최 종
연구보고서

간벌생산재 수집을 위한 벌출작업 시스템의 최적화에 관한 연구

Optimized logging system for pole-sized thinning wood in small scale mountain forest

주관연구기관
강 원 대 학 교

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “간벌생산재 수집을 위한 벌출작업시스템의 최적화에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006년 07 월 14 일

주관연구기관명 : 강원대학교
총괄연구책임자 : 차 두 송
세부연구책임자 : 차 두 송
연 구 원 : 전 근 우
연 구 원 : 오 재 헌
연 구 원 : 황 진 성
연 구 원 : 김 지 성
협동연구기관명 : 국립산림과학원
협동연구책임자 : 박 문 섭
연 구 원 : 송 태 영
연 구 원 : 조 구 현
연 구 원 : 전 권 석
협동연구기관명 : 충남대학교
협동연구책임자 : 이 준 우
연 구 원 : 박 범 진
연 구 원 : 김 명 준
연 구 원 : 최 태 진

요 약 문

Ⅰ. 제 목

간벌생산재 수집을 위한 벌출작업시스템의 최적화에 관한 연구

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 필요성

가. 국내의 산림여건은 지난 몇 십년동안의 조림 및 무육작업을 통하여 장차 성숙림으로 나아가기 위한 간벌단계의 임분에 도달해 있고, 계속적으로 간벌대상 임분이 늘어가고 있지만 단순한 무육작업만이 이루어질 뿐 대부분의 많은 산림자원(간벌소경재)이 산지에 방치되고 있는 실정이다. 그 이유는 소경 간벌재를 집재하는데 필요한 집재비용이 높고, 간벌소경재의 활용도가 낮아, 간벌소경재를 거래하는 시장이 발달하지 않았기 때문이다.

나. 이러한 간벌 생산재 수집을 위해서 국내에서는 다량의 임도를 개설하여 산림의 접근성을 향상시키고 해외 선진 임업국으로부터 집재기 도입과 국내에서의 자체개발 등으로 집재작업의 기계화를 추진하고 있다. 그러나, 아직 임업의 기계화를 위해 도입된 대부분의 임업기계는 우리나라 임업경영의 규모, 산림조건 등에는 비교적 고가인 장비가 대부분이기 때문에 현재 임업현장에서의 이용도가 매우 낮은 실정이다.

다. 또한 간벌 생산재를 수집하기 위한 집재작업은 산지에서 인력 또는 기계에 의해 이루어지기 때문에 작업시스템에 대한 최적화가 이루어지지 않을 경우 작업원에 대한 생리적 작업부담이 상대적으로 증가하게 되며 이는 생산성에 직접적인 영향을 미칠 가능성이 크게 된다.

라. 현재 우리나라와 산림조건 및 경영구조가 비슷한 일본의 경우 1980년대부터 이미 작업 시스템에 대한 연구가 진행되어 왔으며 고성능 임업기계에 의한 생력화를 추진하였으나, 산지에의 접근성이 문제로 발생되어 최근 그 활용율이 떨어지고 있다. 그러나 최근 간벌작업용 소형 고성능 임업기계를 개발하여 적은 인원으로 간벌재를 생산할 수 있는 시스템을 도입・활용 중이다. 그러나 이러한 기계 역시 기계의 구입가격이 고가이기 때문에 아직 영세한 국내의 간벌재 생산경영에는 적합하지 않을 것으로 판단된다.

마. 따라서 현재 국내의 산림경영규모와 지형조건상 간벌재 생산을 위한 작업 시스템으로서는 고가의 대형 임업기계보다는 가격면에서 저렴하고 환경적인 측면에서도 영향이 적은 가선계 기계와 소형 임업용 기계의 활용과 작업원의 인간공학적 변수를 고려한 작업시스템의 개발과 작업기계의 개선이 요구된다고 할 수 있다.

1) 기술적 측면

- 현재 국내의 간벌생산재 집재작업은 적절한 집재 장비의 부족과 높은 비용으로 인해 거의 실시하고 있지 않은 상태임. 따라서 소형 다목적 임업기계의 활용이나 간이 가선계 기계의 활용 및 기존의 집재장비의 개량을 통해 작업경비 절감이 요청됨.

- 현재 국내에서 개발된 임업기계 및 도입장비에 대한 작업 기능 최적화를 위한 작업 기계의 구조변경과 현지 적용 테스트를 통해 성능 개선이 요구됨

- 또한 현재 계획하고 있는 간벌생산재 수집을 위한 벌출 작업 시스템을 효과적으로 추진하기 위해서는 현재의 기존 임도망과 연계하여 간벌생산재를 수집할 수 있는 저규격의 집운재 로망 배치 계획 시스템의 개발이 필요함.

- 간벌재 생산 및 수집과 같은 산림작업은 기계와 인력에 의해 이루어지지만 그 주체는 역시 인간이 이기 때문에 작업원의 작업부담에 대한 고려 없이 작업 시스템을 계획한다는 것은 전체적인 작업 시스템의 비효율적인 순환을 의미하는 것이다. 따라서 작업원의 작업의식과 각 요소작업에 대한 작업부담 등에 대한 기초적인 자료가 필요하며, 이를 통해 작업 환경과 기계에 대한 개선이 필요함

2) 경제・산업적 측면

- 유령림 위주 현재의 산림구성은 지속적인 간벌과 육림작업을 통하여 대경 우량목으로 유도하여야 하며, 최적화된 작업 시스템을 통해 노동력 부족에 대처하고 경제적인 간벌재 생산을 유도 할 수 있음.

- 최적화된 작업 시스템을 통해 작업능률을 향상시키며 수집된 간벌재로 국산재 이용을 높일 수 있음. 또한 국산재 이용의 부가가치를 높이기 위하여 목재가공, 이용 등 관련 산업의 활성화가 기대되며 이러한 작업기계의 개선과 작업기의 제작은 소규모 주문 생산 방식에 의한 제작이 가능하여 중소기업에서 충분히 조달할 수 있음.

- 현재 국내에서의 간벌재 생산이 거의 이루어지지 않고 있기 때문에 최적화 시스템에 의한 간벌생산재의 수집기술개발로 인한 간벌 생산의 경제성이 입증될 경우 최적화 시스템에 이용되는 각종 임업기계의 개발 및 도구의 개발 요구가 증대할 것으로 판단되어, 소형 임업기계의 국산화가 기대됨.

3) 사회・문화적 측면

- 우리나라의 농업은 지난 20년 동안 농업기계화가 급속히 진전되었음. 그러나 산업화로 인한 농업노동력의 부족과 육체노동에 대한 기피현상 등은 농업에 비하여 기계화 발전수준이 낮은 산림작업에서는 심각한 상태에 이르렀고, 이로 인하여 식재, 풀베기, 가지치기 등 기초적인 육림작업과 벌목, 집재 등 산림수확작업에 투입될 기능 인력의 부족은 전체 산림작업을 위축시키는 결과를 초래하였음.

- 일반 산업분야의 발전에 따른 농촌인구의 도시집중과 3D 직종에 대한 기피현상으로 농산촌의 인력난이 심화되고 있으며, 가용 노동력의 여성화, 고령화는 현재와 같이 농산촌으로부터 노동력을 공급받는 산림작업분야의 노동력 질이 저하되고 작업인력 확보문제가 심각함.

- 임업노동 특히 임목생산작업은 작업환경이 열악한 산림에서 이루어지고, 특히 중량물인 원목을 다루는 육체적으로 힘든 중노동이기 때문에 작업원들이 기피하는 실정이므로 우리나라 실정에 맞는 최적화된 작업 시스템 및 기계의 개선 등을 통해 산림작업의 작업강도를 낮추는 등 작업환경을 개선되고 전문화되어 기능 인력의 확보가 가능함.

2. 연구개발 목표

간벌 생산재의 수집 및 반출 기술의 성력화를 위해 소형 차량계 임업기계와 가선계 집재기계를 이용한 최적화된 작업 시스템의 개발

가. 간벌생산재 반출 시스템을 위한 임업기계 작업기능의 최적화 방법 개발

- 간벌생산재의 효과적인 반출 작업시스템의 개발을 위해 기존의 임도망과 연계된 환경친화적인 작업로망으로부터 차량계 임업기계와 가선계 임업기계의 작업기능 최적화 방법 개발

나. 소규모 간벌재 생산시스템의 현지 적용과 작업 공정의 산출

- 소형 임내차와 경가선(輕架線) 집재기를 중심으로한 소규모 작업시스템의 현장 적용실험과 작업 공정 산출을 위한 자동화 계측 시스템 구축

다. 소형임업기계를 이용한 목재수확작업에서 지형조건에 따른 작업부담 평가모델의 개발과 개선방안

- 간벌재 수확 및 벌출 작업에 요구되는 각종 요소작업에 대한 작업환경조건별 작업원의 작업부담 모델링과 작업 개선 방안검토

- 조림 및 무육작업을 통하여 간벌단계의 임분이 소경 간벌재를 수집하기 위한 집

재작업은 산지에서 인력 또는 기계에 의해 이루어지기 때문에 작업시스템에 대한 최적화가 이루어지지 않을 경우 작업원에 대한 생리적 작업부담이 상대적으로 증가 하게 되며 이는 생산성에 직접적인 영향을 미칠 가능성이 크다.

- 간벌재 생산 및 수집과 같은 산림작업은 기계와 인력에 의해 이루어지며 따라서 작업원의 작업의식과 각 요소작업에 대한 작업부담 등에 대한 기초적인 자료가 필요하며, 이를 통해 작업 환경과 기계에 대한 개선이 필요하다.

- 따라서 현재 국내의 산림경영규모와 지형조건상 간벌재 생산을 위한 작업 시스템은 초기 투자비용이 적고 환경적인 측면에서도 영향이 적은 차량형 임업기계와 간이 가선계 임업기계를 활용하고 작업원의 인간공학적 사항을 고려한 소규모 간벌재 생산 시스템의 개발이 요구된다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 간벌 생산재의 수집 및 반출 기술의 성력화를 위해 소형 차량계 임업기계와 가선계 집재기계를 이용한 최적화된 작업 시스템의 개발

가. 간벌생산재 반출 시스템을 위한 임업기계 작업기능의 최적화 방법 개발

- 간벌생산재의 효과적인 반출 작업시스템의 개발을 위해 기존의 임도망과 연계된 환경친화적인 작업로망으로부터 차량계 임업기계와 가선계 임업기계의 작업기능 최적화 방법 개발

나. 소규모 간벌재 생산시스템의 현지 적용과 작업 공정의 산출

- 소형 임내차와 경가선(輕架線) 집재기를 중심으로한 소규모 작업시스템의 현장 적용실험과 작업 공정 산출을 위한 자동화 계측 시스템 구축

다. 소형임업기계를 이용한 목재수확작업에서 지형조건에 따른 작업부담 평가모델의 개발과 개선방안

- 간벌재 수확 및 벌출 작업에 요구되는 각종 요소작업에 대한 작업환경조건별 작업원의 작업부담 모델링과 작업 개선 방안검토.

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

※연구개발 결과

○ 이 연구는 차량계 임업기계와 가선계 임업기계를 화용한 간벌작업시스템의 최적화 방법에 관한 정보를 얻기 위해 수행되었다.

이와 같은 목적을 달성하기 위해 간벌목의 수확을 위한 이론적인 연구와 현장조사를 실시하였다.

1. 간벌생산재 반출시스템을 위한 임업기계 작업기능의 최적화 방법 개발

가. 차량계 임업기계의 작업기능 최적화

- 집재장까지의 도달을 위해서는, 매우 많은 장애물(그루터기, 나뭇가지, 암석, 경사 등)이 수확장소에 놓여져 있다. 차량계 임업기계의 경우는 이러한 장애물을 극복해야 한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 차량계 임업기계의 장애물이 되는 조건들을 분류하여 정리하였다. 또한, 차량계 임업기계의 주행경로를 분석하여 실주행 경로와 모의주행 경로를 비교분석하였다.

- 이 연구의 목적은 차량계 임업기계의 승차감과 관련이 있는 승차진동의 표준과 기준을 고찰하고 차량계 임업기계의 개발과 개량에 있어서 승차진동의 기준을 효과적으로 사용할 수 있는 방법을 제안하고자 진행하였다. 또한 인체진동의 종류 및 특성에 대한 것을 개념적인 측면으로 소개하였다. 그결과, 차량계 임업기계의 승차진동을 평가하기 위한 기준은 ISO2631-1(1997)과 흡수동력기준이 적합할 것으로 판단되었으며, 특히 차량계 임업기계의 승차진동을 줄이기 위한 속도한계의 결정에 흡수동력이 유용한 것이 확인되었다.

- 산림작업의 인간공학적 설계를 위한 기초적인 자료를 제공하기 위하여 차량형 임업기계의 승차진동을 측정·분석하였다. 또한, 진동의 측정은 운전자에게 진동이 충분히 전달될 수 있는 임도상에서 실시되었다. 진동의 측정분석결과 각 차량형 임업기계별로 0.38-1.14m/s^2 범위의 주파수 가중가속도의 수준을 나타내었으며, 이 값을 ISO 2631-1의 건강지침 주의 영역과 비교했을 때 2-4시간 영역에 존재하고 있었으며, 2시간 이상 계속적으로 주행할 경우 건강에 대한 잠재적인 위험에 노출되어 있음을 알 수 있었다.

- 실제 산림작업에서 단위공정을 측정하고 분석하는 것은 매우 어려운 일이며 많은 노력을 필요로 한다. 이에 본 연구는 차량계 임업기계를 이용한 수확작업 시스템에서

단위공정을 측정 분석할 수 있는 자동화 계측시스템을 설계하였다. 그 결과 측정된 모든 계측신호는 생산성 추정에 필요한 여러 공정을 산출하기에 적합하였으며, 작업공정의 산출에 매우 유용할 것으로 판단되었다.

나. 가선계 임업기계의 작업기능 최적화

- 자주식반송기를 이용한 가선집재시스템의 안정성을 이론적인 계산과 현장 계측을 통해 검토하였다. 가선집재 시스템의 이론적 안정성 평가의 유용성을 입증하기 위하여 스카이라인의 장력과 근주의 저항력을 측정하여 이론 계산값과 비교 평가하였다. 그 결과 측정된 스카이라인의 장력과 계산값이 유사하였으며, 이를 통해 전체적인 안정성 검토가 가능하였다. 또한 근주의 저항력은 근주의 직경과 밀접한 관계가 있으며 근주면의 각도가 5-10° 일 때 가장 큰 저항력을 나타내었으며 극 이상의 각도에서는 지주로서의 기능을 잃어버리는 것으로 판단되었다.

- 우리는 또한 가선계 임업기계의 단위공정을 측정 분석할 수 있는 자동화 계측시스템을 설계하였다. 가선계 임업기계의 경우 반송기에 의한 원격작업스시템으로, 반송기상에서 모든 공정계측이 이루어져야 한다. 따라서 그에 적합한 독립적인 자동화 계측시스템을 구성 적용하였다. 그 결과 측정된 모든 계측신호는 생산성 추정에 필요한 여러 공정을 산출하기에 적합하였으며, 작업공정의 산출에 매우 유용할 것으로 판단되었다.

다. 차량계 임업기계의 간이접지압 분포예측 모델개발

- 트랙식 집재기와 바퀴식집재기의 지면 접촉면에서 발생하는 접지압의 분포를 이론적으로 알 수 있는 수학적인 모델을 유도하였다. 종래의 접지압 계산방법과는 달리 집재견인목, 집재기의 무게중심위치, 지면의 경사등을 고려한 이론적인 접지압분포를 얻을 수 있었으며, 유도된 이론적인 접지압 모델은 종래의 평균접지압 계산방법에 비해 토양압밀에 대한 예측이 보다 유용할 것이다. 그러나 본 연구에서 고려한 이론접지압 모델은 집재기의 진동이나 다른 동적인 힘에 대한 영향은 고려하지 않았다.

라. 집재형태별 견인저항력 해석

- 산림지역에서 사용되고 있는 집재용 굴삭기의 효율적이고 안전한 사용을 위해, 굴삭기의 재설계 및 구조변경을 고려할 때 필요한 정보를 얻기 위한 목적으로 견인목 및 굴삭기의 역학분석모델을 이론적으로 유도하였다. 탑재기관의 구동력, 주행장치의 점착력 및 전도에 대한 안정성의 조건으로부터 굴삭기의 최대 견인력을 제한하는 인자를

구했으며, 이를 통해 굴삭기의 한계견인량과 등판한계를 구하여 효율적인 굴삭기의 작업조건을 구하였다. 역학분석모델을 적용한 결과, 굴삭기가 산림지역에서 작업할 때는 굴삭기와 지면과의 점착력에 의해 견인성능이 제한되는 것으로 분석되었다. 또한, 굴삭기의 한계견인량은 견인줄과 지면이 이루는 각 β가 클수록 증가하였으며, 최대 등판성능은 집재목을 견인하지 않은 상태에서 약 20 ~23°까지 등판할 수 있으며, 평지에서는 굴삭기 자체 중량의 80~90%정도까지 견인할 수 있는 것으로 분석되었다.

2. 차량계 임업기계의 작업공정 조사

- 간벌작업의 생산성을 추정하기 위해 궤도식 임내작업차와 반궤도식 미니포워더와 같은 차량계 임업기계를 활용하여, 작업공정조사를 실시하였으며, 그 결과를 분석하였다. 그 결과 효과적인 간벌작업방법이 제시되었으며, 각 수확작업시스템의 생산성이 계산되었다.

3. 가선계 임업기계의 작업공정 조사

효과적이고 최적화된 간벌작업시스템을 찾기 위하여 다목적 집재차 k-301이 타워야더, 자주식 반송기, 스윙야더와 같은 가선계 임업장비의 공정조사가 실시되었다.
그 결과, 효과적인 간벌작업시스템이 제시되어, 분석되었고, 도한 작업시스템의 생산성이 추정되었다.
이런 조사를 통해 얻어진 결과들은 효과적인 간벌작업과 작업조건의 개선뿐만 아니라 작업시스템 개선을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한 이러한 결과는 작업난이도에 따른 적정임금의 산정, 작업능률표의 작성, 작업시스템의 개선, 산림수확장비의 개발 등의 평가지표로서 활용될 것이다.

4. 소형임업기계를 이용한 목재수확작업에서 지형조건에 따른 작업부담 평가모델의 개발

가. 차량계 임업기계를 이용한 간벌 소경재 반출 작업의 요소작업 분류 및 작업부담 측정, 농림업 노동자의 객관적인 작업부담의 평가를 위하여 적합한 최대심박수 추정식을 제시하였다.

- 임내작업차를 이용한 집재작업시 와이어로프 견인작업의 견인장력은 평균 0.5-2.0kg범위내에 있는 것으로 조사되었다.

- 와이어로프 견인작업시 작업부담을 평가한 결과, 사면경사가 -의 경우, 지속적인 작업이 가능한 것으로 조사되었다. 그렇지만, 사면경사 10도, 보행거리 45m, 사면경사 20도, 보행거리 23m의 작업조건과 사면경사 30도, 보행거리 17m의 작업조건에서

지속적인 작업이 불가능한 것으로 조사되어 하향집재는 지양해야 할 것으로 판단된다. 보행작업시 작업부담을 평가한 결과, 사면경사 20도, 보행거리 23m의 작업조건과 사면경사 30도, 보행거리 17m의 작업조건에서 지속적인 작업이 불가능 한 것으로 조사되었다. 따라서 임내작업차를 이용한 집재작업의 경우는 상향집재작업을 원칙으로 해야 하며, 보행작업시의 작업부담을 기준으로 최대작업가능 거리를 산정해야 할 것으로 판단된다.

- 임내작업차를 이용한 집재작업에서 OWAS기법을 이용하여 목재상차작업의 작업자세를 측정한 결과, 근골격계에 나쁜 영향을 미치는 작업자세의 비율이 84.6%로 조사되어 상차작업의 기계화가 필요한 것으로 조사되었다.

나. 가선계 임업기계를 이용한 간벌 소경재 반출 작업의 요소작업 분류 및 작업부담 측정

- 라디캐리를 이용한 벌출작업의 요소작업별 작업강도를 측정한 결과 작업시 평균작업강도가 안정시 보다 33.1% 높은 것으로 조사되었다.

- 다목적 집재차를 이용한 벌출작업의 요소작업별 작업강도를 측정한 결과 작업시 평균작업강도가 안정시 보다 39.6% 높은 것으로 조사되었다.

- 가선계 임업기계 오퍼레이터의 정신적 피로도를 측정한 결과, 다목적 집재차 오퍼레이터의 경우, 스트레스 상태에서 활성화 되는 교감신경계의 활동은 안정시와 비교하여 기계조작중에 유의하게 높은 것으로 조사되었다. 또한 운전작업 중에서는 측방집재시의 스트레스가 가장 높은 것으로 조사되었다.

다. 반출 작업의 종류별 노동부담의 모델 개발

- 노면조도에 따른 반출작업시 노동부담을 평가하기 위하여 주요 임도의 노면조도를 평가한 결과 ISO8608에 의한 노면조도 구분의 E에 해당하는 것으로 조사되었다.
노면조도에 따른 반출작업시 노동부담을 평가하여 주행속도에 따른 1연속 작업시간, 1일 작업가능시간, 연속주행가능거리의 관계식을 작성하였으며, 이를 통해 적정 작업거리를 제시하여 보았다.

※연구결과 활용에 대한 건의

1. 현장 애로 해결 방안으로 활용

- 간벌생산재의 수집에 요구되는 작업 기술의 최적화는 현재 간벌 단계에 이른 국내 산림의 목재생산 기능을 증대시키므로써 기존의 산림 현장에서 적절한 작업 시스템의 계획 없이 간벌재의 반출을 시도 했거나, 반출이 용이한 지역만을 선택해서 반출을 하거나 아니면 경제적인 이윤의 문제로 거의 간벌재의 반출을 포기하고 있는 산림 작업

현장을 그 지역에 맞도록 최적화된 반출작업 작업기술 계획해주고, 관련 임업기계의 최적 활용방법 및 개량화 방안을 보급 병행하므로 써 가장 경제적이고 효율적인 간벌 생산재 수집을 도모하도록 유도..

2. 현장 보급방안

- 간벌생산재 수집을 위한 최적화된 작업시스템을 개발하여 각 지방 산림관리청 및 국유림관리소, 산림조합의 산림작업단에게 우선적으로 간이책자로써 보급하도록 하며, 인터넷을 이용한 홈페이지 등의 운영으로 계속적인 간벌생산재의 효율적인 반출기술의 보급을 유도한다.

- 또한 정기적인 임업기계화 시연사업을 통해 간벌재 생산에 필요한 임업기계의 개량화 방안 및 최적 성능 발휘를 위한 관리방법 등을 보급한다.

3. 산업화 계획방안

- 본 연구를 통해 개발된 간벌생산재 수집기술에 소요되는 각종 도구 및 장비는 기존의 임업장비회사나 소규모 주문생산 방식에 의해 지속적으로 생산이 가능할 것으로 판단되며, 지속적인 산림 경영을 위한 임목축적 및 양질의 목재생산을 추진하고 있으므로 계속적인 간벌작업물량이 확보될 것으로 판단되는 바, 관련 장비의 수요를 충족하는 기업화가 요구되며 이에 대한 가능성이 있을 것으로 판단됨.

- 특히 간벌생산재의 수집을 경제적으로 또는 효율적으로 할 수 있는데 필요한 장비는 대부분 고가의 장비가 아니므로, 가격이 비싼 외국제품에 비해 성능 및 가격적인 면을 만족시킬 수 있어 초기투자가 많이 필요하지 않은 중소기업에서도 생산이 가능할 것으로 판단됨.

4. 추가기술 보급방안

- 본 연구에서 고려하고 있는 간벌생산재 반출시스템은 소형 임업기계를 중심으로 한 작업 시스템이지만, 계속적인 간벌로 유도되는 대경재의 간벌수확 시기가 도래하면 고성능 임업기계에 의한 최적화 수확 및 반출 작업시스템의 개발이 요구된다. 또한 급경사지의 목재수확 및 경영을 위한 노망의 정비와 반출 기술에 대한 투자가 필요할 것으로 판단된다.

5. 기술이전 방안

- 현재 국내에서의 간벌재생산이 거의 이루어지지 않고 있기 때문에 최적화 시스템에 의한 간벌생산재의 수집기술개발로 인한 간벌 생산의 경제성이 입증될 경우 최적화 시스템에 이용되는 각종 임업기계의 개발 및 도구의 개발 요구가 증대할 것으로 판단되어 관련 단체, 기관, 기업에게 기술개발 보급 자료로서 무상으로 기술을 이전한다.

- 간벌생산재 수집을 위한 최적화된 작업시스템을 개발하여 각 지방 산림관리청 및 국유림관리소, 산림조합의 산림작업단 및 기계훈련원에게 우선적으로 간이책자로써 보급하도록 하며, 인터넷을 이용한 홈페이지 등의 운영으로 계속적인 간벌생산재의 효율적인 반출기술의 보급을 유도한다.

- 정기적인 임업기계화 시연사업을 통해 간벌재 생산에 필요한 임업기계의 개량화 방안 및 최적 성능 발휘를 위한 관리방법 등을 보급한다.

SUMMARY
(영문요약문)

○ This study was carried out to get the information about optimization methods of thinning operation system. Using vehicular forestry machines and cable logging machines. To realize these objectives, we conducted theoretical study and field survey for harvesting pole-sized thinning wood.

1. Development of optimized methods for thinning operation system using forestry machines.

1) Optimizations of operational functions of vehicular forestry machines

- To access the landing point, many obstacles like stump, branch, stone, slope, were layed on the harvesting site. Vehicular forestry machines should be overcome those obstacles. So, we classified these forestry site conditions for vehicular forestry machines

Also, we analyzed the driving path of vehicular forestry machines through real driving test and simulated driving

- The purpose of this study is to briefly review the status of several ride vibration standards and criteria having relevance to the evaluation of ride quality of forestry vehicles and to suggest recommendations for the effective use of such criteria in forestry vehicle development and modification. The types and properties of vibrations on human body were also reviewed and summarized from a conceptual term. As most pertinent criterions to the ride quality evaluation of forestry vehicles, ISO2631-1(1997) and Absorbed Power criterion were considered although they have some deficiency and shortcomings. Specially, This study was also showed that Absorbed Power criterion would be useful for determining ride limiting speed of forestry vehicles.

- The ride vibrations of the selected forestry vehicles were measured and evaluated to provide the basic information for ergonomic design of forest operations. Measurements of vibration were also carried out on a very uneven forest road to examine a condition of high risk from vibration transmitted to the driver.

- The results showed that the vector summation levels of frequency weighted acceleration were 0.38, 0.59, 0.87 and 1.14m/s^2 at each forestry vehicle, respectively. When these results are compared with the health guidance caution zones of ISO 2631-1(1997), if average transporting work time in seat was exceed the two hours per day, continually, they are exposed to potential health risks because wheel type mini-forwarders appear to inner of 2-4 hours zone.

- It is difficult to count and measure the unit of equation in rear forest operation. So, we designed automated instrumentation system for unit operation measurement system of a vehicular forestry machine. All designed instrument items were well measured and they can be utilized as productivity calculations.

2) Optimizations of operational functions of cable logging machines

- Stability of cable yarding system with self-propelled carriage was discussed by theoretical tension calculation and field test. To verify usefulness of theoretical stability evaluation of cable yarding system, skyline tension and stump anchoring force were measured and compared with theoretical calculation. As results, we know that measured skyline tension was similar to theoretical calculated tension. From these results, overall stability of cable logging system could be evaluate. The stump anchoring force correlated closely with the stump diameters. The inclination angles that the stumps show the maximum anchoring force were ranged 5-10 degrees. It was conclude that the stumps have lost the function as an anchor when the inclinations was so large that they could be observed.

- We also designed automated instrumentation system for unit operation measurement system of a cable logging machines,

- In case of cable logging system, stand-alone instrumentation system is required, because carriage for transporting harvested logs is operated independently. All designed items like endless drum speed and hoist drum speed were well measured.

3) A Study on the Ground Pressure Distribution of Ground-Based Logging Machines

- Mathematical models describing theoretical ground pressure distributions along the bottom of the tracts of tracted skidders and on the bottom of the tire ofwheeled skidders were derived to provide forest managers with infformation on the theoretical ground pressure distribution of tracked and wheeled skidders. Unlike the average pressures typically used to estimate a skidders compaction potential theoretical ground pressures obtained from the models presented here include the effect of the logs being skidded, the location of the skidder's cener of gravity, and ground slope. Theoretical ground pressures have been found to be better predictors of soil compaction than average ground pressure. In this study, however, we have not considered theoretical ground pressures on impacts of skidder;s vibrations or other dynamic forces.

4) An analysis of tractive resistance for skidding methods.

- This study was conducted to predict the tractive resistance for tree length logs being skidded by ground based logging machine. The mathematical models for predicting the tractive resistance of tree length log have been developed. The tractive resistance is expressed as a function of log weight, skidding coefficient, and ground gradient. The skidding coefficients for four species of Korean pine, Japanese larch, mongolian oak, and cork oak were determined under laboratory condition using universal testing machine and small soil bin. Three different tractive resistance models were applied to four species and compared with each other. The ratios(T/Wt) of skidding-line tensions to the skidding log weight increased linearly with increment in ground gradient. Semi-ground skidding generally required smaller tensions than ground skidding under given condition. Results of this study can be utilized as basic information for logging machine selection and power requirement of skidding winch.

1. Surveys on working process of vehicular forestry machines)

- To estimate the productivity of the thinning operations with vehicular forest machines like rubber tracked mini-forwarder and semi-tracked mini-forwarder, working process for thinning operation was surveyed and analyzed. As results, effective thinning operation methods and productivity of each harvesting system

were showed.

2. Surveys on working process of cable logging machines

- To find the effective and optimized thinning operation systems with cable logging machines like multi-purposed tower yarder, K-301 tower yarder, self-propelled carriage and swing yarder, working process survey was conducted.
- As results, effective thinning operation systems were showed and analyzed and also productivity of the systems was estimated.
- The results obtained from this survey could provide the basic information for the effective thinning operations and improve the work conditions as well as the work systems.
- They could provide some criteria for evaluation of the heaviness of the thinning operations, preparation of the performance table, in addition to improvement of the working system and development of forest harvesting equipment.

○ Development of Workload Evaluation Model according to Geographical Conditions in Wood Collection using Small Forestry Machines

1. Classification and measurement of work load of thinning small diameter log cutting and transportation using vehicle type forestry machine

2. Classification and measurement of work load of thinning small diameter log cutting and transportation using wire type forestry machine

3. Development of workload distribution model for each type of cutting and transportation

CONTENTS

Chapter 1. Outline of Research ····· 1

Para. 1. Necessi쇼 of research ····· 1

Para. 2. Goal of research and development ····· 2

1. Technological aspects ····· 2

2. Economical and industrial aspects ····· 2

3. Social and cultural aspects ····· 2

Para. 3. Range of the research and development ····· 3

1. Optimizations of operational performance of forest machines for production system of pole-sized thinning logs. ····· 3

2. Field applications of pole-sized thinning wood production system and its productivity calculation. ····· 3

3. Development of work load evaluation model according to geographical conditions in wood collection using small forestry machines. ····· 3

Chapter 2. Native and foreign status for developing technologies ····· 5

Chapter 3. Scope and result of the study and development ····· 8

1. Optimizations of operational performance of forest machines for production system of pole-sized thinning logs. ····· 8

2. Field applications of pole-sized thinning wood production system and its productivity calculation. ····· 157

3. Development of work load evaluation model according to geographical conditions in wood collection using small forestry machines. ····· 214

Chapter 4. Attainment of research goals and contributions of relevant fields ····· 263

1. Optimizations of operational performance of forest machines

for production system of pole-sized thinning logs. ····· 263
2. Field applications of pole-sized thinning wood production system and its productivity calculation. ····· 263
3. Development of work load evaluation model according to geographical conditions in wood collection using small forestry machines. ····· 263

Chapter 5. Utilizing plan of developed research results. ····· 264

Chapter 6. Advanced technological information acquisited during the research periods. ····· 266

References ····· 267

목 차

제 1장 연구개발과제의 개요 ····· 1
제 1절 연구개발의 필요성 ····· 1
제 2절 연구개발 목표 ····· 2
1. 기술적 측면 ····· 2
2. 경제·산업적 측면 ····· 2
3. 사회·문화적 측면 ····· 2
제3절 연구개발 범위 ····· 3
1. 간벌생산재 반출 시스템을 위한 임업기계 작업기능의 최적화 방법 개발 ····· 3
2. 소규모 간벌재 생산시스템의 현지 적용과 작업 공정의 산출 ····· 3
3. 소형임업기계를 이용한 목재수확작업에서 지형조건에 따른 작업부담
평가모델의 개발과 개선방안 ····· 3

제 2장 국내외 기술개발 현황 ····· 5
제 1절 국내·외 관련기술의 현황과 문제점 ····· 5
제 2절 현 기술상태의 취약성 ····· 5
제 3절 앞으로의 전망 ····· 6
제 4절 기술도입의 타당성 ····· 6

제 3장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 8
제 1절 간벌생산재 반출 시스템을 위한 임업기계 작업기능의 최적화 방법 개발 ····· 8
제 2절 소규모 간벌재 생산시스템의 현지적용과 작업공정의 산출 ····· 157
제 3절 소형임업기계를 이용한 목재수확작업에서 지형조건에 따른
작업부담 평가모델의 개발 ····· 214

제 4장 목표달성도 및 관련분야의 기여도 ····· 263
제 1절 간벌생산재 반출 시스템을 위한 임업기계 작업기능의 최적화 방법개발 ····· 263
제 2절 소규모 간벌재 생산시스템의 현지적용과 작업공정의 산출 ····· 263
제 3절 소형임업기계를 이용한 목재수확작업에서 지형조건에 따른
작업부담 평가모델의 개발과 개선방안 ····· 263

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 264

제 6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 266

참고문헌 ····· 267

제 1장 연구개발과제의 개요

제 1절 연구개발의 필요성

○ 국내의 산림여건은 지난 몇 십년동안의 조림 및 무육작업을 통하여 장차 성숙림으로 나아가기 위한 간벌단계의 임분에 도달해 있고, 계속적으로 간벌대상 임분이 늘어가고 있지만 단순한 무육작업만이 이루어질 뿐 대부분의 많은 산림자원(간벌소경재)이 산지에 방치되고 있는 실정이다. 그 이유는 소경 간벌재를 집재하는데 필요한 집재비용이 높고, 간벌소경재의 활용도가 낮아, 간벌소경재를 거래하는 시장이 발달하지 않았기 때문이다.

○ 이러한 간벌 생산재 수집을 위해서 국내에서는 다량의 임도를 개설하여 산림의 접근성을 향상시키고 해외 선진 임업국으로부터 집재기 도입과 국내에서의 자체개발 등으로 집재작업의 기계화를 추진하고 있다. 그러나, 아직 임업의 기계화를 위해 도입된 대부분의 임업기계는 우리나라 임업경영의 규모, 산림조건 등에는 비교적 고가인 장비가 대부분이기 때문에 현재 임업현장에서의 이용도가 매우 낮은 실정이다.

○ 또한 간벌 생산재를 수집하기 위한 집재작업은 산지에서 인력 또는 기계에 의해 이루어지기 때문에 작업시스템에 대한 최적화가 이루어지지 않을 경우 작업원에 대한 생리적 작업부담이 상대적으로 증가하게 되며 이는 생산성에 직접적인 영향을 미칠 가능성이 크게 된다.

○ 현재 우리나라와 산림조건 및 경영구조가 비슷한 일본의 경우 1980년대부터 이미 작업 시스템에 대한 연구가 진행되어 왔으며 고성능 임업기계에 의한 생력화를 추진하였으나, 산지에의 접근성이 문제로 발생되어 최근 그 활용율이 떨어지고 있다. 그러나 최근 간벌작업용 소형 고성능 임업기계를 개발하여 적은 인원으로 간벌재를 생산할 수 있는 시스템을 도입・활용 중이다. 그러나 이러한 기계 역시 기계의 구입가격이 고가이기 때문에 아직 영세한 국내의 간벌재 생산경영에는 적합하지 않을 것으로 판단된다.

○ 따라서 현재 국내의 산림경영규모와 지형조건상 간벌재 생산을 위한 작업 시스템으로서는 고가의 대형 임업기계보다는 가격면에서 저렴하고 환경적인 측면에서도 영향이 적은 가선계 기계와 소형 임업용 기계의 활용과 작업원의 인간공학적 변수를 고려한 작업시스템의 개발과 작업기계의 개선이 요구된다고 할수 있다.

제 2절 연구개발의 목표

1. 기술적 측면

- 현재 국내의 간벌생산재 집재작업은 적절한 집재 장비의 부족과 높은 비용으로 인해 거의 실시하고 있지 않은 상태임. 따라서 소형 다목적 임업기계의 활용이나 간이 가선계 기계의 활용 및 기존의 집재장비의 개량을 통해 작업경비 절감이 요청됨.
- 현재 국내에서 개발된 임업기계 및 도입장비에 대한 작업 기능 최적화를 위한 작업기계의 구조변경과 현지 적용 테스트를 통해 성능 개선이 요구됨
- 또한 현재 계획하고 있는 간벌생산재 수집을 위한 벌출 작업 시스템을 효과적으로 추진하기 위해서는 현재의 기존 임도망과 연계하여 간벌생산재를 수집할 수 있는 저규격의 집운재 로망 배치 계획 시스템의 개발이 필요함.
- 간벌재 생산 및 수집과 같은 산림작업은 기계와 인력에 의해 이루어지지만 그 주체는 역시 인간이 이기 때문에 작업원의 작업부담에 대한 고려 없이 작업 시스템을 계획한다는 것은 전체적인 작업 시스템의 비효율적인 순환을 의미하는 것이다. 따라서 작업원의 작업의식과 각 요소작업에 대한 작업부담 등에 대한 기초적인 자료가 필요하며, 이를 통해 작업 환경과 기계에 대한 개선이 필요함

2. 경제・산업적 측면

- 유령림 위주 현재의 산림구성은 지속적인 간벌과 육림작업을 통하여 대경 우량목으로 유도하여야 하며, 최적화된 작업 시스템을 통해 노동력 부족에 대처하고 경제적인 간벌재 생산을 유도 할 수 있음.
- 최적화된 작업 시스템을 통해 작업능률을 향상시키며 수집된 간벌재로 국산재 이용을 높일 수 있음. 또한 국산재 이용의 부가가치를 높이기 위하여 목재가공, 이용 등 관련 산업의 활성화가 기대되며 이러한 작업기계의 개선과 작업기의 제작은 소규모 주문생산 방식에 의한 제작이 가능하여 중소기업에서 충분히 조달할 수 있음.
- 현재 국내에서의 간벌재 생산이 거의 이루어지지 않고 있기 때문에 최적화 시스템에 의한 간벌생산재의 수집기술개발로 인한 간벌 생산의 경제성이 입증될 경우 최적화 시스템에 이용되는 각종 임업기계의 개발 및 도구의 개발 요구가 증대할 것으로 판단되어, 소형 임업기계의 국산화가 기대됨.

3. 사회・문화적 측면

- 우리나라의 농업은 지난 20년 동안 농업기계화가 급속히 진전되었음. 그러나 산업화로 인한 농업노동력의 부족과 육체노동에 대한 기피현상 등은 농업에 비하여 기계화 발전수준이 낮은 산림작업에서는 심각한 상태에 이르렀고, 이로 인하여 식재, 풀베기, 가지치기 등 기초적인 육림작업과 벌목, 집재 등 산림수확작업에 투입될 기능 인력의 부족은 전체 산림작업을 위축시키는 결과를 초래하였음.

- 일반 산업분야의 발전에 따른 농촌인구의 도시집중과 3D 직종에 대한 기피현상으로 농산촌의 인력난이 심화되고 있으며, 가용 노동력의 여성화, 고령화는 현재와 같이 농·산촌으로부터 노동력을 공급받는 산림작업분야의 노동력 질이 저하되고 작업인력 확보문제가 심각함.

- 임업노동 특히 임목생산작업은 작업환경이 열악한 산림에서 이루어지고, 특히 중량물인 원목을 다루는 육체적으로 힘든 중노동이기 때문에 작업원들이 기피하는 실정이므로 우리나라 실정에 맞는 최적화된 작업 시스템 및 기계의 개선 등을 통해 산림작업의 작업강도를 낮추는 등 작업환경을 개선되고 전문화되어 기능 인력의 확보가 가능함.

제 3절 연구개발 범위

○ 간벌 생산재의 수집 및 반출 기술의 성력화를 위해 소형 차량계 임업기계와 가선계 집재기계를 이용한 최적화된 작업 시스템의 개발

1. 간벌생산재 반출 시스템을 위한 임업기계 작업기능의 최적화 방법 개발

- 간벌생산재의 효과적인 반출 작업시스템의 개발을 위해 기존의 임도망과 연계된 환경친화적인 작업로망으로부터 차량계 임업기계와 가선계 임업기계의 작업기능 최적화 방법 개발

2. 소규모 간벌재 생산시스템의 현지 적용과 작업 공정의 산출

- 소형 임내차와 경가선(輕架線) 집재기를 중심으로한 소규모 작업시스템의 현장 적용실험과 작업 공정 산출을 위한 자동화 계측 시스템 구축

3. 소형임업기계를 이용한 목재수확작업에서 지형조건에 따른 작업부담 평가모델의 개발과 개선방안

- 간벌재 수확 및 벌출 작업에 요구되는 각종 요소작업에 대한 작업환경조건별 작업

원의 작업부담 모델링과 작업 개선 방안검토

○ 조림 및 무육작업을 통하여 간벌단계의 임분이 소경 간벌재를 수집하기 위한 집재 작업은 산지에서 인력 또는 기계에 의해 이루어지기 때문에 작업시스템에 대한 최적화가 이루어지지 않을 경우 작업원에 대한 생리적 작업부담이 상대적으로 증가 하게 되며 이는 생산성에 직접적인 영향을 미칠 가능성이 크다.
○ 간벌재 생산 및 수집과 같은 산림작업은 기계와 인력에 의해 이루어지며 따라서 작업원의 작업의식과 각 요소작업에 대한 작업부담 등에 대한 기초적인 자료가 필요하며, 이를 통해 작업 환경과 기계에 대한 개선이 필요하다.
○ 따라서 현재 국내의 산림경영규모와 지형조건상 간벌재 생산을 위한 작업 시스템은 초기 투자비용이 적고 환경적인 측면에서도 영향이 적은 차량형 임업기계와 간이 가선계 임업기계를 활용하고 작업원의 인간공학적 사항을 고려한 소규모 간벌재 생산시스템의 개발이 요구된다.

제 2장 국내외 기술개발 현황

제 1절 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

○ 독일, 스웨덴, 핀란드, 캐나다, 미국 등 선진 임업국에서는 지형조건과 경영규모에 적합한 수확작업 시스템 및 관련 임업 기계의 개발과 개량이 1970년대 이전부터 이루어져 왔으며 최근에는 정밀임업과 무인 및 자동화의 연구를 통해 가장 높은 노동생산성을 달성하고 있는 수준임

○ 일본에서는 1960년대 처음으로 임업분야에 보급되기 시작한 집재기와 트랙터를 중심으로 본격적인 기계화 작업 시스템에 대한 연구를 시작하였으며, 1970년대부터 민유림을 중심으로 본격적으로 보급되기 시작한 소형 임업기계는 2001년 현재 소형 운재차가 21,208대, 소형 집재기 7,034대, 리모콘 윈치 1,148대, 모노레일 936대로 일본 임업경영의 주체로 활약하고 있다. 최근 고성능 임업기계에 대한 고가의 장비 구입비와 산악지형에의 접근성 제약 등으로 인한 고성능 임업기계의 이용 가동률이 저조한 것을 볼 때 국내에서의 경영규모에 적합한 현실적인 작업 시스템은 소형 임업기계를 중심으로 한 간벌 수확에 초점을 맞추는 것이 바람직할 것으로 사료됨

○ 국내에서는 임업연구원에서 1986-1988년에 외국에서 도입한 트랙터용 윈치, 소형임내차, 타워식 집재기 등에 대한 적용시험을 실시한 결과 이러한 집재장비류는 국내에서 운용하는 것이 충분한 경제성이 있으나, 소규모 작업지가 많은 우리나라 실정에 적합하고 장거리 이동이 손쉬운 장비의 보급이 필요한 것으로 판명됨.

○ 또한, 농용 트랙터를 이용한 2드럼 윈치와 중력에 의해 소경목을 단시간에 집재할 수 있는 프라스틱 수라의 국산화에 성공하였으나 프라스틱 수라작업은 노동부담이 큰 인력작업으로 작업원들이 기피하는 경향이 있음.

○ 또한 1997에서 1999년까지 타워야더를 이용하여 250m 내외의 단거리 가선 집재를 실시하여 차량에 부착된 크레인으로 원목을 집적, 정리하며 상차작업을 할 수 있는 다목적 집재작업차와 또한 농용작업차의 본체를 이용한 2드럼 리모콘 윈치를 개발하여 현재 적용시험을 거쳐 산림작업 현장에 보급할 준비를 갖추고 있음.

제 2절 현 기술상태의 취약성

○ 현재 국내 개발 임업기계와 도입된 기종에 대한 작업 시스템에 대한 연구와 계속적

인 장비의 개선이 현재 이루어지지 않고 있으며, 일부 시험지역을 대상으로 제한적인 적용성 시험에 그치고 있다. 따라서 직접적인 생산 현장에서의 작업 시스템 계획과 실행이 필요할 것으로 판단된다.

○ 현재 우리 나라에서 임업기계에 의한 집재작업은 극히 일부분에 지나지 않아 기계화에 의한 집재작업의 기술보급과 작업원들이 장비사용에 대한 인식의 전환이 필요하며, 또한 임업기계에 대한 시장성의 협소로 임업용 장비를 생산에 관심을 가지는 업체가 적어 임업기계의 개발, 보급에 어려움이 많음.

○ 최적화된 작업시스템과 효과적인 임업장비 및 기계의 개선을 통해 작업원들의 대한 신체적 부담을 경감하고 산림 작업 환경을 개선하여 작업안전을 도모하며 간벌 생산재 반출의 노동생산성을 향상시키고 환경친화적인 작업로망의 구축을 통해 자연환경에 대한 부담을 경감시키면서 작업원에게는 작업부담이 적은 최적화된 간벌 생산재 반출작업시스템의 개발이 시급함.

제 3절 앞으로의 전망

○ 유령림 위주로 구성되어 있는 우리나라 산림의 간벌작업 물량은 계속 증가추세에 있고 현재와 같이 인력위주의 작업을 실시할 경우 앞으로 10년 후의 작업원 소요는 현재보다 50% 이상의 인력이 더 필요하게 되리라고 예측됨.

○ 국민들의 환경에 대한 관심이 높아 임목의 벌목과 집재에 의한 산지 훼손에 부정적인 시각을 갖고 있어 목재수확 작업도 보다 환경 친화적인 방법을 모색해야 함.

○ 국내의 산림 경영 규모가 소규모의 사유림을 중심으로 구성되어 있기 때문에 계속적인 기술투자와 연구가 진행될 경우 향후 계속적으로 늘어나는 간벌 물량에 대해 소형 임업기계의 수요가 급증할 것으로 판단된다. 현재 국내 임업기계 전문 제작회사가 전무한 실정으로 이러한 소형 임업기계의 수요증가는 국산화 장비 개발과 제작에 관련된 기술을 축적하여 앞으로 본격적인 산림자원화 시대를 맞아 국내에 소요되는 임업기계류의 자체 생산 기반 구축에 매우 긍정적으로 작용할 것임.

제 4절 기술도입의 타당성

○ 유럽, 일본 등으로부터 유사한 소형 임업기계와 장비에 대해서 기술도입이 가능하나 높은 기술사용료와 장비의 운용 등의 문제와 관련기술 확보 등의 문제점이 있고 간벌 생산재의 반출의 경우 국내의 산악지형을 고려한 작업로망의 계획과 한국인에 대한 작

업부담에 대한 연구가 병행되어야 하므로 자체 연구개발이 유리할 것이다.

○ 현재 우리나라에서 임업기계에 의한 집재작업은 기술보급과 작업원들이 장비사용에 대한 인식의 전환이 필요하며, 임업기계의 개발, 보급을 확대하여야 한다.

○ 최적화된 작업시스템과 효과적인 임업장비 및 기계의 개선을 통해 작업원들의 대한 신체적 부담을 경감하고 산림 작업 환경을 개선하여 작업안전을 도모하며 간벌 생산재 반출의 노동생산성을 향상시키고 환경친화적인 작업로망의 구축을 통해 자연환경에 대한 부담을 경감시키면서 작업원에게는 작업부담이 적은 최적화된 간벌 생산재 반출작업시스템의 개발이 시급하다.

제 3장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절 간벌생산재 반출 시스템을 위한 임업기계 작업기능의 최적화 방법 개발

1. 차량계 임업기계의 작업기능 최적화

가. 임내 지표장애물과 종류와 분포에 의한 지황분류

소형 차량계 임업기계에 의한 간벌생산재 반출의 난이도는 임내의 조건에 의해 좌우되는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 임내 주행 작업지의 상황을 파악하기 위해 임내의 상황을 나타내는 인자를 다음과 같이 설정하여 측정하였다.

1) 임지의 경사도

임지의 경사도는 기본적으로 차량의 안정성과 직결되는 일차적인 요소로 20m * 20m 구획의 시험조사구내의 평균경사는 15-17°내에 분포하였고 국소적으로 급한 곳이 있었지만 대부분 약간 경사가 있는 곳으로 대부분 임내작업차의 주행이 가능한 정도의 경사분포를 가진 곳이었다. 시험 차량으로 이용된 임내작업차가 측면에 목재를 적재하는 형태로 일반적인 다른 로외차량과는 달리 등고선 주행에 있어서 매우 약한 면이 있었다. 따라서 측면적재식 임내작업차의 경우 종류에 따라 다르겠지만 정적 횡전도각을 초과하는 경사지에서의 운행은 삼가야 할 것이며 특히 경사가 있는 곳에서의 측면적재식 임내작업차의 공차주행은 매우 안정성에 위험이 되는 요소이다.

2) 입목의 밀도와 공간위치

임내에 존재하는 입목은 반드시 우회해야 하는 장애물로서 본 연구에서 고려한 조사구내의 입목의 위치와 밀도는 다음과 같다.

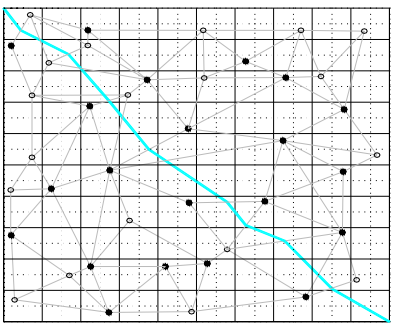


그림 3-1-1. 조사구내 입목의 분포와 차량의 우회 경로 예

<그림 3-1-1>와 같이 조사구내에 존재하는 입목(○: 벌도예정목, ●: 잔존 예정목)이 분포하는 경우 임내 작업차는 그림처럼 가상의 경로를 주행하게 된다. 또한 주행하는 공간은 대부분 입목과 입목의 중간 지점을 통과하게 된다. 따라서 주어진 구간내의 입목 밀도가 높아지면 차량은 장애물이 되는 입목을 회피해 목적지까지 주행하게 되며 이 경우 우회율이 증가하게 된다.

3) 벌도목의 밀도와 크기

조사대상지에 존재하는 벌도목이 존재하지 않아 그에 대한 조사를 하지 못했지만 당초 생각했던것과는 달리 1차간벌후 발생된 벌도목은 2차간벌이 시행될 때쯤이면 이미 어느정도 부패되어 장애물로서 작용을 하지 못하고 오히려 임지가 임내작업차에 의해 토양이 압축되거나 나지가 되어버리는 경우를 예방해주는 것을 시험기간 중에 알 수 있었다. 즉 몇몇 존재하는 부패된 벌도목은 임내작업차가 넘어가는 순간에 궤도에 의해 파괴되면서 가는 조각들로 부숴져 임내의 임상자체에고루 퍼지는 역할을 하고 있었다.

4) 근주의 밀도와 크기

조사시험구내에 존재하는 근주는 벌도목과 마찬가지로 대부분 큰 장애물 역할을 하지 못하지만 근원경이 큰 경우는 장애물로서 작용을 하고 있었다. 임내작업차의 경우 고무식 궤도를 장착하고 있었기 때문에 별 어려움 없이 넘어 갈수 있었지만 대부분의 일반적인 비장애물 코스를 주행할때와 비교해서는 그 주행시간 자체는 더 많이 소요되었다.

5) 임지표면의 지지력

임내작업차의 지표주행에 관한장애인자로서 임지표면의 지지력은 기타 인자와는 분명히 다른 성격을 가지고 있다. 경사 지표의 요철, 근주, 연석, 입목, 식생, 벌도목 등의 인자는 기하학적인 양으로 표현하는 것이 가능한데 비해서 지표지지력은 물리적인 성질에 관한 것을 가지고 있다. 또한 차량의 지표장애회피기능을 문제로 하는 경우에는 단순히 지지력의 문제가 아니라 차량의 주행성능(trafficability)이 문제가 되지 않으면 안된다. 지표지지력은 주행성을 판정하기 위한 하나의 지표로서 문제로 삼는 것이다. 즉 오프로드상의 차량의 주행성에 관해서는 군사, 토목, 농업기계의 분야에서 이미 오래전부터 검토되어져왔고 그 판정법이 확립되어 있다. 지표 지지력의 문제는 이종류의 판정법과 관련시켜서 검토할 필요가 있다. 이하에 대해서 우선 지표장애인자로서의 지지력이라고 하는 개념을 명확히 해서, 측정법에 관한 문제, 및 차량의 주행성 판정에 관한 문제등을 검토하였다.

가) 임지표면의 지지력 측정

지표지지력의 측정방법으로서 콘 관입봉 또는 평판을 관입시킨 것, 구를 토양중에 박히게 한 것, 이것을 정적으로 한 것, 동적으로 한 것 등 여러종류의 방법을 생각할수 있지만 각각의 목적에 따라 적용시키고 있다. 이것들 중에서 임내 작업차의 주행성을 간편하게 판정하는 목적을 위해서는 다음의 항에서 서술되어 있는 WES법과 관련있는 콘 페네트로메타에의한 방법이 적당한 것으로 생각된다. 이 방법에는 소정의 형상치수를 가진 콘(보통은 내각이 30°, 단면적이 6.45㎠, WES에는 0.5in2)의 관입저항을 측정해서 다음에 정한 콘 지수Ic(kgf/cm2)을 지지력으로 한다.

$$I_c = \frac{\text{관입저항}\,(kgf)}{\text{콘의단면적}\,(cm^2)}$$

여기서, 관입저항은 콘을 일정한 속도(1cm/s)으로 관입할 때의 힘으로, 보통 관입깊이와 같이 증가한다. 일반적으로 주행에 영향하는 토층(임계층)의 깊이까지의 콘지수의 평균값을 지표 지지력으로 하며, 임계층의 두께는 WES법에는 세립토(細粒土)는 15-30㎝, 모래지역에는 0-15㎝로 하고 있다. 임내에서 콘 페네트로메타에 의한 관입시험을 실시할 때 주의사항은 다음과 같다.

(1) 관입저항의 측정장소는 반드시 입목으로부터 떨어진 위치를 선택하여, 지표면상의 나뭇가지, 낙엽 등을 제거한 뒤 실시한다.
(2) 관입시험은 관입위치를 겹치지 않게 비켜서 수회 반복하여, 그 중에서 이상한 것을 제외하고 남은 측정치의 평균적인 값을 써서 콘지수를 구한다.
(3) 관입도중 콘의 선단부분이 돌 또는 초목의 뿌리에 닿았을 경우 관입저항은 큰 값을 나타내게 되는데 이때의 관입저항값은 지표지지력과는 관계없는 값이다. 특히 콘의 선단부가 돌에 맞닿아 있을 경우 콘의 선단부가 파괴되거나 변형될 위험이 있으며, 작은 뿌리와 맞닿아 있는 경우에는 뿌리를 관통한 직후에 관입저항이 급격히 감소하게 된다. 이런 경우처럼 관입저항의 증감이 분명한 측정은 이상한 것으로 판단해서 처리해도 된다.

본 연구에서 조사한 콘 관임 저항치는 다음과 같다.

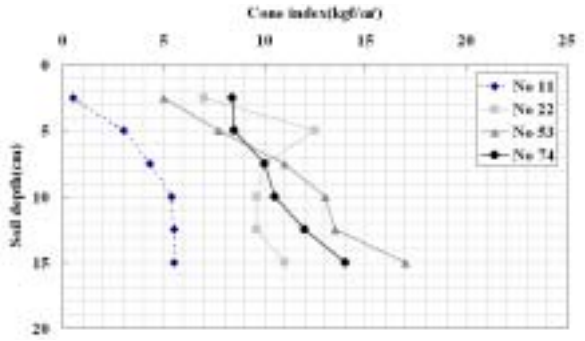


그림 3-1-2. 간벌전, 주행실험전 토양의 깊이별 콘지수 분포

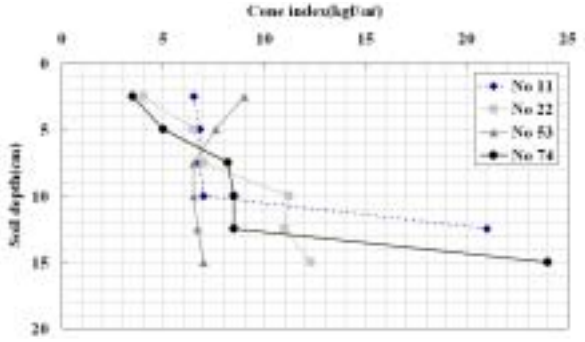


그림 3-1-3. 간벌전, 주행실험후 토양의 깊이별 콘지수 분포

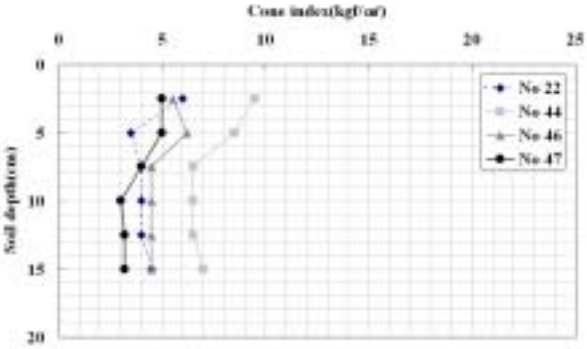


그림 3-1-4. 간벌후, 집재작업후 토양의 깊이별 콘지수 분포

나) 차량주행성의 판정

콘지수의 값으로부터 차량의 주행성을 판정하는 방법으로서 미국 육군 엔지니어 연구개발센터(ERDC)의 본부인 WES(The Waterways Experiment Station)에서 개발한 방법(WES 법 또는 Vicksburg법이라고 함)이 유명하다. WES법에는 현지측정에서 얻

어진 콘지수 Ic에 뭉침지수 R(<1)을 곱한 Ir을 평가콘지수라고 한다. 이것과 차량의 제원으로부터 정해진 차량콘지수Iv를 비교해서 주행성을 판정한다. 즉 다음과 같이 나타낼 수 있다.

Ir□□Iv 일때 50회 이상 통과 가능, Ir≈0.75Iv 일때 1~2회 통과 가능

뭉침계수 R은 일정방법으로 뭉친토양의 콘지수와 뭉치지 않은 흙의 콘지수와 비교해서 따로 실험을 해 결정한다. 차량 콘지수의 구하는 방법은 다음과 같다.

(1) 차량 콘지수(Mobility index)구하는 방법

$$I_V = \left(\frac{\text{접지압계수} \times \text{중량계수}}{\text{궤도계수} \times \text{그라우져계수}} + \text{내륜계수} - \text{지상고계수} \right) \times \text{엔진계수} \times \text{트랜스미션계수}$$

여기서, 접지압계수 = 전중량(lb)/접지면적(in2)

중량계수 중량 50,000lb 미만일 때 1.0, 50,000~69,999lb 일 때 1.2
70,000~99,999lb 일 때 1.4, 100,000lb 이상일 때 1.8

궤도계수 = 궤도폭(in)/100,그라우져계수 그라우져 높이 1.5 in 미만 일때 1.0,
1.5 in 이상 일때 1.1

내륜계수 = 전중량(lb)/(접지부 내륜수×트랙슈 하나의단면적×10)

지상고계수 = 지상고(in)/10, 엔진계수 ≧10hp/t=1.00, <10hp/t=1.05

트랜스미션계수 오토매틱 = 1.0, 매뉴얼식 = 1.05

이와 같은 식으로 구한 콘지수(CI)와 차량지수(VCI)를 비교해서 대상차량의 주행가능성을 판정한다. 단순히 차량콘지수가 콘지수와 같을때 즉 Ic=Iv일때가 주행한계로, Ic>Iv의 경우에는 주행가능하고 반대로 Ic<Iv 일 경우에는 주행 불가능이다. Ic는 어떤 깊이간격의 평균값을 구하면 되고 일반적으로는 차량에 대해서는 지표로부터 15-30㎝깊이의 토층값, 경차량의 경우에는 7.6㎝상층, 중차량인 경우에는 7.6㎝하층의 지수를 측정하는 것에 의해서 판정가능이라고 한다.

본 연구에서 설정한 조사구내에서 주행실험과 간벌 작업전, 그리고 집재작업 후에 각각 토양의 관입저항 치를 측정한 결과 오히려 콘지수가 줄어든 경향이 있다. 그러나 <그림 3-1-2>, <그림 3-1-3>, <그림 3-1-4>의 경우에는 같은 조사구내에서도 측정값의 분포가 매우 큰 것으로 보아 측정당시에 오차가 개입된 것으로 판된다. 추후에 다

시 콘페네트로메타에 의한 조사와 토양캔에 대한 조사를 병행해야 할 것으로 판단.된다.

6) 지피식생의 피복정도

차량의 운전자가 장애물의 유무판단을 어렵게 하는 인자로서 간벌 전에는 비교적 시야확보상태가 좋지만 간벌 후 수관에 의해 주행 경로 및 집재목의 유무판단이 어려웠다.

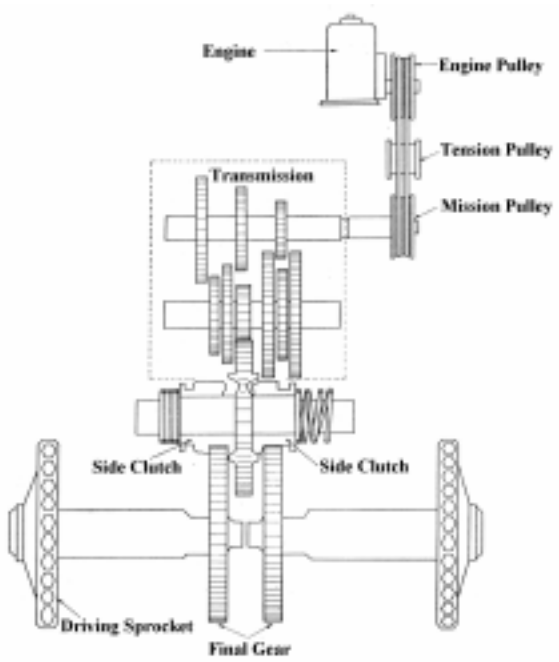
나. 임내작업차의 주행 시험과 시뮬레이션에 의한 주행궤적의 분석

1). 임내주행 시물레이션방법

이 시뮬레이션방법은 먼저 주어진 플롯내의 입목조사를 통하여 그 입목이 서있는 사이를 임내작업차가 주행하는 것으로 가정하여, 시작하는 구역을 지정해 그곳에서 작성된 다각형의 한변을 따라 차량을 모의 주행 하는 형식으로 시뮬레이션을 실시하였다. 모의 주행 및 실주행에 사용된 임내작업차는 임업용으로 일본에서 개발된 측면적재식 임내작업차로 <표 3-1-1>과 같은 제원을 가진 집재 및 간이 운재작업용 장비이다. 특히 그림과 같이 기계식 변속장치를 탑재하고 있어 비교적 동력전달 효율은 높은 장비이다. 임내작업차의 폭이 1.12m로서 입목간의 간격이 1.12m 이하이거나 회전등이 불가능하도록 입목이 밀집되어 있는 곳은 회피하여 주행하도록 하였다. 임내작업차는 입목간의 중앙을 주행하는 것에 의해 목표점으로 진행하는 것으로서, 실험지의 한쪽 구획으로부터, 대각선 방향으로 반대쪽 구획을 주행하는 것으로 하였다.

표 3-1-1. 측면 적재식 임내작업차의 제원

형 식	Yamabiko GC 557 (Chikusui Co.)	
기본제원	전장(mm)	2,170
	전폭(mm)	1,180
	전고(mm)	2,240
	운전정비중량(kg)	588
주 행 부	엔진마력	7.0 - 7.5 마력
	속도 최고	5,5km/h
	최저	1.7km/h
	변속 전진	3단
	후진	1단
베이스머신	궤도폭(mm)	250
	접지장(mm)	900
	궤도중심거리(mm)	680
윈 치	견인력(kg)	800
	정회전(m/min)	1속:13, 2속: 24
	역회전(m/min)	15
	부속 와이어 로프	Φ9mm*100m



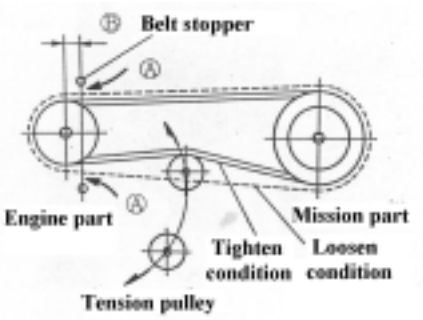


그림 3-1-5. 측면 적재함식 임내작업차와 동력전달 계통

2) 실주행궤적과 시뮬레이션에 의한 주행궤적 비교

실주행 궤적 및 시뮬레이션에의한 주행궤적을 <그림 3-1-6>과 <그림 3-1-7>에 나타내었다. 이 시뮬레이션은 임지의 경사를 고려하지 않고 단순히 평면상에서의 입목위치도에 의해서 판단을 한 것이다. 시뮬레이션에는 다각형의 한변을 주행궤적으로서 하고 있기 때문에 다소 요철이 있는 것의 경사지에 대해서도 거의 같은 형태의 궤적을 나타내고 있다. 경사가 심한 곳에서는 실주행의 궤적은 우선 사면을 등고선과 평행한 방향으로 가거나 후퇴해서 다른 경로를 찾기도 하고 본연궤서와 같이 횡적식 차량의 경우는 왼쪽이 사면 아래방향이 된 제 1플롯의 오른쪽 윗점 지점부터 아래점 지점의 경로중 까지의 오히려 차량의 안정성 때문에 경사에 직각방향으로 내려온뒤 다시 경사가 완만해 지면서 다시 원래의 주행궤적을 선택하고 있다. 그러나 시뮬레이션의 경우는 우선 가장 가까운 입목을 선택한 뒤 그곳의 중앙부분에 연결되어 있는 궤적으로 주행하고 있다. 실제 주행에 있어서는 경로의 선택하는 방법은 임내작업차의 오퍼레이터의 임황에 대한 인식 및 그것에 기반한 판단조작에 관한 것이다. 임황에 적절하게 맞추어 조절하기를 바라지만 오퍼레이타의 숙련도 및 인간의 인식 판단의 방법에 따라서 운전방향 및 속도는 달라지게 되어있다.

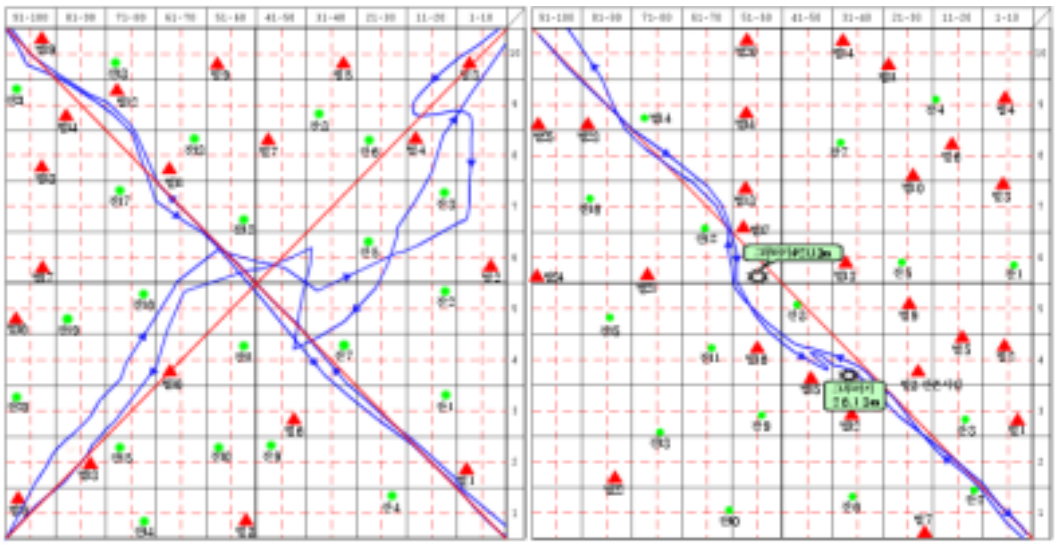


그림 3-1-6. 제 1 플롯의 실주행 궤적과 시뮬레이션 주행궤적

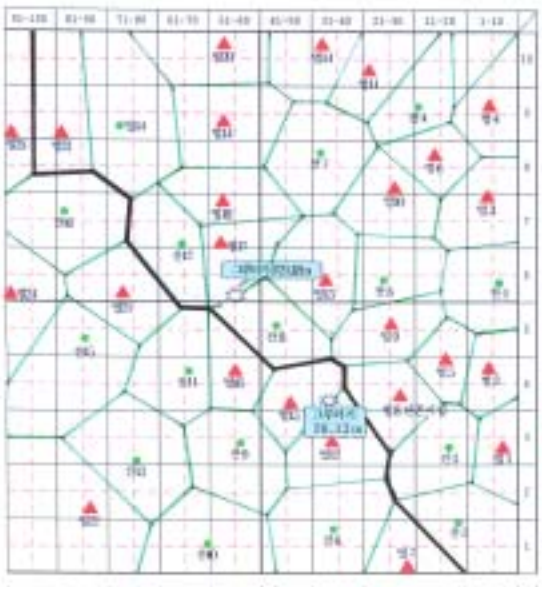


그림 3-1-7. 제 2 플롯의 실주행 궤적과 시뮬레이션 주행궤적

따라서 임내에 대한 차량의 주행조작에 대해서 검토할 필요성이 있다. 이러한 차량주행조작은 소규모 경영구조를 가진 산림에 대해서 임내작업차를 이용한 집재작업을 고려할 경우 전체적인 작업 시스템에 대한 시간 및 비용에 대한 영향을 끼치는 인자로서 작용하게 된다. 따라서 객관적인 자료를 바탕으로 임내 주행에 대한 평가를 할수 있다면 그것은 바로 올바른 공정 산출과 최적화된 작업시스템의 밑거름이 되는 자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단한다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이션을 이용한 최단 경로법에 의해 경로를 탐색하여 실주행과 비교 검토를 한 것이다. 시뮬레이션에 의한 최단 경로 탐색 및 주행평가는 주어진 임내상황에서 객관적인 자료를 토대로 주행경로를 산정하기 때문에 실주행에 의한 경로선택으로 발생하는 다양성과 오차를 어느정도 줄일 수 있어 올바른 작업 공정의 산출에 매우 중요한 자료가 될 것으로 판단 한다.

다. 소형임내작업차의 소음진동 특성 및 분석

1) 서 론

현재 산림의 관리, 목재의 생산 등에는 과거의 산림작업과는 달리 기계화가 이루어지고 있으며, 사용되는 기계도 점차 성능과 구조가 대형화 되고 있다. 특히 목재의 수확작업과 임도의 개설에 사용되는 기계는 점차 대형화되고 있으며, 규모 또한 커지고 있다.

이처럼 임업용 기계의 성능과 구조가 대형화됨에 따라 임업기계의 운전도 하나의 전

문기능으로 인식되어야 할 것이다. 운전의 전문화는 기계를 효율적으로 활용하고 관리할 수 있는 반면에, 운전자는 장기적으로 기계의 진동, 소음 등 유해한 작업환경에 노출될 수밖에 없다. 특히, 심한 진동과 소음 등에 노출되기 쉬운 차량계 임업기계의 운전자의 경우에는 장기간 임업용 차량을 운전함으로 야기되는 문제들을 검토하고 이에 대한 대책을 강구할 필요가 있다.

차량계 임업기계의 운전자에 대한 유해요소는 크게 소음, 진동, 먼지에 의한 영향으로 구분할 수 있다. 그러나 소음과 먼지 같은 경우는 대부분의 임업용 차량이 안전 캡을 적용하고 있어 어느 정도 예방을 할 수 있으나 진동에 의한 영향은 임업용 차량의 특성상 자동차와 같은 현가 장치를 설치할 수 없기 때문에 특별한 대책이 요구된다. 주행 이외의 목재의 견인작업, 적재작업등과 같이 부속작업기의 구동시 엔진 회전속도의 증가로 발생하는 진동과 함께 로외(路外)차량의 진동에 장기간 노출되었을 때의 신체이상과 작업능률의 저하 등은 이미 많은 문헌을 통해 문제점으로 지적되었다(Matthews, 1964; Rosegger, R과 Rosegger, S., 1960; Griffin과 Lewis, 1978; Howat, 1978). 이러한 승차진동에 대한 연구는 로외 차량을 중심으로, 특히 농업분야 트랙터의 운전자에 대한 연구가 주로 이루어 졌으나, 임업분야에서도 차량계 임업기계의 승차진동의 안전수준을 구명하기 위하여 Shishiuchi(1979), Wilson 등(1986), Golsse와 Hope(1987), Wegscheid (1994)와 Marsili 등(1998)는 스키더와 같은 차량계 임업기계 승차진동의 수준이 ISO 2631표준을 초과한다는 것을 보고하고 있다. 그러나 국내에서는 농업용 트랙터에 대한 승차진동 연구(정수식 등, 1992; 박홍제, 1996; 이주완, 2000)가 보고된 바 있으나 임업기계분야에서는 이에 대한 연구와 보고가 없는 실정이다. 농업용 트랙터와 같이 농경지를 주행하는 경우와는 다르게 임업용 차량은 작업 특성상 주로 임지 및 임도상을 주행하는 경우가 대부분이므로 노면으로부터 입력되는 진동의 형태 또한 다를 것으로 사료되는바, 이에 대한 승차진동에 대한 연구가 요구된다고 할 수 있다.

선진국에서는 임업용 차량 승차진동의 안전수준을 구명하기 위하여 많은 연구를 수행하여 왔으나 아직 우리 나라에서는 도입된 임업용 장비와 개발된 차량계 임업기계에 대한 승차 진동의 수준과 대책이 보고된 바 없다. 따라서 본 연구는 임업용 장비의 대형화, 운전자의 전문화에 따라 대두될 것으로 예상되는 운전자의 진동노출문제를 제기하고, 이에 대한 대책을 강구하기 위하여 시도되었으며, 그 연구의 첫 번째로 인체진동의 개념과 승차진동이 인체에 미치는 영향 및 승차진동의 여러 가지 평가방법을 문헌을 통해 고찰함으로써 차량계 임업기계분야의 승차진동 평가에 가장 적합한 평가 방법

을 제시하고자 한다.

2). 인체진동

가) 인체진동의 종류

인체진동은 진동에 노출된 인체의 부위에 따라 전신진동과 국소진동으로 구별할 수 있다. 전신진동은 신체의 전부가 진동에 노출된 경우를 말하며, 일반적으로 트랙터, 차량계 임업기계, 건설기계 등 차량의 운전자가 발 혹은 둔부를 통하여 진동을 받아 전신으로 전달되는 진동을 말한다. 국소진동은 신체의 일부가 진동에 노출된 상태로서 체인소, 착암기 등과 같이 手動力공구를 통하여 작업자의 손으로 전달된 진동과 背負式 동력방제기, 미스트기 등과 같이 등으로 전달되는 진동은 국소진동이라고 한다. 이러한 전신진동과 국소진동 시스템은 기계적인 차이가 있기 때문에 진동해석과 기준 또한 다르게 적용하고 있다.

나) 인체 진동의 특성

인체진동의 일반적인 특성은 진동의 크기, 주파수, 방향, 진동 노출시간 등으로 나타낼 수 있다. 기계적인 시스템으로서의 인체는 매우 낮은 주파수 및 작은 진동수준의 경우에는 <그림 3-1-8>에서 보는 바와 같이 자유도가 12인 선형 이산계 lumped 시스템으로 근사화 시킬 수 있다(Rasmussen, 1982). <그림 3-1-8>에서 보면 인체 각 장기의 고유진동수가 표시되어 있는데 머리의 20-30Hz, 안구는 20-90Hz, 가슴의 경우는 5 - 10Hz의 고유진동수를 가지고 있음을 알 수 있다. 이는 진동의 주파수에 대한 인체 각 부위의 민감도가 다르다는 것을 의미하며, 또한 각 부위에서는 각각의 고유진동수가 존재한다는 것을 의미한다. 따라서 인체가 어떠한 주파수의 진동에 더 민감한 것은 인체 각 부위의 반응이 복합적으로 결합되어 나타나는 것으로 볼 수 있다. 이와 같은 인체에 대한 기계적인 응답특성 이외에도 생리적 심리적 영향이 있을 수 있으므로 실제로 인체진동의 특성을 측정하거나 평가하는데 있어서는 상당한 어려움이 뒤따르게 된다.

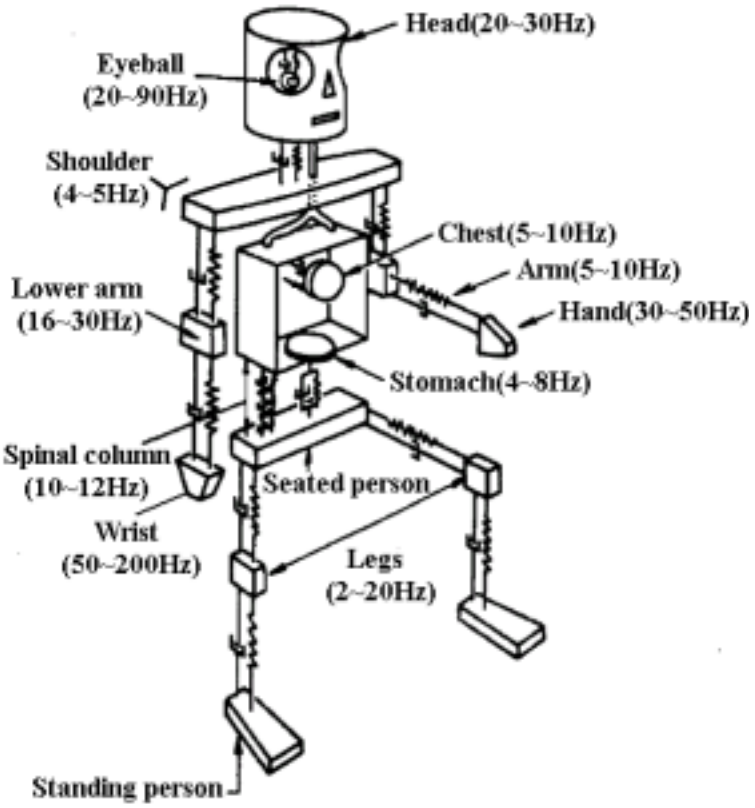


그림 3-1-8. Mechanical model of a human body

일반적으로 진동에 대한 인체반응의 영향을 주는 인자는 크게 내적변수와 외적변수로 구분 할 수 있다. 내적변수로는 연령, 성별, 키, 건강상태 등과 같은 일반적인 요인과 경험, 기대, 자극, 동기 등과 같은 감성적 요인, 그리고 자세와 행동 등이 있다. 외적변수로는 진동의 크기, 진동 주파수, 진동 축, 진동 입력 위치, 진동 발생 시간, 소음, 온도, 가속도, 불빛 등과 같은 여러 환경적 요인 등이 포함된다. 이러한 여러 인자에 대해 운전자가 감지할 수 있는 쾌적성을 넓은 의미의 진동 승차감이라고 한다. 좁은 의미의 진동 승차감에는 피칭(pitching), 바운싱(bouncing), 연속적인 노면 요철을 통과 할 때의 진동, 쉐이크 진동, 덜컹거리는 진동(harsh ride), 돌출 쇼크, 리바운드 쇼크, 하시니스(harshness) 등이 포함된다. 인체가 진동에 노출되었을 때 노출진동의 특성은 일반적으로 진동의 크기, 주파수, 방향, 진동노출시간으로 나타낼 수 있다.

(1) 진동의 크기

진동의 크기는 일반적으로 가속도로 표시하며, 이를 나타내는데는 피크-피크값, 최대

값(peak), 평균값(average), RMS(root mean square), PSD(power spectral density)등이 있다. 피크-피크값은 크기의 변화폭을 나타내는데 적합하고, 최대값은 짧은 시간의 충격을 나타내는데 유용하지만 시간에 대한 변화량을 나타내기에는 부적절하다. 반면에 평균값은 시간에 대한 변화량을 나타내지만 어떤 유용한 물리적 양과는 직접관련이 없기 때문에 실제적으로 사용범위가 국한되고 있다. RMS는 시간에 대한 변화량을 고려하고 진동의 파괴적 능력을 나타내는 에너지량과 직접 관련된 진폭을 나타내므로 진동의 크기를 나타내는 가장 일반적인 방법으로서 다음과 같이 구한다.

$$RMS = \sqrt{\lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T X^2(t)dt}$$

여기서, T = 진동노출시간

X(t) = 시간함수로 표시된 진동의 크기

또한 측정시간동안 RMS 값과 피크 값간의 비로서 나타낸 crest factor가 있다. crest factor는 진동신호의 해로운 성분 즉 충격진동과 같은 진동성분을 찾아내는데 아주 유용하다. 일반적으로 측정된 진동신호중 충격과 랜덤성분이 커지면 커질수록 이 값은 커지게 된다. PSD는 주파수 변화에 따라 진동의 크기를 나타내는데 적합하며 다음과 같이 정의된다.

$$PSD = \lim_{\Delta\to\infty} \frac{1}{\Delta f} [\ \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T X^2(t, f\Delta f)dt]$$

여기서 f, △f는 주파수 범위 f~f+△f를 나타낸다. 즉, PSD는 시간함수로 주어진 진동의 크기를 특정 주파수 대역 f~f+△f의 성분으로 분해하였을 때 그 크기의 평균제곱을 주파수대역으로 나눈 것이다.

일반적으로 진동은 가속도값으로 표현하지만 가속도의 레벨을 m/s2 로 나타낼 뿐만 아니라 데시벨(dB)로도 나타낼 수 있다. 데시벨은 10-6 m/s2 = 0dB 로서 나타낸 것으로 일반적으로 다음과 같이 정의된다.

$$L(dB) = 20\log_{10}[\frac{a}{a_{ref}}]$$

여기서 L= 진동레벨(dB), a= 측정된 가속도(m/s2), aref=기준가속도(10-6 m/s2)

(2) 진동의 주파수

인체 진동에서 중요한 주파수 대역은 대체로 3개 주파수 대역으로 구분할 수 있다. 0.01-1Hz의 초저주파, 1-100Hz의 저주파, 100Hz 이상의 고주파 대역이다. 초저주파 진동은 배나 쿠션이 좋은 버스, 고속도로의 승용차 등을 탑승할 때 노출되는 진동의 주파수로서, 현기증, 구토 등을 일으키는 멀미의 주원인으로 알려져 있다. 인체진동에서 문제가 되는 주파수는 주로 1-100Hz의 저주파이다. 이중에서 1-40Hz의 저주파 대역은 대부분 신체기관의 고유진동수와 일치하는 영역으로서 인체에 큰 영향을 미친다. 특히, 5-8Hz 대역에서는 장기, 25-30Hz에서는 안구가 공진하는 것으로 알려져 있다. Suggs(1973)에 의하면 전신진동은 4-8Hz의 주파수 영역에서 인체에 가장 민감하다고 하였으며, 이 범위는 내장(內臟)의 고유주파수와 같은 범위라고 하였다. 100Hz이상의 고주파 진동은 대체로 인체에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 알려지고 있으나 국소진동의 관심이 되고 있다.

(3) 진동의 방향

전신진동의 경우, 진동의 방향은 <그림 3-1-9>와 같이 인체의 심장을 원점으로 하여 발 또는 둔부로부터 머리방향을 z축, 등에서 앞가슴방향을 x축, 오른쪽에서 왼쪽방향을 y축으로 정의하고, z축 방향의 진동을 수직진동, x와 y축 방향의 진동을 수평진동이라고 한다.

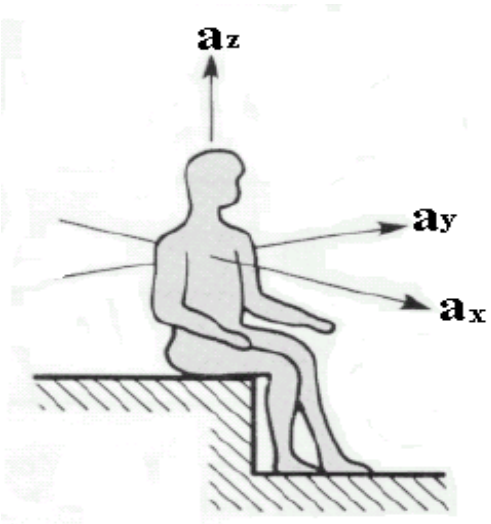


그림3-1-9. Coordinate system for mechanical vibrations influencing humans

손진동은 셋째 손가락뼈가 시작되는 점을 원점으로 하여 직경이 20㎜인 봉을 가볍게 잡았을 때 <그림 3-1-10>에서와 같이 정의한다.

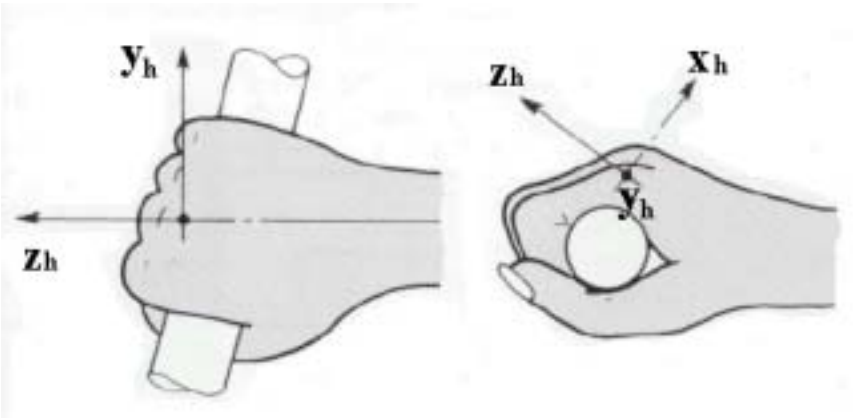


그림 3-1-10. Coordinate systems for hand-arm vibration

(4) 노출시간

인체에 대한 진동의 영향은 그 강도뿐 만 아니라 노출된 시간에 따라서도 변화한다. 따라서 진동이 인체에 미치는 영향을 평가할 때는 노출상태와 노출된 시간을 고려하지 않으면 안된다. 단속적으로 진동에 노출되었을 때는 인체의 화복과정을 고려해야만 하

며, 장시간 노출되었을 때는 인체의 적응현상도 고려하여야 한다. 예를 들면 80dB 정도의 진동에 30분간 노출되었을 때, 진동감각은 1분 이내에 거의 80%회복된다. 그러나, 현재까지의 연구결과로는 인체의 생리적 변수와 노출시간 사이에 어떠한 관계가 있는지 아직 규명되지는 않았으나(全聖鐸, 1991), 현재 ISO 2631에서는 진동에 대한 내피로한계, 쾌적한계, 노출한계에 대한 시간을 정해놓고 있다.

3) 차량계 임업기계의 승차진동 평가

가) 승차진동의 평가방법

진동에 대한 인체의 반응은 개인에 따라 상당히 다른 주관적인 특성을 나타내기 때문에 이러한 주관적인 특성을 객관적으로 평가하기 위한 방법론적인 연구가 1960년대 들어 활발히 연구되기 시작하였다. 차량 진동에 대한 인체반응을 평가하는 방법은 크게 다음의 4가지로 구분할 수 있다.

