



### 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원 저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리와 책임은 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)



농학석사 학위논문

저효율·고비용의 가선집재작업  
문제점 분석을 위한 사례연구

A case study for analyzing the problems of a  
nonproductive and high cost cable logging operation

2015년 8월

서울대학교 대학원  
산림과학부 산림환경학 전공  
유중원

# 저효율·고비용의 가선집재작업 문제점 분석을 위한 사례연구

A case study for analyzing the problems of a  
nonproductive and high cost cable logging operation

지도교수 정주상

이 논문을 농학석사 학위논문으로 제출함  
2015년 8월

서울대학교 대학원  
산림과학부 산림환경학전공  
유중원

유중원의 석사 학위논문을 인준함  
2015년 8월

위원장 \_\_\_\_\_ (인)

부위원장 \_\_\_\_\_ (인)

위원 \_\_\_\_\_ (인)

## 국 문 초 록

우리나라는 1970년대 황폐화된 국토에 대한 성공적인 조림녹화사업을 통해 2014년 기준 국토면적의 약 64%에 달하는 산림과 산림면적 1ha당 148.5m<sup>3</sup>에 달하는 임목자원을 보유하고 있다. 우리나라의 경우 단기간에 집중된 조림녹화로 인해 국내 산림면적의 약 67%가 IV영급 이상에 편중되어 있으며, 이들 중 대부분의 임분이 벌기령에 도달함에 따라 수확갱신을 위한 벌채가 급격히 증가할 것으로 예상된다.

하지만 현재 임업 노동력의 고령화와 기피현상으로 증가하는 목재생산량을 충족시키기에는 임업 노동력 확보가 어려우며 목재 가격의 정체 및 노임의 급상승 등으로 인해 생산성이 저하되고 있다. 또한 임업기계 장비를 이용한 작업 설계를 하는 과정에 있어 집재대상지에 대한 공학적인 분석이 제대로 이루어지지 않아 안전사고의 위험성이 크고 고비용 저효율의 작업이 이루어지고 있다.

따라서 본 연구에서는 경상북도 영주시 봉화군 춘양면 애당리 48임반 5소반의 낙엽송, 소나무림을 대상으로 효율적인 임목수확시스템 구축을 위해 가선집재 설계의 실태 조사 및 공학적 문제점을 진단하였고 가선집재장비 (HAM300)에 의한 작업 생산성 및 비용분석을 하였다. 설계도면상의 집재기 설치지점에 있어 지형 분석을 한 결과 집재기가 위치하는 부분의 지점이 임도 절성토 사면의 높이로 인해 가선의 쳐짐을 확보할 수 없는 지형적 조건을 지닌 것으로 분석되었으며 이는 곧 작업 설계를 하는데 있어 현장의 지형적 입지여건이 전혀 고려되지 않는 것으로 판단되었다.

또한 실제 작업 현장의 지형분석을 한 결과 상향집재지의 총 거리는 173m, 최대 집재거리는 138m, 최대 횡취거리는 37m, 평균 집재거리는 76.3m로 나타났으며 하향집재지의 경우 총 거리는 158m, 최대 집재거리는 104m, 최대 횡취거리는 20m, 평균 집재거리는 58.1m로 나타났다. Ground Profile 결과 상·하향집재지 대부분의 구간이 모두 가선의 쳐짐

(deflection of skyline)이 확보되지 않아 안전사고의 발생 위험이 클 것 으로 판단되었다.

Time study 기법을 통한 상향집재 작업과 하향집재 작업시간을 측정 한 결과 총 작업시간(SMH)의 경우 상향집재지와 하향집재지 각 47시간 3분, 57시간으로 나타났고 순수 작업시간(PMH)은 23시간 57분, 19시간 42분, 장비로 인한 지연시간(Mechanical delay)의 경우 각 9시간 42분, 14시간 49분, 장비 이외의 작업 지연시간(Non-Mechanical delay)은 각 13시간 51분, 22시간 29분으로 나타났다. 이는 하향집재가 상향집재에 비해 순수 작업 비율이 낮았고 작업 지연 비율이 높았던 것에 기인한다.

집재방향에 따른 작업 생산성 분석 결과 상향집재 작업의 경우  $3.86 \text{ m}^3/\text{hr}$ , 하향집재 작업의 경우  $1.57 \text{ m}^3/\text{hr}$ 로 상향집재 작업에 비해 하향집재 작업의 생산성이 더 낮은 것으로 나타났다. 비용 또한 상향집재 작업은  $87,000\text{원}/\text{m}^3$ , 하향집재 작업은  $269,000\text{원}/\text{m}^3$ 으로 산출되었다. 그 외에 mechanical delay 및 non-mechanical delay를 감소시킴으로 작업개선에 따른 시나리오별 생산성을 비교한 결과 상향집재 작업의 생산량은 최대 46%까지 증가하였으며, 하향집재 작업은 최대 78% 증가되었다.

**주요어 :** 가선집재시스템, 생산성 분석, 가선집재작업 비용 분석,

HAM300, 가선집재설계, 지형 profile

**학 번 :** 2012-23353

# 목 차

국문초록 .....	i
목 차 .....	iii
<b>제 1 장. 서 론 .....</b>	<b>1</b>
1. 연구의 배경 및 필요성 .....	1
2. 연구의 목적 .....	3
3. 연구사 .....	4
<b>제 2 장. 연구방법 .....</b>	<b>7</b>
1. 연구체계 .....	7
2. 연구대상지 .....	8
3. 조사 및 분석 .....	10
3-1. 가선집재작업 설계내역의 문제점 진단 .....	10
3-2. 가선집재 작업의 현장 실태 분석 .....	11
3-3. HAM300 가선집재장비를 이용한 작업 생산성 분석 ..	12
3-3-1. 가선집재 작업시간 측정 .....	14
3-3-2. 가선집재 원목의 재적 측정 .....	15
3-3-3. 가선집재작업 생산성 및 생산단가 분석 .....	16
3-3-4. 생산 시나리오 설정 .....	16
<b>제 3 장 연구결과 및 고찰 .....</b>	<b>17</b>
1. 가선집재 설계내역의 문제점 진단 .....	17
2. 가선집재 작업의 현장 실태 분석 .....	19
2-1. 가선집재작업 현장의 Plan view 분석 .....	19
2-2. 가선집재작업 현장의 단면 Profile 분석 .....	21
3. 생산성 분석 결과 .....	23

3-1. 가선집재작업 시간 분석 .....	23
3-2. 가선집재작업 현장의 단면 Profile 분석 .....	37
3-3. 시나리오에 따른 작업생산성 분석 .....	40
<b>제 4 장 결론 .....</b>	<b>42</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>44</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>48</b>

## 표 목 차

[표 1] 연구대상지 세부정보 .....	9
[표 2] 가선집재장비 제원 분석 (HAM300) .....	13
[표 3] Time study 기법을 이용한 machine time .....	14
[표 4] 원목 검체자료 .....	15
[표 5] 가선집재작업 생산 시나리오 .....	16
[표 6] 상향집재 측정시간 (1일) .....	23
[표 7] 상향집재 측정시간 (2일) .....	24
[표 8] 상향집재 측정시간 (3일) .....	25
[표 9] 상향집재 측정시간 (4일) .....	26
[표 10] 상향집재 측정시간 (5일) .....	27
[표 11] 하향집재 측정시간 (1일) .....	29
[표 12] 하향집재 측정시간 (2일) .....	30
[표 13] 하향집재 측정시간 (3일) .....	31
[표 14] 하향집재 측정시간 (4일) .....	32
[표 15] 하향집재 측정시간 (5일) .....	33
[표 16] 하향집재 측정시간 (6일) .....	34
[표 17] 상·하향집재의 측정시간 비교 .....	35
[표 18] 상향집재 작업 생산량 .....	37
[표 19] 상향집재 생산 단가 .....	37
[표 20] 하향집재 작업 생산량 .....	38
[표 21] 하향집재 생산 단가 .....	38
[표 22] 선행연구의 작업생산량 .....	40
[표 23] 선행연구의 작업비용 .....	40
[표 24] 시나리오에 따른 생산량 비교 .....	42
[표 25] 시나리오에 따른 작업비용 비교 .....	42

## 그 림 목 차

[그림 1] 영급별 산림면적 .....	2
[그림 2] 연구체계도 .....	7
[그림 3] 연구대상지, 애당리 48임반 5소반 .....	8
[그림 4] 대상지의 수종구성 .....	9
[그림 5] 설계도면 .....	10
[그림 6] 현장 실행도면 .....	11
[그림 7] 가선집재장비(HAM300) .....	12
[그림 8] 가선집재작업에 적합한 지형 .....	17
[그림 9] 설계도면상 가선집재기 집재선 지형 Profile .....	18
[그림 10] 상향집재지 Plan View .....	19
[그림 11] 하향집재지 Plan View .....	20
[그림 12] 상·하향집재지 평균 집재거리 계산 .....	20
[그림 13] 상향집재지 Ground Profile .....	21
[그림 14] 하향집재지 Ground Profile .....	22
[그림 15] 현장 조사 사진 .....	22
[그림 16] 상향집재지 시간측정 (1일) .....	24
[그림 17] 상향집재지 시간측정 (2일) .....	25
[그림 18] 상향집재지 시간측정 (3일) .....	26
[그림 19] 상향집재지 시간측정 (4일) .....	27
[그림 20] 상향집재지 시간측정 (5일) .....	28
[그림 21] 하향집재지 시간측정 (1일) .....	29
[그림 22] 하향집재지 시간측정 (2일) .....	30
[그림 23] 하향집재지 시간측정 (3일) .....	31
[그림 24] 하향집재지 시간측정 (4일) .....	32
[그림 25] 하향집재지 시간측정 (5일) .....	33
[그림 26] 하향집재지 시간측정 (6일) .....	34
[그림 27] 상·하향집재지 시간측정 비교 .....	35

# 제 1 장 서 론

## 1. 연구의 배경 및 필요성

우리나라는 1970년대 황폐화된 국토에 대한 성공적인 조림녹화사업을 통해 2010년 기준 국토면적의 약 64%에 달하는 산림과 산림면적 1ha당 148.5m<sup>3</sup>에 달하는 임목자원을 보유하고 있다(임업통계연보, 2014).

현재 산림청에서는 이와 같은 국내 임목자원을 활용한 다양한 정책 목표를 제시하고 있으며 이를 구체적으로 살펴보면, 우량 목재자원 생산기반을 2013년 2만 ha에서 2017년 3만 ha로 확충하고(산림청, 2013), 국산 목재를 2012년 451만 m<sup>3</sup>에서 2017년 670만 m<sup>3</sup>으로 공급확대하고(산림청, 2013), 국내재 펠릿 수급량을 2009년 16,000톤에서 2020년 100만톤으로 높이는 등(산림청, 2010) 국내 목재산업의 활성화 및 임업 경쟁력의 강화를 위한 전략을 수립한 상황이다.

하지만 우리나라의 경우 단기간에 집중된 조림녹화로 인해 그림 1과 같이 2015년 현재 국내 산림면적의 약 67%가 IV영급 이상에 편중되어 있으며, 이들 중 대부분의 임분이 10~20년 이내에 별기령에 도달함에 따라 수확갱신을 위한 별채가 급격히 증가할 것으로 예상된다(임업통계연보, 2014). 이에 따라 많은 목재생산과 공급을 위해 별채 및 임업기계화에 대한 산림청의 정책 목표 달성이 시급한 전망이다.

