

최 종
연구보고서

폐벌목 자원을 이용한 활성탄 생산의 산업화
기술개발

Utilization of Discarded Tree Debris for
Commercial Production of Activated Carbon

연구기관
수원대학교

농 립 부



최 종 보 고 서

1999 년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 폐별목 자원을 이용한 활성탄 생산의 산업화 기술 개발에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

- 첨부 : 1. 최종보고서 10부
2. 최종보고서 디스켓 1매

2000 . 10 . 28 .

주관연구기관 : 수원대학교

총괄연구책임자 : 정 찬 교 (인)

주관연구기관장 : 이 종 욱 직 인

농 립 부 장 관 귀 하

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “폐별목 자원을 이용한 활성탄 생산의 산업화 기술 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000 . 10 . 28 .

주관연구기관명 : 수원대학교

총괄연구책임자 : 정 찬 교

연 구 원 : 김 태 진

협동연구기관명 : 경기도산림환경연구소

협동연구책임자 : 김 경 환

위탁연구기관명 : 단국대학교

협동연구책임자 : 이 철 태

참 여 기 업 : 제일탄소공업

대 표 이 사 : 양 경 용

요 약 문

I. 제 목

폐벌목 자원을 이용한 활성탄 생산의 산업화 기술 개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

산림쇠퇴가 지구적 규모로 진행되고 있는 요즘 산림자원의 유효이용에 대한 관심이 높아지고 있으며 이에 따라 목질폐기물의 재활용이 중요한 과제로 대두되고 있다.

산지에서 생산되는 여러종류의 임목 중 임지에서 방치 또는 수집되어 이용되지 못하는 목재를 폐벌목이라 하는데 이것의 종류에는 크게 간벌재, 소경재, 표고자목, 피해목 벌채등이 있다. 그중 현재 산지에서 발생하는 폐벌목의 대부분을 간벌재가 차지하고 있다. 이렇게 버려지는 간벌재를 이용하여 고부가가치 상품인 활성탄을 생산하여 새로운 자원으로 재활용이 필요하다.

현재 경기도의 산림지역에서는 1996년 기준 78.129m³양의 폐벌목이 발생하고 있으나 일부만이 건축 또는 가구 등으로 사용되고 그 밖에는 특별한 용도가 없어 단순히 톱밥으로 사용되고 있다. 이처럼 목재의 수요는 감소하는데 비하여 인건비는 상승하고 있어서 영리목적으로 산림사업을 하는 것을 기피하고 있는 현실이다.

따라서 침체된 산림사업의 분위기를 활성화하고 폐벌목을 재활용하는 차원에서 고부가가치의 활성탄 원료로 사용할 수 있는 기술의 개발이 절실히 필요하다.

활성탄은 공극구조가 발달한 탄소재료로 그 자체가 갖는 표면활성 및 흡착기능으로 공기정화, 용매회수, 배연 탈황, 탈질, 원자력, 제당, 생화학, 상수 및 하수처리,

폐수처리, 촉매 등 그 용도는 이루 헤아릴 수가 없을 정도이며, 혈장의 강화, 혈액 투석 등의 의료용을 비롯 수많은 첨단용도가 앞으로도 지속적으로 개발될 것임이 틀림없다.

본 연구의 목적은 폐벌목 자원을 이용한 활성탄을 생산하기 위하여

1. 폐벌목을 탄화시키는 탄화로를 설계 제작하고, 이를 이용하여 최적의 탄화조건을 도출하여 자동화시스템을 구축하고,
2. 목탄을 이용한 조립활성탄 제조공정개발의 가능성을 진단하고 나아가 이의 상업적 활용성이 있는 조립활성탄 제조공정을 개발하며,
3. 개발된 탄화로의 현장 적용기술과 기존공정 적용에 필요한 기술을 개발하고,
4. 활성탄의 수요조사와 판매 촉진방안을 수립하여,
5. 폐벌목 수거방법 및 유통구조의 체계화를 통한 안정적인 원료의 공급방안을 확립하는 기술을 개발함에 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구개발에서 수행한 연차별 연구내용 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도 (1998)	○ 실험실적 탄화로 제작 및 시험 운전(10kg/batch)	<ul style="list-style-type: none"> - 전처리시설 구조설계 - 목탄제조를 위한 설계인자 도출 - 주변기기 설정 - 설계도면 제작 - Proto Type 탄화로(I)제작 - 시험운전 - 개선사항 도출 - 개선사항 적용 및 시험운전 - Scale up을 위한 설계인자 도출
	○ 실험실 규모 조립활성탄 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 자료조사 및 원료 구입 - 조립활성탄 제조 - 분석 및 제조조건 확립 - 조립활성탄 비교평가
	○ 활성탄 생산공정 개발 및 운전 평가	<ul style="list-style-type: none"> - 탄화로 연계공정 개발 - 실험실적 운전조건 확립 - 생산수율 향상
	○ 활성탄 수요 조사	<ul style="list-style-type: none"> - 수입 및 제조 현황 조사 - 상·하수 처리장 사용실태 분석 - 연도별 소요량 추이 조사
	○ 폐벌목 발생량 파악 및 수거방법 확립	<ul style="list-style-type: none"> - 수종별 성장량 조사 - 권역 및 계절별 폐벌목 발생량산출 - 폐벌목 수거 촉진 방안 수립 - 폐벌목 수거 중요성 산주 재교육

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
2차 년도 (1999)	○ 실험실적 탄화로 자동화 시스템 개발 및 Pilot형 탄화로 설계도면 제작	<ul style="list-style-type: none"> - 운전조건의 자동화 Control - 시험운전 결과도출 - 분석결과를 이용한 개선대책 수립 및 적용 - 기술현황 종합분석 보고서 작성 - 분석결과 Pilot 반영자료 도출 - 탄화로 설계 및 제작기술 개발 - Pilot형 탄화로 설계도면 제작
	○ 조립활성탄 양산화공정 개발 및 양산공정 현장 평가	<ul style="list-style-type: none"> - 다른 수종을 이용한 조립활성탄 제조 - 제조된 조립활성탄의 특성비교 - 조립활성탄의 제조공정 조건 확립 - 세부공정별 보안 - 양산공정 현장평가 - 시제품과의 성능 비교 및 분석
	○ 개발기술 현장화 및 활성탄 생산 타당성 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 기존시설의 활용 가능성 평가 - 개발기술 현장평가 - 공정별 성분분석 - 활성탄 생산 타당성 분석 - 제조공정 및 신규 용도 특허출원
	○ 활성탄 판매 촉진 방안 수립 및 제품 성능 비교 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 사용업체 현황조사 - 판매촉진 수급 방안 수립 - 가공처리에 따른 제품 고부가가치화 - 수입품 대비 국내개발품 생산비비교
○ 폐벌목 유통구조 체계화 및 안정 공급방법 확립	<ul style="list-style-type: none"> - 목재 집하장 최적 입지 선정 - 목재 반출 방법 규명 및 개선 - 칩 형태 폐벌목 운반 - 산림사업 협업체 구성 	

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 탄화로 제작 및 자동화 시스템 개발

본 연구과제에서 제작된 Batch Type의 탄화로는 폐벌목을 이용하여 목탄을 제조하는 것을 목적으로 만들어졌다. 탄화로는 batch당 40kg의 용량으로 설계되었으며, 이동의 편의성을 위하여 탄화부, 응축부, 2차연소부의 분리와 조립이 용이하게 설계되어졌다. 제작된 탄화로를 이용하여 목탄을 제조하는데 있어 가장 크게 고려되는 것이 탄화온도와 탄화시간, 건조온도와 그리고 건조시간은 각각 6시간, 150℃, 3시간, 400℃로, 이와 같은 조건에서 탄화로의 목탄제조 수율은 29.2%로 나타났다. 그리고 최적조건을 자동운전 하기 위해 자동제어장치를 설치하였는데 실제적인 탄화로 내부온도와 자동화를 Control Panel의 설정온도와 약간의 온도차가 발생하므로 이것을 보정하여 최적조건에 결부시켰다. 최적건조온도인 150℃의 탄화로 내부온도를 유지하기 위해서는 Control Panel의 설정온도를 120℃로 설정해야하고, 최적탄화온도인 400℃의 온도를 유지하려면 Control Panel의 설정온도를 350℃로 설정해야 하였다. 또한 목재의 탄화시 목초액을 평균 20(V/W%)를 획득하였다. 상업적 생산을 위하여 탄화로를 Batch Type이 아닌 연속식 탄화로가 바람직할 것으로 건의된다.

2. 조립활성탄 생산 및 양산화 공정 현장평가

참나무와 잣나무를 원료로 한 조립공정 및 활성화공정의 적정조건은 원료의 자체 물성 특성들에 의하여 다소 차이가 난다. 제조된 각각의 조립활성탄의 특성들은 본 연구에서 목표로 했던 입상활성탄의 KS규격 2급 내지 1급 이상을 충분히 제조할 수 있음을 알 수 있었다. 특히 경도 및 충전밀도의 특성은 어떤 활성화제조 조건에서도 입상활성탄 KS규격을 만족할 수 있었고 요오드흡착 특성은 활성화 조건에 따라 조금

의 차이는 있으나 충분히 입상활성탄 KS규격 2급인 1,000mg/g이상의 조립활성탄을 제조할 수 있음을 알 수 있었다. 참나무의 경우가 잣나무에 비해 수율 및 요오드 흡착력 특성에서 보다 나은 특성을 보였다.

본 연구의 목적과 같이 폐벌목을 이용하여 고부가가치의 조립활성탄을 제조할 수 있음을 알 수 있었으며, 충분히 상업화의 가능성을 확인할 수 있었다. 이에 대해 상업화를 위해 제조된 조립활성탄이 제품으로서 기능을 위해, 표면처리 연구, 성능향상 연구, 용도에 따른 특성연구 등의 필요성이 요구되었다.

3. 활성탄 생산공정 개발 및 운전 평가

활성탄 생산공정은 원료의 전처리, 탄화, 활성화 및 제품의 후처리로 나눌 수 있으며, 가장 중요한 것은 탄화공정과 활성화공정이다. 본 연구과제에서 제작된 탄화로는 Batch형으로 현장에 폐벌목이 발생하는 산림에 이동하여 목탄생산에 적용시키는데는 문제가 없었으나, 생산수율을 높이기 위하여 연속공정에 대한 기술개발이 추가적으로 요구되었다. 또한 조립활성탄을 생산하기 위해서는 실험실적 생산규모에 대한 scale up이 요구되었다. 또한 참여기업인 제일탄소산업은 분말활성탄과 입상활성탄을 제조하는 공정을 보유하고 있으므로 제작된 탄화로를 현장용으로 적합하게 개선하여 목탄을 제조할 경우, 여기에서 발생하는 목탄을 활성화공정을 거친 후, 분말 및 입상활성탄으로 제조가 가능하며, 또한 조립활성탄의 생산을 위해서는 기존의 분말 및 입상활성탄 제조 공정에, 본 연구를 통하여 특허출원한 바와 같이 탄화물과 점결제 혼합공정, 성형공정을 추가함으로써 양산이 가능할 것으로 추정되었다.

4. 활성탄 수요 조사 및 판매촉진 방안 수립

국내의 활성탄 수요량은 연간 약 2만여 톤에 달하며 주로 식품, 의약공업 및 수처리 등에 사용되고 있다. 국내에서는 현재 원자재의 원가 상승으로 인하여 자체생산은 하지 못하고 중국 등의 저가 활성탄을 생산하는 나라에서 전량 수입하여 용도에 맞게 후처리 공정만을 거친 후 판매하고 있는 실정이다.

활성탄의 판매 촉진을 위해서는 수입제품에 비해 생산비용을 낮추어야 하며, 제조업체의 과감한 제조시설에 대한 투자가 선행되어야 한다. 이를 해결하기 위해서는 국내에서 쉽게 구할 수 있고, 양이 풍부하고, 탄화 및 활성화의 난이도 수월, 성상 등을 만족할 수 있는 원료의 개발과 개발도상국에 비교하여 기술력의 우위를 점할 수 있는 조립활성탄의 제조기술을 국산화 하여야 한다.

5. 폐벌목 발생량 및 안정적 공급방법 확립

전 국토의 65% 정도를 산림이 차지하고 있으면서도 연간 목재 수요량의 90% 이상을 외국에서 수입하여 대체하고 있는 우리 나라의 경우 폐벌목에 대한 효과적인 이용이 요구된다. 이를 위하여 경기도 지역내를 기초하여 수종별 성장량, 권역 및 계절별 폐벌목 발생량 산출하고, 발생된 폐벌목을 효과적으로 수거하는 방안 수립하고 폐벌목 수거 중요성을 산주에게 교육시키는 방안을 제시하였다. 또한 폐벌목 집하장 최적 입지를 선정하고, 폐벌목의 반출 방법을 개선하고, 폐벌목을 칩 형태로 운반하기 위한 방안을 제시하였으며, 이를 지속적으로 추진하기 위한 산림사업 협업체 구성방안을 도출하였다.

SUMMARY

1. Title

Utilization of Discarded Tree Debris for Commercial Production of Activated Carbon

2. Objective and Importance of Research

It is necessary to utilize discarded tree debris for commercial production of activated carbon in the respects of recycling natural resources. Limited amounts of wood produced in Kyung-Gee Province have been used for construction or furniture while most of wood were simply used as cheap wood chips. It is thus important to enhance the value of discarded trees by conversion to valuable activated carbon, which have various applications such as air filtration, solvent recovery, biochemistry, water treatment, blood dialysis and so on. The objective of the present study was to use the discarded trees for production of activated carbon by completion of the following aims:

1. Carbonization furnaces was to be designed for automatic control of carbonization process.
2. Production process for bound activated carbon was to be examined for its commercial production.
3. Carbonization furnace was to be applied to both of the present and the

improved processes.

4. Study on demand of activated carbon was to be pursued for its efficient sale.
5. Systematic structure for collection method was to be developed for stable supply of raw materials.

3. Contents and Scope of Research

The scope and content of present research are as follows.

Year	Aim	Content & Scope
1st Year (1998)	○ Construction of experimental carbonization furnace and test operation(10kg/batch)	<ul style="list-style-type: none"> - Design of pre-treatment equipment - Organization of design factor to produce wood charcoal - Drawing - Construction of prototype carbonization furnace(I) - Test operation of furnace - Improvement of furnace - Test operation of improved furnace - Organization of design factor to scale up
	○ Laboratory scale production of pelletized activated carbon	<ul style="list-style-type: none"> - Literature survey and purchase of raw material - Production of pelletized activated carbon - Analysis and determination of operation condition - Comparative evaluation of pelletized activated carbon
	○ Development of process to produce activated carbon and evaluation of operation	<ul style="list-style-type: none"> - Development of carbonization furnace related process - Establishment of operation condition at laboratory scale - Evaluation of yield.
	○ Demand analysis of activated carbon	<ul style="list-style-type: none"> - Survey of imported amount and domestic production - Analysis of annually used amount of activated carbon at water treatment unit
	○ Survey of discarded tree debris mount	<ul style="list-style-type: none"> - Examination of growth amount to species - Examination of discarded tree debris amount with seasons and areas - Establishment of gathering method for discarded tree debris

Year	Aim	Content & Scope
2nd Year (1999)	○ Development of experimental scale automated carbonization furnace and design of pilot scale drawing	<ul style="list-style-type: none"> - Automated control of operation - Examination of experimental operation - Improvement and further application - State of the art analysis - Design of carbonization furnace - Design of carbonization furnace drawing
	○ Development of mass production process and evaluation at the field	<ul style="list-style-type: none"> - Production of pelletized activated carbon with other species - Establishment of operation condition - Development of supplementary to specific process - Comparative analysis
	○ Field application of developed technology and analysis of feasibility	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluation of capability of pre-exist equipment - Field evaluation of developed technology - Analysis of process - Feasibility analysis of activated carbon production - Patent submission
	○ Establishment of sales promotion	<ul style="list-style-type: none"> - Survey of end user - Sales promotion - Comparative analysis
	○ Establishment of structured circulation of discarded tree debris	<ul style="list-style-type: none"> - Site selection for wood accumulation - Transport of chip type wood - Construction of Consortium

4. Recommendation for Research Results and Their Application

A. Development of Carbonization Furnace and Automatic System

Batch type carbonization furnace was developed to produce wood charcoal from discarded wood debris. The furnace was designed by capacity of 40 kg/batch and capable of easy construction. The optimal operational condition was 6 hour and 150°C of drying, 3 hour and 400°C of carbonization. At this condition the carbonization yield was 29.2%. To operate furnace at a optimal condition, an automated control system was installed. The real temperature of furnace was slightly different from indicated value of control panel, and thus the temperature correction mechanism was introduced to system. The carbonization liquid was produced at a yield of 20(V/W%).

B. Production of Pelletized Activated Carbon and Its Field Test for Commercialization

The optimal operation condition have differences between species of wood. However, each produced activated charcoal well satisfied specification of KS 1st or 2nd degree. Hardness and packing density always satisfied KS for pelletized activated carbon. The iodine value was sufficient to satisfy KS 2nd degree. Generally, activated carbon from oak tree was more superior than one from pine-nut tree.

Thus, the present study showed that valuable pelletized activated carbon could be commercially produced from discarded wood debris. However, a further research was necessary to more sophisticated applications.

C. Development of Production Process for Activated Carbon and Its Operation Test

The typical process for activated carbon production is composed of pre-treatment, carbonization, activation, post-treatment. Although the developed batch type system was useful as a mobile furnace, a further study for a continuous system was needed to enhance operational yield. The participating enterprise already had a process to produce powder or pelletized activated carbon, so that a submitted korean patent could be applicable to a mass production.

D. Demand Survey of Activated Carbon and Promotion of Sales

The annual domestic consumption of activated carbon was 20,000 ton, which was mainly used for food, drug and water treatment. However, very small amount has been produced domestically for valuable application. Most makers have sold imported activated carbon with supplementary treatment. The cost reduction and ambitious investment are most important factor to domestic activated carbon industry. In this matter, the present study has significant meanings.

E. Amount of Wood Debris and Stable Supply Method

Because 90% of annual domestic wood consumption depend on import, discarded wood debris must be used more efficiently. To meet this objective, wood growth amount was evaluated according to species, areas, seasons. From this result, gathering method, optimal site to pile up, consortium to manage the project were proposed.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	22
Section 1. Purpose and scope of present study	22
Section 2. Importance	25
Section 3. State of domestic technology	32
Section 4. Vision	34
Section 5. Feasibility of technology import	35
Chapter 2. Development of Carbonization Furnace and Automatic System	36
Section 1. Design of laboratory scale carbonization furnace	36
Section 2. Construction of laboratory scale carbonization furnace and test operation	36
Section 3. Automation	38
Section 4. Optimal operational condition	42
Section 5. Wood liquor	44
Section 6. Automatic control of operation	45
Section 7. Test operation and analysis of result	57
Section 8. Application	60
Section 9. Pilot type carbonization furnace(2m ³) detail drawing (Batch Type)	63
Section 10. Conclusion	71
Chapter 3. Production of Pelletized Activated Carbon and Its Field Test for Commercialization	72

Section 1. Production of pelletized activated carbon	72
Section 2. Pelletization of carbonized oak tree	80
Section 3. Activation process with molasses	83
Section 4. Activation process with molasses and bentonite	91
Section 5. Hardness and iodine adsorption	108
Section 6. Characteristics of pelletized activated carbon	115
Section 7. Pelletization of carbonized pine-nut tree	119
Section 8. Characteristics of activation according to carbonization condition	122
Section 9. Characteristics of activation according to steam amount	134
Section 10. Characteristics of activation according to bentonite amount	146
Section 11. Characteristics of pelletized activated carbon from oak tree and pine-nut tree	165
Section 12. Conclusion	173
 Chapter 4. Development of Production Process for Activated Carbon and Its Operation Test	 174
Section 1. Development of carbonization furnace related process .	174
Section 2. Establishment of laboratory scale operation condition	177
Section 3. Yield promotion	178
Section 4. Evaluation of feasibility of pre-exist process	183
Section 5. Evaluation at field	188
Section 6. Component analysis of each process	189

Section 7. Feasibility of activated carbon production	192
Section 8. Conclusion	194
Chapter 5. Demand Survey of Activated Carbon and Promotion of Sales	195
Section 1. Status of import and domestic production	195
Section 2. Demand analysis for water treatment	199
Section 3. Change of annual consumption	202
Section 4. Promotion of sales	204
Section 5. Value promotion via added processing	207
Section 6. Cost comparison	209
Section 7. Conclusion	212
Chapter 6. Amount of Wood Debris and Stable Supply Method	213
Section 1. Background	213
Section 2. Accumulation of wood according to species	215
Section 3. Evaluation of discarded wood debris accumulation	218
Section 4. Promotion of discarded wood debris gathering	222
Section 5. Education	234
Section 6. Selection of pile-up site	235
Section 7. Transportation method improvement	236
Section 8. Transportation of chip type wood debris	243
Section 9. Construction of consortium	247
Section 10. Conclusion	248
Chapter 7. Reference	250

목 차

제 1 장 서 론	22
제 1 절 연구개발의 목적과 범위	22
제 2 절 연구개발의 중요성	25
제 3 절 국내외 관련기술의 현황과 문제점	32
제 4 절 앞으로 전망	34
제 5 절 기술도입의 타당성	35
제 2 장 탄화로 제작 및 자동화 시스템 개발	36
제 1 절 실험실적 탄화로 제작방법	36
제 2 절 실험실적 탄화로 제작 및 시험운전	36
제 3 절 제조 탄화로 제작 및 자동화	38
제 4 절 목탄제조의 최적 탄화조건	42
제 5 절 목초액	44
제 6 절 운전조건 자동제어	45
제 7 절 시험운영 및 결과분석	57
제 8 절 분석 및 운영결과를 이용한 개선대책수립 및 적용	60
제 9 절 Pilot형 탄화로(2m ³) 상세 설계도면(Batch Type)	63
제 10 절 결론	71
제 3 장 조립활성탄 생산 및 양산화 공정 현장평가	72
제 1 절 조립활성탄 생산	72
제 2 절 참나무 탄화물의 조립공정	80

제 3 절	당밀만을 이용한 활성화 공정	83
제 4 절	당밀과 벤토나이트를 이용한 활성화 공정	91
제 5 절	경도와 요오드 흡착과의 관계	108
제 6 절	제조된 조립활성탄의 특성	115
제 7 절	잣나무 탄화물의 조립공정	119
제 8 절	탄화조건에 따른 활성화 특성	122
제 9 절	수증기 함량에 따른 활성화 특성	134
제 10 절	벤토나이트 함량에 따른 활성화 특성	146
제 11 절	참나무와 잣나무 조립활성탄의 제조 특성	165
제 12 절	결론	173
제 4 장	활성탄 생산공정 개발 및 운전 평가	174
제 1 절	탄화로 연계공정의 개발	174
제 2 절	실험실적 운전조건 확립	177
제 3 절	생산수율의 향상	178
제 4 절	기존시설의 가능성 평가	183
제 5 절	개발기술의 현장평가	188
제 6 절	공정별 성분분석	189
제 7 절	활성탄 생산의 타당성분석	192
제 8 절	결론	194
제 5 장	활성탄 수요 조사 및 판매촉진 방안 수립	195
제 1 절	수입 및 제조 현황조사	195
제 2 절	상하수 처리장 사용 실태 분석	199
제 3 절	연도별 소요량 추이조사	202

제 4 절	판매촉진방안	204
제 5 절	가공처리에 따른 제품 고부가가치화	207
제 6 절	수입품 대비 국내개발품 생산비 비교	209
제 7 절	결론	212
제 6 장	폐별목 발생량 및 안정적 공급방법 확립	213
제 1 절	연구배경	213
제 2 절	대상수종별 면적 및 축적	215
제 3 절	폐별목 발생량 산출	218
제 4 절	폐별목 수거 촉진 방안 수립	222
제 5 절	폐별목 수거 중요성 산주 재교육	234
제 6 절	목재 집하장 최적 입지선정	235
제 7 절	목재 반출 방법 구명 및 개선	236
제 8 절	칩(chip) 형태 폐별목 운반	243
제 9 절	산림 사업 협업체 구성	247
제 10 절	결론	248
제 7 장	참고문헌	250

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적과 범위

제 1 항 연구개발의 목적

본 연구의 최종 목적은,

첫째, 폐벌목 자원을 활용하여 고부가 가치의 조립 활성탄의 양산공정 기술을 産·學·研·官이 공동으로 개발하고,

둘째, 실험실용 및 pilot 규모의 활성탄 탄화로를 설계 및 제작하고,

셋째, 폐벌목 자원 수집비용을 최소화하는 방안 수립 및 수입 활성탄 대비 국내 활성탄 생산비용의 절감 방안을 확립함으로써 침체된 국내 산림 사업의 활성화를 유도함에 있다.

제 2 항 연구개발의 범위

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도 (1998)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실험실적 탄화로 제작 및 시험 운전(10kg/batch) ○ 실험실 규모 조립활성탄 생산 ○ 활성탄 생산공정 개발 및 운전 평가 ○ 활성탄 수요 조사 ○ 폐별목 발생량 파악 및 수거방법 확립 	<ul style="list-style-type: none"> - 전처리시설 구조설계 - 목탄제조를 위한 설계인자 도출 - 주변기기 설정 - 설계도면 제작 - Proto Type 탄화로(I)제작 - 시험운전 - 개선사항 도출 - 개선사항 적용 및 시험운전 - Scale up을 위한 설계인자 도출 - 자료조사 및 원료 구입 - 조립활성탄 제조 - 분석 및 제조조건 확립 - 조립활성탄 비교평가 - 탄화로 연계공정 개발 - 실험실적 운전조건 확립 - 생산수율 향상 - 수입 및 제조 현황 조사 - 상·하수 처리장 사용실태 분석 - 연도별 소요량 추이 조사 - 수종별 성장량 조사 - 권역 및 계절별 폐별목 발생량산출 - 폐별목 수거 촉진 방안 수립 - 폐별목 수거 중요성 산주 재교육

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
2차 년도 (1999)	○ 실험실적 탄화로 자동화 시스템 개발 및 Pilot형 탄화로 설계도면 제작	<ul style="list-style-type: none"> - 운전조건의 자동화 Control - 시험운전 결과도출 - 분석결과를 이용한 개선대책 수립 및 적용 - 기술현황 종합분석 보고서 작성 - 분석결과 Pilot 반영자료 도출 - 탄화로 설계 및 제작기술 개발 - Pilot형 탄화로 설계도면 제작
	○ 조립활성탄 양산화공정 개발 및 양산공정 현장 평가	<ul style="list-style-type: none"> - 다른 수종을 이용한 조립활성탄 제조 - 제조된 조립활성탄의 특성비교 - 조립활성탄의 제조공정 조건 확립 - 세부공정별 보안 - 양산공정 현장평가 - 시제품과의 성능 비교 및 분석
	○ 개발기술 현장화 및 활성탄 생산 타당성 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 기존시설의 활용 가능성 평가 - 개발기술 현장평가 - 공정별 성분분석 - 활성탄 생산 타당성 분석 - 제조공정 및 신규 용도 특허출원
	○ 활성탄 판매 촉진 방안 수립 및 제품 성능 비교 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 사용업체 현황조사 - 판매촉진 수급 방안 수립 - 가공처리에 따른 제품 고부가가치화 - 수입품 대비 국내개발품 생산비비교
○ 폐벌목 유통구조 체계화 및 안정 공급방법 확립	<ul style="list-style-type: none"> - 목재 집하장 최적 입지 선정 - 목재 반출 방법 규명 및 개선 - 칩 형태 폐벌목 운반 - 산림사업 협업체 구성 	

제 2 절 연구개발의 중요성

제 1 항 기술적 측면

폐벌목은 산지에서 생산되는 여러 종류의 임목 중 임지에 방치 또는 수집되어 이용되지 못하는 목재를 뜻하는데 무옥 간벌재, 소경재, 표고자목, 피해목 벌채 등이 이에 해당한다. 소경재는 주로 간벌작업에서 생산되는데 원목의 말구직경 15cm 이하를 소경재라 하고, 현재 생산되고 있는 간벌재의 크기는 6~20cm 범위이며 평균 10cm 정도가 90%를 넘는다. 수종은 낙엽송, 리기다소나무, 잣나무, 소나무 등 침엽수가 대부분이며 재질은 주벌재 보다 못하다. 재질의 결함으로서 웅이가 많고 굵음이 크며 미숙재가 있어 강도가 약한 편이어서 이러한 결점재를 쓰는데는 가공 기술과 제품의 용도 개발에 어려운 점이 있다. 현재 산지에서 발생하는 폐벌목의 경우 간벌재가 주종을 이루고 있는데 이의 용도는 극히 제한되기 때문에 간벌재를 활성탄과 같은 고부가 가치재로 활용할 수 있는 새로운 용도 개발이 무엇보다 시급한 현실이다. 활성탄은 야자각, 목재, 리그닌, 당밀, 석탄 등의 탄소원을 활성화하여 얻은 다공성 고정탄소 매질을 말한다. 활성탄은 흡착에 필요한 입자내 공극들의 그물 구조로 된 탄소로서, 흡착제로 가장 많이 사용되고 있으며, 사용 용도에 따라 수처리, 액체의 탈색 및 정제를 위한 액상탄과 기체의 흡착에 적합한 기상탄의 두 종류가 있고, 입자의 크기 및 성상에 따라 입상, 분말, 성형, 활성섬유 등으로 구분할 수 있다. 활성탄의 구조는 탄화공정이나 활성화 온도, 시간, 방법 등에 따라 매우 다르나, 일반적으로 비표면적은 $500\sim 1,700\text{m}^2/\text{g}$ 에 달하며 다른 흡착제에 비해 직경 20\AA 이하의 미소공극(micro pore) 이 잘 발달된 것이 특징이다. 활성탄이 실용화 되기 시작한 것은 1770년 대로서 설탕 제조공정에 목탄이나 갈탄을 탈색에 이용한 것이 그 시초였으며, 이후 식수 및 공업용수의 처리, 유독가스의 분리 정제 및 담체 등으로 널리 사용되었다. 이러한 활성탄의 물성은 주로 원료에 의해 결정되는데, 탄소를 함유하고 있는 물질이면 모두 가능하므로 거의 모든 동, 식물체 및 광물질들이 포함된다.

활성탄은 공업적으로 원료의 품질적, 양적 또는 가격적으로 안정하게 확보할 수 있는지와 원료의 탄화, 활성화의 난이도 뿐만 아니라 제품의 예상되는 품질성상 및 제조가격 등 많은 항목을 만족할 수 있는 원료는 상당히 제한된다. 원료는 궁극적으로 활성탄의 제조방법, 제품의 품질 및 성상을 결정하므로 매우 중요하다. 분말활성탄으로는 톱밥 등의 식물계 원료, 피트탄, 갈탄 등의 광물계 원료 외에 펄프 폐액 등 특수한 원료를 들 수 있는데, 일본에서는 주로 원목 제재시 생기는 톱밥을 쓰고 있다. 한편 입상활성탄으로는 목탄, 야자각탄, 저회분 피트탄, 갈탄, 역청탄 및 무연탄 외에 특수한 탄소원료를 들 수 있다. 일본에서는 목탄이 주로 이용되어 왔으나, 중소규모의 제탄산업은 해마다 생산량 감소와 함께 생산비 등에 따라 야자각 및 석탄으로의 원료전환이 이루어졌다. 야자각은 동남아시아에서 대량으로 산출되는데 물량의 안정확보와 산업 육성시책에 따라 자국내 탄화물 생산이 보급되어 야자각 생산지에서 독자적 활성탄의 생산까지 이루어지게 되었다. 석탄은 세계에 광범위하게 부존하는 원료인데 좋은 원료탄은 한정되어 국내의 산탄지에서 선택되어 이용되고 있다. 섬유상 활성탄에는 레이온(재생섬유), 아크릴섬유, 페놀섬유 및 염화비닐덴 섬유등을 원료로 이용하고 있는데 최근에 석탄계 핏치 섬유도 원료로 쓰이고 있다. 그러나 이러한 활성탄의 원료는 거의가 해외에서 수입에 의존하고 있기 때문에 질적, 양적으로 안정확보가 필요하며, 수송에도 제약을 받고 국제환율 변동도 원료사정을 복잡하게 하고 있다. 더욱이 현재 활성탄이 식물계의 원료로 사용되고 있는 호두껍질 등 과실종자탄, 과실각탄은 말할 나위도 없거니와 비교적 많은 물량이 공급 가능한 야자각 조차도 대량 활성탄 생산이 요구되는 미래의 원료로 부족할 것으로 예상되므로 충분한 원료공급이 가능한 목재가 가장 바람직한 미래의 원료로 부각되고 있다. 국내의 경우 분말활성탄을 몇 개의 회사에서 제조하고 있으나 그 원료는 전량 수입에 의존하고 있으며, 조립활성탄의 경우는 완제품을 수입하고 있는 실정으로서 그 기술력이 선진국에 비해 현저히 떨어지고 있는 것이 실정이다. 본 연구팀은 1997년도에 경기도의 용역으로 폐벌목을 이용한 활성탄 제조 기술개발의 타당성 조

사를 수행하여 긍정적 결과를 도출한 바 있다.(본 신청서의 68쪽 및 69쪽 참조) 이제 참여기업과 경기도 산림환경연구소의 추가적 연구참여에 힘입어 산·학·연·관이 합심하여 폐벌목을 이용한 고부가 가치의 활성화 산업화 기술개발을 본 연구과제를 통하여 추진함으로써, 국내 부존의 활성화 생산기술을 확립하고 국내 활성화 산업을 촉진하며, 나아가 활성화 원부자재의 해외 의존도 탈피를 이룩할 수 있으므로, 본 연구의 기술적 필요성은 크다고 확신한다.

제 2 항 경제·산업적 측면

현재 목재의 수요는 증가하지만 급격한 인건비의 상승으로 인하여 영리 목적으로 산림 사업을 하는 것을 기피하고 있는 현실이다. 경기도의 산림지역에서는 1996년 기준 78,129㎡의 임목이 생산되고 있으나 이중 약 50% 정도는 건축 또는 가구재, 톱밥 등으로 이용되고 있고 나머지 50%는 산림에 방치되고 있다고 본다. 따라서 침체된 산림 사업의 분위기를 활성화하고 폐벌목을 재활용하는 차원에서, 고부가 가치의 활성화 원료로 사용할 수 있는 기술개발이 절실히 필요하다. 현재 국내의 활성화 수요량은 표 1-1에 요약한 바와 같이 연간 약 이만여 톤에 달하며 주로 식품, 의약 공업 및 수처리에 사용되고 있다. 국내에서는 현재 원자재의 원가 상승으로 인하여 자체생산은 하지 못하고 중국 등의 저가 활성탄을 생산하는 나라에서 전량 수입하여 용도에 맞게 후처리 공정만을 거친 후 판매하고 있는 실정이다.

표 1-1. 활성탄 연도별 시장현황

(단위 : 톤)

연도 \ 용도	'94		'95		'96		'97		'98	
	야자	석탄	야자	석탄	야자	석탄	야자	석탄	야자	석탄
담배 Filter	2,200		2,000		1,900		1,800		1,800	
Canister	130	300	130	450	120	580		840		1,000
용제 회수		350		400		500		800		1,200
공기 정화	2,370	350	2,500	500	2,550	650	2,580	770	2,600	800
정수장	200	400	2,000	1,000	800	2,800	1,000	6,000	1,000	6,000
정수용	1,500	300	1,720	500	1,770	500	1,800	600	1,880	850
폐수용	800	2,000	900	2,200	950	2,450	950	2,460	1,200	2,800
당액탈색용		400		400		400		400		400
화학공업	100	200	150	200	200	200	200	300	200	350
기타	400	700	400	750	380	800	220	800	250	850
소계	9,500	5,000	9,800	6,400	8,670	8,960	8,550	12,970	8,930	14,250
증가율 (%)	-	-	3.2	28.0	11.5	40.0	1.4	44.8	4.4	9.9
합계	14,500		16,200		17,630		21,520		23,450	

약간의 기상용 활성탄을 국내 생산하여 공급하고 있기는 하지만 그 수량은 미미한 정도이다. 활성탄의 수요 중 특히 정, 폐수처리에의 이용은 가장 절실히 요구되는 분야로 그 수요가 급격히 증가하고 있다. 그러나 국내에서는 대부분 수입 액상용 활성탄(석탄원료)에 전적으로 의지하고 있으며, 공급양 중 많은 부분을 처리 능력이 매우 떨어지는 활성탄으로 대치하고 있는 실정이다. 현재 국내에서 목재나 야자각을 원료로 생산한 활성탄의 최대 수요처는 정수장 및 공기정화 시설이다. 표 1-2에 요약한 바와 같이 국내의 활성탄 수요는 1998년 기준으로 연간 23,450톤에 이르며 이

중 활성탄의 원료인 야자각은 8,930톤에 해당하는 것으로 알려졌으나, 최근 국내 업계의 자료에 의하면 야자각만 연간 33,000톤 수입되는 것으로 파악되었다. 활성화 되지 않고 탄화만된 야자각은 32만원/톤으로서 총 106억원의 순수 원료비를 해외에 지불하고 있으나 이의 가격과 수요는 상승 추세에 있다. 표 1-2에 1992년도 기준으로 요약한 바와 같이 한국은 활성탄을 16개국으로부터 13.7백만\$ 가량 수입하고 있었다.

표 1-2. 활성탄의 국내 수입 현황('92)

생산국	수입량 (Ton)	단가 \$/Ton	금액 (천\$)	주요업체	주용도
1. 일본	1,307	3,136	4,097	구라레, 후따무라	Canister, 용제회수, 화학공장, 정제용 등
2. 미국	780	3,148	2,455	Calgon	당액용, 폐수용, 용제회수용, 화학공장용 등
3. 필리핀	1,429	2,121	3,030	Cenapro Chem., Dabao Chem.	담배 filter용(일본 구라레 및 다께다, 현지진출공장)
4. 벨기에	194	2,196	426	Calgon	당액용
5. 중국	2,003	728	1,458		분말 및 저가A/C
6. 인도	1,341	919	1,233	IKAINDO	야자A/C, 분말
7. 네덜란드	112	3,887	434	Norit	용제회수, 폐수용
8. 슬리랑카	115	1,090	125		야자A/C
9. 영국	51	3,760	190		
10. 기타 (7개국)	105	2,084	220		
계 (16개국)	7,436	1,838	13,669		

표 1-1의 자료를 기준으로 볼 때, 1994년도 활성탄 시장이 1998년도에는 1.62배 성장 하였으며, 이중 야자각을 원료로 한 활성탄은 1998년도에 39%(8,930톤/23,180톤)

이다. 표 1-2의 1992년 기준한 13.7백만\$을 연평균 10% 성장률로 가정한 1994년도 가격은 16.5백만\$이다. 따라서 1994년도 대비한 활성탄 시장 성장의 1.62배를 감안하여 1998년도 가격으로 환산하면,

$$16.5\text{백만}\$ \times 1.62 = 26.7\text{백만}\$$$

이중에 39%가 야자각을 원료로 하는 활성탄임을 감안한다면, 1998년도 현재의 야자각 만을 원료로 하는 활성탄의 시장규모는 146억원이다 :

$$(26.7\text{백만}\$) \times (39\%) \times (1400\text{원}/\$) = 146\text{억원}$$

146억원중 일부는 국내 업체가 탄화한 야자각을 외국에서 수입하여 국내에서 활성화하여 판매한 경우도 포함될 수 있다. 그러나 표 1-2의 추세대로 대부분 해외에서 수입하여 쓰고 있다고 가정할 때, 전술한 야자각 원료비 106억원 및 야자각을 원료로 하는 활성탄 국내 생산에 따른 146억원 등, 총 252억원의 수입대체 효과를 창출할 수 있다. 따라서 국내에 산재한 폐벌목을 활성탄의 원료로 활용할 경우에, 활성탄 제품으로 환산하여 최소한 연간 200억원 이상의 수입대체 효과가 예상되므로, 자금의 외화 보유고의 감소에 따른 IMF 사태를 고려하여 본 연구과제를 국가적 차원에서 시급히 추진함으로써, 활성탄의 원료비 지불 및 완제품 수입에 따른 외화 유출을 방지하고, 나아가 경쟁력을 잃어가는 국내의 활성탄 산업을 활성화할 경제·산업적 측면의 연구개발 필요성이 대단히 크다.

제 3 항 사회·문화적 측면

전 국토의 65% 정도를 산림이 차지하고 있으면서도 연간 목재 수요량의 90% 이상을

외국에서 수입하여 대체하고 있는 우리나라의 경우 산지의 효과적인 개발과 산주의 소득 증대 및 폐벌목의 효율적인 이용은 당연한 과제라 아니할 수 없다. 더욱이 폐벌목은 충분히 유용한 자원으로 재활용할 수 있음에도 불구하고 그대로 방치되어 있는 안타까운 현실이다. 현재 국가는 IMF라는 총체적 난국에 휘말려 있는 실정이다. 모든 회사들은 해외에서 수입하고 있는 원자재의 값이 턱없이 상승하여 생산을 절감하거나 포기하는 극한 상황에 몰려있다. 하지만 국내에서 사용할 수 있는 원자재의 값은 생산후 이윤을 기대하기 어려울 만큼 고가이다. 활성탄은 국내수요의 거의 전량을 수입에 의존하고 있다고 해도 과언이 아닐 만큼 해외 의존도가 큰 품목 중 하나이다. 이전에는 국내에서 목재 원자재를 싼 값으로 구입하여 비록 품질은 떨어지지만 자체적으로 활성탄을 생산하여 국내수요를 상당수 충족시켰었다. 허나 이러한 목재들이 톱밥 등의 다른 용도로 널리 이용되자 원료 값이 급상승하여 국내 생산이 어려워지자 중국 등에서 만들어진 저품질의 활성탄을 대량으로 수입하여 판매하고 있다. 국내의 상수처리시설에 사용되는 활성탄의 70% 이상을 중국에서 수입하고 있고 나머지 30% 정도를 국내에서 소규모로 생산하고 있다. 그러나 WTO로 인하여 모든 외국회사들의 국내 진출이 가능해짐에 따라 국내 자체 소규모 생산의 수요도 곧 활로가 막힐 것으로 예상된다. 이러한 이유로서 국내의 기존 활성탄 업체는 사용한 활성탄을 재생하여 판매하는 방향으로 주력 사업을 옮겨가고 있다. 이러한 활성탄 재생사업 자체도 중간 딜러들의 횡포로 인하여 사업이 건전하게 전개되지 못하고 있는 문제점을 안고 있다. 따라서 본 연구과제와 같이 폐벌목을 이용한 활성탄의 개발은 값싼 원료의 확보와 외국회사의 국내시장 잠식을 막고 침체된 목재산업의 활성화를 위한 기반을 마련할 것으로 확신한다. 본 연구과제를 통하여 활성탄 생산의 전 단계에 필수적인 장치인 탄화로를 설계 제작하고 그의 현장 적용성을 평가할 예정이다. 일반적으로 목재를 탄화(pyrolysis, carbonization)하면, 숯 25%, 수분 47%, 가스 18%, tar 5%, pyroligneous acid 5% 등으로 구성된 탄화액이 생산된다. 국내에서 보편적으로 알려진 목초액은 pyroligneous acid를 주성분으로 하지만 실제로는 수분,

가스(CO₂, CO, CH₄), tar 등을 혼합한 상태이다. 더욱이 pyroligneous acid는 메탄올, 아세톤, 초산 등의 복합적 유기물로 구성되어 있어서 이에 대한 세부 성분 분석이 요구된다. 게다가 목재를 화학처리하면 α -pinene, β -pinene, γ -pinene으로 이뤄진 terpene이 생산되고 tall oil, ligin sulfonate solution 및 abietic acid와 dehydroabietic acid로 구성된 rosin acid 등이 생산된다. 따라서 일반적으로 알려진 목초액에는 이처럼 인체나 생물에 유·무해한 다양한 유기화합물이 존재하므로 이에 대한 세부적 성분 분석이 필수적이다. 본 연구에서는 탄화로에서 발생하는 탄화액을 분별증류 방법으로 정제하여 세부 성분을 분석하고 그의 특성과 용도를 세분화 함으로써 작금에 붐을 일으키고 있는 목초액 분야의 용도 다변화에 기술적으로 기여코져 하므로 본 연구개발의 결과에 따른 사회·문화적 필요성은 크다.

제 3 절 국내외 관련기술의 현황과 문제점

활성탄의 선진국인 미국, 러시아, 네덜란드 등에서는 이미 목재를 원료로 한 활성탄을 상업생산하는 단계에 있으며, 나아가 고성능 양질의 목재계 활성탄의 생산을 위한 연구에 박차를 가하고 있다. 한편 가까운 중국의 경우는 선진국의 기술수준에는 이르지 못하지만, 목재를 원료로 한 분말 활성탄을 공업적으로 생산하고 있으며 국내의 여러 생산업체는 이를 수입하여 국내에 판매하고 있는 실정이다. 국내에서 활성탄을 자체 생산하는 업체는 활성탄 원료 값의 급상승으로 거의 전무한 실정이다. 국내에서 주된 원료로 쓰였던 목재도 지금은 축산농가에 톱밥으로 판매되므로 원가가 상승하여 생산 이윤이 나지 않고, 또한 야자각이나 그외 석탄계 원료도 수입 가격 변동으로 인하여 이윤추구가 어려워짐에 따라 많은 업체들이 활성탄 생산을 포기하였고, 대부분의 활성탄 업체는 해외에서 생산된 저가의 활성탄을 수입하여 판매하고 있다. 그러나 수입한 활성탄 제품은 성능이나 성상이 균일하지 못한 문제점이

있어, 이를 보완하기 위하여 국내 활성탄 생산업체는 간단한 화학적·물리적 후처리 과정을 거친 후 국내에 공급하고 있다. 간혹 해외에 직접 공장을 설립하여 현지 생산을 도모하고 있는 회사도 있으나, 이 역시 많은 품질관리의 문제점을 안고 있어서 확실한 기술적 대체방안을 모색하고 있다. 이에 비하여 선진국(미국, 유럽, 일본)에서는 목재를 이용한 고기능의 활성탄을 개발하기 위해 연구에 박차를 가하고 있어서 더욱더 국제적 경쟁력의 확보가 어려워 지고 있는 실정이다.

국내 활성탄 소비량은 수처리, 공기정화, 용제회수 순으로 많이 사용되고 있으며, 근래에 전량 수입에 의존하던 담배필터, 자동차 정착용 등이 국내에서 개발되어 국산대체에 박차를 가하고 있다. 그러나 국내의 활성탄 업계가 현재 생산에서 당면하고 있는 문제점으로는,

- 1) 원료의 확보,
- 2) 재생효과가 좋은 활성탄의 제조법,
- 3) 활성탄 가격의 저렴화 등이 가장 중요한 항목이다.

1)의 원료확보 문제는 활성탄 제조용 고급원료가 어느 몇 곳에만 편재해 있다는 데 있다. 따라서 대체원료 개발에 관한 연구가 이루어져야 한다. 이러한 점에서 폐벌목은 중요한 활성탄제조 원료로서의 가치가 높다고 할 수 있다. 2)의 활성탄 재생문제는 활성탄을 반복 사용하기 위하여 매우 중요한 항목으로서 기계적 강도와 흡착 성능유지가 가장 중요하다. 최근 활성탄 재생효과의 양호 또는 불량에 활성탄의 우수성을 판정하는 척도로 되어가고 있다. 따라서 본 연구를 통하여 재생능력이 뛰어난 조립 활성탄의 국내 부존생산기술을 확보하는 것은 중요한 사안이 아닐 수 없다. 3)의 활성탄 가격면에서 식물계 활성탄이 필요함에도 불구하고 이의 가격이 높아서 활성탄의 재생이 곤란한 공정에 활성탄을 사용할 때는 값이 저렴하면서도 흡착이 비교적 양호한 석탄계 활성탄을 쓰는 경우가 많다. 그러나 저렴한 가격의 폐벌목을 이용한다면 식물계 활성탄의 생산가격을 낮추어 식물계 활성탄이 필요할 때는 가격의 부담없이 사용할 수 있는 계기가 될 것으로 사료된다.

제 4 절 앞으로 전망

우리나라의 산림면적은 1995년말 현재 전 국토의 65%를 차지하고 이중 약 22%가 국유림지이며, 71%가 사유림지, 기타가 공유림지다. (표 1-3 참조) 1995년말의 ha당 평균임목축적은 47.87㎥에 이르렀으나 목재의 공급은 1,055천㎥로서 자급률이 11%에 불과해 본격적인 임업생산 단계에는 크게 못 미치고 있는 실정이다. 산림은 직접적으로는 산림을 지속가능한 상태로 유지시키면서 수확할 수 있는 목재생산, 종실·송진·약재·약초 등 목재 이외의 임산부산물, 휴양기회 제공처로서의 가치를 지닌다. 또 간접적으로는 대기정화 기능, 수원함유 기능, 국토보전 기능, 탄소고정 기능 등 다양한 공익적 가치를 지니고 있는 소중한 자연 자산이다. 따라서 임업 생산 과정에서 발생하는 폐벌목으로 활성탄을 제조한다면 이의 사용처는 식품공업, 제약공업, 군수공업, 정유 및 석유화학공업, 환경상수도, 가스공업, 제련업, 제약공업, 군수산업 등 널리 사용될 수 있으며, 원자력 및 우주산업까지 응용될 전망으로서 계속적으로 활성탄의 필요성이 대두될 것이다. 국내 활성탄에 대한 2000년대 예상 수요량은 입상 활성탄의 경우 30,000톤 이상, 분말 활성탄의 경우 6,000톤 이상이 될 것으로 추정된다.

표 1-3. 산림자원의 임목축적 변화

(단위 : 천㎥)

종 류	구 분	'93	'94	'95
침엽수림		128,419	134,294	140,641
활엽수림		79,760	82,522	85,674
혼효림		75,649	78,891	82,510
합 계	기 초	272,387	283,828	295,807
	(벌 채 량)	903	896	887
	연 간 증 감	11,443	11,977	13,020
	기 말	283,828	295,807	308,825

이것은 국내 활성탄 수요의 증가를 의미하는 것으로 이에 대한 대처가 시급히 이루어져야 한다. 활성탄의 수출입 동향을 보면, 수출의 경우는 거의 없는 상태이고 수입의 경우는 엄청나게 많은 상태이다. 수입이 많은 이유 중의 하나는 원자재와 제조 기술의 부재에 있다. 모든 원자재가 수입에 의존하고 있고, 제조사들의 일부 수요에만 과다 경쟁하여 부가 가치성 없는 제품을 생산 판매할 뿐, 특성있는 제품 연구개발에 노력하지 않고 있기 때문이며, 사용자측 또한 활성탄에 대한 품질의 판별기준이 낮기 때문이다. 따라서 본 연구에서와 같이 폐별목을 이용한 활성탄의 제조는, 활성탄 생산 가격을 낮춤으로써 수출확대의 국제적 경쟁력을 제고하고 나아가 국내 활성탄 산업을 활성화시킬 것으로 전망된다.

제 5 절 기술도입의 타당성

일반적으로 자국의 경쟁력이 있는 첨단 핵심기술은 타국에 이전하지 않고 다만 경쟁력이 미비하거나 불확실한 기술만을 통상적으로 이전한다. 따라서 기술도입에 따른 기술료는 평균 이상인 20% 정도로 예상된다. 경제성을 비취볼 때 아직 외국에서도 부분적 실용화 단계에 있는 만큼 현장 적용에 따른 시험오차와 위험성을 부담하여야 하므로 기술도입의 타당성은 낮다고 할 수 있다.

제 2 장 탄화로 제작 및 자동화 시스템 개발

제 1 절 실험실적 탄화로 제작 방법

ETIS, KINITI 외 국내·외 인터넷 도서관 등을 통한 저널, 학회지 및 관련문헌을 수집, 방문을 통한 관련자료를 확보하였고, 이를 바탕으로 열역학적, 유체역학적 규모의 산출 및 목탄의 전처리시설 구조설계, 양질의 목탄 제조를 위한 설계인자 도출 및 주변기기를 설정하였다. 추가적으로 실험실적 탄화로 설계를 안전하게 수행하기 위한 실험적 설계인자가 도출될 필요성이 부각되어, 이에 필요한 실험장치를 구성하였으며, 이를 이용하여 추가적인 실험을 수행하였다. 설계도면의 제작에 있어서는 시운전시 부착계측기의 종류 및 위치등을 고려하며, CAD를 이용했고, 시장구입 가능한 구조물을 최대한 이용하였으며, 탄화로 제작에 있어서 관련 전문업체를 선정하여 제작감독하고 필요시 설계 변경부분 도면을 수정했다. 시험운전에서 운전방식, 운전시 검토내용, 운전 data를 기록 및 분석하였고 운전 data를 근거로한 개선사항을 도출하고 이를 적용하여 운전하였다.

제 2 절 실험실적 탄화로 제작 및 시험운전

제 1 항 목탄제조를 위한 설계인자 도출을 위한 실험장치의 구성
폐별목의 탄화를 위하여 사용된 장치를 rotary kiln 형태의 환원분위기 조절이 용이하며 1500℃까지 승온가능한 tube furnace를 그림 2-1에 나타나 있는 것과 같이, 실험장치는 불활성가스 주입장치, 반응로 등의 2개 부분으로 구성되어 있다.

불활성가스 주입장치는 질소가스의 압력조절장치 그리고 주입되는 질소가스의 유량을 측정할 수 있는 1 ~ 100ml/min 범위의 유량계를 설치하였다. 반응로의 재질은 서스를 사용하였고 길이는 1m, 내경은 4.5cm 로 하였다. 정확한 온도제어를 위하여 세 영역에서 온도를 측정하였다. 반응로의 중앙 센서와 좌·우측에 K-type 열전대를 사용하여 온도를 측정할 수 있게 하였다. 온도조절정치는 실험수행 조건에 따라 온도상승 및 지속시간을 인위적으로 설정할 수 있었다.

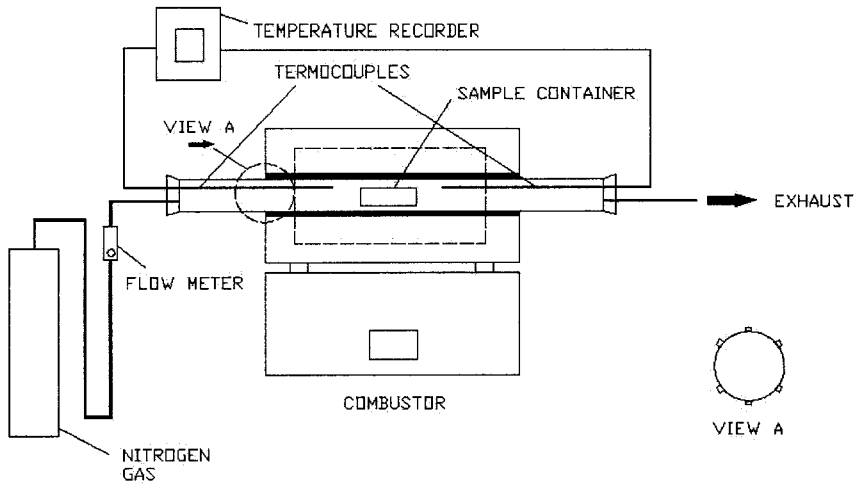


그림 2-1. 목탄 제조장치의 개략도

제 2 항 기본설계

본 연구과제의 전체 기본설계 도면을 그림 2-2에 도시하였다.

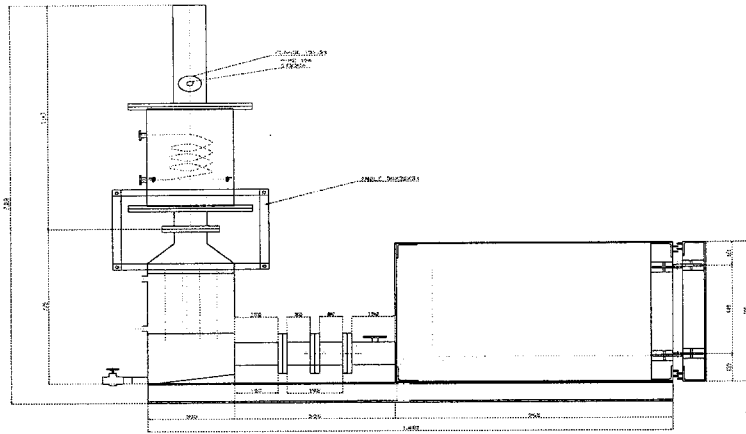


그림 2-2. 탄화로의 기본 설계도면

제 3 절 탄화로 제작 및 자동화

제 1 항 탄화로 제작

본 연구를 위해 제작된 탄화로는 2m×1.2m×2m(너비×폭×높이)크기로 제작되었다. 전체적인 설계도는 그림 2-4와 같다. 탄화로는 크게 탄화부(1), 응축부(2), 2차연소부(3)로 나뉘어진다. 탄화부는 잣나무 40kg/batch를 기준으로 설계하였으며, 700℃까지 승온할 수 있는 전열판을 이용하여 내부온도를 올릴 수 있도록 하였고, 온도조절은 실험수행 조건에 따라 온도상승 및 지속시간을 인위적으로 설정할 수 있도록 Control box로 제작하였다. 그리고, 정확한 온도제어를 위하여 탄화로 내부의 1/3높이에서 3지점, 1/2 높이에서 2지점의 온도를 측정할 수 있도록 하였다. 응축부는 목탄제조중에 발생하는 탄화가스중의 목초액을 추출하기 위하여 탄화과정후에 위치하

며, 수냉식으로 설계되었다. 2차 연소로는 배기가스중에 포함될 수 있는 유해물질들을 전열판으로 산화하여 배기구로 배출할 수 있도록 하였다.

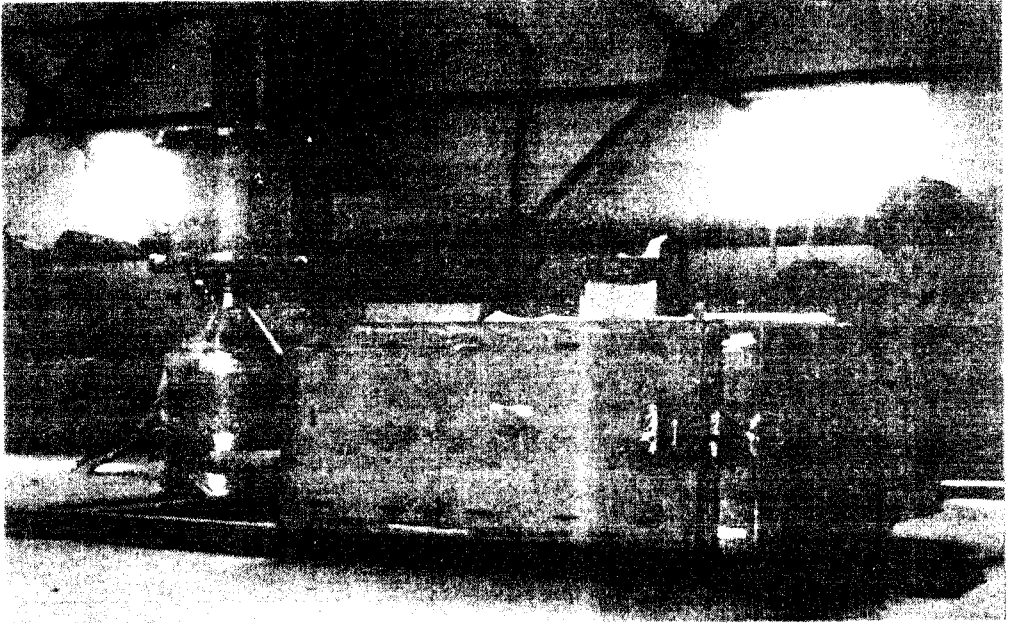


그림 2-3. 제작한 탄화로(규격 : 1.8m × 1.2m × 2m)

완성된 탄화로의 세부적인 모습은 다음 그림 2-4 ~그림 2-7에 나타내었다.

