

임업기계, 장비의 활용

국립산림과학원

국립산림과학원

---

## 요 약

우리나라는 그 동안의 치산녹화 및 산림자원화 정책으로 목재의 자원화 여건이 기본적으로 구축되어 가고 있지만 아직 대부분의 산림이 3~4명급으로서 산림관리 측, 숲가꾸기사업이 절실히 요구되는 시점에 있다. 이 숲가꾸기사업의 성공여하에 따라 자원경쟁시대에 생존이 걸려 있다고 해도 과언이 아니다.

한편, 국내산 목재에 대한 수요의 증가에도 불구하고 국산재 생산과 공급여건은 사회경제적인 여건 변화에 따라 더욱 악화되고 있는 것은 주지의 사실이다. 목재가격은 정체되어 있고, 노임도 급상승하고 있지만 산림작업의 생산성 향상과 노동력 확보는 이에 미치지 못하여 목재생산의 경제성이 저하되고 있는 실정이다.

따라서 향후 숲가꾸기사업의 촉진과 국산재의 생산비 절감, 노동력 수급문제 해결을 위하여 임업기계화가 절실하게 필요한 시기에 도달한 것이다. 이에 따라 최근에는 산림작업 현장의 영림단원으로부터 대학, 국가기관에서도 임업기계의 개발과 개량에 박차를 가하고 있다.

최근 국내 임업기계의 개발이 활성화되고 있어 이에 따른 활용성 제고를 위하여 개발된 장비의 성능을 구명하여 적극적으로 산림작업에 투입할 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 또한, 간벌물량의 증가로 외국산 임목수확장비의 도입이 증가추세에 있으므로 이에 대한 작업시스템 및 적용 가능한 작업방법을 개발하여 보급하여야 할 것이며, 기계의 사용에 따른 안전교육이 필수적이므로 작업원을 위한 안전사고 예방의 필요성도 수반되어 생산성향상을 이루어 나가야 할 것이다.

따라서 본 연구보고에서는 임업기계화에 따른 문제점을 해결함과 동시에 그 동안 국내에서 개발되었던 장비들의 성능시험을 실시하여 앞으로의 기계개발 및 활용에 따른 성능개선을 통한 생산성의 향상으로 목재생산비용의 절감을 도모하고자 하

였다.

국산기술로 개발된 조재기가 원목의 가지치기 및 절단작업 등 작동의 원활한 수행여부, 적용 가능한 기본차량 등에 대한 평가를 위하여 각 부분품별 유압 및 유량의 변화에 대한 동작 시험으로 기계에 대한 성능을 테스트하여 앞으로 개발될 후속 장비에 대한 성능향상을 도모하고자 하였으며, 임내차의 경우에는 요철장애물을 설치하여 실제차량 주행 시 발생하는 차량의 가속도, 변위, 진동특성과 시뮬레이션모델과의 유효성을 검증하였으며, 이 결과를 토대로 국산 기계 개발 시 차량의 부정지 주행안정성 향상을 위하여 서스펜션 등의 장착이 필요한 것으로 나타났다. 한편, 임내차의 주행안정성 분석 결과, 측면적재형이 후면적재형에 비해 주행안정성이 양호한 것으로 나타났다.

임내차의 동적 시뮬레이션 모델을 개발하고 무게중심, 질량관성모멘트, 주행에 관한 검증시험을 수행한 결과 동적 모델의 유효성이 검증되었으며, 횡전도 시뮬레이션을 통하여 주행 속도, 지면 경사도, 주행 방향, 장애물의 크기와 같은 운전 조건 및 차량 설계 조건이 횡전도 안정성에 미치는 영향을 예측할 수 있었다.

이와 같은 연구를 통하여 우리의 자체 기술력으로 개발된 다목적집재차, 굴삭기 부착용 프로세서(조재기), 미니포워더 등의 성능향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 고가에 도입된 외국의 장비에 대한 적용성 시험을 통하여 우리 실정에 최적의 조건에서 활용될 수 있는지의 여부를 판단하여 단순히 외국장비로 활용하기 보다는 국내 여건에 적합하도록 부분적인 수정을 통한 국산화 개발에도 도움이 될 것이다.

개발되고 도입된 임업기계를 단순한 방법으로 활용하여 이의 효용가치를 저하시키기 보다는 소규모 별채지역이 대부분인 우리 실정에 어떻게 조화롭게 사용하는가 하는 문제도 간과할 수 없는 상황이다. 따라서 이의 해결책으로 단일기계의 적

용이 아닌 복합적이고 체계적인 임목수확작업 시스템에 대한 연구도 병행되었다. 즉, 원목의 생산규격, 지형적인 여건에 따른 최적의 작업시스템 및 기술을 현장에 적용할 수 있도록 하였다.

예를 들면, 중·급경사지 소규모 벌채지에 적용 가능한 2드럼 케이블 윈치에 대한 시간분석 결과, 전간집재 1사이클당 작업시간이 2.95분이었고, 단목집재에 있어서는 3.26분으로 단목집재시스템이 전간집재시스템에 비해 약 10% 정도 높게 나타났다. 여기에는 집재작업 중 나무를 묶어 주는 초커설치 및 제거작업이 크게 영향을 주는 것을 알 수 있다. 초커설치 소요시간은 그다지 작용을 하지 않았지만, 초커 제거 작업에 있어서는 단목집재시스템이 전간집재시스템에 비하여 약 2.5배 이상 소요되는 것을 알 수 있다. 그 이유는 초커설치 작업 시에는 집재대상목이 산재되어 있어 주변의 집재대상목에 묶으므로써 큰 차이가 나게 되지 않지만, 초커제거 작업은 장비에 의해 집재된 원목이 적재주행되는 동안 기계의 견인에 의해 와이어 로프로 묶은 원목이 꼬여 스카이라인에서 지면에 내려놓을 때 여러 원목더미에서 견인고리를 찾아내야 하는 어려움이 있으므로 두 가지 방법 간에 상당한 차이를 나타내고 있으므로 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 초커용 로프로 와이어로프를 사용하는 것보다는 폴리에틸렌 로프를 사용하면 보다 효율성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

2드럼 케이블윈치의 작업능률 및 경제성을 평균집재거리 50 m, 1회당 평균 집재재적 0.2m<sup>3</sup>을 적용하여 기존 아크야 윈치와 비교한 경우, 작업능률에 있어서는 기존 아크야 윈치(1드럼)는 8.5 m<sup>3</sup>/일, 개량된 2드럼 케이블윈치는 13.2 m<sup>3</sup>/일로서 1.5배 향상된 능률을 나타내었고 단위재적당 비용면에서도 기존 아크야 윈치 15,350 원/m<sup>3</sup>, 2드럼 케이블윈치 10,330 원/m<sup>3</sup>으로서 개량 2드럼 케이블윈치가 효율적인 것으로 분석되었다.

중·급경사지 대규모 벌채작업에 적합한 기종인 HAM 200 및 북부집재기에 대한 시간조사 및 작업량 조사를 기초로 하여 작업능률 및 경제성분석을 한 결과, HAM 200 및 북부집재기 사이에는 작업능률과 비용적인 측면에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 굴삭기 부착 하베스터를 이용한 조재 및 절단작업의 경우 작업능률은 73.5분/일(본당 재적 0.2 m<sup>3</sup>일 경우, 14.7 m<sup>3</sup> 작업가능), 작업비용 17,940 원/일로서 기존 트랙터용 프로세서 단위재적당 비용 20,470 원/m<sup>3</sup>와 비교할 때 13% 비용이 감소하는 것으로 분석되었다.

생산규모, 집재거리 등 서로 상이한 조건별 작업비용을 기존 작업방법과 비교한 결과, 완·중경사지 단목집재시스템의 경우에 비용적인 절감효과가 가장 우수한 시스템으로 판명되었지만, 적용할 수 있는 지역이 우리나라의 경우 한정되기 때문에 집약적인 임업경영 지역에 보급이 가능할 것으로 사료된다. 한편, 중·급경사지의 소규모 및 대규모 집재작업시스템의 경우에는 기존의 작업시스템 보다 그다지 경제적으로 큰 효율을 나타내지 않으나, 이는 기계화 기술의 개발, 지속적인 교육훈련을 통하여 보다 나은 결과를 나타낼 것으로 기대된다. 현재 기계를 사용하는 산림노동자의 대부분이 기계를 처음 사용하거나 초보적인 수준에서 운영을 하여 기계가 가지고 있는 기능을 100% 발휘하지 못하는데 기인한다고 할 수 있다. 따라서 우리나라와 같이 소경재의 생산이 대부분인 경우에는 2드럼 케이블윈치와 같은 저가의 장비를 활용하는 것이 고효율을 창출할 수 있으므로, 임황, 지황 등 제반여건에 충족되는 기계의 선정이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

## I. 서 론

우리나라는 1970년대부터 시작된 제 1·2차 치산녹화 10년 계획에 의해 황폐한 산지에 속성수 및 장기수를 위주로 한 녹화 및 경제림을 조성하여 전 세계적으로도 모범이 될 만큼 짧은 기간 내에 국토녹화를 이룩하였다.

그러나 우리나라가 처한 임업의 현실은 산업화와 더불어 급변한 사회·경제적 요인인 임금의 상승, 농촌 가용노동력의 급격한 감소, 상대적으로 급등한 생산비에 비해 낮은 목재가격으로 인한 수익성의 악화 등을 들 수 있으며, 임업분야의 투자가 미흡하여 국내재 생산기반이 낙후되어 있으며, 임업기술 수준은 타산업 분야에 비하여 상대적으로 매우 뒤떨어져 있는 실정이다.

특히, 조림 및 육림분야에 사용되는 작업방법은 과거 20~30년 전에 사용되는 방법과 큰 차이가 없는 실정인데 비하여, 임목수확분야는 외국에서 활용되는 장비가 일부 소개가 되었고 국산화가 이루어진 기종도 있다.

과거 약 30년 동안 임업선진국에서는 임목생산 작업방법과 사용 장비가 비약적으로 발전하여 하베스터, 프로세서, 포워더 등의 장비들이 널리 보급되었으나 국내에는 최근에야 이러한 장비가 일부 도입·개발되고 있는 실정이다.

본 고에서는 임업 생산비 절감 및 산림작업의 생력화를 위해서 필요한 임업기계화에 대해서 현재 우리나라의 국산화 개발 현황과 활용 등을 소개하고, 과제로 수행된 임업기계의 성능구명, 작업시스템 확립 및 우리나라 임업기계화의 발전방향에 대한 의견을 제시하고자 한다.

외국에서는 환경에 대한 관심이 증가함에 따라 벌채작업도 고성능 임업기계를 이용한 생산비용의 절감과 생산성의 증가뿐만 아니라 보다 환경친화적이고 작업원의 안전과 작업환경을 고려한 작업기계와 작업방법의 개발 등이 이루어지고 있다.

즉 트랙터 및 포워더에 초저압 광폭타이어를 이용하여 산림토양 및 식생에 대한 피해를 최소화하고, 체인톱 및 작업장비에 식물성 유지를 이용한 분해가능한 유류를 윤활유 및 유압유로 사용하여 산림 생태계에 주는 영향을 최소화하고 있다, 또한 대기오염 물질의 발생이 적은 엔진의 사용과 사용 엔진의 최적화 설계로 고효율 저에너지 작업시스템에 대한 연구가 주로 이루어지고 있다.

국내에서 이루어지고 있는 프로세서 개발, 타워야더 개발 등 주요 임업기계의 국산화 개발도 앞으로는 이러한 환경·생태적인 측면을 고려한 연구가 이루어져야 할 것이다. 한편으로는 작업원의 안전을 고려한 산림작업의 인간공학적인 평가와 함께 점차 노령화되는 작업인력에 적용가능한 작업시스템에 대한 연구 등이 병행되어야 할 것이다.

현재 외국에서 개발 중인 경사지 주행용 트랙터나 무인 리모컨 조종형 장비가 실용화되면 이러한 장비를 탑재차량으로 하여 조림분야의 작업이 기계화가 가능할 것이다. 그러나 스웨덴의 경우와 같이 포워더를 탑재차량으로 개발한 조림용 자동식재기의 개발에 10년의 기간과 500만불의 개발비가 투입되는 등 막대한 개발비로 인해 현재 개발된 장비가격이 30억원을 상회하는 등 임업기계는 일반 산업기계와 달리 양산체제가 아니기 때문에 장비가격이 고가이다.

대부분의 임업기계는 농업용 또는 토목용 건설장비를 토대로 개조되거나 또는 부품의 호환성을 가지고 있으므로 제작업체의 규모가 다품종 소량생산 규모이며 국내에는 임업장비업체가 전무한 실정으로 국내에서의 임업장비개발은 대상개발기종과 개발의 범위가 매우 제한적이다.

앞으로 증가될 국산재 생산에 대비하고 지속가능한 산림경영과 산림환경을 고려한 작업방법과 장비의 개발 등의 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이며, 이러한 임업기계화의 활성화와 국산화개발에 대한 의견을 여기에 종합하면 다음과 같다.

## □ 다양한 장비에 대한 적용성 실연사업의 실시

현재 국내에 확보된 장비의 종류가 다양하지 못하고 국내 적용가능성을 단편적으로 조사하고 있는 실정이므로 기능인력을 보유한 장비운영 전담 부서에서 다양한 작업조건하에서 장기간에 걸친 현장 실연사업을 실시하여야 할 것이다. 이러한 사업을 통하여 각종 장비에 대한 공정조사, 장비에 대한 특성 및 문제점 파악, 운영비 및 유지비의 산출 등이 가능하고 종합적인 측면에서 장비의 적용가능성을 검토할 수 있으며 이러한 연구는 산·학·관·연 공동연구로 실질적인 적용성 시험이 이루어져야 할 것이다.

## □ 임업기계 운영주체의 육성

우리나라의 경우 영세한 사유림의 경우 고가장비를 구입할 수 없는 경영규모이므로 국유림에서의 기계화가 우리나라 임업기계화의 선도적인 역할을 할 것으로 예측된다. 고성능 임업기계 등 고가장비의 경우에는 활용도가 문제가 될 수 있으므로, 장비가동율을 높이기 위해서는 사유림에 있어서는 산림조합 등에 설치된 임업기계 지원센터를 활성화하여야 한다. 여기에서 영세사유림 산주들이 저렴한 가격에 장비를 임대하여 사용 할 수 있으나 이때에 단순한 장비의 대여뿐만 아니라 기술지원



및 사유림 산주의 간벌작업 등을 대행해 줄 수 있는 기능이 부여된 작업 대행업체 등의 육성이 필요하다.

국유림의 경우는 행정조직에 얽매이지 않는 장비운영체계를 확립하여야 할 것이며 이를 위해서는 권역별 장비운영조직의 신설 또는 기존 산림경영조직의 전문화를 실시하여 기계화 장비와 전문 기능인력을 집중적으로 지원하여야 할 것이다.

또한 기존의 기능작업단을 활용하여 이들에게 장비구입비를 지원하여 장비를 확보하게 하고, 충분한 작업물량을 할당하여 전문 기계화 영림단으로 발전할 수 있도록 지원하여야 할 것이다.

## □ 임업기계 개발업체의 육성

국산화 개발된 장비는 개발 후 국유림에서의 우선 구매 등으로 판로를 보장하여 개발·제작업체를 지원해야 한다. 현재와 같이 임업기계의 시장성이 불투명한 우리나라 현실에서는 정부주도의 개발과 개발자금의 지원이 없이는 새로운 장비의 개발이 곤란한 실정이다. 그러기 위해서는 일본의 경우와 같이 농업 및 임업기계 제작업체의 참여를 유도하고 농기계를 임업기계로 개조하는 소규모의 전문업체를 양성하기 위해 개발기금을 조성하여 개발을 위탁하는 방법도 있다.

## □ 임업기계화 시범단지의 운영활성화

임업기계화에 대한 현장 적용시험을 실시할 수 있는 규모의 임상이 양호한 지역에 집중적인 장비의 지원과 전문인력의 배치, 임대시설의 집중지원으로 기술수준

을 향상시키고 이를 중심으로 기술과 경험을 다른 지역 또는 기관으로 이전시킬 수 있도록 하고 이러한 운영조직에 예산, 장비의 우선적인 지원이 이루어져야 할 것이다.

## □ 전문기능인력의 양성

현재와 같은 체인톱이나 일반작업 기술위주인 기능인 훈련보다는 중대형 장비를 다룰수 있는 수준의 기술을 훈련시키며 양적으로도 향후 10년 후에는 최소한 1,000 명 이상의 장비 운영인력이 필요할 것으로 예상된다. 따라서 이러한 기능인력을 사전에 육성하기 위하여 현재의 임업기계훈련원의 교육내용과 교육시설을 강화하고 훈련인원을 증가시켜야 한다.

이렇게 훈련된 전문 인력이 타직종으로 이탈하지 않도록 신분보장, 지속적인 작업물량의 확보, 무육간별 등과 수익간별 작업의 탄력적인 배정 등으로 작업이 연중 이루어지도록 하여야 할 것이다.

## II. 임업기계화 및 국산개발장비

### 1. 우리나라 임업의 현실

현재 우리나라의 산림면적은 전국토의 65%인 6,416천ha(2001년)로서 2001년 현재 경제림 육성대상지는 약 3,000천ha로 전체 산림면적의 약 45%에 해당하며 이중 인공조림지는 1,770천ha이다.

4차 산림기본계획 기간 10년 동안에 이러한 경제림 조성목표를 달성하기 위하여는 조림 및 육림작업으로서 용재수 및 표고원목 등의 조림 약 210천ha(재조림 포함), 천연림 보육 300천ha, 간벌작업 480천ha, 어린나무 가꾸기 작업 379천ha가 실시되어야 한다.

현재, 30년생 이하가 70%를 차지하는 영급 구조도 목표년도인 2007년에는 II 영급이하가 29%, III 영급과 IV영급 이상이 각각 27%, 45%를 차지하게 되므로써 산림이 전반적으로 중경목 이상으로 구성되게 될 것으로 예측되고 있다.

벌채계획량은 현재의 연간 1,533천m<sup>3</sup>에서 2007년에는 약 3,379천m<sup>3</sup>로서 주벌벌채량이 현재의 263천m<sup>3</sup>에서 약 10배 이상 증가한 2,748천m<sup>3</sup>으로 증가하게 되고 간벌물량은 현재보다 2배 정도인 452천m<sup>3</sup>으로 증가할 것으로 예측되고 있다.

## 1.1 산림작업 실행의 문제점

우리나라 임업이 당면한 문제점으로는 산림자체가 지닌 문제점 외에도 현재 당면한 경제, 사회적인 문제점으로서 농산촌 노동인력의 부족으로 인한 노동력 공급의 문제와 부족한 산림작업 전문기능인력, 임업의 경영 기반시설인 낮은 임도밀도 등을 들 수 있다.

이러한 문제점들은 1차 산업이 가지고 있는 공통적인 문제점일 수 있으나 임업은 농업과 달리 산림에서 얻는 소득이 낮고 장기간의 투자가 필요하므로 충분한 투자가 이루어지지 못하고 있으며 사유림의 경우는 국가의 보조 없이는 산림에 대한 경영이 이루어질 수 없는 형편이다.

임업기계화는 국유림에서 임업기계화 시범단지를 중심으로 발전하고, 사유림에서는 현재와 같이 영세한 소유구조는 크게 호전되지 않겠지만 현재 사유림을 대상으로 추진 중인 임업기계지원센터가 큰 역할을 하게 될 것으로 판단된다.

우리나라의 산림작업에 있어서 현재와 같은 추세로 농촌노동력이 감소하고 고령화가 진행된다면 지속적으로 증가하는 작업물량을 수행할 수 있는 노동력의 확보가 곤란하게 되므로 기계화·생력화에 의한 생산성 향상이 이루어져야 할 것이다.

앞으로 2007년 국내 벌채추정량인 약 3,379천 $m^3$ 의 원목을 벌채하기 위해서 필요한 노동력은 2000~2001년 평균 벌채물량인 1,500천 $m^3$ 의 원목생산에 소요된 노동력을 전업노동자로 환산했을 경우 약 3,700 명이 필요하지만 2007년의 경우 현재의 작업 방식을 그대로 유지하고 생산성의 변동이 없다면 약 8,400 명의 전업노동자가 필요하게 된다.

따라서 이러한 작업물량의 증가에 따라 추가로 소요되는 막대한 노동력은 기계화를 통한 생력화로 생산성을 높여서 추가로 소요되는 노동력을 최소화하여야만 산림사업이 가능하게 될 것이다.

우리나라의 경우 현행 인력 위주의 벌출작업 평균 노동생산성은 1.6m<sup>3</sup>/인·일을 나타내고 있어 앞으로 일본의 1985년도 수준인 2.4m<sup>3</sup>/인·일 까지 생산성을 높이기 위해서는 소형임내차와 타워야더 등의 가선집재장비를 이용하는 작업시스템을 정착 시켜서 본격적인 부분기계화 작업단계로 진입하여야 할 것이다.

## 1.2 산림작업의 기계화 현황

우리나라의 산림면적은 현재의 산림면적 6,416천ha가 2007년에 6,374천ha로 크게 감소하지는 않지만 영급구조가 장령림의 비중이 커지게 되므로 전반적인 산림작업량은 증가할 것으로 예측된다.

또한, ha당 임목축적도 2001년 현재 67m<sup>3</sup>에서 2007년에는 82m<sup>3</sup>로 증가됨에 따라 벌채량도 늘어나게 되어 2001년의 1,533천m<sup>3</sup>에서 3,379천m<sup>3</sup>로 약 2 배 이상 증가하는 것으로 예측되고 있다.

우리나라의 조림 육림분야의 현재 연간 작업물량과 제4차 산림기본계획기간 중의 작업물량 계획은 <표 1>과 같은 바, 이러한 조림 및 육림작업은 4차 기본계획기간 10년 동안에 매년 현재의 연간 작업물량보다도 증가하는 것으로 계획되어 있다.

이외의 산림작업은 묘목생산을 위한 묘목생산 작업, 각종 병충해 방제작업, 임도 건설 및 보수작업, 주벌목 수확 및 운송작업 등이 있다. 그 중 임도건설작업은 일반 토목작업과 동일한 작업방식과 장비를 사용하여 우리나라의 임업분야 중에서는 가장 기계화가 잘 이루어지고 있는 분야이다. 병충해 방제작업은 헬리콥터에 의한 방제, 살·분무기에 의한 지상방제, 솔잎혹파리에 대한 수간 주사방제 작업 등이 있으며 우리나라에서는 항공기에 의한 공중방제와 동력 천공기를 이용한 수간방제사업이 주를 이루고 있다.

〈표 1〉 조림 및 육림작업 작업물량

작업종		조림 (맹아갱신포함)	풀베기	어린나무 가꾸기	덩굴제거	천연림보육	간벌작업
작업량 (천ha)	1996	20	77	39	37	12	24
	1998~2007	210	959	379	480	300	480
10년간 사업비 (백만원)		692,641	313,429	319,509	97,114	258,316	379,491

※ 4차 산림기본계획

임목수확작업은 임업 기계화의 척도가 되는 분야로서 각종 임목수확장비가 사용되고 있으며 외국의 경우 임업기계화가 가장 잘 이루어지고 있는 분야이나 우리나라에서는 조림 육림분야와 함께 가장 임업기계화가 낙후된 분야 중 하나이다.

〈표 2〉 묘포작업 및 조림육림작업의 기계화 현황

작업별	단위작업	국내 활용 장비	외국에서 활용되는 장비	비고
묘포 작업	경운·정지작업	농용 트랙터	• 농업용 트랙터	보급
	조상작업	조상기	• 조상기	보급
	이식작업	자주식이식기	• 자동 이식기	미도입
	중경·제조작업	중경작업기	• 열식 묘상제조기	도입
	약제살포작업	방제기	• 묘포용 분 스프레이어	"
	단근작업	측근·작근단근기	• 측근·작근단근기	"
	굴취작업	묘목굴취기	• 묘목굴취기, 묘목수확기	"
	묘목포장작업	묘목결속기	• 묘목수확기(굴취,선묘,결속,포장작업)	미도입
	※용기묘양묘	파종기 등	• 자동화시설에 의한 대량생산	보급
조림 및 육림 작업	조림지정리작업	체인톱	• 치퍼기, 지조분쇄기	미도입
	식혈작업	식혈기	• 경사지주행용 특수 트랙터에 식혈용 오거장치 부착	미도입
	식재작업		• 자주식 식재장치	"
	풀깎기작업	예블기	• 트랙터부착용 예취장치	"
	덩굴제거작업		• 작업기 없음	-
	약제살포작업	미립자 연분무기	• 임업용 방제차량	보급
	어린나무가꾸기	체인톱	• 예블기, 체인톱	"
	가지치기작업	자동지타기	• 자동지타기, 동력체인지타톱	도입
천연림보육작업	-	• 체인톱	보급	

국내에서 보급 사용되고 있는 임업기계류는 그 종류가 매우 적고 체인톱을 제외하고는 널리 사용되고 있지 못한 실정이다. 이러한 임업기계를 작업별, 단위작업별로 외국에서 이용되는 임업기계와 국내의 활용현황은 <표 2>, <표 3>과 같다.

국내에 보급된 임업기계는 대부분이 체인톱 등의 소형장비가 대부분을 차지하며 이외에도 국내에서 제작한 소형윈치, 수간 주사용 동력 천공기 등이 주로 사용되고 있는 장비들이다.

<표 3> 임목수확작업의 기계화 현황

작업별	단위작업	국내 사용되는 장비	외국에서 활용되는 장비	비고
임목수확 작업	벌목작업	체인톱	• 체인톱, 펠러번처	도입
	조재작업	체인톱	• 프로세서 • 하베스터	” ”
	집재작업	소형윈치(아크야 윈치) 프라스틱수라 타워야더, 가선집재기	• 각종 가선 집재기 • 포워더, 임내차 등 운반장비	보급 도입
	상차작업 적재 운반작업	굴삭기, 트랙터윈치 원목집게부착 굴삭기 4륜구동 영림차 4륜구동 트럭	• 트랙터 윈치, 굴삭기윈치 • 임업전용 트랙터 및 부대장비 • 굴삭기, 크레인 • 소형임내차, 포워더	보급 도입 (임내차)
임도신설 및 유지보수	일반 토목 건설장비 (굴삭기, 불도저, 진동 롤러, 그레이더, 암석 천공기, 덤프트럭 등)	• 일반 토목 · 건설용 장비	보급	
기타	약제 방제작업	헬리콥터, 연분무기, 임업방제차	• 헬리콥터, 임업용 방제차량,	보급(헬기, 방제차)
	산불진화 원목가공	헬리콥터, 임업방제차 이동식 제재기, 툽밥제조기, 치퍼기	• 헬리콥터 • 이동식 제재장치 • 대형 자주식 치퍼기	보급 도입 미도입

이외 토목용 굴삭기가 작업로 개설과 국산 로그그래플(원목집게)을 부착하여 중경사지까지 인력집재를 대체하여 널리 활용되고 있다.

중대형 임업기계류는 국유림 및 임업기계 지원센터에 타워야더가 10여대, 트랙터 집재기가 20여대 보급되어 있으며, 궤도식 소형임내차와 6륜구동 소형임내차 등이 일본에서 도입되어 일부 사용되고 있다.

### 1.3 산림작업별 기계화 가능성 검토

산림작업은 농업이나 타 산업분야에 비하여 매우 다양한 작업조건하에서 이루어지므로 기계화가 매우 늦게 발전하였다.

산림작업이 이루어지는 장소와 작업대상, 작업내용에 따라 크게 묘포작업, 조림 및 육림작업, 임목수확작업, 임도 및 토목관련 작업으로 나눌 수 있으며 이러한 작업종별 특징과 세계적인 임업기계화 수준을 비교하면 <표 4>와 같다.

이 중에서 기계화에 대한 상황을 보면 가장 기계화가 발달한 스웨덴 및 캐나다 등의 평지림이 많은 국가와 오스트리아, 스위스, 일본 등과 같이 산악림이 많은 국가에 있어서 차이가 있다. 또한 지형의 차이에 따라서 적용하는 작업시스템 및 사용 장비의 차이가 있으나 조림 및 육림작업의 많은 부분은 아직도 대부분 인력작업에 의존하고 있다.



〈표 4〉 임업선진국의 산림작업별 기계화 수준

작업종류	작업의 특징	임업선진국의 기계화 수준
묘포작업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 농업의 작물재배와 유사함</li> <li>- 평탄지의 포장에서 이루어지므로 기계화 용이</li> <li>- 용기묘재배 방법으로 생력화 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대규모 포지규모에서 기계화</li> <li>- 시설을 이용한 용기묘재배의 보급</li> <li>- 대부분 기계화되어 있으며 제초작업 등의 일부작업에 인력 병행</li> </ul>
조림 및 육림작업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 경사지에서 이루어지는 작업으로 작업종류가 다양함</li> <li>- 대상이 임목으로서 질적인 작업이 우선되는 작업이 대부분임</li> <li>- 임내에서 임목을 대상으로 하는 작업임</li> <li>- 조림지정리작업: 기계적으로 지조물의 제거가능</li> <li>- 조림작업 : 구덩이 파기작업은 기계적인 작업이나 식재 및 국소조건에 따른 식재구덩이 위치 선정 등의 판단 필요</li> <li>- 천연림 보육, 덩굴치기 : 작업원의 경험과 육림지식 필요</li> <li>- 풀베기작업 : 인력, 예불기 작업</li> <li>- 지타작업 : 기계적인 작업으로 기계화 용이</li> <li>- 전반적으로 작업방법의 개선을 통한 생력화가 가능함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 조림지 정리작업에 트랙터, 굴삭기, 대형 파쇄기 등의 이용(중경사 이하)</li> <li>- 인력식재 방법이 경제적이고 일반적으로 사용되는 방법임(일반묘, 용기묘)</li> <li>- 스웨덴, 독일 등지에서는 트랙터를 이용한 일반묘 식재(특히 대묘의 평탄지 조림)</li> <li>- 스웨덴, 핀란드에서는 용기묘 자동식재장비가 개발 (포워드에 식재장치 탑재, 굴삭기 탑재형 Eco-planter)</li> <li>- 경사지에서의 조림 및 육림 기계화 작업을 위한 경사지 주행용 탑재차량의 개발단계(일본)</li> <li>- 천연림보육, 덩굴치기 등은 인력작업에 의존</li> <li>- 풀베기 작업에 예불기 사용 보편화</li> <li>- 중경사 이하에 풀깎기용 자주식 장비 사용 (리모콘 조작 전용장비)</li> <li>- 가지치기 작업용 자동지타기 보급(일본)</li> </ul>
임목수확작업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 벌목작업, 조재작업, 집재작업 등은 질적인 면이 중요치 않음</li> <li>- 벌목작업을 제외하고는 작업을 이용한 작업이 가능함</li> <li>- 중량물인 원목을 다루는 작업이므로 기계를 이용시 생력효과가 큼</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 벌목작업은 바퀴식 또는 궤도식 차량에 장착된 펠러번처, 하베스터 헤드 등을 이용하여 기계화</li> <li>- 완경사지역(30% 이하)에서 주행 및 작업가능한 장비가 보급</li> <li>- 급경사(30~50%)에서 작업가능한 장비가 개발되어 일부 보급(Timbcو, Neuson, MHT 등)</li> <li>- 원목의 끌기, 적재운반 : 스키더(임업용트랙터), 포워드 등 장비이용</li> <li>- 급경사지(50% 이상)에서의 집재작업 : 가선집재장비 이용</li> <li>- 간벌작업용 경사지용 소형 하베스터 등 개발 보급</li> </ul>



〈그림 1〉 소형굴삭기 부착형 및 트랙터 부착형 플레일모우어



〈그림 2〉 치핑 및 운반이 가능한 칩하베스터



〈그림 3〉 경사지용 하베스터

## 2. 임목수확작업의 기계화

우리나라의 산림은 대부분이 30년생 이하의 어린 임분으로 구성되어 있으므로 매년 많은 면적의 간벌작업을 실시하여야 한다. 이러한 유령임분의 간벌작업은 생산되는 원목의 규격이 작고 또한 단위면적당 생산 재적이 많지 않으므로 수익성이 없는 경우가 대부분이다. 그러나 수익성이 없어 임내에 방치되는 원목이라도 임도변까지 집재할 경우에는 여러 가지 용도로 활용이 가능하다.

기존에 우리나라에서 사용되고 있는 집재방법은 단거리 인력집재, 플라스틱 수라를 이용한 집재, 굴삭기를 이용한 집재, 소형윈치를 이용한 집재 등의 작업방법이 이용되어 왔다. 이러한 간벌목 수집작업의 특징은 원목의 크기가 작으므로 생산성이 낮으며 임내에 분산되어 있으므로 이를 모아서 임도변 또는 집적장(토장) 등에 운반하기까지는 소집재(小集材)라는 작업단계를 거치게 되므로 작업비가 많이 소요된다.

간벌목의 생산비용중 약 50% 이상이 임내로부터 임도변까지의 집재작업에 투입이 되기 때문에 간벌목 집재작업의 기계화가 필수적으로 요구된다. 이외에도 작업로를 개설하고 굴삭기를 이용하여 작업로변에 원목을 집재한 후, 4륜구동 트럭을 이용하여 반출하는 작업방법을 사용하는데, 이 방법은 무리한 작업로 개설로 인하여 임지가 훼손되는 경우가 많다.

### 2.1 임목수확작업의 기계화 방향

현재 산림작업분야 중에서 가장 기계화가 잘 이루어진 분야가 임목수확분야이며 각종 지형조건, 임상에 적합한 작업시스템 및 작업장비가 개발 이용되고 있으나

이러한 고성능 작업장비는 대부분이 높은 작업 성능을 갖는 고가의 장비로서 대규모 작업지에 적합한 방식들이다.

우리나라와 같이 경사지가 많은 산림에서는 아직도 체인톱으로 벌목작업을 하고 있지만 최근 몇 년간 경사지에서도 작업가능한 장비가 미국과 오스트리아 등에서 개발되었다. 따라서 과거에는 장비가 주행할 수 없던 오스트리아, 스위스 등의 산악지에서도 기계에 의한 벌목조재작업이 가능하게 되었다. 이러한 장비는 대부분 궤도형굴삭기를 기본으로 개발된 장비로서 경사에 따라 차체상부를 기울 일수 있는 형태이며, 제작회사는 Koenigstiger, Timbco, Neuson, MHT 등이 있다.

이러한 장비를 오스트리아에서 시험 운영한 결과, 지면경사 50%까지는 주행과 기계벌목작업에 전혀 문제가 없었으며, 작업능률(1인 운전)은 흉고직경 20cm 정도의 독일가문비 간벌 임지에서 1일 약 50~80m<sup>3</sup> 이상의 능률을 나타내어 인력작업보다 저렴하게 벌목조재 작업을 할 수 있는 것으로 조사되었다.

다만 우리나라와 같이 소규모 시업지가 많고 지형이 복잡하고 경사도가 급한 산림에 이러한 첨단기술의 고성능 장비가 도입될 수 있는가에 대한 의문도 있지만 기술적으로는 경사도 50% 정도까지의 중경사지 이하에서는 주행식 벌목장비에 의한 완전기계화작업이 가능할 것으로 예상된다.

현재 사용되는 장비와 앞으로 도입이 예측되는 장비 중에서 우리나라에 적용 가능한 임목수확작업시스템을 선정하여 보면 다음 <표 5>와 같다.

〈표 5〉 우리나라에 적용가능한 임목수확 작업시스템

작업시스템	작업규모 (m <sup>2</sup> /년/시스템)	단위 작업			비 고
		벌 목	조 재	집 재	
소형장비	600	체인톱	체인톱	소형윈치	작업로변 60m이내 단거리 보조집재용
임내차	2,000	체인톱	체인톱	임내차	작업로 설치 필수
트랙터	3,000	체인톱	체인톱 (프로세서)	트랙터윈치1)	작업로 이용, 전간작업
크레인윈치	2,000	체인톱	체인톱	크레인윈치 굴삭기윈치	임도변, 작업로변 100m이내 거리
가선장비	3,000	체인톱	체인톱, 프로세서	가선집재기2)	전간, 전목작업이 유리 급경사지형에 적용
기계벌목	5,000	펠러번처 하베스터	프로세서	그래플스키더 포워더	완·중경사지로 굴삭기에 부착된 작업기 이용

- 1) 트랙터윈치보다 소형이고 기동성이 좋은 임업용트랙터(스키더) 이용가능
- 2) 사용가능한 가선집재기에는 타워야더, 자주식반송기(라디캐리), 일반집재기 등이 있음

우리나라에서는 현재 사용되는 체인톱에 의한 인력 벌목작업이 사용될 것이고, 대부분 작업규모가 작으므로 지형조건에 따라 트랙터, 소형임내차, 가선집재기 등 비교적 소형 장비 위주의 저렴한 장비들이 사용될 수 있다.

다만, 현재 우리나라에는 임업에 사용되는 기본차량이 전무한 상태로 노후된 4륜 구동 트럭 및 불법적으로 개조된 적재량 1~2 톤 정도의 4륜 구동형 불법 개조 차량(영림차)이 작업로를 이용한 토장까지의 운반작업에 사용되고 있다. 그러므로 이러한 장비를 대체할 수 있는 소형의 포워더류가 국산화되어 보급이 가능한 상태에 있으며, 궤도식 소형임내차 또한 국산화에 성공하여 보급에 큰 어려움이 없을

것으로 예상된다. 그리고 트랙터윈치를 탑재하기 위한 트랙터는 우선 농용트랙터의 차체를 보강하고 안전프레임을 부착하면 임업용으로 활용이 가능하다.

단, 국내에 이러한 장비의 수요가 한정되어 있으므로 이들 장비는 농업용 또는 타 용도의 산업장비 차량을 기본으로 개발되어야 하며, 이러한 개발 시작품을 생산하기 위해서는 생산이 가능한 최소물량의 수요가 보장되어야 한다. 또한 이러한 기계개발은 많은 개발자금이 투입되어야 하므로 시스템의 국내적용 가능성을 검토하기 위하여 현재 임업기계화 시범단지로 선정된 지역을 대상으로 실연작업을 거쳐서 추진하여야 한다. 즉, 국산화 가능성을 평가하기 위하여 외국의 유사한 장비를 도입하여 충분한 실연작업을 거친 후에 우리 실정에 적합한 장비를 선정하여 국산화를 추진함으로써 시행착오를 줄일 수 있을 것이다.

