

최 중  
연구보고서

GOVP 12018479

631.583  
L 293 人

## 시설재배용 석탄 자동 난방시스템 개발

The development of a coal auto heating system  
for a greenhouse

제주대학교

농 립 부



# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “시설재배용 석탄 자동 난방시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000. 10.

주관연구기관명 : 제주대학교

총괄연구책임자 : 현 명 택

연 구 원 : 임 종 환

연 구 원 : 이 호 원

연 구 원 : 최 동 호

참 여 기 업 : 삼원기계

협동연구기관명 : 부경대학교

협동연구책임자 : 윤 정 인

연 구 원 : 김 재 들

연 구 원 : 장 재 은

참 여 기 업 : (주)삼진공영

# 요 약 문

## I. 제 목

시설재배용 석탄 자동 난방시스템 개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

WTO체제 출범 이후 우리 나라 농업은 시설재배로 전환이 활발히 이루어지고 있다. 그러나 지속되고 있는 고유가 시대로 시설재배 농가의 난방비 부담이 엄청나 그 경쟁력을 유지해 나가기 어려운 실정이다. 에너지원의 90% 이상을 수입에 의존하고 있는 우리로서는 우리 나라 농업의 경쟁력 제고를 위해서 뿐 아니라 국가 경제의 미래를 위해서도 수입 에너지원인 석유류를 이용한 난방방식에서 탈피하여 다른 에너지원에 의한 난방방법을 개발해야 할 필요성이 있다. 특히 최근 국제유가 폭등으로 인해 국내 에너지가격이 급등하고 있어 농업용 면세유 가격도 급상승하고 있다. 이와 같은 에너지 위기로 말미암아 시설원에 농가의 난방유 부담이 급격히 증가하여 농가의 채산성 악화는 물론 시설원에 농가의 붕괴론까지 나오고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기름보일러에만 의존하고 있는 국내 시설원예농가의 에너지 비용 부담을 덜고, 원유 수입에만 의존하고 있는 국가 에너지 분산정책에도 적극 대응할 수 있는 원유 대체 난방기 개발에 그 목적이 있다. 석탄을 이용한 5~6만㎥/h인 소용량과 15~20만㎥/h 대용량의 자동화 석탄보일러를 개발하여 기존 시설재배 농가에서 사용하고 있

는 경유나 증유 난방기를 대체할 수 있는 난방시스템을 구축하고자 한다.

### III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구과제에서는 석탄을 이용한 시설재배용 자동 난방시스템을 개발하고자 1998년 10월부터 2000년 10월까지 2년간의 연구를 진행하였다. 부경대학교와의 협동연구를 통하여 주관기관에서는 15~20만kcal/h의 석탄보일러를 그리고 협동기관에서는 5~6만kcal/h용량의 석탄보일러를 개발하여 자동화 난방시스템을 완성하였다. 연구개발의 세부적인 내용은 여러 가지 형태의 화격자와 연료공급 방법에 대하여 검토하여 자동 연료공급장치 및 자동 재처리장치를 완성하고 시스템 성능 및 실제 현장에 설치하여 실험을 통해 문제점을 개선해 나갔다.

연구개발의 내용과 범위는 다음과 같다.

#### 1. 연소실 설계 및 난방방법 개발

- 화격자 설계
- 연관 설계
- 공간 및 지중난방 겸용 시스템 설계

#### 2. 자동 석탄 공급 및 점화시스템 개발

- 석탄 공급 및 분배장치 개발
- 점화시스템

### 3. 자동 석탄보일러 완성

- 자동 연료공급장치 개발
- 자동 재처리장치 개발
- 시스템 최적화

### 4. 설치 및 성능 평가

- 성능실험 및 개선
- 실증실험
- 실증실험을 통한 경제성 평가

## IV. 연구개발의 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 연구개발의 결과

세계 에너지가격의 불안정과 2002년부터 적용되는 농가 면세유의 면세율 저하 등 시설원에 농가의 겨울철 난방유에 대한 경제적 부담은 점차 높아 지리라 예상된다. 이와 같은 시점에서 기름으로 온실을 난방하는 시설원에 하우스의 난방비 절감을 위해 값싼 석탄을 사용할 수 있도록 자동화 보일러를 개발하고 그 성능 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 석탄을 원료로 하는 자동화 난방보일러를 개발하였다.
- 2) 고체 연료의 가장 큰 문제점인 자동 연료공급장치와 재처리장치를 개발하였다.
- 3) 초기 점화시스템 및 자동운전을 위한 제어시스템을 개발하였다.

- 5) 자동화 난방시스템의 성능실험을 통해 개발한 시스템의 신뢰성을 확보할 수 있었다.
- 6) 실증실험을 통해 경제성을 분석한 결과 상당한 에너지 가격 절감효과가 있어 보급가능성을 확인할 수 있었다.

## 2. 활용에 대한 건의

### 1) 적극적인 대체 원료시스템에 대한 지원

원유가격 변동에 따른 농가 부담을 줄이고, 최근 계속 논쟁이 되고 있는 농가 면세유에 대한 정부 부담을 줄일 수 있는 대체 원료 난방시스템에 대한 농림부차원의 적극적인 지원제도(기업 및 농가) 및 홍보가 본 연구에서 개발한 시스템의 성공여부를 좌우하리라 생각된다.

### 2) 시범보급을 위한 지원책

개발이 완료된 시점에서 저가 상품화 개발 및 시범보급을 위한 후속 프로그램 개발이 이루어질 수 있도록 정부차원의 지원이 바람직하리라 생각된다.

### 3) 경제적인 지원제도 개발

- 금융, 세제상의 지원강화
- 면세유 절감에 대한 인센티브 부여

## SUMMARY

### I. Subject

The development of a coal auto heating system for a greenhouse

### II. Purpose & importance of R/D

After departure of WTO, our agriculture is actively accomplished the conversion to the greenhouse. Because of a continuously high rate oil, the greenhouse farmers require high heating cost and the competitiveness lies in very critical situation. Therefore it needs to develop a heating method that uses other energy source for our agriculture and national economy.

The objective of this research is to develop the heating system that uses coal instead of oil. We develop the coal boiler of a small capacity(50,000~60,000kcal/h), and a big capacity(150,000~200,000kcal/h). This system is fabricated to substitute a heater using light or heavy oil and applied to a existing greenhouse.

### III. Contents & scopes of R/D

The research subject is carried out for the development of coal auto heating system for a greenhouse between October 1998 and October 2000. For the completion of the auto heating system, Cheju National



University, supervisory institution, have developed the big coal boiler (150,000~200,000kcal/h) and Pukyong National University that is cooperative institution developed the small coal boiler (50,000~60,000kcal/h).

The entire contents and extents are:

1. Design of a fire place & development of a heating method
  - Design of a fire plate
  - Design of a lead pipe
  - Design of a heating system both space and underground
  
2. Auto coal supply & development of a ignition system
  - Coal supply & development of a divisional equipment
  - Design of a ignition system
  
3. Completion of an automatic coal boiler
  - Development of auto fuel supply equipment
  - Development of ash disposal equipment
  - The system optimum
  
4. Establishment and performance test
  - Performance test & improvement
  - Field test
  - Economy assessment by a field test

#### IV. Results of research development and suggestions for practical implementation

##### 1. Results of research development

Since the world energy price is unsteady and the agricultural free oil tax rate is expected to be decreased from 2002, the expense for heat oil of the greenhouse will be increased gradually. The auto boiler using low-priced coal is developed for reduction of heating cost of the greenhouse.

As a result of analysis of a performance property, conclusions are:

- 1) Auto heat boiler using coal is developed.
- 2) Auto coal supply equipment and ash disposal equipment are developed, they are crucial limits in use of solid fuel.
- 3) Beginning ignition system and control system for auto control are developed.
- 4) Developed system proves the reliability through a performance test of auto heat system.
- 5) As the result of economy analysis by a field test, the considerable retrenchment of energy expenditure is confirmed. The possibility of spread of the developed system is very high

due to economic merit.

## 2. Proposal for implementation

### 1) Positive support for substituting fuel system

The developed system requires a positive supporting policy of the administration of agriculture and forestry. The heating system is contributes reducing government burden of a agricultural tax free oil prices.

### 2) Support for an example diffusion

The continuous research program is necessary for the commercialization and example diffusion of this system.

### 3) Development of a economic support policy

- Supports by special finance and change for taxation system
- Incentive to farmers who reduce the use of tax free oil

# CONTENTS

Chapter 1 Introduction .....	17
Section 1 Purpose & scopes of R/D .....	17
1. Purpose of R/D .....	17
2. Contents & scopes of R/D .....	18

## PART I

Chapter 2 Design of a fire place & development of a heating method ..	
.....	21
Section 1 Foreword .....	21
Section 2 Fire plate assembly .....	21
1. Fire plate .....	21
2. Fire plate assembly .....	23
Section 3 Fire place & coal bin .....	25
1. Fire place .....	25
2. Coal bin .....	27
Section 4 Design of a heat exchanger .....	28
Section 5 Combined system of space and underground .....	30
1. Heat exchange method by a heat pipe .....	31
2. Heat exchange method by a heat pipe attached pin .....	35
3. Directly heat exchange method by lead pipes .....	39
Chapter 3 Development of coal supply equipment & ignition system ..	42

Section 1 Foreword .....	42
Section 2 Coal supply equipment .....	42
Section 3 Ignition system & ash disposal equipment .....	46
1. Ignition system .....	46
2. Ash disposal equipment .....	48
Section 4 Development of a control system .....	50
1. Control algorithm .....	50
2. Control system .....	55
Chapter 4 Synthetic evaluation .....	59
Section 1 Foreword .....	59
Section 2 Heat capacity & environment analysis in the greenhouse ..	61
1. Heat capacity & efficiency of a boiler .....	63
2. Exhaust gas analysis .....	68
3. Greenhouse environment analysis .....	70
Section 3 Trust evaluation .....	77
1. Burning environment .....	77
2. Automatic system .....	80

## PART II

Chapter 5 Development of Auto supply equipment of fuel & ash disposal equipment .....	83
Section 1 Foreword .....	83
Section 2 Production & instrument design of the core element .....	84

1. Fuel auto supply equipment .....	84
2. Fire plate & heat exchanger .....	89
3. Dust collector & ash disposal equipment .....	93
4. Control system .....	97
Section 3 Prototype development .....	99
1. Prototype fabrication .....	99
2. Boiler insulation .....	103
Chapter 6 Efficiency assessment & Positive experimentation of system .....	104
.....	
Section 1 Foreword .....	104
Section 2 Efficiency experimentation equipment & method .....	104
1. Efficiency assessment equipment .....	104
2. Experimental condition & method .....	106
3. Field experimentation .....	112
Section 3 Results & consideration of efficiency experimentation ....	115
1. Heat capacity change by wind .....	115
2. Heat capacity change by a fuel throwing velocity .....	119
3. Internal temperature distribution in a boiler .....	122
4. Results of field experimentation in the house .....	124
5. Boiler efficiency .....	125
6. Exhaust gas analysis .....	127

### PART III

Chapter 7 Economic analysis .....	128
1. Drafting data .....	128
2. Economic analysis .....	130
Chapter 8 Synthesis conclusions & proposal .....	135
1. Synthesis conclusions .....	135
2. Future continuous project .....	136
3. Supply policy and suggestion for practical implementation .....	137
Bibliography .....	139
Appendix Throwing type coal boiler .....	140
Section 1 Foreword .....	140
Section 2 Fire plate design .....	140
Section 3 Heat exchanger .....	143
Section 4 Coal supply equipment .....	144
Section 5 Synthetic evaluation .....	146
Appendix B Conveyer type coal boiler .....	147
Section 1 Foreword .....	147
Section 2 Moving fire plate of a conveyor type .....	147
Section 3 Heat exchanger design .....	149
Section 4 Coal supply equipment .....	150
Section 5 Synthetic evaluation .....	151

# 목 차

제1장 서론 .....	17
제1절 연구개발의 목적과 범위 .....	17
1. 연구개발의 목적 .....	17
2. 연구개발의 내용 및 범위 .....	18

## PART I

제2장 연소실 설계 및 난방방법 개발 .....	21
제1절 서설 .....	21
제2절 화격자 어셈블리 .....	21
1. 화격자 .....	21
2. 화격자 어셈블리 .....	23
제3절 연소실 및 석탄조 .....	25
1. 연소실 .....	25
2. 석탄조 .....	27
제4절 열교환기 설계 .....	28
제5절 공간 및 지중난방 겸용 시스템 .....	30
1. 히트 파이프 열교환 방식 .....	31
2. 핀이 부착된 히트 파이프를 이용한 열교환 방식 .....	35
3. 연관에 의한 직접 열교환방식 .....	49
제3장 석탄 공급 및 점화시스템 개발 .....	42



제1절 서설 .....	42
제2절 석탄공급장치 .....	42
제3절 점화시스템 및 재처리 장치 .....	46
1. 점화시스템 .....	46
2. 재처리 장치 .....	48
제4절 제어 시스템 개발 .....	50
1. 제어 알고리즘 .....	50
2. 제어 시스템 .....	55
제4장 종합 검토 .....	59
제1절 서설 .....	59
제2절 열량 및 하우스 환경 .....	61
1. 보일러 열량 및 효율 .....	63
2. 배기가스 분석 .....	68
3. 하우스 환경 분석 .....	70
제3절 신뢰성 검토 .....	77
1. 연소 환경 .....	77
2. 자동화 .....	80

## PART II

제5장 자동 연료 공급 및 회재장치 개발 .....	83
제1절 서설 .....	83
제2절 핵심요소 기기설계 및 제작 .....	84
1 연료자동공급장치 .....	84

2. 화격자 및 열교환기 .....	89
3. 집진 및 회재처리 장치 .....	93
4. 제어 시스템 .....	97
제3절 시제품 완성 .....	99
1. 시제품 제작 .....	99
2. 보일러의 단열 .....	103
제6장 시스템 성능 평가 및 실증실험 .....	104
제1절 서 설 .....	104
제2절 성능시험장치 및 방법 .....	104
1. 성능시험장치 .....	104
2. 실험조건 및 방법 .....	106
3. 실증실험 .....	112
제3절 성능실험 결과 및 고찰 .....	115
1. 송풍량 변화에 따른 열량 변화 .....	115
2. 연료 투입속도에 따른 열량변화 .....	119
3. 보일러 내부온도 분포 .....	122
4. 하우스 실증실험 결과 .....	124
5. 보일러 효율 .....	125
6. 배기가스분석 .....	127

### PART III

제 7 장 경제성 분석 .....	128
제1절 기초 데이터 .....	128

제2절 경제성 분석 .....	130
제8장 종합결론 및 건의사항 .....	135
제1절 종합 결론 .....	135
제2절 추후과제 .....	136
제3절 보급방안 및 활용에 대한 건의 .....	137
참고문헌 .....	139
부록 A 투입식 석탄 보일러 .....	140
제1절 서설 .....	140
제2절 화격자 .....	140
제3절 열교환기 .....	143
제4절 석탄 공급 및 분배 장치 .....	144
제5절 종합검토 .....	146
부록 B 컨베이어형 석탄보일러 .....	147
제1절 서설 .....	147
제2절 컨베이어형 이동 화격자 .....	147
제3절 열교환기 .....	149
제4절 석탄공급장치 .....	150
제5절 종합검토 .....	151

# 제1장 서론

## 제1절 연구개발의 목적과 범위

### 1. 연구개발의 목적

WTO체제 출범 이후 우리 나라 농업은 외국산 농산물의 수입 개방에 대비하여 노지재배에서 생산시기와 품질을 개선할 수 있는 시설재배로 많은 전환이 이루어지고 있다. 이러한 추세는 우리 나라 농업의 장래를 위해서 지속적으로 권장될 수밖에 없기 때문에 더욱 확산될 것으로 예상된다.

시설재배의 경우 겨울철 기온이 불가피한데 국내에서 시설재배지의 난방용으로 사용되는 온풍난방기와 온수보일러의 대부분은 경유 또는 중유를 원료로 사용하고 있다. 이미 시설재배지의 난방용으로 소비되는 석유량은 농민의 소득면에서나 국가 경제면에서 무시할 수 없는 수준이다. 실제로 1999년도 1년간 온실난방에 소요된 연료소모량은 약 100만kl로 추정되며 이는 우리 나라 전체 석유에너지 소비량의 약 0.8%, 농업용 면세유 공급량의 약 40%를 차지하는 것으로 추산되고 있다.

우리 나라는 에너지원의 90% 이상을 수입에 의존하고 있어서 막대한 외화를 석유의 수입에 쓰고 있는 실정이다. 따라서 우리는 국제 석유류 가격에 상당히 민감할 수밖에 없다. IMF 구제 금융시대 이후 한동안 지속되던 유가 안정도 최근 OPEC 회원국의 석유 생산량 규제로 세계적 고유가 시대가 다시 시작될 조짐을 보이고 있다. 이러한 고유가는 가뜩이나 어려운 시설재배 농가에 있어서 영농비의 상승을 초래하여 더욱 농가의 어려움을 초래하고 있다. 실제로 전체 영농비 중 난방비의 비율이 40% 이상을 차지하는 작물이 속출하여 농업 경쟁력을 유지해 나가기가 매우 어려운 실정이

다. 따라서 우리 나라 농업의 경쟁력 제고를 위해서 뿐 아니라 국가 경제의 미래를 위해서도 수입 에너지원인 석유류를 이용한 난방방식에서 탈피하여 새로운 에너지에 의한 난방방법을 개발해야 할 필요성이 있다.

새로운 난방에너지원으로는 태양열, 풍력 등의 청정에너지원을 들 수 있다. 그러나 이러한 자연에너지를 이용하는 방법의 경우 아직까지는 설비비가 상당히 소요되고, 무엇보다도 그날의 기후에 따라 가변적 에너지이기 때문에 시설재배지의 주 난방원으로 이용하기는 어렵다. 따라서 자연에너지를 이용한 난방방식은 현재까지는 보조 난방원으로 사용할 수밖에 없는 실정이다. 또 하나의 난방원으로는 석탄류를 들 수 있다. 석탄은 연료비가 저렴하기는 하지만 자동화가 어려운 고체연료이고 운반, 보관, 재처리 등 관리면에 있어서 액체연료인 석유류에 비하면 많은 어려움이 있다. 석탄을 이용하는 난방방법이 지금의 석유류 온풍기처럼 각광받기는 쉽지 않을 것이다. 하지만 지금의 고유가시대가 지속되고 에너지원이 국가 안위에 중대한 영향을 미치는 시대에 대비하기 위해서는 필요시 현재 시설재배 농가에서 사용하고 있는 경유나 중유 난방기를 대체할 수 있는 석탄류의 자동화된 난방시스템의 개발이 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 고체연료인 석탄을 이용한 시설재배용 자동 난방시스템을 개발하기 위하여 시설재배지에서 가장 많이 사용되는 15-20만kcal/h용량과 5-6만kcal/h용량의 석탄보일러를 개발하여 그 성능시험 및 실증시험을 통하여 검증하였다.

## 2. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구과제에서는 석탄을 이용한 시설재배용 자동 난방시스템을 개발하고자 1998년 10월부터 2000년 10월까지 2년 간에 걸쳐 연구를 진행하였

다. 부경대학교와의 협동연구를 통하여 주관기관에서는 15-20만kcal/h급의 석탄보일러를 개발하고, 협동연구기관에서는 5-6만kcal/h급 용량의 석탄보일러를 개발하여 자동화 난방시스템을 완성하였다.

연구개발의 세부적인 내용은 여러 가지 형태의 화격자와 연료공급 방법에 대하여 검토하였으며, 최종적으로 가장 합리적이고 신뢰성이 있는 자동 연료공급장치, 자동 회재처리장치, 점화장치 등을 완성하고, 시스템의 성능 및 실제 현장에 설치하여 적용성 실험을 통해 문제점을 개선하였다. 각 용량별 세부적인 연구개발의 내용 및 범위는 다음과 같다.

먼저 주관연구기관에서 개발한 15-20만kcal/h용량급에서는 1차년도에 경우 보일러의 연소실 설계 및 난방방법 개발을 주요 연구개발 내용으로 한정하여 연구를 수행하였다. 이 부분에서는 고체 연료인 석탄이 연소되는 화격자 부분의 설계, 열교환 부분인 연관 설계에 관한 연구를 수행하였으며, 또한 공간 및 지중난방 겸용 시스템 설계에 관한 사항도 검토하였다.

다음으로 2차년도에는 석탄 공급 및 점화시스템 개발을 주요 연구개발 내용으로 하였으며, 이 부분에서는 석탄의 자동공급 및 분배장치 및 다양한 방법의 점화시스템 개발에 대한 적용을 통하여 최종적으로 가장 효과적이고 신뢰성이 있는 연료자동 공급장치 및 분배장치를 개발하였다. 그리고 15-20만kcal/h급 자동 석탄보일러의 제작을 완성하였으며, 최종적으로 실제 시설재배 하우스에 설치하여 실증실험을 통하여 그 성능을 확인하였다.

다음으로 협동연구기관에서 개발한 5-6만kcal/h급 용량에서는 먼저 1차년도의 경우 연료 자동공급 및 회재처리장치 개발을 주요 개발내용으로 하였다. 이 부분에서는 연료의 자동공급장치, 화격자 및 열교환기, 집진 및 자동회재 처리 장치 등의 핵심 요소기기를 개발하였다.

그리고 2차년도에는 시스템 자동운전을 위한 자동운전시스템 및 성능평가를 통한 최종 시제품 개발을 주요 연구개발 내용으로 하였다. 이 부분에

서는 다양한 성능시험을 거쳐 하우스 내의 온도신호를 받아 보일러의 연료 공급 및 보일러의 송풍기의 풍량을 자동으로 조절할 수 있는 제어시스템을 개발하였으며, 실제 하우스 내에 본 개발제품을 설치하여 실증시험을 통하여 그 신뢰성을 확인하였다.

상기에서와 같은 연구개발 내용 및 범위에서 주관기관 및 협동연구기관에서 각 용량별 시제품을 개발하여 성능 및 실증시험을 통하여 그 성능 및 신뢰성을 확인하였으며, 최종적으로 현재의 시가를 기준으로 기존의 유류를 사용하는 온수 및 온풍기와의 비교를 통하여 경제성을 평가하였다.

본 연구보고서에서는 PART I 에 주관기관에서 개발한 15-20만kcal/h급 용량의 석탄 자동화 보일러의 연구개발 과정을 수록하였으며, PART II에는 협동연구기관에서 개발한 5-6만kcal/h급 용량의 연구개발 과정을 수록하였다. 그리고 PART III에는 각 용량별에 있어 제주지역과 경남 김해지역의 시설재배 하우스를 대상으로 현재의 시가를 기준으로 각각 경제성 검토, 종합결론 내용 그리고 부록을 수록하였다.

# **PART I**



## 제2장 연소실 설계 및 난방방법 개발

### 제1절 서설

본 장에서는 15-20만㎥/h 용량 석탄 보일러의 화격자, 연소실, 열교환기 그리고 폐열회수를 통한 공간 및 지중난방 시스템 개발 과정을 각 절에서 설명하였다. 화격자는 고정형, 컨베이어형, 피스톤형 3가지에 대해 검토하였다. 열교환기는 화격자의 종류에 따라 달리 검토하였다. 고정형 화격자 연소실에는 연관이 수평으로 배치된 수평형 열교환기를 컨베이어형 화격자 연소실에는 수관형 열교환기를 그리고 피스톤형 화격자 연소실에는 연관이 수직으로 배열된 열교환기를 제작하여 검토하였다. 본 장에서는 최종적으로 채택된 피스톤형 화격자와 수직형 연관식 열교환기의 사양과 부속 장치에 대하여 설명하였다. 그 외의 화격자와 열교환기에 대해서는 부록에서 언급하였다. 연소실은 화격자와 재처리장치의 배치 그리고 연소환경에 대해 설명하였다. 또한 지중 및 공간난방 겸용 시스템을 개발하기 위하여 지중난방을 위한 여분의 열원을 확보하기 위한 방법으로 폐열회수에 의한 방법을 고려하여 다양한 폐열회수 장치를 제작하여 그 효과를 비교해 보았다. 이외에도 석탄조, 화격자 어셈블리에 대하여 설명하였다.

### 제2절 화격자 어셈블리

#### 1. 화격자

화격자는 석탄조에서 공급된 석탄이 직접 닿아 연소가 이루어는 부분으

로 상당한 강도가 필요하다. 또한 연료에 따라 완전 연소가 이루어지기 위해서는 적절한 송풍이 필수적이기 때문에 석탄으로 공기가 공급되는 각 화격자간의 간격과 송풍기의 송풍량 사이의 상관관계는 매우 중요하다. 그러나 본 연구를 진행하는 동안 이러한 화격자 간격과 연료의 크기, 송풍기의 송풍량 등 여러 가지 변수에 대한 검증된 자료를 확보할 수 없었기 때문에 소형의 균일한 크기의 화격자를 제작하여 사용하였다. 화격자의 크기는 여러 번의 실험을 통하여 송풍에 의한 연소 부분의 길이가 120mm가 되도록 하여 전체적으로 120mm×20mm×12mm(가로×세로×높이)인 직육면체로 제작하였다. 이를 화격자 어셈블리(그림 2-1)에 얹어서 사용할 수 있도록 하였기 때문에 필요시 임의로 화격자의 수와 화격자간의 간격을 조절할 수 있도록 함으로써 연료나 송풍량에 따른 실험조건을 변경시킬 수 있게 하였다.

본 연구에서는 석탄의 입경에 따라 3종류의 석탄에 대해 실험하였다. 즉, 거의 가루 형태인 분탄, 입자의 크기가 5~12mm인 석탄 그리고 이보다 입자가 큰 20~40mm인 석탄이다. 이때 분탄의 경우 그대로 사용할 수 없기 때문에 물을 분사시켜 고형화시킨 형태로 사용하였다. 여러 번의 경험을 거친 결과 본 연구에서 설계된 화격자에서는 입자의 크기가 5~12mm인 석탄의 경우 화격자간의 간격이 2~3mm, 입자의 크기가 20~40mm인 석탄의 경우 그 간격이 4~6mm가 적합하였다. 분탄의 경우 고형화된 정도에 따라 다르겠지만 고형화가 되면 화격자 간격에 별 영향이 없었다. 이때 사용한 송풍기의 풍량은 17m<sup>3</sup>/min이다.

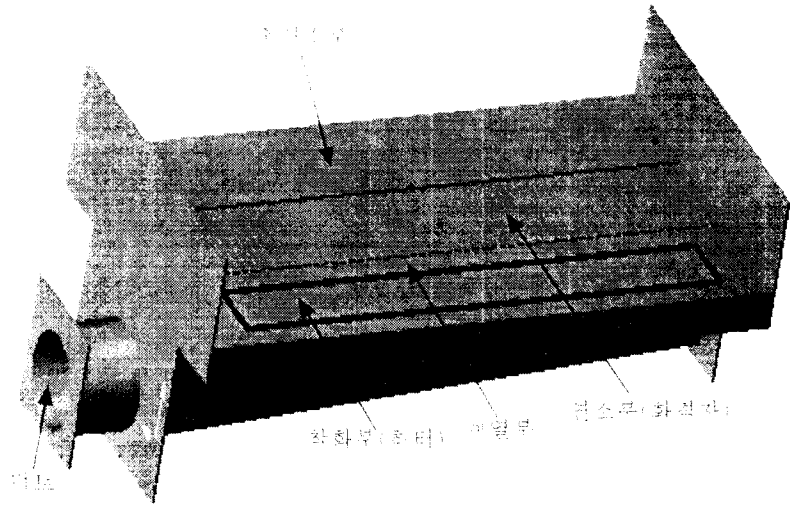
물론 이러한 데이터는 공급된 석탄의 쌓인 두께 혹은 화격자의 크기 등에 따라 달라질 것이다. 그러나 본 실험 조건에서는 대체적으로 이러한 범위 내에서 안정되게 연소시킬 수 있었다.

## 2. 화격자 어셈블리

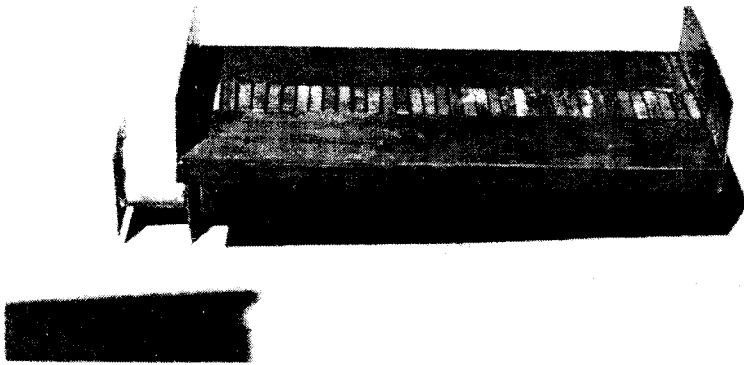
석탄의 연소 과정은 3단계로 나눌 수 있다. 석탄에는 상당한 수분을 포함하고 있어서 연소시 가장 먼저 수분의 건조가 일어난다. 이어서 온도가 올라가면 파란 불꽃이 일어나면서 연소가 진행되는데 이는 석탄에 포함된 휘발분(석탄을 공기와 차단하여 950℃에서 7분간 가열했을 때 방출되는 성분 중 수분을 제외한 성분)이 연소하는 것이다. 그리고 나머지는 코우크스라 하며 이중 가연성분은 고정탄소이고 연소과정에서는 붉은 빛을 내면서 연소가 이루어진다.

본 연구에서는 이러한 연소과정이 원활하게 이루어지고 화격자에 공기 공급으로 인한 분진 발생을 줄이기 위해 그림 2-1과 같은 화격자 어셈블리를 제작하였다. 이는 연소실에 착·탈이 가능하도록 하여 유지 보수가 쉽게 제작하였다. 그림 2-1에서 보듯이 화격자 어셈블리는 착화를 위한 점화 히터가 위치하는 착화부(길이 70mm), 석탄의 예열 작용과 수분의 건조가 일어나는 예열부(50mm), 휘발분과 고정탄소가 연소되는 화격자가 위치한 연소부(120mm), 고정탄소의 완전 연소를 위한 후연소부(150mm)로 구분지을 수 있다. 이후 새로운 연료가 공급되면서 연료가 밀리게 되면 후연소부의 회재는 재처리장치로 보내지게 된다.

또한 화격자의 연소부 아래쪽에는 송풍기가 부착된 덕트를 끼울 수 있도록 선반 형태로 제작되어 있어서 덕트를 탈·부착할 수 있다. 덕트를 통한 풍압이 전체적으로 골고루 작용하여 화격자간 간격사이에서의 풍량을 일정하게 유지시켜주기 위해 송풍기에서 멀어질수록 덕트의 단면적이 좁아지는 형태로 제작하였다. 이런 밀폐된 형태로 제작된 덕트는 연소부에만 공기를 공급하기 때문에 연소가 효과적으로 이루어지고 연소과정 중의 분진도 상당히 줄일 수 있었다.



(a) 도면



(b) 사진

그림 2-1 화격자 어셈블리

### 제3절 연소실 및 석탄조

#### 1. 연소실

처음 연소실은 많은 열량을 내기 위해 다단식 레버형 연료 공급장치를 부착할 수 있도록 고려하여 설계하였다. 그림 2-2(예비 실험 단계에서의 사진임)에서 보듯이 2단의 연료 공급장치를 구성하여 좌우에 똑같이 배치함으로써 전체적으로 4개의 화격자에서 연소가 이루어지도록 하였다. 이때 화염의 흐름을 고려하여 아래단의 화격자는 윗단보다 길게 설계하였고 송풍기도 다르게 배치하였다(위 화격자의 경우  $4.3\text{m}^3/\text{min}$ , 아래 화격자의 경우  $17\text{m}^3/\text{min}$ ). 그러나 열량 실험 결과 아래 2개만의 화격자만으로도 충분한 열량을 얻을 수 있어서 실제 실험에서는 윗단의 화격자를 철거하고 아랫단 2개의 화격자만을 사용하였다.

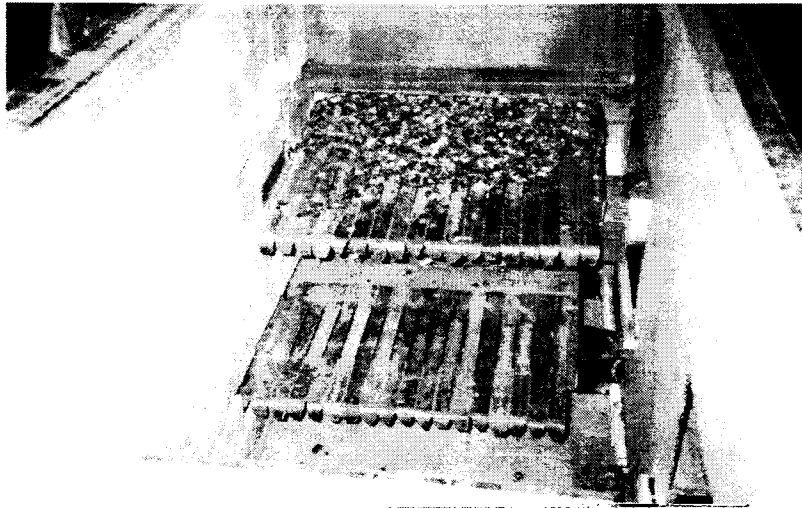


그림 2-2 다단식 레버형 연료공급장치(예비실험 단계 사진임)

연소실의 크기는 1100mm×1100mm×1100mm로 정육면체형이다. 연소실에는 열교환기의 노통과 연결하기 위해 상부면 가운데에 지름 1200mm인 구멍, 연소실 내부를 유지하고 보수하기 위하여 연소실 옆면에 600mm×400mm 크기의 여닫이 작업문, 화격자의 덕트와 재처리용 스크류를 끼울 공간 그리고 연료를 투입하기 위해 피스톤이 왕복 운동할 수 있는 공간 등이 마련되어 있다(그림 2-3). 연소실에서의 열손실을 최소화하고 연소가스의 누출이나 불필요한 공기의 유입을 방지하기 위하여 연소실 내부에는 110mm×128mm×62mm 크기의 내화벽돌을 쌓았다. 그러나 연소실 작업문의 경우 필요시 열고 닫아야 하기 때문에 세라믹올로 단열하였다.

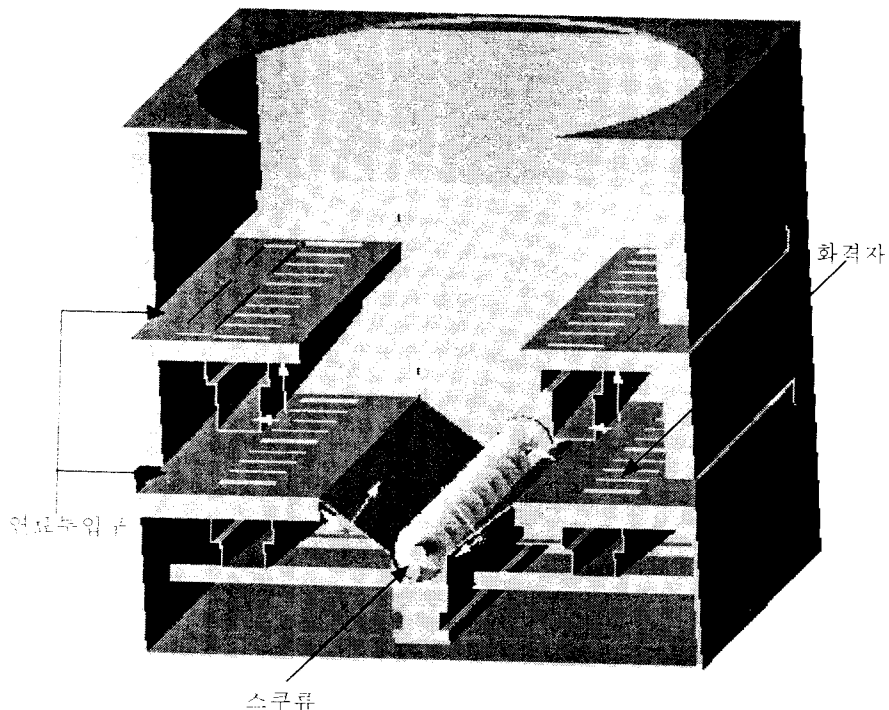


그림 2-3 연소실(단면도)

본 실험에서 측정된 결과 송풍기의 가동했을 때 연소실에서의 화염 온도는 1300~1500℃, 화염이 닿지 않는 연소실 내부의 온도는 900~1000℃로 상당히 높게 나왔다. 송풍기의 가동을 중지하여 석탄의 잔열에 의한 열 전달만 일어날 때 연소실 내부 온도는 400~600℃ 근처까지 떨어지지만 내화벽들에서의 복사에너지에 의해 좌우되기 때문에 연소실 내의 온도는 상당한 변화가 있었다.

