,706kcal로서 전체 투입열량 대비 약 4.9%로 축열 및 방열효과가 우수한 것으로 나타났다.

방열시험시 가온 중의 온실내부 기온의 온도편차가 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 정도로 나타나 온도변화의 폭이 그다지 크지 않았음을 확인할 수 있었고, 난방기의 표면온도는 연소실의 온도가 최고 800℃로 유지되었을 경우 단열부위는 최고 50℃, 비단열 부위는 최고 240℃로 측정되었다.

6. 온실규모별 적정 Size 선정결과 450~600평 사이의 온실에는 200,000kcal/hr 보일러를 적용하는 것이, 300~450평 사이의 온실에는 150,000kcal/hr 보일러를 적용하는 것이, 150~300평 사이의 온실에는 100,000kcal/hr 보일러를 적용하는 것이, 150평 이하의 온실에는 50,000kcal/hr 보일러를 적용하는 것이 경제적으로 적정한 온실의 규모별 기기의 Size였다.

경제성 분석결과 600평의 온실에서, 같은 용량의 타 석탄보일러와 비교하여 연간 이용비용에 있어서 49,407천원(457원/일-평)에 비해 34,206천원(317원/일-평)으로 약 30.8%의 에너지 비용 절감효과를 기대할 수 있으며, 기존의 경유 보일러와 비교하였을 경우는 연간 이용비용 87,409천원(809원/일-평)에 비해 약 60.9% 이상의 난방비 절감효과가 있을 것으로 나타났다.

전체적인 결론으로 본 연구에서 개발된 농업용 잠열축열식 난방기는 시설원에 농가에 적용되어 농업생산비를 절감하여 나아가 농산물의 소비증대와 수출증대를 기대할 수 있을 것으로 기대된다.

제 7 장 참고문헌

1. 조홍곤 : 1985, 보일러의 에너지節約技術現況, 산업연구원
2. 홍성안 외 10人 : 1987, 열저장 시스템의 개발에 관한 연구(I), 한국과학기술원
3. 홍성안 외 10人 : 1988, 열저장 시스템의 개발에 관한 연구(II), 한국과학기술원
4. 김상진 외 14人 : 1993, 고온 PCM을 이용한 고효율 축열기기(열교환기)기술 개발에 관한 연구, 산업자원부
5. 백남춘 외 8人 : 2000, 고밀도 상변화물질(HDPE)을 이용한 축열시스템 개발, 한국에너지기술연구소
6. 김석권 : 2000, 열교환기 설계와 열적 계산법, 신기술
7. 이종원 : 2001, 자갈축열 태양열 온실의 난방 및 냉방성능, 경북대학교 박사학위논문
8. 이상용 외 27人 : 1999, 밀집형 열교환기에서의 열전달 성능향상기술개발, 한국과학기술원
9. 이재구 외 12人 : 2000, 잠열미립자를 이용한 열 저장 및 열 공급기술, 한국에너지기술연구소
10. 최성우 : 2001, 온풍난방기의 열이용효율 증대를 위한 열교환부 및 송풍기 구조개선, 경북대학교 석사학위논문
11. 원예연구소 : 2004, 고유가시대 시설재배 에너지절감 기술
12. 김명진 : 1989, PCM(Phase change material)을 이용한 태양열 시스템의潛熱性能에 관한 研究, 동아대학교 석사학위논문
13. 김영복 : 1989, 熱에너지 貯藏을 爲한 潛熱蓄熱材($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 熱特性 研究, 충북대학교 박사학위논문
14. 장문기 : 1990, 低溫 潛熱蓄熱材($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)의 物性安定과 相變化溫度調節, 충북대학교 석사학위논문
15. 오동환 : 1990, 固相 - 固相 潛熱蓄熱材의 熱特性, 충북대학교 석사학위논문
16. 유영선 : 1992, 太陽에너지- 潛熱시스템의 Greenhouse 保溫特性分析, 충북대학교 박사학위논문