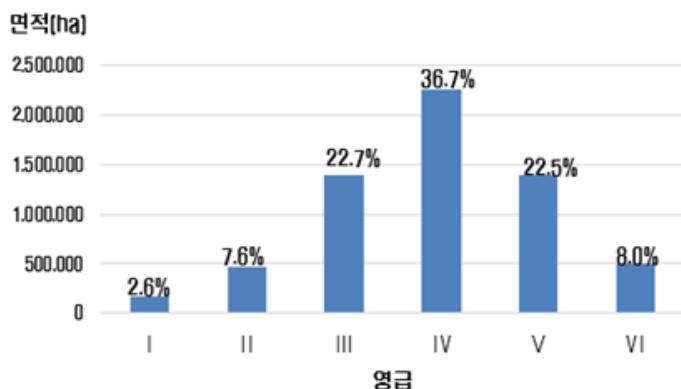


그림 1. 영급별 산림면적

현재 우리나라는 임업 노동력의 고령화 등으로 인한 임업 노동력 확보가 어려우며(박상준, 2004) 목재 가격의 정체 및 노임의 급상승 등으로 인해 생산성이 저하되고 있다(박상준, 2002). 그리고 임도 등의 기반 시설이 부족하며, 기존에 사용되고 있는 쿨삭기 부착 우드그랩 장비의 작업으로 인한 산림 훼손이 심각해(이근태와 박상준, 2001; 2002; 2003) 이에 따라 고성능 임업기계화가 필요한 실정이다. 또한 임업기계장비를 이용한 작업 설계를 하는 과정에 있어 집재대상지에 대한 공학적인 분석이 제대로 이루어지지 않아 고비용 저효율의 작업이 이루어지고 있다.

특히 우리나라 임목별채지의 대부분이 우드그랩을 이용한 단목집재 위주의 목재생산 방식이며, 임내의 무분별한 작업로 개설과 주행 등으로 임지의 훼손은 심각하고 급경사지의 우드그랩 작업으로 인해 작업자의 위험 노출이 높은 실정이다(이근태와 박상준, 2001; 2002; 2003). 이에 임지훼손과 산림 생태계를 보존하는 자연친화적인 가선집재 방식의 임목수확시스템 도입이 요구되고 있는 실정이다(김민규와 박상준, 2012).

현재 산림청에서는 임업기계화를 활성화하기 위해 지방산림청 및 임업기계지원센터 등을 대상으로 가선계 고성능 집재기계인 타워야더(Tower yarder)를 보급하여 작업에 투입되고 있다. 타워야더는 우리나라 지형과 같이 급경사지에서의 작업에 적합하며(박상준, 2002), 이동 설치 및 철거가 용이하고(박상준, 2004), 경제적으로 실용성이 높다(한원성 등, 2008).

그러나 우리나라에서는 아직 숙련된 오퍼레이터(Operator)가 부족하고 (박상준, 2002; 2004) 우리나라 산악지형에 적합한 적정 임목수확작업시스템 구축과 기반시설 등의 미흡으로 아직까지 활발하게 실행되고 있지 않는 실정이다(박상준, 2009, 김민규, 2010). 또한 해외의 경우 가선집재장비를 설계하는데 있어 명확한 기준 조건이 제시되어 있는 반면 국내에는 명확한 기준이 제시되어 있지 않고 있다.

따라서 목재수급을 안정적으로 확보하고 저비용·고효율의 생산성을 확보하기 위해서는 효율적인 임업기계화 시스템을 구축하고 이에 따른 생산성 및 경제성 평가에 대한 연구가 필요한 실정이다. 또한 우리나라 실정에 맞는 작업 시스템의 개발 및 도입이 필요하다(산림청, 2011; 박상준, 2009; 김민규와 박상준, 2012).

이에 본 연구에서는 사례연구를 통해 국내 임업기계작업 설계의 문제점과 낮은 생산성에 대한 현실 문제를 파악하고, 이를 개선하기 위한 해결 방안을 제시하고자 우리나라 국유림의 가선집재작업 현장 조사를 하였고, 가선집재 설계의 실태를 조사 및 공학적인 문제점을 진단하였으며, 작업 생산성 및 비용 분석을 통해 가선집재작업 설계와 작업 효율성을 개선하기 위한 기반 연구를 수행하였다.

## 2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 국내 가선집재작업의 잘못된 설계와 낮은 작업 생산성에 대한 문제점을 진단하고 개선방안을 제시하는데 있으며, 이를 위한 세부 연구목적은 다음과 같다.

첫째, 가선집재작업 설계내역의 문제점 진단

둘째, 가선집재작업의 현장 실태 분석

셋째, HAM300 가선집재장비를 이용한 작업 생산성 분석

### 3. 연구사

우리나라에서 목재생산 작업에 관한 기존 연구를 살펴보면, 체인쏘 (chain saw)를 이용한 간벌지의 벌도작업에 대해 강건우(1999)는 시간연구 및 작업연구를 통한 회귀모델식 개발로 생산성 향상과 비용절감의 기초자료를 제공하였고, 한원성 등(2009)은 잣나무림의 벌도작업 공정분석을 실시하였다. 또한 이준우 등(1998)은 4명의 작업원들의 벌도작업에의 최대 작업수행 능력평가 및 최대산소 섭취량을 조사하였다. 개별작업지의 벌도작업에 관한 연구로는 지병윤 등(1997)이 낙엽송림을 대상으로 벌도작업 시간조사 및 공정분석을 실시하였다. 또한 황진성 등(2009)이 난방용 목재칩의 생산비용 및 에너지 수지분석을 위해, 원료 생산비용에서 산림바이오매스 자원의 벌목·조재 작업에서 집재, 칩핑, 운송, 건조까지의 목재칩 생산과정에 대해 생산 비용 및 에너지 수지 분석을 실시하였다.

집재작업에 대해서는 우보명 등(1990)은 이동식 타워 소형 케이블크레인(K-300)을 이용한 집재작업과 인력 집재작업을 비교하였고, 박상준과 함영철(2002)은 굴삭기형 타워집재기 및 원목집게톱의 작업능률과 수확비용 분석을 통해 실용성을 평가하였으며, 송태영 등(2010)은 산림내 미이용 바이오매스 활용을 위한 초소형 원치를 이용한 집재작업의 생산성을 산출하였다. 강건우 등(1998)은 궤도형 집재차의 집재작업 방법에 따른 작업비용을 비교하였고 박상준 등(2007)은 타워야더(K-301)에 의한 대경재 집재작업시스템을 분석하였다. 김덕수(1994)는 Radi-carry를 이용한 무선조종식 가선집재 작업의 생산성을 분석하였다.

상·하향 집재방식에 따른 집재작업 비교분석에 관한 연구로는 박상준과 이근태(2004)가 타워야더(RME-300T)를 이용하여 열상간벌지에 대해 산림 Biomass자원량 및 집재작업 공정조사를 실시하였고, 한원성 등(2008)이 낙엽송림에서 춘천집재기를 이용하여 집재방식에 따른 집재작업의 생산성 차이를 비교분석하였다. 또한 조구현 등(2007)이 효율적인 궤도식 소형임내작업차를 이용한 간이 가선식 집재작업에 대해 상·하향 집재작업의 작업능률을 비교하였다.

단목집재작업에 관한 연구는 손병선 등(2007)이 타워야더(K-301)에 의한 대경재 집재작업시스템의 공정 및 생산성 분석을 실시하였고, 한원성 등(2009)은 트랙터부착 집재기를 이용한 단목집재작업 공정분석을 실시하였다. 전간집재작업은 김재환과 박상준(2010)이 타워야더(RME-300T)를 이용하여 숲가꾸기 사업에서의 산물수집 공정 및 비용분석을 실시하였고 전목집재작업은 조구현 등(2009)이 스윙야더를 이용해 임지 내 미 이용되는 바이오매스를 수집하는 방법으로 전목집재작업의 생산성을 산출하였다.

집재 기종별에 따른 집재작업 비교분석에 관한 연구는 한원성 등(2014)이 트랙터부착형 집재기(춘천집재기), 타워야더(RME-300T), 트랙터원치(FARMI)에 의한 집재작업 생산성 및 비용을 분석하였고, 수종별에 따라서는 오재현 등(2012)이 스윙야더를 이용한 잣나무, 리기다소나무, 낙엽송림 3개 지역을 대상으로 집재작업 생산성의 차이를 파악하였다.

또한 박상준(2002)은 트랙터집재기(HAM200) 집재작업에서의 가로집재 거리와 와이어로프 견인시간과의 관계를 나타내고, 가로집재 거리와 가로집재 시간과의 관계, 집재거리와 집재시간과의 관계를 선형회귀식으로 도출하였고, 이근태와 박상준(2006)은 타워야더(RME-300T)를 이용한 IV영급 리기다소나무 개벌작업에서 친환경적 임목수확모델 개발 및 공정조사를 하였다.

별도작업에서 운송작업까지 수확시스템에 대한 연구는 김민규와 박상준(2012)이 리기다소나무를 대상으로 전목 및 단목 집재작업시스템에서 작업시간 및 공정분석을 실시하였고, 김민규와 박상준(2013)이 전목 및 단목집재작업시스템에서 작업비용을 분석하였다. 또한 이진아와 오재현(2013)이 리기다소나무 개벌지에서 스윙야더(KRW2000)를 이용한 전목집재작업 후 스트로크 프로세서(WOODY H 50)fh 가지정리 및 조재를 실시하였고, 번들러를 활용한 별채부산물을 압축 결속으로, 전목수확시스템에 생산성 및 비용 분석을 실시하였다.

TimeStudy 기법에 관한 연구는 작업 공정 및 생산성 분석을 위해 과거부터 매우 활발히 사용되어져 왔다. 강건우(1989)가 임업에서의 순

수작업시간과 임목형상조건과의 관계를 연구하였고, 신정환(1992)은 벌채작업에서 요소작업 구분별 소요시간을 측정하였다. 강건우(1999)는 체인쏘를 사용한 소나무 간벌작업에서의 생산성을 연구하는데 있어 요소작업별로 초시계를 사용하여 영점법으로 측정 조사하였다. 김민규와 박상준(2012)은 전목 및 단목 집재작업시스템에서 전체 조사 작업시간을 기준으로 1cycle당 작업시간을 분석하였고, 박상준(2002)은 트랙터부착 집재기(HAM200)에 의한 집재작업공정 분석을 위해 와이어로프 견인시간 및 가로집재시간, 집재거리와 집재시간 등을 측정하였다. 하지만 가선집재작업 설계의 공학적 타당성에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 사례연구를 통해 가선집재작업 설계의 공학적 타당성을 분석하고 Time study를 통한 집재작업의 생산성 및 비용을 분석하고자 하였다.

## 제 2 장 연구방법

### 1. 연구체계

본 연구는 가선집재 설계의 문제점을 진단하고 작업의 안전성을 분석하기 위해 작업 현장을 방문하여 각종 공간자료를 수집 후 공간분석을 실행하였다(그림 2).

이후 HAM300을 이용한 가선집재작업의 생산성 및 비용을 분석하기 위해 Time study 기법을 통한 실제 가선집재작업 및 각종 작업지연(delay) 시간 데이터를 수집하고 현장 검척 자료를 토대로 가선집재작업의 비용 및 생산성을 분석하였으며, 작업지연시간 감소에 따른 수익성을 비교분석하였다.