## 2.2 임목수확작업의 기계화에서 고려할 사항

현재 실시되고 있는 간벌 및 주벌 임목생산 작업방법을 개선하기 위해서는 다음과 같은 몇 가지 사항이 고려되어야 한다.

- 임목생산작업이 현재와 같이 인력위주로 실행되는 한, 생산비용이 높은 국산 간벌 소경재는 경쟁력이 없다. 즉, 외국에서 대규모 벌채와 기계를 이용하여 생력화된 작업방법으로 저렴하게 생산된 목재에 비하여 경쟁력이 부족하다.
- 임도가 개설된 주변의 집중적인 간벌작업이 실시되어야 한다. 현재 개설된 임도를 최대한 활용할 수 있도록 계획된 작업로를 개설하여 무분별한 작업로 개설에 따른 훼손을 최소화하여야 할 것이다.
- 현재의 인력작업에 의한 단목생산방식은 작업공정(作業工程)이 복잡하여 작업능률이 낮은 원인이 되므로 전간 및 전목집재방법을 이용하는 등 작업단

계를 단순화하여야 한다.

- 현재 간벌작업을 실행하는 작업주체가 국유림 간벌작업의 경우 기능인 작업단이 위주가 되고 있어 국유림 관리부서에서 장비를 확보하여 이들이 활용할 수 있도록 지원하여야 할 것이다. 규모가 영세한 사유림에서는 임업기계화 지원센터의 장비를 활용할 수 있도록 임업기계화센터의 운영이 활성화되어야 할 것이다.
- 현행 간벌작업 시 면적단위의 작업비 지급기준을 기본 작업비와 생산하는 원목재적에 따른 작업비를 인센티브로 지불받는 방식으로 전환하여 생산 활동을 고취하고 원목의 수집을 극대화하여야 할 것이다.
- 간벌작업에 필요한 기본 집재장비를 국산화하여 보급하여야 하며 앞으로 중경목이상의 간벌 및 벌채작업량이 증가하는데 따라 각종 다양한 장비를 도입하여 우리나라 실정에 적합한 작업시스템을 정착시켜서 여기에 사용되는 장비를 국산화하여 보급하여야 할 것이다(예 : 소형 임업용 트랙터, 간벌재용 프로세서, 소경목 펠러번처 등).
- 앞으로 확대될 복층림 시업 등의 생태적인 시업방법을 위하여 대경목 택벌 시 잔존 임분의 피해를 최소화하는 장비와 작업방법 등을 개발하여야 할 것이다.
- 대부분 간벌작업의 시업규모가 작으므로 가능한 시업단위를 크게 하여야 장비의 투입이 가능하며 작업비용이 절감될 수 있으므로 조림작업부터 이를 고려하여야 한다.

### 3. 임업기계의 국산화 개발

#### 3.1 묘포용 장비

우리나라의 임업기계 중에서 양묘용 장비는 농업기계와 유사한 점이 많으므로 농업기계를 그대로 활용이 가능한 것이 많다. 우리나라에서는 임업용 양묘장비를 개발 또는 생산하는 업체는 없으나, 일부 일본제 묘목 이식기, 조상기, 묘목단근굴취기 등이 국내에 몇 대 도입되어 사용되고 있다. 조상기, 묘목 단근굴취기 등 비교적 단순한 장비는 국내에서 제작하여 사용하기도 하며 최근에는 원예용으로 개발된 뿌리작물 굴취기 등을 묘목굴취작업에 활용하기도 한다.

다량의 인력이 필요한 이식작업 등은 거의 인력으로 이루어지고 있으며 몇 가지 작업에서는 농업용으로 개발된 장비를 임업용으로 사용하거나 일부 개조하여 사용이 가능하다. 즉 약제살포기, 퇴비살포기 등은 농업용을 그대로 사용가능하며 중경제초기 등은 관리기를 이용하거나 트랙터용 국산작업기를 활용하기도 한다.

#### 3.2 조림 및 육림용 장비

조림 및 육림용 장비는 국내의 지형여건상 장비를 이용한 식재작업 등이 불가능하므로 인력작업에 의존하고 있으며 풀베기작업에는 국산과 외국산 예불기가 활용되고 있다.

그 외의 육림작업은 대부분 인력 작업도구를 사용하여 이루어지고 있으며 체인톱이 조림지 정리작업, 천연림보육, 간벌작업 등에 널리 활용되고 있다. 우리나라와 지형과 산림시업방법이 유사한 일본의 경우에도 조림 및 육림작업 중 풀베기기계, 자동지타기 등만이 실용화되어 시업에 활용되고 있어 산림작업 중에서 가장 기계화



가 더딘 작업분야이다.

국내에도 일본제 자동지타기 및 체인톱 엔진에 자루가 달린 가지치기 체인톱 등이 수입되어 사용되고 있으며 최근에는 농업용으로 쓰이는 트랙터 부착식 프레일 모우어 등이 조림지 관목류 및 풀베기용으로 사용되기도 한다. 국립산림과학원에서는 밤재배지에서 현재 인력에 의한 낫 또는 예불기로 이루어지고 있는 풀베기 작업을 기계화하기 위하여 소형 굴삭기에 부착가능한 유압식 프레일 모우어와 굴삭기를 이용한 시비가 가능한 시비장치를 개발하였다.

앞으로 가지치기 작업이나 풀베기 작업을 기계화하기 위하여 전용장비의 개발이 필요하며 외국에서 사용되는 장비와 같이 무선으로 조작할 수 있는 소형 자주식 장비의 개발이 필요하다.

### 3.3 임목수확작업용 장비

최근까지 국내에서 생산 판매되고 있는 임업기계의 종류는 몇 종 되지 않지만, 그 중 농업용으로 개발되어 임업에도 활용되고 있는 예불기와 소형 아크야원치, 산불진화차(산불방제차), 수간주사용 천공기 등이 장비의 수량 면에서는 비교적 많이 보급된 기종들이다.

한편, 농업 및 축산분야에 사용하는 톱밥 및 목질 을 생산하기 위하여 간벌재 및 폐잔재를 분쇄하는 장비인 이동식 톱밥기계, 치퍼기 등의 장비가 몇 개 회사에서 국산화되어 보급되고 있다. 국산 소형원치는 독일제 Stihl 070 및 090 대형 체인톱 엔진을 탑재한 썰매형 원치로서 기능인 작업단의 필수장비로 간벌작업 등에 널리 활용되고 있다.

인력작업용 플라스틱수라는 개발 초기에 강화플라스틱(FRP)제품이 개발 보급되

다가 무겁고 파손되기 쉬운 단점 때문에 1994년 이후에는 FRP보다 내충격성이 강한 폴리에틸렌(PE) 소재의 수라가 개발되어 보급되고 있다.

국내에서의 장비개발은 시장규모가 작고 많은 개발비가 투입되어야 하기 때문에 대부분의 국산장비가 기존의 굴삭기, 농업용 트랙터 등에 부착하여 다목적으로 사용하는 형태가 많은데 그 중에 대표적인 것이 굴삭기용 원목집게 및 트랙터부착용 원치 등이다.

원목집게(로그 그래플, 우드그랩)는 국내에 널리 보급된 소형굴삭기에 부착하여 집재작업 및 원목의 상차작업 등 다목적 활용이 가능한 장비로서 국내에서 임도변이나 집재 토장에서 트럭 상차작업은 거의 이 장비를 이용하여 이루어지고 있다. 원목집게는 용도에 따라 굴삭기에 토공작업용 버켓과 로그그래플을 부착하여 집재로 개설, 집재작업, 상차작업에 활용할 수 있으며 굴삭기 부착용 유압식 원치도 국유림에 일부 보급이 되고 있다.

또한 농업용 트랙터에 부착하여 트랙터를 집재 작업장비로 활용할 수 있는 장비인 트랙터 부착형 원치도 1드럼식과 2드럼식 원치가 국내에서 생산되어 일부 보급이 되고 있다. 또 트랙터원치에 철제 타워를 부착하여 하이리드 집재(highlead skidding)가 가능한 기종인 HAM200도 보급되고 있다. 이러한 농업용 트랙터에 부착 가능한 겸용형 장비는 전용장비에 비하여 성능은 다소 떨어지지만 농업용 트랙터의 다용도 활용이 가능한 장점을 가지고 있다. 또한 운전원의 확보 및 보수유지가 용이하고 장비의 활용도를 높일 수 있는 장점이 있으므로 소면적 벌채와 연간 작업물량이 작아서 고가의 전용 장비 투입이 비경제적인 우리나라 실정에 적합한 방식이다.

그 밖에 굴삭기에 부착할 수 있는 동수집재기 등의 굴삭기부착형 집재기가 보급되어 굴삭기에 원목집게를 부착하여 널리 활용되고 있다. 대부분의 경우 작업로

가 미비된 경우가 많으므로 작업로개설 및 임내에 산재된 원목을 모으는 소집제작업 등에 한 대의 장비로 여러 가지 작업이 가능한 굴삭기를 투입하는 경우가 많다.

이러한 굴삭기는 국내에 널리 보급되어 있어서 활용이 용이하고 유압식 원목집계를 부착하면 집제작업 및 원목상차 작업 등에 다목적 활용이 가능하나 중경사 지형 이하에만 적용이 가능하다.

굴삭기의 원목집계를 이용한 집재방법에서 굴삭기는 임내에 산재된 원목을 약 20~30m 정도 모으는 역할만 가능하므로 이렇게 모아놓은 원목을 임도변 토장까지 차량으로 반출하기 위하여 작업로를 개설하여야 한다.

4륜 구동 트럭 집·운재의 경우 현재 국내에서 이용되는 4륜 구동 트럭의 차폭이 약 2.3m 정도이므로 작업로의 노폭은 최소한 3m 이상이 되어야 한다. 중경사 이상의 임지에서는 이러한 노폭으로 작업로를 개설할 경우 다량의 토공작업이 필요하므로 임지훼손이 필연적이다.

따라서 중경사지이상 간벌지에서 집재된 원목을 반출하기 위해서는 되도록 작업로 개설을 최소화하고 임도변까지 반출하기 위해서는 가선집재방식을 이용하면 임지훼손을 최소화할 수 있다.

최근에는 국립산림과학원에서 농림기술개발과제로 이러한 가선 집제작업에 활용 가능한 트럭탑재형 타워야더인 다목적집재차가 국산화되었다. 트럭탑재형 타워야더는 일반 트럭을 4륜 구동으로 개조하여 여기에 타워야더를 탑재한 집재장비로서 이동이 용이한 특징이 있다. 소규모 작업지에 투입이 신속하고 산악지 지형조건에 적합한 장비이므로 외국산 타워야더를 대체하여 보급이 이루어질 것으로 예측된다. 이러한 국산 장비는 비록 대량 생산단계는 아니지만 주문생산 방식에 의하여 소규모로 생산 판매되고 있으나 외국산에 비하여 성능은 다소 떨어지지만 저렴한 가격과 부품의 확보, 보수유지가 손쉬운 장점이 있다.

가선집재방법은 임내에 작업로 개설 대신 와이어로프를 이용하여 가선을 설치하고 이러한 가선통로를 이용하여 벌채된 원목을 임도변까지 반출하는 방법이다. 이러한 방법은 트랙터 집재에 비하여 집재비용이 비싸지만 임지훼손이 적은 환경친화적인 집재방법이다.

우리나라에 도입된 타워야더 집재기에는 오스트리아 제품인 Koller K-300, URUS-I, 영국제품인 Timber Master 등이 있으나 모두 트레일러 탑재형이거나 트랙터 부착형이다. 이러한 장비는 트랙터로 견인되어 이동하므로 이동속도가 늦어 우리나라와 같이 장비가 많이 보급되지 않고, 간벌작업지가 분산되어 있는 경우에는 장비투입에 많은 시간이 소요된다.

국내에 도입된 타워야더 집재기의 작업범위는 설치 가능거리가 200~300m 정도이나 대부분의 간벌작업지의 경우 지형조건상 가선의 설치길이가 200m 이하가 일반적이다. 그러므로 우리 실정에 적합한 가선집재장비는 다음과 같은 특징을 가져야 한다.

- 일반차량에 탑재되어 국도를 이용한 고속 주행이 가능하여야 한다.
- 다양한 가선 집재방법을 적용할 수 있도록 3개 이상의 드럼을 구비하여야 한다.
- 작업로 주행이 가능하도록 4륜구동 장치가 구비되어야 한다.
- 가선을 중심으로 좌우 20m 정도까지 측방집재가 가능하여야 한다.
- 집재된 원목을 정리할 수 있도록 그래플을 부착한 크레인을 탑재할 수 있어야 한다.

### 3.3.1 타워야더부착 다목적집재차

국내에서 작업로 주행이 가능한 4륜 구동 트럭은 주로 군용만 생산되고, 일반

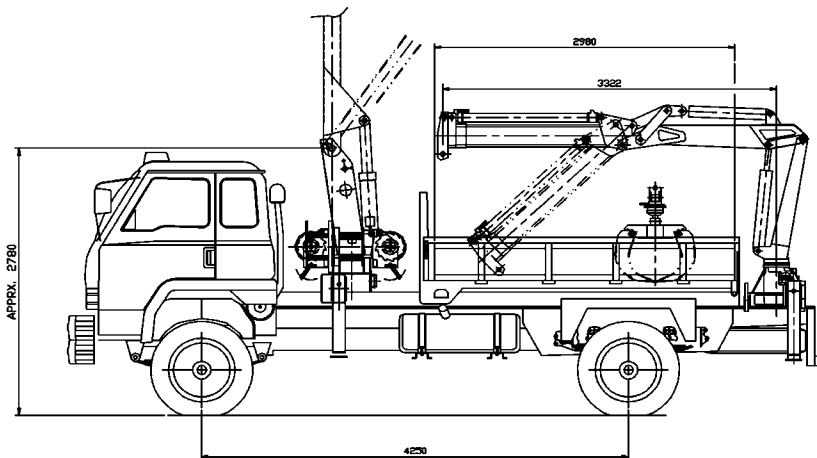
판매용으로는 생산되지 않고 있는 실정이다. 국립산림과학원은 (주)광림과 공동으로 국내에서 생산되는 5톤 상용트럭(기아자동차 라이노)의 구동장치와 프레임을 개조하여 4륜 구동이 가능한 기본 탑재차량을 개발하였다.

본 차량은 일반 상용 5톤 트럭의 엔진과 변속기 등의 구동장치 및 프레임을 이용하였으며 4륜구동을 위해 별도의 트랜스퍼케이스와 앞 구동차축을 부착하고 프레임을 보강하였다.

따라서 일반도로에서는 최고시속 110km로 고속 주행이 가능하고 산림 내 비포장 작업로에서는 최저 시속 3km이하의 넓은 변속범위를 갖는 전진 12단의 변속기능과 4륜 구동으로 험한 작업로 주행이 가능하다는 특징을 갖고 있다.

이러한 기본차량은 임업에 필수적인 4륜 구동 트럭으로서 임업용 자재운반 등 일반용도에 활용이 가능하며 일반 상용트럭의 부품을 활용하였으므로 차량의 유지관리측면에서도 별다른 어려움이 없는 것이 특징이다.

이러한 기본 탑재차량을 집재용 장비로 활용하기 위하여 적재함의 일부분에 3개의 드럼을 지닌 타워야더와 크레인을 장착하였다.



〈그림 4〉 4륜구동 다목적집재차 개념도



〈그림 5〉 다목적집재차 집재작업

### 3.3.1.1 제원 및 특징

타워를 설치했을 경우 전체높이는 지면기준 7m이고 유압 실린더를 이용하여 상부 5.5m 부분을 집거나 세우는 것이 가능하다.

철제 타워는 20톤의 압축하중과 500kg의 횡하중에 견딜 수 있는 강도를 지닌 고장력강을 사용하여 4각 기둥모양으로 제작하였다. 타워의 하단부에는 30m 길이의 버팀줄(가이라인)을 감고 장력을 줄 수 있는 2개의 수동식 윈치를 부착하였다. 타워의 끝에는 가공본줄(스카이라인), 당김줄(견인삭), 되돌림줄(회송삭)용 도르레 시브를 부착하였으며, 여기에 4개 또는 2개의 버팀줄을 설치할 수 있도록 고리를 부착하였다.

타워를 세우고 가공본줄에 장력을 가한 상태에서 하중이 달릴 경우에는 타워에 수직되는 방향으로 약 5톤 정도의 압축력이 작용하므로 타워의 밑 부분에 2개의 유압식 버팀대(아우트리거)를 부착하여 차체 프레임에 과도한 하중이 가해지지 않도록 하였다.

〈표 6〉 다목적집재차 제원

구 분	항 목	내 용	비 고
기본차량부	사용 새시	기아 라이노 5톤	
	전장×전폭	7.7m×2.3m	
	구동 방식	4륜구동	선택식 4륜구동
	엔진 출력	171 PS/3000rpm	기아 K6디젤엔진
	변속 단수	전진6/후진1	부변속 고속/저속
타워야더부	타워 높이	최대 7m	유압실린더 승하강
	드 럼 수	3개	가공본줄, 당김줄, 되돌림줄
	드럼 구동	유압모터 구동	2펌프 + 3모터
	조종 방식	2레버 조이스틱 방식	유선리모콘방식
	가이라인	4 개	핸드윈치 장력식
탑재크레인	모 델	KN470 굴절식	차체 후부 장착
	크레인 용량	4 톤 · m	
	최대작업반경	5.8 m	인양력 670kg
	회전 각도	410 도	
	부착 장비	로그 그래플	아우트리거 2조

윈치 유니트는 차체의 운전캐빈 뒷부분에 탑재하였는데 각 드럼에 감긴 와이어 로프의 규격과 용량, 견인력 등은 다음 〈표 7〉과 같다.

〈표 7〉 다목적집재차 타워야더 원치드럼의 규격

드럼별	와이어로프 규격 (직경×길이)	견인력 (톤)	견인속도 (m/분)	제동능력 (톤)
스카이라인	∅ 16mm×250m	3.3	27~107	13.2
당김줄	∅ 8mm×250m	1.2~2.6	33~70	5.5
되돌림줄	∅ 8mm×500m	0.8~2.1	41~100	3.8

### 3.3.1.2 타워야더의 특징

개발된 타워야더는 구동방식이 트럭의 변속기에서 동력을 취출하는 구동방식으로서 원치에는 가변유량 모터를 부착하여 집재작업 시 견인속도와 견인력을 운전자가 임의로 선정할 수 있다. 즉 고속과 저속모드 선택 스위치와 죠이스틱 레버방식에 의하여 견인속도를 조종할 수 있는 유선 리모콘을 이용하여 조작이 간편하다.

집재거리는 현재의 드럼에 감긴 와이어로프의 용량에 의해 250m까지 가공본줄의 설치가 가능하다.

작업방식은 작업거리가 길고 1회 설치노선당 작업물량이 비교적 많은 경우에는 고정식 가공본줄 작업방식을 이용한다. 비교적 단거리의 소량 집재 시에는 고정식 가공본줄을 설치하지 않고도 작업이 가능한 하이리드 작업방식이나 런닝스카이라인 방식 등을 이용하면 효율적이다.

또한 임도로 집재되어 쌓인 원목은 지속적인 가선집재작업, 판매 및 운재, 다른 차량의 통행 등을 위하여 임도가 막히지 않도록 임도변 등에 정리하여 쌓아야 한다. 다목적 집재차에는 이러한 중량물인 원목을 쌓는 작업에 활용하기 위하여 최대 작업범위가 6m이고 원목 그래플이 부착된 크레인을 탑재하였다.



### 3.3.2 소형 리모컨원치

유령임분의 간벌작업은 생산되는 원목의 규격이 작고 또한 단위 면적당 생산재적이 많지 않기 때문에, 생산비용 중 약 50% 이상이 임내로부터 임도면까지 원목을 끌어내는 집재작업 부분에 투입되고 있는 실정이다. 현재 우리나라에서 사용되고 있는 집재작업 방법은 단거리 인력집재, 플라스틱 수라, 굴삭기, 소형 원치 등이 이용되고 있으나 주로 인력에 의한 집재작업방법이 사용되고 있다.

국립산림과학원에서는 기존의 아크야원치(썰매형원치)를 대체할 수 있는 소형원치로서 이동이 간편하고 우리나라의 산지와 작업원의 신체조건에 적합하며 리모컨 조작에 의한 최소 작업원 1인으로 소경목 단거리 집재작업을 실시할 수 있는 리모컨원치를 개발하였다.

개발한 리모컨원치는 휴대가 전체중량이 35kg정도로 1인 운반이 가능하며 작업원 1인이 리모컨을 이용하여 손쉽게 작업할 수 있는 소형 리모컨원치와 농용차 탑재형 리모컨 원치(2드림)를 개발하였다. 소형 리모컨원치의 주용도는 소경목 생산작업이나 소규모 지역의 간벌작업 등 원목의 수집작업과 타워야더나 트랙터집재, 수라집재 작업 시 보조원치로 이용할 수 있다.

본 장비는 경량이고 이동용 바퀴가 부착되어 있어 1인에 의해 운반, 설치, 철거가 가능하다. 리모컨장치를 이용하여 1인에 의하여 집재작업이 가능하므로 수라집재나 가선 집재장비를 이용한 집재작업 시 측방집재나 트랙터 집재 시 보조집재 장비로써 활용이 가능하다.

#### 3.3.2.1 리모컨원치의 성능 및 제원

이 장비는 산지에서 인력에 의한 운반이 가능한 경량형 소형 리모컨원치로 간벌지의 단거리 소경목 집재에 활용함과 동시에 타워야더 등 주집재 작업 시에 측방

집재 및 트랙터집재 시 보조집재 장비로써 활용할 수 있도록 제작하였다. 리모컨장치를 부착하여 1인에 의한 작업이 가능하여 임목생산비 가운데 가장 높은 비중을 차지하는 인건비를 절감하여 임업의 생산성을 향상시킬 수 있다.

소형 리모컨원치 본체에 사용된 엔진은 국내산 예불기에 사용되고 있는 국산 공냉식 2사이클 가솔린엔진이며, 드럼의 규격은 직경 5mm 와이어로프를 40m 정도 감을 수 있는 용량이다. 구동방식은 마찰 클러치방식이며 브레이크는 안전브레이크를 부착하였다. 엔진출력은 중속에서 6,000~7,000rpm이며, 고속에서는 8,000~9,000rpm이다.

한편, 리모컨 송수신장치는 최대 작업반경이 40m이내이며, FM펄스부호변조(PCM)디지털 방식을 채택하였고, 사용주파수는 447.875MHz이다. 수신기에서 저속, 중속, 고속으로 이루어진 속도조절과 클러치의 on/off를 조작할 수 있으며, 작업 중 비상사태에 대비하여 비상정지 기능을 가지고 있다.



〈그림 6〉 농용차 탑재형 리모컨원치



〈그림 7〉 소형 리모컨원치

### 3.3.2.2 작업방법 및 특징

국내에서 보급 활용되고 있는 소형 윈치로는 체인톱 엔진을 이용한 아크야원치와 기타 외국에서 수입한 몇 개의 기종들이 있다. 그러나 이들 윈치는 수동식으로 작동하기 때문에 기계의 소음이나 진동이 심하여 작업원에 작업부담을 크게 주고 있다. 또한 이들 장비는 기계의 조작에 1인, 원목을 묶어주는 초커작업에 1~2인의 작업원이 필요하여 최소 작업원이 2인 이상 소요된다. 그러나 본 장비는 리모컨 조종장치가 내장되어 1인으로도 집재작업을 수행할 수 있으며, 무게가 35kg 정도로 가볍고 탈부착식 이동바퀴가 부착되어 있어 산지에서의 이동을 쉽게 할 수 있는 특징을 갖고 있다.

본 장비는 집재규모가 작고 소경목이며 거리가 가까운 작업 장소에 사용할 수 있으며, 대규모 작업지역에서는 타워야더나 트랙터윈치의 보조기구로 사용하는 것이 바람직하다. 소요되는 보조작업도구는 사피, 원목집게, 스키딩 팬 등과 샷, 슬링 로프, 가이드블럭 등 고정기구 등이 필요하다. 작업원의 구성은 기계조작과 원목견인을 동시에 실시하도록 1인 1조로 구성한다.

원목을 견인하여 쌓을 장소부근의 윈치를 임목에 부착하고 지지 포스트의 고리를 임목의 수간에 로프 등으로 고정한다.

장비의 시동을 걸어 와이어로프를 집재대상 원목이 있는 곳까지 끌고 가서 와이어로프나 초커로프로 원목을 묶는데 보통 3~5본의 소경재 원목을 묶으며, 이때 견인저항을 감소시키기 위하여 FRP로 만든 스키딩 팬을 이용하면 장애물에 걸리지 않고 쉽게 견인할 수 있다.

리모컨의 견인스위치를 눌러 드럼을 구동하여 원목을 견인한다. 이때 작업자는 원목의 이동상황을 주시하면서 근주 또는 암석에 걸리지 않도록 주의한다.

### 3.3.2.3 작업능률

작업공정은 작업거리, 원목규격 등의 작업조건에 따라 많은 차이가 있으며, 보통 1회 설치 시 집재 가능 반경은 약 30m 내외이나 작업이 용이하도록 자주 장소를 옮기며 작업하는 것이 유리하다.

1회 평균 집재재적은 약 0.1~0.2m<sup>3</sup>로 1일 5~12m<sup>3</sup> 집재가 가능하므로 기존의 2인 작업의 아크야윈치보다 약 30% 정도의 인력을 절감할 수 있다. 작업 시 안전사항으로는 작업범위 내에 타인의 출입을 금하며, 운전자는 와이어로프에서 최소 1m 이상 간격을 유지하는 등 작업안전에 항상 유의하여야 한다.

### 3.3.3 미니포워더

현재 산림 내에서 원목의 운반 집재작업은 그래플이 부착된 소형굴삭기와 노후된 4륜구동 트럭(일명 GMC 트럭)으로 운반하는 것이 대부분이다. 일부에서는 경운기 엔진을 탑재한 임업용 작업차(일명 영림차)로 운반하는 방법을 이용하고 있으나, 원목의 상차작업이 힘들고 안전성이 결여되어 있어 고장이 잦으며 성능과 부품의 호환성 등에서 문제가 있다. 우리나라와 같이 소규모 작업지가 대부분인 경우 이동이 신속하고 벌채된 원목을 윈치와 크레인으로 집재·집적하여 임도와 단거리에 위치한 토장까지 운반할 수 있는 간편한 다목적 장비가 필요하다.

미니포워더는 임도시설이 부족한 현실을 고려하여 노폭이 2m 이하로 임지의 훼손을 최소화할 수 있도록 저규격 작업로를 주행할 수 있는 산림전용 원목운반 전용차량(미니포워더)이다.

### 3.3.3.1 제원 및 특징

미니포워더의 크기는 좁은 작업로에서 주행과 회전이 가능하도록 전장 5m, 전폭 1.6m, 적재용량 약 2.5m<sup>3</sup>(2톤)의 원목을 적재할 수 있도록 최소화하였다. 차륜의 접지압을 줄이고 지면이 연약한 작업로 및 험준한 지형에서 주행이 가능하도록 6륜 전륜구동식으로 설계하였으며 제원은 <표 8>과 같다.

<표 8> 미니포워더의 제원

구	분	제 원
차 량 규 격	중 최 대 출 령 전 장 적 재 량	3.9톤(크레인 포함) 60마력/2,400rpm 5 m 2 톤
구 동 방 식	동 령 전 달 방 식 주 행 장 치	HST시스템 무단변속장치 차륜형 6륜구동
크레인 및 윈치	크레인 도달작업범위 윈 치 견 인 령	최대 5m 1.45 톤(평균)
주 행 안정 성	최 대 등 관 한 계 최 대 주 행 속 도	20° 10km/hr
성 능	작 업 능 령	15m <sup>3</sup> /일 (집재로 주행 200m, 임내주행 50m)

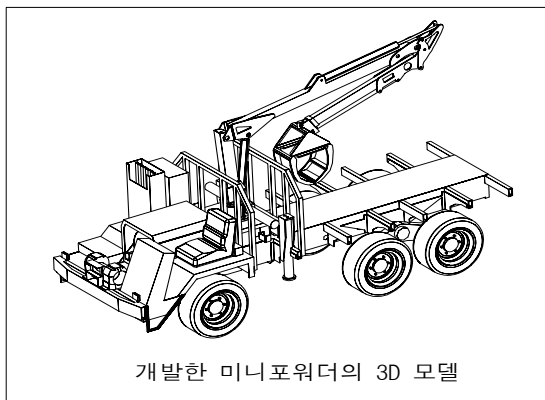
탑재 엔진은 적재 시 주행속도 범위, 경사지 등판능력에 대한 성능을 고려하여 국내에서 산업용으로 널리 이용되는 60마력급 국산 디젤엔진을 채택하였다. 일반적으로 일반 차량과 같이 차축 구조를 갖는 기계식 구동 시스템에서는 디퍼렌셜 케이스의 높이가 낮아 작업로에서 차체 침하와 주행 후 생기는 바퀴 고랑으로 인해 주행이 불가능하다. 미니포워더는 유압허브모터를 채택하여 차축과 디퍼렌셜 케이스가 없어서 최저지상고를 35cm 이상 확보할 수 있도록 유압구동(HST)방식을 채택하였

다. 최대주행속도는 작업로에서의 주행안전성을 고려하여 최고 시속 10km이며 작업로 경사도와 적재용량, 노면 상태에 따라 임의로 무단변속이 가능하도록 가변용량 유압펌프를 적용하였다.

또한 뒷바퀴 축은 보기(bogie)식 차축을 적용하여 좌우측 2쌍의 차륜이 각각 독립적으로 움직이므로 차체의 상하요동을 일반 고정차축에 비하여 1/2 이하로 줄여서 보다 안정된 주행이 가능한 장점이 있다.

유압식 구동 시스템의 구성은 2개의 가변용량 액시얼 피스톤펌프와 6개의 구동바퀴에 연결된 고정용적 유압모터가 병렬로 연결되어 있고, 뒷차축 4개의 차륜은 좌우 각각 2개씩 직렬로 연결하여 험지와 연약지에서의 원활한 주행성을 고려하였다.

유압모터의 회전토크를 구동력으로 전달하기 위하여 구동륜의 허브(hub)에 장치된 5:1의 유성기어 감속장치를 부착하여 가변펌프의 사판각도에 따라 0에서 최대 속도까지 무단변속이 가능하다. 또한 원활한 회전과 험지, 연약지반, 장애물 통과성을 향상시키기 위하여 선택적으로 6륜의 바퀴가 동일한 속도로 회전하여 개별적인 바퀴의 공회전을 방지하는 유압식 차동잠금장치(differential lock)를 부착하였다.



개발한 미니포워더의 3D 모델

〈그림 8〉 미니포워더 입체모식도



〈그림 9〉 미니포워더 상차광경

### 3.3.3.2 원치 및 크레인

기본 차량에 탑재할 작업장비로 집재용 유압식 원치와 소형크레인을 탑재하였다. 탑재된 소형크레인은 현재 국내에 상용화된 제품이 없는 최대인양력 2톤급(최대 4.5m까지 작업 가능)이다. 붐장치는 임내에 산재된 원목을 차량에 적재하는 작업이 가능하도록 2단 관절, 1단 신축식으로 제작하였으며, 크레인의 베이스는 차량 지지대와 모듈식으로 제작하였다. 회전은 실린더에 의한 회전방법을 적용하였으며 회전각도는 360°이다.

자체 중량을 최소화하고 넓은 작업반경과 원목 적재작업이 용이하도록 설계하였으며, 조종방식은 컨트롤 밸브 레버식이며, 작업 중 안전성을 확보하기 위하여 과하중을 방지할 수 있는 안전 릴리프 밸브장치를 설치하였다.

크레인의 붐 끝에 설치하여 부착된 그레플을 회전시키는 로테이터는 최대허용 하중 3,000kg이고 360° 전선회가 가능한 제품을 적용하였으며, 원목을 집는 집게형의 그레플은 소경목을 취급하기 적합한 그레플 단면적이 약 0.14m<sup>2</sup>인 소형으로 설계·제작하였다.

개발한 미니포워더의 전면에 집재용 유압원치를 부착하여, 크레인이 도달하지 못하는 임내와 사면에 산재된 원목을 견인하거나 습지 등에 빠졌을 경우 자체 탈출이 가능하도록 하였다. 원치의 작업능력은 최대 견인력 2톤, 견인속도는 분당 30~40m, 최대집재거리 60m로서 집재로 또는 임도상에서 차량이 진입하지 못하는 작업지의 원목을 차량이 주행 가능한 도로상으로 끌어 모을 수 있다.

### 3.3.3.3 작업능력

미니포워더를 이용하여 집재작업을 실시할 경우, 크레인에 의한 수집 및 적재운반작업의 능력은 집재로 주행거리가 200m, 임내주행거리가 50m의 경우 임내로 주

행하며 원목을 수집하며 임도변 토장까지 집재할 경우, 1일 약 15m<sup>3</sup>을 집재할 수 있었다.

또한 전방에 부착된 유압식 윈치를 이용하여 윈칭작업을 실시할 경우 집재작업 능률은 2인 1조 작업으로 40m 이내 작업시 1일 16m<sup>3</sup>의 능률을 나타내었다.

### 3.3.3.4 활용방안

이러한 미니포워더를 이용하면 저규격 작업로를 이용하여 차량에 원목을 실어서 집재·운반이 가능하므로 현재 인력작업 및 플라스틱수라, 소형윈치 위주의 작업 시스템을 인력으로 대체하여 1인 작업이 가능하다. 1인 작업에 의한 운반집재 시스템은 투입인력을 최소화할 수 있어 임목수확작업의 생산성을 향상시킬 수 있다.

우리나라에서 지금까지 활용하는 6륜 구동 트럭(GMC 트럭)은 과도한 작업로 개설로 인하여 임지를 훼손시켰으나, 본 개발 장비는 노폭 2m 이하의 저규격 작업로를 이용하여 집재작업이 가능하므로 임지의 훼손을 최소화할 수 있다.

현재 수집·이용되지 못하는 간벌재를 이러한 미니포워더를 이용하여 작업할 경우, 상차작업을 위한 굴삭기의 추가 투입이 필요 없으므로 작업비의 절감과 생산성 향상을 도모하여 수집 활용범위를 넓혀 간벌작업의 수익성을 개선시킬 수 있다.

본 장비를 이용한 1인 작업 시스템은 인력부족 현상에 대처할 수 있으며, 작업이 간편하고 작업강도가 낮으므로 현재 질적으로 낮아지고 노령화된 산림작업 노동력의 활용도를 높여 작업인력을 효율적으로 활용할 수 있다.

예상되는 활용분야로는 간벌작업지에서의 벌채된 원목의 집재 및 중량물의 상차작업 및 운반집재작업, 조림용 묘목 및 산림토목 공사용 자재류의 운반작업에 활용할 수 있다.

또한, 국내에서 생산되는 집재용 차량이므로 장비의 유지관리 및 사후 서비스가



가능하며, 생산비용이 기존의 외국장비에 비해 저렴하여 소규모 주문생산 방식에 의한 기업화가 가능할 것이다. 시작품의 보급 추정가격은 동급 외국제품 구입 시보다 35% 이상 저렴한 가격으로 판매할 수 있을 것으로 예상된다.

또한 우리나라와 같이 중경사 이상의 지형에서 집재작업을 크게 가선계와 차량계로 나누어 볼 때, 가선계의 다목적 집재차와 차량계의 원목운반용 미니포워더를 개발함으로써 최소한도의 임목 집재장비 시스템을 구축할 수 있는 임업기계를 국산화하였다는 것에 의미가 크다고 할 수 있다.

### 3.3.4 굴삭기부착용 타워집재기

국내에 임도사업용으로 많이 보급된 12톤 이상(0.6m)의 굴삭기에 탑재하여 사용 가능한 2드럼식 집재기이다. 이를 이용하여 런닝스카이라인 방식의 집재가 가능한 장비로서 산림청 임업특정과제 예산지원을 받아 경북대학교와 (주)광림이 공동 개발하였다. 본 장비를 이용하면 임도변에서 상·하향 집재가 가능하며 굴삭기의 버켓 대신에 그래플 쏘우를 부착하여 전간재 집재 후 바로 조재작업을 손쉽게 할 수 있는 장비이다.

#### 3.3.4.1 제원 및 특징

2개의 드럼이 부착되어 있으며 드럼에는 직경 9mm 와이어로프가 각각 200m, 450m 감겨있어 최대 200m까지 런닝스카이라인 방식의 집재가 가능하다. 굴삭기에 원목집계나 그래플쏘우를 부착하여 조재작업을 바로 실시할 수가 있어서 작업이 편리하다.

본 집재기에 탑재된 유압식 윈치의 제원은 <표 9>와 같으며 와이어로프는 필요

에 따라 10mm로 교체할 수가 있다. 2개의 드럼에 감긴 와이어로프의 감김과 풀림속도를 로터리 엔코더를 이용하여 로프속도를 동조시켜 원활한 집재가 가능한 간이 인터로킹 기능을 가지고 있다.

〈표 9〉 굴삭기 타워집재기의 제원

구 분	제1드럼	제2드럼
드럼명	당김줄 드럼 (Mainline drum)	되돌림줄 드럼 (Haulback line drum)
인장력 (톤)	1.5~2.0	1.5~2.0
주행속도 (m/분)	50~70	50~70
와이어 감김용량 (m)	9mm × 200	9mm × 450
브레이크방식	내부확장식 디스크브레이크(모터내장)	
클러치방식	없음(모터직결)	
조작방식	유선 리모트 콘트롤	

#### 3.3.4.2 작업방법 및 능력

굴삭기 타워 집재기는 러닝스카이라인 방식으로 설치와 철거가 손쉬워 간벌목 집재에 적합하나 고정 스카이라인 방식보다 측방집재거리가 제한되므로 자주 설치 노선을 바꾸어야 한다. 측방집재거리는 좌우 5m 이내가 적합하며 5m 이상일 경우 잔존목에 대한 피해가 우려되고 줄을 집재 대상목까지 끌고 가서 원목에 묶어주기가 힘들어 자주 노선을 바꾸어 주는 것이 유리하다.