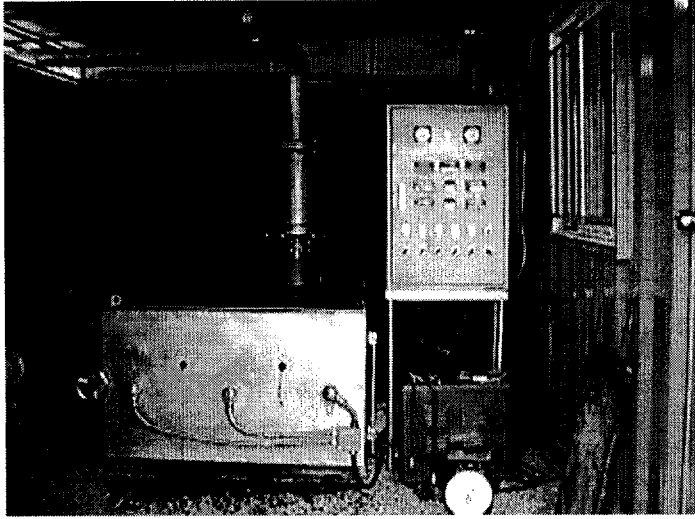


그림 2-4 완성된 탄화로 - 전체

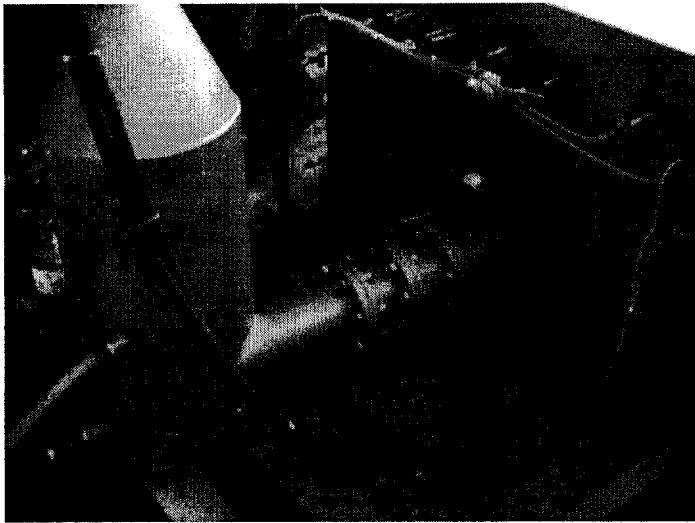


그림 2-5. 완성된 탄화로 - 후면

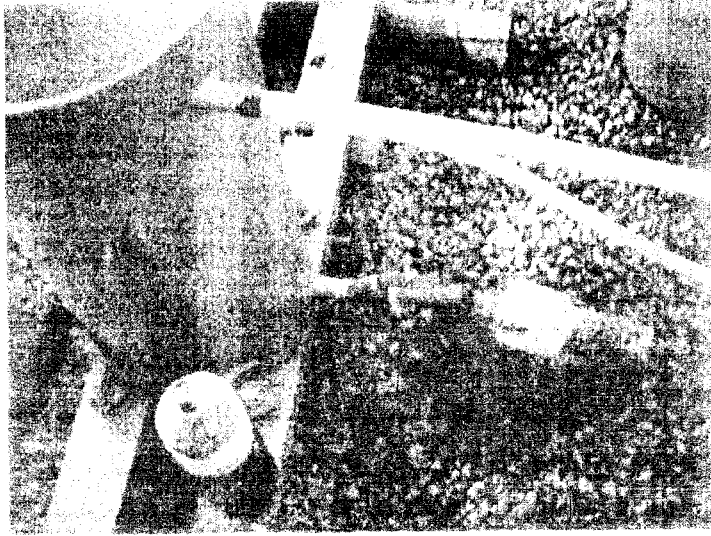


그림 2-6. 완성된 탄화로 - 응축기와 목초액 배출구

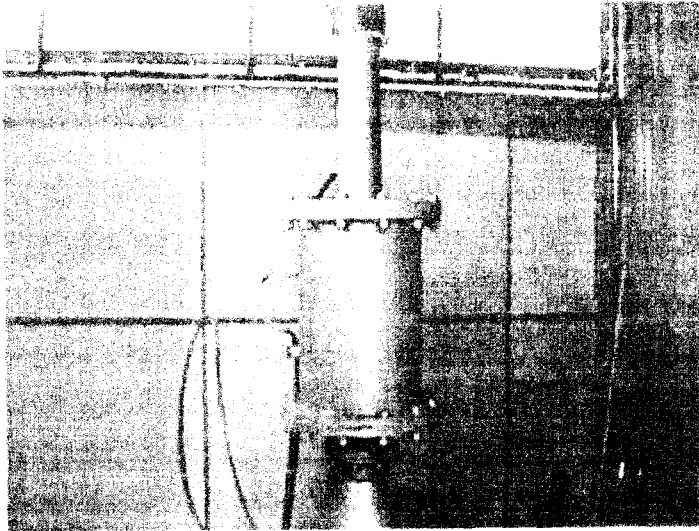


그림 2-7. 완성된 탄화로 - 2차 연소실

제 4 절 목탄제조의 최적탄화조건

제 1 항 목탄 제조 실험

탄화란 유기물의 가열변화에 의해 일어나는 결합의 해열과 보다 안정된 결합의 재편성을 가져오는 분해, 증축합, 방향족 환화등 탄소가 농축된 일련의 다종다양한 화학반응의 총칭이다.

목재의 탄화과정은 약 150℃에서 수분의 증발이 완료되고, 목재는 셀룰로오스 이외에 리그닌등을 함유하고 있으므로 약 200℃에서 리그닌의 열분해로 질량감소가 일어나기 시작하며, 300℃부터는 셀룰로오스의 열분해가 계속되어 350℃에서 급속히 진행되고 약 400℃에서 열분해 반응이 종료한다. 이 열분해 반응과정에서 물, 이산화탄소, 경질 탄화수소가 휘발되면서 동시에 액상 타르가 유출된다. 열분해 반응이 종료된 후 남는 잔류물이 목탄이다. 열분해 온도가 낮으면 반응은 충분히 진전되지 않고 C 이외에 H, O(N, S)원소가 많이 남게 된다. 따라서 탄화온도가 높아짐에 따라 탄화수율은 낮아지는데 원료의 종류, 가열방법에 따라 일정하지 않다. 목탄의 흡착 특성에 커다란 영향을 미치는 세공구조는 탄화온도와 함께 변화하므로 인해 적당한 탄화온도를 설정하는 것은 매우 중요하다.

목탄의 제조는 건조온도와 시간, 탄화온도와 시간에 따라 목탄의 수율 및 특성이 달라지게 되는데 본 실험에서는 목탄의 수율을 중점으로 실험을 실시하였다. 본 실험에 사용되는 시료는 지름이 15cm미만이고, 길이가 35cm미만인 잣나무를 사용하였다. 탄화로의 온도는 자동제어장치에서 자동 제어가 가능하고, 7.2℃/min의 승온이 가능하다. 건조시간은 1~8시간, 건조온도는 120℃~180℃로 변화시켰으며, 탄화시간은 2~5시간, 탄화온도는 400℃~500℃로 변화시켜 목탄의 수율을 분석하였다. 그리고, 탄화를 마치면 자연냉각 하였다. 자연냉각은 탄화로의 온도가 50℃가 될 때까지 냉각하였고, 자연냉각에 소요되는 시간은 약 18시간이다.

$$\text{탄화수율(\%)} = \frac{\text{탄화후무게}}{\text{탄화전무게}} \times 100$$

제 2 항 목탄제조의 최적탄화조건

목탄제조 실험을 통한 조건에 따른 목탄의 탄화수율은 표 2-1과 같다.

표 2-1 조건에 따른 목탄의 탄화수율

건조온도 (℃)	건조시간 (hr)	탄화온도 (℃)	탄화시간 (hr)	탄화전 무게 (kg)	탄화후 무게 (kg)	수율(%)
160	1	460	5	10.7	2.1	19.6
160	3	460	3	19.26	4.4	22.8
160	8	460	3	10.6	2.2	20.7
160	8	500	5	13.6	1.95	14.3
120	3	500	3	10.55	2.7	25.6
150	3	500	3	10.1	2.8	26.5
180	3	500	3	10.25	2.6	25.4
150	6	400	3	14.75	4.3	29.2
150	3	400	3	12.4	3.5	28.2
150	6	400	5	10.4	2.8	26.9

위 결과로부터 건조온도 150℃, 건조시간 6시간, 탄화온도 400℃, 탄화시간 3시간 이 폐열목을 이용한 목탄의 제조에 가장 적합한 조건이라고 판단된다.

제 5 절 목초액

제 1 항 목초액

나무를 탄화로에서 탄화를 하면 목탄이 된다. 이 과정에서 발생하는 탄화가스를 응축시키면 목초액을 얻을 수 있다. 이 목초액을 용기에 담아 그대로 오랫동안 방치해 두면 세 개의 층으로 분리 된다. 즉, 목초액은 목재를 태울 때 발생하는 가스의 응축액으로 맨 윗층에는 정유(精油)와 검정색의 기름 모양의 성분이 뜨고, 아랫층에는 끈적끈적한 타르 모양의 성분이 가라 앉는다. 그 위와 아래 사이의 황적갈색의 투명감이 있는 액이 목초액이다. 목초액의 원료인 목재의 주성분은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌 등의 섬유질로 되어 있다(헤미셀룰로오스와 셀룰로오스가 약 75%, 리그닌이 20~30%로 이 세가지 성분이 전체의 약 95% 이상을 점하고 있다). 또 탄닌 등의 미량성분도 함유되어 있다. 이것들이 고온하에서 열분해 되면서 기화됨과 동시에 중합반응 하면서 탄화가스가 되어 배출이 되는데 그것을 식히면 액상의 목초액을 얻는 것이지만 성분에 따라 분해될 때의 온도가 다르게 된다. 또한 목초액은 채취할 때의 탄화온도에 따라 그 성분과 성상에 큰 차이가 있다. 처음에 나오는 탄화가스는 수분이 많고 비중이 가볍고, 또 리그닌이 열분해할 때 나오는 탄화가스에는 타르성분이 많이 포함되어 있다. 따라서 목초액을 회수할 때의 탄화로의 온도가 문제가 되는 것이다. 목초액의 물리·화학적 성질을 살펴보면 목초액은 80~90%가 수분이고 나머지 10~20%가 유기화합물이다. 일반적으로 초산을 주성분(약 3~7%)으로 하는 pH 3정도의 산성 수용액이며, 옥산(蠟酸), 포름알데하이드, 페놀산 및 기타 타르성분의 목재 열분해 물질을 함유하고 있다. 비중은 1.010~1.030 정도이다.

제 2 항 목초액 포집방법

탄화시 목초액은 시료를 탄화로에 투입 할 때부터 배출 할 때까지 실험의 모든 시간에 걸쳐 응축기에 포집되어진 목초액의 양을 측정하였다.

제 3 항 탄화조건에 따른 목초액의 수율

탄화조건에 따른 목초액의 수율(V/W%)은 표 2-2와 같다. 표 2-2에서 보시는 바와 같이 목초액의 수율은 건조온도 160℃, 건조시간 1시간, 탄화온도 460℃, 탄화시간 3시간의 조건에서 23.4%의 가장 높은 수율을 나타내었다.

표 2-2 목초액의 수율(V/W%)

건조온도 (℃)	건조시간 (hr)	탄화온도 (℃)	탄화시간 (hr)	처음무게 (kg)	목초액 양 (L)	수율 (V/W%)
150	6	400	3	14.75	3.22	21.8
160	1	460	5	10.7	2.5	23.4
160	8	460	3	10.6	1.8	17
120	3	500	2	10.55	1.23	11.7
150	3	500	3	10.1	1.52	15
150	1	500	2	11.6	2.2	19
150	2	500	2	10.45	2	19.1

제 6 절 운전조건 자동 제어

제 1 항 운전조건 자동화의 필요성

본 연구의 운전조건으로는 건조온도, 건조시간, 탄화온도, 탄화시간으로 나눌 수 있다. 물론 이외에 다른 요인으로 인한 영향을 배제할 수는 없으나 본 연구에서는 상기의 4가지 조건을 중심으로 수행하였다.

초기 탄화로는 탄화로 내부의 온도를 승온하기 위하여 발열체인 Kanthal과 알루미늄 나로 구성된 가열판에 전기를 공급한 후에 Digital Thermometer(Model : D55, Lot

No : 11040946)를 이용하여 직접 내부의 온도를 측정한 후에 실험 조건에 맞는 온도에 이르렀을 때 전기의 투입을 중단하였다. 이 방법은 실험자가 지속적으로 내부 온도를 측정해야 되고 온도센서를 이동하게 됨으로써 측정하고자 하는 지점의 온도를 정확히 측정하는데 어려움이 있었고, 탄화로의 내부온도를 실험조건에 맞게 지속적으로 유지하는데 많은 어려움이 있었다. 탄화로의 내부 온도가 일정하지 못하면 실험을 수행하는데 정확한 Data를 도출할 수 없을 뿐더러 도출된 Data의 신뢰성에 많은 문제가 발생할 수 있다. 따라서 탄화로 내부의 온도를 지속적으로 유지하고 온도 조절이 용이하게 하기 위하여 운전조건 자동화가 절실히 필요하게 되었다.

제 2 항 자동화 설정 조건 및 방법

(가) 구조적 설정조건

탄화로 내부의 온도를 올리기 위해서는 가열판에 전기를 공급해 주어야 하는데 가열판은 탄화로 내부의 좌측면과 우측면, 후면과 윗면에 설치되어 있고 가열판은 12KW/(h·개)의 용량을 갖는다. 가열판을 제어하는 온도의 계측은 탄화로 정면부를 기준으로 내부높이 중간지점, 그리고 좌·우측면 가열판에서 10cm떨어지고 로 내부 방향으로 10cm 들어간 지점에서의 온도를 측정하게 되었다(그림 2-8의 1지점, 2지점) 그리고 중앙지점에서 노 내부방향으로 15cm들어간 지점에서 내부온도를 측정할 수 있는 온도센서를 장착하였다(그림 2-8의 3지점).

탄화로 온도계측 1지점의 온도센서는 탄화로 가열판의 좌측면과 후면의 가열판 온도를 제어할 수 있도록 연계되었고, 2지점의 온도센서는 탄화로 가열판의 우측면과 윗면의 가열판을 제어할 수 있도록 연계되었다.

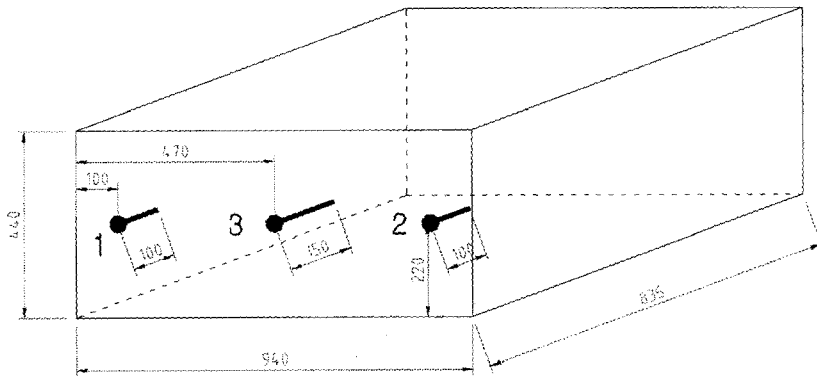


그림 2-8. 탄화로 자동온도 측정점(단위 : mm)

(나) 탄화조건 설정

이 장치를 통하여 건조시간, 건조온도 및 탄화시간, 탄화온도를 변화시키면서 최적의 탄화조건을 도출하였다.

- 건조온도의 최적조건 : 탄화온도 500℃, 탄화시간 3시간, 건조시간을 3시간으로 일정하게 유지하고 건조온도를 120℃, 150℃, 180℃로 변화시켜 본 결과 150℃에서 탄화수율이 26.5%로 가장 높게 나타났다.

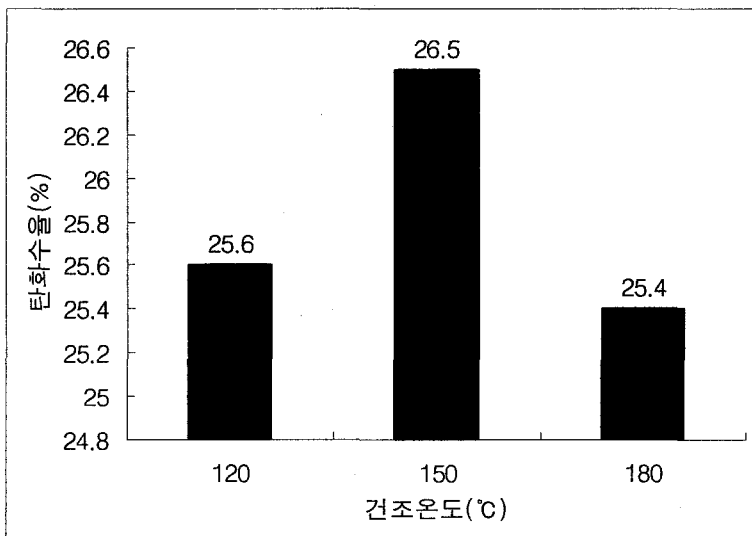


그림 2-9. 건조온도에 따른 탄화수율

· 탄화온도의 최적조건 : 건조온도 150℃, 건조시간 3시간, 탄화시간을 3시간으로 일정하게 유지하고 탄화조건을 400℃, 460℃, 500℃로 변화하면서 최적 탄화수율을 측정하여 400℃에서 가장 높은 28.2%의 탄화수율을 나타냈다.

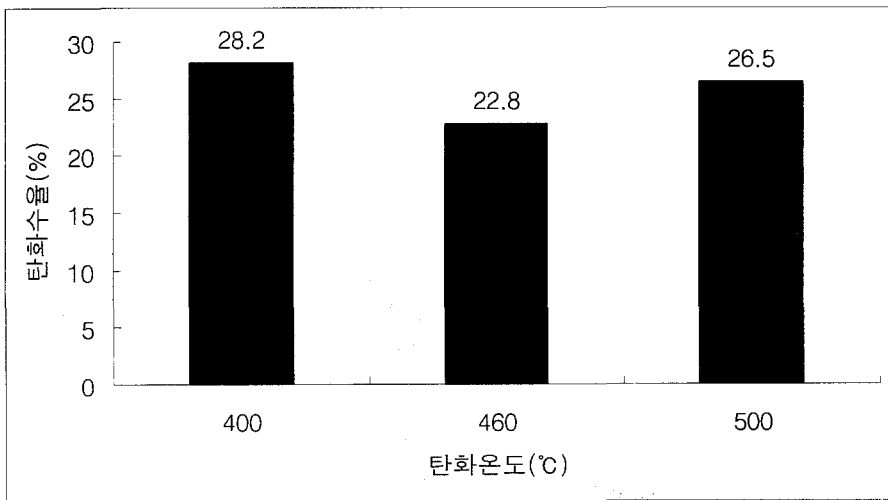


그림 2-10. 탄화온도에 따른 탄화수율변화

- 건조시간의 최적조건 : 건조온도 150℃, 탄화온도 400℃, 탄화시간은 3시간으로 일정하게 유지하고 건조 시간을 3시간, 6시간으로 변화시켜 보았을 때 건조온도가 3시간일때는 28.2%의 탄화수율을 얻을 수 있었고, 건조온도가 6시간일 때는 29.2%의 탄화수율을 얻을 수 있다.

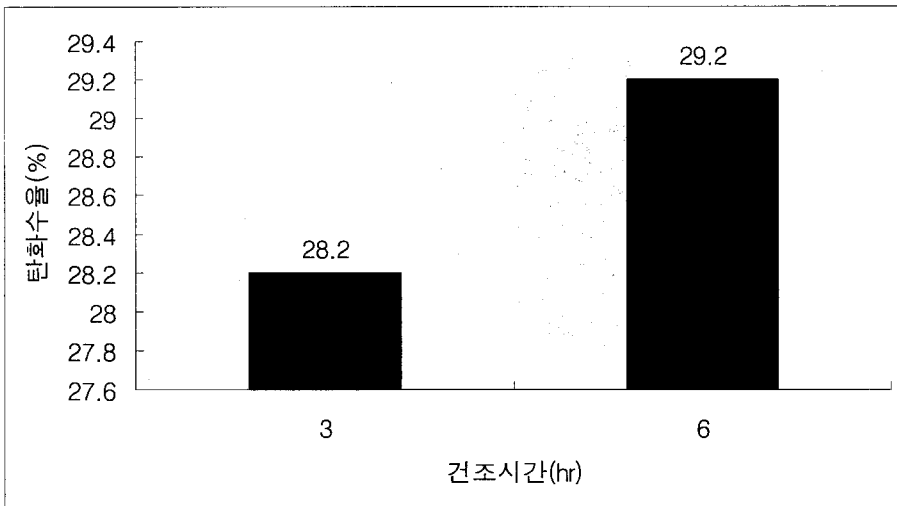


그림 2-11. 건조시간에 따른 탄화수율

· 탄화시간의 최적조건 : 건조온도 150℃, 건조시간 6시간, 탄화온도 400℃로 고정시킨 상태에서 탄화시간을 3시간과 5시간으로 변화시켜 보았다. 그 결과 5시간의 탄화시간에서는 26.9%의 탄화수율을 얻을 수 있었고, 3시간의 탄화시간에서는 29.2%의 탄화수율을 나타냈다.

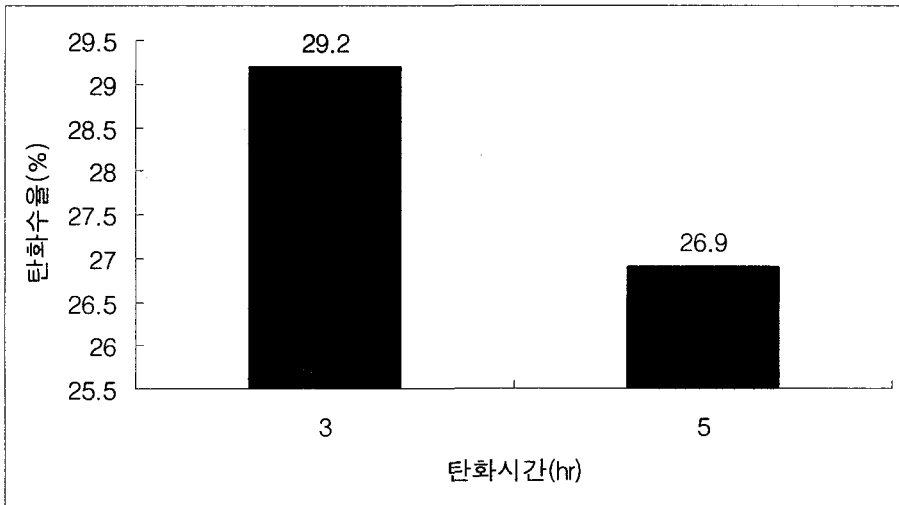


그림 2-12. 탄화시간에 따른 탄화수율

이렇게 하여 최적의 탄화조건을 건조시간 6시간, 건조온도 150℃, 탄화시간 3시간, 탄화온도 400℃로 설정하였다.

제 3 항 최적화 조건을 자동제어 Logic으로 활용

자동제어 Logic은 실험에서 도출된 최적화 조건을 자동적으로 수행하기 위하여 크게 건조과정과 탄화과정으로 분리된다. 먼저 건조과정에서는 건조온도를 150℃로 설정을 하면 탄화로 내부온도는 일정하게 승온(7.2℃/min)시키다 최적 건조온도인 150℃(승온시간 25분)에서 더 이상 온도가 올라가지 않고 최적 건조시간인 6시간동안 일정한 온도를 유지한다. 이때 유지되는 온도의 오차 범위는 $150 \pm 5^\circ\text{C}$ 이다. 건조과정이 끝나게 되면 이어서 탄화과정으로 직접 연계운전 되도록 Logic이 설정되어야 한다. 최적 탄화온도인 400℃까지 승온(7.2℃/min)시킨 후, 이 온도를 최적 탄화시간인 3시간 동안 일정하게 유지하게 한다. 이때도 일정하게 유지되는 온도오차의 범위는 $400 \pm 5^\circ\text{C}$ 이다. 그리고 탄화과정이 종료되면 전력공급이 차단되어 자동적으로 자연냉각상태가 되도록 설계되어졌다(그림2-13). 그림 2-14와 그림 2-15는 자동제어 흐름도를 나타내며, 그림 2-16과 그림 2-17은 실제 제작된 자동제어장치와 내부 모습을 나타낸 그림이다.

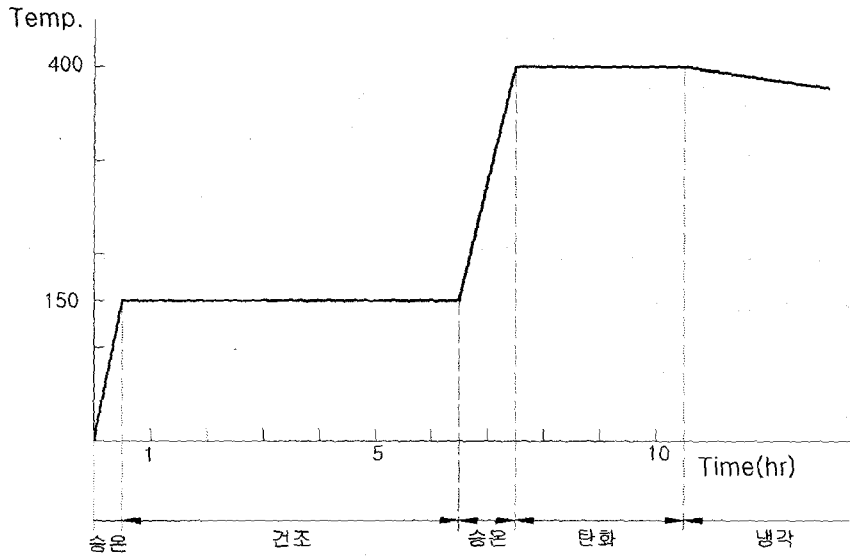


그림 2-13. 최적화 조건에 의한 자동제어 Logic

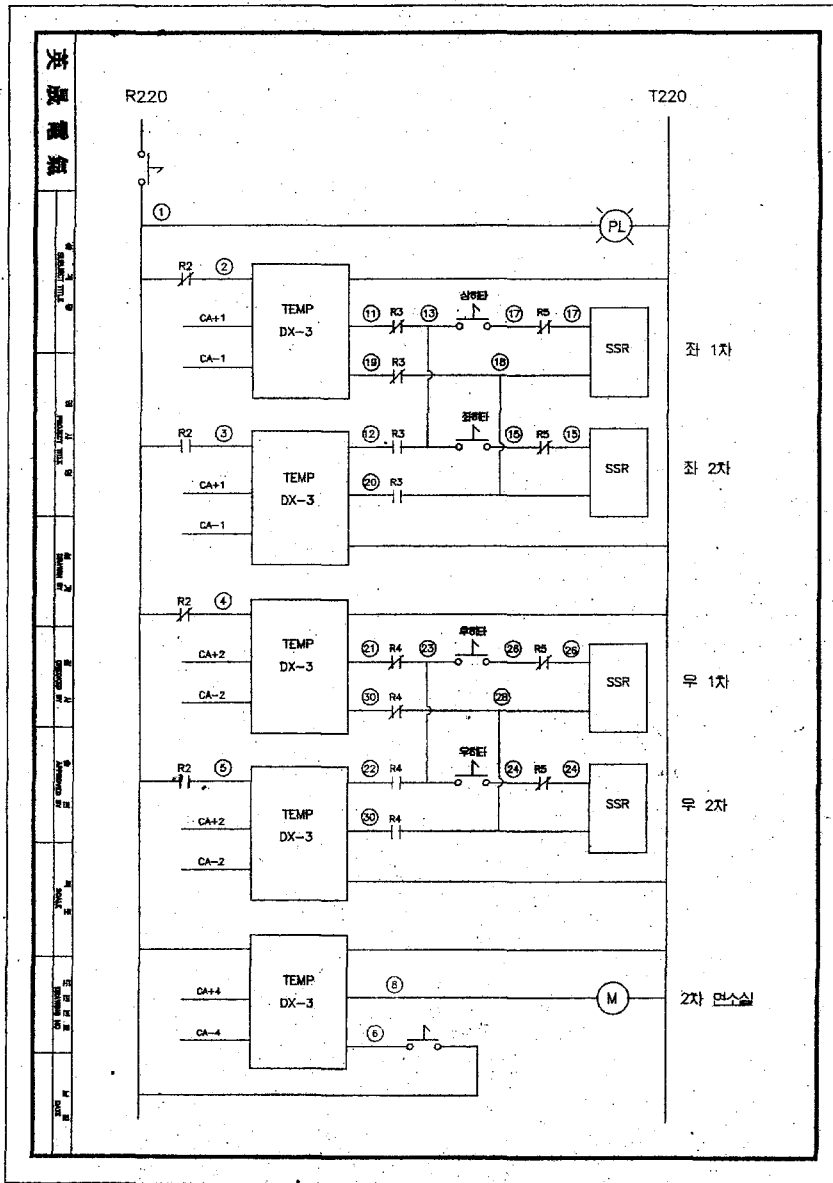


그림 2-14. 자동제어장치의 제어 흐름도

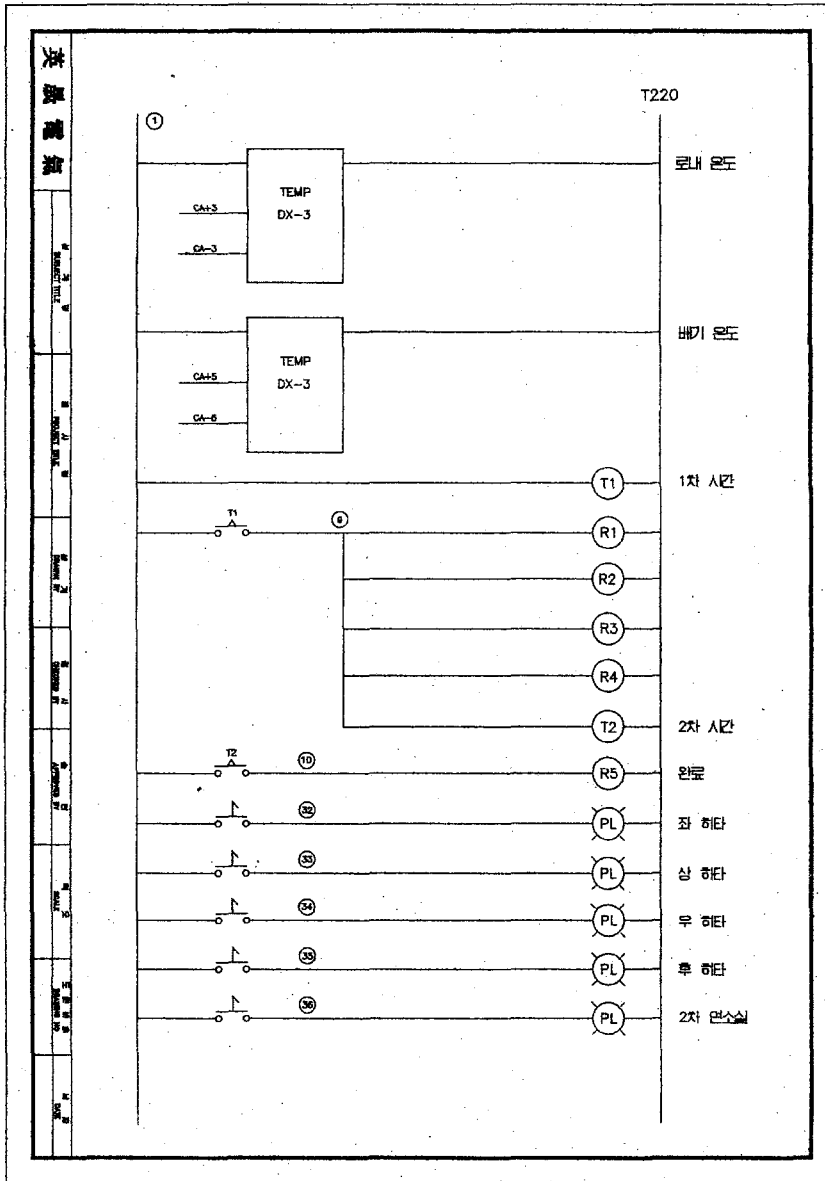


그림 2-15. 자동제어장치의 제어 흐름도

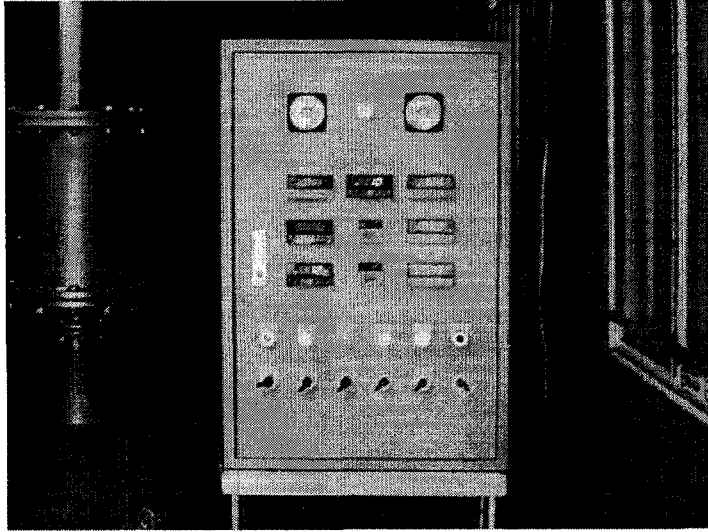


그림 2-16 제작된 자동제어장치

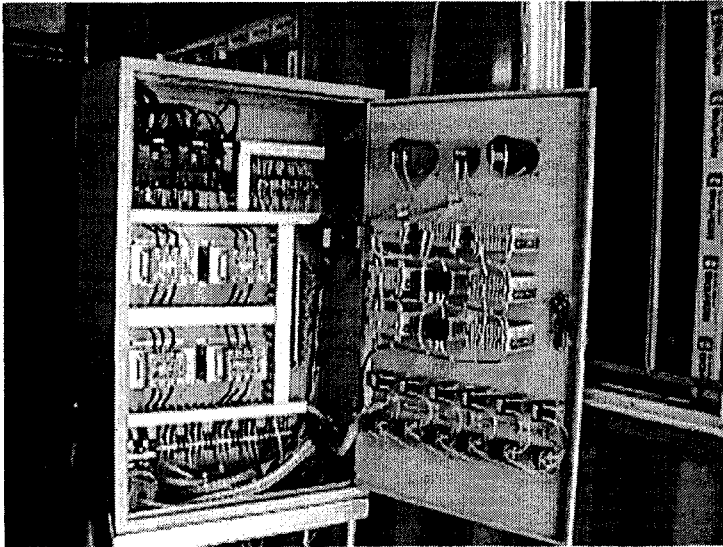


그림 2-17. 자동제어장치의 내부

제 7 절 시험운영 및 결과 분석

제작된 탄화로를 자동제어장치를 이용하여 시험운영 하였다. 표 2-3은 시험운영시 시간에 따른 탄화로의 내부 온도를 나타낸 것이다.

표 2-3 자동제어장치를 이용한 탄화시간에 따른 탄화로 내부온도 변화

시 간	탄화로 좌측온도(℃)	탄화로 우측 온도(℃)	탄화로내부온도(℃)
0	12	12	13
10	22	24	26
20	81	84	91
30	143	148	158
40	206	215	224
50	270	283	288
60	388	347	359
70	404	409	418
80	470	478	487
90	532	542	550

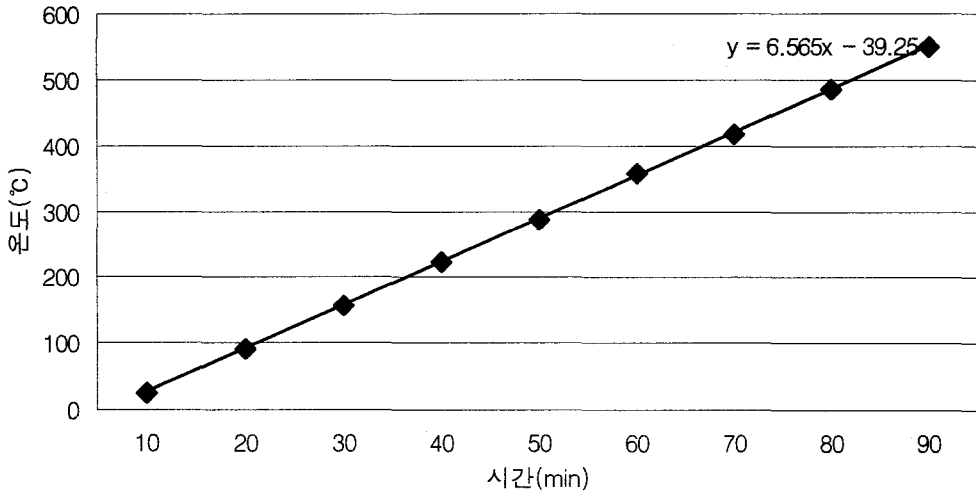


그림 2-18. 시간에 따른 탄화로 내부온도 변화(Control Panel)

표 2-3에서 나타난 초기 10분 동안의 온도 상승폭이 작은 이유는 초기 가열판 가열 시 가열판의 온도가 올라가는데 시간이 걸리는 것으로 예측된다. 그래서 초기 온도를 제외한 10분후의 온도부터 90분까지의 온도는 그림 2-18의 그래프에 나타난 것과 같이 약 6.5°C/min의 비율로 온도가 올라간다. 그러나 현재까지의 조사되어진 온도는 자동제어장치를 위한 온도이므로 실질적인 탄화로 내부의 온도라고 판단할 수 없다. 그래서 실질적인 탄화로의 내부 온도를 자동제어장치에 의해 Control하면서 실제 탄화로 내부의 온도를 측정하였다. 측정지점은 탄화로 내부 중앙의 2지점(그림 2-19 1과 2지점)의 온도를 측정하여 평균값을 취하였다.

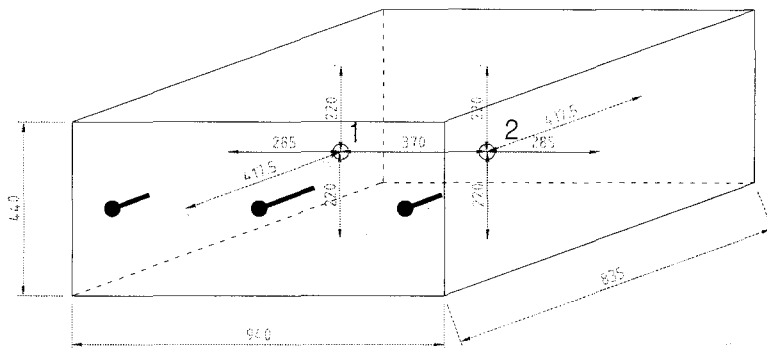


그림 2-19. 실측온도의 측정지점(단위 : mm)

표 2-4. 자동제어장치를 이용한 탄화시간에 따른 실제 탄화로 내부온도 변화

시 간	탄화로좌측온도(℃)	탄화로 우측온도(℃)	실제 탄화로 내부온도(℃)
0	12	12	13
10	22	24	38
20	81	84	111
30	143	148	181
40	206	215	258
50	270	283	327
60	338	347	399
70	404	409	474
80	470	478	544
90	532	542	618

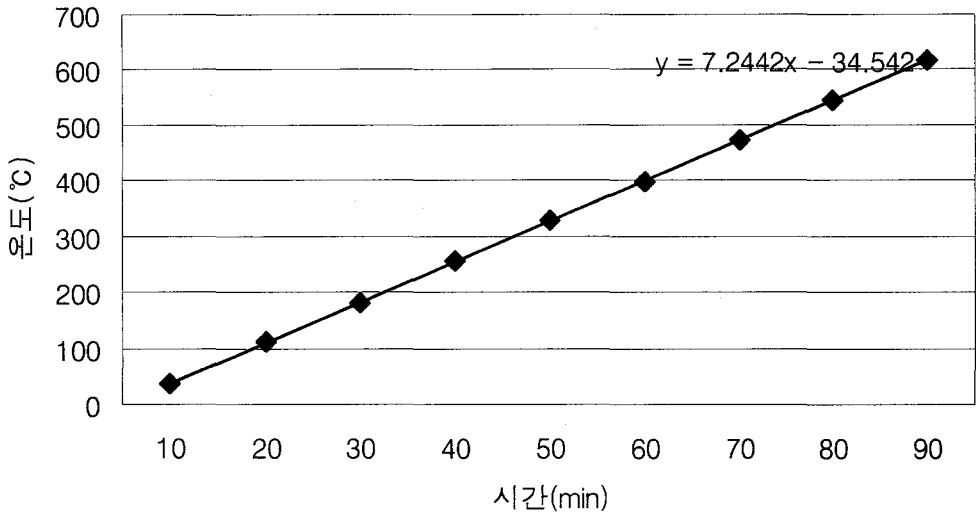


그림 2-20. 시간에 따른 탄화로 내부온도 변화(실측온도)

위 그래프에서 보는 바와 같이 자동제어장치를 이용하여 실질적인 탄화로내의 온도를 올렸을 때 약 7.2°C/min의 비율로 내부온도가 올라감을 알 수 있다.

Control Panel 상에 설정되는 온도와 탄화로 내부의 실측온도가 상이하게 나타나므로, 이에 대한 보정작업이 필요하게 되었다. 이에 대한 내용은 다음 8절에서 언급하였다.

제 8 절 분석 및 운영결과를 이용한 개선대책 수립 및 적용

제 1 항 분석결과를 이용한 탄화로 자동화의 적용

자동제어장치를 이용하여 탄화로 운전시 Control Panel의 setting 온도와 실제 탄

화로 내부온도와 편차가 발생함을 알 수 있다. 이것을 보정해 주기 위하여 최적 탄화조건인 건조 150℃와 탄화 400℃의 온도를 유지하기 위한 Control Panel의 setting 온도를 조사하였다. 조사 방법은 Control Panel의 온도를 지정하고 이 온도에서 1시간동안 내부온도를 유지시킨다음 실제 탄화로 내부온도를 측정결과를 표 2-5에 나타내었다. 여기서 실제 탄화로 내부온도의 오차범위는 ±5℃이다.

표 2-5. Control Panel의 Setting 온도(℃)에 따른 실제 탄화로 내부 온도(℃)

Control Panel의 설정온도(℃)	실제 탄화로 내부 온도(℃)
95	120
120	150
145	180
350	400
410	460
450	500

위 결과로 자동제어장치를 이용하여 탄화로 운전시 최적의 건조조건인 건조온도 150℃의 탄화로 내부온도를 얻기 위해서는 Control Panel의 설정온도를 120℃로 지정하여야하고 최적 탄화온도인 400℃를 유지하기 위하여 설정온도를 350℃로 지정하여 적용하여야 한다.

제 2 항 운영상의 개선대책

탄화로 시험운영 과정중에 가열판이 손상되어 가열판 일부를 교체하였다. 뚜렷한 원인은 밝힐 수 없으나 가열판의 재질적인 문제로, 탄화후 온도가 내려가면서 상온

에서 방치되는데 이때 공기중의 수분이 가열판에 흡수되어 잔류하다가 다음 탄화로 가동시 가열판을 가열 할 때 이 수분으로 인하여 가열판 내부의 발열체가 단락이 된 것으로 추정하고 있다. 그리하여 탄화로를 가동하지 않더라도 탄화로 가열판 내부에 수분침투를 방지하고 건조한 상태로 유지하기 위하여 일정시간동안 가열판을 가열해 준다.

제 3 항 분석결과 Pilot 반영자료 도출

탄화로 제작시 자동화시스템을 구축하면서 발생하는 자동제어장치에서 나타나는 온도와 실측온도의 차이는 탄화로 내부의 온도분포의 편차가 상당히 큼으로 인하여 기인된 것으로 이것을 해결하기 위해서는 자동제어시스템에 나타나는 온도와 실측온도의 차이를 Control Panel 상에서 보정할 수 있는 조치가 필요하고, 또 하나의 방법으로는 탄화로 내부공기를 순환시켜서 일정한 온도분포를 갖도록 하는 것이다.

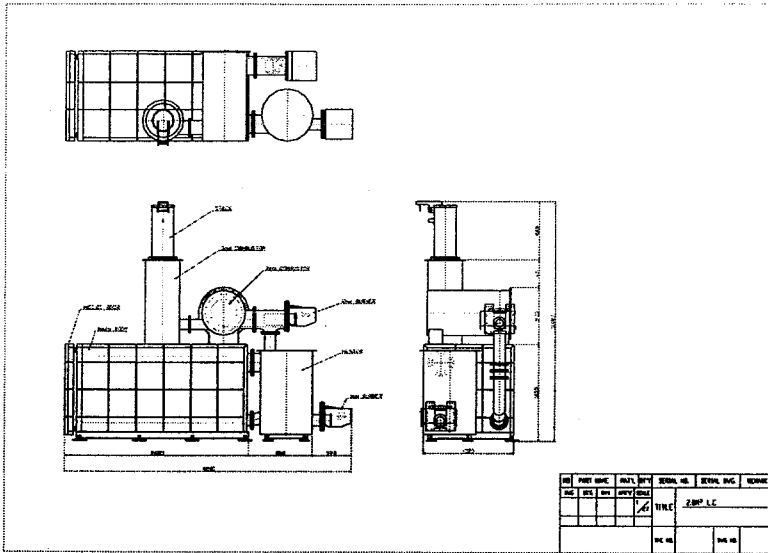
전기를 이용한 Pilot 탄화로 제작시 가열판 및 단열재의 재질을 수분에 강한 재료를 선택해야 한다. 탄화과정에 있지 않는 탄화로는 상온에서 방치되는데 이때 단열재 및 가열판이 공기중의 수분을 흡수하여 재가동시 방전과 같은 사고의 위험이 있으며, 흡수한 수분을 증발시키기 위해 더 많은 양의 전력을 소비하므로 추가 비용이 소요된다. 또한 탄화과정중에는 탄화물의 수분이 증발하는데 이때는 탄화로 내부의 수분함량이 높아 전기 가열판과 탄화로 본체 사이의 절연에 문제가 생길 수 있으므로 이 부분에 대한 보다 많은 고려가 있어야 한다.

또, 버너를 이용한 탄화로 제작시에도 마찬가지로 탄화로 On-Off시 단열재의 수분 흡수에 의한 파손이 우려됨으로 단열재 선정에 세심한 주의가 필요하다.

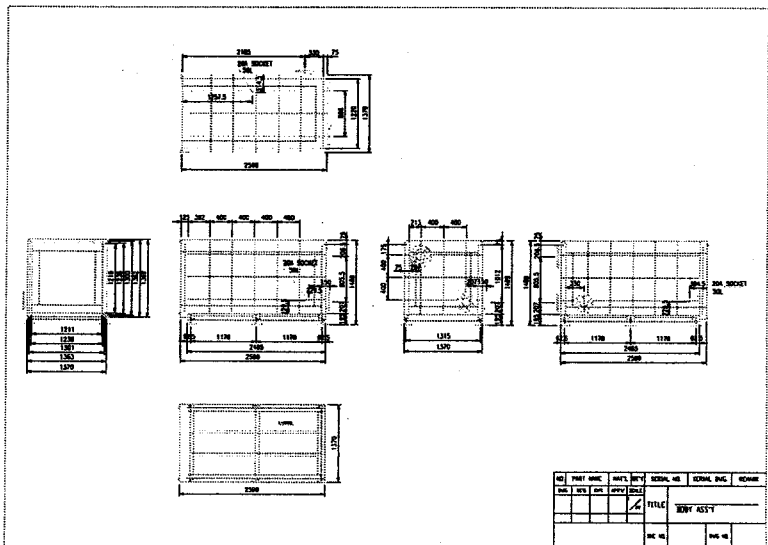
제 9 절 Pilot형 탄화로(2m³) 상세설계도면(Batch Type)

도 번	도 면 명	Scale
1	Ass'y	1:27
2	Body Ass'y	1:32
3	Body Base	1:15
4	Burner Cover	1:6
5	Burner Nozzle Parts	1:6
6	Condenser	1:13
7	Damper	1:3
8	Door Hinge Bracket	1:2.5
9	Door Hinge	1:4
10	Door Lock Device(bolt)	1:1
11	Door Lock Device	1:2
12	Door Lock Holder	1:2
13	Exhaust Pipe	1:10
14	Shift	1:2

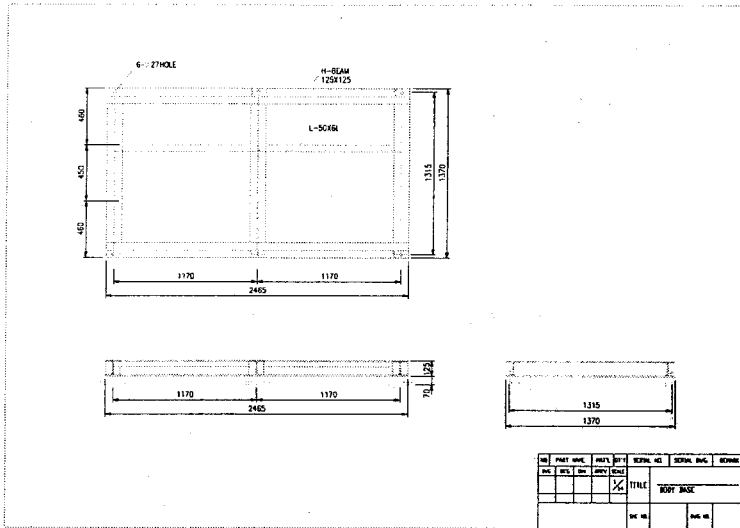
1. Ass'y



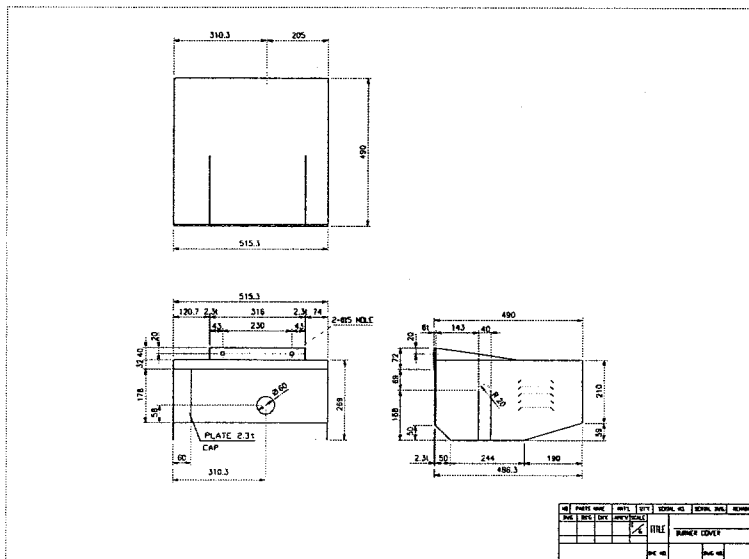
2. Body Ass'y



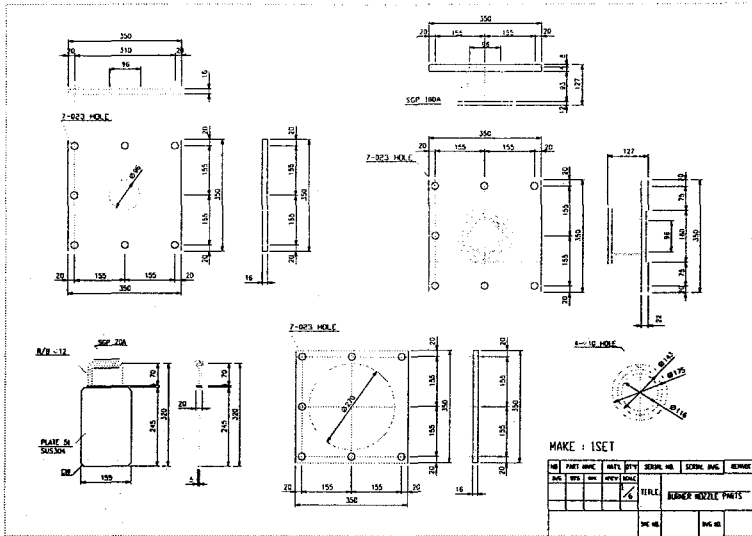
3. Body Base



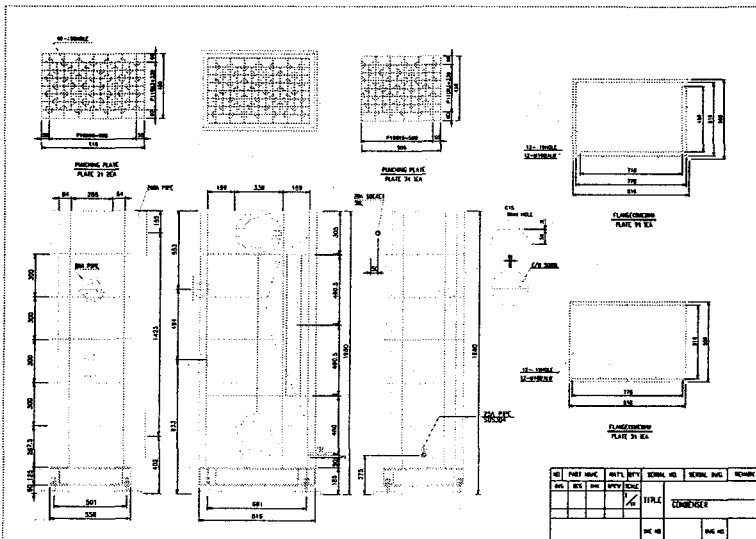
4. Burner Cover



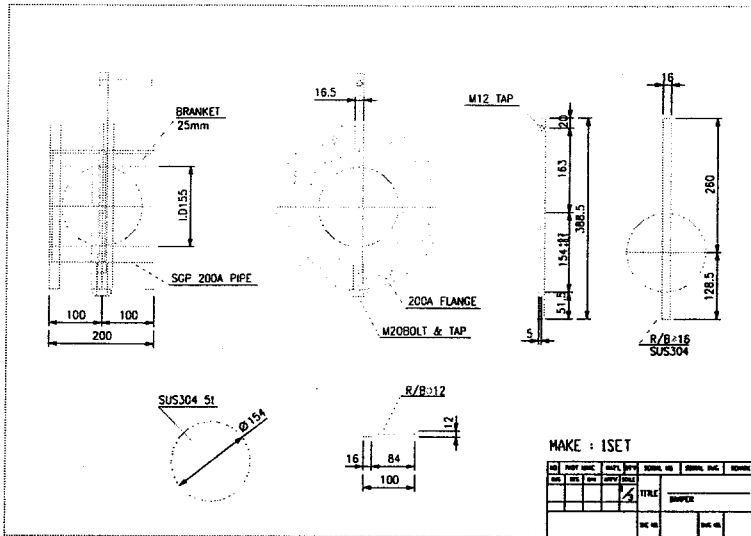
5. Burner Nozzle Parts



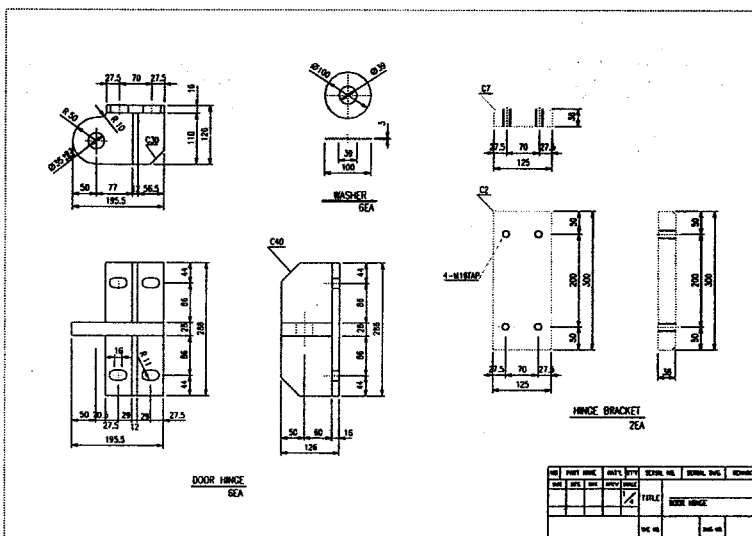
6. Condenser



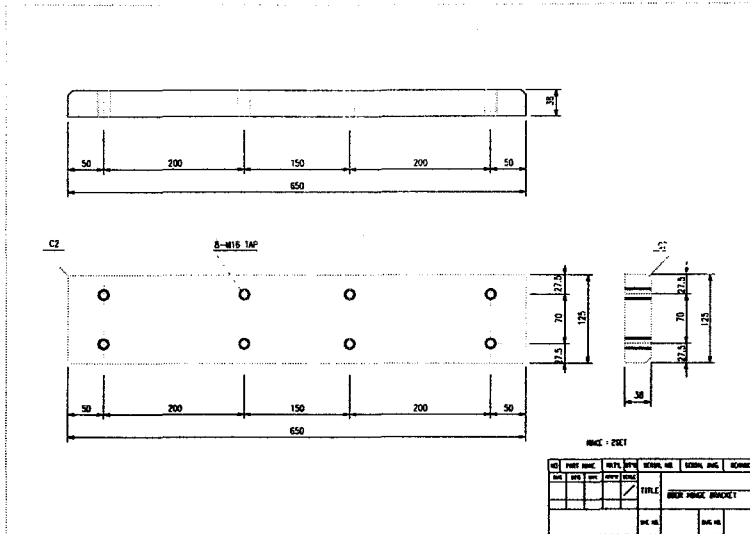
7. Damper



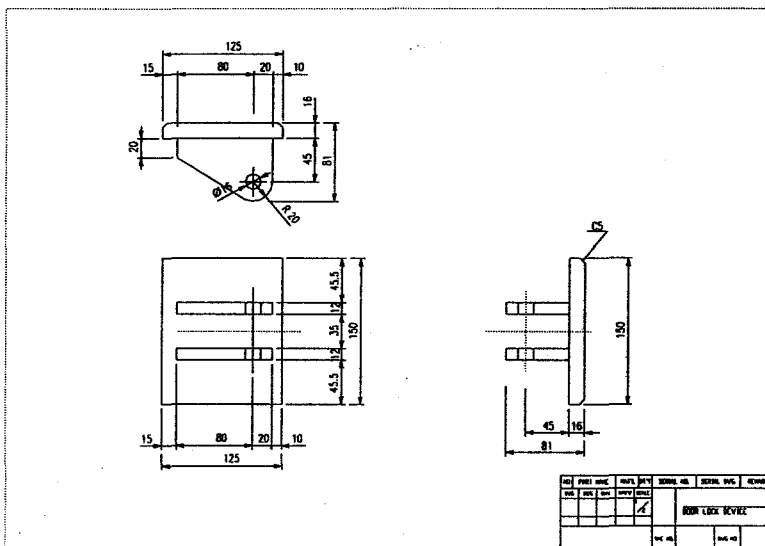
8. Door Hinge Bracket



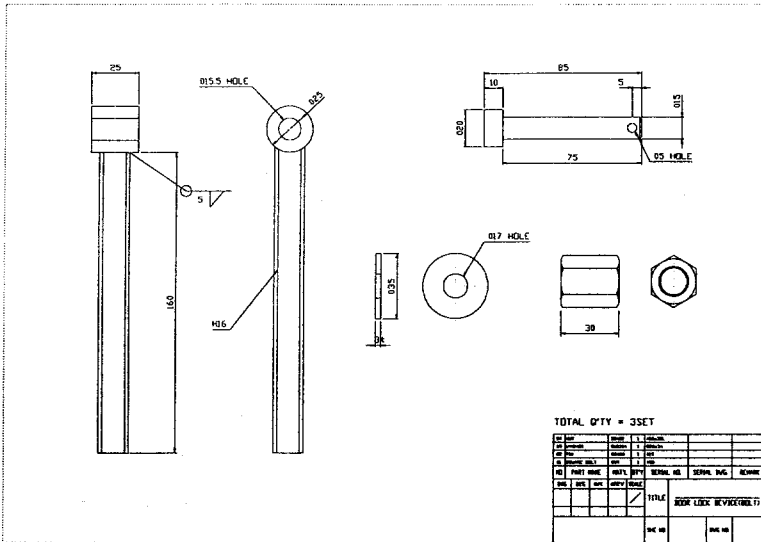
9. Door Hinge



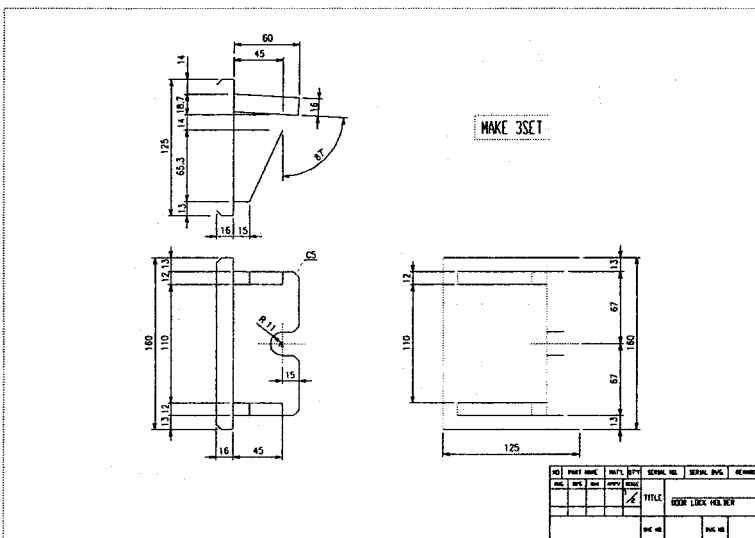
10. Door Lock Device(bolt)



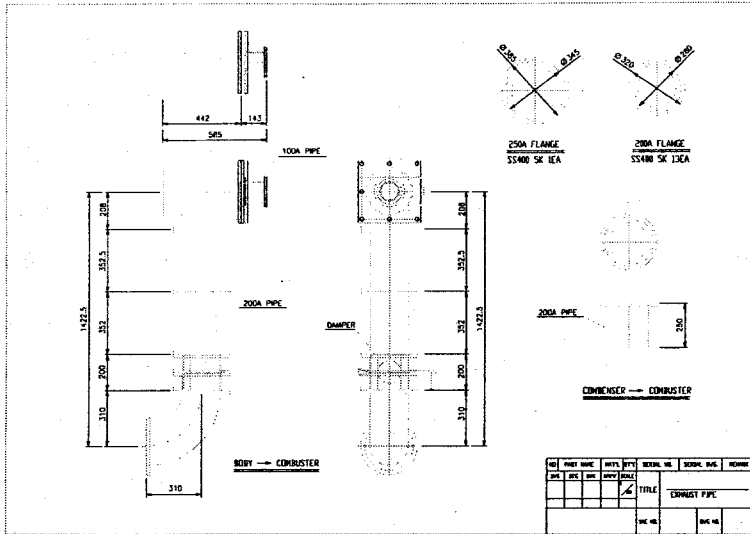
11. Door Lock Device



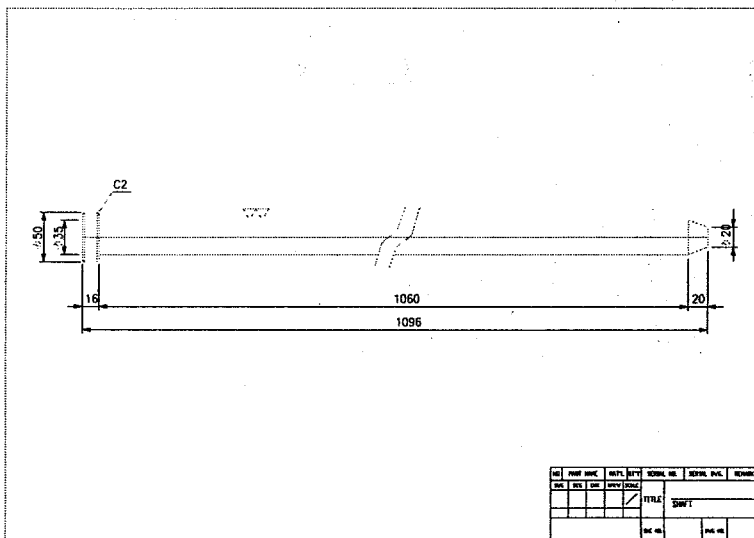
12. Door Lock Holder



13. Exhaust Pipe



14. Shift



제 10 절 결론

본 연구과제의 세부과제인 탄화로 제작 및 자동화 시스템 개발에서 제작된 Batch Type의 탄화로는 폐벌목을 이용하여 목탄을 제조하는 것을 목적으로 만들어졌다. 탄화로는 batch당 40kg의 용량으로 설계되었으며, 이등의 편의성을 위하여 탄화부, 응축부, 2차연소부의 분리와 조립이 용이하게 설계되어졌다. 제작된 탄화로를 이용하여 목탄을 제조하는데 있어 가장 크게 고려되는 것이 탄화온도와 탄화시간, 건조온도와 그리고 건조시간은 각각 6시간, 150℃, 3시간, 400℃로, 이와 같은 조건에서 탄화로의 목탄제조 수율은 29.2%로 나타났다. 그리고 최적조건을 자동운전 하기 위해 자동제어장치를 설치하였는데 실제적인 탄화로 내부온도와 자동화를 Control Panel의 설정온도와 약간의 온도차가 발생하므로 이것을 보정하여 최적조건에 결부시켰다. 최적건조온도인 150℃의 탄화로 내부온도를 유지하기 위해서는 Control Panel의 설정온도를 120℃로 설정해야하고, 최적탄화온도인 400℃의 온도를 유지하려면 Control Panel의 설정온도를 350℃로 설정해야 하였다. 또한 목재의 탄화시 목초액을 평균 20(V/W%)를 획득하였다. 상업적 생산을 위하여 탄화로를 Batch Type이 아닌 연속식 탄화로가 바람직할 것으로 건의된다.