(1) 주관적 승차감 측정법

숙달된 승차감 판별관이 동일 시험로 상에서 여러대의 차량을 직접운전하면서 차량의 승차감을 평가하는 전통적인 방법이다. 주관적 승차감을 쇼크감, 바운싱, 감쇄성, 진동음, 잔 진동감 등과 같은 몇 가지의 객관적인 항목에 대한 체크리스트를 작성하여 평가한다. 이 방법은 승차감의 질을 기준으로 평가하는 것으로 따로 측정장비가 필요없고 결과를 바로 알 수 있다는 점에서 유리한 점도 있으나 승차진동에 대한 피시험자의 느낌과 반응이 다양하기 때문에 실제적으로 절대적인 수준의 승차진동을 측정하는 것은 불가능하다. 다만 상대적인 승차진동의 수준을 비교할 수 있을 뿐이다.

(2) 가진 테이블 분석법

이 방법은 테이블을 가진 시키면서 테이블 위에 있는 인체의 반응을 평가하는 방법으로서 Reiher과 Maeister(1931)는 3-7Hz의 수직방향 정현파 가진에 대한 인체의 반응을 Jacklin과 Liddell(1933)은 17세에서 27세 사이의 100명의 젊은 사람을 대상으로 의자 위에 앉힌 후 1-7Hz의 수직방향 정현파 가진을 가했을 때 응답을 조사하였다. Meister(1935)는 1935년 15면의 서있는 사람에게 8분 동안 1-70Hz의 가진을 가했을 때 응답을 조사하였고, Diekmann(1947)은 Dieckmann 계수를 통한 승차감 기준을 제시하였다. 특히 Dieckmann은 진동에 대한 인체반응을 조사하면서 수직방향과 수평방향의 두 개의 진동축에 대하여 인체반응을 연구하였다. 또한 Goldman(1948)은 7개의 진동원으로 부터 얻어지는 진동 데이터를 평균하여 주파수에 대한 가속도의 함수로 3개의 승차감 기준을 제시하였고, Janeway(1948)는 승용 차량의 진동에 대한 Janeway 계수를

제안하여 승차감 제한조건을 제시하였다. 하지만 이러한 연구들은 실제 운전조건하에서 차량운전자가 받는 불규칙 진동은 시뮬레이션 할 수 없다는 단점이 있다. 또한 피 실험자의 느낌, 나이, 실험시의 기분 등에 따라 큰 차이가 있기 때문에 승차진동의 수준을 평가할 수 있는 객관적인 방법이 되지는 못하는 것으로 판단된다.

(3) 승차감 시뮬레이터 시험법

이 방법은 shaker table 분석법보다 진보된 방법으로 실제 차량의 몸체를 탑재하여 수직방향 진동 이외에도 피치, 롤 방향의 진동을 가할 수 있도록 되어 있으며, 최근 6축가진 테이블 위에 설치된 차량 시트의 동적특성과 인체반응에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 이 방법 또한 피실험자에 대한변수 등에 의해 승차감의 평가자체가 영향을 많이 받는 단점이 있지만 진동가속도 등과 같은 객관적인 승차감을 나타내는 지표를 구할 때에는 실제의 가진상황을 재현할 수 있다는 장점이 있는 것으로 판단된다.

(4) 차량에서의 승차감 측정법

실제 운용조건을 가상한 상태로 시험을 실시하여 획득 데이타 시간-가속도 데이터와 운전자가 느끼는 승차감의 상관관계를 연구하는 방법으로 Fine(1964)은 승차진동의 수준과 차량의 가속도 사이에는 선형적인 상관관계가 있음을 보고함으로써 객관적인 방법과 주관적인 방법간의 상관관계의 가능성을 보여주었다. 또한 운전자가 느끼는 주관적인 승차감을 객관화 수치화 하기 위한 "Cross Modality" 기법이 도입되었다(Van Deusen, 1968).

나) 승차진동의 평가기준 고찰

일반적으로 승차진동에 대한 평가기준으로 제시된 주관적인 방법과 객관적인 방법들은 기본적인 원리에는 많은 유의성을 가지고 있지만 어느 하나를 절대적으로 신뢰하기에는 오류를 많이 내재하고 있다. 따라서 본 연구에서는 문헌을 통해 보고된 승차진동의 평가기준에 관한 방법들을 제시하고 고찰함으로써 임지와 임도 상을 주행하는 차량계 임업기계의 승차진동을 측정하고 평가하는데 가장 적절한 평가기준을 제시하고자 한다. 승차감에 대한 주요한 평가기준에는 다음과 같은 기준이 있다.

(1) Reiher-Meister 기준

승차감의 정량화에 대한 최초의 연구로 독일인 연구원 Reiher와 Meister에 의해 1931년에 행해졌다. 노이즈를 최소화시킨 상태에서 수평 또는 수직으로 진동하는 플랫폼을 사용하여 20-40대 연령의 25인의 피험자를 대상으로 플랫폼에 선상태와 누운 상태로 시험하였다. 실험결과 선 자세에서는 수직진동이 더 잘 감지되며, 수직진동의 지

각시점은 5-70Hz에서 90dB이고 진동레벨 112dB부터는 불쾌감을 느끼기 시작한다고 보고하고 있으나 진동의 노출시간에 대한 언급은 하지 않고 있다.

(2) Jacklin-Liddell 기준

Reiher-Meister 이후 차량승차시 느끼는 불쾌감에 관한 연구는 Purdue 대학의 Jacklin과 Liddell에 의해 수행되었다. 움직이는 자동차와 제어가능한 의자 또는 프랫폼 위에 앉아 있는 사람의 진동반응에 관한 연구를 주로 수행하였는데 피험자는 쿠션이 없는 딱딱한 의자를 사용하였다. 반응응답은 Jacklin에 의해 느낄수 있는(perceptible), 불편한(disturbing), 불쾌한(uncomfortable)로 분류하였는데 다음과 같은 상수값에 의해 승차감을 나타내었다.

$$K = Ae^{0.6f}$$

여기서 K= 승차감 지수, A=최대가속도(ft/sec2), e=자연대수, f=진동주파수(Hz)

(3) Janway 기준

수직 정현파 진동에 대한 인체반응의 실험결과를 이용하여 승차진동에 대한 Janeway 한계기준을 제시하였다. 다양한 승차감 한계곡선은 다음 식으로 표시 될 수 있다.

$$J = af^x$$

여기서 J=Janeway 한계기준, a=진폭(in), f=주파수(Hz), x= 1~3까지의 지수

주파수 범위에 따라 승차진동에 대한 Janeway 한계값은 다음과 같다.

(가) 1~6 Hz Low-frequency range

$af^3 = 2$: 가속도의 시간변화율에 비례, 최대 jerk 값 40ft/s2/s

(나) 6~20 Hz Low-frequency range

$af^2 = \frac{1}{3}$: 가속도에 비례, 최대가속도가 0.033g 보다 작을 경우

(다) 20~60Hz Low-frequency range

$af = \frac{1}{60}$: 속도에 비례, 최대 속도 한계가 0.105 in/s

저주파 범위에서 불쾌감을 느끼기 시작할 때와 극도의 불쾌감을 느끼기 시작할 때의 J는 각각 J=2.8 과 J=9.6이다.

(4) Sperling 기준

Helberg와 Sperling이 1941년 철도차량의 승차감에 대해 평가하였다. 승차감 평가기준으로 ca3f5를 고려하였는데 이때 c=9792.63이다. 다음 식과 같이 실질적인 승차감 지수를 제안하였다. <표 3-1-2>은 제안한 승차감 지수에 대한 승차감의 분류를 표시한다.

$$W_z = 2.7 \sqrt[10]{a^3 f^5 Ff} = 0.896 \sqrt[10]{\frac{A^3}{f} Ff}$$

여기서 a= 진폭(mm), f=주파수(Hz), A= 가속도 진폭(cm/s2), Ff=수정계수

표 3-1-2. Classification of comfort zones(Sperling)

S	Definition
~ 1.0	Very good
1.0 ~ 1.5	Almost very good
1.5 ~ 2.0	Good
2.0 ~ 2.5	Almost good
2.5 ~ 3.0	Desirable limit for passenger vehicles
3.0 ~ 3.5	Barely satisfactory
3.5 ~ 4.0	Tolerable for service Desirable limit for goods vehicles
4.0 ~	Intolerable

(5) Mauzin-Sperling 기준

움직이는 플랫폼 moving platform과 다양한 종류의 차량에 대해 승차감 테스트를 수행하였다. 동일한 주파수대에서 수직가속도는 횡방향 가속도의 √2배 장도와 동일한 승차감 지수를 가진다. Mauzin과 Sperling은 객차의 승차감은 피로시간 fatigue time이 대략 6시간 정도인 것이 일반 승객들에게는 적절하다고 제안하였다. 화물열차의 경우는 대략 45분 정도이다.

(6) Dieckmann 기준

인간의 몸을 복잡한 진동계로 고려하였다. Dieckmann은 진동하는 플랫폼위에 서있는 사람의 머리, 어깨, 엉덩이에 가속도계를 부착하여 프랫폼의 가속도 진폭을 100%로 하였을 때 저주파역에서는 머리와 엉덩이부위의 진동은 플랫폼과 유사하지만 4~5Hz 범위에서 공진이 발생하며, 고주파 영역에서는 플랫폼의 진폭보다 작아지며, 120Hz 이상의 고주파 영역에서는 거의 모든 진동은 인체에 흡수되는 것을 보고하였다. 순수한 조화함수진동에 대한 승차감 지수는 다음과 같이 수식으로 표시할 수 있다.

$$K = af^2 \quad 0 \quad f \quad 5Hz \ : \ acceleration\text{에의존}$$

$$K = 5af \quad 5 \quad f \quad 40Hz \ : \ velocity\text{에의존}$$

$$K = 200a \quad 40 \quad f \quad 200Hz \ : \ amplitude\text{에의존}$$

여기서, a = 승차진동의 진폭(mm), f= 주파수(Hz)

Dieckmann은 진동을 인식할 수 있는 한계 값을 K = 0.1로 하고, 참을 수 없는 최고 값을 K = 100 으로 설정하여 K값의 범위에 따라 <표 3-1-3>와 같이 승차감을 표시하였다.

표 3-1-3. Classification of comfort zones(Dieckmann)

K	Definition
~ 0.1	Imperceptible
0.1 ~ 0.3	Just noticeable, not uncomfortable
0.3 ~ 1.0	Distinctly perceptible, slightly uncomfortable
1.0 ~ 3.0	Slightly disagreeable, annoyong
3.0 ~ 10	Disagreeable, fatigue time 1 hr.
10 ~ 30	Very disagreeable, fatigue time 10 min.
30 ~ 100	Exceedingly disagreeable, fatigue time 1 hr
100 ~	Intolerable

(7) ISO 2631

국제 표준기구(International Standard Organization, ISO)에서는 인체진동에 대한 실험결과를 이용하여 수평 및 수직진동에 대한 인체의 전신진동 노출한계로서 ISO 2631 "Evaluation of human exposure to whole-body vibration"을 제정하였다. 이 ISO 규정은 한계기준을 운전자의 안전 및 건강을 기준으로 한 노출한계(Exposure limit), 작업의 효율성을 기준으로 작업능률을 저해시킬수 있는 위험시간에 대한 기준을 제시한 내피로 한계(fatigue decreased proficiency boundary), 편안함을 기준으로 한 쾌적한계(reduced comfort boundary)로 구분하였다. 쾌적한계는 작업환경하에서 식사, 독서, 글쓰기 등과 같은 작업을 수행하기 어려운 한계치를 의미한다. 각각의 노출한계는 1분에서 24시간까지 작업시간별로 구분하여 1-80Hz 범위에서 1/3옥타브 필터를 사용하여 중심주파수에 대한 가속도의 주파수 가중 평균 제곱근(frequency-weighted r.m.s.)으로 표시하였다. <그림 3-1-11>는 각각 수평 및 수직 진동에 대한 ISO 2631의 내피로 한계를 나타낸 것이다.

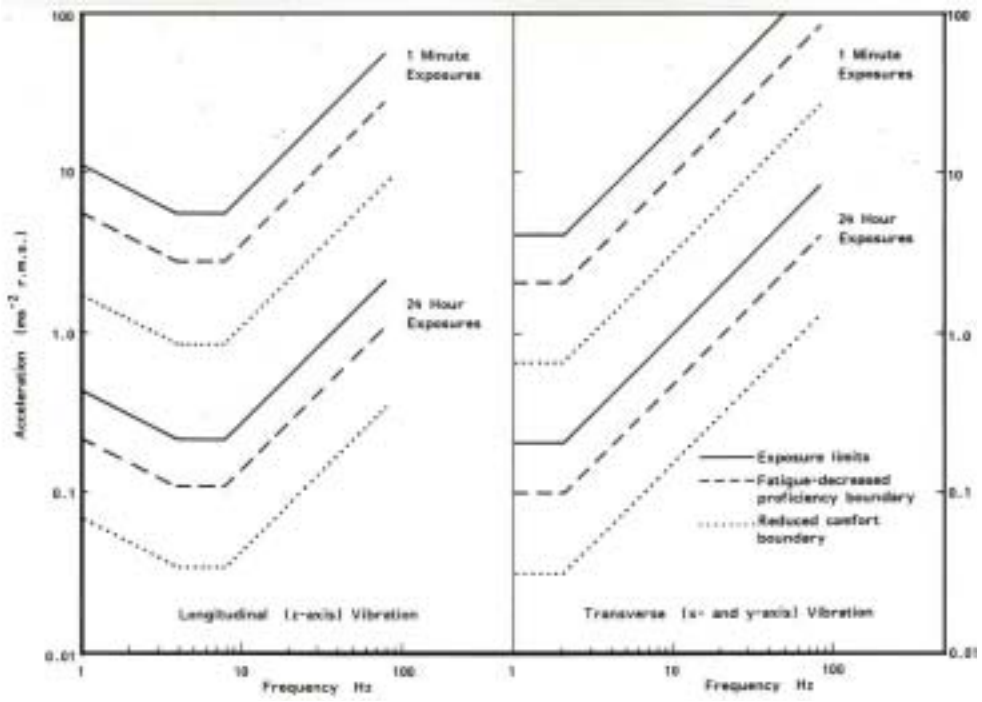


그림 3-1-11. The exposure limits, fatigue-decreased proficiency boundaries and reduced comfort boundaries for 1 min and 24h exposures to whole-body vibration as given in ISO 2631

ISO 2631의 특징은 각 주파수에 대한 인체의 민감도가 고려되어 있으며, 수직진동인 경우에는 4-8Hz 영역에서, 수평진동의 경우에는 2Hz이하의 주파수 영역에서 노출한계가 가장 낮다. 또한 ISO 2631은 1-80Hz의 진동수에 대해서만 적용될 수 있으며, 1Hz 이하나 80Hz 이상의 진동 혹은 회전 진동에 대한 노출한계는 아직 정해져 있지 않다. ISO 2631에서 쾌적한계와 노출한계는 내피로 한계로부터 구할 수 있다.

$$\text{쾌적한계} = \frac{\text{내피로한계}}{3.15(10dB)}, \quad \text{노출한계} = 2.0(6dB)\times\text{내피로한계}$$

만약, x, y, z,축의 진동에 동시에 노출되었을 경우에는 다음과 같은 방법으로 가중가속도의 합을 구하여 사용한다.

$$a=\sqrt{(1.4\times a_x)^2+(1.4\times a_y)^2+a_x^2}$$

여기서, $a_i=i$방향의가중가속도, $i=x,y,z$

ISO 2631은 승차진동을 평가하는데 적용할 수 있는 가장 보편적인 기준으로서, 국제적으로 인정을 받고 있으나 다음과 같은 단점이 있었다.

(가) 1시간의 노출시간에 대한 쾌적한계와 내피로 한계수준이 너무 높다.

(나) 신체의 크기, 피로의 정도 등 개인 적인 차이가 고려되고 있지 않다.

(다) 각 진동축에 대한 진동의 영향을 단순한 선형결합으로 가정하였다.

(라) 편안함, 작업성능, 건강과 안전을 기준으로 한 서로 다른 한계수준에 대하여 동일한 형태의 주파수 가중치를 사용하였다.

(마) 노출시간과 진동사이의 상충효과를 뒷받침할 만한 실험적 근거가 미약하다.

그러나 최근 ISO 2631의 개정판 “Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, ISO 2631-1:1997(E)”에는 이러한 부분에 대한 보완과 진동과 진동의 크기 및 노출시간과의 상관관계를 VDV(Vibration Dose Value)를 도입함으로써 정량화하고 있다.

(8) BS 6841

영국에서는 ISO 2631을 보다 발전시켜 건강, 행동제약, 불쾌감, 진동의 인지확률과 멀미 발생빈도에 관련된 진동과 반복적인 충격에 대해 인체반응을 정량화 하려는 방법을 BS 6841 "Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock"을 통해 제시하였다. 진동의 구체적인 한계는 제시하지 않았지만 한계 값으로 사용할 수 있는 방법을 제시하였다. ISO 2631과 마찬가지로 주파수 가중함수를 사용하였는데 진동 축과 사용주파수 대역에 따라 다른 주파수 가중함수를 사용하도록 되어있다<그림 3-1-12>. 실험적으로 진동에 관한 노출정도가 커질수록 신체 손상도 커짐을 알수 있었다. 진동과 진동의 크기 및 노출시간과의 상관관계는 VDV(Vibration Dose Value)를 계산함으로써 정량화 할 수 있으며, 수식은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$VDV = [\int_0^T a^4(t)\,dt]^{\frac{1}{4}}$$

여기서, VDV : Vibration dose value (m/s1.75)

a(t) : 주파수 가중 가속도

T : 진동 노출시간

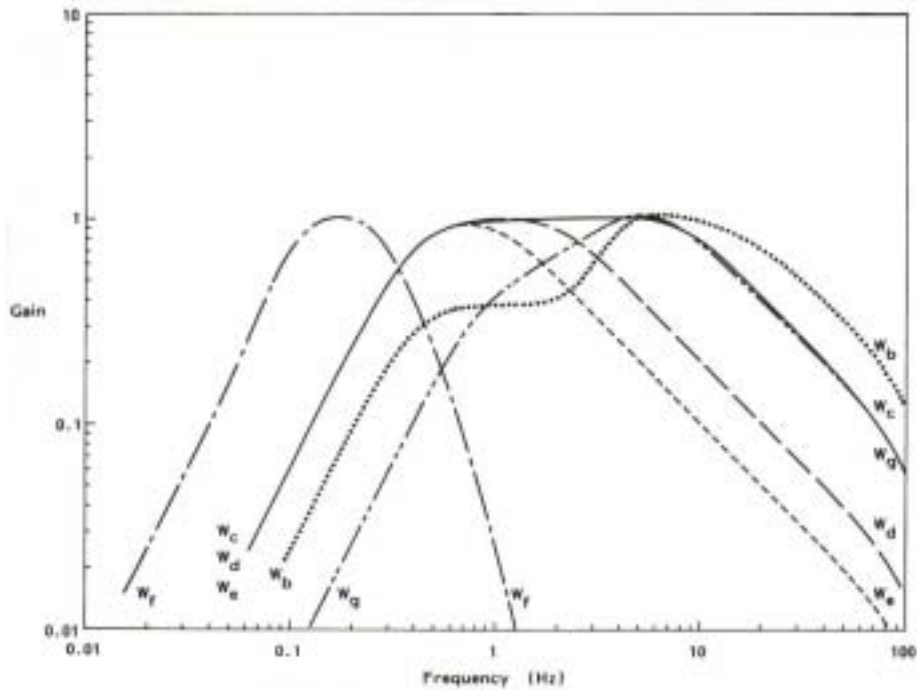


그림 3-1-12. Acceleration frequency weightings defined BS 6841

crest factor 가 6.0 보다 작을 때 VDV를 평가하기 위하여 estimated vibration does value를 사용한다.

$$eVDV = [(1.4 \times a_{rms})^4 \times b]^{\frac{1}{4}}$$

여기서, eVDV : estimated vibration dose value (m/s1.75)

a_{rms} : 주파수 가중 근 가속도

b : 총 진동 노출시간

crest factor 가 6.0 보다 클 때에는 root-mean-quad 값이 r.m.s. 값보다 동일한 기간의 운동에 대한 불쾌감을 보다 정확하게 예측할 수 있다.

VDV를 평가하기 위하여 estimated vibration does value를 사용한다.

$$r.m.q. = [\frac{1}{T}\int_0^T a^4(t)\,dt]^{\frac{1}{4}}$$

주파수 가중 r.m.s. 가속도의 크기에 따른 대략적 분류는 다음과 같다.

표 3-1-4. Classification of comfort zones(BS 6841)

a_{rms}(m/s^2)	Description
~ 0.315	not uncomfortable
0.315 ~ 0.63	a little uncomfortable
0.5 ~ 1.0	fairly uncomfortable
0.8 ~ 1.6	uncomfortable
1.25 ~ 2.5	very uncomfortable
2.0 ~	extremely uncomfortable

0.1 ~0.5Hz 의 주파수 대역에서는 구토와 멀미를 일으키고 얼굴이 창백해지며 식은땀을 흘리는 등 머리현상(kinetosis, motion sickness)라 불리는 증상이 발생한다. 이는 주로 수직방향 진동에만 의존하며 Wf의 단일 주파수 가중함수가 사용된다. 이 경우 다음 식에 의해 그 양을 정량화시킬 수 있다.

$$MSDV_z = [\int_0^T a^2(t)\,dt]^{\frac{1}{2}}$$

여기서, MSDV : motion sickness dose value (m/s1.5)

a〔t〕: 주파수 가중 가속도

T : 총 진동 노출시간

그러나 현재 BS 6841에서 제시하고 있는 여러 기준은 최근 개정된 ISO 2631(1997)부터는 이러한 기준들이 함께 제시되고 있어서 두 표준은 여러 기준이 매우 유사하다고 볼 수 있다.

(9) 흡수동력

진동 하에서 인체는 탄성 또는 비탄성 형태의 반응을 나타내게 된다. 진동 에너지가 탄성체인 인체를 변형시키면 치수변화가 발생하고 이에 따라 인체를 원위치로 복귀시킬려고 하는 복원력이 발생하게 된다. 이 과정에서 행하여진 일과 외력이 균형을 이루게 된다. 결국 인체의 탄성으로 인하여 변위에 따른 복원력이 생기게 되고, 인체에 전달되어진 에너지가 소멸 할 때까지 인체의 진동은 계속되게 된다. 인체에 전달되어지는 에너지의 시간변화율을 흡수동력(absorbed power)라고 한다. 흡수동력의 개념은 1963년 1월 U. S. Army TACOM에서 인체 반응을 예견하기 위한 강한 필요성을 느껴 기초연구를 시작한 이래 Fred, Pradko(1966)등에 의해서 정립되었다. Park와 Wambold(1976)은 진동에 의해 인체에서 배출되는 에너지와 버스 승객의 반응과 상관관계가 있음을 보고하였으며 인체의 흡수에너지와 승차감 사이에는 분명한 상관관계가 존재한다고 하였다.

이 개념은 주파수 스펙트럼을 알지 않고도 시간 영역에서 인체의 전달 함수를 이용하여 입력만으로도 승차감을 하나의 수치로 정량화 시킬 수 있다는 잇점이 있으며, 또한 스칼라값이므로 다 자유도를 갖는 입력의 경우에는 각 자유도에 대한 값을 더함으로써 전체의 값을 쉽게 구할 수 있다.

일반적으로 흡수동력의 단위로는 와트(watt)를 사용하며, 군용 기동 장비의 경우에는 승무원의 한계치가 각 방향에서 6~10 watt로 설정되어 있고, 0.5~1.0 watt 범위에 있을 때는 매우 안락감을 느끼게 된다. 흡수동력은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{av} = \sum_{i=0}^{n} K_i A_{i\ rms}^{\ 2}$$

여기서, Ki = 주파수 I의 진동에 대한 흡수동력계수(N · s3/m)로서 다음식과 같이 계산된다.

$$K_i = K_1 K_0 \frac{(F_1 F_4 - F_2 F_3)}{(F_3^{\ 2} + \omega^2 F_4^{\ 2})}$$

여기서, A i rms = 주파수 가중 r.m.s. 가속도

K1 = 단위환산계수 (1.356)

K0, F1, F2, F3, F4 = 실험적으로 결정되는 상수

승차진동을 시간함수로 나타내었을 때 흡수동력은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$Absorbed \quad Power(AP)_{avg} = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T F(t) \times V(t) dt$$

여기서, F(t) = 입력한 힘(F),

V(t) = 입력한 속도(L/T)

따라서 흡수동력은 힘이 작용하는 지점에서 힘과 속도를 측정함으로써 구할 수 있다. 흡수동력은 승차감에 대한 주관적인 평가로서, 절대적인 승차진동의 수준을 나타내기는 어려우나 진동형식, 강도, 주파수 성분, 몸의 방향과 자세 등을 모두 고려해서 승차감을 나타낼 수 있는 값이다. 수직진동으로부터 흡수동력의 6 watt 레벨에 대한 흡수동력의 한계는 1970년대 초반 차량의 속도와 진동에 대한 승차 한계 레벨 결정을 위해 미군에 의해 사용되어졌다. Murphy 와 Ahmad(1986)은 미군이 조사한 로외차량 운전자들의 주행속도가 수직진동이 흡수동력 레벨 6watt 또는 그 이하의 레벨이었음을 확인하였다. 미군이 승차조건에 대한 한계를 설정할 때 흡수동력 6watt 레벨을 사용한다는 사실은 흡수동력 6watt 레벨이 군용차량이 주행하는 off-road와 노면이 상태가 유사한 산림지역의 임업기계 승차진동의 평가 기준으로써 가능성이 매우 크다고 할 수 있다.

(10) Cross modality technique

Van Deusen(1968)는 실제 운용조건을 가상한 상태로 시험을 실시하여 획득데이타 시간 -가속도 데이터와 승무원이 느끼는 승차감의 상관관계를 연구하는 방법으로 Cross modality technique 이 주관적인 승차감을 측정하는데 의미가 있다고 보고하였다. 구체적인 방법은 다음과 같다.

(가) 주관적 측정 : 여러명의 승차감 판정관이 동일한 차량에 대해 프루빙 그라운드에 있는 여러 가지 노면을 주행한 뒤 승차감을 체크

(나) 객관적 측정 : 가속도 데이터 측정

(다) 상관관계 : 주관적 판단을 기록된 가속도 데이터와 비교분석

이와 같은 방법으로 도로 주행 실험결과를 이용하여 저크(jerk)와 가속도는 주관적인 피 실험자의 반응과 좋은 상관관계에 있었으나 속도와는 관계가 없음을 보고하였다. 그러나 실제적으로 승차감 평가에 적용하기에는 상관관계의 변동폭이 변수별로 차이가 큰 것으로 판단된다.

(11) NASA 승차감 산출모델

NASA에서는 정량화된 승차감 지수를 얻기 위하여 1970년대 중반부터 Leatherwood를 중심으로 단축 및 다축의 진동이 인체에 미치는 영향에 대하여 직접 피험자를 대상으로 연구하였다(Thomas, 1979). 각 진동별 불쾌감을 정량화시키고 이에 따라 전체 불쾌감을 지수를 계산하였다. 불쾌감의 단위는 DISC 단위로 나타내고 있다. <그림 3-1-13>은 DISC단위와 승객이 느끼는 불쾌감을 백분율로 표시한 그림으로서 1 DISC는 진동환경에 있는 사람중 대략 50% 정도가 불쾌감을 느끼는 상태를 의미하며, 3DISC 정도에서는 거의 모든 승객들이 불쾌감을 느끼게 됨을 의미한다.

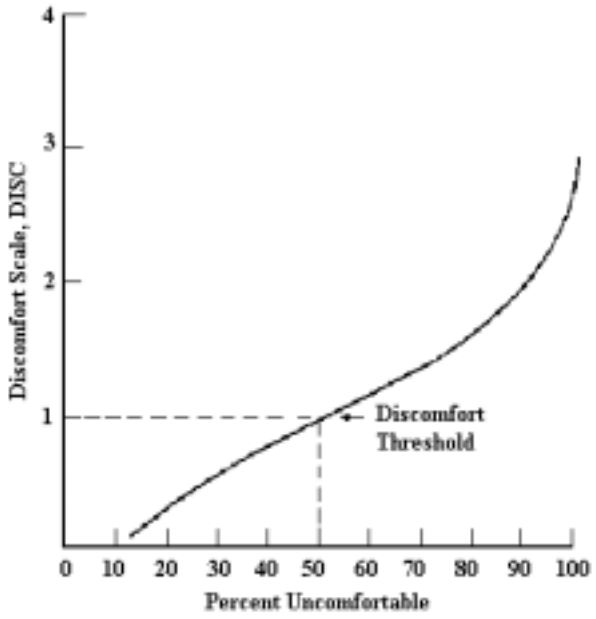


그림 3-1-13. Discomfort, DISC, as a uncomfortable index

4) 결론

본 연구는 차량계 임업기계의 승차진동문제에 대한 문제점과 연구의 필요성을 제기하고 인체진동의 개념과 승차진동이 운전자에게 미치는 영향, 인체진동의 평가기준 등을 문헌을 통해 고찰하였다. 차량계 임업기계의 승차진동을 평가하는데 사용할 수 있는

방법은 ISO 2631-1 □□Evaluation of human exposure to whole-body vibration□□와 흡수동력이 적절할 것으로 판단된다. 흡수동력의 경우 국제적으로 인정된바가 없지만 차량계 임업기계의 승차진동을 기준치 이하로 유지하는데 필요한 차량의 제한속도 결정에 ISO 2631-1과 비슷한 경향을 나타내고 있고 측정 또한 기존의 방법과 유사하기 때문에 그 적용 가능성이 크다고 할 수 있다. 또한 Murphy와 Ahmad(1986)이 제시한 다음의 관계식을 이용하면 쉽게 흡수동력의 단위로 표현하는 것이 가능하다.

$$P = 1.57(a)^{2.051}$$

여기서 P=흡수동력(watt), a=가속도(m/s, RMS, ISO 2631 weighted vertical)

또한 국내의 경우 현재 ISO 2631-1과 내용 면에서는 같은 KS B 0710-1 □□인체 피폭 전신 진동의 평가□□가 2001년 1월 6일에 제정되었기 때문에 이것을 활용하는 것도 바람직하다.

라. 임내상황과 차량의 안정성 측정 및 소음 진동 측정

차량계 임업기계의 안정성 및 등판한계 등이 차량의 작업성능으로 표현되지만 그 이외에도 차량 자체의 구조적인 문제와 엔진의 소음 및 임지의 노면 상태에 의해 소음과 진동이 발생한다. 이러한 소음과 진동은 소형 차량계 임업기계의 또 다른 성능으로서 표현할 수 있다. 소음과 진동에 의해 작업자의 작업효율이 영향을 받기 때문이다. 따라서 현재 사용되고 있는 차량계 임업기계 운전자의 진동과 소음노출문제를 제기하고 그에 대한 문제점을 해결하기 위해, 인체진동의 정의와 측정방법을 소개하고, 승차진동과 작업소음의 측정 분석을 통해 진동과 소음이 노면의 조건 및 차량의 주행속도에 따라 운전자에게 어떤 영향을 미치는가에 대해서 분석하였다.

1) 소음 진동측정 시스템

가) 좌석 진동계

본 연구에서 사용한 승차진동측정센서는 수직(Z), 수평방향(X-Y) 3축의 가속도를 측정할 수 있고, 좌석에 장착하여 사용할 수 있는 것으로 ISO 10326－1(1992)와 SAE J1013(1974) 등의 조건을 만족하고 있으며 저주파의 응답특성이 좋은 charge type의 가속도계가 내장된 것을 사용하였다.

나) 자료수집장치

좌형진동계를 통해서 나온 Analog 신호를 증폭시키기 위해서 사용된 앰프는 응답주파수 범위 0.1Hz~100kHz의 것을 사용하였다. 앰프를 통해서 출력된 가속도 신호를 분석하기 위해 동적 신호분석기(NI 4552 for PCI, National Instruments Co.)를 사용하였다. 이 장치는 컴퓨터 본체에 삽입하여 사용하는 카드 형태의 분석기로서 최대 샘플링 주파수가 204.8kHz로 진동과 같은 동적인 시스템의 해석에 적합하다. 그러나 본 연구에서는 앰프를 통해 나온 가속도 신호를 직접 분석하지 않고 DAT방식의 레코더에 저장한 후 실험실에서 분석시 재생하여 가속도 신호를 분석하였다.

2) 좌석진동의 측정방법

승차진동을 측정할 때 운전자의 승차 자세는 보통 운전할 때와 동일한 자세를 취하도록 하고 양손은 조향핸들을 잡고, 정면을 주시하는 자세를 취하도록 하였으며 주행중의 승차진동을 정해진 코스를 따라 주행하면서 측정하였다. 주행중의 속도는 엔진회전수를 고정한 상태에서 전진 1속, 2속 3속에 대해서 측정을 실시하였으며 작업로와 같이 상대적으로 위험한곳이나 입목이나 지표장물이 있는 임내 주행시에는 2속까지만의 승차진동을 측정하였다. 소형임내작업차가 주행할 수 있는 최고 속력을 3등분하여 고, 중, 저의 3단계로 구분하여 실시하였다. 또한 적재함의 적재유무에 따른 측정을 따로 실시하였다. 데이터의 수집은 주행속도가 실험속도 수준으로 안정되고, 운전자의 자세가 안정되었다고 판단되었을 때 데이터 레코더의 데이터 수집 시작신호를 보내어 시작하였다. 측정은 한 수준에서 세 번씩 반복해서 데이터를 얻도록 하였다.

3) 소음측정시스템

소형임내차의 주행시와 정지시에 운전전자에게 노출되는 소음의 양을 정확하게 측정하기 위해 정밀소음계의 마이크로폰을 <그림 3-1-14>와 같이 운전자의 헬멧에 고정시켜 실제 운전자가 청취하는 귀에 가장 가까운 곳의 소음을 측정하였다. 측정된 자료는 현장에서 직접기록을 하였고, 주파수 특성을 분석하기 위한 데이터는 따로 데이터 레코더에 기록 저장 후 분석을 실시하였다.

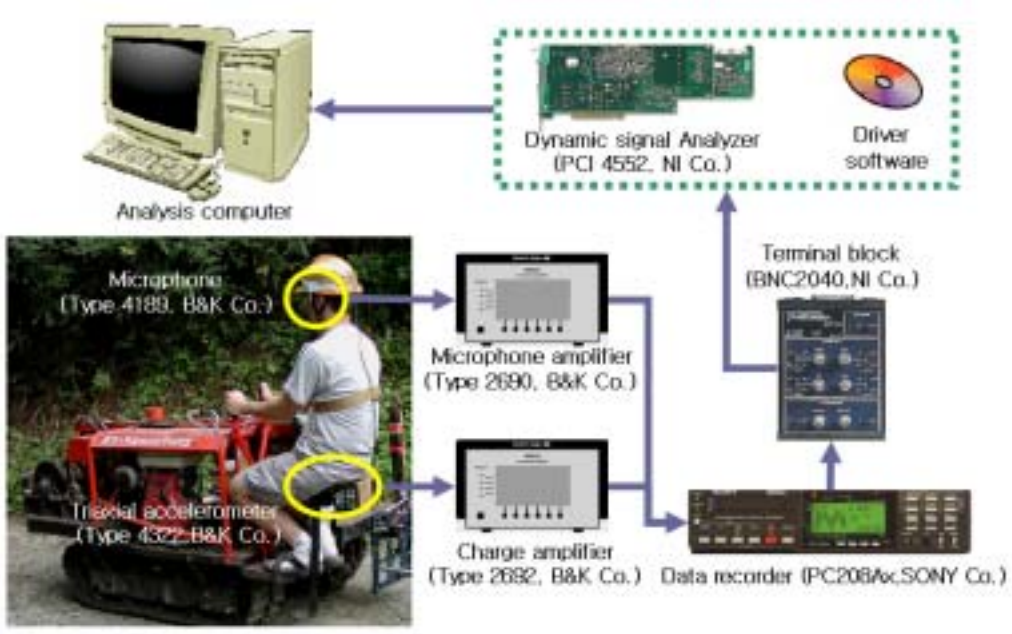


그림 3-1-14. 소음 진동 측정 및 분석 시스템

4) 측정데이타의 분석 및 평가

측정한 소음과 진동데이터는 LABVEIW Software Package를 이용하여 분석하였다. 먼저 진동의 경우 측정한 3반복의 데이터를 시간함수로써 나타낸 후 그 중에서 가장 명확하고 단절과 이상이 없는 것을 선택하여 분석할 데이터 영역을 결정하고 data streaming을 통해 분석에 사용되는 컴퓨터에 저장한후 다시 FFT를 거쳐 시간영역의 데이터를 주파수 영역의 데이터로 변환하였다.

<그림 3-1-15>, <그림 3-1-16>, <그림 3-1-17>는 각 노면 조건별로 공시 임업용 임내작업차의 주행속도별 진동특성을 분석한 결과 이다. 포장이 잘된 콘크리트 노면에서의 진동 레벨이 가장 작았으며, 축별 진동 해석결과 전후 좌우 방향의 가속도는 ISO 2631-1의 8시간 내피로 한계를 10Hz 이하의 구간에서 초월하고 있는 것으로 분석되었다. 수직방향의 경우에는 4-12.5Hz 구간에서 2.5시간 내피로 한계를 초월하고고 있다.

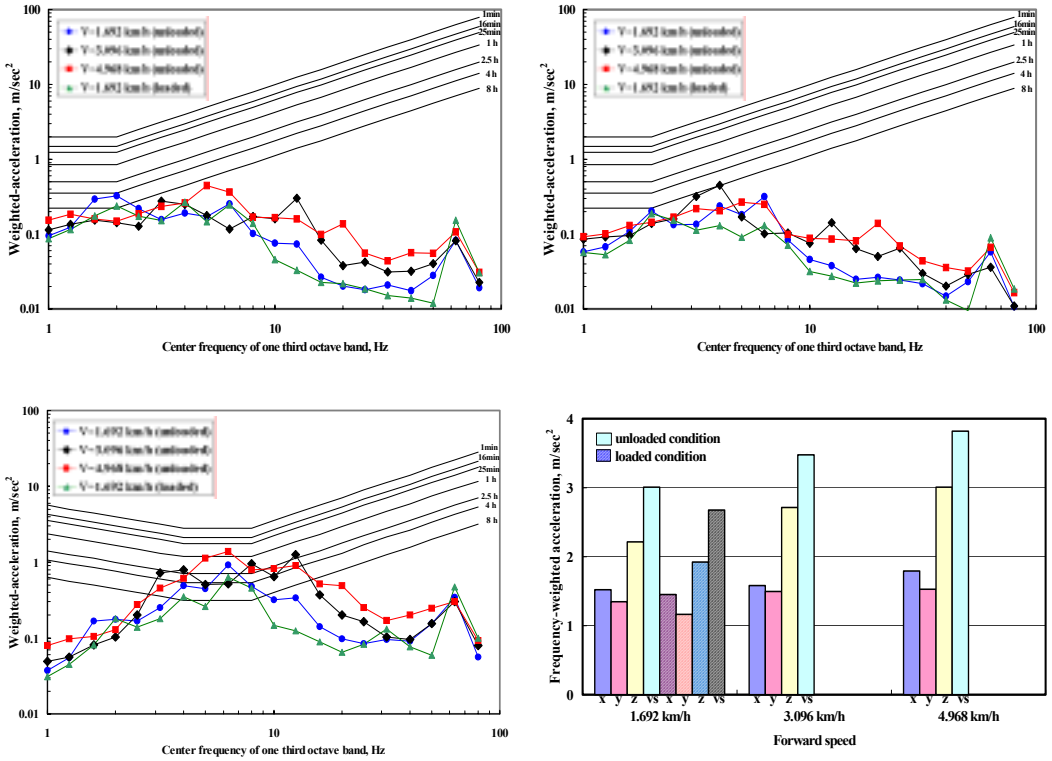
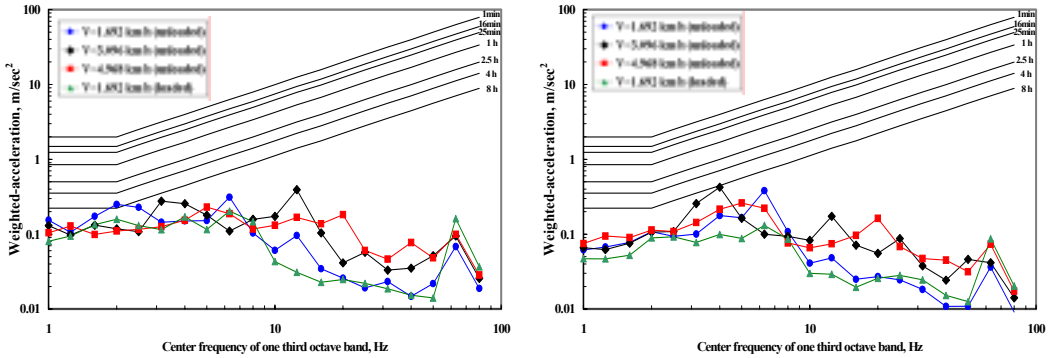


그림 3-1-15. 작업도의 축방향별 진동분포 및 적재조건에 따른 분포



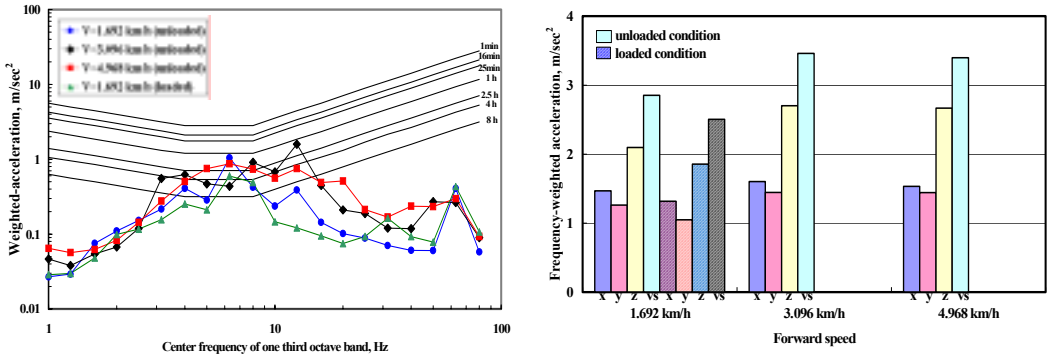


그림 3-1-16. 콘크리트 노면의 축방향별 진동분포 및 적재조건에 따른 분포

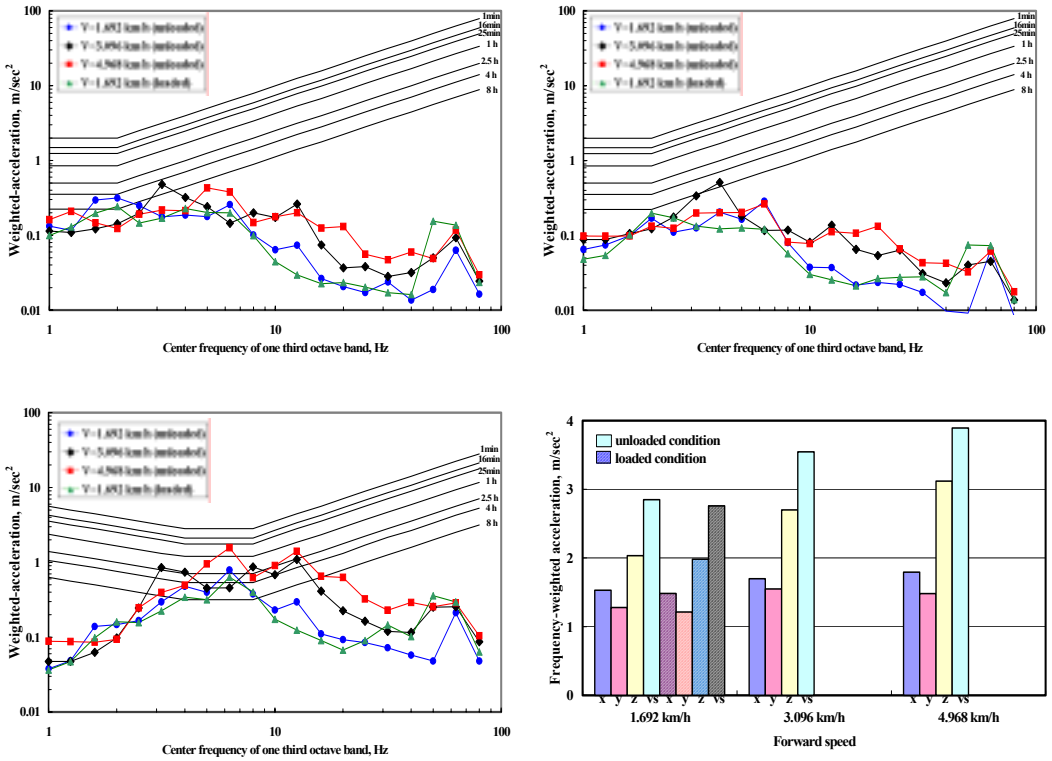


그림 3-1-17. 임도의 축방향별 진동분포 및 적재조건에 따른 분포

마. 산림작업의 노동부담개선을 위한 차량형 임업기계의 승차지동 평가

1) 서론

현재 산림의 관리, 목재의 생산 등에는 과거의 산림작업과는 달리 기계화가 이루어지고 있으며 사용되는 기계도 점차 성능과 구조가 대형화 되어가고 있다. 특히 목재의 수

확작업과 임도의 개설에 사용되는 기계는 점차 대형화 되어가고 있으며 규모 또한 커지고 있다.

특히 근래에 들어서는 임업기계가 성능적인 면에서도 크게 향상되어 과거와는 달리 매우 효율적으로 산림관리 및 수확작업등을 수행하고 있으나 운전자의 작업환경 측면에서는 여러 문제점을 발생시키고 있다. 이러한 차량형 임업기계가 산림 작업환경이나 운전자에게 미치는 여러 가지 요인중 가장 대표적인 것으로 진동을 들 수 있는데 이것은 기계 자체의 구조물 등에 영향을 미칠 뿐만 아니라 좌석 등을 통해 전달되어 운전자에게 전신진동으로 인한 여러 질병을 야기 시키고 있다. 이러한 전신진동과 인체와의 관계는 차량운전자의 앉은 자세와 선 자세에 대한 비교 연구를 통해 독일의 의학저널에 처음으로 보고되었다. 미국의 경우는 1960년대 Wright - Patterson 공군기지에서 전신진동에 대한 연구가 광범위하게 진행되었고 미국 국립 산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서는 1971년부터 1984년까지 버스운전자, 트럭운전자, 중장비운전자 등 여러 직업군에 대한 역학 연구를 수행하였다.

임업기계와 같은 로외(路外)차량(off-road vehicle)의 경우 주행과 주행이외의 부속작업기의 구동시 엔진 회전속도의 증가로 발생하는 진동에 장기간 노출되었을 때의 신체이상과 작업능률의 저하 등은 이미 많은 문헌을 통해 문제점으로 지적되었다(Matthews, 1964; Rosegger, R. and Rosegger, S.,1960; Howat, 1978). 이러한 승차진동에 대한 연구는 로외 차량을 중심으로, 특히 농업분야 트랙터의 운전자에 대한 연구가 주로 이루어 졌으나, 임업분야에서도 차량형 임업기계의 승차진동의 안전수준을 구명하기 위하여 Shishiuchi(1980), Wilson 등(1986), Golsse 와 Hope(1987), Wegscheid (1994)와 Marsili 등(1998), Oh 등(2004)이 스키더와 같은 차량형 임업기계 승차진동의 수준이 ISO 2631표준을 초과한다는 것을 보고하고 있다. 이와 같이 선진국에서는 임업기계분야에서도 승차진동의 안전수준을 구명하기 위하여 많은 연구를 수행하여 왔으나 아직 국내에서는 농업기계와 건설기계에 대한 승차진동과 작업소음 연구(정수식 등, 1992; Park, 1998; 이주완, 2000; 연정택, 2000)등 만이 비교적 꾸준히 진행되고 있을 뿐 임업기계분야는 승차진동 평가기준의 고찰(Oh 등, 2003)과 임업기계의 승차 진동원으로서의 산림지역의 노면특성연구(Oh 등, 2002)에 관한 연구만이 진행되었을 뿐 기계개발, 작업시스템연구에 비해 상대적으로 빈약하며, 노동 관련법규에서도 측정 및 평가방법이나 규제기준 등이 명시되어 있지 못한 실정이다. 근로자의 경우도 전신진동과 인체의 상관관계에 대해 사실상 모르고 있으며 중요성도 인식하고 있지 못하다. 따라서 본

연구는 본격적인 입업기계화 시대를 맞아, 국내의 산림조건과 경영규모에 적합할 것으로 판단되는 차량계 임업기계의 좌석진동문제를 제기하고 그에 대한 문제점을 해결하기 위해, 인체진동의 정의와 인체에 미치는 영향 등을 소개하고, 승차진동의 측정 분석을 통해 진동이 적은 인간공학적인 차량계 임업기계의 개량 및 개발에 필요한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2) 진동이 인체에 미치는 영향

크기가 작은 진동에 단기간 노출될 경우 인체에 미치는 영향은 그다지 해롭지않다. 그러나 크기가 큰 진동에 일정기간 노출될 경우 인체는 호흡량이나 맥박수, 혈압 등이 상승하는등의 심혈관계 및 호흡계 증상, 대사량과 체온의 상승, 멀미, 혈액과 소변의 조성변화 등의 신진대사 및 내분비계 증상, 척추의 퇴행성 질환, 요통(low back disorder) 등의 근골격계 증상 그리고 기타 과민반응이나 심리적 스트레스, 불면증, 작업의 방해 등과 같은 영향을 받게 된다. NIOSH (1997)의 보고에 의하면 전신진동과 요통에 관련한 19개 논문을 분석한 결과 <표 3-1-5>과 같이 강한 연관성(strong evidence : +++)이 있다고 보고하였다. Pope (1998)등은 피실험자를 전신진동에 노출시킨 후 요추의 기립근에서 EMG신호를 분석한 결과 전신진동후 근육의 피로가 증가한 것을 확인하였으며 림프액속의 내피손상의 평가척도인 von Willebr and factor (vWf)에 대한 항원(vWFAg)의 증가와 함께 피실험자의 등(back)과 관련한 불편함 호소의 증가를 확인하였다. 또한 척추의 Creep현상(변형을 일으키기에 부족한 힘이라도 장기간 노출될 경우 변형을 일으키는 현상)으로 인해 중력에 의한 자연적인 신장의 감소율보다 더 많은 감소가 진행되는 것을 확인하였다(Kaigle et al, 1992). Bosco (1999)등은 체내 호르몬의 변화를 연구하였는데 이 연구에서는 전신진동에 노출된 후 혈장내 테스토스테론과 성장호른몬이 증가하였고 코르티솔이 감소한 것으로 나타났다.

표 3-1-5. 육체적 작업요인들과 근골격계 질환간의 원인관계에 대한 증거(NIOSH, 1997)

Body Part *Risk factor*	**Strong evidence (+++)**	**Evidence (++)**	**Insufficient evidence (+/0)**	**Evidence of no effect (-)**
: : :				
Hand/wrist				
Carpal tunnel syndrome				
Repetition		√		
Force		√		
Posture			√	
Vibration		√		
Combination	√			
Tendinitis				
Repetition		√		
Force		√		
Posture		√		
Combination	√			
Hand-arm vibration syndrome				
Vibration	√			
Back				
Lifting/forceful movement	√			
Awkward posture		√		
Heavy physical work		√		
Whole body vibration	√			
Static work posture			√	

진동에 의한 척추손상의 원리는 크게 두 가지로 나타낼 수 있는데 첫째, 진동에 의한 척추의 해부학적 변형은 영양공급과 미세혈관에서의 피의 흐름을 저하시켜 조직의 신진대사를 비정상적으로 만들고 그 결과 진동으로 인한 변형의 회복이 느려지며, 둘째, 진동으로 인한 척추의 반복적인 압축과 인장은 척추의 피로와 미세골절을 야기 시켜 결과적으로 척추가 손상된다(Sandover, 1983). Wikström(1994)등도 전신진동과 같은 반복적인 부하는 척추종판(vertebrae end - plate)에 피로와 함께 미세한 손상을 입힐 수 있다고 하였다. 특히 요통이나 척추관련 질병은 앉은 자세에서 장기간 작업을 하는

운전근로자에게서 주로 나타나는데 이는 <그림 3-1-18>와 같이 앉은 자세가 서있거나 누워있는 자세보다 척추에 가해지는 압력이 월등히 높기 때문이다(Magnusson and Pope, 1998). 이런 자세에서 장기간 진동에 노출될 경우에는 추간판의 앞뒤를 지탱하는 인대가 손상되고 그 결과 추간판수핵을 누르는 압력으로 인해 섬유연골이 파열되어 척추에 심각한 영향을 미치게 되는 것으로 알려져 있다.

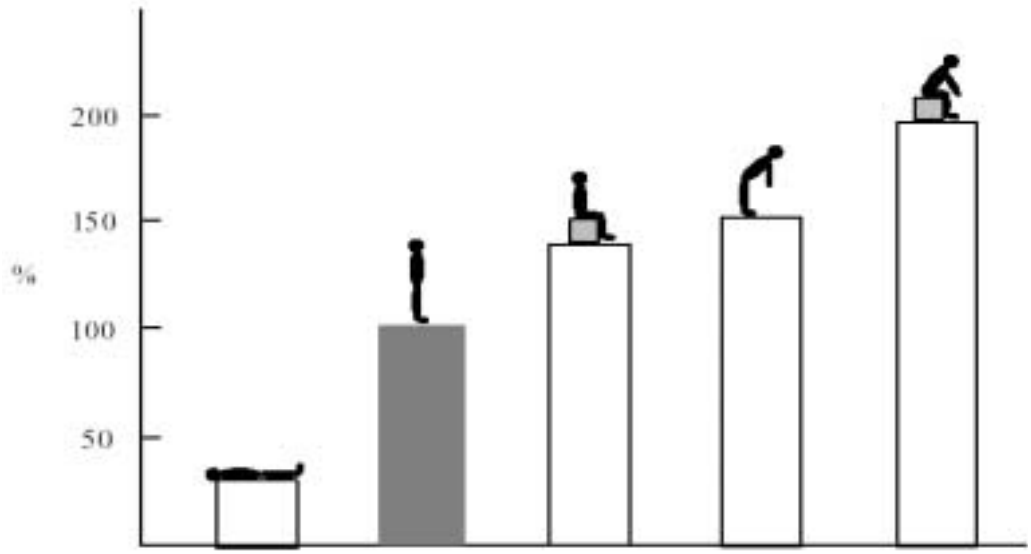


그림 3-1-18. 여러 자세별로 3번 디스크상에 작용하는 상대적 부하

3) 연구방법

가) 공시기종

본 연구에서는 현재 국내의 임업여건상 적합하다고 판단되어 도입한 차량형 임업기계와 국내에서 개발된 차량형 임업기계를 대상으로 임도와 작업로 임내 등에서 주행 및 작업중 좌석진동을 측정하였다<그림 3-1-19>.

(a) 바퀴형 포워더(기계식 미션)　　(b) 바퀴형 포워더(유압식 미션)

(c) 궤도형 하베스터　　(d) 궤도형 포워더

그림 3-1-19. 측정・분석한 차량형 임업기계

나) 승차진동 측정 시스템

(1) 좌석 진동계

승차진동을 측정하는 가속도계는 반드시 총 지름이 250±50mm인 설치 원판의 중심에 부착하여야 하며 이 원판은 가능한 한 얇아야 하며 높이는 12mm 이하로 하여야 한다. 또한 약 80 ~ 90 고무 경도값(A－스케일)을 갖는 주형된 고무 또는 합성수지로 된 반 강체 설치 원판(Semi-rigid mounting disc)은 가속도계를 설치할 수 있도록 중심에 동공을 가져야 하며 가속도계는 두께 1.5±0.2mm, 지름 75±5mm를 갖는 얇은 금속 원판 위에 부착해야 한다(KS B 0703-1: 2001, ISO 10326－1 : 1992, SAE J1013). 따라서 본 연구에서 사용한 승차진동측정센서도 수직(Z), 수평방향(X-Y) 3축의 가속도를 측정할 수 있고, 좌석에 장착하여 사용할 수 있는 것으로 위의 조건을 만족하고 있

으며 저주파의 응답특성이 좋은 charge type의 가속도계가 내장된 것을 사용하였다.

그림 3-1-20. 3축 좌석진동계(Type 4322)의 설치모습.

(2) 계측장치

차량에서 발생하는 전신진동이 가속도계를 통해 전기적신호로 변환이 되면 이를 진동기록장치(DAT data recorder: PC208Ax, Sony Co.)에 저장하여 실험실에서 주파수분석기(type 3560, B&K Co.)를 이용하여 정밀 분석을 실시하였다. 계측 및 분석에 사용한 장비의 제원은 <표 3-1-6>와 같다.

표 3-1-6. 좌석진동 측정과 분석에 사용된 계측장비

계측장치	모 델	제 원
주파수분석기	B&K type 3560	4 ch. Signal analyzer 50 to 6400 line FFT 25.6 kHz input modue Generator and sampling module
가속도계	B&K type 4322	Sensitivity : 1pC/ms^{-2}±2%(9.8 pC/g) Frequency range : 0.1Hz-2kHz
데이터 레코더	Sony PC 208Ax	Frequency range : DC to 10kHz in 8 ch. 16 bit quantization
앰프	B&K type 2692	Frequency range : 0.1Hz - 100kHz
신호 조정용 간이 가진기	B&K type 4294	Frequency : 159.15 Hz (1000 rad/sec2) Acceleration : 10m/sec2(rms) Velocity : 10mm/sec (rms) Displacement : 10 ㎛ (rms)

다) 좌석진동의 측정방법

승차진동을 측정할 때 운전자의 승차 자세는 보통 운전할 때와 동일한 자세를 취하도록 하고 양손은 조향핸들을 잡고, 정면을 주시하는 자세를 취하도록 하였으며 주행중의 승차진동을 정해진 코스를 따라 주행하면서 측정하였다. 주행중의 속도는 운전자의 평상시 운전주행속도로 측정을 실시하였으며 작업로와 같이 상대적으로 위험한곳이나 입목이나 지표장물이 있는 곳에서는 운전자의 임의로 속도를 가감 할 수 있도록 하였다. 또한 주행속도는 차량의 후면부에 제5륜을 설치하여 측정하였다. 적재함의 적재유무에 따른 측정을 따로 실시하였다. 데이터의 수집은 정해진 임도구간에서 출발과 동시에 데이터 레코더를 통해 5kHz의 sampling rate 로 수집하도록 하였으며 진동 데이터 수집과 동시에 비데오 카메라를 촬영을 하여 추후 연구실에서 분석시 데이터의 분석구간을 취하기 쉽도록 하였다. 전체적인 측정시스템을 <그림 3-1-21> 에 나타내었다.

(a) 제 5 륜 설치 (b) 승차진동 측정장비 세팅

그림 3-1-21. 승차진동 측정시스템의 예

라) 측정데이타의 평가

전신진동을 평가하는 방법으로는 ISO 2631, BS 6841, ANSI S3.18 (ASA 38), ACGIH - T LVs and BEIs 등에서 제시한 방법들이 있다. BS 6841을 제외한 나머지의 경우 ISO 2631을 인용하여 설정되었으며 많은 국가에서 ISO 2631의 방법을 이용하여 연구가 이루어지고 있다. 현재 국내에는 전신진동과 관련하여 측정관련장비의 정의나 측정방법, 평가 등이 없는 관계로 국제적으로 많이 인용되고 있는 ISO 2631의 기준을 이용하여 연구를 수행하였다.

이 기준은 차량, 중장비, 건물, 기계 등에 주기적(periodic)이나 비주기적(random)또는 과도(transient) 진동이 발생하여 차량내부에 서있는 사람의 다리, 앉은 사람의 엉덩이나 등, 누운 사람의 등부분의 지지접촉면(support ing surface)을 통해 인체로 전달된 경우에 적용된다. 이러한 전신진동이 인체에 전달될 경우에 대해 보건(health), 안락감(comfort), 감각능력(per ception) 그리고 멀미증상 (motion sicknes s)의 4가지 영역에 대해 평가하게 된다. motion sickness 관련 사항은 우선적으로 선박에서의 활동에 대한 불편함이나 방해를 초래하는 0.5 Hz 미만의 주파수에 대해 평가를 한다. 나머지는 여행, 작업, 여가생활 등 인간이 활동하는 모든 경우에 대해 인체가 가장 민감하게 반응하는 0.5 ~ 80 Hz의 주파수를 대상으로 평가하며 차량사고 같은 극도의 충격진동에는 적용할 수 없다. 본 연구에서는 이들 4개 영역가운데 보건 측면에서의 사항을 위주로 기술하였다.

(1) 가중인자 (Weighting factor)의 적용

진동의 크기와 함께 진동이 인체에 영향을 미치는 요인으로 주파수와 축방향이 있는데 동일한 크기라 할지라도 이들 주파수성분과 인체의 어느 방향으로 진동이 작용하느냐에 따라 인체는 보다 민감하게 반응을 하므로 이들에 대해 가중값을 부여할 필요가 있다. 인체에 전달되는 진동에 대해 주파수 가중값을 부여하기 위해서는 주파수성분을 분류할 필요가 있는데 주로 정폭형 또는 정비형 형태로 분류한다. 이때 주로 정비형의 1/3 octave band를 사용하게 되고 1/3 octave band의 전 영역에 대한 전체 가중가속도를 구해 이 값으로 평가하게 된다. 공식은 아래와 같다.

$$a_w = \sqrt{\sum_i (W_i a_i)^2}$$

여기서, a_w : 주파수 가중 가속도 값

W_i : i 번째 1/ 3 옥타브 밴드의 가중값

a_i : i 번째 1/ 3 옥타브 밴드의 r.m.s 가속도 값

진동이 좌우방향(전후방향)으로 작용할 경우 인체는 약 1~2 Hz에 민감하게 반응하고 상하방향으로 작용할 경우 4~8 Hz의 주파수에 민감하게 반응한다. 따라서 이 주파수를 중심으로 주파수 가중값을 부여한다. <그림 3-1-22>에 주파수 가중 곡선을 나타내었다.

위의 방법으로 구한 주파수 가중 r.m.s. 가속도값으로 각축에 대해 독립적으로 평가하며 여러방향의 진동에 노출될 경우 가장 높은 주파수 가중 가속도값으로 평가한다 (dominant axis method). 그러나 여러 축에 대한 가속도값이 비슷할 경우 건강위험도를 평가할 때 아래식과 같이 벡터합 방법을 이용할 수도 있다.

$$a_v = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2}$$

여기서, awx , awy , awz : 직교좌표축 x , y , z에 대한 주파수 가중 가속도 값

kx , ky , kz : 축방향 보정인자(mult iplying factor)

kx = 1.4, ky = 1.4, kz = 1

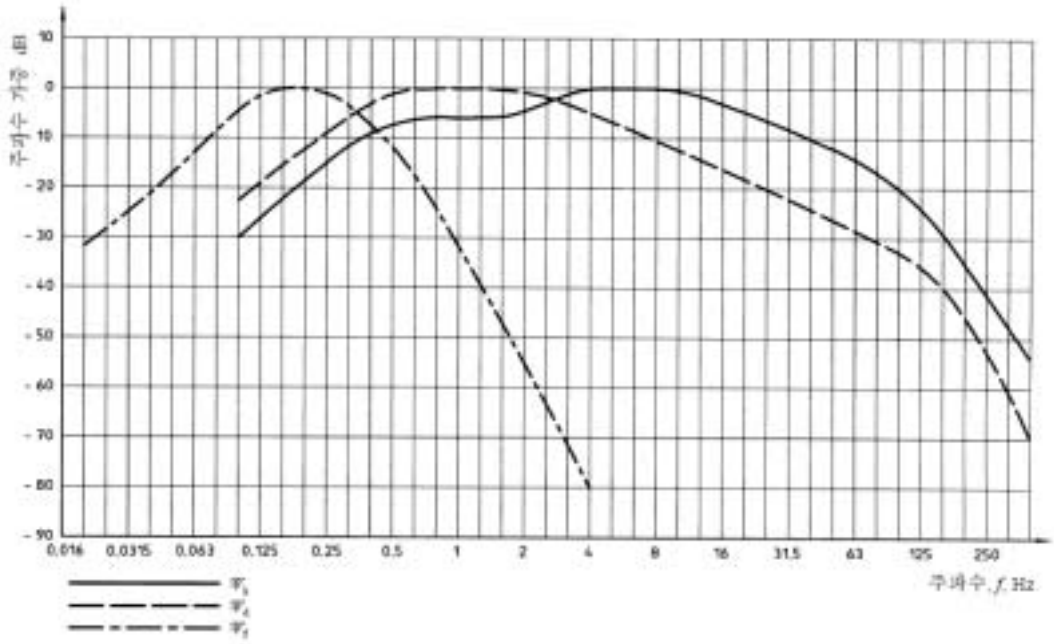


그림 3-1-22. 주파수 가중곡선

(2) 진동의 평가

본 연구에서 적용한 평가방법은 주파수 가중 r.m.s. 가속도값을 이용하여 평가하였으며 전신진동에 노출되는 총 노출시간에 따라 건강지침 주의영역<그림 3-1-23>의 어느 위치에 포함되는가에 따라서, 주의영역 아래에 있는 경우는 인체에 대한 어떠한 영향도 명확하게 보고되어지지 않았거나 객관적으로 관찰되어지지 않는 경우이며, 주의영역내에 있는 경우는 진동에 대해 잠재적인 위험이 내재되어 있는 것을 의미하며, 위에 있는 경우는 인체건강 위험도에 대한 각별한 경계가 요구된다는 것을 의미한다. 두개 혹은 그 이상의 지점과 기간동안 노출 된 경우에는 다음의 공식을 이용하여 가속도값을 구한다.

$$a_{w,e}=\left[\frac{\sum a_{wi}^2 T_i}{\sum T_i}\right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{또는} \quad a_{w,e}=\left[\frac{\sum a_{wi}^4 T_i}{\sum T_i}\right]^{\frac{1}{4}}$$

여기서, $a_{w,e}$: 등가 진동가속도값, a_{wi} : 각 기간 T_i 동안의 진동가속도값

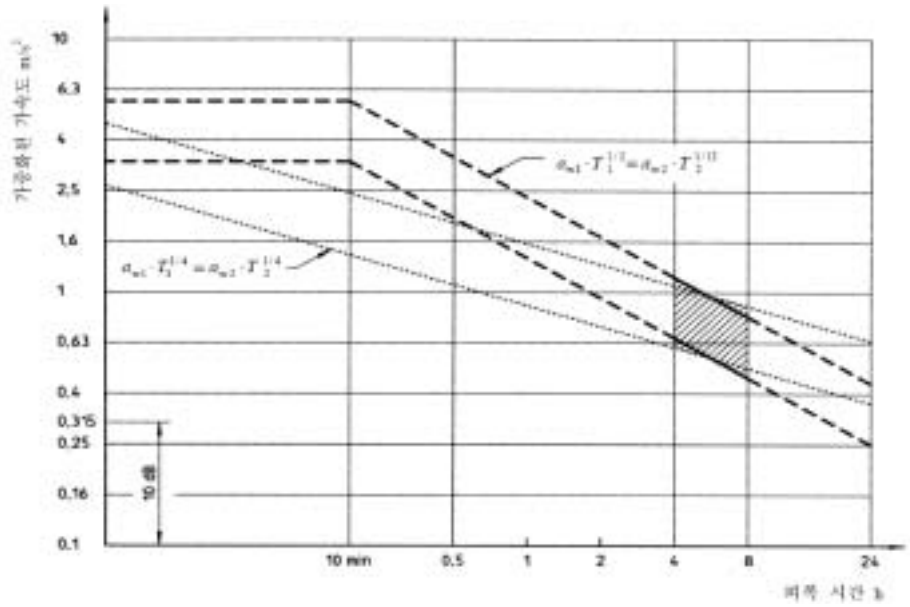


그림 3-1-23. 건강 지침 주의영역(ISO 2631,1997)

4). 결과 및 고찰

가) 기계별 승차진동 분석

임도를 주행하는 경우의 승차진동을 측정하여 진동 수준에 대한 운전자의 평균 노출량을 <그림 3-1-24>에 나타내었다.

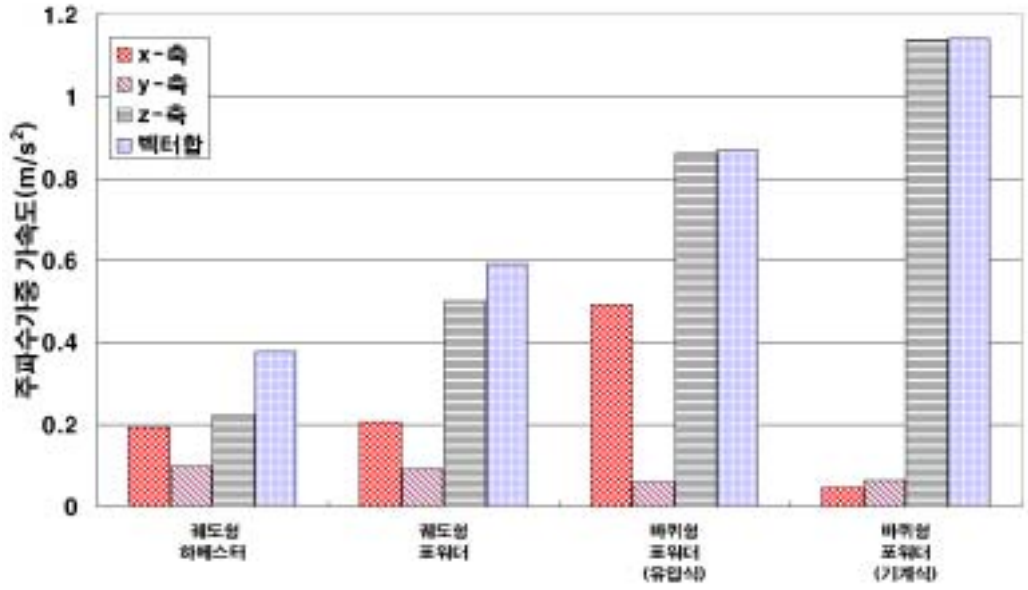


그림 3-1-24. 측정한 차량형 임업기계의 운전자 좌석진동 노출 수준

측정결과 기계식 트랜스 미션을 가진 바퀴식 포워더가 벡터합 값으로 나타낸 진동 측정치에서 가장 큰 값을 나타내었고, 굴삭기 부착용 하베스터가 가장 작은 값을 나타내었다. 일반적으로 진동 레벨은 차량의 속도가 증가 할수록 증가하는 경향을 보이기 때문에 실험 조건적인면에서 굴삭기 부착용 하베스터는 상대적으로 주행속도가 늦은 궤도식 차량이기 때문에 진동 레벨값이 상대적으로 작게 나타난 것으로 사료된다. 나머지 3기종에 대해서는 거의 같은 주행속도 조건하에서 측정을 하였기 때문에 상대적인 비교가 가능할 것으로 판단된다.

(a) 기계식 미션 장착 포워더 (b) 유압식 미션장착 포워더

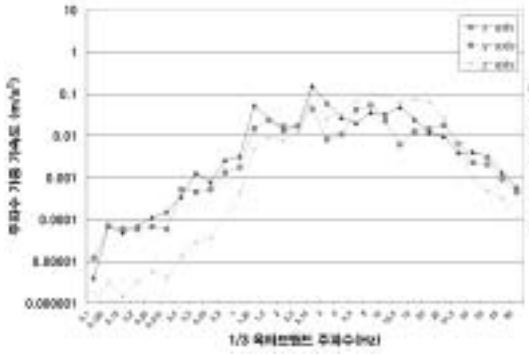
그림 3-1-25. 바퀴형 포워더의 시트

특히 같은 형태를 가진 바퀴식 포워더의 경우 <그림 3-1-25>에서 볼 수 있듯이 시트 자체의 강성이 차이가 있다. (a)의 경우보다 (b)의 경우가 약 24%의 진동을 줄일 수 있는 것으로 분석되었다. 이것은 스폰지의 두께가 두꺼워 수직 진동에 대한 댐핑력이 더 큰 것으로 판단된다. 이러한 결과를 볼 때 전체적인 좌석진동에 좌석의 구조 및 구성재료의 강성이 매우 큰 영향을 하고 있음을 알 수 있다.

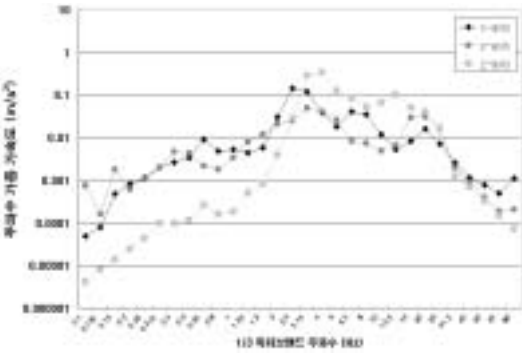
또한 전체적으로 하베스터와 궤도식 포워더는 캐빈을 장착하고 있는 장비로서 캐빈이 장착되지 않은 장비에 비해 소음과 진동적인 측면에서 운전자에게 매우 유리하다. 또한 이러한 캐빈 장착 장비의 이점은 전도나 사고로부터 운전자를 보호할 수 있는 특성이 있기에 대부분의 장비에 권장되고 있다. 또한 바퀴식 포워더와는 달리 하베스터와 궤도식 포워더는 좌석의 형태가 등받침이 있는 좌석으로서 접촉면이 넓어 비교적 인체

진동에 대한 전달률이 적을 것으로 판단된다. 이러한 효과들에 의해 궤도식 포워더의 진동 레벨이 다서 적게 측정된 것으로 판단된다.

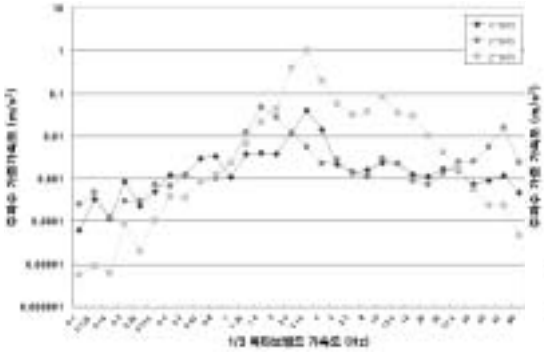
<그림 3-1-26>는 각 측정 차량의 축 성분별 1/3 옥타브분석 결과이다. 4기종 모두 인체가 가징 민감하게 반응하는 1- 10Hz 부근에서 피크를 나타내고 있다. 따라서 이부분에 대한진동을 줄일 수 있는 차량 현가계의 개발과 성능 개량에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 이러한 진동 평가는 이제까지의 임업용 장비의 성능평가에서 제외된 항목이었지만 운전자와 직접 관련된 항목으로서 작업 성능과 생산량에 직접적인 영향을 준다는 점에서 매우 신중히 고려되어야 할 항목으로 판단된다.



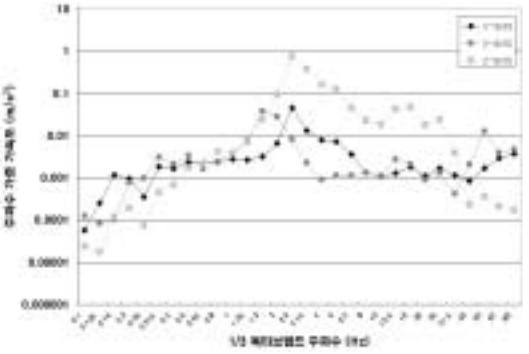
(a) 궤도형 하베스터



(b) 궤도형 포워더



(c) 바퀴형 포워더(기계식미션)



(d) 바퀴형 포워더(유압식미션)

그림 3-1-26. 공시기종별 1/3 옥타브밴드별 승차진동레벨

나) 전신진동평가.

총 4기종에 대한 장비에 대해 측정을 수행한 결과 벡터 합에 대한 주행중 진동은 바퀴형 포워더가 가장 큰 것으로 나타났다. 그러나 진동은 그 자체의 레벨값도 중요하지만 노출시간에 따라 운전자에게 미치는 영향은 다르게 나타난다. 현재 까지 진동과 노

출시간에 대한 것이 명확히 밝혀져 있지는 않지만 ISO 2631에서 규정하고 있는 건강 지침구역(Health guidance caution zone)을 통해 본 연구의 실험결과를 평가하였다<그림 3-1-27>.

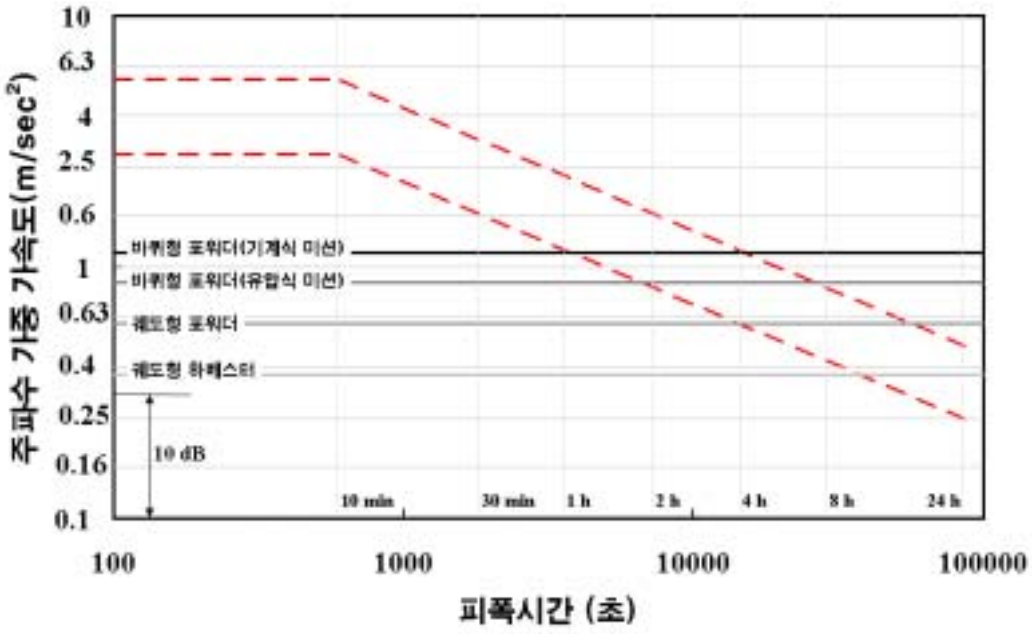


그림 3-1-27. 건강 지침 주의 영역상의 각 공시기종 진동 수준

공시기종으로 선택한 기종 중 굴삭기 베이스의 하베스터를 제외한 모두 하루 8시간 근무조건을 가정하여 ISO 2631 의 건강 지침 주의영역의 4-8 시간과 비교할 때 이 영역에 위치해 있거나 그 이상에 위치하고 있어 진동에 대한 잠재적인 위험이 내재 되어 있거나 위험성이 있을 것으로 예상된다. 그리고 굴삭기를 베이스로 한 하베스터의 경우도 목재를 절단하여 조재하는 동안의 충격진동 등에 대해 영향이 있을 것으로 판단되지만 본 연구에서는 데이터를 얻지 않았다. 추후 작업 중의 충격진동에 대한 평가도 필요할 것으로 판단된다. 바퀴형 차량의 경우는 1-2시간 영역내에 위치하고 있어 작업에 대한 주의를 요하고 있다. 현재의 국내의 임업여건상 운재작업이나 잡재작업이 많은 것은 아니지만 간벌수확과 주벌 수확으로 이어지는 미래에는 수확작업시스템 설계시 이러한 결과를 고려하여 작업 시스템의 구성과 임도망의 계획을 추진하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 차량형 임업기계의 성능평가에서도 운전자의 작업 능률과 관련된 항목을 추가하여 도입된 기종의 평가에 활용하는 방안도 검토해야 할 과제라고 판

단된다.

5) 결론

국내 목재 수확작업에서 사용가능성이 높아 외국으로부터 도입된장비와 국내에서 개발된 장비를 중심으로 임도주행시 발생하는 운전석의 승차진동을 측정 평가하였다. 측정평가결과 주행속도의 영향으로 궤도식 하베스터가 가장 진동 수준이 낮았으며, 주행속도가 비슷한 나머지 3기종에 대해서는 진동수준의 차이가 있었다. 특히 형태와 기능이 유사한 바퀴형 포워더의 경우는 기계식 동력전달장치를 보유한기종과 유압식 동력장치를 보유한 기종의 진동수준은 유압식 포워더의 승차진동량이 더 작음을 알 수 있었다. 두기종의 경우 좌석의 스폰지 두께로 인한 승차진동 감쇄효과도 있었겠지만 기계식 전동장치에서 발생되는 진동에 대한 부분도 영향을 끼쳤을 것으로 유추해 볼 수 있을 것이다. 따라서 차량형 임업기계의 승차진동에 영향을 끼칠 수 있는 인자로는 노면의 종류, 주행속도, 동력전달장치의 진동, 좌석이 종류, 엔진 등을 고려할 수 있으며 이 부분에 대한 보다 세밀한 조사와 평가가 있어야 할 것으로 판단된다. 또한 분석된 자료를 기준으로 가정할 수 있는 것은 차량형 임업기계의 경우 2시간이상 연속주행시 운전자의 요추부에 대한 잠재적인 건강위험도가 증가하는 것으로 기대되기 때문에 휴식시간 배분 및 집•운재거리에 대한 조정이 필요할 것으로 판단된다.

이와 같이 차량형 임업기계의 승차진동 자료는 차후 인간공학적인 면이 한층 고려된 임업기계의 개발이나 개선에 매우 유용한 자료로서 활용되어 질 수 있을 것이며, 전체적인 수확작업시스템의 설계시, 집•운재 거리의 조정, 휴식시간의 배분 등에 실질적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

바. 차량계 임업기계에 의한 반출작업의 공정계측 시스템의 설계

현재 작업공정의 연구에 있어서 모든 작업공정의 계측은 수작업 또는 비디오 촬영에 의존하여 분석을 하고 있다. 그러나 이러한 작업은 매우 많은 오차를 가지고 있으며, 연속적인 데이터를 취하기 어렵기 때문에 소형 차량계 임업기계를 이용한 간벌재 생산재의 반출에 필요한 전공정을 자동화 계측 방법에 의해 측정하고 분석할 수 있는 계측시스템을 설계하고자 하였다.

현재 임내작업차를 이용한 요소작업은 집재 상차 운반 등의 크게 3가지로 구분 할 수 있다. 물론 보다 세분화된 작업을 구분 할 수 있을 것이다. 예를 들면 작업원의 집재목에 대한 쵸커걸기 등의 여러 가지 요소작업이 부가적으로 추가 될 수 있다. 그러나 이러한 전체적인 작업을 완전히 자동 계측화 하는데는 상당한 노력과 비용이 부가될

것으로 판단되며 이에 본 연구는 윈치의 작동 유무와 임내작업차의 이동 등을 계측하는 장치를 구성하였다. <그림 3-1-28>과 <그림 3-1-29>처럼 임내 작업차의 구동륜 부분에 회전속도를 측정 할수 있는 로터리 엔코더를 설치하여 엔코더로부터 나오는 펄스신호를 주파수-전압 변환기를 이용하여 전압의 형태로 계측한 뒤 후에 구동륜의 반지름과 그때의 회전 속도를 구하여 실제로 임내작업차가 주행하는 속도로 환산할 수 있다. 또한 윈치의 회전속도를 측정하기 위해 윈치의 회전드럼 부분에 반사판 스틱커를 붙여 타코메타로부터 나오는 적외선 신호를 반사측정하여 회전상태를 감지하려 하였으나 신호의 부정확으로 직접 엔코더를 연결하였다. 이 신호역시 로타리 엔코더의 신호와 마찬가지로 펄스형태의 신호로 FV(주파수-전압) 변환기를 통해 측정 분석 하였다.

또한 적재중량의 측정을 위해서는 적재함의 4곳에 스트레인 게이지를 설치하여 중량변화에 대한 계측을 실시하여 종합적인 계측이 이루어 질 때 적재된 중량의 산정이 이루어지도록 하였다. 실제계측 실시결과 모두 원활한 신호 수집을 할 수 있었으나 실제 작업현장에 투입하여 전체적인 공정산출은 하지 못하였다.

다음의 사진들은 계측장치와 각 요소작업의 추정에 필요한 자료들의 산출을 위한 센서들의 설치 상황이다.

그림 3-1-28 주행속도 측정을 위한 로타리 엔코더의 설치

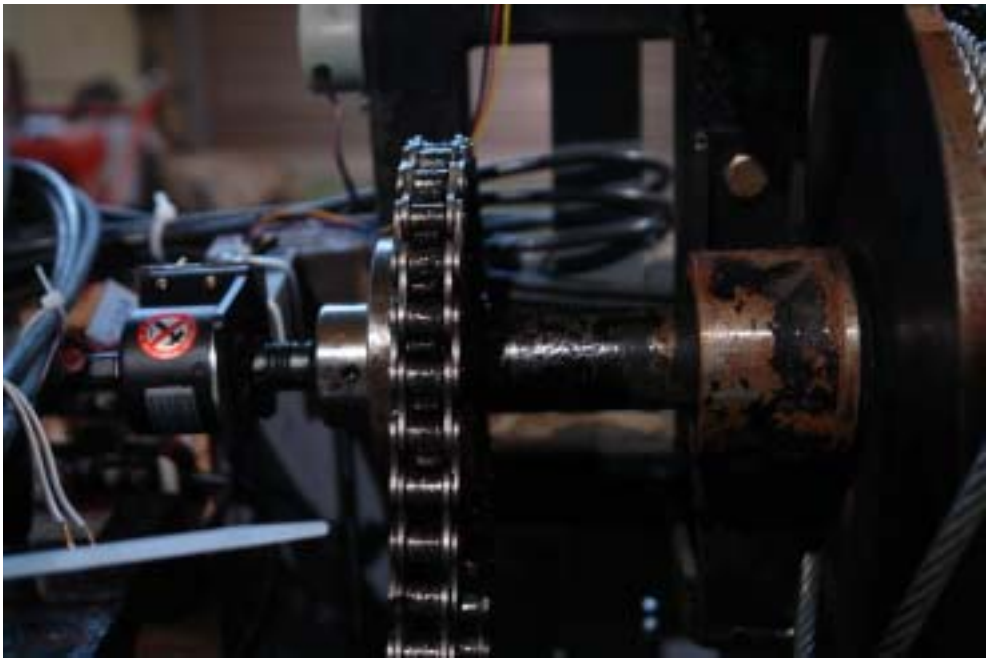


그림 3-1-29. 윈치의 작동을 측정하기 위한 로타리 엔코더

그림 3-1-30. 적재 중량 측정을 위한 스트레인 게이지의 배열

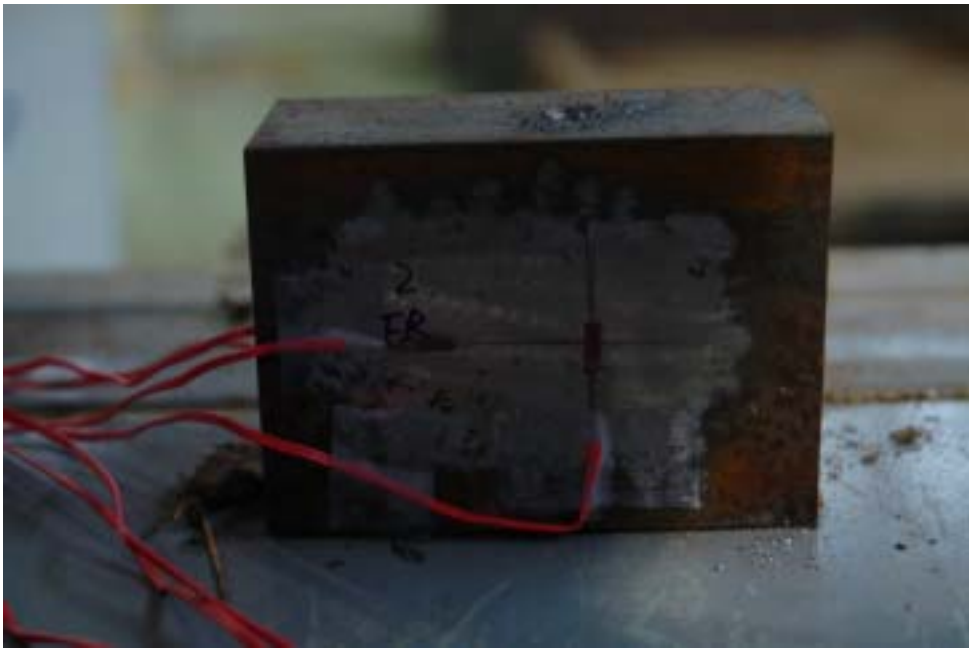


그림 3-1-31. 적재 중량 측정을 위해 부착한 스트레인 게이지 셀

그림 3-1-32. 윈치의 정역회전 측정을 위한 센서의 배치 및 콘트롤 박스

그림3-1-33. 차체의 경사각 측정을 위한 경사계의 설치

그림 3-1-34. 차량의 주행속도 측정을 위한 제 5 륜의 설치

윈치의 경우 무선조정 윈치를 직접제작하여 활 용하였는 데 이 경우 정화전 역회전이 모두 가능하도록 하였더. 따라서 공정계측시 윈치의 풀림과 감김을 전자 클러치의 접점에서 신호를 추출하여 측정 하였다. 그러나 측정 전압이 12V 라서 계측이 불가능하여 그림과 같이 DC-DC 변환기를 사용하여 12V의 전압을 2.5V로 낮추어 측정하도록 하였다.

