

최종
연구보고서

환경친화적 임업의 활성화를 위한
열에너지 생산과 공급 시스템 설계
Production and Supply System Design of
Heating Energy for Activation of
Environmental friendly Forestry

연구기관
국민대학교(한국농촌경제연구원, 창신대학)

농림부

최종
연구보고서

환경친화적 임업의 활성화를 위한
열에너지 생산과 공급 시스템 설계
Production and Supply System Design of
Heating Energy for Activation of
Environmental friendly Forestry

연구기관
국민대학교(한국농촌경제연구원, 창신대학)

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “환경친화적 임업의 활성화를 위한 열에너지 생산과 공급 시스템 설계” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005년 10월 14일

주관연구기관명 : 국민대학교
총괄연구책임자 : 김 기 원
세부연구책임자 : 김 기 원
연 구 원 : 심 영 권
연 구 원 : 김 철 영
연 구 원 : 이 호 상
협동연구기관명 : 한국농촌경제연구원
협동연구책임자 : 석 현 덕
장 우 환
연 구 원 : 민 경 택
손 철 호
협동연구기관명 : 창신대학
협동연구책임자 : 박 윤 명
배 택 희
박 귀 득
연 구 원 : 박 원 구
연 구 원 : 김 경 환

요 약 문

I. 제 목

환경친화적 임업의 활성화를 위한 열에너지 생산과 공급 시스템 설계

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 우리 나라에 있어서 산림 폐재를 활용한 열에너지 생산에 관한 연구는 미약한 편이다. 이 연구가 지향하는 두 가지 목적은 다음과 같다;

첫째, 산림자원을 이용하여 환경에의 부하를 줄이는 청정 에너지를 생산함으로써 임업을 환경 친화적으로 경영하는 기술을 보급하며, 둘째, 활용도가 낮은 간벌재 등 임지 폐재를 적극 소비함으로써 관련 산업을 조장하고 지역경제를 부흥시켜 임업을 활성화시키고자 하는 것이다.

이와 같은 연구는 우선 기술적인 측면에서, 목재 열에너지 사용은 대기 중 이산화탄소의 농도를 높이지 않을 뿐더러, 목재 열에너지를 공급하는 시스템에 대한 연구가 진척된 것이 없어서 이 분야에 대한 기술 개발이 적극 요구되고 있다. 경제 산업적 측면에서는 우선, 임지 폐재 사용은 간벌 촉진으로 임목을 성장시킴으로써 임업의 부가가치를 높이며, 지역주민들의 소득증대, 난방비 등 에너지 비용 절감, 그로 인한 지역경제를 활성화시킬 수 있다. 또한, 전기와 기름(난방유)을 대체하는 효과가 있어서 외화지출을 줄이게 됨으로써 국민 경제적으로도 큰 의미가 있다. 사회·문화적 측면에서 보면, 일상생활에서 목재 연료를 사용하는 것은 기름, 가스, 전기 등 비자연적인 에너지원의 사용과는 전혀 다른 정서적인 특성을 제공한다. 새로운 자연 에너지 이용 문화를 창조한다는 점에서도 연구의 필요성이 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 산림에서 나오는 임지 폐재(林地廢材)를 활용하여 농산촌에 쓸 수 있는 목재 열에너지를 생산하고 공급하는 시스템을 설계하는 것으로서 에너지 연

료를 칩으로 사용할 때 이에 필요한 보일러를 제작 시운전하는 것을 연구 범위로 하고 있다. 주요 연구내용은 다음 3분야로 구성되어 있다;

제1분야는 열에너지 원료의 생산현황과 공급체계에 대한 것으로서 전체 연구의 기초분야에 해당한다. 구체적으로 목재 열에너지를 생산하는데 필요한 임지 폐재의 생산량과 이용현황, 열에너지를 원격 난방할 때 열에너지 공장의 입지 등이 주요 내용들이다. 연구 대상지는 주로 강원도에 국한하고 있다(제3장).

제2분야는 본 연구에 있어서 핵심연구 분야로서 열 에너지 생산 플랜트를 설계, 제작, 시운전하는 것이다. 열생산 플랜트 현황 조사는 국외의 경우 2003년 여름 오스트리아 현지 방문을 통하여 실시하였다(제4장).

제3분야는 에너지 개발의 경제성 분석과 에너지용 산림 폐재의 지속적 확보방안에 관한 것이다(제5장).

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

강원도 지역의 경우 간벌재 등 벌목된 임목은 50% 정도만 집재하여 이용하고 있는 것으로 조사되었다. 이 중에서 약 10% 정도를 칩으로 생산하여 활용하고 있다. 향후 정책적 제도적 뒷받침으로 현재 집재되지 않고 방치된 나머지 50%와 현재 칩으로 활용하는 10%를 합하여 전체 간벌량의 60%를 칩으로 생산한다고 가정했을 경우 최적 열에너지 공장은 홍천으로 판명되었다.

경제성 분석 결과 전기보일러가 단위 열량당 생산 비용이 가장 높고 그 다음이 등유보일러로 나타났는데, 목재 칩 보일러는 단위 열량 생산비용으로 비교해 볼 때 연탄보일러보다는 못하지만 등유보일러, 전기보일러보다는 비용 효율적인 것으로 나타났다. 현실적으로 목재 칩 보일러가 대체가능한 난방 시스템은 등유보일러인데 연간 4톤 가량의 목재 칩을 소비하고, 연료비용은 등유보일러의 60% 수준으로 절감할 수 있을 것으로 추정된다.

시작품으로 제작한 보일러의 본체 크기는 보일러 화구를 전면으로 보았을 때 폭 0.64m, 깊이 1m, 높이가 1.6m이며 스크류 컨베이어를 장착하였을 때 폭 전체 길이는 약 4m이다. 제작기간은 설계도면 수정을 포함하여 약 3개월이었으며, 내부는 열부하와 부식성에 강한 스테인레스 강판, 외부는 철판으로 가공제작하고 방청에 대비한 도색을 하였다. 제작비용으로 약 23,470천원이 소요되었다. 시운전 결과

성공적인 효율을 보이고 있다. 주요 설계 제원과 보일러 현황도는 그림에서 보는 바와 같다.

-보일러 용량 : 35,000 kcal/hr (설계값)

-난방용 급탕온도 : 60℃ (설계값)

-버너용량 : 2.5~5 kg/h, 승화공업 SHG5

-칩 feeding system : 2단 콘베이어 시스템으로 구성

0.2 kw geared Motor, LG OTTIS T200B6GSN

감속비율 1/60, 삼양감속기 MG-V88

-배기 팬 : 최대풍량 9.0m³/min, 최대정압 45mmAq, 동건건업 DB-150

-급기 팬 : 최대풍량 3.7m³/min, 최대정압 30 mmAq, 동건건업 DB-105

-제어장치 : PLC를 포함한 제어박스



그림. 시작품 설치 현황사진

활용 제안에 대한 건의

현재 보일러는 농가의 약 50평형 비닐 하우스에 설치되어 있다. 플랜트의 고정비용(23,470천원)이 높고 또한 설치비용도 무시하지 못하기 때문에 민간이 나서기에는 아직 시기적으로 이르다. 그렇기 때문에 유럽 공동체에서처럼 국가와 지자체가 적극적으로 보급에 앞장서야 한다. 다행히도 산림청과 지자체, 특히 강원도에서 큰 관심을 보이고 있다. 방치된 간벌재를 적극 활용하여 환경친화적 임업을 활성화시킬 수 있게 정책적 제도적 뒷받침이 있어야 할 줄 믿는다.

보일러 성능 향상에 대한 연구도 더 진행되어야 할 것으로 제안한다.

SUMMARY

1. Title

Production and Supply System Design of Heating Energy for
Activation of Environmental friendly Forestry

2. Purpose, Needs, Background

The thinning materials are leaving alone without finding usage and because of too much high logging costs. Using wooden materials as heating source is environmentally very meaningful, as it doesn't increase additionally the density of carbon dioxide in the air. The aim of this project is to develop a heating energy supply system using wooden materials as thinning materials leaving alone in cutting sites, and to let the Korean forestry activate environmentally friendly through this system development.

3. Scope and Objectives

The main Objectives are production and supply system design and manufacturing of the heating energy using thinning materials. In addition to, it will be found out how to select a heating factory site and supply the heating materials sustainably. The study area is Kangwon province.

4. Results, Application and Suggestions

For selection of the heating factory site, it was used the minimum transport cost theory for which Network 2000 of Oregon State Univ. was introduced. The Network 2000 needs transport distance and production volume.

Hongcheongun where has the highest thinning volume, was the best suitable area for heating manufacturing factory site.

The manufactured boiler is for chip materials and has 35,000 kcal/hr in cassel volume covering about 50 pyeung, boiling point is 60°C for heating, and heating burner has 2.5~5 kg/hr in volume. The chip feeding system is consisted of 2 step conveyer. The ventile fan is builded with 9.0m³/min in maximum wind volume.

The boiler was set up at a farm binyl house in Chupoongryeung and the operation test resulted in success. The manufacturing cost comes up to 23 million won. Because of such a high fixed cost, farmer can not take care of construction of this chip boiler system. Therefore in order to supply broadly this environmentally friendly heating system, forest service and provincial government have to support politically and financially so that the air atmosphere keeps in good quality and forestry in sustainability for our next generations.

CONTENTS

Chapter 1 Introduction

1. Purpose and Needs
2. Methodology
3. Scope and Objectives

Chapter 2 Significance of Heating Energy Development and Technological Status

1. Significance of Heating Energy Development
2. Main Parts of Technology related
3. Domestic Technological Status
4. Foreign Technological Status

Chapter 3 Production Status of Heating Materials and Heating Factory Site Selection

1. Production Status of Heating Materials
2. Heating Factory Site Selection

Chapter 4 Supply System Design and Manufacturing and Operation Test

1. Design and Manufacturing
2. Operation Test
3. Results and Discussion
4. Manufacturing Cost

Chapter 5 Economic Analysis of Heating Energy

1. Production Cost of Heating Energy Materials
2. Status and Potential of Heating Energy Use in Countryside
3. Economic Analysis

Chapter 6 Activity Program of Heating Energy Development and
Keeping Methods of Materials

1. Directions and Problems
2. Technological Development
3. Keeping Methods of Materials

Chapter 7 Aim Attainment and Coherence in related Fields

1. Aim Attainment Level
2. Coherence in related Fields

Chapter 8 Application Plan of Research Development Results

1. Application Plan and Expectation Effects
2. Suggestions
3. Model Site Planning

Chapter 9 Technical Informations obtained from Foreign Country

Reference

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	18
제1절 연구개발의 목적, 필요성	18
1. 연구목적	18
2. 연구의 필요성	18
제2절 연구방법	20
제3절 연구 내용 및 범위	21
제 2 장 목재 열에너지 개발의 의의와 기술개발 현황	23
제1절 목재 열에너지 개발의 의의	23
제2절 연구 대상 핵심 기술 분야	25
1. 화목 보일러	25
2. 목재칩 보일러	25
3. 펠렛 보일러	27
제3절 국내 기술 개발 현황	28
1. 개요	28
2. 대양공업	28
3. 한솔포렘	29
4. 삼익약기	29
5. 제재소	30
6. 자연 휴양림	30
7. 강원도 화목보일러 보급 현황	31
제4절 국외 기술 개발 현황	33
1. 조사 개요	33
2. 오스트리아 보일러 유형별 특성	33
3. 타에너지원과의 공동사용 가능여부	41

4. 연소 친화적 칩의 생산과 장점	43
제 3 장 목재 열에너지 원료 생산 현황과 열에너지공장 배치 방법	47
제1절 폐재 발생 현황	47
1. 용어 정리	47
2. 전국 폐목재 발생량 및 임지 폐재의 활용 실태	48
3. 강원도 지역 임지 폐재 발생 및 활용 현황	52
제2절 열에너지 공장 입지 선정	56
1. 기본 전제	56
2. 일반적인 입지 조건	57
3. 공장 입지 선정	59
제 4 장 목재 열에너지 공급 시스템 설계제작 및 시운전	76
제1절 설계 및 제작	76
1. 파이롯 플랜트 설계	76
2. 파이롯 플랜트 제작	93
제2절 시운전	96
1. 조작 및 시운전	96
2. 성능평가	100
제3절 결과 및 고찰	108
제4절 제작 비용	110
제 5 장 목재 열에너지의 경제성 분석	113
제1절 목재 열에너지 원료의 생산 비용 분석	113
1. 집재비용	113
2. 목재칩 파쇄비용	114
3. 목재칩 공급 비용 분석	114
제2절 농산촌 지역의 에너지 이용 현황과 잠재력	115
제3절 목재 열에너지 이용의 경제성 분석	118
제 6 장 목재 에너지 이용의 활성화 방안과 원료 확보방안	122
제1절 추진방향과 과제	122
1. 목재 에너지 이용의 추진방향	122

2. 목재 에너지 이용의 과제	124
제2절 목재 에너지 활용 기술개발 방향	125
1. 에너지 효율 향상	125
2. 에너지 변환 효율의 향상	125
3. 요소기술 및 주변기술의 개발	126
4. 기술혁신	126
5. 소규모화	127
제3절 산림 폐재의 지속적 확보방안	127
1. 생산 작업의 기계화를 통한 산림작업·방식의 개선	127
2. 임업·임산업의 집약화와 통합화	127
3. 병해충 피해목의 에너지 이용	128
4. 산림 폐재 수집 및 활용 제도 개선	128
제 7 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	130
제1절 목표 달성도	130
제2절 관련분야에의 기여도	131
제 8 장 연구개발결과의 활용계획	132
제1절 활용계획 및 기대효과	132
1. 활용방안	132
2. 기대효과	132
제2절 제안	133
1. 일반제안사항	133
2. 보일러에 관한 제안사항	134
3. 시범단지 조성 제안 사항	135
제 9 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	136
참고문헌	137

표 목 차

제 2 장 목재 열에너지 개발의 의의와 기술개발 현황

표 2-1. 목재 열에너지와 타에너지의 특성 비교	23
표 2-2. 목재연료와 다른 에너지 사이의 난방비와 오염물질 배출량 비교 ..	24
표 2-3. 강원도 시군별 화목보일러 설치현황	31
표 2-4. 오스트리아의 목재칩 및 펠릿보일러 통계자료	34
표 2-5. 오스트리아의 펠릿보일러 통계(1997-2002)	35
표 2-6. 보일러와 사이로 크기에 따른 칩의 소비량	44

제 3 장 목재 열에너지 원료 생산 현황과 열에너지공장 배치 방법

표 3-1. 폐재의 구분 및 정의	47
표 3-2. 폐목재 발생량 및 재활용실태	49
표 3-3. 임지 폐잔재 재활용 및 폐기 실태	49
표 3-4. 연도별 간벌재 생산 추정(概算 推定)	50
표 3-5. 임지 폐재가 발생하는 각종 산림작업 현황	51
표 3-6. 각종 산림작업에서 발생하는 임지 폐재 발생량 추정	51
표 3-7. 강원도 시군별 산림면적 및 임목축적	52
표 3-8. 강원도 각 시군별 민유림 3년간의 간벌량의 평균값과 그의 60%값..	53
표 3-9. 간벌목 등 육림 산물 발생량 실태(2000.1~2002.9)	54
표 3-10. 총발생량 중 수집 현황	55
표 3-11. 수집량의 활용 현황	55
표 3-12. 열에너지 원료의 형태별 SWOT분석	57
표 3-13. 시군별 생산거점(시발점) 및 열공장(결절점) 기호	61
표 3-14. 결절 구간(link)별 거리	62
표 3-15. 각 거점별 간벌재 생산량 및 목표점 입력표	63

표 3-16. 구간별 소요 비용	65
표 3-17. 인제 최적 노선망	66
표 3-18. 홍천 최적 노선망	67
표 3-19. 평창 최적 노선망	67
표 3-20. 동해/삼척 최적 노선망	68
표 3-21. 정선 최적 노선망	68
표 3-22. 강릉 최적 노선망	69
표 3-23. 영월 최적 노선망	69
표 3-24. 춘천 최적 노선망	70
표 3-25. 화천 최적 노선망	70
표 3-26. 횡성 최적 노선망	71
표 3-27. 양양 최적 노선망	71
표 3-28. 원주 최적 노선망	72
표 3-29. 양구 최적 노선망	72
표 3-30. 고성 최적 노선망	73
표 3-31. 철원 최적 노선망	73
표 3-32. 태백 최적 노선망	74
표 3-33. 속초 최적 노선망	74
표 3-34. 각 시 군 이동 비용 비교	75

제 4 장 목재 열에너지 공급 시스템 설계제작 및 시운전

표 4-1. 보일러와 사이로 크기에 따른 칩의 소비량	78
표 4-2. 동계의 설계용 온·습도 조건	80
표 4-3. 호텔의 위생기구당 소요 급탕량	83
표 4-4. 기구수에 의한 급탕량	84
표 4-5. 학가산 자연 휴양림 난방급탕공사 공사비 내역서	86
표 4-6. 시간에 따른 보일러 내부 물의 온도변화	104
표 4-7. 함수율에 따른 목재칩요구량	105

표 4-8. 난방수량 측정값	106
표 4-9. 보일러 성능평가를 위한 측정값 및 계산값	107
표 4-10. 파이롯 플랜트 제작 견적서	110
표 4-11. 파이롯 플랜트 제작 상세 내역서	111

제 5 장 목재 열에너지의 경제성 분석

표 5-1. 산림청의 산물수집 공정 및 단가	113
표 5-2. 목재칩 파쇄비용	114
표 5-3. 목재칩 공급비용의 산출	115
표 5-4. 농촌 지역의 에너지 소비량 (열량기준)	116
표 5-5. 농촌 지역의 난방설비별 가구당 에너지 소비 형태(고유 단위 기준)··	117
표 5-6. 농촌 지역의 난방설비별 가구당 에너지 소비 형태(열량기준)	117
표 5-7. 에너지가격 추이	118
표 5-8. 에너지원의 열환산 기준	119
표 5-9. 난방 설비별 단위 열량 생산 비용	120
표 5-10. 등유 보일러와 목재칩 보일러 비교	120

제 7 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

표 7-1. 연구결과의 목표 달성도	130
표 7-2. 연구평가의 착안 사항별 평가 결과	131

그 립 목 차

제 2 장 목재 열에너지 개발의 의의와 기술개발 현황

그림 2-1. 화목보일러	25
그림 2-2. 목재칩	26
그림 2-3. 칩 저장고	26
그림 2-4. 목재 칩 보일러	26
그림 2-5. 펠렛의 형상	27
그림 2-6. 펠렛 보일러	27
그림 2-7. 펠렛 운송용 pump 트럭	27
그림 2-8. 화목보일러 모습	28
그림 2-9. 대양의 화목 보일러	28
그림 2-10. 투입 연료	29
그림 2-11. 보일러 전경	29
그림 2-12. 투입 연료	30
그림 2-13. 보일러 입구 모습	30
그림 2-14. 남해편백휴양림 방갈로	31
그림 2-15. 휴양림 숙소의 온수탱크	31
그림 2-16. 화목 보일러	32
그림 2-17. 화목	32
그림 2-18. 사이로형 펠렛보일러	35
그림 2-19. 기계식이송 펠렛보일러	35
그림 2-20. 공기압이송 펠렛보일러	35
그림 2-21. 중형목재칩보일러 통계	36
그림 2-22. 대형 목재칩 보일러 통계	36
그림 2-23. 용량별 점유비율	36
그림 2-24. 농가전경	38

그림 2-25. 칩보일러 및 온수탱크	38
그림 2-26. 농가의 칩저장고	38
그림 2-27. 칩의 확대사진	38
그림 2-28. 개인주택 전경	38
그림 2-29. 개인주택 펠렛보일러	39
그림 2-30. 펠렛 공기압 이송장치	39
그림 2-31. Andorf 플랜트 전경	39
그림 2-32. 칩원료 저장고	39
그림 2-33. 펠렛	40
그림 2-34. 플랜트 계통도	40
그림 2-35. 열생산플랜트 전경	40
그림 2-36. 칩의 확대사진	40
그림 2-37. 제재소 전경	41
그림 2-38. 칩 저장고	41
그림 2-39. 칩 이송장치(밀대식)	41
그림 2-40. 기름 화목 보일러 배관도	42
그림 2-41. 태양열 에너지와 목재 보일러의 공동사용	43
그림 2-42. 나사형 컨베이어시스템 단면도	45
그림 2-43. 칩모음 장치	46
그림 2-44. 대형 목재칩보일러의 밀대식 칩이송장치	46
그림 2-45. 밀대식과 나사형 컨베이어시스템 혼합방식	46

제 3 장 목재 열에너지 원료 생산 현황과 열에너지공장 배치 방법

그림 3-1. 강원도 도로망과 시군별 대표 결절점	64
-----------------------------------	----

제 4 장 목재 열에너지 공급 시스템 설계제작 및 시운전

그림 4-1. 대용량 목재칩 보일러	77
---------------------------	----

그림 4-2. 소용량 목재칩 보일러의 스크류콘베이어 시스템	77
그림 4-3. 학가산 자연 휴양림	80
그림 4-4. Pilot 플랜트 개념도	87
그림 4-5. 보일러 외형도면	93
그림 4-6. 보일러 외형1	94
그림 4-7. 보일러 외형2	94
그림 4-8. 착화용 버너	95
그림 4-9. 스크류 콘베이어	95
그림 4-10. 스크류 콘베이어 내부	95
그림 4-11. 콘트롤 박스 외부	95
그림 4-12. 콘트롤 박스 내부	96
그림 4-13. 급기팬	96
그림 4-14. 배기팬	96
그림 4-15. 운전제어용 조작스위치	97
그림 4-16. 회전 날개	98
그림 4-17. 연소실	99
그림 4-18. 압력조절밸브	99
그림 4-19. 수위 감지기	99
그림 4-20. 급탕순환도	101
그림 4-21. 온도계	101
그림 4-22. 순환펌프	101
그림 4-23. 난방파이프 에어벤트	102
그림 4-24. 급수관	102
그림 4-25. 유량계	102
그림 4-26. 보일러 주변장치	102

제 5 장 목재 열에너지의 경제성 분석과 원료 확보 방안

그림 5-1. 목재칩 보일러 시작품	121
---------------------	-----

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구목적 및 필요성

1. 연구 목적

본 연구는 산림에서 나오는 임지 폐재(林地廢材)를 활용하여 농산촌에 쓸 수 있는 목재 열에너지를 생산하고 공급하는 시스템을 설계하는 것이다. 이 연구가 지향하는 두 가지 목적은 다음과 같다;

첫째, 산림자원인 목재를 이용하여 환경에의 부하를 줄이는 청정 에너지를 생산함으로써 임업을 환경 친화적으로 경영하는 기술을 보급하여,

둘째, 이를 통해서 방치되고 활용도 낮은 간벌재 등 임지 폐재를 적극 소비함으로써 임업과 관련 산업을 조장하고 지역경제를 부흥시켜 임업을 활성화시키고자 하는 것이다.

2. 연구의 필요성

가. 기술적 측면에서의 연구 필요성

IMF 경제 위기 이후 연료값이 꾸준히 올라 특히 농산촌을 중심으로 난방 시스템이 목재 보일러로 대체되는 경우가 많은데 이에 대한 임업 부문에서의 기술적 대책 마련의 필요성이 제기되어 왔다. 이것은 특히 방치되고 이용이 빈약한 산림 폐재(廢材)의 활용방안 개척과 관련하여 그 필요성이 더욱 강조되어 왔다.

간벌재 등 산림 사업 후 과다한 집재비용이나, 이렇다할 용도가 개발되어 있지 않아서 임지에 남겨진 폐재의 활용 방안에 대해서는 그간에 다방면으로 연구되어 온 것이 사실이다. 그러나 아직까지 뚜렷하고 획기적인 기술이 개발되지 못하고 있는 실정이다. 본 연구를 통해서 얻으려는 기술은 방치되는 산림자원을 처리

하고 환경 문제를 해결하는데 일조하며, 동시에 임업을 활성화시킬 수 있는 것이라는 점에서 연구개발의 필요성을 절감하게 한다.

기술적인 측면에서 좀더 구체적으로 필요성을 살펴보면 다음과 같다;

첫째, 산림 폐재를 이용하여 열에너지를 생산하는 것은 다른 화석연료를 사용하는 것보다 배출되는 환경오염 물질의 양이 현저하게 적기 때문에 청정에너지 개발로 환경임업을 활성화시킬 수 있다.

둘째, 목재를 활용하여 열에너지를 생산하여 원거리로 공급하는 시스템에 대한 연구는 새로운 분야이며 이에 대한 연구가 진척된 것이 없어서 기술 개발이 적극 요구되고 있다.

셋째, 목재를 활용한 열에너지 생산은 기술적으로 환경에 미치는 영향이 아주 미미하여 전체 환경 오염의 정도를 고정하거나 둔화시킬 수 있다.

나. 경제·산업적 측면에서의 연구 필요성

우리 나라는 제 1, 2차에 걸친 치산녹화계획과 산지자원화 계획의 성공적인 추진으로 현재 어린 산림자원을 키우고 가꾸어야 할 중요한 육림단계에 진입하여 있다. 육림단계를 성공적으로 마무리하여 미래 풍요로운 산림복지국가를 건설하기 위해서는 어린나무 가꾸기, 풀베기, 솎아주기 등의 육림작업이 원활히 추진되어야 한다.

이처럼 한국 임업은 간벌 등 육림사업이 절실히 요구되는 시점에 있고, 숲가꾸기 운동 등으로 간벌재 생산이 증가하고 있다. 그러나, 간벌재 등 산림폐재는 고생산비, 수요처 부족, 그리고 활용 기술 부재 등으로 방치되고 있는 경우가 많다. 육림작업으로 생산되고 있는 간벌재 등의 산림 폐재를 방치하는 것은 소중한 산림자원의 낭비일 뿐만 아니라 지속가능한 친환경적 임업의 활성화를 위해서도 결코 바람직하지 않다.

임지내 산림 폐재를 효율적으로 활용하여 열에너지를 생산하고 공급하는 기술 개발은 다음과 같은 경제 산업적 측면에서의 필요성이 제기된다고 본다;

첫째, 간벌을 촉진하여 임목을 성장시킴으로써 임업의 부가가치를 증대할 필요가 있다. 임지 폐재의 활용은 간벌 등의 육림사업을 촉진하고 그에 따라서 임목의 성장량이 향상되어 산림자원의 부가가치가 증대된다.

둘째, 목재 연료를 사용하면 상대적으로 오염 발생량이 줄어들므로 경제 외부 효과를 얻을 수 있게 된다. 즉, 목재 연료를 사용함으로써 그에 상응하는 화석연료의 사용에 해당하는 오염의 양을 줄이는 데에서 경제외부효과를 얻을 수 있고, 셋째, 농산촌 지역에 풍부하게 존재하고 있는 부존자원의 활용을 통하여 지역주민들의 소득증대, 폐재 사용에서 오는 난방비 등 에너지 비용 절감, 그를 통해서 지역경제의 활성화의 필요성이 있다. 또한, 전기와 기름(난방류)을 대체하는 효과가 있어서 외화지출을 줄이게 됨으로써 국민 경제적으로도 큰 의미가 있다.

다. 사회·문화적 측면에서의 연구 필요성

환경문제는 작은 지역에 국한된 문제가 아니며 모든 국민이 관심을 갖고 있는 국가적 이슈가 되어 있다. 특히 이산화탄소의 농도증가로 인한 지구 온난화와 대기오염 문제는 본 과제의 수행과 관련하여 밀접한 관계를 맺고 있다. 앞서 언급한 것처럼 목재 연료의 사용은 더 이상 이산화탄소 농도를 증가시키지 않는다는 점에서 환경오염을 줄이는데 있어서 다른 어느 에너지 사용보다 훨씬 유리하다.

‘이제 환경문제는 임업인 해결해야 한다’라고 외치는 것이 어제 오늘의 일이 아닌데, 환경문제 해결을 위해 실제로 임업부문에서 행동으로 옮긴 것은 그리 많지 않다고 본다. 이 과제는 화석연료 대신 목재를 사용하는 것이 환경오염을 줄이고, 환경의 질을 유지하는 데에 도움이 되며, 목재 에너지를 사용한다는 새로운 에너지 문화를 만들어간다는 점에서 사회적 공감을 불러일으킬 수 있다.

또한 일상생활에서 목재 연료를 사용하는 것은 기름, 가스, 전기 등 비자연적인 에너지원의 사용과는 전혀 다른 정서적인 특성을 제공한다. 새로운 자연 에너지 이용 문화를 창조한다는 점에서도 연구의 필요성이 있다.

제2절 연구 방법

본 과제를 성공적으로 추진하도록 하기 위하여 국내외 현지조사와 문헌조사를 적절하게 실시하였다.

현지조사에서는 에너지원인 폐재의 생산현황, 농산촌 에너지 사용실태 및 이용 잠재력, 보일러 개발 및 보급실태 등을 강원도를 중심으로 관계기관 방문, 현지 관찰 등으로 조사하였다. 해외 현지 조사에서는 오스트리아 현지를 방문하여 목재 열에너지 생산 및 보급실태와 관리운영에 관한 사항을 조사하였다. 연구진이 수행하기에 부족한 사항들에 대해서는 세미나와 심포지엄, 그리고 연구 자문진 등을 통해서 보완하였다.

제3절 연구 내용 및 범위

본 과제의 주요 연구내용은 다음 3분야로 구성되어 있다;

제1분야는 열에너지 원료의 생산현황과 공급체계에 대한 것으로서 전체 연구의 기초분야에 해당한다. 구체적으로 목재 열에너지를 생산하는데 필요한 임지 폐재의 생산량과 이용현황, 열에너지를 원격 난방할 때 열에너지 공장의 입지 등이 주요 내용들이다.

현지조사의 경우 국외사례는 오스트리아의 목재 열에너지에 관해 조사하였고, 국내 조사는 강원도를 중심으로 산촌마을과 일부 휴양림을 대상으로 실시하였다.

제2분야는 본 연구에서 핵심 부분으로서 열 에너지 생산 플랜트를 설계하고 제작하여 시운전하는 것이다. 열생산 플랜트 현황 조사는 국외의 경우 2003년 여름 오스트리아 현지 방문을 통하여 실시하였다. 폐재를 활용해서 생산해야 할 연소 친화적 연료의 형태로 칩을 정의하고 이를 가공할 수 있는 국내 칩퍼(chipper)도 살펴보았다. 파일럿 플랜트 설계에 있어서 규모는 소규모 난방시스템으로 활용하는 것을 전제로 하며, 연료 공급 장치로는 자동공급 시스템을 선정하였다. 시제품 제작 후 최적의 운전조건을 위해 시운전과 TAB(Testing, Adjusting, Balancing)를 운용하도록 하였다.

제3분야는 에너지 개발의 경제성 분석과 에너지용 산림 폐재의 지속적 확보방안

에 관한 것이다. 열에너지 개발 가능성을 분석하기 위하여 산촌지역의 난방용으로 사용되고 있는 에너지 이용 실태를 조사하였다. 열에너지용 산림 폐재의 이용 잠재력과 경제성을 분석하기 위해서는 산림 폐재의 생산과 이용실태, 수집 및 유통체계에 대한 실태조사를 실시하였다. 열에너지 공급시스템의 경제성에 대해서는 시스템 개발비용과 파급효과, 비용평가 등을 분석하였다. 또한, 열공장에서 에너지를 계속적으로 생산이 가능하도록 하기 위해 연료를 지속적으로 확보하는 방안에 대해서 검토하였다.

제 2 장 목재 열에너지 개발의 의의와 기술 개발 현황

제1절 목재 열에너지 개발의 의의

산림에서 나오는 간벌재 등 바이오매스를 열에너지로 생산 공급하면 다음 표와 같은 잇점을 가질 수 있어서 기술 도입의 타당성이 더욱 강조된다.

첫째, 자급자족이 가능하고 재생 가능한 원료를 사용한다. 산림은 무궁무진한 재생가능한 목재 바이오매스가 생산하고 있어 열에너지의 보고(寶庫)이다. 이들은 간벌 등 산림경영과정에 따라서 용재 이외의 열에너지 생산에 투입할 수 있는 에너지 원료로서 활용이 가능하다. 그러나 화석연료인 석유, 가스, 석탄 등은 외국으로부터 값비싼 외화를 지불하고 수입해야만 한다. 즉, 국내 산림자원을 경영하는 과정에서 나오는 재생 가능한 산림 폐재를 사용함으로써 화석연료를 수입하는데 따르는 외화 유출을 막을 수 있게 된다.

