

발 간 등 록 번 호

11-1541000-001375-01

에너지용 목질자원의 효율적 수집을 위한
자동 장력 조절형 윈치 및
자주식 목재 반송기 개발

Development of auto-interlocking winch
and self-propelled carriage for effective harvesting
of woody biomass as a heating energy

국립산림과학원

농 립 수 산 식 품 부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “에너지용 목질자원의 효율적 수집을 위한 자동 장력 조절형 원치 및 자주식 목재 반송기 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2012년 4월 9일

주관연구기관명 : 국립산림과학원

주관연구책임자 : 김 재 원

연 구 원 : 오 재 헌

연 구 원 : 지 병 윤

연 구 원 : 조 구 현

연 구 원 : 송 태 영

협동연구기관명 : 강원대학교

협동연구책임자 : 김 대 현

연 구 원 : 어 승 희

연 구 원 : 최 윤 성

연 구 원 : Sujala Bhattarai

요 약 문

I. 제 목

에너지용 목질자원의 효율적 수집을 위한 자동 장력 조절형 원치 및 자주식 목재 반송기 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

벌채된 후 경제적인 문제로 임내에 방치된 미이용 간벌재를 효율적으로 수집, 운송할 수 있는 가선 집재 장비와 가지나 초두부와 같은 부분을 바이오에너지의 원료로써 활용할 때 필요한 전목 수확시스템에 적합한 집재장비 개발을 목표로, 현장에서 손쉽게 이용할 수 있는 형태의 장력조절이 자동으로 되는 원치와 자주식 무선조정 목재반송기를 개발하고자 함.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 자동 장력 조절형 집재원치의 설계 및 시제품 제작

- 가. 집재원치의 용량설정을 위한 집재목의 견인모델 개발(소요동력 산정)
- 나. 동력전달기구 및 자동 장력조절 기구개발
- 다. 베이스머신의 선정 및 유압장치의 설계·제작

2. 장력 조절형 집재 원치의 유압제어 시스템 설계·제작 및 시험

- 가. 기존 장력 조절형 집재 원치 제어 기술 분석
- 나. 부하 대응형 유압모터 비례 제어 기술 개발
- 다. 장력 조절형 집재 원치 제어를 위한 유압 시스템 설계 및 제작
- 라. 목재 반송기의 장력 제어를 위한 서보모터의 자동제어 기술의 구현

3. 자동 장력 조절형 집재원치의 성능평가

- 가. 집재원치의 견인력 및 견인속도 측정 분석
- 나. 간벌현장에서의 집재원치 견인력 및 견인속도 측정 분석 및 공정 분석
- 다. 자동장력조절형 원치의 안정성검토 및 중간지지대 통과형 반송기개발

4. 자주식 무선조정 목재반송기의 설계 및 시제품 제작

- 가. 자주식 무선조정 목재반송기의 기본프레임 설계 제작
- 나. 자주식 무선조정 목재반송기의 동력전달 기구 설계 및 제작

5. 자주식 무선조정 목재반송기의 제어시스템 설계·제작 및 시험

- 가. 자주식 무선 조정 목재 반송기의 제어시스템 분석
- 나. 4채널 무선조정시스템 설계제작 및 구동 기구 설계 제작
- 다. 임상별, 주파수별 임지내 무선신호의 도달거리분석 평가
- 라. 무선조정식 초커 설계제작

6. 자주식 무선조정 목재반송기의 성능평가

- 가. 자주식 무선조정 목재반송기의 안정성 분석
- 나. 자주식 무선조정 목재반송기의 견인력 및 견인속도 측정 분석

7. 개발장비를 활용한 작업시스템 개발 및 평가

- 가. 스키더+프로세서 조합의 전목수확시스템에서의 작업시간분석 및 공정산출
- 나. 경사지 농업에서의 적용가능성

IV. 연구개발결과

1. 자동 장력 조절형 집재원치의 설계 및 시작품 제작

가. 집재원치의 용량설정을 위한 집재목의 견인모델 개발(소요동력 산정)

집재목의 견인저항을 예측하기 위하여 집재목 중량(W), 지면경사(θ), 토양과 견인목간의 집재계수(μ_s)의 함수로 수학적인 집재목의 견인모델을 집재견인 형태별로 유도하였다. 또한 굴삭기의 최대 견인량 추정을 위해 지면끌기 집재의 경우를 고려하여 힘 분석을 실시하였다.

나. 동력전달기구 및 자동 장력조절 기구개발

본 연구에서 고려한 장력조절기구는 2개의 집재드럼에 의해서 순환되는 작업줄의 장력을 조절하여 줄의 장력변화와 이로 인한 작업능률의 저하를 보완하기 위해 브레이크가 내장된 피스톤 모터(Poclair사)를 메인드럼(MSE05)과 홀백드럼(MSE02)의 구동원으로 사용하였다. 드럼의 구동을 위해 장착한 비례제어밸브의 스펴이 열리고 단힘에 따라 발생할 수 있는 유압변화를 일정하게 조정하므로써 가선의 장력이 일정하게 유지될 수 있는 시스템을 설계 제작하였다.

다. 베이스머신의 선정 및 유압장치의 설계·제작

유압장치는 구동유압모터의 유량제어를 위한 밸브와 압력 및 브레이크 유압분배를 위한 매니폴드 블럭을 포함하고 있다. 원치의 구동제어는 초기 장력조절용 볼륨과 원치의 전

후진 구동 조이스틱, 자동 수동모드, 견인 및 공주행시 작업속도 메모리 기능 등을 포함한 조정박스를 통해 운전하도록 고려하였다. 또한 집재원치의 드럼부는 원치가 고정될 수 있는 프레임을 별도로 제작하여 굴삭기 등에 장착하여 작동할 수 있도록 고려하였다.

2. 장력 조절형 집재 원치의 유압제어 시스템 설계·제작 및 시험

가. 기존 장력 조절형 집재 원치 제어 기술 분석

장력 조절형 집재 원치 제어 기술을 개발하기 위하여 이와후지의 TW-232를 분석하였다. 유압시스템을 이용하여 원치를 구동 시킬 때 사용되는 컨트롤 박스 내 회로를 분석하고 회로에 사용되는 각 부품들의 작동 원리 및 기능을 분석하여 원치의 구동 방식을 이해하였다. 원치를 구동하기 위하여 사용되는 유압모터의 가변속 제어에는 아날로그 방식과 펄스폭 변조 방식이 사용된다. PWM 방식은 모터 구동 전원을 일정주기로 On/Off 하되, On/off의 주기를 바꿈으로서 모터의 속도를 제어한다. 이에 시스템의 구성비용과 전력손실을 줄일 수 있는 이 방식을 사용할 것을 권장한다.

나. 부하 대응형 유압모터 비례 제어 기술 개발

부하 대응형 유압 모터 비례 제어 기술을 구현하기 위해 부하 변동에 따른 최적화된 PWM 신호의 전송을 위하여 PID 제어 기술이 채택되었다. 시스템 제어 구성은 LabVIEW와 Compact Fieldpoint가 사용되었다. PID 제어는 구조가 단순하고 조정해야 할 매개변수의 수가 적고 동작점에서 만족할만한 제어 성능을 보이고 있기 때문이다. PID 제어의 파라미터를 구하는 방법은 Ziegler-Nichols 동조법이 있다. 표의 나타낸 공식에 의해 각 파라미터를 얻을 수 있다.

다. 장력 조절형 집재 원치 제어를 위한 유압 시스템 설계 및 제작

시스템 구성은 유압모터, 밸브, 제어를 위한 마이크로-컨트롤러가 포함된 컨트롤 박스로 구성되어 있다. 시스템 제어 알고리즘은 마이크로-컨트롤러에 입력된 압력신호를 분석하여 PID 제어를 통한 최적화된 신호를 연산, 밸브로 보내어 유량 및 압력 제어를 하게 된다. 이에 제어하기 위한 유압회로도 분석은 필수적이며, 최적화된 PID 제어 알고리즘을 선정하기 위해 부하에 의한 실험은 필수적이다. 부하에 따른 케이블의 장력 변화를 파악 또한 진행되어야 한다.

라. 목재 반송기의 장력 제어를 위한 서보모터의 자동제어 기술의 구현

서보모터 시스템을 이용하여 lab-scale로 맞추어 목재 반송기를 구축하였다. 목재 반송기의 각 모터의 드럼을 구동시키면 와이어가 감기면서 드럼 지름의 변화가 생겨 각기 서로 다른 선속도가 되어 장력이 일정하게 되지 않아 목재 반송기의 이동이 원활하게 이루어

지지 않게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 PID 제어를 이용하여 모터의 속도를 제어한다. Ziegler-Nichols 방법은 PID 값을 얻기 위해 사용되었다. PID 초기 계수는 1.8, 0.025, 0.006, 최적계수는 PI 1.4, 0.010으로 실험을 통하여 얻었다. 결과는 PI 제어를 이용하여 모터의 속도를 제어하여 와이어의 장력을 유지 되는 것으로 나타났다.

3. 자동 장력 조절형 집재원치의 성능평가

가. 집재원치의 견인력 및 견인속도 측정 분석

집재원치의 성능을 평가하기 위하여 견인력 및 견인속도를 측정하였다. 굴삭기 엔진 rpm은 1,800으로 고정시켰으며, 견인목재의 수종은 리기다소나무로 100kg, 250kg 두 종류로 실험을 실시하였다. tension을 0으로 주었을 때, 평균 견인속도는 100kg일 때 98m/min, 250kg일 때 87m/min이며, 최대주행견인력은 100kg일 때 2,218kgf, 250kg일 때 1,820kgf로 나타났다.

나. 간벌현장에서의 집재원치 견인력 및 견인속도 측정 분석 및 공정 분석

간벌 현장에서의 시험은 리기다소나무 임지로서 임내에 벌채 후, 가지제거 및 초두부만 절단한 뒤 전간재를 집재하였다. 집재방향은 상향집재를 실시하였고, 설치거리는 90m였다. 설치 및 철거시간은 기존 타워야더에 비해 훨씬 적은 57.2분이 소요되는 것으로 조사되었다. 전체 55회의 조사 결과, 공주행, 초커설치 및 적재주행 등 순수작업시간 비율은 전체 작업시간의 63.2%로 나타났고 휴식, 장비체제 등 비사이클 작업시간인 일반적업시간의 비율은 36.8%로 분석되었다.

다. 자동장력조절형 원치의 안정성검토 및 중간지지대 통과형 반송기개발

임업기계 개발 및 제작 시 필요한 공학설계를 검증하며 보다 안정적이고 현장에서의 안정성을 확보하기 위해 개발한 자동장력 조절형 스윙야더를 대상으로 원치부와 포스트암 부분에 대한 안정성을 설계단계에서 해석 검토하여 보다 높은 현장적용성을 가지도록 하는데 목적을 두고 수행하였다. 또한 반송기의 한면에 분리형으로 커버를 설치하고 작업시 와이어로프이탈을 방지하는 시계추형태의 가이드를 설치해 중간지지대를 통과할 수 있도록 고려한 반송기를 개발하였다.

4. 자주식 무선조정 목재반송기의 설계 및 시작품 제작

가. 자주식 무선조정 목재반송기의 기본프레임 설계 제작

목재반송용 자주식 반송기는 자체 엔진을 탑재하고 캡스탄 드럼 또는 그루브 폴리에 의해 엔드리스 드럼 형식으로 작업줄을 풀리 또는 드럼과의 마찰력에 의해 구동하므로 써

주행력을 얻는 방식으로 구성되었다.

나. 자주식 무선조정 목재반송기의 동력전달 기구 설계 및 제작

23마력 가솔린 엔진과 직결되는 유압펌프는 PL. 20-11.2/11.2 2 펌프로 최대사용압력 250bar에서 11.23cm³/rev의 유량을 가진다. 이 펌프는 국내 판매처가 있어 자주식 반송기의 부품으로 사용할 경우 AS 및 부품공급이 원활하여 적용하였다. 또한 윈치 및 주행용 모터는 브레이크가 내장된 형태의 기어모터 OMT160FH(Sauer Danfoss)를 선정하였다.

5. 자주식 무선조정 목재반송기의 제어시스템 설계·제작 및 시험

가. 자주식 무선 조정 목재 반송기의 제어시스템 분석

자주식 무선 조정 목재 반송기에 사용되는 무선 송·수신기를 적용한 사례와 무선 통신 방식의 종류와 컨트롤 박스에 대하여 분석하였다. 무선 조정은 다양한 분야에서 많이 적용되어 사용되고 있으며 작업 현장에 따른 조작 장소의 이동을 고려하는 경우, 편리함에서 유선 조작보다는 유리하다는 것으로 판단된다.

나. 4채널 무선조정시스템 설계제작 및 구동 기구 설계 제작

무선조정시스템에 사용되는 무선 방식에는 AM, FM, PCM, Bluetooth, Zigbee 등이 있으며, 이의 특징을 분석하였다. FM, Bluetooth 통신을 이용하여 시스템을 구성, 회로분석과 프로그램 제어 분석을 하였다.

다. 임상별, 주파수별 임지내 무선신호의 도달거리분석 평가

무선신호의 도달거리분석 평가에 사용된 무선장비는 Bluetooth 통신을 이용한 무선 송·수신기 컨트롤 박스를 이용하여 거리별로 무선 신호의 작동 상태를 평가하였다. 거리별 측정 결과 평균 최대 거리 150m에서 정상적으로 작동되는 것으로 나타났다. 실제 작업 현장의 거리는 100m 안에서 이루어져 정상 작동이 될 것으로 판단된다.

라. 무선조정식 초커 설계제작

무선조정식 초커를 설계를 하기 위하여 적용사례를 조사하였다. 무선조정식 초커는 자동으로 고리를 분리하여 위험성 감소 및 작업 시간, 비용을 감축하여 편리성과 경제적 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단되어 개발 되었다. RF(Radio Frequency) 방식을 사용하여 제어 회로를 구성하였다. 동력장치의 기어드 DC 모터에 래크와 피니언 기어를 장착하여 무선신호에 의하여 작동되어 고리를 자동으로 분리할 수 있다.

6. 자주식 무선조정 목재반송기의 성능평가

가. 자주식 무선조정 목재반송기의 안정성 분석

자주식 무선조정 목재반송기의 안정성검토를 위해 설치한 가선집재시스템의 값을 기준으로 하였다. 장력 측정 시 사용한 12mm의 스카이라인은 공주행의 경우 무보정 계산결과에서 1.97의 안전율을 나타내었고, 보정계산을 한 경우도 2.10으로 일반적으로 적용되는 안전계수 2.7 이하로 동적하중이 가해질 경우 안정성에 문제가 있을 것으로 판단되었다.

나. 자주식 무선조정 목재반송기의 견인력 및 견인속도 측정 분석

개발된 무선조정 자주식 목재반송기의 주행성능을 시험하기 위해 30도의 산악 경사지에서 주행성능 시험을 실시하였다. 설계속도인 200m/min에서 동력전달 및 유압효율을 고려해 약 150m/min의 주행속도를 예상했지만 최대 약 90m/min의 주행속도를 나타내었으며, 주행 그루브 휠의 감기를 2회로 한 경우와 1회로 한 경우에 대하여 브레이크 시험을 실시한 결과 부가하중 200kg에서도 브레이크 성능은 문제가 없는 것으로 판단되었다.

7. 개발장비를 활용한 작업시스템 개발 및 평가

가. 스키더+프로세서 조합의 전목수확시스템에서의 작업시간분석 및 공정산출

전목 상태로 집재가 가능한 장력 조절형 스윙야더를 이용한 스키더+프로세서 조합의 전목수확시스템에서의 작업시간분석 및 공정 산출하여 생산성 및 경제성 분석을 실시하였으며, 산림 작업의 기계화 및 고성능화하기 위한 기초자료를 제공하고자 하였다. 낙엽송 지역은 집재장과 토장의 거리가 가깝고 임도 변에 위치하고 있어 집재된 전목재의 스키더, 프로세서 작업이 바로바로 이루어져 1일 평균 노동생산성이 6.19m³/일로 높게 나타났다.

나. 경사지 농업에서의 적용가능성

평지용 기계의 경사지 이용은 기종에 따라 차이가 있으나 일정한 한계가 있기 때문에 경사지 기계화를 위해서는 경사지 전용 기계의 개발이 불가피 하다. 경사지 전용 기계는 평지용 기계에 비하여 특히 안정성이 높고, 견인성능을 높이기 위한 다륜구동, 저 중심식 기계가 요구된다. 경지 기계화에 주력하여온 우리나라에서는 아직 경사지 전용 기계의 개발은 전무한 실정이다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

개발된 자동 장력 조절형 원치 및 자주식 목재 반송기를 지방산림청에 시범적으로 도입하여 현재 산림청에서 추진하는 임지잔재 자원화 시범사업에 활용되도록 건의

SUMMARY

1. Design and manufacture of auto-interlocking winch

(1) Traction model development of timber for capacity setting of winch

To assume the traction resistance of timber, the mathematical traction model was derived by weight(W) of timber, the ground slope(θ) and a coefficient(μ_s) of between soil and timber. In addition, power analysis was performed to estimate the maximum traction amount of an excavator considering the ground skidding.

(2) Development of power transmission mechanism and auto-interlocking winch

In this study, auto-interlocking winch was used piston motor with the brake(Poclair) as the driving source of the main drum (MSE05) and haulback drum(MSE02) for compensate for loss of work efficiency.

(3) Select of base machine and design and manufacture of Hydraulic pressure equipment

Hydraulic system includes the valve for flow control of Hydraulic motor and manifold block for the hydraulic distribution of pressure and brake. Also part of winch drum were considered to be mounted on excavators by made of a separate frame.

2. Hydraulic pressure control system of auto-interlocking winch

(1) The analysis of control technique for existing auto-interlocking winch

In order to develop the control technique of auto-interlocking winch, the control box and electrical circuit of TW-232 (IWAFUJI) were analyzed. By investigating the operating principles and function of each component for driving winch and by analyzing electrical circuit in the control box for operating hydraulic system, the performance of the TW-232 auto-interlocking winch were understood.

(2) Development of hydraulic motor proportional control technique

In order to achieve the hydraulic motor proportional control technique, Proportional-integral-differential (PID) control technique with PWM signal transfer were adopted due to the simple structure to build, relatively small number of parameters needed to adjust, and better operating performance. The system was consisted of LabVIEW and Compact Field point.

(3) Design and fabrication of hydraulic system for controlling the auto-interlocking winch

The system configuration is consisted of hydraulic motors, valves, micro-controller for controlling operation which were integrated in the control box. The system control algorithm is to analyze input pressure signal by the micro-controller, to calculate optimal signal by PID control, and then to send this signal to the valves to control flow and pressure of hydraulic system.

(4) The automatic control of a servo motor for tension control of timber carriage

A lab-scale timber carriage using a servo motor system was built. When two motors move a carriage, wire tension is changed according to the different line speeds caused by a wire drum's changing diameter, leading to inappropriate traveling characteristics of the carriage. In order to overcome this problem, PID Control was used to control the motor speed. Ziegler-Nichols method was used to determine PID gains. The initial PID gains were 1.8, 0.025, and 0.006, respectively, and optimal gains of 1.4 and 0.010 for P and I gain were obtained experimentally. The results showed that constant wire tension could be maintained by controlling the speed of the motor using PI control.

3. Performance test of auto-interlocking winch

(1) Measurement of traction power and traction speed of winch

In order to evaluate the performance of winch traction power and traction speed were measured. The engine of excavator rpm was fixed 1,800. The species of test trees were two *Pinus rigida* and weight was 100kg and 250kg respectively. Tension was 0(zero) and When towed 100kg *Pinus rigida*, average speed of tow was 98m/min and When towed 250kg *Pinus rigida*, average speed of tow was 87m/min. The maximum drive tow power was 2,238kgf, 1,820kgf respectively.

(2) Measurement and analysis winch traction power and traction speed in thinning site

The thinning site was *Pinus rigida* Stands. The investigation orders were as follow. Firstly, cut down *Pinus rigida* in inside of the landing. Secondly, cut branch. Lastely, we were implemented tree-length logging. The direction of yarding was uphill and establishment distance was 90m. Time of establishment and removal was taken 57.2 minutes. It was less than current existing Tower yarder. The results of the 55 times investigates showed that the rate of working time such as Idle State, establishment of Chocker and load drive was 63.2% of total working time. Also, the rate of general working time of cyclic such as rest, equipment repair analyzed 36.8% of total working time.

(3) Stability analysis of auto-interlocking winch and development of pass carriage

This study is aiming at high land adaptation through investigate to stability

auto-interlocking swing yarder's part of winch and post arm in step of planning.

4. Design and manufacture of self-propelled timber carriage

(1) Design and manufacture of self-propelled timber carriage

self-propelled timber carriage is equipped with its own engine and In the form of endless drum was composed by Capstans drum and groove pulley.

(2) Development of power transmission mechanism of self-propelled timber carriage

Hydraulic pump is directly related 23-horsepower gasoline engine has $11.23\text{cm}^3/\text{rev}$ At the maximum operating pressure 250bar. Also winch and track motor were selected to gear motor OMT160FH(Sauer Danfoss) by form equipped with brake .

5. Control system of self-propelled timber carriage

(1) The analysis of the radio-controlled self-propelled carriage performance

A case study of adaptation of a radio transmitter and receiver applied in self-propelled carriage and radio communication methods was performed. Radio control technique was widely used in various fields, especially in case of traveling control spot, the radio control technique has the better performance compared to wired adjustment.

(2) Design and fabrication of 4-channel radio control system and its driving mechanism

A case study of radio control system, such as AM, FM, PCM, Bluetooth, Zigbee, was performed, and their characteristics were analyzed. The system was consisted of FM, Bluetooth communication technique, and the circuit and program performance were analyzed.

(3) Evaluation of radio signal traveling distance in the forest in terms of different forest and frequency type

The performance of radio signal operation using Bluetooth communication in terms of different traveling distance was evaluated. The experimental results showed that the radio signal was functioned normally up to 150 m distance.

(4) Design and fabrication of radio-controlled choker

Radio controlled choker can reduce risk, working time, and cost, and increase economic benefits by separating hook automatically. The control circuit was built using RF technique and DC motor and a rack and pinion gear were mounted on the choker so that the hook was separated automatically by radio signal.

6. Performance test of self-propelled timber carriage

(1) Stability Analysis of self-propelled timber carriage

Standard is value of Yarding system which is installed to investigate stability of self-propelled timber carriage. 12 mm Skyline presented 1.97 factor of safety result from non-modified calculation as unoccupied drive. Safety factor equals 2.10 as modified calculation, Under factor of safety less than 2.7, Dynamic load is applied, there is a problem with reliability in the case was considered.

(2) Measurement of traction power and traction speed of self-propelled timber carriage

This is tested for the driving performance of self-propelled timber carriage in a 30-degree mountain slope. Drive speed is expected of 150m/min, considering power transmission or hydraulic efficiency in 200m/min design speed however represented about maximum 90m/min. The result is conducted by testing of break in case driving groove wheel first winding and twice winding. The results show that 200kg additional load will not be a problem in the brake performance.

7. Development of operation system using self-propelled timber carriage

(1) Work time analysis and process calculation by skidder+processor combination

Time study and productivities of each step operations were surveyed to provide the operational efficiency of mechanized harvesting system combination by swing yarder, skidder and processor. Work for skidding and processing of stacked full tree is performed immediately in Larch areas. As Larch areas close to landing point or landing area and is located in forest road, Therefore daily average labor productivity equals 6.19m³ respectively high.

(2) Applicability in hillside farming

As utilize of prairie-type machine in the slope has limits depending on the model, the development of slope-type machine is inevitable.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of research	17
Para 1. Backgrounds and necessity of research	17
1. Backgrounds and changes of native and foreign status	17
2. Necessity of research and development	18
Para 2. Objectives of research	18
1. Objectives of research	18
Chapter 2. Domestic and foreign status for developing technologies	19
Para 1. Carriage used for tower type yarder	19
Chapter 3. Scope and results of the study and development	29
Para 1. Design and manufacture of auto-interlocking winch	29
1. Traction model development of timber for capacity setting of winch	29
2. Development of power transmission mechanism and auto-interlocking winch	41
3. Select of base machine and design and manufacture of Hydraulic pressure equipment	42
Para 2. Hydraulic pressure control system of auto-interlocking winch	45
1. The analysis of control technique for existing auto-interlocking winch	45
2. Development of hydraulic motor proportional control technique	51
3. Design and fabrication of hydraulic system for controlling the auto-interlocking winch	55
4. The automatic control of a servo motor for tension control of timber carriage	58
Para 3. Performance test of auto-interlocking winch	67
1. Measurement of traction power and traction speed of winch	67
2. Measurement and analysis winch traction power and traction speed in thinning site	71
3. Stability analysis of auto-interlocking winch and development of pass carriage	73
Para 4. Design and manufacture of self-propelled timber carriage	81
1. Design and manufacture of self-propelled timber carriage	81
2. Development of power transmission mechanism of self-propelled timber carriage	91
Para 5. Control system of self-propelled timber carriage	94
1. The analysis of the radio-controlled self-propelled carriage performance	94
2. Design and fabrication of 4-channel radio control system and its driving mechanism	100
3. Evaluation of radio signal traveling distance in the forest in terms of different forest and frequency type	111
4. Design and fabrication of radio-controlled choker	114

Para 6 .Performance test of self-propelled timber carriage	122
1. Stability Analysis of self-propelled timber carriage	122
2. Measurement of traction power and traction speed of self-propelled timber carriage	133
Para 7. Development of operation system using self-propelled timber carriage	126
1. Work time analysis and process calculation by skidder+processor combination	126
2. Applicability in hillside farming	135
Chapter 4. Attainment of research goals and contributions of relevant fields	142
Chapter 5. Utilizing plan of developed reseach results	143
Chapter 6. Advanced technological information acquisited during the research periods	144
Chapter 7. References	167

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	17
제 1 절 연구개발의 배경 및 필요성	17
1. 연구의 배경 및 국내외 관련분야 환경변화	17
2. 연구개발의 필요성	18
제 2 절 연구개발의 목적	18
1. 연구개발의 목적	18
제 2 장 국내외 기술개발 현황	19
제 1 절 타워형 집재기에 사용되는 반송기	19
1. 작업줄 방식의 반송기	19
2. 스카이라인 방식의 반송기	21
3. 중간지지대 통과형 반송기 개발	27
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	29
제 1 절 자동 장력 조절형 집재원치의 설계 및 시작품 제작	29
1. 집재원치의 용량설정을 위한 집재목의 견인모델 개발(소요동력 산정)	29
2. 동력전달기구 및 자동 장력조절 기구개발	41
3. 베이스머신의 선정 및 유압장치의 설계·제작	42
제 2 절 장력 조절형 집재 원치의 유압제어 시스템 설계·제작 및 시험	45
1. 기존 장력 조절형 집재 원치 제어 기술 분석	45
2. 부하 대응형 유압모터 비례 제어 기술 개발	51
3. 장력 조절형 집재 원치 제어를 위한 유압 시스템 설계 및 제작	55
4. 목재 반송기의 장력 제어를 위한 서보모터의 자동제어 기술의 구현	58
제 3 절 자동 장력 조절형 집재원치의 성능평가	67
1. 집재원치의 견인력 및 견인속도 측정 분석	67
2. 간별현장에서의 집재원치 견인력 및 견인속도 측정 분석 및 공정 분석	71
3. 자동장력조절형 원치의 안정성검토 및 중간지지대 통과형 반송기개발	73
제 4 절 자주식 무선조정 목재반송기의 설계 및 시작품 제작	81
1. 자주식 무선조정 목재반송기의 기본프레임 설계 제작	81

2. 자주식 무선조정 목재반송기의 동력전달 기구 설계 및 제작	91
제 5 절 자주식 무선조정 목재반송기의 제어시스템 설계·제작 및 시험	94
1. 자주식 무선 조정 목재 반송기의 제어시스템 분석	94
2. 4채널 무선조정시스템 설계제작 및 구동 기구 설계 제작	100
3. 임상별, 주파수별 임지내 무선신호의 도달거리분석 평가	111
4. 무선조정식 초커 설계제작	114
제 6 절 자주식 무선조정 목재반송기의 성능평가	122
1. 자주식 무선조정 목재반송기의 안정성 분석	122
2. 자주식 무선조정 목재반송기의 견인력 및 견인속도 측정 분석	123
제 7 절 자주식 무선조종 목재반송기를 이용한 작업시스템개발 및 평가	126
1. 스키더+프로세서 조합의 전목수확시스템에서의 작업시간분석 및 공정산출(경제성분석) ..	126
2. 경사지 농업에서의 적용가능성	135
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	142
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	143
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	144
제 7 장 참고문헌	167

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 배경 및 필요성

1. 연구의 배경 및 국내외 관련분야 환경변화

가. 국외 여건변화

유일한 CO₂ 흡수원인 산림에 대한 세계적인 관심 고조되고 있는 상황으로 온실가스 감축을 위한 탄소배출권 조립 등 산림의 중요성 부각되고 있다. 특히 중국, 인도 등 8개국에서 10건 탄소배출권 조립을 등록중에 있다(유엔기후변화협약, 09.12). 또한 유럽을 중심으로 신재생에너지인 목재펠릿 시장 확대되고 있으며 세계 펠릿시장은 지난 10년간 연평균 18%증가, 향후 연간 30%이상 확대전망하고 있다(FAO). 이로 인한 국제적으로도 환경친화적인 목재 생산과 관련된 장비의 개발 및 보급이 확대될 것으로 전망되며 일본의 경우 2000년도 초반부터 타워집재기를 대신하는 스윙야더의 보급대수가 지속적으로 증가하고 있다.

나. 국내 여건변화

국내적으로도 탄소흡수원 확충과 산림바이오매스 활용 촉진을 규정한 녹색성장기본법 제정되어 산림청에서도 산림자원의 에너지활용 기반 구축을 위해 숲가꾸기 산물수집을 확대하고 목재펠릿 제조기반 마련하고 있다. 산물수집의 경우 2008년도 65만m³이던 것을 2009년에는 80만m³으로 늘리고 펠릿 제조시설도 4개소를 신설하였으며 농산촌 펠릿보일러를 3천대 보급하고, 펠릿 혼소발전(동해화력) 및 군부대(3개소)에 시범사업 추진하고 있다. 또한 원활한 산림바이오매스 활용을 위한 일관시스템 구축하여 숲가꾸기 산물수집을 확대하여 에너지원으로 공급하는 계획을 추진 중에 있다.

숲가꾸기(23만ha)	<ul style="list-style-type: none"> 간벌률 : 20 → 35% 10ha이상 규모화
산물수집(110만m ³)	<ul style="list-style-type: none"> 수집률 : 20 → 35% 기계화 : 15 → 30%
산물공급	<ul style="list-style-type: none"> 산업용 50%, 농업용 30% 에너지용 20%
목재펠릿(18만톤)	<ul style="list-style-type: none"> 마을단위 보급 지역단위 유통망 구축

<산림바이오매스 일관시스템>



<산림의 탄소순환 체계도>

한편 이러한 산림바이오매스 일관시스템을 활용한 탄소순환마을도 대상지를 선정하여 조성하고 있다(1개소). 2010년부터는 목재펠릿의 이용 활성화를 위한 체계적인 수급관리를 위해 목재펠릿 제조시설 8개소 신설(2010년말 총생산능력 年 20만톤)하고 원료와 수요처를 고려하여 2012년까지 총 40만톤 규모의 생산시설 확충할 예정이다. 농산촌 주택 목재펠릿보일러의 경우도 4천대 보급하고 2012년 까지 39천호까지 보급할 예정이다. 이에 목재펠릿 품질규격 의무 표시제를 도입

하고 부가세 감면 추진 중이다.

또한, 국산목재 공급에서도 공급시스템을 개선하고 목재자급률 제고를 위해 일정규모 이상 벌채시 적정본수의 나무를 존치하는 친환경 벌채제도 도입 및 국산목재 저장센터 설치(시범사업 1개소)할 예정이다. 이러한 배경으로 국내 임업기계 보급사업 예산이 전년도 대비 5배 이상 증가하였으며 국유림 관리소 및 산림조합을 중심으로 임업기계 구입 및 현장 활용이 늘어나 관련 시장의 확대가 예상되고 있다.

2. 연구개발의 필요성

국내 임업기계화에 필수인 급경사지의 가선행 집재 장비를 개발하므로써 집·운재장비의 자체 개발기술 확보와 현재 수입에 의존하는 임업기계류의 국산화 촉진이 필요한 상황에서 현재 막대한 물량의 간벌작업을 생력화하여 작업비용 절감과 생산성 향상으로 바이오 에너지로의 활용 및 임업의 수익성 개선과 인력부족 현상에 대처할 필요가 있다.

또한, 작업이 간편한 기종의 보급으로 노령화된 산림작업의 질적 개선과 작업환경개선으로 산림작업에 대한 직업의식을 개선하고 친환경적인 작업시스템을 적용하여 산림작업에 의한 임지훼손을 최소화하므로써 벌채작업에 대한 부정적인 인식을 개선하고 미이용 목질자원의 경제적 수집 방안 마련이 요구되고 있는 상황이다.

제 2 절 연구개발 목적

1. 연구개발의 목적

벌채된 후 경제적인 문제로 임내에 방치된 미이용 간벌재를 효율적으로 수집, 운송할 수 있는 가선행 집재 장비와 가지나 초두부와 같은 부분을 바이오에너지의 원료로써 활용할 때 필요한 전목 수확시스템에 적합한 집재장비 개발을 목표로, 현장에서 손쉽게 이용할 수 있는 형태의 장력조절이 자동으로 되는 원치와 자주식 무선조정 목재반송기를 개발하고자 함.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 타워형 집재기에 사용되는 반송기

어떠한 현장에서든 새로운 집재장비의 도입에 있어서는 제작회사 또는 판매 대리점의 기술 지도를 받음으로 특별한 것이 없고, 이 설치 이외에 조합되는 것은 없다. 그러나 타워야더 제작회사에서 기계의 개발에 있어 다양하게 연구하고, 타워야더 본체의 성능기구에 맞는 가선방식을 결정하고, 거기에 적합한 반송기를 동시에 개발하므로 서 어떠한 제작회사가 나타낸 조합을 기술적으로 사용해도 좋다고 판단된다. 별도의 반송기와와의 조합이나 새로운 가선방식의 개발과 연구는 타워야더를 충분히 사용하여 가능한 것이다. 이에 대하여 본 연구에서는 현재 일본에서 타워야더용으로 사용되는 반송기에 대하여 제작회사에서 발행한 자료에 기초하여 구조 및 기구를 고찰하여 반송기 개발의 기초자료로 삼고자 하였다.

1. 작업줄 방식의 반송기

가. 러닝스카이라인용 반송기

과거 단순 가선집재작업기를 활용한 집재작업에는 특별한 반송기가 개발되지 않았고, 도르래와 샤키를 조합한 간단한 방법이 사용되었다. 타워야더에서도 집재거리가 짧고 측방집재 폭을 어느 정도 넓히지 않는 경우는 이 방법으로도 충분히 작업을 할 수 있지만, 초커설치 작업을 편하고, 타워야더의 성능에 적합한 능력을 확보하기에는 반송기 자체의 연구와 개량이 필요하다. 현재로는 다음에 표시된 3종류가 실용화되어 있지만 인력에 의한 와이어로프 풀기가 용이하고 측방집재작업을 능률적으로 할 수 있는 반송기의 개발과 개량이 필요한 시점이다. .

(1) 수동 클램프식

구조는 그림 1과 같이 간단하다. 홀백라인 위를 주행하는 도르래와 메인라인에 위치한 도르래로 되어 있으며, 거기에 홀백라인으로 캐리지를 고정시킬 클램프가 장치되어 있다. 클램프는 반송기 측면의 레버를 수동으로 조작하여 작동시킨다. 클램프는 다음에 서술한 것처럼 인력에 의한 와이어로프의 당김과 측방 작업을 용이하게 하기 위한 장치이다.

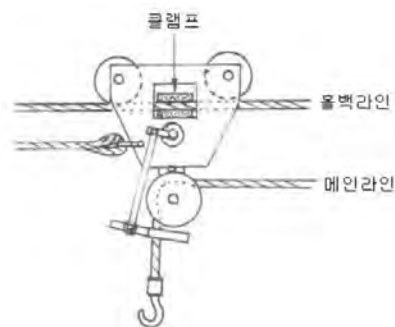


그림 1. 러닝스카이라인식 반송기(클램프 식)

- 초커설치 작업을 손쉽게 한다. : 런닝스카이라인식에서는 초커 설치장에 캐리지를 부착하면 메인라인과 홀백라인의 양선을 풀어줌으로서 캐리지는 낙하한다. 초커 설치자는 반송기와 2개의 라인을 함께 원목이 있는 곳까지 끌고 가지만 이 작업은 힘을 요하는 경사지에서는 힘든 작업이다. 하지만 반송기와 홀백라인을 클램프로 고정함에 따라 메인라인만을 끌고 가도록 한다.

- 측방집재가 용이하다. 측방을 할 때 캐리지는 가능한 한 높은 위치에 있는 편이 원목을 견인하기 쉽다. 그 때문에 홀백라인을 필요한 높이까지 장력을 높이지만 그것과 함께 반송기가 (꼬리기둥 쪽에) 이동하여 버리는 것은 작업을 어렵게 만든다. 클램프 함으로서 캐리지는 당초 정지한 곳에 고정된 채 홀백라인을 높이 올릴 수 있고 캐리지의 위치가 높아진다. 이 캐리지를 사용할 때 조작법은 다음과 같다.

- 타워야더 운전자는 메인라인과 홀백라인을 일정한 높이로 긴장시킨 상태로 캐리지를 초커장까지 보낸다. 초커장에 장착된 두 라인을 풀어 캐리지를 지상으로 내린다.

- 초커 설치자는 캐리지 측면에 부착되어 있는 레벨에 핸들을 꺾어 손으로 조작하여 캐리지를 홀백라인으로 클램프시킨다.

- 초커 설치자의 신호에 따라 타워야더의 운전자는 홀백라인을 적당한 높이로 뺀어 올린다.

- 초커 설치자는 메인라인과 홀을 원목이 있는 곳까지 끌고 가서 초커를 설치한다.

- 타워야더 운전자는 초커 설치자의 연락에 따라 메인라인을 감아올린 목재를 견인하여 매달아 올린다. 홀이 반송기의 레버를 눌러 클램프가 풀리면 홀백라인을 계속 풀어 원목을 타워야더 측으로 견인한다. 이 캐리지를 사용한 타워야더의 메인라인용 드럼과 홀백라인용 드럼 사이에는 집재 중에 목재가 크게 오르내리지 않도록 성능이 좋은 인터록 기구를 편성할 필요가 있다.

(2) 무선조종 클램프식

클램프를 조작하기 위해 일일이 캐리지가 있는 곳까지 걸어가는 것은 큰일이므로 무선 발신기로 클램프의 개폐를 작동하는 반송기다. 클램프 개폐의 동력원은 배터리가 있지만 캐리지 중량을 가볍게 하기 위해 충전 장치는 갖추지 않아 조작횟수는 좋지만 수일 내로 배터리를 교환할 필요가 있다. 이 반송기의 조작법은 메인라인을 풀어낼 때와 측방 중에는 클램프를 설치하여 캐리지를 초커장으로 보낼 때와 타워야더 쪽으로 원목을 견인할 때는 클램프를 밖으로 놓는다.

(3) 키토 클립 식

홀백라인과 캐리지의 고정을 개방식 키토 클립으로 작동하는 캐리지이다(及川 자동차 주식회사). 이것은 현장의 연구에서 생겨난 간단한 기구에 의한 실용성이 높은 아이디어이다. 이 구조는 그림 2에 나타내었듯이 끝에 키토 클립을 부착한 직경 6mm 길이 1m 정도의 와이어로 프를 캐리지에 부착한 것으로 사용 방법은 다음과 같다.

- 타워야더에서 초커장으로 보낸 캐리지는 메인라인과 홀백라인을 풀어 지상에 낙하시킨다.

- 초커 설치자는 키토 클립을 캐리지와 타워야더 사이의 홀백라인으로 고정한다.

- 타워야더의 운전자는 홀백라인을 감아올린다. 이 때 캐리지는 꼬리기둥 쪽으로 끌려 가지만, 키토 클립으로 고정하고 있기 때문에 움직이지 않는다.

- 초커 설치자는 메인라인을 원목이 있는 곳까지 끌어내서 초커를 설치한다.

- 타워야더의 운전자는 초커 설치자의 신호에 따라 메인라인을 감은 원목을 견인하여 매달아 올린다. 혹은 캐리지에 부착되어 메인라인이 캐리지를 타워야더 쪽으로 끌면 키트 클립의 고정이 느슨해져 자동적으로 풀어진다. 풀어진 것이 확인되면 홀백라인을 잡아당겨서 타워야더 측으로 원목을 견인한다.

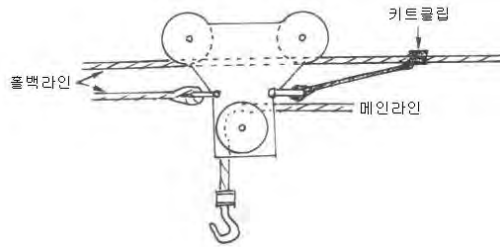


그림 2. 러닝스카이라인식 반송기(키트클립식)

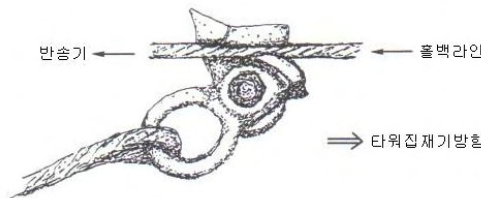


그림 3. 키트클립의 구조

나. 재래 타입

간이 가선의 던햄 식은 임도 끝 등의 소면적 임지에 산재한 비교적 대경재를 집재하는 것에 적절한 가선 방식이지만 그다지 일반적이지 않았기 때문에 반송기의 입수가 곤란하다고 생각한다. 구조는 간단한 것이므로 강도 확보에 계속 주의하여 소재지 공장에서 제작하여 보내지는 것도 가능하다. 참고로 그림 4에 구조 개념도를 나타내 놓았다.

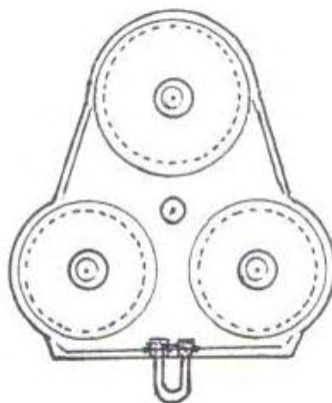


그림 4. 던햄식 반송기

2. 스카이라인 방식의 반송기

전술한 바와 같이 가선 방식은 반송기의 구조와 기구에 따라서 결정되므로 다른 것을 선택

하면 가선 방식도 바뀔 필요가 있다. 타워야더의 윈치 제어기구 등은 가선 방식을 정하여 설계되어 있으므로 가선 방식을 바꾼 캐리지의 변경은 실질적으로 어렵다. 당면한 메이커가 지정한 조합이 가장 바람직하다고 할 수 있다. 반드시 조합을 바꿀 것을 희망하는 경우는 타워야더와 캐리지 쌍방의 제어기구 등 개조 또는 조정이 필요하다고 여기는 것으로 메이커와 상담할 것.

가. 작업줄 1개(메인라인) 식

일본에서는 임도의 배치사정도 있고, 상향집재 전용의 가선 방식은 많이 사용되지 않는다. 따라서 현재 이 방식의 실용기로서 시판되고 있는 캐리지는 외국 제품이다. 그림 5에 나타낸 구조의 캐리지는 스카이라인을 클램프 하는 방식이다(콜라 社:오스트리아). 본 기계의 클램프를 작동시키는 동력은 캐리지 주행 중인 주행 도르래의 회전을 유압 펌프로 전달하여 발생시킨 유압이다. 클램프의 개폐와 메인라인의 승강 컨트롤은 메인라인에 가해진 장력과 이동이 캐리지내의 유압 제어판을 작동하기에 달려있다. 스카이라인 위에 스톱퍼를 설치하는 방식의 캐리지에는 오히려 워셔 방식 등의 예가 있었지만 타워야더 용으로서 현재 일본이 사용하고 있는 것은 없다.

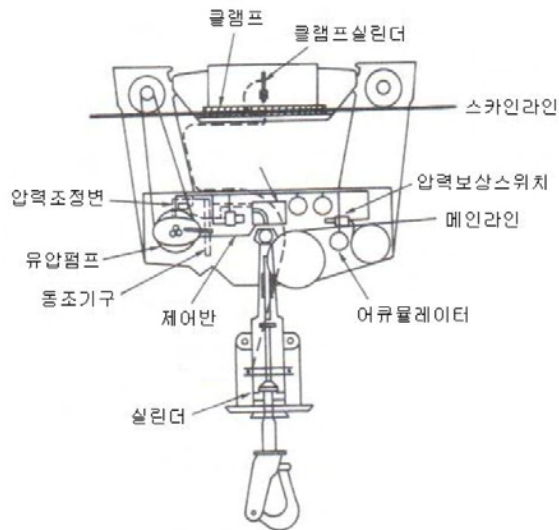


그림 5. 작업줄 1본식 반송기(콜라사)

나. 작업줄 2개(메인라인+홀백라인) 식

메인라인이란 가선 방식의 項에서 설명하였듯이 타워야더의 드럼에서 나온 1개의 와이어로프가 홀라인(타워야더와 캐리지 사이에 설치할 수 있으며 캐리지를 타워야더 쪽으로 견인하는 역할을 하는 라인)과 리프팅라인(캐리지에서 아래쪽으로 나와 있는 라인에서 원목을 견인하여 매달아 올리는 역할을 한다.)의 두 가지 경로의 역할을 해내는 작업줄이다. 한쪽 홀백라인은 캐리지를 초커설치장까지 잡아당기는(주행시키는) 작업줄이다. 작업줄이 2개씩인 방식에서 라인의 명칭과 기능은 위에 설명하였지만 가선 방식의 項에서 설명하였듯이 메인라인을 꼬리기 등 쪽으로 돌리면서 캐리어로 들어가는 방식이며 이 경우는 홀백라인이 메인라인의 역할을 하고 있다고 이해되므로 반송기로서 다음의 2가지 방식으로 나눌 수 있다.