2. 가선계 임업기계의 작업 기능 최적화

가. 가선계 임업기계의 작업 기능 최적화

1) 서론

최근 국내의 사회적, 경제적 여건의 변화로 인해 기존의 인력의존 집재작업이 임업용 트랙터, 윈치, 가선집재 등을 이용하는 기계화된 집재작업으로 대체되고 있으며, 또한 숲가꾸기 사업 및 간벌 등으로 발생한 육림부산물 및 간벌재를 효율적으로 수집하기 위한 집재방법 등이 요구되어 지고 있는 상황이다. 이런 집재방법 중 기계화 집재방법은 Wire rope를 이용한 가선집재법(Cable yarding)과 임업용 트랙터나 스키더, 포워더를 이용하는 지면집재법(ground skidding)으로 나눌 수 있다. 이 중 가선집재법은 (1)산악지형에서 생산성이 높고, (2)임도시설 혹은 작업로에 대한 요구도가 낮아 임지보호에 효과적이며, (3)벌도목을 공중에 띄운 상태에서 임도변까지 운반할 수 있으므로 입목, 치수 및 임지에 대한 피해를 줄일 수 있다는 장점이 있고, 전목(全木)상태로 집재가 가능하여, 최근 산불의 가중요소로 인식되고, 에너지원으로서 재활용 가능성이 있어, 더욱 집재의 필요성이 커진 가지나 말목(末木)등을 따로 수집할 필요가 없다. 또한 가선집재는 트랙터나 윈치를 이용한 기계화 집재법의 적용이 불가한 급경사지에서의 작업이 가능하다. 따라서 가선집재는 기계비용이 상대적으로 높은 것으로 알려져 있으나 국내 산림의 지형적 특성을 고려할 때 작업의 생산성과 임지보호 측면에서 가장 효율적인 집재방법이라고 판단된다. 효율적이고 경제적인 집재방법의 선택을 통해 임업경영의 합리화를 추구하고자 하는 문제는 여러 집재방법에 사용되어지는 집재장비의 기계적 특성 및 생산성에 공학적 분석과정을 통해 비교적 적은 비용으로 해결할 수 있을 것이다. 그러나 현재 국내에서는 기계화 집재작업의 필요성이 충분히 인식되고 있음에도 불구하고 집재작업의 기계화에 대한 기초연구가 부족한 상태이다.

한편 가선집재시스템의 작업 효율성은 시스템을 구성하는 와이어로프(wire rope)의 역학구조에 지극히 민감하다. 이한 가선집재시스템을 효율적으로 이용하기 위해서는 수확벌채지의 지형적 특성, 임도설비, 벌도목 견인 방법, 시스템 설치방법 등 작업생산성

과 관련되는 주요인자들에 대한 이해는 물론 구조해석에 의한 공학적 분석과정에 대한 이해가 중요하다.

가선집재시스템의 역학적 구조해석에 의한 연구는 우리나라와 산림지형이 비슷한 미국의 북서부 지방을 중심으로 1970년 Carson과 Mann이 현수선 원리에 입각한 가선의 장력분석에 관한 이론을 제시한 이래 Studier 와 Brinkley(1974), Falk(1981), Nickerson(1980) 등에 의해 지형, 벌도목 특성 및 가선집재시스템의 기계적 성질 들을 밝히기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 국내에서는 집재작업의 기계화를 위한 관심과 노력에 비해서 많은 연구가 진행되지 못하고 있다. 과거 노재후 등(1988), 박종명(1990), 노재후(19992) 등에 연구결과가 발표한 바 있으나 제한된 범위 내에서의 작업시간조사에 의한 생산성 연구로 한정되어 있다. 반면 가선집재시스템에 관한 구조적 특성분석 및 역학적 성질 분석에 관한 기초연구가 부족하여 기계화 집재작업에 대한 공학적 학문체계가 수립되지 못한 실정이므로 그에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

현재 국내에는 중·소형의 가선 집재기들이 도입되어 부분적으로 활용되고 있다. 그 중에서 자주식 반송기는 90년대 초반 국내의 민간업체들에 의해 일본으로부터 도입되고 있는 것으로서 타기종에 비해 구입비용이 낮고, 조작이 용이하여 쉽게 이용할 수 있는 간편한 기종으로 알려져 있다. 국내에 도입되어 활용되고 있는 자주식 반송기는 Iwafuzi 社의 Radi-carry로, 현재 소경재 위주의 국내 임업특성과 초기 단계에 잇는 국내 임업의 기계화 과정을 고려할 때 충분히 보편화 될 가능성이 있는 기종이라고 할 수 있다.

그러나 국내에서 이 기종에 대한 체계적인 연구가 미진하며, 김덕수(1994)의 생산성 분석연구만이 진행되었을 뿐 전체적인 가선시스템의 안정성과 적정 가선장력에 대한 연구가 아직 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 기계화 집재작업 중 국내 산악지형에 비교적 도입이 용이하며 적용가능성이 높은 무선조정식 Radi-Carry 집재기의 공학적 특성 및 가선설치시 요구되는 안정성을 분석할 목적으로 수행되었다. 이에 기초의 가선집재시스템유형과 가선집재시스템에 사용되는 반송기의 형태를 고찰하였다. 또한 자주식 반송기를 이용한 가선집재시스템의 가선장력을 측정과 연구대상지에 분포하고 있는 잣나무 임분의 근주저항력을 측정하여, 전체적인 가선집재 시스템의 안정성을 분석 평가하고자 한다.

2) 가선 집재시스템에 대한 고찰

가) 설치방식에 따른 가선집재시스템의 유형

가선집재시스템은 지형조건, 집재기의 종류 및 제원, 반송기의 형태 등에 따라 여러

가지 형태의 설치방식이 가능하다. 이와 같은 가선집재시스템 설치방식들에 대해서는 우보명(1987) 등에 의해 부분적으로 국내의 문헌에 소개된 바 있으나, 설치방식들은 기종 및 반송기의 종류에 따라 달라질 수 있음은 물론 대개 여러 가지 형태로의 변형이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 가선집재시스템의 역학구조 해석의 기본이 되는 기하학적 구조에 의해 설치방식을 분류한다.

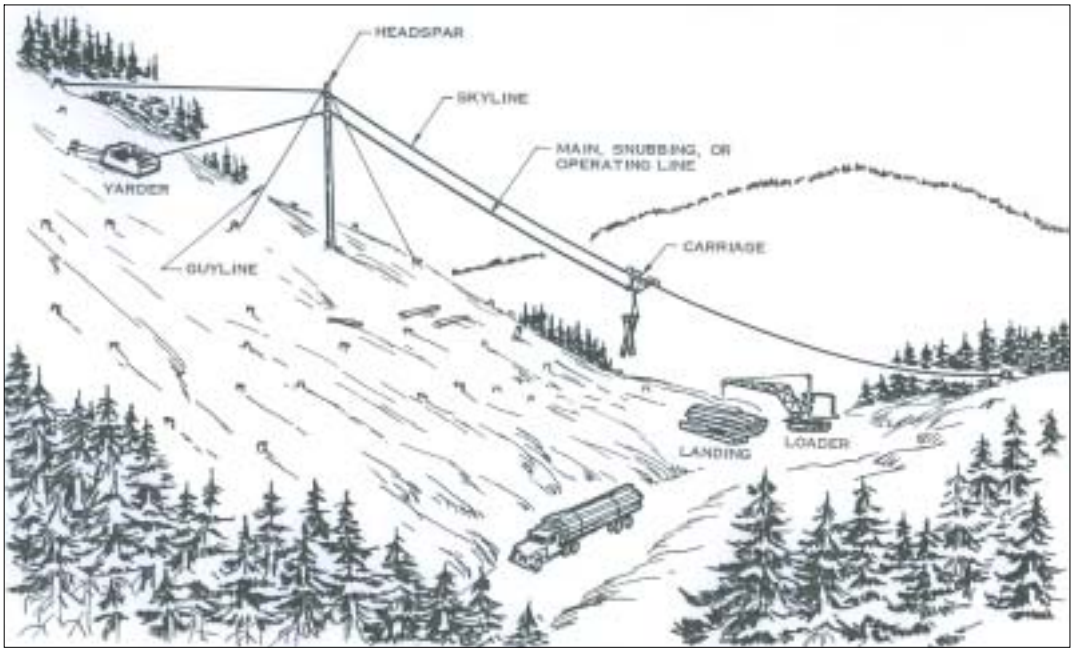
가선집재시스템은 가선(skyline)의 양끝이 고정된 가선집재시스템<그림 3-1-35>과 한쪽끝만 고정된 유동식 가선집재시스템<그림 3-1-36>으로 구분할 수 있다. 고정식 시스템은 작업 중 가선의 높이를 야더 운전자가 조절할 수 있다. 따라서 집재시스템을 유동식으로 설치할 경우에는 야더에 구동이 가능한 드럼이 있어야 하며, 고정식의 경우는 잠금장치를 이용하여 드럼을 고정시켜 이용하거나 별도의 철선을 준비하여 가선을 설치하여야 한다.

고정식 가선집재시스템에는 가장 기본적인 형태, 즉 가선과 당김줄로 구성된 standing skyline system<그림 3-1-35-a>이 있으며, 그 외에 tyler system, endless tyler system, skidder system, north bend system, muldtispan system<그림 3-1-35-b>, south bend system<그림 3-1-35-d> 등 집재기종의 특성, 지형적 특성 혹은 집재작업의 생산성 등을 고려하여 설치할 수 있는 여러 가지 형태의 시스템이 있다. tyler system 혹은 그와 유사한 형태를 지니는 시스템에는 별도의 되돌림줄(haulback line), 짐올림줄(lifting line)이나 fall block 등이 설치되어 횡취 및 하향집재 작업시 작업반경, 반송용량 및 작업의 안정성을 증대시킬 수 있는 반면 설치에 많은 시간이 소요된다. 반면 국내에 이미 보급되어 있는 Radi-Carry 집재기<그림 3-1-36-c>는 구조특성상 고정식 시스템만이 가능하다.

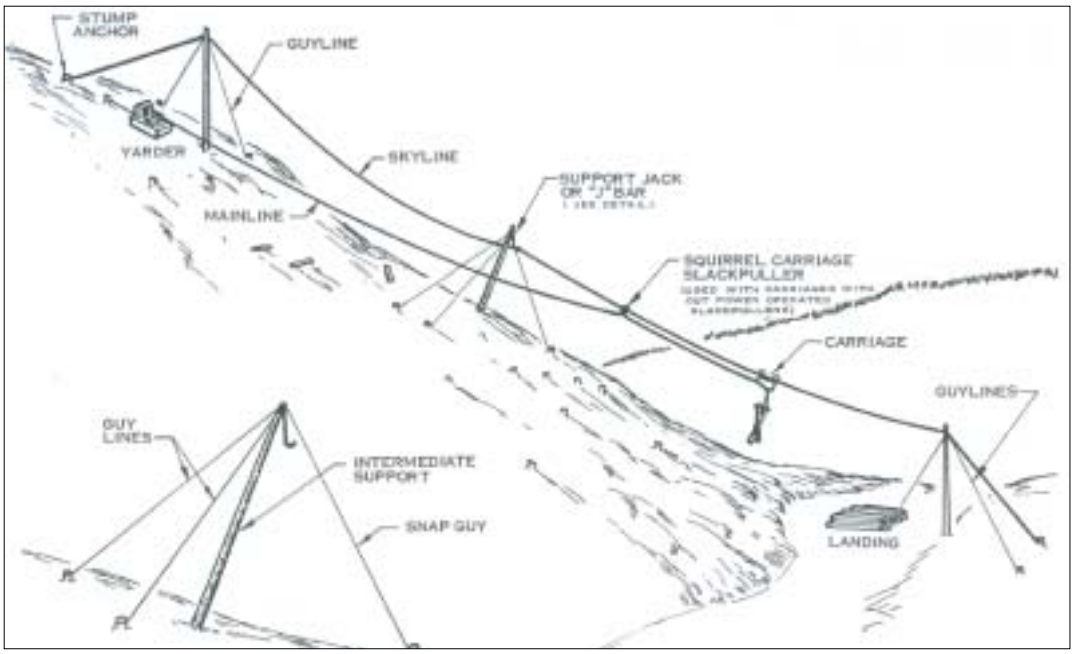
유동식 가선집재시스템에는 가장 기본적인 형태로 live skyline system<그림 3-1-36-a>이 있으며 standing skyline system과 동일하나 전술한 바와 같이 가선용 드럼이 부착되어 장력조절을 통해 가선의 높이를 조절할 수 있다. 그러나 live skyline system은 하향집재시 반송기를 벌도목 위치까지 이동시킬 수 있는 방법이 없으므로 중력작용을 이용할 수 있는 상향집재에만 적용이 가능하다. 이러한 단점을 보완한 시스템이 slackline system<그림 3-1-36-c>이다. live skyline system의 반송기에 되돌림줄을 부착시켜 하향집재시 빈 반송기를 벌도목 위치로 이동시킬 수 있음은 물론 가선의 장력을 풀고 되돌림줄을 당겨줌으로써 횡취거리를 다소 증대시킬 수 있다. running skyline system<그림 3-1-36-b>도 유동식 가선집재시스템의 일종으로 가선의 한쪽끝은 드럼에 다른 끝은 지면 대신 반송기에 고탁되어 되돌림줄이라 불린다. 이 시스템은

반송기를 중심으로 되돌림줄과 당김줄간의 장력 조절을 가능하게 하여 작업의 안정성을 유지할 수 있고, 반송용량을 증대시킬 수 있으며, 또한 반송속도를 쉽게 조절할 수 있다는 이점이 있다. 반면 당김줄과 되돌림줄의 장력조절 등 야더 운전에 숙련도가 요구되고, 충분한 동력제어기능을 갖춘 야더가 요구된다.

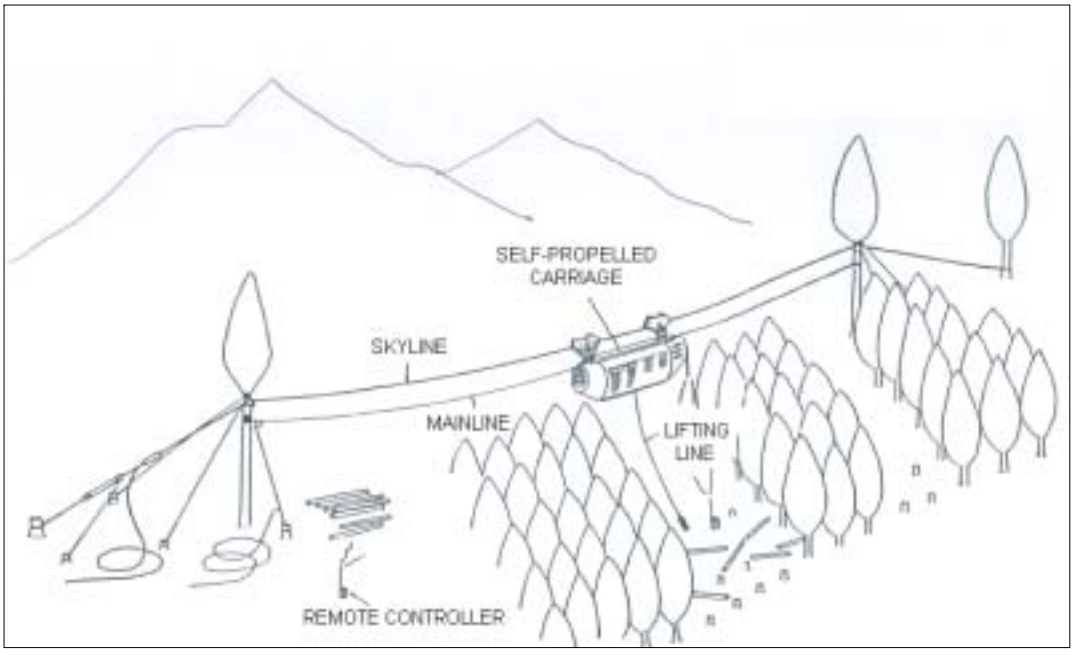
이상에서는 단지형 가선집재시스템(single span skyline system)의 가선의 장력 조절 기능의 유무에 따라 분류하였으나 그 외에 집재거리나 지형적 특성을 고려하여 두개의 지주목(headspar와 tailspar)사이에 한개 이상의 중간지주목(intermediate spar)을 설치하는 경우를 생각할 수 있다. 즉, 지형경사가 볼록하거나 평탄하여 가선의 기하학적 구조가 불리한 경우나 집재거리가 먼 경우에 중간지주목을 설치하여 가선 및 반송기가 지면으로부터 충분한 높이를 확보하게 한다. 이 경우 중간지주목에 의해 두개 이상의 구간(span)이 되므로 다지형 가선시스템(multispan skyline system)이라고 하며, 반송기는 중간지주목에 설치된 jack을 통과할 수 있도록 제작되어야 하고, 가선은 양쪽 끝이 고정되어 multispan standing skyline system이라고도 한다.



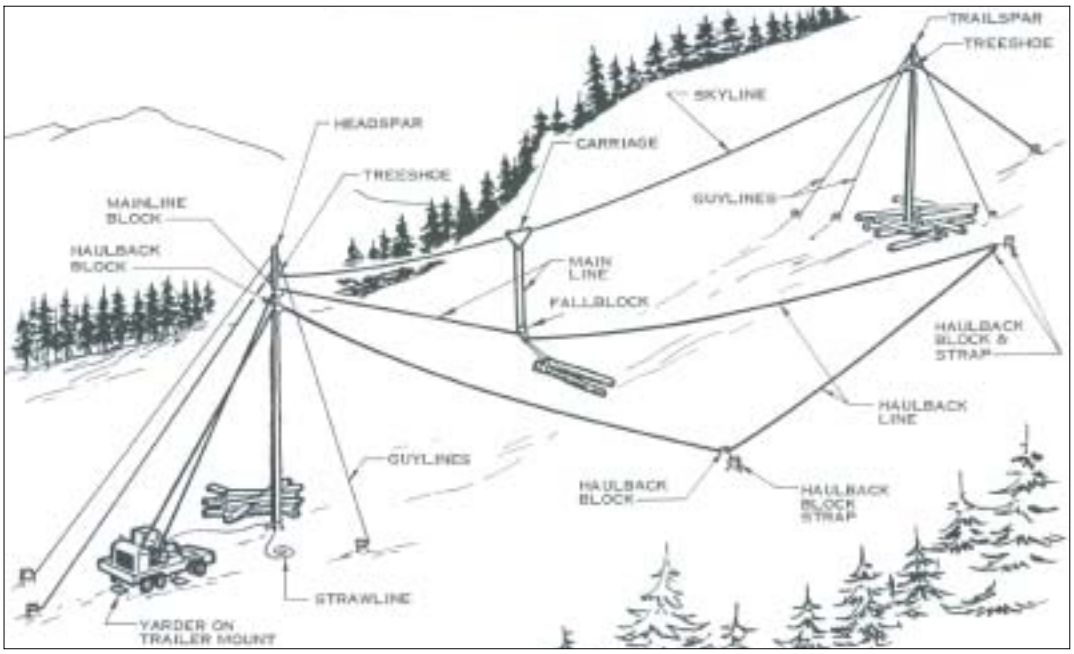
(a) Standing skyline



(b) Multi-span skyline

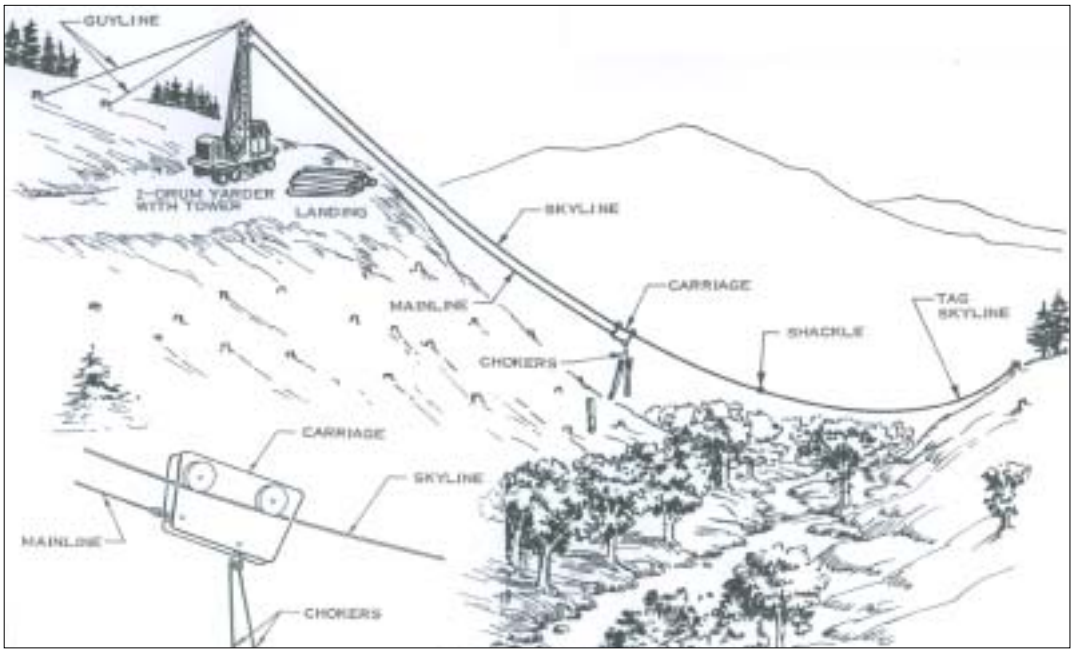


(c) Self-propelled carriage system

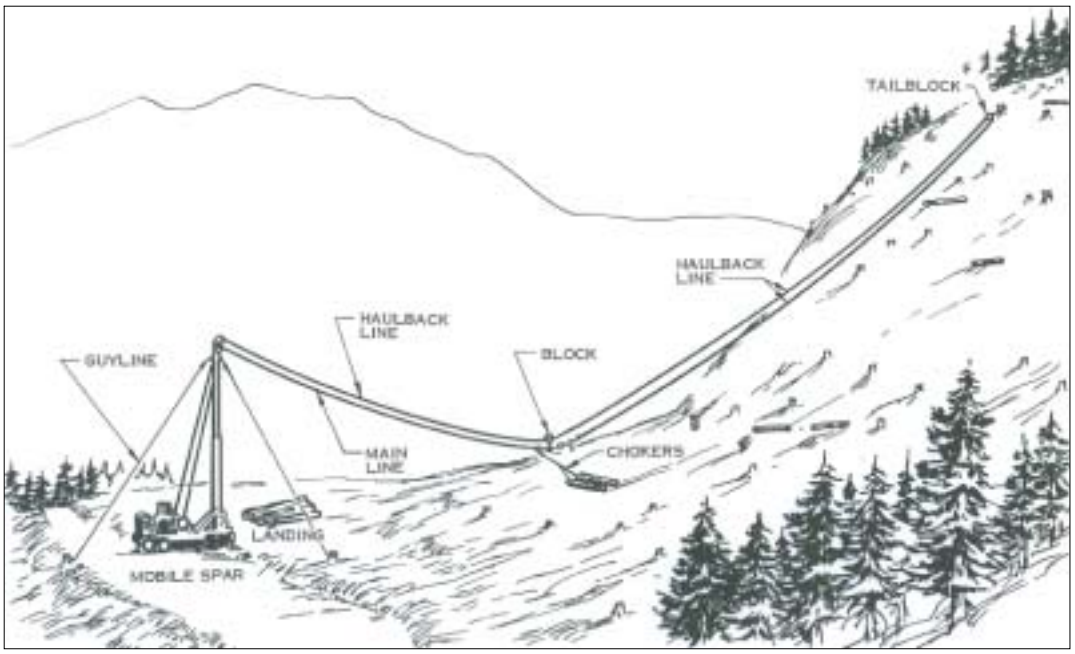


(d) South bend

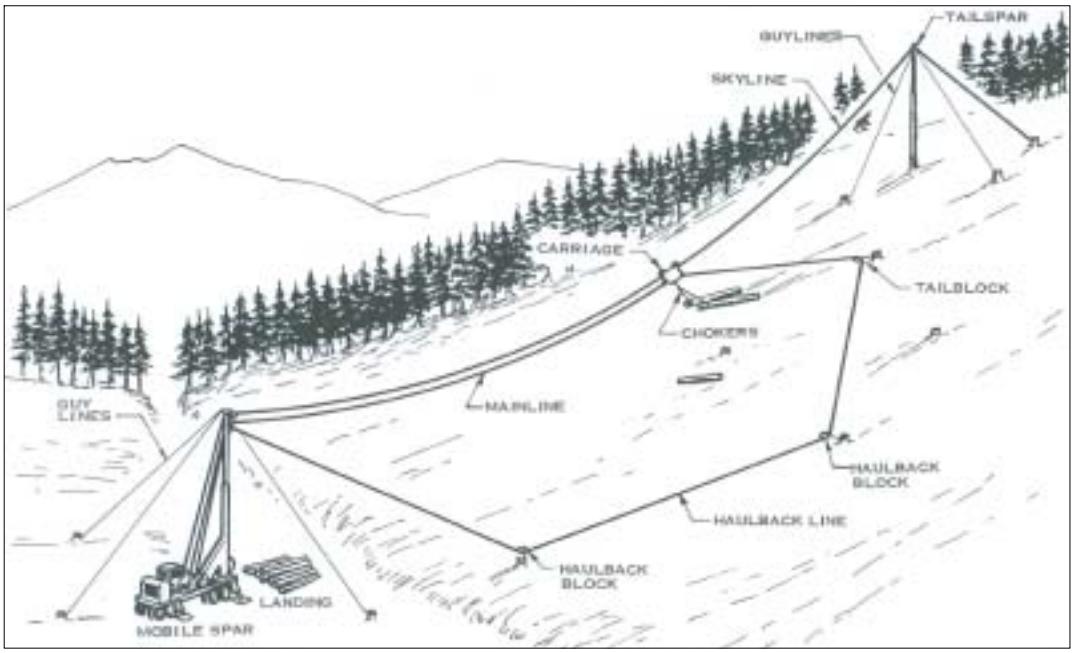
그림 3-1-35. 고정식 가선시스템



(a) Live skyline



(b) Running skyline



(c) Slack line

그림 3-1-36. 유동식 가선시스템

3) 가선집재시스템의 반송기 형태 분류

가선집재시스템은 집재기의 제원 혹은 특성에 따라 설치 및 작업방식이 달라질 수

있다. 한편 반송기의 종류에 따라 집재시스템의 작업형태가 달라질 수 있으므로 가선집재시스템 설계시 해당 집재시스템의 반송기의 종류로 중요한 고려인자가 된다. 반송기의 종류는 집재기와 마찬가지로 제조회사에 따라 그 형태가 다양하여 여러 관심에서의 분류가 가능하다. 여기서는 Session(1985)이 기계식 반송기(mechanical carriage)들을 원리적 측면에서 분류한 결과를 요약한다. 반송기의 종류는 주행방식에 의해 (1)중력을 이용하는 중력식 반송기(gravity carriage), (2) slackline의 장력을 이용하는 slackline반송기 그리고 (3) 되돌림줄을 이용하는 running slkyline반송기의 3가지로 분류할 수 있으며 그 내용은 다음과 같다<표 3-1-7와 그림 3-1-37>.

표 3-1-7. 반송기 형태별 특성비교

Types of Carriages / Item	Gravity		Slackline		Running	
	Non-slackpulling	Slack pulling	Non-slack pulling	Three-drum slackpulling	Non-slack pulling	Slack pulling
No. of Internal Drums	0	1	0	3	0	3
Choker Line Length	A	A	F	A	F	A
Clamping	NA	AV	NA	NA	NA	NA
Device for Outhaul	Gravity	Gravity	S.L	S.L	H.B.L	H.B.L

(A: adjustable; F: fixed; NA: nonavailable; AV:available)

가) 중력식 반송기(gravity carriage)

상형집재에만 사용할 수 있는 반송기로 standing skyline 이나 live skyline system에 이용되며, 반송기의 상향이동에는 당김줄(mainline)의 장력을 이용하지만 하향이동시에는 중력을 이용하는 반송기 형태이다. 그 종류에는 짐올림줄이 반송기에 고정되어 있어 (1) 그 길이를 조절할 수 없는 형태의 고정올림줄식 중력반송기(그림 3a)와 (2) 짐올림줄이 당김줄에 연결되어 있는 형태로 chokersetter가 짐올림줄을 수동으로 끌어당겨서 길이를 조절할 수 있는 가변올림줄식 중력반송기(그림 3b) 및 (3) 자체의 동력장치로 짐올림줄을 감거나 풀 수 있는 자주식 가변올림줄 중력반송기(그림 3c)가 있다. 대개 가변올림줄식은 자동 혹은 수동식의 죔쇠장치가 구비되어 벌도목을 반송기에 매달거나 횡취할 때 반송기가 가선에 고착되어 안정된 작업을 가능하게 한다.

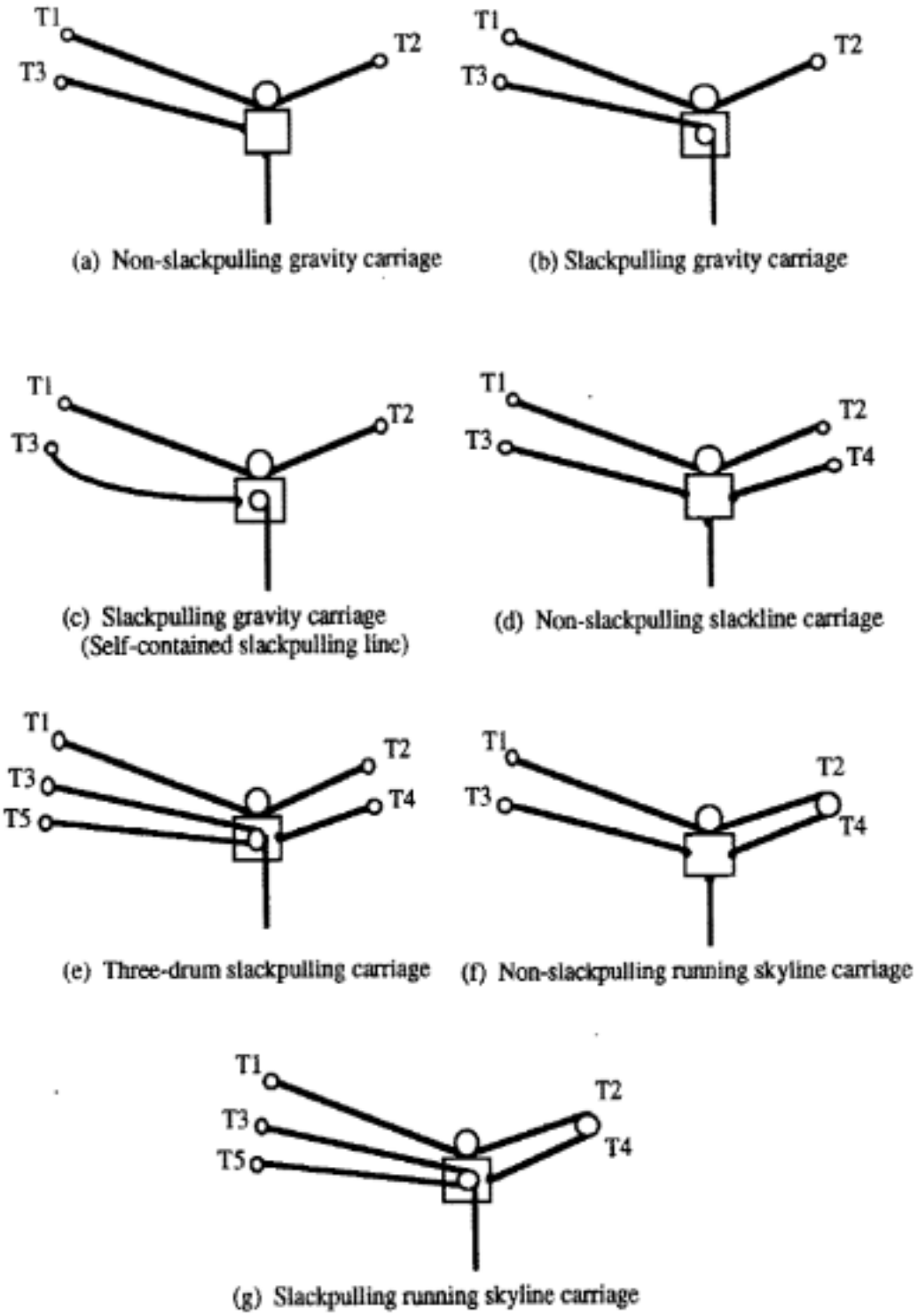


그림 3-1-37. 기계식 반송기의 분류

나) slackline 반송기(slackline carriage)

이 반송기는 slackline system에 이용되는 것으로 slackilne이 부착되어 있어 당김줄과 slackline의 장력을 조절함으로써 이동이 가능하다. slackline 반송기에는 (1) 짐올림줄이 반송기에 고정되어 있는 고정올림줄식<그림 3-1-37-d>과 (2) 두선의 당김줄과 1개의 짐올림줄이 반송기 내의 드럼을 통해 연결되어 두 당김줄의 장력을 조절함으로써 기계적으로 짐올림줄을 감아올리거나 내릴 수 있도록 설계된 가변올림줄식 Slackline 반송기(mechanical slackpulling slackline carriage; <그림 3-1-37-e>)가 있다. 가변올림줄식의 경우 가선에 반송기를 고착시키는 죔쇠기능은 되돌림줄과 당김줄의 평형장력에 의해 가능하다.

다) running skyline 반송기

running skyline system에 사용되는 반송기로서 (1) 짐올림줄이 반송기에 고정되어 있는 고정올림줄식 running skyline 반송기<그림 3-1-37-f>와 (2) 2개의 당김줄의 장력을 조절함으로써 짐올림줄을 감아올리거나 내릴 수 있도록 되어 있는 가변올림줄식 running skyline 반송기<그림 3-1-37-g>가 있다. running skyline 반송기들의 형태 및 작동방법은 위에 설명한 slackline반송기와 유사하다.

나. 국내 가선집재기의 이용현황과 분류 기준에 따른 특성 고찰

1) 외국 도입기종

현재 국내에서 이용되고 있는 가선집재기종은 5종으로 추정된다. 산림협동조합산하의 임업기계훈련원에 Koller K-300과 암수 Y 28 DE가 각 1대씩 있고, URUS 1 기종이 2대 있으며, 임업연구원에 Tiber Master가 1대 있다. 그 외에 동해펄프주식회사에 의해 소수의 Radi-Carry 기종이 도입되어 사용되었다. 이 중 Koller K-300 URUS 1 및 Timber Master 기종들은 오스트리아에서 도입되었고, Y형 집재기와 Radi-Carry의 두 종류는 일본으로부터 도입된 기종이다<표 3-1-8>.

표 1에는 이상의 각 기종들 재원과 구조적 특성이 나타나 있다. 이 표에 나타난 구분인자들은 해당집재기의 작업특성을 구분하는데 중요한 항목이 된다. 이 인자들을 기준으로 하여 각 집재기들의 형태적 특성과 작동방식은 다음과 같이 설명될 수 있다.

표 3-1-8. 국내에 도입된 가선집재기의 제원.

Model	Koller k300	URUS1	Timber Master	Y-28DE	Radi-Carry BCR 08SP
Operation Type	direct	direct	direct	direct	remote-controll
Tower(m)	7	9	7	-	-
Rated HP	40	72	60-80	45	8.5
Winch Drive	gear	hydraulic	gear	gear	hydraulic
No. of Drums	3	3	4	3	1
Drums (1)	skyline	skyline	skyline	mainline	monoline
(2)	mainline	mainline	mainline	tailline	-
(3)	haulback	strawline	haulback	endless	-
(4)	-	-	strawline	-	-
Weight(ton)	1.2	4	3	1.7	0.44
Undercarriage	2-axles	2-axles	1-axle	skids	-
Carrier	tractor	trailer	trailer	-	-
Country of manufactured	Austria	Austria	Scotland	Japan	Japan

(* Yarder weight less the tractor weight.)

가) 직접조정 방식과 원격조정 방식

가선집재기는 작동방식에 따라 직접조정방식과 원격조정방식으로 구분할 수 있다. Radi-carry는 당김줄(mainline)을 통해 반송기에 동력을 전달하여 벌도목을 운송하는 일반적인 야더형태의 타기종들과는 달리 반송기내 원격조정에 의해 작동하는 드럼을 돌려 마찰력에 의해 벌도목을 운송하게 된다.

나) Tower

일본에서 도입된 두개의 기종(Y-28DE, Radi-carry)들 외의 것들은 tower가 부착되어 가선집재시스템 설치시 야더쪽의 지주목(spar tree)를 찾기 위한 노력을 줄일 수 있고 또한 설치작업을 편리하고 안전하게 하여 작업의 효율성을 증진할 수 있다. 특히 대개의 국내 벌채작업지가 소경목 중심의 임분임을 고려할 때 적정 크기의 지주목을 찾기 힘들므로 중요한 고려인자가 될 수 있다.

다) 정격출력(rated horse power)

정격 출격은 야더작업시 적절한 힘이 지속적으로 출력될 수 있는 엔진출력 혹은 일률을 의미한다. 이 표에서 나타난 바에 의하면 국내에서 이용되는 모든 기종들은 정격 출격이 8.5마력에서 80마력까지로 소형목 집재에 적합한 소형집재기종들임을 알 수 있다.

라) 드럼구동기(winch drive)

드럼을 돌려주는 힘의 전달은 기어식과 유압식이 있다. 엔진출력을 드럼까지 전달해 주는 동력전달 특성을 나타낸다.

마) 드럼의 수

가선집재시스템은 지형적 특성, 작업방침, 운전자의 속달도 등에 의해 여러 가지 형태로의 변형이 가능하다. 그러나 각 형태의 집재시스템 설치에 필요한 드럼의 수가 집재기에 부착되어 있을 때 그러한 변형이 가능하다. 대개의 소형집재기는 2-3개의 드럼이 가선, 당김줄, 되돌림줄 혹은 slack line 용으로 부착되어 있으나 때로는 Y-28DE기종과 같이 endless line, URUS I과 같이 strawling용이 부착된 경우도 있다.

바) 집재기 하중

급경사지 작업에서는 집재기의 이동이 중요한 문제가 된다. 따라서 집재기의 선정은 지형적 여건, 임도의 경사도 등을 고려하여 적합한 크기의 기종이 결정되어야 한다. 반면 집재기의 하중은 집재작업의 안전성과 관계가 있다, 집재기의 하중이 클수록 반송기, cable 철선 및 벌도목의 하중이나 충격에 영향을 적게 받기 때문이다. 표에서 trailer 형태의 URUS I이나 Timber master는 무거운 하중으로 인해 타기종에 비해 산악지형 임도에서 이동상의 제약이 상대적으로 클 것으로 판단된다.

사) 하체구조와 운반기

바)에서 전술한 바와 같이 산악지형 임도에서 집재기의 이동은 중요한 문제가 된다. 따라서 이동성을 고려한 하체구조 및 운반기에 대한 고려가 중요하다. Koller K-300의 경우에는 자체구동력에 의해 이동이 가능한 반면 URUS I은 axle이 2개 부착된 trailer 형태로서 자체 하중을 끌기 위한 별도의 운반기가 요구된다. 한편 Y-28DE는 썰매형태의 하체구조로 되어 트랙터 등에 의해 끌 수 있도록 되어 있고 Radi-Carry는 구동장치가 반송기 내부에 부착되어 특별한 운반기가 요구되지 않는다.

2) 국내 개발 기종

<표 3-1-9>과 같이 국내에서 개발된 집재장비는 현재 4가지로 HAM200과 다목적 집재차, 굴착기부착형 집재기 그리고 북부집재기가 있다. 견인력은 대부분 1~1.5톤 정도지만 HAM200만이 3톤으로 다소 차이를 보인다.

집재 드럼수는 HAM200이 2개, 다목적집재차가 3개, 굴착기부착형 집재기가 1개, 북부집재기가 3개를 부착하고 있다. 최대집재거리는 굴착기부착형 집재기가 100m이고 나머지는 200~250m를 보이고 있는데 그 중 다목적 집재차가 250m로 가장 우수하며 속도는 40~120m/min 의 범위를 보이고, 다목적 집재차의 경우 70~120m/min의 집재 속도를 가지고 있다. 작업능률은 각 장비마다 조건을 달리하지만, 보통 15~25㎥/일로 집재목의 크기가 커질 수록 생산성이 높아지는 것을 알 수 있다.

표 3-1-9. 국내에서 개발된 집재장비

모델명	트랙터부착형 집재기(HAM200)	다목적집재차 (타워야더형)	굴착기부착형 집재기 (동수집재기)	북부집재기
중량(kg)	1000	10,300	76(본체)	2400
견인력(ton)	3	1.2~2.0	1	1.5
드럼수(개)	2	3	1	3
최대집재거리(m)	200	250	100	200
속도(m/min)	50	70~120	50	40~60
작업능률(m^3/일)	·소경재 2인 1조 작업으로 15~20m^3/일 ·중경재 2인 1조 작업으로 20~25m^3/일	3인 1조 작업 16~20m^3/일	2인 1조 작업 15~20m^3/일	1회 평균 집재작업량을 0.4m^3, 평균집재거리를 100m 인 경우 18.58m^3/일
개발기관	강릉임업기계훈련원	임업연구원, 광림특장차	산림청(김동수)	북부지방산림청

HAM200은 트랙터기에 집재기를 부착한 것으로 상하 높이 조절이 가능한 타워를 탑재하여 상, 하향의 가선집재를 위한 집재장비로 지면을 이용한 지면끌기식 집재와 선을 공중에 띄워서 할 수 있는 가선집재가 가능하다. 다목적집재차는 일반상용차(5톤 트럭)를 산지에 맞게 4륜구동형으로 개조해 타워야더를 부착하여 임도에서 집재가 가능하며 따로 부착된 원목그래플로 벌목의 정리와 집적까지도 할 수 있는 다목적 집재차로써 지면끌기식 집재와 가선집재 또한 가능하다. 굴착기부착형 집재기는 널리 보급된 소형

굴착기(0.2~0.3㎥)에 원치를 부착할 수 있도록 개발된 집재기계로 개발자의 이름을 따서 동수집재기로 불리기도 한다. 지면끌기식 집재가 가능하고 상. 하향 집재가 가능하며 산지경사도에 따라 15°이하는 단선순환식 집재, 30°이상은 반송기를 이용한 가선식 집재가 가능하다. 북부집재기는 벼 수확기인 콤바인의 하부를 기본으로 하여 스카이라인 드럼, 견인드럼, 회송드럼을 유압식으로 구동하여 간이타워를 이용한 고정식 가선집재 장비이다. 상. 하향집재가 가능하며, 부속되는 반송기도 상. 하향집재가 가능하도록 고정핀의 교환으로 집재지역에 따라 작업이 가능하도록 설계제작 되었다. 간벌목의 수집에 활용할 수 있으며 전간 또는 전목집재가 가능하고 연약지반 또는 임내주행으로 산지에서 이용하기에 적합하다.

국내 집재장비의 개발기관을 살펴보면 임업기계훈련원과 임업연구원, 그리고 산림청 등 각 임업기관은 물론 심지어 기관의 공무원까지도 적극적으로 참여하여 성과를 거두고 있음을 볼 수 있다. 현재 국내에서 활용하고 있는 집재장비는 작업조건과 운영인력의 부족으로 다소 한계가 있으나 계속적인 임업기관과 임업인의 노력으로 실효를 거두고 있으며 그로인해 국내 실정에 맞는 국산 장비의 개발로까지 이어져 가고 있다. 그러나 이에 만족하지 말고 임업의 기계화에 대한 관심과 연구를 위한 지원도 지속적으로 이루어져야 하겠다.

3) 작업시간 최소화를 위한 가선과 작업노망의 설계

가선의 설치 계획과 작업 계획을 위해서 먼저 선행 되어야 할 것이 기계 투입 및 설치에 가장 기본이 되는 기반 시설일 것이다. 특히 간벌생산재의 반출에 있어서 경영규모는 비교적 소규모 형태의 경영단위가 주 대상이므로 가선의 설치 및 이용도 소규모의 간이 가선계 이용이 바람직할 것이다. 이러한 가선 작업시스템은 이동성이 비교적 크기 때문에 임지에의 접근성이 가선 집재 시스템의 경제성에 주요한 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 제 2 세부과제 팀인 산림과학원 산림생산기술연구소와 함께 광릉 시험림을 대상으로 기존의 임도시설에서 분지된 작업로가 설치된 지역으로 4영급의 잣나무 림을 대상으로 라디캐리에 의한 가선집재 시스템과 산림과학원 산림생산 기술연구소에서 개발한 다목적 집재차를 이용한 집재작업에 대한 작업 특성을 조사 분석 하였다.

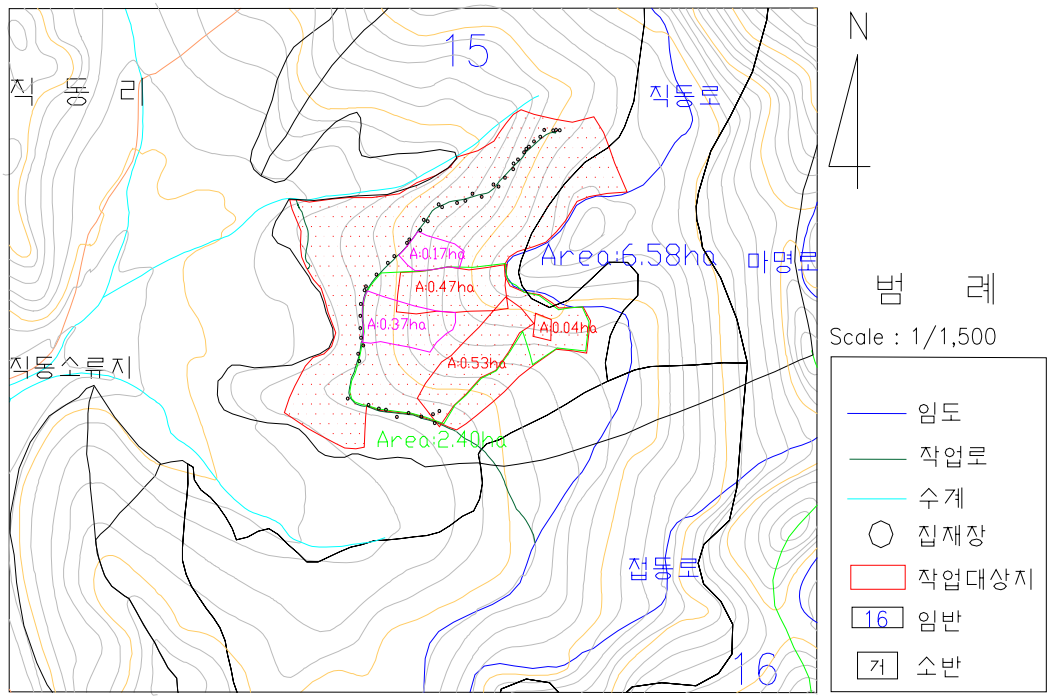


그림 3-1-38. 연구대상지역의 임도망과 작업로망

(1) 라디캐리에 의한 집재작업시스템의 설계

라디캐리는 중경목급이하 소경목의 집재작업에 이용되는 소형집재기로서 무선조종에 의해 작동되며 자주식 반송기이다. 이 반송기는 무선조종기에 의해 작동되며 반송기내의 각 부분명칭은 <그림 3-1-39>에 나타나 있다.

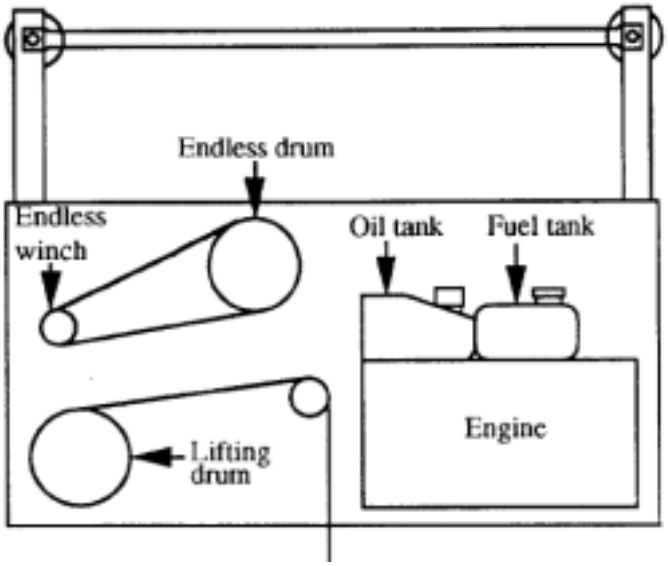


그림 3-1-39. 설치된 라디캐리와 내부구조(김덕수, 1994)

이 반송기의 엔진출력은 20마력이고 무게는 440㎏이다. 시스템의 설치 및 해체에 요구되는 시간은 약 1-1.5일 정도이다. 집재작업은 집재장과 벌도목이 위치한 곳에서 각가 1대식 모두 2대의 무선 조종기를 운여용하여 실시하며 국내에서는 일반적으로 4인 혹은 5인이 1개조로 편성되어 작업을 실시하고 있다.

이 반송기의 이용안내서에 의하면 최대 견인력은 800㎏, 최대 집재거리는 약 300m, 횡취집재거리는 좌우 각 50m로서 최대작업허용면적이 약 3ha정도인 것으로 소개되고

있다. 그러나 실제의 반송능력은 지형조건 및 가선의 장력 등에 의해 크게 영향을 받을 것으로 판단된다. 특히 20마력의 낮은 엔진출력과 양끝이 지면에 고정된 작업줄에 의한 반송기 이동의 특성으로 인해 벌도목 크기에 의한 작업상의 제약을 비롯하여 집재로 선정 및 가선의 설치 등에 많은 제약이 있을 것으로 판단된다.

<그림 3-1-40>는 라디캐리 집재시스템의 구조를 나타낸 것으로, 본 연구에서도 그림과 같은 single span 고정식 가선집재시스템을 적용하였다.

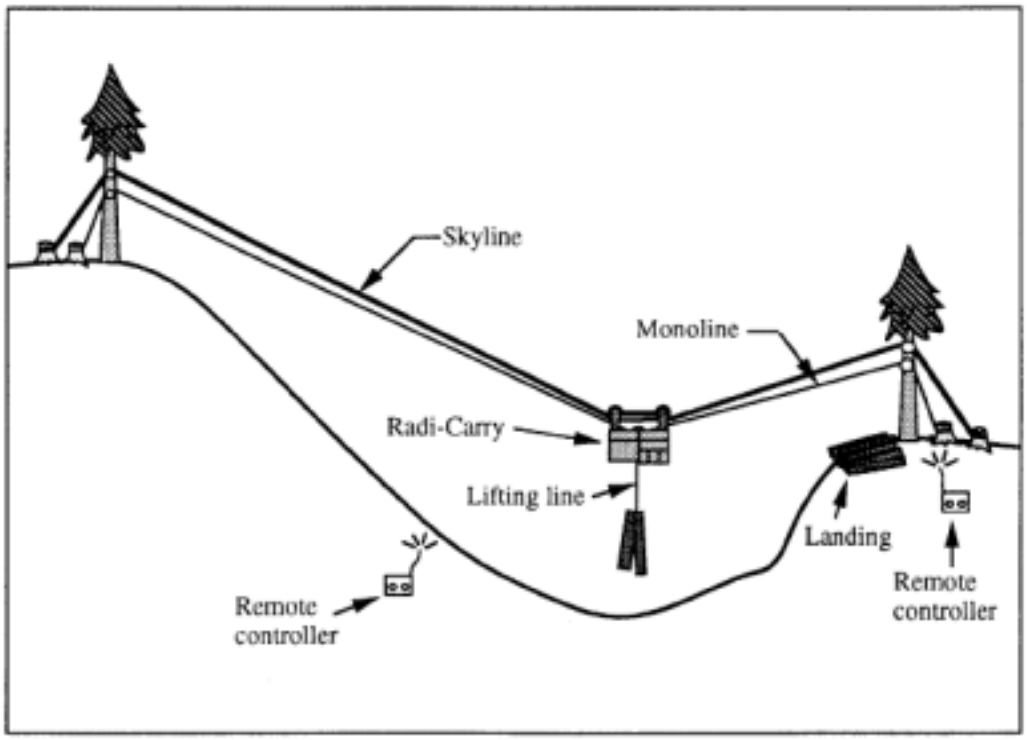


그림 3-1-40. 라디캐리를 이용한 고정식 가선시스템의 구조(김덕수, 1994)

라디캐리 시스템은 반송기의 이동이 작업줄과 반송기내 엔드리스 드럼의 마찰력에 의해 이루어진다는 특성이 있다. 이러한 특성으로 인해 다른 가선집재시스템에 비해 작업상의 제약을 크게 받게되며, 작업상의 제약은 가선의 기하학적 구조 및 장력에 의한 가선의 처짐에 의해 설명될 수 있다. 가선의 처짐현상은 <그림 3-1-40>에서 볼 수 있다. 그림에서 처짐은 양 끝에 있는 지주목들의 윗부분 즉 가선이 통과하는 가선과의 최대 연직거리로 정의한다. 가선의 처짐은 시스템 설치시 가선에 장력이 많이 가해질수록 줄어들고, 가선이 받칠 수 있는 허용하중은 급격히 줄어든다.

라디캐리 시스템은 일반적으로 하향집재 방식에만 사용이 가능하다. 이것은 벌도목을 매단 반송기의 하중이 가선의 처짐에 의한 경사를 극복하기 위해서는 작업줄에 작용하는 힘이 충분하여야 하지만 미끄러짐(slip)에 의해 경사저항(gradability)를 극복하지 못하므로 상향집재 작업에는 제약이 따르기 때문이다. 또한, 하향집재의 경우에도 架線에 張力이 충분히 가해지지 않거나 벌도목의 무게가 무거운 경우 유사한 현상이 일어날 수 있다. 따라서 일반적으로 라디캐리 시스템 설치시 무리 없는 반송기 주행을 위해서 가선에 많은 장력을 가하여야 한다.

한편 전술한 바와 같이 가선에 주어진 장력은 <그림 3-1-41>에 보이는 가선의 처짐을 줄여 주는 역할을 하는 반면 가선이 받쳐주는 벌도목의 許容荷重을 줄이게 한다. 즉, 동일한 하중의 벌도목을 반송기에 매달았을 때 가선의 처짐이 적은 경우 가선에 부과되는 장력으로 인한 부담이 크게 된다. 따라서 가선을 설치할 때 지형 및 가선의 경사도와 반송기 및 벌도목의 무게 등을 고려하여 장력을 조절할 필요가 있다.

(가) 라디케리 주케이블의 설계

① 중앙처짐비

두지점간에 주케이블을 설치하면 자중에 의해서 <그림 3-1-41> 과 같이 주케이블은 곡선을 이룬다.

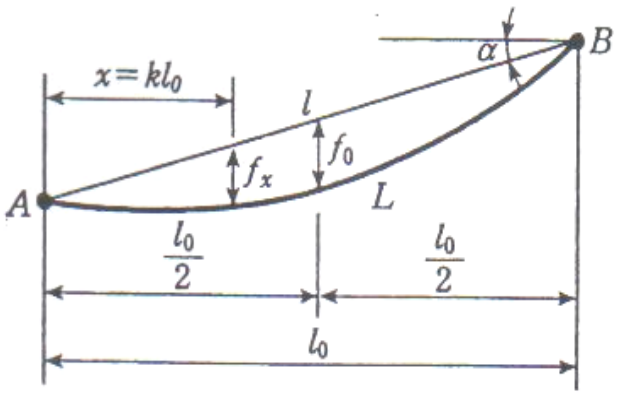


그림 3-1-41. 주케이블의 처짐

이와 같이 주케이블의 중앙처짐비를 S0, 지간 수평거리를 l0, 지간 중앙의 처짐량을 f0라 하면 $S_0 = f_0/l_0$로 된다. 표준 S0는 0.03-0.05이다. 지간 직선거리 l은 $l_0/cos\alpha$로 구한다.

따라서 라디캐리의 경우 중앙처짐비의 계산에 의해 설치된 지형의 특성을 고려하여 중간 지지대의 설치의 유무를 미리 예측 할 수 있다.

② 주케이블의 최대장력

단일하중 P를 받는 주케이블의 최대장력 T1는 다음과 같다.

$$T_1 = (W + P) \times \Phi_1$$

여기서, W=주케이블의 자중(사거리 × 주케이블의 단위중량)

P=주케이블에 걸리는 전하중

최대장력계수 Φ_1은 원 하중비 n=P/W를 구하여 n 에 따른 처짐비계수를 다음시에 의하여 구한다.

$$Z_1 = (1 + n)/\sqrt{1 = 3n + 3n^2}$$

당치처짐비 $S_1 = Z_1 \times S_0$(처짐비 당치계수×주케이블의 중앙처짐비)를 구한다. 따라서 최대 장력계수 Φ_1는 경사각 α, 당치처짐비 S_1에 대해 다음식으로 구한다.

$$\Phi_1 = \sqrt{1 + (4S_1 + tan\alpha)^2/8s_1}$$

이상의 결과로 최대장력 T_1이 구해지면 이때의 안전계수 N은 다음식(주케이블의 보증 강도/최대장력)에 의해 산출한다.

$$N = B/T_1$$

N의 값이 2.7미만이면 보정계산을 하든지 설계를 변경하여 다시 계산한다.

③ Skyline의 보정계산

㉮ Cable자체의 탄성신장에 대한 보정계수 (ϵ_E)

부하에 의해 발생하는 장력의 증가에 따라 수하비가 다르게 되므로 이것에 대한 보정을 의미하는 것이다. 우선 장력의 차이는 다음과 같이 구한다.

$T_d = T_1 - T_0$

여기서 T_0는 무부하삭 최대 장력으로, 경사각 ◘와 원래 스카이라인의 중앙수하비 S_0의 값을 이용해서 구한 최대장력계수 값 Φ_0와 스카이 라인의중량을 곱한 것이다.

T_1의 값은 최대장력 계산방법으로 구해지지만, P의 값에 20%의 충격하중을 고려한 것을 이용하는 것이 다르다. 신장률Δe 의 계산방법은 다음과 같다. .

$$\Delta e = \lambda \times T_d \qquad \text{단, } \lambda = \frac{1}{A \times E}$$

λ : 장력차 1kg당의 탄성신장율

A : 강삭의 유효단면적(㎟)

E : 강삭의 탄성계수(kg/㎟) ; 신품은 10,000 중고품은 14,000정도의 값을 가짐

$$\epsilon_e = \frac{1}{2}\{1 + \sqrt{1 + (1 + \frac{3}{8 S_0^2 cos^4 \alpha})\Delta e}\}$$

여기서, α:지간경사각, S_0:원삭의 중앙수하비, Δe : 신장률

㉯ 지점변위에 대한 보정계수(ϵ_d)

부하에 의해 스카이라인의 장력이 증가하면, 상하 양지간내 방향으로 약간 변위가 생겨, 지간거리가 그만큼 짧아지게 되고 수하량은 증대한다. 이 지점의 미소변위값을 Δl로 하고, 지간거리를 l 로 한다면, 지점변위율은 $\Delta d = \Delta l / l$이 된다. 영향을 받은 원삭 중앙수하비 S_0, 지간경사각 α 및 변위율 Δd에 대한 보정계수ϵ_d 는 다음 식에 의해 구하는 것이 가능하다.

$$\epsilon_d = \sqrt{\frac{\frac{3}{8S_0^2 cos^4\alpha}\Delta d}{1-\Delta d}}$$

Δd로서, 일반적으로 기계집재장치로는 1/1000 ~ 1/2000정도의 값을 사용하고 있지만, Δd의 값은 실상을 조사해서 정해야 할 것이기 때문에, 이 값을 과대하게 견적하는 것은 위험하다.

㉰ 총합보정계수

$$(\epsilon) = \epsilon_e \times \epsilon_d$$

㉱ 보정수하비(부하시의 수하비)

$$S = S_0 \times \epsilon$$

이 보정수하비 값을 이용해 최대장력산출 계산을 한다면 보정계산을 한 안전율이 구해진다. 여기에서 얻은 안전율이 소정의 값에 미치지 못한 경우는 조건을 바꾸어 재계산해야 한다.

④ 라디캐리를 이용한 고정식가선시스템에 있어서의 스카이라인의 안전검토

라디캐리 시스템의 반송기 위치에 따른 장력 특성을 분석하기 위해 실험용 단일 스팬의 고정식 가선시스템을 설치하였다. 실험을 위해 구할 수 있었던 와이어 로프의 직경이 14mm의 것을 사용하였는데, 이때의 안전율을 기 서술한 장력계산 방법에 의해 계산 하였다. wire 로프의 강도는 <표 3-1-10>의 것을 기준으로 계산 하였다.

표 3-1-10. wire rope의 깅도(상단), 단위길이당 중량(하단)

직경(mm) / 구분		8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
주삭용 A종 (6*7)	ton	3.9	6.1	8.7	11.8	15.5	19.6	24.2	29.3	34.9	40.9	47.5	54.5
	kg	0.237	0.370	0.533	0.725	0.947	1.20	1.48	1.79	2.14	2.50	2.90	3.33
부삭용 A종 (6*19)	ton	3.5	5.5	7.9	10.8	14.1	17.8	22.0	26.6	31.7	37.2	43.2	49.5
	kg	0.234	0.364	0.524	0.715	0.934	1.18	1.46	1.77	2.10	2.47	2.86	3.29

<그림 3-1-42> 에서의 계산 결과와 같이 안전계수가 2.7미만이 경우는 보정계산을 한 경우에 있어서도 18mm 이상이 되어야 하는 것으로 판단된다. 따라서 실험시 사용한 14mm의 스카이 라인은 일반적으로 2.7이상을 요구하고 있는 것을 볼 때 안정성에 문제를 가지고 있는 것으로 판단이되며, 실제 시험에 있어서도 장력의 상태가 과도한 것으로 판단되고 있다.

또한 현재의 계산 기준 값이 원래 800kgf까지의 용량까지 견인할 수 있는 것을 200kg까지로 계산한 결과임을 생각할 때 더욱더 안전에 대한 위험이 있었음을 알 수 있었다.

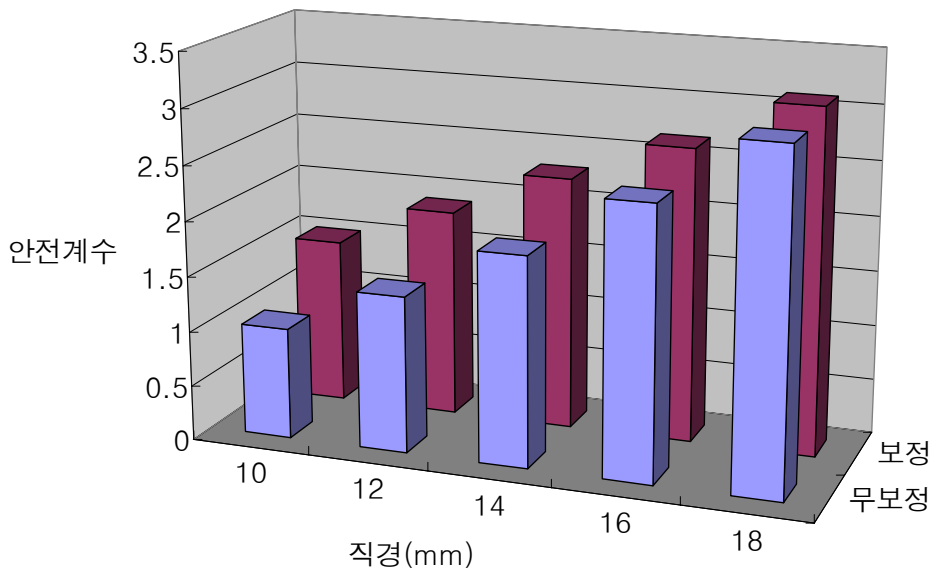


그림 3-1-42. 라디캐리 가선시스템의 주삭의 직경별 안전율

가선 집재 시스템에 있어서 올바른 가선의 장력은 작업에 있어서 매우 중요한 요소이다. Watanabe(1986)은 적절하지 않은 가선의 장력은 작업의 능률에 많은 영향을 준다고 하였다. 그러나 가선의 장력을 일정하게 유지하는 것은 매우 어렵다. 간이 가선 기계의 경우 기계자체의 이동이 빈번하기 때문에 가선의 전체적인 길이와 경사가 달라지기 때문이다. 라디캐리의 공주행시 측정한 스카이라인의 장력추이는 <그림 3-1-43>와 같다. <그림 3-1-43>에서와 같이 지주간의 거리의 1/2이 되는 지점에서 가선의 장력이 최대가 되는 것을 알 수 있다. 그림에서의 조건은 상향으로 라디캐리반송기를 저속으로 공주행 시킨 결과로 최대장력은 측정결과 4,120kgf 였다. 이 결과는 이론적 최대장력을 구하는 계산 방법으로 구한 4,163kgf와 비슷한 결과를 나타냄으로써 사전 장력 계산의 유용성을 나타내고 있는 것이다. 그러니 이 계산 결과는 보정계산의 결과로 실제 가선의 장력으로 양지주간의 거리가 실제로 줄어든다는 것을 짐작할 수 있는 부분이다. 따라서 본 연구의 경우 양쪽 지간거리가 최소 8cm 정도는 변형되었다는 것을 의미한다.

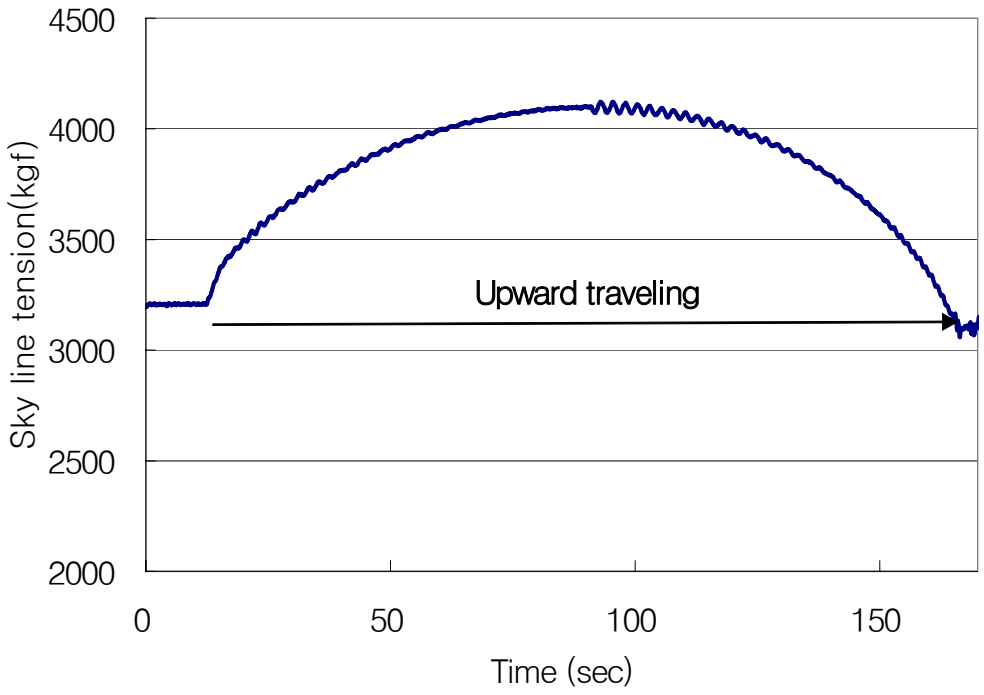


그림 3-1-43. 라디캐리 공주행시의 스카이라인 장력변화

(2) 가선계 집재 시스템의 가선장력의 동적특성 측정 및 해석

가선 집재 시스템에 있어서 올바른 가선의 장력은 작업에 있어서 매우 중요한 요소이다. Watanabe(1986)은 적절하지 않은 가선의 장력은 작업의 능률에 많은 영향을 준다고 하였다. 그러나 가선의 장력을 일정하게 유지하는 것은 매우 어렵다. 간이 가선기계의 경우 기계자체의 이동이 빈번하기 때문에 가선의 전체적인 길이와 경사가 달라지기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 간이 가선장치의 적정한 장력유지와 목재 반출시의 장력 등을 측정 분석하여 효율적인 간벌생산재 반출을 계획하는데 기초자료로 활용하고자한다.

(가) 라디캐리 고정식 가선 시스템의 장력 측정 및 분석

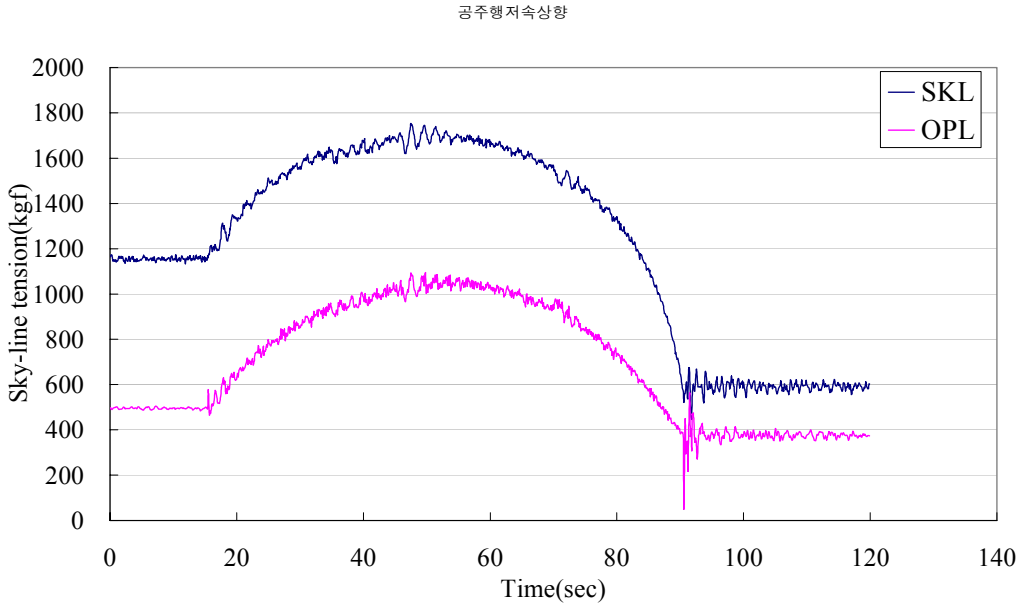
라디캐리가 설치된 장소에서 각각 주삭과 작업삭 2곳의 장력을 측정하기 위해 선주의 지주목에 연결되는 부분에 각각 5톤과 2톤의 Load cell을 설치하였다<그림 3-1-44>.

그림 3-1-44. 라디캐리 가선장력 측정을 위한 로드셀의 설치

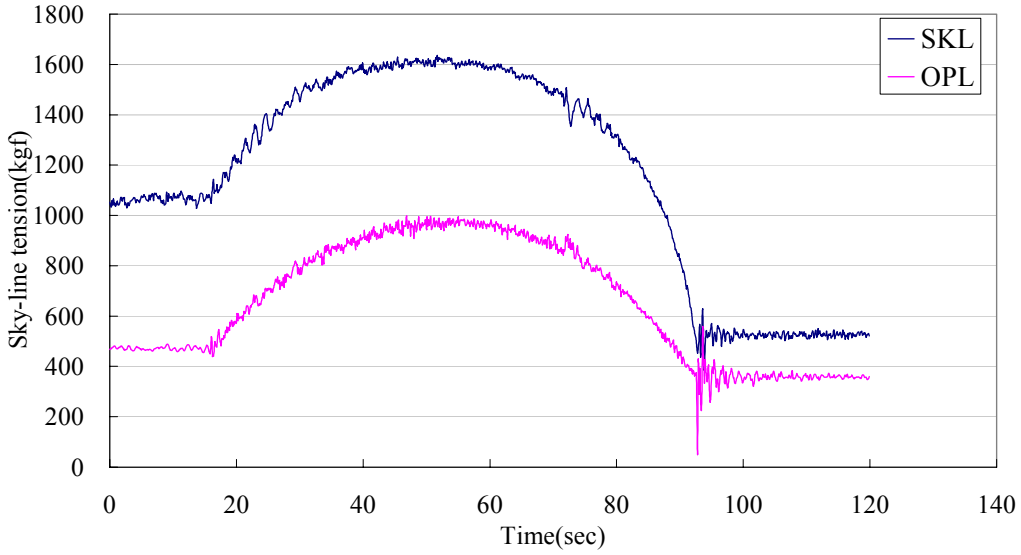
설치된 로드셀은 각각 스트레인 앰프(WGA710A, KYOWA CO.)를 통해 증폭되어 A/D 카드를 통해 노트북 컴퓨터로 입력하여 데이터를 수집하도록 하였다. 계측에 사용된 전원은 DC 12V의 차량용 배터리를 사용하였으며 노트북에 저장된 자료는 추후 물리적인 값으로 환산하여 분석하였다. 야외 계측 시스템의 측정 광경은 다음과 같다<그림 3-1-45>.

그림 3-1-45. 장력측정을 위한 자료수집장치

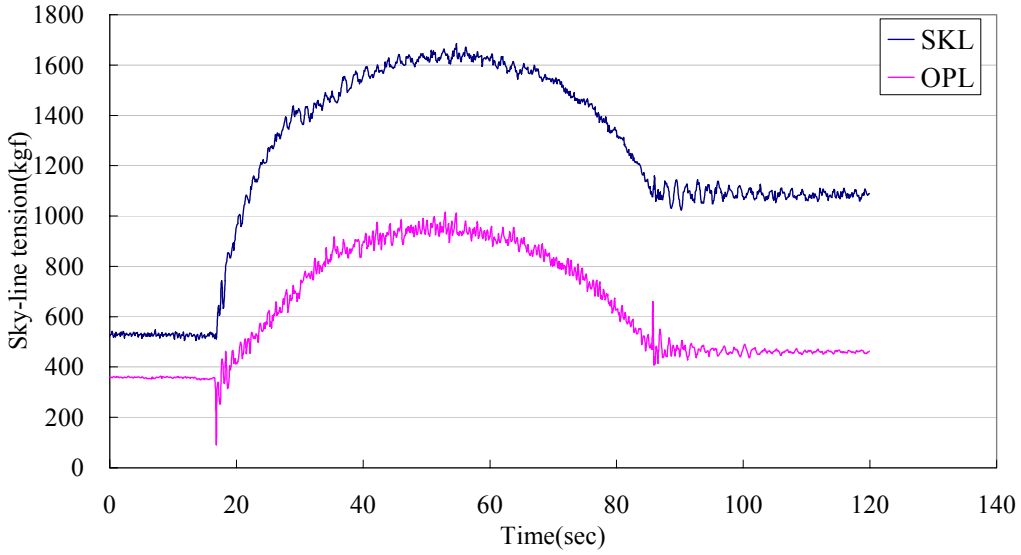
측정은 공주행과 부가중량을 50, 10, 200kgTlr 각각 부가하여 고속과 저속 그리고 상향 하향일때의 장력변화를 시간추이별로 분석하여 나타내었다<그림 3-1-46>.

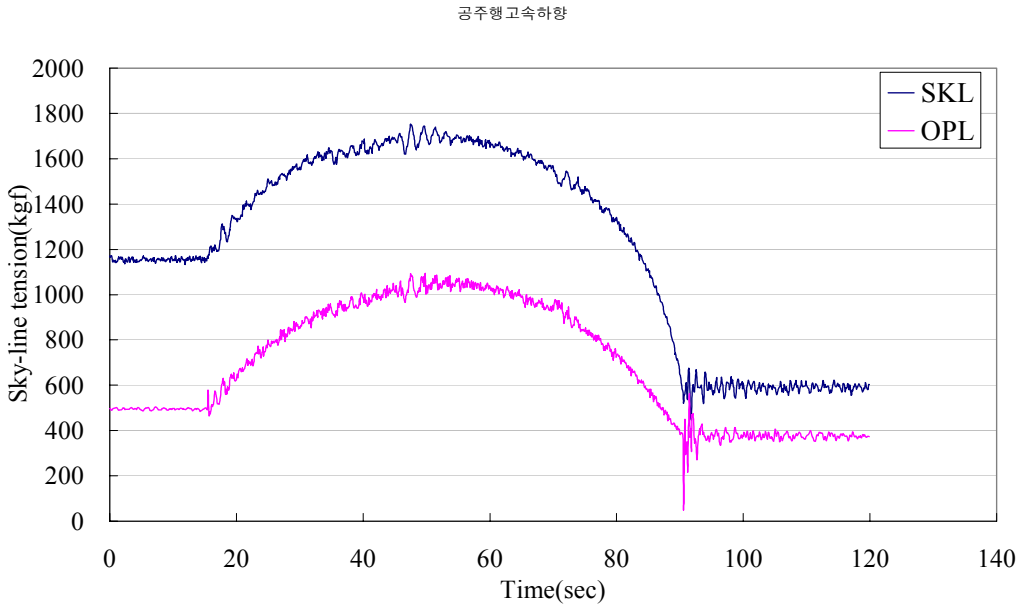


공주행저속상향

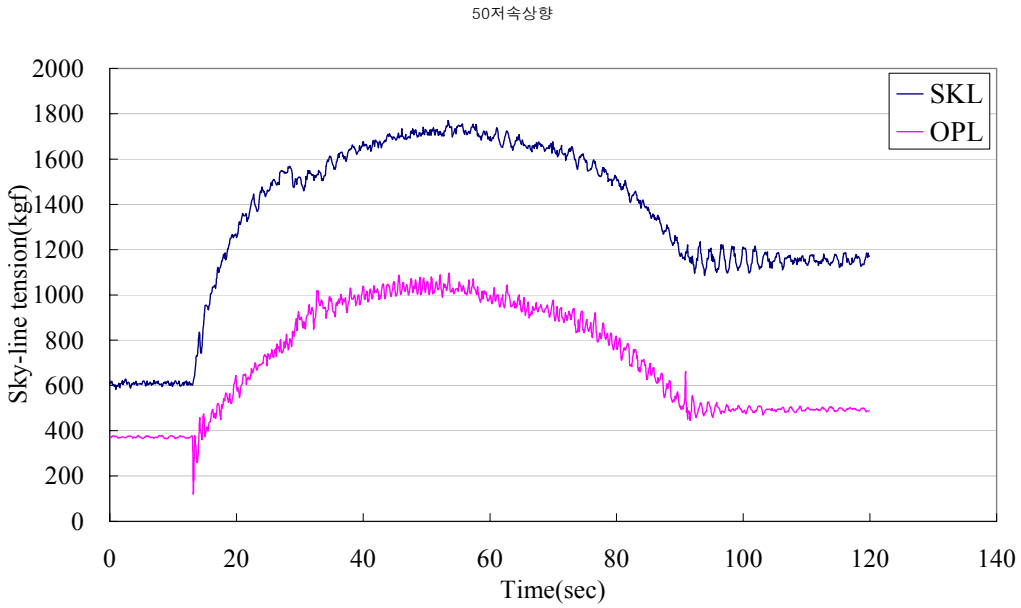


공주고속상향

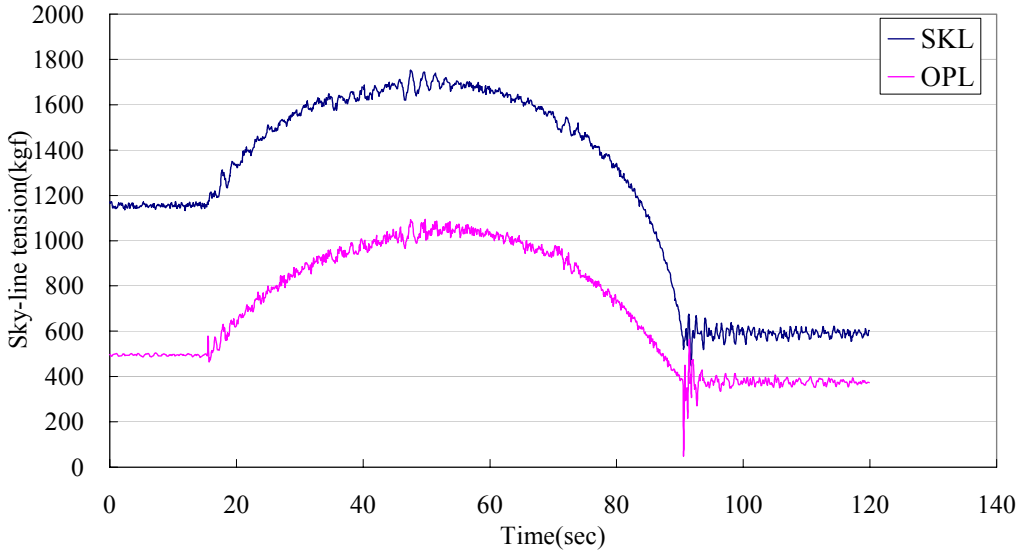




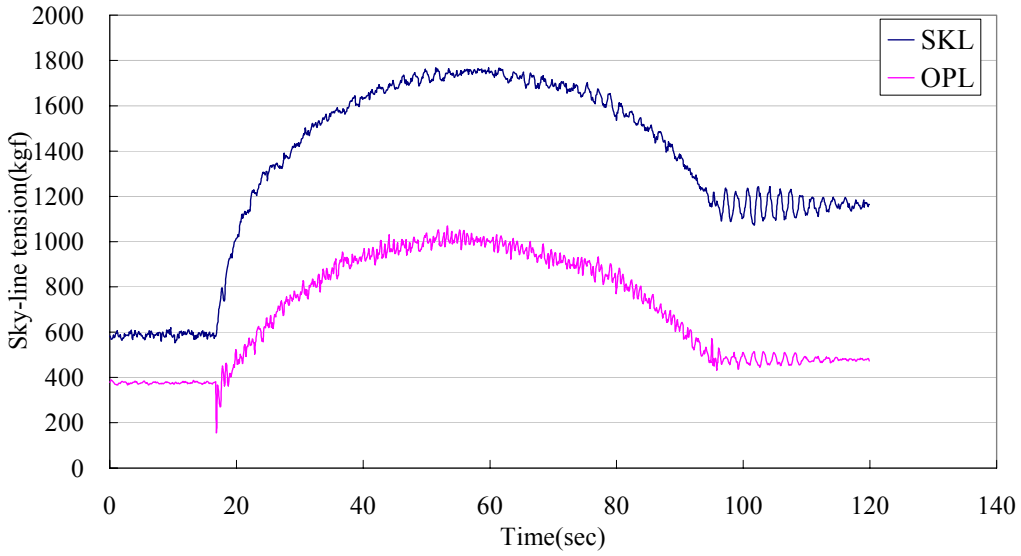
(a) 무적재 주행일 때의 장력변화

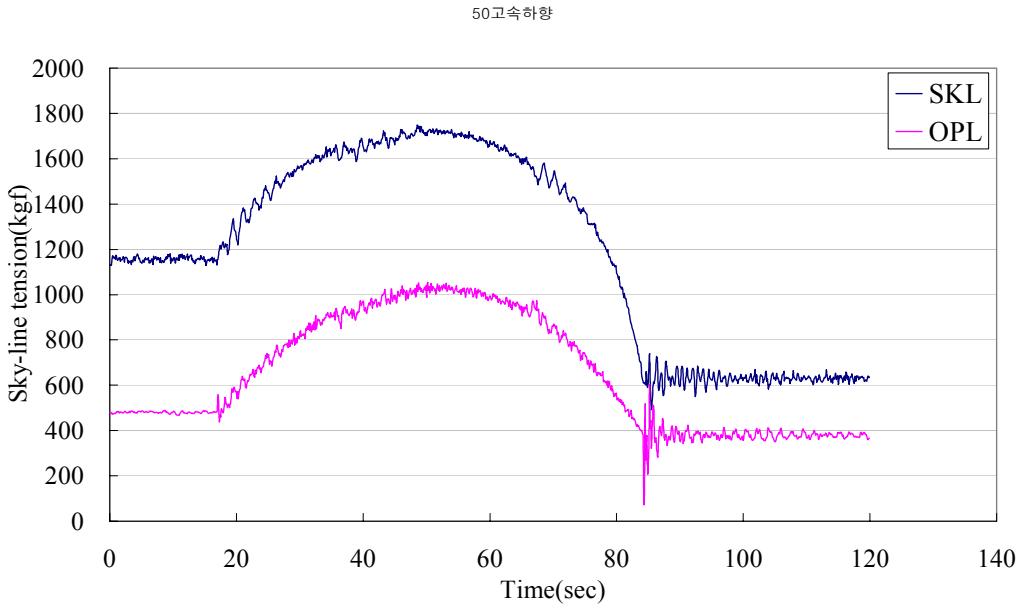


50저속하향

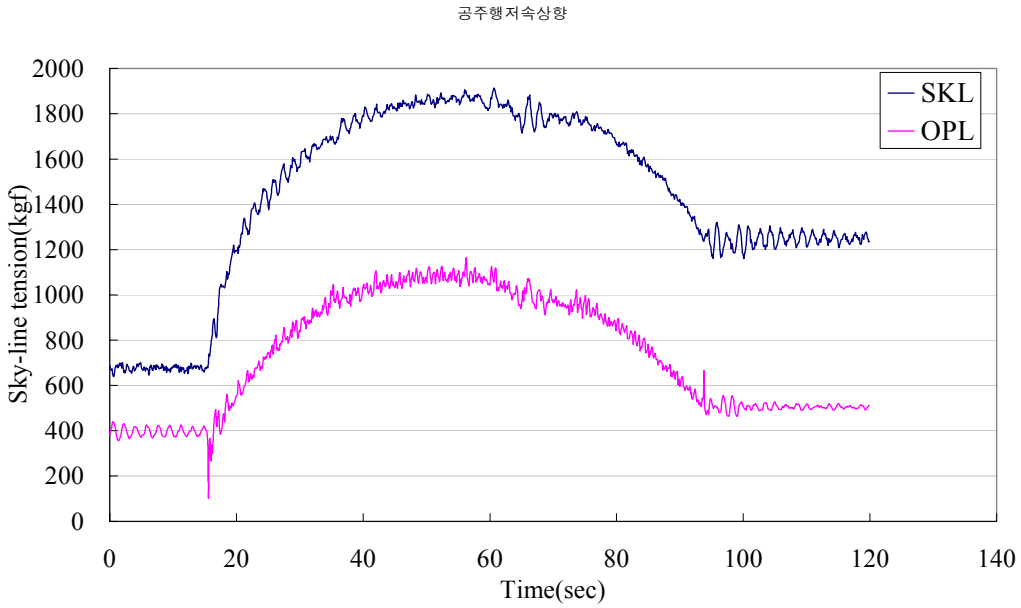


50고속상향

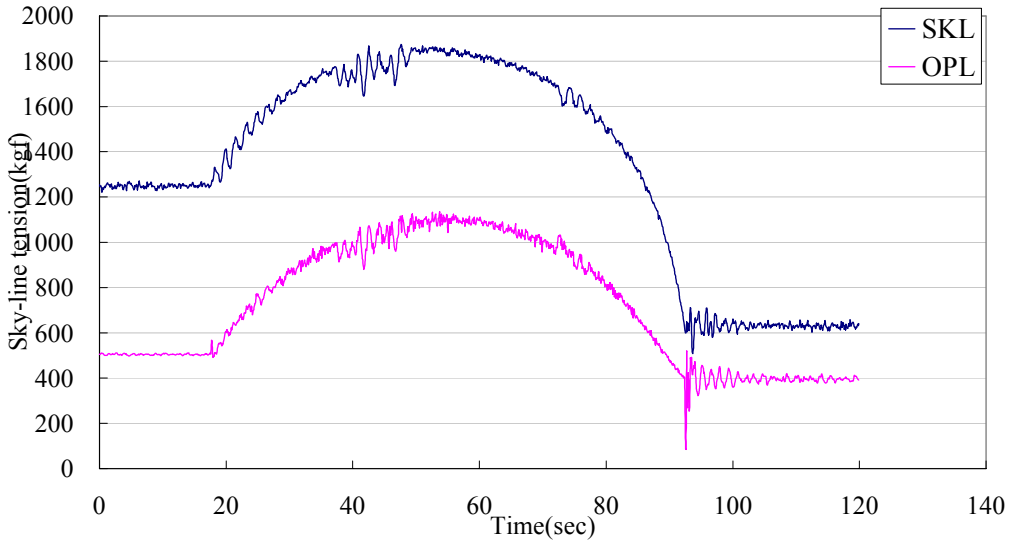




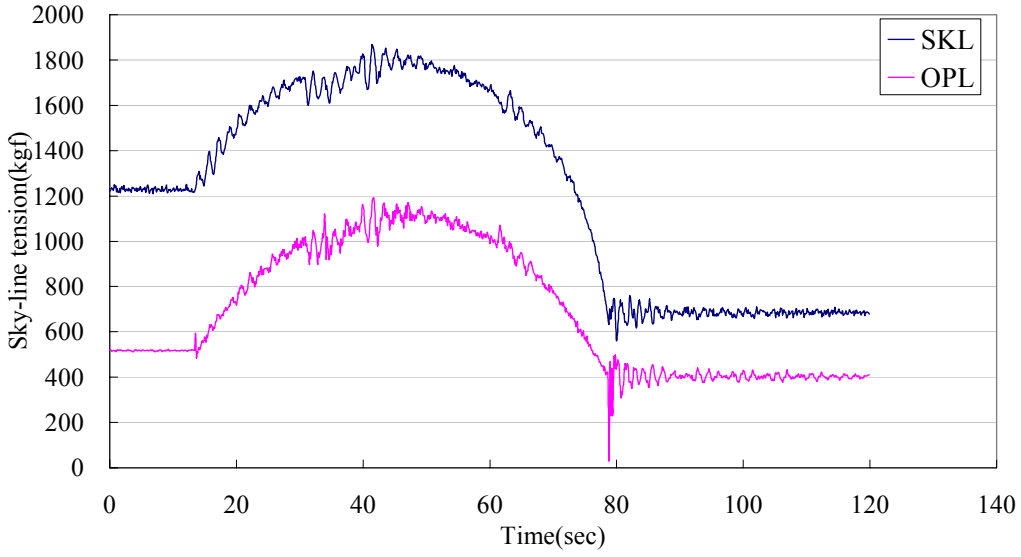
(b) 50kgf적재 주행일 때의 장력변화

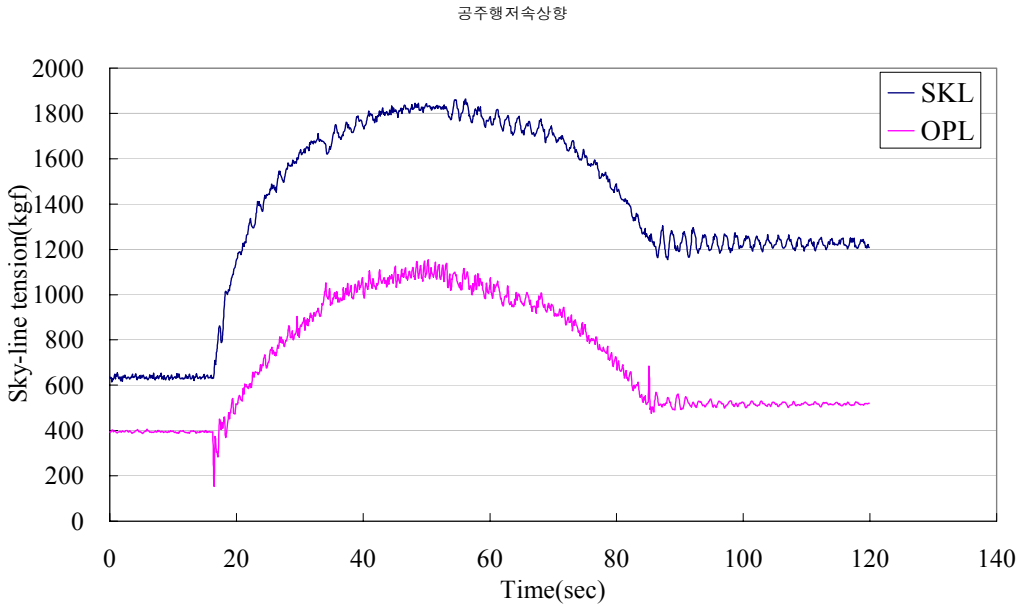


공주행저속상향

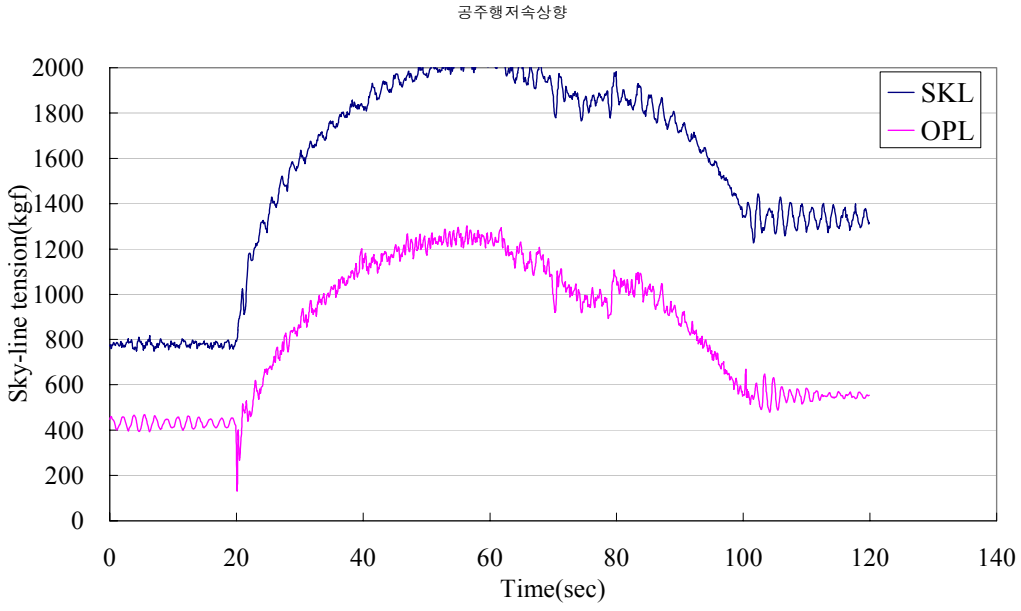


공주행저속상향

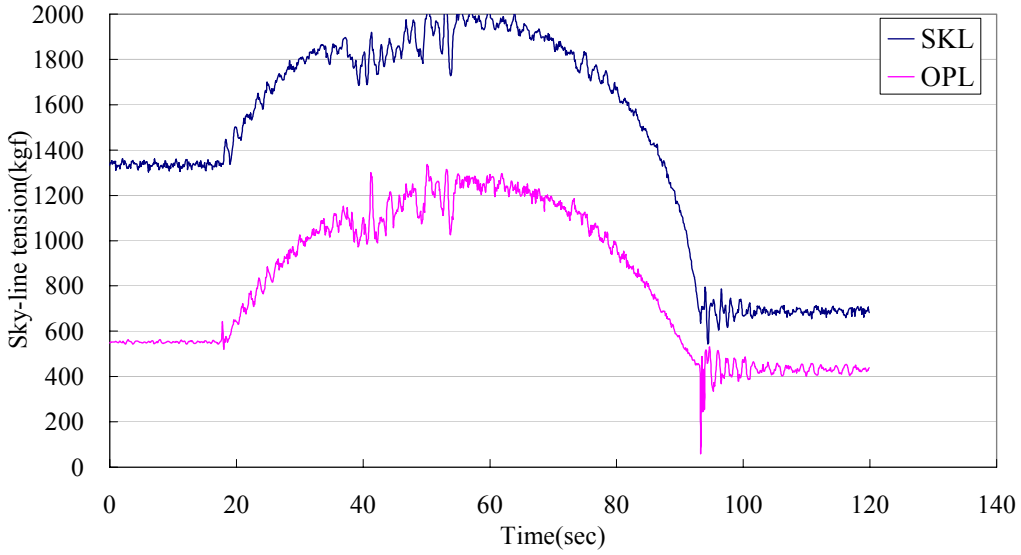




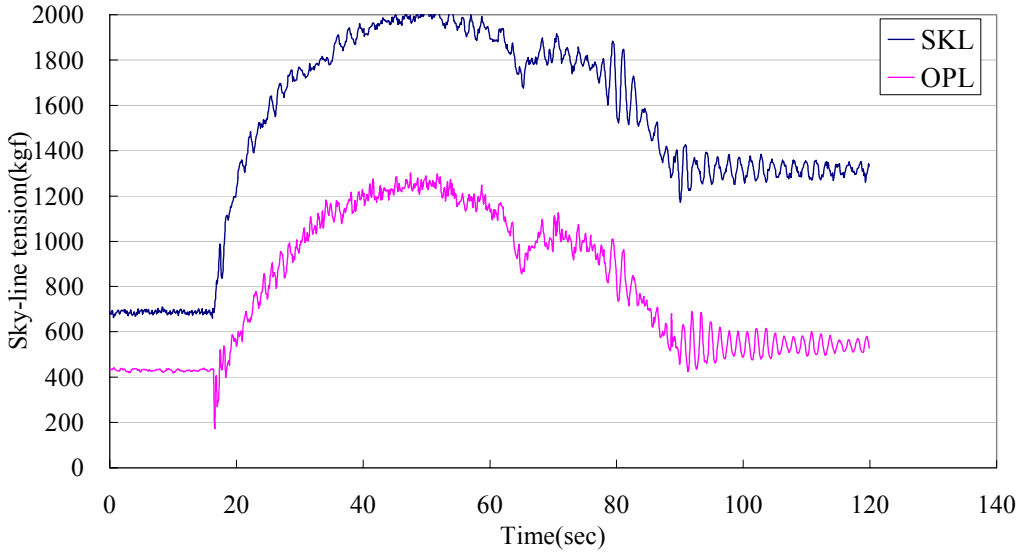
(c) 100kgf적재 주행일 때의 장력변화

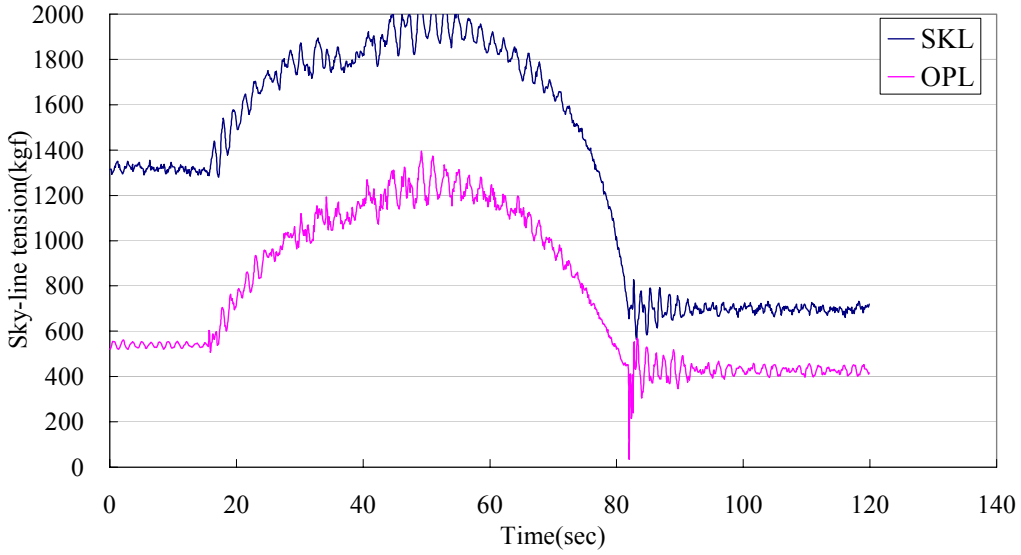


공주행저속상향



공주행저속상향





(d) 200kgf적재 주행일 때의 장력변화

그림 3-1-46. 시간추이별 장력변화 분석

장력의 측정결과 예상대로 라디캐리의 위치가 전체설치구간의 중간에 위치날때가 갖아 장력이 최대가 되었으며 작업줄과 스카이라인과의 장력차이도 반송기의 위치가 중간지점일때가 최대로 나타났다. 시작점과 끝점에 있어서의 SKL과 OPL의 장력차이는 상부쪽에 있는 Tail tree까지 반송기가 도착하지 못하고 중간에 걸려있는 나무앞까지 운행하였기 때문인 것으로 판단된다.