제 3 장 조립활성탄 생산 및 양산화 공정 현장 평가

제 1 절 참나무를 이용한 조립활성탄 생산

제 1 항 대상시료

본 연구에서 사용된 시료는 강원도에서 생산되어 일반 시중에서 판매되고 있는 참나무를 원료로 한 숯을 대상으로 하였으며 이 원료 숯을 170 mesh이하로 분쇄하고 24시간 이상 건조하여 다양한 점결제를 사용, 원주모양의 조립활성탄을 제조하였다. 점결제는 여러 가지를 사용할 수 있었지만 식용분야까지 사용 가능한 활성탄을 제조하고자 하였으므로 일반 식품에 첨가되고 있는 전분, 당밀 등을 주 점결제로 하여 조립활성탄을 제조하고자 하였다.

제 2 항 실험장치 및 실험방법

(가) 조립공정

본 실험에서의 조립공정은 우선 170mesh 이하로 분쇄·건조한 원료 숯을 일정한 wt% 비율의 전분 및 당밀을 첨가하여 균일하게 혼합을 한 뒤 그림 3-1에 나타낸 조립기를 이용해 조립물을 만들었다. 시료 혼합시 전분 및 당밀을 물에 녹여 원료 숯과 혼합해야 하기 때문에 물이 첨가하게 되나 전분 및 당밀의 wt%가 변함에 따라 물의 첨가량도 변하게 되고 또한 같은 wt%의 전분이나 당밀을 원료 숯과 혼합하게 되더라도 날씨나 실험실 분위기에 따라 물이 첨가되는 양이 다르고 반죽상태가 다르게 되어 물의 첨가량은 본 실험에서 제외하였다. 본 실험의 조립공정에서 사용된 실험

장치는 그림 3-1에서 보는바와 같이 원기둥 모양으로 안쪽의 축과 arm은 스테인레스 강으로 제조되었으며, $\phi 4\text{mm}$ 로 일정하게 구멍이 뚫린 밀판을 사용하여 일정한 크기의 시료를 제조하였고, 밀판 아래에 칼날을 달아 일정한 길이로 절단하였다. 이렇게 조립된 시료를 상온에서 24시간 숙성을 시켜 120°C 건조기에서 다시 24시간 건조하여 활성화 시료로 이용하였다.

(나) 활성화공정

활성화공정은 앞서의 조립공정에서 설명한 바와 같이 숙성·건조한 시료를 그림 3-2에 나타낸 rotary kiln을 사용하였으며 수증기활성화법으로 활성화하였다.

수증기활성화법을 이용하기 위해 자체 제작한 수증기 발생장치를 사용하였는데 이 수증기 발생장치는 내부에는 원형모양으로 이중으로 감은 동파이프를 넣었으며 이 파이프를 통하여 증류수가 흘러 가게되고 그 주변에 열선을 장착하여 수증기가 발생하도록 하였고, 여기에서 발생된 수증기는 다시 rotary kiln 내부로 흘러가게 된다. 또한 동파이프 중앙에 thermo-couple을 장착하여 내부온도를 측정하였다. 이때 수증기발생장치의 내부온도가 350°C 로 측정되었을 때 수증기를 흘려보내기 시작했으며 수증기 내부 온도가 $115\pm 5^{\circ}\text{C}$ 를 유지하도록 하였다. 수증기발생장치로 유입되는 증류수의 양은 펌프와 유량계를 사용하여 조절하였다.

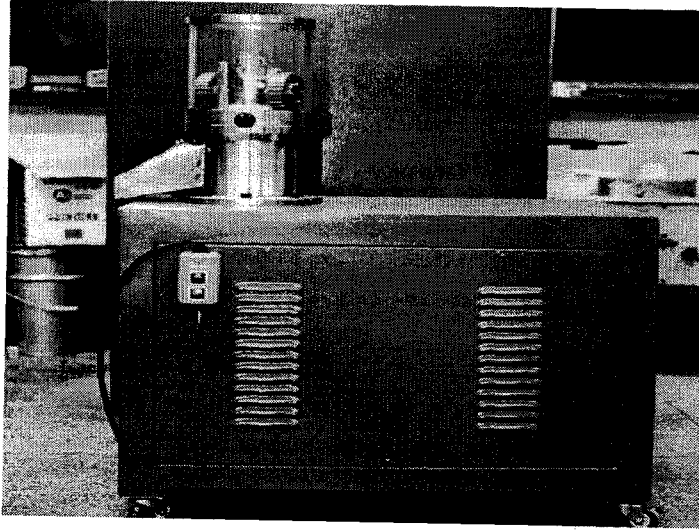


그림 3-1. 조립공정에서 사용된 조립기

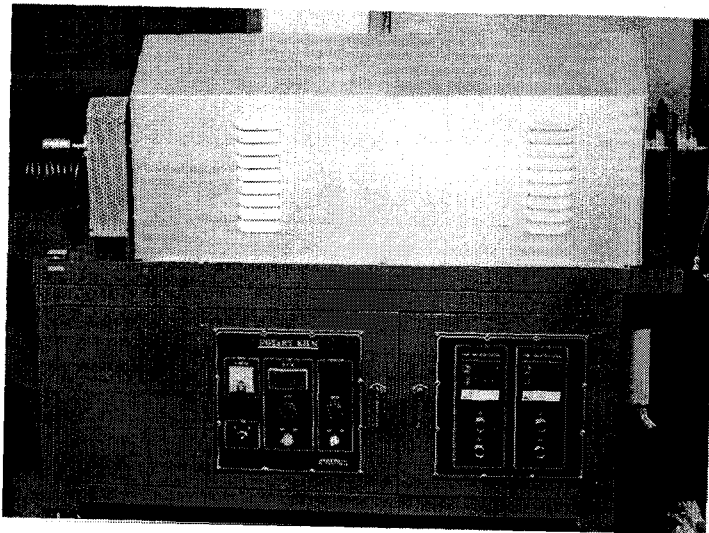


그림 3-2. 활성화공정에서 사용된 Rotary Kiln

시료를 활성화하기 전 질소 가스를 약 30분 정도 내부로 유입하여 시료를 rotary kiln 내부에 넣었을 경우 공기와 반응하여 산화되는 것을 방지하였고, 시료를 넣은 후에는 질소 가스를 차단시키고 바로 수증기를 유입하였다.

실험에 사용된 rotary kiln의 내부는 중앙을 경계로 하여 왼쪽에는 스크류가 장착되어 있고 오른쪽에는 관형으로 되어 있으며, 일정하게 회전할 수 있게 제작되었다.

활성화 실험은 850℃, 900℃에서 실험을 행하였으며 활성화 시간의 변화에 따른 영향을 조사하였으며, 점결제의 첨가량과 경도를 높이기 위한 첨가제의 영향에 따른 조립활성탄의 특성을 조사하고자 하였다. 제조한 조립활성탄의 특성을 입상활성탄의 KS규격 표 3-1과 비교하여 상업화의 가능성을 확인하고자 하였다.

표 3-1. 입상활성탄의 KS규격

항 목 \ 종 류	1급	2급	3급
건조 감량(%)	5.0 이하	5.0이하	5.0이하
경도(%)	90 이상	90 이상	90 이상
충전밀도(g/ml)	0.48 이하	0.52 이하	0.56 이하
요오드 흡착력(mg/g)	1100 이상	1000 이상	900 이상
입도(%)	95 이상	90 이상	90 이상

그림 3-3은 조립활성탄 제조의 공정도를 나타낸 것이다. 원료탄으로 시중에서 판매되는 참나무숯을 사용했고 이를 170mesh로 분쇄하고 24시간 건조후 점결제로 전분과 당밀 등으로 혼합 조립하였다. 이를 다시 상온에서 24시간 숙성해 120℃ oven에서 건조 후 질소가스 및 수증기를 사용하여 활성화하였고 활성화된 시료를 분쇄하여 건조한 후 KS규격에 따라 분석을 행하였다.

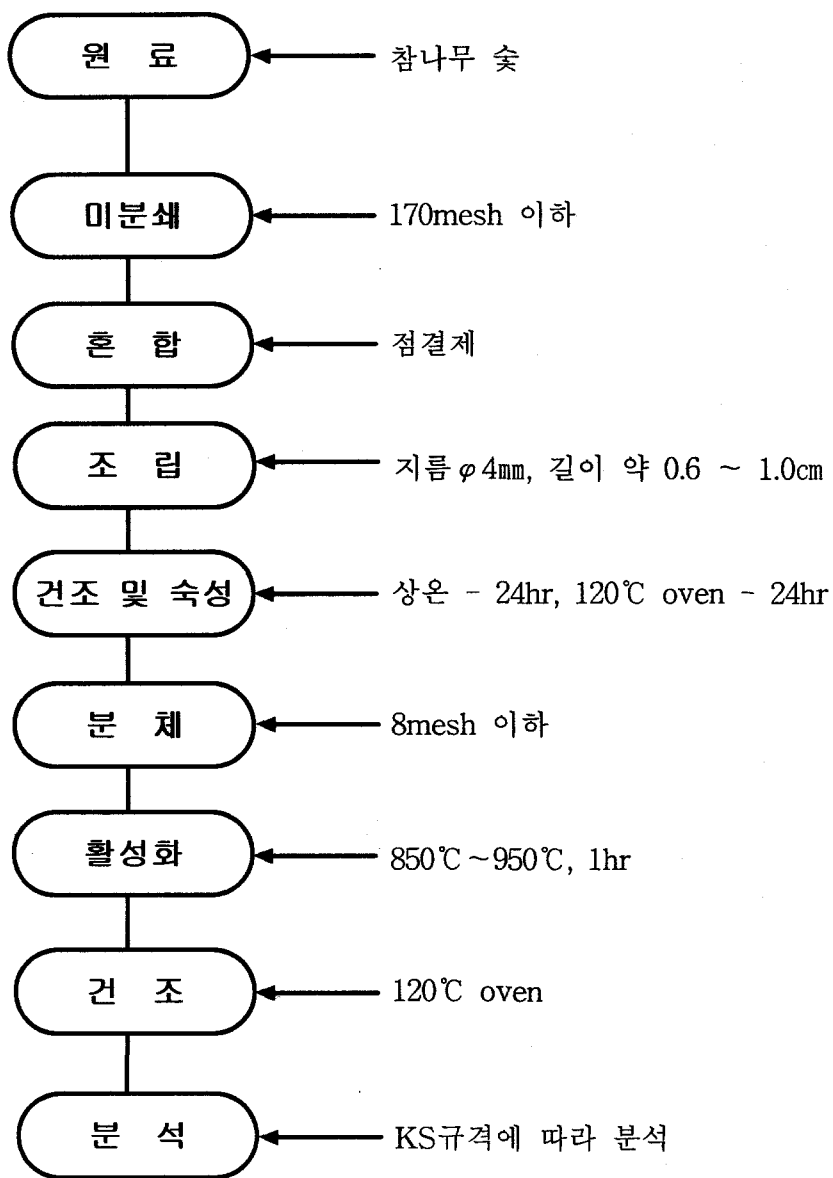


그림 3-3. 본 연구에서 사용한 조립활성탄 제조 공정도

제 3 항 실험 분석방법

(가) 입 도(Particle size)

입자상 시료를 체가름하여 각 체 위에 남은 시료의 무게로부터 입도를 구한다.

1) 조 작

가) 시료 약 100g을 0.1g까지 무게를 단다.

나) 그 시료가 표시하는 입도 범위의 하한 눈금간격에 대응하는 눈금 간격보다 1 단계 작은 눈금 간격의 체에서 상한의 눈금간격에 대응하는 눈금 간격보다도 1단계 큰 눈금 간격의 체까지 단계적으로 6~7개의 체를 사용하여 받침접시에 눈금 간격이 작은 체부터 차례로 겹쳐 쌓는다.

다) 각 체 위 및 받침접시에 남은 시료무게를 0.1g까지 단다.

2) 계 산

입도는 다음 식에 따라 산출하였다.

$$G_i = W_i / S \times 100$$

G_i : 입 도(%)

W_i : 각 체 위 또는 받침접시에 남은 시료의 무게(g)

S : 각 체 위 또는 받침접시에 남은 시료 무게의 합계(g)

(나) 경 도(Hardness)

입자상 시료를 강구와 함께 넣은 경도 시험용 접시를 진탕한 후 체가름하고, 체 위에 남은 시료의 무게를 구하여 원래 시료 무게의 비로부터 경도를 구하였다.

1) 조 작

- 가) 입도표시 범위의 상한, 하한에 대응하는 눈금간격 2개의 체를 사용하여 10분 동안 체 가름한다.
- 나) 체가름한 시료를 메스실린더(200ml)의 100ml 눈금까지 가볍게 두드려 충전한다. 이 시료의 무게를 0.1g까지 단다.
- 다) 지름 12.7mm 및 지름 9.5mm로 연마한 강구 각각 15개와 함께 경도 시험용 접시에 넣는다.
- 라) 체 진탕기에 부착하여 30분동안 진탕한다.
- 마) 입도표시 범위의 하한에 대응하는 체 눈금간격의 2단 아래의 체와 받침접시를 사용하여 강구를 제외한 시료를 전부 넣어 체 진탕기에 부착한다.
- 바) 3분동안 진탕한후, 체 위 및 받침접시에 남은 시료의 무게를 각각 0.1g까지 단다.

2) 계 산

경도는 다음 식에 따라 산출한다.

$$H = W/S \times 100$$

H : 경도(%)

W : (바)의 체 위에 남은 시료의 무게(g)

S : 체 위 및 받침접시에 남은 시료 무게의 합계(g)

(다) 충전밀도(Packing density)

입자상 시료를 충전밀도 측정용기에 고무판 위에서 두드려 충전하고, 단위 부피당 무게를 구한다.

1) 조 작

가) 시료를 충전밀도 측정용기 부피의 약 1/5까지 넣는다.

나) 시료의 윗면이 일정한 높이가 될 때까지 고무판 위에서 조용히 두드리고, 다시 (가)와 거의 같은 양의 시료를 넣고 두드린다.

다) 이 조작을 반복하여 용기의 위끝까지 시료를 측정하여 용기 윗 부분의 통을 빼고, 끈은자를 사용하여 부풀어 오른 부분을 깎아 내고, 시료의 윗면을 수평으로 한다.

라) 시료를 충전밀도 측정용기에서 꺼내어 $115 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 조절된 항온건조기 안에서 3시간 건조 후, 데시케이터 안에서 방랭하여 그 무게를 0.1g자리까지 단다.

2) 계 산

충전밀도는 다음 식에 따라 산출한다.

$$B = S/V$$

B : 충전밀도(g/ml)

S : 시료의 무게(g)

V : 충전밀도 측정용기의 부피(ml)

(라) 요오드 흡착 성능

시료에 요오드 용액을 가하여 흡착시킨 후, 상층액을 분리하고, 지시약으로서 녹말 용액을 가하여 티오황산나트륨 용액으로 적정하여 잔류하고 있는 요오드 농도로부터 요오드 흡착량을 구하고, 흡착 등온선을 작성하여 그 흡착 등온선에서 요오드의 잔류 농도 2.5g/1000ml일 때의 흡착량을 구하여 요오드 흡착 성능으로 한다.

(마) 세공 분포 및 비표면적

세공 분포 및 비표면적은 BET장치(Model: ASAP 2000, USA)를 이용해 분석하였다.

제 2 절 참나무 탄화물의 조립공정

조립활성탄 제조에 있어서 조립공정은 조립물의 치밀함뿐만 아니라 활성화 공정을 통한 조립활성탄의 물성 특성에 영향을 줄 수 있으므로 조립공정에 있어서 조립 조건을 확립하는 것은 활성화 공정에 앞서 중요한 과정이다.

제 1 항 점결제의 선택 및 영향

조립활성탄의 제조공정에 있어 점결제는 조립활성탄의 특성 중 중요한 정도에 큰 영향을 미치므로 조립과정에서 점결제의 선택 및 영향에 대해 실험하고자 하였다. 조립활성탄 제조 공정에서 원료에 따라 여러 가지 점결제가 사용되어 지고 있다. 그러나 본 연구에서 제조된 조립활성탄의 경우 그 사용치가 수처리 혹은 식용과 관련된 분야에서 사용될 수 있으므로 점결제는 식품에서 많이 사용되고 있는 전분, 당밀을 대상으로 이루어졌다.

일차적으로 전분인 경우 시중에서 판매되고 있는 감자가루와 시약용 전분의 두 가지 종류를 이용하여 170mesh이하로 분쇄·건조한 원료 숯과 균등히 혼합하여 조립기로 조립한 경우 조립물을 만들 수는 있었으나 조립물의 경도가 매우 낮음을 보였고, 또한 활성화 공정을 거친 경우 손으로 누르면 쉽게 부서질 정도로 경도가 낮아 조립활성탄의 점결제로는 부적합하다는 판단을 내렸다.

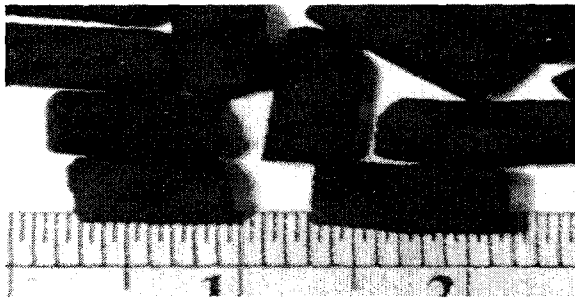
두 번째로는 조립활성탄의 점결제로 많이 사용되고 있는 당밀을 이용하였다. 당밀은 모 식품회사에서 사용되고 있는 80% 당밀액을 사용하였다. 이러한 당밀은 혼합에

이용되기 전에 60℃ 물에 녹여 사용하였다.

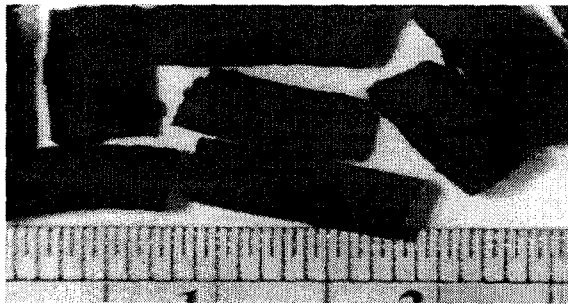
170mesh로 분쇄·건조한 숯 원료와 일정량의 당밀을 균등히 혼합하여 반죽을 거친 후 조립물을 만들고자 하였다. 그러나 실험 초기에는 원료와 당밀과의 혼합과정에서 시행착오가 여러 번 발생했다. 당밀의 함량이 적으면 반죽이 덜 되 조립물이 부서지는 경향을 나타냈고 당밀의 함량이 많으면 조립물 형성이 안될 정도로 질게 나왔다. 이러한 반복과정을 거쳐 당밀의 함량이 25~35wt%정도일 경우 조립물 형성이 될 수 있음을 확인하였다.

본 실험에서 당밀을 녹일 때 첨가한 물의 양을 제외시킨 이유는 원료와 당밀을 혼합할 경우 실험 당일의 날씨라든가 실험실의 조건에 따라 반죽의 상태가 많이 달라지고, 좀더 나은 조립물을 만들기 위해 반죽을하는 과정에서 물의 첨가량도 조금씩 변하기 때문에 할 수 없이 제외시켰다. 그러나 반복 실험을 통해 당밀 함량이 25wt%, 30wt%, 35wt%에서 60℃물의 양은 각각 $250 \pm 10\text{ml}$, $200 \pm 10\text{ml}$, $150 \pm 10\text{ml}$ 의 수준에서 조립할 수 있음을 확인할 수 있었다.

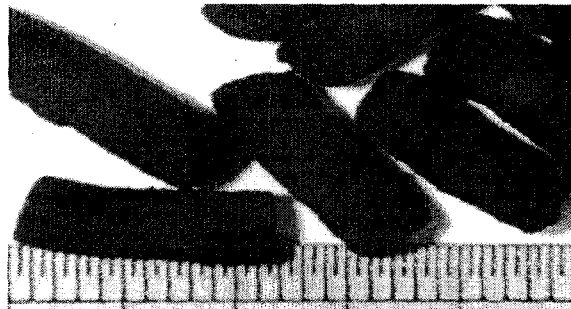
그림 3-4는 숯 원료를 170mesh로 분쇄·건조한 시료에 당밀을 25wt%, 30wt%, 35wt% 넣어 혼합하여 만든 조립물의 사진이다. 이것은 조립기로부터 조립물을 만든 후 상온에서 24시간 건조·숙성시키면서 조립물들이 서로 뭉치지 않도록 한 후 120℃건조기에서 24시간 건조 후의 사진이다. 그림 3-4에서 보는 바와 같이 원주상의 조립물들이 잘 만들어졌음을 확인할 수 있고 활성화 공정에서의 활성화 원료로서 사용가능성을 확인할 수 있었다. 그러나 사진에서는 잘 확인할 수 없으나 당밀의 함량에 따라 조립물 형태가 조금씩 차이를 볼 수 있었다. 당밀 함량이 30wt%를 기준으로 25wt%인 경우는 약간 푸석푸석한 느낌을 받고 35wt%인 경우는 약간 질은 형태를 나타냈다. 이에 따라 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 당밀 35wt%의 경우의 조립물이 25wt%, 30wt% 보다 약간 길이가 길게 나타낸 것이다. 그러나 25wt%, 30wt%, 35wt%



(가) 당밀 25wt%



(나) 당밀 30wt%



(다) 당밀 35wt%

그림 3-4. 당밀 함량에 따른 조립물의 사진

모든 함량에서 건조 후의 형태는 모두 양호했으며 활성화 시료로서의 가능성을 확인할 수 있었다.

제 2 항 조립물의 특성

앞서의 당밀 점결제를 이용하여 조립물을 만들 경우 조립물의 특성 중 무엇보다도 경도가 유지될 수 있어야 하는 것이다. 그림 3-5는 170mesh로 분쇄·건조한 시료에 당밀 함량 25wt%, 30wt%, 35wt%를 첨가한 경우의 경도를 나타낸 것이다. 상온에서 24시간 건조한 후 120℃ 건조기에서 24시간 건조 후의 경도를 측정하는 것이다. 그림 3-5에 나타낸 바와 같이 경도가 매우 강함을 알 수 있고, 이때의 경우 당밀의 함량 wt%에 관계없이 99.9%를 얻고 있음을 알 수 있다. 그러나 이러한 경도가 활성화공정을 거친 후에도 유지할 수 있는지가 중요한 점이라고 할 수 있다. 또한 경도를 제외한 조립물의 요오드흡착 성능 및 충전 밀도는 조립활성탄이 소정의 경도를 지니고 있지 않다면 큰 의미가 없으므로 특성을 조사하지는 않았다.

따라서 본 연구에서는 당밀함량 25wt%, 30wt%, 35wt%를 첨가하여 조립한 조립물을 대상으로 하여 활성화공정을 거쳐 조립활성탄을 제조하였으며 제조된 조립활성탄의 물성 특성을 분석함으로써 입상활성탄 KS 규격에 부합하는지의 여부를 조사하고자 하였다. 이를 통하여 제조된 조립활성탄이 산업화의 가능성 즉 상품으로서 가능성을 타진하고자 하였다.

제 3 절 당밀만 이용한 활성화공정

앞서 조립공정에서 당밀만을 점결제로 사용하여 조립한 경우 조립물의 경도가 99.9% 이상을 나타내고 있어 이 조립물을 이용하여 활성화 시켜 조립활성탄을 우선

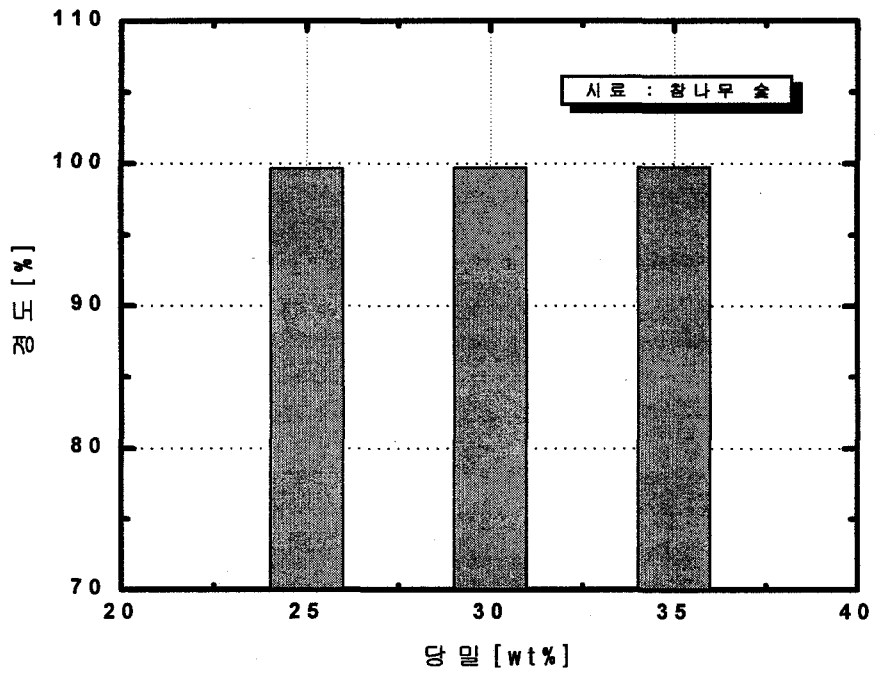


그림 3-5. 당밀 함량에 따른 조립물의 정도

적으로 제조하고자 하였다.

제 1 항 당밀 함량과 수율과의 관계

그림 3-6은 숯 원료와 당밀 함량을 25wt%, 30wt%, 35wt%로 변화시켜 조립한 조립물을 활성화조건 850℃, 1 시간 활성화시킨 경우 당밀 함량에 따른 수율 변화를 나타낸 것이다. 그림 3-6에 나타낸 바와 같이 40~44%사이의 수율을 나타내고 있다. 이는 일반적인 활성탄의 제조시 활성탄 수율이 30~50% 수준인 것을 감안할 때 양호한 수율을 나타내고 있음을 보여주고 있다. 그러나 실험실 규모의 활성화에서 수율은 큰 의미를 가진다고 할 수는 없고 입상활성탄 KS규격의 다른 특성들을 유지시킬 수 있어야하고, 이와외 상관관계가 중요하다고 할 수 있다. 따라서 조립활성탄의 특성과 적절한 활성화조건을 찾는 것이 중요한 문제이다.

제 2 항 제조된 조립활성탄의 요오드 흡착 특성

그림 3-7은 당밀 함량 25wt%, 30wt%, 35wt%의 조립물을 활성화 조건 850℃, 1 시간 활성화시킨 조립활성탄의 요오드 흡착 성능을 나타낸 것이다. 그림 3-7에 나타난 바와 같이 당밀의 함량이 증가함에 따라 요오드 흡착 성능이 약간 떨어지는 것을 볼 수 있고, 이들의 요오드가는 930~960mg/g을 나타내고 있다. 이는 입상활성탄 KS규격의 3급에 해당되는 값으로 조립활성탄으로서의 가능성을 확인할 수 있다. 그러나 조립활성탄의 특성은 요오드 흡착성능 뿐만 아니라 경도 및 충전밀도 등 여러 가지 특성을 지니고 있어 모든 특성을 만족시키는 것이 중요하다.

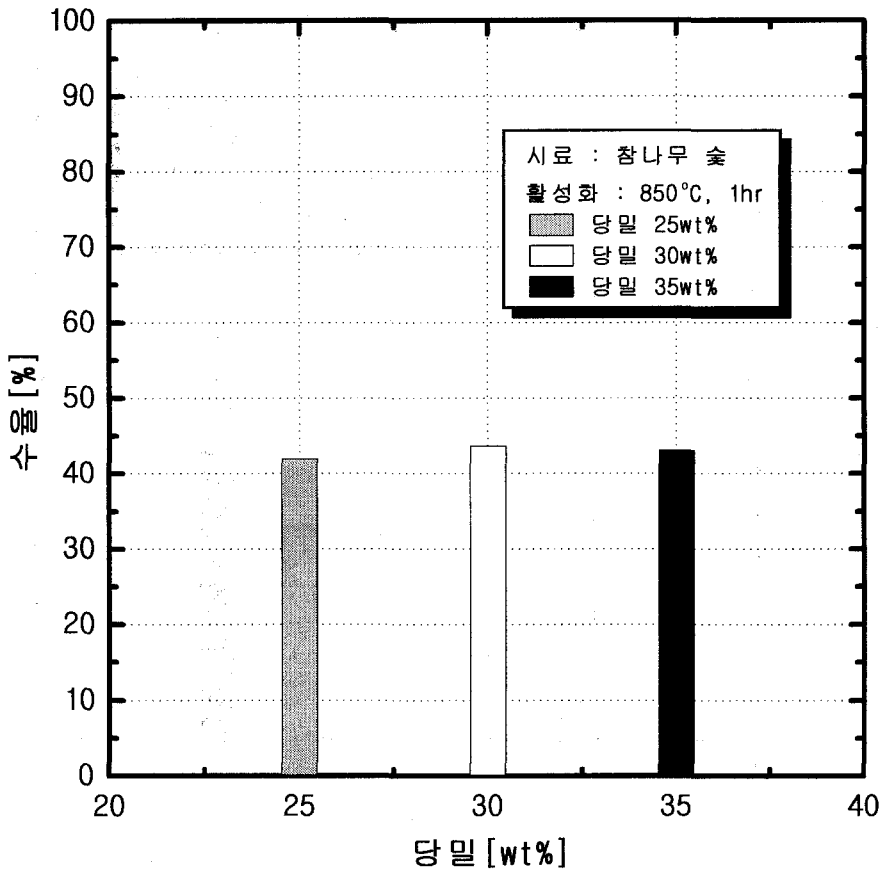


그림 3-6. 당밀만을 점결제로 사용한 경우의 수율 변화

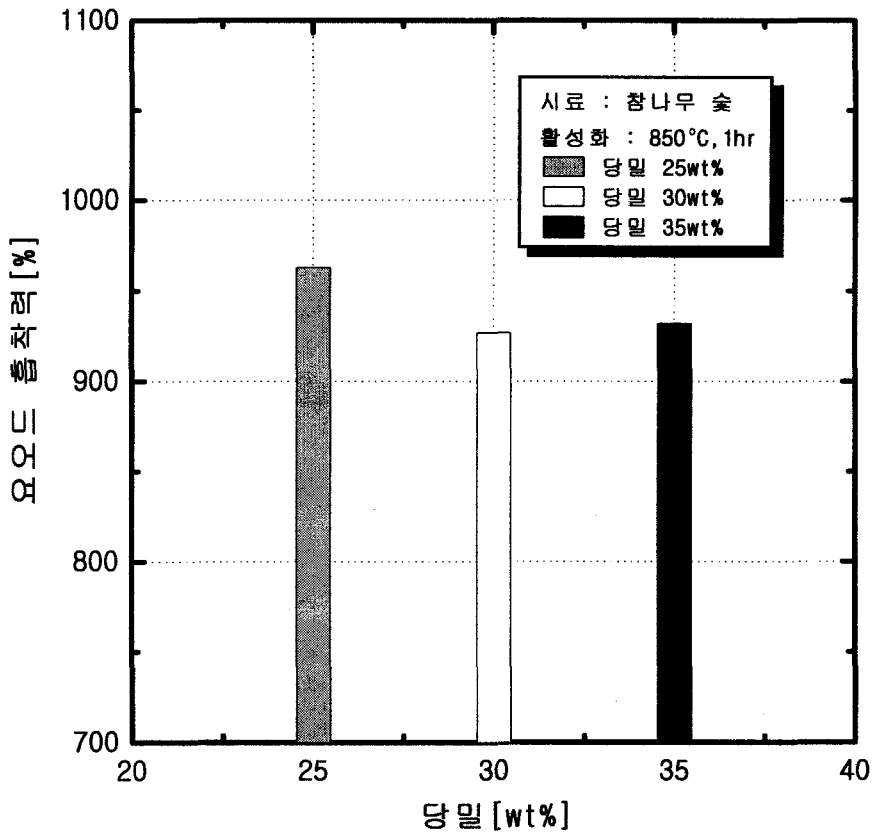


그림 3-7. 당밀만을 첨가제로 사용한 경우의 요오드 흡착성능 변화

제 3 항 제조된 조립활성탄의 충전밀도 특성

그림 3-8은 당밀함량 25w%, 30w%, 35w%의 조립물을 활성화 조건 850℃, 1 시간 활성화시킨 조립활성탄의 충전밀도 특성을 나타낸 것이다.

그림 3-8에서 나타난 바와 같이 충전밀도가 0.4g/ml이하로서 KS규격의 1급인 경우의 0.48g/ml보다 훨씬 이하를 나타내고 있다. 이는 일반적인 조립활성탄의 충전밀도가 낮은 경우와 일치하는 결과로서 문제점으로 대두되지는 않을 것으로 보인다.

제 4 항 제조된 조립활성탄의 경도 특성

그림 3-9는 당밀 함량 25wt%, 30wt%, 35wt%의 조립물을 활성화 조건 850℃, 1 시간 활성화시킨 조립활성탄의 경도 특성을 나타낸 것이다. 그림 3-9에 나타난 바와 같이 당밀 함량이 증가함에 따라 경도가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 경도가 가장 좋은 당밀 함량 35wt%인 경우의 경도가 80%정도로서 높지 않게 나타내고 있으며 이는 입상활성탄 KS규격 90%에 밀도는 결과이다. 따라서 앞서의 요오드 흡착 성능이 KS규격 3급을 보이고 있다 할지라도 경도가 낮아 조립활성탄으로서의 상업적 가치가 적다고 할 수 있다. 위와 같이 당밀만을 첨가제로 사용해 활성화 조건 850℃, 1시간에서 조립활성탄을 제조한 경우 수율 및 요오드흡착 성능, 충전밀도에서는 KS규격을 만족하고 있어 그 가능성을 확인할 수 있었다. 그러나 무엇보다도 중요한 경도가 KS규격을 밀돌고 있어 이에 대한 보안이 필요하다고 볼 수 있다. 또한 활성화 조건 850℃, 1시간보다 짧은 활성화 시간인 30분에서는 요오드 흡착 성능이 문제가 될 것으로 보이며, 활성화 온도 850℃이상에서는 경도가 더욱 낮은 결과를 보이고 있어 이에 대한 언급은 중요하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 이와 같이 경도 즉 강도를 보완할 수 있는 첨가제를 선택하여 경도를 증가시킬 수 있는 조립활성탄을 제조하는 연구가 필요하다. 이러한 측면에서 본 연구에서는 벤토나이트(Bentonite) 및 제올라이트(zeolite)를 첨가하여 경도를 증가시키고 다른 특성을 유지 및 강화시

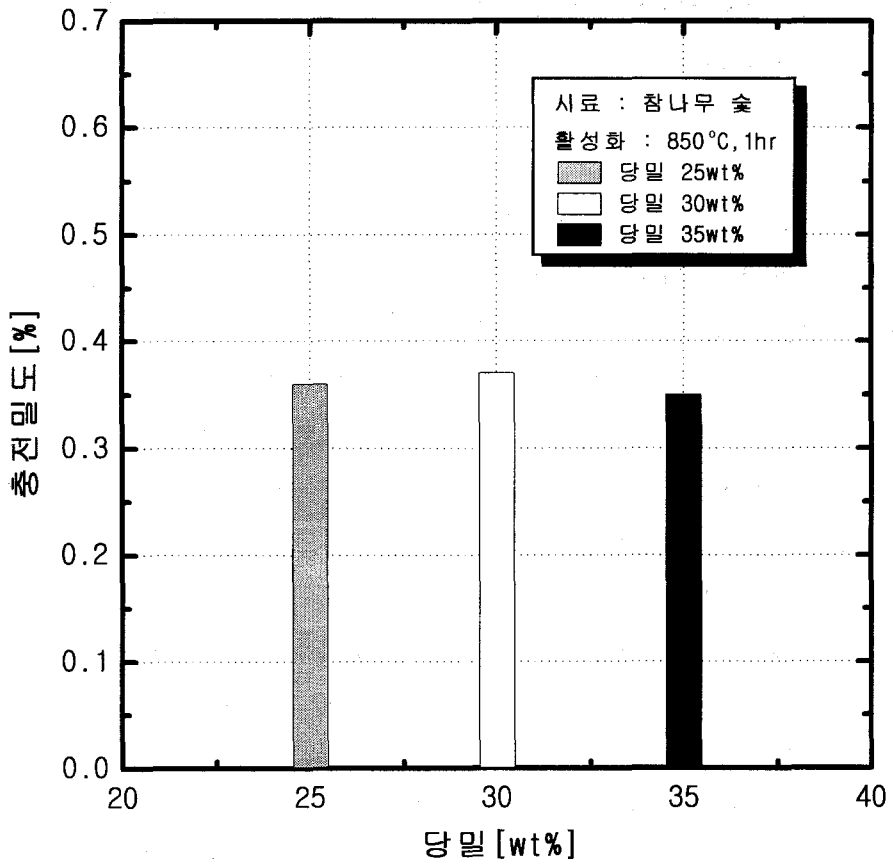


그림 3-8. 당밀만을 점결제로 사용한 경우의 총전밀도 변화

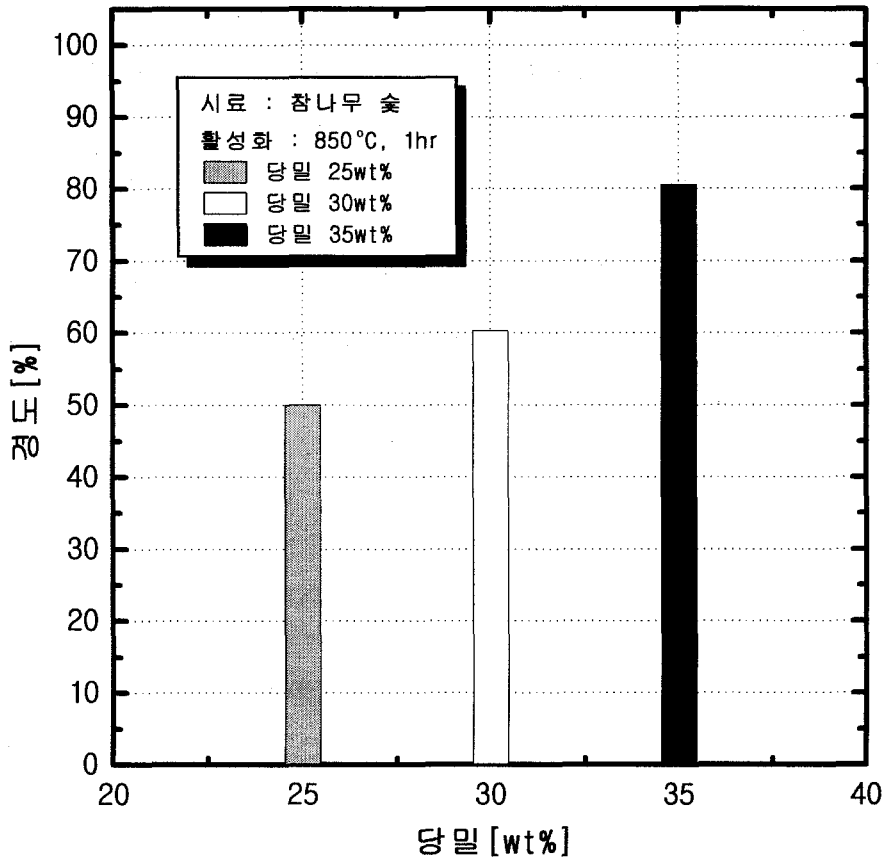


그림 3-9. 당밀만을 점결제로 사용한 경우의 경도 변화

킬 수 있는지의 여부에 대한 연구를 진행하고자 하였다.

제 4 절 당밀과 벤토나이트를 이용한 활성화 공정

앞서 당밀만을 첨가한 경우의 조립활성탄 특성 분석으로부터 경도를 제외한 특성들이 가능성이 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 중요한 특성인 경도가 KS규격에 미치지 못한다는 것은 상업적인 측면에서 커다란 문제점을 야기시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 벤토나이트와 제올라이트(zeolite)를 경도 즉 강도를 증가시키기 위한 첨가제로서 선택하여 원료 숯과 당밀에 각각 첨가함으로써 경도를 강화시킬 수 있는지의 가능성을 확인하고 다른 특성의 유지 및 변화를 조사하고자 하였다.

우선적으로 상업화의 목적이 있으므로 가격적으로 저렴한 벤토나이트를 먼저 첨가하여 조립활성탄의 특성들이 KS규격을 만족하는지를 확인하고자 하였다.

제 1 항 벤토나이트 첨가에 따른 수율 변화

우선적으로 앞서 당밀만을 접결제로 사용하여 활성화시킨 조건인 당밀 함량 25wt%, 30wt%, 35wt%를 그대로 기준으로 하여 활성화했으며, 벤토나이트의 첨가량만큼 원료 숯의 wt%를 감소시켰으며 활성화 온도 및 시간은 850℃, 1시간 조건에서 우선적으로 이루어졌다. 이후 활성화온도를 900℃, 950℃까지 변화시키면서 연구가 진행되었다.

그림 3-10은 당밀 함량을 25wt%, 30wt%, 35wt%로 각각 첨가한 경우 벤토나이트를 1.5wt%, 2.5wt%, 5wt%, 10wt%, 20wt%로 변화시키면서 활성화 조건 850℃, 1시간으로 활성화시킨 조립활성탄의 수율 변화를 나타낸 것이다.

그림 3-10에 나타낸 바와 같이 당밀만을 첨가한 경우보다 좋은 수율을 나타내고 있

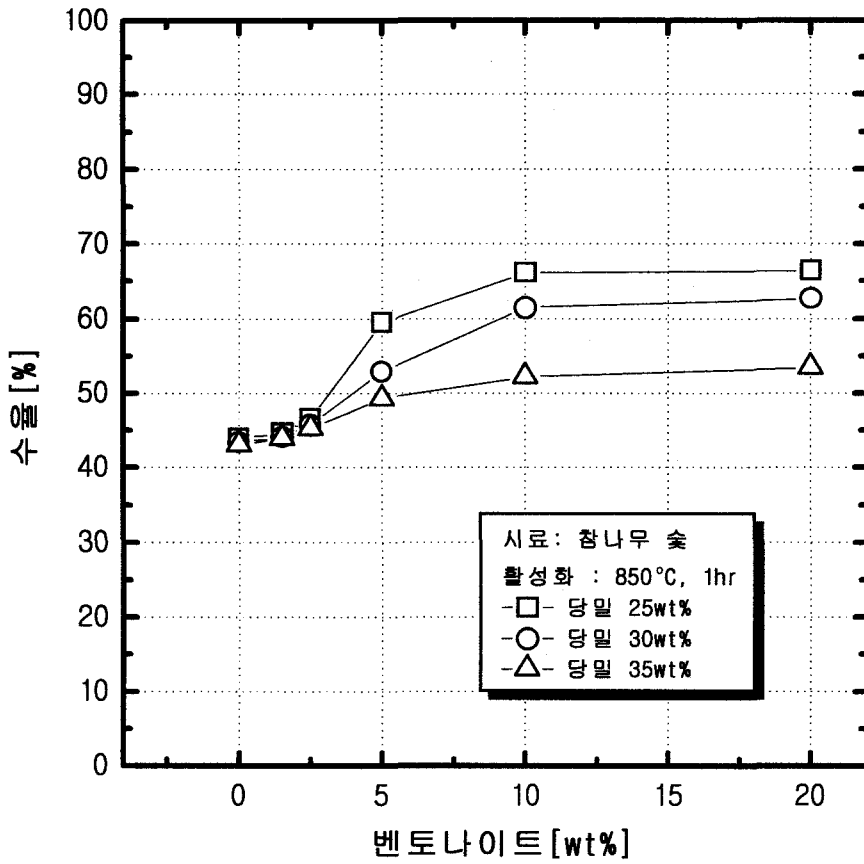


그림 3-10. 당밀과 벤토나이트 첨가량에 따른 수율 변화

으며 또한 벤토나이트의 첨가량이 증가할수록 수율이 증가하고 있음을 알 수 있다. 이것은 당밀 및 벤토나이트의 첨가량이 증가할수록 조립과정에서 점결제의 영향이 강하게 작용하고 있음을 알 수 있다. 그리고 이들의 수율이 40%이상을 보이고 있어 일반적인 활성화 수율을 나타내고 있어 수율이 문제점으로 대두되지는 않을 것으로 보인다. 그러나 이러한 수율에서 요오드 흡착성능, 경도, 충전밀도 등이 KS규격을 만족하는 것이 중요하므로 서로의 상관관계가 이루어져야 한다.

그림 3-11 ~ 3-13은 당밀함량 25wt%, 30wt%, 35wt% 각각에 대해 벤토나이트 첨가량을 1.5wt%, 2.5wt%, 5wt%, 10wt%를 변화시키고 활성화온도를 900℃, 950℃로 변화시키면서 활성화시킨 조립활성탄의 수율 변화를 나타낸 것이다. 그림3- 11 ~ 3-13에 나타낸 바와 같이 당밀함량에 관계없이 활성화온도 850℃, 900℃에서는 상업적으로 가능한 수율을 보이고 있으나, 950℃에서는 30%이하의 수율을 보이고 있고, 특히 벤토나이트 함량 1.5%, 2.5%에서는 20%이하의 수율을 보이고 있다. 따라서 수율 특성만을 놓고 볼때는 활성화온도는 850℃~900℃에서 가능성을 보이고, 이 온도에서는 당밀함량 및 벤토나이트 첨가량에 관계없이 가능성을 볼 수 있다.

제 2 항 제조된 조립활성탄의 요오드 흡착 특성

그림 3-14는 당밀 함량 25wt%, 30wt%, 35wt% 각각에 대해 벤토나이트를 1.5wt%, 2.5wt%, 5wt%, 10wt%, 20wt%로 변화시키면서 활성화 조건 850℃, 1 시간으로 활성화시킨 조립활성탄의 요오드 흡착 성능을 나타낸 것이다. 그림 3-14에 나타난 바와 같이 요오드 흡착 성능은 벤토나이트 첨가량이 5wt% 이상인 경우 급격히 감소하는 경향을 나타내고 있고 1.5~5wt%에서는 거의 유사한 요오드 흡착 성능을 보이고 있다. 이때의 요오드가는 900~960mg/g으로서 당밀만을 점결제로 사용한 경우와 유사한 결과를 보이고 있다. 또한 당밀 함량이 1.5wt%일 때 가장 좋은 결과를 보이고 있다. 따라서 상업화의 측면에서 조립물을 만들 수 있는 최소한의 당밀과 벤토나이트를 사

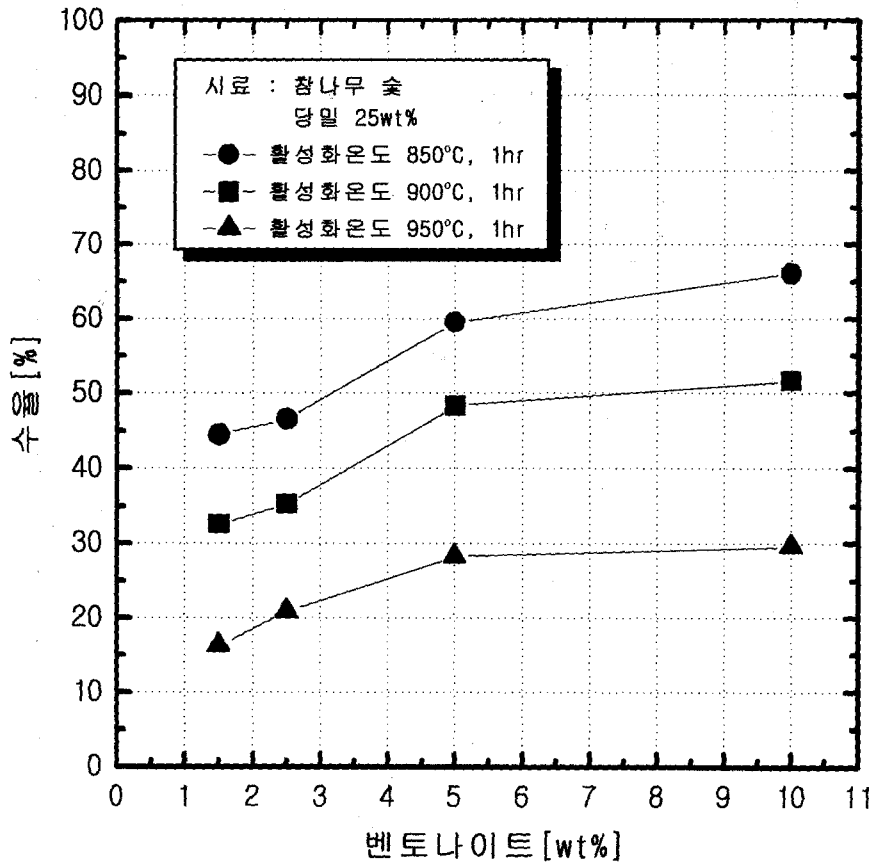


그림 3-11. 당밀함량 25wt%에서 활성화온도와 벤토나이트 첨가량에 따른 수율 변화

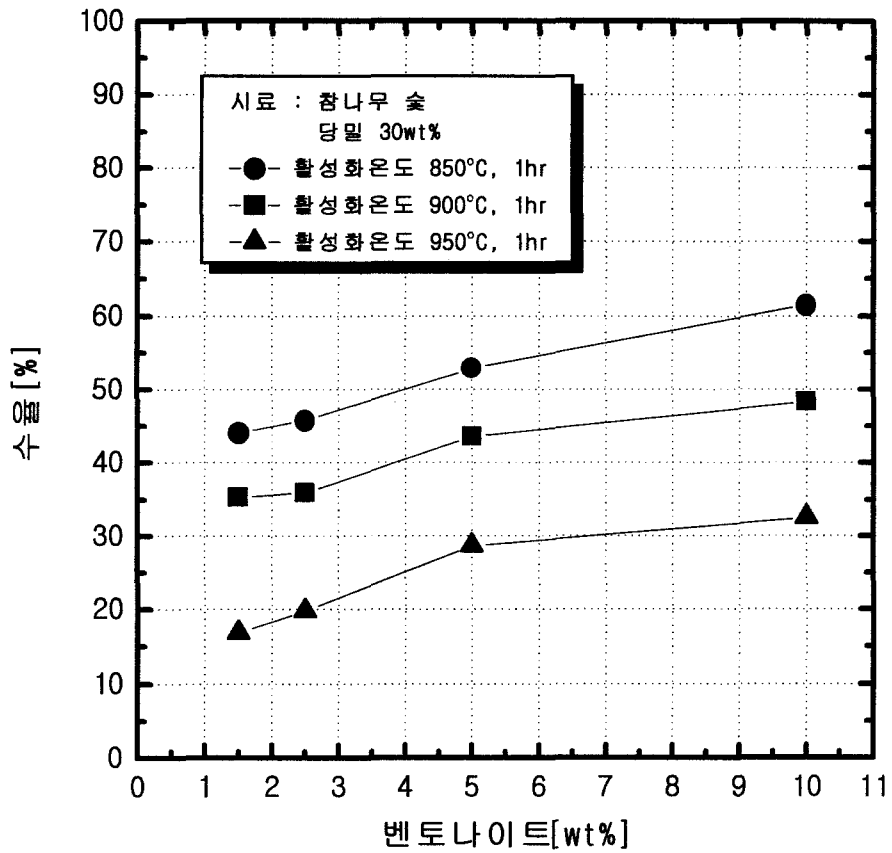


그림 3-12. 당밀함량 30wt%에서 활성화온도와 벤토나이트 첨가량에 따른 수율 변화

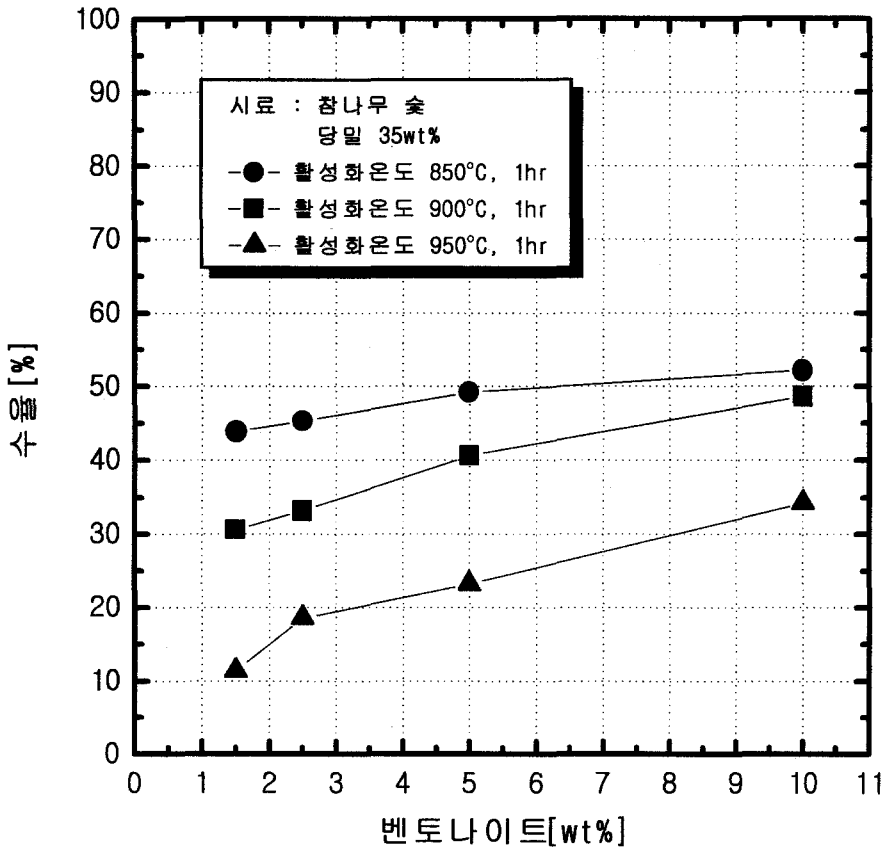


그림 3-13. 당밀함량 35wt%에서 활성화온도와 벤토나이트 첨가량에 따른 수율 변화

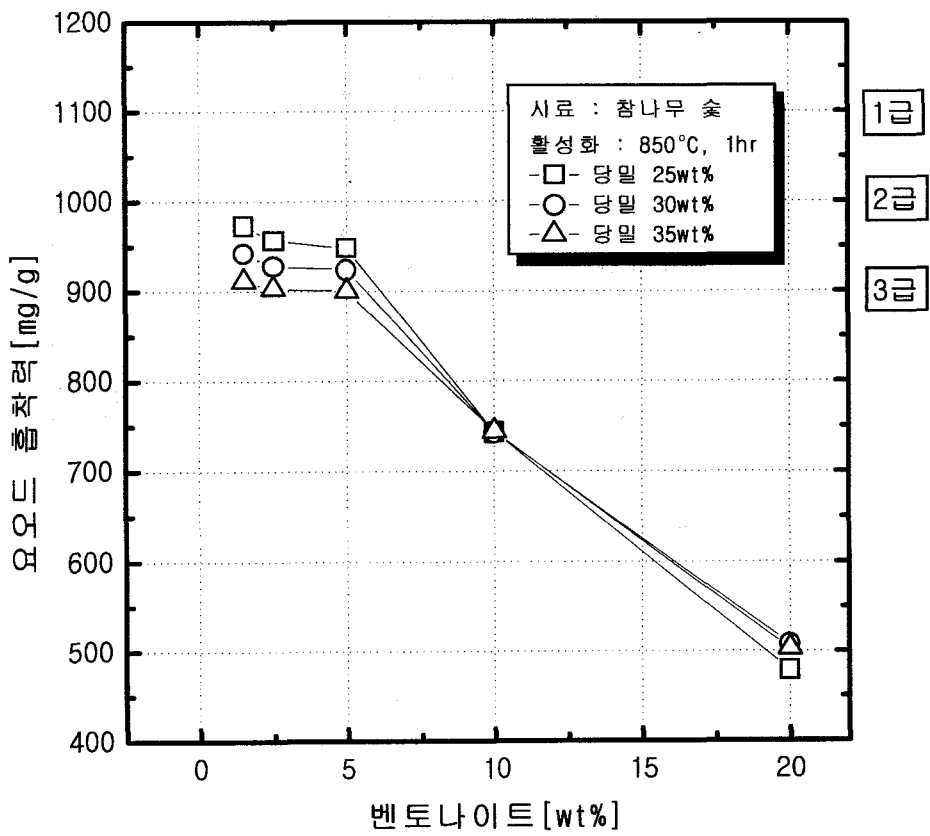


그림 3-14. 당밀과 벤토나이트 첨가량에 따른 요오드 흡착성능

용하는 것이 바람직한 현상이라 할 수 있다. 또한 이러한 결과는 앞서의 당밀만을 첨가한 경우에 비교해 볼 때 유사한 결과를 나타내고 있다. 따라서 요오드흡착성을 증가시키기 위해 활성온도를 변화시켜 활성화온도가 요오드흡착 성능에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

그림 3-15 ~ 3-17은 당밀 함량 25wt%, 30wt%, 35wt% 각각에 대해 활성화 온도 850°C, 900°C, 950°C로 변화시키면서 벤토나이트 함량을 1.5wt%, 2.5wt%, 10wt%로 변화시키면서 활성화시킨 조립활성탄의 요오드 흡착 성능을 나타낸 것이다. 그림 3-15 ~ 3-17에서 나타난 바와 같이 활성화 온도가 올라갈수록 요오드 흡착 성능이 커지고 있음을 알 수 있다. 특히 당밀 함량 25wt%, 벤토나이트 첨가량 1.5wt%, 2.5wt% 첨가시 활성화 온도 950°C에서 요오드가 1110mg/g~1140mg/g를 나타내고 있는데 이는 KS규격 1급 기준인 1100mg/g를 넘는 값으로서 상업적 가치가 높다고 할 수 있다. 또한 벤토나이트 첨가량에서는 1.5~2.5wt%에 유사한 요오드가를 나타내고 있으나 2.5wt%를 첨가한 경우가 조금 큰 값을 보이고 있다. 따라서 요오드 흡착성을 놓고 볼 때 활성화 온도는 900°C~950°C가 적절할 것으로 사료되고 벤토나이트 첨가량은 1.5~2.5wt%가 높은 요오드흡착성을 보이고 있고, 당밀함량은 25wt%일 때가 가장 좋은 요오드흡착성을 보이고 있어 이러한 조건에서의 활성화가 적절한 것으로 사료된다.