1회 집재량은 0.7m까지는 별도의 버팀줄이 없이 작업이 가능하며 집재시는 블레이드를 내리고 그래플 쏘우가 지면에 닿게 한 후 고정하여 작업하는 것이 안전하

다. 전간목 집재작업의 경우 1본씩 집재해야 하므로 재적이 클수록 작업능률을 높일 수 있으며, 소경목의 경우는 초커시스템을 사용하면 작업이 유리하다. 러닝스카이라인의 특성상 전간재나 전목재일 경우 집재목의 일부가 지면에 닿도록 하거나 충분한 처짐비(垂下比)를 확보하여 와이어로프에 과도한 장력이 걸리지 않도록 작업하는 것이 안전하다.

집재거리 80m, 단재적 0.15m<sup>3</sup>인 전간재 집재시 설치 철거를 포함하여 2인1조 작업원이 시간당 평균 1.26m<sup>3</sup>를 집재할 수 있으며 본당 재적이 0.5m<sup>3</sup>정도이면 시간당 4.2m<sup>3</sup> 집재가 가능하다. 이러한 형식의 집재기는 일본에서는 Swing tower yarder라고 불리는 장비로 와이어로프의 속도를 동조시킬 수 있는 인터로킹 기능이 완벽하면 작업속도를 높여 작업능률을 높일 수 있다.



〈그림 10〉 굴삭기 탑재형 집재기



〈그림 11〉 그래플쏘우

### 3.3.5 HAM 200 트랙터부착형 집재기

농가에 많이 보급된 60마력급 이상의 농업용 트랙터를 집재작업에 활용할 수 있는 장비로는 트랙터부착용 원치가 있으나 트랙터원치는 지면끝기식으로 1~2개의 드럼으로 작업하므로 견인속도를 빠르게 하는 데는 한계가 있다. 따라서 높이 조절이 가능한 타워를 부착하여 러닝스카이라인 방식 등의 간이 가선방식을 이용하면 작업속도가 빠르고 전간재 집재에 유리하다. 본 장비는 농업용 트랙터를 간이 가선 장비로 활용할 수 있도록 2개의 드럼을 장착하였으며, 드럼의 조작은 레버에 의한 원추형 마찰클러치를 이용한 기계식 방법을 적용하여 제작비용이 저렴하고 구조가 간단하여 조작이 쉬운 장점이 있다.

본 장비는 산림조합중앙회 임업기계훈련원에서 농림기술개발과제의 일환으로 실무자가 개발한 장비로서 일선 관리소에 보급되어 널리 활용되고 있는 장비로서 제원은 <표 10>과 같다.

<표 10> HAM200 집재기의 제원

타워 및 원치부					동력전달계통			
중량 (kg)	전장 (m)	전폭 (m)	전고 (m)	견인력 (톤)	드럼수	동력 전달	원치 작동	타워 신축
870	0.65	1.64	2.88~4.38	4 (60마력)	2	디스크 클러치	기계식레버	유압식

#### 3.3.5.1 구조

트랙터의 3점링크에 연결되는 본체에는 지지대인 블레이드가 부착되어 원치부분을 안정시킬 수 있으며, 타워의 높이는 트랙터의 유압을 이용하여 최대 4.38m

까지 높일 수 있고 2단으로 높이 조절이 가능하다. 타워의 상단에는 2개의 도르래가 페어리드 형식으로 와이어로프의 방향을 유도하는 역할을 한다. 원치의 고정은 상부링크로 타워가 트랙터와 일체가 되도록 고정하고 턴버클을 이용하여 버팀줄이 집재방향과 반대가 되어 평형을 유지하도록 타워를 고정한다.

상향집재 시에는 1개의 드럼에 직경 12mm의 와이어로프를 설치하여 간이가선방식으로 작업을 실시하며, 이 때 당김줄은 8~10mm 로프를 드럼에 250m 가량 감아 사용한다. 도르래를 이용한 간이 캐리지(짐달림 도르래)를 스카이라인에 샤클 등으로 스톱퍼장치를 부착하여 임의의 위치에 캐리지를 정지시킬 수 있다. 하향집재 시에는 러닝스카이라인 방식으로 활용하기 위하여 10mm 와이어로프 300m 정도를 드럼에 감아서 집재하면 150m까지 집재가 가능하다.

### 3.3.5.2 작업방법 및 특징

버팀줄은 12mm로프로 반드시 2개를 사용하여 임목이나 근주에 고정하여야 하며, 클러치레버의 조작은 서서히 확실하게 작동하여 클러치 디스크가 미끄러지지 않도록 한다. 되돌림줄 도르래는 지주목에 설치하고 버팀줄 등으로 고정하며, 특히 타워를 이용한 가선집재 시에는 타워의 버팀줄을 설치각도가 제대로 되도록 올바르게 설치하여야 한다.

이러한 간이가선 집재방식 외에 일반 트랙터용 집재원치와 마찬가지로 지면끝기 집재를 실시할 수가 있는데 이때의 사용방법은 파르미원치와 같은 방식으로 작업을 실시한다. HAM200 집재기는 견인력이 크기 때문에 중·대경재의 전간집재에 특히 효율적이며 트랙터 원치에 사용하는 초커체인을 활용하며 여러 개의 원목을 집재할 수가 있어 간벌작업에 효과적이다.



〈그림 12〉 HAM200 트랙터부착형 집재기

### 3.3.6 프로세서

굴삭기의 유압을 이용하여 버킷 대신에 프로세서 헤드를 부착하여 가지가 달려 있는 전목의 가지를 제거하고 토막을 낼 수 있는 조재장치를 개발하여 인력에 의한 체인톱 작업을 대체하기 위한 장치이다. 국내 산림작업지에 많이 보급된 굴삭기를 기본차량으로 여기에 고성능 장비인 프로세서 헤드 유닛을 국립산림과학원에서 농림기술개발과제로 개발하였다.

#### 3.3.6.1 제원 및 특징

프로세서의 구조는 로테이터, 가지제거용 칼날, 피드롤러, 유압식 체인톱, 길이 및 직경 계측장치, 전자식 제어부분 등으로 이루어져 있다. 가급적 경량화하기 위한

구조로서 기능을 자동화하기 위하여 계측장치와 복잡한 유압식 콘트롤이 장치되어 있으며 최대의 작업속도를 올릴 수 있는 유압을 극대로 이용할 수 있는 구조로 설계되어 있고, 7톤급 굴삭기에 부착 가능한 헤드 중량 600kg이하의 프로세서의 개발을 목표로 하고 있으며, 내장된 제어유니트는 16bit 보드컴퓨터로 수종, 조재길이의 자동 및 수동설정 등이 가능하다. 개발장비 제원은 <표 11>과 같다.

<표 11> 굴삭기부착형 프로세서 제원

구 분	내 용	비 고
중 량	800 kg	
송재장치	피드롤러 2개	철제
지타장치	1 고정식 +2 유동식 칼날	
송재속도 (송재력)	1.75 m/초 이상 (1~1.5톤)	
지타가능 최대원목직경 (절단가능 최대 직경)	30cm 이하 (35cm 이하)	
절단방식	유압구동 체인톱	가이드바 45cm
부가기능	채장, 직경측정장치	로터리 엔코더 방식
조작방법	조이스틱 노브스위치	



<그림 13> 프로세서 헤드의 구조



<그림 14> 프로세서 작업광경

### III. 개발·도입장비의 성능시험

임목수확용 장비는 지금까지 주로 외국에서 도입되어 활용하였으나, 고장 시 부품조달 문제와 조작의 어려움 등 여러 가지 문제를 가지고 있었다. 따라서, 최근에는 영림기능인 작업단을 중심으로 우리 지형에 적합한 기종들이 속속 개량 개발되고 있으나 이에 대한 정확한 성능의 파악이 되지 않아 안전작업의 문제도 이와 더불어 불거지기 시작하였다.

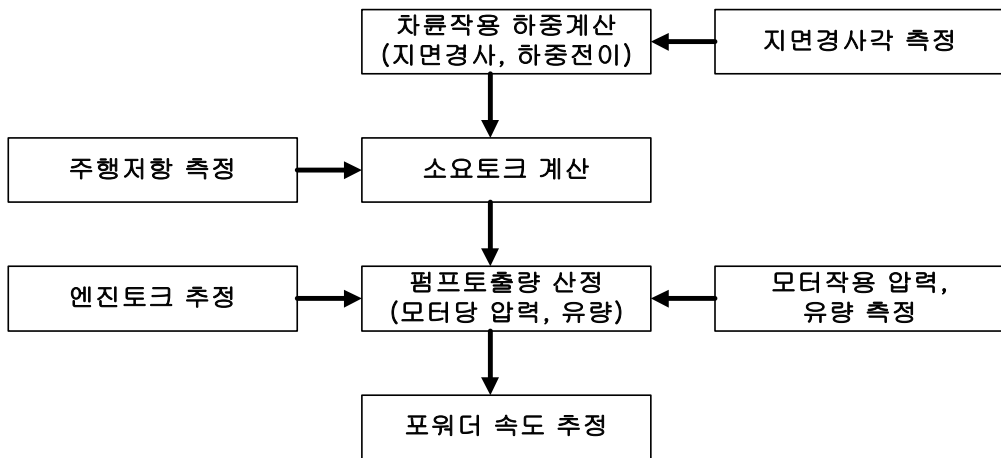
정확한 성능을 파악하고 사용하는 장비와 주먹구구식으로 사용하는 장비의 효율성은 큰 차이가 있다. 따라서, 본 과제에서는 그 간 우리나라에 도입되어 사용되고 있는 기계의 성능, 안전성 등에 대한 시험을 통하여 금후 임업기계의 국산화 개발에 도움이 되고자 하였다.

#### 1. 미니포워더

##### 1.1 주행성능 시험

국내에서 개발된 장비의 기계적 성능을 파악하기 위하여 농림기술개발과제로 개발된 미니포워더의 평탄지 및 경사지 임도에서 경사 방향별 주행시험을 실시하였다.





〈그림 15〉 유압성능 측정 순서도

주행성능에 대한 측정은 전륜과 후륜에 작용하는 유압과 유량을 각각 측정하여 미니포워더의 주행속도를 측정하였고, 본 측정결과를 기본으로 지면 경사각을 측정하여 차륜에 작용하는 하중을 계산하고, 이에 따른 소요 토크를 계산하여 측정된 엔진 토크를 이용하여 펌프의 토출량을 산정하여 개발된 미니포워더의 속도와 유압계통의 성능을 추정하였다.

### 1.1.1 측정방법

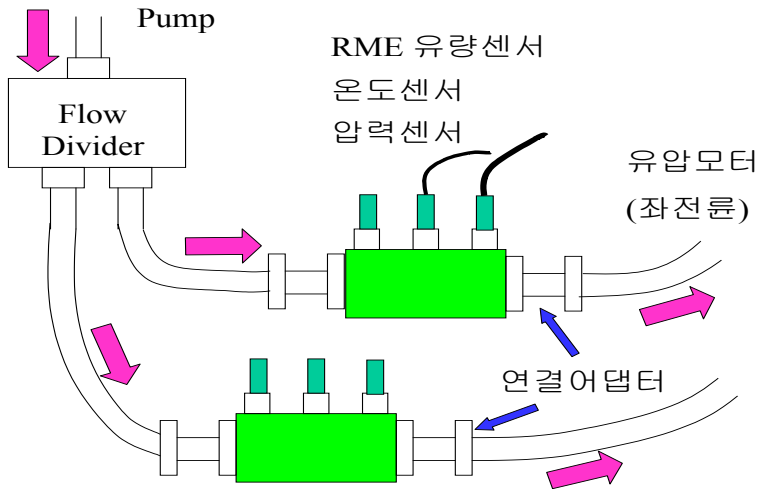
주행시험을 실시하기 전에 디지털 계량기를 이용하여 원목을 계량한 후, 2~2.2톤의 원목을 적재하여 평탄지 및 경사지 등 2가지 노면상태에서의 속도 및 주행상태를 파악하고자 유량센서, 유압센서, 온도센서를 차륜을 구동시키는 유압계통에 설치하여 유압관련 내용을 측정하였다.

측정에 적용한 유압측정기는 Hydrotechnik의 유압측정용 Handy 데이터로거인 Multi-system 5000 (6ch)이었으며, 사용된 센서의 제원은 〈표 12〉와 같다

센서의 부착위치는 유압펌프에서 모터사이의 유압회로에 터빈식 유량센서와 유압센서, 온도센서를 설치하였으며, 탠덤펌프 중 한 개에서 병렬로 연결된 전륜 구동용 모터와 후륜구동용 모터에 각각 유량계와 유압센서를 설치하여 각 구동륜에 작용하는 유압과 유량을 동시에 측정하였다.

〈표 12〉 유압측정에 적용된 센서의 특징

센서명	모 델	측정범위		측정내용	측정정도
		최소	최대		
유량센서	RE 3-300 Turbin flow meter	0 bar	300 l /min	후륜 및 전륜 유압 모터 공급유량	± 2.5 %
유압센서	HD thin film DMS	0 bar	600 bar	후륜 및 전륜 모터 작동 유압	± 0.5 %
온도센서	Pt 100	-40 ℃	+120 ℃	유압유 온도	± 1 %



〈그림 16〉 유량 및 유압계측 측정 모식도



〈그림 17〉 센서 부착위치 및 유압계측 데이터로거

각 센서는 제작사에서 제시한 보정값으로 보정하였으며 데이터 취득간격은 200 mm/sec로 설정하였고, 데이터로깅과 노면의 상태, 경사각도를 동조시켜 조사하였다.

측정내용은 콘크리트 포장 노면에서의 빈차상태와 하중적재 후 최대속도로 주행 시 차량의 속도와 펌프 토출 유량, 유압을 측정하였고 비포장 노면에서 원목 2.2톤을 적재하여 산림생산기술연구소 광릉시험림 내에 위치한 임도와 작업로의 급경사 비포장 노면에서 시험주행을 실시하였다.

### 1.1.2 콘크리트 노면에서의 주행시험

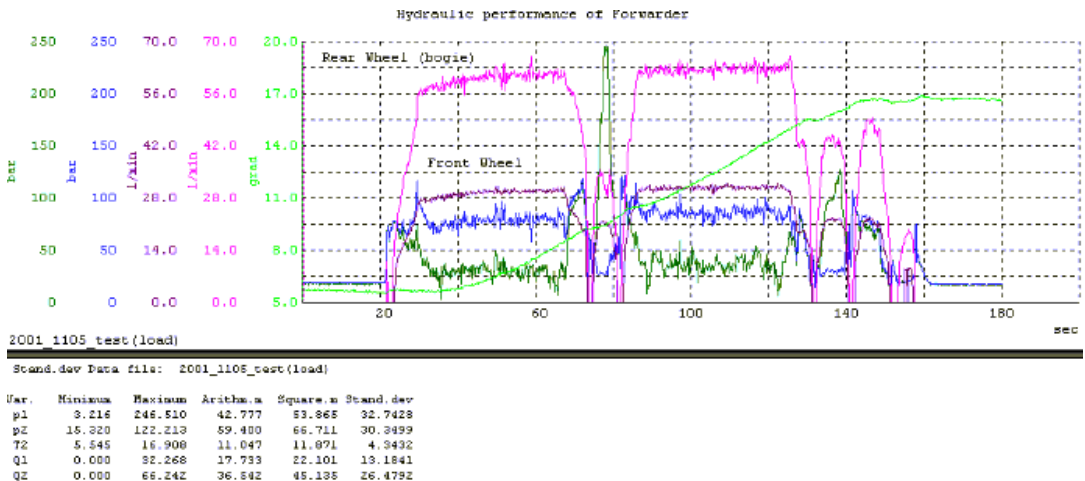
산림생산기술연구소 구내 콘크리트 노면 직선구간 100m를 최대 엔진 rpm회전으로 주행할 때의 공차와 적재차량의 주행속도 및 유압관련 측정 데이터 정리내용은 〈그림 18〉 및 〈그림 19〉와 같으며, 이 경우 미적재시와 원목 2.2톤을 적재했을 경우의 주행속도는 각각 시속 10.37km와 10.74km로 차이가 거의 없었다.

〈표 13〉 평탄지 주행시험결과

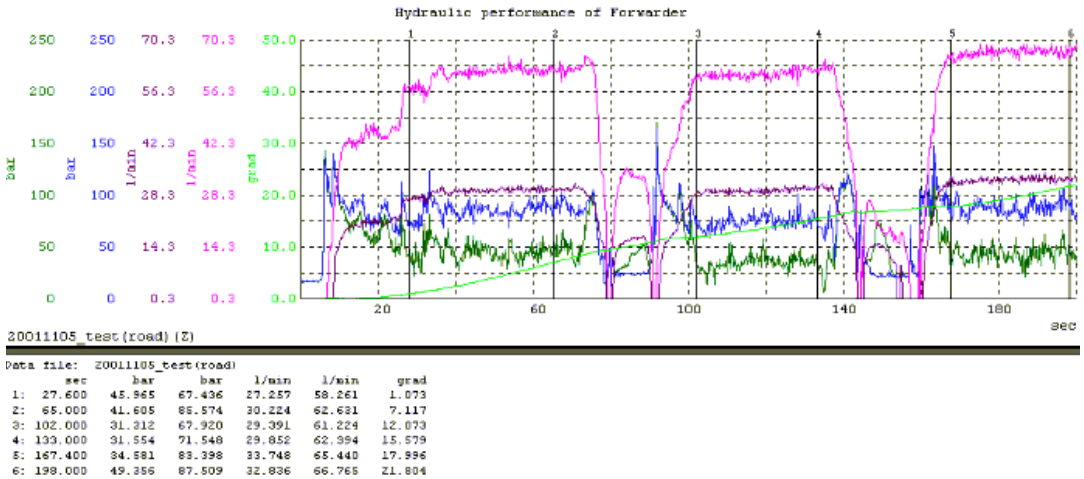
구분	차륜별	차륜하중 (톤)	펌프 <sup>*)</sup> 토출량 (l/분)	유량기준 속도(A) (km/h)	측정 유압 (bar)	측정유량 (l/분)	실측평균 속도(B) (km/h)	비율 (B)/(A)
공차시	전륜	1.12	91.2	10.86	34.1	30.2	10.37	0.95
	후륜	0.43			82.4	60.3		
적재시	전륜	1.20	93.8	11.15	41.4	30.8	10.74	0.96
	후륜	0.94			81.5	63.2		

\*) 펌프트출량은 1개 펌프 기준

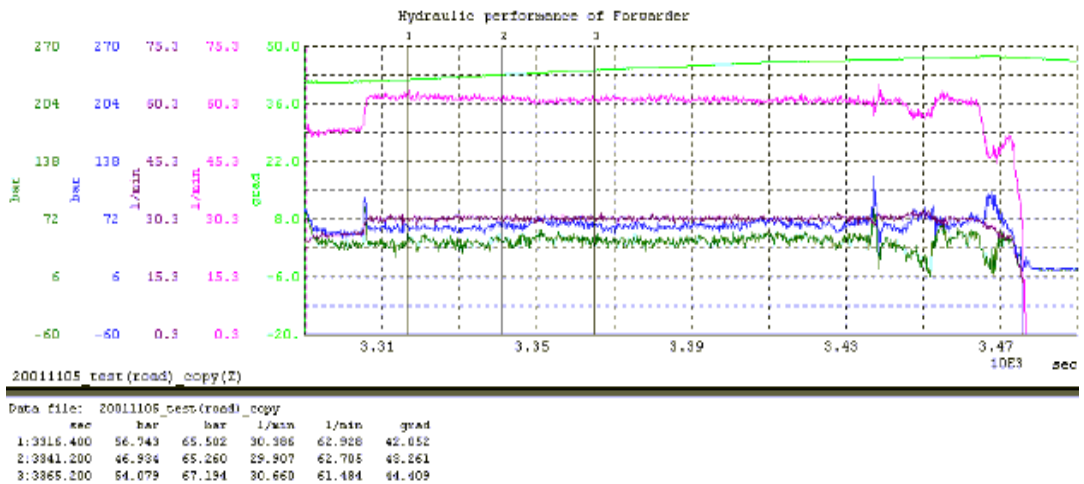
이때 차량 전후륜이 받는 차륜하중과 실측된 속도와 펌프트출 유량으로 계산된 속도 등을 비교하면 다음 〈표 13〉과 같으며, 테스트 주행 중의 100m구간을 2회 주행했을 때의 각 측정치 변화추세는 〈그림 20〉과 같다.



〈그림 18〉 평탄 콘크리트 노면 미니포워더 공차주행 시 유압관련 측정치 변동추세



〈그림 19〉 평탄 콘크리트 노면 미니포워더 적재주행 시 유압관련 측정치 변동추세



〈그림 20〉 미니포워더 도로주행 시 유압관련 측정치 변동추세

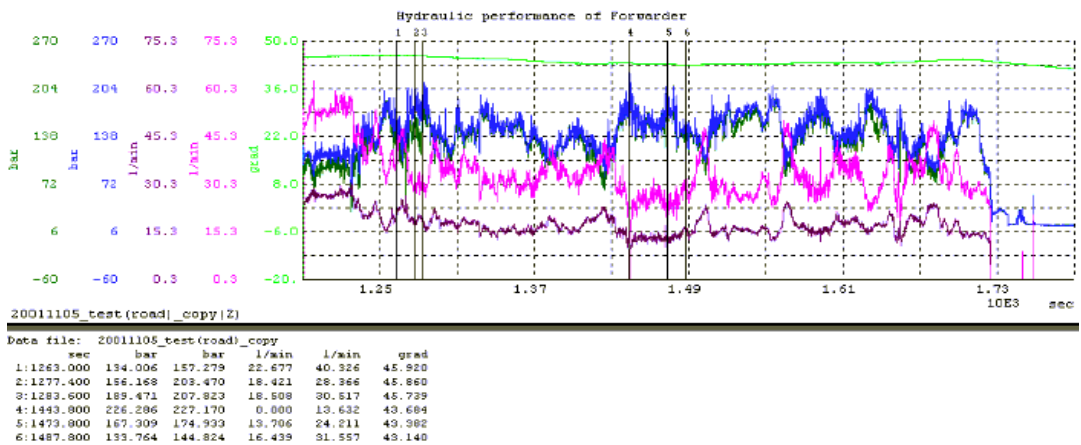
### 1.1.3 임도에서의 주행시험

임도에서의 주행시험은 2.2톤의 원목을 싣고 굴곡이 있는 평균 경사 15% (최대 경사 25%)인 임도 약 1.5km 구간에서의 상향 및 하향주행을 실시하였다. 이때의 속도는 상향시 평균 시속 4.96km, 하향시 평균 시속 5.22km 이었다. 이때의 유압압력

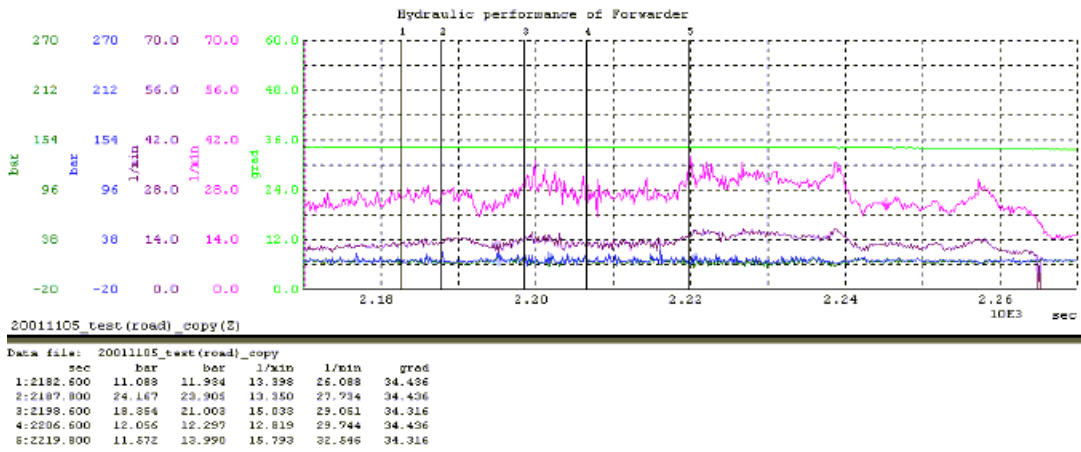
및 전륜 및 후륜 유압모터에 작용하는 압력은 경사도에 따라 다르나 후륜의 경우 최대 227 bar로 경사지가 설계사양인 20도(36%)에 미치지 못하므로 최대유압에 도달하지 않았으나 원활한 주행이 가능하였다. 대부분의 산림 내에서의 포워드 작업은 중량물을 싣고 하향으로 이동하기 때문에 급경사지의 상향주행은 극히 일부의 작업장에서 짧은 구간 내에서 이루어지므로 급경사지의 주행에는 문제점이 없는 것으로 판단된다. 여기에서 평탄지에서의 실측속도와 유량기준 이론속도와의 차이는 평지의 96%에 비해 92%로 다소 낮아졌는데, 이는 타이어의 슬립, 유압모터의 용적 효율 등에 따른 차이로 추정할 수 있다.

〈표 14〉 경사지 상향주행시험 결과 (2.2톤 적재, 경사지 25%)

구분	차륜별	차륜 하중 (톤)	펌프 토출량 (l/분)	유량기준 속도(A) (km/h)	측정 유압 (bar)	측정유량 (l/분)	실측평균 속도(B) (km/h)	비율 (B)/(A)
적재시	전륜	0.83	43.1	4.96	167.8	15.0	4.59	0.92
	후륜	1.08			185.9	28.1		



〈그림 21〉 미니포워드 임도 상향주행(2.2톤 적재 시) 유압관련측정치 변동 추세



〈그림 22〉 미니포워더 임도 하향주행(2.2톤 적재 시) 유압관련측정치 변동 추세



〈그림 23〉 임도 주행테스트광경



〈그림 24〉 콘크리트 임도 주행테스트광경



〈그림 25〉 임도 하향주행 광경



〈그림 26〉 보기차축의 그루터기 통과능력



## 1.2 기타 성능테스트

위와 같은 주행테스트에서 얻어진 결과는 전륜과 후륜의 회전은 유압의 분배에 따라 1:2로 분배되어 차륜 회전속도의 차이는 평지에서는 1~3% 미만 경사지에서는 6% 정도에 불과하여 차륜 회전수에 의한 슬립현상은 거의 없었다. 또한 디퍼렌셜 잠금 기능을 작동시킬 경우 유압의 이상 상승, 유량의 변화도 없었으며 전후 차륜의 회전차이는 2% 미만이었다.

장애물 통과능력은 임내에서 약 15cm의 나무그루터기를 무난하게 통과할 수 있으며, 차량의 최저지상고가 35cm 이상 확보되므로 임내에서 문제점이 없는 것으로 나타났다.

## 2. 유압식 벌목기

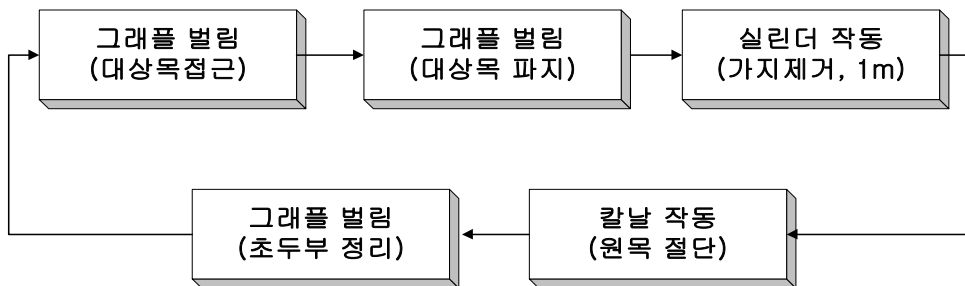
### 2.1 작업기의 특징 및 작업방법

기능품별 성능시험을 벌목기를 대상으로 조사하였다. 조사기종에 대한 제원은 <표 15>와 같으며 작업 순서는 <그림 27>과 같다. 자체중량 260kg인 소형의 작업기로 소형 굴삭기에 손쉽게 부착하여 사용할 수 있는 장점이 있으며, 최대 직경 25cm까지 벌도가 가능하다. 작업은 그래플을 벌려 대상목에 접근시키고, 그래플을 닫아 대상목을 파지하며 스트로크 실린더 작동으로 가지를 훑고, 칼날 작동으로 원목을 절단하며 그래플을 벌려 후동목 정리를 실시하는 싸이클로 벌목기의 작업이 이루어진다.



〈표 15〉 조사기종 제원

구 분	제 원
기 종	벌목기
모 델	Steg Master 2000-25
자체중량	260 kg(로테이터 제외)
1동작거리	100 cm
1동작속도 (50 l/분)	1.5초/m(지타작업시) 0.8초/m(원위치)
최대벌목직경	25 cm
최대개구폭	50 cm
전 고	163 cm
작업압력	200 bar
절단용 날 두께	8 mm



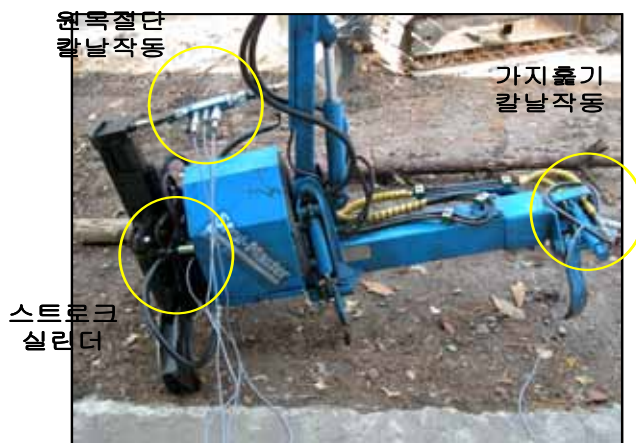
〈그림 27〉 유압식벌목기의 작업순서

## 2.2 유압 및 유량변화 측정

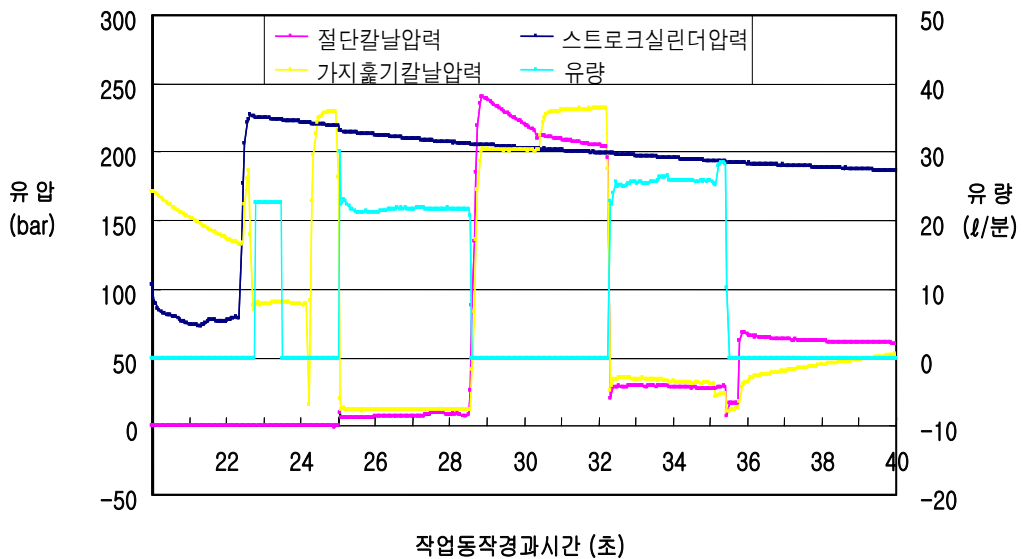
각 부위별 기능과 유압회로 측정 포인트는 그림 30과 같고 유압 및 유압측량 센서의 특징은 〈표 16〉과 같다. 유량센서는 측정범위는 최대 분당 300 l, 유압센서의 측정범위는 최대 600bar로써 벌목기의 유압 및 유량 측정에 충분한 센서라고 할 수 있다.

〈표 16〉 유압 및 유량측정 센서 특징

기종명	측정범위	측정정도
유량센서	3~300 l/분	± 2.5%
유압센서	0~600 bar	± 0.5%
온도센서	-40 ~120° C	± 1.0%



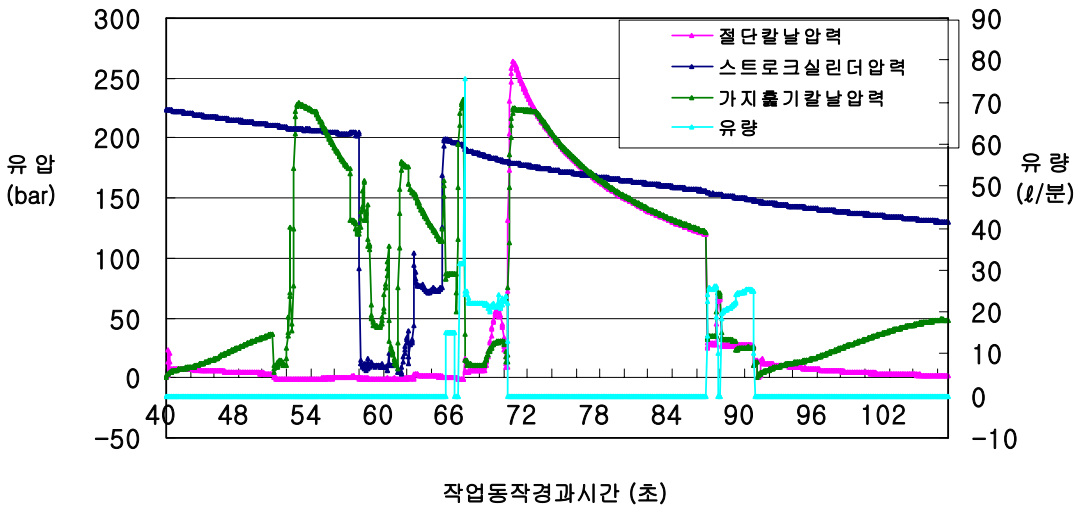
〈그림 28〉 유압회로 측정포인트



〈그림 29〉 무부하시 유압 및 유량 변화

유압 및 유량조사 결과는 <그림 29>와 같이 벌목기의 무부하시 유량공급은 30 l/분이었으며 이때 스트로크 실린더의 유압이 작동 후에도 지속적인 압력이 유지된 것으로 나타났다.

또한, 원목 절단시 벌목기의 유압 및 유량변화를 조사한 결과는 <그림 30>과 같이 유량공급은 76 l/분 이하로 이때 칼날에 걸리는 유압의 압력은 250bar 이상이며 원목 절단작업 광경은 <그림 31>과 같다.



<그림 30> 원목절단 작업시 유압 및 유량 변화



<그림 31> 원목절단 작업 및 유압포트 부착광경

이상과 같이 굴삭기부착 별목기의 유압 및 유량을 측정한 결과, 유량은 분당 76 l, 유압은 250bar 이상으로 유량 및 유압만으로 고려하면 국내에서 활용되는 7톤급 이하 소형 굴삭기에 부착 가능한 것으로 분석되었다.

### 3. 소형임내차

임업용 기계의 주행안정성 예측 모형을 개발하고, 이를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 안정성 향상 방안과 안전주행 한계를 구명하기 위한 것으로서 구체적인 목적은 주어진 주행 조건 및 지형 조건에서 대상 장비의 횡전도 현상을 예측할 수 있는 안정성 예측 모형 개발과 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 임내차의 안전주행 한계 및 임내차의 설계 변수가 안정성에 미치는 영향을 구명하고, 주어진 작업 조건과 지형 조건에 따른 원목적재 시 작업안전 영역을 구명하고자 수행하였다.

#### 3.1 대상기종

임업기계의 주행 안정성 및 제반 기계적 성능 시험은 임업기계를 이용한 산림 작업계획 수립에 큰 영향을 미치고 있다. 따라서, 본 시험에서는 기존 도입된 후면 적재형 임내작업차(YCT 250)와 측면적재형 임내작업차에 대한 지표장애물 통과시의 수직변위의 비교 변화, 수직방향 속도 및 가속도비교, 장비의 전복각도 등을 분석하여 차량의 임내주행 안정성과 금후 개발될 저가보급형 장비에 대한 국산화에 기여하고자 하였으며, 대상기종의 특성 및 제원 등은 <표 17>, <표 18> 및 <그림 32>와 같았다.

〈표 17〉 측면적재형 임내작업차의 제원

형 식	Yamabiko GC557	
기 본 제 원	전장, 전폭, 전고 (mm)	1,920×1,120×2,240
엔 진	엔진마력 (ps) 속도 최고~최저 (km/h) 변속 전진/후진	7.0 - 7.5 5.5~1.7 3단/1단
주 행 부	궤도폭 (mm) 접지장 (mm) 궤도중심거리 (mm)	250 900 680
원 치	견인력 (kg) 드럼용량	800 ∅ 9mm×100m

〈표 18〉 후면적재형 임내작업차의 제원

형 식	YANMAR YCT250	
기 본 제 원	전장, 전폭, 전고 (mm) 최저지상고 (mm)	3,145×1,355×1,365 223
속 도	1속~3속 (km/h) 후진 (km/h)	1.88~5.33 1.97
성 능	적재하중 (kg) 등판능력 (도) 최소회전반경 (m)	2,000 20 (1속 2,000kg 적재시) 1.7
엔 진	출력 (ps/rpm)	15/2,600
베 이스 머 신	궤도폭 (mm) 접지장 (mm) 궤도중심거리 (mm) 접지압 (kg/cm <sup>2</sup> )	280 1,530 900 0.23(공차시),0.46(2000kg적재시)
원 치	드럼 용량 견인력(kg)	∅ 8mm×80 700

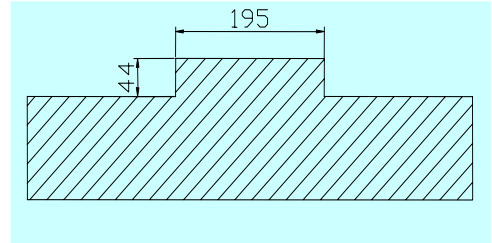


〈그림 32〉 측면적재형 및 후면적재형 임내작업차

## 3.2 주행시험

### 3.2.1 주행장애물 설치

〈그림 33〉은 유효성 검증시험 주행노면을 설치한 것을 나타내고 있다. 임업용 차량이 주행하는 지면은 균일한 노면보다는 불규칙적인 노면주행이 대부분으로 다양한 장애물을 통과하는 특징이 있다. 주행시험에 사용되는 시험용 노면은 범프 코스(bump course), 파형 코스(wave course), 장애물 코스(obstacle course), 트렌치 코스(trench course), 디치 코스(ditch course) 및 경사 코스(inclined course) 등으로 나눌 수 있다. 본 시험에서는 궤도형 차량의 가동시험장에 설치되어 있는 요철 장애물코스(bump course)를 기본으로 설정하였다. 본 장애물의 규격은 노면 높이 44 mm이고, 너비는 195 mm이다.