17. 김유호 : 1992, 潛熱材를 利用한 蓄熱型 溫突 시스템 開發 研究, 충북대학교 석사 학위논문
18. 오인환 외 14人 : 2001, 잠열축열재를 이용한 냉난방 겸용시스템 개발, 한국과학기술연구원
19. 오대건 : 2001, 철선을 축열체로 한 스텔링 기관 재생기의 온도 분포와 압력 강화 특성
20. 김영복 : 1991, 潛熱蓄熱시스템과 그 應用, 韓國農業機械學會誌 제 16권 제 3호 pp. 312 ~ 326
21. 김영복 : 1994, 다관형 잠열축열장치의 축열특성연구, 한국농업기계학회지 제 19권 제 1호. pp. 62 ~ 69
22. 송규근 외 : 2005, 연소공학, 청문각
23. 이정오 : 1992, 열전달, 범한서적주식회사
24. 이기복 : 2000, 열교환기 설계편람, 도서출판 과학기술
25. 오규형 외 : 2003, 연소학, 도서출판 동화기술
26. Yuwen Zhang, A. Faghri : 1995, Heat transfer enhancement in latent heat thermal energy storage system by using the internally finned tube.
27. R. Velraj, R.V. Seeniraj : 1998, Heat transfer enhancement in a latent heat storage system.
28. K. Nagano, K. Ogawa, T. Mochida : 2004, Performance of heat charge/discharge of magnesium nitrate hexahydrate and magnesium chloride hexahydrate mixture to a single vertical tube for a latent heat storage system, Applied Thermal Engineering 24(2004), pp. 209 ~ 220
29. Ronny Hendra, Hamdani, T.M.I. Mahalia : 2005, Thermal and melting heat transfer characteristics in a latent heat storage system using micro, Applied Thermal Engineering 25(2005), pp. 1503 ~ 1515

부 록

【요약서】

【요약】

본 발명은 이산화규소 (SiO_2) 43-50 중량부, 산화알루미늄 (Al_2O_3) 8-10 중량부, 산화제이철 (Fe_2O_3) 0.05-0.2 중량부, 산화칼슘 (CaO) 0.1-0.4 중량부, 산화마그네슘 (MgO) 0.05-0.4 중량부, 산화칼륨 (K_2O) 2-3 중량부, 산화나트륨(Na_2O) 3-5 중량부, 염화나트륨 (NaCl) 5-15 중량부 및 물 (H_2O) 20-30 중량부를 함유하는, 신규한 축열재 조성물에 관한 것으로서, 기존의 잠열축열재에 비해 증가된 흡열 및 축열량을 가질 뿐 아니라, 독성이나 인화성이 없고, 화학적으로 안정하고 부식성이 없으며, 경제성도 충족시키므로, 심야전력을 이용한 축열, 축냉 및 각종 산업분야에서의 냉각, 가열과정 등의 에너지이용 합리화분야, 히트펌프, 히트파이프, 열회수 시스템과 연계한 에너지이용효율 극대화분야, 태양열을 이용한 열에너지 변환·축적·이용 등의 자연 에너지이용분야, 레저용 선박, 수산업, 주방용품, 특수 의복 등의 생활산업분야, 농·수·축산물의 생산·저장·유통 등의 식량산업분야, 자동차·우주항공, 첨단무기, 전자·계측·통신기기(TEM)의 히트싱크, 핵융합로 냉각, 생물·생화학물질의 보관·운반 및 물리치료 의학기기 등의 첨단산업분야 등에 적용될 수 있다.

【대표도】

도 1

【색인어】

축열재, 잠열축열, 이산화규소, 산화알루미늄, 산화제이철, 산화칼슘, 산화마그네슘, 산화칼륨, 산화나트륨, 염화나트륨, 물

【명세서】

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명에 따른 축열재의 흡열량을 보여주는 그래프이고;

도 2는 비교대상발명에 따른 축열재의 흡열량을 보여주는 그래프이다.