## 2. 석탄조

연소실 내부로 석탄을 공급하기 위하여 그림 2-4와 같은 석탄조를 제작하였다. 석탄조 전체의 크기는 연료 투입구인 상부가 670mm×1000mm이며 높이는 1220mm로 제작되어 있어서 한꺼번에 약 250kg의 연료를 저장할 수 있다.

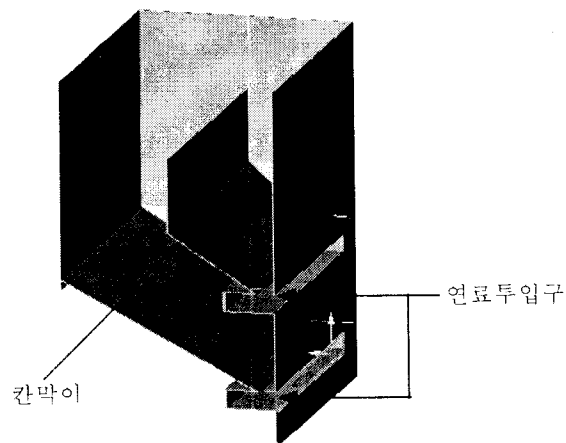


그림 2-4 석탄조(단면도)

개발 초기 연소실은 다단식 화격자로 설계되었기 때문에 그림 2-4의 단면도에서 보듯이 하나의 석탄조에 석탄을 넣으면 각 화격자에 연료가 분리되어 공급될 수 있도록 석탄조 내부에 칸막이를 두었다. 또한 일정량씩 석탄이 상하 화격자에 공급될 수 있도록 연료 공급 부위에 5mm×800mm인 연료 공급용 틸새가 뚫려 있어서 석탄공급장치의 피스톤이 뒤로 밀려 이 틸새가 열리는 순간 각 피스톤 전방에 석탄이 공급되며 이는 피스톤의 전진에 의해 연료투입구를 통해 화격자로 밀려들어가도록 설계되었다. 연료투입구의 위치는 상부화격자용은 연소실 750mm 높이에 하부화격자용은 340mm 높이에 설치되어 있다.

#### 제4절 열교환기 설계

연소실의 연소열을 효과적으로 회수하여 난방에 사용하기 위해서는 여러 가지 열교환 방안을 생각할 수 있다. 본 연구에서와 같이 대용량이면서 연료 공급방법을 고려할 때 수직형 연관식 열교환기가 적합하여 그림 2-5와 같은 형태로 제작하였다. 열교환기의 크기는 지름 1200mm, 높이 1400mm이며 연소실과 연결된 주 노통의 지름은 700mm이다. 많은 물을 확보하기 위하여 열교환기의 상부에는 지름 1200mm, 높이 100mm의 물재킷이 있으며, 하부에는 안지름 700mm, 바깥지름 1200mm, 높이 100mm인 속이 빈 원통형 물재킷이 있다. 이들 물재킷 사이의 열교환기 내에는 지름 89mm, 길이 800mm인 연관이 32개가 설치되었고, 열교환기 상·하부에서 연소가스가 지나가기 위한 연도의 높이는 모두 200mm로 설계하였다. 이렇게 제작된 열교환기 내의 물의 양은 약 1000리터이다.



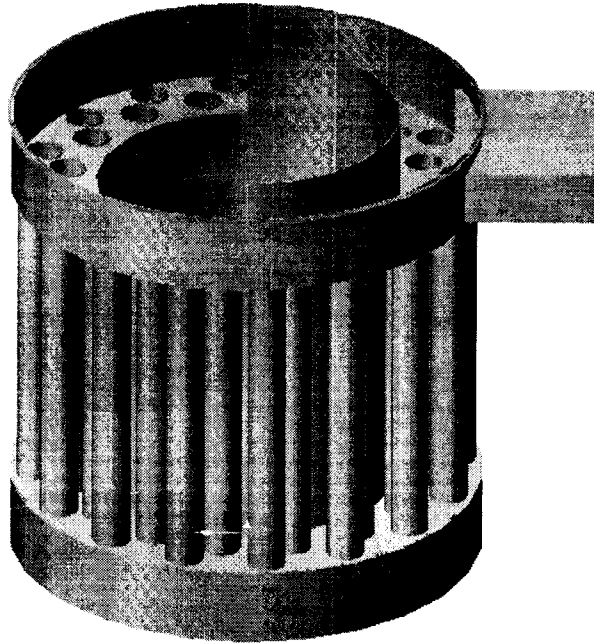


그림 2-5 수직형 연관식 열교환기(내부도)

열교환기에서의 연소가스의 경로는 주노통을 따라 상부 물재킷까지 상승한 후 열교환기의 좌·우측이 막혀있기 때문에 200mm인 연도를 거쳐 왼쪽 16개의 연관을 따라 아래 물재킷까지 하강하며 다시 200mm인 연도를 따라 오른쪽 연관으로 이동한 후 16개의 연관을 따라 상승하는 3패스 방식으로 제작하였다.

열교환기에는 온수를 하우스에 보내기 위한 배출관(지름 120mm)이 열교환기에서 높이 1000mm인 곳에 부착되어 있고, 하우스에 공급된 물을 회수하기 위하여 지름 120mm인 유입관이 열교환기의 맨 아랫부분에 부착되어 펌프에 의해 순환된다. 연소가스의 배출을 위하여 열교환기 1100mm인 위치에 440mm×140mm이며 길이 350mm인 사각 단면 형태의 연로가 수평방향으로 놓

여 있고 그 끝 부분에 지름 250mm인 연통이 설치되어 있다.

분진처리를 위해서는 가스의 연도가 방향전환을 하는 부분에 설치해 주어야 효과적으로 분리 제거할 수 있다. 따라서 열교환기 내부에서의 1차 분진처리를 위해서 열교환기의 아래 연도의 위치인 높이 100mm 지점에 지름 120mm인 문을 설치하여 쌓인 분진을 제거할 수 있도록 하였고 열교환기 밖에서의 2차 분진처리를 위해 연통 아래에 분진받이를 두었다.

열교환기내의 물 온도를 모니터링하기 위한 온도계이지와 필요시 일정한 온도의 물만을 공급하기 위해 펌프작동용 콘트롤러(열교환기내의 물의 온도가 일정한 온도 이상이 되어야 펌프 작동)를 열교환기의 상부에 설치하였다. 또한 열교환기내의 물을 보충하고 과열로 인한 증기의 발생시 이를 조정하기 위한 오우버 플로우(over flow)용 배관이 열교환기 윗면 가운데에 설치되어 있다. 배관의 지름은 50mm이며 오우버 플로우 수조의 크기는 400mm×700mm×400mm로 제작하였다. 여기에는 급수조정기(feed water regulator)가 설치되어 있다.

## 제5절 공간 및 지중난방 겸용 시스템

공간 및 지중난방의 겸용 시스템을 구성하기 위하여 여러 가지 방안을 생각할 수 있다. 석탄 보일러 열원의 일부를 지중난방 열원으로 사용할 수 있으나 지중난방용 에너지는 배기되어 버리는 폐열을 회수하여 사용하는 방법이 가장 적절한 것으로 검토되었다. 이러한 회수에너지는 지중난방이 필요하다면 지중배관 시설에 의해 지중 가온용으로 사용할 수 있을 것이고, 지중난방이 필요 없을 때에는 공간난방의 보조열원으로 사용하여도 많

은 에너지를 절약할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 폐열을 회수하기 위한 폐열회수기에 대한 설계와 실험을 수행하였다. 3가지 형태의 폐열회수기에 대해 검토하였는데 히트파이프를 이용한 폐열회수 장치, 핀이 부착된 히트파이프를 이용한 폐열회수 장치 그리고 다수의 연관에 의한 직접 폐열회수 장치 등이다. 석탄은 연소 조건에 따라 열량 변화가 심하기 때문에 신뢰성있는 데이터 확보를 위해 18만 $\text{kw/h}$  용량의 경유용 난방기를 열원으로 사용하여 실험하였다.

본 실험에서 실내공기온도, 열교환기 전후의 연도내 온도, 열교환기 전후의 흡입·토출 공기온도는 열전대(T-type 및 K-type)를 이용하여 측정하였고, 각 점의 온도데이터는 Data Logger(Data-scan 7320, Datascan사)를 통해 5초마다 컴퓨터에 입력되도록 하였다.

열량을 계산하기 위해서는 풍속 측정이 필요하다. 그러나 연통에서의 풍속은 부위에 따라 달라지기 때문에 그림 2-6에서와 같이 연통을 A, B, C 3부분으로 분할하여 A영역에서 1개 지점, B영역에서 8개 지점, C영역에서 4개 지점 등 총 13개 지점에서 측정하였으며 풍속계는 VELOCICALC Plus 8360(TSI사)을 사용하였다.

#### 1. 히트 파이프 열교환 방식

히트파이프를 이용한 폐열회수 장치는 그림 2-7과 같다. 전체 크기는 220 $\text{mm} \times 360\text{mm} \times 620\text{mm}$ 이며 30개의 히트 파이프(크기 지름 15 $\text{mm}$ , 길이 620 $\text{mm}$ )를 설치하고 아래쪽(길이 240 $\text{mm}$ )에 연관을 연결하여 폐열을 회수하는 한편 위쪽(길이 380 $\text{mm}$ )에는 송풍기(12.3 $\text{m}^3/\text{min}$ )를 부착하여 열을 회수할 수 있도록 제작하였다.

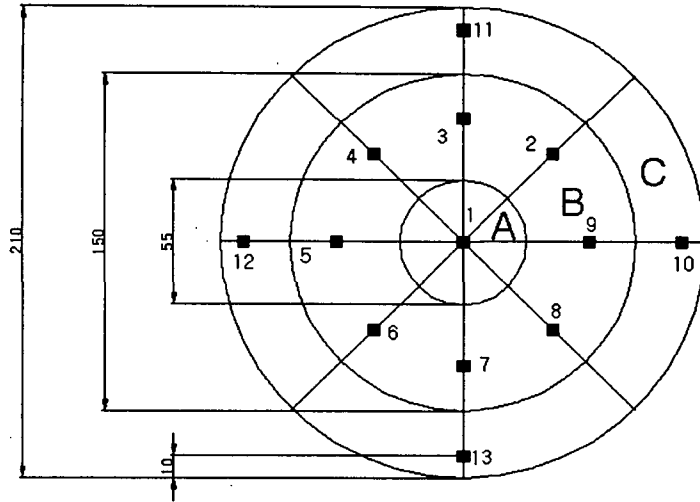


그림 2-6 연통에서의 풍속 측정 지점

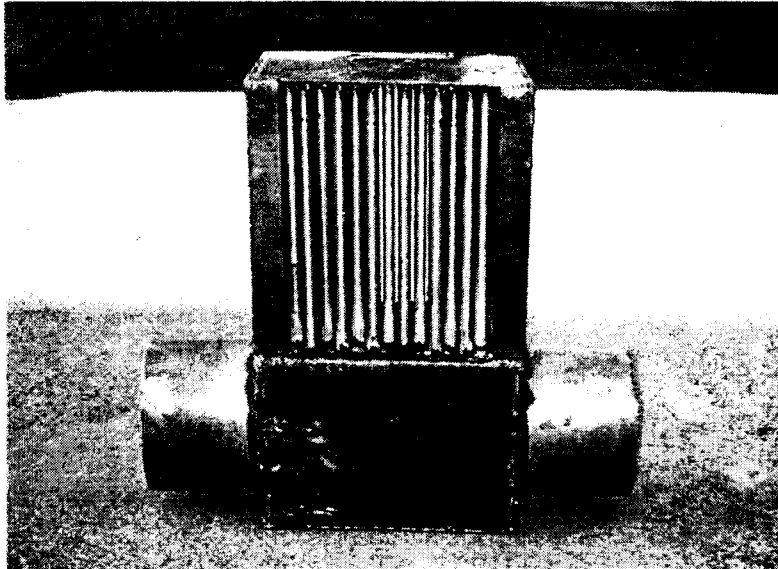


그림 2-7 히트파이프를 이용한 폐열 회수장치

가. 온도분포

난방기의 용량이 18만kcal/h일 때 각 부위에서의 시간에 따른 온도분포는 그림 2-8(a)와 같다. 난방기 가동과 함께 배기가스의 배출온도는 약 205℃까지 상승하는 것을 볼 수 있다. 또한 열교환기를 지난 연소가스의 온도(열교환기 후 연통 온도)는 약 160℃로서 약 50℃의 온도하강 폭을 보이고 있다. 열교환기를 통해 배출되는 취출온풍은 약 45℃로 비교적 고온을 나타내고 있다. 이때의 실내온도는 약 23℃이다.

나. 열량분포

열량을 계산하기 위한 각 영역의 평균 풍속은 그림 2-6의 A, B, C 세 영역에서 측정된 풍속의 평균값으로 하였으며 각 평균속도에 그 영역의 면적을 곱하고 이들의 결과를 더한 후 전체 면적으로 나누어 연통에서의 평균 속도를 계산하였다. 본 실험에서 연통의 각 지점에서 측정된 풍속은 표 2-1과 같으며, 이 경우 계산된 연통에서의 평균 풍속은 2.71%이었다.

열교환기를 통해 취득한 열량( $Q_3$ )은 열교환기 때문에 풍속측정이 어려워 간접적인 방법으로 난방기에서 연통을 통해 배출되는 열량( $Q_1$ )과 열교환기 통과 후 연통으로 배출되는 열량( $Q_2$ )의 차로 계산하였다.

표 2-1 보일러 연통의 각 위치별 풍속

지 점	풍 속(%)	지 점	풍 속(%)
1	2.7	8	3.0
2	2.9	9	2.8
3	2.9	10	2.5
4	3.0	11	2.5
5	2.6	12	2.5
6	2.9	13	2.7
7	3.0		

난방기와 폐열회수기에서의 열량을 계산하기 위한 식은 다음과 같다.

$$Q = C_p \dot{m} \Delta T$$

따라서 보일러 배출열량( $Q_1$ )은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \rho VA \\ &= 0.774 [kg/m^3] \times 2.71 [m/s] \times 3600 [s/h] \times \frac{0.21^2 \times \pi}{4} [m^2] \\ &= 261.5 [kg/h] \end{aligned}$$

$$\Delta T = 205.25 [^\circ C] - 22.5 [^\circ C] = 182.75 [^\circ C]$$

이므로

$$\begin{aligned} Q_1 &= 261.25 [kg/h] \times 0.24 [kcal/kJ] \\ &\quad \times 1.021 [kJ/kg \cdot K] \times 182.75 [^\circ C] \\ &= 11,471 [kcal/h] \end{aligned}$$

또한 열교환후 연통 배출 열량( $Q_2$ )은 이때의 온도차가 다음과 같으므로

$$\Delta T = 159.26 [^\circ C] - 22.5 [^\circ C] = 139.76 [^\circ C]$$

$Q_2$ 는 9,016.4 [kcal/h]이다.

따라서 열교환기 취출열량( $Q_3$ )는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q_3 = Q_1 - Q_2 = 11,471.2 - 9,016.4 = 2,454.8[\text{kcal/h}]$$

이들의 결과는 그림 2-8(b)에 나타내었다.

#### 다. 폐열 회수율

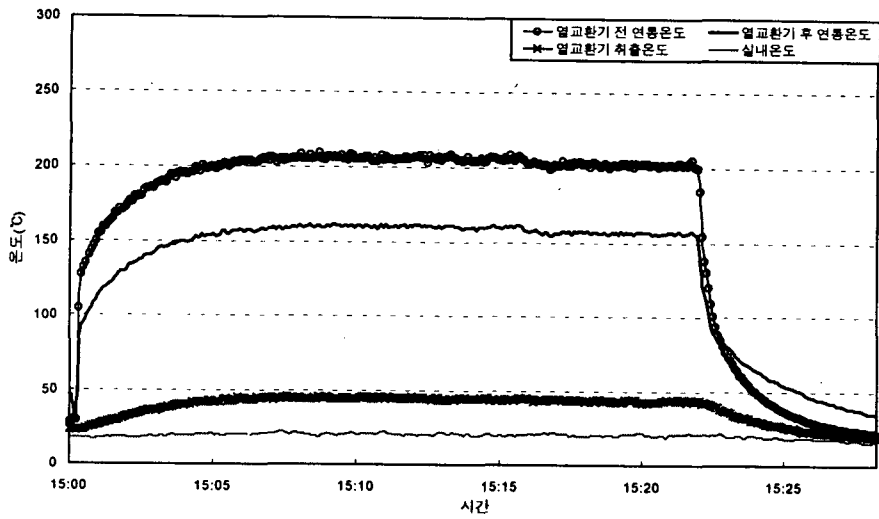
위의 결과로부터 실험결과가 비교적 안정적인 시점에서의 열량분포를 보면 회수 열량을 약 2,455kcal로 약 21.4%의 열량 회수율을 나타내고 있으며 나머지 78.6%는 그대로 폐열로 배출되고 있음을 알 수 있다.

## 2. 핀이 부착된 히트 파이프를 이용한 열교환 방식

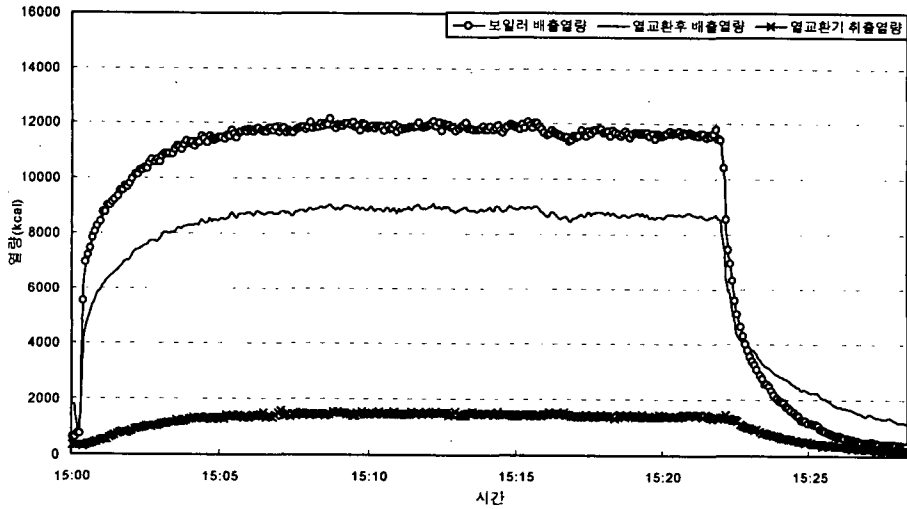
그림 2-9는 핀이 부착된 히트 파이프를 이용한 폐열 회수 장치를 나타낸 것이다. 이 실험을 위한 장치는 기존 생산 제품(선우에너지)을 이용하였다. 제품의 사양은 전체 크기가 300mm×420mm×670mm이다.

전체 24개의 히트 파이프(지름 21mm, 길이 620mm)가 설치되어 있으며 히트파이프에는 길이 12mm, 피치는 8.2mm인 핀이 부착되어 있다. 난방기의 연관을 히트 파이프 하부(높이 420mm)에 연결하여 폐열을 회수하는 한편 히트 파이프 상부(250mm)에는 송풍기(18.3m<sup>3</sup>/min)를 작동시켜 열을 회수하는 장치이다.

앞의 방법과 동일한 난방기(용량 18만kcal/h)에서 온도 및 풍량을 측정하고 열량을 계산하여 얻은 결과를 그림 2-10에 제시하였다. 온도분포를 보면 난방기 가동과 함께 보일러 배출온도는 최고 약 250℃까지 급상승을 하고 열교환 후 연통을 통한 배출온도도 약 120℃로 나타나고 있다. 또한 열



(a) 온도분포



(b) 열량분포

그림 2-8 히트파이프 열교환기에 의한 각 위치별 온도 및 열량분포



교환기의 취출온도는 약 50℃의 비교적 고온의 온도분포를 나타내었다. 열량의 경우 난방기 가동 후 안정적인 온도상태를 보이는 시점에서 살펴보면 난방기에서 배출되는 열량은 최고 약 14,800kcal로서 이 가운데 약 7,800kcal는 열교환기에 의해 회수되어지고, 나머지 7,000kcal는 폐열로 배출되어 폐열 회수율이 약 53%임을 알 수 있다.

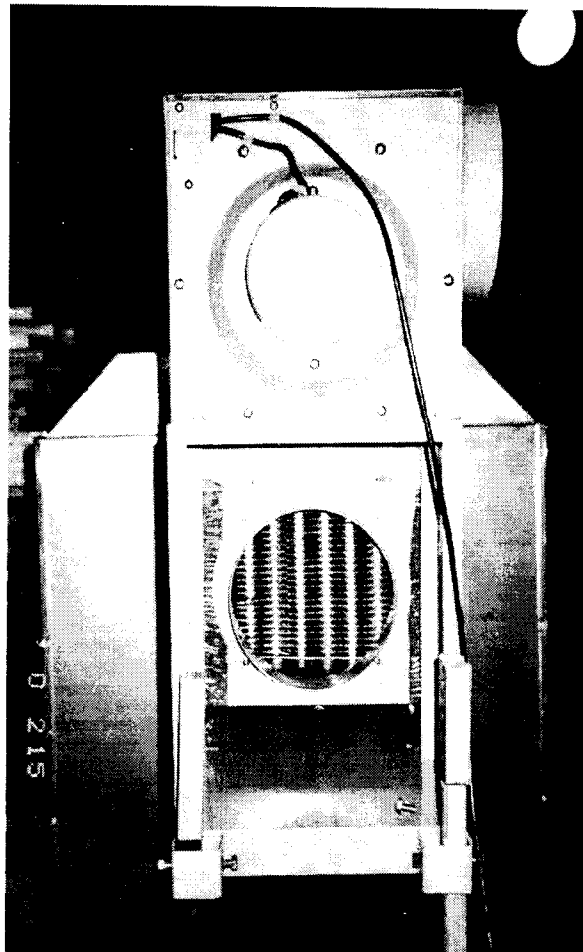
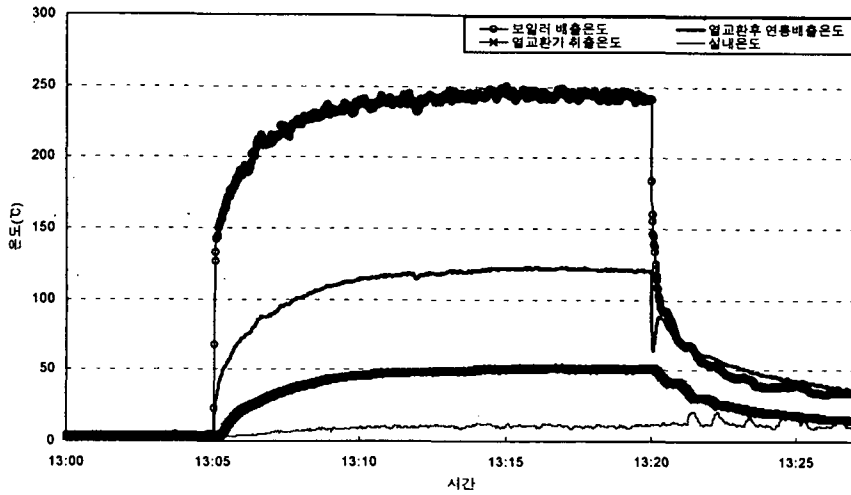
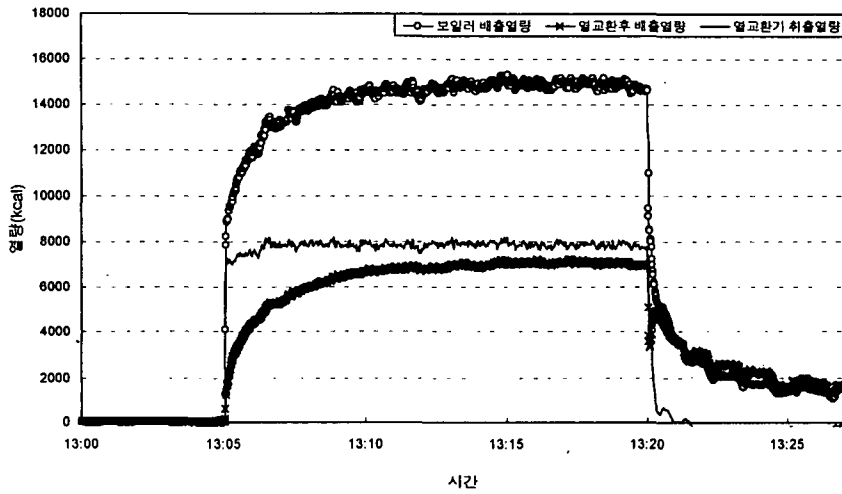


그림 2-9 핀이 부착된 히트파이프를 이용한 폐열 회수장치



(a) 온도분포



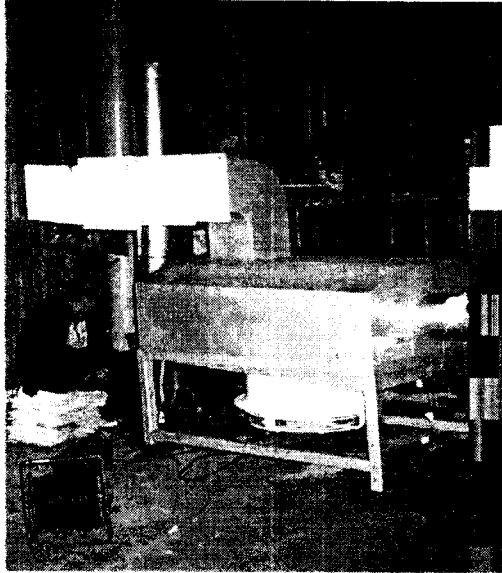
(b) 열량분포

그림 2-10 핀이 부착된 히트파이프 열교환기에 의한 각 위치별 온도 및 열량분포

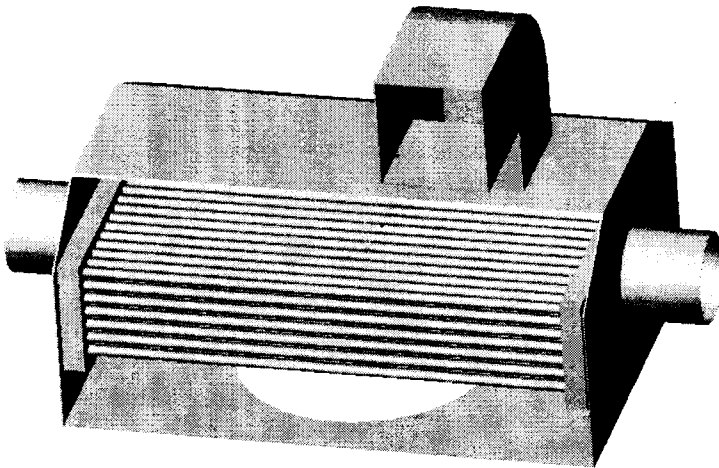
### 3. 연관에 의한 직접 열교환방식

폐열을 회수하기 위한 다른 방안으로 그림 2-11과 같이 연로에 번들(bundle) 형태의 많은 연관을 만들어 연소가스를 이곳으로 보낸 후 송풍기( $53.8\text{m}^3/\text{min}$ )에 의해 수직방향으로 공기를 순환시켜 열을 회수하기 위한 장치를 제작하였다. 이러한 폐열회수기의 크기는  $800\text{mm}\times 1220\text{mm}\times 500\text{mm}$ 이며 번들형 연관의 크기는 지름  $22\text{mm}$ , 길이  $1120\text{mm}$ 로 18개씩 7줄로 126개의 연관이 사용되었다. 한편 연통과 폐열회수기 사이에는 좌우에 각각  $50\text{mm}$ 로 충분한 크기의 확대관을 설치하여 역압력구배의 형성을 방지하였다.

이와 같은 폐열회수 장치에서 난방기의 용량이  $18\text{만kcal/h}$  일 때 앞에서와 같은 방법으로 온도와 풍량을 측정하고 열량을 계산하여 얻은 결과를 그림 2-12에 제시하였다. 그림 2-12(a)에서 살펴보면 난방기 가동과 함께 난방기 배출온도는 약  $245^\circ\text{C}$ 까지 상승을 하였다. 또한 연통을 통해 배출된 폐열의 온도는 약  $80^\circ\text{C}$ , 열교환기의 취출온도는 약  $25^\circ\text{C}$ 의 온도분포를 나타내었다. 이와 같이 열교환기의 취출온도의 온도가 낮은 것은 본 실험에서 사용된 열교환기에서 취출용 팬이 대용량이기 때문으로 보인다. 또한 그림 2-12(b)에서 살펴보면 난방기에서 배출되는 열량은 최고 약  $14,810\text{kcal}$ 로서 이 중 약  $10,450\text{kcal}$ 는 열교환기에 의해 회수되고, 나머지 약  $4,400\text{kcal}$ 는 폐열로 배출되고 있음을 알 수 있다. 따라서 열교환기를 통하여 회수되어지는 열량은 약 71%의 높은 회수율을 보이고 있다.

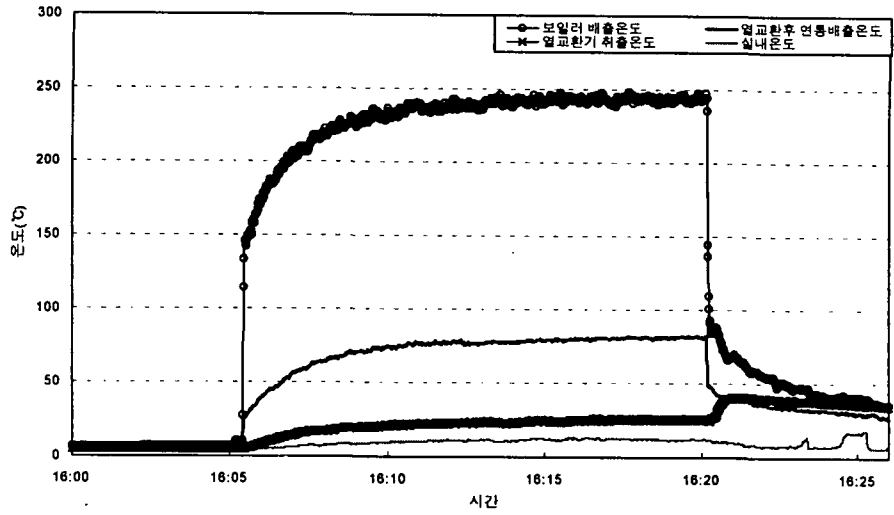


(a) 사진(실험모습)

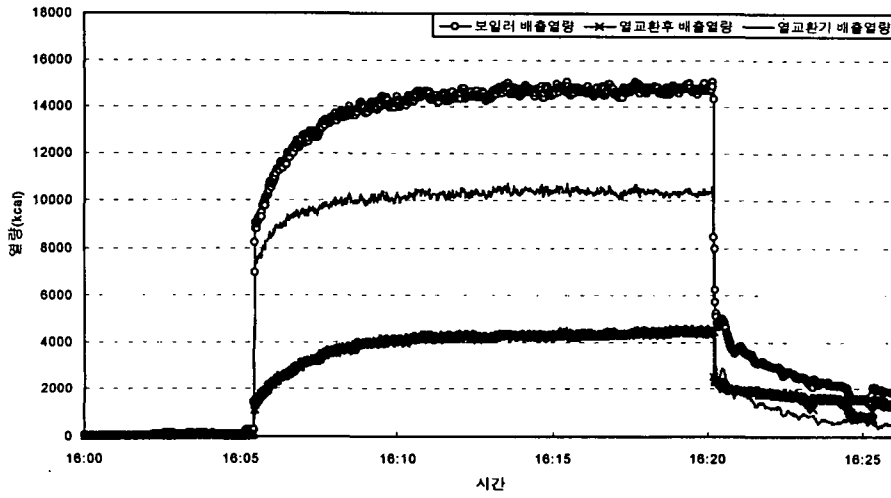


(b) 폐열 회수장치 내부도

그림 2-11 다수의 연관에 의한 직접 폐열 회수장치



(a) 온도분포



(b) 열량분포

그림 2-12 연관에 의한 직접 열교환방식의 각 위치별 온도 및 열량분포

## 제3장 석탄 공급 및 점화시스템 개발

### 제1절 서설

고체 연료의 경우 액체연료와 달리 연료 공급방법을 여러 가지로 고려할 수 있다. 본 연구에서는 투입식, 컨베이어 공급식 그리고 피스톤으로 밀어주는 3가지 방법에 대하여 검토하여 최종적으로 피스톤식 방법을 채택하였다. 이를 위해 모터-지지대-디스크-크랭크축-피스톤에 의한 연료공급 메카니즘을 완성하였다. 이러한 연료공급 방법에 있어서 연료 공급 시기를 결정하기 위한 화염 전파 감지 방법 그리고 피스톤 운동이 1행정씩 이루어지기 위해 모터의 on/off 방법에 대하여 설명하고자 한다.

자동화를 위해서는 자동 점화장치가 필수적인데 스트립(strip) 히터를 이용한 점화 방법과 이에 대한 연료의 제한성에 대하여 언급하였다. 연료 공급에 의한 착화, 연소 과정을 거쳐 최종적으로 생성되는 재를 처리하기 위한 방법에 대해서도 설명하였다.

보일러 작동의 완전 자동화를 위해서는 연료공급과정, 연소과정, 재처리 시스템, 점화시스템의 제어뿐만 아니라 필요시 재착화를 위한 시스템의 제어 등이 통합된 제어시스템의 개발이 필요하다. 따라서 이를 위한 제어 알고리즘과 제어 장치의 개발에 대하여 설명하였다.

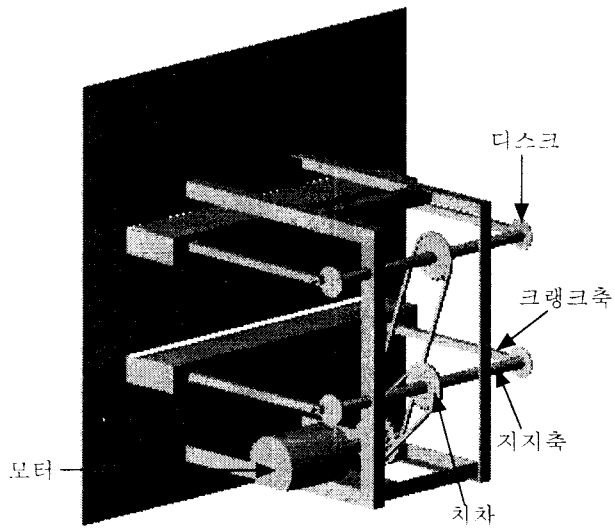
### 제2절 석탄공급장치

석탄공급장치는 석탄보일러의 자동화를 위하여 가장 중요한 부분이다.

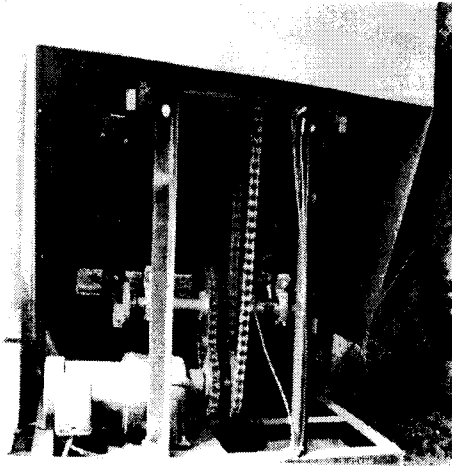
본 연구에서 채택한 피스톤식 연료공급장치의 구성 메카니즘은 그림 3-1과 같다. 상하 화격자에 연료를 공급하기 위하여 두 개의 지지축(모터의 동력을 크랭크축에 전달하기 위한 보조장치)과 이를 구동시키기 위한 모터, 석탄을 밀어내는 피스톤 그리고 지지축과 피스톤을 연결해주는 크랭크축으로 구성되어 있다. 이때 지지축은 지름 30mm, 길이 540mm이다.