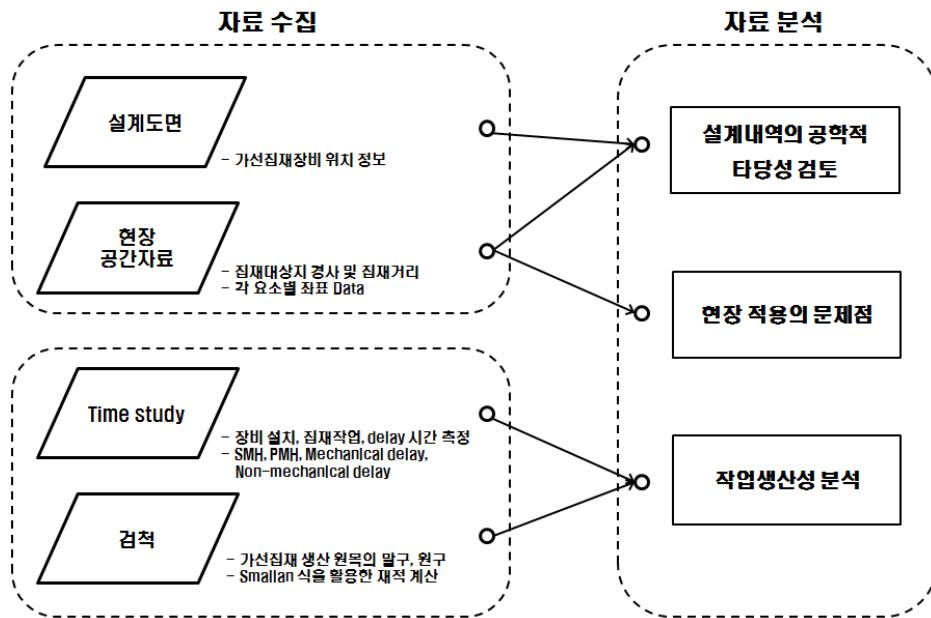


그림 2. 연구체계도

## 2. 연구대상지

가선집재작업의 현장실태 조사 및 안전성 진단, 그리고 생산성을 분석하기 위하여 본 연구에서는 경상북도 영주시 봉화군 춘양면 애당리 48임반 5소반을 대상지로 정하였다. 본 대상지인 48임반 5소반은 남부지방 산림청에서 산림가치를 높이고 저비용 고효율 산림경영 기법을 개발하고자 국유림 집단화 및 기반시설이 양호한 장군봉 지역(8,376ha) 중 일부로 선도 산림경영단지로 지정되어있다(그림 3). 총 작업면적은 6.20ha이고 수종구성은 중경목, 대경목의 소나무, 낙엽송이 주종을 이루고 있으며, 신갈나무와 기타활엽수가 혼효되어 생육하고 있다. 대상지 대부분의 임상은 임목본수도에 비해 높은 밀도를 유지하고 있다. 대상지의 영급구조는 6영급이며 평균 흉고직경은 34cm, 평균 수고는 20m로 가선집재 작업에 매우 적합한 여건으로 나타났으며, 모두베기를 실시하였다(표 1).

분석에 사용된 공간데이터는 영주국유림관리소에서 제공한 연구대상지역의 수치지형도(1:5,000), 항공사진, 임도망도(1:25,000), 현장 측정 데이터 등이며 수종, 임종, 임령과 같은 속성 데이터는 영주국유림관리소의 2014년 임목수확사업 설계서 자료를 사용하였다.

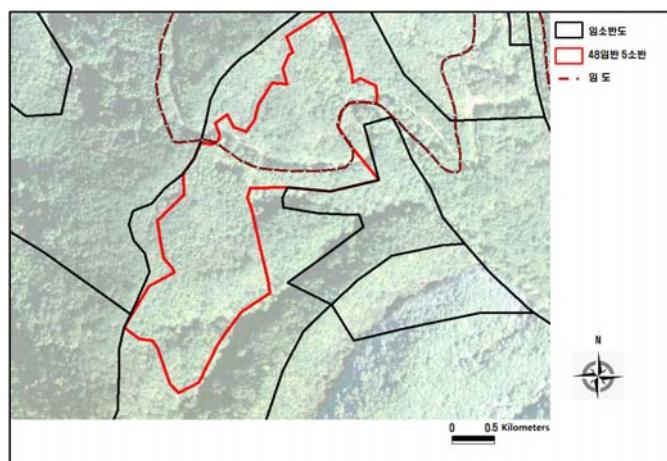


그림 3. 연구대상지, 애당리 48임반 5소반

표 1. 연구대상지 세부정보

항 목	세 부 정 보
소재지	경상북도 영주시 봉화군 춘양면 애당리 48임반 5소반
사업면적	6.20ha
주요수종	소나무(23%), 낙엽송(23%), 신갈(35%), 기타(19%)
평균 흙고직경	34cm (최대: 52, 최소: 6, 표준편차: 14)
평균 수고	20m (최대: 22, 최소: 6, 표준편차: 10)
평균 경사	40%

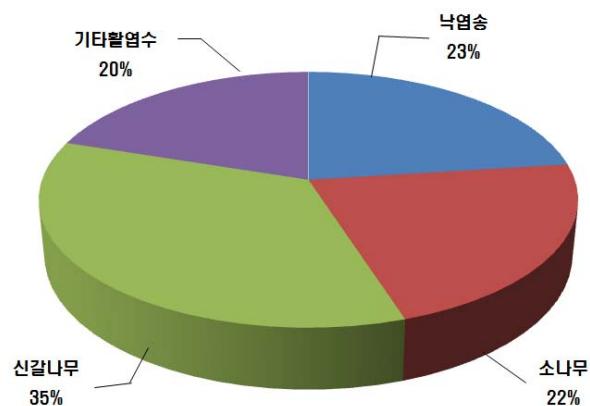


그림 4. 대상지의 수종구성

### 3. 조사 및 분석

#### 3-1. 가선집재작업 설계내역의 문제점 진단

산림벌채작업에는 사전 설계나 감리가 필히 요구되며, 이를 위한 비용도 적지 않다. 하지만 사전 설계도면과 현장에서의 실행 도면을 비교한 결과 현장에서는 설계에 따른 작업이 이루어지지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 설계도면상의 가선집재작업 위치에서 원활한 작업이 이루어질 수 없게 설계되었음을 예상할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 설계상의 가선집재작업 위치를 방문, 좌표 데이터를 수집하여 Arcmap tool을 이용해 지형 profiling을 실시하였고 이를 통해 가선집재작업의 가능 여부를 확인하였다.

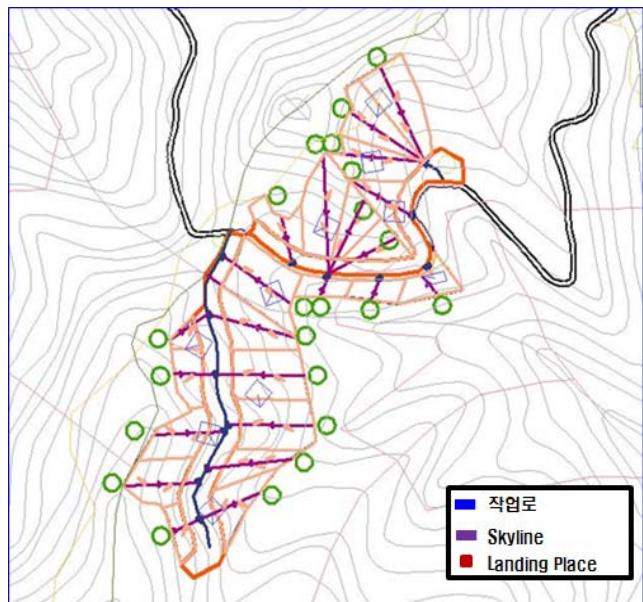


그림 5. 설계도면

### 3-2. 가선집재 작업의 현장 실태 분석

본 연구에서는 가선집재작업의 현장 실태를 분석하기 위해 문헌 및 작업 현장 데이터를 수집하였다.

문헌자료 수집에 있어 영주 국유림 관리소로 부터 임목수확사업 설계 계획 및 진행절차, 국유림 벌채 및 임목매각 과정, 목재수확작업 비용, 가선집재장비 제원 등에 대한 정보를 수집하였다.

현장 조사를 통해서는 작업 대상지의 거리 및 경사, 장비 설치 및 집재작업 시간, 장비 및 Landing 위치를 측정하고 지형 profiling 등을 통해 작업 안전성 및 문제점을 진단하였다. 또한 가선집재 장비를 이용한 집재 면적, 평균 집재거리 등을 분석하였다(그림 6).

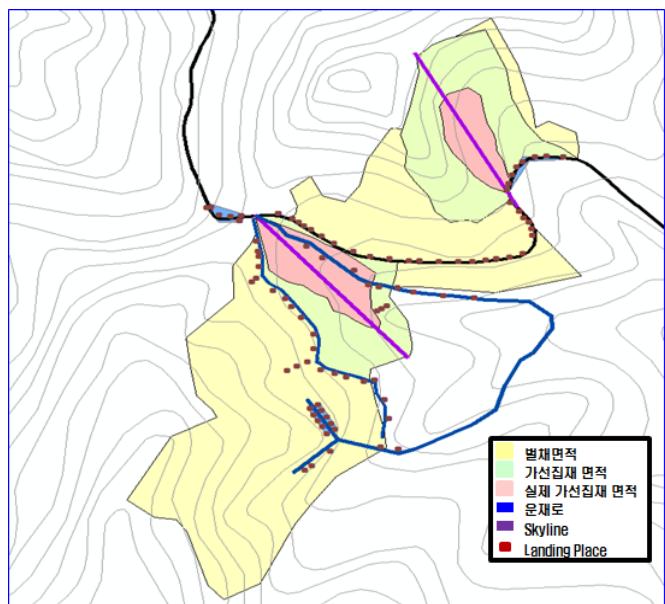


그림 6. 현장 실행도면

### 3-3. HAM300 가선집재장비를 이용한 작업 생산성 분석

경제적 측면에서 임업기계장비를 이용한 목재수확으로부터 발생하는 수익의 크기는 개인 산주는 물론 관련 이해당사자들의 사업 실행의 의사 결정에 매우 중요한 부분이다.

이에 본 연구에서는 HAM300 가선집재장비(그림 7)를 이용한 집재 작업의 시간을 측정하고 비용과 생산량을 계산하여 작업 생산성을 분석하고 다양한 시나리오에 따라 가선집재작업의 생산성이 어떻게 변화하는지를 살펴보았다. 본 연구에서 사용된 가선집재장비(HAM300)의 제원은 표 2와 같다.



그림 7. 가선집재장비 (HAM300)

표 2. 가선집재장비 제원 분석 (HAM300)

주요 제원			
전고(2단기복식)	2.6m / 7.3m	전장	1,400mm
전폭	680mm	중량	1,850kg
드럼	4개	높이	7m
최대집재거리	300m	-	-
Wire Rope			
가공본줄	16mm	되돌림줄	9mm
견인줄	9.5mm	버팀줄	14mm
최대 견인력	가공본줄 : 4,500kg      견인줄 : 2,400kg 되돌림줄 : 저속 1,100kg / 고속 800kg		
계기 용용방식			
원치작동	유압실린더 레버확장방식		
브레이크	유압밴드 레버 고정방식		
반송기	유압 리모콘방식 (무게 : 170kg)		
타워사용 동력	농업용 트랙터 유압 이용		
가공본줄 동력	농업용 트랙터 PTO 이용		
견인줄 동력	농업용 트랙터 PTO 이용		
되돌림줄 동력	농업용 트랙터 유압 이용 (저속, 고속 선택가능)		
모노줄 동력	농업용 트랙터 유압 이용		

### 3-3-1. 가선집재 작업시간 측정

본 연구에서는 가선집재작업 현장 방문 후 Time study 기법을 통해 각 작업별 시작시간과 종료시간을 체크하여 작업시간을 측정하였다. Scheduled Machine Hours(SMH)의 경우 모든 시간을 포함한 전체 예정된 하루 작업시간을 의미하며, Productive Machine Hours(PMH)는 전체 시간 중 순수 작업시간을 의미한다. 기계적 작업지연(Mechanical delay)은 장비 점검, 이동 및 고장 등(Operational delay) 장비의 문제로 지연된 시간을 의미하고, Non-Mechanical delay는 작업 시작시간 지연, 작업 조기 종결, 휴식, 점심식사시간 등 장비의 문제로 지연된 시간 이외의 지연 시간을 의미한다(표 3).