- (1) 메인라인 = 홀라인(짐당김줄) + 리프팅라인(짐올림줄) 방식

이 방식은 캐리지의 예로서 국가적인 사업으로 개발하여 M50형 타워야더로 사용된 것을 그림 6에 나타내었다. 캐리지 내에 메인라인 및 홀백라인용의 드럼이 편성되어 있다. 이 2개의 드럼은 같은 축 상에 부착되어 있기 때문에 한쪽 드럼의 회전은 그대로 다른 쪽 드럼으로 전달하며 감겨 들어가는 메인라인과 홀백라인을 감거나 풀거나 한다. 이 반송기의 작동 기구는 다음과 같다. 메인라인은 타워야더의 드럼으로부터 캐리지 내로 유도되어 메인라인용 드럼으로 여러 번 감겨 있기 때문에 캐리지 하부의 출구로 나오게 되어 원목을 들어 올리게 된다. 한편 홀백라인은 타워야더로부터 뒷기둥으로 돌려지므로 캐리지내부로 들어가서 홀백라인용 드럼에 감겨 있다. 메인라인과 홀백라인이 캐리지 내부에서 드럼에 감긴 방향에 서로 반대방향이므로 한쪽에 와이어로프가 감기면 다른 쪽은 풀리게 되는 작동을 한다. 요컨대 홀백라인을 타워야더로 잡아당긴 만큼 메인라인은 캐리지 쪽으로 잡아당겨져 짐올림줄로서 캐리지 밑으로 떨어진다. 반대로 메인라인을 타워야더 쪽으로 잡아끌면, 캐리지 내의 홀백라인용 드럼은 메인라인용 드럼의 회전에 의하여 그것과는 반대 방향으로 회전하여 홀백라인을 감는다. 이 작동기구에서 캐리지 내의 홀백라인용 드럼에는 원목을 올릴 수 있는 만큼의 와이어로프가 감겨 있을 필요가 있다(약 40m정도). 이 방식의 캐리지는 메인라인과 홀백라인을 작동시켜 리프팅라인을 떨어트려 원목을 들어 올리려고 할 때는 캐리지를 스카이라인에 고정시켜야 하고, 이를 위해 클램핑 장치가 필수적이다. 또 홀백라인의 움직임에 따라 확실하게 리프팅라인을 낙하시키기 위해 메인라인의 긴장용 장치나 집재 중에 원목의 중량으로 인해 리프팅라인이 미끄러지지 않도록 메인라인 브레이크 장치가 필요하다. 이들 캐리지 내의 장치를 작동시킨 동력원으로서 전력, 유압, 공기압 등이 이용되고 있다. 어떤 방식에서도 동력을 보충하기 위해 캐리지 주행활차의 회전을 이용한 발전기, 유압펌프, 에어펌프 등 여러 가지로 작동할 수 있다. 여기에 나타난 반송기의 예는 공기압식이며 클램프의 개폐지령은 무선조종으로 실시한다.

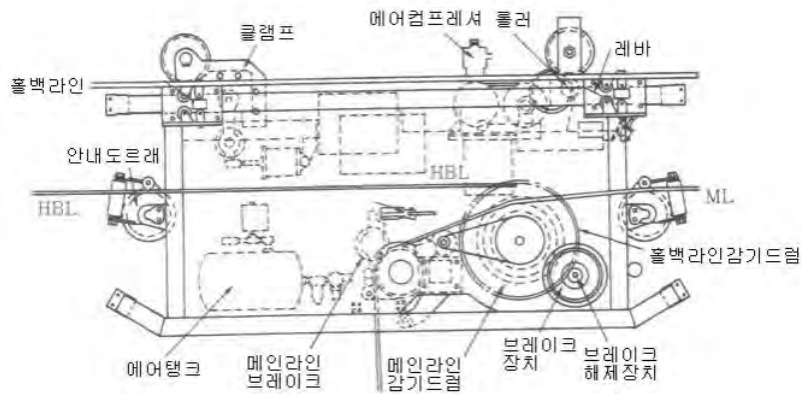


그림 6. 작업줄 2본식 반송기(M-50에 사용)

(2) 메인라인 = 홀백라인(되돌림줄) + 리프팅라인(짐올림줄) 방식

이것은 메인라인을 뒷기둥 쪽으로 돌려 캐리어로 들어가는 것이다. 이 경우 홀백라인에 메인라인의 역할을 한다면 이해하기가 쉽다. 결국 홀백라인으로 캐리지를 초커 설치장에 주행시키는 동작과 동시에 캐리지로부터 와이어로프가 낙하하고 원목을 들어 올리는 역할을 한다.

한편, 타워야더에서 캐리지에 직접 연결된 와이어로프는 캐리지 내의 드럼에 감으며, 리프팅라인을 낙하시키는 동작과 캐리지를 타워야더 쪽으로 잡아 당기(집재하)는 홀라인의 역할을

하게 된다. 이 방식의 예로서 MTY400으로 사용되고 있는 캐리지가 있다(그림 7). 이 캐리지에서는 리프팅라인을 들어 올릴 때 캐리지를 스카이라인에 고정시키는 클램핑 장치와 짐재 중에 리프팅라인의 브레이크를 거는 장치가 필요하지만 이들 장치의 작동은 짐재작업을 패턴 화시켜 와이어로프의 작동을 센서가 감지하여 자동으로 진행된다. 작동동력원은 배터리이다. 또 이 캐리지에는 무선으로 클램프 개폐를 제어하는 방식인 것도 있다. 이와 같이 메인라인을 회송용 줄로 사용하는 캐리지가 개발된 이유 중의 하나이며, 다음에 설명하도록 하고 캐리지를 스카이라인에 고정시키는 클램프의 힘을 작게 하여 사용할 수 있다는 점이다. 캐리지를 스카이라인에 클램핑하여 메인라인으로 원목을 잡아당기는 방식에서는 클램프의 힘은 그림 8에 해설하였듯이 메인라인이 당기는 힘이 스카이라인 접선방향의 분력이상이 되어야한다. 그 이하의 클램프의 힘에서는 원목을 들어올리기 위해 메인라인을 타워야더로 감아도 캐리지가 미끄러져 원목 짐재가 불가능하다. 하향짐재인 가선 방식에서 메인라인을 직접 캐리지 내로 연결하면 메인라인의 당기는 방향과 캐리지가 미끄러지는 힘(캐리지 + 원목 + 리프팅라인 + 기타 캐리지에 걸리는 중량)의 방향이 일치하므로 클램프 힘은 이것을 합한 것보다 크도록 해야 한다. 하지만 꼬리기둥 측으로 돌아서 캐리지로 들어가는 방식으로 하면 반송기가 미끄러져 내리려는 힘은 메인라인의 끄는 방향과 반대가 되며, 클램프력 메인라인을 타워야더 쪽에서 직접 캐리지를 넣는 것보다 작아지게 하는 것이 가능해진다.

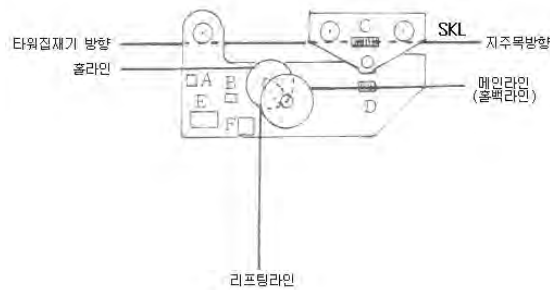


그림 7. 메인라인을 지주목쪽에서 반송기로 넣는 방식

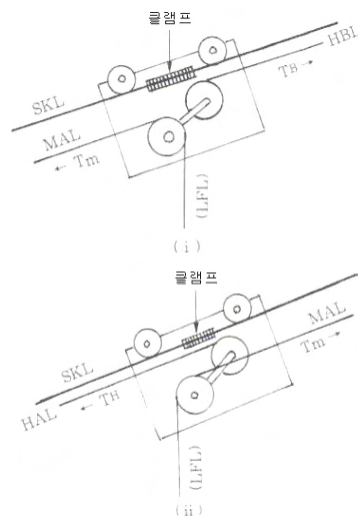


그림 8. 메인라인을 반송기로 넣는 방식에 따른 클램프 힘의 차이

다. 작업줄 3개(슬랙풀링) 식

초커 설치 장에 딸린 리프팅라인의 강제 하강을 타워야더에서 끌린 슬랙풀링라인으로 작동하는 방식이다. 그림 9에 나타내었듯이, 캐리지 내에 메인라인용 드럼과 일체 구조로 되어있는 슬랙풀링라인이 감긴 드럼이 장착되어 있다.

슬랙풀링라인을 타워야더의 드럼에 감아 캐리지 내의 메인라인용 드럼으로 회전하여 리프팅라인이 하강한다. 결국 슬랙풀링라인은 작업줄 2개씩인 홀백라인의 역할을 한다. 단, 슬랙풀링라인은 리프팅라인을 하강시키는 것만의 작동을 하면 좋으므로 사용할 와이어로프는 직경이 작아(직경 6mm 정도)도 좋다. 그러므로 슬랙풀링라인을 스트로라인이라고 하기도 한다.

이 캐리지에서는 리프팅라인을 승강할 때 반송기의 고정을 홀백라인으로 하기 때문에 작업줄 1개 또는 2개씩과 같은 클램프 장치가 필요 없다. 그러므로 캐리지의 구조는 간단하지만 작업줄이 3개가 되며 가선 방식이 복잡한 것과 타워야더의 메인라인, 홀백라인, 슬랙풀링라인을 구동할 3개의 드럼 사이에 줄을 감는 양을 콘트롤 할 인터록기구가 필요하다.

또한 이 방식의 캐리지에서는 가선의 span이 긴 경사가 급해지면 슬랙풀링라인을 끌어도 메인라인을 타워야더와 캐리지 사이의 느슨함을 커지게 할 뿐이며 리프팅라인은 하강하기 어려워질 수 있다.

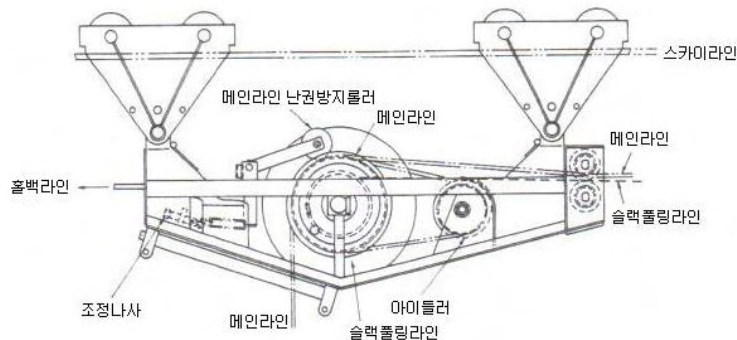


그림 9. 작업줄 3본 방식의 반송기(슬랙풀링 형)

라. 호이스팅 식

캐리지 내 장비의 리프팅라인용의 드럼을 타워야더에서 나올 와이어로프 혹은 기타 동력에 따라 회전시켜 리프팅라인을 오르내리는 방식의 캐리지이다. 현재 사용되고 있는 캐리지는 캐리지 내 리프팅 드럼을 구동시키는 방식에 따라 다음의 3종으로 분류된다.

(1) 엔드리스 드럼 형

캐리지 내 리프팅라인 드럼을 구동시키기 위한 동력을 타워야더에서 와이어로프로 캐리지에 부착된 엔드리스드럼을 회전시켜 얻은 방식의 캐리지이며 그림 10에 그 예(Just-1:KCZ150JH 및 CK10500Z으로 조합하여 사용된다)를 나타냈다. 구동방식에서 보면 과거 가선에서 사용되고 있는 호이스팅캐리지와 같은 계열의 것이다.

엔드리스드럼으로 감은 라인은 엔드리스에도 좋지만, 인터록기구가 끌어당기는 2개의 드럼으로 1개의 와이어로프의 양 끝이 따로따로 감겨서 좋다. 단 캐리지의 엔드리스드럼으로 감기

는 쪽과 풀리는 쪽의 장력차이가 일정하지 않으면 엔드리스드럼과 엔드리스 라인 사이에 슬립이 생기거나 이상 장력이 걸리거나 할 위험이 있기 때문에 2개의 드럼 사이의 장력 조정은 중요하다.

그러므로 이 방식의 캐리지는 인터록기구를 끌어당기고 있는 드럼 사이에서 풀리는 쪽의 와이어로프로 조정된 박텐션을 걸도록 한 타워야더에 엔드리스드럼을 장비한 기종과 조합시킬 필요가 있다.

리프팅라인이 오르내릴 때는 캐리지를 스카이라인으로 클램프 시킬 필요가 있다. 예로 나타낸 캐리지에서는 클램프의 개폐용 동력원을 배터리의 직류 전기로서 캐리지 주행도르래의 회전을 발전기에 전달하여 발전시킴으로서 짐재 중에 배터리를 충전하고 있다. 작동 지령은 무선으로 할 수 있다.

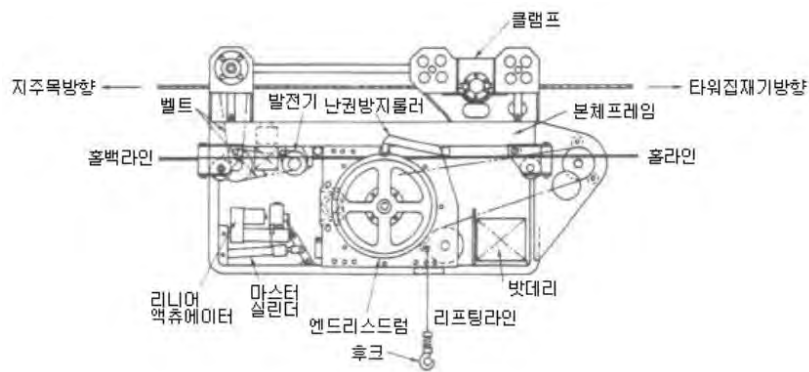


그림 10. 호이스팅 반송기

(2) 캐리지 내 3 드럼 형

그림 11에 나타내었듯이 캐리지 중에 홀라인, 홀백라인, 리프팅라인의 3선을 따로따로 감는 드럼을 동일 축 상에 3개 나란히 배치한 캐리지이다. 홀라인과 홀백라인은 역방향으로 감기며, 한 방향으로 감으면 다른 방향은 그 만큼의 길이가 풀린다. 이 2개 라인의 작동에 따라 리프팅 드럼이 작동하여 리프팅라인이 오르내리게 된다. 리프팅라인의 하향은 홀라인이 리프팅드럼을 회전시킴에 따라 실시되며, 원목을 매달아 올릴 때 리프팅드럼의 구동은 홀백라인으로 실시된다. 홀라인과 홀백라인은 캐리지 내에서 브레이크를 걸어 캐리지를 주행시키는 작동도 한다. 따라서 이 방식은 구조적으로 호이스팅캐리지의 기본형이라 할 수 있다. 홀라인 및 홀백라인의 작동은 완전히 리프팅라인의 작동과 동조하여 와이어로프의 슬립이 발생되지 않고 스펀 사이의 느슨해진 구동량도 흡수되지 않는다. 홀라인과 홀백라인용 드럼 사이에는 특별히 인터록을 할 필요는 없고 2개 이상의 감는 드럼을 장착하고 있는 주삭방식의 타워야더라면 기종을 불문하고 조합시킬 수 있으며 일반적인 짐재기에서도 사용이 가능하다. 리프팅라인을 오르내릴 때 캐리지를 스카이라인으로 고정할 장치를 필요로 한다. 현재 개발, 시판되고 있는 본 방식의 캐리지는 그림 11에 나타난 1종류이다(丸研 공업 주식회사 : 岐阜顯 各務原市). 본 기계에서는 클램프를 배터리로 전원하는 전동식 솔레노이드로 작동시켜 클램프 개폐지령을 무선으로 하고 있다.

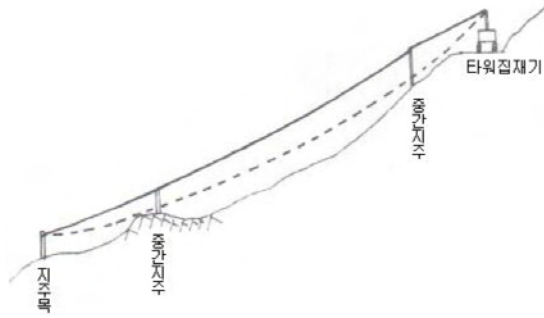


그림 12. 중간지지대가 필요한 경우

중간지지주는 스카이라인 작업줄 등의 되돌림이 끝난 단계에서 와이어로프, 支持金具, 클립 등의 필요한 기자재를 작업 설계 위치로 운반하여 입목 등을 이용하여 작업 설계한다. 입목을 지주로 이용하는 경우에는 벌채에 들어가기 전에 미리 적당한 나무를 선정해 두지 않으면 안 된다.

입목을 이용한 중간지지주의 작업설계 사례를 그림 13에 나타내었다.

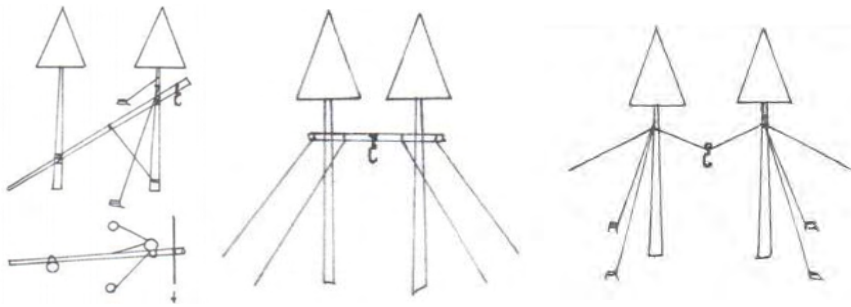


그림 13. 여러형태의 중간지지대 설치법

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 자동 장력 조절형 집재원치의 설계 및 시제품 제작

1. 집재원치의 용량설정을 위한 집재목의 견인모델 개발(소요동력 산정)

집재목의 견인저항을 예측하기 위하여 집재목 중량(W), 지면경사(θ), 토양과 견인목간의 집재계수(μs)의 함수로 수학적인 집재목의 견인모델을 집재견인 형태별로 유도하였다.

가. 지면집재

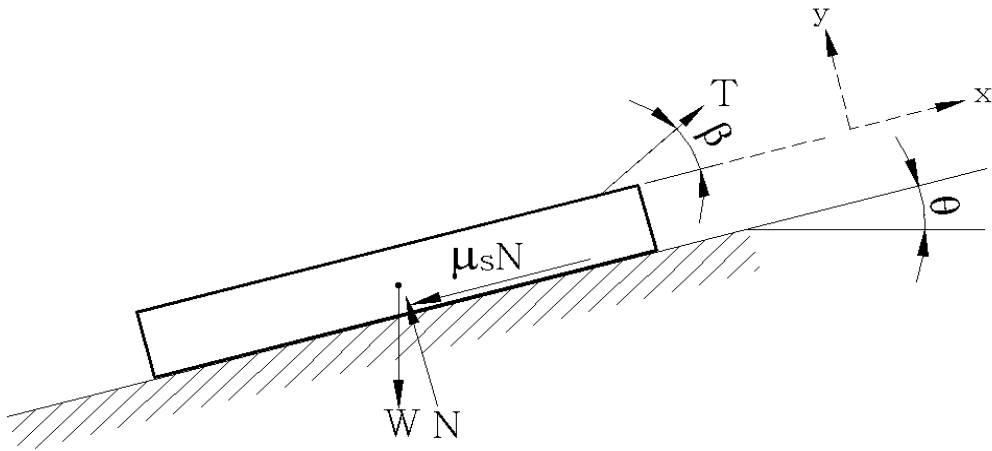


그림 14. 지면과 접촉하여 집재되는 견인목의 힘 자유선도

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.

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

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

위의 식을 β 와 T에 대해서 풀면 다음과 같이 견인시 발생하는 장력 즉, 견인력을 구할 수 있다. 여기에서의 장력은 집재목이 움직이는 순간의 장력으로 실제 견인을 위해서는 장력 이상의 힘이 소요된다.

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

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

나. 견인목 힘이 없는 반지면집재

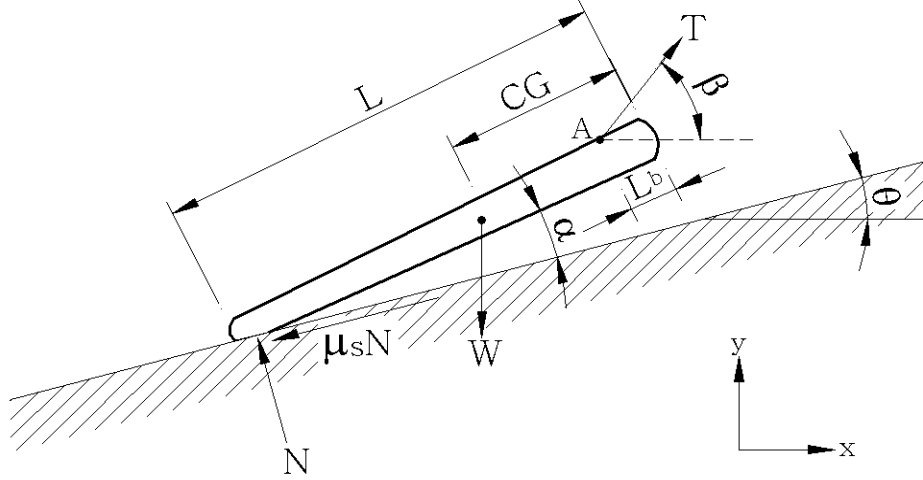


그림 15. 변형이 없이 한쪽 끝이 들어올려져 견인되는 경우의 힘의 자유선도

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

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

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

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

위의 식으로부터 N , β , 그리고 T 를 계산 할 수 있다.

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

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

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

견인목의 무게중심(CG)는 균일한 밀도를 가지고 있고 원추대의 형태라는 것을 가정하여, 다음의 식에 의해서 계산 할 수 있다.

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

여기서, r_b 는 원구의 반경이고 r_t 는 말구의 반경이다.

다. 견인목의 휨이 발생한 반지면집재

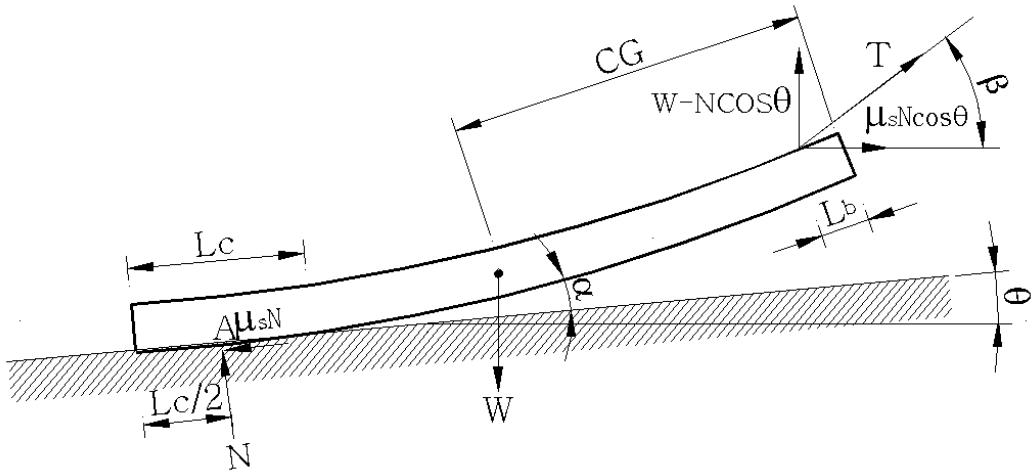


그림 16. 견인목을 들어올려 휨이 있는 경우 견인목에 대한 힘의 자유선도

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

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

이전의 식으로부터 N에 대한 관계를 유도하면 다음과 같다.

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

여기서 $x = L - L_b - L_c$.

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

$$T = \sqrt{(W - N \cos \theta)^2 + (\mu_s N \cos \theta)^2} \quad \text{and} \quad \beta = \left(\tan^{-1} \frac{\mu_s N \cos \theta}{W - N \cos \theta} \right) + 90^\circ$$

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.

라. 집재목 견인 모델을 이용한 소요견인력 산정

집재목의 견인 모델에 사용된 집재목은 원추대 형태의 단목으로 가정하였으며 집재목의 중량은 다음의 식을 이용하여 환산하여 이용하였다.

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

여기서 ,

W = 집재목의 무게, kg

MC = 집재목의 함수율(건량기준), %

G = 집재목의 비중

V = 집재목의 재적, m³

개발된 3종의 집재목 견인모델은 견인저항력을 비교하기 위해 다음과 같은 시뮬레이션 조건하에 시뮬레이션 하여 집재목의 견인에 소요되는 힘을 예측 하였다.

표 1. 집재방법별 집재목 견인력 추정에 사용된 파라미터

시뮬레이션 입력 파라미터	집재 방식		
	지면집재	견인목 휨이 없는 반지면집재	견인목 휨이 있는 반지면집재
L (견인목의 총길이)	9.80m	9.80m	9.80m
rb (견인목의 원구반경)	-	8.75cm	-
rt (견인목의 말구반경)	-	5.20cm	-
Lb (원구로부터 초킹 지점까지의 길이)	-	0.50m	0.50m
Lc (견인시 견인목과 지면과의 접촉길이)	-	-	0.30m
α (견인목과 수평면과의 경사각)	5.60°	5.60°	5.60°

시뮬레이션에 사용된 집재목은 최근 바이오에너지원으로 많이 활용되는 리기다 소나무 40년생 30본에 대하여 조사후 시뮬레이션의 집재견인목 중량으로 활용하였다. 그 결과는 그림 17와 같다.

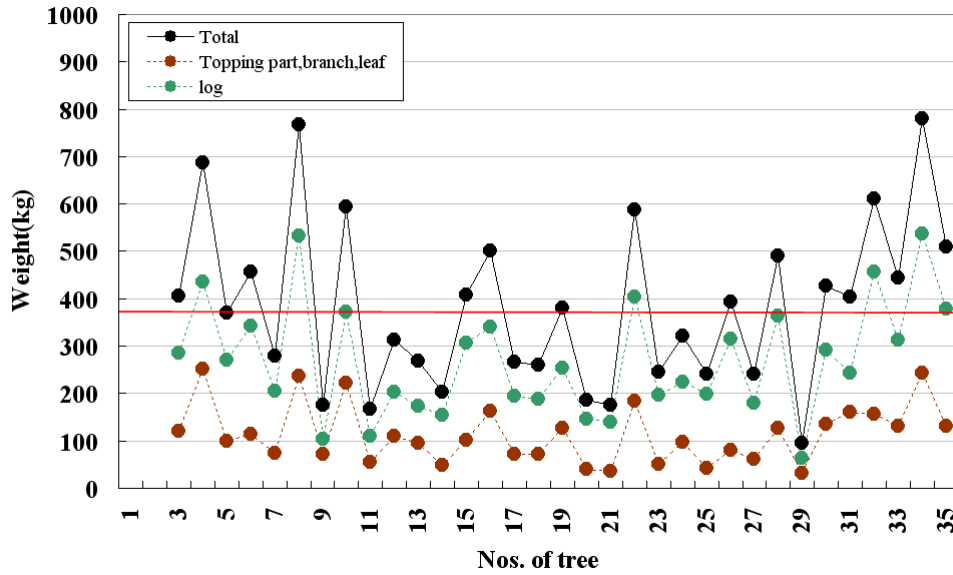


그림 17. 리기다 소나무의 중량분포

조사결과 전목기준으로 최대 본당 약 800kg 으로 그림 18의 시뮬레이션결과를 바탕으로 분석할 때 경사 15도에서 자중대비 약 1.2배로 960kgf 정도가 소요될 것으로 판단되나 실제 현장 작업시 집재기구 및 와이어로프의 중량등을 고려할 때 1,500kgf 소요될 것으로 판단되며, 안전율을 고려할 때 약 1,500 - 2,000kgf의 동력이 소요될 것으로 판단되었다.

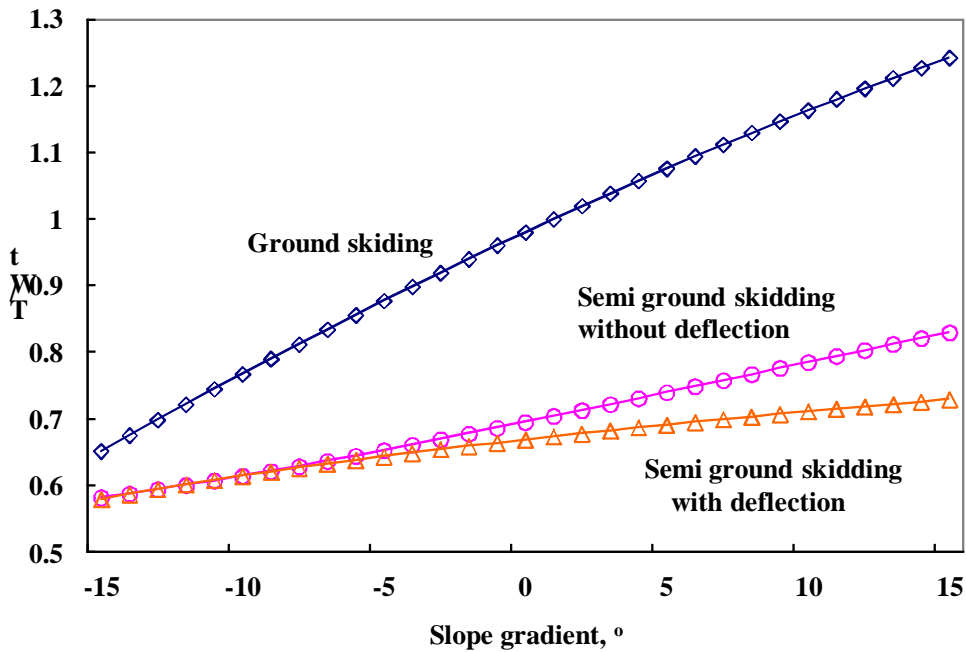


그림 18. 경사별 집재목의 자중대비 견인력 비 분포 예측

마. 굴삭기의 집재성능 예측

굴삭기 부착용 윈치를 이용한 집재방법은 크게 2가지를 고려할 수 있다. 첫째로 임내에서 수확된 목재를 임시 집재장소로 집재하는 경우로 윈치로부터 견인줄을 길게 늘어뜨려 굴삭기는 고정된채 윈치의 동력만으로 수확된 목재를 지면과 접촉하면서 견인되는 상태이며, 두 번째로 임시집재소에서 임도상이나 운재로까지 집재하는 경우로 윈치는 고정된 채 굴삭기의 자체 견인력만으로 목재를 견인하는 것을 고려할 수 있다. 이 두가지의 경우, 모두 목재가 지면과 접촉하여 견인되는 지면끌기 집재이고, 트랙터 집재에서 처럼 설키나 인테그랄아치를 이용하여 목재의 한쪽을 들어올린 상태로 견인하는 장치를 굴삭기에 따로 설계하지 않았기 때문에 본 연구에서는 굴삭기의 최대 견인량 추정을 위해 지면끌기 집재의 경우를 고려하여 힘 분석을 실시하였다.

(1) 집재윈치를 장착한 굴삭기의 최대견인량 모델링

굴삭기의 최대 견인력을 제한하는 인자는 탑재기관의 구동력, 주행장치의 점착력 및 주행사면의 기울기와 목재와 같은 하중의 견인에 의해 생기는 전도에 대한 안정조건 3가지를 고려할 수 있다. 따라서 굴삭기가 견인할 수 있는 목재의 양은 위의 3가지 조건으로부터 구해진 값들 중에서 가장 작은 값에 의해 제한되게 된다.

그림 19처럼 굴삭기가 윈치의 입장에서 지면끌기 집재를 하는 경우, 목재와 토양과의 마찰저항에 의해 생기는 견인줄 장력 T의 사면방향분력 S_w 및 사면에 대해 직각방향인 N_w 는 다음과 같다.

$$S_w = T \cos \beta, \quad N_w = T \sin \beta$$

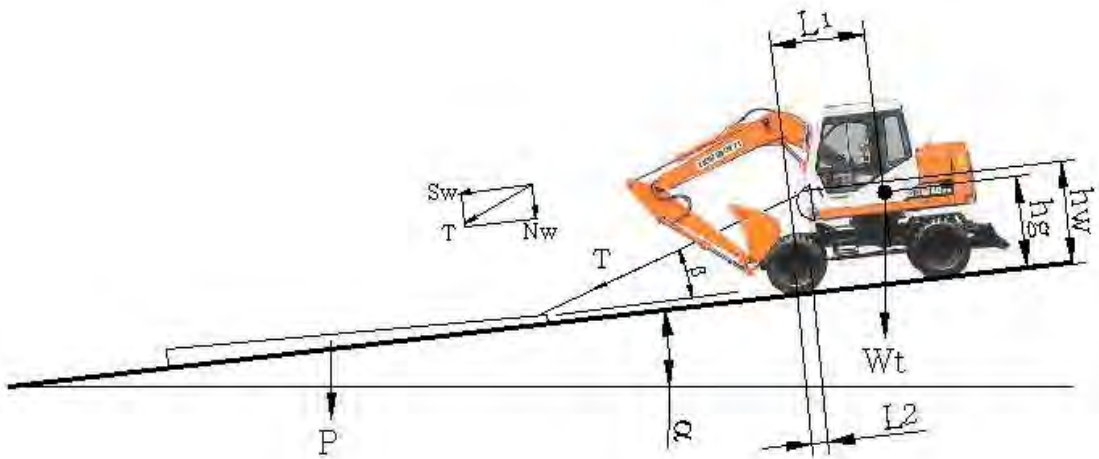


그림 19. 지면집재시 굴삭기 윈치와 견인목의 힘 자유선도

(가) 기관의 최대토크에 의해 제한되는 최대견인력

굴삭기의 최대 추진력은 차륜과 접촉하고 있는 토양의 전단력으로부터 발생하는 수평분력으로서, 굴삭기의 최대 추진력은 차륜의 주행저항을 극복하는데 그 일부가 사용되며, 나머지는 견인력 등 실제로 유용한 힘으로써 사용된다. 그러므로 차륜에 의해 발생하는 견인력과 굴

삭기의 최대 추진력 및 주행저항 사이에는 다음과 같은 관계가 성립하게 된다.

$$D = F_e - R_m \quad (8)$$

여기서,

D : 사면방향의 최대견인력

F_e : 기관의 최대토크 T_{\max} , 동력전달장치의 총감속비 N , 차륜의 구름반경 r ,

$$\text{및 동력전달효율 } \eta \text{로부터 구한 굴삭기의 최대 추진력} = \frac{T_{\max} \cdot N \cdot \eta}{r}$$

R_m : 주행저항 ($f_r W_t' + W_t \sin \alpha$)

f_r : 주행저항계수

W_t' : 굴삭기에 미치는 사면직각방향의 힘

위와 같은 경우에 사면방향의 최대 견인력은 견인줄장력의 사면방향분력 S_w 와 같다고 할 수 있다. 따라서 굴삭기를 이용한 지면끌기 집재의 경우에 주행저항 R_m 및 최대견인력 D 는 다음과 같다.

$$R_m = (W_t \cos \alpha + N_w) f_r + W_t \sin \alpha = (W_t \cos \alpha + T \sin \beta) f_r + W_t \sin \alpha$$

$$D = S_w = T \cos \beta$$

따라서 굴삭기에 탑재된 기관의 최대 토크에 의해 제한되는 견인줄장력 T 를 구하면

$$T_{\max, e} = \frac{\frac{T_{\max} \cdot N \cdot \eta}{r} - W_t (f_r \cos \alpha + \sin \alpha)}{f_r \sin \beta + \cos \beta}$$

또한, 최대 견인줄 장력 T 에 의해 견인되는 목재의 한계견인량 P 는

$$P_{\max, e} = \frac{[\frac{T_{\max} \cdot N \cdot \eta}{r} - W_t (f_r \cos \alpha + \sin \alpha)] (\mu_s \tan \beta + 1)}{(\sin \alpha + \mu_s \cos \alpha) (f_r \tan \beta + 1)}$$

(나) 굴삭기의 주행장치 점착력에 의해 제한되는 최대견인력

굴삭기 기관의 출력이 충분히 커서, 구동차축으로 전달된 구동토크를 추진력으로 전환할 수 있는 주행장치의 점착력에 의한 추진력이 엔진의 토크보다 작다면, 주행장치의 점착력에 의한 추진력에 의해서 견인성능이 제한된다. 따라서 이때 등속주행하는 굴삭기의 사면방향 최대 견인력은, 점착력에 의한 추진력과 주행저항의 차로 나타난다.

$$D = F_a - R_m$$

여기서,

F_a : 굴삭기의 주행장치 점착력 = $\mu W_t'$, μ : 점착계수

위와 같은 경우에 굴삭기의 주행장치점착력에 기초한 추진력 F_a 는 다음과 같다.

$$F_a = \mu(W_t \cos \alpha + N_w) = \mu(W_t \cos \alpha + T \sin \beta) \quad (14)$$

따라서 굴삭기의 주행장치 점착력에 의해 제한되는 견인줄장력 T 와 그것에 의해 견인되는 목재의 한계견인량 P 를 구하면

$$T_{\max, a} = \frac{W_t(C_t \cos \alpha - \sin \alpha)}{(\cos \beta - C_t \sin \beta)}$$

여기서 C_t : 굴삭기의 견인계수($\mu - f_r$)

$$P_{\max, a} = \frac{W_t(C_t - \tan \alpha)(f \tan \beta + 1)}{(1 - C_t \tan \beta)(f + \tan \alpha)}$$

(다) 굴삭기 전도에 대한 안정조건에 의해 제한되는 최대견인력

굴삭기의 전도에 대한 안정조건에 의해 제한되는 한계견인력은 윈치를 장착한 굴삭기에서는 버켓과 윈치가 전방에 설치되어 있어 지면끌기 집재를 하는 경우 후진을 하게 되므로 전륜을 중심으로해서 전방으로 전도하게 되는 경우가 생길 수 있다. 따라서 굴삭기가 목재의 견인저항으로 인해 발생하는 장력 T 에 의해 전도되지 않기 위한 조건은 다음과 같다.

$$L_1 W_t \cos \alpha + L_2 N_w \geq h_g W_t \sin \alpha + h_w S_w$$

$$\text{즉, } L_1 W_t \cos \alpha + L_2 T \sin \beta \geq h_g W_t \sin \alpha + h_w T \cos \beta$$

여기서

L_1 : 무게중심점으로부터 전륜축 중심까지의 길이

L_2 : 전륜축 무게중심점으로부터 윈치중심까지의 길이

h_g : 무게중심 높이

h_w : 윈치의 견인줄 높이

위의 식으로부터 굴삭기의 전도에 대한 안전조건에 의해 최대 견인줄장력 T 와 그것에 의해 견인되는 목재의 한계견인량 P 를 구하면

$$T_{\max, o} = \frac{W_t(h_g \sin \alpha - L_1 \cos \alpha)}{L_2 \sin \beta - h_w \cos \beta}$$

$$P_{\max, o} = \frac{W_t(h_g \tan \alpha - L_1)(\mu_s \tan \beta + 1)}{(\tan \alpha + \mu_s)(L_2 \tan \beta - h_w)}$$

(2) 굴삭기의 최대견인량 예측

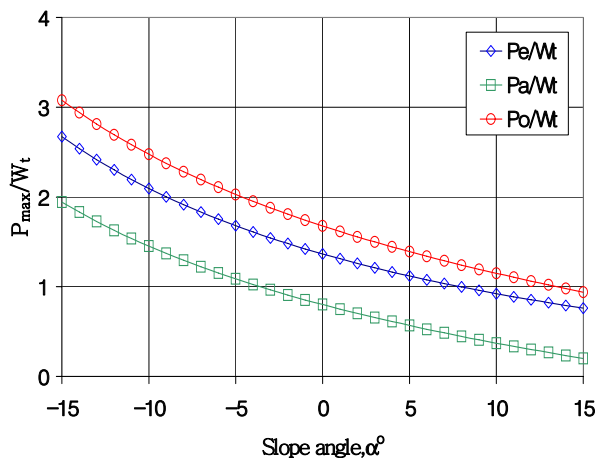
굴삭기의 최대견인량에 대한 이론적 해석결과 구해진 식을 이용하여, 표 2에서 제시한 값을 기초로 굴삭기를 이용한 지면끌기 집재의 최대견인량을 예측하였다.

또한, 굴삭기의 타이어 공기압은 1~2 kg/cm² 정도이고, 지표면의 상태는 사질양토 혹은 실트질의 나지에서, 지면의 경도가 원추지수로 3~8 kg/cm² 정도의 극히 보통으로 집재지에서 흔히 볼 수 있는 조건을 가정하였다. 굴삭기의 점착계수 μ 및 주행저항계수 f_r 값은, 타이어의 공기압이 1~3kg/cm², 접지압이 0.25~0.85kg/cm²의 범위에 있을 경우에는 점착계수는 0.6~0.5

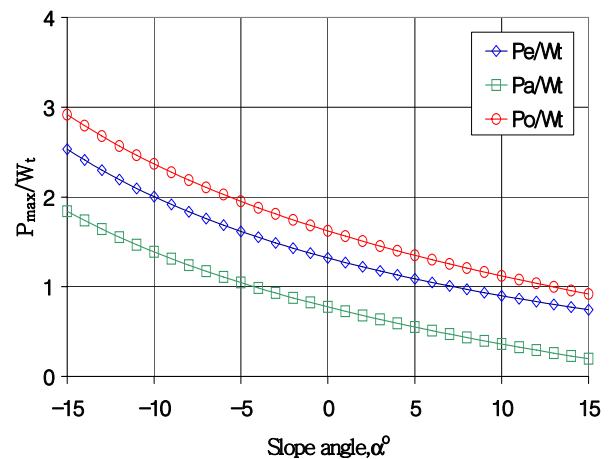
로 거의 일정한 값을 나타내고 주행저항계수는 0.1~0.3의 값을 나타낸다(Shishiuchi,1975). 본 연구에서는 굴삭기가 대상임분을 전체적으로 수확하는 것이 아니라 간벌수확하는 것을 가정하였기 때문에 임지의 지표면상태도 부식토 및 낙엽층이 있는 것을 고려할 수 있으므로 점착계수 및 주행저항계수도 이러한 상태들의 값을 선택하였다. 따라서 토양의 조건에 따라 모래질 토양에서는 점착계수 $\mu=0.48$, 주행저항계수 $f_r=0.08$, 실트질 토양에서는 점착계수 $\mu=0.53$, 주행저항계수 $f_r=0.10$ 을 적용하였다. 또한 견인목의 조건으로 견인목과 토양과의 마찰계수는 차두송 등(1999)의 연구결과에 따라 잣나무의 경우 0.860, 낙엽송의 경우 0.901, 굴참나무의 경우 0.855, 신갈나무의 경우 0.792를 적용하였고, 지면과 견인줄이 이루는 각 β 는 25.도를 가정하였다.

표 2. 견인력 예측에 사용된 굴삭기의 제원

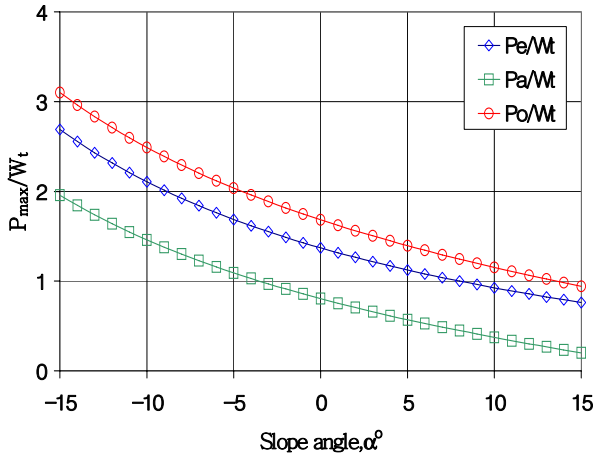
Model of excavator	DAEWOO SOLAR 80W-III
Total Weight (W_t), kg	7,600
Max. torque of engine (T_{max}), kg · m	20
Reduction ratio of transmission (N)	205
Efficiency of power transmission (η)	0.88
Radius of driving wheel(r), m	0.50
Height for center of gravity (h_g), m	1.52
Height for winch rope (h_w), m	1.75
Length from center of gravity to front wheel center(L_1), m	1.54
Length from front wheel center to winch center (L_2), m	0.54



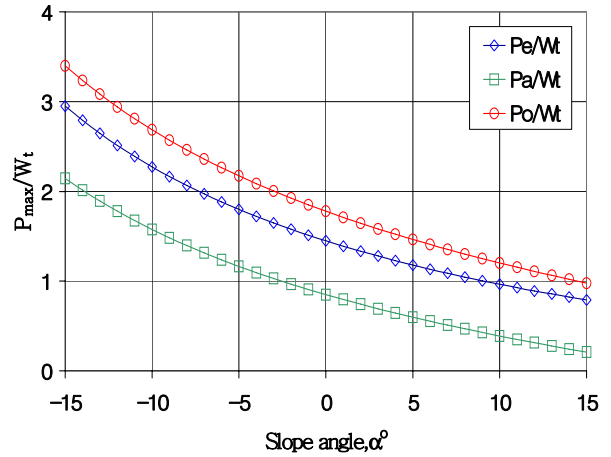
(a) 잣나무



(b) 낙엽송



(c) 굴참나무



(d) 갈참나무

그림 20. 지면경사각과 자중에 대한 견인력비와의 관계

그림 20은 굴삭기를 이용하여 지면끌기 집재를 한 경우에 탑재 기관의 최대토크, 주행장치의 점착력, 경사지 전도에 대한 안정의 조건에 의해서 제한되는 굴삭기의 한계견인량을 견인목의 수중별로 계산하여 사면의 경사각 α 에 대한 굴삭기 중량비로 나타낸 것이다. 그 결과 모든 수중에 있어서 주행장치의 점착력에 의해 제한되는 한계견인량 $P_{max,\alpha}$ 가 가장 작은 값을 나타내어 기관의 출력이 상대적으로 크더라도 주행장치의 점착력에 의해 굴삭기의 한계견인량이 결정되어지는 것으로 분석되었다. 수중별로 토양과목재간의 마찰계수의 차이로 인해 약간씩의 차이는 보이고 있으나, 모두 비슷한 한계견인량을 가지고 있으며, 4종류의 견인목 모두 평지에서 견인할 경우 굴삭기 자체무게의 약 85%까지는 견인할 수 있는 것으로 분석되었다.