〈그림 33〉 유효성 검증시험용 장애물 설치 광경 및 모식도

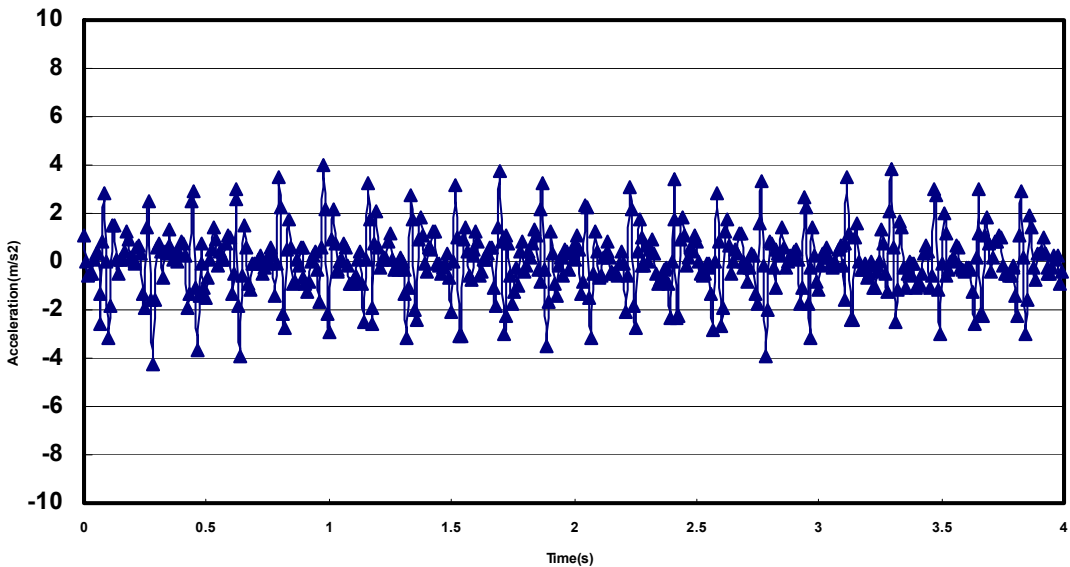
### 3.2.2 주행검증 시험

임내차는 샤프트부와 궤도부, 엔진, 변속기(transmission) 및 윈치(winch)로 구성된 궤도형 차량이며, 이 차량의 동적 거동은 상호간 각 부분에서 발생하는 Contact parameter에 의하여 일어난다. 본 연구에서 개발된 임내차 시뮬레이션 모델과 실제 차량의 동적거동을 비교, 검증하여 동적 시뮬레이션 모델의 유효성을 평가하고자 하였다.

여기에 활용된 임내차는 스프로킷, 아이들러 및 로드휠로 구성된 궤도에 의해 움직이게 되고 경사나 굴곡이 심한 노면을 주행할 때 충격을 1차적으로 흡수 완화시키는 기능을 가지고 있어 부정지 주행시 유리하다. 주행실험에서 실험 장비를 설치하여 측정된 값은 수직 방향 가속도이다. 샤프트 중심에 1축 가속도계를 사용하여 상하 진동 수준을 측정하였다. 또한, 센서로부터 얻어지는 데이터는 정확한 시간과 위치를 측정하여 시뮬레이션과 같은 상황을 만들었다.

### 3.2.3 주행검증 시험과 시뮬레이션 결과 비교

〈그림 34〉는 평지 주행을 하는 임내차의 수직방향 가속도를 측정된 데이터로서, 이 시험 차량의 주행속도는 약 356mm/초였고, 〈그림 35〉는 주파수 성분을 파악하기 위하여 FFT(Fast Fourier Transformation) 해석을 수행한 결과로써 저주파 영역인 약 5.1Hz에서 지배적으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 5.1Hz 성분의 피크는 궤도의 그라우저(grouser) 러그에 의한 주파수 성분에 해당된다.

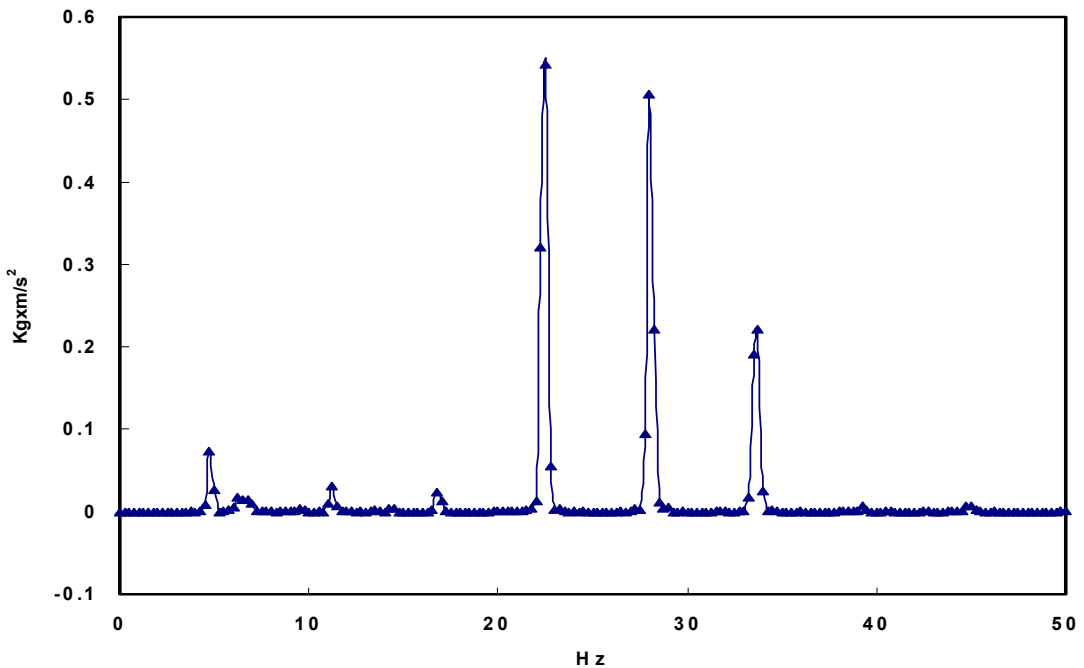


〈그림 34〉 임내차 평지주행 시 수직 가속도 변화

여기서, 5.1Hz 성분이 지배적인 이유는 차량 속도가 초속 356mm, 궤도 링크의 길이를 약 70mm로 보면, 로드휠, 아이들러, 스프라켓과 궤도와의 접촉, 지면과 궤도와의 접촉으로 볼 수 있다. 즉, 궤도의 피치가 차량의 진동에 민감한 영향을 주는 것을 알 수 있다. 또한, 주행 시험시 엔진의 rpm을 측정된 결과, 약 678rpm이었다.

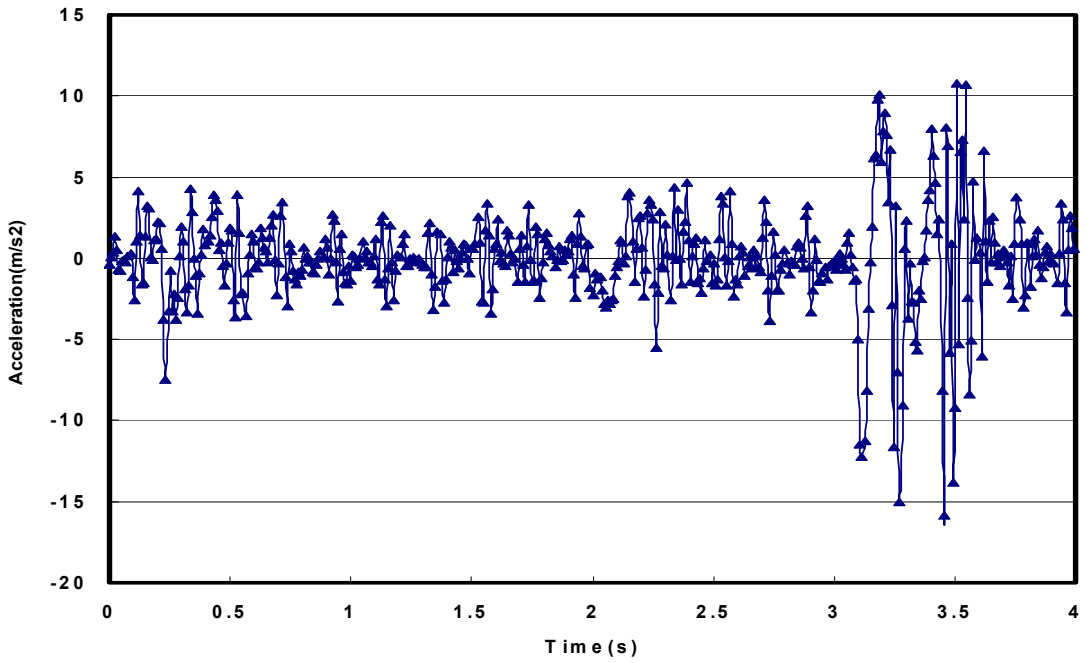


이 때 엔진 구동에 의한 주파수는  $678/60=11.3\text{Hz}$ 이며, <그림 35>에서 보는 바와 같이 고주파 영역에서의 피크점을 보여주고 있으며, 그 이후의 각 피크점은 엔진에 의한 하모닉 성분으로 보여진다. 지면에서 오는 가진(加振)은 대체적으로 10Hz 미만의 저주파영역으로 알려져 있다. 따라서 평지주행에서 지면 가진은 거의 없다고 볼 수 있다.

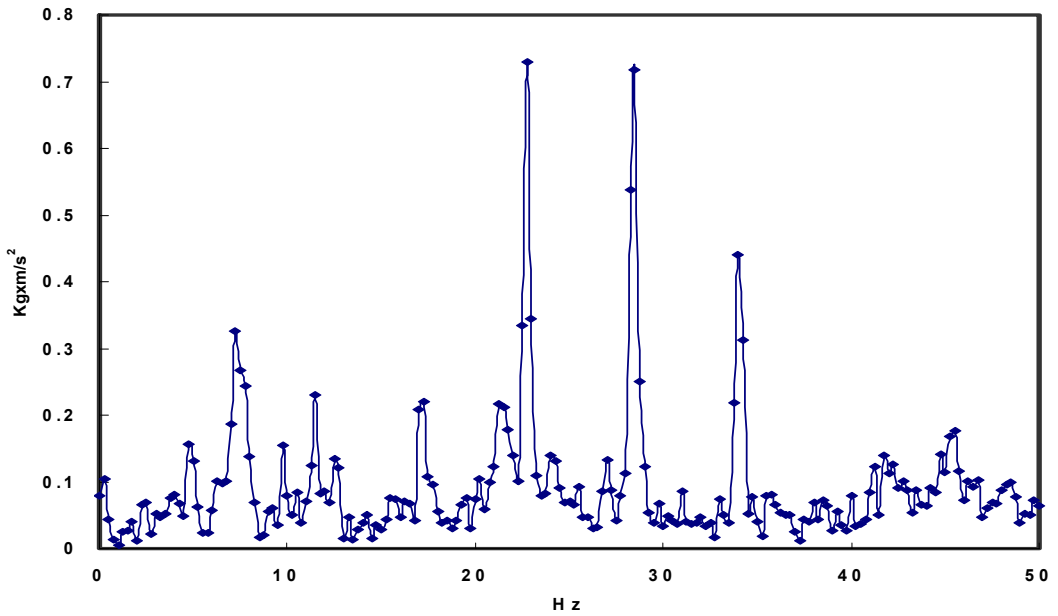


<그림 35> FFT 해석에 의한 임내차 평지주행 시 수직가속도 주파수 변화

<그림 36>은 요철 장애물이 설치된 주행노면을 초속 356mm로 주행할 때 사시부 적재면 한점에서의 가속도를 보여 주고 있다. 평지 및 요철 장애물(Bump)을 주행할 때 궤도와 사시 시스템의 접촉에 의한 진동이 잘 드러나고 있다.



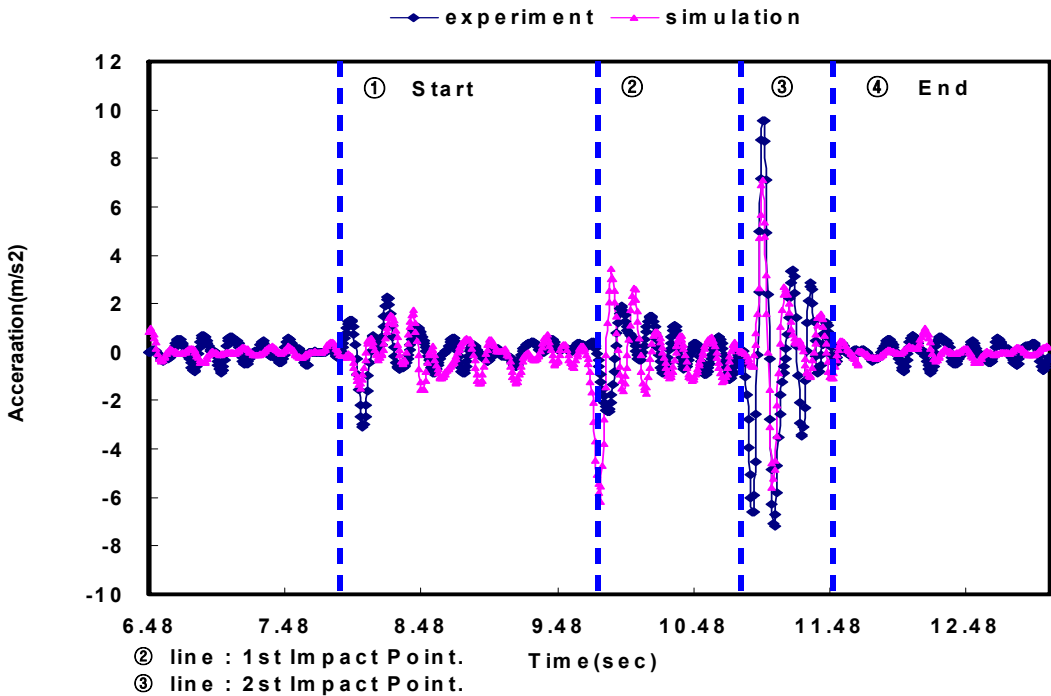
〈그림 36〉 입내차 요철 장애물 통과 시 수직 가속도 변화



〈그림 37〉 FFT 해석에 의한 요철 장애물 통과시 수직가속도 주파수 변화

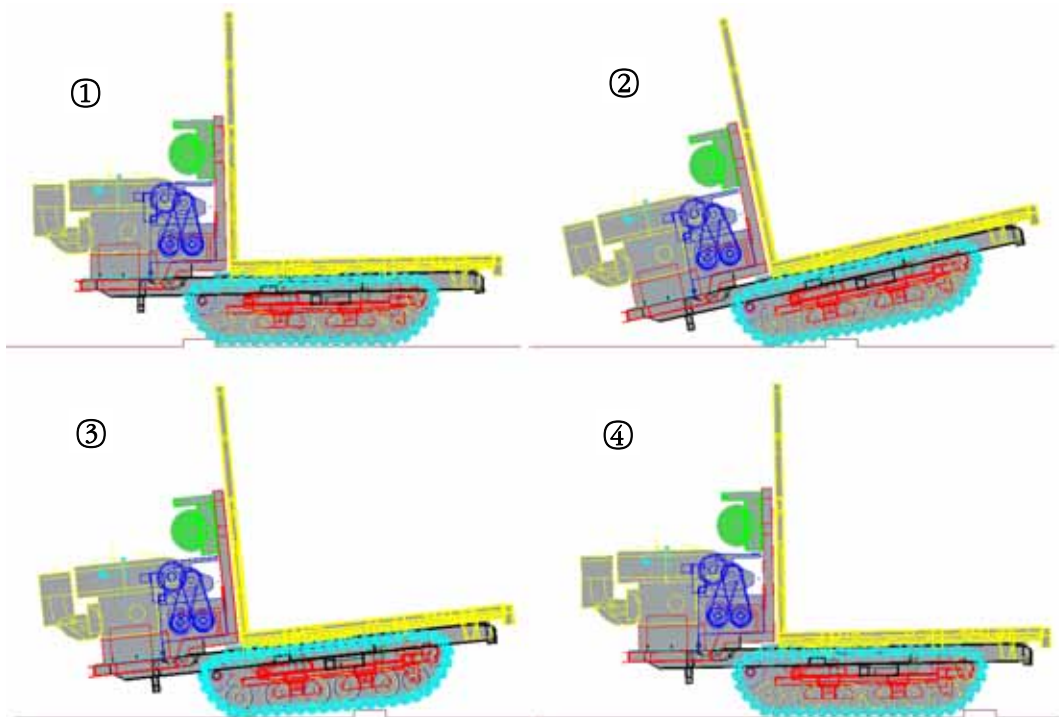
즉, 요철 장애물을 통과한 후에 차량의 수직가속도는 충격 에너지에 의해 상당한 진동을 나타내는 것으로 분석되었다. <그림 37>은 요철 장애물 통과 시 주파수 성분을 살펴보기 위해 FFT 해석을 수행한 결과로서, 주파수 역시 평지 주행 시보다 각 주파수 성분별로 더욱 많은 에너지를 가지며 특히, 10Hz이하의 저주파에서 많은 진동 에너지 증가를 보여주고 있다. 각 주파수별 피크점은 평지 주행 때와 유사하며, 단지 충격에 의해 약 7.5Hz 성분에서 많은 에너지를 보여주는 것으로 나타났다.

<그림 38>은 44mm 요철 장애물을 통과할 때 시뮬레이션과 실험값의 수직방향 가속도를 비교한 그래프이다. 러그와 요철 장애물과의 충돌에 의해 대체로 4개의 가속도 피크점이 생성된다<그림 39>.



<그림 38> 요철장애물 통과시 실험치와 계산치의 수직가속도 비교

검증 노면을 통과하는 임내차는 크게 세 가지의 충격을 받는다. ①은 요철 장애물을 통과하는 시작점에서 궤도 링크와 장애물 모서리와의 충돌에 의한 충격을 나타내며, ②는 장애물을 넘어 궤도 앞부분이 지면에 떨어질 때 접촉되는 충격을 나타내고 있다. ③은 궤도의 후면이 장애물과 충돌할 때의 충격을 보여주고 있다. 여기서 궤도와 지면과의 접촉 계수에 따라 진동의 크기가 달라진다. 일반적으로 스프링 계수가 크면 충격에 의한 반발이 크기 때문에 진동 수준이 증가하고 스프링 계수가 작으면 진동 수준이 떨어지며 댐핑 값이 증가하면 충격에 대한 진동 지속시간이 감소하는 경향이 있으므로 이를 이용하여 실험값과 시뮬레이션 값을 맞추었다. <표 19>에서와 같이 각 가속도의 피크점의 시뮬레이션 값과 가속도 실험값이 대체로 일치하므로 이 시뮬레이션 모델은 신뢰할 수 있다고 판단된다.



<그림 39> 후면적재형 임내운반차의 요철장애물 통과 시뮬레이션

〈표 19〉 시뮬레이션 값과 실험값의 오차값

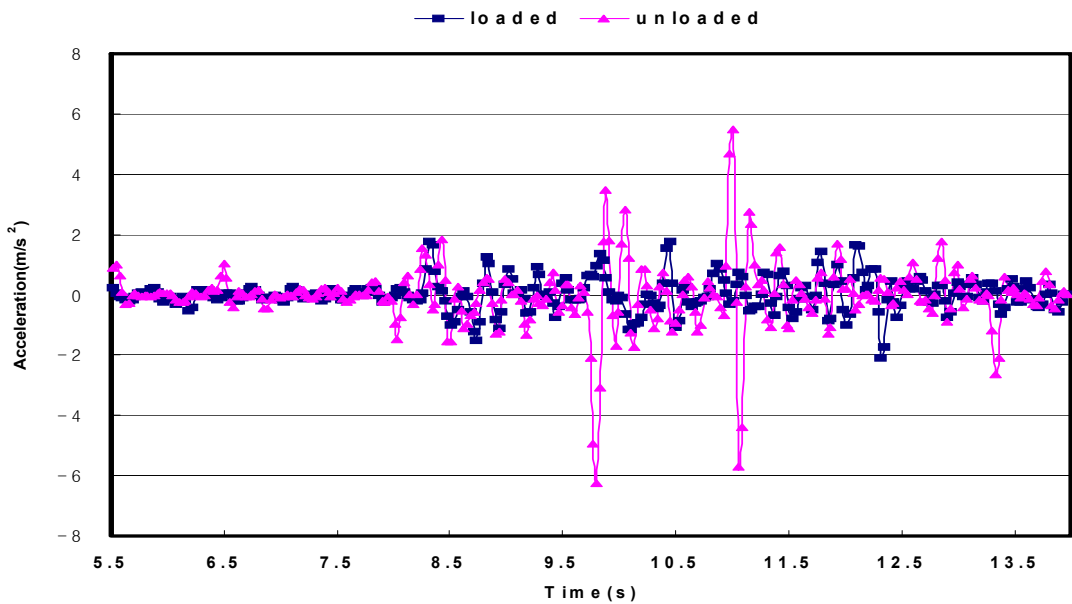
피크점	시뮬레이션 값	실험값	Error
1	6,418.39	9,559.54	0.67
2	4,238.40	3,537.95	1.19
3	3,842.78	1,987.17	1.93
4	4,673.51	1,620.30	2.88

### 3.2.4 후면적재형 임내차의 안정성 분석

횡전도가 일어나기 쉬운 경우는 임내차가 등고선 방향으로 주행할 때 경사 위쪽의 스프라켓 부위의 궤도가 장애물과 충돌하는 경우이다. 횡전도 시뮬레이션 프로그램에 임내차의 설계조건으로서 무게 중심의 위치, 각 스프라켓 사이의 거리와 주행 조건으로서 주행 속도, 지면 경사각, 장애물의 길이와 높이 등을 입력하고, 주행방향에 따른 임내차의 횡전도 한계영역을 나타낸다. 시뮬레이션은 RecurDyn 5.21을 이용하여 3차원으로 모델링 하였다. 다양한 각도의 노면에 대한 시뮬레이션을 통해 각 각도에 대한 안정성을 평가하였다. 다물체 동역학 해석은 물체에 대한 동적 특성을 분석하기 위한 것이다. RecurDyn 5.21을 이용한 1차 시작기의 동적 거동을 예측할 수 있고, 이를 통해 시작품의 성능 확인과 기계 시스템의 최적 설계를 통해 설계 변수를 제시할 수 있다. 또한, 시뮬레이션을 통하여 제작과 성능 시험에 소요되는 시간과 비용을 절감할 수 있다.

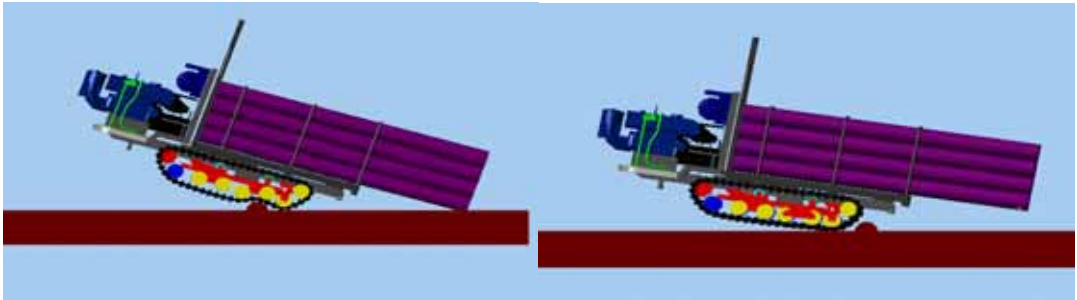
트랙의 전도는 일반 트랙터의 횡전도와는 많이 다르다. 횡전도는 횡방향과 종방향으로 전도되며 이는 한 트랙의 폭의 길이나 궤도 접촉 길이에 따라서도 많은 차이가 있다. 본 연구에서는 이 두 가지 전도에 관한 사항을 기준으로 각각의 방향으로 선회하거나 장애물이 트랙의 밑에 있을 때를 기준으로 하였다.

일반적으로 후면적재형 임내차의 문제점은 무게중심이 전면으로 치우쳐 있기 때문에 이에 대한 전방 전도가 제기되었다. 검증시험에서 사용하였던 높이 44mm의 요철 장애물을 통과할 때 수직방향 진동이 상당히 큰 것으로 나타났다. 그러나 실제 목재를 적재한 후에는 상대적으로 무게중심이 뒤로 이동하기 때문에 주행안정성이 오히려 향상되는 것으로 밝혀졌다.



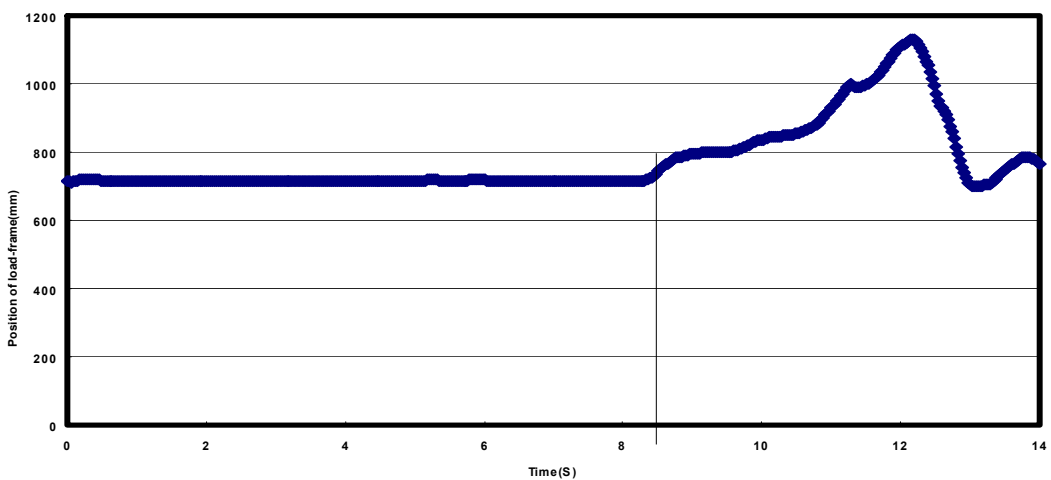
〈그림 40〉 원목적재 및 비적재 임내차의 진동가속도 비교

〈그림 40〉은 원목을 적재하지 않은 상태와 길이 1.8m의 원목을 적재한 후에 나타난 임내차의 가속도 변화를 비교한 것이다. 원목을 적재한 후에는 요철 장애물을 통과한 후에 가속도의 값이 상대적으로 작아지고 안정성이 확보되는 것을 알 수 있다. 원목을 적재하지 않았을 때에 비하여 원목을 적재하였을 때는 장애물과 충돌할 때, 궤도의 지면이탈이 작았다. 이는 적재함에 목재가 적재됨에 따라 궤도 차륜에 하중이 작용하여 그라우저의 지면이탈을 감소시키는 것으로 판단할 수 있다.



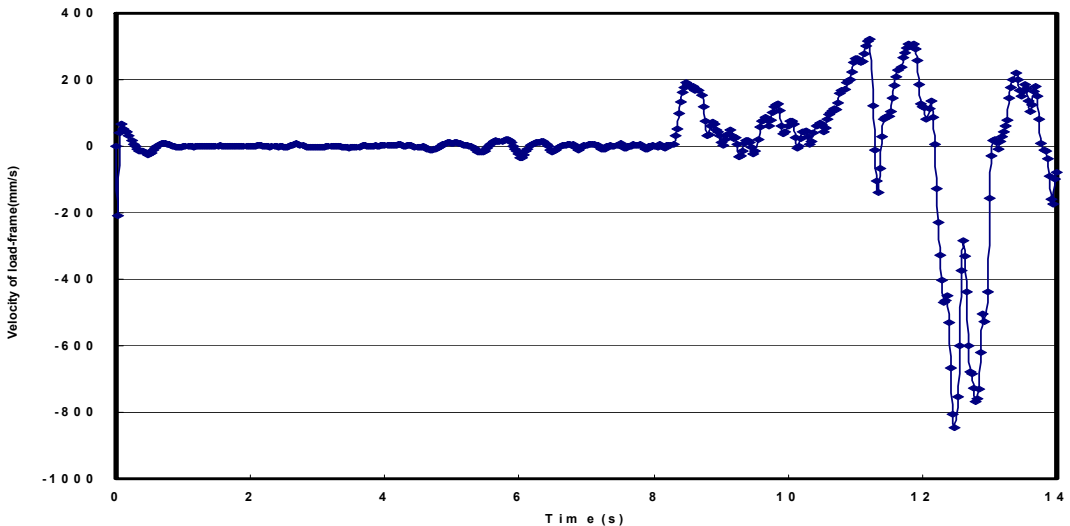
〈그림 41〉 후면적재형 임내차의 요철장애물(높이 44mm) 통과 시모레이션 모델

한편, 〈그림 41〉은 길이 2.7m의 원목을 적재한 상태에서 높이 44mm의 요철 장애물을 통과하는 모습이다. 범프를 통과하는 과정에서 무게중심이 상대적으로 뒤로 쏠려있기 때문에 앞쪽 스프라켓 부분이 상당히 많이 들리는 것으로 나타났다. 이는 후방전도의 위험성이 있어 길이가 긴 원목을 적재하였을 때에는 무게중심이 뒤로 쏠리는 현상이 발생하므로 2.7m이상의 원목 적재 시에는 적재함 연장대를 부착하거나 궤도의 길이를 연장시키면 되지만 이는 현실적으로 궤도의 길이가 업체별로 규격화되어 있기 때문에 현실적으로 불가능한 것으로 알려져 있다.



〈그림 42〉 후면적재형 임내차의 요철장애물(높이 44mm) 통과 시 수직위치 변위

〈그림 42〉는 2.7m 원목 후면 적재 시 발생하는 적재함 무게중심의 수직위치 변위를 나타내고 있다. 이 그림에서 임내차가 요철 장애물과 접촉하는 시점은 약 8 초 지점이다. 원목이 2.7m가 되면 전체 차량의 무게중심이 후면으로 쏠리기 때문에 요철 장애물을 통과하는 중에 원목의 뒤쪽 아래 부분이 지면과 닿게 된다. 따라서 차량은 요철 장애물을 통과하는 동안 앞으로 들리게 되고 이는 상당히 위험한 후방 전도를 야기시킨다.



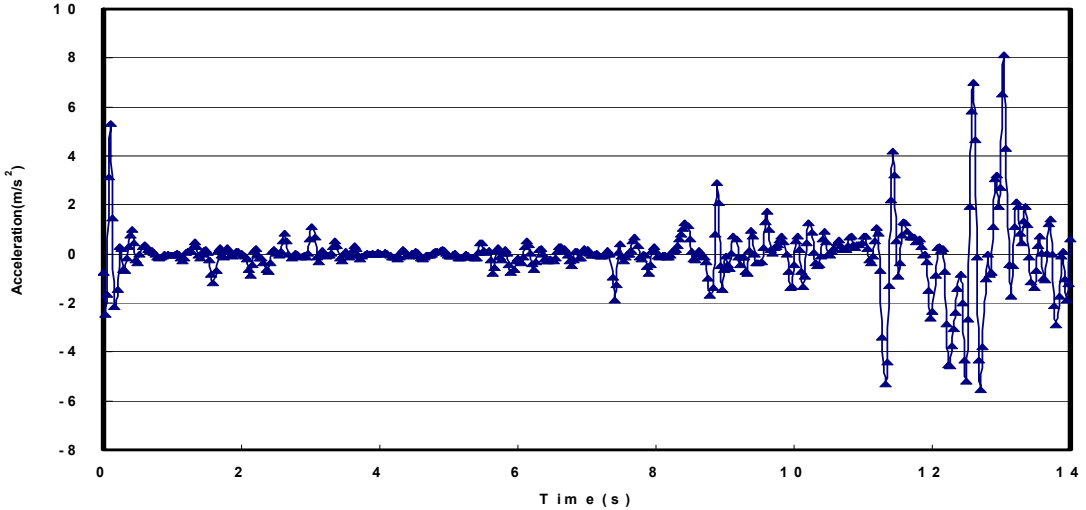
〈그림 43〉 후면적재형 임내차의 요철장애물(높이 15cm) 통과 시 속도변화

특히, 경사지 주행 시에는 전면이 하강하면서 받는 충격으로 차량은 전방 전도 되거나 강한 충격으로 프레임에 큰 위험을 안겨준다. 수직방향 속도 역시 요철 장애물을 통과하면서 지면에 닿을 때 많은 변화가 있었고, 이는 가속도의 변화를 나타낸다. 〈그림 43, 44〉는 속도와 가속도의 변화를 보여주고 있다.

일반적으로 우리나라에서 생산되는 원목의 길이는 1.8m, 2.7m, 3.6m가 대부분이다. 그러나 후면적재형 임내차에 2.7m의 원목을 적재하고 요철 장애물을 통과할



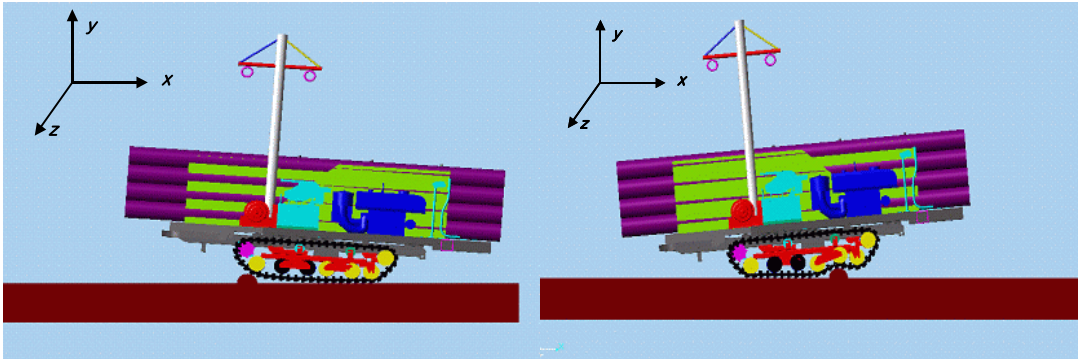
경우, 원목의 후면이 바닥에 닿아 스프라켓 부분이 상당히 많이 들리는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 장재를 적재 운반할 경우에는 원목을 전면까지 실을 수 있는 보조 프레임의 설치가 필수적이다.



〈그림 44〉 후면적재형 임내차의 요철장애물(높이 15cm) 통과 시 가속도변화

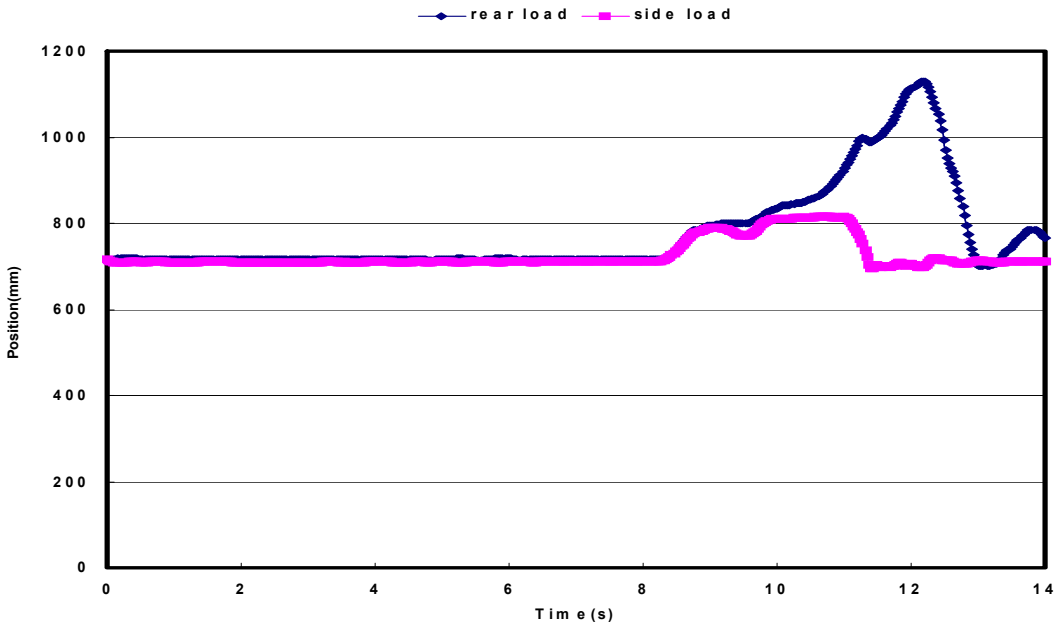
### 3.2.5 측면적재형 임내차의 안정성 분석

전도는 대체적으로 무게중심이 한쪽으로 기울 때 가장 많이 작용한다. 무게중심이 전후, 좌우 중심에 가까울수록 가장 안정적이며 무게중심의 높이는 낮을수록 좋다. 그러나 후면적재형 임내차는 무게중심이 지나치게 전면에 쏠려있고 높이 또한 너무 높기 때문에 횡전도에 대한 위험성이 높다. 따라서 이를 방지하고 보다 안정적인 작업효율을 확보하기 위해서는 측면적재 형식이 무게중심 및 질량관성이 작아져 후면적재형보다 작업영역을 확장시킬 수 있다. 〈그림 45〉는 측면적재형 임내차의 주행 모습을 시뮬레이션한 것으로서 측면적재는 후면적재에 비해 주행 모습에서 보다 안정적인 모습을 보이고 있다.