표 3. Time study 기법을 이용한 machine time

측정시간	내용
Scheduled Machine Hours (SMH)	예정된 하루 작업시간
Productive Machine Hours (PMH)	순수 작업시간
Mechanical delay	점검, 이동 및 고장 등 장비로 인한 delay
Non-mechanical delay	휴식, 출퇴근 지연 등 장비 문제 이외의 delay
Mechanical Availability (%)	$\frac{SMH - Mechanical\ delay}{SMH} \times 100$
Utilization (%)	$\frac{PMH}{SMH} \times 100$

### 3-3-2. 가선집재 원목의 재적 측정

본 연구에서는 작업 생산량을 측정하기 위해 가선집재 장비를 이용하여 집재된 원목을 체크한 후 검척을 통해 해당 원목의 말구직경과 원구직경을 측정하였다. 측정된 데이터를 바탕으로 Smalian 식을 이용하여 원목의 재적을 계산하였다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$V = \frac{\pi}{4} \times \frac{d_0^2 + d_n^2}{2} \quad d_0 = \text{원구지름} \quad d_n = \text{말구지름}$$

표 4. 원목 검척자료

		경 급 (cm)								
		6	7	8	9	10	11	12	13	14
3.6cm	말구	0	0	1	0	0	3	4	3	1
3.6cm	원구	0	0	0	0	0	0	0	0	0
재장		경 급 (cm)								
3.6cm	말구	15	16	17	18	19	20	21	22	23
3.6cm	원구	4	4	7	3	4	4	5	6	3
3.6cm	말구	0	3	1	2	3	3	7	4	4
재장		경 급 (cm)								
3.6cm	말구	24	25	26	27	28	29	30	31	32
3.6cm	원구	11	4	9	1	8	8	7	5	6
3.6cm	말구	8	8	4	5	7	9	7	4	10
재장		경 급 (cm)								
3.6cm	말구	33	34	35	36	37	38	39	40	41
3.6cm	원구	4	3	5	4	0	0	1	0	0
3.6cm	말구	4	6	8	2	6	4	5	2	0
재장		경 급 (cm)								
3.6cm	말구	42	43	44	45	46	47	48	49	50
3.6cm	원구	0	0	0	0	0	1	0	0	0
3.6cm	말구	1	0	0	0	1	0	0	0	0
재장		경 급 (cm)								
3.6cm	말구	51	52	53	54	55	56	57	58	59
3.6cm	원구	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.6cm	말구	0	0	0	0	0	0	0	0	1

### 3-3-3. 가선집재작업 생산성 및 생산단가 분석

가선집재작업에 따른 생산성은 원목 검척을 통해 분석한 총 생산 재적을 전체 작업시간(SMH)으로 나누어서 시간 당 생산량을 산출하였다. 또한 작업 현장에서 매일 투입된 생산 비용 자료를 수집하였고 이를 통해 총 생산비용을 총 생산 재적으로 나누어 비용단가(원/m<sup>3</sup>)를 산출하였다.

### 3-3-4. 생산 시나리오 설정

본 연구에서는 작업 지연시간 감소에 따른 작업 생산성 비교를 위해 생산 시나리오를 수립하였다. 먼저 표 5에서 시나리오 0은 본 연구에서 조사·분석한 가선집재작업의 생산성을 의미한다. 시나리오 1에서는 본 연구에서의 Non-mechanical delay의 주 요인인 작업 시작 지연 및 조기 종료로 인한 지연시간을 줄였을 때의 생산성을 산출하였다. 또한 시나리오 2에서는 시나리오 1과 더불어 Mechanical delay의 주 요인인 기계장비 고장 및 수리 시간을 줄였을 때의 생산성을 산출하였다.

표 5. 가선집재작업 생산 시나리오

시나리오	내 용
0	실제 집재작업의 경우
1	Non-mechanical delay X
2	Non-mechanical delay X + Mechanical delay X

Non-mechanical delay : 작업 시작 지연 및 조기 종료로 인한 delay

Mechanical delay : 장비 고장으로 인한 delay

## 제 3 장 연구결과 및 고찰

### 1. 가선집재 설계내역의 문제점 진단

가선집재 작업이 원활하게 이루어지기 위해서는 지형이 오목한 형태일 수록 좋은 지형이다(그림 8). 지형이 오목한 형태일수록 가선에 충분한 deflection을 확보 할 수 있어 사고 발생의 위험이 적어진다. 또한 가선과 지면 사이에 충분한 Clearance가 확보될 수 있어 집재목이 지면에 끌리지 않게 된다. 이로 인해 산림 훼손 및 안전사고 발생이 낮아질 수 있다.

본 연구에서는 가선집재 설계내역의 공학적인 타당성을 검토하기 위해 설계도면에 있는 각 집재선의 지형적 입지 분석을 실시하였고 지형단면 profile을 분석함으로써 설계 내역의 공학적 타당성 검토를 수행하였다.

그 결과 각 지점의 지형단면이 대부분 평평하거나 볼록한 형태로 가선의 쳐짐(deflection)을 확보할 수 없는 지형적 조건을 지닌 것으로 분석되었다(그림 9). 이는 가선집재 작업을 설계하는데 있어 현장의 지형적 입지 여건을 전혀 고려하지 않았으며 제대로 된 감리가 이루어지지 않은 것에 기인하는 것으로 판단된다.

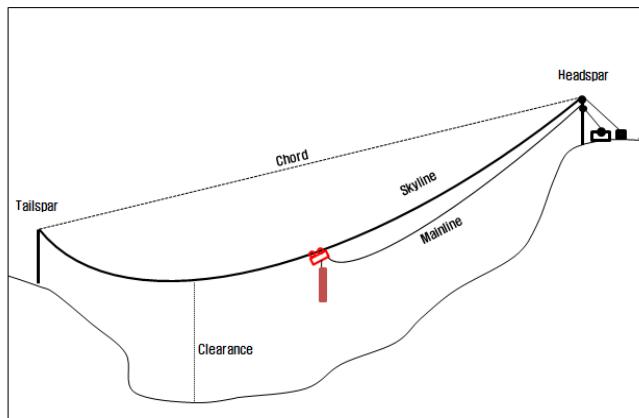


그림 8. 가선집재작업에 적합한 지형

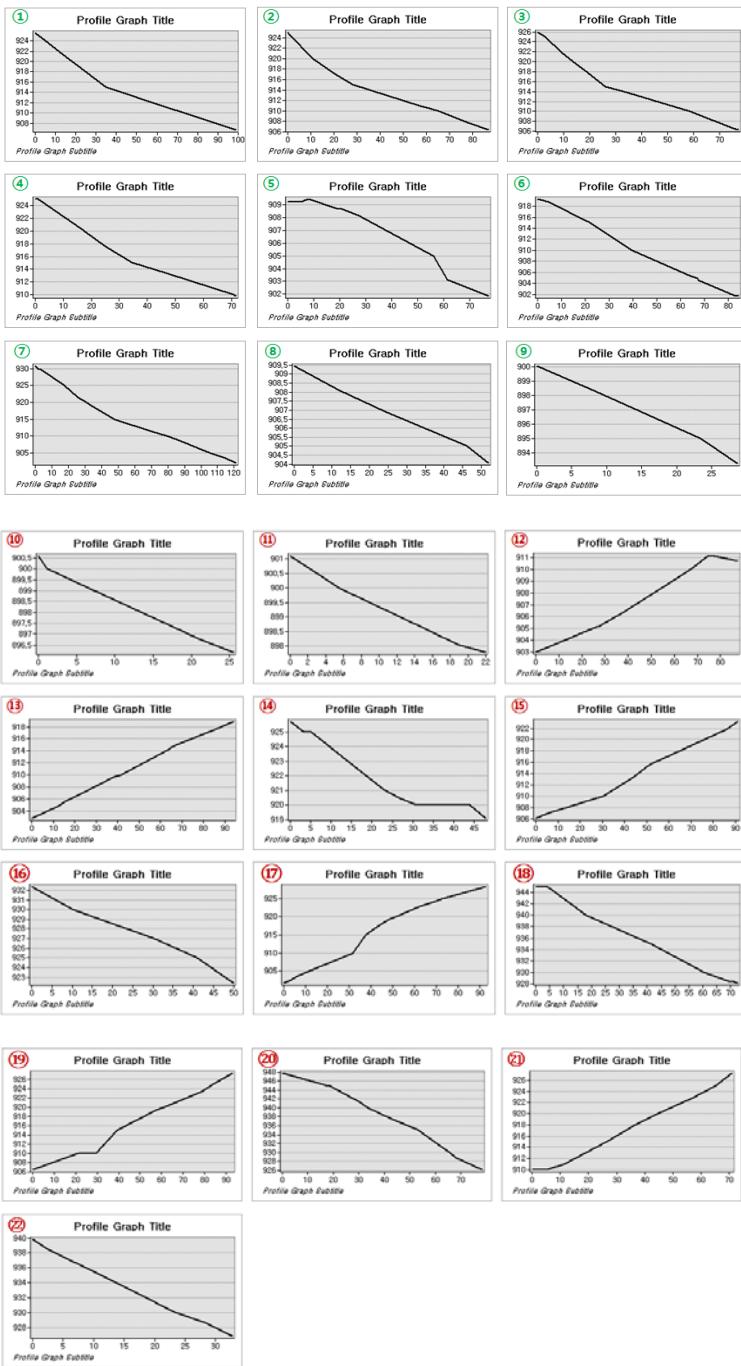


그림 9. 설계도면상 가선집재기 집재선 지형 profile

## 2. 가선집재 작업의 현장 실태 분석

### 2-1. 가선집재작업 현장의 Plan view 분석

기존 설계도면에서는 가선집재작업이 총 22회 설계되었으나 실제 작업은 전혀 다른 두 곳에서 이루어졌으며 상향집재 1건, 하향집재 1건이 이루어졌다. 본 연구에서는 현장 가선집재작업의 실태를 파악하기 위해 작업현장의 Plan view를 분석하였다.

그 결과 상향집재지의 경우 총 거리는 173m, 최대 집재거리는 138m, 최대 횡취거리는 37m이며(그림 10), 평균 집재거리는 약 76.3m로 분석되었다(그림 12). 하향집재지의 경우 총 거리는 158m, 최대 집재거리는 104m, 최대 횡취거리는 20m이며(그림 11), 평균집재거리는 약 58.1m로 분석되었다(그림 12). 상향집재의 경우 가선집재작업 예정 면적인 총 0.98ha 중 실제 작업면적은 0.42ha로 약 43%만 작업이 이루어졌고 하향집재의 경우 총 1.25ha 중 실제 작업면적은 0.28ha만으로 약 22%만 작업이 이루어졌다. 이는 현장인원의 가선집재작업에 대한 이해도와 숙련도가 부족하여 원활한 작업이 이루어지지 않는다는 것을 예측할 수 있다.