제 3 항 제조된 조립활성탄의 충전밀도 특성

그림 3-18은 당밀함량 25wt%, 30wt%, 35wt%의 각각에 대해 벤토나이트 함량을 1.5wt%, 2.5wt%, 5wt%, 10wt%, 20wt%로 변화시키면서 활성화조건 850°C, 1 시간으로 활성화된 조립활성탄의 충전밀도 특성을 나타낸 것이다. 그림 3-18에 나타난 바와 같이 당밀 함량에 관계없이 벤토나이트 첨가량 10wt%이하에서는 KS규격 1급인 0.48g/ml이하로 나타내고 있고 1.5~5wt%사이에서의 충전밀도 0.3~0.4g/ml 사이에

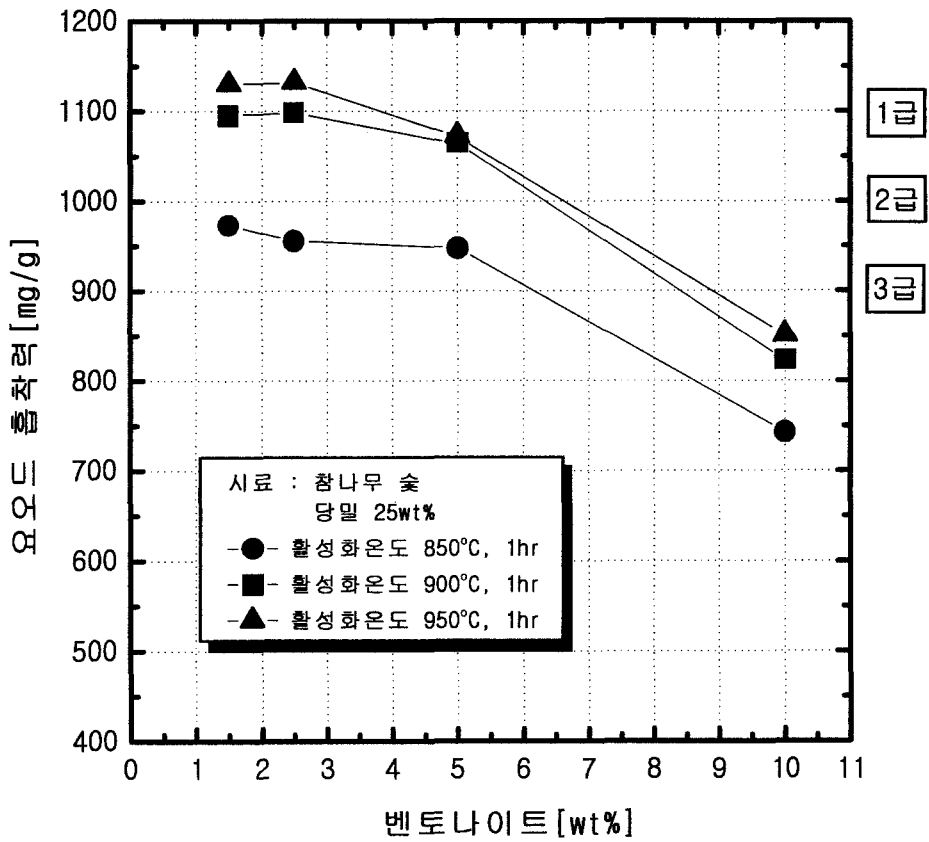


그림 3-15. 당밀함량 25wt%에서 활성화온도와 벤토나이트 첨가량에 따른 요오드 흡착성능

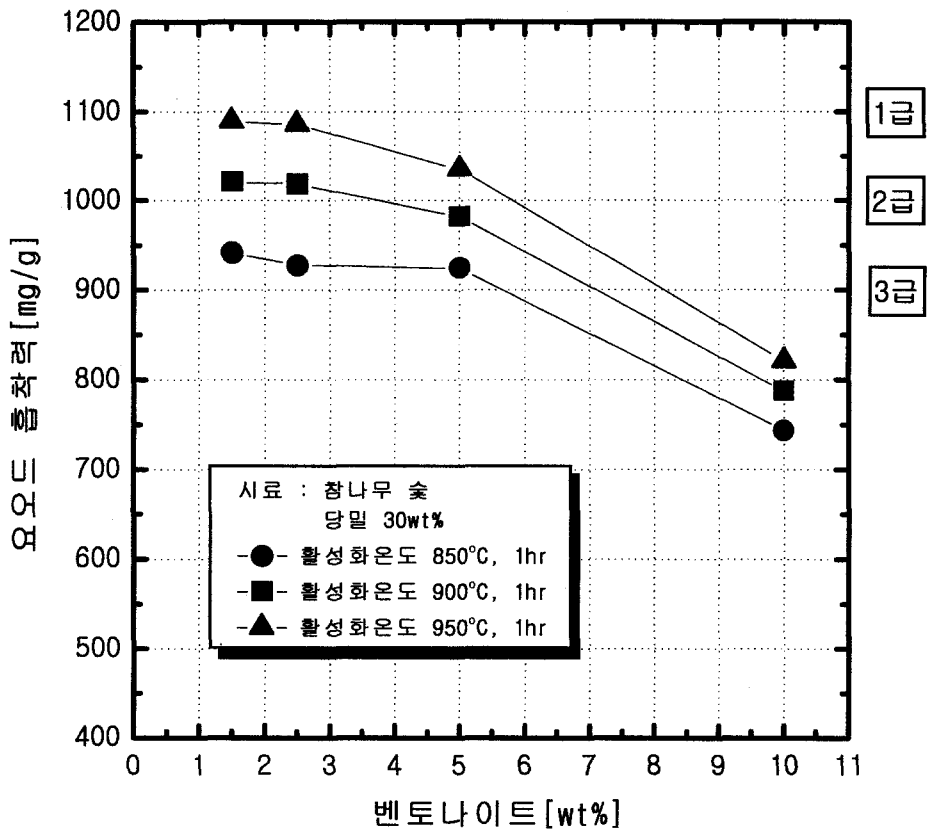


그림 3-16. 당밀함량 30wt%에서 활성화온도와 벤토나이트 첨가량에 따른 요오드 흡착성능

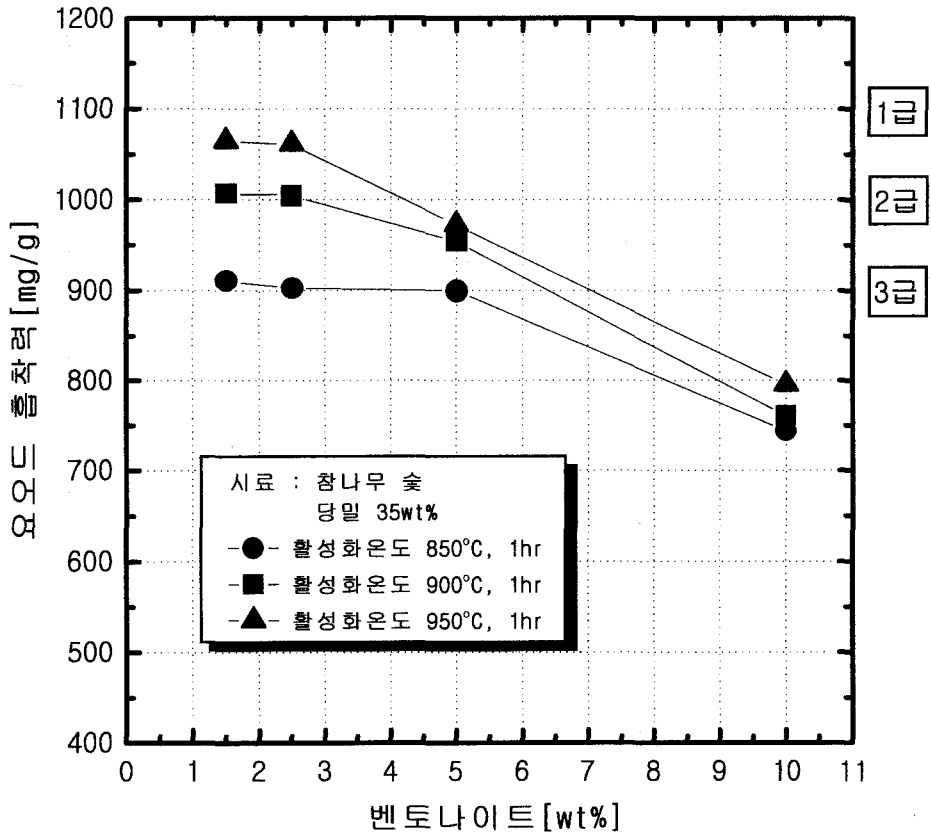


그림 3-17. 당밀함량 35wt%에서 활성화온도와 벤토나이트 첨가량에 따른 요오드 흡착성능

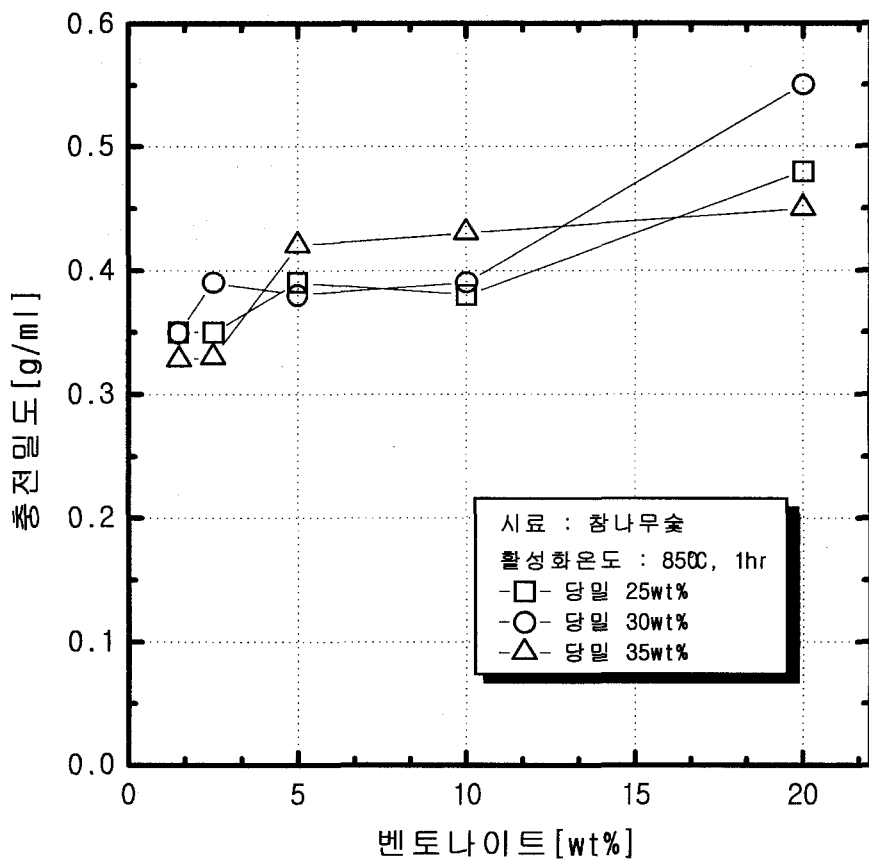


그림 3-18. 당밀과 벤토나이트 첨가량에 따른 충전밀도 변화

있어 조립활성탄의 충전밀도는 해결할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 앞서의 당밀만을 점결제로 사용한 경우와 동일하게 일반적인 조립활성탄이 그러하듯이 충전 밀도가 문제점으로 야기되지는 않을 것으로 보인다.

그림 3-19 ~21은 당밀 함량 25wt%, 30wt%, 35wt% 각각에 대해 활성화온도 850℃, 900℃, 950℃까지 변화시키면서 활성화시킨 조립활성탄의 충전밀도 특성을 나타낸 것이다. 그림 3-19 ~ 3-21에 나타난 바와 같이 활성화온도가 증가함에 따라 충전밀도는 더 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이것은 활성화온도가 올라감에 따라 활성화 시간 동안 조립물의 부피감소로 인한 것이다. 활성화에 온도에 관계없이 충전밀도가 충분히 유지되고 있음을 알 수 있다. 따라서 충전밀도는 입상활성탄 KS 규격에 부합되었고, 어떤 조건에서도 KS 규격을 만족하는 결과를 보이고 있다.

제 4 항 제조된 조립활성탄의 경도특성

앞서 당밀만을 점결제로 사용한 경우에서 가장 문제점으로 대두되었던 부분이 경도가 입상활성탄 KS 규격에 부합되지 못하는 것이었다. 이에 따라 벤토나이트의 첨가를 고려하게 된 것이기도 하다. 그림 3-22는 당밀함량 25wt%, 30wt%, 35wt%에 대해 벤토나이트 첨가량을 1.5wt%, 2.5wt%, 5wt%, 10wt%, 20wt%로 변화시키면서 활성탄 조건 850℃, 1 시간에서 활성화시켜 제조된 조립활성탄의 경도특성을 나타낸 것이다. 그림 3-9에서 나타난 바와 같이 당밀만을 첨가한 경우는 경도가 50~80% 부근에 머무르고 있었으나 그림 3-22에 나타난 바와 같이 벤토나이트를 첨가함으로써 인해 경도가 90%이상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 벤토나이트의 첨가량이 증가할수록 더욱 경도가 커지고 있음을 보이고 있다. 이는 앞서의 당밀만을 점결제로 사용할 경우에 나타났던 문제점을 완전히 해결된 것으로 판단된다. 활성화조건 850℃, 1 시간에서 당밀함량에 관계없이 95%이상을 보이고 있어 이는 조립활성탄 KS 규격에서 1 급인 경우 90%이상인 점을 볼 때 충분하다고 볼 수 있다. 그러나 앞서 벤토나이트를

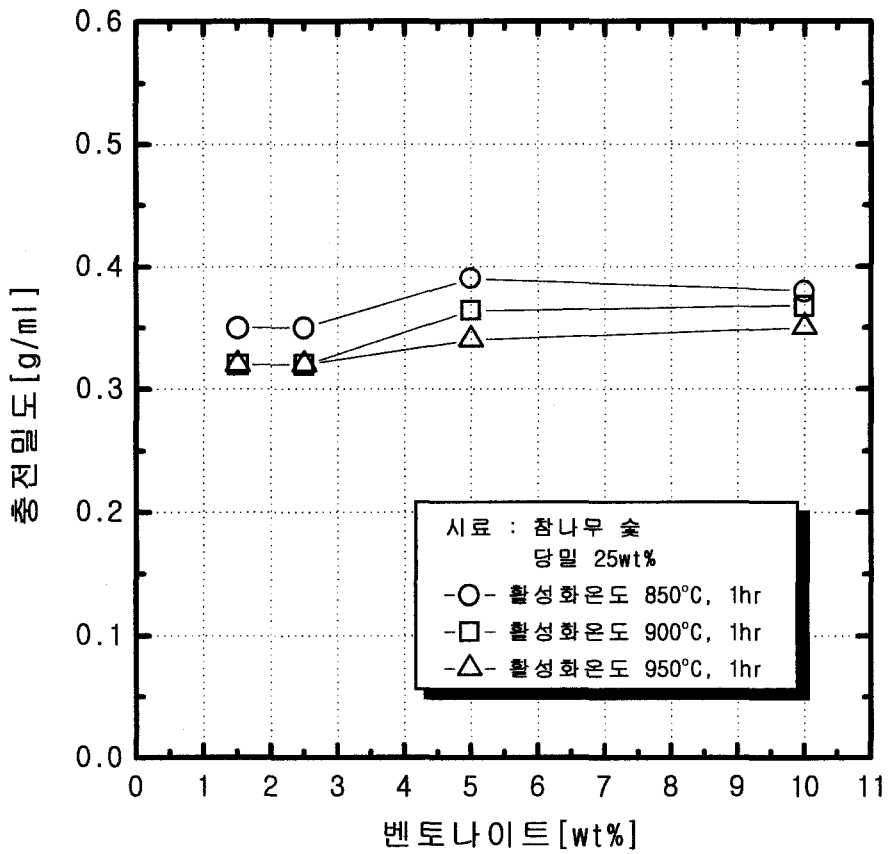


그림 3-19. 당밀함량 25wt%에서 활성화온도와 벤토나이트 첨가량에 따른 충전밀도 변화

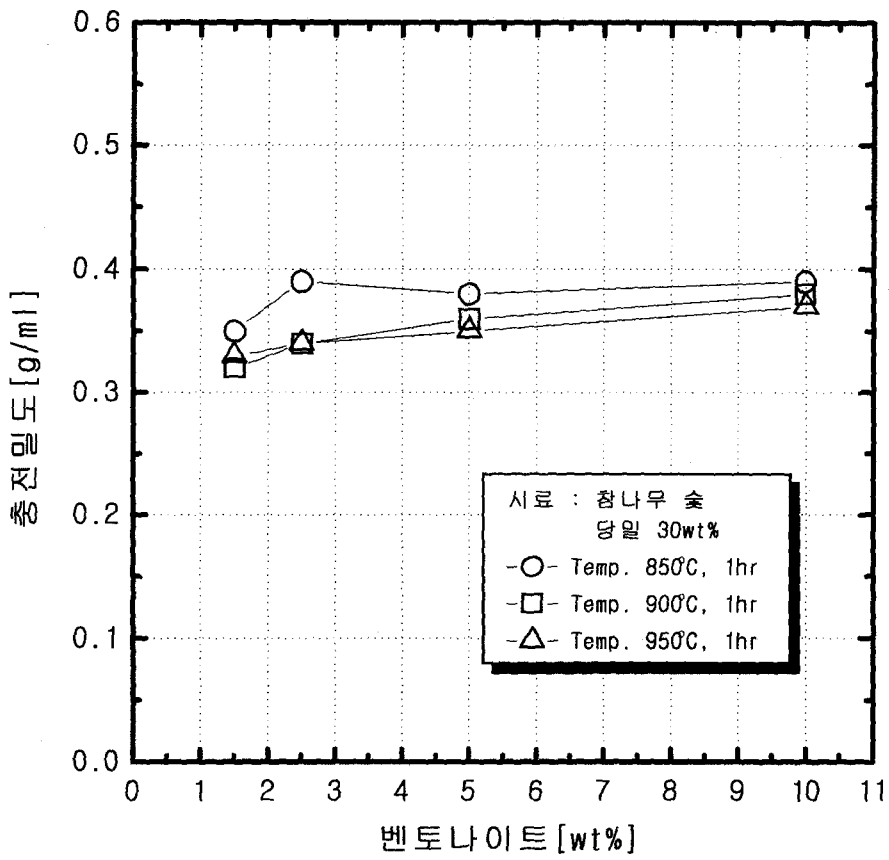


그림 3-20. 당밀함량 30wt%에서 활성화온도와 벤토나이트 첨가량에 따른 총진밀도 변화

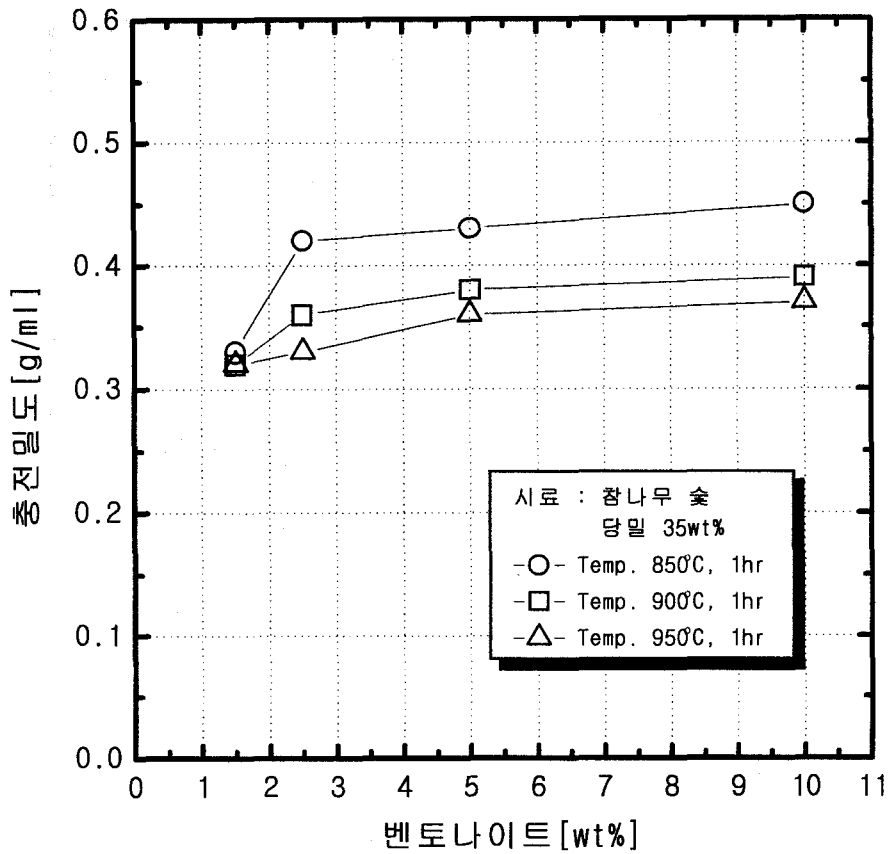


그림 3-21. 당밀함량 35wt%에서 활성화온도와 벤토나이트 첨가량에 따른 총진밀도 변화

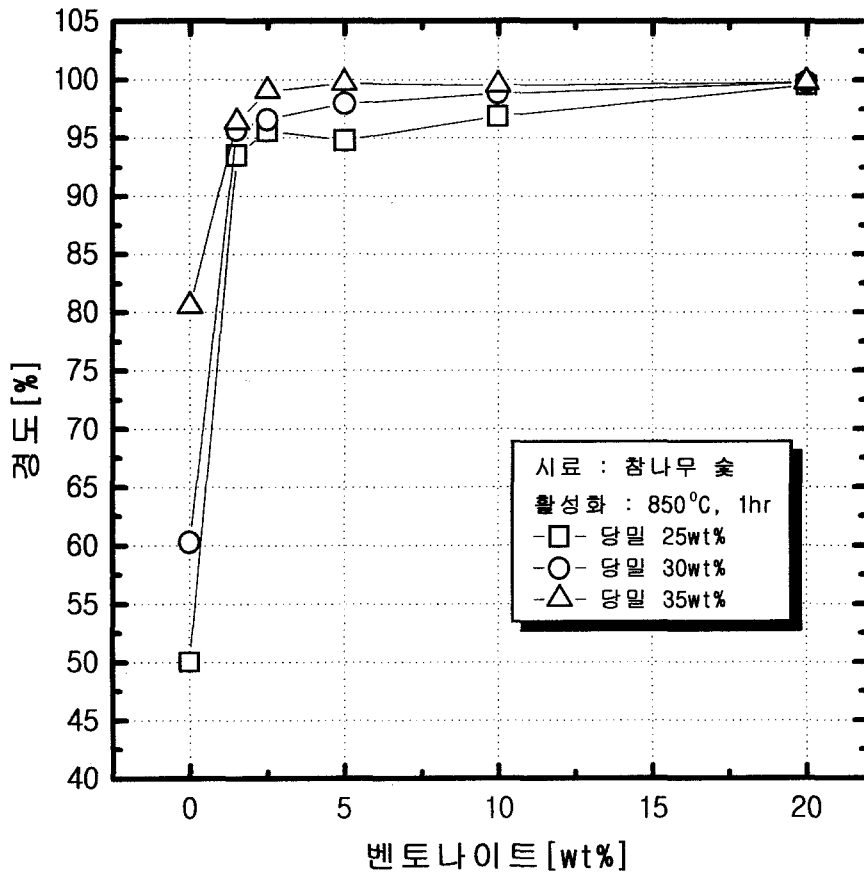


그림 3-22. 당밀과 벤토나이트 첨가량에 따른 경도 변화

첨가한 경우 제조된 조립활성탄의 850℃가 아닌 900℃나 950℃에서 높은 값을 나타내고 있으므로 이러한 활성화 온도에서의 경도가 유지되는 것이 중요하므로 이에 대한 조사를 하고자 하였다. 그림 3-23 ~ 3-25는 당밀 함량 25wt%, 35wt%, 35wt% 각각에 대해 활성화 조건을 850℃, 900℃, 950℃로 변화시키면서 벤토나이트 첨가량을 1.5wt%, 2.5wt%, 5wt%, 10wt%로 변화시키면서 활성화시켜 조립활성탄의 경도특성을 나타낸 것이다. 그림 3-23에 나타난 바와 같이 당밀함량 25wt%인 경우, 활성화온도 950℃에서 활성화시킨 경우는 경도가 90%이하로 떨어지고 있음을 볼수 있다. 특히 요오드 흡착성능에서 나타났던 적정 벤토나이트 첨가량이 1.5wt%, 2.5wt%에서는 85wt%이하로 떨어져 있음을 나타내고 있다. 이러한 결과는 당밀함량 30wt%, 35wt% 경우로 비슷한 결과를 보이고 있다. 이는 조립활성탄을 제조함에 있어 활성화온도가 850℃~900℃이하에서 이루어져야 함을 나타내고 있고, 앞서의 KS 규격특성들의 분석으로부터 활성화온도는 900℃가 적절한 것으로 판단된다.

제 5 절 경도와 요오드 흡착과의 관계

앞서의 실험들로부터 본 연구에서 제조된 조립활성탄의 경우 여러 가지 특성 증수를 및 충전밀도는 점결제의 함량이나 활성화온도의 영향으로 인한 입상활성탄의 KS 규격을 만족시키는데 큰 문제점이 야기되지는 않았다. 그러나 요오드흡착성능이나 경도는 활성화온도와 점결제의 영향을 받고 상호관계가 중요한 것으로 나타나 서로의 관계를 확인함으로써 정확한 조립활성탄 제조 조건을 찾고자 하였다. 따라서 그림 3-26 ~ 3-28은 앞서의 경도 및 요오드흡착성능과 활성화 온도 및 점결제의 첨가량을 동시에 비교함으로써 정확한 조건을 찾고자 한 것이다.

그림 3-26은 당밀함량 25wt% 조건에서 활성화가 이루어진 경우로서 입상활성탄의 KS규격을 만족시키는 경도범위와 요오드흡착성능의 KS 규격 1급인 1100mg/g과 2급인

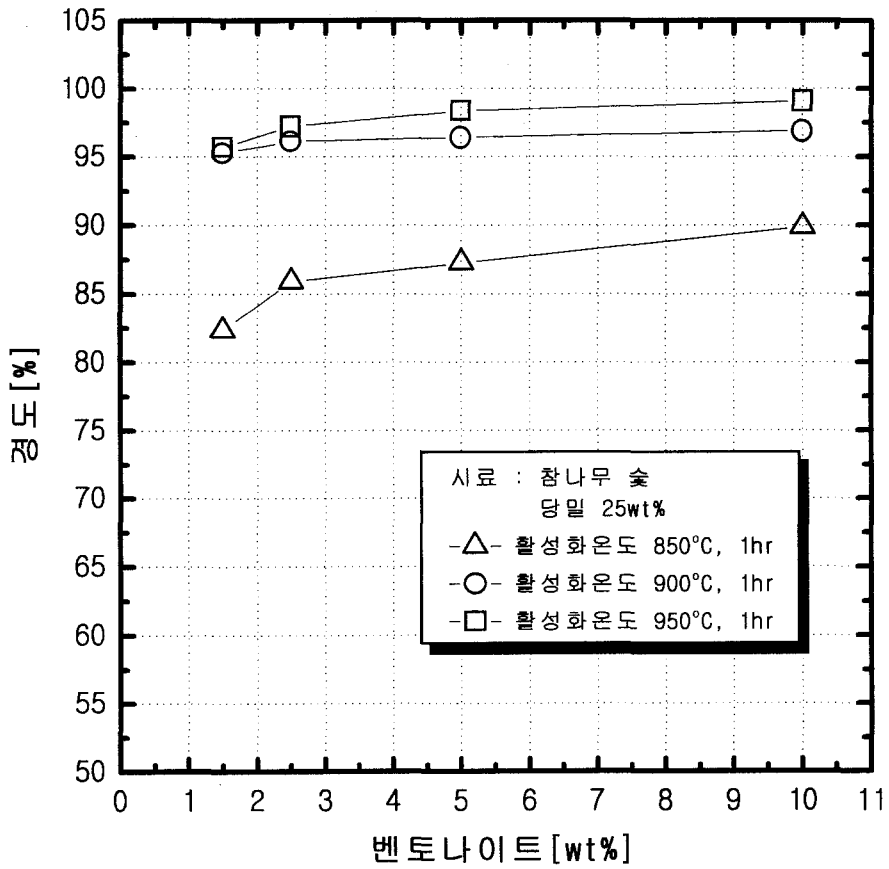


그림 3-23. 당밀함량 25wt%에서 활성화온도와 벤토나이트 첨가량에 따른 경도 변화

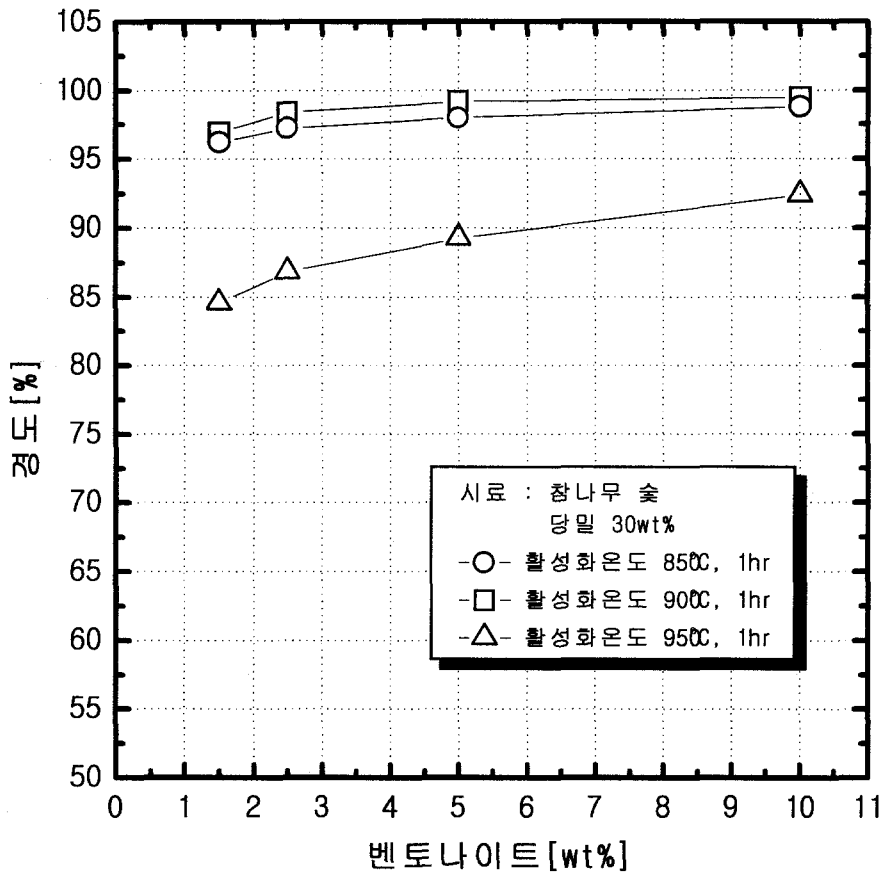


그림 3-24. 당밀함량 30wt%에서 활성화온도와 벤토나이트 첨가량에 따른 경도 변화

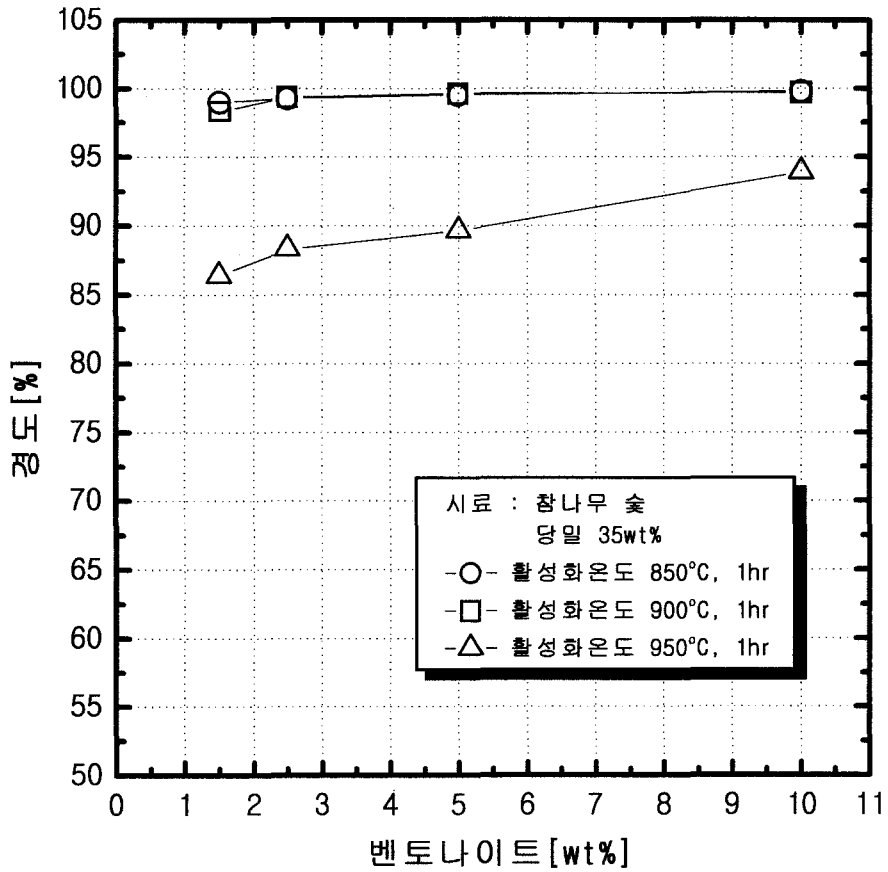


그림 3-25. 당밀함량 35wt%에서 활성화온도와 벤토나이트 첨가량에 따른 경도 변화

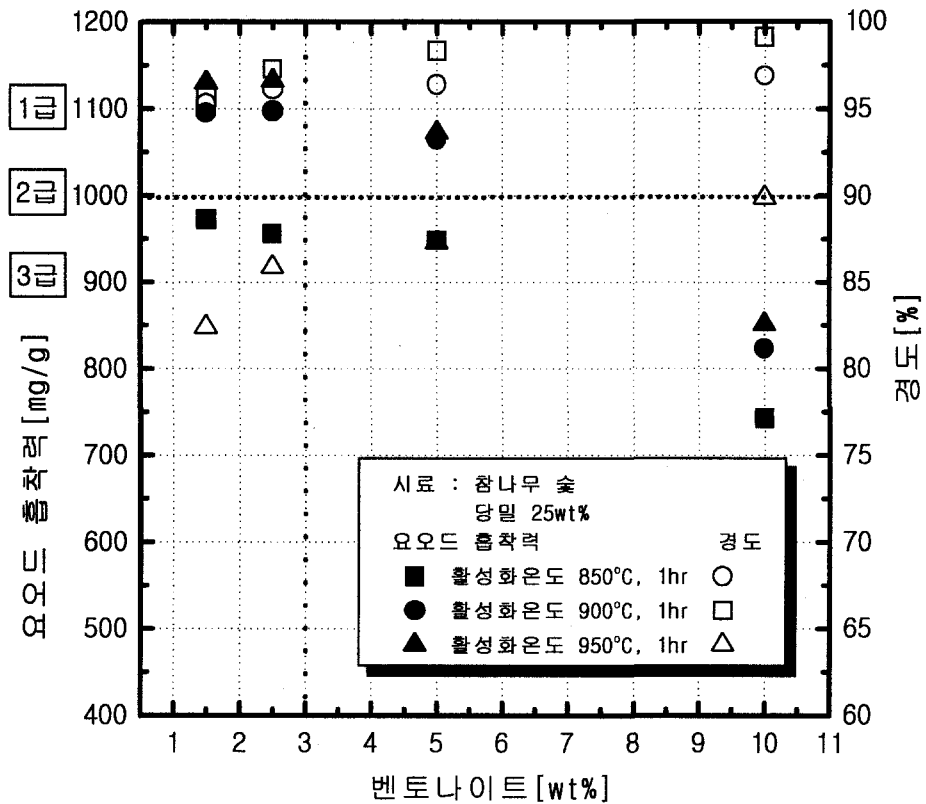


그림 3-26. 당밀함량 25wt%에서 벤토나이트 함량 및 활성화온도와 요오드흡착성능 및 경도와의 상호관계

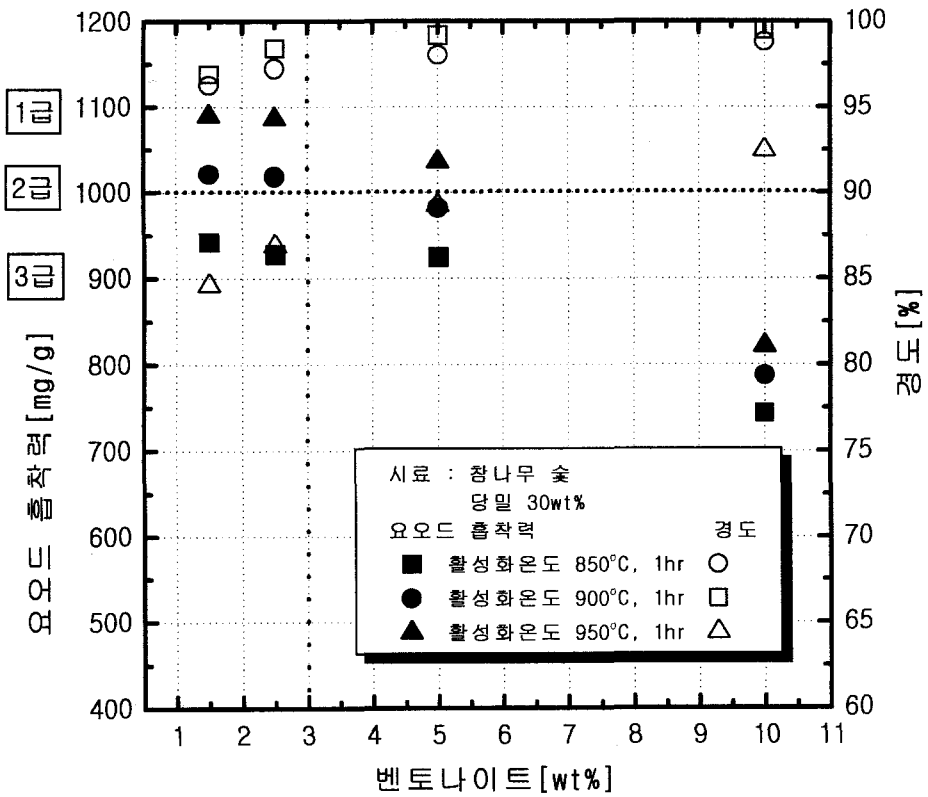


그림 3-27. 당밀함량 30wt%에서 벤토나이트 함량 및 활성화온도와 요오드흡착성능 및 경도와의 상호관계

1000mg/g을 만족하고, 경도의 KS규격 90%를 동시에 만족하는 조건은 활성화온도가 900℃에서 적절함을 알 수 있고 벤토나이트 첨가량은 1.5~2.5wt%면 충분하다는 것을 한 눈에 알 수 있다. 또한 활성화온도 850℃인 경우는 요오드흡착성이 떨어지는 경향을 나타내고 활성화온도 950℃에서는 경도가 KS 규격에 이르지 못함을 정확히 판단할 수 있었다. 그림 3-27과 그림 3-28의 경우 그림 3-26의 결과와 유사함을 알 수 있고 단지 특성치의 값들이 조금 낮다는 것 뿐이다.

제 6 절 제조된 조립활성탄의 특성

제 1 항 표면특성

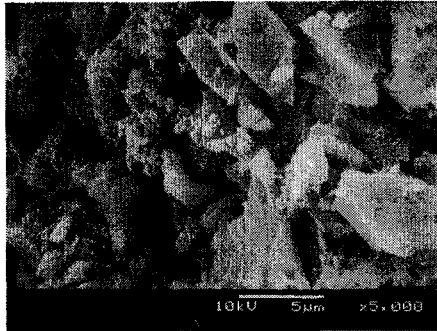
그림 3-29는 당밀함량 25wt%, 벤토나이트 첨가량 2.5wt%인 경우 활성화온도 850℃, 900℃, 950℃에서 1시간 활성화시킨 조립활성탄의 전자현미경 사진을 나타낸 것이다. 그림 3-29에 나타난 바와 같이 뚜렷한 변화를 관찰하지는 못했으나 활성화온도 850℃, 900℃보다 950℃에서 입자가 작아진 것을 볼 수 있다. 전자현미경 사진으로부터 점결제와의 결합상태와 기공이 발달했음을 확인하고자 했으나 이에 대한 결과를 나타내지는 못했다. 따라서 기공 특히 미세기공의 발달정도를 보기 위해 BET 측정을 하고자 하였다.

제 2 항 제조된 조립활성탄의 세공분포 및 비표면적 특성

그림 3-30 ~ 3-31은 당밀함량 25wt%, 벤토나이트 첨가량 1.5%, 활성화온도 900℃에서 활성화시킨 조립활성탄의 세공분포 및 세공용적을 나타낸 것이다. 그림 3-32에 나타난 바와 같이 미세공(micropore)이 잘 발달되어있음을 확인할 수 있었고, 20Å 이하의 미세공이 차지 하는 비율은 80%이상을 나타내고 있다. 또한 이때의 BET



850 °C



900 °C



950 °C

그림 3-29. 당밀 함량 25wt%와 벤토나이트 첨가량 2.5wt% 조건의 활성화 온도에 따른 전자현미경 사진

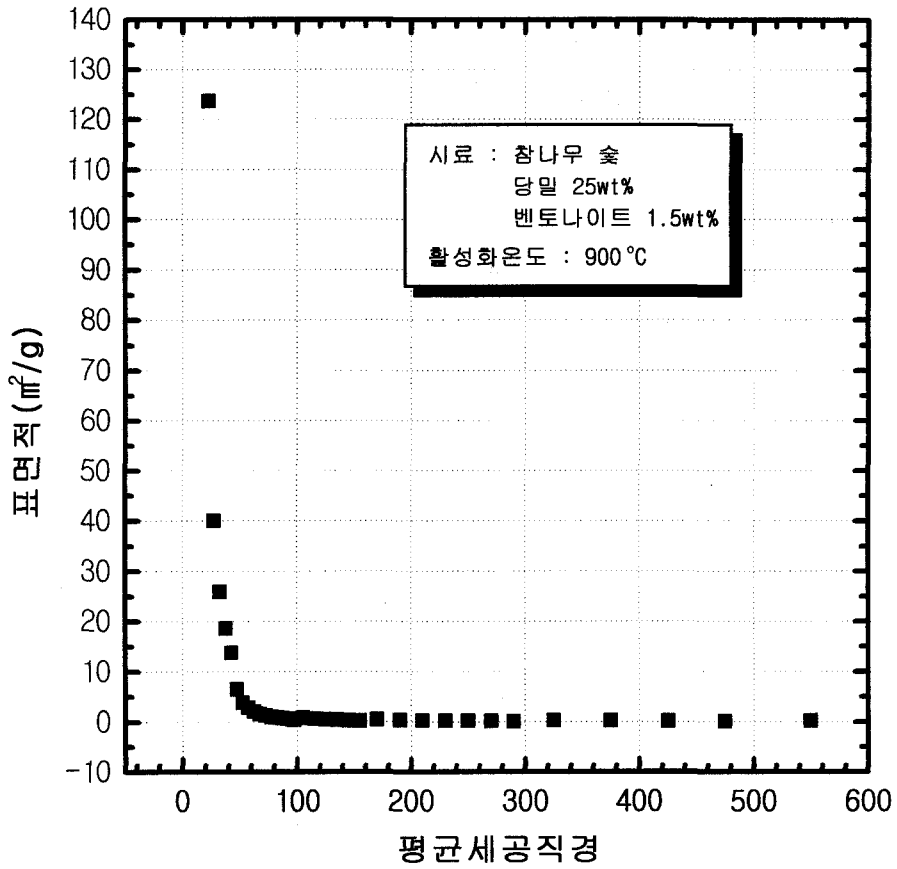


그림 3-30. 제조된 조립활성탄의 표면적

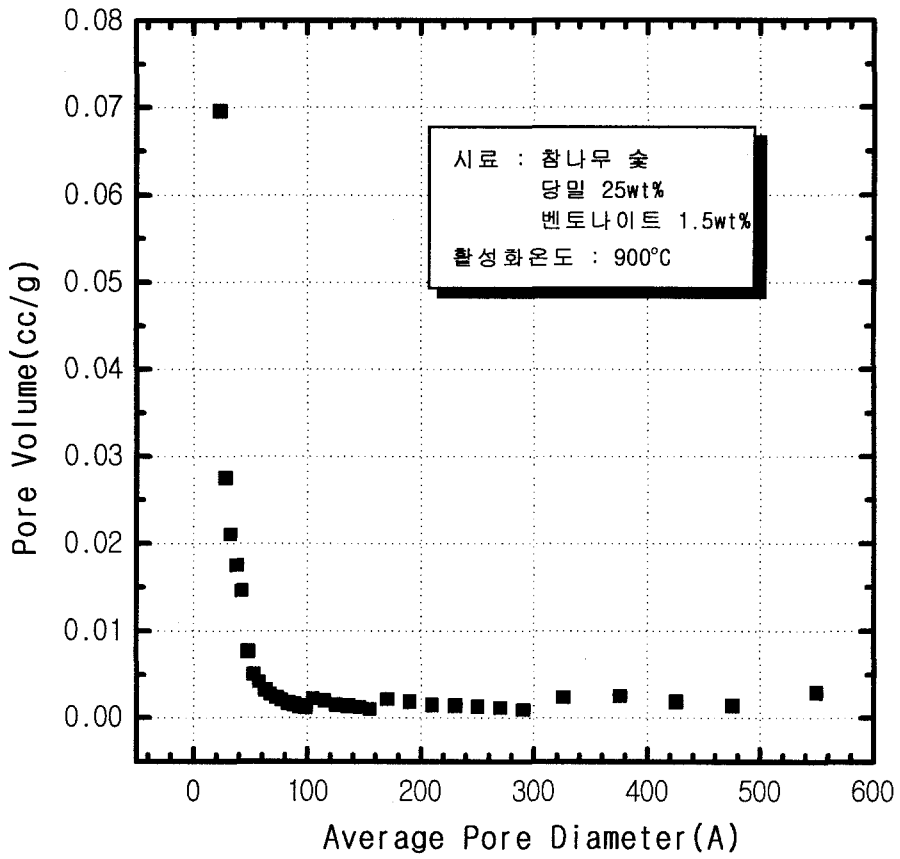


그림 3-34. 제조된 조립활성탄의 세공 용적

surface area는 $950\text{m}^2/\text{g}$ 으로 확인되었고 이러한 결과는 앞서의 같은 조건에서의 요오드 흡착성능 $1095\text{mg}/\text{g}$ 와 잘 일치하는 결과이다. 그리고 각 조건에서의 BET 측정은 연구가 진행되고 있는 상태이다.

제 7 절 잣나무 탄화물의 조립공정

조립활성탄 제조에 있어 조립공정은 활성화 공정의 전 단계로써 조립활성탄의 형태를 형성하는 과정이다. 이러한 조립공정은 조립물의 형태뿐만 아니라 조립물의 치밀함 및 활성화공정을 통해 제조된 조립활성탄의 물성 특성에 영향을 줄 수 있으므로 조립공정에 있어서 점결제의 선택 및 조립공정의 확립은 활성화공정의 전 단계로써 중요한 과정이다.

제 1 항 점결제의 선정

조립활성탄 제조공정 중 조립공정에서 우선적으로 해결되어야 할 사항이 점결제의 선정이다. 이러한 조립공정의 점결제는 조립활성탄의 경도(hardness) 및 조립물의 형태 유지와 밀접한 관계를 가지고 있고, 또한 조립활성탄의 사용처등을 고려해서 선정되어야만 한다.

조립활성탄 제조의 조립공정에서 사용되어지는 점결제는 원료에 따라 다양한 종류의 점결제들이 사용되고 있으나 본 연구에서는 제조된 조립활성탄이 공업용뿐만 아니라 그 사용처가 식용 및 수처리등과 관련된 분야에서도 사용될 수 있음을 고려해 인체에 무해한 전분 및 식용 당밀등을 점결제로 이용하고자 하였다. 이를 통하여 1차 연도에서 연구된 참나무의 경우와 비교하고자 하였다.

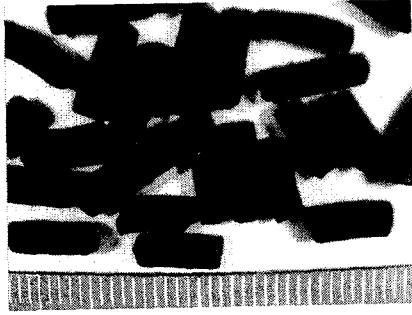
우선적으로 전분인 경우 시중에서 판매되고 있는 감자가루와 시약용 전분의 두 가지 종류를 이용하여 170mesh이하로 분쇄·건조한 잣나무 탄화시료와 혼합하여 조립

기로 조립한 경우 조립물을 만들 수는 있었으나 조립물의 경도가 매우 낮음을 보였고, 또한 활성화 공정을 거친 경우 손으로 누르면 쉽게 부서질 정도로 경도가 낮게 나타났다. 이것은 참나무와 유사한 결과이다. 두 번째로는 조립활성탄의 점결제로 많이 사용되고 있는 당밀을 이용하였다. 당밀은 참나무의 경우에 이용된 모 식품회사에서 사용되고 있는 80% 당밀액을 사용하였다. 이러한 당밀은 혼합에 이용되기 전에 60℃ 물에 녹여 사용하였다. 170mesh로 분쇄·건조한 잣나무 탄화시료와 일정량의 당밀을 균등히 혼합하여 반죽을 거친 후 조립물을 만들고자 하였다.

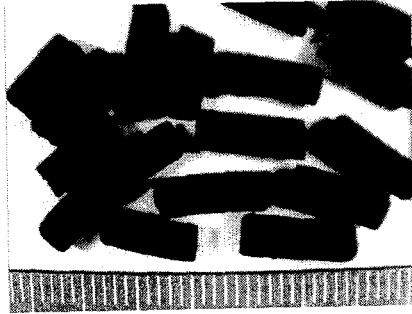
당밀의 첨가량은 일차적으로 1차 년도의 참나무인 경우에 적용되었던 25wt%, 30wt%, 35wt%를 적용해 조립물을 만들었다. 25wt%와 30wt%의 경우는 적절한 경도를 지니는 조립물을 만들 수 있었으나 35wt%의 경우 본 연구에서 사용된 조립기에서는 원주상의 형태를 유지하지 못한 조립물이 만들어져 35wt%이상은 불가능한 결과를 보였다. 또한 부가적으로 당밀 첨가량 15wt%, 20wt%를 첨가한 결과 20wt%인 경우는 가능성 있는 조립물을 만들 수 있었으나 15wt%인 경우의 혼합시료는 조립기 스크린을 통과하지 못해 조립물 성형이 불가능하였다. 따라서 잣나무의 경우 적절한 점결제는 참나무 경우와 같이 당밀이 적당하며, 당밀 첨가량은 20~35wt%이면 가능할 것으로 나타나 이와 같은 첨가량을 기준으로 하여 조립된 조립물을 활성화 공정의 시료로 사용하였다.

제 2 항 조립물의 특성

그림 3-35는 170mesh로 분쇄·건조한 잣나무 탄화시료에 당밀을 20wt%, 25wt%, 30wt% 넣어 혼합하여 만든 조립물의 사진이다. 이것은 조립기로부터 조립물을 만든 후 상온에서 24시간 건조·숙성시키면서 조립물들이 서로 뭉치지 않도록 한 후 120℃건조기에서 24시간 건조 후의 사진이다. 그림 3-35에서 보는 바와 같이 원주상의 조립물들이 잘 만들어졌음을 확인할 수 있고 활성화 공정에서의 활성화 원료로서 사용가능성을 확인할 수 있었다.



(가) 당밀 20wt%



(나) 당밀 25wt%



(다) 당밀 30wt%

그림 3-35. 당밀 함량에 따른 조립물 사진

앞서의 당밀 점결제를 이용하여 조립물을 만들 경우 조립물의 특성 중 무엇보다도 경도가 유지될 수 있어야 하는 것이다. 그림 3-36은 170mesh로 분쇄·건조한 잣나무 탄화시료에 당밀 함량 20wt%, 25wt%, 30wt%를 첨가한 경우의 경도를 나타낸 것이다. 상온에서 24시간 건조한 후 120℃ 건조기에서 24시간 건조 후의 경도를 측정하였다.

그림 3-36에 나타낸 바와 같이 경도가 매우 강함을 알 수 있고 이때 조립된 조립물의 경우 당밀의 함량 wt%에 관계없이 경도가 99.9%를 얻고 있음을 알 수 있다. 그러나 이러한 경도가 활성화공정을 거친 후에도 유지할 수 있느냐 하는 것이 중요한 점이라고 할 수 있다. 또한 경도를 제외한 조립물의 요오드흡착 성능 및 충전 밀도는 조립활성탄이 소정의 경도를 지니고 있지 않다면 큰 의미가 없으므로 특성을 조사하지는 않았다.

따라서 본 연구에서는 당밀함량 20wt%, 25wt% 30wt%를 첨가하여 조립한 조립물을 대상으로 하여 활성화공정을 거쳐 조립활성탄을 제조하였으며 제조된 조립활성탄의 물성 특성을 분석함으로써 입상활성탄 KS 규격에 부합하는지의 여부를 조사하고자 하였다. 이를 통하여 제조된 조립활성탄이 상업화의 가능성 즉 상품으로서 가능성을 타진하고자 하였다.

제 8 절 탄화조건에 따른 활성화 특성

탄화는 활성탄의 활성점, 기계적강도 및 활성탄의 세공 분포 등을 좌우하는 매우 중요한 공정이다. 탄화공정은 탄화온도와 탄화시간이 중요한 변수로서 작용하는데 일반적으로 알려진 바로는 탄화온도는 400~700℃ 범위에서 이루어지고 질소가스의 환원분위기에서 행해진다. 그러나 잣나무의 경우 탄화온도 및 시간은 400℃ 3시간, 500℃ 2시간이 적절하다는 것을 이전의 연구로부터 확인한 바 있다. 따라서 탄화조

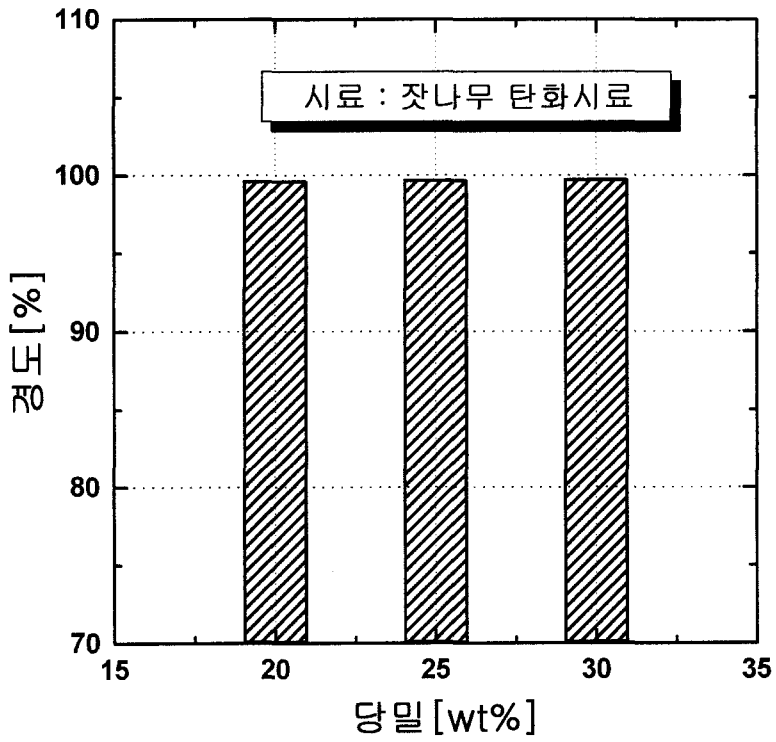


그림 3-36. 당밀 함량에 따른 조립물들의 경도

건이 활성화공정에 미치는 영향을 조사하기 위해 위 조건에서 탄화된 전 잣나무 탄화물들을 이용하였다. 이 경우 벤토나이트 첨가량은 1차 년도 참나무를 대상으로부터 얻어진 1.5wt%로 고정하고 수증기량 또한 1000ml/hr로 고정하여 실험이 진행되었다.

제 1 항 탄화조건에 따른 활성화 수율 특성

그림 3-37과 3-38은 각각 탄화조건 400℃, 3시간과 500℃, 2시간에서 탄화된 탄화물을 170mesh이하로 분쇄, 건조된 시료를 대상으로 당밀 첨가량을 20wt%, 25wt%, 30wt%의 각각의 경우 조립된 조립물을 활성화온도 850℃와 900℃에서 활성화한 조립활성탄의 수율특성을 나타낸 것이다. 이때 벤토나이트의 첨가량을 참나무의 경우에 적정조건으로 나타났던 1.5wt%로 고정하였고, 활성화 시간 또한 1시간으로 고정하여 실험이 이루어졌다.

그림 3-37에 나타난 바와 같이 탄화조건이 400℃, 3시간인 경우의 활성화온도 850℃인 조건에서의 수율은 당밀 첨가량 20wt%~30wt%에서 37~15%를 나타내고 활성화온도 900℃인 경우는 당밀 첨가량에 19~10%로 낮은 수율을 보이고 있어 당밀 첨가량이 증가 할 수록 낮아지는 수율 특성을 보이고 있다 그리고 그림 3-38에 나타난 바와 같이 탄화조건 증가에 500℃, 2시간인 경우의 수율은 활성화온도 850℃에서는 당밀 첨가량 증가에 따라 38%~12%, 활성화온도 900℃에서는 당밀 첨가량이 증가할 수록 16%~10%로서 낮은 수율 특성을 보이고 있다.