표 2-1. 목재 열에너지와 타에너지의 특성 비교

목재 열에너지	석유, 가스, 석탄(Oil, Gas, Coal)
산림은 무진장한 Biomass 열 에너지의 寶庫	외국으로부터 수입해야만 함
지역에 언제나 공급 가능하며, 기존의 비싸고 위험한 에너지 수송을 줄일 수 있음	외국에 종속적이 되고, 수송시 환경에 負荷 (주입시 사고, 천연가스 탈루 등)
지역에 일자리를 제공 (농업, 임업, 산업 부흥)	지역에 일자리 제공이 거의 없고, 외화만 유출
연소시 환경에 추가적인 負荷가 적음	연소시 환경에 큰 負荷

둘째, 가격이 유리하고 안전하다. 간벌재 등 폐재를 사용하기 때문에 열에너지 생산 원료의 가격이 저렴할 뿐더러 운반하는데 있어서 위험성이 없다. 목재 열에

너지 개발은 재생 가능한 목재 부산물을 사용하기 때문에 현지 혹은 비교적 근거리에서 원료 조달이 가능하다. 반면에 화석연료는 특성상 주입시 폭발, 탈루(脫漏) 등 운반 및 취급 과정에서 늘 위험성이 상존하며 운반거리가 장거리이기 때문에 안정성과 가격면에서 불리하다.

셋째, 목재 활용을 촉진하여 임업을 진작시킬 수 있다. 현재 간벌재는 활용방안이 미흡하거나 생산비가 많이 들기 때문에 임지에 방치되는 등 그다지 활용이 되지 않고 있다. 하지만 목재 열에너지에 대한 잠재 수요가 풍부하고 이에 상응하는 열에너지 개발이 탄력을 받게 되면 간벌재에 대한 수요가 급증하여 생산과 소비가 촉진될 것으로 보인다. 이에 따라서 간벌 후 임지에 방치되던 임지 폐재의 반출이 활성화되어 간벌산업이 진작될 것으로 기대된다.

넷째, 환경에 미치는 영향이 경미하다. 다른 에너지와 환경에 미치는 부하정도를 비교하면 폐재가 월등한 격차로 환경에 기여하는 바가 크다(표 참조). 즉, 목재를 태우면 이산화탄소가 발생하기는 하지만 그것이 새롭게 생기는 것이 아니라 이미 광합성 작용 과정에서 흡수한 양을 배출하는 것이기 때문에 CO₂ 평형으로 대기 중 전체 이산화탄소량의 증감에는 영향을 끼치지 않는 것이다.

표 2-2. 목재연료와 다른 에너지 사이의 난방비와 오염물질 배출량 비교

(단위: 천원, kg)

	목재 연료	천연 가스	액체 가스	난방류	전기	석탄
난방비/년 (단독주택)	1,510	1,820	2,250	1,580	2,340	1,600
오염물질배출량(CO ₂)	-	6,000	6,000	8,200	30,000	10,400

자료: EZFEEG(유럽 재생가능 에너지 센터-GÜSSING/AUSTRIA), 1998

따라서 목재 열에너지 개발은 단지 가격이 싸고 재생 가능한 자원을 활용하며, 간벌이 촉진됨으로써 임업을 활성화시킬 수 있다는 것 이상으로 환경적인 의미가 크다. 유럽의 여러 나라들은 이미 이러한 점을 감안하여 비록 경제적으로 수익성이 좀 떨어진다고 할지라도 환경을 생각하는 미래 지향적 가치관을 중시하여 목재 열에너지 공급을 적극적으로 장려하고 있다.

제2절 연구 대상 핵심 기술 분야

1. 화목 보일러

본 과제에 있어서 핵심이 되는 연구 대상 기술은 보일러에 관한 것이다. 목재를 연료로 사용하도록 설계된 보일러의 설계와 제작은 목재 연료를 어떤 형태의 연료로 사용하는가에 따라서 달라진다. 즉, 보일러는 사용 연료를 장작(火木), 칩(chip), 펠릿(pellet)을 사용하느냐에 따라서 화목 보일러, 칩보일러, 펠릿보일러 등으로 구분할 수 있다. 이들 보일러에 대한 조사 내용을 소개한다.

화목 보일러는 그림 2-1과 같이 연료가 되는 화목을 저장하는 곳, 연소실, 그리고 열교환이 이루어지는 열교환기 등 세 부분으로 나뉘어진다. 화목의 일반적인 길이는 25~50 cm 정도이다.

주거 면적이 150㎡이고 열부하가 12kW인 단독주택에서 난방이 필요한 계절에 필요한 화목의 양은 12㎡으로써 이를 난방유로 환산을 하면 약 2300l에 상당하는 양이다. 화목은 한 번정도 가득 투입하면 하루의 연소량에 해당하며 가장 추울 때는 두 번 정도 투입하면 난방을 지속적으로 할 수 있다. 화목보일러의 장점은 높은 연소효율, 이상적인 연소, 난방시 안락감이다.



그림 2-1. 화목보일러

2. 목재칩 보일러

목재칩 보일러에서 연료인 목재칩은 그림 2-2에서와 같은 형태가 가장 이상적이며 그 외에도 나무껍질이 많이 섞여 있는 경우가 대부분이다. 목재칩을 저장하기 위하여서는 비교적 큰 공간이 필요한데 그림 2-3과 같이 하우스의 형태와 출입이 자유로운 형식으로 되어있다.



그림 2-2. 목재칩



그림 2-3. 칩 저장고

연료인 목재칩은 그림 2-4에서와 같이 저장고에서 스파이럴 기어(나사식 컨베이어 시스템) 이송장치를 통해 보일러로 이송되거나 대형 보일러에서는 밀대형식을 취하여 연료를 이송시킨다. 저장고와 보일러 사이에는 안전장치를 설치하여 화염의 역화를 방지하고 있다. 목재칩 보일러는 연료의 지속적인 공급과 연소공기를 조절할 수 있어 높은 열효율을 얻을 수 있다.

150m²의 주거 면적과 12kW의 열부하를 요구하는 단독주택에서는 겨울 난방철에 28m³의 칩이 연료로 필요하다.

목재칩 보일러의 장점으로서;

- 전자동으로 운전하며
- 적절한 연료의 투입으로 이상적인 연소와 높은 열효율을 얻을 수 있고
- 소량의 배기가스를 배출하며
- CO₂ 평형을 이루는 연소이다.

즉, 목재가 연소될 때 발생하는 CO₂의 양은 해당 임목이 성장하는 과정에서 대

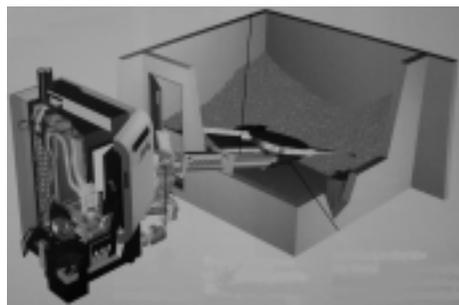


그림 2-4. 목재 칩 보일러

기 중에서 흡수하는 CO₂의 양과 같으므로 Biomass 연소는 CO₂ 평형을 이룬다.

- 또한, 관리가 용이하다.

3. 목재 펠릿(pellet) 보일러

펠릿은 톱밥형태의 원료에 고압을 가하여 생성시킨 일종의 목편으로 그림 2-5와 같은 형태를 나타낸다. 지름은 약 6~8 mm이며 나무와 수분이외의 다른 성분 즉 결합제와 같은 화학성분은 전혀 포함되어 있지 않아 화목과 목재칩의 성분과 동일하다.

펠릿은 고압으로 형성된 에너지 원료로 저장공간이 목재칩보다 훨씬 작고 자동이송이 용이하므로 작은 용량의 보일러나(3kW이상) 전자동 보일러에서 유용하게 사용된다. 보일러의 구조는 그림 2-6에서와 같이 목재칩 보일러와 동일하여 한 보일러에서 두 가지 연료를 모두 사용할 수 있다.



그림 2-5. 펠릿의 형상

150m²의 주거면적과 12kW 열부하에 소요되는 목재 펠릿의 양은 7.5m³으로 목재칩의 양보다 약 1/4의 저장공간이 필요하다. 또한 펠릿은 그림 2-7과 같이 펌프(pump) 트럭으로 공급되기 때문에 먼지등을 염려할 필요가 없다. 단, 소규모로 필요할 경우에는 20kg 포장 단위로도 구매가 가능하다.



그림 2-6. 펠릿 보일러

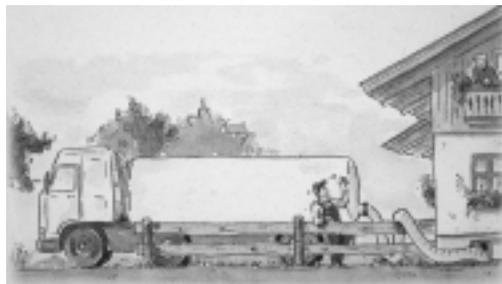


그림 2-7. 펠릿 운송용 pump 트럭

제3절 국내 기술 개발 현황

1. 개요

국내에서는 폐재 및 간벌재를 난방 및 온수용 보일러의 열원 원료로 사용하는 활용사례가 매우 비약한 실정이다. 그러나 IMF를 거치면서 기름값의 폭등으로 목재 보일러가 등장하였지만 이는 주로 농촌의 비닐 하우스의 난방을 위하여 사용되어졌으며 일반 주택의 난방 및 소규모 지역난방으로의 사용은 전무하다. 대규모 단위로 목재를 사용하는 기업에서는 원목의 가공공정을 통하여 발생하는 부산물을 소각로나 보일러에 열원으로 사용하여 열에너지를 생산하여 작업공정에 사용하고 있는 실정이다. 국내 현황을 아래에 소개한다.

2. 대양공업(화목보일러 생산, 공급 및 시공업체)

1997년부터 생산하기 시작하였는데 30평형, 60평형의 화목보일러, 화목 코크스 겸용, 화목dung지 난로 등을 제작한다. 주 수요처는 채소 및 화훼단지 등 비닐 하우스이다. 특징으로서 관리가 용이하며 수실을 연소공기가 3번 돌아나가 열효율



그림 2-8. 화목 보일러 모습



그림 2-9. 대양의 화목 보일러

이 높고 목초액 제조장치가 부착되어 있다는 점이다. 설치비용은 30평형의 경우 대략 100만원 정도이다. 열용량은 뿔감에 따라 약 5,000~10,000 kcal/h 범위이다.

그림 2-8은 농가주택에 설치되어있는 현장의 모습이며 그림 2-9는 보일러 전경이다.

3. 한솔포렘(주) : MDF, PB, LPM 및 제재목 생산

한솔포렘(주)에서는 1994년부터 원목으로 제재목 및 합성목을 생산하고 있으며 생산공정에서 발생하는 폐재 및 sanding dust로 보일러를 가동하여 제재목 건조로 및 온수를 사용하고 있다. 바크 보일러의 제원은 아래와 같다.

- 연소시스템 : 직화식으로 대부분이 dust 형태이므로 연소공기와 함께 투입
- 보일러 용량 : 20ton(증기)/h
- 원료 : MDF Sanding Dust

그림 2-10, 11은 투입연료의 모습과 보일러 전경이다.



그림 2-10. 투입 연료



그림 2-11. 보일러 전경

4. 삼익악기

삼익악기에서는 원목을 가공하여 피아노 및 기타 악기를 생산하고 있으며 가공 과정에서 발생하는 부산물을 보일러 열원으로 사용하고 있다.

- 보일러 제원
 - 연소시스템 : 직화식
 - 보일러 용량 : 10ton/h
 - 원료 : sanding dust 및 파목

그림 2-12와 13은 투입연료와 보일러 입구의 전경이다.



그림 2-12 투입 연료



그림 2-13 보일러 입구 모습

5. 제재소

일반 제재소에서는 원목을 가공하여 제재목을 생산하고 있으며 목재 가공 중 발생하는 목재로 사용할 수 없는 나무는 20,000원/ton에 MDF를 생산하는 공장에 판매하고 있으며, 톱밥은 2000원/포로 퇴비생산용으로 판매하고 있다.

그 외에 나무껍질등 기타 부산물은 원예용으로 무상공급하기 때문에 제재소에서 보일러를 열원으로 가동하고 있지 않으며 또한 제재목을 외국의 경우처럼 건조시키지 않으므로 열에너지가 거의 필요없는 실정이다. 그렇지만 고소득화로 생활의 질을 가치기준으로 삼게 된다면 목재의 건조로도 반드시 필요하기 때문에 제재소에서의 목재칩보일러 설치는 그 효율도가 높아지리라 생각한다.

6. 자연 휴양림

자연 환경이 가장 원형에 보존되어 있어야 하는 곳이기 에너지원의 선택이 자연 휴양림에서는 매우 중요하다. 현재 국내에서는 전기 요금이 상대적으로 싸기 때문에 자연 휴양림에서의 에너지원은 대부분 전기이다. 난방은 전기판넬 온돌방식이나 심야전기 축열식이며 온수는 축열식 온수방식을 사용하고 있다. 그림 2-14는 남해 편백 자연 휴양림의 숙소용 방갈로이며 그림 2-15는 8평 방갈로의 온수용으로 사용하는 50l 온수탱크이다.

지금까지는 자연 휴양림 내에서 전기로 모든 에너지를 충당하였지만 이제는 간벌재의 증가와 환경에 부담을 적게 하기 위하여 목재 보일러를 사용하면 그만큼



그림 2-14. 남해편백휴양림 방갈로



그림 2-15. 휴양림 숙소의 온수탱크

환경에 대한 부담을 줄이는 효과가 있다고 사료된다.

7. 강원도 화목보일러 보급 현황

화목 보일러 보급은 강원도가 전국에서 가장 적극적으로 나서고 있다. 담당부서는 도청 산림정책과로서 조사된 지원내역은 다음과 같다.

- 시공비용

보일러 시공비용에 상관없이 농가당 60만원씩 보조하는데 이 중 30만원은 도비이고 나머지 30만원은 시/군비로 보조되고 있다.

- 보통 나무보일러의 경우 시공비를 포함하여 100만원선으로 자부담 비용은 약 40만원선이며 보조금에 의한 보일러 설치 현황은 표 2-3과 같다.

표 2-3. 강원도 시군별 화목보일러 설치현황

구분	'99년이전	2000년	2001년	2002년	2003년
강릉시	147	65	20	64	40
삼척시	-	-	20	24	30
영월군	-	-	-	-	20
고성군	-	10	10	20	10
양양군	-	-	10	10	10
계	147	75	60	118	110

- 화목 보일러 설치가구 조사

- 신청자의 약 50%는 기존의 기름 보일러에 보조 보일러의 형식으로 화목 보일러를 추가 설치

- 그밖에는 기존의 화목 보일러 노후로 다시 나무보일러 설치하는 경우와 기름 보일러와 심야전기 보일러를 교체하는 경우

- 보일러의 형태는 화목 보일러가 대부분이고 나무와 기름겸용 보일러가 일부

- 보일러 메이커와 제품에 따라 땀감 소모량에 큰 차이

-> 잠자기 전에 한 번 땀감공급으로 아침까지 추가 공급이 필요없다는 가구도 있고, 2~3시간 간격으로 지속적으로 땀감공급이 필요해서 너무 많은 수고가 필요하다는 가구도 있다. 한 겨울 기준으로 하루에 지게 반 짐에서 두 짐까지 필요한 것으로 나타나 땀감 양에도 큰 차이가 있는 것으로 보인다.



그림 2-16. 화목 보일러



그림 2-17. 화목

- 열효율의 경우 연통배관의 높낮이와 굵기에 따라서 큰 차이가 나타나는 것으로 판단된다.

- 설치가구는 대개 양옥이거나 한옥이라도 이미 보일러 배관이 설치되어 있는 구조를 가지고 있다.

- 땀감은 노령화 가구에서는 조금씩 겨울동안에도 계속 채취하여 사용하고 노

동력이 있는 젊은 가구에서는 약 15일 정도의 채취로 월동할 수 있는 땔감을 확보 가능한 것으로 파악된다.

- 아직까지 체력적인 이유로 채취가 어려울 뿐 땔감의 확보에는 큰 어려움이 없을 것으로 보인다.

- 땔감 확보의 경우, 땔감(간벌재)을 임도변까지 가져다 준다면 이용에 어려움이 없을 것으로 보인다.

- 땔감의 적정 가격은 약 5,000원정도

- 땔감을 구입하는 가구는 하루 약 3만원 수준(제재소에서 집까지 배달비 포함)

- 땔감은 주로 야적되고 있고 처음 불쏘시개를 이용하여 불을 쉽게 붙일 수 있고 또 일단 불이 붙기만 하면 보일러 내부의 온도가 높아져 젖은 나무든 생나무든 가리지 않고 잘 타고 연기도 독하지 않다는 반응을 보이고 있다(함수율 문제는 별로 없는 듯 함).

제4절 국외 기술 개발 현황

1. 조사 개요

에너지 절약적인 방법을 오래전부터 연구하며 시행하고 있는 알프스 산악국가에서는 기술이 많이 축적되어 있으며, 국민들의 환경에 대한 의식이 높아 자연친화적인 열생산 공급플랜트에 관심이 많다. 또한 각 국가뿐만 아니라 유럽연합에서도 청정에너지 설비에 대하여는 시설비의 상당부분을 보조하고 있어 개인이 Biomass 보일러 설비를 신규로 설치하거나 보수를 하여도 큰 부담이 없게끔 하고 있다.

국외 현황사례는 연구 1차년도인 2003년도 여름에 오스트리아를 중심으로 조사하였다. 오스트리아 전체의 목재보일러 현황에 대하여 알아보고 목재 보일러가 매우 보편화 되어 있는 오스트리아의 8개 주중 하나인 Oberoesterreich의 사례를 집중적으로 살펴보도록 한다.

2. 오스트리아 보일러 유형별 특성

오스트리아에서는 전국 바이오매스협회를 설치하여 대체에너지로서의 바이오매스 활용에 대하여 적극 지원하고 있으며 또한 8개주에 주(州) 바이오매스 연합회가 있어 각 주에서 바이오매스 활용에 대하여 적극 지원하고 있다.

1988년부터 2002년까지 오스트리아에 신규로 설치된 목재칩 및 펠렛 보일러의 통계는 표 2-4와 같다.

표 2-4. 오스트리아의 목재칩 및 펠렛보일러 통계자료

연도	88-95	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	합계	용량 [MW]
소규모 (<100kW) 그중 펠렛보일러	10,530	2,280	2,452 452	3,236 1,323	4,186 2,128	5,615 3,466	7,276 4,932	6,884 4,492	42,459 16,766	1,443
중규모 (100-1000kW)	1,203	214	256	280	159	223	301	223	2,859	798
대규모 (>1MW)	141	34	45	50	42	27	54	26	419	1,007
합계	11,874	2,528	2,753	3,566	4,387	5,865	7,631	7,133	45,737	3,248

자료 : 오스트리아의 목재칩 및 펠렛보일러 증가통계, 2003년

가. 100kW 미만의 소형 목재칩 및 펠렛보일러

1990년대 중반까지는 매년 약 1500대 정도의 목재칩 보일러에 대한 수요가 있었고 1996년도부터 목재보일러에 대한 수요가 급증하게 되었는데, 이것은 이때 처음으로 펠렛 보일러가 실용화되어 소비자에게 소개가 되었기 때문이다. 이후로 2001년까지는 펠렛 보일러에 대한 수요는 꾸준히 증가하였고 반면 소형 목재칩 보일러에 대한 수요는 일정한 수준에 머물고 있다.

2001년과 2002년을 지나면서 소규모 목재 보일러에서는 펠렛 보일러의 증가가 뚜렷한 현상이 나타나고 있는데 이는 펠렛 보일러가 관리가 용이하며 설치면적이 작고 실용적인 장점이 인식이 되면서 신규설치가 증가하고 있는 것이다. 오스트리아 자체에 펠렛 보일러를 제작 판매 시공하는 회사의 수는 30개이다.

펠렛 보일러에서 펠렛을 연소로에 이송시키는 방법은 세 가지로써 사이로 방법

(그림 2-18), 기계적 이송방법(그림 2-19), 공기압 이송방법(그림 2-20) 이 있다. 각각의 방법에 의한 펠렛 보일러의 통계는 표 2-5와 같다.

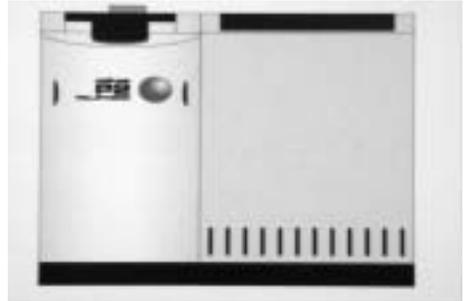


그림 2-18. 사이로형 펠렛보일러

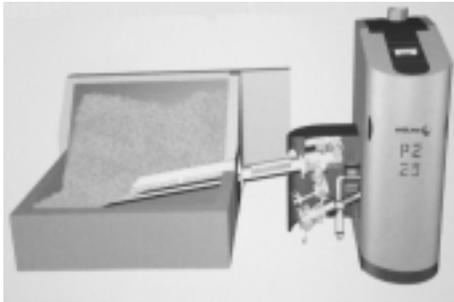


그림 2-19. 기계식이송 펠렛보일러

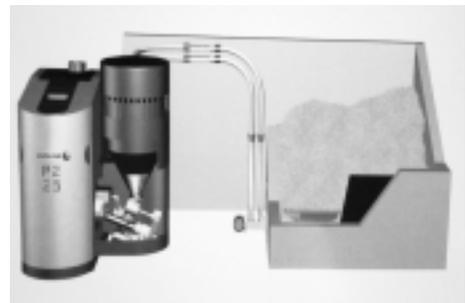


그림 2-20. 공기압이송 펠렛보일러

표 2-5. 오스트리아의 펠렛 보일러 통계 1997-2002

연도	펠렛 보일러							
	사이로 방식 (주,월 단위로 채워줌)		기계식 이송방법 (스파이럴 기어식)		공기압이송방식		합계	
	보일러 개수	전체 용량 [kW]	보일러 개수	전체 용량 [kW]	보일러 개수	전체 용량 [kW]	보일러 개수	전체 용량 [kW]
1997	220	4,111	190	4,547	15	270	425	8,928
1998	503	8,750	710	13,514	110	1,875	1,323	24,139
1999	592	9,672	1,219	23,272	317	5,452	2,128	38,396
2000	425	7,107	2,239	39,149	802	13,737	3,466	59,993
2001	333	5,463	2,506	48,053	2,093	35,412	4,932	88,928
2002	365	6,969	2,322	45,369	1,805	31,985	4,492	84,423
합계	2,073	35,103	6,864	128,535	3,337	56,746	16,766	304,707

자료 : 오스트리아의 목재칩 및 펠렛보일러 증가통계, 2003년

나. 중형 및 대형 목재 칩보일러

중간규모의 보일러와 대규모 보일러의 증가추세는 그림 2-21과 2-22 에서와 같이 꾸준하게 증가하고 있어 오스트리아의 바이오매스에 대한 적극적인 활용을 나타내고 있다. 중, 대형 보일러는 주로 공장에서 열에너지를 필요로 하거나 중소규모의 지역난방에너지로 활용하기 위하여 설치를 하고 있는데 오스트리아의 경우에 주로 후자의 용도로 중형 및 대형 목재 칩보일러를 활용하고 있는 실정이다.

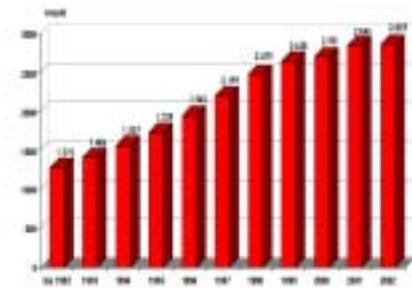


그림 2-21. 중형목재칩보일러 통계

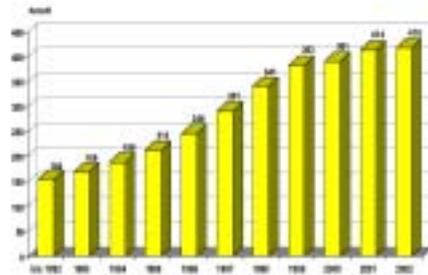


그림 2-22. 대형 목재칩 보일러 통계

다. 용량에 따른 점유비율

목재칩 및 펠릿 보일러의 전체용량은 2002년 말 기준으로 3,248 MW이다.

그림 2-23은 용량별 보일러가 생산하는 열에너지의 점유비율을 나타내고 있다.

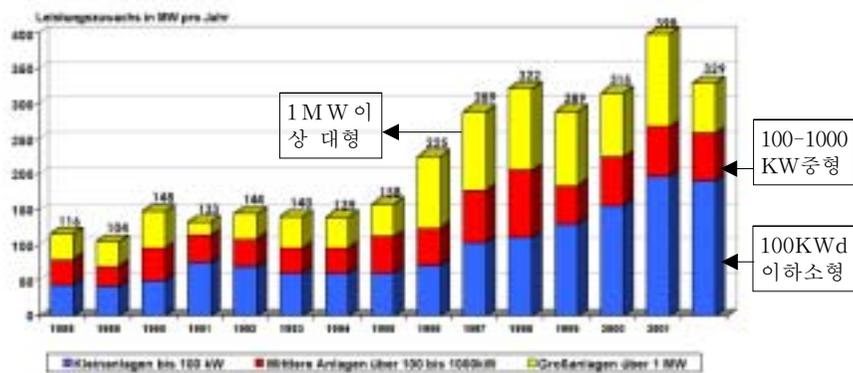


그림 2-23. 용량별 점유비율

3,248MW에는 산업체(예:종이 및 펄프산업)에서 생산하는 열에너지는 포함되어 있지 않다.

라. 화목보일러

2002년도 오스트리아에서 목재칩이나 펠렛 보일러로 신규 설치된 소형보일러는 6,884개수이며 이에 비하여 화목보일러는 4,276개이다. 그중 76%가 30kW 미만이며 24%가 30kW이상이다. 지난 3년간의 통계에 의하면 화목보일러는 30%의 감소를 나타내고 있어 목재칩이나 펠렛을 선호하고 있는 경향이다. 특히 같은 시기에 오스트리아에서 기름 보일러의 신규설치는 약 50%가 감소하였다.

마. 지역 난방용 Biomass 보일러

2002년 연말을 기준으로 오스트리아에서의 지역 난방용 보일러 시스템은 총 775개이며 100kW이상의 단위용량만을 계산하면 총용량은 878MW이다. 100kW 미만인 지역난방시스템도 최근에는 증가추세인데 약 500개 이상이 영업중이다. 평균적으로는 1개의 지역난방시스템의 열용량이 1,132kW이지만 최근의 추세는 보일러시스템이 소규모화되어 500kW 미만의 보일러설치가 증가하고 있어 단위 시스템당 용량도 작아지고 있다.

바. Biomass 보일러 운영사례

1) 단독주택의 소규모 목재칩 및 Pellet보일러

그림 2-24, 2-25, 2-26, 2-27은 오스트리아의 전형적인 농가의 목재칩 보일러 및 칩저장고, 그리고 칩의 확대사진을 나타내고 있다. 농가에서 칩보일러는 주거면적 200㎡의 난방과 온수를 공급하고 있다. 칩원료의 공급은 자기소유의 산림과 기타 폐목재를 주로 하고 부족할 경우에는 구매하고 있다.



그림 2-24. 농가전경



그림 2-25. 칩보일러 및 온수탱크



그림 2-26. 농가의 칩저장고



그림 2-27. 칩의 확대사진

그림 2-28의 개인주택은 주거 면적이 170㎡로써 지하에 있는 그림 2-29와 같은 펠릿보일러를 설치하여 난방과 온수를 공급하고 있다. 지하 기계실 옆의 다른 방을 저장고로 만들어서 펠릿을 저장하고 있으며 한번 채우면 1년 이상을 난방할 수 있다. 저장고에서 보일러로의 이송은 공기압을 이용하여 그림 2-30과 같이 튜브관을 통하여 공급된다.



그림 2-28. 개인주택 전경



그림 2-29. 개인주택 펠릿보일러



그림 2-30. 펠릿 공기압 이송장치

2) 지역자치단체에서 운영하는 지역난방시스템 (그림 2-31, 32, 33, 34)

- 지역 : Andorf
- 총 보일러 용량 : 2000kW + 600kW
- 연료수급 : 지역에서 폐목재를 수거하여 자체 파쇄기로 칩을 생산하고 부족한 양은 구입하며, 펠릿도 구입하여 연료로 사용하고 있다.
- 인구 : 약 5,000명
- 수요처 : 지역주민과 공공건물, 학교, 공장에 열에너지 판매하고 있는데 공급 건물은 약 100개 이상이고 가구수는 약 220가구에 달한다.



그림 2-31. Andorf 플랜트 전경



그림 2-32. 칩원료 저장고



그림 2-33. 펠릿



그림 2-34. 플랜트 계통도

3) 중규모 에너지공급업체 (그림 2-35, 36)

- 지역 : Antiesenhofen
- 총 보일러 용량 : 1500kW 목재칩보일러 + 800kW 기름보일러.

이 외에 혐기성 발효를 통하여 메탄가스를 생산하여 메탄가스 원동기로 전기와 열에너지 생산, 또한 60년이 넘은 소수력 발전도 하고 있다.

- 연료수급 : 같은 공장부지내에 있는 목재소에서 연료수급
- 수요처 : 제재소의 건조로에 이용하고 주변 지역에 판매하고 있는데 약 100개 소 이상이 시스템에 연결하여 열에너지를 공급받고 있는 상황이다.



그림 2-35. 열생산 플랜트 전경



그림 2-36. 칩의 확대사진

- 배관길이 : 7,000m
- 시스템에 연결된 난방부하 : 3,000kW
- 시스템에 연결된 건조로부하 : 200kW

- 겨울철 공급열량 : 4,200,000 kWh
- 겨울난방용 목재칩 소비량 : 9,000m³
- 겨울철 난방시 석유소비량 : 25,000l
- 열생산량중 석유가 차지하는 비율 : 4%

4) 제재소 (그림 2-37, 38, 39)

- 지역 : Scharnstein
- 연료수급 : 제재소 목재가공 부산물
- 수요처 : 제재소 건조로와 지역주민



그림 2-37. 제재소 전경



그림 2-38. 칩 저장고



그림 2-39. 칩 이송장치(밀대식)

이 사례지역은 제재소로서 제재 과정에서 나온 폐재 부산물을 칩으로 만들어서 보일러를 가동시키고 있다. 규모가 비교적 큰 곳이며 칩의 이송장치는 밀대식이다(그림 2-39).

3. 타에너지원과의 공동사용 가능여부

열생산 플랜트의 열원으로 사용할 수 있는 연료는 목재이외에 기름, 가스, 화석 연료를 대표적으로 거론할 수 있다. 기름을 다시 세분하면 가정용 보일러에 사용하고 있는 등유와 공장과 발전소 등에서 사용하는 중유로 나누어진다. 가스 또한

세분하면 LPG, LNG, 도시가스, Biogas 등으로 구분할 수 있다. 이들 목재 이외의 다른 에너지와 연소실을 같이 사용한다는 것은 여러 가지 면에서 불합리하다. 각각의 발열량, 연소방법, 연소 매카니즘 등이 다르기 때문에 연소실의 구조, 연소방법, 연소에 필요한 공기량 등이 모두 다르다.

따라서 목재보일러가 다른 에너지원과 공동으로 사용한다는 것은 각각의 연소실이 구성되어 있어 그곳에서 발생하는 열에너지를 합하여 사용하는 것이다. 이러한 방법으로 다른 어떤 에너지원과도 공동사용이 가능하다.

가. 기름보일러와의 공동사용

화목 보일러에서 얻어진 온수는 그림 2-40에서와 같이 직접 사용처로 공급되어지지 않고 다시 기름보일러로 유입된다. 이때 온수의 온도가 제어온도 이상 뜨거운 경우에는 기

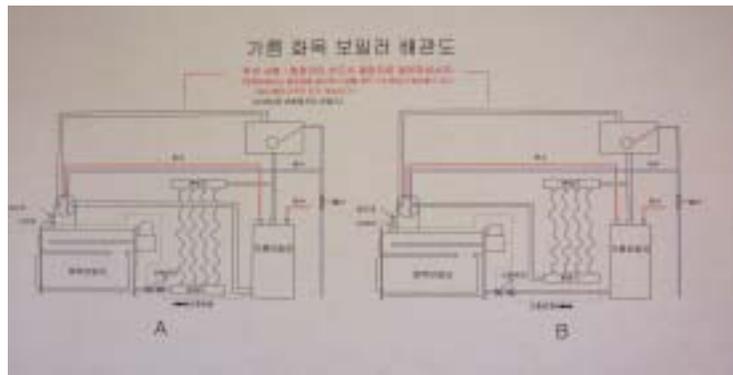


그림 2-40. 기름 화목 보일러 배관도

름보일러가 가동하지 않으며 화목보일러에서 얻어진 온수의 온도가 제어온도보다 낮으면 기름보일러가 가동하여 온도 차이만큼 온수의 온도를 상승시켜 필요한 곳에 온수를 제공한다. 이와 같이 화목보일러를 기름보일러와 겸용하여 사용함으로써 기름값을 절약할 수 있다.

나. 태양 열에너지와의 공동사용

태양열 집열판에서 형성된 고온수는 그림 2-41에서와 같이 온수탱크로 보내어져 탱크내의 온수온도를 상승시키는 역할을 수행함으로써 목재보일러에서의 난방 및 온수부하를 줄여주고 환경오염부하도 낮추는 역할을 한다.