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술】

본 발명은 신규한 축열재 조성물 및 그의 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는, 이산화규소 (SiO_2) 43-50 중량부, 산화알루미늄 (Al_2O_3) 8-10 중량부, 산화제이철 (Fe_2O_3) 0.05-0.2 중량부, 산화칼슘 (CaO) 0.1-0.4 중량부, 산화마그네슘 (MgO) 0.05-0.4 중량부, 산화칼륨 (K_2O) 2-3 중량부, 산화나트륨 (Na_2O) 3-5 중량부, 염화나트륨 (NaCl) 5-15 중량부 및 물 (H_2O) 20-30 중량부를 함유하는 축열재 조성물 및 그의 제조방법에 관한 것이다.

에너지 공급과 수요의 시간적 불일치를 해소하거나, 에너지 공급이 시간에 따라 크게 변화하는 태양열 등의 천연에너지를 효과적으로 이용하기 위해, 또는 폐열의 효과적인 회수 이용을 위해서는 에너지 저장이 필요하다. 최근 현열보다는 상변화물질(Phase Change Material, PCM)의 잠열을 이용한 축열장치의 연구가 많이 수행되고 있는 바, 잠열축열 시스템은 다양한 형태의 에너지, 즉, 태양열, 지열, 풍력, 조력, 바이오-에너지 등의 미활용 자연에너지, 심야전력 등의 미활용 가공에너지, 연소가스 폐열, 폐수, 폐기물 소각열 등의 폐기 에너지를 상변화물질(PCM)의 잠열을 이용하여

고농도로 저장, 사용분야, 시기 및 목적에 적합하게 변환하여 이용하는 시스템으로 에너지를 효율적/합리적으로 이용하는 대표적인 기술이다.

상변화물질들은 단위부피 및 단위무게당 열에너지의 저장용량이 커서 현열 장치보다 부피나 무게를 크게 줄일 수가 있다.

즉, 망초의 상변화를 이용하여 축열을 하면, 물의 현열을 이용한 장치보다 부피가 1/8로 줄어들며, 암석을 이용한 장치보다는 1/17로 줄어든다. 또한 상변화물질의 용융열을 이용한 축열기는 온도성층(thermocline) 현상이 심하지 않으므로, 사용온도에 알맞는 범위에서 거의 일정한 온도로 축열 및 방열을 할 수 있다. 현열을 이용한 축열기에서는 축열 매체와 열수송 유체간의 온도차이가 22-23 ℃ 이상은 되어야 충분히 축열을 할 수 있지만, 용융열을 이용한 축열기에서는 단지 몇 도만 높아도 된다.

상변화물질이 산업화에 이용되기 위해서는, 첫째 단위부피 및 단위무게당 축열 용량(에너지 저장 밀도)이 커야 한다. 둘째, 열전달 속도를 크게 하고 축열기를 효율적으로 사용하기 위해서는 축열매체의 용융온도 부근에 걸쳐 조업을 해야 하기 때문에 현열에 의한 축열량도 무시할 수 없는 바, 전체적으로 축열 용량을 크게 하기 위해서는 축열매체의 비열이 클수록 좋다. 셋째, 증기압이 크면 압력용기를 사용해야 하며, 이는 장치제작비를 높이는 요인이 되므로, 증기압이 작아야 한다.

넷째, 열전도도는 축열 및 방열과정의 열전달 속도와 관련이 있으며, 특히 방열과정에서 열전달 표면에 붙어있는 고체는 열전달을 크게 방해하므로 축열매체의 열전도도는 클수록 좋다. 다섯째, 용융온도에서 과냉각(supercooling, subcooling)이 되면 결국은 유리체를 형성하게 되어 저장된 열에너지를 회수할 수 없으므로, 결정화 속도가 크고

