발 간 등 록 번 호

11-1541000-000521-01

일반과제(0) 과제번호 108016-02-2-CG000

폐식용유를 이용한 연료 공급 장치 및 온풍난방기 개발

Development of fuel supply system and Hot air heater using waste edible-oil

폐식용유의 열특성 분석 및 온풍난방기 성능 분석
폐식용유 온풍난방기 개발의 경제성 분석

주식회사 태광기계

농림수산식품자료실

0004570

농 림 수 산 식 품 부

0.7
239표
2010-48

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “폐식용유를 이용한 연료 공급 장치 및 온풍난방기 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2010년 6월 일

주관연구기관명 : (주) 태광기계
총괄연구책임자 : 곽 기 주
세부연구책임자 : 곽 기 주
연 구 원 : 곽 광 섭
연 구 원 : 차 우 섭
연 구 원 : 강 상 길
연 구 원 : 차 주 섭
연 구 원 : 곽 은 정
연 구 원 : 최 낙 우
연 구 원 : 조 창 래
협동연구기관명 : 두레친환경농업연구원
협동연구책임자 : 강 정 일
협동연구기관명 : 경북도립대학
협동연구책임자 : 조 기 현

요 약 문

Ⅰ. 제 목

폐식용유를 이용한 연료 공급 장치 및 온풍난방기 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구 개발의 목적

본 연구의 목적은 폐식용유를 정제하여 연료로 사용하는 폐식용유 온풍난방기를 설계제작하기 위하여 연료의 정제처리 기술, 연료공급 및 가온장치, 연소속도조절장치 및 연소실에 공급되는 공기구멍의 개도조절장치를 개발하여 자동화시스템으로 구성하고 이를 통해 연소실내의 최적화 조건을 구명할수 있는 폐식용유 온풍난방기를 개발하는데 있다.

2. 연구개발의 필요성

유가의 상승으로 시설원예 농가의 에너지비용 증가는 날로 심해지고, 경기 침체로 사회 전반적인 소비의 둔화성향이 짙어지며 농산물 가격이 저하하여 난방에너지를 사용하는 시설원예에서의 채산성악화가 심화되고 있다. 에너지 소비가 급격히 증가하고 가까운 미래에 지하자원의 고갈이 예상됨에 따라 새로운 에너지 개발에 많은 노력이 이루어지고 있으며, 순수 화석연료에 대한 대체연료의 사용을 목적으로 알코올, 식물유 등을 단독으로 사용하거나, 화석연료를 기반으로 하고 알코올, 식물유 등을 첨가한 혼합유를 사용하는 연구가 오래 전부터 진행되어 왔다.

현재 폐식용유는 집단수거가 가능하고 크게 비용을 들이지 않고도 쉽게 구할 수 있으며, 폐식용유는 20리터 수거하는데 5천원 정도의 비용이 들고 환경 오염도 줄일 수 있으며 이를 연료로 재활용하여 연료비를 절약할 수 있는 2중의 효과도 있다. 고가의 시설비가 투자된 자동화 온실에서 겨울철 난방기를 사용하여 채소 및 화훼류를 재배할 경우 생산비에 차지하는 난방비의 비중이 40%를 웃돌고 있다. 최근 경기 침체로 시장소비가 위축되고 농산물 가격저하로 생산의욕이 현저히 저하되어 재배를 포기하는 농가가 속출하고 있다.

폐식용유를 활용하여 겨울철 가온재배를 할 경우 현재의 생산비중 난방 연료비를 절감시키며 생산비를 1/3 정도 줄일 수 있어 침체된 시설원예 농가의 영농의지를 새롭게 하는 획기적인 계기가 될 것으로 판단된다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1차 년도	2008	○ 열교환 장치 기본 설계인자 도출	○ 연소화장치의 기본 공정분석 ○ 주요공정 관련 인자 분석 ○ 고효율 열교환 장치의 설계인자 도출 ○ 열교환장치의 설계방향 정립
		○ 버너 및 열교환시스템 설계제작	○ 시작품 설계 제작 - 연료 가온 및 공급장치 - 점화 및 연소장치 - 연소로 및 열교환장치 - 공연비 최적 조절장치
		○ 각 부분 성능시험	○ 연료 가온 및 공급장치 ○ 점화 및 연소장치 ○ 연소로 및 열교환 장치 ○ 연소압력에 따른 불꽃 및 화염길이 ○ 연소로 최적설계에 따른 연소조건 구명
		○ 폐식용유 온풍 난방기 개발에 따른 경제성 분석	○ 석유에너지 연료용 난방기와의 경제성 비교 분석 - 개발비와 운영비 등 비용 분석 - 개발후 타연료용 난방기와의 경제성 비교 분석 - 실용화 및 산업화 가능성 진단 - 국내 폐식용유 발생량 및 이용실태조사
2차 년도	2009	○ Prototype 폐식용유 시험용 온풍 난방기제작	○ 폐식용유 온풍난방기 시험품 보안 제작 - 용량 : 4만kcal/h - 연료 가온 및 공급장치 - 점화 및 연소장치 - 연소로 및 열교환장치 ○ 예비성능시험 - 공기구멍 개도별 온풍열량 분석 - 배기온도, 온풍출구온도, 풍량, 온풍열량 등
		○ 폐식용유 온풍 난방기 경제성 분석 및 개선방안 분석	○ 폐식용유 온풍난방기개발의 경제성 분석 ○ 폐식용유 수집방안 도출 ○ 폐식용유 온풍 난방기의 실용화에 대한 문제점과 개선방안 분석 ○ 폐식용유 온풍난방기의 효과분석 관련 현지조사 및 효과 계측
		○ 폐식용유 온풍 난방기의 연소성능 및 효율 향상 연구	○ 성능시험장치 구성 ○ 최적 연소조건 구명 - 공기량, 연료주입량, 연소속도 제어 ○ 연소성능분석 - 분석인자 : CO_2, O_2, CO, HC, H_2 등
		○ 폐식용유 온풍 난방기 개발	○ 폐식용유 온풍난방기 보안 제작 - 설계 및 제작 - 용량 : 14만kcal/h - 연료 공급장치, 점화 연소장치 연소로 및 열교환장치 ○ 성능시험 - 공기구멍 개도별 온풍열량 분석 - 배기온도, 온풍출구온도, 풍량, 온풍열량 등
		○ 폐식용유 온풍 난방기 내구성시험	○ 내구성시험 - 조사내용 : 연속운전에 따른 구조변형
		○ 온풍 난방기 농가 현장 실증연구	○ 조사내용 : 난방성능시험, 경제성분석 ○ 보고서 작성

Ⅳ. 연구개발결과

1. 연구 개발 결과

본 연구에서는 버려지는 폐식용유를 수거 정제하여 식물유를 열원으로 이용하는 12만~14만kcal/h 용량으로 열효율이 80%이상인 폐식용유 농업용 온풍난방기를 개발하고자 하였다. 이를 위하여 1차 년도에는 폐식용유에 관한 문헌자료를 조사하였으며 폐식용유발생량 및 이용실태를 조사하였다. 또한 폐식용유를 연료로 이용할 수 있는 농업용 온풍난방기를 개발하기 위한 단위부품의 설계 및 제작을 하였다. 2차 년도에는 1차 년도에 개발한 단위부품을 이용하여 폐식용유를 연료로 이용할 수 있는 Proto type 폐식용유 온풍난방기를 설계 제작하였으며 실용화 및 산업화를 위해 폐식용유를 연료로 이용할 수 있는 용량이 14만 kcal/h정도인 양산용 폐식용유 온풍난방기 개발하였다. 또한 온풍난방기의 난방성능 및 연소성능을 분석하고 최적연소조건을 구명하였다. 이에대한 구체적인 내용은 아래와 같다.

가. 연료의 물성분석 결과, 폐식용유의 점도(40℃)는 39.2 cSt이었으며, 증류분석결과초류점은 196.5℃, 10%점은 308.4℃, 50%점은 310.2℃, 90%점은 293.1℃이었다. 폐식용유의 함량이 증가함에 따라 혼합유의 점도는 7.9 cSt에서 17.6 cSt로 증가하였다.

나. 폐식용유는 비중이 0.92로 높았으므로 용적당 발열량의 상승으로 출력의 상승요소로도 예상되지만, 연소에 필요한 공기량은 경유에 비하여 낮고 매연 배출은 감소할 것으로 예측되었다.

다. 연료의 조성상 경유의 발열량이 10,890 ㎉/㎏,WE 9,370 ㎉/㎏로 각각 나타났다.

라. 연료소비율은 혼합유의 폐식용유 함량의 증가에 따라 연료소비율도 증가 하였으며, 디젤유의 경우에 비해 폐식용유에서의 연료소비율이 높게 나타났으며, 전체적으로 6% 높게 나타났다. 배기가스의 온도는 폐식용유의 경우 디젤유의 경우 비하여 6~8℃ 낮게 나타났으며, 이것은 폐식용유의 발열량이 낮은 원인으로 판단된다.

마. 경유와 중유, 폐식용유를 비교한 적정연소 조건은 노즐분무압력이 2.35 Mpa에서 폐유의 경우 연료가 온온도가 80℃ 중유는95℃로 측정되었으며 폐식용유는 CO_2가 13.1%, CO가 13 ppm, 배기 온도가 270℃범위, 공기과잉비가 1.2로 나타났다.

바. 폐식용유 온풍난방기를 시설원예에 적용하였을 경우의 경제성을 분석한 결과 경제성이 있는 것으로 계측되었다. 폐식용유 온풍난방기의 사용에 대한 편익비용비율(BC ratio)을 계측한 결과 BC ratio는 4.92로 산출되어 경유용 온풍난방기에 비하여 경제성이 충분히 있는 것으로 평가되었다.

2. 활용에 대한 건의

본 연구에서는 폐식용유를 정제하여 농업용 난방연료로 이용할 수 있는 폐식용유 온풍난방기를 개발하였다. 폐식용유 정제 공정을 통한 에너지 자원의 활용기술은 농촌 및 농산업에 직접적으로 활용 가능하며 폐식용유 정제 장치 설계 및 제작 관련 기술은 산업 현장에 즉시 적용가능하다. 특히 산업자원부 및 환경부 등 정부에서 지역 음식점에 산재해 있는 폐식용유 자원의 효율적 관리 방안을 체계화 한다면 대체에너지 실용화, 자원의 효율적 이용 및 환경보전의 측면에서 모두 유익한 연구가 될 것으로 생각된다. 또한 본 연구의 성과는 지역의 폐식용유 자원 및 특성을 고려한 수집체계를 바탕으로 하여 정제 및 개발된 제품을 시

설원예 농가에 생산 보급 활용하므로 시설원예 농가의 난방비 부담을 크게 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

Ⅴ. 연구 성과 및 활용 계획

본 과제에서 폐식용유의 정제공정 기초기술정립 및 폐식용유 정제장치 설계 및 제작관련 기술 확보 및 연료정제 및 온풍난방기 생산 보급관련 산업의 신규 창출, 폐식용유의 정제공정을 통한 에너지자원의 활용 기술은 농업농촌 및 산업에 직접적으로 활용 가능하다.

폐식용유 정제장치 설계 및 제작관련 기술은 지역 관리군에 산재해 있는 폐식용유 자원의 효율적 확립 방안을 정량화 하면 산업현장에 즉시 적용 생산 및 활용 가능하다. 또한 도시지역에서도 다량의 폐식용유가 발생하므로 이에 대한 수집운반체계를 국가 에너지자원의 효율적 이용, 대체에너지 기술개발, 환경보전 측면등을 생각한다면 지방자치단체나 중앙정부로부터 보조 및 지원을 통해 시설원예 분야에서 활용할 수 있을 것이다.

1. 연구성과

가. 온풍난방기에 적용 가능한 폐식용유의 정제기술 확립
나. 온풍 난방기 폐식용유 정제 장치 설계 및 제작 관련 기술 정33립
다. 지역 음식점에 산재해 있는 폐식용유 자원의 효율적 확립 방안 정립
라. 농업 생산물에서 1차적으로 생성된 자원의 에너지 효율적 이용기술 정립
마. 대체에너지로서의 폐식용유 연료의 공급 방안

2. 활용계획

가. 폐식물자원의 이용으로서 폐식용유의 온풍 난방기 에너지원으로서의 활용
나. 폐식물자원의 활용으로 환경오염방지, 연료비 절감 및 노동생산성 향상
다. 폐식용유를 이용한 온풍난방시스템 구축으로 관련 산업의 활성화
라. 대체 폐자원의 이용으로 대체에너지 관련 산업의 활성화
마. 농촌 지역내 대체에너지 활용 시설의 보급 및 관련 산업의 활성화
바. 일정지역 규모에 대한 폐식용유의 이용모형을 정량화하여 국내산업의 활성화
사. 연료정제 및 온풍난방기 생산 보급관련 산업의 신규 창출
아. 대체에너지 활용 및 친환경적 제품 개발에 따른 지자체나 중앙정부로 부터 보조 및 지원

SUMMARY

Ⅰ. Title

Development of fuel supply system and hot air heater using waste edible-oil

Ⅱ. Objectives and Necessity of the research

The purpose of this study is to develope waste edible oil hot air heater that includes devices of refining waste edible oil, fuel supply and heating, controller of opening spiracle that control burning rate and find the most optimized burning condition run by automated systems

Ⅲ. Contents and Scope

This is a fundamental study to develope agricultural hot air heater which using waste edible oil refined and the heat capacity ranges from 120,000 Kcal/h to 140,000Kcal/h with over 80% heat efficiency. In the first year, document study on waste edible oil was done and on the outcomes of waste edible oil and the status of actual use. In addition, the key components has been designed and manufactured for the hot air heater development using waste edible oil. In the second year, the prototype of hot air heater has been designed and manufactured using key components which developed in the first year and production type of hot air heater whose heat capacity ranges from 120,000 Kcal/h to 140,000Kcal/h with over 80% heat efficiency.

Ⅳ. Results and Suggestions

Biomass by-products in south korea was estimated 10million tons, 51million tons and 7.03 million m^3/year forestry and livestock manure by-products occurred for each. Hot air heater with diesel oil combustion is used as the most common heater for greenhouse heating in the winter season. Hot air heater of 186,246 has spreaded as main greenhouse heating device until 2005 and greenhouse heating cost has reached to 574 billion won in Korea.

As a result of material property analysis, the viscosity of waste edible oil(40℃) was 392.cSt and the result of distillation analysis the initial flow point was 196.5, 10% was 308.4℃, 50% was310.2℃, 90% was 293.1℃.As the proportion of waste edible oil increase, the viscosity of mixed bio oil was increased from 7.9cSt to 17.6cSt.

The specific gravity of waste edible oil was 0.92 which is higher than diesel oil. It can provide more output

than diesel oil. But it required less air than diesel oil and expected that the exhaust of soot will be decreased.

The higher calorific value of waste edible oil in composition was 9.37Kcal/kg and 10.890Kcal/kg for diesel oil.

The fuel consumption of waste edible oil shows higher than diesel oil as much as 6%.

The temperature of exhaust gas of waste edible oil shows lower than diesel oil as much as 6 ~ 8℃which causes low high calorific value.

As a result of oil comparison among diesel oil, heavy oil, waste edible oil, the best spraying pressure of nozzle was 2.35 MPa and the heating temperature was 80℃ for waste edible oil, 90℃for heavy oil.

In case of applying hot air heater using waste edible oil to greenhouse it shows benifit in economic efficiency analysis. As a result of BC (Benifit Cost) by applying hot air heater using waste edible oil it showed 4.92 which was better than using diesel oil

which most widely used in Korea.

It is recommended to apply developed hot air heater using waste edible oil for greenhouse heating in winter time especially to save energy cost as providing refined waste edible oil which supported by the system of government or local government.

CONTENTS

Chapter 1. Overview of research ····· 15
Section 1. The purpose of research ····· 15
Section 2. The necessity of study ····· 15
2.1. The importance of study ····· 15
2.2. The withdrawal of waste edible oil ····· 15
2.3. The necessity of study ····· 16
Section 3. The objectives and scopes of study ····· 16
3.1. The objectives ····· 16
3.2. The scopes ····· 17

Chapter 2. The technology status of domestic and foreign country ····· 20
Section 1. The technology status of domestic ····· 20
Section 2. The technology status of foreign country ····· 20
Section 3. Future prospect ····· 21
Section 4. The validity of technology import ····· 22

Chapter 3. The contents and experimental results of research ····· 23
Section 1. The basic status study and material property study of waste edible oil ····· 23
1.1. The basic status study ····· 23
1.2. The material property study of waste edible oil ····· 24
1.3. The results of study ····· 30
Section 2. The development of fuel supplying system ····· 30
2.1. The demerit of pressure spraying burner type ····· 30
2.2. The necessity of development of Air-Jet Burner ····· 31
2.3. The spraying type of Air-Jet Burner ····· 31
2.4. The key components of Air-Jet Burner ····· 32
2.5. The development of fuel control unit ····· 33
2.6. The development of fuel supplying unit ····· 34
2.7. The development of fuel heating unit ····· 34

Section 3. The burner spaying test ····· 35
Section 4. The design and manufacturing of heat exchanger ····· 35
Section 5. The performance test of hot air heater using waste edible oil ····· 37
5.1. The experimental equipment ····· 37
5.2. The experimental method ····· 38
5.3. The results of study ····· 40
Section 6. The study of application with hot air heater using waste edible oil ····· 44
6.1. The study of soil environment ····· 45
6.2. The study of plant grow ····· 46
6.3. The study of quantity and quality by heater type ····· 46
6.4. The amounts of harvest by heater type ····· 47
6.5. The results of study ····· 47

Chapter 4. The achievement and contribution ····· 49
Section 1. The achievement of study ····· 49
1.1. The level of achievement ····· 49
1.2. The self evaluation of achievement ····· 50
Section 2. The contribution of related research ····· 50
2.1. The aspect of technology ····· 50
2.2. The economic and industrial aspects ····· 50

Chapter 5. Economic analysis of hot air heater using waste edible oil ····· 51
Section 1. Preface ····· 51
1.1. The necessity of study ····· 51
1.2. The objectives ····· 52
1.3. The contents and method of study ····· 53
Section 2. The prospect of changes of technology in greenhouse ····· 53
2.1. The status of energy consumption in vinyl house ····· 53
2.2. The prospect and direction of energy efficiency in vinyl house ····· 54
Section 3. The production quantity of waste edible oil and status of actual use ····· 55
3.1. The production quantity of edible oil ····· 55
3.2. The assumption of use of edible oil ····· 56
3.3. The assumption of total use of edible oil ····· 61
3.4. The assumption of production quantity of waste edible oil ····· 61
3.5. The assumption of use and withdrawal of waste edible oil ····· 62

Section 4. The building of method of effect analysis for hot air heater ····· 63
4.1. The concept of advantage and method of measurement ····· 63
4.2. The concept of cost and method of measurement ····· 63
4.3. The method of economical efficiency analysis ····· 64
Section 5. The measurement of advantage and cost ····· 65
5.1. The result of advantage measurement ····· 65
5.2. The result of cost measurement ····· 67
Section 6. The economical efficiency analysis of waste edible hot air heater ····· 71
6.1. The assumption of total advantage ····· 71
6.2. The assumption of total cost ····· 72
6.3. The measurement of economical efficiency ····· 73
Section 7. The diagnosis of possibility of industrialization and actual use ····· 74
7.1. The status of agricultural hot air heater ····· 74
7.2. The characteristics of waste edible oil ····· 75
7.3. The characteristics of burning of hot air heater using waste edible oil ····· 75
7.4. The diagnosis of possibility of actual use ····· 75

Chapter 6. The achievement of research and application ····· 77

Chapter 7. References ····· 79

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· 15
제 1 절 연구개발의 목적 ····· 15
제 2 절 연구개발의 필요성 ····· 15
2.1. 연구개발대상의 중요성 ····· 15
2.2. 폐식용유 수거 및 정제 ····· 15
2.3. 연구개발의 필요성 ····· 16
제 3 절 연구개발의 목표 및 범위 ····· 16
3.1. 연구개발의 목표 ····· 16
3.2. 연구개발의 범위 ····· 17

제 2 장 국내외 기술개발 현황 ····· 20
제 1 절 국내 기술개발현황 ····· 20
제 2 절 국외 기술개발현황 ····· 20
제 3 절 앞으로의 전망 ····· 21
제 4 절 기술도입의 타당성 ····· 22

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 23
제 1 절 폐식용유의 기초현황 및 물성조사 ····· 23
1.1. 기초 현황조사 ····· 23
1.2. 폐식용유의 물성조사 ····· 24
1.3. 결과 및 고찰 ····· 30
제 2 절 폐식용유의 온풍난방기 연료공급장치 개발 ····· 30
2.1. Gun type 연료압력 분무방식 Burner의 단점 ····· 30
2.2. 소형 중,저압길 Air-Jet Burner개발의 필요성 ····· 31
2.3. 소형 중,저압기류 Air-Jet Burner의 분사방식 ····· 31
2.4. 소형 중,저압기류 Air-Jet Burner의 주요부품 ····· 32
2.5. 연료 제어 장치 개발 ····· 33
2.6. 연료 공급 라인 개발 ····· 34
2.7. 연료 가온 장치 개발 ····· 34

제 3 절 폐식용유 사용에 따른 분사특성 ····· 35
제 4 절 열교환기 설계 및 제작 ····· 35
제 5 절 온풍난방기 성능시험 ····· 37
5.1. 실험장치 ····· 38
5.2. 실험방법 ····· 40
5.3. 결과 및 고찰 ····· 40
제 6 절 온풍 난방기 농가실증연구 ····· 44
6.1. 토양환경조사 ····· 45
6.2. 작물생육 및 온실 환경조사 ····· 46
6.3. 난방방식에 따른 주당 과실 수량 및 품질 ····· 46
6.4. 난방방식에 따른 총 수확량(9단재배) ····· 47
6.5 결과 및 고찰 ····· 47

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에 기여도 ····· 49
제 1 절 연차별 연구개발 결과 및 목표달성도 ····· 49
1.1. 목표 달성도 ····· 49
1.2. 평가 착안점에 따른 목표달성도 자체 평가 ····· 50
제 2 절 관련분야에 기여도 ····· 50
2.1. 기술적 측명 ····· 50
2.2. 경제적,산업적 측면 ····· 50

제 5 장 폐식용유용 온풍난방기 개발의 경제성 분석 ····· 51
제 1 절 서 론 ····· 51
1.1. 연구의 필요성 ····· 51
1.2. 연구 목표 ····· 52
1.3. 연구내용 및 연구방법 ····· 52
제 2 절 시설농업 난방 기술 관련 여건 변화 전망 및 기술개발의 방향 정립 ····· 53
2.1. 시설농업에서 에너지소비 현황 ····· 53
2.2. 시설농업에서 에너지 효율화 전망과 방향 ····· 54
제 3 절 국내 폐식용유 발생량 및 이용실태 ····· 55
3.1. 식용유 생산량 ····· 55
3.2. 식용유 사용량 추정 ····· 56
3.3. 식용유 총사용량 추정 ····· 61
3.4. 폐식용유 발생량 추정 ····· 61
3.5. 폐식용유 이용 및 회수 가능량 추정 ····· 62

제 4 절 '폐식용유 온풍난방기' 기술의 효과분석 방법론 구축 ····· 63
4.1. '폐식용유 온풍난방기'의 편익 개념과 계측방법 ····· 63
4.2. '폐식용유 온풍난방기'의 비용 개념과 계측방법 ····· 63
4.3. '폐식용유 온풍난방기'의 경제성분석 방법 ····· 64
제 5 절 '폐식용유 온풍난방기' 관련 편익 및 비용 계측 ····· 65
5.1. '폐식용유 온풍난방기' 관련 편익 계측결과 ····· 65
5.2. '폐식용유 온풍난방기' 관련 비용 계측결과 ····· 67
제 6 절 '폐식용유 온풍난방기'의 경제성 분석 ····· 71
6.1. '폐식용유 온풍난방기'의 총편익 추정 ····· 71
6.2. '폐식용유 온풍난방기'의 총비용 추정 ····· 72
6.3. '폐식용유 온풍난방기'의 경제성 계측 ····· 73
제 7 절 개발된 '폐식용유 온풍난방기' 기술의 실용화 및 산업화 가능성 진단 ····· 74
7.1. 농업용 온풍난방기의 현황 ····· 74
7.2. 폐식용유의 특징 ····· 75
7.3. '폐식용유 온풍난방기'의 연소 특성 ····· 75
7.4. '폐식용유 온풍난방기'의 실용화 가능성 진단 ····· 75

제 6 장 연구개발 성과 및 활용 계획 ····· 77

제 7 장 참고문헌 ····· 79

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

본 연구의 목적은 폐식용유를 정제하여 연료를 사용하여 연소속도의 조절이나 연료의 정제기술 처리 등 폐식용유 온풍기를 설계제작하고 연소실내의 최적화 조건을 구명, 연료공급 가온장치 개발, 자동화하는 시스템을 구성하고 연소실에 공급되는 공기구멍의 개도를 조절하는 장치 등 폐식용유 온풍난방기를 개발하는데 있다.

제 2 절 연구개발의 필요성

2.1 연구개발대상의 중요성

유가의 상승으로 시설원예 농가의 난방비용 증가는 날로 심해지고, 경기 침체로 사회 전반적인 소비의 둔화 성향이 짙어지고 농산물 가격이 저하하여 난방에너지를 사용하는 시설원예 산업의 채산성 악화가 심화되어 저가의 대체에너지 개발이 시급한 실정이다.

에너지 소비가 급격히 증가하고 가까운 미래에 화석연료 자원의 고갈이 예상됨에 따라 새로운 에너지 개발에 많은 노력이 이루어지고 있으며, 순수 화석연료에 대한 대체연료로 알코올, 식물유 등을 단독으로 사용하거나, 화석연료를 기반으로 하고 알코올, 식물유 등을 첨가한 혼합유를 사용하는 연구가 오래 전부터 진행되어 왔고 대체에너지용 디젤엔진이 개발되었다. 시중에서 튀김용으로 사용된 후 폐기되는 콩기름을 원료로 한 폐식용유(이하 폐식용유)는 정제, 정화되지 않고 하수로 버려지는 경우가 많아 이들은 수질오염의 주요 원인이 되고 있는 것으로 나타나 환경오염 해소에 중요 안건으로 처리방안 강구되고 있다.

2.2 폐식용유 수거 및 정제

시설원예에 있어서 에너지비용을 절감하는 새로운 난방장치의 개발이 많이 시도되고 있으나 폐식용유를 연료로 한 온풍난방기 개발은 없고 현재 폐식용유를 일반음식점에 식용유 공급자가 20ℓ당 5천원에 수거하고 있고, 폐식용유 활용가능토록 정부에서 집단 수거가 가능하도록 하여 수거에는 큰 문제가 없다. 폐식용유는 바이오디젤 같이 불순물이 없이 정제하지 않고 개발된 촉매제를 이용하여 정제가 가능하기에 이를 연료로 재활용하여 연료비 절감뿐 만 아니라 환경오염을 줄일 수 있는 2중의 효과가 있다. 초기에는 폐식용유를 전국에 있는 지역 공급대리점에서 폐식용유를 정제하여 실수요자가 보관하고 있는 적제 기름통에 순회 및 주문에 의해 부족분을 공급하고, 개발품의 공급 수량이 늘어나는 3~5년 후에 소형 정제기를 실수요자에게 직접 공급하여 정제할 수 있도록 하여 공급 및 유통은 큰 문제가 없을 것이다. 현재 국내 폐식용유를 수거, 정제하는 업체는 10여개사로 모두 국가에서 관리하고 있으며 수거 및 정제 방법까지 자세히 안내하고 있으며 본 연구에서는 상기의 10개사에 정보를 획득하여 수거 및 정제까지의 장단점을 파악하고 단점을 보완하여 본 연구제품에 접목하여 실수요자들이 폐식용유 공급에 차질이 없도록 계획을 수립하고

지역별로 수거 및 정제 장소를 직접 교육 및 실습을 통해서 농업용 공급자를 별도 선정 관리하여본 연구의 목적에 부합할 수 있는 시스템을 구축할 것이다.

2.3 연구개발의 필요성

유가의 상승으로 시설원예 농가의 에너지비용 증가는 날로 심해지고, 경기 침체로 사회 전반적인 소비의 둔화성향이 짙어지고 농산물 가격이 저하하여 난방에너지를 사용하는 시설원예에서의 채산성악화가 심화되고 있다. 에너지 소비가 급격히 증가하고 가까운 미래에 지하자원의 고갈이 예상됨에 따라 새로운 에너지 개발에 많은 노력이 이루어지고 있으며, 순수 화석연료에 대한 대체연료의 사용을 목적으로 알코올, 식물유 등을 단독으로 사용하거나, 화석연료를 기반으로 하고 알코올, 식물유 등을 첨가한 혼합유를 사용하는 연구가 오래 전부터 진행되어 왔다. 현재 폐식용유는 집단수거가 가능하고 크게 비용을 들이지 않고도 쉽게 구할 수 있으며, 폐식용유는 20리터 수거하는데 5천원 정도의 비용이 들고 환경 오염도 줄일 수 있으며 이를 연료로 재활용하여 연료비를 절약할 수 있는 2중의 효과도 있다. 고가의 시설비가 투자된 자동화 온실에서 겨울철 난방기를 사용하여 채소 및 화훼류를 재배할 경우 생산비에 차지하는 난방비의 비중이 40%를 웃돌고 있다. 최근에는 경기 침체로 시장소비가 위축되고 농산물 가격저하로 생산의욕이 현저히 저하되어 재배를 포기하는 농가가 속출하고 있다. 폐식용유를 활용할 경우 겨울철 가온재배 할 경우 현재의 생산비중 난방 연료비를 절감시키며 생산비를 1/3 정도 줄일 수 있어 침체된 시설원예 농가의 영농의지를 새롭게 하는 획기적인 계기가 될 것으로 판단된다.

제 3 절 연구개발의 목표 및 범위

3.1 연구개발의 목표

본 연구과제에서는 폐식용유를 이용한 폐식용유 온풍난방기를 개발하고자 2009년 7월부터 2010년 7월까지 2년간에 걸쳐 연구를 수행하였다. 최근, 유가변동 및 CO_2 감축으로 석유자원을 대신할 친환경 바이오에너지 개발에 대한 연구가 급부상하고 있다. 특히 우리나라의 시설재배는 1990년 이후 많은 발전을 거듭하여 2007년 시설면적은 53,036ha로 '90년에 비하여 2배 가까이 늘어 났으며 그와 더불어 난방면적도 시설면적의 약 24%에 달하여 겨울철에도 고품질의 신선농산물을 생산·공급할 수 있게 되었다. 겨울철에 작물을 생산하기 위해서는 작물이 생육하기에 적합한 온도로 난방을 하여야 하는데 우리나라에서는 거의 대부분 동절기 석유를 이용하여 시설작물을 재배하고 있다. 농업부문 폐식용유를 이용하여 난방비를 줄일 수 있는 기술 개발로 화석연료를 줄이고 대체에너지 이용기술 개발을 통하여 폐식용유의 난방연료 이용기술의 확립이 필요한 실정에도 고본 연구의 목표는 옥수수, 콩, 유채 등으로부터 생산된 옥수수유, 대두유, 유채유 등을 튀김 및 식품에 이용후 남은 폐식용유를 온풍 난방기에 연료로 효율적으로 사용하는 기술을 개발하고 폐식용유를 사용할 때 온풍 난방기에 발생되는 문제점을 연소 성능, 내구성, 열효율 그리고 배기가스 성능 실험을 통하여 파악하고 해결 방안을 제시하였다.