(3) 수종별 지주목의 저항 강도 측정

가선을 고정 설치 할때는 지금까지 대부분 현장작업원의 경험에 의존하여 지주목을 선저하는 경우가 대부분이었다. 그러나 가선집재시스템과 같이 무거운 중량물을 대산으로 하는 경우에는 특히 안전성에 대한 문제를 더욱더 고려하여야 한다.

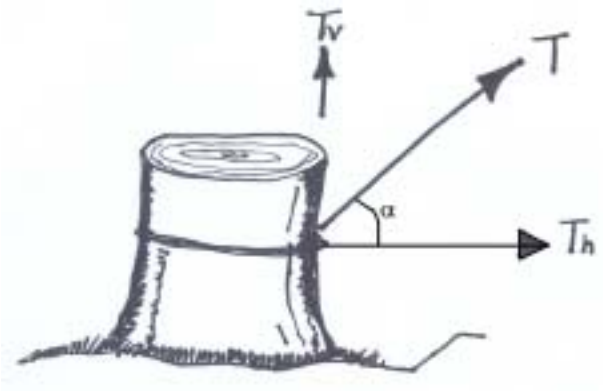


그림 3-1-47. 집재 가선시스템의 고정시 지주목에 부가되는 힘

<그림 3-1-47>은 스카이라인과 메인라인 등과 같은 집재가선시스템의 구성물을 안전하게 고정시키기 위한 방법으로 현장에서 벌채된 나무 혹은 벌도를 하여 지주목으로 이용하는 경우를 고려한 것으로, 실제의 경우는 힘 T 와 같이 지면과 일정한 각도를 이룬 상태로 고정이 되게 된다. 이 경우 힘 T 에 대한 수평분력(Th)과 수직분력(Tv)로 나누어 생각할 수 있다. 즉 Th의 힘과 각도 α를 알면 힘 T 를 계산 할 수 있으며 반대로 힘 T 와 각도 α 를 안다면 Th 와 Tv를 알 수 있다. 따라서 지주목의 최대저항강도 측정시 측정한 힘을 Th 에 대한 성분으로 측정할 수 있다면, 최대로 견딜 수 있는 장력 T를 역으로 계산할 수 가 있다<그림 3-1-48>.

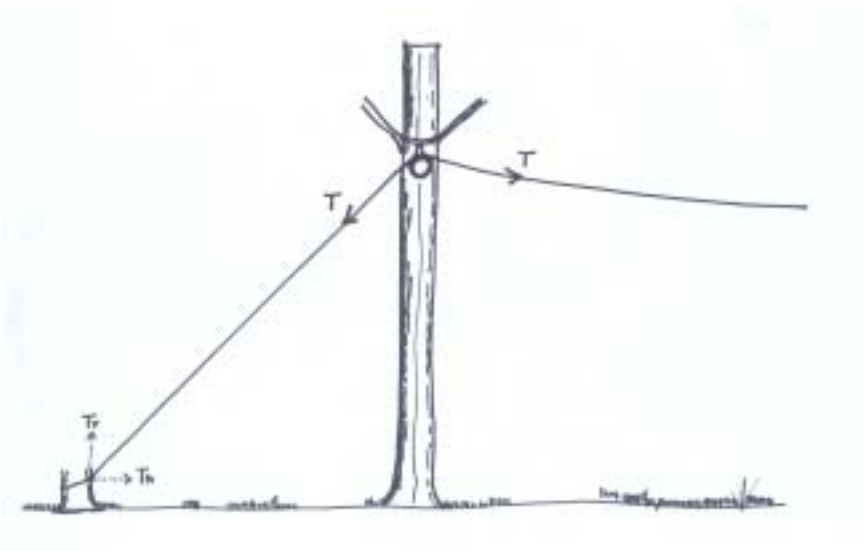


그림 3-1-48. 근주강도와 가선장력과의 관계도

일반적으로 가선을 고정 설치하는 데는 현장의 입목을 그대로 이용하는 경우가 대부분이다. 이 경우 지지력이 약한 입목을 선택하여 가선을 고정하는 경우, 가선의 장력 문제 및 사고발생의 위험이 커진다. 따라서 목제 반출목의 크기 및 하중을 고려해 적절한 입목을 선택할 수 있도록 수종별 지지목 저항강도를 측정하여 현장에서 쉽게 측정할 수 있는 요인의 함수로써 표현하고자 한다. 본 연구에서는 대상으로 하는 수종을 초기에는 여러종류의 수종을 생각하였으나 실험의 특성상 간벌지역이나 벌채지역에서 실시가 되어야 하는 특성이 있어, 최근 잣나무 지역의 간벌이 활발한 산림과학원 산림생산 기술연구소의 시험림 잣나무 임분에서 실시하였다. 총 5본의 나무에 대해서 근주 강도특성을 측정 분석 하였다. 측정한 잣나무 근주의 특성은 다음과 같다<표 3-1-11>.

표 3-1-11. 잣나무 지주강도 특성 실험목의 개요

수 종	수 령	근 주 직 경	지 면 경 사
잣#1	30년	20.00cm	4.0˚
잣#2	17년	18.00cm	6.0˚
잣#3	25년	20.20cm	1.5˚
잣#4	30년	23.00cm	4.0˚
잣#5	25년	17.80cm	4.0˚

그림 3-1-49. 잣나무 근주강도를 측정하기 위한 센서 및 계측장치의 세팅

측정방법은 힐 블록을 이용하여 <그림 3-1-49>과 같이 대상 근주를 와이어로 높이 15cm에서 고정시킨 후 견인장치를 이용하여 견인하였다. 견인시 발생하는 견인력과 근주가 견인력에 의해 도복되는 것을 근주면상에 고정된 경사계 통하여 모니터링 하였다. 시용된 경사계는 ±60°까지 측정가능하며 출력이 전류형태로 도선의 길이에 영향을 받지 않는 것이 특징이다. 또한 근주의 도복시 견인력을 측정하기 위해 5ton 용량의 로드셀을 이용하여 측정하였다. 센서로부터 나오는 신호는 National Instruments의 SCXI 시리즈의 모듈들을 이용하여 측정하였다. 사용된 센서와 계측장치는 <그림 3-1-49>과 같다.

그림 3-1-50. 견인장치에 의해 근주가 도복된 상태

실험은 계속적으로 견인한 후 근주면의 각도가 30도 이상이 되면 실험을 종료하였다. 최대 견인저항력은 근주단면의 각도가 5-10°사이에서 발생하였으며 그 이후에는 계속적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 또한 최대 견인 저항력이 나타낸 이후에도 감소하는 도중에 약간의 증가분이 관찰되는데 이것은 당기는 방향쪽의 반대방향으로 지지하고 있는 측근과 주근이이 먼저 저항을 하다가 주근과 측근이 거의 인발이 된 후 측근에 연계되어 발달한 수하근들이 저항하는 것으로 판단된다. 또한 현재 실험 방법은 견인 장치의 설치로 인해 견인하는 방향이 제한적이라서 뿌리의 발달 상태를 고려하지 못했다. 사면에서 자라는 뿌리의 경우 사면방향으로 견인 할 때와 사면의 측방향에서 견인하는 것이 다를 것으로 사료되는바 추후 계속적인 보완 실험이 요구된다고 하겠다.

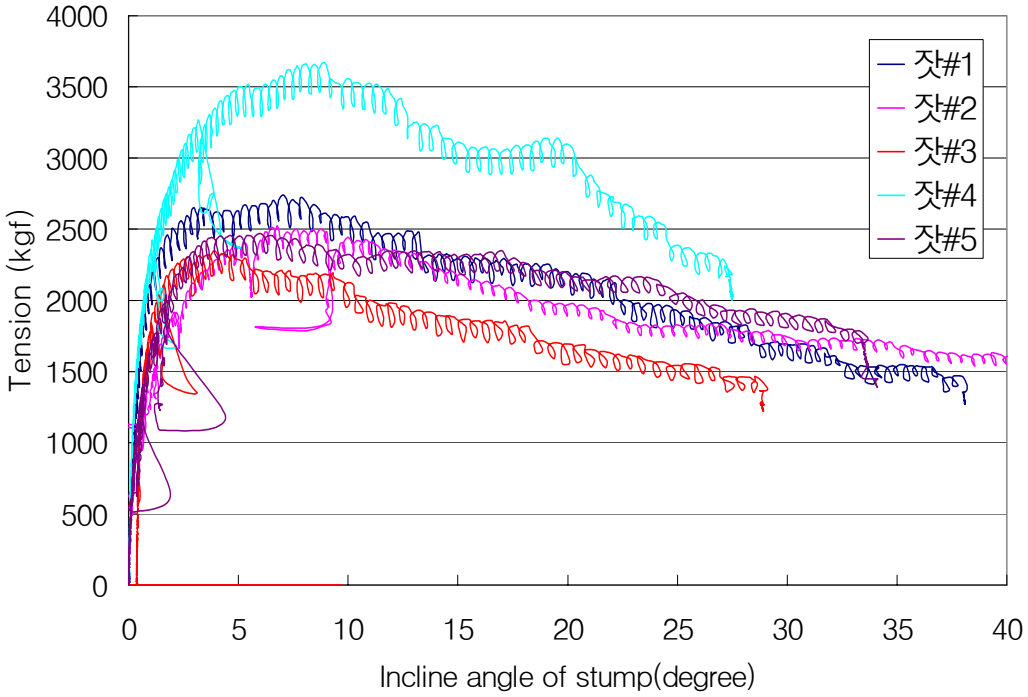


그림 3-1-51. 근주의 도복각에 대한 견인저항력의 추이

또한 각 지주목의 근원직경 별로 최대 견인저항력이 어느정도 선형적으로 증가할 것으로 판단되어 근주의 근원작경에 따른 최대 견인저항력을 분석한 결과 <그림 3-1-52>과 같은 결과를 얻었다.

20.2cm의 근원직경을 가진 공시목의 경우 다른 지주목과는 약간 낮은 값을 나타낸 것은 전술한바와 같이 측근의 방향 및 자람 상태에 따른 변이로 추정된다. 그러나 직경이 커질수록 견인저항력이 커지는 것은 관찰 할 수 있었다.

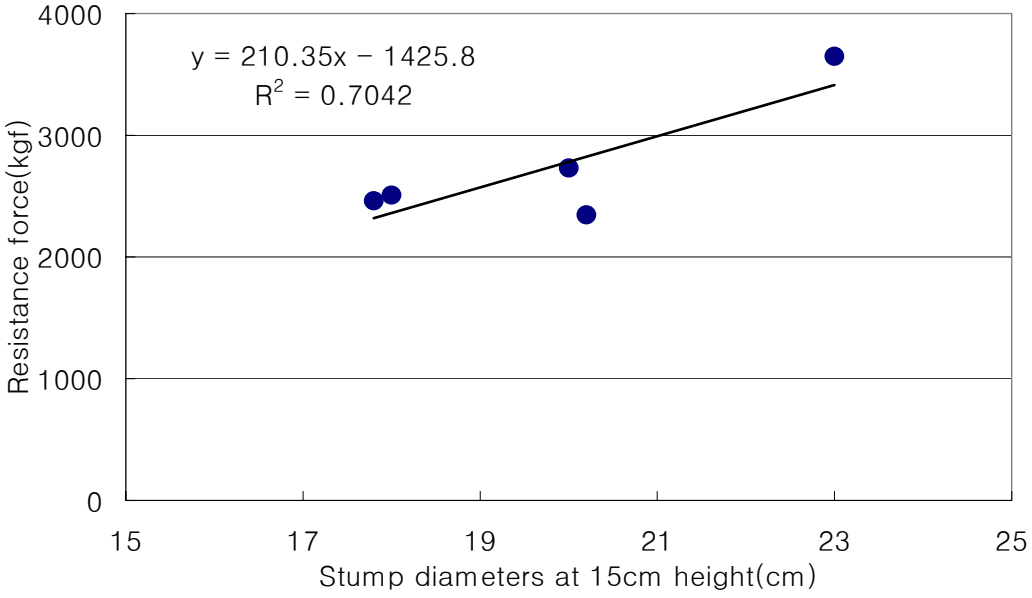


그림 3-1-52. 지주목의 직경별 견인저항력 비교

(4) 전체적인 안정성 검토

계산 또는 측정된 가선의 장력을 고려할 때 <그림 3-1-52>와 같이 가선의 장력이 그대로 지주목에 전달이 되므로 버팀줄이 설치된 각도를 고려하여 지주목의 수평면 최대 저항강도와 비교를 한다면 전체적으로 기본적인 안정성 검토를 할 수 있을 것으로 판단된다.

현재지주목의 수평방향의 최대견인저항력은 약 3,600kgf로 스카이라인 장력분석을 통해 얻어진 직경 16mm 이상의 와이어를 사용할 경우 안전율 2.7이상에서는 최대 300kgf까지의 견인목을 견인할 수 있으며, 이 경우 와이어에 걸리는 이론적인 최대장력은 약 6,000kgf이다. 따라서 지주목의 최대 견인량을 고려한 지주목 버팀줄의 설치각도 α는 최소한 53도 이상으로 설치하여야 할 것이다. 지금까지의 이론적인 검토와 실측에 의한 검증은 정적상태에서의 힘의 평형을 고려하여 해석 평가한 것이지만 실제의 경우는 목재가 이동을 하는 상황이라서 모든 구조물에 동적인 힘이 부가되므로 차후 동적인 문제에 대한 것도 고려하여야 할 것으로 판단된다.

4) 결론

현재 국내 임업 경영 상황과 전체적인 기계화마인드, 그리고 지형적인 면을 고려할

때 가장 효율적이고 경제적일 것이라고 판단되는 가선 집재 시스템인 자주식 반송기를 활용한 가선집재시스템을 검토하였다. 이론적 해석과 실측을 통해 선택된 가선 시스템의 안정성을 검토한 결과 이론적인 해석만으로도 충분히 실제의 가선 시스템을 예측하는 것이 가능하였다.

특히 예측된 자료를 통해 버팀줄의 설치 가이드를 제시 할 수 있었으며, 지금까지 경험에 의존하여 가선집재시스템을 운영하는 것에서 보다 체계적이고 안전한 가선 집재 작업 시스템을 운영할 수 있는 가능성을 엿볼 수 있었다. 또한 이러한 예측 및 설계 기술을 통해 임업 현장에서의 안전사고를 줄이며, 향후 목재자원 수확 및 수집에 매우 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대한다.

다. 가선계 집재시스템에서 효율적인 앵커고정 방법

안전한 지주작업은 스카이라인작업을 계획하는데 있어서 매우 중요하다. 때때로지주의 파괴로 인해 반송기 및 다른 장치가 망가지거나 부수어져 버리는 경우가 매우 많기 때문에 가선 전체의 안정성과 관련된 지주작업은 매우 안전하고 신중해야 한다. 현재 지주의 용량을 추정하는 방법은 현장 작업을 통해 얻어지는 것이 대부분이었다. 일반적으로 3종류의 지주형태가 사용된다. 그것은 그루터기, 데드맨앵커, 락볼트 이다. 앵커 선택에 있어서 고려되는 것은 토양의 종류, 깊이, 근주직경과 밀도, 바위의 종류, 앵커에 가해지는 부하의 크기, 그리고 앵커를 고정하는 비용이다.

근주는 일반적으로 가선을 고정하기에 매우 경제적이지만, 얕은 토양과 작거나 흩어져 있는 근주가 있는 지역은 락볼트(rockbolts) 혹은 데드맨앵커가 더 경제적일지 모른다. 앵커를 고정하는 비용은 접근성이 얼마나 좋은가에 달려있다. 계곡 쪽으로 접근하기 어려운 산등성이 상에 길이 있는 지역에 있어서는 많은 시간 혹은 며칠이 앵커고정 장비를 옮기는데 소요될지 모른다. 실제로 지주의 설치와 고정은 단지 몇 시간정도 걸린다.

작은 장력, 깊은 토양, 그리고 일반적으로 더 큰 근주 때문에 근주지주(Stump anchor)는 보통 위쪽보다 단위의 아래쪽에서 고정하기가 더 쉽다. 큰 근주를 찾기 어려울 때는 작은 근주를 연속적으로 사용하는 것이 더 적합한 지주설치 작업이 될 것이다 <그림 3-1-55>.

근주의 저항강도를 예측할 수 있는 방법이 현재 없기 때문에, 본 연구에서는 그루터기 지주의 고정역학에 제한을 둔다. 그러나 그루터기의 holding power와 관련된 몇몇 일반적인 법칙은 다음과 같다.

ⓐ 그루터기 holding power는 토양깊이와 함께 증가하는 경향이 있다.

ⓑ 그루터기 holding power는 토양밀도와 함께 증가하는 경향이 있다.

ⓒ 그루터기 holding power는 거의 그루터기 직경의 제곱과 함께 증가한다.

(Wyssen Skyline Manual)

예) 48인치 직경의 그루터기는 24인치 그루터기의 약 4배만큼을 지탱할 것이다.

ⓓ 그루터기는 하향으로 잡아당길 때보다 상향으로 잡아당길 때 더 큰 지탱력을 가진다.

ⓔ 지탱력(holding power)은 토양함수율이 증가할수록 감소하는 경향이 있다.

일반적으로 볼 수 있는 사면상의 그루터기는 상부경사에 적은 뿌리를 가지고 있고, 경사 아래쪽으로 당겼을 때 더 쉽게 기울어지기 때문에 스카이라인은 가능하다면 그루터기 상에서 윗 경사 쪽으로 당겨야 한다. 산등성이 상부에 앵커(지주)를 고정하기 위해서는, <그림 3-1-53>과 같이 해야 한다. <그림 3-1-53>에서, No.1 그루터기 상에서 잡아당기는 것이 좀더 약한 뿌리구조가 될 것이고, No.2의 그루터기가 더 강한 뿌리구조가 될 것이다.

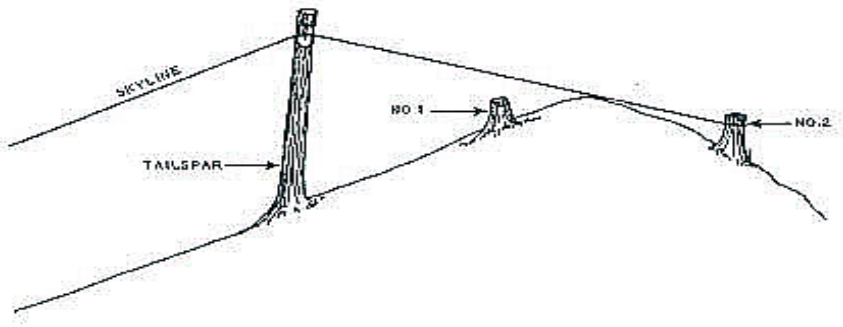


그림 3-1-53. 산등성이 상부에서의 그루터기 지주

1) 앵커고정의 실제

그루터기 지주의 역할을 설명하기 전에, 몇몇 일반적인 앵커고정의 실제를 검토하고자 한다.

ⓐ 라인이 미끄러지는 것을 방지하기 위해 그루터기에 홈을 판다.(Notch를 만든다.)

ⓑ 여러개의 그루터기 지주를 만들 때는 가능한 스카이라인과 근접해서 배열된 그루터기를 이용하도록 한다.

ⓒ 여러개의 그루터기 지주상에 보다 효과적인 하중분포를 만들기 위해서는, 근주주변에 감긴 케이블보다는 뒷 묶음 라인 상의 블록을 이용하도록 한다.

ⓓ 크고, 깊게 뿌리가 박힌 그루터기더라도 메인 지주 그루터기 상에 적어도 하나의 뒷 묶음그루터기를 사용해야 한다. 뒷 묶음그루터기는 스카이라인에 동적부하가 작용되어 메인 그루터기의 장력이 풀리는 것을 예방하도록 한다.

ⓔ <그림 3-1-55>에서 보는바와 같이 여러 개의 그루터기를 연속적으로 고정함으로써 메인 그루터기와 2차 그루터기간의 라인장력이 스카이라인 장력의 1/3이 될 것이다. 게다가 그루터기는 무시 할 정도의 부하를 받게 될 것이다.

위의 앵커고정의 실제는 새로운 것이 아니지만 다시 강조하여 기록하였다. 왜냐하면 그들의 필요에 의해서 입증된 경험이기 때문이다.

전형적이 두 종류의 앵커고정계획을 <그림 3-1-54>와 <그림 3-1-55>에 나타내었다. <그림 3-1-54>의 3개의 그루터기 지주는 그루터기가 크고 강할 때 사용할 수 있다. 그러나 작거나 약한 그루터기가 있는 곳에서는 30개정도의 다른 그루터기 지주가 이용된 앵커고정 시스템이 사용되어야 할 것이다<그림 3-1-55>.

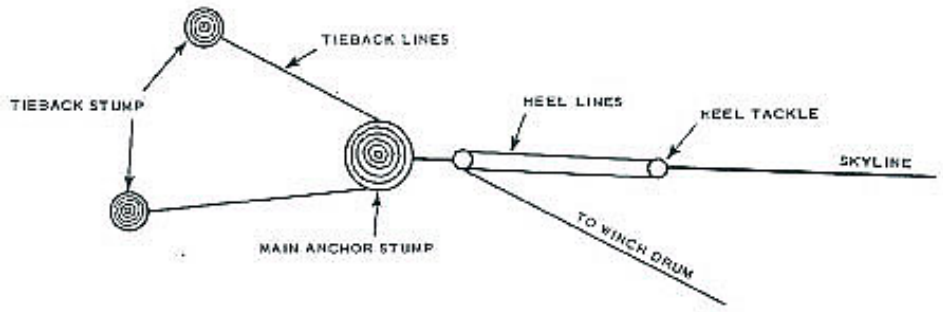


그림 3-1-54. 큰 그루터기를 이용한 전형적인 스카이라인 지주의 평면도

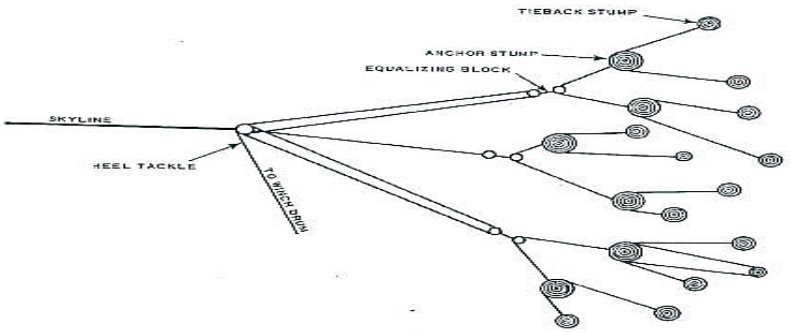
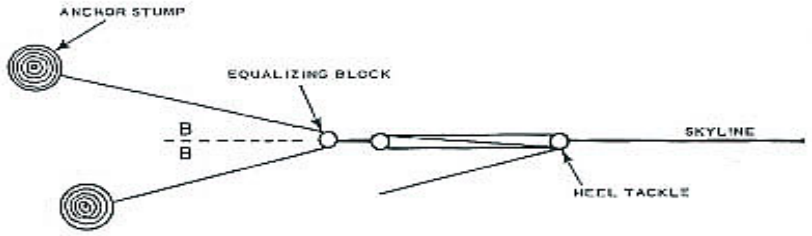


그림 3-1-55. 작은 그루터기를 활용한 스카이라인 지주의 평면도

중요한 고려사항 하나와 자주 지나치는 것은 <그림 3-1-56>와 같이 뒷 묶음라인과 스카이라인 간에 만들어지는 각도와 그루터기 상에 실제 작용하는 부하간의 관계이다.



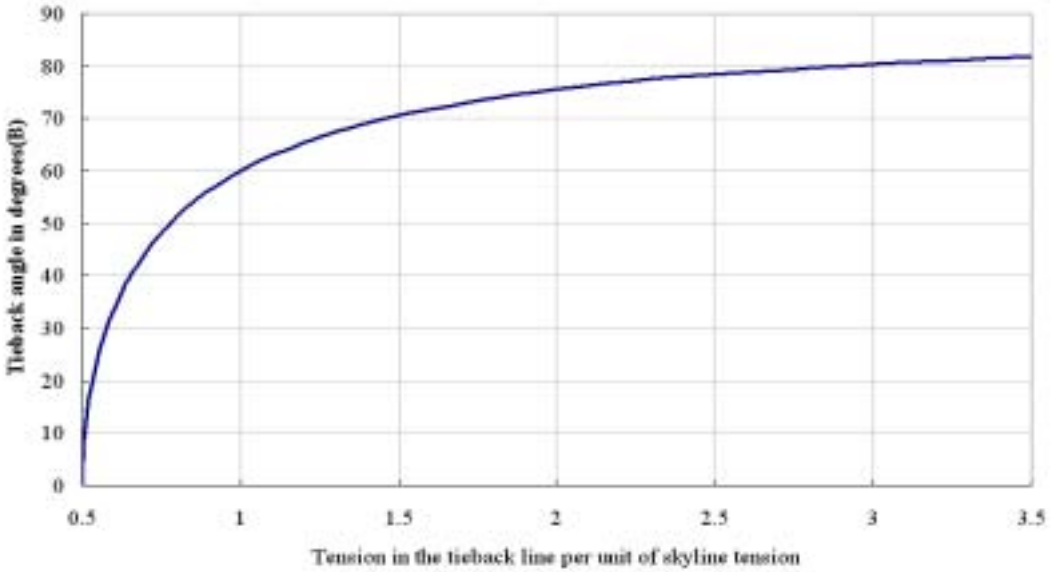
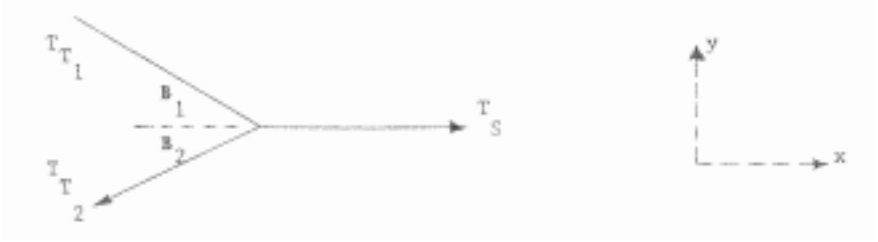


그림 3-1-56. 상대적인 부하와 각도

예를 들면, 스카이라인의 장력이 22,679.5 kgf 이고 B=70°일 때, 각 그루터기 상에 작용하는 힘을 구하면, 그래프로부터 B=70°일 때 단위 부하당 장력은 1.47이다. 따라서 각 그루터기에 걸리는 힘은 22,679.5 × 1.47 = 33,338.9 kgf 이다. <그림 3-1-56>에서 보는 그래프는 두개의 그루터기 지주의 분석으로부터 그려진 것이다.

x와 y방향에 있어서 힘의 합은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



$T_S =$ 스카이라인에 있어서의 장력

$T_T =$ 뒷 묶음라인에 있어서의 장력

그림 3-1-57. x와 y방향에 있어서 힘의 합

$$\Sigma F_y = 0 \quad T_{T1} sinB_1 - T_{T2} sinB_2 = 0$$

$$T_{T1} = T_{T2}\ Hence\ ,\ \sin B = sinB_2$$

$$\Sigma F_x = 0 \quad T_S - T_T cosB - T cosB = 0$$

$$T_S = 2\,T_T cosB$$

$$T_T = \frac{T_S}{2 cosB}$$

위 식으로부터 B가 작아지면, cosB는 1에 가까워지고 B가 커지면, cosB는 0이되고, 작은 T_S는 매우 큰 T_T를 만들어낸다.

<그림 3-1-56>의 예가 지시하는바와 같이, 스카이라인에서 두개의 그루터기로 전달된 22,679.5 kgf의 스카이라인 장력은, 뒷 묶음이 스카이라인에 대해 70°로 설치되었을 때, 각 그루터기 상에 거의 33,565.7 kgf의 힘을 생성시킨다. 이것은 스카이라인 장력보다 약 50%이상의 부하가 그루터기에 작용하는 것이다. 각각 20%와 55%의 그루터기 상에 힘 감소가 뒷 묶음각도의 감소에 의해 달성되었으며, <그림 3-1-58>와 <그림

3-1-59>에서 그 뒷 묶음의 최소화의 중요성을 나타내었다.

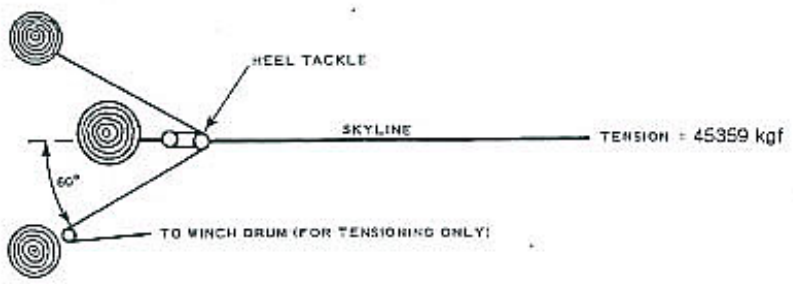


그림 3-1-58. 전형적인 3개 그루터기 지주의 평면도

예를 들어 그림 5-5a와 같은 그루터기 지주의 평면을 보면, 45,359 kgf의 스카이라인 장력이 가해진다면 모든 지주에 작용하는 하중은 어떻게 될 것인가? 문제는 그림 5-5b에서와 같이 힘의 균형과 힘의 자유선도를 그림으로서 문제를 해결할 수 있다.

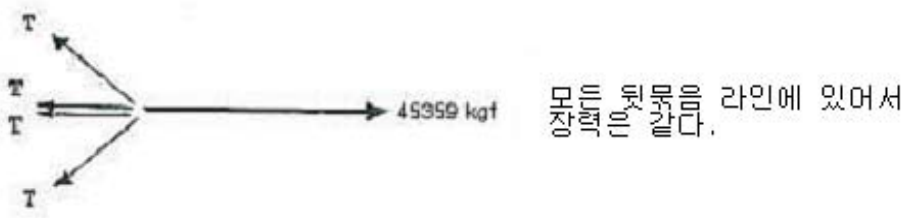


그림 3-1-59. 힘의 자유선도. -

<그림 3-1-59>에 있어서 벡터에 의해 나타나는 힘의 합은 다음과 같다.

$$\Sigma F = 0$$

$$T+T+T\cos 60^{\circ}+T\cos 60^{\circ}-100 = 0$$

$$2T + 0.5T = 0.5T = 45{,}359 \text{ kgf}$$

$$3T = 45{,}359 \text{ kgf}$$

$$T = 15{,}104.6 \text{ kgf}$$

따라서, 뒷 묶음 그루터기에 있어서의 장력, 즉 각 그루터기 상에 작용하는 힘은 15,104.6 kgf이다.

메인 그루터기에 두개의 뒷 묶음라인이 있어 그루터기는 30,209.1 kgf의 부하를 지지해야 한다.

만일 뒷 묶음각도가 힐라인의 길이조정에 의해 줄어든다면, 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

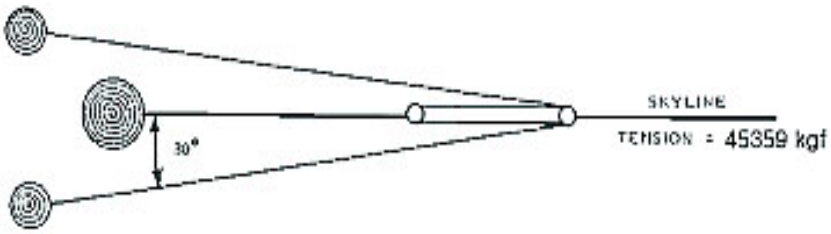


그림 3-1-60. 긴 힐라인이 있는 그루터기 지주 3개의 평면도

다음과 같은 과정과 힘의 합력으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$\Sigma F = 0$

$2T + 2T\cos 30^\circ = 45{,}359 \text{ kgf}$

$2T + 2T(0.866) = 45{,}359 \text{ kgf}$

$3.732T = 45{,}359 \text{ kgf}$

$T = 12{,}154.1 \text{ kgf}$

분석결과는 뒷 묶음각도를 줄임으로서 뒷 묶음그루터기에 각각 12,154.1 kgf로 부하를 줄일 수 있으며, 메인 지주 그루터기에 작용하는 부하도 24,312.42 kgf로 줄일 수 있음을 보여준다.

뒷 묶음 각도의 최소화 효과는 3개 그루터기 지주에서 보다 2개의 그루터기 지주에서 좀더 명확하게 나타난다.

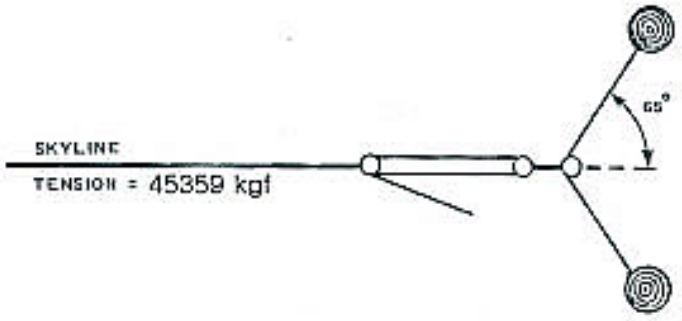


그림 3-1-61. 2개의 그루터기 지주의 평면도

<그림 3-1-61>처럼 2개의 그루터기 지주가 있고, 45,359 kgf의 스카이라인 장력을 받고 있다. 이 경우 모든 그루터기에 작용하는 부하를 구하면, <그림 3-1-61>와 같이 힘의 균형방정식과 힘의 자유선도에 의해 문제를 해결할 수 있다.

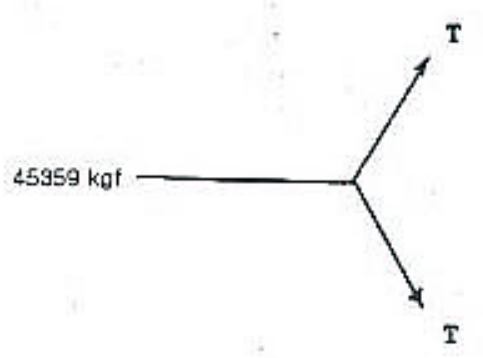


그림 3-1-62. 힘의 자유선도

$$\Sigma F = 0$$

$$2T\cos 65^\circ - 45{,}359 = 0$$

$$2T(0.423) = 45{,}359 \text{ kgf}$$

$$0.846T = 45{,}359 \text{ kgf}$$

$$T = 53{,}615.8 \text{ kgf}$$

각 그루터기에 작용하는 부하는 53,615.8 kgf이다.

이 문제는 <그림 3-1-56>의 그래프를 통해 해결할 수 있다. 그래프에서 65°의 뒷 묶

음 각도를 입력하면 단위 뒷 묶음 부하는 1.18로 읽을 수 있고, 각 그루터기 상에 45,359 × 1.8 = 84,646.2 kgf의 부하가 걸림을 알 수 있다.

다시 비교를 해보면, 뒷 묶음각도를 22°로 줄였다고 하면<그림 3-1-63>.

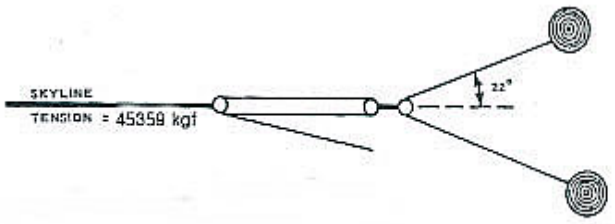


그림 3-1-63. 2개의 그루터기 지주의 평면도

문제는 <그림 3-1-56>의 그래프를 이용하여 해결할 수 있다. 22°에서 스카이라인의 단위 장력당 뒷 묶음장력은 0.54이고, 0.54 × 45,359 = 24,493.9 kgf이다. 힐라인의 길이 조정결과에 따라, 그루터기에 작용하는 부하를 55% 줄일 수 있다.

다음의 예제는 뒷 묶음 각도를 최소로 유지하는데 필요한 것을 나타내고 있다. 이것은 수평적인 것만큼 수직적인 것이 중요하다. <그림 3-1-64>과 <그림 3-1-65>은 스카이라인작업에 있어서 공통적인 지주 고정법을 보여주고 있다.

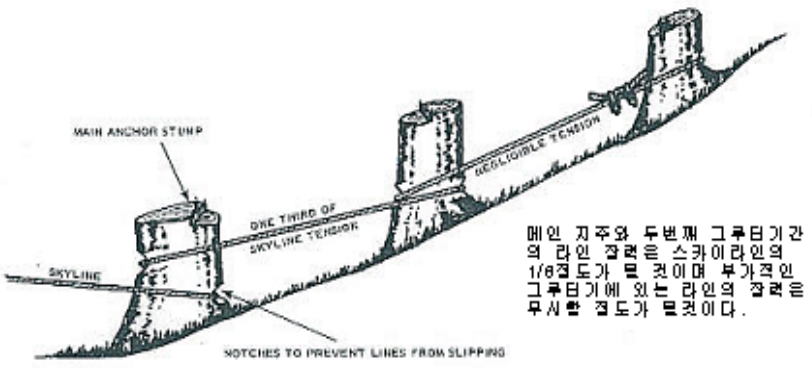


그림 3-1-64 일반적인 3개 그루터기 지주의 단면

<그림 3-1-65>의 분석은 급경사에서의 주의점과 함께 왜 이런 고정방법이 사용되었는가를 보여준다.

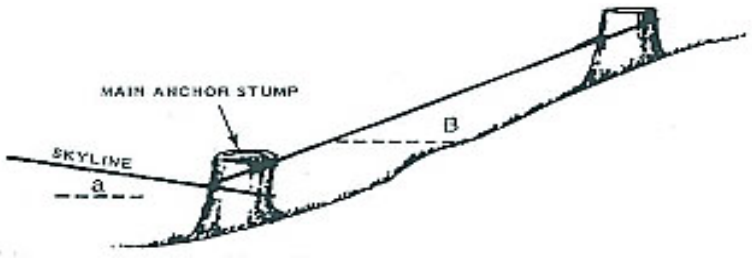


그림 3-1-65. 일반적인 2단 그루터기 지주의 단면도

예를 들면, a=30˚, B=60˚, 스카이라인의 장력이 27,215 kgf 일 때, 힘의 다이어그램과 메인지주 상에 작용하는 부하, 부하의 수평, 수직성분, 그리고 이 힘을 합성한 합력을 그루터기 상에 표시하면 다음과 같다.

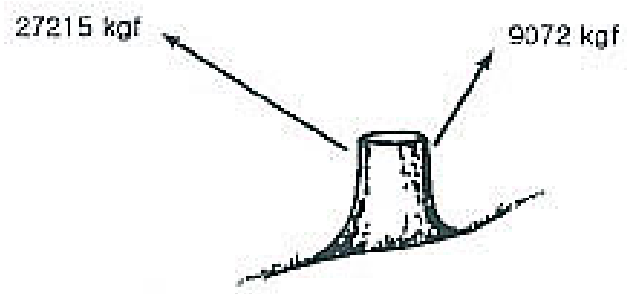


그림 3-1-66. 부하 다이어그램

스카이라인 장력의 수평성분은

- 27215 × cos30˚ = 27,215 × 0.866 = 23,258.2 kgf 이고,

스카이라인 장력의 수직성분은

- 27215 × sin30˚ = 27,215 × 0.5 = 13,607.5 kgf 이다.

또한, 뒷 묶음 라인장력의 수평성분은

- 9027 × cos60˚ = 9,072 × 0.5 = 4,536.9 kgf 이고,

수직성분은

- 9072 × sin60˚ = 9,072 × 0.866 = 7,856.4 kgf 이다.

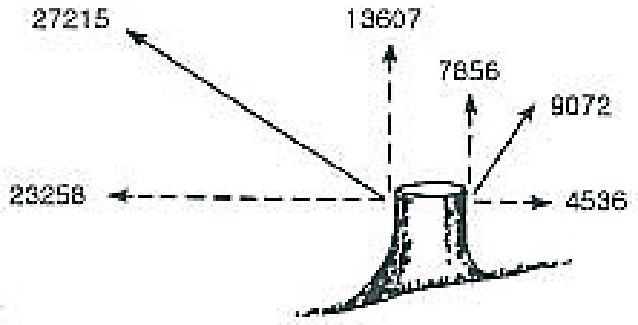


그림 3-1-67. 부하의 성분들 표시

스카이라인과 뒷 묶음 장력을 합하면, 수평적으로 수직적으로 다음과 같은 양을 얻을 수 있다.

$\Sigma F =$ 4,536 - 23,258 = 18,722 kgf

$\Sigma F =$ 13,607 + 7,856 = 21,463 kgf

현재, 이 수평·수직력을 그루터기에 작용하는 대표힘으로 결합하여 나타낼 수 있다. 수평 · 수직력의 합력은 다음과 같이 피타고라스에 의해 구할 수 있다,

부가합력 = [(수직성분)2 +(수평성분)2]1/2

= [(21,463)2 +(18,722)2]1/2

= [460,660,369 + 350,513,284]1/2

= [811,173,653]1/2

= 28,481.1 kgf

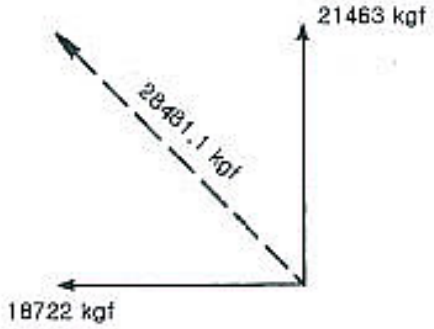


그림 3-1-68. 부가합력

실제 그루터기에 작용한 힘은 28,481.1 kgf로 스카이라인 장력보다 1,266.1 kgf 더 크게 작용하였다. 명백하게 다른 고정방법이 요구되는 상황이다. 그루터기 상에 부가되는 하중을 줄일 수 있는 다른 고정방법은 <그림 3-1-69>와 같다,

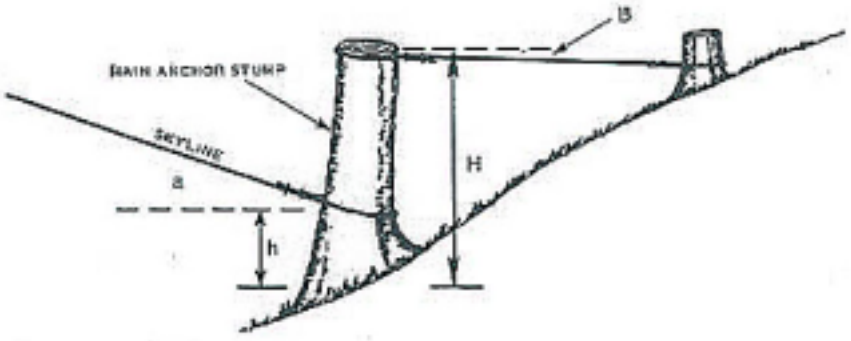


그림 3-1-69. 높은 그루터기 지주

높은 그루터기와 함께 지주공정을 하는 방법의 장점을 나열하기 위해 다음을 가정하였다.

스카이라인 장력 = 27,215 kgf<그림 3-1-70>

그림 5-8의 그루터기 상에 작용하는 하중을 구하기 위해 사용된 같은 과정이 사용될 것이다.

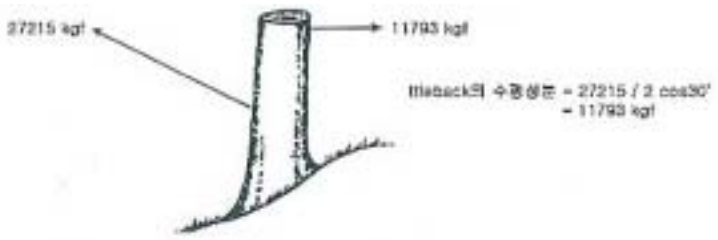


그림 3-1-70. 그루터기 상에 스카이라인과 뒷 묶음 힘

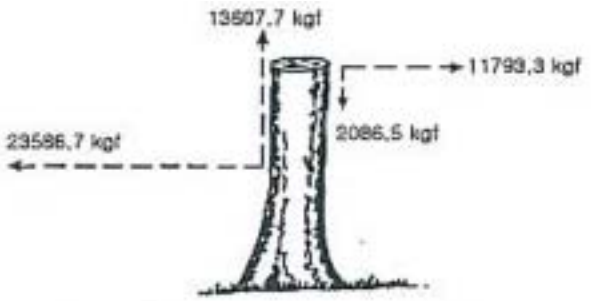


그림 3-1-71 수평 · 수직성분의 힘

스카이라인의 수평성분 = 27,215 cos30° = 23,568.9 kgf

스카이라인의 수직성분 = 27,215 sin30° = 13,607.7 kgf

뒷 묶음 장력의 수직성분 - 11,793.3 tan10° = 2,086.5 kgf

수평적, 수직적 성분끼리 합하면 다음과 같다.

수평방향	11,793.3 - 23,586.7 = -11,793.3 kgf
수직방향	13,607.7 - 2,086.5 = 11,521.2 kgf

이 힘들의 합이 그루터기에 작용하는 하중이 될 것이다.

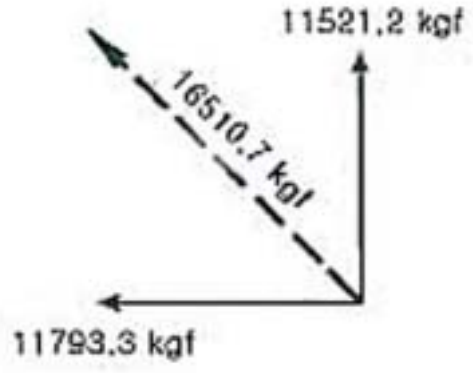


그림 3-1-72. 부가 합력 다이어그램

합력 = [(11,521.2)2 +(11,793.3)2]1/2

= [132,738,049.4 + 139,081,924.9]1/2

= [271,819,974.3]1/2

= 16,510.7 kgf

단지 두가지 예제가 시험된 곳에서, 뒷 묶음 라인이 있는 긴 그루터기에 앵커고정을 하는 것으로, 메인 지주 그루터기 상에 43%의 부하 감소를 달성하였다. 몇 개의 뒷 묶음 그루터기가 고정되었지만 단순함을 위해 단지 하나만이 사용되었다.

이런 방법으로의 앵커고정은 그루터기에 아주 큰 휨 모멘트를 초래한다. 벤딩모멘트는 그루터기의 높이가 커질수록 증가할 것이고 , 그루터기 직경이 커질수록 작아진다. 결과로서, 특수한 하중과 그루터기 직경에 대한 그루터기 높이의 제한 값이 존재할 것이다.

제한높이를 찾기 위해, 부하다이어그램을 고려하자<그림 3-1-73>. 최대 벤딩모멘트는 스카이라인이 뒷 묶음 라인으로부터 지면방향으로 1/2정도 묶였을 때 발생할 것이다.

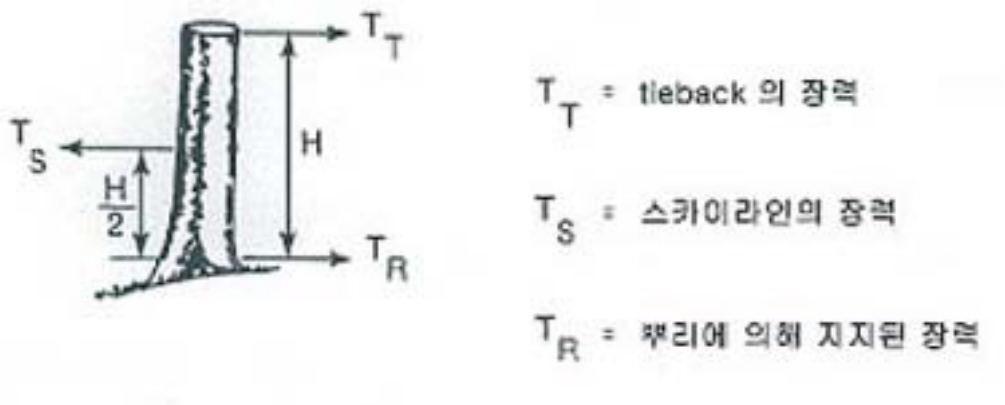


그림 3-1-73. 부하 다이어그램

가정 :

1. 작은 스카이라인 사면에 있어서, 장력의 수평성분은 거의 스카이라인의 장력과 같고, 이 가 정은 보수적인 결과를 가져올 것이다.

2. 그루터기는 단순 빔으로 작용할 것이다. 그 이유는 그루터기가 저항모멘트를 견디는 뿌리를 가지고 있어 휘지 않기 때문이다.

$$\Sigma M_{TR} = 0 \quad T_S \frac{H}{2} - T_T H = 0$$

$$T_T = \frac{1}{2} T_S$$

$$\Sigma F = 0 \qquad T_S - T_T - T_R = 0$$

$T_T = \frac{T_S}{2}$ 이기 때문에 $T_R = T_T$ 이다.

그루터기에서의 모멘트 = $\frac{T_S H}{4}$

저항모멘트 = $\frac{\sigma I}{c}$

여기서 σ = 허용응력

I = 관성모멘트

c = 중심축으로부터 바깥까지의 거리

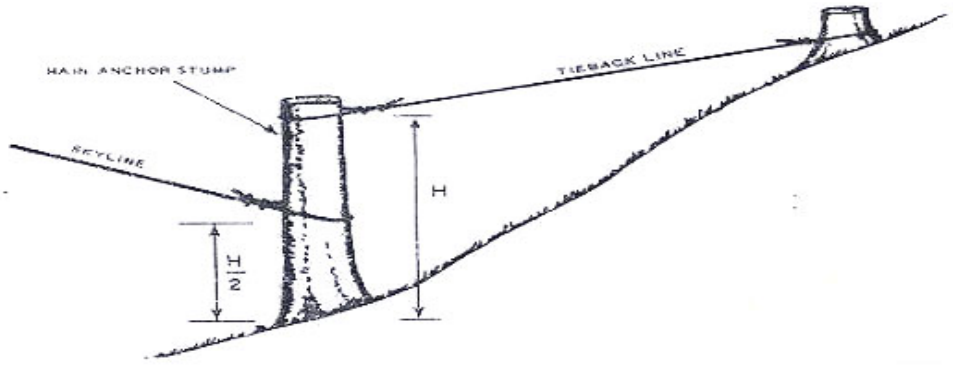
$$I = \frac{\pi D^4}{64} \text{ 이고 } c = \frac{D}{2}$$

여기서, D=스카이라인이 묶여있는 점에서의 그루터기 직경이다.

그루터기에서의 모멘트와 저항모멘트가 같다고 한다면, 다음과 같이 풀 수 있다.

$$\frac{T_S H}{4} = \frac{\sigma I}{c} \text{ 와 } \qquad H = \frac{80\pi D}{64 T_s D} = \frac{\pi D}{8 T_S}$$

<그림 3-1-74>은 $\sigma = 87.1 \text{kgf/㎠}$ 일 때 이 방정식의 그래프이다.



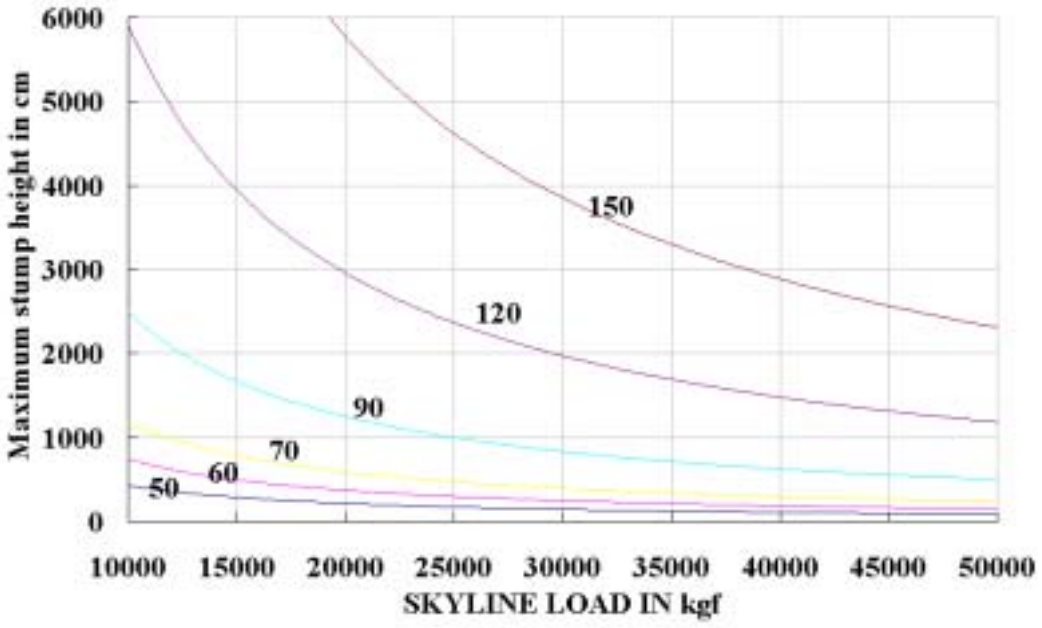


그림 3-1-74. Relationship maximum stump height and skyline load by stump diameter

예로써 <그림 3-1-74>으로부터 파괴강도가 103,418.5 kgf인 와이어로프를 묶은 직경 36인치인 나무를 앵커로 사용한 그루터기 높이는 최대 8피트이다. 더 짧은 그루터기를 사용할 수 있으나, 더 큰 그루터기는 사용하지 못할 것이다.

이런 앵커고정 방법의 장점은 그루터기 혹은 나무 상에 스카이라인의 높이가 정해졌을 때 뒷 묶음 그루터기에 가해지는 부담하중이 스카이라인이 그루터기와 메인 그루터기의 중앙에서 묶였을 때 다양하게 변할 수 있다는 것이다.

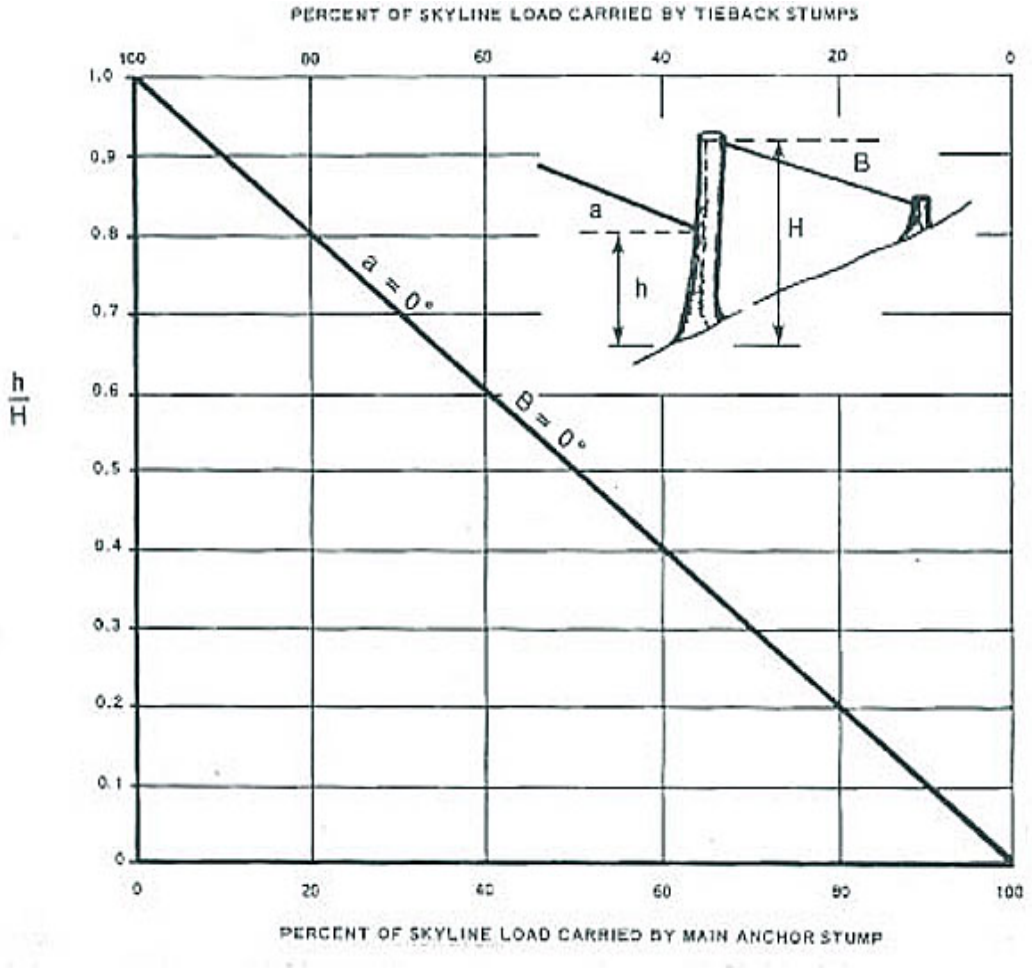


그림 3-1-75 다양한 앵커고정 높이에 대한 하중분포

다른 일반적인 앵커고정방법은 그림 5-12a와 같이 두개, 때로는 그이상의 그루터기가 번들로 묶여있는 방법을 보여주고 있다. 이 방법은 만일 그들이 각각 걸려있는 것보다 더 많은 부담하중을 개개의 그루터기가 부담해야 하는 안 좋은 점이 있다. 이것을 설명하기 위해서 <그림 3-1-76>에서와 같이 22,679.5 kgf의 스카이라인 장력이 걸린

경우를 고려해보자.

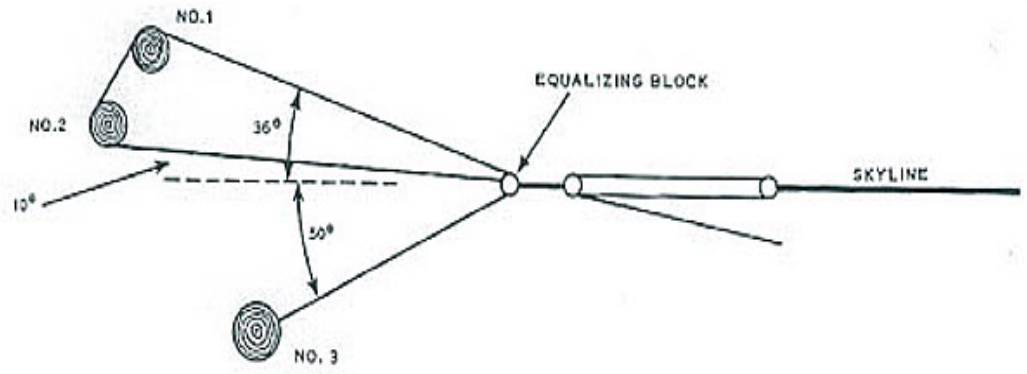


그림 3-1-76. 두개의 그루터기를 번들로 묶은 그루터기 앵커의 평면도

힘 다이어그램을 사용하여 힘을 합하면,

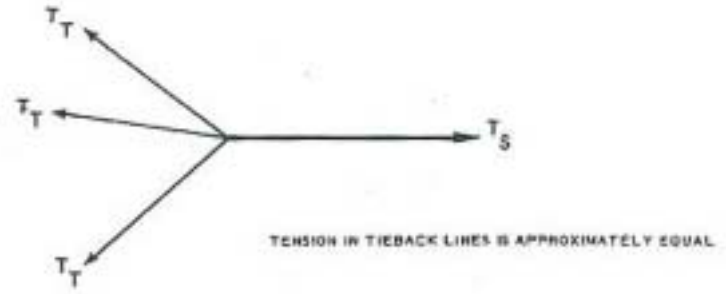


그림 3-1-77. 힘 다이어그램

$\Sigma F_X = 0 \qquad T_T cos50^\circ + T_T cos10^\circ + T_T cos36^\circ - T_S$

$(0.64279+0.98481+0.80902)\,T_T = T_S$

$2.4366\,T_T = T_S$ 이나

$T_T = 0.4104\,T_S$

치환하면 T_S =22,679.5 kgf

그래서 T_T =9,298.6 kgf

No.3의 그루터기는 하나의 라인으로 당기고 있고, 따라서 걸리는 힘은 9,298.6 kgf

이다.

한편, 그루터기 No.1 , No.2는 <그림 3-1-78>와 <그림 3-1-79>에서와 같이 사실상 2개의 라인이 그들을 당기고 있다.

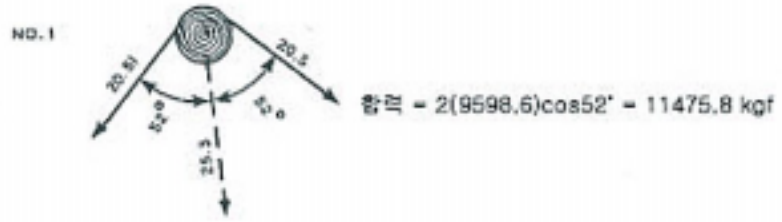


그림 3-1-78. 그루터기 No.1 상에 작용하는 합력

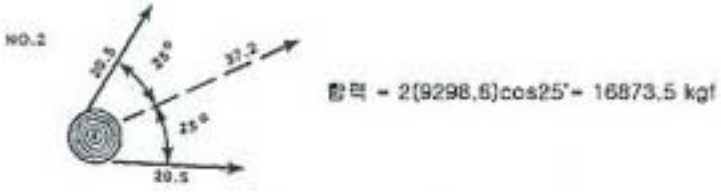


그림 3-1-79. 그루터기 No.2 상에 작용하는 합력

그루터기 1과 2에 작용하는 실제 부담하중은 그루터기가 각각 고정되어있을 경우보다 많은 11,475.8 kgf 와 16,873.5 kgf 이다.

스카이라인 앵커고정의 역학에 관한 이 정보는 장차 앵커의 부실을 크게 줄이고, 케이블 집재시스템의 경제성을 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

자. 가선계 집재기계에 의한 반출작업의 공정계측 시스템 개발

가선의 장력, 적재하중, 윈치의 감기 속도, 작업기 위치의 계측 시스템 개발을 위해 현재별도의 PC가 없어도 측정이 가능한 logger(CFP2010, National instruments Co.)를 목적에 맞게 개조하여 사용하였다. 가선계 장비의 경우 직접공정을 산출하기 위해서는 작업줄의 움직임, 전체 스카이 라인상에서의 위치, 생산량, 초커의 설치시간, 횡집재시간, 주행시간 등의 단위작업을 측정하여야 한다. 그러나 이런 단위작업의 계측은 한곳에서 이루어지기 어렵고 분산되어 측정해야 하는 것이 대부분이다. 그러나 반송기에서

라인의 장력을 측정 할 수 있는 시브형식의 로드 측정신호와 각 유압장치에서 소용되는 유량과 압력을 측정 하므로써 단위공정의 시간과 소요되는 힘 등을 측정 할 수 있다. 따라서 이런 경우 가선시스템의 반송기 상에서 모든 공정의 계측이 이루어져야 하므로 무선 조정 방식의 계측기 형태가 바람직 하다.

따라서 본 연구에서는 독립적(stand-alone)인 계측장치를 구성하기 위해 아래 그림과 같은 장비를 구성하였다. 별도의 PC 없이 신호별 콘디셔너와 CPU가 내장된 데이터 로거와 이곳에서 측정된 신호를 무선으로 송수신 할 수 있는 무선 데이터 엑세스 포인트 그리고 현장에서의 데이터 측정 트리거링을 할 수 있는 PDA로 구성된 계측 시스템을 구성하여 공정데이타를 측정 하였다.

그림 3-1-80. 가선계 집재 시스템의 공정 계측을 위한 계측 시스템

본 공정계측 시스템이 적용된 반송기는 무선으로 조정이 가능한 자주식 반송기를 사용하였으며 윈치와 작업줄의 속도를 <그림 3-1-81>과 같이 엔코더를 설치하여 측정하였다.

(a) 엔드레스 드럼부 엔코더 (b) 짐 당김줄 부분 엔코더

그림 3-1-81. 자주식 무선 조종 반송기의 계측장치 설치

본 연구에서 설계하여 장착한 계측시스템은 실제 작업현장에 투입하지는 못하였다. 특히 작업줄에 걸리는 하중에 대한 것은 유압의 특성들이 계측되어야 하는 데 유압관련 계측센서들의 가격이 워낙 고가여서 본 연구에 미쳐 반영되질 못하였다. 추후 계속적인 실험과 자료의 축적이 요구된다고 할 수 있다.

3. 궤도식 차량과 바퀴식 차량의 간이 접지압 분포 예측모델 개발

가. 서론

임업기계의 대형화로 임업기계의 토양다짐은 견인성능 측면에서와는 달리 산림토양에 나쁜 영향을 줄 수 있다. 특히 토양중에 서식하는 균근류는 토양의 공극을 통하여 호흡에 필요한 공기를 섭취하므로 각종 산림작업기계의 하중으로 인ㄴ한 토양다짐현상은 토양내부의 공극을 압축시켜 균근류가 더 이상 생장할 수 없는 조건이 된다. 또한 이런 균근류가 사라지므로써 수목에 공급되어야 할 양·수분의 공급이 원할 하기 못하게 되고, 양·수분의 공급을 제대로 받지 못한 수목은 병해충에 의해 공격을 받게 되므로 생장에 큰 영향을 받게 된다. 한편 토양다짐은 토양자체의 공극을 감소시켜 줄어들어 본래의 토양이 가지는 보습기능을 발휘하지 못하게 된다. 이로 인해 강우시 발생하는 표면 유출수가 토양속으로 제대로 흡수되지 못하고 토양표면을 따라 유출되어 하천으로 직접 유입되며, 이때 토양 침식이 발생하여 표토층에 존재하고 있는 양분과 점토질이 함께 유입되어 하천의 오염과 토양의 유실이라는 두 가지 문제를 일으키게 된다. 특히 Hatchell 등(1970)에 의하면 토양다짐 후 토양자체의 밀도 증가는 clay sand 또는 sandy loam이 더 크다고 보고하였다. 이는 결국 공극이 더 큰 토양이 더 압축성이 좋다는 것을 의미하며, 우리나라 산림토양의 대부분이 화강풍화토(사질토)임을 감안한다

면 점질이 많은 논토양이 밭토양보다 토양다짐에 대한 피해가 상대적으로 클 수 있다는 것을 의미한다. 산림지역에 있어서 토양다짐은 공극과 수분의 침투율을 감소시키며 이렇게 감소된 토양 공극의 자연적인 회복에는 10년 혹은 그 이상이 소요되며(Patric과 Reinhart, 1971), 산림수확 작업시에 집재 차량의 바퀴자국도 원래대로 회복되는데 10-12년이 요구된다고 한다(Dickerson, 1976).

따라서 산림의 각종 작업시 장비에 의한 토양다짐을 고려한 작업계획과 작업시스템의 개발이 요구되며, 토양다짐에 대한 이해의 폭을 넓히기 위해서는 먼저 토양다짐을 정확하고 신속히 예측할 수 있는 기초연구가 선행되어야 할 것이다. 외국의 임업선진국들은 이에 대한 문제점을 인식하여 토양다짐에 대한 연구를 수행하였으며, 이를 기초로 임업기계를 이용한 수확작업에서 토양다짐을 줄일 수 있는 작업시스템을 설계하거나(Froehlich 등, 1981), 임업기계의 작업조건별 토양다짐의 효과 등을 제시하였다. 그러나 현재 국내에서는 임업기계에 의한 임지의 토양다짐에 관한 연구는 전무한 실정이며, 중요성에 대해서도 인식되고 있지 못하다.

토양다짐과 관련된 집재차량의 변수는 토양과 접촉하고 있는 차륜계의 접지압을 들 수 있다. 일반적으로 집재차량의 접지압은 차체의 중량을 집재 차량이 토양과의 접촉하고 있는 면적으로 나눈 값들을 사용하고 있다. 그러나 이런 값들은 접촉하고 있는 부분의 평균 접지압을 나타낼 뿐 차량의 무게중심이 한쪽으로 편중되어 있거나 경사지를 주행하는 경우에는 접지압의 분포가 다르게 형성되는 경우가 많다. 접지압의 예측은 토양 압축에 대한 문제의 연구뿐만 아니라 집재차량의 견인 성능에도 적지 않은 영향을 미치고 있기 때문에, 집재차량의 견인성능에 관한 연구에 있어서도 접지압의 문제는 중요하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 임업기계에 의한 임지의 토양다짐 예측과 연인성능연구의 기초연구로 차륜형 임업기계와 트랙형 임업기계의 접지압 분포를 이론적으로 해석하여 예측하고자 진행하였다.

나. 견인목의 힘분석

집재작업차량의 트랙과 타이어의 이론접지압을 계산하기 위해서는 견인되는 견인목의 견인줄의 장력과 견인목과 지표면이 이루는 각에 대한 정보가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 Lysne과 Burditt(1983)가 제안한 견인목의 역학분석모델을 이용하여 분석하였다.

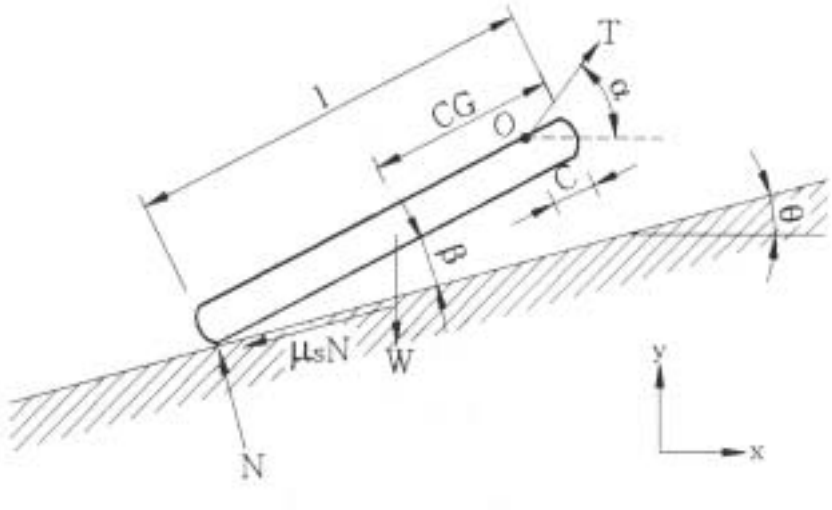


그림 3-1-82. Free body diagram of a skidded log

<그림 3-1-82>에서 알수 있듯이 집재기에 의해서 견인되는 견인목의 역학적 해석은 견인목의 제원과 하중이 견인줄에 미치는 장력의 크기와 방향으로부터 힘의 평형 방정식과 모멘트의 원리에 의해서 구할 수 있으며, 다음과 같은 가정하에 모델식이 유도되었다.

1) 견인되는 견인목은 한쪽이 들린 채로 일정한 속도로 견인되며, Plowing 효과에 의한 토양저항은 무시한다.
2) 2개 이상의 견인목을 견인할 때는 전체무게에 해당하는 단목으로 가정하여 견인줄의 장력을 계산한다.
3) 견인되는 견인목은 강체로 휘어짐이 없다.
4) 견인되는 견인목은 집재기에 의해 일정한 속도로 견인된다.

또한 견인줄의 장력(T)과 견인줄과 수평면이 이루는 각(α)을 결정하기 위한 역학분석 모델은 견인목의 총중량(W), 지표면의 경사각(θ), 토양과 견인목간의 마찰계수(μ_s)의 함수로써 유도된다.

<그림 3-1-82>에서와 같이 x, y 방향의 힘의 합과 견인줄이 묶인 O점을 중심으로 모멘트의 합은 0이 되어야 하므로 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$T\cos\alpha - N\sin\theta - \mu_s N\cos\theta = 0 \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

$$T\sin\alpha + N\cos\theta - \mu_s N\sin\theta - W = 0 \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

$$(CG - C)W\sin(\beta - \theta) - (l - C)N\cos\beta - (l - C)\mu_s N\sin\beta = 0 \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

(1), (2), (3) 식으로부터 견인목에 대한 토양의 지면반력 N과 견인줄 장력 T를 구할 수 있다.

$$N = \frac{(CG - C)W\cos(\theta + \beta)}{(l - C)(\cos\beta + \mu_s \sin\beta)} \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

$$T = \sqrt{(\mu_s N\cos\theta + N\sin\theta)^2 + (W - N\cos\theta + N\sin\theta)^2} \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

여기서, 견인목의 끝단으로부터 견인목의 끝단으로부터 견인목의 무게 중심점 까지의 길이 CG는 견인목의 형태가 통직한 원기둥일 경우는 견인목의 정중앙 위치에 무게 중심점이 존재하겠지만 일반적으로 전간재 집재인 경우는 대부분 원추대(conical frustrum)형태이기 때문에 원추대의 무게중심 공식을 응용하여 견인목의 끝단에서 무게중심점까지의 공식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$CG = \left(\frac{l}{4}\right) \cdot \left(\frac{r_b^2 + 3r_t^2 + 2r_b r_t}{r_b^2 + r_t^2 + r_b r_t}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

여기서, r_b : 견인목의 원구 반경,

r_t : 견인목의 말구 반경.

또한 T와 α는 실제 상황에서는 계속적으로 변화하겠지만 정역학적으로 평형을 이룬 상태에서의 평균치를 의미한다. 즉, 외부조건으로 주어지는 집재기의 주행속도, 집재로의 평균경사, 토양과의 마찰계수, 주행방향 등이 일정하게 된 상태로 견인목의 자체 관성에 의한 가속도가 발생하지 않은 상태를 의미한다. 따라서 T와 α를 결정하게 되면 집재기의 이론 접지압을 유도할 수 있게 된다.

다. 집재기의 이론 접지압 분석

집재기의 이론 접지압식을 유도하기 위해 트랙식 집재기와 바퀴식 집재기 두 가지 형태의 집재기를 적용하였다. 이론접지압 유도를 위한 차량은 좌우의 중량배분은 같다고 가정하였으며, 트랙식 집재기와 바퀴식 집재기의 토양접촉면적은 Fig. 2와 같이 계산하여 적용하였다(John 등, 1996).

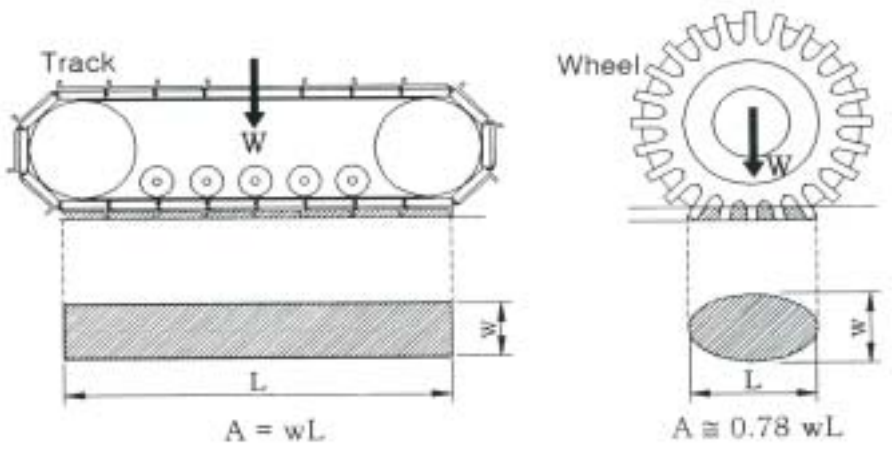


그림 3-1-83. Calculation of ground contact area of two type skidders

또한 두 종류 집재기의 이론 접지압을 유도하기 위해 다음과 같은 parameter를 사용하였다.

Xc : 전륜축의 중심선으로부터 차량의 무게중심점까지의 수평거리, m

Yc : 차륜의 토양접촉면으로부터 차량의 무게 중심점까지의 수직거리, m

Xt : 전륜축 중심선으로부터 후면 아치의 fairlead까지의 수평거리, m

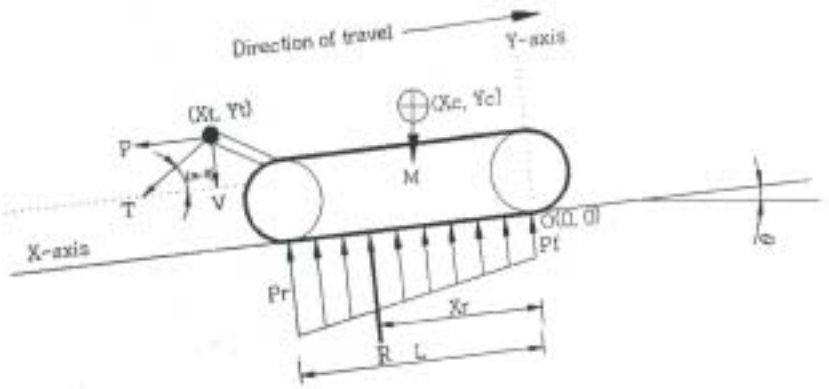
Yt : 차륜의 토양접촉면으로부터 후면 아치의 fairlead 까지의 수직거리, m

M : 차량의 실제무게, kgf

P : 견인줄 장력 T의 수평방향성분($Tcos(\alpha - \theta)$), kgf

V : 견인줄 장력 T의 수직방향성분($Tcos(\alpha - \theta)$), kgf

그 외에 차량의 무게중심점은 적용한 차량모델의 제원을 기준으로 가정하였으며, fairlead의 좌표점은 적용한 차량모델의 제원을 참고로 산정하였다.