또한, 토양의 조건에 따른 한계견인량은 사면의 경사에 따라 약간의 차이가 있는 것으로 예측되었다(그림 21). 평지에서는 실트질 토양이 사질토양보다 약 10%정도 더 견인할 수 있을 것으로 판단되며, 그 비율은 경사가 증가할수록 더 커져 경사 15. 에서는 약 25%정도의 차이가 생길 것으로 예측되었다. 이것으로 미루어 보아 하향집재인 경우 즉, 지면의 경사가 음의 부호로 나타난 경우에 굴삭기의 주행장치에 대한 토양추진력은 토양의 종류에 대해 영향을 적게 받는다는 것을 알 수 있으며, 상향집재인 경우에는 굴삭기의 주행장치가 토양에 의해 영향을 받고 있음을 간접적으로 증명해주는 결과이다.

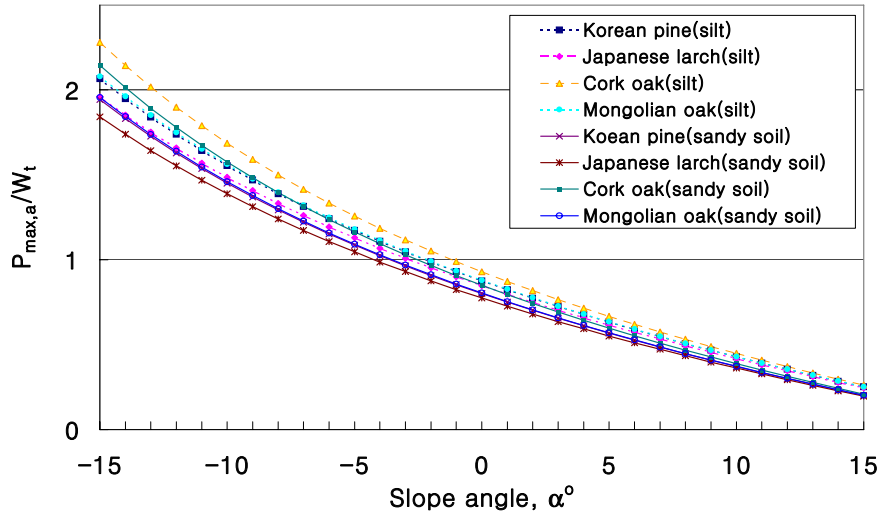


그림 21. 지면조건에 따른 4종류 공시목의 최대 자중대비 견인력 비

집재목을 견인하는 견인줄과 지표면이 이루는 각 β 가 커질수록 즉, 견인줄의 거리를 짧게 할수록 견인성능이 증가하는 것으로 예측되었다. 이것은 굴삭기의 주행장치 점착력에 기초한 추진력 F_a 가 β 의 증가에 따라 90°까지는 증가하기 때문인 것으로 분석할 수 있으며, 실제에 있어서도 β 를 작게 하는 것보다 크게 하는 것이 견인성능을 증가시키는 방법이라고 할 수 있다.

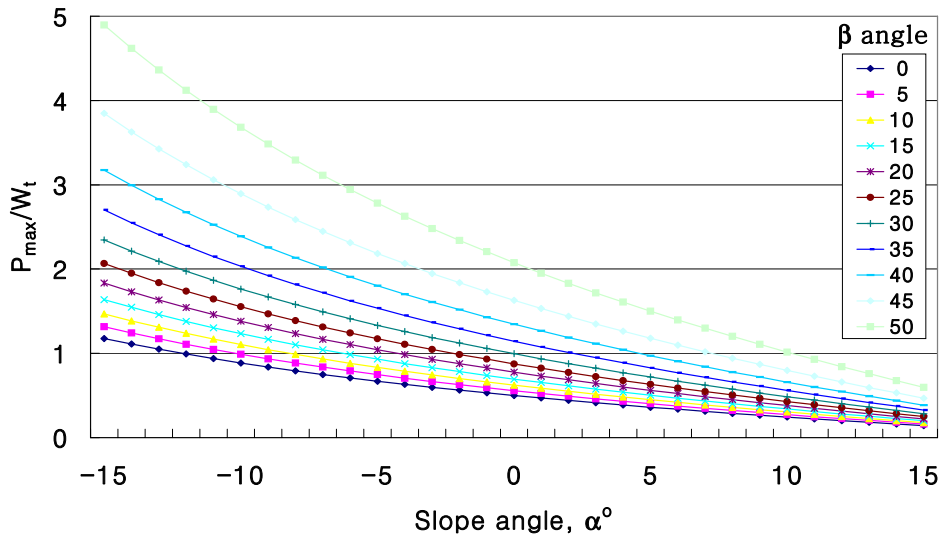


그림 22. 각도 β 의 증가 및 지면경사 변화에 따른 자중대비 견인력비

(3) 굴삭기의 등판관계

집재지의 사면경사각 α 와 견인목의 중량 p 와의 관계를 고려해 보면, 경사각 α 가 커지면 굴삭기의 주행저항 및 견인목의 마찰저항이 커지기 때문에 견인가능한 목재의 량이 감소한다. 따라서 현재 존재하는 일정한 사면경사각 α 를 가정한다면 이때 견인할 수 있는 최대의 목재량

P_{max} 를 구할 수 있다. 반대로 일정한 견인목의 양 P 를 가정한다면 이때 등판할 수 있는 최대 경사각 α_{max} 를 구할 수 있다. 물론 이때 α_{max} 를 제한하는 조건은 P_{max} 를 한정하고 있는 것과 같은 조건 즉, 탑재기관의 구동력, 주행장치의 점착력 및 주행사면의 기울기와 목재와 같은 하중의 견인에 의해 생기는 전도에 대한 안정조건이 있다. 따라서 각 제한조건에 대한 한계상태로부터 구한 탑재기관의 구동력, 주행장치의 점착력 및 주행사면의 기울기와 목재와 같은 하중의 견인에 의해 생기는 전도에 대한 안정조건 P 와 α 의 관계식으로부터 구하면 이것이 P 에 대한 한계등판각 α_{max} 가 된다. 한계등판각도 한계견인량을 구할 때 사용한 가정 및 문헌의 값을 이용하였다. Fig. 6에서와 같이 최대 등판한계각을 본 연구에서 가정한 4개 수종, 2개 종류의 토양에 적용하였다. 이전에 결과에서 굴삭기는 토양의 점착력에 의해 한계견인력이 제한되기 때문에 최대 등판능력의 경우에도 P_a/W_t 를 이용하였다. 그 결과 사질토와 실트질 토양 모두에서 최대등판한계는 비슷하게 나타났으며, 적재를 하지 않은 상태에서는 약 21 ~ 23. 정도 까지 등판할 수 있는 것으로 예측되었다. 또한 굴삭기 자체의 중량만큼도 견인할 수 없으며, 평지에서는 자체중량의 80~90%정도를 견인할 수 있을 것으로 분석되었다.

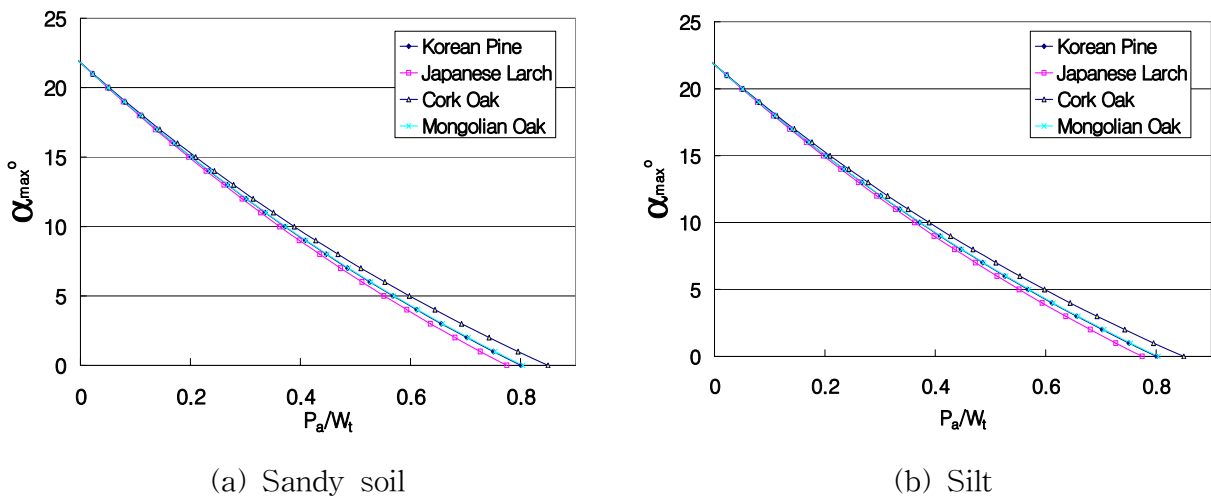


그림 23. 자중대비 견인력 비에 대한 굴삭기의 한계등판각도

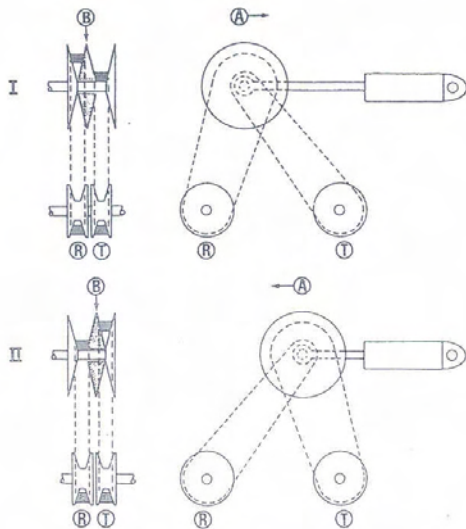
굴삭기 집재에 대한 최대견인량을 집재중에 생기는 여러 힘과 견인목의 저항을 해석하므로써 추정하였다. 그 결과 굴삭기의 최대견인량을 제한하는 인자는 탑재기관의 최대구동력, 주행장치와 주행지면과의 점착력에 의한 추진력, 견이하중 및 사면의 경사에 따라서 생기는 기체의 전도에 대한 3가지 조건중 가장 작은 한계견인량을 가진 주행장치와 주행지면과의 점착력에 의한 추진력에 대한 인자인 것으로 분석되었다. 따라서 굴삭기의 최대 견인량은 자체의 기관출력보다 주행장치와 주행장소의 토양조건에 따라 영향을 받는 것으로 판단된다. 또한 한계 견인량을 기준으로 구한 견인량을 증가시킬 수 있는 굴삭기에 대한 최적 작업조건은 견인줄의 길이를 최대로 줄여 견인줄과 지면과의 경사각 β 를 크게 하는 것이 유리할 것으로 사료된다. 또한 굴삭기가 등판할 수 있는 임지경사는 집재목을 견인하지 않고 임지를 주행하는 경우는 최대 약 21 ~ 23. 정도까지 등판할 수 있으며, 평지에서는 자체중량의 80~90%정도를 견인할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 현재 산림작업에서 가장 많이 이용하고 있는 굴삭기의 효율적인 이용방법과 원치의 견인 높이 전륜과의 수평거리 등의 신규설계 및 개량을 위

한 결정에도 유용하게 이용할 수 있을 것으로 판단되며, 이를 통해 임지의 상황을 고려한 작업 공정의 관리에 제공할 수 있는 기초 자료로 유용하게 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

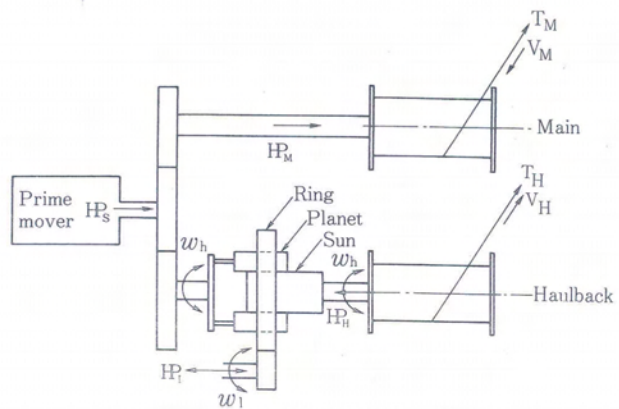
2. 동력전달기구 및 자동 장력조절 기구개발

가. 국내외 개발사례

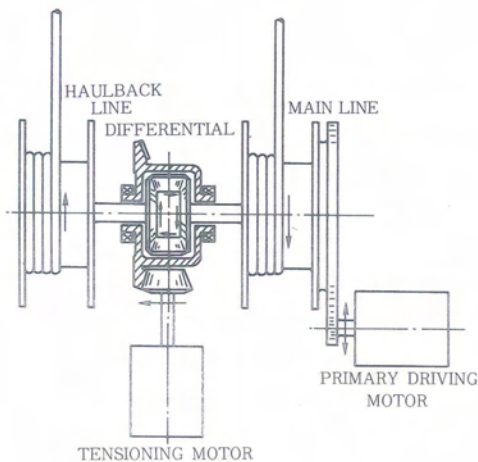
자동 장력조절형 유압원치의 경우 선진 입업국에서는 그림 24와같이 다양한 방식의 기구를 사용하여 현장에 적용한 사례가 있으나, 국내의 경우 산림청 개발과제를 통해 원치의 견인줄과 되돌림줄의 속도 동조 방식인 인터락(inter lock)기능을 가진 원치만이 개발되어 있다. 그러나 국내 개발기종의 경우 견인부하에 대해 견인줄과 되돌림줄의 속도만을 제어하여 짐재하는 방식으로 견인줄의 장력이 조정된 상태에서 짐재로상의 노면 러프니스(roughness)로 인해 견인목이 공중에 매달리면서 짐재목 하중에 의한 장력이 증가하여 안전상의 문제가 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 이로 인해 지형에 따른 작업자의 판단에 의해 장비의 초기장력이 조정되어야 하는 불편함이 있다.



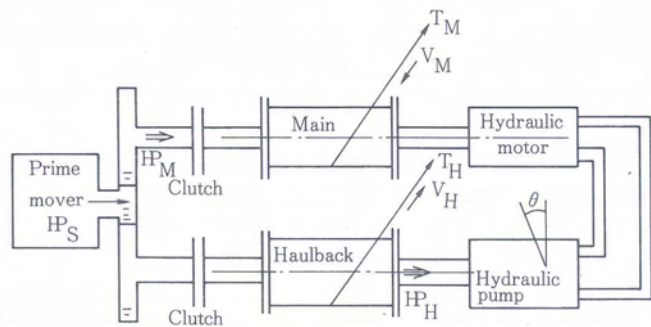
무단변속 벨트에 의한 기구



유성기어에 의한 기구



차동기어에 의한 기구



유압제어에 의한 기구

그림 24. 동력전달 방식별 인터락 기구

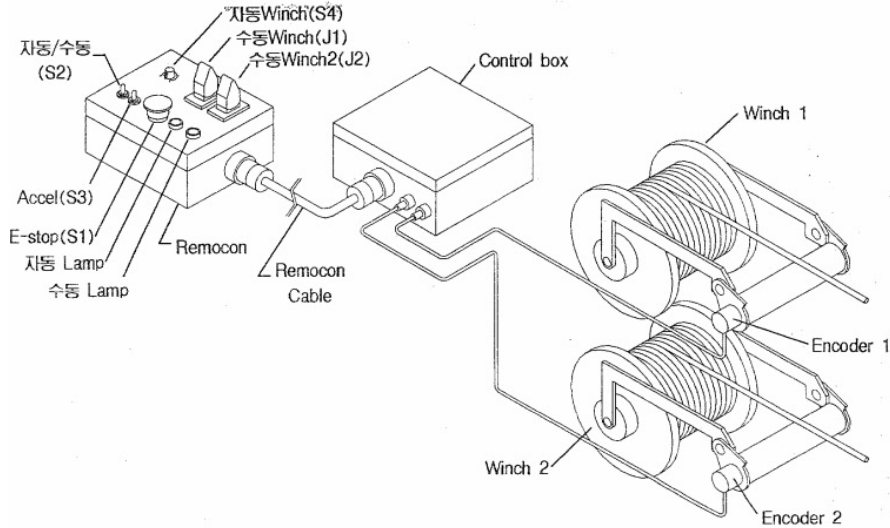
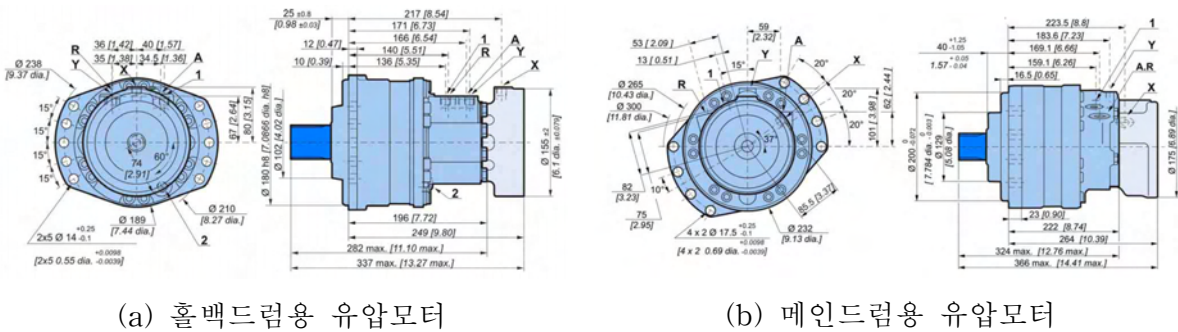


그림 25. 국내 개발 인터락 기구 원치

나. 장력제어에 의한 짐재원치의 제어기구 개발

본 연구에서 고려한 짐재원치의 인터락 기구는 2개의 짐재드럼에 의해서 순환되는 작업줄의 장력을 조절하여 짐재원치의 감기 및 풀기동작으로 발생하는 줄의 장력변화와 이로 인한 작업능률의 저하를 보완하고자 하였다. 이를 위해 브레이크가 내장된 피스톤 모터(Poclain사)를 메인드럼(MSE05)과 홀백드럼(MSE02)의 구동원으로 사용하였다(그림 26). 또한 유압모터의 유압력을 측정하여 설정된 압력에 의해 장력이 PID제어가 될 수 있도록 고려하였다. 따라서 드럼의 구동을 위해 장착한 비례제어밸브의 스펴이 열리고 단힘에 따라 발생될 수 있는 유압변화를 일정하게 조정하므로써 가선의 장력이 일정하게 유지될 수 있는 시스템을 설계 제작하였다.



(a) 홀백드럼용 유압모터

(b) 메인드럼용 유압모터

그림 26. 드럼 구동용 유압모터

3. 베이스머신의 선정 및 유압장치의 설계 · 제작

본 연구에서 고려한 유압력 PID제어에 의한 짐재원치의 장력조절 기구를 재현하기 위해 그림과 같이 유압설계를 실시하였다(그림 27). 유압장치는 구동유압모터의 유량제어를 위한 밸브와 압력 및 브레이크 유압분배를 위한 매니폴드 블럭을 포함하고 있다(그림 28). 원치의 구동 제어는 초기 장력조절용 볼륨과 원치의 전후진 구동 조이스틱, 자동 수동모드, 견인 및 공주행

시 작업속도 메모리 기능 등을 포함한 조정박스를 통해 운전하도록 고려하였다(그림 29). 또한 집재원치의 드럼부는 그림 30과 같이 원치가 고정될 수 있는 프레임을 별도로 제작하여 굴삭기 등에 장착하여 작동할 수 있도록 고려하였으며 시작기의 시험은 크레인이 설치된 5톤 트럭에 고정시켜 운전시험을 실시하였다(그림 31).

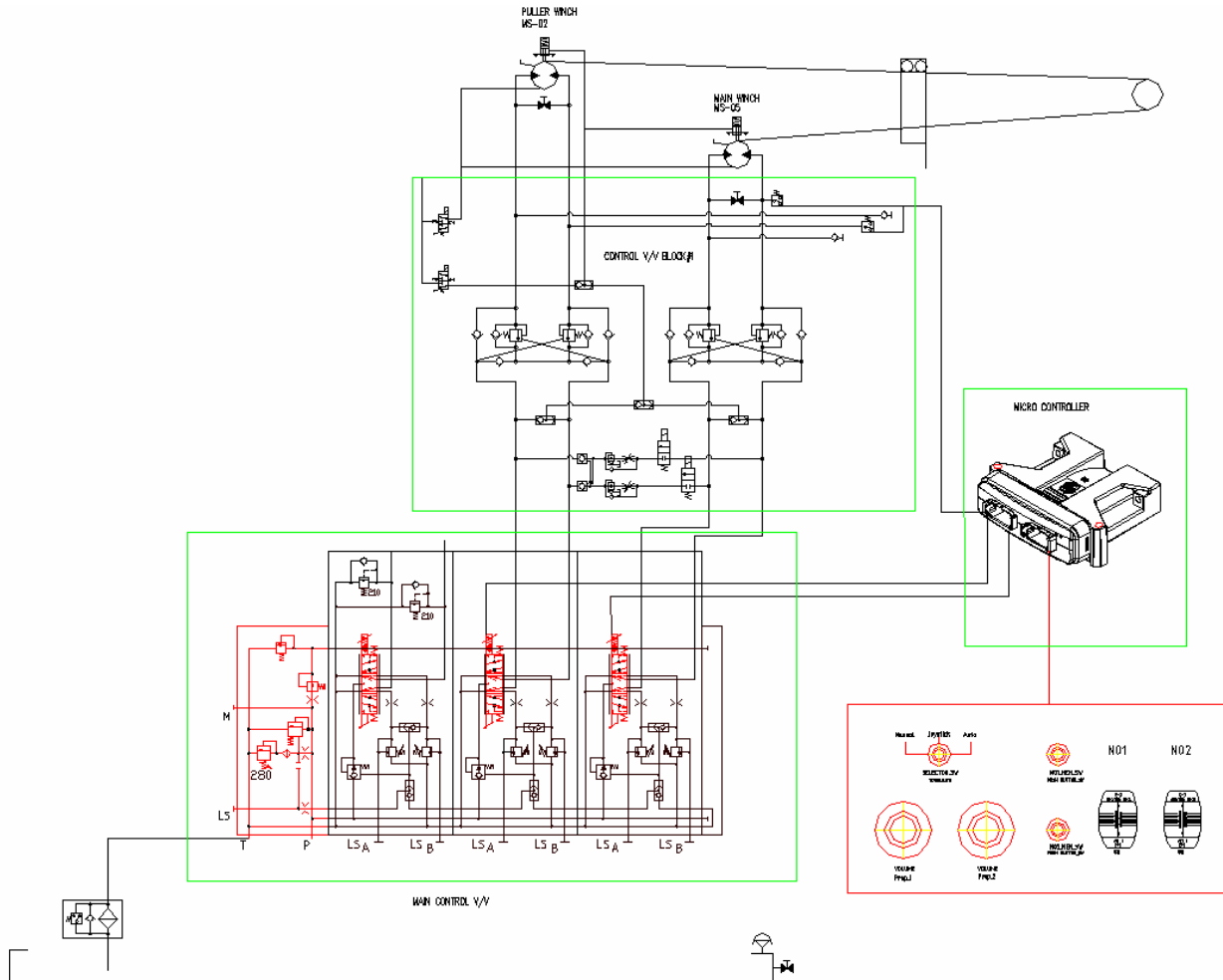


그림 27. 장력조절형 집재원치의 유압회로

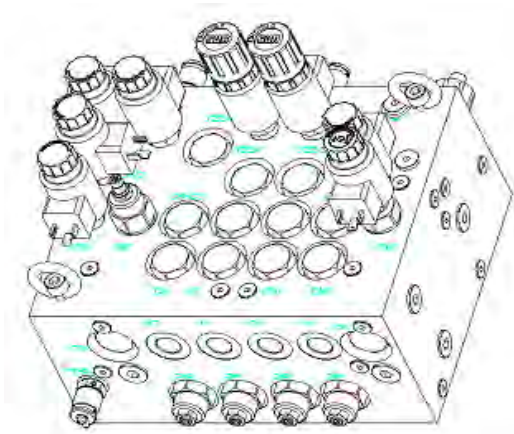


그림 28. 유압분배를 위한 매니폴드 블록



그림 29. 유압제어를 위한 콘트롤 박스

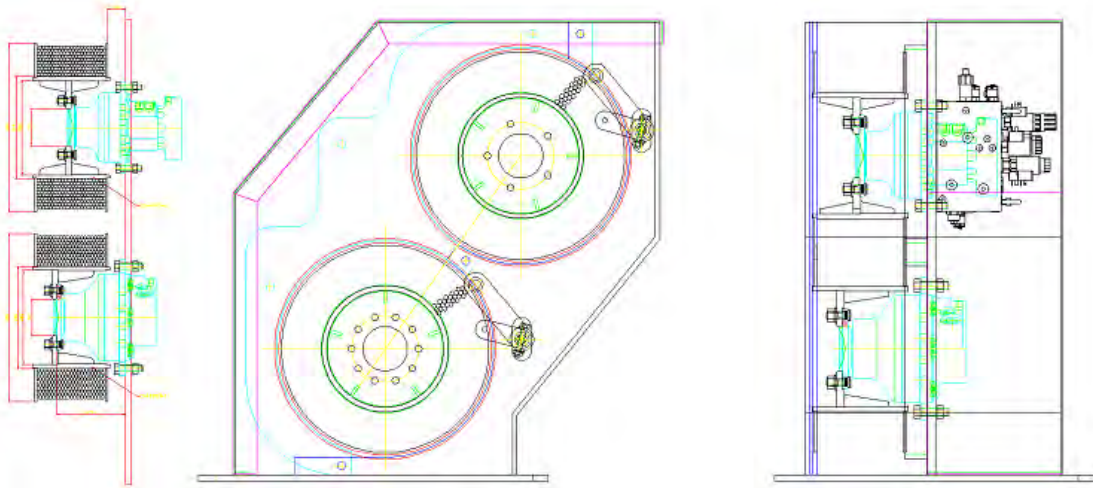


그림 30. 윈치고정용 프레임 설계도



그림 31. 자동 장력 조절형 집재윈치 시작기의 시험

제 2 절 장력 조절형 집재 원치의 유압제어 시스템 설계 · 제작 및 시험

1. 기존 장력 조절형 집재 원치 제어 기술 분석

장력 조절형 집재 원치 제어 기술을 개발하기 위해서는 먼저, 기존에 개발된 기술과 시스템의 분석을 통한 문제점 및 개선 방향에 대한 제반 지식의 습득과 이를 토대로 고효율, 저비용의 신기술을 이루어내는 것이 가장 이상적인 기술 개발과정이라 할 수 있다. 이와 같은 과정의 일환으로 먼저 국내 06급 굴삭기에 부착한 이와후지 社의 TW-232는 유압식 인터락 시스템을 사용하였으며, 이로 인해 와이어로프의 권치량과 인출량이 같게 되도록 드럼의 회전수를 자동으로 컨트롤하여 와이어의 장력을 일정하게 유지하는 유압력에 의한 자동 장력 조정기구를 갖추고 있다. 이에 현재 개발하고자하는 장력 조절형 집재 원치 제어 기술과 유사한 시스템으로 판단되어 이와후지 社의 TW-232를 분석하게 되었다. 원치 구동 시 필요한 유압은 굴삭기의 그것을 사용하였으며 유압의 분배 및 인터락 시스템을 구동하는 장치로는 릴레이를 이용한 스텝식 전류 · 전압 공급 회로를 사용하였다. TW-232 원치의 구동 원리를 다음과 같이 분석하였다.

가. 회로 구성품

원치를 구동하기 위한 회로는 각종 릴레이와 스위치로 이루어져 있다. 스위치는 메인 전원, 드럼 속도 선택, 인터락 시스템 작동, 자동 등을 선택하도록 토글스위치로 구성되어 있으며 또한 릴레이로 구성되어 부하에 따른 전압 및 전류를 스텝식으로 유압밸브 및 모터에 공급한다. 회로에 사용된 릴레이들의 사양은 다음과 같다.

표 3. 회로에 사용된 릴레이의 종류 및 사양

종 류	접점구성	코일단자형상	코일정격전압	정격부하
G6C 파워릴레이	1a × 4	표준단자형	DC 24V	8A, 30VDC
G6D-F4B 터미널 릴레이	1a × 4	+나사단자형	DC 24V	3A, 24VDC
G6B-4CB 터미널 릴레이	1c × 4	+나사단자형	DC 24V	5A, 24VDC

나. 회로 분석

유압시스템을 이용하여 원치를 구동 시킬 때 사용되는 컨트롤 박스 내 회로를 분석하고 회로에 사용되는 각 부품들의 작동 원리 및 기능을 분석하여 원치의 구동 방식을 이해하였다.



그림 32. TW-232의 내부 및 작동 컨트롤 모습

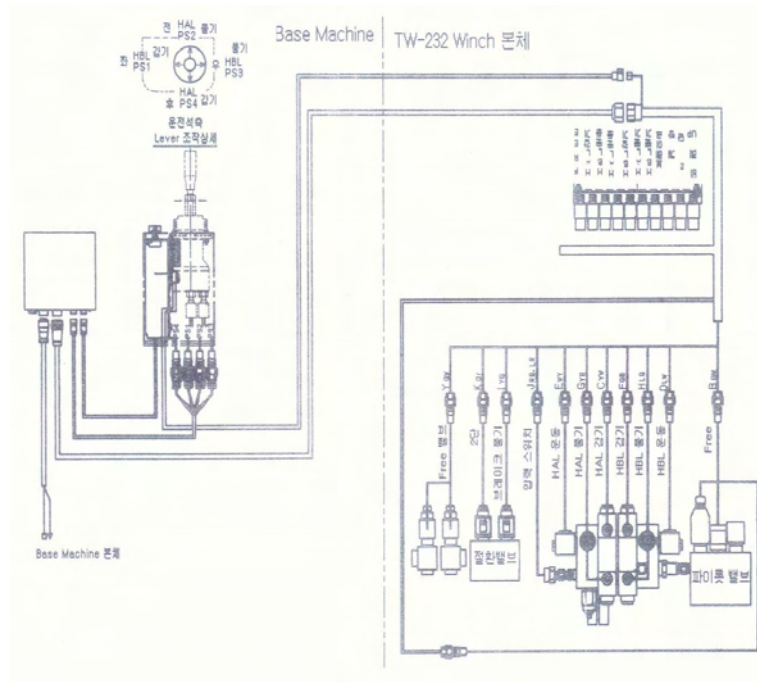


그림 33. TW-232 윈치 전기 배선도

그림 33은 TW-232 윈치의 유압시스템을 사용하기 위해 구성된 전기배선도를 나타낸 것으로 회로도를 분석하기에 앞서 유압시스템에 신호를 보내는 회로도의 역할을 설명할 수 있는 배선도이다. Base-machine은 윈치를 연결한 기계 몸체로 연결되는 부분이다. 유압밸브와 배선으로 구성되어 유압모터의 구동에 사용되고 리모콘 밸브는 드럼의 회전을 조절하여 속도를 설정하는 장치이다. 컨트롤 패널은 백텐션을 조절하는 장치이다.

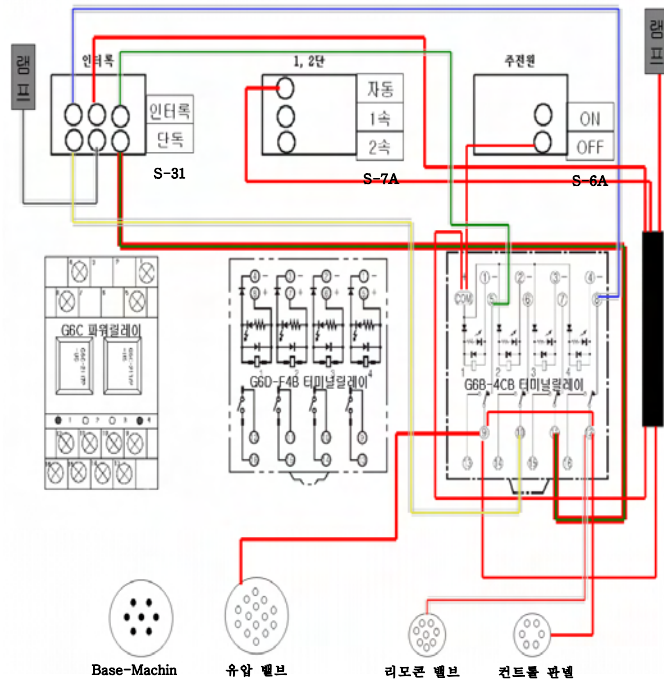


그림 34. 인터락 스위치 회로도

그림 34에서와 같이 컨트롤 박스의 내부는 3개의 스위치와 3개의 릴레이로 이루어져 있다. 인터락 스위치 S-31은 인터록 시스템을 사용되게 하면 두 드럼이 모두 구동하게 되고 단독에 사용되면 Haulback-line 드럼을 잡아주어서 케이블의 장력을 수동으로 조절 할 수 있는 스위치이다. 이때 Haulback-line 드럼이란 목재이송 시에 감겨있던 와이어가 풀리는 드럼이다. 1, 2 단 스위치 S-7A는 움직이는 케이블의 속도를 조절해주는 스위치이다. 주전원 스위치 S-6A는 시스템의 전체 전원을 공급해 준다. G6C-2117P-US 파워릴레이는 전체 릴레이들에 전원을 공급해주는 역할을 하는 릴레이이다.

G6D-F4B 터미널 릴레이는 DC 24V를 사용한다. 회로가 개별적으로 연결되어 개폐가 이루어진다. G6B-4CB 터미널 릴레이도 G6D-F4B 터미널 릴레이와 같이 DC 24V를 사용하며 킴 (COM) 단자로 묶여 있어 킴(COM) 단자에 들어오는 신호에 따라서 개폐가 이루어진다. 밑에 있는 네 개의 커넥터들은 전기배선도에서 설명한 것과 같이 각각 왼쪽부터 Base-Machine, 유압밸브, 리모콘 밸브, 컨트롤 판넬로 이어지는 것이다. 리모콘 밸브는 각 드럼의 조종과 속도를 제어하고 컨트롤 판넬은 경사센서와 백텐션 조절기가 달려있다. 이 커넥터들 중에서 가장 중요한 것은 두 번째 유압밸브로 이곳을 통해서 릴레이에 전력의 공급과 출력이 전달되어 유압시스템을 제어한다.

스위치 S-31을 인터록으로 작동 시키게 되면 첫 번째 단자에 연결된 선은 G6B-4CB 터미널 릴레이에 8번 단자에 연결되어 12번 단자에서 컨트롤 판넬로 출력 된다. 그리고 스위치 두 번째 단자에 연결된 선은 G6B-4CB 터미널 릴레이에 킴(COM) 단자에서 주전원 OFF로 출력 된다. 세 번째 연결된 선은 G6B-4CB 터미널 릴레이 5번 단자에 연결되어 9번 단자로 통하여 유압밸브로 출력되는 것으로 사료된다.

그림 35는 S-7A 1, 2단 스위치와 관계된 회로도이다. S-7A 스위치에서 자동을 선택하면 G6B-4CB 터미널 릴레이 킴(COM) 단자에 연결되어 9번 단자로 출력하여 램프를 점등시킨다.

그리고 1속으로 작동시키게 되면 바로 유압밸브로 출력이 된다. 2속으로 작동 시키면 G6C 파워릴레이의 8번 단자에 연결되고 또 G6B-4CB 터미널 릴레이 15번 단자에 연결되어 유압밸브로 출력된다.

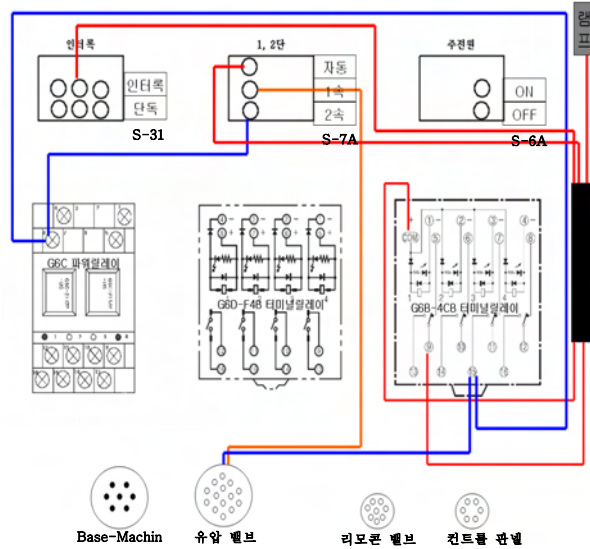


그림 35. S-7A 1, 2단 스위치 회로도

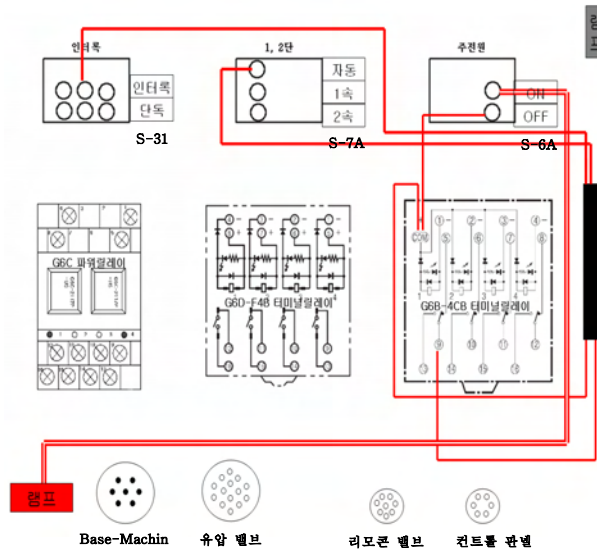


그림 36. S-6A 주전원 스위치 회로도

그림 36은 S-6A 주전원 스위치와 관계된 회로도이다. S-6A 스위치에서 ON으로 작동시키게 되면 파워램프를 점등시킨다. 그리고 OFF로 작동시키면 G6B-4CB 터미널 릴레이 컴(COM) 단자에 연결되어 두 방향으로 나뉜다. 한쪽은 컴(COM) 단자에서 S-31 인터락 스위치 두 번째 단자에 연결되어 출력되며 다른 한쪽은 컴(COM) 단자에 연결되어 9번을 통해 S-7A 스위치 자동 단자로 연결된다.

그림 37는 G6C 파워릴레이와 관계된 회로도이다. 파워릴레이를 분석해 보면 G6D-F4B 터

미널 릴레이로 연결된 단자가 있다. 다른 회선인 G6B-4CB 터미널 릴레이로 연결된 단자는 한 회선이 두 개로 나뉘어 있는데 이것은 릴레이에 걸리는 부하에 따라서 하나만 사용할 수 있고 두 개를 사용할 수도 있으며 많은 경우 네 개 모두를 사용하여 모터에 전압·전류를 공급한다.

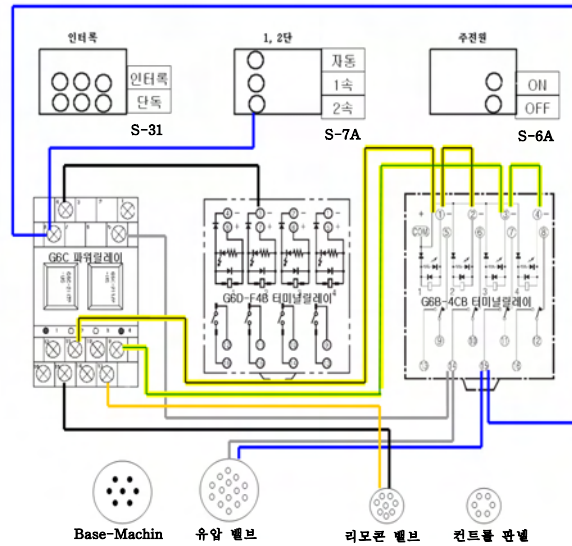


그림 37. G6C 파워릴레이 회도로

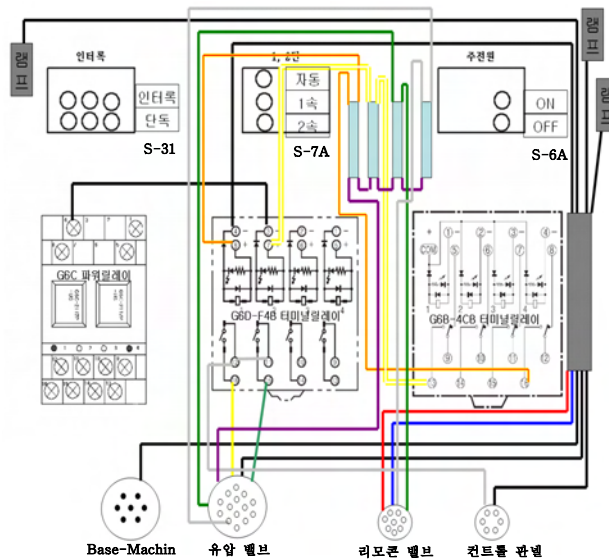


그림 38. G6D-F4B 터미널 릴레이 회로도

그림 38는 G6D-F4B 터미널 릴레이의 회로도이다. 터미널 릴레이를 분석하여 보면 네 가지의 입력 신호를 받는데, 그 중 G6C 파워릴레이에서 하나의 신호를 보낸다. 또한 Base-machine과 유압밸브, 컨트롤 판넬에서 각각 하나의 신호를 보내고, 리모콘 밸브에서 두 개의 신호를 보내는 것으로 사료된다. G6B-4CB 터미널 릴레이에서도 두 가지 입력 신호를 보내며 또한 유압밸브로도 신호를 보낸다. G6D-F4B 터미널 릴레이가 받은 신호들은 유압밸브와 컨트롤 판넬로 연결된다.

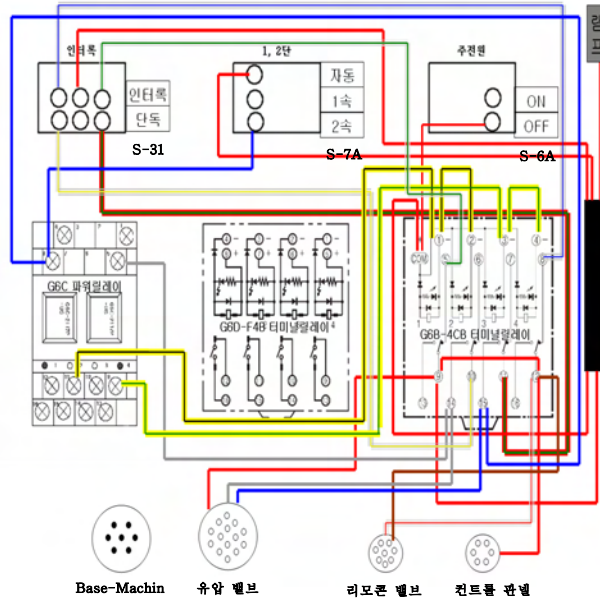


그림 39. G6B-4CB 터미널 릴레이 회로도

그림 39는 G6B-4CB 터미널 릴레이의 회로도이다. 터미널 릴레이를 분석하여 보면 콤 (COM) 단자에서 두 방향으로 나뉘어 한쪽은 주전원 스위치의 OFF로 연결이 되고 다른 한쪽은 1, 2단 스위치인 S-7A의 자동 단자에 연결된다. 1번 단자와 2번 단자가 맞물려 G6C 파워 릴레이와 연결된다. 3번 단자와 4번 단자도 마찬가지로 G6C 파워릴레이와 연결된다. 그리고 5번 단자와 8번 단자는 인터록 스위치인 S-31에 연결이 된다. 9번 단자는 세 방향으로 나뉜다.

두 번째 커넥터인 유압밸브로 출력이 되는 것과 램프로 연결되어 점등이 되는 것과 12번 단자를 통하여 컨트롤 판넬로 연결되어 출력이 되는 것으로 사료된다. 10번 단자와 11번 단자는 인터록 스위치 S-31에 단독으로 연결된다. 12번 단자는 리모콘 밸브로 출력이 된다. 14번 단자는 두 방향으로 나뉘며 한쪽 방향은 G6C 파워릴레이에 연결이 되고 다른 한쪽은 유압 밸브로 출력이 된다. 15번 단자도 두 방향으로 나뉘는데 한쪽은 G6C 파워릴레이로 연결되어 S-7A 스위치의 2속으로 연결이 되고 다른 한쪽은 유압 밸브로 출력되는 것으로 사료된다.