본 연구에서 개발하고자 하는 보일러의 경우 용량이 크기 때문에 피스톤의 규격이 커 모터의 동력이 피스톤 전체에 골고루 분산되지 않을 염려가 있기 때문에 좌우에 하나씩 2개의 크랭크축을 연결하여 모터의 동력이 골고루 피스톤에 전달되도록 하였다. 실제 실험과정에서 1개의 크랭크 축을 사용하는 경우 피스톤을 밀어주는 힘의 정도가 달라 피스톤이 보일러 본체에 끼는 문제가 자주 발생하였다. 본 연구에서 채택한 피스톤의 규격은 800mm×80mm×50mm이고 크랭크축은 지름 20mm, 길이 240mm이다. 크랭크축은 피스톤 양단에서 100mm 떨어진 위치에 베어링으로 피스톤과 연결되어 있다.

모터에 의해 지지축으로 전달된 회전운동을 피스톤의 직선운동으로 바꾸주기 위하여 지지축 양단에 지름 80mm, 두께 10mm인 디스크가 체결되어 있고 여기에 디스크 중심에서 30mm 떨어진 곳에 핀(지름 8mm, 길이 70mm)이 부착되어 있는데 이 핀과 크랭크축이 베어링으로 연결되어 있다(그림 3-2). 이러한 방법으로 모터에서 지지축 디스크로 전달된 회전운동은 디스크 핀과 크랭크축에 의해 직선 왕복운동으로 전환된다. 이때 지지축 근처의 고정축에 리미트(limit) 스위치를 설치하고 각 지지축에 리미트 스위치 작동 장치가 있어서 피스톤이 1행정 후 모터가 멈춰지도록 제어된다. 피스톤 행정 길이는 60mm이며 실제 석탄이 밀려나가는 거리는 이보다 작게 나타나므로 실험을 통해 석탄이 화격자로 공급되는 양을 측정하였는데 1행정 당 약 1.8kg이었다.



(a) 도면



(b) 사진

그림 3-1 피스톤식 연료공급장치 메카니즘



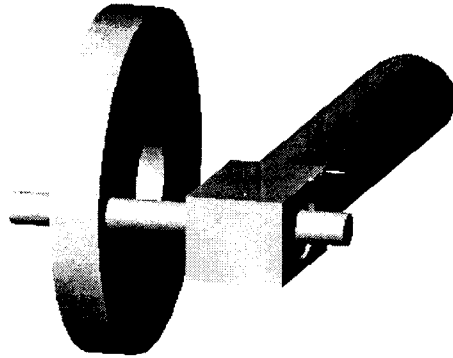


그림 3-2 디스크-핀-크랭크축 결합도

또한 연소시 화염이 석탄을 타고 석탄조로 역류되는 것을 방지하기 위해 평상시에는 피스톤에 의해 석탄조의 연료 투입구가 막혀 있다가 석탄 공급이 필요할 때에는 피스톤이 뒤로 밀려 나와 석탄조에서 연료가 공급된 후 피스톤을 앞으로 이동시키면서 투입된 석탄이 수평방향으로 화격자에 공급되도록 설계하였다.

한편 모터의 동력을 지지축에 전달하기 위한 방법으로는 체인에 의한 동력전달 방법을 사용하였는데 그림 3-1에서 알 수 있듯이 하나의 모터로 두개의 크랭크축에 각각 동력을 공급할 수 있게 설계되었다. 이를 위해 클러치 베어링을 사용하였는데 모터에 연결된 각 치차에 클러치 베어링을 설치함으로써 한 치차는 정회전에만 작동되고 다른 치차는 역회전에서만 작동되도록 제작하여 한 개의 모터로 상하 2개의 석탄공급장치를 구동할 수 있도록 하였다. 모터에는 톱니수 19개의 치차가 사용되었고 각 크랭크 축에는 톱니수 26개의 치차가 사용되었다. 모터의 사양은 0.4kW(1/2 HP, 감속비 1/200, 3-Phase 220V)이다. 또한 모터축에 사용된 클러치 베어링을

제외한 모든 축과 축 사이의 이음부에는 UCFC 204 베어링을 사용하였다.

### 제3절 점화시스템 및 재처리 장치

#### 1. 점화시스템

자동화를 위해서는 초기 착화 및 연소 정지 후 필요시 재착화를 위한 자동 점화 장치의 개발이 필수적이다. 이를 위해 파이프에 다수의 노즐 구멍을 뚫은 가스 분사에 의한 착화 실험을 시도하였으나 소요 시간이 10~15분 정도로 예상보다 상당히 소요되었고 화기 옆에 가스가 있다는 위험성도 존재한다. 또 다른 방법으로는 경유용 소형 버너를 이용한 착화 방법도 시도해 보았지만 이 방법 또한 시간이 상당히 소요될 뿐 아니라 버너를 꺼버리면 쉽게 불씨가 사라져 착화가 어려웠다. 여러 번의 경험에서 석탄에 의한 착화는 어느 정도 온도가 상승하여 휘발분에 의한 착화만 진행되었을 때 송풍을 하게 되면 오히려 불씨가 꺼져 소화가 되는 것이 확인되었다. 분명한 착화가 되려면 코우크스 성분에 의한 연소가 진행된 후 송풍기로 공기를 공급해 주어야 한다. 이러한 여러 가지 경험을 토대로 히터에 의한 착화방법을 시도하였다.

표 3-1에서 보듯이 석탄의 종류에 무관하게 착화시키기 위해서는 600℃ 이상의 온도가 필요하다. 또한 착화된 석탄을 화격자로 제대로 이송하여 송풍에 의한 연소를 진행시키기 위해서는 착화된 아랫부분 석탄이 착화 안된 윗부분 석탄과 뒤섞여 버리면 그 불씨를 그대로 유지하기 어려웠다. 따라서 히터는 표면온도를 높게 낼 수 있는 고열량이면서 피스톤으로 석탄을 밀었을 때 히터의 높이 때문에 석탄이 뒤섞이지 않도록 아주 얇아야 할 것

표 3-1 석탄 종류에 따른 착화온도

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

이다. 이를 위해 그림 3-3과 같은 2.5kW(표면온도 650℃)의 얇은 스트립 히터(700mm×70mm×3mm)를 주문 제작하였다. 이 히터를 사용하여 실험한 결과 약 5분 정도의 가열로 착화가 가능하였다.

그러나 히터에 의한 착화 방법은 결국 히터와 접촉한 부위에서만 점화가 시작되기 때문에 연료의 크기에 따라 제약이 따른다. 2장에서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 고정화된 분탄, 입자의 크기가 5~12mm인 석탄

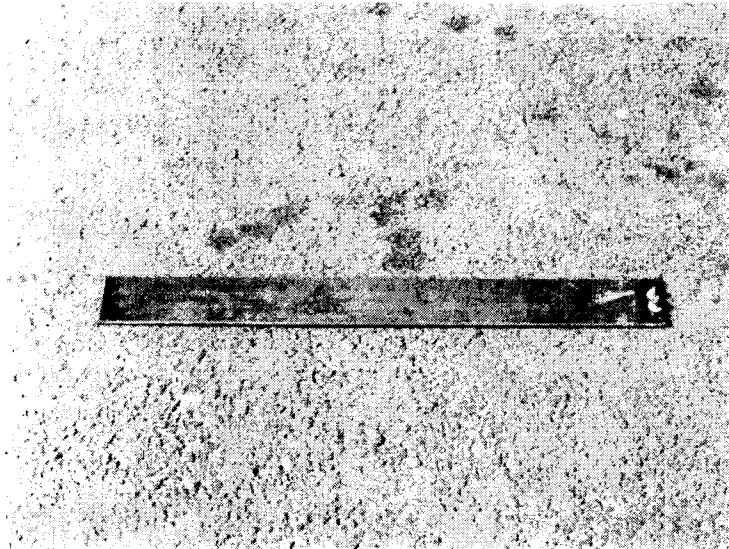


그림 3-3 석탄 착화용 스트립 히터

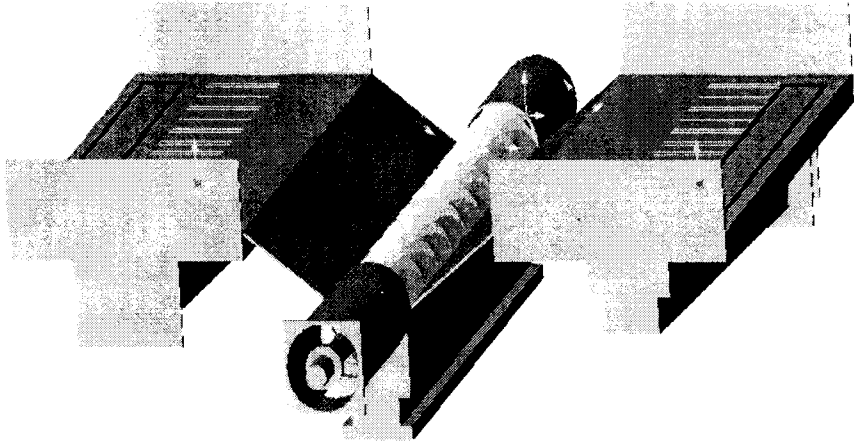
그리고 이보다 입자가 큰 20~40mm인 석탄에 대한 실험하였는데 입경이 20~40mm인 석탄의 경우 히터와의 접촉면적이 작아 착화가 어려웠다.

실험과정에서 히터가 화염에 장시간 노출되는 경우에는 화염의 온도(측정 결과 본 실험에서는 최대 약 1500℃)가 상당히 높기 때문에 열화에 의해 수명이 단축되어 내장된 열선이 끊어지는 문제점이 제기되었다. 따라서 착화시 외에는 불꽃에 노출되지 않도록 설계하였다. 석탄의 경우 열전도율( $k=0.156\text{kcal/m}\cdot\text{h}\cdot\text{deg}$ )이 거의 단열재에 가까워 화염이 옆에 있더라도 연소되고 있지 않는 석탄 내부는 온도가 그다지 상승하지 않으며, 화염이 전파될 때 온도가 급격히 높아지기 때문에 센서에 의한 착화 여부의 판정이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 히터와 화격자 사이에 온도센서(K-type)를 설치하여 화염 전파가 감지되면 피스톤이 구동되면서 새로운 연료가 투입되도록 하여 화염이 히터에 닿지 않는 한편 화격자로의 연속적인 연료 공급이 되도록 하였다.

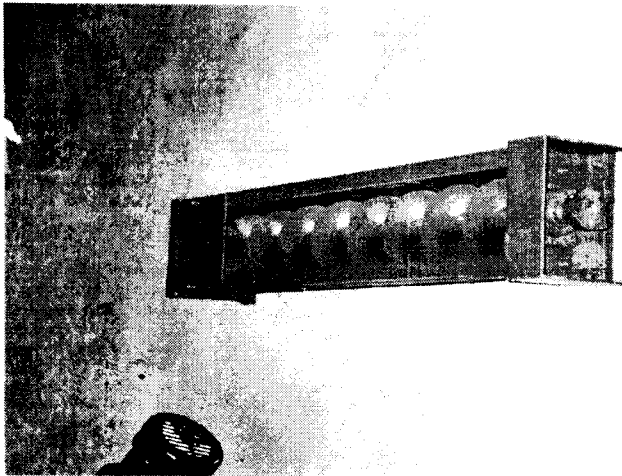
재착화의 경우는 일정 시간이 지나도 화염의 전파가 온도 센서에 감지되지 않는 경우 불이 꺼진 것으로 간주되어 착화시와 마찬가지로 석탄 공급에 의해 히터 가동이 이루어지도록 하였다.

## 2. 재처리 장치

재처리 장치는 그림 3-4(a)에서 보듯이 두 개의 화격자 끝 부분에 설치되어있다. 각각의 화격자에서 석탄 공급장치에 의해 공급된 석탄은 화격자의 연소부에서 휘발성분의 연소와 코우크스의 연소를 거쳐 화격자의 말미에 이르러 후연소 과정을 겪으면서 고정탄소 부분의 연소가 진행되어 재로 변해 간다.



(a) 재처리장치와 화격자의 결합도



(b) 재처리 장치 사진

그림 3-4 재처리장치

이러한 일련의 과정은 앞에서 설명한 바와 같이 센서에 의해 화염이 전파되었다고 감지되면 모터가 동력을 전달하여 석탄공급장치를 구동함으로써 새로 공급되는 석탄이 기존 화격자 상에 놓여 있는 석탄을 계속적으로 수평방향으로 밀면서 순차적으로 이루어진다. 따라서 화격자의 제일 말미에 거의 새로 변한 석탄은 최종적으로 화격자상에서 밀려 재처리부로 떨어진다.

재처리장치는 그림 3-4(b)에서 보듯이 스크류와 이를 구동하기 위한 모터로 이루어져 있다. 재처리장치의 스크류 부위에서 재가 떨어지는 부분은 하우스(지름 120mm)이 없는 형태로 반개형이다. 스크류는 중심축의 지름이 34mm, 길이는 1350mm이고 날개의 피치와 높이는 각각 90mm, 54mm이며 스크류 길이(날개가 부착된 부위) 1100mm이다. 또한 여기에 사용된 모터의 사양은 0.2kW(1/4마력, 3-Phase 220V)이다. 재처리장치는 연료 공급장치의 가동과 연계되어 작동하도록 설계되어 있으며 스크류에 의해 밀려온 재는 스크류 하우스 아래쪽에 뚫린 구멍을 통해 외부로 배출된다.

연소된 재의 경우 연소 과정 중 석탄이 갖고 있는 점결성 성분과 미소 성분(K, Na, Mg, Fe 등) 등에 의해 자체적으로 뭉쳐 큰 덩어리가 되기도 하나 스크류의 날개에 의해 부서지며 아주 작은 크기로 분쇄하고자 할 때에는 스크류 피치를 조정하여 해결할 수 있을 것이다.

## 제4절 제어 시스템 개발

### 1. 제어 알고리즘

석탄의 연소 특성은 석탄 입자의 크기나 생산지에 따라 큰 차이가 나타

난다. 따라서 다양한 종류의 석탄을 개발된 보일러 시스템에서 사용하기 위해서는 이러한 특성을 고려한 범용 제어 알고리즘이 필요하다. 이를 위해 기본적 알고리즘에서 석탄의 완전 연소 시간, 화염 전파 속도 및 미송 풍시 연소 시간 등 석탄의 연소 특성에 따라 석탄공급 시기와 송풍 시간을 사용자가 유연하게 설정할 수 있도록 개발하였다.

제어 알고리즘의 구성은 점화과정, 연소과정, 재처리과정의 세부과정으로 나누고 이를 통합하여 전체 알고리즘을 구성하였다. 그림 3-5와 3-6은 각각 제어 알고리즘에 대한 구성도와 흐름도를 제시한 것이다.

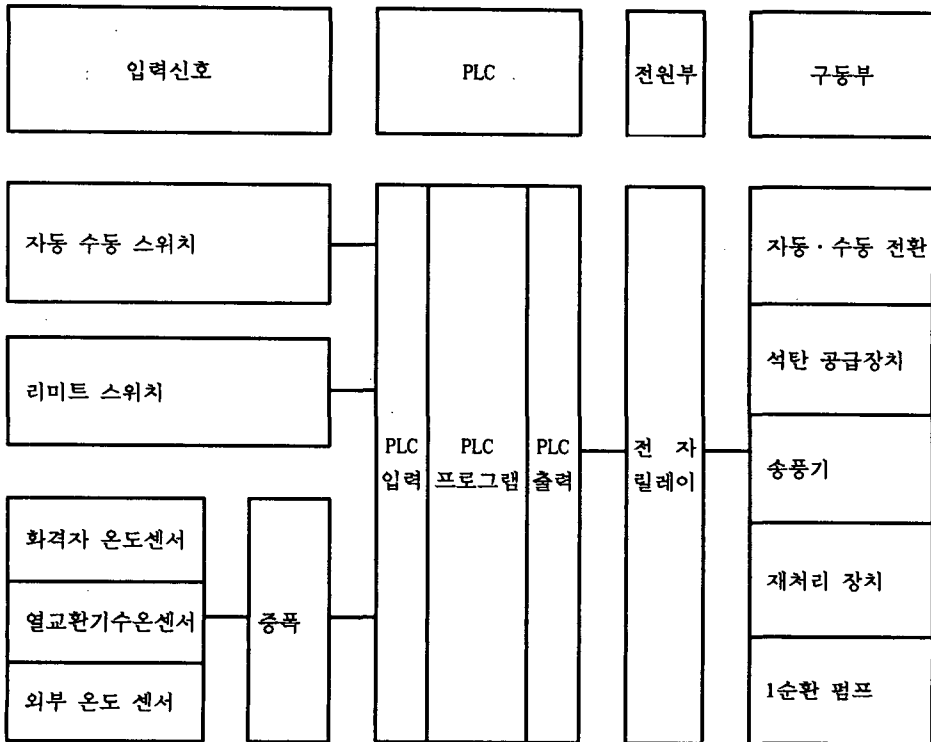


그림 3 -5 제어 알고리즘 구성도

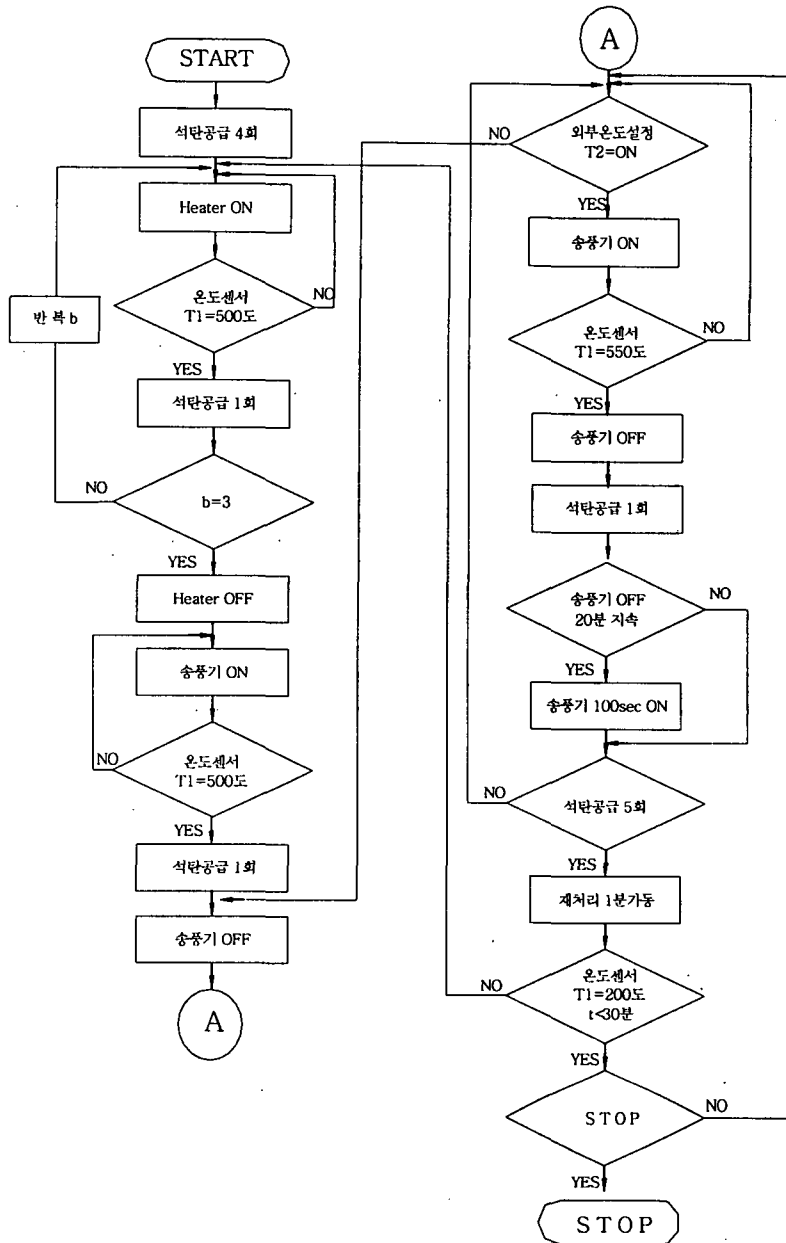


그림 3-6 제어 알고리즘 흐름도



## 가. 점화 과정

점화과정의 경우 외부에서 점화 신호를 입력받으면 석탄 공급장치를 여러 차례(본 시스템에서는 4회) 연속 작동시켜 석탄이 점화 히터에 도달하게 한다. 이후 점화 히터가 가열되면서 석탄에 착화되고 연소실에 설치된 온도 센서를 통해 확인(500℃)되면 석탄공급장치가 1회 작동되어 새로운 석탄이 히터에 공급되면서 착화과정이 반복된다.

본 연소 시스템에서는 이러한 과정이 3회 반복되며 이때에는 착화된 연료가 화격자상에 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 부분에의 자연 송풍만에 의해서는 주변으로 화염을 전파시킬 수 없기 때문에 초기 점화시 화염 확산을 위해 강제 송풍이 필요하다. 따라서 안정된 화상을 이룰 때까지(화격자 어셈블리의 온도센서 온도가 550℃) 송풍기를 가동하고 최종적으로 석탄공급장치를 1회 작동한 후 제어 알고리즘은 점화과정을 마치고 연소 과정으로 전환된다.

## 나. 연소 과정

연소 과정의 경우에는 난방부하를 위한 측면과 난방부하는 없으나 지속적인 불씨 유지를 위한 측면에 대해 고려하였다. 난방부하에 따른 외부 신호가 발생하면 난방부하가 취소될 때까지 계속 송풍기가 작동되면서 석탄의 연소를 촉진시켜 충분한 열량을 공급하게 된다. 이때 예열부에 장착된 온도 센서를 통해 일정 이상 온도(본 시스템에서는 550℃)가 감지되면 석탄 공급장치가 작동되어 새로운 석탄이 공급되면서 기존의 석탄은 예열부-연소부-후연소부-재처리부 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 20분 동안 송풍기가 작동하지 않을 경우 100초 동안 송풍하여 연료의 불씨가 꺼지는 것을 방지하였다.

#### 다. 재착화 과정

보일러 작동 중 예기치 않은 일로 불이 꺼져 식물이 동사하는 사고를 예방하기 위하여 재착화 과정을 제어 알고리즘에 포함하였다. 연소과정 중 화격자 어셈블리의 예열부에 설치된 온도 센서에서 감지된 온도가 200℃이하로 30분 이상이 지속되면 소화되었다고 판단하여 재착화과정이 진행된다. 이때에는 이미 화격자상에 석탄이 있기 때문에 점화과정 중 초기 석탄공급과정(초기 4회 연속 석탄공급과정)이 불필요하며 이를 제외한 일련의 점화과정을 수행하여 재착화가 이루어지도록 하였다.

#### 라. 재처리 과정

석탄이 연소되면 그 주성분인 탄소는 거의 소모되고 회재에는 회분을 포함한 기타 미소 성분(K, Na, Mg, Fe 등)과 미연소 부분만이 남게되어 그 부피는 연소 전 석탄에 비해 20-30%정도로 감소한다. 따라서 재처리과정의 경우 연소 과정이후 석탄공급장치의 작동 횟수에 따라 재처리 장치의 가동 시기 및 시간을 결정하였다. 재처리 장치의 작동 중 분진이 발생하는 문제를 방지하기 위해 재처리용 스크류가 작동될 때에는 송풍기의 작동을 멈추도록 하였다.

실험 결과 석탄공급 장치 1회 가동시 공급되는 석탄의 양은 약1.8kg이

므로 석탄공급장치 5회 작동할 때마다 재처리장치를 1분 동안 작동하게 하였다.

## 2. 제어 시스템

다양한 변수들을 제어하기 위한 제어 시스템의 개발에는 일반적으로 마이크로 프로세서 혹은 PLC를 많이 사용한다. PLC의 경우 마이크로 프로세서에 비해 제어 시스템의 개발과 프로그램 과정 및 수정 작업이 비교적 쉽고 작동 환경상 발생하는 노이즈(noise) 문제가 비교적 적다는 장점이 있는 반면 제어 시스템의 구현에 제약이 많고 가격이 비싸다는 단점을 가지고 있다. 본 개발에서는 석탄 분진 등 작동환경이 비교적 열악하므로 PLC를 사용하였다. 또한 개발된 제어 시스템은 다양한 실험을 위해 자동 및 수동으로 변환 가능하도록 제작하여 필요시 수동으로 작동할 수 있도록 하였다.

그림 3-7은 제작된 제어 시스템의 내부 사진이며 그림 3-8은 PLC 신호 입출력부와 제어 시스템의 회로도를 나타낸 것이다. 그림 3-7에서 보면 제어 시스템은 PLC장치, 센서 신호 입력부, 전원공급부 그리고 컨트롤부로 구성되어 있으며 PLC 장치는 가격이 비교적 저렴하고 확장성이 비교적 좋은 컴파일테크놀러지사 Tiny PLC-TPC37를 사용하였다. 또한 개발 프로그램으로 컴파일테크놀러지사에서 제공한 MPGL2를 이용하여 개발하였다. 그림 3-8(a)와 (b)에서 보듯이 시스템의 제어과정은 각부에서 PLC로 입력된 신호를 바탕으로 각 구동부가 작동하도록 하였다. 즉, 증폭회로를 통해 증폭된 온도 신호, 수동 및 자동 전환 신호, 석탄 공급장치의 리미트 스위치 등을 입력신호로 하여 송풍기, 석탄공급장치, 재처리장치의 모터 그리고 점화장치의 히터가 제어 프로그램에 따라 전자릴레이에 출력되어 각부에

전원을 공급하여 작동하도록 이루어졌다. 또한 각각의 변수나 프로그램의 수정은 PLC의 통신 포트를 이용하여 쉽게 변경이 가능하다. 그림 3-9는 제어 처리과정을 위해 알고리즘에 따라 개발된 PLC 래더(ladder) 프로그램이다.

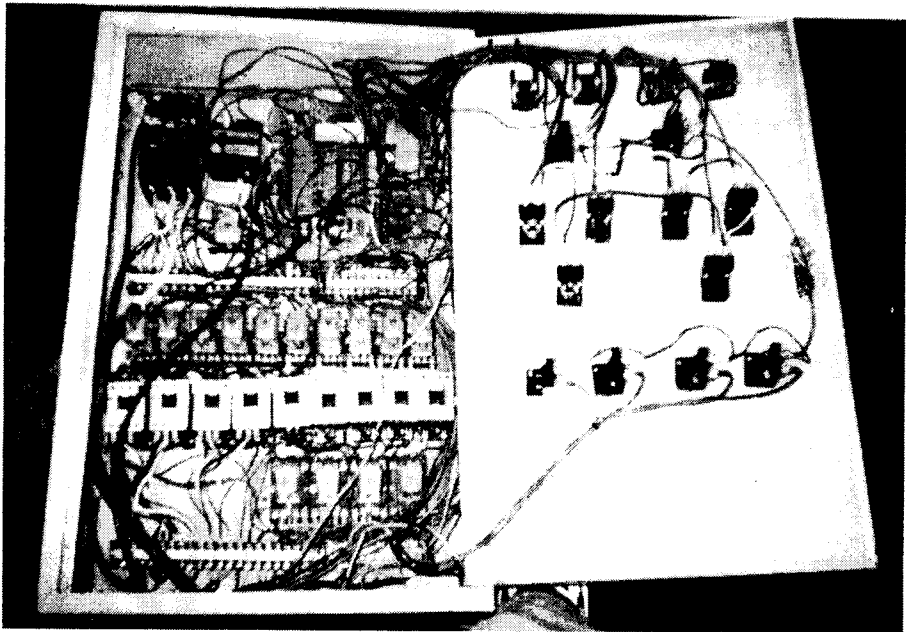
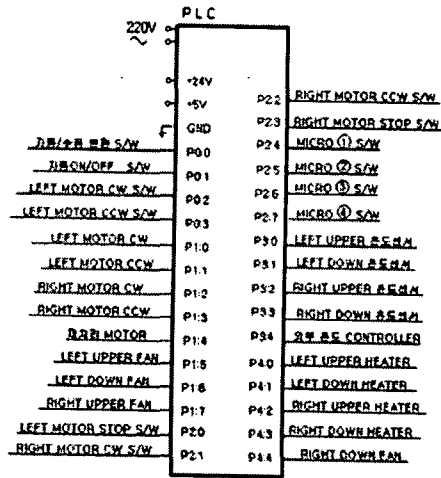
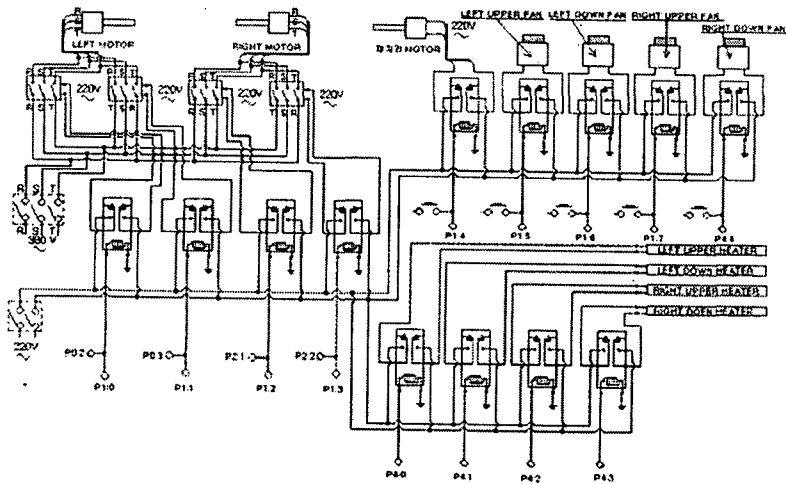


그림 3-7 제어시스템의 내부 사진



(a) PLC 신호 입출력도



(b) 콘트롤러 회로도

그림 3-8 제어시스템 회로도

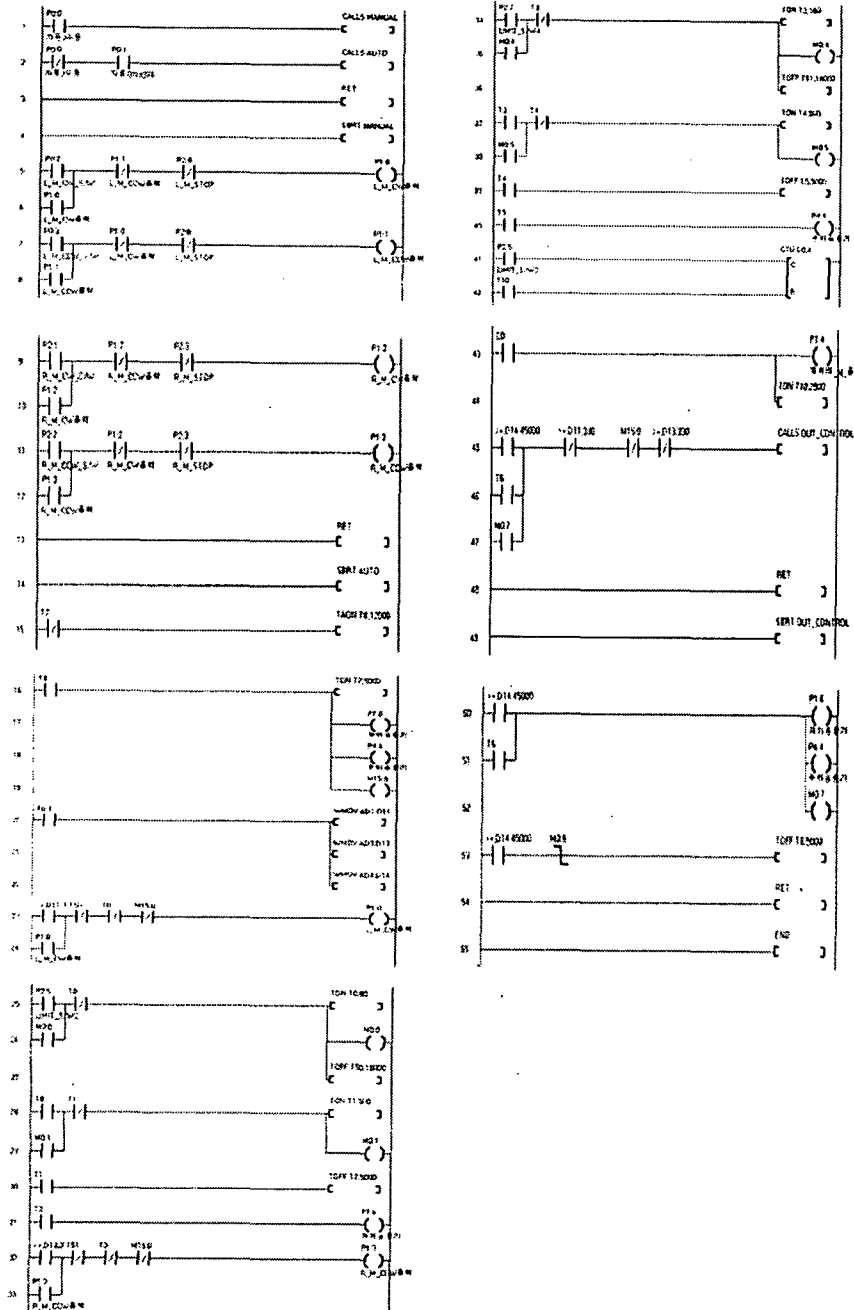


그림 3-9 PLC 래더 프로그램

## 제4장 종합 검토

### 제1절 서설

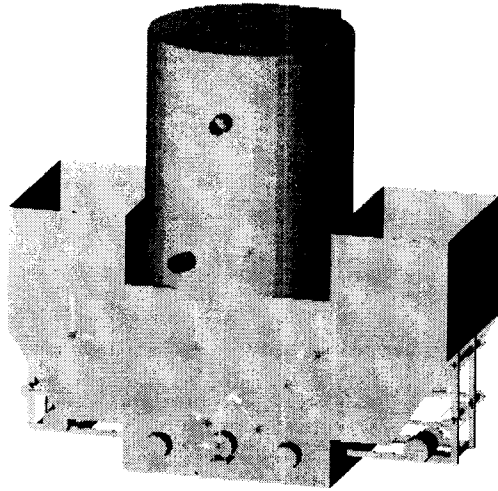
2장과 3장에서는 석탄 보일러의 개발 과정에 대하여 설명하였다. 이를 통해 개발된 석탄보일러의 전체도는 그림 4-1과 같다. 그림 4-1(a)는 보일러의 전체도를 그림 4-1(b)는 단면도를 나타낸 것이다.

그림 4-1에서 보듯이 완성된 석탄보일러는 좌우 대칭형으로 4개의 화격자에서 동시에 석탄을 공급할 수 있도록 되어 있다. 그러나 실험 결과 하단 2개의 화격자만으로도 충분한 열량을 낼 수 있어서 실제 실험에서는 상부의 화격자 어셈블리를 철수하여 아래 2개의 화격자만을 사용하여 실험하였다.

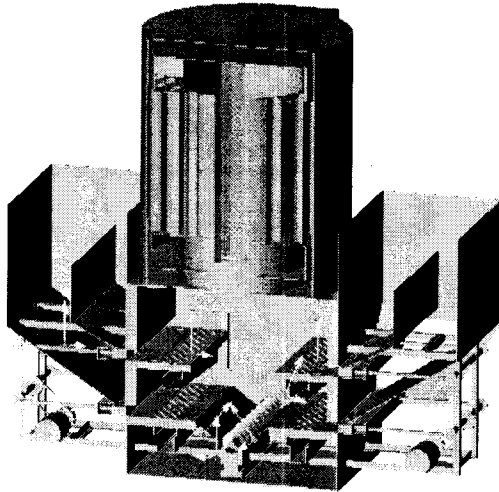
석탄조도 처음 상하 화격자에 연료를 동시에 공급할 수 있도록 칸막이 형태로 설계되었으며 연료 공급 장치 구동을 위한 모터도 좌우 각각 1개의 모터에서 상하 피스톤을 구동시킬 수 있도록 하였다.