그림 3-37과 그림 3-38에 나타난 바와 같이 일반적으로 활성화탄 제조에 있어 활성화 수율이 30%~50%정도인 것에 비해 비교적 낮은 수율을 보이고 있고 당밀 첨가량 20wt%인 경우만이 활성화 온도 850℃에서 적절한 수율 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

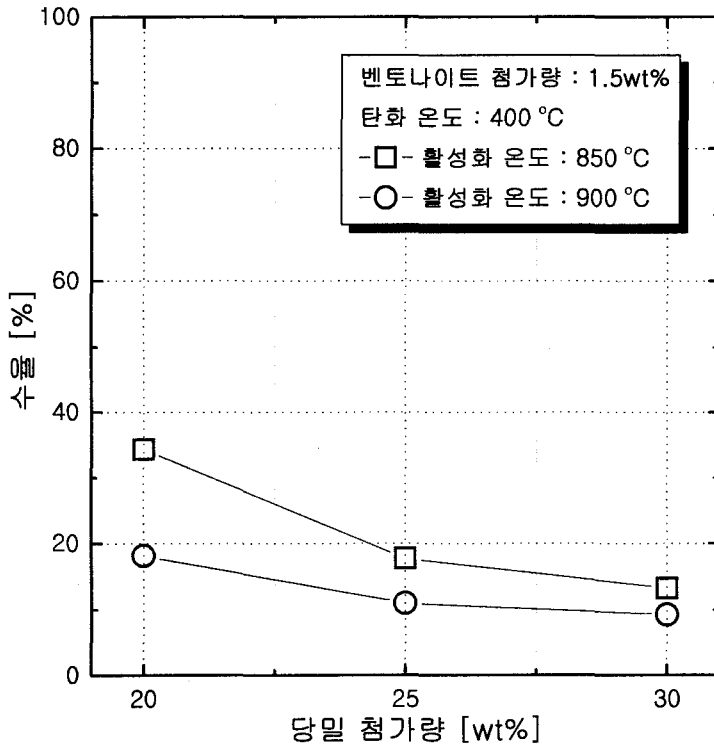


그림 3-37. 당밀과 활성화 온도에 따른 수율 변화 (탄화온도 400°C)

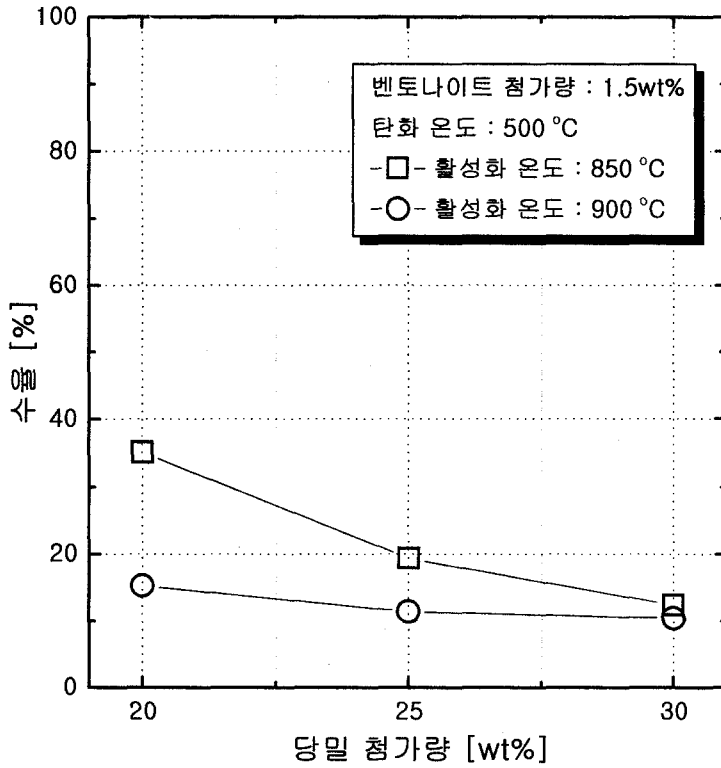


그림 3-38. 당밀과 활성화 온도에 따른 수율 변화 (탄화온도 500°C)

제 2 항 탄화조건에 따른 요오드 흡착력 특성

그림 3-39는 탄화조건 400℃, 3시간에서 탄화된 탄화물을 대상으로 벤토나이트 함량을 1.5wt%로 고정하고, 당밀을 20wt%, 25wt%, 30wt%로 첨가하여 조립물을 성형한 후 활성화 온도 850℃, 900℃에서 1시간 활성화하여 제조된 조립활성탄의 요오드 흡착력 특성을 나타낸 것이다. 그림 3-39에 나타난 바와 같이 당밀 첨가량이 증가할수록 요오드 흡착력이 감소하는 경향을 보이고 있으며, 당밀 함량이 25wt%이상인 경우 활성화 온도 850℃, 900℃ 모두에서 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 활성화 온도가 850℃인 경우 요오드 흡착력이 890~1080mg/g, 활성화 온도가 900℃인 경우 요오드 흡착력은 900~1150mg/g 범위를 나타내고 있다. 이는 대부분이 입상활성탄 KS규격의 1급~2급에 해당되는 값을 보이고 있고 당밀첨가량 20wt%인 경우는 활성화 온도에 관계없이 입상활성탄 KS규격 1급을 나타내는 좋은 결과를 보이고 있다. 따라서 요오드 흡착력 특성만을 감안했을 경우 본 연구의 목적에 어느 정도 달성하는 결과를 보여주고 있다

그림 3-40는 당밀함량 20wt%, 25wt%, 30wt%로 첨가하여 탄화조건 500℃, 2시간에서 탄화한 잣나무 탄화물을 대상으로 벤토나이트 함량을 1.5wt%로 고정하고 성형한 조립물을 활성화 온도 850℃, 900℃에서 각각 1시간 동안 활성화한 조립활성탄의 요오드 흡착력 특성을 나타내고 있다. 그림 3-40에서 보는 바와 같이 활성화 온도에 관계없이 당밀의 첨가량이 증가할수록 요오드 흡착력은 감소하고 있으며 탄화온도 400℃에서 탄화된 시료를 같은 활성화 조건으로 제조된 조립활성탄에서와 마찬가지로 당밀 함량 25wt%에서 급격한 감소를 보이고 있다. 활성화 온도 850℃인 경우 요오드 흡착력은 863~1000mg/g, 활성화온도 900℃인 경우 요오드 흡착력은 880~1086mg/g의 범위를 나타내고 있다. 특히 당밀 첨가량 20wt%인 경우는 입상활성탄 KS규격 2급에 해당되는 것이다.

이상의 요오드 흡착력 특성을 고려해 볼 때 탄화조건은 400℃, 3시간인 경우가 좋은 결과를 보이고 있으며, 활성화 온도는 탄화조건에 관계없이 활성화 온도는 850℃

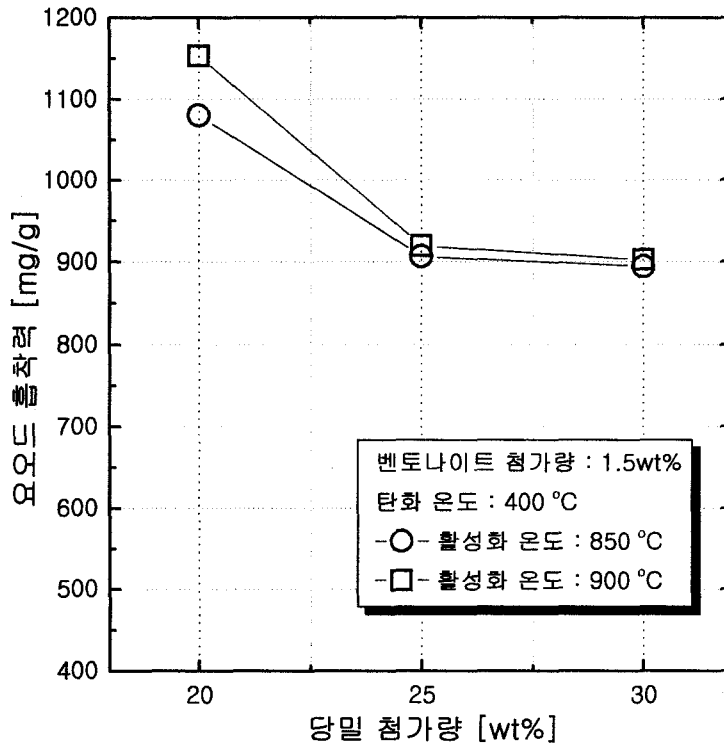


그림 3-39. 당밀과 활성화 온도에 따른 요오드 흡착력 변화 (탄화온도 400 °C)

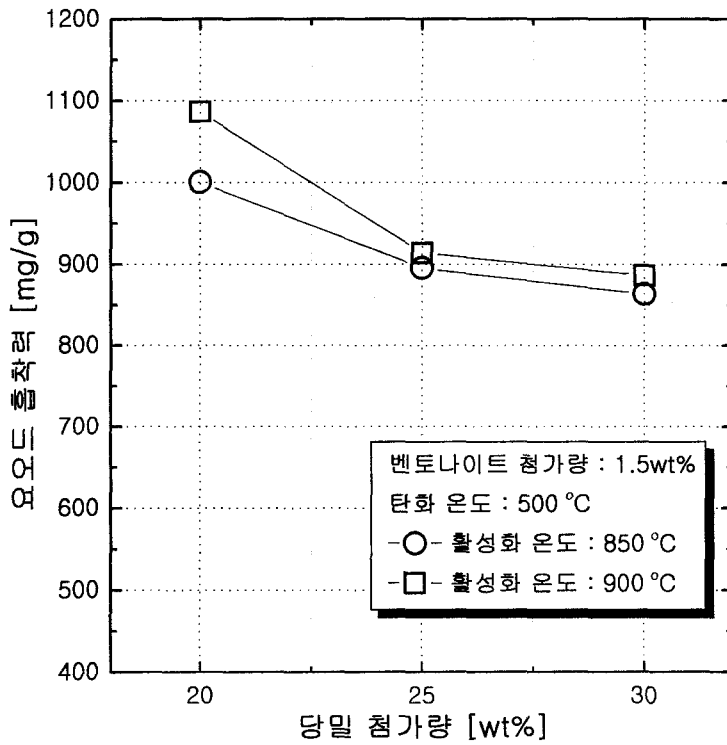


그림 3-40. 당밀과 활성화 온도에 따른 요오드 흡착력 변화 (탄화온도 500 °C)

보다 900℃가 더 나은 요오드 흡착력을 보이고 있다. 그러나 활성화 온도 900℃인 경우는 앞서의 수율특성을 고려해 볼 때 수율이 너무 낮아 효율적인 면을 고려한다면 활성화 온도 900℃보다는 850℃가 더 유리할 것으로 보인다.

제 3 항 탄화조건에 따른 경도 특성

그림 3-41은 탄화온도 400℃, 3시간에서 제조된 잣나무 탄화시료를 벤토나이트 첨가량을 1.5wt%로 고정하고 당밀 첨가량을 20wt%, 25wt%, 30wt%로 첨가하여 제조된 조립물을 활성화온도 850℃, 900℃에서 활성화한 조립활성탄의 경도 특성을 나타낸 것이다. 그림 3-41에 나타낸 바와 같이 95%이상의 결과를 나타내고 있으며 당밀의 함량에 관계없이 거의 일정한 경도값을 나타내고 있는데 이것은 입상활성탄 KS규격 1급을 만족한다.

그림 3-42는 탄화온도 500℃, 2시간에서 제조된 잣나무 시료를 원료로 하여 당밀함량 20wt%, 25wt%, 30wt%으로 변화시키고 벤토나이트 함량을 1.5wt%로 고정하고 혼합하여 성형한 후 조립물을 활성화온도 850℃, 900℃에서 1시간 활성화한 조립 활성탄의 경도 특성을 나타낸 것이다. 그림 3-42에서 보는 바와 같이 당밀 첨가량이 20wt%, 25wt%, 30wt% 모두에서 90%이상의 값을 보이고 있으며 탄화온도 400℃에서 제조된 잣나무 시료의 경우와 유사한 경도 특성을 보이는 것이다.

그러나 탄화조건 및 활성화 조건에 관계없이 입상활성탄의 KS규격을 만족해 조립활성탄의 경도 특성은 문제점으로 대두되지 않을 것으로 보인다.

제 4 항 탄화조건에 따른 충전밀도 특성

그림 3-43은 탄화조건 400℃, 3시간에서 탄화된 잣나무 시료를 대상으로 벤토나이트 첨가량을 1.5wt%로 고정하고 당밀 20wt%, 25wt%, 30wt%로 하여 각각 성형한 조립

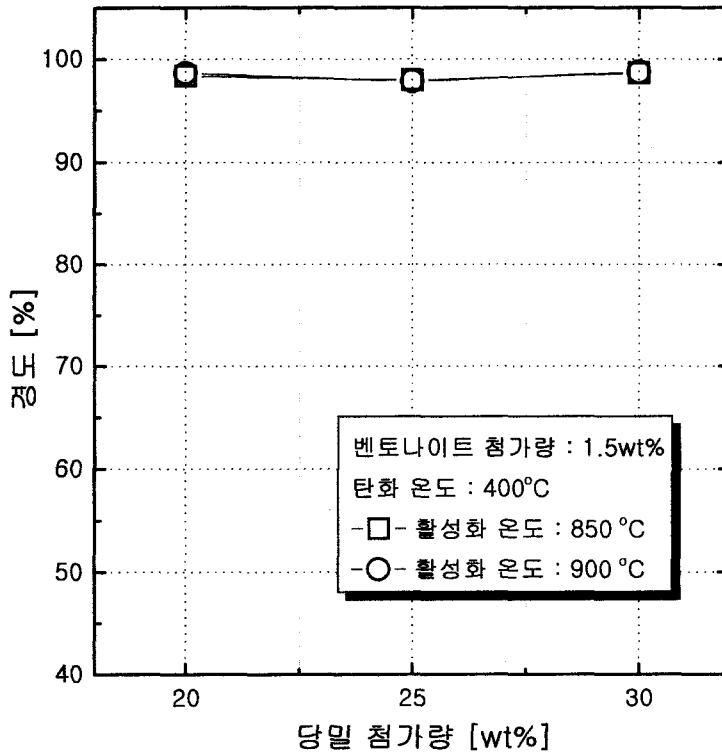


그림 3-41. 당밀과 활성화 온도에 따른 경도 변화(탄화온도 400°C)

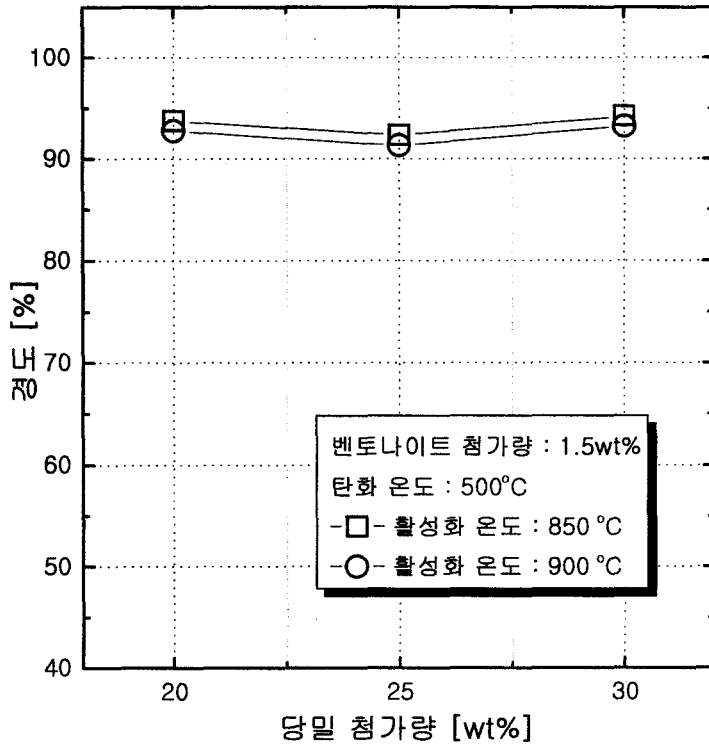


그림 3-42. 당밀과 활성화 온도에 따른 경도 변화(탄화온도 500°C)

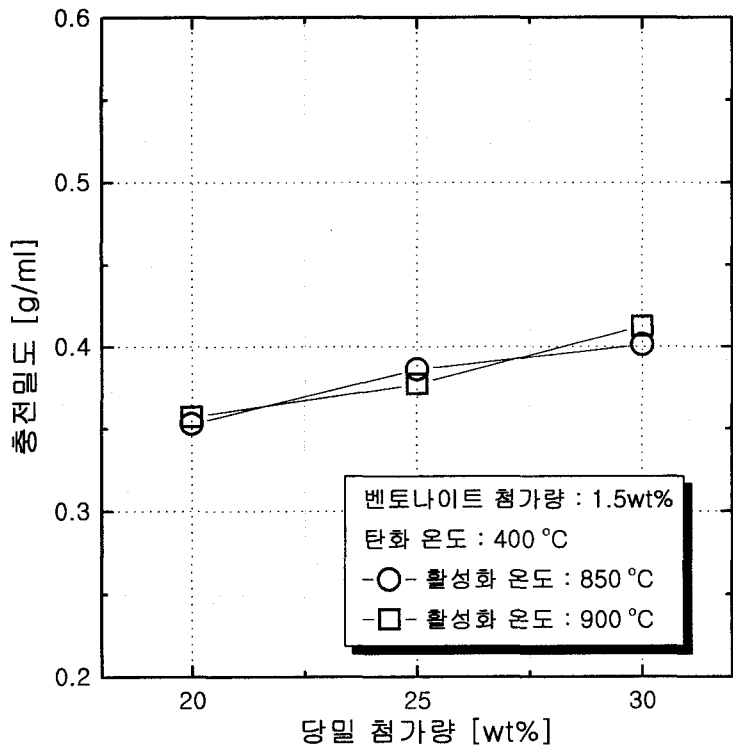


그림 3-43. 당밀과 활성화 온도에 따른 총진밀도 변화 (탄화온도 400°C)

물을 활성화 온도 850℃, 900℃에서 1시간 활성화하여 조립 활성탄을 제조한 후 충전밀도를 나타낸 것이다. 그림 3-43에 나타난 바와 같이 당밀 함량이 증가할수록 충전밀도 역시 증가하는 것을 보이고 있다. 이는 조립활성탄 제조시 당밀의 함량이 많을수록 조립물 내부에 포함되고 있는 당밀의 함량도 많게 되므로 활성화 공정에서 조립물이 활성화되면서 그 내부에 포함되어 있는 당밀 대부분이 수증기와 함께 밖으로 빠져나가게 된다. 그 결과 활성화 공정에서 활성화되는 시료는 당밀의 함량이 많을수록 많이 수축하게 되며 그 만큼 무게 감량을 가져오게 되므로 충전밀도가 크게 측정되는 결과라 할 수 있다. 또한 이러한 조건에서 제조된 조립활성탄의 충전밀도는 입상활성탄의 KS 1급의 조건인 0.48g/ml 이하를 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 3-44는 탄화온도 500℃, 2시간에서 제조된 잣나무 숲을 당밀함량 20wt%, 25wt%, 30wt%로 변화시키고 벤토나이트 함량을 1.5wt%로 고정하여 성형된 조립물을 활성화 온도 850℃, 900℃에서 1시간 활성화하여 제조된 조립활성탄의 충전밀도 특성을 나타내었다. 그림 3-44에서 보는 바와 같이 당밀의 함량이 증가할수록 충전밀도 역시 증가하는 것을 보이고 있으며 이 때의 조건에서 제조된 조립활성탄의 충전밀도는 또한 입상활성탄의 KS규격 1급을 만족하고 있다.

이상의 탄화조건에 따른 활성화 공정 실험을 통해 탄화조건 400℃, 3시간에서 탄화된 시료가 활성화를 통해 얻어진 조립활성탄 특성들이 더 나은 결과들을 보임을 알 수 있었다. 따라서 이후의 실험은 탄화조건 400℃, 3시간에서 탄화한 시료를 실험 대상 시료로 선정하여 실험이 진행되었다.

제 9 절 수증기 함량에 따른 활성화 특성

앞서의 제 8 절에서 탄화조건과 당밀 함량에 따른 활성화 공정의 실험결과 제조된 대부분의 조립활성탄이 입상활성탄 KS규격 2급 이상을 만족하고 있음을 만족하고 있

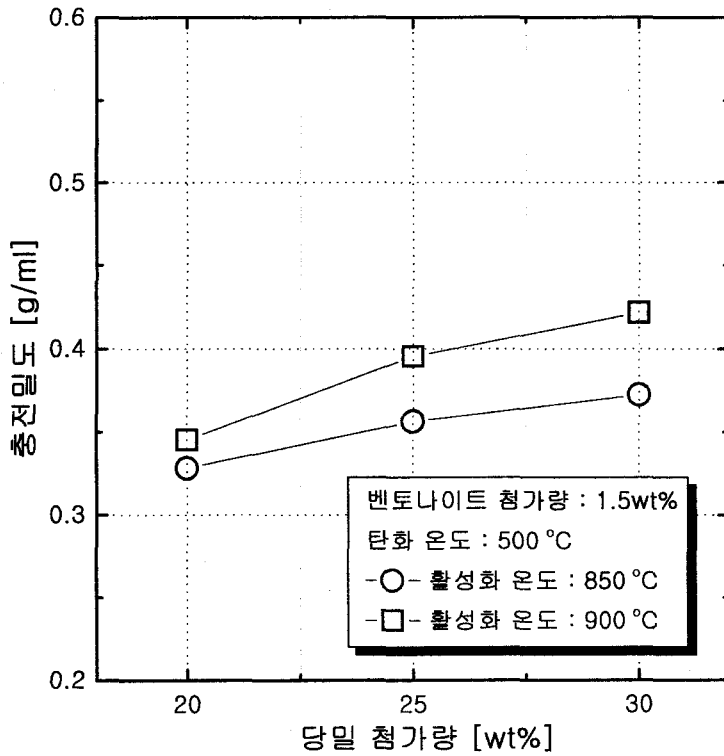


그림 3-44. 당밀과 활성화 온도에 따른 총진밀도 변화 (탄화온도 500°C)

음을 알 수 있었다. 이들 중 당밀 함량 20wt%에 벤토나이트 1.5wt%를 첨가하여 조립한 조립물을 이용하여 활성화된 조립활성탄의 특성은 KS 규격 1급을 모두 만족하는 결과를 보이고 있어 본 연구에서 제조된 조립활성탄의 상업화의 가능성을 충분히 확인할 수 있었다.

그러나 수증기량을 1000ml/hr로 고정하여 이루어진 결과이다. 따라서 수증기량의 변화를 통해 조립활성탄의 특성향상을 이룰 수 있는지 여부 또한 중요한 관심대상이 될 수 있다. 왜냐하면 본 연구에서 사용된 수증기 활성화법이 탄화물과 수증기의 반응으로 이루어지기 때문이다.

따라서 본 절에서는 수증기량 500ml/hr, 1000ml/hr, 1500ml/hr를 대상으로 하여 그 영향을 보고자 하였다.

제 1 항 수증기함량에 따른 수율 특성

그림 3-45는 벤토나이트 첨가량을 1.5wt%로 고정하고 당밀 함량을 20wt%, 25wt%, 30wt%인 경우에 조립한 조립물을 대상으로 활성화온도 850℃에서 수증기 투입량을 500ml, 1000ml, 1500ml로 변화시킨 경우 1시간동안 활성화한 후의 수증기 변화에 따른 수율 특성을 나타낸 것이다. 그림 3-45에서 보는 바와 같이 당밀 함량과 수증기 투입량이 증가할수록 수율은 감소하였다. 이것은 수증기 투입량이 증가할수록 탄화물과 수증기와의 반응이 원활히 이루어지는 결과에서 비롯되는 결과라고 볼 수 있다. 또한 당밀의 첨가량이 25wt%에서 급격히 감소하는 결과는 앞서의 결과와 동일한 현상을 나타내고 있고 당밀 첨가량 25wt%, 30wt%에서 수율이 너무 낮게 나타나고 있어 당밀 첨가량 20wt%가 효율적인 측면에서 유리한 것으로 판단된다.

그림 3-46는 당밀함량 20wt%, 25wt%, 30wt% 각각에 대해 벤토나이트 함량을 1.5wt%로 고정하여 활성화조건 900℃, 1시간으로 활성화하면서 투입되는 수증기량을 500ml, 1000ml, 1500ml로 변화시켜 활성화한 조립활성탄의 수율 특성을 나타낸 것이

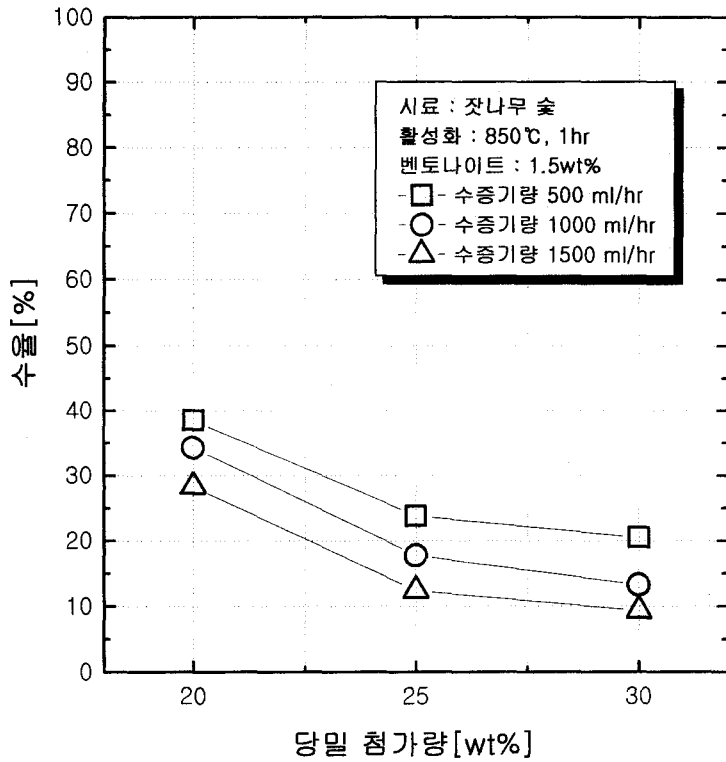


그림 3-45. 당밀과 수증기 함량에 따른 수율 변화(활성화 온도 850°C)

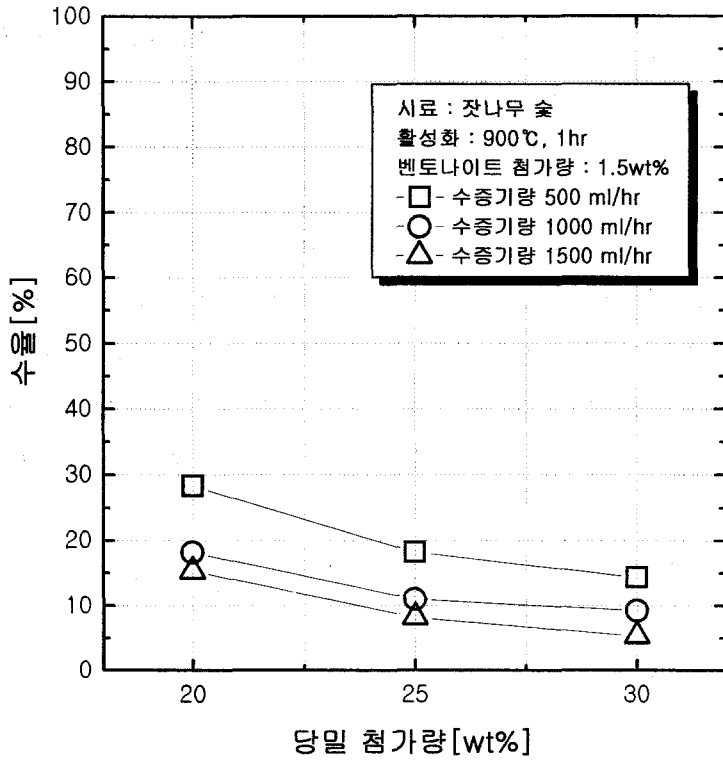


그림 3-46. 당밀과 수증기 함량에 따른 수율 변화(활성화 온도 900°C)

다. 그림 3-45에 나타난 바와 같이 활성화 온도 850℃보다 낮은 수율 특성을 나타내는 결과를 보이고 있고 활성화 온도 850℃의 결과처럼 수증기량이 증가할수록 수율이 낮아지는 결과를 보이고 있다. 따라서 수증기 투입량에 따른 수율 특성만을 고려해 볼 때 수증기 투입량 500ml가 가장 좋은 결과를 보이고 있다. 그러나 조립활성탄의 특성 즉 요오드 흡착력, 경도, 충전밀도 등 입상활성탄 KS규격을 만족시키는지 여부가 중요하므로 수증기량에 따른 이들 특성들과 상관관계를 조사함으로써 수율 특성은 구체화할 수 있을 것으로 보인다.

제 2 항 수증기 함량에 따른 요오드 흡착력 특성

그림 3-47은 당밀 함량을 20wt%, 25wt%, 30wt%로 하고 벤토나이트 1.5wt%에서 각각 성형한 조립물을 활성화 온도 850℃에서 수증기 투입량을 500ml, 1000ml, 1500ml로 변화시켜 1시간동안 활성화한 후 각각에 대한 요오드 흡착력 변화를 나타낸 것이다.

그림 3-47에 나타난바와 같이 당밀의 함량이 증가할수록 요오드 흡착력은 감소하고 있음을 알 수 있을 뿐만 아니라 당밀 함량이 25wt%인 경우 당밀 함량이 20wt%인 경우에 비해 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 증류수의 투입량을 증가시킬수록 요오드 흡착력이 크게 나타나는 것을 볼 수 있는데 이는 투입되는 수증기량이 많을수록 조립물과의 반응 정도가 크게 되기 때문에 그 만큼 내부 pore가 발달된 것이며 따라서 표면적 또한 크게 나타나는 것으로 사료된다.

그림 3-48은 당밀함량 20wt%, 25wt%, 30wt% 각각에 대해 벤토나이트 함량을 1.5wt%로 하여 활성화 조건 900℃, 1시간으로 활성화하면서 투입되는 수증기량을 500ml, 1000ml, 1500ml로 변화시킨 조립활성탄의 요오드 흡착력 특성을 나타낸 것으로 그림 3-46에서와 같이 당밀의 함량이 증가할수록 요오드 흡착력은 감소하는 경향을 보이고 있다. 그림 3-48에서 당밀의 함량이 20wt%인 경우 수증기 함량이 1000ml와 1500ml인 경우 입상활성탄 KS 규격 1급을 만족하고 있으나 앞서의 수율 특성에 연관

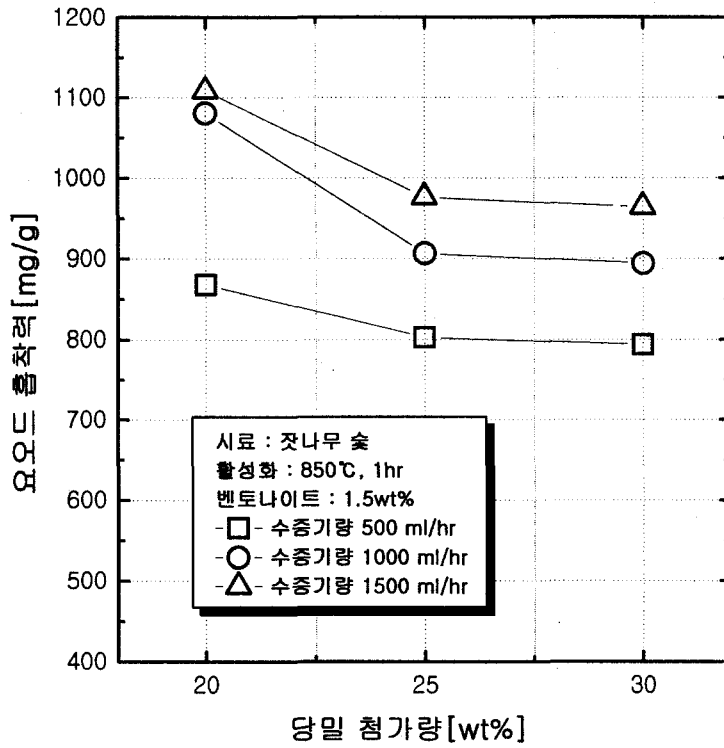


그림 3-47. 당밀과 수증기 함량에 따른 요오드 흡착력의 변화 (활성화 온도 850°C)

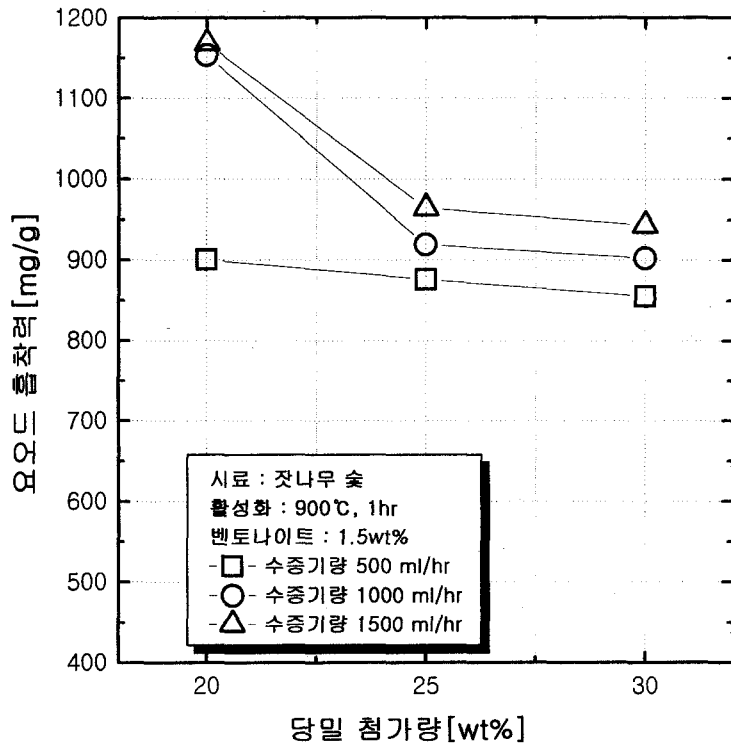


그림 3-48. 당밀과 수증기 함량에 따른 요오드 흡착력의 변화 (활성화 온도 900℃)

지어 볼 때 상업화의 측면에서는 수율이 너무 낮은 것으로 보인다. 따라서 수율 특성과 요오드 흡착력 특성을 놓고 볼 때 당밀 첨가량 20wt%, 활성화 온도 850℃, 수증기량은 1000ml/hr~1500 ml/hr이면 적절할 것으로 판단된다.

제 3 항 수증기 함량에 따른 경도 특성

그림 3-49는 당밀 함량과 수증기 함량에 따른 경도 변화를 나타낸 것으로 당밀 함량을 20wt%, 25wt%, 30wt%로 변화시키고 벤토나이트 함량을 1.5wt%로 하여 활성화 온도 850℃에서 수증기 투입량을 500ml, 1000ml, 1500ml로 변화시켜 1시간동안 활성화 하여 제조된 조립활성탄의 경도 특성을 나타낸 것이다. 그림 3-49에 나타낸 바와 같이 당밀의 첨가량 및 수증기 투입량에 관계없이 95%이상의 좋은 경도를 나타내고 있다. 이것은 입상활성탄의 KS 규격 1급 기준인 90%이상을 모두 만족하고 있는 것으로 제조된 조립활성탄의 경도에 따른 문제는 크게 대두되지 않을 것으로 보인다.

그림 3-50는 당밀함량 20wt%, 25wt%, 30wt% 각각에 대해 벤토나이트 함량을 1.5wt%로 하여 활성화조건 900℃, 1시간으로 활성화하면서 투입되는 수증기량을 500ml, 1000ml, 1500ml로 변화시킨 조립활성탄의 경도 특성을 나타낸 것으로 그림 3-49와 마찬가지로 모든 조건에서 95% 이상을 나타내고 있을 뿐만 아니라 입상활성탄 KS규격 1급의 특성을 만족하고 있음을 보이고 있다.

제 4 항 수증기 함량에 따른 충전밀도 특성

그림 3-51는 당밀함량 20wt%, 25wt%, 30wt% 각각에 대해 벤토나이트 함량을 1.5wt%로 하여 활성화조건 850℃, 1시간에서 수증기 투입량을 500ml, 1000ml, 1500ml로 변화시킨 조립활성탄의 충전밀도 특성을 나타낸 것으로 그림 3-51에서 나타난 바와 같이 당밀의 함량이 증가할수록 충전밀도 역시 증가하는 것을 볼 수 있으며 투입되는

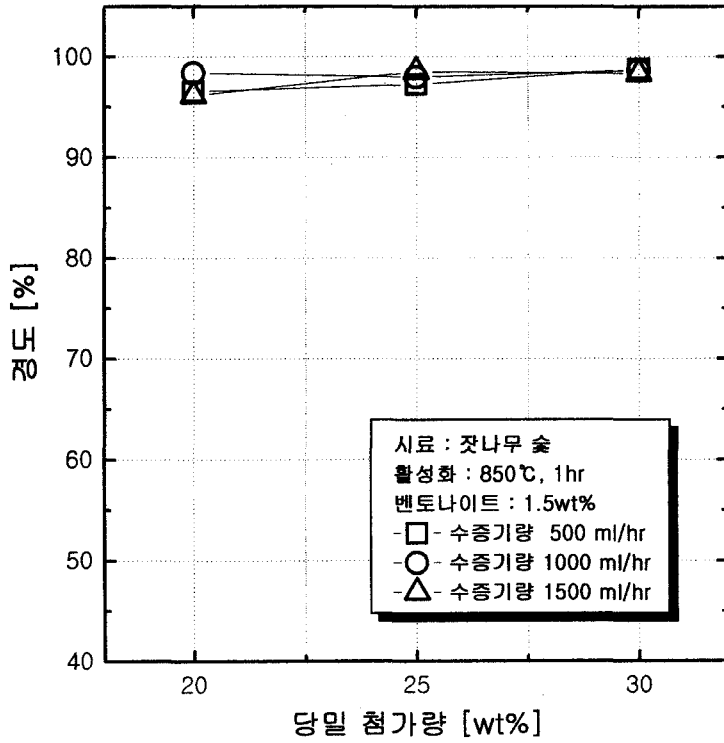


그림 3-49. 당밀과 수증기 함량에 따른 경도 변화(활성화온도 850℃)

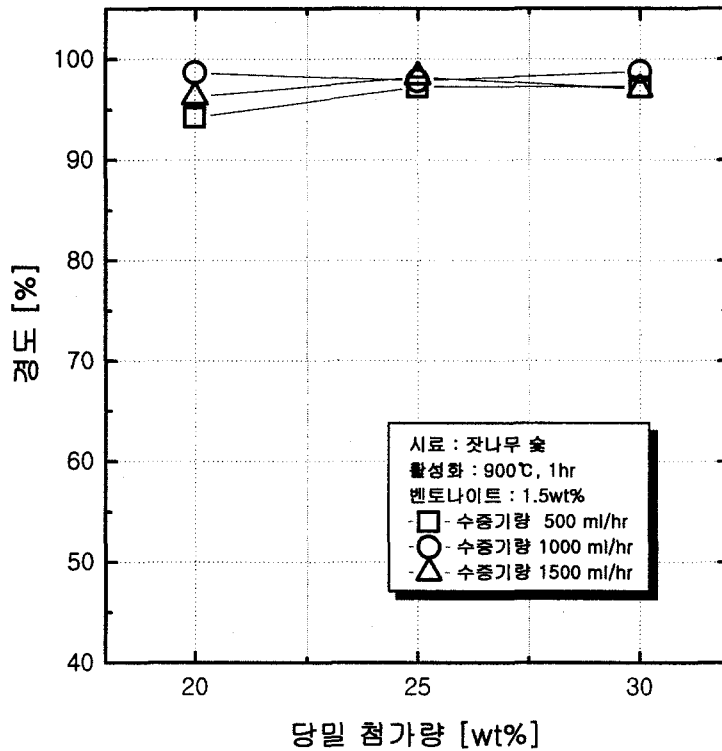


그림 3-50. 당밀과 수증기 함량에 따른 경도 변화(활성화 온도 900°C)

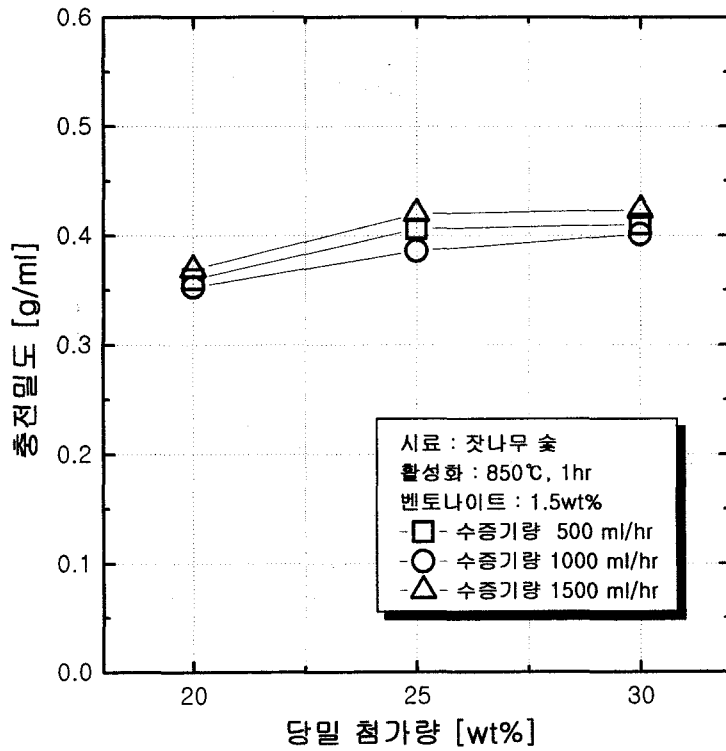


그림 3-51. 당밀과 수증기 함량에 따른 총전밀도 변화(활성화 온도 850℃)

수증기의 양에는 거의 영향을 받지 않는 것으로 사료된다.

그림 3-52는 당밀함량 20wt%, 25wt%, 30wt% 각각에 대해 벤토나이트 함량을 1.5wt%로 하여 활성화조건 900℃, 1시간으로 활성화하면서 투입되는 수증기량을 500ml, 1000ml, 1500ml로 변화시키고 조립활성탄의 충전밀도 특성을 나타낸 것이다. 그림 3-52에 나타낸 바와 같이 당밀함량이 증가할수록 충전밀도 역시 증가하고 있음을 알 수 있다.

이상의 수증기량에 따른 활성화 특성 실험으로부터 조립활성탄의 특성중 경도와 충전밀도 특성은 입상활성탄 KS규격 1급을 어떤 조건 하에서도 만족하고 있어 문제점으로 대두되지 않을 것으로 보인다. 그러나 수율 특성과 요오드 흡착력은 활성화 조건에 따라 조금씩 다른 양상을 보이고 있음을 알 수 있다. 수율적인 측면에서 활성화 온도 850℃가 유리하다할 때 입상활성탄 KS규격 2급 이상의 조립활성탄을 제조할 수 있음을 보이고 있다. 수증기량은 1000ml 이상이 되어야 입상활성탄 KS규격의 2급 이상의 조립활성탄을 제조할 수 있음을 보이고 있다.

제 10 절 벤토나이트 함량에 따른 활성화 특성

앞서의 실험들로부터 당밀 첨가량은 20wt%가 가장 좋은 결과들을 보였음을 알 수 있었다. 그러나 1차 년도 참나무의 경우 당밀만을 첨가한 경우 조립활성탄의 경도 특성이 입상활성탄의 KS규격을 만족시키지 못해 벤토나이트가 첨가되어야 했다. 참나무의 경우 벤토나이트가 첨가되므로 해서 경도 특성을 향상시킬 수 있었으며 그때의 벤토나이트 첨가량은 1.5wt% 정도였다. 이로 인해 앞서의 실험들이 벤토나이트 첨가량을 1.5wt%로 고정해서 실험이 진행되었던 것이다.

본 절에서는 잣나무의 탄화시료를 대상으로 벤토나이트 첨가량을 0wt%, 1wt%, 1.5wt%, 5wt% 첨가했을 경우의 조립활성탄의 특성을 입상활성탄 KS규격과 비교함으

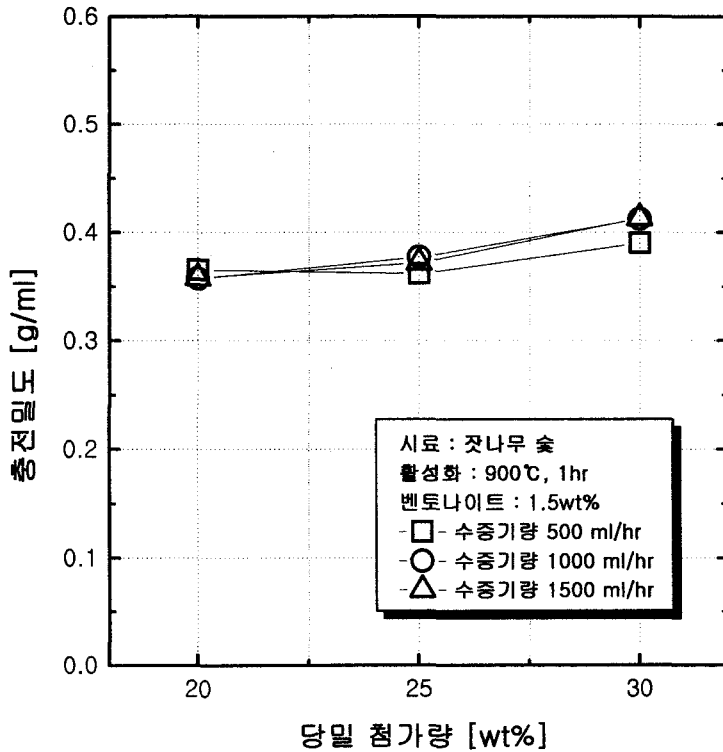


그림 3-52. 당밀과 수증기 함량에 따른 충전밀도 변화(활성화 온도 900℃)

로써 벤토나이트 첨가 여부를 결정하고자 하였다.

제 1 항 벤토나이트 함량에 따른 수율 특성

그림 3-53 ~ 그림 3-55은 당밀함량을 20wt% 고정하고 벤토나이트 함량을 0wt%, 1wt%, 1.5wt%, 5wt%로 하여 조립기에서 조립물을 제조한 후 활성화 온도 850℃, 900℃에서 1시간동안 활성화시킨 경우 수증기 투입량을 500ml, 1000ml, 1500ml로 변화시켜 제조한 조립활성탄의 수율 특성을 각각의 경우에 대해 나타낸 것이다.

그림 3-53 ~ 그림 3-55에 나타난 바와 같이 전반적으로 벤토나이트 첨가량이 증가할수록 수율이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 수증기량이 증가할수록, 또한 활성화 온도가 증가할수록 활성화가 이루어짐에 따라 수율이 증가하는 경향을 보인다. 그러나 앞서 설명한 바와 같이 수율 특성만을 갖고 활성화 조건을 결정하는 것은 의미가 없고 조립활성탄의 특성들과 연관되어야 한다.

제 2 항 벤토나이트 함량에 따른 요오드 흡착력 특성

그림 3-56 ~ 그림 3-58은 벤토나이트 첨가량을 0wt%, 1wt%, 1.5wt%, 5wt%로 하고 당밀 함량을 20wt%로 고정한 후 조립물을 제조하여 활성화온도 850℃, 900℃에서 1시간동안 수증기량을 500ml, 1000ml, 1500ml로 투입한 경우에 제조된 조립활성탄의 요오드 흡착력을 나타낸 것이다.

그림 3-56 ~ 그림 3-58에 나타난 바와 같이 벤토나이트 첨가량 1wt%, 1.5wt% 경우 수증기량에 약간의 차이는 있으나 다른 벤토나이트 첨가량보다 좋은 요오드 흡착력을 보이고 있다. 그러나 수증기량 500ml인 경우는 입상활성탄 KS규격의 2급조건인 900g/ml보다 낮은 요오드 흡착성능을 보이고 있고 수증기량 1500ml/hr인 경우는 좋은 요오드 흡착력을 보이고 있으나 수율이 너무 낮은 문제점을 보이고 있어 수증기

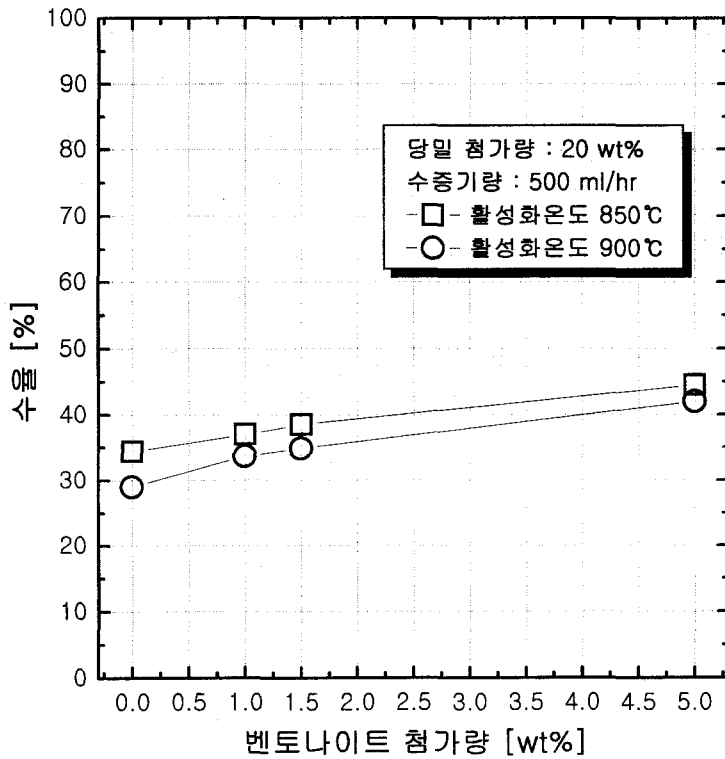


그림 3-53. 벤토나이트 첨가량에 따른 수율변화(수증기 함량 500ml/hr)

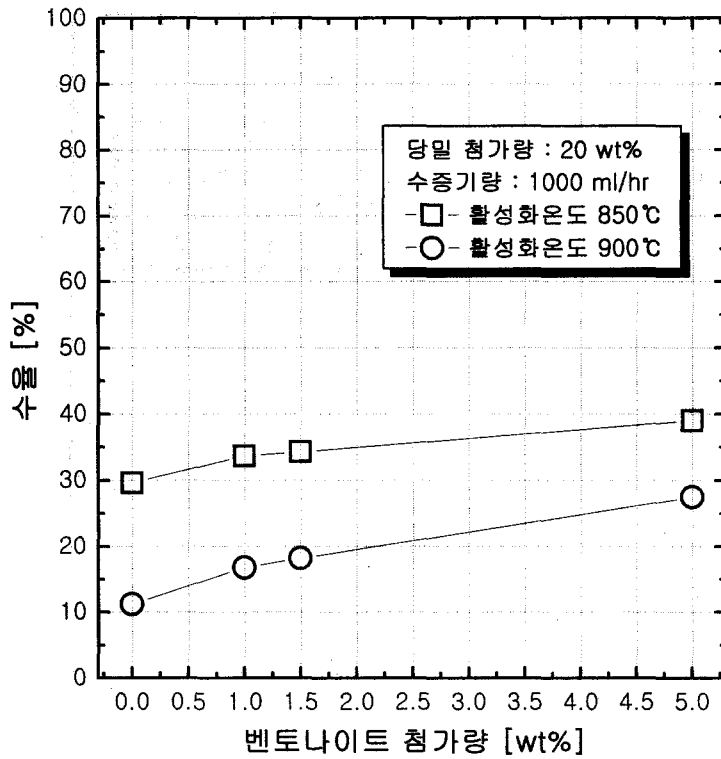


그림 3-54. 벤토나이트 첨가량에 따른 수율변화(수증기 함량 1000ml/hr)

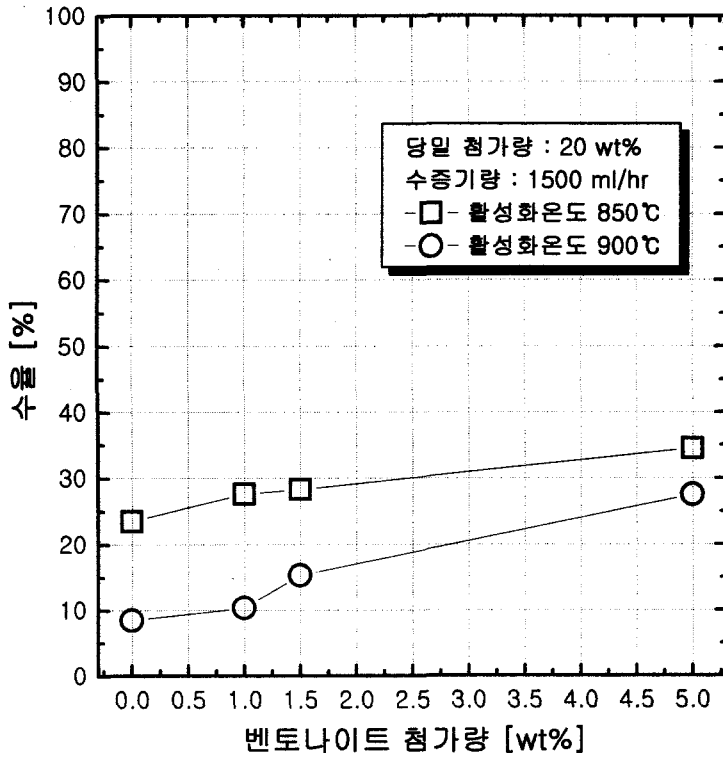


그림 3-55. 벤토나이트 첨가량에 따른 수율변화(수증기 함량 1500ml/hr)

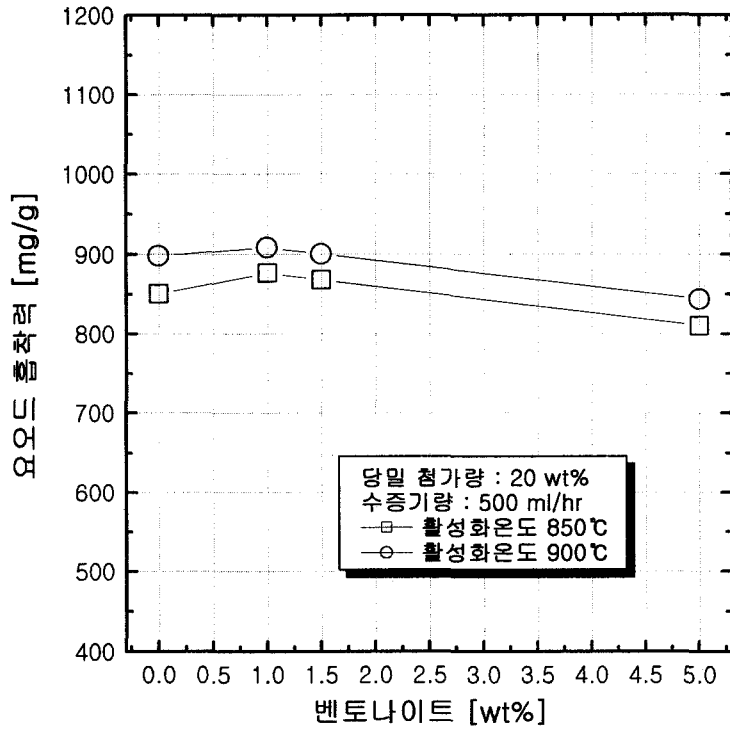


그림 3-56. 벤토나이트 첨가량에 따른 요오드 흡착력 변화(수증기 함량 500ml/hr)

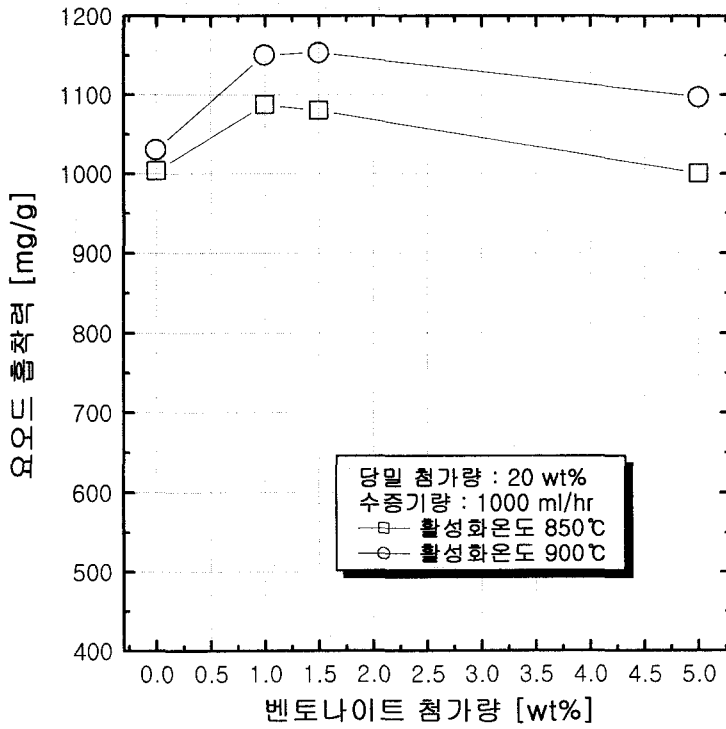


그림 3-57. 벤토나이트 첨가량에 따른 요오드 흡착력 변화 (수증기 함량 1000ml/hr)

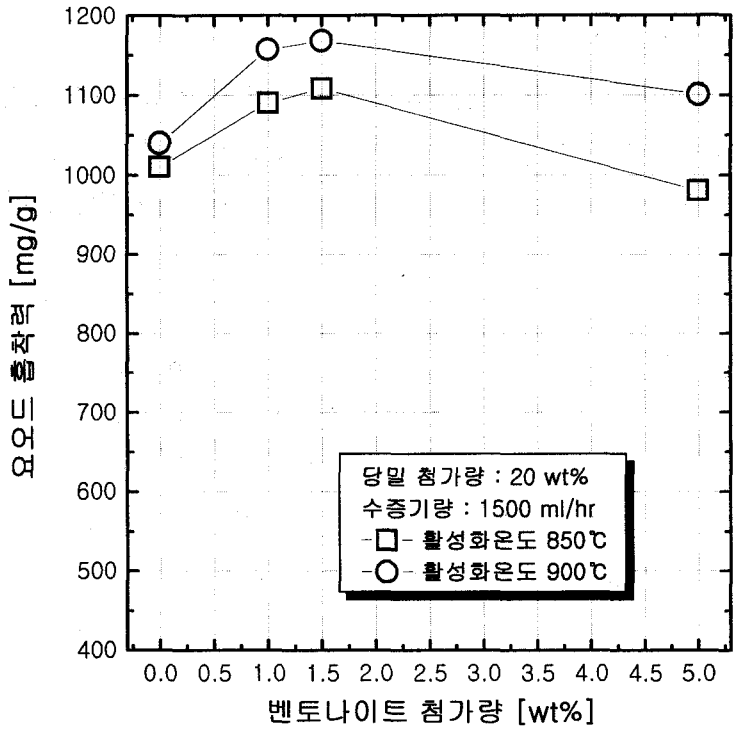


그림 3-58. 벤토나이트 첨가량에 따른 요오드 흡착력 변화 (수증기 함량 1500ml/hr)

량 1000ml/hr가 적절한 것으로 나타나 앞서의 결과들과 일치한다. 또한 벤토나이트 첨가량 5wt%이상은 다시 감소하는 경향을 보여 벤토나이트 첨가량은 1wt%~1.5wt%면 적절한 것으로 사료된다.

제 3 항 벤토나이트 함량에 따른 경도 특성

그림 3-59 ~ 그림 3-61은 당밀 함량을 20wt%로 하고 벤토나이트 함량을 0wt%, 1wt%, 1.5wt%, 5wt%로 하여 활성화 조건 850℃, 900℃에서 1시간 동안 수증기 투입량을 각각 500ml, 1000ml, 1500ml인 경우에 하여 제조된 조립활성탄의 경도 특성을 나타낸 것이다.

그림 3-59 ~ 그림 3-61에 나타난 바와 같이 벤토나이트를 첨가하지 않고 당밀만을 점결제로 첨가한 경우는 수증기량에 관계없이 경도가 입상활성탄 KS규격인 90%보다 훨씬 밀도는 경도 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 이것은 경도 특성을 강화하기 위해 또 다른 첨가제가 들어가야 함을 의미하며 본 연구에서는 벤토나이트를 첨가한 바 그림 3-59 ~ 그림 3-61에서 알 수 있듯이 벤토나이트 첨가량 1wt% 이상이면 충분히 조립활성탄의 경우를 유지할 수 있음을 알 수 있다.

