

최 종
연구보고서

공장폐열을 이용한 하우스 난방 시스템 개발

Development of Green House Heating System
Using Waste Heat of Industrial Boiler.

주관연구기관
와이제이 에너지환경(주)
전남과학대학

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “공장폐열을 이용한 하우스 난방 시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003 년 1 월

주관연구기관명 : 와이제이에너지환경(주)

총괄연구책임자 : 박 영 재

연 구 원 : 안 영 환

연 구 원 : 최 창 준

연 구 원 : 박 병 일

연 구 원 : 황 대 원

협동연구기관명 : 전남 과학 대학

협동연구책임자 : 최 용 수

요 약 문

I. 제 목

공장폐열을 이용한 하우스난방 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구는 농촌 비닐하우스의 난방열을 인근 공장에서 폐열을 회수하여 온수로 공급함으로써 폐열로서 비닐하우스를 난방하기 위한 것이다.

농촌에 위치한 공장수는 그리 많지 않지만, 대부분 에너지 다소비 업종이며, 일부 공해가 배출되어 농촌 지역에 피해를 입히고 있는 것이 사실이다. 또, 하우스의 난방에 많은 열을 필요로 하여, 최근의 유류비용 상승으로 인해 많은 농가가 애로를 겪고 있다.

이 두가지 문제를 동시에 해결하면서 국가적인 에너지 절감에도 기여할 수 있는 것이 공장 폐열을 이용하여 하우스 등을 난방하는 것이다.

하우스 난방은 실내온도가 25℃ 미만으로 50℃ 정도의 저온열이면 충분하며, 공장의 경우, 통상 이러한 열은 버리게 되며, 심한 경우, 냉각을 위해 냉각탑(Cooling Tower)을 가동하는 경우도 있다.

본 연구가 시도하는 장치는 공장 폐열 중 가장 양이 많고 장치가 쉬운 보일러의 굴뚝 폐열을 회수하여 이를 50℃ 정도의 온수를 만들어 공급하기 위한 것으로서 굴뚝 열을 물과 개스가 직접 접촉하여 열을 회수하는 세정탑과 세정수로부터 깨끗한 물을 온수로 만드는 열교환기와 부대장치로 이루어진다.

공장 폐열을 이용하기 위해서는 몇가지 전제가 맞아야 가능하다. 첫째는 공장의 폐열이 다량 발생하여야 하며, 저급열의 수요처가 인근에 있어야 한다. 또, 대규모의 사업이 가능하여 경제성이 있어야 한다. 다행히 금호타이어 곡성공장은 증기 사용량

이 겨울철에는 약 50T/h 정도로 폐열량이 비교적 크며, 인근 2Km 반경 내에 5~6만 평에 달하는 비닐하우스 시설이 위치하고 있다. 또, 곡성군측이 이러한 대규모 사업을 지원할 의사를 밝히고 있어 모든 요건이 충족될 수 있다.

본 사업은 시범사업의 성격이 강하며, 본 사업이 성공적으로 수행되면, 대규모 공업단지 인근의 농지에 본 사업과 같은 사업을 쉽게 추진할 수 있으며 더 나아가 발전 폐열 등을 이용하면, 수많은 농가가 유류비 걱정 없이 안정적으로 시설재배를 할 수 있다. 이를 위해 작물별 특성과 수익현황 및 낮은 온도의 온수공급에 따른 작물특성을 위탁연구로 하여, 전남과학대에 의뢰하여 분석하였고, 각 작물별 수익 및 특성을 분석하였다.

본 연구는 이러한 선행사업을 수행함으로써 실질적으로 농가에 도움이 되는 시스템을 구성하여 바로 현장에서 적용할 수 있도록 하는 데에 그 목적이 있으며, 유가 변동에도 농가가 안정적으로 경쟁력 있게 시설재배를 할 수 있도록 하기 위해 필요한 것이다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

굴뚝의 폐열을 회수하여 하우스 난방에 이용하기 위한 연구는 20T/h급 보일러에 직접 설계 시공하여 폐열회수를 겸한 집진탈황 장치를 설치하는 것과 폐열 이용시의 작물의 영향 등을 평가하는 두가지 내용으로 수행되었으며, 폐열 회수장치는 시스템만 설치하고, 실제 농가에 사용하기 위한 배관작업, 온수저장조 등은 예산조달 문제로 추후 사업으로 계획되었다.

폐열 회수장치는 테프론 에코노 마이저, 세정탑, 열교환기 및 이를 순환 이용하기 위한 펌프류로 구성되었으며, 기타 시험시 필요한 냉각탑 등과 폐수 저장조, 알카리 저장조 등으로 구성되어 온수를 사용하지 않을 때에도 시스템의 가동실험은 가능하도록 조치하였으며, 본 사업이 완료되면 이들은 철거할 수 있도록 하였다.

성능검사 결과, 온수량은 35~40T/h로서 최종 온수온도는 62℃를 얻었다. 이 결과는 개스 입구온도가 165℃에서 달성한 것이므로 닥트의 보온을 수행하면 200℃ 이상의 개스가 투입될 것이므로 이 경우는 68℃ 이상의 온수가 얻어질 수 있을 것으로 전망된다.

또, 분진은 78 및 64 mg/sm³을 얻어, 환경기준 100mg/sm³ 이하를 달성하였다. 이들 결과는 생산된 온수를 충분히 냉각하지 못하고 재투입하여, 높은 온도가 배출될 때에 측정된 것이므로 충분한 냉각을 수행하면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

폐열을 이용한 농작물로는 파프리카, 오이, 고추 등을 검토하였으며, 저온의 온수 공급으로 인한 문제점들도 검토되었다. 검토 결과, 파프리카 및 고추가 유망한 것으로 조사되었으나, 실제 재배 농민들과의 협의와 곡성군 측의 협력이 필요할 것으로 보인다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

폐열 회수장치를 설치 시험한 결과 온수량은 35~40T/h로서 당초 목표한 양을 초과달성 하였으며, 공해 측정치도 분진 78mg/sm³, 유황 179ppm으로서 만족할만한 결과를 얻었다. 따라서 이러한 장치는 농가이용을 하지 않을 경우라도 가동할 수 있도록 지원책을 강구함이 바람직하며, 모든 농촌지역의 20T/h급 이상의 대형 보일러나 기타 폐열발생 산업체에 모두 이 장치를 보급하여 공업과 농업의 협력이 될 수 있도록 정책적인 지원책 수립이 시급하다.

SUMMARY

(영문 요약문)

Waste Heat Recovery System for Green House heating is realized to 20T/h utility boiler. The system is installed at Kumho Tire Koksung plant 20T/h class utility Boiler.

The system is constituted Teflon Economizer, Scrubber, and Heat Exchanger of recycled waste heat, and etc.

The system produced 40T/h hot water at 65°C. And the emission level is 78 mg/sm³, SO₂ 180ppm is accomplished.

This means recovered heat is 350 Mcal/h and the efficiency increasing is 3.6%, and emission reducing efficiency is 7% for SO_x compare to existing system.

So the test proved that the system can be used as waste heat recovery system and emission control device altogether.

The crops of green house is searched for most economical profit of waste heat using system.

Paprika, and red pepper is investigated most economical, but it is depend to annual situation, so it could be changed.

CONTENTS

(영 문 목 차)

Chapter 1. Out line of Study	1
Chapter 2. State of art of foreign and domestic research	3
Section 1. Direct Contact Heat Exchanger	3
Section 2. Indirect Contact Heat Exchanger	13
Section 3. Combined Type Heat Exchanger	24
Section 4. State of this research	24
Chapter 3. The details of study and conclusion	26
Section 1. Out line	26
Section 2. Theoretical Analysis of Condensing Heat Exchanger	27
Section 3. Construction and Contents of Study	30
Section 4. Teflon Economiser	36
Section 5. Scrubber	36
Section 6. Result of Study	40
1. Test method	40
2. Result	40
3. Consideration of result	42
Chapter 4. The rate of achivement of target and contribution for related section	45
Section 1. Rate of achivement	45
Section 2. Contribution for related setion	45

Chapter 5. Application plan of study	46
Section 1. Application field	46
Section 2. Feasibility study of full system	48
Section 3. Selection of the corps	59
Chapter 6. Conclusion	65
References	66

목 차 (본 과 제)

제 1 장	연구개발과제의 개요	1
제 2 장	국내외 기술개발 현황	3
제 1 절	직접 접촉식 열교환기	3
제 2 절	간접 접촉식 열교환기	13
1.	테프론 열교환기	13
2.	금속제 절탄기	18
제 3 절	복합형 열교환기	24
제 4 절	본 연구과제의 국내외의 위치	24
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	26
제 1 절	개요	26
제 2 절	이론적 근거	27
제 3 절	시스템 구성	30
제 4 절	테프론 이코노 마이저 (절탄기)	36
제 5 절	세정탑	36
제 6 절	실험결과	40
1.	실험방법 및 조건	40
2.	실험결과	40
3.	실험결과 고찰	42

제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	45
제 1 절	목표달성도	45
제 2 절	관련분야에의 기여도	45
제 5 장	연구개발 결과의 활용계획	46
제 1 절	활용분야	46
1.	공장 온수 제조용 장치	46
2.	농촌 지역 공장 폐열 회수	47
3.	화력 발전소 등의 폐열회수 및 농가이용	47
제 2 절	총사업 수행시 시스템 경제성 분석	48
1.	개설	48
2.	투자비용	49
3.	운영비	57
4.	수익	58
5.	투자회수년수	58
6.	투자 타당성 분석	58
제 3 절	작물선정 및 계획	59
1.	작물선정기준	59
2.	작물 선정안	61
제 6 장	결론	65
[참고문헌]	66

목 차 (위 탁 과 제)

제 1 장	서론	71
제 2 장	실험방법	72
제 1 절	재배작물 조사	72
제 2 절	곡성군의 기상	73
제 3 절	난방방법에 따른 난방비	73
제 3 장	저온열 공급시 난방방법 검토	79
제 1 절	현재의 운영상태	79
제 2 절	저온열원의 문제점 분석	80
제 4 장	최적작물선정 및 영향평가	82
제 5 장	기대효과	83
제 6 장	활용방안	84
제 7 장	결과 및 고찰	85
[참고문헌]		87

제1장 연구개발 과제의 개요

농촌의 살 길은 무엇인가?

WTO 이후 숨가쁘게 밀려오는 외국 농산물 앞에 거의 모든 농산물의 경쟁력이 없어지고 있는 상황 하에서 어떻게 대처해 나갈 것인가?

이러한 국가적인 문제를 한꺼번에 해결하는 길은 없다. 그러나 난방시설을 하여 국내외 수요에 대응하거나 일본 등에 수출하는 시설재배는 청정채소나 화훼 등을 단거리에서 공급하므로써 수입 농산물에 대응하고 수출할 수 있는 좁은 길이 열려 있다.

본 연구는 이러한 국가적인 명제를 해결하는 하나의 방법으로써 공업에서 폐기하는, 또 폐기할 수 밖에 없는 폐열을 이용하여 시설원예, 작물 난방에 활용하는 방법을 연구하여 최소한 공장인근에 있는 농촌에라도 난방열을 안정적으로 공급하는 방안을 강구하기 위한 것이다.

연구는 이론적으로는 많은 검토가 필요하지 않고 실제 적용하여 어떻게 가동 운영되고, 어떻게 내식성을 가져 장기간 운영할 수 있는나가 관건이므로 금호타이어 곡성공장의 20T/h급 보일러에 실규모의 파일롯트 플랜트를 건설하고 이것을 운영하여 실증함으로써, 추후 배관 및 저장조 등을 설치하면 바로 농가에 사용할 수 있도록 추진되었다.

난방설비를 갖춘 하우스 농업은 난방온도와 작물에 따라 달라지나 대략 원가의 20~40%의 비용이 난방유 경비이다.

정부는 이를 보전해주기 위해 면세유 등을 공급하고 있으나 근본적으로 필요한 에너지 양은 정해져 있으므로 한계가 있다. 더구나 금년은 미국의 이라크 전 준비로 인해 유가가 점차 상승하고 있고, 중국의 시설투자 또한 점증하고 있어 경쟁력 확보에 큰 애로가 있을 것으로 전망되어, 연료비를 절감하는 대책 마련은 극히 시급한 실정이다.

따라서 공장 폐열을 이용하여 시설에 난방할 수 있는 본 연구는 필요성이 매우 크며, 국가적인 지원이 필요하다.

특히, 농촌지역에 설치된 공장의 경우 당초의 구상과는 달리 인근지역에 혜택이 별로 없이 공해만 발생시키는 것으로 인식되어 상당한 분쟁들이 생기고 있는 바, 이를 해결하는 한 방법으로써 공장에서 폐기하는 에너지를 인근 농가에 공급하면 매우 좋은 농-공 협력사업이 되어 농촌의 불만도 해소하고 공장 측도 별도 경비 없이 자기들

이 쓰지 못하는 폐열만 주면 되므로 쉽게 농촌을 지원할 수 있게 된다.

본 연구는 궁극적으로는 농가에 온수형태로 폐열을 공급하여야 하므로 폐열회수 시설과 더불어 배관망과 온수저장시설, 보조보일러 등을 갖추어야 하나 연구비가 제한되어 있어 배관망 등은 2차 사업으로 수행토록 하고, 폐열 회수장치와 이에 필요한 시설들만 설계 시공되었다.

따라서 폐열회수장치의 부분인 댐퍼, 덕트, 테프론 에코노마이저, 세정탑, 열교환기, 온수탱크, 알카리탱크 등 주 시설과, 시험기간 중 온수로 회수된 열을 버릴 수 있도록 냉각탑 등을 설치하였다.

본 사업은 폐열회수 뿐 아니라 공해 방지도 또 하나의 목표이므로 공해배출 성능을 측정하여 집진 및 탈황장치로의 대체품으로의 가능성 또한 검증하였다.

폐열회수장치의 가장 큰 문제점은 회수 온수의 온도가 낮은 것이므로 이를 농가에 이용할 경우의 문제점 및 이용방법 등을 검토하기 위해 전남과학대학에 위탁과제로 폐열을 이용한 경우의 작물선정 및 기타 문제점들도 검토하고, 경제성을 평가하였다.

제2장 국내외 기술개발 현황

제 1차 오일쇼크 후 활발하던 보일러 폐열회수 장치는 90년대에 이르러 보급이 많이 위축되어 있다. 그 이유는 폐열 회수의 열교환 장치가 생각 외로 매우 어렵고 복잡하여 부식에 대처하기가 어렵고, 수트의 퇴적에 대해서도 적용이 어렵기 때문이다. 이러한 중에서도 일부에서는 꾸준히 이 방면의 연구를 수행하고 있으며, 국내에서는 1985년부터 직접접촉식 열교환 방식에 의한 보일러 폐열회수 장치가 연구되기 시작하였으나, 열교환기 막힘이나 미스트 제거장치의 성능 미흡으로 인해 본격적인 보급은 지체되어 있다. 이후, 한국에너지 기술연구원이 유동상식 폐열회수 장치연구를 소규모로 계속하여 일부 상용화에도 성공하였다.

최근의 테프론 류의 가격하락으로 인해 테프론 코팅 및 라이닝 재료가 경제성을 가짐으로서 미국의 경우 테프론 라이닝 재료를 주제로 하여 열교환기를 형성하고, 여기에 물을 뿌려 열교환과 더불어 집진 탈황하는 장치가 CHX사가 Brookhaven National Lab.에서 실험을 수행한 바 있으며, 상용규모의 시범플랜트를 뉴욕의 중규모 발전소에 설치하였다.

그러나, 순수하게 폐열을 이용하여 농가시설에 보급하는 플랜트는 보고된 것이 없으며, 주로 공장 내 에너지 회수 차원에서 연구가 이루어지고 있다.

제1절 직접접촉식 열교환기

직접접촉이란 물과 개스를 직접 접촉시킨 뒤 뜨거워진 물과 냉수를 열 교환시키는 것으로서 [그림 2-1]에 직접접촉 방식의 공정을 나타내었다. 대개의 직접접촉 방식의 열교환기는 Baffle-tray columns, Spray chambers, Packed tower, Cross-flow-tray Columns와 Pipeline Contactors를 사용한다. [표 2-1]에 이러한 열교환 방식의 열전달 및 압력강하 특성을 나타내었다.

이러한 응축형 열교환기를 설치할 경우 배가스의 온도를 응축온도 이하로 낮추어 약 50% 이상의 잠열을 회수하므로 열효율의 증가를 얻는다. 직접접촉 방식의 장점은 무엇보다 시스템이 간단하며 49℃ 정도까지는 온수를 외부 열교환기에 의해 얻을 수

있고, 50% 이상의 잠열은 회수할 수 있어 효율이 높으며 분진과 유황 등 배가스 공해 물질을 동시에 제거할 수 있는 것이나, 역으로 분진, 유황 등을 계속적으로 제거해 주지 않으면 시스템이 유지될 수 없는 단점이 있다.

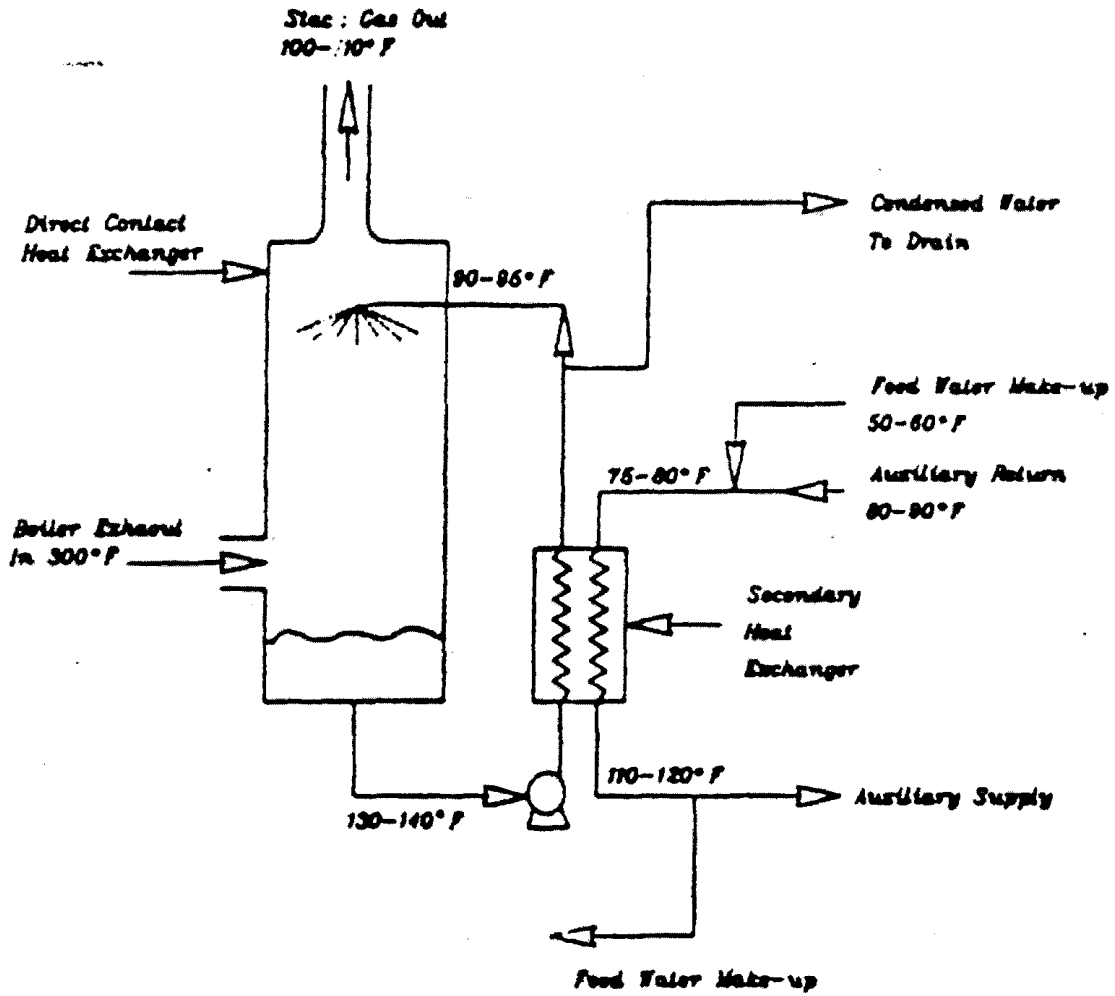
해외에서 연구되는 시스템 중 주목할 만한 장치는 직접접촉식을 이용한 수중연소 방식으로서 직접접촉 연소방식은 대향류형의 온수가열기와 평형형 온수가열기로 나눌 수 있다. 첫째 방식은 816~1,093℃의 고온가스와 냉수가 충전탑에서 열교환하여 66~88℃의 온수를 생산하며 배가스의 출구온도를 38~49℃로 냉각시킨다. 두 번째 방식은 수중연소 장치로서 온수탱크에서 연소가스를 분사시켜 43~54℃의 온수를 생산하며 배가스의 온도는 물의 온도와 평형을 이룬다. 이 방법들은 직접접촉 방식의 일종이기는 하나 본 연구에서 취급하려는 배가스 열 회수와는 다른 장르이므로 제외한다.

[그림 2-1 a~d]는 직접접촉식의 여러 가지 종류로서 [그림 2-1 a]에서 기본적인 구성을 볼 수 있다. 이 방식은 상부에서 분무형으로 분사된 미립화 된 물과 개스를 접촉시키는 것으로서 하부에 떨어진 물을 외부 열교환기에 의해 열교환 시킨다. 이 원리는 다른 방식에서와 같은 것이며, 직접접촉을 어떠한 형식으로 하느냐가 차이가 있다.

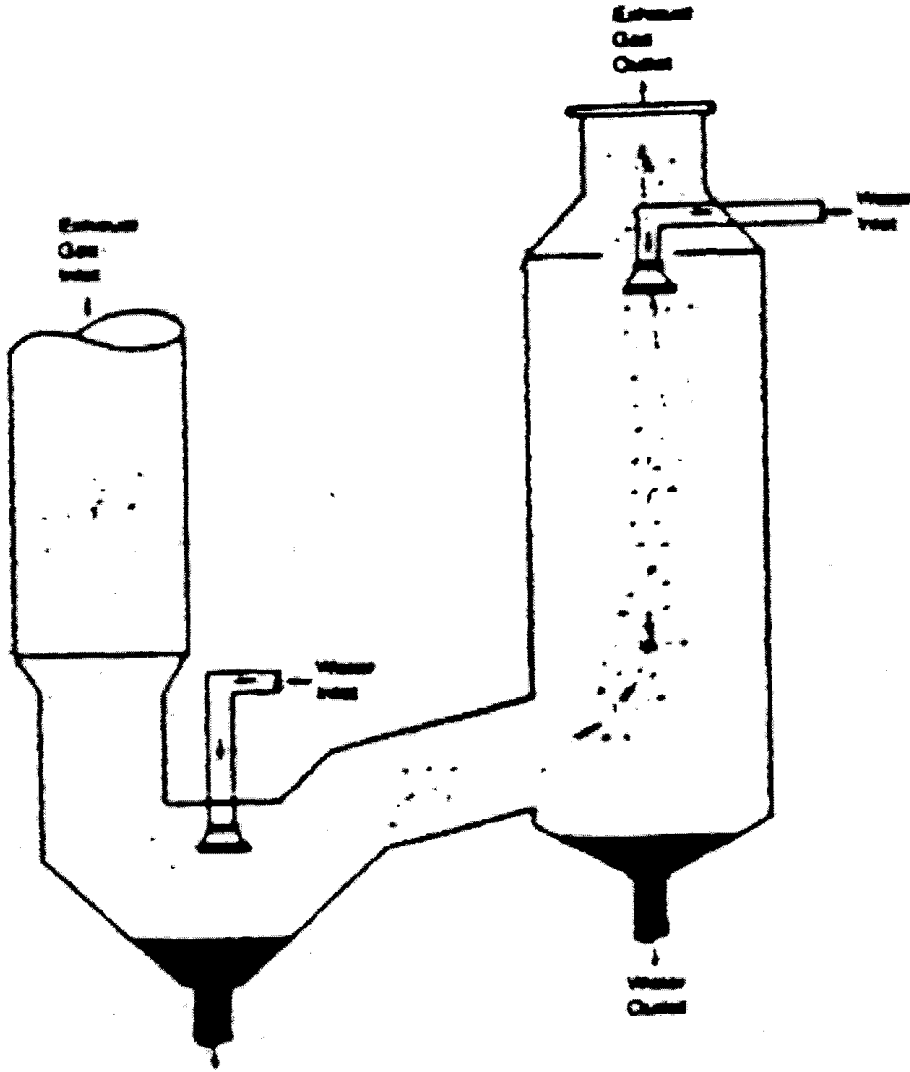
[그림 2-1 b]는 물을 2단으로 분사하여 열을 회수하는 장치로서 미립화 크기에 따라 효율이 달라지므로 미립화에 따른 펌프 동력 소비와 열교환 능력에 대한 많은 연구가 있다. 이 방법은 미립화 동력을 많이 주어 강한 압력으로 미세하게 분사하면 접촉효율이 좋아지므로 효율은 좋아지나, 강한 압력을 주려면 많은 동력이 필요하므로 분사압력이 제한된다.