재처리된 연소실 가운데에 설치된 스크류 장치에 의해 2개의 화격자에서 연소된 회재를 외부로 배출하였다. 이러한 상하 구조는 차후 본 연구에서 보다 더 큰 대용량의 석탄보일러 설계시 유용할 것이다.

이 장에서는 연구 결과 제작된 석탄 보일러의 실증실험을 통한 종합적인 검토를 하고자 한다. 이를 위해 실제 하우스에 보일러 및 난방용 배관을 설치하여 열량과 배기가스에 대하여 검토하였으며 하우스내에 온도센서를 설치하여 난방에 따른 하우스 환경에 대한 분석을 시행하였다. 또한 경제성 분석 및 이 연구와 관련하여 추후 계획에 대하여 언급하였다.



(a) 보일러 완성도



(b) 보일러 단면도

그림 4-1 석탄보일러의 전체도



## 제2절 열량 및 하우스 환경

개발된 보일러의 실제 환경에서의 실험을 위해 그림 4-2와 같이 보일러실을 지었다. 또한 그림 4-3과 같이 약44m×약37m 규모(약 500평)의 하우스(평균 높이 약 4m)에 온수용 에어로핀 관을 배관하여 석탄보일러와 연결시켜 환경 실험을 수행하였다. 이러한 시스템에 온수를 순환 공급시키기 위한 펌프 어셈블리는 그림 4-4와 같다. 이때 사용된 펌프의 사양은 2.2kW (3마력, 3-Phase 220/380V)이며 보수용 by-pass 배관을 하였다. 이 하우스에는 현재 6년생 굴나무 약200그루가 식재되어 있다.

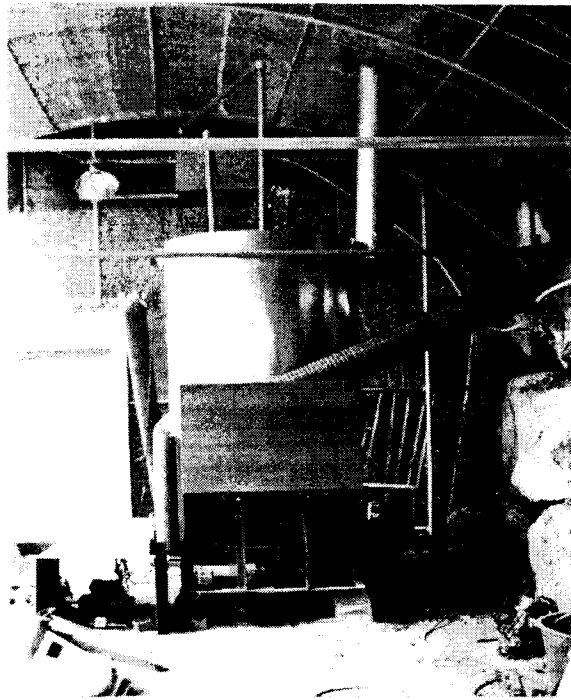
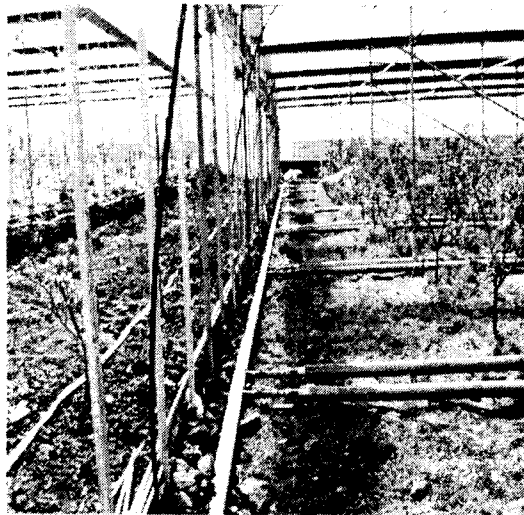


그림 4-2 보일러실



(a) 대각선 방향



(b) 공급관 방향

그림 4-3 하우스내 에어로핀관 배관

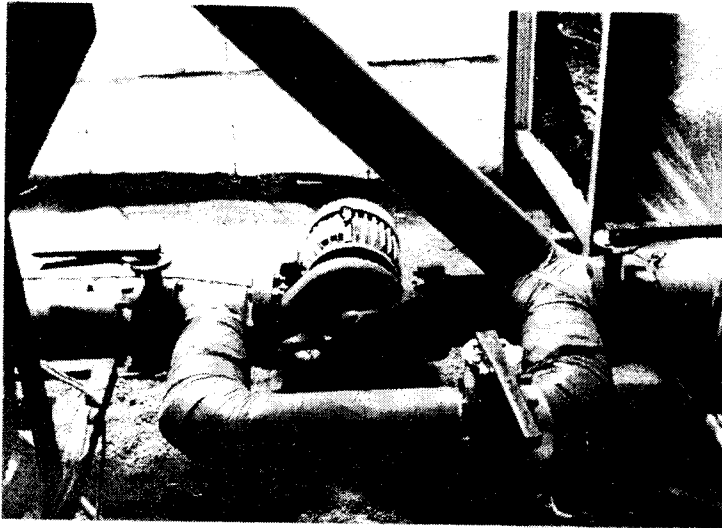


그림 4-4 온수 순환용 펌프 어셈블리

## 1. 보일러 열량 및 효율

### 가. 보일러 열량

보일러의 열량을 조사하기 위해서는 보일러의 유·출입물의 온도와 유량에 대한 데이터가 필요하다. 필요한 온도 데이터는 K-type 열전대를 사용하여 측정하고 후 Data Logger (Data-scan 7320, Datascan사)를 통해 1분마다 컴퓨터에 입력되도록 하였다. 또한 유량은 초음파 유량계(EIT사 model 2410)를 사용하여 측정하였다.

석탄 보일러의 열량은 다음 식에 의해 계산될 수 있다.

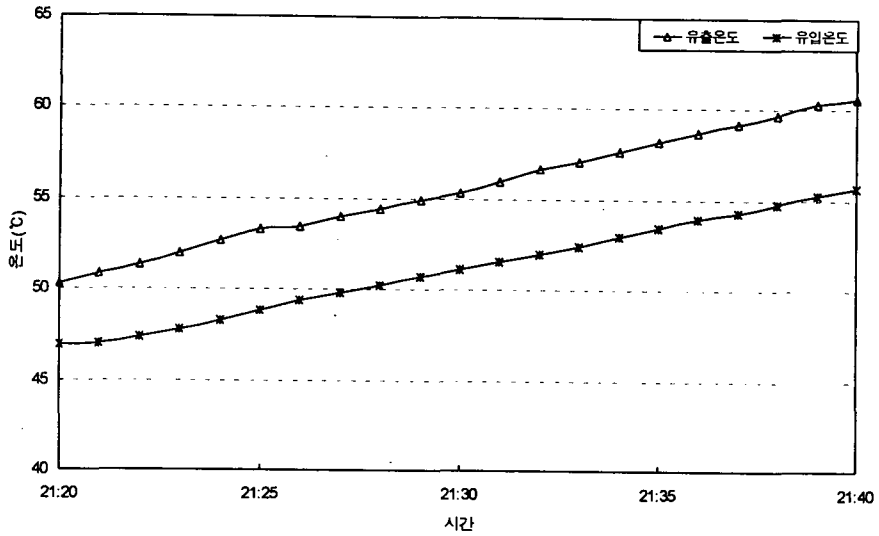
$$Q = \dot{m}C_p\Delta T$$

여기서  $Q$ 와  $\dot{m}$ 은 각각 단위시간당 열량과 유량이며  $C_p$ 는 정압비열,  $\Delta T$ 는 보일러에 유·출입하는 물의 온도차이다. 펌프 작동시 에어로핀 관에서 측정된 온수의 유속은 변화가 거의 없으며 이때의 값은 약 1.7m/s이다. 따라서 1시간 동안 보일러에서 공급된 유량은 다음과 같이 구할 수 있다.

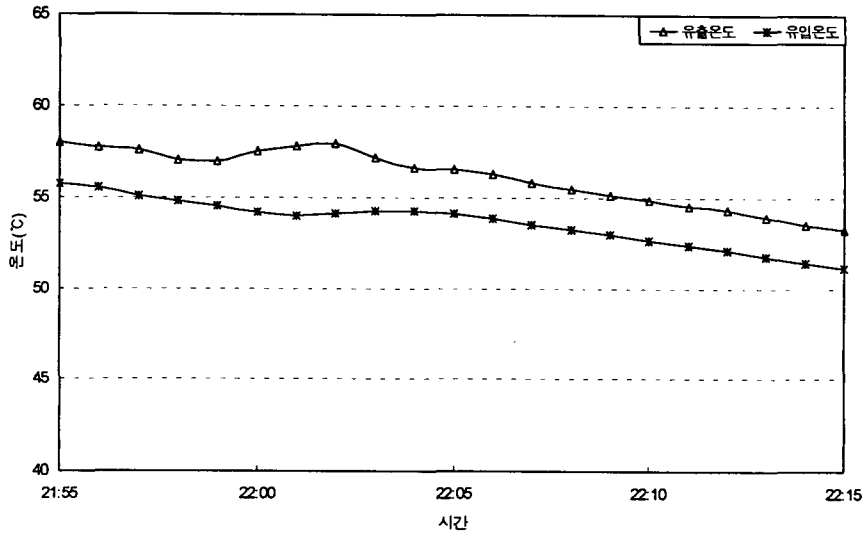
$$\begin{aligned}\dot{m} &= \rho VA \\ &= 1000[\text{kg}/\text{m}^3] \times 3600[\text{s}/\text{h}] \times 1.7[\text{m}/\text{s}] \times \frac{0.096^2 \times \pi}{4}[\text{m}^2] \\ &= 44,300[\text{kg}/\text{h}]\end{aligned}$$

그림 4-5(a)는 보일러의 석탄 점화 후 약 40분 이후부터 시간에 따라 측정된 보일러 입출구 온수의 온도 변화를 나타낸 것이다. 이 때는 최대 열량을 측정하기 위한 것으로 좌우 2개의 화격자에 장착된 송풍기는 계속 가동된 상태에서 실험을 행하였다. 실험은 연구기간 상 여름철에 시행할 수밖에 없어 외기온도가 낮은 야간에 시행하였지만 보일러에 의해 공급된 열량이 하우스 난방부하를 초과하기 때문에 보일러에 유·출입되는 물의 온도는 서서히 상승하고 있다. 그림 4-5(a)에서 살펴보면 초기(21시 20분)에는 입출구 물의 온도차가 약 4℃이었으나 약 17분 경과된 21시 37분 이후부터는 물의 온도차가 약 5℃로 거의 일정하게 유지되고 있다. 따라서 개발된 보일러의 최대 용량은 다음과 같이 계산하여 약 220,000kcal/h가 됨을 알 수 있다.

$$\begin{aligned}Q &= 44,300[\text{kg}/\text{h}] \times 4.182[\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}] \times 0.24[\text{kcal}/\text{kJ}] \times 5[^\circ\text{C}] \\ &= 222,315.12[\text{kcal}/\text{h}]\end{aligned}$$



(a) 송풍기 가동시



(b) 송풍기 정지 및 재가동시

그림 4-5 시간에 따른 보일러 입·출구 물의 온도변화

하우스에 난방이 불필요한 경우에는 송풍기의 가동이 중단되고 불씨 보호를 위해 20분마다 100초간의 송풍만 이루어진다. 이러한 상태에서의 보일러 입출구에서의 물 온도를 측정하여 그림 4-5(b)에 제시하였다. 불씨 보호를 위한 재송풍 구간(22시 경)을 제외한 영역에서는 송풍기의 작동이 중지되어 있기 때문에 연소 공기가 없어 잔열에 의한 열공급만 이루어진다. 따라서 보일러에 의해 공급된 열량이 하우스의 난방부하보다 적어 시간이 지남에 따라 온도가 저하되는 것을 알 수 있다. 그림 4-5(b)에 의하면 최저 열량의 경우 22시 15분 경 온도차가 약 2℃이므로 약 9만kcal/h로 나타나고 있다. 송풍기의 재가동은 약 22시 경부터 100초간 진행되었는데 이때의 온도차는 최대 약 4℃로 약 18만kcal/h의 열량이 공급되고 있음을 알 수 있다. 물론 이러한 데이터는 가열시간에 따른 연소실내의 환경(주로 내화벽들의 온도에 따른 복사열)에 따라 달라질 수 있기 때문에 항상 일정한 값은 아니다. 하지만 겨울철 하우스를 가온하는 데 있어서 지속적인 가온과 휴식이 반복될 것이기 때문에 거의 유사한 연소실 환경이 조성될 것으로 생각된다.

#### 나. 보일러 효율

보일러 효율에는 연소 효율과 열교환기의 전열면 효율의 곱으로 나타낸다. 연소 효율은 노에서 발생한 실제 열량과 연료가 완전 연소시 발생하는 열량의 비로 정의되며, 전열면 효율은 온수에 흡수된 열량과 노에서 발생한 열량의 비이다. 연소효율과 전열면 효율을 분리해 구하기 위해서는 노내 발생열량을 측정하여야 하는데 이를 측정하기가 어려워 보일러 효율을 계산하는데 있어서 다음의 식으로 구하였다.

$$\text{효율}(\eta) = \frac{\text{보일러 발생 열량}(Q)}{\text{석탄의 발열량}(H)}$$

보일러를 가동하는 동안 연료 공급횟수를 조사하고 1행정 당 석탄 투입량에 저위발열량(본 실험에 사용한 연료의 저위발열량은 6300kcal/kg)을 곱하여 연소과정 동안 공급된 석탄의 총 발열량(H)을 계산하는 한편 그 과정 동안 측정된 열량의 누적치로 보일러 발생 열량(Q)을 계산할 수 있다.

지속적인 가열이 이루어지는 경우 여러 차례 실험에 의하면 1시간 동안 평균 28회의 연료 공급이 이루어졌고 이때 평균 취득 열량은 약 209,000kcal로 조사되었다. 따라서 이때의 보일러 효율은 다음과 같다.

$$\eta = \frac{209000[\text{kcal}]}{28[\text{회}] \times 1.8[\text{kg/회}] \times 6300[\text{kcal/kg}]} = 65.8\%$$

또한 송풍기의 가동이 중지된 경우(이때에는 20분 마다 불씨 보존을 위해 100초간 송풍) 잔열에 의한 열전달이 이루어지는데 이때에도 반복 실험을 한 결과 1시간 동안 연료 공급 횟수가 11회이며 평균 취득 열량은 약 93,000kcal이었으므로 이때의 효율은 다음과 같다.

$$\eta = \frac{93000[\text{kcal}]}{11[\text{회}] \times 1.8[\text{kg/회}] \times 6300[\text{kcal/kg}]} = 74.6\%$$

위의 결과에서 송풍기 가동이 중지된 휴면기에서 보일러 효율이 높은 것은 연소시간이 길기 때문에 좀더 완전 연소가 이루어지는 것으로 보인다.

보일러의 가동은 가열과정, 정지과정이 반복적으로 이루어지기 때문에

위 두 과정의 평균값을 보일러 효율로 정하였다. 따라서 본 개발품의 보일러 효율은 약 70.2%이다.

## 2. 배기가스 분석

연소상태를 평가하기 위하여 먼저 연소실 내에 있는 양쪽 화격자 위에 일정량의 석탄(무연탄)을 각각 공급한 후 연소용 공기를 양쪽 화격자에 모두 공급하면서 연소를 시킨다. 이때 초기에는 열교환내의 온수 순환없이 배기가스를 분석하고 이후 온수를 순환시켜 주면서 배기가스를 조사하였다. 이후 일정 시간이 경과하면 연소용 공기의 공급을 모두 중단하여 송풍이 없는 상태에서의 연소가스를 분석하였다. 이러한 방식으로 보일러를 운전하면서 배기가스를 분석한 결과를 그림 4-6에 나타내었다.

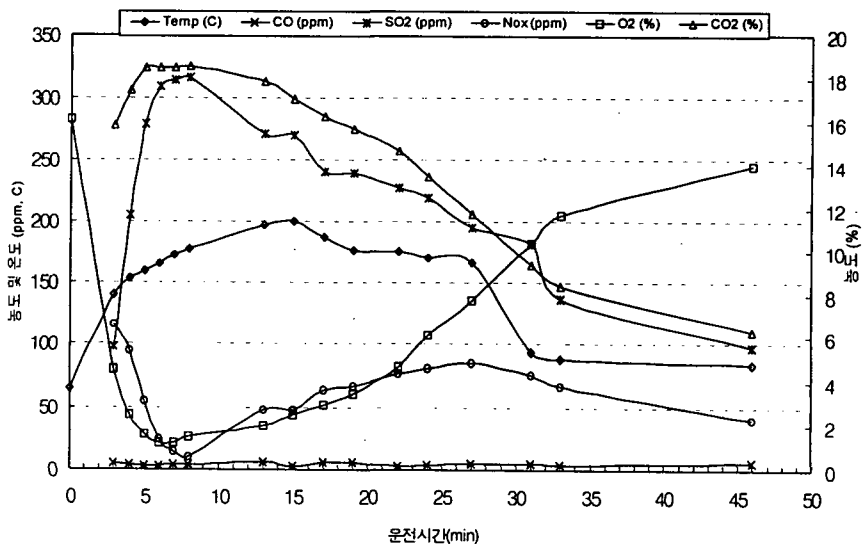


그림 4-6 보일러 가동에 따른 배기가스 분석



그림 4-6에서 살펴보면 초기 상태(송풍기가 작동되고 열교환기의 온수 순환이 없는 상태)에서는 배기가스 중의 산소 농도가 1.0%대로 떨어지고 동시에 이산화탄소와 이산화황 가스의 농도가 최대치에 도달함을 알 수 있다. 또한 일산화탄소 및 질소산화물의 농도는 최저치를 보이고 있다. 이때에는 냉각수의 공급이 없었기 때문에 배기가스의 온도는 꾸준히 증가하는 경향을 보인다. 이러한 연소 상태는 10분 정도 유지되고 있다.

연소 개시 16분이 경과한 후 송풍기가 작동중인 상태에서 열교환기에 냉각수를 순환시킨 경우 배기가스의 온도는 170℃ 정도에서 유지되고 있다. 그러나 질소산화물과 산소의 농도는 꾸준히 증가하고 있고 이산화탄소와 이산화황 가스의 농도는 꾸준히 감소하고 있음을 알 수 있다. 이런 결과를 토대로 판단할 때 이런 운전조건하에서는 연소 개시 10여분 정도면 화격자상에 놓인 석탄 입자에 함유된 휘발분은 거의 연소되고 후연소 과정 진행이 우세해진다고 생각할 수 있다.

연소 개시 27분경에 송풍기의 가동을 중지하여 연소 공기의 공급을 중단함에 따라 온도는 급격하게 떨어지고 질소산화물의 농도도 떨어지는 경향을 보였다. 반면에 배기가스 중의 산소 농도는 급격하게 증가하는데 이는 보일러의 연소실 측면에 설치된 연료 투입구를 통한 외부 공기의 유입이 일어나는 것으로 판단된다.

본 보일러를 가동함에 따른 대기환경보전법상의 배출허용기준의 달성여부를 판단하기 위해서 배기가스 중의 황산화물과 질소산화물의 농도를 배출허용기준과 비교하여 표 4-1에 제시하였다. 표 4-1에서 보면, 황산화물인 경우 고체연료사용규제지역에 적용되는 배출허용기준인 250ppm (산소농도 6% 기준)까지 만족할 수 있는 것으로 나타났다. 질소산화물인 경우 고체연료를 사용하는 시설임을 고려하여도 배출허용기준을 만족하고 있으며, 기타시설에 적용되는 배출허용기준인 200ppm도 만족함을 볼 수 있었다. 따

라서 배기가스 분석 결과만을 토대로 판단할 때 현재 대기환경보전법상 국내산 무연탄인 고체 연료를 사용하는 보일러에 적용되는 배출허용기준을 만족할 수 있다고 판단된다.

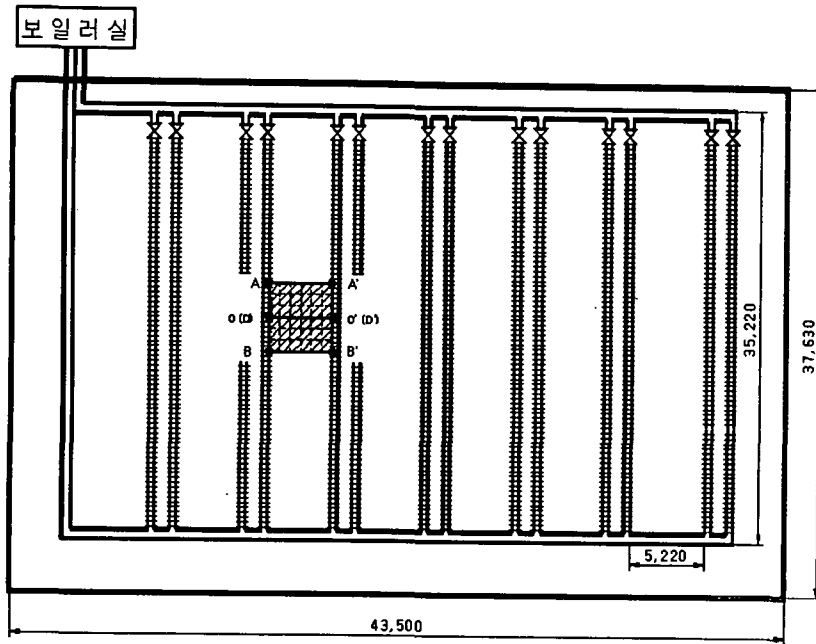
표 4-1 배기가스중 오염물질 측정농도와 배출허용기준과의 비교

오염물질	적용 지역 또는 시설	기준농도, ppm (산소농도,%)	측정농도
황산화물	고체연료 사용규제 지역	250 (6)	89~243 (6)
	국내산 고체연료사용 시설	500 (6)	
질소산화물	고체연료 사용 기타 시설	350 (6)	8~108 (6)
	기타 시설	250	

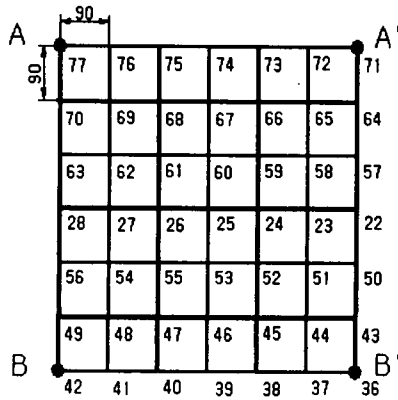
### 3. 하우스 환경 분석

보일러 가동에 의한 하우스내의 하우스 열환경 분석을 위하여 그림 4-7(a)와 같이 일정 공간을 선정하여 실험을 실시하였다. 이를 위해 수평면(평면 A-B-B'-A')과 수직면(평면 C-D-D'-C')을 선정하였는데 에어로핀 관과 관 사이의 공간으로 선정하였다.

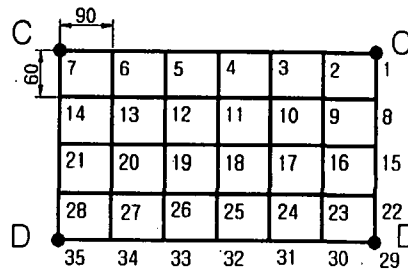
그림 4-7(b)와 (c)는 이를 확대한 것으로 평면 A-B-B'-A'(그림 4-7(b))는 지상 120cm 높이의 수평면에서의 온도분포 특성을 조사하기 위해 설정된 공간으로 가로 90cm, 세로 90cm 간격으로 총 49개의 온도센서를 설치하였다. 또한 수직면에서의 온도분포 특성을 조사하기 위하여 그림 4-7(c)에서와 같이 지상 60cm (D-D')인 곳에서부터 가로 90cm, 높이 60cm 간격으로 총 35개의 온도센서를 설치하여 지상 300cm (C-C')까지의 온도 환경을 조사하였다.



(a) 에어로핀관 배관 및 온도측정부위



(b) 온도센서 채널위치(수평면)



(c) 온도센서 채널위치(수직면)

그림 4-7 열환경 분석을 위한 온도측정 부위와 채널위치

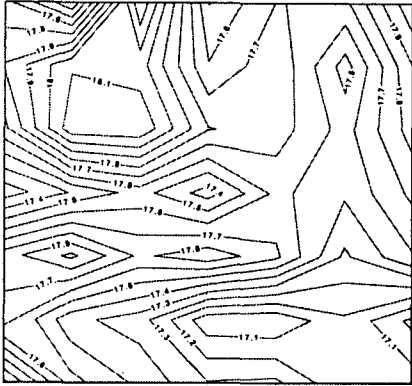
이중 7개의 센서(채널 22-28)는 수평면과 수직면이 교차되는 곳으로 공동으로 사용된다. 따라서 총 77개의 측정점을 선정하였다. 데이터 처리를 위한 각 센서의 채널 번호는 그림 4-7(b)와 (c)이며 각 온도센서로부터 Data Logger(Data-scan 7320, Datascan사)를 통해 매분마다 각 지점의 온도가 컴퓨터에 입력되도록 하였다.

그림 4-8부터 4-10까지는 2000년 9월 9일에서 10일까지 이틀 동안 실험한 결과를 제시한 것이다. 계절상 주간 온도 너무 높아 실험은 주로 야간에 진행되었다. 그림 4-8은 시간에 따른 수평면(평면 A-B-B'-A') 상에서의 온도분포를 0.1°C 간격으로 하여 등온선을 나타낸 것이다. 여기서  $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ,  $T_{ave}$ 는 각각 수평면에서의 최고온도, 최저온도 그리고 수평면 각 측정점의 온도를 평균한 평균온도를 의미한다. 그림 4-8에서 보듯이 계속 가온되고 있기 때문에 시간이 경과함에 따라 수평면에서의 평균온도가 17.6°C에서 18.8°C까지 점진적으로 증가할 뿐 아니라 최고 및 최저온도도 상승하고 있음을 알 수 있다. 또한 그래프 상의 양 수직축은 에어로핀 관 위의 지점(그림 4-7(b)의 직선 A-B와 직선 A'-B')에서 측정된 온도 데이터이기 때문에 시간에 따른 온도 증가율이 높고 관과 관 사이인 내부 부분보다 다소 높게 측정되고 있다.

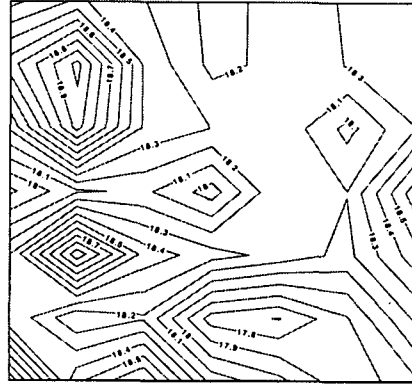
그림 4-9는 그림 4-8과 같은 시간에 수직면(평면 C-D-D'-C')에서 측정된 온도데이터를 온도차 0.1°C 간격으로 하여 등온선을 나타낸 것이다. 이 경우에도 그림 4-8에서와 마찬가지로 시간이 경과함에 따라 수직면에서의 최고온도, 최저온도, 평균온도가 서서히 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 그래프의 양 수직축(그림 4-7(c)의 직선 C-D와 직선 C'-D')에 에어로핀 관이 있기 때문에 이 곳의 온도가 내부보다 고온으로 나타나고 있다. 특히 그림 4-9에서는 에어로핀 관에서 공급된 열에 의한 자연대류 현상 때문에 위로 상승할수록 온도가 증가하고 이러한 유동이 내부로 진행되는 열적 플

름(thermal plume) 현상을 관찰할 수 있다.

그림 4-10은 대표적인 지점에서의 시간에 따른 온도 변화를 나타낸 것이다. 그림 4-10(a)는 수평면상의 채널 22와 24의 온도변화를 나타낸 것으로 채널 22는 에어로핀 상부에 위치하며 채널 24는 에어로핀 사이의 지점임을 그림 4-7(b)에서 알 수 있다. 그림 4-10에서 살펴보면 채널 22의 경우 온도 변화가 다소 심하게 나타나는데 이는 이 지점이 에어로핀 상부에 위치하기 때문에 자연대류에 의한 열전달 유무에 따라 변동이 심한 것으로 생각된다. 그러나 내부 지점인 채널 24는 시간에 따른 온도 변화가 미미함을 알 수 있다. 또한 수직선 상의 변화를 조사하기 위하여 채널 1과 29에서의 시간에 따른 온도 변화도 그림 4-10(b)에 제시되었다. 이들은 에어로핀 바로 위 지점으로 그림 4-7(c)에서 살펴보면 채널 1은 300cm 위치에 그리고 채널 29는 60cm 위치이다. 이 두 지점의 온도 변화는 위치가 낮은 채널 29인 경우가 심하게 나타나는데 이러한 현상은 에어로핀 관에서 근접할 수록 에어로핀 관으로부터 발생하는 자연대류에 의해 형성된 유동이 지배적이어서 불안정하지만 상부는 하우스의 높이 때문에 자연대류 영향보다는 주변 공기와 잘 섞이면서 온도가 안정적으로 나타나기 때문으로 보인다. 이는 그림 4-10(a)의 채널 22과 비교해 보아도 알 수 있다. 채널 22는 에어로핀관 120cm 위치로 그 온도의 변동이 채널 1보다는 심하나 채널 29번 보다는 적게 조사되고 있다.

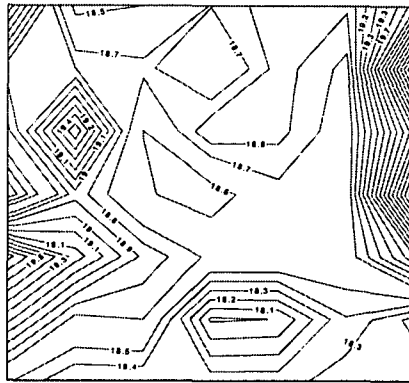


(a) 23시00분



(b) 00시15분

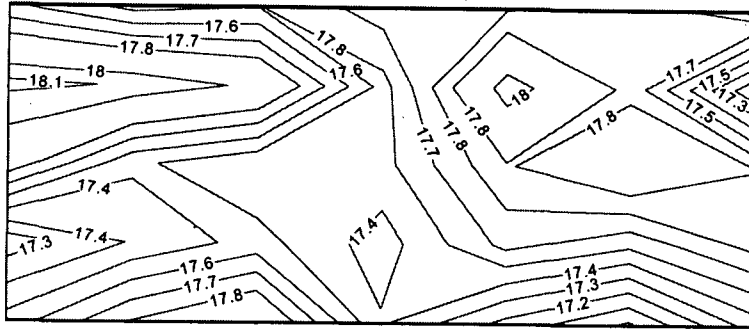
( $T_{\max}=18.3^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\min}=17.0^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{ave}}=17.6^{\circ}\text{C}$ ) ( $T_{\max}=19.0^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\min}=17.7^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{ave}}=18.3^{\circ}\text{C}$ )



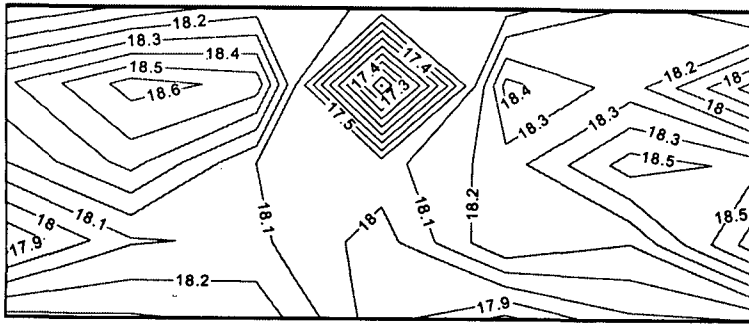
(c) 02시20분

( $T_{\max}=20.5^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\min}=18.0^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{ave}}=18.8^{\circ}\text{C}$ )

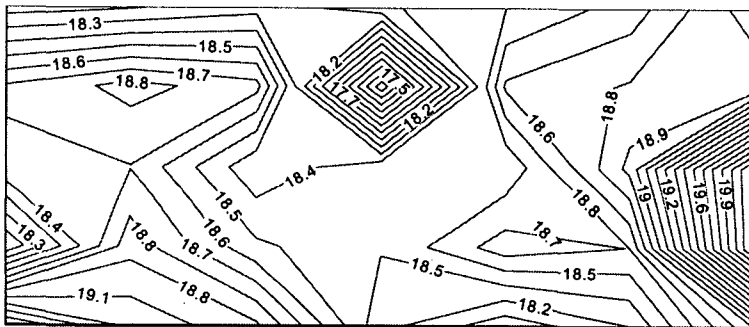
그림 4-8 시간에 따른 수평면에서의 온도분포 (9월9일~10일)



(a) 23시00분( $T_{\max}=18.1^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\min}=17.0^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{ave}}=17.6^{\circ}\text{C}$ )

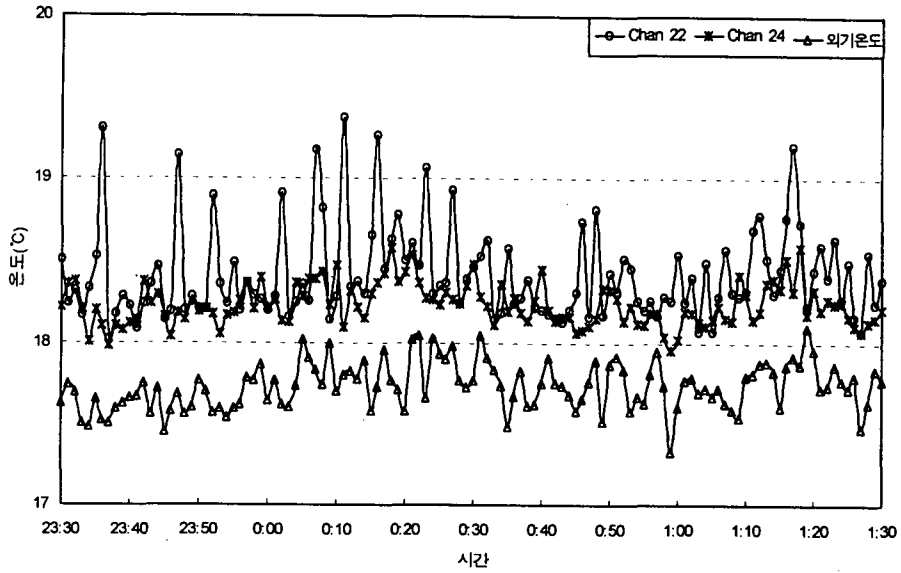


(b) 00시15분( $T_{\max}=18.7^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\min}=17.1^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{ave}}=18.1^{\circ}\text{C}$ )

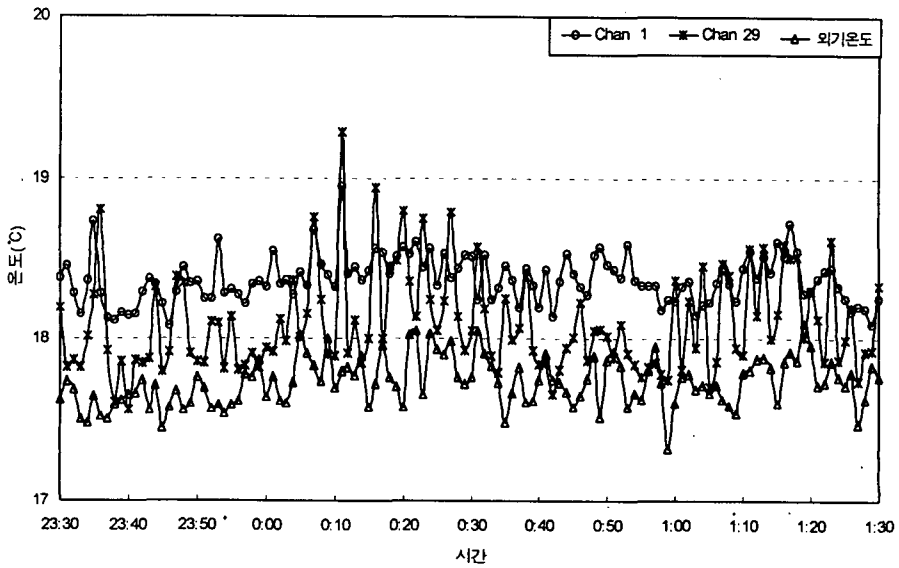


(c) 02시20분( $T_{\max}=20.2^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\min}=17.3^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{ave}}=18.7^{\circ}\text{C}$ )

그림 4-9 시간에 따른 수직면에서의 온도분포 (9월9일~10일)



(a) 수평선(채널 22, 24)



(b) 수직선(채널 1, 29)

그림 4-10 시간에 따른 수평 및 수직 온도변화 (9월9일~10일)



## 제3절 신뢰성 검토

### 1. 연소 환경

고체연료의 연소에 있어서 자동화를 위한 가장 기본적인 문제가 연속적 연료 공급 방법의 확보이다. 이를 위해 본 연구에서는 여러 가지 형태의 석탄 공급 방법에 대해 검토하였다. 먼저 석탄보일러가 대용량이기 위해서는 큰 화상면적이 필요하고, 따라서 고정화격자에 석탄 투입에 의한 난방 방법이 적절할 것으로 생각되어 이에 대한 연구를 진행하였다. 이를 위한 화격자를 설계, 제작하였으며 8개의 화격자로 큰 화상면적(1169mm×1685mm)을 확보할 수 있었다. 또한 화격자상에 균일하게 석탄을 투입할 수 있는 연료 공급 및 분배를 위한 임펠러를 실험을 통하여 선정하였다. 그러나 이 방법은 괴탄의 경우 석탄 입자의 크기, 분탄의 경우 고품화의 정도에 따라 화격자상에 균일하게 분배시키는데 많은 문제점이 제기되어 다른 방법의 연구가 진행되었다. 이에 대한 자세한 내용은 부록 A를 참조하기 바란다.