다. 결 론

TW-232 유압시스템을 제어하기 위한 회로의 작동 과정은 다음과 같이 요약 된다. G6C 파워릴레이에 유압밸브를 통하여 전력 공급을 받아 G6D-F4B, G6B-4CB 터미널 릴레이에 전력을 공급하는 역할을 한다. S-31 스위치에서 인터록일 때에는 G6B-4CB 터미널 릴레이의 5번 단자와 8번 단자로 연결되어 유압밸브와 컨트롤 밸브를 조절하고 단독일 때에는 G6B-4CB 터미널 릴레이가 G6C 파워릴레이로 전력을 받고 유압밸브를 조절하는 것으로 사료된다. S-7A 스위치에서 자동일 때에는 G6B-4CB 터미널 릴레이의 COM 단자를 통하여 주전원 OFF와 유압밸브, 컨트롤 판넬을 조절하고 1속일 때에는 유압밸브로 바로 연결되어 사용된다. 또한 2속일 때에는 G6C 파워릴레이로 연결되어 G6B-4CB 터미널 릴레이를 통하여 유압밸브를 조절한다.

윈치를 구동하기 위하여 사용되는 유압모터의 가변속 제어에는 아날로그 방식과 펄스폭 변조(PWM : Pulse Width Modulation) 방식이 사용된다. 아날로그 방식은 트랜지스터를 이용하여 모터에 전해지는 구동전압을 가변시켜 모터의 속도를 제어하는데 열이 많이 발생되어 전력

손실이 크다. PWM 방식은 모터 구동 전원을 일정주기로 On/Off 하되, On/Off의 주기를 바꿈으로써 모터의 속도를 제어한다. 아날로그 방식에 비해 손실이 적어 많이 사용된다. 최근에는 가변속 제어 기능을 탑재한 IC에 의한 회로가 많이 사용되는데 시스템 구성비용과 전력손실을 줄일 수 있어 이 방식을 사용할 것을 권장한다.

2. 부하 대응형 유압모터 비례 제어 기술 개발

TW-232 원치의 회로를 분석한 결과 유압모터의 구동을 위해서는 PWM 방식이 가장 효율적이고 전력 손실이 적은 제어 방법으로 연구팀 회의를 통해 이 방식이 채택되었다. 이에 따라 PWM 방식의 원리를 이해하고 이를 유압 모터 제어 회로에 적용하는 과정이 진행되었으며, 또한 부하 대응형 유압 모터 비례 제어 기술을 구현하기 위해 부하 변동에 따른 최적화된 PWM 신호의 전송을 위하여 PID(Proportional Integral Differential) 제어 기술이 채택되었다.

가. 펄스폭 변조(PWM) 방식

PWM 방식은 구동전압을 바꾸고 있는 것과 같은 효과를 내고 있지만, 그 방법이 펄스폭에 따르고 있으므로 펄스폭 변조라 불린다. 모터 구동전원을 일정 주기로 On/Off 하는 펄스 형상으로 하고, 그 펄스의 duty비(On 시간과 Off 시간의 비)를 바꿈으로써 실현하는데 이는 모터가 빠른 주파수의 변화에는 기계 반응을 하지 않는다는 것을 이용하고 있다. 이 때 중요한 기능을 담당하고 있는 것이 다이오드인데 이 다이오드는 트랜지스터가 Off로 되어 있는 동안, 모터의 코일에 축적된 에너지를 전류로 흘리는 작용을 하여 모터에 흐르는 전류는 트랜지스터가 Off로 되어 있는 동안에도 쉬지 않고 흐르고 있는 것처럼 보이게 되며, 평균전류도 On시의 전류와 이 회생전류의 합으로 된다.

나. PID 제어

PID 제어기는 비례(Proportional), 적분(Integral), 미분(Differential) 제어기로서, 실제 산업현장에서 광범위하게 적용되고 있는데, 그 이유는 구조가 단순하고 조정해야 할 매개변수의 수가 적을 뿐만 아니라 동작점에서 만족할만한 제어성능을 보이고 있기 때문이다(Astrom and Hangglund, 1984, Kim et al., 1999).

이 방식은 보통의 비례제어보다 빠르고 잔류편차까지도 제어 할 수 있다는 게 특징이다. 비례 제어는 목표 속도와 현재 속도의 차이 즉, 편차 값이고 비례 적분은 이 편차 값을 일정 기간 동안 누적한 값이다. 비례 미분 적분은 편차의 기울기 즉, 전회 편차와의 차를 나타낸다. 이때의 조작량은

$$\text{조작량} = (K_p \times \text{편차}) + (K_i \times \text{편차의누적값}) + (K_d \times \text{전회편차와의차})$$

Where, K_p = 센서에 얻어지는 Error 값(비례제어)

K_i = K_p 를 계속 더해가면서 원하는 값에 수렴(적분)

K_d = K_p 현재의 K_p 와 이전의 K_p 의 차를 이용(미분)

와 같은 식이 되고 이것을 나타낸 것이 그림 40의 블록다이어그램이다. 이때 곱해지는 파라미터 K_p , K_i , K_d 의 값은 실험을 통해 구할 수 있다.

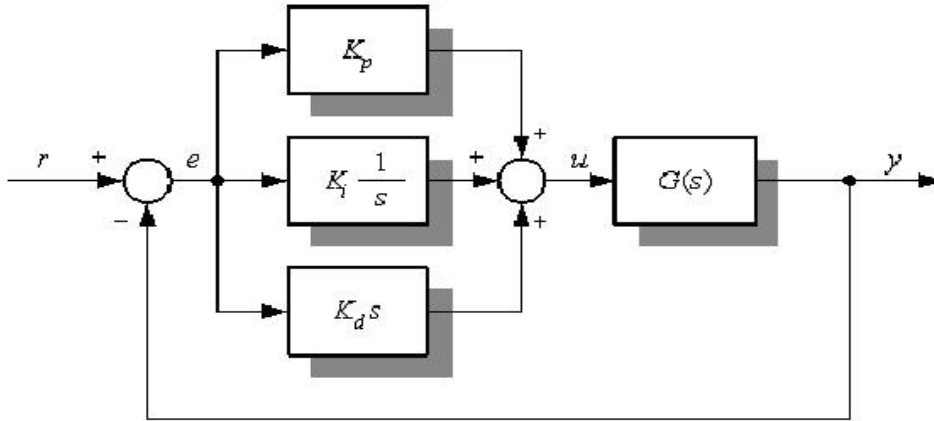


그림 40. PID 제어 블록다이어그램

(1) 파라미터를 구하는 방법(Ziegler-Nichols 동조법)

PID 제어기의 파라미터를 얻기 위한 방법인 Ziegler-Nichols 동조법은 대상 시스템이 원점에 극점을 갖거나 불안정한 경우에도 적용할 수 있는 방법이다. 방법은 PID 제어기 계수 가운데 K_i 를 최대, K_d 는 최소로 놓고 주어진 시스템에 P 제어기만을 적용하여 K_p 값을 0부터 증가시켜 출력에 진동이 나타나는 임계이득 K_{cr} 에 까지 이르게 한다. 이 K_{cr} 은 그림 41과 같이 출력에 지속진동이 나타날 때의 K_p 값으로 정의된다.

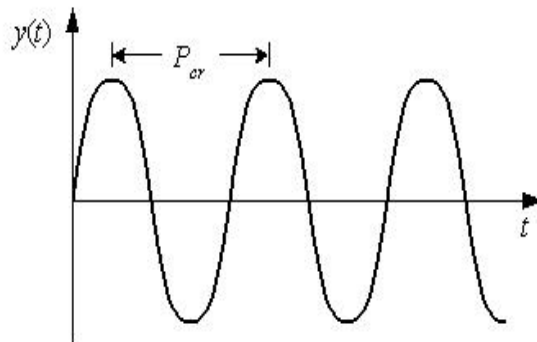


그림 41. 임계 주기

K_{cr} 이 구해지면 이에 대응하는 지속진동의 임계주기 P_{cr} 을 구할 수 있고, 표 4의 식을 이용하여 K_p , K_i , K_d 에 대한 각각의 파라미터 값을 결정할 수 있다.

표 4. PID controller tuning rule for the frequency response method of Ziegler-Nichols

Type of Control	K_p	K_i	K_d
Proportional	$0.5K_{cr}$	-	-
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	-
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

다. 부하 대응형 유압 모터 비례 제어 기술

PWM 방식과 PID 제어 기술을 토대로 이번 연구에 맞는 회로 구성을 실시하였다. 먼저 각 상황에 따른 제어를 위해 입력값과 출력값의 종류를 찾고 입력신호에 대응하는 스위치의 선정 및 입력신호 처리 후 출력신호의 처리 등을 고려해 그림 42와 같은 흐름도를 구성하고 이를 구현할 수 있는 하드웨어를 구성하여 부하 대응형 모터 비례 제어 기술을 구축하였다.

(1) 흐름도 (flow chart)

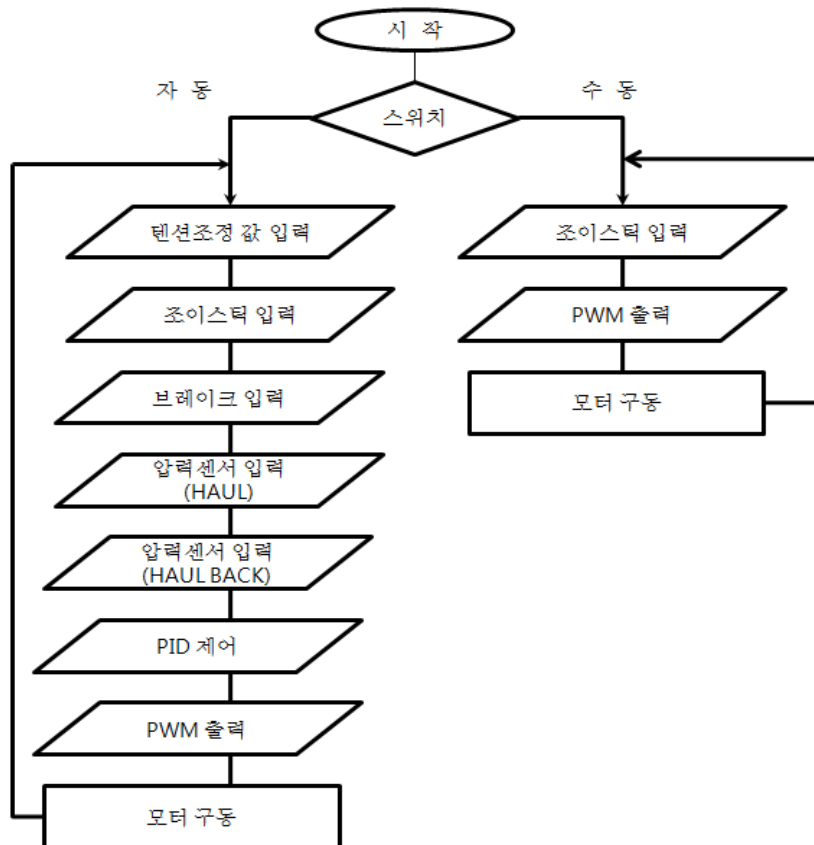


그림 42. 부하 대응형 유압 모터 제어를 위한 흐름도

흐름도 그림 42는 전원이 공급이 되어 Switch에서 자동을 선택하면 텐션 조정값, 조이스틱, 브레이크, Haul back/Haul 라인의 압력 신호가 입력이 되게 된다. 이와 같은 입력 신호를

토대로 PID제어를 통하여 상황에 맞는 PWM 신호가 출력이 되어 설정된 장력값을 유지할 수 있도록 압력조절밸브를 제어하게 된다. 조이스틱에서 출력되는 1.8에서 3.8V 사이의 신호는 유압 모터를 제어하는 유량제어밸브로 전달되어 모터의 회전 속도를 조절하게 된다.

수동은 자동과 다르게 입력을 하고자 하는 값을 수동적으로 정해주면 그 값에서만 구동이 된다. 텐션 조정 스위치에서 임의로 설정을 해주면 그 값과 입력되는 압력신호를 이용, PID제어를 통해 PWM 신호가 출력 되어 압력조절밸브를 제어하게 된다.

그 외에 비상 상황에 전원 공급을 끊어 주어 작동을 멈추게 하는 신호와 유압모터의 속도를 변환(고속, 저속)시켜 주는 신호, 그리고 조이스틱의 조절없이 모터의 회전속도를 일정하게 유지시켜 주는 기능이 필요하다.

(2) 부하 대응형 유압 모터 비례 제어 기술의 구현

부하 대응형 유압 모터 비례 제어 기술의 구현을 위해 LabVIEW와 Compact FieldPoint(NI, Austin, Texas, USA)이 사용되었다. 소프트웨어인 LabVIEW는 비교적 쉽고 간단하게 프로그래밍하여 하드웨어인 Compact FieldPoint와 연결하여 원하는 제어를 구현하기 위해 편리하다. 컨트롤 박스와 스위치를 구성한 후 각 스위치와 FieldPoint를 연결, 이를 LabVIEW를 통해 제어하는 기술을 구현하였는데(그림 43) 이에 대한 설명은 다음과 같다.

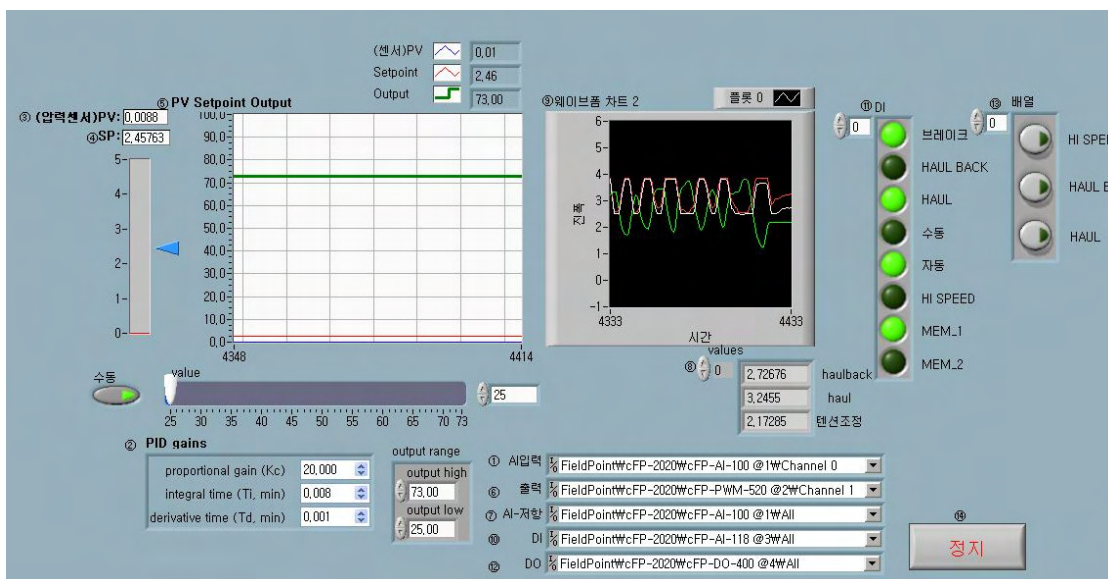


그림 43. 비례 제어 기술을 구현한 LabVIEW 프로그램의 패널

- (가) AI입력(아날로그 입력) : Compact FieldPoint AI-100 모듈 채널 0번에 입력한다.
- (나) PID 제어 : PID 계인과 출력 범위를 임의로 조절할 수 있다. 범위는 0~24V에서 앞 뒤로 25%를 넘지 않게 6~18V로 출력이 되게 하여 25~73%의 범위로 설정하였다.
- (다) 압력센서 PV : 압력센서에서 들어오는 값을 나타내며 0~5V 범위로 들어온다.
- (라) SP 수동조절 : 사용자가 원하는 만큼의 유압 배관 내의 압력값을 입력할 수 있다.
- (마) PV setpoint output : 입력 신호를 나타내는 그래프이며 (센서)PV는 압력센서에서 들어오는 값, Setpoint는 사용자가 입력하고자 하는 값, Output은 출력값을 나타낸다.

- (바) 출력 : Compact FieldPoint PWM-520 모듈의 채널 1번을 통해 PWM 신호가 출력된다.
- (사) AI-저항(아날로그 입력) : Compact FieldPoint AI 모듈 0~7번 채널을 통해 신호가 입력된다.
- (아) Value : 2개의 조이스틱과 텐션 조절 스위치에서 입력되는 전압값을 나타내는 창.
- (자) 웨이브폼 차트 2 : AI 모듈에서 입력된 신호 중 조이스틱과 텐션 조절값을 그래프로 나타내는 창(x축 시간, y축 진폭).
- (차) DI : Field point AI-118 모듈 채널 0~7번을 통해 신호가 입력된다.
- (카) DI : DI를 통해 입력된 신호를 ON/OFF하면 LED가 점등과 소등할 수 있도록 신호가 출력된다.
- (타) DO : Field point DO-400 모듈 3개 채널을 통해 신호가 입력된다.
- (파) 배열 : 스위치를 ON/OFF 할때 LED가 점등되고 소등된다.
- (하) 정지버튼 : 모든 기능을 정지시킨다.

3. 장력 조절형 집재 원치 제어를 위한 유압 시스템 설계 및 제작

목재 반송기의 장력 조절형 집재 원치 제어를 구현하기 위하여 국립산림과학원 산림생산기술연구소와 협동하여 마이크로컨트롤러를 이용한 유압 시스템의 개발이 진행되었다. 위의 LabVIEW와 Compact FieldPoint를 이용한 제어 기술의 구현 후 최종 목표인 마이크로컨트롤러를 이용한 제어를 위해 컨트롤 박스를 구성하고 마이크로컨트롤러를 삽입하였다. 원치 구동시 발생하는 유압모터의 압력을 압력 센서를 통하여 마이크로컨트롤러에 보내고 장력의 변화에 따른 적절한 유량과 압력을 계산하여 밸브로 전송하게 된다. 이 때, PID 제어를 통해 계산된 압력은 PWM 방식으로 마이크로컨트롤러에서 압력조절밸브로 전송하여 일정한 장력을 유지하게 한다.

가. 재료 및 방법

(1) 시스템의 구성

본 시스템은 유압모터, 밸브, 제어를 위한 마이크로컨트롤러가 포함된 컨트롤 박스로 구성되어 있다. 압력센서에서 오는 신호를 마이크로컨트롤러가 읽어 들이고, 그 신호는 PID제어를 통하여 케이블의 장력과 HAULBACK, HAUL 등 유압모터의 속도를 조정할 수 있게 된다.

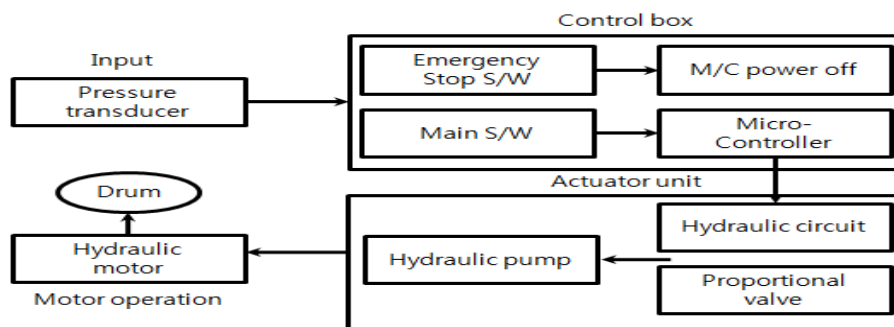


그림 44. Schematic diagram of hydraulic system control

(2) 시스템 제어 알고리즘

유압 시스템 제어에 대한 블록다이어그램은 그림 45에 나타내었다. 메인 스위치를 켜면 램프가 점등되며, 동시에 마이크로컨트롤러에 전원이 공급되어 조작대기 상태가 된다. 유압이 공급된 상태이면 유압회로에 걸린 압력이 압력 센서를 통하여 마이크로컨트롤러에 전해진다. 드럼에 작용하는 부하에 따라 배관내의 압력이 변화하게 되며 이는 곧 유압모터 구동 토크에 변화를 일으키게 되면서 설정된 장력과 차이가 발생하게 된다. 이 때, 마이크로 컨트롤러에 입력된 압력신호를 분석하여 PID제어를 통한 최적화된 신호를 연산, 밸브로 보내어 줌으로서 유량 및 압력 제어를 수행한다.

(3) 유압 회로도

각 구성품들에 대한 특성을 파악한 후 장력 조절형 원치 제어를 위한 유압 시스템은 PID 제어 알고리즘을 적용하여 구축하였다.

나. 시스템 구성품 사양

(1) 컨트롤 박스

컨트롤 박스는 모터의 속도 및 방향 제어를 위한 조이스틱, 자동, 수동 조절 기능, 고속, 저속 변환 기능, 비상 스위치 등으로 구성되어 있으며(그림 46), 사용 전원은 DC 24V, 8A이다. 박스 내부에는 마이크로컨트롤러(MC050020, Sauer-Danfoss Inc., Lincolnshire, Illinois, USA)가 장착되어 있다.

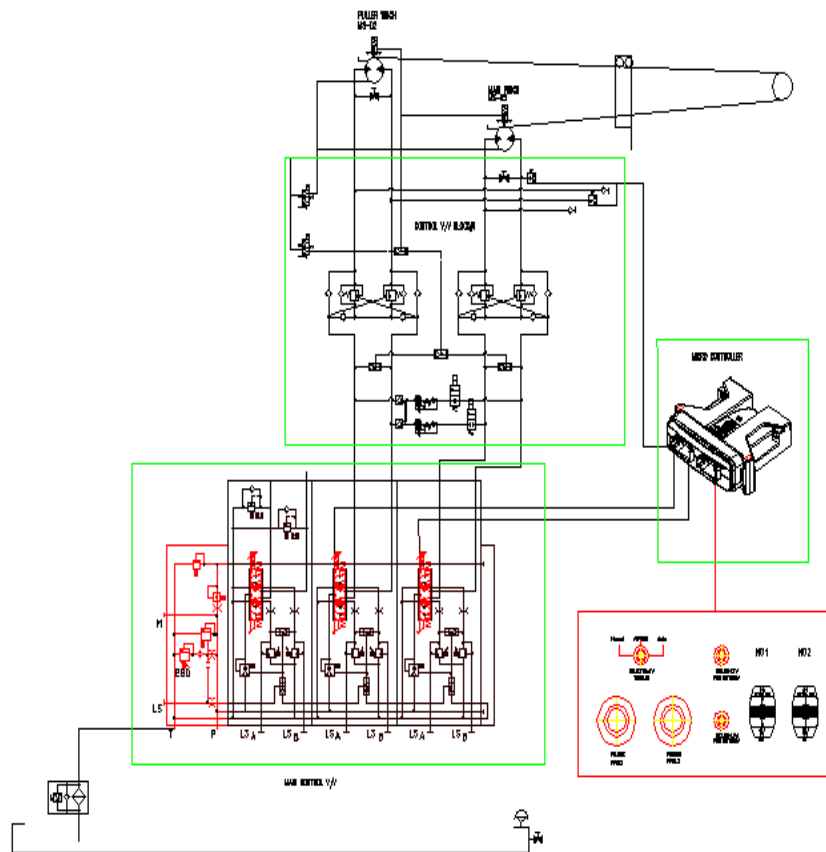


그림 45. Hydraulic circuit

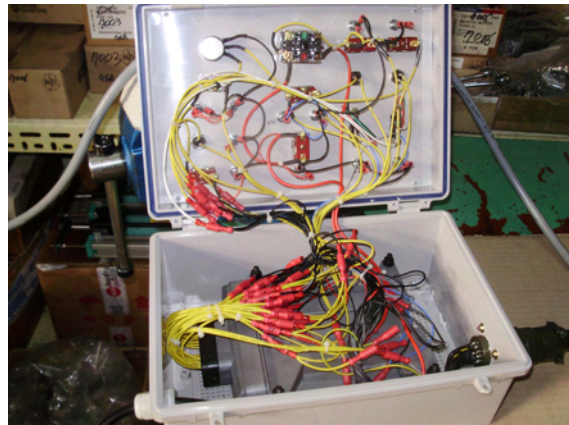


그림 46. 컨트롤 박스의 외형 내부

(2) 유압 모터

유압 모터(Haul : MSE05, Haul back : MSE02, Poclain Hydraulics, Verberie, France) 2개가 사용되는데 두 모터의 최대 압력은 450bar이고 분당 최고 회전수는 390rpm이며 컨트롤 박스에서 조이스틱을 조작하여 모터속도 및 회전 방향을 조절할 수 있다.

(3) 유압 밸브

유압모터를 제어하는 밸브는 4개의 블록으로 구성되어 있고 각 블록은 Inlet plate, Spool section, Connection Block, End plate로 이루어져 있다. 포트 P/A/B에서 최대 작동 압력은 420bar이며, 포트A/B의 유량은 120 lpm, 포트 P의 유량은 260 lpm이다.

다. 부하 대응형 유압 모터의 비례 제어를 위한 유압 시스템

본 연구는 목재 반송에 사용되는 윈치 구동 시 드럼 지름의 변화에도 케이블의 장력을 일정하게 유지시키기 위한 유압 시스템을 구축 하는데 목적이 있다. 두 유압모터는 각각 케이블을 감는 드럼에 연결되어 있으며, 유압모터로 흐르는 배관에 압력 센서를 설치하여 압력을 측정하고 그 신호를 마이크로컨트롤러에 보낸다. 입력된 압력 신호는 PID 제어 알고리즘을 통하여 케이블의 장력을 일정하게 유지시키기 위한 최적의 유량 및 압력을 계산하고 비례제어밸브 및 압력조절밸브로 신호를 전송한다. 전송된 신호에 의해 케이블의 장력을 일정하게 유지시켜 주고 유압모터의 회전수를 제어하는 폐루프 시스템으로 구성되었다. 구성된 유압 시스템 및 실제 구동 장면은 그림 47, 48과 같다.



그림 47. 유압 시스템의 모습



그림 48. 유압 시스템을 이용한 목재반송기 구동 모습

본 시스템을 이용하여 부하 변동에 의한 임지내 실험은 현재 진행 중이다. 압력 신호에 의한 최적화된 PID 제어 알고리즘의 선정을 위해 목재 부하에 의한 실험은 필수적이며, 목재 중량에 따른 케이블의 장력 변화를 파악, 시스템 내 유압의 유량 및 압력 조절 또한 앞으로 진행되어야 할 부분이다.

4. 목재 반송기의 장력 제어를 위한 서보모터의 자동제어 기술의 구현

현재 국내 02급 굴삭기에 부착한 유압을 이용한 원치 시스템의 Farm scale를 Lab scale로 맞추어 축소하여 소형 서보모터 시스템을 구성하여 목재 반송기를 개발하였으며, 목재 반송기 구동을 위한 서보모터 시스템을 설계 및 구축하고, PID 제어를 효율적으로 하기 위한 PID 동조법을 이용한 각각의 PID 계수를 산출하여, 계측장비와 소프트웨어인 Compact FieldPoint와 LabVIEW8.5(NI, Austin, Texas, USA)를 이용하여 시스템을 구축하였다.

가. 시스템의 구성 및 구성품 작동사양

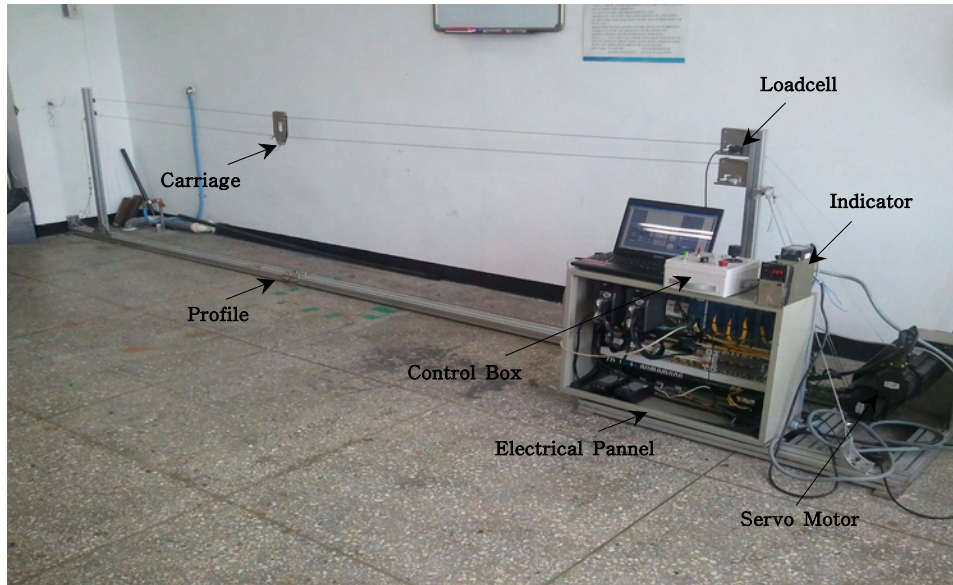


그림 49. 시스템 구성

본 시스템의 프레임은 알루미늄 프로파일(0.4×0.8×9 m, MP4080S)로 이루어져 있고, 목재반 송기와 와이어(지름 2 mm), 서보모터(Servo motor)를 제어 할 수 있는 컨트롤 박스(Control box)와 전기 판넬함(Electrical Pannel) 등으로 구성되었다.

(1) 서보모터 및 드라이브

서보모터는 Haul(LF06, HIGEN, Seoul, Korea)과 Haul-Back(LF09, HIGEN, Seoul, Korea) 모터로 구성하였다. Haul 모터의 정격출력은 600 W, 정격토크는 5.68 Nm, 정격회전속도는 1000 rpm 이며, Haul-Back 모터의 정격출력은 900 W, 정격토크는 8.62 Nm, 정격회전속도는 Haul모터와 동일하다. 서보모터는 컨트롤 박스와 서보드라이브의 신호에 의해 동작된다. Haul 모터와 Haul-back 모터에 사용된 서보드라이브는 각각 FDA7005, FDA7010(HIGEN, Seoul, Korea)로 사용되었고 컨트롤 박스를 통한 신호를 서보드라이브에서 받아 출력 신호를 서보모터로 보내 작동이 된다.

(2) 로드셀 및 인디케이터

로드셀 (BONGSIN, CDES Series)은 압축 및 인장 하중을 측정할 수 있으며, 정격용량과 정격출력은 각각 980 N, 2 mV/V±0.25%이다. 인디케이터(KYOWA, WGA-710A)는 로드셀의 출력 신호를 받아 전류나 전압 값으로 증폭·변환시켜 신호를 출력하고 디스플레이로 로드셀에 가해지는 하중을 확인 할 수 있다.

(3) 계측장비

Compact FieldPoint(NI, Austin, Texas, USA)는 산업적 환경에 적합한 소규모이고 신뢰성이 있는 모듈형 계측 및 제어장치이며, PC(SAMSUNG, SENS-R420)와는 이더넷(Ethernet) 통신으로 연결된다. 사용된 모듈은 다음과 같이 표 5에 나타냈으며, 소프트웨어인

LabVIEW8.5(NI, Austin, Texas, USA)로 작성된 프로그램에 의해 구동된다.

표 5. Compact FieldPoint Module Specifications

cFP-2210	Controller 400MHz, 256MB, Ethernet
cFP-AI-100	8-Channel Analog Voltage Input 30V
cFP-AO-210	8-Channel Analog Voltage Output 10V
cFP-DIO-550	Digital Voltage I/O 8-Channel 11~30VDC
cFP-RLY-421	8-channel Relay 120VDC, 250VAC

(4) 컨트롤 박스

컨트롤 박스에는 서보모터를 조정하는 조이스틱(WJ-200, Devicemart, Seoul, Korea), 전원 스위치, 연동 개별 스위치, 가변저항(Tension), 비상정지(Devicemart, Seoul, Korea) 스위치와 작동여부를 확인할 수 있는 LED로 구성되어 있다.

나. PID 제어 시스템 설계

목재 반송기의 각 모터의 드럼을 구동시키면 와이어가 감기면서 드럼 지름의 변화가 생겨 각기 서로 다른 선속도가 되어 와이어의 장력이 일정하게 되지 않아 목재 반송기의 이동이 원활하게 이루어지지 않게 되기 때문에 PID (Proportional-Integral-Derivative) 제어를 통하여 모터의 회전 속도를 변화시켜 와이어의 장력이 유지될 수 있도록 한다.

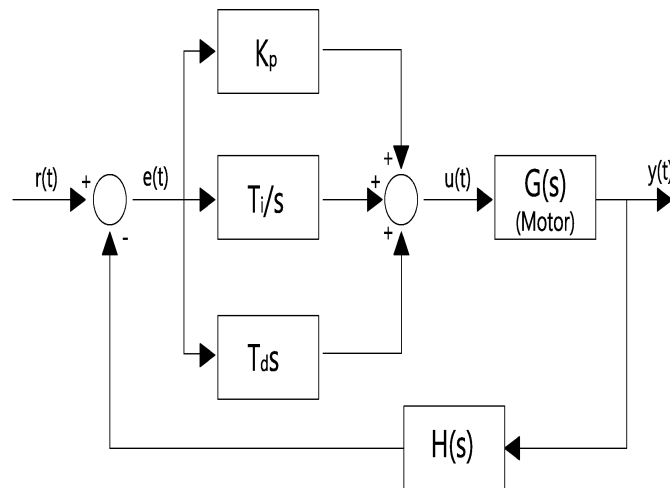


그림 50. 서보모터 시스템의 블록다이어그램

(1) PID 동조법(Ziegler-Nichols)의 계수 선정

PID 제어기 계수를 선정하기 위해 Ziegler-Nichols의 동조법이 사용되었으며, 이는 대상 시스템이 원점에 극점을 갖거나 불안정한 경우에도 적용할 수 있는 방법이다. PID 제어기 계수 가운데 T_i 을 최대, T_d 는 최소로 놓고 주어진 시스템에 P 제어기만을 적용하여 K_p 값을 0부

터 증가시키면서 출력에 진동이 나타나는 임계이득 K_{cr} 에 까지 이르게 한다. 이 K_{cr} 은 그림 51과 같이 출력에 지속진동이 나타날 때의 K_p 값으로 정의된다. K_{cr} 이 구해지면 이에 대응하는 지속진동의 임계주기 P_{cr} 을 구할 수 있고, 표 6의 식을 이용하여 K_p , T_i , T_d 에 대한 각각의 계수 값을 선정할 수 있다.

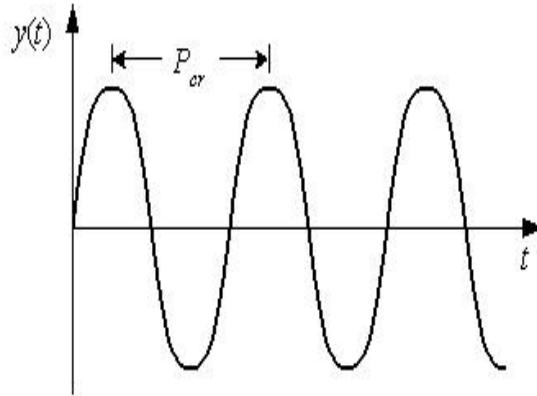
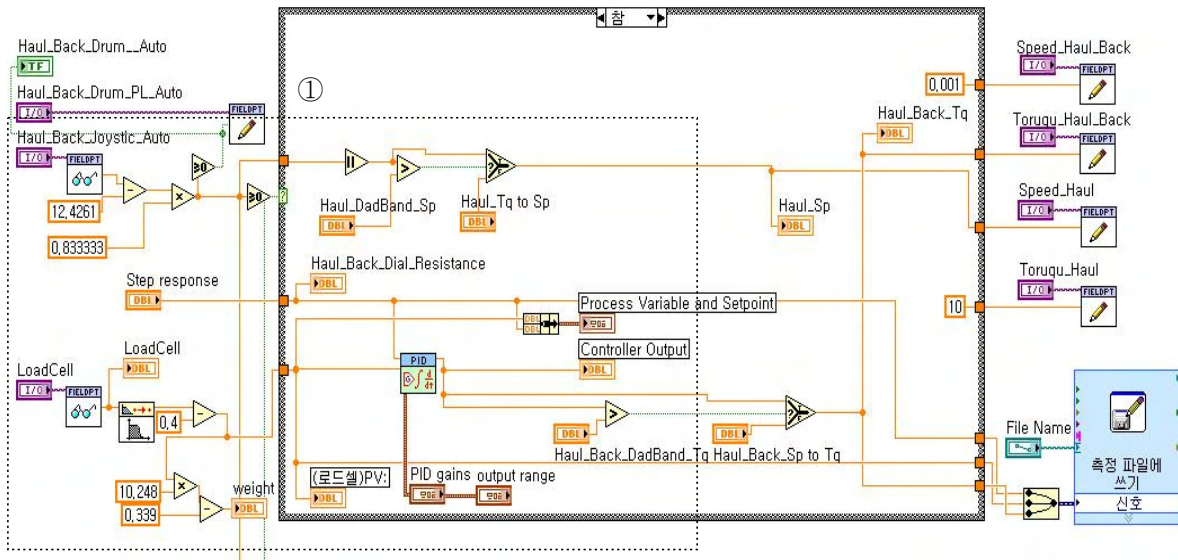


그림 51. 임계 주기

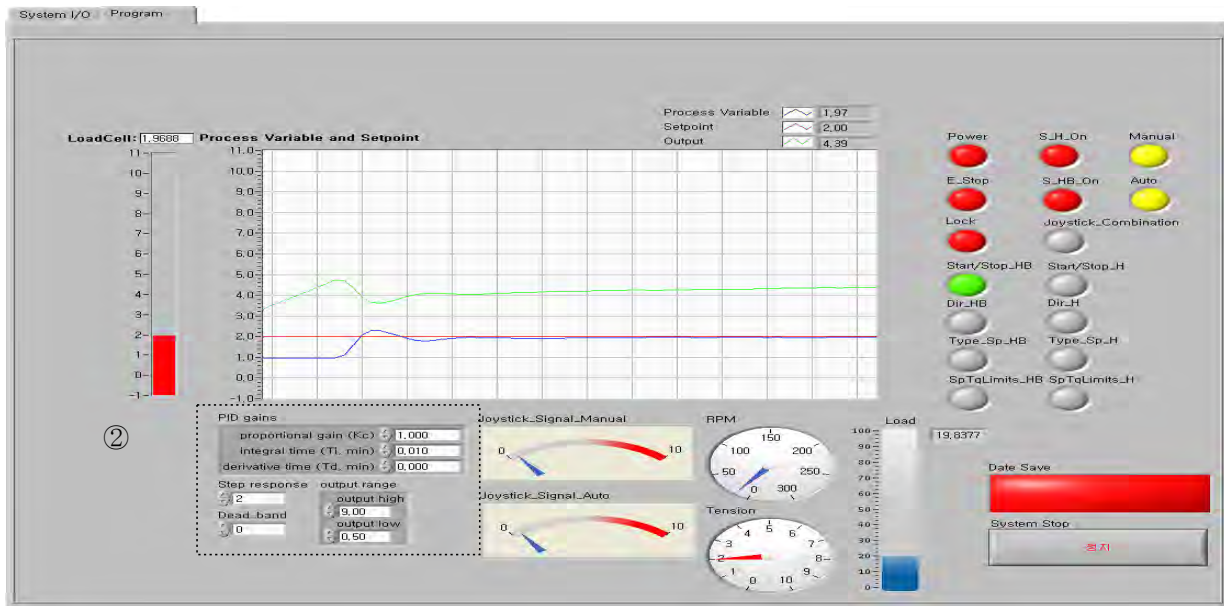
표 6. PID controller tuning rule for the frequency response method of Ziegler-Nichols

Type of Control	K_p	T_i	T_d
Proportional	$0.5K_{cr}$	-	-
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	-
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

(2) 계수 선정을 위한 프로그램 구현



(a) Block diagram



(b) Front panel

그림 52. LabVIEW의 PID 제어

PID 계수 값을 선정하기 위해 그림 52와 같은 시스템에 계단 응답(Step response)을 통해 얻어진 지속진동의 P_{cr} , K_p 와, 표 6에서 제시된 제어방법을 이용하여 PID 초기 계수가 선정되었다(그림 52(a) ①). PID 제어 응답 특성을 고려하기 위해 초기 선정된 계수 K_p , T_i , T_d 기준으로, 계단 응답 신호에 따라 각각의 계수를 변경하면서 세부 조정 하여야 한다(그림 52(b) ②).

다. PID 계수 선정 결과

PID 초기 계수를 선정하기 위한 실험이 수행되었다. 시스템의 계단 응답을 이용하여 목표량 19.6N을 기준으로 수행하여, K_{cr} 과 P_{cr} 을 각각 3, 0.05로 산출하였다. Ziegler-Nichols 동조법을 이용하여 K_p 1.8, K_i 0.025, K_d 0.006로 초기값을 선정하였다 그러나 K_d 값이 작은 값임에도 불구하고 상당한 진동이 발생되어 원활한 제어가 이루어 지지 않아, K_d 값을 제거하고 K_p , K_i 값으로 조합, PI 제어로 다시 실험이 수행 되어진 결과 초기 K_p , K_i 값이 각각 1.8, 0.025로 나타났다.

목재 반송기는 중량이 높은 목재를 이송하기 때문에 안정성을 필요로 하여 계단 응답의 오버슈트가 최대 20%를 목표로 반복 실험이 수행되었다. 초기 선정된 K_p , K_i (1.8, 0.025)에서는 오버슈트가 48%로 나타났으며, 목표 값보다 약 28%를 초과되는 것으로 나타났다. 이에 오버슈트를 줄이기 위해 초기 선정된 계수 값들에 대한 반복 실험을 통하여 각각 1.4, 0.010로 다시 실험이 수행된 결과, 목표 값은 약 16%로 목표 값 대비 4%P 낮게 수렴되었으며, 그림 53과 같이 나타났다. 오버슈트의 원인은 모터가 작동되어지는 순간 와이어에서 발생하는 탄성과 이송 시 목재에 의한 진동 때문인 것으로 사료된다. 초기값과 응답 특성을 고려한 값을 비교한 결과 시스템의 응답속도의 오버슈트가 현격히 줄어들면서 목표량에 도달하여 장력이 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.

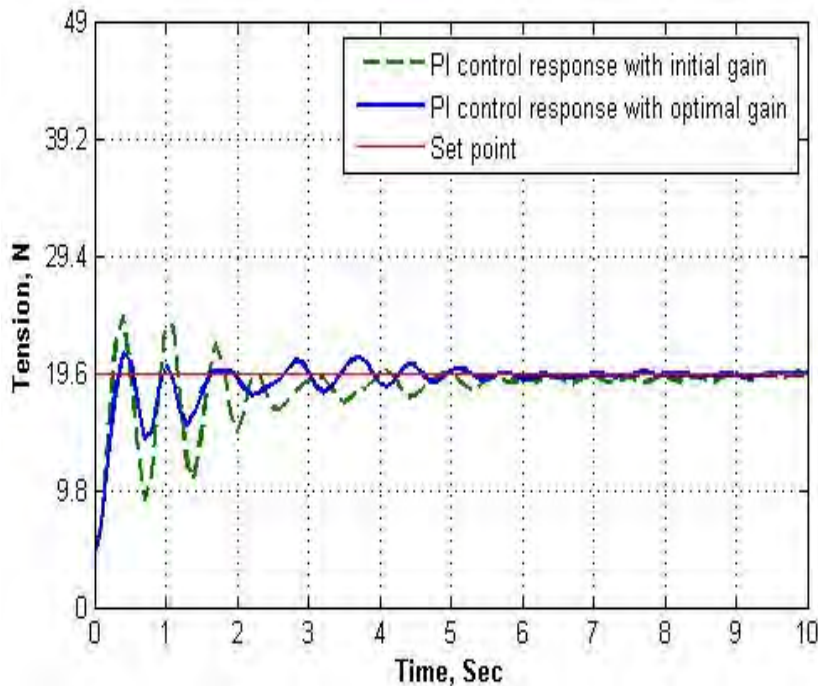


그림 53. PI 제어의 응답

라. 장력 변화에 따른 결과 및 비교

목재 반송기의 장력의 변화를 확인하기 위하여 각 모터에 설치된 드럼 지름의 크기를 맞추기 위해, 와이어 감김 횟수를 동일화 하고 이송거리 12m에서 수행되었다. PI 제어 없이 모터에 속도 신호를 입력하고 이송거리를 고려하여, 동일한 회전수 150 rpm으로 설정하였다. 회전수를 150 rpm으로 설정한 원인은 목재 반송기 시스템에 안정성을 요하므로 높은 속도 보다는 낮은 속도로 이송하는 것이 안정한 것으로 판단되어 150 rpm 으로 설정하였다.

서보모터는 동시에 속도와 토크 동작이 가능하지 않아 목재 반송기에 무부하 상태로 실험을 수행하였다. 각 모터의 구동이 시작되면 와이어를 감고 있는 드럼의 지름이 변화하면서 시작점으로부터 10초 구간까지는 장력에 반응이 없는 것을 볼 수 있으며, 20초 구간까지 장력이 서서히 증가하는 것을 볼 수 있다(그림 54).