과냉각 현상이 작아야 한다. 대개의 무기수화염들은 과냉각 현상이 있으며, 과냉각을 해결하고 결정속도를 빠르게 하기 위해서는 조핵제(nucleating agent)를 사용하거나 축열용기 속에 "콜드 핑거(cold finger)"를 만들어 넣는다. 여섯째, 만일 넓은 온도범위에 걸쳐 상변화를 하면 고체와 액체의 밀도차이로 인하여 상분리가 일어나고 축열매체의 조성이 변할 수 있으며, 일정한 온도에서 축열, 방열을 할 수가 없어 에너지이용면에서도 비효율적으로 되므로, 일정한 온도에서 상변화가 일어나야 한다. 일곱째, 축열매체들은 상변화를 하면서 부피가 변하는데, 팽창의 정도가 크면 축열용기를 파손시킬 수 있으므로, 상변화에 따른 부피변화가 작아야 한다. 0 °C 이상의 용융점을 갖는 무기수화물은 용융할 때, 10% 정도까지 팽창한다. 여덟째, 독성이나 인화성이 없어야 한다. 아홉째, 저온의 축열매체에서는 큰 문제가 되지 않지만 고온의 경우에는 화학반응 속도가 커지고, 용기의 부식도 크게 발생할 수 있으므로, 화학적으로 안정하고 부식성이 없어야 한다. 그밖에도, 상변화 온도가 사용온도 범위와 일치해야 하며, 가격이 저렴하고 쉽게 구할 수 있어야 한다.

그러나, 지금까지 개발된 축열재 중 상기한 바와 같은 조건들을 모두 충족시키는 축열재는 없었으며, 열에너지의 사용목적에 따라 각 물질들의 적합성 및 경제성을 검토하여 축열매체를 선택해야만 했다. 한편, 한국특허등록 제420008호에 따르면, 이산화규소 37-42%와 알루미늄 3.8-7.8%, 칼슘 0.5-1.1%, 마그네슘 0.5-1%, 칼륨 0.5-1.1%, 나트륨 1.7-2.3% 및 철 0.3-0.9% 등의 산화물로 구성된 혼합물에 물 46-56%를 넣고 교반하여 무기물 슬러리화합을 특징으로 하는 보일러용 에너지 저장형 축열물질이 개시되어 있는 바, 상기 축열물질은 1,063 J/g의 축열량을 갖는 것으

로 기재되어 있다. 그러나, 사용된 축열물질의 구체적인 구성성분 및 함량이 불명확하여 반복재현이 불가능할 뿐만 아니라, 축열량에도 개선의 여지가 여전히 남아있었다. 한편, 염화나트륨은 물, 수산화나트륨, 초산과 배합되어 잠열축열재로 사용되거나, 주 잠열재에 대한 잠열온도조절제로서 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 염화칼륨 및 염화암모늄과 배합되어 사용되거나 (한국특허등록 제95102호), 공업용 염화칼슘 ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)의 핵형성제로서 사용된 바 있다 (한국특허등록 제59304호).

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

이에, 본 발명자들은 상기 나열한 바와 같은 축열재가 갖추어야 할 제반조건들을 구비한 신규한 축열재 조성물을 개발해내기 위하여, 지속적인 연구를 수행해왔다. 그 결과, 특정 종류의 무기물을 특정 비율로 물과 혼합하여 된 조성물이 상기 목적에 부합함을 확인하고, 본 발명을 완성하기에 이르렀다.

따라서, 본 발명의 제1목적은 기존의 잠열축열재에 비해 증가된 흡열 및 축열량을 가질 뿐 아니라 축열재가 갖추어야 할 제반조건을 구비한 신규한 축열재 조성물을 제공하기 위한 것이다.