다른 한편의 연구는 컨베이어형 화격자를 이용한 보일러를 개발하였다. 석탄 공급에서 연소 그리고 재의 배출까지를 연속적으로 진행시킬 수 있는 방법으로는 컨베이어형 화격자가 아주 적합하다. 이에 대한 기초 실험을 위해 경사형 컨베이어 화격자를 제작하여 실험하였다. 열량을 조절하기 위해 공급 석탄 두께를 조절할 수 있는 조정판을 석탄 유입구에 설치하였다. 컨베이어형의 경우 화상 면적이 작을 염려가 있어 경사형으로 하여 화염이 위로 자연스럽게 전파되도록 함으로서 화상면적을 넓히는 방법을 시도하였다. 그러나 경사진 방향으로 송풍하지 않고는 윗 부분으로 화염의 전파가 잘 이루어지지 않았다. 또한 석탄이 컨베이어 상에 있을 때는 큰 문제가 없지만 컨베이어의 방향이 바뀌는 부분(치차 부분)에서는 화격자와 화격자

사이의 간극이 벌어져 석탄이 떨어져 버리는 문제점이 제기되었다. 이를 해결하기 위해서는 화격자의 상부가 다음 화격자를 덮는 형태로 화격자를 설계하여야 할 것이다. 이에 대한 자세한 내용은 부록 B를 참조하기 바란다.

이러한 시행 착오를 거쳐 피스톤식 연료 공급 방법을 채택하였다. 피스톤 방법의 경우 화상 면적을 크게 할 수 없기 때문에 대용량의 보일러로는 어려움이 따를 수밖에 없다. 화상 면적을 크게 할 목적으로 화격자를 크게 만 하면 석탄 공급시스템(피스톤이 석탄조에 걸려 가동이 안되는 경우, 석탄 공급 과정이 길기 때문에 공급된 석탄이 계속 상부로 쌓이는 경우 등)에서 문제가 발생할 소지가 많기 때문이다. 이를 해결하기 위해 화격자의 크기는 작지만 4개를 복합적으로 설치하고 화격자를 동시에 구동시키는 시스템을 착안하였다. 이를 위해 모터-지지대-디스크-크랭크축-피스톤에 의한 연료공급 메카니즘을 완성하였고 클러치 베어링을 사용하여 하나의 모터로 2개의 피스톤을 구동할 수 있게 하였다. 또한 피스톤에 균일한 힘이 가해질 수 있도록 각 피스톤에 2개의 크랭크 축을 설치하는 방법으로 개선해 나가 신뢰성을 높였다. 그러나 이와 같은 메카니즘을 이용하는데 문제점은 석탄 입자가 큰 경우 피스톤과 석탄조 사이에 석탄이 끼어서 석탄 공급 장치에 다소 큰 부하가 작용하는 경우가 발생하였다.

피스톤식 연료 공급 방법에서 효과적인 연소를 위해 화격자는 착화부, 예열부, 연소부, 후연소부로 이루어지며 착화부에 점화용 히터와 연소부 아래쪽에는 송풍기가 부착된 어셈블리 형태로 설계하였다. 연료의 완전 연소를 위해서 화격자 사이의 간극과 송풍기의 송풍량 사이의 상관관계는 매우 중요하다. 여러 입경의 석탄에 대해 실험한 결과 본 연구에서 설계된 화격자(송풍기의 풍량  $17\text{ m}^3/\text{min}$ )에서는 입자의 크기가 5-12mm인 석탄의 경우 화격자 사이의 간격이 2-3mm, 입자의 크기가 20-40mm인 석탄의 경우 그

간격이 4-6mm가 적합하였다. 분탄의 경우 고형화된 정도에 따라 다르겠지만 고형화가 되면 화격자 간격에 별 영향이 없었다. 열량 실험 등 최종 실험과정에서는 주로 입경이 5-12mm인 석탄으로 실험하였는데 앞의 보일러효율 계산 결과 평균 약 70.2%여서 후연소부의 확대 등 개선이 필요한 것으로 생각된다. 또한 배기가스 분석 결과를 고려할 때 송풍기의 가동이 없어 연소실에 부압이 걸릴 때 연료 투입구 등을 통한 공기의 유입이 많아 밀폐에 좀더 신중을 기할 필요성이 제기된다.

석탄의 초기 착화 및 연소 정지 후 필요시 재착화를 위한 자동 점화 장치의 개발은 석탄보일러의 자동화를 위해서 매우 중요하다. 이를 위해 파이프에 여러 개의 노즐 구멍을 뚫은 가스 분사에 의한 착화와 난방기용 소형 버너를 이용한 방법을 시도해 보았다. 그러나 점화에 소요되는 시간이 10분 이상으로 상당할 뿐 아니라 가스 사용으로 인한 위험성과 버너를 꺼버리면 쉽게 불씨가 사라져 버렸다. 이러한 여러 가지 경험을 토대로 히터에 의한 착화방법으로 개선하였다. 석탄을 착화시키기 위해서는 600℃ 이상의 고온이 필요하고 착화는 히터와 접촉된 아래 부분의 석탄에서만 이루어지기 때문에 송풍할 수 있는 공간까지 이동시켜 주어야 하는데 이때 이송 과정 중 아래 착화된 석탄과 아직 착화 안된 위의 석탄이 뒤섞여 버리면 그 불씨를 그대로 유지하기 어려웠다. 따라서 히터는 표면온도를 높게 낼 수 있는 고열량인 피스톤으로 석탄을 밀었을 때 히터의 높이에 석탄이 뒤섞이지 않도록 아주 얇아야 한다. 이를 위해 발열 시 표면온도 650℃이며 두께가 3mm인 스트립 히터를 사용하였고 실험한 결과 약 5분 정도의 가열로 착화가 가능하였다. 그러나 히터에 의한 착화 방법은 결국 히터와 접촉한 부위에서만 점화가 시작되기 때문에 연료의 크기에 따라 제약이 따른다. 본 실험에서 사용한 석탄 종류 중 입경이 가장 큰 20~40mm의 석탄의 경우 히터와의 접촉면적이 작아 착화가 어려웠다.

공간 및 지중난방 겸용 시스템 중 지중난방 열원은 폐열을 회수하여 사용하는 방법으로 강구하였다. 고체 연료는 연소 조건에 따라 발열량 변화가 심하기 때문에 기존 경유 난방기(용량 18만kcal/h)를 이용하여 폐열회수기의 회수율을 조사하였다. 처음에는 콘 형태의 수관식 폐열회수기와 열교환기를 제작하였다. 콘 형태의 폐열회수기를 연통에 부착하여 폐열을 회수하는 한편 이때 폐열회수기를 통해 나온 온수를 열교환기에서 지중 난방용 물과 열교환하는 이중 열교환 방법을 고려하였다. 그러나 실험 결과 폐열회수율이 매우 저조하여 새로운 방법들을 강구하였다. 그중 배기가스와의 직접 접촉에 의한 폐열회수 방법으로 개선한 번들 형태의 폐열회수 장치는 약 71%의 폐열이 회수되어 상당히 효과적이었다. 이외에도 타 회사에서 핀 부착형 히트 파이프를 이용한 폐열회수기가 출시되었기에 이에 대한 비교 실험과 히트 파이프를 이용한 간단한 구조의 폐열회수기에 대해서도 실험하였다. 그러나 이 부분의 연구에서는 본 연구에서 실험용으로 제작한 것과 타 회사 제품 등에서 변수(송풍량, 히트 파이프의 회수 부분과 방열 부분의 길이 변화, 번들형 연관의 수와 배열 방법 등)에 대한 일관성을 해결할 방법이 없어서 실질적 정량적인 비교는 하지 못하였다. 추후 이에 대한 검토도 필요하다.

## 2. 자동화

석탄의 연소 특성은 석탄 입자의 크기나 생산지에 따라 큰 차이를 보이며 다양한 종류의 석탄을 사용할 수 있는 보일러 시스템의 자동화를 위해서는 이러한 특성을 고려한 범용 제어 알고리즘이 필요하다. 이를 위해 기본적인 알고리즘은 석탄의 종류에 따른 완전 연소 시간, 화염 전파 속도 및 송풍기 정지시 연소 시간 등 석탄의 연소 특성에 따라 석탄공급 시기와 송

풍 시간을 사용자가 유연하게 설정할 수 있도록 개발하였다. 또한 보일러 사용환경이 열악함에 따라 제어 작용이 비교적 안정적인 PLC를 이용하여 컨트롤러를 제작하고 제어 알고리즘에 따라 프로그램을 개발하였다.

제어알고리즘의 구성은 점화 과정, 연소과정, 재착화 과정, 재처리과정에 따른 세부 알고리즘을 통합하여 구성하였다. 점화과정은 보일러 점화 스위치의 작동에 따라 석탄공급-모터가동-점화히터작동-화격자 어셈블리 온도 센서신호-석탄공급-송풍 등의 일련 과정이 반복되도록 구성되어 있다. 연소 과정에서는 외부 난방 요구 신호에 의한 송풍을 위한 동작과 화격자 어셈블리 온도센서 신호에 의한 석탄공급 작동으로 구성된다. 또한 불씨 보호를 위하여 일정시간 송풍기가 작동하지 않을 경우 송풍기를 잠시 작동하는 화염 보호 과정과 화격자 어셈블리 온도센서가 일정온도 이하로 될 경우 소화되었다고 판단하여 재착화하는 과정이 포함되어 있다.

따라서 점화과정에서의 제어 알고리즘에서의 변수는 화격자 어셈블리 온도 및 반복횟수이며, 연소과정에서는 화격자 어셈블리 온도가 변수가 된다. 재처리과정의 경우 석탄공급횟수 및 모터가동시간, 불씨 보호과정의 경우 송풍기 미가동시간 그리고 재착화 과정의 경우에는 화격자 어셈블리 온도 등이 변수가 된다. 보일러 제작 후 석탄 종류에 따라 이러한 각각의 변수에 대하여 예비실험을 수행하여 제어 알고리즘을 결정하였다.

우선 점화과정에서 살펴보면 화격자 상 전체에 착화된 석탄이 분포하여 완전 점화가 되기 위해서는 점화과정 반복횟수를 4회로 하는 것이 적절하였다. 재처리과정은 석탄공급횟수 5회마다 가동시키는 것이 적절하였다. 또한 착화 확인을 위한 화격자 어셈블리 온도의 경우 석탄 입자의 크기에 관계없이 소화되지 않고 연소가 확산되기 위해서는 히터 표면에 있는 석탄이 충분히 착화될 때까지 가열되어야 하기 때문에 설정 온도를 높게 하여야 한다. 본 개발 연구에서 사용된 석탄 중 입경이 5-12mm인 경우 400℃

에서 착화가 가능하지만 20-40mm인 경우 500℃에서도 착화가 불안정하였으며 연구에 사용된 히터의 용량 때문에 더 이상의 온도로는 실험이 불가능하였다. 이를 개선하기 위해서는 용량이 크고 가열온도가 큰 히터를 사용해야할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 착화 확인용 온도는 500℃로 설정하였다.

연소과정 중 석탄 화염이 전파되어 석탄 공급시기를 결정하는 화격자 어셈블리 온도를 결정하기 위해 여러 번의 예비실험을 통해 온도센서 설치 위치와 설정온도를 조사하였다. 온도 센서는 화격자 끝에서 3cm로 떨어진 곳에 장착하였으며 석탄 공급을 위한 공급 장치 가동 설정온도는 450℃로 결정하였다. 그러나 보일러 완성 후 실증 실험 과정에서는 연소실 상부에 열교환기가 설치되었기 때문에 연소실 내부 온도가 상승하여 설정온도를 수정하였는데, 석탄 입자의 크기가 5-12mm의 경우는 550℃, 20-40mm의 경우는 600℃로 하였다. 또한 보일러 가동 중 화격자에서의 열전도에 의해 온도 센서의 감지온도가 급격히 상승하여 오작동하는 문제가 발생함에 따라 온도센서와 화격자의 접촉부에 세라믹재를 추가하여 직접 접촉을 해소함으로써 개선하였다. 불씨보호 과정중의 미송풍시간을 결정하기 위해 장시간 송풍하지 않고 완전히 소화되는 시간을 조사하였는데 이미 착화된 석탄의 불씨는 4시간 이상 유지되었다. 그러나 안정된 화상을 유지하기 위해 20분 간격으로 100초간 송풍하는 방법을 채택하였다.

재처리 과정은 설정된 석탄공급횟수-재처리 모터 가동으로 구성되어 있는데 처음에는 석탄 공급 때마다 가동하였으나 석탄의 완전 연소와 재의 잠열 회수를 위해 5회 공급시 1분 동안 재처리 과정이 진행되도록 개선하였다.

이와 같이 석탄 보일러의 연료가 달라질 때마다 앞에서 언급한 변수의 값만을 수정·재입력하여 사용할 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

## **PART II**

## 제5장 자동 연료 공급 및 회재장치 개발

### 제1절 서설

본 장에서는 5-6만㎏/h급 용량의 석탄 자동화 보일러 개발을 위하여 크게 각 핵심 요소기기의 설계 및 제작과정 분야와 시제품 완성분야로 나누어 설명하였다.

각 핵심 요소기기 분야에서는 연료를 공급하기 위한 연료 자동공급장치 부분, 연료가 보일러 내에서 최적으로 연소하기 위한 화격자, 초기 연료를 점화시키기 위한 점화장치, 열회수를 위한 열교환기 부분, 연료가 연소된 후 처리를 위한 자동 회재처리 장치부분, 분진 발생을 줄이기 위한 중력 입작식 집진 장치 그리고 최종적으로 하우스 내의 온도나 순환 온수의 온도 신호에 따라 보일러의 석탄공급 및 송풍기의 송풍량을 자동적으로 조정하기 위한 제어 시스템 부분으로 분류하여 개발하였다.

각 핵심 요소기기들을 개발한 후에는 이들을 조합하여 시제품을 제작하였다. 시제품 제작에 있어서는 본 연구개발의 목적에 맞는 용량을 고려하여 시제품 전체의 크기 및 연소실의 크기를 검토하였다.

또한 최적의 연소를 위한 연소 공기흡, 방열방지 및 축열을 위한 내화재 처리 그리고 연소 축진을 위한 연소실 내부 환경 조성 등 다양한 검증 실험을 수행하였다.

다음으로 보일러의 원활한 운전을 위해 보일러 운전 상태를 점검하기 위한 점검구, 연소실내 잔류 분진 및 회재의 청소를 위한 청소구 그리고 감시구 등을 설치하여 최종적으로 시제품을 완성하였다.



## 제2절 핵심요소 기기설계 및 제작

### 1 연료자동공급장치

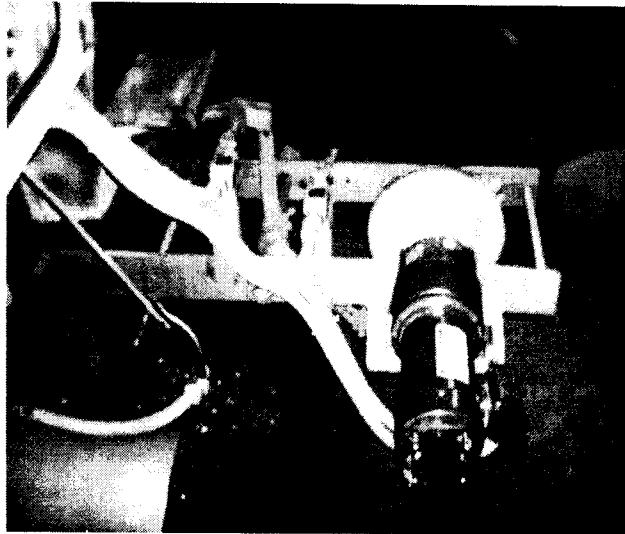
#### 가. 연료공급장치 어셈블리

연료공급장치 어셈블리는 연료공급에 필요한 동력을 공급하는 제어모터와 모터의 회전운동을 직선운동으로 변환하는 커넥팅로더 및 연료 공급조로부터 연료를 공급받아 연소실 내의 화격자 위로 연료를 밀어 넣어 이송시키는 푸시기(pusher)로 구성되어 있다.

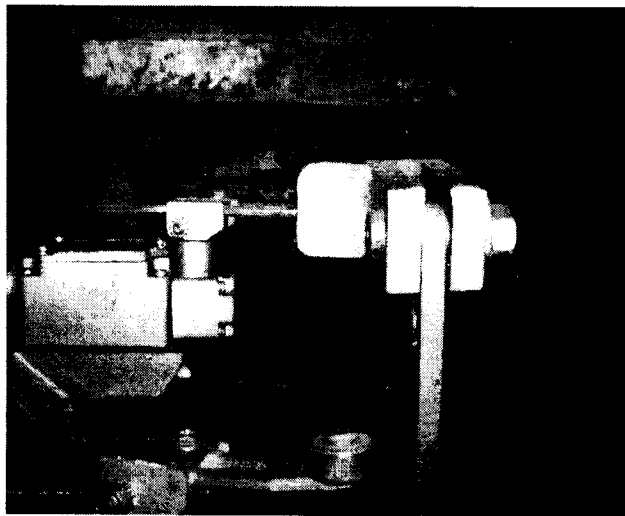
푸시기는 인버터 컨트롤러에 의해 단계별 제어가 이루어지는 모터(60W, 단상)로부터 동력을 공급받아 일정속도로 연소실 내로 연료가 공급되도록 하였다. 이때, 제어모터의 회전운동을 직선운동으로 변환하는 커넥팅로더는 모터의 회전속도에 따른 푸시기의 이동거리 및 속도 등을 고려하여 설계하였다.

푸시기의 적정 연료공급 시간 및 연료량은 하우스 내로 공급되는 공급온수의 입출구 온도나 하우스 내의 온도 신호에 의해 컨트롤박스의 컨트롤러에 의해 감속모터가 구동되어 푸시기의 연료공급 시기 및 적정량이 공급될 수 있도록 설계하였다.

푸시기 구동용 단계제어모터는 단상용(농촌의 하우스에는 단상전력만 공급됨) 60W급으로 현재 하우스의 커튼 덮개 구동용 등으로 사용되고 있는 단계제어모터를 이용하여 원가절감 및 구입의 용의성에 중점을 두어 선정하였다. 그림 5-1은 단계제어모터 및 커넥팅로더가 부착된 푸시기의 실물 사진 (a)와 연료투입구로 푸시기가 연료를 투입하는 모습 (b)를 나타내며, 그림 5-2는 푸시기를 제어하는 인버터 컨트롤러 장치를 나타낸다.



(a) 연료공급장치 실물사진



(b) 연료 투입 모습

그림 5-1 단계제어모터 및 커넥팅로드에 의한 연료공급 장치

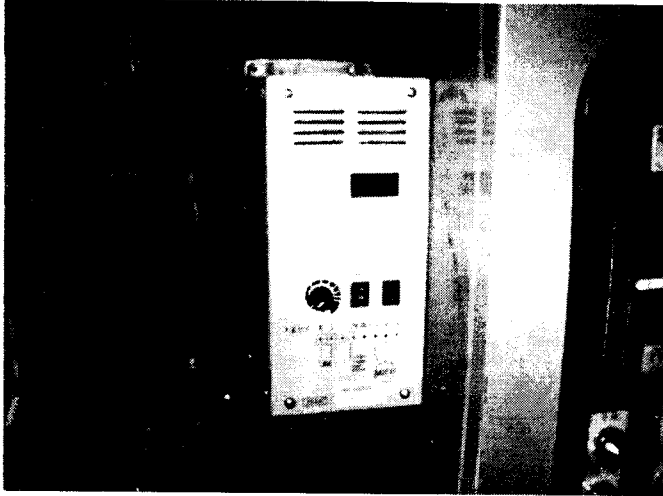


그림 5-2 푸시기 인버터제어 컨트롤장치

#### 나. 석탄조(호퍼, hopper)

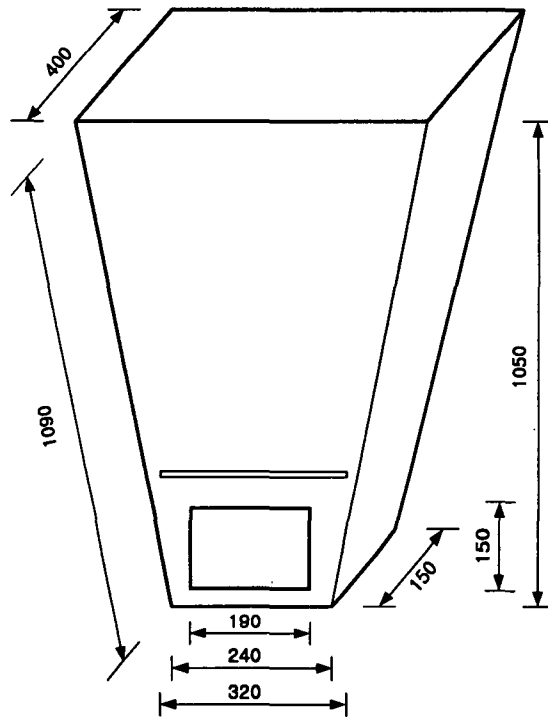
석탄조는 연소실 내로 일정량의 석탄을 연속적으로 공급하기 위하여 일정 용량의 석탄을 저장하는 부분이다. 조의 크기는 석탄의 사용량에 따라 가변적으로 제작이 가능하지만 석탄조 하부는 연소실의 화격자와 푸시기의 규격을 고려하여 결정하였다. 조에 저장된 석탄은 중력에 의해 하부로 이동되지만 이 경우 석탄의 직경과 상태에 따라 이동시 서로 걸려 내려가지 않는 경우가 발생되었다. 따라서 이 문제를 해결하기 위하여 석탄조 1/3지점에 분쇄기를 설치하여 걸려서 내려가지 못하는 석탄을 분쇄시켜 푸시기에 원활하게 공급할 수 있도록 하였다. 이 때, 분쇄기의 동력은 푸시기에 동력을 전달하는 커넥팅로더에 연동하여 구동할 수 있도록 하였다.

호퍼의 세부 사양 및 형태, 제작 완료된 실물은 그림 5-3과 같다. 전체의 크기는 연료 투입구인 상부가 735×400mm, 연소실의 화격자로 공급되는 부분인 하부가 240×140mm이며, 전체 높이는 1050mm로 제작되어 있다. 그

리고, 운전시 연료 공급부인 푸시부분이나, 화격자 부분 등에 문제가 있을 경우 호퍼 자체에서 연료를 차단하기 위하여 푸시기 바로 위에 수동댐퍼를 설치하였다. 호퍼의 재질은 ss400, 두께 3.2t로 제작하였다.

다. 외부연료공급장치

장치에 부착된 석탄조에 손쉽게 석탄을 공급하기 위하여 외부에 이동식 컨베이어 벨트형 연료공급장치를 제작하여 연료 공급시 편의를 도모 하였다. 연료는 공급장치와 연결되는 모터의 기어와 하단부에 설치된 기어에 의해 자동으로 연료가 석탄조로 공급이 가능하도록 하였다. 그림 5-4는 외부연료공급장치를 나타낸다.



(a) 설계도



(b) 실물사진

그림 5-3 석탄조

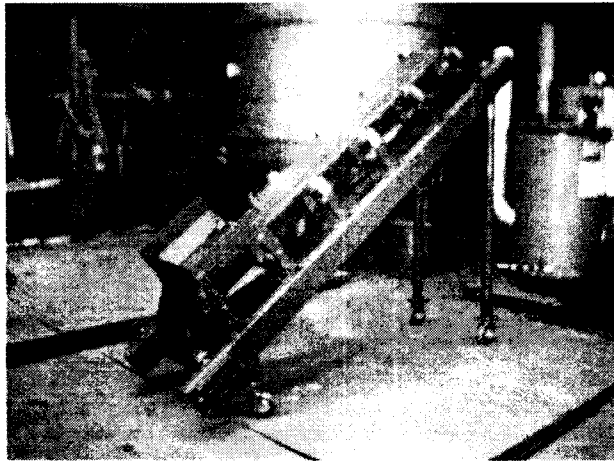
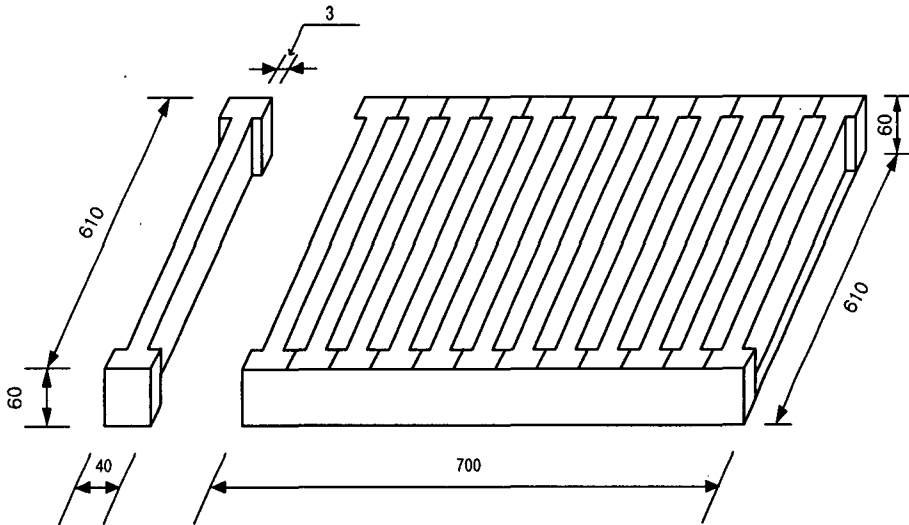


그림 5-4 외부연료공급장치

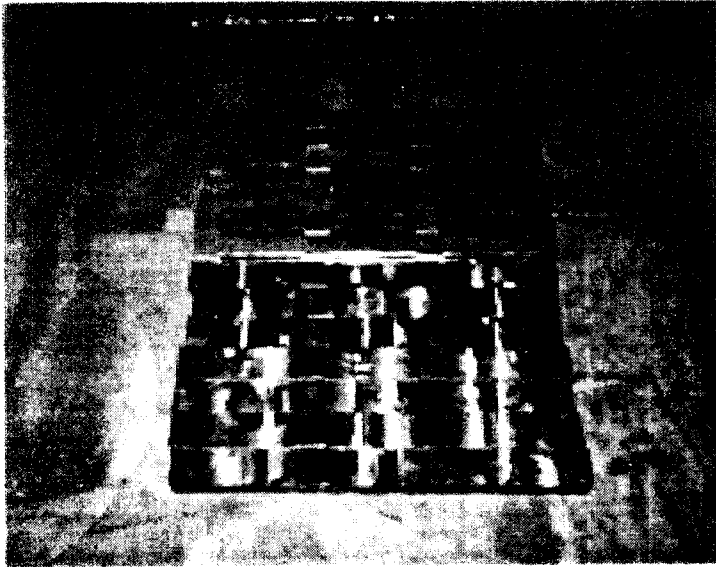
## 2. 화격자 및 열교환기

### 가. 화격자

화격자는 석탄조 및 푸시기로부터 공급받은 연료가 연소실 내에서 연소가 이루어지는 부분으로 적정 고온에 대하여 일정 강도를 가져야 하며, 하부로는 연소에 필요한 공기가 공급되는 부분이다. 본 시제품에 사용된 화격자는 수평 고정식으로 전체 크기는 연소실 내부 공간 및 보일러 용량을 고려하여  $700 \times 610 \times 60\text{mm}$ 이며, 고온에 대한 강도를 고려하여 두께를 60mm로 설계하였다. 또한 하부로부터 공급되는 연소공기의 원활한 공급과 사용되는 석탄의 크기를 고려하여 화격자와 화격자 사이의 간격은 6mm로 설계하였다. 세부 사양과 실물은 그림 5-5와 같다.



(a) 도면



(b) 사진

그림 5-5 화격자

#### 나. 열교환기

열교환기는 연소실 내에 설치되어 석탄 연소시 발생하는 열을 회수하여 하우스에 온수를 공급할 수 있도록 하는 장치이다. 본 연구개발 목적에 맞는 중·소형 보일러(5~6만 kcal/h)에 적절한 열교환기 방식으로 수관식을 채택하였고, 연료량 및 내구성을 고려하여 수관은 50.8φ, 3.2t의 STBH-35로 제작하였다. 그림 5-6과 그림 5-7은 열교환기의 실물 사진과 보일러에 적용한 사진이다. 그림 5-6에서 보듯이 각 측면에 온수 헤더를 설치하고, 온수 헤더 사이에 수관을 연결하여 열교환기를 제작하였다. 그리고 수관과 수관사이에는 가스를 차단하여 열전달 효율 향상시키기 위하여 두께 3.2t의 핀을 부착하였다.

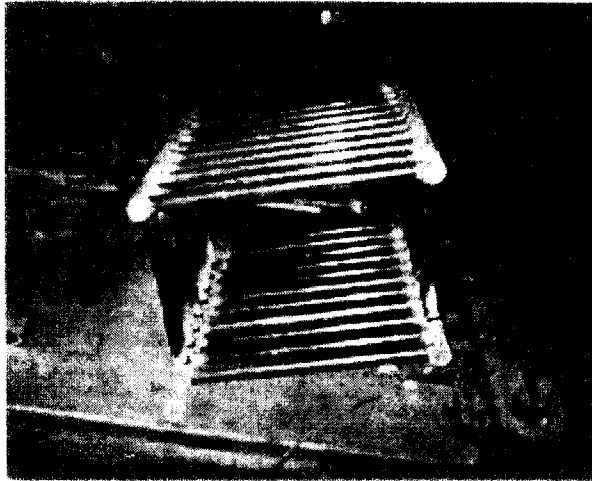


그림 5-6 열교환기 실물 사진

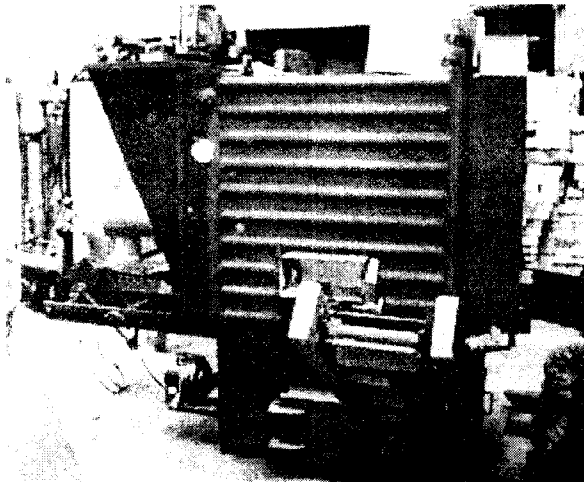


그림 5-7 보일러에 열교환기 적용 사진



#### 다. 연소공기 공급장치

보일러내부 연료의 연소를 활성화하기 위하여 보일러 하부에 연소공기 공급장치를 설치하였다. 기기장치 중의 팬은 인버터 컨트롤러의 제어를 받아 일정한 RPM 조정이 가능하여, RPM의 조정에 따라 송풍량의 조정이 가능할 수 있도록 하였다. RPM을 조절하여 부하변동에 민첩하게 대응하고, 설정온도에 보다 효과적으로 대처할 수 있도록 하였다.

송풍기 모터는 1/2HP(0.4kW, 4p), 전압 220/380V, 전류 2.3/1.33A, 주파수 71%, 회전수 1730rpm인 삼양사의 제품을 사용하였다. 그림 5-8은 연소공급장치의 사진을 나타낸다.

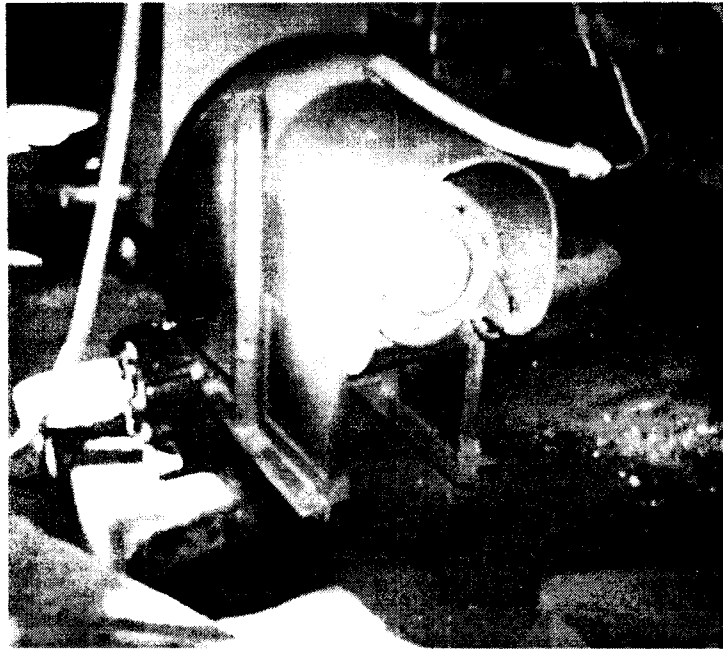


그림 5-8 연소공기 공급장치

#### 라. 점화버너

초기 보일러 가동시 보일러 내부의 연료착화를 원활하고 빠르게 하기 위하여 보일러 측면에 점화버너를 설치하였다. 이 점화버너는 가동 초기에 점화시켜 연료를 빠른 시간내에 착화시키는 역할을 한다. 점화버너는 오일 식으로써 능력은 2000kcal/h, 전원 220V, 사용되는 모터는 20W이다. 그림 5-9는 점화버너를 나타낸 사진이다.