폐식용유를 온풍 난방기의 대체 연료로 활용하기 위한 기술기반 정립적의 산업화·실용화기술을 를 줄일 온풍 난방기의 내부 열교환기 개선으로 열효율을 극도로 높이기 위해 상층과 하층에 육각파이프 형상

을 교차로 배열하여 열효율을 극대화시켰고, 연소로로 연료를 연소시켜 상부의 송풍팬에 의해 발열된 온풍 바람을 하부의 배기구로 강제 순환시키는 구조로 제작하였다.

본 연구의 목표를 달성하기 위해 가온 및 연소에 대한 기초실험을 통하여 온풍 난방기의 개발효과, 경제성 및 개선방안을 조사 분석하여 농가의 경영안정은 물론 농산물의 국제경쟁력 제고에 필요한 제품을 만들고자 하였다. 폐식용유용 온풍 난방기의 성능 및 열이용 효율 실험 및 온풍 난방기의 내구성 실험과 현장 적응시험을 통한 기존의 온풍 난방기과 연료비, 생산비 등을 비교하여 최적의 폐식용유 온풍 난방기를 생산하여 공급하여 친환경적인 연료 재활용 및 생산비 절감을 통한 농가의 경영의지를 고취시키고자 하였다.

3.2 연구개발의 범위

가. 1차년도 연구개발 내용 및 범위

1) 당해연도 개발목표

음식점 등에서 수거한 폐식용유를 정제하여 식물유를 열원으로 이용하여 12만~14만kcal/h 용량의 농업용 온풍 난방기를 열효율이 80%이상의 제품을 개발하기 위하여 위한 이용실태 조사, 기초연구 및 응용연구를 수행하고 시작기 단위 부품을 설계 및 제작 연구 수행함

2) 당해연도 개발내용 및 범위

a. 열교환 장치 기본 설계인자 도출
- 연소화장치의 기본 공정분석
- 주요공정 관련 인자 분석
- 고효율 열교환 장치의 설계인자 도출
- 열교환장치의 설계방향 정립

b. 버너 및 열교환 시스템 설계 제작 및 경유와 비교 분석
- 조사항목 : 폐식용유, 경유의 비중, 동점도, 발열량
- 시험장치 : 점도계, 온도조절장치, 발열량계
- 온도 : -20, -10, -5, 0, 10, 20, 30, 40℃
- 연료 가온 및 공급 장치
- 점화 및 연소장치
- 연소로 및 열교환 장치
- 공연비 최적 조절장치

c. 연소특성 및 구명시험
- 용량 : 14만kcal/h, 버너 : 건타입(경유용)
- 노즐 : 3, 2gal/h
- 가스분석 : 멀티가스분석기(CO_2, O_2, CO, HC, H_2 등)
- 조사항목 : 화염특성(지름, 길이, 색깔), 연소특성(온풍 및 배기가스온도, 연소효율 등)

d. 폐식용유 온풍 난방기 개발에 따른 유류용 난방비와 경제성 비교 분석
- 개발비와 운영비 등 비용 분석

- 개발후 타연료용 난방기와의 경제성 비교 분석
- 실용화 및 산업화 가능성 진단
- 국내 폐식용유 발생량 및 이용실태조사

e. 폐식용유 온풍난방기의 연소성능 개선
- 성능시험장치 구성
- 최적 연소조건 구명 : 공기량, 연료주입량, 연소속도 제어
- 연소성능분석 : CO_2, O_2, CO, HC, H_2 등의 분석인자

f. 개발된 제품의 실용화, 산업화 검토

나. 2차년도 연구개발 내용 및 범위

1) 당해연도 개발목표

단위부품의 설계 및 제작을 통해 폐식용유를 연료로 이용할 수 있는 Prototype(원형) 폐식용유 온풍난방기 개발 연구 수행하고 폐식용유용 온풍 난방기를 개발함에 따른 경제성 및 성능분석, 내구성 등 실증 연구 수행하여 시제품 제작

2) 당해연도 개발내용 및 범위

a. 폐식용유 특성에 따른 전처리 공정 정립
- 전처리공정 비용
- 소요 열량
- 열원 활용방안

b. Prototype 폐식용유 시험용 온풍난방기 제작
- 설계 및 제작

  용량 : 4만kcal/h

· 연료 가온 및 공급장치
· 점화 및 연소장치
· 연소로 및 열교환장치
- 예비성능시험 : 공기구멍 개도별 온풍열량 분석

c. 시작품 보완 제작
- 시작품 운전 및 문제점 파악
- 고효율 운전을 위한 최적조건 및 적정운전조건 정립

d. 폐식용유 온풍 난방기 개발
- 설계 및 제작
- 용량 : 14만kcal/h
- 연료 가온 및 공급장치, 점화 및 연소장치
- 연소로 및 열교환 장치

e. 성능시험

- 운전 결과를 통한 공기구멍 개도별 온풍열량 분석
- 운전결과를 통한 배기온도, 온풍출구온도, 풍량, 온풍열량 및 효율분석

f. 폐식용유 온풍 난방기의 경제성 분석

- 개발비 비용 분석과 타 연료용 난방기와의 경제성 비교 분석
- 폐식용유 수집방안 도출
- 실용화 및 산업화 가능성 진단

g. 시장 조사 및 사업화 분석

- 내구성 및 신뢰도
- 폐식용유 이용 사업화 실현가능성 평가
- 농업시설용 난방을 위한 활용방안 정립

h. 폐식용유 온풍난방기 내구성시험

- 조사내용 : 연속운전에 따른 구조변형 및 안정성 검토
- 현장 적응 시험 및 상품화 개발
- 실용화 개발제품의 원예시설에서의 현장 적응 시험
- 시험 결과에 의한 상품화 개발
- 시장 조사 및 사업화 분석

· 사용자 요구도 분석을 위한 시장조사

· 제품 의장 설계 및 영업 전략 등 사업화 분석

i. 사업화 및 시장개척을 위한 자금조달방안, 판로확보 방안 검토

- 사업화

· 상품화 개발 및 시장조사를 반영하여 즉시 홍보 및 영업 개시

- 자금조달

· 개발 성공시 1회차 공급물량에 대한 개인 투자자 확보

- 판로확보

· 기존의 전국적인 영업망과 A/S망 이용하면 충분

j. 폐식용유 온풍 난방기 개발시점 경제성 분석 및 실용화 방안 분석

- 폐식용유 온풍 난방기 경제성 분석
- 폐식용유 온풍 난방기의 실용화방안 분석
- 현지 실증시험에 대한 실용성 및 보완사항 분석

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

국내에서 식물유를 이용한 바이오디젤유에 관한 연구가 약간은 이루어진 상태로 1996년 폐식용유를 이용한 디젤기관 자동차에 대한 연구를 통하여 폐식용유를 에스테르화함으로써 상용 디젤기관에 적용할 수 있는 가능성을 제시하였다(오영택,전북대,1996). 디젤기관의 대체연료로서의 식물유연구로서 식물유를 사용할 경우 성능, 배기가스 배출 특성, 문제점 도출.(한국자동차공학회 논문집 제18권 2호 ,1996), 디젤기관의 대체연료로서 폐식용유의 유용성에 관한 연구, 디젤기관의 대체연료로서 폐식용유의 유용성을 기관성능 및 배기가스 측면에서 고찰(대한기계학회 논문집 제22권 4호 ,1998), 디젤기관의 대체연료로서 폐식용유의 이용디젤기관의 대체연료로 폐식용유의 이용에 관한 기관성능 및 배기가스 성능에 관한 연구제 11회 에너지기술 워크샵 (1996)디젤기관 자동차의 대체연료로서 폐식용유의 실용화에 관한 연구(전북대학교부설자동차신기술연구소 산학협력 연구결과논문집,2000), 폐식용유 등을 비롯한 식물유를 디젤기관에 이용할 경우 기관의 연소특성 및 배기가스 배출 특성에 관한 논문을 통해 식물유가 디젤기관의 연료로 쉽고 간편하게 전환될 수 있는 방법을 제시하였으며, 디젤기관에 이용할 경우 현재 사용되고 있는 기관을 변경시키지 않고도 쉽게 적용할 수 있다고 보고하였음 그리고, 식물유의 에스테르 연료를 통해 디젤기관에서 가장 문제시되는 매연을 매우 효과적으로 저감시킬 수 있음을 보였으나, 식물유를 디젤기관의 연료로 적용하기 위한 대량 생산 과정에 이르는 실용화 기반이 부족한 실정이다.

디젤기관의 대체연료로서의 식물유연구로서 식물유를 사용할 경우 성능, 배기가스 배출 특성, 문제점 도출.(한국자동차공학회 논문집 제18권 2호 ,1996), 디젤기관의 대체연료로서 폐식용유의 유용성에 관한 연구 디젤기관의 대체연료로서 폐식용유의 유용성을 기관성능 및 배기가스 측면에서 고찰함(대한기계학회 논문집 제22권 4호 ,1998), 디젤기관의 대체연료로서 폐식용유의 이용디젤기관의 대체연료로 폐식용유의 이용에 관한 기관성능 및 배기가스 성능에 관한 연구제 11회 에너지기술 워크샵 (1996)디젤기관 자동차의 대체연료로서 폐식용유의 실용화에 관한 연구(전북대학교부설자동차신기술연구소 산학협력 연구결과논문집,2000)등이 보고하였다.

제 2 절 국외 기술개발 현황

미국과 일본의 경우 내연기관용으로 바이오디젤 연료로 시내버스, 쓰레기수집차량 등에 사용하고 있으나 농업용 난방기용으로는 사용되지 않고 있으며 미국은 식물유를 바이오디젤용으로 사용하기 위한 법적근거 마련, 세금면제 혜택을 실행하고 있다고 보고하였다. 국외 제품생산 및 시장 현황은 일본 등에서 사용하고 있는 온풍 난방기도 국내와 마찬가지로 유류용 온풍 난방기를 생산 공급하고 있고 가온시설은 점차적으로 주는 추세이고 태양열, 지중가온, 유리온실 등으로 변경하는 추세이다. 시장 현황은 시설 재배면적은 일본이 가장 크고, 세계적인 화훼생산 국가인 네덜란드, 오세아니아주의 뉴질랜드 등을 감안하여 5조원

의 시장으로 판단된다. 일본 미국 등은 대기압, 65℃이하에서 지방산을 알코올과 반응시켜 에스테르화를 고효율로 제조하고 디젤기관의 연료로 적용하고 있는 단계이다. 특히 일본은 폐식용유를 바이오디젤유 연료화하여 년간 600,000ℓ리터 폐식용유를 바이오디젤유 생산 및 공급하고 있으며 미국은 식물유와 폐지유를 이용하여 바이오디젤유 연료화를 통한 년간 200,000gallons 폐식용유를 바이오디젤유 생산 공급하며 하와이 디젤자동차 소유자에 gallon당 1.9달러에 판매하고 있는 것으로 조사되었다.

일본의 Murayama 등이 불법 쓰레기 투기를 방지하기 위한 목적으로 폐식용유를 디젤기관의 연료로 이용하기 위해 직접 분사식과 간접 분사식 디젤기관에 폐식용유의 에스테르 연료를 사용한 경우 겨울철에 연료가 응결(solidification)되거나 음식 냄새 등을 유발하는 문제점에 대한 대책을 고려해야할 것으로 판단된다는 연구결과를 보고하였다. 이와 같이 국내외적으로 폐식용유를 이용한 온풍난방기에 관한 기술 및 연구는 매우 미진한 상태이다.

<국내외 연구 개발 내용 및 활용현황>

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
고무학회(한국)	폐식용유와 DOP(diocty1 phthalate)를 혼합하여 침입도, 연화점, 신도 및 접착 신율을 측정	아스팔계 봉함재를 제조
한국식품과학회(한국)	초임계 CO_2 추출법을 이용 폐식용유 재활용 기초 실험	환경오염 방지를 위한 비누 제조
전북대학교(한국)	폐식용유를 에스테르화하여 디젤기관에 적용여부 실험	디젤기관 대체연료 가능성
한국자동차공학회(한국) 미국자동차공학회(미국) 일본자동차공학회(일본)	대기압, 65℃이하에서 지방산을 알코올과 반응시켜 에스테르화를 고효율로 제조 실험	디젤기관의 연료로 적용
YOSHIDA&Co.(일본)	폐식용유를 바이오디젤유 연료화	년간 600,000ℓ리터 폐식용유를 바이오디젤유 생산 공급
Pacific Biodiesel (PacBio) Co.(미국)	폐식용유를 바이오디젤유 연료화	하와이 디젤자동차 소유자에 gallon당 1.9달러에 판매
Columbus Foods Co.(미국)	식물유와 폐지유를 이용하여 바이오디젤유 연료화	년간 200,000gallons 폐식용유를 바이오디젤유 생산 공급

제 3 절 앞으로의 전망

고유가에 대한 식물성 대체에너지인 폐식용유를 활용하므로 온난화를 방지하고 시설원에농가의 난방비 절감을 위한 노력이 필수적이다. 특히 석유수입 의존도가 대다수인 우리나라에서는 난방에 소요되는 비용이 약 40%로서 본 연구를 통하여 폐식용유 온풍난방기 개발에 대한 기초기술을 축적하여 난방기 개발이 성공적으로 이루어지는 경우 난방비를 대폭 줄일 수 있으며 농가의 소득향상에 크게 기여할 것이다. 또한 겨울철 안정적인 작물 생산으로 국제경쟁력 제고와 농민 소득향상에도 도움이 될 것이다. 이 외 경유나 중유를 사용하는 농가에서도 폐식용유를 활용하므로 파급효과가 클 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 이러한 현실을 감안하여 폐식용유의 수집 및 정제를 통하여 원활하게 공급할 수 있는 제도적 뒷받침을 통하여

주요부를 분석 설계하고 성능시험을 수행함으로서 효율적인 폐식용유 온풍난방기 개발의 기초를 마련하고 식물성 대체에너지를 이용하므로서 난방비 절감이 바람직할 것으로 판단된다.

제 4 절 기술도입의 타당성

기존에 시설 농가에 많이 보급되어 있는 경유용 온풍 난방기는 최근 급증한 유가 가격으로 인해 난방비 부담이 너무 많은 비중을 차지하게 되었고, 연탄이나 석탄을 이용한 난방기는 원가는 저렴하나 원료의 공급 및 불안정한 연소로 문제가 많았다. 이에 자동적으로 공급, 연소, 송풍, 열교환, 배기 등의 과정이 이루어지는 우수한 폐식용유 온풍 난방기를 개발하여 농가는 유류 비용의 분산 및 감소를 통한 경영 안정을 도모할 수 있게 될 것이다. 또한 본 제품이 개발되면 폐식용유용 온풍 난방기가 시설원예의 작물재배에 큰 변화를 가져올 수 있다. 도시인근 주변에 위치한 화훼시설 재배 단지화 가능성 및 경쟁력 있는 고온성 작물재배로의 전환을 모색해 볼 수 있을 것이다. 기존의 온풍난방기는 구성상 그대로 사용하기에는 연료의 특성상 많은 문제점이 있는 것으로 판단되며 국내 기술진에 의해 국내의 실정에 적합한 폐식용유 온풍난방기를 개발하여야 한다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 폐식용유의 기초현황 및 물성조사

1.1 기초 현황조사

우리나라 시설원예 면적은 표 1에서 보는 바와 같이 2005년말 현재 100,915ha로 일본에 이어 세계에서 두번째로 시설원예 면적이 큰 나라이며, 전국에 약 18만대의 온풍기가 보급되어 있다.

Table 1. Trend of greenhouse and heating area

구 분	1995년	2000년	2005년	비고
시설면적(ha)	44,187	105,758	100,915	
난방면적(ha)	28,259	31,541	30,114	
난방면적비율(%)	64	29.8	29.8	
농용난방기 보급대수(대)	42,153	127,557	186,246	

※ 자료출처 : 농림통계연보(2006 농림부), 농업기계연감(2007 한국농기계공업협동조합)

시설하우스의 가온면적은 30,114ha로 전체 시설재배 면적의 약30% 수준이며, 우리나라 년간 온풍난방기 시장 규모는 20,000대 × 6,000,000원으로 약 1,200억원 규모이며, 대체로 관리 및 사용에 따라 5~8년 정도 내구성을 갖고 있다.

국내 제품생산현황을 보면 유류용 온풍 난방기와 고체연료용 온풍 난방기는 연간 20,000대를 공급하고 있고 생산업체수는 54개사(2007.12.31현재)가 등록되어 있으나 이중 실제 공급하는 회사는 30개사 정도이다. 시장 현황을 보면 시설 재배면적이 2005년 기준 100,915ha이며 이 중 난방면적은 30,114ha로 이중 유류를 이용하는 난방면적은 22,280ha로 전체 난방의 70%이상을 차지하고 있고, 시장규모는 약 1,200억원으로 난방기의 교체등 잠재적인 시장구조를 감안할 경우 약1조원 대에 이를 것으로 판단된다. 그림 1과 같이 국제 유가의 변동을 살펴보면 꾸준한 증가 추세에 있으며, 특히 최근에는 사상 최고의 유가동향을 볼 수 있다. 국제유가가 배럴당 10달러 상승한다고 가정하면 면세경유의 가격은 리터당 111.2원이 상승하여 농업경영비가 약 2.7% 증가한다.

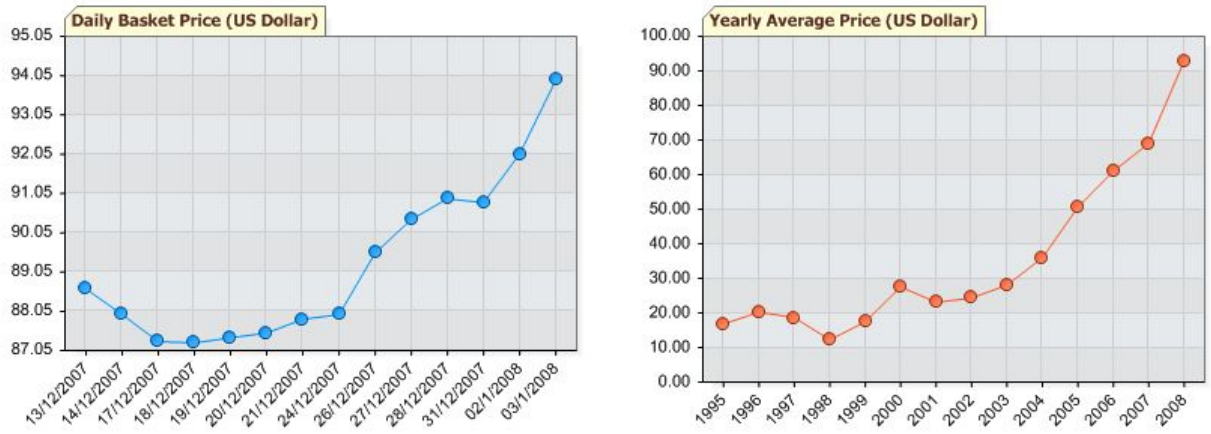


Fig. 1. Trend curve of oil price (단위 : $/bbl, 자료 : http://www.opec.org)

이는 시설감귤의 경우 51%, 시설장미 13%, 시설오이는 6% 정도의 소득이 감소하게 되는 것이므로 농가 경영에 큰 악영향을 미치게 된다. 시설재배의 가장 큰 생산비 상승 소득을 증대시키고, 경영비 감소에 의한 수출농산물의 경쟁력 강화 등 많은 장점을 부각시킬 수 있을 것이다. 표 2를 살펴보면 주로 이용하고 있는 난방방식에 따른 난방연료가 대부분 경유 및 중유의 유류를 사용하고 있어 최근 유가상승으로 인하여 생산비 상승은 물론 가온을 포기하는 농가도 점차 늘어나고 있는 실정이다.

Table 2. Greenhouse area by fuel

고체연료(ha)						유류 (ha)	가스 (ha)	계
연탄	코크스	왕겨	톱밥	기타	소계			
266	2	3	8	280	559	**9,651**	32	10,242

※ 자료출처 : (2005 농촌진흥청 원예연구소)

지금까지 20여년간 온풍난방기 전문 제조 경력을 갖고 1개의 특허권(제10-0571597호, 2006)과 4개 실용신안등록(제0254345~7호 2001, 제20-0410264호, 2006)과 다수의 의장등록을 보유하고 있는 등 꾸준히 대체연료용 온풍난방기 개발에 투자를 많이 하였으나 석유에너지 만큼 열효율이 나타나지 않아 많은 고심을 하던 중 선진국에서 바이오디젤유용 디젤엔진을 개발에 의욕을 갖고 동 연료를 온풍 난방기에 접목하여 개발할 수 있는 자부심을 가지고 본 과제를 신청하게 되었고 연소 속도의 조절이나 연료의 정제기술 처리 등 자동화에 기술 노하우를 갖고 있어 본 제품을 개발 완성하고 당사에서 상품화 하고자 하였다.

국내 폐식용유 발생되는 양은 년간 100만톤으로 추정하고. 폐식용유 수거현황은 20만톤으로 추정되고 있으며, 폐식용유 연료로 하여 대체할 경우 표 3에 보는 바와 같이 온풍 난방기를 전체 개발품 사용시 수익이 약 1,500억원 정도로 추정되고 있다.

폐식용유를 사용하는 새로운 구조의 폐식용유 온풍 난방기를 설계 제작하고 연소실내의 최적화 조건을 구명하고 연료공급 가온장치 개발, 자동화하는 시스템을 구성하고 연소실에 공급되는 공기구멍의 개도를 조절하는 장치를 온도제어 시스템에 도입하여 온도제어 및 연료 공급 자동화가 된 폐식용유 연료 온풍기를 개발이 필요한 실정이다.

Table 3. Heating cost of hot air heater by fuel

구분		생산가 (원/ L)	유통가(A) (원/ L)	공급대수 (B)	연료비(원) (C=A×B)	년간금액 (백만원)	비고
폐식용유용		300	400	20,000	8,000,000	4.32	
바이오디젤		1,000	1,300	20,000	26,000,000	14.04	
면세유	경유	730	810	20,000	16,200,000	8.75	
	등유(벙커유)	671	738	20,000	14,700,000	7.97	

※ 1. 연료기준일 : 2008. 1. 10
2. 난방비 평균 연비 6ℓ/hr, 난방기 일일 평균사용시간 10h기준시 한달시용량 1,800ℓ
3. 연간예상 사용량 : 10,800ℓ(1,800ℓ×년간 난방기 가동평균 월 6개월)

1.2 폐식용유의 물성조사

실험연료의 물성분석은 실험실에서 점도 및 증류실험 등을 구분 실시하고, 한국 석유품질검사소에 의뢰하여 실시한 시료 분석의 결과를 종합하였는데 다음은 연료의 물성을 정리한 것이다.

Table 4. Physical properties of the experimental fuel

Item		Test Method	D (Diesel)	폐식용유(WE) (Waste edible oil)	Limit
Copper corrosion (100/3h)		KS M2018-97 (ASTM D130)	1	1	1<
Composition (%)	C	ASTM D5291	86.21	76.87	-
	H	ASTM D5291	13.21	12.0	-
	N	ASTM D5291	0.13	0.15	-
Higher Calorific Value (cal/g)		KS M2057-97 (ASTM D240)	10,890	9,370	-
Viscosity (40℃,cSt)		KS M2014-95 (ASTM D445)	3.628	39.19	2.0~5.8
Pour Point (℃)		KS M2016-95 (ASTM D97)	-15.0	5.0	-5<
Flash Point (PM,℃)		KS M2010-94 (ASTM D93)	74	244	45℃>
Specific Gravity (15/4℃)		KS M2002-96 (ASTM D1298)	0.8515	0.9203	-
Carbon residue (10%)		KS M2017-96 (ASTM D524)	0.001	0.56	0.2%<
Ash (%)		KS M2004-95 (ASTM D482)	0.001	0.03	0.01%<
Distillation (90%,℃)		KS M2031-95 (ASTM D86)	346.7	293	360℃<
Acid Number, To -tal (mg KOH/g)		KS M2004-95 (ASTM D664)	0.01	0.72	0.40<

한국 석유품질검사소에서는 국내에서 시판되고 있는 경유에 대한의 세탄가와 세탄지수의 관계를 분석한 결과 ASTM D4737의 적용성이 가장 높은 것으로 보고한 바 있고 ASTM D4737에 의한 실험용 연료의 세탄지수는 디젤유의 경우 47.4로 기준치 45보다 높았으며, 폐식용유 36.3로 기준치에 다소 미달하는 것으로 나타났다. 문헌분석 결과 디젤유의 세탄가는 40~59.0, 콩기름 혼합유의 세탄가는 25.1~45.8로 그 사용범위가 매우 넓었다.

가. 동판부식도(Copper corrosion)

부식의 원인이 되는 유황분, 산소물질 등을 간접적으로 측정하는 방법으로, 잘 닦여진 동판을 시료에 3시간 동안 담가둔 후 동판의 부식 정도를 평가하여 1~4등급으로 표시되고, 숫자가 낮을수록 양질의 연료로 판단한다. 실험 연료의 동판부식도는 모두 등급 1로 양호하였다.

나. 조성(Composition)과 발열량(calorific value)

연료의 성분 원소 가운데 탄소와 수소의 함량은 연료의 발열량을 좌우하는 것으로, 폐식용유의 C : H :

N의 비율은 77 : 12 : 0.15이었으며, 폐식용유의 함량이 감소할수록 C : H : N의 비율은 경유의 조성과 근접하였다. 연료의 조성상 경유의 발열량이 가장 많고, 폐식용유의 함량이 증가할수록 발열량은 감소할 것으로 추산되었던 바, 발열량의 실측 결과, 경유 10,890 ㎉/㎏, 폐식용유 9,370 ㎉/㎏로 나타났다.

폐식용유의 탄소의 양은 경유에 비하여 적으나, 폐식용유는 含酸素物이므로 일산화탄소의 배출량은 경유에 비하여 다소 높을 것이며, 배기가스의 탄화수소의 양은 감소할 것으로 판단되었다. 또 폐식용유는 경유에 비해 질소가 많고 산소를 함유하고 있으므로 NOx의 다량발생을 예측할 수 있으며, 상대적으로 폐식용유에서의 산소 때문에 기관의 고속회전시 매연의 배출이 경유에 비하여 적을 것으로 예상되었다. 문헌분석 결과 디젤유의 C : H의 비율은 86.0~86.7 : 13.0~13.5, 콩기름의 C : H의 비율은 76.5~77.6 : 11.7~13.3으로 나타났다. 또 디젤유의 발열량은 10,180~10,964 ㎉/㎏, 콩기름은 8,917~9,738 ㎉/㎏로 사용연료 사이에 다소간의 차이가 있었다.

다. 점도(Viscosity)

연료는 분사에 의하여 미세한 噴霧狀態로 공급되므로 연료의 점도는 중요한 요소이다. 연료의 비등점이 낮아지면 점도도 낮아지며, 점도가 낮을수록 분산성이 좋고, 가열과 증발이 빨라져 착화지연은 단축되고 연소성도 개선된다. 그러나 점도가 지나치게 낮으면 관통력이 약해져 실린더 내에서의 분포성이 감소하고 공기와의 접촉이 불량해지므로 연소상태가 균일하지 않으며 윤활불량을 유발시키고 누설 가능성이 증대되므로 펌프 표출량 부족으로 인한 출력저하를 일으키기도 한다. 또 점도가 너무 높으면 기관에 잔류분을 퇴적시키고, 연기와 악취를 발생시키게 되므로, 연료에서의 점도는 보통 2.0~5.8 cSt로 한정하지만, 일반적으로는 25 cSt 이하의 점도를 가진 연료를 추천하고 있다.

대부분 식물유의 점도는 경유의 점도보다 매우 높으므로 여러 가지 방법으로 점도의 강하 방안이 연구되고 있으며[6, 徐 등[8]은 대두유와 디젤유의 온도의 변화에 따른 점도의 변화에 대해 분석한 바 있다. 점도 분석결과 디젤유의 점도는 3.6 cSt로 범위 안에 있었으나 폐식용유의 경우에는 약 39 cSt로, 폐식용유의 점도가 경유의 점도에 비하여 매우 높았으므로 연소의 저하가 예상되고, 잔류분의 퇴적이 예측된다. 혼합유의 점도는 7.0~17.6 cSt으로, 폐식용유의 함량이 증가할수록 점도도 증가하였다. 문헌분석 결과 디젤유의 점도는 1.9~10 cSt, 콩기름의 점도는 18.7~60 cSt로, 광범위한 점도의 연료가 사용된 것으로 나타났다.

라. 유동점(Pour point)

유동점은 연료유가 유동할 수 있는 최저 온도로서 지역과 계절에 따라 다르게 규제되는데, 석유사업법 시행령에서는 여름용은 0℃ 이하, 겨울용은 -25℃ 이하로 규정하고 있다. 실험연료 중 디젤유의 유동점은 -15℃, 혼합유 B-1는 -10℃, B-2는 -6.5℃, 또 B-3는 -2.5℃로 나타났으며, 폐식용유의 유동점은 +5℃로 높게 나타나, 겨울용으로는 적합하지 않았고,폐식용유 는 여름용으로도 적합하지 않았다.

마. 인화점(Flash point)

연소가 가능하도록 기화될 때까지 가열된 상태의 최저온도로써, 연료의 저장과 수송상의 안전문제 때문에 디젤 1호와 2호의 인화점은 각각 40℃와 50℃ 이상으로 규정하고 있다. 실험연료의 인화점은 경유 7

4℃, 폐식용유의 인화점은 244℃로 높게 나타났다. 또 문헌분석 결과 디젤유 51.7~80℃, 콩기름의 인화점은 179~325℃로 그 범위가 넓었다.

바. 비중(Specific gravity)

연료에 高沸騰點 물질이 많이 포함될수록 비중이 증가하며, 비중의 변화는 발열량, 완전연소에 필요한 공기량, 연료의 분사율 등에 영향을 준다. 폐식용유는 비중이 0.92로 높았으므로 용적당 발열량의 상승으로 출력의 상승요소로도 예상되지만, 연소에 필요한 공기량은 경유에 비하여 낮고 매연 배출은 감소할 것으로 예측되었다. 혼합유의 비중은 0.87~0.89로, 폐식용유의 함량이 감소할수록 디젤유의 비중 0.85에 접근하였다. 문헌분석 결과 실험에 사용된 디젤유의 비중은 0.83~0.85, 콩기름의 비중은 0.90~0.93이었다.