L : the track length in contact with the ground, m

w : the track width, m

R : the resultant force of the pressure distribution from soil acting on the bottom of tracks

Xr : the horizontal distance from the O point to the resultant of the pressure distribution of tracks

Pf : the pressure on the leading edge of each track

Pr : the pressure on the trailing edge of each track

그림 3-1-84. Freebody diagram of a tracked skidder

1) 트랙식 집재기의 접지압 예측식 유도

<그림 3-1-84>에서 y방향의 힘의 합과 O점에서의 모멘트의 합은 0이 되어야 한다는 힘의 정력학적 평형원리를 이용하여 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$MX_c cos\theta + MY_c sin\theta + VX_t + PY_t = RX_r \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

전륜의 중심축으로부터 트랙의 바닥에서 작용하는 분포힘의 합력까지의 거리 X_r은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$X_r = \frac{MX_c cos\theta + MY_c sin\theta + VX_t + PY_t}{R} \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

여기서, $R = Mcos\theta + V$

이와 같이 합력까지의 거리 X_r이 결정되면 다음과 같은 식을 통하여 P_r과 P_f의 힘을 구할 수 있다. 트랙의 밑면에 작용하는 힘은 등 분포하중과 삼각분포하중이 결합된 분포하중의 형태이므로 등 분포하중과 삼각 분포하중의 형태를 합한 형태로 표현할 수 있다. 따라서 트랙의 밑면에 작용하는 y 방향의 힘은 합과 O점에서의 모멘트의 합은 0이라는 힘의 정역학적 평형원리에 의해 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$\Sigma Fy : P_f(2wL) + 0.5(P_r - P_f)(2wL) - R = 0 \cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

$$\Sigma Mo : RX_r - P_f(2wL)(0.5L) - 0.5(P_r - P_f)(2wL)(\frac{2}{3}L) = 0 \cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

(9)와 (10) 식을 간단히 정리하면

$$R - wL(P_f + P_r) = 0 \cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

$$RX_r - \frac{wL^2}{3}(P_f + 2P_r) = 0 \cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

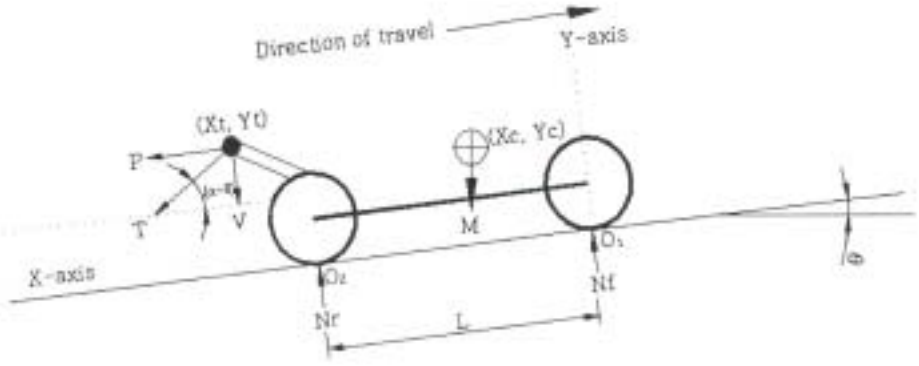
(11)식과 (12)식을 이용하여 P_r과 P_f를 구할 수 있다.

$$P_r = (\frac{3R}{wL})(\frac{X_r}{L} - \frac{1}{3}) \cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

$$P_f = (\frac{3R}{wL})(\frac{2}{3} - \frac{X_r}{L}) \cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

따라서 식 (5)에 의해서 구해지는 장력 T와 트랙식 집재기의 중량, 집재기 궤도의 폭과 길이 등의 자료를 알면 식(13)과 (14)에 의해 트랙식 집재기의 이론접지압을 알 수 있다.

2) 바퀴식 집재기의 접지압 예측식 유도



L : the wheelbase of the wheeled skidder

A : the ground-surface contact area for the two tires on each axle

Nf : the normal force on the two front tires

Nr : the normal force on the two rear tires

Pf : the ground pressure on each front tires

Pr : the ground pressure on each rear tires

그림 3-1-85. Freebody diagram of a wheeled skidder

<그림 3-1-85>에서와 같이 O_1, O_2점에서의 모멘트의 합은 0이 되어야 한다는 힘의 정력학적 평형원리를 이용하여 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$\Sigma Mo_1 : MX_c cos\theta + MY_c sin\theta + VX_t + PY_t - N_r L = 0 \cdots\cdots\cdots\cdots (15)$$

$$\Sigma Mo_2 : -M(L - X_c) cos\theta + MY_c sin\theta + V(X_t - L) + PY_t + N_f L = 0 \cdots\cdots\cdots (16)$$

위의 두 식을 수직하중에 대해서 풀면 다음과 같다.

$$N_f = \frac{M(L - X_c) cos\theta + MY_c sin\theta - PY_t - V(X_t - L)}{L} \cdots\cdots\cdots\cdots (17)$$

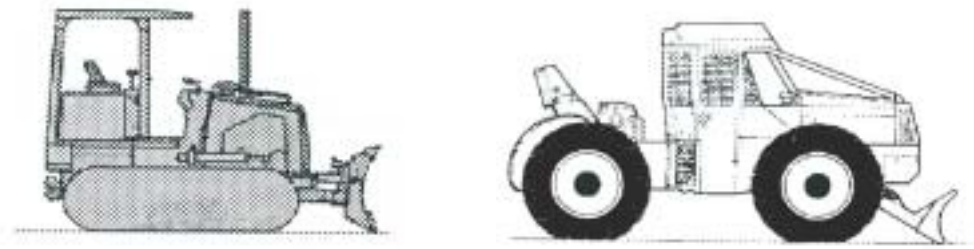
$$N_r = \frac{MX_c cos\theta + MY_c sin\theta + VX_t + PY_t}{L} \cdots\cdots\cdots\cdots (18)$$

따라서 P_f와 P_r은 다음과 같다.

$$P_f = \frac{N_f}{A} \cdots\cdots\cdots\cdots (19), \qquad P_r = \frac{N_r}{A} \cdots\cdots\cdots\cdots (20)$$

라. 사례분석을 통한 집재기의 이론접지압 계산

1) 접지압계산에 사용한 공시기종과 공시목의 제원



(a) John Deere 455G Loader (b) Timberjack 240C Cable Skidder

그림 3-1-86. Two types of skidder for theoretical ground pressure calculation

<그림 3-1-86>에서와 같이 집재기의 이론접지압을 계산하기 위해 바퀴식 집재기와 트랙식 집재기의 2종류를 유도된 접지압 분석 모델에 적용하였다. 트랙식 집재기로 선정한 John Deere의 455G 로더는 바퀴식 트랙터와 같은 제원의 인테그랄 아치를 적용한 것으로 가정하여 모델에 적용하였다.

또한 유도된 모델식의 적용하기 위한 각 기종의 이론적인 변수값들은 Table 1과 같으며, 이 중 무게 중심에 대한 좌표 값은 실험을 통하여 구해야 하지만, 각 공시기종별 기술적 자료와 카탈로그를 토대로 하여 적용하였다(John Deere Co.와 Timberjack Co.).

또한 지면과 견인줄이 이루는 각 α는 본 연구에서 적용한 인테그랄 아치와 같은 제원의 John Deere 440D Skidder의 인테그랄 아치를 사용하여 견인하는 경우 견인중 약 10~48°의 범위내에서 변화하지만(Hassan과 Gustafson, 1983), 사전 문석결과 α에 의한 접지압의 차이는 거의 없기 때문에 30°로 고정하여 분석 · 고찰하였다.

2) 이론접지압식의 적용

이론 접지압식의 적용 결과 종래의 차량무게에서 토양과의 접촉면적을 단순히 나누어 계산하는 접지압 분포의 계산결과와는 달리 지면의 경사와 견인하는 견인목의 상태에 따라 전후의 접지압 분포가 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 바퀴식 집재기보다 트랙식 집재기의 전후 접지압 분포의 차이가 더 많았다. 물론 무게 중심위치의 산정에 의한 영향이 크게 작용하겠지만, 본 연구에서의 경우와 같이 무게가 비슷한 경우에는 지면과 접지하고 있는 바퀴의 전후간격이나, 트랙의 전체적인 길이가 짧은 쪽에서 접지압의 편중현상이 두드러짐을 알 수 있었다.

표 3-1-12. Theoretical parameter values for ground pressure calculation

Skidder type				Log	
Tracked skidder		Wheeled skidder			
X_c	1.25 m	X_c	0.83 m	l	9.80 m
Y_c	1.10 m	Y_c	1.10 m	r_b	8.75 m
X_t	3.39 m	X_t	2.33 m	r_t	5.20 m
Y_t	1.89 m	Y_t	1.89 m	CG	4.09 m
L	2.99 m	L	1.93 m	C	0.20 m
A	1.02 ㎡	A	4.37 ㎡	$W(10\,trees)$	1,950 kg
M	8,409 kg	M	8,120 kg	μ_s	0.65

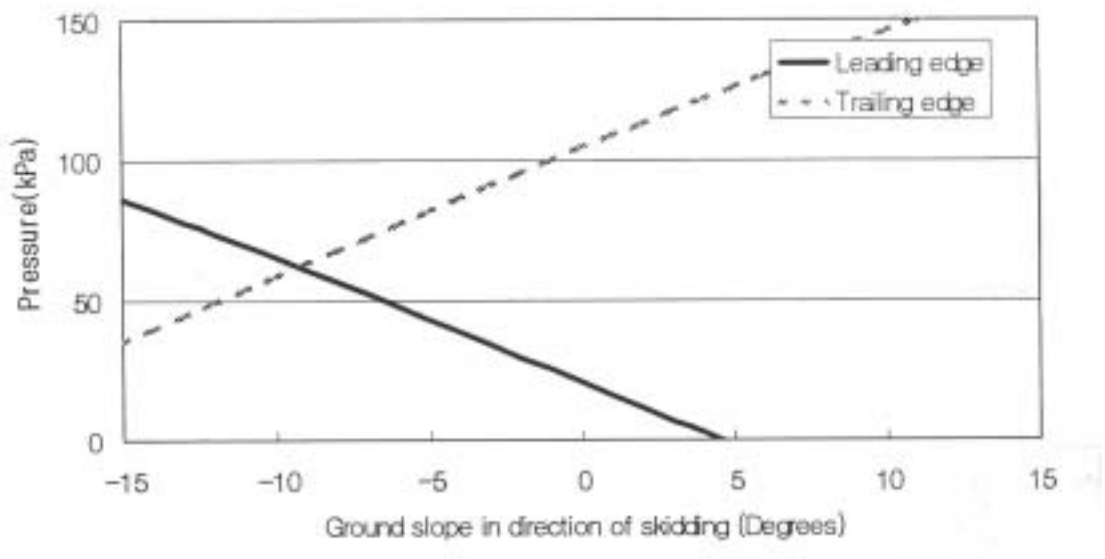


그림 3-1-87. Theoretical ground pressure distributions for tracked skidder

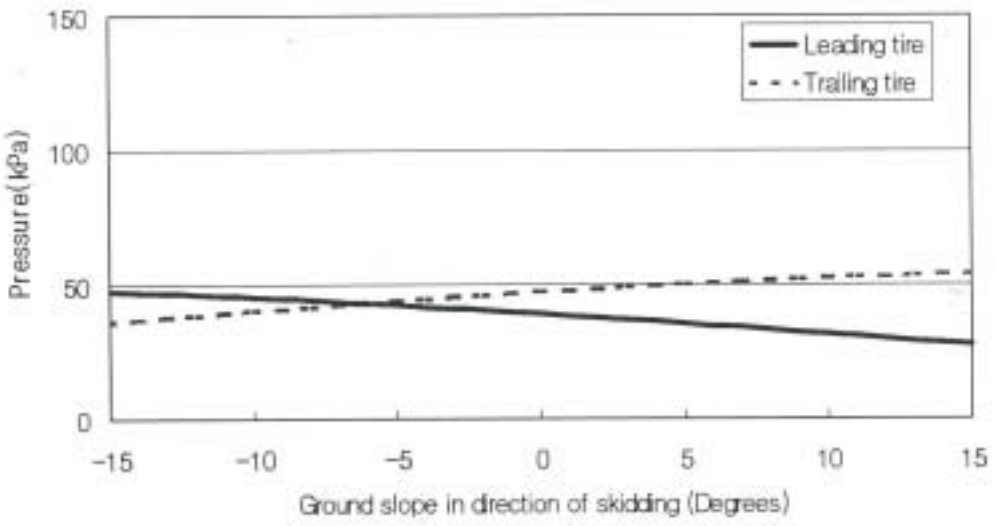


그림 3-1-88. Theoretical ground pressure distributions for wheeled skidder

마. 결론

본 연구의 결과를 토대로 Off-Road 형 차량의 제작 설계시에는 무게중심의 배분과 차륜의 간격, 트랙의 길이 등을 고려하므로써 임지의 파괴를 최소화하는 범위 내에서 최대의 견인력을 발휘할 수 있도록 하는 것이 바람직 할 것이다. 또한 구동륜의 종류에 따라 지면경사의 효과를 접지압에 차이로 표현하였기 때문에 집재작어브이 계획 시 집재기의 선정할 대 대상임지의 평균작업경사도를 고려하여 임지의 파괴를 최소화 할 수 있는 기종을 선택하는 것에도 기초적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

그러나 본 연구에서 고려한 유도 모델은 정력학적 평형상태를 전제로 유도되었기 때문에 차량의 진동과 관성력에 의한 동적해석은 실시하지 못했다. 따라서 실제상황에서의 접지압 분포는 더 증가 될 것으로 예측되며, 차후 이런 조건을 고려한 해석뿐만 아니라 트랙형 차량의 경우에는 연성궤도에 대한 트랙의 위치별 접지압 상태분포에 대한 해석과 바퀴식 집재차량의 경우에는 토양 종류별 침하를 고려한 해석이 더 추가되어야 할 것으로 판단된다.

4. 지예집재와 반지예 집재에 의한 견인저항력의 해석

가. 서론

국내의 산림은 지난 몇 십년동안의 조림 및 무육작업을 통하여 장차 성숙림으로 나아가기 위한 간벌단계의 임분에 도달해 있다. 또한 계속적으로 간벌대상 임분이 늘어가

고 있지만 단순한 무육작업만을 통하여 많은 산림자원(간벌소경재)이 산지에 방치되고 있는 실정이다. 그 이유는 소경 간벌재를 집재하는데 필요한 집재 비용이 높고 간벌소경재의 활용도가 낮아 간벌소경재를 거래하는 시장이 발달하지 않았기 때문이다. 이러한 집재작업의 문제점을 해결하기 위해 임도를 개설하여 좀더 산림으로의 접근성을 증대시키고 외국으로부터의 집재장비 도입으로 집재작업의 기계화를 추진하고 있다. 기계화 집재장비의 생산성은 산림의 지형적 특성, 임상조건, 산림작업의 특성등에 의해 크게 좌우되고, 기계의 투입으로 인한 초기 투자비용이 크므로 기종선택에 대한 주의를 필요로 한다. 국내의 산림특성상 경사가 급한 지역이 대부분이므로 차륜형 집재장비의 적용에는 어려움이 있지만 가선집재 작업에 비해 작업비용이 낮아 선진 임업국에서도 아직 까지도 많이 이용되고 있는 집재방법이다. 따라서 우리나라 임업실정에 적합한 집재장비의 선정 및 개발이 요구된다고 할 수 있다. 또한 이를 위해서는 집재작업에 대한 공학적이해가 우선적으로 요구되므로 집재시 발생되는 토양과 집재목간의 역학 관계를 규명하고 이해할 필요가 있다. 이러한 이유에서 미국 캐나다 등의 선진 임업국에서는 집재작업의 역학적 특성에 대한 많은 연구가 수행되었다.

그 예로 Perumpral(1977)등은 집재목의 집재계수를 토양의 함수율과 집재목의 종류 및 크기에 따라 제시하였고, Hassan(1977)은 스키더의 타이어가 크고 넓을수록 견인력이 증가하며, 대부분의 벌목 작업자들이 적절한 용량의 스키더를 사용하지 않고 있음을 보고하였다. 또한 Hassler(1983)등은 스키더 타이어의 크기, 동력, 속도와 토양의 강도, 함수율, 집재목의 형상, 집재목의 크기 및 무게 등을 고려한 집재기종별 집재모델을 제시하였다. 이에 반해 국내에서는 정(1993)과 정(1995)등 이 집재시스템과 경사지 작업차량에 대한 역학 구조해석에 관한 연구가 있었을뿐 집재작업에 대한 역학적 해석에 관한 연구는 전무한 실정이다. 또한 국내에서 일부분이나마 이용되고 있는 집재작업기계는 거의 모두 외국에서 도입된 기종으로 임업연구원 등에서 도입기계에 대한 적용성이 일부 검토 되었을뿐 장비의 적용성이 국내 실정에 맞는지에 대한 검토는 미미한 실정이다. 이에 본 연구는 우리나라 산림작업구조와 산지조건을 고려한 한국형 집재작업기를 개발하기 위한 기초연구로 수종별 토양조건에 따른 집재목과 토양간의 마찰계수와 지형조건을 고려한 집재견인 예측모델을 개발하고자 하였으며, 이를 통해 소경간벌재를 대상으로한 집재작업기의 최대 견인력 산출과 집재장비의 적절한 설계기준을 제시하고자 하였다.

나. 집재견인력 분석을 위한 이론식

집재목의 견인저항을 예측하기 위하여 집재목 중량(W), 지면경사(θ), 토양과 견인목

간의 집재계수(μs)의 함수로 수학적인 모델을 집재견인 형태별로 유도하였다.

1) 지면집재

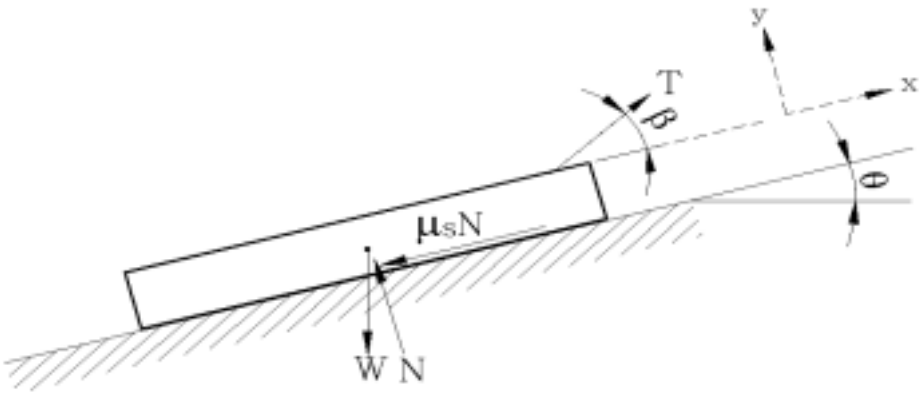


그림 3-1-89. 지면과 접촉하여 집재되는 견인목의 힘 자유선도

이론식의 유도를 위해, 지면을 따라 중심축을 선택하였고, 집재목은 힘의 평형 상태로 있는 것을 가정 하였다. 따라서 x 방향과 y 방향에 대한 힘의 합력은 항상 0 이 되어야 한다.

$$\sum F_x = 0 \qquad T\cos\beta - \mu_s N - W\sin\theta = 0$$

$$\sum F_y = 0 \qquad T\sin\beta + N - W\cos\theta = 0$$

위의 식을 β 와 T에 대해서 풀면 다음과 같다.

$$\beta = \tan^{-1}\frac{W\cos\theta - N}{\mu_s N + W\sin\theta}$$

$$T = \frac{W\ (\ \mu_s\cos\theta + \sin\theta)}{\cos\beta + \ \mu_s\sin\beta}$$

2) 견인목 휨이 없는 반지면집재

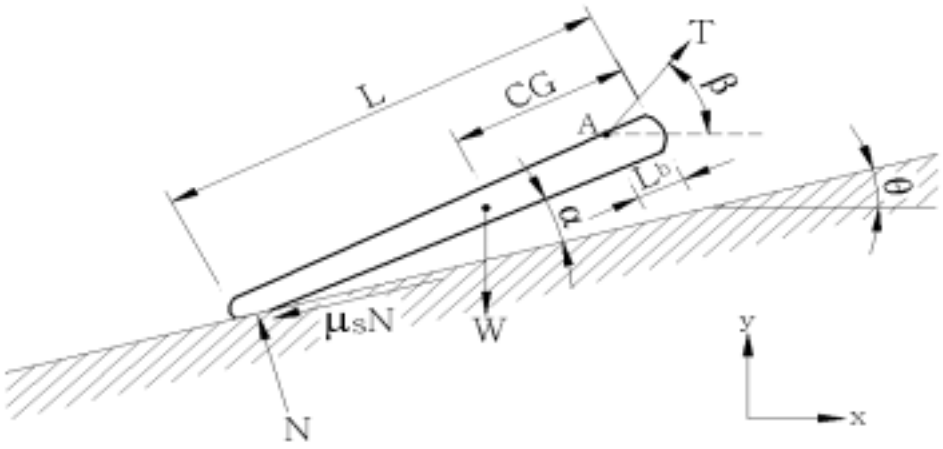


그림 3-1-90. 변형이 없이 한쪽 끝이 들여올려져 견인되는 경우의 힘의 자유선도

x 방향과 y방향의 힘의 합과 쵸커 설치끝단에서의 모멘트의 합은 0이 되어야 한다. 따라서 다음과 같은 식을 구성 할 수 있다.

$$\sum F_x = 0 \qquad T\cos\beta - N\sin\theta - \mu_s N\cos\theta = 0$$

$$\sum F_y = 0 \qquad T\sin\beta + N\cos\theta - \mu_s N\sin\theta - W = 0$$

$$\sum M_A = 0 \quad (CG - L_b)\,W\cos(\alpha+\theta) - (L - L_b)\,N\cos\alpha - (L - L_b)\,\mu_s N\sin\alpha = 0$$

위의 식으로부터 N , β, 그리고 T 를 계산 할 수 있다.

$$N = \frac{(CG - L_b)\,W\cos(\theta+\alpha)}{(L - L_b)(\cos\alpha + \mu_s\sin\alpha)}$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{W - N\cos\theta + \mu_s N\sin\theta}{\mu_s N\cos\theta + N\sin\theta}\right)$$

$$T = \sqrt{(\mu N\cos\theta + N\sin\theta)^2 + (W - N\cos\theta + N\sin\theta)^2}$$

견인목의 무게중심(CG)는 균일한 밀도를 가지고 있고 원추대의 형태라는 것을 가정

하여, 다음의 식에 의해서 계산 할 수 있다.

$$CG=(\frac{L}{4})\cdot(\frac{r_b^2+3r_t^2+2\ r_b\ r_t}{r_b^2+r_t^2+\ r_b\ r_t})\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot(11)$$

여기서, r_b 는 원구의 반경이고 r_t 는 말구의 반경이다.

3) 견인목의 휨이 발생한 반지면집재

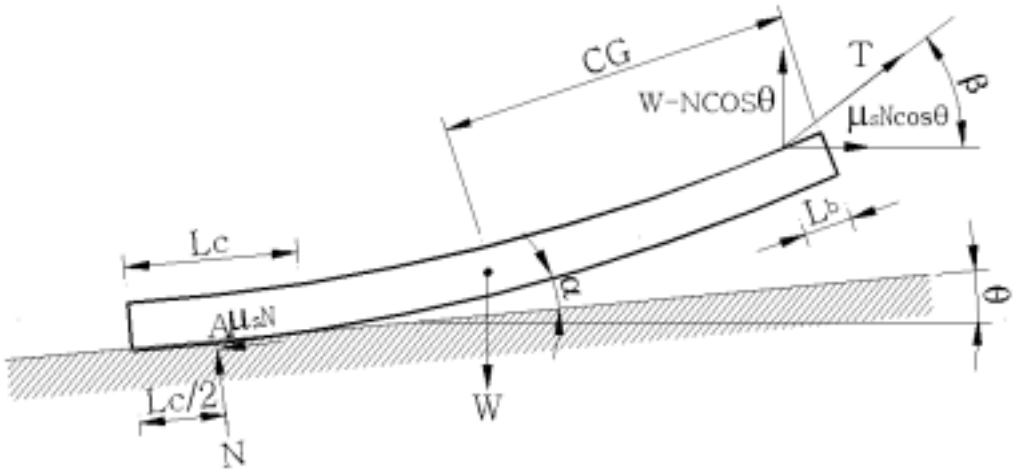


그림 3-1-91. 견인목을 들어올려 휨이 있는 경우 견인목에 대한 힘의 자유선도

이론적인 식을 유도하기 위해 경인목은 힘의 평형 상태에 있음을 가정 하였고, A점에서의 모멘트의 합은 0 이 되어야 한다. 따라서 다음과 같은 식을 유도 할 수 있다.

$$(W-N\cos\theta)[(L-\ L_b-\ L_c)\cos(\alpha+\theta)+\frac{L_c}{2}\cos\theta]-\ \mu_s N\cos\theta\ \ [(L-\ L_b-\ L_c)$$

$$\sin(\alpha+\theta)+\frac{L_c}{2}\sin\theta]-W\ \ [(L-\ L_c-CG)\cos(\alpha+\theta)+\frac{L_c}{2}\cos\theta]=0$$

이전의 식으로부터 N에 대한 관계를 유도하면 다음과 같다.

$$N=\frac{W\ \cos(\alpha+\theta)(CG-L_b)}{\cos\theta[x\cos(\alpha+\theta)+\frac{L_c}{2}\cos\theta+\mu_s(xsin(\alpha+\theta)+\frac{L_c}{2}\sin\theta)]}$$

여기서 $x=L-L_b-L_c$.

와이어 로프의 장력과 그것이 수평면과 이루는 각을 표현 하면 다음과 같다.

$$T=\sqrt{(W-Ncos\theta)^2+(\mu_sNcos\theta)^2}\ \text{and}\ \beta=(\tan^{-1}\frac{\mu_sNcos\theta}{W-Ncos\theta})+90°$$

견인목의 무게중심은 Perkins(1982)의 식으로부터 유도 하였다. ,

$$CG=(0.23430+0.36891R-0.10353R^2)L$$

여기서, R = 원구에 대한 말구직경의 비율

L = 견인목의 길이, m.

다. 재료 및 방법

1) 공시재료 및 실험장치

공시재료로는 강원대학교 부속연습림에서 간벌한 굴참나무(Quercus variabilis), 신갈나무(Quercus mongolica), 잣나무(Pinus Koraiensis), 낙엽송(Larix leptolepis)를 이용하였고, 간벌후 일정 크기로 조재하여 수종별로 3개씩 준비하였다. 집재견인 예측모델 개발을 위해서는 현장에서 집재시 고려되는 조건을 상사화 하여 실험실내에서 현장과 같은 실험조건을 설정해야 하므로, 토양의 밀도, 함수율, 토양의 종류 등을 현장과 같은 수준으로 하였으며 임지표면에 쌓여 있는 낙엽 및 유기물에 대한 마찰효과를 고려하기 위해 수종별로 직접임지에서 A0층 및 낙엽과 잔존가지를 채취하여 실험에 이용하였다. 공시목의 견인시 요구되는 견인력 즉, 공시토양과의 마찰계수를 측정하기 위하여 크기 60 X 120 X 100 cm의 인공토양조를 제작하여 강원대학교 부속연습림 간벌예정지의 토양을 채취하여 일정 밀도가 되도록 토양을 입밀하였다. 본 실험에서 사용한 공시토양의 밀도는 현장의 밀도수준인 1273.4kg/㎥가 되도록 하였다. 또한 인공토양조의 위치는 공시목이 수평으로 견인될 수 있도록 높이를 조정하였다. 공시재료의 견인을 위한 견인

장치는 만능재료시험기(Model STM-20)를 이용하여 <그림 3-1-92>에서와 같이 하단 고정부에 풀리를 설치하여 3mm 굵기의 강철 와이어를 통해 공시재료를 견인하도록 하였다. 공시재료의 견인줄에 걸리는 장력에 대한 데이터를 측정,저장하기 위한 로드셀은 45.4kg 용량의 것을 사용하였다. 집재목의 견인시 토양과의 접촉면적은 토양위에서 공시목을 약간 견인하여 생긴 토양의 파괴면을 면적계를 이용하여 측정하였다.

표 3-1-13. 실험에 사용된 견인목의 제원

Tree Species	Log no.	Length, m	Average diameter, m	Weight, N
Korean pine (*Pinus koraiensis*)	1	0.53	0.19	29.07
	2	0.58	0.20	34.61
	3	0.59	0.20	34.06
Japanese larch (*Larix leptolepis*)	1	0.62	0.18	24.03
	2	0.59	0.16	18.72
	3	0.54	0.19	21.39
Mongolian oak (*Quercus mongolica*)	1	0.45	0.15	24.52
	2	0.56	0.15	27.81
	3	0.54	0.17	35.22
Cork oak (*Quercus variabilis*)	1	0.48	0.20	33.34
	2	0.52	0.18	33.40
	3	0.56	0.15	45.69

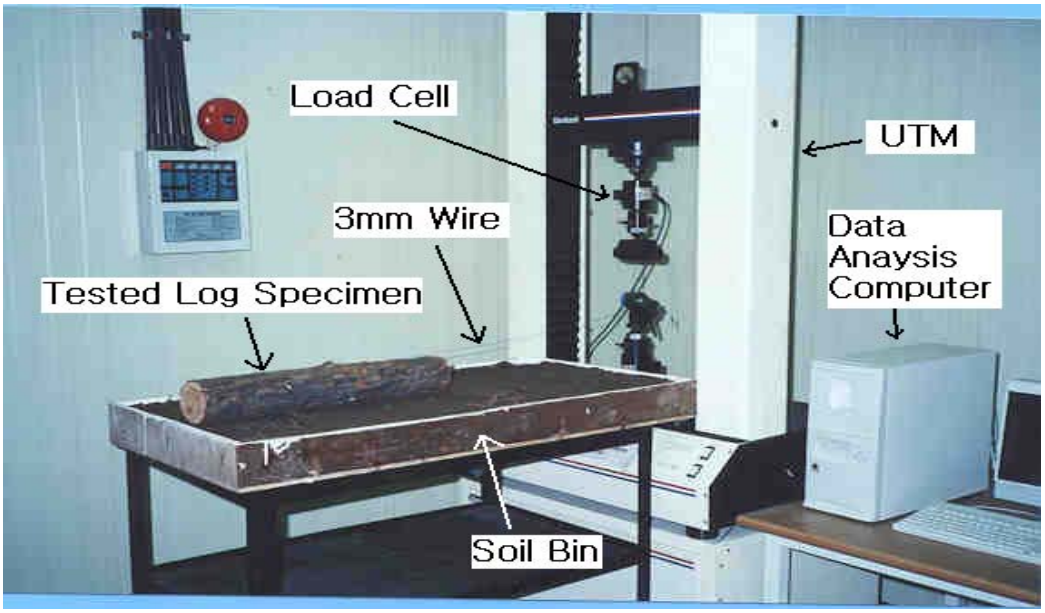


그림 3-1-92. 견인목의 견인계수 결정을 위한 실험장치

라. 결과 및 고찰

1) 집재목 견인계수

굴참나무(Quercus variabilis), 신갈나무(Quercus mongolica), 잣나무(Pinus Koraiensis), 낙엽송(Larix leptolepis) 공시목에 대해 두 종류의 노면조건에 대해 실시한 견인실험의 결과를 <표 3-1-14>에 나타내었다.

실험 결과 데이터를 이용하여 2 × 3 요인 분산분석을 실시하였다. 모두 3가지의 변수 즉 수종, 노면조건, 수직하중에 대하여 집재목의 견인계수에 어떠한 영향을 미치는 가를 분석하였고, 활엽수와 침엽수에 대한 것 또한 각 변수들에 대한 상호 교호작용에 대한 효과 까지 분석을 실시하였다. 분석결과 모든 모델에 대해서 5% 유의 수준내에서 유의적인 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

표 3-1-14. 집재목 견인계수에 대한 분산분석

Source	DF	SS	MS	F
Model	7	0.3089	0.0441	34.04*
Ground condition	1	0.0168	0.0168	12.94*
Species	3	0.2058	0.0686	52.91*
K. pine vs J. larch	1	0.0445	0.0445	34.28*
M. oak vs C. oak	1	0.0007	0.0007	0.55
Needle leaf vs Broad leaf	1	0.1607	0.1607	123.89*
Interaction	3	0.0864	0.0288	22.20*
K. pine vs J. larch at each ground condition	1	0.0068	0.0068	5.21*
M. oak vs C. oak at each ground condition	1	0.0527	0.0527	40.68*
Needle leaf vs Broad leaf at each ground condition	1	0.0269	0.0269	20.72*
Error	64	0.0830	0.0013	

* : Significance at α = 0.05

수직하중 변화에 따른 집재계수의 변화는 총 견인저항에 대해서 마찰계수만이 작용한 것은 아니었다.

미끄러짐에 저항을 하는 또다른 요인은 토양과 공시체간에 작용하는 점착력이다. 수직하중이 증가하므로서, 접촉면적이 증가하고 이것은 점착저항력의 증가를 일으킨다. 점착력의 영향은 토양의 점질과 실 토질 혹은 함수율이 높을 때 커지지만 본 연구에서는 함수율의 영향은 고려하지 않았다. 왜냐하면 실험에 사용된 토양이 모래로 분류되었고, 실트나 점토와 같은 토양보다 점착력의 효과가 낮기 때문이다.

다른 흥미로운 점은 실험결과 굴참나무의 경우 평균 집재 계수가 집재 잔여물이 있는 조건에서 다른 수종에 비해 매우 크게 나타났다.

여기에 관련된 인자는 마찰력일 것이며, 그 이유는 굴참의 표면이 매우 거칠고 집재

공시목과 집재잔여물이 있는 토양간의 마찰력이 다른 수종에 비해 매우 크기 때문이다.

벌채잔여물이 없는 지면의 경우, 낙엽송의 집재계수가 다른 수종에 비해 가장 크게 나타났다. 낙엽송의 경우 표면이 매끄럽고 다른 수종들에 비해 접촉면적이 더 크기 때문인 것으로 판단된다. 기대되는 결과로서는 전체 측정된 수종마다의 집재계수 값이 약간 차이가 있었으며 집재계수 값도 노면조건에 따라 변화하는 것으로 판단되었다.

표 3-1-15. Results of laboratory tests to determine the skidding coefficient.

Tree Species	Ground condition	Normal load	Skidding coefficient (μs)	Duncan's grouping
Korean pine (*Pinus koraiensis*)	Covered with soil	29.07 N	0.88	a
		34.61 N	0.89	a
		34.06 N	0.81	b
	Covered with logging residue	29.07 N	0.91	a
		34.61 N	0.90	a
		34.06 N	0.90	a
Japanese larch (*Larix leptolepis*)	Covered with soil	24.03 N	0.87	a
		18.72 N	0.89	a
		21.39 N	0.94	a
	Covered with logging residue	24.03 N	0.99	a
		18.72 N	0.96	b
		21.39 N	1.07	a
Mongolian oak (*Quercus mongolica*)	Covered with soil	24.52 N	0.80	a
		27.81 N	0.79	a
		35.22 N	0.79	a
	Covered with logging residue	24.52 N	0.81	a
		27.81 N	0.72	b
		35.22 N	0.78	a
Cork oak (*Quercus variabilis*)	Covered with soil	33.34 N	0.88	a
		33.40 N	0.82	a
		45.69 N	0.86	a
	Covered with logging residue	33.34 N	0.91	a
		33.40 N	0.84	b
		45.69 N	0.80	c

* Skidding coefficients with the same letter are not significantly different(α=0.05).

2) 견인저항력

본 연구에서 집재목에 대한 몇 가지 기술적인 가정을 하였다. 첫째로 집재는 전간목으로 제한하였고, 유도된 이론식은 단목이 아닌 경우도 고려하였으며 단, 명확한 제원이 제공되어야만 한다. 또한 계산에 사용되는 집재목의 체적과 중량은 원추대의 형태를

기준으로 사용하는 것을 가정하였다.

체적은 원구직경과 말구직경, 그리고 길이의 자료를 이용하여 계산하였다. 중량은 Koch(1972)가 이용한 식을 적용하여 계산하였다.

$$W = (1 + \frac{MC}{100}) \cdot G \cdot 1000 \cdot V \quad \cdots\cdots (16)$$

여기서,

W = Weight of a log, kg

MC = Moisture content(dry basis) of the log, %

G = specific gravity of the log

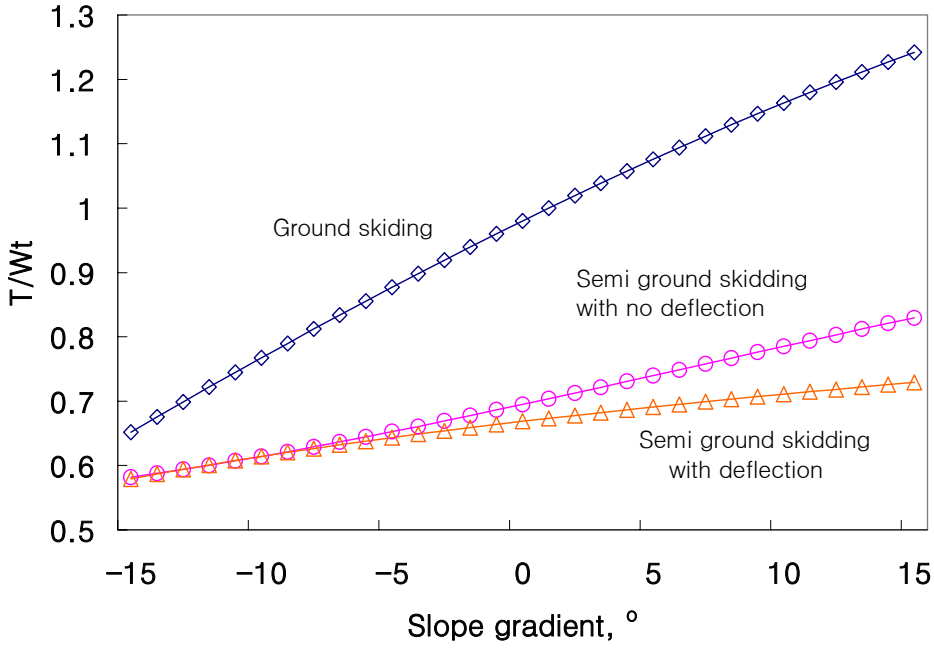
V = volume of the log, m3 , and

1000 = weight of a cubic meter of water, kg.

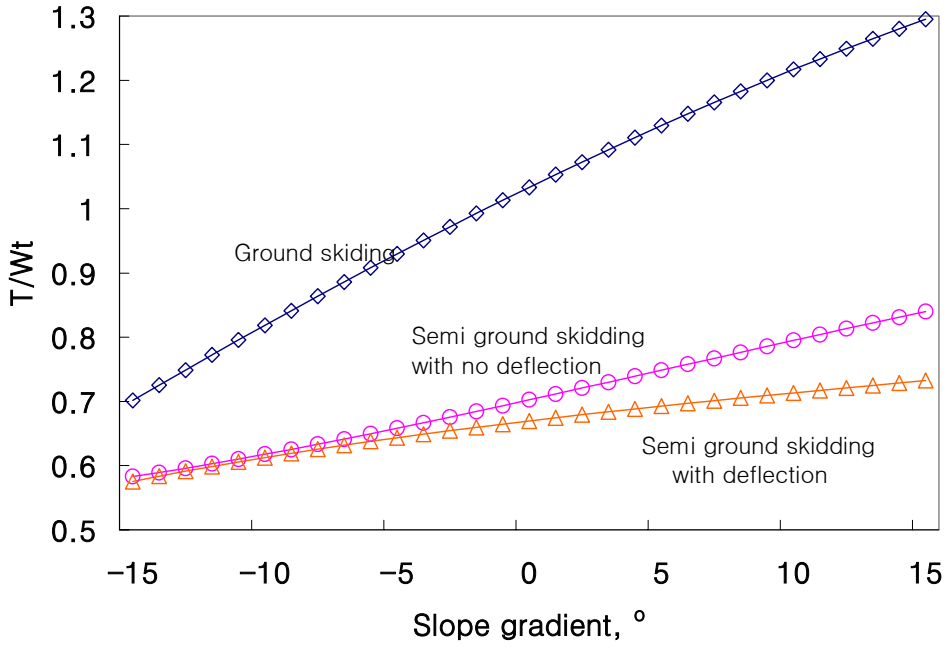
집재방법에 따른 집재저항의 차이를 비교하기 위해 각 파라메터들의 값을 <표 3-1-16>에 나타내었다.

표 3-1-16. Values of parameters used for simulation

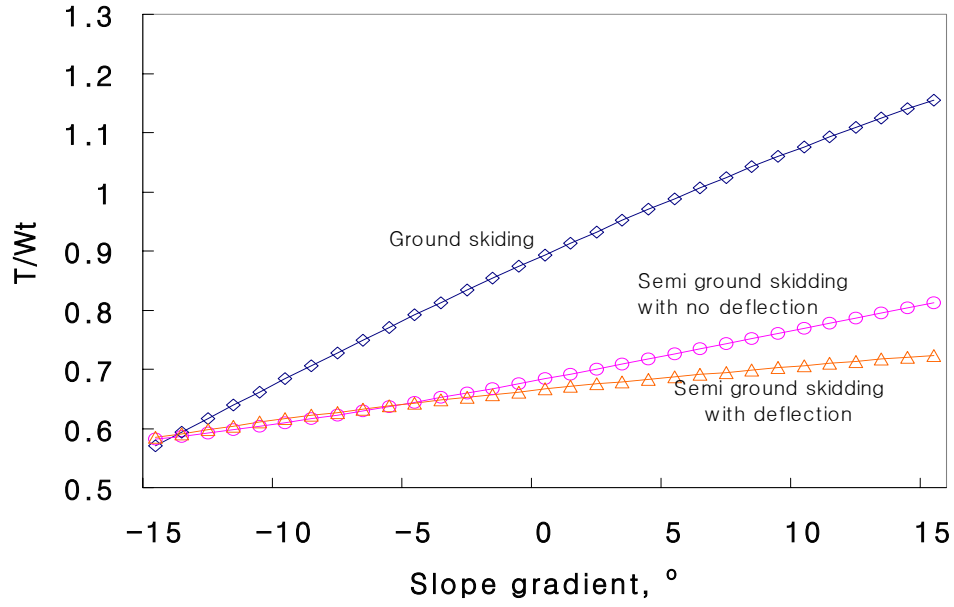
Parameter	Skidding type		
	Ground skidding	Semi-ground skidding without deflection	Semi-ground skidding with deflection
L (total length of log)	9.80m	9.80m	9.80m
rb (butt end radius of log)	-	8.75m	-
rt (top end radius of log)	-	5.20cm	-
Lb (choking distance from butt)	-	0.50m	0.50m
Lc (portion of log dragging on the ground)	-	-	0.30m
α (angle of inclined logs to horizontal line)	5.60°	5.60°	5.60°



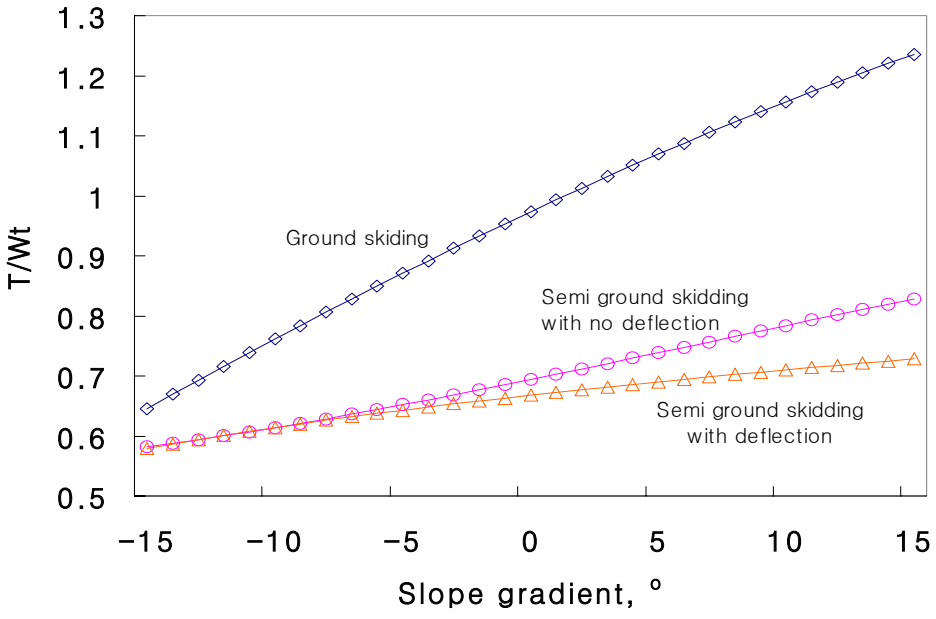
(a) Korean pine



(b) Japanese larch



(c) Mongolian oak



(d) Cork oak

그림 3-1-93. Relationship between the ratios(T/Wt) of skidding-line tensions to the skidding log weight and slope gradient by tree species.

집재라인 장력의 비율(T/Wt)은 수종별로 지면경사에 따라 <그림 3-1-93>와 같이 플롯하였다.

이 그래프로부터 알 수 있는 것은 반지면집재의 경우가 지면집재보다 더 작은 장력을 보여주었으며, 이것은 지배목 중량의 대부분이 지면대신 집재라인에 의해 차지되고 있음을 나타내는 것이다.

기준면으로부터 더 경사가 낮아지면, 반지면 집재의 경우 집재라인의 장력이 감소한다. 그리고 결국 상수가 된다. 도한 기준면보다 각도가 증가하면, 반지면 집재의 경우 집재라인 장력은 약간 변화한다. 그러나 반지면 집재의 두가지 모델의 경우 하향집재의 경우에 있어서는 다르지 않았고, 반지면 집재 저항력 계산에 있어서, 양쪽 집재모델에 상관없이 적용할 수 있다.

마. 결론

집재목의 형상, 집재목 중량, 집재계수, 그리고 지면경사의 함수로서 수학적인 집재모델은 차량계 임업기계에 의해 집재되는 집재목의 견인저항력을 예측하는데 개발되었다.

견인저항력을 예측하기 위해서, 실험적으로 집재계수를 측정하였다. 집재목과 토양간의 집재계수는 수직하중, 토양표면조건, 수종에 따라 달라지며 모델적용결과 집재목 중량에 대한 집재선과의 비율은 지면경사가 증가할 수록 함께 선형적으로 증가하였다.

반지면 집재는 일반적으로 주어진 조건에서 지면집재보다 더 작은 장력을 요구한다. 앞으로 집재력에 관한 연구는 실내실험과 현장실험이 겸비되어 결과를 도출하여야 한다.

5. 집재방식에 따른 견인계수의 변화 분석

가.서론

최근 목재이용의 다양화와 에너지 자원으로서의 활용 가능성 증대로 목재 수확에 대한 새로운 시각이 마련되어 가고 있다. 특히 지금까지의 목재수확방식에서 벗어나 가지 및 목재수확 부산물을 이용하려는 움직임이 일어나고 있으며 이에 대한 수확방법을 모색하고 있다. 따라서 지금의 간벌단계에서 이용할 수 있는 소형 목재 수확장비를 대상으로 목재 수확 방법에 따른 소요동력을 측정하여 보다 효율적이고 최적화된 목재 수집 방안을 모색하고자 한다.

나. 재료 및 방법

1) 실험장소

목재의 견인 저항력 측정실험은 강원대학교 학술림 잣나무 임분의 작업도상에서 실

시하였으며, 작업도는 노폭이 2.5m, 평균 횡단물매가 약 6%, 종단물매가 11%로 호박돌 등이 비교적 섞여 있는 사질토로서 평균 함수율은 27.85%(습량기준)으로 당일 노면의 조건은 약간 습한 상태 였다. 전체적인 실험장소의 임분 상황은 <그림 3-1-94>과 같다.

그림 3-1-94. 조사지의 임분상황 및 작업도

2) 목재 수확장비

현재 국내의 산림상태는 간벌을 많이 해주어야 하는 시기로 이에 대한 수확 수집에 대한 문제가 앞으로의 목재이용 및 에너지원으로서의 활용에 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 소규모 임업에 적합하고 비교적 사용이 간편한 궤도식 임내작업차를 대상으로 하였다.

그림 3-1-95. 실험에 사용된 임내작업차

임내작업차는 <그림 3-1-95>에서와 같이 후면적재식으로 단목위주의 수확방법에서 벗어나 전간 및 전목형태의 목재도 수집 수확 할 수 있도록 한 것이다. 따라서 후면 적재함에 위치한 윈치고리를 이용하여 집재목을 견인하면서 그에 따른 견인력을 측정 하였다.

3) 견인력 측정 및 계측장비

집재목의 견인시 견인력은 로드셀과 각도센서를 통해 견인줄의 장력과 각도를 측정하여 수평면에서 작용하는 수평분력을 계산할 수 있도록 하였다<그림 3-1-96>.

(a) 견인력 측정을 위한 loadcell (b) 견인줄 각도 측정을 위한 각도센서

그림 3-1-96. 집재목의 견인계수 계산을 위한 센서의 설치

또한 집재목을 견인할 때 차체의 주행속도 측정을 위해 제 5 륜을 설치하였으며 실제 구동력을 전달하는 스프로켓 부분에도 엔코더를 설치하여 집재목을 견인하면서 주행할때의 차체 구동장치(궤도부)의 슬립을 측정하도록 하였다<그림 3-1-97>.

(a) 제 5 륜 (b) 스프로켓 회전속도 측정 엔코더

그림 3-1-97. 차체의 속도 및 슬립측정을 위한 센서 설치

다. 실험 방법

그림 3-1-98. 견인대상목의 중량과 무게중심위치의 측정

먼저 간벌목을 벌도하여 전목상태에서의 <그림 3-1-98>와 같이 무게를 측정한 후 견인실험을 실시하였다. 또한 모델식에 의한 견인력 예측을 위해 무게중심의 위치도 함께 측정하였다. 무게중심은 전목상태의 간벌목을 들어 올렸을 때 수평이 되도록 매달음줄을 조정하며 무게중심점의 위치를 찾아내었다.

중량과 무게중심을 측정한 후 견인목은 상향, 하향으로 견인하고 저속, 고속의 속도조건하에 작업도 상에서 전목, 전간목의 상태로 견인하면서 그때의 견인력과 견인줄의 각도를 측정하였다.

(a) 반지면 전목집재

(b) 반지면 전간집재

(c) 지면 전목집재

(d) 지면 전간집재

그림 3-1-99. 각 조건별 집재작업

라. 측정 결과

로드셀에서 측정된 하중 값은 동시에 측정된 견인줄의 견인각도와 함께 수평분력즉, 견인계수의 값으로 환산하여 표현 하였다.

견인계수=[측정장력 * cos(측정된 견인줄의 각도)]/ 견인목의 자중

문헌조사 결과에 의하면 일반적으로 0.55 - 0.70 (Fiske and Fridley, 1975; Hassan, 1977)의 값을 나타내고 있으면 본 연구의 실내 실험에서는 잣나무의 경우 0.81 - 0.90의 값을 나타내고 있다. 즉 토양의 조건과 견인 하는 장소의 경사특성에 따라 소요견인력이 다르게 나타나는 것으로 판단된다.

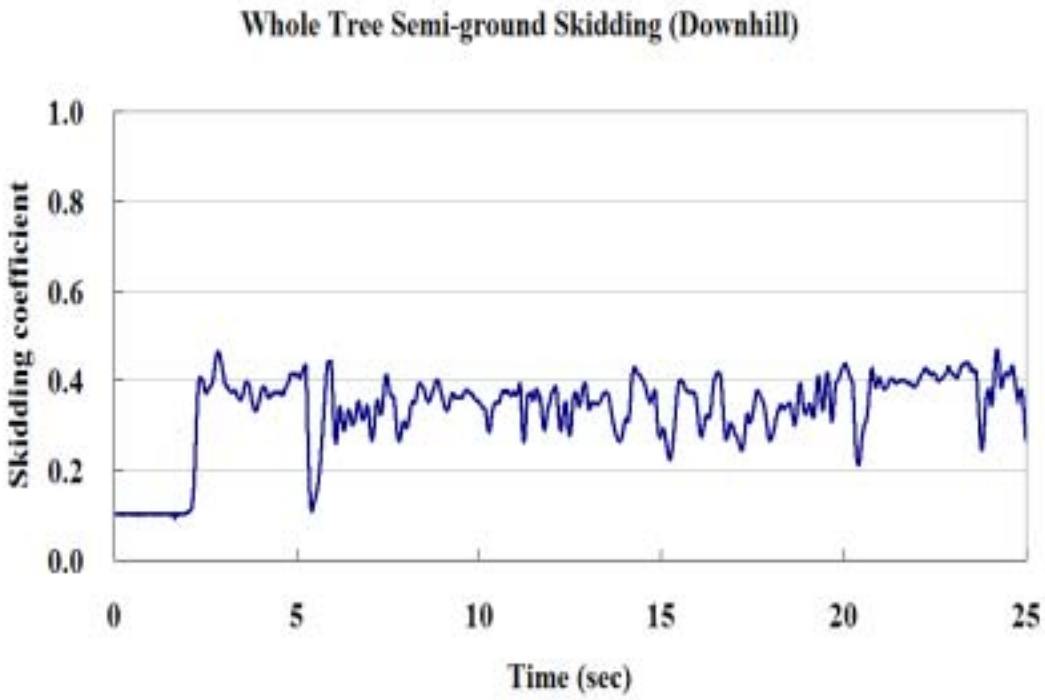


그림 3-1-100. 저속 하향 반지면집재(최대견인계수 0.47)

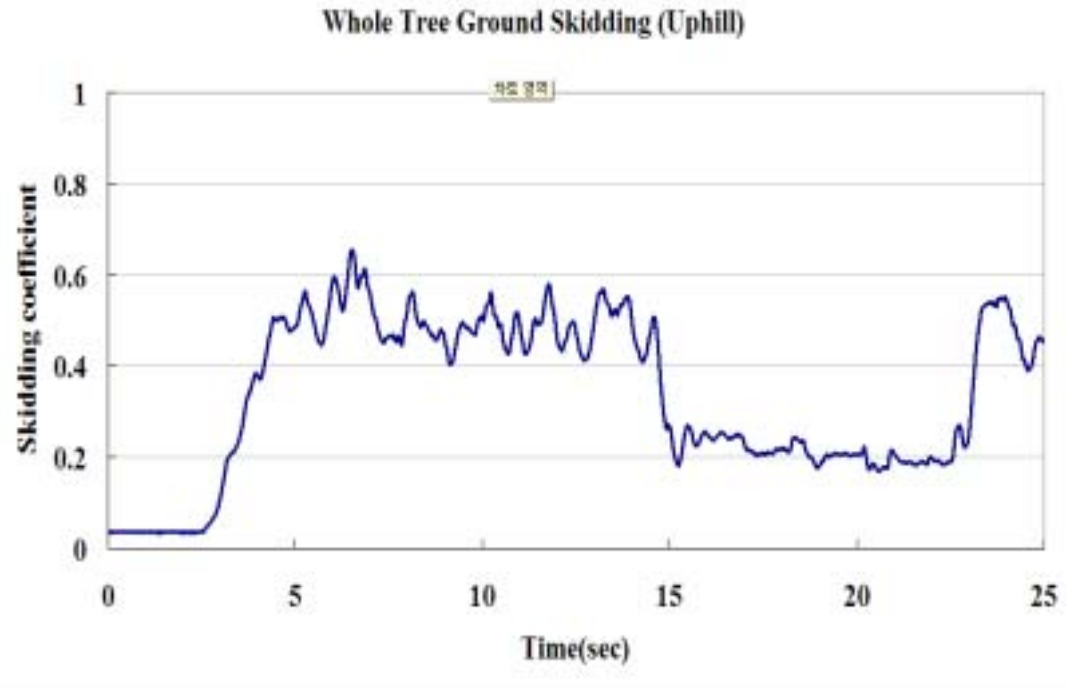


그림 3-1-101. 저속 상향 반지면집재(최대견인계수 0.66)

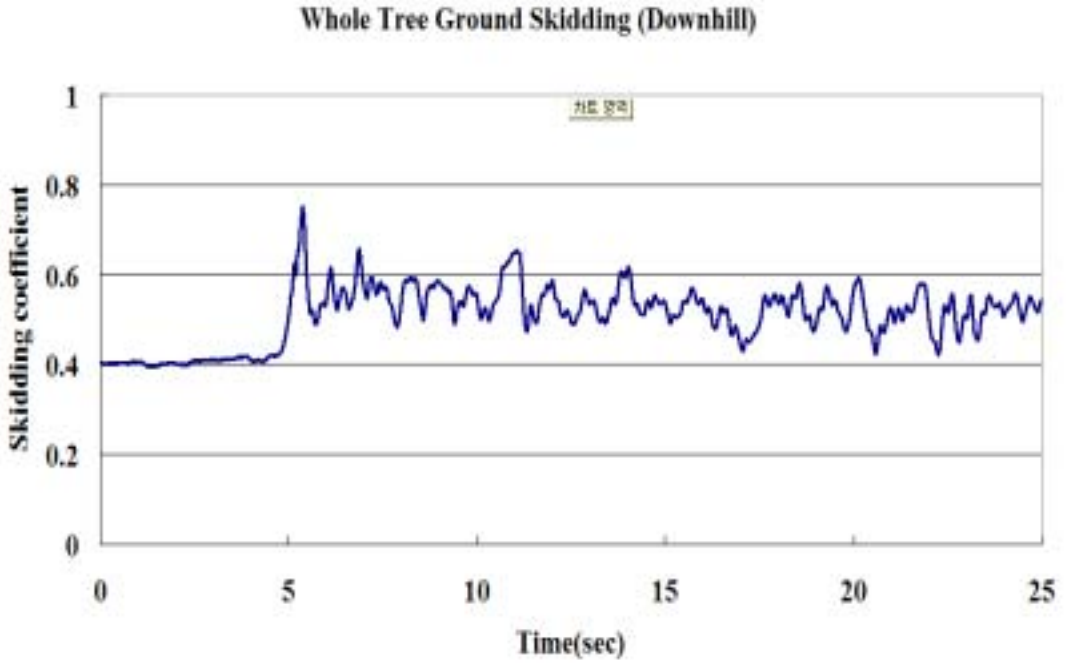


그림 3-1-102. 저속 하향 지면집재(최대견인계수 0.75)

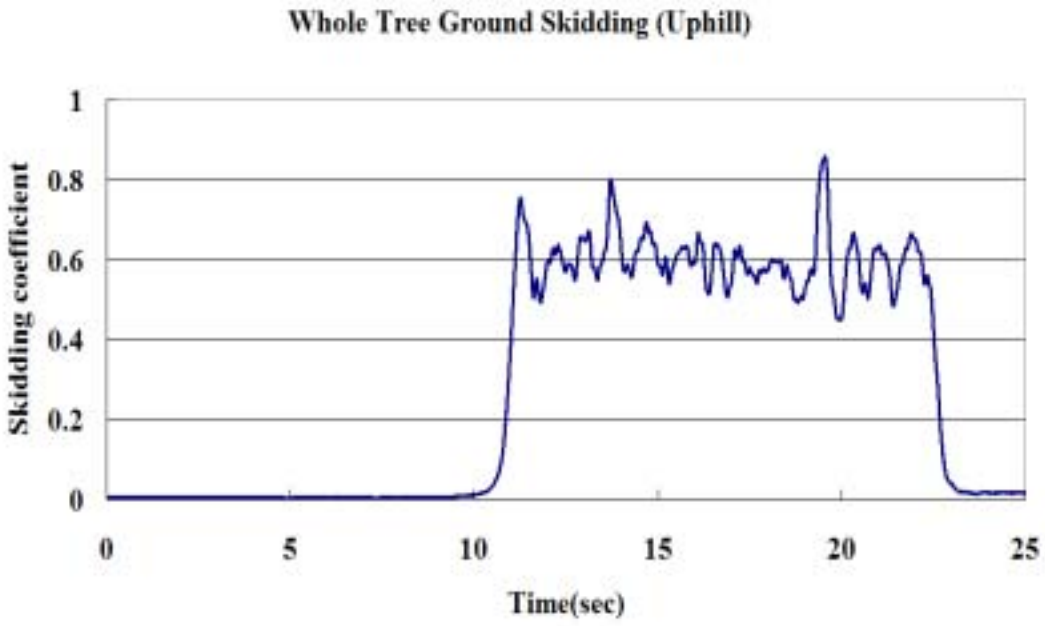


그림 3-1-103. 저속 상향 지면집재(최대견인계수 0.86)

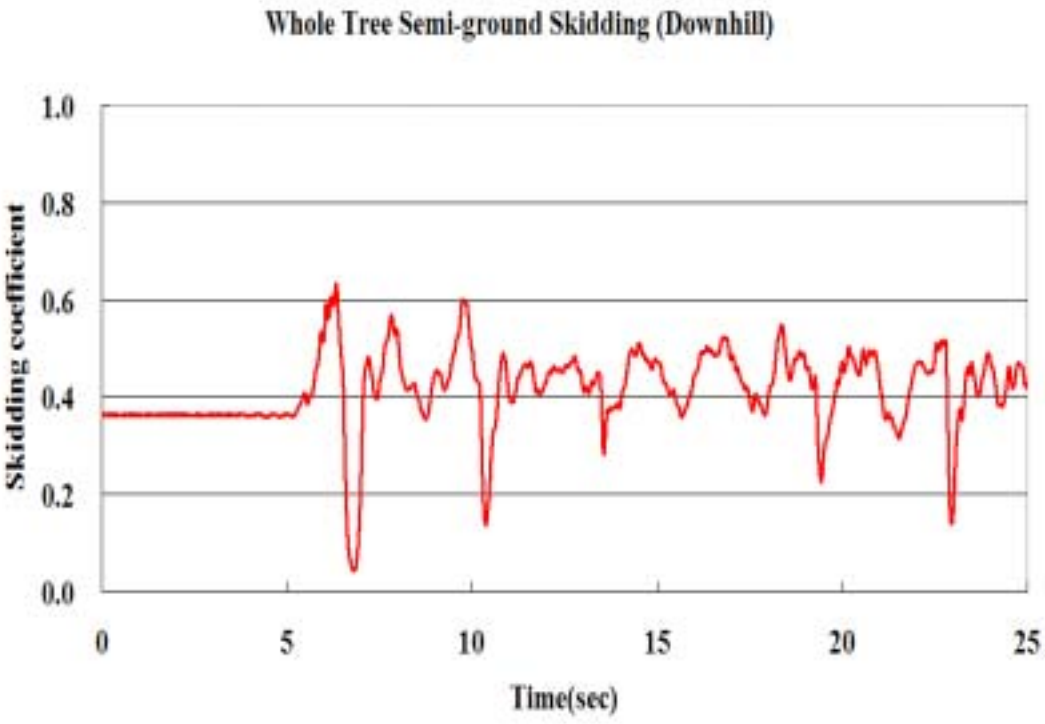


그림 3-1-104. 고속 하향 반지면 집재(최대견인계수 0.63)

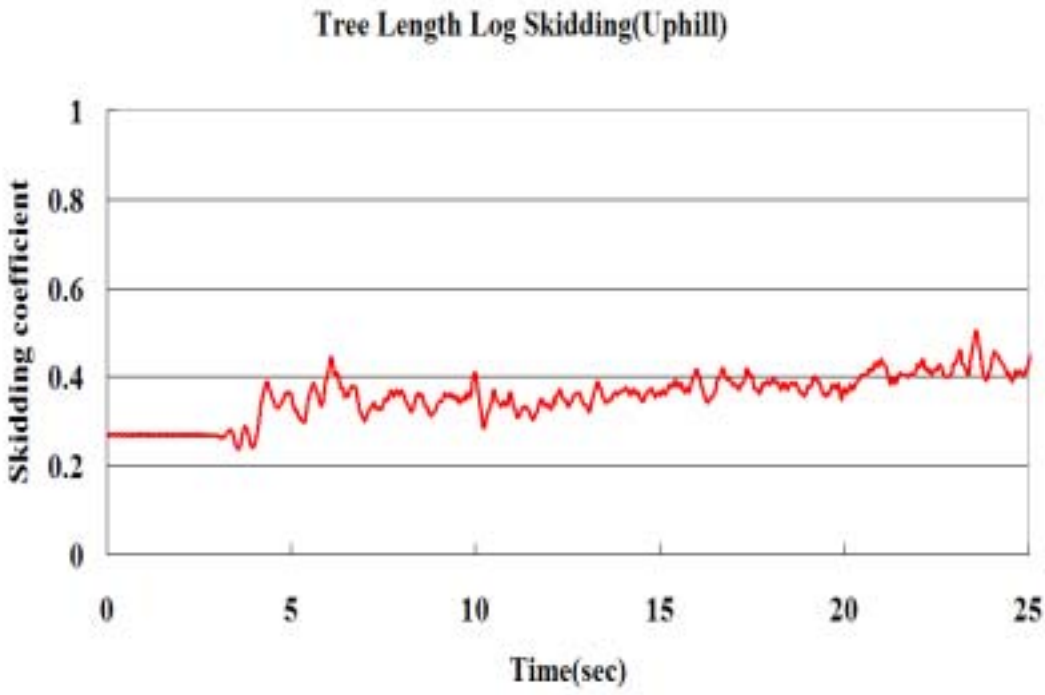


그림 3-1-105. 고속 상향 반지면 집재(최대견인계수 0.50)

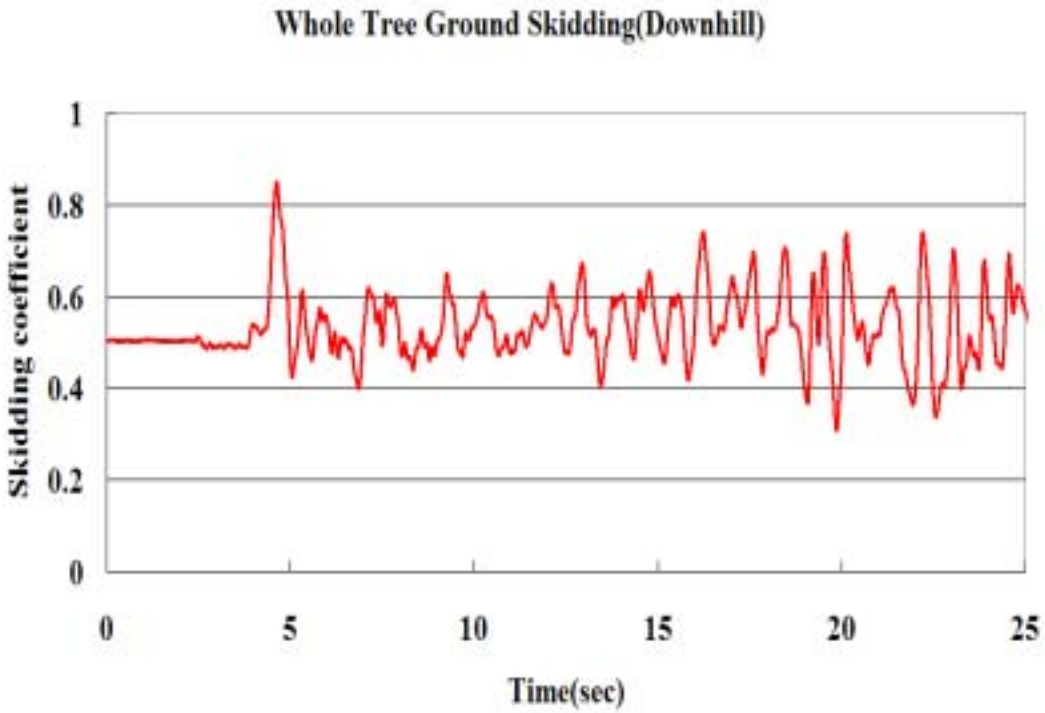


그림 3-1-106. 고속 하향 지면집재(최대견인계수 0.85)

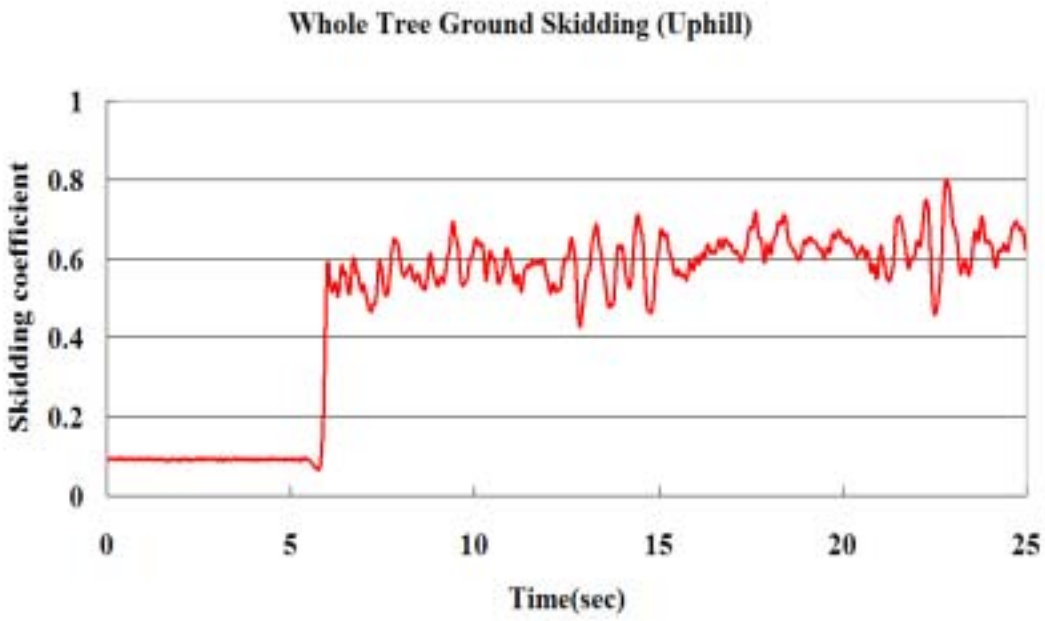


그림 3-1-107. 고속 상향 지면집재(최대견인계수 0.80)

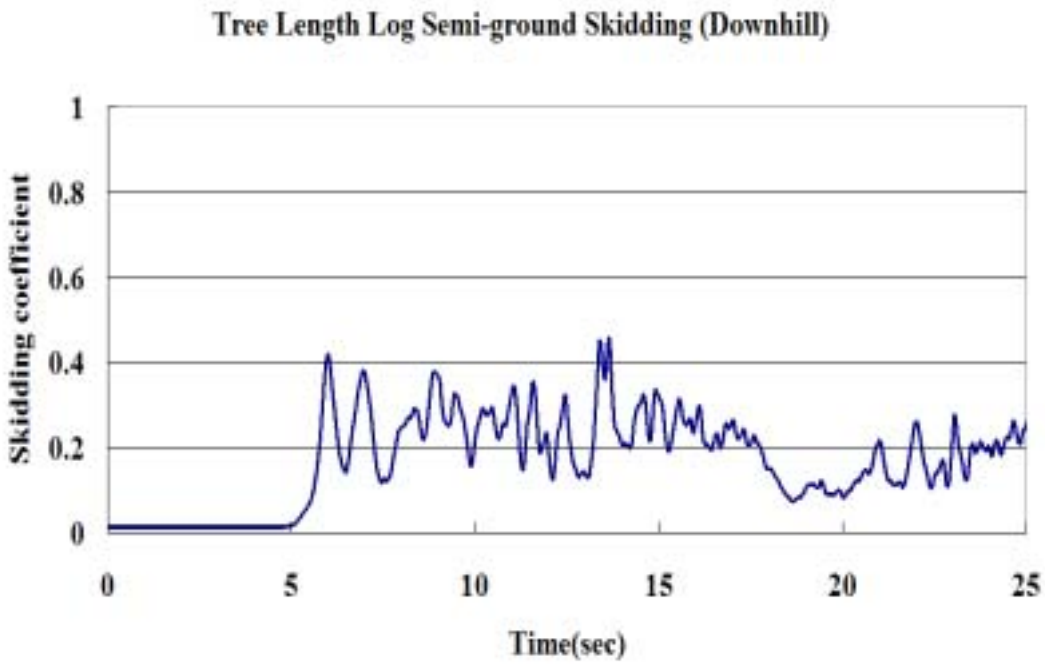


그림 3-1-108. 저속 하향 반지면 집재(최대견인계수 0.46)

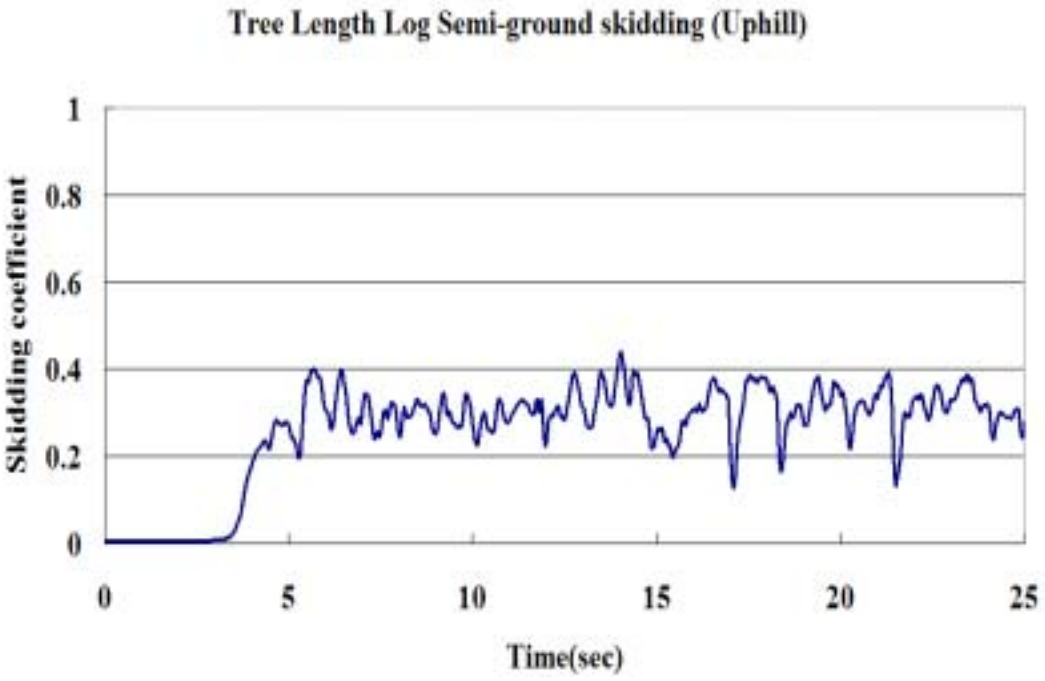


그림 3-1-109. 저속 상향 반지면 집재(최대견인계수 0.46)

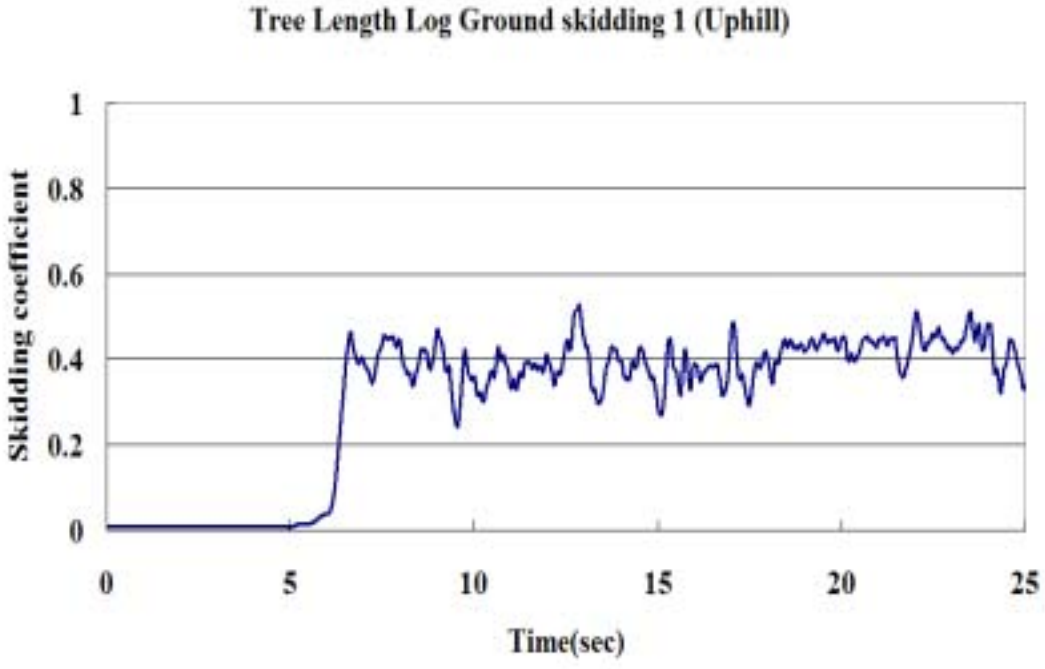


그림 3-1-110. 저속 상향 지면 집재(최대견인계수 0.53)

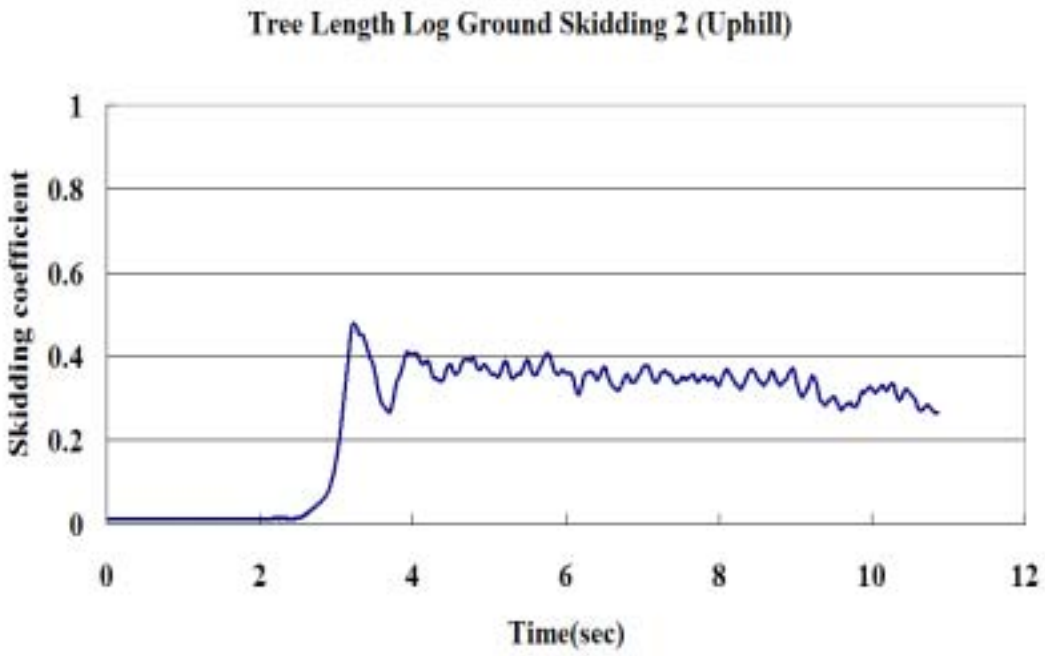


그림 3-1-111. 저속 상향 지면집재(최대견인계수 0.48)

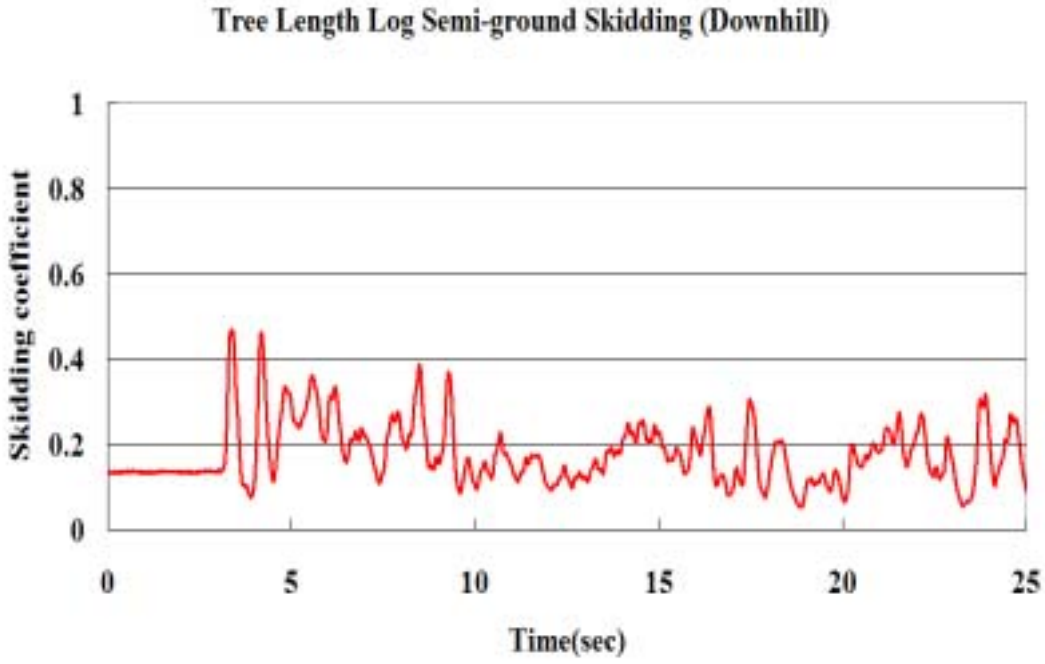


그림 3-1-112. 고속 하향 반지면 집재(최대견인계수 0.47)

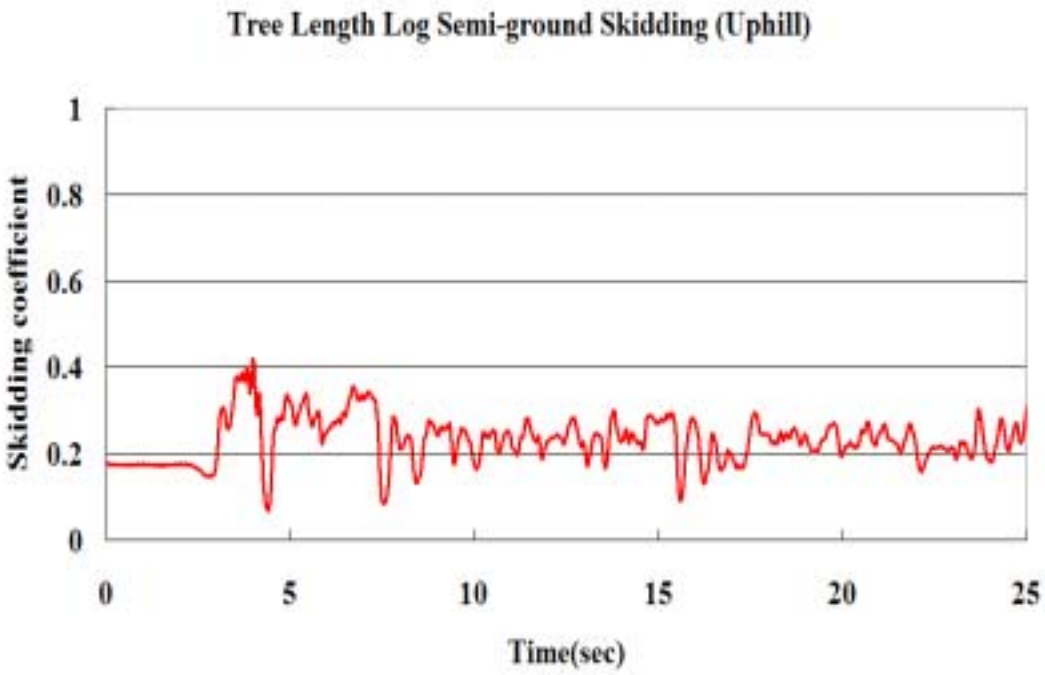


그림 3-1-113. 고속 상향 반지면 집재(최대견인계수 0.42)

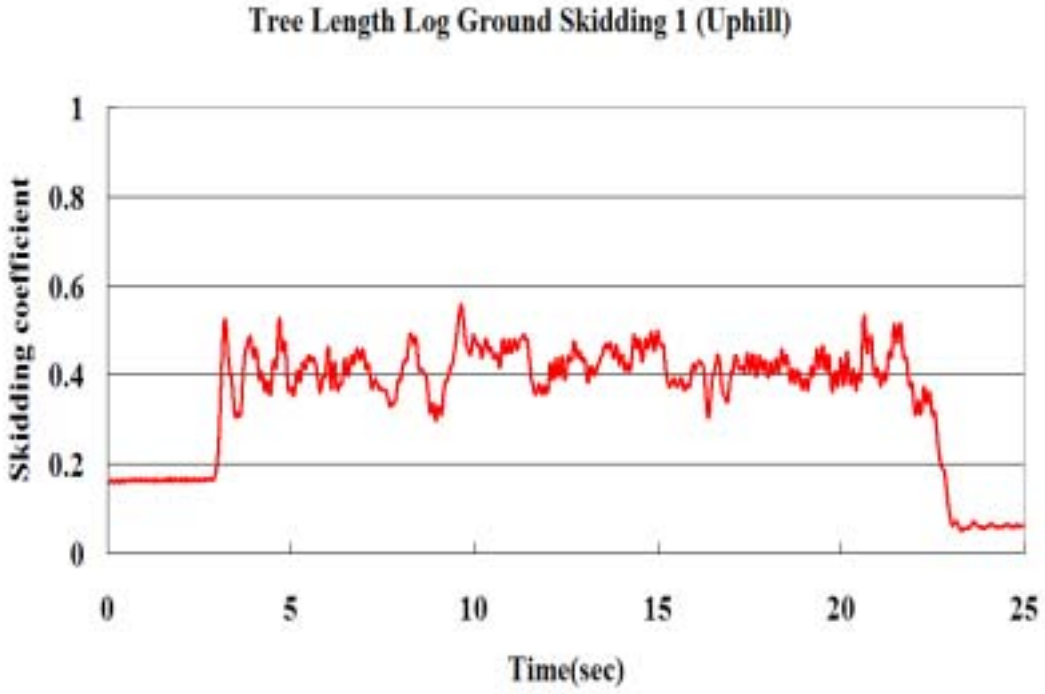


그림 3-1-114. 고속 상향 지면집재(최대견인계수 0.56)

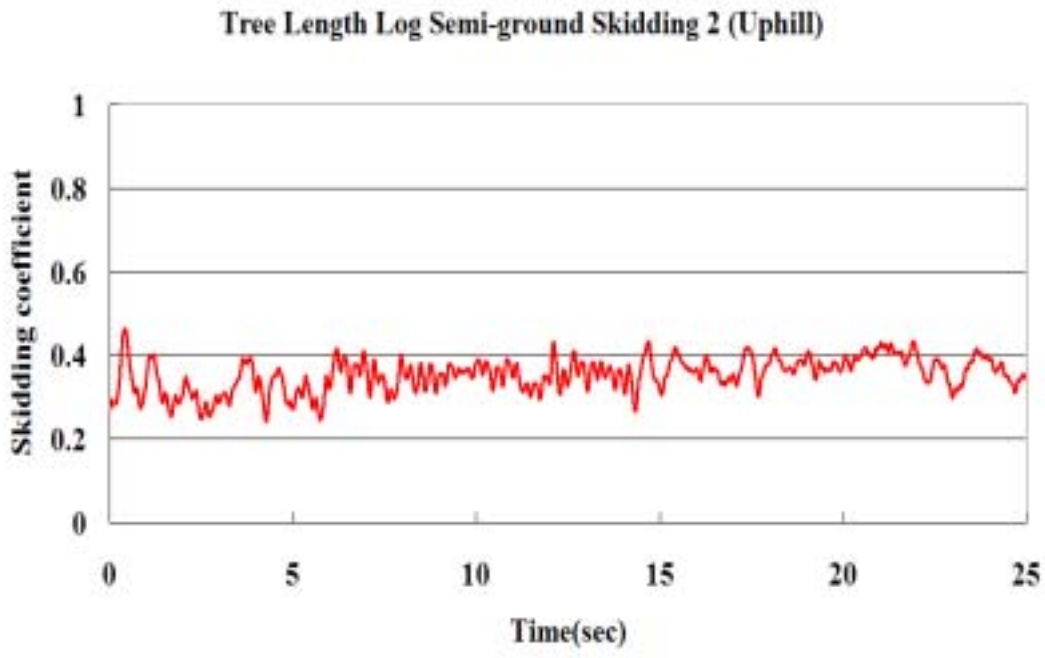


그림 3-1-115. 고속 상향 반지면집재 (최대견인계수 0.55)

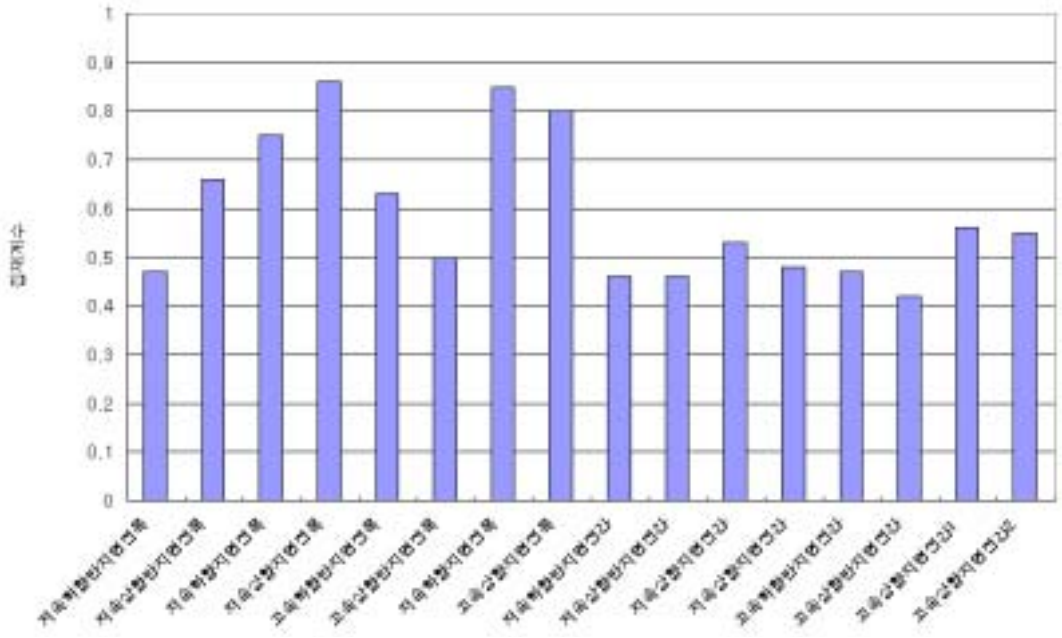


그림 3-1-116. 집재목의 견인 형태별 견인계수의 분포

전체적으로 반지면 집재보다 지면집재의 경우가 더 큰 집재계수값을 나타내었으면 이것은 지 면과의 접촉 면적이 더 많기 때문인 것으로 추정되나 나머지 부분의 하중이 차량으로 전달되었기 때문에 전체적인 요구 에너지는 중량의 전달분 만큼의 소요동력을 측정해봐야 정확한 에너지 요구도를 알 수 있을 것이다. 그러나 대부분 엔진의 용량이 충분히 크므로 지면집재 보다는 반지면 집재방법이 더 효율적인 집재 방법으로 판단된다.