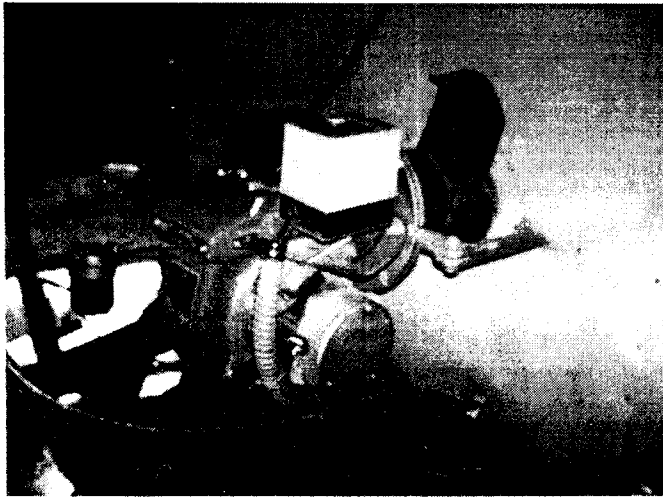


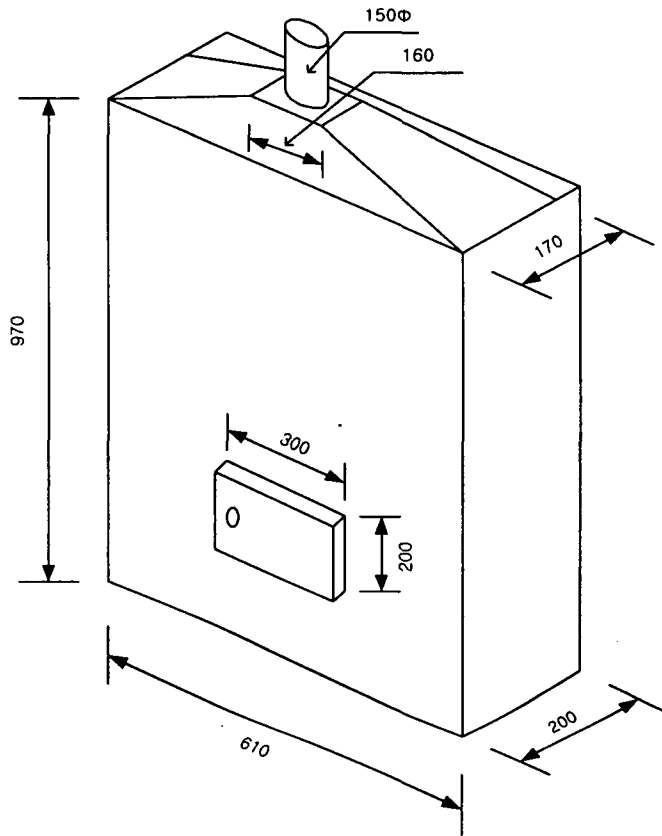
그림 5-9 점화버너

### 3. 집진 및 회재처리 장치

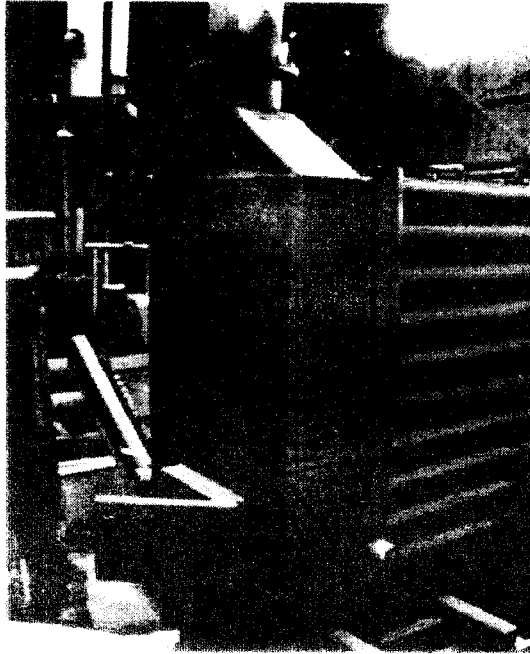
#### 가. 집진장치

집진장치는 보일러의 연소실에서 연소시 발생하는 연소가스와 화격자에 연료가 공급되었을 때 연소공기의 공급에 의해 발생된 분진이 연소실을 거

쳐 대기중으로 빠져 나오기 전에 이들을 집진하는 장치이다. 이 장치는 내부에 다중분사판을 설치하여 분진 및 가스 배출시 충돌되어 자연 낙하되는 중력 입작식을 채용하였으며, 연도 뒤쪽에 위치하도록 제작하였다. 전체 크기는 610×200×970mm으로 제작되어 있으며, 상부에는 직경 150mm, 길이 3000mm의 연돌이 설치되고, 하부에는 모아진 분진이나 회재를 처리할 수 있는 회출구가 300×200mm의 크기로 제작되어 있다. 집진장치의 설계 도면과 실물 사진을 그림 5-10에 나타내었다.



(a) 도면



(b) 사진

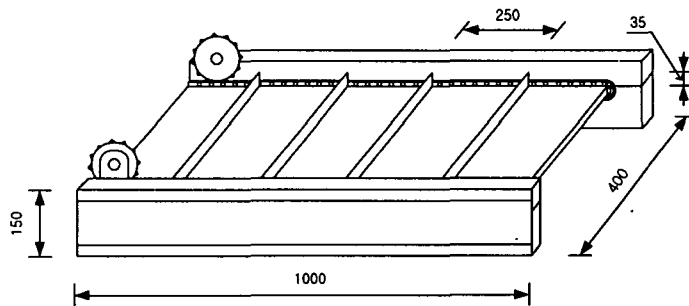
그림 5-10 집진장치

#### 나. 자동 회재처리 장치

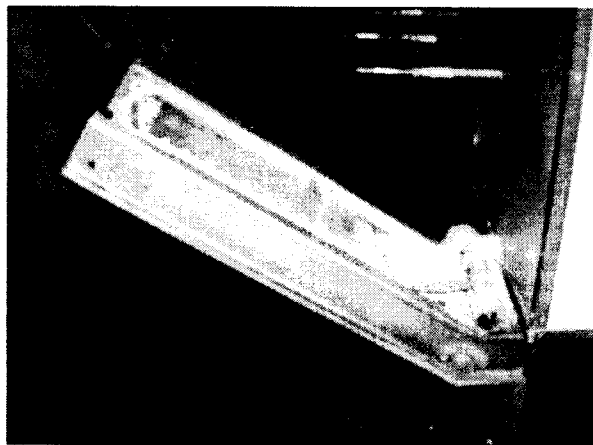
회재처리 장치는 연소실로부터 연소된 석탄재가 화격자로부터 분리되어 떨어지면 회재판에 모여 연소실 외부로 자동으로 처리할 수 있도록 고안된 장치이다. 이 장치는 연료가 연소시 연속적으로 일정한 속도로 작동되어야 하고, 또한 일정한 각도를 갖추어 회재처리 장치로부터 폐기상자에 자동으로 담길 수 있도록 고안되어 재처리를 손쉽게 할 수 있도록 하였다.

이 장치는 크게 연소실의 화격자로부터 떨어지는 재가 받히는 회재판, 회재판을 구동할 수 있는 체인구동 기어, 기어구동 모터, 기어의 구동력을 회재판에 전달할 수 있는 구동체인(No. 60)으로 구성되어 있다. 회재처리

장치의 구동속도는 장치의 운전조건에 따라 컨트롤 장치로부터 신호를 받아 구동모터가 적정속도로 운전될 수 있는 구조로 되어 있다. 또한, 화재 판은 화재의 외부처리를 용이하게 하기 위하여 일정각도 및 높이로 제작되어 있으므로 화재 이송시 역류를 방지하기 위하여 화재판에 240×35mm크기로 250mm간격으로 격판을 설치하여 역류를 방지할 수 있도록 하였다. 그림 5-11은 자동 화재처리 장치의 설계도면과 실물 사진을 각각 나타낸다.



(a) 도면



(b) 사진

그림 5-11 자동화재 처리장치

#### 4. 제어 시스템

컨트롤 장치는 크게 보일러 자체 진단용 컨트롤러부와 하우스로의 적정 온수공급 온도 및 수량에 따른 보일러 작동에 필요한 각종 장치들을 제어할 수 있는 컨트롤러부로 구성되어 있다.

전자인 자체 진단용 컨트롤러부에서는 보일러 자체의 안전성을 도모하기 위한 장치로 연소실내 연소온도 자동진단장치, 저수위 체크장치, 경보장치 등으로 구성되어 있다. 그리고 하우스 적정 온수공급을 위한 컨트롤러부는 온수의 공급온도 및 수량에 따라 적정 연소투입량 결정(자동 연료공급장치 구동용 모터 작동), 연소실 연소공기 공급용 송풍기 송풍량 조절, 화재 처리장치 작동 모터 구동 속도, 온수 순환펌프 구동 등에 관한 사항을 조정할 수 있도록 구성되어 있다.

본 장치의 특징은 실제 보일러가 설치될 장소가 대부분 농가의 시설재배 하우스이므로 현행 하우스에 공급되는 전원이 단상이므로 전체 시스템을 단상용으로 제작하여 원가절감 및 실제 사용시에 발생될 수 있는 문제점을 사전에 예방하였다. 시스템의 작동은 원가절감을 위해 시퀀스 조작이 이루어지도록 제작하였다. 그림 5-12는 본 개발 시스템이 설치된 컨트롤 장치의 제어회로도 및 내부 실물 사진을 나타낸다.



## 제3절 시제품 완성

### 1 시제품 제작

제품의 사양은 5만kcal/h급 용량으로 각 핵심요소기기들을 개발한 후 이들을 조합하여 제작하였다. 보일러 본체는 높이 1500mm, 길이 1600mm, 폭 900mm로 제작하였으며, 연소실 내부에는 연소를 촉진시키기 위하여 연소 공기홀이 설치되어 있다. 또한, 축열 및 연소촉진을 위해 내화재(230×114×65mm)로 처리하였다. 그리고 각 측면에는 보일러의 안전을 위한 점검구, 청소구, 연소 감시구를 설치하여 보일러의 운전 상태를 확인 할 수 있도록 하였다. 그림 5-13은 보일러 작동시 각 단계별 운전 흐름도를 나타내며, 그림 5-14는 본 개발 제품의 설계도를 나타낸다. 그림 5-15와 5-16은 개발 제품의 실물 사진을, 그림 5-17은 보일러작동시의 보일러 연소실내부의 연료가 점화했을 때의 사진을 나타낸다.



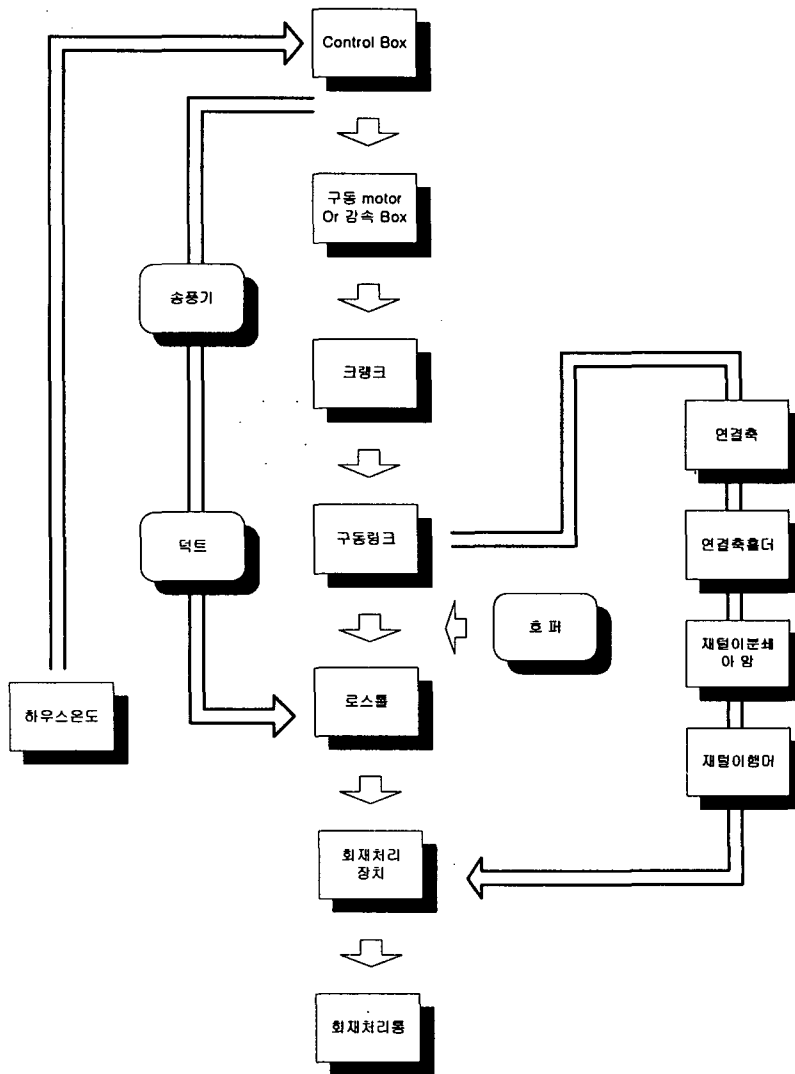


그림 5-13 보일러 운전 흐름도

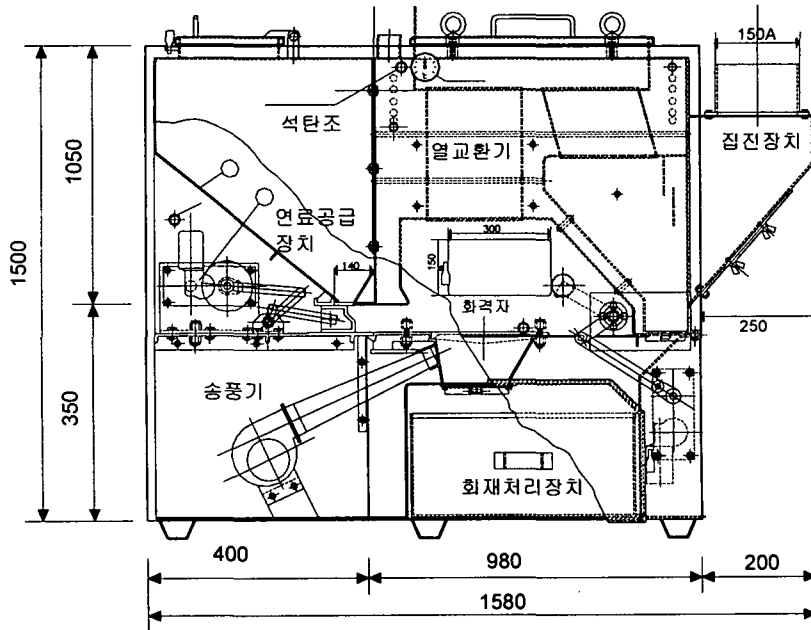


그림 5-14 제품 전체 설계도면

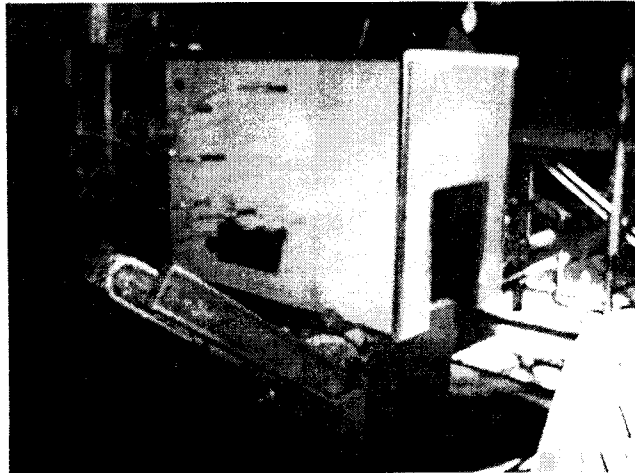


그림 5-15 완성품의 측면사진

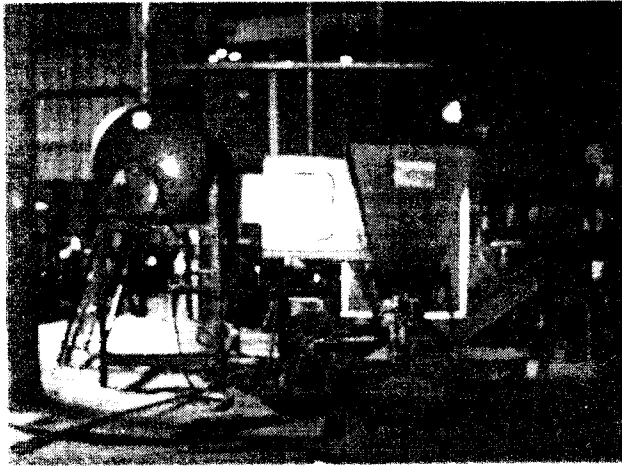


그림 5-16 완성품 전체사진

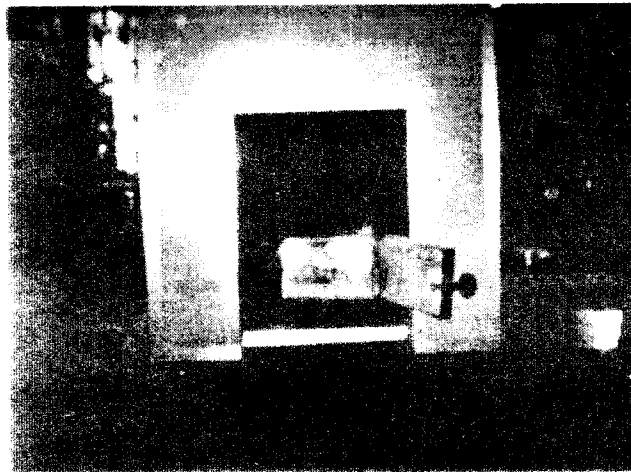


그림 5-17 연료 점화시 보일러 화로부 사진

## 2. 보일러의 단열

완성된 장치를 보일러 내부와 외부로의 열전달을 억제하고, 내부와 외부와의 단열을 목적으로 보일러 벽 외부에 무기 섬유질계인 유리면 단열재를 사용하여 보일러 외벽을 단열하였다. 그림 5-18은 보일러 외부 단열재 부착상태를 나타낸다.

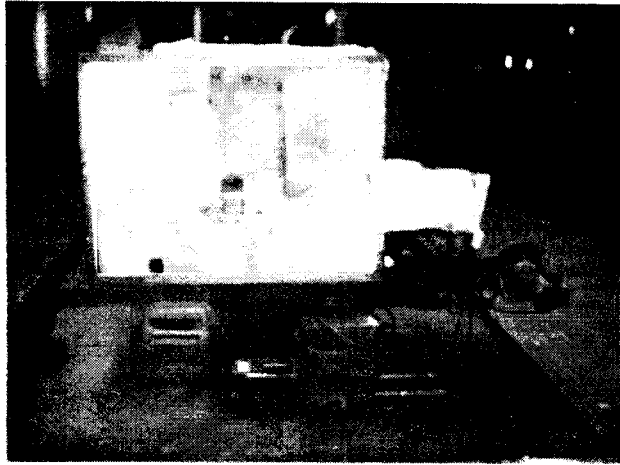


그림 5-18 보일러 외부 단열재 부착상태

## 제6장 시스템 성능 평가 및 실증실험

### 제1절 서 설

본 장에서는 완성된 시제품의 성능을 평가하기 위하여 보일러 입출구 온수배관과 연소실 내부에 온도센서를 설치하여 데이터 획득장치로 운전 조건변화에 따라 실시간으로 PC에 데이터를 저장하여 시스템 성능을 평가하였다. 연소 공기량을 조절하는 장치로는 연소공기 공급장치부의 모터의 전원부에 슬라이더스를 별도로 설치하여 입력전압을 변화시켜 송풍기의 RPM을 조절하여 송풍량을 조절함으로써 송풍량 변화에 따른 성능을 평가하였다. 그리고 연료의 투입속도는 푸시기의 연료공급속도를 인버터 컨트롤러로 RPM을 조절하여 연료의 투입량을 조절하여 실험을 실시하였다. 상기 와 같이 본 장에서는 제작된 시제품을 위의 조건별로 변화에 따라 종합적인 성능을 평가·분석하였으며, 실제 하우스에 적용하여 시제품의 신뢰성 및 성능 검증을 수행하였다. 개발된 보일러의 실증실험을 위하여 부산 원예시험장 내에 100평 규모의 시설원예용 비닐하우스를 설치하고, 내부에 온수난방 설비를 하여 실증실험을 하였다. 실험은 계절상 주간의 온도가 너무 높아서 주로 야간에 진행하여 신뢰성을 확인하였다.

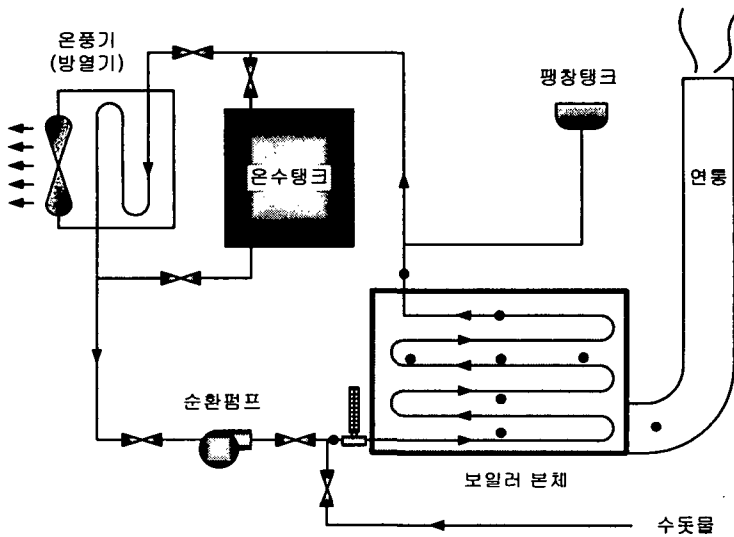
### 제2절 성능시험장치 및 방법

#### 1. 성능시험장치

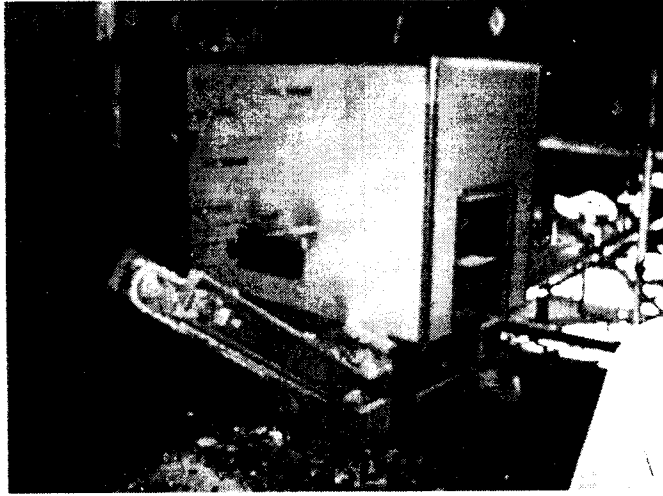
그림 6-1은 개발된 보일러의 성능을 실험하기 위한 실험장치의 개략도

를 나타낸 것이다. 보일러는 실제 부하가 있는 곳에 설치하여 보일러에서 발생하는 열량을 제거하면서 실험해야 하지만 본 연구에서는 실험을 위해서 60000kcal/h 용량의 온풍기(방열기)를 설치하여 보일러에서 나오는 열량을 외부로 방열하였다.

각 실험조건별 보일러의 성능특성은 보일러 및 보일러 입출구의 온수 배관에는 온도 센서를 설치하여 온수 및 노 내의 온도, 배기가스 온도, 순환유량 등을 측정하여 보일러의 성능 측정 자료로 활용하였다.



(a) 실험장치 개략도



(b) 실험장치 사진

그림 6-1 보일러 성능시험장치

## 2. 실험조건 및 방법

실험은 외기온도는 연구진행상 27~30℃범위 온도상태에서 장치를 가동 하였으며, 이용하고자 하는 보일러 온수온도는 장치가 사용되는 난방용 온수 온도인 80℃정도로 맞추어서 실험하였다. 그리고 보일러의 부하를 처리 하기 위하여 보일러 설계용량인 50,000kcal/h 부하를 충분히 감당할 수 있도록 그림 6-2와 같이 별도의 60,000kcal/h급 방열기를 설치하여 실험을 수행 하였다. 또한 온수저장탱크를 그림 6-3과 같이 방열기 하부에 설치하여 보일러에서 나온 온수와 공급되는 온수 양을 조절할 수 있도록 하였으며 방열기에는 핀을 부착하여 방열효과를 높이도록 하였다.

보일러내에 공급되는 온수의 양은 적산유량계를 사용하여 측정하였다. 순환량 계산은 1시간동안 공급된 온수의 총량을 산정하여 이를 분당 공급

되는 유량으로 환산하여 계산하였다. 그림 6-4에 본 실험에 사용한 적산유량계를 나타내었다. 보일러에 공급되는 초기의 수온은 25℃정도로 일정하게 한 후 실험을 시작하였으며, 투입되는 연료량과 연소공기는 인버터와 슬라이덕스를 이용하여 구동 모터의 회전수를 조절하여 연료량과 송풍량의 변화를 시켰으며, 이에 따라 성능 변화를 측정하였다.

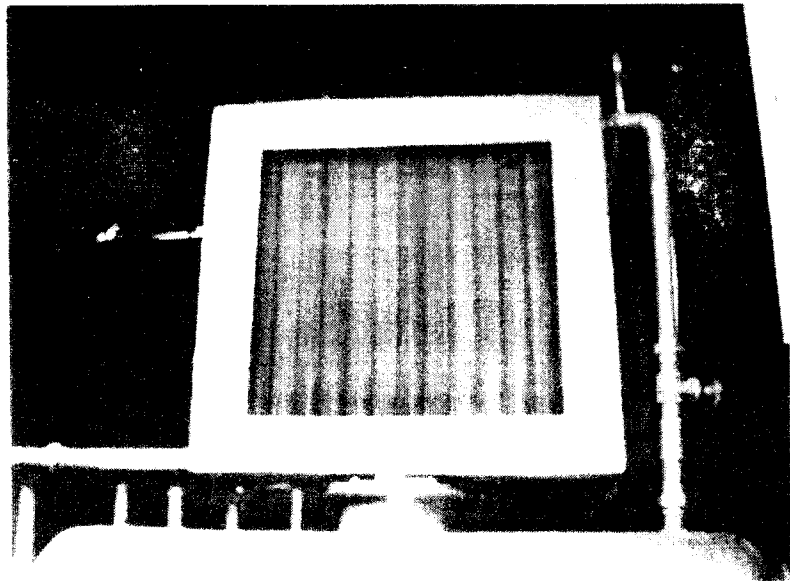


그림 6-2 부하처리용 방열기





그림 6-3 온수 조절용 온수탱크

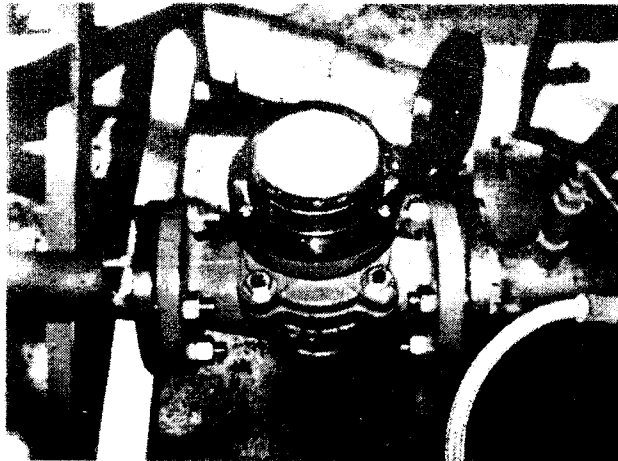


그림 6-4 유량계

그림 6-5는 현 회전수 조절을 위해 사용된 전압조정 장치를 나타내며 보일러의 성능은 보일러 입출구 온도 및 연소실 온도를 내부에 스위스형 열전대를 이용하여 측정하였다. 그리고 측정된 데이터는 실시간으로 데이터 기록용 컴퓨터에 기록 저장하여 처리하였다. 데이터 획득장치로는 플루크사의 20채널 데이터 측정장치를 사용하였으며, 데이터 기록용 컴퓨터는 IBM호환 PC를 사용하였다. 그림 6-6과 그림 6-7은 실험에 사용된 스위스형 열전대와 데이터 획득장치 및 데이터 기록용 컴퓨터를 각각 나타낸다.

실험을 위해 초기의 보일러는 외부에 별도로 오일버너를 설치하여 점화시켰다. 보일러 내부에서 연료의 점화가 이루어지면 오일버너의 손상을 방지하기 위하여 보일러와 오일버너와의 사이에 차단판을 설치하고 가동을 정지시켰다.

연료 점화가 이루어지고, 일정시간이 경과한 후에는 인버터회로가 내장된 컨트롤러에 의해 보일러 내로 투입되는 연료의 양을 일정하게 유지하였다. 그리고 인버터회로를 자동회재 처리장치의 크랭크와 연결하여 연료가 투입되는 일정 속도만큼 타고 난 연료를 자동적으로 배출할 수 있도록 하였다.

또한, 연소실 내의 송풍공기량은 인버터형 연소공급장치의 전원부를 전압조정장치와 연결하여 송풍기 모터의 RPM을 수동으로 조절할 수 있도록 하였다. 그리고 연소실 내의 온도가 설정온도 이상으로 상승될 경우에는 보일러의 과열을 방지하기 위하여 자동적으로 컨트롤러에 의해 연료 공급이 차단되도록 하였다.

온수 순환시 발생하는 배관내 압력 상승은 그림 6-8과 같이 팽창탱크를 설치하여 원활한 온수 순환과 배관 손상을 방지할 수 있도록 하였다.

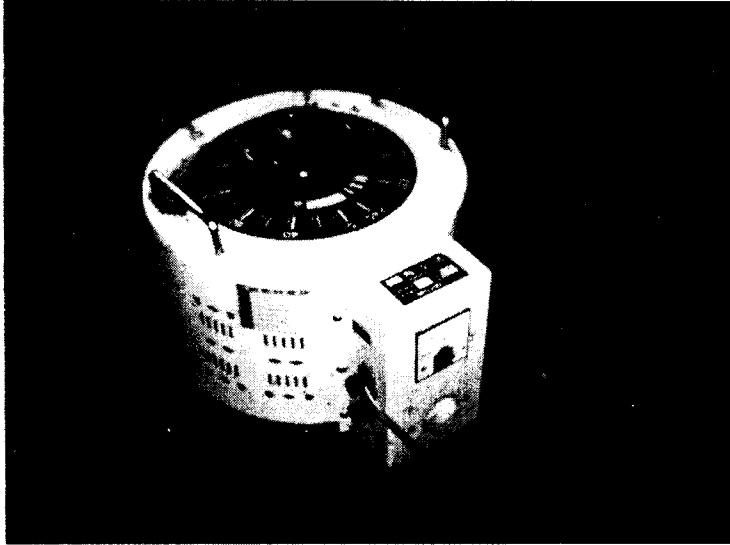


그림 6-5 전압조정 장치

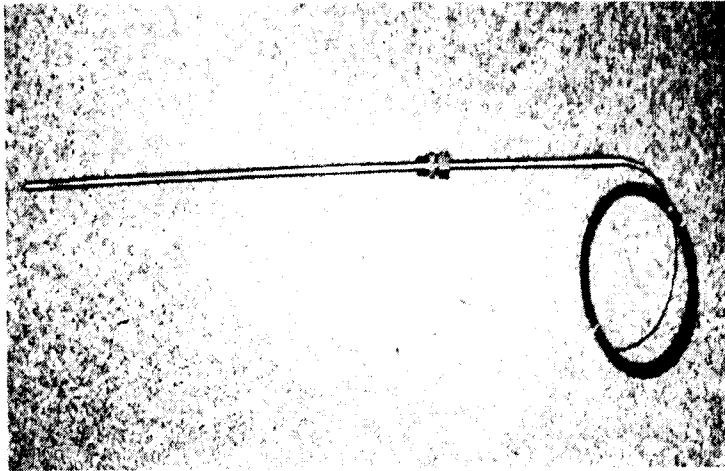


그림 6-6 스위스형 온도센서



그림 6-7 데이터 측정장치와 데이터 기록장치

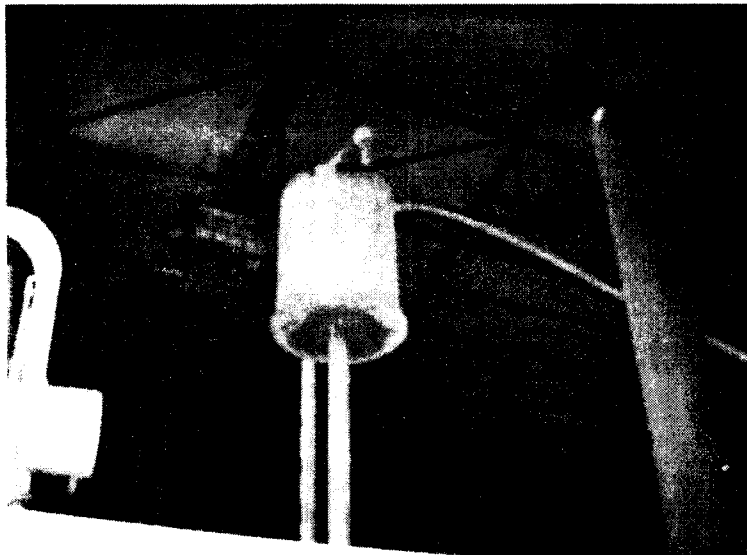


그림 6-8 팽창탱크

그리고 실험조건은 표 6-1과 같으며 실험은 연료의 투입량 및 송풍량 변화를 주요 파라메타로 하여 실시하였다.

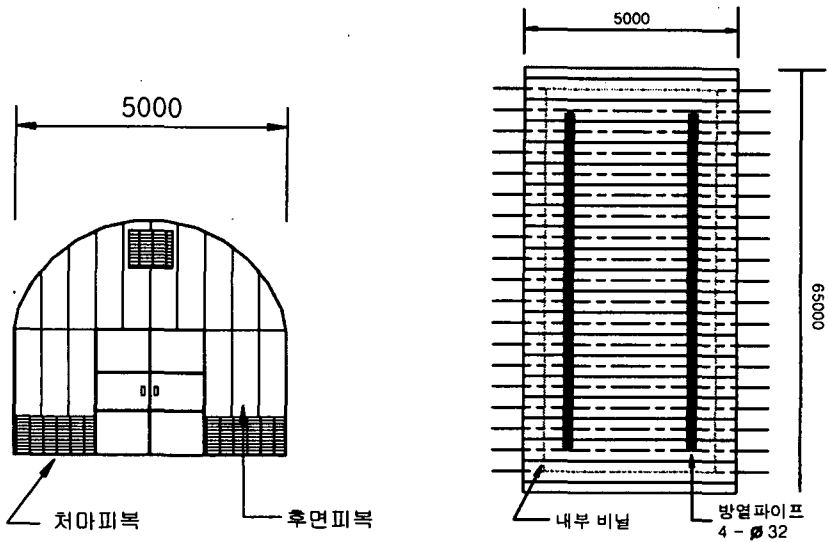
표 6-1 실험 조건

	조 건
외기온도(℃)	26~30℃
온수온도(℃)	75~85℃
팬송풍량 RPM	12, 10, 8, 6 (RPM)
연료공급인버터RPM	4, 6, 8, 10(RPM)
유량	142 l/min

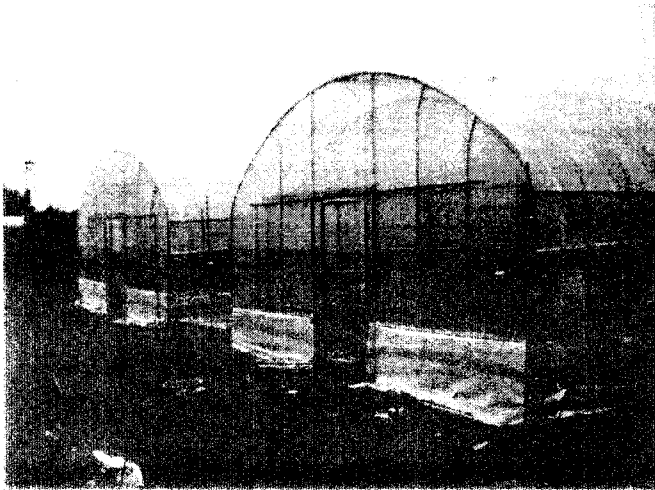
### 3. 실증실험

#### 가. 시험 하우스

시제품 성능평가를 실시한 후 김해의 낙동강변에 위치한 부산원예시험장에서 약 324㎡(약 100평) 규모의 시설 원예용 비닐하우스 내에 시제품을 설치한 후 실증실험을 하였다. 실증실험에 사용된 하우스를 그림 6-9에 나타내었다. 시험하우스는 폭 5m, 높이 3m, 길이 65m의 단동 하우스이다.



