

# 임목 및 부산물 활용성 제고를 위한 저비용 · 고효율 목재 생산 · 공급기술 개발 최종보고서

2017.02.27

주관연구기관 / 강원대학교  
협동연구기관 / (주)HSM  
협동연구기관 / 국립산림과학원  
협동연구기관 / 강원대학교

산

## 제 출 문

산림청장 귀하

‘임목 및 부산물 활용성 제고를 위한 저비용·고효율 목재 생산·공급기술 개발’(개발 기간 : 2014. 11. 28. ~ 2016. 11. 27.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2017. 2. 27.

주관연구기관명 : 강원대학교 산학협력단

협동연구기관명 : (주) HSM

협동연구기관명 : 국립산림과학원

주관연구기관책임자: 차두송

협동연구기관책임자: 박인근

협동연구기관책임자: 오재현

협동연구기관책임자: 김대현

「산림분야 연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제27조에 따라 보고서  
열람에 동의합니다.

## 보고서 요약서

과제 고유 번호	S111415L090100	해당 단계 연구 기간	2015.11.28. ~ 2016.11.27.	단계구분	1/1
연구사업명	단위사업명	임업기술연구개발			
	세부사업명	임업기술연구개발(R&D)			
연구과제명	총괄과제명	임목 및 부산물 활용성 제고를 위한 저비용·고효율 목재 생산·공급기술 개발			
	세부과제명	현행 목재생산체계의 공정별 생산성 및 경제적 편익 연구			
		고성능 임업기계를 활용한 新 목재생산체계 개발			
		저비용 목재 및 부산물 생산체계의 공정별 요소기술개발			
		목질원료 용도별 저비용 생산·공급 시스템 개발 및 현장 적용 연구			
연구책임자	차두송	총 연구기간 참여 연구원 수	총 : 55명 내부 : 23명 외부 : 22명	총 연구개발비	정부 : 360,000천원 기업 : 14,000천원 정부 외 : 40,000천원 계 : 414,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	강원대학교 산학협력단			참여기업명 (주) HSM	
	(주) HSM				
	국립산림과학원 산림생산기술연구소				
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>최근 친환경 목재 이용 활성화 및 신재생에너지 의무사용제도 도입 등 지속적인 목재수요 증가와 함께 효율적인 목재생산을 위한 저비용·고효율의 용도별 맞춤형 목재생산 기술이 요구됨.</li> <li>본 연구과제는 현행 목재생산체계와 고성능 임업기계를 활용한 新 목재생산체계의 실증·비교 연구를 중심으로 목질원료 용도별 저비용·고효율 생산·공급기술을 개발하였음.</li> <li>제1세부: 현행 목재생산체계의 공정별 생산성 및 경제적 편익 연구에서는 체인톱과 굴삭기 우드그랩, 트랙터집재기, 임내차 등을 이용한 현행 단목·전간생산체계와 현행 굴삭기집재시스템에서의 임목부산물 생산체계에 대한 생산성 및 작업비용 분석을 수행하였음.</li> <li>제2세부: 고성능 임업기계를 활용한 新 목재생산체계 개발에서는 벌도 및 조재작업의 생산성 및 비용분석을 통해 공정별 생산성 및 경제적 편익 조사 분석을 수행하였음. 新 생산체계의 생산성 및 비용분석을 통해 현행 생산체계와의 비교로 경제적 편익 분석을 수행하였음.</li> <li>제3세부: 저비용 목재 및 부산물 생산체계의 공정별 요소기술 개발에서는 집재향상을 위한 반송기를 개발하여, 현장적용성 시험을 통해 생산성 및 비용 분석을 수행하였음. 기반시설 위 치별 효율적인 목재수확기법을 개발하였음. 임목부산물의 생산, 파쇄 및 운송의 현장 연구를 통해 생산성 및 비용분석을 수행하였음.</li> <li>제4세부: 목질원료 용도별 저비용 생산·공급 시스템 개발 및 현장 적용 연구에서는 장작과 목재칩의 생산성 및 단위공정 작업비용 분석을 통하여 저비용 공급에 적합한 임목생산체계를 선정하고 목질원료의 용도별 공급생산체계 개발을 수행하였음</li> </ul>				보고서 면수 : 98	

## 〈 국문요약 〉

연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 현행 목재생산체계와 고성능 임업기계를 활용한 新 목재생산체계의 실증·비교 연구를 중심으로 한 용도별 목질원료 및 미이용 부산물의 저비용·고효율 생산·공급기술 개발             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 현행 목재생산체계의 공정별 생산성 및 경제적 편익 연구(1세부)</li> <li>- 고성능 임업기계를 활용한 新 목재생산체계 개발(2세부)</li> <li>- 저비용 목재 및 부산물 생산체계의 공정별 요소기술개발(3세부)</li> <li>- 목질원료 용도별 저비용 생산·공급 시스템 개발 및 현장 적용 연구(4세부)</li> </ul> </li> </ul>
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 현행 목재생산체계의 공정별 생산성 및 경제적 편익 연구(1세부)             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 현행 단목 생산체계에서의 펄프재 생산체계는 1일 1인 기준 작업생산성(톤/일·인)은 10.7톤/일·인이고, 작업비용은 44,450원/톤이며, 현행 펄프재+용재 생산체계의 경우 생산성 10.7m<sup>3</sup>/일·인, 작업비용 43,659원/m<sup>3</sup>으로 산출됨.</li> <li>- 현행 전간생산에서 펄프재+용재 생산체계는 1일 1인 기준 작업생산성(m<sup>3</sup>/일·인)은 5.2m<sup>3</sup>/일·인이고, 작업비용은 57,788원/m<sup>3</sup>으로 산출됨.</li> <li>- 현행 단목생산체계에서의 굴삭기집재시스템을 이용한 임목부산물 생산체계는 1일 1인 기준 작업생산성(톤/일·인)은 14.3톤/일·인이고, 작업비용은 27,585원/톤으로 산출됨.</li> </ul> </li> <li>○ 고성능 임업기계를 활용한 新 목재생산 체계 개발(2세부)             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고성능 임업기계를 활용한 벌도 및 조재작업 생산성 예측 모델식 개발 및 검증함.</li> <li>- 고성능 임업기계 장비의 이용을 위한 가이드라인을 제시하기 위해 목재 생산성 및 비용 개선 목표를 제시함.</li> <li>- 고성능 임업기계를 활용한 新 생산체계의 목재용도별(용재, 용재+펄프재)로 구분한 작업생산성 및 비용은 각각 24.6m<sup>3</sup>/인·일, 44,307원/m<sup>3</sup>(용재생산), 28.8톤/일·인, 38,758원/톤으로 산출됨.</li> </ul> </li> <li>○ 저비용 목재 및 부산물 생산체계의 공정별 요소기술개발(3세부)             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 집재향상을 위한 반송기 개발로 통해 집재생산성 및 비용은 각각 46.2m<sup>3</sup>/일, 13,326원/m<sup>3</sup>으로 산출됨.</li> <li>- 임목부산물 수요처에서 요구되는 원료의 규격을 공급하기 위해 목재칩 선별 공정 기술을 개발하여 생산성(7.8톤/시간) 및 비용(11,226원/톤)을 산출함.</li> <li>- 개발된 임목부산물 생산, 파쇄 및 운송을 통해 연료용 목재칩 공급 비용 60,000원/톤로 산출됨.</li> </ul> </li> <li>○ 목질원료 용도별 저비용 생산·공급 시스템 개발 및 현장 적용 연구(4세부)             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 본 연구에서는 목질원료의 용도별[에너지용] 저비용 생산 공급체계 개발을 위하여 문헌 고찰과 현장 및 탐문조사를 통한 생산유형을 분류하였음.</li> <li>- 연구결과로 장작 및 목재칩의 생산 작업비용은 각각 44,485원/톤, 54,604원/톤으로 산출됨.</li> <li>- 탐문조사를 통한 국내 장작생산업체의 판매가격과 운송형태에 대하여 조사를 하였고 본 연구결과와 비교 시 장작생산업체의 순이익을 예측함 .</li> </ul> </li> </ul>

<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 활용방안           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 목재생산업 종사자를 통한 국유림 및 사유림 시범 사업 전개</li> <li>- 수요처와 연계된 저비용 목질원료의 공급 방안 매뉴얼 개발보급</li> <li>- 목재생산성 향상을 위한 임업장비의 성능개선 기술 업체 기술이전</li> <li>- 국내 실정에 적합한 고성능 임업기계의 도입</li> </ul> </li> <li>○ 기술적 측면           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개선된 목재 및 임목부산물 생산 체계 실현</li> <li>- 목재 생산성 향상을 위한 임업기계장비의 성능 개선 및 개발</li> <li>- 수요처를 고려한 목질원료의 체계적인 용도별 생산방식 제시</li> </ul> </li> <li>○ 경제·산업적 측면           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 저비용 목재 및 임목부산물 생산 공급시스템의 현장적용으로 목재 생산량 증대 및 고부가가치화</li> <li>- 고성능 장비의 도입 및 임업기계 성능 개선으로 관련 장비시장의 확대 및 민간수요 증가</li> </ul> </li> <li>○ 사회·문화적 측면           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 효과적인 목질원료 생산체계 개발로 목재생산량 증대</li> <li>- 용도별 목질원료 공급으로 원료확보 경쟁 완화 및 시장 안정화</li> <li>- 목질원료 생산관련 임업기계장비의 활성화로 관련 업체의 산업화</li> <li>- 목질원료 생산 기술 업그레이드 산림작업안전 및 생산성 향상</li> </ul> </li> </ul>				
<p>핵심어 (5개 이내)</p>	목재수확시스템	개벌작업	벌채부산물	생산성	임업기계

## < SUMMARY >

Purpose & Contents	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ The aim of this study is to develop the low cost and high efficient timber production system for various types of timber material by comparing traditional timber production systems with new timber production systems using high performance forest machine. The specific research contents are             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Study on the productivity and benefit of traditional timber production system(Part 1)</li> <li>• Development of new timber production system using high performance forest machine(Part 2)</li> <li>• Development of technical low timber and logging residue production system by process(Part 3)</li> <li>• Development and application of low cost and high efficient production by various types of timber material(Part 4)</li> </ul> </li> </ul>
Results	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Study on the productivity and economic benefit of traditional timber production system(Part 1)             <ul style="list-style-type: none"> <li>• In traditional cut-to-length harvesting system, harvesting productivity and cost were 10.7ton/day·person and 44,450won/ton for pulp wood production and 10.7m<sup>3</sup>/day·person and 43,659won/m<sup>3</sup> for pulp wood and sawlog production.</li> <li>• In traditional tree-length harvesting system, harvesting productivity and cost were 5.2m<sup>3</sup>/day·person and 57,788won/m<sup>3</sup> for pulp wood and sawlog production.</li> <li>• In woodgrab harvesting system, harvesting productivity and cost were 14.3ton/day·person and 27,585won/ton for logging residue production.</li> </ul> </li> <li>○ Development of new timber production system using high performance forest machine(Part 2)             <ul style="list-style-type: none"> <li>• In new timber harvesting system using high performance forest machine, productivity estimation models for felling and processing operations were developed.</li> <li>• Operational guideline was provided to improve harvesting productivity and cost.</li> <li>• In new timber harvesting system, harvesting productivity and cost were 28.8ton/day·person and 38,758won/ton for pulp wood and sawlog productions and 24.6m<sup>3</sup>/day·person and 44,307won/m<sup>3</sup> for sawlog production.</li> </ul> </li> <li>○ Development of technical low timber and logging residue production system by process(Part 3)             <ul style="list-style-type: none"> <li>• With development of new carriage for improving yarding productivity, productivity and cost of yarding operations were 46.2m<sup>3</sup>/day and 13,326won/m<sup>3</sup> for sawlog production.</li> <li>• With development of chip classification system for matching different specifications of various consumers, productivity and cost of classification operation were 7.8ton/day and 11,226won/ton in logging residue processing.</li> <li>• With development of new harvesting, chipping, and transportation systems, total production cost of wood chip from stump to consumer were 60,000won/ton.</li> </ul> </li> <li>○ Development and application of low cost and high efficient production by various types of timber material(Part 4)             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Field study and reviews of past studies were conducted to develop cost-effective harvesting systems for various types of timber material productions</li> <li>• Processing productivity and cost for firewood and chip productions were 44,485won/ton and 54,604won/ton, respectively.</li> <li>• Production cost of new firewood production system was competitive comparing current firewood production costs.</li> </ul> </li> </ul>

Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Utilization plan           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Application of demonstration projects for timber production on national and private forests</li> <li>- Development of cost-effective timber supply chain connected with timber markets and consumers</li> <li>- Technology transfer in forest machine development companies</li> <li>- Introduction of high performance forest machines applied in Korea</li> </ul> </li> <li>○ Technical aspect           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Implement of improved timber and logging residue production systems</li> <li>- Performance improvement of forest machines for improving timber productivity</li> <li>- Introduction of timber production systems for various types of timber material considering timber markets and consumers</li> </ul> </li> <li>○ Economical and industrial aspect           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Increase of timber production volume and value with cost-effective timber and logging residue production systems</li> <li>- Expansion of forest machine market and demand with introduction of high performance machine and performance improvement of forest machines</li> </ul> </li> <li>○ Social and cultural aspect           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Increase of timber production with development of cost-effective timber production system</li> <li>- Mitigation of procurement material competition and stabilization of timber market with various types of timber material supply</li> <li>- Improvement of forest industry by increasing the use of forest machines in timber material production</li> <li>- Improvement of work safety and productivity with upgrading timber production skills and systems</li> </ul> </li> </ul>				
	Keywords	Timber harvesting system	Clear-cutting operation	Logging residue	Labor productivity

## < Contents >

1. Introduction .....	8
2. Status of domestic and foreign technology development .....	10
3. Research contents and results .....	13
4. Research achievement and contribution .....	91
5. Application plan of the research achievement .....	94
6. Collection of the worldwide technology .....	95
7. Security level of the research achievement .....	96
8. Status of research facilities and equipments registered in the National Science & Technology Information System .....	96
9. Laboratory safety performance .....	96
10. Representative results of research and development project .....	97
11. Other considerations .....	97
12. References .....	97



## 〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 .....	8
2. 국내외 기술 개발 현황 .....	10
3. 연구 수행 내용 및 성과 .....	13
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....	91
5. 연구개발성과의 활용 계획 .....	94
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 .....	95
7. 연구개발성과의 보안등급 .....	96
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황 .....	96
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 .....	96
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 .....	97
11. 기타 사항 .....	97
12. 참고 문헌 .....	97

# 제1장. 연구개발과제의 개요

---

## 1. 연구개발 목적

- 현행 목재생산체계와 고성능 임업기계를 활용한 新 목재생산체계의 실증·비교 연구를 중심으로 한 용도별 목질원료 및 미이용 부산물의 저비용·고효율 생산·공급기술 개발

## 2. 연구개발의 필요성

- 최근 「목재의 지속가능한 이용에 관한 법률」 제정에 따른 친환경 목재 이용 활성화 및 목재 산업 진흥 기반 마련과 신재생에너지 의무사용제도(RPS) 도입, 친환경소재에 대한 관심증가 등으로 목재 수요가 지속적으로 증가하고 있음.
- 또한, 세계 경제의 성장 둔화, 목재자원 보유국의 수출 규제, 자국의 자원 보호 등에 따른 목재 수입 여건 악화로 국산재의 생산 및 이용에 관한 기대가 커져가고 있음.
- 그러나, 국산목재의 공급관리로 안정적인 목재수급 및 산업 원자재 부족난을 해소하기 위해서는 별채량 대비 저조한 수집율의 개선과 시장 수급여건을 고려한 맞춤형 목재수요 예측과 공급으로 안정적인 목재수급 정책이 필요한 시점임.
- 이러한 문제를 해결하기 위해 효과적인 목재생산을 위한 제도개선과 별채사업의 품질향상을 위한 저비용 고효율의 용도별 맞춤형 목재생산 기술이 요구되고 있음.
- 또한, 임도 등 목재생산 기반시설이 부족한 상황에서 별채량 대비 수집율을 제고할 수 있는 효과적인 생산 시스템의 개발과 경제적 편익분석을 통해 국산 목재생산 확대 방안이 필요한 상황임.
- 특히, 별채 후 방치되는 숲가꾸기 산물과 임목부산물 등의 효과적인 수집과 공급방안에 대한 현장중심의 실질적인 기술개발을 통해 국가적으로 목재자원의 활용성 제고가 요구됨.
- 또한, 목재산업과 에너지 산업의 원료경합 문제를 효과적으로 관리 운영하기 위해 현장에서 목질원료의 용도별 생산체계와 운송방안에 대한 기술개발 및 경제적 편익분석이 시급함.

## 3. 연구개발 범위

- 현행 목재생산체계의 공정별 생산성 및 경제적 편익 조사·분석(주관)
    - 현행 단목 생산체계의 공정별 생산성 및 경제적 편익 조사·분석
    - 현행 전간 생산체계의 공정별 생산성 및 경제적 편익 조사·분석
    - 현행 굴삭기집재체계에서의 임목부산물 생산체계의 경제적 편익 조사·분석
    - 현행 임목부산물 자원화 시범사업에서 적용하고 있는 전목생산체계에 대한 공정별 생산성, 생산비용 및 경제적 편익 조사·분석
-

- 
- 현행 임목부산물의 생산 및 공급체계에 있어서 기술적/경제적 향상 방안 제시
  - 고성능임업기계(Harvester, Processor)를 활용한 新 목재생산 체계 개발(2세부)
    - 고성능 임업기계(Harvester, Processor)를 활용한 벌도작업 생산성 조사·비교분석
    - 고성능 임업기계(Harvester, Processor)를 활용한 조재작업 생산성 조사 및 기존 data 비교 분석
    - 고성능 임업기계(Harvester, Processor)를 활용한 벌도 및 조재작업에 있어서 기술적/경제적 향상 방안 제시
    - 고성능 임업기계(Harvester, Processor) 장비의 적용 범위와 한계 규명
    - 현행 생산체계와 新 생산체계 간의 생산성 및 경제적 편익 비교·분석
  - 저비용 목재 및 부산물 생산체계의 공정별 요소기술개발(3세부)
    - 집재작업 생산성 향상을 위한 반송기 개발
    - 집재작업 생산성 향상을 위한 반송기의 현장적용 시험
    - 기반시설 위치별 효율적인 목재수확계획 기법 개발
    - 전목집재 후 가지 등 부산물의 활용 효율성 제고를 위한 기술·공정개발
  - 목질원료 용도별 저비용 생산 시스템의 개발 및 적용방안 마련(4세부)
    - 목질원료의 용도별 저비용·고효율 생산체계 개발 및 생산 공급시스템의 현장 적용성 평가
    - 목질원료의 용도별 저비용·고효율 공급 체계 개발
    - 목재산업용 목질원료의 저비용 공급 모델 개발
    - 에너지용 목질원료의 저비용 공급 모델 개발
-

## 제2장. 국내외 기술 개발 현황

### 1. 세계적 수준

개념정립 단계		기업화 단계		기술 안정화 단계	○
---------	--	--------	--	-----------	---

#### ○ 미국

- 최근 미국 에너지국의 보고에 의하면 목질계 산림바이오매스가 에너지 생산에 있어서 가장 중요한 잠재자원으로 평가받고 있으며, 대부분 주의 평균 잠재적인 에너지 생산은 카운티 당 50 MW가 초과되고 있는 실정임. 또한 일부 산림자원이 풍부한 오레건, 워싱턴 및 캘리포니아 주의 경우 현존하는 산림 벌채 부산물 양이 500 MW가 초과하고 있는 상황임.
- 하지만, 현재 개별 또는 간벌지에서의 벌채부산물의 경우 그 수집, 파쇄 및 운송비용이 상당히 높기 때문에 많은 지역에서 임내에 그대로 방치되고 있는 실정임.
- 따라서, 이러한 높은 벌채부산물 생산비용을 낮추기 위하여 다양한 산림바이오매스 수확시스템의 개발 및 효율적인 운송시스템 개발을 활발히 진행하고 있음.

#### ○ 일본

- 2001년 자원에너지청에서 발표된 신에너지 도입 목표 중에서 처음으로 바이오매스가 신에너지로 인정받게 되었으며, 임지잔재 또는 간벌재의 에너지 이용 가능량은 연간 800 만톤 정도임.
- 하지만 이러한 상당량의 잠재적인 산림바이오매스의 이용량이 있음에도 불구하고 넓은 지역에 분산되어 있는 바이오매스를 낮은 가격으로 수집 및 운송할 수 있는 기술이 아직 확립되지 못하여 현재 목질바이오매스의 에너지이용은 활발하지 않고 있음.
- 따라서 저비용, 고효율의 산림바이오매스 수확 및 운송을 위한 다양한 현장실연 연구가 다양하게 이루어졌으며, 그 결과를 유럽의 각국과 수확경비를 비교한 결과, 많은 차이가 있음을 확인하였음. 특히, 임내운반과 운송의 공정에서 그 효율성이 떨어짐을 확인하고 다양한 바이오매스 수확 및 운송시스템을 적용하여 그 효율성 향상을 통한 경비절감을 위한 기술개발이 이루어지고 있음.

### 2. 국내수준

- 기존의 목재생산방식이 단목생산체계에서 전목생산체계로의 시범사업 등을 통해 지조 등 부산물을 활용하려는 연구와 기술개발이 이루어지고 있음. 특히 전목수확 생산시스템에서 고성능 임업기계의 적용을 통한 조재작업의 생산성 개선으로 전체 목재생산 체계의 생산성 향상 및 비용절감 효과를 보고하고 있음(국립산림과학원, 2013).

- 그러나 대부분 현장에서 파쇄 전 미가공 상태로 벌채부산물을 운반하기 때문에 생산보다는 운송에 많은 비용이 발생하여 경제성이 없는 것으로 판단하는 경우가 많음.
- 또한, 리기다소나무의 목질연료생산 및 생산비용 등에 관한 연구가 수행되어 열병합 발전소로의 목질원료 공급시스템과 경제성이 제시되었으나 현장으로의 적용을 위해서는 관련 장비의 개발 및 시스템개선이 필요한 상태임(지식경제부, 2008).
- 목재 및 임목부산물 생산에 필요한 비용절감을 위해 임내 단목조재 후, 굴삭기 우드그랩을 통한 수집방법을 선호하고 있으나, 최근 인건비 및 장비 임차 비용의 상승으로 고성능 임업기계장비를 활용한 저비용 목재 및 임목부산물 수확체계에 대한 관심이 증가하고 있음.
- 그러나, 고성능 임업기계를 활용한 목재수확 및 부산물 생산체계 연구는 기초적인 수준이며, 관련 장비의 부족과 숙련된 오퍼레이터의 부재로 현장에서의 적용이 어렵고, 초기에 새로운 장비를 현장에 적용하여 사용함으로써 운영미숙에 대한 비용문제로 인한 부담으로 사용을 기피하고 있음.

### 3. 국내·외의 연구현황

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
핀란드 임업연구소	운송 및 유통을 포함한 목질원료 생산기술 및 시스템 구축	목질에너지 기술 프로그램을 통한 바이오에너지 원료공급체계 적용
미국 산림청	목재 및 부산물의 저비용 생산 시스템	저비용 목질원료의 전기에너지 전환 이용
일본 산림총합연구소	목질원료의 지속적 생산 이용 시스템 구축	지역공동체의 분산형 목질에너지 이용

### 4. 향후 전망

- 현행 목질원료의 생산 및 공급 체계의 경제적 편익 및 작업상의 문제점을 조사·분석하여 경제적이고, 효율적인 수집방안과 산림바이오매스의 이용을 증대시킬 수 있는 방안을 제시할 수 있을 것으로 사료됨.
- 고성능임업기계의 이용을 포함하는 새로운 저비용 목질원료의 생산 시스템 개발 및 공정별 비용절감 방안을 제시하여, 앞으로의 산림경영에 있어서 목재 및 벌채부산물을 동시에 효율적으로 생산·이용할 수 있는 방안을 제시 할 수 있을 것임.
- 고성능 임업기계의 현장 적용을 통한 시스템 생산성 및 공정별 요소기술 개발을 통하여, 고성능 임업기계 장비의 적용 범위와 한계를 규명하고 향후 국내 실정에 적합한 고성능 임업기계 선정 및 도입에 큰 기여를 할 수 있을 것임.

- 
- 목질원료의 용도별 저비용 생산체계 개발을 통하여 현재 높은 수집비용문제로 임내에 그대로 방치되고 있는 벌채부산물에 대하여 다양한 용도의 개발을 통한 경제적 가치를 증대 시킬 수 있는 방안을 제시하는데 큰 기여를 할 수 있을 것으로 사료됨.
  
  - 또한 목재산업용 및 에너지용 목질원료의 저비용 공급 모델 개발을 통하여 용도별 안정적인 저비용 공급방안을 제시할 수 있을 것이고, 수요처와 연계된 저비용 목질원료의 공급방안 매뉴얼 개발에 큰 기여를 할 수 있을 것임.
-

# 제3장. 연구 수행 내용 및 성과

## 1절. 연구방법

### 1. 연구대상지

- 경기도 이천시 호법면 매곡리 산 41번지의 혼효림으로 펄프재 생산체계를 적용하였고, 가평 조종면 운악리 산 134-1번지와 춘천시 서면 덕두원리 산 163-7번지의 낙엽송림에서 펄프재+용재 생산체계를 적용하였으며, 대상지 개요는 표 1과 같음.

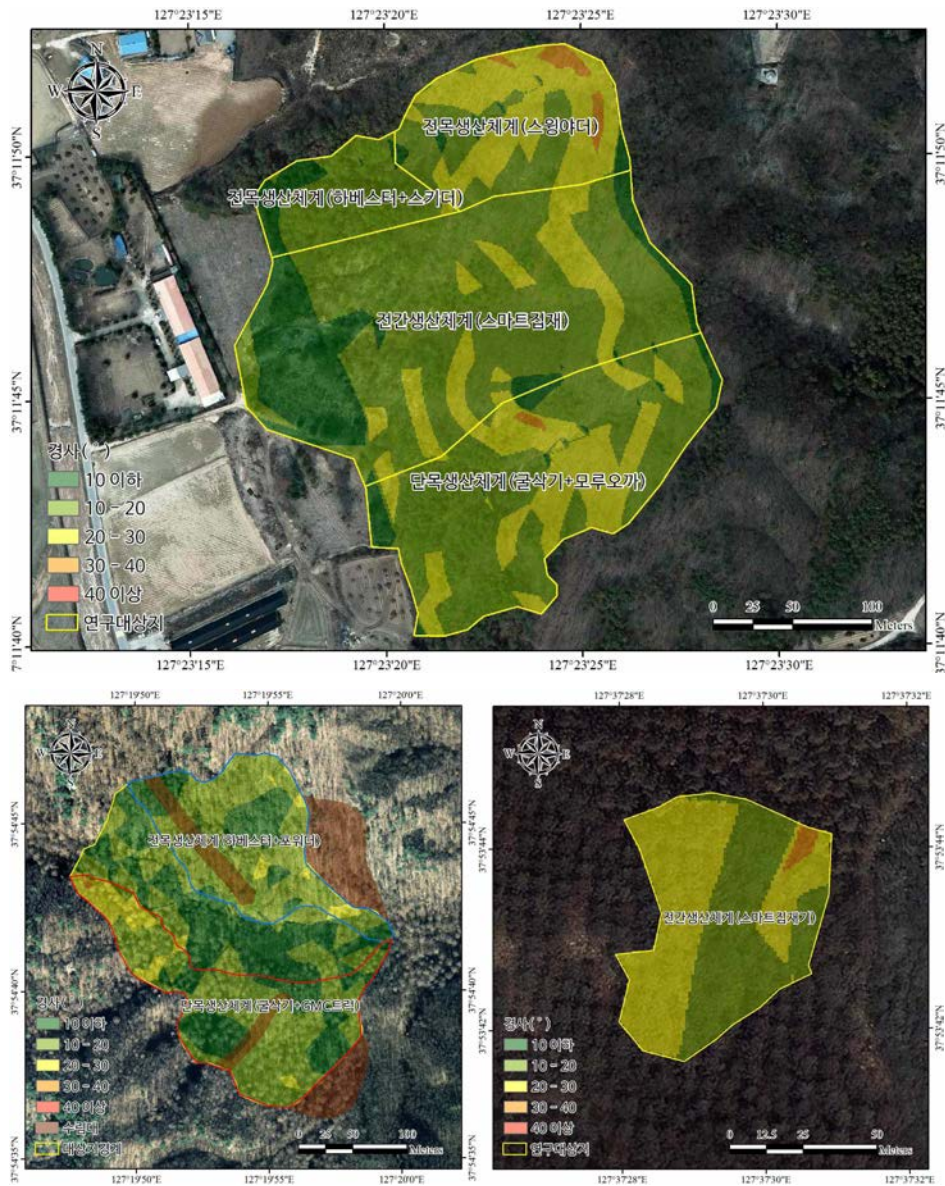


그림 1. 연구대상지(상: 이천, 좌: 가평, 우: 춘천)

표 1. 연구대상지 개요

시험연도	2015		2016	
위치	경기도 이천시 호변면 매곡리 산41번지		가평 조족면 유악리 산 134-1번지	춘천시 서면 덕두원리 산163-7번지
면적(ha)	7.2		5.6	0.5
평균 경사(°)	21.7		12.7	20.0
임상	혼효림		인공림	인공림
주요수종(혼효율 %)	활엽수(50.4). 리기다소나무(42.5). 소나무, 잣나무 등		낙엽송(82.5)	낙엽송(100.0)
경급(cm)	22/10~48		30/6~54	34/18~46
수고(m)	15/10~21		22/17~24	22/10~33
ha당 본수	468본/ha		231본/ha	208본/ha
본당 평균재적	0.28 m <sup>3</sup> /본		0.67 m <sup>3</sup> /본	0.92 m <sup>3</sup> /본
ha당 평균재적	106.4 m <sup>3</sup> /ha		107.4 m <sup>3</sup> /ha	191.4 m <sup>3</sup> /ha
생산방식	펼프재		펼프재 + 용재	