사. 10% 잔류탄소(10% Carbon residue)와 회분(Ash)

일정량의 시료를 공기중에서 가열 연소시켰을 때, 시료 중 90%를 유출시킨 잔류에 대하여 시험하는 것으로, 10%잔류의 탄소량을 시료에 대한 무게비 0.2% 이하로 제한하는데 이는 잔류탄소가 많으면 연소실에 카본이 퇴적되는 원인이 될 수 있기 때문이다. 폐식용유와 혼합유의 류탄 0.18~0.56%로 디젤유의 0.001%에 비하여 10% 잔류탄소의 양이 . 폐식게 나타나, 이들의 연소시 연소실내의 탄소 침전물 발생이 예상되며, 장기간 사용시 분사노즐 막힘현상의 발생이 예측되었다.

회분은 연료 중에 포함된 不燃性 무기물질로서, 연료중의 회분 형성물질은 점착성고형물, 용해성 금속지방산으로 존재할 수 있다. 점착성 고형물질은 퇴적물에 영향을 미치며, 용해성 금속지방산은 연료계통에 미치는 영향은 적으나, 퇴적물에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 디젤유와 혼합유의 회분함량은 0.01%로 양호하였으나 폐식용유의 경우에는 0.03%로 높게 나타났다. 문헌분석 결과 디젤유의 10% 잔류탄소는 0.002~0.35%, 회분함량은 0.01%, 콩기름의 10% 잔류탄소는 0.23~0.71%로 나타났으며 콩기름의 회분함량을 측정한 예를 찾아보기는 어려웠다.

아. 전산가(Total acid number)

기관에 해로운 고무狀 물질을 형성하기 쉬운 산성 물질의 양을 측정하는 것으로 시료 1g중에 포함된 산성물질을 모두 중화시키는데 소요되는 표준 알카리성 물질인 수산화칼륨(KOH)의 ㎎수로 나타내며, 0.40 ㎎/g 이하로 규정하고 있다. 실험에 사용된 디젤유의 전산가는 각각 0.01 ㎎/g이었으나, 폐식용유의 전산가는 0.72 ㎎/g로 기준치보다 높게 나타나 장기 사용시 고무상 물질을 형성이나 불완전연소 등이 예상된다.

자. 증류곡선(Distillation curve)

연료의 初溜點(initial point, IP)과 10% 증류점은 휘발성과 기화성을 좌우하는 성질이며, 50% 점은 기관의 가속성과 自發火性에 영향을 준다. 또 90% 점과 같은 완전기화온도가 높으면 연료의 불완전연소, 슬러지의 발생, 이상연소의 유발 및 윤활유 稀釋 등에 직관되는 것으로 알려져 있다. 따라서 연료의 증류곡선의 작성은 매우 중요하지만 많은 연구 가운데 연료의 증류곡선을 나타낸 예는 드물다. 그림 2는 본 연구에 사용된 연료의 증류곡선이며, 그림 3은 Scholl 등[112]의 연구에서의 콩기름(SB)과 디젤유(D-1)의 증류특성을

본 연구에서 사용된 폐식용유(WE)와 디젤유(D)의 증류특성과 비교한 것이다. 그림 3에서 디젤유(D)의 초류점은 189.3℃, 10% 점 215.2℃, 50% 점 272.3℃ 또 90% 점은 346.1℃로 漸增하여 終點(end oint, EP) 364℃에서 증류가 마감되었다. 그러나 그림 3의 디젤유 D-1의 증류곡선은 20% 점에서 90% 점까지 D보다 10-20℃ 낮게 나타났다. Schumacher의 연구에서는 디젤유의 초류점 190.0℃, 10% 점 212.4℃, 50% 점 258.9℃, 90% 점은 313.9℃, 또 종점은 342.8℃로 나타나, 시험연료 D와의 증류온도 차이는 10~33℃로 나타났는데, 이 차이는 연료의 품질의 차이에서 기인한 것으로 사료된다. 폐식용유의 초류점은 196.5℃, 10% 점 308.4℃, 50% 점 310.2℃, 또 90% 점은293.1℃였으며, 폐식용유는 각개의 증류점은 상승하였다. 폐식용유의 경우, 20% 점 318.6℃과 80% 점 350.2℃을 정점으로 40% 증류점 305.3℃, 90% 증류점 293.1℃까지 내려가는 경향을 보였다.

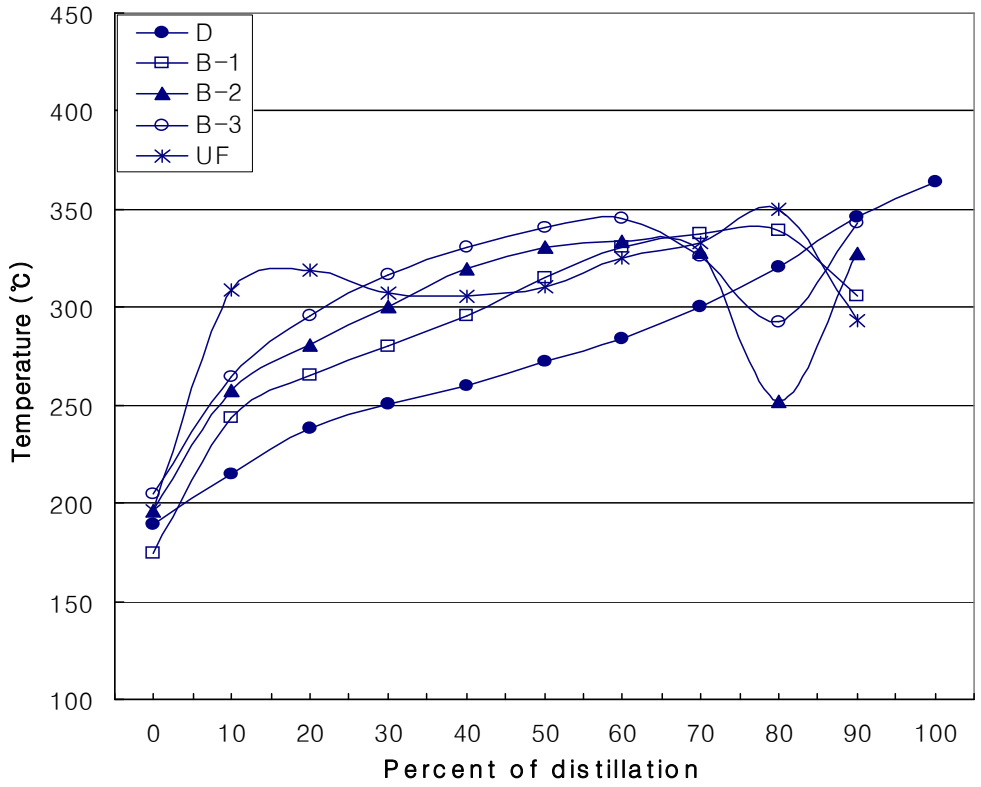


Fig. 2. Distillation curves of the experimental fuels

이는 폐식용유에는 상당량의 유기물이 용해되어 있어 이들이 가열되면서 분해 등 흡열작용을 일으키므로 일시적, 부분적인 온도강하의 현상으로 나타나는 것으로 판단된다. 이와같은 부분적 증류온도 강하현상은 폐식용유를 함유한 모든 연료에서도 나타났으며, 그림 3의 Scholl 등의 연구 중 콩기름의 경우에서도 10% 점에서의 부분적인 온도강하 현상이 나타났다. 폐식용유와 이를 함유한 시험연료의 종점의 측정은 불가능하였다. 이는 고비등점 물질이 함유된 식물유의 경우 잔류분에 대한 증류 가열량이 과다해지기 때문으로 믿어지는데, 이와 같은 현상은 다른 연구에서도 찾아 볼 수 있다.

그림 3에서 Scholl 등[112]의 콩기름의 증류곡선에서도 80% 이상의 부분에 관해서는 증류점을 측정하지 못했고 또 식물유에 대한 증류특성 분석을 수행한 대부분의 연구에서도 80-90% 증류점 이하의 측정치만 나

타낸 것도 같은 이유이었다. 90%점이나 종점이 높으면 고비등점 유분이 많음을 의미한다. 그런데 무거운 탄화수소의 성분이 많을수록 단위체적당 열에너지가 크기 때문에 출력면에서는 유리하나, 연소속도가 늦어 탄소분이 부착되고 미연소 탄소나 매연의 발생이 증가 되는 것으로 알려져 있다. 따라서 최적 증류성상을 유지하기 위해 90% 증류점을 규정하여 디젤유의 휘발성을 규제하는 바, 일반적으로 330~360℃ 이하로 제한하고 있다[5].

실험연료의 증류곡선에서, 경유에 비하여 폐식용유의 초류점은 ±15℃로 큰 차이가 없었으나 폐식용유의 첨가 비율이 높을수록 10% 점의 차이는 28℃에서 93℃로 커져 이를 사용한 난방기 에서는 기동 운전 시간이 길어지고 시동성의 떨어질 것으로 예상된다.

또 혼합유의 경우 50% 유출온도는 폐식용유의 혼합율이 많아질수록 디젤유의 50% 점보다 42℃에서 68℃ 만큼 높았고 폐식용유의 경우 차이는 38℃로 디젤유보다 높았으므로 가속성능이 떨어질 것으로 예상할 수 있었다. 또 폐식용유의 90% 점은 디젤유의 유출온도보다 53℃ 낮게 나타났으며 폐식용유의 혼합 비율이 높은 B-2와 B-3의 90%까지도 디젤유의 90% 점과 유사하거나 오히려 낮게 나타났으나, 이들의 변화 추세로 보아 폐식용유나 그 혼합유의 종점은 매우 높아 일반적인 제한 범위를 초과할 것으로 추정된다.

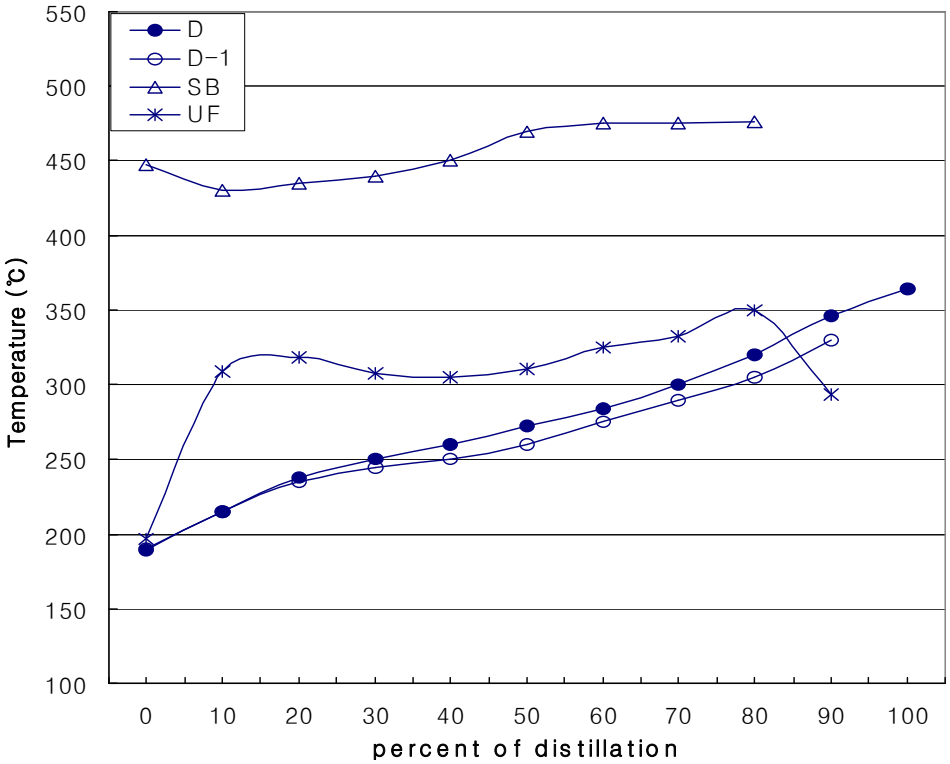


Fig. 3. Comparison of the experimental fuels with reference fuels.

따라서 폐식용유나 그 혼합유를 연료로 사용했을 때 미연소물질의 발생이나 슬러지 누적 등, 문제발생이 예상되며 따라서 난방기의 장시간 운전은 어려울 것으로 판단된다. 그림 3에서 폐식용유의 증류점이 콩기름의 증류점보다 훨씬 낮았던 것은 폐식용유의 경우 수차례 가열로 인한 조성의 변화를 예상할 수 있으나 여기에 대해서는 보다 심층적인 연구를 필요로 한다.

1.3 결과 및 고찰

가. 연료의 물성분석 결과, 폐식용유의 점도(40℃)는 39.2 cSt이St며, 증류분석결원의 점도196.0℃, 0℃, 점도3℃8.4℃, 5℃, 점도30℃.2℃, 9℃, 점도2 5.0℃이었다. 폐식용유의 함량이 증가함에 혼합유의 점도는 7.9 cSt에서 17.6 cSt로 증가하였다.

나. 폐식용유는 비중이 0.92로 높았으므로 용적당 발열량의 상승으로 출력의 상승요소로도 예상되지만, 연소에 필요한 공기량은 경유에 비하여 낮고 매연 배출은 감소할 것으로 예측되었다.

다. 연료의 조성상 경유의 발열량이 10,890 ㎉/㎏,폐식용유 9,370 ㎉/㎏로 각각 나타났다.

제 2 절 폐식용유 온풍난방기 연료공급장치 개발

폐식용유를 연소(Burn)하기 위하여 폐식용유의 성분 중 탄소(C)와 수소(H2)와 산소(O2)가 반응하여 급격한 산화작용이 되며 이에 산소의 양에 따라 화염온도가 차이 나며 액체연료는 기화상태로 되어야 하고 공기와 연료의 표면적이 적고 연료 입자가 최대한 미립화 될 수 있어야 한다. 간접 가열식 열풍기로서 연소용 공기유입 방식에 따른 연소용 건공기량 1kg_f 당 손실되는 열량은 겨울철 기준으로 실내공기 유입시 20kcal, 실외 유입시 14.7kcal로 계산되며, 실외공기 유입방식이 열손실이 36% 적다. 따라서 고유가 시대를 맞이하여 Green fuel 및 중질유, 정제유 등 다양한 연료를 사용하기 위하여 기존에 사용 중인 Gun type 연료압력 분무방식의 단점을 개선하여 열효율의개선, 연비개선, 배기가스분석 등 우수한 연소를 지속시키기 위해서 필요하다.

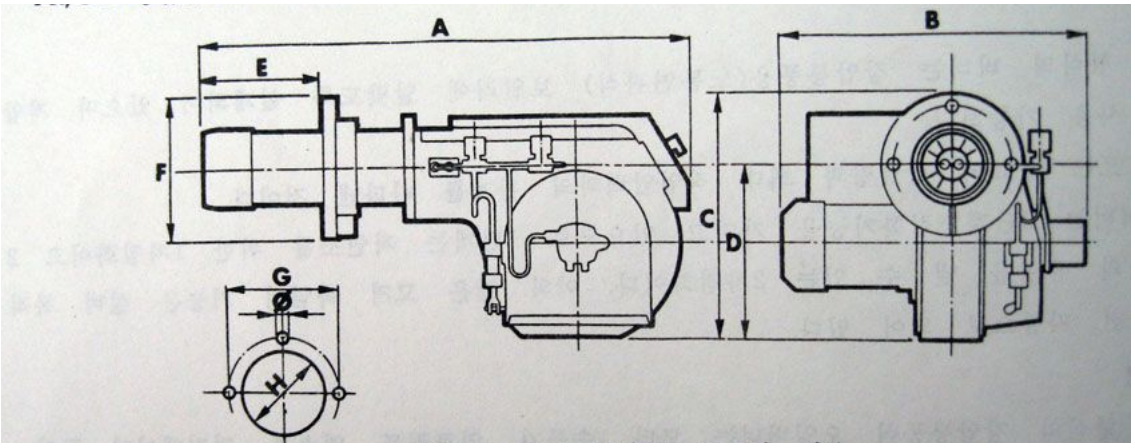


Fig. 4. Burner's summary drawing

2.1 Gun type 연료압력 분무방식 Burner의 단점

건 타입 버너는 송풍장치, 송유장치, 전기장치가 결합된 일체형 권총(Gun)과 같이 생겨서 건타입 이라하며, 연소용 공기를 공급하는 송풍기와 버너노즐을 하나로 무어서 조립한 버너이다. 이미 1차 목적에 사용한 식물성 그린연료 외 정제유 등은 정제과정을 거치더라도 이물질 또는 불순물이 포함되어 있다.

따라서 Gun type 유압분무방식 Burner는 기어펌프에서 높은 압력으로 노즐 전단까지 유압을 전달, 고압에 Oil이 노즐의 작은(좁은) Hole을 통과하는 연료의 고속 운동 에너지로 무화분사 하여 지속적인 연소 반응을 얻을 수 있도록 제작하였다.

그러나 그린연료 또는 정제유는 상기 기술한 이유로 이물질 또는 불순물이 있어 Gun type 유압분무방식 Burner 노즐의 작은(좁은) Hole을 통과할 때 이물질 또는 불순물이 노즐 Hole을 막아 지속적인 연소 반응을 얻을 수 없다. 또한 공기나 증기와 같은 별도 매체가 불필요하여 연소장치가 간단하지만 오일 압력이 낮거나 점도가 높으면 분무효과가 현저히 저하되는 단점이 있다. 따라서 전자밸브, 송풍기, 연소안전제어장치, 광전관/화염감지기, 점화 트랜스, 노즐 및 노즐로드, 전극홀더(전극봉), 배플 플레이트의 연소성능을 개선하고자 하였다.

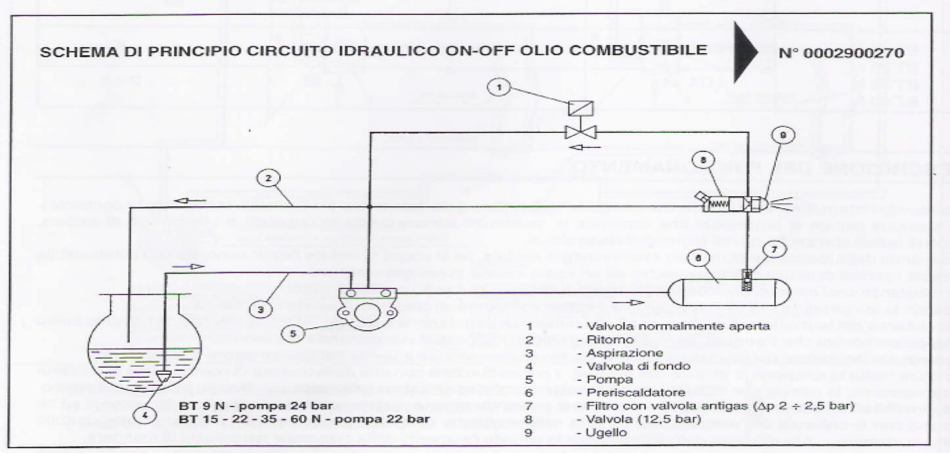


Fig. 5. Fuel supply system

2.2 소형 중, 저압기류 Air-Jet Burner의 개발 필요성

Gun type 유압분무방식 Burner는 중질유 특히 슬러지 등의 고체 입자가 많이 혼합된 중질의 폐유 등을 연료로 해서 이용하는 경우에는 불완전 연소가 발생하기 쉽고, 입자에 의한 노즐 막힘이 발생하기 쉽다는 단점이 있는데 Gun type 유압분무방식 Burner의 단점을 개선하고 상기 기술한 연료를 안정적으로 사용 하고자 하는데 있다. 그래서 최적의 전자밸브, 송풍기, 연소안전제어장치, 광전관/화염감지기, 점화 트랜스, 노즐 및 노즐로드, 전극홀더(전극봉), 배플플레이트, 노즐 스크린 필터를 개발하여 연소성능을 개량 하였다.

2.3 소형 중, 저압기류 Air-Jet Burner의 분사 방식

연료 분사 방식이 유압에 의한 분사가 아니고 Air Compressor에 의한 중·저압 압축공기가 노즐을 통과할 때 연료를 같이 실어 분사하는 방식으로 유체공학의 베르누이의 분무기의 원리로 작동된다.

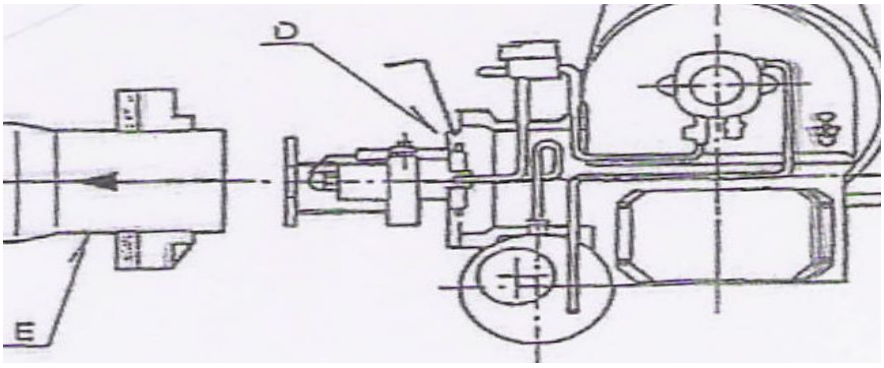


Fig. 6. Air-Jet Burner's injection type

2.4 소형 중, 저압기류 Air-Jet Burner의 주요부품

가. Air Compressor

상기에 요약한 바와 같이 연료를 무화시키기 위한 압축공기 발생기는 Gun Type 유압분무방식 Burner에는 없는 부품으로 현장에 별도의 Air Compressor가 없는 경우를 대비하여 개발하였고 중, 저압기류 Air-Jet Burner 전용으로 Gun Type 유압분무방식 Burner의 기어펌프 위치에 부착. 기어펌프와 같이 Fan Motor축의 회전축에 커플링으로 연결 Motor의 회전력을 이용하여 필요한 압축공기를 발생한다.

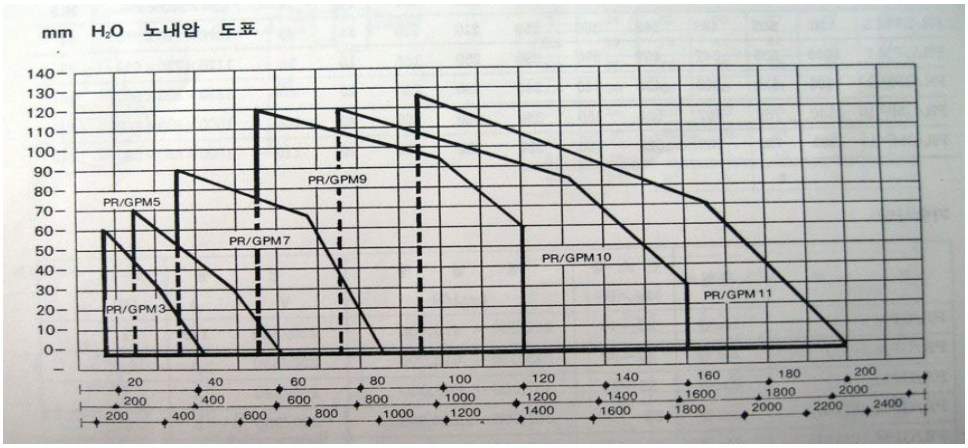


Fig. 7. Furnace's inner pressure graph

나. 분사 노즐

중, 저압기류 Air-Jet Burner의 분사 노즐은 설계 및 개발하기에 따라 "중간 혼합식 버너" "외부 혼합식 버너" "내부 혼합식 버너"로 분류할 수 있다.

각각의 버너는 목적에 따라 용량에 따라 주변 연료공급 시설에 따라 설계하여 이용할 수 있으나 일반적인 특징은 Gun Type 유압분무방식 Burner의 노즐보다 연료를 분사하는 구멍(Hole)이 최소 10배 이상 크다.

그러므로 연료가 Gun Type 유압분무방식 Burner 노즐의 작은(좁은) Hole을 통과할 때 이물질 또는 불순물이 노즐 Hole을 막아 지속적인 연소 반응을 얻을 수 없는 단점을 해결 하여 지속적인 연소 반응을 얻을 수 있다. 분사노즐의 설계는 노즐 내부의 스크린필터 개발 및 반복적인 연소실험을 통하여 목적에 맞게 설계 개발하였다.

다. 노즐 Group

노즐 Group은 분사용 압축공기와 연소용 연료가 각각 분리되어 흐르고 노즐과 체결 될 수 있는 구조로 설계 되어야 한다. 그리고 사용연료의 점도 및 특성에 따라 노즐 그룹에 연료를 2차 가열 할 수 있는 장치를 추가하여 보다 안정된 연소를 유도 할 수 있다. 3종의 노즐을 무화용 연료압력을(10~13atm) 변화, 연료온도변화(10~80℃), 흡입공기량변화(0.5~5.5mbar), 분사 홀 각도(45~80°)변화 등 무화성 분무량, 입자의 균일성, 손실량 등 제 특성을 종합적으로 고려하여 가장 적합한 노즐을 선정하고. 예비실험에서 노즐의 평균입경, 분무유량, 도달거리 등 다양한 노즐의 변경 실험을 통하여 최적의 노즐을 개발하였다.

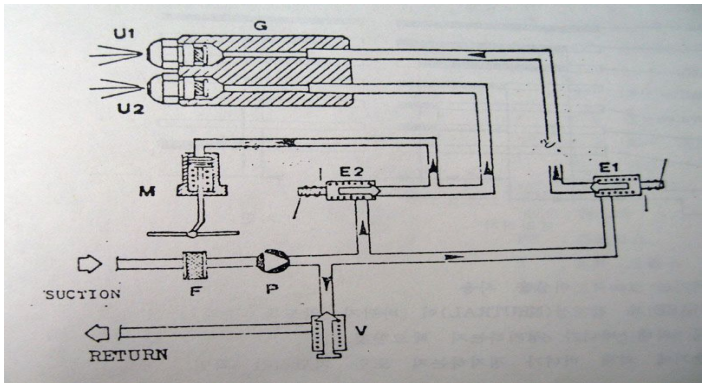


Fig. 8. Fuel supply and nozzle spray process

2.5 연료 제어 장치개발

중, 저압기류 Air-Jet Burner의 노즐 전단의 압력은 Gun Type 유압분무방식 Burner(약 7~25kg/㎠)와 달라 일반적으로 낮은 압력의 공급압력을 필요로 한다.

설계제작 Test과정을 통하여 최적의 압력을 산정 할 수 있으나 일반적으로 1kg/㎠ 이하의 압력을 노즐 전단에 부과 한다. 산술된 압력으로 일정하게 노즐로 연료를 공급하기 위하여

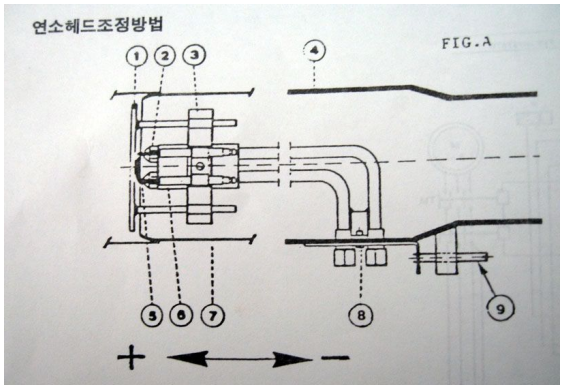


Fig. 9 Nozzle head

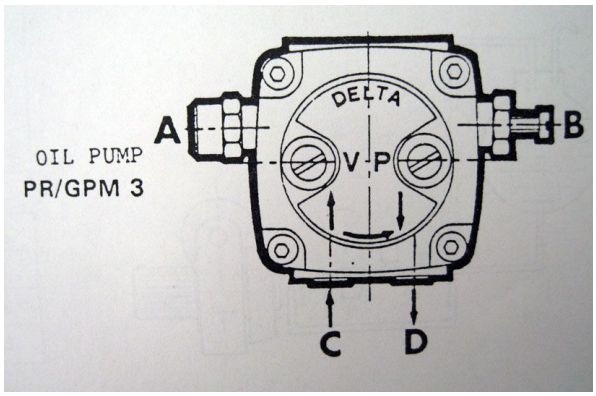


Fig. 10 Fuel pressure pump

연료공급 Line에는 기어펌프와 Regulator를 장착 하는 구조로 설계한다. 이때 가변형 Regulator를 장착하여 노즐을 통과하는 연료의 량을 조정 할 수 있는 구조와 분사용 Air Compressor의 압력을 조정 할 수 있는 구조를 서로 부하에 따라 연동시키고 2차 연소용 Air Damper Motor와 연동시키면 비례제어형 Air-Jet Burner를 설계 할 수 있다. 또한, 비례적분제어 즉 온 . 오프제어 문제점인 제어량의 진폭이 크게되는데 제어공학적 기법을 적용시켜 이의 개선을 꾀한다. 비례제어(P제어)도입시는 온실의 환경과 같은 1차 지연요소 제어계는 정상상태에서 계측치(제어된량)와 설정치간의 오차(offset)가 발생한다. 이때 대부분의 작동기는 ON. OFF출력을 가지므로 일정주기(제어주기, 1-3분)내의 온(on)시간의 비율을 비례적분제어의 연산에 의해 결정한다(PWM방식 PI제어). 여기서는 비례제어형 연료장치를 개발하였다.

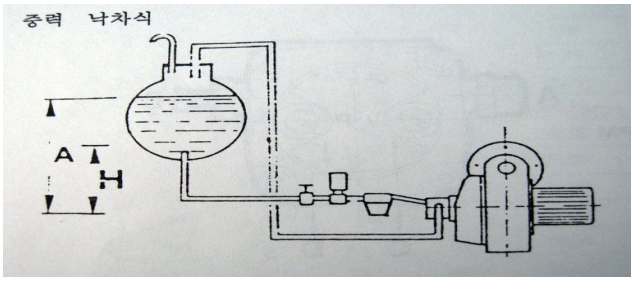


Fig. 10. Outline of PWM

2.6 연료 공급 Line 개발

연료소비율은 용량식 측정방법을 사용하였다. 기관 위 1.8 m 지점에 연료탱크를 설치하여 중력으로 연료를 공급하는데, 기관의 연료 주입구에 유량계(burette type, 100cc)를 설치하여 측정하였다.