[그림 2-1 c]는 베플을 이용하여 가스를 여러번 굴곡되게 하고 물과의 접촉을 증대시킨 것으로서 분사동력 보다는 가스의 유동저항이 커지게 된다. 이 방법은 물 쪽의 동력보다는 개스측의 압력강하로 접촉력을 얻는 형식이므로 개스측의 동력소비가 커진다. 최종단에서는 분사압력으로 접촉력을 얻고, 그 하단에서는 개스접촉으로 효율을 높이는 방법도 있다.

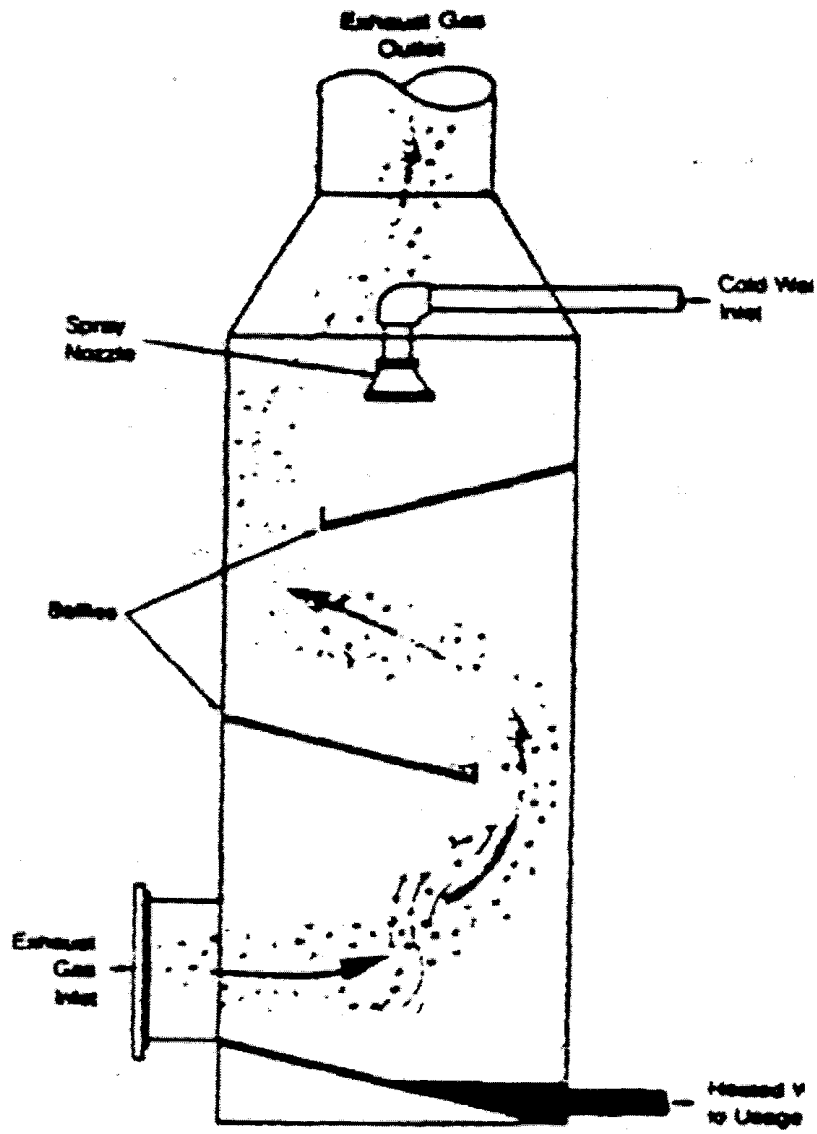
[그림 2-1 d]는 팩킹을 이용하는 것으로서 종래의 세정탑과 유사한 형식이다. 팩킹 식일 경우 분진량이 많으면 관로가 막히는 여러 가지 문제가 발생된다. 따라서 이 방법은 팩킹의 저항과 관로폐색의 문제를 어떻게 해결하느냐가 가장 큰 문제이며, 바이패스 될 때에는 효율이 급격히 떨어지므로, 분사물의 분포를 어떻게 균질하게 하느냐가 큰 KNOW-HOW가 된다.



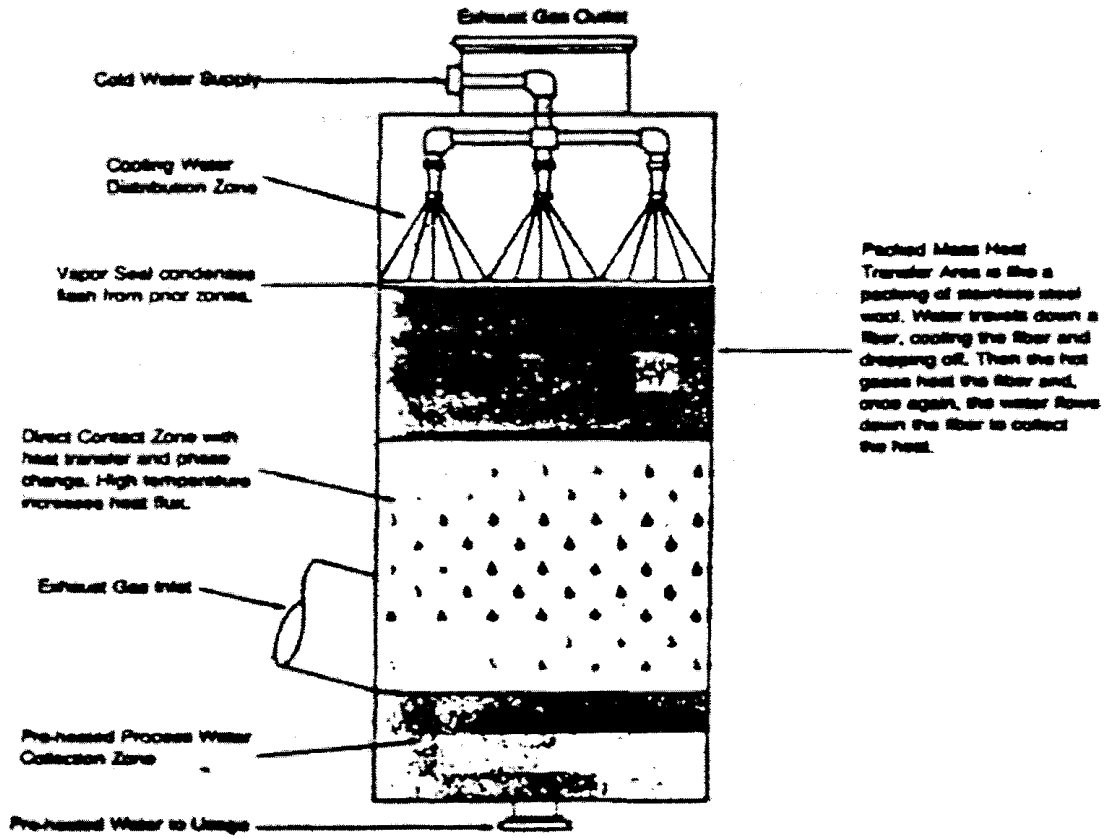
[그림 2-1a] 직접접촉식 저온 폐열회수용 열교환기



[그림 2-1b] 물분사식 직접접촉 열교환기



[그림 2-1c] 배플을 이용한 직접접촉 열교환기



[그림 2-1d] 팩킹을 이용한 직접접촉 열교환기

[표 2-1] 직접접촉방식 열교환기의 성능특성 비교

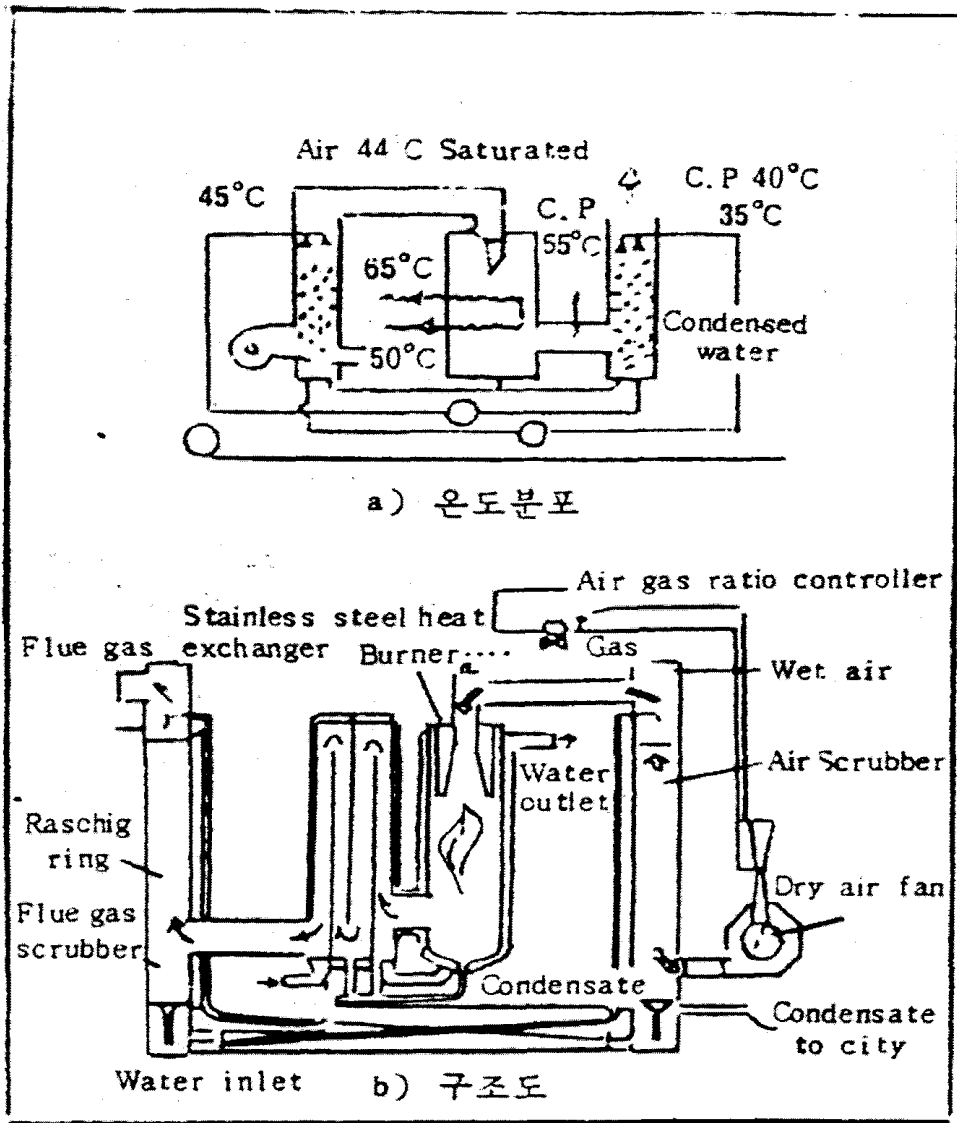
Type	Spray Chamber	Baffle Plate	Packed Tower
Heat Transfer Performance/ Unit Volume	Low	Medium	High
Pressure Drop/ Unit Volume, mm of water	Low < 2.54	Medium 12.7 to 25.4	High 127 - 254
Hot Water Temperature, °C	Low 38 - 43	Medium 46 - 52	High 54 - 60

이들 세가지 방식은 표 2-1에서 보는 바와 같이 각각 장단점이 있으며, 용도에 따라 이들 방식을 적절히 조합하기로 하고, 각 형식별로 많은 변형이 있다.

이러한 직접접촉 방식으로 에너지를 회수하기 위한 시도는 오일쇼크 후 초기 단계에는 캐나다, 일본, 미국 등 여러 나라에서 세정탑의 온수를 열교환 하는 형식으로 많은 연구가 있었으며, 일부 상용 플랜트도 가동되고 있는 것으로 알려지고 있다. 1980년대부터 직접접촉식을 본격적으로 연구한 곳은 프랑스의 가스공사로서 [그림 2-2]에서 보이는 바와 같이 입,출구 두 개의 직접접촉 탑을 설치하고 배가스 측에서 회수된 열을 공기측으로 투입하기 위해 연소공기로 냉각시킨 뒤 순환시키고 있다. 이 장치는 가정용 가스 보일러에 응용하기 위해 장치를 소형화하고 가스에서 나오는 유황 함량이 적으므로 별도의 중화장치는 사용하지 않고 응축된 폐수만 연속적으로 버림으로서 시스템을 구성하고 있으나, 폐수처리 문제와 시스템이 복잡해짐으로 인한 가정용 보

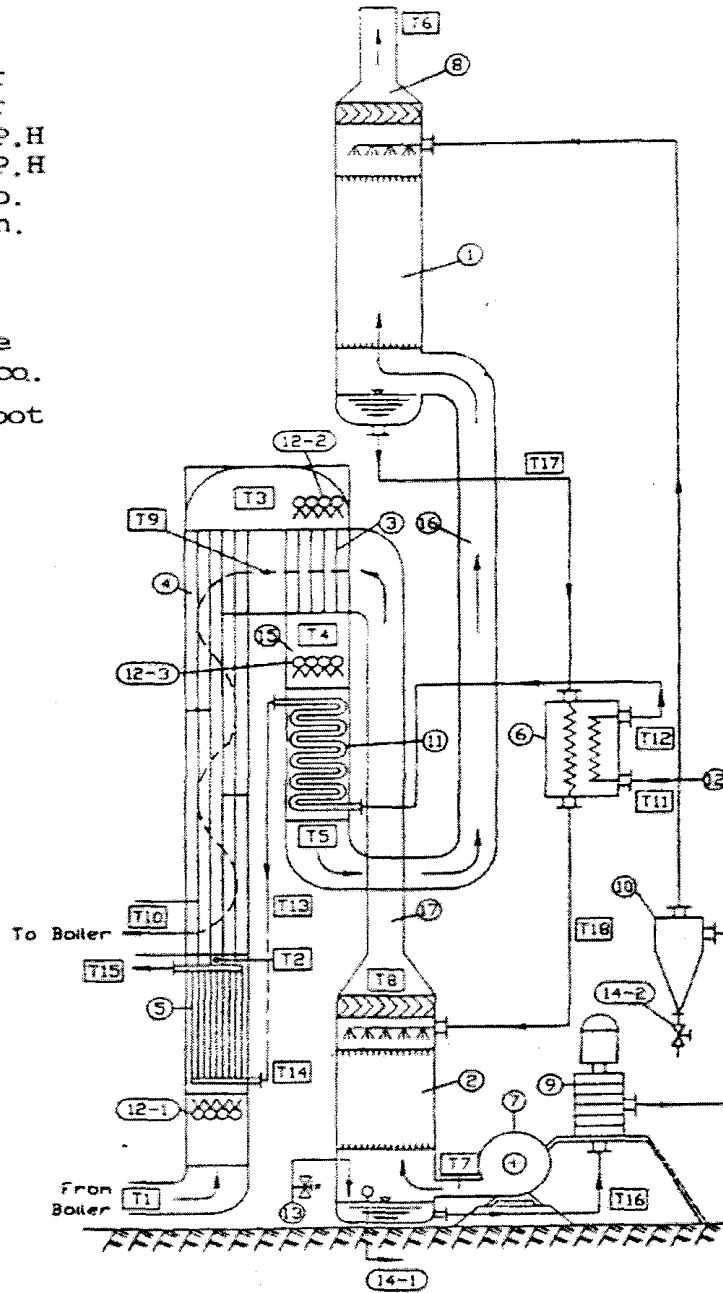
일러 가격상승 등 여러 문제로 보급에는 애로가 있는 것으로 알려지고 있다.

[그림 2-3]은 한국에너지 기술연구원에서 본 연구책임자가 개발하였던 직접접촉식 열교환 장치로서 프랑스 가스공사의 것에 열교환기를 1개 추가한 형식이다. 이 형식은 공기에열기와 테프론 절탄기로서 최대한 투입온도를 내린 후에 상부 세정탑에 가스를 투입하고 여기서 강하하는 물을 열교환 한 뒤, 하부의 냉각탑에서 연소공기와 접촉하여 온도를 최대한 강하시키고 연소공기에 수분을 증가시켜 연소실에 투입시킨다. 이 방법은 본 연구의 기본 모델로서 일부 부족부분을 보완하고 형식을 바꾸어 본 연구에 적용하였다. 다만, 공기 직접접촉탑은 기존장치의 경우 적용이 불가능하므로 제외하였고, 세정탑 전단의 공기에열기 및 절탄기 등은 테프론 절탄기로 대체하였다.



[그림 2-2] 프랑스 가스공사의 물질전달 이용 폐열회수 장치

- ① Gas Tower
- ② Air Tower
- ③ Glass A.P.H
- ④ Steel A.P.H
- ⑤ Steel Eco.
- ⑥ Heat-Exch.
- ⑦ Blower
- ⑧ Chimney
- ⑨ Pump
- ⑩ Hydrocone
- ⑪ Teflon Eco.
- ⑫-1,2,3 Soot Blower



[그림 2-3] KIER식 공해방지점-폐열회수 장치

제2절 간접접촉식 열교환기

직접접촉식과 구분하기 위해 간접접촉식이라고 명명하였으나, 간접접촉식 열교환기란 우리가 일반적으로 사용하고 있는 물-물 열교환기나 물-가스, 가스-공기 열교환기를 가르킨다. 간접이란 의미는 격벽이 있어서 열을 주는 쪽과 받는 쪽의 유체가 서로 나누어져 있음을 의미한다.

간접접촉식에서 가장 문제가 되는 것은 부식과 관 막힘 현상으로서 이를 해결하기 위해 내식성 재질을 사용한다. 최근의 테프론 가격 하락으로 이제는 테프론 라이닝 제품을 응축형 열교환기나 공기에열기, 에코노마이저 등에 사용하여도 경제성이 있게 되었다. 1980년대에 미국의 Corning사가 자신들의 내열유리관을 이용하여 공기에열기를 시장에 내어 놓았으나 파손 등의 문제로 인해 보급은 중단된 것으로 보이며, 최근에는 거의 테프론이 주재료로 이용되고 있다.

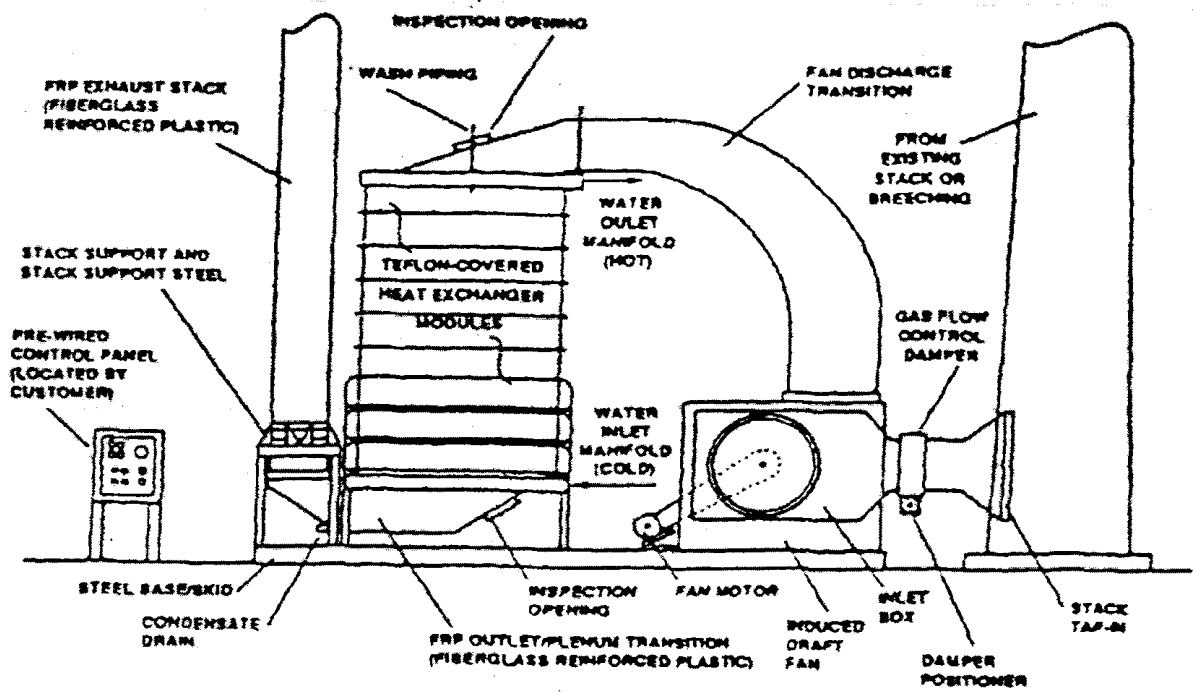
1. 테프론 열교환기

테프론 열교환기는 최초 네덜란드 Anderson사가 테프론 코팅 파이프를 개발 시판하였으며, 미국의 CXH사 등도 유사한 방식으로 테프론 라이닝 파이프를 개발 시판하고 있다. [그림 2-4]는 CHX사의 열교환기의 배열을 보여주고 있으며, Anderson사의 구조도 거의 같다.

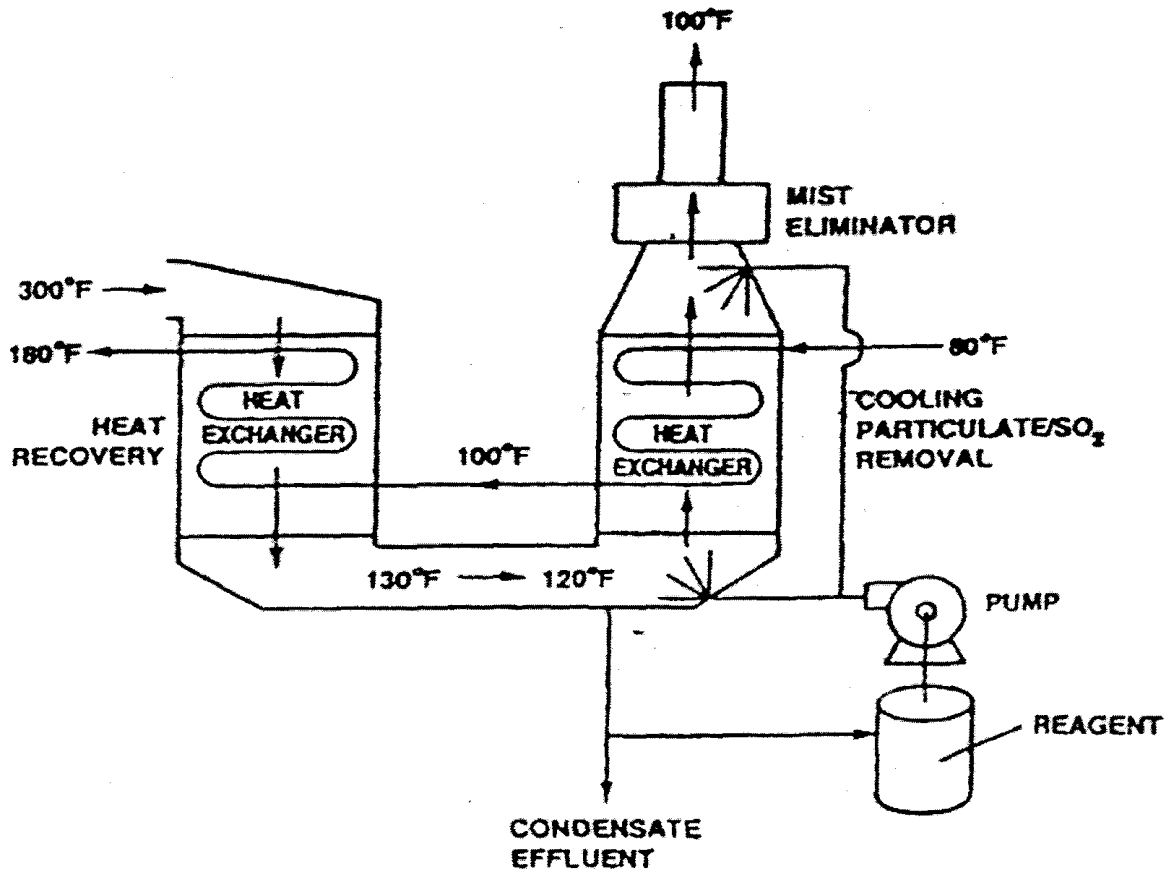
응축형 열교환기는 배가스로 부터의 열회수에 많이 사용된다. 지금까지의 적용 사례는 주로 오일과 가스를 사용하는 보일러에 사용되었다. 배가스의 온도가 산노점 이하로 내려가서 생기는 부식문제는 테프론으로 보호된 전열관을 사용하면 해결될 수 있다. 미국의 1단의 상용화된 응축 열교환기는 100개가 넘게 설치되어 만족할 만한 성능과 수명을 나타내고 있다. 최근의 설비는 종합 배가스 처리장치(Integrated flue gas treatment)라 불린다. 이것은 폐열을 회수함과 동시에 오염물질을 제거한다. 따라서 배가스의 SO₂, SO₃, 분진과 중금속을 제거할 수 있다.