다. 지역난방 에너지와의 공동사용

지역난방이 연결된 지역에서 여름철 난방부하가 필요없고 온수만 필요할 시에는 지역난방에서 공급하는 열원으로 온수탱크내의 열교환기에 의해 온수를 취득할 수 있으며 겨울철 난방부하가 커지는 경우 지역난방에 의한 열원으로 충분히 난

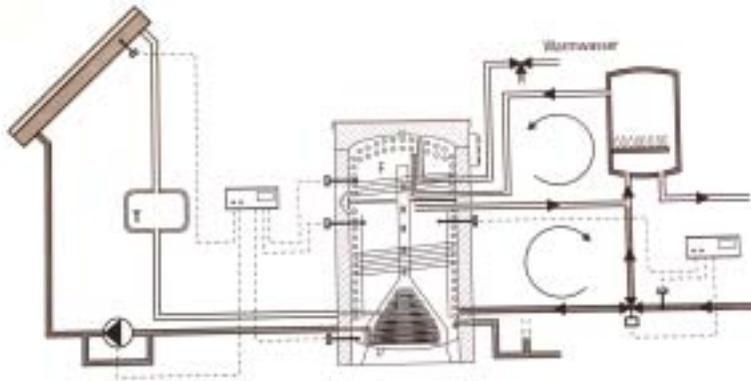


그림 2-41. 태양열 에너지와 목재 보일러의 공동사용

방을 할 수 없는 곳 특히 음식점, 숙박업소 등은 목재 보일러 혹은 기름, 가스 보일러 등을 따로 설치하여 온수탱크를 지역난방 시스템과 공동 사용함으로써 필요한 열원을 얻을 수 있다.

4. 연소 친화적 칩의 생산과 장점

지금까지 가장 오래 목재를 연료로 열원을 얻는 장치로는 화목보일러이다. 이는 연소실에 필요한 화목을 넣고 연소시켜 필요한 열원을 얻고 화목이 모두 연소하면 다시 화목을 투입하는 방법이다. 이러한 화목은 계속적으로 자동화한 방법으로 연소실에 투입할 수 있는 방법이 없으며 필요시마다 인력이 투입되어 작업을 수행하여야 한다. 톱밥은 단위부피당 무게가 많아 그만큼 발열량이 적기 때문에 필요한 양을 저장하기에 공간적으로 제약이 많다. 또한 톱밥에 압력이 가해지면 수축이 일어나기 때문에 공기압에 의한 이송 이외에 기계적으로 이송시키는 방

법에 제약이 많으므로 연구개발의 목표인 자동공급시스템과 연계하여 화목과 톱밥은 목재연료의 선정에서 제외하였다.

자동공급 시스템으로 투입되는 목재연료로써 가장 이상적인 형태는 그림2-5와 같은 펠렛이다. 펠렛은 목재를 톱밥과 같은 형태로 분쇄한 다음 적당량의수분을 함유시켜 고압으로 원통모양의 형태를 지나게 함으로써 직경 약 6~8mm, 길이 약 20mm 이내로 형성된 것이다. 비중량은 약 1.2kg/dm³이며 발열량은 4.9kWh/kg이다. 다른 목재연료와 비교하여 단위부피당 발열량이 높아 저장고의 크기가 작아도 되며 펠렛구입은 그림 2-7과 같이 트럭에 의한 자동 이송되거나 혹은 포단위로도 구입이 가능하다. 펠렛은 취급이 간단하여 주로 가정용 소형 보일러나 중형보일러에서 많이 사용되어지고 있다. 우리나라에서는 펠렛이 생산되고 있지 않기 때문에 본 연구에서 목재연료는 칩으로 선정하였다.

목재칩은 자동공급이 가능하기 때문에 오스트리아, 독일, 스위스, 스칸디나비아 삼국 등에서 오래전부터 사용되어져 왔다. 칩을 사용하는 보일러는 가정용 소형 보일러에서부터 소규모 지역난방시스템 보일러, 그리고 발전에서 사용하는 보일러까지 발달되었다.

표 2-6. 보일러와 사이로 크기에 따른 칩의 소비량

보일러 용량(kW)	칩투입량	사이로 용량 (m ³)			
		1	4	16	48
18	6.25kg/hr	24시간	4일	너무 큼	너무 큼
80	25kg/hr	6시간	24시간	4일	너무 큼
350	200kg/hr	너무 작음	6시간	24시간	3일

자료: Heating with wood chip(R.E.A.P Canada Research Report, 2000)

칩은 나무가 있는 곳에서는 어디나 쉽게 만들 수 있기 때문에 국내에서도 칩조달은 어렵지 않을 것으로 생각된다. 단지 칩보일러를 사용하기 위하여서는 칩을 저장할 수 있는 공간이 필요하기 때문에 보일러 선정에 신중을 기하여야 한다. 칩의 저장형태가 야적창고와 같은 형태가 아니고 사이로와 같은 형태로 구성될 시 보일러와 사이로 크기에 따라 칩이 소진되는 시간은 표 2-6과 같다.

라. 칩 feeding system(자동공급 시스템) 선정

목재칩 보일러시스템의 최대장점은 지속적으로 칩을 자동공급하는 것이다. 우선 칩은 저장창고 혹은 사이로에서 보일러로 자동이송이 이루어지는데 이 자동공급 장치는 나사형 컨베이어 시스템으로 구성되어 있다(그림 2-42).

이 시스템에서는 보일러 옆 가까이에 있어 칩의 이송거리가 멀지 않은 경우 대부분 사용되어 진다. 나사형 컨베이어는 그림 2-42 의 19번과 같이 경사지게 위치하는데 이는 역화방지와 더불어 컨베이어 시스템 내부에 칩이 항상 채워져 있도록 하기 위함이다. 경사진 컨베이어에 의해 이송된 칩은 17번의 상자 안에서 자유낙하하여 14번 보일러 컨베이어 시스템으로 공급되어진다. 17번 상자의 역할은 2개의 컨베이어시스템이 간접연결하게 되어 역화방지를 하는 것이다. 보일러 컨베이어 시스템위의 칩은 보일러 내부로 유입되어 연소하고 재는 5번 컨베이어 시스템위로 떨어져 6번 재를 담는 상자로 이송되어진다. 모든 구동장치는 모터에 의해 구동되어진다.

칩 사이로에서는 하부중앙이 컨베이어시스템에 연결되어 있어 칩의 지속적인 공급에 문제가 발생하지 않지만 창고 같은 저장 형태에서는 빈 공간이 발생할 우려가 있기 때문에 그림 2-43과

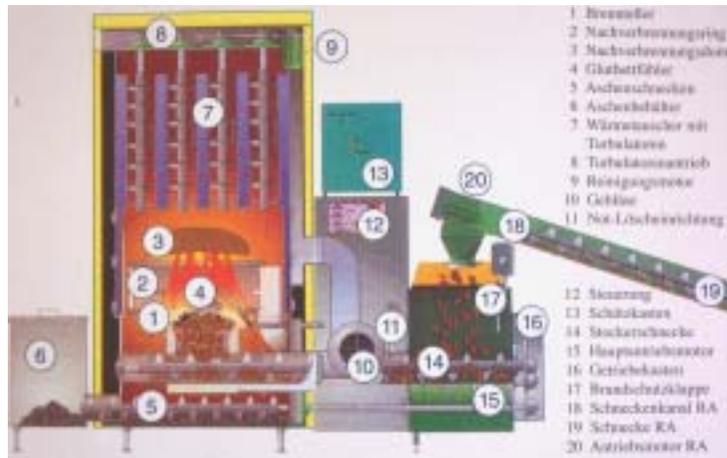


그림 2-42. 나사형 컨베이어시스템 단면도

같은 장치를 하여 항상 칩이 컨베이어시스템 위로 모이도록 하여 칩의 공급이 중단되는 경우가 발생하지 않게 하고 있다.

대형 보일러에서는 칩의 공급이 많아야 하므로 그림 2-44와 같이 밀대식으로 칩을 공급할 수 있다. 창고에 쌓여있는 칩의 하부에 있는 1번과 2번의 밀대가 번갈

아가며 3번 밀대위로 칩을 공급하면 3번 밀대가 4번 칩투입구로 칩을 공급하여 5번 경사로를 따라 칩이 보일러 연소실로 지속적으로 공급되어진다. 밀대의 구동은 많은 힘이 필요하기 때문에 유압에 의해 구동된다.



그림 2-43. 칩모음 장치

중형보일러에서는 밀대식과 나사형 컨베이어시스템을 그림 2-45와 같이 병행할 수 있다.

칩의 자동공급시스템은 제어시스템에 의해 운전되며 연소상태 및 열부하에 따라 변속장치, on/off 기능, 연소공기 조절기능등 모든 것이 자동으로 편리하게 사용할 수 있게 되어 있다. 계절의 변화에 따라 난방부하 및 열부하가 변하게 되면 전환스위치로 조건변화만 시켜주면 칩투입량이 자동으로 조절되게 되어있다.

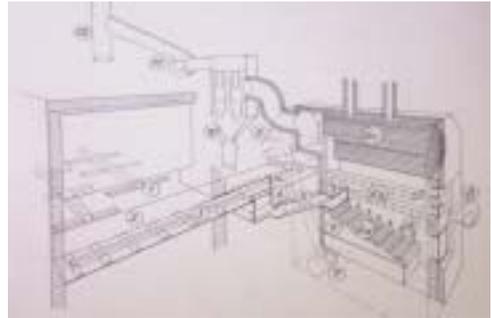


그림 2-44. 대형 목재칩보일러의 밀대식 칩이송장치

이상에서 살펴본 선진국의 열생산 플랜트의 현황과 목재칩 선정, 자동공급장치 등 목재 난방 시스템의 원리를 기초로 가장 저렴하고 편리한 그리고 환경친화적 방법으로 난방 및 온수를 사용할 수 있는 모델을 선정하고 파이롯 플랜트를 제작, 시운전하여 그 가능성을 모색하고자 한다.



그림 2-45.

밀대식과 나사형 컨베이어시스템 혼합방식

제 3 장 목재 열에너지 원료 생산과 열에너지공장 배치 방법

제1절 폐목재 발생 현황

1. 용어 정리

폐목재란 이용할 수 있는 데도 불구하고 이용되지 않고 있는 각종 목재류를 말한다. 1997년 임업 연구원(현 국립 산림 과학원)은 폐재를 발생 원인별로 임지 폐목재, 산업가공 폐목재, 생활 폐목재, 건설 폐목재, 물류 폐목재 등으로 구분한 바 있다(표 3-1 참조).

표 3-1. 폐재의 구분 및 정의

구 분		정 의
폐 목 재		목재로 된 제품 가공시 발생한 폐재와 목제품 사용시 발생한 폐재
재이용 폐목재		1차 사용자가 용도 폐기한 목재를 수집자가 수리 또는 약간의 변형에 의해 같은 용도로 이용하는 폐목재
발 생 원 별	임지폐잔재	임목을 벌채한 후 반출되지 않고 벌채지 안에 방치하거나 적치한 폐잔재 및 표고 골목
	산업가공폐재	목제품(제1-2차 가공) 생산시 발생하는 각종 생산 加工屑
	생활폐재	사업장에서 발생하는 사업장 폐기물외의 폐기물(폐기물 관리법) 중에서 목재류(가구류, 내장재 등)에 해당되는 폐기물
	건설폐재	건물을 신축하거나 해체할 때 폐기되는 목재와 토목 공사시 폐기된 목재
	물류폐재	상품의 유통과정에서 보관·운반·관리를 원활히 하기 위해 이용된 목재가 일정기간 사용된 후 용도가 폐기된 목재

자료 : 임업 연구원(1997)

이 중에서 임지 폐잔재는 임목을 벌채한 후 판매되지 않은 등의 이유로 반출되지 않고 벌채지 안에 방치하거나 적치한 간벌재 등과 표고 생산 후에 버리게 되는 골목을 말한다. 본 연구과제에서 다루는 열에너지 생산용 목재는 임지 폐잔재 중 표고 골목을 제외한 것으로서 간벌재 위주이다. 열 공장 적정배치 계획에서는 간벌재 중 임목벌채 후 집재(수집)되지 않은 채 벌채 현장에 남겨져 방치 혹은 적치된 간벌재와 집재 후 칩으로 이용되는 것을 대상으로 삼았다.

2. 전국 폐목재 발생량 및 임지 폐재의 활용 실태

가. 국립 산림과학원의 조사자료

폐목재 발생량에 대한 현황은 1998년에 임업 연구원이 조사한 자료와 최근에 임업통계자료 및 2003년 한국농촌경제연구원이 추정된 자료를 통해서 살펴볼 수 있다.

1998년에 조사한 자료에 따르면 국내 총 폐목재 발생량은 약 1,946천 m^3 으로서 그 중에서 약 44.8%가 재활용되고 55.2%가 폐기되고 있는 것으로 나타났다(표 3-2). 하지만, 임지 폐잔재의 경우에는 총 847천 m^3 중에서 80.4%가 재활용되고 19.6%가 폐기되는 것으로 조사되었다.

임지 폐잔재는 표 3-3에서 보는 바와 같이 간벌재 등 임지 폐재와 폐기되는 표고 골목으로 구분되는데, 총발생량 847천 m^3 중에서 89.6%인 759천 m^3 가 임지 폐재에 해당한다. 그 중 약 79%인 603천 m^3 이 재활용되고 있고 21%인 156천 m^3 이 폐기되고 있음을 알 수 있다.

폐재가 재활용되고 있는 유형은 톱밥, 화목, 지주목, 목탄 등의 형태로 나타나고 있으나, 약 19.6%인 166천 m^3 은 자연폐기되고 있어, 이들 폐잔재를 활용한 열에너지 생산은 방치되고 있는 폐재의 효율적 이용 측면에서도 중요한 과제가 아닐 수 없다.

표 3-2. 폐목재 발생량 및 재활용실태

단위: 양 1000m³, 비율 %

발생원인별	구분	합계	재활용							폐기		
			소계	재이용	원료				연료	소각	매립	
					계	재생보드	톱밥	기타				
총계	양	10,946	4,907	137	2,691	1,336	896	459	2,079	6,039	3,628	2,411
	비율	100	44.8	1.2	24.6	12.2	8.2	4.2	19.0	55.2	33.1	22.1
임지 폐목재	양	847	681	0	576	0	329	247	105	166	0	166
	비율	100	80.4	0	68.0	0	38.8	29.2	12.4	19.6	0	19.6
산업가공 폐목재	양	3,533	3,533	0	1,837	1,060	565	212	1,696	0	0	0
	비율	100	100	0	52.0	30.0	16.0	6.0	48.0	0	0	0
건설 폐목재	양	5,752	250	0	115	115	0	0	135	5,502	3,405	2,097
	비율	100	4.3	0	2.0	2.0	0	0	2.3	95.7	59.2	36.5
생활 폐목재	양	190	23	7	15	15	0	0	1	167	19	148
	비율	100	12.1	3.7	7.9	7.9	0	0	0.5	87.9	10.0	77.9
물류 폐목재	양	624	421	130	148	146	2	0	142	204	204	0
	비율	100	67.4	20.8	23.8	23.4	0.4	0	22.8	32.6	32.6	0

표 3-3. 임지 폐잔재 재활용 및 폐기 실태

단위 : 1000m³

구분	합계	재활용					자연폐기
		소계	톱밥	화목	지주목	목탄	
임지폐재	759	603	279	77	238	9	156
비율(%)	100	79.4	36.8	10.1	31.4	1.2	20.6
폐골목	88	78	50	28	-	-	10
비율(%)	100	88.6	56.8	31.8	-	-	11.4
합계	847	681	329	105	238	9	166
비율(%)	100	80.4	38.8	12.4	28.1	1.1	19.6

주 : 임지폐재의 재활용에는 주벌목이나 수종갱신목도 일부 포함되어 있음.
 자료 : 임업 연구원(1998)

나. 임업 통계 및 한국 농촌경제 연구원 자료

표 3-4는 제4차 산림기본계획 상에 제시된 간벌재 생산 추정치로서 1998~2007년 사이 10년간 총 간벌면적 480,000ha에 간벌 생산량을 647,000m³로 잡았다. 이와 별도로 각 연도별로 발표되는 간벌량을 임업통계상에서 파악하여 보았다. 표3-5는 임지 폐재를 발생하게 하는 각종 산림작업의 현황을 나타낸 것으로 폐재 발생 현황을 알 수 있게 하는 자료이다. 이것은 숲가꾸기 공공근로사업, 일반육림사업, 벌채허가사업 등을 망라하여 산림청에서 파악하고 있는 통계이다.

표 3-4. 연도별 간벌재 생산 추정(概算 推定)

단위: 면적 1000ha, 간벌량 1000m³

	총 계	소나무류	낙엽송	잣나무	활엽수	임목축적 (m ³ /ha)	
간 벌 면 적	480	229	120	100	31		
추정 간벌량	6,470.4	3,086.9	1,617.6	1,348.0	417.9		
연도별	1998	518.4	247.3	129.6	108.0	33.5	54
	1999	547.2	261.1	136.8	114.0	35.3	57
	2000	576.0	274.8	144.0	120.0	37.2	60
	2001	604.8	288.5	151.2	126.0	39.1	63
	2002	633.6	302.3	158.4	132.0	40.9	66
	2003	662.4	316.0	165.6	138.0	42.8	69
	2004	691.2	329.8	172.8	144.0	44.6	72
	2005	720.0	343.5	180.0	150.0	46.5	75
	2006	748.8	357.2	187.2	156.0	48.4	78
2007	768.0	366.4	192.0	160.0	49.6	80	

자료: 산림청. 제4차 산림기본계획. 1997

면적상 숲가꾸기 공공근로사업의 간벌면적과 주벌의 벌채허가면적은 줄어들고 있는 반면, 벌채허가면적, 일반육림사업, 수종갱신사업상의 간벌면적은 증가하고 있는 추세로 나타나고 있음을 알 수 있다. 그에 따라서 간벌량도 대체로 증가하고 있는 것으로 파악된다. 일반육림사업 중 간벌면적은 약 66%에 이른다.

표 3-6은 한국농촌경제연구원에서 최근에 과거 5년간의 연도별 임지 폐재 발생량을 추정해 본 것이다.

표 3-5. 임지 폐제가 발생하는 각종 산림작업 현황

구분	숲가꾸기사업		일반육림사업		벌채허가사업					
	간벌 ha	천연림 보육 ha	간벌 ha	천연림 보육 ha	주벌		간벌		수종갱신	
					면적 ha	양 천m ³	면적 ha	양 천m ³	면적 ha	양 천m ³
1998	8,080	14,785	-	13	7,300	261	20,813	225	5,945	208
1999	33,730	42,153	-	31	10,173	404	26,031	242	7,200	297
2000	32,301	38,258	19,439	13,797	9,271	382	24,029	256	6,907	301
2001	26,755	2,778	17,637	16,827	9,296	463	23,734	237	8,532	395
2002	14,151	13,207	42,035	48,449	8,263	474	26,312	273	6,106	297
2003	-	-	68,000	103,000	7,754	454	25,721	337	6,292	326

자료: 산림청. 임업통계연보. 각연도

표 3-6. 각종 산림작업에서 발생하는 임지 폐제 발생량 추정

단위: m³

구분	숲가꾸기 공공근로사업	일반육림사업	벌채허가사업			합계
			주벌	간벌	수종갱신	
1999	1,874,310	766	80,874	48,597	59,502	2,064,049
2000	1,742,807	820,929	76,578	51,223	60,328	2,751,866
2001	1,346,965	851,261	92,675	47,414	78,987	2,417,302
2002	675,743	2,234,955	94,800	54,600	59,400	3,119,497
2003	-	4,223,700	90,800	67,400	65,200	4,447,100
	구성비(%)	95.0	2.0	1.5	1.5	100.0

자료: 장철수 외. 산림내 폐잔재의 현지활용을 위한 한국형 조립식 탄화 장치 개발 및 실용화 연구. 농림기술개발사업 연구보고서. 한국농촌경제 연구원. 2004.

이 자료는 산림작업과정에서 나오는 부산물을 총망라한 것인데 표 3-5에 제시된 각종 산림작업을 중심으로 계산한 것이다. 1999~2003년까지 결과를 보면 1999년에 2,064,049m³, 2003년에 4,447,100m³로서 연간 23%씩 증가할 것으로 예상하고 있다. 2003년도 간벌 추정량은 벌채허가사업에서 67,400m³인데 앞서 표 3-5에서 일반육림사업에서 간벌면적이 차지하는 비율 66%를 적용하여 일반육림사업의 양

중 간벌량을 개선하면 2,787,600m³로서 총 간벌 추정량은 약 2,850,000m³에 이를 것으로 추측할 수 있다. 이것은 총 추정량의 약 64%에 달하는 양이다. 이 양은 물론 잠재적 임지 폐재이며 향후 목재 열에너지를 생산하는데 투입될 폐재의 양을 계산하는 데에도 응용할 수 있겠다.

하지만, 본 연구에서는 연구 대상지를 강원도로 한정하여 진행하였기 때문에 사실상 전국적 추정치를 가지고 접근하기에는 어려움이 많이 있다. 다음 항에서는 대상지인 강원도 지역의 간벌량을 살펴보기로 한다.

3. 강원도 지역 임지 폐재 발생 및 활용 현황

가. 간벌재 생산 현황

강원도 전체 산림면적은 137만 ha로서 국토면적의 약 22%에 달한다(표 3-7).

표 3-7. 강원도 시군별 산림면적 및 임목축적

시군별	산림면적(ha)				임목축적	
	총면적	국유림	공유림	사유림	총량(m ³)	m ³ /ha
2004	1,371,123	758,754	101,282	511,087	128,994,410	94.1
춘천시	82,137	31,541	17,895	32,701	7,182,953	87.4
원주시	62,025	8,165	13,402	40,458	4,700,907	75.7
강릉시	83,636	45,158	4,204	34,274	9,465,510	113.0
동해시	13,781	4,544	823	8,414	1,336,352	97.0
태백시	26,843	18,039	2,167	6,637	2,337,468	87.1
속초시	8,092	1,876	252	5,964	810,026	100.1
삼척시	102,479	61,058	2,145	39,275	10,216,931	99.7
홍천군	149,641	84,562	10,237	54,842	13,833,379	92.4
횡성군	73,141	27,200	3,731	42,210	6,654,998	91.0
영월군	91,201	54,193	5,640	31,368	8,308,302	91.1
평창군	119,859	68,281	13,162	38,416	11,892,556	99.2
정선군	100,133	61,280	7,454	31,399	11,153,812	111.4
철원군	63,374	25,759	1,999	35,616	3,281,837	51.8
화천군	80,072	48,874	7,618	23,580	6,940,361	86.7
양구군	56,429	37,720	2,434	16,275	4,047,223	71.7
인제군	159,276	117,144	4,863	37,269	16,891,628	106.1
고성군	46,494	27,376	1,540	17,578	3,807,762	81.9
양양군	52,510	35,983	1,716	14,811	6,132,405	116.8

자료: 강원도청 산림정책과. 산림현황. 각년도

가장 넓은 면적을 소유하는 군은 인제군으로서 도내 전체 산림면적의 약 11.6%를 차지하며 이어서 홍천군과 평창군이 뒤를 잇고 있다. 2004년도 현재 단위면적당 임목 축적은 평균 94m³/ha로서 우리나라 평균치(약 79m³/ha)보다 상회하고 있다. 가장 많은 임목축적량을 가진 곳은 홍천군이지만, 단위면적당 가장 높은 임목축적을 보유하고 있는 곳은 양양군(116.8m³/ha)이며, 강릉시(113.0m³/ha), 정선군(111.1m³/ha)이 뒤따르고 있다.

한편, 목재 열에너지원의 주원료가 되고 있는 간벌재 생산(민유림)의 경우, 2002년부터 2004년까지 3년간 조사한 결과에 의하면 총 간벌량은 151,141m³인데 단위면적당 약 0.11m³/년씩 벌채한 것으로 나타났다. 연평균 간벌량은 50,380 m³/년으로서 이것은 시군별 평균 약 2,960m³/년에 해당한다(표 3-8).

표 3-8. 강원도 각 시군별 민유림 3년간의 간벌량의 평균값과 그의 60%값

시군별	간벌량 (2002)	간벌량 (2003)	간벌량 (2004)	계	3년 평균값	평균값의 60%
	재적(m ³)	재적(m ³)	재적(m ³)	재적(m ³)	재적(m ³ /년)	재적(m ³)
합 계	47,377	54,269	49,495	151,141	50,380	30,228
춘천시	3,184	2,910	2,995	9,089	3,030	1,818
원주시	2,793	4,150	2,638	9,581	3,194	1,916
강릉시	588	33	131	752	251	151
동해, 삼척시	77	319	374	770	257	154
태백시	0	0	0	0	0	0
속초시	590	0	0	590	197	118
홍천군	8,267	18,007	25,585	51,859	17,286	10,372
횡성군	6,212	5,484	6,816	18,512	6,171	3,703
영월군	3,975	4,390	1,314	9,679	3,226	1,936
평창군	7,999	2,370	1,555	11,924	3,975	2,385
정선군	3,601	3,290	34	6,925	2308	1,385
철원군	70	46	0	116	39	23
화천군	1,144	46	0	1,190	397	238
양구군	227	5,728	1,848	7,803	2,601	1,561
인제군	705	111	784	1,600	533	320
고성군	7,160	6,490	4,513	18,163	6,054	3,632
양양군	785	895	908	2,588	863	518

자료: 강원도청 산림정책과. 산림현황. 각년도.

기간 중 가장 많은 간벌량을 기록한 곳은 홍천군으로서 도내 전체 간벌량의 약 34.3%에 달하고 있다. 이것은 앞서 지적한 것처럼 도내에서 가장 많은 임목축적을 가진 곳이기 때문에 간벌량이 많은 것으로 평가할 수 있겠다.

나. 처리실태

강원도 지역에서 생산된 임목들의 처리 현황은 2000년 1월부터 2002년 9월까지 발생한 자료를 통해서 파악할 수 있었다. 표 3-9는 각종 육림 활동의 결과 발생

표 3-9: 간벌목 등 육림 산물 발생량 실태(2000.1~2002.9)

단위: ha, m³, (%)

발생 유형별	구분	발생면적	총발생량	수집량	산원 적치량	산원 방치량
	합계	107,274	1,255,984	616,456	551,548	87,980
벌채지	소계	12,041	477,077 (38.0)	352,194 (57.1)(73.8)	122,659 (22.2)	2,224 (2.5)
	개벌	6,089	365,499	265,395	98,271	1,833
	생산간벌	4,308	84,201	68,089	15,990	122
	기타벌채	1,644	27,377	18,710	8,398	269
육림	소계	57,474	300,997 (24.0)	101,389 (16.5)(33.7)	153,197 (27.8)	46,411 (52.8)
	친연림보육	33,515	155,584	18,224	111,928	25,432
	무육간벌	23,959	145,413	83,165	41,269	20,979
산불 피해지	소계	2,878	45,644 (3.6)	16,310 (2.6)(35.7)	29,258 (5.3)	76 (0.0)
	조림지정리	1,598	29,101	13,928	15,097	76
	고사목	1,280	16,543	2,382	14,161	
병해충 방제	소계	33,571	387,421 (30.8)	105,264 (17.1)(27.2)	243,078 (44.1)	39,079 (44.5)
	피해목벌채	812	54,708	47,732	6,150	826
	위생간벌	32,759	332,713	57,532	236,928	38,253
목적 사업지	소계	1,310	44,845 (3.6)	41,299 (6.7)(92.1)	3,356 (0.6)	190 (0.2)
	형질변경	892	21,136	18,001	3,135	
	임도시설	88	4,437	4,181	171	85
	도로개설	89	1,949	1,825	19	105
	기타	241	17,323	17,292	31	

주: 총발생량란의 유형별 소계 괄호안 숫자는 총발생량 중 구성비임. 수집량란의 유형별 소계란에 있는 왼쪽 괄호안 숫자는 총수집량 중 구성비, 오른쪽 숫자는 유형별 총발생량 중 수집된 양을 의미함.

자료: 강원도청 산림정책과

한 임목 생산량을 토대로 작성한 것이다. 총발생량은 일반 벌채지에서 38%, 병해충 방제지에서 30.8%, 육림작업에서 24%에서 나온다. 총수집량의 57.1%는 일반 벌채지에서 나오고 그 밖에 육림작업(16.5%), 병해충 방제지(17.1%) 등에서 산출된다. 그러나, 표 3-10에서 보는 바와 같이 총발생량의 49.1%밖에 수집되지 않고 있는 실정이다. 특히, 국유림도 높은 비율로 수집되는 것은 아니지만, 민유림에서 덜 수집되고 있음을 알 수 있게 한다.

수집되지 않고 있는 것은 산림 속에 쌓아 놓거나(산원적치), 그냥 방치(산원방치)되고 있다. 일반 벌채지(73.8%)와 목적 사업지(92.1%)에서는 8~9할이 수집되지만 그 밖의 경우엔 3할 정도에 그치고 있다.

표 3-10: 총발생량 중 수집 현황

단위: m³

구분	총발생량(A)	수집량(B)	비율%(B/A)
계	1,255,984	616,456	49.1
국유림	234,613	127,003	54.1
민유림	1,021,371	489,453	47.9

한편, 표 3-11에서 보는 바와 같이 수집된 것들은 국유림의 경우 거의 원목으로 이용되고 민유림의 경우엔 약 63%가 원목으로 활용된다. 칩으로 생산되는 경우는 약 10%내외이다(표 3-11).

표 3-11. 수집량의 활용 현황

소유별 구성비	총수집량	원목	톱밥	칩	목가공	임산연료 등	
수집량m ³	610,325	412,563	17,319	51,943	6,693	121,807	
구성비%	100.0	67.6	2.8	8.5	1.1	20.0	
국 유 림	m ³	127,003	109,951	10,676	205	813	5,358
	%	100.0	86.6	8.4	0.2	0.6	4.2
민 유 림	m ³	483,222	302,525	6,635	51,738	5,879	116,445
	%	100.0	62.6	1.4	10.7	1.2	24.1

자료: 강원도청 산림정책과

이상에서 살펴본 바와 같이 임지에서 생산되는 임목들은 거의 대부분 수집되지 않고 있고 방치 내지 적치되어 있다. 때에 따라서 산불 발생시 불쏘시개의 역할을 할 수 있을 뿐만 아니라, 에너지 자원의 낭비이기도 하다. 수집되지 않고 있는 이유는 여러 가지로 파악된다. 그 중에서도 가장 설득력 있는 사항은 높은 인건비, 활용 기술 미진 등일 것이다.

제2절 열에너지 공장 입지 선정

1. 기본 전제

가. 칩 보일러

목재 열에너지 공장은 열에너지 생산에 투입되는 원료의 형태에 따라서 화목 보일러 열공장, 칩 보일러 열공장, 펠릿 보일러 열공장으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 현실적으로 볼 때 현재 칩 생산이 진행되고 있기 때문에 칩 보일러 열공장을 전제로 입지 선정 절차를 진행하고자 한다. 그러나, 원료의 형태가 무엇이 되든지 간에 크게 상관은 없으리라 본다.

참고로 각 원료 형태간의 SWOT 분석한 결과를 소개하면 다음 표와 같다. 칩은 펠릿과 비교하여 가공이 간단한 반면 부피 대비 열량이 낮다. 또한 칩은 저장에 편리한 반면 운송비가 비싸며, 펠릿의 경우에는 저장과 운반이 매우 편리한 반면, 제조공정이 복잡하고 그만큼 가격도 비싼 단점을 가지고 있다. 그러나 무엇보다도 펠릿은 부피가 작고 열량이 높다.

외국의 경우, 아직까지는 목재칩이 펠릿보다 목재연료로 더 많은 사례에서 사용되고 있는 것으로 조사되었다. 이는 산림 부산물에 의한 난방용 에너지 공급 자체가 아직 시작단계에 있으며, 그나마 적용된 사례지들이 대부분 제재소, 목재가공공장, 목재집하장 등 대규모 시설로서 처치 곤란한 다량의 목재칩이 항시 생산되는 곳에 주로 도입되어져 있기 때문인 것으로 판단된다.

표 3-12. 열에너지 원료의 형태별 SWOT분석

구분	내부환경		외부환경	
	강점(S)	약점(W)	기회(O)	위협(T)
화목	-손쉬운 가공성 -부피에 비해 비교적 높은 열량	-함수율 변화 -많은 재 생성 -규격의 다양성 -품질 차이 -원료 확보 곤란	-낮은 가공비 -기존 화목 보일러 기술 존재 -간단한 가공성	-연료 공급의 번거로움 -저장 공간 요구 -연료확보 불안정
목재 칩	-비교적 간단한 가공성 -저장 편리성	-부피에 비해 낮은 열량 -함수율변화 -원료 운송 및 저장 비용 비쌈	-연료 공급 자동화 가능	-칩 제조기 필요 -연료저장공간 -별도의 보일러 및 연료 공급 장치 개발 필요
펠릿	-저장,운반 편리성 -부피대비 고열량 -낮은 함수율유지 -완전연소 가능	-소재 자체로서의 단점은 거의 없음	-연료 공급 자동화 및 소형화 가능	-제조공정 복잡성 -펠릿 제조기필요 -제조비용 과다 -연료공급장치 필요

나. 목재 열공장

열공장이란 원료인 칩, 화목(여러가지 형태의 폐재 포함), 펠릿 등을 공장 자체에서 생산하거나 원격지에서 운반해 와서 이를 연소시켜 대용량 보일러를 가동하여 지역 난방 형식으로 가정이나 기관 등에 원격 공급하는 시설을 말한다. 하지만 본 연구에서는 원료를 공장 자체에서 생산하는 것보다는 간벌재 등을 생산하는 현장에서 칩으로 가공하여 열공장으로 운반하는 경우를 전제로 한다.