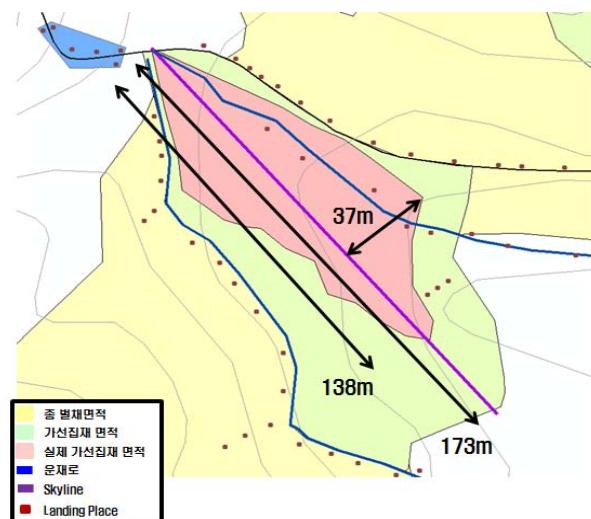


그림 10. 상향집재지 Plan View

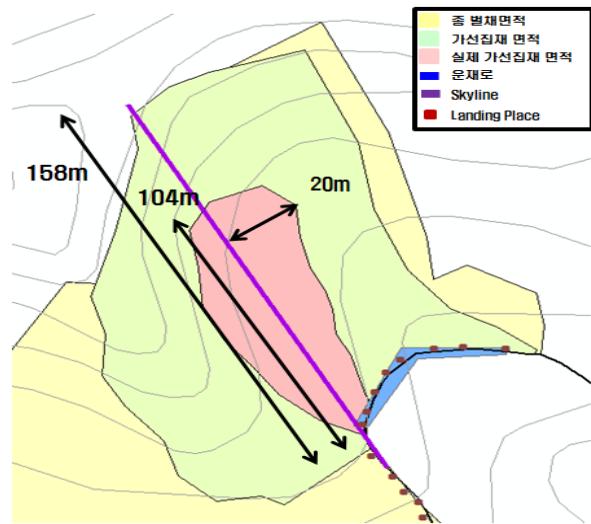
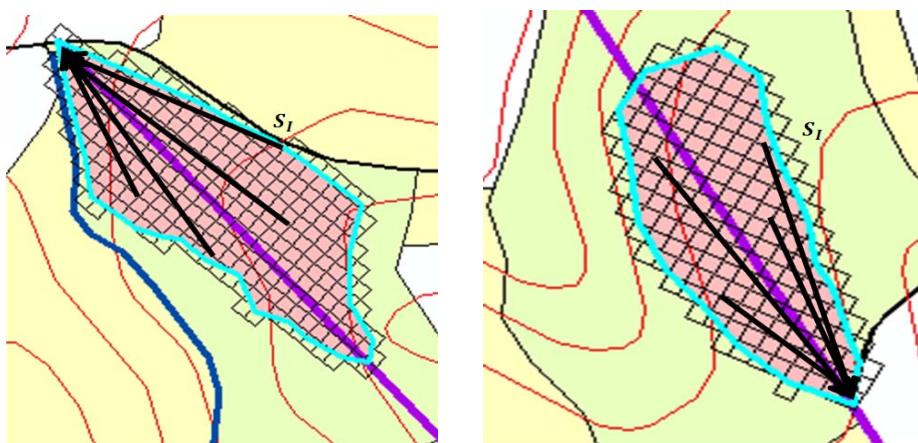


그림 11. 하향집재지 Plan View



Average Yarding Distance(AYD)

$$ASD = \int_a^b x V(x) dA / A = \frac{\sum (x_i V_i A_i)}{\sum (V_i A_i)}$$

$$= 76.3\text{m}$$

(a) 상향집재지

Average Yarding Distance(AYD)

$$ASD = \int_a^b x V(x) dA / A = \frac{\sum (x_i V_i A_i)}{\sum (V_i A_i)}$$

$$= 58.1\text{m}$$

(b) 하향집재지

그림 12. 상·하향집재지 평균 집재거리 계산

## 2-2. 가선집재작업 현장의 단면 Profile 분석

가선집재작업의 안전성을 고려한 설치 및 실행여부를 확인하기 위해 상·하향 집재현장의 단면 profile을 분석하였다.

상향집재지의 profile을 분석한 결과 뒤 부분은 오목한 형태로 비교적 양호하나 앞부분의 경우 불특하거나 평평한 형태로 충분한 가선의 쳐짐(deflection of skyline)을 확보할 수 없는 것으로 나타났다(그림 13). 그로 인해 지면으로부터 일정한 높이의 clearance를 확보하기 위해서는 가선 양쪽 지주목들에 엄청난 장력이 실려 전복사고 등의 안전사고가 발생할 위험이 크다고 판단된다. 특히 지형 단면을 살펴보면 집재기 타워로부터 약 30m 및 약 50m 위치의 사면변곡점(slope break points)은 가선 집재작업을 할 때 가선이 지면에 닿거나 혹은 임목을 매단 반송기가 정상적으로 지나가기 매우 어려운 기하학적 구조가 될 수 있어 매우 위험한 작업이 될 수 있다.

하향집재지의 profile을 분석한 결과 전 지역이 불특하거나 평평한 형태로 상향집재지에 비해 가선의 쳐짐(deflection of skyline)이 확보되지 않아 안전사고의 발생 위험이 크다고 판단되었다(그림 14). 지형을 살펴보면 전체 구간은 가선집재 작업을 실행하기에 매우 위험한 구간으로 나타났다.

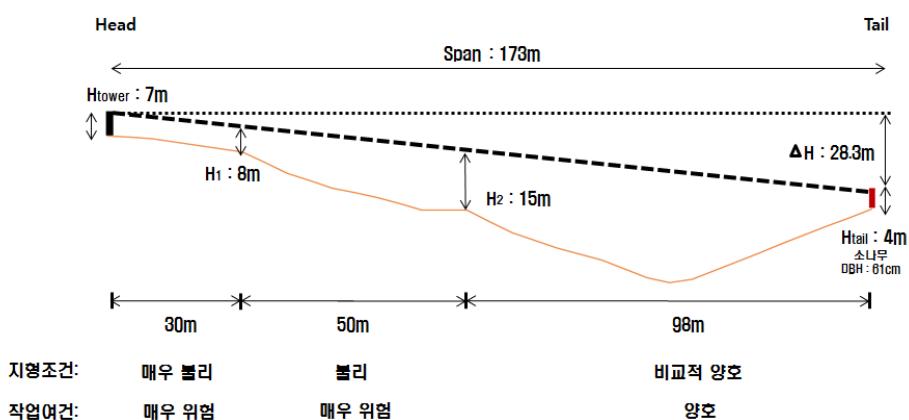


그림 13. 상향집재지 Ground Profile

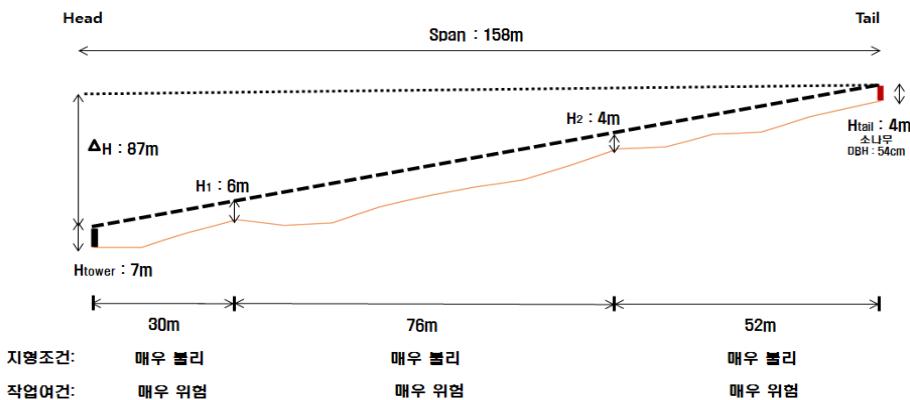


그림 14. 하향집재지 Ground Profile

특히 cord와의 높이차 4m 지점에서의 경우 그림 15(a)에서와 같이 반송기가 지면에 끌리고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 집재작업 시 반송기가 파손되거나 임지 및 벌채목의 훼손이 발생할 수 있으며 안전사고가 발생할 위험이 매우 큰 위험한 작업이다.

이러한 지형의 경우 중간에 midspar을 설치하여 deflection을 확보할 수 있으나 현장에서는 그에 관한 지식이 없는 것으로 판단되었다.



(a) Deflection을 충분히 고려하지 못한 예



(b) Tension 으로 인한 안전사고

그림 15. 현장 조사 사진

### 3. 생산성 분석 결과

#### 3-1. 가선집재작업 시간 분석

Time study 기법을 통해 상향집재 작업과 하향집재 작업시간을 측정한 결과를 표와 그래프로 나타냈다. 상향집재 1일차의 경우 전체 작업시간(SMH) 9시간 30분 중 순수 작업시간(PMH)은 26분으로 약 5%를 차지하였고, 장비로 인한 작업지연 시간(Mechanical delay)은 2시간 54분으로 약 31%를 차지하였다. 또한 장비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non mechanical delay)은 6시간 10분으로 전체의 약 64%를 큰 비율을 차지하였다(그림 16).

1일차의 경우 순수 작업시간(PMH)의 비율이 낮고 작업지연시간(Non-mechanical delay)의 비율이 큰 이유는 집재장비 설치 후 전체 작업시간을 준수하지 않고 간단한 시범운행 후 작업 조기종료를 하기 때문인 것으로 나타났다.

표 6. 상향집재 측정시간 (1일)

측정시간	소요시간
Scheduled Machine Hours (SMH)	9시간 30분
Productive Machine Hours (PMH)	26분
Mechanical delay	2시간 54분
Non-mechanical delay	6시간 10분

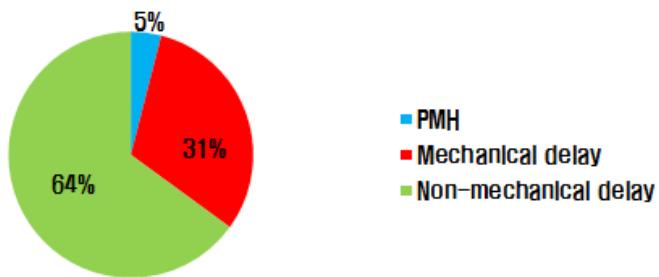


그림 16. 상향집재 시간측정 (1일)

상향집재 2일차의 경우 전체 작업시간(SMH) 9시간 30분 중 순수 작업시간(PMH)은 7시간 29분으로 약 79%를 차지하였고, 장비로 인한 작업지연 시간(Mechanical delay)은 반송기의 고장으로 인해 지연된 시간 18분으로 약 3%를 차지하였다. 또한 장비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non-mechanical delay)은 1시간 43분으로 전체의 약 18%를 차지하였다(그림 17).

표 7. 상향집재 측정시간 (2일)

측정시간	소요시간
Scheduled Machine Hours (SMH)	9시간 30분
Productive Machine Hours (PMH)	7시간 29분
Mechanical delay	18분
Non-mechanical delay	1시간 43분

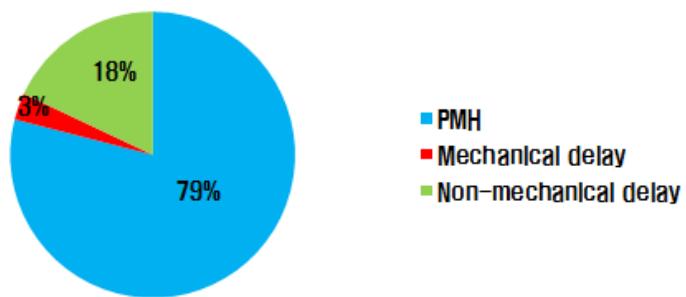


그림 17. 상향집재 시간측정 (2일)

상향집재 3일차의 경우 전체 작업시간(SMH) 9시간 30분 중 순수 작업시간(PMH)은 6시간 1분으로 약 63%를 차지하였고, 장비로 인한 작업지연 시간(Mechanical delay)은 전날과 같이 반송기 고장으로 인해 지연된 시간 1시간 5분으로 약 11%를 차지하였다. 또한 장비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non-mechanical delay)은 2시간 24분으로 전체의 약 26%를 차지하였다(그림 18).

표 8. 상향집재 측정시간 (3일)

측정시간	소요시간
Scheduled Machine Hours (SMH)	9시간 30분
Productive Machine Hours (PMH)	6시간 1분
Mechanical delay	1시간 5분
Non-mechanical delay	2시간 24분

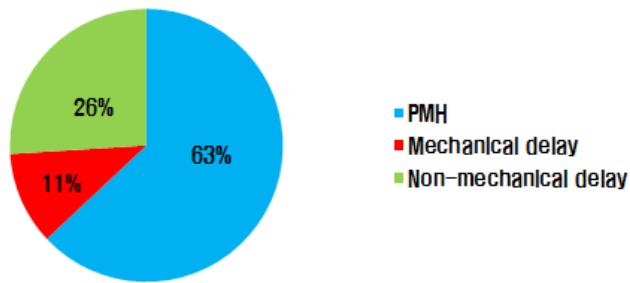


그림 18. 상향집재 시간측정 (3일)

상향집재 4일차의 경우 전체 작업시간(SMH) 9시간 30분 중 순수 작업시간(PMH)은 2시간 11분으로 약 23%를 차지하였고, 장비로 인한 작업지연 시간(Mechanical delay)은 4시간 55분으로 약 52%를 차지하였다. 또한 장비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non-mechanical delay)은 2시간 24분으로 전체의 약 25%를 차지하였다(그림 19).