본 발명에 따른 축열재는 심야전력을 이용한 축열 (보일러, 온수기, 온풍기 등), 축냉 (빙축열 냉방, 저온 PCM 축냉식 냉장 및 냉동 등), 냉각(cooling), 가열(heating), 히트펌프(heat pump), 히트파이프(heat pipe), 열회수(heat recovery) 시스템, 태양열을 이용한 열에너지 변환·축적·이용, 레저용 선박, 수산업, 주방용품, 특수 의복, 농·수·축산물의 생산·저장·유통, 자동차·우주항공, 첨단무기, 전자·계측·통신기기(TEM)의 히트싱크(heat sink), 핵융합로 냉각, 생물·생화학물질의 보관·운반 또는 물리치료 의학적

기 등 광범위한 용도로 사용될 수 있다.

본 발명의 제2목적은 상기 축열재 조성물을 제조하는 방법을 제공하기 위한 것이다.

【발명의 구성 및 작용】

본 발명의 제1면은 이산화규소 43-50 중량부, 산화알루미늄 8-10 중량부, 산화제이철 0.05-0.2 중량부, 산화칼슘 0.1-0.4 중량부, 산화마그네슘 0.05-0.4 중량부, 산화칼륨 2-3 중량부, 산화나트륨 3-5 중량부, 염화나트륨 5-15 중량부 및 물 20-30 중량부를 함유하는 축열재 조성물에 관한 것이다.

본 발명의 제2면은 이산화규소, 산화알루미늄, 산화제이철, 산화칼슘, 산화마그네슘, 산화칼륨, 산화나트륨 및 염화나트륨의 혼합물을 물에 넣고 교반하여 슬러리화하는 단계를 포함하는, 상기 축열재 조성물의 제조방법에 관한 것이다.

이하, 본 발명을 상세히 설명한다.

본 발명은 특정 종류의 무기물을 특정 비율로 물과 혼합하여 된 축열재 조성물에 관한 것이다. 즉, 본 발명의 조성물은 이산화규소 43-50 중량부, 산화알루미늄 8-10 중량부, 산화제이철 0.05-0.2 중량부, 산화칼슘 0.1-0.4 중량부, 산화마그네슘 0.05-0.4 중량부, 산화칼륨 2-3 중량부, 산화나트륨 3-5 중량부, 염화나트륨 5-15 중량부 및 물 20-30 중량부를 함유한다. 보다 바람직하게는, 본 발명의 조성물은 이산화규소 43.9 중량부, 산화알루미늄 9.3 중량부, 산화제이철 0.1 중량부, 산화칼슘 0.2 중량부, 산화마그네슘 0.1 중량부, 산화칼륨 2.3 중량부, 산화나트륨 4.1 중량부, 염화나트륨 10 중량부 및 물 30 중량부를 함유한다. 본 발명에 따른 조성물의 일 성분인 염화나트륨은 잠열축열재에서 수산화나트륨, 초산, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 염화칼륨, 염

화암모늄, 염화칼슘 등과 배합되어 사용된 바 있으나, 본 발명의 조성물에 함유된 이산화규소, 산화알루미늄, 산화제이철, 산화칼슘, 산화마그네슘, 산화칼륨, 산화나트륨과 배합되어 사용된 적은 없었다.

본 발명자들은 상기 특정 종류의 무기물과 물을 상기 특정 비율로 배합한 경우에 개발된 어떠한 축열재 보다 우수한 흡열 및 축열량을 가질 뿐만 아니라, 독성이나 인화성이 없고, 화학적으로 안정하고 부식성이 없으며, 경제성도 충족시킴을 확인하였다. 이와 같이, 본 발명에 따른 조성물은 우수한 흡열 및 축열량을 가짐과 동시에, 축열재가 갖추어야 할 제반요건을 충족시키므로, 축열재가 적용될 수 있는 모든 용도에 적용될 수 있는 바, 예를 들면, 심야전력을 이용한 축열 (보일러, 온수기, 온풍기 등), 축냉 (빙축열 냉방, 저온 PCM 축냉식 냉장 및 냉동 등), 냉각, 가열, 히트펌프, 히트파이프, 열회수 시스템, 태양열을 이용한 열에너지 변환·축적·이용, 레이저 선박, 수산업, 주방용품, 특수 의복, 농·수·축산물의 생산·저장·유통, 자동차·우주항공, 첨단무기, 전자·계측·통신기기(TEM)의 히트싱크, 핵융합로 냉각, 생물·생화학물질의 보관·운반 또는 물리치료 의학기기에 활용될 수 있다.