그 이후부터는 드럼 지름의 차이에도 불구하고 장력이 일정한 값으로 유지되는 것을 볼 수 있는데, 그 원인은 Haul 모트의 용량이 HaulBack 모터보다 크므로, 용량이 큰 Haul 모터 힘에 의해 HaulBack 모터가 그 힘만큼 끌려가게 되면서 Haulback 모터의 회전수가 입력 된 신호보다 증가하게 되면서 장력이 일정 구간동안 유지되는 것으로 나타났다.

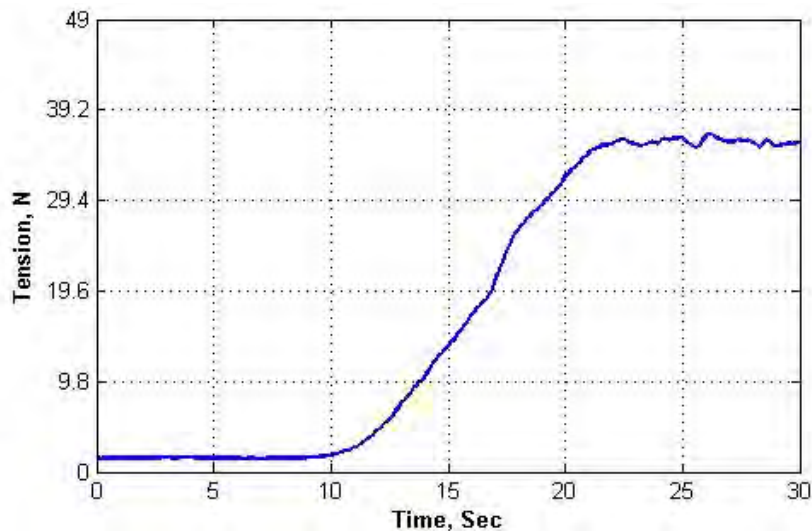


그림 54. PI 제어 없이 장력 측정 실험



그림 55. 하중에 따른 목재 반송기의 이송 실험

PI 제어를 이용하여 모터 가동 시 장력을 일정하게 유지시키는 실험 또한 수행되었다. 본 실험에서는 실제 현장에서 적용하여 사용할 수 있도록 목재 반송기에 목재를 각각 9.8, 29.4, 49 N, 모터의 회전수는 150 rpm, 이송거리는 12 m로 설정한 후 장력이 서서히 증가하여 목재를 들어 올릴 수 있도록 와이어의 장력을 유지 시킨 후 이송 실험이 진행되었다.

설정 된 장력 39.2 N과 최대 오버슈트 20% 내에서 모터의 회전수가 제어되어 일정한 장력이 유지되면서 목재를 이송 시키는 것으로 나타났다 (그림 56, 57, 58). 그림 56, 57, 58에서 보이는 진폭은 위에서 설명한 바와 같이 모터 들이 와이어를 감으면서 생기는 진동이 로드셀에 영향을 주기 때문으로 사료된다.

이와 같이 두 가지 방법으로 실험을 수행하여 장력 변화를 확인한 결과 PI 제어를 이용하여 목재 반송기를 작동 시 발생하는 장력의 변화를 일정하게 유지시켜 줄 수 있는 것으로 나타났다.

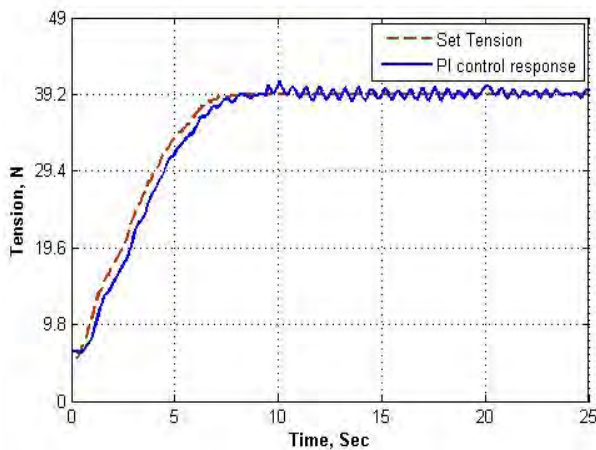


그림 56. 모터 속도 150 rpm, 하중 9.8 N

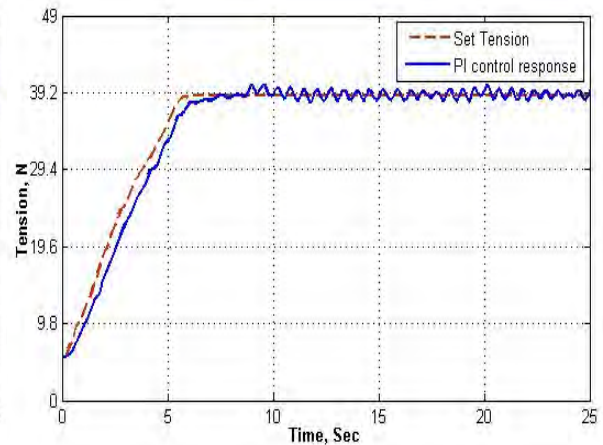


그림 57. 모터 속도 150 rpm, 하중 29.4 N

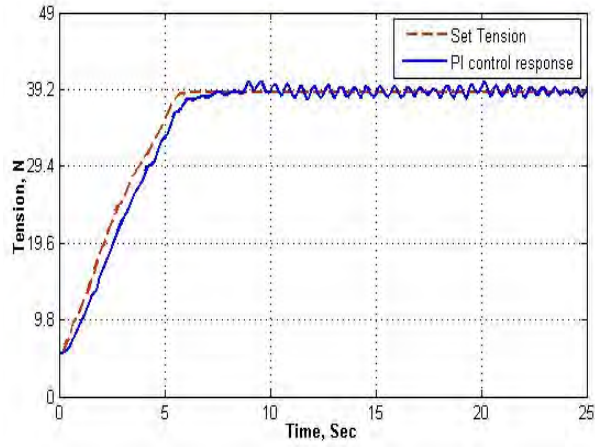


그림 58. 모터 속도 150 rpm, 하중 49 N

다음 단계로 2년차 계획인 자주식 목재 반송기의 무선 조종을 위하여 목재반송기의 설계 및 제작이 진행 중이며 무선 조종에 필요한 제어 시스템 개발 및 임지별 무선 신호의 도달 거리 분석 및 평가에 대한 계획이 수립되어 있다.

제 3 절 자동 장력 조절형 집재원치의 성능평가

1. 집재원치의 견인력 및 견인속도 측정 분석

가. 재료 및 방법

(1) 견인력 및 견인속도 측정 장치

개발된 자동 장력 조절형 집재원치의 성능을 평가하기 위하여 견인력 및 견인속도를 측정하였으며, 견인력 측정을 위하여 홀백라인에 도르래를 이용하여 5ton 로드 셀을 설치하였으며, 견인속도는 스톱워치를 이용하여 측정하였다.



그림 59. 견인력 측정 장치

(2) 견인력 및 견인속도 측정 방법

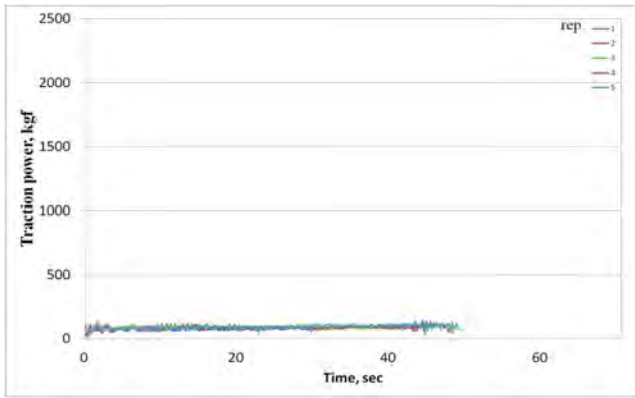
굴삭기 엔진 rpm은 1,800으로 고정시켰으며, 견인목의 수종은 리기다소나무로 100kg, 250kg 두 종류로 실험을 실시하였다. 집재거리는 80m이며 tension값을 조정하여 견인력인 견인속도를 비교하였다.



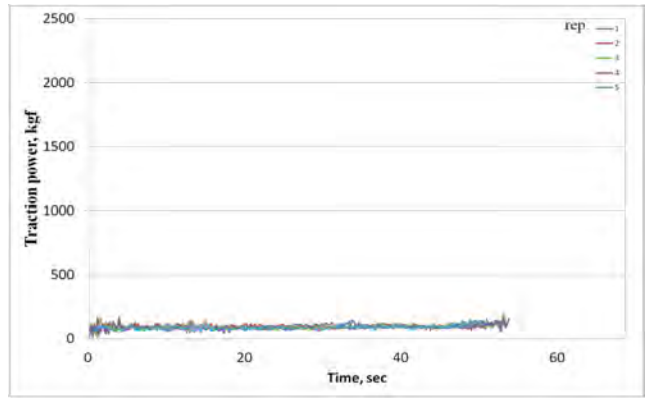
그림 60. 견인력 및 견인속도 측정 실험

나. 결과 및 고찰

tension을 0으로 주었을 때, 평균 견인속도는 100kg일 때 98m/min, 250kg일 때 87m/min이며, 평균 주행 견인력은 100kg일 때 94kgf, 250kg일 때 97kgf로 비슷한 값을 보였다.



(a) 100kg



(b) 250kg

그림 61. tension 0일 때

tension을 10으로 주었을 때, 250kg일 때 평균 견인속도는 87m/min로 tension이 0일 때와 같으며, 평균 주행 견인력은 93kgf로 나타났다.

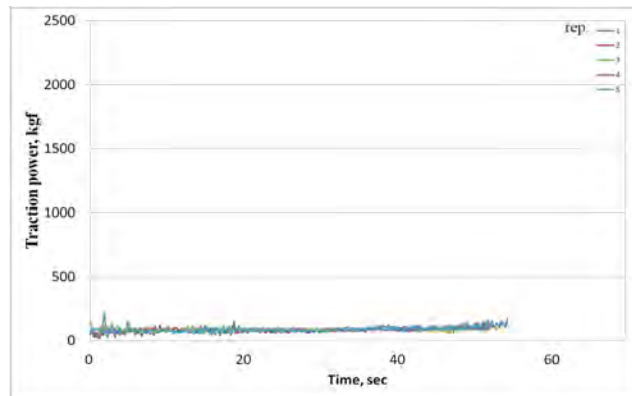
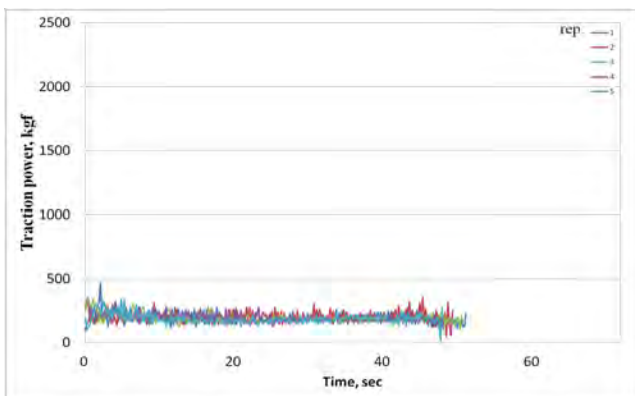
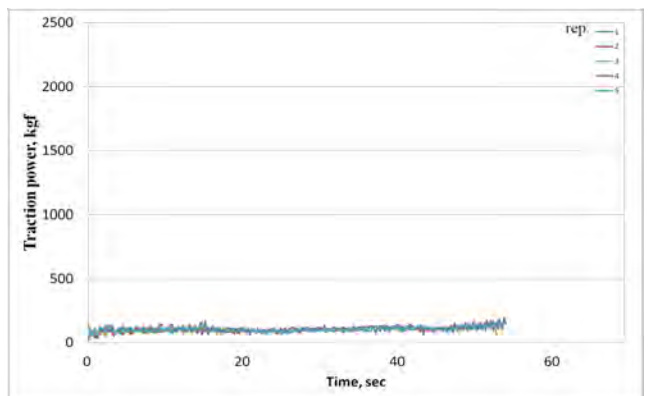


그림 62. tension 10일 때(250kg)

tension을 20으로 주었을 때, 평균 견인속도는 100kg일 때 96m/min, 250kg일 때 87m/min이며, 평균 주행 견인력은 100kg일 때 199kgf, 250kg일 때 113kgf로 나타났다.



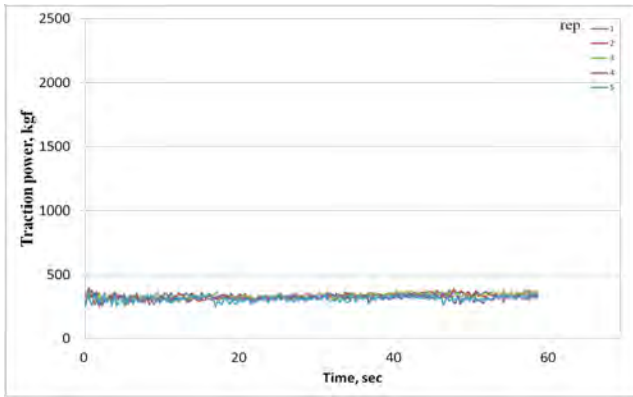
(a) 100kg



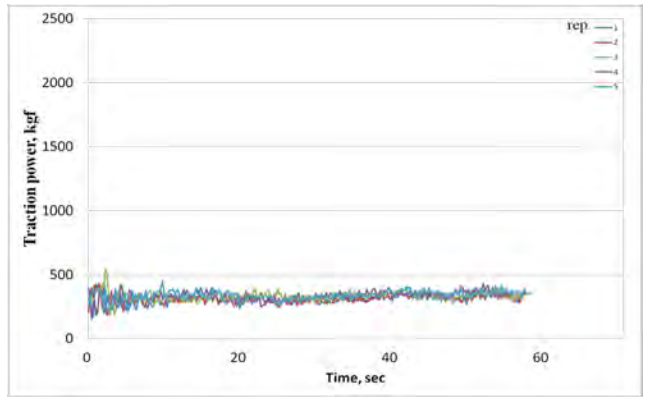
(b) 250kg

그림 63. tension 20일 때

tension을 30으로 주었을 때, 평균 견인속도는 100kg일 때 74m/min, 250kg일 때 83m/min이며, 평균 주행 견인력은 100kg일 때 332kgf, 250kg일 때 330kgf로 나타났다.



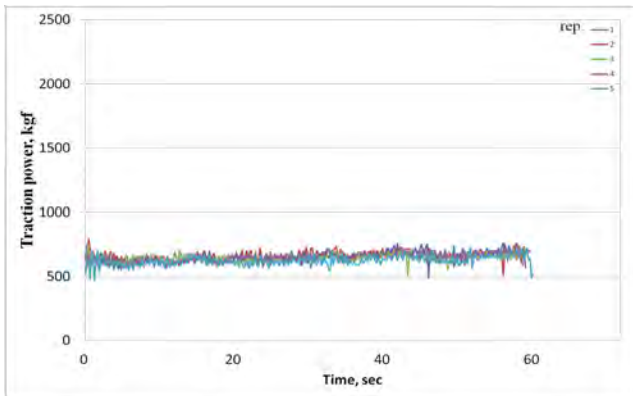
(a) 100kg



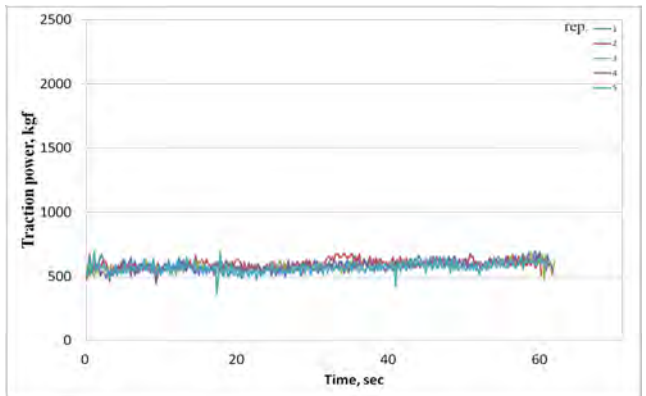
(b) 250kg

그림 64. tension 30일 때

tension을 40으로 주었을 때, 평균 견인속도는 100kg일 때 81m/min, 250kg일 때 79m/min이며, 평균 주행 견인력은 100kg일 때 647gf, 250kg일 때 584kgf로 나타났다.



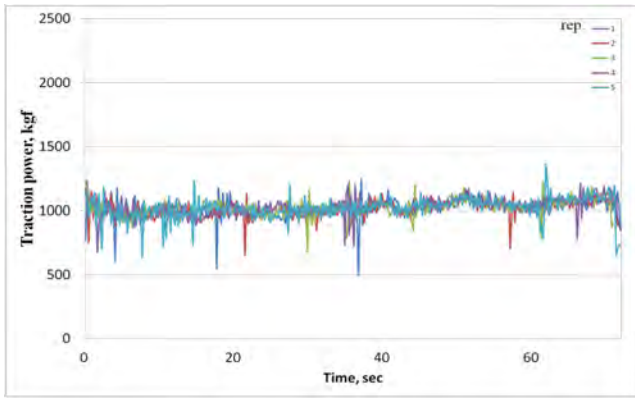
(a) 100kg



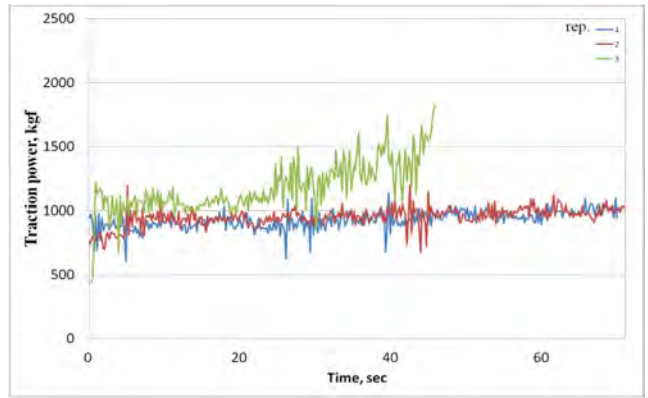
(b) 250kg

그림 65. tension 40일 때

tension을 50으로 주었을 때, 100kg의 목재 견인 시 평균 견인속도는 68m/min이며 평균 주행 견인력 1,022kgf로 나타났다. 250kg의 목재 견인 시 장력이 높아 짐재되지 않았으며 최대 주행 견인력은 1,820kgf로 나타났다.



(a) 100kg



(b) 250kg

그림 66. tension 50일 때

tension을 60으로 주었을 때, 100kg의 목재 견인 시 장력이 높아 짐재되지 않았으며 최대 주행 견인력은 2,218kgf로 나타났다.

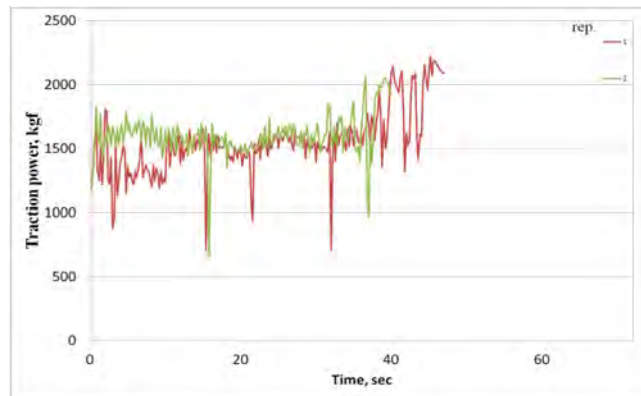


그림 67. tension 60일 때(100kg)

2. 간벌현장에서의 짐재원치 견인력 및 견인속도 측정 분석 및 공정 분석

간벌 현장에서의 시험은 시작기 부품이 외국으로부터 수입되는 기간이 길어 시작기의 완료가 늦어질 것으로 예상해 도입되어 있는 동종의 짐재원치를 대상으로 현장에서의 적용성 및 작업공정 조사를 실시하였다.

가. 조사대상지 개황

본 작업지는 광릉시험림 19임반 마소반 리기다소나무 5영급 임분으로서 평균 경급이 26cm, 평균수고 25m, ha당 축적은 227.3m³으로 임분의 간벌률은 17.7%이었다.

표 7. 작업지 개황

장소	수종	임령 (년)	경급 (cm)	수고 (m)	ha당		간벌률 (%)
					본수(수)	축적(m ³)	
19-마	리기다소나무	41	26/18~38	25/16~38	750	227.3	17.7

나. 작업방법

작업에 필요한 인력은 기계운전원 1인과 보조작업원 2인 등 3인1조로 편성하였다. 한편, 설치방법은 기존의 스카이라인을 이용한 타워야더 시스템과 달리 견인용 및 회소용 와이어로프만을 설치함으로써 비교적 설치 및 철거가 용이하다.

다. 작업내용

리기다소나무 임지로서 임내에 벌채 후, 가지제거 및 초두부만 절단한 뒤 전간재를 집재하였다. 집재방향은 상향집재를 실시하였고, 설치거리는 90m이었다. 집재거리는 평균43.3m로 비교적 단거리였으며, 측방 집재거리가 최대18m로 본 스윙야더를 이용하여 1회 설치 당 약 0.4ha의 작업범위 내에 있는 임목을 수집 할 수 있다. 따라서 200m를 설치할 경우 0.8~1.0ha의 작업이 가능하다. 1회집재재적은 기계의 제원상 평균 견인력이 1.85톤이지만, 실제 조사에서는 1회 집재재적 0.9909m³으로서 기계의 성능에는 크게 미치지 못하였으나 대경재 집재에도 가능한 기종으로 판단할 수 있다. 전간집재 특성상 1회당 집재원목 본수는 최대 3본이었으며, 평균 집재재적은 사이클 당 0.5675m³이었다.

표 8. 스윙야더 집재작업 내용

구분	집재거리(m)		잡재재적 (m ³ /회)	집재원목 (본/회)	단재적 (m ³ /본)	작업능력 (m ³ /시간)
	적재주행	측방집재				
평균	43.3	6.8	0.5675	1.9	0.3049	8.938
최소값	14.0	2.0	0.1118	1.0	0.0844	2.175
최대값	75.0	18.0	0.9909	2.0	0.6857	16.439

라. 작업시간 조사

작업능력 산정을 위한 기초자료인 시간조사 결과, 100m 설치 및 철거시간은 기존 타워야더에 비해 훨씬 적은 57.2분이 소요되는 것으로 조사되었다. 전체 55회의 조사 결과, 공주행, 초커설치 및 적재주행 등 순수작업시간 비율은 전체 작업시간의 63.2%로 나타났고, 휴식, 장비체제 등 비사이클 작업시간인 일반적업시간의 비율은 36.8%로 분석되었다.

표 9. 스윙야더 요소작업별 시간구성 내용

구분	순수 작업 시간						일반 작업	합계
	공주행	로프풀기 초커설치	측방집재	적재주행	초커제거	소 계		
전체(분)	18.23	80.95	14.77	54.08	45.47	213.50	124.26	337.76
1회당(분)	0.33	1.47	0.27	0.98	0.83	3.88	2.26	6.14
비율(%)	5.4	24.0	4.4	16.0	13.5	63.2	36.8	100.0

3. 자동 장력 조절형 윈치의 안정성검토 및 중간지지대 통과형 반송기개발

가. 자동장력조절형 집재윈치의 안정성 검토

최근 산림내에 방치된 미이용 간벌재를 효율적으로 수집, 운송할 수 있는 가선 집재 장비의 개발 및 보급이 증가함과 동시에 개발된 장비의 안정성과 관련된 문제들이 제기되고 있으며 이로 인해 설계단계에서의 안정성 분석이 요구되어지고 있다. 그러나 임업기계의 경우 제작업체가 대부분 영세하거나 공학적인 설계없이 기계를 제작하는 경우가 대부분이다. 이에 본 연구에서는 임업기계 개발 및 제작시 필요한 공학설계를 검증하며 보다 안정적이고 현장에서의 안정성을 확보하기 위해 개발한 자동장력 조절형 스윙야더를 대상으로 윈치부와 포스트암 부분에 대한 안정성을 설계단계에서 해석 검토하여 보다 높은 현장적용성을 가지도록 하는데 목적을 두고 수행하였다.

(1) 재료 및 방법

(가) 해석대상 기계

본 연구에서 고려한 스윙야더(Swing-yarder)는 굴삭기에 타워야더 (Tower-yarder) 기능의 가선 집재윈치를 장착하고 굴삭기의 붐을 타워야더의 인공 철기둥(타워)으로 이용하여 일반적인 이동식 차량형 집재기계인 타워야더와 똑같이 가선 집재기능 및 역할을 할 수 있는 가선계 집재기계이다. 금번에 개발된 스윙야더는 그림 68에서와 같이 굴삭기를 기반으로 윈치부를 차체에 고정시키지 않고 도저날에 장착하여 탈부착이 용이하도록 고려하였으며 굴삭붐에는 별도의 포스트암을 설치하여 집제작업시의 안정성을 높였다. 자세한 제원은 표 10과 같다.



그림 68. 자동장력 조절형 스윙야더

(나) 해석방법

개발된 장력조절형 스윙야더의 구조적 안정성을 확인하기 위해 굴삭기에 부착되는 윈치 본체 및 포스트암에 대해서 유한요소해석(FEA : Finite Element Analysis)을 수행하였다. 해석에 요구되는 경계조건 및 접촉조건은 굴삭기에 부착되어 고정된 경계조건에서 슬라이딩이나 움직임이 없는 조건에서 해석하였다. 해석은 폰세스 응력, 하중조건에 따른 대상구조물의 실제변위, 이를 기반으로 한 안전계수를 분석하였다. 또한, 하중조건은 포스트암의 경우 메인드럼과 홀백

드럼이 포스트암의 롤러를 통과하여 경사면의 상부(45°) 및 하부(-45°), 평지(0°) 3가지 조건에서 롤러를 접촉할 때 발생하는 하중에 대한 변화를 분석하였다. 원치본체의 경우는 각각의 드럼에서 원치본체를 기준으로 안쪽, 중간, 바깥쪽 위치에서 장력을 받는 조건으로 구분하여 분석하였고 분석에 사용된 소프트웨어는 Inventor(AutoDesk, Co.)로 대상장비의 3D 설계 및 유한요소해석을 함께 수행할 수 있는 장점이 있다.

표 10. 개발된 자동장력 조절형 스윙야더 제원

기본차량	5톤급 굴삭기(버킷 용량 : 0.2~0.3m³)			
규 격	크기(길이×폭×높이)	854×550×1,050mm		
	중 량	500kg		
조작방법	PLC 또는 마이컴제어 4방향 조이스틱(캐빈 내 운전)			
장력조절 방법	인터라킹(Interlocking, 유압모터 자동제어) 방식			
브레이크	모터 내장형 브레이크 방식			
원 치 부	세부제원	메인라인	홀백라인	
	드 럼 수	2개		
	드럼직경	ø270mm	ø220mm	
	플랜지직경	ø435mm	ø435mm	
	드 럼 폭	180mm	180mm	
	견인속도	76~180m/분		
	인장력	베어드럼	1,800kg	1,100kg
		평균경	1,500kg	850kg
		전체드럼	1,350kg	650kg
	와이어로프 권입용량	ø8mm	240m	290m
ø9mm		190m	230m	
ø10mm		154m	180m	
유 압 부	압 력	210bar 이상		
	유 량	48~79liter/min		
전기 출력부	조이스틱	3~9V		
	Tension	0~10V		
	PVG32 valve	0.25≤Udc≤0.75		
옵션사양	포스트암, 엔드리스드럼, 무선클램프반송기			

(2) 결과 및 고찰

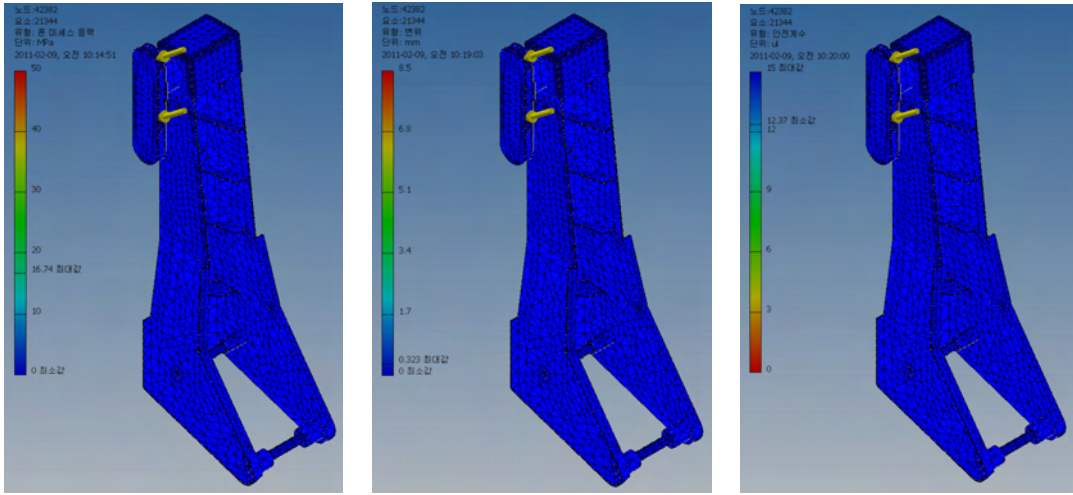
(가) 포스트암의 유한요소해석

그림 69에서와 같이 포스트암이 수직으로 고정된 상태에서 상향, 하향, 평지 집재의 경우로 구분하여 롤러를 기준으로 양방향으로 받는 장력의 합력을 기준으로 경계조건을 설정하여 분석한 결과 하향집재의 경우 포스트암 구조물에 걸리는 응력변화는 작은 것으로 분석되었으며, 안전계수도 최소 12.37로 안전한 것으로 판단되었다. 상향집재의 경우는 하중조건에 의해 최대 4.395mm 변위가 발생하며 안전계수도 0.40 으로 안정성에 문제가 있는 것으로 판단되어 응력을 많이 받는 부분에 별도의 보강대책이 필요한 것으로 판단되었다. 평지집재의 경우는 가장 포스트암에 많은 응력변화가 발생하는 조건으로 분석되었으나 안정성에 문제가 되는 국소 응력변화는 상향집재의 경우보다는 작은 것으로 분석되었으며 안전계수 또한 0.51로 나타나 응력집중부분에는 별도의 보강조치가 필요한 것으로 판단되었다.

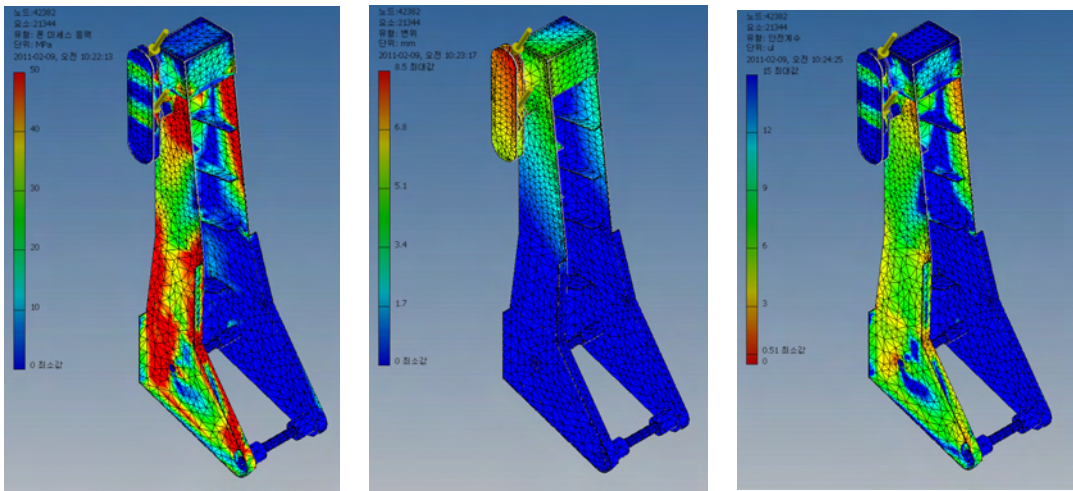
(나) 윈치본체의 유한요소해석

그림 70에서와 같이 윈치는 바닥면에 고정되어 와이어로프에 의해 2개의 드럼이 장력을 받고 있는 조건을 가정하여 유한요소해석을 실시하였으며, 윈치에 감겨 장력을 주고 있는 와이어 로프의 위치가 윈치본체의 안쪽, 중간, 끝부분 3가지로 구분하여 분석을 실시하였다.

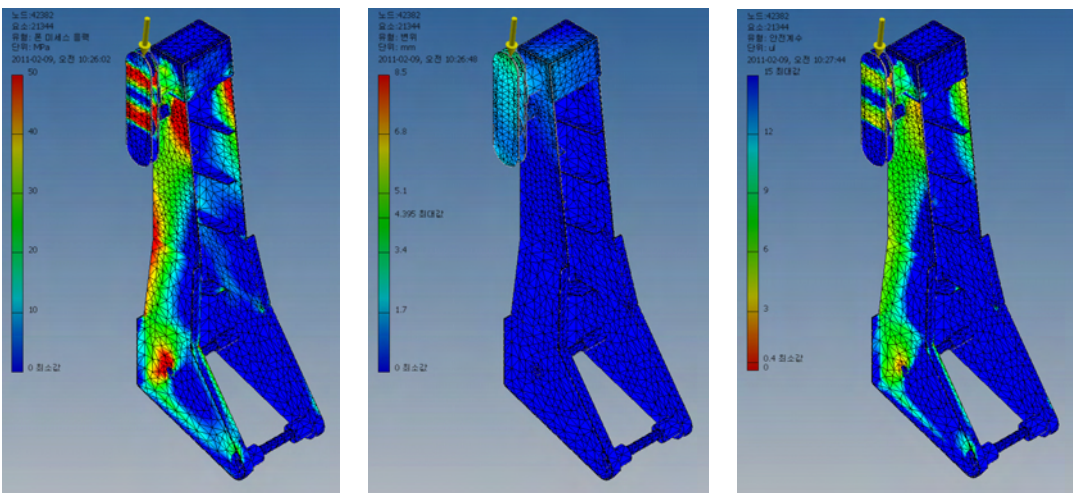
와이어로프가 윈치의 안쪽에 감겨 장력을 주고 있는 상태에서의 윈치드럼의 응력분포 및 본체의 응력분포는 비교적 안정적인 상태이며 최대변위도 0.37mm로 비교적 작으나, 안전계수의 경우는 0.9에서 15까지로 안전에 문제가 있을 것으로 판단되었으나 해석상의 경계조건설정에서 장력을 주는 기본가정이 윈드럼 표면의 한점에서 힘을 부가하는 것으로 하였기 때문에 그 부분의 응력이 집중되어 생긴 해석결과로 판정되었다. 따라서 안전계수에는 큰 문제가 없는 것으로 판단되었다. 또한 윈치드럼의 중간에서 바깥쪽으로 와이어로프가 이동됨에 따라 벤딩모멘트가 윈치드럼고정부를 중심으로 커지는 현상이 있었으나 안정에는 큰 문제가 없는 것으로 분석되었다.



(a) 하향집재의 경우

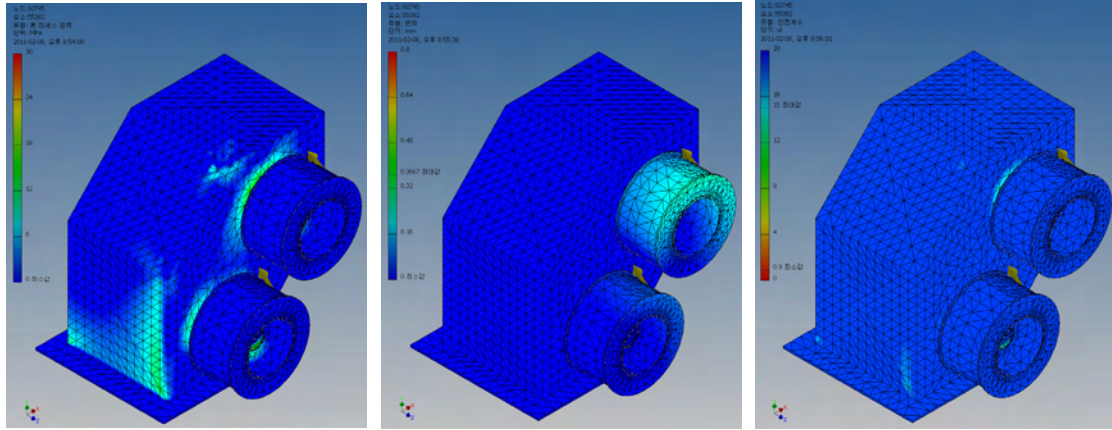


(b) 평지집재의 경우

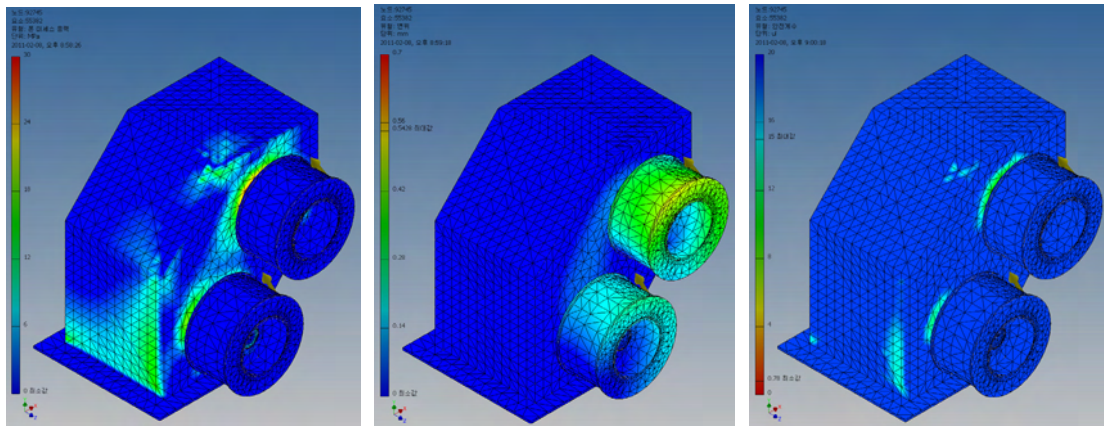


(c) 상향집재의 경우

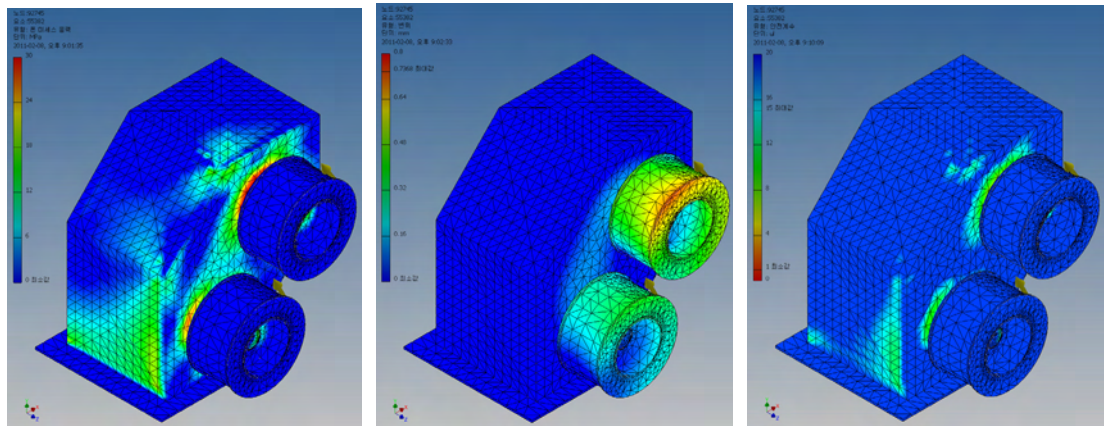
그림 69. 스윙야더 포스암의 유한요소해석



(a)와이어 로프가 윈치부 안쪽에 감겨 하중을 받을 때



(b)와이어로프가 윈치부 중간에 감겨 하중을 받을 때



(c)와이어로프가 윈치부 바깥쪽에 감겨 하중을 받을 때

그림 70. 장력조절형 스윙야더 본체의 유한요소해석

나. 중간지지대 통과형 반송기 개발

1년차에 개발한 스윙야더의 경우 단시간에 설치하여 계속적으로 이동하면서 신속하게 짐재를 하는 것을 개념으로 하고 있다. 그러나 최근 간벌의 경우 이외에 개벌의 경우 최대 5ha 까지만 벌채할 수 있던 것이 10ha 까지로 확대됨에 따라 사업대상지의 형태가 길어지는 곳에서는 한번 설치에 많은 량을 짐재할 수 있는 것이 바람직하기 때문에 장거리의 짐재도 고려할

필요가 있다.

개발된 장력 조절형 집재원치의 경우 러닝스카이 라인 방식으로 집재거리가 100m 이상이 될 경우 와이어로프의 처짐 및 목재수확작업지의 국소지형 등의 영향으로 반송기가 땅에 끌리는 등 문제가 발생할 수 있다. 이 경우 스카이 라인이 있는 가선집재 시스템의 경우 고정줄인 스카이 라인을 들여올려 지지할 수 있는 중간지지대는 현장에서의 사용경험이 있으나 러닝스카이라인 방식에서는 와이어로프 자체가 움직이기 때문에 이러한 문제를 해결하기가 어려워 집재거리를 조정하는 등 작업의 효율이 떨어지는 문제점이 있었다.

국내의 경우 300m 이상 집재하기에는 가선의 자중 및 지형적인 조건 때문에 실제로 현장에서 수집하는 것이 불가능 하다. 이 경우 작업 대상지의 미세지형 및 장거리 집재를 위해서는 이를 극복할 수 있는 중간 지지대가 반드시 설치되어야 하는 데 개발된 장력조절형 집재원치의 경우 러닝 스카이라인 방식으로 기존의 중간 지지대가 스카이라인을 중심으로 사용되었던 것과는 달리 작업줄에서 반송기가 통과되는 구조로 바뀌어야 한다. 이에 본 연구에서는 러닝스카이라인 방식에서도 중간 지지대를 통과할 수 있는 구조의 반송기를 개발하게 되었다(그림 71). 반송기의 한면에 분리형으로 커버를 설치하고 작업시 와이어로프이탈을 방지하는 시계추 형태의 가이드를 설치해 중간지지대를 통과할 수 있도록 고려하였다.

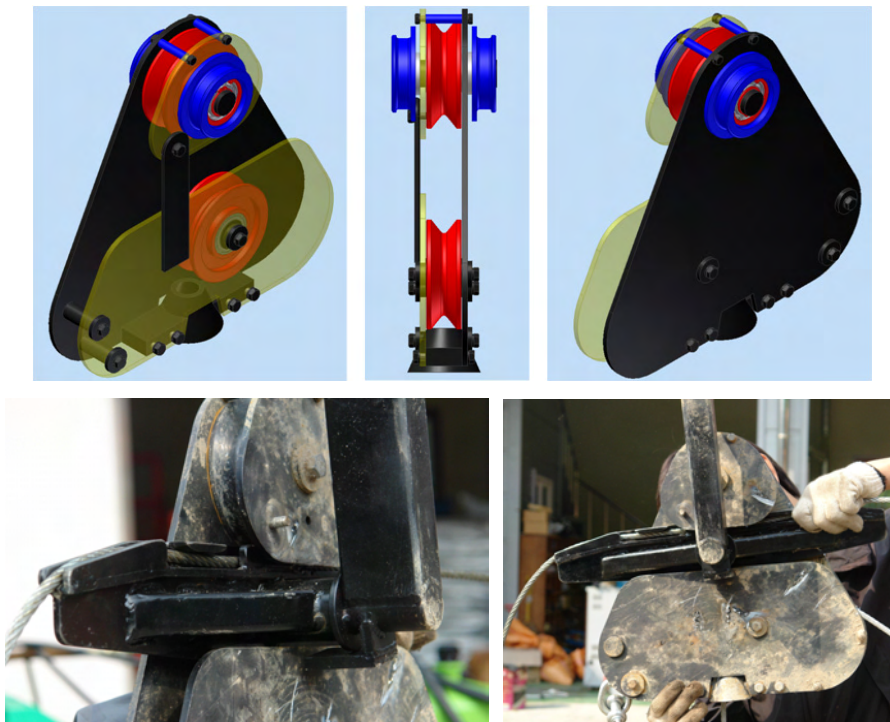


그림 71. 중간지지대 통과형 반송기

이러한 기능을 갖추기 위해서 반송기 쪽에서의 반송기지지 프레임이 필요하여 그림 72와 같이 개발된 포스트암에 추가로 장치를 하여 원활한 목재 이탈이 가능하도록 고려하였다.

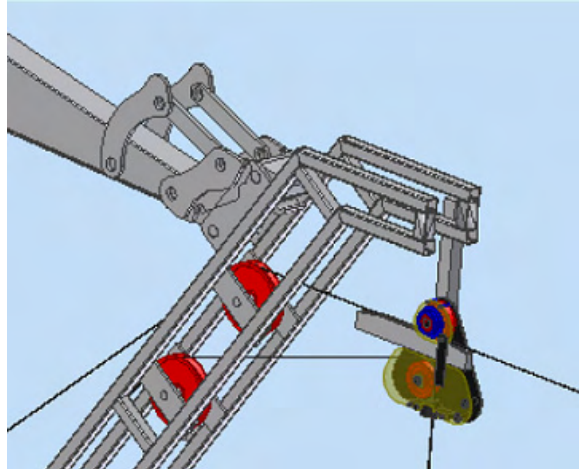


그림 72. 자동 언훅킹이 가능하도록 포스암에 장착된 지지대

또한 그림 73에서와 같이 굴삭기를 소유한 작업단의 경우 별도의 집재원치를 굴삭기에 부착하는 것을 선호하지 않아 최초개념설계에서 변경해 분리형으로 이동시 굴삭기와 함께 적재하여 운반하고 작업지에서는 도저삽날에 끼워장착되는 형태로 포스암과 더불어 임내를 주행할 수 있도록 고려하였다.