2. 일반적인 입지 조건

가. 입지 결정 이론

일반적으로 산업입지의 결정에는 다양한 요소들¹⁾이 영향을 미친다. 개별 산업의 특성에 따라 이들 각각의 요소들이 모두 중요하게 작용하기도 하고, 특정 요소에 의해 입지 결정이 크게 좌우되기도 한다.²⁾

산업입지이론은 이러한 여러 입지결정 요소들 가운데 핵심 요소를 골라내어 입

1) 산업입지 결정요소 : 토지, 자본, 자원과 노동력, 시장, 가격, 교통비, 집적효과, 연계효과, 외부경제 요인, 공공정책, 환경요인, 법적 제약 등

2) 전도일, 지역경제학의 이해, 교우사, 2001.

지를 설명하는데 고전적 입지이론과 행태적 입지이론으로 구분한다. 고전적 입지이론은 기존의 농업 입지이론에 근거하여 발전한 이론으로서, 수송비를 최소화하는 방향에서 입지결정이 이루어진다는 비용 중심의 분석이론이다. 입지이론은 최소비용이론, 최대수입이론, 최대이윤이론으로 불린다.

최소비용이론이란 비용이 최소화되는 입지를 선택하는 것이 바로 이윤이 최대화되는 지점이라는 원리를 제시한다. 산업입지는 결국 수송비가 가장 적게 드는 곳에 입지한다고 주장하고 있다. 최대수입이론은 최소비용이론에서 다루지 않은 수요를 감안한 입지선정 방법이다. 구매자가 넓은 지역에 분산되어 있고, 수요의 강도도 지역마다 다르다고 전제한다. 총비용보다는 많은 수입을 내는 수입 극대화 지점에 입지하도록 하는 것이 현실적이라고 본다. 최대이윤이론은 최대 이윤을 내는 곳을 최적입지로 선정하는 이론이다. 수송비, 가공비, 수요 요인, 비용 절감 등을 입지요인으로 든다. 일반적으로 시장 중심지에 가깝게 입지하는 것이 선호되지만, 원료의 부패성이 높거나 원료 수송비가 완제품 수송비보다 높을 경우 원료산지에 입지하는 것이 좋다고 본다.

한편, 산업의 특성에 따라서 입지유형은 원료 지향적 산업입지, 소비시장 지향적 산업입지, 중간지점지향 산업입지, 자유입지형 산업입지로 나눌 수 있다. 칩 보일러 열공장은 목재를 원료로 가공하는 것이기 때문에 원료 지향적 산업 입지 시설이다. 따라서 다른 여건이 비슷하다면 수송비(운반비) 요소가 무엇보다 중요한 입지결정 요소로 다루어져야 할 것이다.

나. 일반적인 입지 조건

칩 보일러 열공장의 입지는 다음과 같은 입지결정 기준들을 만족할 수 있어야 한다. 즉, 원료 수급 가능성, 부지확보 가능성, 부지의 지리적·경제적 조건, 유통 효율성, 교통의 편의성, 소음 및 먼지 등 관련 규제 상황 등의 조건을 만족하는 곳이 적지가 될 수 있다.

원료수급 가능성은 무엇보다도 중요한 조건이다. 공장이 가동되는 동안 원료가 끊임없이 공급되는 것이 보장되어야 한다. 부지확보 가능성은 충분한 용지를 확보할 수 있는 점을 고려해야 함을 의미한다. 부지의 지리적·경제적 조건도 고려되어야 한다. 무거운 화물을 적재한 대형차량의 출입이 대부분이므로 진입로나

접근로가 지나치게 경사지이거나 굴곡이 심하다면 수송 효율면에서 매우 불리하다. 그러므로 너무 산간 벽지에 위치해도 좋지 않다. 이 밖에 용수, 전력, 상하수도, 통신 등의 기반시설이 많을수록 입지 결정시 적합한 부지로 평가될 수 있다. 그런 의미에서 가능한 도로주변에 입지시키는 것이 좋을 것이다.

3. 공장 입지 선정

가. 선정 방법 및 사용 프로그램 소개

입지 선정은 강원도내 18개 시군을 대상으로 최소비용결정이론을 택하여 진행하였다. 최소비용 결정에 도움을 주는 기성품 소프트웨어를 활용하여 최적 입지를 선정하는 방법을 수행하였다.

여기에 사용한 소프트웨어는 미국 오래곤 주립대의 정우담과 John Sessions가 개발한 <Network 2000>이라는 프로그램이다. 이 프로그램은 목재 생산물의 수송문제를 해결하기 위해 가변비용(Variable cost)와 고정비용(Fixed cost) 등의 변수를 이용하여 운반비를 최소로 하는 최적 루트를 산출하고자 개발한 프로그램이다.

Network 2000은 크게 LinkEditor, SaleEditor, FindSolution, ShowResults로 구성되어 있다. LinkEditor는 목적하고 있는 연결망에 대한 정보를 기록하는 창이다. LinkEditor의 구성은 시작점(from node label)과 목적점(To node label), 구간의 가변비용(Variable cost)-링크에 걸린 유닛당 이동 가격-, 그리고 고정 비용(Fixed cost)으로 구성되어 있다. 다음과 같은 구성을 목적과 조건에 맞게 제작하면 링크정보의 입력은 완성된다. SaleEditor는 생산지와 목적지(목재칩 공장)를 정하고 생산량을 기록하는 창이다. SaleEditor의 구성은 생산지(Entrynode), 목적지(Destination node), 목재 생산량(Timber volume), 생산년도(Harvest Year)로 구성되어 있다. Find Solution은 지금까지 기록한 정보를 가지고 최적의 루트를 산출하는 창으로서 결과를 계속해서 반복적으로 다른 확률을 가지고 분석하게 되어있어 실수를 방지 할 수 있게 되어 있다. ShowResult창은 지금까지 전개해온 결과물을 정리해서 보여 주는 곳으로서 전체비용 뿐만 아니라 각 루트별 비용 그리고 루트를 단순하지만 그래픽화할 수 있는 기능도 가지고 있다. 본 연구에서

는 거리변수와 단위 수송변수를 이용하여 최적 경로 산출뿐만 아니라 생산 이동 시 소모되는 비용을 산출하였다.

나. 입력에 사용한 생산량

본 연구에서 대상지는 강원도 지역으로 한정하였으며 도내에서 생산되는 간벌재를 대상으로 하였다. 표 3-8에 제시한 각 시군의 간벌량 중 60%정도가 칩으로 생산될 가능성이 있는 것으로 전제하였다. 이 같은 전제는 표 3-10에 제시한 것처럼, 강원도내에서 간벌재는 약 50% 밖에 집계되지 않고 있는데 향후 이것을 전량 집계하여 칩으로 가공하고, 또 표 3-11에서 보는 것처럼 현재 집계되는 것의 10%가 칩으로 가공되고 있으므로 양자를 합하면 60%가 된다. 즉, 강원도 간벌량의 60%를 칩으로 생산한다고 가정하는 것이다(사실 생산량으로 무엇을, 어떻게 전제하든 큰 상관이 없다).

다. 시발점 및 목적지

생산물은 각각의 시군 거점(지도상의 시군청 위치 표시점)에서 산물을 수집 후 이동하는 것을 전제로 하였다. 대부분의 생산물은 시군 전체에 산포되어 있어 타 시군으로 이송하기 위해서는 시발점이 있어야 하는데 이를 위해 각 시군에서 대표성을 가지고 있는 지점에 위치한 국도 또는 지방도의 교차점 즉 결절점(node)을 선정하였다.

연료 운반을 위한 수송 노선은 국도를 대상으로 하였으나 중요한 연결을 위하여 지방도 일부를 포함하였다. 노선망은 결절점과 결절점 사이를 하나의 구간(link)로 정하였다. 열공장의 후보지, 즉 목적지는 18개 시군 전체를 대상으로 하였고 각 시군의 대표적인 거점(지도상의 시군 위치 표시점)을 열공장 후보지로 하였다.

라. 분석 절차

최적 경로 모형 분석을 위하여 강원도내 분포하고 있는 국도와 일부 지방도를 포함한 간선도로내에 있는 결절점(node)과 구간(Link)정보를 추출한다. 결절점 중에서 각시군의 생산 거점이 될 수 있고 열공장 후보지가 될 수 있는 결절점을

정하여 순서대로 A에서부터 Q 까지 17개 지역을 결정하고 나머지 결절점은 임의로 숫자를 부여하였다. 강원도의 시군은 모두 18개 지역이나 동해와 삼척을 묶어 생산 거점을 17개 지역으로 결정하였다(표 3-13).

표 3-13. 시군별 생산거점(시발점) 및 열공장(결절점) 기호

번호	시·군명	결절점	번호	시·군명	결절점
1	인제군	A	10	횡성군	J
2	홍천군	B	11	양양군	K
3	평창군	C	12	원주시	L
4	동해·삼척시	D	13	양구군	M
5	정선군	E	14	고성군	N
6	강릉시	F	15	철원군	O
7	영월군	G	16	태백시	P
8	춘천시	H	17	속초시	Q
9	화천군	I			

동해시와 삼척시의 경우 생산량도 적을 뿐만 아니라 서로 간선도로를 공유하고 있고 최적 생산지도 같은 위치에 존재하고 있어 두 지역을 한 지역으로 묶어 산정하게 되었다. 구간(link)은 결절점과 결절점 사이를 하나의 단위로 나타내는 것을 의미하며 구간의 거리는 수치지도를 이용한 GIS 프로그램과 구적기를 이용하여 산출하였다(표 3-14).

구간 당 단위 비용은 25ton 카고 트럭을 이용할 경우 1톤의 간벌목을 1km 수송하는데 지출되는 가격을 단위 비용으로 하였다. 단위는 ₩/ton/km를 사용하였다. 구간정보 작성 후 간벌재 생산점과 목표점(열공장)을 정해 두 지역간의 최단거리, 생산비용과 평균비용을 산출한다. 강원도 지역의 간벌재 생산량을 중심으로 열공장 거점과 생산점을 각 군별로 결절점에 정한다. 각각의 결절점은 생산지(시발지)가 되기도 하고 목적지(열공장)이 되기도 한다. 이후 생산점(Entry node)에는 생산되는 거점을 A에서 Q까지 입력하고 목표점(Destination node)을 입력한다(표 3-14). 예를 들어 인제(A)에 열공장을 만들고 다른 생산지에서 오는 물량과 비용을 계산 할 경우 목적지에는 인제(A)를 입력한다.

표 3-14. 결절 구간(link)별 거리

from	to	Dist(km)									
3	O	2.2	A	32	31.9	H	43	5.7	79	63	20.5
O	16	15.9	91	92	7.3	50	H	7.7	63	K	31.7
O	10	9.8	91	C	10.7	49	47	7.2	F	K	31.9
10	17	7.7	C	105	21.8	B	50	24.7	81	F	13.7
5	17	10.3	103	105	32.4	66	H	25.7	81	80	7.9
5	26	22.4	105	116	7.9	H	M	43.4	80	79	22.6
25	26	2.2	116	G	22.7	B	66	9.8	108	80	27.5
26	I	13.3	116	101	27.1	85	B	14.5	108	E	23.3
18	I	18.6	92	E	26.5	94	B	24.3	D	108	31.4
I	43	24.7	101	E	8.2	94	93	12.9	157	D	44.8
43	50	7.1	79	92	5.5	J	94	5.2	155	D	38.8
43	H	5.7	63	79	20.5	L	J	15.3	P	108	42
H	50	7.7	K	63	31.7	97	J	19.1	143	101	21.6
47	49	7.2	K	F	31.9	L	110	21.8	P	143	29
50	B	24.7	F	81	13.7	123	L	22.9	155	P	6
H	66	25.7	80	81	7.9	124	L	20.5	157	155	35.2
M	H	43.4	79	80	22.6	L	103	17.3	K	N	42.2
66	B	9.8	80	108	27.5	103	97	10.9	A	N	42.8
B	85	14.5	E	108	23.3	66	39	27.3	7	N	27.3
B	94	24.3	108	D	31.4	39	22	17.6	Q	N	24.9
93	94	12.9	D	157	44.8	39	37	16.2	A	7	14.7
94	J	5.2	D	155	38.8	31	22	18.2	K	Q	17.3
J	L	15.3	108	P	42	37	31	3.5	Q	7	19.6
J	97	19.1	101	143	21.6	M	6	18.5	81	D	45.6
110	L	21.8	143	P	29	68	66	19.2	D	81	45.6
L	123	22.9	P	155	6	J	68	33.9	G	141	20
L	124	20.5	155	157	35.2	70	37	49.9	141	G	20
103	L	17.3	N	7	27.3	70	68	16.4	141	143	17
97	103	10.9	N	Q	24.9	71	70	8.8	143	141	17
39	66	27.3	7	A	14.7	71	32	50.8	141	154	40.1
22	39	17.6	Q	K	17.3	91	71	19.3	154	141	40.1
37	39	16.2	7	Q	19.6	32	A	31.9	L	G	59.8
22	31	18.2	16	9	15.9	92	91	7.3	G	L	59.8
31	37	3.5	10	9	9.8	C	91	10.7	97	C	26.5
6	M	18.5	17	10	7.7	105	C	21.8	C	97	26.5
66	68	19.2	17	5	10.3	105	103	32.4	22	M	5.9
68	J	33.9	26	5	22.4	116	105	7.9	M	22	5.9
37	70	49.9	26	25	2.2	G	116	22.7	A	31	6.6
68	70	16.4	I	26	13.3	101	116	27.1	31	A	6.6
70	71	8.8	I	18	18.6	E	92	26.5	32	K	6.9
32	71	50.8	43	I	24.7	E	101	8.2	K	32	6.9
71	91	19.3	50	43	7.1	92	79	5.5			

그러나 본 프로그램은 A에서 A로 가는 형태의 루트를 인식 할 수 없어 가상의 목표점을 설정해야 한다. 그리고 그 가상의 목표지점까지의 수송비용을 유한한 수치(1km에 해당하는 비용)로 입력해 계산하였다. 이와 같은 방법으로 가상의 GoalA(인제)로 모든 산물이 모이도록 설정하였다. 생산량의 경우는 각 시 군의

간벌재 생산량의 60%로 하였다. 열공장의 최적 위치를 찾아내기 위해 각 17개 거점 중 한 지역을 목표점으로 정하고 목표점을 포함한 17개 지역을 생산점으로 설정해 최적 루트와 소요 비용을 산출한다. 위와 같은 방법으로 17개 지역을 반복하여 비용 산출 및 최적 루트를 구한다. 이후 가장 비용이 적게 나온 시 또는 군을 선정하기 위해 서로를 비교 분석한다.

표 3-15. 각 거점별 간벌재 생산량(60%값) 및 목표점 입력표

Entry node	Destination node	Volume(m ³)	harvest year
A	Goal목표점	320	2004
B	Goal목표점	10,372	2004
C	Goal목표점	2,385	2004
D	Goal목표점	154	2004
E	Goal목표점	1,385	2004
F	Goal목표점	151	2004
G	Goal목표점	1,936	2004
H	Goal목표점	1,818	2004
I	Goal목표점	238	2004
J	Goal목표점	3,703	2004
K	Goal목표점	518	2004
L	Goal목표점	1,916	2004
M	Goal목표점	1,561	2004
N	Goal목표점	3,632	2004
O	Goal목표점	23	2004
P	Goal목표점	0	2004
Q	Goal목표점	118	2004

마. 결과

강원도 지역에 분포하고 있는 국도와 일부 지방도의 결절점과 구간을 분석한 결과 65개의 결절점과 167개의 구간으로 되어 있다(그림 3-1). Network 2000에서는 같은 구간이라도 방향성을 가지고 있어 필요한 구간에는 역방향과 순방향을

각자 다른 셀에 입력하였다. 구간의 단위 수송비용은 거리와 25톤 트럭의 운송 비용을 이용하여 톤당 킬로미터 단위 수송비를 산출하였다. 트럭 운송비용은 2005년 기계운반 적산 자료를 기본으로 하여 시간당 평균 50km를 이동한다는 조건을 가지고 산출한 결과 60₩/ton/km였다. 이 결과로 나온 수치를 각 구간의 거리에 곱하여 구간별 단위 소요비용을 산출하였다(표 3-16, 그림 3-1).



그림 3-1. 강원도 도로망과 시군별 대표 결절점

표 3-16. 구간별 소요 비용

₩/ton/km

from node	to node	Variable cost	Fixed cost	from node	to node	Variable cost	Fixed cost	from node	to node	Variable cost	Fixed cost
3	O	132	0	F	81	822	0	71	70	528	0
O	16	954	0	80	81	474	0	71	32	3,048	0
O	10	588	0	79	80	1,356	0	91	71	1,158	0
10	17	462	0	80	108	1,650	0	32	A	1,914	0
5	17	618	0	E	108	1,398	0	92	91	438	0
5	26	1,344	0	108	D	1,884	0	C	91	642	0
25	26	132	0	D	157	2,688	0	105	C	1,308	0
26	I	798	0	D	155	2,328	0	105	103	1,944	0
18	I	1,116	0	108	P	2,520	0	116	105	474	0
I	43	1,482	0	101	143	1,296	0	G	116	1,362	0
43	50	426	0	143	P	1,740	0	101	116	1,626	0
43	H	342	0	P	155	360	0	E	92	1,590	0
H	50	462	0	155	157	2,112	0	E	101	492	0
47	49	432	0	N	7	1,638	0	92	79	330	0
50	B	1,482	0	N	Q	1,494	0	79	63	1,230	0
H	66	1,542	0	7	A	882	0	63	K	1,902	0
M	H	2,604	0	Q	K	1,038	0	F	K	1,914	0
66	B	588	0	7	Q	1,176	0	81	F	822	0
B	85	870	0	16	9	954	0	81	80	474	0
B	94	1,458	0	10	9	588	0	80	79	1,356	0
93	94	774	0	17	10	462	0	108	80	1,650	0
94	J	312	0	17	5	618	0	108	E	1,398	0
J	L	918	0	26	5	1,344	0	D	108	1,884	0
J	97	1,146	0	26	25	132	0	157	D	2,688	0
110	L	1,308	0	I	26	798	0	155	D	2,328	0
L	123	1,374	0	I	18	1,116	0	P	108	2,520	0
L	124	1,230	0	43	I	1,482	0	143	101	1,296	0
103	L	1,038	0	50	43	426	0	P	143	1,740	0
97	103	654	0	H	43	342	0	155	P	360	0
39	66	1,638	0	50	H	462	0	157	155	2,112	0
22	39	1,056	0	49	47	432	0	K	N	2,532	0
37	39	972	0	B	50	1,482	0	A	N	2,568	0
22	31	1,092	0	66	H	1,542	0	7	N	1,638	0
31	37	210	0	H	M	2,604	0	Q	N	1,494	0
6	M	1,110	0	B	66	588	0	A	7	882	0
66	68	1,152	0	85	B	870	0	K	Q	1,038	0
68	J	2,034	0	94	B	1,458	0	Q	7	1,176	0
37	70	2,994	0	94	93	774	0	81	D	2,736	0
68	70	984	0	J	94	312	0	D	81	2,736	0
70	71	528	0	L	J	918	0	G	141	1,200	0
32	71	3,048	0	97	J	1,146	0	141	G	1,200	0
71	91	1,158	0	L	110	1,308	0	141	143	1,020	0
A	32	1,914	0	123	L	1,374	0	143	141	1,020	0
91	92	438	0	124	L	1,230	0	141	154	2,406	0
91	C	642	0	L	103	1,038	0	154	141	2,406	0
C	105	1,308	0	103	97	654	0	L	G	3,588	0
103	105	1,944	0	66	39	1,638	0	G	L	3,588	0
105	116	474	0	39	22	1,056	0	97	C	1,590	0
116	G	1,362	0	39	37	972	0	C	97	1,590	0
116	101	1,626	0	31	22	1,092	0	22	M	354	0
92	E	1,590	0	37	31	210	0	M	22	354	0
101	E	492	0	M	6	1,110	0	A	31	396	0
79	92	330	0	68	66	1,152	0	31	A	396	0
63	79	1,230	0	J	68	2,034	0	32	K	414	0
K	63	1,902	0	70	37	2,994	0	K	32	414	0
K	F	1,914	0	70	68	984	0				

각 시군별 민유림 간벌재 생산량의 경우 연간 평균량의 60%정도를 칩으로 활용하는 것으로 보았다. 평균량의 60%중에서 가장 많이 생산된 지역은 홍천으로서 10,372m³이고 다음이 횡성으로서 3,703m³이다. 전체적으로 홍천에 간벌재 생산량의 약 1/3이 몰려 있으며 3년 동안 생산이 없는 태백시도 있었다(표 3-15). 구간별 소요 비용과 간벌재 생산량 그리고 17개의 열공장 후보지를 이용해 17개 지역의 최적 생산 비용을 산출한 결과는 표 3-17 ~ 표3-33과 같다.

표 3-17. 인제 최적 노선망

지역	생산량(m ³)	최 적 노 선
홍천	10,372	B -> 66 -> 39 -> 37 -> 31 -> A -> GoalA
횡성	3,702	J -> 94 -> B -> 66 -> 39 -> 37 -> 31 -> A -> GoalA
고성	3,633	N -> 7 -> A -> GoalA
평창	2,385	C -> 91 -> 71 -> 70 -> 37 -> 31 -> A -> GoalA
영월	1,936	G -> 116 -> 105 -> C -> 91 -> 71 -> 70 -> 37 -> 31 -> A -> GoalA
원주	1,916	L -> J -> 94 -> B -> 66 -> 39 -> 37 -> 31 -> A -> GoalA
춘천	1,818	H -> M -> 22 -> 31 -> A -> GoalA
양구	1,561	M -> 22 -> 31 -> A -> GoalA
정선	385	E -> 92 -> 91 -> 71 -> 70 -> 37 -> 31 -> A -> GoalA
양양	518	K -> 32 -> A -> GoalA
인제	320	A -> GoalA
화천	238	I -> 43 -> H -> M -> 22 -> 31 -> A -> GoalA
동해삼척	154	D -> 81 -> F -> K -> 32 -> A -> GoalA
강릉	150	F -> K -> 32 -> A -> GoalA
속초	118	Q -> 7 -> A -> GoalA
철원	23	O -> 10 -> 17 -> 5 -> 26 -> I -> 43 ->H->M ->22 ->31->A->GoalA
태백	0	P -> 108 -> 80 -> 81 -> F -> K -> 32 -> A -> GoalA

Total discounted variable cost: 141,297,717.79 (4674.24 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 141,297,717.79 (4674.24 ₩/unit)

표 3-18. 흥천 최적 노선망

지역	생산량(㎡)	최적노선
흥천	10,372	B → GoalB
횡성	3,702	J → 94 → B → GoalB
고성	3,633	N → 7 → A → 31 → 37 → 39 → 66 → B → GoalB
평창	2,385	C → 97 → J → 94 → B → GoalB
영월	1,936	G → L → J → 94 → B → GoalB
원주	1,916	L → J → 94 → B → GoalB
춘천	1,818	H → 50 → B → GoalB
양구	1,561	M → 22 → 39 → 66 → B → GoalB
정선	385	E → 92 → 91 → 71 → 70 → 68 → 66 → B → GoalB
양양	518	K → 32 → A → 31 → 37 → 39 → 66 → B → GoalB
인제	320	A → 31 → 37 → 39 → 66 → B → GoalB
화천	238	I → 43 → 50 → B → GoalB
동해삼척	154	D → 108 → E → 92 → 91 → 71 → 70 → 68 → 66 → B → GoalB
강릉	150	F → 81 → 80 → 79 → 92 → 91 → 71 → 70 → 68 → 66 → B → GoalB
속초	118	Q → 7 → A → 31 → 37 → 39 → 66 → B → GoalB
철원	23	O → 10 → 17 → 5 → 26 → I → 43 → 50 → B → GoalB
태백	0	P → 143 → 101 → E → 92 → 91 → 71 → 70 → 68 → 66 → B → GoalB

Total discounted variable cost: 86,244,525.93 (2853.04 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 86,244,525.93 (2853.04 ₩/unit)

표 3-19. 평창 최적 노선망

지역	생산량(㎡)	최적노선
흥천	10,372	B → 94 → J → 97 → C → GoalC
횡성	3,702	J → 97 → C → GoalC
고성	3,633	N → Q → K → 63 → 79 → 92 → 91 → C → GoalC
평창	2,385	C → GoalC
영월	1,936	G → 116 → 105 → C → GoalC
원주	1,916	L → 103 → 97 → C → GoalC
춘천	1,818	H → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → C → GoalC
양구	1,561	M → 22 → 31 → 37 → 70 → 71 → 91 → C → GoalC
정선	385	E → 92 → 91 → C → GoalC
양양	518	K → 63 → 79 → 92 → 91 → C → GoalC
인제	320	A → 31 → 37 → 70 → 71 → 91 → C → GoalC
화천	238	I → 43 → H → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → C → GoalC
동해삼척	154	D → 108 → E → 92 → 91 → C → GoalC
강릉	150	F → 81 → 80 → 79 → 92 → 91 → C → GoalC
속초	118	Q → K → 63 → 79 → 92 → 91 → C → GoalC
철원	23	O → 10 → 17 → 5 → 26 → I → 43 → H → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → C → GoalC
태백	0	P → 143 → 101 → E → 92 → 91 → C → GoalC

Total discounted variable cost: 130,828,428.25 (4327.91 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 130,828,428.25 (4327.91 ₩/unit)

표 3-20. 동해삼척 최적 노선망

지역	생산량(㎡)	최 적 노 선
홍천	10,372	B → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → 92 → E → 108 → D → GoalD
횡성	3,702	J → 97 → C → 91 → 92 → E → 108 → D → GoalD
고성	3,633	N → Q → K → F → 81 → D → GoalD
평창	2,385	C → 91 → 92 → E → 108 → D → GoalD
영월	1,936	G → 141 → 143 → P → 155 → D → GoalD
원주	1,916	L → 103 → 105 → 116 → 101 → E → 108 → D → GoalD
춘천	1,818	H → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → 92 → E → 108 → D → GoalD
양구	1,561	M → 22 → 31 → A → 32 → K → F → 81 → D → GoalD
정선	385	E → 108 → D → GoalD
양양	518	K → F → 81 → D → GoalD
인제	320	A → 32 → K → F → 81 → D → GoalD
화천	238	I → 43 → H → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → 92 → E → 108 → D → GoalD
동해삼척	154	D → GoalD
강릉	150	F → 81 → D → GoalD
속초	118	Q → K → F → 81 → D → GoalD
철원	23	O → 10 → 17 → 5 → 26 → I → 43 → H → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → 92 → E → 108 → D → GoalD
태백	0	P → 155 → D → GoalD

Total discounted variable cost: 256,889,282.74 (8498.11 ₩/unit)

Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)

Total discounted variable and fixed cost: 256,889,282.74 (8498.11 ₩/unit)

표 3-21. 정선 최적 노선망

지역	생산량(㎡)	최 적 노 선
홍천	10,372	B → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → 92 → E → GoalE
횡성	3,702	J → 97 → C → 91 → 92 → E → GoalE
고성	3,633	N → Q → K → 63 → 79 → 92 → E → GoalE
평창	2,385	C → 91 → 92 → E → GoalE
영월	1,936	G → 116 → 101 → E → GoalE
원주	1,916	L → 103 → 105 → 116 → 101 → E → GoalE
춘천	1,818	H → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → 92 → E → GoalE
양구	1,561	M → 22 → 31 → 37 → 70 → 71 → 91 → 92 → E → GoalE
정선	385	E → GoalE
양양	518	K → 63 → 79 → 92 → E → GoalE
인제	320	A → 31 → 37 → 70 → 71 → 91 → 92 → E → GoalE
화천	238	I → 43 → H → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → 92 → E → GoalE
동해삼척	154	D → 108 → E → GoalE
강릉	150	F → 81 → 80 → 108 → E → GoalE
속초	118	Q → K → 63 → 79 → 92 → E → GoalE
철원	23	O → 10 → 17 → 5 → 26 → I → 43 → H → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → 92 → E → GoalE
태백	0	P → 143 → 101 → E → GoalE

Total discounted variable cost: 175,760,307.63 (5,814.34 ₩/unit)

Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)

Total discounted variable and fixed cost: 175,760,307.63 (5,814.34 ₩/unit)

표 3-22. 강릉 최적 노선망

지역	생산량(㎡)	최적 노선
홍천	10,372	B → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → 92 → 79 → 80 → 81 → F → GoalF
횡성	3,702	J → 97 → C → 91 → 92 → 79 → 80 → 81 → F → GoalF
고성	3,633	N → Q → K → F → GoalF
평창	2,385	C → 91 → 92 → 79 → 80 → 81 → F → GoalF
영월	1,936	G → 116 → 105 → C → 91 → 92 → 79 → 80 → 81 → F → GoalF
원주	1,916	L → 103 → 97 → C → 91 → 92 → 79 → 80 → 81 → F → GoalF
춘천	1,818	H → M → 22 → 31 → A → 32 → K → F → GoalF
양구	1,561	M → 22 → 31 → A → 32 → K → F → GoalF
정선	385	E → 108 → 80 → 81 → F → GoalF
양양	518	K → F → GoalF
인제	320	A → 32 → K → F → GoalF
화천	238	I → 43 → H → M → 22 → 31 → A → 32 → K → F → GoalF
동해삼척	154	D → 81 → F → GoalF
강릉	150	F → GoalF
속초	118	Q → K → F → GoalF
철원	23	O → 10 → 17 → 5 → 26 → I → 43 → H → M → 22 → 31 → A → 32 → K → F → GoalF
태백	0	P → 108 → 80 → 81 → F → GoalF

Total discounted variable cost: 199,439,580.78 (6,597.62 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 199,439,580.78 (6,597.62 ₩/unit)

표 3-23. 영월 최적 노선망

지역	생산량(㎡)	최적 노선
홍천	10,372	B → 94 → J → L → G → GoalG
횡성	3,702	J → L → G → GoalG
고성	3,633	N → Q → K → 63 → 79 → 92 → 91 → C → 105 → 116 → G → GoalG
평창	2,385	C → 105 → 116 → G → GoalG
영월	1,936	G → GoalG
원주	1,916	L → G → GoalG
춘천	1,818	H → 50 → B → 94 → J → L → G → GoalG
양구	1,561	M → 22 → 39 → 66 → B → 94 → J → L → G → GoalG
정선	385	E → 101 → 116 → G → GoalG
양양	518	K → 63 → 79 → 92 → 91 → C → 105 → 116 → G → GoalG
인제	320	A → 31 → 37 → 70 → 71 → 91 → C → 105 → 116 → G → GoalG
화천	238	I → 43 → 50 → B → 94 → J → L → G → GoalG
동해삼척	154	D → 155 → P → 143 → 141 → G → GoalG
강릉	150	F → 81 → 80 → 79 → 92 → 91 → C → 105 → 116 → G → GoalG
속초	118	Q → K → 63 → 79 → 92 → 91 → C → 105 → 116 → G → GoalG
철원	23	O → 10 → 17 → 5 → 26 → I → 43 → 50 → B → 94 → J → L → G → GoalG
태백	0	P → 143 → 141 → G → GoalG

Total discounted variable cost: 18,295,003.0 (6052.14 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 18,295,003.0 (6052.14 ₩/unit)

표 3-24. 춘천 최적 노선망

지역	생산량(㎡)	최 적 노 선
홍천	10,372	B → 50 → H → GoalH
횡성	3,702	J → 94 → B → 50 → H → GoalH
고성	3,633	N → 7 → A → 31 → 22 → M → H → GoalH
평창	2,385	C → 91 → 71 → 70 → 68 → 66 → H → GoalH
영월	1,936	G → L → J → 94 → B → 50 → H → GoalH
원주	1,916	L → J → 94 → B → 50 → H → GoalH
춘천	1,818	H → GoalH
양구	1,561	M → H → GoalH
정선	385	E → 92 → 91 → 71 → 70 → 68 → 66 → H → GoalH
양양	518	K → 32 → A → 31 → 22 → M → H → GoalH
인제	320	A → 31 → 22 → M → H → GoalH
화천	238	I → 43 → H → GoalH
동해삼척	154	D → 108 → E → 92 → 91 → 71 → 70 → 68 → 66 → H → GoalH
강릉	150	F → K → 32 → A → 31 → 22 → M → H → GoalH
속초	118	Q → 7 → A → 31 → 22 → M → H → GoalH
철원	23	O → 10 → 17 → 5 → 26 → I → 43 → H → GoalH
태백	0	P → 143 → 101 → E → 92 → 91 → 71 → 70 → 68 → 66 → H → GoalH