상용화된 1단의 응축 열교환기 시스템을 [그림 2-4]에 나타내었다. 배가스는 열교환기를 통과하여 밑으로 흐르고 급수는 튜브의 속을 통하여 밑에서부터 위로 흐른다. 배가스의 온도가 응축온도 이하로 내려가면서 응축현상이 나타난다. 테프론의 표면은 매끄러우므로 응축된 물은 막의 형태보다는 물방울의 형태를 갖는다. 형성된 응축수

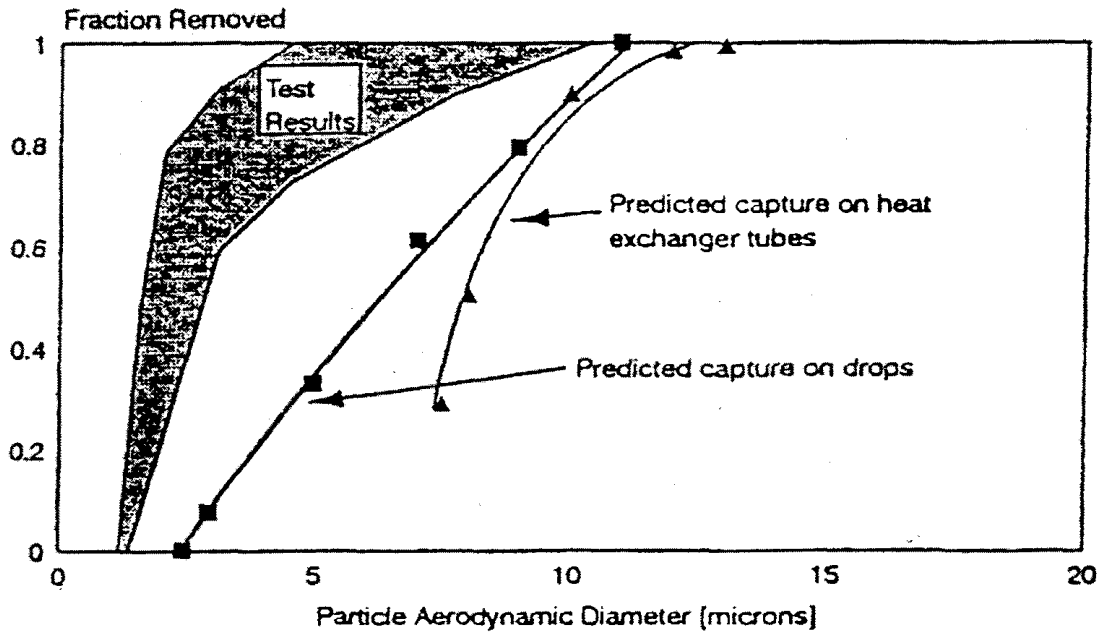
는 밑으로 내려가 하부에서 제거된다. 배가스에 함유된 분진이 튜브와 응축수와 충돌하여 어느정도의 배가스의 정화가 이루어진다.



[그림 2-4] 테프론 보호관을 사용한 응축형 열교환기



[그림 2-5] 테프론 보호관을 사용한 배가스 종합처리장치



[그림 2-6] 테프론 보호판을 사용한 배가스 처리장치의 집진효율

응축형 열교환기를 사용한 배가스의 종합처리장치는 [그림 2-5]에 나타내었다. [그림 2-5]의 열교환 시스템은 배가스의 정화기능을 증대시킨 것이다. 이 장치의 설계는 상용화된 열교환기의 여러 개를 조합한 것으로 장치의 수명은 현재의 시스템의 수명과 거의 동일할 것으로 판단된다. 이 장치는 4개의 부분으로 나눌 수 있다. 이들은 1차 열교환기, 2차 열교환기, 열교환기 사이의 영역과 물방울 제거장치이다. 대부분의 현열이 1차 열교환기에서 흡수된다. 이후의 공간에서는 물 또는 알칼리 성분의 분사장치가 있다. 이러한 분사로 인하여 배가스는 2차 열교환기로 유입되기 전에 포화상태가 된다. 또한 배가스 내의 일부 황산 등의 불순물을 제거한다. 이 영역의 벽면 재질은 내부식성이 강한 유리섬유를 사용하였다. 2차 열교환기는 응축열을 회수하여 오염물질을 회수한다. 이 과정에서 배가스는 위로 흐르고 전열면에 응축된 물방울은 아래로 흘러 내려온다. 전열관의 크기 및 간격 등의 설계를 적절히 하여 큰 입자의 경

우 물방울의 응축현상이 발생하면서 전열면에 충돌하여 집진이 되도록 하였다.

미세입자의 경우 배가스의 응축의 핵으로의 역할을 하며 응축수의 유동과정에서 집진된다. 2차 열교환기의 상부에서는 알카리 성분을 분사하여 황산화물의 제거효율을 증대시킨다. 응축된 가스, 분진 그리고 알카리 화합물은 열교환기 하부에 포집되고 이 용액의 일부가 재순환되어 2차 열교환기의 상부에서 분사된다. 2차 열교환기의 출구에서는 수분의 방출과 환경규제를 충족시키기 위하여 물방울 제거장치를 설치하였다.

응축형 열교환기의 성능은 여러 곳에서의 실험을 통하여 평가되었다. Brookhaven National Laboratory에서는 테프론 열교환기의 표면에의 응축시의 분집포집 성능에 실험과 이론해석에 대한 연구를 수행하였다. 연구결과, 분진제거의 중요한 기능은 inertial impaction에 의하여 주로 포집되며 가스의 유속과 압력손실을 증대시킴에 따라 분진의 포집효율은 증가한다. 절탄기를 사용한 실험결과 분진포집 효율은 약 90% 정도이다. 이러한 현장실험들은 배가스의 일부만을 사용한 파이롯트 규모의 실험장치에서 수행되었다. 이들 중 1992년 New York의 Morgan Linen Co.에서 많은 실험을 수행하였다. 이 실험장치는 연료로 황의 함유율이 1.5%인 No. 6 기름을 사용하는 14,000 lb/hr 용량의 보일러에서 배출되는 배가스의 일부를 사용하였다. 이 경우의 평균 분진 제거율은 89.3% 이었다. 그리고 sodium bicarbonate를 분사한 경우의 SO₂와 SO₃의 제거효율은 99% 이상이 되었다. 그리고 금속의 함량을 측정된 결과 nickel은 20%, chromium은 11%, lead는 36%, mercury는 84%, cadmium은 14%, 그리고 zinc는 25%의 제거효율을 나타내었다.

그리고 1993년에 Consolidated Edison of New York의 Ravenswood Steam Plant에 설치한 응축형 열교환기의 성능실험을 수행하였다. 이 장치는 중유를 연료로 사용한 보일러로부터 배출되는 배가스 중에서 25,000 lb/hr의 배가스만을 처리한다. 이 실험에서 SO₂의 제거효율은 98% 이상이며 SO₃의 제거효율은 73~91%이다. 또한 연들의 분진측정 결과 0.005 lb/million Btu 이하로 나타났다. 그리고 수은의 제거효율은 약 50% 정도로 나타났다.

CHX Corporation의 응축형 열교환기의 가장 일반적인 적용처는 폐열을 회수하여 보일러 급수를 예열하는 것이다. 급수의 예열로 보일러의 열효율을 10% 이상 증대시킬 수 있다. 응축형 열교환기에서 회수한 열로 저압급수 가열기와 탈기기에 사용되는 증기의 사용량을 줄일 수 있다. 응축형 열교환기의 하나의 설치사례에서 설치비가

\$450,000인 경우 이의 투자회수기간은 1.5년 정도이다. 이 경우 시스템의 전체 배가스로부터 열을 회수하여 보일러의 급수를 예열하였다. 1.5년의 투자회수기간은 연료의 절감량만을 고려한 것이다.

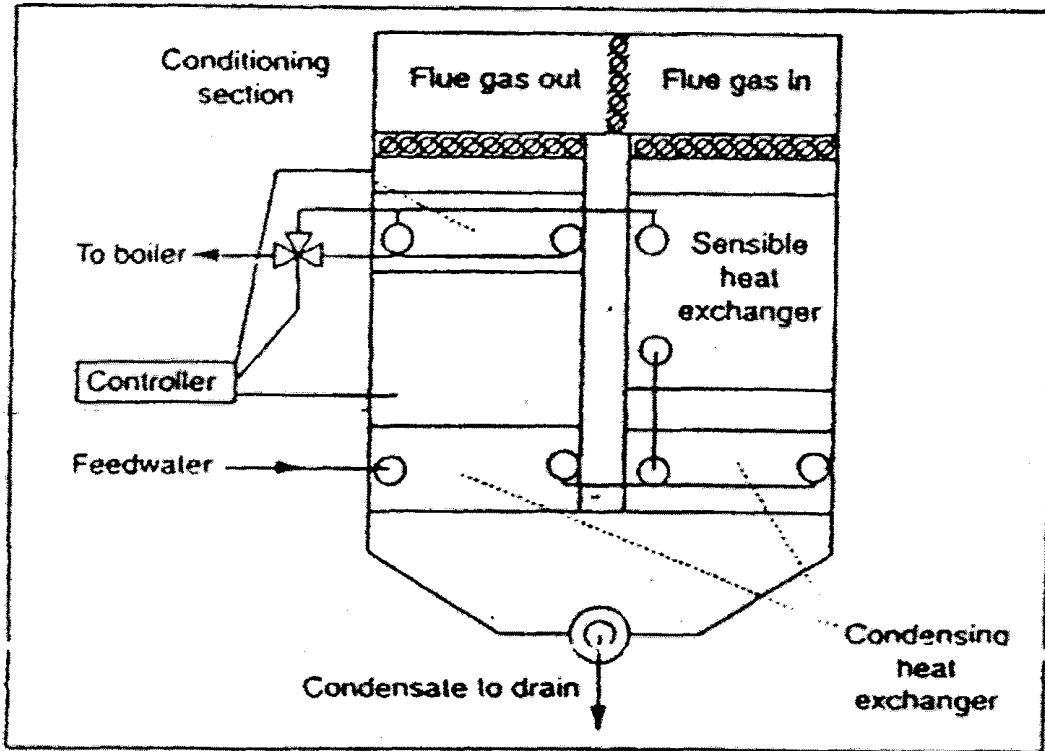
다른 설치사례를 보면 2개의 응축형 열교환기가 병렬로 설치되어 여러개의 보일러로부터 배출되는 전체 배가스 유량의 1/3을 처리한다. 이 경우 급수를 예열하며 냉각된 배가스는 원래의 배가스 통로로 보내진다. 혼합된 후의 배가스의 온도는 약 120°C로 물의 응축온도보다 높으므로 부식의 문제가 없다고 판단하여 기존의 연돌을 그대로 사용하였다. 그리고 응축형 열교환기는 공기를 예열하는데에도 사용할 수 있다. 이 경우의 공기에열로 인한 열효율의 증가는 5.8% 정도이었다.

2. 금속제 절탄기

1) CEECON 응축형 절탄기

영국의 British Steel Tinplate사에서는 [그림 2-7]와 같은 CEECON 응축형 절탄기를 개발하였다. 절탄기를 설치함으로써 보일러의 효율을 90.2% 까지 증대시킨다. 일반적인 절탄기의 에너지 절감량이 23,151GJ/year인 경우 응축형 절탄기를 사용하는 경우 에너지 절감량은 34,228GJ/year로 증가한다. 이 장치의 투자회수기간은 약 1.8년이다.

이 절탄기는 열교환기부의 부식을 방지하기 위하여 header와 frame은 스테인레스 재질을 사용하였다. 그리고 전열관은 hot dip galvanised 재질이며 핀의 재질은 탄소강을 사용하였다. 그리고 배가스 조절장치를 사용하여 배가스의 온도를 노점 이상으로 유지하여 연돌의 부식문제를 해결하고 연돌에서 적정한 통풍력을 유지할 수 있도록 하였다.



[그림 2-7] 영국의 CEECON 응축형 열교환기

이 열교환기는 크게 3부분으로 나눌 수 있다. 먼저 배가스의 현열전열부로서 배가스는 응축이 없이 냉각된다. 배가스의 온도는 응축온도 이상을 유지하고 이 부분의 열교환기 재질은 핀튜브를 사용하였다. 두 번째는 배가스에 포함된 수증기가 전열면에 응축되는 응축부이다. 이 부분에는 스테인레스 재질의 나관이 사용되었다. 그리고 마지막에는 배가스의 조절부로서 배가스에 함유된 물방울을 제거하는 부분이다. 보일러 연료를 가스에서 오일로 바꾸면 황산부식의 우려가 있으므로 절탄기에 덤퍼 시스템을 설치하였다.

이 회사에서는 질소탈기법을 사용하는데 이 방법은 화학처리 비용을 절감하고, 기

존의 절탄기가 설치된 보일러에서 급수온도를 82℃에서 60℃로 낮추어도 된다. 질소 탈기기는 약 10℃에서도 완전탈기가 가능한 장치로서 응축형 절탄기와 함께 사용하기에 매우 유용한 장비이다. 약 10℃의 급수가 응축형 열교환기로 공급되며 처음에 열교환기의 응축부를 지나며 다음으로 현열부를 통과하면 급수의 온도는 약 100℃ 정도가 된다. 회수된 열량의 일부가 배가스의 조절에 소비된다. 조절부에서는 배가스의 연들의 입구에서의 배가스의 습도를 조절한다. 일부의 예열된 급수가 조절부를 통과하게 되며 이를 통과한 급수와 by-pass된 급수와 혼합하게 되며 이때의 급수의 혼합온도는 약 93℃가 된다. 따라서 이 절탄기의 신기술은 배출가스 정화기를 이용하여 굴뚝의 부식과 통풍력 유지문제를 해결한 점이다.

이 공장에서는 생산된 증기를 공정용과 공장난방에 사용하고 있다. 이 중에 공정용 증기는 아연도 강판, 석강판 제조설비인 도금욕조의 용액 가열에 주로 쓰인다. 그러므로 응축수를 보일러에 회수하여 사용하지 않기 때문에 응축수의 위험성이나 보일러 부식의 문제는 없다. 그리고 1990~1991년의 2년간의 운전데이터와 가스가격으로 1.62 파운드/GJ을 기준한 에너지 비용절감은 응축형 절탄기의 가동으로 기존 절탄기가 없는 보일러보다 55,480 파운드/년을 절감하여 투자회수기간은 약 1.8년 정도가 되며 기존 절탄기가 설치된 보일러에 비하면 32,520 파운드/년을 절감하여 회수기간은 2.3년이 된다.

이 장치는 황산화물의 노점온도 이상의 온도에서 사용되므로 순수한 응축형 열교환 장치라고 하기는 어려우나, 3단계에서는 일부 응축이 일어나므로 어느정도는 응축열을 회수하고 있어 응축형 열교환기로 분류할 수 있다.

2) FAGERSTA 응축형 열교환기

스웨덴의 Fagersta 사에서는 배가스의 온도를 산과 수증기의 응축온도 이하로 열교환기의 전열면을 부식시키지 않고 냉각시키는 방법을 개발하였다. 이러한 방법은 재료기술과 열교환기 설계를 함께 고려한 것이다. 배가스의 온도는 열교환기 재질의 부식을 막기 위하여 제한된다. 이러한 제한온도는 연료의 황함유량, 과잉공기비, 배가스의 수분함량과 배가스 압력 등에 관계가 있다. 이 열교환기는 전열관 내부로 배가스가 흐르고 바깥쪽으로는 냉각수가 흐른다.

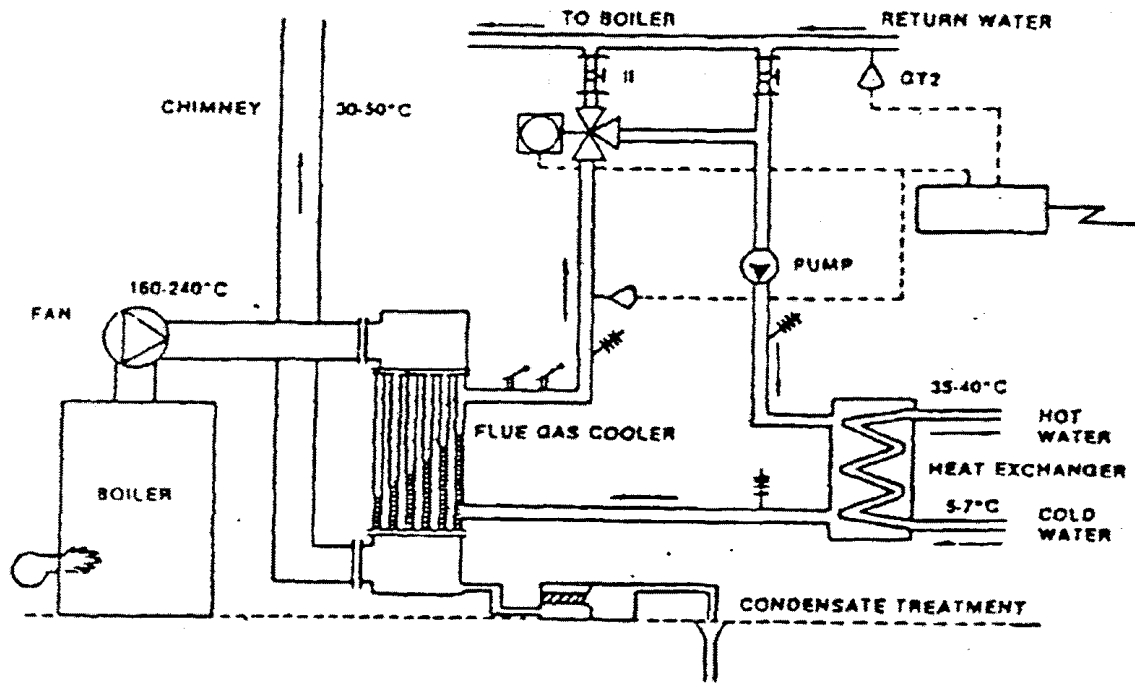
[그림 2-8]에 보는 바와 같이 배가스는 전열관의 내부를 통하여 하부로 내려간다.

그리고 냉각수는 밑으로부터 유입되어 배가스와 대향류를 이룬다. 이러한 열교환기의 설계로 전열관 내부에 형성된 응축수는 중력과 배가스의 흐름의 도움으로 밑으로 흘러 내려간다. 응축수는 아래로 내려오면서 더욱 온도가 낮은 전열면과 접촉하게 되어 더욱 희석되게 된다. 그리고 열교환기의 하부에서 응축수와 배가스를 분리하게 된다. 그림에서와 같이 가열기 뒤에 송풍기를 설치할 수 있으며 이로서 shell & tube 형식의 열교환기에서의 압력강하에 의한 문제를 해결할 수 있다. 이 경우 가열기에서 전열관을 통과하여 밑으로 내려오며 물온도보다 약 5~10℃ 정도 더 높게 배출된다. 밑으로 내려온 배가스는 다시 연돌의 내부나 또는 외부에 설치된 스테인레스나 플라스틱 재질의 연돌을 통과하게 되며, 급수의 일부가 절탄기로 공급된다. 이 시스템에는 절탄기 외에 공급수와 절탄기의 냉각수와의 전열을 위한 열교환기를 갖추고 있다. 이 경우 급수의 온도는 45~50℃ 이상으로 유지되어야 응축현상이 나타난다.

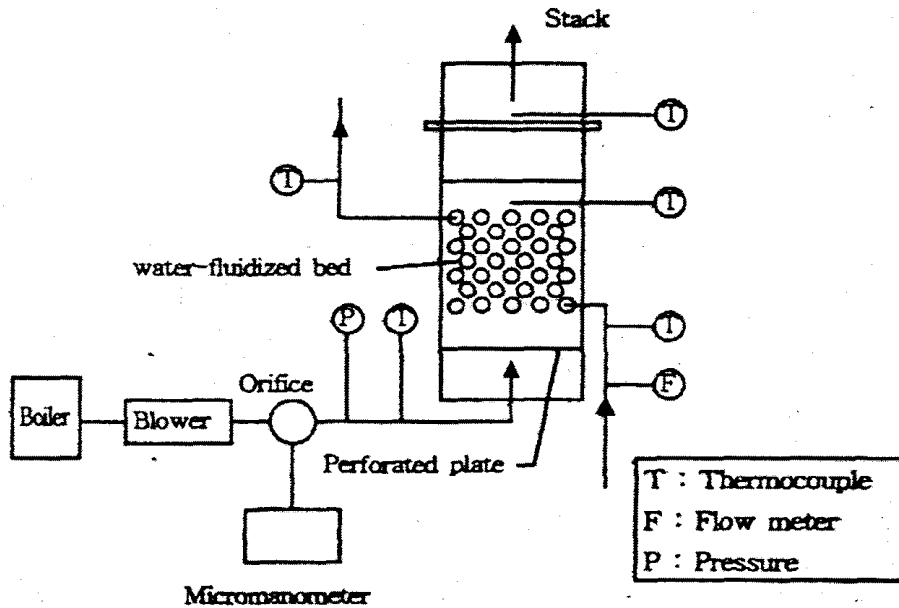
이 회사에서는 여러개의 작은 응축형 절탄기를 증유를 사용하는 대규모의 발전소에 설치하였다. 절탄기에는 10종류의 재질을 설치하여 동일조건에서 실험을 수행하였다. 일정시간이 지난 다음 이러한 시편을 회수하여 검사하였다. 실험결과, 증유의 황 함유량이 1.0% 이하인 경우 응축시의 부식은 없었다.

만약 연돌에서의 배가스의 온도가 황산의 산노점 이하가 될 경우 대개 연돌의 내부에 피막을 형성한다. 이러한 피막은 황화물로 형성된다. 먼저 황산의 조그만 방울이 내면에 형성되고 이것은 벽면과 배가스 내의 물질과 용해되고 이 화합물은 배가스와 벽면의 온도가 높은 위치로 흘러 내려온다. 따라서 이 물방울은 증발되고 용해된 물질이 피막의 형태로 남게 된다. 이러한 피막의 형성을 막기 위하여 응축 열교환기의 전열관을 수직으로 하고 배가스가 밑으로 향하여 흐르도록 하였다.

만약 배가스가 연기와 같은 많은 양의 분진을 함유할 경우 전열면에 축적될 수 있다. 전열관을 10~25mm 직경을 사용할 경우 물론 분진축적의 가능성이 있다. 그러나 가스측에서 난류를 형성하고 또한 스테인레스 강관을 사용할 경우 표면이 매끄러우므로 분진이 전열면에 달라 붙은 가능성은 줄어든다. 그리고 물이 응축하는 부분에서는 분진과 피막이 없다. 응축물량이 적은 위치에서는 분진 축적의 가능성이 있으나 물 응축영역이 어느정도 변화하여 전열관이 막힐 정도로 심하지 않다. 그러나, 다른 이유에 의하여 버너의 작동이 원활하지 않으면 분진 발생이 심하여 전열관이 막힐 위험성이 있다. 따라서 절탄기의 상부에 물을 분사하여 청소할 수 있으며 이러한 청소는 자동적으로 작동하도록 하였다.