제 4 항 벤토나이트 함량에 따른 충전 밀도 특성

그림 3-62 ~ 그림 3-64는 당밀 함량을 20wt%로 하고 벤토나이트 함량을 0wt%, 1wt%, 1.5wt%, 5wt%로 하여 조립물을 성형한 후 수증기 투입량을 각각 500ml, 1000ml, 1500ml인 경우에 활성화 온도 850℃, 900℃에서 1시간동안 활성화하여 제조한 조립활성탄의 충전밀도를 나타낸 것이다.

그림 3-63 ~ 그림 3-64에 나타난 바와 같이 수증기량에 관계없이 충전밀도가 0.4g/ml 이하를 나타내고 있어 입상활성탄 KS규격 0.48g/ml이하를 모두 만족하고 있

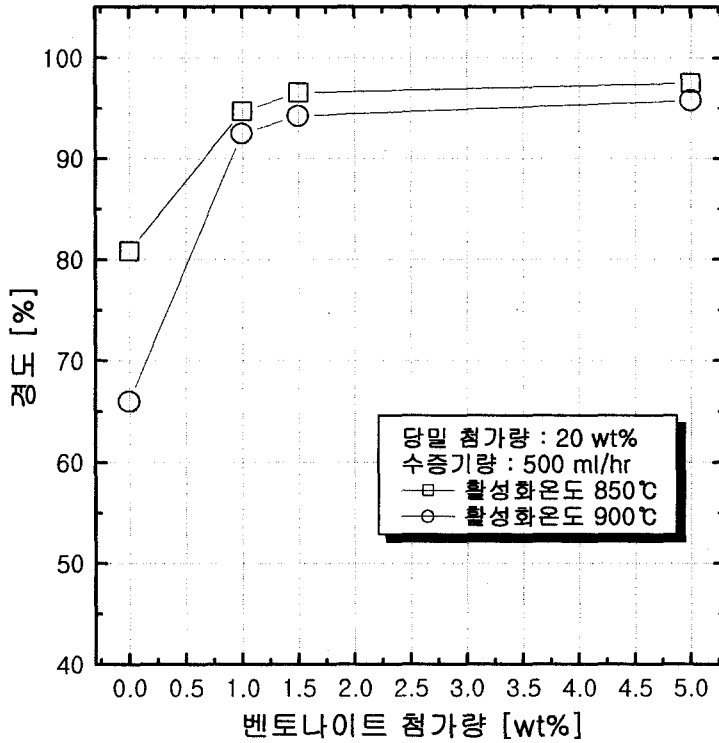


그림 3-59. 벤토나이트 첨가량에 따른 경도 변화(수증기 함량 500ml/hr)

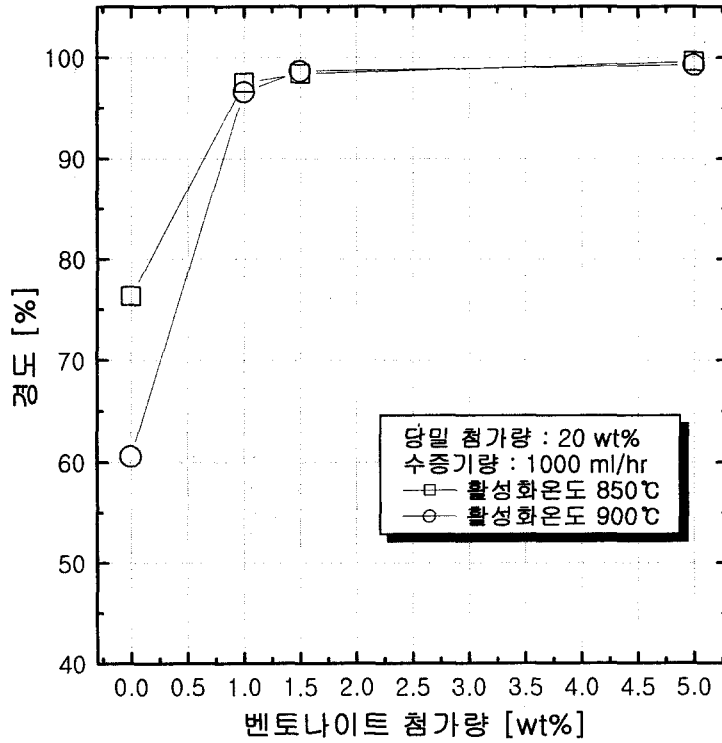


그림 3-60. 벤토나이트 첨가량에 따른 경도 변화(수증기 함량 1000ml/hr)

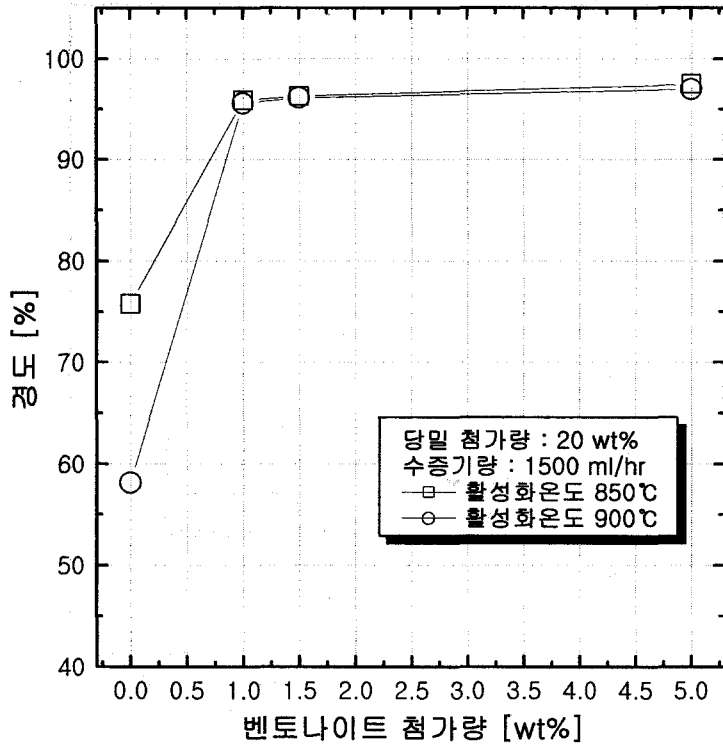


그림 3-61. 벤토나이트 첨가량에 따른 경도 변화(수증기 함량 1500ml/hr)

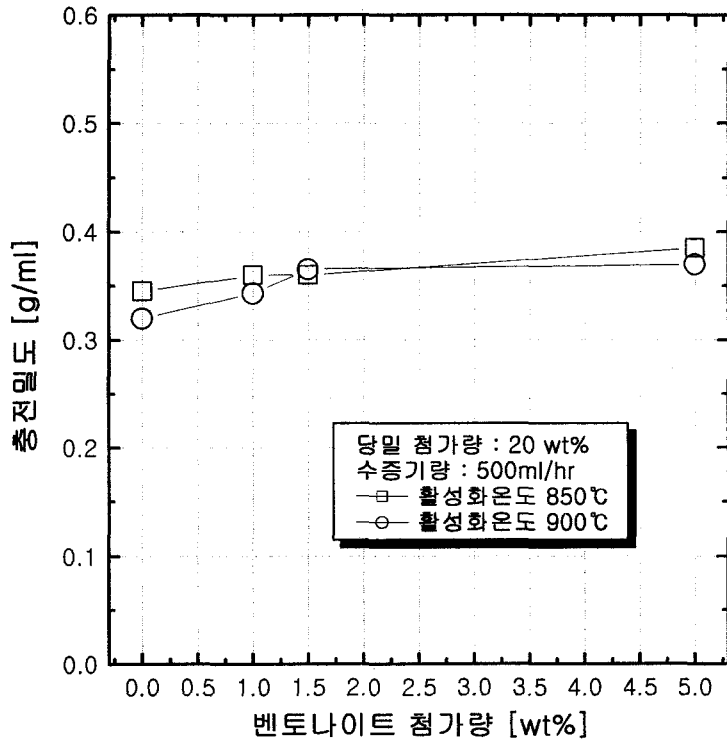


그림 3-62. 벤토나이트 첨가량에 따른 총진밀도 변화(수증기 함량 500ml/hr)

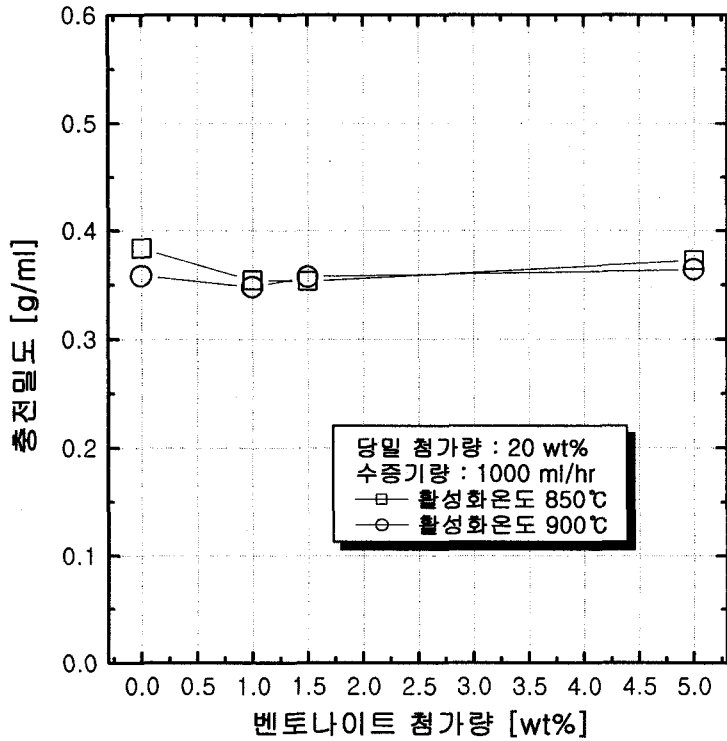


그림 3-63. 벤토나이트 첨가량에 따른 총전밀도 변화(수증기 함량 1000ml/hr)

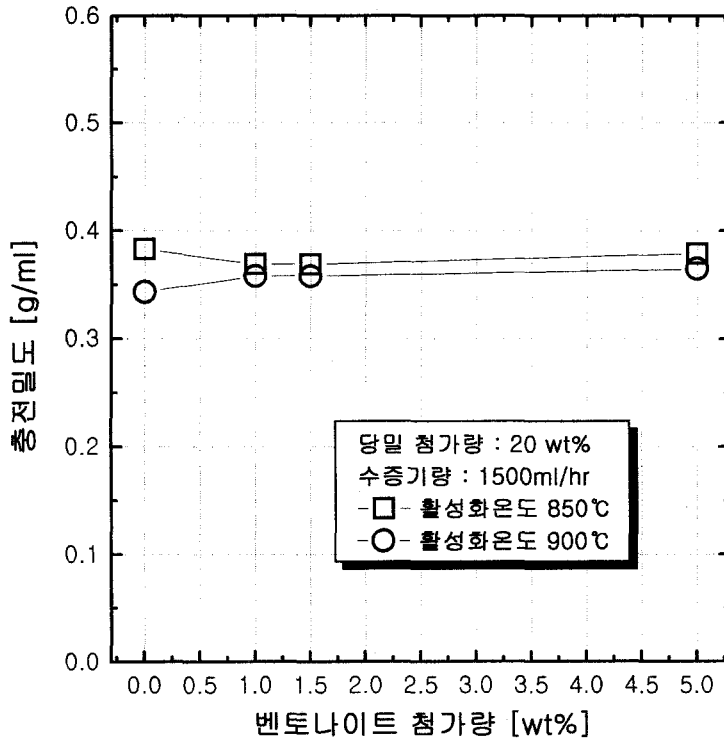


그림 3-64. 벤토나이트 첨가량에 따른 총전밀도 변화(수증기 함량 1500ml/hr)

음을 알 수 있다. 또한 벤토나이트와 수증기 첨가에 따라서 충전밀도의 변화는 거의 없는 것으로 나타나 벤토나이트와 수증기의 함량은 충전밀도에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 이러한 결과는 일반적인 조립활성탄이 그러하듯이 잣나무를 이용한 조립활성탄의 경우도 충전밀도가 문제점으로 야기되지는 않을 것으로 보인다.

제 5 항 제조된 조립활성탄의 수율과 요오드흡착력 상호관계

앞서 실험에서 제조된 조립활성탄의 여러 가지 특성 중 경도나 충전밀도는 점결제의 함량, 활성화 온도 및 수증기 투입량에는 거의 영향을 받지 않고 입상활성탄 KS 규격 1급을 만족하고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 요오드흡착력이나 수율의 경우에는 점결제의 함량, 수증기 투입량, 활성화 온도에 많은 영향을 받고 있기 때문에 이들의 상호 관계를 확인함으로써 정확한 조립활성탄의 제조조건을 찾고자 하였다.

그림 3-65와 그림 3-66는 당밀함량 20wt%에서 활성화 온도 850℃, 900℃ 및 수증기 투입량 500ml, 1000ml, 1500ml로 하여 벤토나이트 함량을 달리하여 제조한 조립활성탄의 수율과 요오드흡착력의 상호관계를 나타낸 것으로 비교적 양호한 수율을 갖고 요오드흡착성능 KS규격 1급인 1100mg/g과 2급인 1000mg/g을 만족시키고 있는 활성화 온도 850℃에서 수증기량을 1000ml~1500ml로 했을 경우가 잣나무 조립활성탄의 적절한 활성화 조건임을 알 수 있으며 이때의 벤토나이트함량을 1~1.5wt%임을 확인할 수 있다. 또한 활성화 900℃인 경우에도 활성화 온도 850℃보다 비교적 낮은 수율을 나타내고는 있으나 이 조건 역시 잣나무 조립활성탄의 활성화 조건으로 충분히 사용될 수 있음을 보여주고 있다.

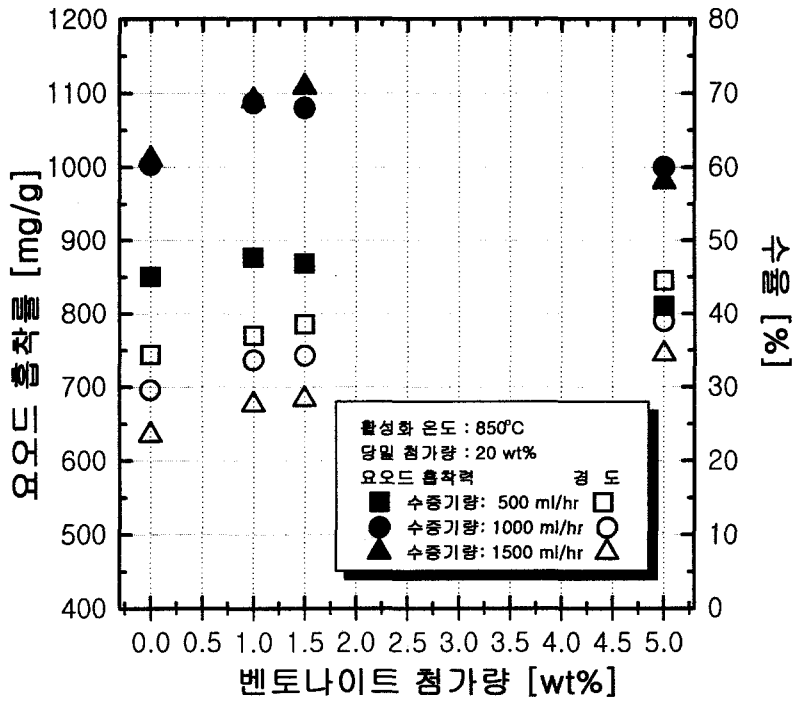


그림 3-65. 당밀 20wt%에서 벤토나이트 함량 및 수증기 투입량에 따른 수율과 요오드 흡착력의 상호관계 (활성화 온도 850°C)

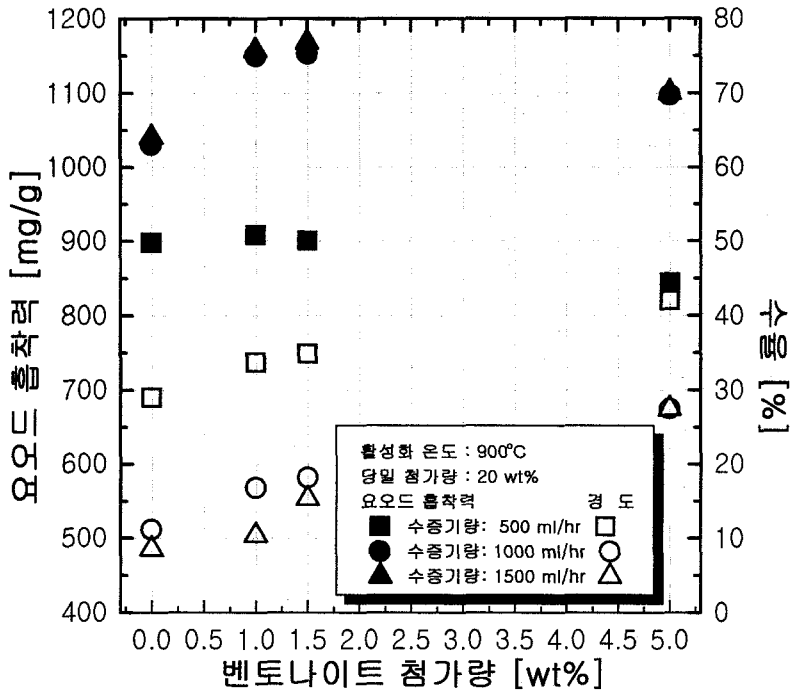


그림 3-66. 당밀 20wt%에서 벤토나이트 함량 및 수증기 투입량에 따른 수율과 요오드 흡착력의 상호관계 (활성화 온도 900°C)

제 6 항 제조된 조립활성탄의 표면특성

그림 3-67 ~ 그림 3-70는 여러 가지 활성화 조건에서 제조된 조립 활성탄의 전자현미경 사진을 나타낸 것이다. 전자현미경 그림에 나타난 바와 같이 여러 가지 조건에 따라 큰 차이를 발견 할 수는 없었지만 그림에 나타난 바와 같이 벤토나이트를 첨가하지 않은 경우와 첨가한 경우 약간 상이한 표면상태를 보이고 있음을 알 수 있다.

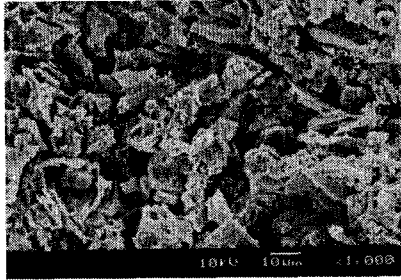
제 7 항 제조된 조립활성탄의 비표면적 특성 및 세공분포

그림 3-71 ~ 그림 3-72는 당밀함량 20wt%, 벤토나이트 첨가량 1.5wt%, 활성화온도 850℃에서 수증기 투입량을1000ml/hr로 활성화시켜 제조된 조립활성탄의 비표면적특성 및 세공분포 특성을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 일반 활성탄의 특성들이 나타났듯이 미세공이 큰 기공에 비해 매우 발달이 있음을 확인할 수 있고 이때 미세공 기준이 20Å이하의 미세공이 차지하는 비율이 80% 이상을 차지함을 알 수 있다. 이때의 BET surface area는 900m²/g이상으로 실제 현장에서 사용 가능한 특성을 보인다고 할 수 있다. 이는 앞서 실험에서 나타났던 요오드 흡착력 특성들과 잘 일치하는 결과임을 알 수 있다.

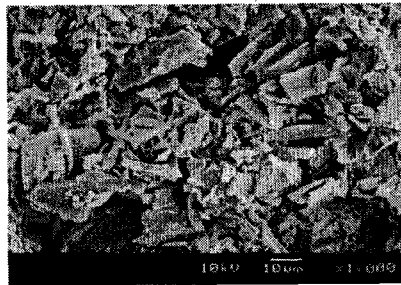
이상의 실험들로부터 제조된 조립활성탄의 특성들이 본 연구가 목표하는 결과를 나타내고 있어 충분히 상업화의 가능성을 지니고 있음을 알 수 있다.

제 11 절 참나무와 잣나무 조립활성탄의 제조 특성

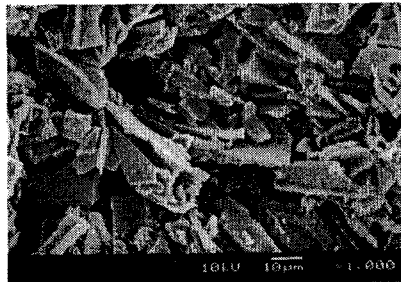
참나무를 원료로 했던 1차 연도와 잣나무를 원료로한 2차 년도의 연구결과를 표 3-2에 요약하였다. 표 3-1에서 알 수 있듯이 조립공정 및 활성화공정의 적정조건을



(a) 당밀 첨가량 20 wt%



(b) 당밀 첨가량 25 wt%

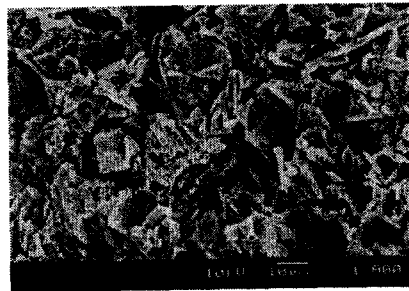


(c) 당밀 첨가량 30 wt%

그림 3-67. 조립활성탄 전자현미경사진
(벤토나이트 첨가량 1.5 wt%, 수증기량 500 ml, 활성화온도 850 °C)



(a) 당밀 첨가량 20 wt%

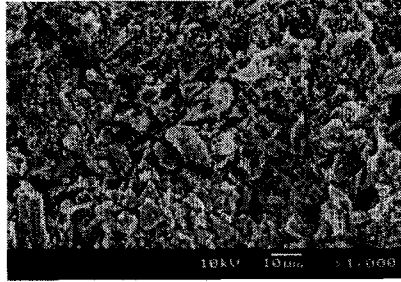


(b) 당밀 첨가량 25 wt%

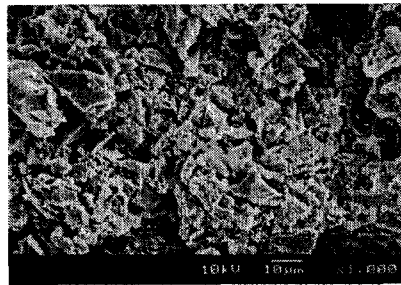


(c) 당밀 첨가량 30 wt%

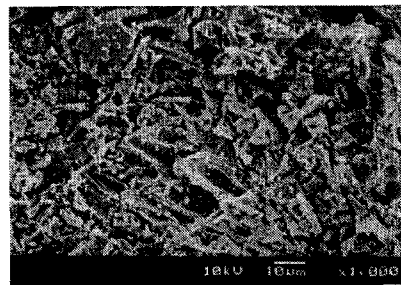
그림 3-68. 조립활성탄 전자현미경사진
(벤토나이트의 첨가량 1.5 wt%, 수증기량 1000 ml, 활성화온도 850 °C)



(a) 당밀 첨가량 20 wt%

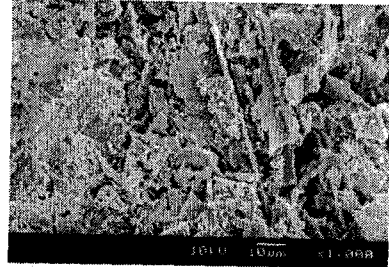


(b) 당밀 첨가량 25 wt%

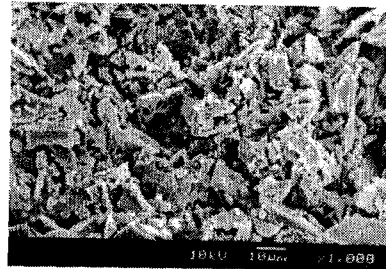
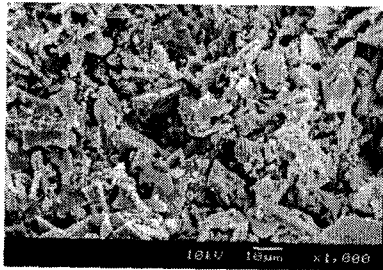


(c) 당밀 첨가량 30 wt%

그림 3-69. 조립활성탄 전자현미경사진
(벤토나이트의 첨가량 1.5 wt%, 수증기량 1500 ml, 활성화온도 850 °C)



벤토나이트의 첨가량 0 wt%
 (a) 활성화 온도 850°C (b) 활성화 온도 900°C



벤토나이트의 첨가량 1.5 wt%
 (c) 활성화 온도 850°C (d) 활성화 온도 900°C

그림 3-70. 조립활성탄 전자현미경사진
 (당밀의 첨가량 20 wt%, 수증기량 1000 ml)

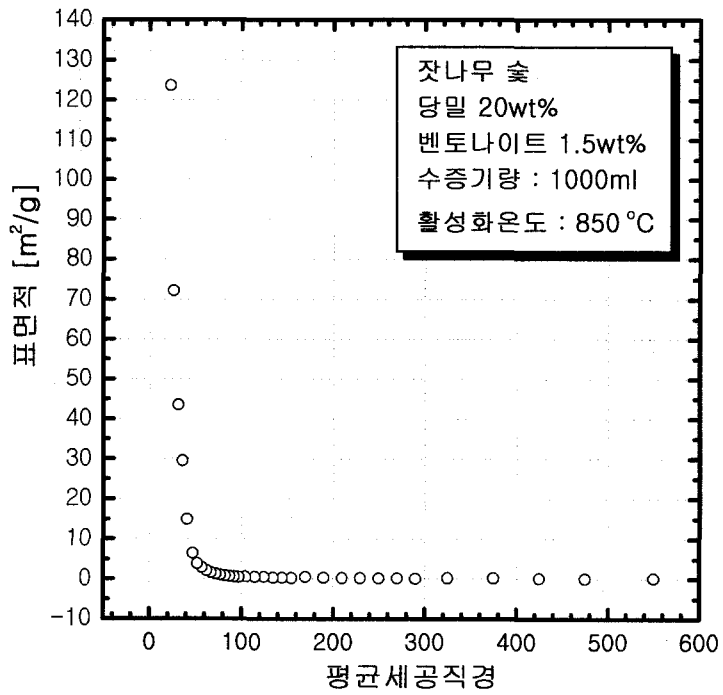


그림 3-71. 제조된 조립활성탄의 표면적

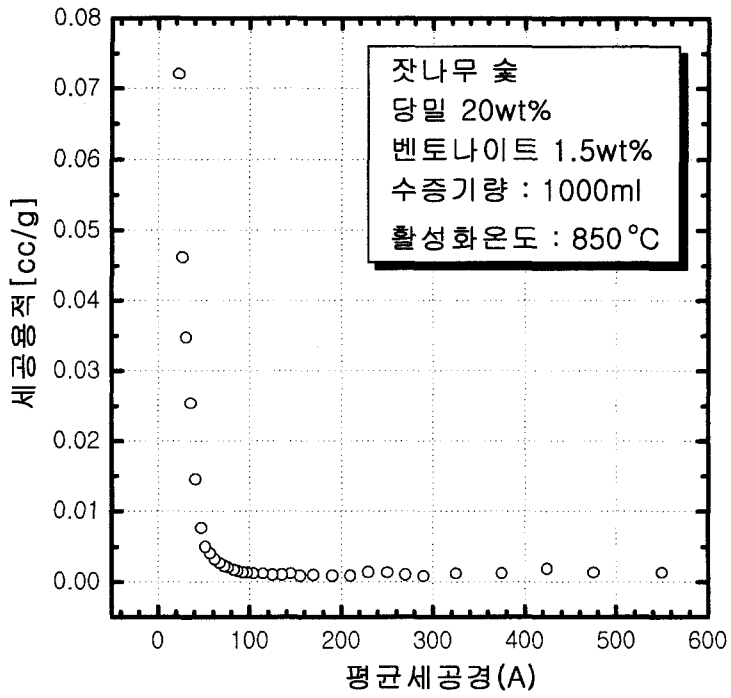


그림 3-72. 제조된 조립활성탄의 세공용적

비교할 때 조금 차이가 있음을 알 수 있다. 이것은 참나무와 잣나무 자체 물성특성 등에서 비롯되는 결과라고 할 수 있다. 그리고 제조된 조립활성탄의 특성들은 본 연구에서 목표로 했던 입상활성탄의 KS규격 2급 내지 1급 이상을 충분히 제조할 수 있음을 알 수 있다. 특히 경도 및 충전밀도의 특성은 어떤 활성화제조 조건에서도 입상활성탄 KS규격을 만족할 수 있었고 요오드흡착 특성은 활성화 조건에 따라 조금의 차이는 있으나 충분히 입상활성탄 KS규격 2급인 1000mg/g이상의 조립활성탄을 제조할 수 있음을 알 수 있다. 그리고 표 3-2에서 볼 수 있듯이 참나무의 경우가 잣나무에 비해 수율 및 요오드 흡착력 특성에서 보다 나은 특성을 보이고 있으나 잣나무의 경우도 거의 유사한 특성을 보임을 알 수 있다.

표 3-2. 참나무와 잣나무의 조립활성탄 제조 특성 비교

적정 조건		참나무	잣나무	비 고
조립 공정	당밀 첨가량	25~30wt%	20~25wt%	-
	벤토나이트 첨가량	1.5~2.5wt%	1~1.5wt%	-
활성화 공정	활성화 온도	900℃	850℃	-
	활성화 시간	1시간	1시간	-
	수증기투입량	1000ml	1000ml~1500ml	-
제조된 조립활성탄 특성		참나무	잣나무	KS 규격
수 율		35~48wt%	28~35%	-
요오드흡착력		1015~1131mg/g	908~1110mg/g	1급
경 도		95% 이상	95% 이상	1급
충 전 밀 도		0.32~0.34g/ml	0.34~0.41g/ml	1급

따라서 본 연구의 목적인 폐벌목을 이용하여 고부가가치의 조립활성탄을 제조할 수 있음을 알 수 있고 충분히 상업화의 가능성을 확인 할 수 있었다. 이에 대해 상업화를 위해 제조된 조립활성탄이 제품으로서 기능을 위해 표면처리 연구, 성능향상 연구, 사용처들을 고려한 특성연구 등의 진행이 필요하다고 사료되며 또한 pilot plant개념의 연구가 진행되어야 한다고 판단된다.

제 12 절 결론

참나무와 잣나무를 원료로 한 조립공정 및 활성화공정의 적정조건은 원료의 자체 물성 특성들에 의하여 다소 차이가 난다. 제조된 각각의 조립활성탄의 특성들은 본 연구에서 목표로 했던 입상활성탄의 KS규격 2급 내지 1급 이상을 충분히 제조할 수 있음을 알 수 있었다. 특히 경도 및 충전밀도의 특성은 어떤 활성화제조 조건에서도 입상활성탄 KS규격을 만족할 수 있었고 요오드흡착 특성은 활성화 조건에 따라 조금의 차이는 있으나 충분히 입상활성탄 KS규격 2급인 1,000mg/g이상의 조립활성탄을 제조할 수 있음을 알 수 있었다. 참나무의 경우가 잣나무에 비해 수율 및 요오드 흡착력 특성에서 보다 나은 특성을 보였다.

본 연구의 목적과 같이 폐벌목을 이용하여 고부가가치의 조립활성탄을 제조할 수 있음을 알 수 있었으며, 충분히 상업화의 가능성을 확인할 수 있었다. 이에 대해 상업화를 위해 제조된 조립활성탄이 제품으로서 기능을 위해, 표면처리 연구, 성능향상 연구, 용도에 따른 특성연구 등의 필요성이 요구되었다.

제 4 장 활성탄 생산공정 개발 및 운전 평가

제 1 절 탄화로 연계공정의 개발

우리나라의 목탄생산은 광복 이후 산림이 황폐화와 산업화 이후 급격히 감소하였다. 현재 우리 나라에서 대표적으로 목탄을 생산하고 있는 곳으로는 경기도와 강원도 등이 있으나, 상당 부분 중국이나 동남아시아, 일본 등으로부터의 수입에 의존하고 있다.

목탄의 전통적인 생산방식은 재질이 단단한 갈참나무, 굴참나무와 같은 참나무가 사용해서 만든다. 참나무류로 만든 숯을 참숯이라고 하는데, 이는 흑탄과 백탄으로 분류된다.

목탄을 만드는 방법은 우선 숯가마 안에 나무의 밑둥치가 위로 오게 세워 가득 채운 후, 입구를 황토로 막는다. 위쪽까지 불길이 닿도록 가마 안에 만든 아궁이에 불을 넣으면 나무는 위에서 아래로 타내려 온다. 다 타고나면 끄집어 내어 모래로 질식소화 시킨 후 박스에 넣는다. 가마 안에서 나무가 충분히 탔는지 알려면 연기 색깔을 보면 알 수 있다고 한다. 처음에는 뿌연 연기가 나다가 푸른 연기가 나면 다 된 것이다.

이러한 전통적인 목탄 제조방법은 장치의 특성상 원료의 공급이 용이한 산림지역에 설치가 되지만, 이 또한 제품 생산단가에 대한 원료 수송비의 부담이 가중되고 있는 실정이다. 따라서 원료를 따라 이동이 용이한 목탄제조장치(탄화로)의 제작이 요구되어진다.

목재를 태우면 25~30% 정도의 숯이 생산되며, 25%의 목초(木酢)가 부수적으로 얻어진다. 목초액이 농업에 처음으로 이용된 것은 1970년대 일본에서 였는데, 유기

농법 자재로 인기가 있으며 지금은 수질개선, 악취제거, 의약품 등에 널리 쓰이고 있다. 목초는 식물이 합성시킨 생명에너지로써 특히 미네랄의 밸런스가 잘 잡혀있고, 각종 필수 원소를 많이 포함하고 있어 물에 희석하면 식물체나 동물에 잘 흡수된다. 강력한 원 적외선을 발산하고 있으며 음이온을 가지고 있어서 독소의 제거, 미생물상의 개선 등에도 탁월한 효과가 있다.

본 연구의 세부과제인 “탄화로 제작 및 자동화시스템 개발”에서 제작한 실험실적 이동형 탄화로는 탄화부는 베이스 위에 강판과 단열재로 구성되어 외부로의 열손실을 방지하고 있으며, 원자재를 탄화시킬 수 있는 공간을 형성하고 있다. 탄화부의 외형은 직사각형으로 제작되었으며, 탄화장치의 초기 탄화분위기 조절을 위해 탄화부 내부에는 연소수단 및 온도조절수단이 설치된다. 먼저, 연소수단은 열원으로 열선을 사용하여 탄화부의 상부, 후면부와 양측면부 4곳에 설치하였으며, 전원으로 3상의 220V의 39KW를 공급할 수 있도록 하였다.

원료의 공급과 생산된 목탄의 분리가 용이하도록 문은 개폐식으로 설치하였으며, 완전 밀폐 가능하고 열원의 외부 유출을 막기 위해 강판과 단열재를 조합하여 제작하였다. 한편, 온도조절수단은 탄화부 하단부에 설치된 온도계와, 탄화부에서 유출되는 배출가스의 양을 수동 조절할 수 있는 댐퍼로 구성되어 탄화부에서 유출되는 가스의 온도를 측정하고, 이 측정된 온도를 기준으로 하여 댐퍼에서 유출되는 배출가스의 양을 수동 조절하여 탄화부의 자체 탄화분위기를 유지한다.

탄화부에서 원료의 탄화시 발생하는 배가스는 서스(SUS)로 제작된 가스처리부로 유입되어 완전 연소되며, 가스처리부는 목초액제조부 및 2차 연소실을 포함한다.

목초액 제조부는 탄화부에서 유입되는 가스를 냉각수에 의해 일부는 응축시켜 목초액으로 변환시키고, 응축되지 않은 가스는 2차 연소실로 유입시킨다. 이를 위한 목초액 제조부는 응축관로 상에 냉각수 유입구와 냉각수 유출구가 마련되고, 응축관로 내부에는 다수의 가스관이 배열되며, 응축관로 하부에는 열교환으로 응축된 응축액(목초액)이 자중에 의해 가스관 아래로 적하되는 것을 채집할 수 있도록 강판과

목초액 배출구가 설치되어 있다. 강판은 적하된 목초액이 배출구를 통해 배출이 용이하도록 기울기가 약 20° 가 되도록 강판을 설치하였다.

따라서, 탄화부에서 유입된 가스는 가스관으로 유입되고, 응축 관로는 냉각수 유입구에서 유입되는 냉각수가 가스관을 통과하는 가스와 열교환이 이루어진 후 냉각수 유출구로 유출된다. 가스관 내부의 가스는 냉각수와의 열교환으로 응축되어 응축액(목초액)이 되며, 목초액은 가스관 아래로 적하된다. 적하된 목초액은 기울어진 강판에 의해 목초액 배출구로 배출된다.

목초액 제조부를 통과한 가스는 2차 연소실로 유입되고, 유입된 가스중의 미연소된 성분은 공급되는 열에 의하여 완전연소하여 CO₂와 H₂O 가스로 배출하도록 하였다.

이를 위해 2차 연소실은 2차 연소통과 배기통으로 구분되어 있으며, 열원으로 전원 공급부에서 공급되는 전원에 의해 열원을 공급할 수 있는 열선을 구비하였다.

전원 공급이 용이하지 않은 지역에서 이용하기 위하여 차후에 제작되는 2차 연소실의 내부에 버너를 구비할 필요가 있다.

2차 연소시 필요한 공기량의 조절을 위하여 2차 연소실의 하단부에 공기조절밸브를 설치하여 배출가스의 완전연소를 용이하도록 하였으며, 2차 연소실에 열원의 공급여부를 제어하기 위해 배기통에 온도계가 설치되어 있다. 따라서, 외부로 배출되는 가스의 온도가 온도계에 의해 측정되고, 이 온도가 기 설정된 온도보다 낮을 경우 전원에 의한 열원이 작동된다.

목초액 제조부와 2차 연소실은 지지대를 설치하여 가스처리부의 강도를 강화한다. 탄화부와 가스처리부의 하단에 보강된 베이스는 이동 및 운반시 탄화장치 전체를 지지한다.

탄화로에서 제조된 목탄(탄화물)은 포장되어 활성탄 제조 공정으로 이송시킨다.

제 2 절 실험실적 운전조건 확립

본 연구과제에서 개발된 탄화로의 최적탄화를 위한 건조시간 및 탄화시간을 결정하기 위하여 400℃에서 로내의 환원분위기를 위하여 질소가스 주입을 10ml/min ~ 100 ml/min 로 변화시켰고, 또 질소를 주입하지 않은 실제 상황과 유사한 조건에서 실험실적으로 수행하였다.

첫번째의 경우에 있어서는 시료 약 4g을 최적탄화 온도인 400℃에서 질소가스를 주입하였을 때 대부분이 로내에서 연소반응이 주로 발생하였다. 이는 공업용 질소가스의 순도가 낮아 로내로 계속된 산소의 공급이 문제였다고 생각되며, 또 전처리를 위하여 건조를 4시간 하였고, 건조시간을 30분에서 180분으로 하였을 때 건조과정에서 발생하는 휘발성분과 함께 산소가 로내로 배출이 안되었다고 판단된다. 따라서, 건조시간 및 탄화시간을 다르게 변화시키며 실험을 수행해야 할 필요성이 있다.

건조를 하지 않은 시료 약 4g을 최적탄화 온도인 400℃에서 질소가스를 주입하지 않고 건조시간을 1시간에서 3시간 까지 변경하였고, 탄화수율과 요오드 흡착량이 높은 탄화시간을 10분에서 30분까지 변경시킨 후, 요오드 흡착량 및 탄화수율을 측정하였다. 그리고, 로내에서 탄화되는 동안 약간의 부분적인 연소가 발생하기 때문에 목탄내에 다량의 유기물 및 무기물이 포함되어 있어, 요오드 흡착량과 탄화수율을 측정하기 전에 탄화물 속에 포함된 유기물 및 무기물을 3M-HCl을 가하고 100℃에서 2시간동안 끓여 산세척한 다음 증류수로 씻어 유기물 및 무기물을 용출시킨 후, 건조하여 요오드 흡착량과 수율을 측정하였다.

최적 탄화온도인 400℃에서 최적 탄화시간을 결정하기 위하여 건조시간을 1시간에서 3시간까지 변경하였고, 탄화시간을 10분에서 30분까지 변경하여 측정한 결과 수율은 건조시간이 2시간, 탄화시간이 20분에서 가장 높게 나왔고, 요오드 흡착량은 건조시간 3시간, 탄화시간 30분에서 374.8mg/g으로 가장 높게 나타났다.

표 4-1은 건조시간과 탄화시간에 따른 탄화수율 및 요오드 흡착량의 측정 결과를

보여주고 있다.

표 4-1. 건조시간과 탄화시간에 따른 탄화수율 및 요오드 흡착량 측정 결과

건조시간	탄화시간	세척후 시료무게(g)	수 율 (%)	요오드 흡착량(mg/g)
1시간	15분	0.9160	92	341
2시간	10분	1.0047	98	213
2시간	15분	1.3097	93	220
2시간	20분	0.7640	98	288
2시간	25분	1.4000	96	191
2시간	30분	0.6480	97	321
3시간	15분	0.5479	86	374

위 결과로부터, 3시간 건조와 15분 탄화에서 요오드 흡착량이 가장 높았지만, 수율이 낮기 때문에 부적합하고, 2시간 건조와 20분 탄화시 수율은 가장 높았지만 요오드 흡착량이 작다. 따라서, 건조시간 2시간 탄화시간 30분이 가장 적합하다고 판단되므로 탄화로 제작에 반영하였다.

제 3 절 생산수율의 향상

생산수율을 향상시키기 위하여 탄화로의 열원이 외부로 유출되는 것을 차단할 수 있는 단열재와 강판을 이용한 견고한 차단막의 제작이 선행되어야 하며, 탄화부에서 배출되는 온도에 따라 로내의 자체 탄화분위기를 유지할 수 있도록 수동으로 조작되고 있는 댐퍼를 자동제어가 가능하도록 제작하여야 한다. 또한 원료를 유입시킨 후

탄화로에서 건조, 탄화 및 냉각시간을 거친 후 제조된 목탄을 유출시키는 기존의 Batch형 탄화로를 원료의 유입, 건조 및 냉각과 생산된 제품의 유출이 연속적으로 진행될 수 있는 연속형 탄화로의 제작이 요구된다. 또한 전원의 공급이 용이하지 못한 지역에서의 열원 공급을 위하여 탄화로 내부와 2차 연소실에 가스 버너를 설치할 필요가 있다.

본 연구과제에 적용된 참나무와 잣나무 폐벌목은 그림 4-1에서와 같이 직경이 10cm 이상이 되는 것으로 탄화물(그림 4-2)은 초기의 폐벌목의 원형을 유지하므로 이동과 보관시 어려운 단점이 있다. 그러나 경기도 여주 산림조합에 설치된 그림 4-3의 칩 제조 장치에 의해 제조된 칩은 그림 4-4에서와 같이 가로와 세로가 각각 1~2cm 내외로 제조되어 탄화물이 그림 4-5와 같이 가로와 세로가 투입된 칩과 같이 각각 1~2cm 내외로 유지되어 탄화 수율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 제조된 목탄의 이동과 보관이 용이하다. 따라서 칩제조장치를 산림지역에 이동이 용이하게 소형으로 제작하여, 탄화로와 같이 연계시키면서 폐벌목을 작은 칩형태로 제조하여 공급함으로써 수율을 높일 수 있다.

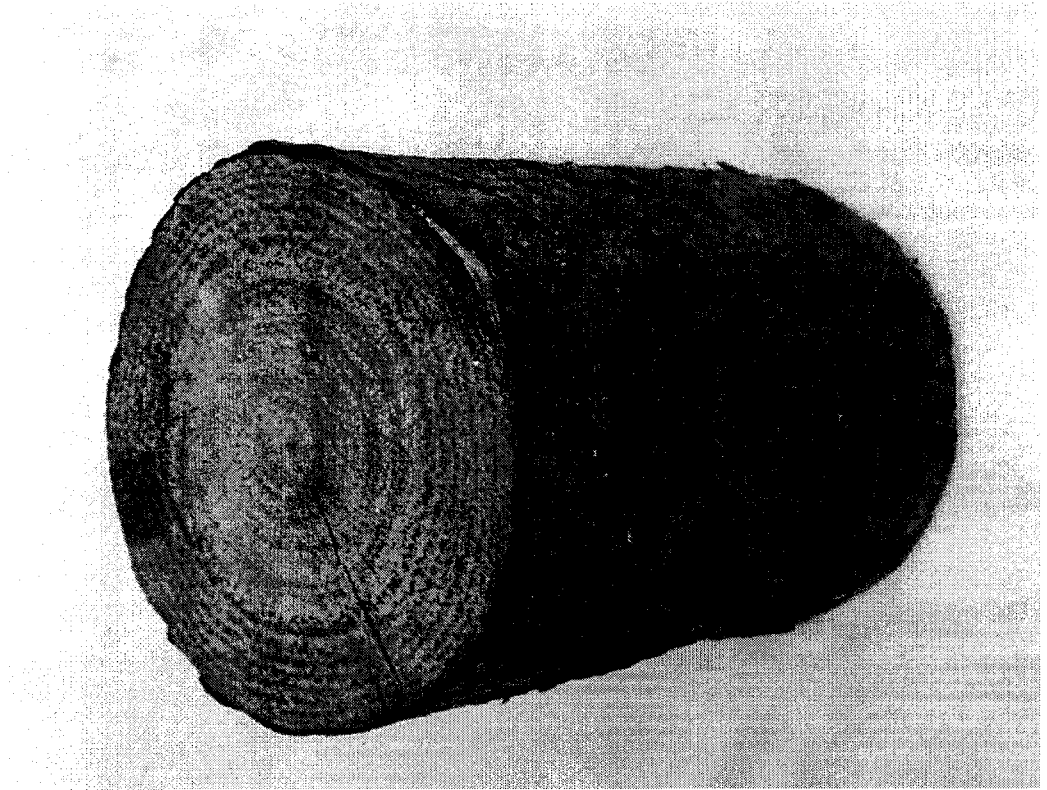


그림 4-1. 제작된 탄화로에 적용된 폐벌목

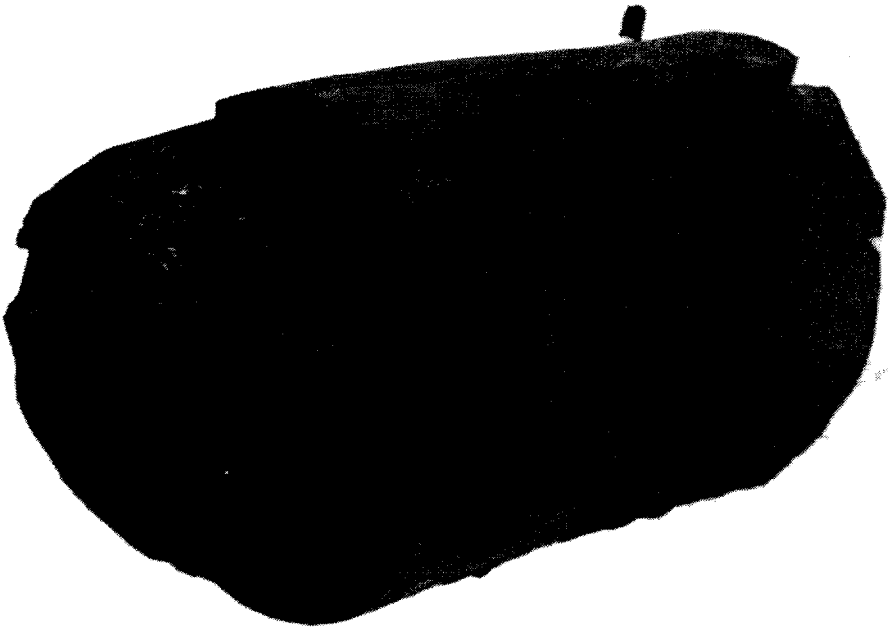


그림 4-2. 제작된 탄화로에서 탄화된 폐벌목

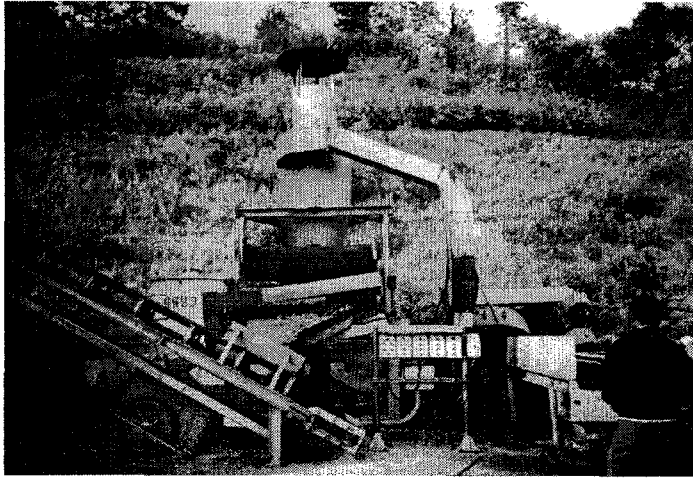


그림 4-3. 목탄 제조공장의 칩제조장치

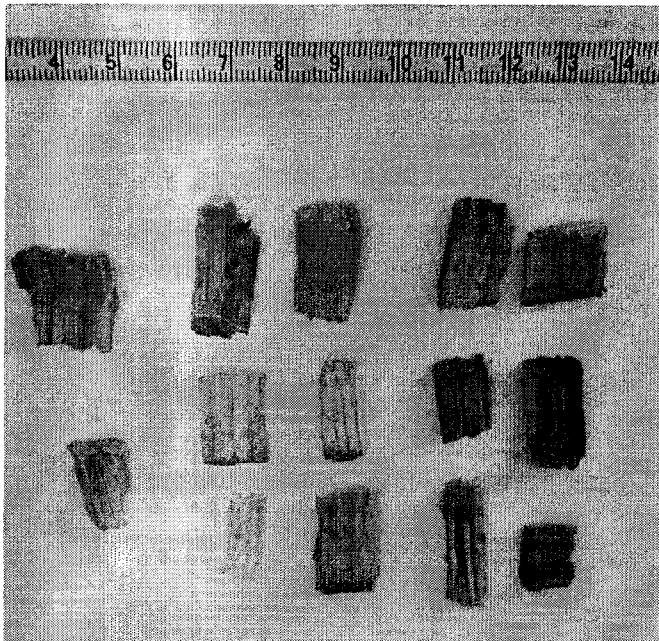


그림 4-4. 칩제조장치에 의해 만들어진 칩

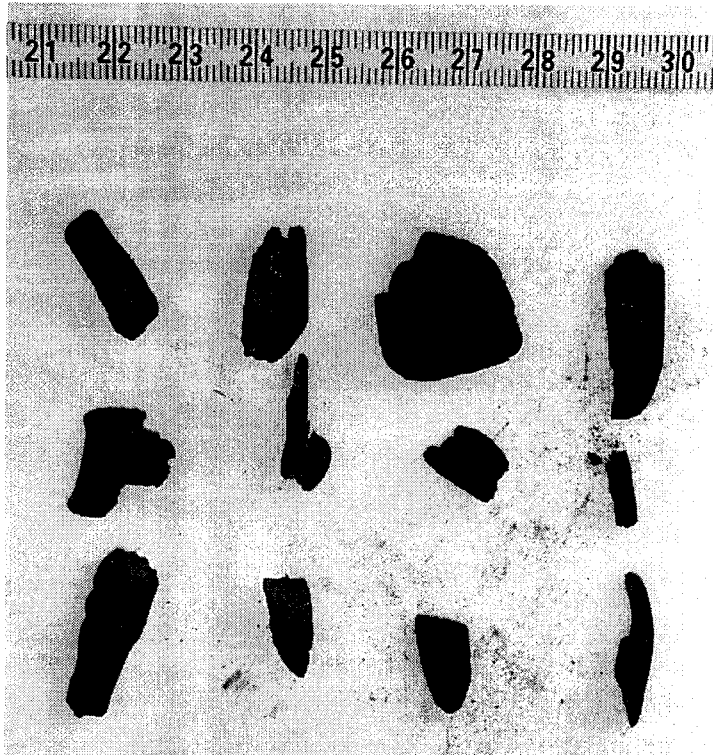


그림 4-5. 칩을 원료로 한 탄화물

제 4 절 기존시설의 가능성 평가

활성탄의 물리적 형상에 따라 제조되는 기존의 활성탄 제조 공정도는 그림 4-6, 7 및 8과 같다

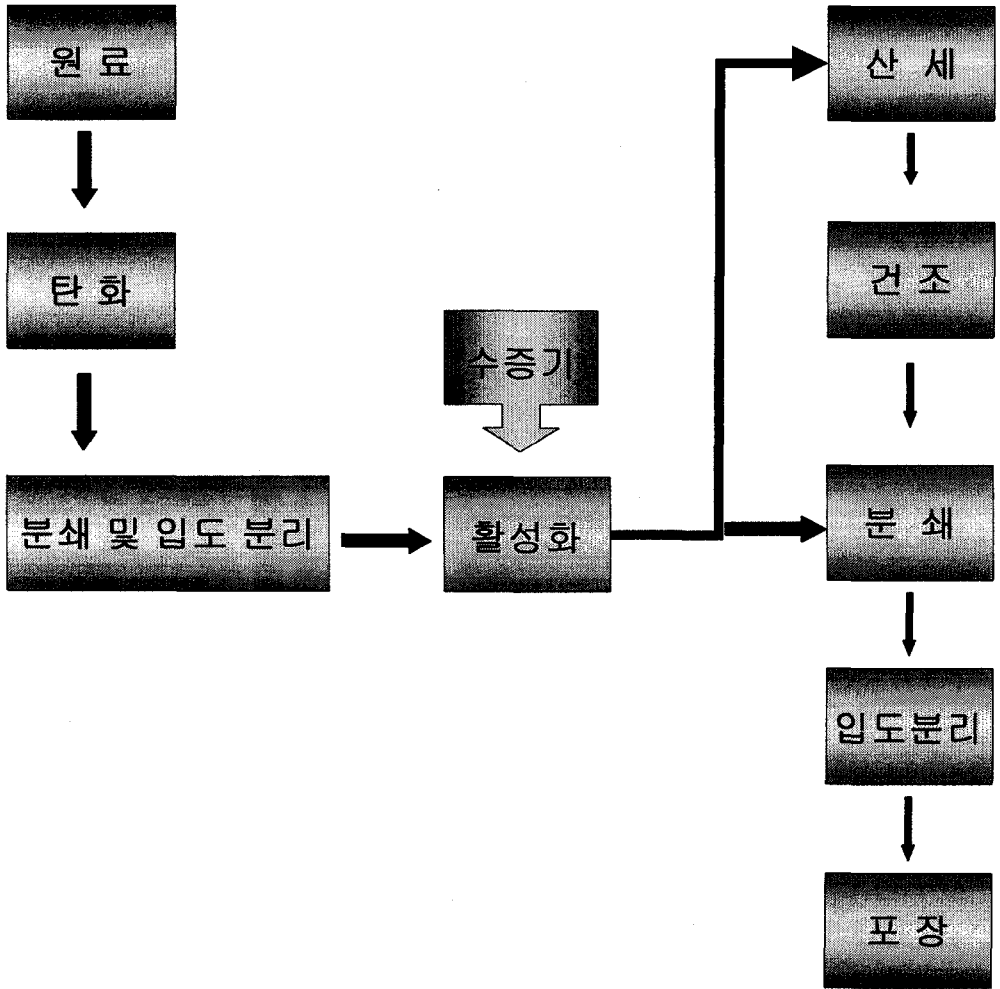


그림 4-6. 분말활성탄 제조공정.

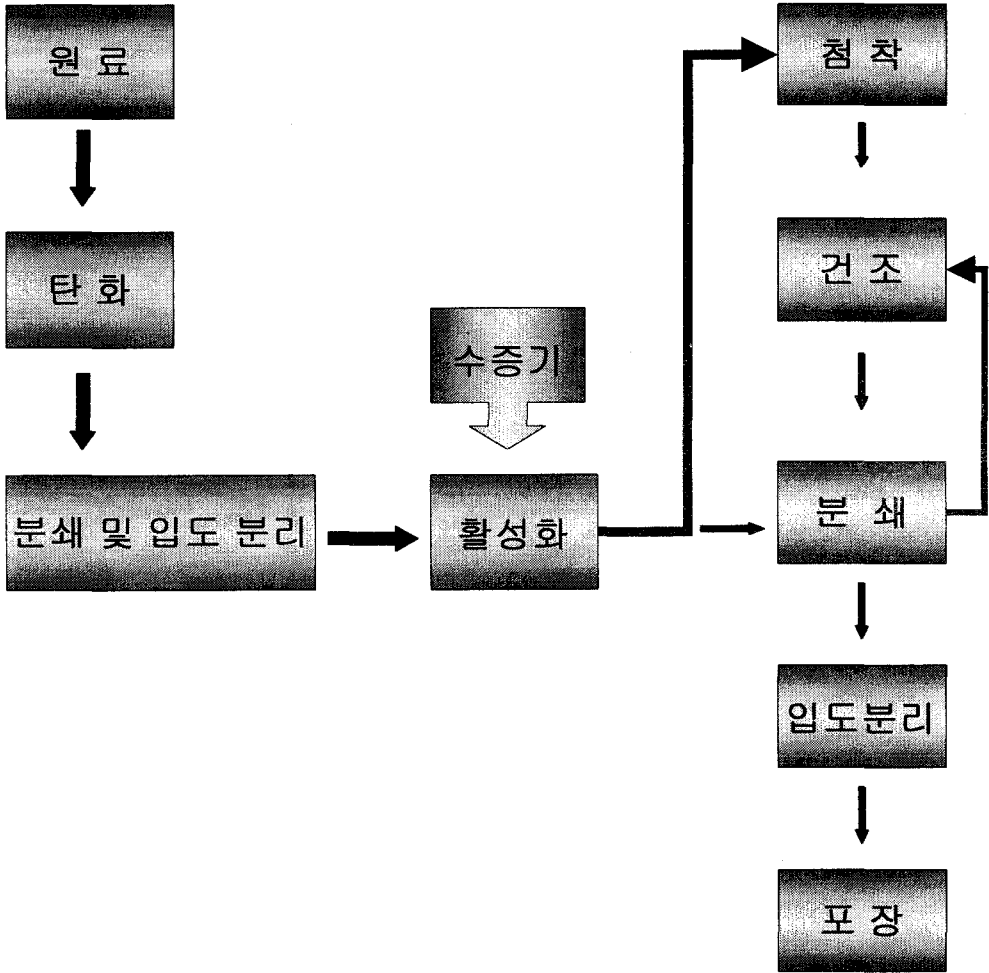


그림 4-7. 입상활성탄 제조과정.

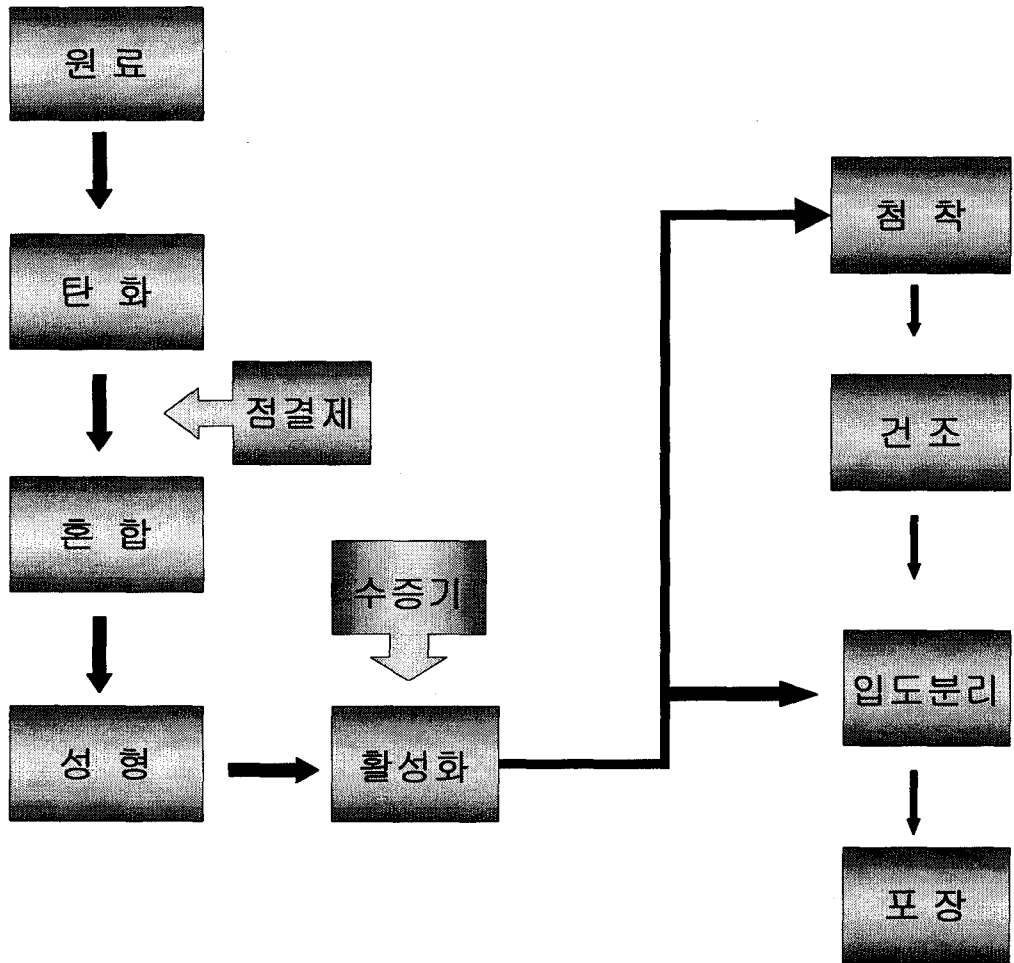


그림 4-8. 조립활성탄 제조과정.