Total discounted variable cost: 123,659,344.86 (4090.75 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 123,659,344.86 (4090.75 ₩/unit)

표 3-25. 화천 최적 노선망

지역	생산량(㎡)	최 적 노 선
홍천	10,372	B → 50 → 43 → I → Goall
횡성	3,702	J → 94 → B → 50 → 43 → I → Goall
고성	3,633	N → 7 → A → 31 → 22 → M → H → 43 → I → Goall
평창	2,385	C → 91 → 71 → 70 → 68 → 66 → H → 43 → I → Goall
영월	1,936	G → L → J → 94 → B → 50 → 43 → I → Goall
원주	1,916	L → J → 94 → B → 50 → 43 → I → Goall
춘천	1,818	H → 43 → I → Goall
양구	1,561	M → H → 43 → I → Goall
정선	385	E → 92 → 91 → 71 → 70 → 68 → 66 → H → 43 → I → Goall
양양	518	K → 32 → A → 31 → 22 → M → H → 43 → I → Goall
인제	320	A → 31 → 22 → M → H → 43 → I → Goall
화천	238	I → Goall
동해삼척	154	D → 108 → E → 92 → 91 → 71 → 70 → 68 → 66 → H → 43 → I → Goall
강릉	150	F → K → 32 → A → 31 → 22 → M → H → 43 → I → Goall
속초	118	Q → 7 → A → 31 → 22 → M → H → 43 → I → Goall
철원	23	O → 10 → 17 → 5 → 26 → I → Goall
태백	0	P → 143 → 101 → E → 92 → 91 → 71 → 70 → 68 → 66 → H → 43 → I → Goall

Total discounted variable cost: 171,068,885.08 (5,659.10 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 171,068,885.08 (5,659.10 ₩/unit)

표 3-26. 횡성 최적 노선망

지역	생산량(m ³)	최 적 노 선
홍천	10,372	B -> 94 -> J -> GoalJ
횡성	3,702	J -> GoalJ
고성	3,633	N -> 7 -> A -> 31 -> 37 -> 39 -> 66 -> B -> 94 -> J -> GoalJ
평창	2,385	C -> 97 -> J -> GoalJ
영월	1,936	G -> L -> J -> GoalJ
원주	1,916	L -> J -> GoalJ
춘천	1,818	H -> 50 -> B -> 94 -> J -> GoalJ
양구	1,561	M -> 22 -> 39 -> 66 -> B -> 94 -> J -> GoalJ
정선	385	E -> 92 -> 91 -> C -> 97 -> J -> GoalJ
양양	518	K -> 32 -> 71 -> 70 -> 68 -> J -> GoalJ
인제	320	A -> 31 -> 37 -> 39 -> 66 -> B -> 94 -> J -> GoalJ
화천	238	I -> 43 -> 50 -> B -> 94 -> J -> GoalJ
동해삼척	154	D -> 108 -> E -> 92 -> 91 -> C -> 97 -> J -> GoalJ
강릉	150	F -> 81 -> 80 -> 79 -> 92 -> 91 -> C -> 97 -> J -> GoalJ
속초	118	Q -> 7 -> A -> 31 -> 37 -> 39 -> 66 -> B -> 94 -> J -> GoalJ
철원	23	O -> 10 -> 17 -> 5 -> 26 -> I -> 43 -> 50 -> B -> 94 -> J -> GoalJ
태백	0	P -> 143 -> 141 -> G -> L -> J -> GoalJ

Total discounted variable cost: 99,370,124.48 (3,287.24 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 99,370,124.48 (3,287.24 ₩/unit)

표 3-27. 양양 최적 노선망

지역	생산량(m ³)	최 적 노 선
홍천	10,372	B -> 66 -> 39 -> 37 -> 31 -> A -> 32 -> K -> GoalK
횡성	3,702	J -> 68 -> 70 -> 71 -> 32 -> K -> GoalK
고성	3,633	N -> Q -> K -> GoalK
평창	2,385	C -> 91 -> 92 -> 79 -> 63 -> K -> GoalK
영월	1,936	G -> 116 -> 105 -> C -> 91 -> 92 -> 79 -> 63 -> K -> GoalK
원주	1,916	L -> 103 -> 97 -> C -> 91 -> 92 -> 79 -> 63 -> K -> GoalK
춘천	1,818	H -> M -> 22 -> 31 -> A -> 32 -> K -> GoalK
양구	1,561	M -> 22 -> 31 -> A -> 32 -> K -> GoalK
정선	385	E -> 92 -> 79 -> 63 -> K -> GoalK
양양	518	K -> GoalK
인제	320	A -> 32 -> K -> GoalK
화천	238	I -> 43 -> H -> M -> 22 -> 31 -> A -> 32 -> K -> GoalK
동해삼척	154	D -> 81 -> F -> K -> GoalK
강릉	150	F -> K -> GoalK
속초	118	Q -> K -> GoalK
철원	23	O -> 10 -> 17 -> 5 -> 26 -> I -> 43 -> H -> M -> 22 -> 31 -> A -> 32 -> K -> GoalK
태백	0	P -> 108 -> 80 -> 81 -> F -> K -> GoalK

Total discounted variable cost: 171,411,235.52 (5,670.59 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 171,411,235.52 (5,670.59 ₩/unit)

표 3-28. 원주 최적 노선망

지역 생산량(m ²) 최 적 노 선		
홍천	10,372	B -> 94 -> J -> L -> GoalL
횡성	3,702	J -> L -> GoalL
고성	3,633	N -> 7 -> A -> 31 -> 37 -> 39 -> 66 -> B -> 94 -> J -> L -> GoalL
평창	2,385	C -> 97 -> 103 -> L -> GoalL
영월	1,936	G -> L -> GoalL
원주	1,916	L -> GoalL
춘천	1,818	H -> 50 -> B -> 94 -> J -> L -> GoalL
양구	1,561	M -> 22 -> 39 -> 66 -> B -> 94 -> J -> L -> GoalL
정선	385	E -> 101 -> 116 -> 105 -> 103 -> L -> GoalL
양양	518	K -> 63 -> 79 -> 92 -> 91 -> C -> 97 -> 103 -> L -> GoalL
인제	320	A -> 31 -> 37 -> 39 -> 66 -> B -> 94 -> J -> L -> GoalL
화천	238	I -> 43 -> 50 -> B -> 94 -> J -> L -> GoalL
동해삼척	154	D -> 108 -> E -> 101 -> 116 -> 105 -> 103 -> L -> GoalL
강릉	150	F -> 81 -> 80 -> 79 -> 92 -> 91 -> C -> 97 -> 103 -> L -> GoalL
속초	118	Q -> 7 -> A -> 31 -> 37 -> 39 -> 66 -> B -> 94 -> J -> L -> GoalL
철원	23	O -> 10 -> 17 -> 5 -> 26 -> I -> 43 -> 50 -> B -> 94 -> J -> L -> GoalL
태백	0	P -> 143 -> 141 -> G -> L -> GoalL

Total discounted variable cost: 117,897,967.58 (3,900.16 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 117,897,967.58 (3,900.16 ₩/unit)

표 3-29. 양구 최적 노선망

지역 생산량(m ²) 최 적 노 선		
홍천	10,372	B -> 66 -> 39 -> 22 -> M -> GoalM
횡성	3,702	J -> 94 -> B -> 66 -> 39 -> 22 -> M -> GoalM
고성	3,633	N -> 7 -> A -> 31 -> 22 -> M -> GoalM
평창	2,385	C -> 91 -> 71 -> 70 -> 37 -> 31 -> 22 -> M -> GoalM
영월	1,936	G -> L -> J -> 94 -> B -> 66 -> 39 -> 22 -> M -> GoalM
원주	1,916	L -> J -> 94 -> B -> 66 -> 39 -> 22 -> M -> GoalM
춘천	1,818	H -> M -> GoalM
양구	1,561	M -> GoalM
정선	385	E -> 92 -> 91 -> 71 -> 70 -> 37 -> 31 -> 22 -> M -> GoalM
양양	518	K -> 32 -> A -> 31 -> 22 -> M -> GoalM
인제	320	A -> 31 -> 22 -> M -> GoalM
화천	238	I -> 43 -> H -> M -> GoalM
동해삼척	154	D -> 81 -> F -> K -> 32 -> A -> 31 -> 22 -> M -> GoalM
강릉	150	F -> K -> 32 -> A -> 31 -> 22 -> M -> GoalM
속초	118	Q -> 7 -> A -> 31 -> 22 -> M -> GoalM
철원	23	O -> 10 -> 17 -> 5 -> 26 -> I -> 43 -> H -> M -> GoalM
태백	0	P -> 108 -> 80 -> 81 -> F -> K -> 32 -> A -> 31 -> 22 -> M -> GoalM

Total discounted variable cost: 146,504,165.93 (4846.48 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 146,504,165.93 4846.48 ₩/unit)

표 3-30. 고성 최적 노선망

지역 생산량(m³) 최 적 노 선		
홍천	10,372	B -> 66 -> 39 -> 37 -> 31 -> A -> 7 -> N -> GoalN
횡성	3,702	J -> 94 -> B -> 66 -> 39 -> 37 -> 31 -> A -> 7 -> N -> GoalN
고성	3,633	N -> GoalN
평창	2,385	C -> 91 -> 92 -> 79 -> 63 -> K -> N -> GoalN
영월	1,936	G -> 116 -> 105 -> C -> 91 -> 92 -> 79 -> 63 -> K -> N -> GoalN
원주	1,916	L -> J -> 94 -> B -> 66 -> 39 -> 37 -> 31 -> A -> 7 -> N -> GoalN
춘천	1,818	H -> M -> 22 -> 31 -> A -> 7 -> N -> GoalN
양구	1,561	M -> 22 -> 31 -> A -> 7 -> N -> GoalN
정선	385	E -> 92 -> 79 -> 63 -> K -> N -> GoalN
양양	518	K -> N -> GoalN
인제	320	A -> 7 -> N -> GoalN
화천	238	I -> 43 -> H -> M -> 22 -> 31 -> A -> 7 -> N -> GoalN
동해삼척	154	D -> 81 -> F -> K -> N -> GoalN
강릉	150	F -> K -> N -> GoalN
속초	118	Q -> N -> GoalN
철원	23	O -> 10 -> 17 -> 5 -> 26 -> I -> 43 -> H -> M -> 22 -> 31 -> A -> 7 -> N -> GoalN
태백	0	P -> 108 -> 80 -> 81 -> F -> K -> N -> GoalN

Total discounted variable cost: 187,843,509.99 (6214.27 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 187,843,509.99 (6214.27₩/unit)

표 3-31. 철원 최적 노선망

지역 생산량(m³) 최 적 노 선		
홍천	10,372	B -> 50 -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
횡성	3,702	J -> 94 -> B -> 50 -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
고성	3,633	N -> 7 -> A -> 31 -> 22 -> M -> H -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
평창	2,385	C -> 91 -> 71 -> 70 -> 68 -> 66 -> H -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
영월	1,936	G -> L -> J -> 94 -> B -> 50 -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
원주	1,916	L -> J -> 94 -> B -> 50 -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
춘천	1,818	H -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
양구	1,561	M -> H -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
정선	385	E -> 92 -> 91 -> 71 -> 70 -> 68 -> 66 -> H -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
양양	518	K -> 32 -> A -> 31 -> 22 -> M -> H -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
인제	320	A -> 31 -> 22 -> M -> H -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
화천	238	I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
동해삼척	154	D -> 108 -> E -> 92 -> 91 -> 71 -> 70 -> 68 -> 66 -> H -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
강릉	150	F -> K -> 32 -> A -> 31 -> 22 -> M -> H -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
속초	118	Q -> 7 -> A -> 31 -> 22 -> M -> H -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO
철원	23	O -> GoalO
태백	0	P -> 143 -> 101 -> E -> 92 -> 91 -> 71 -> 70 -> 68 -> 66 -> H -> 43 -> I -> 26 -> 5 -> 17 -> 10 -> O -> GoalO

Total discounted variable cost: 286,066,125.53 (9,463.18 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 286,066,125.53 (9,463.18 ₩/unit)

표 3-32. 태백 최적 노선망

지역 생산량(m ²) 최 적 노 선		
홍천	10,372	B → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → 92 → E → 101 → 143 → P → GoalP
횡성	3,702	J → L → G → 141 → 143 → P → GoalP
고성	3,633	N → Q → K → F → 81 → 80 → 108 → P → GoalP
평창	2,385	C → 91 → 92 → E → 101 → 143 → P → GoalP
영월	1,936	G → 141 → 143 → P → GoalP
원주	1,916	L → G → 141 → 143 → P → GoalP
춘천	1,818	H → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → 92 → E → 101→143 → P → GoalP
양구	1,561	M → 22 → 31 → A → 32 → K → F → 81 → 80 → 108 → P → GoalP
정선	385	E → 101 → 143 → P → GoalP
양양	518	K → F → 81 → 80 → 108 → P → GoalP
인제	320	A → 32 → K → F → 81 → 80 → 108 → P → GoalP
화천	238	I → 43 → H → 66 → 68 →70→71→91→92 →E→101→143→P → GoalP
동해삼척	154	D → 155 → P → GoalP
강릉	150	F → 81 → 80 → 108 → P → GoalP
속초	118	Q → K → F → 81 → 80 → 108 → P → GoalP
철원	23	O → 10 → 17 → 5 → 26 → I → 43 → H → 66 → 68 → 70 → 71 → 91 → 92 → E → 101 → 143 → P → GoalP
태백	0	P → GoalP

Total discounted variable cost: 264782058.12 (8759.21 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 264782058.12 (8759.21 ₩/unit)

표 3-33. 속초 최적 노선망

지역 생산량(m ²) 최 적 노 선		
홍천	10,372	B → 66 → 39 → 37 → 31 → A → 7 → Q → GoalQ
횡성	3,702	J → 94 → B → 66 → 39 → 37 → 31 → A → 7 → Q → GoalQ
고성	3,633	N → Q → GoalQ
평창	2,385	C → 91 → 92 → 79 → 63 → K → Q → GoalQ
영월	1,936	G → 116 → 105 → C → 91 → 92 → 79 → 63 → K → Q → GoalQ
원주	1,916	L → J → 94 → B → 66 → 39 → 37 → 31 → A → 7 → Q → GoalQ
춘천	1,818	H → M → 22 → 31 → A → 7 → Q → GoalQ
양구	1,561	M → 22 → 31 → A → 7 → Q → GoalQ
정선	385	E → 92 → 79 → 63 → K → Q → GoalQ
양양	518	K → Q → GoalQ
인제	320	A → 7 → Q → GoalQ
화천	238	I → 43 → H → M → 22 → 31 → A → 7 → Q → GoalQ
동해삼척	154	D → 81 → F → K → Q → GoalQ
강릉	150	F → K → Q → GoalQ
속초	118	Q → GoalQ
철원	23	O → 10 → 17 → 5 → 26 → I → 43 → H → M → 22 → 31 → A → 7 → Q → GoalQ
태백	0	P → 108 → 80 → 81 → F → K → Q → GoalQ

Total discounted variable cost: 174,125,186.53 (5760.20 ₩/unit)
 Total discounted fixed cost: 0.00 (0.00 ₩/unit)
 Total discounted variable and fixed cost: 174,125,186.53 (5760.20 ₩/unit)

결과를 보면 홍천군이 톤당 평균비용이 2,853원으로 가장 적은 수송비용이 든다 (표 3-34). 다음으로 횡성이 3,287원으로 나타났다. 홍천은 위치적으로 유리할 뿐만 아니라 홍천에서 생산되는 간벌재의 량이 전체 간벌재 생산량의 약 1/3을 차지하고 있을 정도로 생산량이 많아 이동 거리가 타 지역에 비해 적게 나타난 결과로 추정된다.

표 3-34. 각 시 군 이동 비용 비교

기 호	명 칭	총 비용(원)	평균비용 (원/톤)	총 이동 거리(km)	백분율(%)
A	인제군	141,297,718	4,674	94,198	164
B	홍천군	86,244,526	2,853	57,496	100
C	평창군	130,828,428	4,328	87,219	152
D	동해삼척시	256,889,282	8,498	171,260	298
E	정선군	175,760,307	5,814	117,174	204
F	강릉시	199,439,580	6,598	132,960	231
G	영월군	182,950,030	6,052	121,967	212
H	춘천시	123,659,344	4,091	82,440	143
I	화천군	171,068,885	5,659	114,046	198
J	횡성군	99,370,124	3,287	66,247	115
K	양양군	171,411,235	5,670	114,274	199
L	원주시	117,897,967	3,900	78,599	137
M	양구군	146,504,165	4,847	97,669	170
N	고성군	187,843,509	6,214	125,229	218
O	철원군	286,066,125	9,463	190,711	332
P	태백시	264,782,058	8,759	176,521	307
Q	속초시	174,125,186	5,760	116,083	202

홍천을 100으로 보았을 때 태백과 철원의 경우는 3배나 비싼 운송비를 부담하는 등 많은 차이점을 보였다. 횡성의 경우는 115%로서 근소한 차이를 보이고 있다. 이 같은 결과를 볼 때, 열공장의 위치는 간벌재의 생산량이 많은 곳에 위치하거나 생산이 많은 곳에 근접한 곳이 유리하다 할 수 있다.

결과적으로 홍천에 열공장이 입지할 경우 다른 지역보다 원료 수송면에서 저렴한 입지적 조건을 가지고 있다. 뿐만 아니라 생산량이 가장 많아서 원료의 공급도 원활할 것으로 예상된다.

제4장 목재 열에너지 공급 시스템 설계 제작 및 시운전

제1절 설계 및 제작

1. 파이롯 플랜트 설계

가. 자동연료 투입 시스템 선정

목재 열에너지를 생산함에 있어 사용자의 편의를 위하여 자동연료 투입시스템이 필수적이다. 일반화목은 일시적으로 보일러내에 저장하여 어느 정도 사용할 수 있지만 저장된 화목이 모두 연소되면 인위적으로 재투입이 필요하기 때문에 사용상 불편함이 따른다. 이에 반하여 목재칩은 펠렛과 함께 지속적으로 투입이 가능하기 때문에 보일러의 자동설정이 가능하다. 보일러 크기에 따라 칩을 저장하는 공간이 결정되며 이에 따라 자동공급 시스템도 구별된다.

대용량에서는 칩 저장창고가 건물규모로 되어야 하기 때문에 칩 이송장치가 보일러 본체와 별개의 시스템으로 그림 4-1과 같이 구성되어진다. 밀대 1,2는 번갈아 왕복운동을 하며 밀대 상부에 있는 칩을 3번 밀대 위로 이송시킨다. 밀대 3은 이 칩을 4,5번으로 이송시켜 연소실 안으로 칩을 이송시킨다.

소형 보일러에서는 스크류 콘베이어 형태의 칩 자동이송 장치를 설치하면 자동운전으로 칩을 공급할 수 있다(그림 4-2). 18,19번의 콘베이어에서는 경사각을 주어 콘베이어내에 항상 칩이 가득 차도록 하여 지속적으로 칩을 공급해 준다. 14번 콘베이어에서는 18,19번 콘베이어에 이송되어진 칩을 연소실로 공급하는 역할을 한다.

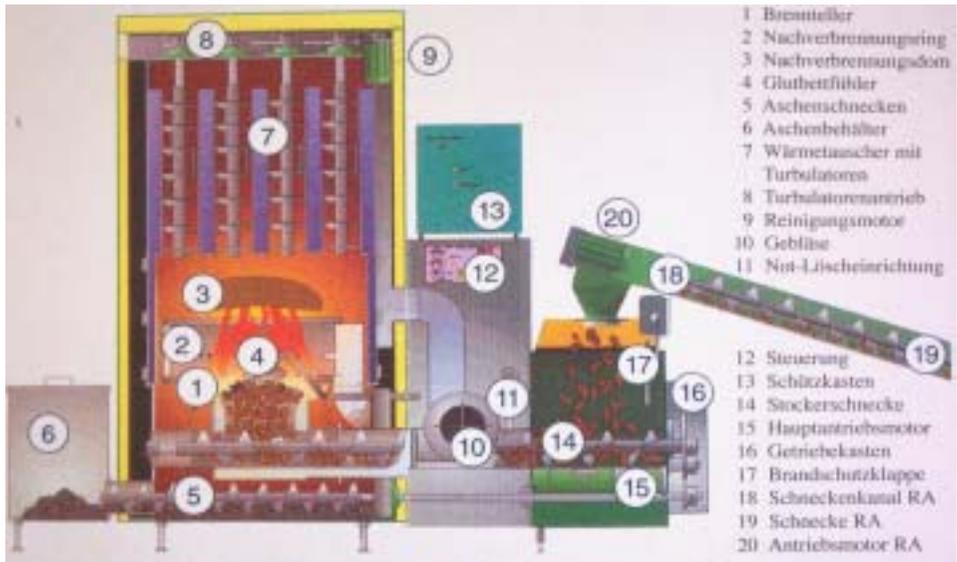


그림 4-1. 대용량 목재칩 보일러

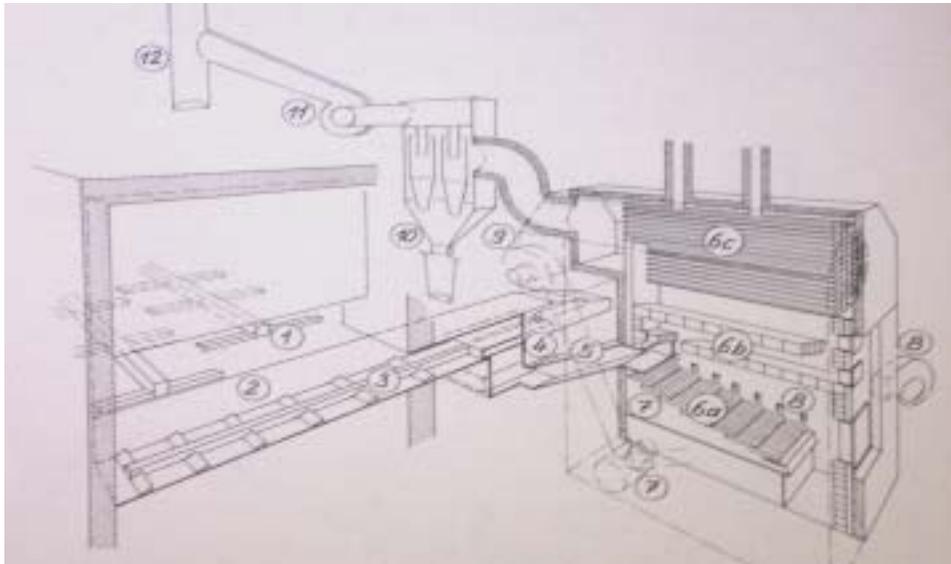


그림 4-50. 소용량 목재칩 보일러의 스크류 콘베이어 시스템

본 과제의 Pilot 플랜트는 보일러의 용량이 35,000kcal/h이며 칩 투입량이 0.12 m³/hr인 소형 보일러이기 때문에 스크류 콘베이어 형태의 칩 이송장치를 선택하였다. 칩 투입량에 대한 기준은 표 4-1에 근거하였으며 환산표는 다음과 같다.

<환산표>

1 kw = 860 kcal/hr
 36,000 kcal/hr = 40kw

<칩 투입량>

1 kw 당 칩투입량 : 0.35kg/hr
 40kw 에 대한 칩투입량 : 14kg/hr

<칩 비중량>

s : 120kg/m³
 140kg/hr → 0.12m³/hr

표 4-1 보일러와 사이로 크기에 따른 칩의 소비량

보일러 용량(kW)	칩 투입량	사이로 용량 (m ³)			
		1	4	16	48
18	6.25kg/hr	24시간	4일	너무 큼	너무 큼
80	25kg/hr	6시간	24시간	4일	너무 큼
350	200kg/hr	너무 작음	6시간	24시간	3일

자료: Heating with wood chip(R.E.A.P Canada Research Report, 2000)

나. 지역난방시스템 선정

1) 선정기준

소규모 지역난방은 외국의 사례와 같이 주민 약 1,000여명 정도의 주택과 관공서 및 학교 공공건물이 밀집해 있는 지역이 합당하나 국내에서는 아직 이러한



그림 4-51. 학가산 자연 휴양림

재 국내에는 난방부하계산을 위한 설계용 외계조건이 제시되어 있지 않아, 학가산 자락에 위치하고 있는 지리적 특성을 감안하여 표 4-2와 같이 대한설비공학회에서 제시한 대전지방의 TAC 2.5%를 기준으로 하였다.

표 4-2. 동계의 설계용 온·습도 조건³⁾

실외(TAC 2.5%)		실내	
온도(℃)	습도(%)	온도(℃)	습도(%)
-12.6	71.6	20	50

(나) 구조체별 열관류율

구조체	바닥	지붕	외벽	유리창
열관류율 (kcal/m ² · hr · ℃)	0.5	0.4	0.23	3.3

3) 신치용, 공기조화설비, 기문당, p.29, 1996

(다) 지중온도⁴⁾

지 역	지중 1.5m	지중 3m	지중 5m
충남, 전북, 경북, 대구	5.8℃	9.5℃	11.4℃

(라) 방위계수⁵⁾

방 위	방 위 계 수
북측외벽, 지붕, 최하층 바닥(공간바닥)	1.20
북동, 북서측 외벽	1.15
동, 서측 외벽	1.10
남동, 남서측 외벽	1.05
남측 외벽	1

(마) 표면 열전달율 (kcal/m²·hr·℃)⁶⁾

표면의 종류		난방시	냉방시
천정	내면	8.0	5.3
지붕	외면	28.8(2)	19.5(1)
벽	내면	7.2	7.2
	외면	28.8	19.5

4) 건설부, 사무소 건물의 에너지 절약을 위한 설계기준 연구, p.318, 1987

5) 김영호·박정원. 최신 공기조화설비, 보문당, p.108, 1996

6) 한국동력자원연구소, 건물의 방위별 성능 및 설비기준(안)-Ⅱ, p.142, 1982

(바) 난방부하 집계

실명	난방면적 (m ²)	난방부하 (kcal/hr)
산언덕, 산내음, 산마루, 산울림, 산모퉁이, 뭉개 구름, 별빛, 솔향기, 물안개, 산새소리, 햇살집	228.8 (20.8)	45,760 (4,160)
풀잎소리집	26.5	5,300
호반의집,	49.5	9,900
달빛집	58.5	11,700
학가산장	119.7	23,940
본관	297.3	59,460
총 계		156,060

나) 장비별 용량 산출

(1) 온수보일러

① 선정조건

- 난방부하 : 156,060 kcal/hr
- 보일러 정격출력 = 난방부하 × 1.25(배관손실부하, 축열부하)
= 156,060 × 1.25 = 195,075
≒ 200,000 kcal/hr

② 선정

- 종류 ; 입형 온수보일러
- 온수공급온도 : 70℃
- 전원 ; 3상 220V × 60Hz

(2) 온수 순환펌프

① 선정조건

- 양수량 = 200,000 / (10 × 60) = 333 ℓ/min
- 양정

구 분	산출근거	양정(m)
직관저항	400m × 0.01 mAq	4
부속류 저항	직관저항의 100%	4
소계	안전율 10%	0.8
계		9

② 선정

- 형 식 : 라인펌프
- 양 수 량 : 333LPM
- 전 원 : 3상 220V × 60Hz
- 양 정 : 9m
- 축동력 : 0.7 kw

2) 급탕설비

가) 급탕량 산출

(1) 산출조건

현재 국내·외적으로 자연휴양림에 대한 급탕량 산출조건은 제시되어 있지 않아, 본 계산시에는 표 4-3과 같이 성격이 유사하다고 판단되는 호텔의 자료를 기준으로 하였다.

표 4-3. 호텔의 위생기구당 소요 급탕량⁷⁾

급탕량 (ℓ/hr·개)				동시사용률	저탕용량계수
세면기	욕조	주방싱크	샤워기		
7.5	75	110	280	0.5	0.8

2) 급탕량 집계

일반적으로 급탕량의 산정방법에는 인원수에 의한 방법, 기구수에 의한 방법이 있지만, 본 학가산 자연휴양림과 같이 그 사용인원을 정확히 예측하기가 곤란한

7) 이용화·박효석, 건축 급배수·위생설비, 세진사, p.146, 1997

측면이 있을 경우에는 기구수에 의한 방법이 합리적일 수 있다. 표 4-4는 기구수에 의해 산출된 급탕량이다.

표 4-4. 기구수에 의한 급탕량

위생기구	수량 (개)	시간당 급탕량 (ℓ/hr·개)	동시사용률	시간당 최대급탕량 (ℓ/hr)
세면기	29	7.5	0.5	109
샤워기	10	280	0.5	1,400
욕 조	1	75	0.5	38
주방싱크	14	110	0.5	700
세탁수전	1	38	0.5	19
총 계				2,266

나) 장비별 용량 산출

(1) 급탕보일러

① 선정조건

- 시간당 최대급탕량 : 2,266kcal/hr - 급탕 공급/환수온도 : 60℃/50℃

② 선정

- 용량 = $2,266 \times 10 \times 1.25 = 28,325 \approx 30,000$ kcal/hr

- 전원 : 3상 220V × 60Hz

(2) 급탕저장탱크

① 선정조건

- 저장조 용량 = 시간당 최대급탕량 × 저장용량계수

$$= 2,266 \times 0.8 = 1,813 \ell$$

- 저장조 유효용량 = 저장조 용량 / 0.7 = $1,813 / 0.7 = 2,357 \ell$

② 선정

- 형식 : 횡형 - 저장탱크 용량 : 2,400 ℓ

(3) 급탕순환펌프 (급탕탱크에서 말단기구까지의 순환용)

① 선정조건

- 양수량 = $30,000 / (10 \times 60) = 50 \text{ l/min}$
- 양정

구 분	산출근거	양정(m)
직관저항	400m × 0.01 mAq	4
부속류 저항	직관저항의 100%	4
소계	안전율 10%	0.8
계		9

② 선정

- 형 식 : 라인펌프 - 양 정 : 9m - 양수량 : 50LPM
- 축동력 : 0.1 kw - 전 원 : 3상 220V × 60Hz

(4) 급탕순환펌프 (급탕보일러에서 급탕탱크까지의 순환용)

① 선정조건

- 양수량 = $30,000 / (10 \times 60) = 50 \text{ l/min}$
- 양정

구 분	산출근거	양정(m)
직관저항	20m × 0.01 mAq	0.2
부속류 저항	직관저항의 100%	0.2
소계	안전율 10%	0.05
계		0.5

② 선정

- 형 식 : 라인펌프 - 양 정 : 0.5m - 양수량 : 50LPM
- 축동력 : 0.05 kw - 전 원 : 3상 220V × 60Hz

3) 난방급탕공사 공사비 내역서

표 4-5는 난방용 보일러와 급탕용 보일러를 제외한 공사비 내역서이다. 총 공사비는 약 1억원으로서 차후에 시범단지 지정된다면 예산에 반영하여 추진하는데 참고할 수 있으리라 본다.

표 4-5. 학가산 자연 휴양림 난방급탕공사 공사비 내역서 (단위: 원)

품명	규격	단위	수량	재료비		노무비		합계
				단가	금액	단가	금액	
이중보온관	65	M	195	37,470	7,306,650			7,306,650
	50	M	264	31,440	8,300,160			8,300,160
	40	M	162	26,350	4,268,700			4,268,700
	32	M	373	24,560	9,160,880			9,160,880
	25	M	212	19,130	4,055,560			4,055,560
	20	M	710	17,470	12,403,700			12,403,700
	15	M	46	11,734	539,764			539,764
XL관	15	M	1770	293	518,610			518,610
배관기타	직관45%	식	1	20,949,311	20,949,311			20,949,311
터파기 및 퇴배우기	1.2*1.2*420	m ³	605	401	242,605	2,646	1,600,830	1,843,435
급탕탱크	2400Lit	대	1	2,500,000	2,500,000			2,500,000
밀폐형 팽창탱크	500Lit	대	1	2,725,000	2,725,000			2,725,000
	300Lit	대	1	1,635,000	1,635,000			1,635,000
난방순환펌프	2kw	대	2	951,426	1,902,852			1,902,852
급탕순환펌프	0.37kw	대	2	178,200	356,400			356,400
난방보일러	20만kcal/h	대	1					0
급탕보일러	3만kcal/h	대	1					0
	0.05kw	대	2	65,000	130,000			130,000
노무비	배관공	인	177			76,823	13,597,671	13,597,671
	보통인부	인	145			50,683	7,349,035	7,349,035
공구손료	품의 2%	식	1		418,934			418,934
합계					77,414,126		22,547,536	99,961,662

4) 설계도면

설계도면은 표현과 용지의 한계로 제작 파일로 도면집으로 첨부하였다.

라. Pilot 플랜트 설계

1) 기본 개념

Pilot 플랜트는 폐목재의 자원화 활용의 일환으로 목재칩을 사용하여 난방 및 온수를 사용할 수 있는 보일러를 말하며 본 플랜트의 설계 사항으로는 칩 저장탱크, 칩 이송콘베이어, 보일러 본체, 재처리설비 및 집진장치, 기타 온수 펌프 및 파이핑 등을 설계하여 차후 보일러 제작에 필요한 기술사항을 제공하는 것을 목적으로 한다.