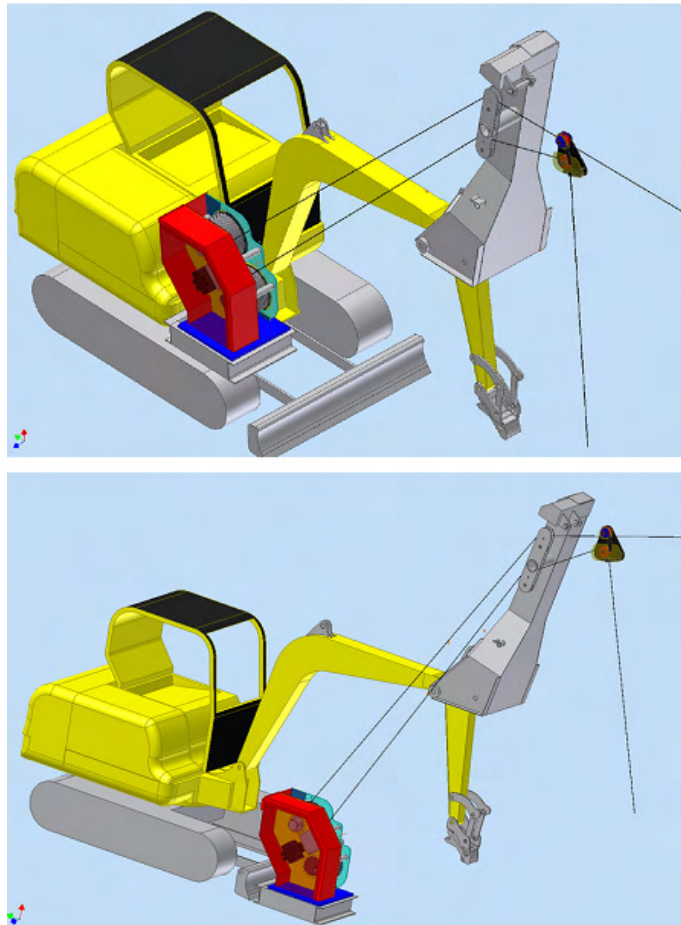


그림 73. 장착형(상)과 분리형 자동장력조절형 집재원치의 개념도

또한, 러닝스카이라인방식의 경우 구조적 특성상 짐재목의 견인고리장착시 반송기가 따로 떨어지는 구조로 되어 있는데 이 경우 간벌작업지에서는 작업줄이 횡집재방향으로 늘어나면서 삭형태의 짐재선도가 구성되는데 이 경우 짐재선 부근의 잔존목이 손상을 입을 위험이 있으며 짐재작업자체도 어려워지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 그림 74와 같은 클램프식 무선조정형 반송기를 설계하게 되었다. 이 반송기의 경우 횡집재의 안정성 뿐만 아니라 초커라인 자동해체 기구를 통해 초커라인을 풀어주는 작업자를 줄일수 있는 장점도 있다.

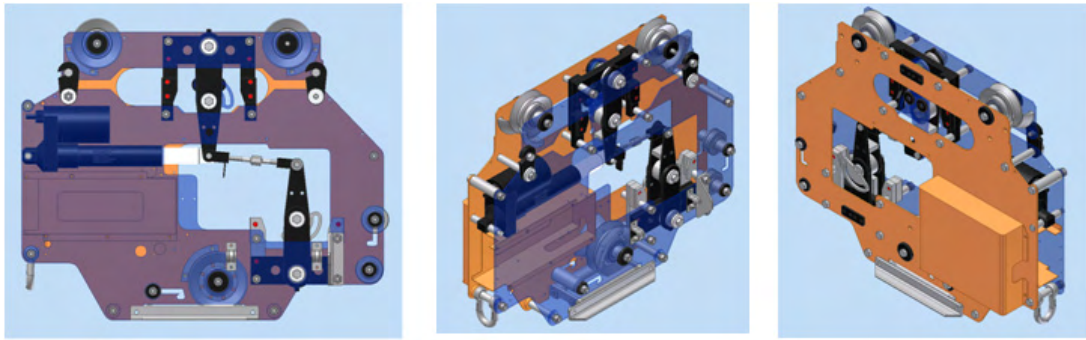


그림 74. 무선조정형 클램프 반송기

제 4 절 자주식 무선조정 목재반송기의 설계 및 시제품 제작

1. 자주식 무선조정 목재반송기의 기본프레임 설계 제작

목재반송용 자주식 반송기는 자체 엔진을 탑재하고 캡스탠 드럼 또는 그루브 폴리에 의해 엔드리스 드럼 형식으로 작업줄을 풀리또는 드럼과의 마찰력에 의해 구동하므로써 주행력을 얻는 방식으로 구성되었다. 선진 임업국의 경우는 이미 1980년대부터 현장에 많이 활용되는 방식이며 국내에도 일본의 이와후지사의 라디캐리 제품이 80년대에 도입되어 현장의 활용성이 보고되었다.

라디캐리는 중경목급이하 소경목의 집재작업에 이용되는 소형집재기로서 무선조종에 의해 작동되며 자주식 반송기이다. 이 반송기는 무선조종기에 의해 작동되며 반송기내의 각 부분명칭은 그림 75에 나타나 있다.

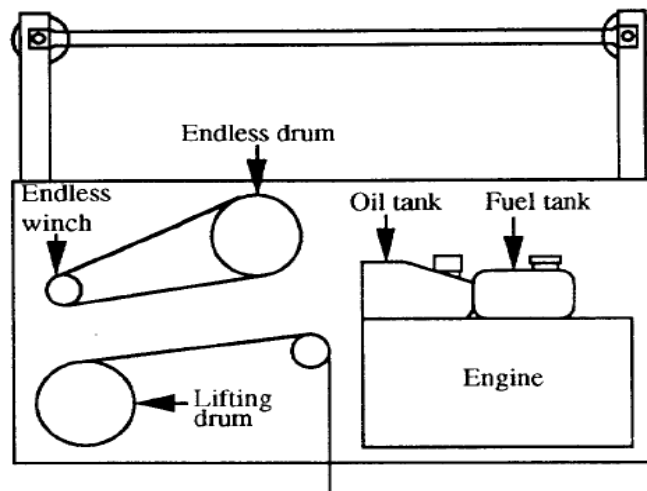


그림 75. 설치된 라디캐리와 내부구조(김덕수, 1994)

이 반송기의 엔진출력은 20마력이고 무게는 440kg이다. 시스템의 설치 및 해체에 요구되는 시간은 약 1-1.5일 정도이다. 집재작업은 집재장과 벌도목이 위치한 곳에서 각가 1대씩 모두 2대의 무선 조종기를 운영용하여 실시하며 국내에서는 일반적으로 4인 혹은 5인이 1개조로 편

성되어 작업을 실시하고 있다.

이 반송기의 이용안내서에 의하면 최대 견인력은 800kg, 최대 집재거리는 약 300m, 횡취집재 거리는 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 76은 라디캐리 집재시스템의 구조를 나타낸 것으로, 본 연구에서도 그림과 같은 single span 고정식 가선집재시스템을 적용하였다.

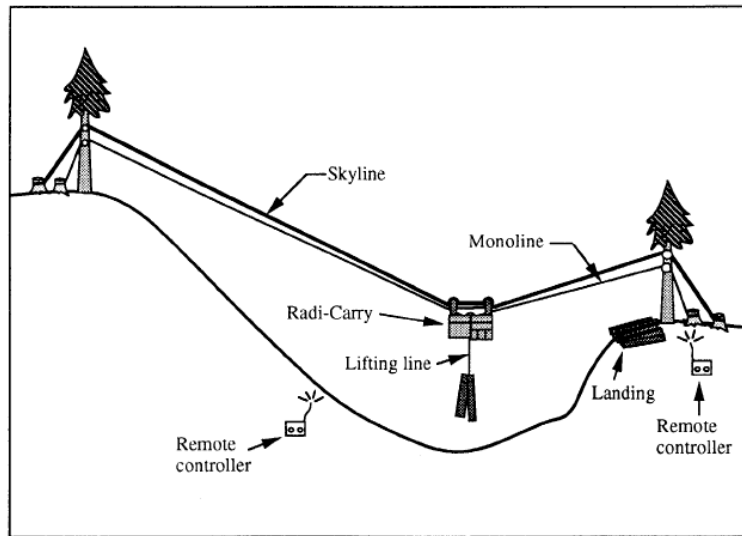


그림 76. 라디캐리를 이용한 고정식 가선시스템의 구조(김덕수, 1994)

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 76에서 볼 수 있다. 그림에서 chord는 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)을 극복하지 못하므로 상향집재 작업에는 제약이 따르기 때문이다. 또한, 하향집재의 경우에도 가선(架線)에 장력이 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 가선의 처짐을 줄여 주는 역할을 하는 반면 가선이 받쳐주는 벌도목의 허용하중을 줄이게 한다. 즉, 동일한 하중의 벌도목을 반송기에 매

달았을 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. 자주식 목재 반송기의 이론설계

기존의 국외로부터 도입된 자주식 목재반송기는 메인라인이외에 스카이라인이 별도로 설치되어 작업을 하거나 상향집재에 취약하다는 단점이 있어 이를 극복하고자 단선구조의 상향집재가 가능한 자주식 목재반송기를 개발하고자 하였다. 이를 기준으로 기존의 8마력 디젤엔진을 사용한것에 비해 본 연구에서는 배출가스가 비교적 적은 가솔린 엔진을 적용하여 가솔린 엔진의 일반 상용회전수가 3,000RPM 이라는 가정하여 이론설계를 실시하였다. 기존의 라디캐리는 6cc/rev + 6cc/rev의 기어펌프가 2련으로 적용되어 있고 주행 및 견인에 사용되는 유압모터는 기어식 유압모터로 브레이크가 내장된 형식을 사용하고 있다. 드럼의 직경은 200mm이며 사용된 모터는 123cc/rev이며, 주행용모터는 106cc/rev로 예상되는 드럼의 토크는 다음과 같다.

■ Winch Drum Torque

$$T = \frac{P \cdot 9 \cdot 7m}{2\pi \cdot 100} (kgf \cdot m)$$

$$= \frac{210 \times 123 \times 0^{85}}{2 \times \pi \times 100} = 35 (kgf \cdot m) \times \text{감속비} 2^5 = 87 kgf \cdot m$$

■ 주행 Drum Torque

$$T = \frac{P \cdot 9 \cdot 7m}{2\pi \cdot 100} (kgf \cdot m)$$

$$= \frac{210 \times 106 \times 0^{85}}{2\pi \times 100} = 30 (kgf \cdot m) \times \text{감속비} 2^5 = 75 kgf \cdot m$$

이에 대해 펌프의 용량을 고려한 이론주행속도는 다음과 같다.

■ $Q = \frac{9 \cdot N}{1000 \cdot nv} (l/min)$

$$N = \frac{Q \cdot 1000 \cdot 7v}{9}$$

$$= \frac{36 \times 1000 \times 0^{95}}{106} \approx 320 rev/min$$

∴ 주행 속도 $V = 2\pi r \times \text{Motor회전수} \times \text{감속비} (\frac{1}{2^5})$

$$= 2\pi \times 0^1 \times 320 \times \frac{1}{2^5} \approx 80 m/min$$

이에 본 연구에서 고려한 자주식 목재반송기는 자주식 반송기는 23hp급으로 목표 주행속도는 200m/min (320rpm)으로 최대 인양능력 800~1000kg이고 사용하는 유압시스템의 최고사용압력은 210kg/m²을 기준으로 하였다. 위의 식을 적용하여 주행드럼의 필요토크를 계산한 결과 91kg·m로 감속기를 배제한 상태에서 필요한 유압모터의 필요유량은 다음과 같다.

$$\blacksquare Q = \frac{T \cdot 2\pi \cdot 100}{P \cdot 7m} = \frac{91 \times 2\pi \times 100}{210 \times 0^{85}} = 320cc/rev$$

이에 대해 Pump 유량은 다음과 같은 식에 의해 산출하였다.

$$Q = \frac{9 \cdot N}{1000 \cdot 7v} = \frac{320 \times 320}{1000 \times 0^{95}} \approx 108l/min$$

나. 자주식 목재반송기의 부품설계

자주식 목재반송기의 주행장치는 그루브방식의 도르래에 와이어 로프를 감아 도르래를 호 유압모터에 구동하여 반송기가 주행하도록 하는 접촉 마찰구동방식이다. 일반적으로 윈치설계에 있어서 공칭직경은 사용하는 와이어로프의 20배 이상을 사용하게 되어 있으며, 사용하는 길이에 따라 폭과 드럼의 직경, 플랜지의 직경 등이 결정되어 진다. 본 연구에서 고려하는 목재 반송기는 직경 12mm의 와이어로프를 단선으로 사용하도록 고려하였으며 이를 기준으로 도르래 및 도르래의 간격, 그루브 도르래의 제원, 드럼의 직경 및 폭 등을 결정하였다. 설계목표로서 최대삭장거리 300m를 기준으로 횡집재는 30m까지 가능하도록 하여 1회 설치로 약 1.8haRk지 수확이 가능하도록 고려하였다.

이 조건을 만족하는 드럼 및 그루브 도르래의 설계는 다음과 같은 기준으로 하였다.

(1) 드럼 용량 설계기준

드럼의 와이어가 감기는 배럴과 플랜지 사이의 각은 적절한 스풀링을 확보하기 위해서 90°이어야하며 여야 한다. 와이어 로프에 맞는 홈은 첫 번째 단계에서 적절한 스풀링을 확보하기 위해 배럴 표면에 만드러야한다. 드럼에 로프의 줄끝은 연결하는 장치는 스풀링이 원활하도록 설계해야 한다.

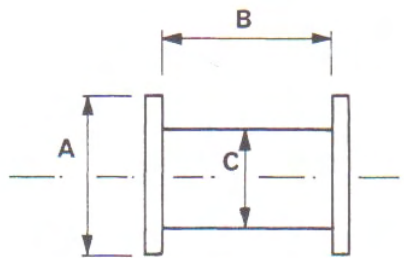


그림 77. 윈치드럼의 제원결정

그림에 표기한바와 같이 각각의 제원을 결정하기 위해 드럼의 와이어 로프의 길이는 다음과 같이 계산해야 한다. 중간 드럼 직경에서 하나의 코일 길이는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\Pi \cdot \left(C + \frac{A - C}{2} \right)$$

코일의 수와 와이어가 감기는 층의 개수는 각각 $\frac{B}{d}$ 와 $\frac{A - C}{2d}$ 로 표현 할 수 있다. 따라서 드럼 와이어의 길이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L = \pi \cdot \left(C + \frac{A-C}{2} \right) \cdot \frac{B}{d} \cdot \frac{A-C}{2d}$$

정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L = \frac{\pi \cdot B \cdot (A+C) \cdot (A-C)}{4d^2} = \frac{\pi \cdot B}{4d^2} (A^2 - C^2)$$

테두리의 직경은 어느 정도 A보다 커야 한다. ISO규격에 따르면(ANNON 1978)에 따르면 와이어가 완전히 다 감긴 상태의 전체 드럼 직경은 플랜지 직경 직경보다 2·d 만큼 작아야 한다. 또한 플랜지 직경은 이것에 따라 A+4d(d=로프직경)이어야 한다. 드럼 용량은 이 계산에 따라서 스풀링이 적절할 때 적용한다. 항상은 아니며 특별히 단독 드럼 트랙터 부착 원치인 경우이다. 이 경우에서 플랜지는 다소 높아야 하며, 보통 윗식의 계산치보다 25% 높다. 본 연구에서는 반송기의 폭이 넓어지지 않게 하기 위해서 플랜지의 직경을 크게하고 드럼의 폭의 줄이는 방식으로 설계하였다.

(2) 캡스톤과 그루브 도르래 구동

케이블 시스템은 짐을 올리고 내리는 캐리지를 당기거나 제동하기 위해 엔드리스 라인을 사용한다. 이것은 pendulum 케이블 웨이, 순환 캐리지 트윈 케이블, 일본과 노르웨이 케이블에 대한 예다. 캡스톤과 그루브 도르래는 엔드리스 라인을 당기고 제동하는데 이용한다. 그루브 도르래와 캡스톤은 또한 단독 주요 라인과 홀백 라인을 제동하고 견인하는데에도 이용한다.(오스트리아와 스위스 원치에 사용). 그루브 도르래와 캡스톤은 저장 드럼에도 가능할 것이다. 그림 78에서 도르래는 메인라인상에서 작동한다. 스풀링암은 메인라인을 저장 드럼으로 이끈다. 저장 드럼은 그루브 도르래에서 선 장력(pre-tension)을 가지고 있으며, 힘의 10%는 일반적으로 선 장력으로 이용된다. 이것은 저장 드럼의 미끄럼 장치의 도움과 유압으로 이루어진다.

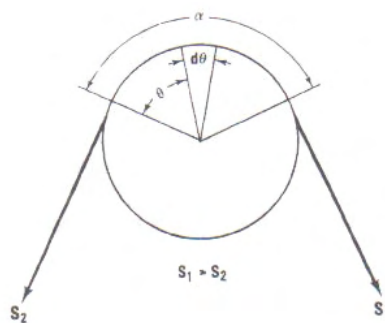


그림 78. 캡스톤과 그루브 활의 내외부 로프간의 각도

도르래에 의해 전달된 줄의 장력을 분석하기 위해 다음 기호를 사용하였다.

S1=도르래 내로 들어가는 메인라인의 장력, S2=도르래에서 나오는 메인라인의 장력, S1>S2
 f=마찰 계수 강철 도르래와 와이어 로프간의 마찰계수 (본 연구에서는 f=0.2 적용)
 α=와이어 로프와 도르래 간에 접촉되는 각도(radian 단위), e=자연 대수의 기초

도르래와 와이어로프 사이의 전달된 힘을 분석하기 위해, 도르래의 접선 및 방사 방향 힘을 찾기 위해 미세단위로 나누어 분석하였다(그림 78과 79참조). 접선 방향에서의 힘은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\Sigma S_t = S \cdot \cos \frac{d\theta}{2} + (S + dS) \cos \frac{d\theta}{2} - f \cdot dP = 0, \quad dS \cdot \cos \frac{d\theta}{2} = f \cdot dP$$

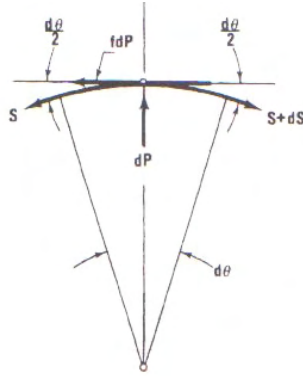


그림 79. 캡스턴과 홈 휠에 있는 로프의 구성 요소

각 $d\theta$ 는 매우 작기 때문에 \cos 각은 대략 1로 계산하였다.

$$\cos \frac{\theta}{2} \approx 1, \quad dS = f \cdot dP$$

방사 방향에서 힘은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Sigma S_r &= -S \cdot \sin \frac{d\theta}{2} - (S + dS) \sin \frac{d\theta}{2} + dP = 0 \\ -2S \cdot \sin \frac{d\theta}{2} - dS \cdot \sin \frac{d\theta}{2} + dP &= 0 \end{aligned}$$

작은 각 θ 에 대한 사인 값은 라디안으로 나타낸 각과 거의 같다고 할 수 있다. 따라서

$$\Sigma S_r = -S \cdot d\theta - dS \cdot \frac{d\theta}{2} + dP = 0$$

$dS \cdot \frac{d\theta}{2}$ 는 작은 단위이고, 대략 0과 같다.

$$\begin{aligned} -S \cdot d\theta + dP &= 0 \\ dP &= S \cdot d\theta \end{aligned}$$

이식을 위의식에 삽입함으로써 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{dS}{S} = f \cdot d\theta$$

위의 식의 약변을 적분하면

$$\begin{aligned} \int_{S_1}^{S_2} \frac{dS}{S} &= \int_0^a f \cdot d\theta \\ 1n \frac{S_2}{S_1} &= f \cdot a \end{aligned}$$

$$\frac{S_1}{S_2} = e^{f \cdot a}$$

충분한 마찰 힘에 도달하기 위해 n의 횡수만큼 와이어 로프가 캡스턴 주위를 감는다고 할 때 다음과 같은 식을 도출 할 수 있다.

$$\frac{S_1}{S_2} = e^{f(2\pi n+a)}$$

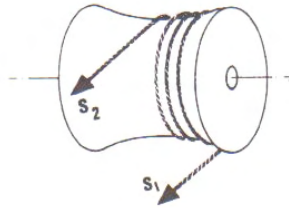


그림 80. 캡스탄 드럼

다음 공식은 가장 험거운 라인에 있는 필요한 선장력을 찾는 데 이용될 수 있다. 선장력은 메인라인에서 충분한 장력을 얻기 위함이다.

$$S_2 = \frac{S_1}{e^{f(2\pi n+a)}}$$

캡스턴이 거기에서 이용될 때, 안과 밖 로프 사이 작은 각이 되어야 한다. 그렇지 않으면 거기에는 서로의 간섭하는 줄 때문에 짐이 흔들리게 된다. 캡스턴 주변 로프는 작동하는 동안 옆으로 미끄러진다. 마찰은 마모를 초래한다. 이 문제는 일반적으로 캡스턴 보다 적은 마모를 일으키는 홈 도르래를 사용할 때 피할 수 있다. 홈 도르래 시스템은 드라이빙 휠과 리딩 휠로 이루어진다. 리딩 휠의 축은 드라이빙 휠의 톱과 작은 각을 이룬다. 와이어 로프를 드라이빙 휠 다음 홈 안으로 조정하기 위해서이다. 드라이빙 휠은 리딩 휠보다 직경이 크다 .

휠에 있는 홈은 와이어 로프의 반지름 보다 10% 큰 반지름인 안장 key 와 같은 profile을 가지고 있다. 공업 구조물에서 홈의 깊이는 와이어 로프의 직경과 같다. 임업용 케이블 크레인 과 케이블 가선에서, 휠을 지나갈 수 있는 짧은 이음새와 빠른 연결은 필요하다. 홈과 홈과 홈 사이 거리의 형태는 이것을 가능하게 해야 한다. ($r_2 = 1.10 \cdot r_1$ and $\beta = 120^\circ$).

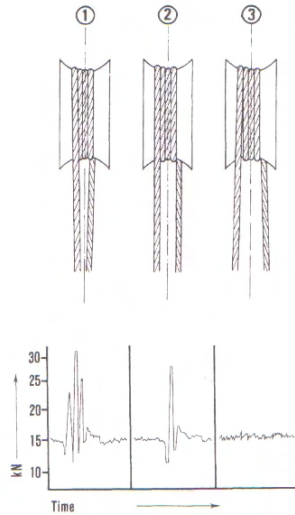


그림 81. 캡스턴의 안과 밖 로프 사이 각에 따른 소요힘 변화(PROCKTER 1977)

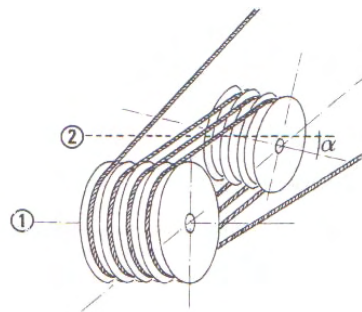


그림 82. 그루브 휠

그림 82의 홈 휠 No.2는 홈 휠 No.1과 관련하여 어떤 각을 이룬다. 홈 휠 No.2은 첫 번째 홈의 아래쪽 줄을 이끌어 홈 휠 No. 1의 두 번째 홈의 위쪽까지 이른다.

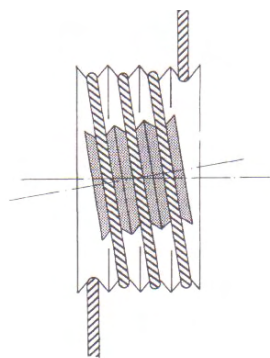


그림 83. 그루브 휠배열 위 두 중앙라인 사이의 각

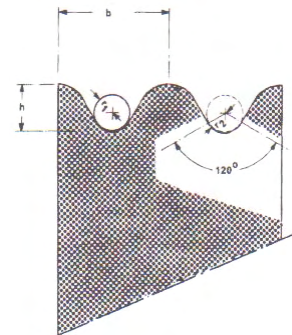


그림 84. 그루브 휠의 단면

그루브 휠 홈들 사이 큰 거리는 홈을 지나기 위한 rop에서 접촉과 연결을 가능하게 한다. 여기서,

b =홈 사이 거리, h =홈 깊이, r_1 =와이어로프의 반경, r_2 = 홈 바닥의 반경이다. 홈 도르래로 운전하는 줄에서 긴장감은 capstan 과 비슷하게 발견된다. 그러나 와이어로프와 driving wheel 접

축 호가 원주보다 작기 때문에, 홈 도르래는 같은 힘을 전하기 위해서 capstan 보다 와이어로프의 회전이 필요하다. 다음 공식을 사용한다.

$$\frac{S_1}{S_2} = e^{f \cdot n \cdot \alpha}$$

n은 가동하는 도르래에 있는 홈의 숫자이고, α 는 접촉의 호의각이다.

(3) 자주식 목재반송기 메인프레임 및 구동 휠의 설계

그림 85와 같이 자주식 목재반송기의 프레임 및 각 구동부 부품에 대한 설계를 실시하였다. 그루브 휠의 경우 계산상의 마찰력이 발휘하지 못하는 경우를 대비하여 드라이브 휠 및 아이들링 휠모두 3줄 홈을 고려하여 설계·제작하였다.

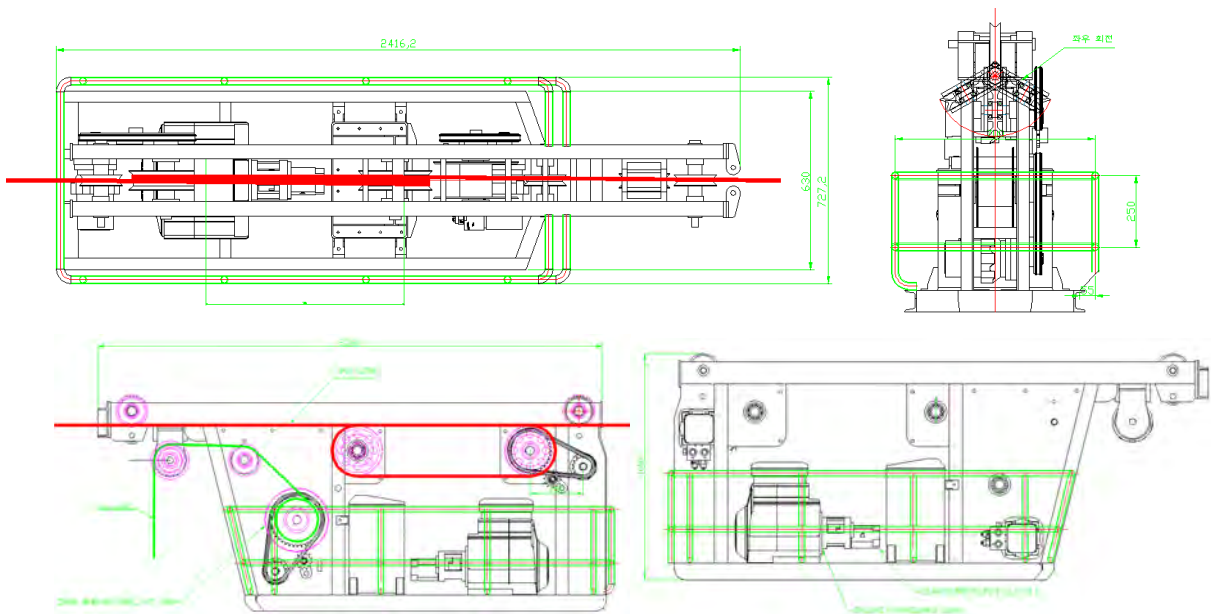


그림 85. 자주식 목재반송기의 설계도

유압모터로부터 구동력 전달은 체인에 의해 전달하였고 횡방향에서의 짐재목 견인시 반송기의 자세를 유지해줄 수 있는 장치로 그림에서와 같이 스위벨을 부착하여 좌우 어느 방향에서 견인하여도 반송기 자체가 기울지 않도록 고려하였다. 또한 설계단계에서 그림 86과 같이 3D CAD(Inventor 2011, Autodesk Co.)를 도입하여 제작전 단계에서 2D로 찾아 내지 못하는 부품간섭 등을 찾아내어 기계개발의 오류를 많이 줄이도록 하였다. 특히 3D로 설계된 상태에서 각종 부품의 동작이나 모드형상 등을 통해 구조적 문제점과 응력해석을 통한 안전성 등을 사전에 검토할 수 있도록 하였다.

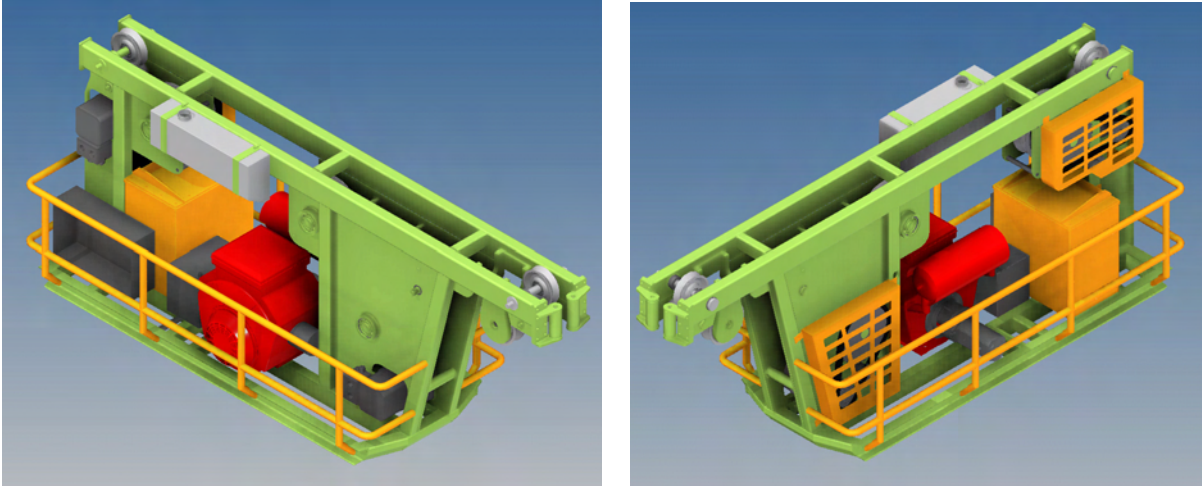


그림 86. 자주식 목재반송기의 3D 모델

(4) 자주식 목재 반송기의 제작

그림 85와 같이 이론계산 및 제작된 도면을 기초로 자주식 목재반송기의 시작기를 제작하였다. 시작기의 중량은 530kg으로 다소 무거웠으며 추후 성능보완실험 및 현장적용성 검토를 통해 중량 및 기능을 개선하였다. 주요기능으로 짐재선의 왕복주행 및 견인목의 횡집재가 가능하며 제어방식으로는 8ch의 무선조종시스템을 적용하였으며 가선에 의해 매달려 있는 원격상태에서도 무선송수신장치를 통해 엔진의 on-off 가 가능하도록 하였다. 또한 적용된 엔진이 4사이클 가솔린기관(전기 점화식)으로 시동시의 쇼크를 송신기에서 제어할 수 있도록 고려하였다. 특히, 쇼크 및 엔진 회전수제어를 위해 50mm 스트로크의 전동 리니어 액츄에이터를 설치하여 작업조건에 맞는 엔진회전수 제어 등 장비의 제어가 용이하도록 고려하였다. 시작기의 완료 후 성능시험을 위한 작동시험을 실시하여 설계된 제원 및 기능이 수행되는지를 확인하였다(그림 88).



그림 87. 개발된 무선조종형 자주식 목재반송기



그림 88. 설계 기능 확인 시험(경사지 주행)

2. 자주식 무선조정 목재반송기의 동력전달 기구 설계 및 제작

가. 자주식 목재 반송기의 유압설계 및 부품선정

23마력 가솔린 엔진과 직결되는 유압펌프는 PL. 20-11.2/11.2 2 펌프로 최대사용압력 250bar에서 11.23cm³/rev의 유량을 가진다. 이 펌프는 국내 판매처가 있어 자주식 반송기의 부품으로 사용할 경우 AS 및 부품공급이 원활하여 적용하였다.

표 11. 적용된 기어펌프제원

	유 량	최대 사용압력	최고 회전수
POLARIS 20	(cm ³ /rev ▪ in ³ /rev)	(bar ▪ psi)	(min ⁻¹)
PL. 20•4	4,95 ▪ 0.30	250 ▪ 3600	4000
PL. 20•6,3	6,61 ▪ 0.40	250 ▪ 3600	4000
PL. 20•7,2	7,29 ▪ 0.44	250 ▪ 3600	4000
PL. 20•8	8,26 ▪ 0.50	250 ▪ 3600	3500
PL. 20•9	9,17 ▪ 0.56	250 ▪ 3600	3500
PL. 20•10,5	10,90 ▪ 0.66	250 ▪ 3600	3500
PL. 20•11,2	11,23 ▪ 0.69	250 ▪ 3600	3500
PL. 20•14	14,53 ▪ 0.89	250 ▪ 3600	3500
PL. 20•16	16,85 ▪ 1.03	250 ▪ 3600	3000

또한, 윈치 및 주행용 모터는 브레이크가 내장된 형태의 기어모터 OMT160FH(Sauer Danfoss)를 선정하였으며 입력유량 및 압력에 따른 출력회전수에 대한 특성 그래프는 그림 89과 같다.

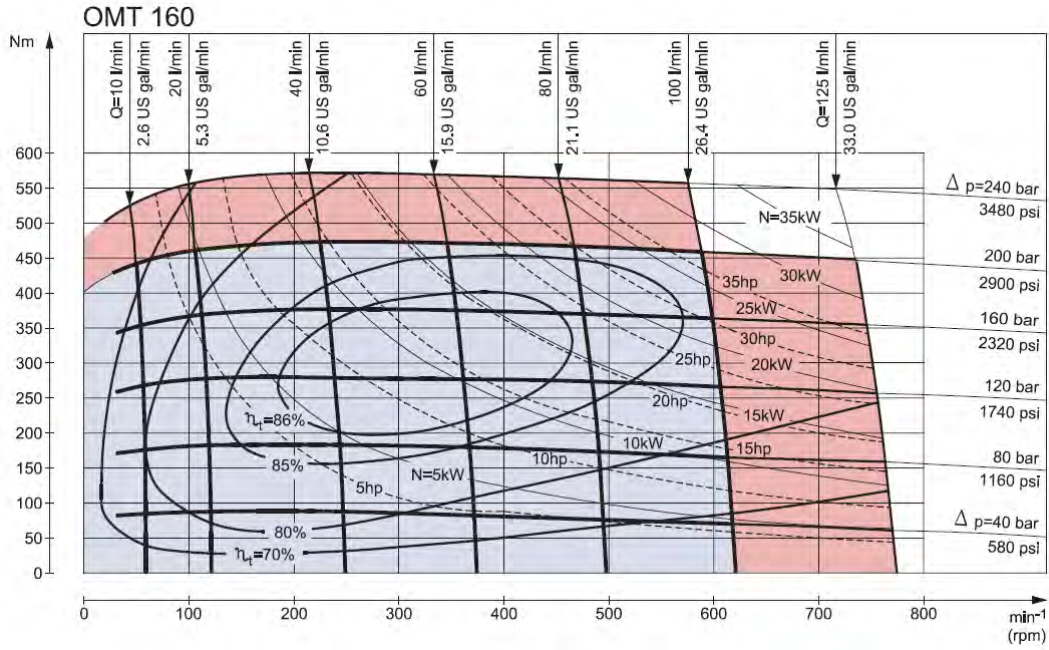


그림 89. 선정된 기어모터의 특성곡선도

자주식 목재반송기의 주행 및 견인모터는 부하가 적은 조건일 때는 100bar의 압력으로 작동되다가 견인 및 주행부하가 커질때는 밸브의 작동으로 고압으로 전환되어 최대 200bar까지 압력이 작동되어 큰부하에 대응하도록 유압설계를 실시하였다. 또한 브레이크 작동해제에 소요되는 파일럿 압력은 30bar로써 유압이 작동되면서 해제되어 모터가 구동되도록 고려하였다. 따라서 경사지에서의 작업이나 부하가 존재하고 있는 상태로 정지하여도 미끄럼이나 짐내림줄이 작동하여 떨어지는 일이 없도록 배려하여 안전성을 고려하였다.

주행 MOTOR

WINCH MOTOR

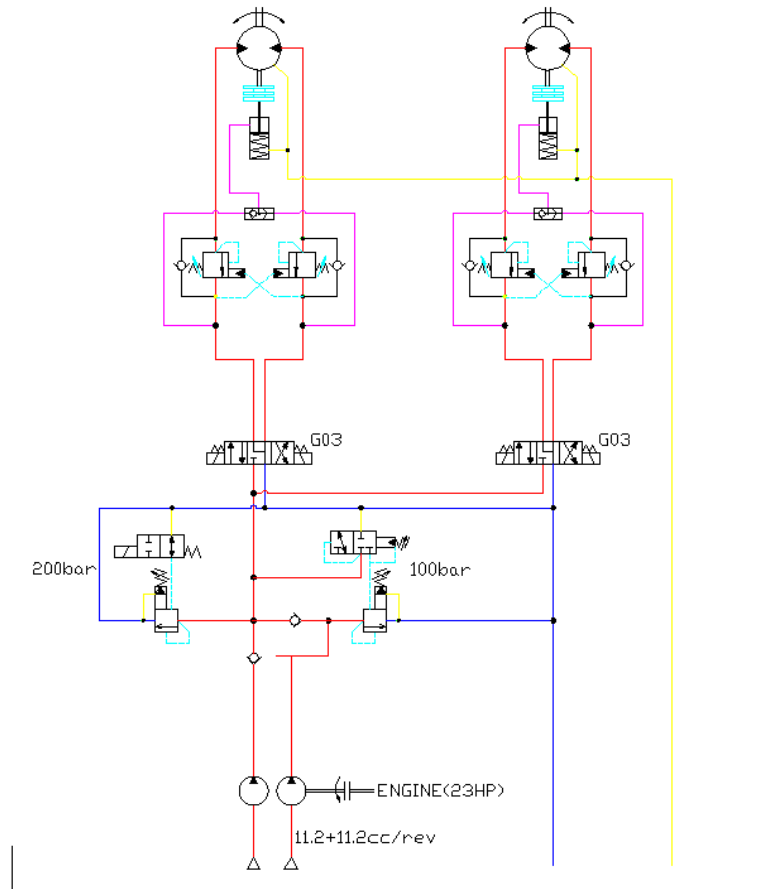


그림 90. 자주식 목재반송기의 유압회로도

제 5 절 자주식 무선조정 목재반송기의 제어시스템 설계·제작 및 시험

1. 자주식 무선 조정 목재 반송기의 제어시스템 분석

가. 자주식 무선 조정 목재 반송기의 제어 기술 분석

자주식 무선 조정 목재 반송기의 제어시스템을 개발하기 위해서는 시스템의 분석을 통한 문제점 및 개선방향에 대한 제반지식의 습득과 이를 토대로 고효율 저비용의 신기술을 이루어 내는 것이 가장 이상적인 기술 개발과정이라 할 수 있다. 현재 국내 02급 굴삭기에 부착한 유압을 이용한 원치의 작동은 성공적이었다. 더욱 효율적으로 집재 작업을 하기 위해 자주식 무선 조정 목재 반송기의 개발이 채택되었다. 이에 자주식 무선 조정 반송기에 쓰일 송·수신기를 적용한 사례와 변조 방식 특징과 모듈과 컨트롤박스에 대하여 다음과 같이 분석하였다.

나. 무선 원격조작의 적용 사례

(1) 무선을 이용하여 기계를 원격 조작하는 장치(다이와 텔레콘)

다이와텔레콘은 건설기계·수송기계·설비기계장치를 무선에 의해 원격 조작하는 무선 조작 장치이다. 개발목적은 콘트리트 펌프카를 선력화하는 장치의 무선조작기기로서 개발되었으며, 전파법의 개정이나 신기술의 개발에 의한 기능향상, 다용도화가 되어있다. 또한 비례제어조작에 의해 미묘한 동작이 가능하고 개별 어드레스에 의해 여러 대의 수에 의한 동시조작도 가능하다. 그림 91, 92는 무선 조작이 가능한 조작기와 그 시스템을 적용한 건설기계를 나타내었다.



그림 91. 핸디형 다이와 텔레콘 408·508·510

(가) 특 징

소형·경량화한 송신기에 특정소출력 10mw의 고풍력을 실현, 송신기에서는 조작스위치

불량 및 전원전압의 저하 모니터에 의해 안전·확실한 조작이 가능하다.

(나) 용 도

소형크레인, 시멘트밀크플랜트, 각종원치, 콘베어설비, 건설기계 등 사용된다.



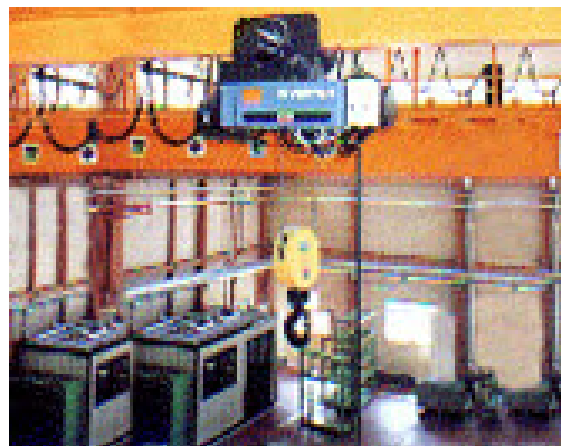
<콘트리트펌프카>



<트피트카>



<전동원치>



<천정크레인>

그림 92. 다이와 텔레콘을 적용한 기계의 예

(2) 무선 원격조작을 이용한 중장비 DXR 310(Husqvarna)

스웨덴의 Husqvarna 사에서 원격 제어를 이용한 중장비 DXR 310을 개발 하였다. DXR 310은 높은 전력과 다른 장비보다는 작으며 기능적인 디자인을 가지고 있다. 용도는 철거 및 가벼운 발굴 작업 실내·외와 민감한 환경에서도 매우 효율적이다. 무선 원격조작을 위한 컨트롤 박스에는 4.7inch의 컬러 디스플레이와 DXR 310을 작동할 수 있는 조이스틱과 원격제어 할 수 있는 Bluetooth 기술을 사용하였다.

표 12. Technical Specifications

Power	22kW
Weight	1960kg
Reach	Approximately 5.5m
Control system	Modular, digital CAN-based PLC
Automatic breaker lubrication	
Out-riggers	Included on standard version
Telescopic arm	Included on standard version



그림 94. DXR 310 외형 모습



그림 95. DXR 310 Controller

(3) 무선원격 측정에 의한 소의 승가 행위 검출(홍 등, 2001)

현재 우리나라 대부분 농가에서는 소의 발정(發情) 상태를 육안으로 관찰하고 있다. 그러므로 발정을 감지하기 위해서는 숙련된 기술과 풍부한 경험을 필요로 한다. 특히, 대규모 농가에서 소의 발정을 정확하게 감지하기는 더욱 어려운 실정이다. 하루 중 소의 발정 시기는 대체로 낮보다는 밤이 많고, 특히 새벽에 많이 온다. 발정지속시간은 평균 21시간으로 이보다 더 짧은 소는 이른 밤에 발정이 오면 다음날 아침에는 발정을 관찰할 수 없는 경우가 많다. 이에 방법은 발정 온 소의 둔부에 압력을 검출하는 무선원격측정장치를 부착하여 주위 소가 승가행위를 했을 때 승가횟수를 측정하여 발정의 유무를 판단하였다. 이 실험에서 사용된 무선 원격측정장치는 무선 송신기, 수신기, 직렬통신 및 컴퓨터로 구성되었다. 송신기에 의해 소의 승가행위가 감지되고 농장 중앙에 설치된 수신기에 송신되면 수신된 자료는 컴퓨터의 프로그램에 의해서 소의 식별번호와 승가시각을 기록하게 된다.