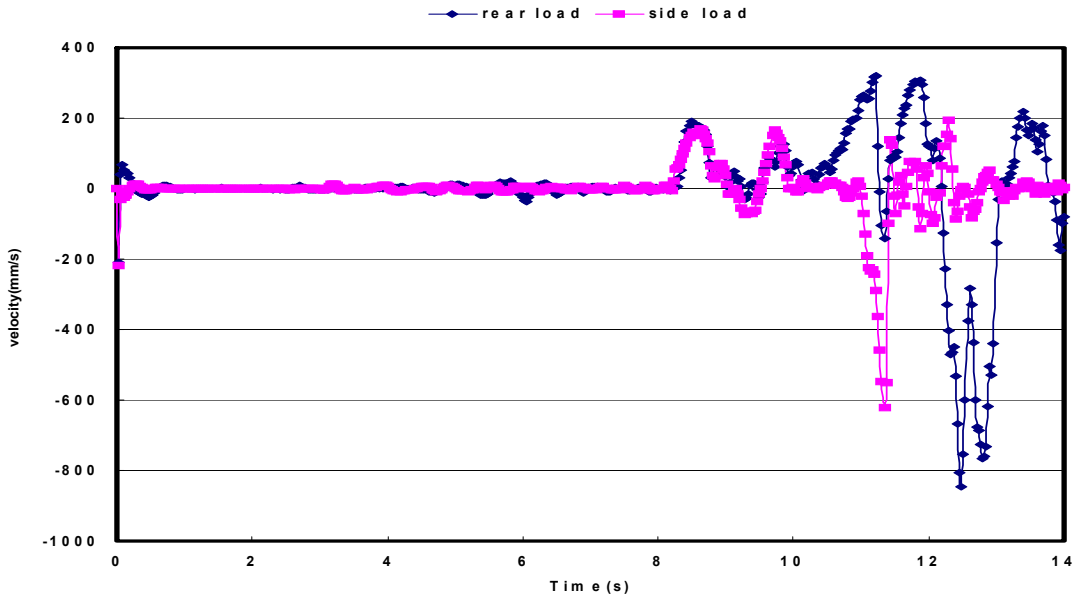


〈그림 45〉 측면적재형 임내차의 요철장애물 통과 시뮬레이션 모델

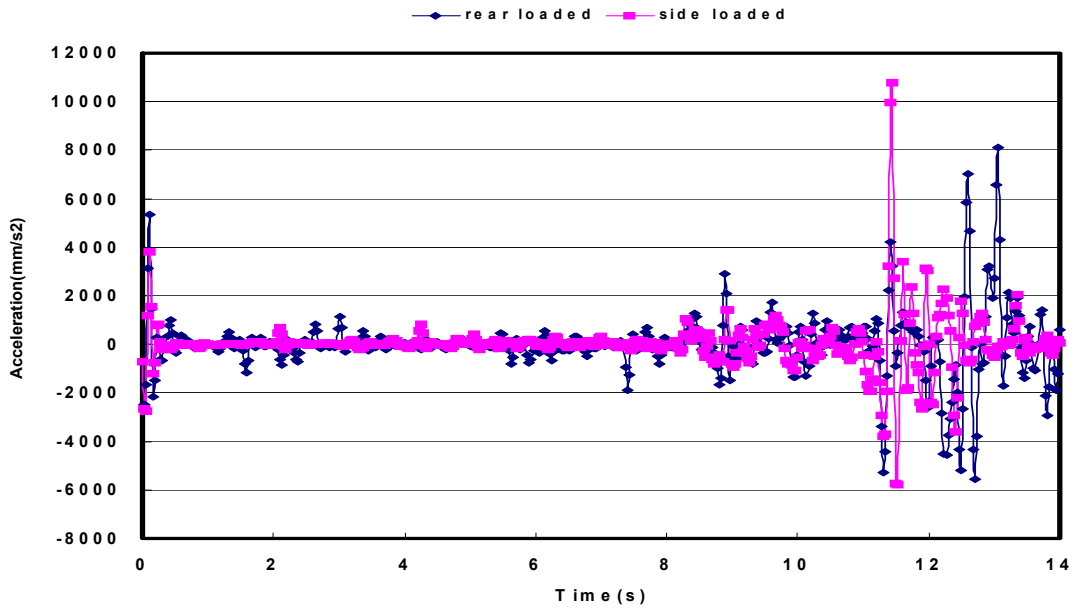
설계변수를 적용하여 후면 적재와 동일한 조건으로 측면적재 모델의 시뮬레이션을 실행하였다. 그 결과 〈그림 46~48〉에서 보는 바와 같이 측면적재형과 후면적재형의 변위, 속도, 가속도를 비교할 수 있었다.



〈그림 46〉 측면적재형 및 후면적재형 임내차의 요철장애물 통과 시 수직변위 비교



〈그림 47〉 측면 및 후면적재형 임내차의 요철장애물 통과 시 수직속도변화 비교



〈그림 48〉 측면 및 후면적재형 임내차의 요철장애물 통과 시 수직가속도변화 비교

수직방향 위치 그래프에서 대체로 측면적재는 원형 범프를 따라 가기 때문에 일정한 모양의 그래프를 보여주고 있고 범프를 통과한 후 바로 안정영역으로 돌아가는 것을 알 수 있다. 그러나 후면 적재의 위치 변위에서는 차량 전체가 상당히 많이 들리기 때문에 그래프에서 약 420mm 정도의 피크곡선을 그리고 있다. 두 위치 그래프에서 측면 적재의 안정성을 알 수 있다. 한편, 속도, 가속도 역시 측면 적재가 보다 안정적이고 진동 수준이 많이 낮아짐을 알 수 있다.

#### 4. 프로세서(조재기)

국산기술로 개발된 조재기가 원목의 가지치기 및 절단작업 등 작동의 원활한 수행여부, 적용 가능한 기본차량 등에 대한 평가를 위하여 각 부분품별 유압 및 유량의 변화에 대한 동작 시험으로 기계에 대한 성능을 테스트하여 앞으로 개발될 후속 장비에 대한 성능향상을 도모하고자 하였다.

##### 4.1 대상기종의 제원 및 특성

성능시험 대상 기종의 제원 및 특성은 <표 20>과 같다.

〈표 20〉 기본차량(굴삭기) 및 벌목기 헤드 유니트의 제원 및 특성

임목조재기(프로세서)	
모 델	국 산 개 발
장 비 중 량	760 (로테이터 제외)
송 재 장 치	롤러식
가 지 제 거 장 치	칼날방식
토 막 내 기 장 치	체인톱식
작 업 가 능 원 목 직 경	50 cm
작 업 가 능 가 지 직 경	5 cm 이하
규 격	전폭 80 cm, 전장 130 cm
조 작 방 법	노브식 스위치 2개

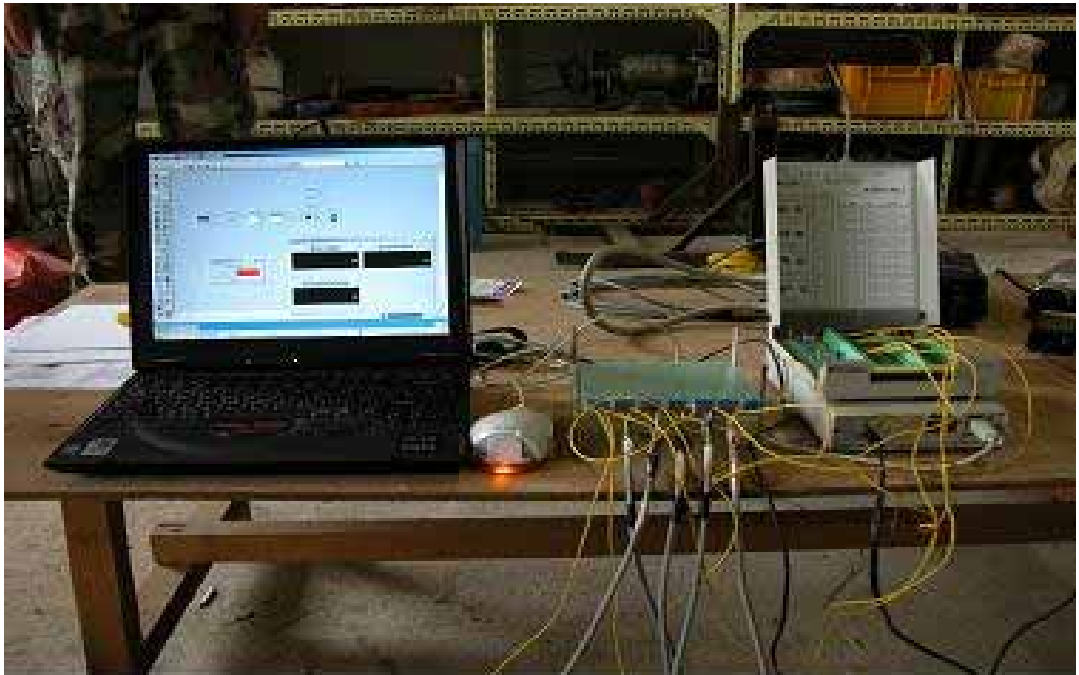
## 4.2 기능품별 성능시험

### 4.2.1 프로세서 무부하시 유압변화

본 시험은 유압계통의 유압성능을 시험하고자 HydroTech 사의 Multi 500 시스템을 이용하여 메인콘트롤 밸브, 피드롤러 및 가지치기용 칼날의 실린더, 원목절단용 쏘실린더 및 쏘체인인의 회전속도에 영향을 미치는 유압 및 유량의 변화와 금후 개선될 부분에 대하여 실험을 하였다.

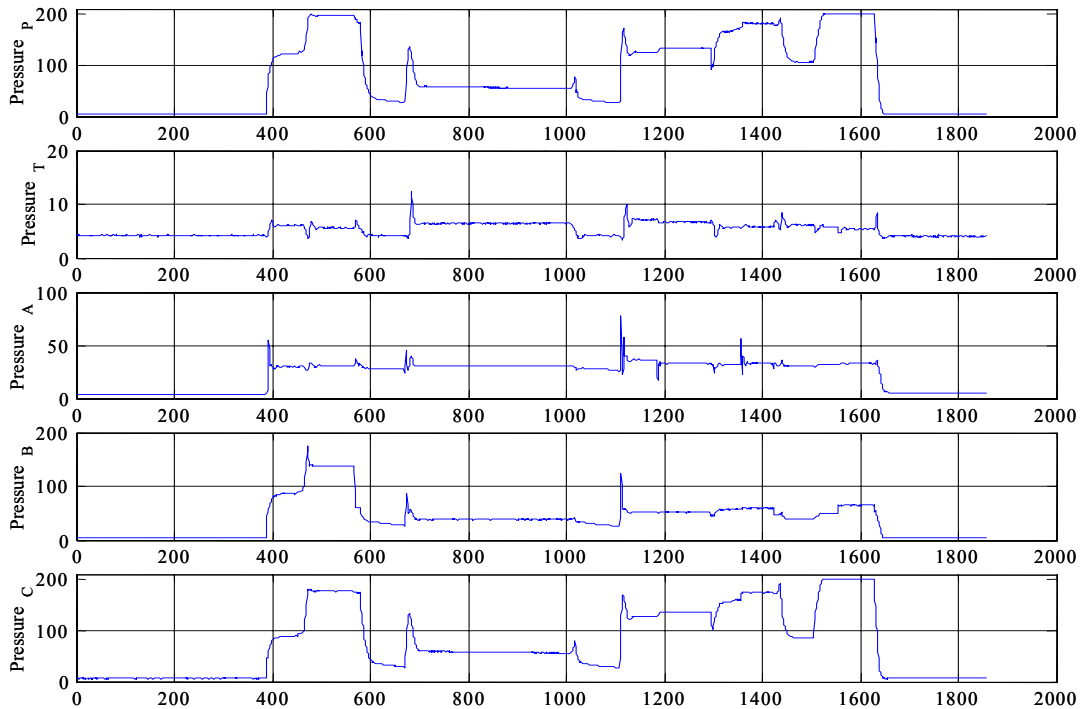
프로세서에 의한 조재 및 작동작업의 1 싸이클은 4단계로 구분할 수 있다. 즉, 칼날겸용 그래플과 피드롤러로 나무를 잡는다. 피드롤러를 작동하여 원목을 이송시킨다(이 때 상부 고정 칼날과 집게 겸용 칼날로 가지치기를 동시에 실시). 쏘체인을

이용하여 원목을 절단한다. 피드롤러 및 칼날을 벌려 조제되고 남은 후동목을 프로세서에서 분리시킨다. 이와 같은 4단계의 공정을 정하고 <그림 49>와 같은 유압측정시스템을 이용하여 임목조제기의 무부하시 유압에 대한 측정을 실시하였다.



<그림 49> 유압측정 시스템

<그림 50>에서 각각의 포트로부터 측정된 데이터는 각 조절 밸브를 거친 유로가 어떤 역할을 하는지를 알 수 있다. 각 조절밸브를 거친 유압은 작업 조건에 따라 일정한 값을 유지하는데, 그 이유는 작업이 안정상태를 유지하기 때문이다.

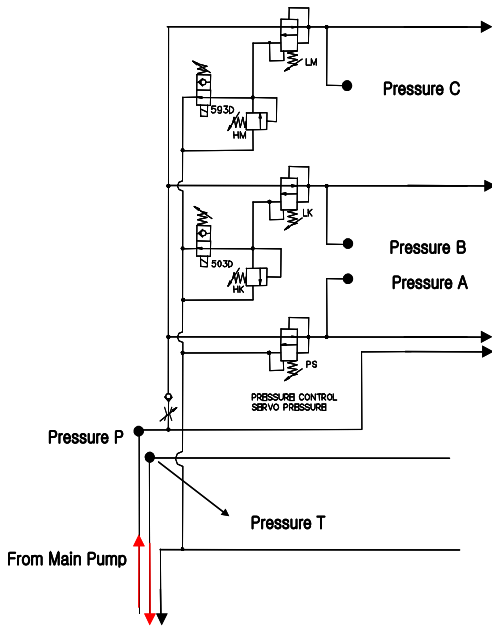


〈그림 50〉 작업 주기 동안 각 지점의 압력 변화(Time :100 Samplings/sec)

Pressure A는 모든 솔레노이드 밸브의 작동을 인가시키는 스위치 역할을 한다. 따라서 솔레노이드 밸브의 작동에 필요한 압력은 35bar 내외에서 충분하다고 할 수 있다. Pressure A에서의 피크는 솔레노이드 밸브 작동 시에 필요한 압력 상승을 나타내고 있으며, 스위치 작동시각은 3.94초, 6.73초, 11.11초, 13.57초이다. 첫 번째 피크는 피드롤러와 그래플로 원목을 잡는 과정이고, 두 번째 피크는 피드롤러를 작동하여 원목을 이송시키는 작업, 세 번째 피크는 원목을 절단하는 작업, 네 번째 피크는 원목을 프로세서에서 분리시키는 작업에 해당된다.

### 4.2.2 유압측정 위치

〈그림 51〉에서 각 유압압력 측정지점은 다음과 같이 설명할 수 있다. 즉, Pressure P는 main pump에서의 전체 유압관로, Pressure T는 main tank로 돌아가는 전체 유압관로, Pressure A는 스위치 작동 유압관로, Pressure B는 나이프 실린더에 유입되는 유압관로, Pressure C는 감압밸브로 유입되는 유압관로이다.



〈그림 51〉 유압압력 측정위치



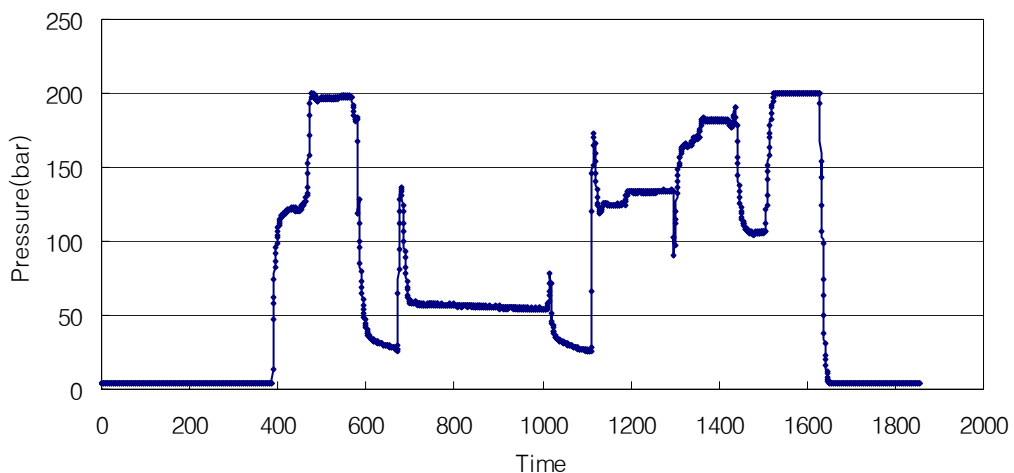
〈그림 52〉 유압압력 센서부착 광경

Pressure P는 메인 모터에서 공급하는 압력을 나타내고 있다. 최대 200bar에서 안정상태로 유지되는 것으로 보아 메인 유입 압력은 200bar로 조절밸브에서 설정되었다는 것을 알 수 있다. 이 압력이 작동단계에서 가장 높은 압력에 해당된다. Pressure T는 탱크로 돌아오는 유압을 나타내고 있으나, 작업 도중의 압력변화는 그다지 크지 않은 것으로 나타났다. 대부분 유압압력이 10bar 내외로 각 슬레노이



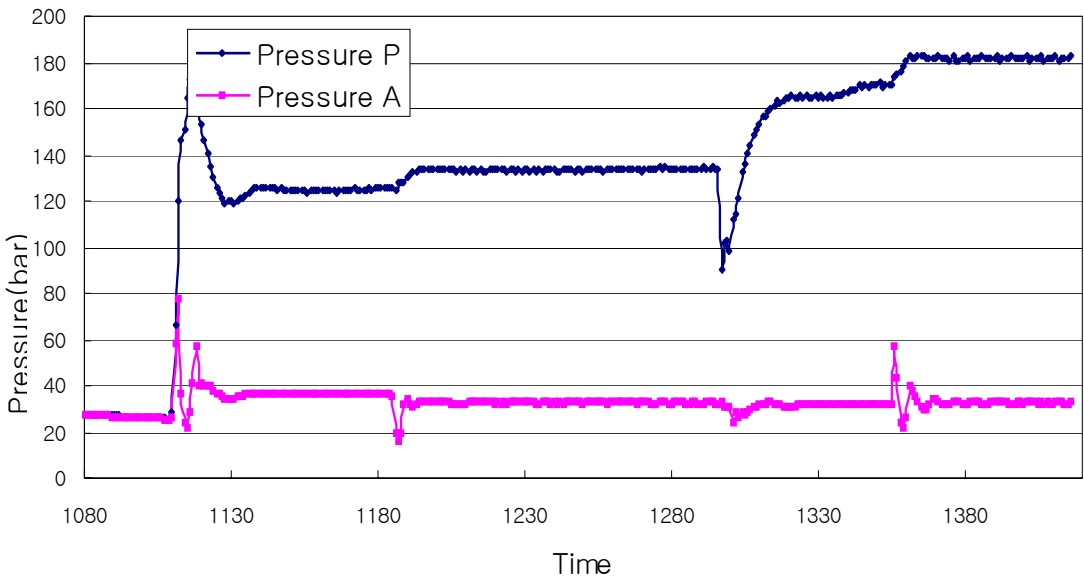
드 밸브 구동부분에서 피크가 발생하고, 각 단계에서 Pressure P의 그래프의 유형과 유사하나 전체적으로 압력이 P보다는 현저히 작게 유지되고 있는 것으로 나타났다.

Pressure B는 나무의 가지를 절단하는 칼날의 작동범위를 설정하는 조절밸브 출구의 압력으로 피드롤러와 항상 같이 작동하게 되어 있다. 나이프 실린더의 압력을 조절하는 역할을 한다. 따라서 함께 연동하는 피드롤러 작동 Main 압력과 유사한 모양의 그래프를 형성한다. 칼날로 원목을 잡는 작업은 Micro Processor에서 제어하며, 이 집게 하중은 압력 조절밸브로 setting하여 나무의 표면을 따라 일정 압력으로 유지시키므로 작업 공간을 나무의 지름에 따라 확보하게 된다. Pressure C는 Main Pressure와 크거나 형태 면에서 가장 흡사하다. 그 이유는 메인 유량이 작동하고 있는 동안 항상 병렬로 함께 작동하여 감압밸브나 롤러의 폭을 결정하는 실린더의 압력을 일정하게 유지시키는 역할을 하기 때문이다. 이 압력은 압력조절 밸브를 Pressure C 이후 그리고 인코더롤러 앞에 설치함으로써 해결하고 있다. <그림 52>는 유압 압력센서 부착 광경을 나타내고 있다.



<그림 53> Main 압력 P의 압력 변화

한편, Pressure P의 압력 곡선만을 살펴보면 <그림 53>과 같다. 여기에서 첫 번째 나이프 작업에서는 200bar를 형성하며, 피드롤러 작동시에는 상대적으로 50bar 정도의 압력만 발생한다. 이는 칼날 작업 시에는 다른 모든 부분이 동작을 멈추고 단지 칼날 작동 유로에만 작동유가 흐르고 피드롤러 작동 시에는 Pressure B, C 두 지점으로 분리되어 흐르기 때문이다. 피드롤러는 작동 중에 가속력이 있기 때문에 오히려 칼날 집게 실린더보다도 적은 압력으로 구동이 되는 것을 알 수 있다. 그러나 피드롤러 작업 실린더의 직경이 칼날 실린더보다 크기 때문에 실질적으로 하중은 피드롤러의 집게 하중이 더 크다. 11.16초에서 13.54초까지는 Saw 작업을 하는 부분으로 이 작동에 요구되는 유압은 모두 메인 유로에서 공급된다. Saw 작업이 종료되면 다시 피드롤러와 칼날을 벌려 조재된 원목의 후동목을 조재기에서 분리시키는데, 그 과정이 바로 13.54초 이후의 작업이다.



<그림 54> 소우 작동시 작동유 유입에 따른 메인압력 변화

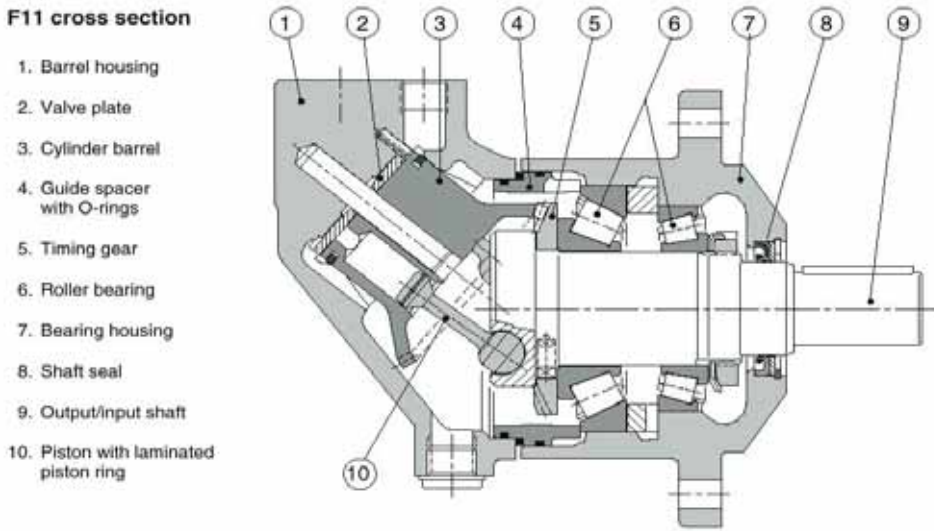
Saw 작업시의 메인압력의 변화는 <그림 54>에서 나타난 바와 같이 각 피크는 Saw 작업 작동시작 버튼과 종료에 해당된다. Saw 작업 역시 작동 시작과 동시에 압력이 상승하였다가 차츰 정상상태로 압력이 떨어진다. 원목의 직경이 작아지기 시작함에 따라 작동력이 작아져 다시 압력이 떨어지게 된다. 작업시간은 2.38초이다. 여기서 데이터 샘플링은 초당 100개를 획득하였으므로 1354번째 데이터는 작업 시작 시각에서 13.54초에 해당된다.

#### 4.3 작업 중 쏘우모터의 유량과 유압 변화

<표 21>과 <그림 55>는 쏘우모터의 일반 사양을 나타내고 있다. 일반적으로 휴대용 체인톱은 RPM이 6,000~9,000정도이며 20kgf(체인톱의 자중 5kgf 포함)의 절단하중을 필요로 한다. 따라서 프로세서에서 자동으로 절단하는 쏘우는 휴대용 체인톱을 기준으로 설계하는 것이 일반적이다.

<표 21> 사용된 쏘우모터의 사양

모 델	F-11-19
중량 (kg)	11
모터 용적 (cm <sup>3</sup> /rev)	19.0
최대 압력 (bar)	420
최대 토크 (Nm)	30.2 (100 bar)
모터 power (kW)	45
모터 회전속도 (rpm)	7,500



〈그림 55〉 사용된 쏘우모터

쏘우체인용 유압 모터의 작동은 〈그림 59〉의 유압회로도 와 같이 Main Pump에서 작동하여 오리피스 를 거치는 과정에서의 압력이 강하한 만큼 모터에 작동하게 된다. 모터의 유량과 압력 곡선은 〈그림 58〉과 같이 나타나고 있다. 쏘우모터는 약 144bar 정도에서 일정하게 작동하고 있으며, 유량 역시 약 112.41 l/min까지 일정한 유량을 유지하고 있다. 모터의 유량은 모터의 회전 속도를 결정하는 인자로 만약 작업시 모터의 유량이 많이 변하면 이는 속도가 일정하지 않음을 의미하므로 모터의 유량은 결국 쏘우 작업의 안정성을 평가하는데 중요한 역할을 하게 된다. 실험 결과에서는 대체적으로 쏘우 작업 시 일정한 유량을 형성하고 있는 것으로 나타났다기 때문에 대체적으로 쏘우 작업은 안정적인 작업을 한다고 할 수 있다.

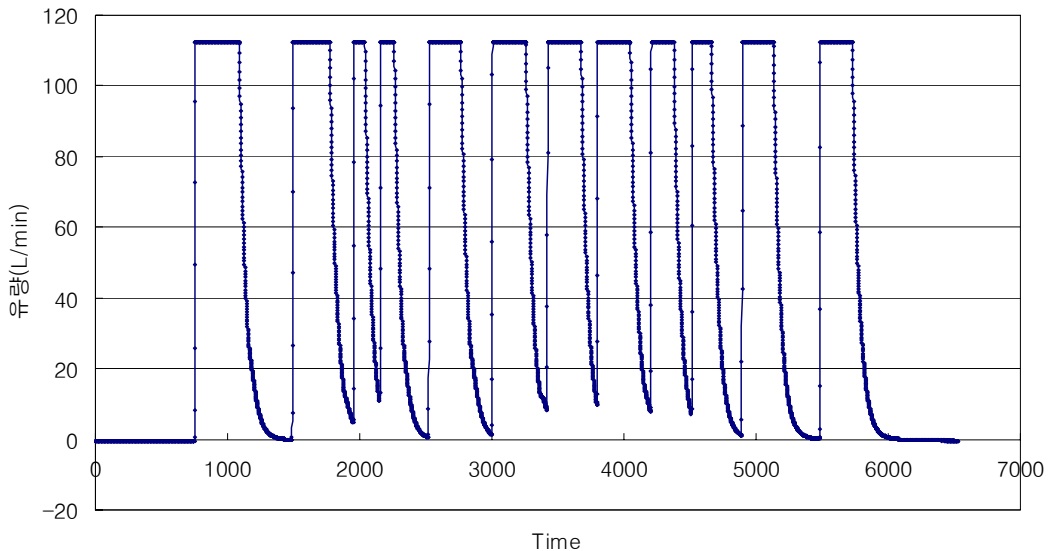
한편, 작업이 144bar까지 상승하였다 순간적으로 130bar로 다시 떨어지는데, 그 이유는 쏘우실린더와 마찬가지로 130bar에서 순간적으로 어느 정도 공회전 정지하였음을 의미한다. 여기서는 약 0.2~0.5초 정도의 시간동안 정지하였으며, 그 주요

원인은 쏘우 작업의 수직이송 속도에 의한 관성력으로 인하여 순간적으로 멈추게 되는 것이다. 쏘우체인의 회전속도를 구해 보면 다음과 같다.

- 공급유량(G) = 112.41 l/min
- 회전톱 모터용량(H) : 19.0cc/rev
- 회전톱 회전속도(D) =  $G/H = 112,410/19.0 = 5916.3$  rpm

사용된 쏘우 모터는 <표 21>에서와 같이 모터 용적 19cm<sup>3</sup>/rev로 최대 7,500rpm 까지 허용하며, 압력은 최대 420bar를 초과하지 못한다. <그림 58>에서 쏘우모터의 최대 압력은 180bar로 모터의 사용 최대 압력인 420bar에 비해 현저히 낮으며, rpm 역시 7,500 범위 내에 있다.

쏘우 작업이 마무리되고 약 3초의 간격을 두고 각각의 실험을 하였을 때, 유량은 <그림 56>과 같이 112.41 l/min으로 다시 올라간다. 각각의 작업 사이에는 모터의 작동을 멈추었기 때문에 유량은 0으로 떨어지게 된다.

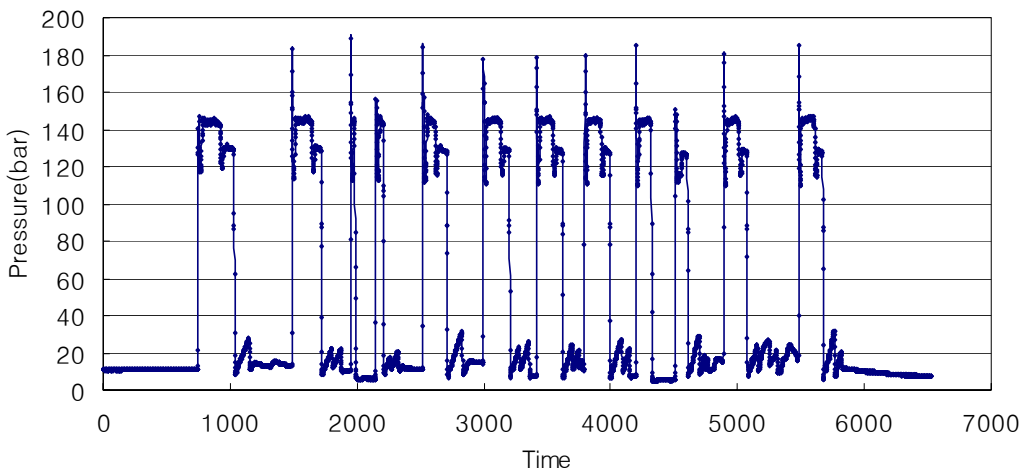


<그림 56> 원목절단 작업 시 쏘우모터의 유량 변화

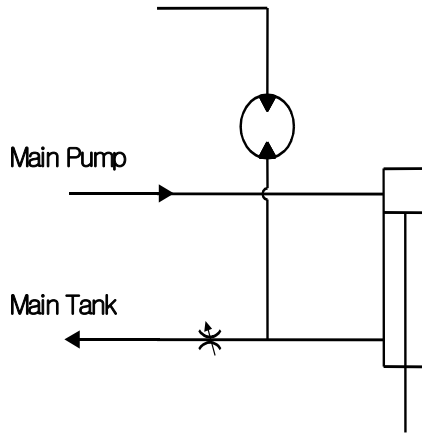
한편, <그림 58>에서 유압은 유량과는 다르게 작업 구간 사이에 작업 관성에 의해 약간의 채터링이 발생한다. 작업 구간 사이에 시간 간격이 작기 때문에 안정 곡선에 이르지 못하고 있다. 그러나 실제 쏘우 작업은 연속으로 하는 것이 아니고 앞에서 설명한 바와 같이 3단계의 과정을 반복하게 된다.



<그림 57> 쏘우 작업에 의한 절단면

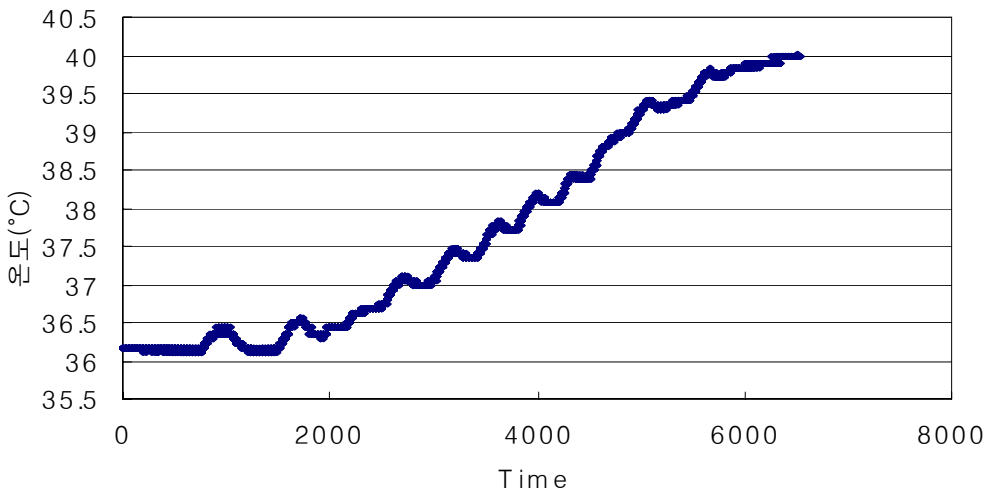


<그림 58> Saw 작업 시 쏘우모터의 유압 변화



〈그림 59〉 유압회로도

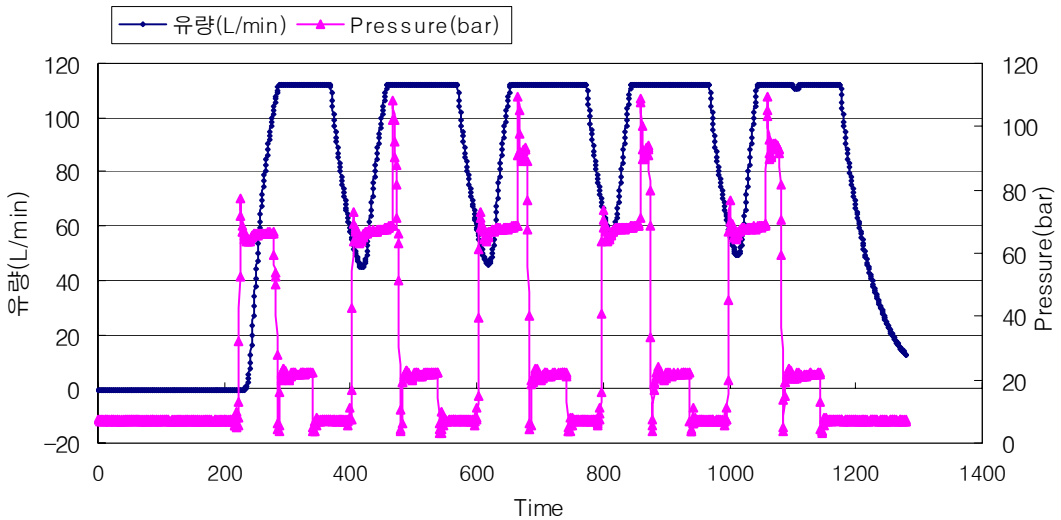
쏘우 작업을 연속으로 하였을 때 〈그림 60〉과 같이 쏘우모터의 유온은 36.18° C에서 40° C까지 상승하며 40° C에서 안정적인 곡선을 형성하게 된다.



〈그림 60〉 Saw 작업시 Motor의 유온 변화

#### 4.4 프로세서 작업동안 쏘우실린더의 유압과 유량 변화

쏘우실린더는 쏘우 작업에 필요한 절단력을 제공하는 역할을 한다. 쏘우실린더를 5번 연속으로 작업했을 때, <그림 61>은 쏘우실린더 무부하시의 유압과 유량 변화이다. 유량은 최대 112.41 l/min로 작동하며 압력은 약 66bar까지 올라갔다 나 무를 자른 후에는 잠시 약 22bar 정도로 강하하게 된다. 그 이유는 쏘우 작업을 마치고 잠시 정지상태에 있기 때문으로 약 0.5초의 시간 지연이 있는 것으로 보인다. 지연 시간 동안 압력이 22bar 정도로 유지하고 있는 이유는 <그림 62>에 나타나 있는 바와 같이 메인 유로에서 실린더로 들어오는 압력이 그대로 작용하기 때문이며 66bar에서 22bar까지 떨어지는 값, 즉, 44bar 정도는 실린더를 무부하 상태에서 작용시키는 순간적인 힘으로 볼 수 있다.



<그림 61> 쏘우실린더의 유압과 유량

쏘우실린더는 쏘우 작업시 원목에 수직 절단력을 가하는데 쏘우실린더의 단면적에서 실린더 봉의 면적을 제외한 면적으로 쏘우 실린더에 의해서 절단 하중을 구



할 수 있다. 쏘우 작업시 실린더에 걸리는 유압의 압력은 <그림 63>과 같으며, 절단력은 다음과 같이 계산된다.