[그림 2-8] FAGERSTA 응축형 질탄기(스웨덴)



[그림 2-9] 직접접촉 열교환기 실험장치의 개략도

3) 유동상식 열교환 장치

[그림 2-9]는 한국에너지 기술연구원의 박상일 박사가 연구한 유동상식 폐열회수 장치이다. 장치는 하부에 물 유동층을 유지하도록 다공판을 설치하고 그 상단에 전열관을 설치하여 유동되는 물이 관로 전체를 유동되도록 하여 부식을 줄이고, 전열효과를 크게 하는 것이다. 이 방식은 유동층 베드의 특성으로 순수금속제의 열교환기를 이용하므로 금속제 열교환기에 포함될 수 있다.

이 방법은 가스연료를 사용하는 경우 유황 함량 등이 적어 소량의 알카리 투입으로도 PH를 제어할 수 있고, 유동되는 물의 양이 상대적으로 많아 황의 온도가 낮아 SUS - 316 정도의 내식강이면 충분히 견딜 수 있는 것으로 밝혀지고, 특히 유동상 베드 내의 열전달 효율은 통상의 물-가스의 열전달을 보다 8~9배에 달하므로 적은 전열면적으로 많은 열교환을 수행할 수 있고, 장치가 비교적 적고, 운전이 쉬운 등 장점이 있어 대전의 아파트에 1개소 목욕탕에 1개소 상용 보급되고 있는 상황이다.

또, 가스연료를 사용하는 경우 분진이나 유황 등의 불순물은 적은 반면, 수소성분이 많아 잠열량이 많으므로 에너지 회수량이 큰 장점도 있다.

제3절 복합형 열교환기

앞서 언급한 [그림 2-3]의 한국에너지 기술연구원의 모델이나, [그림 2-5]의 CHX사의 모델 등은 시스템의 응축특성을 이용하여 배가스 정화를 동시에 시도하고 있다. 그것은 배기가스 응축 특성상 분진 및 SO_x 등의 제거가 손쉬우며, 내식성 재질을 사용하고 있으므로 부식문제는 해결된 상태이기 때문이다.

[그림 2-3]은 공기에열기와 테프론 절탄기를 사용하여 개발하였으며, CHX는 순수하게 테프론 절탄기만으로 응축성 분위기를 유도한다.

그러나, 테프론은 아직 값 비싼 재료이므로 100℃~70℃까지는 간접접촉 방식으로 테프론 등을 이용하고, 그 후단은 직접접촉식으로 하여 집진, 탈황을 겸하는 것이 가장 경제적으로 유리함을 알 수 있다.

복합형은 당 연구가 목표로 하는 방식이며, 전단에 테프론 열교환기를 설치하여 배기가스 온도를 가능한 한 강하시키고, 후단에는 세정식으로 설치하여 직접접촉을 수행함으로써 배기가스의 잠열을 최대한 회수하면서 온수 생산량을 키워서 에너지 회수량을 많게 하는 것이다.

본 연구의 목적상 일반 보일러의 급수예열과 같이 냉수 유량에 제한을 받지 않으므로 가능한 한 많은 양의 온수를 제조함으로써 에너지 회수 효율을 높이고, 테프론 에코노마이저는 제조된 온수의 온도를 상승시키는 역할을 하게 되는 것이다.

제4절 본 연구과제의 국내외의 위치

본 연구에서 개발하고자 하는 과제는 전술한 방식들과 같은 부분도 있고, 일부 다른 아이디어를 채용하는 것도 있다.

기본적으로 전 단계에서 테프론제의 내식성 재질로 구성된 에코노마이저를 구비하여 연소온도 강하를 통한 열효율 향상과 공급온수 온도 상승, 후단부 재료의 보호 등의 목표를 달성하고, 그 후단부에 직접접촉 방식의 열교환 장치를 채택하여 분진, SO_x 등을 제거하면서 열을 회수하고, 여기서 배출되는 폐온수를 냉수와 열교환 함으

로서 최종적으로 에너지를 회수한다.

해외 및 국내 연구와 다른 점은 이들 각 부분의 형식이 조금씩 다를 뿐 아니라 기본구조가 차이가 있다.

테프론 에코노마이저는 테프론 라이닝튜브를 이용하여 제작하여 CHX사와 유사한 형식이나 조립방법이 상이하며, 특히 관로 배열이 농가공급을 위하여 온수량이 많으므로 관의 배열수가 많다. 또, 관로 간격이 넓어서 수트의 부착이 잘 되지 않으므로 별도의 청소장치 없이 설치되었다. 따라서 테프론 에코노마이저는 관 개체의 제작형태는 조금 다르나 조립방법, 구조 등은 미국의 CHX사 보다 개선된 형태라고 할 수 있으며, 라이닝 관의 제작 기법만 추후 개선된다면 오히려 더 나은 경쟁력을 가질 수 있는 것으로 판단된다.

세정탑은 제 1단은 벤츄리 식으로, 제 2단은 다공판 식으로, 제 3단은 슬릿형 유동상 베드를 형성함으로써 종래의 방식에 비해 개선된 형태이고, 단위 풍압손실에 비해 접촉효율이 좋고, 무엇보다 베드의 눈막힘이 제거됨으로 분진량이 많은 중유 등의 연소시에는 최선의 집진장치가 될 수 있다.

국내외의 대부분의 연구들이 가스연료를 대상으로 하고 있어 중유 및 소각로 등의 응축 폐열 회수에는 무리가 있으나, 본 형식은 이러한 문제를 극복하고 중질유 등에 사용할 수 있어, 시스템 성능이 입증되면 현재 저유황유 사용 지역에서도 고유황유를 사용할 수 있는 탈황장치로서 사용이 가능하므로 큰 차이가 있다.

다만 미스트 제거장치(Mist Eliminator)는 국내의 여러 방법을 시도해 보았으나 확실한 장치가 없어 미국의 Globtec사의 제거장치를 이용하기로 하였다. 따라서 이 부분의 국산화 노력 및 제거장치에 대한 연구 등은 필요하다고 하겠으나, 전체 시스템에서 차지하는 원가비율이 2% 이하이므로 큰 비중은 차지하지 않는다.

제3장 연구개발 수행내용 및 결과

제1절 개요

본 연구는 상당한 선행 연구가 있고, 이를 보완하는 성격이 강하고, 또 농가에 직접 사용할 수 있도록 하는 파일럿 플랜트의 성격도 갖고 있다. 따라서 연구는 기초조사를 통해 그 동안의 문제들을 검토하고, 이를 해결하기 위한 방법들을 강구하였다. 설계 시, 최초로 검토될 부분은 총 회수 가능 열량과 최종온도 등에 대한 이론적 검토가 선행되어야 하며, 이를 기준으로 각 시스템이 구성된다.

또, 실제 제작된 시스템은 상용규모의 크기인 대형 보일러에 적용하기로 하였다. 따라서 당초 연구계획 시부터 금호타이어 곡성공장에 설치토록 하였으며, 모든 설계도 이를 기준으로 설계되었다.

금호타이어는 현재 20T/h급 보일러 5기를 가동 중이며, 이 중 1기에 본 시스템을 설치하여 온수의 획득 가능성을 점검하여, 이것이 입증될 경우 주변 농가에 배관망을 별도의 예산으로 건설하여 2차 사업을 추진하는 것으로 하였다. 따라서 연구과제는 폐열회수 및 집진장치를 설계·제작하는 것에 집중되었고, 이의 성능평가가 연구의 가장 큰 평가내용이며 결과이다. 또, 실제 상용시의 문제점을 면밀히 검토하기 위해 지온 열원 보급시의 문제들을 검토하고, 최적의 작물선정을 위해 작물선정 및 영향평가를 위탁과제로 수행하였다.

제2절 이론적 근거

보일러 배가스에서 에너지를 회수하게 되면 초기에는 현열만 회수되게 되지만, 온도가 폐가스 중의 응축점 이하로 내려가게 되면 응축열에 의해 많은 에너지를 방출하게 된다. 배가스 온도를 40℃ 이하로 회수할 경우, 수분이 응축되면서 응축수가 회수되어 실제로 보충수는 불필요하게 된다.

그림 3-1은 배가스 열을 회수할 경우의 온도와 열량의 상관관계를 도시한 그림으로서, 통상 B-C유의 경우 수소(H) 성분량이 적기 때문에 배가스 중의 수분이 적어 49℃ 정도가 응축점으로 계산된다. 따라서 49℃ 이후에는 응축열을 방열하면서 응축되므로 훨씬 더 많은 에너지를 회수할 수 있다.

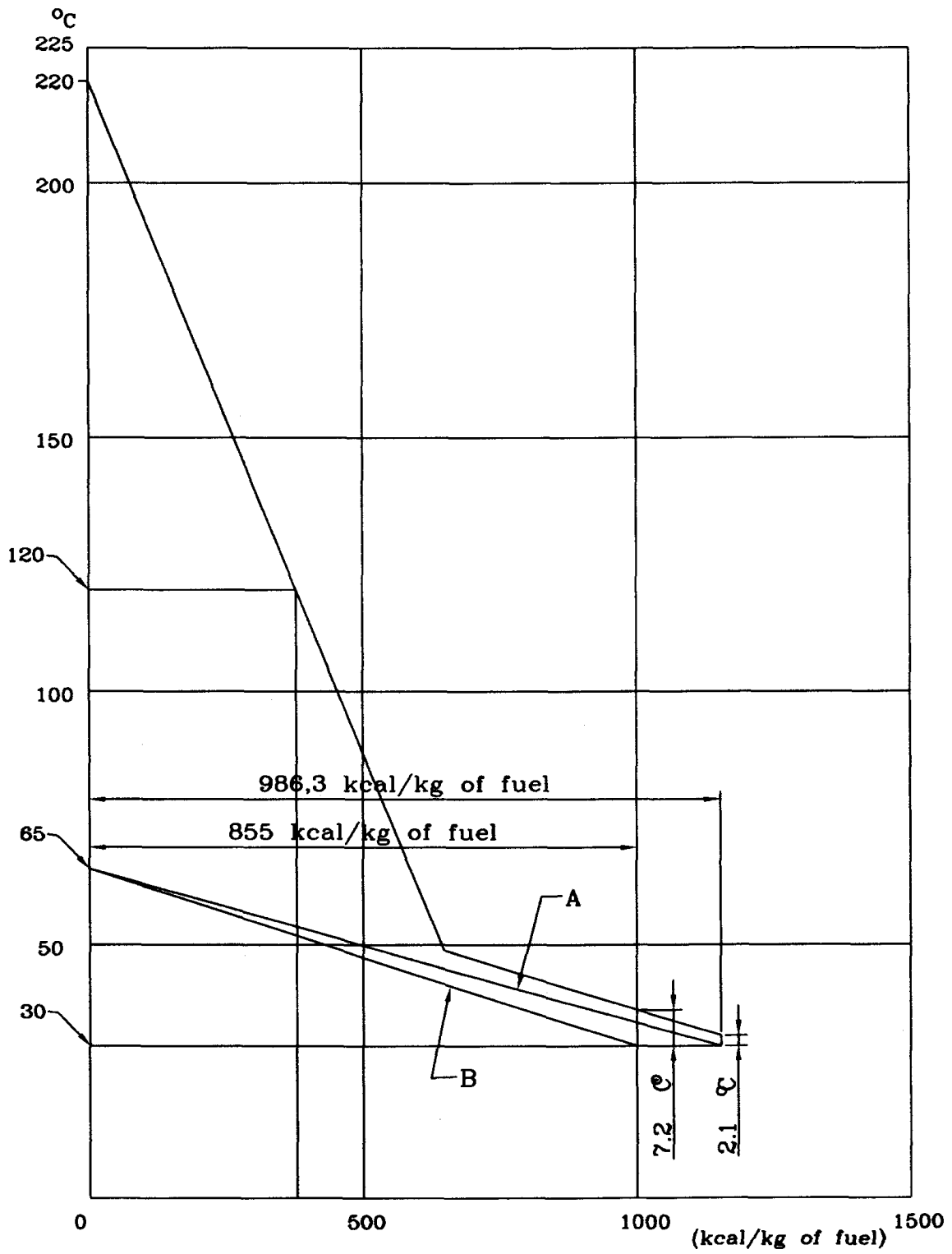
본 사업과 같이 30℃ 정도의 온실회수열로 냉각시킬 경우, 유량이 제한이 없으므로 훨씬 더 많은 열을 회수할 수 있다. 다만, 테프론 에코노마이저에서 배출되는 최종온도가 65℃ 이상이 되어야 하므로 이에 의해 총 유량은 제한된다.

그림 3-1에서 투입가스 온도가 220℃일 경우의 배가스의 단위 연료당 에너지 회수량을 나타낸다. 이 그림은 과잉 공기비 1.2(O₂ : 3.5%)일 때의 선도로서 실제로는 과잉 공기비가 이보다 높으므로 더 많은 에너지가 회수된다.

그림에서 보는 바와 같이 49℃를 기점으로 가스는 수분잠열을 방출하게 되므로 훨씬 더 많은 열을 회수할 수 있다. 가장 이상적인 경우는 연료 1kg당 1,153.6kcal를 회수할 수 있으나, 현실적으로는 직접 접촉탑의 전열효율 및 간접접촉식 열교환기의 효율 문제로 인해 1,000kcal/kg of fuel을 넘기기는 어렵다.

그림에서 A로 표시된 상단부의 온도곡선은 가장 이상적일 경우이며, B로 표시된 곡선은 열교환기의 성능들을 감안했을 경우의 곡선이다.

A로 표시된 부부는 직접접촉의 경우, 온도차 2.1℃로서 달성 가능하기는 하나, 후단부에서 다시 열교환 하여야 하므로 현실적으로 불가능하며, B와 같이 5℃ 정도의 여유가 필요하게 된다.



[그림 3-1] 배가스 에너지 회수선도

따라서, 20T/h급의 보일러는 과잉 공기비 1.2이고, 배가스 온도가 220℃일 경우, 연료 1,260kg/h를 사용하므로 총 회수 가능한 열량은,

$$Q_R = E_u \times F_u \\ = 1,000 \times 1,260 = 1,260,000 \text{ kcal/h}$$

여기서, E_u : 에너지 회수량 (kcal/kg of fuel)
 F_u : 연료사용량 kg/h = $V_E \times r_F$

따라서, 총 에너지 회수 가능량은 1,260,000kcal/h 이나, 시스템 내부의 방열손실 및 여러 가지 효율을 감안하면,

$$Q_{RR} = \eta \cdot Q_R = 0.9 \times Q_R \\ = 1,134,000 \text{ kcal/h}$$

즉, 1,134 Mcal/h가 최대치이다.

한편, 최종온수의 최대온도는 순환 유량에 따라 달라지게 되며, 30℃로 공급하여 65℃로 배출할 경우,

$$M_w = \frac{Q_{RR}}{\Delta t} = \frac{1,134}{35} = 32.4T/h \text{가 최대량임을 알 수 있다.}$$

그림에서 120℃ 이상의 부분은 테프론 에코노 마이저에 의해 회수되는 부분이며, 그 하단부는 세정탑의 직접회수 부분에서 회수된 후, 열교환기에 의해 회수되는 열량이다. 그림에서 보는 바와 같이 량으로는 간접접촉 부분이 훨씬 적으나, 실제 장치는 테프론 절탄기 부분이 훨씬 크다.

그 이유는 직접 접촉식 보다 간접 접촉식의 전열효율이 $\frac{1}{10}$ 이하로 떨어지기 때문으로 저온 폐열을 회수하는 방법은 직접접촉이 훨씬 유리함을 알 수 있다.

실제로 금호타이어의 경우는 산소비가 7% ~ 13% 정도로서, 여기서 계산된 값보다 높기 때문에 폐열량은 훨씬 더 높이나, 과잉 공기비가 7%일 경우, 폐열량은 18% 정도 더 늘어난다.

제3절 시스템 구성

그림 3-1은 금호타이어에 설치된 시제품의 흐름도이다. 그림에서 보는 바와 같이 기존 장치는 그대로 두고, 댐퍼를 통해 본 시스템으로 개스가 투입되고, 투입된 개스는 테프론 절탄기를 통해 개스열을 온수로 준 뒤에 세정장치로 투입된 다음 세정된 개스는 별도 설치된 굴뚝으로 배출된다.

한편, 세정수는 일부는 분진, SO₂와 함께 폐수 배출구로 배출되고, 나머지는 계속 순환된다. 순환되는 세정수는 펌프에서 압입된 뒤, 열교환기로 투입되어 열교환 하여 냉각된 다음 재순환된다. 세정수에는 연속적으로 알카리를 투입시켜 알카리에 의해 유황분이 제거되게 되며, 유황분은 분진과 함께 폐수로 배출된다. 또, 열교환기에 투입된 청정수는 실제로는 농가에 보급될 것으로서, 농가에서 사용한 뒤 식어진 상태로 재투입된다. 그러나 시험장치에서는 배관망이 구성되어 있지 않으므로, 냉각탑을 거쳐 공냉시킨 뒤, 다시 냉각된 상태로 열교환기로 투입되도록 구성하였다.

실제 농가에서 사용할 때에는 주간에는 에너지가 불필요하므로 온수저장조를 설치하여 주간에는 저장하고, 야간에는 이를 순환시켜서 사용하여야 한다. 또, 폐수처리장치 및 배관망의 펌프 등을 설치할 부지와 동력 등도 필요하다.

금호타이어 측과 농민들의 합의로 이들 배관망 및 동력은 금호타이어 외부에 설치하고, 공장 내에 꼭 필요한 부지만 이용하기로 합의하여 상호 이해관계가 상충되지 않도록 하였다.

시제품으로 구성된 전체 정치의 재원은 다음과 같다.

1. 보일러 (기존장치)

용량 : 20 T/h

압력 : 20 kg/cm² (상용압력 19kg/cm²)

평균부하 : 90 % (동절기)

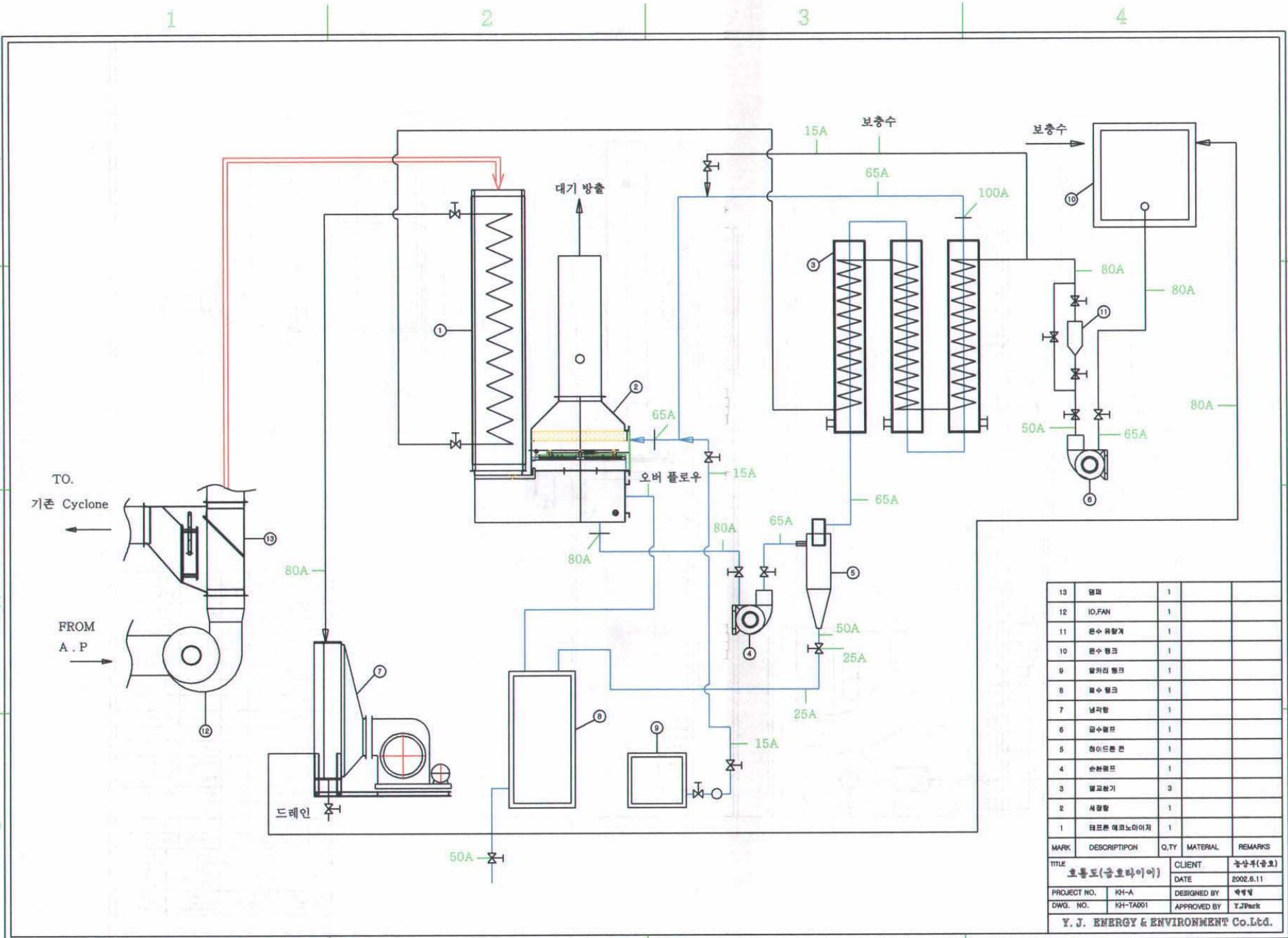
2. 테프론 절탄기 (신설)

재료 : 테프론 라이닝 튜브 (ø20.7, L=2,000, N=1,200)