표 2. 이천시 조사대상지 매목조사 집계표

경급 (cm)	적용수고(m)				단재적(㎡)				매목조사본수 집계표										
	신갈 나무	삿수 리나무	리기 다소 나무	죽부 지박 소나무	신갈나 무	삿수리 나무	리기다 소나무	죽부지 방소나 무	합계	소계	신갈 나무	삿수 리나무	리기 다소 나무	죽부 지박 소나무	소계	신갈 나무	삿수 리나무	리기 다소 나무	죽부 지박 소나무
6	-	-	-	8	-	-	-	0.0146	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	9	9	9	9	0.0272	0.0244	0.0245	0.0272	58	3	3	-	-	-	55	36	12	-	7
10	10	10	10	10	0.0444	0.0406	0.0417	0.0449	188	7	6	1	-	-	181	142	28	-	11
12	10	10	11	11	0.0603	0.0563	0.0649	0.0684	256	15	11	4	-	-	241	180	20	-	41
14	12	12	12	12	0.0954	0.0896	0.0949	0.0982	508	27	17	7	-	3	481	337	44	-	100
16	13	13	13	13	0.1303	0.1235	0.1325	0.1351	547	36	17	11	-	8	511	337	30	-	144
18	14	14	14	14	0.1721	0.1645	0.1786	0.1798	507	40	18	16	-	6	467	291	24	-	152
20	15	15	15	15	0.2214	0.2131	0.2338	0.2329	531	37	14	13	1	9	494	289	32	-	173
22	15	15	15	16	0.2595	0.2522	0.2793	0.2952	295	34	9	10	1	14	261	143	5	-	113
24	15	15	16	16	0.2997	0.2941	0.3516	0.3454	249	35	14	7	-	14	214	106	1	-	107
26	16	16	17	17	0.3678	0.3624	0.4350	0.4245	113	17	8	7	-	2	96	41	1	-	54
28	16	16	17	17	0.4158	0.4129	0.4992	0.4857	113	6	1	2	-	3	107	55	3	-	49
30	17	17	18	18	0.4988	0.4968	0.6028	0.5835	98	9	3	4	-	2	89	32	2	-	55
32	17	17	18	18	0.5549	0.5563	0.6792	0.6565	51	3	1	1	-	1	48	18	-	-	30
34	18	18	19	19	0.6540	0.6570	0.8048	0.7749	41	1	-	1	-	-	40	11	1	1	27
36	18	18	20	20	0.7186	0.7261	0.9446	0.9065	13	2	1	-	1	-	11	6	-	-	5
38	19	19	21	21	0.8349	0.8448	1.0995	1.0521	6	-	-	-	-	-	6	4	-	-	2
40	19	19	21	21	0.9086	0.9238	1.2085	1.1569	10	2	-	1	1	-	8	4	-	-	4
42	19	19	21	21	0.9846	1.0058	1.3219	1.2665	5	-	-	-	-	-	5	3	-	-	2
44	-	-	21	21	-	-	1.4397	1.3811	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	-	21	22	-	-	1.5619	1.5727	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	-	-	21	22	-	-	1.6883	1.7032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	22	22	-	-	1.9127	1.8389	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
52	-	-	-	22	-	-	-	1.9800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	-	-	-	23	-	-	-	2.2238	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
56	-	-	-	23	-	-	-	2.3825	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
58	-	-	-	23	-	-	-	2.5469	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	23	-	-	-	2.7170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
계									3,590	274	123	85	4	62	3,316	2,035	203	1	1,077
ha당 재계									500	39	17	12	1	9	461	283	28	-	150

표 3. 가평군 조사대상지 매목조사 집계표

경급 (cm)	적용수고(m)		단재적(㎡)		매목조사본수 집계표						
	낙엽송	기타활엽수	낙엽송	기타활엽수	합계	소계	존치목		제거목		
	낙엽송	기타활엽수	낙엽송	기타활엽수	합계	소계	낙엽송	기타활엽수	소계	낙엽송	기타활엽수
6	17	10	0.0251	0.0187	-	-	-	-	-	-	-
8	18	11	0.0469	0.0338	10	-	-	-	10	-	10
10	18	12	0.0725	0.0542	46	6	1	5	40	-	40
12	19	13	0.1091	0.0804	84	10	2	8	74	1	73
14	19	13	0.1464	0.1042	91	4	3	1	87	3	84
16	20	14	0.1992	0.1414	110	7	2	5	103	14	89
18	20	14	0.2485	0.1721	92	9	3	6	83	20	63
20	21	15	0.3189	0.2214	105	9	6	3	96	29	67
22	21	16	0.3803	0.2788	86	13	8	5	73	36	37
24	21	16	0.4461	0.3221	85	5	4	1	80	51	29
26	21	17	0.5159	0.3936	101	13	11	2	88	70	18
28	22	17	0.6208	0.4450	93	10	10	-	83	74	9
30	22	17	0.7025	0.4988	95	2	2	-	93	82	11
32	22	18	0.7878	0.5917	81	8	8	-	73	71	2
34	22	18	0.8767	0.6540	64	5	5	-	59	54	5
36	23	19	1.0184	0.7637	55	3	3	-	52	50	2
38	23	19	1.1188	0.8349	36	-	-	-	36	35	1
40	23	19	1.2223	0.9086	38	-	-	-	38	37	1
42	23	20	1.3289	1.0432	15	-	-	-	15	15	-
44	23	20	1.4384	1.1263	3	-	-	-	3	3	-
46	24	20	1.6269	1.2118	-	-	-	-	-	-	-
48	24	21	1.7474	1.3733	-	-	-	-	-	-	-
50	24	21	1.8705	1.4689	1	-	-	-	1	1	-
52	24	21	1.9960	1.5669	1	-	-	-	1	1	-
54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			계		1,292	104	68	36	1,188	647	541
			ha당 재계		231	19	12	6	212	116	97

표 4. 춘천시 조사대상지 매목조사 집계표

경급 (cm)	적용수고(m)	단재적(㎡)	매목조사본수 집계표				
			존치목		제거목		
	낙엽송	낙엽송	합계	소계	낙엽송	소계	낙엽송
6	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-
16	11	0.1033	-	-	-	-	-
18	12	0.1415	2	-	-	2	2
20	14	0.2040	1	-	-	1	1
22	15	0.2622	1	-	-	1	1
24	17	0.3531	4	-	-	4	4
26	17	0.4079	5	-	-	5	5
28	19	0.5275	4	-	-	4	4
30	20	0.6317	6	-	-	6	6
32	20	0.7082	8	-	-	8	8
34	21	0.8322	6	-	-	6	6
36	22	0.9689	9	-	-	9	9
38	23	1.1188	16	-	-	16	16
40	24	1.2822	6	-	-	6	6
42	24	1.3941	5	-	-	5	5
44	24	1.5091	4	-	-	4	4
46	23	1.5505	1	-	-	1	1
48	21	1.5020	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-
52	-	-	-	-	-	-	-
54	-	-	-	-	-	-	-
56	-	-	-	-	-	-	-
58	-	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-	-
	계		78	-	-	78	78
	ha당 재계		52	-	-	52	52

## 2. 연구방법

- 본 연구는 case study로 동일한 임분조건에서 현행과 新체계로 구분하여, 임목 및 부산물을 생산하였음.
- 현행체계는 사유림에서 작업하는 방식인 굴삭기 우드그랩을 이용한 단목집재방식과 국유림에서 작업하는 방식인 트랙터 집재기를 이용한 전간집재방식을 적용하였음.
- 또한 新체계는 완경사지와 중·급경사지로 구분하여, 그림 2와 같이 경사지별 전목, 전간, 단목집재방식을 적용하였음.
- 임목의 경우 펄프재와 용재로 생산되고 부산물은 장작과 칩으로 생산하는 것으로 용도를 구분하였음.
- 목재수확과정에서 발생한 미이용 부산물의 효과적인 수집 운송에 필요한 시스템개발과 목재 등 목질원료의 용도별 안정적인 공급 방안을 제시하기 위하여 현행 및 개발 가능한 목질원료 생산체계를 경제적 편익분석을 통해 비교·분석하였음.
- 현행과 新체계별로 지형, 수종, 임분상태를 고려한 조사구를 설정하여 생산성 및 경제적 편익을 비교·분석하였음.

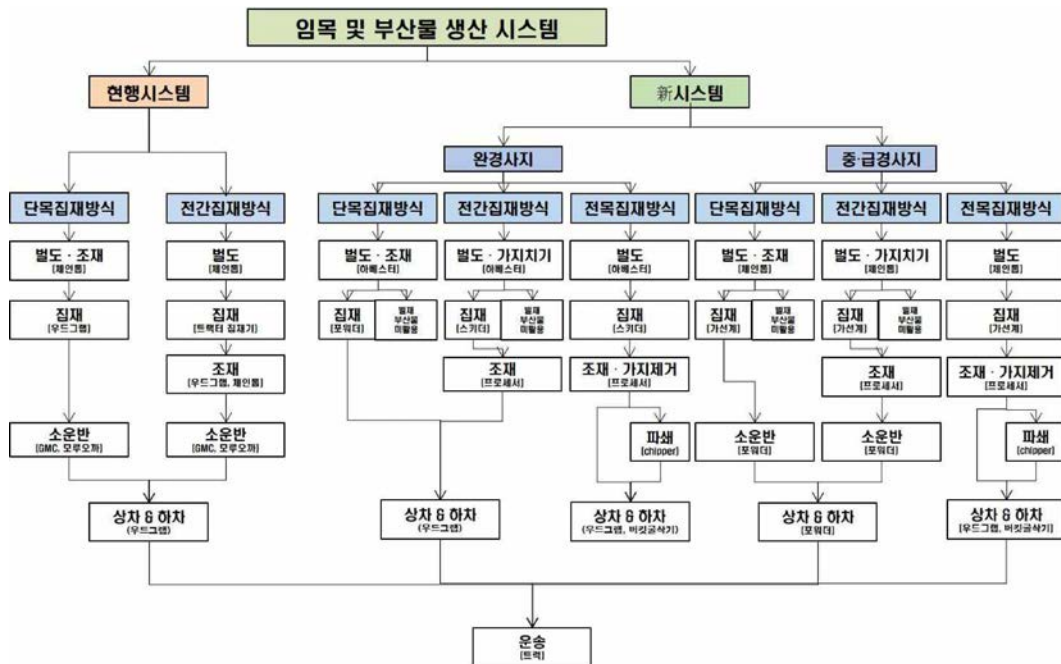


그림 2. 임목 및 부산물 현행 및 新생산체계

## 3. 분석방법

### 가. 작업생산성 분석

- 작업생산성(톤 or m<sup>3</sup>/hr)은 펄프재 생산체계의 경우 시간당 생산량(본/hr)과 임목중량(톤/본)과의 관계를 통해 산출하였고, 펄프재+용재 생산체계의 경우는 시간당 생산량(본/hr)과 임목재적(m<sup>3</sup>/본)을 이용하여 산출함.
- 전체 생산체계 생산성은 다음과 같이 조화평균을 이용함(우보명 등, 1997).

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} + \frac{1}{X_4}$$

S : 생산체계 생산성(톤 or m<sup>3</sup>/인·일)

X<sub>1</sub> : 벌도작업 생산성(톤 or m<sup>3</sup>/인·일)

X<sub>2</sub> : 집재작업 생산성(톤 or m<sup>3</sup>/인·일)

X<sub>3</sub> : 소운반작업 생산성(톤 or m<sup>3</sup>/인·일)

X<sub>4</sub> : 적재+운송작업 생산성(톤 or m<sup>3</sup>/인·일)

## 나. 작업비용 분석

- 작업비용(원/톤 or m<sup>3</sup>)은 기계비용(원/시간)과 생산성(톤 or m<sup>3</sup>/시간)을 이용하여, 다음과 같이 산출함(Miyata, 1980).

$$\text{작업비용(원/톤 or m}^3\text{)} = \frac{\text{기계비용(원/시간)}}{\text{생산성(톤 or m}^3\text{/시간)}}$$

### (1) 독일식(KWF) 기계비용

- 독일 산림작업 및 임업기계위원회(KWF)에서 정한 방식으로 감가상각비, 이자비용, 수리 유지비, 유류비, 이동비, 기타비, 인건비 등을 고려하여 산출함(우보명 등, 1997). 세부항목별 적용내용은 다음과 같음.

- (가) 감가상각비: 경제적 내구 년 수 동안 기계의 수명(가동시간)에 도달할 때까지 가동을 못하는 경우는 감가상각비가 증가함. 즉 장비의 활용도가 일정한 기준 이하일 때는 감가상각비가 증가하는 방식을 사용함.

$$J \geq H/N \text{ 일 경우 } D=P/H$$

$$J < H/N \text{ 일 경우 } D=P/(J \times N)$$

P : 장비 구입가격

H : 장비 경제적 수명

N : 장비 내구년 수

J : 실제 연간 가동시간

- (나) 이자비용 : 기계구입 시 자금을 은행으로부터 용자받는 것으로 적용하여 시중은행금리나, 임업이자율 등을 고려하여 계산하고, 평균 투자금액은 장비 구입가격의 1/2로 계산함.

$$\text{자본이자(I)} = P/2 \times \text{연이율}$$

- (다) 수리 유지비용 : 감가상각비에 대한 수리정비계수(r)를 이용하여 계산함.

$$\text{수리 유지비(RM)} = P/H \times r$$

- (라) 유류 비용 : 연료비는 사용연료의 시간당 비용으로 계산하고, 윤활유 비용은 윤활유 계수를 이용하여 산출함. 보통 장비일 경우 윤활유 계수는 0.1이나 유압시스템으로 가동되는 하베스터 등의 대형장비일 경우에는 0.4를 적용함.
- (마) 이동 비용 : 장비를 다른 작업장소로 이동하는데 소요되는 비용과 운전원의 인건비, 숙박비 등을 고려하여 계산함.

(바) 기타 비용 : 장비에 대한 손해보험과 대인·대물보험 비용 등을 계산함. 창고 보관비용은 장비의 보관에 필요한 창고 임대비용으로 대체하고 경우에 따라서는 기계에 대한 관리비용을 계산하여 비용에 편입할 수 있음.

(사) 인건비 : 직접인건비 외에 부대비용인 유급휴가, 교육훈련, 악천후로 인한 작업 불가능시의 급여 등 추가임금과 수당, 퇴직연금에 대한 적립액, 기타 작업복, 관리비용 등을 계산함.

(2) 실지금액

- 목재수확현장에서 실제 지급되는 작업원의 일일 노임단가(원/일)와 작업시간(시간/일)을 이용하여, 기계비용을 산출함. 작업별 실지금액은 다음과 같음.

표 5. 작업별 실지금액

구분	실지금액
굴삭기 우드그랩	550,000원/일
GMC 트럭	650,000원/일
영운기	450,000원/일
25톤 트럭	14,000원/톤

※ 경기도 이천과 가평의 작업별 실지금액을 기준으로 하였음.

일일 노임단가에는 고정비용, 운용비용, 노무비용이 포함된 것으로 가정함.

(3) 산림사업 표준품셈

- 2014년 한국산림기술사협회에서 발간한 ‘산림사업표준품셈’에 따른 임목수확 품셈은 다음과 같음.

(가) 벌목

- 작업량

표 6. 벌목작업량

(단위: m<sup>3</sup>/1인/1일)

벌도목 구분	벌목량(m <sup>3</sup> )	인력구분
단목	20.17	벌목부
전간	25.50	
전목	40.34	

- 할인·할증요소

표 7. 벌목작업 할인·할증요소

구분	내용	할인·할증요소
벌도목 평균경급	20cm 미만	+10%
	20~30cm	+5%
	30cm 이상	0
경사도	완(15° 미만)	0
	중(15~30°)	+5%
	급(30° 초과)	+10%
장애물의 종류와 정도	무릎높이 이하의 관목	0
	가슴높이 미만의 관목	+5%
	가슴높이 이상의 관목	+10%

- 소요재료

표 8. 별목작업 소요재료

기계명 (주재료)	주연료 (ℓ/일, 대)	잡품 (주연료비의 %)	소요인력당 적용기준	
			적용비율	적용내역
체인톱 (휘발유)	5.6	95%	100%	- 1대당 1인1조 작업으로 소요인력별 100% 적용

※ 잡품은 엔진유, 기어유, 그리스 등 기타소모품에 해당하며, 주 연료비에 대하여 금액비율로 적용

- 기계손료

표 9. 별목작업 기계손료

규격	손료계수 (1일1대당)	소요인력당 적용기준	
		적용비율	적용내역
45cc (배기량기준)	0.0084	100%	- 1대당 1인1조 작업으로 소요인력별 100% 적용 - 손료계수×체인톱가격×인원

(나) 집재(굴삭기 우드그랩)

- 작업량

표 10. 굴삭기 우드그랩 집재작업량

(단위: m<sup>3</sup>)

구분	ha 당 평균 작업량			인력구분
	20m <sup>3</sup> 미만	20~40m <sup>3</sup>	40m <sup>3</sup> 초과	
작업량	27.49	33.77	40.89	1인 1조 (건설기계운전 기사 1인) 보통인부 1인

※ 원목의 직경(말구 평균직경)을 ha당 작업량으로 변환한 것임.

원목의 길이별 산술평균값 적용

별도, 조재를 완료한 원목을 산지에서 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하며 집적하는 공정으로, 집재거리 40m를 기준

보통인부는 굴삭기 작업방해물을 제거하는 작업 품임.

횡단경사 40% 이하에 적용하며, 굴삭기 이동거리는 50m를 초과할 수 없음.

## - 소요재료

표 11. 굴삭기 우드그랩 집재작업 소요재료

기계명	주연료 (ℓ)	잡품 (주연료비의 %)	적용기준
소형굴삭기 (0.2㎡)	20.8(경유)	30	잡품은 주연료비에 대한 비율로 적용

※ 잡품은 엔진유, 기어유, 그리스 등 기타소모품에 해당하며, 주 연료비에 대하여 금액비율로 적용

## - 기계손료

표 12. 굴삭기 우드그랩 집재작업 기계손료

기계명	기계손료(1일당 적용기준)		
	손료계수 (1일1대당)	장비가격('12년)	적용기준
굴삭기 (0.2㎡)	0.0015	60,000,000원	손료계수×장비가격×적 용일수

※ 손료는 해당 장비가격에 대하여 적용하며, 장비가격은 공장도가격 및 수입가격으로 적용(기타 세부사항은  
건설표준품셈의 적용기준에 준하여 적용)

손료계수는 1일당 1대 적용기준으로 산정(1일 미만 사용 시도 1일 적용)

## (다) 운재

## - 소형트럭운재(굴삭기 상차, 자체 하차) 작업량

표 13. 소형트럭 운재작업량 (단위: ㎡)

구분	주행거리(m 이하)										인력구분
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1,000	
회수	23.8	20.5	18.0	16.1	14.5	13.3	12.2	11.3	10.5	9.8	건설기계 운전기사
운반량	52.3	45.1	39.7	35.4	32.0	29.2	26.8	24.8	23.1	21.6	1명

※ 1대 1조 1일당 기준

굴삭기 상차, 자체 하차 기준

단재 경우만 적용

## - 할인·할증요소

표 14. 소형트럭 운재작업 할인·할증요소

구분	내용	할인·할증요소
주행 장애물 상태	돌, 도랑, 그루터기 등으로 주행이 매우 힘들다	+10%
	돌, 도랑, 그루터기 등으로 주행이 다소 힘들다	+5%
	주행에 어려움이 없다	0

※ 할인·할증요소는 소요인력에 대하여만 적용(재료소요량에는 미적용)



## - 소요재료

표 15. 소형트럭 운재작업 소요재료

기계명	주연료 (ℓ)	잡품 (주연료비의 %)	적용기준
소형트럭	15.0(경유)	30	잡품은 주연료비에 대한 비율로 적용

※ 잡품은 엔진유, 기어유, 그리스 등 기타소모품에 해당하며, 주 연료비에 대하여 금액비율로 적용

## - 기계손료

표 16. 소형트럭 운재작업 기계손료

기계명	손료계수 (1일1대당)	기계손료(1일당 적용기준)	
		장비가격('12년)	적용기준
소형트럭	0.0027	20,000,000원	손료계수×장비가격×적용일수

※ 손료는 해당 장비가격에 대하여 적용하며, 장비가격은 공장도가격 및 수입가격으로 적용(기타 세부사항은 건설표준품셈의 적용기준에 준하여 적용)

손료계수는 1일당 1대 적용기준으로 산정 (1일 미만 사용시도 1일 적용)

## 다. 생산성 예측모델식 개발

- 작업별 전체 데이터에서 30%를 랜덤으로 추출하여, 1차 생산성 예측모델식을 개발하였음. 예측모델식의 적합성을 분석하기 위해, 전체 데이터의 실측값과 모델식을 이용한 예측값 간의 t-test를 실시함. 예측모델식이 적합하다고 판단될 경우, 전체 데이터를 이용하여 최종 생산성 예측모델식을 개발하였음.

## (1) 벌도 및 조재작업

- 1일 원목 생산성  $E_n$  (m<sup>3</sup>/일)은 다음의 이론공정식으로 산출함(吉岡拓如, 2003).

$$E_n = 3,600 \cdot C_n \cdot D_n \cdot V_n / CT_n$$

여기서,  $C_n$ : 벌도 및 조재작업에 관한 수정계수

$D_n$ : 벌도 및 조재작업의 1일 순수작업시간(hr/일)

$V_n$ : 1본의 입목을 벌도 및 조재작업하여, 생산하는 원목의 재적(m<sup>3</sup>/본)

$CT_n$ : 벌도 및 조재작업의 cycle time(sec/본)

- 또한, 벌도 및 조재작업에서 생산되는 벌채부산물 생산성은 다음의 이론공정식으로 표현함.

$$E_{nb} = 3,600 \cdot C_{nb} \cdot D_{nb} \cdot W_{nb} / CT_{nb}$$

여기서,  $W_{nb}$ : 1본의 입목으로부터 생산되는 벌채부산물 생산량(kg/본)

## 라. 생산성 예측모델식 검증

- 생산성 예측모델식으로 산출한 일일 예측생산성(m<sup>3</sup>/일)과 현실 임분의 총 생산량(m<sup>3</sup>)을 이용하여, 다음과 같은 식으로 예측 작업시간을 산출하였으며, 이와 현실 작업시간을 비교함. 현실 임분의 총 생산량(m<sup>3</sup>) / 일일 예측생산성(m<sup>3</sup>/일) \* 일일 작업시간 (6시간/일)

$$\text{여기서, 일일 예측생산성: } y = \sum_{n=1}^i ax + b$$

## 2절. 목재생산체계의 공정별 생산성 및 경제적 편익 조사·분석(주관)

### 1. 단목(펄프재, 펄프재+용재) 생산체계

#### 가. 연구수행방법(이론적·실험적 접근방법)

- 문헌 고찰 및 현장 방문을 통한 생산체계 및 장비의 유형을 분류함.
- 연구대상지 선정 및 GIS를 이용한 지형 및 지리, 임상특성을 분석함.
- 현행과 新 단목생산체계의 현장적용을 위한 적정 작업체계를 선정함.
- 연구대상지 지형에 따라 현행과 新 집재방식 및 기종을 선정함.
- 효율적인 목재 생산체계 구축을 위해 현장조사를 바탕으로 한 작업을 설계함.
- 단목생산체계의 현장 실연 및 작업 생산성자료를 수집함.
- 작업 생산성 및 경제적 편익분석을 위한 생산성 예측모델을 개발함.
- 생산성 예측모델 및 민감도분석을 통한 단목생산체계의 생산성 및 경제성을 평가함.
- 현행과 新 단목생산체계의 생산성 향상을 위한 기술적/경제적 개선방안을 제시함.

#### 나. 연구결과

##### (1) 현행 단목(펄프재, 펄프재+용재) 생산체계

- 현행 단목생산은 경기도 이천시 호법면에서 펄프재 생산(2.3ha)과 가평 조종면 운악리에서 펄프재+용재(2.1ha)를 생산하였음.
- 현행 단목생산에서 펄프재 생산체계는 체인톱을 이용한 벌도와 조재작업, 굴삭기 우드그랩을 이용한 중하산집재를 실시한 후, 펄프재는 굴삭기 우드그랩과 임내차(모루오까)를 이용한 소운반, 우드그랩과 25톤 트럭을 이용한 운송작업으로 구분하였음.
- 펄프재+용재 생산체계는 벌도에서 중하산 집재까지 동일하고, 소운반을 제외한 직접 운송은 우드그랩과 GMC트럭 2대를 이용하였음.

##### (가) 작업생산성

- 현행 단목(펄프재) 생산체계에서 조화평균을 이용한 1일 1인 기준 전체 작업생산성(톤/일·인)은 10.7톤/일·인이고, 소운반작업, 운송작업, 집재작업, 벌도작업 순으로 생산성이 높게 산출됨(표 17).
- 현행 단목(펄프재+용재) 생산체계에서 조화평균을 이용한 1일 1인 기준 전체 작업생산성( $m^3$ /일·인)은 10.7 $m^3$ /일·인이고, 벌도작업, 조재작업, 집재작업, 운송작업 순으로 생산성이 높게 산출됨(표 18).

##### (나) 작업비용

- 현행 단목(펄프재) 생산체계의 전체 작업비용(원/톤)은 44,450원/톤이고, 이 중 운송작업비용이 17,342원/톤(39.0%)으로 가장 고비용이고, 벌도작업비용, 집재작업비용, 소운반 작업비용은 각각 15,724원/톤(35.4%), 7,123원/톤(16.0%), 4,261원/톤(9.6%)의 순으로 산출됨(표 17).
- 현행 단목(펄프재+용재) 생산체계의 전체 작업비용(원/ $m^3$ )은 43,659원/ $m^3$ 이고, 이 중 운송작업비용이 18,139원/ $m^3$ (41.5%)으로 가장 고비용이고, 집재작업비용, 벌도작업비용, 조재작업비용은 각각 11,198원/ $m^3$ (25.6%), 7,511원/ $m^3$ (17.2%), 6,811원/ $m^3$ (15.6%)의 순으로 산출됨(표 18).

표 17. 현행 단목(펄프재) 생산체계의 작업생산성 및 작업비용

내역	단위	별도작업 (체인톱)	집재작업 (우드그랩)	소운반작업		운송작업	
				(우드그랩)	(임내차)	(우드그랩)	(25톤 트럭)
장비구입비	천원	900	54,000	54,000	110,000	54,000	
장비내구년수	년	1	5	5	10	5	
장비 경제적 수명	시간	2,000	14,000	14,000	20,000	14,000	
실제 연간 가동시간	시간	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	실지급 액 적용
유류소비량	리터/시간	0.8	8.1	8.1	6.88	8.1	
수리정비계수		0.6	0.8	0.8	0.9	0.8	(실지급 비용 * 전체 작업량)
운할유 계수		0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	
이자율	%/년	10	10	10	10	10	
감가상각비	원/시간	450	3,857	3,857	5,500	3,857	
이자비용		23	1,350	1,350	2,750	1,350	14,000
수리유지비		270	3,086	3,086	4,950	3,086	(원/톤)
유류비용 <sup>1)</sup>		1,891	15,252	15,252	12,898	15,252	* 780.81
기타비용 (보험료, 보관료 등)		-	540	540	825	540	(톤)
소계	원/시간	2,634	24,085	24,085	26,923	24,085	
인건비 <sup>2)</sup> (부대비용 80% 포함)	원/시간	38,250	24,355	24,355	24,355	24,355	
기계비용	원/시간	40,884	48,440	48,440	51,278	48,440	218,627
				99,718		267,067	
생산성	톤/시간	2.6	6.8	23.4		15.4	
	톤/일·인	20.8	54.4	93.6		61.6	
작업비용	원/톤	15,724	7,123	4,261		17,342	
현행 펄프재 생산체계 작업비용				44,450			

1) 유류비용은 2015년도 7월 단가 적용

2) 인건비 2015년도 정부노임단가(특별인부 : 108,245원) 적용, 별도작업 실제 인건비 170,000원 적용

※ 연간 가동시간 2,000시간 적용, 1일 전체작업 8시간 기준

소운반거리 150m 이내, 운송거리 100km 이내(이천 현장~충남 아산)

표 18. 현행 단목(펄프재+용재) 생산체계의 작업생산성 및 작업비용

내역	단위	벌도작업 (체인톱)	조재작업 (체인톱)	집재작업 (우드그랩)	운송작업	
					(우드그랩)	(GMC트럭 2대)
장비구입비	천원	870	900			
장비내구년수	년	1	1			
장비 경제적 수명	시간	2,000	2,000	실지금액 <sup>2)</sup>	실지금액 <sup>2)</sup>	실지금액 <sup>2)</sup>
실제 연간 가동시간	시간	2,000	2,000	적용	적용	적용
유류소비량	리터/시간	0.56	0.75	(전체	(전체	(전체
수리정비계수		0.6	0.6	실지금액비용/ 전체	실지금액비 용/ 전체	실지금액비 용/ 전체
운활유 계수		0.5	0.5	작업시간)	작업시간)	작업시간)
이자율	%/년	10	10	2,750,000원	550,000원	650,000원
감가상각비	원/시간	435	450	/	/	*2대/ 8시간
이자비용		22	23	45시간	8시간	8시간
수리유지비		261	270			
유류비용 <sup>1)</sup>		1,149	1,532	(전체 작업량/ 전체	(전체 작업량/ 전체	(전체 작업량/ 전체
기타비용 (보험료, 보관료 등)		-	-	작업시간) 245.59m <sup>3</sup> / 45시간	작업시간) 102.0m <sup>3</sup> / 8시간	작업시간) 102.0m <sup>3</sup> / 8시간
소계	원/시간	1,867	2,274			
인건비 (부대비용 80% 포함)	원/시간	45,000 <sup>2)</sup>	38,250 <sup>2)</sup>			
기계비용	원/시간	46,867	40,524	61,111	68,750	162,500
					231,250	
생산성	m <sup>3</sup> /시간	6.2	6.0	5.5	12.8	
	m <sup>3</sup> /일·인	49.9	47.6	43.7	34.0	
작업비용	원/m <sup>3</sup>	7,511	6,811	11,198	18,139	
현행 펄프재+용재 생산체계 작업비용				43,659		

1) 유류비용은 2016년도 4월 단가 적용

2) 실지금액은 벌도작업 200,000원, 조재작업 170,000원, 우드그랩 550,000원, GMC트럭 650,000원 적용

※ 연간 가동시간 2,000시간 적용, 1일 전체작업 8시간 기준  
운송거리 50km 이내(가평 현장~ 남양주시 마석)

## (다) 경제적 편익

- 경기도 이천시 연구대상지를 대상으로 산림작업 품셈을 이용한 국유임내매각규정, 현행 단목(펄프재) 생산체계의 총 작업비용, 목재판매가격을 이용하여 경제적 편익을 분석하였음.
- 국유임산물매각규칙에 따른 총 예상금액(임목매각대금)은 8,583,333원/ha이고, 리기다소나무와 참나무의 판매가격은 9,484,136원/ha으로 경제적 편익은 900,802원/ha으로 산출됨(표 19). 추가적으로 총 예상금액에서 작업비(부가세, 보험료 등), 종합소득세 등이 포함되어야 하지만, 자료취득의 어려움으로 임목매각대금만을 기준으로 하였음.
- 현행 단목(펄프재) 생산체계의 총 작업비용은 5,467,156원/ha이고, 목재판매가격은 9,484,136원/ha으로 경제적 편익은 4,016,980원/ha으로 산출됨(표 19).