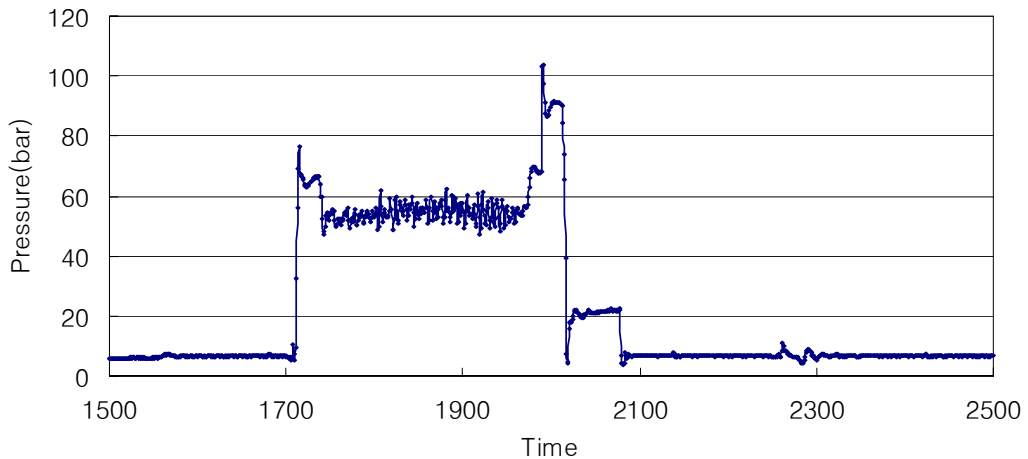
$$\text{— 절단력 } F = P \cdot \pi \cdot \frac{(D_2^2 - D_1^2)}{4}$$

$$\text{— } D_1 = 40 \text{ mm}$$

$$\text{— } D_2 = 20 \text{ mm}$$

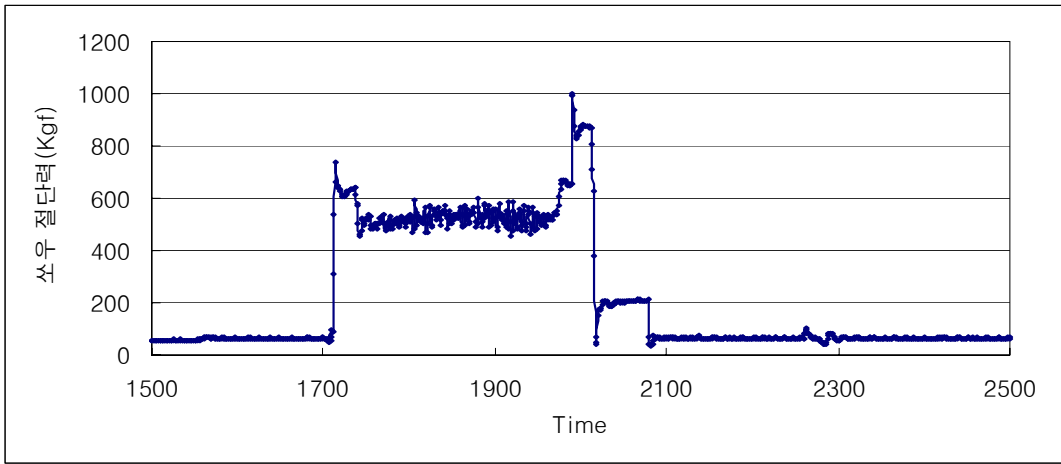
$$\text{— } 1.013 \text{ bar} = 1.03 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{— } 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10^{-1} \text{ N/mm}^2$$



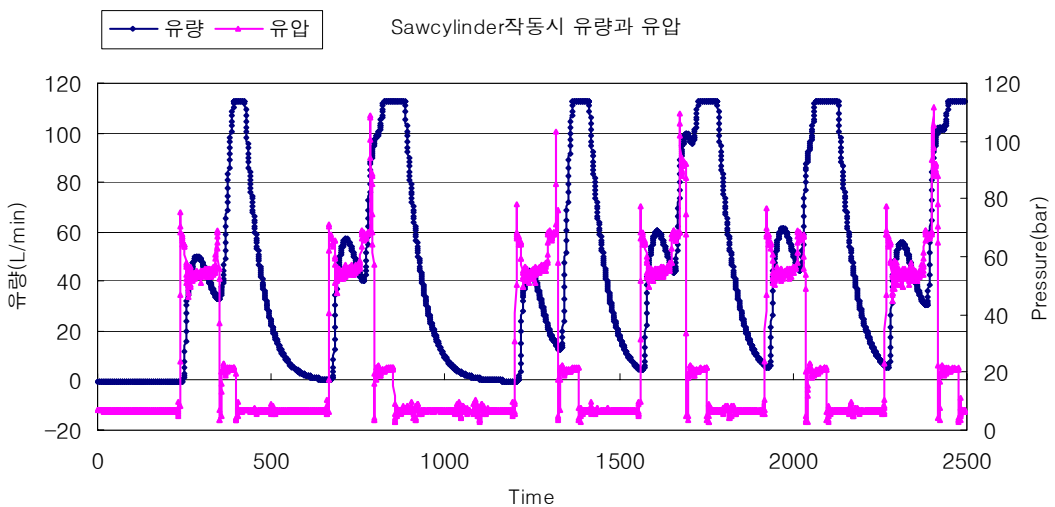
<그림 62> 쏘우실린더의 압력변화

<그림 63>에서 원목을 절단하기 시작할 때는 하중이 600kgf에서 절단을 시작하면 가속력이 붙어 540kgf 내외에서 안정상태를 유지한다. 안정상태에서 나무의 직경은 증가하다가 감소하기 때문에 전체적으로 하중이 증가하다가 감소하는 형태를 띤다. 그러나 여기서 지나치게 많은 힘이 소요되고 있다. 보통 이 작업의 절단력은 20kgf면 충분하기 때문에 쏘우 실린더 입구에 압력조절밸브를 설치하여 작업력을 떨어지게 할 필요가 있다. 안정상태에서 작은 변화가 있는 것은 원목에 붙어 있는 가지나 여러 가지 용이 때문에 하중이 변화하는 것으로 판단된다.



〈그림 63〉 쏘우실린더의 압축변화

잣나무 직경 22cm의 원목을 대상으로 실제 절단작업에 대한 압력 및 유량의 변화를 실험하였다. 〈그림 64〉에서 앞의 무부하 작동 그래프와 비교해 보았을 때, 거의 유사한 그림을 형성하고 있다. 그러나 실제 작업시 쏘우는 상대적으로 많은 하중을 받으므로 유량이나 압력에 있어서 약간의 변화는 있다.

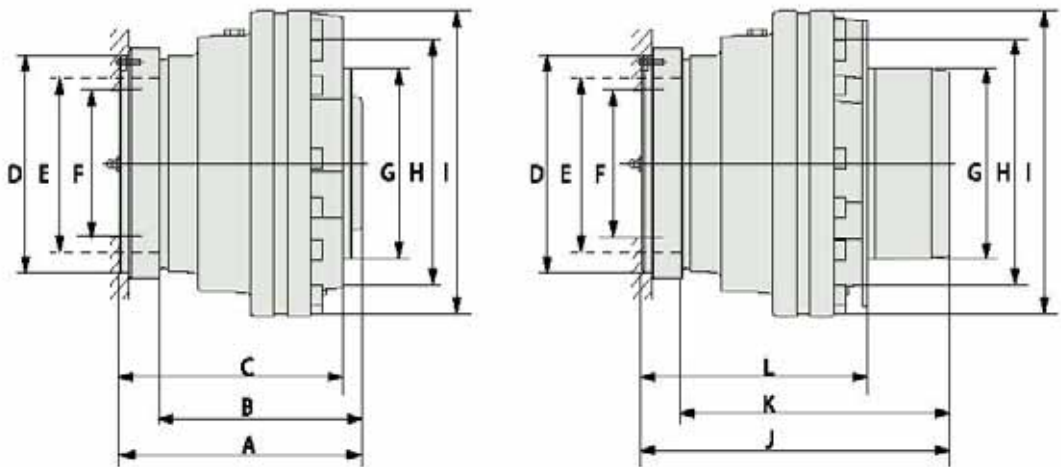


〈그림 64〉 쏘우모터 실제 작업에 따른 유량과 유압

특히, 유량에서 처음 실린더를 작동시킬 때보다는 실제로 저항을 받는 과정인 나무를 자르는 과정에 많은 유량이 작용하고 있다. 무부하시는 실린더 작동 부분과 절단하는 부분의 차이가 없으나 실제 작업에서는 절단하는 과정에서 많은 하중을 받기 때문이다. 유량은 112.41 l/min으로 대체적으로 고르게 나옴을 알 수 있다.

#### 4.5 피드롤러의 유압 및 유량변화

피드롤러용 유압모터는 BBC 02 모델로서 규격 및 특징은 <그림 65> 및 <표 22>와 같다.

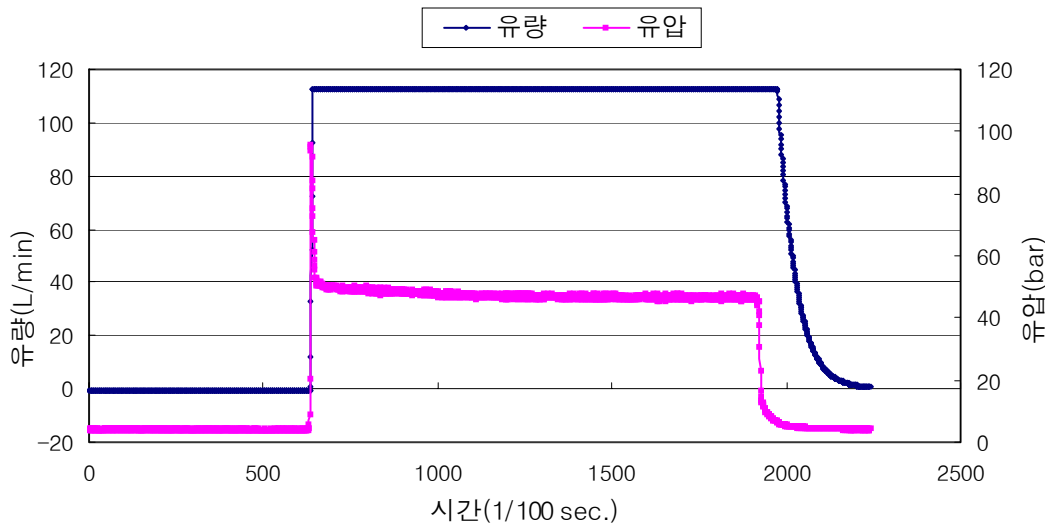


<그림 65> 피드롤러용 유압모터

〈표 22〉 피드롤러용 유압 모터의 제원

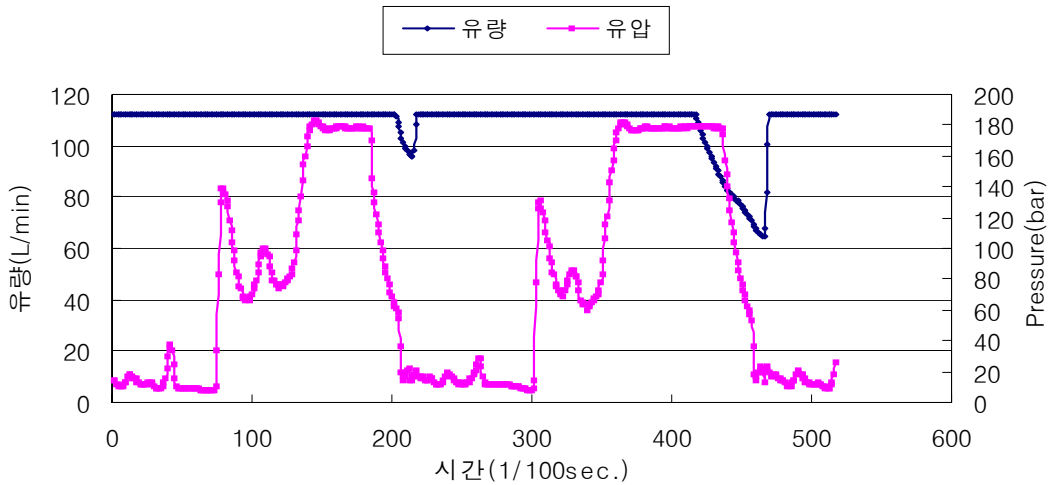
	모 델	BBC 02
규 격(mm)	A	254
	B(로테이팅 파트)	212
	C	233
	D	200
	E	160, 8×M16
	F	135
	G	175.8
	H	225, 5×M22×1.5
	I	282
	J	322
	K	280
	L	236
중량 (kg)	브레이크 제외	62
	브레이크 포함	71
	모터 용적 (ccm)	783
	최대 압력 (bar)	450
	최대 토오크 (Nm)	5,160
	모터 power (kW)	42
	모터 회전속도 (rpm)	201 (무부하시 1,200)
	브레이크 토오크 (Nm)	6,560

〈그림 66〉은 무부하시에 측정된 피드롤러 유압모터의 유량과 압력 측정 곡선이다. 피드롤러를 약 2.9초 공회전시켰다. 솔레노이드 밸브를 Off시키면 순간적으로 유압의 압력은 원상태로 복귀되며 이에 따른 유량도 복귀한다. 그 사이의 시간 지연은 약 0.53초이다. 피드롤러 작동시 유량은 112.41 l/min로 거의 일정하며 유압은 47bar정도를 계속 유지하고 있다.



〈그림 66〉 무부하시 피드롤러 유압모터의 유량과 압력

피드롤러가 작동할 때 원목에는 여러 가지 저항 요소가 있다. 먼저 원목에 있는 여러 웅이나 잔가지, 그리고 급격히 변하는 나무의 직경은 피드롤러에 상당한 저항을 일으킨다. 따라서 〈그림 67〉에서 나타난 그래프는 각각의 저항에 따른 피드롤러의 유량과 유압의 크기를 나타내고 있다. 한편 저항의 크기는 압력의 180bar 근처에 갔을 때 집중적으로 작용한다고 할 수 있다.



〈그림 67〉 피드롤러 작동시 유량과 유압

특히, 압력이 180bar 근처에서 머무는 시간은 원목에 부착된 가지 직경과 비례한다고 할 수 있다. 첫 번째 고압은 0.4초간 지속되고, 두 번째 고압은 0.7초간 지속된다. 한편, 유량은 가지를 자르는 동안 약간 감소하다가 다시 정상 상태를 회복한다. 이는 원목을 자르는 시간에는 피드롤러의 속도가 약간 감소함을 의미한다. 두 번째 고압에서는 첫 번째 고압에 비해 굵은 가지를 자르기 때문에 유량의 감소가 더욱 심하게 나타남을 알 수 있다. 이는 가지가 굵을수록 저항이 크고 속도는 비례해서 감소함을 알 수 있다. 유압모터의 구동토크를 통해 피드롤러의 이송력을 계산해 보면 다음과 같다.

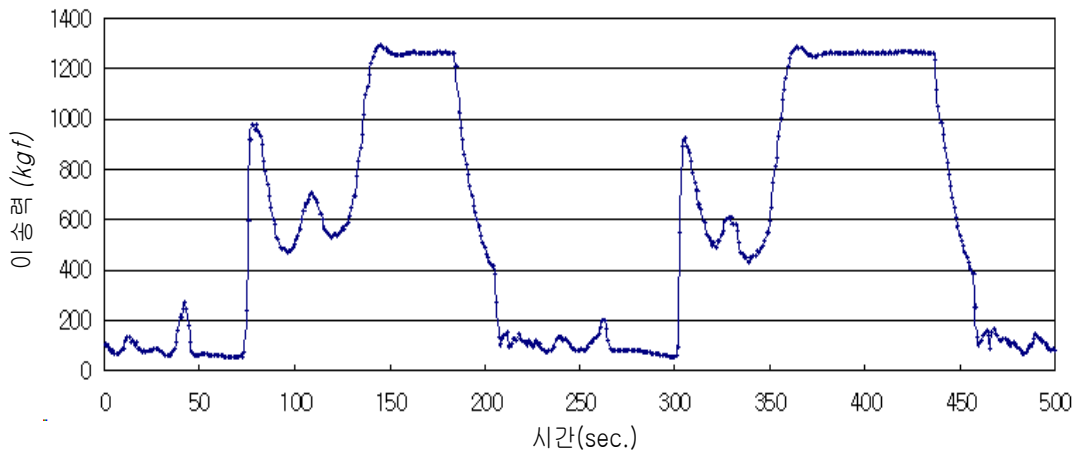
$$- \text{Torque(Nm)} = \frac{P(\text{pa}) * H(\text{m}^3/\text{rev}) * \eta(\text{효율})}{2\pi}$$

$$- \text{Torque(Nm)} = F(\text{N})R(\text{m})$$

$$- \text{이송력 } F = \frac{P(\text{pa}) * H(\text{m}^3/\text{rev}) * \eta(\text{효율})}{2\pi R}$$

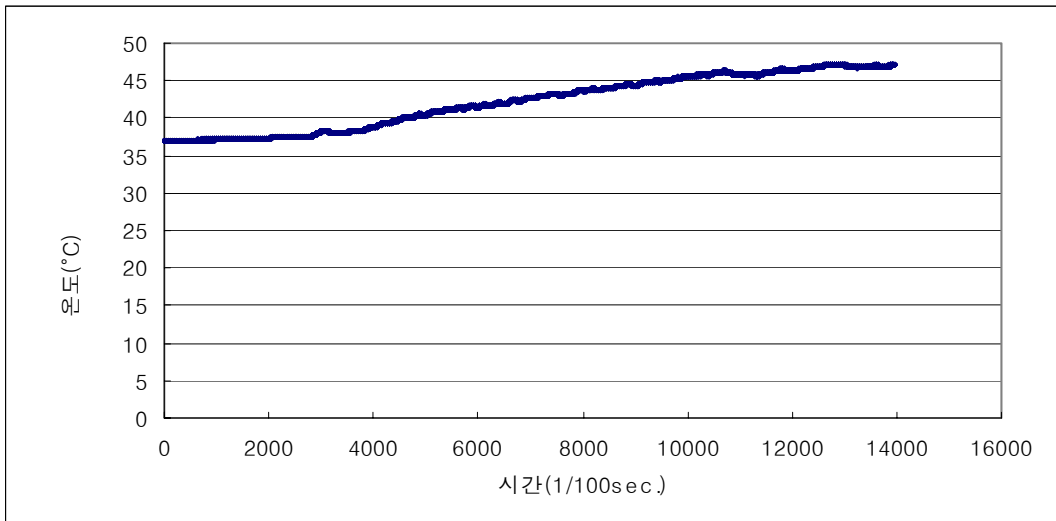
- P(pa) : 피드롤러 입구 압력      — H(m<sup>3</sup>/rev) : 모터 용량
- $\eta$  : 유압모터 효율              — R(m) : 모터의 반지름

여기서, 모터용량(H) = 19.0cc/rev=19×10<sup>-6</sup>m<sup>3</sup>/rev, 모터효율( $\eta$ ) = 0.95라고 하고, 반지름 167.5mm를 대입해서 이송력을 산출하면 시간경과에 따른 이송력을 얻을 수 있다.



〈그림 68〉 시간경과에 따른 피드롤러의 이송력(kgf)

유압모터에 저항이 작용하면 일정 압력이 릴리프 밸브에 작용하기 때문에 일정 하중인 1,264kgf가 작용하게 된다. 즉,  $\frac{1,264 \times 9.8 \times 167.5}{1000} = 2074.86Nm$ 의 토크가 발생하게 된다. 최대 허용 토크 이상인 경우 모터는 작동을 할 수 없다. 따라서 모터의 허용 토크인 5,160Nm 범위 내에서 토크를 증가시켜 이송력을 증가시킬 수 있다.



〈그림 69〉 피드롤러 작동시 유압유 온도 변화

피드롤러 유압의 온도는 〈그림 69〉와 같이 37° C에서 증가하기 시작하여 47° C에서 안정 상태로 진입하게 된다. 유압 시스템의 온도는 전체적으로 안정적이라고 할 수 있다.

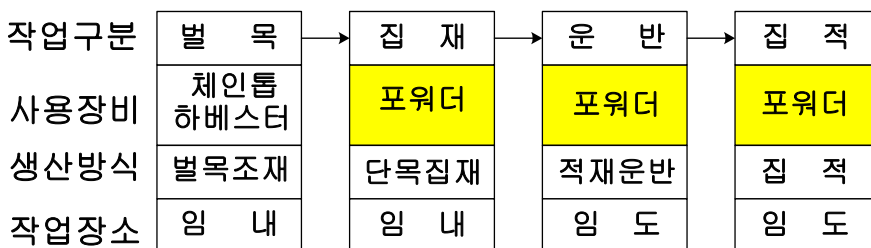


## IV. 임목수확작업 시스템

기계화 임목수확 작업시스템 확립 분야에 있어서는 굴삭기 부착 스트로크 하베스터에 의한 벌목조재 및 국산 개발 포워더와 케도형 포워더를 이용한 완·중경사지 단목집재 시스템, 체인톱에 의한 벌채 및 가선집재장비인 타워야더 및 소형케이블 원치 등을 이용한 중·급경사지의 작업규모 및 임목규격별 전목·전간집재 시스템에 대하여 설명하고자 한다.

### 1. 완·중경사지 단목집재 작업시스템

본 시스템은 북유럽 스칸디나비아와 일본의 북해도 지역에서 보편적으로 활용되는 작업시스템으로 우리 나라와 같은 산악지형이 대부분인 국가에서는 그다지 유효한 시스템은 아니지만, 활용되는 작업시스템 가운데 가장 노동력을 절감할 수 있는 것이 가장 큰 특징이라고 할 수 있으며, 작업체계도는 <그림 70>과 같이 벌목작업은 체인톱 또는 하베스터, 펠러번처 등을 이용하여 조재작동을 한 후에 임내, 작업로 및 임도 등을 주행하면서 포워더에 의한 적재 운반작업을 하는 시스템이다.



<그림 70> 완·중경사지 단목집재작업 시스템

### 1.1 벌목·조재작업

벌목조재 작업은 굴삭기 부착 유압식 벌목기를 이용하였다. 이 유압식 벌목기는 체인톱 작업의 고강도 작업(작업강도지수 40% 이상)을 해소할 수 있는 대체 작업방법으로서 북유럽지역의 소규모 간벌지에서는 보편화 되어 있는 장비이다. 그렇지만 우리나라와 같은 급경사지형이 대부분인 곳에서는 그다지 유효한 시스템은 아니지만, 노동력을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 작업원의 안전성 향상을 위해서는 필요한 장비로 생각된다. 본 시스템은 굴삭기가 입목근처 최소 5m 이하 지점까지 접근해야 한다는 제한을 받는다. 따라서 이와 같은 시스템이 적용될 수 있는 임지는 산지 경사 30% 이하의 완경사지가 최적의 조건이 된다. 사용된 기계의 제원 및 특성은 다음과 같다.

〈표 23〉 기본차량(굴삭기) 및 벌목기 헤드유닛의 제원 및 특성

기본차량(굴삭기)		벌목기 헤드 유닛	
모 델	DAEWOO Solar 70III	모 델	Steg Master 2000-25
장비중량	7.2 톤	자체중량	260 kg (로테이터 제외)
엔진출력	57ps/2,100rpm	1동작거리	100 cm
버킷용량	0.25 m <sup>3</sup>	1동작속도 (50 l /분)	1.5초/1m (지타작업시) 0.8초/1m (원위치)
주행속도	3.5/5.0 km/시	최대벌목직경	25 cm
등판능력	35 도	최대 개구폭	50 cm
최저지상고	37 cm	전 고	163 cm
최대 봄도달거리	6.3 m	작업압력	200 bar
도져블레이드	225cm(폭)×37cm(높이)	절단용 날 두께	8 mm



〈그림 71〉 스트로크 하베스터 벌목작업광경 〈그림 72〉 스트로크 하베스터 조재작업광경

### 1.1.1 조사지 개황

본 시스템 조사에 있어 벌목조재작업은 북부지방산림청 춘천국유림관리소 소관 국유림에서 실시되었으며 작업지 개황은 〈표 24〉와 같다.

〈표 24〉 유압식벌목기 작업지 조건

장 소	수 종	임 령	흉고직경	수 고	임목축적
경기, 가평 상면, 임초1-바	잣나무	32 년	$\frac{14.2}{7 \sim 21}$ cm	$\frac{11.2}{6 \sim 14}$ m	92 m <sup>3</sup> /ha

### 1.1.2 작업시간 및 작업량 조사

유압식벌목기에 의한 벌목 작업시간 조사 결과, 총 81본의 잣나무를 벌채하는데 소요된 시간은 272.1분으로 1본당 작업소요시간은 3.35분이었다. 기존의 체인톱에 의한 작업에서 순수작업시간 비율이 50%를 약간 상회하는데 반하여 본 벌목기(스트로크 하베스터)를 이용할 경우 임목생산에 직접적 영향을 미치는 순수작업시간 비율이 75%로 상승하여 벌목작업의 효율성을 증가시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

〈표 25〉 굴삭기부착 벌목기에 의한 벌채작업 시간조사 내역

구 분	준비,정리	이동	벌도·조재작동		일반작업 (휴식,지체)	계
			벌도	조재작동		
계 (분)	45.9	43.4	59.9	98.3	24.6	272.1
비 율 (%)	16.9	15.9	22.0	36.2	9.0	100.0
1본당 (분)	0.56	0.54	0.74	1.21	0.30	3.35

굴삭기 부착 벌목기에 의한 작업의 대상목 평균 흉고직경은 14.2cm(7~21)였고, 평균 수고는 11.2m(6.1~14.2)로 본당 평균 단재적은 0.086m<sup>3</sup> 이었다.

스트로크 하베스터는 임목으로의 접근에 어려움이 있으나, 이 또한 반복훈련을 통한 숙달로 해결할 수 있을 것이다. 또한, 굴삭기 운전석에서 작업을 하는 관계로 작업안전성이 향상되어 하절기 작업도 가능할 것으로 생각된다.

〈표 26〉 굴삭기부착 벌목기 작업내역

작업본수 (본)	작업시간 (분)		작업량 (m <sup>3</sup> )	평균흉고직경 (cm)	수 고 (m)
	전체	1본당			
81	272.1	3.35	6,984	14.2	11.2

## 1.2 소형포워더에 의한 집재작업

한편, 임내에서의 적재 및 운반작업에는 두 가지 기종의 소형 포워더를 활용하였다. 한 가지는 국내 개발 기종으로 차륜형 6륜구동식이고, 비교대상 기종은 스웨덴에서 도입한 궤도형 미니포워더로서 각 장비에 대한 제원 및 특성은 〈표 27〉과 같다.

〈표 27〉 차륜형 및 궤도형 미니포워더의 제원

구 분	차륜형 미니포워더 (국산개발)	궤도형 미니포워더 (Terri)
엔진출력	60 HP, 수냉식 디젤엔진	33.2HP/3,000rpm
차체길이	4.8m	6.5m (7m까지 조절)
중량	3,985kg (크레인 포함)	3,040kg (크레인 포함)
구동방식	6륜구동, 유압식	폐쇄회로 유압식
트레일러	최대 3톤 적재	최대 3톤 적재
주행속도	10~15km/분	최대 17km/분
원치	견인력 2톤, 속도 30~40m/분	견인력 2톤



〈그림 73〉 차륜형 미니포워더 작업광경



〈그림 74〉 궤도형 미니포워더 작업광경

### 1.2.1 작업지 개황

〈표 28〉 미니포워더 작업지 조건

구분	장소	수종	임령	흉고직경	수고	임목축적
차륜형	광릉시험림 9임반	리기다 소나무	36년	$\frac{23.4}{8 \sim 40}$ cm	$\frac{14.6}{6 \sim 19}$ m	158 m <sup>3</sup> /ha
궤도형	광릉시험림 22임반	리기다 소나무	35년	$\frac{20}{12 \sim 31}$ cm	$\frac{13}{9 \sim 15}$ m	212 m <sup>3</sup> /ha

### 1.2.2 작업내역

미니포워더를 이용한 집재 및 운반작업은 준비, 상차, 적재이동, 하차 및 공차 이동의 순수작업시간과 휴식 및 장비의 고장 등으로 인한 지체시간으로 구분되는 일반작업시간으로 나뉜다. 차륜형 포워더의 경우 순수작업시간 비율이 전체시간의 80.7%를 차지한 반면, 궤도형 포워더는 68.5%로서 생산에 직결되는 순수작업시간에 있어 약 10% 정도의 차이를 보이고 있다. 이는 궤도형 포워더의 조작방법이 차륜형에 비해 복잡한 것으로 운전원의 기능도에 기인하는 것으로 사료된다. 그러나 1싸이클 시간을 비교하면, 궤도형에 비해 차륜형 포워더가 1회당 14분 정도 추가 소요되는 것으로 나타났지만, <표 30>에서 보는 바와 같이 1회당 작업량의 차이에 의한 것으로 큰 차이가 없는 것으로 판단할 수 있다.

<표 29> 미니포워더에 의한 운반작업 시간조사 내역

구 분		순수작업시간					일반작업시간		계
		준비	상차	적재이동	하차	공차이동	휴식	지체	
차륜형	계 (분)	137.7	1102.2	97.3	938.3	117.5	384.0	18.0	2,795.0
	비율 (%)	4.9	39.4	3.5	33.6	4.2	13.7	0.7	100.0
	1회당(분)	3.5	28.3	2.5	24.1	3.0	9.8	0.5	71.7
궤도형	계 (분)	-	-	-	-	-	-	-	-
	비율 (%)	-	36.8	-	15.3	16.4	31.5		100.0
	1회당(분)	-	21.1	-	8.8	9.4	18.1		57.4

<표 30> 미니포워더 작업내역

구분	작업 회수 (회)	작업시간 (분)		작업량 (m <sup>3</sup> )		평균운반거리 (m)		평균단재적 (m <sup>3</sup> )
		전체	1회당	전체	1회당	작업로	임도	
차륜형	39	2,795.0	71.1	69,564	1,784	23.6	118.0	0.0486
궤도형	-	-	57.4	-	1,300	-	100.0	-

차륜형 미니포워더에 의한 작업내역은 전체 39회 작업을 실시하는데 소요된 시간이 2,795분이 소요되어 1회당 71.1분이 소요되는 것으로 나타났다. 이 때의 운반 거리는 작업로주행 50m 이내, 임도주행 200m 이내로 최대 250m 주행하였으며, 평균 운반거리는 작업로주행 23.6m, 임도주행 118m로 나타났다. 한편, 1사이클당 적재되는 원목의 동수는 36.6 동이었고, 재적계산 결과 1.784m<sup>3</sup>를 운반하는 것으로 나타났다. 여기에서 주목할 사항은 원목의 단재적이 0.05m<sup>3</sup>도 안되는 소경목의 운반을 실시한 관계로 생산성이 떨어질 수 있으나, 중·대경재 작업 시에는 전체작업 시간 가운데 상·하차에 소요되는 시간이 감소되므로 생산성의 향상을 기대할 수 있을 것이다.

### 1.3 유압식벌목기 및 포워더 시스템의 작업능률 및 경제성분석

작업시간 및 작업량 조사자료를 근거로 작업능률 및 비용을 분석한 결과, 스트로크 하베스터에 의한 벌목조재는 1일 12.2 m<sup>3</sup>의 생산성을 나타내었고, 장비구입가격 및 감가상각 등을 고려한 단위재적당 생산비용은 14,400 원/m<sup>3</sup>으로 계산되었다. 한편, 미니포워더에 의한 집재 및 운반작업에 있어 능률은 차륜형 포워더 11.9 m<sup>3</sup>/일, 궤도형 포워더 13.0 m<sup>3</sup>/일, 22,800 원/m<sup>3</sup> 으로서 능률의 차이는 크지 않으나, 단위재적당 생산비용에 있어서는 차륜형 포워더 11,600 원/m<sup>3</sup>, 궤도형 포워더 22,800 원/m<sup>3</sup> 으로 거의 2배 이상 차이가 나는 것으로 나타났다. 이는 장비의 구입 가격에서 기인한다고 볼 수 있다.

〈표 31〉 기계비용 산출내역

장 비 명	굴삭기+벌목기	미니포워더	
		국산개발	도입(Terri)
구입가격 (천원)	65,000	70,000	110,000
장비수명 (년)	6	6	6
내용시간 (시간)	6,000	6,000	6,000
연료소비량 (l/시간)	5	3	3
유효유계수	0.3	0.2	0.2
잔존가치 (천원)	6,500	6,500	11,000
년이율 (%)	8	8	8
년간가동시간 (시간)	1,000	1,000	1,000
일가동시간 (시간)	5	6	6
수리정비계수	0.8	0.5	0.5
연료단가 (05.12. 기준)	1,100	1,100	1,100
이자 (원/시간)	3,250	3,483	5,500
감가상각 (원/시간)	9,750	10,583	16,500
수리유지비 (원/시간)	7,800	5,292	8,250
유류대 (원/시간)	4,550	2,520	2,250
총기계비용 (원/시간)	25,350	21,878	32,770
기계비용합계 (원/일)	126,750	131,270	196,620
작업능률 (m <sup>3</sup> /일)	12.2	11.9	13.0
적정작업인원 (인)	1	1	1
인건비 (원/일)	50,000	50,000	50,000
작업비합계 (원/일)	176,750	181,270	246,620
인건비 비율 (%)	28.3	27.6	20.3
작업비 (원/m <sup>3</sup> )	14,400	11,600	22,800



## 2. 중·급경사지 소규모 전간전목집재 작업시스템

본 시스템은 급경사지 소규모 간벌지에 적합한 작업시스템으로서 과거에는 주로 체인톱 엔진이 부착된 아크야윈치에 의한 집재나, 중력식 플라스틱 수라에 의한 집재 또는 궤도형 소형임내차의 엔드레스 드럼을 이용한 간이가선집재 등이 활용되었으나, 최근에는 지방 산림청 산하 영림단원들이 작업의 효율성 극대화를 위하여 소형장비를 개발하여 사용하고 있다.

### 2.1 소형케이블윈치 시스템

#### 2.1.1 작업방법 및 사용장비

본 시스템에 적용 가능한 임지는 원목의 생산량이 비교적 적은 소규모 간벌지이거나 1차 간벌 대상지의 소경재가 생산되는 임지로서 집재 가능한 거리도 비교적 단거리인 100m 이내에 적용 가능한 지역에서 적당한 작업시스템으로 투입되는 기종도 이러한 조건에 부합될 수 있는 소형기계를 활용하는 것이 적당하다. 이러한 조건을 만족하기 위하여 본 사업에서는 기존의 아크야윈치를 개조하여 가선집재가 가능한 2드럼 케이블윈치를 대상으로 조사하였다. 벌채작업은 기존 방법과 마찬가지로 체인톱으로 실행되었다.

한편, 본 조사에 활용된 장비는 기존 오스트리아에서 도입된 썰매형 아크야윈치를 국내에 도입·개조하여 단거리 소집재용 및 수라 설치시 운반을 위해 사용되던 소형 윈치로서 임목을 견인할 수 있는 하나의 드럼에 의해 주로 지면끌기 집재에만 적용되었으며, 기존의 소형윈치는 체인톱용 중형 엔진을 사용하여 작업시 소음수준이 높아 작업원들의 작업환경이 매우 열악하였다.

이 방식을 응용하여 회송용 드럼을 추가하고, 여기에 4사이클 엔진을 탑재하여 기존의 소형윈치에 비하여 훨씬 적은 소음수준에서 작업이 가능한 기계로 개량하였다. 또한, 스카이라인을 이용한 간이 가선집재 시에도 가선의 경사에 관계없이 활용 가능 하도록 개발한 반송기(캐리지)도 실용화 가능한 것으로 판단되었다. 소형윈치의 성능 및 특성은 <표 32>와 같으며, 설치광경 및 원목을 매달아 이동시키는 캐리지의 모습은 <그림 75>, <그림 76>과 같다.

<표 32> 2드럼 케이블 윈치의 제원 및 성능

구 분		내 용
엔	진	HONDA GX 390 4기통 디젤엔진 (13마력)
규	격	전장 210 cm, 전고 110 cm, 전폭 56 cm, 중량 220 kg
원 치	드럼용량	견인드럼 : 와이어로프 직경 6 mm × 100 m 와이어로프 직경 5 mm × 200 m
	견 인 력	670~1,100 kg
	견인속도	30~50 m/분
집 재 가 능 거 리		상하향 100 m (드럼 용량 6 mm×100 m, 2드럼)
반 송 기 ( 캐 리 지 )		후크식 자동낙하기능 및 경사지 활용 가능



<그림 75> 소형 케이블윈치 작업광경



<그림 76> 캐리지 이동광경

### 2.1.2 조사지 개황

본 시험사업 대상지는 경기, 양평, 청운 및 가평, 설악 소재 북부지방산림청 관내 국유림으로, 대상 수종은 리기다소나무 34년생과 잣나무 28년생을 대상으로 작업을 실행하였으며, 기타 사항은 <표 33>과 같다.

<표 33> 소형 케이블원치 집재작업지 현황

장 소	임·소반	수 종	임령(년)	수고(m)	경급(cm)	ha당 축적(m <sup>3</sup> )
경기,양평,청운	31-카	리기다소나무	34	12/6~18	18/6~30	130.2
경기,가평,설악	24-가	잣나무	28	14/8~20	21/8~32	134.8

### 2.1.3 작업시간 및 작업량 조사

소형 2드럼 케이블 원치에 대한 시간조사는 연속시간 측정법으로 조사하였으며, 작업을 전간집재와 단목집재로 구분하여 실시하였다. 전간집재는 임내에서 벌도 후, 가지제거 및 초두부를 절단한 채로 집재하는 방법으로 1회 평균 집재재적에 있어 단목집재 방법에 비해 거의 2배 이상 집재가 가능한 효율적인 작업방법이다. 또한, 이와 같은 전간 또는 전목집재를 하므로써 임내에 방치되는 폐잔재(logging residue)를 줄일 수 있을 뿐 아니라, 부산물 이용 측면에서도 기계화에 따른 전간 및 전목집재가 바람직한 시스템이다. 또한, 1사이클당 집재동수에 있어서도 전간집재는 사이클당 1분으로 초커설치 및 제거시간을 단축할 수 있는 이점을 가지고 있다.

〈표 34〉 2드럼 케이블원치 집재작업 시간구성

구 분		요 소 작 업 시 간							일반시간
		공주행	로프 풀기	초커 설치	측방 집재	적재 주행	초커 제거	계	
전간 집재	시간(분/전체)	12.1	12.3	6.3	12.5	27.6	8.8	79.6	87.5
	시간(분/회)	0.45	0.46	0.23	0.46	1.02	0.33	2.95	3.24
	비율(%)	7.2	7.4	3.8	7.5	16.5	5.3	47.6	52.4
단목 집재	시간(분/전체)	32.4	22.4	10.2	21.0	30.1	40.2	156.3	87.4
	시간(분/회)	0.68	0.47	0.21	0.44	0.63	0.84	3.26	1.82
	비율(%)	13.3	9.2	4.2	8.6	12.4	16.5	64.1	35.9

〈표 34〉의 작업시간 구성 분석결과, 전간집재의 1사이클당 작업시간이 2.95분이었고, 단목집재에 있어서는 3.26분으로 단목집재시스템이 전간집재시스템에 비해 약 10% 정도 높게 나타났다. 여기에는 집재작업 중 나무를 묶어 주는 초커설치 및 제거작업이 크게 영향하는 것을 알 수 있다. 본 조사에서 초커설치 소요시간은 그다지 작용을 하지 않았지만, 초커제거 작업에 있어서는 단목집재 시스템이 전간집재 시스템에 비하여 약 2.5배 이상 소요되는 것을 알 수 있다. 그 이유는 초커설치 작업시에는 집재대상목이 산재되어 있어 주변의 집재대상목에 묶으므로 큰 차이가 나게 되지 않지만, 초커제거 작업은 장비에 의해 집재된 원목이 적재주행되는 동안 기계의 견인에 의해 와이어로프로 묶은 원목이 꼬여 스카이라인에서 지면에 내려놓을 때 여러 원목더미에서 견인고리를 찾아내야 하는 어려움이 있으므로 두 가지 방법 간에 상당한 차이를 나타내고 있다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 초커용 로프로 와이어로프를 사용하는 것보다는 폴리에틸렌 로프를 사용하면 보다 효율성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

### 2.1.4 작업능률 및 경제성 분석

작업시간 및 작업량 조사 자료를 기초로 하여 본 시스템의 작업능률을 분석하였다. 집재방향은 전간집재에 있어서는 상향집재, 단목집재는 하향집재를 실시하였다. 본 장비의 최대 설치가능 거리가 100m이므로 평균집재거리를 계산하면 최소 0m에서 최대 100m까지로 평균 50m가 된다.