Pilot 플랜트 설비구성에 대한 기본도는 그림 4-4와 같다. 적용대상은 학가산 자연 휴양림내에 위치하고 있는 50평형 산장에 적용하기 위한 모델이다.

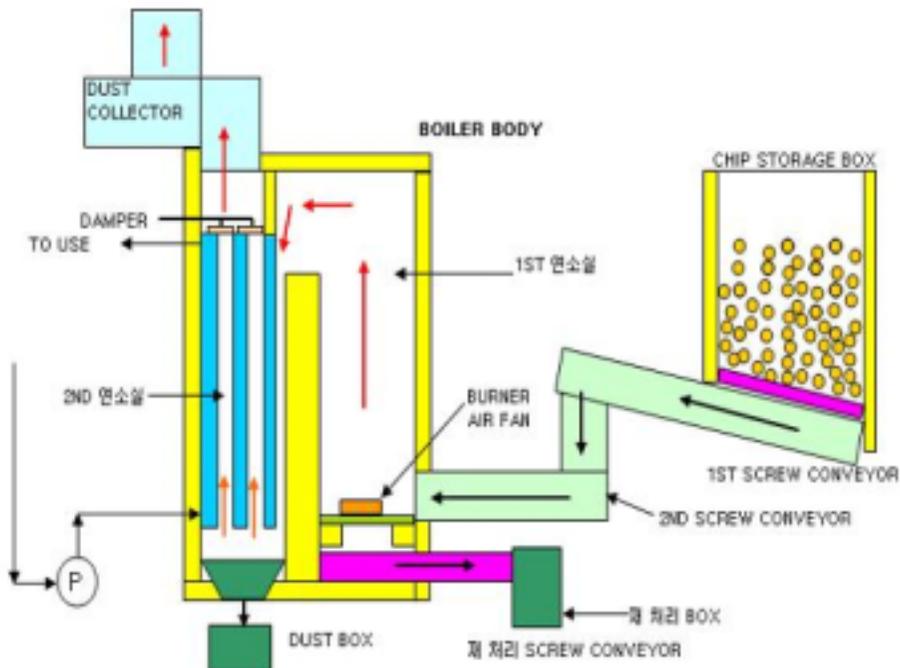


그림 4-4. Pilot 플랜트 개념도

2) 기술계산

Pilot 플랜트에 관한 기술계산 내역은 다음과 같다.

가) Chip Boiler Design Sheet

(1) Boiler 설계조건

- Boiler 운전 온도 : $T = 60^{\circ}\text{C}$
- Boiler 운전 온도차 : $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$
- Boiler 난방 면적 ; $A = 150\text{m}^2$
- 난방 거리 : $L = 380\text{m}$
- 난방 Coil : $D = 15\text{mm}$

나) 각 부분 설계

(1) Chip 착화 점화 장치

(가) Chip함유 수분 승온에 필요한 열량 Q1

$$Q1 = W \cdot \rho \cdot (t2 - t1)$$

Chip 연소량 (W) : $0.17\text{kg}/\text{min} = 3.0175\text{Kcal}/\text{min}$

Chip 비열 (ρ) : $0.5\text{Kcal}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$

Chip Inlet온도($t1$) : 20°C

증기발생 온도($t2$) : 55.5°C

(나) Chip함유 수분 증발에 필요한 열량 Q2

$$Q2 = W1 \cdot \alpha = 38.4812\text{Kcal}/\text{min}$$

수분이 가지는 중량 (W1) : $0.068\text{kg}/\text{min}$

증발잠열(55.5°C 일때) (α) : $565.9\text{Kcal}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$

(다) 증발습 공기를 승온하는데 필요한 열량 Q3

$$Q3 = W1 \cdot (\rho \cdot (t4 - t3)) = 10.03\text{Kcal}/\text{min}$$

수분이 가지는 중량 (W1) : $0.068\text{kg}/\text{min}$

Chip 연소온도 ($t4$) : 315°C

Air 투입 온도 (t3) :20℃

(라) Chip 연소에 필요한 열량 Q4

$$Q4 = W2 \cdot C_p \cdot (t4 - t3) = 19.635 \text{Kcal/min}$$

Chip착화량 (W2) : 0.102kg/min

Chip 연소온도 (t4) :405℃

Air 투입 온도 (t3) :20℃

(마) Total 필요 열량 ΣQ_t

$$\Sigma Q_t = Q1 + Q2 + Q3 + Q4 = 71.1637 \text{Kcal/min}$$

(바) Burner 용량선정

$$\textcircled{1} Q = \Sigma Q_t \times \alpha_a = 78.28007 \text{Kcal/min}$$

여유율 (α_a) : 1.1

따라서 Burner 용량은 80Kcal/min로 선정

② Oil Capacity Q_{po}

$$Q_{po} = Q / H$$

$$\text{Burner 용량 } Q_a = Q/60 = 1.333333333 \text{Kcal/sec} = 0.000129702 \text{kg/sec}$$

③ 이론 공기량 A1

$$A1 = (12.38 \times H / 10000) - 1.36 = 11.36664 \text{Nm}^3/\text{kg}$$

④ 실제 공기량 A2

$$A2 = A1 \times m = 13.639968 \text{Nm}^3/\text{kg}$$

Oil연소 공기비 (m) : 1.2

⑤ Total Air 량 A

$$A = Q_{po} \cdot A2 = 0.001769127 \text{Nm}^3/\text{kg}$$

⑥ 이론 배기 가스량 G1

$$G1 = (15.17 \times H / 10000) - 3.91 = 11.68476Nm^3/kg$$

⑦ 실제 배기 가스량 G2

$$G2 = G1 + (m - 1) \times A1 = 13.958088Nm^3/kg$$

⑧ Total 배기 Gas 량 G

$$G = G2 \cdot Q_{po} = 0.001810388Nm^3/kg$$

(사) Total Oil 소모량 Qpi

$$Q_{pi} = Q_a / 8532 = 0.000156274liter/sec$$

따라서 1회 착화시 10 ~ 15 sec소요됨을 가정하여 max. 0.002 liter정도 소요됨.

(2) Chip 연소에 의한 가스량 산정

$$Q_g = W2 \cdot P \cdot N \cdot (T + t_4) / T = 0.12609641Nm^3/min$$

따라서 적용 Air Fan Outlet Fan산정 : 0.2Nm³/min

(3) Chip 연소에 필요한 공기량 At

(가) 이론 공기량 At1

$$At1 = (12.38 \times H/10000) - 1.36 = 1.8588Nm^3/kg$$

(나) 실제 공기량 At2

$$At2 = At1 \times m \times W2 = 0.3791952Nm^3/min$$

Chip연소 공기비(m) : 2

(다) Total 공기량 At

$$At = At1 + At2 = 0.381005588Nm^3/min$$

따라서 적용 Air Fan Inlet Fan산정 $0.5\text{Nm}^3/\text{min}$

(4) Water Capacity

(가) Gas Of Heat

$$Q = 35000\text{Kcal/hr}$$

(나) Water Requirement W_r

$$W_r = Q / C_p \cdot \Delta t = 700\text{m}^3/\text{hr}$$

Inlet Water Temp (t_1) : 20°C

Outlet Water Temp (t_2) : 70°C

Water 비열 (C_p) : $1\text{kcal}/\text{m}^3\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$

(다) Log. Mean. Temp. Difference LMTD

$$\text{LMTD} = (\text{GTTD} - \text{LTDD}) / \ln(\text{GTTD} / \text{LTDD}) = 364.5^\circ\text{C}$$

(라) Gas Speed V_g

$$V_g = (Q_g + A_t) / A = 0.375631109\text{m}/\text{sec}$$

(마) Gas가 머무는 Time t_s

$$t_s = s / V_g = 6.788575109\text{sec}$$

(바) 전열계수 K

$$K = 49\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$$

(사) 전열 면적 A

$$A = Q / K \cdot \text{LMTD} = 1.959631589\text{m}^2$$

따라서 Boiler의 전열면적 2m^2 로 설계하도록 한다.

(5) Chip Screw Conveyor 설계

(가) Screw Conveyor Spec.

① Chip Capacity (Q) : 0.17kg/min

Chip의 Capacity는 나무의 비중0.6이므로 $Q = 283333.3\text{mm}^3/\text{min}$

② Screw Out Dia (D) :150mm

③ Screw Pitch (P) :125mm

④ Shaft Dia (d) :50mm

(나) Screw Conveyor 회전수 산정 rpm

$$\text{rpm} = Q / A \cdot P \cdot \xi = 0.36093414\text{rpm}$$

Conveyor 이송 효율 (ξ) : 0.4

Conveyor 단면적 (A) : 15700mm²

따라서 회전수는 Chip의 조직에 대한 여유를 감안하여 0.5rpm 으로 선정한다.

(6) Dust Screw Conveyor 설계

(가) Dust Screw Conveyor Spec.

① Dust Capacity (Q) : 0.02kg/min

Chip의 Capacity는 나무의 비중0.2이므로 $Q = 2000\text{mm}^3/\text{min}$

② Screw Out Dia (D) : 80mm

③ Screw Pitch (P) : 75mm

④ Shaft Dia (d) : 25mm

(나) Screw Conveyor 회전수 산정 rpm

$$\text{rpm} = Q / A \cdot P \cdot \xi = 0.014705747\text{rpm}$$

Conveyor 이송 효율 (ξ) : 0.4

Conveyor 단면적 (A) : 4533.375mm²

따라서 회전수는 여유를 감안하여 0.1rpm 으로 선정한다.

3) 설계도면

설계도면은 표현과 용지의 한계로 제작 파일 도면집으로 묶어 첨부하였다.

2. 파이롯 플랜트 제작

본 프로젝트의 3년차 과제에 해당하는 보일러 제작은 설계도면에 따라 산업기계 및 자동화설비 전문제작업체에 제작 의뢰하였으며 회사의 개요는 다음과 같다.

- 회사명 : 경은 엔지니어링
- 대표 : 전 용 경
- 업태 : 제조
- 업종 : 산업기계 및 자동화설비, 기타
- 주소 : 경남 창원시

보일러 외형도면은 그림 4-5와 같으며 보일러 본체 크기는 보일러 화구를 전면으로 보았을 때 폭 0.64m, 길이 1m, 높이 1.6m이며 스크류 콘베이어를 장착하였을 때 폭전체 길이는 약 4m이다. 제작기간은 설계도면 수정을 포함하여 약 3개

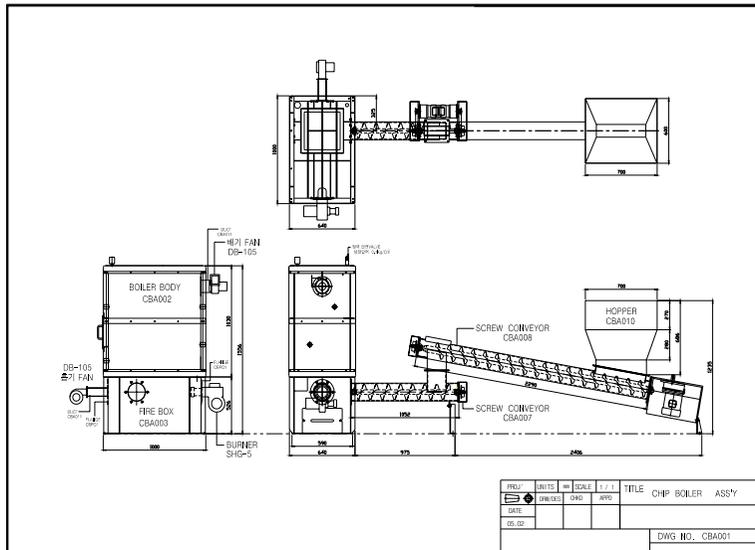


그림 4-5. 보일러 외형도면



그림 4-8. 착화용 버너



그림 4-9. 스크류 콘베이어



그림 4-10. 스크류 콘베이어 내부



그림 4-11. 콘트롤 박스 외부



그림 4-12. 콘트롤 박스 내부



그림 4-13. 급기팬



그림 4-14. 배기팬

제2절 시운전

1. 조작 및 시운전

보일러의 연료는 목재칩이므로 기름보일러나 가스보일러처럼 스스로 쉽게 착화되지 않는다. 목재가 착화되기 위해서는 250℃ 정도의 온도가 되어야 착화되며 이 온도는 500℃ 이상 되어야 착화되는 석탄온도의 절반에 해당하는 만큼 착화가 어렵지는 않다.

목재칩을 착화시키는 보조수단으로는 기름, 가스, 전기등이 있으며 이중 전기로 하는 방법이 제일 쉽고 간단하지만 고가이며 국내에서 아직 잘 알려져 있지 않아 본 파이롯 플랜트에서는 국내에서 가장 보편적으로 사용되는 기름 버너를 사용하였다.

목재칩은 스크류 콘베이어로 이송되는데 수동과 자동으로 할 수 있게 하였다. 수동이송은 운전을 수동으로 변환하고 이송 콘베이어 단추를 누르면 지속적으로 목재칩이 이송되며 STOP 단추를 누르면 콘베이어 구동이 멈추어지도록 설계되었다.

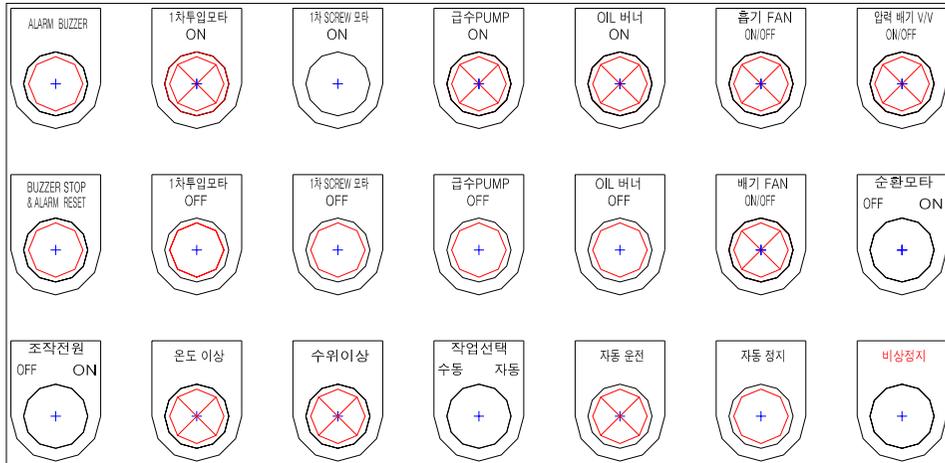


그림 4-15. 운전제어용 조작스위치

자동이송은 운전을 자동으로 변환하고 자동운전 단추를 누르면 구동시간이 정해진 대로 운전하고 멈추었다가 다시 운전시간만큼 이송이 이루어진다. 구동시간과 멈춤시간은 시간을 조정함으로써 운전자가 임의로 조절할 수있다. 그림 4-15는 보일러 운전 조작용 스위치를 나타내고 있다.

목재칩은 본 Pilot 플랜트에서는 스크류 콘베이어 끝에 있는 호퍼에 담겨있어 스크류 콘베이어가 구동하면 목재칩이 보일러 연소실로 이송된다. 호퍼의 단점은 목부분이 좁아짐에 따라 이 부분에서 목재칩이 서로 엉겨서 밑으로 떨어지지 않은 것이다. 이 문제를 해결하기 위해서는 모터 구동을 통해 망치질을 할 수 있는 자동화 설비를 추가로 해야 한다. 실제 사용에 있어서는 목재칩은 서로 엉기는 현상이 심하므로 호퍼형태의 저장장치는 사용되지 않고 그림 4-16과 같은 날개를 회전시켜 목재칩을 스크류 콘베이어로 이송시킨다. 이때 스크류 콘베이어와

날개가 동시에 회전을 하여 항상 스크류 콘베이어의 열린 개구부에 목재칩을 이송할 수 있게 하였다. 목재칩은 최대한 작은 크기로 단일 규격으로 되어 있어야 하며 최대 길이가 6cm를 넘지 말아야 한다. 그렇지 않으면 스크류 콘베이어에 칩이 끼어서 이송에 문제가 발생하게 된다. 칩은 작을수록 이송이 원활하며 역화도 잘 되지 않고 또한 보일러 연소실에서 목탄가스가 발생하여 완전 연소가 가능하다.



그림 4-16. 회전 날개

목재칩에서 중요한 사항 중의 하나는 함수율인데 함수율이 높을수록 목재칩의 수분을 먼저 증발시키기 위하여 열에너지가 소비되고 연소온도가 낮아짐에 따라 불완전 연소가 이루어진다. 불완전 연소에 따라 타르와 검댕이가 쉽게 발생하며 이러한 물질들이 보일러 벽면에 부착되어 열전달을 방해하여 보일러 효율을 저하시킨다. 가장 이상적인 함수율은 15~20%이며 함수율이 10% 상승함에 따라 9%의 발열량 감소가 이루어진다.

보일러를 구동하기 위해서는 조작전원 스위치를 on 시키고 착화를 하기 위해 1차 스크류 모타 스위치를 on 시켜 목재칩을 수동으로 연소실로 이송시킨 다음 충분한 양이 되면 1차 스크류 모타를 off시킨다. Oil버너 스위치를 on 시키면 버너가 가동하여 목재칩에 불이 붙게 된다. 시운전의 경험상 약 1분정도 발화를 시키면 충분히 착화가 이루어진다. 착화상태가 양호하면 버너가동을 중지하고 운전모드를 자동으로 변환시킨 다음 자동/정지 단추를 누르면 규칙적으로 목재칩이 연소실로 이송되어 연소가 이루어진다. 목재칩을 보일러실로 보낼 때 목재칩은 보일러실 옆에서 보내어지므로 새로운 목재칩이 현재 타고 있는 목재칩을 옆으로 밀게 된다. 한꺼번에 너무 많은 양을 보내면 새로운 목재칩이 현재 타고 있는 목재칩 위에 덮여 불이 꺼질 수 있으므로 시간조절을 알맞게 하여 지속적으로 연소가 이루어지도록 하여야 한다. 그림 4-17에서는 연소실에서 목재칩이 연소되고 있는 상태를 보여주고 있다.

연소가 이루어짐에 따라 물의 온도는 상승하며 이는 제어 판넬에서 실시간으로

표시되어 물의 온도가 어느 정도인지 알 수 있게 하였다. 물의 온도가 상승함에 따라 보일러 내부가 밀폐되어 있기 때문에 압력도 상승하는데 이를 보정하기 위하여 보조 물탱크를 달거나 압력조절밸브를 부착하는데 본 플랜트에서는 후자를 선택하였다(그림 4-18).



그림 4-17. 연소실



그림 4-18. 압력조절밸브



그림 4-19. 수위 감지기

보일러 내부가 밀폐되어 있지만 시간이 지남에 따라 수량이 적어지는데 일정수량 이하로 되면 보일러가 과열되어 위험을 초래할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 수위 감지기를 설치하여 이상이 있을 시 경고음으로 부저가 울리도록 하였다(그림 4-19).

본 플랜트에서는 연소가스를 배출하기 위하여 배기팬을 설치하여 운전했으며 굴뚝을 이상적으로 설치하였을 경우에는 배기팬을 보조적으로 사용할 수 있다. 급기팬도 설치되어 있지만 보일러 연소실 주위로 공기가 흡입되는 곳이 많아 운전할 필요성이 없었다. 그러나 용량이 커지고 목재칩 투입량이 많아지면 급기 및 배기팬의 구동이 절대적으로 필요하다.

보일러 운전시 예상하지 못했던 일로 비상상태가 발생할 경우를 대비하여 비상정지 스위치를 설치하였다.

보일러를 운전한 결과 목재칩은 연소가 잘 되어 약 1m의 칩을 연소시켰을 때 약한 웅크의 재만 밑으로 발생하여 연소후 재를 거의 치울 필요가 없었다.

문제점으로는 칩이 간혹 스크류와 몸체 사이에 끼어 이송이 불완전할 경우가 있는데 이 때도 몇 번 이송이 되면 자동으로 풀리며 한 번 너무 많은 양의 칩이 끼인 상태에서는 한 번의 이송시간이 짧아 충분히 힘을 전달할 수 없어 더 이상 이송이 되지 않았는데 이 때는 수동으로 해결하였다.

또 하나의 다른 문제점으로는 재가 별로 생성되지 않는다는 것은 그만큼 재가 연소가스와 함께 대기 중으로 방출되고 있다는 의미이다. 따라서 보일러 용량이 커질수록 연소가스에 포함되어 있는 재를 걸러야 하기 때문에 배기팬 이전 보일러 본체와의 사이에 집진역할을 하는 사이클론을 설치해야 한다.

2. 성능평가

가. 성능평가를 위한 보일러 주변 장치도

보일러의 성능평가를 위하여 연소효율과 전열효율을 측정할 필요가 있다. 연소효율은 연료 즉 목재칩이 갖고 있는 발열량을 어느 정도 열에너지로 변환되는가 하는 것이고 변환된 열에너지가 사용가능한 물의 온도를 높이는데 어느 정도 사용되어졌는가를 말함이다. 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{보일러 효율} = \text{연소효율} \times \text{전열효율}$$

여기서, 연소 효율 : 버너의 성능에 의한 연료의 열량 변화율

전열 효율 : 보일러의 전열구조에 의한 열량 전달률

다시 말하면, 연소효율은 목재칩이 갖고 있는 열량을 어느 정도 이용 가능한 열에너지로 변환하였는가 하는 정도를 나타내며 전열효율은 변환된 열에너지 중에 어느 정도가 실제 열에너지를 전달하는 물에 전달되었는가하는 정도를 나타낸다. 연소효율과 전열효율을 정확히 계산하기 위하여는 고가의 측정 장비와 많은 시간이 필요하기 때문에 간단하게 계산하는 방법으로는 연소된 목재칩의 발열량과 실제 사용되어진 열량을 비교함으로써 보일러 효율을 역으로 추정할 수 있다. 실제로 사용된 열에너지는 급탕의 온도와 환탕의 온도차와 이때 흐른 급탕의 유량을 측정함으로써 계산할 수 있으며 이를 측정하기 위하여 그림 4-20과 같이 온

도계와 유량계, 순환펌프를 설치하였다.

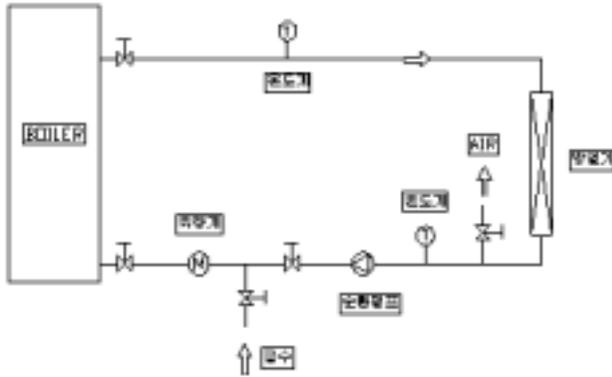


그림 4-68. 급탕 순환도

온도계는 0℃에서부터 100℃까지 측정할 수 있으며 배관을 T형으로 하여 온도계를 설치하였다. 온도계는 보일러에서 방열기 방향으로 나가는 출구방향 즉 급탕 부분과 방열기를 돌아 열에너지를 배출하고 보일러로 들어오는 즉 환탕부분에 각각 1개씩 설치하여 난방수가 방열기를 지나면서 방출되는 열량을 온도차로 계산할 수 있게 하였다(그림 4-21).



그림 4-21. 온도계



그림 4-22. 순환펌프

방열기에 해당하는 부분은 실제로 연결할 수 있는 난방시설의 미비로 엑셀관

(15mm) 40m를 넷가의 흐르는 물에 잠기게 하여 방열효과 대체를 시도하였다. 이 때의 흐르는 물의 온도는 21℃이었다.

난방 방열기를 순환하는 난방수는 배관상 공기가 차면 순환이 되지 않으므로 반드시 배관안의 공기는 필히 방출시켜야 한다. 그림에서 방열기 후단의 에어벤트는 이러한 역할을 수행하기 위하여 보일러의 에어벤트 이외에 배관상에 에어벤트를 장치하였다. 에어벤트는 배관을 T 형으로 뽑고 그 곳에 밸브를 장착하여 수동으로 공기를 배출시키도록 하였다(그림 4-23).



그림 4-23. 난방파이프 에어벤트



그림 4-24 급수관



그림 4-25. 유량계



그림 4-26. 주변장치

순환펌프는 난방수가 방열기를 지나 보일러로 들어가는 입구에 설치하였다. 기준 사양은 양정 4.5m, 양수량 35ℓ/min (양정 3m 일 때)이다(그림 4-23).

순환펌프와 유량계 사이에 필요시 급수할 수 있게 급수라인을 설치하여 보일러

탱크의 용량을 측정할 수 있으며 급수의 압력으로 배관상의 공기도 배출할 수 있게 하였다(그림 4-24). 유량계는 수도계량기를 설치하여 10^{-4}m^3 까지 유량을 측정할 수 있게 하였다(그림 4-25). 그림 4-26은 보일러 주변장치의 전체 모습을 나타낸 사진이다.

나. 보일러 성능평가

난방이나 급탕시 에너지 부하가 상승할 때는 이를 보완하기 위하여 보일러의 발열량을 높여야 하는데 이를 위해서 투입하는 연료의 양을 증가하거나 연소시간 주기를 짧게 하여 대처할 수 있다. 가정용이나 중소규모 단위의 기름보일러, 가스보일러는 투입되는 연료의 양을 조절하기 곤란하기 때문에 연소주기를 짧게 하거나 연속으로 하여 열에너지부하의 변동에 대처하고 있다. 하지만, 목재칩 보일러에서는 목재칩의 연소가 순간적으로 빠르지 않기 때문에 연료의 투입량을 조절하여 보일러 내부의 온도를 조절할 수 있다. 목재칩 보일러는 특성상 기름보일러나 가스보일러와 같이 짧은 시간 내에 발열을 많이 할 수 없기 때문에 적정 온도까지 보일러 내부의 물온도를 올리기까지 다른 보일러보다 시간이 오래 걸린다. 목재칩의 투입량을 스크류 이송시간으로 표현했을 때 3초 동안 목재칩을 보일러에 투입하고 2분 정지로 고정했을 때 물의 온도를 78°C 까지 올리는데 약 70분이 걸렸다(표 4-6). 이때 물의 초기온도는 22°C 이었으며 처음에는 목재칩 착화용으로 기름보일러가 함께 가동하였기 때문에 순수하게 목재칩으로만 가동한 35°C 이후의 시간만 측정하였다. 또한 보일러 내부의 물온도 상승만 측정하기 위하여 방열기 쪽으로 나가는 급탕밸브와 환탕밸브는 닫힌 상태이다. 이와 같이 물의 온도가 완만하게 상승한 원인은 보일러 내부의 물의 용량이 180리터로 대용량이기 때문이며 목재 보일러에서는 열에너지 부하변동에 신속하게 대비하기 어렵기 때문에 대용량 온수 저장탱크가 필요하다.

열부하가 없는 상태에서의 시운전 결과를 토대로 실제 열에너지가 방출되는 상태에서의 보일러 성능평가를 위해 난방배관에 사용되는 엑셀 배관재를 보일러에 연결하여 열에너지가 어느 정도 방출되는지 실험하였다. 난방급수온도 60°C 를 기준으로 두 가지 경우를 나누어서 측정하였는데 case1의 상태에서는 목재 칩을 공급함에 있어서 스크류의 회전이 2분간 정지하였다가 3초간 회전하여 목재칩을

공급하는 경우이고 case2는 1분간 스크류가 정지하였다가 3초간 공급하는 경우이다.

표 4-6. 시간에 따른 보일러 내부 물의 온도변화

구분	시간별 온도 변화 추이																			
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	
t(min)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	
T(°C)	35	37	37	38	39	40	41	41	42	43	43	43	43	44	45	46	47	48	48	
t(min)	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70				
T(°C)	50	52	54	57	58	62	65	68	69	71	71	72	72	73	75	78				

급탕온도와 환탕온도를 측정하는 시점은 보일러 운전이 충분히 가동된 다음 즉 1시간여의 시간이 지난 후 온도의 변화가 10분 안에도 ±2°C의 변화가 없을 때 측정된 값이다.

유량측정은 적산 유량계를 사용하였으며 온도 측정시 5분간의 차이로 유량을 측정하여 그 차이 값을 단위 시간 당 유량으로 계산하였다.

1) 목재 칩 소비량(m_{chip})

목재칩의 단위시간당 공급량을 측정하기 위하여 다음과 같은 방법을 사용하였다. 호퍼내부의 하단에 기준선을 설정하여 그 기준선까지 목재칩을 채워놓고 그 위에 상자 한 박스의 양을 채운다. 그 때부터 호퍼내부의 목재칩이 기준선에 도달할 때까지의 시간을 측정하면 단위시간당 공급된 목재칩의 부피는 상자의 부피와 같으며 또한 무게를 알 수 있다.

- 목재칩(박스)의 부피 (V) 와 무게(m)

$$V = B \times D \times H = 50 \times 35 \times 20 \text{cm}^3 = 40,250 \text{cm}^3 \approx 0.035 \text{m}^3 = 35 \ell$$

$$m = \text{부피} \times \text{비중량} = 0.035 \text{m}^3 \times 320 \text{kg/m}^3 = 11.2 \text{kg}$$

* 비중량은 수분 함수율 50% 기준

실제 한 박스양에 해당하는 목재칩은 12.4kg이었으며 이는 계절이 하절기이기 때문에 습도가 높고 야외에 야적을 하고 있는 상태임으로 수분 함수율이 50% 이상

일 것으로 추정된다. 목재칩은 종류와 계절 그리고 저장방법에 따라 함수율이 상이하기 때문에 본 계산에서는 함수율 50%를 기준으로 하였다.

목재칩 보일러가 세계에서 제일 많이 사용되고 표준화 되어있는 독일의 경우 함수율은 15~18%를 기준으로 하고 있으며 이때 비중량은 212kg/m^3 , 즉 $4.7\text{ m}^3/\text{ton}$ 이며 목재칩의 발열량은 3700kcal/kg , 즉 900kwh/m^3 이다.

- 1 박스의 목재칩이 소비된 시간 (t)

$$t = 130 \text{ min (case1)}$$

$$t = 65 \text{ min(case2)}$$

- 목재칩 소비량(m_{chip})

$$m_{\text{chip}} = 11.2\text{kg} \div 130 \text{ min} = 0.086\text{kg/min} = 5.1 \text{ kg/h (case1)}$$

$$m_{\text{chip}} = 11.2\text{kg} \div 65 \text{ min} = 0.17\text{kg/min} = 10.2 \text{ kg/h (case2)}$$

2)보일러에서의 열원 발열량 (Q_b)

$$Q_b = m_{\text{chip}} \times \text{목재칩 발열량} = 5.1\text{kg/h} \times 2280 \text{ Kcal/kg} = 11,600 \text{ kcal/h (case1)}$$

$$Q_b = 23,200 \text{ kcal/h (case2)}$$

* 목재칩 발열량은 표 4-7 참조. 함수율은 50% 기준

표 4-7. 함수율에 따른 목재칩 요구량 (assumes density of 320 kg/m^3)

Moisture content (%)	Calorific value (J/t)	Tonnes required /yr	Cubic meters/yr
30	13.8×10^9	16.4	51.3
40	11.5×10^9	19.6	61.3
50	9.5×10^9	23.8	74.4
60	7.75×10^9	29.1	90.9

* Model : Woodchip Boiler CAT

3) 난방수량 (Q)

방열장치에 순환되는 난방수량을 측정하기 위하여 유량계를 설치하였는데 수도 미터용 적산유량계를 사용하였다.

유량의 정확한 계측을 위하여 5분간의 유량을 계측하여 단위시간당 난방수량을 측정하였다.

표 4-8. 난방수량 측정값

구 분	t ₁	t ₂
case1	0.6335m ³	0.6867m ³
case2	1.5636m ³	1.6067m ³

$$* t_2 - t_1 = 5\text{min}$$

$$- \text{case1} : Q_1 = (0.6867\text{m}^3 - 0.6335\text{m}^3) / 5\text{min} = 0.0106\text{m}^3/\text{min} = 10.6 \text{ } \ell / \text{min}$$

$$- \text{case2} : Q_2 = (1.6067\text{m}^3 - 1.5636\text{m}^3) / 5\text{min} = 0.0086\text{m}^3/\text{min} = 8.6 \text{ } \ell / \text{min}$$

4) 방열장치에서의 방출열량 (Q_R)

$Q_R = \text{난방수량} \times \text{물의 비열} \times \text{보일러 출구와 입구의 온도차}$

case1

$$Q_{R1} = 10.6 \text{ } \ell / \text{min} \times 60\text{min} \times 1 \text{ Kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (49-38)^\circ\text{C} = 6996\text{kcal/h}$$

case2

$$Q_{R2} = 8.6 \text{ } \ell / \text{min} \times 60\text{min} \times 1 \text{ Kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (64-48)^\circ\text{C} = 8256\text{kcal/h}$$

보일러 성능평가를 위하여 측정하고 계산한 값은 표 4-9와 같다.