표 19. 현행 단목(펄프재) 생산체계의 경제적 편익

(단위 : 원/ha)

구분	판매가격	편익
총 예상금액 8,583,333	리기다소나무 (펄프재) <sup>1)</sup> 5,617,982	900,802
작업비용 5,467,156	참나무 (펄프재) <sup>1)</sup> 3,866,154	4,016,980
	소계 9,484,136	

<sup>1)</sup> 2015년 7월 국산재 원목 시장가격 적용(한국임업진흥원, 2015)

리기다소나무: 81,600원/톤, 참나무: 71,400원/톤,

국유림 임산물 매각 규칙(침엽수 1m<sup>3</sup>→1톤, 활엽수 1m<sup>3</sup>→1톤) 적용

※ 경기도 이천 연구대상지 전체 면적 7.2ha를 기준으로 국유임내매각규정에 따른 총 예상금액(임목매각대금)은 61,800,000원 적용(자료출처: 한국원목생산협회)

경기도 이천 단목 총 생산량 282.89톤(리기다소나무 158.35톤, 참나무: 124.54톤)

경기도 이천 단목생산체계(벌도~운송)의 총 작업비용 44,450원/톤 적용

경기도 이천 단목생산체계(펄프재) 작업면적 2.3ha 기준

- 현행 단목(펄프재+용재) 생산체계의 총 작업비용은 5,106,023원/ha이고, 낙엽송과 참나무의 판매가격은 7,483,085원/ha으로 경제적 편익은 2,381,823원/ha으로 산출됨(표 20).

표 20. 현행 단목(펄프재+용재) 생산체계의 경제적 편익

(단위 : 원/ha)

작업비용	판매가격	편익
5,106,023	낙엽송 (용재) <sup>1)</sup> 5,260,647	2,381,823
	낙엽송 + 참나무 (펄프재) <sup>1)</sup> 2,222,438	
	소계 7,483,085	

<sup>1)</sup> 2016년 4월 국산재 원목 시장가격 적용(한국임업진흥원, 2016)

낙엽송: 60,800원/m<sup>3</sup>, 참나무: 67,200원/톤,

※ 경기도 가평 단목 총 생산량 245.6m<sup>3</sup>(낙엽송 181.7m<sup>3</sup>, 참나무: 63.8m<sup>3</sup>)

참나무 생산량 69.6톤 → 63.8m<sup>3</sup> (신갈나무 환산계수 1.09 적용)

경기도 가평 단목생산체계(벌도~운송)의 총 작업비용 43,659원/m<sup>3</sup> 적용

경기도 가평 단목생산체계(펄프재+용재) 작업면적 2.1ha 기준

- (라) 작업 생산성 및 경제적 편익분석을 위한 생산성 예측모델식 개발 및 검증
- 현장 자료를 바탕으로 작업별 및 수종별 Category를 구분하였음.
  - 전체 데이터 중 30%를 이용하여 이론공정식을 적용, Category별 일일 예측생산성( $m^3/일$ )을 산출한 후, 1차 생산성 예측모델식을 다음과 같이 개발함(표 21).

표 21. 1차 생산성 예측모델식 개발

구분	1차 예측모델식	$R^2$
리기다소나무 (단목_별도 및 조재)	$y = 41.91 x + 10.94$	0.96
활엽수 (단목_별도 및 조재)	$y = 33.66 x + 10.36$	0.89
낙엽송 (단목_별도)	$y = 72.90 x + 14.20$	0.89
낙엽송 (단목_조재)	$y = 91.30 x + 14.24$	0.87

- 개발된 1차 생산성 예측모델식의 적합성(t-test) 검증을 실시한 결과는 표 22와 같이, 모든 Category에서 실측값과 추정값 간의 유의수준이 5%내에서 유의적인 차이가 인정되지 않으므로, 예측모델식은 적합한 것으로 판단됨.

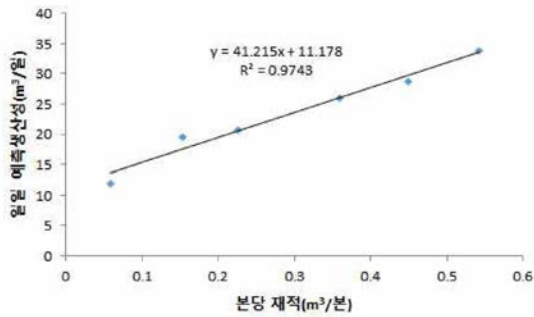
표 22. t-test를 통한 예측모델식 검증결과

구분	$\bar{D}$	$S_{\bar{D}}$	$t^*$	Prob> t
리기다소나무 (단목_별도 및 조재)	-0.07	0.46	-0.16	0.88
활엽수 (단목_별도 및 조재)	-0.75	2.05	-0.82	0.46
낙엽송 (단목_별도)	0.30	5.38	0.15	0.89
낙엽송 (단목_조재)	-1.25	4.80	-0.64	0.55

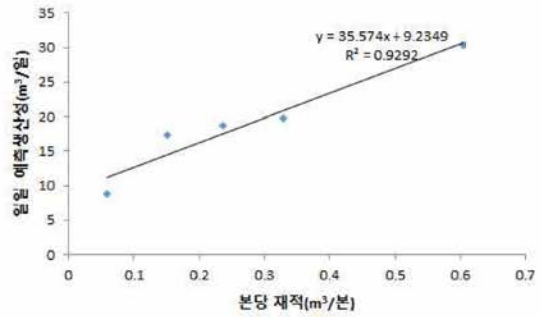
- 따라서 전체 자료를 이용한 Category별 최종 생산성 예측모델식을 도출한 것은 다음과 같음(표 23, 그림 3).

표 23. 최종 생산성 예측모델식 개발

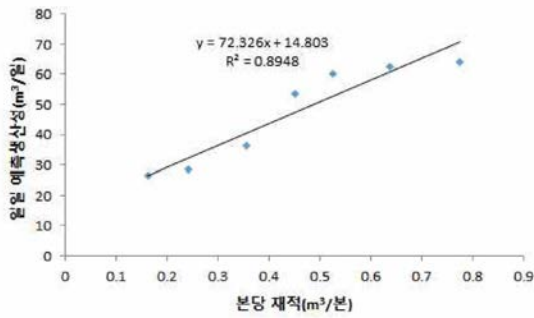
구분	최종 예측모델식	$R^2$
리기다소나무 (단목_별도 및 조재)	$y = 41.22 x + 11.178$	0.97
활엽수 (단목_별도 및 조재)	$y = 35.57 x + 9.235$	0.93
낙엽송 (단목_별도)	$y = 72.33 x + 14.803$	0.89
낙엽송 (단목_조재)	$y = 86.93 x + 15.780$	0.94



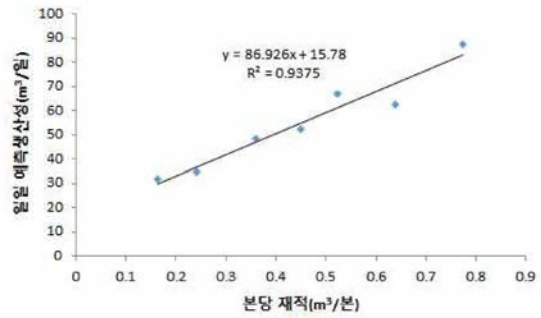
리기다소나무 (단목\_별도 및 조재)



활엽수 (단목\_별도 및 조재)



낙엽송 (단목\_별도)



낙엽송 (단목\_조재)

그림 3. 작업별 및 수종별 생산성 예측모델식 개발

- 생산성 예측모델식 검증을 위해 예측 작업시간과 현실 작업시간의 비교는 다음 표 24와 같이, 최소 0.08시간에서 최대 0.53시간으로 차이남.

표 24. 예측 작업시간과 현실 작업시간 비교

(단위 : 시간)

구분	현실 작업시간	예측 작업시간	차이
리기다소나무 (단목_별도 및 조재)	4.01	3.92	0.09
활엽수 (단목_별도 및 조재)	6.57	7.10	0.53
낙엽송 (단목_별도)	4.20	4.28	0.08
낙엽송 (단목_조재)	3.83	3.59	0.24

(마) 현행 단목생산체계에 있어서 생산성 향상을 위한 기술적/경제적 개선방안 제시

- 현행 굴삭기를 이용한 단목생산체계는 오랜 기간 동안 진행되어, 지역과 작업자간의 다소 차이는 있으나, 전반적으로 기술적 및 경제적으로 안정화되어 있는 실정임.

## (2) 新 단목(펄프재, 용재) 생산체계

- 고성능 임업기계를 이용한 新 생산체계 단목생산은 가평 조종면 운악리에서 펄프재+용재(1.9ha)를 생산하였음.
- 新 생산체계에서 펄프재 생산체계는 벌도와 조재작업, 수집적재+소운반+하차+집적작업까지 동일하고, 직접 운송은 굴삭기 우드그랩+25톤 트럭을 이용하였음.
- 용재 생산체계는 하베스터를 이용한 벌도와 조재작업, 포워더를 이용한 수집적재+소운반+하차+집적작업, 굴삭기 우드그랩+GMC트럭을 이용한 운송작업으로 구분하였음.

## (가) 작업생산성

- 新 단목(펄프재) 생산체계에서 조화평균을 이용한 1일 1인 기준 전체 작업생산성(톤/일·인)은 28.8톤/일·인이고, 상차작업, 벌도+조재작업, 수집적재+소운반+하차+집적작업 순으로 생산성이 높게 산출됨(표 27).
- 新 단목(용재) 생산체계에서 조화평균을 이용한 1일 1인 기준 전체 작업생산성(m<sup>3</sup>/일·인)은 24.6m<sup>3</sup>/일·인이고, 벌도+조재작업, 수집적재+소운반+하차+집적작업, 운송작업 순으로 생산성이 높게 산출됨(표 28).
- 지방청 연간 주별 벌채량과 임업기계 보유 현황을 기준(임업통계연보, 2016)으로 新 단목생산체계에서 이용한 하베스터와 포워더의 실제 현장 적용가능성을 검토하였음(표 25, 26).
- 新 단목생산체계에서 다음 표 26과 같이 하베스터의 연간 작업량은 12,496m<sup>3</sup>/년·대로 연간 10.3대가 필요하나, 전체 지방청 하베스터 보유 현황은 총 9대로 하베스터 1대가 추가 보급이 필요한 것으로 사료됨.
- 포워더의 연간 작업량은 8,293m<sup>3</sup>/년·대로 연간 15.5대가 필요하나, 전체 지방청 포워더 보유 현황은 총 19대로 추가 보급 없이 실제 현장에 적용 가능한 것으로 판단됨.

표 25. 지방청 연간 주별 벌채량과 임업기계 보유 현황(2015년 기준) (단위: m<sup>3</sup>)

산림청 벌채량	주별						합계
	북부지방	동부지방	남부지방	중부지방	서부지방		
주별	25,030	62,629	16,379	12,117	12,020		128,175

※ 프로세서(하베스터) 9대와 포워더 19대(전체 지방청 기준)를 보유함

표 26. 하베스터와 포워더의 연간 필요대수

	일일 작업량 (1대 기준)	연간 작업일수	연간 작업량	필요 대수
하베스터	88m <sup>3</sup> /일·인	142일/년	12,496m <sup>3</sup> /년·대	10.3대/년
포워더	58m <sup>3</sup> /일·인	142일/년	8,293m <sup>3</sup> /년·대	15.5대/년

※ 하베스터와 포워더의 일일 작업량은 新 단목생산체계의 연구결과 적용  
연간작업일수는 산림청 '임업기계 활성화를 위한 운용실태 모니터링 및 개선방향' 보고서 p. 29 인용

## (나) 작업비용

- 新 단목(펄프재) 생산체계의 전체 작업비용(원/톤)은 38,758원/톤이고, 이 중 운송작업비용이 13,430원/톤(34.7%)으로 가장 고비용이고, 수집적재+소운반+하차+집적작업, 벌도+조재작업, 상차작업비용은 각각 11,556원/톤(30.0%), 10,104원/톤(26.2%), 3,418원/톤(8.9%) 순으로 산출됨(표 27).



- 新 단목(용재) 생산체계의 전체 작업비용(원/㎡)은 44,307원/㎡이고, 이 중 운송작업비용이 22,397원/㎡(50.8%)으로 가장 고비용이고, 수집적재+소운반+하차+집적작업, 벌도+조제작업 작업비용은 각각 11,556원/㎡(26.2%), 10,104원/㎡(22.9%)의 순으로 산출됨(표 28).

표 27. 新 생산체계의 단목(펄프재) 작업생산성 및 작업비용

내역	단위	벌도+조제작업		수집적재+소운반+하차+집적작업		상차작업	운송작업
		굴삭기	하베스터	포워더		우드그랩	25톤트럭
장비구입비	천원	150,000	230,000	247,500	70,000	실지금액 2) 적용  (전체 실지금액 용/ 전체 작업시간) 550,000 원*1대/ 8시간	실지금액 3) 적용  17,000원 /㎡  × 생중량 기준 0.79 (환산계수)
장비내구년수	년	7	8	10	10		
장비 경제적 수명	시간	14,000	16,000	20,000	20,000		
실제 연간 가동시간	시간	2,000	2,000	2,000	2,000		
유류소비량	리터/시간	13.1	-	9.39	-		
수리정비계수	-	0.8	0.9	0.8	0.9		
유회유 계수	-	0.4	0.4	0.4	0.4		
이자율	%/년	10	10	10	10		
감가상각비	원/시간	10,714	14,375	12,375	3,500		
이자비용		3,750	5,750	6,188	1,750		
수리유지비		8,571	12,938	9,900	3,150		
유류비용 <sup>1)</sup>		20,559	-	14,754	-		
기타비용 (보험료, 보관료 등)		1,607	2,156	1,733	490		
소계	원/시간	45,202	35,219	44,949	8,890		
인건비 <sup>2)</sup> (부대비용 80% 포함)	원/시간	30,520	-	30,520	-		
기계비용	원/시간	110,941		84,359		68,750	-
생산성	톤/시간	11.0		7.3		20.1	-
	톤/일·인	88.0		58.4		160.8	-
작업비용	원/톤	10,104		11,556		3,418	13,430
新 펄프재 생산체계 작업비용				38,508			

1) 유류비용은 2016년도 4월 단가 적용

2) 실지금액은 벌도작업 우드그랩 550,000원

3) 실작업비용 적용 25톤 트럭 17,000원/㎡

※ 연간 가동시간 2,000시간 적용, 1일 전체작업 8시간 기준  
운송거리 50km 이내(가평 현장~ 남양주시 마석)

표 28. 新 생산체계의 단목(용재) 작업생산성 및 작업비용

내역	단위	벌도+조재작업		수집적재+소유박+하차+집적작업		운송작업	
		굴삭기	하베스터	포워더		우드그랩	GMC트럭
장비구입비	천원	150,000	230,000	247,500	70,000		
장비내구년수	년	7	8	10	10		
장비 경제적 수명	시간	14,000	16,000	20,000	20,000		
실제 연간 가동시간	시간	2,000	2,000	2,000	2,000		
유류소비량	리터/시간	13.1	-	9.39	-	실지금액 <sup>2)</sup>	실지금액 <sup>2)</sup>
수리정비계수	-	0.8	0.9	0.8	0.9	적용	적용
운할유 계수	-	0.4	0.4	0.4	0.4		
이자율	%/년	10	10	10	10	(전체 실지급비	(전체 실지급비
감가상각비		10,714	14,375	12,375	3,500	용/ 전체	용/ 전체
이자비용		3,750	5,750	6,188	1,750	작업시간)	작업시간)
수리유지비		8,571	12,938	9,900	3,150	550,000원	650,000원
유류비용 <sup>1)</sup>	원/시간	20,559	-	14,754	-	*1대/	*1대/
기타비용 (보험료, 보관료 등)		1,607	2,156	1,733	490	8시간	8시간
소계	원/시간	45,202	35,219	44,949	8,890		
인건비 <sup>2)</sup> (부대비용 80% 포함)	원/시간	30,520	-	30,520	-		
기계비용	원/시간	110,941		84,359		68,750	81,250
						150,000	
생산성	m <sup>3</sup> /시간	11.0		7.3		3.4	
	m <sup>3</sup> /일·인	88.0		58.4		13.6	
작업비용	원/m <sup>3</sup>	10,104		11,556		14,528	
현행 펄프재 생산체계 작업비용				36,188			

1) 유류비용은 2016년도 4월 단가 적용

2) 실지금액은 우드그랩 550,000원, GMC트럭 650,000원 적용

※ 연간 가동시간 2,000시간 적용, 1일 전체작업 8시간 기준  
운송거리 50km 이내(가평 현장~ 남양주시 마석)

## (다) 경제적 편익

- 新 단목(펄프재+용재) 생산체계의 총 작업비용은 5,363,442원/ha이고, 리기다소나무와 참나무의 판매가격은 9,284,378원/ha으로 경제적 편익은 3,920,936원/ha으로 산출됨(표 29).

표 29. 新 단목(펄프재+용재) 생산체계의 경제적 편익

(단위 : 원/ha)

작업비용	판매가격	편익
	낙엽송 (용재) <sup>1)</sup>	6,416,000
5,363,442	낙엽송+참나무 (펄프재) <sup>1)</sup>	3,920,936
	소계	9,284,378

## 1) 2016년 4월 국산재 원목 시장가격 적용(한국임업진흥원, 2016)

낙엽송: 60,800원/㎥, 참나무: 67,200원/톤,

국유림 임산물 매각 규칙(침엽수 1㎥→1톤, 활엽수 1㎥→1톤) 적용

※ 경기도 가평 단목 총 생산량 281.6㎥(낙엽송 200.5㎥, 참나무: 81.1㎥)

참나무 생산량 88.4톤 → 81.1㎥ (신갈나무 환산계수 1.09 적용)

경기도 가평 단목생산체계(벌도~운송)의 총 작업비용 36,188원/㎥ 적용

경기도 가평 단목생산체계(펄프재+용재) 작업면적 1.9ha 기준

- 현행 생산체계와 新 생산체계 간의 생산성 및 경제적 편익 비교·분석한 결과 현행보다 경제적 편익이 1,539,113원/ha이 높은 것으로 나타남. 이는 新 생산체계가 현행보다 공정이 줄어들고 생산성은 향상, 작업비용은 절감되기 때문인 것으로 사료됨.
- 따라서, 고성능 임업기계를 활용한 목재수확체계를 개발하여 다 공정을 단 공정으로 축소하고 현장에 적합한 목재수확체계를 적용함으로써 생산성 향상과 경제적 이득이 발생될 수 있도록 시스템을 구축해야할 필요가 있음.

## (라) 작업 생산성 및 경제적 편익분석을 위한 생산성 예측모델식 개발 및 검증

- 현장 자료를 바탕으로 작업별 및 수종별 Category를 구분하였음.
- 전체 데이터 중 30%를 이용하여 이론공정식을 적용, Category별 일일 예측생산성(㎥/일)을 산출한 후, 1차 생산성 예측모델식을 다음과 같이 개발함(표 30).

표 30. 1차 생산성 예측모델식 개발

구분	1차 예측모델식	R <sup>2</sup>
리기다소나무 (단목_벌도 및 조재)	y= 99.21 x - 1.58	0.93
활엽수 (단목_벌도 및 조재)	y= 121.5 x + 4.13	0.89
낙엽송 (단목_벌도 및 조재)	y= 94.87 x + 35.33	0.79

- 개발된 1차 생산성 예측모델식의 적합성(t-test) 검증을 실시한 결과는 표 31과 같이, 모든 Category에서 실측값과 추정값 간의 유의수준이 5%내에서 유의적인 차이가 인정되지 않으므로, 예측모델식은 적합한 것으로 판단됨.

표 31. t-test를 통한 예측모델식 검증결과

구분	$\bar{D}$	$S_{\bar{D}}$	$t^*$	Prob> t
리기다소나무 (단목_벌도 및 조재)	0.22	7.72	0.06	0.95
활엽수 (단목_벌도 및 조재)	1.89	6.03	0.63	0.57
낙엽송 (단목_벌도 및 조재)	0.21	14.14	0.04	0.97

- 따라서 전체 자료를 이용한 Category별 최종 생산성 예측모델식을 도출한 것은 다음과 같음(표 32, 그림 4).

표 32. 최종 생산성 예측모델식 개발

구분	최종 예측모델식	$R^2$
리기다소나무 (단목_벌도 및 조재)	$y = 99.21x + 1.581$	0.93
활엽수 (단목_벌도 및 조재)	$y = 122.32x + 4.632$	0.91
낙엽송 (단목_벌도 및 조재)	$y = 98.31x + 33.765$	0.84

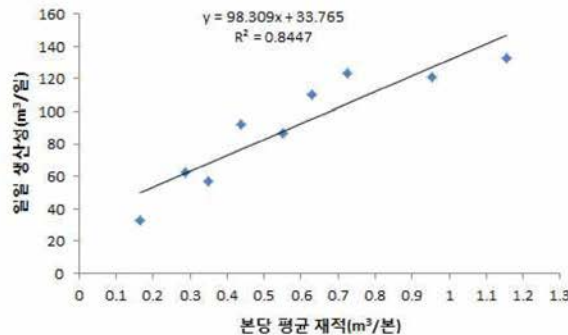
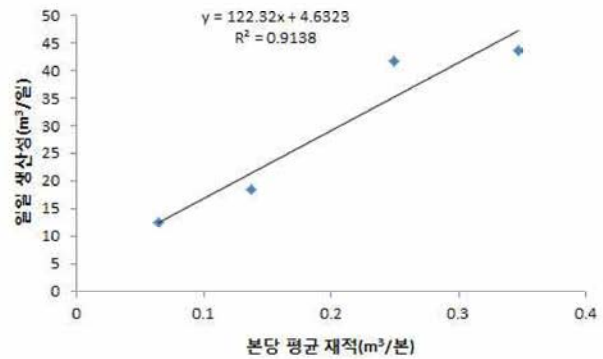
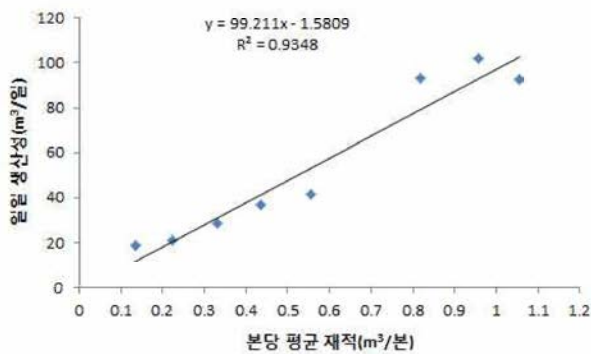


그림 4. 프로세서를 이용한 벌도 작업의 수종별 생산성 예측모델식 개발

- 생산성 예측모델식 검증을 위해 예측 작업시간과 현실 작업시간의 비교는 다음 표 33과 같이, 최소 0.10시간에서 최대 0.74시간으로 차이남.

표 33. 예측 작업시간과 현실 작업시간 비교 (단위: 시간)

구분	현실 작업시간	예측 작업시간	차이
리기다소나무 (단목_벌도 및 조재)	2.83	2.09	0.74
활엽수 (단목_벌도 및 조재)	1.84	1.27	0.57
낙엽송 (단목_벌도 및 조재)	1.75	1.65	0.10

## 2. 전간(펄프재+용재) 생산체계

### 가. 연구수행방법(이론적·실험적 접근방법)

- 문헌 고찰 및 현장 방문을 통한 생산체계 및 장비의 유형을 분류함.
- 연구대상지 선정 및 GIS를 이용한 지형 및 지리, 임상특성을 분석함.
- 현재 이용되고 있는 전간생산체계의 현장적용을 위한 적정 작업체계를 선정함.
- 연구대상지 지형에 따른 집재방식(트랙터 집재기) 및 기종을 선정함.
- 효율적인 목재 생산체계 구축을 위해 현장조사를 바탕으로 한 작업을 설계함.
- 전간생산체계의 현장 실연 및 작업 생산성자료를 수집함.
- 작업 생산성 및 경제적 편익분석을 위한 생산성 예측모델을 개발함.
- 생산성 예측모델 및 민감도분석을 통한 전간생산체계의 생산성 및 경제성을 평가함.
- 현행 전간생산체계에 있어서 생산성 향상을 위한 기술적/경제적 개선방안을 제시함.

### 나. 연구결과

#### (1) 현행 전간(펄프재+용재) 생산체계

- 현행 전간생산은 춘천시 서면 덕두원리에서 펄프재+용재(0.5ha)를 생산하였음.
- 현행 전간생산에서 펄프재+용재 생산체계는 체인톱을 이용하여 벌도와 가지치기, 스마트집재기를 이용한 집재, 우드그랩과 체인톱을 이용한 조재, 우드그랩과 영운기를 이용한 소운반작업으로 구성하였음.

#### (가) 작업생산성

- 현행 전간(펄프재+용재) 생산체계에서 조화평균을 이용한 1일 1인 기준 전체 작업생산성( $m^3/일 \cdot 인$ )은  $5.2m^3/일 \cdot 인$ 이고, 벌도작업, 가지치기작업, 소운송작업, 조재작업, 집재작업 순으로 생산성이 높게 산출됨(표 34).

#### (나) 작업비용

- 현행 전간(펄프재+용재) 생산체계의 전체 작업비용( $원/m^3$ )은 57,788원/ $m^3$ 이고, 이 중 운송작업비용이 17,342원/톤(39.0%)으로 가장 고비용이고, 벌도작업비용, 집재작업비용, 소운반 작업비용은 각각 15,724원/톤(35.4%), 7,123원/톤(16.0%), 4,261원/톤(9.6%)의 순으로 산출됨(표 34).

표 34. 현행 전간(필프재+용재) 생산체계의 작업생산성 및 작업비용

내역	단위	벌도 작업 (체인톱)	가지 치기 작업 (체인톱)	집재작업		조재작업		소운반작업	
				(트랙터)	(스마트 집재기)	(우드그랩)	(체인톱 2인)	(우드그랩)	(영운기)
장비구입비	천원	870	870	45,000	25,000		870		
장비내구년수	년	1	1	10	12		1		
장비 경제적 수명	시간	2,000	2,000	20,000	24,000		2,000	실지급	실지급
실제 연간 가동시간	시간	2,000	2,000	2,000	2,000		2,000	액 <sup>3)</sup> 적용	액 <sup>3)</sup> 적용
유류소비량	리터/시간	0.63	0.63	5	-	실지 급액 <sup>3)</sup>	0.63	(전체 실지급	(전체 실지급
수리정비계수		0.6	0.6	0.8	0.8	적용	0.6	비용/ 전체	비용/ 전체
윤활유 계수		0.5	0.5	0.4	0.4		0.5	작업시 간)	작업시 간)
이자율	%/년	10	10	10	10	(전체 실지급	10	간)	간)
감가상각비	원/시간	435	435	2,250	1,042	비용/ 전체	435	550,000 원/ 8시간	450,000 원/ 8시간
이자비용		22	22	1,125	625	작업시 간)	22		
수리유지비		261	261	1,800	833	550,000	261	(전체 작업량/ 전체	(전체 작업량/ 전체
유류비용 <sup>1)</sup>		1,328	1,328	8,477	-	원/ 8시간	1,328	작업시 간)	작업시 간)
기타비용 (보험료, 보관료 등)		-	-	338	156		-	55.5m <sup>3</sup> / 8시간	55.5m <sup>3</sup> / 8시간
소계	원/시간	2,046	2,046	13,990	2,656		2,046		
인건비 (부대비용 80% 포함)	원/시간	45,000 <sup>3)</sup>	45,000 <sup>3)</sup>	89,614 <sup>2)</sup>	-		45,000 <sup>3)</sup>		
기계비용	원/시간	47,046	47,046	103,604	2,656	68,750	94,092	68,750	56,250
				106,260		162,842		125,000	
생산성	m <sup>3</sup> /시간	12.5	8.4	4.3		13.8		10.7	
	m <sup>3</sup> /일·인	100.2	67.3	8.5		36.8		42.8	
작업비용	원/m <sup>3</sup>	3,755	5,591	24,979		11,790		11,673	
현행 필프재+용재 생산체계 작업비용(원/m <sup>3</sup> )						57,788			

1) 유류비용은 2016년도 10월 단가 적용

2) 인건비 2016년도 정부노임단가(특별인부: 115,272원, 일반인부: 94,338원) 적용

3) 실지급액은 벌도와 가지치기작업 200,000원, 우드그랩 550,000원, 영운기 450,000원 적용

※ 연간 가동시간 2,000시간 적용, 1일 전체작업 8시간 기준  
소운반거리 1.7km 이내

## (다) 경제적 편익

- 현행 전간(펄프재+용재) 생산체계의 총 작업비용은 6,413,358원/ha이고, 낙엽송 용재와 펄프재의 판매가격은 6,362,720원/ha으로 경제적 편익은 50,638원/ha으로 산출됨(표 35).