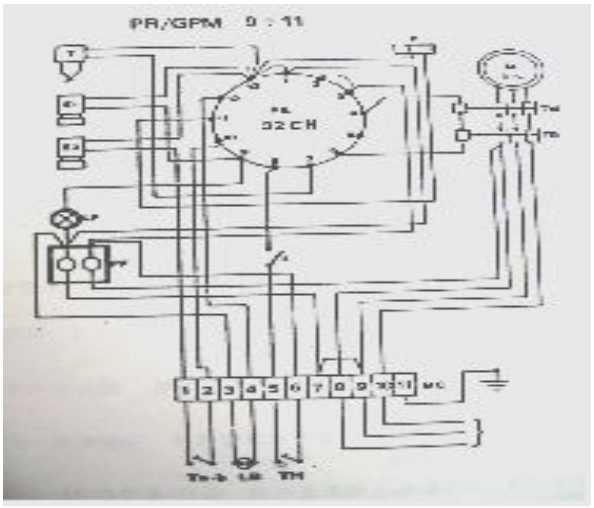


Fig. 11. Outline of fuel supply unit

2.7 연료가온장치(슬러지 제거장치개발)

연료탱크 위에 직류모터를 설치하여 연료를 교반하며 주입하였다. 연료의 가온은, 그림11-1과 같이 냉각수를 배기관을 거쳐서 가열탱크로 보내고, 공급 연료를 이 가열탱크를 통과 시키므로써 가온하였다. 또 분사펌프 입구에 온도센서(CA type thermocouple)를 설치하고 전 구간 시험유의 온도가 54℃에서 60℃ 까지 가온됨을 확인하였으며, 냉각수의 유량으로 시험유의 온도를 제어할 수 있도록 하였다.

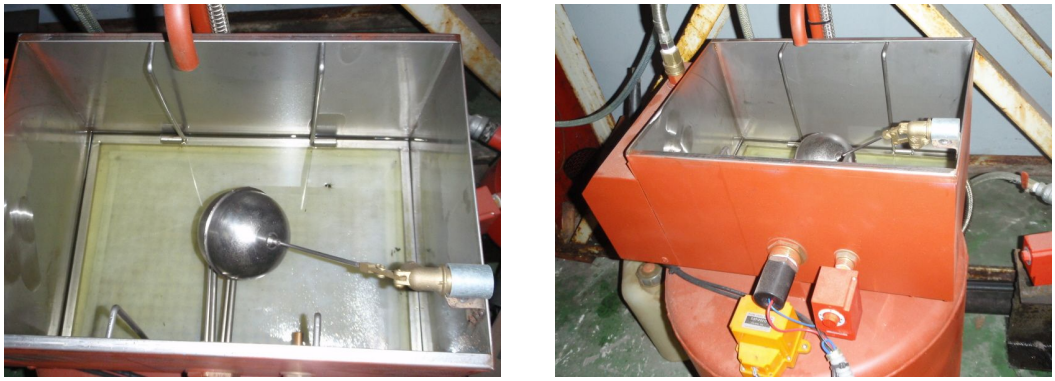


Fig. 11-1. Fuel filter and heating unit

제 3 절 폐식용유 사용에 따른 연료 분사 특성

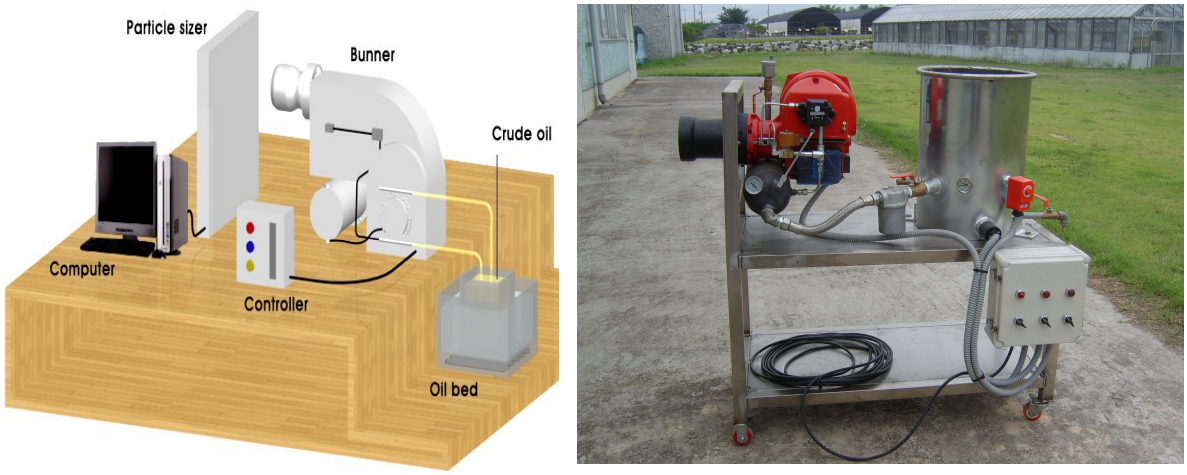


Fig.12. Picture of fuel spraying system

그림 12는 완성된 폐식용유용 연료분사장치의 모습이고 그림 13은 폐식용유 가온온도에 따른 불꽃 특성을 나타내고 있다.

<오일가온 온도 : 120℃> <오일가온 온도 : 180℃>

Fig. 13. Fuel spraying burning test

폐식용유를 120℃로 가온한 후 연소를 하였을 경우 불꽃길이는 약 50cm 였으며 폐식용유를 180℃로 가온 후 불꽃길이는 약80cm로 나타났다. 특히 폐식용유 온도가 낮을 경우 불안전연소로 인한 매연이 나타났으며 화염의 불꽃길이도 줄어들었음을 볼 수 있었다.

제 4 절 열교환기 설계 및 제작

온풍난방기의 열교환기로 사용되고 있는 열교환 파이프의 단면 형상 및 파이프 배열에 의한 열교환 특

성을 구명하기 위하여 그림 14에서와 같이 400×360×400 mm(W×H×L)의 직육면체 모양의 열교환기 내부에 원형 및 육각형 모양의 스테인리스 파이프를 일렬 및 교차형태로 배열하여 전체 4종류를 제작하였다.

원형의 경우 직경 63 mm, 길이 400 mm인 파이프 8개를 일렬 및 교차형태로 배열하였으며, 전열면적은 각각 0.633 ㎡로 동일하였다. 또한 원형과 비교하기 위하여 둘레길이가 240 mm, 길이 400 mm인 육각형의 스테인레스 파이프 8개를 교차배열한 전열면적 0.755 ㎡ 1종과 동일한 공간내에서 최대 전열면적을 확보하기 위해 14개를 교차배열한 전열면적 1.334 ㎡ 1종으로 제작하였다.

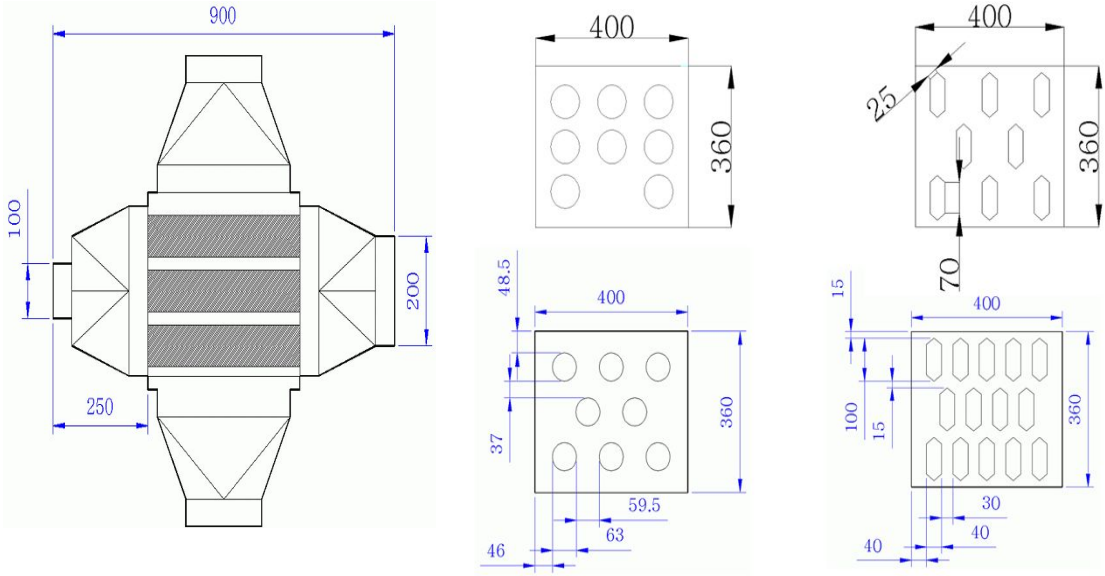
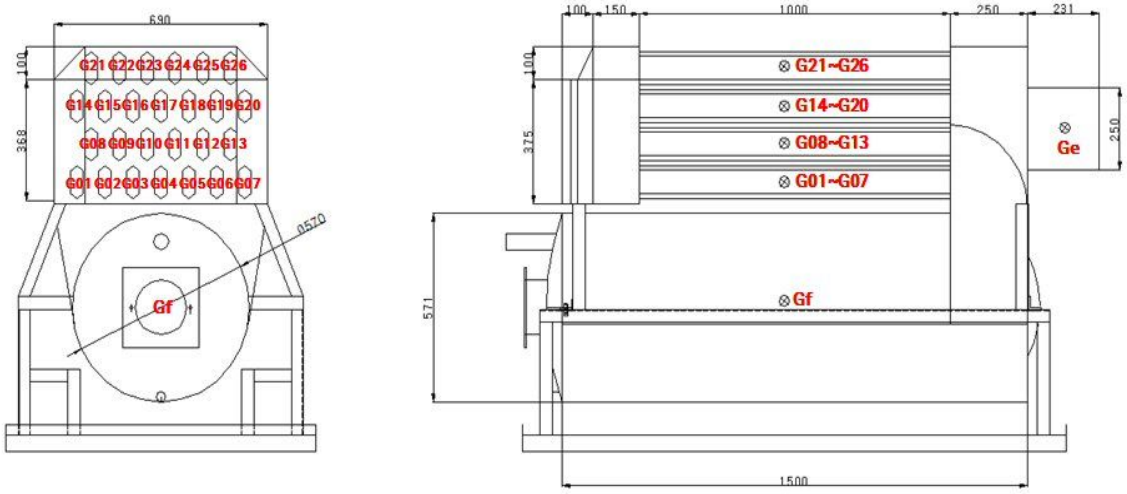


Fig. 14. Design sheet of the heat exchanger for primary test.

연소로 전열면적은 3.659 m^2, 1차 열교환기 전열면적은 3.973 m^2, 2차 연교환기 전열면적은 3.659 m^2로서 전체 전열면적은 10.728 m^2로 제작하였다. 열교환기의 열교환 파이프는 길이 1,000mm의 육각 파이프를 1차 열교환기와 2차 열교환기에 각각 하부 7개, 상부 6개 교차형태로 배열하여 각각 13개로서 총 26개로 제작하였다.



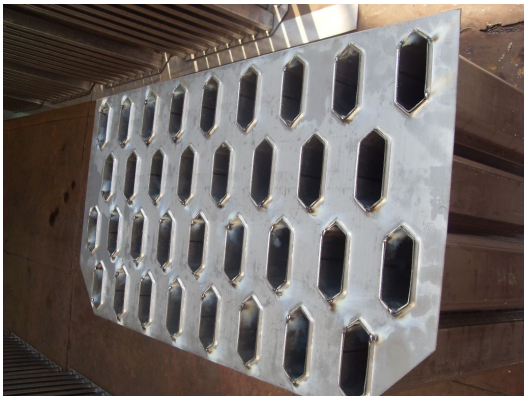


Fig. 15. Picture of the hot air heater with heat exchanger

제 5 절 온풍 난방기 성능시험

Fig. 16. Picture of hot air heater

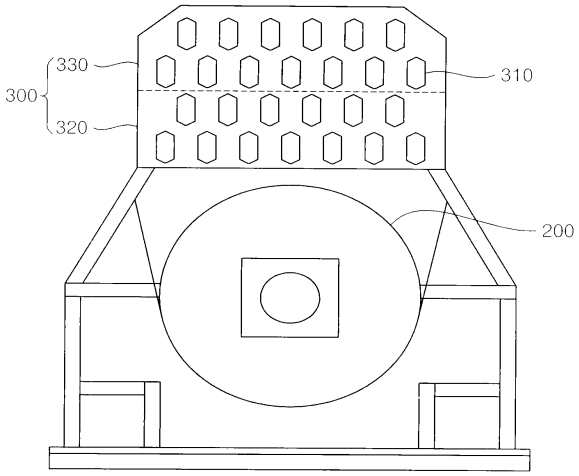


Fig. 17. Outline of hot air heater

폐식용유를 온풍 난방기의 대체 연료로 활용하기 위한 기술기반 정립 및 산업화·실용화기술을 접목하여 그림 16의 형태로 제작하고, 그림 17은 개발대상의 온풍 난방기의 내부구조로 상부는 열교환기로 열효율을 극도로 높이기 위해 상층과 하층에 육각파이프 형상을 교차로 배열하여 열효율을 극대화시켰고, 하부의 연소로로 연료를 연소시켜 상부의 송풍팬에 의해 발열된 온풍바람을 하부의 배기구로 강제 순환시키는 구조로 제작하였다.

5.1 실험장치

그림 16은 시작기의 형식을 나타낸 것이다. 실험방법은 경유와 폐식용유의 최적조건을 알아보기 위한 실험자가 발열량, 배기가스 분석과 온도측정, 풍량 등을 조사하였으며, 구명된 결과를 토대로 난방기의 효율과 경제성을 분석하였다. 난방기 열수지 분석을 위해서 연료의 발열량 측정을 Automatic Bomb Calorimeter로 실시하였고 범위는 6,000~33,000 J의 측정한도를 나타내며 배기가스 분석은 Combustion Gas Analyzer (Green- line MK2)를 사용하여 CO, CO_2 , NOx를 측정하고 온도측정은 온도센서로 Pt1난방을 사용하고

측정범위는 -200~1000℃, 레코더는DA100, 풍량은 풍량측정기 KS B6311 규격에 의한Micro nano meter (Airflow Medm5k)로 측정하고 m^3/s단위로 표기되었다.

습도 측정은 RH(0~100%)를 사용하여 측정하였고 데이터를 A/D컨버터를 통해 PC에 기록되었다. 온풍난방기의 열효율 개선을 위해 온풍으로 변환되는 열량 분석과 온풍난방기의 열교환기의 구조 개선과 연료의 필터, 가온 온도를 일정하게 유지 하였다.

Fig. 18. Picture of experimental equipment

분사펌프 입구에 온도센서(CA type thermo- couple)를 설치하여 전 구간 시험유의 온도를 40℃에서 60℃ 까지 가온됨을 확인하였으며, 냉각수의 유량으로 시험유의 온도를 제어하였다. 시험기간 중 외기온도는 25℃~32℃이었다.

Table 5. Specifications of the experimental equipment

구 분		사 양
전원	형식	AC 3Φ 380V / 덕트접속식
본체	규격	L×W×H(2290×1650×1790mm)
	용량	833,333kJ/h
FAN	형식	축류-팬
	용량	2.2kW(2EA)
제어판	전원	AC 1Φ 220V
	규격	L×Φ(400×150mm)
	제어방식	on/off제어
	팬제어방법	Time relay control

5.2 실험방법

그림19는 폐유와 중유를 이용한 고효율 난방기 개발을 위해 완성된 폐식용유 온풍난방기로 성능시험을 실시하였다. 시험 장소는 경북 예천군 경북도립대학에서 시행 하였고 공시기종의 구성은 송풍기, 모터, 버너, 온도조절장치, 열교환기, 연료탱크 등으로 되어있다. 시작기 설계제작은 버너와 자동제어시스템을 포함한 온풍난방기의 이용도 증대와 열효율 향상을 위해 고려하였으며, 폐유와 중유의 고점도 연료를 고려하여 연료필터와 열교환기를 통한 연료소비율의 최적화 하였다. 실험방법은 최적조건을 알아보기 위한 굴취에

따른 난방열량과 배기가스온도, 열효율 및 연료소비량, 배기출물을 조사하였으며, 구명된 결과를 토대로 연료의 물성과의 관계를 분석하였다.

온풍난방기의 열효율 개선을 위해 온풍으로 변환되는 열량 분석과 온풍난방기의 온풍분배구조 개선과 연료 가온 온도를 일정하게 유지 하였다.

Fig. 19. Picture of hot air heater using waste edible oil

Fig. 20. Fuel heating unit

Fig. 21. Fuel supply system

5.3 결과 및 고찰

그림21-1은 연료공급과 난방기 실험 사진을 나타내었고 자동 운전시 설정 온도의 대상이되는 실제의 비닐하우스가 없기 때문에 실험실의 목표 온도를 44℃ 로 설정값으로 세팅하여 열풍기를 자동 ON-OFF 제어 운전하면서 연료량 과 실제 토출온도와 비교하면서 에너지 절약량을 계산하였다. 열풍기 토츨 온도, 열풍기에서 나가는 배기가스 온도, 경유 유량계, Hydrox 가스 유량계의 값을 측정하였다. 열풍기 토출 온도, 열풍기에서 나가는 배기가스 온도는 real time 으로 측정하고 폐식용유 및 중유 유량은 ON 운전시 일정한 유량 값을 설정하고 실제 운전시 들어가는 연료량은 열풍기 토출 온도, 열풍기배가스 온도의 real time 온도 Pattern을 data acquisition system로부터 컴퓨터로 저장한후 이로부터 실제 들어간 폐식용유 및 중유 유입량을 계산 하도록 하였다.

Fig. 21-1. Picture of fuel supply system and the utility test of the device

가. 사용연료에 따른 난방열량 및 열효율

그림 22, 23, 24는 경유를 사용한 난방열량은 695,833 kJ/h, 열효율은 82%이고 폐식용유를 사용한 난방열량은 683,333 kJ/h, 열효율은 78%, 중유의 경우 726,484 kJ/h, 열효율은 88%로 나타났다. 폐식용유를 이용한 난방열량이 12,500 kJ/h, 열효율은 4% 낮게 나타났다. 이는 폐식용유의 발열량이 낮기 때문인 것으로 판단되며 추후 사용시 폐식용유는 점도가 높기 때문에 동절기 사용을 감안시 가온장치 부착이 반드시 필요할 것으로 판단되며 경유와 혼합하여 사용하여 열효율을 높일 수 있는 방법도 고려해 볼 필요가 있다.

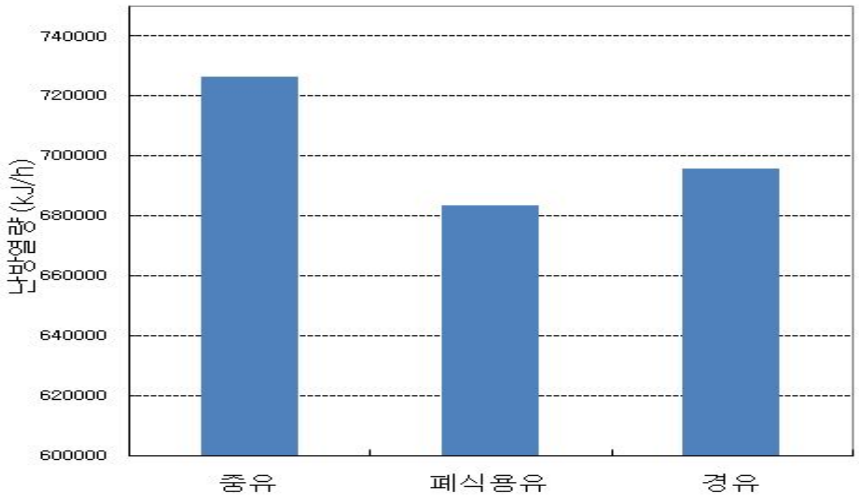


Fig. 22. Comparisons of the amount of heat between experimental fuels

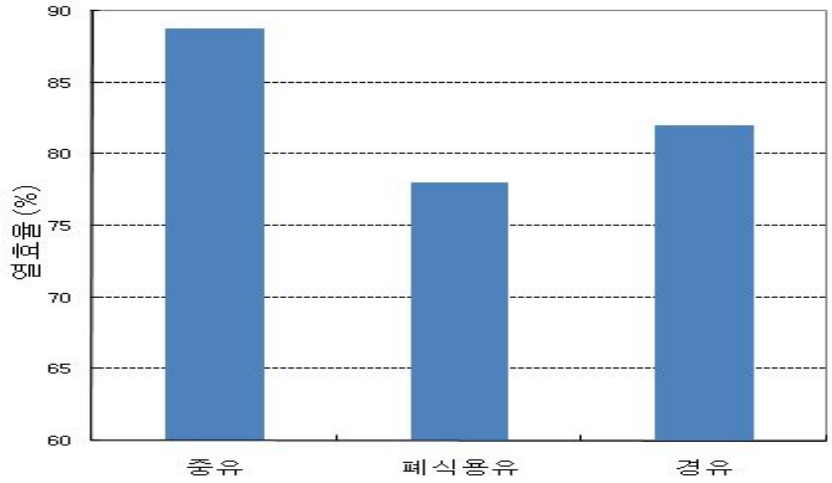


Fig. 23. Thermal efficiency of experimental fuels.

나. 사용연료에 따른 연소특성

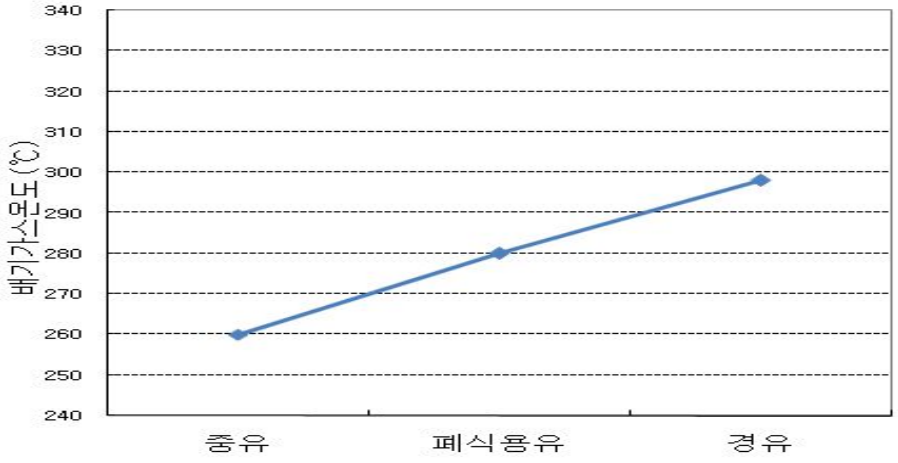


Fig. 24. Comparisons of the fuel consumption between experimental fuels.

그림 25는 연소특성을 분석해본 결과 연료소비량은 디지털 뷰렛을 사용하여 폐유의 경우 22.1(L/h), 경유는 21.6(L/h), 중유의 연료소비량은19.6(L/h)로 나타났고 폐식용유를 사용한 온풍기의 소음은 76 dB, 경유를 사용한 온풍기의 소음은 77 dB로 나타났으며 중유는 77.6 dB로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 배기가스온도는 폐식용유온풍기가 280℃, 경유를 사용한 온풍기가 298℃, 중유의 경우 260℃로 나타나 경유를 사용한 온풍기가 다소높게 나타나 배기온도를 재이용할 수 있는 방법도 고려하여야 할 것으로 판단된다.

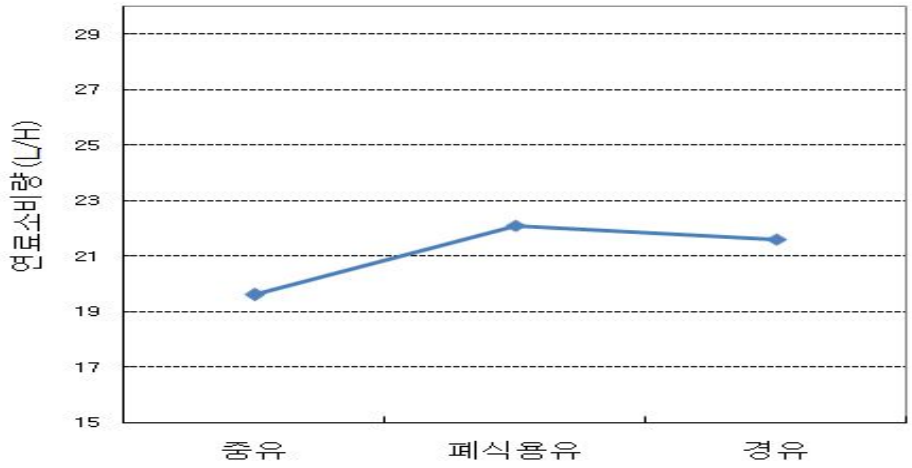


Fig. 25. Variations of the exhaust gas temperature.

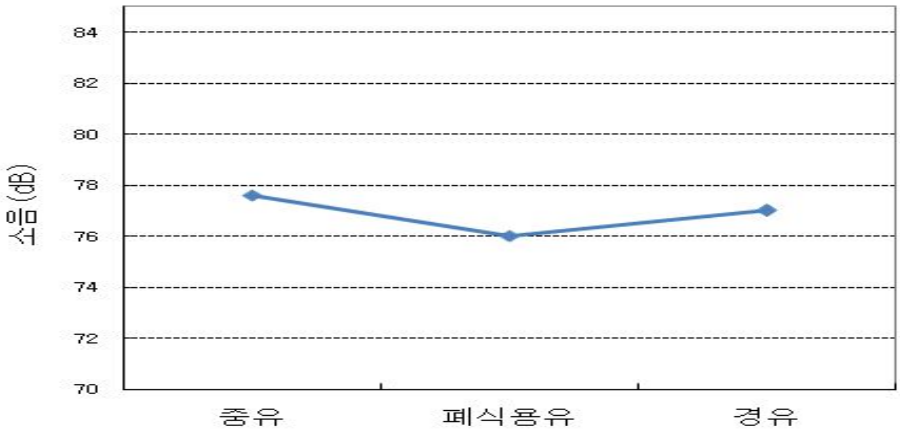


Fig. 26. Relationship between noise and experimental fuels.

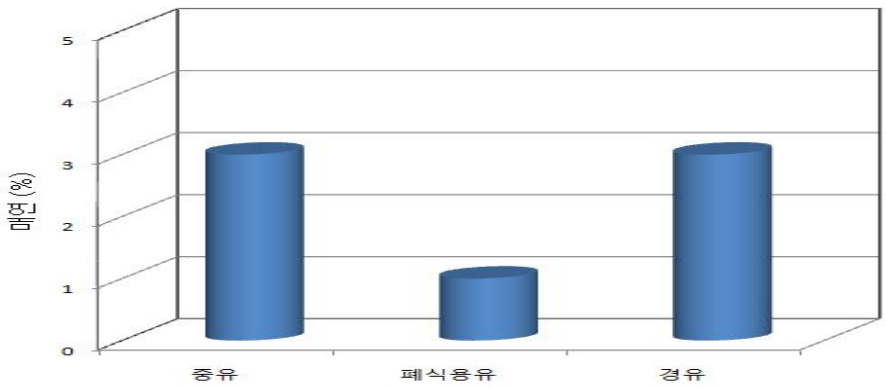


Fig. 27. Variations of the smoke emission.

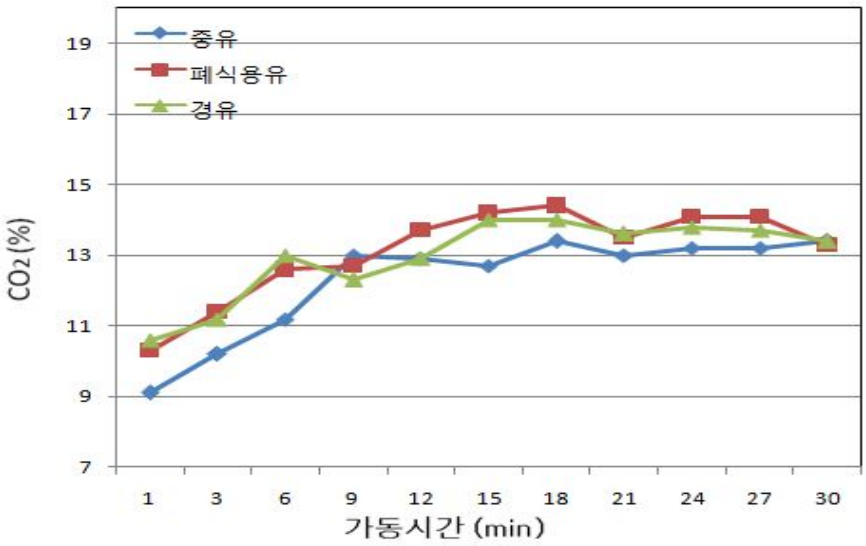


Fig. 28. Variations of the CO_2.

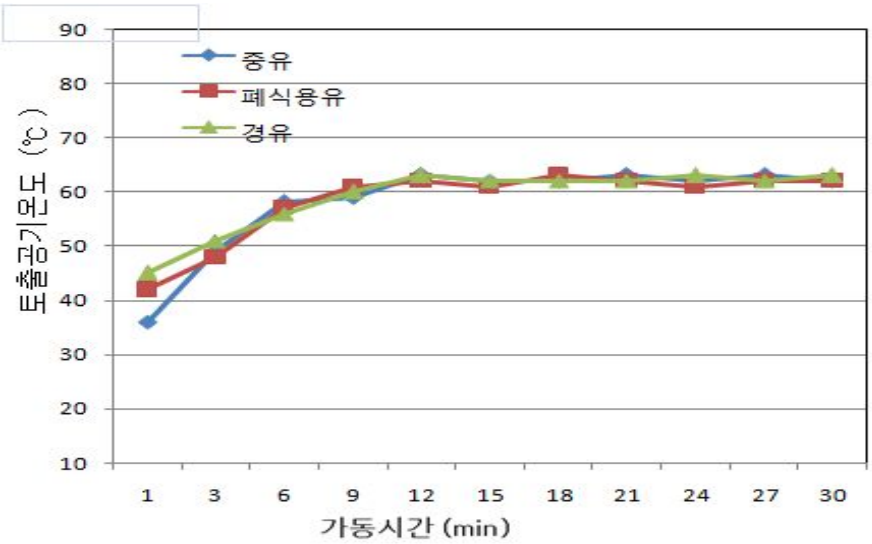


Fig. 29. Variations of the outlet air temperature.

그림 29에서 매연의 발생은 중유3%, 폐유1%, 경유는3%로 나타났고 폐유의 경우는 산소가 포함되어 매연 발생량이 낮은 것으로 사료된다. 실험 연료별 토출 공기온도는 59~63℃범위로 나타났고 평균 온도는 폐유61.2℃, 중유는 61.5℃ ,경유의 경우61.4℃로 측정되었고 차이는 미소하였다.