전간집재와 단목집재의 시간당 작업능률은 전간집재의 경우 평균 1회집재재적 0.316m<sup>3</sup> 이라는 결과에서 소요시간 6.32분을 적용하여 비례식으로 구한 결과 시간당 3.00m<sup>3</sup>의 능률을 올릴 수 있는 것으로 나타난 반면, 단목집재는 1회당 0.175m<sup>3</sup> 집재에 5.08분이 소요되어 시간당 2.07m<sup>3</sup>의 능률을 나타내어 전간집재에 의한 방법이 단목집재에 비해 1.5배 정도의 능률이 높은 것으로 나타났다. 그러나 기계에 의한 집재작업의 경우 일반적으로 상향집재에 비해 하향집재가 기술적으로 어려운 면이 있다는 것을 가정해도 상향에 의한 전간 또는 전목집재 시스템이 단목에 의한 하향집재에 비해 상대적으로 높은 효율을 나타내므로 작업계획 시에는 이와 같은 사항을 고려해야 할 것으로 사료된다.

〈표 35〉 2드럼 케이블윈치 집재작업 내역

구 분	작업회수 (회)	집재거리(m)			집재재적(m <sup>3</sup> )		집재동수(동)	
		최소	최대	평균	전 체	평균/회	전 체	평균/회
전간집재	27	20	90	51.2	8.54	0.316	28	1.03
단목집재	48	20	95	53.8	8.39	0.175	66	1.38

두 가지 방법을 합하여 작업능률 및 경제성을 분석한 결과 평균집재거리 50 m, 1회당 평균 집재재적 0.2m<sup>3</sup>을 적용하여 기존 아크야 윈치와 비교한 경우, 작업능률에 있어서는 기존 아크야 윈치(1드럼)는 8.5 m<sup>3</sup>/일, 개량된 2드럼 케이블윈치는

13.2 m<sup>3</sup>/일로서 1.5배 향상된 능률을 나타내었고 단위재적당 비용면에서도 기존 아크야 원치 15,350 원/m<sup>3</sup>, 2드럼 케이블원치 10,330 원/m<sup>3</sup>으로서 개량 2드럼 케이블 원치가 효율적인 것으로 분석되었다.

〈표 36〉 기계비용 산출내역

장 비 명	소형 2드럼 케이블원치	썰매형(아크야)원치
구입가격 (천원)	13,000	5,000
장비수명 (년)	5	5
내용시간 (시간)	5,000	5,000
연료소비량 (l/시간)	3	3
유효유계수	0.1	0.1
잔존가치 (천원)	1,300	500
년이율 (%)	4	4
년간가동시간 (시간)	1,000	1,000
일가동시간 (시간)	5	5
수리정비계수	0.5	0.5
연료단가 (05.12. 기준)	1,400	1,400
이자 (원/시간)	230	128
감가상각 (원/시간)	1,620	900
수리유지비 (원/시간)	810	450
유류대 (원/시간)	4,620	4,620
총기계비용 (원/시간)	7,280	6,098
기계비용합계 (원/일)	36,402	30,490
작업능률 (m <sup>3</sup> /일)	13.2	8.5
적정작업인원 (인)	2	2
인건비 (원/일)	100,000	100,000
작업비합계 (원/일)	136,400	130,490
인건비 비율 (%)	73.3	76.6
작업비 (원/m <sup>3</sup> )	10,330	15,350

### 2.1.5 집재작업 공정표 작성(잠정안)

설치 및 철거시간을 포함한 전체적인 작업능률은 설치 노선당 예정생산량과 집재거리, 1회당 집재재적 등에 따라 변동되며 작업시간 및 집재거리, 집재재적을 이용한 작업공정식은 다음과 같다.

$$R = 60 \times Q / \{D \times (1/V_E + 1/V_L) + C\}$$

여기서, R : 시간당작업능률(m), Q는 1회당 집재재적(m<sup>3</sup>), D는 집재거리(m), VE는 공주행속도(m/분), VL은 적재주행속도(m), C는 고정시간을 나타낸다. 고정시간은 적재주행 및 공주행시간을 제외한 작업시간이며, 여기에는 설치 및 철거시간이 포함되어 있다. 즉 설치 및 철거시간을 포함한 고정시간이 감소할수록 작업의 생산성은 증가하게 된다. 본 조사에서는 전간 및 단목집재 75회를 실시하여 125분이 설치 및 철거작업에 소요되었으므로 고정시간은 기존 집재작업에 1.66분이 추가로 소요되는 것으로 계산할 수 있다. 따라서 주행시간을 제외한 고정시간은 <표 37>과 같다.

<표 37> 집재작업 공정표 작성을 위한 기초자료

1회평균 집재재적 (m <sup>3</sup> )	주행속도 (m/분)		1회당 고정시간(분)		
	적재주행	공주행	집재작업	설치철거작업	계
0.226	72.9	97.3	4.34	1.66	6.00

<표 37>의 작업공정 계산 기본자료를 이용하여 1일 작업능률을 집재거리와 1회 집재재적으로 구분하여 공정표를 작성한 결과 <표 38>과 같다. 평균집재거리 60m 이고, 1회집재재적이 0.2m<sup>3</sup> 이라고 하면, 2드럼 케이블윈치에 의한 1일 작업공정은 13.27m<sup>3</sup>으로 구할 수 있고, 집재거리의 증가에 따라서 생산능률은 감소하고, 1회집재재적의 증가에 따라 작업능률은 증가하는 것을 알 수 있다.

〈표 38〉 2드럼 케이블윈치 집재거리 및 1회집재재적에 따른 작업공정(잠정)

구 분		집 재 거 리 (m)				
		20	40	60	80	100
1회집재재적 (m <sup>2</sup> )	0.1	7.46	7.02	6.64	6.29	5.98
	0.2	14.92	14.05	13.27	12.58	11.95
	0.3	22.38	21.07	19.91	18.86	17.93
	0.4	29.84	28.10	26.54	25.15	23.90
	0.5	37.31	35.12	33.18	31.44	29.88

## 2.2 라디캐리를 이용한 집재작업 시스템

라디캐리(자주식 리모콘 반송기)는 과거 북미에서 사용되던 엔진이 장비된 무선 조정식 캐리지를 일본에서 소형화하여 간벌 작업지에 적합하도록 개발된 것으로 자체 엔진이 장비되어 있고 무선조작에 의해 운영되므로 소요되는 작업원을 절감할 수 있으며 조작이 쉽고 하향작업 시에도 육체적으로 힘든 로프풀기 작업을 용이하게 해주어 작업부담을 크게 절감할 수 있고 다른 가선장비에 비해 비교적 값이 싸며 특히 간벌작업지나 택벌작업지 등에 적합한 장비이다.

반면에 엔진출력이 제한되어 있고 자체 무게가 많이 나가므로 매달 수 있는 운반용량이 크지 않고 주행속도가 늦어서 장거리 집재에는 적합하지 않으며 특히, 급경사지에서의 상향집재에서는 작은 엔진출력 관계상 운반능률이 크게 떨어지거나 작업이 불가능 할 수도 있는 단점이 있다. 본 시스템은 체인톱으로 벌채된 원목을 단목 및 전간으로 조재하여 작업로와 임도상에서 단목 또는 전간 집재하는 방법이다.

### 2.2.1 조사지 개황

조사 대상지는 광릉시험림 15임반의 IV영급 잣나무림을 대상으로 하였으며, 평균흉고직경 25cm, 수고 16.5m, 임지경사 19%로 축적은 120m<sup>3</sup>/ha로 임황은 〈표 39〉와 같다.



〈표 39〉 작업지 임황

장소	수종	영급	흉고직경 (cm)	수고 (m)	임지경사 (%)	축적 (m <sup>3</sup> /ha)
광릉시험림 15임반	잣나무	IV	$\frac{25}{14 \sim 32}$	$\frac{16.5}{7 \sim 22}$	19	120

### 2.2.2 작업기계의 제원 및 특징

라디캐리는 허용중량 800kg으로 최대 1m<sup>3</sup>의 원목을 운반할 수 있으나 지면과의 마찰, 스카이라인의 안전성, 주행 엔드레스 드럼의 미끌어짐 때문에 최대 0.7m<sup>3</sup> 내외를 운반할 수 있는 기종으로 주행속도를 30~80 m/분 까지 조절할 수 있어 단목 및 전간의 집재에 효율적으로 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

〈표 40〉 라디캐리의 제원

구 분	라디캐리 (일본 이와후지 공업)
모 델 명	BCR 08 SP(D)
탑 재 엔 진	로빈 DY 41 공랭식 4짜이클 디젤엔진
엔 진 출 력	8.5 마력
차 체 규 격	길이 1,690mm × 폭 700mm × 높이 1,330mm
드 럼 수	주행용 엔드레스 드럼 1 + 인장용 드럼 1
최 대 인 장 하 중	800 kg
운 반 하 중	800 kg
주 행 속 도	30~80 m/분
작 동 방 식	무선 → 전기 → 유압
작 동 유 압 압 력	170 kg/cm <sup>2</sup>
장 비 중 량	440 kg
사 용 와 이 어 로 프	스카이라인용 $\varnothing$ 6 mm, 주행삭용 $\varnothing$ 12~12.5
무 선 송 수 신 방 식	FM 방식 44MHz

### 2.2.3 작업내역 및 작업시간 구성

라디캐리의 가선설치거리는 140m이며 평균집재거리는 83m, 평균측방집재거리는 5m이었다. 1회 작업당 작업시간 구성은 <표 41>과 같으며 단목 및 전간집재로 나누어 작업하였다. 공주행, 로프풀기, 초커설치, 측방집재, 적재주행, 초커제거를 순수작업시간으로 하고 일반시간을 포함하여 1사이클로 보았다. 단목집재작업 23회, 전간집재작업 59회의 작업 중 일반시간을 포함하여 1회 작업시간은 단목 6.47분이 소요되었고, 이 가운데 순수작업 시간 76.3%, 일반작업 시간이 23.7%로 구성되어 있다. 전간작업의 경우는 1회당 5.99분이 소요되었고, 순수작업 시간 73.3%, 일반작업 시간이 26.7%로 구성되어 있다. 순수작업시간 및 일반작업시간은 단목 및 전간작업에서 큰 차이는 볼 수 없었으며, 단목집재의 경우 흠어져 있는 단목을 집재함으로써 측방집재시간이 두 배 정도 소요되고 적재주행 시간은 적은 것으로 나타났다.

<표 41> 작업시간구성

구분		순수작업						일반작업	합계
		공주행	로프 풀기	초커 설치	측방 집재	적재 주행	초커 제거		
단목	작업시간 (분/회)	1.53	0.65	0.13	0.72	1.55	0.36	1.53	6.47
	비율 (%)	31.1	13.1	2.6	14.6	31.3	7.3	23.7	100.0
전간	작업시간 (분/회)	1.48	0.33	0.15	0.38	1.63	0.42	1.60	5.99
	비율 (%)	33.6	7.6	3.4	8.7	37.2	9.6	26.7	100.0

### 2.2.4 작업능률 및 경제성 분석

시간조사 및 작업조건 등 조사자료를 토대로 작업능률을 분석한 결과, 단목집재 11.7m<sup>3</sup>/일, 전간집재 16.9m<sup>3</sup>/일로서 집재비용은 각각 17,520원/m<sup>3</sup>, 13,840원/m<sup>3</sup>이 소요되었다. 전간집재작업은 단목집재에 비하여 21% 비용절감효과를 보았으며 작업능률 및 생산비용은 <표 42> 및 <표 43>과 같다.

인력집재의 경우 1일 작업능률은 2.5m<sup>3</sup>, 1일 집재비용 20,000원/m<sup>3</sup>으로 비교하여 보면 인력집재대비 단목집재의 경우 12% 전간집재의 경우 31%의 비용절감 효과를 볼 수 있다. 또한 단목집재와 전간집재를 비교하여 보면 전간집재의 경우가 21% 비용절감 효과를 기대할 수 있다.

운반 후 임도상 집재장에서의 집적작업에는 굴삭기부착 그래플 등을 이용하면 보다 효율적인 작업이 될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 라디캐리의 장점을 충분히 살려 작업도, 임도까지 집재를 원활히 할 수 있도록 운전자의 숙련도를 증진할 필요가 있을 것이다.

<표 42> 집재시스템별 작업능률 및 경제성

구 분	작업능률 (m <sup>3</sup> /일)	생산비용 (원/m <sup>3</sup> )	절감효과
단 목 집 재	11.7	17,520	0.88
전 간 집 재	16.9	13,840	0.69
인 력 집 재	2.5	20,000	1.00

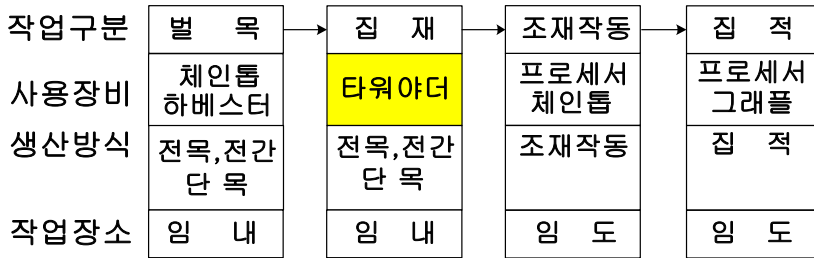
라디캐리로 구축할 수 있는 작업시스템에서 주로 벌목은 체인톱 및 벌목기, 집재는 라디캐리로 작업하는 것으로 그래플부착 굴삭기, 프로세서, 포워드 등을 첨가

하여 작업시스템을 구축할 수 있다. 경사는 완경사부터 중경사까지 적용할 수 있으며, 벌채 및 조재 작업을 체인톱에 의존하지 않고 프로세서의 도입에 의해 보다 더 높은 효율성을 기대할 수 있겠다.

### 3. 중·급경사지 중규모 이상 전간전목집재 작업시스템

본 시스템은 체인톱에 의해 벌채된 원목을 가지가 붙은 채로 트랙터윈치, 스키더 또는 타워야더 등으로 집재하는 전목집재(Whole tree method)와 벌채된 나무의 가지치기 및 초두부 절단으로 원목의 수간(stem)만을 장재로 집재하는 방법으로서 체인톱에 의한 조재작업을 임내에서 실행하지 않고, 장비에 의한 집재 후 임도변 또는 작업로변에서 작업을 실시하여 작업원의 작업부담을 줄일 수 있는 한 가지 방법으로 자리잡고 있는 시스템이다. 그리고 또 한가지 작업의 특징은 벌채 후 집재 작업을 실시할 때 단목집재방법에 비해 초커설치 등의 작업시간을 단축할 수 있는 장점이 있으나, 전간재 또는 전목재로 집재되어 간벌지에서 잔존 임목의 손상이 우려되며 본 시스템에서는 토장(landing)의 여유공간이 확보되어야 하는 문제점도 가지고 있다.

중·급경사지 집재시스템은 우리나라의 여건에 가장 적합한 작업시스템으로서 일반적으로 체인톱에 의한 임내에서의 벌도 및 초두부 정리 후 전간 또는 전목에 의해 타워야더 또는 간이 타워야더에 의해 임도변에 집재되어, 이후 프로세서 등에 의한 조재 및 집적작업을 하는 방법으로서 본 조사에서는 타워야더, 간이 타워야더인 HAM 200 및 북부집재기에 의한 집재작업에 대해 조사하였다. 본 시스템의 전체적인 작업체계는 <그림 77>과 같다.



〈그림 77〉 중·급경사지 전간(전목) 집재시스템

### 3.1 임내차 탑재형 타워야더 집재작업

#### 3.1.1 작업지 개황 및 작업기계의 제원

타워야더 집재작업 현지조사지는 강원도 횡성군 둔내면 태기리 홍천국유림관리소 횡성경영팀 관내 58임반 다소반으로 잣나무 2차 간벌지였으며, 이 지역의 작업조건은 〈표 43〉과 같았으며, 조사에 사용된 타워야더는 최대 집재가능 거리가 300m 까지 가능한 OIKAWA 300T 임내차 탑재형으로 원치는 전자클러치를 이용한 인터록방식을 채택하여 타워야더의 설치가 간단한 런닝스카이라인 방식의 집재방법을 할 수 있는 장점을 가지고 있으며 기타 자세한 제원 및 특성은 〈표 44〉와 같다.

〈표 43〉 작업지 조건

장 소	수 종	임 령	흉고직경 (cm)	수 고 (m)	ha당 임목 축적(m <sup>3</sup> )
강원 횡성 둔내 (태기산)	잣나무	35 년생	$\frac{22}{12 \sim 35}$	$\frac{12}{6 \sim 18}$	267

〈표 44〉 임내차 탑재형 타워야더 제원

모 델		OIKAWA RME-300T	
기 본 차 량	엔진최대출력 (HP/rpm)	디젤 (87/2,300)	
	구 동 방 식	6륜 전륜구동	
	최저지상고 (mm)	280	
	전 장 (mm)	5,300	
	전 폭 (mm)	1,800	
	전 고 (mm)	3,300	
	최대속도 (km/h)	15 이하	
	등 판 능 력 (도)	35	
	최소회전변경 (m)	5.6	
타 위	형 식	6각 컬럼방식	
	접 힘 방 식	2단신축/기복식	
	선 회 (°)	턴테이블(350)	
	높 이 (m)	최고 9, 최저 5	
원 치	형 식	더블캡스텐 드럼	
	인 터 로 킹	전자클러치식 인터로킹	
	드럼 용량	- 당 김 줄 (m/mm)	350/10
		- 되돌림줄 (m/mm)	650/10
		- 가공본줄 (m/mm)	350/12
		최대전인속도 (m/분)	220
	견 인 력 (kg)	당김줄 1,500 / 되돌림줄 1,500	
	버 팀 줄	40m × 12 mm (2분)	
	아 웃 트 리 거	전·후 4개	
	조 작 방 식	유선 리모콘	
원 목 운 송 장 치 ( 캐 리 지 )	가공본줄용 캐리지	캐리지 별도구매 필요 (라디캐리 등 전용캐리지)	
	간이용 캐리지	런닝스카이라인용 간이 캐리지	

### 3.1.2 작업시간 조사

작업능률의 산정을 위하여 작업시간 측정을 실시한 결과 <표 45>와 같다. 전체 작업시간 조사는 설치 및 철거시간을 포함하여 1,578분이었고, 이 가운데 순수작업 시간인 공주행, 로프풀기, 초커설치, 적재주행 및 초커제거 작업시간은 전체작업의 73.4%인 1,156.7분이 소요되었고, 휴식 및 지체작업 시간은 290.7분으로 전체작업의 18.3%를 차지하였다.

<표 45> 타워야더에 의한 집재작업 시간조사 내역

구 분	설치 철거	공주행	로프 풀기	초커 설치	측방 집재	적재 주행	초커 제거	휴식	지체	계
계(분)	130.3	216.8	124.2	84.8	288.0	282.1	160.8	75.5	215.3	1,577.8
비 율(%)	8.3	13.7	7.9	5.4	18.3	17.9	10.2	4.8	13.5	100.0
1회당(분)	1.02	1.69	0.97	0.66	2.25	2.20	1.26	0.59	1.68	12.33

<표 46> 타워야더 작업내역

작업회수 (회)	작업시간 (분)		작업량 (m)		평균집재거리 (m)		평균단재적 (m <sup>3</sup> )
	전체	1회당	전 체	1회당	측방집재	적재주행	
128	1,577.8	12.3	68.43	0.535	18.3	118.0	0.507

전체 조사회수는 상향집재 128회를 실시하여 68.43m<sup>3</sup>의 원목을 집재하였으며, 1회당 소요시간은 평균 12.3분이었다. 이 때의 집재거리는 가선 통로의 좌우측에 있는 원목의 측방집재거리가 평균 18.3m, 측방집재 후 원목을 임도변으로 적재주행 하는 운반거리가 118m 이었으며, 전간집재를 실시한 관계로 원목의 평균 단재적은 0.5m<sup>3</sup>으로 비교적 중경목 이상의 집재를 실시하였다.

### 3.1.3 작업능률 분석

작업능률 분석을 위하여 앞에서 설명한 작업시간 및 작업량의 조사자료를 기준으로 타워야더에 의한 작업능률을 분석하였다. 시간당 작업능률은 싸이클 작업시간과 생산량 조사자료를 이용하여 비례식으로 계산한 결과 상향 전간집재의 시간당 작업능률은 2.85m<sup>3</sup>으로 계산되었다.

설치 및 철거시간을 포함한 전체적인 작업능률은 설치노선당 예정생산량과 집재거리, 1회당 집재재적 등에 따라 변동되며 작업시간 및 집재거리, 집재재적을 이용한 작업공정식은 다음과 같다.

시간당 작업능률  $(R) = 60 \times Q / \{D \times (1/VE + 1/VL) + C\}$ 로서 Q는 1회 집재재적(m<sup>3</sup>), VE는 공주행속도(m/분), VL은 적재주행속도(m/분), C는 1회당 고정시간(분)으로 적재주행 및 공주행시간을 제외한 작업시간이며, 여기에는 설치 및 철거시간이 포함되어 있다. 즉 설치 및 철거시간을 포함한 고정시간이 감소할수록 작업의 생산성은 증가하게 된다. 본 조사에서는 상향집재 128회를 실시하여 133분이 설치 및 철거작업에 소요되었으므로 고정시간은 1.04분이 추가로 소요되는 것으로 계산할 수 있다. 따라서 주행시간을 제외한 각 방법별 고정시간은 <표 47>과 같다.

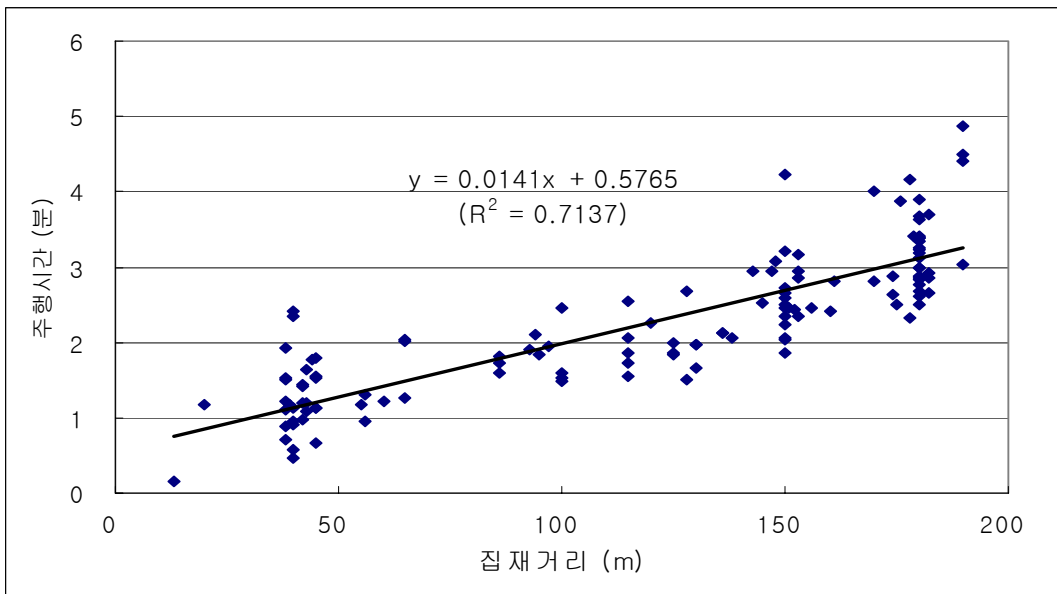
<표 47> 작업능률 계산 기본자료

1회 평균 집재재적(m <sup>3</sup> )	주행속도(m/분)		1회당 고정시간(분)		
	적재주행	공주행	집재작업	설치철거작업	계
0.53	52.96	70.33	7.35	1.04	8.39

<표 47>의 작업능률 계산 기본자료를 이용하여 시간당 작업능률을 설치노선당 생산재적량에 따라 계산한 결과는 다음과 같다. 설치거리 200m (평균집재거리



100m)로 가정하면 집재폭(Corridor)은 일반적으로 25m이므로 집재가능 면적은 1ha이다. 이 때 1개 설치노선당 생산예정량이 많을수록 1일 작업능률은 증가하게 된다. 이것은 설치 및 철거에 소요되는 시간이 기본적으로 고정시간에 포함되기 때문이다. 따라서 본 타워야더에 의한 집재작업은 단위면적당 생산량이 많은 지역에 사용하면 할수록 기계의 효과는 증가되는 것이다.



〈그림 78〉 집재거리에 따른 주행시간 변화

작업공정의 산출을 위하여 집재거리에 따른 주행시간의 변화를 회귀분석한 결과 두 요인 간에 고도의 유의성이 인정되지는 않았으나 조건 변화에 따른 경향을 나타내는 것으로 분석되었으며, 집재거리에 따른 시간당 작업공정의 변화도 유사한 경향을 나타내고 있다(그림 78).

〈표 48〉 타워야더 집재로선당 생산량에 따른 공정의 변화

노선당 집재재적(m <sup>3</sup> )	작업회수 (회)	작업시간 (분)			1회소요시간 (분)	1일작업능력 (m <sup>3</sup> )
		설치철거	집재	계		
10	18.9	200	138.9	338.9	17.9	14.16
20	37.7	200	277.1	477.1	12.6	20.12
30	56.6	200	416.0	616.0	10.9	23.37
40	75.5	200	554.9	754.9	10.0	25.43
50	94.3	200	693.1	893.1	9.5	26.87
60	113.2	200	832.0	1,032.0	9.1	27.90
70	132.0	200	970.2	1,170.2	8.9	28.71
80	150.9	200	1,109.1	1,309.1	8.7	29.33
90	169.8	200	1,248.0	1,448.0	8.5	29.83
100	188.7	200	1,386.9	1,586.9	8.4	30.24

### 3.2 트럭(다목적집재차) 탑재형 타워야더 집재작업

본 시스템은 체인톱에 의해서 벌채된 원목을 임내에서 다목적집재차 타워야더로 전간집재하는 방법으로 작업시스템 구성은 임내차 탑재형과 동일하다. 작업가능 지역은 차량이 진입할 수 있는 임도 및 작업로상에 집재한다. 다목적집재차 타워야더는 스카이라인 고정식 및 하이리드 방식으로 작업을 할 수 있다.

#### 3.2.1 작업지 개황

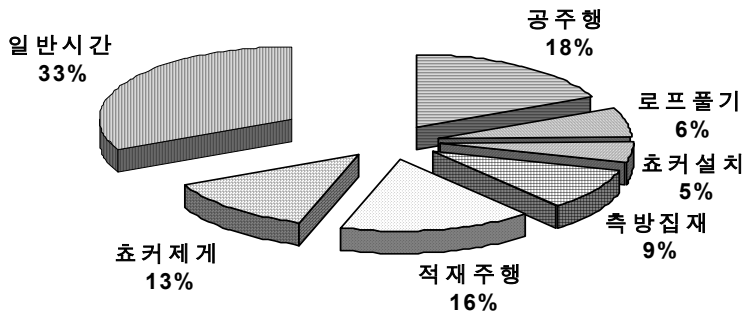
작업지는 광릉시험림 15임반의 IV영급의 잣나무림을 대상으로 하였으며 작업지 조건은 〈표 49〉와 같다.

〈표 49〉 작업지 임황

장소	수종	영급	흉고직경 (cm)	수고 (m)	임지경사 (%)	축적 (m <sup>3</sup> /ha)
광릉시험림 15임반	잣나무	IV	$\frac{25}{14 \sim 32}$	$\frac{16.5}{7 \sim 22}$	19	120

### 3.2.2 작업시간 조사 및 능률 분석

작업시간 구성은 〈그림 79〉와 같으며 전간집재작업 59회를 실시하였으며, 로프 풀기, 초커설치, 적재주행, 초커제거 및 일반작업 시간을 포함하여 순수작업 시간 67%, 일반작업 시간이 33%를 차지하였다. 비교적 비율로 보았을 때 숙련되어 안정된 작업을 하고 있다고 할 수 있다.



〈그림 79〉 다목적집재차 타워야더 작업의 작업시간 구성

본 타워야더의 작업조건은 평균집재거리에 있어 축방집재 9.2m, 가선 75.0m, 1회 운반 작업량은 0.38m<sup>3</sup>, 1일 작업능률은 17.4m<sup>3</sup>, 1일 집재비용은 17,888원/m<sup>3</sup>이 소요되었다. 인력집재의 경우 1일 작업능률은 2.5m<sup>3</sup>, 1일 집재비용 20,000원/m<sup>3</sup>으로 비교하여 보면 11%의 비용절감 효과를 보았으며 작업능률 및 생산비용은 〈표 50〉과 같다.

〈표 50〉 집재시스템별 작업능률 및 경제성

구 분	작업능률 (m <sup>3</sup> /일)	생산비용 (원/m <sup>3</sup> )	절감효과
전 간 집 재	17.4	17,888	0.89
인 력 집 재	2.5	20,000	1.00

### 3.3 간이 타워야더 집재작업

간이 타워야더는 기존의 타워야더에 비해 규격이 상대적으로 작은 규모의 장비로서 국내에서는 HAM 200 및 북부집재기 등이 개발되어 사용되고 있다.

#### 3.3.1 작업방법 및 사용장비

본 시스템은 타워야더와 마찬가지로 우리나라의 중·급경사지에서 활용이 권장되는 기종이다. HAM 200은 타워 높이 4.2m로서 기존에는 스카이라인 드럼과 견인 드럼의 2개 드럼이 설치되어 있어 주로 상향집재에만 사용되었지만, 최근에는 하향 집재가 가능하도록 회송용 드럼을 추가하여 사용하고 있다.

북부집재기는 벼수확기인 콤팩트 하부를 기본으로 하여 스카이라인드럼, 견인드럼 및 회송드럼을 유압식으로 구동하여 간이타워를 이용한 고정식 스카이라인 집재 장비로서 북부지방산림청에서 개발된 장비이다.

기존 집재장비와 달리 상·하향집재가 가능하며, 부속되는 캐리지(반송기)도 상·하향집재가 가능하도록 고정판의 교환으로 집재지역 상황에 따라 작업이 가능하도록 설계·제작되었다.



〈그림 80〉 HAM 200 간이 타워야더(좌) 및 복부집재기(우)

HAM 200 간이 타워야더 및 복부집재기의 제원 및 특징은 다음과 같다.

— HAM 200 간이 타워야더

- 적용가능 트랙터 : 50 마력급 이상
- 타워 : 최대 높이 4.2 m, 유압작동
- 원치드럼 : 스카이라인드럼(직경 12 mm×200 m, 1,500 kg)

견인라인드럼(직경 10 mm×200 m, 3,000 kg)

- 최대집재 가능거리 : 200 m

— 복부집재기

- 주행 및 구동방식 : 궤도형, 유압식
- 타워 : 최대높이 2.95 m(유압식 신축)
- 원치드럼 : 스카이라인드럼(직경 12 mm×200 m, 1,500 kg)

견인라인드럼(직경 10 mm×200 m, 1,000 kg, 60 m/분)

회송라인드럼(직경 10 mm×400 m, 800 kg, 60 m/분)

- 조작방법 : 유선리모콘 또는 조작레버
- 캐리지(반송기) : 상·하향 집재가능
- 최대집재 가능거리 : 200 m, 측방집재 가능거리 15 m

### 3.3.2 조사지 개황

간이 타워야더에 의한 집재작업 및 KETO 하베스터에 의한 집재원목 가지제거, 절단 및 집적작업 조사지는 2드럼 케이블윈치의 집재작업 조사지와 동일한 지역으로 <표 51>과 같다.

<표 51> 간이 타워야더 집재작업지 현황

장 소	임·소반	수 종	임령(년)	수고(m)	경급(cm)	ha당 축적(m <sup>3</sup> )
경기, 양평, 청운	31-카	리기다소나무	34	12/6~18	18/6~30	130.2
경기, 가평, 설악	24-가	잣나무	28	14/8~20	21/8~32	134.8

### 3.3.3 작업시간 및 작업량 조사

북부집재기 및 HAM 200 집재작업은 HAM 200은 120m 설치거리, 평균집재거리는 76m, 북부집재기는 90m 설치, 평균집재거리는 53m 였다. 한편, 1회 집재재적은 HAM 200 0.349 m<sup>3</sup>, 북부집재기 0.296 m<sup>3</sup> 이었다. 그 외에 집재방향은 상향집재를 실시하였으며, 벌목 후, 임내에서의 조재작업 없이 전목집재를 실시하였다. 이와 같은 작업조건에 의한 작업시간 조사 결과, 순수작업시간은 북부집재기의 경우 1회당 2.96분, HAM 200은 3.51분이었다.

<표 52> 북부집재기 및 HAM 200 집재작업 시간구성

구 분		순수작업시간						계	일반작업 시간
		공주행	로프풀기	초커설치	측방집재	적재주행	초커제거		
북부 집재기	시간(분/회)	0.80	19.02	7.48	0.27	0.81	0.45	2.96	2.36
	비율(%)	15.0	8.5	3.4	5.1	15.2	8.5	55.7	44.3
HAM 200	시간(분/회)	0.85	0.58	0.34	0.51	0.84	0.40	3.51	1.20
	비율(%)	18.1	12.3	7.2	10.8	17.8	8.4	74.6	25.4

### 3.3.4 작업능률 및 경제성 분석

시간조사 및 작업량 조사를 기초하여 작업능률 및 경제성분석을 한 결과, HAM 200 및 북부집재기 사이에는 작업능률과 비용적인 측면에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

〈표 53〉 기계비용 산출내역

장 비 명	HAM 200 집재기	북부집재기
구입가격 (천원)	35,000	50,000
장비수명 (년)	6	6
내용시간 (시간)	5,000	5,000
연료소비량 (l/시간)	6	6
유회유계수	0.3	0.3
잔존가치 (천원)	3,500	5,000
년이율 (%)	4	4
년간가동시간 (시간)	1,000	1,000
일가동시간 (시간)	5	5
수리정비계수	0.2	0.2
연료단가 (05.12. 기준)	1,100	1,100
이자 (원/시간)	875	1,250
감가상각 (원/시간)	6,300	9,000
수리유지비 (원/시간)	1,260	1,800
유류대 (원/시간)	8,580	8,580
총기계비용 (원/시간)	17,015	20,630
기계비용합계 (원/일)	85,075	103,150
작업능률 (m <sup>3</sup> /일)	17.2	18.6
적정작업인원 (인)	3	3
인건비 (원/일)	225,000	225,000
작업비합계 (원/일)	310,075	328,150
인건비 비율 (%)	72.6	68.6
작업비 (원/m <sup>3</sup> )	18,028	17,642

#### 4. 시스템별 능률 및 경제성 비교

전항에서 조사된 각 시스템별 시간조사 및 작업량 조사자료 분석자료를 서로 상이한 시스템으로 사용된 기계비용계산을 통해 기존 작업방법과 비교하였다. 비교 조건은 각 시스템에 따라 국유임산물 매각규칙의 집재거리와 경사, ha당 생산량 등은 평균값을 적용하였다.

이 결과 완·중경사지 단목집재 시스템의 경우에는 기존의 체인톱 벌채 및 인력에 의한 집재와 비교하였을 때, 가장 효율적인 작업시스템으로 구명되었다. 이는 앞서서도 설명한 바와 같이 노동력이 가장 적게 투입되는 완전자동화 시스템으로 인건비의 비중이 전체 작업비용 가운데 25% 내외를 차지하는 것으로 설명할 수 있다. 그렇지만 적용할 수 있는 지역이 우리나라의 경우 한정되기 때문에, 집약적인 임업경영 지역에 보급이 가능할 것으로 사료된다.

한편, 중·급경사지의 소규모 및 대규모 집재작업 시스템의 경우에는 기존의 작업 시스템 보다 그다지 경제적으로 큰 효율을 나타내지 않으나, 이는 기계화 기술의 개발, 지속적인 교육훈련을 통하여 보다 나은 결과를 나타낼 것으로 기대된다. 현재 기계를 사용하는 산림노동자의 대부분이 기계를 처음 사용하거나 초보적인 수준에서 운영을 하여 기계가 가지고 있는 기능을 100% 발휘하지 못하는데 기인한다고 할 수 있다.

우리나라와 같이 소경재의 생산이 대부분인 경우에는 2드럼 케이블윈치와 같은 저가의 장비를 활용하는 것이 가장 효율성이 우수하다. 따라서, 임황, 지황 등 제반 여건에 충족되는 기계의 선정이 무엇보다도 중요하다.