4일차의 경우 반송기의 고장으로 인해 오후 작업이 이루어지지 못하고 작업 조기종료로 인해 장비로 인한 작업지연 시간(Mechanical delay)이 큰 비율을 차지한 것으로 나타났다.

표 9. 상향집재 측정시간 (4일)

측정시간	소요시간
Scheduled Machine Hours (SMH)	9시간 30분
Productive Machine Hours (PMH)	2시간 11분
Mechanical delay	4시간 55분
Non-mechanical delay	2시간 24분

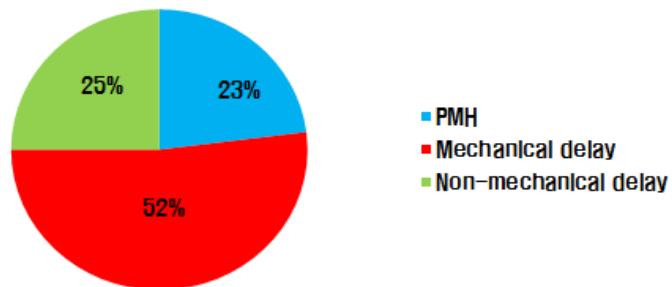


그림 19. 상향집재 시간측정 (4일)

상향집재 5일차의 경우 전체 작업시간(SMH) 9시간 30분 중 순수 작업시간(PMH)은 7시간 50분으로 약 82%를 차지하였고, 장비로 인한 작업지연 시간(Mechanical delay)은 30분으로 약 5%를 차지하였다. 또한 장비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non-mechanical delay)은 1시간 10분으로 전체의 약 13%를 차지하였다(그림 20).

표 10. 상향집재 측정시간 (5일)

측정시간	소요시간
Scheduled Machine Hours (SMH)	9시간 30분
Productive Machine Hours (PMH)	7시간 50분
Mechanical delay	30분
Non-mechanical delay	1시간 10분

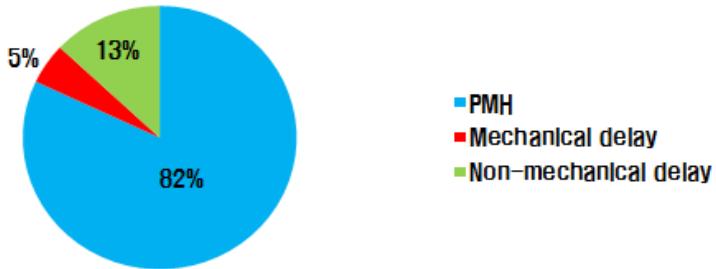


그림 20 상향집재 시간측정 (4일)

하향집재 1일차의 경우 전체 작업시간(SMH) 9시간 30분 중 순수 작업시간(PMH)은 9분으로 약 2%를 차지하였고, 장비로 인한 작업지연 시간(Mechanical delay)은 6시간 16분으로 약 66%를 차지하였다. 또한 장비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non mechanical delay)은 3시간 10분으로 전체의 약 32%를 큰 비율을 차지하였다(그림 21).

하향집재 1일차의 경우 상향집재 1일차에 비해 순수 작업시간(PMH)의 비율이 높은 이유는 집재장비 설치시간과 더불어 상향집재지로부터 하향집재지로의 이동시간이 포함되기 때문인 것으로 나타났다. 작업지연시간(Non-mechanical delay)의 비율이 큰 이유는 상향집재와 마찬가지로 집재장비 설치 후 전체 작업시간을 준수하지 않고 간단한 시범운행 후 작업조기종료를 하기 때문인 것으로 나타났다.

표 11. 하향집재 측정시간 (1일)

측정시간	소요시간
Scheduled Machine Hours (SMH)	9시간 30분
Productive Machine Hours (PMH)	9분
Mechanical delay	6시간 16분
Non-mechanical delay	3시간 5분

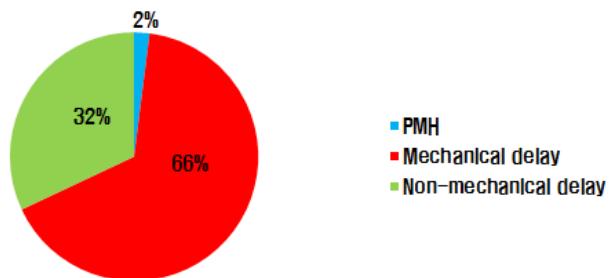


그림 21. 하향집재 시간측정 (1일)

하향집재 2일차의 경우 전체 작업시간(SMH) 9시간 30분 중 순수 작업시간(PMH)은 4시간 39분으로 약 49%를 차지하였고, 장비로 인한 작업지연 시간(Mechanical delay)은 1시간 55분으로 약 20%를 차지하였다. 또한 장비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non-mechanical delay)은 2시간 56분으로 전체의 약 31%를 차지하였다(그림 22).

장비로 인한 작업지연 시간(Mechanical delay)의 경우 반송기 고장과 가선의 장력(Tension)을 견디지 못하고 Slack line을 연결한 도르레가 끊어지는 사고로 인해 발생한 것으로 나타났다.

표 12. 하향집재 측정시간 (2일)

측정시간	소요시간
Scheduled Machine Hours (SMH)	9시간 30분
Productive Machine Hours (PMH)	4시간 39분
Mechanical delay	1시간 55분
Non-mechanical delay	2시간 56분

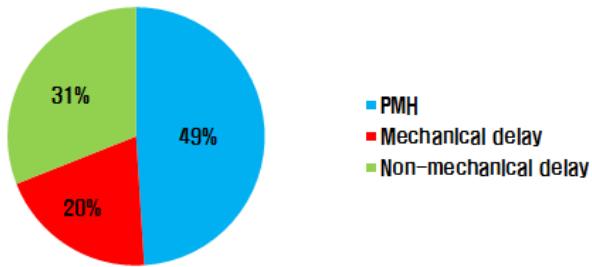


그림 22. 하향집재 시간측정 (2일)

하향집재 3일차의 경우 전체 작업시간(SMH) 9시간 30분 중 순수 작업시간(PMH)은 3시간 27분으로 약 36%를 차지하였고, 장비로 인한 작업지연 시간(Mechanical delay)은 4시간 48분으로 약 50%를 차지하였다. 또한 장비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non-mechanical delay)은 1시간 15분으로 전체의 약 14%를 차지하였다(그림 23).

3일차의 경우 Slack line을 연결한 임목이 가선의 장력(Tension)을 견디지 못하고 쓰러지는 사고로 인해 작업지연 시간(Mechanical delay)의 비율이 크게 발생한 것으로 나타났다.

표 13. 하향집재 측정시간 (3일)

측정시간	소요시간
Scheduled Machine Hours (SMH)	9시간 30분
Productive Machine Hours (PMH)	3시간 27분
Mechanical delay	4시간 48분
Non-mechanical delay	1시간 15분

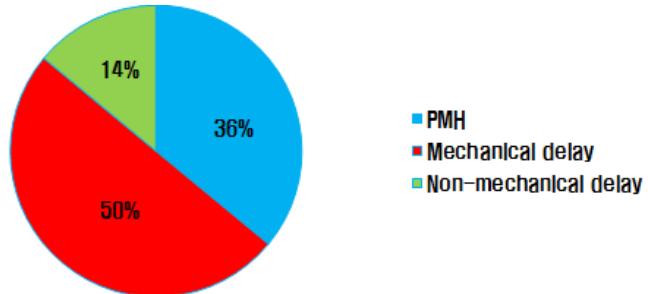


그림 23. 하향집재 시간측정 (3일)

하향집재 4일차의 경우 전체 작업시간(SMH) 9시간 30분 중 순수 작업시간(PMH)은 2시간 50분으로 약 30%를 차지하였고, 장비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non-mechanical delay)은 6시간 40분으로 전체의 약 70%를 차지하였다(그림 24).

4일차의 경우 체계적이지 못한 작업으로 인해 대부분 절동 및 적재 작업이 이루어지고 집재작업이 이루어지지 못했기 때문에 장비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non-mechanical delay)이 큰 비율을 차지한 것으로 나타났다.

표 14. 하향집재 측정시간 (4일)

측정시간	소요시간
Scheduled Machine Hours (SMH)	9시간 30분
Productive Machine Hours (PMH)	2시간 50분
Mechanical delay	-
Non-mechanical delay	6시간 40분

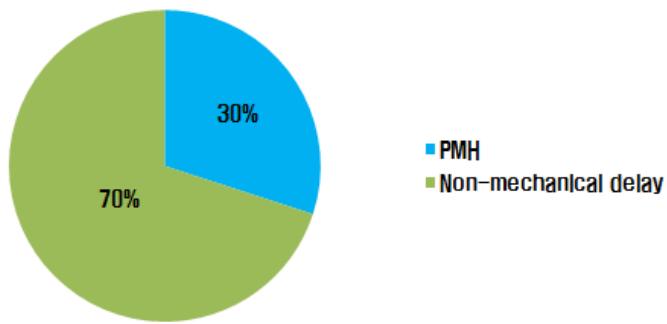


그림 24. 하향집재 시간측정 (4일)

하향집재 5일차의 경우 전체 작업시간(SMH) 9시간 30분 중 순수 작업시간(PMH)은 6시간 7분으로 약 64%를 차지하였고, 장비로 인한 작업지연 시간(Mechanical delay)은 10분으로 약 2%를 차지하였다. 또한 장비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non-mechanical delay)은 3시간 13분으로 전체의 약 34%를 차지하였다(그림 25).

표 15. 하향집재 측정시간 (5일)

측정시간	소요시간
Scheduled Machine Hours (SMH)	9시간 30분
Productive Machine Hours (PMH)	6시간 7분
Mechanical delay	10분
Non-mechanical delay	3시간 13분

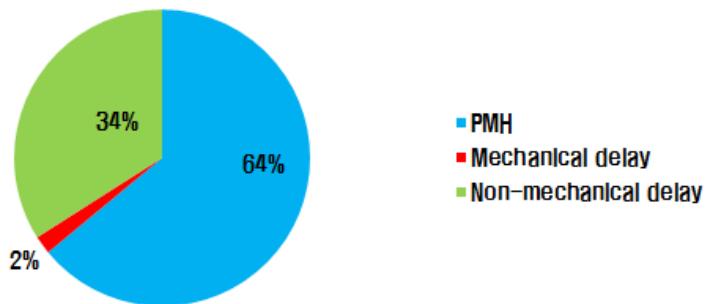


그림 25. 하향집재 시간측정 (5일)

하향집재 6일차의 경우 전체 작업시간(SMH) 9시간 30분 중 순수 작업시간(PMH)은 2시간 30분으로 약 20%를 차지하였고, 장비로 인한 작업지연 시간(Mechanical delay)은 1시간 40분으로 약 18%를 차지하였다. 또한 장비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non-mechanical delay)은 5시간 20분으로 전체의 약 56%를 차지하였다(그림 26).

6일차의 경우 Slack line을 연결한 임목이 쓰러지는 사고 및 그로 인해 생긴 반송기의 고장으로 장비로 인한 작업지연 시간(Mechanical delay)이 발생하였고, 작업 조기종료로 인한 비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non-mechanical delay)이 크게 발생한 것으로 나타났다.