전열면적 : 50 m²

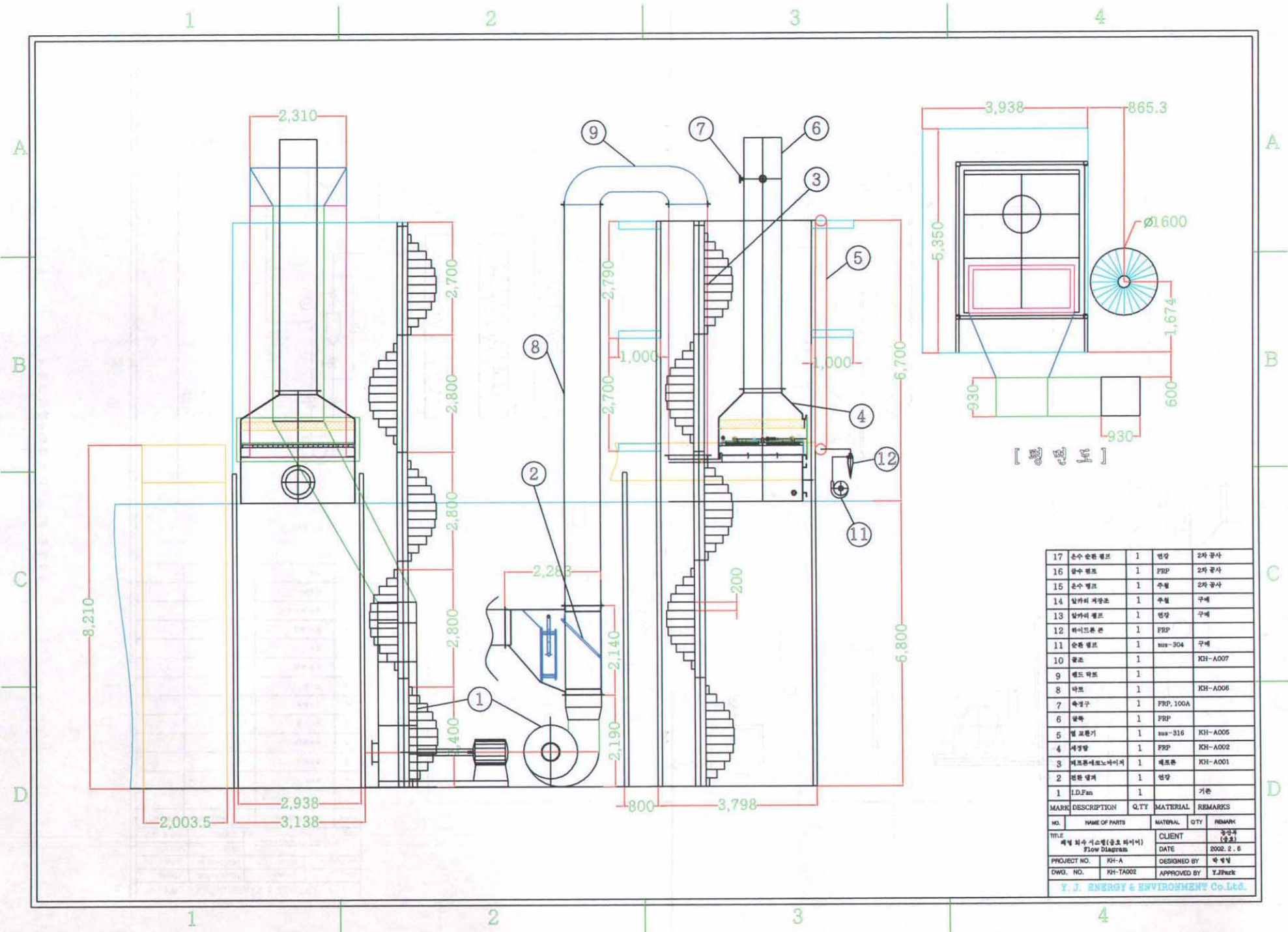
개스 입출구 설계온도 : 220℃ ~ 90℃

온수 입출구 설계온도 : 50℃ ~ 67℃

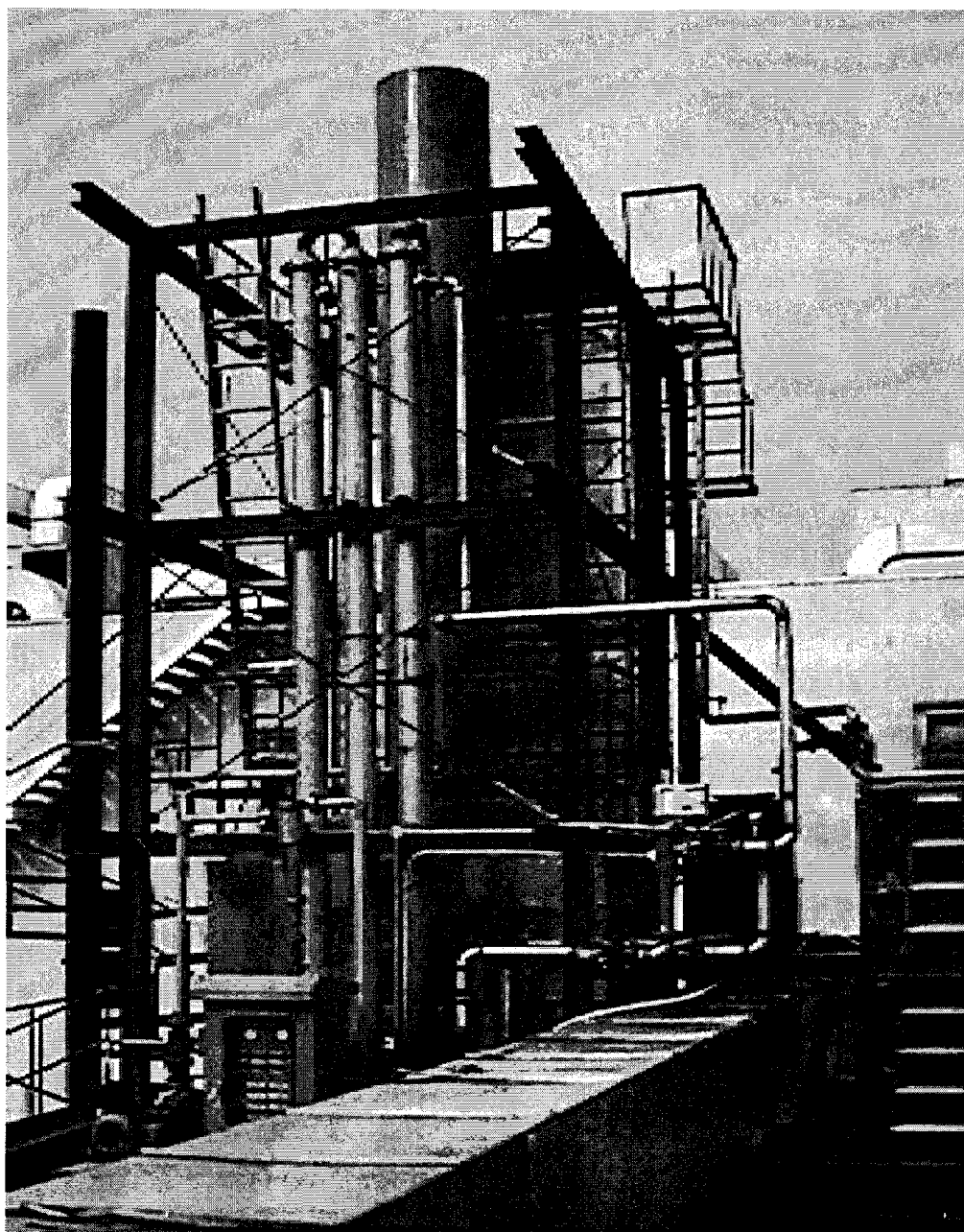


13	별미	1		
12	ID,FAN	1		
11	완수 유량계	1		
10	완수 탱크	1		
9	발카린 탱크	1		
8	물수 탱크	1		
7	냉각탑	1		
6	공수 탱크	1		
5	헤이드론 콘	1		
4	순환펌프	1		
3	별고처리기	3		
2	사정탑	1		
1	태프론 예코노마이저	1		
MARK	DESCRIPTION	Q.TY	MATERIAL	REMARKS

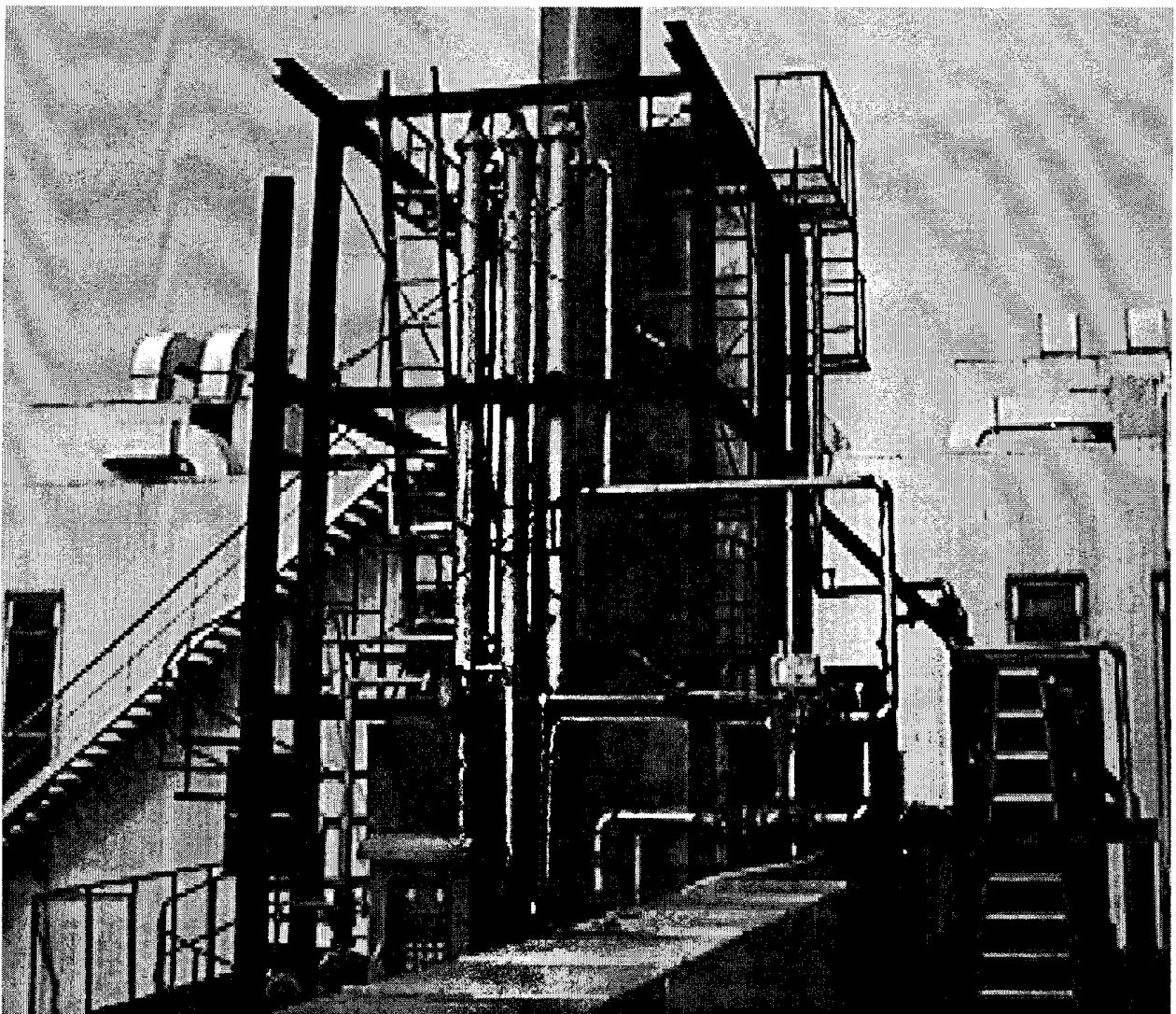
호룡도(공로타이어)		CLIENT 농상부(공로)
PROJECT NO. KH-A		DATE 2002.6.11
DWG. NO. KH-TA001		DESIGNED BY 박영익 APPROVED BY YJmak
Y. J. ENERGY & ENVIRONMENT Co.Ltd.		



NO.	NAME OF PARTS	MATERIAL	QTY	REMARK
TITLE 폐정 회수 시스템(공조 하이어) Flow Diagram				
PROJECT NO.			KH-A	DESIGNED BY
DWG. NO.			KH-TA002	APPROVED BY
DATE 2008. 2. 6				
Y. J. ENERGY & ENVIRONMENT Co.Ltd.				



[사진 3-1] 시험장치 전경



[사진 3-2] 시험장치 측면 사진

3. 세정탑 (신설)

재료 : FRP

규격 : 2,500 × 2,500 × 3,000

개스량 : 480 m³/min

4. 열교환기 (신설)

재료 : SUS - 316L, 튜브직경 15A × 31개 × 3열

전열면적 : 38 m²

5. 냉각탑 (시험 후 본 장치 설치시 철거)

재료 : 동관, 다관식 핀튜브형

냉각능력 : 100만 kcal/h

형식 : 공냉식

그림 3-2는 흐름도이고, 그림 3-3은 이들 부품을 모두 포함한 총조립도이다. 장치는 별도의 부지여유가 없어 금호타이어 보일러실의 옥상 부지를 이용하였다. 장치 등의 중량은 보일러실의 건물 골조를 이용하여 지지하였으며, 강도 검토 등을 통해 다행히 기둥부분은 강도가 충분하여 지붕의 보 부분만을 보강하여 설치하였다.

장치는 앞쪽에서부터 테프론 에코노 마이저를 설치하고 세정탑은 그 후단에 배치하였다. 순환펌프 등은 각 1대씩만 설치하였으나, 이는 예산사정에 의한 것이고, 추후 본 공사가 계속되면 1대씩 더 추가로 설치되어야 될 것으로 전망된다.

사진 3-1 및 3-2는 현장 촬영한 사진이다.

제4절 테프론 에코노 마이저 (절탄기)

외국의 경우 많은 업체들이 테프론 제의 내식형 열교환 장치들을 개발하고 있으나, 국내에는 테프론의 가격이 비싸고, 아직 대형 플랜트에 설치된 경험이 없어 신뢰성이 떨어져 대규모 장치에 설치된 사례는 없다.

그러나, 테프론 절탄기는 부식의 우려가 없고, 표면의 윤활성으로 인해 수트 등이 잘 달라붙지 않고, 부식의 우려가 높은 250℃까지 충분히 견디는 등의 장점이 많아 많이 연구되고 있다. 국내에서도 본 연구진이 KIER(한국에너지기술연구원) 근무시 일차 시도한 바 있으나, 본격적인 보급은 수행되지 못하였다.

그림 3-3은 테프론 에코노 마이저의 조립도이며, 수관을 관관에 용접하고, 관관 및 옆면의 벽은 테프론 슈트로 보호하여 제작하였다.

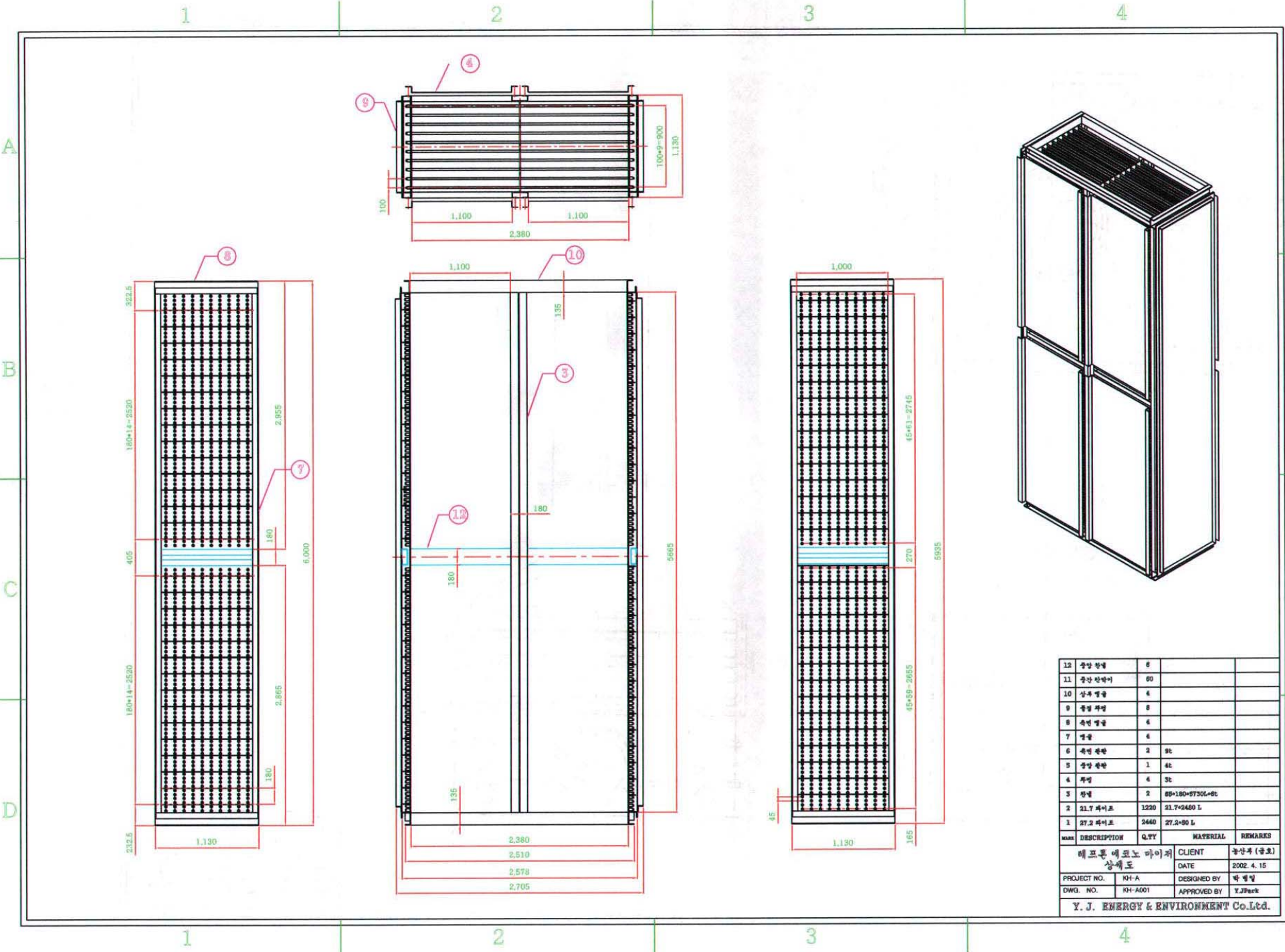
관은 4개씩 다발로 구성되어 1개의 pass를 구성하여, 40개의 관이 지그재그 식으로 순환되어 상부로 흘러나가게 되어있다. 따라서 개스는 상부에서 투입되어 하부로 흘러가도록 하였으며, 세정탑 입구에 직접 설치함으로써, 파이프에 묻은 수트 등은 세정탑에서 제거되도록 하였다.

제5절 세정탑

본 연구에서 세정탑은 2가지 역할을 한다.

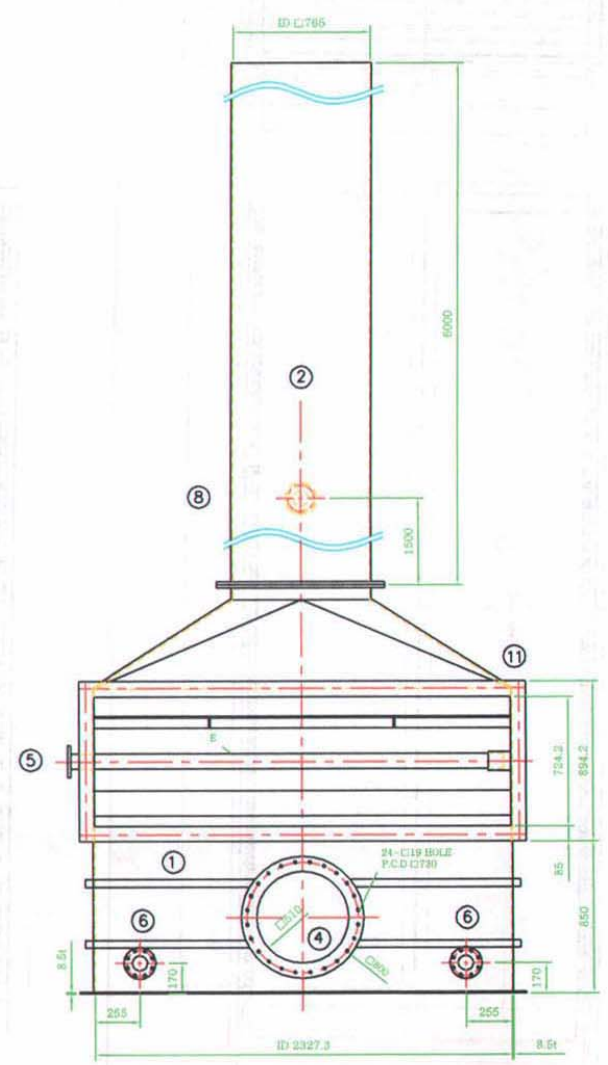
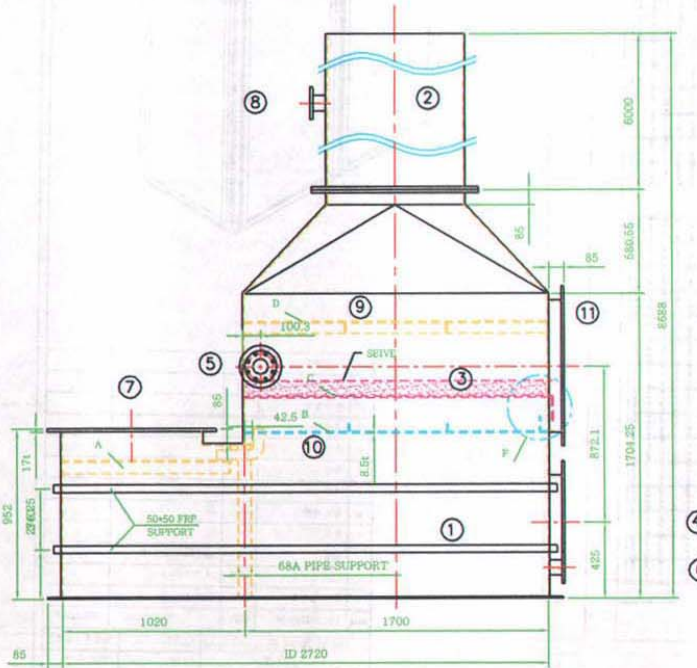
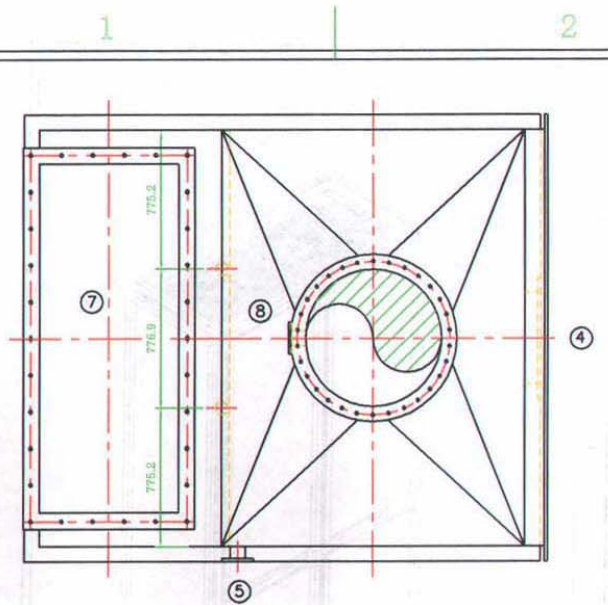
그 첫째는 개스를 세정, 정화하는 집진·탈황장치이며, 둘째는 개스열을 물로 빼앗아 에너지를 회수하는 역할이다. 이 두 가지 역할은 앞서의 것은 “Mass Transfer”(물질전달)이며, 후자의 것은 “Heat Transfer”(열전달)이다. 이론적으로 보면 두 가지 전달(Transfer) 현상은 비슷한 방법론으로 해석되며, 심지어는 같은 Equation을 쓰기 위한 방법론도 개발되고 있다.

즉, 두 현상은 같은 방법으로 해석될 수 있으며, 물질전달이 좋으면 열전달도 좋게 된다. 따라서, 일반 세정장치의 설계방법론은 Samlaw의 방정식과 같이 대부분 경험식을 사용하므로 열전달 식을 사용하는 것이 더 편리할 경우도 있다.



MARK	DESCRIPTION	Q.TY	MATERIAL	REMARKS
12	장판 천장	8		
11	장판 천막이	80		
10	상부 열풍	4		
9	중단 커널	8		
8	측면 열풍	4		
7	열풍	4		
6	측면 천판	2	89*180*8730L*8t	
5	중단 천판	1	4t	
4	커널	4	3t	
3	장판	2	89*180*8730L*8t	
2	21.7 커널	1220	21.7*2480 L	
1	27.2 커널	3440	27.2*80 L	
MARK	DESCRIPTION	Q.TY	MATERIAL	REMARKS
	에프론트 에코노 마이져		CLIENT	농산주 (공모)
	상해도		DATE	2002. 4. 15
PROJECT NO.	KH-A	DESIGNED BY	박영일	
DWG. NO.	KH-A001	APPROVED BY	Y.J.Park	
Y. J. ENERGY & ENVIRONMENT Co.Ltd.				

[그림 5-6] 에프론트 에코노마이져 도면도



MARK	DESCRIPTION	Q.TY	MATERIAL	REMARKS
NO.	NAME OF PARTS		MATERIAL	Q.TY
TITLE		CLIENT	DATE	REVISION
PROJECT NO.		DESIGNED BY	DATE	
DWO. NO.		APPROVED BY	DATE	

Y. J. ENERGY & ENVIRONMENT Co.Ltd.

[그림 3-5] 세정탑 조립도

본 장치와 같이 폐열회수를 수행하는 경우, 개스 중의 수분응축량은 물질전달, 특히 미세 먼지 제거시에 큰 역할을 하는 것으로 알려지고 있으며, 그것은 공중의 구름이 비가 될 때, 미세 입자를 중심으로 응축되어서 큰 덩어리가 되어 떨어지는 기본 원리가 세정탑에서 적용되는 것으로 알려져 있으며, 일부 집진장치들은 이러한 현상을 극대화 하기 위해 투입개스 측에 생증기를 추가시켜 응축량을 늘려 응축효과를 극대화 하기도 한다.

본 연구에서 추진하고자 하는 장치는 폐열온도가 비교적 낮은 30℃ 이하의 온수를 다량으로 투입하여 제거시킬 수 있으므로 이러한 응축효과는 극대화 시킬 수 있다.

그림 3-4는 세정탑의 조립도이다.

세정탑은 3단계로 개스와 물이 직접 접촉되며, 제 1단계는 벤츄리 스크러버의 형식으로 투입되는 개스가 수막사이를 지나면서 1차 냉각되어 FRP의 내열성 부족을 보완하고, 세정수를 최종 가열하여 탱크 내로 떨어뜨린다.