제 2절 소규모 간벌재 생산시스템의 현지적용과 작업공정의 산출

1. 차량계 임업기계의 작업공정 조사

가. 국내 임업기계 현황조사

임업기계를 구분하는 방법은 여러 가지 방법이 있으나 본연구의 임업기계 현황조사에서는 주로 임목수확에 활용하는 장비를 트랙터, 굴삭기와 같은 기본 장비와 중력식 장비 및 트랙터 부착윈치, 소형장비, 상차·운반장비, 고성능 임업기계, 가선장비 등으로 구분하여 조사하였다.

우리나라에서 임업기계는 가격이 비싸고 경영규모가 영세하므로 체인톱을 제외하면 일반 사유림산주가 보유하고 있는 경우는 그다지 많지 않다. 다만 집재장비 중 우드그랩을 부착한 굴삭기, 원목집운재용 영림차(개조된 4륜구동트럭 등) 등을 일반 임목벌채업자(목상)이 보유하고 있는 것이 있다.

2003년 말 현재 우리나라의 각 지방산림관리청, 국유림관리소, 산림조합 등에서 보유하고 있는 장비를 보면 손쉽게 사용할 수 있는 소형장비가 가장 많고 성능이 높으나 가격이 비싼 고성능 임업기계는 적은 실정이다. 그러나 현재 국가에서 장비를 지원하여 영세 사유림 산주에게 임업기계를 대여하여주는 임업기계지원센터가 매년 1~2개소씩 설치되고 있으므로 생력화효과가 높은 다양한 고성능 임업기계의 보급이 늘어날 것으로 예측된다.

한편 국립산림과학원에서는 농림기술개발사업으로 우리나라 실정과 작업조건에 맞는 다목적 집재작업차와 원목운반용 미니포워더 등 한국형 임업기계를 개발한 실적이 있다. 다만 이러한 국내개발 장비의 보급확대와 국내임업기계시장의 활성화를 위하여 국가기관에서의 우선 구매 등의 방식을 도입하여 국산화한 기계가 국내에 정착할 수 있는 기회를 제공하여야 할 것이다.

임업기계는 기계 한 대가 작업할 수 있는 작업종이 한정되어 있으므로 임업기계는

작업시스템 단위로 장비의 구성이 조합되어야 한다. 특히 벌채 및 집재 등 산림수확작업은 벌목→조재→소집재→집재→운재 등의 작업단계를 거치며 지형조건, 임목의 규격 등에 따라 다양한 장비가 투입되어야 최고의 효율을 올리고 작업경비도 절감할 수 있다. 따라서 장비의 조합여하에 따라 작업시스템의 생산성과 작업비용이 결정되므로 장비의 구입시 반드시 목표 작업시스템을 기준으로 임업기계를 구입하여야 한다.

예를 들면 경사지에서의 전목집재일 경우 벌목(체인톱)→집재(타워야더, 스윙야더)→집재로변 가지치기・토막내기(프로세서)→상차・운반작업(포워더) 등의 예와 같이 작업단계마다 소요되는 장비가 다양하므로 작업지 여건과 작업규모에 따라 장비를 적절하게 조합하여야 한다.

1) 기본장비

기본장비(Base machine)는 <표 3-2-1>과 같고, 장비 자체만으로는 기능을 발휘하지 못하나 다른 작업기를 부착하여 임목수확작업 등에 사용할 수 있는 것으로 트랙터, 굴삭기 등을 여기에 분류하였다. 각 지방관리청 및 산림조합의 훈련원 등에서는 트랙터와 굴삭기를 몇 대씩 보유하고 있으며 굴삭기는 주로 임도보수용으로 활용하나 경우에 따라서는 굴삭기용 윈치나 그래플을 부착하여 임목수확장비로 활용하기도 한다.

표 3-2-1. 국유림 및 훈련원 기본장비 보유내역

장비명	동부청	북부청	남부청	서부청	중부청	기계훈	기능훈	기술훈	계
트랙터(85마력)	1		5	5	4	3	2	2	22
굴삭기(0.15㎥)	5	4	6	4				1	20
(0.25㎥이상)		9	3	1	5	1	1		20

2) 중력 및 트랙터 부착 장비

중력식 집재장비로 가장 기본적인 장비는 프라스틱 수라이며 사용이 손쉬워 국유림에 많이 보급된 장비이다. 또한 트랙터에 부착하여 간이식 타워가 달린 윈치로서 주로 상향집재에 활용하고 있는 HAM 200트랙터 윈치와 트랙터용 Farmi윈치 등이 보급되어 있으며 그 내역은 <표 3-2-2>와 같다. 이중 굴삭기용 윈치는 굴삭기에 부착된 유압식 윈치로 임도보수용으로 사용되는 굴삭기에 부착하여 굴삭기를 집재장비로 활용할 수 있는 장비이다.

표 3-2-2. 중력식 장비 및 트랙터 부착장비 보유내역

장비명	동부청	북부청	남부청	서부청	중부청	기계훈	기능훈	기술훈	계
수라(4.2m/본)	558	350	246	130	158	50	50	50	1,592
트랙터 집재기 (Farmi 윈치)	3	1				1	1	1	7
트랙터 집재기 (Ritter 윈치)		2						1	3
HAM 200 윈치	1	4	4	2	2	1	1	1	16
굴삭기용 윈치	2	5	5	3	2				17

3) 소형장비

임목수확작업에 주로 활용되는 소형장비는 체인톱과 체인톱 엔진을 이용하는 소형윈치 등이 있다. 체인톱은 벌채작업 뿐만 아니라 조림예정지 정리작업, 천연림 보육사업 등에서 널리 활용되고 있다. 체인톱은 국산기종이 없고 모두 일본, 유럽 등에서 도입된 수입장비이고 소형윈치는 국산화된 아크야윈치가 주류를 이루며, 1톤 4륜구동 화물차의 PTO를 이용하여 윈치를 구동하는 세레스윈치도 8대가 보급되어 있으며 그 내용은 <표 3-2-3>과 같다.

표 3-2-3. 소형장비 보유내역

장비명	동부청	북부청	남부청	서부청	중부청	기계훈	기능훈	기술훈	계
소형윈치	25	37	20	17	11	7		6	123
체인톱	783	538	600	397	188	30	30	82	2,648
세레스 윈치	6		1				1		8

4) 상차 및 운반장비

집재된 원목을 임내에서 임외로 반출, 운반 하여야 하는데 이에 필요한 장비가 상차, 포워더 작업을 할 수 있는 운반장비이다. 상차장비는 주로 소형굴삭기(02)에 부착하여 사용하고 있는 그래플(우드그랩)이 널리 보급되어 있으며 소규모 간벌작업지에 유용한 운반장비에는 소형 임내작업차 등의 장비가 보급되어 있으며 이중에는 국내에서 농업

용 장비를 개조하여 제작된 임내작업차도 보급되어 있고 그 내용은 <표 3-2-4>와 같다.

표 3-2-4. 상차・운반장비

장비명	동부청	북부청	남부청	서부청	중부청	기계훈	기능훈	기술훈	계
그래플(트랙터 용)								1	1
우드그랩(0.15㎥)	6	11	7	4	3	1	1	1	34
임내작업차	2	2	1				1	1	7
집재용 트레일러		1				1		1	3

5) 고성능임업기계와 가선집재장비

향후에는 재래식 임업기계보다 생력화 효과가 큰 고성능 임업기계의 보급이 늘어날 것으로 예상된다. 다만 이런 장비는 대형 고가장비이기 때문에 이용효율을 극대화하기 위하여 장비의 운용에 세밀한 계획이 필요하다. 이러한 장비는 국내에 많이 보급되어 있지 않다. 벌목, 조재장비로서는 하베스터, 프로세서 등의 장비가 있으며 이외에 스키더 등의 임업전용 트랙터, 크레인이 부착된 포워더 등이 고성능 임업기계라고 할 수 있다.

가선집재장비는 <표 3-2-5>와 같고, 차량에 탑재된 재래식 야더집재기, 라디캐리, 타워야더 집재기 등이 있지만 여기에서는 타워야더 집재기만 가선장비에 편입하였다 .

표 3-2-5. 고성능 임업기계 및 가선집재장비

장비명	동부청	북부청	남부청	서부청	중부청	기계훈	기능훈	기술훈	계
타워야더	1	1				1	1	1	5
프로세서, 하베스터						2			2
임업전용 트랙터						2			2
타워야더 집재기	1	2	1			4	1	1	10

나. 작업대상지 기초조사

작업대상지에 대한 기초조사는 차량계 집재장비와 가선계 집재장비가 투입되는 지형을 구분하여 작업대상지의 지형조건, 임목현황, 장애물의 종류와 분포빈도 등을 조사하

였다.

장소는 간벌예정지인 광릉시험림 15, 16임반에서 작업지의 대표적인 조건을 갖는 국소지형을 갖는 장소를 선정하여 20×20m의 조사구를 설정하여 임황 및 지형분석 자료, 입목의 위치 등 각종 기초조사를 실시하였다.

그림 3-2-1. 조사구내 지형 및 임목위치조사

1) 조사구의 임황 및 기초조사

작업대상지의 조림수종은 잣나무로서 식재연도는 1967~1975년도로 수령은 현재 29년생, 37년생으로 Ⅲ영급에 해당되며 평균경급은 18~20cm로서 ha당 임목축적은 200~300 ㎥이었다. 20×20m의 4개의 조사구에 대하여 지형자료, 입목의 위치, 임목의 규격, 그루터기의 위치 등의 지표장애물에 대한 세부조사를 실시하였다. 각 조사구는 Trimble Pro XR GPS를 이용하여 절대위치좌표를 측정하고 각각의 조사구를 다시 2×2m의 세부조사구로 나누어 2m 크기의 격자를 이용하여 임목의 위치, 격자점의 X, Y, Z 좌표 등을 토탈스테이션을 이용하여 측정 입력하였다. 작업대상지 조사구 임황은 <표 3-2-6>과 같다.

표 3-2-6. 작업대상지 조사구의 임황

장소	면적	수종	임령 (년)	평균DBH (cm)	평균수고 (m)	ha당 본수 (본)	ha당 축적 (㎥)
광릉시험림 15-거,머	7.82	잣나무	29	18/ 12-28	15/ 11-19	1,187	235.3
광릉시험림 16-어	0.80	잣나무	37	21/ 15-32	17/ 16-18	1,300	309.3
광릉시험림 16-저	0.96	전나무	28	20/ 12-26	16/ 13-18	1,400	331.8

크기가 각각 400 ㎡(20×20m)의 4개의 조사구내의 개개의 임목의 흉고직경, 수고, 수관폭, 지하고를 측정하고 지표장애물의 위치와 크기 등을 측정하였다. <표 3-2-7>에서와 같이 각 조사구별 수고와 지하고, 수관폭 등은 큰 차이가 없으나 벌채율은 2번 조사구가 가장 높았다. 지표 장애물은 1번 조사구내에 1차 간벌시 버려진 초두부 등이 계곡에 위치하여 있고 중간 중간 1차 간벌의 그루터기 등이 남아 있어 장비의 임내주행에 지장을 주었다. 또한 3번 조사구의 경우에는 지피식생이 번무하고 돌무더기가 있어 장비의 주행에 지장을 주었으며 각 조사구별 세부조사 내역은 <표 3-2-7>과 같다.

표 3-2-7. 각 조사구별 세부조사 내역

Plot 별	수고 (m)	지하고 (m)	흉고직경 (cm)	수관폭 (m)	본수(본)			벌채율 (%)
					전체	벌채	잔존	
1	14.0	5.1	18	4.6	40	19	21	47
2	16.5	5.5	21	4.5	41	25	16	60
3	15.1	4.9	20	5.1	36	22	14	61
4	15.0	5.5	18	5.0	41	17	24	42

2) 임목 위치 및 지형분석

지형분석은 20×20m의 plot 내에 각 2m 간격으로 비닐 테이프로 격자를 만들고 토탈스테이션(Sokkia SET 500)을 이용하여 격자점의 평면위치, 표고값을 측정하여 조사구내 미소지형과 개개 임목의 위치를 측정하여 벌채목과 잔존목을 <그림 3-2-2>와 같이 3차원 지표면에 표시하였다.

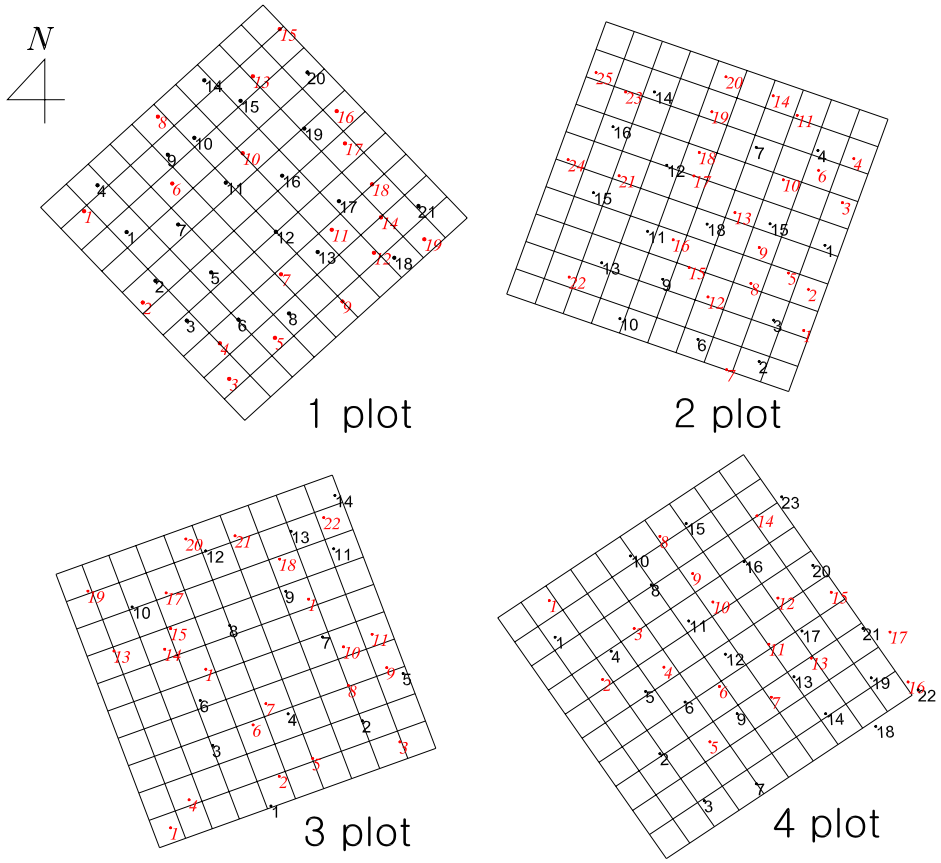


그림 3-2-2. 각 조사구별 임목위치도 (■No. 잔존목, ■No. 벌채목)

3) 벌채 후 임목 벌도방향 위치도면

집재작업에 있어서 벌채목의 벌도방향은 집재작업의 작업능률에 많은 영향을 미치는데 이에 대한 분석을 위하여 임목의 벌도방향을 조사한 결과 <그림 3-2-3>과 같았다.

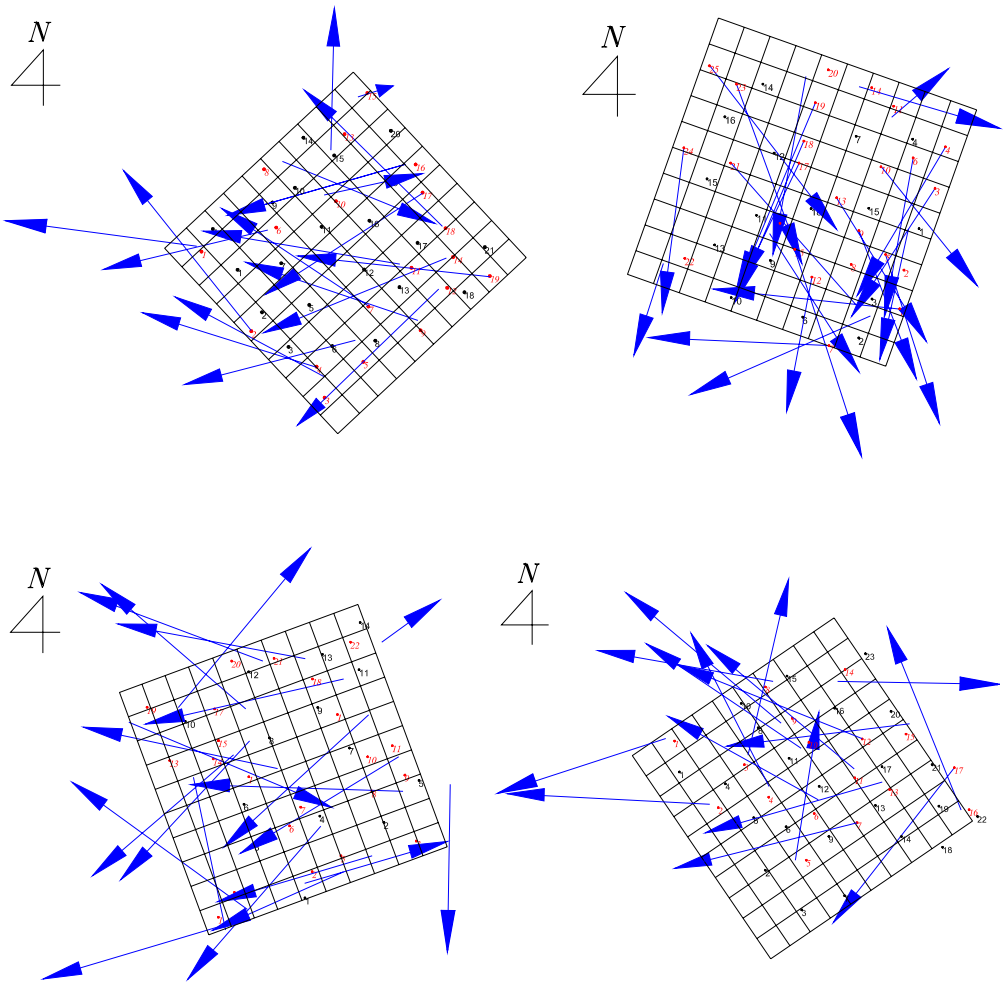


그림 3-2-3. 각 조사구별 벌채목 벌도방향

벌채목의 벌도는 가능한 집재작업을 용이하게 하기 위하여 차량의 진입방향과 임내 작업차의 윈치 견인 방향을 고려하여 수평방향으로 벌도방향을 정하였다. 그러나 실제 작업시에는 의도한 방향과는 반대되는 방향으로 벌도된 것들이 있지만 재장 3.6m의 단목집재를 실시하였기에 벌도방향에 대한 집재작업의 소요시간은 크게 영향을 미치지 않았다.

다. 차량계 임업기계의 작업공정 시간조사

차량계 임업기계는 트랙터, 임내작업차, 포워더 등의 장비로서 윈치를 이용한 지면끌기작업이나 실어나르기에 사용되는 장비를 의미하는데 이러한 장비의 적용범위 및 생

산성은 지형 및 작업로조건, 산림내 작업조건 등에 영향을 받는다.

차량형 임업기계의 작업공정 및 시간조사는 궤도식 소형 임내작업차(Chikusui GC557)와 궤도형 미니포워더(Terri AWD) 등 2기종에 대하여 조사하였는데 본 장비의 일반적인 제원은 <표 3-2-8>과 같다.

표 3-2-8. 적용 장비의 제원

구분	제작사	모델	크기(mm) (LXWxH)	중량(kg)	엔진출력 (HP)	최대적재량	윈치견인력
소형 임내작업차	일본 筑水	GC 557	2.2×1.2×2.2	570	6.0	750kg	800kg
궤도식 포워더	스웨덴 THT	Terri AWD	7.0X1.5X2.4	3,040	33.2	3.0 톤	2톤

소형 임내작업차는 일본의 츠쿠스이(筑水)회사에서 제작한 장비로서 적재방식이 측면 적재방식이며 최대 적재량은 0.7톤에 불과하다. 본 장비는 주행부분이 고무 궤도로 되어있어 임지 및 잔존임분에 미치는 영향이 적고 소규모 간벌지에서 1인 1조로서 작업에 적합한 기종이다. 궤도형 미니포워더(Terri)는 고무트랙 주행방식으로 차체가 전반부와 후반부로 분리되어 관절식으로 연결되어 차체굴절식에 의한 조향방식으로 임지 및 잔존 임분의 피해가 적고, 연료소비량도 적은 친환경적인 집재장비이다.

1) 장애물 넘기 및 지표장애물 극복성능조사

장애물 넘기 및 지표장애물 극복성능은 임지의 그루터기 및 지장목으로 말미암아 차량의 임내주행 성능에 미치는 영향을 조사하였다. 초두부나 지장목의 경우 주행부분이 궤도식인 차량은 주행에 영향을 미치기는 하나 주행이 불가능 한 것은 아니며 임내 주행에 가장 영향을 미치는 것은 벌채목의 그루터기로 높이가 10cm 이상이면 소형 임내작업차는 통과가 힘들기 때문에 벌목시 가능한 그루터기의 높이를 10cm 이하로 낮게 벌목하여야 한다. 높은 그루터기는 궤도가 그루터기를 타고 넘을때 무게중심점 위치에서 차량의 시소(seesaw)작용을 일으켜 차량을 전복시키거나 주행이 불가능하게 하기도 하고 작업을 어렵게 만들기도 한다.

2) 임목우회 주행시험

임목우회율 조사에 적용한 차량형 임업기계는 궤도식 소형 임내작업차를 대상으로

조사하였다. 소형 임내작업차 외에 미니포워더(Terri)에 대해서도 임목우회율을 조사하려고 하였으나 벌채 전에는 입목의 생립 간격이 좁아 임내작업차보다 차체가 큰 미니포워더의 주행은 불가능하였다.

임목우회율의 조사는 먼저 조사구의 대각선 방향으로 최단거리를 측정한 후 소형 임내작업차를 임목사이로 실제 주행하여 궤적거리와 통과 소요시간을 조사하였으며 이론상의 최단거리와 실제 주행거리와의 차이를 측정하여 임목 우회율을 측정하였다.

조사결과 임목우회율은 각 조사구내에서 1.03~1.54 사이였으며 1.00에 가까울수록 우회율이 낮아 최단거리로 통과가 가능하며 또한 임목의 생립밀도가 적을수록 주행이 용이하여 통과시간도 짧았다.

임목우회율은 같은 조사구 내에서도 측정이 반복될수록 소요시간이 짧아지는 경향이 있는데 이것은 임지면이 차량의 궤적에 의해 다져지기 때문에 주행이 용이해지기 때문이다. 각 조사구별 임목우회율 조사 내역은 <표 3-2-9>와 같다. 여기에서 우회율이 높은 조사구가 지표장애물이나 지면급경사로 인해 주행속도가 느렸다. 특히 궤도형 집재작업차는 급경사지에서 하향으로 주행할 때 궤도의 구동부의 동력전달을 끊는 방식의 조향이므로 조향이 힘들어 우회율이 높았다.

표 3-2-9. 임목우회율 조사내역

조사구 No	최단거리 (m)	그루터기수 (노선)	주행로 경사도(%)	주향 방향	평균우회 거리(m)	평균주행 소요시간(분)	평균 우회율	평균주행속도 (m/분)
1	25.9	31 (2)	24.2	상향	27.9	1.90	1.06	14.7
				하향	29.4	1.80	1.14	16.3
	28.5		27.7	상향	38.0	3.35	1.33	11.3
				하향	44.0	8.67	1.54	5.1
2	27.6	43 (6)	16.1	상향	30.2	2.03	1.09	13.8
				하향	30,2	2.19	1.09	13.8
3	27.7	35 (3)	10.6	상향	30.3	1.93	1.09	15.7
				하향	29.5	1.77	1.06	16.7
4	241.	39 (5)	11.7	상향	25.5	1.66	1.06	15.4
	24.8			하향	30.3	3.39	1.22	8.9

각 조사구별 주행궤적을 도면으로 나타내었는데 여기에서 대각선이 최단거리를 나타낸 것이며 굴곡된 푸른 선이 실제 차량 주행으로 얻어진 궤적으로 우회거리를 나타낸다. 주행방향은 상향과 하향에 대하여 각각 실시하였으며 조사 내용은 아래 <그림 3-2-4>와 같았다. 조사구내 임목우회율 조사광경은 <그림 3-2-5>와 같다.

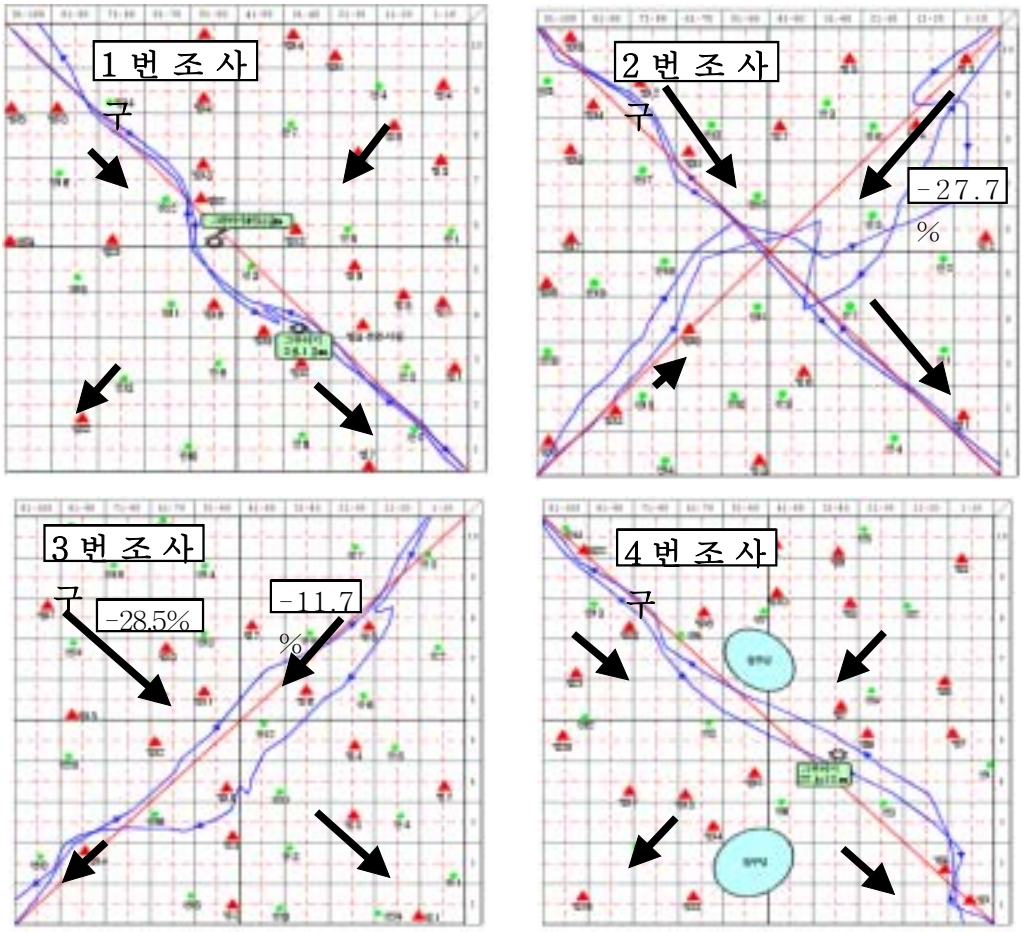


그림 3-2-4. 조사구별 소형 임내차 주행궤적

그림 3-2-5. 조사구내 임목우회율 조사

3) 토양 지지력 조사

토양 지지력에 대한 조사는 집재작업을 위해 임업기계가 임내에 투입됨에 따른 토양의 답압에 미치는 영향을 조사하였다. 임업기계가 임내에 진입된 후 토양에 미치는 영향은 장비의 무게, 구동장치, 차륜의 모양, 궤적의 형태 등에 많은 차이가 있으며 본 조사에서는 소형 임내작업차에 대하여 실시하였다. 토양 지지력에 대한 조사는 소형 임내작업차의 주행 전과 주행 후로 나누어 동일한 장소에 그 토양지지력의 차이를 조사하였다.

토양 지지력 조사에 사용한 토양경도계(Penetrometer)는 일본의 Daiki 회사 제품으로 토심 90cm까지 측정이 가능하다. 본 조사에서는 토양중 석력에 의하여 관입이 저지되어 40cm 이상은 측정이 어려웠다. 그러나 소형 임내작업차는 적재후 차량총중량이 2톤 미만으로 접지면적이 5,000㎠이상을 확보하므로 토양에 미치는 평균접지압이 0.5 kgf/㎠미만이므로 토양경도에 미치는 영향은 미미한 것으로 추정된다.

본 토양경도계는 토양깊이별 지지력이 그래프로 그려지므로 콘 지수(Cone Index)를 계산하지 않고도 직접적으로 토심별 토양지지력(kgf/㎠)을 얻을 수 있다. 다만 지지력을 나타낼 수 있는 한계가 25 kgf/㎠으로 토양지지력을 조사한 결과는 <표 3-2-10>과 같은데 주행 전보다 주행 후의 지지력이 거의 차이가 없었다. 나타난 결과에 의하면 토양의 경도를 나타내는 지지력은 10kgf/㎠ 이하로 나타나 식물생육에는 지장이 없는 정도였다(경: 10 kgf/㎠, 중: 10-20 kgf/㎠, 밀: 20-30 kgf/㎠, 극밀: 30 kgf/㎠ 이상, 50 kgf/㎠이 식물의 뿌리가 자랄 수 있는 한계치임). 토양지지력 측정광경은 <그림 3-2-6>과 같다.

표 3-2-10. 각 토심별 토양지지력

Plot 별	토심 (cm)	관입시험								비고
		1 지점		2 지점		3 지점		4 지점		
		주행전	주행후	주행전	주행후	주행전	주행후	주행전	주행후	
1	10	19	25	11	11	11	20	10	25	
	20	25	-	23	15	16	25	13	-	
	30	-	-	23	25	25	-	25	-	
	40	-	-	25		-	-	-	-	
2	10	13	11	10	14	11	11	9	11	
	20	12	14	10	19	15	14	13	15	
	30	18	20	20	19	24	25	20	23	
	40	19	20	25	25	25	25	25	25	
3	10	11	8	18	9	15	9	7	12	
	20	25	25	25	12	13	16	19	14	
	30	-		-	25	25	23	25	25	
	40	-		-		-	25	-	-	
4	10	5	8	10	8	13	10	10	12	
	20	6	11	15	25	24	25	16	13	
	30	15	15	24	-	-		22	25	
	40	25	25	25	-	-		25	-	

(a)관입시험

(b)임내작업차의 궤적

그림 3-2-6. 토양지지력 측정

4) 벌채작업 공정조사

가) 작업 일반사항

벌채작업은 간벌작업지에서 체인톱을 이용한 1인 1조 작업을 실시하였다.
벌채작업에 활용된 작업도구는 체인톱과 보조 작업원 없이 작업원이 혼자서 원목재장을 잴 수 있는 스펜서줄자(Spencer log tape) 및 걸림목 처리를 할 수 있는 벌목지렛대(felling lever)등 몇 가지 작업도구로서 그 내용은 <표 3-2-11>과 같다.

표 3-2-11. 벌채작업 작업도구 내역

작업도구	체인톱	측정줄자	걸림목 처리	헬멧	기타
내역	스틸 024 1대	스펜서 1개	벌목지렛대 1 개	방진・방음 헬멧 1개	방진방갑

벌채작업을 수행한 표준작업원은 임업기계훈련원에서 벌채 및 여러 가지 집재장비에 대하여 교육 훈련을 수료하고 작업현장에서도 다년간 경험이 있으며 현재 임업기능장 자격을 갖고 있는 작업원을 표준작업원으로 채택하였다. 작업원에 대한 인적사항은 <표 3-2-12>와 같다.

표 3-2-12. 작업원 인적사항

구분	이름	연령	경험연수	숙련도	신장	체중	자격유무
내용	PSY	47	25년	아주우수	165cm	65kg	임업기능장

나) 벌목조재작업 요소작업 시간분석

벌목조재작업시간은 순수작업시간과 일반작업시간으로 나누어 초시계를 이용하여 연속측정법으로 측정하고 각 요소작업별 분포비율 등에 대한 시간분석을 실시하였다. 나타난 결과로는 1본당 벌목조재 소요시간이 평균 8.15분으로 나타났으며 순수작업시간의 비율은 83%이었으며 세부내역은 <표 3-2-13>과 같다.

표 3-2-13. 요소작업시간 내역

구분	순수작업				일반작업	합계
	벌도	가지치기, 토막내기	이동	소계		
작업시간(분/본)	1.52	3.90	1.35	6.77	1.38	8.15
비율(%)	22.5	57.6	19.9	100.0	(16.9)	(100.0)

다) 작업능률조사

벌목 조재작업 능률조사는 20m×20m크기로 선정된 4개의 조사구내에서만 조사하였기에 정확하게 판단하기 위해서는 규모가 부족하다. 추기 간벌작업시에 더 넓은 면적의 조사구를 설정하여 보완 조사할 계획이며, 본 분석내용은 4개의 조사구내에서의 작업에 대한 평균치만을 나타내었다. <표 3-2-14>와 같이 총 작업본수는 83본으로 1본당 재적은 평균 0.22㎥으로 1일 8시간 작업의 경우 13.5㎥의 벌목조재 작업이 가능한 것으로 추정되었다. 벌도・조재작업의광 경은 <그림 3-2-7>과 같다.

표 3-2-14. 벌채작업 내역

작업본수(회)	작업량(㎥)		
	전체 작업량	1본당 원목재적	1일 작업량
83	18.43	0.22	13.55

(a)벌도 (b)걸림목처리 (c)측척 및 조재작업

그림 3-2-7. 벌도・조재작업

5) 집재작업 공정조사

차량계 임업기계를 이용한 간벌 소경재 집재작업은 간벌지내 임내주행이 가능하며

임지의 토양과 지피식생에 대한 피해를 최소한으로 방지하기 위하여 접지압이 낮은 궤도형 장비에 대하여 조사하였다. 우선 소형장비로 운전조작이 용이한 궤도식 소형 임내작업차와 크레인이 부착되어 1인 작업이 가능한 궤도식 미니포워더를 작업장에 투입하여 작업능률을 조사하였다.

가) 소형 임내작업차

작업방법에 있어서 작업원의 구성은 1인 1조로 하며 작업방법은 원목의 재장을 3.6m 또는 2.7m로 조재하는 단목작업을 실시하였고 적용 작업시스템은 벌목(체인톱)→가지치기・토막내기(체인톱)→집재 및 토장까지의 운반(임내작업차)→임도변 운반(미니포워더) 작업방법을 적용하였다. 본 시스템은 체인톱으로 벌목 조재된 원목을 임내에 소형 임내차가 가능한 가까이 진입하여 집재하는 방법이다. 임내작업차가 원목있는 곳까지 접근하지 못할 경우의 집재는 임내작업차에 부착된 윈치를 이용하거나 인력과 윈치를 이용하여 원목을 임내작업차에 적재후 임내를 주행하여 운반하는 방식으로 작업시스템은 <표 3-2-15>와 같다.

표 3-2-15. 소형 임내작업차 집재작업시스템

구분	임내	작업로	임도
벌목	체인톱		
조재			
집재	소형 임내작업차	소형 임내작업차	
집적			(차륜형 미니포워더)
운반			

(1) 작업원 인적사항

작업원은 벌채작업에 참여한 동일한 표준작업원을 적용하였다.

(2) 요소작업 시간분석

소형 임내작업차에 의한 작업은 몇 개의 요소작업으로 구분이 되며 1회당 작업시간 구성은 <표 3-2-16>과 같고 상차, 하차, 이동 및 일반작업 시간을 포함하여 1회 작업시간은 42.55분이 소요되었다. 순수작업시간은 작업시간 전체의 81.5%를 차지하며 그중에서도 임내작업차에 원목을 상차하는 시간이 전체 순수작업시간의 57.3%를 차지하였다.

표 3-2-16. 작업시간구성

구분	순수작업				일반작업	합계
	상차	하차	이동	소계		
작업시간(분/회)	19.88	4.37	10.42	34.67	7.88	42.55
비율(%)	57.3	12.6	30.1	100	(18.5)	(100.0)

(3) 작업방법 및 작업능률의 추정

임내작업차로 집재작업시 벌목현장에서 토장까지의 평균 운반거리가 116m이었으며 이때 1회당 평균 운반 집재량은 0.80㎥이었으며 평균 원목 단재적은 0.063㎥이었다.
이 평균 1회 운반 집재량을 0.8㎥, 1회 집재소요 사이클시간 34.67분을 기초로 하여 1일 작업량을 추정하면 1일 9.7회 운반 집재가 가능하며 이 경우 약 7.76㎥을 집재할 수 있다. 그러나 조사회수가 9회에 불과하여 작업량이 많지 않으므로 자세한 조사는 추기 간벌작업 때에 확대 조사할 계획으로 조사결과는 <표 3-2-17>과 같다. 집재작업광경은 <그림 3-2-8>과 같다.

표 3-2-17. 임내작업차 집재작업내역

작업회수(회)	작업시간(분)		작업량(㎥)			평균운반거리(m)	평균단재적(㎥)
	전체	1회당	전체	1회당	1일		
9	312.03	34,67	7.20	0.80	7.76	115.6	0.063

집재・상차작업　　작업로 운반　　집적・하차작업

그림 3-2-8. 집재작업

나) 미니포워더에 의한 집재작업

미니포워더를 이용한 작업방법은 임내차와 마찬가지로 작업원의 구성은 1인 1조로 하며 작업방법은 원목의 재장을 3.6m 한 단목작업을 실시하였고 적용 작업시스템은 벌채(체인톱)→가지치기・토막내기(체인톱)→집재 및 토장운반(테리)→운반(미니포워더)의 방법을 적용하였다.

본 시스템은 체인톱으로 벌채된 원목을 단목으로 조재하여 임내나 작업로와 임도상에서 궤도형 미니포워더(Terri)로 단목 집재하는 방법으로 집재 및 집적작업을 궤도형 미니포워더에 의존하는 작업시스템으로 <표 3-2-18>과 같다.

표 3-2-18. 집재작업시스템

구분	임내	작업로	임도
벌목	체인톱		
조재			
집재	궤도형 미니포워더 (Terri)	궤도형미니포워더 (Terri)	차륜형 미니포워더
집적			

궤도형 미니포워더는 고무트랙 주행방식으로 임지 및 잔존 임분의 패해가 적고, 연료소비량이 시간당 2-3리터로 경제적이며 친환경적인 임업기계로 본체와 트레일러 연결부에 상하 굴절각도 조절용 load cylinder 부착으로 장애물 통과가 용이하며, 부착크레인 선회반경이 작아 간벌지의 원목의 상하차가 용이하다. 궤도형 미니포워더는 최대 3톤을 적재할 수 있고 차체를 6.5m에서 7m까지 조절할 수 있는 신축식 구조로 되어있어 단재 및 장재의 적재 또는 임내 및 작업로 주행이 원활한 장점이 있다.

(1) 작업원 인적사항

작업원은 벌채 및 집재장비에 다년간 경험이 있으며 임업기계훈련원에서 교육을 수료한 우리 산림생산기술연구소의 숙련된 오퍼레이터를 표준작업원으로 선정하였다. 작업원에 대한 인적사항은 <표 3-2-19>와 같다.

표 3-2-19. 작업원 인적사항

구분	이름	연령	경험연수	숙련도	신장	체중	자격유무
작업원	PHY	53	25년	아주우수	170cm	72kg	기초교육수료

(2) 요소작업 시간분석

테리에 의한 작업은 몇 개의 요소작업으로 구분이 되었으며 궤도형 미니포워더의 회당 작업시간 구성은 <표 3-2-20>과 같으며 상차, 하차, 이동 및 일반작업 시간을 포함하여 1회 작업시간은 74.5분이 소요되었고, 순수작업 시간 75.1%, 일반작업 시간이 24.9%로 구성되어 있다.

표 3-2-20. 작업시간구성

구분	순수작업				일반작업	합계
	상차	하차	이동	소계		
작업시간(분/회)	37.52	9.38	9.03	55.93	18.52	74.45
비율(%)	67.1	16.8		100.0	24.9	100.0

순수작업 중 상차작업 시간이 하차작업 시간에 비하여 4.0배의 시간이 소요되어 작업시간이 74.5분으로 사이클 타임이 길게 나타났다. 사이클 타임이 길어짐으로 인해 1일 작업능률에 영향을 미친다. 결과적으로는 사이클 타임이 길어져 1일 작업횟수가 줄어들게 되고 작업횟수의 낮음으로 인하여 집재비용이 높아지게 된다. 상차작업 시간이 길어진 원인으로는 운전자의 궤도형 미니포워더의 숙련도 부족이라 할 수 있겠다. 상하차 작업시의 그래플 작업에서 운전자의 숙련도가 증진된다면 더 높은 작업능률 증가로 인하여 집재비용의 절감을 가져 올 수 있을 것으로 사료된다.

(3) 작업방법 및 작업능률

집재작업의 토장까지의 운반거리 거리 168m 일 때 1회당 집재량은 2.429㎥ 이었으며 1일 작업량은 15.691㎥으로 나타났다. 그러나 조사 면적이 Plot 내의 작은 면적에 불과하여 작업량이 많지 않아 자세한 조사는 추기 간벌작업 때에 확대 조사할 계획이다. 조사결과는 <표 3-2-21>과 같다.

표 3-2-21. 집재작업내역

작업회수(회)	작업시간		작업량(㎥)			평균운반거리(m)	평균단재적(㎥)
	전체	1회당	전체	1회당	1일		
4	3:42:37	0:55:39	9.714	2.429	15.691	168	0.085

나무 그루터기 등 임내주행의 문제를 해결하기 위하여 앞으로 소형 윈치 등에 의한 소집재가 필요하며 운반 후 임도상 집재장에서의 집적작업에는 굴삭기부착 그래플 등을 이용하면 보다 효율적인 작업이 될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 궤도형 미니포워더의 장점을 충분히 살려 임내에서 주행할 수 있도록 운전자의 숙련도를 증진할 필요가 있을 것이다.

궤도형 미니포워더로 구축할 수 있는 작업시스템은 <표 3-2-22>와 같고, 작업광경은 <그림 3-2-9>와 같다. 벌목은 체인톱 및 벌목기, 소집재, 집재 및 운반은 궤도형 미니포워더로써 작업하는 것으로 그래플부착 굴삭기, 트랙터 윈치, 프로세서 등을 이용하여 작업시스템을 구축할 수 있다. 경사는 완경사부터 중경사까지 적용할 수 있으며, 벌채 및 조재 작업을 체인톱에 의존하지 않고 벌목기와 프로세서의 도입에 의해 보다 더 높은 효율성을 기대할 수 있겠다.

표 3-2-22. 궤도형 미니포워더 작업시스템 구축

작업시스템	적용지역	작업방법	작업종류				
			벌목	소집재	집재	조재	운반
Terri	중경사	단목	체인톱	Terri		체인톱	Terri
그래플부착 굴삭기+Terri	중경사 급경사	단목	체인톱	굴삭기그래플		체인톱	Terri
벌목기+Terri	완경사	단목	벌목기	Terri		벌목기	Terri
트랙터 윈치 +프로세서+Terri	중경사	전간 전목	체인톱	트랙터윈치		프로세서 (체인톱)	Terri

작업지 진입　　상차작업　　운반작업

그림 3-2-9. 작업광경

2. 개발된 측정시스템을 이용한 가선계 임업기계의 작업공정 조사

소규모 간벌재 생산작업 시스템을 위하여 차량형 임업기계에 대한 조사는 1차년도에 종료하고 2차년도에는 가선계 임업기계에 대한 작업공정을 조사하였다. 가선계 임업기계는 종류가 많고 제작회사에 따라 장비의 제원이 다르다. 본 연구에서 취급된 기종은 국내에서 개발한 다목적 집재작업차와 단목 리모콘 시스템이 가능한 라디캐리를 선정하였다. 다목적 집재작업차는 국립산림과학원에서 개발하였으며 라디캐리는 일본회사의 것이며 두 기종에 대하여 가선계 임업기계의 작업공정을 분석하였다.

가. 조사지역 세부조사

가선계 임업기계의 작업공정을 조사한 지역은 광릉시험림 15임반 다, 라소반으로 작업지의 임황 및 지황은 <표 3-2-23>과 같다. 또한 작업기종별 위치도는 <그림 3-2-10>과 같고 기종별 작업면적도 <표 3-2-24>와 같다.

작업지는 광릉시험림 15임반의 Ⅳ영급의 잣나무림을 대상으로 하였으며 평균흉고직경 25㎝, 수고 16.5m, 임지경사 19%로 축적은 120㎥/ha이다.

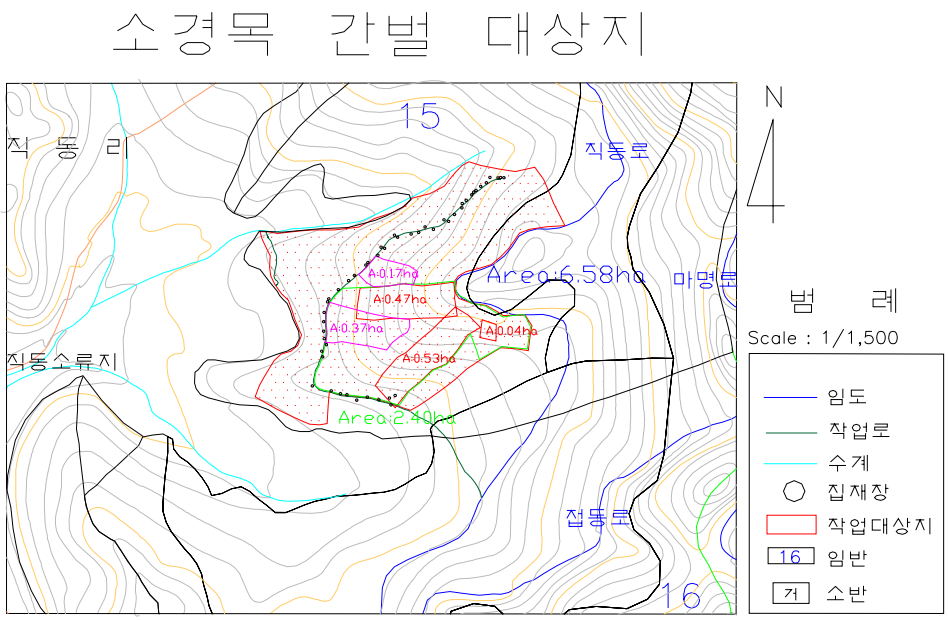


그림 3-2-10. 작업지 위치도

가선계 임업기계의 작업공정을 조사하기 위하여 임목의 위치를 도면으로 작성하였으며 각 기종별 작업면적은 <표 3-2-24>와 같다.

표 3-2-23. 임황 및 지황작업지 임황

장소	수종	영급	흉고직경 (㎝)	수고 (m)	임지경사 (%)	축적 (㎥/ha)
광릉시험림 15임반	잣나무	Ⅳ	25 14-32	16.5 7-22	19	120

표 3-2-24. 작업기종별 작업면적

장소	타워야더	라디캐리	테리임내차	로깅부기
면적	0.47ha	0.56ha	0.37	0.17ha

1) 임목위치 조사 및 각 작업별 설정

작업공정을 조사하기 전에 집재작업을 설계하여 원활한 집재작업이 가능한 작업설계

서를 작성하기 위하여 임목의 위치를 토탈스테이션으로 측정하였다. 가선 설치로를 중심으로 좌우 20m까지 측방집재를 하도록 하였다.

또한 길이방향으로 20m씩 구분하여 전간, 전목, 단목방법을 설정하고, 벌도방향을 고려할 것인지 아니면 벌도방향을 고려하지 않고 벌도 할 것인지를 표시하였다. 또한 이것이 벌도와 집재작업에 미치는 영향 등을 조사하였으며 그 구분은 <표 3-2-25>과 같다.

표 3-2-25. 각 조사구별 벌채작업방법

기종별	Ⅰ-1	Ⅰ-2	Ⅰ-3	Ⅰ-4	Ⅱ-1	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅱ-4	Ⅲ-1	Ⅲ-2	Ⅲ-3	Ⅲ-4
타워야더	전간	전간	전간	전간	단목	단목	단목	단목	전간	전간	전간	전간
라디캐리	단목	전간	단목	전간	단목	단목	단목	전간	단목	단목	단목	전간

※ 미벌채지는 200본구/ha, 400본구/ha의 미벌채 대조구 시험지

임목의 위치도는 <그림 3-2-11> 및 <그림 3-2-12>와 같으며 <그림 3-2-11>은 라디캐리의 작업지이며 <그림 3-2-12>은 다목적집재차의 작업지이다. 조사방법은 토탈스테이션을 이용하여 임목의 위치와 경사도를 조사하여 도면으로 작성하였다. 그림에서 나타난 적색은 벌채목을 나타내며 청색은 잔존목을 표시하고 있다. 타워야더 등 가선계 임업기계를 이용한 집재작업에 있어 가장 많이 적용하고 있는 방법은 열상간벌이지만 본 연구에서는 정성, 정량적 간벌을 선택하였다.

2) 라디캐리 및 타워야더 집재지역 임목위치도

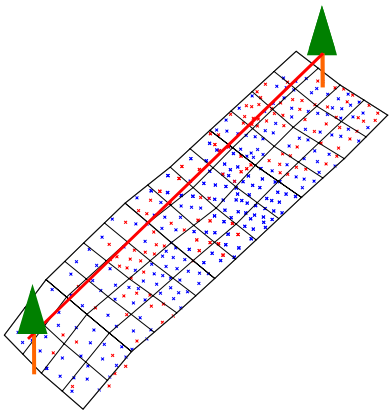


그림 3-2-11. 라디캐리에 의한 집재작업지 임목위치도

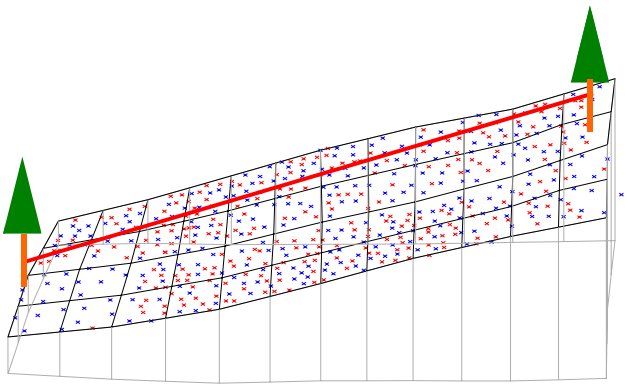


그림 3-2-12. 다목적 집재차에 의한 집재작업지 임목위치도

나. 임목 벌채작업

1) 벌채작업 시간조사

벌채작업의 시간조사는 라디캐리 및 다목적집재차 작업지역에 조사구(20×20m) 별로 단목, 전간으로 구분하여 조사하였다. 벌채작업의 방법은 체인톱에 의한 1인 1조 작업으로 스펜서, 지렛대 등 부속 휴대기구를 활용하여 벌채작업을 실시하였다. 시간 구분은 준비, 이동, 주위정리, 벌도 현목처리, 조재 등 9개 요소작업으로 구분하였고 그 내용은 <표 3-2-26>과 같다.

표 3-2-26. 벌채작업시간

장비적용별	구분		준비 및 이동	벌도	현목처리	조재		주유 및 휴식	계	작업량
						지타	작동			
라디캐리	단목	작업시간(분/회)	0.7	0.5	0.2	2.1	0.9	1.5	5.9	0.243
		비율(%)	12	9	3	36	15	25	100	
	전간	작업시간(분/회)	0.6	0.5	0.3	1.8	0.0	1.2	4.4	0.152
		비율(%)	14	11	7	40	0	26	100	
다목적집재차	단목	작업시간(분/회)	1.0	0.7	0.7	1.5	0.8	0.6	5.3	0.185
		비율(%)	19	13	14	28	15	11	100	
	전간	작업시간(분/회)	0.7	0.6	0.5	1.3	0.0	0.5	3.6	0.218
		비율(%)	20	16	14	35	0	14	100	

라디캐리 지역의 단목집재 작업에 있어 요소 작업 시간 중에 조재작동이 51%로 가장 많은 부분을 차지한다. 다음으로는 휴식과 이동시간이 많은 부분을 차지하는데 이것은 체인톱에 의한 벌채작업이 소음과 진동이 심한 중노동이므로 휴식시간을 많이 가졌다는 것을 의미한다.

그리고 라디캐리 전간집재작업의 벌채작업은 조재작업이 40%를 차지하며 전간으로 작업하였기 때문에 작동시간은 필요하지 않았다. 그 다음으로는 휴식, 벌도작업이 뒤를 이었다.

한편 다목적집재차의 요소작업은 <그림 3-2-13>과 같이 구분할 수 있고, 단목집재 작업의 요소작업시간은 조재작동시간이 43%로 가장 높고 다음으로는 현목처리, 벌도 등으로 나타났다. 또한 전간집재 작업을 위한 벌채작업의 요소작업시간은 조재가 35%를 차지하여 가장 높고 다음으로는 이동, 벌도와 휴식, 현목처리 등으로 나타났다. 작업생산량은 1회당 0. 152㎥~0.243㎥로서 전간벌채가 단목벌채에 비하여 작업시간이 짧은데 비하여 작업능률이 높게 나타났다.

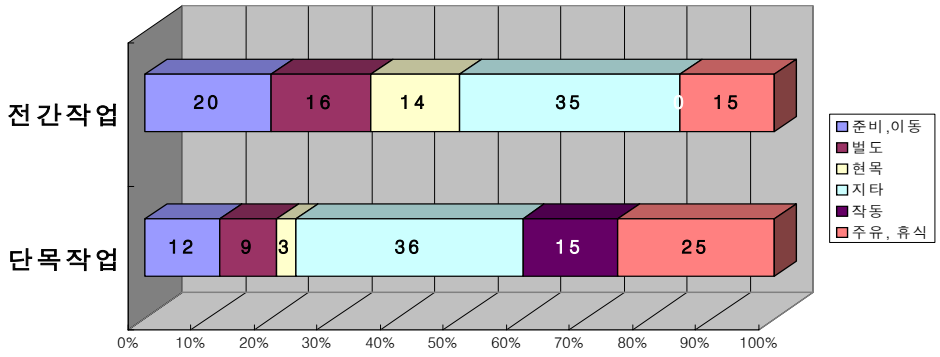


그림 3-2-13. 벌목작업 방법별 요소작업 비율

다. 타워야더 및 프로세서 조합에 의한 고성능 작업 시스템

타워야더와 프로세서 조합에 의한 고성능 작업시스템은 가장 일반적이고 효율적인 작업시스템이다. 작업방법에 있어 벌채작업은 하베스터와 같은 자주식 벌도기의 활용이 어려운 산악경사지에서 체인톱을 이용하고 집재작업은 전간이나 전목으로 이루어지며 조재작업은 프로세서를 활용하는 방법이다. 이를 모식도로 설명하면 <그림 3-2-14>과 같다.

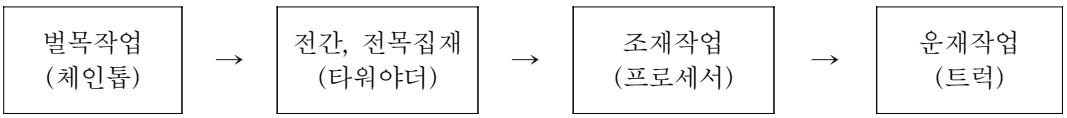


그림 3-2-14. 타워야더+프로세서 수확작업시스템

1) 작업장소

작업장소는 경기도 양평 용문 경제림 단지에서 실행되었으며 수종, 임령, 작업지 조건 등 작업지 임황은 <표 3-2-27>와 같다. 리기다소나무 4영급 임지로 생육상황은 수고는 크나 흉고직경 생장이 저조한 임지이다.

표 3-2-27. 작업지 임황

장소	수종	영급	흉고직경 (㎝)	수고 (m)	축적 (㎥/ha)
경기 양평 청운 삼성 31-카	리기다소나무	Ⅳ	18 / 6-30	12 / 6-18	130

2) 공시기종

본 작업시스템에 적용된 공시기종에 있어서 타워야더는 HAM200의 가선계 임업기계를 적용하였고 프로세서는 하베스터의 기능을 동시에 갖고 있는 소형 케토(KETO FORST) 하베스터를 활용하였다. 공시기종의 장비 제원은 <표 3-2-28>과 같다.

표 3-2-28. 하베스터의 제원

구 분	소형 케토(KETO FORST)
제작회사	KONE-KETONEN OY.(핀랜드)
모 델 명	KETO FORST
기본차량	5톤급(02) 굴삭기 장착가능(엔진출력 60hp 이상)
엔진출력	60 마력 이상
하베스트 유니트 규격	규격 1,100~1,300㎜, 너비 520~820㎜, 길이 800~880㎜
드 럼 수	주행용 에드리스 드럼 1 + 인장용 드럼 1
헤드유니트 중량	280 ㎏
벌목가능 원목직경	최대 30㎝
절단방식	체인톱방식
가지치기 가능직경	5㎝ 이하
송재장치	트랙타입, 송재속도 5m/초
가지치기장치	3매의 고정식 칼날
정격유량・유압	200bar, 120리터/분
콘트롤시스템	EPEC 컴퓨터(수종, 재장, 직경 입출력)

3) 작업능률 분석

HAM200의 요소작업 시간은 준비와 공주행, 로프끌기, 쵸커, 집재 등 7개로 나누었

다. 이 가운데 준비는 1일 한두 번 정도에 지나지 않고 지체나 대기 시간도 비주기적으로 나타나지만 다른 요소작업 시간은 작업 중 주기적으로 나타난다. 1싸이클당 소요되는 시간은 5.8분, 생산량은 0.206㎥이며, 1일 6시간 순수작업을 기준으로 12.8㎥/일, 집재방법은 전목집재로 한번에 집재할 수 있는 원목은 1개였다. 평균집재거리는 58.7m로서 비교적 짧은 거리로 측방집재거리는 5m정도이었다. 또한 프로세서작업은 1싸이클당 소요되는 시간은 6.96분으로 생산량은 0.274㎥이며, 1일 6시간 순수작업을 기준으로 14.2㎥/일 작업이 가능한 것으로 조사되었다. 집재작업 및 조재작업에 소요시간은 <표 3-2-29> 및 <표 3-2-30>과 같으며, HAM200과 KETO 하베스터의 프로세서 작업 광경은 <그림 3-2-15> 및 <그림 3-2-16>과 같다.

표 3-2-29. HAM200 집재작업 요소작업시간

구분		준비	공주행	로프 끌기	쵸커 설치	적재 주행	초커 제거	지체 대기	합계	작업량
전목	작업시간 (분/회)	0.71	1.27	0.78	0.47	0.97	0.23	1.37	5.80	0.206
	비율 (%)	12	22	13	8	17	4	24	100	

표 3-2-30. KETO 프로세서 조재작업 요소작업시간

구분		이동	목재 파지	스윙	가지 치기	절단	쌓기	정리	지체 대기	합계	작업량
전목	작업시간 (분/회)	0.58	0.72	1.38	2.07	0.32	0.78	0.48	0.63	6.96	0.274
	비율 (%)	8	10	20	30	5	11	7	9	100	

그림 3-2-15. HAM200과 프로세서작업

그림 3-2-16. 프로세서작업

HAM 200의 작업조건은 평균집재거리 58.7m 측방집재거리 5.0m, 1회 평균 집재 작업량 0.206㎥로서, 1일 작업능률은 12.8㎥이며 1일 집재비용은 14,102원/㎥으로 나타났다. 이를 인력집재 1일 작업능률은 2.5㎥와 비교하여 보면 1일 집재비용 20,000원/㎥으로서 HAM200에 의한 집재작업이 약 29%의 비용절감 효과를 보았으며 작업능률 및 생산비용은 <표 3-2-31> 및 <표 3-2-32>와 같다. 그러나 단순히 작업비용과 생산성을 비교하여 볼 때 다목적집재차의 작업능률이 높지 않으나 여기서 간과 할 수 없는 사항은 작업원에 미치는 중노동의 노동부담 감소이다. 기계를 이용하는 큰 이유 중에 하나는 작업원에 미치는 신체의 부담 경감이기 때문이다. 또한 가선계 임업기계의 사용으로 작업지의 토양 교란이나 답압 피해 등 환경 파괴를 최소화 할 수 있다.

표 3-2-31. 전목집재시스템 및 조재작업 작업비용

구분	전목집재시스템	조재작업
장비명	HAM200	KETO하베스터
구입가격(천원)	40,000	100,000
장비수명(년)	6	6
내용시간(시간)	6,000	8,000
연료소비량(ℓ/시간)	3	8
윤활유계수	0.3	0.3
잔존가치(천원)	4,000	10,000
연이율(%)	8	8
연간가동시간(시간)	1,000	1,000
일일가동시간(시간)	5	5
수리정비계수	0.7	0.8
연료단가(04. 11 기준)	1,000	1,000
이자(원/시간)	2,000	4,850
감가상각(원/시간)	6,000	11,250
수리유지비(원/시간)	4,200	9,000
유류대(원/시간)	3,900	10,400
총기계비용(원/시간)	16,100	35,500
기계비용합계(원/일)	80,500	177,500
작업능률(㎥/일)	12.8	14.2
적정작업인원(인)	2	1
인건비(원/일)	100,000(2인)	50,000(1인)
작업비합계(원/일)	180,500	227,500
인건비 비율(%)	55.4	22.0
작업비(원/㎥)	14,102	16,021

표 3-2-32. 집재시스템별 작업능률 및 경제성

구 분	작업능률 (㎥/일)	생산비용 (원/㎥)	절감효과
전목집재	12.8	14,101	0.71
인력집재	2.5	20,000	1.00

라. 주차모형에 의한 집재작업 해석

1) 다목적집재차 집재작업시스템

본 작업시스템은 주로 임도 밀도가 낮고 경사가 급한 산악경사지에서 많이 활용하는 방법으로 체인톱에 의해서 벌채된 원목을 고정식 타워야더(다목적집재차)로 단목과 전간집재하는 방법으로 작업시스템 구성은 <표 3-2-33> 같다. 작업의 순서는 체인톱에 의해 임내에서 벌목 및 조재을 실시하고 다목적집재차 타워야더를 이용하여 임도상 및 집재장에 집재작업을 실시한다. 다목적집재차 타워야더의 집재방식은 스카이라인 고정식 및 하이리드 방식을 주로 활용한다.

표 3-2-33. 다목적집재차 타워야더 집재작업시스템

구분	임내	임도
벌목	체인톱	
조재		
집재	다목적집재차 타워야더	
집적		다목적집재차 그래플 그래플부착 굴삭기

작업지는 광릉시험림 15임반의 Ⅳ영급의 잣나무림을 대상으로 하였고 집재작업은 전간 및 단목집재로 구분하여 조사하였다.

가) 작업기종 사양

작업기종은 농림기술개발사업으로서 우리 연구소와 광림이 공동으로 개발한 다목적집재작업차(타워야더)로서 본 장비는 일반상용 트럭(5톤)을 4륜구동 방식으로 개조하여 경사지의 임도주행이 가능하도록 하며 높이 4.5m의 철제 타워를 부착하여 임도변 상하

250m 까지 집재작업이 가능하고 부착된 크레인에 의해 원목의 정리 및 상하차가 용이한 가선계 임업기계이다. 그 제원은 <표 3-2-34>와 같다.

표 3-2-34. 다목적집재작업차 제원

차량부		윈치부(mm×m)			타워부	반송기		원목그래플	
구동방식	축간거리(mm)	가공본선	당김줄	되돌림줄	높이(mm)	형식	중량(kg)	인양력(톤·m)	형식
4륜구동	4,250	Ø16×300	Ø8×300	Ø8×600	6,500 (지면 : 7,200)	양방향식	120	4	유압굴절식

나) 작업시간 분석

요소작업 시간은 준비와 공주행, 로프끌기, 쵸커, 측방집재 등 9개로 나누었다. 이 가운데 준비는 1일 한 두 번 정도에 지나지 않고 지체나 대기 시간도 비주기적으로 나타나지만 다른 요소작업 시간은 작업 중 주기적으로 나타난다. 1 싸이클 당 소요되는 시간은 단목작업은 9.4분, 생산량은 0.251㎥이며 집재된 원목동수는 5~7개였다. 집재거리는 57m 내외로서 비교적 짧은 거리이었고 측방집재거리는 3~17m정도였다. 이에 비하여 전간집재는 1 싸이클 당 소요되는 시간은 8,6분으로 생산량은 0.303㎥이었다. 집재된 원목동수는 3~4개이며 집재거리는 62m 내외이었다. 측방집재거리는 4~25m 로 상당히 길었으며 전간집재는 단목집재에 비해 1 싸이클 당 소요시간이 짧으며 작업량도 높았다. 집재작업에 소요 시간은 <표 3-2-35>에 나타나 있다.

표 3-2-35. 집재작업 요소작업시간 분석

구분		준비	공주행	로프끌기	쵸커	측방집재	적재주행	초커제거	휴식	지체,대기	계	작업량
단목	작업시간(분/회)	1.7	2.0	0.8	0.6	1.1	1.7	1.2	0.0	0.3	9.4	0.251
	비율(%)	19	21	8	6	12	18	13	0	4	100	
전간	작업시간(분/회)	0.4	2.1	0.8	0.4	1.0	1.8	1.2	0.0	0.9	8.6	0.303
	비율(%)	5	25	9	5	12	21	13	0	10	100	

작업시간 중 단목이나 전간집재 방법에서 적재주행과 공주행 시간이 비교적 높게 나타났으며 가선계 임업기계의 작업은 작업원에 미치는 신체적 부담이 적어 휴식시간이

낮게 나타난 것을 알 수 있다. 단목과 전간집재의 요소작업 비율은 <그림 3-2-17>과 같다.

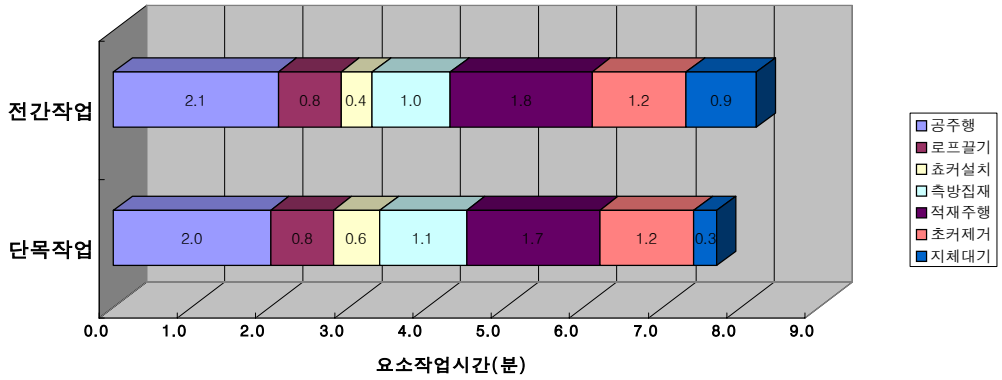


그림 3-2-17. 다목적집재차 집재방법별 요소작업 비율

다목적집재차의 1일 작업능률은 단목집재 12.8㎥, 전간집재 16.9㎥이며, 1일 집재비용은 단목집재 24,316원/㎥, 전간집재 18,417원/㎥으로 나타났다. 이를 비교하여 전간집재가 단목집재보다 24%의 비용절감 효과를 보았으며 작업능률 및 생산비용은 <표 3-2-36> 및 <표 3-2-37>과 같다. 그러나 단순히 작업비용과 생산성을 비교하여 볼 때 다목적집재차의 작업능률이 높지 않으나 여기서 간과 할 수 없는 사항은 작업원에 미치는 중노동의 노동부담 감소이다. 기계를 이용하는 큰 이유 중에 하나는 작업원에 미치는 신체의 부담 경감이기 때문이다. 또한 가선계 임업기계의 사용으로 작업지의 토양교란이나 답압 피해 등 환경 파괴를 최소화 할 수 있다. 다목적집재차 작업지 벌채전과 벌채후의 작업지 광경은 <그림 3-2-18> 및 <그림 3-2-19>과 같다.

그림 3-2-18 . 다목적집재차
작업지 벌채 전

그림 3-2-19. 다목적집재차
작업지 벌채 후

표 3-2-36. 다목적집재차 집재시스템 작업비용

구분	단목집재시스템	전간집재시스템
장비명	다목적집재차 타워야더	
구입가격(천원)	100,000	
장비수명(년)	6	
내용시간(시간)	6,000	
연료소비량(ℓ/시간)	5	
윤활유계수	0.2	
잔존가치(천원)	10,000	
연이율(%)	10	
연간가동시간(시간)	1,000	
일일가동시간(시간)	5	
수리정비계수	0.8	
연료단가(04. 11 기준)	1,000	
이자(원/시간)	6,250	
감가상각(원/시간)	15,000	
수리유지비(원/시간)	12,000	
유류대(원/시간)	6,000	
총기계비용(원/시간)	42,250	
기계비용합계(원/일)	211,251	
작업능률(㎥/일)	12.8	16.9
적정작업인원(인)	2	
인건비(원/일)	100,000(2인)	
작업비합계(원/일)	311,251	
인건비 비율(%)	32.1	
작업비(원/㎥)	24,316	18,417

표 3-2-37. 집재시스템별 작업능률 및 경제성

구 분	작업능률 (㎥/일)	생산비용 (원/㎥)	절감효과
단목집재	12.8	24,316	1.00
전간집재	16.9	18,417	0.76

2) 콜러 K-301 집재작업시스템

콜러 K-301는 오스트리아에서 개발되어 상향 및 하향 집재가 가능하고 경제적인 집재거리는 300m이내로 설치 해체가 간편하고 자체의 장력조정을 함으로써 인력을 절감할 수 있어 간벌작업지나 택벌작업지 등에 적합한 장비이다. 특히 트럭탑재형으로 기존의 트랙터 부착형 및 임내작업차 탑재형의 다른 가선집재와 비교하면 다른 작업지로의 이동이 간편한 장점을 가지고 있다.

또한 엔진 출력이 크고 다른 가선집재 장비보다 큰 기종이므로 중·대경재의 집재작업에도 이용 가능하다. 반면에 차체의 크기, 중량 등으로 임도 및 집재장이 잘 정비된 곳에서만 작업이 가능한 단점이 있다.

본 시스템은 체인톱으로 벌채된 원목을 단목 및 전간으로 조재하여 임도상에서 타워야더로 단목 및 전간 집재하는 방법으로 집재 및 집적작업을 그래플에 의존하는 작업시스템으로 <표 3-2-38>과 같다.

표 3-2-38. 타워야더 집재작업시스템

구분	임내	임도
벌목	체인톱	
조재·작동		
집재	타워야더	그래플
집적		

작업지는 충청남도 태안군 안면읍 중장리 가소반(산 5-138, 산12-2)의 경기도 김천시 증산면 황점리 7임반 나소반의 Ⅵ영급의 소나무림을 대상으로 하였으며 <표 3-2-39>와 같다. 주요수종은 소나무(75%)이며 참나무류(10%) 및 물푸레나무(10%) 등이 골고루 분포한다. 기타 수종으로는 때죽나무 및 산벚나무(5%) 등이 있다.

표 3-2-39. 조사지 개요

지 역	충청남도 태안군 안면읍 중장리 가소반 (산 5-138, 산12-2)
면적(ha)	40.2(벌채면적 39.0)
수 종	소나무, 참나무류, 물푸레나무
임 령(년)	60(6영급)
임 종	인공림
수 고(m)	16(6-19)
경 급(㎝)	32(6-50)
축적(㎥/ha)	377.8

휴양림과 인접한 지역으로 도로가 관통해 있어 접근성은 매우 양호하다. ha당 잔존본수 700본이며 간벌률 9.98%로 약도 간벌을 실시하였으며 <표 3-2-40>과 같다.

표 3-2-40. 벌채량

총		ha 당		간벌율 (%)	ha당 잔존본수	작업장 난이도		
본수 (본)	재적 (㎥)	본수 (본)	재적 (㎥)			접근성	하층식생	산지경사
8,268	1,470.76	212	37.71	9.98	700	-5%	5%	0%

타워야더는 트럭탑재형으로 트럭의 엔진을 사용하지 않고 타워야더 자체 엔진을 따로 장착하고 있어 작업시 탑재차량의 엔진에 전혀 영향이 없는 임업기계이며 가선설치에 의한 작업으로 임지 및 잔존 임분의 피해가 적고, 연료소비량이 적어 경제적이며 친환경적인 임업기계이다.

타워야더의 제원은 <표 3-2-41>과 같으며 견인력이 1,800㎏으로 1㎥이상의 원목을 운반할 수 있는 기종으로 견인속도가 450m/분으로 단재에서 부터 전간 및 전목집재에 이르기까지 집재에 효율적으로 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 타워야더 집재작업과 그래플 적재작업 광경은 <그림 3-2-20> 및 <그림 3-2-21>과 같다.

그림 3-2-20. 타워야더 집재작업

그림 3-2-21. 그래플 적재작업

표 3-2-41. 타워야더의 제원

구 분	타워야더
제작회사	오스트리아 콜러
모 델 명	콜러 K-301
탑재엔진	6기통 HST구동방식
엔진출력	133 HP/2,500rpm
드 럼 수	3
견인력	1,800 ㎏
견인속도	450 m/분
작동방식	유선 → 전기 → 유압
타워높이	8.80m (연장 10.0)
사용와이어로프	스카이라인용 Ø 16 ㎜, 주행삭용 Ø 12

타워야더의 가선설치거리는 140m이며 1회 작업당 작업시간 구성은 <표 3-2-42>와 같으며 단목집재로 작업하였다. 공주행, 로프풀기, 초커설치, 측방집재, 적재주행, 초커제거를 순수작업시간으로 하고 일반시간을 포함하여 1사이클로 보았다. 단목집재작업 96회로서 1회 작업시간은 10.16분 이었고 적재주행과 공주행 시간이 가장 높게 나타났다. 단목작업은 전간작업에 흩어져 있는 단목을 집재함으로써 측방집재시간 뿐만 아니

라 전체 작업시간이 많이 걸리고 작업량은 적게 나타났다. 따라서 가선계 임업기계의 활용은 단목집재 보다는 전간이나 전목작업으로 함이 유리하다. 타워야더 단집재작업 요소작업 구성은 <그림 3-2-22>와 같다.

표 3-2-42. 타워야더 요소작업시간 구성

구분		순수작업						일반작업	합계
		공주행	로프 풀기	초커 설치	측방 집재	적재 주행	초커 제거		
1지역	작업시간 (분/회)	1.26	1.24	0.91	0.89	1.16	0.58	4.18	10.21
	비율 (%)	12	12	9	9	11	6	41	100.0
2지역	작업시간 (분/회)	1.04	1.11	1.17	0.88	1.02	0.56	7.86	13.66
	비율 (%)	8	8	9	6	7	4	58	100.0
3지역	작업시간 (분/회)	0.74	1.45	1.24	0.87	0.79	0.58	2.53	8.20
	비율 (%)	9	18	15	11	10	7	31	100.0
평균	작업시간 (분/회)	0.91	1.32	1.17	0.88	0.92	0.57	4.40	10.16
	비율 (%)	9	13	11	9	9	6	43	100.0

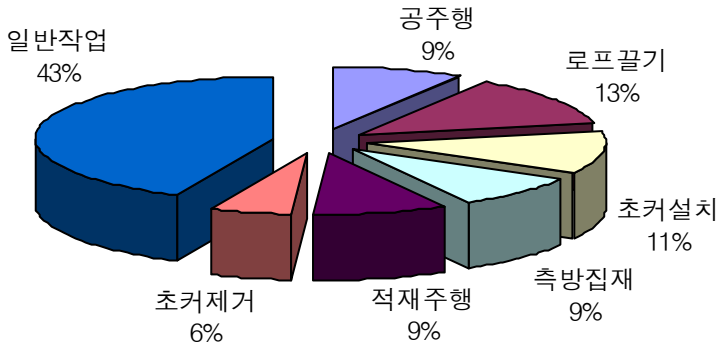


그림 3-2-22. 타워야더 단목집재 요소작업

타워야더의 작업조건은 평균집재거리는 93.8m, 평균측방집재거리는 36.3m로 운반 작

업능률은 단목집재 17.2㎥/일, 집재비용은 26,265원/㎥이 소요되었다. 작업능률 및 생산비용은 <표 3-2-43>과 같다. 다목적집재차와 비교하여 볼 때 8% 정도 비용이 소요되는 것으로 나타났다.

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

표 3-2-43. 집재시스템 작업비용 계산내역

구분	단목집재시스템
장비명	타워야더(콜러 k-301)
구입가격(천원)	220,000
장비수명(년)	8
내용시간(시간)	8,000
연료소비량(ℓ/시간)	5
윤활유계수	0.3
잔존가치(천원)	22,000
연이율(%)	6
연간가동시간(시간)	1000
일일가동시간(시간)	5
수리정비계수	0.8
연료단가(06. 6 기준)	1,200
이자(원/시간)	8,003
감가상각(원/시간)	24,750
수리유지비(원/시간)	19,800
유류대(원/시간)	7,800
총기계비용(원/시간)	60,353
기계비용합계(원/일)	301,763
작업능률(㎥/일)	17.2
적정작업인원(인)	3
인건비(원/일)	150,000(3인)
작업비합계(원/일)	451,763
인건비 비율(%)	33.1
작업비(원/㎥)	26,265

타워야더로 구축할 수 있는 작업시스템에서 주로 벌목은 체인톱, 집재는 타워야더로 작업하는 것으로 그래플부착 굴삭기, 프로세서, 포워더 등을 첨가하여 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.

마. 간이 타워 집재작업 시스템

1) 라디캐리 집재작업시스템

라디캐리(자주식 리모콘 반송기)는 과거 북미에서 사용되던 엔진이 장비된 무선 조정식 캐리지를 일본에서 소형화하여 간벌 작업지에 적합하도록 개발된 것으로 자체 엔진이 장착되어 있고 무선조작에 의해 운영되므로 필요 작업인원을 줄일 수 있으며 조작이 쉽고 하향작업시에도 육체적으로 힘든 로프인장작업을 용이하게 해주어 작업부담을 크게 줄일 수 있으며 다른 가선장비에 비해 비교적 값이 싸며 특히 간벌작업지나 택벌작업지 등에 적합한 장비이다.

반면에 엔진 출력이 제한되어 있고 자체 무게가 많이 나가므로 매달 수 있는 운반용량이 크지 않고 주행속도가 늦어서 장거리 집재에는 적합지 않으며 특히 급경사지에서의 상향집재에서는 작은 엔진출력 관계상 운반능률이 크게 떨어지거나 작업이 불가능할 수도 있는 단점이 있다.

본 시스템은 체인톱으로 벌채된 원목을 단목 및 전간으로 조재하여 작업로와 임도상에서 라디캐리로 단목 및 전간 집재하는 방법으로 집재 및 집적작업을 그래플에 의존하는 작업시스템으로 <표 3-2-44>와 같다.

표 3-2-44. 라디캐리 집재작업시스템

<table>
<tr><th>구분</th><th>임내</th><th>임도 및 작업로</th></tr>
<tr><td>벌목</td><td colspan="2" rowspan="2">체인톱</td></tr>
<tr><td>조재・작동</td></tr>
<tr><td>집재</td><td rowspan="2">라디캐리</td><td rowspan="2">그래플</td></tr>
<tr><td>집적</td></tr>
</table>

작업지는 다목적 집재작업차와 마찬가지로 광릉시험림 15임반의 Ⅳ영급의 잣나무림을 대상으로 하였다.

라디캐리는 자주식 반송기 자체에 엔진을 탑재하고 2개로 구성된 리모콘 1조의 리모콘 조작에 의해 가선을 따라 주행하는 방식으로 임지 및 잔존 임분의 피해가 적고, 연료소비량이 적어 경제적이며 친환경적인 임업기계이다. 또한 가선집재 기계의 크기 축소로 운반의 효율성 및 가격의 저렴화를 실현한 임업기계라 할 수 있다.

라디캐리의 제원은 <표 3-2-45>와 같으며 허용중량이 800㎏으로 최대 1㎥의 원목을 운반할 수 있으나 지면과의 마찰이나 임지보호 등 스카이라인의 안전성, 주행 엔드리스 드럼의 미끌어짐 때문에 최대 0.7㎥내외를 운반할 수 있는 기종으로 주행속도를 30~80m/분까지 조절할 수 있어 단재 및 전간의 집재에 효율적으로 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 라디캐리 작업지 벌채전과 벌채후의 작업지 광경은 <그림 3-2-23> 및 <그림 3-2-24>와 같다.

그림 3-2-23. 라디캐리 벌채 전

그림 3-2-24. 라디캐리 벌채 후

표 3-2-45. 라디캐리의 제원

구 분	라디캐리
제작회사	일본 이와후지 공업
모 델 명	BCR 08 SP(D)
탑재엔진	로빈 DY 41 공랭식 4싸이클 디젤엔진
엔진출력	8.5 마력
차체규격	길이 1690㎜ × 폭 700㎜ × 높이 1330㎜
드 럼 수	주행용 에드리스 드럼 1 + 인장용 드럼 1
최대인장하중	800 ㎏
운반하중	800 ㎏
주행속도	30~80 m/분
작동방식	무선 → 전기 → 유압
작동유압압력	170 ㎏/㎠
장비중량	440 ㎏
사용와이어로프	스카이라인용 Ø 6 ㎜, 주행삭용 Ø 12~12.5
무선송수신방식	FM 방식 44㎒

라디캐리의 가선설치거리는 140m이며 1회 작업당 작업시간 구성은 <표 3-2-46>과 같으며 단목 및 전간집재로 나누어 작업하였다. 공주행, 로프풀기, 쵸커설치, 측방집재, 적재주행, 쵸코제거를 순수작업시간으로 하고 일반시간을 포함하여 1사이클로 보았다. 단목집재작업 48회로서 1회 작업시간은 7.7분 이었고 적재주행과 공주행 시간이 가장 높게 나타났다. 또한 전간집재작업 23회로서 일반시간을 포함하여 1회 작업시간은 3.2분이 소요되었고, 적재주행과 공주행, 준비시간이 높게 나타났다. 단목작업은 전간작업에 흩어져 있는 단목을 집재함으로써 측방집재시간 뿐만 아니라 전체 작업시간이 많이 걸리고 작업량은 적게 나타났기 때문에 가선계 임업기계의 활용은 단목집재 보다는 전간이나 전목작업으로 함이 유리하다. 라디캐리 단목 및 전간 요소작업 구성은 <그림 3-2-25> 와 같다.

표 3-2-46. 라디캐리 요소작업시간 구성

구분		순수작업						일반작업	합계
		공주행	로프 풀기	쵸커 설치	측방 집재	적재 주행	쵸커 제거		
단목	작업시간 (분/회)	1.9	0.6	0.4	1.0	2.6	0.6	0.7	7.7
	비율 (%)	25	8	5	12	33	8	9	100.0
전간	작업시간 (분/회)	0.7	0.2	0.1	0.2	0.7	0.2	1.0	3.2
	비율 (%)	21	7	2	7	23	7	33	100.0

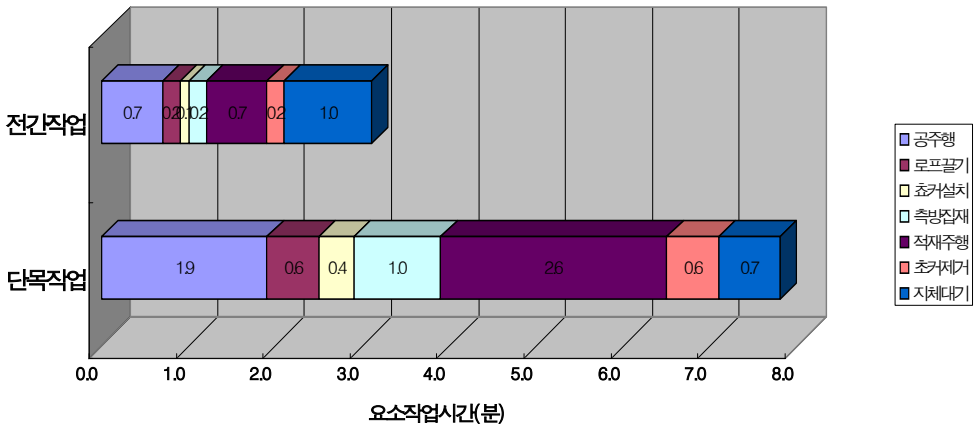


그림 3-2-26. 라디캐리 집재방법별 요소작업 비율

라디캐리의 작업조건은 평균집재거리는 83m, 평균측방집재거리는 5m로 운반 작업능률은 단목집재 11.7㎥/일, 전간집재 16.9㎥/일으로 집재비용은 17,520원/㎥, 13,840원/㎥이 소요되었다. 전간집재작업은 단목집재에 비하여 26% 비용절감효과를 보았으며 작업능률 및 생산비용은 <표 3-2-47> 및 <표 3-2-48>과 같다.

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.

라디캐리로 구축할 수 있는 작업시스템에서 주로 벌목은 체인톱 및 벌목기, 집재는

라디캐리로 작업하는 것으로 그래플부착 굴삭기, 프로세서, 포워더 등을 첨가하여 작업 시스템을 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.