중유는 화염의 크기는 작아지는 현상을 보여 주었으며, 그 원인은 분출유량 증가하면서 분류속도가 증가하고 이에 따라 난류강도가 커짐으로써 화염크기가 감소된 것으로 사료되며, 그림30에서 나타낸 바와 같이 화염길이가 길어지는 현상은 분출유량 증가하면서 분류속도가 증가하고 이에 따라 반응시간이 증가함으로써 화염의 길이가 길어지는 것으로 사료된다.

Fig. 30. Flames characteristics in combustion

중유의 경우 화염의 폭이 좁아지는 현상을 보여 주었으며, 그 원인은 분출유량 증가하면서 유속이 증가하고 이에 따라 난류강도가 증가하고, 재순환 영역이 발달하게 되어 화염 폭이 좁아지고 길이가 짧아지는 현상이 나타나는 것으로 사료된다.

공해량을 측정하기 위해 휴대용 가스 분석기로부터 배출 연도에서 CO 및 NOx 농도를 측정하였다.

Table 6. Exhaust gas analysis value

가스	경유	중유	폐식용유
CO	9.3	4	12
NOx	42	46	42

제 6 절 온풍 난방기 농가 실증 연구

토마토를 재배하는 2농가를 선정하여 '10년 2월 5일 생육조사를 실시하였다. 온실은 1-2W형 7연동 (4,620m^2) 자동화온실로서 2중 비닐, 부직포를 사용하며, 그림 3과 같이 A농가는 폐식용유를 사용하여 난방을 하고 B농가는 경유만으로 난방을 하는 농가로서 토마토 품종은 방울토마토인 꼬꼬를 재배하였다. 정식은 '09년 10월 10일 하여 온도는 야간 13℃, 주간 25℃를 설정하여 관리하였으며 첫 수확은 2010년 1월 10일 수확을 하였다. 그림 4.5와 같이 농가의 토양을 분석하기 위해 각 온실 내 10지점을 균등하게 선정하여 시료채취기로 토양을 20g씩 수집하여 혼합한 후 분석하였다. 토양성분을 분석하기 위한 계측기기로서는 pH메타, EC메타(WET sensor), 비색계(Cary 100), 분광방출계, 토양유기물 분석계를 사용하였으며 분석내용은 PH, EC, 양이온, 질소함량, 유기물 등을 분석하였다.

Fig. 31 Picture of soil

Fig. 32. Hot air heater in greenhouse

그림 33과 같이 2010년 2월 5일(정식 후 115일) 방울토마토의 생육조사를 위하여 조사주수는 각 농가마다 10주씩 선정하여 평균을 하였으며 A와 B농가의 초장, 경경, 엽수를 조사하였다.

Fig. 33. Picture of plants in greenhouse

6.1 농가 토양 환경조사

각 농가의 토양을 분석하여 PH, EC, 양이온, 질소함량, 유기물 등을 표시하여 표 7에 나타내었다. 토양의 산도는 A농가 6.55, B농가 6.73 및 전기전도도는 A농가 0.95, B농가 1.45로 작물.9에 적당한 것 A농나타났다. 유기물함량@ 유기물가 부족한 상태A농나타났다. 인산@ 유, B농가 모두 높게 나타나 적정시비량웰한 것야 할 것 A농나타났다. 토양의 Ca, Mg K가 표준보다 높게 나타났다. 이할 것@ 결과A농향후양이묨량원소 결핍이 나타날소 있으며 양이 수량감소의 원인이 나타날 소수 있는 것으로 판단되었다.

Table 7. Soil analysis result

구분	pH	EC (dS/m)	P_2O_5 (mg/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	K (cmol/kg)	NH_4-N (mg/kg)	NO_3-N (mg/kg)	OM(g)
표준	6~7	2.0이하	350~500	5.0~7.0	1.5~2.5	0.7~0.8	10ppm이하	50~100	25~35
A농가	6.73	0.95	583	6.06	2.92	0.51	3.79	42.20	15.1
B농가	6.55	1.45	1173	8.62	3.89	1.37	3.16	96.15	23.6

6.2 작물 생육 및 온실 환경조사

2010년 2월 5일 방울토마토의 생육조사를 위하여 각 농가마다 10주씩 선정하여 평균을 하여 다음 표 8과 같은 결과를 얻었다.

A와 B농가의 초장은 140~144cm, 경경은 9.69~10.21mm, 엽수는 주당 10개 및 화방수는 8~9개로 B농가가 성장속도가 조금 빠른 것으로 나타났으나 유의성은 없는 것으로 분석되었다.

Table 8. Plant growth analysis result (정식후 115일)

구분	초장(cm)	경경(mm)	엽수(개/주)	화방수(개/주)	비고
A농가	140a	9.69a	10a	9a	정식일자: '09.10.10
B농가	144b	10.21a	10a	8b	

시설 내 토양환경조사를 위하여 10지점을 선정한 후 계측시간은 14:55분에 측정 후 평균한 결과(측정) 표 9와 같은 결과를 얻었다.

Table 9. Greenhouse environment analysis result

구분	토양수분 (%)	토양EC (dS/m)	지온 (℃)	CO_2농도 (ppm)	광도(μmol/m)	
					내부	외부
A농가	39.5	1.25	18.8	516	326	531
B농가	46.1	1.38	16.0	512	335	571

토양수분, 전기전도도, 광도는 B농가가 약간 높았으나 지온과 CO2농도는 A농가가 약간 높게 나타났다. 그러나 토마토 재배에는 2농가 모두 적절한 것으로 판단되었다.

6.3 난방방식에 따른 주당 과실 수량 및 품질

수량 및 품질 분석을 위해 각 농가당 샘플 15개를 분석하여 평균하였으며 당도분석을 위해 측정기기는 당도계(ATAGO), 색차계(Colar, JS555)를 사용하였다. 주당 과실수량 및 품질을 보면 표 9와 같이 A농가는 주당 2.15kg, 당도는 5.71°Brix이고 B농가는 주당 2.25kg, 당도는 5.95°Brix로서 B농가가 약간 우수한 것으로 나타났다.

Table 10. Quantity and quality comparison of fruit

구분	수 량			품 질			
	상품과수 (개/주)	상품과중 (kg/주)	수량지수	당도 (°Brix)	L	a	b
A농가	227a	2.15a	96	5.71a	30.2a	7.96a	10.3a
B농가	231b	2.25a	100	5.95a	27.1b	8.80a	11.9a

6.4 난방방식에 따른 총 수확량(9단 재배)

9단재배시 난방방식에 따른 10a당 수확량은 경유온풍기를 사용한 B농가는 6,285kg, 전기+경유온풍기를 사용한 A농가는 5,992kg을 수확하였으며 난방방식에 따른 수확량은 소폭차이가 있으나 유의성이 없는 것으로 나타났다.

Table 11. Total amounts of harvest

구분	총 수확량(kg/10a)	총판매금액(천원/10a)	지수
A농가	5,992	24,000	96
B농가	6,285	25,000	100

6.5 결과 및 고찰

본 연구에서 난방기에서 폐식용유를 연료로 이용하기 위하여 자동제어시스템과 연료 공급 장치를 설치하여 온풍 난방기를 제작하여 폐유와 중유 및 경유를 사용한 전용 온풍 난방기를 적용시험 한 결과를 요약하면 다음과 같다

가. 본 연구 결과 폐식용유의 점도(40℃)는 39.2 cSt이었으며, 증류분석결과 초류점은 196.5℃, 10%점은 308.4℃, 50%점은 310.2℃, 90%점은 293.1℃이었다. 폐식용유의 함량이 증가함에 혼합유의 점도는 7.9 cSt에서 17.6 cSt로 증가하였다.

나. 폐식용유의 발열량은 39,041 kJ/kg이었으며 혼합유의 발열량은 41,291~43,291 kJ/kg으로, 폐식용유의 함량이 많아지면 발열량은 감소하였는데 온풍난방기의 실험 결과 난방열량과 열효율이 경유가 폐식용유보다 다소 높게 나타났으며 발열량의 20%가 손실되는 것으로 나타났다.

다. 연료소비율은 혼합유의 폐식용유 함량의 증가에 따라 연료소비율도 증가 하였으며, 디젤유의 경우에 비해 폐식용유에서의 연료소비율이 높게 나타났으며, 전체적으로 6% 높게 나타났다. 배기가스의 온도는 폐식용유의 경우 디젤유의 경우 비하여 6~8℃ 낮게 나타났으며, 이것은 폐식용유의 발열량이 낮은 원인으로 판단된다.

라. 경유와 중유, 폐식용유를 비교한 적정연소 조건은 노즐분무압력이 2.35 Mpa에서 폐유의 경우 연료가온온도가 80℃ 중유는95℃로 측정되었으며 폐식용유는 CO_2가 13.1%, CO가 13 ppm, 배기온도가 270℃범위, 공기과잉비가 1.2로 나타났다.

마. 폐식용유 온풍난방기의 농가실증연구 결과, 폐식용유와 경유를 각각 사용한 A농가와 B농가 사이에 수량과 당도 측면에서는 B농가(경유사용)가 약간 우수한 것으로 나타났으나. 작물생육 및 총 수확량에 있어서 유의성이 없는 것으로 나타났다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연차별 연구개발 결과 및 목표 달성도

1.1 목표 달성도

구분(연도)	세부과제명	연구개발 목표	연구개발 결과	달성도(%)
1차 연도 (2008. 6.25. ~2009. 6.24)	폐식용유온풍 난방기 개발	열교환 장치 기본 설계인자 도출	버너및열교환장치설계도작성	100
		버너 및 열교환시스템 설계제작	버너및열교환장치제작	100
		폐식용유용 온풍기 시험용 제작	폐식용유용 온풍기 시험용 제작(연소시험진행중)	100
	폐식용유의 열특성 및 온풍 난방기성능분석	각 부분 성능시험	버너및열교환기 연소시험	100
		연료 가온 및 공급장치제작	연료가온공급장치제작	100
	폐식용유 온풍난방기 개발의 경제성 분석	폐식용유 온풍난방기의 개발 효과 조사 및 개발비 분석	시설농업 기술 관련 여건 변화 전망	100
			국내 폐식용유 발생량 및 이용 실태조사	100
			폐식용유 온풍난방기'개발의 편익 및 비용의 개념 정의	100
			현행 기술조건하의 개발비 및 운영비 분석	100
2차 년도 (2009. 6.25.~ 2010. 6.24)	폐식용유온풍난 방기 개발	Prototype 폐식용유 온풍 난방기 제작	○ 용량 : 4만kcal/h ○ 연료 가온 및 공급장치 ○ 점화 및 연소장치 ○ 연소로 및 열교환장치	100
		폐식용유 온풍 난방기 개발	○ 연료 공급장치, 점화 연소장치보완 설계 및 제작 ○ 용량 : 14만kcal/h	100
		폐식용유 온풍난방기 내구성시험	○ 연속운전에 따른 구조 및 안정성 검토 ○ 외기온도변화에 따른 연소조건 설정 ○ 사용자 요구도 분석을 위한 시장조사 ○ 제품 영업 전략 등 사업화 분석	100
		폐식용유 수집.공급 방안 도출	○ 폐식용유 수집방안 도출 ○ 폐식용유 수집,공급업체와 계약체결 ○ 폐식용유 정제장치개발.(찌꺼기, 슬러지제거)	100
		폐식용유용 온풍 난방기의 보완 및 보고서 작성	○ 시작품 운전 및 문제점 파악 ○ 고효율 운전을 위한 최적조건 및 운전조건 정립 ○ 보고서작성	100
	폐식용유의열특 성분석 및 온풍난 방기 성능분석	폐식용유 온풍 난방기의 연소성능 개선	○ 공기량에 따른 최적 연소조건 구명(제어방식, 가동시간, 공기분포 등) ○ 연소성능분석 : CO2, O2, CO, HC, H2 등	100
		폐식용유 온풍 난방기의 연소성능 및 효율향상	○ 공기구멍 개도별 온풍열량 분석 ○ 배기온도, 온풍출구온도, 풍량, 열량 등 ○ 설계요인(노즐,버너,가압장치)별성능시험.	100
		온풍 난방기 농가현장 실증연구	○ 현장 적응 시험 ○ 작물에 대한 생육환경 비교	100
		폐식용유용 온풍 난방기의 보완사항 분석	○ 시작품 운전 및 문제점 파악 ○ 고효율 운전을 위한 최적조건 및 적정운전조건 ○ 보고서 작성	100
	폐식용유온풍난 방기개발의경제 성 분석	폐식용유를 이용한 온풍난방기 개발의 경제성 분석	○ '폐식용유 온풍난방기' 개발의 경제성 분석 ○ 기존 기술개발의 실용화 과정에서 경제분석의 문제점과 개선방안 분석	100

1.2 평가 착안점에 따른 목표달성도 자체 평가

구분	평가 착안사항 및 척도(점수)	자체평가 달성도(점수)
1차년도 (2008)	열교환 장치 기본 설계인자 도출의 적절성(15)	100
	버너 및 열교환시스템 설계제작 여부(15)	
	폐식용유용 온풍기 시험용 제작 여부(15)	
	각 부분 성능시험 적절성 여부(15)	
	연료 가온 및 공급장치제작 적절성 여부(20)	
	폐식용유 온풍난방기의 개발 효과 조사 및 개발비 분석 적절성(20)	
2차년도 (2009)	폐식용유 온풍 난방기 개발 적절성 여부(15)	100
	폐식용유 온풍난방기 내구성시험 방법 적절성 여부(15)	
	폐식용유 수집.공급 방안 도출 방안 적절성 여부(15)	
	폐식용유 온풍 난방기의 연소성능 밀 효율향상 방안(15)	
	온풍 난방기 농가현장 실증연구 적절성 여부(20)	
	폐식용유를 이용한 온풍난방기 개발의 경제성 분석 적절성(20)	
최종평가	폐식용유 온풍난방기 성능의 우수성(100)	100

제 2 절 관련분야에의 기여도

1. 기술적인 측면

외국은 디젤기관의 폐식용유의 정제기술은 정립되었으나 온풍 난방기는 없음

가. 온풍 난방기 폐식용유 정제 장치 설계 및 제작 관련 기술 정립

나. 지역 음식점에 산재해 있는 폐식용유 자원의 효율적 확립 방안 정립

다. 농업 생산물에서 1차적으로 생성된 자원의 에너지 효율적 이용기술 정립

2. 경제·산업적인 측면

가. 대체에너지로서의 폐식용유 연료의 공급

나. 폐식물자원의 이용으로서 폐식용유의 온풍 난방기 에너지원으로서의 활용

다. 폐식물자원의 활용으로 환경오염방지, 연료비 절감 및 노동생산성 향상

라. 폐식용유를 이용한 온풍난방시스템 구축으로 관련 산업의 활성화

마. 대체 폐자원의 이용으로 대체에너지 관련 산업의 활성화

바. 농촌 지역내 대체에너지 활용 시설의 보급 및 관련 산업의 활성화

사. 일정지역 규모에 대한 폐식용유의 이용모형을 정량화하여 국내산업의 활성화

아. 연료정제 및 온풍난방기 생산 보급관련 산업의 신규 창출

자. 대체에너지 활용 및 친환경적 제품 개발에 따른 지방자치단체나 중앙정부로 부터 보조 및 지원을 통해 개발된 제품을 보급하여 농가 생산비 절감을 통한 농촌 경제 및 국가 경쟁력 제고에 기여

제 5 장 폐식용유용 온풍난방기 개발의 경제성 분석

제 1 절 서 론

1.1. 연구의 필요성

많은 시설비가 투자된 자동화 온실에서 겨울철 난방기를 사용하여 채소 및 화훼류를 재배할 경우 생산비에서 차지하는 난방비의 비중이 40%를 웃돌고 있다.

한국의 시설원예면적은 1980년대 이후 경제성장과 더불어 급격하게 확대되었으나 2000년 이후로는 면적의 확대가 정체되고 있다. 온실면적은 1980년 7,141ha, 1990년 23,698ha, 2000년 48,853ha, 2007년 49,828ha, 2008년에 53,053ha로서 2000년까지는 지속적으로 증가된 후 증가 속도가 둔화되어 왔다(표 1).

Table 12. 연도별 시설원예면적 및 가온면적 단위 : ha

	시설면적			가온면적			가온면적 비율 (B/A, %)
	화훼	채소	계(A)	화훼	채소	계(B)	
1980	..	..	7,141	..	..	..	..
1990	..	..	23,698	..	..	..	..
2000	3,336	48,853	52,189	1,446	10,952	12,398	23.8
2001	3,386	48,749	52,135	2,709	10,001	12,710	24.4
2002	3,338	48,535	51,873	2,708	10,242	12,950	25.0
2003	3,560	48,589	52,149	2,468	10,134	12,602	24.2
2004	3,397	47,840	51,237	2,718	9,652	12,370	24.1
2005	3,448	48,574	52,022	2,758	9,973	12,731	24.5
2006	3,448	48,680	52,128	2,586	9,951	12,537	24.1
2007	3,208	49,828	53,036	2,566	10,396	12,962	24.4
2008	3,063	49,990	53,053	2,450	10,631	13,081	24.7

자료: 이시영, 2009,『에너지절감 기술 개발 및 보급』, 농촌진흥청 원예연구소 시설원예시험장.

시설원예의 생산 추이를 보면 1969년 17만톤을 생산하던 것이 1990년에는 100만톤을 생산하였고, 1995년 242만 2,000톤, 2000년 325만 3,000톤 생산을 돌파한 이후 생산량 증가 추세는 약간 정체된 상태이다.[1] 시설원예 생산량은 1969년 이후 점차적으로 증가하였고, 1990년대 이후 급격한 국민소득의 증가와 더불어 급속하게 증가하였으나, 2000년 이후에는 이러한 증가세가 둔화되고 있는 추세이다.

시설원예분야의 2008년 작물별 농업생산액은 채소 72,135억원, 과수 29,984억원, 화훼 9,043억원으로 전체 농업생산액의 60% 수준이며, 노지 채소부문의 생산액은 32,275억원으로 전체의 40% 수준이다(표 13). 시설원예 분야의 총생산액은 2005년 이후 정체되고 있는 실정이므로 새로운 수요의 개발과 더불어 생산성 향상을 통한 수익성 증대를 위한 노력이 필요하다.

1) 이시영, 2009,『에너지절감 기술 개발 및 보급』, 농촌진흥청 원예연구소 시설원예시험장.

Table 13. 시설원예 분야별 생산액 추이 단위 : 10억원

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
채 소	6,738.5	7,209.1	6,769.4	7,618.9	7,669.3	6,918.6	7,353.4	7,483.0	7,213.5
과 수	2,580.5	2,076.7	2,582.7	2,348.5	2,941.6	3,081.7	2,970.6	2,822.3	2,998.4
화훼류	663.4	590.3	784.4	805.5	917.2	994.9	941.1	923.7	904.3

자료: 농림수산식품부, 통계정보, 농림업생산지수 2000~2008.

시설원예 농가는 2005년 농업총조사에 의하면 121,406가구였다. 시설원예 농가의 작목은 채소가 75.0%로서 가장 많고, 다음으로 과수 12.1%, 특용작물 7.3%, 화훼 5.7%의 순으로 구성되어 있다(표 14).

Table 14. 시설원예 농가 수(2005) 단위 : 가구, %

	과 수	특용작물	채 소	화 훼	계
농가수	14,671	8,824	91,015	6,896	121,406
구성비	12.1	7.3	75.0	5.7	100.0

자료: 통계청, 2005,『농업총조사』.

가온시설의 증가로 농업용 난방기 보유대수는 1995년 42,153대에서 급속하게 증가하여 2008년에는 256,246대로 약 5배 증가하였다.[2] 이로 미루어 한국의 온풍난방기 연간 시장규모는 약 1,200억원 규모[3]에 달할 것으로 보이며, 난방기의 교체 등 잠재적인 시장구조를 감안하면 약 1조원대에 이를 것으로 판단되고 있다.

2008년 한국의 시설원예면적 53,053ha 가운데 가온을 하는 난방면적은 13,081ha로서 전체 시설면적의 약 25% 수준이다(표 12). 전체 난방면적 가운데 유류를 이용하는 면적은 70% 이상일 것으로 추정되고 있다. 따라서 난방비용이 많이 소요되는 문제가 있다.

시설원예 재배에서 높은 난방비 문제는 시설재배의 난방에서 유류를 다른 에너지원으로 대체할 수 있는 난방기 개발의 필요성을 제기하였다. 한국의 학계 및 기업체에서는 난방에서 유류를 폐식용유로 대체할 수 있는 난방기의 개발을 많이 시도하고 있다. 물론 난방기 개발 자체도 중요하지만 이러한 연구 결과로 얻는 난방기의 경제성 유무가 실용화로 연결된다. 그런데도 유류를 대체할 수 있는 난방기 개발 연구에서 구체적인 경제성 평가는 이루어지지 않고 있다.

이러한 점을 감안하여 이 연구에서는 난방용 유류를 폐식용유로 대체할 수 있는 온풍난방기 개발의 경제성 분석이 주된 연구목표이며, 또한 경제성 분석을 통해 개발된 이 기술의 실용화 가능성 등을 진단하는 데 목적이 있다.

1.2. 연구 목표

이 연구의 목표는 첫째, '폐식용유 온풍난방기'의 개발 효과를 조사하고, 둘째, '폐식용유 온풍난방기' 개발의 타당성 및 경제성을 분석하고, 셋째, 개발된 '폐식용유 온풍난방기' 기술의 실용화 가능성을 경제적

2) 전남수 외, 2009,『저탄소 녹색성장시대의 경남 시설원예농업 발전 방안』, 경남발전연구원, p.18.

3) 한국의 온풍난방기 연간 시장규모: 1,200억원 = 20,000대 × 6,000,000원

측면에서 진단하여 '폐식용유 온풍난방기' 개발의 방향 및 정책적 함의를 제시하는데 있다.

1.3. 연구내용 및 연구방법

1.3.1. 연구내용

이 연구의 주요 내용은 첫째, 시설원예 난방기술 관련 여건 변화 전망 및 기술개발의 방향 정립, 둘째, 기술개발의 효과 계측, 셋째, 기술개발의 경제성 분석, 넷째, 개발된 기술의 실용화 가능성 진단 등이다.

1년차 연구의 주요 항목은 ① 농가보급형 '폐식용유 온풍난방기'의 국내 현황조사, ② 시설원예 난방기술 관련 여건 변화 전망 및 기술개발의 방향 정립, ③ 국내 폐식용유 발생량 및 이용실태 조사, ④ '폐식용유 온풍난방기'개발의 편익 및 비용의 개념 정의, ⑤ 현행 기술조건하의 개발비 및 운영비 분석 등이다.

2년차 연구의 주요 항목은 ① '폐식용유 온풍난방기'의 효과분석 관련 현지조사 및 효과 계측, ② '폐식용유 온풍난방기' 개발의 경제성 분석, ③ 개발비 비용 분석과 타 연료용 난방기와의 경제성 비교 분석, ④ 기존 기술개발의 실용화 과정에서 경제분석의 문제점과 개선방안 분석 등이다.

1.3.2. 연구 방법

이 연구에 필요한 자료는 현지조사와 문헌조사를 통해 수집하였다.

먼저 현지조사는 기술개발 효과 조사와 시설원예농가, 관련 산업체, 전문가 및 관련기관조사를 하였다. 다음으로 문헌조사는 국내 및 외국 문헌을 수집하여 분석·검토하였다.

기술개발 효과 조사는 주관 및 협동연구기관에서 연구 계획인 '폐식용유 온풍난방기' 시제품의 효과를 조사하였다.

시설원예농가, 관련 산업체, 전문가 및 관련기관조사는 '폐식용유 온풍난방기'의 실태 파악, 효과분석 및 개선방안 도출을 위한 시설원예농가·관련산업체·관련기관 등을 조사하였다.

이 밖에도 전문가 간담회 등을 통해 전문가의 의견을 수렴하여 실태를 파악하고, 또한 개선방안을 도출하였다.

제 2 절 시설농업 난방 기술 관련 여건 변화 전망 및 기술개발의 방향 정립

2.1. 시설농업에서 에너지소비 현황

농·어업용 에너지소비량은 2007년 현재 3,152천TOE[4]로 국가 전체 에너지소비량의 1.8%를 차지하고 있으며, 그 중 석유류 2,503천TOE(79.4%), 전력 485천TOE(15.4%), 그리고 연탄이 158천TOE(5%)를 차지하고 있다.[5]

농·어업용 에네지소비량에서 가장 큰 비중을 차지하는 석유류 가운데 면세유류는 2008년 현재 2,970천㎘로 국가 전체 사용량의 2.6%이다. 면세유류의 사용분야는 농업용이 66.5%, 어업용이 33.5%이며, 농업용 면세유류중 시설원예부분에서 64.0%를 사용하고 있다.[6] 따라서 전체 난방면적에서 유류를 이용하는 면적

4) TOE는 Tonnage of Oil Equivalent의 약자이며, 석유 1톤을 연소할 때 발생하는 에너지를 1석유환산톤이라고 정의하고 있다.

5) 전남수 외, 2009,『저탄소 녹색성장시대의 경남 시설원예농업 발전 방안』, 경남발전연구원, p.14.

6) 전남수 외, 2009,『저탄소 녹색성장시대의 경남 시설원예농업 발전 방안』, 경남발전연구원, p.14.

은 70% 이상일 것으로 추정되고 있다.

2000년도 이후 시설원예부문의 가온면적비율은 시설면적 대비 24% 이상의 수준을 보이고 있다. 시설원예 난방연료의 80.5%는 유류이며, 국제유가 상승에 따른 생산비 증가를 초래하고 시설농가의 안정적 경영에 부담이 되고 있는 실정이다(표 15)

Table 15. 시설재배 난방연료 유형별 구성비(2008) 단위 : %

	유 류	가 스	석탄류	폐목·기타	계
전 국	80.5	11.3	5.9	2.3	100.0

자료: 이시영, 2009,『에너지절감 기술 개발 및 보급』, 농촌진흥청 원예연구소 시설원예시험장.

특히 최근 시설재배의 난방에는 경유나 등유 등을 사용하며, 공기를 데워 가온하는 온풍난방방식 87.0% (2008) 이상이 주로 이용되고 있어 유가 상승이 생산비에 큰 영향을 미치고 있는 실정이다(표 16).

한국은 시설원예의 난방에 연간 약 135만㎘를 사용된 것으로 추정되는데, 이는 한국 경유 소비량의 62%에 해당한다. 일반적으로 시설농업에는 많은 에너지가 소요되며, 국제 유가가 상승하면 시설농가의 소득은 크게 감소하게 된다.

Table 16. 시설재배 난방방식 구성비(2008) 단위 : %

	온 풍	온 수	기 타	계
전 국	87.0	7.4	5.5	100.0

자료: 이시영, 2009,『에너지절감 기술 개발 및 보급』, 농촌진흥청 원예연구소 시설원예시험장.

시설농업이 전체 농업에서 차지하는 생산액 비율이 1990년에 27.5%이던 것이 2005년에는 31.5%로 증가하는 추세이다. 특히 시설농업의 단위면적당 농가소득은 쌀보다 높다. 즉 쌀의 ha당 소득은 5.5백만원/ha 이지만, 시설농업에서 생산되는 시설방울토마토의 소득은 79백만원/ha으로서 쌀보다 월등히 높다. 따라서 농지가격이 높은 한국은 농가소득 향상을 위한 방안으로 시설농업의 확대 도입이 이루어져야 한다. 이런 관점에서 고유가시대에 대비한 에너지절약형 시설원예 생산기반조성이 필요하다.

2.2. 시설농업에서 에너지 효율화 전망과 방향

최근 정부에서는 유류 등 농자재 가격의 상승으로 인한 시설원예 농가의 경영비 부담 경감과 에너지이용 효율화 등을 위해 에너지 절감형 난방·보온시설의 설치를 지원하고 있다.[7] 에너지 절감형 난방·보온시설 설치에 지원되는 자재는 다겹보온커튼, 고효율(경유, 전기, 석탄, 중유, 목재) 난방기, 순환식 수막재배시설, 온풍난방 배기열 회수장치, 자동 보온덮개 등이다.

한편 농촌진흥청에서는 시설농업 에너지 효율화를 위한 단기, 중기, 장기 연구계획을 수립하여 추진하고 있다(표 17). 농촌진흥청의 시설농업 에너지 효율화 연구는 에너지 이용 효율 향상, 시설보온력 향상, 대체에너지 이용, 에너지절감 재배관리기술 개발 등이 주된 대상이다(표 17).

7) 농림수산식품부, 2009,『농림수산사업시행지침서』.

Table 17. 시설농업 에너지 효율화 중장기 계획

연구대상	단기(현재)	중 기	장 기
에너지이용 효율 향상	• 기온, 지온 복합난방기술 • 송풍방영기 이용효과 • 시설 내 온도 균일화연구	• 열이용효율 향상시스템 • 난방연소효율 향상기술	• 열이용 효율 향상 기술의 패키지 연구 및 실용화
시설보온력 향상	• 다겹 보온커튼 개발 • 보온커튼 최적개폐 시점 규명	• 공효율 단열 자재이용 보온커튼 개폐시스템개발	• 고효율 보온커튼 시스템 실용화 보급
대체에너지 이용	• 석탄난방기 개발 • 순환식 수막시스템개발	• 순환식 수막시스템실용화 • 대체연료 이용 난방기반 기술 확립	• 지하수, 지열, 대체연료 이용 시설난방기술 실용화
에너지절감 재배관리기술	• 작물 저온내성 증진기술 • 저온기 무가온 재배기술	• 작물별 경제적온도관리 • 저온 내성증진 연구	• 작물별 에너지 절감 재배 관리 기술 확립

자료: 농촌진흥청, 2006

정부의 시설농업 난방 기술개발의 방향은 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 열량을 많이 내고 손실을 최소화하는 에너지 고효율 기술과 기기를 개발하여야 한다.

둘째, 저비용 고성능의 기술과 기기를 개발하여야 한다.

셋째, 대체 사용이 가능한 에너지를 개발하여야 한다.

넷째, 대체 에너지 사용기술과 기기를 개발하여야 한다.

폐식용유를 이용한 온풍난방기 개발은 대체연료를 이용한 난방기반기술 확립의 한 부분이다.제 3 절 국내 폐식용유 발생량 및 이용실태

제 3 절 국내 폐식용유 발생량 및 이용실태

3.1. 식용유 생산량

한국의 식용유 생산량과 판매량에 대한 정확한 자료는 없다. 그러나 공업용, 수출용 식용유를 제외하면 국내 판매량은 약 60만톤 수준으로 추산되고 있다(표 18). 2003년 식품 및 식품첨가물 생산실적 기준에 의한 식용유지류의 생산과 출하 실적은 〈표 18〉과 같다. 2003년의 식용유지류 생산량은 639천톤이었고, 출하량은 628천톤이었다.