제 2단계는 다공판 사이로 개스는 올라가고, 물은 옆으로 흘러가서 가열하는 단계이다. 이 단계는 완전한 유동성 베드를 형성시키기 위해 단면적을 조정하였다.

제 3단계는 최종 세정단계로서 슬릿형상의 사출물을 통해 물과 개스가 접촉하게 한 것으로서 슬릿의 사각 홈의 간격이 2mm로서 매우 좁으므로, 막히는 현상을 방지하기 위해 상부의 슬릿 유닛트는 상하운동을 하여 구멍이 막히지 않도록 하였다.

제 4단계는 Mist 제거 단계로서 세정시 생긴 미세한 물방울 등을 완전히 제거하여 2차 공해가 생기지 않도록 한 것이다. 이 부분은 실제로는 에너지 회수와는 무관한 것으로서 공해 측면에서 설치된 것이다.

세정수는 슬릿 유닛의 상단부에 분사되어 보급되며, 하단부의 다공판을 거쳐 Venturi실의 앵글부로 흘러가며, 다공판의 수위 레벨은 벤츄리 측으로 흘러가는 파이프의 높이로 맞추어져 있다.

세정수는 하부에 설치된 관로를 통해 펌프로 순환되며, 열교환 된 후 재투입된다. 이 중의 일부는 약 2%의 고체함유량을 갖도록 배출되며, 배출수는 폐수처리 양을 줄이도록 침전시킨 뒤, 일부는 재투입시킬 수 있다.

제6절 실험결과

1. 실험방법 및 조건

본 연구는 전술한 바와 같이 일종의 파일럿 플랜트이므로 현장에 설치된 장치를 이용하여 직접 실험하였으며, 공해제거 성능과 에너지회수 성능을 검증하였다.

실험은 공사기간이 너무 늦어져 1회만 수행하였으며, 때 맞추어 금호타이어의 공해 측정 일정이 계획되어 있어, 먼저 기존장치로 공해 성능실험을 수행한 뒤, 댐퍼를 조정하여 본 장치도 투입하고, 1시간 정도 가동한 뒤, 공해성능을 측정하였다. 공해물질 측정은 공정성을 기하기 위해 금호타이어의 위탁 측정업체인 정우건설에 의뢰하여 수행하고, 온도 및 유량은 부착된 유량계와 온도계를 이용하여 측정하였다. 유량계는 Nitto사의 플롯트식 유량계로 35T/h 까지 밖에 측정되지 않아 이 양으로 기준하여 조정 후 밸브를 완전히 열어서도 측정하였다.

2. 실험결과

실험은 현장에 설치된 장치를 가동하여 측정되었으며, 관로에 설치된 유량계로 유량을 측정하고, 온도계에 의해 온도를 기록하여 계산하였다. 공해성능은 금호타이어의 측정업체인 정우건설에 위탁하여 분진, SOx, NOx, 3가지 항목에 대해 측정하였다. 에너지 항목은 아직 닥트부의 보온을 실시하지 않아 온도가 많이 강하되었으나, 연구비용 문제로 인해 완전히 보온하지 못하고 그대로 측정하였다.

가. 공해제거 성능

공해제거 성능은 현장에서 급호타이어 측에서 추천한 업체를 통해 현장측정을 수행하였으며, 분진, SO_x, NO_x, 등의 기본 항목들을 모두 측정하였다. 실험은 2회에 걸쳐 수행되었으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

기존장치에 대한 자료는 정우건설을 통해 5호기의 기존 데이터를 입수하였고, 별도의 측정은 수행하지 않았다.

[표 3-1] 공해측정 결과

회 차 \ 항목	분진 (mg/sm ³)	SO _x (ppm)	NO _x (ppm)
제 1 차	78.00	179.39	139.43
제 2 차	63.30	138.03	110.68
기존장치	21.02	193.88	186.84

나. 에너지회수 성능

에너지는 온수 순환량을 측정하여 입출구 온도차를 측정하여 계산하였다. 즉, 에너지 회수량 Q_w는

$$Q_w = m(t_o - t_i) \cdot C_p$$

여기서, Q_w : 온수회수 열량 : kcal/h

m : 온수 순환량 : kg/h

t_o : 온수 출구온도(냉각탑 투입온도) : °C

t_i : 연교환기 투입온도 : °C

C_p : 물의 비열 : 1

제 1 차 및 제 2 차 시험 결과, 부분별 온도 및 총 열량은 표 3-2와 같다.

[표 3-2] 에너지 회수량 측정 결과

회 차 \ 항목	온수 순환량 t/h	입구온도 ℃	출구온도 ℃	Qw 10 ³ kcal/h	가스입구온도
제 1 차	35	49	56	245	155
제 2 차	35	52	62	350	153

3. 실험결과 고찰

가. 공해성능

(1) 분진

실험결과 분진은 환경기준은 충분히 통과하였지만, 기존 데이터보다 높게 측정되었다. 그 이유는 대략 3가지로 추정되며, 충분히 개선될 수 있을 것으로 전망된다.

그 첫째는, 당초 설계시, 과도한 풍압손실이 걸릴 경우, 보일러 용량문제가 대두될 것을 염려하여 장치의 풍압손실량이 너무 적게 설계되어 기존 장치보다 훨씬 적은 풍압손실로 운영됨으로서, O₂량이 당초 8%에서 13%로 증가한 때문으로, 이것은 세정탑의 구멍수를 줄이면 쉽게 해결될 수 있고, 이렇게 되면 충분한 분진제거 성능을 얻을 수 있을 것으로 보인다.

둘째 이유는, 앞서 미국의 CHX사의 경우 응축에 의해 분진제거를 수행하고 있음에서 알 수 있듯이 충분한 응축이 일어나지 않은 때문으로, 배가스 온도가 40℃ 이하로 떨어지면 훨씬 더 좋은 성능을 얻을 수 있을 것으로 전망된다.

셋째 이유는, 앞서 첫째 이유와 같은 것이나, O₂가 높게 측정됨으로서 실제 측정치에 보정비가 높게 나타나기 때문으로, 실제 8%와 13%의 경우는 보정치가 1.235(8%일때)와 1.75(13%일때)로 약 1.42배가 차이가 나기 때문이다.

(2) SOx 및 NOx

SOx는 당초 실험시에는 폐수문제로 인해 알카리를 투입하지 않았기 때문에 크게 기대하지는 않았지만 높은 경우도 기존대비 7.3%의 감소를 보였으며, 낮은 경우는 28.5%의 감소를 보여주었다.

따라서 알카리 투입을 수행하고, 적절한 PH 제어를 수행한다면 고유 황유를 쓰더라도 충분한 성능을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

한편, NOx는 세정탑에서 제거된 것이 아니고, 과잉 공기비가 높아짐으로 인해 줄어든 것으로, 이것은 세정탑의 풍압손실을 늘리면, 기존과 같은 값으로 회복될 것으로 보인다.

(3) 소결

공해성능은 당초부터 주된 목적은 아니므로 환경 기준치를 만족하느냐의 여부가 주된 관심사항이다. 그러나, 장기적으로 보아 고유 황유로 전환 가능성을 확인하는 것은 좋은 것으로 판단되며, 이를 위해서는 좀 더 상세한 검증이 필요할 것으로 사료된다.

나. 에너지 회수

에너지 회수는 실제로 유량과 온도차에 의해 결정되므로 당초 목표를 충분히 달성한 것으로 판단되나 총량이 너무 적은 것으로 나타나 당초 목표하였던 100만kcal/h가 25~35% 정도 밖에 달성하지 못하였다. 그러나 이것은 전혀 우려할 필요가 없을 것으로 판단되며, 그것은 두가지 이유에서 이다.

그 첫째는, 배기가스 온도가 보온을 수행하지 못함으로서 220℃로 배출된 개스가 155℃로 떨어짐으로 인해 많은 손실이 생겼으며, 이로 인해 테프론 에코노 마이저의 배출온도가 65℃까지 밖에 상승되지 못하였다. 그러나 이것은 역으로 220℃일 경우, 테프론 에코노 마이저 최종온도는 75℃까지도 상승시킬 수 있다는 결론을 내릴 수 있어 충분한 열회수 능력을 보여주었다고 할 수 있다.

이것은 앞 절에서 분석된 이론 온도와 맞지 않는 현상이나, 이것은 이론해석은 과잉 공기비 1.2로 계산된 것으로서, 실제 과잉 공기비는 더 높기 때문에 충분히 달성 가능하다.

둘째는, 냉각량이 충분치 못하여 투입온수 온도가 너무 높아 실제 폐수 열교환기가 성능을 발휘하지 못한 것이다. 이것은 시험시 냉각탑의 동파로 인해 3블럭 중 1블럭만 운영한 결과로서, 실제 투입 온수온도가 52℃로서 배출온도는 폐수순환 온도와 거의 같은 2~4℃ 정도 밖에 차이가 나지 않아 이를 알 수 있다. 따라서 냉각량을 충분히 달성한다면 회수열량은 충분히 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

실제 열교환기에서 문제가 되는 것은 최종 배출온도가 성능을 모두 보여주게 되므로 추후 완벽한 가동을 위해서는 이 부분도 보완하여, 완전히 입증할 필요가 있으나, 실제 이론상 계산이 가능한 부분이므로 보고서는 이것으로 종료하고, 추후 현장시연 등이 있을 때에 수정하기로 하였다.

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 목표달성도

본 연구는 공해허가 문제 및 금호타이어 측과의 협의에 많은 시간이 소요되어 매우 늦게 종료되기는 하였으나, 당초 목표한 모든 목표를 충분히 달성하였다.

공해문제 및 에너지 회수 성능 모두 당초 예상한 것과는 약간 차이가 있으나, 환경기준은 충분히 달성하였고, 에너지 회수 성능 또한 총량은 미흡하나, 온수 순환량 및 최종온도를 입증함으로써 모든 성능은 입증되었다고 할 수 있다.

특히, 공해방지와 에너지 회수를 동시에 달성하여 이를 실제 플랜트에서 입증함으로써 추후 보급 및 기술 확산에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 전망된다.

제2절 관련분야에의 기여도

공해 분야의 장치는 일반적으로 비용만 소요되고 투자수익이 없는 것이 보통이므로 일반적인 산업체에서는 가능하면 이들의 투자를 회피하는 것이 보통이다. 그러나 본 장치는 공해처리 장치이면서도 에너지를 회수할 수 있으므로 온수가 필요한 공장-제지, 염색, 피혁 등-에서는 쉽게 활용할 수 있다. 또, 테프론 에코노 마이저의 경우, 고압식으로도 설계 제작할 수 있으므로 경제성이 높은 대형 보일러 등에 절탄기로서 설치하면 연간 2~5% 이상의 유류비용을 절감할 수 있다.

이 뿐 아니라, 당초 본 연구의 목표인 공장에서 불필요한 폐열을 회수하여 농가에 공급할 수 있게 됨으로서, 농촌지역에 위치한 공장들과 주민과의 갈등을 해소할 수 있으며, 국가적으로도 약 10~15%의 에너지를 회수 이용할 수 있어 기여도는 매우 크다 하겠다.

제5장 연구개발 결과의 활용계획

제1절 활용분야

본 연구는 당초 시작시부터 2차 공사 및 배관망 작업은 염두에 둔 장치이므로 곧 2차공사와 배관망 작업이 이루어질 것으로 기대되며, 추후 이들 효과가 입증되면 전국적인 확산이 기대된다.

우리나라는 인구밀도가 조밀하여 농촌, 도시의 거리가 짧고, 공장에서는 30~40℃ 정도의 폐열은 사용할 곳이 없기 때문에 농가에의 활용은 매우 좋은 에너지 절감 방법이 된다. 따라서 추후 연구결과의 활용은 다방면으로 기대된다.

1. 공장 온수 제조용 장치

- 주로 온수를 많이 쓰는 제지, 염색, 피혁 등의 에너지 절감 장치
: 온수를 많이 쓰는 공장의 경우, 투입온도는 15℃ 이하이므로 30℃~60℃로 가열한다면 많은 양의 에너지를 절약할 수 있다.
- 응축수 회수량이 적은 공장에서의 보충수 예열 및 목욕 용도 등의 저온열 회수 장치
: 목욕탕 등의 경우는 기존의 장치로는 불가능하나, 한국 에너지연구원에서 연구된 직접 열교환식이나 본 방식이 적용될 가능성이 크다.
- 난방수요가 많은 공장의 경우, 난방용 온수로서 활용을 위한 장치
: 난방수요가 많은 공장이나 아파트 등의 경우도 본 장치를 이용하여 온수를 제조할 경우, 많은 에너지를 회수할 수 있다. 특히, 가스를 쓰는 아파트 단지의 경우나, 수영장 등이 부설된 아파트의 경우, 완전히 폐열만으로도 이들 시설과 온수수요를 만족할 수 있다.

2. 농촌지역 공장 폐열 회수

- 농촌 지역에서 보일러 10T/h 이상급을 보유한 업체 및 인근 농촌에 모두 적용 가능함. 근거리에서는 배관비용이 적으므로 10T/h급 까지도 경제성이 확보된다. 다만, 소규모이므로 수혜 농민의 수가 한정된다.
- 공장과의 거리가 5km 이내이면, 20T/h 정도이면 경제성이 있는 것으로 평가됨
- 시멘트 제조 등 폐열량이 많고 공해발생이 상대적으로 많은 경우 10km 정도 거리까지도 경제성이 있음.
: 시멘트 공장 등은 폐열량이 많을 뿐 아니라, 공장 자체에서는 사용방법이 없다. 또, 시멘트의 경우, 원료의 건조에 소비되는 증발열이 많아 배가스 중의 수분 함량이 많아 일반 보일러보다 훨씬 많은 폐열을 회수할 수 있다. 따라서, 단위규모는 매우 크며, 이에 따라 경제성도 좋게 되므로 최원거리가 10km 정도까지도 배관하여도 지상배관을 할 수만 있다면 경제성은 충분하다.

3. 화력 발전소 등의 폐열회수 및 농가이용

- 화력 발전소 등은 폐열량이 많고, 농촌 지역에 위치한 경우가 많으므로, 증기응축 폐열이용과 더불어 굴뚝 폐열을 이용할 경우, 막대한 면적의 농가에 온수열을 공급할 수 있음.
이 경우, 굴뚝 폐열은 본 기술을 이용하고, 응축수 폐열 등은 히트펌프 등의 기술을 이용하여 조합하면 엄청난 양의 난방을 수행할 수 있다.
화력 발전소는 통상 전체 효율이 35% 이하이므로, 이 중 8~10%는 굴뚝 폐열로, 나머지 55~60%는 응축수 폐열이므로 60%의 폐열을 회수한다면 1kW당의 폐열량은 516kcal/kW 이므로, 100만kW급 발전소의 경우, 516×10^6 kcal의 폐열을 회수할 수 있으며, 5.16×10^6 m² (156만평)의 온실을 난방할 수 있다.

제2절 총 사업 수행시 시스템 경제성 분석

1. 개설

농업용에 사용하기 위한 장치들은 여러 가지 제약이 뒤따른다. 가장 치명적인 문제점은 연간 가동시간이 짧음으로 인한 경제성의 부족이다. 따라서 어느 정도의 정책적인 지원이 없는 한 농업장치의 순수 경제성은 기대하기가 힘들고, 이러한 현상은 기타의 여러 농업기계 및 투자도 비슷한 실정이다. 따라서 어느 정도까지를 국가적인 차원에서 시설을 수행하며, 어디서부터 투자를 하지 않을 것인가가 심각한 화두가 아닐 수 없다. 일반적으로 산업용 폐열이용 장치의 경우는 투자회수 기간이 3년 정도를 기준하여, 그 이상이면 투자 검토, 그 이하이면 즉시 투자로 판단할 수 있으며, 투자회수 기간이 길더라도 회수금액이 크고, 시스템의 신뢰성이 높으면 투자 가능성은 더 크게 된다.

그것은 회수기간이 길더라도 연간 회수금액과 투자비용이 크므로, 사전 검증이 된 기술이나 장치인 경우, 투자비용은 오히려 큰 문제가 되지 않으며, 연간 회수비용이 크면 오히려 투자대상이 될 수 있다.

본 연구에서 추진하고자 하는 대상도, 상당규모의 투자를 전제로 하지 않으면 경제성이 확보되지 않으므로, 대형 공장 등을 대상으로 하게 되므로 당연히 회수금액도 크다. 따라서 투자 가능성을 평가하는데 있어 훨씬 유리하다.

반면, 이러한 여건을 모두 갖춘 공장들의 수는 제한되게 되므로 보급면에서 보면 상당한 제한이 되기도 하나, 자금지원을 하는 입장에서 보면 규모가 큰 곳부터 수행을 하면 되므로 유리한 점도 있다.

여 백

다만, 농가의 하우스 내부의 개조공사나, 콘벡터 등의 설치비용은 제외한 것으로서 이 부분은 수혜농가에서 별도 부담할 수밖에 없다. 따라서 투자비는 순수배관 및 공
공자금으로 조달할 부분만을 계산한 것이다.

2) 투자비용 상세

가. 폐열회수장치

연구비용으로 집행된 시설 1대를 제외하면 추가되는 1기는 1기당 2.7억원 정도로
예상된다. 실제로 연구비로 건설된 장치는 예산 부족으로 인해 보온 등을 완전히 설
치하지 못하고 일부 보온이 필요하다.

표 5-2는 폐열회수장치의 규격 및 가격상세를 보여준다.

[표 5-2] 폐열회수장치 규격 및 가격상세

NO	품 명	규 격	단 위	수 량	금액(천원)
1	세정탑 본체	FRP	대	1	64,000
2	외부 열교환기	SUS - 316	대	1	20,000
3	테프론 열교환기	테프론			40,000
4	하이드로콘	SUS - 316	대	1	5,000
5	순 환 펌 프	SUS - 316	대	2	5,000
6	미스트 제거장치		대	1	8,000
7	온수 순환펌프		대	2	2,000
8	전 기 공 사		대	1	18,000
9	배 관 공 사	FRP	대	1	8,000
10	설 치 공 사		대	1	20,000
11	보 온 공 사				15,000
12	폴 조 공 사				20,000
	계				225,000

나. 온수저장조

농촌에 사용되는 장치들이 경제성이 낮은 이유 중 하나가 계절특성으로 겨울에만 사용되고 여름에는 사용하지 않기 때문인 것이 큰 약점 중 하나이다. 그러나 하루 중에도 낮에는 사용하지 않고 밤에만 필요한 것이 또 문제이다.

따라서, 폐열이용 장치의 경우, 폐열은 24시간 계속 발생되므로, 저장조가 필수적이다. 이 용량은 보통 아침 9시부터 저녁 5시경까지는 없게 되므로 8~9시간 분을 저장하여야 한다.

온수 저장량은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$V_s = \frac{Q_h \times H_h}{\Delta t \times 1,000}$$

여기서 V_s : 온수저장용량 (m^3)
 Q_h : 폐열 발생량 ($kcal/hr$)
 H_h : 열을 쓰지 않는 시간 (hr)
 Δt : 저장조의 온도차 ($^{\circ}C$)

여기서, $\Delta t = 60 - 30 = 30^{\circ}C$ 정도로 계산할 수 있으므로

$$V_s = \frac{2,000,000kcal/h \times 9}{30 \times 1,000} = 600 (m^3)$$

따라서, 총 저장용량은 여유분을 고려하여 $700m^3$ 정도로 함이 타당하다.

따라서 직경 : 높이를 1 : 1로 하면 필요직경 및 높이는,

$$V_s = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H = \frac{\pi}{4} \cdot D^3$$

$\therefore D = 9.62 m$

$\therefore D = 10 m, H = 9.144 m$ 로 하는 것이 타당하며,

총 저장용량은,

$V_s = 718 m^3$ 이 된다.

철관의 두께는,

$$t = \frac{PD \times 1,000 \times K}{\sigma \times 100}$$

여기서 t : 철판두께 (mm)
 p : 탱크 내 최대압력 (kg/cm²)
 D : 탱크직경 (mm)
 K : 안전율
 σ : 철판강도 (40kg/mm²)

따라서 최하단부의 두께는,

$$t = \frac{1\text{kg/cm}^2 \times 1,000 \times 5}{40\text{kg/mm}^2 \times 100} = 12.5 \text{ (mm)}$$

총 6단(1,524×6=9,144)으로 구성되므로 중간단의 두께는

$$t = \frac{\frac{10 - 1.524}{10} \times 10 \times 1,000 \times 5}{40 \times 100} = 12.5 \times \left(1 - \frac{1.524 \times n}{10}\right) \text{ (mm)}$$

가 되게 된다.

제 2 단 및 제 6 단은,

$$t_2 = 10.5, \quad t_3 = 8.69, \quad t_4 = 6.785$$

$$t_5 = 4.88, \quad t_6 = 6$$

따라서 총 철판 소요량은 측면판은,

$$\begin{aligned} W &= \pi \cdot Dt \cdot r \cdot H \\ &= \pi \times 10 \times (12.7+11+9+7+6 \times 2) \times 7.8 \times 1.524 \\ &= 19.3 \text{ TON} \times 1.2 = 23.1 \text{ 톤} \end{aligned}$$

상부 및 하부 판은,

$$\begin{aligned} W_p &= \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \times t \times r = \frac{\pi}{4} \cdot 10^2 \times 4 \times 7.8 \times 2 \\ &= 2.5 \times 2 = 5 \text{ TON} \times 1.2 = 6 \text{ TON} \end{aligned}$$

따라서, 철판만의 순 자재비용은,

$$(23.1 + 6) \times 450 \text{ 원/kg} \times 1,000 = \underline{13,095,000 \text{ 원}}$$

따라서 저장탱크의 총 공사비용은 표 5-3과 같이 계산된다.

[표 5-3] 저장조 공사비 추정내역

NO	품 명	규 격	가 격 (천원)	비 고
1	주 재 료 비	12.7 ^t ~ 6 ^t	15,700	20% 할증
2	부 재 료 비	H-빔, 앵글	7,000	
3	기 초 공 사	113m ² × 500mm	30,000	철근 및 가설포함
4	설 치 공 사		78,500	인 건 비
5	장 비 임 차 료	50 TON	30,000	2 개월
6	보 은 공 사	25 TON	60,000	
7	도 장 공 사		20,000	
8	가 설 재		5,000	
9	운 반 비		5,000	
	계		251,200	

다. 배관망

배관망은 사실상 정확한 실측과 지도 및 현장실측에 따른 상세설계가 필요하다. 그러나, 현 단계에서 그렇게 자세히 할 수는 없으므로, 총 길이를 2km로 하여 계산하였다.

배관은 지상으로 하여 공사비용을 최대한 줄일 수 있도록 하고, 높이는 2m 정도로 하여, 그 밑으로 사람이 지나다니는데 지장이 없도록 하는 것이 좋다.

실제로 진천군의 장양화훼의 경우, 지상배관을 시행해 본 결과, 크게 무리가 없는 것으로 판명되었으며, 파이프가 지나갈 수 없는 곳이나 특별한 곳만 지하로 매설하고, 그 외의 길이나 농로 등은 더 높게 약 5m 정도로 높이 “ㄱ”자로 올림으로서 해결할 수 있다.

총 관경은 난방 집중시간에는 저장조 용량 및 발생열량은 모두 순환시켜야 하므로 관경은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$D_i = \sqrt{\frac{Q \cdot 4}{V_p \cdot \Delta t \cdot C_p \pi \times 3,600 \times 1,000}} \times 1,000$$

- 여기서 D_i : 관경 (mm)
 Q : 열량 (kcal/h) (발생열량의 3배)
 V_p : 파이프 내 유속 (m/s)
 Δt : 온수 온도차 (60-30 = 30°C)
 C_p : 물의 비열 = 1

$$\therefore D_i = \sqrt{\frac{2,000,000 \times 3 \times 4}{2.5 \times 30 \times \pi \times 3,600 \times 1,000}} \times 1,000 = \underline{168.2 \text{ (mm)}}$$

따라서, 주관로의 관경은 200A(외경 216.3, 내경 204.7)로 결정할 수 있으며, 관의 순 자재비는 백관을 사용할 경우,

$$2,000\text{m} \times 20,000\text{원/m} = 40,000,000 \text{ 원}$$

따라서, 총 공사비용은 다음과 같이 추정할 수 있다.

[표 5-4] 배관망 공사비 내역

NO	품 명	규 격	수 량	가 격 (천 원)	비 고
1	주 배관 자재비	200A	2,000개	40,000	
2	부 배관 자재비			30,000	L, T, Flange 등
3	배관지지 기둥		400개	20,000	6m당 1개
4	밸 브 류	200A	50개	10,000	
5	공 사 비			140,000	인건비
6	보 온	100 ^f		30,000	
	계			270,000	

라. 폐수처리 장치

폐수처리 장치는 당초 계획에 없던 것으로 금호타이어의 폐수처리 장치가 증설이 불가능하고, 여유가 없으므로 불가피하게 추가로 설치되어야 한다.