표 35. 현행 전간(펄프재+용재) 생산체계의 경제적 편익

(단위 : 원/ha)

작업비용	판매가격	편익
	낙엽송(용재) <sup>1)</sup>	3,793,920
6,413,358	낙엽송(펄프재) <sup>1)</sup>	2,568,800
	소계	6,362,720

1) 2016년 9월 국산재 원목 시장가격 적용(한국임업진흥원, 2016)

낙엽송 용재: 60,800원/㎥, 낙엽송 펄프재: 76,000원/톤,

※ 강원도 춘천 전간 총 생산량 55.5㎥(낙엽송 용재 31.2㎥, 낙엽송 펄프재: 16.9톤)

낙엽송 펄프재 생산량 24.2㎥ → 16.9톤 (낙엽송 환산계수 0.7 적용)

강원도 춘천 전간생산체계(벌도~소운반)의 총 작업비용 57,778원/㎥ 적용

강원도 춘천 전간생산체계(펄프재+용재) 작업면적 0.5ha 기준

## (라) 작업 생산성 및 경제적 편익분석을 위한 생산성 예측모델식 개발 및 검증

- 현장 자료를 바탕으로 작업별 및 수종별 Category를 구분하였음.
- 전체 데이터 중 30%를 이용하여 이론공정식을 적용, Category별 일일 예측생산성(㎥/일)을 산출한 후, 1차 생산성 예측모델식을 다음과 같이 개발함(표 36).

표 36. 1차 생산성 예측모델식 개발

구분	1차 예측모델식	R <sup>2</sup>
낙엽송 (전간_벌도)	y= 130.4 x + 44.97	0.79
낙엽송 (전간_조재)	y= 54.19 x + 21.04	0.91

- 개발된 1차 생산성 예측모델식의 적합성(t-test) 검증을 실시한 결과는 표 37과 같이, 모든 Category에서 실측값과 추정값 간의 유의수준이 5%내에서 유의적인 차이가 인정되지 않으므로, 예측모델식은 적합한 것으로 판단됨.

표 37. t-test를 통한 예측모델식 검증결과

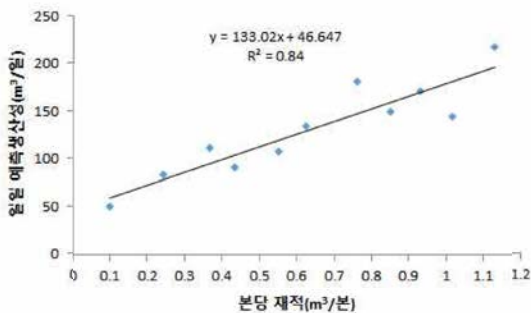
구분	$\bar{D}$	$S_{\bar{D}}$	t*	Prob> t
낙엽송 (전간_벌도)	7.39	22.87	0.86	0.46
낙엽송 (전간_조재)	0.84	6.04	0.31	0.77



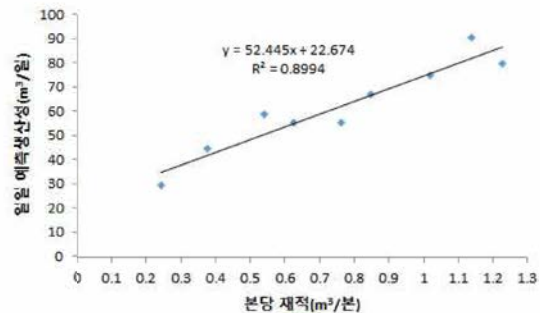
- 따라서 전체 자료를 이용한 Category별 최종 생산성 예측모델식을 도출한 것은 다음과 같음(표 38, 그림 5).

표 38. 최종 생산성 예측모델식 개발

구분	최종 예측모델식	$R^2$
낙엽송 (전간_벌도)	$y = 133.02x + 46.647$	0.84
낙엽송 (전간_조재)	$y = 52.45x + 22.674$	0.90



낙엽송 (전간\_벌도)



낙엽송 (전간\_조재)

그림 5. 작업별 및 수종별 생산성 예측모델식 개발

- 생산성 예측모델식 검증을 위해 예측 작업시간과 현실 작업시간의 비교는 다음 표 39와 같이, 낙엽송 (전간\_벌도)는 0.06이고, 낙엽송 (전간\_조재)는 0.22가 차이남.

표 39. 예측 작업시간과 현실 작업시간 비교

(단위 : 시간)

구분	현실 작업시간	예측 작업시간	차이
낙엽송 (전간_벌도)	1.25	1.31	0.06
낙엽송 (전간_조재)	2.63	2.41	0.22

(마) 현행 전간 생산체계에 있어서 생산성 향상을 위한 기술적/경제적 개선방안 제시

- 현행 전간생산체계의 경제적 편익은 25,319원으로, 현행 단목생산체계와 비교하면, 경제성이 많이 부족함.
- 이는 고비용인 스마트집재기를 이용한 전간생산체계는 굴삭기에 비해 도입된 시기가 짧으며, 작업팀의 역량에 따라 큰 차이가 있어서, 생산성 향상을 위해 기술적 및 경제적 개선방안 마련이 필요함.
- 전간생산체계에서 가장 높은 비용을 차지하고 있는 집재작업에 대하여, 생산성은 향상하고 비용은 저감하는 방안을 모색하고자, 기계이용률을 이용한 민감도분석과 작업지연 시간 분석을 실시하였음.
- 기계이용률 변화에 따른 집재작업 생산성 향상은 그림 6과 같이, 기계이용률이 10% 간격으로 증가 시 생산성은 약 1.2m³/SMH이 규칙적으로 증가하였으며, 본 연구의 스마트집재기의 기계이용률은 34%로 낮은 수준임.

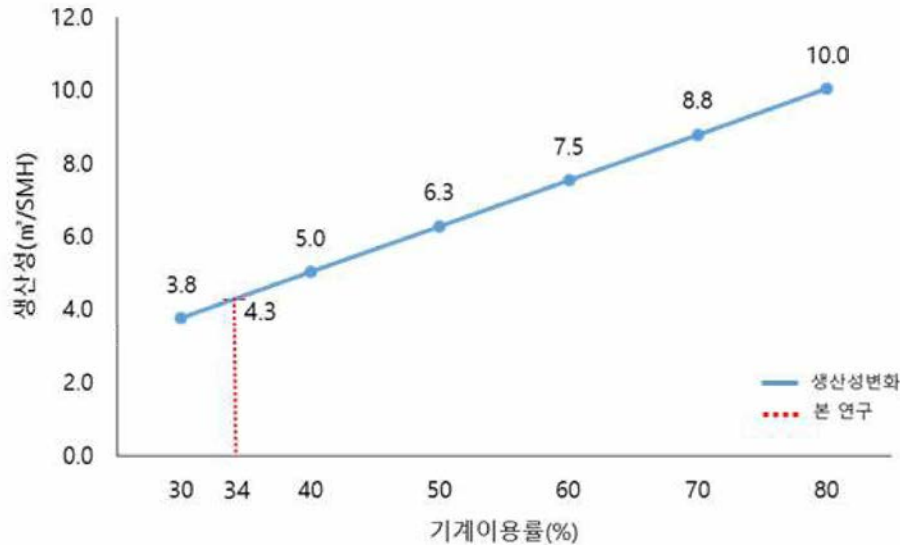


그림 6. 기계이용률 변화에 따른 집재작업 생산성

- 기계이용률 30~80%까지의 변화에 따른 집재작업비용(원/㎡)은 최소 10,581원/㎡에서 최대 28,215원/㎡으로 산출됨(표 40).

표 40. 기계이용률 변화에 따른 집재작업 생산성 및 작업비용

기계이용률 (%)	생산성 (m³/SMH)	집재작업비용 (원/㎡)
30	3.8	28,215
40	5.0	21,161
50	6.3	16,929
60	7.5	14,108
70	8.8	12,092
80	10.0	10,581

- 스마트집재기를 이용한 집재작업의 생산성 향상을 위해 지연시간을 기계적지연(Mechanical delay), 작업적지연(Operational delay), 인위적지연(Personal delay)으로 구분함.
- 전체 집재작업지연시간에서 작업적지연시간이 91.9%로 대부분 차지하였으며, 인위적지연과 기계적지연이 각각 4.3%와 3.8%임.
- 작업적지연 중에서 작업팀의 숙련도에 따라 작업지연의 영향력이 높은 설치 및 해체, 공주행, 나무걸림에 의한 지연시간을 줄이면, 집재작업의 생산성을 향상할 수 있을 것으로 사료됨(표 41).

표 41. 스마트집재기를 이용한 집재작업 지연시간

(단위: 초)

구	분	시간 (비율)
기계적지연 (Mechanical delay)	장비점검	1,033 (3.6%)
	반송기점검	68 (0.2%)
	소계	1,101 (3.8%)
작업적지연 (Operational delay)	설치 및 해체	20,700 (71.8%)
	공주행	3,477 (12.1%)
	나무걸림	1,664 (5.8%)
	초커재설치	388 (1.3%)
	보호대 재설치	121 (0.4%)
	와이어 풀기	102 (0.3%)
	우적제거	58 (0.2%)
소계	26,510 (91.9%)	
인위적지연 (Personal delay)	휴식	1,025 (3.5%)
	작업대화	215 (0.8%)
	소계	1,240 (4.3%)
합	계	28,851 (100.0%)

### 3. 전목(펄프재+용재) 생산체계

#### 가. 연구수행방법(이론적·실험적 접근방법)

- 문헌 고찰 및 현장 방문을 통한 생산체계 및 장비의 유형을 분류함.
- 연구대상지 선정 및 GIS를 이용한 지형 및 지리, 임상특성을 분석함.
- 新 전목생산체계의 현장적용을 위한 적정 작업체계를 선정함.
- 연구대상지 지형에 따라 新 집재방식 및 기종을 선정함.
- 효율적인 목재 생산체계 구축을 위해 현장조사를 바탕으로 한 작업을 설계함.
- 전목생산체계의 현장 실연 및 작업 생산성자료를 수집함.
- 작업 생산성 및 경제적 편익분석을 위한 생산성 예측모델을 개발함.
- 생산성 예측모델 및 민감도분석을 통한 전목생산체계의 생산성 및 경제성을 평가함.
- 新 전목생산체계의 생산성 향상을 위한 기술적/경제적 개선방안을 제시함.

#### 나. 연구결과

##### (1) 新 전목 생산체계

- 新 전목생산은 경기도 이천시 호법면에서 완경사지(0.63ha)와 중·급경사지(1.15ha)로 구분하여 펄프재를 생산하였음.
- 新 전목 생산체계의 완경사지에서는 하베스터를 이용한 벌도작업, 스키더를 이용한 집재작업, 프로세서를 이용한 조재작업, 굴삭기 우드그랩과 25톤 트럭을 이용한 운송작업으로 구분하였음.
- 新 전목 생산체계의 중·경사지에서는 체인톱을 이용한 벌도작업, 스윙야더를 이용한 집재작업, 프로세서를 이용한 조재작업, 굴삭기 우드그랩과 25톤 트럭을 이용한 운송작업으로 구분하였음.

##### (가) 작업생산성

- 新 전목(펄프재) 생산체계에서 완경사지는 조화평균을 이용한 1일 1인 기준 전체 작업생산성(톤/일·인)은 14.0톤/인·일이고, 벌도작업, 조재작업, 운송작업, 집재작업 순으로 생산성이 높게 산출됨(표 42).
- 新 전목(펄프재) 생산체계에서 중·급경사지는 조화평균을 이용한 1일 1인 기준 전체 작업생산성(톤/일·인)은 8.7톤/인·일이고, 조재작업, 소운반작업, 벌도작업, 운송작업, 집재작업 순으로 생산성이 높게 산출됨(표 43).

##### (나) 작업비용

- 新 전목(펄프재) 생산체계의 완경사지 전체 작업비용(원/톤)은 38,747원/톤이고, 이 중 운송작업비용이 17,342원/톤(44.8%)으로 가장 고비용이고, 집재작업비용, 조재작업비용, 벌도작업비용은 각각 12,478원/톤(32.2%), 5,054원/톤(13.0%), 3,873원/톤(10.0%)의 순으로 산출됨(표 42).
- 新 전목(펄프재) 생산체계의 중·급경사지 전체 작업비용(원/㎥)은 43,562원/㎥이고, 이 중 운송작업비용이 17,342원/㎥(39.8%)으로 가장 고비용이고, 집재작업비용, 조재작업비용, 소운반작업비용, 벌도작업비용은 각각 13,721원/㎥(31.5%), 5,054원/㎥(11.6%), 4,261원/㎥(9.8%), 3,184원/㎥(7.3%)의 순으로 산출됨(표 43).

표 42. 新 전목(펄프재) 생산체계의 환경사지 작업생산성 및 작업비용

내역	단위	별도작업		집재작업		조재작업		운송작업	
		(굴삭기)	(프론트셔)	(트랙터)	(그래플 집계)	(굴삭기)	(프로세서)	(우드그랩)	(25톤트럭)
장비 구입비	천원	100,000	110,000	55,000	12,000	100,000	110,000	54,000	
장비 내구년수	년	7	8	10	12	7	8	5	
장비의 경제적 수명	시간	14,000	16,000	20,000	24,000	14,000	16,000	14,000	
실제 연가 가동시간	시간	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	
유류 소비량	리터/ 시간	22	-	3	-	22	-	8.1	
수리정비 계수		0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	실지금액 적용
유회유 계수		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	(실지금액 X 전체 작업량)
이자율	%/년	10	10	10	10	10	10	10	
각가 상각비	원/ 시간	714	6,875	2,750	500	714	6,875	3,857	14,000 (원/톤) X 780.81 (톤)
이자비용		250	2,750	1,375	300	250	2,750	1,350	
수리 유지비		571	6,188	2,200	400	571	6,188	3,086	
유류비용 <sup>1)</sup>		40,040	-	5,065	-	40,040	-	15,252	
기타비용 (보험료, 보관료 등)		107	1,031	413	75	107	1,031	540	
소 계	원/ 시간	41,682	16,844	11,803	1,275	41,682	16,844	24,085	
인건비 <sup>2)</sup> (부대비용 80% 포함)	원/ 시간	24,355	-	24,355	-	24,355	-	24,355	
기계비용	원/ 시간	66,037	16,844	36,158	1,275	66,037	16,844	48,440	218,627
		82,881		37,433		82,881		267,067	
생산성	톤/ 시간	21.4		3.0		16.4		15.4	
	톤/ 일·인	171.2		24.0		131.2		123.2	
작업비용	원/톤	3,873		12,478		5,054		17,342	
환경사지 전목수확시스템 작업비용(원/톤)						38,747			

1) 유류비용은 2015년도 7월 단가 적용

2) 인건비 2015년도 정부노임단가(특별인부 : 108,245원) 적용

※ 연간 가동시간 2,000시간 적용, 1일 전체작업 8시간 기준

소운반거리 150m 이내, 운송거리 100km 이내(이천 현장~충남 아산)

표 43. 新 전목(펄프재) 생산체계의 중·급경사지 작업생산성 및 작업비용

내역	단위	별도 작업	집재작업		조재작업		소운반작업		운송작업	
		(체인톱)	(굴삭기)	(스양터)	(굴삭기)	(프도사)	(우드칩)	(임내차)	(우드칩)	(트럭)
장비 구입비	천원	850	54,000	55,000	100,000	110,000	54,000	110,000	54,000	실지금액 적용 (실지 급비용 X 전체 작업량 ) 14,000 (원/톤) X 780.81 (톤)
장비 내구년수	년	1	7	7	7	8	5	10	5	
장비의 경제적 수명	시간	2,000	14,000	14,000	14,000	16,000	14,000	20,000	14,000	
실제 연가 가동시간	시간	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	
유류 소비량	리터/ 시간	0.8	16	-	22	-	8.1	6.88	8.1	
수리 정비계수		0.6	0.8	0.7	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	
유휴유 계수		0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
이자율	%/년	10	10	10	10	10	10	10	10	
각각 상각비	원/ 시간	425	3,857	3,929	714	6,875	3,857	5,500	3,857	
이자비용		21	1,350	1,375	250	2,750	1,350	2,750	1,350	
수리 유지비		255	3,086	2,750	571	6,188	3,086	4,950	3,086	
유류비용 <sup>1)</sup>		1,891	15,252	-	40,040	-	15,252	12,898	15,252	
기타비용 (보험료, 보관료 등)		-	540	589	107	1,031	540	825	540	
소 계	원/ 시간	2,592	24,085	8,643	41,682	16,844	24,085	26,923	24,085	
인건비 <sup>2)</sup> (부대비율 80% 포함)	원/ 시간	29,250	44,111	-	24,355	-	24,355	24,355	24,355	
기계비용	원/ 시간	31,842	68,196	8,643	66,037	16,844	48,440	51,278	48,440	218,627
			76,839		82,881		99,718		267,067	
생산성	톤/ 시간	10.0	1.9		16.4		11.7		7.7	
	톤/ 일·인	80.0	15.2		131.2		93.6		61.6	
작업비용	원/톤	3,184	13,721		5,054		4,261		17,342	
중·급경사지 전목수확시스템 작업비용(원/톤)							43,562			

1) 유류비용은 2015년도 7월 단가 적용

2) 인건비 2015년도 정부노임단가(특별인부 : 108,245원) 적용, 별도작업 실제 인건비 170,000원 적용

※ 연간 가동시간 2,000시간 적용, 1일 전체작업 8시간 기준

소운반거리 150m 이내, 운송거리 100km 이내(이천 현장~충남 아산)

## (다) 경제적 편익

- 新 전목(펄프재) 생산체계의 환경사지 총 작업비용은 15,359,802원/ha이고, 리기다소나무와 참나무의 판매가격은 30,093,561원/ha으로 경제적 편익은 14,733,759원/ha으로 산출됨(표 44).

표 44. 新 전목(펄프재) 생산체계의 환경사지 경제적 편익 (단위 : 원/ha)

작업비용	판매가격	편익
	리기다소나무 (펄프재) <sup>1)</sup>	14,317,561
15,359,802	참나무 (펄프재) <sup>1)</sup>	15,776,000
	소계	30,093,561

1) 2015년 7월 국산재 원목 시장가격 적용(한국임업진흥원, 2015)

리기다소나무: 81,600원/톤, 참나무: 71,400원/톤,

국유림 임산물 매각 규칙(침엽수 1m<sup>3</sup>→1톤, 활엽수 1m<sup>3</sup>→1톤) 적용

※ 경기도 이천 전목 총 생산량 249.74톤(리기다소나무 110.54톤, 참나무: 139.20톤)

경기도 이천 전목생산체계 환경사지(별도~운송)의 총 작업비용 38,747원/톤 적용

경기도 이천 전목생산체계(펄프재) 환경사지 작업면적 0.63ha 기준

- 현행 단목(펄프재+용재) 생산체계의 총 작업비용은 9,460,151원/ha이고, 리기다와 참나무의 판매가격은 16,486,037원/ha으로 경제적 편익은 7,025,886원/ha으로 산출됨(표 45).

표 45. 新 전목(펄프재) 생산체계의 중·급경사지 경제적 편익 (단위 : 원/ha)

작업비용	판매가격	편익
	리기다소나무 (펄프재) <sup>1)</sup>	7,843,533
9,460,151	참나무 (펄프재) <sup>1)</sup>	8,642,504
	소계	16,486,037

1) 2015년 7월 국산재 원목 시장가격 적용(한국임업진흥원, 2015)

리기다소나무: 81,600원/톤, 참나무: 71,400원/톤,

국유림 임산물 매각 규칙(침엽수 1m<sup>3</sup>→1톤, 활엽수 1m<sup>3</sup>→1톤) 적용

※ 경기도 이천 전목 총 생산량 249.74톤(리기다소나무 110.54톤, 참나무: 139.20톤)

경기도 이천 전목생산체계 환경사지(별도~운송)의 총 작업비용 43,562원/톤 적용

경기도 이천 전목생산체계(펄프재) 환경사지 작업면적 1.15ha 기준

## (라) 작업 생산성 및 경제적 편익분석을 위한 생산성 예측모델식 개발 및 검증

- 현장 자료를 바탕으로 작업별 및 수종별 Category를 구분하였음.
- 전체 데이터 중 30%를 이용하여 이론공정식을 적용, Category별 일일 예측생산성(m<sup>3</sup>/일)을 산출한 후, 1차 생산성 예측모델식을 다음과 같이 개발함(표 46).

표 46. 1차 생산성 예측모델식 개발

구분	1차 예측모델식	$R^2$
리기다소나무 (전목_별도)	$y = 648.4 x + 15.78$	0.88
활엽수 (전목_별도)	$y = 726.5 x + 25.56$	0.54
리기다소나무 (전목_조재)	$y = 313.6 x - 1.41$	0.94
활엽수 (전목_조재)	$y = 295.2 x + 12.06$	0.99
낙엽송 (전목_조재)	$y = 29.39 x + 50.82$	0.65

- 개발된 1차 생산성 예측모델식의 적합성(t-test) 검증을 실시한 결과는 표 47과 같이, 모든 Category에서 실측값과 추정값 간의 유의수준이 5%내에서 유의적인 차이가 인정되지 않으므로, 예측모델식은 적합한 것으로 판단됨.

표 47. t-test를 통한 예측모델식 검증결과

구분	$\bar{D}$	$S_{\bar{D}}$	$t^*$	Prob> t
리기다소나무 (전목_별도)	-29.27	78.23	-0.99	0.36
활엽수 (전목_별도)	1.65	111.42	0.03	0.98
리기다소나무 (전목_조재)	0.52	20.77	0.06	0.95
활엽수 (전목_조재)	-2.85	3.76	-1.51	0.23
낙엽송 (전목_조재)	-0.68	7.18	-0.25	0.81

- 따라서 전체 자료를 이용한 Category별 최종 생산성 예측모델식을 도출한 것은 다음과 같음 (표 48, 그림 7).

표 48. 최종 생산성 예측모델식 개발

구분	최종 예측모델식	$R^2$
리기다소나무 (전목_별도)	$y = 917.87 x - 60.102$	0.84
활엽수 (전목_별도)	$y = 1601.6 x - 1115.7$	0.92
리기다소나무 (전목_조재)	$y = 439.04 x - 29.117$	0.89
활엽수 (전목_조재)	$y = 240.64 x + 19.402$	0.96
낙엽송 (전목_조재)	$y = 78.70 x + 22.704$	0.81



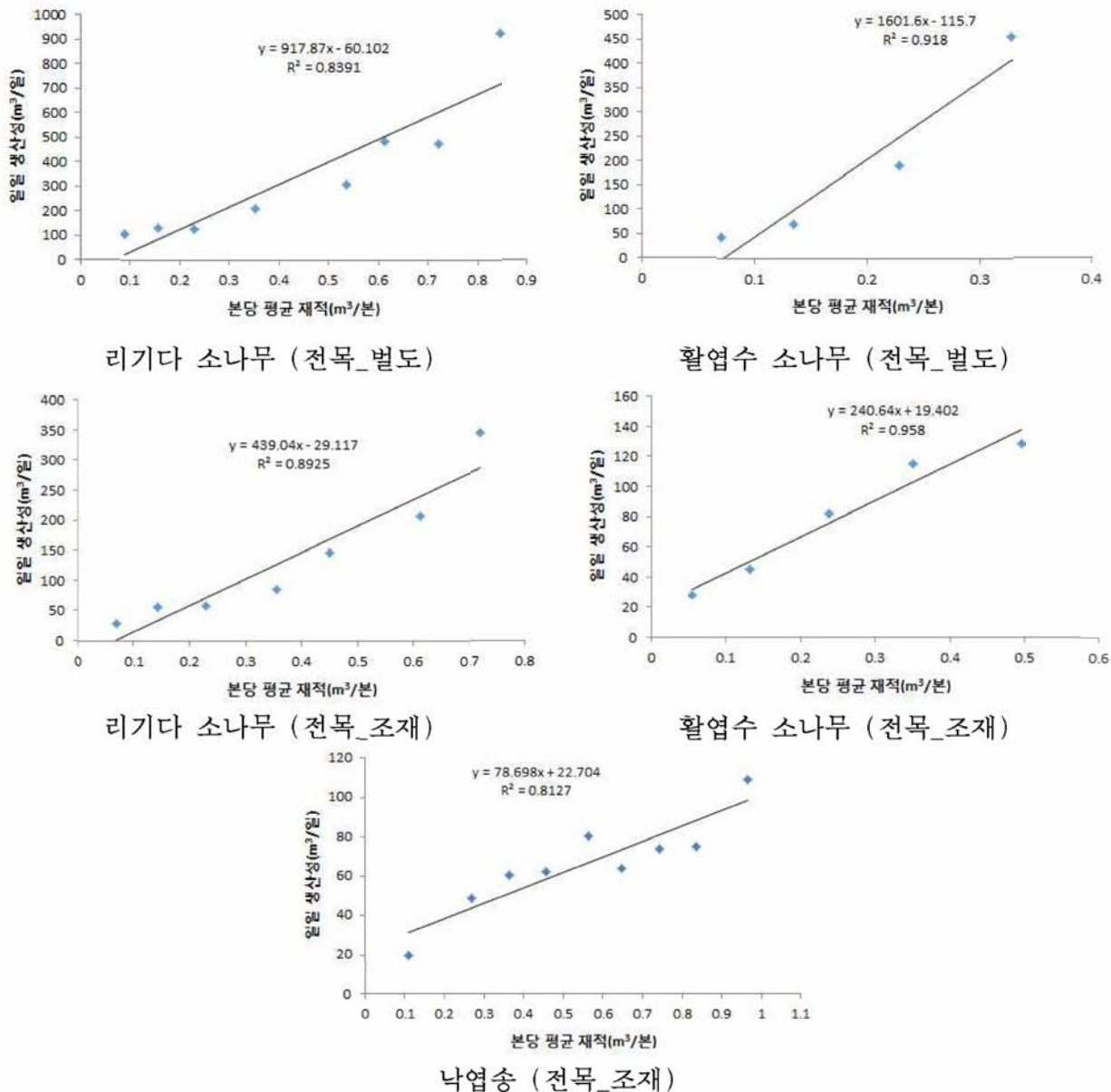


그림 7. 하베스터를 이용한 벌도와 조재작업의 수종별 생산성 예측모델식 개발

- 전목 벌도작업의 생산성 예측모델식 검증을 위해 예측 작업시간과 현실 작업시간의 비교는 다음 표 49와 같이, 최소 0.03시간에서 최대 0.17시간으로 차이남.
- 전목 조재작업의 생산성 예측모델식 검증을 위해 예측 작업시간과 현실 작업시간의 비교는 다음 표 49와 같이, 최소 0.02시간에서 최대 0.45시간으로 차이남.

표 49. 예측 작업시간과 현실 작업시간 비교 (단위: 시간)

구 분	현실 작업시간	예측 작업시간	차이
리기다소나무 (전목_벌도)	0.52	0.35	0.17
활엽수 (전목_벌도)	0.31	0.28	0.03
리기다소나무 (전목_조재)	1.26	0.81	0.45
활엽수 (전목_조재)	1.00	0.85	0.15
낙엽송 (전목_조재)	1.46	1.42	0.02

### 3절. 현행 굴삭기집재체계에서의 임목부산물 생산체계의 경제적 편익 조사·분석

#### 1. 임목부산물 생산체계의 경제적 편익 조사·분석

##### 가. 연구수행방법(이론적·실험적 접근방법)

- 실태분석을 위한 조사지 선정 및 조사항목을 설정함.
- 현장 방문을 통한 조사 및 전문가 면대면 조사를 실시함.
- 현행 임목부산물 생산체계의 문제점 도출 및 분석함.
- 기존 연구자료 및 현장 전문가의 의견을 통해 현재 임목부산물 자원화 시범사업에 이용되고 있는 목재 및 부산물 생산체계를 선정함.
- 연구대상지 선정 및 조사지 지형, 지리 및 임상특성 등 현장조사·분석함.
- 효율적인 임목부산물 생산체계 구축을 위해 현장조사를 바탕으로 한 작업을 설계함.
- 작업 생산성 및 경제적 편익분석을 위한 생산성 예측모델을 개발함.
- 생산성 예측모델 및 민감도분석을 통한 현행 임목부산물 자원화 시범사업의 생산성 및 경제성을 평가함.

##### 나. 연구결과

###### (1) 현행 임목부산물 생산체계 실태 분석 및 현황 진단

- 현행 임목부산물 생산체계에 관한 실태분석을 위해 경기도 이천시를 조사대상지로 선정함.
- 현행 임목부산물 생산체계는 굴삭기가 임지 계곡부터 능선을 이동하며, 부산물을 수집하는데, 중·급경사지에서 작업자의 안전 미확보가 가장 큰 문제점으로 판단됨.
- 현재 가선집재를 통한 전목 및 전간집재가 상용화되어, 대체적인 보급이 이루어져 있는 실정임.
- 그러나 가선집재는 작업속도, 현장 작업자들의 인식 미변화, 오랜 설치 및 해체시간 등으로 인해 굴삭기를 이용한 수집을 선호하고 있음.
- 또한 임지사면을 이동하기 위하여 크롤러(crawler)식 굴삭기가 이용되는데, 임지사면의 생태파괴로 인한 천연림 갱신이 어렵고, 인공림 재조성 시 임지정리에 관한 추가비용 발생함.
- 따라서 현행 굴삭기를 이용한 임목부산물의 생산체계는 작업자 안전 및 생태파괴 등의 문제로 인해 개선이 시급한 실정임.
- 대안으로 임목부산물 생산체계의 작업비용을 줄이고, 작업자의 안전 확보 및 산림생태 보호를 위한 고성능 임업기계를 활용한 전목집재가 유리하다 판단됨.

###### (2) 현행 임목부산물 생산체계의 작업생산성 및 경제적 편익 조사·분석

- 현행 임목부산물생산은 경기도 가평에서 실시하였음.
- 현행 임목부산물 생산체계는 원목생산에서 별도 및 조재작업을 실시하여, 별도의 비용이 소요되지 않고, 우드그랩을 이용한 수집, 우드그랩과 임내차(모루오까)를 이용한 소운반작업으로 구성하였음.

- 현행 임목부산물 생산체계는 표51과 같이, 1일 1인 기준 작업생산성(톤/일·인)은 14.3톤/일·인이고, 작업비용은 27,585원/톤으로 산출됨.
- 이 중 수집비용이 9,139원/톤(33.1%)이고, 소운반 작업비용이 18,446원/톤(66.9%)로 산출됨.