Table 18. 식용유지류의 생산 및 출하 실적(2003)

생산 현황			출하 현황	
생산능력(천톤)	생산량(천톤)	생산액(백만원)	출하량(천톤)	출하액(백만원)
1,919	639	679,647	628	747,423

자료: 한국식품공업협회

8) 국내 폐식용유의 발생량 및 이용에 관한 정부의 공식적인 통계자료가 없으며, 한국식품공업협회에서도 자료를 구할 수 없었다. 따라서 이 연구에서 이에 관한 실태조사 자료는 “김정욱 외, 2007,『폐식용유의 활용 방안』, 한국학술정보(주)”을 참조하였다.

원료에 따른 식용류의 생산량을 보면 〈표 19〉과 같다. 원료별 생산량을 보면 대두유가 307천톤으로 가장 많고, 다음으로 팜유 114천톤, 옥배유 58천톤, 쇼트닝 50천톤의 순으로 나타났다. 한국은 대두유가 전체 식용유 생산의 55%를 차지하고 있다.

Table 19. 세부 품목별 식용유 생산량(2003)

	생산량(천톤)	시장점유율(%)
콩기름(대두유)	307	55
옥수수기름(옥배유)	58	10
채종유(유채)	12	2
올리브	4	1
팜 유	114	20
쇼트닝	50	9
기 타	10	2
합 계	555	100

자료: 한국식품공업협회

3.2. 식용유 사용량 추정

식용유 사용은 가정을 중심으로 하는 가구단위와 음식점, 식품가공업체 등 대량사용단위로 구분된다.

3.2.1. 가구단위 식용유 사용량 추정

김정욱 외(2007)의 연구에 의하면 한국의 가정을 중심으로 한 가구단위 소비량은 362가구의 월평균 총 사용량은 313ℓ, 연간 총 사용량은 3,751ℓ였으며, 가구당 월평균 0.9ℓ, 연평균 10.4ℓ로 조사되었다(표 20). 김정욱 외(2007)의 연구에서는 362가구의 총 가족 수는 1,387 명으로 1가구당 평균가족 수인 3.83 인으로 가정하였다. 따라서 월 총 사용량 기준 연간 사용량은 3,751.2ℓ이므로, 1인당 평균 시용량은 2.71ℓ/년로 추정된다.

Table 20. 가정의 연간 식용유 사용량(2003)

사용량	가구수	사용량(L/월, 1가구)		총 사용량(L/월, 1가구)		평 균 (L)
		최 소	최 대	최 소	최 대	
1통 이하	230	0.1	0.9	23	207	115
1통-2통	116	0.9	1.8	104.4	208.8	156.6
2통-3통	10	1.8	2.7	18	27	22.5
3통-4통	6	2.7	3.6	16.2	21.6	18.9
합 계	362	-	-	161.6	464.4	313

자료: 김정욱 외, 2007,『폐식용유의 활용방안』, 한국학술정보(주).

1인당 평균 사용량 2.71ℓ/년을 전국 인구로 곱해서 전국 사용량을 추정하면 〈표 21〉과 같다. 1인당 연간 사용량은 최소 1.4ℓ, 최대 4.2ℓ로 나타났으며, 가운데 값인 2.71ℓ/년을 중심으로 추정하였다. 1가구당 연간 사용량은 평균 10.36ℓ로 추정되었고, 전국 가정에서의 연간 총 사용량은 평균 124,620,133ℓ(115,897톤)로 추정되었다.

Table 21. 전국 가정의 연간 식용유 사용량 추정(2003) 단위 : ℓ/년

	연간 최소 사용량	연간 최대 사용량	연간 평균
1인당 사용량	1.40	4.02	2.71
1가구당 사용량	5.36	15.39	10.36
전국 가구당 총사용량	64,379,405	184,860,862	124,620,133

주 : 전국 인구수(45,985,289명)는 통계청 2000년 자료를 활용함.
자료 : 김정욱 외, 2007,『폐식용유의 활용방안』, 한국학술정보(주).

3.2.2. 대량사용단위의 식용유 사용량 추정

가. 음식점의 식용유 사용량 추정

식용유의 대량사용 단위는 음식점, 식품가공업체 등으로 구분할 수 있다.

음식점 종류별 식용유 사용량을 살펴보면 〈표 22〉과 같다. 음식점 종류별로 월간 식용유 사용량을 보면 중국음식점이 270ℓ로 가장 많고, 다음으로 치킨점, 분식점, 돈가스점, 튀김점이 63ℓ, 한식점과 일식점은 18ℓ로 나타났다.

Table 22. 음식점 종류별 월간 식용유 사용량(2003) 단위 : ℓ/월

	음식점 종류별 월 사용량					
평균사용량	치킨점	분식점	중국음식점	돈가스점	튀김점	한식, 일식
	63	63	270	63	63	18

주 : 18L/통 기준으로 1통-2통 사용시 1.5통, 3통-4통 사용시 3.5통으로 계산하였음.
자료 : 김정욱 외, 2007,『폐식용유의 활용방안』, 한국학술정보(주).

음식점에서 사용하는 식용유량의 추정은 음식점 종류별 월간 식용유 사용량과 국내 음식점 수(한국음식업중앙회 가맹점 수, 등록업소 수 그리고 기타 자료)를 이용하였다(표 23). 등록업소는 한국음식업중앙회에 가입되지 않은 영업허가 등록 음식점을 의미하며, 기타는 호프, 소주방 등을 포함한 〈표 23〉에 구분된 것 이외의 모든 음식점이다.

Table 23. 전국 일반음식점 업종별 음식점 수(2005)　　단위 : 개소

지회별	일반음식점 업종별 음식점 수						
	한식	일식	양식	중화식	분식	등록업소	기타
전 국	229,293	12,869	17,707	22,327	36,053	1,002	104,275
서 울	39,455	3,197	3,693	3,792	7,261	589	25,617
부산시	14,674	242	1,045	1,937	2,570	277	6,477
대구시	13,087	852	1,162	1,756	1,645	17	4,681
인천시	8,153	899	334	1,001	1,829	24	6,256
광주시	5,752	527	178	650	982	13	5,904
대전시	7,988	371	437	691	1,344	8	3,940
울산시	5,944	238	660	499	629	28	1,884
경 기	39,338	2,038	2,978	3,467	5,607	10	16,235
강 원	11,426	856	809	1,101	1,518	-	4,716
충 북	8,710	645	654	784	1,958	13	4,763
충 남	12,822	651	980	1,268	2,631	12	4,521
전 북	8,380	519	956	1,014	1,451	6	3,673
전 남	10,748	225	446	862	1,305	-	4,038
경 북	17,983	715	1,164	1,730	2,636	-	6,403
경 남	20,601	461	1,792	1,555	2,529	5	4,930
제 주	4,232	433	419	220	158	-	237

자료: 한국음식업중앙회

국내 음식점에서의 연간 식용유 사용량은 〈표 22〉의 음식점 종류별 식용유 사용량을 〈표 23〉의 업종별 음식점 수에 적용하여 추정하였다. 기타는 치킨점을 기준으로 63ℓ를 적용하였고, 자료가 전혀 없는 등록업소는 사용량 산정에서 제외하였다.

전국 일반음식업소의 연간 식용유 총사용량은 178,801천ℓ(166,287톤)로 추정되었다(표 24).

Table 24. 일반음식점 연간 평균 식용유 사용량 추정(2003) 단위 : 천ℓ/년

지회별	한 식	일 식	양 식	중화식	분 식	기 타	계
전 국	49,527	2,779	13,386	72,339	27,256	13,514	178,801
서 울	8,522	691	2,792	12,286	5,489	3,320	33,100
부산시	3,169	52	790	6,276	1,943	839	13,069
대구시	2,826	184	878	5,689	1,244	607	11,428
인천시	1,761	194	253	3,243	1,383	811	7,645
광주시	1,242	113	135	2,106	742	765	5,103
대전시	1,725	80	330	2,239	1,016	511	5,901
울산시	1,284	51	499	1,617	476	244	4,171
경 기	8,497	440	2,251	11,233	4,239	2,104	28,764
강 원	2,468	185	612	3,567	1,148	611	8,591
충 북	1,881	139	494	2,540	1,480	617	7,151
충 남	2,770	140	741	4,108	1,989	586	10,334
전 북	1,810	112	723	3,285	1,097	476	7,503
전 남	2,322	49	337	2,793	987	523	7,011
경 북	3,884	154	880	5,605	1,993	830	13,346
경 남	4,450	100	1,355	5,038	1,912	639	13,494
제 주	914	94	317	713	119	31	2,188

자료: 김정욱 외, 2007,『폐식용유의 활용방안』, 한국학술정보(주).

나. 음식점 이외 대량사용처의 식용유 사용량 추정

일반음식점 이외에 식용유를 대량 사용하는 음식점으로 패스트푸드업소와 체인시스템구조의 치킨전문점이 있다. 〈표 25〉와 〈표 26〉는 패스트푸드점과 치킨전문점의 식용유 사용량, 폐식용유 발생량 등을 나타내었다. 대리점의 규모, 지역간 차이가 커서 추정 결과의 오차가 크다.

Table 25. 패스트푸드업소의 월간 식용유 사용량 추정(2003)

	업소명	대리점수	식용유 발생량 (톤/월)	식용유 발생추정량 (톤/월)	식용유 발생추정량 (톤/월)	폐식용유 재활용 여부	비 고
패스트푸드업소	BK사	91	N	5.46-43.68	2.73-21.84	- 폐식용유 분리 배출 추정: 약90% - 재활용추정: 60-70% - 자체활용: 30~40%	
	K사	183	N	10.98-87.84	5.49-43.92		
	L사	829	400	400	200		1대리점 월평균 0.48톤
	M사	120	N	7.20-57.60	3.60-28.80		
	P사	169	10	10	5		1대리점 월평균 0.06톤
계				433.64-599.12	216.82-299.56		사용량 평균 516톤

주 : N = 자료 없음.
자료 : 김정욱 외, 2007,『폐식용유의 활용방안』, 한국학술정보(주).

Table 26. 프랜차이즈업소의 월간 식용유 사용량 추정(2003)

	업소명	대리점수	식용유 발생량 (톤/월)	식용유 발생추정량 (톤/월)	식용유 발생추정량 (톤/월)	폐식용유 재활용 여부	비 고
프랜차이즈 협회	가맹점 34개	13,000	13,057	10,445.76-15,668.64 (평균 : 13,057톤)	5,222.88-7,834.32	- 폐식용유 배출과 재활용은 각 영업소 자율권 - 재활용 추정되나 자료 없음	- 대형치킨 체인점 B, P, K 포함 - 1캔(18L) 기준 월평균 30캔(540L) 사용 추정
한국치킨외식산업협회	가맹점 31개						
비가맹업소		13,000					
계				10,879.40-16,267.76	5,439.70-8,133.88		

자료: 김정욱 외, 2007,『폐식용유의 활용방안』, 한국학술정보(주).

이 밖에 식용유를 대량으로 사용하는 라면 생산업체와 스넥과자 생산업체에서 사용하는 식용유 양은 2003년 기준 라면과 스낵과자를 제조할 때 주로 사용하는 팜유 수입생산량을 기준으로 산정하였다. 한국식품공업협회의 2003년 자료에 의하면 팜유 수입 생산량은 약 113,750톤으로 추정된다.

패스트푸드점, 치킨전문점, 일반음식점, 그리고 식품제조업체의 연간 식용유 사용량은 425,851톤으로 추정되었다(표 27)

Table 27. 업소용의 연간 식용유 사용량 추정(2003) 단위 : 톤/년

	연간 업소용 식용유지사용 추정량	평 균
일반음식점	149,658 ~ 182,916	166,287
패스트푸드업소	5,573 ~ 6,811	6,192
치킨전문체인점	141,016 ~ 172,352	156,684
식품제조업	71,000 ~ 102,375	96,688
합 계	387,247 ~ 464,454	425,851

자료: 김정욱 외, 2007,『폐식용유의 활용방안』, 한국학술정보(주).

3.3 식용유 총사용량 추정

식용유의 연간 총사용량은 다음과 같은 방법으로 추정하였다. 앞의 추정에 이용한 가정에서 식용유의 연간 사용량 추정규모 59,873~171,921톤의 평균추정량 115,897톤 전후 10%를 각각 최소값과 최대값의 범위로 하고, 식품제조업을 포함한 업소용 연간 사용량 추정규모인 387,247~464,454톤을 합하여 총 사용량을 추정하였다. 그 결과 식용유의 연간 평균 사용량은 541,748톤으로 추정되었다(표 28). 〈표 19〉의 2003년 생산량과 비교하면 근사치로 추정되었음을 알 수 있다.

Table 28. 식용유 연간 총사용량 추정량(2003) 단위 : 톤/년

	연간최소사용량	연간최대사용량	연간평균사용량
가구내 식용유 사용 추정량	104,307	127,487	115,897
업소·식품제조업체 식용유 사용추정량	387,247	464,454	425,851
합 계	491,554	591,941	541,748

자료: 김정욱 외, 2007,『폐식용유의 활용방안』, 한국학술정보(주).

3.4 폐식용유 발생량 추정

한국의 연간 식용유 사용량은 약 541,748톤으로 추정되었다. 이 가운데 약 31%인 17만톤은 일반음식점에서 사용되고, 약 29%인 16만톤은 치킨전문점에서 사용되는 것으로 추정된다. 그리고 약 21%에 해당하는 12만톤은 가정에서 사용되는 것으로 추정되며, 라면이나 스낵과자류 등 가공음식에서는 약 18%인 10만 톤이 사용되는 것으로 나타났다.

국민 1인당 연간 식용유 총 사용 추정량은 평균 12.67ℓ로 산출되었고, 1가구당 연간 식용유 총 사용 추정량은 평균 40.70ℓ로 산출되었다. 사용량의 추산에 사용된 자료는 통계청의 2000년 인구와 가구 수(14,311,807가구)를 기준으로 하였으며, 〈표 29〉의 섭취량과 배출량은 사용량의 50%를 섭취량으로 하고 50%를 배출량으로 산정하였다.

이와 같은 방법으로 추정된 폐식용유의 발생량은 270,874톤으로 계측되었다(표 29).

Table 29. 연간 식용유 섭취량과 폐식용유 발생량 추정(2003) (단위 : 톤)

	최 소	최 대	평 균
패스트푸트업소	2,787	3,406	3,096
치킨전문체인점	70,508	86,176	78,342
일반음식점	74,829	91,458	83,144
식품제조업	45,500	51,188	48,344
소 계	193,624	232,227	212,926
가 정	52,154	63,744	57,949
합 계	245,777	295,971	270,874

자료: 김정욱 외, 2007,『폐식용유의 활용방안』, 한국학술정보(주).

3.5 폐식용유 이용 및 회수 가능량 추정

〈표 29〉에서 추정된 결과에 의하면 국내에서 발생되고 있는 폐식용유는 연간 약 27만톤으로 추정된다. 따라서 앞으로 '폐식용유 온풍난방기'에 연료로 사용할 폐식용유의 잠재량은 연간 약 27만톤이다.

'폐식용유 온풍난방기'에 연료인 폐식용유는 어느 정도 회수 가능할 것인가 하는 것이 '폐식용유 온풍난방기'의 보급과 이용도를 결정하는 중요한 요소이다.

김정욱(2007)의 연구에 의하면 폐식용유의 잠재적 회수 가능량은 매년 발생되는 것으로 추정된 폐식용유 27만톤의 약 42%인 11만톤 정도는 수거될 수 있을 것으로 추정되었다(표 19).

현재 일부에서 수거되고 있는 폐식용유는 일부만 사료 원료로 사용되고 있을 뿐이다. 실제 수거되었거나 수거 가능한 폐식용유의 대부분은 적합한 수요처가 없어 불법 폐기처분되고 있는 것으로 판단된다.[8)]

이러한 점을 고려하여 정부에서는 바이오디젤 원료 확보, 자원 재활용 및 수질오염 방지 등을 위해서 국내 폐식용유 수거율 제고를 위한 방안의 마련을 추진하고 있다[9)].

특히 최근에는 지방자치단체에서 폐식용유의 수집 재활용에 많은 관심을 보이고 있으며, 일부 지방자치단체에서는 폐식용유를 수집하여 재활용을 하고 있다.

Table 30. 폐식용유의 잠재적 회수 가능량 추정 (단위 : 톤)

	최 소	최 대	평 균
패스트푸트업소	697	851	774 (25%)
치킨전문체인점	17,627	21,544	19,586 (25%)
일반음식점	34,421	42,071	38,246 (46%)
식품제조업	11,375	12,797	12,086 (25%)
가 정	39,155	47,808	43,461 (75%)
합 계	103,235	125,071	114,153 (42%)

자료: 김정욱 외, 2007,『폐식용유의 활용방안』, 한국학술정보(주).

8) 이진석, 2007,『폐식용유의 차량 연료(바이오디젤)화 기술』, 한국에너지기술연구원.

9) 재정경제부, 농림부, 산업자원부, 환경부, 건설교통부, 2007,『바이오디젤 중장기 보급계획』.

제 4 절 ‘폐식용유 온풍난방기’ 기술의 효과분석 방법론 구축

4.1 ‘폐식용유 온풍난방기’의 편익 개념과 계측방법

4.1.1. 개념정의

겨울철 난방은 시설농업 재배작물의 경영성패를 결정하는 매우 중요한 요인이다.

‘폐식용유 온풍난방기’는 시설농업에서 필요로 하는 난방문제를 석유, 경유 등 화석연료 대신 폐식용유로 해결하여 주는 기계시설이다. ‘폐식용유 온풍난방기’의 사용에 따른 시설농산물의 증산 이유는 재배면적 확대, 냉해방지 그리고 품질개선 등이다.

‘폐식용유 온풍난방기’의 사용에 따른 편익은 생산성 증대와 난방비용 절감으로 정의할 수 있다. ‘폐식용유 온풍난방기’의 사용에 따른 생산성 증대는 재배시기 조절에 의한 재배면적 확대, 냉해 감소, CO_2 농도 증가 등에 의한 시설농산물의 수확량 증가이다. ‘폐식용유 온풍난방기’의 사용에 따른 비용 절감은 연료비 감소, 작물 재배기간의 단축에 의한 비용의 절감이다. 이 밖의 효과로는 ‘폐식용유 온풍난방기’의 사용에 따른 품질개선효과, 기타효과 등을 들 수 있다.

‘폐식용유 온풍난방기’의 편익은 편익발생기준에 따라 편익 항목을 〈표 31〉과 같이 분류할 수 있다.

Table 31. ‘폐식용유 온풍난방기’의 편익항목

구 분 \ 편익발생기준		수확량 기준	재배기간 기준
생산량 증가	재배면적 확대	○	○
	냉해 감소	○	○
	CO_2 농도 증가	○	
품질개선	품질개선효과	○	○
비용 감소	연료비 감소		○
기타효과	생산시기 조절	○	○
	가격 경쟁력 확보		○

4.1.2. 계측방법

‘폐식용유 온풍난방기’ 시제품을 제작하여 경도대학의 시험결과와 기존 문헌에서 관련 효과를 조사하였다.

4.2. ‘폐식용유 온풍난방기’의 비용 개념과 계측방법

4.2.1. 개념정의

‘폐식용유 온풍난방기’를 사용함으로써 발생하는 비용은 온풍난방기의 구입비, 설치비, 유지관리비, 농산물 생산비 등이다.

이러한 비용 가운데 ‘폐식용유 온풍난방기’를 사용함으로써 발생하는 비용은 ‘폐식용유 온풍난방기’의 구입비, 설치비, 유지관리비, 기타 경비 등이며, 감소하는 비용은 농산물 생산비 가운데 재배기간 중의 연료비 감소이다.

‘폐식용유 온풍난방기’의 비용 항목은 〈표 32〉과 같이 분류할 수 있다. 비용의 계측방법에 따른 비용은 ‘수확량 기준’이나 ‘재배기간 기준’ 사이에 차이가 없다.

Table 32. '폐식용유 온풍난방기'의 비용항목

구 분 \ 편익발생기준		수확량 기준	재배기간 기준
감가상각	감가상각비(대농구) - 기계취득비용 - 기계설치비	○	○
유지관리	수선비	○	○
	제재료비	○	○
	노력비	○	○
자본이자	고정자본이자	○	○
	유동자본이자	○	○
기타비용		○	○

4.2.2. 계측방법

'폐식용유 온풍난방기' 태광기계에서 제작한 사제품을 경북도립대학에서 시용 및 시험하여 수집된 각종 비용의 증감을 조사하였다.

4.3. '폐식용유 온풍난방기'의 경제성분석 방법

4.3.1. 분석지표

경제성 분석의 개념은 '폐식용유 온풍난방기'의 개발·사용에 따른 제반 비용 및 편익을 비교하는 것이다.

경제성 분석에서 경제성의 지표는 ① 편익·비용비율(B/C Ratio), ② 추가순수익의 순현재가치(NPW : Net Present Worth), ③ 내부투자수익율(IRR : Internal Rate of Return) 등을 들 수 있다.

4.3.2. 분석방법

경제성 분석은 편익·비용비율법(B/C Ratio)과 추가순수익의 순현재가치법(NPW : Net Present Worth) 등이 있다.

가. 편익-비용비율법(Benefit-Cost Ratio : B/C)

○ 모형

$$BC\,ratio = \frac{\sum_{n=0}^{N} \frac{B_n}{(1+r)^n}}{\sum_{n=0}^{N} \frac{C_n}{(1+r)^n}} \quad \cdots\cdots (1)$$

단, B_n : n 차 년도에 발생하는 편익

C_n : n 차 년도에 발생하는 비용

r : 할인율

*BCratio*법에서는 투자사업으로부터 미래에 발생할 편익의 현재가치와 비용의 현재가치를 비교하여 투자안의 경제적 타당성을 평가한다. *BCratio* 〉 1인 경우 투자안을 채택하고, *BCratio* 〈 1인 경우 투자안을 기각한다.

나. 순현재가치법(Net Present Value : NPV)

○ 모형

$$NPV = (B_o - C_o) + \frac{B_o - C_o}{(1+r)^1} + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^2} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} \cdots\cdots (2)$$

$$+ \cdots + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n}$$

단, B_n : n 차 년도에 발생하는 편익

C_n : n 차 년도에 발생하는 비용

r : 할인율

NPV법에서는 투자사업으로 부터 미래에 발생할 편익과 비용의 차이인 순수익 NPV 〉 0인 경우 투자안을 채택하고, NPV 〈 0인 경우 투자안을 기각한다.

제 5 절 '폐식용유 온풍난방기' 관련 편익 및 비용 계측

5.1. '폐식용유 온풍난방기' 관련 편익 계측결과

5.1.1. 생산량의 증가효과

'폐식용유 온풍난방기'의 생산량 증가효과 조사결과와 기존의 농작물 난방효과시험자료에 의하면, 이들 작물에 대한 난방효과는 냉해 감소와 탄산가스(CO_2) 농도의 증가에 의한 것이다. '폐식용유 온풍난방기'의 난방에 의한 생산량 증가효과는 〈표 33〉와 같이 나타났다.

Table 33. '폐식용유 온풍난방기' 생산량 증가효과 단위 : %

구 분	재배면적 확대	냉해 감소	CO_2농도 증가	기타효과	비 고
무가동시(A)	0	100	계측불가	계측불가	
가 동 시(B)	100	5	계측불가	계측불가	
증산량(B-A)	100	95	계측불가	계측불가	
변화율(B/A)	100	95	계측불가	계측불가	

자료: 현지조사

'폐식용유 온풍난방기'의 생산량 증가효과는 재배면적 확대 효과 100%, 냉해감소 효과 95%로 계측되었다. 이 연구에서는 탄산가스(CO_2) 농도의 증가와 기타효과는 계측이 불가능하여 분석에는 고려하지 않았다.

‘폐식용유 온풍난방기’에 의한 재배면적 증가에 의한 생산량 증가효과와 냉해감소효과는 최근 비닐하우스와 유리온실 재배 등이 일반화되고 있기 때문에 온풍난방기에 의한 효과로 보기에는 너무 크다. 따라서 이 연구에서는 ‘폐식용유 온풍난방기’의 재배면적 증가와 냉해감소에 의한 생산량 증가효과로 이용하지 않았다.

5.1.2. 품질개선 효과

품질개선효과는 ‘폐식용유 온풍난방기’를 이용하여 실내 온실에서 농산물을 재배함으로써 CO_2 농도 증가를 광합성에 이용하거나 냉해 감소를 통한 품질을 개선시켜 실외에서 재배된 농산물 보다 품질을 높인 효과라고 할 수 있다.

일반적으로 품질개선효과는 논리적으로는 설명이 가능한 효과이지만 계측이 어려운 간접효과이다. 이 연구에서는 품질개선효과의 계측이 불가능하여 분석에는 고려하지 않았다.

5.1.3. 생산비 절감 효과

‘폐식용유 온풍난방기’ 사용에 의한 생산비 절감효과는 기존의 난방에 사용하던 석유류와 폐식용유의 사용에 따른 비용의 차이가 주된 효과이다. 따라서 ‘폐식용유 온풍난방기’의 생산비 절감효과는 온풍난방기에 대표적인 석유류의 하나로 널리 사용되는 경유를 폐식용유로 대체할 경우와의 차이로 정의하였다.

‘폐식용유 온풍난방기’의 가동시험에서 원예작물의 생산비 절감액을 조사한 결과는 〈표 34〉과 같이 나타났다.

조사결과에 의하면 ‘폐식용유 온풍난방기’가 ‘경유 온풍난방기’ 보다 1일 500평당 대당 연료비가 65,684원이 낮은 것으로 나타났다. 따라서 ‘폐식용유 온풍난방기’를 이용할 경우 난방비를 절약하여 결과적으로 1일 생산비를 65,684원/500평씩 절감하는 것으로 계측되었다. 그러나 온풍난방기에 사용하는 연료를 경유에서 폐식용유로 변경하는데 따른 농장의 유지관리비, 노동력 등은 크게 절감되지 않았다.

Table 34. 폐식용유 온풍난방기의 대당 생산비 절감 계측

		단 위	금액 또는 물량	비 고
연료 종류별 1일 연료 소모량	폐식용유	L/일	155	300평 온실내 19℃ 유지
	경 유	〃	160	300평 온실내 19℃ 유지
연료 종류별 연료단가	폐식용유	원/L	778	시가 기준
	경 유	〃	1,000	면세유 기준
연료 종류별 연료 발열량	폐식용유	kcal/L	9,343	
	경 유	〃	9,050	
재 배 면 적		평	500	
재 배 기 간[3]		일	150	
온풍난방기 소요대수		대	1	
연료 종류별 1일 연료비	폐식용유(A)[1]	원/500평/일	200,983	
	경 유(B)[2]	〃	266,667	
경유대비 1일 생산비 절감액(B-A)		〃	65,684	

주: 1. 300평 온실내 19℃ 유지에 필요한 폐식용유 1일 소요량 155L/일 기준으로 환산
2. 300평 온실내 19℃ 유지에 필요한 경유 1일 소요량 160L/일 기준으로 환산
3. 원예용 온실의 재배기간은 전년 11월부터 차년 3월까지 5개월(150일)로 함.

자료: 농촌진흥청 국립농업과학원, 2008,『시설원예 에너지절감 가이드북』. 현지조사

5.1.4. 기타 효과

기타 효과로 생산시기 조절과 이에 따른 가격 경쟁력 확보의 효과 등으로 들 수 있다. 이들 효과는 일반적으로 계측이 어려운 간접효과이다. 이 연구에서는 이들 효과의 계측이 불가능하여 감안하지 않았다.

5.2. '폐식용유 온풍난방기' 관련 비용 계측결과

5.2.1. 현행 기술조건하의 '폐식용유 온풍난방기' 개발비 분석

가. 개발비 분석 방법

'폐식용유 온풍난방기'의 개발비는 이 연구의 참여기업인 (주)태광기계에서 2009년에 작성한 '폐식용유 온풍난방기'의 예정원가계산서를 참고하였다.

(주)태광기계에서 개발한 '폐식용유 온풍난방기'의 형식은 '일체형 온풍난방기'이며, 개발비의 조사시점은 2009년 3월을 기준으로 조사하였다.

'폐식용유 온풍난방기'의 개발원가조사는 「국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령」 제9조 및 「국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행규칙」 제5조 및 제6조, '기획재정부 회계예규(2200.04-160-6, 2009.9.21)'[10]의 '예정가격작성기준', 그리고 관계되는 제반자료 및 증거자료를 근거로 하였다.

나. 개발비 분석 결과

이 연구의 참여기업인 (주)태광기계가 개발한 '폐식용유 온풍난방기'의 개발비는 〈표 24〉의 원가계산서에서 보는 같이 설치비 1,000천원을 포함하여 대당 9,050천원으로 분석되었다. 따라서 설치비를 제외한 제조원가는 8,050천원이다.

'폐식용유 온풍난방기'의 개발비는 재료비 5,568천원, 노무비 1,367천원, 경비 875천원, 일반관리비 547천원, 이윤 697천원으로 구성되어 있다. '폐식용유 온풍난방기'의 개발비는 재료비가 61.5%로 가장 크고, 다음으로 노무비 15.1%, 경비 9.7%, 이윤 7.7%, 일반관리비 6.0%의 순으로 구성되어 있다.

10) 이 예규는 「국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령」(이하 "시행령"이라 한다) 제9조제1항제2호 및 「국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행규칙」(이하 "시행규칙"이라 한다) 제6조의 규정에 의한 원가계산에 의한 예정가격 작성, 시행령 제9조 제1항 제3호 및 시행규칙 제5조 제2항의 규정에 의한 실적공사비에 의한 예정가격 작성 및 시행규칙 제5조의 규정에 의한 전문가격조사기관의 등록 등에 있어 적용하여야 할 기준을 정함을 목적으로 한다.

Table 35. '폐식용유 온풍난방기' 제조원가계산서 (단위 : 원)

		금 액	구성비(%)	비 고
재료비[1]	직접재료비	5,541,155		
	간접재료비	26,598		
	소 계	5,567,753	61.5	
노무비	직접노무비	1,148,565		
	간접노무비	218,227		
	소 계	1,366,792	15.1	
경 비	복리후생비	97,916		
	전력비	46,739		
	가스수도비	21,289		
	감가상각비	345,687		
	세금과공과	25,519		
	임차료	20,942		
	보험료	17,198		
	수선비	31,205		
	운반비	34,465		
	기타경비	234,041		
	소 계	875,001	9.7	
제조원가		7,809,546		
일반관리비		546,668	6.0	제조원가 × 7%
이 윤		697,115	7.7	(노무비 + 경비 + 일반관리비) × 25%
합 계		9,053,329	100.0	
총 원 가		9,050,000 (8,050,000)[2]		

주: 1. 재료비는 기계설치비(1,000,000원)가 포함된 비용임. 설치비의 내용은 탱크, 연통, 전선, 닥트 등 기타 부자재 등의 비용임.
2. 설치비를 제외한 '폐식용유 온풍난방기' 제조원가임.
3. 조사대상 '폐식용유 온풍난방기'는 20만Kcal 1대를 1일간 가동을 기준으로 설계하였음.
4. 상기 금액은 2009년도 기준가격으로 부가가치세를 제외한 금액임.