〈표 54〉 완·중경사지 단목 집재시스템(집재거리 200m 이내)

벌목, 조재	생산성 (m <sup>3</sup> /일)	작업비 (원/m <sup>3</sup> )	집재운재	생산성 (m <sup>3</sup> /일)	작업비 (원/m <sup>3</sup> )	작업비계 (원/m <sup>3</sup> )	기존대비 (%)	비 고
유압식 벌목기	12.2	14,400	차륜형 포워더	11.9	11,600	26,000	53	국산개발
			궤도형 포워더	12.9	22,800	37,200	75	도 입
체인톱	5.5	13,630	인 력	2.1	35,710	49,340	100	기존방법

〈표 55〉 중·급경사지 소규모 전간·전목 집재시스템(집재거리 100m 이내)

벌목, 조재	생산성 (m <sup>3</sup> /일)	작업비 (원/m <sup>3</sup> )	집재운재	생산성 (m <sup>3</sup> /일)	작업비 (원/m <sup>3</sup> )	작업비계 (원/m <sup>3</sup> )	기존대비 (%)	비고
체인톱	8.0	9,370	2드럼 케이블윈치	13.2	10,330	37,640	86	
프로세서	14.7	17,940	라디캐리	16.9 (11.7)	13,840 (17,520)	41,150 (44,830)	94 (103)	- ( ) 단목
체인톱	5.5	13,630	인 력	2.5	30,000	43,630	100	기존방법

〈표 56〉 중·급경사지 대규모 전간·전목집재시스템(집재거리 200m 이내)

벌목, 조재	생산성 (m <sup>3</sup> /일)	작업비 (원/m <sup>3</sup> )	집재운재	생산성 (m <sup>3</sup> /일)	작업비 (원/m <sup>3</sup> )	작업비계 (원/m <sup>3</sup> )	기존대비 (%)	비고
체인톱	8.0	9,370	타워야더	17.4	17,880	45,190	91	
			HAM200	18.6	17,710	45,020	91	
프로세서	14.7	17,940	북부집재기	17.2	18,370	45,680	93	
체인톱	5.5	13,630	인 력	2.1	35,710	49,340	100	기존방법

## V. 안전작업 실시요령

산림작업의 작업안전을 고취하고자 다음과 같이 벌목조재 및 기계화 집재작업에 대한 안전작업 실시요령을 작성하였다.

### 1. 벌목조재작업

이 작업은 벌목 및 조재작업을 안전하고 능률적으로 실행하기 위하여 정한 것으로 작업원은 항상 안전수칙을 준수하여 재해방지를 위하여 노력하고, 체인톱의 정비·점검은 체인톱 및 쏘체인 취급요령에 따르도록 한다.

#### 1.1 작업안전 일반사항

- 작업시작 전에는 작업순서 및 연락 방법, 비상신호 등을 충분히 숙지한 후 작업에 임한다.
- 작업복장은 가볍고, 안전한 것으로 다음과 같은 조건에 부합되어야 한다.
  - 안전모를 반드시 착용한다.
  - 작업복은 작업에 편안한 것을 착용한다.
  - 작업화는 발에 맞고, 미끄러짐이 없는 것으로 착용한다.

- 동절기 작업 시에는 미끄럼방지용 장치를 착용한다.
  - 통신용 휘슬은 항상 휴대한다.
  - 체인톱 운전 중에는 항상 귀마개를 착용한다.
- 바람·강우·강설·농무 등의 악천후와 낙석 등의 위험이 있을 때에는 작업을 중지하거나 상급자에게 보고를 하여 변경 실시한다.
- 체인톱, 낫, 톱 등의 작업도구의 사용은 다음 사항을 준수한다.
- 항상 점검·정비하여 바로 사용할 수 있도록 한다.
  - 운반 시에는 날에 커버를 반드시 씌우고 운반한다.
  - 작업현장에 방치하거나 벌도목 혹은 불안정한 것 위에 놓지 말고 반드시 안정된 장소에 정리해 놓는다.
  - 이동할 때에는 원칙적으로 엔진을 정지한다.
  - 시동은 회전하는 쏘체인이 다른 물체에 닿지 않도록 한다.
  - 쏘체인이 정지하여도 엔진이 공회전 중에는 쏘체인에 손을 대지 않는다.
  - 작업종료 후에는 바로 작업용구의 점검, 정비를 실시하여 확실히 안전한 장소에 놓는다.
- 벌목 및 조재 시에는 통로, 집·운재용 시설, 전선 등 시설물의 피해방지를 위해 사전에 손상방지 수단을 강구해 놓는다.
- 작업현장에 설치된 안내표지판을 매일 점검하고, 통로 및 집·운재시설 근처에서 작업할 때에는 시야가 좋은 장소에 안내 표지판을 반드시 설치한다.
- 항상 화재에 주의하여 인화물질의 관리를 철저히 한다. 특히 체인톱을 취급할 때는 다음의 사항을 준수한다.
- 화기 근처에서 체인톱의 연료보급을 하지 않는다.
  - 연료보관 장소에서는 체인톱의 시동 및 운전을 금지한다.

- 체인톱의 연료보급은 반드시 엔진을 정지하고 지면이 안정된 곳에서 한다.
- 연료를 보급할 때에는 깔때기 등을 사용하여 흘리지 않도록 한다.
- 점화플러그나 배선에 느슨함이 없도록 하고 기체에 연료가 흐르지 않도록 한다.
- 과열된 배기구 부분이 주변의 건조 등 연소되기 쉬운 물질에 닿지 않도록 한다.
- 연료보급 시나 기계를 정비할 때에는 절대로 담배를 피우지 않는다.

## 1.2 벌목작업

- 벌채지에서 다음과 같은 작업은 원칙적으로 실시되지 않지만, 부득이 작업을 할 경우에는 감독자의 지시에 따르고 작업자 상호간 긴밀한 연락체계를 유지한다.
  - 동일한 벌채지에서 경사면 상하로 동시에 실시하는 작업
  - 작업자간 근접해서 실시하는 작업
  - 폭이 좁은 계곡의 양쪽 사면에서 동시에 실시하는 작업
- 벌채 전 준수사항
  - 벌도목에 만경류 및 주위의 소경목, 관목, 조릿대 등 작업에 지장을 주는 것은 반드시 제거한 후에 작업한다. 또한 걸림목이나 낙하할 우려가 있는 고사지 등의 확인을 철저히 한다.
  - 벌채 대상목의 주위에 있는 고목 등 전도의 우려가 있는 나무, 장력을 받아 튀어나올 우려가 있는 나무 등은 반드시 작업 전에 제거한다.
  - 발디딤 및 대피로를 충분히 정리한 후 작업한다. 특히, 적설 시에는 발디딤

- 및 대피로를 보다 철저히 준비하고 작업한다.
- 벌도방향은 수형, 인접목, 지형, 풍향, 풍속, 벌도 후의 작업 등을 고려하여 가장 안전한 방법을 선정한다.
  - 방향베기(수구자르기)에 있어서 수구의 깊이는 입목직경의 1/4 이상으로 하고, 방향베기를 할 때 크기, 깊이 및 방향이 적당한가를 충분히 확인한다.
    - 따라베기(추구자르기)에서 추구는 수구의 윗면에 가깝도록 수심에 대해 직각으로 자른다.
  - 썰기 등을 사용하여 벌도 할 때에는 원칙적으로 2개 이상의 썰기를 사용하고 썰기를 박을 때 힘을 적당히 분배하여 벌도방향을 확실히 한다.
  - 벌도할 때에는 부근의 다른 작업원과 통행인을 주의하고 반드시 휘슬 또는 큰 소리로 나무가 넘어가는 것을 알리고 대피를 확인해 가면서 작업한다.
  - 대피할 때는 다음의 사항을 반드시 준수한다.
    - 도구류는 대피 시 장애가 되지 않도록 정리하여 놓는다.
    - 추구자르기를 하여 나무가 넘어가기 시작하면 정해진 장소로 대피하고 쓰러지는 방향을 지켜본다.
    - 다음 작업지로 이동할 때에는 주위사정을 파악하고 낙하하는 가지 등이 없는가를 확인한다.
  - 다음의 작업을 할 경우에는 감독자의 지시에 따라서 작업을 실시한다.
    - 걸림목 처리
    - 쌍간목(雙幹木)의 벌도
    - 가지가 장력을 받아 튀어나갈 위험과 곤란이 수반되는 벌도
    - 통로, 집운재시설 근처에서 시설물의 파손과 위험의 우려가 있을 때의 벌도
    - 기타 특별히 위험이 수반되는 벌도작업

### 1.3 조재작업

- 조재 전에는 반드시 다음 사항을 준비한다.
  - 체인톱, 낫 등의 사용에 장애가 되는 나무, 지조 등은 미리 제거한다.
  - 전락(轉落)의 우려가 있는 나무나 돌은 미리 제거한다.
- 가지제거 및 정리 대상목의 주위는 발디딤과 원목의 안정상태를 확보하면서 체인톱으로 원목면에 평활하도록 가지를 자른다. 특히, 경사지에서는 원목의 움직임에 주의하고 필요한 조치를 취하면서 작업을 실시한다.
- 작동(斫棟)작업의 경우에는 다음 사항을 준수한다.
  - 작동작업은 표시된 재장(1.8m, 2.7m, 3.6m)에 맞게 수심에 직각으로 절단 하여 할렬이 발생되지 않도록 한다.
  - 원목의 상태 및 지형에 따라 췌기, 침목 또는 지주목을 사용하여 안전한 방법으로 작업을 실시한다.
  - 작동작업은 경사면의 위쪽에서 실시하고 다리를 원목과 톱의 아래로 위치시키지 않는다.
- 원목, 암석 등의 전락, 그 외 위험의 우려가 있을 때는 충분한 전락방지 조치를 취한다.
- 다음의 작업을 실시할 때에는 감독자의 지시에 따른다.
  - 전도된 나무의 작동작업을 할 때
  - 통로, 집재 또는 운재시설의 부근에서 시설물의 파손으로 위험의 우려가 있을 때
  - 기타 특별한 위험을 수반하는 작동작업

## 2. 타워야더 등 가선집재작업

이 작업기준은 타워야더 및 야더 등 스카이라인을 이용한 집재작업을 안전하고 능률적으로 실행하기 위한 것으로, 이 작업기준에서 가선계 집재작업은 타워야더 및 야더 등 공중가선 집재기를 이용하여 집재하는 작업을 말한다.

### 2.1 작업안전 일반사항

이 작업을 하는 작업자는 항상 작업기준을 준수하고 다른 작업자와의 연락을 긴밀히 하여 재해방지에 노력을 기울이면서 작업을 한다.

- 작업복장은 가볍고, 안전한 것을 착용하고 보호용구는 반드시 사용목적 및 사용방법을 정확히 알고 사용한다. 이 경우 특히 다음 사항에 주의해야 한다.
  - 안전모를 반드시 착용한다.
  - 작업화는 발에 맞고, 미끄러짐이 없는 것으로 착용하고, 동절기 작업 시에는 미끄럼방지용 장치를 착용한다.
  - 필요에 따라 작업용 특수 장갑을 착용한다.
  - 필요에 따라 귀마개를 착용하고, 통신용 휘슬은 항상 휴대한다.
- 강풍·강우·강설·농무·낙뢰 등의 악천후와 낙석 등의 작업상 위험이 있을 때에는 작업을 중지하거나 감독자의 지시에 따른다.
- 항상 화재에 주의하여 인화물질의 관리를 철저히 한다. 특히 체인톱을 취급할 때는 다음의 사항을 준수한다.
  - 연료 근처에서 화기취급을 하지 않는다.
  - 액체연료를 취급할 때에는 깔때기 및 펌프 등의 기구를 사용하여 연료가

호르지 않도록 한다.

- 연료 및 유류 등의 보관은 지정된 장소 이외에는 하지 않는다.
- 집재장비의 배기구 부근에는 지조 등 가연성 물질을 방치하지 않는다.
- 담배를 피우면서 이동 또는 작업을 하지 않는다.

#### — 보행이동

- 작업지에서의 이동은 일정한 간격을 유지하여 긴밀한 연락을 취하고 기계 및 기구 등을 휴대 운반할 때에는 날의 덮개를 씌워 위험한 부분을 노출시키지 않는다.
- 작업 중의 보행은 특히 발디딤을 정확히 하여 넘어지는데 주의한다.
- 급경사지의 미끄러지기 쉬운 곳에서 기계 및 기구의 운반에 주의한다.
- 급경사지 작업지 통로에는 간이 계단을 설치하여 보행에 안전을 기한다.

— 작업자는 작업현장에 설치되어 있는 표지판을 매일 점검한다. 또한 통로 또는 집운재 시설 근처에서 일시적으로 작업을 할 경우에도 반드시 표지판을 설치한다.

#### — 위험구역 및 금지작업

- 작업시에는 각 작업자의 위치가 상하로 배치되지 않도록 주의한다.
- 스카이라인 밑의 원목 및 초커고리 낙하지점은 위험하므로 작업자는 그 밑에 서있지 않는다.
- 운전 중에는 작업용 와이어로프의 내각에 서 있지 않는다.
- 작업 관계자 이외의 자를 작업구역 내에 들여보내서는 안된다. 필요한 경우에는 운전원 및 작업자간에 긴밀한 연락을 취하도록 한다.

#### — 탑승금지

- 캐리지, 로딩블럭 등에는 매달리거나 승차하지 않는다.



- 캐리지 및 와이어로프 등을 점검할 때에는 스카이라인을 지면에 내려놓고 작업하는 것을 원칙으로 한다.
- 임도, 전선 등 시설물에 피해가 없도록 사전에 손상방지 조치를 강구한다.
- 작업신호연락 및 위험경보
  - 정해진 신호 및 경보는 반드시 준수한다.
  - 신호는 지정된 자가 주위의 안전을 확인해 가면서 확실히 하고, 신호를 받은 자는 반드시 복창하여 알린다.

## 2.2 와이어로프 취급

- 운반 및 보관
  - 와이어로프를 운반할 때에는 높은 곳에서 떨어뜨리거나, 요철지면을 끌고 가는 것, 지렛대 등으로 직접 와이어로프를 당기는 행위는 하지 않는다.
  - 보관 시에는 건조하고 통풍이 잘되는 곳, 직사광선이 있는 곳은 피한다. 특히 야외에 보관할 때에는 잘 덮어 놓는다. 한번 사용된 로프는 흙을 털고 로프에 기름 등을 도포시켜 놓는다.
- 와이어로프에 다음의 상태가 발견된 때에는 적절한 조치를 취한다.
  - 지면에 끌리거나 암석에 접촉된 것.
  - 마모 또는 소선(素線)의 단선이 현저한 것.
  - 현저하게 변형되었거나 킹크 또는 부식이 심한 것.

## 2.3 부속기계 및 기구의 취급

- 사용전후에는 점검을 철저히 하고 정리정돈을 한다.
- 사용목적에 적당한 방법으로 사용 한다.
- 높은 곳에서 떨어트리거나 던지지 않는다.
- 중량물의 취급은 신중히 실시한다.
- 중량물을 보관할 때는 중심을 낮게 하여 안정된 상태로 한다.

## 2.4 집재작업

- 슬링로프는 다음 사항에 주의하여 사용한다.
  - 슬링로프는 작업시작 전에 반드시 점검하여 손상이 심한 것은 사용하지 않는다.
  - 슬링로프 1개당 원목 동수는 3본 이하로 묶고, 4동 이상 집재할 필요가 있을 경우에는 고리를 2개로 만들어 원목이 떨어지지 않도록 한다.
- 초커설치작업은 다음 사항을 준수하여 실행한다.
  - 초커작업원은 항상 재적을 목측하여 견인제한하중을 초과하지 않도록 한다.
  - 불안정한 상태에 있는 원목 또는 벌도목은 작업전에 안정된 상태로 하고 작업을 실시한다.
  - 벌도목의 중량이 무거울 때는 위쪽에서부터 초커를 설치한다.
  - 가이드블럭을 부착할 근주 등을 사전에 설정하여 작업을 원활하게 한다.
  - 작업시작 전에 가이드블럭에 연결된 로프 및 근주 등의 점검을 확실히 한 후 작업을 시작한다.

- 운전원과 신호를 통하는 자는 작업에 집중하여 기민하게 움직인다.
  - 전간 또는 전목집재시에는 대피 장소를 충분히 검토하여 원목의 이동 이외에 가지 등의 움직임에 주의한다.
- 초커제거작업
- 원목이 토장에 진입할 때에는 신호에 따라 움직이며 원목의 움직임을 주시한다.
  - 토장에서 초커제거 작업은 원목이 정지하여 슬링로프가 충분히 느슨해 진 후 운전원과 연락을 하면서 한다.
  - 초커제거작업이 끝나면 슬링로프 또는 체인에 걸리지 않도록 주의하여 대피하고 운전원에게 신호를 보낸다.
  - 작업조에 의한 작업 시에는 다른 작업원의 행동에 주의한다.
- 긴급사태 발생시 조치
- 캐리지의 이상주행 등 긴급사태가 발생되었을 때에는 경보를 울리고 신속하게 대피한다.

### 3. 트랙터 집재작업

이 작업실시 요령은 트랙터의 집운재 작업을 안전하고 능률적으로 실행함과 동시에 기계의 효율적인 관리를 목적으로 한다. 트랙터 집운재 작업원은 항상 기준을 준수하고 작업 전에 감독자의 지시를 철저히 이행한다.

### 3.1 트랙터 및 작업기(원치)

- 집운재에 사용되는 트랙터는 다음의 구조 및 장치를 갖추어야 한다.
  - 경보기
  - 필요한 등화장치
  - 운전원 및 차체 보호장치
  - 임의의 방향으로 20도 경사에서 운전할 수 있을 것.
  - 제동장치는 충분한 능력을 발휘할 수 있을 것.
- 원치의 구조
  - 트랙터에 부착된 원치드럼의 직경은 사용하는 와이어로프 직경의 10배 이상을 표준으로 하고, 외부 드럼케이스는 견고한 것으로 한다.

### 3.2 트랙터 작업로 및 집적장

- 트랙터 작업로의 설치는 임도시설규정을 준용하고 작업로 복구는 작업종료 후 실시한다.
- 트랙터 작업로의 노면은 가급적 요철상태가 되지 않도록 정지작업을 한다.
- 트랙터 작업로의 노폭은 트랙터 접지폭의 1.2배로 하고 곡선부는 재장에 따라 확장한다.
- 트랙터 집·운재의 토장은 작업의 능률을 고려하여 연속적으로 작업이 진행될 수 있도록 충분한 면적과 작업배치를 고려하여 설치한다.

### 3.3 일반적 주의사항

- 작업원의 복장은 작업에 지장을 주지 않도록 몸에 맞고 견고한 작업복을 착용한다.
- 약천후일 때, 낙석, 눈사태의 우려가 있을 때, 지면이 미끄러지기 쉬운 때에는 작업의 시작, 중지 및 변경을 감독자의 지시에 따른다.
- 운전원 및 집재작업원은 트랙터, 부속작업기, 기타 기구 및 와이어로프를 항상 점검하여 안전한 작업이 실행될 수 있도록 한다.
- 트랙터 작업로는 트랙터가 안전하게 작업할 수 있도록 유지 보수한다.
- 재해방지
  - 급경사지, 급커브 등 위험의 우려가 있는 지점에는 주의 표지를 설치한다.
  - 적설 시에는 필요에 따라 보행자가 대피할 수 있는 적당한 방법을 강구한다.
  - 급경사 적설지에서 미끄러질 우려가 있는 경우에는 토사를 뿌리는 등 적당한 방법을 강구한다.
- 운전원과 집재작업원의 연락
  - 트랙터 운전원과 집재작업원은 상호간 연락체계를 확실히 작업을 실시한다.
  - 연락방법은 원칙적으로 집재작업원이 운전원에게 할 때에는 수신호 또는 휘슬로 하고, 운전원은 집재작업원에게 경적을 울려 신호 한다.
  - 운전원은 신호를 받고, 경적을 울린 후 윈치의 구동 등 제작업을 실시한다.

### 3.4 운 전

- 트랙터 운전원의 자격은 기계취급 경험이 있는 자가 운전한다.

- 원목을 견인하면서 급경사지 또는 급커브 반출로를 하향주행하는 경우 작업 속도는 시속 4km를 초과하지 않는다.
- 트랙터가 좁은 곳에서 교행할 때에는 원목을 견인하거나 적재한 차량이 우선한다.
- 승차금지
  - 트랙터의 좌석 이외에는 절대 승차하지 말 것.
  - 운행 중 부속작업기 및 적재된 원목의 위에 탑승하지 말 것.

### 3.5 소집재, 적재 및 짐풀기

- 트랙터의 소집재, 적재, 풀기 등 일련의 작업이 끊이지 않도록 하기 위해 운전원과 작업원은 서로 긴밀한 연락을 유지한다.
- 트랙터로 소집재 할 때는 다음 사항을 준수한다.
  - 원목이 근주 등의 장애물에 걸리지 않도록 작업을 실시한다.
  - 장애물에 걸렸을 때는 그대로 견인하지 말고, 장애물을 피하거나 다시 묶어서 견인한다.
  - 작업원은 견인되는 원목의 움직이는 방향에 서있지 말고 부근의 입목이나 지조 등의 비상에 주의 한다.
  - 아치나 썰매 등 부속장비로 소집재 할 때에는 이것이 전도되지 않도록 와이어로프의 감기는 방향에 주의 한다.
- 짐적시 주의사항
  - 작업기에 원목을 적재할 때 무게 중심은 되도록 낮게 하고 전후좌우 평형을 유지 한다.

- 적재된 원목은 떨어지지 않도록 로프 등으로 묶을 것.
  - 적재 원목의 높이는 작업장비 최대 접지폭의 2배 이상을 넘기지 말 것.
- 짐풀기시의 주의사항
- 작업원은 원목이 구르는 방향에 위치하여 작업을 실시하지 않는다.
  - 항상 발디딤에 주의하고 구르기 쉬운 원목 위에서 작업을 실행하지 않는다.

## VI. 결 론

숲에 대한 수요는 목재생산과 국토보전 기능에서부터 삶의 질 향상을 위한 수단으로서 휴양, 문화, 교육적 활동까지 폭넓게 증가되고 있습니다. 또한, 디지털시대에 나무를 원료로 만들어지는 종이의 사용량은 줄지 않고 있으며, 목재 또한 수요가 증가하고 있어 재생가능한 목재자원은 인류의 역사와 더불어 필요한 자원임에 틀림없습니다.

지구환경에 대한 세계적 관심증대에 따라 환경적으로 건전하고 지속가능한 산림경영이 국제적 규범으로 대두되고 있는 차제에 산림과 임업을 둘러싼 이러한 시대적 여건변화에 부응하여 21세기 산림정책의 근간은 현재와 미래세대에 있어 자원의 보고이며 국토의 축으로서 산림이 가진 다양한 기능이 최대로 발휘되도록 함으로써 산림강국으로 이끌어 가는 것이라 하겠습니다.

우리나라는 그 동안의 치산녹화 및 산림자원화 정책으로 목재의 자원화 여건이 기본적으로 구축되어 가고 있지만 아직 대부분의 산림이 3~4영급으로서 산림관리 즉, 숲가꾸기사업이 절실히 요구되는 시점에 있다. 이 숲가꾸기사업의 성공여하에 따라 자원경쟁시대에 생존이 걸려 있다고 해도 과언이 아니다.

한편, 국내산 목재에 대한 수요의 증가에도 불구하고 국산재 생산과 공급여건은 사회경제적인 여건 변화에 따라 더욱 악화되고 있는 것은 주지의 사실이다. 목재가 격은 정체되어 있고, 노임도 급상승하고 있지만 산림작업의 생산성 향상과 노동력 확보는 이에 미치지 못하여 목재생산의 경제성이 저하되고 있는 실정이다.



따라서 향후 숲가꾸기사업의 촉진과 국산재의 생산비 절감, 노동력 수급문제 해결을 위하여 임업기계화가 절실하게 필요한 시기에 도달한 것이다. 이에 따라 최근에는 산림작업 현장의 영림단원으로부터 대학, 국가기관에서도 임업기계의 개발과 개량에 박차를 가하고 있다.

최근 국내 임업기계의 개발이 활성화되고 있어 이에 따른 활용성 제고를 위하여 개발된 장비의 성능을 구명하여 적극적으로 산림작업에 투입할 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 또한, 간벌물량의 증가로 외국산 임목수확장비의 도입이 증가추세에 있으므로 이에 대한 작업시스템 및 적용 가능한 작업방법을 개발하여 보급하여야 할 것이며, 기계의 사용에 따른 안전교육이 필수적이므로 작업원을 위한 안전사고 예방의 필요성도 수반되어 생산성향상을 이루어 나가야 할 것이다.

따라서 본 연구보고에서는 임업기계화에 따른 문제점을 해결함과 동시에 그 동안 국내에서 개발되었던 장비들의 성능시험을 실시하여 앞으로의 기계개발 및 활용에 따른 성능개선을 통한 생산성의 향상으로 목재생산비용의 절감을 도모하고자 하였다.

국산기술로 개발된 조재기가 원목의 가지치기 및 절단작업 등 작동의 원활한 수행여부, 적용 가능한 기본차량 등에 대한 평가를 위하여 각 부분품별 유압 및 유량의 변화에 대한 동작 시험으로 기계에 대한 성능을 테스트하여 앞으로 개발될 후속 장비에 대한 성능향상을 도모하고자 하였으며, 임내차의 경우에는 요철장애물을 설치하여 실제차량 주행 시 발생하는 차량의 가속도, 변위, 진동특성과 시뮬레이션 모델과의 유효성을 검증하였으며, 이 결과를 토대로 국산 기계 개발시 차량의 부정지 주행안정성 향상을 위하여 서스펜션 등의 장착이 필요한 것으로 나타났다. 한편, 임내차의 주행안정성 분석 결과, 측면적재형이 후면적재형에 비해 주행안정성이 양호한 것으로 나타났다.

임내차의 동적 시뮬레이션 모델을 개발하고 무게중심, 질량관성모멘트, 주행에 관한 검증시험을 수행한 결과 동적 모델의 유효성이 검증되었으며, 횡전도 시뮬레이션을 통하여 주행 속도, 지면 경사도, 주행 방향, 장애물의 크기와 같은 운전 조건 및 차량 설계 조건이 횡전도 안정성에 미치는 영향을 예측할 수 있었다.

이와 같은 연구를 통하여 우리의 자체 기술력으로 개발된 다목적집재차, 굴삭기 부착용 프로세서(조재기), 미니포워드 등의 성능향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 고가에 도입된 외국의 장비에 대한 적용성 시험을 통하여 우리 실정에 최적의 조건에서 활용될 수 있는지의 여부를 판단하여 단순히 외국장비로 활용하기 보다는 국내 여건에 적합하도록 부분적인 수정을 통한 국산화 개발에도 도움이 될 것이다.

개발되고 도입된 임업기계를 단순한 방법으로 활용하여 이의 효용가치를 저하시키기 보다는 소규모 벌채지역이 대부분인 우리 실정에 어떻게 조화롭게 사용하는가 하는 문제도 간과할 수 없는 상황이다. 따라서 이의 해결책으로 단일기계의 적용이 아닌 복합적이고 체계적인 임목수확작업 시스템에 대한 연구도 병행되었다. 즉, 원목의 생산규격, 지형적인 여건에 따른 최적의 작업시스템 및 기술을 현장에 적용할 수 있도록 하였다.

예를 들면, 중·급경사지 소규모 벌채지에 적용 가능한 2드럼 케이블 윈치에 대한 시간분석 결과, 전간집재 1사이클당 작업시간이 2.95분이었고, 단목집재에 있어서는 3.26분으로 단목집재시스템이 전간집재시스템에 비해 약 10% 정도 높게 나타났다. 여기에는 집재작업 중 나무를 묶어 주는 초커설치 및 제거작업이 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 초커설치 소요시간은 그다지 작용을 하지 않았지만, 초커 제거 작업에 있어서는 단목집재시스템이 전간집재시스템에 비하여 약 2.5배 이상 소요되는 것을 알 수 있다. 그 이유는 초커설치 작업 시에는 집재대상목이 산재되

어 있어 주변의 집재대상목에 묶음으로서 큰 차이가 나게 되지 않지만, 초커제거 작업은 장비에 의해 집재된 원목이 적재주행되는 동안 기계의 견인에 의해 와이어 로프로 묶은 원목이 꼬여 스카이라인에서 지면에 내려놓을 때 여러 원목더미에서 견인고리를 찾아내야 하는 어려움이 있으므로 두 가지 방법 간에 상당한 차이를 나타내고 있으므로 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 초커용 로프로 와이어로프를 사용하는 것보다는 폴리에틸렌 로프를 사용하면 보다 효율성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

2드럼 케이블윈치의 작업능률 및 경제성을 평균집재거리 50 m, 1회당 평균 집재재적 0.2m<sup>3</sup>을 적용하여 기존 아크야 윈치와 비교한 경우, 작업능률에 있어서는 기존 아크야 윈치(1드럼)는 8.5 m<sup>3</sup>/일, 개량된 2드럼 케이블윈치는 13.2 m<sup>3</sup>/일로서 1.5배 향상된 능률을 나타내었고 단위재적당 비용면에서도 기존 아크야 윈치 15,350 원/m<sup>3</sup>, 2드럼 케이블윈치 10,330 원/m<sup>3</sup>으로서 개량 2드럼 케이블윈치가 효율적인 것으로 분석되었다.

중·급경사지 대규모 벌채작업에 적합한 기종인 HAM 200 및 북부집재기에 대한 시간조사 및 작업량 조사를 기초로 하여 작업능률 및 경제성분석을 한 결과, HAM 200 및 북부집재기 사이에는 작업능률과 비용적인 측면에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 굴삭기 부착 하베스터를 이용한 조재 및 절단작업의 경우 작업능률은 73.5분/일(본당 재적 0.2 m<sup>3</sup>일 경우, 14.7 m<sup>3</sup> 작업가능), 작업비용 17,940 원/일로서 기존 트랙터용 프로세서 단위재적당 비용 20,470 원/m<sup>3</sup>와 비교할 때 13% 비용이 감소하는 것으로 분석되었다.

생산규모, 집재거리 등 서로 상이한 조건별 작업비용을 기존 작업방법과 비교한 결과, 완·중경사지 단목집재시스템의 경우에 비용적인 절감효과가 가장 우수한 시스템으로 판명되었지만, 적용할 수 있는 지역이 우리나라의 경우 한정되기 때문에

집약적인 임업경영 지역에 보급이 가능할 것으로 사료된다. 한편, 중·급경사지의 소규모 및 대규모 집재작업시스템의 경우에는 기존의 작업시스템 보다 그다지 경제적으로 큰 효율을 나타내지 않으나, 이는 기계화 기술의 개발, 지속적인 교육훈련을 통하여 보다 나은 결과를 나타낼 것으로 기대된다. 현재 기계를 사용하는 산림노동자의 대부분이 기계를 처음 사용하거나 초보적인 수준에서 운영을 하여 기계가 가지고 있는 기능을 100% 발휘하지 못하는데 기인한다고 할 수 있다. 따라서 우리나라와 같이 소경재의 생산이 대부분인 경우에는 2드럼 케이블윈치와 같은 저가의 장비를 활용하는 것이 고효율을 창출할 수 있으므로, 임황, 지황 등 제반여건에 충족되는 기계의 선정이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- 김경욱. 1999. 야지 기동성 해석 프로그램 개발 및 국내 지형특성 조사분석 최종보고서. 국방과학연구소. 500pp.
- 김용서. 1991. 자동차공학 시리즈 2 새시(I). 집현사. 326pp.
- \_\_\_\_\_. 1991. 자동차공학 시리즈 2 새시(II). 집현사. 303pp.
- 김재원. 2003. 임목수확작업의 유형별 작업강도 및 작업능률 평가에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문. 136pp.
- 김재원, 노재후, 우태명, 이해주. 1989. 간벌작업의 작업강도 및 집재기계화에 관한 연구. 임업연구원 연구보고 39 : 120~141.
- 김재원, 박문섭, 송태영. 1996. 집재작업 강도평가에 관한 연구. 산림과학논문집 54 : 40~52.
- 김현욱. 1994. 한국농업 및 농산업기술의 발전구상. 국제화시대의 농업구조 개선전략. 서울대 농업생명대학 부속 농업개발 연구소. pp. 43~58.
- 노재후. 1993. 집재작업시스템의 작업능률분석에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문. 123pp.
- 노재후, 김재원. 1988. 로깅부기의 사용방법 및 타당성 연구. 임업연구원 연구보고 39 : 135~144.
- 노재후, 김재원, 김사일. 1988. 로그라인 집재공정 및 경제성에 관한 연구. 임업연구원 연구보고 39 : 154~165.

- 노재후, 김재원, 박문섭. 1988. 케이블 크레인의 국내 적용 가능성에 관한 연구. 임업연구원 연구보고 39 : 145~153.
- 대광서림 편집부. 1990. 표준 기계설계 도표편람. 개정 증보 2판. 대광서림. 1291pp.
- 이광원, 김기원, 차두송. 1993. 산림생산기반 조성과 임도 및 임업기계화. - 농산촌 소득증대를 위한 산림자원의 합리적 이용개발 모형 연구[7].- 한국농촌경제연구원. 296pp.
- 송태영, 박문섭, 김재원, 강건우. 1998. 궤도형 집재차의 집재작업방법에 따른 작업 비용 비교연구. 산림경제연구 6(2) 20~28
- 우보명. 1987. 임업토목공학. 향문사. pp. 12~144.
- 우보명 외. 1998. 산림공학. 광일문화사. pp. 315~434.
- 은정표, 신창선. 1996. 자동차 구조학. 동신출판사. 622pp.
- 임업연구원. 1994. 임업기계화 장기기본계획. 148pp.
- 조기현, 백이. 1999. 농업기계학 개론 및 정비. 동진출판사. pp. 27~178.
- 중원사 자동차연구회. 1997. 자동차 공학. 중원사. 552pp.
- 廣部伸二. 1997. タワーヤーダの索張力特性および遠隔操作の可能性に関する研究. 61pp.
- 今富裕樹. 1998. 高性能林業機械によるシステム化作業への取り組み. -平成九年度林業機械化推進シンポジウムの概要- 山林 98(8) : 52~58.
- 片岡秀夫. 1980. 林業工学. 日本林業調査會. 473pp.
- 南方 康. 1991. 機械化・路網・生産システム. -低コスト林業確立のために- 265pp.
- 文部省. 1983. 林業土木. 實教出版(株). pp. 121-252.
- 永井芳郎. 1997. 自走式搬器による集材作業システムの検討. 東京大. 38pp.

- 小川康夫, 砂山隆司, 高橋和美, 沓澤 繁. 1982. リモコンウインチによる間伐材の集材方法について. 機械化林業 340 : 24~36.
- 大河原昭二. 1991. 林業機械學. 文永堂出版. 254pp.
- 朴相俊. 1997. タワーヤードによる集材作業システムと適正路網に関する研究. 東京大博士學位論文. 180pp.
- 林業機械化協會. 1983. 小型林内作業用機械とその作業. 林業機械シリーズ No. 70. 263pp.
- 林業機械化協會. 1986. 機械化による効率的な間伐作業の進め方. 林業機械シリーズ No. 75. 269pp.
- 林業機械化協會. 1989. 非皆伐施業における効率的搬出方法. 林業機械シリーズ No. 78. 319pp.
- 林業機械化協會. 1991. 急傾斜地作業に活躍するタワーヤードとその作業. 林業機械シリーズ No. 80. 189pp.
- 林業機械化協會. 1995. 林業機械に使われるメカトロニクス. 林業機械シリーズ No. 85. 161pp.
- 林業機械化協會. 1996. 林業機械便覽. 252pp.
- 林業機械化協會. 1997. 疑問に答える高性能林業機械. 林業機械シリーズ No. 87. 168pp.
- 林業機械化推進研究會. 1990. 機械化のビジョン. 177pp.
- 林野廳. 1997. 高性能林業機械による最適作業方法システムの開発に関する調査. 116pp.
- 林野廳. 1995. 高性能林業機械による作業システムの定着・實用化に関する調査. 105pp.
- 瀧本義彦, 黄箭波. 1988. 中國製チェーンソーの特性について. 京都大演習林報告 No. 60 : 219~231.

- スリーエム研究会編(山脇三平監修). 1981. 改訂林業機械ハンドブック. スリーエム研究会. 603pp.
- 東條三男 외 2인. 1982. 트랙타集材作業における機械の效率的使用について. 機械化林業 341 : 55~63.
- 辻隆道, 渡部歴三郎. 1965. 林業作業測定の前め方. 地球出版(株). 301pp.
- 山脇三平, 大里正一, 鈴木正之, 森岡昇, 小島幸治. 1980. 林業機械學. 朝倉書店. 243pp.
- 全國林業改良普及協會. 1993. 機械化のデザイン. 195pp.
- Branz, H. 1991. Möglichkeiten der Entwicklung und des Einsatzes von Forstschleppern in der Republik Korea. GTZ Eschborn. 38pp.
- Bort, U., Mahler, G. und Pfeil, C.. 1993. Mechanisierte Holzernte. FTI 11. S. 121~124.
- Grammel, R. 1988. Holzernte und Holztransport. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. 242pp.
- Grapple yarder & Super-snorkel Handbook. 181pp.
- Grim, B.. 1999. Long span intermediate support logging in medium and large timber. International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium. March 28-April 1, 1999. Corvallis, Oregon, USA Proceedings. pp. 167~172.
- Johnson, L.R.. 1999. Combining cut-to-length and cable yarding operations. pp. 43~52.
- K,A,G. Staff, N,A. Wiksten. 1984. Tree harvesting techniques. Martinus Nijhoff/DR W. Junk Publishers, Dordrecht. 371pp.



- KWF. 1993. Der Forstwirt, Verlag Eugen Ulmer, pp. 348~396.
- Leppanen, K. 1987 Case study on plastic log chute in steep terrain thinning operations. FAO. 31pp.
- L. Sanktjohanser. 1981. Probleme kleinflächiger Nutzungen im steilen Gelände-Geometrisch-Physicalish Zusammenhänge bei der Holzbringung. Proc. XVII IUFRO Congress, Div. 3, pp. 179~188.
- MacDonald, A. J.. Harvesting systems and equipment in British Columbia. 1999. British Columbia, Ministry of Forests, Forest Practice Branch. 197pp.
- Mahler,G. Pfeil, C. and Bacher, M.. 1999. Mechanized thinning in steep terrain: Experiences with different harvesting and logging techniques. International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium. March 28-April 1, 1999. Corvallis, Oregon, USA Proceedings. pp. 246~254.
- Samset, I. 1985. Winch and cable systems. Martin Nijhoff/DR W.Junk Publishers, Lancaster. 359pp.
- Schiess,P. and Jaross,W.. 1999. Comparing long-span vs. conventional skyline design options : Economics and Silvicultural options. International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium. March 28-April 1, 1999. Corvallis, Oregon, USA Proceedings. pp. 264~275.
- Strehlke, E. G., Sterzik, H.K. and Strehlke B. 1970. Forstmaschinenkunde. Verlag Paul Parey, Hamburg and Berlin. 277pp.
- Sundburg U. and Siversides. 1988. Operational efficiency in forestry. Kluger Academic Publishers, Dordrecht, Boston and London, 219pp.