(a) 실증시험 하우스 도면



(b) 사진

그림 6-9 보일러 난방용 하우스

#### 나. 하우스내 설비

보일러에서 공급되어진 80℃정도의 고온의 온수는 그림 6-10과 같이 하우스 내에 설치된 에어로핀관을 통하여 이용하고자 하는 하우스내로 공급한 후 다시 환수배관을 통하여 보일러로 되돌려지게 된다. 방열관은 직경 32mm로 재질은 강관이며 2단으로 설치하였다. 하우스 내로 공급되는 온수의 유량은 플로트식 수유량계를 설치하여 측정하였으며 배관 입출구 온도를 측정하여 방열량을 계산하였다. 그리고 하우스 내 온도분포를 확인하기 위하여 하우스 중앙부분의 지면에서 높이 50, 100, 150cm 위치에 T-type 온도센서를 설치하였으며, 측정된 데이터는 데이터 로그와 컴퓨터를 통하여 실험시간 동안 연속적으로 기록하였다.

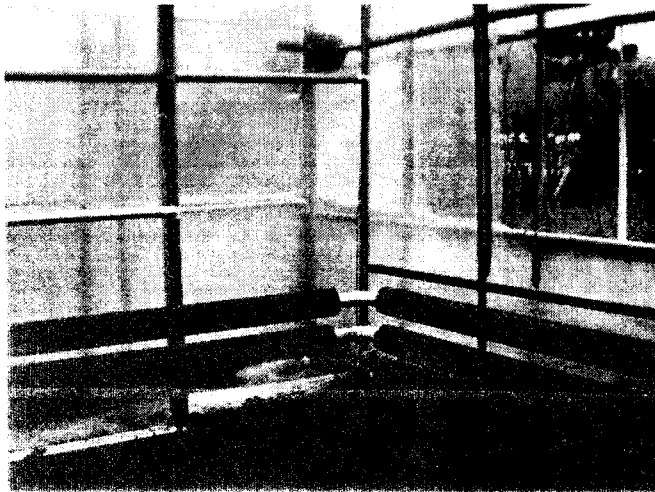
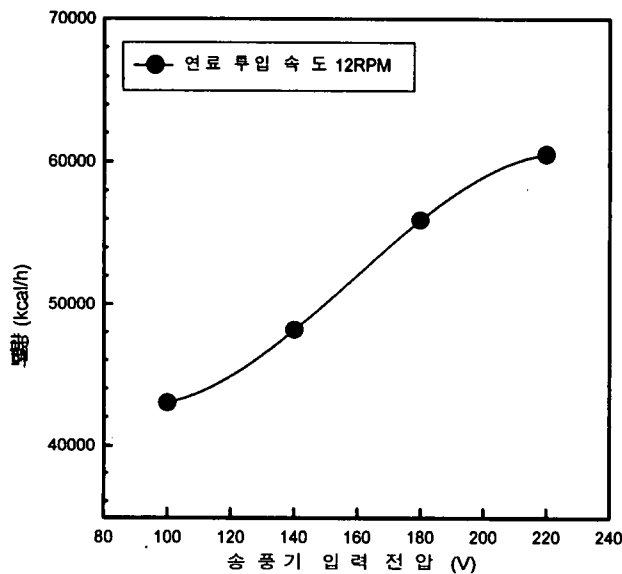


그림 6-10 하우스내부의 방열관 설치모습

### 제3절 성능실험 결과 및 고찰

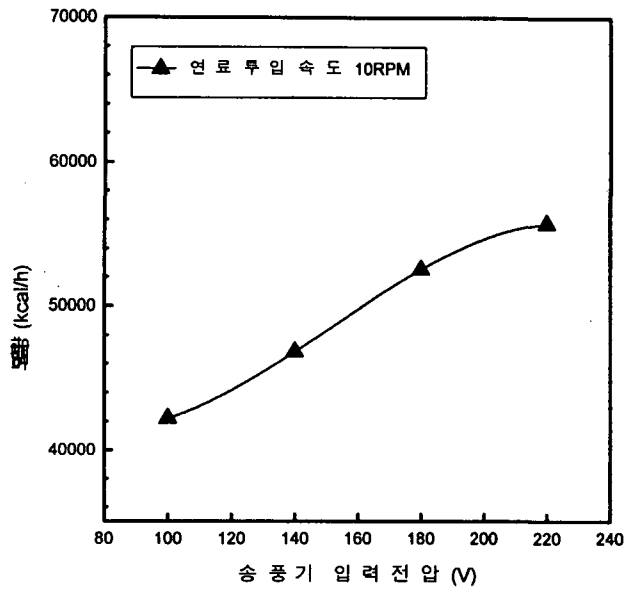
#### 1. 송풍량 변화에 따른 열량 변화

그림 6-11은 보일러 내 연료 투입속도가 각각 12RPM, 10RPM, 8RPM, 6RPM 일 때, 송풍기 모터의 입력전압을 220V, 180V, 140V, 100V 범위로 변화시켰을 때 보일러 발생 열량의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 보일러 내부로 유입되는 송풍량이 많을수록 보일러의 열량은 높게 나타났다. 그러나 송풍량을 최대값으로 하였을 때에는 연료투입 측으로 불꽃의 역류가 발생되어 동일조건으로 계속적인 실험은 어려웠다.

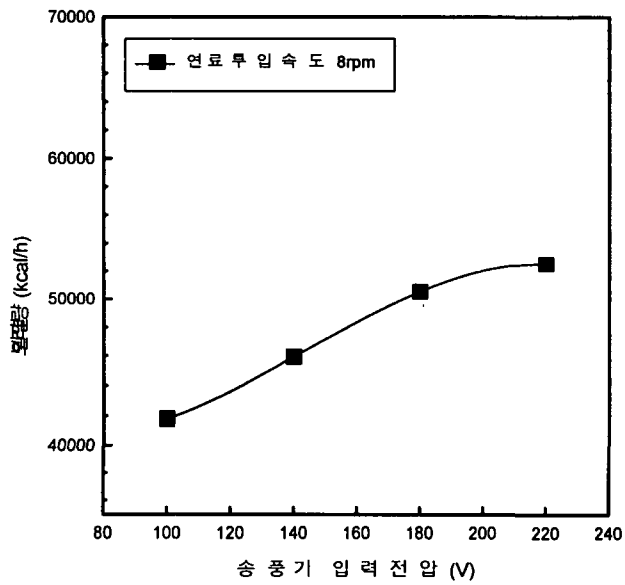


(a) 연료 투입속도 12RPM일 경우

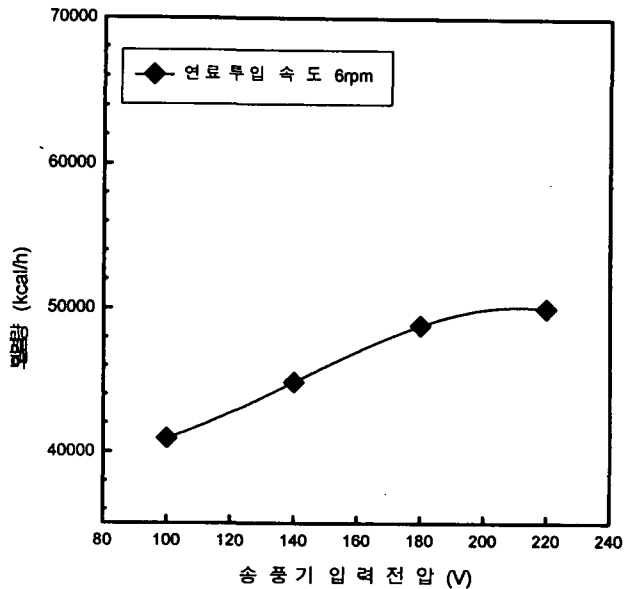




(b) 연료 투입속도 10RPM일 경우



(c) 연료 투입속도 8RPM일 경우



(d) 연료 투입속도 6RPM일 경우

그림 6-11 송풍량의 변화에 따른 보일러 열량

그리고 송풍량을 최저로 하였을 때에는 설정조건의 온도로 도달하는데 장시간이 소요되었으며, 보일러 열량도 적게 나왔다. 그리고 연료투입량이 많고 송풍량이 클 때 열량의 변화 폭이 크게 나타났다.

그림 6-12는 송풍량을 기준으로 하여 보일러 내로 연료 투입속도를 변화시킴에 따른 보일러 열량의 변화를 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 송풍량이 크고 보일러 내부로의 연료 투입량 12RPM일 때 송풍량의 변화에 따라 보일러 열량의 변화 변동폭이 크게 나타났다. 그러나 연료 투입량이 6RPM에서는 연료 투입량이 클 때보다 송풍량의 변화에 따른 변동폭이 적게 나타났다. 송풍량 100V에서는 연료투입량에 따른 보일러 온수열량의 변화

가 미소하게 나타났다. 이 경우 보일러내부로 투입되는 연료의 양이 많고, 송풍량이 적을 때에는 자동회재장치에 의해 외부로 배출되는 회재 중에서 완전연소가 되지 않고 배출되는 연료가 확인 되었다. 그리고 보일러 내부로 투입되는 연료의 양이 적을 때에는 송풍량의 변화에 따라 보일러 열량은 증가하였지만 그 변화폭이 연료의 양이 많을 때보다는 작게 나타났다. 또한 송풍량이 크면 클수록 보일러 열량은 높게 나왔으나 보일러의 과열을 초래하는 문제점이 발생되었고, 송풍량이 작을 때에는 보일러 열량이 이용하고자 하는 설정치에 도달하는 시간뿐만 아니라 열량도 적게 나오는 문제점이 발생되었다. 따라서 보일러가 과열되지 않고, 보일러 열량도 충분히 얻을 수 있는 송풍량은 시동초기의 상태에 따라 다소 차이가 있지만 송풍기 입력전압이 180V일 때 가장 최적의 결과를 얻을 수 있었다.

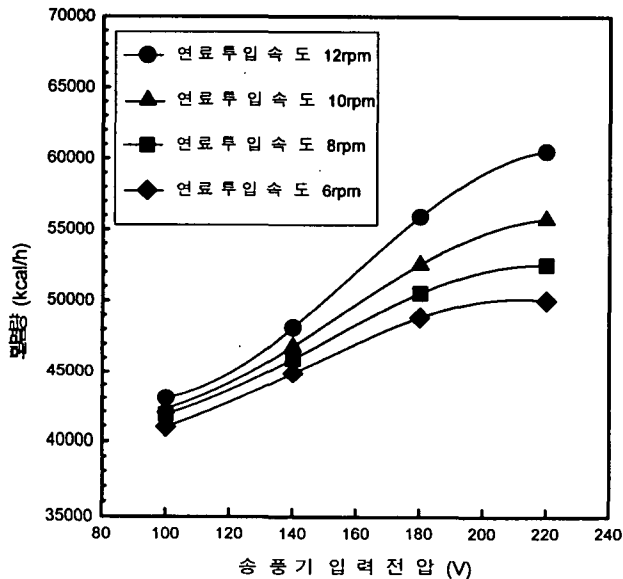
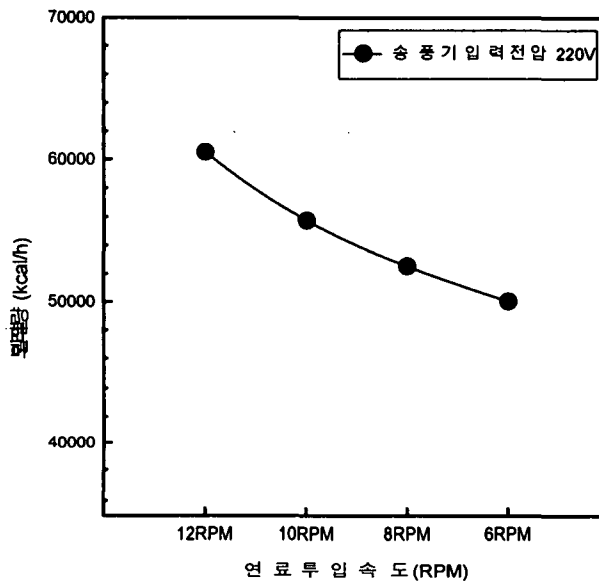


그림 6-12 송풍량변화에 따른 열량변화

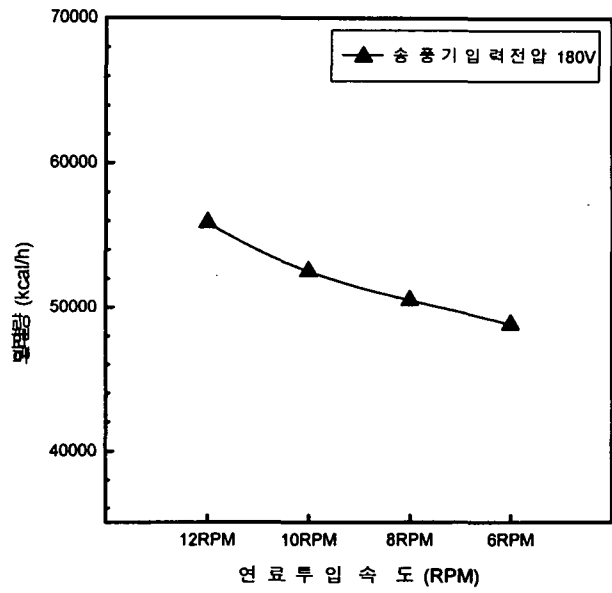
## 2. 연료 투입속도에 따른 열량변화

보일러로 유입되는 연료 투입속도를 인버터에 의해 각각 변화시킨 후 이에 따른 보일러의 열량의 변화를 평가하였다. 그림 6-13은 송풍 모터의 입력전압을 220V, 180V, 140V, 100V로 고정시킨 후 보일러 내부로의 연료 투입속도를 12RPM, 10RPM, 8RPM, 6RPM으로 각각 2RPM 낮추어 연료 투입속도에 따른 보일러 열량의 변화를 나타낸 결과이다.

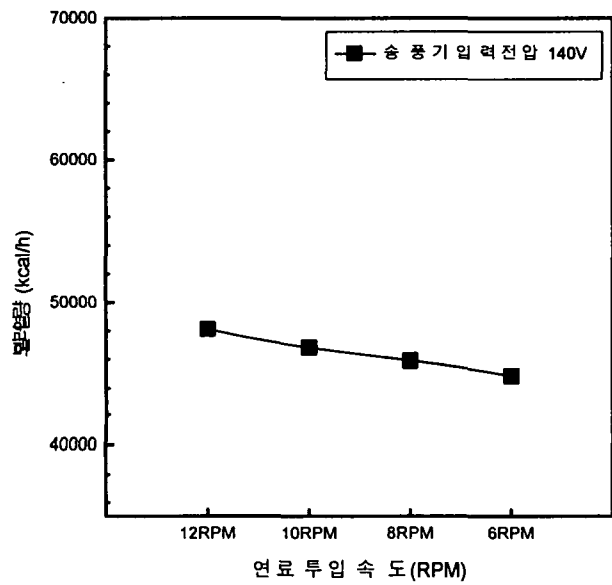
그림에서와 같이 연료 투입속도가 적을수록 보일러의 열발생량은 적게 나타났다. 그리고 송풍량이 클 때는 연료투입속도에 대한 열량의 변화가 컸으며, 송풍량이 적을 때에는 연료 투입량에 대한 보일러 열량의 변화가 상대적으로 적게 나타났다.



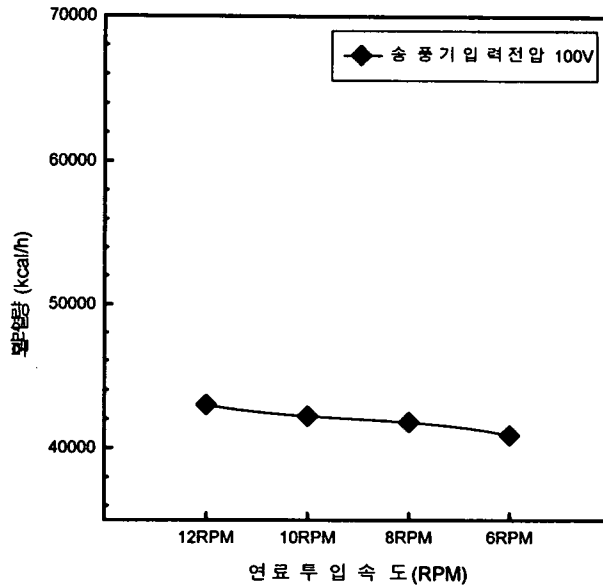
(a) 송풍량 220V일 경우



(b) 송풍량 180V일 경우



(c) 송풍량 140V일 경우



(d) 송풍량100V

그림 6-13 연료 투입속도에 따른 보일러 열량 변화

그림 6-14는 보일러 내부로 투입되는 연료의 양을 기준으로 하여 송풍량의 변화에 따른 보일러 열량의 변화를 총괄 정리한 결과이다. 그림에서 보일러 내부로의 연료 투입량과 송풍량이 감소할수록 보일러 열량도 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 송풍량이 가장 적은 100V에서는 연료 투입량의 변화에 따른 보일러 열량의 변동폭이 적었으며, 송풍량이 가장 많은 220V에서는 연료 투입량의 변화에 따른 보일러 열량의 변화 폭이 크게 나타났다. 그리고 연료투입량이 클 때에는 불완전 연소가 발생되어 화재처리 시 불완전하게 연소된 연료가 배출되는 것을 확인할 수 있었다.

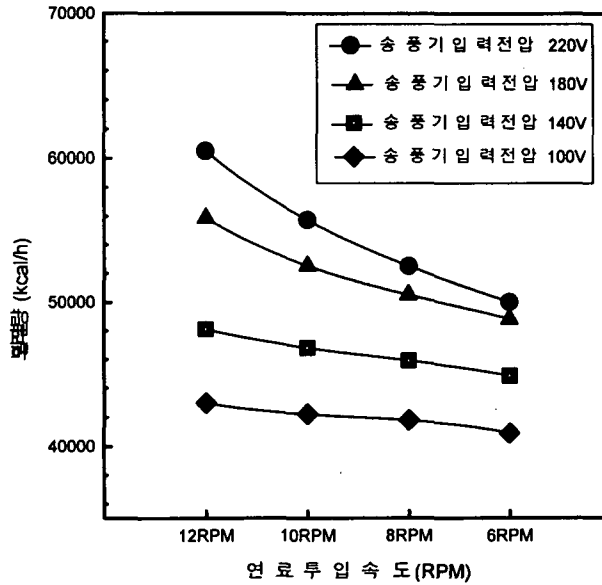


그림 6-14 연료투입속도에 따른 보일러 열량변화

### 3. 보일러 내부온도 분포

#### 가. 연료 투입속도 및 송풍량의 변화시 보일러 내부온도 분포

그림 6-15는 송풍량과 연료 투입속도를 변화시켰을 때 보일러 내부 온도분포를 나타낸 결과이다. 센서는 6개를 설치하여 연소실 각 부분의 온도를 측정하였다. 그림에서 연료가 투입되고 송풍장치가 가동되면 설정온도까지 도달하기 전에는 보일러 내부의 온도가 급격하게 변화함을 알 수 있다. 그리고 설정온도 이상이 된 후에는 보일러 내부의 온도가 내려갔다가 연료가 공급되고 동시에 내부온도는 급격히 상승하는 것으로 나타났다. 보일러 입출구 수온은 일정하게 약 5~6℃ 정도 차로 유지됨을 알 수 있다.

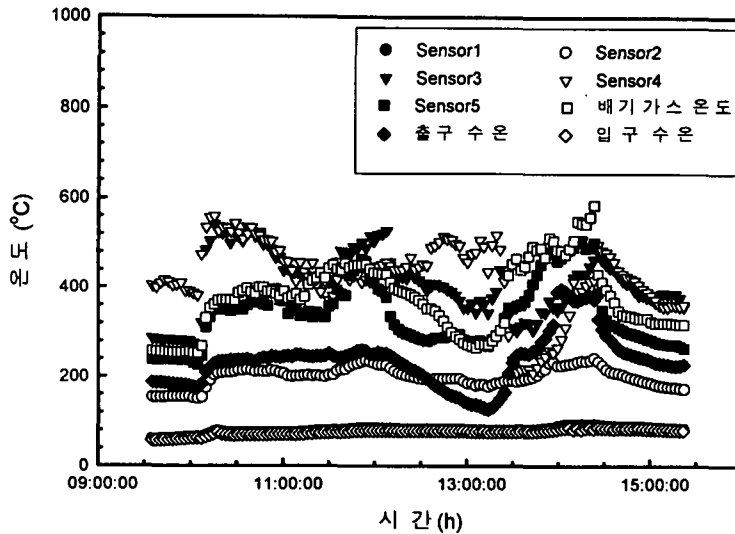


그림 6-15 연료 투입속도 및 송풍량 변화시 내부온도 변화

#### 나. 설정온도에 따른 보일러 내부온도 분포

그림 6-16은 설정온도에 따른 내부온도와 온수온도를 시간 변화에 따라 나타낸 결과이다. 이때 연료공급과 송풍량은 설정 온도이상이면 전원이 자동차단되고 설정 온도이하가 되면 자동으로 전원이 공급되도록 하였다. 그림에서 보면 설정온도가 되기 전까지 보일러 내부의 온도는 급격하게 상승하다가 설정온도가 되면 점차 온도가 하강하고, 다시 상승하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 입출구 온도는 큰 변화를 나타내지 않고 일정하였다.



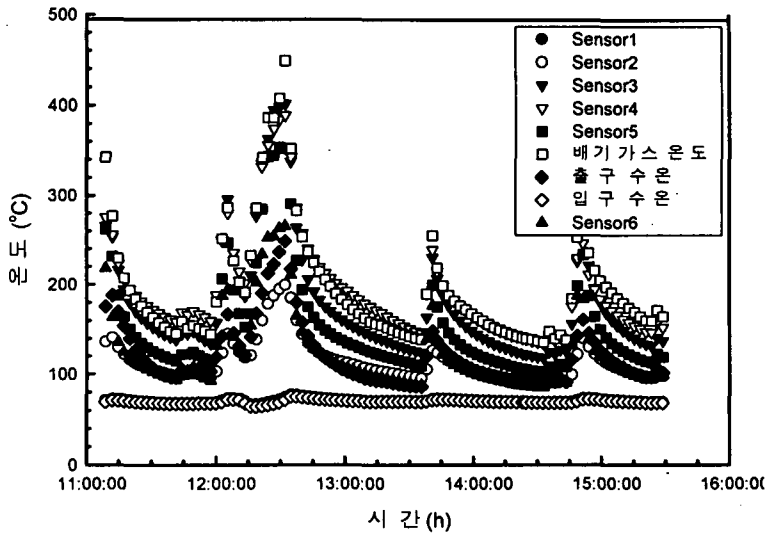


그림 6-16 설정온도에 따른 내부 및 입출구 수온

#### 4. 하우스 실증실험 결과

그림 6-17은 하우스 중앙(지면에서 높이 50cm)에서 측정한 하우스 내부 온도 및 외기온의 변화를 나타낸 결과이다. 하우스내 온도는 최대 31.5°C에서 최저 24.8°C정도로 유지가 되었다. 외기온도가 높은 초기에는 온도변화 폭이 컸으나 점차 안정화되는 경향을 보였다. 특히 외기온도가 낮아질수록 하우스 온도는 일정온도를 유지하였다. 이는 실제 하우스내 난방이 시작되는 동절기에는 보다 안정된 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

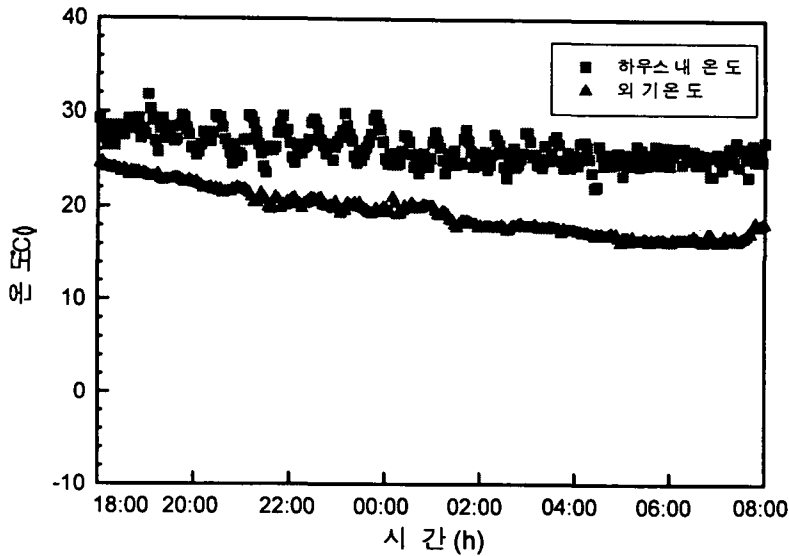


그림 6-17 하우스 중앙(지면에서 50cm 높이) 및 외기온

### 5. 보일러 효율

지금까지의 결과를 바탕으로 본 개발 보일러의 효율을 계산하였다. 효율은 연소 효율과 열교환기의 전열면 효율의 곱으로 계산하였다. 연소 효율은 노에서 발생한 실제 열량과 연료가 완전 연소시 발생하는 열량의 비로 정의되며, 전열면 효율은 온수에 흡수된 열량과 노에서 발생한 열량의 비이다. 연소효율과 전열면 효율을 분리해 구하기 위해서는 노내 발생열량을 측정하여야 하는데 이는 측정하기가 어려워 보일러 효율을 계산하는데 있어서 다음의 식으로 구하였다.

$$\text{효율}(\eta) = \frac{\text{보일러 발생 열량}(Q)}{\text{석탄의 저위 발열량}(H)}$$

보일러를 가동하는 동안 연료 공급횟수를 조사하고 1행정 당 석탄 투입 량에 저위발열량(본 실험에 사용한 연료의 저위발열량은 6300kcal/kg을 곱하여 연소과정 동안 공급된 석탄의 총 발열량(H)을 계산하는 한편 그 과정 동안 측정된 열량의 누적치로 보일러 발생 열량(Q)을 계산하였다. 그림 6-18은 적정 송풍기 입력 전압 180V일때의 연료 공급 속도별 온수로 전달 된 열량과 이때의 보일러 효율을 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 연료 투입량이 증가하면 발열량은 늘어나지만 효율은 급격히 떨어지고 있음을 알 수 있다. 이것은 5000kcal/h로 설계된 보일러 용량에 연료를 적정선 이상으로 공급할 경우 능력은 더 이상 나오지만 열교환기 효율이 능력에 따라 가지 못하므로 보일러 시스템의 전체 효율은 떨어지게 되는 것이다. 따라서 보일러의 발열량 5000kcal/h의 경우 효율은 약 70.8%정도로 나타났다.

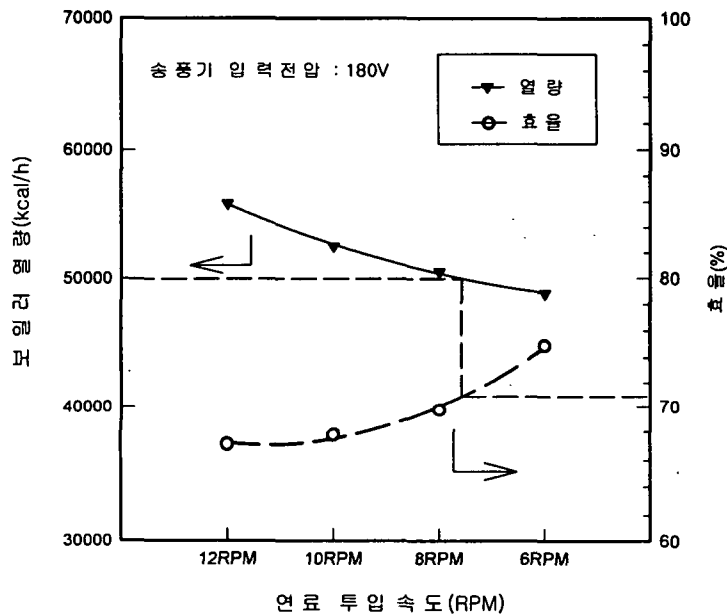
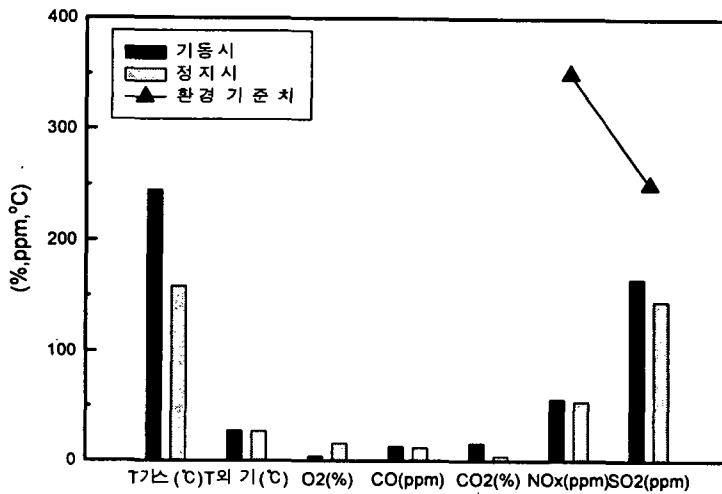


그림 6-18 연료 투입 속도에 따른 보일러 발열량과 효율

## 6. 배기가스분석

그림 6-19는 연료의 연소시 배기가스를 분석하기 위해 이용 온도대를 고려한 온수의 온도가 80℃에 도달하였을 때와 설정 온도에 도달 후 보일러 작동이 중단한 후 2시간 후의 배기가스의 성분을 비교 분석한 결과이다.

그림에서와 같이 본 개발 보일러의 배기가스 성분은 환경 기준치에 훨씬 미치지 못하는 것으로 나타났다. 그림의 결과들은 이때 각각 같은 시간 동안 5회의 실험을 반복하여 평균값을 나타내었다. 이때 보일러의 운전 조건은 송풍기 입력전압 180V, 연료 투입량 10RPM을 기준 조건으로 하였다.



	$T_{gas}$ (°C)	$T_{amb}$ (°C)	$O_2$ (%)	CO(ppm)	$CO_2$ (%)	NOX(ppm)	$SO_2$ (ppm)
기동시	245	27.5	4	13	16	56	165
정지시	158	27	16	12	4	54	145
환경기준치						350	250

그림 6-19 보일러 운전 및 정지시 배기가스 분석

## **PART III**

## 제 7 장 경제성 분석

### 제1절 기초 데이터

본 연구를 통해 개발된 신제품의 연료는 석탄류이며, 이에 경제성 분석에서 비교·검토되는 주요 연료는 현재 사용되고 있는 보일러와 난방기에 사용되는 유류와 대비하여 분석하기로 한다.

표 7-1은 2000년 9월 현재 유류와 석탄 연료의 공급가격이다. 여기서 경유와 중유의 유류 가격은 면세공급가격이며, 석탄의 가격은 대한석탄공사의 산지가격이다. 석탄의 경우 산지가격에 운송, 하역 등의 물류비 및 유통마진이 포함되므로 실제 소매가격을 적용하기 위해 경제성 분석에서는 이 가격의 2.5배(석탄류의 소비자가격에 대한 유통마진을 60%로 적용)를 곱한 167.5원/kg을 적용하였다.

석탄보일러와 비교 분석하기 위해 현재 사용중인 주요 제품으로는 일반 보일러와 난방기가 있으며, 이들 제품의 연평균 연료소비량을 산출하여야 한다.

표 7-1 연료별 발열량 및 공급가격(2000년 9월 현재)

구 분	유류		석탄류	
	경유	중유	분탄	괴탄
저위 발열량	8,450(kcal/ℓ)	9,070(kcal/ℓ)	4,600(kcal/kg)	6,300(kcal/kg)
공 급 가 격	420(원/ℓ)	310(원/ℓ)	162.5(원/kg)	167.5(원/kg)

연료소비량의 산출에 있어서 기준은 우리 나라 각 지역마다 하우스의 형태와 기후가 다르기 때문에 경제성 분석 대상은 20만 kcal/h급 보일러는 제주도의 500평 규모의 감귤하우스로 하고 5만 kcal/h급 보일러는 부산지역에서 난방설정 온도 15℃, 2중하우스에 2중 커튼 하우스로 한다. 감귤하우스의 경우 하우스의 높이가 최저 3m, 최고 5m로 연동식의 대형 하우스가 대부분이다.

표 7-2는 500평기준 제주도 감귤하우스 및 100평 기준 부산지역 원예하우스 난방을 위한 연간 연료소비량을 제시한 것이다. 일반 보일러와 난방기에 사용중인 경험적 석유류 연료소비량을 근거로 하면 1년간의 난방에 필요한 총열량은 20만 kcal/h급 제주도 감귤 하우스 일반보일러 기준  $3.17 \times 10^8 \text{kcal}$ , 5만 kcal/h 부산지역 원예하우스 일반보일러 기준  $6.34 \times 10^7 \text{kcal}$ 이므로, 앞에서 계산된 석탄 보일러의 평균효율을 각각 70.2%와 70.8%를 적용하면 예상되는 연간 석탄소비량은 약 71.7톤 및 14.2톤이다.

표 7-2 제품별 연평균 연료소비량

구 분	경 유		석 탄	
	20만 kcal/h	5만 kcal/h	20만 kcal/h	5만 kcal/h
일반 보일러	37.5kl	9.4kl	-	-
난 방 기	35.5kl	8.4kl	-	-
석탄 보일러	-	-	71.7ton	14.2ton

또한 경제성 분석을 하기 위한 20만kcal/h용량과 5만kcal/h 용량 기준의 석탄보일러(괴탄 적용), 일반보일러(경유 적용)와 난방기(경유 적용)의 설치비를 포함한 취득가격과 내용년수 그리고 교체관련 비용은 표 7-3와 같다.

표 7-3 석탄보일러, 일반보일러, 난방기의 취득가격 및 교체비용

구 분	취득가격 (설치비 포함)		교체시기/가격 (본체기준)		내용년수
	20만kcal/h	5만 kcal/h	20만kcal/h	5만 kcal/h	
석탄보일러	1,500만원	750만원	4년/400만원	4년/300만원	7년
일반보일러 (경유)	1,250만원	650만원	6년/400만원	6년/300만원	10년
난 방 기 (경유)	600만원	280만원	6년/400만원	6년/150만원	10년

## 제2절 경제성 분석

경제성 분석은 석탄보일러를 포함한 각 제품의 투자효과가 일정하다고 가정할 경우 투자비용과 운영비용을 합산한 총비용이 가장 저렴한 제품이 가장 유리한 제품으로 파악하기로 한다. 이를 위해 각 제품별 경제성을 비교·분석을 위한 연도별 분석은 투자비용(취득가격)의 회수를 위해서는 감가상각비를 통해 배분하고 있으며, 운용비용으로서는 다른 제경비가 동일하다는 전제하에서 연료비만을 적용하여 대비시키기로 한다.

연도별 자료의 산출과 추정에 따른 주요 전제사항은 다음과 같다.



- ① 내용년수의 수명종료에 따른 잔존가액은 0으로 함.
- ② 제품의 감가상각비는 정액법을 적용하여 계산함.
- ③ 연료비에 있어서 차년도의 물가상승 등에 따른 비용 상승분은 고려하지 않음. 유류의 가격 상승분이 석탄의 가격 상승분보다 일반적으로 더 높기 때문에 석탄의 가격경쟁력이 있으며, 최근 급상승하고 있는 유류가격을 고려할 경우 장기의 추정분석이 곤란하기 때문에 유류 및 석탄의 가격 변동에 따른 현재가치를 고려하지 않고 현 시점에서의 투자비용의 회수만 고려함.

위의 자료들과 전제 사항을 근거로 각 제품에 대한 감가상각비, 연료비와 경제성을 비교 분석하면 표 7-4와 같다. 따라서 근거로 석탄보일러를 이용한 난방시스템의 경제성은 다음과 같다.