자료: (주)태광기계

5.2.2. 운영비용의 계측

'폐식용유 온풍난방기'의 운영비는 시설의 유지관리에 필요한 감가상각비, 수선비, 제재료비, 노력비 등이며, 이들 항목의 계측은 다음과 같은 방법으로 수행하였다.

가. 감가상각액

감가상각의 방법은 일반적으로 정액법과 정률법이 이용되고 있다. 이 연구에서는 정액법을 이용하여 감가상각비를 산출하였다. 정액법에 의한 감가상각액의 산식은 식 (3)과 같다.

▪ 감가상각액 = 〔(취득원가 − 잔존가액) + 설치비〕 ÷ 내용연수 ····· (3)

감가상각액을 산출하기 위한 기초자료는 취득원가, 잔존가액, 설치비, 내용연수 등에 관한 자료가 필요하다. 이 연구에서 감가상각액을 산출하기 위한 기초자료는 다음과 같이 정의하였다(표 36).

Table 36. 감가상각액 산출 기초자료 및 산출액

		단위	기 준	비 고
기초자료	취득원가	원/대	8,050,000	
	잔존가액	〃	805,000	8,050,000원 × 10%
	설 치 비	〃	1,000,000	
	내용년수	년	7	
감가상각액 산출		원/대/년	1,177,857	[(8,050,000 - 805,000) + 1,000,000] ÷ 7

자료: (주)태광기계 및 현지조사

첫째, 취득원가와 설치비는 '폐식용유 온풍난방기'의 기계구입비와 설치비로서 취득원가는 8,050,000원, 설치비(기계설치 부자재비)는 1,000,000원으로 정의하였다.

둘째, '폐식용유 온풍난방기'의 내용년수는 현행 '조달청고시 제2008-7호'[11]에 의하여 결정하였다. '조달청고시 제2008-7호'에 온풍난방기는 물품분류 '40군 유체조절기기-온풍난방기-온풍난방기'로 분류되어 있으며, 내용연수는 7년으로 규정되어 있다. 따라서 이 연구에서 '폐식용유 온풍난방기'의 추정내용연수는 7년으로 하였다.

셋째, 잔존가치는 '폐식용유 온풍난방기'의 내용연수가 경과하고 폐기된 기계의 남아 있는 가치로서 일반적으로 기계구입비의 10%를 잔존가치율로 하고 있다. 이에 따라 '폐식용유 온풍난방기'의 잔존가액은 805,000원으로 정의하였다.

위와 같은 방법으로 감가상각비를 계측한 결과는 〈표 36〉와 같이 연간 1,177,857원으로 산출되었다.

나. 수선비

일반적으로 수선비는 시설 취득원가의 0.5%를 적용하고 있다. '폐식용유 온풍난방기'의 수선비를 계측한 결과는 〈표 37〉과 같다.

Table 37. 수선비 산출 기초자료 및 산출액

		단위	기 준	비 고
기초자료	취득원가	원	8,050,000	
	수선비 적용율	%	0.5	
수선비 산출액		원	40,250	8,050,000 × 0.5%

자료: (주)태광기계 및 현지조사

11) '조달청고시 제2008-7호(2008. 8. 13)'는 조달청에서 물품의 내용연수를 「물품관리법」 제16조의2 , 「물품목록정보의 관리 및 이용에 관한 법률」 제15조 및 「물품관리법시행규칙」 제25조에 근거하여 조달청고시로 제정하여 고시하는 것이다. 이 고시의 목적은 국가기관에서 공통적으로 사용하는 주요물품에 대하여 물품의 경제적인 사용기간인 내용연수를 정하고 이를 적용하기 위한 기준을 정함으로써 국가물품을 효율적으로 관리하기 위한 것이다.

다. 제재료비

제재료비도 수선비와 같이 시설 취득원가의 0.5%를 적용하는 것이 일반적이다. '폐식용유 온풍난방기'의 제재료비를 계측한 결과는 〈표 38〉과 같다.

Table 38. 제재료비 산출 기초자료 및 산출액

		단위	기 준	비 고
기초자료	취득원가	원	8,050,000	
	수선비 적용율	%	0.5	
제재료비 산출액		원	40,250	8,050,000 × 0.5%

자료: (주)태광기계 및 현지조사

라. 노력비

노력비는 '폐식용유 온풍난방기'의 가동을 위한 인건비이다. 즉 '폐식용유 온풍난방기'를 설치할 경우 이를 가동하는데 추가로 소요되는 인건비이다. 따라서 추가노력비는 다음과 같은 방법으로 계측되었다.

▪ 추가노력비 산출 = 1일당 추가노동 소요시간 × 임금 × 재배기간 ····· (4)

'폐식용유 온풍난방기'를 가동하는 데는 가동 기간에 매일 특수인부 노동력 30분 정도가 추가로 소요되며, 1일 인건비[12]는 62,465원으로 조사되었다. '폐식용유 온풍난방기'의 추가노력비를 계측한 결과는 〈표 39〉와 같다.

Table 39. 노력비 산출 기초자료 및 산출액

		단위	기 준	비 고
기초자료	온풍난방기 가동 1일 소요노동	분	30	
	재 배 기 간	일	150	
	1일 인건비 단가	원/일	62,465	
	30분간 인건비 단가[1)]	원/30분	3,904	
노력비 산출		원/대/년	585,600	3,904원/30분 × 150일

주: 1. 1일 8시간 근로 기준으로 1일을 근로시간을 480분으로 환산함.
자료: (주)태광기계 및 현지조사 농협중앙회

마. 고정자본이자

고정자본이자는 '폐식용유 온풍난방기'를 설치할 때 투자된 자본에 대한 비용으로 산식은 다음과 같다.

▪ 고정자본이자 = ('폐식용유 온풍난방기' 취득원가 × 이자율) ÷ 내용연수 ····· (5)

'폐식용유 온풍난방기'의 고정자본이자를 계측한 결과는 〈표 40〉와 같다.

12) 농협중앙회에서 발표한 '2008년도 3월 기준 남자 1일 농업노동임금' 62,465원을 적용함.

Table 40. 고정자본이자 산출 기초자료 및 산출액

		단위	기 준	비 고
기초자료	취득원가	원/대	8,050,000	
	설 치 비	〃	1,000,000	
	이 자 율	%	5	
	내용년수	년	7	
고정자본이자 산출		원/대/년	64,643	[(8,050,000 + 1,000,000) ,05%], 057

자료: (주)태광기계 및 현지조사

바. 유동자본이자

유동자본이자는 '폐식용유 온풍난방기'를 설치함에 따라 발생하는 경영비에 대한 비용으로 산식은 다음과 같다.

▪ 유동자본이자 = 추가경영비(감가상각비, 수선비, 제재료비, 노력비) × 이자율 … (6)

'폐식용유 온풍난방기'의 유동자본이자를 계측한 결과는 〈표 41〉과 같다.

Table 41. 유동자본이자 산출 기초자료 및 산출액

비 목		단위	기 준	비 고
기초자료	감가상각비	원/대/년	1,177,857	
	수 선 비	〃	40,250	
	제 재 료 비	〃	40,250	
	노 력 비	〃	585,600	
	이 자 율	%	5	
유동자본이자 산출		원/대/년	92,198	(1,177,857 + 40,250 + 40,250 + 585,600) × 5%

자료: (주)태광기계 및 현지조사

제 6 절 '폐식용유 온풍난방기'의 경제성 분석

6.1. '폐식용유 온풍난방기'의 총편익 추정

'폐식용유 온풍난방기'의 편익은 생산량 증가에 의한 편익, 품질개선에 의한 편익, 비용감소에 의한 편익, 기타효과 등이 있다. 이 연구에서 '폐식용유 온풍난방기'의 편익은 계수화가 가능한 비용감소에 의한 편익만 추정하여 이용하였으며, 시설재배에서 일반화 되어 있는 가온에 의한 생산량 증가 편익은 효과에서 제외하였다. 그리고 계수화가 불가능한 품질개선에 의한 편익과 기타효과는 제외하였다.

6.1.1. 폐식용유 연료 대체에 의한 생산비 감소에 의한 편익

'폐식용유 온풍난방기'에 의한 시설원예 작물의 생산비 절감효과는 앞에서 언급한 바와 같이 온풍난방기의 연료를 현재 일반적으로 사용하고 있는 경유 대신 폐식용유로 대체하였을 경우의 차이로 정의하였다.

편익의 계측 방법은 온풍난방기 1대의 가온 가능면적을 500평으로 하고, 시설원예 작물의 재배기간을 5

개월로 하였을 경우 폐식용유를 사용하면 경유를 사용하였을 때 보다 연료비가 얼마나 절약되는가를 계측하였으며, 이 연료비 절약액을 생산비 절감액으로 간주하였다(표 42).

Table 42. 폐식용유 온풍난방기의 연간 대당 생산비 절감 계측 기본전제

	단위	금액 또는 물량	비 고
재 배 면 적	평	500	
재 배 작 목		원예작물	
재 배 기 간[1)]	일	150	
온풍난방기 소요대수	대	1	
폐식용유의 경유대비 1일 생산비 절감액	〃	65,684	

주: 1. 원예용 온실의 재배기간은 전년 11월부터 차년 3월까지 5개월(150일)로 함.
자료: 농촌진흥청 국립농업과학원, 2008,『시설원예 에너지절감 가이드북』.현지조사

이러한 방법으로 계측된 '폐식용유 온풍난방기'에 의한 원예작물의 생산비 절감효과는 〈표 43〉와 같이 산정되었다. 온풍난방기 연료를 폐식용유로 사용하면 경유보다 온풍기 대당 연간 5,911,500원/10a의 생산비가 절감되었다.

Table 43. 폐식용유 연료 대체에 의한 연간 대당 생산비 절감액

		단위	재배기간[1)] 연료비	비 고
연료 종류별 연료비 소요액	폐식용유(A)	원/500평	30,147,450	
	경유(B)	〃	40,000,050	
생산비 절감 총편익	경유대비 절감액(B-A)	〃	9,852,600	

주: 1. 원예용 온풍기 가동기간은 전년 11월부터 차년 3월까지 5개월(150일)로 함.
자료: 농촌진흥청 국립농업과학원, 2008,『시설원예 에너지절감 가이드북』. 현지조사

6.1.2. '폐식용유 온풍난방기'에 의한 총편익

'폐식용유 온풍난방기'에 의한 연간 대당 총편익은 9,852,600원으로 계측되었다(표 44). 주요 편익의 내용은 폐식용유 사용에 의한 생산비 감소에 의한 것이다.

Table 44. '폐식용유 온풍난방기'에 의한 연간 대당 총편익 단위 : 원/10a/년/대

구 분	금 액	비 고
생산비 감소에 의한 편익	9,852,600	
계	9,852,600	

6.2. '폐식용유 온풍난방기'의 총비용 추정

6.2.1. 비용계측의 기본전제

'폐식용유 온풍난방기'에 의한 원예작물의 온실 재배 비용을 계측하기 위하여 〈표 45〉와 같이 기본전제를 설정하였다.

Table 45. '온풍난방기'에 의한 온실재배의 비용계측 기본전제

	단위	수량	비 고
온실 10a당 온풍난방기 설치 대수	대/10a	0.6	
재 배 작 목		원예작물	
온풍난방기 대당 재배면적	평	500	
연간 온풍난방기 사용회수	회/년	1	
온풍난방기 내용연수	년	7	

6.2.2. 온실재배의 '폐식용유 온풍난방기'에 의한 총비용

원예작물의 온실 재배에서 '폐식용유 온풍난방기'에 의한 추가비용은 총 2,000,798원으로 계측되었다(표 46). 추가적인 총비용 항목은 감가상각비, 수선비, 제재료비, 노력비, 고정자본이자, 유동자본이자이다.

Table 46. '폐식용유 온풍난방기'에 의한 연간 대당 총비용 단위 : 원/500평/년/

		금 액	비 고
감가상각	감가상각비(대농구)	1,177,857	
기계 유지관리	수 선 비	40,250	
	제재료비	40,250	
	노 력 비	585,600	
자본이자	고정자본이자	64,643	
	유동자본이자	92,198	
계		2,000,798	

6.3. '폐식용유 온풍난방기'의 경제성 계측

6.3.1. 분석모형

앞에서 분석지표로 BC ratio와 순현재가치(NPW)를 제시하였지만, 이 연구에서 '폐식용유 온풍난방기'의 경제성분석은 편익-비용비율법(Benefit-Cost Ratio : BC ratio)을 이용하여 계측하였다. 그 이유는 BC ratio는 순현재가치를 산출하여 분석하는 지표이므로 BC ratio 지표를 산출하면 NPW 지표는 분석할 필요가 없기 때문이다. 편익-비용비율법(Benefit-Cost Ratio : BC ratio)의 계측모형은 앞의 식 (1)을 이용하였다.

$$BC\,ratio = \frac{\sum_{n=0}^{N} \frac{B_n}{(1+r)^n}}{\sum_{n=0}^{N} \frac{C_n}{(1+r)^n}}$$

단, B_n : n 차 년도에 발생하는 편익

C_n : n 차 년도에 발생하는 비용

r : 할인율

6.3.2. 경제성 계측

'폐식용유 온풍난방기'에 의한 원예작물의 온실재배 10a당 연간 추가편익은 총 9,852,600원, 추가비용은 총 2,000,798원으로 계측되었다.

원예작물의 온실재배를 위한 '폐식용유 온풍난방기'의 편익-비용비율(Benefit-Cost Ratio : BC ratio)을 계측하면 다음과 같다.

$$B = B_n / (1+r)^n = (9,852,600 \times 7) / (1 + 0.05)^7 = 49,014,427원$$

$$C = C_n / (1+r)^n = (2,000,798 \times 7) / (1 + 0.05)^7 = 9,953,511원$$

$$B/C\ ratio = 49,014,427 / 9,953,511 = 4.92$$

BC ratio분석법은 투자사업으로 부터 미래에 발생할 편익의 현재가치와 비용의 현재가치를 비교하여 투자안의 경제적 타당성을 평가하는 방법이다.

원예작물의 온실재배를 위한 '폐식용유 온풍난방기' 시험분석의 결과에 의하여 계측된 BC ratio는 4.92로 산출되었다. 따라서 BC ratio가 1보다 크게 때문에 원예작물의 온실재배를 위한 '폐식용유 온풍난방기'는 경유용 온풍난방기에 비하여 경제성이 있다고 평가할 수 있다.

제 7 절 개발된 '폐식용유 온풍난방기' 기술의 실용화 및 산업화 가능성 진단

7.1. 농업용 온풍난방기의 현황

화석 연료용 온풍난방기는 실내의 쾌적한 상태로 유지하기 위한 공기조화기(air conditioner)[13]의 일종이다. 한국산업규격 KS B 8019:2005의 온풍난방기에 대한 규정은 "주로 난방용에 사용하고 등유, 경유, 또는 중유를 연료로 하는 정격 난방능력 16,000~500,000 kcal/h 인 바닥설치식 온풍난방기로 한다"고 되어 있다.

온풍난방기는 사용연료에 따라 경유온풍난방기, 중유온풍난방기, 석탄온풍난방기, 가스온풍난방기, 폐자원활용(폐목재, 폐타이어, 폐식용유 등) 난방기 등으로 구분할 수 있다.

농업용 온풍난방기의 보급은 가온재배 면적의 신장과 더불어 급신장 되어왔다. 농업용 온풍난방기에는 농업용 유류의 면세, 온도 관리의 편의성 등으로 대부분 유류를 사용하고 있다. 그 결과 2005년 현재 농업용 난방기 보급대수는 186,246대에 이르고 있으며, 면세유류 공급량은 경유 1,963천㎘, 중유 87천㎘, LPG 1,606t에 달하였다.

2005년에 유류를 이용한 농작물의 가온재배면적은 전체 가온재배면적의 약 94%이며, 연탄 및 기타연료를 이용한 가온재배면적은 약 6%로 추정된다. 농업용으로 공급되고 있는 석유류는 면세유로서 일반 석유류의 약 40% 가격에 공급되고 있지만, 1990년대 초에 20$/배럴(Dubai) 수준에 머물던 국제 원유가격이 2006년 70$/배럴(Dubai)로 지속적으로 상승함에 따라 시설원예 농가의 경영비 가운데서 난방비가 차지하는 비중이 크게 상승하였다.

국제유가가 80$/배럴(Dubai)까지 상승할 경우 경영비가 10% 이상 증가하는 과수·원예작목은 시설감귤,

13) 한국산업규격 KS C 9036:2007 : 실내의 쾌적한 공기 조화를 목적으로 하여 냉방(난방·제습을 겸하는 구조의 것을 포함한다) 및 공기의 순환과 정화를 하는 에어컨디셔너(이하 '에어컨'이라 한다) 중, 일체형인 것(압축기·송풍기 열 교환기 등을 하나의 캐비닛에 내장한 것) 또는 분리형인 것(압축기, 송풍기, 열 교환기 등을 두개의 캐비닛에 내장한 것)으로, 정격 냉방 소비 전력이 13,000W 이하이고, 또한 정격 냉방 능력이 35,000W{30,100 kcal/h} 이하인 제품에 대하여 규정한다.

촉성오이, 칼라 등 18개 작목에 이른다. 농산물 시장 개방에 따른 국제경쟁력 제고를 위하여 난방비의 비중을 줄이는 것이 시급한 과제이다.

7.2. 폐식용유의 특징

액체연료는 동점도(凍点度)에 따라 연료특성이 상이하다. 경유는 영하에서 동점도가 10cp 이하이므로 온도에 따른 연소특성에 큰 차이가 없지만, 폐식용유는 온도에 따라 동점도[14]가 변하기 때문에 연소특성에 차이가 있다.

'폐식용유 온풍난방기'의 압력분사식 버너는 중유용 압력분사식과 마찬가지로 폐식용유의 유동성을 증가시키기 위하여 가열장치를 부착하여 분사전에 폐식용유를 가열시키는 방식이 요구된다. 폐식용유의 원활한 이송을 위하여 저유탱크에도 가열장치가 필요하다.

폐식용유의 적정 분사온도를 도출하기 위한 실험이 요구된다. 연소시 생성되는 탄산가스를 작물의 광합성에 이용할 수 있으나, 탄산가스 과다에 의한 장애우려도 있다.

7.3. '폐식용유 온풍난방기'의 연소 특성

온풍난방기의 성능을 결정하는데 가장 중요한 요소이다.

연소는 연료가 산소와 급격하게 결합하면서 다량의 열을 내는 발열반응이다. 연소할 때 공기가 과잉공급되면 폐식용유가 함유하고 있는 성분과 결합하여 여러 산화물이 생길 가능성이 있다. 공기가 부족하면 산소의 부족으로 탄산가스가 되지 못하고 일산화탄소로 되어 불완전 연소로 열효율이 저하된다.

연소화염의 크기는 분무입자의 무화상태 및 공기량에 따라 다르며 화염온도도 상이하다. 현재 불완전연소로 인하여 연통에서 검은 연기가 나오고 있는데, 화염의 길이와 공기중 일산화탄소 농도 역시 고려해야 한다. 분사펌프에서 분무압력을 조절하여 분무입자를 작게 하도록 하여야 하며, 공기량이 충분하지 못하여 산소량이 부족할 수 있기 때문이다.

7.4. '폐식용유 온풍난방기'의 실용화 가능성 진단

이 연구는 '폐식용유 온풍난방기'를 시설농업에 활용하고자 하는 연구로서 현재 한국의 여건에서는 매우 앞서가는 연구이다. 따라서 '폐식용유 온풍난방기'의 실용화를 위해서는 첫째, 폐식용유의 특성과 '폐식용유 온풍난방기'의 연소특성에 따른 기술적인 문제, 둘째, '폐식용유 온풍난방기'의 주 연료인 폐식용유의 조달문제, 셋째, 기술개발의 경제성 문제가 해결되어야 한다.

먼저 폐식용유의 특성과 '폐식용유 온풍난방기'의 연소특성에 따른 기술적 문제는 다음과 같은 방법으로 극복이 가능하다.

첫째, 폐식용의 특성인 온도변화에 따른 높은 동점도 문제는 폐식용유 저유탱크에 히팅장치를 통해 일정 온도를 유지할 수 있게 컨트롤시스템으로 설계된 가열장치를 부착하여 동점도를 낮출 수 있다.

둘째, '폐식용유 온풍난방기'의 연소특성인 불완전 연소로 인한 일산화탄소 발생 문제는 연료 연소실에 공기 주입을 일정하게 조절하는 분사펌프의 개발로 일산화탄소의 발생을 막을 수 있다.

---

14) 순수식용유의 점도는 49.8cp, 업소에서 사용한 폐식용유의 점도는 80.8cp로 다양하며, 지역에 따라 기온이 다르기 때문에 동점도도 차이가 많다.

다음으로 폐식용유의 조달문제는 폐식용유의 수집체제를 강화하면 원활한 조달이 가능하다. 국내에서 사용되는 폐식용유는 일부만 회수되어 사용되고 있으며, 대부분의 폐식용유는 적합한 수요처가 없어 불법 폐기처분되고 있다. 따라서 이러한 폐식용유의 원활한 재활용을 위해 폐식용유의 수집에 중앙정부 및 지방자치단체 등 정부의 참여와 식용유 생산 기업 또는 협회와 한국식품공업협회 등이 적극적으로 참여하여야 한다. 최근 정부에서는 바이오디젤 원료 확보, 자원 재활용 및 수질오염 방지 등을 위해서 국내 폐식용유 수거율 제고를 위한 방안의 마련을 추진하고 있다. 뿐만 아니라 최근에는 지방자치단체에서 폐식용유의 수집 재활용을 위한 방안을 마련하고 있으며, 일부 지방자치단체는 폐식용유를 재활용을 하고 있다. 정부와 식용유 산업의 적극적인 참여가 이루어진다면 폐식용유를 재활용하는 소비자들이 손쉽게 폐식용유를 구득할 수 있는 유통체계가 구축되어 폐식용유의 활용도를 더욱 높일 수 있다. 뿐만 아니라 환경보전에도 큰 도움이 될 것이다.

현재 국내 폐식용유의 수거율은 40% 수준이다. 국내 폐식용유의 수거율을 약 80% 수준으로 높이고 수거된 폐식용유를 온풍난방기에 전량 사용할 경우, 폐식용유는 약 20만㎘가 되며, 이는 국내 농업용 시설난방 유류 사용량의 15%에 해당한다. 현재 국내에 보급된 농업용 유류용 난방기의 15%는 26,540대로 추정되는데, 이를 '폐식용유 온풍난방기'로 5년간 대체할 경우 연간 5,218대의 보급이 가능하고, 약 450억 규모의 시장이 형성될 수 있다.

끝으로 이 연구에서 '폐식용유 온풍난방기' 기술을 시설원예에 적용하였을 경우의 경제성을 분석한 결과 경제성이 있는 것으로 계측되었다. '폐식용유 온풍난방기'의 사용에 대한 편익비용비율(BC ratio)을 계측한 결과 BC ratio는 4.92로 산출되어 경유용 온풍난방기에 비하여 경제성이 충분히 있는 것으로 평가되었다.

결론적으로 폐식용유의 특성과 '폐식용유 온풍난방기'의 연소특성에 따른 기술적인 문제와 폐식용유의 조달문제는 정부와 농업인의 노력으로 개선될 수 있는 것이기 때문에 '폐식용유 온풍난방기'의 실용화 가능성은 매우 높다.

국제유가가 급등하는 현 시점에서 시설원예의 경영비 개선을 위하여 시급히 '폐식용유 온풍난방기'의 성능과 부대시설을 효율적으로 사용할 수 있도록 실용화를 하여 시설원예농가에 보급하여야 할 것으로 판단된다. 그동안 농업용 유류에 면세혜택 중단을 정책 당국에 꾸준히 검토되어왔다. 장기적으로 농업용 유류에 대한 면세가 중단된 경우에 폐식용유 온풍난방기 경제성은 훨씬 높아질 것이다. 따라서 폐식용유를 이용한 난방기의 실용화를 적극적으로 검토할 필요가 있다.

제 6 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 추가 연구의 필요성

기후변화대응, 탄소배출권등 지구온난화방지의 세계적 대응은 세계각국의 녹색성장 저탄소 배출을 위한 각고의 노력이 진행되고 있다.

이러한 시대적 환경에 따라 현재 사용중인 화석연료보다 탄소 배출량이 적은 연료로서 폐식용유를 에너지원으로 재활용 하는 것은 지구온난화 방지와 폐기물 재활용 정책에 합당하고 필요한 과제로 대두 되고 있다. 본 연구에서 개발하고자 하는 폐식용유 온풍기는 일반 가정에서 쉽게 얻을 수 있는 폐식용유를 직접 정제하여 연료로 사용하여 기존의 난방기에 비해 친환경적이고 생산비 절감을 통한 농가의 소득증대에 기여할 수 있는 것이 특징이다.

특히, 폐식용유를 사용함으로 기존의 석유에너지와 비교하여 열효율 및 성능면에서 차이가 없고 생산 및 유통 비용 등을 모두 포함하여도 기존의 석유에너지 비용의 50% 정도로 판단된다. 또한 과채류 등을 겨울철 가온 재배할 경우 현재의 생산비 중 연료비를 약 50% 정도가 절감되어 침체된 시설원예 농가의 영농의지를 새롭게 하는 획기적인 계기가 될 것으로 기대된다. 따라서 폐식용유 난방기를 보급하기 위해 저렴하고 효율이 높은 폐식용유 난방시스템 제작기술 개발이 필요하다.

2. 타 연구에의 응용

본 과제에 의해 개발된 폐식용유 온풍난방기는 다양한 활용이 가능하다. 우선적으로 난방에너지 절감 및 친환경 녹색기술에 활용할 수 있다. 본 연구진은 폐식용유의 정제 및 가온장치를 온풍난방기에 적용하여 난방에너지 절감 및 작물재배 효과를 검증한 바 있고, 현재 토마토 재배농가에 토마토 재배를 성공적으로 수행하고 작물재배 효과 검정을 하였다. 경유 대신에 폐식용유를 사용할 경우, 온실 내 환경오염을 줄일 수 있으며 난방비를 절감할 수 있는 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상되므로 석유를 이용한 난방제품 생산에 응용할 수 있다.

3. 사업화 추진 방안

최근 OPEC 회원국의 석유 생산량 감소로 국제유가가 급변하는 등 불안정한 모습을 보이고 있다. 이러한 유가변동은 가뜩이나 어려운 시설재배 농가에 있어서 난방비의 상승을 초래하여 농가의 어려움은 더욱 심해질 것으로 예상된다. 에너지원의 90% 이상을 수입에 의존하고 있는 우리나라의 입장에서는 대체에너지 이용에 대한 난방에너지 이용시스템이 필요하다.

본 연구에서 개발된 폐식용유 난방시스템은 환경오염을 줄이고 난방비를 절감할 수 있는 폐식용유를 사용하므로서 폐식용유 온풍난방방법의 대체 기술로 가능성이 있다.

따라서 초기 설치비를 절감할 수 있는 폐식용유 온풍난방기를 개발하여 국가에서 추진하는 에너지 효율사업이나 지자체 운영자금 등으로 설치 운영하면 환경오염, 난방비 절감, 농가소득 증대 및 에너지 수입비용 절감 등오염뭈제점을 어느정도 해결할수있을 것으로 판단된다. 한편 폐식용유 난방기는 초기 비용이

많이 소요되기 때문에 구매자인 농민과 제조업체 모두오염부담이 된다. 그러므로 산업화 및 보급입비용해서는 정책적인 지원제도 및 홍보가 필요하고 시범보급을 위한 폐식용유 수집 방안 및 정제에 대한 기술개발이 필요 할 것이다.

4. 본 연구를 통해 얻은 성과는 학회지에 투고하고 박사학위 논문으로 활용한다.

제 7 장 참 고 문 헌

1. 건설교통부, 농림부, 산업자원부, 재정경제부, 환경부. “바이오디젤 중장기 보급계획”. 2007.
2. 국립공업기술원. 1995, 연소기기 관련 기술세미나 교재. pp.19.
3. 농림수산식품부. 2009,「농림수산사업시행지침서」.
4. 농림수산식품부, 2009,『농·어업용 에너지이용 합리화를 위한 정책방향』.
5. 농림수산식품부, 2009,『통계정보 농림업 생산지수』, 2000~2008.
6. 농림수산식품부, 2008,『2008 시설채소류 온실현황 및 채소류 생산 실적』.
7. 농촌진흥청. 2002,「시설원예 이렇게 하면 난방비를 줄일 수 있다」.
8. 농촌진흥청, 2005,『표준영농교본-4(개정판)-시설원예』, pp.22~24.
9. 농촌진흥청, 2008,『시설원예 에너지절감 가이드북』.
10. 농촌진흥청, 2008,『실용적 농업에너지 절감기술 BEST 10』.
11. 농촌진흥청, 2009,『농·어업용 에너지문제 해결을 위한 심포지엄 자료』.
12. 한국석유품질검사소. 1994, 경유의 품질특성에 관한 조사연구(보고서).
13. 한국원예학회, 2009,『원예작물 생산성 극대화 시설구조개선과 에너지절감 대책』.
14. 국립원예특작과학원 홈페이지(www.nihhs.go.kr)
15. 농촌진흥청홈페이지(fims.rda.go.kr).
16. 김사균·최칠구, 2002,『유가상승이 시설원예에 미치는 영향과 경영대책』, 시설원예연구 제15권 제1호, 한국생물환경조절학회.
17. 김연중·이상민·김배성, 2009,『농어업용 에너지 절감시설 보급효과 및 정책방안』, P119, 한국농촌경제연구원.
18. 김영중, 유영선, 장진택, 윤진하, 연태용. 1999. 온풍난방기용 건타입 중유버너의 분사특성과 연소특성. 한국농업기계학회지 제24권 2호 pp.107-114.
19. 김영복·이시영, 2009,『시설원예용 보온자재의 단열효과 분석』, 현안기술연구사업(친환경바이오에너지연구사업단) 완결보고서.
20. 김정욱, 김미형, 유향란. 2007,「폐식용유의 활용방안」. 한국학술정보(주)
21. 김창길, 2009.3, “녹색성장”,『주간동아(제676호)』, 동아일보사.
22. 김현태. 2007. “에너지 절감형 농업생산기반 조성”.『농어촌과 환경 No. 96』,농업기반공사.
23. 박중춘, 2000, "한국 시설원예산업의 발전과정과 문제점",『한국시설원예연구회 제3회 심포지엄』, 한국생물환경조절학회.
24. 윤진하. 시설원예에너지 기술현황 및 발전방향. 1998. 시설원예 생산비용 절감기술 심포지움 자료집. 한국시설원예연구회. pp.27-50.
25. 이규성, 오인교, 강영식, 최석규, 황상용, 최태열, 1998. 연소공학. 형설출판사. pp.64-74.
26. 이인희, 2009,『기후변화에 대응하는 농촌의 녹색성장』, 충남발전연구원.