표 50. 현행 임목부산물 생산체계의 작업생산성 및 작업비용

내역	단위	수집 (굴삭기 집계)	소운반작업	
			(우드그랩)	(임내차)
장비구입비	천원	54,000	54,000	110,000
장비내구년수	년	5	5	10
장비 경제적 수명	시간	14,000	14,000	20,000
실제 연간 가동시간	시간	2,000	2,000	2,000
유류소비량	리터/시간	8.1	8.1	6.88
수리정비계수		0.8	0.8	0.9
운활유 계수		0.4	0.4	0.4
이자율	%/년	10	10	10
감가상각비	원/시간	3,857	3,857	5,500
이자비용		1,350	1,350	2,750
수리유지비		3,086	3,086	4,950
유류비용 <sup>1)</sup>		15,252	15,252	12,898
기타비용 (보험료, 보관료 등)		540	540	825
소계	원/시간	24,085	24,085	26,923
인건비 <sup>2)</sup> (부대비용 80% 포함)	원/시간	24,355	24,355	24,355
기계비용	원/시간	48,440	48,440	51,278
			99,718	
생산성	톤/시간	5.30	5.40	
	톤/일·인	42.4	21.6	
작업비용	원/톤	9,139	18,446	
현행 임목부산물 생산체계 작업비용(원/톤)			27,585	

1) 유류비용은 2015년도 7월 단가 적용

2) 인건비 2015년도 정부노임단가(특별인부 : 108,245원) 적용

※ 연간 가동시간 2,000시간 적용, 1일 전체작업 8시간 기준  
소운반거리 150m 이내

## 2. 현행 임목부산물 자원화 시범사업에서 적용하고 있는 전목생산체계에 대한 공정별 생산성, 생산비용 및 경제적 편익 조사·분석

### 가. 연구수행방법(이론적·실험적 접근방법)

- 기존 연구자료 및 현장 전문가의 의견을 통해 현재 임목부산물 자원화 시범사업에 이용되고 있는 목재 및 부산물 생산체계를 선정함.
- 임목부산물 자원화 시범사업의 현장 실연 및 각 공정별 Time Study를 이용한 작업 생산성 자료를 수집함.
- 작업 생산성 및 경제적 편익분석을 위한 생산성 예측모델을 개발함.
- 생산성 예측모델 및 민감도분석을 통한 현행 임목부산물 자원화 시범사업의 생산성 및 경제성을 평가함.

### 나. 연구결과

#### (1) 리기다소나무 활용을 위한 경제성 분석에 관한 연구(전북발전연구원, 2008)

- 리기다소나무의 에너지 연료 활용을 위해 전목과 전간의 수확시스템을 5가지로 구분하여, 벌목, 소운반, 파쇄, 운송작업별 투입 인력 및 장비, 투입시간 등의 자료를 수집 및 경제성 분석을 실시함(표 51).
- 시스템별 경사도에 따른 작업비용은 시스템 1의 완경사도가 50,052원/톤으로 가장 저비용이고, 시스템 4의 급경사지가 82,641원/톤으로 가장 고비용으로 산출됨(표 52).

표 51. 전목 및 전간재의 수확시스템

시스템	공정구분
System 1 (전목_집재장)	벌목 -> 집재 -> 파쇄 -> 운송
System 2 (전목_저목장)	벌목 -> 집재 -> 소운반 -> 파쇄 -> 운송
System 3 (전목_발전소)	벌목 -> 집재 -> 조재 -> 운송 -> 파쇄
System 4 (전간_저목장)	벌목 -> 집재 -> 소운반 -> 파쇄 -> 운송
System 5 (전간_발전소)	벌목 -> 집재 -> 조재 -> 운송 -> 파쇄

표 52. 시스템별 작업비용 분석

구분	경사도	생산비용	기업이윤	합계
S1	완	45,501	4,551	50,052
	중	48,152	4,815	52,967
	급	52,407	5,241	57,648
S2	완	54,589	5,460	60,049
	중	57,240	5,724	62,964
	급	61,495	6,150	67,645
S3	완	45,866	4,587	50,453
	중	48,517	4,851	53,368
	급	52,772	5,277	58,049
S4	완	58,969	5,898	64,867
	중	65,200	6,521	71,721
	급	75,128	7,513	82,641
S5	완	49,568	4,957	54,525
	중	55,799	5,580	61,379
	급	65,727	6,572	72,299

## (2) 임지잔재 수집 및 자원화 시범사업(황영철 국회의원, 2010)

- 벌기령에 도달한 리기다소나무 조림지를 대상으로 임목잔재를 원목과 동시에 중하산 집재작업과 임내차를 이용하여 벌크(Bulk)상태의 임지잔재를 토장에 소운반작업을 실시한 후, 공장으로 운송 후 파쇄작업을 실시함.
- 임지잔재 수집 및 자원화 시범사업의 계획금액은 93,760원/톤 이었으나, 실적은 톤당 약 5,500원/톤 초과되어 약 99,270원/톤으로 산출됨.
- 이 중 임지잔재운반비용이 44,584원/톤으로 가장 많은 비용이고, 중하산비, 임지잔재 칩 운반비, 공장파쇄 용역비, 집재비, 기타(식대, 숙박비, 관리비)는 각각 15,699원/톤, 14,000원/톤, 11,000원/톤, 10,098원/톤, 3,889원/톤 순임(표 53).

표 53. 임지잔재시범사업의 임지잔재공정별 원가

구 분	계획	실적(원/톤)
집재비	19,500	10,098
중하산비	23,300	15,699
현장파쇄기 임대	11,000	-
트레일러비	9,300	-
방진망 설치비	6,660	-
유류대	6,000	-
임지잔재 칩 운반비	18,000	14,000
임지잔재운반비	-	44,584
공장파쇄 용역비	-	11,000
식대	-	891
숙박비	-	631
관리비	-	2,367
합 계	93,760	99,270

- 경기도 이천시 호법면 임목부산물 생산체계의 총 수집비용은 27,585원/톤으로, ‘리기다소나무 활용을 위한 경제성분석을 위한 연구’의 연구결과 보다는 저비용이고, ‘임지잔재 수확 및 자원화 시범사업’에서 집재와 중하산작업의 비용인 25,797원/톤 보다는 높게 산출됨.
- 이는 임목부산물을 현장 파쇄와 운송 후 공장파쇄에 따라 비용의 차이가 있으나, 현행 굴삭기를 이용한 임목부산물 생산체계는 수집비용이 높아, 경제성이 있다고 판단하기 어려움.

### 3. 현행 임목부산물의 생산 및 공급체계에 있어서 기술적/경제적 향상 방안 제시

#### 가. 연구수행방법(이론적·실험적 접근방법)

- 기존 연구자료 및 현장 전문가의 의견을 통해 현재 임목부산물 자원화 시범사업에 이용되고 있는 목재 및 부산물 생산체계를 선정함.
- 임목부산물 자원화 시범사업의 현장 실연 및 각 공정별 Time Study를 이용한 작업 생산성 자료를 수집함.
- 현행 임목부산물 자원화 시범사업의 기술적/경제적 향상 방안을 제시함.

#### 나. 연구결과

- 현재 국내에서는 산업화 이후 꾸준히 목재자원의 수요가 증가하고 있으며, 원목을 이용한 목재제품뿐만 아니라 목재칩을 이용한 파티클보드, 집성재, 합판, 삭편판, 섬유판 등의 공학목재 및 건축용 자재, 실내의 친환경 소재의 재료로서 용도가 다양해지고 있음.
- 또한 최근 화석연료에 의존한 에너지소비가 화석연료의 고갈 및 지구온난화, 대기오염 등의 문제로 탄소중립에너지인 목질계 바이오매스 자원의 높은 관심이 집중되어지고 있으며 에너지용 목재자원의 수요도 최근 들어 계속 증가하여 공급량보다 수요량이 높아지는 현상이 발생함.
- 현재 국내에서는 굴삭기 우드그랩을 이용한 원목 및 임목부산물의 하향집재방식으로 목재자원을 생산하고 있는 추세이며, 향상방안으로 굴삭기를 이용한 현행 생산체계가 아닌 전목생산체계가 유리한 것으로 판단됨.
- 전목생산체계는 임지에서 나무를 전수체(가지치기 전 상태)를 집재하여 토장에서 조제하는 체계로서 전목을 집재하는 동안 임목부산물의 수집작업 및 상차 및 소운반작업의 'Free ride'로 인하여 비용이 따로 발생하지 않음.
- 또한 전목생산체계에 적용 가능한 고성능임업기계로서 하베스터, 스키더, 포워더 등을 활용할 시 현행 생산체계에 비해 투입장비의 대수와 기간이 줄어들 것으로 예상됨.
- 국외는 목재의 현장파쇄뿐만 아니라 목재 브리켓 또는 목재펠릿의 성형과정까지 진행하여 공급하는 연구 및 기술의 보급이 진행되고 있으며, 이는 목재수확비용 중 상당부분을 차지하는 운송비용의 절감효과로 이어지는 것으로 판단됨.
- 국외는 임지조건상 한 지역에서 원목 및 임목부산물의 수확공정 완료 후 목재브리켓, 목재펠릿, 목재칩의 반탄화로 인한 에너지열량의 상승이 가능하지만, 국내는 험한 임지조건으로 인해 한 지역에서 대단위로 공급을 하기 어려운 실정으로 목재칩 생산에 필요한 파쇄기, 목재브리켓, 목재펠릿플랜트 및 반탄화 공정에 필요한 플랜트의 형태가 고정식이 아닌 이동식의 형태가 되어야 함.
- 이동식목재 생산 및 공급체계는 운송비용의 절감을 가져올 뿐만 아니라 국내 임지조건에 맞는 형태로서 경제성을 보일 것으로 예상됨.

## 4절. 고성능임업기계(Harvester, Processor)를 활용한 新 목재생산 체계 개발(2세부)

### 1. 고성능 임업기계(Harvester, Processor)를 활용한 벌도작업 생산성 조사·비교 분석

#### 가. 연구수행방법(이론적·실험적 접근방법)

- 문헌 고찰 및 현장전문가의 의견을 통한 하베스터(Harvester)의 적용 범위 및 제원 분석
- 하베스터 현장 실연연구를 위한 연구대상지 선정 및 지형, 지리, 임상특성 등 현장조사·분석
- 효율적인 현장연구 진행을 위한 연구계획 수립 및 현장 실연
- Time Study를 이용한 지리, 지형 및 임상특성에 따른 벌도작업 생산성 조사
- 다양한 임지 및 임상조건에 따른 하베스터의 등판능력, 벌도 직경, 작업가능거리 등을 조사 및 평가
- 생산성 예측모델, 민감도분석 및 기존 벌도작업 생산성과의 비교를 통한 고성능 임업 기계를 활용한 벌도작업 생산성 및 경제적 편익 조사·분석

#### 나. 연구결과

##### (1) 고성능 임업기계 하베스터에 의한 작업생산성 및 비용분석

- 고성능 임업기계 하베스터를 이용한 벌도작업 생산성 조사는 경기도 이천시 호법면에서 전체 면적 7.2ha중 0.63ha를 대상으로 경사가 40%(평균 22%, 최대 32%, 최소 10%)미만인 지역에 투입하여 조사·분석하였음.
- 고성능 임업기계 하베스터는 스트로크 방식으로 서있는 임목을 베고 가지를 제거하여 일정한 크기로 자르는 장비임. 기존 휠타입 방식의 하베스터의 비해 잣나무(운생), 리기다(가지가 굵은 경우) 등 거칠고 역센 가지의 가지정리를 최소한의 유압의 힘으로 매끄럽고 신속하게 작업이 가능한 장비임 하베스터의 제원은 표 54와 같음.



그림 8. 스트로크 방식의 하베스터(Kesla 25SH)

표 54. 스트로크 방식의 하베스터 제원

구 분	제 원
기본차량 모 델	16톤급 이상 굴삭기 부착 Kesla 25SH
벌목가능직경	최대 72cm (벌목유효 직경 67cm)
자체중량	880kg
동작거리	88cm
최대개구폭	103cm
절단용 날 직경	67cm
작업압력 및 유량	175~220bar, 120~180 ℓ /분

- 고성능 임업기계 하베스터를 이용한 전목벌도 생산성 및 비용은 1일 8시간 작업 기준 171.2톤/인·일, 작업비용은 3,872원/톤으로 산출됨
- 고성능 임업기계가 아닌 체인톱을 이용한 전목벌도 생산성 및 비용은 1일 8시간 작업 기준 80.1톤/인·일, 작업비용은 3,184원/톤로 산출됨.
- 고성능 임업기계 하베스터가 인력에 의한 체인톱 작업보다 생산성은 약 2.1배 증가하였고, 비용은 약 688원/톤이 높은 것으로 나타남. 작업비용에서 프로세서의 초기 구입비용이 높기 때문에 비용이 증가되는 경향이 보였지만, 생산성은 높게 증가하여 고성능 임업기계를 활용한 작업이 효율적이고, 작업의 안정성까지 확보할 수 있을 것으로 사료됨.

표 55. 16톤급 굴삭기 부착형 하베스터 기계비용 분석

내역	16톤급 굴삭기 하베스터		단위	
	연가	가동시간 2,000시간		
장비 구입비(P)	(P)	100,000,000	110,000,000	원
장비내구년수(N)	(N)	7	8	년
장비의 경제적 수명(H)	(H)	14,000	16,000	시간
실제 연간 가동시간	(J)	2,000	2,000	시간
유류소비량*	경유단가	22	-	리터/시간
수리정비계수	(r)	0.8	0.9	시간
운활유 계수		0.4	0.4	시간
이자율	(i)	10	10	%/년
감가상각비	$P/H$ 또는 $P/(N \cdot H)$	714	6,875	원/시간
이자비용	$0.5 \cdot P \cdot i \cdot 0.01/J$	250	2,750	시간
수리유지비	$P/H \cdot r$ 또는 $P \cdot r/(N \cdot H)$	571	6,188	시간
유류비용	유류단가 · 유류소비량 · (1+(0.4))	40,040	-	시간
기타비용(보험료, 보관료 등)	3000 천원/년	107	1,031	천원/년
소 계		41,683	16,844	원/시간
인건비**	(50% 부대비용 포함) 시간당 임금 · 1.8	24,355	-	원/시간
총 작업비(인건비 포함)		66,038	16,844	원/시간

\* 유류비용은 조사가 수행된 연구대상지의 7~8월 유류비용 적용

\*\* 인건비는 2015년도 정부노임단가(특별인부 : 108,245원) 적용



## 2. 고성능 임업기계(Harvester, Processor)를 활용한 조재작업 생산성 조사 및 기존 data 비교 분석

### 가. 연구수행방법(이론적·실험적 접근방법)

- 문헌 고찰 및 현장전문가의 의견을 통한 적용가능한 한 원목 조재작업 기기 유형 및 제원 분석
- 현장 실연연구를 위한 연구대상지 선정 및 지형, 지리, 임상특성 등 현장조사·분석
- 효율적인 현장연구 진행을 위한 연구계획 수립 및 현장 실연
- Time Study를 이용한 용도별(원목, 펄프재, 신탄재, 에너지용 등) 및 투입장비별(프로세서, 하베스터, 체인톱, 체인톱+우드그랩 등) 조재작업의 생산성 조사
- 생산성 예측모델 및 민감도분석을 통한 용도별, 투입장비별 생산성 및 경제적 편익 조사·분석

### 나. 연구결과

- 현재 국내 목재수확에서 조재작업은 대부분 인력에 의한 체인톱 조재, 굴삭기 우드그랩과 체인톱 등으로 작업이 이루어지고 있음. 반면 고성능 임업기계를 이용한 조재작업은 장비의 도입이 되어 있지 않아 거의 이루어지고 있지 않은 실정임.
- 고성능 임업기계를 이용한 조재작업은 16톤급 궤도형 굴삭기를 베이스머신으로 한 스트로크, 휠 방식의 프로세서, 현행 조재작업은 체인톱+굴삭기 우드그랩에 의한 데이터를 비교하여 생산성 및 비용을 분석하였음.
- 고성능 임업기계를 이용한 원목 조재작업의 생산성은 경기도 이천시 호법면, 강원도 춘천시 덕두원에서 지역에서 프로세서에 생산성을 조사·분석하였음.

#### (1) 고성능 임업기계 프로세서에 의한 작업생산성 및 비용분석

- 고성능 임업기계를 이용한 원목 조재작업의 생산성은 경기도 이천시 호법면, 강원도 춘천시 덕두원에서 지역에서 프로세서에 생산성 및 비용분석을 조사·분석하였음.
- 경기도 이천시에서 수행된 프로세서의 조재작업은 오퍼레이터의 경력이 3년 이상인 숙련자가 작업을 실시하였으며, 이에 따른 생산성 및 비용은 1일 8시간 기준으로 각각 131.2톤/인·일, 5,054원/톤으로 산출됨.
- 강원도 춘천시에서 수행된 프로세서의 조재작업은 오퍼레이터의 경력이 거의 없으며 초급자 기준으로 생산성 및 비용은 1일 8시간 기준으로 각각 52.0톤/인·일, 16,824원/톤으로 산출됨.

표 56. 16톤급 굴삭기 부착형 프로세서 종류별 기계비용 분석

내역		스트로크 방식 프로세서		휠 타입		단위
		16톤급 굴삭기	프로세서	16톤급 굴삭기	프로세서	
장비 구입비(P)	(P)	100,000,000	110,000,000	150,000,000	230,000,000	원
장비내구년수(N)	(N)	7	8	7	8	년
장비의 경제적 수명(H)	(H)	14,000	16,000	14,000	16,000	시간
실제 연간 가동시간	(J)	2,000	2,000	2,000	2,000	시간
유류소비량*	경유단가	22	-	15.3	-	리터/시간
수리정비계수	(r)	0.8	0.90	0.8	0.9	시간
윤활유 계수		0.4	0.4	0.4	0.4	시간
이자율	(i)	10	10	10	10	%/년
감가상각비	$P/H$ 또는 $P/(N \cdot H)$	714	6,875	10,714	14,375	원/시간
이자비용	$0.5 \cdot P \cdot i \cdot 0.01/J$	250	2,750	3,750	5,750	시간
수리유지비	$P/H \cdot r$ 또는 $P \cdot r/(N \cdot H)$	571	6,188	8,570	12,938	시간
유류비용	유류단가 · 유류소비량 · (1+(0.4))	40,040	-	23,562	-	시간
기타비용 (보험료, 보관료 등)	3000 천원/년	107	1,031	1,607	2,156	천원/년
소 계		41,683	16,844	48,205	35,219	원/시간
인건비**	(50% 부대비율 포함) 시간당 임금 · 1.8	24,355	-	25,936	-	원/시간
총 작업비 (인건비 포함)		66,038	16,844	74,141	35,219	원/시간

\* 유류비용은 2015년도 7월, 2016년 10월 단가 적용

\*\* 인건비는 2015년도 정부노임단가(특별인부 : 108,245원), 2016년도 정부노임단가(특별인부 115,272원) 적용

- 현행 조재작업은 춘천시 서면 덕두원에서 굴삭기 우드그랩과 체인톱을 이용한 조재작업의 생산성 및 비용분석 결과 3인 1조로 1일 8시간 작업 기준으로 각각 29.1톤/인·일, 14,939원/톤으로 산출됨.
- 현행 조재작업은 한원성(2008)의 조재작업에 대한 연구결과를 인용하여 순수작업시간의 생산성 1.46m<sup>3</sup>/PMH과 기계이용율 67.6%를 이용하여, 전체작업시간에 대한 생산성 0.98m<sup>3</sup>/SMH를 산출함. 본 연구결과와 단위(m<sup>3</sup>→톤)를 통일하기 위해 환산계수 1.1를 이용하여 시간당 생산성 1.1톤/시간을 산출함. 따라서 2인 1조로 1일 8시간 작업 기준의 하루 생산량은 4.3톤/인·일, 작업비용은 35,778원/톤으로 산출됨.

표 57. 투입장비에 따른 조재작업의 생산성 및 비용 분석

구분		생산성 (톤/인·일)	작업비용 (원/톤)
조재작업	프로세서 (스트로크 방식)	131.2	5,054
	프로세서 (휠 방식)	52.0	16,824
	체인톱+우드그랩 (낙엽송 조재작업)	29.1	14,939
	체인톱+우드그랩 (선행연구 결과)	4.3	35,778

### 3. 고성능 임업기계(Harvester, Processor)를 활용한 벌도 및 조재작업에 있어서 기술적/경제적 향상 방안 제시

#### 가. 연구수행방법(이론적·실험적 접근방법)

- 고성능 임업기계(Harvester, Processor)를 활용한 벌도 및 조재작업에 있어서 기술적/경제적 향상 방안 제시

#### 나. 연구결과

- 본 연구에서는 고성능 임업기계(하베스터, 프로세서)을 활용한 벌도 및 조재작업의 생산성과 작업비용을 비교분석함으로써 현장 적용성 평가 및 고성능 임업기계의 도입에 적합함을 검토함.
- 고성능 임업기계 하베스터를 활용한 전목벌도 생산성 및 작업비용은 171.2톤/인·일, 3,872원/톤, 체인톱에 의한 전목벌도 생산성 및 비용은 80.1톤/인·일, 3,184원/톤으로 분석됨.
- 고성능 임업기계 하베스터가 인력에 의한 체인톱 작업보다 생산성은 약 2.1배 증가하였고, 비용은 약 688원/톤이 높은 것으로 나타남. 작업비용에서 프로세서의 초기 구입비용이 높기 때문에 비용이 증가되는 경향이 보였지만, 생산성은 높게 증가하여 고성능 임업기계를 활용한 작업이 효율적이고, 작업의 안정성까지 확보할 수 있어 도입 가능성이 높은 것으로 사료됨.
- 현행 국내 조재작업에서 이루어지는 방식으로 강원도 춘천시 덕두원에서 수행한 체인톱+우드그랩의 생산성 및 비용은 3인 1조로 29.07톤/인·일, 14,939원/톤, 선행연구 결과에 따른 생산성 및 비용은 3인 1조로 4.3톤/인·일, 35,778원/톤으로 분석됨.
- 고성능 임업기계 프로세서를 활용한 조재작업 생산성 및 작업비용은 프로세서 종류에 따라 나타냄. 스트로크 프로세서의 생산성 및 작업비용은 132.2톤/인·일, 5,054원/톤, 휠 타입 프로세서는 52.0톤/인·일, 16,824원/톤으로 분석됨. 같은 고성능 임업기계임에도 불구하고 생산성과 작업비용이 차이나는 것은 작업자의 숙련도에 따라 발생하는 것으로 사료됨.
- 현행 및 고성능임업기계를 활용한 조재작업의 경우 숙련자가 작업을 했을 때 생산성과 비용이 최대 30.7배, 30,724원/톤으로 분석됨. 초급자의 경우도 현행보다 생산성은 약 1.8배 증가하였고, 비용은 1,885원/톤 높게 분석됨. 그러나 비용이 조금 더 높게 나타나도 생산성이 높게 나타나기 때문에, 작업자의 숙련도 등을 감안하면 충분히 고성능 임업기계를 도입 및 활용할 수 있을 것으로 사료됨.
- 국내에서 고성능 임업기계의 향후 도입된다 하더라도 오퍼레이터 부족으로 활용하는데 문제가 발생할 것으로 사료되며, 이를 극복하기 위해 임업기계훈련원이나 연구기관에서 오퍼레이터를 양성할 수 있도록 교육 프로그램을 개발하여 적극 지원함으로써 전문 인력 양성에 기여할 필요가 있을 것으로 판단됨.
- 현재 국내에서는 고성능 임업기계를 활용한 목재수확보다는 인력 또는 건설기계(굴삭기 우드그랩) 등으로 작업이 이루어지고 있음. 고성능 임업기계를 활용한 목재수확작업이 이루어지기 위해서는 시범사업 등을 통해 고성능 임업기계를 이용한 목재수확작업을 원목생산업에 종사하는 국민에게 전파하고 직접 실감할 수 있도록 적극 지원하여 활용할 수 있으면 충분히 도입하여 활용할 수 있을 것으로 판단됨.

## 4. 고성능 임업기계(Harvester, Processor) 장비의 적용 범위와 한계 규명

## 가. 연구수행방법(이론적·실험적 접근방법)

- 현장조사 및 현장전문가 면대면 조사를 통한 고성능 임업기계 장비의 한계성 파악
- 생산성 예측모델 개발을 통하여 공정별 생산성 영향인자를 파악
- 민감도분석을 통한 분석인자별 영향 정도를 파악하여 고성능 임업기계 장비의 적용 범위와 한계를 파악
- 효율적인 고성능 임업기계 장비의 이용을 위한 가이드라인 제시

## 나. 연구결과

## (1) 고성능 임업기계 장비의 한계성 파악

- 목재생산작업은 간벌 및 개벌 등의 작업종, 지형조건, 임목조건, 작업규모 등에 따라 작업방법, 장비 등이 달라지나 이 중에서도 작업 기종 선정에 가장 큰 영향을 미치는 것이 지형조건임. 또한 작업규모 등의 경영조건에 따른 작업형태를 대별하면 다음과 같이 세 가지 유형으로 구분하여 고성능 임업기계 장비의 한계성을 파악하였음.
- 이때 소규모 작업형태는 비교적 저가의 장비를 이용하여 소규모 벌채현장에 적용할 수 있는 겸업형 작업형태를 말하며 대규모 작업형태는 고성능 고가장비를 이용한 자동화된 작업형태로서 국유림 또는 규모가 큰 벌채업자 등이 적용 할 수 있는 전업형 작업형태를 나타냄. 목재수확작업 공정별 임업기계의 분류는 다음 표 58과 같음.

표 58. 목재수확작업 공정별 임업기계의 분류

작업종별	임업기계	작업기능	적용규모
벌목장비	체인톱 <sup>1)</sup>	인력벌목, 절단, 지타작업	겸업형
	펠러번처	벌목	전업형
조재장비	프로세서 <sup>1)</sup>	지타, 측척 및 작동작업	전업형
	그래플쏘	작동작업	전·겸업형
벌목조재장비	하베스터 <sup>1)</sup>	벌목, 지타, 측척 및 작동	전업형
	굴삭기 그래플 <sup>1)</sup>	임내 단거리 소집재	겸업형
	트랙터 윈치 <sup>1)</sup>	임내, 작업도이용 집재	겸업형
집재장비	스키더 <sup>1)</sup>	임내, 작업도이용 집재 (임업전용 굴절식 트랙터)	전·겸업형
	임내차 <sup>1)</sup>	임내, 작업도이용 집재 (임업용 소형 집운재차량)	겸업형
	타워식 집재기 <sup>1)</sup>	자주식 가선집재장비	전업형
	자주식 반기	가선집재	겸업형
집운재장비	수리 <sup>1)</sup>	중력집재	겸업형
	포워드 <sup>1)</sup>	집재로, 작업도이용 집운재	전업형
	4륜 구동트럭 <sup>1)</sup>	집재로, 작업도이용 집운재	겸업형
원목상차장비	굴삭기 그래플 <sup>1)</sup>	원목 상차	전·겸업형
	크레인 트럭 <sup>1)</sup>	원목 상차	겸업형

1) 국내에서 현재 적용하는 작업기종

- 지형조건에 따른 작업시스템별 분류할 수 있음. 완경사지 작업시스템은 경사도 30% 미만의 임지는 별도의 작업로를 개설하지 않고도 임내에 트랙터가 주행할 수 있어서 현재 국내·외에서 활용되고 있는 하베스터, 프로세서, 포워더 등에 의해 임내에서 대형장비에 의한 벌목 조재 및 집재가 가능하며 소규모 작업지의 경우에도 임내차 등의 소형집운재 차량에 의한 작업방식도 적용 가능함.
- 중경사지 작업시스템은 임내에서 직접 주행이 불가능하므로 트랙터 및 포워더 등의 장비가 주행할 수 있는 최대 경사 30% 미만의 작업도를 개설하여 임도 또는 작업로에서 윈치를 이용한 집재작업을 실시 후 작업로를 이용하여 포워더, 차륜형 또는 궤도형 임내차 등을 이용하여 화물차량운재가 가능한 임도변 토장까지 집운재하는 방식임. 작업로가 미비하거나 임지훼손이 우려될 경우 생산성이 떨어지지만 임지피해를 최소화 할 수 있는 가선작업방법도 고려될 수 있음.
- 급경사지 작업시스템은 경사도 60%이상 지역에 해당됨. 작업로 개설시 임지훼손이 심하므로 임도상이나 작업로를 이용한 가선작업을 이용해야 하므로 생산성이 떨어지며, 특히 벌목작업은 체인톱에 의존할 수밖에 없으며 급경사지에서는 작업공간이 좁기 때문에 가선장비에 의해 전간 또는 전목집재 된 목재를 굴삭기 등에 부착된 프로세서나 하베스터로 임도변에서 조재 및 집적할 수 있으나 트랙터 부착형태의 저렴한 프로세서(간이 프로세서)는 급경사지에서는 사용이 곤란하며 임내에서 지타작업이 이루어진 전간목은 그래플쏘를 사용하여 조재 가능함.

## (2) 고성능 임업기계 장비의 이용에 따른 목재 생산성 및 비용 개선 목표 제시

- 고성능 임업기계 장비의 이용을 위한 가이드라인을 제시하기 위해 목재 생산성 및 비용 개선 목표를 제시함.
- 목재생산성 및 비용 개선 목표를 대규모 전업형(5,000㎥/년 이상 생산)와 소규모 겸업형(5,000㎥/년 이하 생산) 구분하였고, 현재 이루어지는 목재수확시스템의 생산성 및 비용과 향후 2020년까지 목표 생산성과 비용을 제시하였음(표 59, 60).