다행히 온수를 사용하는 경우, 증발식 폐수처리 장치를 쓰게 되면, 증발에 소비되는 열을 모두 회수하여 온수로 다시 쓸 수 있으므로 증발에 소비된 열은 버리지 않아도 된다. 따라서 증발식 처리장치를 쓰고, 후술하는 보조보일러를 증기보일러로 사용할 경우, 모든 문제는 해결된다. 다만, 증발되는 열은 써야 되므로 난방이 집중되는 저녁 시간에만 증발기를 써서 가동하고, 그 외 시간에는 저장하여야 할 필요가 있으며, 계절적으로도 초겨울에는 저장하였다가 추운 겨울에만 증발시키는 것이 유리하다. 따라서, 저장조 용량이 클 필요가 있다.

[표 5-5] 증발식 폐수처리장치의 투자비 내역

NO	품 명	규 격	수 량	금 액 (천 원)	비 고
1	증 발 기 1 단	0.5 T/h	1	15,000	
2	증 발 기 2 단	0.5 T/h	1	15,000	
3	공 급 펌 프	SUS - 316	2	6,000	
4	응 축 장 치	연 강 Shell-Tube식	1	5,000	
5	응축수 회수 펌프	연속식	2	2,000	
6	필 터	100 m ²	1	8,000	연속식
7	저 장 탱 크	FRP	1	30,000	
	계			71,000	

따라서, 처리용량을 발생하는 양보다 크게 설정하여 짧은 시간 내에 처리하고, 그 열은 난방에 쓸 수 있도록 하여야 한다. 따라서 폐수처리 용량은 매시간 발생량이 2.5T/h(2% 기준)으로 계산되었으나, 증발식의 경우 농도를 10%까지 올려도 크게 문

제가 없으므로 0.5톤/h를 처리하면 된다. 따라서, 처리용량은 1T/h로 하여, 가동시간의 절반만 증발장치를 가동하도록 하였다.

증기소비량을 가능하면 줄일 수 있도록 폐수 증발장치는 2중 효용관으로 구성하여, 증기 소비는 정상가동일 경우, 0.55T/h 정도만 사용하도록 설계하는 것이 좋다.

표 5-5는 증발식 폐수처리 장치의 투자비 내역이다.

마. 보조보일러

보조보일러는 농가에 공급하는 장치에는 반드시 필요한 것이다. 이것은 장치 고장시, 응급시 보충하는 필요도 있고, 또 가능한 한 보급 농가수를 늘리기 위해서는 아주 추운 날을 보조보일러를 가동하여 피크를 이것으로 보충하면, 보통 추운 날 및 초겨울 및 초봄 등에는 폐열로서 많은 농가를 보급할 수 있다.

따라서 보조보일러의 용량은 2,000,000kcal/h의 절반 정도에 맞추는 것이 좋으며, 폐수 증발에도 이용하여야 되므로, 반드시 증기보일러로 활용하여야 한다. 따라서 용량은,

$$\frac{1,000,000}{(640-100)} = 1.85 \text{ 톤} \approx 2 \text{ 톤}$$

실제로 보조보일러는 폐수 증발용으로 주로 쓰고, 평상시 부하는 적으므로 1대로 하는 것 보다는 1톤/h급 2대로 하는 것이 타당하다.

따라서, 보일러 가격은 기름탱크 및 부대시설 등을 고려하여 70,000,000원 정도로 계산함이 타당하다.

3. 운영비

폐열회수 장치는 기본적으로 운영비는 매우 적다. 그러나, 시제품 설치 과정에서 나타난 금호타이어의 폐수처리장 능력이 제한되어 있어 별도 처리장치가 필요하므로 이 부분의 비용이 추가되어야 한다.

다행히 폐수처리시 발생하는 폐증기도 다시 응축시켜 온수형태로 농가로 보급할 수 있으므로 큰 경비요인은 되지 않는다. 그러나, 혹한기에만 폐수증발 장치를 가동할 수 있도록 폐수 저장조 및 기타 시설의 투자비용 및 운영비용 추가는 불가피하다.

운영비용은 다음과 같이 분석된다.

가. 전력비

- 폐열회수 장치 순환수 펌프 (20T/h × 1kg/cm²)

$$3.75\text{kW} \times 2\text{대} = 7.5\text{kW}$$

- 온수 순환펌프 (40T/h × 1kg/cm²)

$$3.75\text{kW} \times 2\text{대} = 7.5\text{kW}$$

- 배관망 펌프 (126m³/h × 3kg/cm²)

$$7.5\text{kW} \times 2\text{대} = 15\text{kW}$$

총 전력량 = 30 kW

$$\text{연간 전력비} = 30\text{원/kWh} \times 30\text{kW} \times 24\text{h} \times 3\text{일} \times 6\text{개월} = 3,888,000$$

나. 운영비

- 인건비 : 2인 × 2,000,000 × 6개월 = 24,000,000 원/년

- 보조연료비 (폐수증발 및 처리비) (1T/h)

$$25,000\text{원/h} \times 24 \times 30 \times 6 = 108,000,000 \text{ 원/년}$$

계 : 132,000,000

다. 총 운전경비

$$\begin{aligned} \text{전력비} + \text{운영비} &= 3,888,000 + 132,000,000 \\ &= 135,888,000 \text{ 원/년} \end{aligned}$$

4. 수익

가. 폐열회수비

$$\begin{aligned} 962,780\text{kcal/h} \times 2\text{대} \times 24 \times \frac{1}{9,500} \times 360\text{원/}\ell \times 30 \times 6 \\ = 315,224,306 \text{ 원/년} \end{aligned}$$

나. 보조연료 보일러(폐수증발 장치) 회수열

$$\begin{aligned} 640,000\text{kcal/h} \times \frac{1}{9,500} \times 360\text{원/}\ell \times 30\text{일/월} \times 2\text{개월} \\ = 1,455,157 \text{ 원/년} \\ \text{총 회수비용} = 316,679,463 \text{ 원/년} \end{aligned}$$

5. 투자회수년수

$$\frac{1,155,700,000}{316,679,463} = 3.6 \text{ 년}$$

6. 투자 타당성 분석

전술한 바와 같이 농촌 부분의 투자 경제성은 계절 특성상 크게 좋을 수가 없다. 앞서 분석한 장치를 일반 산업체에 설치한다면 12개월을 모두 가동시킬 수가 있으므로 투자회수년수는 1.75년이 되게 되는 것이기 때문이다.

따라서, 투자 경제성은 양호한 것으로 판단되나 이것은 본 장치 단독으로 판단하는 것보다는 농촌경제의 활성화 및 농-공 협력의 차원에서 깊이 검토되어야 할 것으로 사료된다.

제3절 작물선정 및 계획

1. 작물선정 기준

첨부된 위탁 연구에서 작물선정을 위한 여러 가지 자료를 조사하여 여러 가지 자료를 얻었다.

그러면 폐열 회수장치를 이용할 경우의 최적 작물은 어떻게 선정할 것인가? 이것이 큰 검토사항이 된다. 이 문제는 아주 단순하게 결론을 내릴 수는 있다. 즉, 최대수익을 올리는 작물로 선정하여, 기타 상황은 추후에 대체하는 것이다. 이것은 시장상황이 변할 경우, 문제가 생길 가능성이 있으나, 간단하게 제안하는 것은 가능하다. 폐열을 이용할 경우, 난방비용은 기존 난방비의 0% 또는 운영비용, 전기요금 등을 감안할 때 10% 정도로 계상할 수 있으므로, 위탁연구 보고서 표 2-5, 2-6 및 표 5-1, 5-2 에서 조사된 자료를 인용하면 다음과 같이 계산할 수 있다.

표 5-2 및 표 5-3은 채소류 및 화훼류에 대해 위탁연구에서 조사된 자료를 이용하여 폐열 회수시에 최적 작물을 선정하기 위한 자료로 계산된 것이다.

계산방법은, 기존 장치들에서 사용되는 연료비용의 10% 정도만 폐열회수 경비로 사용되는 것으로 하여 다음과 같이 순익을 계산하였다.

$$\text{폐열회수장치 이용시의 순이익} = \text{현재 순이익} + \text{난방비용의 90\%}$$

그 이유는, 폐열을 이용할 경우, 기존 유류비용은 “0”이므로 필요하지 않으나, 순환 펌프 전기요금 및 유지관리 인건비 등을 고려하여 10%는 경비로 지출되는 것으로 계산한 것이다.

[표 5-3] 채소류의 폐열 이용시 기대수익

(단위 : 만원)

작물 항목	파프리카	오이	고추	메론
수익성	920.8	864.7	349.7	323.2
난방비(현재) (평균)	661.6	330.8	301.3	252.5
폐열이용시 기대수익	1,516.2	1,162.4	620.7	550.5

[표 5-4] 화훼류의 폐열 이용시 기대수익

(단위 : 만원)

작물 항목	국화	카네이션	장미
수익성	239.3	707.7	527.2
난방비(현재) (평균)	277.8	290.4	380
폐열이용시 기대수익	489.3	969.1	869.2

2. 작물 선정안

작물의 선정은 거의 농민들의 선호 및 경험에 의해 결정되어야 하며, 곡성군은 참고자료를 제공할 수 밖에 없다. 그것은 시장여건이 수시로 변화하고, 수출의 경우, 일본의 정책에 따라 급격히 변화할 수 있기 때문이다.

좋은 예로 방울토마토가 대일 수출이 많이 성행하였다가 국내 재배농가의 다량 출하로 인해 값이 떨어지고 수출 길이 막힌 예가 있다.

따라서 신중을 기할 필요가 있기는 하다. 그렇다고 해서 농민들에게만 맡기는 것은 너무 무책임한 일이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안을 하여, 농가에서 수용을 한다면 곡성군이 지원하는 형식으로 업무를 추진한다면, 최선의 방안이 될 수 있다고 사료된다.

가. 에너지 회수량 및 난방가능 면적

본 연구에서 추후 사업으로 추진하는 것은 급호타이어 보일러 중 1기를 더 개조하는 것이므로 약 200만kcal/h 정도가 회수되므로 전체 난방가능 면적은 전국 평균치 242 kcal/m²h를 기준할 경우,

$$\frac{2,000,000}{242} = 8,264\text{m}^2 = 2,504 \text{ 평}$$

밖에 되지 않는다. 그러나, 본 연구진이 진천군 이월면에 설치한 타이어 조각로를 이용한 난방장치에서 얻은 결과를 이용하면, 훨씬 더 많은 면적을 난방할 수 있다. 그것은 폐열은 24시간 계속 발생되며, 실제 난방시간은 저녁 6시~12시 사이만 많은 열이 필요하고 기타 기간에는 훨씬 더 적은 열만 소요되며, 낮 시간에는 열이 필요하지 않기 때문이다.

기존의 유류 난방장치라면, 낮 시간에는 당연히 장치를 꺼서 에너지를 생산하지 않을 것이지만, 폐열 회수장치는 24시간 계속 가동하여도 지장이 없으므로 낮 시간에 저장된 열을 집중적으로 사용하면 되기 때문이다.

실제로 사용되는 연료량을 진천군의 자료를 이용하면 2,400평의 유리온실 난방에 약 60만kcal/h가 필요한 것으로 조사되었다. 따라서 단위열량은,

$$\text{단위열량} = \frac{600,000\text{kcal/h}}{2,250 \times 3.3} = 80.8 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

가 필요한 것으로 나타난다. 이 열량은 유리온실의 경우로서 실제 계측된 자료이고, 유리온실은 비닐하우스보다 더 많은 열이 필요한 것으로 잘 알려져 있으므로 충분한 값이라고 할 수 있다. 이 값이 기존장치의 용량과 많이 차이가 나는 이유는 여러 가지 요인이 있을 수 있으나, 가장 큰 차이는 연속가동과 간헐가동에 의한 차이로 보여진다. 진천군의 경우, 타이어 소각로는 특성상 한번 점화하면 끌 수 없는 시스템상 특성이 있으므로 연속적으로 가동하게 된다. 그러나, 기존의 장치들은 모두 온도를 Setting하여 온도가 올라갈 경우 보일러를 켜다가 온도가 기준치보다 내려가면 다시 가동하는 형식이다. 따라서 실제 시스템 용량은 절반정도 밖에 쓰지 않으며, 실제로 100만kcal/h로 설계 설치된 용량을 절반 밖에 쓰지 못하고 있다. 따라서, 폐열을 이용하는 경우나 연속식 열공급을 수행하고 저장조를 이용한다면 열원의 용량은 기존값의 절반 정도로 충분한 것으로 입증되었다. 참고로, 진천의 경우, 100만kcal/h급의 타이어 소각로로서 당초 2,250평 난방용으로 설치되었던 것을 인근 6,032평 모두를 난방하는 사업을 추진하고 있다. 따라서 전체 난방가능 면적은 다음과 같이 계산될 수 있다.

(1) 총에너지 필요량

$$E_T = 80.8\text{kcal/h} \times [0.4 \times 6\text{시간} + 0.5 \times 4\text{시간} + 1 \times 4\text{시간}] \\ = 678.7 \text{ kcal/일 m}^2$$

여기서 6시간은 저녁 6부터 12시까지 부하가 걸리는 시간이지만, 초저녁에는 낮 동안의 난방열이 있어 많은 에너지가 필요하지 않아 30% 정도만 필요하고, 4시간은 12시부터 4시까지 18℃ 정도로 유지하는 시간으로 부하는 50% 정도로 충분하며, 4시부터 8시까지는 18℃ 이상으로 승온시켜, 낮의 작물 온도에 따라갈 수 있게 하여 100%로 계산하였다.

따라서 200만kcal/h로 24시간 가동하면 총생산 열량을 이용한 난방면적은,

$$\frac{2,000,000 \times 24 \times 0.9}{678.2} = 63,698 \text{ m}^2 = 19,300 \text{ 평}$$

그러나, 곡성군과 진천군의 기후여건을 감안한다면 이 면적은 1.5배 정도 커질 수 있으므로 총 난방면적은 2만 9천평 정도로 계산할 수 있다.

이에 더하여, 혹한기에만 보조보일러로 보충하게 되면 폐열량은 일정하므로 총 난방평수는 $28,950 \times 1.2 = 34,744 \text{ 평} \approx 35,000 \text{ 평}$ 까지가 가능하다고 판단된다.

이 계산은 작물의 종류에 따라 달라지기는 하겠지만 진천군의 경우, 장미농가이므로 일반적인 작물과 비슷할 것으로 보인다.

나. 작물선정안

어떤 작물을 선정할 것인가는 매우 어려운 문제이다. 그것은 특정작물을 군 측에서 추천했을 경우, 나중에 문제가 생기면 책임문제 등 여러 가지 복잡한 문제가 생기기 때문이다. 그렇다고 너무 농가에만 맡기는 것도 문제가 있으므로 그동안 조사된 자료를 기초로 하여 현 시점에서 가장 유리한 안을 본 연구에서 제시하고자 한다.

제 1 안은 현재로서 수익성이 가장 높은 파프리카 전문단지로의 육성이며, 제 2 안은 오이와 파프리카를 반 정도씩 재배하는 안이다.

<제 1 안> : 파프리카 전용단지로의 육성

본 사업은 시범적인 사업이며, 20~30%의 원가 부담이 없어지는 사업이 되므로 타 농가에 비해 경쟁력이 충분하다. 또, 3만 5천평 정도의 어느정도 규모 이상의 대단지가 되므로 규모 경쟁력 또한 충분하다. 따라서 파프리카를 주 생산품으로 하여 이를 단지화 하면 수출 및 출하 시에도 유리하며, 추후 시장여건이 변동되더라도 타 농가가 현재가격보다 20% 이상 낮게 출하할 수는 없으므로 충분히 경쟁력이 있다.

따라서 파프리카 재배를 위한 지원책 등을 군측과 농민들이 협력하여 완성한다면 본 사업의 추진 의의와 국가적인 사업추진에 좋은 명분을 얻을 수 있을 것으로 전망

된다.

다만, 이 경우 재배면적은 약간 줄어들 가능성이 있으며, 3만평 정도가 적절한 규모일 것으로 전망된다. 그것은 파프리카가 많은 열을 쓰는 작물로서 유지온도도 비교적 높기 때문이다.

제 1 안의 가장 큰 장점은 최대수익을 얻을 수 있는 것이며, 약점은 시장여건이 변화할 경우, 위험성이 있다는 것이다. 그러나, 시장여건이 변화해도 타농가와 비교하였을 경우, 경쟁력이 크므로 어떤 여건에서도 살아남을 수가 있을 것으로 전망된다.

<제 2 안> : 파프리카 + 오이 50%

파프리카가 수익성이 높기는 하나 아직 곡성군의 농가는 재배경험이 없으므로 농가가 100% 호응하기는 어려울 것이므로 동의하는 농가만 파프리카로 하고, 나머지는 오이 등의 기타 작물을 재배하게 하는 형식이다.

이 방법은 1만 7천 5백평 규모씩 분산이 되므로 집중재배로 인한 위험은 많이 감소되며, 오이 등은 곡성군에서 많이 재배되고 있으므로 쉽게 접근할 수 있을 것으로 보인다.

제 2 안의 장점은 무리없는 사업추진이 가능한 점이다. 시장이 변하더라도 충격이 비교적 적고, 대응이 손쉬운 점이 있으나, 2만평 ~ 1만 5천평 정도의 규모로는 시장 지배력을 얻기는 어려우며, 공동출하 등에 있어서도 수량이 적어 어려움이 예상된다.

제6장 결론

공장의 보일러 폐열을 회수하여 농촌 하우스에 난방하는 시스템의 설계 제작을 통한 파일롯트 플랜트의 설치 시험이 완료되었다.

이제 모든 기술의 가능성 여부에 대한 의구심은 해소되었으므로 정부차원의 과감한 지원책 마련이 요망된다.

현재와 같은 고유가 시대가 지속되면서 수입 농산품이 넘쳐나는 이 때에 농가가 가야할 길은 시설재배 밖에 없으며, 정부가 지원할 수 있는 방법은, 시설재배에 필요한 에너지 비용을 절감하는 것이 최선의 대책이기 때문이다.

또한, 이러한 사업은 공업과 농업을 조화롭게 협력해 나가는 것이기 때문에 농산부 뿐 아니라, 산자부 등에서도 공장의 지방 이전을 촉진시키는 의미에서도 적극적인 지원이 필요하며, 환경 차원에서도 굴뚝으로 버리는 공해물질을 줄여 금수강산을 보호하는 사업이므로 모든 부처가 공조하여 지원할 필요성이 있다.

따라서, 정부는 증기용량 10T/h급 이상의 보일러, 소각로, 발전소 등의 인근지역에 대한 배관망 건설 및 폐열회수 시스템의 건설에 대한 구체적인 계획의 수립이 필요하며, 우선 소규모가 가능한 20T/h급 ~ 40T/h급부터 1~2기 시범사업으로 수행한 뒤, 발전소 등으로 확대하는 단계적 계획수립이 필요하다.

또한, 본 사업은 폐열 회수시설만 개발한 것이므로 배관망이나 기타 시설을 설치하기 위한 추가적인 예산 지원이 필요하며, 2003년 상반기 중에 조치가 완료되어야만 2003년 가을 이후 사용 가능하게 된다.

[참고문헌]

1. 보일러 집진탈황을 겸한 폐열회수장치 개발 (I)(II)(III)
2. 시설원예난방의 저가연료 대체기술 개발
3. COLLECTIVE CONDENSATION BOILERS (DEVELOPMENT IN FRANCE) :
M. GENEST Sep. 7-8 1887. 3rd KOREA-FRANCE JOINT SEMINAR ON
ENERGY MANAGEMENT.
4. 직접접촉식에 의한 보일러 폐열회수의 최적화
5. Design of Direct-Contact Gas Coolers : James R. Fair.
6. Process Heat Transfer by Direct Fluid-Phase Contact : James R. Fair.
7. Heat-Transfer Coefficients for Full-Scale Pebble-Bed Heater : R. B.
LANCASHIRE, E. A. LEZBER, and J. F. MORRIS.
8. APPLIED PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL
PLANTS : ERNEST E. LUDWIG, GULF PUBLISHING COMPANY.
9. Countercurrent Heat Exchanger with Vaporizing Immisible Transfer Agent :
PETER HARRIOTT AND HERBERT WIEGANOT.
A. I. ch. E. Journal Vol. 10. No. 5.
10. Selecting the proper Distillation Column Packing : J. S. ECKERT.
CHEMICAL ENGINEERING PROGRESS Vol. 66, No. 3, March. 1970.
11. Cocurrent Liquid-Gas Pipeline Contactors : G. E. AIVES. Chemical
Engineering Progress Vol. 66 No. 7 July 1970.
12. Mass transfer efficiency- Packed Columns Part : W. G. KNIPP AND J. R.
FAIR, Chemical Engineering Progress. Vol. 56, No. 7, July 1960.
13. Designing Direct-Contact Coolers/Condensers : JAMES R.FAIR Chemical
Engineering, JUNE 12, 1972.
14. Modern Design of Distillation Collumms : J. R. FAIR AND W. L. BOLLES,
Chemical Engineering, April 22, 1986.
15. Mass transfer Operation R. E. Tregbal 3rd ED. Mcgraw Hill. 1980. P. 253.
16. Process Heat Transfer D.Q.Kern 22nd Ed. Mcgraw Hill. 1984. P. 591

17. The Heating of industrial liquids by natural gas. R.Morillon, Korean-France Joint seminar on Energy Conservation May. 1985.
18. An investigation of Heat and mass Transfer in Turbulent Liquid Jets. Suk Hyun Kim, 1983. UCLA.
19. Chemical Engineers Handbook, Perry 5th Ed. Mcgraw Hill, 1973. P. 18-44
Physica VII. n₂-n₃, Jun. 1946.

여 백

(위 탁 연 구 과 제)

폐열을 이용한 작물선정 및 평가

위탁 연구 기관 : 전남과학대학
원예과

위탁연구책임자 : 최 용 수

연 구 원 : 정 봉 탁

연 구 원 : 차 성 충

여 백

제1장 서론

최근 들어 시설재배단지 면적의 급증은 농가소득의 향상에 중요한 요인으로 작용하였지만 난방비가 차지하는 비율은 아주 높아 농촌경제를 어렵게 하고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하고자 공장폐열을 이용한 하우스를 난방함으로써 생산단가의 절감 및 공해를 최소화함으로써 청정군의 이미지를 부각시킬 수 있는 시설채소 및 시설화훼단지를 조성함으로써 농촌소득의 증대와 더불어 농촌경제의 안정을 가져올 수 있다고 본다. 작물별로 요구하는 비닐하우스내 온도는 상당한 차이가 있다. 현재 시설하우스내에서 재배하고 있는 작물은 고소득성 작물을 재배하려는 경향이 높다. 그러나 고유가 시대를 맞이하여 농촌의 비닐하우스재배 농가가 점점 어려워져 가고 있지만, 대체 난방연료로 개발되어 있는 것이 농가들의 마음을 흡족하게 하는 실정은 아니다. 우리나라는 4계절이 뚜렷하여 여름과 겨울을 극복할 수 있는 작물을 선택하는 것도 대단히 중요하지만 특히 농촌에 맞는 겨울 비닐하우스의 온도관리 기준을 볼 때 저렴하게 운영할 수 있는 난방시스템을 개발할 필요성을 느끼고 있다.

친환경 농업군으로 지정되어 있는 곡성군에 소재하는 금호타이어 공장에서 방출한 대기오염과 수질오염이 주변 농촌지역에 피해를 주고 있다. 본 연구에서는 대기중으로 버려지고 있는 에너지를 집적하여 이용할 수 있는지의 여부를 기존의 시설하우스에 연결할 수 있는지의 여부를 지역별 환경조사 및 작물재배 가능성과 가장 이용타당성이 높은 작물선정과 영향평가를 실시하고자 하였다.