본 발명에 따른 조성물은 이산화규소, 산화알루미늄, 산화제이철, 산화칼슘, 산화마그네슘, 산화칼륨, 산화나트륨 및 염화나트륨의 혼합물을 물에 넣고 교반하여 슬러리화함으로써 수득될 수 있는 바, 균질한 슬러리를 얻을 수 있는 한, 사용되는 교반수단에 특별한 제한이 있는 것은 아니다.

이하, 본 발명을 하기 실시예에 의해 보다 구체적으로 설명하나, 이는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐 본 발명의 범위를 어떤 식으로든 제한하고자 하는 것은 아니

다.

실시에 1: 본 발명의 축열재 조성물의 제조

분말 상태의 이산화규소 43.9 g, 산화알루미늄 9.3 g, 산화제이철 0.1 g, 산화칼슘 0.2 g, 산화마그네슘 0.1 g, 산화칼륨 2.3 g, 산화나트륨 4.1 g 및 염화나트륨 10 g 을 균질하게 혼합하였다. 상기 혼합물을 물 30 g에 가하고 교반기로 교반하여 균질한 슬러리로 제조하여, 100 g의 축열재를 얻었다.

실험예 1: 본 발명의 축열재 조성물의 흡열량 측정

상기 실시예 1에 따라 제조된 축열재의 잠열량을 시차주사열량법(Differential Scanning Calorimeter, DSC)을 이용하여 측정하였다. 그 결과를 도 1에 나타내었다. 도 1에 나타낸 바와 같이, 본 발명의 축열재는 377 kcal/kg, 1,585 J/g의 잠열량을 나타내었다. 이러한 잠열량은 한국특허등록 제420008호에 기재되어 있는 축열물질의 잠열량 253 kcal/kg, 1,063 J/g(도 2 : 한국특허등록 제420008호의 도 1)에 비해 약 1.5배나 높은 것으로서, 본 발명의 축열재 조성물이 현저히 우수한 잠열량을 가짐을 확인할 수 있었다.

실험예 2: 본 발명의 축열재 조성물의 에너지비용 절감효과 평가

본 발명의 축열재 조성물의 현장에서의 에너지비용 절감효과를 평가하기 위하여, 경유 보일러를 사용하는 아스콘 제조공장에 본 발명의 축열재를 적용한 전기보일러를 설치하고, 에너지비용을 산정하였다. 그 결과, 연간 97,500,000원 소요되던 경유 보일러의 유지비용이 본 발명의 축열재를 적용한 전기보일러로 대체한 후 25,500,000원 소요되어, 74%의 에너지비용 절감효과를 거둔 것으로 나타났다.

또한, 야자수 분양농장에 적용 시 연간 (가동일 12월~익년 3월, 4개월) 2,500,000원 /월 소요되던 난방비용이 500,000원/월 소요되어, 약 80%에 달하는 난방에너지비용 절감효과를 거둔 것으로 나타났다.

【발명의 효과】

상기한 바와 같이, 본 발명에 따른 축열재 조성물은 현저히 우수한 흡열 및 축열량을 가짐과 동시에, 독성이나 인화성이 없고, 화학적으로 안정하고 부식성이 없으며, 경제성도 충족시키는 등 축열재가 갖추어야 할 제반요건을 충족시키므로, 심야전력을 이용한 축열 (보일러, 온수기, 온풍기 등), 축냉 (빙축열 냉방, 저온 PCM 축냉식 냉장 및 냉동 등) 및 각종 산업분야에서의 냉각, 가열과정 등의 에너지이용 합리화분야, 히트펌프, 히트파이프, 열회수 시스템과 연계한 에너지이용효율 극대화분야, 태양열을 이용한 열에너지 변환·축적·이용 등의 자연에너지이용분야, 레저용 선박, 수산업, 주방용품, 특수 의복등의 생활산업분야, 농·수·축산물의 생산·저장·유통 등의 식량산업분야, 자동차·우주항공, 첨단무기, 전자·계측·통신기기(TEM)의 히트싱크, 핵융합로 냉각, 생물·생화학물질의 보관·운반 및 물리치료 의학기기 등의 첨단산업분야 등에 적용될 수 있다.