표 16. 하향집재 측정시간 (6일)

측정시간	소요시간
Scheduled Machine Hours (SMH)	9시간 30분
Productive Machine Hours (PMH)	2시간 30분
Mechanical delay	1시간 40분
Non-mechanical delay	5시간 20분

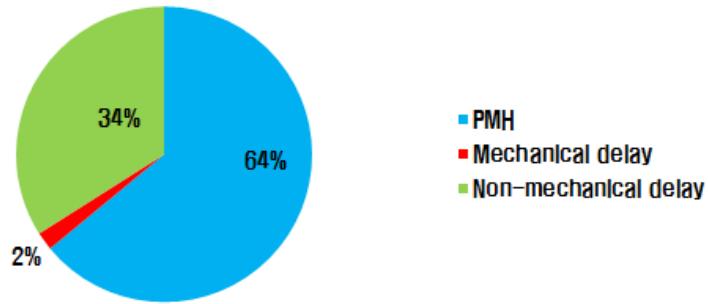


그림 26. 하향집재 시간측정 (6일)

Time study 기법을 통해 상향집재 작업과 하향집재 작업시간을 측정한 결과는 표 17과 같이 나타났으며 이를 그래프로 표현하면 그림 27과 같이 나타난다.

표 17. 상·하향집재의 측정시간 비교

측정 시간	상향집재지	하향집재지
Scheduled Machine Hours (SMH)	47시간 30분	57시간
Productive Machine Hours (PMH)	23시간 57분	19시간 42분
Mechanical delay	9시간 42분	14시간 49분
Non-mechanical delay	13시간 51분	22시간 29분



그림 27. 상·하향집재지 시간측정 비교

상향집재의 경우 전체 작업시간(SMH) 47시간 30분 중 순수 작업시간(PMH)은 23시간 57분으로 약 50%를 차지하였고, 장비로 인한 작업지연시간(Mechanical delay)은 9시간 42분으로 약 20%를 차지하였다. 또한 장비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non mechanical delay)은 13시간 51분으로 전체의 약 30%를 차지하였다.

하향집재의 경우 전체 작업시간(SMH) 57시간 중 순수 작업시간(PMH)은 19시간 42분으로 약 35%를 차지하였고 장비로 인한 작업지연시간(Mechanical delay)은 14시간 49분으로 약 26%를 차지하였다. 또한 장비로 인한 작업지연 이외의 작업지연 시간(Non mechanical delay)은 22시간 29분으로 전체의 약 39%를 차지하였다.

그림 27은 상향집재와 하향집재의 순수작업시간 및 작업지연 시간의 비율을 비교한 그림으로 상향집재에 비해 하향집재의 경우 순수작업시간(PMH)은 낮고 작업지연 시간이 높은 것으로 나타났다.

그림 13과 그림 14를 비교할 때 하향집재지의 경우 지형 여건이 상향집재지보다 더 불리하여 가선의 쳐짐(deflection of skyline)을 확보할 여유 높이(clearance of skyline)가 지나치게 낮았으며, 그로 인해 작업의 효율성이 크게 떨어질 수밖에 없었고, 더욱이 안전사고가 우려되었으며, 특히 장비의 고장이 더욱 빈번하게 발생함으로써 작업생산성이 급격하게 낮아지는 원인으로 분석되었다.

상향집재와 하향집재 모두 기계로 인한 작업지연이 빈번했으며 대개는 반송기의 유압장치 및 원격 조정기(remote sensor)의 고장으로 발생한 작업지연이었다. 또한 상향집재와 하향집재 모두 Non-mechanical delay의 경우 작업시간의 시작 지연 및 조기종료로 인위적인 작업지연에 해당하며, 그로인한 작업생산성이 심각하게 저하되는 것으로 나타났다.

### 3-2. 가선집재작업의 작업생산성 분석

상향집재작업의 경우 총 5일간 181.52( $m^3$ )을 생산하였으며 전체 작업 시간으로 나누어 시간당 생산량을 산출한 결과 약 3.86( $m^3/hr$ )로 나타나 대단히 저조한 작업생산성을 나타냈다(표 18). 상향집재 작업에서는 총 15,835,350원의 비용이 소요되어, 단위재적당 평균 집재비용이 약 87,000 원/ $m^3$ 에 이르렀던 것으로 산출되었다(표 19).

표 18. 상향집재 작업 생산량

SMH (분)	총 생산 재적 ( $m^3$ )	시간당 생산량 ( $m^3/hr$ )
2,823	181.52	3.86

표 19. 상향집재 생산 단가

구 분	계 산	비 용 (원)
인건비	130,000 (원/명·일) X 7 (명) X 5 (일)	4,600,000
식비	9,000 (원/명·일) X 7 (명) X 5 (일)	315,000
차량운행	70,000 (원/일) X 5 (일)	350,000
우드그랩 임대료 (장비대여+장비운반)	350,000 (원/일) X 1 (일) + 1,000,000 (원/일) X 5 (일)	5,350,000
HAM300 임대료 (장비대여+장비운반)	350,000 (원/일) X 1 (일) + 350,000 (원/일) X 5 (일)	2,100,000
산재 고용 보험료	25,730 (원/명·일) X 7 (명) X 5 (일)	900,550
건강 연금 보험료	8,480 (원/명·일) X 7 (명) X 5 (일)	296,800
유류비		1,223,000
장비수리비		700,000
합 계		15,835,350

하향집재 작업의 경우 총 6일간 89.394(m<sup>3</sup>)을 생산하였으며 전체 작업 시간으로 나누어 시간당 생산량을 산출한 결과 약 1.57(m<sup>3</sup>/hr)로 나타나 상향식 가선집재작업보다 생산성이 더 떨어지는 결과를 보였으며(표 20), 결과적으로 하향집재 작업에 소요된 총비용은 22,852,420원으로 단위재적당 평균집재비용이 약 269,000원/m<sup>3</sup>으로 산출되었다(표 21).

표 20. 하향집재 작업 생산량

SMH (분)	총 생산 재적 (m <sup>3</sup> )	시간당 생산량 (m <sup>3</sup> /hr)
3,420	89,394	1.57

표 21. 하향집재 생산 단가

구 분	계 산	비 용 (원)
인건비	130,000 (원/명·일) X 7 (명) X 6 (일)	5,520,000
식비	9,000 (원/명·일) X 7 (명) X 6 (일)	378,000
차량운행	70,000 (원/일) X 6 (일)	420,000
	350,000 (원/일) X 1 (일)	
우드그랩 임대료 (장비대여+장비운반)	+ 1,000,000 (원/일) X 6 (일) + 350,000 (원/일) X 1 (일) + 1,000,000 (원/일) X 4 (일)	11,400,000
HAM300 임대료 (장비대여+장비운반)	350,000 (원/일) X 1 (일) + 350,000 (원/일) X 6 (일)	2,450,000
산재 고용 보험료	25,730 (원/명·일) X 7 (명) X 6 (일)	1,080,660
건강 연금 보험료	8,480 (원/명·일) X 7 (명) X 6 (일)	356,160
유류비		1,467,600
장비수리비		1,300,000
합 계		22,852,420

본 연구의 HAM300을 이용한 집재작업의 상향집재 작업 생산량 분석 결과( $3.86\text{m}^3/\text{hr}$ )는 한원성 등(2008)의 춘천집재기 상향집재 생산량( $11.8\text{m}^3/\text{hr}$ )보다 현저하게 낮게 분석되었으며 조민재 등(2014)의 Koller K301-4 상향집재 생산량( $4.7\text{m}^3/\text{hr}$ )보다 낮게, 조민재 등(2014)의 Koller K300 상향집재 생산량( $2.3\text{m}^3/\text{hr}$ )보다는 조금 높게 분석되었다.

HAM300을 이용한 하향집재 작업 생산량( $1.57\text{m}^3/\text{hr}$ )은 한원성 등(2008)의 춘천집재기 하향집재 생산량( $13.1\text{m}^3/\text{hr}$ )보다 현저하게 낮게 분석되었으며 조구현 등(2006)의 Koller K301-4 하향집재 생산량( $3.4\text{m}^3/\text{hr}$ )보다 낮게 분석되었다(표 22).

상향집재 비용( $87,000\text{원}/\text{m}^3$ )과 하향집재 비용( $269,000\text{원}/\text{m}^3$ )은 한원성 등(2008)의 춘천집재기를 이용한 작업비용(상향집재  $14,119\text{원}/\text{m}^3$ , 하향집재  $9,467\text{원}/\text{m}^3$ )보다 높은 작업비용으로 분석되었으며 김민규와 박상준(2013)의 RME300T를 이용한 작업비용(하향집재  $28,286\text{원}/\text{m}^3$ )보다 높게 분석되었다. 또한 조민재 등(2014)의 KollerK301-4를 이용한 작업비용(상향집재  $61,316\text{원}/\text{m}^3$ )보다도 높게 측정되었다(표 23).

이는 HAM300의 초기 도입 단계와 오퍼레이터의 조작 미숙으로 인한 잦은 고장과 작업시간 지연 및 지형여건을 고려하지 않은 장비설치로 인한 사고로 인해 생산성이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 작업비용을 낮추고 생산성 향상과 HAM300 집재장비의 효율적인 운영을 위해 오퍼레이터의 교육 및 훈련이 필요할 것으로 사료된다.

표 22. 선행연구의 작업생산량 (m<sup>3</sup>/hr)

구 분	춘천집재기 (한원성 등,2008)	Koller K301-4 (조구현 등,2006)	Koller K301-4 (조민재 등,2014)	Koller K300 (조민재 등,2014)
상향집재	11.8	3.4	4.7	2.3
하향집재	13.1	-	-	-

표 23. 선행연구의 작업비용 (원/m<sup>3</sup>)

구 분	춘천집재기 (한원성 등,2008)	RME300T (김민규 등,2013)	Koller K301-4 (조민재 등,2014)	Koller K300 (조민재 등,2014)
상향집재	14,119	-	61,316	29,484
하향집재	9,467	28,286	-	-

### 3-3. 시나리오에 따른 작업생산성 분석

본 연구에서는 작업개선에 따른 시나리오별 생산량을 비교·분석해보았다. Non-mechanical delay 시간을 줄인 시나리오 1의 경우 생산량이 상향집재는  $3.86(\text{m}^3/\text{hr})$ 에서  $4.66(\text{m}^3/\text{hr})$ 으로 약 21%, 하향집재의 경우  $1.57(\text{m}^3/\text{hr})$ 에서  $2.21(\text{m}^3/\text{hr})$ 로 약 41% 증가하였다. 이는 작업 시작 및 종결시간을 준수하고 작업을 진행할 경우 생산성이 상당 부분 개선될 수 있는 것으로 판단된다.

또한 시나리오 2의 분석결과, 장비의 고장 등으로 인한 소요시간이 낮아짐에 따라 생산성도 점차 증가하였는데, 상향집재의 경우  $5.81(\text{m}^3/\text{hr})$ 로 46%, 하향집재의 경우  $3.06(\text{m}^3/\text{hr})$ 로 약 78% 증가하는 것으로 나타났다(표 24). 작업비용 또한 시나리오 1의 경우 상향집재는  $87,236(\text{원}/\text{m}^3)$ 에서  $72,156(\text{원}/\text{m}^3)$ 으로, 시나리오 2의 경우  $55,321(\text{원}/\text{m}^3)$ 으로 감소하였으며, 하향집재는  $272,639(\text{원}/\text{m}^3)$ 에서 각각  $193,797(\text{원}/\text{m}^3)$ ,  $132,067(\text{원}/\text{m}^3)$ 으로 감소하였다.

따라서 향후 가선집재장비 개발 시 고장이 적은 견고하고 안정된 장비의 개발이 필히 요구되며, 현장여건을 충분히 고려한 공학적인 관점에서의 가선집재작업을 위한 설계가 이루어져야한다. 또한 가선집재 작업 시 사전 염격한 장비사용 교육과 안전사고에 대한 교육이 필요하며 오퍼레이터의 양성이 시급하다고 판단된다.