27. 이시영, 2009,『에너지절감 기술 개발 및 보급』, 농촌진흥청 원예연구소 시설원예시험장.
28. 이진석, 2007,『폐식용유의 차량 연료(바이오디젤)화 기술』, 한국에너지기술연구원.
29. 이진석. 2009, “폐식용유의 차량 연료로 변신”, 한국에너지기술연구원.
30. 전남수 외, 2009,『저탄소 녹색성장시대의 경남 시설원예농업 발전 방안』, 경남발전연구원.

31. ASTM D94-97. Standard test methods for flash-point by Pensky-Martens closed cup tester.
32. ASTM D97-96a. Standard test method for pour point of petroleum products.
33. ASTM D129-95. Standard test method for sulfur in petroleum products(General bomb method).
34. ASTM D130-94. Standard test method for detection of copper corrosion from petroleum products by the copper strip tarnish test.
35. ASTM D189-97. Standard test method for conradson carbon residue of petroleum products.
36. ASTM D323-94. Standard test method for vapor pressure of petroleum products (reid method).
37. ASTM D445-96. Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids(the calculation of dynamic viscosity).
38. ASTM D482-95. Standard test method for ash from petroleum products.
39. ASTM D524-97. Standard test method for ramsbottom carbon residue of petroleum products.

<부 표>

<부표 1> 폐식용유와 미사용 식용유의 단가

구 분	단위	가격기준	2009[1)]	2010
폐식용유	원/18L	최 고	10,000	10,000
		최 저	18,000	18,000
		평 균	14,000	14,000
미사용 식용유	〃	평 균	38,000	38,000

자료: (주) 태광기계

<부표 2> 폐식용유 사용 온풍난방기의 원가와 설치비

비목구분	단위	금 액	비 고
기계원가	원/대	8,050,000	
설 치 비	〃	1,000,000	- 설치비의 내용은 탱크, 연통, 전선, 닥트 등 기타 부자재 등의 비용임.
계	〃	9,050,000	

자료: (주)태광기계

<부표 3> 연료별 가격 및 장단점 비교

구분	단위당 발열량		단위당 가격		1원당 발열량		장단점
	단위	열량	단위	가격	단위	열량	
폐식용유	kcal/L	9,343	원/L	778	Kcal/원	12.0	- 발열량이 높음 - 경유에 비해 이산화탄소 발생이 1/20정도로 적음 - 유황가스가 발생하지 않음
경 유	kcal/L	9,050	원/L	718	〃	12.6	- 취급이 용이하고, 발열량 높음 - 보편적인 난방연료로 사용 - 가격이 매우 높음
석 탄	kcal/kg	6,550	원/kg	320	〃	20.5	- 발열량이 높으나 품질에 따라 발열량의 차이가 큼 - 분진, 재 처리 등 취급 곤란
팜껍질	kcal/kg	4,500	원/kg	250	〃	18.0	- CO2 발생량이 적고, 재 발생이 6% 정도에 불과하여 친환경적임 - 경유나 석탄에 비해 발열량이 낮은 편임
목재 펠릿	kcal/kg	4,500	원/kg	320	〃	14.1	- CO2 발생량이 적고 친환경적인 고체연료임 - 팜껍질에 비해 가격이 높음

자료: 농촌진흥청 국립농업과학원, 2008,『시설원예 에너지절감 가이드북』.

<부표 4> 연료별 발열량

단위: kcal/kg

구 분	폐식용유	식용유	바이오디젤 (100%)	바이오오일 (왕겨)	왕 겨
실험 1	9,370	9,336	9,351	5,414	3,750
실험 2	9,315	9,298	9,333	5,664	3,680
평 균	9,343	9,317	9,342	5,539	3,715

자료: 농촌진흥청 국립농업과학원, 2008,『시설원예 에너지절감 가이드북』.

<부표 5> 연료별 이산화탄소 배출량

구 분	경 유 (kg/ L)	무연탄 (kg/kg)	팜껍질 (kg/kg)	목재펠릿 (kg/kg)	폐식용유 (kg/ L)
이산화탄소	2.82	2.69	2.07	2.07	0.14
유황가스	1.6%	0.4-4.5%	0	0	0

자료: 농촌진흥청 국립농업과학원, 2008,『시설원예 에너지절감 가이드북』.

<부표 6> 연간 기계 사용시간

	사용시간(시간/년)	
	채소재배용	화훼, 과수용
강원지역	675	850
중부지역	550	750
남부지역	450	650
제주지역	300	550
평 균	494	700

주: 경유용 온풍기 기준

<부표 7> 시설원예1) 난방기 기종별 비교

구 분			유류난방기		온수보일러	전기온풍기	갈탄난방기	연탄난방기
			폐식용유[2]	일반유류				
기계가격 (천원/대)	기계대		8,050	··	3,000	9,250	11,700	··
	설치비		1,000	··	1,500	-	-	··
	전 기		-	··	-	6,600	-	··
	덕 트		-	··	-	650	-	··
	자 재		-	··	-	-	5,400	··
	계		9,050	8,700	4,500	16,500	17,100	4,500
재배면적(평)			300	300	300	300	600	300
내용년수(년)			7	5-7	8-10	10-15	5-7	3-5
연료별 발열량			9,343kcal/ L	9,050kcal/ L				6,550kcal/kg
연료소모량 (일)	연료소모량		155 L	160 L	60 L	620kw	250kg	100-200
	외부온도		-9℃	-9℃	-5℃	-5℃	-9℃	-5℃
	설정온도		19℃	19℃	19℃	20℃	19℃	22℃
연료 단가	적용단가		778원/ L	1,000원/ L (면세유)	1,000원/ L (면세유)	40원/kw (농사용 병)	390원/kg (B급)	320원/장 (가정용)
	연 료 종류별	경 유		1,000원/ L	1,000원/ L			
		등 유		1,020원/ L	1,020원/ L			
		폐식용유	778원/ L					
		전 기				40원/kw		
		갈 탄					A급: 450원 B급: 390원 C급: 350원	
		연 탄						320원/장 (가정용)
가온비용 (원/300평/1일)				64,000	52,630	25,160	39,000	35,200
월가온비용(천원)				1,920	1,579	755	1,170	1,056
연료투입회수(1일)							1회	1회
소각후 폐기량(1일)			-	-	-	-	2kg 정도	110개×1.4kg = 154kg
장 점				설치비 저렴	연료비절감 관수 가능 설치비 저렴	작업 수월성 난방비 저렴 균일온도유지	연료비 급상승 충분한 열량	연료비 저렴
단 점				연료비 부담	난방기와 겸용 사용	설치비 과다 농업인부담	폐기물 처리 연료조달문제	인체 해로움 폐기물 처리 온도조절

주: 1. 기준 : 2008. 9. 30 현재, 재배면적 300평에 고추재배를 기준으로 함.
2. 본 연구의 결과

자료: 현지조사, 경도대학
전남수 외, 2009,『저탄소 녹색성장시대의 경남 시설원예농업 발전 방안』, 경남발전연구원, pp.18-19.

<부표 8> 난방기 제원

구 분		단 위	제 원	비 고
1. 형식명			TKPA-2000	
2. 형식 및 규격	형식		닥터 접속식	
	규격	Kcal/h	200,000	
3. 기체의 크기	가로×폭×높이	m/m	2215×1465×1770	
4. 중량	중량	kg	642	
5. 정격난방능력	정격난방능력	Kcal/h	200,000	
6. 송풍기	토출구 크기(직경)	m/m	600 Ø	
	날개 수	개	5(580mm)	
	규정송풍량	㎥/mm	155.0	
7. 송풍기용 모터	정격전압	V	380	
	상용회전수	rpm	1730	
	정격출력	Kw	2.2	
	모터수	개	2	
8. 버너 및 연료계통	버너형식		건타입	
	노출규격		5.5	
	정격분사압력	kg/㎡	14	
	연료분사량	L/h	27.87	
	사용연료		A중유	
	점화 및 소화 방식		자동	
9. 온도조절장치	온도조절방식		자동제어식	
	온도조절 범위	℃	0 - 40	
	경보장치		유	
10. 연소실 및 교환기	재질		스테인레스	
	연소실 두께	m/m	2.0	
	열교환기 두께	m/m	1.2	
11. 온풍토출구	형상		사각형	
	크기(가로×세로)	m/m	1055×255	
	개수	개	2	
12. 경보장치	종류 및 방법		부저음	
13. 부대장치	연료탱크 재질		열연 압연 강판	
	연료탱크 두께	m/m	2.0	
	연통 재질		스테인레스	

자료: (주)태광기계

<부표 9> 폐식용유 온풍난방기 도면

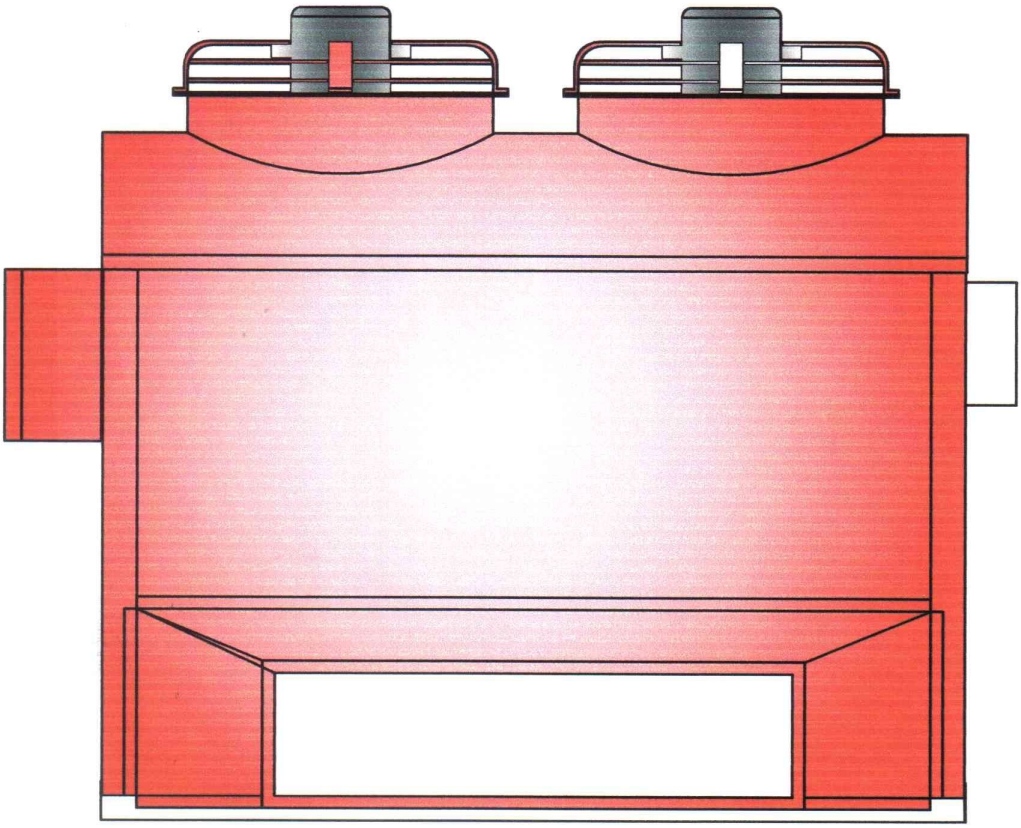


그림 1. 시험기 제작 정면도

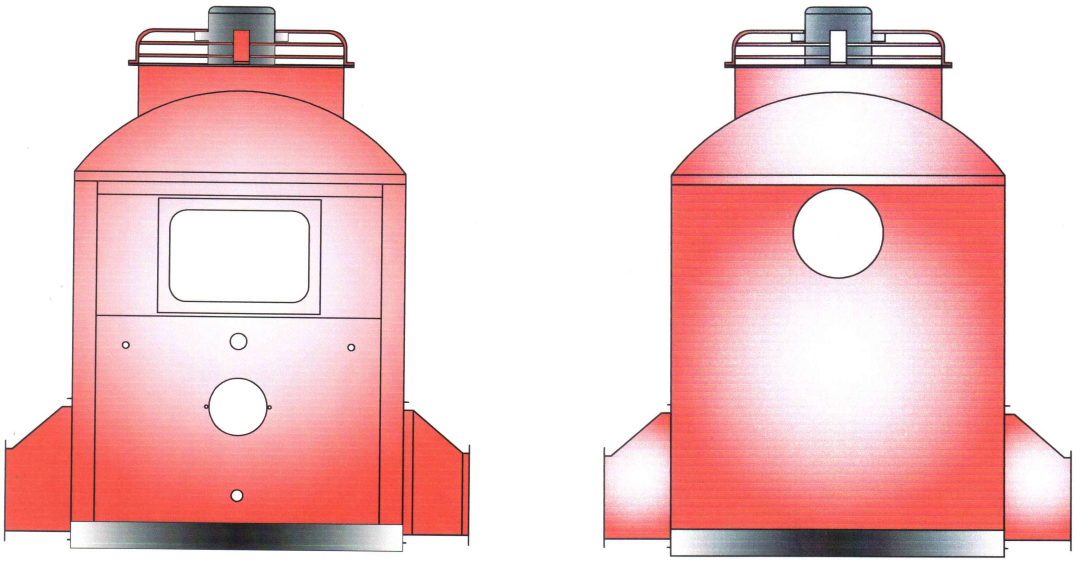
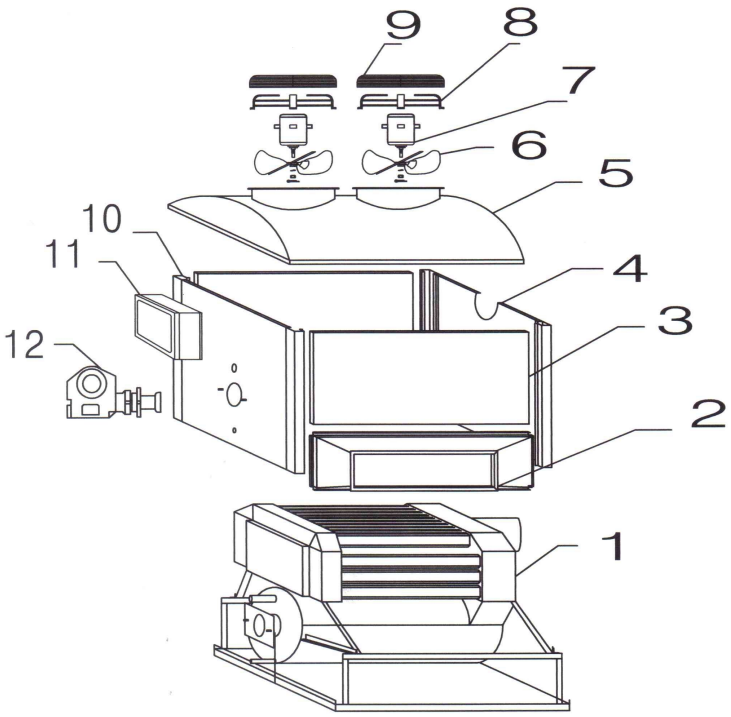


그림 2. 시험기 좌우 측면도



1. 연소로 및 열교환기 2. 송풍덕터 3. 정면판넬 4. 우측면판넬 5. 상부덮개 6. 송풍휀
7. 송풍모터 8. 송풍기 보호대 9. 송풍기 카바 10. 좌측면판넬 11. 콘트롤박스 12. 버너

그림 3. 시험기 제작 분해도

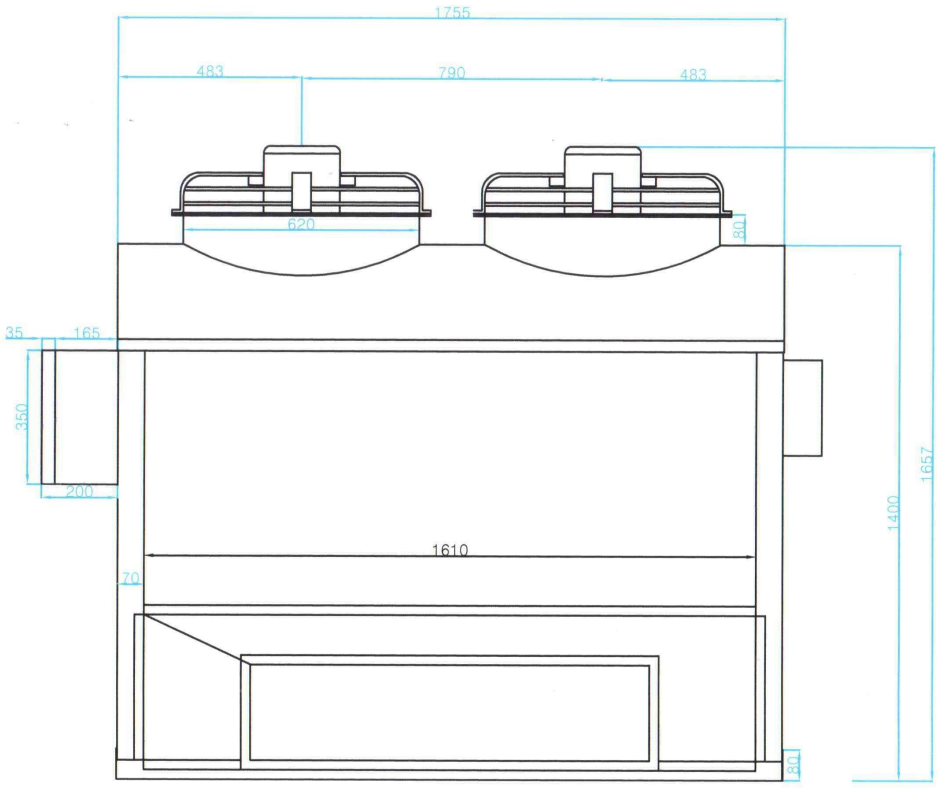


그림 4. 시험기 제작 정면도면

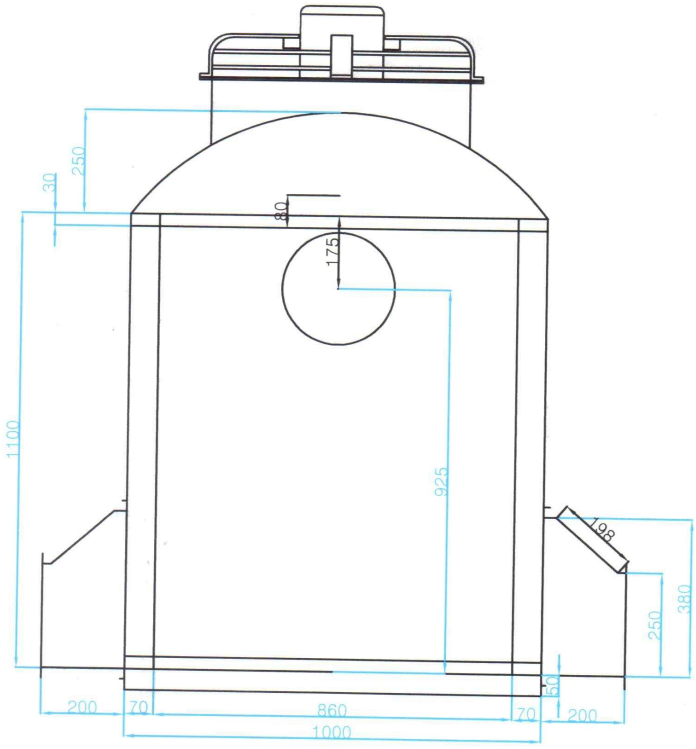


그림 5. 시험기 제작 측면도면

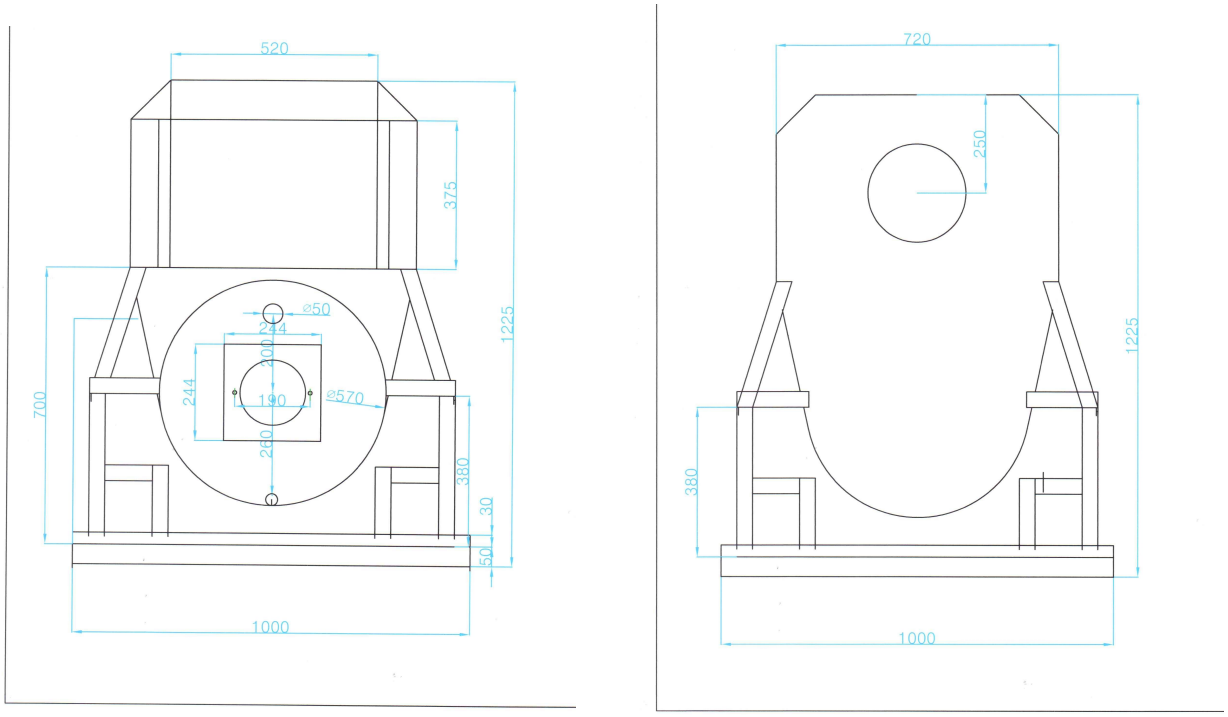


그림 6. 시험기 제작 좌우측면 세부도면

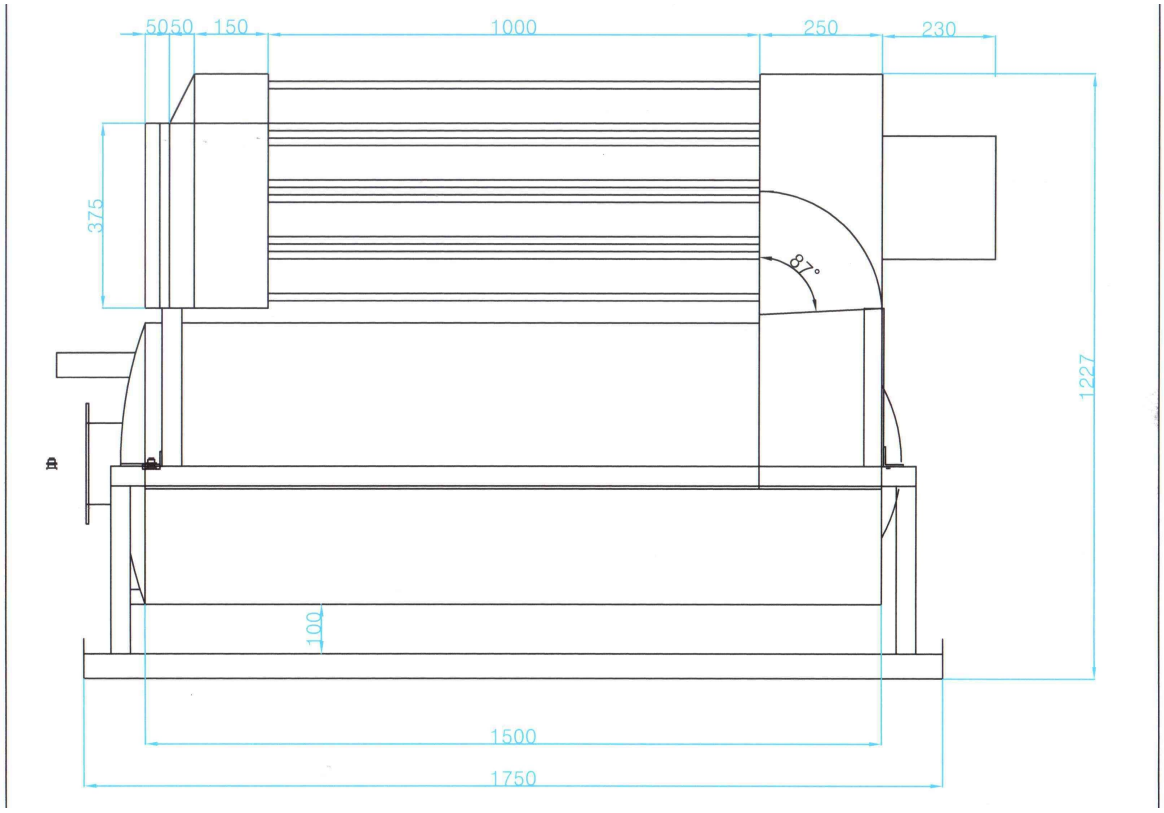


그림 4-7. 시험기 제작 연소로(하부) 및 열교환기(상부) 세부도면

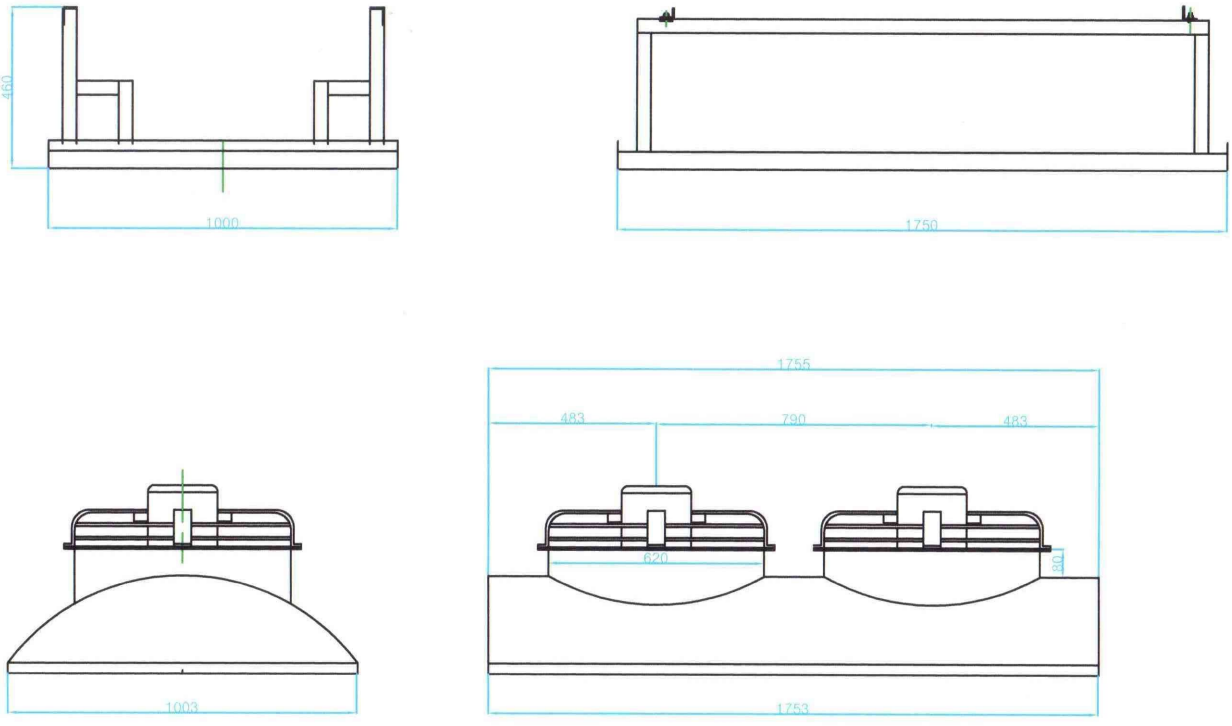


그림 8. 시험기 제작 상부 및 골격 구조 세부도면

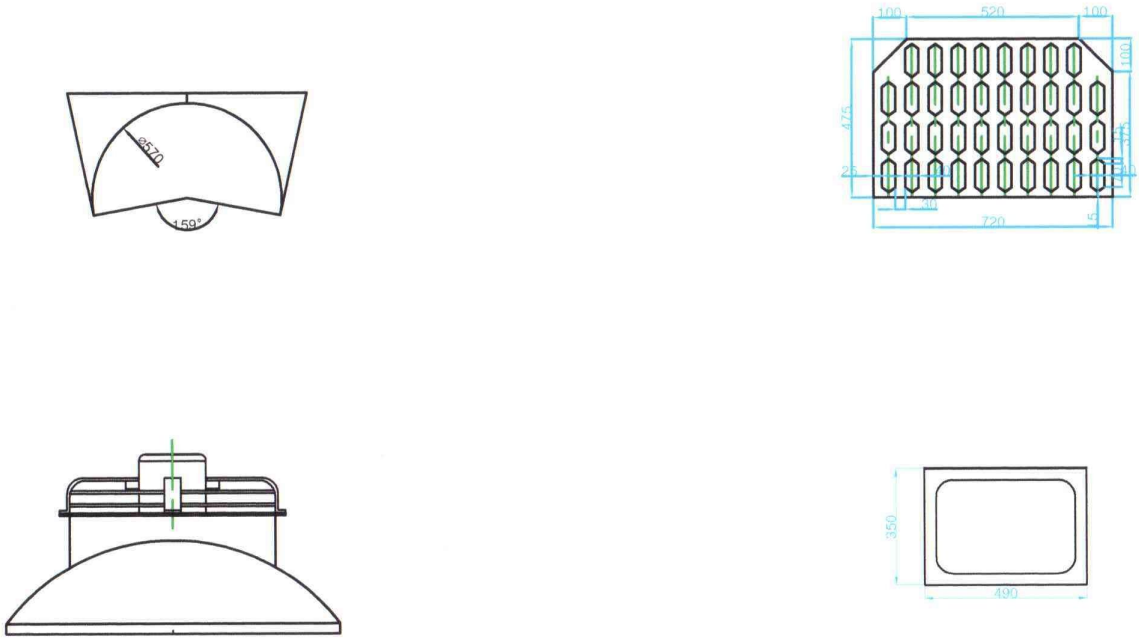


그림 9. 시험기 제작 내부 열교환기 세부도면