활성탄 제조공정은 원료의 전처리, 탄화, 활성화 및 제품의 후처리로 나눌 수 있으며, 가장중요한 것은 탄화공정과 활성화공정이다.

탄화공정은 유기질 원료를 약 500℃ 정도로 가열하면 탈수, 탈산 등의 분해가 일어나서 표면 산소결합이 끊어지면서 표면 산소가 물, 일산화탄소, 이산화탄소 등의 형태로 방출되고 휘발분은 거의 제거되는 공정으로 고정탄소가 남게된다.

활성화공정은 800~1,000℃의 온도 범위에서 일어나는 탄소의 산화반응으로 탄화물의 표면을 침식시켜 탄화물의 미세공 구조를 발달시키는 공정이며 GAS(수증기, 이산화탄소, 공기 등 산화성 GAS) 활성화법과 약품(염화아연, 인산, 황산 등 각종 탈수성 무기 약품) 활성화법으로 구분되는데 가스 활성화법이 장치부식, 2차 환경오염 및 제조공정의 복잡성 등의 문제로 널리 사용되고 있다.

본 연구과제에 참여하고 있는 제일탄소산업은 분말활성탄과 입상활성탄을 제조하는 공정(그림 4-6, 그림4-7)을 보유하고 있어 제작된 탄화로를 현장용으로 적합하게 개선하여 제작할 경우, 여기에서 발생하는 탄화물을 활성화공정을 거친 후 분말 및 입상활성탄으로 제조가 가능하며, 또한 조립활성탄의 제조는 기존의 분말 및 입상활성탄 제조 공정을 변형시켜 활성화공정에 들어가기 전에 그림 4-8에서와 같이 탄화물과 점결제 혼합공정, 성형공정을 추가하여 제작이 가능할 것으로 사료된다. 그림 4-9는 실험실적으로 탄화물과 점결제를 혼합하여 성형한 후 활성화시킨 조립활성탄이다.

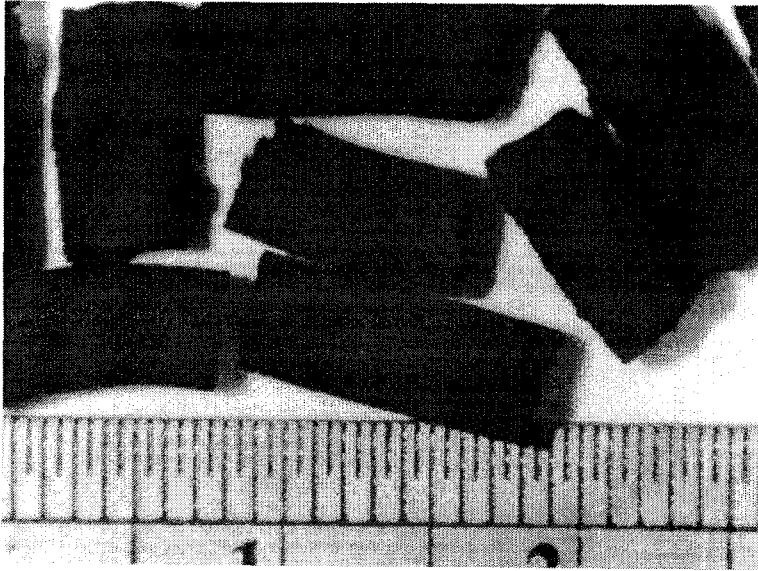


그림 4-9. 조립활성탄

제 5 절 개발기술의 현장평가

수집된 폐벌목 자원을 제작된 탄화로를 이용하여 목탄제조수율을 구하여 표 4-2에 나타내었다. 목탄의 탄화수율은 건조시간과 탄화시간에 따라 약 15~25 %의 수율을 보였으며, 이는 통상의 알려진 탄화수율보다 다소 낮게 나타났으나 이는 통상의 실험에 있어서 건조된 시료를 이용하여 탄화를 수행하여 다소 높은 탄화수율을 획득하였으나, 본 연구에서는 미건조된 시료를 건조단계를 거친 후 탄화를 수행하여 탄화수율이 다소 낮게 나타났다.

본 실험조건에서 건조온도 160℃, 건조시간 1시간, 탄화온도 500℃, 탄화시간 2시간에서 가장 효율적인 탄화수율을 획득하였다.

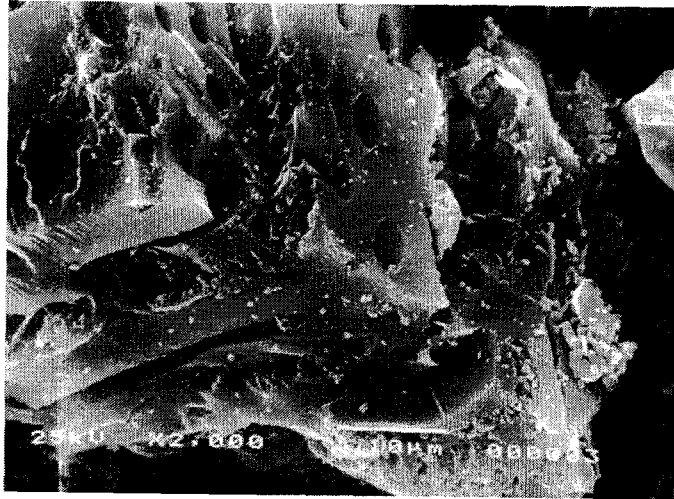
표 4-2. 제작된 탄화로의 탄화수율 및 요오드 흡착량 측정 결과

건조온도 (°C)	건조시간 (hr)	탄화온도 (°C)	탄화시간 (hr)	처음무게 (kg)	탄화후 무게 (kg)	수율(%)
160	1	460	5	10.7	2.1	19.6
160	4	460	3	19.26	4.4	22.8
160	8	460	3	10.6	2.2	20.7
160	8	500	5	13.6	1.95	14.3
120	3	500	2	10.55	2.7	25.6
150	3	500	2	10.1	2.5	24.8
180	3	500	2	10.25	2.6	25.4

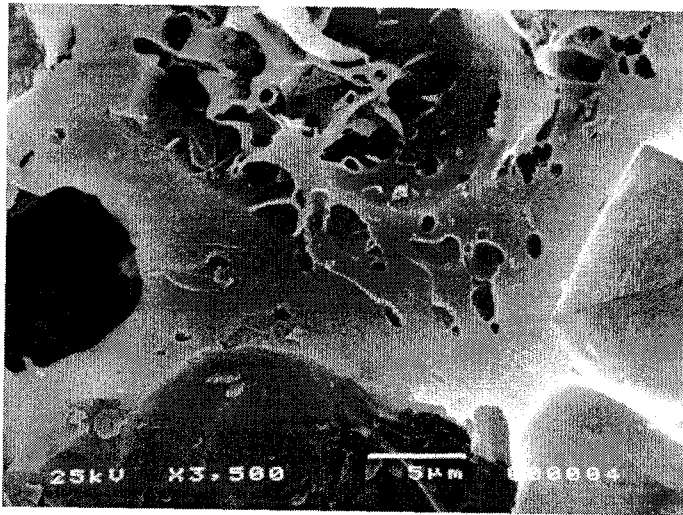
제 6 절 공정별 성분분석

탄화로에서 제조된 참나무와 잣나무의 탄화물의 표면특성은 그림 4-10의 전자현미경사진에서와 같이 미세한 기공이 다량 형성되었으며 수종별 차이는 미약하였다. 참나무 및 잣나무의 비표면적은 각각 $219\text{m}^2/\text{g}$ 및 $344\text{m}^2/\text{g}$ 이었다. 요오드 흡착량과 메틸렌블루 탈색력은 시중에 유통되는 목탄의 수준을 유지하였다.

그림 4-11은 참나무와 잣나무 탄화물과 당밀, 벤토나이트를 혼합하여 성형 후 활성화 시킨 조립활성탄의 전자현미경 사진이다. 그림에서와 같이 미세공이 잘 발달되어 있음을 확인할 수 있었고, 20\AA 이하의 미세공이 차지하는 비율은 80%이상을 나타내고 있다. 또한 이때의 BET surface area는 $950\text{m}^2/\text{g}$ 으로 확인되었고 이러한 결과는 앞서의 같은 조건에서의 요오드 흡착성능 $1095\text{mg}/\text{g}$ 와 잘 일치하는 결과이다.

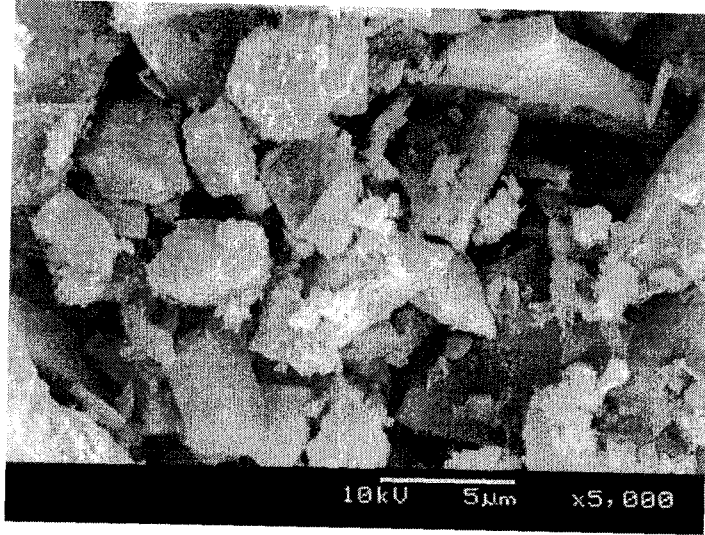


잣나무

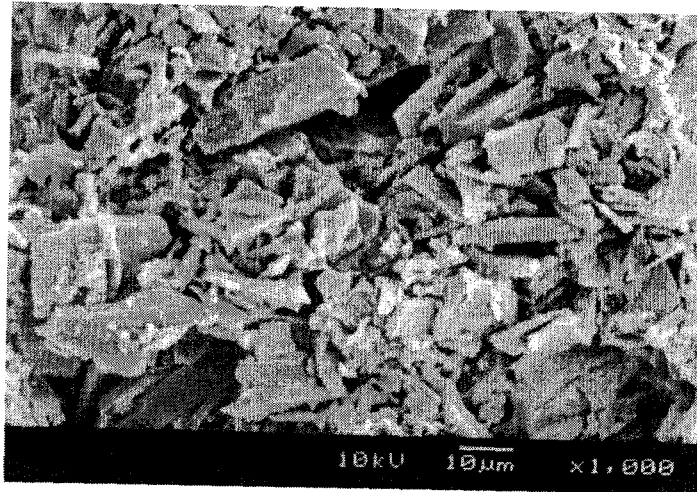


참나무

그림 4-10. 목탄의 전자현미경사진



참나무



잣나무

그림 4-11, 조립활성탄의 전자현미경 사진.

이상의 실험들로부터 제조된 탄화물과 조립활성탄의 특성들이 본 연구가 목표하는 결과를 나타내고 있어 충분히 상업화의 가능성을 지니고 있음을 알 수 있다.

제 7 절 활성탄 생산의 타당성 분석

네들란드의 노리트사는 세계 최대규모를 자랑하는 활성탄업체로 유럽 중심으로 전개해온 사업을 전세계적으로 넓히기 위해 1차적으로 북미에서 영국 ICI사의 미국공장과 프랑스 아토캠의 미국 플랜트와 재생공장을 사들이는 등 적극적으로 사업을 확대해 왔다. 북미에서 사업체제를 구축한 노리트사는 이어 아시아지역으로 진출할 예정이다.

현재 국내의 활성탄 수요량은 연간 약 2만여 톤에 달하며 주로 식품, 의약공업 및 수처리에 사용되고 있다. 국내에서는 현재 원자재의 원가 상승으로 인하여 자체생산은 하지 못하고 중국 등의 저가 활성탄을 생산하는 나라에서 전량 수입하여 용도에 맞게 후처리 공정만을 거친 후 판매하고 있는 실정이다.

약간의 기상용 활성탄을 국내 생산하여 공급하고 있기는 하지만 그 수량은 미미한 정도이다. 활성탄의 수요 중 특히 정, 폐수처리에의 이용은 가장 절실히 요구되는 분야로 그 수요가 급격히 증가하고 있다. 그러나 국내에서는 대부분 수입 액상용 활성탄(석탄원료)에 전적으로 의지하고 있으며, 공급량 중 많은 부분을 처리 능력이 매우 떨어지는 활성탄으로 대치하고 있는 실정이다. 현재 국내에서 목재나 야자각을 원료로 생산한 활성탄의 최대 수요처는 정수장 및 공기정화 시설이다. 국내의 활성탄 수요는 1998년 기준으로 연간 23,450톤에 이르며 이중 활성탄의 원료인 야자각은 8,930톤에 해당하는 것으로 알려졌으나, 최근 국내 업계의 자료에 의하면 야자각만 연간 33,000톤 수입되는 것으로 파악되었다. 활성화되지 않고 탄화만된 야자각은 32만원/톤으로서 총 106억원의 순수 원료비를 해외에 지불하고 있으나 이의 가격과 수

요는 상승 추세에 있다. 활성탄을 16개국으로부터 13.7백만\$ 가량 수입하고 있었다.

1994년도 활성탄 시장이 1998년도에는 1.62배 성장 하였으며, 이중 야자각을 원료로 한 활성탄은 1998년도에 39%(8,930톤/23,180톤)이다. 1992년 기준한 13.7백만\$을 연평균 10% 성장률로 가정한 1994년도 가격은 16.5백만\$이다. 따라서 1994년도 대비한 활성탄 시장 성장의 1.62배를 감안하여 1998년도 가격으로 환산하면,

$$16.5\text{백만}\$ \times 1.62 = 26.7\text{백만}\$$$

이중에 39%가 야자각을 원료로 하는 활성탄임을 감안한다면, 1998년도 현재의 야자각 만을 원료로 하는 활성탄의 시장규모는 146억원이다 :

$$(26.7\text{백만}\$) \times (39\%) \times (1400\text{원}/\$) = 146\text{억원}$$

146억원중 일부는 국내 업체가 탄화한 야자각을 외국에서 수입하여 국내에서 활성화하여 판매한 경우도 포함될 수 있다. 그러나 대부분 해외에서 수입하여 쓰고 있다고 가정할 때, 전술한 야자각 원료비 106억원 및 야자각을 원료로 하는 활성탄 국내 생산에 따른 146억원 등, 총 252억원의 수입대체 효과를 창출할 수 있다. 따라서 국내에 산재한 폐벌목을 활성탄의 원료로 활용할 경우에, 활성탄 제품으로 환산하여 최소한 연간 200억원 이상의 수입대체 효과가 예상된다.

현재 산지에서 발생하는 폐벌목의 경우 간벌재가 주종을 이루고 있는데 이의 용도는 극히 제한되기 때문에 간벌재를 활성탄과 같은 고부가 가치재로 활용할 수 있는 새로운 용도 개발이 무엇보다 시급한 현실이다.

더욱이 현재 활성탄이 식물계의 원료로 사용되고 있는 호두껍질 등 과실종자탄, 과실각탄은 말할 나위도 없거니와 비교적 많은 물량이 공급가능한 야자각 조차도 대량 활성탄 생산이 요구되는 미래의 원료로 부족할 것으로 예상되므로 충분한 원료공급

이 가능한 목재가 가장 바람직한 미래의 원료로 부각되고 있다. 국내의 경우 분말활성탄을 몇 개의 회사에서 제조하고 있으나 그 원료는 전량 수입에 의존하고 있으며, 조립활성탄의 경우는 완제품을 수입하고 있는 실정으로서 그 기술력이 선진국에 비해 현저히 떨어지고 있는 것이 실정이다.

폐벌목을 이용한 고부가 가치의 활성탄 산업화 기술개발을 국내 부존의 활성탄 생산기술을 확립하고 국내 활성탄 산업을 촉진하며, 나아가 활성탄 원부자재의 해외 의존도 탈피를 이룩할 수 있다.

제 8 절 결론

활성탄 생산공정은 원료의 전처리, 탄화, 활성화 및 제품의 후처리로 나눌 수 있으며, 가장 중요한 것은 탄화공정과 활성화공정이다. 본 연구과제에서 제작된 탄화로는 Batch형으로 현장에 폐벌목이 발생하는 산림에 이동하여 목탄생산에 적용시키는데는 문제가 없었으나, 생산수율을 높이기 위하여 연속공정에 대한 기술개발이 추가적으로 요구되었다. 또한 조립활성탄을 생산하기 위해서는 실험실적 생산규모에 대한 scale up이 요구되었다. 또한 참여기업인 제일탄소산업은 분말활성탄과 입상활성탄을 제조하는 공정을 보유하고 있으므로 제작된 탄화로를 현장용으로 적합하게 개선하여 목탄을 제조할 경우, 여기에서 발생하는 목탄을 활성화공정을 거친 후, 분말 및 입상활성탄으로 제조가 가능하며, 또한 조립활성탄의 생산을 위해서는 기존의 분말 및 입상활성탄 제조 공정에, 본 연구를 통하여 특허출원한 바와 같이 탄화물과 점결제 혼합공정, 성형공정을 추가함으로써 양산이 가능할 것으로 추정되었다.

제 5 장 활성탄 수요 조사 및 판매촉진 방안 수립

제 1 절 수입 및 제조 현황조사

난방용이나 활성탄 제조원료로 사용되던 톱밥이 1990년대로 들어서면서 축산농가와 유기질 비료용으로 주용도가 전환되면서 원료가격의 상승, 제조업체간의 과다 경쟁, 3D업종으로 종업원 구인난 및 영세성으로 인해 채산성이 악화되어 적자생산으로 가동을 포기하는 실정이다.

활성탄 제조업체는 자체생산이 어려워짐에 따라 중국, 인도네시아, 필리핀등에서 수입하여 사용업체의 용도에 맞게 수처리 공정을 거친 후 판매하고 있다.

활성탄 수입량도 수요처의 다양화와 환경오염 및 환경규제 강화로 해마다 증가하고 있는 실정이다.

1997년도의 활성탄 수입현황은 수입량이 14,000톤에 250억원 정도이며, 수입량중 50%정도가 저가의 중국제품으로 활성탄 제조업체에서 대부분 수입한 것이며, 고가의 일본, 미국제품은 국내 대리점을 통해 수입되어 그대로 수요처에 판매되고 있다.

표 5-1. 년도별 수입현황

구 분 \ 년 도	단 위	1997	1998 (1. 1 ~ 7. 31)
수 량	kg	13,583,633	5,414,021
금 액	US \$	19,998,596	8,406,705
	천원	25,993,592	10,926,300

표 5-2. 1997년도 활성탄 수입현황

수입국	수량 (kg)	단가		금액	
		US\$/톤	천원/톤	US\$	천원
캐나다	399,988	341.7	444	136,675	177,594
중국	7,136,960	577.1	750	4,118,739	5,352,720
독일	37,544	4,800	6,240	180,211	234,274
프랑스	250,197	3,299.3	4,289	825,474	1,073,094
영국	352,600	3,107.7	4,040	1,095,775	1,424,504
홍콩	1,200	3,191.7	4,149	3,830	4,978
인도네시아	1,684,400	849.9	1,104	1,346,581	1,749,177
일본	1,709,036	4,125.5	5,363	7,050,628	9,165,560
스리랑카	224,000	1,240.7	1,612	277,916	361,088
말레이시아	60,700	1,053.0	1,368	63,917	83,037
네덜란드	249,538	3,357.9	4,365	837,923	1,089,233
대만	787	5,202.0	6,762	4,093	5,321
미국	1,156,683	2,959.6	3,843	3,419,848	4,445,132
필리핀	416,000	1,529.6	1,988	636,313	827,008
기타	4,000	168.3	218	673	872
계	13,683,633			19,998,596	25,993,592

표 5-3. 1998년 수입현황

(기간 : 1998. 01. 01 ~ 1998. 07. 31)

수입국	수량 (kg)	단가		금액	
		US\$/톤	천원/톤	US\$	천원
캐나다	5,899	4,926.1	6,403	29,059	37,771
중국	2,467,605	488.6	635	1,205,671	1,566,929
독일	2,778	13,393.5	17,411	37,207	48,367
프랑스	319,449	3,728.6	4,847	1,191,097	1,548,369
영국	111,900	2,495.0	3,243	279,190	362,891
인도네시아	685,150	621.4	807	425,752	552,916
일본	956,999	3,472.3	4,513	3,322,987	4,318,916
스리랑카	38,000	1,042.9	1,335	39,630	51,490
말레이시아	187,050	753.3	979	140,904	183,121
네덜란드	105,565	2,687.7	3,494	283,727	368,844
필리핀	131,015	1,257.0	1,634	164,685	214,078
태국	35,467	2,076.4	2,699	73,643	95,725
미국	367,144	3,304.3	4,295	1,213,153	1,576,883
계	5,414,021			8,406,705	10,926,300

국내 활성탄 생산업체는 10여개 업체로 연간 총 생산능력은 20,000톤 정도이며 입상활성탄이 14,000톤이며, 분말활성탄이 7,000톤 정도이다.

활성탄은 톱밥, 목탄, coal등을 원료로한 분말활성탄과, 야자각, coal등을 원료로한 입상활성탄같은 기초적인 활성탄 제조기술을 보유하고 있으며, 원료는 거의 대부분 수입에 의존하고 있다.

이로 인해 제조업체들이 일부 수요에만 과다경쟁으로 부가 가치성이 없는 제품을 생산, 판매할 뿐 제품연구개발에 소홀한 실정이며, 현재 활성탄 제조업체의 설비도 대부분 모방 설계하는 수준이다. 생산기술도 외국에서 활성탄의 주원료를 수입하므로 인해 품질이 불균일하고 기술축적이 안되기 때문에 선진국 제품에 비해 질이 상당히 떨어지고, 고가의 침착활성탄, 조립활성탄, 섬유상활성탄은 국내에서 제조가 불가능하여 전량 수입하고 있다.

표 5-4. 생산업체별 생산능력 현황

(단위 : 톤)

구 분	입 상	분 말	합 계	비 고
(주) 삼 천 리	5,000	500	5,500	
제일산업개발	500	1,500	2,500	
유니온 카본	1,200		1,200	
신 기 화 학	1,500	1,500	3,000	
신 광 화 학	500	1,500	2,000	
우 성 테 크		1,500	1,500	
(주) 한 일	2,500		2,500	
기 타	2,800	500	3,300	
합 계	14,000	7,000	21,500	

제 2 절 상하수 처리장 사용 실태 분석

지난 30여 년간 환경을 고려하지 않은 급속한 경제개발은 인구의 도시집중과 개발 사업으로 상수원의 오염을 가중시켜, 하천수를 정수 처리한 수돗물을 먹는 물로 공급하고 있다

우리 나라에서도 1996년 현재 먹는물의 83.6%를 수돗물로 공급하고 있으며 1인당 1일 급수 량은 1997년 기준으로 409ℓ에 달한다.

표 5-5. 우리 나라의 먹는물 공급현황

구 분 종 류	시설수(개소)	급수량(만톤/일)	급수인구(만명)	급수율(%)
계			4,643	100
정 수 장	618	1,588	3,882	83.6
전용상수도	447		24.6	0.5
간이상수도	25,687		338.8	7.2
기 타			397.6	8.7

수돗물은 하천수 등을 원수로 하여 여러 가지 물리적, 화학적, 생물학적 처리방법을 이용하여 정수 처리한 것이며, 상수원수의 수질에 따라 그 정수처리 방법도 달라진다.

우리 나라의 경우 상수원수의 수질이 1급수인 경우는 급수시설용량의 8.4%에 불과하며, 전체급수 시설용량의 89.2%는 2급수이하로 일반정수처리 또는 고도의 정수처리를 하여야 한다.

상수원의 수질이 2급수이하가 되면 여과만으로는 고도의 정수처리를 할 수 가 없으므로 활성탄등의 약품을 투입하여 정수처리를 하여야 한다.

1990년대 이후 매년 발생하는 수돗물 오염사고로 인해 활성탄 사용량이 1996년도까지 크게 증가하다가, 1997년도 이후 원수의 수질이 좋아져 활성탄 사용량이 줄어들고 있다.

그러나 도시화, 산업화로인한 물의 양적인 부족, 수원의 질적 악화, 먹는물 수질기준이 현재 45개 항목에서 2002년까지 선진국 수준인 85개 항목으로 늘어 수질 기준을 대폭 강화하고, 양질의 수돗물에 대한 국민의 욕구 증대 등으로 전국 16개 정수장에 고도정수처리 시설을 건설하고 있다.

2002년까지 취수장 126개소, 정수장 143개소를 신·증설하는 등 시설확충이 계속된다면 활성탄 사용량은 크게 늘어날 것이다.

표 5-6. 정수장의 활성탄 사용현황

년 도	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98
사용량(톤)	3,157	3,120	5,077	4,312	8,049	2,433	1,009
금액(원)				34억	42억	18억	7억

1997년도의 경우 전국618 정수장에서 사용한 활성탄양은 2,433톤이며, 금액으로는 약 18억원 정도이며, 1999년도 상반기 활성탄 사용량은 1,100톤 정도이며, 하반기에는 한강수계에 있는 정수장의 활성탄 사용량이 크게 늘어날 것으로 예상된다.

표 5-7. '97년 시·도별 정수장 활성탄 사용현황

시도별	서울	부산	대구	대전	경남	경기	충북	경북	전북	전남	울산
사용량 (톤)	74	1,222	628	365	91.9	24	12.2	5.7	4	3.3	2
금액 (천원)	47,804	927,446	456,605	274,552	80,691	17,714	9,798	3,464	2,984	2,409	1,033

인류의 생활과 활동에 의해 가정에서, 공장에서, 기타 다른 장소로부터 사용이 끝난 다량의 오수가 배출된다.

오수중에는 상당히 위험한 전염 병원이나 유해물질, 기타 부패하기 쉬운 유기물질이 다량으로 함유되어 있어서 공중의 보건위생상 그대로 방치해서는 안 된다.

또한 이러한 오수를 처리하지 않은 채 부근의 수역에 방류하면 방류수역의 수질은 악화되고, 도시의 미관을 해치고, 수도의 수원으로서의 가치도 상실하여 환경파괴가 진행된다. 하수도는 이러한 오수를 모아서 신속하게 처리하고 처리장에 전달하여 무해 안정하게 처리하는 시설이며 공공 수역의 수염오염을 방지한다. 그러나 우리나라의 경우는 하수도 시설이 미비한 상태여서 하수처리율도 낮은 실정이다.

도시 하수처리장의 확충은 80년대 들어서면서 본격화되었으며, 생활수준 향상에 따른 국민들의 환경보전 의욕 수준의 상승에 맞추어 하수처리장의 건설이 활발하게 진행되었다.

1997년도의 전국에 가동중인 하수종말 처리시설은 93개소이며 처리용량은 11,452천톤/일이며, 대부분의 하수처리장이 활성슬러지법을 채택하고 있다.

최근 엄격한 수질을 요구하는 수역이 지정되어 2차 처리수의 수질로서는 기준을 만족할 수가 없으므로, 2차 처리수중에 잔류하는 부유물, 용해성 유기물, 인, 비소 중 금속등을 제거하기 위해 3차 처리인 고도처리를 하여야만 한다.

활성탄은 이종 용해성 유기물이나 중금속등을 제거하기 위해 사용되어, 앞으로 2005년까지 하수도 보급률 80% 달성하기 위해 전국에 222개 하수처리장이 새로 건설되고, 하수관 거가 정비된다면, 용량이 30,359천톤으로 확장되므로 활성탄 사용량이 늘어날 것으로 예상된다.

제 3 절 연도별 소요량 추이조사

국내 활성탄 수요는 공업화, 인구증가 및 도시화로 유해 오염물질이 배출되고, 생활하수 및 산업폐수의 증가로 상수원 및 대기환경 오염으로 인해 환경규제 강화와 기업들의 관심고조 및 사용처의 다양화등으로 사용량이 매년 약 18%의 높은 신장률을 보이고 있다. 또한 정부의 맑은물 공급대책의 일환으로 고도정수처리가 일반화되고 배출허용기준의 강화로 하수처리장의 3차 처리가 일반화되면 정·폐수용 활성탄 수요가 급증할 것으로 전망된다.

지금까지 정수용으로 분말활성탄이 다량 사용되었으나 점차 입상활성탄으로 전환되는 추세인데, 이는 분말활성탄의 경우 표면적이 넓어 단위 시간당 처리효율이 높은 반면 재생이 불가능하며, 사용할 때 분진발생으로 인해 작업장 환경이 불량하며, 사용후에 발생하는 폐기물로 인해 처리비용이 발생하는 단점으로 인해 사용량이 줄어들고 있다.

그러나 입상활성탄은 단위시간당 처리효율은 분말활성탄에 비해 낮으나 재생이 가능하며, 원수의 농도가 급변하여도 유출수에 영향이 별로 없고, 분진 발생등의 문제가 거의 없어 입상활성탄의 수요가 증가하는 추세이다.

선진국에서 전량 수입되는 첨착활성탄, 섬유상활성탄, 조립활성탄등의 고품위 활성탄은 해마다 사용량이 크게 증가하고 있다.

표 5-8. 국내 활성탄 수요실적 및 전망

(단위 : 톤)

용도별		1996	1997	1998	1999	2000
입상활성탄	야자계	22,200	28,400	44,300	50,000	62,000
	COAL계	7,250	7,450	8,200	8,720	9,500
	계	29,450	35,850	52,500	58,720	71,500
첨착활성탄소		650	1,000	1,500	2,500	3,000
섬유상활성탄		6	7	8	8	9
분말활성탄소		6,500	6,500	6,000	5,500	5,000
계		36,606	43,357	60,008	66,728	79,509

표5-9. 활성탄 수요 총액

(단위 : 백만원)

구분 \ 년도	1996	1997	1998	1999	2000
입상활성탄소	41,230	55,209	80,850	99,472	121,121
첨착활성탄소	1,690	2,700	4,500	7,500	9,000
섬유상활성탄	600	700	800	800	900
분말활성탄	3,900	4,225	4,200	3,850	3,750
계	47,420	62,834	90,350	111,622	134,771

제 4 절 판매촉진방안

제 1 항 연구결과 홍보

선진국의 고품위 활성탄과 품질 및 가격면에서 경쟁력이 있는 폐별목을 이용한 활성탄 개발로 목초액 및 조립활성탄에 대한 특허를 획득하여 국내·외로 고유기술을 인정받고, 중소기업청의 신기술 마크 및 환경부의 정정기술마크등, 공인기관으로부터 제품에 대한 기술력을 인정받아 활성탄의 판매가 촉진되도록 한다.

또한 국내·외의 학회지, 세미나 및 인터넷등을 통해 연구결과를 발표하여 제품의 독창성 및 고유성을 알리고, 참여기업인 제일산업개발(주)은 영업망을 통해 수입제품을 사용하는 수요처에 제품의 우수성과 가격의 저렴화를 홍보하여 외국산에 빼앗긴 활성탄 시장을 되찾는다.

제 2 항 수입대체효과 및 수출

폐별목을 이용하여 제조한 활성탄은 외국수입제품보다 판매가격이 낮기 때문에 수입가격이 자연스럽게 하락하여 제조업체 및 사용업체 및 사용업체의 이윤이 증가할 것이다.

용제 회수용, 당액용, 폐수처리용, 의약용등으로 사용되는 선진국의 고품위 활성탄의 시장 잠식을 어느정도 예방할 수 있고, 연간 14,000톤 이상되는 활성탄 수입량의 일부분을 대체하므로써 외화를 절약할 수가 있다.

폐별목을 이용한 활성탄으로 기존수입하여 제조하는 수처리용 활성탄을 대체 한다면, 수입탄으로 제조할 때보다 이윤이 증가할 것이며, 우리가 먹는물을 국산품을 사용해 제조한 측면에서도 가치가 있다.

앞으로 더욱더 생산기술을 향상시키고 생산비용을 낮추어 국제적 경쟁력을 갖춘다면 활성탄 선진국에 고품위 활성탄을 역수출하고, 후진국에 활성탄 제조기술과 설비

를 수출하거나 생산공정을 건설하여 외화획득에도 큰 몫을 할 수 있을 것이다.

수출현황을 보면 수입물량에 비해 매우 미비한 수준인데 이것은 국내 생산품의 전문화 결여, 원자재의 선택 및 제조기술의 문제점등이 있기 때문이다.

표 5-10. 1997년도 활성탄 수출현황

수입국	수량 (kg)	단가		금액	
		US\$	천원/톤	US\$	천원
중국	10,012	1,731.8	2,251	17,338	22,537
인도네시아	13,120	2,274.7	2,957	29,844	38,795
일본	10,425	3,885.0	5,050	40,501	52,646
러시아	3,760	3,573.7	4,645	13,437	17,465
태국	333,154	2,396.5	3,115	798,403	1,037,774
우즈베키스탄	3,600	4,736.7	6,157	17,052	22,165
베트남	3,300	1,330.9	1,730	4,391	5,709
계	377,371			920,966	1,197,091

표 5-11. 1998년 활성탄 수출현황

(기간 : 1998. 01. 01 ~ 1998. 07. 31)

수입국	수량 (kg)	단가		금액	
		US\$	천원/톤	US\$	천원
방글라데시	5,000	1,470.0	19,115	7,350	95,575
중국	0.119	56,395.0	73,313	6,711	8,724
일본	5,818	3,643.0	4,735	21,304	27,690
남아프리카공화국	20,000	638.4	829	12,768	16,580
기타	0.245	3,624.5	4,711	888	1,154
계	30,818			49,021	149,723

현재 탄화부산물인 목초액은 중국, 일본에서 수입되는 제품과 재래식 숯가마와 기계식으로 생산되는 국산품으로 구별된다.

비정상적인 유통경로와 구매형태, 생산업자들간의 과다경쟁으로 가격이 비싸고, 회수방식이 적절치 못하고 숙성, 사용방법등이 체계적이지 못해 품질에 대한 불신감과 많은 문제점을 낳고 있다.

폐별목을 이용해 활성탄 제조시 생기는 부산물인 목초액을 대량생산하여 숙성과 사용방법을 체계화하고, 식품첨가물 및 음료용등으로 사용용도를 다양화하면 부가 수익이 증대 될 뿐만 아니라, 시중 유통제품에 대한 품질과 가격안정을 유도하므로써 농민들이 쉽게 구입하여 저비용 환경농산물을 생산 할 수 있고, 유해물질을 목초액으로 회수하기 때문에 대기 오염도 방지할 수가 있다.

제 3 항 폐활성탄 재생

흡착물질을 흡착하고 거의 흡착능력이 없는 폐활성탄에서 피흡착물질을 제거하여 활성탄의 흡착성능을 재생시켜 수요처에 재공급하므로써 2차 오염방지, 유용한 피흡착물의 회수, 탄소자원의 재이용을 할 수가 있다.

재생탄은 금속염 무기물이 활성탄상에 침착되고, 탈착하기 어려운 성분이 세공을 폐쇄하여 신탄과같은 흡착능력을 발휘할 수 없으므로, 최대한 흡착능력을 회복시키는데 목적이 있다. 재생은 피흡착물질의 종류, 활성탄의 성상등에 따라 재생방법이 달라지며, 국내에서는 대부분 로터리킬런을 이용한 수증기 재생을 하지만, 몇개 업체를 제외하고는 대부분 건조단계만 거친 후 제품을 판매하고 있는 실정이다.

활성탄은 역세, 수송 및 재생시 손실이 되고, 부족량을 신탄으로 보충해 주어야 하므로 제조업체는 폐활성탄의 재생, 공급의 순환으로 고정적인 판매가 보장되고 사용업체는 생산비용을 줄일수가 있다.

제 5 절 가공처리에 따른 제품 고부가가치화

국내 활성탄 제조업체의 대부분을 저가의 활성탄을 수입하여, 간단한 공정을 거친 후 제품을 판매하므로 인해 이윤이 한정되어있고, 이윤의 많고 적음의 차이는 공정 관리, 품질관리 및 신제품개발등의 기술력이 아니라 얼마나 저가의 활성탄을 구입하여 제조하느냐에 달려있다. 또한 활성탄 제조업체들간의 일부 수요에 대한 과다경쟁, 덤핑계약 및 IMF로 인한 환율상승으로 이윤이 감소하고 있는 실정이다.

활성탄사용량은 해마다 증가하는 추세이지만 활성탄 제조업체는 자체적인 기술력과 생산품이 없어 수입품에 비해 가격 경쟁력이 열세해 놓여 있으며, 선진국의 조립활성탄, 침착활성탄, 섬유상활성탄등의 다양한 종류의 활성탄이 수입되어 시장을 점차 잠식하고 있다. 또한 품질도 선진국 제품에 비해 뒤떨어지는 수준이기에 국내활성탄 제조업체의 생존과 원료수입으로 인한 수백억원의 수입대체 효과를 위해서는 새로운 형태의 고부가가치 활성탄 개발로 선진국과 경쟁력이 있는 기술개발이 절실하다. 따라서 폐벌목을 이용한 활성탄은 값싼원료의 확보로 생산가격이 낮아 외국제품과 품질과 가격면에서 경쟁력이 있는 분말활성탄과 고부가가치 조립 활성탄을 제조하여 침체된 국내 활성탄 산업을 되살려야 한다. 그리고 활성탄 수요처를 기존의 산업영역 뿐만 아니라, 농업양식업, 축산업, 생활환경 개선용 등으로 사용용도를 다양화하고, 탄화부산물인 목초액을 대량생산, 판매한다면 제품의 고부가가치화를 이룰 수가 있을 것이다.

조립활성탄은 선진국에서 매년 1,000톤이상 수입되며, 보통 용매 회수용으로 사용되는데 가스처리량이 크기 때문에 활성탄층의 유통가스선속도를 어느 정도 크게 할 필요가 있기 때문이다. 조립활성탄은 열화성과 발열성이 낮고 활성탄의 수명이 길기 때문에 페인트·잉크제조업, 필름기공업, 인쇄업, 정밀기계업, 합성화학등에 사용되며, 사용되며 사용량이 증가하고 있는 추세이다. 목초액은 농약과 화학비료의 절감효과등 다양한 쓰임새를 가지고 있으며, 앞으로 음료용으로도 개발되어 그 수요가

무한하며, 농민들에게는 농가 소득증대와 저비용 환경농산물을 생산하여 신뢰받는 농업경영에도 도움이 된다.

현재 목초액은 사용량과 용도가 급증하는 추세이지만 대부분 수입되고 있으며, 국내에서 기존 숯가마 및 기계식 시스템으로 생산되고 있지만 품질에 대한 불신과 생산비가 높아농가에서 사용하기에는 부담스러운 실정이다.

목초액이 농가에 보급되기 시작한 것은 불과 10년 정도이고 일본에서 연구된 자료를 중심으로 기술이 전해져 시설원예등의 농가중심으로 소량 사용되던 목초액이 저독성 농약 개발로 인한 농업환경보호와 농가에 사용효과가 알려지면서 사용량이 늘어났다. 현재 농민들이 구입하는 목초액은 1ℓ 기준으로 국산품은 최저 1,000에서 최고 15,000원정도, 일본제품은 16,000~28,000원 정도로 제품마다 가격이 엄청난 차이를 보이고 있다. 비정상적으로 유통되는 제품은 대부분 가격이 저렴한 편이고, 정상적으로 유통되고 있는 제품은 가격이 비싼 편으로 제품마다 상당한 가격차이를 보이고 있다. 목초액은 톱밥 1톤으로 25~30ℓ 정도 생산되므로 폐벌목을 이용한 활성탄 제조시 발생하는 목초액은 수만ℓ 정도 예상된다. 대량생산시 가격이 1ℓ에 5,000원정도 선에 안정된다면 목초액 생산으로 연간 수십억원 정도의 부수익이 기대된다.

표 5-12. 목초액 품질기준

사용시설 및 장치	원료	비 중		산도 (%)	PH	용해타르 (%)	색(육안)
		진	보메				
재래식 숯가마 또는 이를 응용한 장치	침엽수	1.020 ~1.040	2.5 ~5.3	2.3 ~5.5	2.0 ~3.5	6.0이하	담적갈색 또는 적갈색투명
	활엽수	“	“	4.5 ~9.0	“	“	“
증류장치	침엽수	1.005	0.0	1.0	“	0.3이하	담홍색 투명
	활엽수	~1.020	~2.5	~6.0	“		

또한 폐별목으로 제조한 활성탄을 고품질 축산물 생산을 위한 보조사료 첨가제로 사용할 수가 있다. 일정량의 활성탄을 첨가한 사료는 동물체내에서 소화흡수율을 높여 주는 것은 물론이고 체내의 유해가스나 병원균, 독소, 효소 및 각종 독성물질의 흡착작용으로 면역기능강화 및 소화기능을 증대시키고 또한 분뇨의 암모니아 가스발생을 억제하는 등의 효과가 있다.

앞으로 분말 및 입상활성탄 제조에서 벗어나 조립활성탄과 탄화부산물인 목초액으로 제품의 고부가가치화 하여야만 활성탄 산업을 활성화 시킬 수가 있다.

제 6 절 수입품 대비 국내개발품 생산비 비교

국내에 수입되는 제품중 50%정도가 저가의 중국산으로 톱밥이나 목탄제품이 600~700원/kg, coal 제품은 500~600원/kg, 조립활성탄은 1,000~1,100원/kg 정도이다.

인도네시아 톱밥제품은 1,100~1,200원/kg이며, 고품위 활성탄인 미국, 네덜란드 및 일본제품은 1,800~17,000원/kg, 조립활성탄은 3,500~6,000원/kg 선이다.

표 5-13. 국내 유통단가

용도별	1996	1997	1998	1999	2000
입상활성탄소	1,400	1,540	1,540	1,694	1,694
첨착활성탄소	2,600	2,700	3,000	3000	3,000
섬유상활성탄	100,000	100,000	100,000	100,000	100,00
분말활성탄	600	650	700	700	750

현재 국내에서는 활성탄에 관한 연구개발이 많이 되고 있으며, 특히 1992년 환경부에서 실시한 G-7 환경공학 기술개발사업으로 농산물을 이용한 활성탄 중금속 바이오제거용 흡착제, 활성탄소 섬유제 등의 기술에 대한 연구비지원을 통하여 활성탄 개발에 힘쓰고 있다. 또한 일반 대학이나 연구소에서 산업체와 연계하여 식물성 및 산업폐기물을 이용한 활성탄, 구상활성탄, 다이옥신제거용 활성탄 등에 대해 연구가 활발히 이루어지고 있다.

활성탄에 관한 특허 및 실용신안을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 조립활성탄 제조장치 및 제조방법('96 동양탄소) : 분말활성탄 + 제오라이트
- 2) 입상 왕겨 활성탄의 제조방법('97 건설기술연구원) : 분말 왕겨 활성탄 +점결제
- 3) 활성탄소 섬유의 제조방법('97 포철) : 폴리아크릴로 니트릴계 탄소 섬유이용
- 4) 핏치계 활성탄소 섬유의 제조방법('97 포철) : 핏치계
- 5) 활성탄 제조방법('97 창신) : 왕겨, 톱밥, 벚집이용
- 6) 섬유상 활성탄소의 제조방법('96 포철)
- 7) 활성탄소 섬유의 제조방법('97 코오롱) : 전 방향족 폴리아미드 펄퍼상 단. 섬유원료
- 8) 살균 작용하는 활성탄 제법('96년) : 활성탄 덩이를 순은으로 진공중착
- 9) 섬유상 활성탄소의 제조방법('96 : 동양탄소)
- 10) 왕겨 활성탄의 제조방법('95 : 건설기술연구원) : 왕겨를 이산화규소로 처리)
- 11) 흡착능이 우수한 활성탄의 제조방법('93 : 포철)
- 12) 왕겨로부터의 활성탄 제조방법('92 : 코오롱)
- 13) 조립활성탄의 제조방법('90 : 한일시멘트공업)
- 14) 섬유상 활성탄소의 제조방법('89 : 국방과학연구소)

이와 같이 활성탄에 관한 특허나 연구개발이 완료된 과제가 많기는 하지만 실제로

실용화는 되지 못하고 있는 실정이다.

첫째로, 수입제품에 비해 생산비용이 많이 들기 때문이다.

국내개발품은 활성화공정이 대부분 약품부활법으로 원료에 인산, 황산, 염화아연 등의 활성화 약품을 침적시켜 활성화 하므로써 염산을 첨가해 염화아연으로 회수하고 산 가용성 성분도 용출 제거한 후, 잔류하는 염산과 염화물을 물로 세정 시켜 순도를 높이고, 원심탈수 및 건조시켜야만 한다. 이로인해 제조시설이 복잡해지고 제조장치의 부식, 환경오염문제등으로 생산비용이 저가의 중국제품보다 훨씬 많이 들기 때문이다.

둘째로, 제조업체의 영세성으로 제조시설에 대한 투자가 어렵기 때문이다.

현재 제조업체에서 수입하는 중국, 인도네시아등의 제품은 활성화된 제품으로 대부분 수분이 10%이하이다.

이것을 수요업체의 용도에 맞게 입도, PH 및 수분을 조절하기 위한 혼합공정 및 포장공장만 거친 후 제품을 판매하고 있다.

활성탄 제조업체는 중소기업체로서 연구 개발된 활성탄 제조기술에 대해 시설투자를 하기에는 너무 영세하고 아직까지 고품위 활성탄 시장이 협소하며 위험부담이 따르기 때문에 제조 시설투자를 어려워하고 있다.

수입제품에 경쟁할 수 있는 국내 개발제품은 현재로선 거의 없는 실정이며, 경쟁력을 갖추기 위해서는 국내에서 쉽게 구할 수 있고, 양이 풍부하고, 탄화 및 활성화의 난이도 수율, 성상 등을 만족할 수 있는 원료를 채택하여야 한다.

또한 제조방법도 분말활성탄인 경우는 수증기 부활법으로, 조립활성탄은 국내 제조기술을 개발하여야 하고, 재생이 용이하여야만 수입제품에 비해 가격 경쟁력이 있다.

제 7 절 결론

국내의 활성탄 수요량은 연간 약 2만여 톤에 달하며 주로 식품, 의약공업 및 수처리
리에 사용되고 있다. 국내에서는 현재 원자재의 원가 상승으로 인하여 자체생산은
하지 못하고 중국 등의 저가 활성탄을 생산하는 나라에서 전량 수입하여 용도에 맞
게 후처리 공정만을 거친 후 판매하고 있는 실정이다.

활성탄의 판매 촉진을 위해서는 수입제품에 비해 생산비용을 낮추어야 하며, 제조
업체의 과감한 제조시설에 대한 투자가 선행되어야 한다. 이를 해결하기 위해서는
국내에서 쉽게 구할 수 있고, 양이 풍부하고, 탄화 및 활성화의 난이도 수율, 성상
등을 만족할 수 있는 원료의 개발과 개발도상국에 비교하여 기술력의 우위를 점할
수 있는 조립활성탄의 제조기술을 국산화 하여야 한다.

제 6 장 폐벌목 발생량 및 안정 공급방법 확립

제 1 절 연구배경

전 국토의 65%정도를 산림이 차지하고 있으면서도 연간 목재 수요량의 90%이상을 외국에서 수입하여 대체하고 있는 우리 나라의 경우 산지의 효과적인 개발과 산주의 소득 증대, 그리고 폐벌목에 대한 효과적인 이용은 우리에게 직면한 큰 과제라 아니 할 수 없다. 더욱이 폐벌목은 충분히 유용한 자원으로 재활용할 수 있음에도 불구하고 그대로 방치되어 있는 경우가 대부분인 실정에서 이에 대한 연구는 여러 면에서 해결되어야 할 시급한 분야라 할 수 있다.

현재 임업의 주된 산물이라고 할 수 있는 용재 생산액은 735억원으로 전체 임업생산액의 7.0%에 머물러 우리 나라의 임업에서 주산물인 목재가 차지하는 비중이 부산물의 생산에 비해 매우 낮은 현실에 놓여 있다. 이러한 이유에는 다음의 몇 가지를 지적할 수 있는데 이는 곧, 우리 나라 임업경영의 문제와 직결된다.

첫째, 아직까지 우리 나라 산림이 미성숙림으로서 본격적인 목재생산이 불가능한 영급 구조하에 놓여 있다는 것이다.

둘째, 수입외재와의 가격 경쟁을 뒷받침해 줄 수 있는 임도망 조성이나 산림작업에서의 기계화 등 생산 기반이 제대로 갖추어져 있지 못한 상황에서 목재 판매가의 78% 이상을 벌채, 운반비로 지불해야 하는 열악한 경영 구조하에 놓여 있다.

셋째, 양질의 임업노동력을 확보할 수 없다.

넷째, 국산재 유통 경로의 미비로 인하여 그나마 생산된 원목을 소비할 수 없다.

다섯째, 노임의 상승을 목재 가격의 상승이 따라잡지 못함으로써 임업경영을 통한 수익성이 보장되지 못하고 있다.

‘폐벌목’이란 용어는 일반적으로 산지에서 생산되는 여러 종류의 임목 중 임지에 방치 또는 수집되어 이용되지 못하는 목재를 뜻하는데, 무육간벌재, 소경재, 표고자목, 피해목 등이 이에 해당된다. 소경재는 주로 간벌작업에서 생산되는데 원목의 말구직경 15cm 이하를 소경재라 하고, 현재 생산되고 있는 간벌재의 크기는 6-20cm 범위이며 평균 10cm 정도가 90%를 넘는다. 수종은 낙엽송, 리기다소나무, 잣나무, 소나무 등 침엽수가 대부분이며 재질은 주벌재보다 못하다. 재질은 용이가 많고 굵음이 크며 미숙재가 있어 강도가 약한 편이고, 이러한 결점재를 쓰는 데는 새로운 가공기술과 제품의 용도 개발에 어려운 점이 있다.

최근에는 환경 문제와 더불어 산림에 대한 국민들의 관심이 높아지고 있으며 정부에서도 산지자원화를 위하여 산림을 경영하고자 하는 영세 산주들에게는 갖가지 지원을 아끼지 않고 있다. 그러나, 계속되는 인건비 상승과 목재값 하락에 따라 산주들의 산림 경영의욕이 저하되고 애써 심고 가꾸어 놓은 나무들이 간벌 적기가 되었음에도 불구하고 사업을 기피하고 있는 실정이다.

특히 우리 나라 산림의 경우 간벌 작업기에 도달된 임분의 면적이 증가일로에 있으나 노동생산성이 낮고, 소경재 시장이 빈약하여 간벌사업이 침체상태에 있는 실정이다. 간벌을 원활히 수행하기 위해서는 무엇보다도 기계화가 시급한 과제로 등장하고 있으며, 또한 기계보급 측면에서 볼 때 국내 기술을 이용한 기술개발이 시급한 과제이고 여기에 알맞은 작업 시스템 및 공정 계산 방법이 절실히 요구된다. 또한 간벌재의 용도는 극히 제한되어 있으며 경제적 가치가 낮기 때문에 간벌재를 고부가가치재로 활용할 수 있는 용도 개발 또한 무엇보다 시급하다 할 수 있다.

이러한 때에 산지에서 생산되는 간벌 소경재를 이용하여 활성탄으로 활용하려는 시도는 시의 적절하며 반드시 수행되어야 할 당면 연구과제라 할 수 있다.

제 2 절 대상수종별 면적 및 축적

현재 간벌이 주로 실시되고 있는 대상지는 국유림에서 대부분 실시되고 있으며, 공유림에서도 최근 일련의 '숲가꾸기 공공 근로 사업'의 일환으로 그 범위가 넓어지고 있다. 그러나 전체 산림 면적의 약 75%, 전체 축적의 72%를 사유림이 차지하고 있어, 이에 대한 고려는 대단히 중요한 과제중의 하나로서 사유림의 소유자인 산주들에 대한 정책적, 경제적 배려가 이루어 져야 함을 여실히 보여주고 있다.

그중 활성탄으로의 이용에 있어 대상으로 삼고 있는 주요 3가지 수종(낙엽송, 리기다소나무, 잣나무)의 성장량에 대한 조사는 안정적인 활성탄 생산의 원료 공급과 관계된 중요한 부분이므로 이들에 대한 성장량 분석은 반드시 필요한 부분이다.

낙엽송(*Larix leptolepis* (Sieb. et Zucc.) Gordon)은 일본 원산으로 1904년에 도입되었으며, 낙엽 교목으로 높이 30m, 지름 1m, 수피는 암갈색이다. 리기다소나무(*Pinus rigida* Miller)는 북아메리카 및 대서양 연안이 원산으로 1906년에 도입되었으며, 상록교목으로 높이 10-20m, 수피는 적갈색이고 깊게 갈라진다. 사방 조림수종으로 많이 식재되어 있다. 잣나무(*Pinus koraiensis* Siebold et Zuccarini)는 중국, 일본, 시베리아에 분포하며, 우리 나라는 남부 고산에 드물게 분포하고 주로 중부 이북에 자생하는 수종으로 상록교목으로 높이 20-3-m, 지름 80cm, 수피는 흑갈색이다(김태욱, 1995).

경기도 전체의 산림 면적은 548,929ha, 축적은 26,958,560m³으로 그 소유 관계와 면적 및 축적은 아래와 같다(표 6-1).

표 6-1. 경기도 산림 면적(ha) 및 임목축적(m³)

	합 계	산림 면적율 (%)	국 유 릫			민 유 릫		
			계	산림청 소 관	타부처 소 관	계	공유림	사유림
산림면적	548,929	54	95,304	64,407	30,897	453,625	41,065	412,560
임목축적	26,958,560		5,247,017	3,857,052	1,389,965	21,711,543	2,333,874	19,377,669

자료 : 산림청(1998)

국유림이 전체 산림 면적 중 17%, 민유림이 83%를 차지하고 있으며, 그 중 사유림이 75%로 나타나 사유림의 비중이 높게 나타났다. 이중 경기도내에 서식하는 3수종의 임야 면적은 전체 산림 면적의 약 30% 정도로서 잣나무가 54,606ha, 낙엽송이 33,315ha, 리기다소나무가 76,082ha로서 그 면적은 리기다소나무가 가장 넓고 잣나무와 낙엽송 순이며 축적도 이와 같은 경향을 나타낸다(표 6-2).

표 6-2. 침엽수 주요 수종별 면적, 축적, 성장량 및 성장률

지 역	수 종	면적(ha)	축적(m ³)	성장량(m ³)	성장률(%)
경기 (서울, 인천 포함)	침엽수림	186,175	7,061,978	451,618	6.40
	소 나 무	22,118	771,001	36,468	4.73
	잣 나 무	54,606	1,850,502	157,663	8.52
	낙 엽 송	33,315	1,344,375	83,486	6.21
	리기다소나무	76,082	3,094,512	173,912	5.62
	기타 침엽수	54	1,588	89	5.63

자료 : 임업연구원(1993)

침엽수림 면적 중에서 이들 3수종이 차지하는 면적이 전체의 약 88%를 점하고 있

어, 이들 수종의 소경 간벌재에 대한 연구가 집중되어야 함을 알 수 있다. 생장률은 오히려 잣나무가 가장 높고 낙엽송과 리기다소나무 순이었다. 따라서 생장률과 활용 가치가 낮은 리기다임분을 타 수종으로 대체하면서 발생하는 간벌목을 적극 활용한다면 향후 보다 우수한 임분으로 변화시킴과 동시에 효과적으로 중간산물을 이용하는 효과를 볼 수 있을 것으로 생각된다. 또한 활성탄을 생산하는 업체에서는 활성탄 원료의 공급에 있어 수종의 단일화가 품질관리에 유리하다고 밝히고 있으므로, 우선적으로 리기다임분에 대한 간벌재의 이용이 우선시되어야 할 것으로 생각된다.

단순히 3수종의 면적에 대한 상대적인 비교보다, 영급에 따른 면적의 분포가 향후 간벌에 의한 폐벌목의 공급적 측면에서는 더 큰 의미가 있을 수 있는데, II영급 이하의 유령 임목이 낙엽송의 경우 전체의 78%, 리기다소나무는 84%, 잣나무는 76% 등으로 높게 나타나 아직 본격적인 목재 생산의 단계에까지는 미치지 못하고 있는 것으로 나타났으며(표 6-3), 간벌의 실시로 우수한 용재 생산림으로의 유도 과정이 반드시 필요한 것으로 나타났다. 어느 면에서 보면 이러한 상황은 간벌 소경재를 이용한 활성탄의 생산이라는 본 연구와 시기면에서 매우 일치되는 것으로 나타나 연구의 중요성이 한층 증대되고 있다. 향후 II영급 이하의 임분을 효과적인 간벌을 통해 무육한다면 지속적인 활성탄 원료의 공급과 함께 우량한 임분으로의 조성이 기대된다고 하겠다.

표 6-3. 경기도내 3 수종의 영급별 임야 면적(ha)

수 종	영급 계	I	II	III	IV	V	VI
		낙엽송	33,257	10,298	15,531	4,265	3,068
리기다소나무	74,664	2,416	60,097	11,662	489	-	-
잣나무	54,475	23,781	17,429	8202	4672	389	2

자료 : 임업연구원(1993)

제 3 절 폐벌목 발생량 산출

토지의 평균 생산력을 우리 나라의 수확표에서 찾아보면 침엽수림은 약 6m³/ha/년, 활엽수림은 약 3m³/ha/년 규모이다. 우리 산림이 지속생산 구조를 갖추고 있다면 매년 ha당 3-6m³ 이상을 생산할 수 있다는 뜻이다. 그러나 현실적으로 공급되고 있는 목재 공급량은 약 0.2m³/ha/년에 불과한 실정이다. 벌채공급 잠재량은 우리 나라의 경우 1m³/ha 이상, 일본의 경우는 2m³/ha 이상 가능할 것으로 보이나, 실 벌채 공급량이 낮은 이유는 대부분 벌채 대상이 간벌재라는데 있다. 스위스와 독일 흑림지대에서는 벌채공급량의 약 50%가 간벌재라는 사실과 비교해본다면 금후 20-30년 동안은 간벌재 공급 잠재량은 ha당 2-3m³으로 증대될 것으로 전망된다. 현재 우리 나라의 경우 폐벌목은 간벌작업과 수종갱신 등의 과정을 거치면서 생산되는 것이 일반적인데, 이들은 벌채허가면적과 실적에 대한 자료를 바탕으로 파악될 수 있다.