【청구의 범위】

【청구항 1】

이산화규소 (SiO_2) 43-50 중량부, 산화알루미늄 (Al_2O_3) 8-10 중량부, 산화제이철 (Fe_2O_3) 0.05-0.2 중량부, 산화칼슘(CaO) 0.1-0.4 중량부, 산화마그네슘 (MgO) 0.05-0.4 중량부, 산화칼륨 (K_2O) 2-3 중량부, 산화나트륨 (Na_2O) 3-5 중량부, 염화

나트륨 (NaCl) 5-15 중량부 및 물 (H₂O) 20-30 중량부를 함유하는 축열재 조성물.

【청구항 2】

제1항에 있어서, 이산화규소 43.9 중량부, 산화알루미늄 9.3 중량부, 산화제이철 0.1 중량부, 산화칼슘 0.2 중량부, 산화마그네슘 0.1 중량부, 산화칼륨 2.3 중량부, 산화나트륨 4.1 중량부, 염화나트륨 10 중량부 및 물 30 중량부를 함유하는 축열재 조성물.

【청구항 3】

이산화규소, 산화알루미늄, 산화제이철, 산화칼슘, 산화마그네슘, 산화칼륨, 산화나트륨 및 염화나트륨의 혼합물을 물에 넣고 교반하여 슬러리화하는 단계를 포함하는, 제1항 또는 제2항에 따른 축열재 조성물의 제조방법.

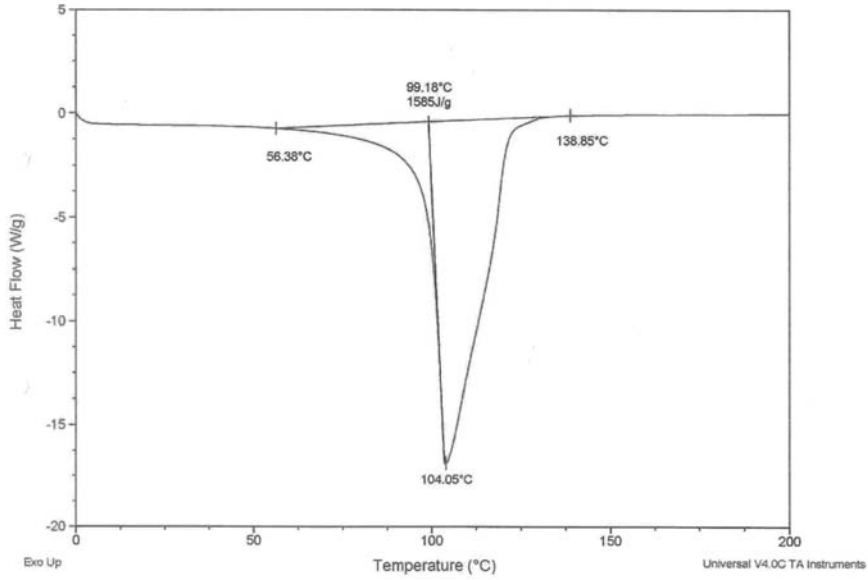
【도면】

【도면1】

Sample: SiO2-2
Size: 3.3000 mg
Method: Cell constant calibration
Comment: Heating= 10C/min N2=50mL/min

DSC

File: C:\...IDSC\Shin De'sio2-kyoungbuk-2.002
Operator: rda
Run Date: 2005-01-24 20:11
Instrument: DSC Q100 V8.2 Build 268



【도면2】