표 3-2-47. 단목집재시스템 작업비용 계산내역

구분	단목집재시스템	전간집재시스템
장비명	라디캐리	
구입가격(천원)	30,000	
장비수명(년)	6	
내용시간(시간)	4,800	
연료소비량(ℓ/시간)	3	
윤활유계수	0.2	
잔존가치(천원)	3,000	
연이율(%)	10	
연간가동시간(시간)	800	
일일가동시간(시간)	5	
수리정비계수	0.8	
연료단가(04. 11 기준)	1,000	
이자(원/시간)	2,344	
감가상각(원/시간)	5,625	
수리유지비(원/시간)	4,500	
유류대(원/시간)	3,600	
총기계비용(원/시간)	20,996	
기계비용합계(원/일)	104,984	
작업능률(㎥/일)	11.7	16.9
적정작업인원(인)	2	
인건비(원/일)	100,000(2인)	
작업비합계(원/일)	204,984	
인건비 비율(%)	48.8	
작업비(원/㎥)	17,520	13,840

표 3-2-48. 집재시스템별 작업능률 및 경제성

구 분	작업능률 (㎥/일)	생산비용 (원/㎥)	절감효과
단목집재	11.7	17,520	1.00
전간집재	16.9	13,840	1.27

2) 스윙야더에 의한 집재작업시스템

스윙야더는 일본에서 개발되어 상향 및 하향 집재가 가능하고 경제적인 집재거리는 120m 이내로 설치 해체가 간편하고 자체의 장력조정을 함으로써 인력을 절감할 수 있어 간벌작업지나 택벌작업지 등에 적합한 장비이다. 특히 굴삭기부착형으로 기존의 트랙터 부착형, 임내작업차 탑재형 및 트럭탑재형의 타워야더집재와 비교하면 임지에서 이동이 간편한 장점을 가지고 있다. 또한 굴삭기의 붐을 타워로 사용하기 때문에 다른 타워야더에 비하여 설치 시간을 줄여 작업을 효율적으로 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 굴삭기의 유압을 이용하여 출력이 크기 때문에 소경재 뿐만 아니라 중·대경재의 집재작업에도 이용 가능하다. 반면에 차체의 크기, 중량 등으로 작업공간이 확보되면 높은 효율을 나타낼 수 있다.

본 시스템은 체인톱으로 벌채된 원목을 전간으로 조재하여 임도상에서 스윙야더로 단목 및 전간 집재하는 방법으로 집재 및 집적작업을 그래플에 의존하는 작업시스템으로 <표 3-2-49>와 같다.

표 3-2-49. 스윙야더 집재작업시스템

구분	임내	임도
벌목	체인톱	
조재·작동		
집재	스윙야더	그래플
집적		

작업지는 경북 김천시 증산면 황점리 7임반 나소반의 Ⅷ영급의 낙엽송림을 대상으로 하였다. 조사지 개요는 <표 3-2-50>과 같다.

표 3-2-50. 조사지 개요

지 역	경기도 가평군 설악면 설곡리 33임반 8소반
면적(ha)	45.0
수 종	잣나무
임 령(년)	37(4영급)
임 종	인공림
수 고(m)	17
축적(m^3/ha)	234.8

스윙야더는 굴삭기의 유압을 사용하며, 2개로 구성된 인터록크에 의해 드럼을 동조시켜 런닝스카이라인 방식으로 집재작업을 하는 간이 타워야더로 반송기가 가선을 따라 주행하는 방식으로 임지 및 잔존 임분의 피해가 적고, 타워야더의 단점인 설치시간을 최소화하여 작업시간이 타워야더에 비해 늘어나고, 연료소비량이 적어 경제적이며 친환경적인 임업기계이다. 또한 굴삭기의 붐을 타워로 사용하기 때문에 간편하고 앞으로 국산화할 경우 임업기계 가격을 값싸게 공급할 수 있는 장점을 가지고 있는 임업기계라 할 수 있다.

스윙야더의 제원은 <표 3-2-51>과 같으며, 평균견인력은 1.8톤으로 최대집재거리는 120m까지 집재할 수 있다. 주행속도는 102m/min으로 단재 및 전간의 집재에 효율적으로 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 스위야더의 임내에서의 집재작업과 임도상 작업지 광경은 <그림 3-2-27> 및 <그림 3-2-28>과 같다.

표 3-2-51. 스윙야더의 제원

구 분	스윙야더
제작회사	일본 이와후지
모 델 명	TW-2321
규격(m)	835 × 996 × 535
드 럼 수	2개
평균견인력(ton)	1.8
평균속도(m/min)	102
와이어로프(당김줄)	ø10㎜ × 154m
와이어로프(되돌림줄)	ø8㎜ × 240m
인터록킹 장치	유압회로 자동 변경
집재거리	120m / 10ø:8ø
유압 × 유량(Mpa × L/min)	26 × 43
조작방식	유압식 조이스틱

그림 3-2-27. 스윙야더 집재작업(임내)

그림 3-2-28. 스윙야더
집재작업(임도상)

스윙야더의 가선설치거리는 1지역 90m, 2지역 90m, 3지역 120m, 4지역 80m의 4회 설치로 평균 95m 설치하였다. 전간집재를 원칙으로 작업하였다. 공주행, 로프풀기, 초커설치, 측방집재, 적재주행, 초커제거를 순수작업시간으로 하고 일반시간을 포함하여 1사이클로 보았다. 요소작업시간은 <표 3-2-52>와 같고, 네 지역 모두 약간의 차이는

있으나 요소작업 구성은 거의 같은 것으로 나타났다. 전간집재작업 124회로서 1회 평균 작업시간은 8.65분 이었고, 적재주행과 로프끌기, 초커제거, 공주행 시간이 가장 높게 나타났다. 전간집재작업은 측방집재시간 뿐만 아니라 전체 작업시간이 많이 걸린다. 스윙야더 전간 요소작업 구성은 <그림 3-2-29>과 같다.

표 3-2-52. 스윙야더 요소작업시간 구성

구분		순수작업						일반작업	합계
		공주행	로프 풀기	초커 설치	측방 집재	적재 주행	초커 제거		
1지역	작업시간 (분/회)	0.78	0.64	0.81	0.44	1.29	0.36	4.07	8.39
	비율 (%)	9	8	10	5	15	4	48	100
2지역	작업시간 (분/회)	0.76	0.93	1.01	0.84	1.19	1.09	2.32	8.16
	비율 (%)	9	11	12	10	15	13	29	100
3지역	작업시간 (분/회)	0.91	1.19	0.90	0.77	1.32	1.04	3.19	9.33
	비율 (%)	10	13	10	8	14	11	34	100
4지역	작업시간 (분/회)	0.76	0.92	0.81	0.95	0.95	1.05	2.77	8.19
	비율 (%)	9	11	10	12	12	13	34	100
평균	작업시간 (분/회)	0.82	0.92	0.89	0.69	1.25	0.82	3.25	8.64
	비율 (%)	9	11	10	8	14	10	38	100

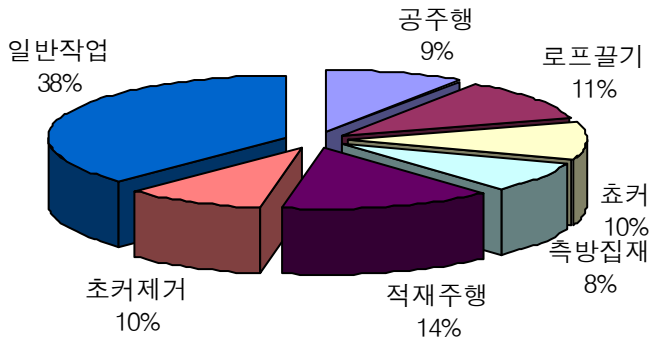


그림 3-2-29. 스윙야더 전간집재 요소작업

스윙야더의 작업조건은 평균집재거리는 64.5m, 평균측방집재거리는 11.5m로 운반 작업능률은 전간집재 26.1㎥/일로 집재비용은 12,733원/㎥이 소요되었다. <표 3-2-53> 및 <표 3-2-54>와 같다.

인력집재의 경우 1일 작업능률은 2.5㎥, 1일 집재비용 20,000원/㎥으로 비교하여 보면 인력집재대비 36%의 비용절감 효과를 볼 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 3-2-53. 집재시스템 작업비용 계산내역

구분	전간집재시스템
장비명	스윙야더
구입가격(천원)	120,000
장비수명(년)	8
내용시간(시간)	8,000
연료소비량(ℓ/시간)	5
윤활유계수	0.3
잔존가치(천원)	3,000
연이율(%)	6
연간가동시간(시간)	1000
일일가동시간(시간)	5
수리정비계수	0.8
연료단가(06. 6 기준)	1,200
이자(원/시간)	4,365
감가상각(원/시간)	13,500
수리유지비(원/시간)	10,800
유류대(원/시간)	7,800
총기계비용(원/시간)	36,465
기계비용합계(원/일)	182,325
작업능률(㎥/일)	26.1
적정작업인원(인)	3
인건비(원/일)	150,000(3인)
작업비합계(원/일)	12,733
인건비 비율(%)	45.1
작업비(원/㎥)	12,733

표 3-2-54. 집재시스템별 작업능률 및 경제성

구 분	작업능률 (㎥/일)	생산비용 (원/㎥)	절감효과
전간집재	26.1	12,733	0.64
인력집재	2.5	20,000	1.00

바. 집재작업 공정 추정을 위한 요소작업 해석

가선집재작업을 하기 위해서는 가선을 설치한다. 타워야더를 임도나 작업로에 정차를 시켜 타워를 세워 원주로서의 역할을 감당하게 하며 버팀줄을 설치한다. 버팀줄은 보통 2본으로 임내의 임목에 묶어 지지시킨다. 그리고 되돌림줄과 당김줄, 가공본선을 연결하고 가공본선에 캐리지를 정치시킴으로서 타워야더에 의한 집재작업의 준비가 완료된다. 타워야더에 의한 작업방식은 런닝스카이라인 방식 등 많은 삭장방식이 있고 집재작업을 해석하기 위해 1 싸이클 당 구성하는 요소작업은 아래와 같이 나누어지는 것이 보통이며 이들 요소작업에 소요되는 시간을 통하여 요소작업을 해석하였다. 본 연구는 라디캐리와 다목적집재차를 이용하여 요소작업을 해석하였으며 작업거리는 두 기종 모두 100m내외 이다.

1) 요소작업 구분

가) 준비

집재작업을 시작하기 전에 이루어지는 준비시간, 즉 주유, 그리스 주입, 타워점검, 드럼점검 등 작업 준비에 필요한 모든 시간이 여기에 해당한다.

나) 공주행

가공본선을 통해 캐리지를 원목이 있는 장소까지 옮겨 놓는 작업시간 이다. 보통 거리가 장거리이기 때문에 기계수와 초커맨이 무전기를 이용하여 작업을 실시한다. <그림 3-2-30>과 <그림 3-2-31>은 라디캐리와 다목적 집재차를 이용 재작업의 공주행 요소작업 분석 내용인데 단목과 전간집재를 비교하였다. 소요시간이 1.1~1.5분이 가장 출현빈도가 높았으며 거리에 따라 공주행의 소요시간은 많은 차이가 있다.

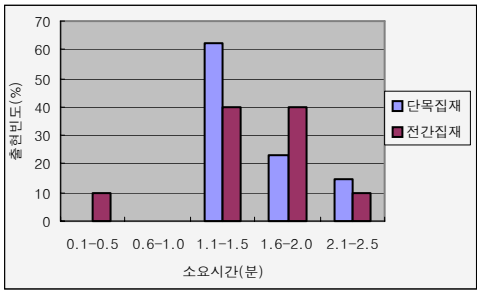


그림 3-2-30. 라디캐리 공주행 요소작업 분석

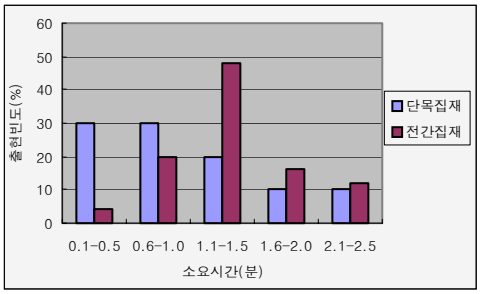


그림 3-2-31. 다목적집재차 공주행 요소작업 분석

다) 로프끌기

캐리지로부터 내려온 당김줄을 단목, 전간, 전목의 상태인 원목이 있는 곳까지 와이어로프를 끌고 가는 작업이다. 그 길이는 가선을 중심으로 보통 20m까지 이며 소요시간은 다음 <그림 3-2-32>, <그림 3-2-33>와 같다. 최대소요시간은 1.5분까지 걸리며 가장 많은 출현빈도는 0.4~0.5분 사이로 나타났다.

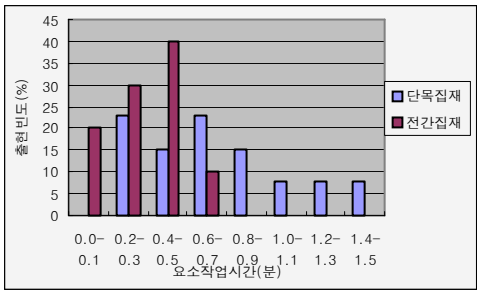


그림 3-2-32. 라디캐리 로프끌기 요소작업분석

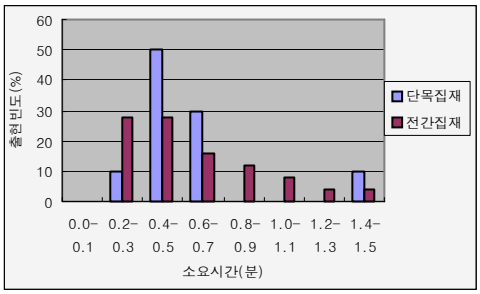


그림 3-2-33. 다목적집재차 로프끌기 요소작업 분석

라) 초커설치(원목걸기, choker setting)

집재할 원목을 초커로프에 묶어서 다른 끝을 당김줄의 후크(hook)에 걸어주는 동작을 말하며 이때 나무의 크기, 기계의 용량에 따라 알맞은 양을 걸어주며 전간이나 전목은 2~3개, 단목의 경우는 보통 5~6 개 정도씩 걸어준다. 쵸크에 소요되는 시간은 <그림 3-2-34>과 <그림 3-2-35>이며 보통 0.2~0.4분 사이로 나타났다.

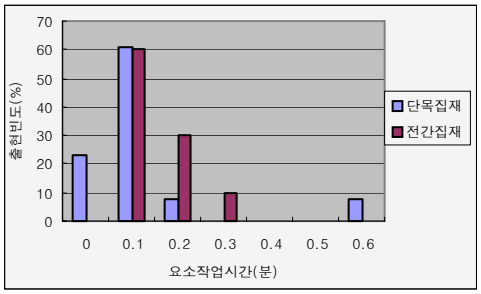


그림 3-2-34. 라디케리 쵸커설치 요소작업분석

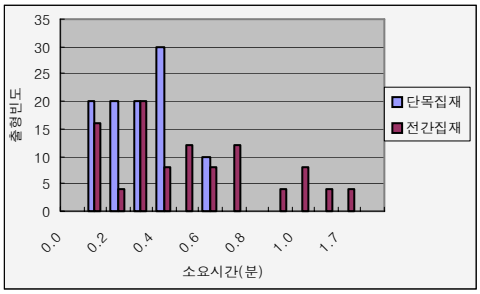


그림 3-2-35. 다목적집재차 쵸커설치 요소작업분석

마) 측방집재(윈치감기, Winching)

당김줄과 되돌림줄을 이용하여 윈치로프 드럼을 감으면 초커에 연결된 원목들이 로프 끝으로 모이면서 가공본선을 중심으로 끌려온다. 측방집재를 원활히 하기 위해서는 벌도작업 할 때 벌도방향이 중요하며 가공본선을 중심으로 빗살형이나 어골형을 많이 적용한다. 측방집재는 작업이 위험하며 작업기술이 필요하고 원목이 끌려오는 상황을 주시하면서 그루터기 등에 걸리는 것을 쵸커맨이 미연에 방지하거나 걸리지 않게 방향을 틀어 유도하며 기계수와 작업원이 무전기로 연락하면서 작업을 실시한다. 측방집재에 소요된 시간은 0.4~0.6분이 가장 많았으며 그 내용은 <그림 3-2-36>와 <그림 3-2-37>에서 자세히 나타나 있다.

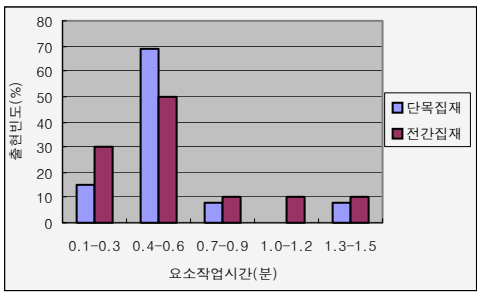


그림 3-2-36. 라디캐리 측방집재 요소작업 분석

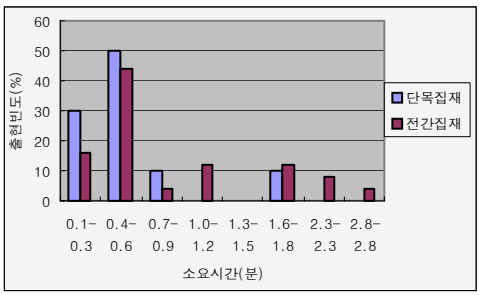


그림 3-2-37. 다목적집재차 측방집재 요소작업 분석

바) 적재주행

당김줄에 의해 캐리지에 올려진 원목들을 캐리지를 옮겨 타워야더가 있는 집재장소까지 이동하는 작업이다. 적재주행의 소요시간은 작업거리에 비래하는데 그 내용은 <그림 3-2-38>과 <그림 3-2-39>에 나타나 있고 출현비도가 가장 높은 시간은 1.4~1.5분 이었다.

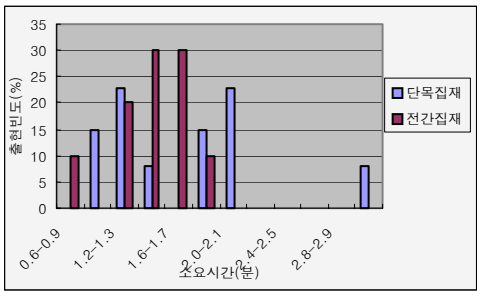


그림 3-2-38. 라디캐리 적재주행 요소작업 분석

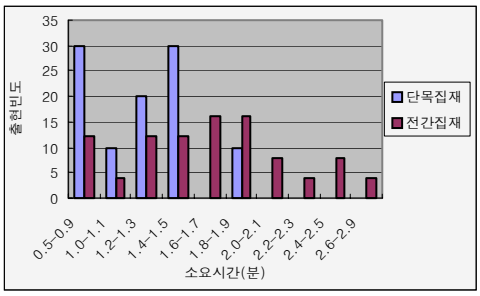


그림 3-2-39. 다목적집재차 적재주행 요소작업 분석

사) 초크제거(원목풀기)

원목을 견인한 캐리지가 집재지에 도착하면 캐리지를 정지시키고 당김줄의 훅크를 지면에 내리고 윈치로프를 넉넉하게 느슨하게 풀어준다. 이때 쵸커고리를 훅크로부터 해체하고 원목에 걸린 쵸커로프로를 풀어 다음 작업이 가능하도록 하는 동작이다. 작업시에는 안전사고에 유의하며 라디캐리에 비해 다목적집재차의 소요시간이 길었으며 라디캐리는 0.4분, 다목적집재차는 1.1~1.5분이 소요되었고, 그 내용은 <그림 3-2-40>와 <그림 3-2-41>에 나타나 있다.

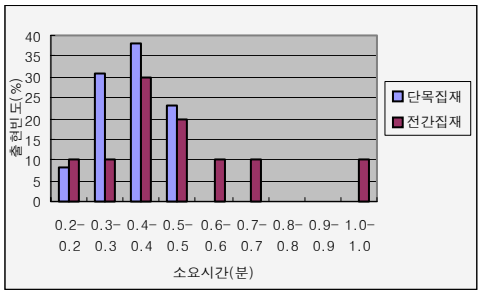


그림 3-2-40. 라디캐리 쵸커제거 요소작업 분석

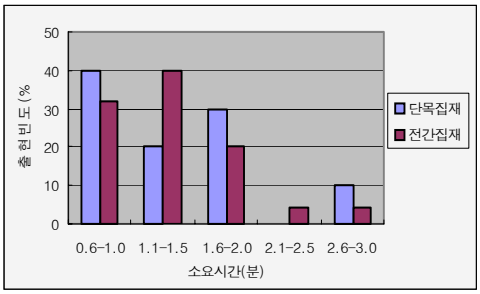


그림 3-2-41. 다목적집재차 쵸커제거 요소작업 분석

아) 대기, 지체, 휴식

집재작업시 작업원의 피로를 경감시키기 위해 잠시 휴식을 하거나 신체의 생리적인 것을 해소하기 위해 소요되는 시간이나 또한 작업이 원활히 수행되지 못하고 원목이 그루터기에 걸린다든지 원하지 않는 동작이 발생되어 작업이 지연되거나 잠시 멈추어지는 시간을 뜻한다. 이에 소요되는 시간은 기종과 오퍼레이터의 숙련도, 작업조건에 따라 너무 상이한 점이 많아 본 연구에서는 제외하였다.

다음 <그림 3-2-42> 및 <그림 3-2-43>와 같이 집재거리 및 측방집재거리에 따른

작업시간을 비교하였다.

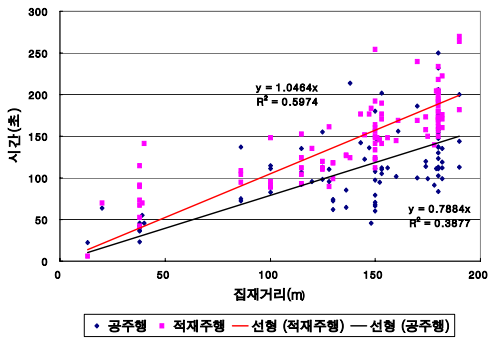


그림 3-2-42. 다목적집재차
집재거리에 따른 작업시간 비교

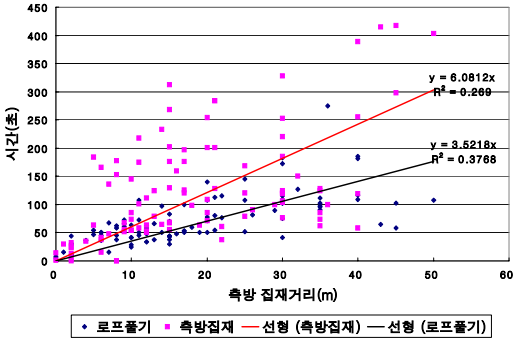


그림 3-2-43. 다목적집재차
측방 집재거리에 따른 작업시간 비교

2) 집재거리에 따른 작업능률 추정

집재작업 거리에 따른 작업능률 추정은 다음과 같은 식에 의해 구할 수 있다.

집재작업능률(㎥/시간) = 1회 집재재적 × (3600/(공주행+로프풀기+초커설치+측방집재+적재주행집재+초커제거))

집재거리(DS)에 종속변수 : 적재주행(LT), 공주행(CR)

측방집재거리(DL)에 종속변수 : 로프풀기(RO), 측방집재(LY)

집재목 동수(NL)에 따른 종속변수 : 초커설치(CS), 초커제거(CR)

집재작업능률(㎥/시간) = 1회집재재적×(3600/(CR+RO+LY+LT+CS+CR+PR+DE)

= 0.303×3600/［0.7884DS+1.0464DS+6.081DL+3.5218DL+(0.4+1.2+0.4+0.9)×60]

- 0.303×3600/(1.8348DS+9.603DL+174)

여기서 각 요소작업시간 단위는 초

적재주행(LT), 공주행(CR), 측방집재거리(DL), 로프풀기(RO), 측방집재(LY),

쵸커설치(CS), 쵸커제거(CR), 준비(PR), 지체(DE)

평균집재거리 62m, 측방집재거리 15m일 때,

집재재적(㎥/시간) = 0.303×3600/431.79=2.53(㎥/시간)

으로 계산할 수 있다.

사. 가선장력 계산과 집재작업에의 적용

로드셀을 이용하여 당김줄의 원목 중량에 대한 장력과 또한 이에 영향에 따른 가공본선의 장력을 조사하였다. 이 결과에 따라 장비별 작업지 선정과 적정 작업방법을 선정하는 기준이 될 수 있다.

1) 조사방법

무게 100㎏ 및 50㎏의 웨이트를 가지고 중량별 구분은 무적재, 500㎏, 550㎏, 650㎏, 주행구분은 공주행, 적재주행, 집재방향의 구분은 상향, 하향으로 하여 가선의 장력을 조사하였다.

2) 라디캐리 가선장력 조사

라디캐리의 가선 장력은 가공본선과 작업줄인 엔드레스 라인에 각각의 로드셀을 부착하여 조사하였다. 가공본선에는 5톤, 작업줄 2톤의 로드셀을 설치하여 조사하는 광경은 <그림 3-2-44> 및 <그림 3-2-45>와 같다.

그림 3-2-44. 가선장력조사

그림 3-2-45. 가선장력조사

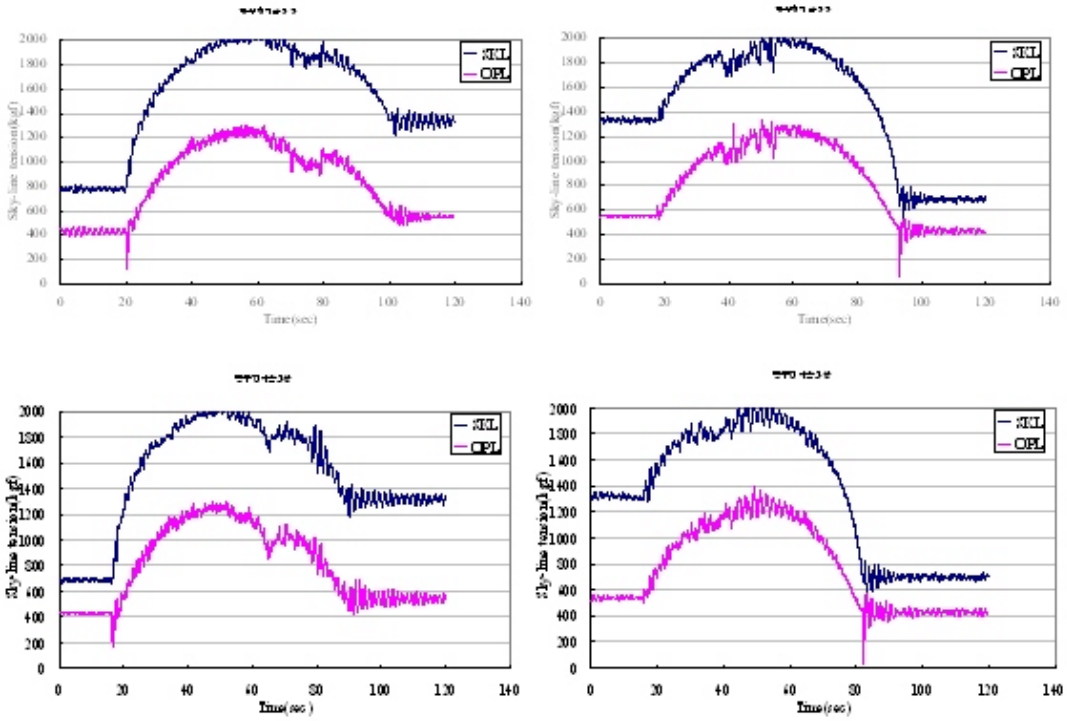


그림 3-2-46. 650kg 적재 주행일 때의 장력변화

3. 적정 임업기계 선택모델 개발

적정 임업기계의 선택은 작업 조건에 따라 많은 차이가 있다. 산림작업은 다양한 조건 속에서 이루어지는데 인간이 주체가 되어 기계나 로망의 작업 수단을 유효하게 사용하면서 작업이 전개된다. 임업의 기계화가 진행되면서 하베스터나 프로세서 등 고성능 임업기계에 의해 작업이 실시되고 있다. 기계화의 목적은 ① 생산성 향상 ② 생산코스트 경감 ③ 중노동으로부터 해방이며, 임업기계와 운용자의 관계는 맨, 머신시스템을 형성한다.

한편 로망은 원목이나 사람, 기계 등을 수송하는 기본적인 시설일 뿐만 아니고, 산림과 산림, 산림과 도시를 연결하는 접근 수단이며 적절한 산림시업을 수행하기 위한 중요한 통로이다. 또한 로망은 임산물 반출이나 각종 자재, 기계 등의 반입에 빼 놓을 수 없는 시설이다. 로망의 종류는 공도와 같이 높은 규격을 가진 것부터 집재로와 같은 저규격까지 다양하다. 무엇보다 로망은 기계작업을 수행하기 위한 장소이기도 하다.

적정 임업기계를 선택하기 위해서는 지형조건과, 지리조건, 임분조건 등 여러 조건을 고려하여 작업기를 선택하고 작업시스템을 적용한다.

가. 기계 선택

적정 임업기계를 선택하는 주요 사항은 먼저 목표로 하는 작업의 전제 조건과 작업에 필요한 기능을 파악하는 것이며 두 번째는 기계의 카탈로그 데이터에서 작업조건과 기능에 맞는 장비의 제원을 이해하는 것이며 세 번째는 현재 같은 분류의 기계군 중에서 해당되는 기계를 준비하는 것이다. 기계를 선택할 때에 벌목조재기계로는 기계구조상의 기능 구분이 선택기준이 된다. 집재기계에는 임지경사 또는 집재방식 등에 작업조건의 구분이 선택기준이 된다.

예를 들어 벌목조재기에서 벌목이 필요한지 필요하지 않는지에 따라 먼저 구분하고 벌목이 필요하면 이를 다시 조재기능이 필요한지 필요하지 않은지에 따라 하베스터와 펠러번처 중에서 선택하며 벌목이 필요한지 하지 않은지에 있어서 이를 다시 지타기능이 필요한지 하지 않은지의 여부에 따라 프로세서와 그래플 쏘에서 임업기계를 선택한다.

또한 집재기계 선택은 임지보전의 적부에 의해 임내 주행로의 개설이 가능한가, 불가능한가를 판단하고, 개설이 가능하다면 차량계 임업기계, 불가능하면 가선계 집재기계가 선택된다. 다음으로 차량계 집재기계로는 집재방식의 선택 기준이 되는데 일반적으로 개벌 등 집재량이 많은 작업에는 스키더에 의한 전간, 전목의 집재가 능률적이지만 집재량이 적은 간벌작업이나 주행로의 규격, 구조상의 제약이 있는 경우에는 포워더를 선택하게 된다. 한편, 가선계 기계로는 집재거리가 선택 기준이 되는데 비주삭식 타워야더는 설치, 철거시간이 짧아 집재량이 적은 장소에서는 적합하지만 집재기 구조상 최대 스팬 길이가 200m정도나 그 이상의 집재거리에서는 주삭식 기계를 선택하게 된다. 이를 모식도로 나타내면 <그림 3-2-47>과 같다.

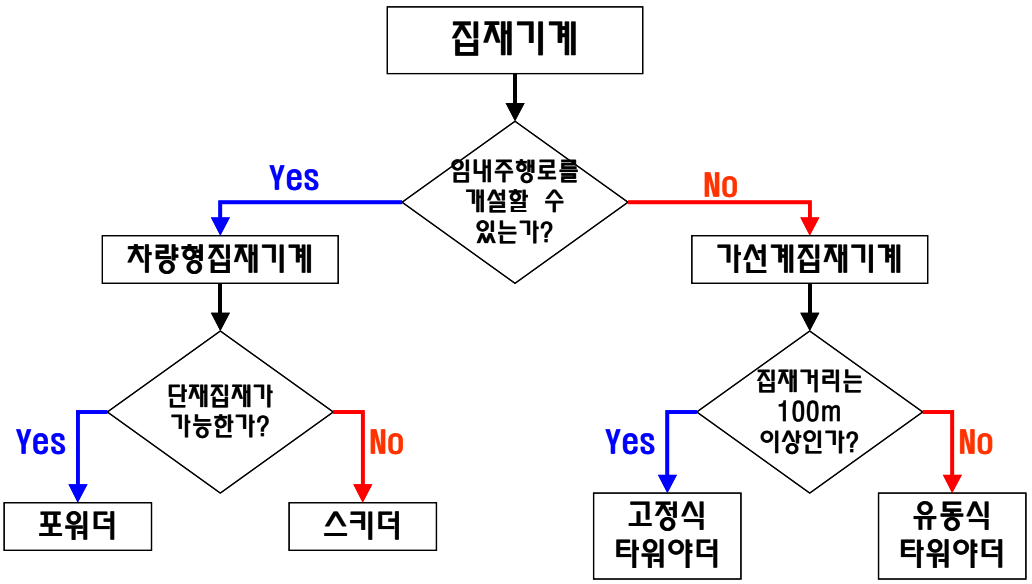


그림 3-2-47. 집재기계 선택 모식도

나. 작업시스템 분류

가선계 임업기계를 이용하는 작업시스템은 완경사지 보다는 중경사지 이상에서 주로 활용한다. 그 중에서도 임도 밀도가 낮고 경사가 급한 산악지형에 주로 적용하며 가선계 임업기계를 이용한 작업시스템은 <표 3-2-55> 및 <표 3-2-56>이다. 다만 여기에 나타난 내용은 기종과 오퍼레이터, 사용자의 의지에 따라 많은 변화를 가져올 수 있고 다양한 방법으로 작업이 가능하다.

표 3-2-55. 중경사지(경사 30~60%) 적용 작업시스템

규모	작업형태	벌목	조재	집재	조재	운반
소	함200, 타워야더	체인톱		함200, 타워야더	-	포워더
대	함200, 타워야더	체인톱		함200, 타워야더	-	포워더

표 3-2-56. 급경사지(경사 60% 이상) 적용 작업시스템

규모	작업형태	벌목	**집재**	조재	운반
소	라디캐리	체인톱	**라디캐리**	체인톱	포워더
	함200	체인톱	**함200**	체인톱	포워더
대	타워야더+프로세서	체인톱	**타워야더**	프로세서	포워더
	타워야더+그래플쏘	체인톱 (벌목, 지타)	**타워야더**	그래플쏘 (토막내기)	포워더

제 3절 소형임업기계를 이용한 목재수확작업에서 지형조건에 따른 작업부담 평가모델의 개발

1. 차량계 임업기계를 이용한 간벌 소경재 반출 작업의 요소작업 분류 및 작업부담 측정

가. 농림업노동자의 객관적인 작업부담 평가방법의 검토

1) 연구방법

가) 문헌조사

한국인과 체력조건이 비슷한 일본과 인간공학적 연구가 발전되어 있는 미국 등을 중심으로 문헌을 조사하여, 체력의 평가방법 또는 체력의 추정방법을 검토하였다. 특히 체력측정에 필요한 최대심박수의 추정식에 대해서는 김재원(2003)이 조사한 24명의 한국인 임업노동자의 최대하부하실험시 최대심박수와 문헌조사를 통해 조사된 추정식을 비교하여 한국인 임업노동자의 최대심박수 추정에 적합한 식을 검토하였다.

나) 피험자 선정

과거 심근계 및 근 골격계에 중대한 질병을 경험한 적이 없는 20~30세의 남성 3명을 피험자로 선정하였다. 피험자 J.S.C.는 33세, 체중 70kg, 신장 169cm, 피험자 S.J.M은 29세, 체중 77kg, 신장 181cm, 피험자 J.Y.J.은 28세, 체중 83kg, 신장 177cm이다.

다) 체력 추정식과 스텝테스트의 결과 비교

문헌조사를 통하여 결정된 체력추정식과 스텝테스트의 적정 부하실험의 결과를 상호 비교하여 현장에서 손쉽게 피험자의 체력을 추정할 수 있는 방법을 제안하였다.

스텝테스트의 적정 부하는 다음과 같이 생각할 수 있다. 스텝테스트를 이용하여 인공적으로 부하를 가할 경우에 부하의 크기는 스텝테스트용 벤치의 높이와 승하강 회수, 그리고 테스트시간에 의해 결정된다. 본 연구의 목적은 현장에서 작업 직전에 기준부하

테스트를 실시하여 작업당일의 작업부담을 측정하는 것을 목표로 하기 때문에 가능한 범위 내에서 부하를 적게 가하여야 한다. 그러나 심박수는 분당 110회를 넘지 않는 경우에 심리적인 요인의 영향을 받을 가능성이 있으므로(山地, 1981), 최소한 분당 110회의 작업부담이 발생할 수 있는 작업부하를 가해야 할 필요성이 있다. 즉 심박수를 기준으로 작업부하가 110을 넘으면서 작업원의 신체에 큰 무리를 가하지 않는 범위 내에서 체력을 측정할 수 있는 범위를 제시하여야 한다.

2) 농림업노동자의 객관적인 작업부담 평가방법의 검토결과

가) 심박수를 이용한 작업강도평가방법에 대한 검토

심박수의 증가량만으로 작업부하를 비교할 경우에는 피험자의 체격, 연령, 평소 운동량의 정도 등에 영향으로 인한 개인차가 생길 수 있으므로 이러한 개인차를 최소화하기 위하여 작업당시의 절대적인 심박수(Absolute heart rate)보다는 상대적인 심박수(Relative heart rate)가 많이 사용되고 있다. 상대적 심박수로는 심박수준(%HRmax), 심박수증가율(Increase heart rate)과 작업강도지수(Work load index)가 작업강도지수의 평가지표로서 널리 사용되고 있다.

(1) 심박수증가율(IHR; Increase Heart Rate)

심박수증가율은 식(1)과 같이 작업부담의 지표인 심박수의 증가량을 안정시심박수에 대한 백분율로 표시한 것으로 가장 범용적인 작업강도 평가 지표이다.

$$IHR = \frac{HRw - HRr}{HRr} \times 100 \quad \cdots\cdots (1)$$

IHR : 심박수증가율(%)

HRw : 작업시 심박수(beat/min)

HRr : 안정시 심박수(beat/min)

심박수증가율을 측정하여 작업강도를 평가하기 위하여 汁(1969)은 <표 3-3-1>과 같은 분류체계를 제작하였다.

표 3-3-1. 심박수증가율에 의한 작업강도 분류

심박수증가율(%)			작업강도의 분류
	~	33	Light Work
33	~	67	Moderate Wokr
67	~	100	Heavy Work
100	~	133	Very Heavy Work
133	~		Extremely Heavy Work

(2) 작업강도지수(WLI; Work Load Index)

심박수증가율은 작업으로 인한 심박수 증가분을 안정시 심박수에 대비하여 절대적인 수치로 표시한 것이다. 따라서 작업원이 여러 가지의 작업을 수행할 때 각각의 작업이 갖는 작업강도를 비교하여 평가할 수는 있지만 작업능력이 다른 작업원과의 직접적인 비교에는 다소 어려움이 따른다. 이러한 개개인의 능력차이를 보정하고자 제시된 방법이 작업강도지수이다. 작업강도지수는 식(2)와 같이 개개인의 최대심박수에서 안정시 심박수를 뺀 여유심박수(Heart rate reserve)에 대한 심박수증가량을 백분율로 표시한 것이다. 작업강도지수를 산출하기 위해서는 안정시 심박수와 최대심박수를 구하여야 한다.

$$WLI = \frac{HRw - HRr}{HRmax - HRr} \times 100 \quad \cdots\cdots (2)$$

WLI : 작업강도지수(%),

HRw : 작업시 심박수(beat/min), HRr: 안정시 심박수(beat/min)

HRmax : 최대심박수(beat/min), HRmax - HRr : 여유심박수

독일을 중심으로 한 유럽직역에서는 지속적으로 작업이 가능한 작업강도의 한계를 작업강도지수의 40%로 정하여 사용하고 있다.

(3) 심박수준(%HRmax)

심박수준은 작업시 심박수가 최대심박수의 몇 %인가로 작업부하를 나타내는 방법이다. 작업강도 보다는 재활의학이나 운동처방에서 목표운동량을 설정하는 지표로 많이 사용하고 있다.

$$\%HRmax = \frac{HRw}{HRmax} \times 100 \quad \cdots\cdots (3)$$

%HRmax : 심박수준(%), HRw : 작업시 심박수(beat/min)

HRmax : 최대심박수(beat/min)

(4) 노동이행능력한계점(DLG; Dauerleistungsgrenze)

노동이행능력한계점은 안정시심박수에 40을 더한 값을 말한다. 작업강도가 독일에서는 노동이행능력한계점을 넘어서는 경우에는 휴식시간을 늘이거나 추가임금을 지급하는 방법이 널리 사용되고 있다.

$$DLG = HRr - 40 \quad \cdots\cdots (4)$$

DLG : 노동이행능력한계점(beat/min), HRr : 안정시 심박수(beat/min)

(5) 지속작업 한계능력

지속작업 한계능력은 식 5와 같이 최대심박수에서 안정시 심박수를 뺀 값에 40을 곱한 값을 말한다. 지속적으로 작업을 할 수 있는 한계능력을 말한다.

$$\text{지속작업한계능력} = (HRmax - HRr) \times 40 \quad \cdots\cdots (5)$$

HRmax : 최대심박수(beat/min), HRr: 안정시 심박수(beat/min)

나) 최대심박수 추정방법에 대한 검토

전술한 바와 같이 작업강도의 평가를 위해서는 작업시심박수와 더불어 안정시심박수와 최대심박수를 정확하게 구하는 것이 중요하다. 작업시심박수는 측정기기의 발달로 인하여 경량의 측정장비를 피험자의 신체에 설치하는 것만으로 손쉽게 측정이 가능하지만, 안정시심박수와 최대심박수는 측정이 간단하지 않고 다양한 측정방법이 사용되고 있다.

최대심박수는 피험자의 심장이 가장 빠르게 움직이고 있는 한계상황의 심박수를 의미한다. 즉, 피험자가 사점(死點)에 도달한 상태의 심박수를 말하는데, 일반적으로 최대심박수는 최대산소섭취량보다 먼저 나타나므로 정확한 의미로는 다소간의 차이를 보이지

만 최대산소섭취량 상태에서의 심박수로 정의되기도 한다. 즉, 정확하게 최대심박수를 측정하기 위해서는 피험자가 작업이 가능한 한계상황까지 작업을 하여, 그 때의 심박수를 측정하지 않으면 안된다. 그러나 이러한 최대부하작업의 경우, 실험 중 피험자가 사망할 위험성이 1/3,000의 확률로(山地, 2001) 존재하기 때문에 의사의 감독을 필요로 하며, 피험자가 최대심박수에 도달하기 전에 작업을 중단하여 과소치가 발생하기 쉽다.

이러한 이유로 최대하부하(Sub maximal work load) 상태에서 심박수를 간접적으로 추정하는 방법이나 추정식을 이용하는 방법이 사용되고 있다. <표 3-3-2>에는 현재 널리 사용되고 있는 최대심박수의 추정식을 제시하였다.

표 3-3-2. 최대심박수의 추정식

발표자	추정식	발표 연도	성별	약자
Binkhorst etl.	Y = -0.69X + 204	1966	구분 없음	A
Davies etl.	Y = -0.65X + 210	1968	구분 없음	B
Sheffield etl.	Y = -0.5X + 210	1969	구분 없음	C
American Heart Association	Y = -X + 220	1972	구분 없음	D
Wolthuis etl.	Y = -0.69X + 204	1977	구분 없음	E
Barnard etl.	Y = -0.72X + 205	1979	구분 없음	F
Drinkwater and Horvath	Y = -0.78X + 209	1979	구분 없음	G
Drinkwater and Horvath	Y = -0.8X + 210		구분 없음	H
Ichikawa and Miyashita	Y = -0.69 + 209		남	I
Ichikawa and Miyashita	Y = -0.75 + 205		여	J

최대심박수에 영향을 미치는 인자는 매우 다양하게 존재하지만 그 중 최대심박수에 미치는 영향 이 큰 인자는 연령과 성별, 그리고 평상시의 운동상태이다. 가장 일반적인 최대심박수의 추정식은 연령을 이용하여 최대심박수를 추정하는 방법으로서 1960~70년대를 중심으로 연령증가에 따른 최대심박수 변화에 대한 연구를 바탕으로 다양한 종류의 추정식이 제시되었다.

한국인 작업자를 대상으로 최대부하실험의 결과와 추정식의 결과를 상호비교하기 위하여 김재원(2003)이 조사한 24명의 한국인 임업노동자의 최대하부하실험시 최대심박수와 <표 3-3-2>에서 제시한 추정식을 이용하여 구해진 최대심박수의 적합도를 식 3

과 4의 표준오차(Standard Error)와 (Relative Percentage Deviation)를 이용하여 분석하였다.

$$\text{Standard Err } \sqrt{\sum \frac{(Y - Y')^2}{df}} \quad \cdots\cdots (3)$$

$$\text{Relative Percentage Deviation } \frac{100}{N} \sum \frac{(Y - Y')^2}{Y} \quad \cdots\cdots (4)$$

N : 자료의 수, Y : 추정치, Y′ : 실측치, df : 자유도

<표 3-3-2>의 최대심박수 추정식에 의한 추정치와 한국인 임업노동자 24명을 대상으로 김재원(2003)이 측정한 최대심박수별 표준오차의 결과를 <그림 3-3-1>과 <표 3-3-3>에 나타내었다.

표 3-3-3. 최대심박수 추정식과 실측치의 표준오차와 RPD

약자	발표자	추정식	S.E	R.P.D.
A	Binkhorst etl.	Y = -0.69X + 204	10.12	56.69
B	Davies etl.	Y = -0.65X + 210	11.70	73.20
C	Sheffield etl.	Y = -0.5X + 210	16.49	140.03
D	American Heart Association	Y = -X + 220	9.95	53.93
E	Wolthuis etl.	Y = -0.69X + 204	10.12	56.69
F	Barnard etl.	Y = -0.72X + 205	10.13	56.80
G	Drinkwater and Horvath	Y = -0.78X + 209	9.83	53.22
H	Drinkwater and Horvath	Y = -0.8X + 210	9.80	52.90
I	Ichikawa and Miyashita	Y = -0.69X + 209	10.45	59.18
J	Ichikawa and Miyashita	Y = -0.75X + 205	-	-

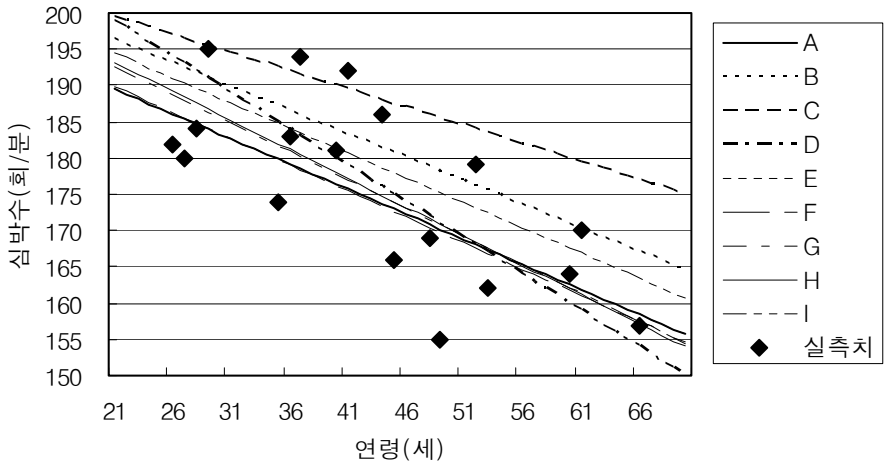


그림 3-3-1. 최대심박수의 추정치와 실측치의 비교

표준오차와 RPD를 이용한 결과 공통적으로 Drinkwater and Horvath가 제시한 식(G, H)과 미국 심장협회가 제시한 식(D)의 적합도가 높게 조사되었다. 앞으로의 연구에서는 최대심박수를 추정할 때에 Drinkwater and Horvath가 제시한 식(G, H)과 미국 심장협회가 제시한 식(D)을 사용하는 것이 작업강도평가에 더 유용할 것으로 판단된다.

다) 스텝테스트를 이용한 기준부하 선정방법에 대한 문헌 검토

본 연구의 목적은 현장에서 작업 직전에 기준부하테스트를 실시하여 작업당일의 작업부담을 측정하는 것을 목표로 하기 때문에 가능한 범위 내에서 부하를 적게 가하여야 한다. 그러나 심박수는 분당 110회를 넘지 않는 경우에 심리적인 요인의 영향을 받을 가능성이 있으므로(山地, 1981), 최소한 분당 110회의 작업부담이 발생할 수 있는 작업부하를 가해야 할 필요성이 있다. 즉 심박수를 기준으로 작업부하가 110을 넘으면서 작업원의 신체에 큰 무리를 가하지 않는 범위 내에서 체력을 측정할 수 있는 범위를 제시하여야 한다.

문헌조사의 결과, 金浩春 등(1998)의 연구에 의하면 18명의 피험자를 대상으로 다양한 승강대의 높이와 반복시간을 조합하여 스텝테스트의 적정부하에 관한 한 실험을 통하여 3분간 30cm의 승강대를 20회/분의 속도로 오르내리는 것이 피험자의 앙케이트 조사결과 가장 피로를 적게 느끼는 것으로 조사되었다. 이때의 피험자의 심박수는 분당

120~150회로서 정신적 피로의 영향을 받는 범위인 분당 110회를 넘기 때문에 피험자가 가장 적은 피로를 느끼면서 정신적 피로의 영향을 받지 않는 체력검사 방법임을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서도 현장실험에 있어서는 30cm×20회/분의 방법으로 피험자의 체력을 평가하였다.

본 실험에 참여한 3명의 피험자에 대하여 위에서 검토한 추정식을 이용하여 최대심박수를 추정한 결과를 <표 3-3-4>에 나타내었다.

표 3-3-4. 피험자의 최대심박수

피험자	연령	체중 (kg)	신장 (cm)	추정식 D	추정식 G	추정식 H
J.S.C.	33	70.0	169	187	183.26	183.6
S.J.M.	29	77.4	181	191	186.38	186.8
J.Y.J.	28	83.0	177	192	187.16	187.6

라) 체력 추정식과 스텝테스트의 결과 비교

최대심박수의 추정식 D, G, H를 이용하여 피험자의 최대심박수를 추정한 결과와 스텝테스트를 이용한 방법으로 최대심박수를 측정한 결과를 비교하기 위하여 위에서 검토한 방법과 같이 30cm×20회/분의 속도로 3분간 스텝테스트 실험을 실시하였으며, 3회 반복 측정하였다

위에서 살펴본 바와 같이 농림업 작업자에 대한 작업능력의 평가는 기본적으로 작업당일의 환경조건(의복내 온도, 습도, 대기환경, 심리적환경)과 작업자의 체력환경조건(건강 및 영양상태)에 따라 다르게 나타나므로, 작업 전 작업현장에서 스텝테스트를 통하여 작업능력을 평가하고 그 값을 바탕으로 작업강도를 측정할 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한 작업의 특성상 작업 전에 작업능력의 평가가 어려운 경우에는 위에서 제시한 3개의 식을 이용하여 작업능력을 추정하는 것이 기존에 널리 사용되던 미국 심장협회의 추정식보다 더 유용할 것으로 판단된다.

나. 차량계 임업기계를 이용한 목재수확작업의 작업부담 평가

1) 와이어로프 견인작업시 견인장력의 측정 방법

소경재 목재수확에 널리 사용되고 있는 소형 차량계 임업기계(임내작업차)를 이용한

목재수확작업의 작업부담을 평가하기 위하여 와이어로프 견인작업시 견인장력을 측정하였다. 와이어로프 견인장력의 측정실험은 인공사면에서 3명의 피험자를 대상으로 조사하였다. 인공사면은 높이가 8m이며 10°의 사면장 45m, 20°의 사면장 23m, 30°의 사면장 17m이다. 산지경사를 고려하여 각각 사면경사가 0, ±10, ±20, ±30도 조건에서 집재거리별로 와이어로프를 견인하는 작업에 사진 1과 같이 로드셀을 이용하여 와이어로프 견인시 장력을 측정하였다. 측정에 사용한 와이어로프는 임내작업차 등에 소형윈치에서 널리 사용되고 있는 8mm 랑꼬임 와이어로프를 사용하였다. 로드셀을 이용하여 측정한 견인장력은 연속적으로 데이터 로거에 기록하여 평가하였다.

그림 3-3-2. 로드셀을 이용한 와이어로프 견인 장력 측정 실험의 전경

2) 와이어로프 견인 작업시 견인장력의 측정결과

경사도별 견인장력을 평가하기 위하여 30°, 20°, 10°의 경사지 내리막의 윈칭작업시 견인장력을 측정한 결과는 <그림 3-3-3>, <그림 3-3-4>, <그림 3-3-5>, <그림 3-3-6>에 나타내었다.

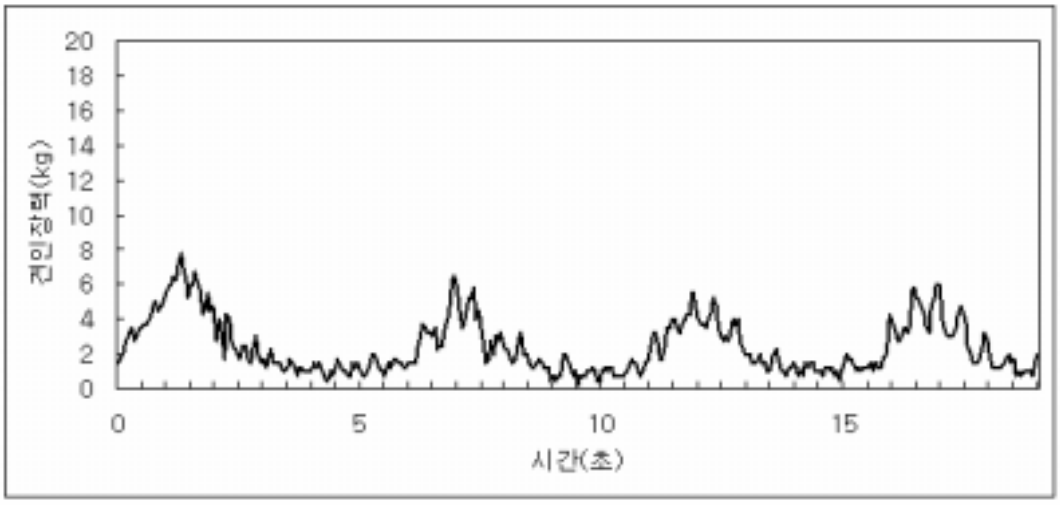


그림 3-3-3. 30° 내리막에서 견인시간별 견인장력 변화

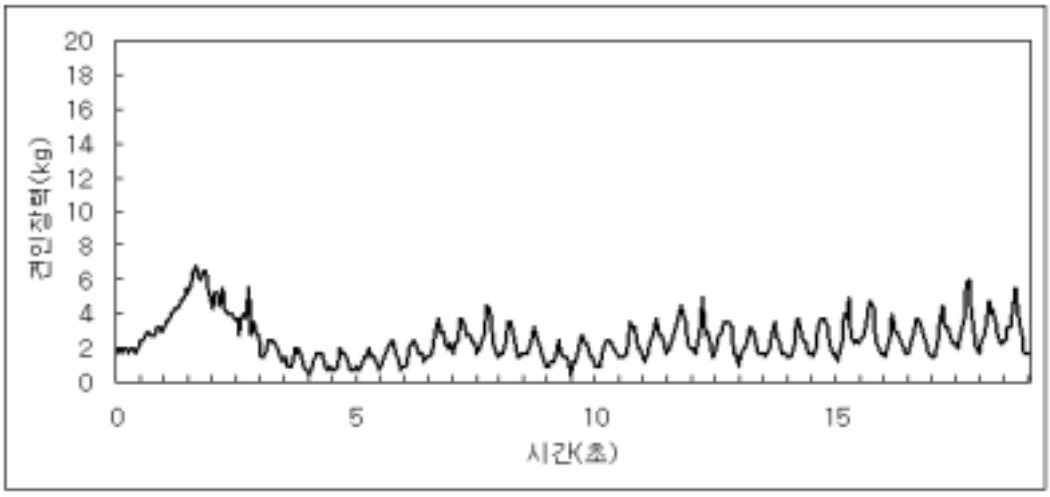


그림 3-3-4. 20° 내리막에서 견인시간별 견인장력 변화

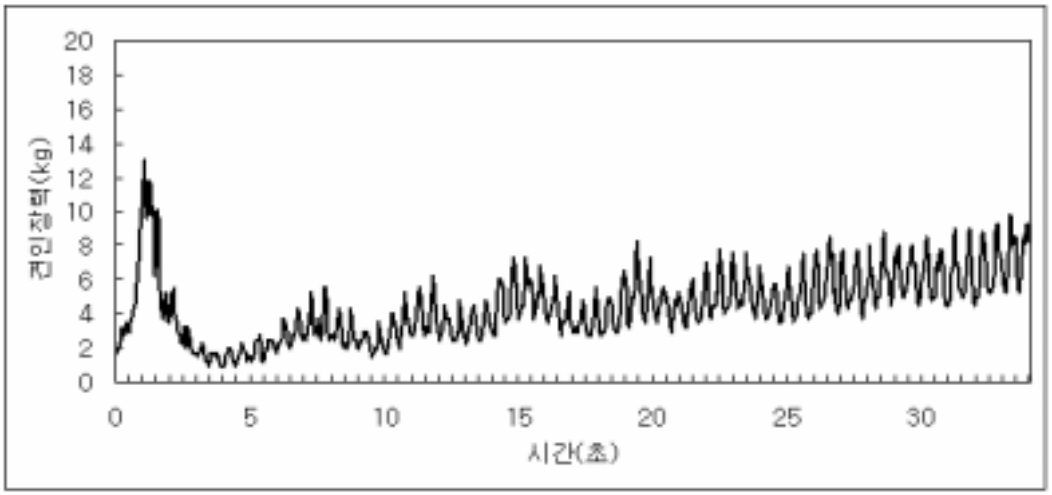


그림 3-3-5. 10° 내리막에서 견인시간별 견인장력 변화

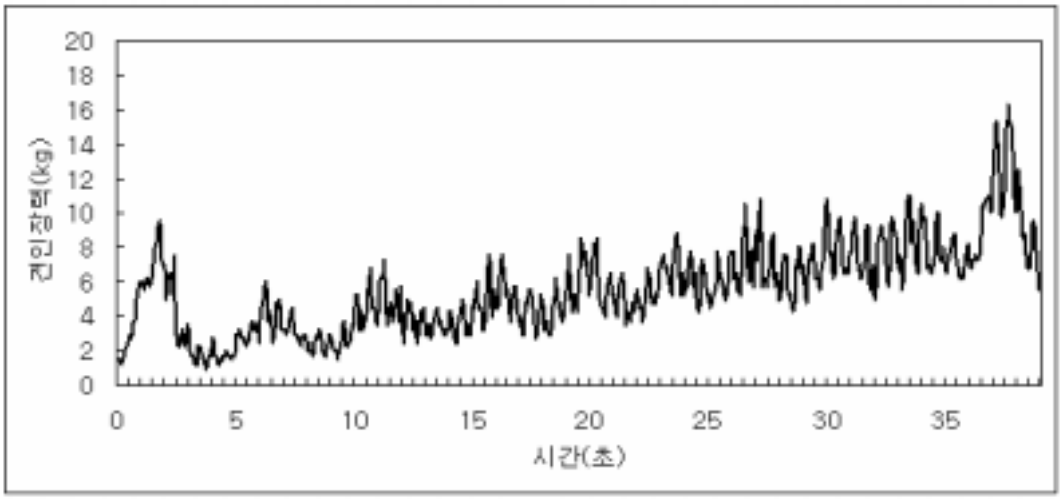


그림 3-3-6. 평지에서 견인시간별 견인장력의 변화

30° 내리막 윈칭의 경우, 처음 출발시에 정지되어 있는 와이어로프를 끌기 위하여 견인장력의 피크를 보이고 난 후에 와이어로프의 무게에 의해서 견인장력이 줄어들다가 다시 피크를 보이는 경향을 보이고 있다. 20°, 10° 내리막과 평지의 경우는 처음에 피크를 보이는 경향이 30° 내리막과 동일하지만, 그 뒤로는 완만하게 전체 견인시간에 걸쳐서 증가하는 경향을 보이고 있다. 그 이유는 견인거리 증가에 따라 견인해야 하는 와이어로프의 길이가 길어져서 견인해야 하는 무게가 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 와이어로프 풀기 작업은 보행과 와이어로프의 견인이 동시에 이루어지는 작업이므로,

윈칭거리가 멀어짐에 따라 작업강도도 증가하게 된다. 따라서 작업부담의 평가를 통한 경사도별 적정 윈칭거리를 산정하여 제시할 필요가 있을 것으로 판단된다.

경사도별로 최대 견인장력과 평균 견인장력을 <그림 3-3-7>, <그림 3-3-8>에 나타내었다. 내리막 경사지에서 경사도 별 최대견인장력과 평균 견인장력의 변화는 경사가 급해질수록 견인장력이 낮아지는 음의 상관관계를 보이는 것으로 조사되었다. 동일한 작업거리에 대하여 견인장력에 따른 작업부하는 경사도가 높아질수록 낮아지고, 보행에 따른 작업부하는 높아지기 때문에 두 가지 점을 고려하여 경사도별 적정 윈칭거리를 산정할 필요가 있을 것이다.

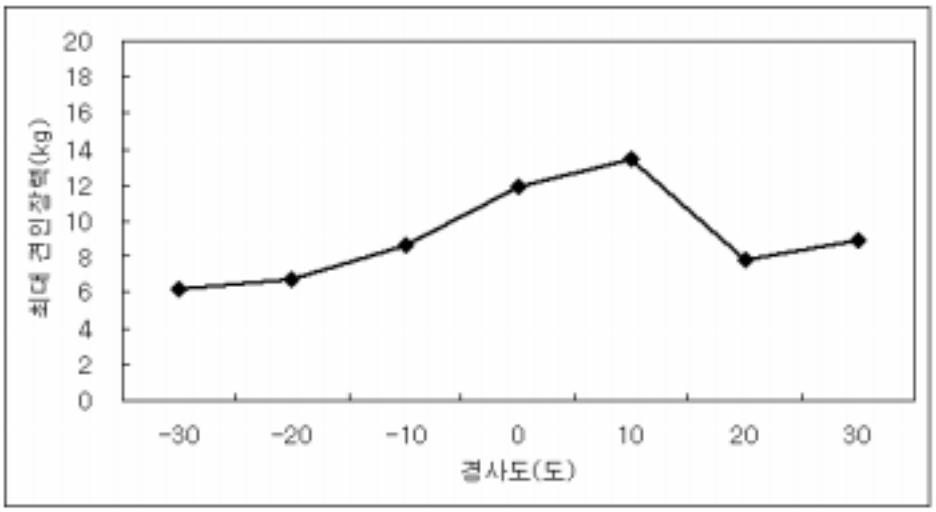


그림 3-3-7. 경사도별 최대 견인장력

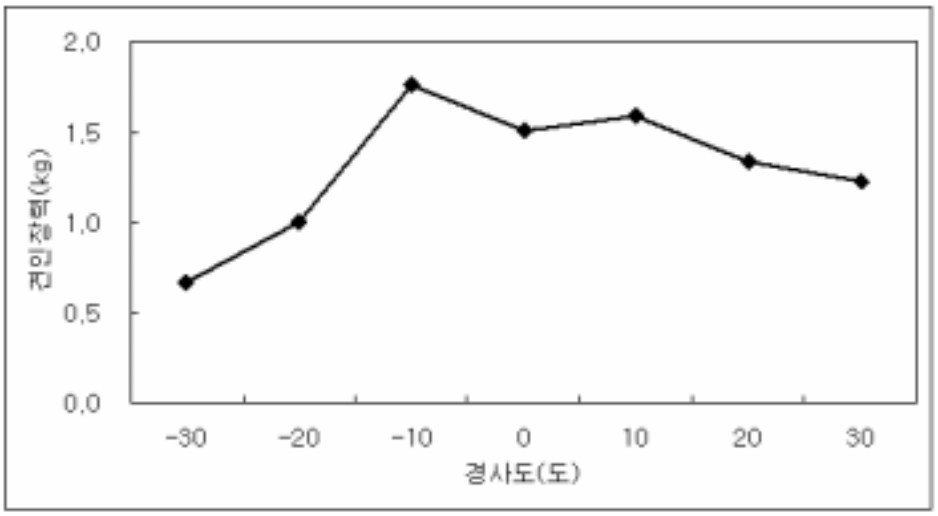


그림 3-3-8. 경사도별 평균 견인장력

다. 와이어로프 견인작업과 보행작업의 작업부담 평가실험

1) 와이어로프 견인작업과 보행작업의 작업부담 평가실험 방법

소경재 목재수확에 널리 사용되고 있는 소형 차량계 임업기계(임내작업차)를 이용한 목재수확작업의 작업부담을 평가하기 위하여 와이어로프 견인작업시의 작업부하를 측정하였다. 임내작업차를 이용한 집재작업은 2인 1조의 작업시스템이 일반적이다. 조작수는 윈치를 조작하며 초커맨은 와이어로프를 집재대상물이 있는 곳까지 견인하는 작업과, 초커설치작업 그리고 윈칭 중에는 임내작업차가 있는 곳까지 보행하는 작업을 한다.

본 실험에서는 윈치견인작업과 보행작업에 대하여 심박수를 측정하여 작업부담을 평가하였다. 심박수의 측정은 와이어로프 견인장력의 측정실험과 마찬가지로 인공사면에서 3명의 피험자를 대상으로 조사하였다. 인공사면은 높이가 8m이며 10°의 사면장 45m, 20°의 사면장 23m, 30°의 사면장 17m이다. 산지경사를 고려하여 각각 사면경사가 0, ±10, ±20, ±30도 조건에서 집재거리별로 와이어로프를 견인하는 작업과 보행작업에 대하여 작업부담을 평가하였다. 작업부담은 작업시 심박수를 측정하여 평가하였다. 심박수의 측정은 무선식 심박수측정기를 이용하여 연속적으로 측정하였다.

2) 와이어로프 견인작업과 보행작업의 작업부담 평가실험 결과

8mm 랑꼬임 와이어로프를 이용한 집재작업에 있어서 와이어로프 견인작업시의 작업강도의 측정결과를 <표 3-3-5>에 나타내었다. 작업강도지수의 경우 40%를 넘으면 지

속적인 작업이 불가능한 것으로 평가하고 있으나 사면경사 10°, 보행거리 45m, 사면경사 20°, 보행거리 23m의 작업조건과 사면경사 30°, 보행거리 17m의 작업조건에서 작업강도지수가 각각 49.1%, 55%, 60.8%로 조사되었다. 경사면 위로 로프를 견인해야 하는 하향집재작업에서는 로프의 견인작업 만으로도 지속적인 작업이 불가능한 것으로 조사되어, 하향집재작업은 피해야 할 것으로 판단된다. 또한 심박수증가율을 계산한 결과, 사면경사 10°, 보행거리 45m, 사면경사 20°, 보행거리 23m의 작업조건과 사면경사 30°, 보행거리 17m의 작업조건의 심박수증가율은 각각 87.8%, 98.3%, 10.8%로 조사되어 매우 힘든 노동(Very Heavy Work)으로 분류되었다. 또한 사면경사 -10°, 보행거리 45m, 사면경사 -20°, 보행거리 23m, 사면경사 -30°, 보행거리 17m의 작업조건과 사면경사 0°, 보행거리 50m의 작업조건의 경우는 힘든 노동(Heavy Work)으로 분류되었다.

표 3-3-5. 와이어로프 견인작업시 작업강도

사면경사 (도)	와이어로프 견인작업 거리 (m)	와이어로프 견인작업의 평균작업시간 (초)	평균심박수 (회／분)	작업강도지수 (%)	심박수 증가율 (%)
-30	17	196.7	102.1	23.0	50.2
-20	23	201.0	108.7	28.1	50.2
-10	45	351.6	116.2	33.9	60.7
0	50	383.7	114.5	32.6	58.3
+10	45	377.8	135.9	49.1	87.8
+20	23	219.3	143.4	55.0	98.3
+30	17	214.7	151.0	60.8	1.8.8

보행작업시의 작업강도를 <표 3-3-6>에 나타내었다. 작업강도지수의 경우 40%를 넘으면 지속적인 작업이 불가능한 것으로 평가하고 있다. 사면경사 20°, 보행거리 23m의 작업조건과 사면경사 30°, 보행거리 17m의 작업조건에서는 작업강도지수가 48.8%와 58.1%로 조사되어 두 개의 작업조건에 대해서는 보행만으로도 지속적인 작업이 불가능한 것으로 조사되었다. 사면경사 10°, 보행거리 45m의 작업조건에서도 작업강도지수가

39.9%로 지속가능한 작업한계에 매우 근접한 값을 나타내었다. 심박수증가율에 있어서도 사면경사 10°, 보행거리 45m의 작업조건과 사면경사 20°, 보행거리 23m의 작업조건에서 각각 70.8%와 87.3%로 조사되어 힘든 노동(Heavy Work)으로 분류되었으며, 사면경사 30°, 보행거리 17m의 작업조건의 경우는 심박수증가율이 103.9%로 매우 힘든 노동(Very Heavy Work)으로 분류되었다.

표 3-3-6. 보행작업시 작업강도

사면경사 (도)	보행작업 거리 (m)	보행작업의 평균작업시간 (초)	평균심박수 (회／분)	작업강도지수 (%)	심박수증가율 (%)
-30	17	163.0	100.7	21.9	39.2
-20	23	177.1	104.6	24.9	44.6
-10	45	310.2	114.9	32.9	58.9
0	50	370.4	115.4	33.3	59.5
+10	45	377.8	123.6	39.6	70.8
+20	23	219.3	135.5	48.8	87.3
+30	17	214.7	147.5	58.1	103.9

라. 차량계 임업기계를 이용한 집재작업의 작업부담 평가

1) OWAS분석기법을 이용한 차량계 임업기계 집재작업의 작업부담 평가방법

차량계 임업기계를 이용한 집재작업에 대하여 와이어로프 풀기 및 초커설치, 인력 중심의 목재 상·하차 작업에 대하여 작업부담을 평가하였다. 차량계 임업기계의 작업부담 평가는 현장에서 기준부하 평가와 작업시의 심박수 측정과 더불어 OWAS분석기법을 이용하여 작업자세를 분석하여 실시하였다. OWAS분석기법은 인력 상·하차작업과 같이 전신을 이용하여 중량물을 운반하는 인력물자취급에 적합한 작업자세 분석방법으로서 국내에서는 이준우와 박범진(2001)이 주요 숲가꾸기 작업에서 OWAS기법을 이용하여 작업자세로 인한 작업부하를 측정한 바 있다. OWAS기법의 분류 체계에서는 허리, 팔, 다리의 신체 부위에 대한 작업자세와 작업대상물의 무게 및 힘을 코드화하여 분류하고 있다. 이 분류체계가 가지는 다른 분류체계와의 차이점은 작업 자세 이외에

취급하는 작업물의 하중 및 힘(Effort)도 고려하고 있는 점이다. 이 기준에 의하여 작업자세를 모두 84가지로 나누었고, 여기에 하중/힘의 조건 3가지를 고려하면 모두 252개의 조합이 나온다. 이와 같이 4자리로 코딩된 결과를 바탕으로 전체 작업의 난이도를 구분하였다.

분석을 통한 평가방법은 크게 두 가지로 나뉜다. 먼저 신체부위별로 각 코드의 비율을 조사한다. 이는 각 신체부위별로 자세의 특성을 파악하기 위한 것이며, 이를 바탕으로 작업부하에 영향이 큰 신체부위를 판단할 수 있다. 둘째로는 각 작업자세를 4가지 작업수준으로 나눈 기준에 따라 분류하는 것이다. OWAS기법은 <표 3-3-7>과 같이 전체 작업자세를 근골격계에 미치는 영향에 따라 크게 4단계로 분류하고 있다. 이들 4가지 작업자세 수준 중, 작업수준 3과 4는 근골격계에 나쁜 영향을 미치는 자세로 시급한 조정이 필요한 것이다. 따라서, 작업수준 3과 작업수준 4의 비율이 높은 요소작업에 대해서는 적절한 개선책이 요구되어야 한다.

표 3-3-7. 작업자세 수준별 평가내용

작업자세 수준	평가내용
수준 1	근골격계에 특별한 해를 끼치지 않음. 작업자세에 아무런 조치도 필요치 않음.
수준 2	근골격계에 약간의 해를 끼침. 가까운 시일 내에 작업자세의 교정이 필요함.
수준 3	근골격계에 직접적인 해를 끼침. 가능한 빨리 작업자세를 교정해야 함.
수준 4	근골격계에 매우 심각한 해를 끼침. 즉각적인 작업자세의 교정이 필요함.

2) OWAS분석기법을 이용한 차량계 임업기계 집재작업의 작업부담 평가결과

OWAS기법을 이용하여 집재작업의 작업자세를 측정하였다. 전체 집재작업에 대한 작업자세 코드를 <표 3-3-8>에 나타내었다,

표 3-3-8. 임내작업차를 이용한 집재작업의 작업자세 코드

신체부위 및 하중	코드별 비율							계
	1	2	3	4	5	6	7	
허리	30.5%	55.1%	8.9%	5.5%	-	-	-	100%
상지	97.5%	2.5%	0.0%	-	-	-	-	100%
하지	8.6%	5.8%	28.0%	4.0%	16.3%	1.2%	36.0%	100%
하중	84.0%	0.9%	15.1%	-	-	-	-	100%

허리의 경우, 코드 1(똑바로 선 경우)이 30.5%, 코드 2(앞 또는 뒤로 굽히는 경우)가 55.18%, 코드 3(비틀거나 옆으로 굽히는 경우)이 8.9%, 코드 4(앞이나 뒤로 굽힌 상태에서 옆으로 굽히거나 비트는 경우)가 5.5%로 조사되었다. 상지의 작업코드는 코드 1(양팔이 모두 어깨 높이보다 아래에 위치)이 97.5% 코드 2(한 팔이 어깨보다 위에 위치)가 2.5%, 코드 3(양팔이 모두 어깨 높이보다 위에 위치)이 0.0%를 차지하였다. 하지의 경우는 코드 1(앉은 경우)이 8.6%, 코드 2(양발에 중심을 두고 똑바로 선 경우)가 5.83%, 코드 3(한쪽 발에 중심을 두고 똑바로 선 경우)이 28.0%, 코드 4(양발에 중심을 두고 무릎을 굽히고 선 경우)가 4.03%, 코드 5(한쪽발에 중심을 두고 무릎을 굽히고 선 경우)는 16.3%, 코드 6(한쪽 또는 양쪽 무릎을 바닥에 대고 있는 경우)은 1.2%, 코드 7(걷거나 이동하는 경우)은 36.0%로 조사되었다. 작업대상물의 무게(힘)의 경우는 코드 1(10kg 이하인 경우)이 84.0%, 코드 2(10kg에서 20kg)가 0.9%, 코드 3(20kg 이상)이 15.1%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 이상에서 보는 바와 같이 임내작업차를 이용한 집재작업은 상지에는 커다란 부하를 주지 않으나, 허리와 하지 중량을 중심으로 작업자세 개선의 여지가 있으며 특히 하지의 경우는 많은 개선을 요하는 것으로 판단된다.

차량계 임업기계를 이용한 집재작업의 주요 요소작업인 로프풀기 및 초킹작업과 목재상차작업에 대하여 작업자세 수준별 코드비율을 조사한 결과를 <표 3-3-9>에 나타내었다.

표 3-3-9. 작업 자세 수준별 코드비율

작 업 종	작업자세 수준			
	수준 1	수준 2	수준 3	수준 4
로프 풀기 및 초킹작업	34.5%	40.0%	21.2%	4.3%
목재 상차 작업	9.6%	5.8%	76.9%	7.7%

4가지 작업자세 수준 중, 작업수준 3과 4는 근골격계에 나쁜 영향을 미치는 자세로 시급한 조정이 필요한 작업을 의미한다. 로프 풀기 및 초킹작업과 비교하여 목재 상차 작업의 작업자세수준이 높게 조사되어, 전체적인 작업부하를 줄이기 위해서는 인력중심의 상차작업을 기계화 할 필요가 있는 것으로 판단된다.

2. 가선계 임업기계를 이용한 간벌 소경재 발출 작업의 요소작업 분류 및 작업부담 측정

가. 가선계 임업기계를 이용한 목재수확작업의 요소작업 측정

1) 가선계 임업기계를 이용한 목재수확작업의 요소작업 측정 방법

본 연구를 위한 작업은 경기도 포천군 소홀읍에 위치한 국립산림과학원 산림생산기술연구소내의 시험림에서 이루어졌다. 연구 대상지는 지난 60년대 초반 연구를 위한 잣나무 조림지로서 약 4영급의 임목이 성장하고 있으며, 흉고직경 약 14~32cm의 잣나무가 ha당 1,187본(120m3/ha)으로 밀식조림되어 수고생장이 주를 이루고 있다. 또한, 임지의 평균경사는 약 19%로서 일반적으로 가선계 임업기계를 비롯하여 차량형 임업기계 등 다양한 목재수확 장비를 투입할 수 있는 곳이다. 즉, 본 연구에서는 약 19%의 경사를 갖고, 지난 60년대 1,187본/ha으로 조림된 시험림에서 34본/ha의 제거목에 대해 실시한 간벌수확에 대해서 조사를 실시하였다.

간벌수확이 실시되는 작업대상지에서는 집재가 실시되기 이전에 이미 체인톱을 이용한 벌채작업을 실시하였다. 체인톱을 이용한 벌채작업시에는 집재방법과 집재방향을 고려하여 벌도방향을 미리 설정하였으며, 이에 따라 집재작업을 실시하였다. 또한, 벌도가 실시된 후에는 필요에 따라서 조재 작업을 실시하여 장재와 단재로 수확할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 실시한 집재방법은 첫 번째로 라디캐리를 이용한 집재방법과 두 번째로 다목적 집재차를 이용한 방법이다. 각각의 작업 방법은 다음과 같다.

가) 라디캐리

라디캐리는 자체동력을 갖고 있는 가선계 집재장비이다. 작업이 실시되기 전에는 이미 벌채와 가선설치 등이 끝난 상태로서 본 연구에서는 라디캐리를 이용한 실제 집재작업 시간만을 조사하였다. 작업은 조작수 1인과 초커 1인으로 하여 총 2인 1조로 구성되어 실시되었다. 사진 2는 임지내에서 라디캐리의 공주행 모습이다.

그림 3-3-9. 라디캐리를 이용한 집재

작업 방법은 이미 설치된 가선과 라디캐리에 대해 2인의 작업수를 배치하여 조작수가 라디캐리가 집재목 주변까지 주행하는 공주행, 초커가 로프를 집재목까지 끌고가는 로프끌기와 집재목을 고정시키는 초킹 작업을 실시한 후, 다시 조작수가 측방집재를 실시하고 적재주행을 마친 다음에 초커를 제거하는 방식으로 작업이 진행되었다. <그림 3-3-10>은 라디캐리를 이용한 집재작업의 순서도이다. 따라서 본 연구에서는 <그림 3-3-10>과 같이 요소작업에 대한 시간과 작업부하를 측정하였다. 그리고 작업을 실시하는데 있어서 준비시간과 지체/대기, 휴식시간을 별도로 측정하였다.

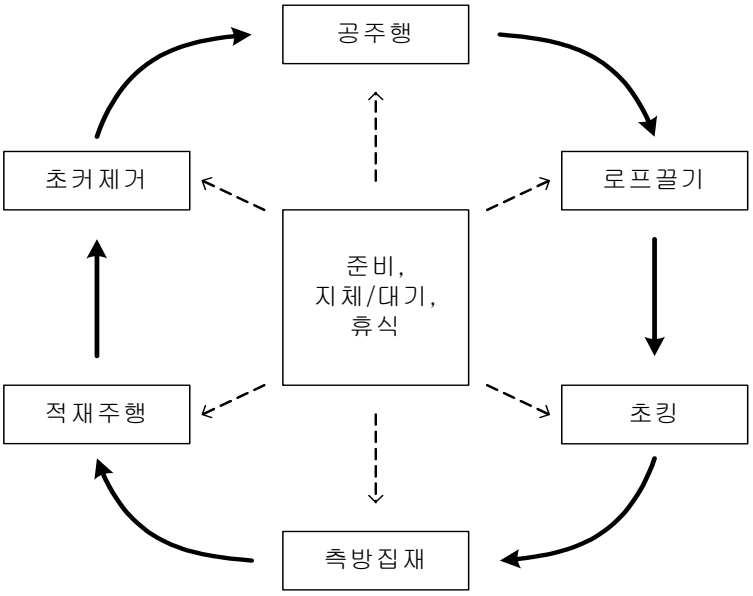


그림 3-3-10. 라디캐리를 이용한 작업 순서도

나) 다목적 집재차

다목적 집재차는 국립산림과학원에서 자체개발한 집재장비로서 타워야더와 드럼 등을 장착한 집재장비이다. 대표적인 작업방법은 차량을 임도변에 정차시킨 후, 타워와 가선을 설치한 후에 반기를 설치하여 집재작업을 실시하는 것이다.

그림 3-3-11. 다목적 집재차량을 이용한 집재방법

다목적 집재차량을 이용한 집재방법은 리모콘 조작수 1인과 초커 2인으로 구성되어 작업을 실시하였다. 그러나 본 연구에서는 리모콘 조작수의 경우 임도변에서 집재 장비의 리모콘을 작동시키는 단순 작업을 실시하기 때문에 작업부담이 크지 않으리라 판단되어 측정시에서 제외 하였다. 따라서 다목적 집재차량을 이용한 집재방법에서는 초커 2인에 대해서 작업부담을 측정하였다. 다목적 집재차량을 이용한 작업순서는 라디캐리를 이용한 집재작업과 마찬가지로 공주행, 로프끌기, 초킹, 측방집재, 적재주행, 초커제거이다.

2) 가선계 임업기계를 이용한 목재수확작업의 요소작업 측정 결과

본 연구에서는 국립산림과학원 산림생산기술연구소 시험림 내에서 실험을 실시하였다. 본 연구에서 집재를 실시하기 전에는 미리 집재방법을 고려한 벌채와 가선 설치를 마친 상태로서 실질적인 집재 작업시 이루어지는 요소작업에 대해 요소작업별 작업시간을 측정하였다.

라디캐리를 이용한 집재작업과 다목적 집재차를 이용한 집재작업에 있어서 요소작업의 작업시간비율을 <그림 3-3-12>와 <그림 3-3-13>에 나타내었다. 반기의 주행속도가 느린 라디캐리에 있어서 공주행 및 적재주행 속도는 전체 작업시간의 25%와 26%로 조사되었다. 이에 반하여 다목적 집재차의 공주행 및 적재주행의 요소작업시간 비율은 각각 19%와 12%로 조사되었다. 라디캐리의 경우는 전체 작업시간 중 공주행과 적재주행의 작업시간비율이 가장 높게 나타났고, 다목적 집재차의 경우는 작업지연(25%), 그리고 공주행(19%)의 순으로 조사되었다.

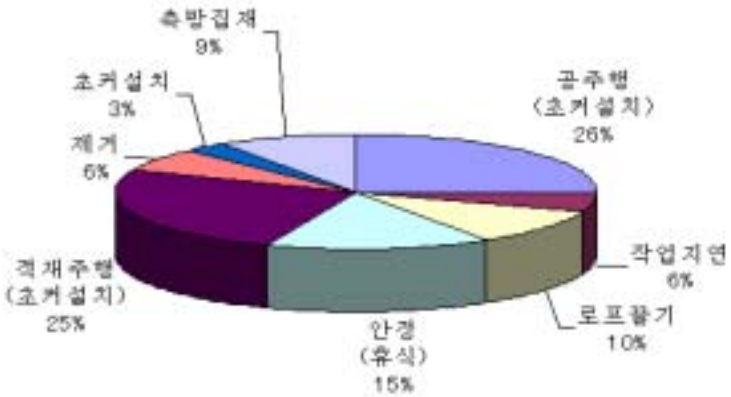


그림 3-3-12. 라디캐리 집재작업의 요소작업시간 비율

그림 3-3-13. 다목적 집재차 집재작업의 요소작업시간 비율

나. 가선계 임업기계를 이용한 목재수확작업의 육체적 작업강도 측정

1) 가선계 임업기계를 이용한 목재수확작업의 육체적 작업강도 측정 방법

가) 심박수의 측정

심박수의 측정에는 핀란드의 Polar사가 제작한 심장박동수 측정기(S810i)가 사용되었다. S810i는 흉부에 착용하는 벨트식 측정부와 시계형의 심박수 기록부로 구성되어 있다(그림 3-3-14 참조). S810i를 이용하여 가선집재기의 또한 작업자의 작업시 심박수의 변화를 연속적으로 측정한 결과를 <그림 3-3-15>에 나타내었다.

그림 3-3-14. 심박수 측정장비(Polar사, S810i)

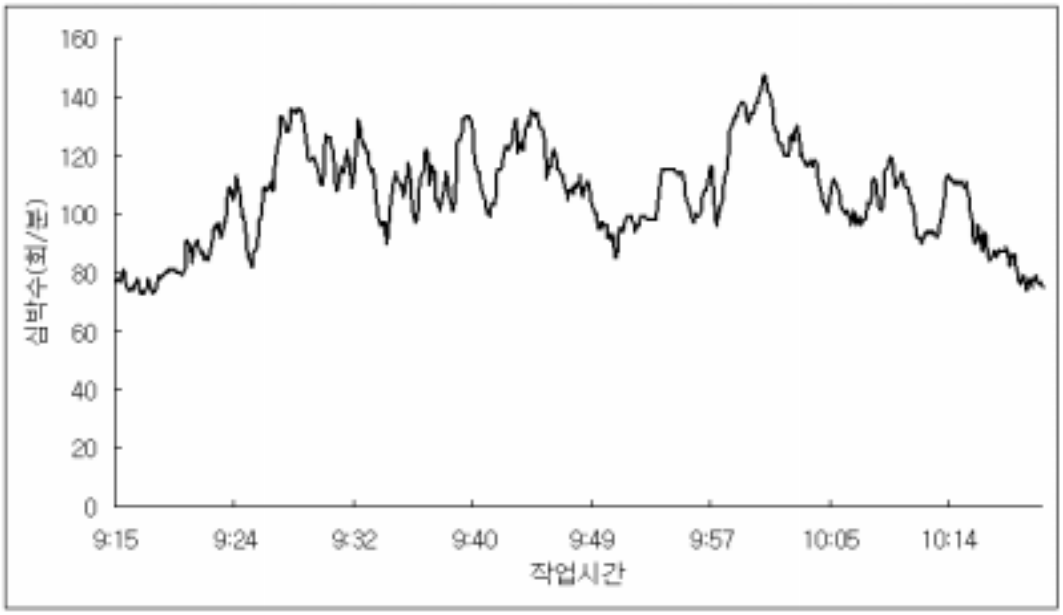


그림 3-3-15. 작업시 심박수의 연속측정 결과

나) 작업강도의 평가지표

가선집재작업중 초커맨의 육체적 작업강도를 평가하기 위하여 각각의 요소작업에 대하서 그 작업강도를 평가하였다. 작업강도의 평가지표로는 다음과 같이 심박수증가율, 작업강도지수(식 2)를 사용하였으며, 요소작업별로 지속작업 한계능력을 계산하였다.

심박수증가율 (%) : $IHR = \frac{HRw - HRr}{HRr} \times 100$

작업강도지수 (%) : $WLI = \frac{HRw - HRr}{HRmax - HRr} \times 100$

지속작업한계능력(beat/min) :

지속작업한계능력 $= (HRmax - HRr) \times 40$

HRw : 작업시 심박수(beat/min), HRr : 안정시 심박수(beat/min)

HRmax : 최대심박수(beat/min)

2) 가선계 임업기계를 이용한 목재수확작업의 육체적 작업강도 측정 결과

라디캐리 집재작업의 요소작업별 작업시 평균심박수를 <그림 3-3-16>에 나타내었다. 안정상태의 심박수와 비교하여 작업시 심박수의 평균치는 평균 33.1% 높은 것으로 조사되었으며, 각각의 요소작업별 평균 심박수의 차이는 볼 수 없었다.