표 4-9. 보일러 성능평가를 위한 측정값 및 계산값

구 분	case1	case2
대기온도 (T_{atm})	28℃	28℃
급탕온도 (T_{out})	49℃	64℃
환탕온도 (t_{re})	38℃	48℃
난방수량 (Q)	10.6 ℓ /min	8.6 ℓ /min
칩소모량 (m_{chip})	5.1kg/h	10.2kg/h
방출열량 (Q_{R1}, Q_{R2})	6,996kcal/h	8,256kcal/h
목재칩 발열량	11,600kcal/h	23,200kcal/h

다. 상용화 되어있는 선진국의 목재칩 보일러와의 비교

독일과 오스트리아에서 상용화된 소형 목재칩보일러 제원은 다음과 같다.

- 난방설계면적 : 400m²
- 단위면적당 난방부하 : 50w/m²
- 전체난방부하 : 20 kW(17,200kcal/h)
- 칩의 함수율 : 30%
- 목재칩 발열량 : 3.5kWh/kg (3,010kcal/h)

이와 같은 난방조건을 충족하기 위하여 보일러 효율을 85%로 선정시 목재칩은 시간당 6.75kg이 필요하며 목재칩의 시간당 발열량은 20,300kcal/h이다. 이중 85%의 열량이 난방부하인 17,200kcal/h로 사용되고 15%의 대부분이 연소가스 배출과 함께 열손실로 소비된다. 17,200kcal/h의 열량 중 약 90%인 15,500kcal/h가 난방용으로 사용되고 10%가 또다시 난방 프로세스를 거치는 동안 열손실로 소비 되는 것으로 설계된다.

본 파이롯 플랜트에서 난방파이프는 보온덮개를 전혀 하지 않았기 때문에 그만큼 열손실이 많아 일반적인 조건의 열손실보다 높은 20%로 고려하면, 방열기에서의 열교환 효율을 80%로 산정할 경우, case1에서 난방수가 지니고 있는 열량은 역으로 계산하면 다음과 같다.

$$6,996\text{kcal/h} \div 0.8 = 8,749\text{kcal/h}$$

이에 따라 case1의 경우 보일러 효율은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$8,749\text{kcal/h} \div 11,600\text{kcal} = 0.75$$

즉, 보일러 효율이 75%이다.

같은 방법으로 case2에서는 보일러 효율이 50%이다.

보일러 제원을 나타내는 도표에서 효율은 최상의 설계조건을 만족할 때의 효율이므로 case1과 case2의 보일러 효율을 예로 나타낸 선진국의 목재칩 보일러 효율과 단순 비교함은 무리가 있지만 case1의 경우 대기온도가 28℃이고 열을 방출하는 곳의 온도가 21℃인 만큼 열부하가 크지 않은 곳에서는 소량의 연료투입으로 75% 열효율이라는 소기의 목표를 달성할 수 있었다.

이와 반대로 case2인 경우에는 난방부하가 많지 않음에도 불구하고 목재칩을 많이 투입해도 실지 열 교환이 많이 이루어지지 않기 때문에 필요 없는 연료만 소비하는 경우와 같다. 따라서 실제 난방부하가 32,000kcal/h 이며 급탕온도 60℃, 환탕온도 20℃로 급탕 환탕의 온도차가 40℃가 되는 동절기에는 보일러 효율이 75% 이상이 되리라 추정할 수 있다.

난방부하 32,000kcal/h를 기준으로 하였을 때 시간당 필요한 목재칩은 14kg으로 부피로 환산하면 0.043m³/h이다. 설계 기준으로 일년 당 최대 난방부하로 운전하는 시간을 2,000시간으로 고려할 때 필요한 목재칩의 양은 부피기준으로 약 90m³, 무게로 약 30ton 에 해당하므로 저장창고 또는 저장 사이로의 크기를 이 값을 고려해 설계할 필요가 있다.

제3절 결과 및 고찰

보일러의 설계 및 구조에 의한 본체의 효율이 중요하지만 우선 고려해야 할 사항은 원료에 해당하는 목재칩의 성상이다. 형태는 가능한 작은 크기의 단일 규격

으로 크기는 2~3 cm의 크기가 적당하다. 함수율 10% 증가에 발열량이 9%씩 저하되기 때문에 이상적인 목재칩의 함수율은 20% 이하가 적당하다. 하지만 국내에서 거래되고 있는 목재칩의 함수율은 40% 이상이 대부분이기 때문에 저장과 건조를 동시에 할 수 있는 저장고가 필요하다. 또한, 국내에서의 판매를 무게로 하지 않고 부피기준으로 바꾸는 것이 필요하다. 또한 생산되는 칩의 크기가 일정하지 않기 때문에 이에 대한 보완책으로 생산된 칩을 일정한 크기로 걸러 낼 수 있는 메시(그물망)의 개발이 필요하다.

보일러 본체는 제작업체에 위탁의뢰하여 제작하였으며 총 제작기간은 약 3개월이 소요되었다. 제작하는 과정에 부분적으로 수정하여 설계상의 미비점을 보완하였지만 제작 후 실질적으로 구조적인 수정이 불가능하였다. 설계와 제작에서 주안점으로 고려한 것은 국내의 일반 화목보일러와 달리 자동으로 목재칩을 이송함으로써 인위적으로 매번 화목을 연소실에 투입하는 수고로움을 없애고자 하였다. 제작 후 시운전 결과 목재칩은 제어판넬에서 조절한 시간대로 정확히 이송되었다. 다만 목재칩의 크기가 불균일하여 아주 드물게 칩이 스크류 컨베이어와 몸체 사이에 끼이는 현상이 발생하였지만 수동모드로 전환하여 강제 이송할 수 있었다.

목재칩은 자동 혹은 수동모드로 변환하여 이송할 수 있으며 연소 중과 연소 후 역화현상은 발생하지 않았다.

목재칩은 기름 버너로 착화된 후 일정한 시간 간격으로 칩이 공급되어 무인 운전이 가능하였다.

보일러 효율은 50~75%로 상용화된 선진국의 목재칩 보일러보다 낮은 값이었지만 난방부하가 낮은 점을 고려할 때 최대 부하시에는 75% 이상의 효율을 기대할 수 있다고 추정할 수 있다. 본 프로젝트에서는 목재칩을 사용함에 있어서 수동으로 하지 않고 자동으로 투입되는 시스템에 대하여 주안점을 두었기 때문에 파이롯 플랜트의 시험가동은 성공적이라 자평한다. 보일러 효율과 연소방법 개선 등을 위한 추후연구에 대한 내용은 다음과 같다.

①균일한 칩을 생산할 수 있는 설비 : 칩의 이송이 원활

②함수율이 최대 30% 이상 넘지 않을 목재칩의 생산 및 저장 : 보일러 효율증가

와 보일러 내벽에 타르의 생성을 감소

③목재칩의 함수율이 높을 때 연소가스의 열량으로 사전 건조시킬 수 있는 방법
: 보일러 효율 증가와 연료비 감소

④목재칩을 연소실 중앙의 가운데 부분에서 위쪽으로 이송시키며 연소시킬 수 있는 방법과 그 때의 역화 방지법 : 목재칩의 사전건조 및 최대 부하운전시 연료 투입 원활

⑤저렴한 비용으로 전기 에너지를 사용하여 착화시킬 수 있는 방법 : 보일러 구조의 단순화

⑥람다 센서에 의한 연소의 최적화 : 최적의 연소를 유지하여 보일러 효율의 극대화

⑦집진기 설치 : 재의 비산을 방지

제4절 제작 비용

파이롯 플랜트 제작에 소요된 경비 내역을 제시하면 다음 표 4-10, 11과 같다. 총비용은 23,470천원으로 이윤 15%가 포함된 비용이다.

표 4-10. 파이롯 플랜트 제작 견적서

NO	품 명	규격	단위	수량	단가	금 액	비고	
1	BASE FRAME		식	1		375,000		
2	CHIP 투입장치 및 HOPPER		식	1		1,457,000		
3	1차 SCREW CV		대	1		3,100,000		
4	2차 SCREW CV		대	1		1,757,000		
5	BOILER 본체		식	1		8,560,000		
6	전기장치비(PLC.PROGRAM)		식	1		2,300,000		
7	설계비					800,000		
8	ASS'Y 조립비					1,080,000		
9	후처리(도장)					250,000		
10	시운전비					380,000		
11	운반비					350,000		
12	관리비 및 기업이윤		%	15		3,061,350		
	TOTAL						23,470,350	
비고	1~5항까지 상세내역서 참조							

표 4-11. 파이롯 플랜트 제작 상세내역서

NO	품 명	규 격	수량	단가	금 액	비고
1	BASE FRAME					
	자재비	SQ TUBE	150kg	900	135,000	
	제관비				240,000	
				소계	375,000	
2	칩투입장치 및 호퍼					
	자재비	SHEET	130kg	900	117,000	
	부품비	0.75kw GD MOTOR	1		380,000	
	가공비(LASER)				160,000	
	제관비				800,000	
				소계	1,457,000	
3	1차 SCREW CV					
	자재비	SHEET와 PIPE	200kg	900	180,000	
	부품비	0.4kw GD MOTOR	1		290,000	
	가공비(선반)	SCREW SHAFT	1		110,000	
	가공비(LASER)				260,000	
	제관비				2,100,000	
	조립비				160,000	
				소계	3,100,000	
4	2차 SCREW CV					
	자재비	SHEET와 PIPE	130kg	900	117,000	
	부품비	0.4kw GD MOTOR	1		290,000	
	가공비(선반)	SCREW SHAFT	1		90,000	
	가공비(LASER)				180,000	
	제관비				980,000	
	조립비				100,000	
				소계	1,757,000	
5	BOILER 본체					
	자재비	SHEET와 PIPE	900kg	900	810,000	
	부품비	바나 FAN VALVE유 외	1식		450,000	
		조립 PARTS				
	가공비(LASER)				3,300,000	
	제관비				3,800,000	
	조립및누설 TEST				200,000	
			소계	8,560,000		

실제 예산에 시작품 제작비로 반영된 연구비는 13,000천원으로 원가의 약 55%에 제작된 것이다. 표 4-11은 BASE FRAME, CHIP 투입장치 및 HOPPER, 1차 SCREW CV, 2차 SCREW CV, BOILER 본체에 대한 상세 비용 내역을 소개한 것이다.

본 목재 열에너지 연구가 실용화되어 양산된다면 제작단가는 20,000천원 이하로 감소할 것으로 예상된다. 하지만 여전히 개인이 부담하기에는 부담스러운 설비임에 틀림없다. 따라서 실용화시키기 위해서는 현재 강원도 지역에서 화목 보일러를 설치하는데 있어서 가구당 설치 비용을 보조 하듯이 칩 보일러 보급에 있어서도 비용의 상당 부분을 정부나 지자체가 지원해야 할 것으로 판단된다.

제 5 장 목재 열에너지의 경제성 분석

제1절 목재 열에너지 원료의 생산 비용 분석

1. 집재비용

숲 가꾸기 작업으로 산림에 방치되는 폐재를 수집하여 목재 칩으로 가공하여 보일러 연료로 사용하도록 공급하는 데에 투입되는 총비용을 계산할 필요가 있다. 이 과정의 구성비용을 살펴보면 간벌재를 임도까지 끌어내리는데 소요되는 집재비용, 원목을 파쇄기까지 운반하는데 소요되는 상차비와 운반비, 파쇄비용, 그리고 목재칩을 실수요자에게 공급하는데 소요되는 운반비용으로 구성된다.

표 5-1. 산림청의 산물수집 공정 및 단가

구분	공정 (인·일/ha)	수집량 (m ³)	수집량 (t)	수집비용 (원/ha)	수집단가 (원/m ³)	수집단가 (원/t)
인공림 간벌	15.4	19.3	13.6	706,708	36,617	51,963
천연림 보육	12.1	15.1	10.7	555,342	36,778	51,714

- 주 1. 산림청의 산물수집 공정을 기초로 작성, 노무비는 41,218원 적용
 2. 수집비용에는 노무비 외에 부대비용도 포함됨
 3. 목재 1m³은 0.706톤으로 환산

먼저, 산림 내 폐재를 임도변까지 끌어내리는데 소요되는 집재비용을 검토한다. 산림 내 폐잔재의 수집비용은 산림청의 산물수집 품셈 자료를 활용하여 구하였다. 인력작업에 의한 산림작업 산물 수집비용은 노동투입량에 노임단가를 곱하여 구하며 임분 상태와 작업조건에 따라 ±10%의 차등을 적용한다. 인력작업에 의한 산림작업 산물의 수집비용은 인공림 간벌의 경우 36,617원/m³, 천연림 보육의 경우 36,778원/m³으로 추정되었다. 이것은 집재거리 30m 내외에 있는 경우를 가정

한 것이며 집재거리가 멀어질수록 수집비용은 더욱 상승한다.

2. 목재칩 파쇄비용

파쇄작업은 5인1조 작업으로 이루어지고 있는데 인건비는 기계조작원은 48,1000 원/일, 보조원은 33,000원/일으로 계산하고 작업은 50분 작업 10분 휴식으로 가정하였다. 소모품은 클러치와 목재파쇄기 칼날이며 연간 100만원이 소요되는 것으로 가정하였다.

목재 파쇄기의 1일 사용료는 103,675원으로 산출되었다. 사용료 가운데 유류대가 대부분을 차지하고 있다. 만약 정부가 기계를 구입하여 보조로 지원하는 경우에는 이자(4,442원)와 감가상각비(17,768원)가 제외되어 1일 기계 사용료는 81,465원이 된다. 현재 간벌재 활용을 위해 산물활용장비를 정부가 보조하고 있으므로 기계를 정부로부터 보조로 조달하는 것으로 가정하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 따라서 목재칩 1 톤 생산을 위한 파쇄비용은 10,007원/톤으로 추정되었다.

표 5-2. 목재칩 파쇄비용

구분	기계구입시	기계구입 정부보조
1일 작업량(kg/일)	26,139	26,139
1일 인건비(원/일)	180,100	180,100
1일 기계사용료(원/일)	103,675	81,465
1일 생산비용(원/일)	283,775	261,565
톤당 생산비용(원/톤)	10,857	10,007

주: 장비는 (주)풍림환경특장의 125마력 목재파쇄기
 자료: 한국임정연구회(2003)

3. 목재 칩의 공급 비용 분석

목재 칩 생산비용은 원목을 임도까지 끌어내리는데 소요되는 집재비용, 원목을 파쇄기까지 운반하는데 소요되는 상차비와 운반비용, 파쇄비용 그리고 칩을 소비

자에게 전달하는데 소요되는 운반비용으로 구성된다.

먼저 간벌재를 임도까지 수집하는 비용은 51,963원/톤으로 산출되었다. 상차비용은 김의경, 정상기(2000)의 연구결과에서 인용하여 재당 14원이 소요되는 것으로 가정하였으며, 운반비용은 시군 관내의 경우 재당 40원이 소요되는 것으로 가정하였다. 목재칩으로 파쇄하는 비용은 파쇄기를 정부보조로 구입하는 것을 가정하여 톤당 10,007원이 소요되는 것으로 가정하였다. 그리고 칩을 실수요자에게 공급하는데 소요되는 운반비용은 비교적 가까운 지역에 공급하므로 일률적으로 원목 운반비의 절반으로 가정하였다.

간벌재를 수집하고 칩을 만들어 실수요자에게 공급하는 것은 산림조합 등의 공급주체가 일관되게 담당하여 작업을 실시하므로 그러한 작업을 수행하는데 따르는 시설 및 인건비 등의 고정경비가 발생하고 적정이윤도 보장해 주어야 하므로 총생산경비의 30%를 공정비용 및 이윤으로 보장해 주는 것으로 가정하였다. 이러한 가정에 따라 계산한 결과 목재칩 1톤 공급에 120,644원이 소요되는 것으로 파악되었다.

표 5-3. 목재칩 공급비용의 산출

(단위 : 원)

구분	목재칩 1톤 생산	비고
간벌재 수집(집재) 비용	51,963	인공림간벌, 인력수집
간벌재 상차 비용	5,833	14원/재 (1재=0.0024톤)
간벌재 운반 비용	16,667	40원/재
파쇄 비용	10,007	
칩 운반비용	8,333	원목운반비용의 절반
칩생산자 고정비용 및 이윤	27,841	생산비의 30%
총비용	120,644	

제2절 농산촌 지역의 에너지 이용 현황 및 잠재력

숲 가꾸기 사업에서 발생하는 목질 바이오매스를 에너지로 활용하기 위해서는

우선 자원이용이 용이한 농산촌 지역에 적용할 수 있을 것이다. 이러한 점에 기초하여 농촌 지역의 에너지 소비 실태를 살펴보고 이에 기초하여 기존의 화석연료 에너지 소비에 대한 목질 바이오매스 에너지의 대체 가능성을 분석해 보고자 한다.

표 5-4는 농촌 지역의 에너지 소비량을 열량 기준으로 정리한 것이다. 이를 보면 우리나라 농촌 지역의 에너지 소비는 석유류에 대한 의존도가 높고 그 외 전력과 연탄을 사용하고 있는 것으로 나타났다. 임산연료의 사용은 비교적 산림자원이 풍부한 전북과 강원도에서 일부 사용되고 있으나 전체적으로 매우 적은 것으로 나타났다. 이처럼 석유 의존도가 높기 때문에 유가의 상승은 상대적으로 소득이 낮은 농촌 지역의 가계에 높은 부담을 안겨 준다.

표 5-4. 농촌 지역의 에너지 소비량 (열량기준)

단위: 10⁹ kcal

	합계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
연 탄	259.1	90.2	-	-	40.2	33.5	69.3	-	25.9	-
석유류	등유	15,580.3	2,590.0	1,340.1	1,864.2	2,516.4	1,201.4	2,153.4	1,925.4	1,613.5
	경유	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	중질중유	83.1	-	-	-	83.1	-	-	-	-
프로판	6,742.5	1,097.8	895.9	1,042.7	975.4	403.6	839.0	780.3	526.0	
가스	취사용	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	난방용	-	-	-	-	-	-	-	-	-
전 력	3,499.4	604.7	299.7	344.3	490.7	235.8	626.6	420.1	379.9	
열에너지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
임산연료	155.5	-	47.9	-	12.7	66.0	28.9	-	-	-
합 계	26,319.9	4,382.7	2,583.6	3,251.3	4,118.5	1,940.3	3,717.2	3,125.9	2,545.3	

자료 : 에너지경제연구원. 2002년도 에너지총조사보고서. 산업자원부

농촌 지역의 난방설비별 가구당 에너지 소비 형태는 표 5-5와 같다. 가정에서 난방설비의 선택은 연료의 가격, 소득수준, 편리성 등의 요인에 따라 선택할 것이다. 가구당 에너지 소비형태를 열량 단위로 환산하여 정리한 것이 표 5-6이다.

표 5-5. 농촌 지역의 난방설비별 가구당 에너지 소비 형태(고유 단위 기준)

		단위	평균	재래식 아궁이	연탄 아궁이	석유 보일러	LPG 보일러	중앙 난방 보일러	전기 보일러 및 온돌	기타
연 탄		kg	33.6	-	1,605.1	9.0	-	-	-	-
석 유 류	등 유	ℓ	1,045.1	-	103.7	1,274.1	17.5	52.0	91.8	-
	경 유	ℓ	-	-	-	-	-	-	-	-
	중질중유	ℓ	4.9	-	-	-	-	1,219.0	-	-
	프로판	kg	327.9	113.5	120.6	221.3	1,414.6	137.5	265.2	298.4
가 스	취사용	m ³	-	-	-	-	-	-	-	-
	난방용	m ³	-	-	-	-	-	-	-	-
전 력		kWh	2,374.6	1,636.5	2,085.0	2,354.7	2,474.9	2,067.0	2,534.2	2,781.2
열에너지		Mcal	-	-	-	-	-	-	-	-
임산연료		kg	32.4	3,375.0	73.7	-	-	-	-	944.4

자료 : 에너지경제연구원. 2002년도 에너지총조사보고서. 산업자원부

표 5-6. 농촌 지역의 난방설비별 가구당 에너지 소비 형태(열량기준)

단위: 10³ kcal

		평균	재래식 아궁이	연탄 아궁이	석유 보일러	LPG 보일러	중앙 난방 보일러	전기 보일러 및 온돌	기타
연 탄		151.2	-	7,233.0	40.0	-	-	-	-
석 유 류	등 유	9,029.4	-	902.2	11,084.7	152.3	452.4	798.7	-
	경 유	-	-	-	-	-	-	-	-
	중질중유	48.5	-	-	-	-	12,068.1	-	-
	프로판	3,934.8	1,362.0	1,447.2	2,655.6	16,975.2	1,650.0	3,182.4	3,580.8
가 스	취사용	-	-	-	-	-	-	-	-
	난방용	-	-	-	-	-	-	-	-
전 력		2,042.2	1,407.4	1,793.1	2,025.0	2,128.4	1,777.6	2,179.4	2,391.8
열에너지		-	-	-	-	-	-	-	-
임산연료		90.7	9,450.0	2,06.4	-	-	-	-	2,644.3
합 계		15,296.8	12,219.4	11,581.9	15,805.8	19,255.9	15,948.1	6,160.5	8,616.9

자료 : 에너지경제연구원. 2002년도 에너지총조사보고서. 산업자원부

이에 의하면 재래식 아궁이를 사용하는 농가는 임산연료를 사용하여 9,450.0×10³

kcal의 열을 소비하며, 연탄 아궁이를 사용하는 농가는 연탄을 사용하여 $7,233.0 \times 10^3$ kcal의 열을, 석유 보일러를 사용하는 농가는 등유를 사용하여 $11,084.7 \times 10^3$ kcal의 열량을 소비하는 것으로 나타났다. 따라서 기존 보일러 시스템을 임산연료 보일러로 대체하려면 그에 상응하는 열량을 공급할 수 있어야 한다.

제3절 목재 열에너지 이용의 경제성 분석

농산촌 지역에서 목질 바이오매스가 다른 에너지를 대체할 수 있는 가능성을 살펴보기 위해서는 시계열 자료를 활용한 계량분석모형을 설정하는 작업이 필요하다. 그러나 국내에서 목질 바이오매스 에너지의 보급이 충분하지 않고 관련 자료도 충분히 확보되어 있지 않아 불가능한 실정이다. 그러므로 기존 통계자료를 활용하여 이를 검토해 보고자 한다.

먼저, 농산촌 지역에서 주로 활용하고 있는 에너지의 가격을 살펴보면 표5-7과 같다. 보일러 등유의 가격은 1990년대 후반부터 환율 상승, 국제 유가 변동에 따라 크게 상승하고 있지만 연탄 또는 전력의 가격은 상대적으로 안정된 추세를 보여 주고 있다. 따라서 목질 바이오매스를 활용한 보일러의 개발·보급은 주로 석유제품을 활용한 보일러를 대체하게 될 것이다.

표 5-7. 에너지가격 추이

	보일러 등유 (원/ℓ)	연탄가격(원/3.6kg)	전력가격(원/kWh)
1991	482.2	167.25	54.23
1992	231.1	167.25	58.09
1993	254.0	167.25	58.90
1994	252.3	167.25	60.22
1995	261.6	167.25	61.28
1996	314.3	167.25	62.99
1997	373.5	167.25	65.26
1998	498.2	167.25	72.08
1999	445.6	167.25	71.59

2000	545.0	167.25	74.65
2001	574.0	167.25	77.06
2002	553.5	167.25	73.88
2003	640.0	184.00	74.68

자료 : www.keci.re.kr

주: 연탄가격은 공장도가격임. 도소매가격은 시·도지사 결정

에너지는 종류에 따라 고체, 액체, 기체 등 각기 다른 형태를 취하므로 이를 물량 단위로 비교하기는 어렵다. 그러므로 각 에너지의 발열량을 기준으로 각 에너지원의 효율성을 비교하게 되는데 그 환산 기준은 표 5-8과 같다.

표 5-8. 에너지원의 열환산 기준

구분	원유	등유	무연탄	전력	임산연료
단위	kcal/kg	kcal/ℓ	kcal/kg	kcal/kWh	kcal/kg
발열량	10,000	8,700	4,500	860	2,800

주 : 임산연료의 발열량은 함수율 50%로 가정한 수치임. 기건 상태의 발열량은 4,500임.

자료 : 에너지이용합리화법 시행규칙. 1999.

각 에너지원의 열환산 기준에 따라 농촌 지역에서 주로 사용하는 난방용 보일러에 대한 단위 열량당 비용을 계산하면 표 5-9와 같다. 연료용 목재칩은 보관 여부에 따라 함수율이 달라지고 함수율에 따라 연료발열량도 달라지는데, 이 연구에서는 우리나라 에너지통계에서 일반적으로 적용하는 임산연료의 발열량 2,800 kcal/kg을 적용하였다.

표에서 보는 것처럼 전기보일러가 단위 열량당 생산 비용이 가장 높고 그 다음이 등유 보일러로 나타났다. 목재 칩 보일러는 단위 열량 생산비용으로 비교해 볼 때 연탄 보일러보다는 못하지만 등유보일러, 전기 보일러보다는 비용효율적인 것으로 나타났다. 현실적으로 목재 칩 보일러가 대체가능한 난방 시스템은 등유 보일러이므로 이들 난방 시스템을 비교해 볼 필요가 있다. 앞에서 본 것처럼 농촌의 등유보일러 사용 가구는 연간 11,084천kcal의 열을 소비하므로 이를 목재 칩 보일러로 대체하려면 역시 동일한 열량을 제공하여야 한다.

표 5-9. 난방 설비별 단위 열량 생산 비용

구분	연탄보일러	등유보일러	전기보일러	심야전기 보일러	목재 칩 보일러
에너지단가	202.5원/장 (3.6kg)	640원/ℓ	74.7원/kWh	32.6원/kWh	126.6원/kg
연료발열량	4,500 kcal/kg	8,700kcal/ℓ	860kcal/kWh	860kcal/kWh	2,800kcal/kg
열효율(%)	71.6	80	95	95	70
단위열량당 비용 (원/1000kcal)	17.5	92.0	91.4	39.9	35.2

- 주 1. 열효율은 제조사, 기종에 따라 달라질 수 있음
 2. 연료 가격은 물가정보 참조

이러한 가정으로 계산하면 표 5-10에 제시한 것처럼 목재 칩 보일러는 연간 4톤 가량의 목재 칩을 소비하고, 연료비용은 등유보일러의 60% 수준으로 절감할 수 있을 것으로 추정된다. 한편, 부피로 볼 때 등유보일러보다 5배 이상이 되어 취급이 어렵다는 점을 감안해야 할 것이다. 즉, 저장에 따른 비용, 관리불편에 따른 비용이 동반되나 이러한 점은 비용에 반영하지 못하였다.

표 5-10. 등유 보일러와 목재칩 보일러 비교

구분	등유 보일러	목재칩 보일러
연료 가격	640원/ℓ	126.6원/kg
단위 연료 발열량	8,700kcal/ℓ	2,800kcal/kg
연간 필요 발열량	11,084,700 kcal	11,084,700 kcal
연간 연료 소비량	1,274.1 ℓ (1.274m³)	3,958.8 kg (5.6m³)
연간 연료 비용	815,414원	501,184원



그림 5-1. 목재칩 보일러 시작품(창신대 제작)

위의 계산은 최근의 상승된 유가에 기초한 것이며, 바이오매스 에너지 이용의 경제성은 유가 변동에 따라 영향을 받는다. 또한 농촌 노임이 점차 상승하는 추세인 점도 중요한 변동요인이 된다.

한편, 농산촌 지역에 목재 칩 보일러를 공급하기 위해서는 매년 가구당 4톤 가량의 목재칩을 안정적으로 공급할 수 있는 지역을 선정해야 할 것이다.

제 6 장 목재 에너지 이용의 활성화 방안

제1절 목재 에너지 이용의 추진방향과 과제

1. 목재 바이오매스 에너지 이용의 추진방향

가. 열에너지 이용 시스템 보급

숲 가꾸기 사업에서 발생하는 목질 바이오매스의 활용도가 낮은 것은 활용할 수 있는 용도가 없는 것이 가장 큰 원인이다. 그러므로 목질 바이오매스 에너지를 활용할 수 있는 장치, 에너지 시스템을 보급하는 것이 우선적인 과제이다.

우리나라에서는 벌채 및 숲 가꾸기 현장의 규모가 작고 분산되어 있어 이를 수집하는 데에 많은 비용이 소요된다. 그러므로 생산된 바이오매스의 운반비용을 최소화하는 것이 중요하다. 그러므로 난방설비의 보급은 농가 또는 마을 공동난방 등을 중심으로 소형 보일러 위주의 시설 설치를 추진하는 것이 바람직하다.

강원도는 지역의 풍부한 산림자원을 활용하여 목재 에너지 활용계획을 세우고 나무보일러 설치를 지원하고 있는데, 지역 주민에게 호응을 얻어 사업을 지속적으로 운영하고 있다. 현재 도에서 지원하는 나무 보일러는 장작을 사용하므로 설비 운영상의 불편함에 대한 호소가 많다. 장작연료의 크기가 불균일하여 투입이 자동화되어 있지 못하므로 빈번하게 연료를 공급해야 하는 점, 부피당 열발생량이 낮아 많은 연료를 쌓아 두어야 하는 공간의 문제 등이 주요 불편사항으로 지적된다.

목재 칩을 연료로 활용하는 보일러의 공급은 이러한 불편을 어느 정도 해소할 것으로 기대된다. 그러므로 나무보일러와 비슷한 보조지원을 통해 칩 보일러 설치를 지원할 필요가 있다. 연료는 숲 가꾸기 산물 수집을 통해 발생하는 목질 바이오매스를 칩으로 가공하여 저렴하게 공급해야 한다.

나. 지역순환형 시스템 확립

지역에서 발생·배출되는 목질 폐기물, 미이용 바이오매스, 자원 작물의 바이오매스를 그 지역에서 물질재료 또는 제품으로 변환하고 그 지역에서 소비하며 최대한 이용하여 최종적으로 바이오매스 폐기물에서 에너지를 추출하여 지역에너지로 활용하는 자원순환형 체제가 구축되어야 한다. 특히, 목질 바이오매스 에너지에 의한 발전과 열공급에 관한 사업을 추진하는 데는 목질 바이오매스의 안정적인 공급량의 확보, 전기와 열의 공급대상 확보, 효율적인 에너지 변환기술, 정책적 지원 등이 필요하다. 그리고 목질 바이오매스는 화석연료에 비해 밀도가 낮으므로 이용 활성화를 위해서는 수송비용을 최소화할 수 있는 지역 단위의 효율적인 순환구조를 구축하는 것이 무엇보다 중요하다. 순환형 경제사회 시스템을 구축하는 지역의 우위성을 확보하기 위해 제조업에서 환경부하가 낮은 원료의 조달과 재사용, 재활용을 고려한 제품 제조, 자원·에너지 부담이 적은 생산기술을 개발하여 임업·목재산업의 활성화와 환경이 조화되는 복합형 신산업의 창출을 검토할 필요가 있다.

다. 산림관리·토지이용 시스템 정비

목재생산형 산림경영체제에서 목재 열에너지 이용에 적합한 체제로 전환할 필요가 있다. 즉, 연료용 바이오매스를 안정적으로 공급할 수 있는 산림관리·토지이용 시스템으로 정비해 나아가야 한다.

현실적으로 농업생산성이 낮은 유휴농지에 연료용재를 조립하도록 지원하는 것도 방안이다. 농지를 산림으로 전환하면 수목 자체는 물론이고 토양의 탄소저장 기능도 획기적으로 증가시켜 지구 온난화 방지에도 기여하는 효과가 크다. 그러나 농지의 조립은 산림전환행위로 여겨져 농지전용절차가 필요하고 임야는 농지보다 토지가격이 낮아 농지소유자의 자발적인 조립을 기대하기 어렵다.

이에 유휴 농지에 속성수를 심어 연료림을 조성하는 행위에 대하여 규제를 완화하고 탄소흡수 및 농촌 경관자원조성이라는 측면에서 경관직불제에 포함할 필요가 있다. 여기에서 발생하는 산물을 칩 또는 펠렛으로 가공하여 농산촌 지역의 에너지원으로 활용하는 것은 순환형 지역사회 구축에 기여하는 것이 된다. 이를 위해 연료용재로 활용할 수 있는 속성수 품종 개발 및 보급 정책도 동반되어야

할 것이다.

라. 산림에 관한 정보 시스템 정비

산림에 관한 정보를 지속적으로 파악, 분석할 수 있는 원격탐사기술과 지리정보 시스템 등을 활용한 산림정보 관리시스템을 확립해야 한다. 산림자원의 정밀한 분석을 통해 바이오매스 발생을 추정하고 최적의 수집망 구축이 가능하다.

2. 목재 바이오매스 에너지 이용의 과제

가. 목재 바이오매스 자원량 파악의 곤란

목재 바이오매스의 부존량의 파악이 곤란하여 장래를 위한 사업계획의 수립과 추진에서 어려움이 많다. 바이오매스 자원에 대해서 생산부터 소비, 폐기까지의 기초적인 자료를 수집하고 발생량 추정기법을 확립할 필요가 있다. 이를 위해 계량기법의 통일, 자료정비의 검토가 필요하다.