표 24. 시나리오에 따른 생산량 비교

시나리오	상향집재 생산량( $m^3/hr$ )	하향집재 생산량( $m^3/hr$ )
0	3.86	1.57
1	4.66	2.21
2	5.81	3.06

표 25. 시나리오에 따른 작업비용 비교

시나리오	상향집재 생산량(원/ $m^3$ )	하향집재 생산량(원/ $m^3$ )
0	87,236	272,639
1	72,156	193,797
2	55,321	132,067

## 제 4 장 결 론

본 연구는 국내 가선집재작업의 문제점을 진단하고 개선방안을 제시하기 위한 목적으로 연구를 수행하였다. 가선집재 설계내역의 공학적인 타당성을 검토하는 방법으로 설계도면상의 각각의 가선집재장비 설치지점과 실제 작업현장에서의 지형적 입지 분석 및 지형단면 profile을 분석함으로써 설계내역의 공학적 타당성 검토를 수행하였다. 또한 가선집재장비(HAM300)를 이용한 집재 작업의 시간, 미용과 생산량을 측정하여 작업 생산성을 분석하고 다양한 시나리오에 따라 가선집재작업의 생산성이 어떻게 변화하는지를 분석하였다.

설계도면상의 집재기 설치지점의 지형 분석을 한 결과 각 지점의 지형 단면이 대부분 평평하거나 불록한 형태로 가선의 쳐짐을 확보할 수 없는 지형적 조건을 지닌 것으로 분석되었으며 이는 곧 작업 설계를 하는데 있어 현장의 지형적 입지여건이 전혀 고려되지 않는 것으로 판단되었다.

또한 Ground Profile 결과 상·하향집재지 대부분의 구간이 모두 가선의 쳐짐(deflection of skyline)이 확보되지 않아 안전사고의 발생 위험이 클 것으로 판단되었다.

Time study 기법을 통한 상향집재 작업과 하향집재 작업시간을 측정한 결과 총 작업시간(SMH)의 경우 상향집재와 하향집재는 각 47시간 3분, 57시간으로 나타났고 순수 작업시간(PMH)는 23시간 57분, 19시간 42분, 장비로 인한 지연시간(Mechanical delay)의 경우 각 9시간 42분, 14시간 49분, 장비 이외의 작업 지연시간(Non-Mechanical delay)은 각 13시간 51분, 22시간 29분으로 나타났다. 이는 하향집재가 상향집재에 비해 순수 작업 비율이 낮았고 작업 지연 비율이 높게 분석되었다.

집재방향에 따른 작업 생산성 분석 결과 상향집재 작업의 경우  $3.86\text{m}^3/\text{hr}$ , 하향집재 작업의 경우  $1.57\text{m}^3/\text{hr}$ 로 상향집재 작업에 비해 하향집재 작업의 경우 더 낮은 생산성을 나타냈다. 비용 또한 상향집재 작업은 87,000원/ $\text{m}^3$ , 하향집재 작업은 269,000원/ $\text{m}^3$ 으로 산출되었다.

작업개선에 따른 시나리오별 생산성을 비교한 결과 상향집재 작업의 생산량은 최대 46%까지 증가하였으며, 하향집재 작업은 최대 78%의 생산량이 증가되었다.

하지만 본 사례연구를 통해 모든 가선집재작업 현장에서의 집재작업 설계가 공학적 타당성에 맞지 않게 설계된다는 것이라고 판단하기는 어렵다. 또한 본 연구에서와 같이 모든 가선집재 작업에서 상향집재작업에 비해 하향집재작업의 생산성이 낮고 작업비용이 높다고 판단할 수 없다.

따라서 향후 많은 사례연구를 통해 가선집재작업 설계의 공학적 타당성을 파악하는 연구가 이루어져야 할 것이고, 가선집재 장비를 이용한 작업 생산성 및 비용 분석에 관한 연구가 수행 되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 강건우. 1989. 임업에서의 순수작업시간과 임목형상조건과의 관계연구. *한국임학회지* 78(4): 381-395
- 강건우. 1999. 체인쏘를 사용한 소나무 간벌작업에서의 생산성 연구. *산림경제연구* 7(2): 12-18
- 김민규, 박상준. 2012. 전목 및 단목 집재작업시스템에서 작업시간 및 공정분석. *한국임학회지* 101(3): 344-355
- 김민규, 박상준. 2013. 전목 및 단목집재작업시스템에서 작업비용 분석. *한국임학회지* 201(2): 229-238
- 김민규. 2010. 전목집재작업시스템의 작업공정 및 비용분석. 경북대학교 대학원 석사학위 논문: 52-69
- 박상준, 함영철. 2002. 굴삭기형 타워집재기 및 원목집게톱의 작업능률과 작업실용 분석. *한국임학회지* 91(4): 287-295
- 박상준. 2002. 트랙터부착 집재기에 의한 집재작업공정 분석. *한국임학회지* 91(3): 287-295
- 박상준. 2004. 타워야더에 의한 집재작업시스템 분석. *한국임학회지* 93(3): 205-214
- 한원성, 한한섭, 김영숙, 신만용. 2008. 트랙터부착 집재기를 이용한 집재 작업 분석 - 춘천집재기를 중심으로-. *한국임학회지* 97(6): 641-649
- 산림청. 2014. 임업통계연보
- 산림청. 2013a. 국정과제
- 산림청. 2013b. 2013주요업무 세부추진계획
- 손병선, 박상준, 이성환. 2007. 타워야더(K-301)에 의한 대경제 집재작업

- 시스템 분석. 07년도 한국임학회 하계 학술연구발표회: 330-333
- 송태영, 박문섭, 김재원, 강건우. 1998. 궤도형 집재차의 집재작업방법에 따른 작업 비용 비교 연구. 산림경제연구 6(2): 20-28
- 송태영, 조구현, 오재현, 김재원, 차두송, 박상준. 2010. 초소형 원치를 이용한 집재작업. 10년도 한국임학회 정기 학술연구발표회: 345-348
- 우보명, 박종명, 이준우, 정남훈. 1990. 케이블크레인을 이용한 집재작업의 경제성에 관한 연구. 한국임학회지. 79(4):413-418
- 이준우, 박범진, 김재원, 송태영. 1998. 체인톱을 이용한 낙엽송 별목작업에서의 작업강도 분석. 한국임학회지. 87(2):121-130
- 이진아. 2012. Swing-yarder를 이용한 전목수확시스템의 생산성 및 비용분석. 강원대학교 대학원 석사학위논문: 34-38
- 이진아, 오재현. 2013. 전목수확시스템의 생산성 및 비용 분석. 한국산림 휴양학회 학술발표회 자료집. 2013(4): 836-839
- 조구현, 박문섭, 송태영, 오재현, 김재원, 차두송. 2007. 효율적인 궤도식 임내작업차 집재작업. 2007년도 한국임학회 하계 학술연구발표회: 279-280
- 지병윤, 최인화, 차두송. 1997. 낙엽송 임분에 대한 별목조재작업의 시간 분석. 97년도 한국임학회 하계총회 및 학술연구발표회: 95-96
- 한원성, 김재원, 송태영, 조구현, 오재현, 한한섭, 김영숙, 신만용. 2009. 트랙터부착 집재기를 이용한 잣나무 간벌작업지의 집재작업 공정 분석. 2009년도 한국임학회 정기총회 및 학술연구발표회: 354-356
- 한원성, 조구현, 오재현, 송태영, 김재원, 신만용. 2009. 체인톱을 이용한 잣나무의 별도작업 공정 분석. 한국임학회지. 98(4): 451-547
- 한원성, 한한섭, 김남훈, 차두송, 조구현, 민도홍, 권기철. 2014. 가선집재 작업에서의 작업 생산성 및 비용 분석. 한국임학회지. 103(1): 87-97

- 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
- Kellogg, L., M. Miller., and E. Olsen. 1999. Skyline thinning production and cost: experience from the Willamette Young Stand Project. Research Contribution 21. Corvallis: Forest Research Laboratory, Oregon State University
- Habip Eroglu and H. Hulusi Acar. 2007. The Comparison of Logging Techniques for Productivity and Ecological Aspects in Artvin, Turkey. Journal of Applied Science 7(14): 1973–1976
- Necmettin Senturk, Tolga Ozturk, Murat Demir. 2007. Productivity and costs in the course of timber transportation with the Koller K300 cable system in Turkey. Building and Environment 42(2007): 2107–2113
- Huyler NK, Ledoux CB. 1997. Yarding cost for the Koller K300 cable yarder: Results from field trials and simulations. Northern Journal of Applied Forestry 14(1) Oregon.
- Neil K Huyler, Chris B. Ledoux.. 1996. Cycle-Time Equation for the Koller K300 Cable Yarder Operating on Steep Slopes in the Northeast. Forest Service
- Michael A. Thompson, James A. Mattson, John A. Sturos, Rick Dahlman, and Charles R. Blinn. 2007. The Comparison of Logging Techniques for Productivity and Ecological Aspects in Artvin, Turkey. Journal of Applied Science 7(14): 1973–1976
- H. Hulusi Acar and Tetsuhiko Yoshimura. 1997. A 농부요 on the Productivity and Cost of Cable Logging in Turkeyy. J. For. Res. 2: 199–202

E. Cuchet, P. Roux, R. Spinelli. 2004. TPerformance of a logging residue bundler in the temperate forests of France.. Biomass and Bioenergy 27(2004): 31-39

James R. Sherar and Chris B. Ledoux. 1989. Shift level Analysis of Cable Yarding Availability, Utilization, and Productive time. In: Proceedings of the 12<sup>th</sup> annual council on forest engineering.

Bruce Talbot, Giovanna Ottaviani Aalmo, Karl Stampfer. 2014. Productivity Analysis of an Un-Guyed Integrated Yarding-Processor with Running Skyline. Croat. j. for. eng: 35(2014)2

## **Abstract**

A case study for analyzing the problems of a nonproductive and high cost cable logging operation

You, Joung Won

Major in Forest Environmental Sciences

Department of Forest Science

The Graduate School

Seoul National University

Through a very successful reforestation from the 1970's, Korea now has forest resources of 148.5m<sup>3</sup>/ha which covers 64% of Korean territory. Due to the very intensive reforestation during a short period of time, about 67% of the forest has grown to be age class of 4 or higher. As the forest has approached its maturity timber harvesting is expected to increase rapidly. However, it has become more difficult to meet current demand on timber production because of difficulties in securing forest labor forces due to evasion of hard work and aging labor forces and low productivity due to tied-up log prices and increased wage.

In addition to the problems above, when using cable-yarding systems, ground profile and mechanical analysis from engineering

point of view are not considered properly during harvest designing process which results in unsafe working environment and inefficient productivity.

In order to develop efficient harvesting systems, this study investigated currently used cable-yarding operation design, diagnosed mechanical problems and analysed productivity and production cost using a cable-yarder (HAM300). According to the analysis result of the yarder location on the harvesting design, the design did not seem to consider the actual ground condition because the yarder was located on a concave ground near back slope of forest road which resulted the cable tension to be too tight for safe yarding operations.

As a result of ground profile analysis, chances that dangerous accidents could happen were very high because most of sections from both uphill and downhill cable yarding sites did not have enough deflection of skyline.

Time study method was used to compare productivities of uphill and downhill cable yarding operations. The result shows that PMH rate of downhill operation was lower and non-mechanical delay rate was higher than the uphill operation. Productivity of the uphill operation was  $3.86\text{m}^3/\text{hr}$  which was higher than the productivity of the downhill operation which was  $1.57\text{m}^3/\text{hr}$ . Cost of the uphill operation was also higher at  $87,000\text{won}/\text{m}^3$  than the downhill operation cost,  $269,000\text{won}/\text{m}^3$ .

Both productivities were also compared in accordance with scenarios of different operational improvements and the result shows that the uphill operation productivity could be improved by 46% and the downhill operation could increase 78% of its productivity.

**keywords :** Cable logging, Productivity analysis, Production cost, HAM300, Harvet designing, Ground profile

**Student Number :** 2012-23353