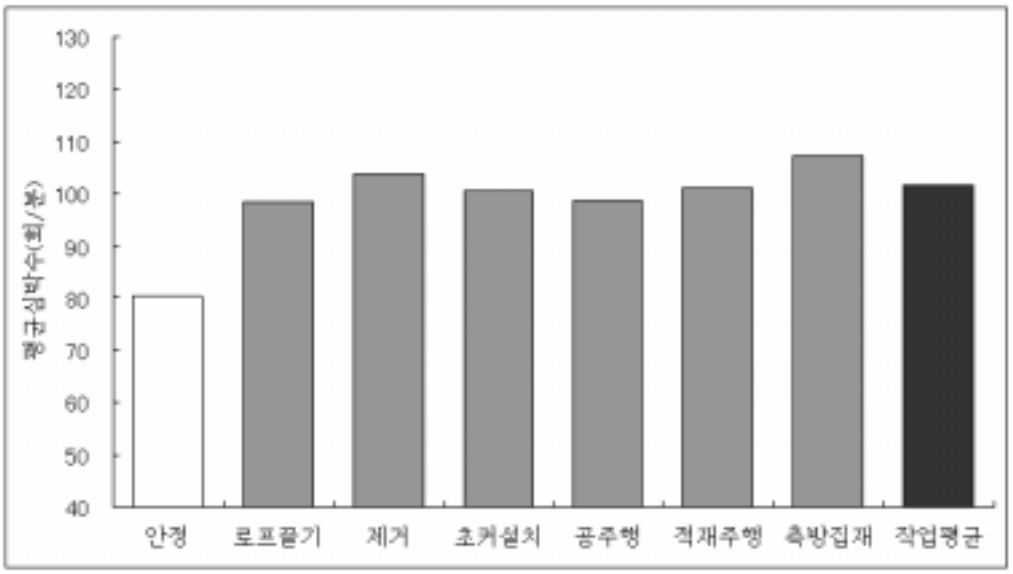


그림 3-3-16. 라디캐리를 이용한 집재작업시 요소작업별 평균심박수

다목적 집재차를 이용한 집재작업의 요소작업별 작업시 평균심박수를 <그림 3-3-17>에 나타내었다. 실제 작업시 평균심박수는 안정시 심박수와 비교하여 39.6% 높은 것으로 나타났으며, 라디캐리작업과 동일하게 요소작업간의 차이를 볼 수 없었다.

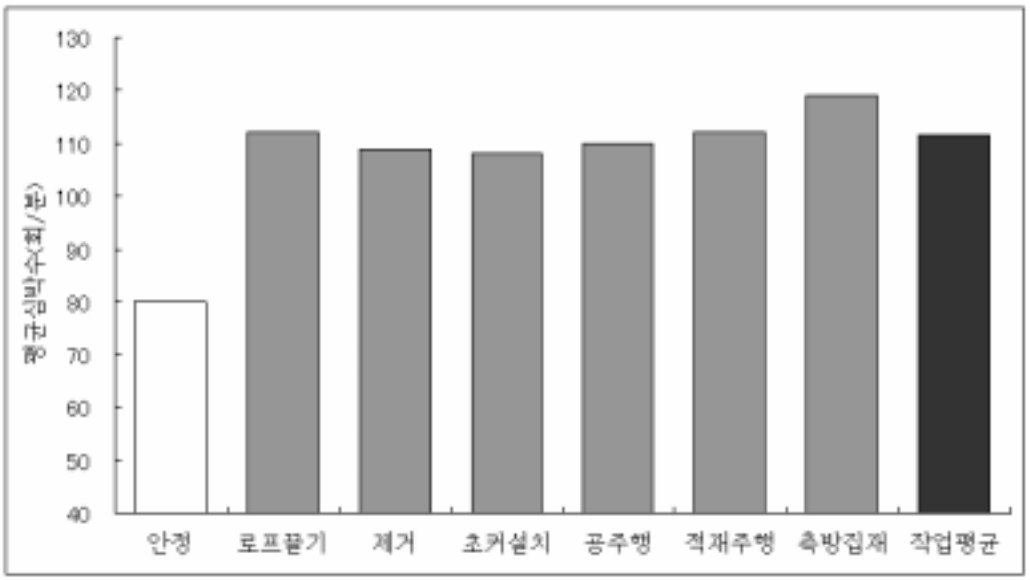


그림 3-3-17. 다목적 집재차를 이용한 집재작업시 요소작업별 평균심박수

작업에 참여한 두명의 피험자에 대하여 지속작업한계능력을 계산한 결과를 <표 3-3-10>에 나타내었다. 라디캐리와 다목적 집재차의 집재작업시 평균심박수가 각각 101.7과 111.7로 조사되어 작업원 A의 지속작업 한계능력인 분당 119.0회 보다는 낮게 나타났으나 작업원 B의 지속작업 한계능력인 분당 103.4회 보다는 높은 것으로 조사되었다.

표 3-3-10. 피험자의 신체적 특성

구분	연령	신장	체중	최대심박수	안정심박수	지속작업 한계능력
작업원 A	38	170	57	182	77	119.0
작업원 B	59	167	56	161	65	103.4

LTPL : 지속작업한계(Long Term Performance Limit : 1일 8시간씩 지속적인 작업에 따른 피로가 축적되지 않고 지속적으로 직업활동을 하는데 지장이 없는 수준의 작업강도)

또한 각각의 요소작업에 대하여 기계조작수와 초커맨의 심박수증가율과 작업강도지수<표 3-3-11>를 계산한 결과를 보면, 초커맨의 작업강도가 기계조작수 보다 높은 것으로 조사되었다. 작업강도지수의 경우, 40%를 넘는 경우를 중근노동으로 판단하는데 이 준에 비추어 볼 때 본 작업의 요소작업은 기계조작수와 초커맨에게 중근노동에 해당되지 않는 것으로 판단된다. 심박수증가율의 경우 33%까지를 가벼운 노동(Light Work)으로 구분하고 33%에서 67%까지를 보통의 노동(Moderate Work)으로 구분하는데 육체적 작업강도의 측면에서 보면 기계조작수의 작업강도는 가벼운 것으로 나타났고, 초커맨의 작업강도는 보통인 것으로 나타났다.

표 3-3-11. 요소작업별 심박수 증가율과 작업강도지수

구분		공주행	로프끌기	적재주행	제거	초커설치	측방집재
기계조작수	심박수 증가율(%)	22.9	23.5	23.1	22.6	23.4	23.3
	작업강도 지수(%)	16.8	17.2	16.9	16.6	17.2	17.1
초커맨	심박수 증가율(%)	49.1	47.2	49.3	50.8	47.6	48.2
	작업강도 지수(%)	33.2	31.9	33.4	34.4	32.2	32.6

다. 가선계 임업기계 오퍼레이터의 정신적 피로도의 측정

1) 가선계 임업기계 오퍼레이터의 정신적 피로도의 측정방법

작업자의 생리적 부담은 크게 육체적인 부담과 정신적인 부담으로 나눌 수 있다. 야외에서 하는 중근노동인 목재수확작업의 경우, 육체적인 부담이 타 산업분야의 노동과 비교하여 상대적으로 크며, 사고발생률도 높은 것으로 조사되고 있어, 육체적인 부담을 정량적으로 평가하여 적정 작업량을 제안하려는 많은 연구가 있어왔다. 이와 더불어, 기계조작수의 정신적 피로는 작업 에러로 이어져 사고발생의 직접적인 원인이 될 수 있으므로 기계조작수에 대해서는 기계작업에 따른 정신적인 부담도 정량적으로 측정할 필요가 있을 것이다. 작업자의 생리적, 정신적 부담을 측정·평가하는 방법은 매우 다양하다. 본 연구에서는 생리적 부담 평가에 있어 가장 널리 사용되고 있는 작업중 심박

수를 이용하여 평가하였다. 또한 정신적 부담의 경우는 심박변동지수(HRV; Heart Rate Variability)를 이용하여 평가하였다.

심박수를 이용하여 정신적작업부하를 평가하는 연구는 Kalsbeek가 심장박동주기의 불규칙성인 부정맥이 정신적작업부하의 평가척도가 될 수 있다는 연구결과를 발표한 이후 정신적 작업의 작업부하와 박동주기의 관계를 구명하는 연구로 발전하였다. 즉, 정신적 작업부하는 심박수의 증가없이 심장의 박동주기를 변화시킨다. 이러한 심장의 박동주기는 <그림 3-3-18>에서 보는 바와 같이 인간이 심장의 박동으로 감지하는 R파와 R파의 간격(RRI ; R-R Interval)이 가지는 주기를 의미한다.

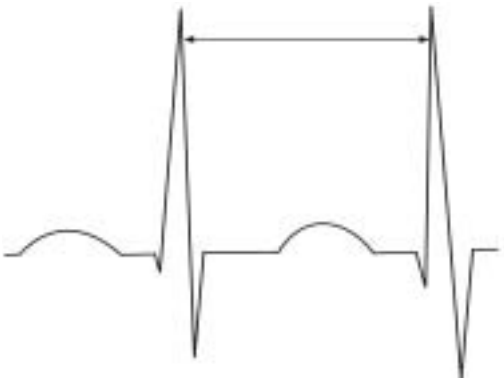


그림 3-3-18. RRI(R-R Interval)의 모식도

최근에는 HRV(Heart Rate Variability; 심박변동 또는 심박변동지수)라는 용어가 심장 박동주기의 변화라는 의미로 일반화되어 사용되고 있다. 그 후, R-R파 간격을 시계열로 보아 주파수분석을 한 결과를 바탕으로 정신적 작업부하를 평가하는 다수의 연구가 수행되었다. 주파수분석을 수행하면 0.04~0.15Hz 범위에 존재하는 저주파성분(LF; Low Frequency)과 0.15~0.4Hz 범위에 고주파성분(HF; High Frequency)으로 구분할 수 있는데 고주파성분은 부교감신경계의 기능을 반영하고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 저주파성분은 교감신경계와 부교감신경계의 영향을 같이 받는 것으로 보고되었다. 따라서 부교감신경계의 활성을 평가할 경우에는 HF치를 사용하며, 교감신경계의 활성을 평가할 경우에는 LF/HF치 또는 LF/(LF+HF)치를 사용한다.

2) 가선계 임업기계 오퍼레이터의 정신적 피로도의 측정 결과

다목적 집재차를 이용한 집재작업시 요소작업별 오퍼레이터의 정신적 피로도를 측정

하기 위하여 부교감신경계의 활성도와 교감신경계의 활성도를 분석하였다. 부교감신경계는 신체가 편안함을 느끼고 릴렉스된 상태에서 활성화 되는 것으로 알려져 있다. 이에 반하여 교감신경계는 신체가 스트레스상태에서 활성화 되는 것으로 알려져 있다. <그림 3-3-19>에 다목적 집재차 오퍼레이터에 있어서 요소작업별 부교감신경계의 활성도를 나타내었다. 기계운전시와 비교하여 안정시의 HF치가 유의하게 높은 것으로 조사되었다. 안정시와 비교하여 기계운전 작업시에는 신체가 릴렉스 상태에서 활성화 되는 HF치가 유의하게 억제되어 기계운전시의 긴장도가 안정상태보다 높은 것으로 판단된다.

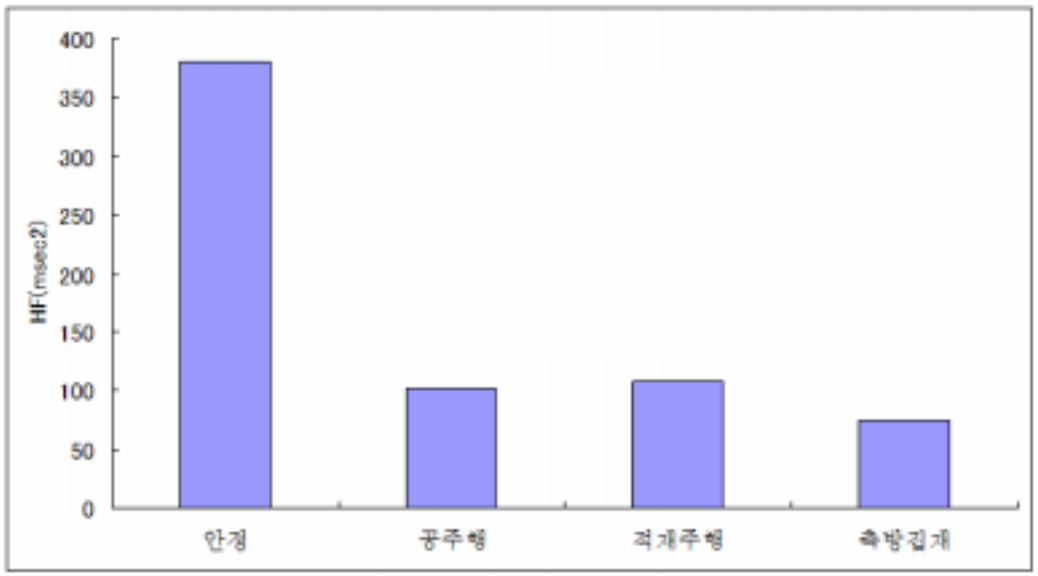


그림 3-3-19. 다목적 집재차 오퍼레이터의 요소작업별 부교감신경계 활성도

<그림 3-3-20>에 다목적 집재차 오퍼레이터에 있어서 요소작업별 교감신경계의 활성도를 나타내었다. 스트레스 상태에서 활성화 되는 교감신경계의 활동은 안정시와 비교하여 기계조작중에 유의하게 높은 것으로 조사되었다. 기계운전작업시에는 안정시와 비교하여 오퍼레이터가 스트레스상태에 이르는 것을 알 수 있었다. 또한, 운전작업 중에서는 측방집재시의 스트레스가 가장 높은 것으로 조사되었다.

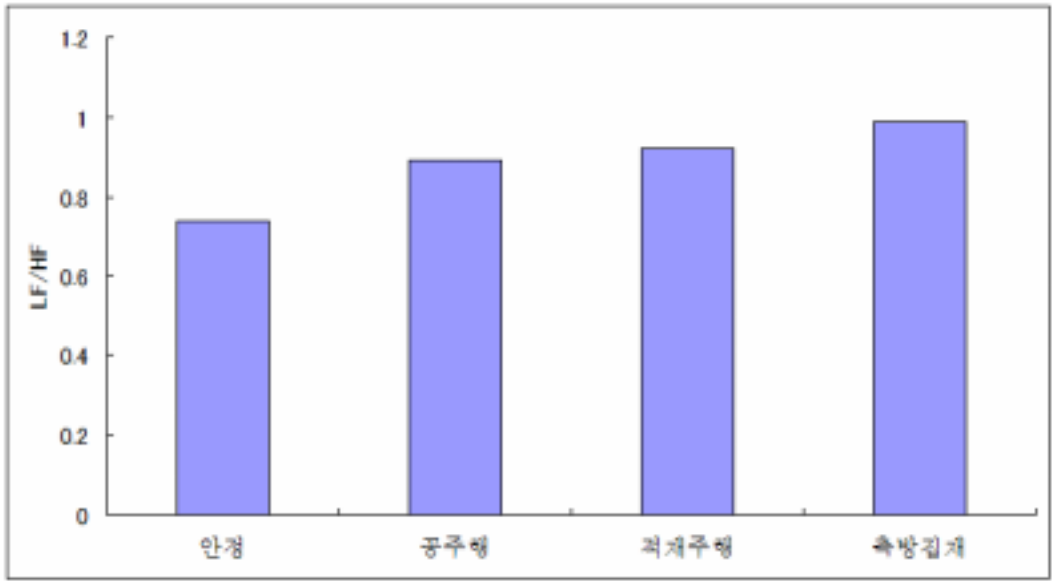


그림 3-3-20. 다목적 집재차 오퍼레이터의 요소작업별 교감신경계 활성도

3. 반출 작업의 종류별 노동부담의 모델 개발

가. 노면조도에 따른 차량형 임업기계 주행시 노동부담

1) 연구의 배경

집운재작업에 있어서 노면의 요철은 차량계 임업기계의 주행성과 좌석진동에 직접적으로 영향을 미치므로 결과적으로는 집운재작업의 생산성에도 크게 영향을 미치게 된다. 따라서 적절한 노면조도평가를 통하여 집운재작업의 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

노면조도의 측정방법은 레벨측량에 의한 방법, 지형측정기를 이용한 방법, 측정차량과 제5륜을 이용한 자동측정방법 등이 있다. 국내에서는 1992년에 이준우가 지형측정기를 이용하여 임노노면을 측정한 바 있으며, Oh 등(2003)이 제 5륜을 이용하여 임도의 노면조도를 측정한 바 있다. 본 연구에서는 토사임도와 사리포장임도의 노면조도를 비교 평가하기 위하여 산림생산기술연구소의 연구임도를 대상으로 하여 임도의 노면조도를 측정한 후, 비교 및 분석하였다.

2) 연구방법

연구대상지는 산림생산기술연구소의 연구임도인 직동로임도이다. 연구대상임도는 1987년도부터 1989년도까지 개설된 임도로서, 사리포장임도를 중심으로 매년 꾸준히 관

리가 되어진 임도로서 국내의 임업현실을 바탕으로 고려해 볼 때, 관리상태는 상대적으로 좋은 것으로 판단된다. 조사구간의 선정은 먼저 사리포장임도와 토사임도를 구분하여 노면이 좋은 곳과 나쁜 곳을 육안으로 구분한 후에 20m의 조사구간을 선정하여 조사하였다.

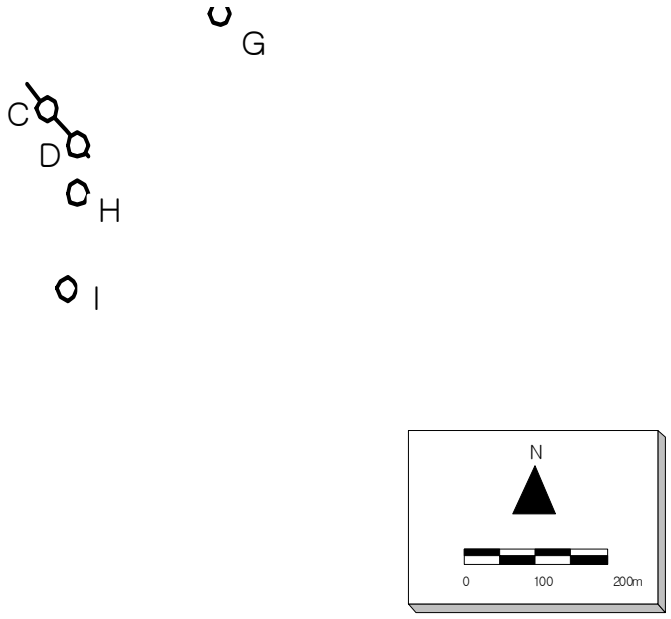


그림 3-3-21. 연구대상지 및 조사구간

노면조도의 측정은 20m로 설정된 각각의 조사구간에 대하여 3개의 조사선을 설치한 후에 20cm간격으로 레벨측량을 실시하였다. 3개의 조사선은 통행량이 거의 없는 노면의 중심선과 차량통행으로 인해 발생한 좌우 러트(Rut)에 각각 설치하였다. 측정오차를 최소화하기 위하여 전 측정구간을 조망할 수 있는 곳에 레벨을 설치하였으며 함척의 수평을 유지하기 위하여 함척에 수준기를 설치하였다.

그림 3-3-22. 노면조도 측정을 위한 레벨 측량

레벨측량의 결과는 종단구배를 포함하고 있는 고저치이므로 종단구배의 영향을 제거할 필요가 있다. 종단물매의 영향을 제거하기 위하여 <그림 3-3-23>과 같이 측량결과로부터 종단물매를 산출하여 측정결과와 종단물매의 차를 노면의 프로파일로 산출하였다.

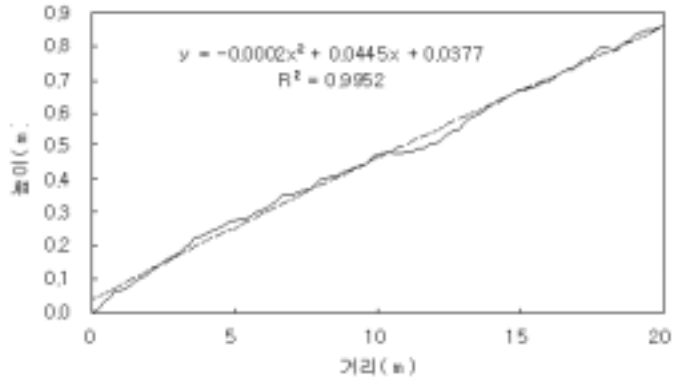
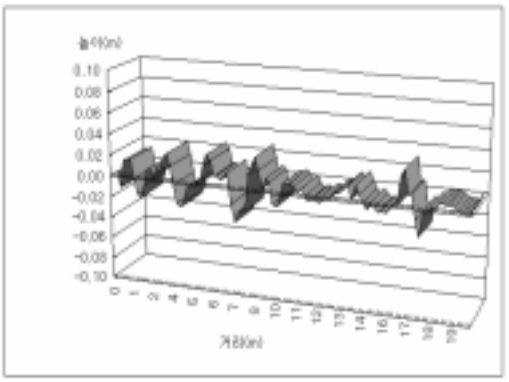


그림 3-3-23. 노면의 프로파일 산출 결과

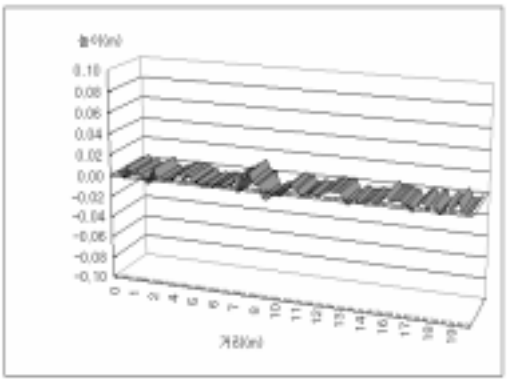
3) 연구결과

가) 노면의 프로파일 산출

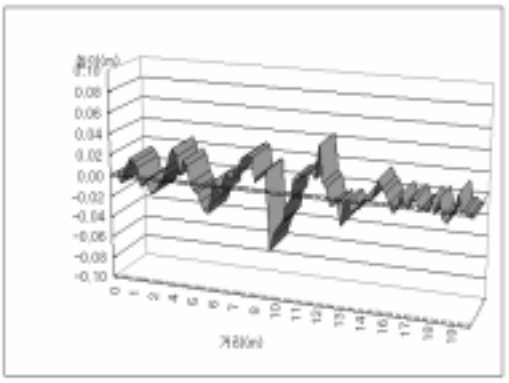
위의 방법으로 종단물매의 영향을 제거한 임도 노면의 프로파일을 <그림 3-3-24>에 나타내었다.



조사구간 A(토사작업도)



조사구간 F(토사임도)



조사구간 I(사리임도)

그림 3-3-24. 실험구간의 전경 및 노면 프로필

조사구간 A, B, C, D의 프로파일은 토사 작업도의 프로파일이며, E, F는 토사임도 그리고 G, H, I는 사리임도의 노면 프로파일이다. 토사작업도의 노면 프로파일은 상대적으로 크게 변화하고 있으며, 토사임도와 사리임도는 상대적으로 작은 변화를 보이고 있는 것을 알 수 있다.

나) 노면 프로파일의 파워스펙트럼밀도 분석과 노면조도 평가

노면프로파일의 파워스펙트럼밀도 분석과 노면조도의 평가는 ISO8608에서 제시한 방법을 사용 하였다. ISO8608의 노면조도 평가방법은 노면의 프로파일을 주파수분석의 일종인 파워스펙트럼밀도(PSD; Power Spectrum Density)로 변환한 후에 파워스펙트럼밀도의 근사식을 이용하여 평가하는 방법이다. 파워스펙트럼밀도의 근사식을 산정하는데는 여러 가지 방법이 있으나, 본 연구에서는 미국의 MIRA(Motor Industry Research Association)가 제안한 방법을 이용하였다. 이 방법은 노면조도 평가에 널리 사용되고 있는 방법이다. MIRA는 파워스펙트럼의 밀도치로부터 밀도곡석의 근사식(식 8)을 제시하고 있다.

$$Gd(n) = Gd(n0)\cdot(n/n0)-W \qquad (3)$$

Gd(n) : 파워스펙트럼밀도

Gd(n0) : 표준노면주파수일때의 파워스펙트럼밀도 ; 조도계수

n : 노면주파수(c/m)

n0 : 0.1c/m(표준노면주파수)

w : 근사식의 지수; 조도지수

이 근사식으로 부터 노면조도의 지표인 조도계수를 구할 수 있다. 조도계수(Gd(n0))는 근사식에서 노면주파수가 표준주파수(0.1c/m)일 때의 파워스펙트럼밀도치를 의미한다. 노면조도계수가 클수록 노면의 평균적인 조도가 큰 것으로 생각할 수 있다. 노면조도지수(w)는 근사식의 지수이다. 근사식의 Y축이 지수단위임으로 노면조도지수는 그래프상에서 근사식의 기울기가 된다. 노면조도지수에 대하여 동일한 파워스펙트럼밀도 직선은 그 기울기가 2가 된다(Bekker; C1968). 노면조도지수가 2이상인 경우에는 고주파영역보다 저주파영역의 노면조도가 더 완만한 것을 의미한다.

임도의 노면조도 평가는 ISO8608의 방법을 이용하였다. ISO8608에서는 노면의 조도

를 조도계수로 표현하여 노면조도 구분표<표 3-3-12>와 비교 평가할 수 있다. 노면조도의 구분표는 노면조도를 A에서 H까지의 8단계로 구분하고 있다.

표 3-3-12. 조도계수에 의한 노면조도 구분(ISO8608)

구분	조도계수(1E-06㎥)		
	하한	평균	상한
A	-	16	32
B	32	64	128
C	128	256	512
D	512	1,024	2,048
E	2,048	4,096	8,192
F	8,192	16,384	32,769
G	32,769	65,536	131,072
H	131,072	262,144	-

ISO8608의 방법을 이용하여 9개소의 임도노면을 평가한 결과를 <표 3-3-13>에 나타내었다. 임도노면의 조도지수는 동일한 종류의 노면에서도 편차가 있었다. 이용시간과 이용량에 따라서 동일한 종류의 노면에서도 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 사리임도의 노면 조도계수는 그 평균치가 778로서 ISO8608의 노면조도 구분에서는 D에 속함을 알 수 있었다. 또한 토사임도의 조도계수는 평균치가 1,701로서 노면조도 구분에서는 같은 D에 속하지만 사리임도보다 노면이 불량함을 알 수 있었다. 토사작업도의 조도계수는 3,395로서 가장 노면이 불량하였으며, 노면조도 구분에서도 E에 속함을 알 수 있었다. 노면의 조도계수로 부터 토사작업도, 토사임도, 사리임도의 순으로 노면의 조도가 불량함을 알 수 있었다.

표 3-3-13. 조사임도 구간의 노면조도 구분

조사임도		조도계수 1E-06㎥	조도지수	ISO8608에 의한 노면조도 구분
토사작업도	좌	633	2.86	D
	우	1,281	2.86	D
토사작업도	좌	1,686	2.11	D
	우	1,314	2.72	D
토사작업도	좌	15,019	3.80	F
	우	3,167	3.05	E
토사작업도	좌	809	2.58	D
	우	3,254	3.33	E
토사작업도 평균		3,395	2.91	E
토사임도	좌	3,141	3.69	E
	우	2,018	3.74	D
토사임도	좌	1,456	2.89	D
	우	188	2.26	C
토사임도 평균		1,701	3.14	D
사리임도	좌	796	3.10	D
	우	195	2.44	C
사리임도	좌	1,122	2.75	D
	우	469	2.49	C
사리임도	좌	1,279	2.77	D
	우	808	2.69	D
사리임도 평균		778	2.71	D
전체 평균		2,119	2.90	E

나. 노면조도에 따른 차량형 임업기계 주행시 노동부담 평가모델의 개발

1) 연구방법

가) 실험차량

실험에 사용된 포워더는 <그림 3-3-25>에서 보는 바와 같이 크롤러타입 임내작업차(미니포워더)를 선정하였다. 크롤러타입 임내작업차는 현재 일본 내의 보급대수가 가장 높은 기종이며 국내에서도 사용가능성이 높은 것으로 평가되고 있는 기종이다.

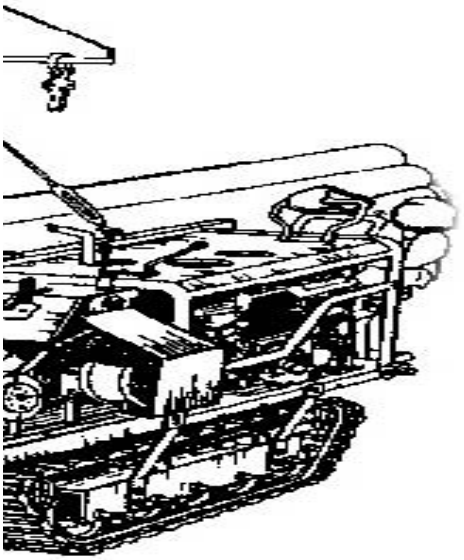


그림 3-3-25. 실험차량

나) 운재주행의 실험구간 설정

실험차량의 운재실험을 위하여 토사작업도, 토사임도, 사리임도별로 각각 2개소에서 4개소의 조사구간(20m)을 설정하였다. 설정한 조사구간에 대해서는 ISO8608의 측정방법으로 노면조도계수를 측정하였다.

다) 운재주행실험

각각의 작업도별로 작업조건을 달리하면서 운재실험을 실시하여 각각의 좌석진동을 측정하였다. 작업조건은 적재조건(적재주행과 공주행)과 주행속도(속도기어 1단과 2단, 엔진rpm 1,800rpm과 2,000rpm, 그리고 2500rpm)를 고려하였다.

2) 연구결과

가) 주행조건에 따른 좌석진동의 변화

주행조건에 따른 좌석진동의 변화를 실험차종별로 <그림 3-3-26>에 나타내었다. 좌석진동은 무적재시가 적재시보다 높게 조사되었으며, 주행속도가 빠를수록 높게 조사되었다. 무적재시의 좌석진동이 적재시의 좌석진동 보다 높게 나타난 것은 목재의 무게가 좌석진동의 반대방향으로 작용한 것으로 판단된다.

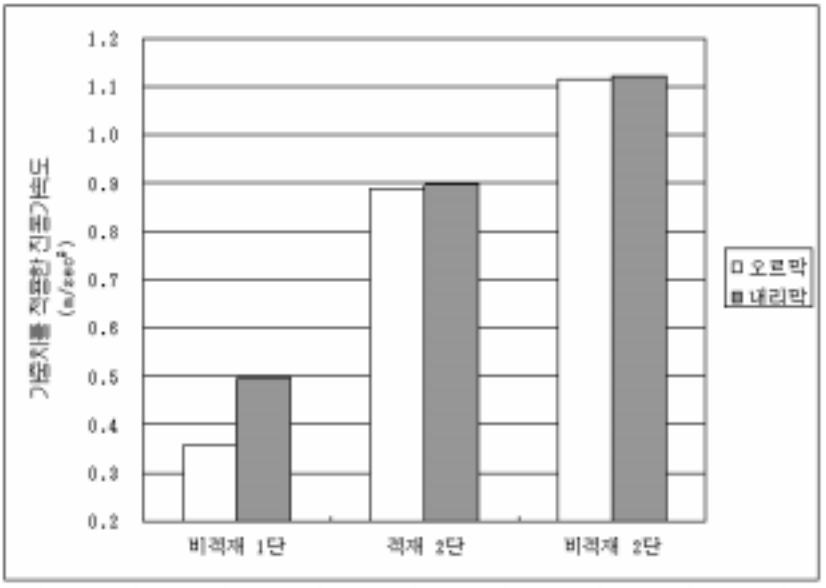


그림 3-3-26. 주행조건에 따른 좌석진동

나) 적정작업시간과 주행거리 모델화

주행속도와 좌석진동의 관계식과 박범진 등(2004)이 제시한 근피로도를 고려한 연속작업가능시간, 그리고 ISO2631-1에서 제시한 건강지침을 이용하여 주행속도에 따른 1연속작업가능시간과 1일 작업가능시간을 계산하였다<그림 3-3-27과 그림3-3-28>. 오퍼레이터의 피로도를 고려할 때에 주행속도가 빨라질수록 좌석진동이 커짐에 따라 1연속 작업가능시간은 줄어드는 관계를 나타내고 있다. 실험차량의 1연속 작업가능시간은 최대 50분을 넘지 않으며, 1일 최대 작업가능시간은 289분으로 조사되었다. 박범진 등(2004)의 조사에 의하면 실험차량의 평균 주행속도는 1속 무적재 주행시 4.6km/hr, 2속 적재 주행시 6.8km/hr이다. 따라서 실제 실험차량의 평균주행속도를 고려해 보면 1연속 작업가능시간은 1속 무적재 주행시 12분, 2속 적재 주행시 0.2분으로 실험차량을 이

용한 작업시 오퍼레이터의 피로도를 고려한 작업시스템의 구축은 매우 어려운 것으로 판단된다. 실험차량을 실제의 작업에 사용하기 위해서는 차량의 개선 또는 주행속도를 낮추는 방법으로 오퍼레이터에게 피로를 최소화 하는 작업시스템을 구축할 필요가 있을 것으로 판단된다.

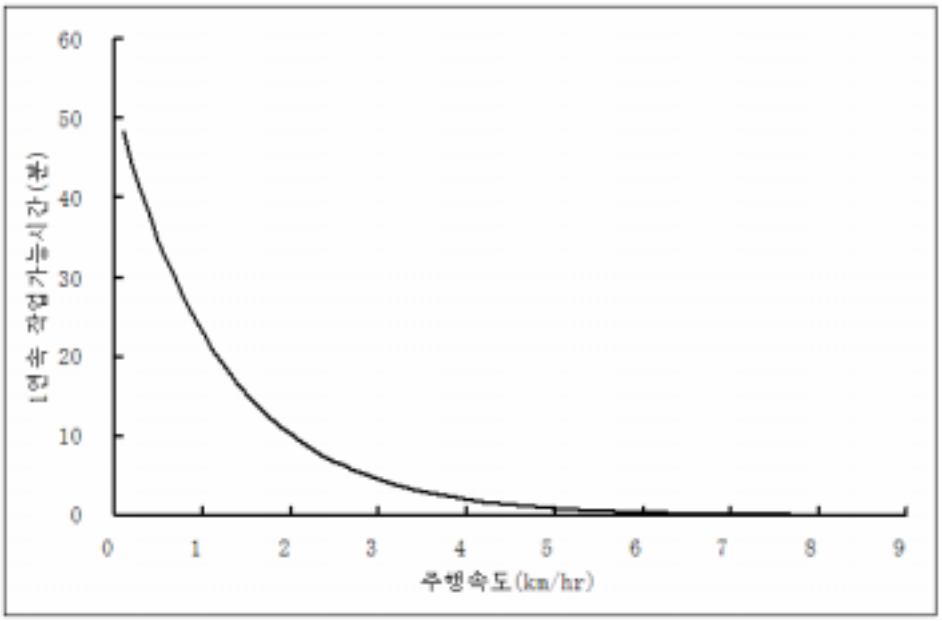


그림 3-3-27. 주행속도에 따른 1연속작업가능시간

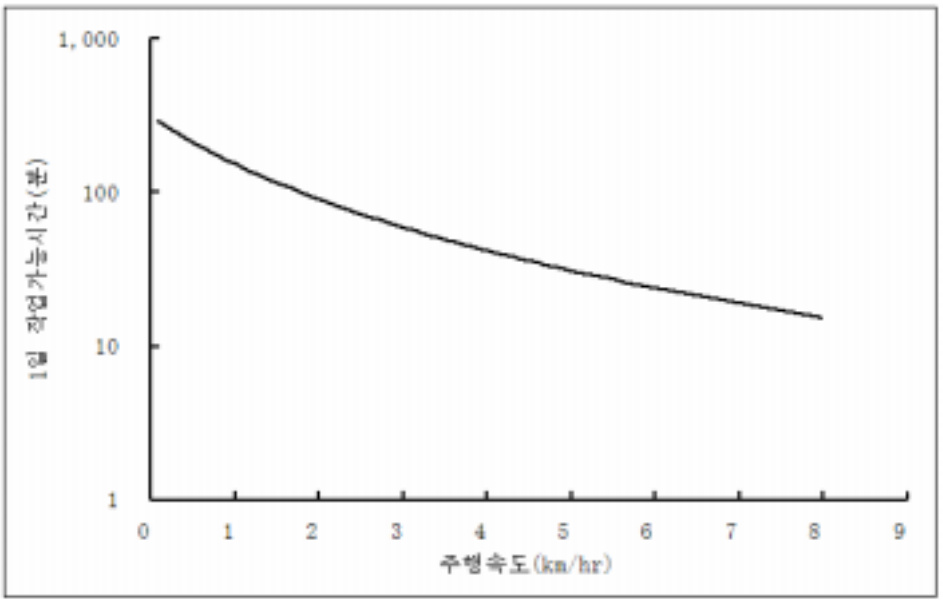


그림 3-3-28. 주행속도에 따른 1일작업가능시간

실제의 작업시스템을 구축하는데 있어서 사용되는 판단의 기준은 주행가능시간 보다는 주행가능거리를 이용하는 것이 편리하다. <그림 3-3-27>에 주행속도에 따른 1연속 작업시간을 이용하여 산출한 1연속주행가능거리를 <그림 3-3-29>에 나타내었다. 오퍼레이터의 피로도를 고려하여 피로가 축적되지 않는 범위 내에서 운전작업을 하기 위해서는 1연속 주행가능 거리를 결정한 후에 거리에 맞추어서 주행속도를 결정할 필요가 있을 것으로 판단된다. 실험차량의 1연속 최대 주행가능 거리(운재거리)는 390m로서 이때에 오퍼레이터의 피로도를 고려한 주행속도(운재속도)는 1.2km/hr이다.

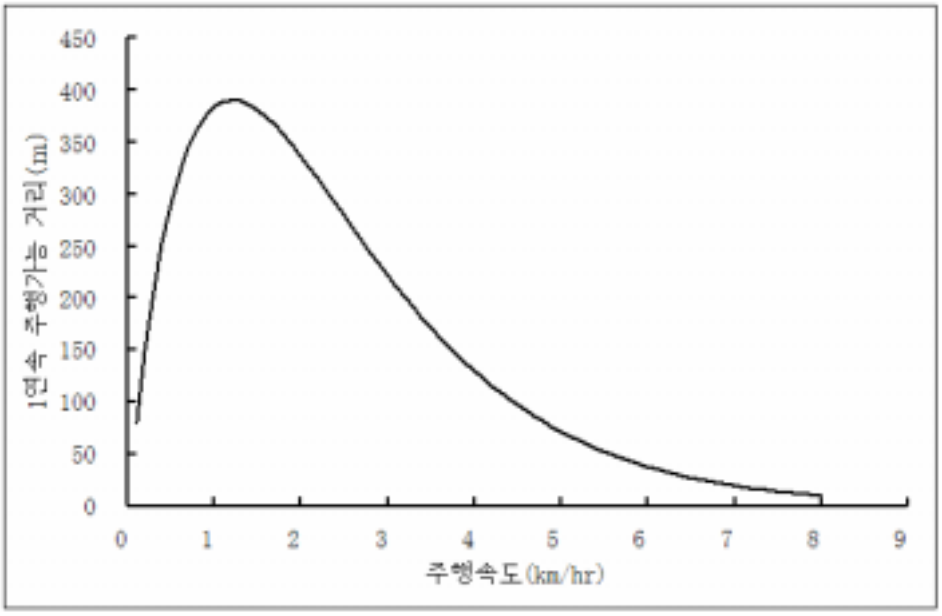


그림 3-3-29. 주행속도에 따른 연속주행가능거리

위에서 제시한 바와 같이 오퍼레이터의 피로도를 고려한 운재작업을 위해서는 운재거리가 1연속 주행가능시간보다 더 짧게 선정하여 1회 운재작업시간이 1연속작업시간을 초과하지 않도록 결정되어야한다. 또한 운재작업의 반복회수는 총 운재작업시간이 1일 작업가능시간을 초과하지 않도록 결정되어야 할 것이다.

다. 가선계 임업기계를 이용한 목재수확작업시스템에서 지형조건에 따른 작업부담의 모델화

1) 연구배경

육체적 작업부담의 관점에서 보면 가선계 임업기계를 이용한 목재수확작업시스템 중

에서 오퍼레이터와 비교했을 때, 초커맨의 작업부담이 더 크게 나타난다. 초커맨은 경사면에서 와이어로프의 견인작업, 초커 설치작업, 그리고 이동작업 등을 하게 된다. 실제로 가선계 임업기계를 이용한 목재수확작업에서 초커맨과 오퍼레이터의 육체적 작업부담을 심박수 증가율을 이용하여 평가한 결과, 가벼운 노동 또는 보통의 노동으로 구분되었다. 그러나 전체 작업시간 중에 작업지체가 25%로서 전체 작업시간 중에서 순작업시간의 비율이 낮았기 때문에 육체적 작업부담이 전체적으로 낮게 평가된 것으로 판단된다. 실제로 경사도별 보행작업과 와이어로프 견인작업의 작업강도지수를 이용하여 작업강도를 평가한 결과, 와이어로프 견인작업의 경우 사면경사 10°, 보행거리 45m, 사면경사 20°, 보행거리 23m의 작업조건과 사면경사 30°, 보행거리 17m의 작업조건에서 지속적으로 작업이 불가능한 중근노동으로 분류되었다<표 3-3-14>. 또한, 보행작업의 경우는 사면경사 20°, 보행거리 23m의 작업조건과 사면경사 30°, 보행거리 17m의 작업조건에서 지속적인 작업이 불가능한 작업강도로 분류되었다<표 3-3-15>.

이상의 결과를 볼 때, 지형조건에 따른 초커맨의 작업시 노동강도를 예측하기 위해서는 작업지의 사면경사별 보행작업과 견인작업의 작업강도를 예측할 수 있는 모델을 작성하는 것이 유용할 것으로 판단된다.

2) 연구방법

가) 피험자

피험자는 <표 3-3-14>에서 보는 바와 같이 24세에서 30세 사이의 남성 4명으로 선정하였다. 피험자의 평균 최대심박수는 191회/분이었다.

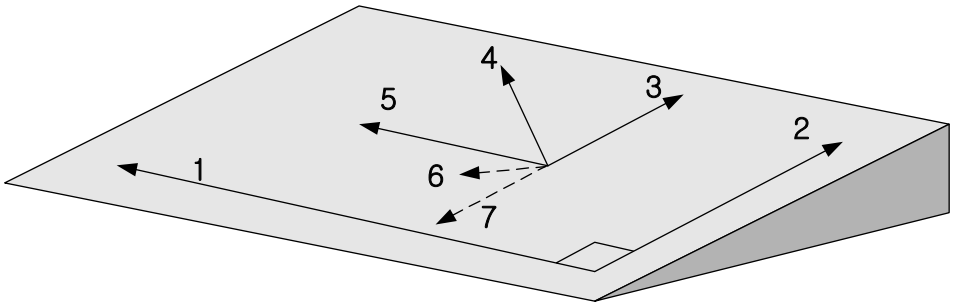
표 3-3-14. 피험자의 신체적 특성

	연령	안정시 심박수	최대심박수	여유심박수
A	30	74	187	113
B	25	70	193	123
C	24	62	192	130
D	24	73	192	119

나) 보행작업 및 와이어로프 견인작업 실험조건

사면경사 5°, 15°, 25°의 인공사면에서 보행시의 심박수를 연속적으로 측정하여 보행작업시의 작업강도를 평가하였다. 와이어로프 견인작업에 대해서는 실제로 다양한 사면경사에 가선집재기를 설치하고 와이어로프 견인작업을 하는 것이 어렵기 때문에 8kg의 중량물을 들고 보행하는 것으로 와이어로프 견인작업을 대신하였다.

보행작업 및 와이어로프 견인작업의 작업방향은 <그림 3-3-30>에서 보는 바와 같이 등고선방향, 사면의 45° 방향, 90°방향의 3방향으로 설정하였다.



1 : Contour direction, 2 : 90° on contour direction,
3, 4, 5 : moving direction, 6, 7 : Direction of cross grade

그림 3-3-30. 보행작업 및 와이어로프 견인작업의 작업방향

다) 작업자에게 무리가 되지 않는 작업거리 산정 기준

경사지에서의 보행작업과 와이어로프 견인작업은 보행거리 또는 견인작업거리가 길어질수록 작업부하가 증가하게 된다. 작업자에게 무리가 되지 않는 작업거리를 산정하기 위해서 작작업강도지수의 40%가 되는 작업시 심박수(식 2), 노동이행능력한계점(식 4), 지속작업한계능력(식 5)과 같이 3개의 기준을 설정하였다. 작업강도지수의 40%가 되는 작업시 심박수는 독일을 중심으로 유럽에서 지속적인 작업이 가능한 작업의 한계로 사용하고 있는 지표이다. 노동이행능력한계점은 지속적인 작업이 가능한 작업한계의 평가기준으로 사용되고 있다. 또한 지속적 작업한계능력도 지속적으로 작업이 가능한 작업의 한계기준으로 사용되고 있다.

작업강도지수 (%) : $$WLI = \frac{HRw - HRr}{HRmax - HRr} \times 100$$

노동이행능력한계점(beat/min) : $DLG = HRr - 40$

지속작업한계능력(beat/min) :

지속작업한계능력 = $(HRmax - HRr) \times 40$

HRw : 작업시 심박수(beat/min), HRr : 안정시 심박수(beat/min)

HRmax : 최대심박수(beat/min)

경사조건별로 측정한 심박수를 이용하여 작업강도가 작업강도지수가 40%에 도달하는 거리, 노동이행능력 한계점에 도달하는 거리, 그리고 지속작업한계능력에 도달하는 거리를 산출하였다.

3) 연구결과

가) 지속적인 작업이 가능한 한계 심박수의 계산

3개의 지표에 대하여 피험자 별로 지속적인 작업이 가능한 한계심박수를 계산한 결과를 <표 3-3-15>에 나타내었다. 작업강도지수가 40%가 되는 작업시 심박수의 평균치는118.5(회/분)이었으며, 노동이행능력 한계점의 평균치는 109.8(회/분)이었다. 또한 지속작업 한계능력의 평균치는 118.3이었다.

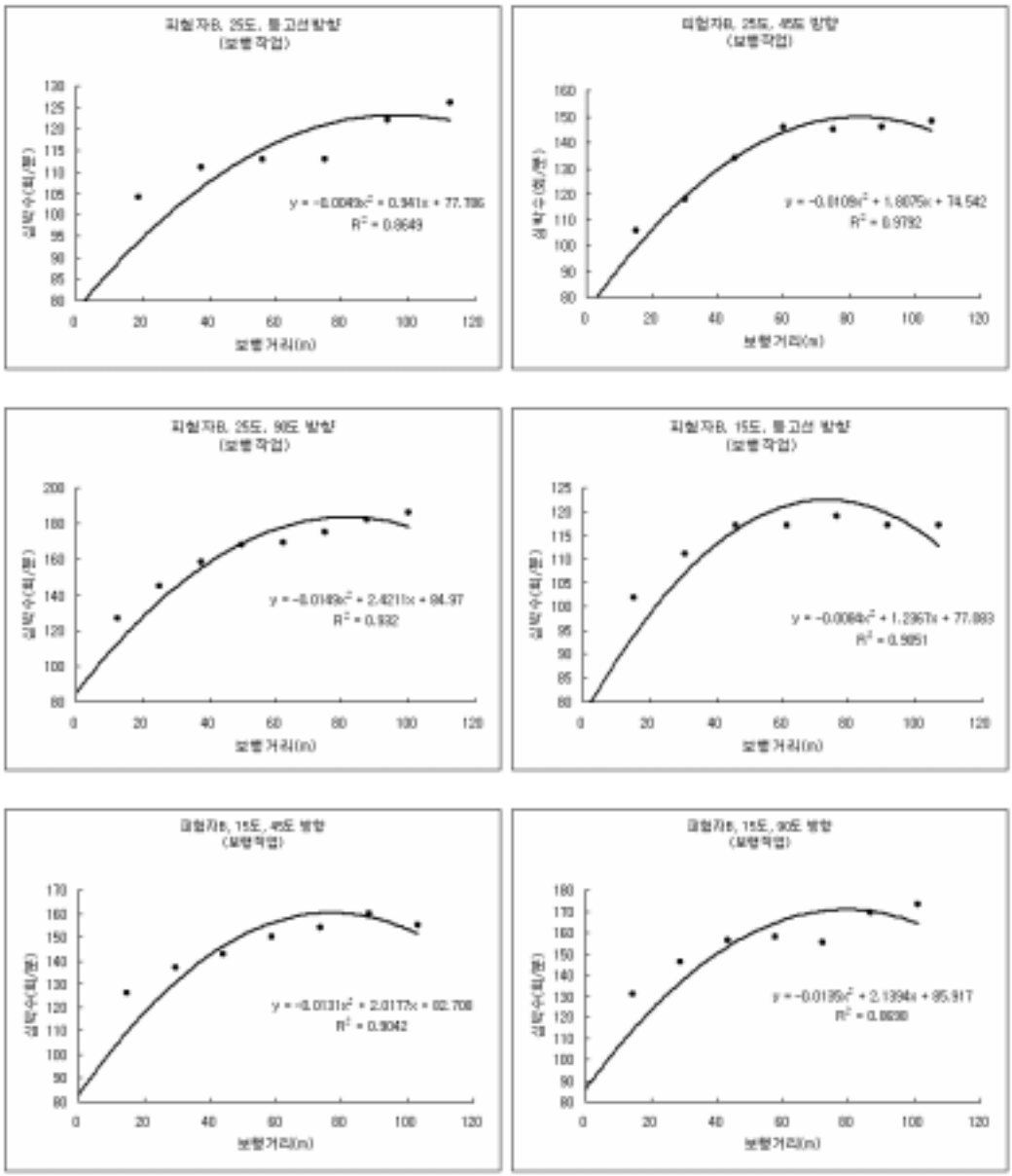
표 3-3-15. 지속적인 작업이 가능한 한계 심박수

	작업강도지수 40%의 작업시 심박수(회/분)	노동이행 능력 한계점 (회/분)	지속작업 한계능력 (회/분)
A	119.2	114	119
B	119.2	110	119
C	114.9	102	114
D	120.6	113	121

나) 작업조건별 보행거리와 심박수의 상관관계 분석

각각의 조건에서 지속적인 작업이 가능한 한계심박수에 도달하는 작업거리를 산정하

기 위하여 보행거리와 심박수의 상관관계를 분석하였다. <그림 3-3-31>, <그림 3-3-32>에 나타낸 바와 같이 보행거리와 심박수의 상관관계는 2차회귀식으로 표현할 수 있었다. 피험자별 작업조건별 보행거리와 심박수의 상관관계식을 <표 3-3-16>, <표 3-3-17>에 나타내었다.



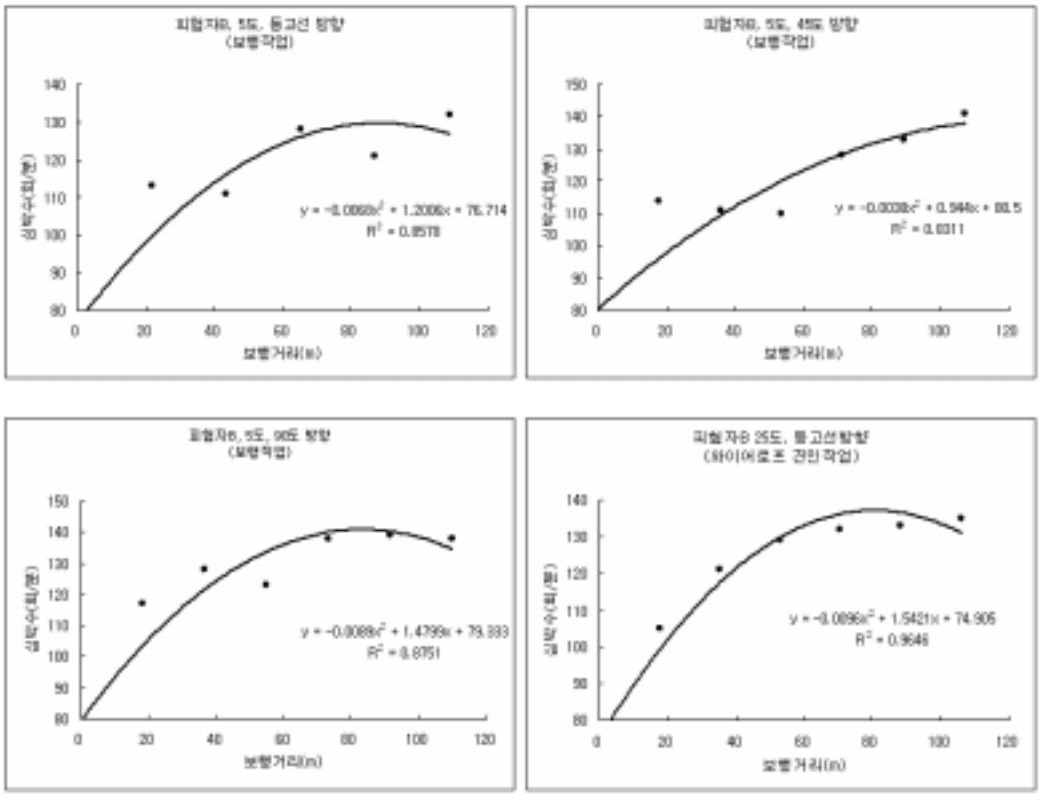
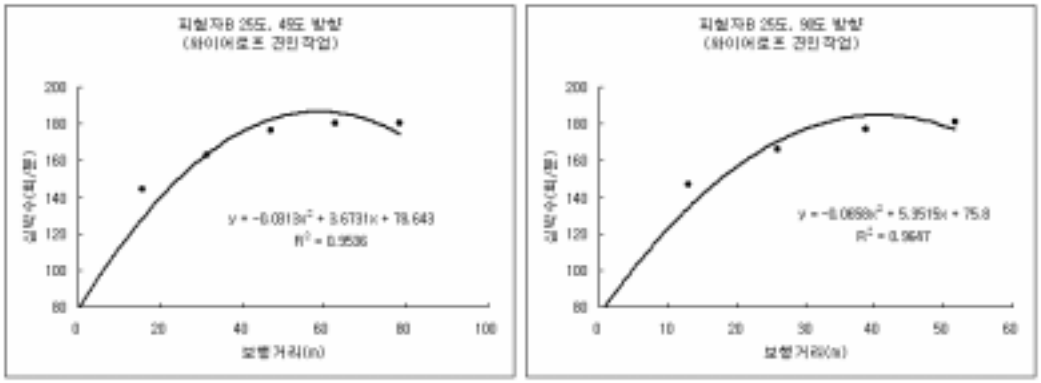


그림 3-3-31. 보행작업시 보행거리와 심박수의 상관관계(피험자B)



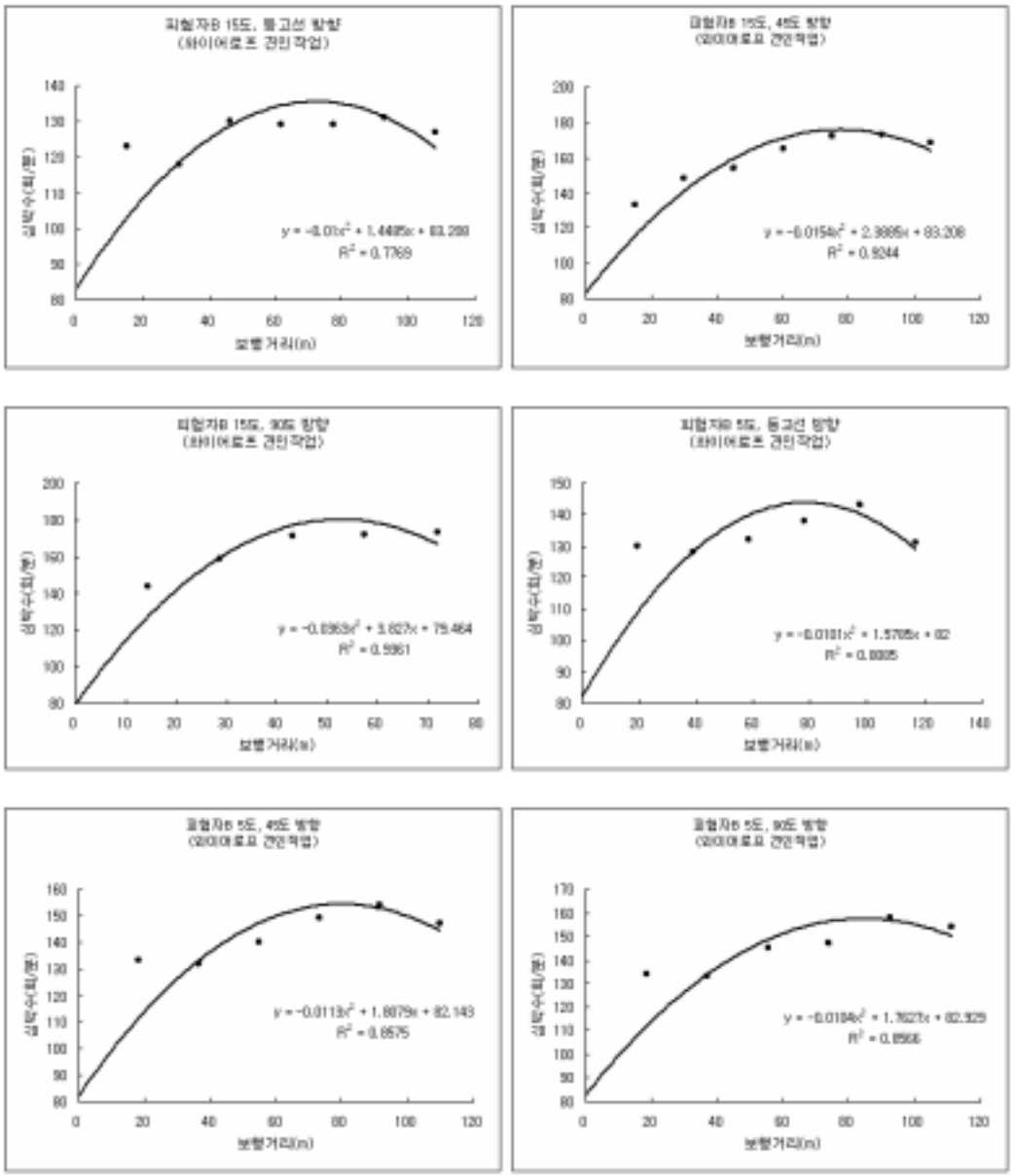


그림 3-3-32. 와이어로프 견인작업시 보행거리와 심박수의 상관관계(피험자B)

표 3-3-16. 보행작업에 있어서 작업조건별 보행거리와 심박수의 상관관계식

피험자	사면경사	작업방향	상관관계식	R^2
A	25°	등고선 방향	y = -0.0036x2 + 0.6465x + 89.042	0.9793
		45도 방향	y = -0.0073x2 + 1.4823x + 83.697	0.988
		90도 방향	y = -0.0084x2 + 1.5781x + 100.45	0.9832
	15°	등고선 방향	y = -0.0049x2 + 0.8202x + 89.208	0.935
		45도 방향	y = -0.0089x2 + 1.5204x + 85.25	0.9813
		90도 방향	y = -0.0083x2 + 1.5254x + 88.833	0.9916
	5°	등고선 방향	-	-
		45도 방향	-	-
		90도 방향	-	-
B	25°	등고선 방향	y = -0.0049x2 + 0.941x + 77.786	0.8649
		45도 방향	y = -0.0109x2 + 1.8075x + 74.542	0.9792
		90도 방향	y = -0.0149x2 + 2.4211x + 84.97	0.932
	15°	등고선 방향	y = -0.0084x2 + 1.2367x + 77.083	0.9051
		45도 방향	y = -0.0131x2 + 2.0177x + 82.708	0.9042
		90도 방향	y = -0.0135x2 + 2.1394x + 85.917	0.8698
	5°	등고선 방향	y = -0.0068x2 + 1.2006x + 76.714	0.8578
		45도 방향	y = -0.0038x2 + 0.944x + 80.5	0.8311
		90도 방향	y = -0.0089x2 + 1.4799x + 79.333	0.8751
C	25°	등고선 방향	y = -0.0012x2 + 0.3523x + 92.708	0.8981
		45도 방향	y = 7E-05x2 + 0.3742x + 103.14	0.9587
		90도 방향	y = -0.0103x2 + 2.0385x + 93.994	0.989
	15°	등고선 방향	y = -0.0054x2 + 0.844x + 94.708	0.9192
		45도 방향	y = -0.0037x2 + 1.0266x + 99.875	0.9654
		90도 방향	y = -0.0051x2 + 1.2469x + 101.96	0.9961
	5°	등고선 방향	y = 0.0015x2 + 0.0961x + 109.89	0.9788
		45도 방향	y = -0.0028x2 + 0.7419x + 92.929	0.9446
		90도 방향	y = 0.0015x2 + 0.3873x + 99.643	0.9442
D	25°	등고선 방향	y = -0.0035x2 + 0.735x + 80.042	0.888
		45도 방향	y = -0.0049x2 + 1.2201x + 77.503	0.9916
		90도 방향	y = -0.0196x2 + 2.8714x + 86.077	0.966
	15°	등고선 방향	y = -0.011x2 + 1.6095x + 78.881	0.9464
		45도 방향	y = -0.0116x2 + 1.9728x + 79.745	0.9767
		90도 방향	y = -0.0262x2 + 3.1099x + 76.548	0.9864
	5°	등고선 방향	y = -0.0053x2 + 1.0176x + 76.214	0.9762
		45도 방향	y = -0.0062x2 + 1.2285x + 78.048	0.9666
		90도 방향	y = -0.0086x2 + 1.5499x + 76.952	0.984

표 3-3-17. 와이어로프 견인작업에 있어서 작업조건별 보행거리와 심박수의 상관관계식

피험자	사면경사	작업방향	상관관계식	R^2
A	25°	등고선 방향	y = -0.0067x2 + 1.0851x + 76.958	0.94
		45도 방향	y = -0.01x2 + 1.7463x + 96.792	0.9687
		90도 방향	y = -0.0097x2 + 1.5942x + 115.67	0.9706
	15°	등고선 방향	y = -0.0064x2 + 1.0598x + 87.292	0.9794
		45도 방향	y = -0.0078x2 + 1.3937x + 94.958	0.9959
		90도 방향	y = -0.0105x2 + 1.8208x + 89.583	0.9803
	5°	등고선 방향	-	-
		45도 방향	-	-
		90도 방향	-	-
B	25°	등고선 방향	y = -0.0096x2 + 1.5421x + 74.905	0.9646
		45도 방향	y = -0.0313x2 + 3.6731x + 78.643	0.9536
		90도 방향	y = -0.0658x2 + 5.3515x + 75.8	0.9647
	15°	등고선 방향	y = -0.01x2 + 1.4485x + 83.208	0.7769
		45도 방향	y = -0.0154x2 + 2.3885x + 83.208	0.9244
		90도 방향	y = -0.0363x2 + 3.827x + 79.464	0.9361
	5°	등고선 방향	y = -0.0101x2 + 1.5785x + 82	0.8085
		45도 방향	y = -0.0113x2 + 1.8079x + 82.143	0.8575
		90도 방향	y = -0.0104x2 + 1.7627x + 82.929	0.8566
C	25°	등고선 방향	y = -0.0005x2 + 0.3159x + 98.417	0.981
		45도 방향	y = -0.0218x2 + 3.0852x + 82.405	0.9897
		90도 방향	y = -0.0272x2 + 3.1203x + 96.371	0.981
	15°	등고선 방향	y = -0.001x2 + 0.5013x + 102.21	0.982
		45도 방향	y = -0.0084x2 + 1.6325x + 97.19	0.9904
		90도 방향	y = -0.0111x2 + 1.9376x + 99.857	0.9937
	5°	등고선 방향	y = -0.0055x2 + 1.111x + 89.071	0.8978
		45도 방향	y = -0.0022x2 + 0.7862x + 100.43	0.9793
		90도 방향	y = -0.0051x2 + 1.1364x + 107.55	0.9612
D	25°	등고선 방향	y = -0.0039x2 + 0.8814x + 82.792	0.874
		45도 방향	y = -0.0324x2 + 3.6056x + 77.286	0.9869
		90도 방향	y = -0.052x2 + 4.7464x + 77.071	0.9868
	15°	등고선 방향	y = -0.0102x2 + 1.5756x + 82.833	0.8732
		45도 방향	y = -0.0196x2 + 2.6907x + 82.69	0.9443
		90도 방향	y = -0.0311x2 + 3.5888x + 77.214	0.9814
	5°	등고선 방향	y = -0.0053x2 + 0.97x + 81.143	0.8519
		45도 방향	y = -0.0082x2 + 1.5894x + 78.286	0.9754
		90도 방향	y = -0.0084x2 + 1.586x + 80.452	0.9488

다) 작업자에게 무리가 되지 않는 작업거리 산정

사면경사 5°, 15°, 25°의 작업조건에서 작업자에게 무리가 되지 않는 보행작업과 와이어로프 견인작업의 작업거리를 산정하였다.

표 3-3-18. 보행작업에 있어서 작업조건별 적정 작업거리

(단위: m)

피험자	사면경사	작업방향	작업강도지수의 40%수준	노동이행 능력 한계점	지속작업 한계능력
A	25°	등고선 방향	-	56.2	-
		45도 방향	27.8	19.7	27.6
		90도 방향	12.8	6.2	12.6
	15°	등고선 방향	54.0	39.6	53.3
		45도 방향	26.5	21.6	26.2
		90도 방향	22.7	18.3	22.5
	5°	등고선 방향	-	-	-
		45도 방향	-	-	-
		90도 방향	-	-	-
B	25°	등고선 방향	68.3	44.6	67.6
		45도 방향	30.2	22.8	30.0
		90도 방향	15.7	11.1	15.6
	15°	등고선 방향	53.3	34.9	52.9
		45도 방향	20.9	15.0	20.8
		90도 방향	17.5	12.2	17.4
	5°	등고선 방향	49.0	34.5	48.6
		45도 방향	51.5	36.7	51.8
		90도 방향	33.8	24.3	33.6
C	25°	등고선 방향	91.5	29.3	85.1
		45도 방향	31.2	-	28.8
		90도 방향	10.9	4.1	10.3
	15°	등고선 방향	29.5	9.2	27.9
		45도 방향	19.5	2.1	14.5
		90도 방향	10.8	0.1	10.0
	5°	등고선 방향	34.0	-	29.4
		45도 방향	34.0	12.8	32.3
		90도 방향	34.8	5.9	32.9
D	25°	등고선 방향	-	64.9	-
		45도 방향	42.6	33.6	43.1
		90도 방향	13.2	10.1	13.4
	15°	등고선 방향	33.7	25.8	34.1
		45도 방향	24.1	19.0	24.4
		90도 방향	16.4	13.2	16.6
	5°	등고선 방향	67.0	48.3	68.3
		45도 방향	44.8	34.5	45.4
		90도 방향	35.0	27.5	35.4

표 3-3-19. 와이어로프 견인작업에 있어서 작업조건별 적정 작업거리

(단위: m)

피험자	사면경사	작업방향	작업강도지수의 40%수준	노동이행 능력 한계점	지속작업 한계능력
A	25°	등고선 방향	65.1	48.7	64.2
		45도 방향	14.0	10.5	13.8
		90도 방향	2.3	-	2.1
	15°	등고선 방향	39.6	31.1	39.2
		45도 방향	19.6	14.9	19.4
		90도 방향	18.2	14.0	18.0
	5°	등고선 방향	-	-	-
		45도 방향	-	-	-
		90도 방향	-	-	-
B	25°	등고선 방향	37.5	27.4	37.3
		45도 방향	12.4	9.2	12.3
		90도 방향	9.2	7.0	9.1
	15°	등고선 방향	31.9	21.8	31.6
		45도 방향	14.1	12.1	13.7
		90도 방향	11.7	8.7	11.6
	5°	등고선 방향	29.0	20.4	28.7
		45도 방향	24.2	17.3	24.0
		90도 방향	24.0	17.1	23.8
C	25°	등고선 방향	57.4	11.6	54.0
		45도 방향	11.5	6.7	11.1
		90도 방향	6.3	1.8	6.0
	15°	등고선 방향	26.8	-	24.7
		45도 방향	11.5	3.0	10.9
		90도 방향	8.1	1.1	7.6
	5°	등고선 방향	26.8	12.4	25.7
		45도 방향	19.5	2.0	18.2
		90도 방향	6.7		5.8
D	25°	등고선 방향	57.6	42.1	58.5
		45도 방향	13.7	11.0	139
		90도 방향	10.4	8.3	10.5
	15°	등고선 방향	29.7	22.4	30.1
		45도 방향	15.9	12.4	16.1
		90도 방향	13.7	11.0	13.9
	5°	등고선 방향	61.0	42.9	62.3
		45도 방향	30.9	25.1	32.2
		90도 방향	30.1	23.4	30.5

제 4장 목표달성도 및 관련분야의 기여도

제 1절 간벌생산재 반출 시스템을 위한 임업기계 작업기능의 최적화 방법개발

1. 차량계 임업기계의 작업기능 최적화(목표달성도 100%).
2. 차량계 임업기계에 의한 벌출작업의 공정계측 시스템 개발(목표달성도 100%).
3. 가선계 임업기계의 작업화 가능 최적화(목표달성도 100%).
4. 가선계 임업기계에 의한 벌출작업의 공정계측시스템 개발(목표달성도 100%).
5. 차량계 임업기계에 의한 임지훼손 평가(목표달성도 100%).
6. 집재 작업시 발생하는 견인저항력의 평가(목표달성도 100%).

제 2절 소규모 간벌재 생산시스템의 현지적용과 작업공정의 산출

1. 국내임업기계 현황조사(목표달성도 100%).
2. 작업대상지의 기초조사(목표달성도 100%).
3. 차량계 임업기계의 작업공정 시간연구(목표달성도 100%).
4. 가선계 임업기계의 작업공정 시간연구(목표달성도 100%).
5. 지형조건과 경영규모별 적정 반출기계의 선택에 관한 검토(목표달성도 100%).

제 3절 소형임업기계를 이용한 목재수확작업에서 지형조건에 따른 작업부담 평가모델의 개발과 개선방안

1. 차량계 임업기계를 이용한 간벌소경재 반출 작업의 요소작업 분류 및 작업부담 측정 (목표 달성도 100%)
2. 가선계 임업기계를 이용한 간벌소경재 반출 작업의 요소작업 분류 및 작업부담 측정 (목표 달성도 100%)
3. 반출 작업의 종류별 노동부담의 모델 개발(목표 달성도 100%)

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1. 논문 및 학술발표

가.. 학술발표회와 학회지 발간 등을 통해 연구결과를 발표하여 기술을 전파하였으며 향후에도 지속적으로 수행할 예정이다.

나. 한국임학회와 한국환경복원녹화기술학회, 한국환경생태학회, 한국산림공학기술연구회 등에 논문을 투고하고 학술발표를 실시하였으며, 향후에도 포스터와 실물전시를 통해 기술을 전파할 예정이다.

다. 작업조건별 적정 작업거리에 대한 추가적인 연구를 통해 현장에서 일반적으로 적용이 가능한 현장 매뉴얼을 작성할 예정이다.

2. 실용화

가. 실용화는 우리나라의 현재 실정에 맞는 소규모, 분산된 간벌재의 생산 현장에서 적용 가능한 작업 시스템을 확립하여 산림정책에 반영 할 계획이다.

나. 간벌생산재 수집을 위한 최적화된 시스템을 각 지방 산림관리청 및 국유림관리소, 산림조합의 기능인작업단에게 보급한다.

다. 현장토론회 및 임업기계 시연 등을 통하여 간벌재 생산에 필요한 임업기계의 개량화 방안 및 최적 성능 발휘를 위한 관리방법 등을 보급한다.

3. 활용방안

가. 현장 애로 해결 방안

간벌생산재의 수집에 요구되는 작업 기술의 최적화는 현재 간벌 단계에 이른 국내 산림의 목재생산 기능을 증대시키므로써 기존의 산림 현장에서 적절한 작업 시스템의 계획 없이 간벌재의 반출을 시도 했거나, 반출이 용이한 지역만을 선택해서 반출을 하거나 아니면 경제적인 이윤의 문제로 거의 간벌재의 반출을 포기하고 있는 산림 작업현장을 그 지역에 맞도록 최적화된 반출작업 작업기술 계획해주고, 관련 임업기계의 최적 활용방법 및 개량화 방안을 보급 병행하므로 써 가장 경제적이고 효율적인 간벌 생산재 수집을 도모하도록 유도한다.

나. 현장 보급방안

간벌생산재 수집을 위한 최적화된 작업시스템을 개발하여 각 지방 산림관리청 및 국유림관리소, 산림조합의 산림작업단에게 우선적으로 간이책자로써 보급하도록 하며, 인

터넷을 이용한 홈페이지 등의 운영으로 계속적인 간벌생산재의 효율적인 반출기술의 보급을 유도한다.

또한 정기적인 임업기계화 시연사업을 통해 간벌재 생산에 필요한 임업기계의 개량화 방안 및 최적 성능 발휘를 위한 관리방법 등을 보급한다.

다. 산업화 계획방안

본 연구를 통해 개발된 간벌생산재 수집기술에 소요되는 각종 도구 및 장비는 기존의 임업장비회사나 소규모 주문생산 방식에 의해 지속적으로 생산이 가능할 것으로 판단되며, 지속적인 산림 경영을 위한 임목축적 및 양질의 목재생산을 추진하고 있으므로 계속적인 간벌작업물량이 확보될 것으로 판단되는 바, 관련 장비의 수요를 충족하는 기업화가 요구되며 이에 대한 가능성이 있을 것으로 판단됨.

특히 간벌생산재의 수집을 경제적으로 또는 효율적으로 할 수 있는데 필요한 장비는 대부분 고가의 장비가 아니므로, 가격이 비싼 외국제품에 비해 성능 및 가격적인 면을 만족시킬 수 있어 초기투자가 많이 필요하지 않은 중소기업에서도 생산이 가능할 것으로 판단됨.

제 6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

※ 해당사항 없음.

참고문헌

1) 김덕수. 1994. Radi-Carry를 이용한 무선 조종식 가선집재작업의 생산성 분석. 서울대 대학원 석사학위논문.

2) 김재원, 노재후, 우태명, 이해주. 1989. 간벌작업의 작업강도 및 집재기계화에 관한 연구. 임업연구원연구보고 39: 120～141.

3) 김재원, 박문섭, 송태영. 1996. 집재작업 강도 평가에 관한 연구. 임업연구원 산림과학논문집 54: 40-52.

4) 노재후. 1981. 임업기계에 의한 산림작업의 생력화. 한국임학회지 54: 90～102.

5) 노재후. 1992. 집재작업시스템의 작업능률분석에 관한 연구. 서울대 대학원 박사학위논문.

6) 노재후, 김재원. 1988. 로깅부기의 사용방법 및 타당성 연구. 임업연구원 연구보고 39: 135～144.

7) 노재후, 김재원, 김사일. 1988. 로그라인 집재공정 및 경제성에 관한 연구. 임업연구원 연구보고 39: 154～165.

8) 노재후, 김재원, 박문섭. 1988. 케이블 크레인의 국내 적용 가능성에 관한 연구. 임업연구원 연구보고 39: 145～153.

9) 박범진. 1997. 최대산소섭취량과 심박수를 이용한 발목작업에서의 작업강도에 관한 연구. 충남 대학교 석사논문 47쪽.

10)박종명. 1990. 소형 케이블 크레인 K-300을 이용한 집재작업에 관한 연구. 서울대 대학원 석사학위논문. 45pp.

11) 산림청. 1999. 임업기계화의 방향과 활용. 186pp.

12) 연정택, 박상규, 2000. 굴삭기 운전자의 전신진동 및 작업소음 평가. 2000 소음진동학술대 회 논문집 1 : 125 - 132.

13) 이주완, 2000. VPA를 이용한 트랙터 좌석 진동의 전달 특성 구명. 한국농업기계학회지 26(3) : 237-245.

14) 이준우, 박범진, 김재원, 송태영. 1998. 체인톱을 이용한 낙엽송 벌목작업에서의 작업강도분석.한국임학회지 87(2): 121-130.

15) 이준우, 박범진. 2001. 산림작업에서 OWAS기법을 이용한 작업자세 분석. 한국임학회지 90(3): 388-397.

16) 이준우. 1996. 차량의 주행속도에 관계하는 임도의 구조 개선. 한국임학회지

85(3):513～523.

17) 전성탁, 1991. 소음진동편람-진동편-,동화기술. 333pp.

18) 정수식, 문계송, 김경욱, 1992. 농용 트랙터의 승차진동 평가에 관한 연구 (Ⅲ) - 승차진 동의 측정과 평가-. 한국농업기계학회지 18(3) : 191-199.

19) 朴範鎭, 吳宰憲, 有賀一廣, 仁多見俊夫, 小林洋司. 2002. オフロード用車兩系機械のオペレータの疲勞度. 第23回テラメカニックス硏究會. 15pp.

20) 山地啓司. 1981. Science of heart rate. 大修館書店. 東京. 306pp.

21) 山脇三平, 大里正一, 鈴木正之, 森三昇, 小島幸治. 1990. 林業機械學. 朝倉書店. 250pp.芳賀 繁. 2001. メンタルワークロードの理論と測定. 日本出版サービス. 164pp.

22) 林內路網硏究會. 1992. 林業機械化と新たな路網整備. 200pp.

23) 全國林業改良普及協會. 2001. 機械化のマネジメント. 239pp.

24) 林業機械化協會. 1983. 小型林內作業用機械とその作業. 林業機械シリーズ No. 70.

25) 林業機械化協會. 1989. 非皆伐施業における效率的搬出方法. 林業機械シリーズ No. 78.

26) 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-. 日本林業調査會. 265pp.

27) 大河原昭二. 1991. 林業機械學. 文永堂出版. 245pp.

28) 朴範鎭, 吳宰憲, 有賀一廣, 仁多見俊夫, 小林洋司. 2004. オヘレータの筋疲勞度による作業時間に關する硏究. 森林利用學會誌 18(3):231～234.

29) 朴範鎭, 仁多見俊夫, 小林洋司, 鹿島潤, 底部伸二, 今富裕樹. 2004. クローラ式フォワーダによる走行作業の疲勞度. 第55回日本林學會關東支部論文集 297～298.

30) 芳賀 繁. 2001. メンタルワークロードの理論と測定. 日本出版サービス. 164pp.

31) 山地啓司. 1981. Science of heart rate. 大修館書店. 東京. 306pp.

32) 山脇三平, 大里正一, 鈴木正之, 森三昇, 小島幸治. 1990. 林業機械學. 朝倉書店. 250pp.

33) 林業機械化協會. 1983. 小型林內作業用機械とその作業. 林業機械シリーズ No. 70.

34) 林業機械化協會. 1989. 非皆伐施業における效率的搬出方法. 林業機械シリーズ No. 78.

35) Bosco C., Iacovelli M., Tsarpela O., Cardinale M., Bonifazi M., Tihanyi J., Viru M., De Lorenzo A . and Viru A. 2000. Hormon al Responses to Whole-Body Vibration in men. Eur J Appl Phy siol. 81: 449- 454

36) Bum-Jin Park, Jae-Heun Oh, Kazuhiro Aruga, Toshio Nitami, Hiroshi Kobayashi. Fatigue of Forest Worker in Logging Operation Used Multi Purpose Mini-Forwarder. IUFRO(International Unit of Forest Research Organizations). University of Tokyo. September、2002.

37) Carson, W. W. and C. N. Mann. 1970. A technique for the solution of catenary equations. USDA Forest Service Research Paper PNW-110.

38) Cha, D. S., J. H. Oh, W. S. Shim. 1999. Evaluation of pulling performance for skidding winch. Proceedings of Korean Foresters Society for 1999 summer conference. 166-167.

39) Cho, K. H., R. Sakurai, M. Iwaoka, H. Kobayasi. 1997. Thinning system harvester and forwarder (II) -Forwarder-. Proceedings of Korean Foresters Society for 1997 winter conference. 89-90.

40) Chung, J. S. and W. D. chung. 1995. A study on ground cehicle mechanics for steep slope forest operations - Rubber-tired log skidding tractor operation -. Journal of Korean Foresters Society 84(2) : 218-225.

41) Dickerson, B. P. 1976. Soil compaction after tree-length skidding in northern Mississiooi. Soil Sci. Soc. Amer. J. 40(6) : 965-966.

42) Falk, G. D. 1981. Predicting the payload capability of cable logging systems including the effect of partial suspension. USDA Forest Service Research Paper NE-479.

43) Froehlich, H. A., D. E. Aulerich, and R. Curts. 1981. Designing skid trail systems to reduce soil impacts from tractive logging machines. Forest Reasearch Lab paper No. 44.

44) Golsse, J. M. and P. A. Hope..1987. Analysis of whole-body vibration level during skidding. Technical report: No. TR-77. Quebec, Canada : Forest Engineering Research Institute of Canada(FERIC).

45) Hassan, A. E. and M. Lee Gustafson. 1983. Factors affecting skidding force. Transactions of the ASAE. 26(1) : 47-53.

46) Hassan, A. E. and D. L. Sirois. 1983. Weight distribution characteristics of semi suspended trees. Transactions of the ASAE. 26(5) : 1291 - 1297.

47) Hassan, A. E. and M. LeeGustafson. 1983. Factors affecting skidding force.

Transactions of the ASAE. 26(1) : 47 - 53.

48) Hatchell, G. E., C. W. Ralston, and R. R. Foil. 1970. Soil disturbances in logging. Journal of Forestry. 68 : 772-775.

49) Hideo, S. 1989. Comparison of the tractive resistance between full-tree skidding and tree-length log skidding. Journal of Japanese Foresters Society. 71 : 497～502.

50) Howat MG. (1978) Exposure of Front End Loader Operators to Whole-Body Vibration Vancouver: Forest Engineering Research Institute of Canada.

51) International Organization for standardization. 1985. Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration (ISO 2631/1)Geneva, ISO

52) International Organization for standardization. 1997. ISO 2631-1 Mechanical vibration and shock -Evaluation of human exposure to whole-body vibration-. International Organization for standardization.

53) Jae-Heun Oh, Bum-Jin Park, Kazuhiro Aruga, Toshio Nitami, Hiroshi Kobayashi, Du-Song Cha. 2003. Roughness Analysis of Forest Road and Ground Surface for Dynamic Simulation of Forest Vehicles. Journal of Korean Forestry Society 92(5):423～434.

54) John, B. L., Paul, K. T., David, W. S., and Makoto H. 1996. Tractors and their power units 4th Ed. ASAE publication. p463

55) JOHN DREERE Co. 1989-1990. John Deere Purchasing Guide. Forestry p76.

56) John, B.L., Paul, K. T., David, W. S., and Makoto H. 1996. Tractors and their power units 4th Ed. ASAE publication. p463.

57) Kamiizaka, M. and M. Shishiuchi. 1962. Tractive resistance of tractor loging. Journal of Japanese Foresters Society 44 : 304 - 308.

58) Kaigle A.M., Magnusson M., Pope M.H., Broman H. and Hansson T. 1992. IN vivo Measurement of Intervertebral Creep : a Preliminary Report. Clinical Biomech anics. 7: 59- 62.

59) Koch, P. 1972. Utilization of the Southern Pines. Vol. 1 The raw material. USDA Agricultural Handbook. No.420, 734p.

60) KS F 2302. 1992. Test method for particle size distribution of soils.

61) Lysne, D. H. and A. L. Burditt. 1983. Theoretical ground pressure distributions of log skidders. Transactions of the ASEA. 26(5) : 1327-1331.

62) Magnusson M.L. and Pope M.H. 1998. A Review of the Biomechanics and Epidemiology of Working Postures (It isn't always vibration which is to blame). J of sound and vibration. 215(4): 965-976

63) Marsili, A., L. Ragni, and G. Vassalini (1998) Vibration and Noise of a Tracked Forestry Vehicle. Journal of Agricultural Engineering Research 70: 295-306.

64) Matthews, J. 1964. Ride comfort for tractor operators. Part II. Analysis of ride vibration on pneumatic-tired tractors. Journal of Agricultural Engineering Research 9(2): 147-158

65) National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1997. Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors : A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck , Upper Extremity , and Low Back .CDC

66) Nickerson, D. B. 1980. Skyline payload analysis using a desktop computer. Division of Timber Management, USDA Forest Service. Portland, Oregon.

67) Oh, J. H., K. H. Cho, D. S. Cha, . 2000. Tractive performance of excavator for logging operations. Research bulletin of the institue of forest science vol 16.: 124 - 133.

68) Oh, J. -H., B. J. Park, K. Aruga, T. Nitami, D. S. Cha and H. Kobayashi, 2004. Ride Quality Evaluation of a Small Sized Forestry Machine. Journal of the Japan Forest Engineering Society. Vol. 19(2):97-105

69) Oh, J. H., B. Y. Ji, H. Kobayashi and D. S. Cha, 2003.. Ride Vibration Evaluation Criteria for Applying Forestry Machines. J. Jour. Korean For. Soc.92(5) :475-487.

70) Oh, J. -H., B. J. Park, K. Aruga, T. Nitami, T., H. Kobayashi, H., and D. S. Cha, 2003. Roughness Analysis of Forest Roads and Ground Surface for Dynamic Simulation of Forestry Vehicles. J. Jour. Korean For. Soc.92(5) :423-433.

71) Patric, J. H. and K. G. Reinhart. 1971. Hydrologic effects of deforesting two mountain watersheds in West Virginia. Water Resources Res. 7 : 1182-1188.

72) Park, H. J., 1998. Simulation of dynamic characteristics of agricultural tractors. Unpublished Dissertation. Seoul National University.162pp

73) Perumpral, J. V., J. D. Baldwin, T. A. Walbridge, and W. B. Stuart. 1977.

Skidding force of tree length logs predicted by a mathematical model. Transactions of the ASAE. 20(6) : 1008 - 1012.

74) Perkins, R. H. 1982. Estimating sawlog center of gravity by empirical formula. Forest Product Journal. 32(3) : 50 - 53.

75) Pope M. H., Wilder D.G. and Magnusson M. 1998. Possible Mechanism of Low Back Pain Due to Whole-Body Vibration. Journal of Sound and Vibration 215(4): 687- 697

76) Rasmussen G., 1982. Human body vibration exposure and its measurement. Technical Review, Bruel & Kjaer.

77) Rosegger, R. and S. Rosegger, 1960. Health effect of tractor driving. Journal of Agricultural Engineering Research 5(3): 241 - 250.

78) Society of Automotive Engineers, 1992. Measurement of Whole Body Vibration of the Seated Operator of Off-Highway Work Machines, SAE J1013.

79) Sandover J., 1983. Dynamic loading as a possible source of low-back disorders. Spine 8 : 652-658.

80) Shishiuchi, M., 1980. A fundamental Study of analysis of logging tractor performance. Bulletin of the Iwate University Forests 11:1-139.

81) Suggs, C. W., 1973. Agricultural machinery noise and vibration level in comparison to human comfort and safety limits. ASAE Paper 73-524.

82) SAS Institue, Inc. 1991. SAS System for linear model, 3rd ed. SAS Institue, Inc., Cary, NC. USA. p737.

83) Shishiuchi, M. 1980. A fundamental study of analysis of logging tractor performance. Bulletin of the Iwate Univesity Forests. 11 : 1 - 139.

84) Song, T. Y., M. S. Park, J. W. Kim, G. W. Kang. 1998. Studies on the comparison of the working cost with skidding method for track-type mini skidder. Korean journal of forest economics 6(2) : 20 -28.

85) Studier, D. D. and V.W. Binkley. 1974. Cable logging systems.Division of timber management, USDA Forest Services, Reprinted by Oregon state University Bookstore Inc. 1981, Corvallis, Oregon. 205p.

86) Studier, D. D. and V. W. Binkley. 1974. Cable logging systems. Division of Timber Management, USDA Forest Service. Portland, Oregon. 212pp.

87) Timberjack Co. Timberjack Cable Skidder C240 Technical Data sheet., http://www.timberjack.com

88) Watanabe, S. 1986. The cable stretching planing and cheking. 49-66. 쏘무뮤무 Printer, Chiang Mai.

89) Wegscheid, E., 1994. Another look at skidder ride vibration... Journal of Forest Engineering 5(2): 21-32.

90) Wikström B., Kjellberg A. and Landstrom U. 1994. Health Effects of Long-term Occupational Exposure to Whole-Body Vibration : A review. International Journal of Industrial Ergonomics. 14:273-292

91) Wilson, J. N., T. G. Kirk, F. G. Lang, M. L. Tremblay and R. T. Burton (1986) Whole body vibration in off road forestry vehicles. ASAE paper 86-1611