#### ① 석탄보일러와 일반보일러 비교

20만kcal/h급 석탄 보일러의 경우 설치 후 4년까지 본체를 교체하기 이전까지 매년 211만원의 비용절감을 할 수 있으며, 누계액 기준으로는 1년도 211만원에서 4년도에는 844만원까지 비용절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 5년도에 본체 교체에 따른 추가비용으로 비용 절감액이 축소되고 있지만, 7년도에 일반보일러의 본체교체에 따른 추가비용이 있는 경우에는 1,477만원에 달하는 비용절감의 효과가 나는 것으로 추정되고 있다. 또한 5만kcal/h급 석탄 보일러의 경우는 7년도에 일반보일러에 비해 805만원의 비용절감 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

#### ② 석탄보일러와 난방기 비교

20만kcal/h급 석탄보일러는 설치후 4년까지 본체를 교체하기 이전까지 매

년 136만원의 비용절감을 할 수 있으며, 누계액 기준으로는 1년도 136만원에서 4년도에는 544만원까지 비용절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 5년도에 본체 교체에 따른 추가비용으로 비용 절감액이 축소되고 있지만, 7년도에 난방기의 본체교체에 따른 추가비용이 있는 경우에는 952만원에 달하는 비용절감의 효과가 나는 것으로 추정되고 있다. 석탄보일러는 투자 첫해인 1년도부터 기존의 일반보일러나 난방기에 비해 200만원전후의 비용절감 효과를 얻을 수 있으며, 또한 본체 교체전인 4년도말 기준으로 누계액에 의한 비용 절감액은 일반보일러에 비해 약 840만원, 난방기에 비해 540만원 이상으로 나타났다.

또한 5만kcal/h급 석탄 보일러의 경우는 난방기에 비해 4년도에 144만원의 비용절감 효과가 있지만 5년도에 본체 교체에 따른 추가비용으로 경제성이 떨어지는 것으로 나타난다. 그러나 최근 유리온실하우스나 신설 비닐하우스에서는 불균일한 하우스내 온도 제어로 인하여 온풍난방기의 사용이 점차 줄어들고 있어 온풍난방기와 비교는 조금 곤란하지만, 면세유가가 2002년부터 상승할 경우를 생각해보면 석탄보일러의 경제성은 충분히 가질 것이라 생각된다.

위에서 언급한 바와같이 본 연구개발을 통해 개발된 석탄보일러는 경제성면에서 충분한 가능성을 가지므로 이 점은 높게 평가할 수 있다.

표 7-4(a) 제품유형별 경제성분석(20만 kcal/h급)

(단위: 만원)

		1년	2년	3년	4년	5년	6년	7년
석탄보일러	감가상각비	214	214	214	214	614	214	214
	연료비	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
	합계	1,414	1,414	1,414	1,414	1,814	1,414	1,414
	누계(㉠)	1,414	2,828	4,242	5,656	7,470	8,884	10,298
기름보일러 (경유)	감가상각비	125	125	125	125	125	125	525
	연료비	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
	합계	1,625	1,625	1,625	1,625	1,625	1,625	2,025
	누계(㉡)	1,625	3,250	4,875	6,500	8,125	9,750	11,775
난방기 (경유)	감가상각비	60	60	60	60	60	60	460
	연료비	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490
	합계	1,550	1,550	1,550	1,550	1,550	1,550	1,950
	누계(㉢)	1,550	3,100	4,650	6,200	7,750	9,300	11,250
비교	㉠-㉡	-211	-422	-633	-844	-655	-866	-1,477
	㉠-㉢	-136	-272	-408	-544	-280	-416	-952

표 7-4(b) 제품유형별 경제성분석(5만 kcal/h급)

(단위: 만원)

		1년	2년	3년	4년	5년	6년	7년
석탄보일러	감가상각비	107	107	107	107	407	107	107
	연료비	237.8	237.8	237.8	237.8	237.8	237.8	237.8
	합계	344.8	344.8	344.8	344.8	644.8	344.8	344.8
	누계(㉠)	344.8	689.6	1034.4	1379.2	2024.0	2368.8	2713.6
기름보일러 (경유)	감가상각비	65	65	65	65	65	65	365
	연료비	394.8	394.8	394.8	394.8	394.8	394.8	394.8
	합계	459.8	459.8	459.8	459.8	459.8	459.8	759.8
	누계(㉡)	459.8	919.6	1379.4	1839.2	2299.0	2758.8	3518.6
난방기 (경유)	감가상각비	28	28	28	28	28	28	178
	연료비	352.8	352.8	352.8	352.8	352.8	352.8	352.8
	합계	380.8	380.8	380.8	380.8	380.8	380.8	380.8
	누계(㉢)	380.8	761.6	1142.4	1523.2	1904.0	2284.8	2665.6
비교	㉠-㉡	-155	-230	-345	-460	-275	-390	-805
	㉠-㉢	-36	-72	-108	-144	120	84	48

## 제8장 종합결론 및 건의사항

### 제1절 종합 결론

최근 OPEC 회원국의 석유 생산량 동결로 국제 유가가 가파르게 오르는 등 불안정한 모습을 보이고 있다. 이러한 고유가는 가뜩이나 어려운 시설재배 농가에 있어서 난방비의 상승을 초래하여 농가의 어려움은 더욱 심해질 것으로 예상된다. 에너지원의 90% 이상을 수입에 의존하고 있는 우리의 입장에서는 새로운 에너지원에 의한 난방시스템 개발이 중요하지 않을 수 없다. 이미 우리 농가의 시설재배는 상당히 이루어졌으며 앞으로도 더욱 확대될 것으로 예상되어 이 분야의 석유 에너지 소비량도 무시할 수 없는 수준이기 때문이다. 실제로 1999년도 1년간 온실난방에 소요된 연료소모량은 약 100만kℓ로 추정되며 이는 우리 나라 전체 석유에너지 소비량의 약 0.8%, 농업용 면세유 공급량의 약 40%를 차지하는 것으로 추산되고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 부존자원이면서 가격이 저렴한 석탄을 이용한 시설재배 농가용 석탄 자동 난방 시스템에 관한 연구를 2년간 수행하였다. 개발된 난방시스템에 대한 성능 및 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 소용량(약 5만kℓ/h)과 대용량(약 20만kℓ/h) 석탄보일러를 이용한 난방시스템의 개발과 여러 가지 변수에 따른 석탄보일러 특성을 분석함으로써 관련분야의 많은 연구자료를 확보하게 되었다.

둘째, 고유가 시대를 맞아서 대체연료를 사용한 자동화 난방시스템을 실제 하우스에 적용하여 실험함으로써 추후 현장적용 가능성을 확인하였

다.

셋째, 경제성 분석을 통해 석탄보일러는 투자 첫해인 1년도부터 기존의 일반보일러에 비해 소형에서는 약 100만원전후, 대형에서는 약 200만원정도의 에너지비용 절감 효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

## 제2절 추후과제

본 연구과제에서 개발된 석탄보일러에 대해 시설재배를 하는 농민이나 난방기 판매 업자들의 본 개발품에 대한 의견을 청취하였다. 대체적인 평가는 경제성 면에서는 양호한 것으로 의견을 개진하고 있다. 하지만 1년 난방을 위한 석탄의 양이 약 14톤(약 100평 하우스, 부산기준)과 70톤(약 500평 하우스, 제주기준)에 이르는 만큼 석탄 구입이나 보관 등 그 불편함은 상당할 것으로 예상하고 있다. 연소 후 재의 양은 그 분량이 상당히 줄기는 하지만(약 30%) 그래도 상당한 양이기 때문에 그 폐기물을 처리하는데에도 문제가 있을 것으로 예상하고 있다. 따라서 경제적인 면에서 상당한 잇점을 갖지 않고서는 이미 연료의 취급, 난방기의 사용면에서 아주 편리한 석유류 난방방법에 익숙해 있는 농민으로서는 흔쾌히 이 방법을 도입하기는 어려울 것으로 예상하고 있다. 또한 에어로핀관을 사용하는 석탄보일러 방식은 난방기를 이용한 방법보다 초기 투자비가 크기 때문에 보일러 형식 보다 난방기 형식이 더 좋지 않겠느냐는 의견도 있었다.

이러한 여러 가지 평가와 연구를 수행하면서 제기되었던 문제점을 보완하기 위하여 추후 보완되어야 할 방향은 다음과 같다.

첫째, 석유류의 난방방법과의 경제성에서 더욱 우위를 확보하기 위해서

는 보일러 효율을 더욱 높여야할 것이다. 이를 통해 경제성을 더욱 부각시켜 고체연료를 사용하면서 제기되는 다소의 불편한 점을 보상시켜 나가야 할 것이다. 또한 완전 연소에 이르면 이를수록 재의 분량도 줄어들어 이 부분의 불편도 조금 더 해소시킬 수 있을 것이다.

둘째, 석탄보일러의 경우 연소실내 환경이 석유류 보일러 보다 열악하여 화격자의 교체 등 부품 교체가 많을 것으로 예상된다. 따라서 이러한 부분의 교체 사용이 용이하도록 설계되어야 할 것이다. 또한 연소실의 과열되었을 때 센서의 오작동이 없도록 더욱 분명한 신뢰성이 필요하다.

셋째, 석탄보일러에서 쌓인 경험을 토대로 석탄난방기에 대한 연구를 할 필요가 있다. 농가에서는 보일러에 의한 난방의 경우 에어로핀 관의 배관 등으로 초기 투자비가 높기 때문에 망설이게 되기 때문이다. 이는 배기 가스의 누출로 인한 농작물의 피해가 없도록 설계되면 본 연구를 통해 축적된 기술로 가능할 것으로 보인다. 또한 보일러를 이용한 난방시에도 히트파이프 등을 이용하여 초기 투자비를 낮추는 방안에 대해 검토할 필요가 있다.

### 제3절 보급방안 및 활용에 대한 건의

본 제품의 보급 방안은 다음과 같다.

첫째, 농업기계화연구소에서 성능 평가를 받아 개발품의 품질 인증과 농가 설치시 용자가 가능하도록 하여야 할 것이다.

둘째, 가장 중요한 경제성 문제에 있어서 한국석탄공사에서 고시한 산지 가격과 실제 석탄 구입 가격은 2-3배나 차이가 나므로 좀더 저렴하게

연료를 공급할 수 있는 체제를 마련해야 할 것이다.

셋째, 북한, 중국, 러시아 등 석탄 연료 가격이 아주 저렴하고 기후가 낮은 지역의 수출을 위해 노력하여야 할 것이다.

이러한 보급방안이 성공적으로 수행되고 본 연구를 통해 개발된 난방시스템이 시설재배 농가에서 활발히 활용되기 위해서는 다음과 같은 지원이 필요하다.

첫째, 원유가격 변동에 따른 농가 부담을 줄이고, 최근 계속 논쟁이 되고 있는 농가 면세유에 대한 정부 부담을 줄일 수 있는 대체 원료 난방시스템에 대한 농림부차원의 적극적인 지원제도(기업 및 농가) 및 홍보가 필요하다.

둘째, 개발이 완료된 시점에서 저가 상품화 개발 및 시범보급을 위한 후속 프로그램 개발이 이루어질 수 있도록 정부차원의 시범보급을 위한 지원책이 필요할 것으로 생각된다.

셋째, 금융, 세제상의 지원강화와 면세유 절감에 대한 인센티브 부여 등 경제적인 지원제도 개발이 필요할 것이다.



## 참고문헌

1. 김동환, 증기보일러 및 원동기, 동명사, 1983
2. 정영식, 황영재, 김영철, 열관리 편람, 세진사, 1993
3. 권순석, 보일러 및 증기터빈, 동명사, 1996
4. 김향원, 중소형 소각로, 겸지사, 1997
5. 임만택, 건축환경계획, 보문당, 1995
6. 임만택, 건축설비, 기문당, 1997
7. 강금춘, 장진택, 김영중, 유영선, 이건중, “온풍난방기 배기열 회수 온풍공급시스템”, 한국생물환경조절학회 학술발표논문집, 제9권, pp. 13-17, 2000
8. 윤용철, 서원명, 김정섭, “온실용 폐열회수장치의 성능 분석”, 한국생물환경조절학회 학술발표논문집, 제9권, pp. 85-89, 2000

## 부록 A 투입식 석탄 보일러

### 제1절 서설

본 연구를 진행하는데 있어서 연구의 초기 단계에서 대용량의 석탄보일러를 개발하기 위해서는 큰 화상면적이 필요하다는 생각에 고정화격자에 석탄 투입에 의한 난방방법이 적절할 것으로 생각되어 이에 대한 연구를 진행하였다. 그러나 여러 가지 문제점이 부각되어 만족스런 결과를 얻지 못하였다. 이에 대한 연구 과정을 소개하고자 한다.

### 제2절 화격자

그림 A-1은 본 연구에서 설계한 고정식 화격자를 나타낸 것이다. 화격자의 전체 규격은 가로 200mm, 세로 740mm이며, 화격자 상부에 공급되는 석탄의 연소를 쉽게 하기 위해 통풍을 위한 날개를 좌우에 각각 20개를 두었다. 날개의 크기는 폭이 15mm이며 날개와 날개 사이 공기의 유동을 위한 간격을 20mm로 하여 상당한 높이의 석탄에도 충분한 공기의 공급이 가능하도록 하였다. 또한 재처리를 위해 석탄이 닿는 상부면은 R275로 하여 연소된 재가 쉽게 흘러 제거될수록 하는 한편, 화격자의 하부면은 R120으로 제작하여 유입 공기의 공급이 원활하고 공기에 의해 화격자의 냉각이 용이하도록 설계하였다.

고정식 화격자에는 이와 같은 규격의 화격자를 8개 연결하여 연소실을 구성하였다. 따라서 화상면적은 1169mm×1685mm이 된다. 이러한 화격자를

고정시키기 위해 화격자의 양단에 핀 형태의 돌출부(길이 30mm, 지름 30 mm)를 만들어 연소실에 얹힐 수 있도록 하였다. 화격자의 하부면에는 재를 분쇄시키기 위해 화격자를 앞뒤로 요동시키기 위해 축을 연결시키기 위한 덧이음이 있다(그림 A-1(a), A-A' 단면도). 이를 통해 각각의 화격자를 와이어로 연결하여 캠 구동에 의해 계속적으로 화격자가 움직이면서 타고난 재가 분쇄되어 하부로 떨어지도록 설계하였다.



### 제3절 열교환기

고정식 화격자에 적합한 열교환기는 수평형 연관식 열교환기이다. 이를 위해 그림 A-2와 같은 열교환기를 제작하였다. 실험용으로 제작된 연관식 열교환기는 직경 967mm이며 길이가 1660mm로 직경 34mm의 연관이 78개 배치되어 한꺼번에 1120리터의 물을 가온할 수 있다.

열교환기의 열효율을 높게 유지하기 위해서 열교환기의 하부가 연소실에 직접 닿도록 하여 연소시 1차 가열이 되도록 하는 한편 연소가스가 연관을 2패스에 걸쳐 순환되게 하였다. 또한 연관 청소를 손쉽게 하기 위하여 열교환기의 양쪽면을 외부와 볼트 체결로 분리시킬 수 있도록 하였다.

열교환기 상부에는 물을 유·출입시키기 위한 파이프와 물의 팽창을 고려한 팽창관, 온도감지 센서, 온도계, 압력계, 급수를 위한 공간을 두었다.

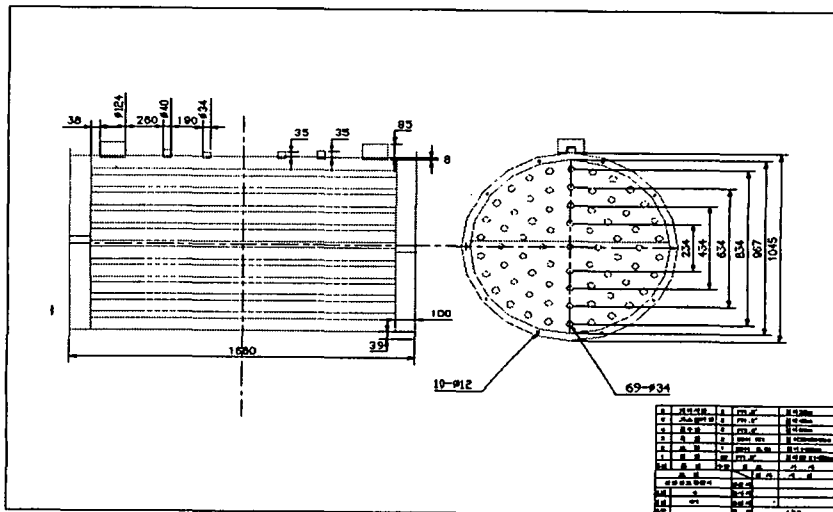


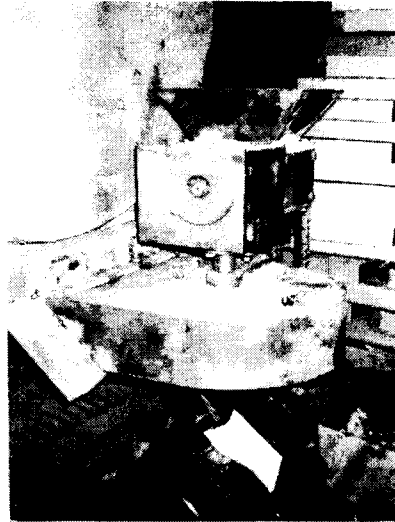
그림 A-2 수평형 연관식 열교환기

## 제4절 석탄 공급 및 분배 장치

석탄조로부터 석탄을 화격자에 공급하기 위하여 이송장치와 분배장치의 개발이 필요하다. 특히 고정식 화격자의 경우 화격자에 연료를 균등하게 분배해 주어야만 화격자 전체적으로 연소가 이루어져 충분한 열량을 얻을 수 있다. 이를 위해 먼저 그림 A-3(a)과 같은 일체형 연료 공급 및 분배 장치를 설계 제작하였다. 이 장치를 통해 석탄조에 저장된 석탄은 두 개의 분쇄기어로 석탄 분쇄장치에서 분쇄되고 분배장치로 낙하한다. 분배장치는 임펠러의 회전에 의해 화격자 내로 투입되도록 설계하였다. 석탄의 연소를 최적화시키기 위해서는 연료를 화격자상에 균등하게 분포되도록 하여야 한다. 여러 가지 형태의 임펠러를 제작하여 실험 비교한 결과 그림 A-3(a)의 분해도에서와 같은 형상의 임펠러가 가장 적절하였다. 이때 연료장치의 동력원을 최소화하기 위하여 석탄의 분쇄, 이송 및 투입을 위한 동력을 하나의 모터에 의해 구동되도록 구성하기 위해, 석탄 분쇄용 스퍼기어와 연료 분배용 임펠러 축을 베벨기어로 연결시켜주었다. 또 다른 연료 공급 및 분배장치로는 그림 A-3(b)의 분리형이다. 석탄조가 보일러와 분리 설치된 경우 연료의 이송과 연료 분배장치가 분리된 형태로 이루어져 있다. 일정량의 연료 공급 및 연료 분쇄를 위한 기어형 분쇄 장치를 호퍼 내부에 설치하였으며 원형관내에 스크류를 설치하여 연료를 연료분배장치로 이송하며, 이송된 연료는 고정형과 마찬가지로 분배장치내의 임펠러의 회전에 의해 화격자에 투입되도록 하였다.

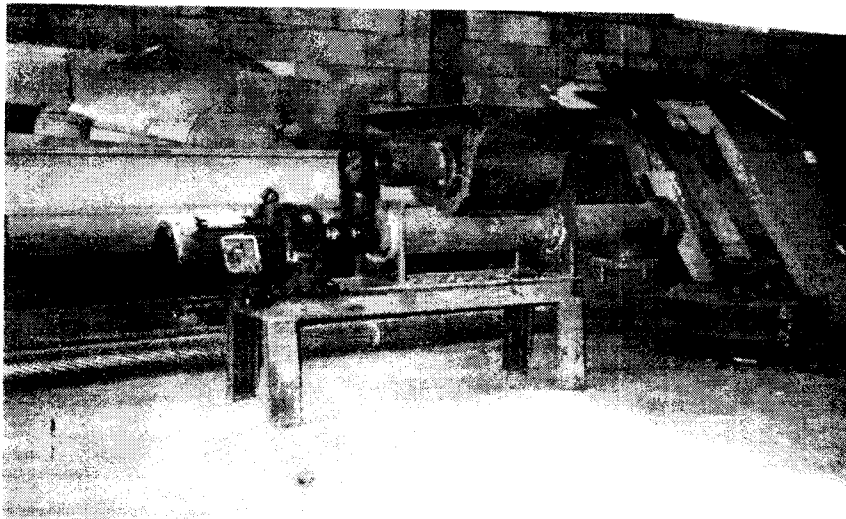


분해도



조립도

(a) 일체형



(b) 분리형

그림 A-3 일체형 연료공급장치 및 분해도

## 제5절 종합검토

화격자 설계에 있어서 고정식 화격자는 로스를 전체 면적에서 연소가 이루어지기 때문에 대용량에 적합하다. 그러나 가장 큰 문제점은 연료 투입 방법이었다. 제2절에서 설명한 것과 같이 전체 화상의 크기를 정한 후 여러 가지 임펠러 형태에 대해 많은 연료 투입 실험(연료는 고형화된 분탄을 이용)을 거쳐 임펠러 형태를 확정지었다. 이때 실제 실험에서는 약 90% 이상 화격자상에 연료가 골고루 분포되는 경우로 하였으며, 그 형태는 그림 A-3(a)에서 보듯이 직선과 곡선형 임펠러가 혼용된 형상이다. 그러나 여전히 연료 투입 방법에 있어서 많은 변수들, 예를 들면 석탄 입경(분탄이 아닌 다른 석탄을 사용할 경우)에 따른 비산 거리 조절, 현격한 수분의 차이에 따른 투입 거리 등 많은 문제점이 제기되었다. 또한 재처리 시점을 파악하기 위해 센서를 장착하는데 있어서 그 많은 화상 면적에 있어서 연소가 균등하게 이루어져 최적의 재처리를 위한 캠 작동 시점을 포착하기가 어려웠다. 실험을 위해 완성된 시제품을 그림 A-4에 제시하였다.

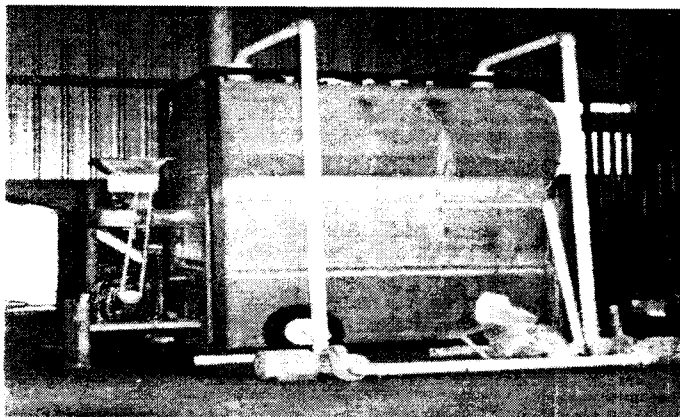


그림 A-4 고정식 화격자 석탄보일러



## 부록 B 컨베이어형 석탄보일러

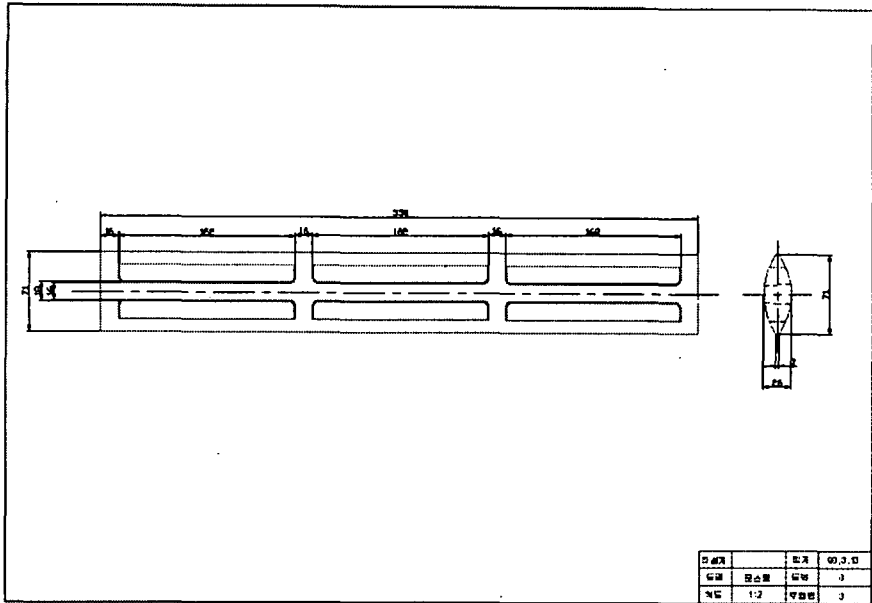
### 제1절 서설

또 한 가지 방법으로 연료 공급이나 재처리 작업이 쉬운 컨베이어형 석탄보일러를 제작하여 실험하였다. 이에 대한 연구 과정을 소개하고자 한다.

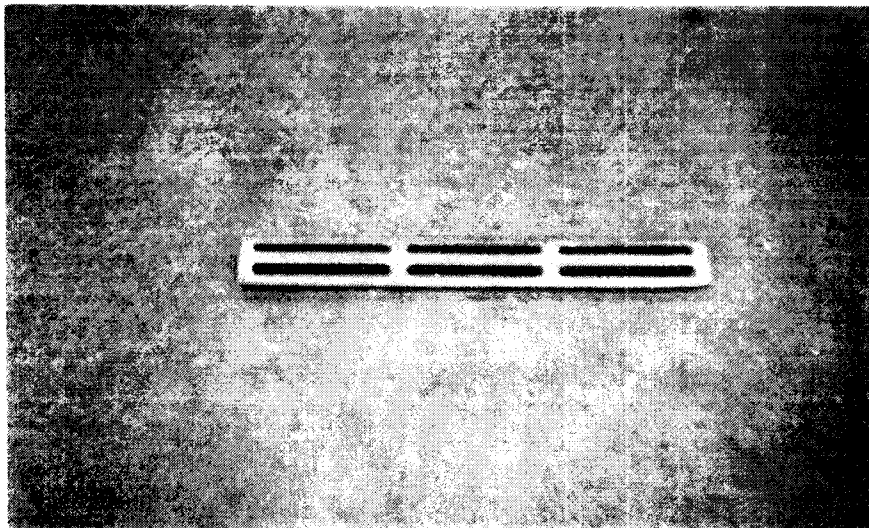
### 제2절 컨베이어형 이동 화격자

일반적으로 이동식 화격자는 연료의 공급이나 재의 처리가 쉬운 장점이 있다. 또한 컨베이어형으로 제작된 경우 화격자가 불에 닿는 시간이 짧고 되돌아오는 길에 냉각되므로 화격자의 냉각에 관해서도 유리할 뿐 아니라 연료 공급량의 조절은 석탄층의 높이를 조절하거나 화격자의 이동 속도를 변화시킴으로서 용이하게 이루어진다.

본 연구에서도 이러한 장점을 고려하여 컨베이어형 이동화격자를 설계 제작하였다. 그림 B-1은 이를 위해 제작된 화격자로 컨베이어를 구동시키기 위한 벨트의 부하를 고려하여 소형으로 제작하였다. 그 크기가 550mm×71mm이며 석탄 공급 및 처리를 위해 화격자의 가운데를 볼록한 형태로 하였다. 화격자 중앙면의 최대 두께는 26mm이며 화격자 위의 석탄에 공기의 공급이 충분히 이루어지도록 152mm×18mm인 6개의 공기 통로를 만들었다. 컨베이어형 화격자는 화격자 32개 연결하여 만들어 화상면적을 1590mm×700mm로 제작하였으나 실질적으로 컨베이어형 특성상 화상면적이 400mm×700mm 이상을 확보할 수 없었다.



(a) 도면



(b) 사진

그림 B-1 컨베이어형 이동화격자

### 제3절 열교환기

컨베이어형 석탄보일러는 앞에서 언급한 것과 같이 그 가능성을 검토하기 위한 것으로 소형으로 제작하였다. 따라서 열교환기도 수관형 자연대류 순환 방식으로 제작하였다(그림 B-2). 자연대류 순환형의 경우 연소가스에 수많은 수관이 노출되어 가열되면 밀도가 낮아진 물이 자연순환에 의하여 계속적으로 가온이 되는 방식이다. 그림 B-2에서 보는 바와 같이 연소실에서 연소열은 수조를 직접 가열하는 한편 연소가스가 수관과 접촉하면서 열전달이 일어난다. 이때 열교환량을 증대시키기 위해 수관의 배치를 V형으로 하는 한편 칸막이를 설치하여 연도의 길이를 길게 함으로서 열효율을 증대시키도록 하였다. 이때 수관은 지름 50mm, 길이 1800mm이며 모두 52개의 수관을 설치하였다.

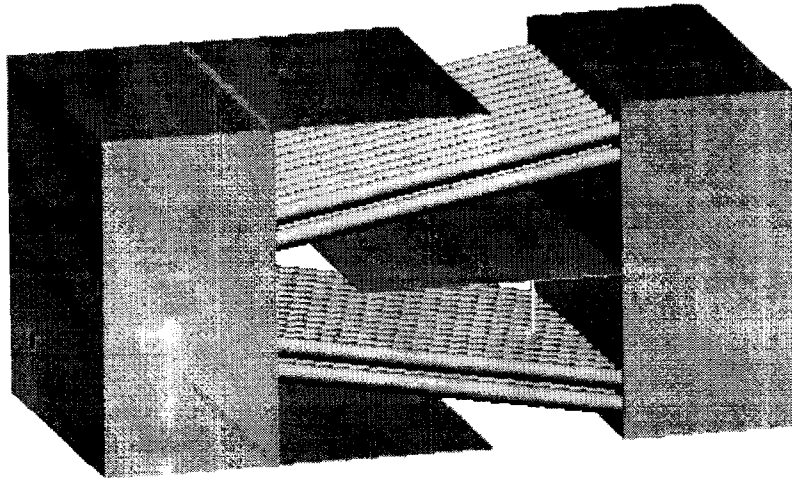


그림 B-2 자연대류형 수관식 열교환기

## 제4절 석탄공급장치

컨베이어 타입 화격자의 경우 별다른 연료 투입 장치가 필요 없이 석탄 호퍼에서 컨베이어 위로 컨베이어의 이동에 따라 자동적으로 공급되도록 하였다. 다만 공급되는 양을 조절하기 위해 공급되는 석탄 높이를 조절할 수 있는 석탄 공급 높이 조정판을 두어 필요한 열량에 따라 공급되는 석탄의 높이를 조절할 수 있도록 하였다.

한편 컨베이어의 구동방법은 그림 B-3에서와 같이 보일러 외부에 설치된 모터와 감속기에 의해 연소실 내부에 연결된 화격자들이 구동되도록 하였고 재처리는 스크류 회전에 의한 방법을 이용하였다. 컨베이어형 화격자는 연료의 공급과 재처리가 순차적으로 이루어지기 때문에 자동화하기에는 훨씬 간편하다.

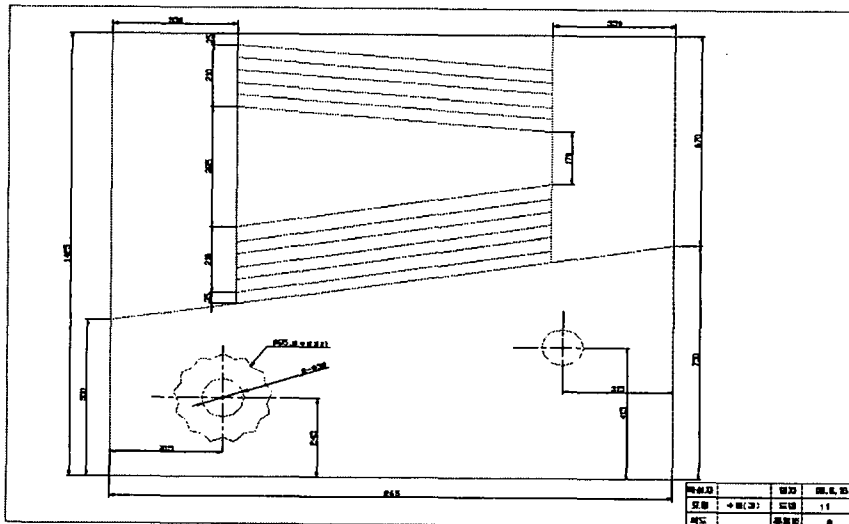


그림 B-3 컨베이어형 석탄보일러 측면도

## 제5절 종합검토

석탄 공급에서 연소 그리고 재의 배출까지를 연속적으로 진행시킬 수 있는 방법으로는 컨베이어형 화격자가 아주 적합하다. 이에 대한 기초 실험을 위해 소용량의 컨베이어형 석탄 보일러를 제작하였다. 컨베이어형의 경우 석탄 공급이 컨베이어의 이동에 따라 자동적으로 이루어지기 때문에 열량 조절을 위한 공급 석탄 두께를 조절하기 위한 조정판을 석탄 유입구에 설치하였다. 컨베이어형의 경우 화상 면적이 작을 염려가 있어 경사형으로 하여 화염이 위로 자연스럽게 전파되도록 함으로서 화상면적을 넓히는 방법을 시도하였다. 이때 경사각은  $25^{\circ}$  이다. 그러나 석탄은 타고 있는 석탄위에 미연 석탄이 얹혀 있지 않는 한 목재가 타들어 가듯이 자연스럽게 옆으로의 연소는 전혀 이루어지지 않았다. 물론 송풍에 의해 옆의 미연 석탄으로의 화염을 계속하여 보내주면 화염이 전파된다. 그러나 이런 방법을 취하기에는 석탄조로의 불꽃의 역류 등 위험 요소가 많을 것으로 보인다. 물론 연소실을 내화벽돌 등으로 완전 단열하여 연소실의 분위기 온도를 수백도로 올릴 수 있다면 가능한 지도 모른다. 그러나 본 연구에서 간단히 꾸민 컨베이어형 석탄 보일러는 넓은 화상 면적을 확보할 수 없었다. 연구과정에서 실질적으로 컨베이어 타입의 보일러를 제작하여 실험한 결과 (그림 B-3) 화상면적이  $0.28\text{m}^2$  인데도 불구하고 약  $2\text{만kcal/h}$ 의 열량밖에 얻을 수 없어서 컨베이어 타입의 경우에 일반 농가용으로  $15\text{만kcal/h}$  이상의 열량을 얻을 수 있는 보일러를 개발하기에는 부적절하다는 결론을 얻었다.

또한 화격자 형태에 있어서도 그림 B-1에서 보듯이 위아래가 볼록한 형태를 취한 결과 컨베이어상에 있을 때는 문제가 없지만 컨베이어의 방향이 바뀌는 치차 부분에서는 화격자와 화격자 사이의 간극이 벌어져 석탄이 빠

지는 문제점이 제기되었다. 이를 해결하기 위해서는 화격자가 다음 화격자를 덮는 형태로 제작하여야 할 것이다.

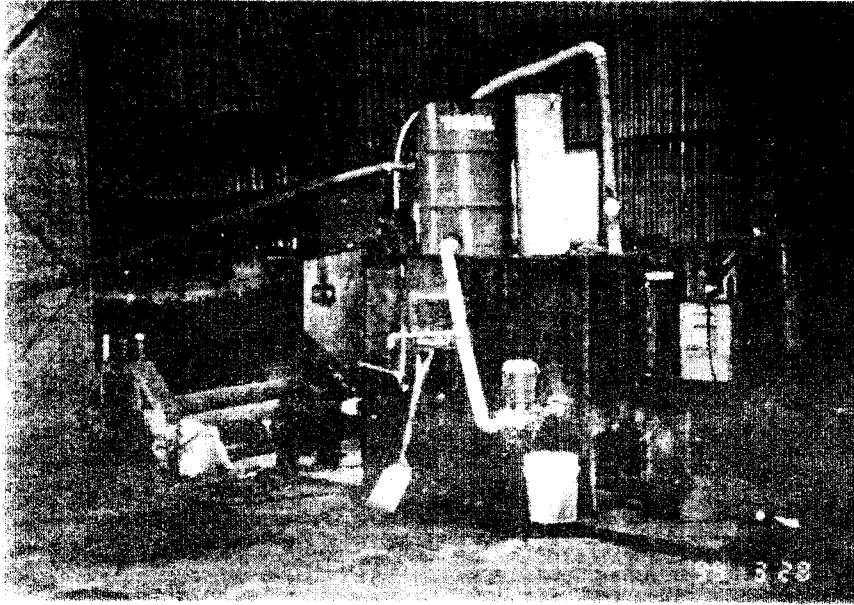


그림 B-4 컨베이어형 화격자 석탄보일러