제2장 실험방법

제1절 재배작물 조사

전남지방의 시설채소를 보면 지역별로 큰 차이를 보이고 있지만 오이, 토마토(방울 토마토), 고추, 멜론, 파프리카 등의 순으로 재배되어지고 있으며, 최근 들어 일본에 수출되어지고 있는 파프리카의 재배면적이 증가하고 있는 실정이다. 곡성군 의 경우 다품목 소규모면적을 재배하고 있는데 입면지역은 오이, 고추, 메론 등이 재배되어 지고 있다. 시설화훼류의 경우도 지역에 따라 차이가 있지만 국화가 많이 재배되고 있는 실정으로 절화류(장미, 국화, 백합, 안개꽃 등) 및 관엽류, 분화류 등이 다양하게 재배되어지고 있지만, 곡성군 입면지역에서는 시설화훼류 재배는 거의 이루어지고 있지 않는 실정이다.

[표 2-1] 지역별 시설채소재배면적(2001~2002년도)

(단위 : ha)

지역 \ 작물	고추	오이	메론	토마토 (방울토마토)	파프리카
장성	29	4	7	39(9)	1
구례	3	85	-	-	-
해남	8	7	-	6(3)	1
곡성	19	9	87	5(-)	-

[표 2-2] 지역별 시설화훼재배면적(2001~2002년도)

(단위 : ha)

지역 \ 작물	장미	난	국화	카네이션
장성	-	-	2	0.6
구례	2	-	0.2	-
해남	4	2	1	4
곡성	-	-	6	4

제2절 곡성군의 기상

곡성군의 월평균을 볼 때 최고 18.9℃, 최저 8.3℃ 평균 13.4℃를 나타내지만 12월부터 2월까지 최저기온이 영하권으로 떨어지지만 시설내의 온도는 가온에 의하여 충분히 작물을 재배할 수 있는 온도가 되기 때문에 난방비 문제만 해결된다면 어느 작물을 재배하더라도 문제가 없다고 본다.

제3절 난방방법에 따른 난방비

지역별로 난방방법 및 연료를 조사하였다. 지역별로 비슷하였지만 난방비 절감을 위하여 여러 가지 다양한 아이템을 이용한 난방방법이 제시되고 있었으며, 본 연구의 목표를 농가들에게 설명하였을 때 대부분의 시설농가들의 반응이 높게 나타났지만, 한편으로는 어렵다는 반응도 보였다. 그 이유는 난방공급라인의 문제점을 지적하였다. 온수를 순환시켰을 때 공급에서부터 배출구까지 온도변화가 없을 것인지에 의문점을 지적하였다. 따라서 앞으로 시설내의 난방공급라인에 주안점을 두어야 할 것이다.

표 2-3 및 표 2-4는 농업용 면세유의 공급량 및 가격변동을 보여준다. 기본적으로 WTO 이후 정부정책은 면세유 공급가격을 시중가와 일치시키는 방향으로 가게 되므로 점차 가격은 상승될 것이며, 인젠가는 시중가와 같게 될 수밖에 없다. 따라서 난방 비용은 점차 상승할 수밖에 없다.

○유류 공급현황과 가격

[표 2-3] 농업용 면세유 공급현황

구 분	1999	2000	2001	2002(추정)
보일러등유(kℓ)	14,881	755	720	680
경유(kℓ)	287,931	317,679	330,273	330,800
LPG(톤)	628	951	1,097	1,301

시설채소, 화훼의 연중수요확대 추세 등으로 동계 가온 시설재배면적이 매년 큰 폭으로 증가하고 있으며, 난방연료로는 석유류(경유, 보일러, 등유 등)가 95%, 중유(4%), 기타(연탄보일러 등) 1%로 추정되어지고 있다. 한편으로는 면세유가 상승에 따른 농가부담액 증가되어지고 있는 실정이다.

[표 2-4] 면세유가격

구 분	경유(원/ℓ)	보일러등유(원/ℓ)	LPG(원/kg)
1998. 1	589		651
1999. 1	240	245	587
2000. 1	361	383	662
2000.12	430	435	
2001. 1	430	450	
2001.12	320	340	
2002. 1	330	350	
2002.. 6	395	390	

면세유에 대한 가격을 보면 경유의 경우 2001년 기준으로 보았을 때 가격상승이 이루어지고 있으며, 념세유에 대한 혜택도 정부차원에서 줄이려는 정책을 지향하고 있어 앞으로 연료비 절감에 관한 연구가 많이 이루어 져야 한다고 본다.

[표 2-5] 지역별 시설채소작물에 따른 난방방법

지역 \ 작물	고추	오이	메론	토마토	파프리카
장성	온풍난방	온풍난방	온풍난방	온풍난방	온수난방
구례	온풍난방	온풍난방	-	-	-
해남	온풍난방	온풍난방	-	보일러	보일러
곡성	-	온풍난방	-	온풍난방	-

[표 2-6] 지역별 시설화훼작물에 따른 난방방법

지역 \ 작물	장미	난	국화	카네이션	백합
장성	온풍난방	온풍난방	온풍난방	-	온풍난방
구례	온풍난방	온풍난방	-	-	-
해남	온풍난방	온풍난방	-	온풍난방	온풍난방
곡성	온풍난방	온풍난방	온풍난방	온풍난방	-

※ 일부 지역에서는 심야 온수보일러를 보조난방으로 하고, 혹한기에는 온풍난방을 주 난방으로 하고 병행하여 난방 실시하며 스팀난방을 하는 지역도 있다.

지역별 시설작물에 난방을 이용하여 재배하기 시작한 기간(9월부터 이듬해 3월까지)의 작물별 난방비를 조사하였는데 지역과 시설구조물, 재배방법, 경작자의 목표에 따라 차이를 보였다. 일반적으로 볼 때 시설내 보온방법에 따라 난방비의 지출에 큰 차이를 보였다.

[표2-7] 지역별 시설채소작물에 따른 난방비 지출(9월~3월) (10a 당)

(단위: 만원)

지역 \ 작물	고추	오이	메론	토마토	파프리카
장 성	262.6 (520)	252.5 (500)	252.5 (500)	171.7 (340)	262.6 (520)
구 례	287.8 (570)	287.8 (570)	-	-	-
해 남	353.5 (700)	378.8 (750)	-	505.1 (1,000)	1,060.6 (2,100)
곡 성	-	404 (800)	-	303 (600)	-
평 균	301.3 (596.7)	330.8 (655)	252.5 (500)	326.6 (646.7)	661.6 (1,310)

※ 10a 기준, ()는 600평 기준치

※ 가장 추울 때 기준

[표 2-8] 지역별 시설화훼작물에 따른 난방비 지출(9월~3월)

(단위:만원)

지역 \ 작물	장미	난	국화	카네이션	백합
장 성	404 (800)	-	303 (600)	-	-
구 례	383.8 (760)	-	-	-	-
해 남	353.5 (700)	303 (600)	-	277.8 (550)	303 (600)
곡 성	378.8 (750)	-	252.5 (500)	303 (600)	343.4 (680)
평 균	380 (752.5)	303 (600)	277.8 (550)	290.4 (575)	323.2 (640)

※ 10a 기준

※ 가장 추울 때 기준

작물의 광합성은 온도의 영향을 받는 요인 중에 하나이다. 저온 하에서도 어느 정도 광합성이 이루어지나 온도가 높아짐에 따라 급격히 그 속도가 증가하고, 어느 시점을 최고로 하여 그 이상의 고온이 되면 호흡이 왕성해져서 외부로 나타나는 광합성량은 감소하게 된다. 광합성속도가 최고에 달하는 온도는 토마토 20℃, 오이 25℃, 피망 20~25℃로 광합성 적온이 높은 작물이 생육적온도 높다.

또한, 낮 동안에 작물의 앞에서 생성된 동화산물은 전분의 형태로 존재하다가 당으로 바뀌어 체관을 통해 줄기, 뿌리, 과일 등에 전류 된다. 일반적으로 광합성산물의 전류는 광합성이 완료된 이후에도 계속되는데, 이때 적절한 야간온도가 주어지지 않으면 동화산물의 전류가 이루어지지 않아 다음날 광합성에 영향을 줄 수 있으므로 야간 변온관리로 동화산물의 전류를 촉진시켜야 한다.

시설내 난방과 보온이 제대로 이루어지지 않을 경우 저온장해는 물론, 밀폐된 공간 내에서 온도상승으로 인한 고온장해가 자주 일어나며, 저온에 의하여 세포동결, 생육 지연, 생육억제 등이 나타나고, 고온에 의하여 생육장해, 과호흡에 의한 물질소모가 많게 되므로 품종과 작형에 맞는 생육적온 관리가 요구된다고 본다.

[표 2-9] 지역별 시설채소작물에 따른 변온관리

(단위/℃)

지역 \ 작물	오이	토마토	고추	파프리카
장성	전반15-13 후반 10	전반14-12 후반 9	전반19-18 후반 13	전반19-18 후반 13
구례	전반15-13 후반 10	전반14-12 후반 9	전반19-18 후반 13	전반19-18 후반 13
해남	전반15-13 후반 10	전반14-12 후반 9	전반19-18 후반 13	전반19-18 후반 13
곡성	전반15-13 후반 10	전반14-12 후반 9	전반19-18 후반 13	전반19-18 후반 13

[표 2-10] 지역별 시설화훼작물에 따른 변온관리

(단위/℃)

지역 \ 작물	장미	난	국화	카네이션	백합
장성	전반19-18 후반 15	전반18-17 후반 14	전반17-16 후반 12	전반15-14 후반 10	전반16-14 후반 11
구례	전반19-18 후반 15	전반18-17 후반 14	전반17-16 후반 12	전반15-14 후반 10	전반16-14 후반 11
해남	전반19-18 후반 15	전반18-17 후반 14	전반17-16 후반 12	전반15-14 후반 10	전반16-14 후반 11
곡성	전반19-18 후반 15	전반18-17 후반 14	전반17-16 후반 12	전반15-14 후반 10	전반16-14 후반 11

제3장 저온열 공급시 난방방법검토

제1절 현재의 운영상태

전남과학대에 설치되어 있는 유리온실의 시설물을 이용하여 저온열 공급시 문제점을 검토하고자 시뮬레이션을 실시하여 폐열을 이용한 저온열이 공급되었을 때 문제점과 시설내의 저온열원이 식물생장에 미치는 영향을 조사하였다. 시설물 설치는 지상부에 1열로 U지모양의 방열관(ϕ 25mm)을 설치하고, 바닥으로부터 10cm위에 U자모양의 난방관(ϕ 48mm)을 1블럭 당 2조씩 설치하였다. 물(온수)의 온도를 폐열이용시 시설에 공급할 수 있는 온도(온수)인 55℃로 내려 온실내의 강관 파이프라인을 통하여 저온온수를 공급하여 강관내 수온과 공기온도를 시간대별로 조사하였다.

[표 3-1] 시간대별 온수 및 공기온도 비교

구분	지상부			바닥		
	18~20	22~01	04~06	18~20	22~01	04~06
온수온도(℃)	50	48	45	50	50	48
공기온도(℃)	18	14	12	15	12	10

온수 파이프라인이 전체적으로 짧아 공급 시 온도와 마지막 지점의 온수온도를 조사해 보았을 때 큰 문제는 없었으나 온수 공급라인이 길었을 때에도 온도변화에 대한 검토가 요구되어졌다. 유리온실의 단점인 보온력이 시설하우스에 비해 보온력이 떨어져 외부온도가 심하게 떨어지는 새벽녘(-5℃)에 유리온실 내 온도가 10℃까지 떨어졌다. 또한 외기 온도와 온도 감지봉의 위치에 따라서도 온도편차가 있었으며, 외기의

온도차이와 온수 공급파이프라인(Ⅱ자형)에 공기가 찻을 때 라인전체에 온수가 공급되지 않아 온도 보정을 위해 보일러가 계속 가동되는 문제점이 나타났다.

그러나, 본 연구진이 타이어 소각로를 설치한 진천군 이월면의 장양화훼 단지의 경우, 장미재배 농가에 공급되는 온수온도는 60℃가 가장 최적이며, 심야에는 55℃ 정도가 적정한 것으로 밝혀져, 저온공급에 따른 문제는 온수온도의 문제보다는 난방방법과 방열기의 용량 등에 따라 크게 좌우됨을 알 수 있다.

따라서 이 시스템을 농가에 적용하고자 할 때 시설내 온도편차를 없애기 위해서는 공기 교환기 또는 온풍기를 최종단에 설치하면 온도도 최대한 이용할 뿐 아니라, 난방효과도 우수할 것으로 보인다.

제2절 저온열원의 문제점 분석

저온이 식물생장에 어떠한 영향을 미치는지를 조사하기 위해 온수를 중단하여 식물에 미치는 영향과 재배 작물이 저온을 받는 시간에 따라서 나타나는 현상을 조사하였다.

지온도 기온과 마찬가지로 작물의 생육에 미치는 영향이 크다. 작물의 종류에 따라 다르지만 적정한 지온은 12~18℃범위이며, 30℃이상이 되면 뿌리털의 발생이 억제되고 뿌리의 호흡이 왕성해져서 동화산물의 소모가 많아지므로 25℃가 최고 한계 지온이 된다. 한편, 지온이 어느 한계 이하가 되면 뿌리의 신장과 활성이 저하되고 양분이 온흡수가 억제되며, 회복하는데 오랜 시간이 걸리거나 회복되지 못하였다.

1. 근권부 온도관리

작물별 심야시간대와 새벽시간대의 저온 피해온도를 조사하였다. 입면지역 시설작물을 선정하기 위한 방법으로 하우스내 온도를 조사하기 위하여 작물별로 농가를 선정하여 온도조사와 난방공급이 중단되었을 때 작물에 나타나는 현상을 농가들과 면담을 통하여 작물별로 나타나는 현상을 조사하였다.

시설재배에 있어서 온도관리는 작물의 생육과 수량을 좌우하기 때문에 가장 중요한 환경요인 중 하나이며, 기온관리 뿐만 아니라 지온관리도 작물 뿌리의 신장, 뿌리

균의 형성에 직접적인 영향을 미치며 양수분의 흡수에 관여하고 토양미생물의 활동에도 영향을 미치기 때문에 작물 재배관리상 매우 중요한 인자중 하나이다.

작물 뿌리부 가온에 따른 과채류는 무가온에 비하여 오이 41%, 피망 90%, 토마토 5%정도의 증수효과와 오이의 경우 수량은 3~6월이 가장 많고 그 다음이 9~11월로서 여름과 겨울에는 특히 7~8월에 가장 적다고 하였다. 이는 오이가 내서성이 약하여 기온 30℃ 이상에서는 꽃가루 형성불량, 단위결과율 저하, 착과장해를 보여 수량이 현저히 저하되기 때문이라는 보고가 있다.

파프리카의 경우 부적절한 온도관리는 화아분화의 억제, 배꼽썩음과, 낙화 및 낙과, 기형과, 자색과 발생등을 초래하며, 13℃이하가 되면 뿌리의 신장과 활성이 낮아져서 양분흡수 억제등이 발생함으로서 병의 발생을 가져올 수도 있다.

[표 3-2] 작물별 저온 피해 온도(℃)

구 분	생육적온	심야시간대 저온영향	새벽시간대 저온영향
오이	23~28	10	8
토마토	20~25	8	5
고추	25~30	15	12
파프리카	주간:21~25 야간:18~22	15	13
장미	주간:24~27 야간:15~18	16	13
국화	15~20	15	10
백합	15~20	13	8
난	20~28	16	13

제4장 최적작물선정 및 영향평가

농민들과 면담 및 조사결과로는 기존 재배하고 있는 오이 등의 작물을 그대로 채택하면서 난방방법만을 개선하는 방안과 고추나 최근에 일본에 수출을 하여 농민들의 소득에 기여하고 있는 파프리카 등의 고온작물을 선정하는 방법이 있으나 농산물 가격변동이 심하고 농민들의 무절제한 재배면적의 증대는 농가소득을 최대화 할 수 없기 때문에 현재로서는 최적 작물을 쉽게 선정하기가 어렵다고 보지만 지속적으로 참여하여 농민들과의 대화 및 기관의 지속적인 연구를 통해 해결할 수 있다고 본다. 농가경영 컨설팅을 통한 작물의 수입과 지출을 조사하였다. 농민들의 최대관심사는 난방비를 어떻게 절감할 것인가가 최종 목표였다. 시설재배자들에게 공급되는 면세유도 무한정 공급되는 것이 아니기 때문에 앞으로 난방비의 절감은 시설하우스를 이용한 농가들의 가장 큰 관심사이다. 따라서 본 연구의 환경오염을 최소화 줄이고 폐열을 이용하여 정제된 온수의 온도를 어떻게 하우스까지 공급하느냐가 가장 큰 문제점이라고 본다. 작물의 선정은 순수한 경제성의 문제와 더불어 장기적인 시장예측 및 시장변화에 어떻게 대응할 것인가 등에 대한 예측과 농민들의 합의가 필요하므로 순수한 경제성만으로는 논할 수 없으나, 현재의 시장현황에 따른 추이는 판단할 수 있다.

[표 4-1] 채소류 작물평당 생산량 및 수익성 비교 (10a 당)

작물 항목	시설고추	시설오이 (축성)	시설메론 (축성)	시설방울 토마토	파프리카	시설딸기 (축성)
생산량	4,066kg	19,134kg	2,782kg	7,162kg	8,120kg	3,150kg
수익성	3,494,928원	8,647,392원	3,232,975원	3,208,003원	9,208,570원	6,093,978원

[표 4-2] 화훼류 작물평당 생산량 및 수익성 비교 (10a당)

작물 항목	시설국화	카네이션	장미	나리류
생산량	56,154 본	97,896 본	92,807 본	30,273 본
수익성	2,393,338 원	7,076,796 원	5,271,541 원	3,880,655 원

제5장 기대효과

1. 농촌경제 안정

폐열 회수의 특성상 한번 설치되면 계속 사용할 수 있어 투자비를 상환한 뒤에는 운영비용만 지불함으로써 유류사용에 대한 부담, 유가상승 및 환율변동에 큰 어려움 없이 시설재배 농민들에게 경쟁력을 제고시킬 수 있다.

2. 농촌지역경제 활성화 도모

농촌 지역에 있는 공장의 폐열을 이용하여 시설농가에 저렴한 열에너지공급은 현 시설재배단지의 가장 큰 문제점인 연료비 문제를 해결함과 동시에 농촌소득을 한층 높임으로써 농촌 지역경제의 활성화와 더불어 경제자립도를 높일 수 있으며 현 사회에서 문제가 되고 있는 이농 감소현상이 뒤따를 것으로 본다.

3. 생산·전략 면에서 유리

여러 작물을 집단적으로 재배함으로써 시설재배단지내의 열 효율을 높일 수 있고 효율성이 높은 농산물 생산이 가능하다.

4. 유통·가격전략 면에서 유리

농가의 투자 면에서 많은 비중을 차지하고 있는 연료비 문제의 해결은 고품질 농산물 생산이 가능함으로 다른 지역의 농산물에 비하여 생산단가를 낮춤으로써 유통·가격측면에서 경쟁력을 제고시킬 수 있다.

제6장 활용방안

본 연구가 완료되면 시설하우스의 작물재배에도 변화를 가져올 수 있다. 도시인근 주변에 위치한 청정 곡성군은 화훼시설 재배단지화 가능성 및 경쟁력 있는 고온성 작물재배로의 전환을 모색해 볼 수 있다. 현재 시설하우스에서 작물재배의 문제점으로 지적되어 있는 연료비의 절감문제를 해결함으로써 고품질의 채소류 및 화훼류를 생산함으로써 다른 지역에 비해 월등한 경쟁력을 가져옴으로써 지역경제의 자립화 방안에 큰 기여를 할 것으로 본다.

제7장 결과 및 고찰

농산물 시장의 전면개방과 이에 따른 국내 농산물의 경쟁력 제고를 위하여 시설농업의 중요성이 인식되어지면서 시설재배의 생력화의 한 방안으로 펠라이트 등의 배지 이용한 수경재배가 보급되어 물 관리, 양액 관리, 온·습도 관리 및 광 환경 제어 등의 자동화시설하우스가 많이 보급되고 있는 실정이다. 특히 환경관리 시스템중 온도 관리에 목표를 두고 있는데 여름과 겨울의 온도관리를 위해서 냉방시스템과 난방시스템을 연구하여 농작물을 연중 생산할 수 있는 재배관리 시스템을 만들기 위하여 보온커튼 및 차광막의 개폐를 자동화하여 이용하고 있으나 현실적으로는 어려운 실정이다. 밀폐된 시설 내에서는 겨울이라고 할지라도 낮에도 온도상승이 고온이 되며 밤에는 시설내 열을 외부로 빼앗기게 됨에 따라 온도가 외부온도 이하로 떨어지기 쉽다.

이와 같이 하루동안의 온도변화가 큰 시설 내에서 작물의 생육에 알맞는 온도환경을 맞추려면 환기, 보온, 가온 및 냉방을 해야만 한다. 따라서 온도에 따른 작물의 기본적인 생리반응을 알고, 이에 따른 온도관리 모델이 설정되어야 한다.

앞으로 온실의 온도관리 기술은 하절기의 냉방과 동절기의 난방에 의해 생산량 및 수익성에 지대한 영향을 미칠 것으로 본다. 현재 겨울철 난방의 열원으로 이용되고 있는 에너지(보일러 등유, 경유, LPG, 병커시유)의 가격상승과 배기가스에 의한 대기오염을 고려할 때 새로운 방안이 제시되어야 할 것이며, 이와 같은 시점에서 난방을 하는데 주변의 환경에 전혀 오염이 없는 폐열을 이용하여 정제한 온수를 이용한 시설하우스 내 작물재배 방법으로 추천할 수 있는 대체 방안이라고 볼 수 있다. 그러나 우리나라의 기후특성 및 경제성을 고려할 때 일반 시설에서의 폐열을 이용한 작물재배는 신중히 검토할 필요성이 있으며, 작물재배단지의 집단화를 형성하는 것도 중요한 문제이며 주변 시설재배 농가들의 인식부족과 관 주도의 막대한 초기투자가 없이는 성공할 확률이 낮다고 본다. 폐열을 이용한 시설재배의 도입은 실질적으로 어려움이 있을 것으로 보지만, 농가소득 향상을 위하여 산·학·관이 적극적으로 앞장서야 할 것이며 일정한 온수를 공급할 수 있는 펌프 시스템 등의 기술 개발이 우선적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 폐열의 실용화를 위하여 각 지역별로 난방부하의 특성과 재배 작물의 종류, 그리고 이용 가능한 열원을 구분하여 각각의 경우에 적합한 폐열 용량의 결정과 에어방지 시스템, 열 순환 교환 시스템이 우선 명확해야 할 것이며, 이 분야에 대한 보다 적극적이며 지속적인 연구가 이루어지기를 바란다.

하우스 난방은 작물별로 차이가 있지만 채소 작물의 경우 야간의 실내온도가 10℃ 이상을 유지해주면 작물을 재배하는데 별로 문제가 되지 않는다. 따라서 본 연구는 정제된 공장 폐열을 이용한 공장주변의 기존시설 하우스와 연계한 작물재배의 가능성 여부와 저온열을 이용하여 재배가능한 최적 작물의 선정, 최저에너지를 이용한 하우스내 작물배치등을 검토하고 저온열에너지의 문제점등을 분석하고자 하였다.

폐열 이용과 관련된 국내외 연구를 보면 광양제철에서 폐열을 이용하여 난방할 목적으로 유리온실을 건설한 바 있으나 실제로는 전량 유류 연소에 의해 난방하고 있어 참고 될만한 자료는 없으며, 해외에는 많은 온실들이 폐열에 의해 난방하고 있는 것으로 알려지고 있으나, 구체적 자료는 소개된 것이 적다. 한편 작물별 최적온도 등은 많은 자료가 있으나 실제 폐열 이용시의 문제점 등에 대한 검토자료는 없다. 따라서 저온 폐열을 이용한 농작물의 선정 및 이에 따른 문제점 등을 정밀히 검토할 필요가 있고, 최적화와 농가 소득 극대화를 위한 작물 선정 등에 신중을 기해야 한다고 본다.

[참고문헌]

1. 김광용, 정주호, 김영철, 이지원. 1997. 양액재배기술. 농촌진흥청.
2. 백수봉,곽태순,김길용,이두행,인치중,최용수.1995. 작물보호학. 선진문화사.
3. 이병일.2002. 신제 시설원예학. 향문사.
4. 이석건. 1992. 농업환경조절공학. 교보문고.
5. 이지원, 우영희. 2002. 착색단 고추 재배기술-육묘관리기술, 재배환경관리기술 농촌진흥청.pp.15-50.
6. 정봉탁, 차성충, 최용수, 하순호. 2001. 절화재배. 광일문화사.
7. 표현구, 최정일, 이경희. 2000. 채소원예각론. 향문사.