표 59. 고성능 임업기계 장비의 이용에 따른 목재생산성 및 비용 목표 제시(대규모 전업형 5,000㎥/년 이상 생산)

구분	대규모 전업형 (5,000㎥/년 이상 생산)								
	현 재			미래 목표( ~ 2020년까지)					
	목재 생산 작업시스템	시스템 생산성 (m <sup>3</sup> /인·일)	생산 비용 (원/m <sup>3</sup> )	목재 생산 작업시스템	시스템 생산성 (m <sup>3</sup> /인·일)	생산 비용 (원/m <sup>3</sup> )			
완 경 사 지	단위 작업별 생산성 (m <sup>3</sup> /인·일)	벌도+조재* (체인톱)	진재* (굴삭기 우드그랩)	전목	벌도* (펠러 번저)	진재* (스키더)	조재* (프로 세서)		
		16.0	54.4	단위 작업별 생산성 (m <sup>3</sup> /인·일)	217.7	33.8	154.9	24.9	23,200
	단위 작업별 생산 비용 (원/m <sup>3</sup> )	26,000	8,400						
				12.4	34,400	단위 작업별 생산비용 (원/m <sup>3</sup> )	4,020	13,550	5,630
경 사 지	단위 작업별 생산성 (m <sup>3</sup> /인·일)	벌도+조재* (체인톱)	진재** (트랙터 집재기)	단목	벌도+조재* (하베스터)	진재* (포워드)			
		16.0	18.7	단위 작업별 생산성 (m <sup>3</sup> /인·일)	62.2	85.6		36.0	23,840
	단위 작업별 생산 비용 (원/m <sup>3</sup> )	26,000	11,800						
				8.6	37,800	단위 작업별 생산비용 (원/m <sup>3</sup> )	13,970	9,870	
경 사 지	단위 작업별 생산성 (m <sup>3</sup> /인·일)	벌도+조재* (체인톱)	진재** (트랙터 집재기)	단위작업 별 생산성 (m <sup>3</sup> /인·일)	벌도* (체인톱)	진재* (타워아더 중·대형 스윙아더)	조재* (프로 세서)		
		16.0	18.7		83.5	23.1	154.9		
	단위 작업별 생산 비용 (원/m <sup>3</sup> )	26,000	11,800					16.2	17,680
				8.6	37,800	단위작업 별 생산비용 (원/m <sup>3</sup> )	3,180	8,870	5,630

표 60. 고성능 임업기계 장비의 이용에 따른 목재생산성 및 비용 목표 제시(소규모 겸업형 5,000m<sup>3</sup>/년 이하 생산)

구분	소규모 겸업형 (5,000m <sup>3</sup> /년 이하 생산)								
	현 재			미래 목표 ( ~ 2020년까지)					
	목재 생산 작업시스템	시스템 생산성 (m <sup>3</sup> /인·일)	생산 비용 (원/m <sup>3</sup> )	목재 생산 작업시스템	시스템 생산성 (m <sup>3</sup> /인·일)	생산 비용 (원/m <sup>3</sup> )			
완 경 사 지	단위 작업별 생산성 (m <sup>3</sup> /인·일)	벌도+조재* (체인톱)	집제* (굴삭기 우드그랩)	전목	벌도* (체인톱)	집제* (소형 스키더)	조제*** (간이 프로세서)	16.6	26,750
	단위 작업별 생산비용 (원/m <sup>3</sup> )	16.0	54.4		83.5	33.8	54.0		
				12.4	34,400				
경 사 지	단위 작업별 생산성 (m <sup>3</sup> /인·일)	벌도+조재* (체인톱)	집제** (트랙터 집제기)	단위 작업별 생산성 (m <sup>3</sup> /인·일)	벌도* (체인톱)	집제* (소형 스키더)	조제*** (간이 프로세서)	13.6	22,070
	단위 작업별 생산비용 (원/m <sup>3</sup> )	16.0	18.7		83.5	23.1	54.0		
				8.6	37,800				
						3,180	8,870	10,020	

## 5절. 저비용 목재 및 부산물 생산체계의 공정별 요소기술개발(3세부)

### 가. 연구수행방법(이론적·실험적 접근방법)

- 문헌 고찰 및 현장방문을 통한 집재기 및 반송기의 유형분류
- 집재작업 생산성 향상을 위해 개발이 요구되는 반송기 개발계획 및 모델 구축
- 모델 Simulation 및 역학분석을 통한 개발 반송기의 적용 범위 및 제원 선정
- 반송기 개발 및 시제품 제작
- 시제품의 현장 테스트 및 Logging mechanics 분석을 통한 견인능력, 횡방향 집재가능 거리, 와이어의 적정 굵기 등 개발된 반송기의 집재작업 생산성 향상을 평가
- 시제품의 현장 테스트에서 발생된 문제점 검토 및 보완
- 완제품의 현장 실연연구 및 Time Study를 이용한 지리, 지형 및 임상특성에 따른 집재작업 생산성 및 경제적 편익 조사·분석

### 나. 연구결과

- 문헌 고찰 및 국내사용 집재기 및 반송기의 유형을 조사하고 분류한 결과 국내에서는 단순반송기이거나, Stopper가 없는 형태로 이루어져있음. 국외의 경우 타워야더 집재기 용 스카이라인 반송기를 두 형태로 구분하여 사용하고 있음(그림 9).

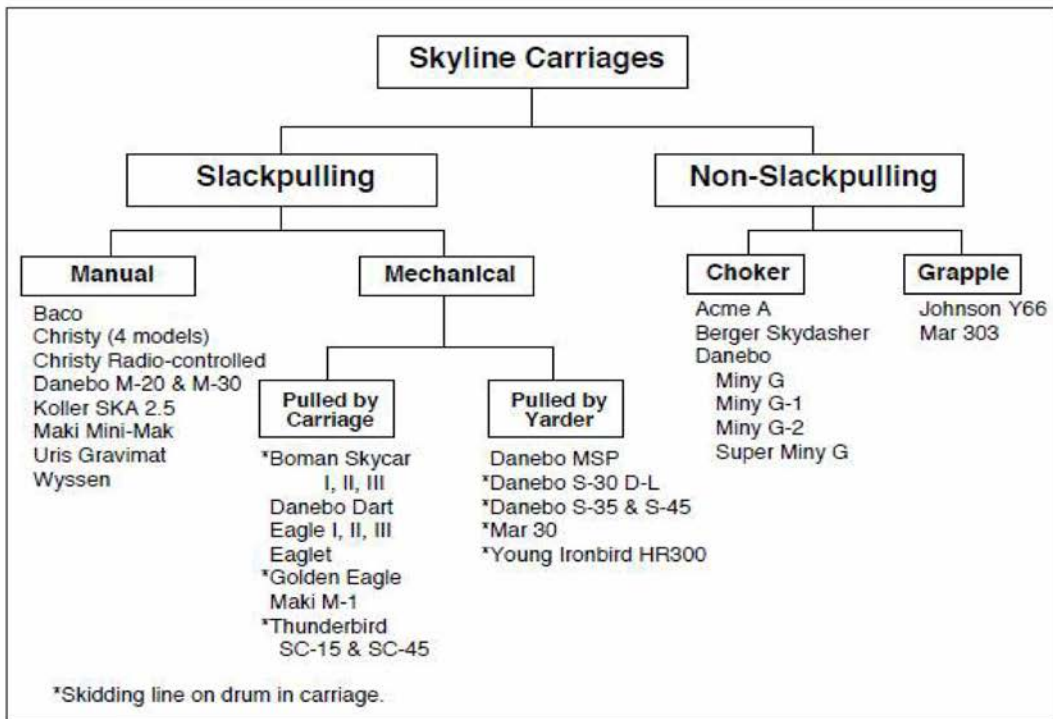


그림 9. Categorization of currently used skyline carriages(Donald studier, 1993)

- 국내 목재수확현장은 대부분 70~80%가 집재장의 위치상 하향집재로 이루어지고 있음. 하향집재는 견인하는 집재목의 위치를 제어하기 어렵고, 운전원에 능력에 따라 생산성 및 작업안전이 좌우되는 경우가 대부분임(그림 10). 따라서 이러한 문제점을 해결하고자 집재작업 생산성 향상을 위한 2중 클램프 반송기를 개발하였음.



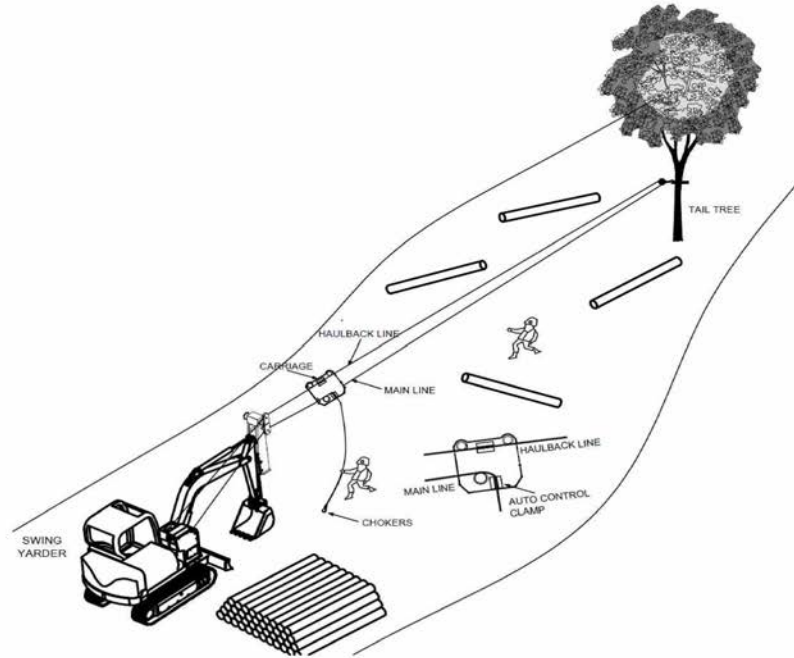


그림 10. 집재향상을 위한 반송기의 하향집재작업 모식도

- 집재향상을 위해 하향집재에 유리한 무선 자동 클램프 반송기 구조 방식으로 설계하였으며, 또한 반송기 부품으로 전동식 액츄에이터, 무선 송·수신유닛을 이용하여 회로 등을 구성하였음(그림 11).

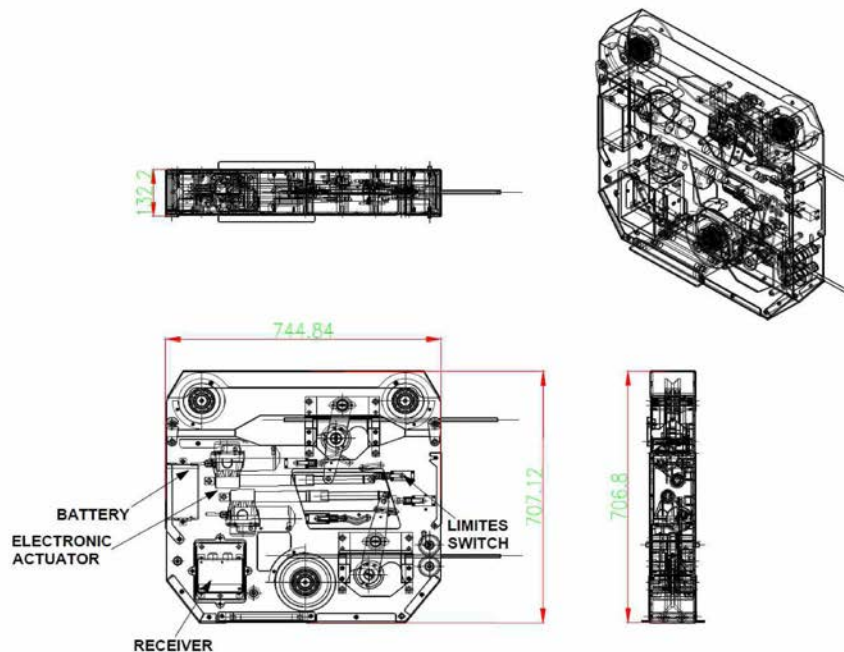


그림 11. 집재향상을 위한 2중 클램프 반송기의 구조 설계

- 개발 반송기의 설계 기능 확인 시험을 한 결과 최대집재거리 160m에서 무선 제어 신호 전송이 주변영향으로 전송이 안 되는 현상이 발생되었음. 이때 무선 송·수신유닛의 최대 수신거리는 180m이었음. 이러한 문제점을 해결하기 무선 송·수신 유닛 구성을 송신기 2대, 수신기 1대를 적용하여 운전자와 쇼커맨이 각자 조작하여 집재거리에 문제가 없도록 성능 개선하였음.

- 개발된 반송기의 현장 시험 전 경기도 이천시 연구대상지에서 집재선 3곳의 지형을 측량하여 견인능력을 예측할 수 있는 시뮬레이션 프로그램(Skyline XL 5.1)을 이용하여 Logging mechanics 분석을 통한 견인능력을 사전 검토 및 분석하였음(그림 13).

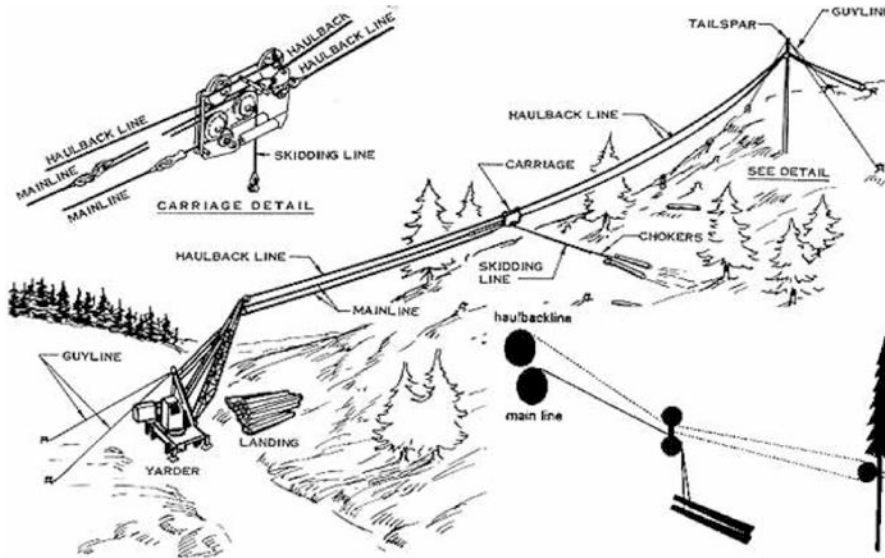
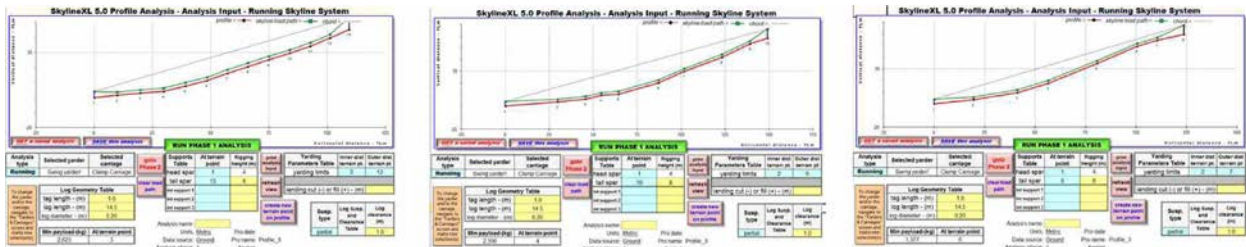


그림 12. 런닝스카이라인 가선집재방식(Running skyline)



(a) 허용반송량 2,626kg

(b) 허용반송량 2,390kg

(c) 허용반송량 1,377kg

그림 13. 시뮬레이션 프로그램을 이용한 견인능력 분석(Skyline XL\_5.1)

- 횡방향 집재거리는 집재장치와 반송기의 제원에 따라 횡방향 집재가능 거리가 나타나는데, 일반적으로 집재선을 기준으로 20m를 횡방향 유효가능 집재거리로 사용되고 있으며 대형 집재기의 경우 최대 50m까지 사용가능한 것으로 분석되었음. 와이어의 적정 굵기의 경우 반송기는 집재기 제원에 따라 사용가능 범위가 있으며, 본 연구에서 개발된 반송기는 8~16mm 와이어 직경까지 사용이 가능하도록 고려하여 설계하였음. 와이어의 적정 굵기는 표 61과 같이 작업줄에 따라 안전계수를 산출하여 적정 와이어로프를 선정할 수 있음.

$$\text{안전계수} = \frac{\text{와이어로프의 절단하중}(kg)}{\text{와이어로프의 최대장력}(kg)}$$

표 61. 와이어로프의 용도별 안전계수<sup>1)</sup>

구 분	안전계수	구 분	안전계수
가공본줄	2.7이상	호이스트줄	6.0
예 인 줄	4.0	짐달림줄	6.0
작 업 줄	4.0	띠쇠줄	4.0
버 팀 줄	4.0		

- 집재향상을 위해 개발된 2중 클램프 반송기를 이용하여 경기도 이천시 연구대상지에서 최대 경사 40%일 때, 하향집재작업의 생산성 및 비용을 조사·분석하였음(그림 14).



그림 14. 개발된 2중 클램프 반송기의 현장 적용성 시험

- 집재작업의 생산성은 5톤급 굴삭기 부착식 스윙야더와 개발된 2중 클램프 반송기를 이용한 생산성은 46.2m<sup>3</sup>/일으로 산출됨(표 62).
- 개발된 2중 클램프 반송기를 이용하였을 때 기존 일반 반송기보다 생산성이 1.8배 향상되었음(기존 연구결과 생산성 25.7m<sup>3</sup>/일).
- 개발된 2중 클램프 반송기를 이용한 집재작업 비용은 13,326원/m<sup>3</sup>으로 분석되었고, 기존 일반 반송기 보다 64% 비용이 절감된 것으로 나타났음(기존 연구결과 비용 20,704원/m<sup>3</sup>)

표 62. 스윙야더+2중 클램프 반송기의 집재작업 작업비용

내역	집재작업		단위	
	굴삭기	스윙야더		
장비 구입비(P)	(P)	54,000	55,000	원
장비내구년수(N)	(N)	7	7	년
장비의 경제적 수명(H)	(H)	14,000	14,000	시간
실제 연간 가동시간	(J)	2,000	2,000	시간
유류소비량*	경유단가	16	-	리터/시간
수리정비계수	(r)	0.8	0.7	시간
운활유 계수		0.4	0.4	시간
이자율	(i)	10	10	%/년
감가상각비	$P/H$ 또는 $P/(N \cdot H)$	3,857	3,929	원/시간
이자비용	$0.5 \cdot P \cdot i \cdot 0.01/J$	1,350	1,375	시간
수리유지비	$P/H \cdot r$ 또는 $P \cdot r/(N \cdot H)$	3,086	2,750	시간
유류비용	유류단가 · 유류소비량 $\cdot (1+(0.4))$	15,252	-	시간
기타비용 (보험료, 보관료 등)	3000 천원/년	540	589	천원/년
소계		24,085	8,643	원/시간
인건비**	(50% 부대비용 포함) 시간당 임금 · 1.8	44,111	-	원/시간
기계비용		68,196	8,643	원/시간
생산성		76,839		
		2.9		m <sup>3</sup> /시간
		23.1		m <sup>3</sup> /일 · 인
작업비용		13,326		m <sup>3</sup> /원

\* 유류비용은 조사가 수행된 연구대상지의 7~8월 유류비용 적용

\*\* 인건비는 2015년도 정부노임단가(특별인부 : 108,245원) 적용

## 2. 기반시설 위치별 효율적인 목재수확계획 기법 개발

### 가. 연구수행방법(이론적·실험적 접근방법)

- 문헌 고찰 및 현장방문을 통한 현행 목재수확계획 현황 및 문제점 파악
- 기반시설 위치별 효율적인 목재수확계획 개발을 위한 연구대상지 선정 및 지형, 지리, 임상특성, 임도, 작업로 등 현장조사·분석
- 저비용 목재 및 부산물 생산을 위한 기반시설 위치별 효율적인 목재수확계획 기법 개발: 계획서 작성체계, 작성내용(ex: 목재수확시스템에 따른 작업로 설계, 토장 디자인, 작업순서 등) 등.
- 개발된 목재수확계획 기법의 현장 적용 및 타당성 검토

### 나. 연구결과

#### (1) 현장 목재수확계획 현황 및 문제점 파악(사유림)

- 본 연구에서는 현장방문을 통한 현행 목재 수확계획은 경기도 안성시 금광면 모두베기 사업장과 본 과제에서 현장 생산성 조사를 수행한 경기도 이천시 호법면 모두베기 현장을 중심으로 조사하였음.
- 현행 단목생산체계에는 체인톱에 의한 벌도 및 조재작업, 굴삭기 우드그랩을 이용한 집재작업, 우드그랩과 임내차를 이용한 소운반작업. 우드그랩과 25톤 트럭을 이용한 운송작업으로 이루어지고 있음(그림 15).

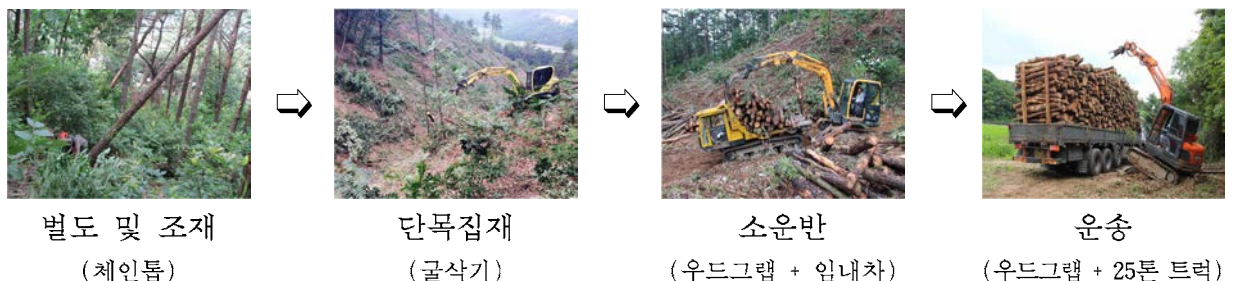


그림 15. 현행 사유림에서 시행하는 목재수확 생산체계

- 국내 현장은 대부분 하향 집재방식을 이용하고 있고, 집재작업은 굴삭기 우드그랩으로 벌도의 집재선을 계획하지 않고 작업 대상 경계까지의 이동은 굴삭기 주행이 가능한 경사범위(현장 조사 대상지의 경우 최대 40°까지)로 무작위로 대상지 상부에서 하부로 작업하는 방식임.
- 특히, 집재(중하산) 작업을 위해 필요한 진입로인 작업로는 거의 대상지의 계곡부를 따라 개설하는 것이 일반적임. 또한, 소운반 작업을 위한 작업로(운재로)도 집재를 위해 개설된 작업로를 사용하여, 사전 계획 없이 단순히 5톤급 굴삭기 운전자의 경험과 판단에 의해 개설하고 사용하고 있었음.

#### (2) 현장 목재수확계획 현황 및 문제점 파악(국유림)

- 본 연구에서는 현장방문을 통한 국유림에서 시행되고 있는 목재 수확계획은 본 과제에서 현장 생산성 조사를 수행한 경기도 이천시 호법면 모두베기 현장을 중심으로 조사

하였음.

- 현행 국유림에서 시행하고 있는 목재수확생산체계에는 체인톱에 의한 벌도작업, 트랙터부착식 집재기를 이용한 집재작업, 우드그랩과 체인톱을 이용한 조재작업, 우드그랩과 임내차를 이용한 소운반작업, 우드그랩과 25톤 트럭을 이용한 운송작업으로 작업이 이루어지고 있음(그림 16).



그림 16. 현행 국유림에서 시행하는 목재수확 생산체계

- 현행 국유림에서의 목재수확은 목재반출 운재로(작업로)와 작업기종만을 계획하여 수행하고 있었음. 그러나 토장선정, 작업기의 배치, 가선의 설치 등, 계획이 부재하고 작업자의 경험에 의존하고 있음. 한편 집재거리 50m이내이거나 가선을 이용한 집재방식으로의 목재수확작업에서 벌도의 작업로를 개설하지 않고 집재작업을 수행하고 있었음(그림 17).

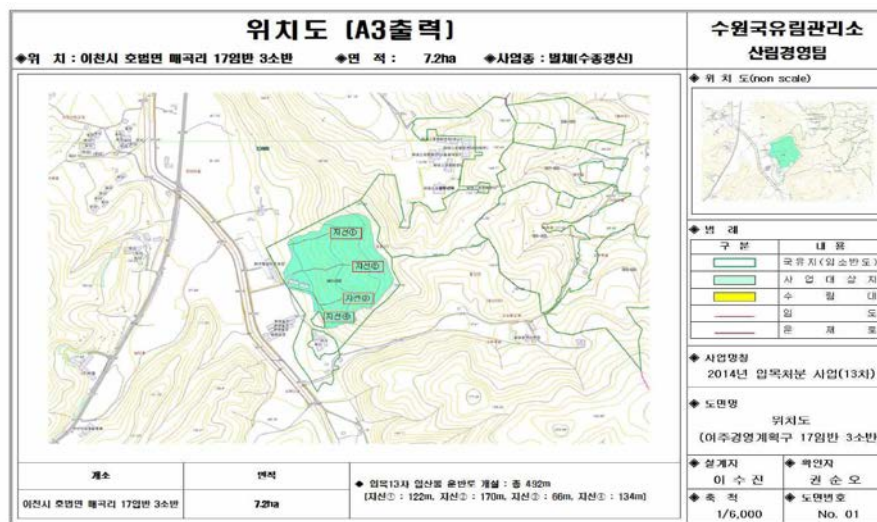


그림 17. 국유림에서의 운재로 계획 방법

- 또한 본 연구는 저비용 목재 및 부산물 생산을 위한 기반시설 위치별 효율적인 목재수확 기법 개발을 하기 위해 GIS기법을 이용하여 수확계획 기법개발을 제시하였음.

### (3) 집재장 선정

#### (가) 유역분석을 통한 집재장 선정

- 유역분석을 통한 집재장 선정은 GIS 기반의 집재가선 설계방법을 통해 수치지형도상의 하계 망도를 1차에서 4차까지 추출하여 이를 기반으로 유역을 설정한 후, 유역의 형상별로 중심점(Centroid)를 산출하여 유역의 크기에 따른 중심점을 소집재장, 중집재장, 대집재장으로 구분할 수 있음.

#### (나) 경사분석을 통한 집재장 선정

- 일반적으로 집재장이나 집하장이 되는 지역의 평균경사는 비교적 완만한 곳을 대상으로 하기 때문에 지형의 경사 5%를 기준으로 수치지형도를 이용하여 경사데이터를 추출한 후, 경사도가 5%이하인 polygon의 면적을 구하여 면적 5%이하인 구역을 분석하여 집재장을 선정할 수 있음.

#### (다) 소반 중심점을 집재장으로 선정

- GIS를 이용한 최적 집재장의 선정기법으로 소반의 중심점(Centroid)을 추출한 결과로 시험 대상지내에 집재장을 선정할 수 있음.

### (4) 작업로 기반의 목재수확 생산 기반시설의 배치방안 정립

- 작업 대상지에 국한하여 무계획적으로 작업로를 시설함으로써 향후 인접지역에서 작업을 실행할 경우 새로운 임내도로를 시설해야 하는 등 시설효과가 떨어질 수 있음(그림 35).
- 이러한 문제점을 개선하기 위해 현행 작업지에 중점을 두되 향후 작업 대상지가 주변 임지로 확대될 경우를 감안하여 임내도로망을 배치하여야 함.
- 유역분석, 경사분석, 기설도로망 분석, 경관분석 등을 실시하여 노망배치를 위한 비용표면 계산과 집재장 선정을 위한 자료로 이용 될 수 있음(국립산림과학원 연구사업보고서, 2013).

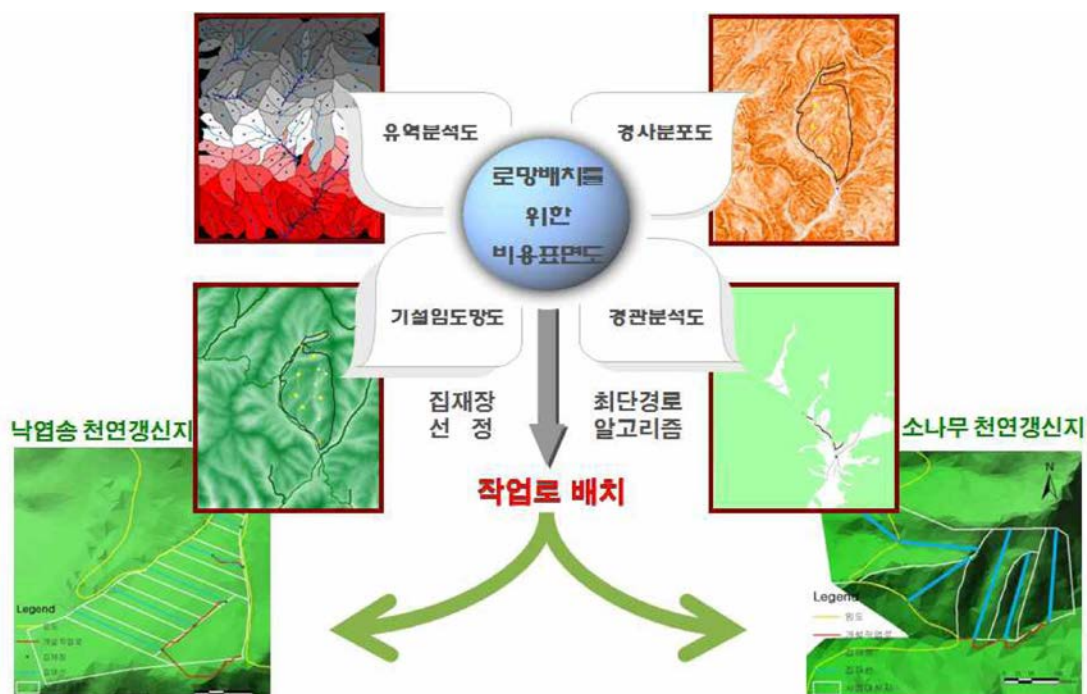


그림 18. 적정 임내 도로망 배치 방법(국립산림과학원 연구사업보고서, 2007)

- 선정된 집재장을 최단거리로 연결하기 큰 적정 임내도로망 배치방법은 수치지형도를 통해 대상지역내의 경사주제도, 경관주제도, 기설도로망에 대한 주제도를 기반으로 한 비용표면을 생성하여 비용이 최소가 되는 경로탐색 알고리즘을 이용하여 배치하도록 함(국립산림과학원 연구사업보고서, 2007).
- 임내도로망 배치는 GIS상에서 단계적으로 구현할 수 있으며, 그 절차는 다음과 같음.