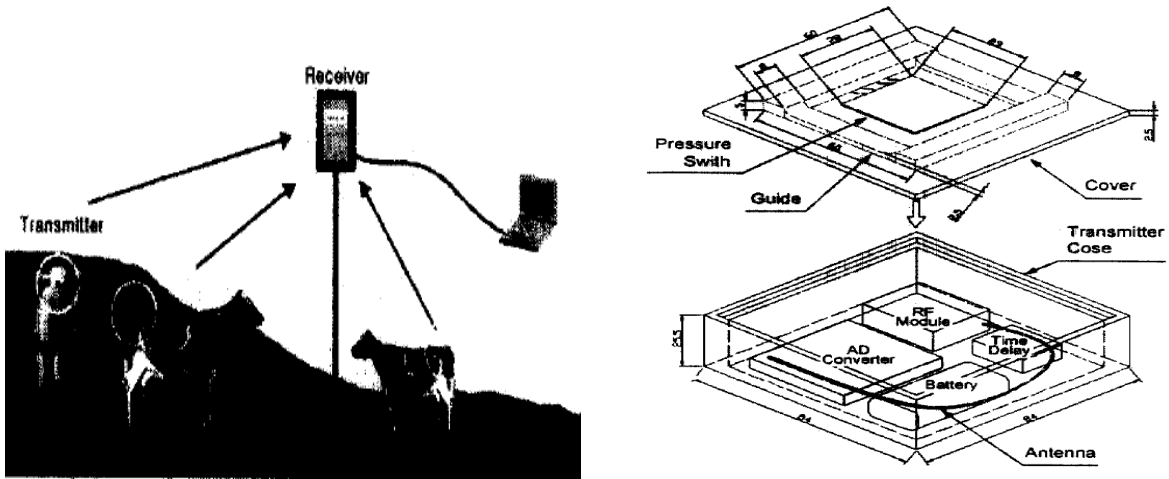


그림 96. 발정 감지 시스템

송신기에 사용된 송신모듈(CM-447-TX1, 청우산업)은 반경 100m인 대규모 사육농가에서 원만한 무선 송·수신이 가능하도록, 100m 이상의 송신능력과 송출 중심주파수 447.725MHz를 사용하는 제품을 선택하였고, 송신기의 전원은 시중에 판매 하는 9V(6F22) 배터리를 사용하였다. 송신기는 케이스 윗면 중앙에 송가 압력 스위치를 부착하고, 내부에는 RF모듈, 신호수집 관련 전자회로, 건전지, 그리고 안테나로 구성되는 최소한의 크기가 되도록 설계되었다. 송가 압력 스위치는 순간적인 스위치 눌림에 의한 오동작을 방지하기 위해 눌림 시간이 약 1.5초 이상 지속되어야 송신되도록 설정하였다. 수신기(CT-RS232-04, 청우산업)는 컴퓨터에서 공급되는 12V 전원을 사용하였다. 유효한 데이터가 검출되면 RS232 케이블을 통해 컴퓨터로 보내지고, 컴퓨터는 입력 받은 데이터를 화면상에 표시하게 된다. 송·수신간의 데이터 처리는 폴링(Polling) 방식을 채택하였으며, 데이터 수신 및 처리를 위해 Visual Basic 6.0으로 프로그램을 작성하였다. 프로그램을 통해 직렬통신으로 컴퓨터에 들어오는 데이터 중 유효한 데이터만 선별하여, 송신기 별로 모니터에 표시되어 확인할 수 있다.

(4) 라디캐리 짐재기에 의한 간벌재 수확작업

라디캐리(Radi-Carry)는 소경재 짐재작업에 이용되는 소형 짐재기로서 무선조정에 의해 작동되는 자주식 반송기이다. 이 반송기는 무선 조정기에 의하여 작동되며 라디캐리 짐재기의 제원은 다음과 같다.

표 13. 라디케리의 제원과 비용

제 작 국	일본 이와후지
동 력	8.5마력
드 럼 수	2개
주행속도	30~80m/min
연료탱크용량	140 ℓ
견인력 및 운반력	800kg(침엽수의 경우 약 1군)
가공본줄	직경 16mm, 길이 300m
주 행 선	직경 12mm, 길이 300m
올 림 줄	직경 10mm, 길이 50m

94년도 작업 지형은 상향과 하향을 병행하여 실시하였고 95년도 작업지역은 하향작업을 실시하였다



그림 97. '95년도 작업지 모형

(가) 라디케리 집재기의 설치 및 해체

라디케리 집재기의 설치 및 해체는 작업시간에 중요한 영향을 끼친다. '94년 작업지역은 임도변 중심으로 좌우에 기둥목이 설치됨으로써 양방향으로 가공본줄(스카이라인) 및 주행선을 설치하였고, '95년 작업지역은 지방도와 인접되어 도로변 설치가 불가능하여 앞 기둥을 지방도에서 30m 떨어진 지점에 MB Tractor의 원치를 도르레로 이용하여 이동 설치하였다. 작업의 전체 시간은 다음과 같다(표 14).

표 14. 라디케리 집재기의 설치 및 해체의 전체 시간

	1994년	1995년	비 고	
			Koller 300	Mini URUS
설 치	570분/3인	980분/2인 (중간 지주목 설치 : 180분 포함)	500분/3인	315분/3인
해 체	240분/3인	330분/2인	150분/3인	139분/3인
노선정리	210분/1인	180분/1인	-	-

라디케리의 설치 및 해체 시간은 비고란의 콜러 300 또는 Mini URUS에 비하여 상당히 지체된다고 볼 수 있다. 이는 라디케리의 가공본줄 및 주행선의 설치가 모두 인력을 이용한 장력기로서 장력을 주어야만 가능하지만 콜러 300의 경우는 자체 동력을 이용하여 장력이 주어지는 것이므로 시간 차이가 있으며, 또 다른 이유로서는 라디케리가 자체적으로 이동이 불가능하므로 초기 설치 시 위치가 적합지 않을 경우 라디케리를 이동하는데도 상당한 시간이 걸린다는 것이 원인이라고 판단된다. 따라서 라디케리의 설치 지역은 이러한 설치 시간적 요인을 줄일 수 있는 이상적인 지형이 요구되는 곳이라야 합리적인 수확시스템을 해결할 수 있으리라 본다.

(나) 라디케리 집재기의 집재 작업연구

표 15. 총 작업시간의 비교

	1994년	1995년	비 고	
			Koller 300	Mini URUS
설 치	570분/3인	980분/2인	500분/3인	-
집 재	1,200분/3인	885분/2인	3,150분/3인	-
해 체	240분/3인	330분/2인	150분/3인	-
노선정리	7분/3인	90분/2인	-	-
계	2,080분/3인	2,285분/2인	3,800분/3인	-
m ³ 당 소요시간	89분/m ³ /3인	86분/m ³ /2인	35분/m ³ /3인	68분/m ³ /3인

위 표에서 보듯이 라디케리의 m³당 소요시간이 다른 이동식 가선 집재기에 비하여 m³당 약 1.5배 정도 길다. 이는 물론 설치 및 해체 시간에서 차이가 뚜렷이 날뿐더러 지형지물이 적정치 못할 때는 유류를 주입하는 등의 소요시간이 저해요인으로 작용된다(라디케리 집재기의 작업 중 유류를 주입하고자 할 때에는 가공본 줄의 장력을 풀면서 반송기를 땅위로 내려서 주입하거나, 지형지물을 이용하여 장력을 풀지 않고 직접 주입하는데 유류 탱크 용량이 크지 못하므로 자주 주입하여야 하는 어려움이 있다).

특히 위의 수치에서 콜러 300의 m³당 소요시간이 현저히 적은 것은 개별지역이 간벌지역에 비하여 약 2배 이상의 시간이 덜 소요됨을 알 수 있는데 이는 간벌이 비용 상으로도 상당히 어렵다는 것을 보여준다.

(다) 결 론

라디케리 집재기는 개별에 적합한 야더 집재기와 지형에 제약을 받는 트랙터 집재기의 단점을 보완한 기계로써 산악지형의 간벌에 적합한 것으로 일본에서 개발된 집재기이다. 우리나라에서도 몇몇 군대 사용을 하고 있는 실정이나 기능 인력의 절대 부족으로 활성화되지 못하고 있는 실정이다. 라디케리 집재기의 한계경사인 25° 이내 지역은 작업로를 이용한 트랙터 집재도 충분히 가능하므로 트랙터 집재의 우수성에 비하여 라디케리 집재기의 능력은 절반에 못 미치므로 작업 계획 시 이에 대한 고려를 충분히 하여야 할 것이다. 그러나 트랙터가 접근

치 못하는 경우나 단재 집재로써 토장에 직접 집적하는 경우에는 이 기계의 우수성이 충분히 증명되리라 판단된다.

(5) 타워야더의 삭장력 특성 및 원격조작의 가능성에 관한 연구

타워야더의 가선집재에서, 사용줄 수가 경감하는 이유 때문에, 하상 줄 1줄에서 짐매달기 방식을 택하는 일이 많다. 게다가 상하 양방향 집재의 대응을 고려하는 경우, 반송기 내부에, 반송기를 고정하기 위한 로프 그래프 구조, 또한 하상색 강제 강하 구조를 부가할 필요가 생겼다. 그런 구조에 상당한 조장을 필요로 하는 타워야더의 원치에서도 시행하는 것도 가능하나, 그 때문에 별도로 하상 줄 강제 강하 전용의 작업 줄과 그 동조 조작 기구를 부가할 필요가 있어, 타워야더 원치부의 복잡함을 간략하게 하는 결과가 되었다. 이에 타워야더의 시스템은 자동계류 반송기의 사용을 전제로 하여, 몇 개의 원격 조작 장치가 필요하게 된다.

원격 조작의 조작 루트, 즉 조작자와 수신 반송기의 조합은, 타워야더 오퍼레이터에서 자동계류 반송기의 루트가 기본이나 초커작업원과 반송기 혹은 타워야더의 원치까지의 루트도 생각할 수 있다. 이 경우는 초커작업원이 감아올림 줄을 직접 컨트롤하기 때문에, 짐을 감아올리는 작업의 안정성이 높아진다. 게다가 타워야더에 반송기 자동정지 장치 부가가 가능하다면, 자동탈하 후크도 조합하여 짐내리기의 자동화가 가능, 인적 기계화를 도모할 수 있다. 그 경우 타워야더 원치의 조작은 유선으로도 가능하나, 초커작업에 따른 조작 장소의 이동을 고려하는 경우, 그 편리함에서 무선 조작이 유선 조작보다는 유리하다는 것으로 판단된다.

사용 무선은, 텔레컨트롤용 무선이 된다. 현재 보급된 것은, 간이무선을 사용하는 것이 대부분이거나, 도달 거리가 10m로 짧으므로, 그것을 대체하는 것으로 보다 출력이 높은 특정 소전력 무선을 사용한 것이 보급되고 있다. 이러한 무선은 무면허 사용이 가능하며 매우 편리하다. 타워야더에서 무선을 사용하는 경우, 개별지와 같은 장소 이외에서는 임목에 따라 송수신간의 전망의 최하가 있고, 게다가 임지미지형에 따라 장애물도 생각할 수 있다. 특정 소전력 무선을 대상으로 임분과 미지형에 따라 전파의 도달 일치에 영향을 받게 된다.

이에 따라 특정 소전력 무선이 임내에서의 도달성에 대해, 송신주파수 422.3MHz를 이용하였고, 그 도달성에 주는 지형과 임분의 영향을 수신 전계강도를 조사하였다. 임지지형의 영향을 대상으로 한 시험결과에서 필요 충분한 결과가 도출되지는 않았으나, 임황을 고려해 대입한 측정시험결과의 분석에 따라, 거리의 요인과 더불어, 임목 밀도와 나무 높이의 임분 조건에 이르는 요인이 무선의 도달성에 영향을 준다는 것이 분명해 졌다.

원격조작용 무선은 특정 소전력 무선을 대상으로 임지 내에 도달성에 영향을 주는 임분의 환경을 명확히 하였으나, 임목이 존재하는 장소에서도 충분한 도달거리를 확보, 반송기용 뿐만 아니라 타워야더 시스템 전체 컨트롤용 무선으로서의 가능성도 보여 진다.

2. 4채널 무선조정시스템 설계제작 및 구동 기구 설계 제작

가. 자주식 무선 반송기의 송·수신기의 변조 방식의 특징 및 구성

(1) 진폭 변조(Amplitude Modulation, AM)

(가) 개 요

진폭 변조는 주파수 및 위상은 고정시키고, 반송파의 진폭을 신호의 세기에 따라 변화시키는 변조 방식을 말한다.

(나) 특 징

진폭 변조는 DSB, SSB, VSB등의 방식으로 구분되며, 무선통신에서 가장 오래 전부터 실시 되어온 변조방식으로, 중파, 단파의 라디오 방송과 텔레비전 영상신호 전송에 주로 쓰인다. 이에 회로가 간단하여 저렴하게 구성 할 수 있는 장점이 있으며, 전력효율이 낮고 잡음에 대한 영향을 많이 받는 것이 단점이다.

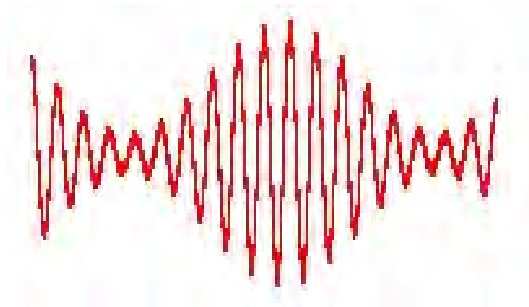


그림 98. 진폭 변조 방식의 파형

(2) 주파수 변조(Frequency Modulation, FM)

(가) 개 요

주파수 변조는 반송파 주파수를 입력 신호에 따라 변화시키는 변조방식을 말한다.

(나) 특 징

주파수 변조는 리미터, 주파수 변별기, 스킵치 회로등을 사용하며, 변조를 발진기 또는 그 다음 단의 저전력단에서 수행한다. FM파를 증폭함에 따라 체배부, 전력증폭부 등은 광대역 특성을 갖는다. 주로 초단파대의 FM 방송에 많이 사용되며, 고충실도의 음악방송과 텔레비전의 음성부분에 사용되고 있는데 혼신이나 잡음이 적다. 주파수 변조는 진폭변조(AM)에 비해 이득, 선택도, 감도가 우수하고, 저전력 변조를 함으로 소비전력이 진폭변조보다는 적은 장점을 가지고 있다. 하지만 송수신기의 회로가 복잡하며 주파수대역폭이 넓은 단점을 가지고 있다.

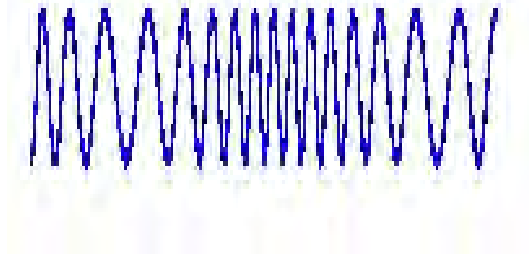


그림 99. 주파수 변조 방식의 파형

(3) PCM(Pulse Code Modulation, PCM)

(가) 개 요

PCM 방식은 아날로그 신호를 표본화 → 양자화 → 부호화의 단계를 거쳐 디지털 신호로 변조하여 전송하는 방식이다.

① 표본화(Sampling)

㉠ 연속적인 신호 파형을 일정 시간 간격으로 검출하는 단계.

㉡ 표본화에 의해 검출된 신호 : PAM(Pulse Amplitude Modulation), 아날로그 형태

② 양자화(Quantizing)

㉠ PAM 신호를 유한개의 부호에 대한 값으로 조정하는 과정.

㉡ 양자화 잡음 : 표본 측정값과 양자화 파형과의 오차

㉢ 양자화 레벨을 세밀하게 하면 양자화 잡음이 감소하지만 데이터의 양이 많아지고, 전송 효율이 낮아진다.

③ 부호화(Encoding)

㉠ 양자화된 PCM 펄스의 진폭 크기를 2진수로 표시하는 과정.

(나) 특 징

① 잡음과 간섭에 강하며, 신호 전송 중 코딩된 신호를 효과적으로 재생

② SNR(신호대잡음비)을 개선하기 위한 채널대역폭의 증가를 효과적으로 바꿀수 있다.

③ 동일한 포맷으로 공통된 네트워크에서 다른 디지털 데이터와 통합 할 수 있다.

④ 특수한 변조접이나 암호화를 적용하기 쉽다.

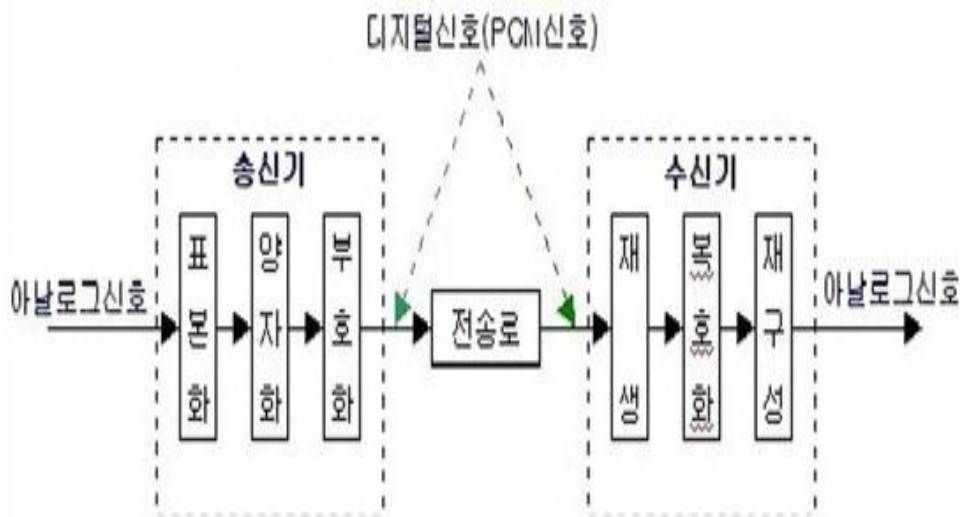


그림 100. PCM 동작의 송·수신 처리 과정

(3) 블루투스(Bluetooth)

(가) 개요

블루투스는 근거리 무선 통신 규격의 하나로, 반경 10~100m 안에서 각종 전자·정보통신 기기를 무선으로 연결, 제어하는 기술규격을 말한다.

(나) 특징

블루투스의 무선 시스템은 ISM(Industrial Scientific and Medical) 주파수 대역인 2400~2483.5MHz를 사용한다. 이 중 위아래 주파수를 쓰는 다른 시스템들의 간섭을 막기 위해 2400MHz 이후 2MHz, 2483.5MHz 이전 3.5MHz까지의 범위를 제외한 2402~2480MHz, 총 79개 채널을 쓴다. ISM이란 산업, 과학, 의료용으로 할당된 주파수 대역으로, 전파 사용에 대해 허가를 받을 필요가 없어 저전력의 전파를 발산하는 개인 무선기기에 많이 쓰인다. 아마추어 무선, 무선랜, 블루투스가 이 ISM 대역을 사용한다.

여러 시스템들과 같은 주파수 대역을 이용하기 때문에 시스템간 전파 간섭이 생길 우려가 있는데, 이를 예방하기 위해 블루투스는 주파수 호핑(Frequency Hopping) 방식을 취한다. 주파수 호핑이란 많은 수의 채널을 특정 패턴에 따라 빠르게 이동하며 패킷(데이터)을 조금씩 전송하는 기법이다. 블루투스는 할당된 79개 채널을 1초당 1600번 호핑한다.

이 호핑 패턴이 블루투스 기기 간에 동기화되어야 통신이 이루어진다. 블루투스는 기기 간 마스터(Master)와 슬레이브(slave) 구성으로 연결되는데, 마스터 기기가 생성하는 주파수 호핑에 슬레이브 기기를 동기화시키지 못하면 두 기기 간 통신이 이루어지지 않는다. 이로 인해 다른 시스템의 전파 간섭을 피해 안정적으로 연결될 수 있게 된다. 참고로 하나의 마스터 기기에 는 최대 7대의 슬레이브 기기를 연결할 수 있으며, 마스터 기기와 슬레이브 기기 간 통신만 가능할 뿐 슬레이브 기기 간의 통신은 불가능하다. 그러나 마스터와 슬레이브의 역할은 고정된 것이 아니기 때문에 상황에 따라 서로 역할을 바꿀 수 있다(네이버 백과사전).

(4) 지그비(ZigBee)

(가) 개요

지그비는 저전력, 저가격, 사용의 용이성을 가진 근거리 무선 센서 네트워크의 대표적 기술 중의 하나로, IEEE 802.15.4 표준의 PHY층과 MAC층을 기반으로 상위 프로토콜(Protocol)과 응용(Application)을 규격화한 기술을 말한다.

(나) 특징

지그비는 근거리에서 속도가 크게 빠르지 않고, 네트워크 사용 빈도가 드문 시스템의 구축에 가장 적합한 시스템이다. 지그비는 센서를 이용한 네트워크 구성에 적합하며, 최근 부각되고 있는 유비쿼터스 센서 네트워크 구축에서 센서를 이용한 네트워크 구축이 가능한 무선 통신 시스템이라고 할 수 있다.

IEEE 802.15.4 표준은 간단한 무선 네트워크를 위한 단순한 패킷 데이터 프로토콜로, 다음과 같은 특징을 갖는다(기계천국, mcworld.tistory.com).

- ① 250kbps, 20kbps, 40kbps의 데이터 속도
- ② Star 혹은 peer to peer 토폴로지
- ③ Low latency 장치들을 지원
- ④ CSMA-CA 채널 액세스
- ⑤ Dynamic device addressing
- ⑥ 전송신뢰성을 위한 Fully handshaked 프로토콜
- ⑦ 낮은 전원소비
- ⑧ 16개의 채널(2.4GHz), 10개의 채널(915Mhz), 1개의 채널(868MHz)
- ⑨ 매우 낮은 듀티사이클(<0.1%)

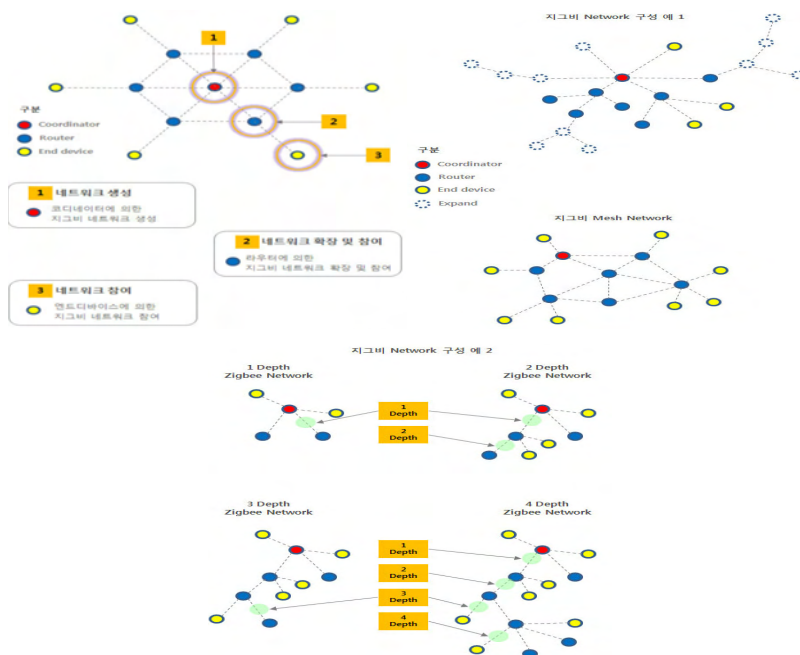


그림 101. 지그비(ZigBee)

(5) 회로 구성품 및 분석

(가) 10채널 무선 원격스위치 송신기 유니트(NR-F10CTU)

본 10채널 무선 원격스위치 송신기 유니트는 무선으로 원거리의 스위치 및 기기를 최대 10개 까지 ON, OFF 또는 제어 할 수 있는 무선제어 송신기이다.

(나) 특 징

- ① 유선 통신방식과 같이 별도의 케이블(배선) 공사가 필요하지 않다.
- ② 케이블(배선) 공사에 소요되는 배선비용 및 공사시간이 필요하지 않다.
- ③ 사용법이 간단하다.
- ④ 각 유니트마다 8가지의 식별코드 설정이 있어 스위치 간의 혼신을 방지할 수 있다.

(다) 외형 및 사양

무선 원격스위치 송신기 유니트인 NR-F10CTU 모듈에 NR-F10CT 모듈을 장착하여 사용된다.

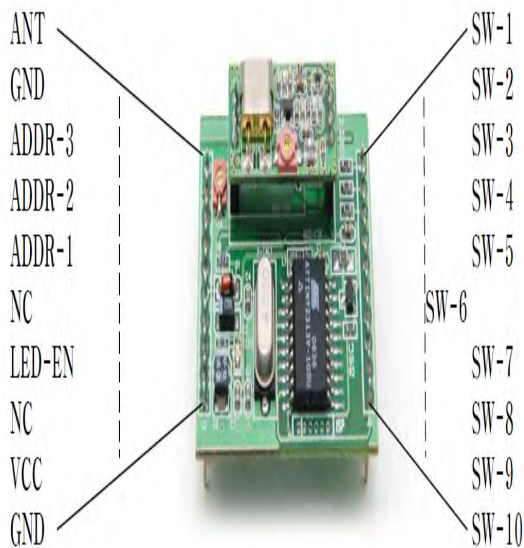


그림 102. NR-F10CT

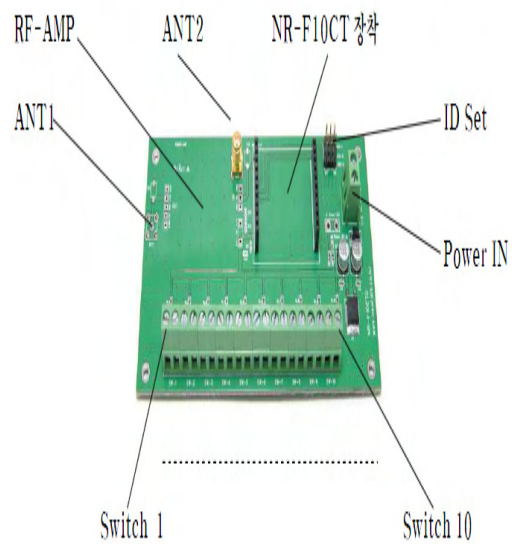


그림 103. NR-F10CTU

① NR-F10CTU의 설명

- ㉠ RF-AMP : 출력증폭용 RF증폭기 장착 소켓.
- ㉡ ANT1 : 출력증폭용 RF증폭기 사용시 안테나 연결 단자.
- ㉢ ANT2 : 증폭기 미 사용시 안테나 연결 단자.
- ㉣ NR-F10CT : NR-F10CT 모듈 장착 소켓.
- ㉤ ID Set : 송/수신장치 확인 용 ID 설정 점퍼 핀.
- ㉥ Power IN : 전원연결용 단자. DC 12V 연결.
- ㉦ Switch 1~10 : 입력 스위치를 연결하는 단자.

② NR-F10CT의 설명

- ㉠ ANT : 안테나를 연결.
- ㉡ ADDR 3,2,1 : 그룹으로 사용 시 설정.
- ㉢ LED-EN : PCB상에 있는 LED의 ON/OFF를 설정.
- ㉣ N/C : 사용하지 않는다.
- ㉤ VCC : 전원을 연결. DC 5V의 (+)를 연결.
- ㉥ GND : 전원을 연결. DC 5V의 (-)를 연결.
- ㉦ Switch 1~10 : 원하는 스위치를 선택.

표 16. 무선 송신기 유니트의 사양

구 분	내 역(NR-F10CTU)	내 역(NR-F10CT)
전원전압	DC 12V	DC 5V
소모전류	40mA / 130mA	70mA이하
주파수	447MHz 대역	447MHz 대역
스위치 수	MAX 10-ea	MAX 10-ea
그룹 ID	MAX 8그룹	MAX 8그룹
동작방식	래치/모멘틀리	래치/모멘틀리
입력방식	스위치 점접	Active"H"

(라) 회로 분석

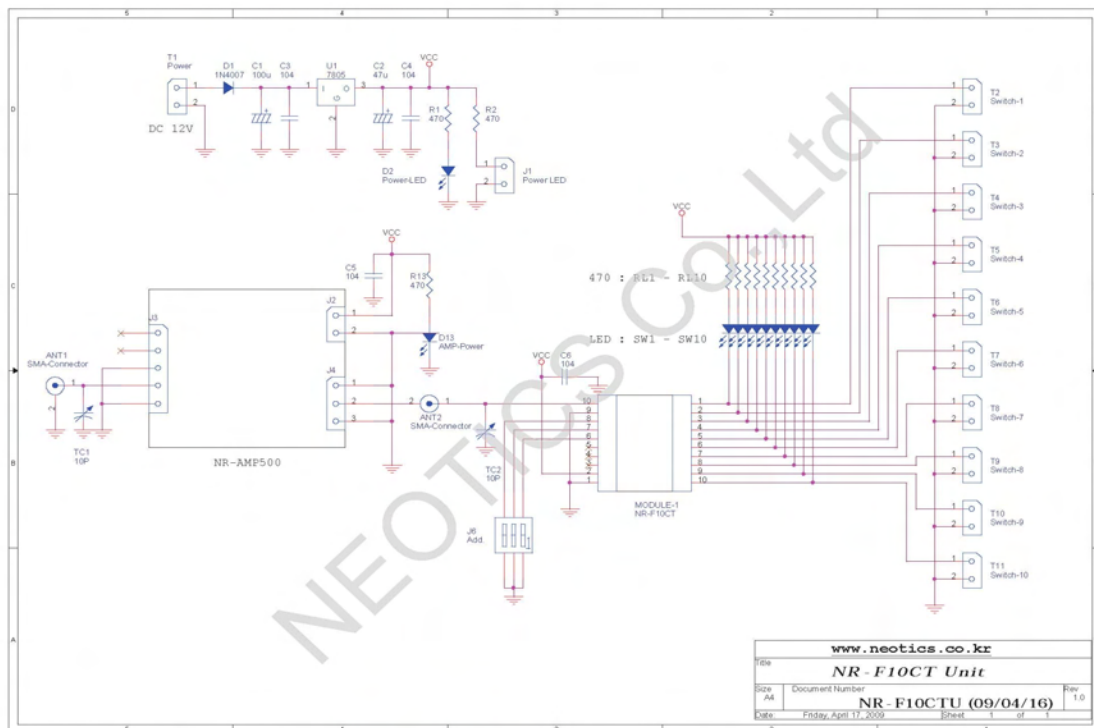


그림 104. 무선 송신기 유니트 NR-F10CTU 회로도

그림 104는 NR-F10CTU의 회로도이다. 전원이 DC 12V로 공급이 되면 Power LED가 점등이 되며 작동되어 진다. 채널 10개의 Switch에 점점 신호가 입력이 되면 NR-F10CT 모듈을 거쳐서 ANT로 출력이 되어 진다. 그림 105는 컨트롤 박스에 NR-F10CTU 모듈을 장착한 외형 내부 모습이다. 전원은 건전지 AA(Duracell, 1.5V) 8개를 사용하여 12V로 공급이 되었으며, ON/OFF 스위치를 사용하였으며, 입력에는 토글스위치를 사용하였다.

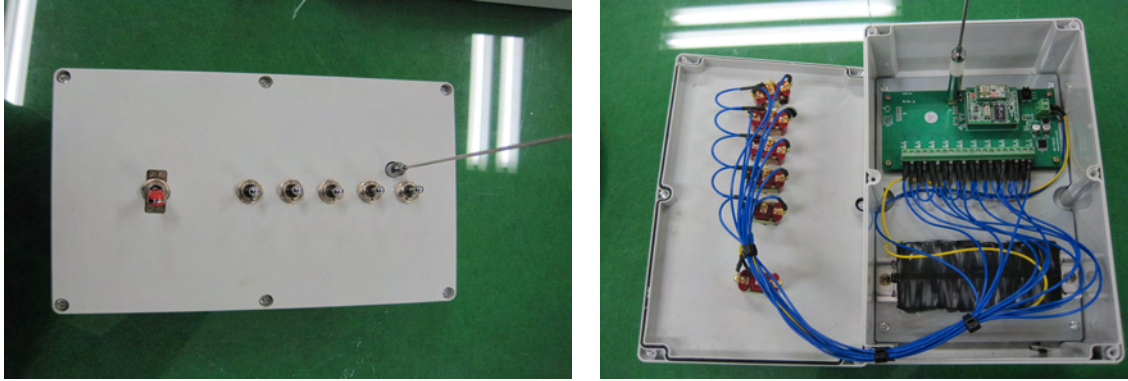


그림 105. 무선 송신기 컨트롤 박스의 외형 내부

(마) 10채널 무선 원격스위치 수신기 유닛(NR-F10CRU)

본 10채널 무선 원격스위치 수신기 유닛은 무선으로 원거리의 스위치 및 기기를 최대 10개 까지 ON, OFF 또는 제어 할 수 있는 무선제어 수신기이다.

(바) 특 징

- ① 유선 통신방식과 같이 별도의 케이블(배선) 공사가 필요하지 않다.
- ② 케이블(배선) 공사에 소요되는 배선비용 및 공사시간이 필요하지 않다.
- ③ 사용법이 간단하다.
- ④ 각 유닛마다 8가지의 식별코드 설정이 있어 스위치 간의 혼신을 방지할 수 있다.

(사) 외형 및 사양

무선 원격스위치 수신기 유닛인 NR-F10CRU 모듈에 NR-F10CR 모듈을 장착하여 사용된다.

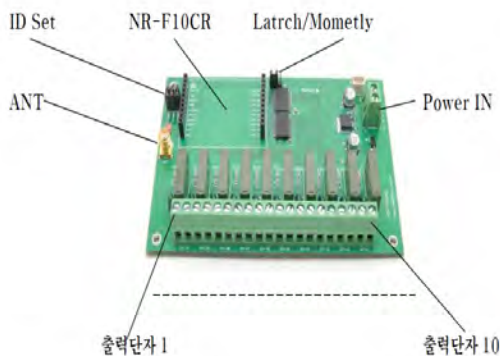


그림 106. NR-F10CRU

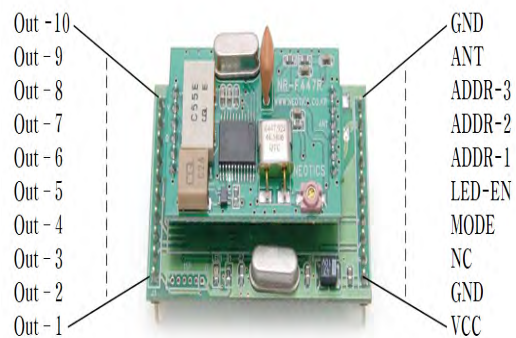


그림 107. NR-F10CR

① NR-F10CRU의 설명

- ㉠ ID Set : 장치 확인용 ID 설정 접퍼 핀(3-Bit).
- ㉡ NR-F10CR : NR-F10CR 모듈 장착 소켓.
- ㉢ Latch/Momently : 출력방법 설정.
- ㉣ ANT : 안테나 연결 단자.
- ㉤ Power IN : 전원을 연결. DC 12V의 (+)를 연결.
- ㉥ 출력단자 1~10 : 릴레이 접점 출력단자.

② NR-F10CR의 설명

- ㉠ ANT : 안테나를 연결.
- ㉡ ADDR 3,2,1 : 그룹으로 사용 시 설정.
- ㉢ LED-EN : PCB상에 있는 LED의 ON/OFF를 설정.
- ㉣ MODE : 출력방법 설정.
- ㉤ VCC : 전원을 연결. DC 5V의 (+)를 연결.
- ㉥ GND : 전원을 연결. DC 5V의 (-)를 연결.
- ㉦ OUT 1~10 : 송신 측에서 스위치를 누르면 해당 번호가 출력.

표 17. 무선 수신기 유니트의 사양

구분	내역(NR-F10CRU)	내역(NR-F10CR)
전원전압	DC 12V	DC 5V
소모전류	40mA / 130mA	20mA이하
주파수	447MHz 대역	447MHz 대역
스위치 수	MAX 10-ea	MAX 10-ea
그룹 ID	MAX 8그룹	MAX 8그룹
동작방식	래치/모멘틀리	래치/모멘틀리
입력방식	릴리에 접점	Active"H"

(아) 회로 분석

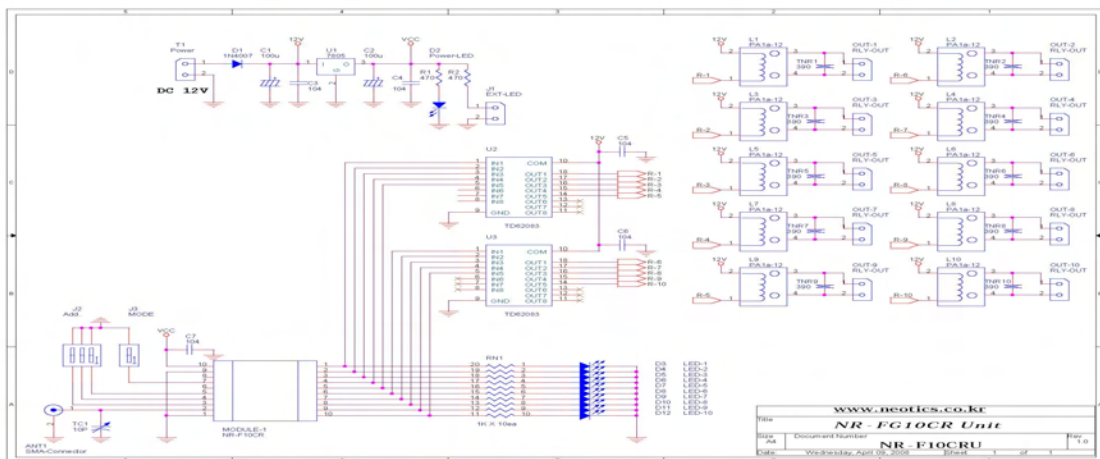


그림 108. 무선 수신기 유니트 NR-F10CRU 회로도

그림 108는 무선 수신기 유닛 NR-F10CRU의 회로도이다. 전원이 DC 12V로 공급이 되면 PowerLED가 점등이 되며 작동되어 진다. ANT에서 송신기 유닛 NR-F10CRU 전송 값을 받으면 NR-F10CR 모듈을 거쳐 채널 10개의 OUT에 점점 신호가 출력이 된다. 그림 109는 컨트롤 박스에 NR-F10CRU 모듈을 장착한 외형 내부 모습이다. 전원은 건전지 AA(Duracell, 1.5V) 8개를 사용하여 12V로 공급이 되었으며, ON/OFF 스위치를 사용하였으며, 작동 시 LED로 작동여부를 확인 할 수 있다.

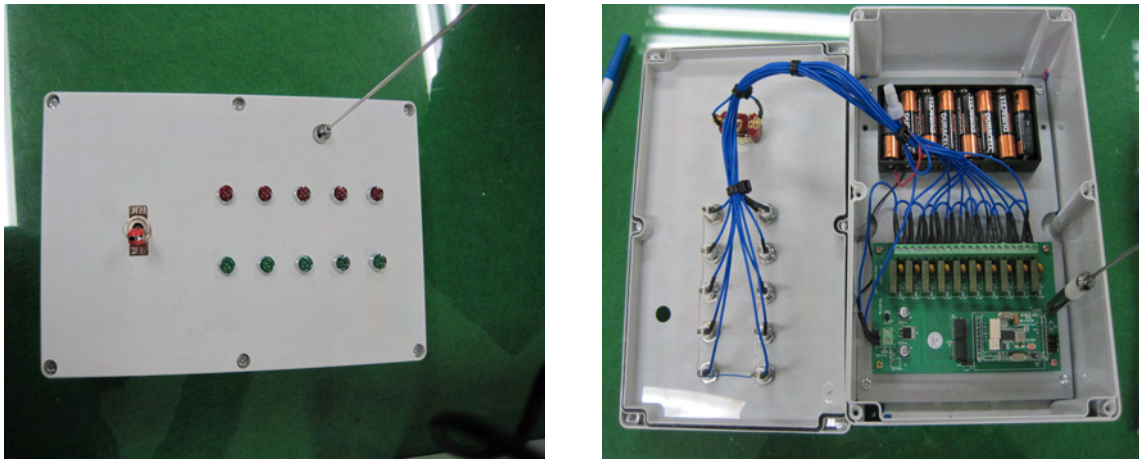


그림 109. 무선 수신기 컨트롤 박스의 외형 내부

나. 자주식 반송기의 제어 구성

자주식 반송기의 제어 구성은 송신기가 부착되어 있는 컨트롤 박스와 수신부가 부착되어 있는 판넬로 구성되어 있다. 송신부의 컨트롤 박스 내부 구성은 PLC XBM-DR16S(LS산전), DC-DC 컨버터(12-24V), 배터리(12V, 4Ah), 무선 송신을 할 수 있는 안테나 등으로 구성되어 있다. 수신부의 판넬함 내부 구성은 PLC XBM-DR16(CPU 모듈), XBF-AD04A(아날로그 입력 모듈), XBF-DV04A(디지털 입력 모듈), XBE-DC16A(디지털 입력 모듈), XBE-RY16A(릴레이 입력 모듈), 12V 릴레이, 수신 안테나로 구성되어 있다.

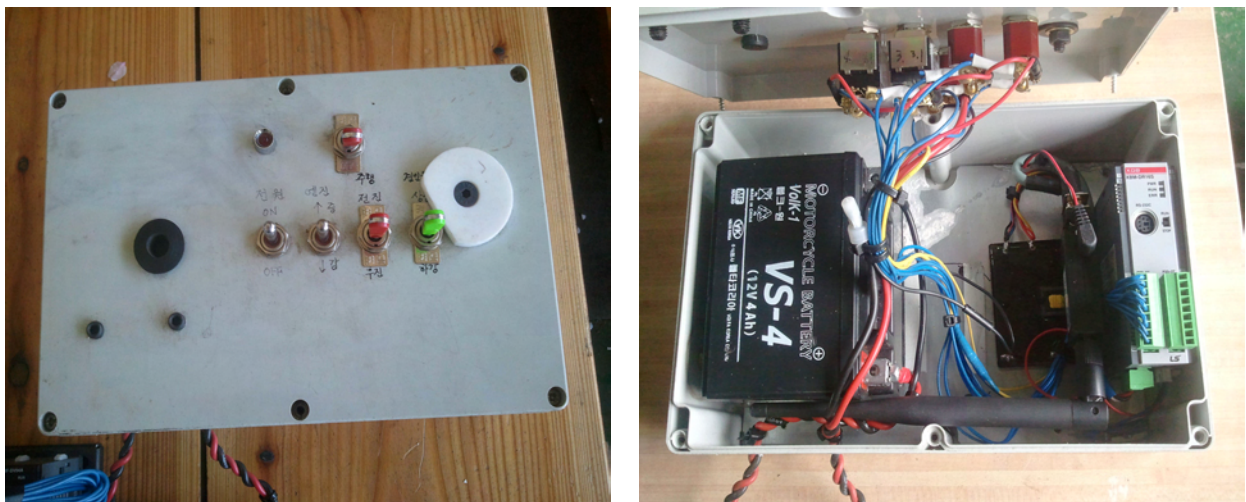


그림 110. 자주식 반송기의 송신부의 컨트롤 박스

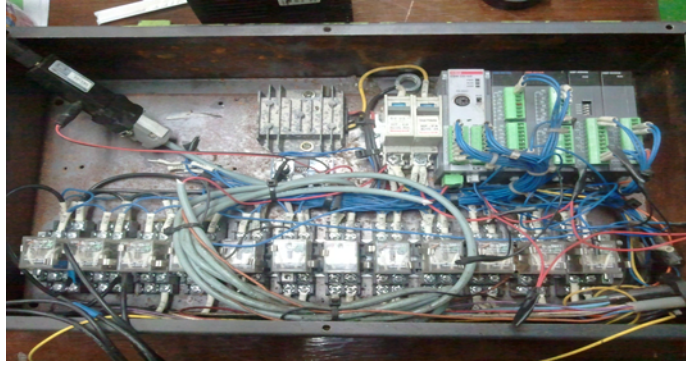


그림 111. 자주식 반송기의 송신부의 컨트롤 박스

(1) 자주식 반송기의 프로그램 제어 분석

자주식 반송기의 작동 신호는 송신부의 컨트롤 박스의 토글스위치의 입력을 수신부의 판넬함에 무선 전송하여 작동 되어 진다. 송신부의 컨트롤 박스에는 전원, 엔진 속도 조절(증가, 감소), 주행 방향(전진, 후진), 견인원치(상승, 하강) 스위치(12V) 등으로 구성되어 있다. 전원 스위치를 켜면 엔진에 시동이 걸림과 동시에 3초 후에 초크가 전진상태가 된다. 이때 주행 방향 스위치를 작동하여 전진 및 후진 방향을 설정한 후 이송 시, 엔진 속도를 증가하거나 감소 시 엔진 속도 조절 스위치(12V, 아날로그 3~9V)를 조정하여 자주식 반송기의 속도를 조절할 수 있다. 짐을 집재 하거나 분리 할 때에는 견인원치 스위치(12V)를 조정하여 하강하여 짐을 집재 후 상승하여 이송 하고 착륙 장소로 보내어 분리 할 때에는 하강 후 분리된 다음 복귀된다.