제 1 항 벌채 허가 면적으로 본 폐벌목 발생량 산출

발생량 산출은 주로 목재 생산을 위한 주벌, 간벌, 수종갱신, 피해목, 기타 등으로 구분할 수 있는데, 계획물량을 달성하지는 못하지만 그 내용을 확연히 알 수 있고 특히 주된 관심사가 되는 간벌재의 연간 생산량을 알 수 있는 자료가 된다. 표 6-4는 국내에서 이루어지는 전체 벌채 내역에 관한 자료이다. 주벌에 의한 벌채의 양은 점차 감소되는 추세인데 이는 임업노동력의 부족과 임업경영의 어려움을 대변하여 주는 간접적인 예가 어느 정도 될 수 있을 것으로 생각된다. 피해목에 의한 벌채가 주벌에 버금가거나 오히려 더 많은 것을 알 수 있는데 그 양이 30%정도로 많은 부분을 차지하고 있으므로 간벌 소경재뿐만 아니라 피해목에 대한 연구도 동시에 이루어져야 할 것으로 여겨진다. 숲가꾸기 사업 등으로 인하여 간벌재의 생산량은 앞으로 계속 증가할 것으로 여겨지며, 벌채량 중 간벌재가 차지하는 비율은 전체의 14-25%

정도를 차지하고 있는데, 그 물량이 상대적으로 많은 편은 아닌데, 이것은 간벌을 적절한 시기에 실시하지 않은 것에서 기인한다고 볼 수 있다. 간벌을 실시하지 않는 이유는 임업경영상 많은 어려움이 있어 산주들이 기피하고 있기 때문이다. 우리들이 활성탄의 주된 원료로 생각하고 있는 간벌재 외에도 수종갱신에 의해 발생하는 임목과 피해목 제거로 인해 발생하는 임목의 양을 모두 수거할 수 있다면 활성탄의 원료 공급에는 큰 문제가 발생하지 않을 것으로 생각된다.

표 6-4. 연도별 우리 나라 전체 임목 벌채 내역

(단위 : m³)

구 분	계획물량	벌 채 내 역					
		계	주 벌	간 벌	수종갱신	피 해 목	기 타
'90	1,774,400	1,076,676 (100%)	309,452 (28%)	191,120 (18%)	136,931 (13%)	312,657 (29%)	126,516 (12%)
'91	1,861,000	884,974 (100%)	250,958 (28%)	149,415 (17%)	158,805 (18%)	229,731 (26%)	96,065 (11%)
'92	1,908,100	795,938 (100%)	190,440 (24%)	109,096 (14%)	170,766 (21%)	247,130 (31%)	78,506 (10%)
'93	1,170,000	903,357 (100%)	269,202 (30%)	141,566 (15%)	160,465 (18%)	242,596 (27%)	89,528 (10%)
'94	1,335,000	895,606 (100%)	206,386 (23%)	144,963 (16%)	141,063 (16%)	300,575 (34%)	102,619 (11%)
'95	1,407,200	886,807 (100%)	176,207 (20%)	205,273 (23%)	123,722 (14%)	280,269 (32%)	101,336 (11%)
'96	1,394,000	986,137 (100%)	168,061 (17%)	243,454 (25%)	150,474 (15%)	304,965 (31%)	119,180 (12%)

또한, 우리가 주된 대상으로 삼고 있는 경기도의 1997년 벌채 허가 실적을 볼 때, 면적으로는 4,925ha, 재적으로는 69,607m³으로 나타났으며, 전체 재적 중 간벌이 제일 높은 46%를 보였고, 그 다음이 수종갱신, 기타, 주벌의 순으로 나타났다(표 6-5).

표 6-5. 경기도 임목 벌채 허가 실적

(단위 : ha, m³)

합 계		주 별		간 별		수종갱신		기 타	
면적	재적	면적	재적	면적	재적	면적	재적	면적	재적
4,925	69,607 (100%)	260	7,410 (10%)	3,404	32,025 (46%)	707	17,945 (26%)	554	12,227 (18%)

자료 : 임업통계연보(1998)

따라서 경기도내에 간벌과 수종 갱신, 그리고 기타로 인해 발생하는 목재재적 중 다른 용도로 이용되는 부분을 제외하고 약 40% 정도만이라도 수거한 후 활성화된 원료로 재사용한다면 연간 25천m³을 재활용할 수 있게 된다.

제 2 항 폐벌목(임지폐잔재)의 발생

국내 목재 소비량은 연간 2천7백만m³로 이중 96%를 수입에 의존하고 있다. 벌목 후 남은 목재 부스러기 발생량의 50%를 농촌에서 연료로 재활용할 경우 1천만달러 이상을 절약할 수 있고, 매년 발생하는 각종 사업지의 벌채목을 80% 이상 수집할 경우 2,000만\$의 외화를 절감하는 효과가 있다고 알려져 있다.

임지내 폐벌목 발생량은 1996년 기준으로 823천m³으로 무육과 천연림보육 등 육림작업에 의한 발생량이 약 57%로 가장 높게 나타났으며, 그 다음이 수종갱신에 의한 발생이었다(표 6-6).

표 6-6. 임지내 폐목재 발생량(1996).

(단위 : 천^m)

구분	합계	주벌	수종갱신	간벌	육림 (무육, 천연림보육)	기타
발생량	823 (100%)	36 (4.4%)	196 (23.8%)	32 (3.9%)	468 (56.9%)	91 (11.1%)

*기타 : 해태목, 인삼 또는 조경수 등의 지주목
*From : 임업연구원(1998)

이러한 임목별체에 의한 임지 내에 잔존하게 되는 폐벌목(임지폐잔재)은 약 60%가 톱밥이나 원료 등으로 재활용되고 있으며, 그대로 임지 내에 폐기되는 경우도 약 40%나 된다(표 6-7).

표 6-7. 임지폐잔재(폐벌목) 발생 및 재활용실적

(단위: 천^m, %)

	구분	합계	재활용							폐기		
			소계	재이용	원료				연료	소계	소각	매립
					계	재생 보드	톱밥	기타				
임지 폐잔재	물량	911	551	0	446	0	199	247	105	360	0	360
	비율	100	60.5	0	49.0	0	21.8	27.1	11.5	39.5	0	39.5

경기도 가평에 소재한 '경기도 산림자원관리소'에서의 최근 3년간 가평 도유림 내에서 발생한 간벌재 처리 상황을 예로써 살펴보면 아래 표 6-8과 같다.

표 6-8. 경기도 산림자원관리소 간벌제 처리 상황

연 도	사업량 (ha)	원목 생산량(m ³)			매각대금 (천원)	비 고
		계	매 각	임지피복 및 무상제공		
계	1,050	5,932	2,419	3,513	27,106	
'95	400	2,146	1,072	1,074	6,800	ha당 5.3m ³
'96	400	2,293	801	1,492	15,216	" 5.7m ³
'97	250	1,493	546	947	5,000	" 5.9m ³

말구직경 12cm 이상은 매각 조치하고 12cm 미만은 임협의 톱밥공장 및 농가, 군부대 등의 화목용으로 무상제공하고 있는데, 밀폐된 임분 내에서 목재용(2.7m 이상)으로 조제 어려움이 있으며, 도유림의 위치가 대부분 산간 오지에 위치해 있기 때문에 운반비의 부담이 커서 수익성이 낮은 현실에 있다.

제 4 절 폐벌목 수거 촉진 방안 수립

집재작업은 목재생산에서 가장 많은 생산비용을 차지하는 작업으로 집재작업 능력의 향상과 집재작업용 기계의 이용·관리는 임업기계화의 가장 중요한 부분이고(Erler, 1989), 작업의 생산성 향상을 위해 작업능률에 영향을 미치는 인자에 대한 연구 또한 꾸준히 진행되고 있다(Fisher 등, 1980).

국내에서의 집재작업에 대한 연구는 집재작업의 공정조사(노재후 등, 1988a, 1988b; 김재원 등, 1989)와 국내에 시험적으로 도입된 집재기계, 장비에 대한 작업의 특성(박문섭, 1988; 박종명, 1990; 송태영, 1990; 김덕수, 1994)과 작업의 경제성에 따른 국내의 적용 가능성 및 그 한계(노재후 등, 1988c; 우보명 등, 1990; 노

재후, 1994: 임업연구원 임업경제과, 1994)에 대한 연구 등이 있다. 이 밖에 Chung(1987)은 가선집재작업 시스템 분석 프로그램을 개발하였고, 정주상(1993)은 가선집재작업 시스템의 역학구조에 대한 해석을 실시하였으며, 김재원 등(1996)은 집재작업의 작업강도에 대한 정량적 평가를 시도하였다.

우리 나라 산림은 대부분이 30년생 이하의 어린 임분으로 구성되어 있으므로 매년 많은 면적의 간벌 작업을 실시해야만 한다. 이런 유령임분의 간벌 작업은 생산되는 원목의 규격이 작고 또한 단위 면적 당 생산 재적이 많지 않으므로 수익성이 없는 경우가 대부분이다. 그러나, 수익성이 없어 임내에 방치하는 원목이라도 임도변까지 집재할 경우에는 여러 가지 용도로 활용이 가능하다. 기존에 우리나라에서 사용되고 있는 집재 방법은 단거리 인력집재, 플라스틱 수라를 이용한 집재, 굴삭기를 이용한 집재, 소형 원치를 이용한 집재 등의 작업방법이 이용되어 왔다. 이러한 간벌목 수 집작업의 특징은 원목의 크기가 작으므로 생산성이 낮으며 임내에 분산되어 있어 이를 모아서 임도변 또는 토장 등에 운반하기까지는 소집재라는 작업단계를 거치게 되므로 작업비가 많이 소요된다. 간벌목의 생산비용 중 약 50% 이상이 임내로부터 임도변까지의 집재 작업에 투입되기 때문에 간벌목 집재 작업의 기계화가 필수적으로 요구된다.

제 1 항 기계화를 통한 방안

임업의 기계화의 추진은 생산성 향상 및 장비의 활용도 제고를 통해 임업의 산업화 추진하는 데에 그 목적이 있다. 또한 임업의 기계화를 통해서만 임지 내에 폐기되고 있는 소중한 목재 자원을 가치 있는 고부가가치 재료의 전환이 가능하다.

이웃나라 일본의 임업을 둘러싼 각종 상황을 예로 보면, 목재 가격의 감소, 싼 외계의 유입, 임업 노동력의 감소와 고령화, 젊은 노동력의 임업 이탈 등 임업의 여건이 아주 어려운 상황이며, 임업생산활동의 정체를 불러 오고 있는 실정이다. 이러한

상황이 앞으로 계속되면 산림의 적절한 관리수준의 확보나 국토의 균형있는 발전을 도모하는 데도 중대한 지장을 초래할 수 있다는 염려에 임업의 활력회복을 위한 새로운 조치가 요구되는 입장이다. 일본은 이러한 상황 중에서도 다가올 국산재 시대에 대응한 임업생산의 유지증진을 도모하기 위해서 기계화에 의한 새로운 임업의 전개와 임업장비를 운용하는 작업자의 확보를 위한 조치가 더욱 중요하게 되었고, 임업작업이 매력 있는 일로 만드는 것과 함께 외국제와 경쟁할 수 있고 또 향후 목재 수출국에 있어서 자국의 산림자원보호정책으로 수입목재의 확보가 어려워지는 것에 대비하며 또 국산재의 공급체계를 정비하기 위해서도 고성능 임업기계를 축으로 한 새로운 임업작업 체계를 확립하는 것이 긴급의 과제로 떠오르고 있다.

우리 나라의 경우도 임업생산성이 매우 낮은데, 그 이유는 소경재 생산 위주의 체계라는 것이다. 소경재 일수록 생산비가 높는데 비해 대부분 시장가가 낮고 높은 물류비용 때문에 간벌재 수집이 되지 않아 산림생산성이 낮아지기 때문이다. 또한 낮은 산지개발도도 문제가 되는데 집운재를 위한 도로개발밀도가 낮기 때문에 간벌임도, 간벌 작업도의 시설비가 생산비에 포함되므로 생산비가 높게 된다. 그리고 현실적으로 가장 시급한 문제는 낮은 기계화율에 있다. 우리 나라는 기계톱 사용단계이고 집재 기계는 시험사용단계로 기계화가 극히 지연되어 있는 실정이다.

임업의 기계화가 필요한 이유는 국내재 수요의 지속적인 증가와 임업노동력 확보에 어려움이 있으며 노임의 급상승세로 임업생산성 향상에 어려운 점이 있으며 숲가꾸기 공공 근로 사업 확대에 의한 산물 수집의 효율성 제고의 필요성도 부각되었기 때문이다. 임업 기계화 축진의 필요성을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

※ 임업기계화 촉진의 필요성

○ 농산촌 인구 감소 및 고령화로 임업노동력 확보곤란

농가인구('90) 6,661천명(전 국민의 15.6%) --> '93년 5,403천명(12.2%)
2001 3,955천명(8.4%)

50세 이상('90) 2,333천명(농가 인구의 35.1%) --> '93 2,271천명(42%)
2001 1,980천명(50%)

산림작업 기피 이유 : 연간 고용일수가 짧고 노동재해가 많기 때문

○ 2000년대 초의 국내 목재생산량은 현재보다 약 2배 증가할 것으로 예측되어 대량의 목재생산 작업을 위해 임업의 기계화가 필요

- 연간 산림 축적 증가량 : 약 1천만㎡(연간 목재 소비량 : 약 8,883천㎡('94)

- 지구환경보호, 세계목재자원 감소 등으로 목재수입조건 점차 악화

국내목재 생산량 점차 증가('94) 1,173천㎡ --> (2005) 2,319천㎡(약 2배 증가)

○ 목재가격은 정체상태인데 비해 임업 노동력의 감소와 노임상승의 급상승세로 인해 임업생산성 향상책 강구의 수단으로써 필요

○ 인력에 의존한 임업이 기계화가 되면 생산력은 2.5-7배 증대시킬 수 있음

- 벌목 : 인력 1㎡ --> 기계화 2.5㎡(증 2.5배)

- 집재, 하산 : 인력 3.1㎡ --> 기계화 20㎡(증 6배)

- 상하차 : 인력 7㎡ --> 기계화 50㎡(증 7배)

자료 : 임업기계화 기본계획(산림청, 1995).

제 2 항 우리 나라 임업기계화 현황

현재 우리 나라에서는 집재작업에 인력집재, 수라집재 등의 방법이 주로 사용되며, 임지 내에서 임도변 토장까지의 운반은 과거부터 사용되던 4륜구동 트럭(일명:GMC트럭)을 이용하고 있다. 이외에도 트랙터 윈치, 유압식 윈치가 부착된 굴삭기, 일본에서 도입된 차륜형 임내차, 궤도형 임내차 등이 이용되고 있으며, 타워식 집재기, 라디캐리 등의 가선집재 장비가 일부 활용되고 있다. 대부분의 경우 작업로가 미비된

경우가 많으므로 작업로 개설 및 임내에 산재된 원목을 모으는 소집재작업 등에 다목적 활용이 가능한 굴삭기 한 대를 투입하는 경우가 많다. 이러한 굴삭기는 국내에 널리 보급되어 있어 손쉽게 활용이 가능하고, 유압식 원목 집계를 부착하면 집재작업 및 원목상차 작업 등에 다목적 활용이 가능하나, 중경사지형 이하에만 적용이 가능하다. 또한 굴삭기를 이용하여 집재를 할 때는 굴삭기는 임내에 산재된 원목을 약 20-30m 정도 모으는 역할만 가능하므로 이렇게 모아 놓은 원목을 임도변 토장까지 차량으로 반출하기 위해서 작업로를 개설하여야 한다.

우리 나라 실정에 맞는 국산임업기계의 개발 및 보급도 우선시 되어야 할 부분이다., 최근에 산지전용 집재 작업차와 리모콘 소형윈치 등이 개발되었는데, 집재작업차는 4-5톤급 상용차량을 기본으로 윈치 견인력 1.5톤 정도의 유압식 윈치와 너클붐식 크레인을 부착하여 등판능력이 우수하고 산지 주행이 가능한 4륜구동 트랙터에다 전면 유압식 도져 블레이드를 탈, 부착할 수 있도록 하여 작업지 정리작업이나 임도보수, 제설작업 등에 사용할 수 있도록 하고 기능적으로는 다양한 작업기 부착도 가능토록 하였다. 리모콘 소형윈치의 경우 국내 환경 적용이 가능하고 특히 자체동력에 의하여 이동이 가능하도록 하며 무선 송, 수신거리가 100m 이상인 송수신 장치를 탑재하여 다목적으로 이용할 수 있도록 2개의 드럼으로 설계되었다. 또한 부품별 세부 설계는 국내환경에서의 적용 가능성을 고려하고 적절한 부품 확보 전략을 마련하여 소형윈치 드럼유니트를 개발하였다.(4)

현재 산림청과 관계 연구기관에서도 임업기계화의 추진에 박차를 가하고 있는 실정인데, 2005년도까지 임업기계 및 장비의 보급에 관한 계획을 보면 아래 표 6-9와 같다.

표 6-9. 임업기계 및 장비 보급 계획('96 - 2005)

(단위 : 대, 백만원)

분 야	장 비 명	수 량	금 액
양 묘 장 비	트렉타, 경운기, 굴취기, 양수기 등	113	488
임 목 생 산	트렉타집재기, 상차기, 윈치 등	731	3,065
조 림, 육 림	체인톱, 예불기, 동력지타기 등	1,490	732
병해충 방제	동력천공기, 동력살분무기 등	7,807	2,882
산 불 방 지	동력펌프, gbeodydan전기 등	19,647	13,424
임 도	굴삭기, 진동로올러, 그레이다 등	420	19,260
임 산 가 공	운반트럭 칩퍼기, 지게차	1,137	20,635
시 험 연 구	하베스타 등 도입장비	45	3,443
기능인영팀단	체인톱 등 소형 장비	38,722	13,443
기본장비보조	체인톱 등 기본 장비	17,100	2,367
산림경영장비(용자)	굴삭기 등 중장비	(1,015명)	72,220
계		87,212	151,959

자료 : 임업경제동향연차보고서(임업연구원, 1998).

강릉시 산성우리 국유림 숲가꾸기 작업 현장의 경우, 다음과 같이 임업 기계화 작업이 이루어지고 있어 생산성의 향상을 올리고 있다.

○ 집재 기계화

기계톱으로 작업 --> 원치(소형, 대형)로 임도까지 하산
소형원치(6.5마력, 견인거리 100m) 3인 1조, 굵은 간벌재 7-8개 한 묶음으로
이동

○ 임내차 운반

목재가 쌓이면 궤도형 임내차(15마력, 최대속도 5.3km)로 운반
운반거리 300m일 때 하루 7.5m³을 운송(인력의 2.5배)
운반된 목재는 제재용, 톱밥용, 장작용, 표고자목용 등으로 선별된다.

○ 이동식 제재기 : 최대 3.3m³ 제재 가능

○ 톱밥제조기 : 105마력, 원구직경 25cm까지 톱밥으로
시간당 4.5-9m³(30kg짜리 45-90포대) 생산 가능, 6인 1조가되어 작업

○ 유압식 도끼 : 5마력, 60cm의 통나무를 하루에 0.5-1m³씩 생산

제 3 항 임업 기계화의 문제점

일반산업과 농업은 전자화 도입과 자동화 시스템으로 첨단과학화가 지향되고 있으나, 임업기계 장비는 수요량에 극히 미흡한 초보단계이고 톱밥기계와 일부 전근대적인 장비를 제외하고 집재 장비 등 중장비는 대부분이 일본과 독일 등 선진국의 수입 장비가 주를 이루고 있어 우리 임업시장이 외국산 장비 전시장을 이루고 있는 것이 우리 임업 기계화 시장의 현주소이다. 임업기계 중장비는 대당 4-5천만원의 고가로 경제성이 낮은 목재 생산에 투입하기란 채산성이 없을 뿐 아니라 임산 자원이 빈약하여 기계를 통한 지속적인 임산물 생산 작업이 되지 못함으로서 임업기계화 정착사업에 문제점이 되고 있다

<임업 기계화 추진 과정의 문제점>

- 기계화 촉진의 구심점 및 리더 부족, 임업 종사자의 의식 미비
- 산지는 급경사지, 지형 복잡, 임도 시설 미비, 장비 가격은 고가이지만 연중 이용이 되지 않아 활용도가 낮음
- 소면적 개별 및 간벌 위주의 목재 생산으로 장비 투입 효율이 낮음
- 임업 장비는 주로 농업용 등 타 용도로 개발된 장비를 변형 제작
 - 수요의 불확실성으로 활성화에 한계
 - 생산 효율이 높은 중대형 집, 운재 장비보다는 개인용 소형기계, 장비위주로 보급
 - 산물 수집량이 증가되고 있으나 활용도가 낮아 효율적 수집에 애로
- 연계시스템의 부재
 - 경영주-생산자-이용자간에 연계가 되어 있지 않아 상호정보부족과 신뢰 부족으로 시장의 형성이 지연
- 제도상의 문제
- 생산사업체의 영세성과 기술부족
- 지원체계의 불비
- 간벌재 이용 산업 개발의 부진

제 4 항 임목 생산의 기계화 촉진 방안

이러한 상황이라고 해서 더 이상 기계화작업을 미루거나 늦출 수 없는 실정이다. 왜냐하면 전술한바와 같이 임업기계화를 통해서만 향후 임업경영이 가능하고 목재의 안정적인 보급과 수거가 보장받기 때문이다. 따라서 임목생산 기계화를 높일 수 있는 방안을 모색해 볼 필요가 있다.

<기계화 촉진 방안>

- 타용도 장비 부착형(Attachment)등 수요가 많고 실용성이 높은 장비 위주로 임업기계 개발 및 보급 확대
- 우리 나라 실정에 부합되는 임목 생산 기계화 시스템 모델 정립, 보급
- 기계화 사업장(선진지 조성) 기계화 마인드 확산
- 한국형 임내차 개발 추진
- 작업 여건에 따라 적합한 시스템 선정
- 작업시스템 유형별로 표준 공정 조사
- 기계화 교육 강화
- 지방청에 대한 장기 투자 강화
- 경영단지의 규모화와 공동경영
 - 최소한 연간 1만^m을 가공할 수 있는 공장을 고려한 단지선정이 되어야 한다.
 - 최소한 연간 1만^m을 기계화 생산할 수 있는 기계화 작업팀을 편성하여 공동 이용해야 한다.
 - 단지의 규모는 약 2만ha 이상은 되어야 할 것이고, 수종들을 고려하여 필요시 2-3군 공동사업단지로 지정할 수 있는 제도가 필요하다.
- 관련업체의 육성
- 지원시스템의 마련
- 기계화 실연사업 단지 운영
- 법적 제도화
- 간벌림 경영 신시스템의 운영과 지속가능한 산림 생산구조의 정비

이와 같은 임업 기계화 촉진 방안을 통해 임목 생산의 생산성 향상 및 목재 자급률을 제고시킬 수 있고, 임업 노동력의 안정적 확보를 이룰 수 있으며, 임업의 위상 강화 및 새로운 산림 경영 시대로의 진입 추진할 수 있게 될 것이다.

제 5 항 임도에 의한 수거 촉진 방안

폐벌목 수거를 촉진시키는 방안 중에 하나는 임도시설의 확충에 있다. 임도는 산림 내를 통과하는 반영구적인 시설물로서 임업경영의 합리화, 농산촌의 생활도로로서의 역할 및 지역사회의 발전 및 산림이 공익적 기능의 발휘 등을 위하여 다목적으로 이용되는 필수적인 임업생산 기반시설로서, 산림법 제10조의 4(임도의 시설 등) ①에 의하면 “산림의 효율적인 개설·이용의 고도화 또는 임업의 기계화 등 임업의 생산 기반 정비를 촉진하기 위하여 필요하다고 인정할 때에는 산림청장은 산림소유자에게 임도를 시설하게 할 수 있다”라 하였다(산림청, 1995). 또한, 1988년 전국 임도시설 확대 기본계획을 수립하여, 1996년 말 현재 임도 총 연장은 10,853km(국유임도 3,344km, 민유임도 7,509km), 임도밀도 1.68m/ha로서(표 6-10), 2010년까지의 임도 총 연장은 56,000km(국유임도 15,000km, 민유임도 41,000km), 임도밀도 10m/ha를 계획하고 있다(차두송 등, 1995).

표 6-10. 임도 시설의 실적

(단위 : km, %)

구 분		1985	1990	1994	1995 (A)	1996 (B)	증감율 (A-B)/A
당해년 실적	계	161	650	1,109	2,022	1,717	△15.1
	국유림	27	203	388	380	325	△14.5
	민유림	134	447	721	1,642	1,392	△15.2
총 연 장	계	471	2,581	7,114	9,136	10,853	18.8
	국유림	267	827	2,639	3,019	3,344	10.8
	민유림	204	1,754	4,475	6,117	7,509	22.8

자료 : 산림청, 임업통계연보, 1997

원래 산림 작업과 벌채는 그 특성상 산간오지에서 많은 노동력을 투입해야 하는 작

업인 관계로 임도 시설이 잘 갖추어져야만 하나 우리나라의 경우는 1970년대 와서야 임도의 설치가 시작되어 현재 ha 당 2m의 임도밀도에 그치고 있다.

정상적인 임업경영을 위해서는 대략적으로 ha당 40-70m의 임도가 개설되어야 한다. 임도망의 확보는 산림작업에서 임업기계 이용률을 높임으로써 임업생산의 경제성 향상에 지대한 영향을 미치는 바 사회간접자본의 일환으로서 임도 사업에 보다 적극적인 추진이 요구되고 있다.

임도는 일반도로나 농로와 마찬가지로 임업에 있어서의 각종 인적, 물적 수송로로서의 역할을 담당한다. 농촌 노동력의 감소와 더불어 기계화가 절실히 요구되는 오늘날 임업경영의 생산성 향상을 위하여 불가결한 기반 시설인데, 현재 1km의 임도를 설치하는데 드는 총 비용 중 국고보조가 50%, 지방비 보조가 40%이며, 산주가 10%를 부담하게 되어 있다.

<임도의 효과>

- 농촌, 산촌 지역간 연결도로로써 지역발전에 기여
- 조림, 벌채를 위한 인력, 자재 수송 등 물류비용 절감
- 임산물 반출 비용의 절감으로 경쟁력 강화
- 임업기계화 촉진 및 각종 산림 재해에 신속 대처
- 임산물 유통 및 이용도 증진

제 6 항 인력에 의한 폐벌목 수거 촉진 방안

우리 나라 사유지 중 시업지 3,503천ha를 법정림 상태로 유도하기 위해 각종 산림 사업에 필요한 임업 노동력의 소요량과 공급량을 예측하고자 수행된, 민유림영림단을 중심으로 한 임업 노동력 소요, 공급분석이란 연구에 의하면 소요량을 영급별로 구분된 시업면적을 기준으로 산림청의 산림시책 공정을 적용하여 농산촌지역으로 분

류된 8개 지역의 주민을 대상으로 제시된 임금 수준에서의 참여 여부를 설문 조사하여 추정하였는데, 임금노동력의 소요량은 연간 작업일수 200일을 기준으로 할 때 39,190명이었으며 공급은 실질임금상승률을 0%, 3%, 5%, 7%의 4가지로 구분하여 추정한 결과 0%에서는 인구감소율에 따라 공급인원이 갈수록 줄어드는 것으로 추정되었고, 3%에서는 2005년 이내에는 소요량을 충족시키기 어려우며, 5%에서는 2003년과 2004년 사이에 7%에서는 2001년과 2002년 사이에 각각 소요량을 충족시킬 것으로 예측되었다(김병구 등, 1997).

우리기업의 노동생산성을 보면 다른 나라에 비해 극히 낮은 것이 문제로 대두되고 있다. 각국의 임금노동생산성(원목생산분야)은 다음과 같다.

우리 나라 : 약 1㎡/1일/1인
일본 : 1.3㎡/1일/1인('68년), 2.4㎡/1일/1인('85년), 5.4㎡/1일/1인(목표)
독일(흑림) : 12.1㎡/1일/1인

노동생산성이 성이 낮은 데에는 여러 가지 요소가 복합적으로 나타난 것이나 주된 이유는 집재기계화가 되지 않은데 큰 원인이 있다고 판단되고 또한 비현실적인 정부 노임단가에도 그 원인이 있다고 생각된다(표 6-11).

표 6-11. 정부의 노임단가 변화와 생산실적 비교

구 분	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96
정부노임단가(원)	14,800	19,800	23,800	29,900	32,900	32,900	33,810
상승률(%)	23.8	33.8	20.0	25.6	-	10.0	2.8
지 수	100	134	161	202	202	222	228
생산실적(천㎡)		885	796	903	896	887	986
상 승 율(%)		-	△10	13	-	-	11
지 수		100	90	102	-	100	111

자료 : 산림청(1998)

제 5 절 폐벌목 수거 중요성 산주 재교육

우선 폐벌목이 유용한 그리고, 가치 있는 자원이라는 인식의 전환을 시킬 필요가 있겠다. 산주들에게 의욕적으로 산림 작업에 임할 수 있도록 하는 행정적, 경제적 정책이 제공되어야 함은 물론이다. 또한 우리 나라의 경우 사유림이 차지하는 비중이 상대적으로 크기 때문에 이들 개별 산주들의 의식을 전환시키는 것 또한 중요한 과제일 것이다. 이들이 적극적으로 나설 때에만 효과적인 임업경영이 이루어질 수 있고, 폐벌목이 그냥 산에 버려지는 쓰레기가 아니라 하나의 자원이라는 인식이 보급될 것이다. 폐벌목을 이용한 재활용사업의 성공이 산주들을 움직일 수 있는 가장 확실한 방법임은 두말할 필요도 없다.

제 6 절 목재 집하장 최적 입지선정

목재집하장의 선정은 물류비용의 절감이라는 측면에서 매우 중요한 인자로 최적 입지는 목재 발생량과 반출 수중에 따라 좌우되며, 경기도의 경우 동북부 권역이 여러 면에서 볼 때 최적의 입지를 나타낸다고 할 수 있다. 권역별 생산 임목의 백분율의 경우 동북부 권역은 49%, 동남부 권역은 39%로 경기도 전체 생산량의 88%를 차지하고 있다. 한편 각 지방에 분포하고 있는 산림조합(예전의 임업협동조합)의 톱밥 생산 능력과 규모도 고려의 대상이 되는데, 최적 목재 집하장의 선정은 운송비용의 절감에 따른 생산효율을 높일 수 있는 계기가 되므로 현재로는 목재 반출량이 많은 경기도 동북부와 동남부 권역의 중간에 위치하고 있는 양평 지역에서 가장 많은 목재가 배출되며, 침엽수 위주로 배출되는 가평 지역, 그리고 기존의 임산물 유통 센터가 위치하고 있는 여주군 지역이 교통 여건을 고려할 때 가장 좋은 입지 장소로 판단된다.

표 6-12. 경기도내 권역별 시·군 구분

권역	시·군
서북부	파주, 고양, 김포, 부천
서남부	광명, 과천, 안양, 안산, 시흥, 군포, 의왕, 수원, 화성, 오산, 평택
동북부	연천, 동두천, 포천, 양주, 의정부, 가평, 남양주, 구리, 양평
동남부	하남, 광주, 성남, 용인, 이천, 여주, 안성

제 7 절 목재 반출 방법 구명 및 개선

집재 및 목재 반출 작업은 비용면에서 가장 많은 부분을 차지하는 작업이라 할 수 있는데, 따라서 집재 및 반출 작업의 능률을 향상시키는 인자에 대한 연구는 필수적이라고 할 수 있다. 현재 작업과정에 대한 연구는 작업 공정과 경제성 분석에 대한 연구에서부터 집재작업 시 작업원이 느끼는 피로도와 작업강도에 관한 연구에 이르기까지 노동과학적인 측면도 고려하여 이루어지고 있다.

우리나라의 경우 기계화가 많이 지연되고 있는데, 경영주-생산자-이용자간에 연계가 원활하지 않아 상호 정보부족과 신뢰부족으로 이용산업체, 즉 시장이 개발되어 있지 않은 점과, 원료의 지속공급체계가 되도록 하는 간벌림 경영시스템이 도입되어 있지 않은 것이 그 원인으로 지적되고 있다. 또한 생산 사업체의 영세성과 지속적인 사업량 확보의 불투명으로 장비의 구입이 불가능하고 이로 인해 인력위주의 전근대적 작업기술이 투입되고 있는 점, 그리고 간벌재 이용산업의 개발이 부족하다는 것도 문제점으로 지적되고 있는데, 소경목 간벌재를 이용한 활성탄 산업화 기술 개발은 새로운 활로를 여는 계기가 될 수 있을 것으로 생각된다.

하지만 임업기계의 운용공간인 입지환경적인 측면에서 우리나라 산지는 경사 31° 이상이 전체 산림의 65%로서 급경사지가 대부분이고 지형이 복잡한 반면 임도시설은 필요한 만큼 충분하지 못한 실정으로 특히 집재장비는 하중이 무거운 원목을 운반해야 하므로 경사의 제약을 심하게 받으며, 임내차 등 차량이 활동 가능한 경사는 30-40%를 넘지 못한다. 또한 소면적 개별 및 간벌 위주의 목재 생산으로 생산성을 높일 수 있는 중대형 장비를 투입할 대상지가 부족하고, 장비 투입효율도 낮아 비록 값 비싼 중대형장비를 구입하더라도 연중 활용되지 못하여 활용도가 낮으므로 기존 장비에 부착형으로 개발하여 다목적으로 활용할 수 있도록 개발되어야 한다.

임업기계의 개발은 많은 개발 자금이 투입되어야 하므로 우선 이러한 개발대상 시스템의 국내 적용 가능성을 검정하기 위하여 몇 개 지역을 대상으로 한 시범 작업지

를 선정하여 외국에서 기 개발된 장비를 도입하여 충분한 실연작업을 거친 후에 우리 실정에 적합한 국산화 모델 개발을 추진함으로써 시행착오를 줄여야 한다. 우리나라에 현재 보급되어 있는 임업기계장비 보유대수 중 대부분은 체인톱 등의 소형장비이고 임목수확용 집재장비는 불과 몇 대 밖에 없는 실정이므로 앞으로 많은 투자가 이루어 져야 한다. 이러한 임업기계의 도입을 통하여 산림작업이 작업원이 선호하는 작업으로 자리잡고 앞으로 증가될 국산재 생산에 대비하여야 할 것이다.

임목수확장비는 한 기종의 장비로는 일부 단위 작업만 기계화가 가능하므로 최소한의 기계화가 가능한 적정규모의 장비 확보가 필요하며 현재의 소형 원치 위주가 아닌 전문 집재 장비를 확보하여야 한다. 개별작업에 필요한 기본 집재 장비를 국산화하기 위해서는 우선 다양한 장비를 국내에 도입하여 우리나라 실정에 적합한 작업시스템을 정착시켜서 가장 적합한 장비를 국산화하여야 할 것이다.

우리나라의 경우 벌목은 현재 100% 체인톱으로 작업이 이루어지며, 대부분 단목 집재(재장 4m 이하) 방법을 사용하고 있는데, 이는 집재작업에 인력과 소형원치, 굴삭기 등의 소형장비를 이용하는 경우가 대부분이기 때문이다. 경사지 산림에서의 집재작업과 임도와의 관계를 보면 경사도 25% 미만의 완경사지, 25~60%의 중경사지, 경사도 60% 이상의 급경사지로 나누어 완경사지는 농업용 트랙터를 이용한 집재, 중경사지는 집재로를 이용한 집재, 급경사지는 가선집재 작업지로 구분할 수가 있다. 이러한 지형조건에 따라 우리나라에 적용될 수 있는 작업시스템은 큰 제약을 받는데, 아직까지 우리나라에는 가선집재방법이 널리 적용되고 있지 않으므로, 4륜구동 트럭을 이용하기 위해서 경사지에 무리한 작업로를 개설하여 이에 따른 임지훼손 문제가 발생하고 있는 실정이다.

산림에서 작업을 실시하기 위해서는 산림의 자연조건, 기대치 등을 미리 파악하여야 하는데, 임업의 바탕을 이루는 목재생산은 효과적인 작업시스템을 도입하여 목재생산과 산림의 보속을 도모해야만 하는 과제를 안고 있다.

임목수확 작업은 임목을 별도하여 일정규격의 원목을 조재하고, 이 원목을 임도나

토장(임내저목장)에 집제한 후, 시장이나 펄프공장, 제재소 등으로 운재하는 작업까지를 통상적으로 말한다. 크게 벌목, 집재, 운재 등의 4가지로 구성된 요소작업을 일련의 순서로 시스템화한 것을 임목수확작업시스템(Timber Harvesting System, Logging Operation System) 이라고 하며, 그 순서가 언제나 일정하지는 않고 목재 생산 방법에 따라 달라진다. 목재생산방법은 전목생산방법, 전간생산방법, 단목생산방법 등으로 구분되며, 현재까지의 임목수확작업시스템은 인력과 소형기계에 의존한 임목수확작업시스템, 지형의 한계로 인해 제한된 임목수확작업시스템, 낮은 생산성의 임목수확작업시스템, 일부 도입기종에 의한 임목수확작업시스템 등으로 이루어져 왔다.

전목생산방법은 임분내에서 벌도목을 스키더, 타워야더 등으로 전목 집재 한 뒤 임도변 또는 토장에서 가지·통나무 자르기를 하는 작업형태로 소요인력을 가장 최소화할 수 있는 임목수확 방법이다. 전간생산방법은 임분내에서 벌도와 가지자르기만을 실시한 벌도목을 임업용트랙터, 스키더, 타워야더 등을 이용하여 임도변이나 토장까지 집재하여 원목을 생산하는 방식으로 노동생산성을 높일 수 있는 작업방법이다. 단목생산방법은 임분내에서 벌도, 가지자르기, 통나무자르기 등 조재작업을 실시하여 일정규격의 원목으로 임목을 생산하는 방식으로 이 작업 형태는 주로 인력작업에 많이 활용된다.

산림작업은 연간 고용일수가 짧고 노동 부담이 높아 기피의 대상이며, 1998년 기준으로 전체 산림 사업의 48%가 도급으로 이루어지는 것을 감안하면 기계화는 작업자에게 노동시간 절약, 인력대체, 노동부담 경감 등으로 육체적 부담을 줄여주고 심리적 압박감도 줄여 노동생산성을 집약화할 수 있으며, 다음의 4가지로 크게 대별된다.

- ① 인력과 소형기계에 의존한 임목수확작업시스템 ... 우리나라는 다른 산업 분야에 비해 임업기계화의 연혁이 짧아 임목 수확 작업에 있어서도 벌목, 조재작업이 모두 체인톱을 이용한 인력작업단계이고, 집재 및 운재작업에 있어서 일부 기계화

가 이루어지고 있는 부분기계화 작업단계에 있다고 할 수 있다.

- ② 지형의 한계로 인해 제한된 임목수확작업시스템 ... 우리나라의 산림은 대부분 경사지로서 이에 따른 임목수확작업시스템에 한계가 있으며, 완경사지는 트랙터를 이용한 집재, 중경사지는 작업도와 집재로를 활용한 집재, 급경사지는 가선집재 작업지로 구분할 수가 있다. 이러한 지형조건에 따라 우리나라에 적용될 수 있는 임목수확작업시스템은 큰 제약을 받고 있음에도 불구하고 아직까지 우리나라에서는 가선 집재방법이 널리 적용되지 않고 있다.
- ③ 낮은 생산성의 임목수확작업시스템 ... 우리나라의 경우 현행 작업방법인 체인톱에 의한 벌목 및 조제와 일부 기계를 이용한 임목수확작업의 평균 노동생산성은 1.5㎡/인/일에 불과한 실정이다.
- ④ 일부도입기종에 의한 임목수확작업시스템 ... 지금까지 한·독 산림경영사업이나 외국 기종의 실용성 평가를 위해 도입된 일부 임업기계에 의해 임목수확작업이 이루어지고 있으나 대부분 유럽에서 도입되었고, 또 소형기계 등에 의해 제한된 임목수확작업시스템이 이루어지고 있는 실정이다.

또한 장래 우리나라에 적용 가능한 임목수확작업시스템은 다음과 같은 4가지로 구분할 수 있는데,

- ① 지형을 고려한 임목수확작업시스템 ... 우리나라의 산림은 대부분 급경사지로서 이에 따른 임목수확작업시스템에 한계가 있으므로 이를 극복하기 위해 경사지별로 작업시스템을 적용시킬 필요가 있다. 특히 급경사지에 적합한 타워야더형 가선계 집재작업에 의한 임목수확작업시스템이 도입될 필요가 있다.
- ② 목재생산방법을 고려한 임목수확작업시스템 ... 우리나라의 산림은 유령림으로서 간벌재 생산 위주의 단목생산이 많이 이루어지고 있으므로 효율적인 단목생산방법을 위한 임목수확작업시스템의 구축이 필요하다.
- ③ 경영규모의 대소와 작업종에 의한 임목수확작업시스템 ... 임목수확기계는 경영규모의 대소와 작업종에 따라 다르게 적용되어야 하므로 이에 맞는 임업기계의 선

택과 임목수확작업시스템의 도입이 필요하다.

- ④ 고성능 임업기계에 의한 임목수확작업시스템 ... 앞으로 목재 생산의 증대, 노동력과 사회적 여건에 따른 임목수확작업의 활성화 등을 위해 선진 임업국에서 사용되고 있는 고성능 임업기계에 의한 임목수확작업시스템의 도입이 필요할 것이다.

표 6-13. 임목 수확기계 선택 기준의 예

임목수확기계	지형조건	임도망의 유무	작업종	경영규모
체인톱	완~급	불필요	간벌, 개별	소
펠러벤처	완	불필요	간벌, 택벌	대
프로세서	완~급	필요	간벌, 개별	대
하베스터	완	불필요	간벌, 개별	대
야더집재기	급	필요	간벌, 개별	소~대
타워야더	급	필요	간벌, 개별	소~대
임내차	완~급	필요	간벌, 택벌	소
포워더	완	필요	간벌, 택벌	소~대
헬리콥터	급	필요	간벌, 택벌	소~대

우리나라에서 적용가능한 임목수확작업시스템은 여러 작업 조건이나 환경에 맞게 아래와 같이 이루어질 수 있을 것이다.

□ 완·중경사지

소규모 작업지는 인력이나 프라스틱 수라를 이용하여 작업할 수 있으며 임도변 50m 이내는 소형원치를 이용한 집재도 가능하나 소형 원치는 주집재 방법으로 사용될 수

없으며 소집재나 보조집재용으로 사용할 수 있다.

· 소규모 작업

① 벌도(체인톱) → 조재(체인톱) → 집재(임내차) → 운재(트럭)

· 대규모 작업

① 벌도(체인톱) → 집재(트랙터) → 조재(그래플톱) → 운재(트럭)

② 벌도, 조재(하베스터) → 집재(포워더) → 운재(트럭)

③ 벌도(펠러번처) → 집재(스키더) → 조재(프로세서) → 운재(트럭)

④ 벌도(펠러번처) → 집재(스키더) → 운재(트레일러)

□ 급경사지

경사도가 60% 이상일 경우 벌목 작업은 체인톱에 의존할 수 밖에 없으며 가선 장비에 의해 전간 또는 전목 집재된 원목을 굴삭기 등에 부착된 프로세서로 임도면에서 조재 및 집적한다. 임내에서 체인톱으로 지타작업이 이루어진 전간목은 그래플 쏘우를 사용하여 토막내기 작업이 가능하다.

· 소규모 작업

① 벌도(체인톱) → 조재(체인톱) → 집재(라디케리) → 운재(트럭)

② 벌도(체인톱) → 조재(체인톱) → 집재작업(소형타워야더) → 운재(트럭)

③ 벌도(체인톱) → 집재(소형타워야더) → 조재(소형프로세서) → 운재(트럭)

· 대규모 작업

① 벌목작업(펠러번처) → 집재작업(스키더) → 조재작업(프로세서) → 운재작업(트럭)

② 벌목작업(펠러번처) → 집재작업(스키더) → 운재작업(트레일러)

하지만 이러한 작업의 효율성을 논하고자 할 때에는 위에 제시한 작업이 반드시 현실적으로 적용되기에는 문제점이 많은데, 바로 수익성(경제성)의 문제로 투입하는

자금이 비해 생산되는 경제적 가치가 더 커야만 하기 때문이다. 하지만 우리나라의 임업 벌채 작업에 있어서 이 문제는 더욱 요원한 문제이며, 현실적으로 고려해야 하는 요인 또한 상당히 많다(박명종, 1997).

고려해야 하는 요인들에는 이자, 보험료, 감가상각비, 관리수리비, 연료비, 그리고 가장 중요한 인건비 등이 있을 수 있다. 이자는 기계, 장비 구입에 소요된 자금으로 은행에서 받을 수 있는 원금에 대한 기회비용으로 현재 국내에서는 약 7-8% 정도 적용이 가능하리라 판단된다. 보험료는 조세와 도난이나 사고 등으로 인한 기계의 훼손에 대한 보험료이고, 감가상각비는 기계 또는 장비의 감가상각비를 의미한다. 관리수리비는 장비의 고장으로 인한 수리 등에 소요되는 비용이고, 연료비는 기계·장비를 가동시키는데 필요한 연료비용이다. 인건비는 집재 작업을 수행하는 분들에게 지급되는 임금으로서 현재 임지에서 작업하는 경우 높은 임금이 요구되기 때문에 매우 어려운 실정에 놓여 있다. 인건비가 상승함에 따라 고효율의 집재 기계나 작업시스템이 개발되어야 함은 현실적으로 중요한 문제이다.

집재장비는 한가지 장비로 모든 작업을 다 수행할 수 있는 것이 아니고 단위작업별로 각기 다른 기능을 가진 장비들이 조합하여 시스템을 형성하여 투입하여야 일련의 임목수확 작업과정을 마칠 수 있다. 이때 고려할 사항은 우선 지형적 조건, 장비의 작업용량 등을 고려하여 다음과 같이 조합될 수가 있으며 이때에 다음과 같은 사항에 주의하여야 한다.

- 전체 작업공정이 추가될수록 전체 평균공정은 감소한다(따라서 되도록 몇가지 단위공정을 동시에 수행할 수 있는 다기능 장비를 투입하는 것이 유리함)
- 각 장비별 작업용량이 균형되도록 장비를 조합한다.
- 작업규모에 알맞는 장비를 선정하여야 한다.

제 8 절 칩(chip) 형태 폐벌목 운반

우드 칩(Wood Chip)은 나무를 기계(목재파쇄기)로 처리하여 만든 조그마한(두께 1cm 미만, 가로cm×세로3cm 내외) 나무조각을 일컫는데, 제지 등 산업용으로, 조정 분야에서 표토 관리 및 외관용으로, 환경농업 분야에서 축분발효 퇴비의 수분조절재 등 다양하게 이용된다. 오·폐수법 강화 및 분뇨를 이용한 퇴비수요 증대에 따라 축분용 수분조절재 소요량은 증가될 전망이나 공급은 현재 부족한 실정으로 수분조절재의 경우 현재 1,426톤이 소요되고 있으나 공급량은 560천톤에 불과한 실정이다. 육림 등 산림 사업 후 방치되어 있는 벌채 폐잡목의 적극적인 활용이 필요하나 수집비용이 높아 톱밥생산용 원목 공급이 저조한 실정으로 고임금, 낮은 생산성 등으로 수집비는 높은 반면 공장도착 원목가는 낮아 수지가 불균형하다. 따라서 현장생산·현지공급체계의 톱밥생산 방식을 시도하고 원목수집, 톱밥제조에 따른 비용을 분석할 필요성이 대두되었다. 예로 건물 해체 폐목재를 분리, 회수하여 연료, 보드, 종이원료의 칩으로 만들고 있는 업자는 대도시권을 중심으로 80개 정도가 있다고 보고 있으며, 그 생산량은 연간 180만톤 정도로 추정하고 있다. 칩퍼기(Chipper machine)의 특징은 간벌 소경목, 폐잔재 등을 수집 분쇄 후 칩을 생산하여 농, 축산용 자재로 활용함으로써 목재자원의 이용도 증진과 간벌 작업의 수익성을 높이는데 필요하며, 벌채 작업지에 이동하여 활용이 가능하도록 설계되어 있다. 국내의 경우 풍림환경특장(주), 세림초프밀(주) 등에서 생산되고 있는데, 풍림환경특장(주)에서 제작한 파쇄기의 경우 중량이 2,205kg으로 파쇄 가능 원목 직경은 최대 30cm까지이고 톱날은 특수 제작한 초경톱날로 2.5톤 트럭에 의해 견인되어 이동할 수 있도록 설계되어 있다. 한 시간당 4.5-9㎡(30kg짜리 45-90포대)을 생산하며 6인1조가 되어 보통 톱밥을 생산한다.

톱밥 또는 칩 형태로 폐벌목을 산지에서 생산함에 있어 톱밥의 생산경비는 일반적으로 다음의 식으로 계산될 수 있다.

- 톱밥생산경비 = 1m^3 원목수집인건비 \times (원목-톱밥환산계수) + 톱밥 1m^3 당 생산비 +
물류비용(※원목 1m^3 당 생산톱밥 부피 = 2.3m^3)
- 톱밥 1m^3 당 생산비 = 1일 톱밥생산량(m^3)/ 1일 톱밥 생산비
= 1일 톱밥생산량(m^3)/(톱밥기계 가동 인건비+톱밥기계비용+재료비)
- 톱밥기계비용 = 구입자금에 대한 이자 + 톱밥기계감가상각비 + 기계유지 비용(수
리정비비 + 칼날 등 부품비) + 유류비용
- 물류비용 = 작업현장에서 수요처 운송비 + 톱밥상차 비용

물론 수종갱신지, 천연림보육지, 간벌지 등의 성격에 따라서 투입되는 인원과 장비
등이 차이가 날 수 있다.

표 6-14. 칩 생산 실적(1997)

(단위 : m³)

시·도별	업체수	종업원 수	연간 생산가능량	생산량
계	10	147	186,000	155,314
서울				
부산	1	6	3,000	1,164
대구				
인천				
광주				
대전	1	45	50,000	42,416
경기				
강원	1	17	25,000	20,254
충북				
충남				
전북	1	9	8,000	6,598
전남	1	6	3,000	23
경북	4	56	82,000	72,333
경남	1	8	15,000	12,526
제주				

※원목으로 환산한 수량(임업통계연보(산림청), 1998)

톱밥생산사업의 평가에 있어 분석가능한 요소는 크게 3가지 즉, 노동생산성 분석, 장비효율분석, 시장분석 등이 있을 수 있다. 노동생산성분석에는 시간당 간벌량 및 수집량, 1인당 간벌량 및 수집량, 경사도별 간벌량 및 수집량, 임도 또는 운재로부터 거리별 간벌량 및 수집량, 1인당 생산성 및 노임단가 등이 포함되고, 장비효율분석에는 톱밥제조기 모델별 이동성능, 모델별 실생산능력, m³당(또는 포당) 유류비, 감가상각비 등 경상경비 등이 포함되고, 시장분석은 톱밥수요 분석(시장가, 공급희망가, 톱밥수요량), 톱밥공급체계 분석 등이 포함될 수 있을 것이다.

현재 경기도 가평 산림조합에서 톱밥공장을 운영하고 있는데, 산림내 버려지는 무

육간벌채 및 폐목을 수집하여 자원화함으로써 목재 활용도를 높이고 산림내의 병충해 방지 및 산불 방지 효과를 도모하고, 생산된 톱밥을 관내 축산 농가 및 유기질 비료공장에 공급함으로써 수질오염을 예방하고 산주 및 조합원의 소득증대에 그 목적을 두고 1996년에 설치되었는데, 부지는 3,307㎡, 건축면적은 119㎡로 대부분 '잣나무'로 톱밥을 생산하고 있는 실정이다. '98년도의 경우 976톤을 생산하여 92,928천원의 매출을 올렸으며, 톤당 운반비 포함하여 80,000~100,000원에 거래하고 있다.

하지만 문제점으로 지적될 수 있는 것은 비현실적인 노임단가도 포함되는데, 톱밥 생산 시 적용되는 임금수준('98년)은 다음과 같다.

표 6-15. 임금수준('98년)

	정부노임기준	현실임금 기준
체인톱 작업 단가(원)	60,000	73,000
일반 수집 인부 단가(원)	41,200	50,000
톱밥기계 운전원 단가(원)	60,000	73,000
톱밥기계 보조원 단가(원)	41,200	50,000

또한 최근에 정부의 농기계 구입자금까지 용자받아 구입한 기계가 사후 서비스가 제대로 이루어지고 있지 않아 고장이 잦거나 아예 사용이 불가능하다는 목소리도 높은 실정이다. 원래 정부의 톱밥기계 공급확대 방침은 환경보존과 축산 생산비 절감 등 양축농가에 도움을 주고자 하는데 초점이 맞추어져 있으나, 고부가가치를 생산할 수 있는 활성화탄으로의 활용이 무엇보다 시급하다 할 것이다.

제 9 절 산림 시업 협업체 구성

산림시업 협업체의 구성에 있어서 가장 중요한 부분은 고급 인력의 양성에서부터 시작된다고 할 수 있다. 영림단(기능인작업단)이라고 불리는 기존 조직의 법적근거는 '산림법 시행령 제16조'에 의하는데, 1(국유림), 2(민유림)급으로 구분 조직되어 있으며, 국유림영림단은 국유림관리소장, 민유림영림단은 산림조합(임협) 조합장이 조직을 운영하게 되어 있다. 1급 영림단은 2급영림기능사 1명과 기능사보 또는 기본교육 훈련 이수자 5명을 포함 6-12명으로 조직되며, 2급 영림단은 기능사보 1명 또는 기본교육 훈련 이수자 3인 포함 6-12명으로 조직된다. 현재 산림청에서는 '95년 현재 216단 2,652명인 임업기능인을 2010년까지 1,000단, 12,000명까지 그 규모를 확대할 예정이다.

김, 최(1997)에 의하면 임업노동력의 소요량은 연간 작업일수 200일을 기준으로 할 때, 39,190명이었으며, 공급은 실질 임금상승률을 0%, 3%, 5%, 7%의 4가지로 구분하여 추정한 결과 0%에서는 인구감소율에 따라 공급인원이 갈수록 줄어드는 것으로 추정되었고, 3%에서는 2005년 이내에는 소요량을 충족하기 어려우며, 5%에서는 2003년과 2004년 사이에 7%에서는 2001년과 2002년 사이에 각각 소요량을 충족시킬 것으로 예측하였다.

또한 현장에서 산림작업을 담당하는 임업기능인에 대한 교육훈련 과정에 기계장비 교육을 강화하고 임업기능인 교육과는 별도로 기계수 교육과정을 강화하여 전문 임업기계 운용기술자를 양성하는 한편, 장기적으로 기능인 영림단 중 일부 영림단을 기계화 영림단으로 특화하여 운영하는 방안도 수립해야 한다. 산림 시업 협업체의 구성은 신임업시스템의 도입이라고도 할 수 있는데, 이는 경영단지의 규모화와 공동경영, 관련업체의 육성, 지원시스템의 마련을 통해 이루어 질 수 있다.

- ① 경영단지의 규모화와 공동경영 ... 최소한 연간 1만 m^3 을 가공할 수 있는 공장을 고려한 단지 선정이 되어야 하며, 최소한 연간 1만 m^3 을 기계화 생산할 수 있는

기계화 작업팀을 편성하여 공동 이용해야 한다. 단지의 규모는 약 2만ha 이상은 되어야 할 것이고, 수종들을 고려하여 필요시 2-3군 공동사업단지로 지정할 수 있는 제도가 필요하다. 또한 국, 사유림경영주체, 생산업체, 목재이용업체 등의 대표로 경영공동위원회를 운영할 수 있는 제도가 필요하고 간벌림 경영단계에서는 경영-생산-가공업을 연계하는 연계시스템으로 운영시키는 것이 경영합리화의 계기가 될 것이다.

- ② 관련업체의 육성 ... 생산업을 담당하게 될 생산체, 생산재 가공을 담당할 가공업체 육성지원책이 강구되어야 뒤를 따라 생산기계화가 발전되고 간벌 등 국산재 이용산업이 발전될 것이며, 이에 따라 간벌림 경영이 가능할 것이다.
- ③ 지원시스템의 마련 ... 임업을 기계화시키기 위해서는 정보, 장비, 인력을 지원하는 지원체가 있어야 한다. 그 이유는 우리 나라에서는 이제 임업을 창업하여야 하는 간벌림 경영시대이기 때문이다.

장기적으로는 '임업기능인 증명제'를 도입하여 각종 규제 완화에 따라 일선 영림단이 사업실행 시 사업수행자로서 적격성 여부를 공증할 수 있도록 하고, 해당 임업기능인이 가동할 수 있는 임업기계 장비를 명시하여 전문기술인력에게는 각종 인센티브를 부여하는 방안을 강구해야 할 것이다.

제 10 절 결론

전 국토의 65% 정도를 산림이 차지하고 있으면서도 연간 목재 수요량의 90% 이상을 외국에서 수입하여 대체하고 있는 우리나라의 경우 폐벌목에 대한 효과적인 이용이 요구된다. 이를 위하여 경기도 지역내를 기초하여 수종별 성장량, 권역 및 계절별 폐벌목 발생량 산출하고, 발생된 폐벌목을 효과적으로 수거하는 방안 수립하고 폐벌목 수거 중요성을 산주에게 교육시키는 방안을 제시하였다. 또한 폐벌목 집하장 최적 입지를 선정하고, 폐벌목의 반출 방법을 개선하고, 폐벌목을 칩 형태로 운반하기

위한 방안을 제시하였으며, 이를 지속적으로 추진하기 위한 산림사업 협업체 구성방안을 도출하였다.

제 7 장 참 고 문 헌

1. V. R. Deitz, *Bibliography of Solid Adsorbent*, United States Cane Sugar Refiners, p. 689 (1944).
2. F. Fontana, *Mem. Mat. Fis. Ital.*, 1, 679 (1777).
3. Lowitz, *Crell's Chem. Ann.*, 1, 211 (1785).
4. F. Lipscombe, British Patent 2887 (1862).
5. J. Stenhouse, *Chem. News*, 3, 78 (1861).
6. Lee, T. V., British Patent 528 (1863).
7. Winser, F. and Swindells, J., British Patent 835 (1868).
8. Ostrejko, R. Von, German Patent 136, 792 (1901).
9. Deitz, V. R., *Bibliography of Solid Adsorbents*, United States Cane Sugar Refiners, Bone Char Manufacturers and National Bureau of Standards, Washington, D. C., 689 (1944).
10. Shinomiya, Takeshi and Masui, Yoshio, 33, 979 (1975).
11. 김병욱, 장인용, *J. KICHE.*, 4, 133 (1966).
12. 김병욱, *J. KICHE.*, 5, 77 (1967).
13. H. L. Riley, *Quart. Revs.*, 1, 59 (1947).
14. J. Biscoe, B. E. Warren, *J. Appl. Phys.*, 13, 364 (1942).
15. R. E. Franklin, *Proc. Roy. Soc. (London)*, A 209, 196 (1951).
16. H. Smisek, S. Cermý, "Active Carbon, Manufacture, Properties and Applications", New York, Elsevier Pub. Co. (1970).
17. A. Zukal et al., *Zhur. Fiz. Khim*, 39, 118 (1965).
18. M. M. Dubinin, *Uspekhim*, 24, 24, 3 (1955).

19. American Industrial Hygiene Association, *Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards, Ohio*(1989).
20. U.S. Patent 4333753 (1982).
21. 日本公開特許公報, JP77141486 (1977), JP76567891 (1976).
22. 環境關聯商品マ-ケツト要覽, 富士 ロツハ“ホ- (1976).
23. 宮原昭三, 安藤時也, 吸着, 化學工業社, p. 226 (1971).
24. K. A. Dostal et al., Jour. AWWA, 57, 663 (1965).
25. 柳井 弘, 工業用水, 160, 38 (1972).
26. 林 勝己, 吸着濟, 經營開發セソタ-出版部, p. 102 (1976).
27. 金畏政, 폐목재의 수급 개선 및 활용 촉진 방향, 임업정보, 48, 2-5 (1995).
28. 김한태, 폐목재 재활용으로 연간 8천7백만 달러 절약, 산림경영, 130, 21-30 (1998).
29. 임업연구원, 간벌재 수확작업 시스템개발 및 이용도 증진 (II), 15-63 (1992).
30. 산림청, 임업통계연보, 27 (1997).
31. 석현덕, 한국임업의 경제분석, 66-72 (1990).
32. 이춘택, 간벌소경제의 이용기술, 임업기술, 36-39 (1990).
33. 임업 연구원 연구자료, 한국의 임산업 (1991).
34. 임업 연구원 연구자료, 목질탄화 및 탄화물의 토양 개량재이용 (1992).
35. 버려진 목재로부터 연속 자동탄화장치로 목탄 생산, 일본 “일경산업신문” (1997).
36. 일본 “일간공업신문” (1997).
37. UK Patent Application, “A kiln and a method of operating a kiln” (1986).
38. Australian Patent, “Retorting Carbonaceous Materials” (1985).
39. German Patent, “Verfahren zum Betreiben einer Anlage zur Herstellung von Holzkohle, Koks oder Aktivkohle in einem Schachtofen” (1986).

40. German Patent, "Verfahren zur Herstellung einer hochwertigen Formaktivkohle aus lignozellulosehaltigen Rohstoffen", (1992).
41. European Patent Application, "Spherical fibrous lump activated and method of producing the same", (1990).
42. Europäische Patentanmeldung, "Aktivkohlegranulate sowie Verfahren zu ihrer Herstellung", (1987).