- ① 작업대상구역의 경계를 구획함.
- ② 작업대상구역 내외의 수치지형도를 기반으로 경사분포에 대한 주제도를 생성함.
- ③ 작업대상구역 내외의 기설도로망을 기준으로 경관분석을 위한 기준점을 설정하여 추가적인 임내도로 개설 배치 시 경관상 노출되는 구역을 추출하여 경관주제도를 생성함.
- ④ 생성된 경관주제도, 경사분포도와 기존의 도로망도를 기반으로 작업구역내의 비용표면도를 생성함.
- ⑤ 수치지형도를 기반으로 하는 하계망도를 추출한 후 이를 기반으로 유역크기별로 유역을 설정하여 그 유역의 중심점(Centroid)을 추출하여 집재장을 선정함.
- ⑥ 작업대상구역 내의 유역크기별 중심점을 기준으로 소·중 집재장을 선정한 후 중집재장만을 남기고 불필요한 집재장은 제거함.
- ⑦ 작업대상구역과 가장 근 거리에 있는 중집재장을 시점으로 하여 임내도로망을 배치함.
- ⑧ 선정된 중집재장으로부터 기준거리(150m)로 Buffering을 실시하여 작업범위가 불필요하게 중복되는 중집재장은 제거함. 이때 중집재장으로부터 기준거리내에서 작업이 불가능한 지역이 존재하는 경우 1~2ha규모의 소집재장을 Centroid 방식에 의하여 선정한 후 기준거리(150m)로 Buffering을 실시하여 작업범위가 중복되는 집재장을 제거함.
- ⑨ 이와 같이 선정된 중·소집재장을 임내도로의 통과점으로 하여 그리드로 전환된 비용 표면 값을 기준으로 최단경로 알고리즘에 의해 연결하는 임내도로망을 배치할 수 있음.

- 이상의 배치알고리즘에 의해 도로의 중복을 최소화하여 하여 적정 임내도로망을 배치할 수 있으며, 이를 유역별로 선정된 집재장을 최단거리로 연결함으로써 가장 효율적으로 임내도로망을 배치할 수 있는 방법으로 판단됨.

#### (5) GIS를 이용한 임업기계 투입장비 선정

- 경기도 이천현장을 대상으로 작업시스템 도출을 위한 임업기계 장비선정 기준은 GIS를 이용하여 개별작업지를 고려하여 경사분석을 통해 실시하였음(그림 19). 또한 별도작업과 집재작업을 대상으로 투입장비를 선정함(그림 20).



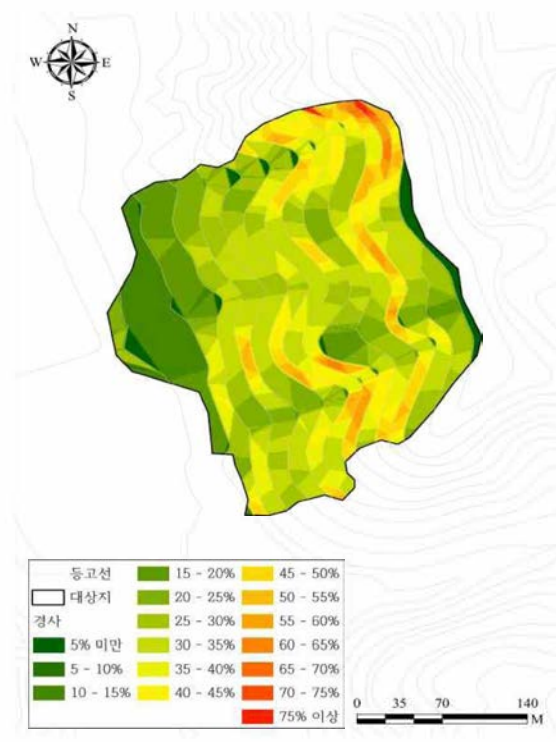
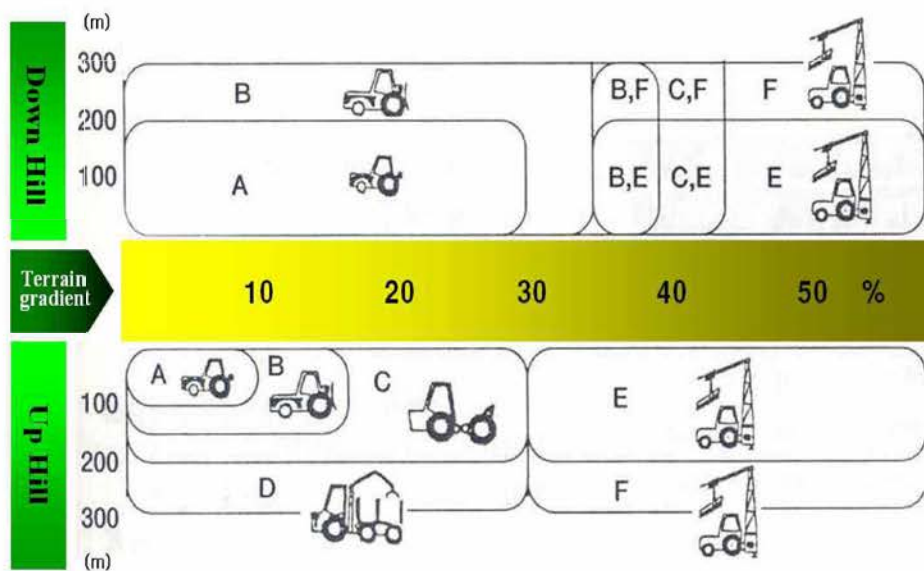


그림 19. 연구대상지의 경사분석

- 벌도작업을 위한 작업방법은 생산성이 높은 하베스터와 인력에 의한 체인톱으로 구분하여 실시하였으며, 경사도 0~40% 지역은 완만한 지역으로써의 하베스터와 같은 고성능 임업기계를 투입, 45~90% 지역은 체인톱을 투입하는 것으로 고려함.
- 집재작업을 위한 작업방법은 대경재 수확에 유리한 가선집재장비 타워야더, 지면끌기식 집재장비 스키더로 구분하였으며, 경사도 30~90% 지역은 타워야더, 0~30% 지역은 스키더를 투입, 단 90% 이상 지역은 집재불가로 지정 할 수 있음(Studier, Binkley, 1975).
- GIS에 의한 목재수확시스템 도출을 위한 집재장비 선정기준은 아래 그림 22와 같이 경사별, 집재거리별 기준으로 6개 장비로 구분하여 적용할 수 있었음(Tasuji, Kitamura 등, 2001).



A : 소형스키더, B : 중형스키더, C : 대형스키더,  
 D : 포워더, E : 간이가선 소형타워야더, F : 소형타워야더

그림 20. 목재수확시스템 도출을 위한 집재장비선정 기준

### 3. 전목집재 후 가지 등 부산물의 활용 효율성 제고를 위한 기술·공정 개발

#### 가. 연구수행방법(이론적·실험적 접근방법)

- 국·내외 문헌분석 및 현장방문을 통한 벌채부산물의 생산 및 활용 현황 파악
- 임목부산물의 부가가치증대를 위해 수요처 현황 파악과 수요처에서 요구되는 원료의 형태 및 질적(ex: 칩의 크기, 수분함량, 수종, 오염도 등) 규격 파악
- 수요처에서 요구하는 원료의 형태를 생산하기 위한 기술·공정 개발
- 임목부산물의 크기, 산재정도, 운반형태(벌크, 칩, 펠릿, 번들 등), 운송차량 등을 고려한 다양한 임목부산물의 소운반, 파쇄 및 운송 logistics 개발
- 개발된 임목부산물 생산, 파쇄 및 운송 logistics에 대한 현장연구 및 경제적 편익분석

#### 나. 연구결과

##### (1) 국내·외 문헌분석 및 현장방문을 통한 벌채부산물의 생산 및 활용 현황 파악

- 국내의 경우에도 임지잔재 등 산림바이오매스를 에너지로 이용하는 시설이 급증하고 있고 2009년 4개소의 바이오매스 열병합발전시설이 신설되어 연간 약 50만톤의 추가적인 원료소요 발생, 파티클보드 등 기존 산업원료와 경합하고 있음. 그러나 국내 산림에서 공급되는 목재량 보다 많은 양이 산림 내에 잔존하고 있고, 숲가꾸기, 벌채·갱신 등을 통해 약 7백만㎡의 목질자원이 발생하고 발생량의 45% 수준인 317㎡만 이용되는 실정임. 미 이용되어 남겨지는 주원인으로 숲가꾸기를 통해 발생하는 가지나 초두부는 반출하기 어렵거나 경제성이 없어 임지 내에 방치하고 있고, 대부분의 벌채지에서는 목재수확장비와 충분한 집재장이 확보되지 않아 전목의 형태로 수확하기 어려워 단목중심의 벌채가 이루어지고 있는 있음.
- 국내에서 수행된 임지잔재 수집 및 자원화 시범사업에서는 원목과 동시에 중하산 작업을 거치고 임지잔재를 선별하여 원목집재 후 임지잔재 집재실시, 또한 임내차를 이용하여 토장에 하차, 미기공 형태로 운송 후 공장파쇄를 실시하였음. 이후 임지잔재의 활용은 용도별 파티클 보드 원재료, 그린 파렛트 원재료, 에너지 연료로 활용되었음.
- 최근 국내의 산림조합중앙회와 국민은행은 벌채부산물을 활용한 ‘목질계 바이오매스 발전소 보급 사업 추진’을 위한 업무협약(MOU)를 체결하였음. 산림조합중앙회가 추진하고 있는 ‘목질계 바이오매스 발전소’는 3MW급 소규모 발전소로 산림녹화 이후 본격적인 임목 수확 시기를 맞아 산림에 남겨진 벌채부산물과 숲가꾸기 부산물 등 원목으로 활용할 수 없는 임목 부산물 등 활용해 전기를 생산하여 산간 오지의 에너지 자급 등 산촌인근의 전기와 지역 경제에 획기적인 기여를 도모할 계획 중에 있음.
- 국외의 경우 일본 임야청은 2007년부터 목질바이오매스 이용·활용 추진대책 사업을 본격적으로 추진하였음. 일본의 목질바이오매스 발생 및 이용현황은 임지잔재 발생량 2,000만㎡(48%), 건설 폐목재 발생량 1,200만㎡(29%), 이 용량은 816만㎡(49%), 제재공장 잔재 발생량 1,000만㎡(24%), 이 용량은 940만㎡(56%) 임. 목질바이오매스 용도별 활용방법은 물질(Material)이용, 에너지(Energy 이용)으로 구분하여 물질이용은 목재칩용(제지용), 목질보드재료(MDF-PB), 퇴비 및 토양 가량재, 축산비료로 활용하였음. 에너지 이용은 제지공장 건조에너지, 석탄화력발전 혼소용으로 연소하여 열에너지원으로 활용하고 있음.
- 임업 선진국의 경우 임지잔재 수확방법은 지형적 여건에 따라 파쇄(chipping)와 결속(Bundling)으로 구분하고 있음. 벌채부산물을 수확하는 가장 효과적인 시스템은 현장에서

파쇄 하는 방법이며, 이는 임도변 전목집재가 가능하여 도로에 운송·파쇄장비 접근이 용이하여, 단위 면적 당 충분한 바이오매스 양이 있어야 함. 여건이 여의치 않을 경우 운송효율을 높일 수 있도록 벌채부산물을 번들형태로 압축하여 현장에서 건조한 후 운송하는 방법을 시도하고 있음.

## (2) 임목부산물 수요처에서 요구되는 원료의 형태 및 질적

- 임목부산물의 수요처에서 요구되는 원료의 규격을 파악한 결과 폐목재 분류 및 재활용 기준 (환경부 고시 제2016-32호, 16.2.5) 및 자원의 절약과 재활용촉진에 관한법률 시행규칙 별표1(2016.4.29.)에 원료의 규격이 고시되어 있음(표 63).
- 또한, RPS 제도 공급인증서(REC) 발급대상 제외 폐목재(건설 폐목재 및 사업장 폐목재 중 신축현장 폐목재, 목재파레트, 목재포장재, 전선드럼 등)는 사용이 불가하고, 흙이 묻은 원료는 흙 선별기를 사용하여 1차로 토분을 제거한 후 파쇄 하여야 하며, 파쇄된 우드칩은 선별기를 통해 미분을 제거, 미분을 별도 압축하여 분진이 날리지 않도록 조치 후에 공급 하여야 함.

표 63. SRF 및 Bio SRF 법적 규격 및 구매규격

구 분	단 위	SRF		Bio SRF		Bio SRF		PKS
		관련법률		관련법률		동서 구매		동서구매
		자촉법	시행규칙	자촉법	시행규칙	혼소용	전소용	혼소용
		성형	비성형	성형	비성형	비성형	비성형	비성형
직경	mm	50	50	50	50	-	-	120
길이	mm	100	50	100	50	100	100	120
수분	Wt %	10	25	10	25	25	25	25
저위발열량	Kcal/kg	3,500	3,500	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
회분	Wt %	20	20	15	15	8	8	8
염소	Wt %	2.0	2.0	0.5	0.5	미검출	0.3	0.1
황분	Wt %	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
수은	mg/kg	1.0	1.0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
카드뮴	mg/kg	5.0	5.0	5.0	5.0	2.0	2.0	2.0
납	mg/kg	150.0	150.0	100.0	100.0	30.0	30.0	30.0
비소	mg/kg	13.0	13.0	5.0	5.0	2.0	2.0	2.0
크롬	mg/kg	-	-	70.0	70.0	30.0	30.0	30.0

## (3) 수요처에서 요구하는 원료의 형태를 생산하기 위한 기술·공정 개발

- 수요처에서 요구하는 원료의 형태로 임목부산물을 파쇄하여 원료 규격 기준에 적합한 목재칩을 공급하고자 선별공정 작업을 수행하였음.
- 선별공정작업에 사용된 장비는 로터리 스크린을 이용한 목재칩 선별기, 원료를 공급할 수 있는 0.6㎡ 버킷 굴삭기를 이용하였음(그림 21). 선별공정작업의 조사 방법은 스톱워치를 이용한 연속작업시간을 야장에 기입하여 생산성을 분석, 장비의 유류소비량을 측정하여 기계비용에 포함시켜 작업비용을 산출하였음.
- 선별공정 생산성은 3,340kg의 목재칩을 투입하여 시간당 생산성은 7.8톤로 산출되었음. 이때에 선별된 칩은 3종류로 Over size, Accept size, Under size로 배출되며 생산된 선별칩의 비율은 각각 4.1, 59.1, 36.8%로 나타났음.
- 선별공정 비용 산출은 KWF법을 이용한 기계비용 산출방식을 적용하였음. 로터리 스크린을 이용한 선별기의 유류소비량은 4.35리터/시간, 굴삭기는 8.0리터/시간이 소비되었음. 선별기와 굴삭기의 기계비용은 각각 22,329원/시간, 65,233원/시간로 산출되었고, 생산성을 이용하여 각각의 작업비용은 2,863원/톤, 8,363원/톤으로 총 11,226원/톤으로 산출되었음.

표 64. 선별공정작업에 사용된 로터리 스크린 선별기의 제원

모델명	단위	로터리 스크린 선별기 (MRS-24)
장비중량	kg	3,700
스크린 면적	mm	1,200×2,400
스크린 오버사이즈 직경	mm	40
스크린 언더사이즈 직경	mm	10
시간당 선별량	m <sup>3</sup> /hr	목재칩 15~25 건설재료 40~50
진동 거리	mm	100
회전수	rpm	130~150
높이	mm	2,520
길이	mm	4,700
폭	mm	2,350
엔진모델	-	KUBOTA V2203
엔진출력	hp/rpm	46/2,800
유압	kg/cm <sup>2</sup>	250
저단 스피드	km/h	6
고속 스피드	km/h	6
지압	kg/cm <sup>2</sup>	0.16
크롤러 폭	mm	350



그림 21. 로터리 스크린을 이용한 목재칩 선별작업

(4) 개발된 임목부산물 생산, 파쇄 및 운송 logistics에 대한 현장연구 및 경제적 편익분석

- 개발된 임목부산물 생산, 파쇄 및 운송 logistics에 대한 현장연구 및 경제적 편익분석을 위해 경기도 이천시 호법면에서의 임목부산물 생산, 파쇄, 상차, 운송하여 강원도 화천군 산림탄소순환마을까지 목재칩 공급에 발생한 비용을 분석하였음(그림 22).
- 임목부산물 생산은 전목수확으로 임지에서 나무를 전수체(가지치기 전 상태)를 집재하여 토장에서 조재하는 체계로서 전목을 집재하는 동안 임목부산물의 수집작업 및 상차 및 소운반작업의 'Free ride'로 인하여 비용이 따로 발생하지 않음.
- 수집된 임목부산물을 드럼형 목재파쇄기를 이용하여 스크린 크기 40mm로 파쇄작업을 실시하였음. 파쇄작업 생산성은 8.16톤/시간, 작업비용은 27,504원/톤로 산출됨.



그림 22 개발된 임목부산물 생산, 파쇄, 운송 단위작업공정

표 65. 목재칩 생산작업의 생산성 및 단위공정 작업비용

내역	단위	파쇄작업		상차작업	운송작업
		임업용트랙터	트랙터부착식 목재파쇄기	(06)버킷 굴삭기	60m³칩밴
장비구입비	천원	247,500,000	246,000,000	10,000,000	
장비내구년수	년	10	5	7	
장비 경제적 수명	시간	10,000	5,000	14,000	
실제 연간 가동시간	시간	2,000	2,000	2,000	
유류소비량	리터/시간	23	-	12	
수리정비계수		0.8	0.8	0.8	실지금액 적용
운활유 계수		0.4	0.4	0.4	
이자율	%/년	10	10	10	(실지급비용 * 전체 작업량)
감가상각비	원/시간	24,750	49,200	7143	25,000 (원/톤) * 237 (톤)
이자비용		6,188	6,150	2500	
수리유지비		19,800	39,360	5714	
유류비용 <sup>1)</sup>		35,420	-	21,112	
기타비용 (보험료, 보관료 등)		3,713	7,380	1071	
소계	원/시간	89,870	102,090	37,541	
인건비 (부대비용 80% 포함)	원/시간	32,474	-	32,474	
기계비용	원/시간	122,344	102,090	70,015	
		224,434			
생산성	톤/시간	8.16		46.65	
	톤/일·인	65.28		373.20	
작업비용	원/톤	27,504		1,500	25,600
				27,100	
목재칩 파쇄작업 작업비용(원/톤)				54,604	

- 파쇄된 목재칩을 운송하기 위해 0.6㎥ 버킷 굴삭기를 이용한 상차작업, 목재칩 60㎥를 운송할 수 있는 칩벤을 이용하였음. 굴삭기를 이용한 상차작업 생산성 및 비용은 각각 46.7톤/시간, 1,500원/톤, 목재칩 운송비용은 일반적으로 14,000~15,000원/톤이지만 이천에서 화천으로 운송 시 공차로 돌아오기 때문에 최종 비용이 25,600원/톤으로 산출됨(이천→화천 운송거리 158km 기준).
- 임목부산물을 파쇄 후 운송까지 하는 비용은 총 54,604원/톤으로 산출되었으나, 기업이윤을 고려하여 총 60,000원/톤으로 산출됨. 임목부산물 수집 공정이 추가되면 82,189원/톤이며, 전목수확으로의 전환으로 약 22,189원/톤이 절감된 것으로 나타남. 향후 임목부산물을 활용하여 에너지원으로 충분히 사용 가능할 것으로 판단됨.

## 6절. 목질원료 용도별 저비용 생산·공급체계 개발 및 적용방안 마련 (4세부)

### 1. 목질원료의 용도별[에너지용] 저비용·고효율 생산체계 개발 및 생산 공급체계의 현장 적용성 평가

#### 가. 연구수행방법(이론적·실험적 접근방법)

- 문헌 고찰 및 현장조사를 통한 목질원료(임목, 임목부산물)의 용도별[에너지용] 생산 유형분류
- 현행 단목생산체계와 개선된 전목생산체계에 따른 목질원료[임목, 임목부산물]의 생산성 및 단위작업별 비용 비교분석(주관 결과 인용)
- 임목생산체계에 따른 목질원료의 용도별[에너지용] 생산에 적합한 생산체계 선정
- 선정된 임목생산체계에 따른 목질원료의 용도별[에너지용] 경제성평가를 통한 현장 적용성 평가 및 판단
- 선정된 임목생산체계의 기술적/경제적 개선방안 제시

#### 나. 연구결과

##### (1) 목질원료(임목, 임목부산물)의 용도별[에너지용] 생산유형분류

- 문헌 고찰과 현장 및 탐문조사를 통하여 목질원료의 용도별[에너지용] 생산유형은 임목의 경우 장작과 목재칩이 있으나 저비용 생산·공급체계에는 장작이 적합한 것으로 판단되며, 임목부산물의 경우 목재칩으로 생산하는 것이 적합한 것으로 판단됨.
- 장작의 경우 탐문조사를 통하여 현재 인력생산과 기계적 생산방식을 통하여 생산하는 것으로 파악하였음.
- 임목부산물의 경우 문헌 및 현장조사를 통하여 바이오매스 고형연료로 가공을 위한 목재칩 생산이 현재 국내에 적용 가능한 것으로 파악하였음.

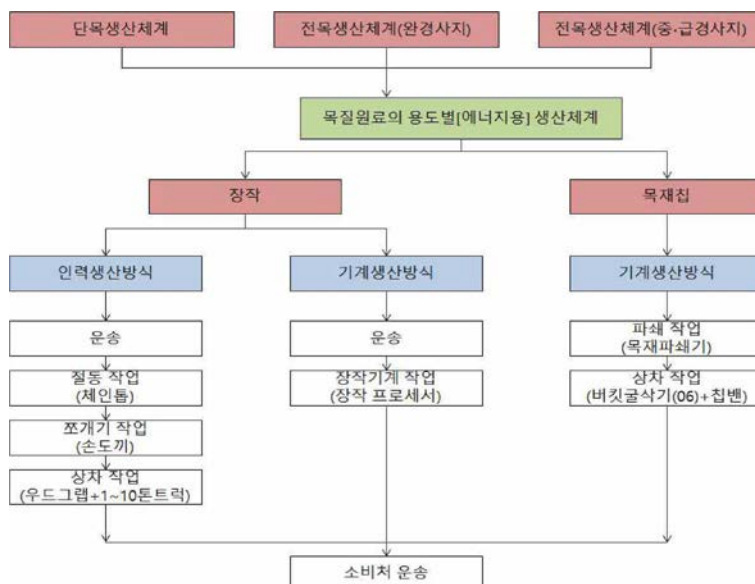


그림 23. 목질원료의 용도별[에너지용] 생산유형

## (2) 연구에 적용된 현행 및 개선된 생산체계의 목질원료 생산성 및 경제성 평가

- 현행 단목생산체계와 개선된 전목생산체계에 따른 목질 원료[임목, 임목부산물]의 생산성 및 단위작업별 비용 비교분석은 1세부의 결과내용을 인용하였음 통하여 용도별 [에너지용] 생산비용의 차이를 확인함.
- 현행 단목생산체계에서 임목 및 임목부산물의 시간당 시스템 생산성은 각각 1.56톤/인·시간, 2.67톤/인·시간으로 산출되었고 일일 시스템생산성은 각각 10.7 톤/인·일, 14.31톤/인·일로 산출되었으며, 또한 단위작업별 총 비용은 각각 44,450원/톤, 27,585원/톤으로 산출됨.
- 개선된 전목생산체계(완경사지)에서 임목의 시간당 시스템 생산성은 각각 1.98톤/인·시간으로 산출되었고 일일 시스템생산성은 각각 15.81톤/인·일로 산출되었으며, 또한 단위작업별 총 비용은 각각 38,747원/톤으로 산출됨.
- 개선된 전목생산체계(완경사지)에서 임목부산물은 전목생산체계 특성상 토장까지 전목 형태로 집재 후 조재작업이 실시되는 작업특성으로 인하여 작업비용이 발생되지 않음.
- 개선된 전목생산체계(중·급경사지)에서 임목 및 임목부산물의 시간당 시스템 생산성은 각각 2.59톤/인·시간, 5.4톤/인·시간으로 산출되었고 일일 시스템생산성은 각각 20.71톤/인·일, 43.2톤/인·일로 산출되었으며, 또한 단위작업별 총 비용은 각각 38,508원/톤, 18,446원/톤으로 산출됨.

표 66. 임목생산체계에 따른 목질원료의 생산성 및 단위작업 비용 비교

구 분		시간당 시스템생산성 (톤/인·시간)	일일 시스템생산성 (톤/인·일)	작업비용 (원/톤)
단목생산체계	임목	1.56	10.70	44,450
	임목부산물	2.67	14.31	27,585
전목생산체계 (완경사지)	임목	1.98	15.81	38,747
	임목부산물	-	-	-
전목생산체계 (중·급경사지)	임목	2.58	20.71	38,508
	임목부산물	5.4	21.6	18,446



## (3) 목질원료의 용도별[에너지용] 생산에 적합한 생산체계 선정

- 현장조사를 통하여 규명된 현행 단목생산체계와 개선된 전목생산체계의 작업비용은 임목과 임목부산물에 전목생산체계가 단목생산체계에 비하여 각각 5,703~5,942원/톤, 9,139원/톤의 비용절감을 확인함.
- 저비용생산·공급체계에 적합한 생산체계는 개선된 고성능임업기계를 이용한 전목생산체계로 선정하였음.

## (4) 목질원료의 용도별[에너지용] 경제성평가(장작 생산작업 결과)

- 기계화 장작생산은 경기도 포천시 소흘읍 직동리 51번지에 위치한 국립산림과학원 산림생산기술연구소 내에서 진행하였음.
- 기계화 장작생산은 장작 원료목을 운송하여 DOOSAN(한국)사 DX55 모델의 굴삭기, FERRARI(이탈리아)사 VEGA 95 모델의 임업용트랙터, TAJFUN(슬로베니아)사 RCA380 모델의 트랙터 부착식 장작프로세서를 이용하여 진행하였음.
- 기계화 장작 생산작업의 생산성은 시간당 생산성과 일일생산성은 각각 1.98톤/인·시간, 15.84톤/인·일로 산출되었고 단위작업비용은 44,485원/톤으로 산출됨.
- 인력 장작생산작업은 탐문조사를 실시하여 진행하였으며 A업체 기준 원목판매가격은 100,000원/톤이며, 절단목은 120,000~130,000원/톤, 조깅목은 140,000~150,000원/톤으로 확인됨.
- 운송비용은 A업체기준 운송거리 40km이하는 판매가격포함이며 40~80km는 톤당 5,000원이 추가됨.
- A업체를 제외한 기계화 생산작업은 B, C, D업체로 절단목과 조깅목의 판매가격은 각각 170,000원/톤, 200,000원/톤으로 확인됨.
- 운송비용은 B, C, D업체 모두 운송거리 80km 이하는 판매가격에 포함하는 것으로 확인됨.

표 67. 장작생산작업의 생산성 및 단위공정 작업비용

내역	단위	장작 생산작업		
		우드그랩	임업용트랙터	트랙터부착식 장작프로세서
장비구입비	천원	54,000,000	86,900,000	30,000,000
장비내구년수	년	7	10	12
장비 경제적 수명	시간	14,000	20,000	24,000
실제 연간 가동시간	시간	2,000	2,000	2,000
유류소비량	리터/시간	5.80	2.73	
수리정비계수		0.8	0.8	0.8
운활유 계수		0.4	0.4	0.4
이자율	%/년	10	10	10
감가상각비	원/시간	3,857	4,345	1,250
이자비용		1,350	2,173	750
수리유지비		3,086	3,476	1,000
유류비용 <sup>1)</sup>		9,663	7,084	
기타비용 (보험료, 보관료 등)		540	608	188
소계	원/시간	18,496	17,686	3,188
인건비 (부대비용 80% 포함)	원/시간	24,355	24,355	-
기계비용	원/시간	42,851	42,041	3,188
			88,080	
생산성	톤/시간		1.98	
	톤/일·인		15.84	
작업비용	원/톤		44,485	

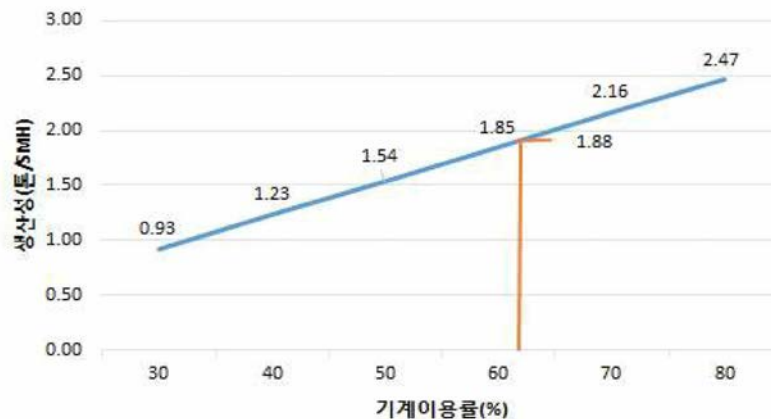


그림 24. 기계이용률에 따른 SMH 생산성변화

- 기계이용률 30~80%까지의 변화에 따른 장작 생산작업(원/톤)은 최소 35,689원/톤에서 최대 95,170원/톤으로 산출됨.

표 68. 기계이용률 변화에 따른 장작생산작업 생산성 및 작업비용

기계이용률 (%)	생산성 (톤/SMH)	장작생산작업비용 (원/톤)
30	0.93	95,170
40	1.23	71,378
50	1.54	57,102
60	1.85	47,585
70	1.88	46,851
80	2.16	40,787

- 장작프로세서를 이용한 장작 생산작업의 지연시간 분석을 위하여 기계적 지연 (Mechanical delay), 작업적 지연(Operational delay), 인위적 지연(Personal delay)으로 구분함.
- 전체 작업지연시간에서 작업적 지연시간이 71.1%로 대부분 차지하였으며, 기계적지연이 28.9%이고 본 연구의 현장조사에서 인위적 지연은 나타나지 않았음.

표 69. 장작프로세서를 이용한 장작 생산작업 지연시간 (단위: 초)

구분	시간 (비율)
기계적지연 (Mechanical delay)	튕박제거 131 (6.9%)
	장비점검 418 (22.0%)
	소계 549 (28.9%)
작업적지연 (Operational delay)	나무끼임 266 (14.0%)
	마대교체 598 (31.5%)
	목재공급지연 487 (25.6%)
	소계 1351 (71.1%)
인위적지연 (Personal delay)	휴식 0
	소계 0
합계	1900 (100.0%)

- 전체 작업지연시간에서 작업적 지연시간이 71.1%로 대부분 차지하였으며, 기계적지연이 28.9%이고 본연구의 현장조사에서 인위적 지연은 나타나지 않았음.