여기에 기초하여 지역에 밀착한 바이오매스 공급량의 확보, 수요와 공급의 균형, 설비·수집·반출에 따르는 비용에 대한 지역적 평가가 필요하다.

나. 목재 바이오매스의 수집 비용

목재 바이오매스는 넓고 얇게 존재하며 수분함량이 많아 다루기 어렵고 수집·운반비용이 높은 단점이 있다. 이 때문에 화석연료에 비해 경제적으로 불리하며 목재 바이오매스의 이용을 저해하고 있다. 수집 비용을 증대시키는 요인에는 부족한 산림관리 인프라도 있다. 임도망이 충분히 확충되어 있지 않기 때문에 숲에 접근하기 어렵고 운반비용을 높이는 것이다.

또 목재 바이오매스의 발생장소, 시기, 물량 등이 불안정하고 그에 따라 반입비, 운반비 등의 수집비용(연료비, 인건비 등)이 시설의 운영경비와 채산성에 직접 영향을 미친다.

다. 에너지 변환기술의 미흡

과거 우리나라에서도 목재 바이오매스를 주된 연료로 이용하여 왔지만, 화석연료

가 보급되면서 목재 바이오매스의 에너지 이용은 점차 줄어들었다. 근래 국제유가가 상승함에 따라 농산촌 지역에서는 풍부한 산림자원을 에너지로 이용하려 시도하고 있지만 난방설비와 변환기술이 마땅하지 않다. 손으로 던져 넣는 방식이 아니라 자동화되고 번거로움을 덜어 주는 목재 바이오매스 연료가 부족한 실정이다. 이처럼 설비와 변환기술이 미흡한 것은 목재 바이오매스의 에너지 활용을 저해하는 주된 요인이다.

제2절 목재 바이오매스 에너지 활용 기술개발 방향

1. 에너지 효율 향상

기술적인 관점에서 바이오매스 에너지 이용의 고도화를 위한 과제와 상정가능한 해결책을 정리하면 다음과 같다.

목재 바이오매스의 에너지 사용은 다른 화석연료에 비하여 에너지 효율성이 크게 떨어진다. 즉, 연료가 차지하는 공간이 매우 크다는 단점을 가지고 있다. 현재 선진국에서는 펠렛 형태로 성형 압축된 목재 바이오매스 에너지를 활용하고 있다. 이와 같은 기술로 목재 바이오매스의 에너지 효율성을 개선하여 석유와 같은 화석연료와 비교하여 불편함이 없도록 기술개발을 추진해야 한다.

2. 에너지 변환효율의 향상

에너지 변환효율이 향상되면 단위원료 투입량당 에너지 생산성이 높아지고 바이오매스 에너지 이용 플랜트의 수익성 개선에도 기여할 것이다.

메탄 발효는 현재에도 성숙된 기술이지만 저에너지로 고효율의 바이오가스를 회수하기 위해 메탄발효의 반응속도를 향상시키는 것이 과제이다. 그 방법으로서 발효온도를 상승시켜 반응속도를 높이는 것을 생각할 수 있지만 가축분뇨를 원료로 하는 경우는 암모니아 농도가 높고 발효저해가 일어나는 문제가 있다. 따라서 암모니아 농도를 저감하는 기술, 암모니아 내성이 높은 메탄발효균을 개발하여 고도발효에 의한 반응속도 향상을 도모하는 것이 필요하다.

반응속도와 함께 분해율을 향상하면 발효 찌꺼기의 발생을 억제할 수 있다. 찌꺼기는 섬유질이 많이 함유되어 있어 이를 더욱 분해해서 바이오가스를 회수하는 것은 비효율이므로 대부분 소각시키고 있다. 하지만 여기에서 바이오가스를 회수할 수 있으면 경제성 향상을 기대할 수 있다.

3. 요소기술 및 주변기술의 개발

목재 바이오매스의 에너지 이용을 위한 개발과제로서 메탄발효, 가스화 등 중심 기술 외에도 요소기술, 주변기술의 개발이 중요하다.

목재 바이오매스를 수집할 때 우리나라 산림은 경사가 급한 산악지대이므로 서구에서 사용되는 장치를 직접 도입하는 것은 곤란하고 우리나라 산지 조건에서 작업할 수 있는 기계장비의 개발이 필요하다. 경사가 급한 우리나라 지형에서 활용할 수 있는 벌채 장비, 운반 장비를 개발하는 것은 목재 바이오매스 활용도를 크게 높일 것이다. 그리고 원료 운반이 어려운 간벌재 등을 칩으로 만들거나 압축성형하여 밀도를 높이는 기술 개발도 필요하다.

목재 바이오매스를 활용하는 난방설비 등의 열효율을 개선하는 것도 필요하다. 고체 형태의 목재 바이오매스는 연료로 사용하기에 불편함이 많아 화석연료보다 사용을 기피한다. 이러한 불편한 요소를 줄여서 통제할 수 있고 열효율을 높이는 기술개발이 필요하다.

4. 기술혁신

바이오매스는 화석연료의 대체물질을 제조하는 것이 가능한 기술이므로 에너지 문제, 온난화대책, 그리고 신규 화학산업 창출에 크게 공헌할 것으로 기대되며 혁신적인 기술의 연구개발도 추진되고 있다.

수소발효기술은 앞으로 도입보급이 기대되는 연료전지용 연료로서의 이용이 가능하고 셀룰로오스계 자원의 에탄올 발효기술은 연료, 화학 기간원료로서 이용하는 것이 가능하다. 또 초임계를 이용한 전환기술은 바이오매스의 건조공정이 필요하지 않으므로 에너지 사용에서 유리할 뿐만 아니라 금후의 화학 기간원료 제조

프로세스에 혁명적인 영향을 미칠 가능성을 감추고 있다.

현재는 대부분의 기술이 연구실 수준에 머물러 있는 것이 많고, 앞으로는 서서히 규모를 확대하여 실증화하는 연구개발을 추진할 필요가 있다.

5. 소규모화

일부에서 실용화가 시작된 소규모 분산형의 직접연소 발전, 가스화 발전, 메탄발효는 기술적으로 아직 완성된 단계가 아니다. 에너지 이용시설의 소규모화를 추진하면 자원이 발생하는 곳에서 변환이 가능하다. 이를 통해 원료수송의 비용을 절감할 수 있고 지역 현실에 부합하는 규모의 바이오매스 에너지 시설을 도입할 수 있다.

제3절 산림 폐재의 지속적 확보 방안

1. 생산작업의 기계화를 통한 산림작업방식의 개선

숲 가꾸기 사업을 포함하여 벌채허가사업의 간벌재 또는 주벌재를 생산하는 수확작업 방식을 현행 인력위주에서 인력과 기계를 조합하는 방식으로 전환할 필요가 있다. 인력 위주의 단재생산의 경우 벌채 현지에서 모든 작업이 이루어지므로 수집 및 운반 등에 많은 인력 및 비용이 소요되며 또한 수집 과정에서 산림에 피해를 주거나 사고위험이 높다. 반면 기계화 작업에서는 전간재나 전목생산이 가능하므로 생산성도 향상되고 바이오매스 활용을 높이고 산림피해의 최소화를 도모할 수 있다.

이를 위하여 임도 등 산림생산기반시설의 확충, 기계화 구입 자금 지원, 기계화 지원센터, 전문기술자 양성 등을 추진해야 한다.

2. 임업·임산업의 집약화와 통합화

바이오매스는 다종다양한 자원으로 구성되어 있고 생산부터 가공, 소비의 과정에서 형태를 바꾸어 발생한다. 바이오매스의 에너지 변환기술과 이용기술도 마찬가지로

지이다. 직접연소, 열화학적 변환, 생물화학적 변환을 통해 연료 형태가 달라지며 최종적으로는 발전(發電), 열이용, 수송연료의 형태로 각각의 목적에 따라 이용된다. 따라서 생산, 수집, 유통, 처리, 가공, 에너지 변환, 조림과 육림 등에서 유기적 연결이 필요하고 경제적 또는 채산가능한 자원순환형 사회 시스템 구축이 필요하다.

소규모의 단위 제재소에서 목재가공과 건조 등에 필요한 전기와 열을 자체에서 발생하는 제재 폐기물로 충당하는 것은 어렵다. 그리고 산림의 소유 형태가 소규모 분산적이라는 점을 감안하여 지역 단위에서 조직적으로 산림을 활용하는 시스템을 검토해야 한다. 이를 통해 임업·임산업의 집약화·통합화를 추진하여 산림의 벌채 및 반출 비용, 그리고 연료용 목재 바이오매스의 생산비용을 절감할 수 있다. 아울러 임업활동을 활성화하고 임업이 산업으로서 고용기회를 창출할 수 있다. 이에 따라 목재 바이오매스 등의 산림 폐기물의 새로운 시장과 산업의 창출을 기대할 수 있다.

3. 병해충 피해목의 에너지 이용

최근 급속히 확산되는 소나무 재선충 등 병해충에 의해 피해목은 임목들의 경우 산지에서 완전 소각해 버리고 있다. 중요한 자원을 낭비하고 있는 것이다. 소각 처리도 필요하지만 자원을 충분히 활용한다는 차원에서 에너지로 활용하는 방안이 필요하다. 지역난방 시스템이 갖추어진 곳에서는 직접연소도 가능할 것이며, 피해목이라도 펠렛으로 가공하는 것에는 문제가 없을 것이다.

4. 산림 폐재 수집 및 활용 제도 개선

산림 폐재를 수집·활용하기 위해 지원하는 현행 국고보조 대상사업을 숲 가꾸기 간벌 및 천연림 보육(간벌단계) 사업이다. 국고보조에 의해 사업을 실행한 후 발생하는 산물의 수집대상 지역은 사업에 따른 재해발생 우려지역 즉, 농경지, 도로, 하천, 임도, 마을, 계곡 만수위 등으로부터 사면거리 30m 내외 지역에 국한한다. 그리고 수집된 산물은 산주의 동의를 얻어 톱밥, 우드칩, 벌도목, 원목 등

으로 생산하여 공익 공공목적으로 활용하거나 매각토록 하고 있다.

산림 폐재를 적극 수집, 활용하기 위해서는 중장기적으로 국고보조 대상사업을 숲 가꾸기 사업에서 일반 간벌, 주벌, 수종갱신 등의 범위까지 넓히고 또한 수집 지역의 범위도 기계화 집재가 가능한 범위까지 확대하여야 한다. 일본의 경우 산림작업을 임도변까지 산물을 반출하여 활용할 수 있도록 지원하여 산물활용을 적극 도모하고 있다. 그렇게 하기 위해서는 작업지에서 임도까지의 거리, 경사 등을 고려한 보정계수를 도입하여 실질적인 보조액을 산출하고 적용해야 할 것이다

제 7 장 목표달성도 및 관련분야에 의 기여도

제1절 목표 달성도

연도별로 설정한 연구목표는 3개 분야씩이다. 이들에 대한 연구결과를 당초 설정한 목표와 비교해 볼 때, 미흡한 분야가 있기는 하지만 대체로 무난하게 목표를 달성했다고 판단하고 있다. 결과를 아래 표에 정리한다.

표 7-79. 연구결과의 목표 달성도

구분	목 표	수 행 내 용	달성도
1차 년도	열에너지원료 생산현황·분석	-지역별로 간벌재 등 수확량 파악 -처리실태 조사	100%
	농산촌 에너지 이용실태 및 에너지 이용 폐재 이용의 잠재력 평가	-농산촌 에너지 이용실태 조사 -산림 폐재 이용의 잠재력 평가	100%
	열생산 시스템 조사	-보일러 설계 기초자료 수집 -타에너지원과의 공동사용 가능여부 -짚의 feeding system 선정	100%
2차 년도	열에너지 수요 및 공급 가능지 분석	-열에너지 원료로서 간벌재 생산방 법 및 열에너지에 대한 수요를 조사	100%
	열에너지 개발의 경제성과 에너지용 산림 폐재의 유통체계 분석	-산림 폐재의 유통체계, 수집비용과 칩 제조비용을 조사 -농산촌의 에너지 대체 가능성 검토	100%
	열에너지 생산 공급 시스템 설계	-자동연료 투입 시스템을 선정 -플랜트 모델 선정과 Pilot 설계	100%
3차 년도	열공장 적지선정 및 시범단지 운영 방안 제시	-원료공급 방법(루트설계)의 선정 -연료생산량과 열공장의 적정배치 -열에너지 생산 공장의 지형적 지리적 입지 조건	100%
	에너지 연료의 지속적 확보방안	-열에너지의 경제성 분석 -산림 폐재의 지속적 확보방안	100%
	보일러 제작 및 시운전	-Pilot 플랜트 제작 -최적의 운전조건을 얻기 위한 시운전	100%

각 분야별 평가 착안점에 입각한 평가는 약간의 미진한 부분이 있기는 하나 연

구진은 당초 기대한 것과 비교할 때 만족할 만한 수준이라고 평가한다.

표 7-80. 연구평가의 착안 사항별 평가 결과

구분	평가 착안 사항	척도	착안사항에 대한 평가	평가
1차 년도	o열생산 시스템 조사의 적정성	40	국외 지역 국내지역 적정하다고 판단	40
	o열에너지 원료생산조사의 타당성	30	간벌재 등 전국과 강원도 조사 적정	30
	o폐재 이용 잠재력 평가의 적합성	30	열에너지 이용분야에 맞춘 조사로 적정	30
2차 년도	o열에너지용 원료 생산방법 및 처리실태	30	강원도 지역을 상세조사한 것으로 적정	30
	o열에너지 생산비용과 공급가격, 대체가능성 분석	30	대체 가능성 분석 적정함	30
	o급탕 설비 설계 및 보일러 설계	40	적합한 규모로 선정하여 설계함	40
3차 년도	o열에너지 공장의 최적 입지조건과 시범단지 조성방법	30	결정에 쓰인 이론과 방법 모두 적정	30
	o목질 열에너지 공급 시스템의 경제성 분석 방법과 결과의 타당성	30	경제 분석 대체로 적정함	30
	oPilot 플랜트 제작, 시운전, TAB 상태	40	적은 예산인데도 양호하게 제작하고 시운전에서도 효율이 적정하게 나타남	40

제2절 관련분야에의 기여도

크게 두 가지 측면에서 기여하는 정도를 정리할 수 있다.

첫째, 임업의 활성화에 기여하고 있는 점이다. 즉, 방치되고 있는 간벌재 등 임지 폐재의 이용이 증가하여 지역 소득 증대와 함께 간벌이 촉진됨으로써 임업이 활성화 되는데 기여할 것이다. 둘째, 관련 기술 산업의 성장에 기여하는 점이다. 현재 파악하고 있기로는 외국에서 아주 비싼 보일러가 수입되어 판매되고 있는 것으로 전해지고 있다. 본 연구팀이 제작한 보일러는 비교적 저렴한 비용으로 제작한 것으로서 양산 체제만 갖춘다면 저가로 보일러를 보급할 수 있기 때문에 생산과 소비가 촉진되어 관련 산업의 성장에 크게 기여할 것으로 본다.

제 8 장 연구개발결과의 활용계획

제1절 활용계획 및 기대효과

1. 활용방안

예상되는 활용분야 및 활용방안을 종합하면 다음과 같다;

- 제작된 칩보일러는 자연 휴양림 등 간벌재 생산지와 가까운 곳에 있고, 또한 청정에너지 및 대체 에너지가 사용되어야 하는 장소라면 어디라도 우선적으로 활용할 수 있을 것이다.
- 산림자원을 활용하는 산촌을 그린 빌리지로 조성하고자 할 때 자원 순환형 마을공동체를 구축할 수 있는 난방시설로 도입할 수 있다.
- 난방유의 구입가격에 부담을 느끼는 비닐 하우스, 축사, 산간 오지의 난방 및 급탕설비에 활용 가능할 뿐아니라,
- 대량으로 칩보급이 가능한 비교적 큰 규모의 시설(지방 관공서, 학교, 병원 등)에도 활용이 가능하다.
- 또한, 산림학교, 자연교육 시설 등에서 어린이와 청소년들에게 환경친화적 자원이용의 한 사례로서 교육시키는데 유용하다.

2. 기대효과

가. 기술적 측면

- 지금까지 목재 보일러는 화목을 연소시켜 열에너지를 얻는 것이었지만 목재칩 보일러에서는 칩을 이용하기 때문에 칩생산기계의 성능향상에 이바지할 수 있고,

- 자동연소 시스템의 개발로 목재 연소시 난방 및 급탕부하에 따른 효율을 최대한으로 이끌어 올릴 수 있다.
- 열효율을 높일 수 있도록 칩함수량을 낮추는 건조기술의 개발을 기대한다.

나. 경제 · 산업적 측면

- 목재 에너지라는 대체 에너지의 개발로 화석연료의 사용량을 줄일 수 있으며
- 배기가스 또한 환경에 부하를 주지 않으므로 청정에너지로 사용할 수 있고
- 어떠한 형태의 나무도 칩으로 재활용할 수 있어 농촌 산간의 경제적인 면에 도움을 줄 수 있다.
- 고유가 시대를 맞이하여 목재 칩 보일러의 개발은 우리나라 에너지원의 해외 의존도를 낮추고,
- 화석연료에 대한 의존을 낮추어 환경보전에 기여할 것으로 기대된다.
- 또한, 목재 칩 보일러는 미활용 산림자원을 활용함으로써 숲 가꾸기에 기여하여 저가의 연료를 공급하여 농산촌 지역 주민의 생활향상에 기여할 것으로 본다.

다. 정책적 제도적 측면

- 무엇보다도 지자체에서 지역 경제를 활성화시키기 위한 정책의 하나로 적극적으로 추진하리라는 점을 기대할 수 있다.
- 산림청과 농림부 관련 부서에서 이를 산업화하고 활성화시키기 위한 정책을 모색하리라 기대되며 이에 따른 제도도 마련할 것으로 본다.
- 결론적으로 임업을 친환경적으로 경영하는 것을 조장하고 관련 산업을 육성시키고 활성화할 것으로 본다.

제2절 제안

1. 일반 제안사항

- 겨울철 집단적으로 분포되어 있는 비닐 하우스의 집단 중앙난방에 활용하기

위하여 지자체의 재정보조가 뒤따라야 하며,

- 전국에 산재해 있는 농림부 산하기관 중 산림자원을 다루거나 연관이 있는 공공기관, 예를 들어 농업기술센터, 국유림관리소, 산림조합, 자연 휴양림 등을 중심으로 정책적으로 보급하는 것이 필요하다.
- 대체 에너지와 청정에너지로서의 목재칩 열에너지를 적극 홍보하여 산업화할 수 있도록 해야 하고
- 산을 소유하고 있는 농촌의 일반 가정에서도 사용하기 편리하게 소형 보일러를 개발하는데에 기술적 재정적 지원이 있어야 한다.
- 보일러 업체에 기술이전과 함께 지속적인 기술개발을 공동으로 노력하는 체제를 갖추어야 한다.
- 차후 과제로서 추가기술개발 분야는 어떻게 하면 간벌재를 용이하고 저렴하게 생산할 수 있는가에 대한 연구가 이뤄져야 하는데 이것은 임목수확기술분야와 공동으로 협력하여야 한다.
- 외국의 사례와 관련하여 1차년도에서도 지적했듯이 본 과제와 같은 환경산업은 국가적 차원에서 적극적으로 권장하고 보급에 앞장서야 환경과 산업을 보장 받을 수 있게 된다.
- 정책적 차원에서 신설될 자연 휴양림 숙박단지의 일부를 목재 열에너지 난방 시스템을 적용하는 시범단지로 운영해 볼 것을 정부 당국에 요청한다.

2. 보일러에 관한 제안사항

보일러 효율과 연소방법 개선 등을 위한 추후연구에 대한 내용은 다음과 같다;

- 균일한 칩을 생산할 수 있는 설비 : 칩의 이송이 원활하게 이뤄지게 한다.
- 함수율이 최대 30% 이상 넘지 않는 목재칩의 생산 및 저장 : 보일러 효율증가와 보일러 내벽에 타르의 생성을 감소시켜 준다.
- 목재칩의 함수율이 높을 때 연소 가스의 열량으로 사전에 건조시킬 수 있는 방법 : 보일러 효율 증가와 연료비 감소
- 목재칩을 연소실 중앙의 가운데 부분에서 위쪽으로 이송시키며 연소시킬 수 있는 방법과 그때의 역화 방지법 : 목재칩의 사전건조 및 최대 부하 운전시 연료

투입 원활

- 구조단순화를 위해 저비용으로 전기 에너지를 사용하여 착화시킬 수 있는 방법 모색
- 램다 센서에 의한 연소의 최적화 : 최적 연소를 유지하여 보일러 효율 극대화
- 집진기 설치 : 재의 비산을 방지하기 위한 조치

3. 시범단지 조성 제안사항

가. 시범단지 후보지

연구 결과로 제작한 목재 칩보일러는 시작품으로서 시운전 결과 성공적인 것으로 평가되었다. 그러나 본 과제의 환경적, 정책적, 산업적 중요성에 비취 시작품 제작과 시운전만으로 종결해서는 의미가 없으므로 본 시작품이나 2, 3차 완성품을 만들어 본격적으로 현지에 적용하도록 해야 한다. 그렇게 하기 위해서는 시범단지 운영이 절실하게 필요하다. 의미있게 가동시키려면 후보지로서 신설 자연휴양림과 펜션 등 민박단지, 그 외 농가주택과 비닐 하우스 등을 고려할 수 있다. 자연 휴양림은 원료 공급지인 간벌 생산지이므로 경우에 따라서 칩제조기만 있다면 현장에서 직접 연료를 공급할 수 있는 장점이 있다.

나. 전체 규모

규모는 보일러 용량과 이를 가동시킬 연료공급 능력에 종속적이다. 큰 부담없이 꾸준히 연료공급이 보장된다면 신설될 자연 휴양림에 3~5채의 소규모로 집단화된 통나무집에 정책적으로 시범 적용해 봄직하다. 설계시 대상으로 삼은 학가산 자연 휴양림도 적합하다.

다. 운용 방안

시범단지에 설치될 보일러의 구입과 설치에 정부 등 공공기관에서 부담하고 연료 구입과 가동에 들어가는 비용은 사용자가 부담하는 것이 바람직할 것으로 본다. 가동기간 중에는 사용자가 보일러의 효율과 작동 상태를 점검할 수 있는 체크 리스트를 갖춰서 이상 있는 부분에 대해서는 늘 피드백 할 수 있게 한다.

제 9 장 연구개발과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

제1차년도에 해외 출장으로 방문한 오스트리아의 열에너지 생산공장을 방문하면서 얻은 몇 가지 기술분야는 다음과 같다;

- 칩 저장고 및 저장 기술: 사이로 등
- 칩 공급 장치의 설계 부분
- 타 에너지원 보일러와 겸용으로 가동하는 공급 시스템
- 공급 시스템의 컴퓨터에 의한 근거리 원격 조정 기술
- 지역 난방 공급시 열손실을 방지하기 위한 공급 라인(파이프)의 구조
- 제재소에 열공장을 건설할 때의 제재소와 열공장의 상호 연계 시스템

위에 제시한 기술 중에서 일부는 보일러 설계에 응용하여 제작에 반영하였다.

참고문헌

- 강원도청 산림정책과. 산림현황. 각연도.
- 곽승준, 전영섭. 1995. 환경의 경제적 가치. 학현사.
- 건설부, 1987. 사무소 건물의 에너지 절약을 위한 설계기준 연구.
- 國土開發研究院. 1992. 제3차 국토종합개발계획-제2권.
- 金啓中. 1990. 尖端産業研究團地建設의 地域開發效果에 관한 연구 - 대덕연구단지
지를 사례로.
- 金貴坤, 1993. 생태도시계획론. 대한교과서주식회사. 360쪽
- 金貴坤, 성현찬, 제상우, 전상우. 1993. 에코폴리스(Ecopolis). 환경과 조경. 1월호:
pp 141-149.
- 김갑덕, 김철민. 1988. 국내 삼림바이오매스 생산에 관한 연구와 동향. 임산에너지
지8(2): 94-107
- 김기원, 장우환. 1998. 폐재 등 바이오매스를 이용한 외국의 열에너지 이용 실태와
우리나라 도입 가능성에 관한 연구. 한국산림경제학회 학술발표논문집.
- 김기원. 2004. 국내 산림 바이오매스 현황과 잠재력. 산림 바이오매스의 이용과
전망. 2004국제 심포지엄. 강원대학교 산림과학연구소.
- 김기원, 배택희. 2003. 외국의 산지폐잔재 활용사례-열에너지 생산플랜트 활용.
산지 폐잔재 활용 세미나. 한국농촌경제연구원.
- 김기원, 배택희, 장우환. 2003. 간벌재를 이용한 바이오 열에너지 생산공급 시스
템 설계(I). 한국산림공학기술연구회. Vol(1) 2: 148~159
- 김기원, 심영권, 김철영, 배택희, 박운명. 2005. 간벌재를 이용한 열에너지 생산
공급 시스템 설계(II)-자연 휴양림 난방시스템의 적용가능성을 중심으로. 한국산
림공학기술연구회. Vol(III) 2: 125~144
- 김기중, 2004. 발전소의 탄생과 성장 그리고 그 뒷 이야기. 키출판사. 473쪽.
- 金善姬. 環境保存을 위한 土地利用 대책에 관한 연구. 國土研究. XVII. 1992: pp
151-170.
- 김영호, 박정원. 1996. 최신 공기조화설비, 보문당, 108쪽
- 金源 역. 1989. 학 연구도시. 원저 Annalee Saxenian, Silicon Valley. 박인사.
- 김의경, 정상기. 2000. 국산재 생산, 공급 체계 구축을 위한 합리적 방안 연구. 산림청.
- 농림부. 2000. 국산재 생산기술 산업화 기술개발에 관한 연구. 산림조합중앙회,

임업기계훈련원. 333쪽.
 박봉성, 서기원, 1996, 건축난방설비, 기문당
 박용배, 전상기. 1995. 목재소비실태. 임연보 제52호.
 박우근, 1984, 건축 급배수 설비 설계, 세진사
 변우혁, 이진석, Buxbaum, Kuersten, 2004. 목질계 Bio-Energy의 활용촉진을 위
 한 심포지엄. 산림포럼. 100쪽
 산림청. 임업통계연보. 각연도.
 산림청. 2005. 산림 바이오매스를 활용한 대체 에너지 이용연구. 정책 연수 보고
 서. 250쪽.
 산림청, 1993. 다목적 산림경영 시험단지 조성사업 타당성 조사. 서울대 임업과학
 연구소. 348쪽
 상주대, 2003. 단기 임산물 소득증대를 위한 심포지엄. 218쪽.
 성순경. 1997, 난방설비, 세진사
 손주익. 1994, 열병합 및 지역난방과 보일러, 금성 하니웰
 신치용. 1996. 공기조화설비, 기문당,
 안기욱. 1990. 목재유통개선방안, 한국농촌경제연구원, 연구보고 233.
 楊秉彛. 미래도시의 주거환경. 토지연구. 한국토지개발공사. 1991: pp. 32-41.
 에너지경제연구원. 2002년도 에너지총조사보고서. 산업자원부
 오세조. 박진용, 2001. 유통관리-시장지향적. 博英社. 490쪽.
 오세창, 안세희, 한규성. 2004. 목재와 인간생활. 229쪽.
 오정수. 1994. 목재폐기물 재활용, 제14회 한솔환경세미나.
 옥치상. 1996. 폐기물 관리 및 처리기술, 대학서림.
 윤천석. 2004, 대체에너지. 인터비전. 424쪽.
 이용화, 박효석, 1997. 건축 급배수·위생설비, 세진사, p.146,
 이종영, 1998, 폐목재의 재활용에 대하여, 대한 토목학지
 이병규 외 역, 2005. 에너지와 환경. 녹문당. 349쪽
 이호정 역. 理想都市. 1986. 원저 Helen Rosenau, the ideal city. 태림문화사.
 임강원, 임용택, 2003. 교통망분석론. 서울대학교출판부. 542쪽.
 임기표. 2002. 지속가능한 사회개발과 바이오매스 에너지. 전남대학교 출판부.
 541쪽.
 임상훈, 이시웅, 김정태, 2005. 생태건축·마을. 고원. 220쪽.
 임상훈, 이시웅, 서용철, 2005. 생태에너지·도시. 고원. 225쪽.
 임업 연구원. 2003. 산림사업의 공적관리 시스템 강화 및 임산바이오매스를 활용
 한 대체에너지 보급. 169쪽.
 임업연구원. 1997. 한국의 목재수급실태..

- 장우환, 석현덕, 1992. 용도별 목재수요예측을 통한 장기조립 정책방향 연구. 한국농촌경제연구원. 연구보고 265.
- 장철수, 장우환, 석현덕, 민경택, 손철호, 한상윤. 2004. 산림내 폐잔재의 현지활용을 위한 한국형 조립식 탄화장치 기술개발 및 실용화 연구. 한국농촌경제연구원.
- 장철수, 석현덕, 장우환. 2004. 목초액의 한방이용시 경제성 분석 및 지원제도 개선방안 연구. 농림부. 한국농촌경제연구원 연구보고서. 76쪽.
- 전도일. 2001. 지역경제학의 이해, 교우사.
- 정채춘. 1995. 건축물 폐재류의 적정 처리 및 재활용 방안. 서울시정개발연구원. 280쪽
- 전남발전위원회, 1995. 「長城 森林都市」 개발 계획. 용역보고서.
- 최민수. 1998, 건설 폐목재의 감량화,재활용이 시급하다, 건설광장 최하식 역, 2001. 알기쉬운 주택설비 난방과 냉방. 성인당. 117쪽.
- 춘천시. 1995. 산촌 현대화시범사업 기본계획서. 479쪽.
- 편집부역, 2003. 난로 디자인 핸드북. 효성. 153쪽.
- 핀랜드. 1994. Alstrom사에서 도시 쓰레기를 연료로 하는 보일러 보급,기술정보 8(12)
- 한국동력자원연구소. 1982. 건물의 방위별 성능 및 설비기준(안)-II, p.142,
- 韓國 技術情報 컨설팅. 1991. 첨단과학산업단지 개발계획 및 추진사례.
- 한국농촌경제연구원. 1996. 임산물종합처리장설치에 관한 타당성 조사 연구. 임업협동중앙회. 159쪽.
- 한국농촌경제연구원. 2000. 제2임산물종합유통센터 입지분석 연구. 임업협동중앙회. 125쪽.
- 한국 에너지 기술 연구소. 1992. 유동층 연소기술에 의한 소도시 지역의 구역난방 보급 실용화 방안 연구
- 한국폐기물학회. 1995. 폐기물 처리기술과 재활용, 동화기술.
- (주)한농, 1996. 공기제어 소각 system, 환경기술 7(4)
- 小林洋司, 小野耕平. 2002. 森林土木學. 朝倉書店. p.160.
- 安藤勝彦. 2004. 森林業が環境を創る. p.139
- 吉田一, 1992, リサイクル形 地域暖房の現況, 電氣評論 77(12)
- 堀大才, 三戸久美子. 2003. 木質廢棄物有效利用. p. 137.
- 木平勇吉. 2003. 森林計劃學. 朝倉書店. p. 228
- 吉村元男. 2004. 森が都市を変える. p. 254.
- 中川重年. 2001. 森のバイオマス利用アイデア集. 全國林業改良普及會.
- BIOSTAR. 1990. Pioneer bei Bioeelen. OEFZ. (10): 47

- Brian Edwards and David Turrent. Sustainable housing principles & practice. 2000.
- Burton, L.D. 2000. Introduction to forestry science. p. 498.
- Dorward, S.. 1990. Design for mountain communities.
- Ebert, H.-P. 2004. Heizen mit Holz. Oekobuch. S. 160.
- Eckbo,G.. 1950. Landscape for living.
- Gfeller, M.; Kias, U.; Trachsler, H. 1984. Berücksichtigung ökologischer Forderungen in der Raumplanung. ORL Bericht Nr.46.
- Gilgen, K. 1992. Utopien und Visionen-eine Herausforderung für die Raumplanung. DISP 108.
- Holecheck, J.; R.A. Cole; J.T. Fisher; R. Valdez. 2003. Natural resources-ecology, economy and policy. Prentice Hall. p. 761
- Holz, T. 2003. Holzpellet-Heizungen. S.96.
- James R. Kahn, 2005. The Economic Approach to Environmental and Natural Resources.
- John Byrne, 2004. Energy Revolution.
- Knieriemen, H.: P. Frei. 2003. Heizen mit Holz. S. 190.
- Levetin, E.; K. McMahon. 1999. Plants and society. p.477.
- LUCAS, Oliver W. R. 1991. The Design of Forest Landscape. Oxford Univ. Press.
- McHarg,I.L.. 1969. Design with nature. Natural History Press.
- Nick Hollo. 1995. Warm house Cool house.
- Peter H.; Raven · Linda R. 2004. Environment.
- Price, M.F. and N. Butt. 2000. Forests in sustainable mountain development. CABI publishing. p.590.
- Steffens, R. 2002. Holzfeuerungsanlagen. S.114.
- Walter, G. 연도미상. Biogas fuer Oesterreich. S.141.
- Wojtkowski, P. 2002. Agroecological perspectives in agronomy, forestry and agroforestry. p.356

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.