표 70. 생산방식에 따른 장작생산 및 판매 가격(2016년기준)

〈단위 : 천원/톤〉

구분	A업체(중·소규모) (강원도 소재)			B업체(대규모) (경기도소재)	C업체(대규모) (강원도 소재)	D업체(대규모) (전라북도 소재)	본 연구사업		
	인력 생산			기계화 생산					
	원목	절단목	조깅목	원목	절단목	조깅목	원목	조깅목	
단위 공정 비용	원목	100			업체 마진 관련 미파악으로 인하여 A업체와 동일한 100,000원/톤으로 가정			44.4	
	절단	-	20(50~60cm)	-	70	70	-	-	
			30(30~40cm)						44.5
조깅	-	-	20	-	-	30	-	-	
운송비	판매가격 포함 (운송거리40km이내)			운송거리 80km이내 판매가격 포함			톤당 5* (운송거리 80km이내)		
	톤당 5 (운송거리40km~80km)								
합계(최대값)	105	135	155	100	170	200	49.4	93.9	
판매가격 (부가가치세 포함)	105	135	155	100	170	200	54.9	98.9	
업체 순이익 (연구사업 기준)	50.1	36.1 (조깅목과 비교 시)	56.1	45.1	71.1 (조깅목과 비교 시)	101.1	-		

\* : 본 연구에서 장작 생산작업을 실시하였으나 장작생산 이후의 운송작업은 현장조사가 어려워 운송비용의 기준을 갖고 있는 A업체의 운송비용을 적용함

#### (5) 목질원료의 용도별[에너지용] 경제성평가를 목재칩 생산작업 결과

- 목재칩생산작업은 경기도 이천시 호법면 매곡리 산41(17임반 3소반)에 위치한 임지에서 진행함 단위공정작업은 우드그랩과 임내차를 이용한 소운반작업, 트랙터부착식 목재파쇄기를 이용한 파쇄작업, 14톤급 차륜형 버킷굴삭기를 이용한 상차작업, 칩밴을 이용한 운송작업으로 구성하였음.
- 소운반에 사용된 우드그랩은 DOOSAN(한국)사 DX55 모델의 굴삭기와 MOROOKA(일본)사 MST-800모델의 임내차를 이용하였고 파쇄작업은 VALTRA(핀란드)사 T203모델의 임업용 트랙터와 KESLA(핀란드)사 C645T모델의 트랙터 부착식 목재파쇄기를 이용하였으며, 상차작업은 DOOSAN사의 DX140W 모델을 이용하여 진행함.
- 목재칩 생산작업의 생산성은 파쇄작업의 시간당 생산성과 일일생산성은 각각 8.16톤/인·시간, 65.28톤/일·시간으로 산출되었고, 상차작업 생산성은 시간당 생산성과 일일 생산성은 각각 46.65톤/인·시간, 373.20톤/일·시간으로 산출됨.
- 목재칩 생산작업의 단위작업공정 비용은 파쇄작업과 상차작업이 각각 27,504원/톤, 1,500원/톤으로 산출되었고 칩밴에 의한 운송작업의 작업비용은 60m<sup>3</sup>규격 칩밴의 실지급비용을 적용하였음.

표 71. 목재칩 생산작업의 생산성 및 단위공정 작업비용

내역	단위	파쇄작업		상차작업	운송작업
		임업용트랙터	트랙터부착식 목재파쇄기	(06)버킷 굴삭기	60m <sup>3</sup> 칩밴
장비구입비	천원	247,500,000	246,000,000	10,000,000	실지금액 적용  (실지금액비용 * 전체 작업량)  25,000 (원/톤) * 237 (톤)
장비내구년수	년	10	5	7	
장비 경제적 수명	시간	10,000	5,000	14,000	
실제 연간 가동시간	시간	2,000	2,000	2,000	
유류소비량	리터/시간	23	-	12	
수리정비계수		0.8	0.8	0.8	
운활유 계수		0.4	0.4	0.4	
이자율	%/년	10	10	10	
감가상각비	원/시간	24,750	49,200	7143	
이자비용		6,188	6,150	2500	
수리유지비		19,800	39,360	5714	
유류비용 <sup>1)</sup>		35,420	-	21,112	
기타비용 (보험료, 보관료 등)		3,713	7,380	1071	
소계	원/시간	89,870	102,090	37,541	
인건비 (부대비용 80% 포함)	원/시간	32,474	-	32,474	
기계비용	원/시간	122,344	102,090	70,015	
		224,434			
생산성	톤/시간	8.16		46.65	
	톤/일·인	65.28		373.20	
작업비용	원/톤	27,504		1,500	25,600
				27,100	
목재칩 파쇄작업 작업비용(원/톤)				54,604	

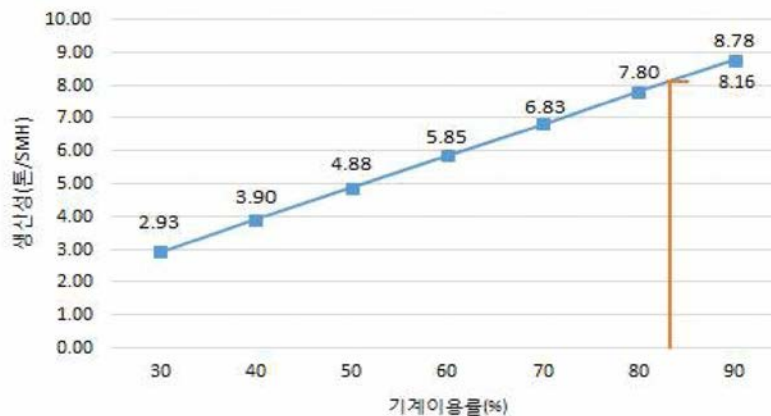


그림 25. 기계이용률에 따른 SMH 생산성변화

- 기계이용률 30~90%까지의 변화에 따른 목재칩 생산작업(원/톤)은 최소 26,031원/톤에서 최대 78,094원/톤으로 산출됨.

표 72. 기계이용률 변화에 따른 목재칩 생산작업 생산성 및 작업비용

기계이용률 (%)	생산성 (톤/SMH)	장작생산작업비용 (원/톤)
30	2.93	78,094
40	3.90	58,571
50	4.88	46,857
60	5.85	39,047
70	6.83	33,469
80	7.80	29,285
90	8.78	26,031

- 트랙터부착식 목재파쇄기를 이용한 목재칩 생산작업의 지연시간 분석을 위하여 기계적 지연(Mechanical delay), 작업적 지연(Operational delay), 인위적 지연(Personal delay)으로 구분함.
- 전체 작업지연시간에서 기계적 지연시간이 89.2%로 대부분 차지하였으며, 작업적지연이 10.8%이고 본 연구의 현장조사에서 인위적 지연은 나타나지 않았음.

표 73. 장작프로세서를 이용한 장작 생산작업 지연시간

(단위: 초)

구 분	시간 (비율)	
기계적지연 (Mechanical delay)	호스교체	1,866 (11.1%)
	분출구 막힘	3,731 (22.0%)
	파쇄날 교체	3,138 (18.5%)
	장비에열	3,324 (19.6%)
	유류주입	729 (4.3%)
	장비점검	2,324 (13.7%)
	소계	15,111 (89.2%)
작업적지연 (Operational delay)	작업대화	136 (0.8%)
	주변정리	153 (0.9%)
	작업대기	1,052 (6.2%)
	호스파손	254 (1.4%)
	자리잡기	254 (1.4%)
소계	1,849 (10.8%)	
인위적지연 (Personal delay)	휴식	0
	소계	0
합 계	16,960 (100.0%)	

(6) 임목생산체계에 따른 목질원료의 용도별[에너지용] 단위공정작업 비용 비교분석 및 현장 적용성 평가

- 임목생산체계에 따른 목질원료의 용도별[에너지용] 단위공정작업 비용은 임목과 임목부산물 모두 환경사지의 전목생산체계에서 가장 낮은 것으로 산출됨.
- 현행단목생산체계의 작업비용이 임목과 임목부산물 모두 가장 높은 것으로 산출됨.
- 중급경사지의 전목생산체계는 현행 단목생산체계에 비하여 다소 근소한 차이로 낮은 것으로 산출됨.
- 따라서 목질원료의 용도별[에너지용] 저비용생산 공급체계는 전목생산체계가 가장 적합한 것으로 판단됨.
- 전목생산체계는 현장조사를 통해 이루어졌으며 이는 현장에 적용이 가능한 것으로 판단됨.

표 74. 임목생산체계에 따른 목질원료의 용도별[에너지용] 단위공정 작업비용

구 분		공정요소	작업비용 (원/톤)
단목생산체계	임목	벌도 및 조재 + 굴삭기집재 + 소운반 + 상차 및 운송 + 장작생산작업 + 운송	93,935
	임목부산물	수집 + 소운반 + 파쇄 + 운송	82,189
전목생산체계 (환경사지)	임목	벌도 + 집재 + 조재 + 상차 및 운송 + 장작생산작업 + 운송	88,232
	임목부산물	파쇄 + 운송	54,604
전목생산체계 (중·급경사지)	임목	벌도 + 가선집재 + 조재 + 소운반 + 상차 및 운송 + 장작생산작업 + 운송	93,047
	임목부산물	소운반 + 파쇄 + 운송	77,311

## (7) 국내에 도입된 목질원료의 용도별[에너지용] 생산기계 제원

- 현재 국내에서는 완제품의 장작프로세서는 따로 생산하는 업체가 없으며 일반개인사업자가 단동실린더를 이용한 유압도끼의 형태로 장작기계를 운용하고 있음.
- 최근 완제품형태의 장작프로세서가 국내로 도입되고 있는 실정으로 향후 장작프로세서의 도입 및 보급이 가속화 될 것으로 판단됨.
- 국내에 도입된 장작 생산기계는 (주)HSM에서 유통하고 있는 TAJFUN(슬로베니아)사의 장작 프로세서 RCA380, RCA400JOY모델과 (주)신영상사와 (주)유라통상에서 유통하고 있는 캠핑용 장작프로세서인 PINOSA(이탈리아)사의 FAM 400모델과 MUTITEC NORTH AMERICA(미국)사의 장작프로세서 등이 있으며 이중 대표적인 모델에 관한 제원을 제시함.



그림 26. RCA 380(TAJFUN)

표 75. RCA 380(TAJFUN)제원

구 분	내 용
Length of cut log	25~50cm
Max. Diameter of log	10~38cm
Sawbar	Oregon 17", b=1.5mm
Chain	3/8"Oregon MULTICUT
Splitting Force	150kn-Two Splitting Speeds
Weight with Discharge Conveyor	1100kg + 130kg(TT503-160kg)
Required Tractor Capacity	-
Electric Motor	11kw, 400V/ 50Hz, 2.910 min <sup>-1</sup>
Inbound PTO Saft Speed	-
Belt Speed(Discharge Conveyor)	Continuous Speed Control; 0~0.8m/s





그림 27. RCA 400Joy (TAJFUN)

표 76. RCA 400Joy (TAJFUN)제원

구 분	내 용
Length of cut log	25~50cm
Max. Diameter of log	5~40cm
Sawbar	Oregon 17", b=1.5mm
Chain	3/8"Oregon MULTICUT
Splitting Force	150kn-Two Splitting Speeds
Weight with Discharge Conveyor	950kg + 130kg(TT503-160kg)
Required Tractor Capacity	30kw(Transport-60kw)
Electric Motor	-
Inbound PTO Saft Speed	400-430min <sup>-1</sup>
Belt Speed(Discharge Conveyor)	Continuous Speed Control;0~0.8m/s



그림 28. FAM 400(PINOSA)

표 77. FAM 400 (PINOSA)제원

구 분	내 용
Processing cycle	2~6sec
Length of input Material	150/500mm(with continuous adjustment)
Max. Diameter of input Material	400mm
Splitting power	6.5, 8, 9 ton
Type of product	Machine for production of ecological kindlings, fuel for gazefication plants(FGP) and Firewood for Pizzerias, Stove and masonry stoves



그림 29. 1610 (MUTITEC NORTH AMERICA)

표 78. 1610 (MUTITEC NORTH AMERICA)제원

구 분	내 용
Engine	34HP
Length of input Material	1.2~3.65m
Max. Diameter of input Material	45cm
Splitting power	22 ton
Saw Type	Chain
Production ability	5.43m <sup>3</sup> /hr

## (8) 본 연구의 고찰 및 선정된 임목생산체계의 기술적/경제적 개선방안 제시

- 본 연구에서는 임목생산체계별 경제성 비용분석을 통하여 목질원료의 용도별[에너지용] 생산에 적합한 임목생산체계를 선정하고 각 임목생산체계에 따른 목질원료의 용도별 [에너지용] 생산성 및 작업비용을 비교 분석함으로써 현장 적용성 평가 및 국내 도입에 적합한 임목생산체계를 선정 및 제시함.
- 본 연구에서는 목질원료의 용도별[에너지용] 생산유형을 장작과 목재칩으로 분류하여 진행하였고, 이에 적합한 임목생산체계를 선정하기 위하여 현행 단목생산체계와 개선된 전목생산체계를 비교분석을 함으로써 목질원료의 용도별 [에너지용] 생산에 적합한 생산체계를 규명함.
- 임목생산체계의 임목 및 임목부산물의 생산성 및 작업비용은 임목 및 임목부산물 각각 최대 5,703원/톤, 27,585원/톤 가량 차이가 났으며 환경사지의 전목생산체계가 가장 작업비용이 낮은 것으로 산출됨.
- 장작 및 목재칩 파쇄 공정의 단위공정 작업비용은 각각 44,485원/톤, 54,604원/톤으로 산출됨.
- 이에 따라 임목생산체계와 목질원료의 용도별[에너지용] 생산비용은 장작과 목재칩 모두 환경사지의 전목생산체계가 가장 낮은 것으로 나타났으며 현장조사 및 연구를 통하여 현장적용성이 높은 것으로 판단됨.
- 장작의 경우 현재 국내에서 상업화가 다수 이루어져 있는 실정으로 판매가격 및 운송비등을 탐문조사를 통하여 본 연구와 비교했을 시 일부 업체를 제외한 대다수 업체에서 생산단가보다 다소 높은 가격에 판매하는 것을 확인함.
- 본 연구에서 사용된 고성능 임업기계를 이용한 전목생산체계는 높은 경제성으로 현행 단목생산체계에 비하여 경쟁가능성이 높으나 초기 장비 구입비용이 월등히 높아 즉시 현장에 적용하기는 어려움이 있는 것으로 판단됨
- 따라서 현재 농업부문에서 시행되고 있는 농기계 임대사업이나 농기계구입 융자금지원 등과 같은 정책적인 지원이 필요할 것으로 판단됨.
- 또한 목재칩 파쇄기의 경우, 작업적지연보다 기계적지연이 월등히 높아 이에 대한 개선책이 필요할 것으로 판단되며 장작생산기계의 경우, 작업능력 미숙으로 인하여 작업적지연시간이 높은 것으로 나타났고 추후 보급률이 높아질 경우 작업지연부분에 대하여 개선이 충분히 가능할 것으로 판단됨.
- 목재칩 운송의 경우 현재 칩밴을 이용한 운송형태가 있으나 해외사례의 경우 칩밴과 결합된 형태의 운송차량 등이 파악되고 윈바디트럭 또는 적재 칸에 컨베이어가 설치된 워킹카 트럭 등이 목재칩 하차 시 더욱 효율적인 것으로 예상되며 그림 30, 31과 같음.
- 또한 적재용량을 최대로 고려한 그림 32와 같은 형태의 칩밴이 파악되고 있어 국내도입의 필요성이 대두됨.



그림 30. 윙바디 트럭



그림 31. 워킹카 트럭



그림 32. 목재칩 밴

## 제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

### 1. 목표 달성도

세부연구목표	연구목표 달성내용	달성도 (%)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현행 목재생산체계의 공정별 생산성 및 경제적 편익 조사·분석 (주관)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현행 단목·전간 생산체계의 공정조사를 통한 생산성 및 작업비용 분석을 통해 현행 목재 생산체계의 공정별 생산성 및 경제적 편익 조사·분석을 수행하였음.</li> <li>- 현행 굴삭기집재시스템에서의 임목부산물 생산체계의 경제적 편익 조사·분석을 하고 기술적/경제적 향상 방안을 제시하였음.</li> </ul>	100%
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고성능임업기계 (Harvester, Processor) 를 활용한 新 목재생산 체계 개발 (2세부)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고성능 임업기계인 하베스터를 활용한 벌도 및 조재작업 생산성 조사 및 기존 data와 비교·분석하고, 기술적/경제적 향상 방안을 제시하였음.</li> <li>- 고성능 임업기계 장비의 적용 범위와 한계를 규명하였음.</li> <li>- 현행 생산체계와 新 생산체계 간의 생산성 및 경제적 편익을 비교·분석하였음.</li> </ul>	100%
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 저비용 목재 및 부산물 생산체계의 공정별 요소기술개발(3세부)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 집재향상을 위해 하향집재에 유리한 무선 자동 클램프 반송기의 설계 및 시제품 제작을 통해 집재작업 생산성 향상을 위한 반송기를 개발하고 현장적용 시험을 수행하였음.</li> <li>- 기반시설 위치별 효율적인 목재수확계획 기법 개발을 위해 현장조사를 통하여 집재장, 집재선등의 선정 및 효율적인 목재수확계획 기법을 제시하였음.</li> <li>- 전목 집재 후 가지 등 부산물의 활용 효율성 제고를 위한 기술·공정을 개발하였음.</li> </ul>	100%
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 목질원료 용도별 저비용 생산 시스템의 개발 및 적용방안 마련 (4세부)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 목질원료의 용도별 저비용·고효율 생산체계 개발을 위하여 완경사지, 중·급경사지에서의 전목시스템을 적용하여 생산성 및 작업비용 분석을 통한 저비용생산체계 개발을 수행하였음.</li> <li>- 선행연구사업의 결과와 본 연구결과를 이용한 민감도 분석 및 예측모델식 제시를 통하여 목재산업용과 에너지용 목질원료의 저비용 공급 모델 개발을 수행하였음.</li> </ul>	100%

## 2. 관련 분야 기여도

개발기술명	목재생산 시스템	단목, 전간, 전목 생산시스템	임목부산물	
Keyword	Timber harvesting system	Whole tree & Tree length & cut-to-length	Logging residue	
검색건수	393	23	43	
유효논문건수	56	13	3	
핵심논문 및 관련성	논문명	Economic feasibility of an integrated harvesting system for small-diameter trees in southwest Idaho	Productivity and cost of cut-to-length and whole-tree harvesting in a mixed-conifer stand	Residue recovery and site preparation in a single operation in regeneration areas
	학술지명	Forest Products Journal	Forest Products Journal	Biomass & Bioenergy
	저자	Han, H.-S., H.W. Lee, and L.R. Johnson	Adebayo, A.B., H.-S., Han, and L.R. Johnson	Juha, L., Antti, A., Stefan H.
	게재년도	2004	2007	2005
	관련성(%)	65	65	40
	유사점	용도별 목재 및 부산물 생산체계 및 비용분석	단목 및 전목생산 시스템의 생산성 비교	기계개발을 이용한 부산물 파쇄 생산
	차이점	지상집재방식만을 이용	지상집재방식만을 이용	부산물 및 슬래시 이용
핵심논문 및 관련성	논문명	Productivity and cost of integrated harvesting for fuel reduction thinning	Production and cost of harvesting and transporting small-diameter trees for energy with a whole-tree system	Logging residue bundling at the roadside in mountain operations
	학술지명	Forest Products Journal	Forest Products Journal	Scandinavian Journal of Forest Research
	저자	Vitorelo, B., H.-S. Han, and W. Elliot	Pan, F., H-S Han, L.R. Johnson, and W.J. Elliot	Spinelli, R., Magagnotti, N.
	게재년도	2012	2008	2009
	관련성(%)	60	50	50
	유사점	목재 및 부산물 생산기술 및 경제적 편익 조사	전목생산시스템을 이용한 energy wood 및 wood chip 생산	임목부산물을 이용한 압축가공 생산
	차이점	지상집재방식만을 이용	전목시스템만을 이용	임목부산물만을 이용

개발기술명		목재생산 시스템	단목, 전간, 전목 생산시스템	임목부산물
핵심논문 및 관련성	논문명	A comparison of skyline harvesting costs for alternative commercial thinning prescriptions	Productivity and costs of an integrated mechanical forest fuel reduction operation in southwest Oregon	Productivity of a prototype Truck-Mounted Logging Residue Bundler and a Road-side Bundling system
	학술지명	Journal of Forest Engineering	Forest Products Journal	Silva Fennica
	저자	Kellogg, LD, GV Milota, and M Miller, Jr.	Bolding, M.C., L.D. Kellogg, and C.T. Davis	Lindroos, O., Matisons, M., P. & Nordfiell, T.
	게재년도	1996	2009	2010
	관련성(%)	45	40	40
	유사점	가선집재방식을 이용한 목재 및 부산물 생산	전목시스템을 이용 energy wood 수집	임목부산물을 이용한 압축가공 생산
	차이점	전목시스템만을 적용	전목시스템만을 이용	임목부산물만을 이용

## 제5장. 연구개발성과의 활용계획

---

### 1. 활용계획

- 목재생산업 종사자를 통한 국유림 및 사유림 시범 사업 전개
- 수요처와 연계된 저비용 목질원료의 공급 방안 매뉴얼 개발보급
- 목재생산성 향상을 위한 임업장비의 성능개선 기술 업체 기술이전
- 국내 실정에 적합한 고성능 임업기계의 도입

### 2. 기대효과

#### ○ 기술적 측면

- 개선된 목재 및 임목부산물 생산 체계 실현
- 목재 생산성 향상을 위한 임업기계장비의 성능 개선 및 개발
- 수요처를 고려한 목질원료의 체계적인 용도별 생산방식 제시

#### ○ 경제·산업적 측면

- 저비용 목재 및 임목부산물 생산 공급시스템의 현장적용으로 목재 생산량 증대 및 고부가가치화
- 고성능 장비의 도입 및 임업기계 성능 개선으로 관련 장비시장의 확대 및 민간수요 증가

#### ○ 사회·문화적 측면

- 효과적인 목질원료 생산체계 개발로 목재생산량 증대
  - 용도별 목질원료 공급으로 원료확보 경쟁 완호 및 시장 안정화
  - 목질원료 생산관련 임업기계장비의 활성화로 관련 업체의 산업화
  - 목질원료 생산 기술 업그레이드 산림작업안전 및 생산성 향상
-



## 제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

---

- Kellogg, LD, GV Milota, and M Miller, Jr. 1996. A comparison of skyline harvesting costs for alternative commercial thinning prescriptions. *Journal of Forest Engineering*
  - Han, H.-S., H.W. Lee, and L.R. Johnson. 2004. Economic feasibility of an integrated harvesting system for small-diameter trees in southwest Idaho. *Forest Products Journal*.
  - Juha, L., Antti, A., Stefan H. 2005. Residue recovery and site preparation in a single operation in regeneration areas. *Biomass & Bioenergy*.
  - Adebayo, A.B., H.-S., Han, and L.R. Johnson. 2007. Productivity and cost of cut-to-length and whole-tree harvesting in a mixed-conifer stand. *Forest Products Journal*.
  - Pan, F., H-S Han, L.R. Johnson, and W.J. Elliot. 2008. Production and cost of harvesting and transporting small-diameter trees for energy with a whole-tree system. *Forest Products Journal*.
  - Spinelli, R., Magagnotti, N. 2009. Logging residue bundling at the roadside in mountain operations. *Scandinavian Journal of Forest Research*.
  - Bolding, M.C., L.D. Kellogg, and C.T. Davis. 2009. Productivity and costs of an integrated mechanical forest fuel reduction operation in southwest Oregon. *Forest Products Journal*.
  - K. Karha, A. Jouhiahio. 2009. Producing chopped firewood with firewood processors. *biomass and bio energy* 33 (2009) 1300 - 1309
  - Lindroos, O., Matisons, M., P. & Nordfiell, T. 2010. Productivity of a prototype Truck-Mounted Logging Residue Bundler and a Road-side Bundling system. *Silva Fennica*.
  - Vitorelo, B., H.-S. Han, and W. Elliot. 2012. Productivity and cost of integrated harvesting for fuel reduction thinning. *Forest Products Journal*.
  - Marco Manzone, Raffaele Spinelli. 2014. Efficiency of small-scale firewood processing operations in Southern Europe. *Fuel Processing Technology* 122 (2014) 58-63
  - Marco Manzone. 2015. Energy and moisture losses during poplar and black locust logwood storage. *Fuel Processing Technology* 138 (2015) 194 - 201
-

## 제7장. 연구개발성과의 보안등급

-

## 제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

## 제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

없 음

## 제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	산림자원 활용을 위한 현행 굴삭기집재 단목생산체계에 서의 임목 및 부산물의 생산성 및 비용분석	강원대 학교	주저 자	신재생에너 지학회	0.27	2016.09.12	단독	-
2	논문	임목수확방법별 벌도작업 생산성 및 비용 분석	강원대 학교	주저 자	한국임학회	0.59	2016.12.30	단독	-
3	특허	집재작업 생산성 향상을 위한 무선 제어 클램프 반송기	국립산 림과학 원	출원 인	대한민국	-	2016.02.05		-

- 총 연구기간 중 발표(게재 확정 포함)된 대표적 연구실적(논문, 특허 등)을 5건 이내로 기재

## 제11장. 기타 사항

없 음

## 제12장. 참고 문헌

- Adebayo, A.B., Han, H.S. and Johnson, L. 2007. Productivity and Cost of cut-to-length and whole-tree harvesting in a mixed-conifer stand. Forest Products Journal 57(6) : 59-69.
- Environment and Natural Resources, 2005. Commercial Timber Harvest Planning and Operations Standard Operating Procedures Manual. Northwest Territories.
- Miyata, E.S. 1980. Determining fixed and operating costs of logging equipment. U.S. Department of Agriculture Forest Service Gen. Tech. Re. NC=55. pp. 16
- Senturk, N., Ozturk, T., Demir, M. 2007. Productivity and costs in the course of timber
- Silayo, A., Migunga, A. 2014. Productivity and costs modeling for tree harvesting operations using chainsaws in plantantion forests, Tanzania. International Journal of Engineering & Technology 3(4) 464-472.
- Transportation with the Koller K300 cable system in Turkey. Building and Environment 42:2107-2113.
- 吉岡拓如. 2003. 森林バイオマス資源收穫システムの構築に関する研究.
- 국립산림과학원 일반사업보고서. 2013. 주요 경제수종의 천연갱신기법 및 수확작업에 관한 연구
- 국립산림과학원 일반사업보고서. 2007. 효율적 산림작업을 위한 임내도로망 배치기술 개발

- 김민규, 박상준. 2012. 전목 및 단목 집재작업시스템에서 작업시간 및 공정 분석. 한국임학회지 101(3):344-355.
- 김민규, 박상준. 2013. 전목 및 단목 집재작업시스템에서 작업비용 분석. 한국임학회지 102(2):229-238.
- 박상준. 2004. 타워야더에 의한 집재작업시스템 분석. 한국임학회지 93(3): 205-214.
- 박상준, 함영철. 2002. 굴삭기형 타워집재기 및 원목집계톱의 작업능률과 작업비용 분석. 한국임학회지 91(4):507-516.
- 손병선, 박상준, 이성환. 2007. 타워야더(K-301)에 의한 대경재 집재작업시스템 분류. 한국임학회지 98(2):229-238.
- 송태영, 박문섭, 김재원, 강건우. 1998. 궤도형 집재차의 집재작업방법에 따른 작업비용 비교 연구. 산림경제연구 6(2): 20-28.
- 우보명, 박종명, 이준우, 정남훈. 1990. 케이블크레인을 이용한 집재작업의 경제성에 관한 연구. 한국임학회지 79(4): 413-418
- 우보명 등. 1997. 산림공학. 광일문화사. pp. 332-334.
- 오재현, 이진아, 김재원. 2012. 스윙야더에 의한 집재작업의 생산성 분석. 한국임학회지 101(3):344-355.
- 이진아, 오재현. 2013. 전목수확시스템의 생산성 및 비용 분석. 한국임학회지 102(2):229-238.
- 조구현, 오재현, 송태영, 김재원, 한원성, 차두송, 박상준. 2009. 효율적인 스윙야더를 이용한 집재작업(1). 한국임학회지 98(4):451-457.
- 조구현, 송태영, 김재원, 차두송, 박상준. 2011. 임지내 미이용 바이오매스의 효율적 수집시스템. 한국임학회지 100(2):173-182.
- 조구현, 김재원, 장문석, 이동환, 차두송, 박상준. 2012. 고성능 임업기계를 활용한 집재작업(1). 한국임학회지 101(3):344-355.
- 조민재, 조구현, 오재현, 한한섭, 차두송. 2014. 타워야더에 의한 집재작업 생산성 및 비용 분석. 한국임학회지 103(2):173-182.
- 자원의 절약과 재활용촉진에 관한법률 시행규칙
- 전북발전연구원. 2008. 리기다소나무 활용을 위한 경제성분석 : 목질계 바이오매스의 에너지 활용을 중심으로. 지식경제부
- 황영철 국회의원. 2010. 버려지는 임지잔재, 어떻게 자원화할 것인가?. 산림바이오매스 수집 및 자원화 방안마련 국회토론회.
- 한원성. 2008. 임목수확 및 운송비용 예측모델의 개발. 국민대학교 대학원 박사학위 논문. pp.157
- 한원성, 조구현, 오재현, 송태영, 김재원, 신만용. 2009. 체인톱을 이용한 잣나무의 벌도작업 공정 분석. 한국임학회지 98(4):451-457.
- 한국임업진흥원. 2015. 2015년 가을 국산재 원목 시장가격 동향
- 한국임업진흥원. 2016. 2016년 가을 국산재 원목 시장가격 동향
- 환경부 고시 제2016-32호

### 주 의

1. 이 최종보고서는 산림청에서 시행한 임업기술연구개발(R&D)사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 산림청에서 시행한 사업의 연구개발성과 임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.