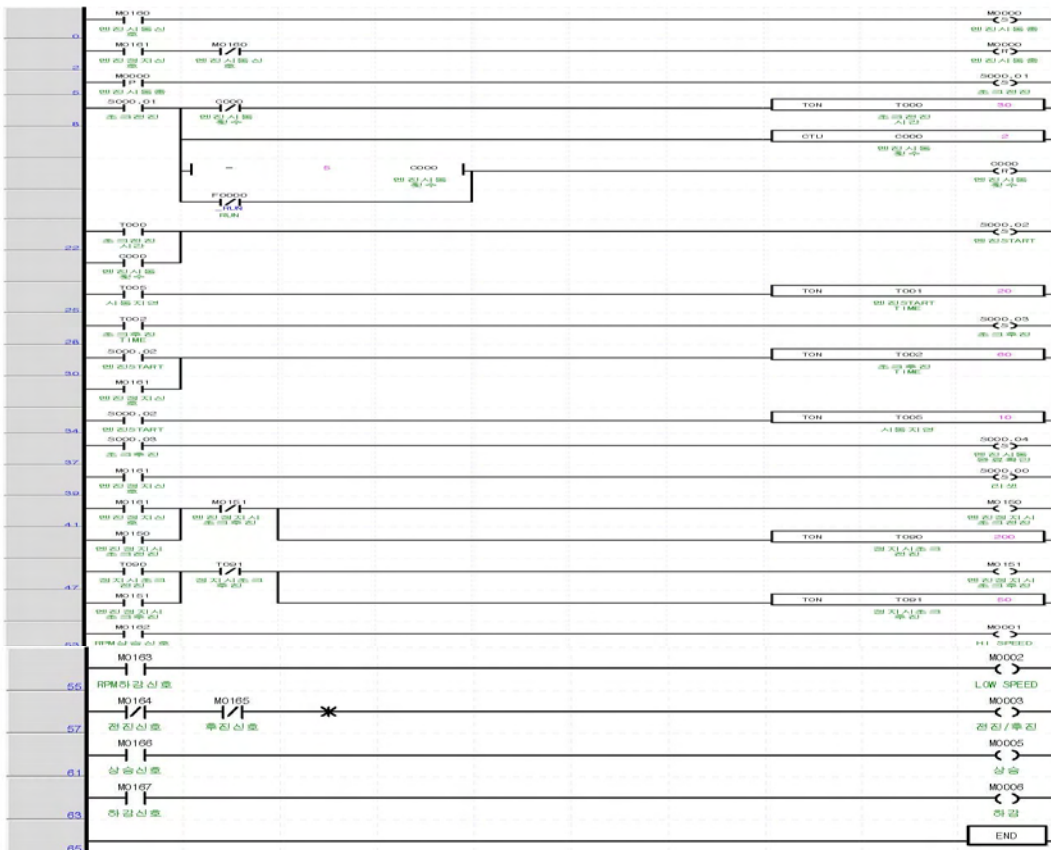


그림 112. 자주식 반송기의 작동 프로그램

3. 임상별, 주파수별 임지내 무선신호의 도달거리분석 평가

무선신호의 도달거리분석 평가에 사용된 무선장비는 Bluetooth(Parani-SD1000, 가치창조기술)가 장착된 제어장치인 PLC(XBM-DR16S, LS산전) 무선 송·수신기 컨트롤 박스를 이용하여 거리별로 무선신호의 작동 상태를 평가하였다. 무선장비 Bluetooth(Parani-SD1000)는 기본적으로 100m의 무선 통신거리를 지원하며, 거리확장용 안테나 사용 시 개방된 공간에서 최대 1000m 거리까지 통신거리를 지원한다.

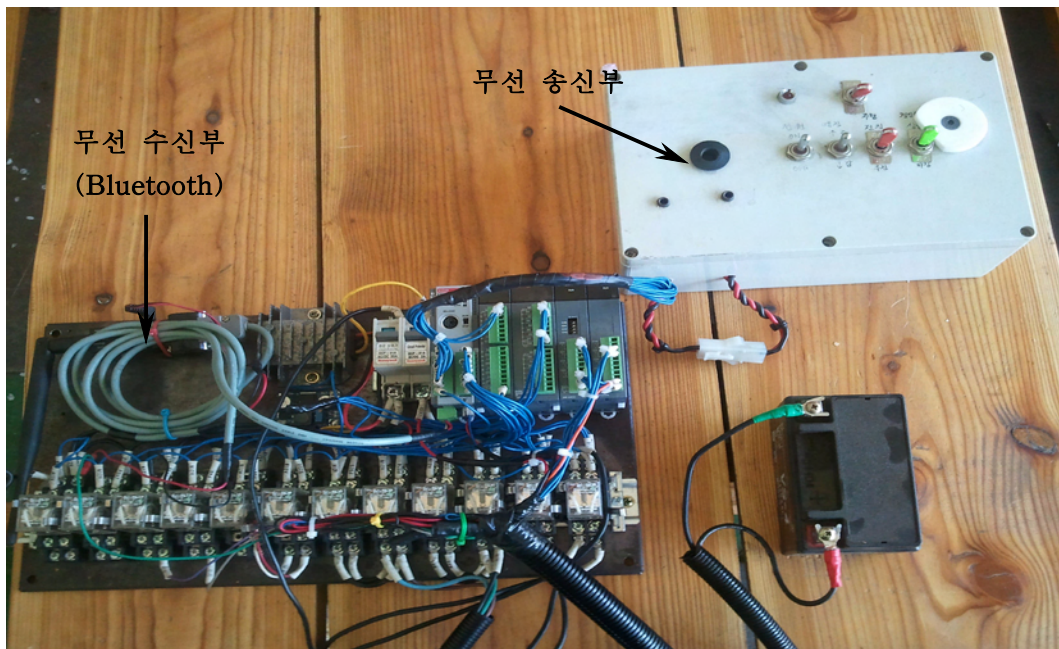


그림 113. 무선 송·수신 장치

가. 임상별 무선신호의 도달거리 분석 평가 실험

임상별 임지내 무선신호의 도달거리 분석 평가를 위해 산림생산기술연구소에 장애물이 없는 8호포지, 임지내의 활엽수림(참나무), 침엽수림(잣나무)에서 실험을 수행하였다. 활엽수림은 활엽수로 이루어진 숲으로 잎이 넓은 나무들의 서식지이며, 침엽수림은 침엽수로 이루어진 숲으로 잎이 바늘 같이 생긴 나무들의 서식지이다. 이에 장애물이 없는 평지나, 활엽수림, 침엽수림과 같은 잎에 대한 영향을 받아 비교하여 거리별로 무선신호에 차이가 발생되는지 평가하였다.

(1) 임지내 장애물이 없는 거리 측정 평가 실험



그림 114. 장애물이 없는 8호포지 거리 측정 실험

표 18. 장애물이 없는 8호포지 거리별 무선신호 평가

거리(m)	엔진 rpm		주행 방향		견인 원치	
	상승	감소	전진	후진	상승	하강
50	○	○	○	○	○	○
100	○	○	○	○	○	○
150	○	○	○	○	○	○
200	○	○	○	○	○	○
250	x	x	x	x	x	x

장애물이 없는 장소인 8호포지에서 각 거리별 무선 신호의 전송 상태를 확인하기 위해 평가를 수행하였다. 수행한 결과 장애물이 없을 시 최대 거리 200m 까지는 정상적으로 신호 전송이 되어 정상 작동되는 것으로 나타났다.

(2) 임지내 활엽수림(참나무) 거리 측정 평가 실험



그림 115. 활엽수림(참나무) 거리 측정 실험

표 19. 활엽수림(참나무)의 거리별 무선신호 측정 평가

거리(m)	엔진 rpm		주행 방향		견인 원치	
	상승	감소	전진	후진	상승	하강
50	○	○	○	○	○	○
100	○	○	○	○	○	○
150	○	○	○	○	○	
200	x	x	x	x	x	x

임지내 활엽수림의 장소에서 각 거리별 무선 신호의 전송 상태를 확인하기 위해 평가를 수행하였다. 수행한 결과 장애물이 없을 시 측정된 거리보다 최대 거리가 150m 로 감소하였으며, 그 원인은 장애물이 없을 때 보다 활엽수의 영향을 받아 무선 거리가 감소되는 것으로 나타났다으며, 150m 안에서 무선신호가 정상적으로 작동되는 것으로 나타났다.

(3) 임지내 침엽수림(잣나무) 거리 측정 평가 실험



그림 116. 침엽수림(잣나무) 거리 측정 실험

표 20. 침엽수림(잣나무)의 거리별 무선신호 측정 평가

거리(m)	엔진 rpm		주행 방향		견인 원치	
	상승	감소	전진	후진	상승	하강
50	○	○	○	○	○	○
100	○	○	○	○	○	○
140	○	○	○	○	○	○
150	x	x	x	x	x	x
200	x	x	x	x	x	x

임지내 침엽수림의 장소에서 각 거리별 무선 신호의 전송 상태를 확인하기 위해 평가를 수행하였다. 수행한 결과 장애물이 없을 시 측정된 거리보다 최대 거리가 140m 로 감소하였으

며, 그 원인은 장애물이 없을 때 보다 침엽수의 영향을 받아 무선 거리가 감소되는 것으로 나타났으며, 140m 안에서 무선신호가 정상적으로 작동되는 것으로 나타났다.

(4) 임상별 무선신호의 도달거리 분석 평가 실험 결과

위와 같이 임지내 3곳에서 무선신호의 도달거리 분석에 대한 평가 실험이 수행되었다. 장애물이 없을 때 보다, 활엽수림, 침엽수림에서 최대 도달거리가 50~60m 정도로 감소되었고, 주위에 영향에 인하여 무선신호 수신율이 감소되는 것으로 나타났다.

현장에서의 집재장치를 이용한 목재 수집할 때의 작업 거리는 100m 안에서 작업이 되므로 임지내 3곳에서 측정된 기록으로 보았을 때 평균 최대 거리 150m 안에서 정상 작동되는 것으로 나타나 실제 현장에서 적용하여 작업을 수행하였을 시 정상 작동이 될 것으로 판단된다.

4. 무선조정식 초커 설계제작

가. 무선조정식 초커 시스템의 개발 및 제어 기술 분석

무선 조정식 초커(Radio Controlled Choker) 시스템을 개발하기 위해서는 시스템의 분석을 통한 문제점 및 개선방향에 대한 제반지식의 습득과 이를 토대로 고효율 저비용의 신기술을 이루어 내는 것이 가장 이상적인 기술 개발과정이라 할 수 있다. 현재 국내 02급 굴삭기에서 사용 중인 목재 반송기에 목재를 효율적으로 고정 및 분리를 하여 사용할 수 있는 무선 조정식 초커의 개발 채택되었다. 이에 무선 조정식 초커에 쓰일 송·수신기 및 동력장치 등을 적용한 사례와 장치에 대하여 다음과 같이 분석하였다.

나. 무선 조정식 초커의 적용 사례

(1) 무선을 이용한 초커 장치1(Ludwig Choker, Gmbh & Co KG entwickelt, 2008)

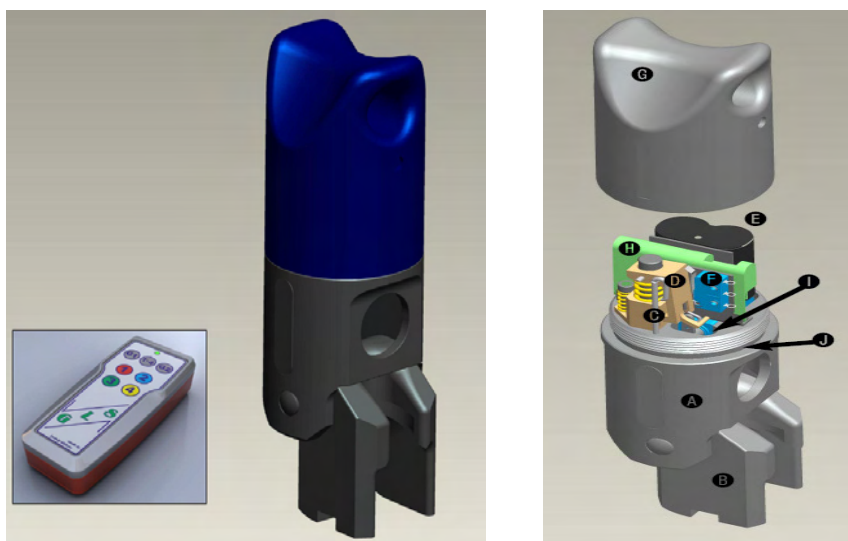


그림 117. Ludwig Choker



그림 118. Ludwig Choker의 사용 방법

그림 117은 Ludwig Choker의 모습이고, 이를 동작하는 무선송신기와 함께 구성되어 있다. 내부에 장치 구성은 서보모터, 수신기, 배터리 등으로 구성되어 있다. 고정 시키는 부분을 뒤로 밀어내고 와이어로프 몽치를 고정 부분에 삽입 후 체결하여 고정한다. 이에 무선 송신기 컨트롤에서 조작하여 상황에 맞도록 저속 및 고속으로 분리 할 수 있다.

(2) 무선을 이용한 초커 장치2(Johnson radio controlled chokers, Johnson Industries Ltd, 2008)

Johnson사의 무선 조정 초커(RCC. radio controlled chokers) yarder, towers 등 반송기에 목재를 운반 시 고정 및 분리할 때 사용된다. 특징의 장점으로서는 무선을 사용함으로써 작업자의 위험성을 최소화하여 안전한 착륙 및 목재 더미로 올라가지 않아도 되며, 초커를 여러 대를 사용하여 많은 양을 집제한 후 운반 할 수 있다. 이에 무선 조정 초커의 구성을 다음 그림에 나타내었다.



그림 119. Radio Controlled System



그림 120. Radio Controlled System의 사용

(3) 무선을 이용한 초커 장치3(Remotely Releasable Choker, 1983)

Remotely Releasable Choker는 1981년도에 특허 개발된 장치이다. 위에서 언급한 장치들과 구성 및 제어 특성이 유사하며 동력 장치는 서보모터를 사용하여 모터 축에 캠을 장착해 무선 송신기의 신호에 의해 분리 및 고정되며 내부 구성은 서보모터, 수신기, 안테나, 배터리로 구성되어 있다. 장치 사용방법은 고정 부분인 암부분이 풀어지면 와이어로프 멩치를 결합하여 고정 시킨다. 목재를 이송 시 분리하여 착륙 시 송신기의 신호에 의해 완전히 분리된다. 이에 Remotely Releasable Choker의 구성을 다음 그림에 나타내었다.

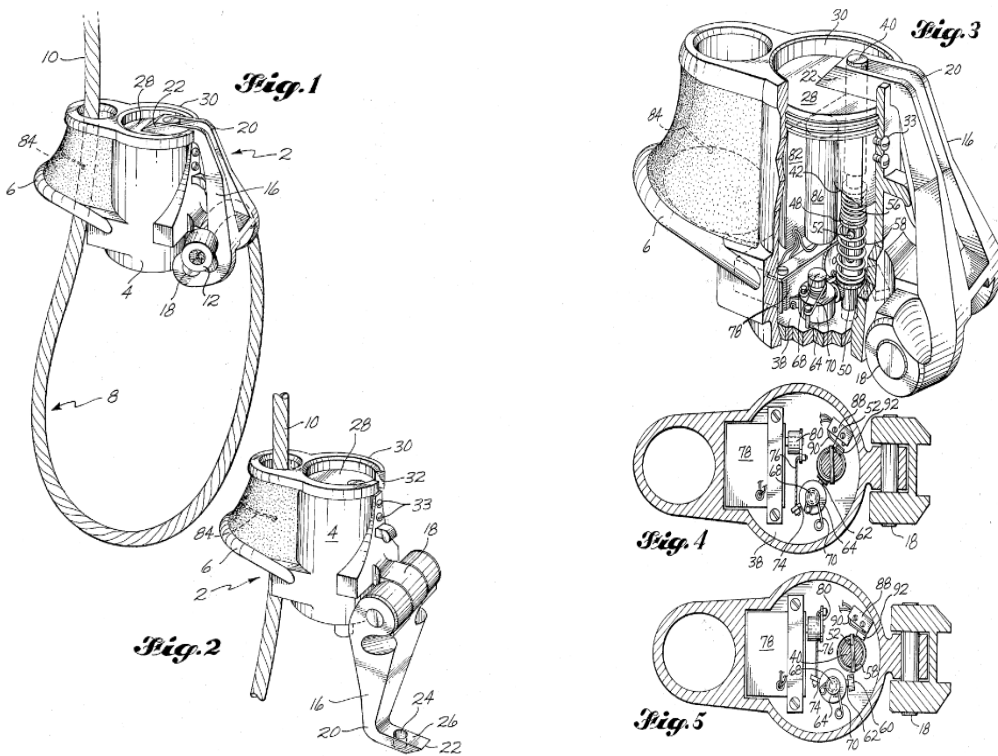


그림 121. Remotely Releasable Choker

다. 무선 조정식 초커의 개발목적 및 구성

(1) 무선 조정식 초커의 개발 목적

기존 초커 장치는 짐재장비 운전수나 별도의 인력이 고리를 해제하는 방식이었다. 이에 따

른 문제점으로 인력이 목재가 쌓여 있는 곳을 오르는 위험이 있고 고리를 해제하는데 상당한 시간을 소비하게 되어 연속적인 작업 진행을 할 수 없게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 무선 조정식 초커를 개발하여 집재 후 자동으로 목재에 걸려 있는 고리를 해제함으로써, 위험성 감소 및 작업시간, 노동 인력, 노무비가 감축 되어 작업의 편리성과 경제적으로 긍정적 효과를 발생시킬 것으로 판단되어 개발 되었다.

(2) 이전 기술 및 문제점



그림 122. 띠쇠줄(와이어로프) 그림 123. 초커(3개 장착) 그림 124. 초커(1개 장착)

기존 집재작업 시 샤클을 사용하여 집재기 등에 중량물을 매달 때 띠쇠줄 등과 조합하여 이용하거나 버팀줄을 지주에 고정하는 경우에 턴버클과 일체가 되어 버팀줄을 정확히 설치하는 데 사용되었다(그림 122). 초커(Choker)는 짐당김줄에 여러 개의 초커를 장착하여 임내에 흩어진 집재원목을 띠쇠줄로 묶은 후 연결시켜 1회에 많은 양의 집재가 가능하도록 하였다. 집재원목의 중량과 현지상황에 따라 초커 장착의 개수를 증감하여야 한다(그림 123).

그림 124와 같은 작업 시 샤클에 고정되어 있는 고리를 직접 운전수나 별도의 작업자가 해제하지 않으면 목재를 분리할 수 없게 되며, 작업자의 위험도와 작업 시간을 소비하게 된다.

원격제어를 이용한 기술 중 대한민국 공개특허공보 제10-2005-0098238호에 공지된 자동 개폐형 샤클 조립체(그림 125)에서는 건설 현장에서 H형강 등과 같은 철골 구조물을 운반하기 위하여 리모트 컨트롤러를 이용한 원격제어 조작에 따라 샤클 핀이 좌우방향으로 왕복 직선 이동하여 철골 구조물과의 분리 작업을 행하도록 구성되어 있다. 철골 구조물을 운반할 때 하중이 샤클핀으로 직접 가해지므로 하중에 의해 샤클핀의 마모와 내구성에 문제가 발생될 것으로 보이고, 큰 하중을 운반하기 때문에 샤클핀을 개폐하여 분리할 때 사용되어지는 장치들이 큰 용량을 필요로 하며 전력소비도 심하고 큰 부피로 인하여 소형화하기 어렵고 구성관계가 복잡한 단점을 있다.

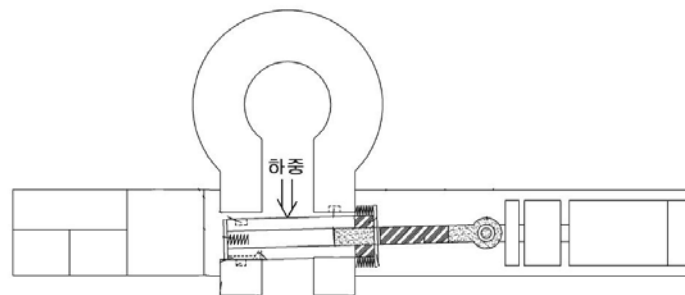


그림 125. 자동 개폐형 조립체

라. 무선 조정식 초커의 무선 송·수신 방식의 특징 및 회로구성

(1) RF(Radio Frequency) 방식의 특징(www.terms.co.kr/RF.htm)

무선 주파수(RF) 방식은 안테나에 들어오는 입력이 전류 일 때 무선 방송이나 통신에 적합한 전자기장이 생성되는 특성을 갖는 교류를 가리킨다. 이러한 주파수들은 무선 통신에 할당된 가장 낮은 주파수(사람이 들을 수 있는 범위 내에 속함)인 9 KHz로부터 수천 GHz 까지 걸쳐 있으므로써 전자기 방사 스펙트럼의 중요한 부분을 커버한다.

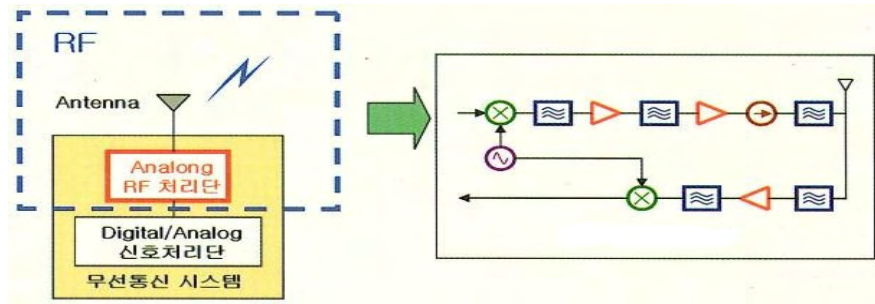


그림 126. RF(Radio Frequency)의 시스템

위 그림은 RF 시스템의 기본이 되는 회로이다. RF 시스템은 Tx (Transmission, 송신)부, Rx (Receiver, 수신)부로 나뉘는데 위 그림에서는 위쪽이 Tx, 아래쪽이 Rx를 의미한다. Rx의 흐름은 안테나를 통하여 수신된 고주파의 필터 및 증폭기를 통하여 원하는 주파수를 걸러내고 믹서에서 저주파로 복조하게 된다. 또한 Tx의 흐름은 베이스 밴드와 발진기를 통하여 생성된 주파수(저주파)는 믹서를 통해서 고주파로 변조된다. 필터를 통하여 원하는 주파수만을 보내고, 증폭기를 통해서 증폭하여 멀리 보낼 수 있게 만들며, 안테나에서 전송된다.

(2) 무선 조정식 초커의 회로구성

무선 조정식 초커의 동력장치(기어드 DC모터, 6V, Torque 3.6kg·cm)를 제어하기 위한 회로 구성은 무선 송·수신기(RFM-3KEY, COMFILE), 릴레이(5V, KOREA ELECTRONICS CO.), 배터리(1.5V, 4EA / 6V) 등으로 구성되었다.

(가) RFM-3 KEY 리모콘 송·수신 모듈

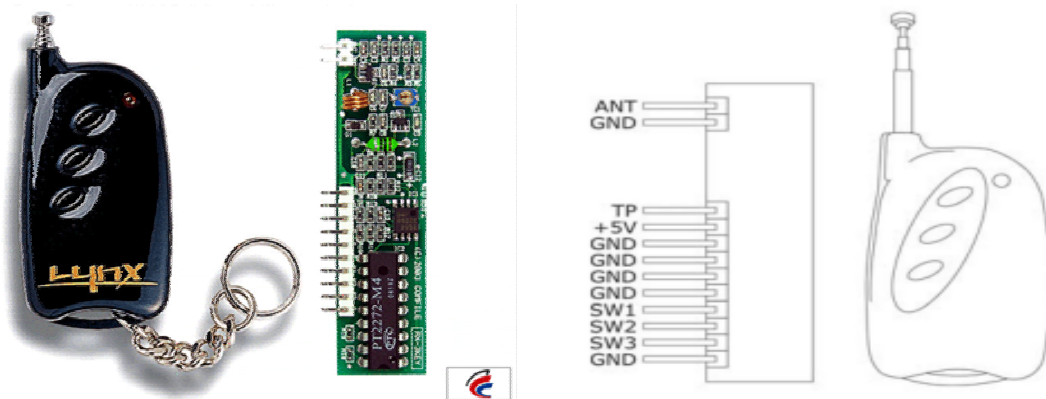


그림 127. RFM-3 KEY 리모콘 송·수신 모듈

① Pinout의 설명

- ㉠ ANT : 안테나 연결핀(50~60cm).
- ㉡ +5V : 5V 전원 연결핀.
- ㉢ GND : 그라운드 연결핀.
- ㉣ TP : 테스트용.
- ㉤ SW1~SW3 : 스위치 상태 출력 핀.

② 송·수신기의 전원 공급

- ㉠ 송신부의 전원 : 12V
- ㉡ 수신부의 전원 : 5V
- ㉢ 최대거리 : 50m

(나) 무선 조정식 초커의 회로도

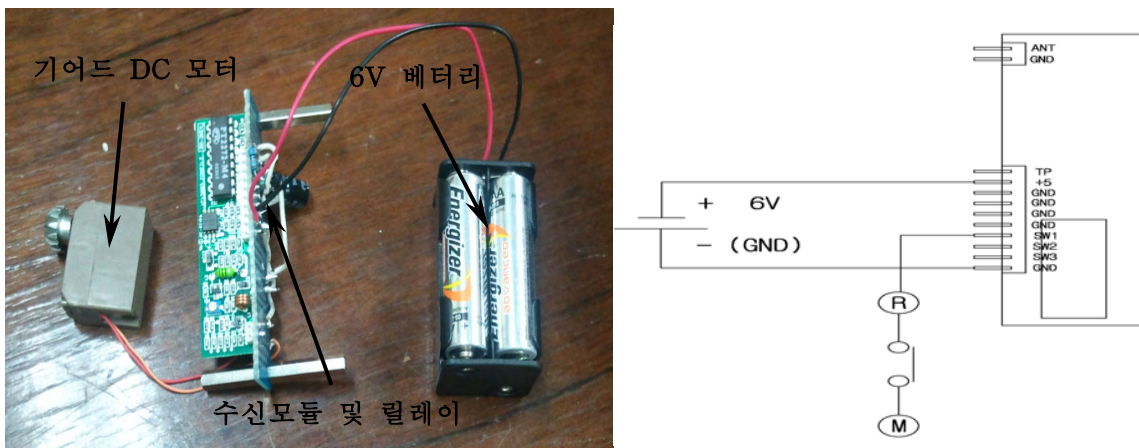


그림 128. 무선 조정식 초커의 회로 구성 및 회로도

무선 송·수신기를 이용하여 동력장치가 동작되기 위한 신호 전송은 송신기의 스위치 버튼을 누르면 점점 신호를 수신기 모듈(SW1)에서 출력 받은 동시에 전원 공급 6V를 릴레이로 통하여 점점(On) 되어 모터가 작동되어 진다. 이 때 모터의 축 회전 방향은 +, - 단자의 전선의 극성을 바꾸어 방향을 조정할 수 있다. 또한 안테나(Ant)에 출력부에 전선을 장착하면 전선이 안테나 역할을 하여 안테나 미 부착 시 10m, 안테나 부착 시 50m로 수신거리가 증가된다.

(다) 무선조정식 초커의 구성 및 작동원리

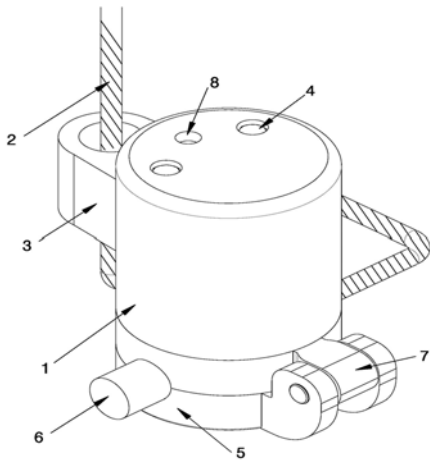


그림 129. 무선 조정식 초커의 와이어로프 고정

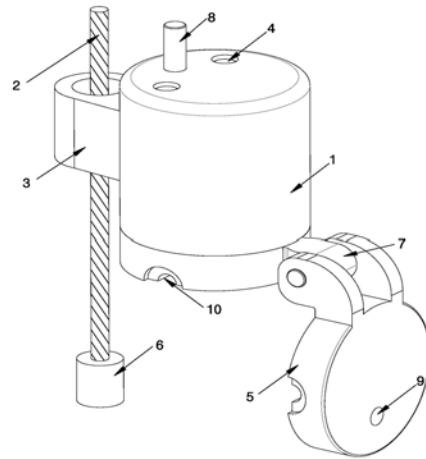


그림 130. 무선 조정식 초커의 와이어로프 분리

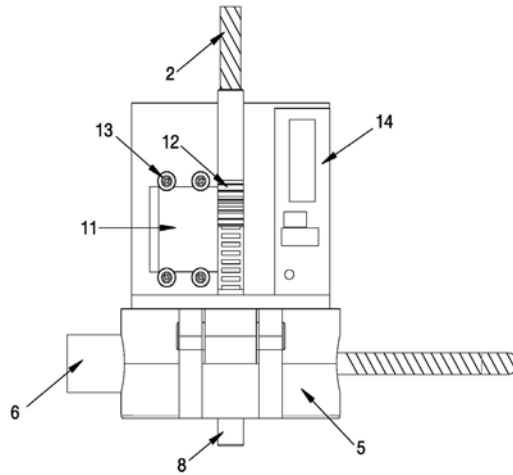


그림 131. 무선 조정식 초커의 와이어 로프 고정의 내부 동작

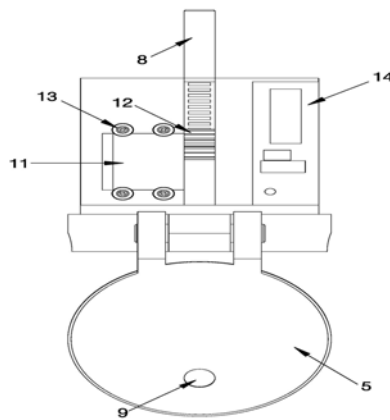


그림 132. 무선 조정식 초커의 와이어 로프 분리의 내부 동작

무선 조정식 초커의 작동원리는 와이어로프(2)를 무선조정식 초커의 와이어 거치대(3)를

통과하여 목재를 감고 초커 몸체의 와이어로프 고정 홈(10)에 와이어를 삽입, 고리(5)를 고정하여 고정핀(8)를 직접 손으로 밀어 넣어 고정 시킨다. 목재를 초커에 자동으로 걸 수 없기 때문에 작업자가 직접 목재를 초커에 걸어 주어야 하는 문제가 있어 수동으로도 직접 고정핀을 밀어 고정 할 수 있도록 구성된다.

목재를 수집, 운반 장소에 도달 후 초커의 고리를 해지 할 때에는 운전자가 송신기의 신호를 수신기(14)로 전송하여 기어드 DC모터(11) 축에 장착된 피니언기어(1)와 고정핀(8) 중간 부분에 래크기어 홈에 맞물려 작동되어 지면 고정핀이 직선 운동하여 고정고리(5)에서 분리되고 와이어로프 고정 홈(10)에서 와이어로프가 해제되어 목재를 자동으로 분리할 수 있도록 구성된다.

무선조정식 초커는 전원공급을 배터리로 하기 때문에 배터리 수명이 다되었을 경우에 교체하거나 충전하여 사용하여야 한다. 이에 도면 1에 무선조정식 초커 캡(1)을 고정해주는 캡 고정 볼트(4)를 분리하여 배터리를 교체하고, 장치에 문제가 발생하여 부품을 교체할 때 손쉽게 처리할 수 있도록 구성된다.

(라) 그림의 주요부분에 대한 부호의 설명

- ① 무선조정식 초커 캡
- ② 와이어로프
- ③ 와이어 거치대
- ④ 캡 고정 볼트
- ⑤ 고정고리
- ⑥ 와이어로프 멍치
- ⑦ 고정고리 회전축
- ⑧ 고정핀 및 래크기어
- ⑨ 고정핀 고정 홈
- ⑩ 와이어로프 고정 홈
- ⑪ 기어드 DC모터
- ⑫ 피니언 기어
- ⑬ 모터 고정 나사
- ⑭ 무선수신기

제 6 절 자주식 무선조정 목재반송기의 성능평가

1. 자주식 무선조정 목재반송기의 안정성 분석

고정식 가선집재 시스템의 반송기 위치에 따른 스카이라인의 장력 변화 특성을 분석하기 위해 그림 133과 같은 고정식 가선시스템을 기반으로 한 이론적인 장력 계산을 실시하였다. 이때 각각의 제원은 실제 안정성검토를 위해 설치한 가선집재시스템의 값을 기준으로 하였다. 실제 장력을 측정하기 위해 설치한 가선집재 시스템에 사용된 와이어로프의 직경은 12mm이다. 또한, 이때의 안전율은 산림청(2000)의 보정계산법에 의해 계산 하였으며, 와이어로프의 강도는 표 21을 기준으로 계산 하였다.

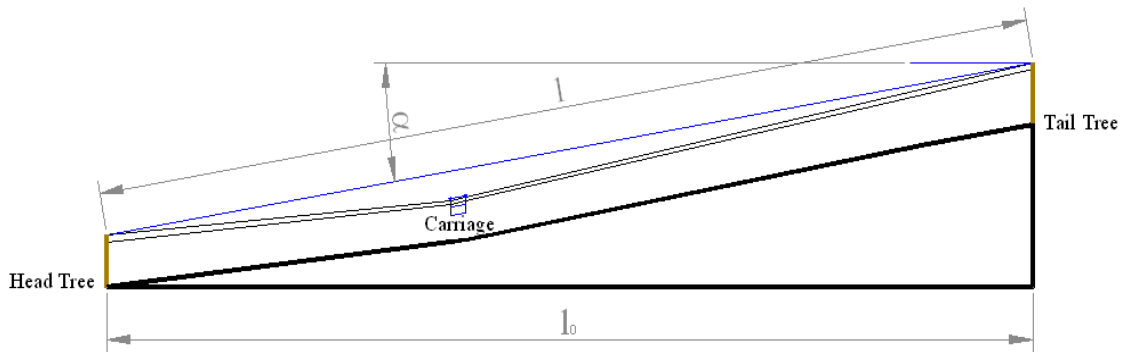


그림 133. 이론적 장력 계산에 사용된 단일 스펠 가선집재시스템의 기하학적 변수

표 21. 와이어로프의 강도(위) 및 무게(아래)

diameter (mm)	type	diameter (mm)											
		8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
skyline	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
A type(6*7)	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
mainline	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
A type (6*19)	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

계산 결과 그림 134와 같이 안전계수가 2.7미만인 경우는 보정계산을 한 경우에 있어서도 16mm 이상이 되어야 하는 것으로 판단된다. 따라서 장력 측정시 사용한 12mm의 스카이라인은 공주행의 경우 무보정 계산결과에서 1.97의 안전율을 나타내었고, 보정계산을 한 경우도 2.10으로 일반적으로 적용되는 안전계수 2.7 이하로 동적하중이 가해질 경우 안정성에 문제가 있을 것으로 판단되었다.

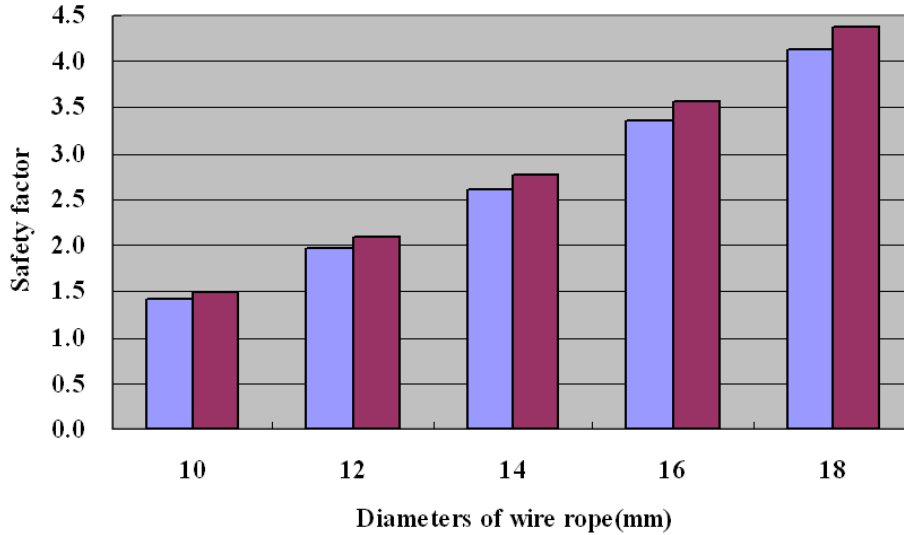


그림 134. 와이어로프 지름에 의한 가선집재시스템의 안전율

2. 자주식 무선조정 목재반송기의 견인력 및 견인속도 측정 분석

가 주행성능 시험

개발된 무선조종형 자주식 목재반송기의 주행성능을 시험하기 위해 30도의 산악 경사지에서 주행성능 시험을 실시하였다. 주행시험조건은 무부하조건과 최대 약 200kg의 부가하중을 매단체 주행시험을 실시하였다. 설계속도인 200m/min에서 동력전달 및 유압효율을 고려해 약 150m/min의 주행속도를 예상했지만 최대 약 90m/min의 주행속도를 나타내었으며, 주행 그루브 휠의 감기를 2회로 한 경우와 1회로 한 경우에 대하여 브레이크 시험을 실시한 결과 부가하중 200kg에서도 브레이크 성능은 문제가 없는 것으로 판단되었다.

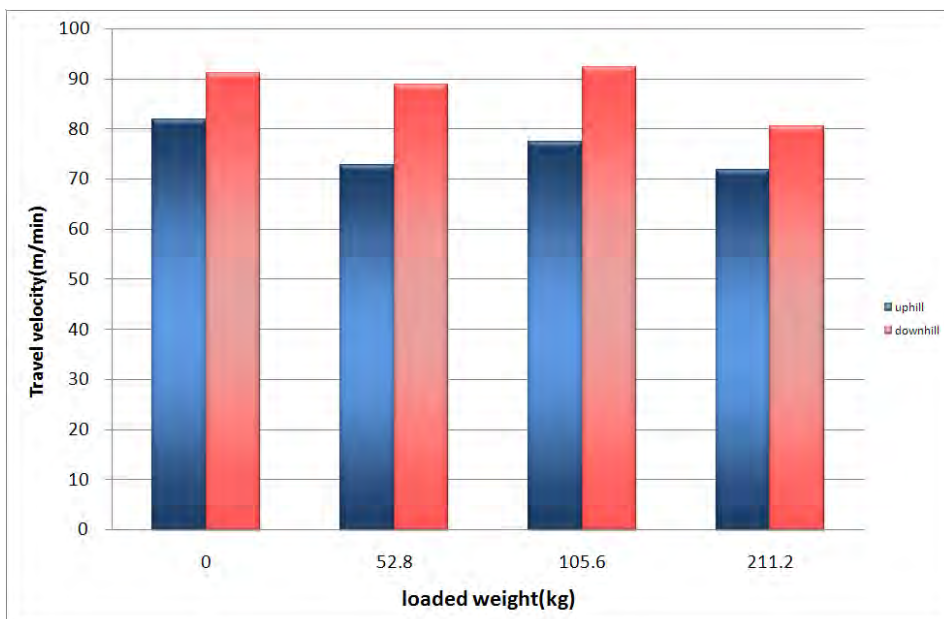


그림 135. 경사지에서의 부가하중에 따른 주행성능시험 결과

주행속도에 대한 문제를 해결하기 위하여 부하에 대응한 추력을 증가시키는 방법으로 밸브(counter balance)의 압력을 조정하면서 주행속도에 대한 변화를 관찰하였다. 밸브세팅을 완전 오픈한 경우 최대 120m/min의 주행속도를 나타내었으나 Tank 라인의 진동맥압으로 인해 밸브의 오픈 상태를 재조정하였으며 시험당시에 사용했던 tank라인의 유압호스 직경을 1/2인치에서 3/4인치로 늘려 설치한 결과 밸브의 압력보상으로 인한 밸브열림 단힘이 반복되면서 생긴 맥압을 해결할 수 있었다. 또한 펌프의 입력 회전수가 3,000rpm에서 이론 계산치를 맞추었기 때문에 지속적인 고속 회전수로 인해 기름소모량이 눈에 띄게 많았다. 추후 펌프의 재선정 및 유압부품의 재검토가 필요할 것으로 판단되었다. 또한 운전중의 유압토출량이 많아 운전에 영향을 줄 정도의 유압유 온도상승이 주행시험을 통해 문제가 된다는 것을 알 수 있었다. 이에 대한 해결책으로 기존의 기어식 펌프에서 부하대응형 유압펌프로의 전환 및 고효율 펌프(피스톤 펌프류)의 검토가 필요하며 이에 따른 밸브 등 유압부품의 재선정 및 펌프용량의 상향조정이 요구될 것으로 판단되었다.

구조적인 것과 기계적인 문제는 횡집재시 사용되는 스위벨형 도르래의 가이드가 제역활을 하지 못해 별도의 가이드를 설치하여 문제를 해결하였다. 추가적인 시험이 지속된 후에 판단을 해야하겠지만 연료소비량에 대한 부분이 검토되어 현재 설치한 용량보다 증가시켜야 할 것으로 판단되며 최종 작업공정에 따른 연료소비량을 고려해 일일 작업동안 재급유가 발생하지 않던가 반일정도 까지 지속될 수 있는 용량의 연료탱크 선정해야 할 것으로 판단된다.

나. 견인 성능 시험

집재선으로부터 좌우에 있는 벌도목을 수집 수확하기 위해서는 견인력을 발휘하는 원치가 필요하다. 본 연구에서도 단선구조의 스카이라인 겸용 메인라인이외에 견인을 위한 드럼을 설치하여 벌도목을 견인하도록 하였다. 적용된 와이어 로프는 직경 8mm로 약4톤 정도의 절단하중을 가지고 있다. 견인성능 시험은 주행시험을 실시한 동일임분에서 실시하였으며 시험방법은 견인 와이어로프를 지주목에 고정시킨 후 엔진을 최대출력으로 놓고 당겨지는 와이어로프의 장력을 측정하였다(그림 136).



그림 136. 자주식 목재반송기의 횡집재 견인력 측정시험

또한 주행에 대한 견인력을 측정하기 위해 반송기를 설치한 후 본체와 지주목사이에 로드 설을 설치하여 주행에 대한 견인력을 측정하였다(그림 137). 횡방향 견인드럼의 경우, 최대 견인조건에서 엔진은 off되지 않았으며 약 1톤 정도의 견인력을 가지고 있었으며 주행에 대한 견인력은 약 600kgf로 나타났다. 추후 성능개선을 위한 유압부품의 교체 및 유압재설계를 통해 재시험 할 예정이다. 측정은 주행시험을 실시한 산악지형에서 실시하였다.



그림 137. 자주식 목재반송기의 주행견인 측정시험

제 7 절 자주식 무선조종 목재반송기를 이용한 작업시스템개발 및 평가

1. 스키더+프로세서 조합의 전목수확시스템에서의 작업시간분석 및 공정산출(경제성분석)

우리나라의 산림은 정부수립이후 적극적인 치산녹화사업으로 인해 성공적인 산림녹화를 이루어 2010년 ha당 평균 임목축적 125.6m³에 이르고 있다. 그러나 산림작업은 농·산촌 인구의 감소와 고령화, 힘든 일 기피현상 등으로 인해 산물수집이 활발하게 이루어지지 못하고 있어 기계화 방향으로 전환할 수밖에 없는 상황에 직면하게 되었다. 또한 숲가꾸기 산물을 이용할 수 있는 체계적인 작업시스템이 구축되어 있지 않아 이용측면에서는 아주 미흡한 실정이다. 최근 벌채된 후 경제적인 문제로 산림 내에 방치된 미이용 간벌재를 효율적으로 수확, 운송할 수 있는 방법으로 산림작업에 의한 임지훼손을 최소화할 수 있는 가선집재장비의 이용 및 전목수확시스템 목재수확이 주목받고 있다. 따라서 본 연구에서는 전목 상태로 집재가 가능한 장력 조절형 스윙야더를 이용한 스키더+프로세서 조합의 전목수확시스템에서의 작업시간분석 및 공정산출하여 생산성 및 경제성 분석을 실시하였으며, 산림 작업의 기계화 및 고성능화하기위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

전목수확시스템 작업은 경기도 포천시에 위치한 국립산림과학원 광릉시험림을 대상으로 실시하였으며(그림 138), 수종별 전목수확시스템의 생산성을 파악하기 위하여 잣나무, 리기다, 낙엽송 3개 지역을 선정하여 전목수확작업을 실시하였다.

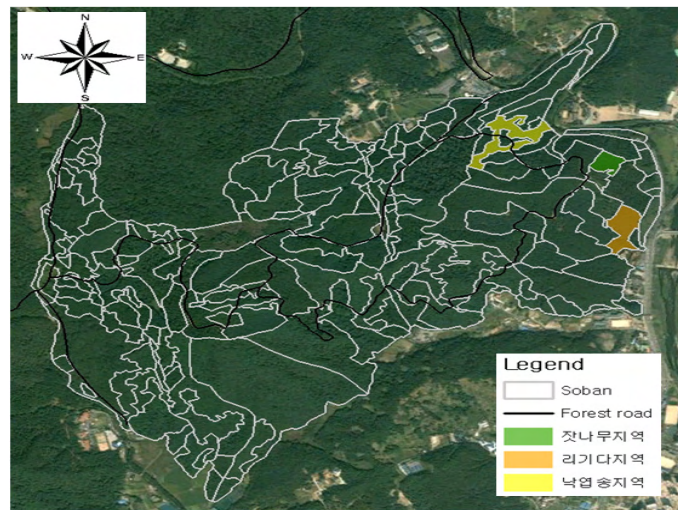


그림 138. 전목수확시스템 작업지

표 22. 작업지 개요

수종	잣나무	리기다	낙엽송
임소반명	21-다	22-사	21-바
경급	2	2	2
영급	V	V	V
경사도	경	완	경
ASPECT	북동	남	북동
표고	95-129	69-110	73-175
지위	중	중	상
지리	1급지	1급지	1급지
소밀도	밀	밀	밀
평균직경	16-29/22	11-27/20	22-34/27
평균수고	8-18/15	11-19/16	20-29/24
HA당본수	500	820	300
재적	141.3	216.2	199.5
HA당축적	204.9	229.3	267.5
총축적	180.3	405.8	650.2
면적	0.8	1.7	2.4

작업지의 개요는 표 22와 같으며 3지역의 경급 및 영급이 동일하다. 작업지역 별로 상향, 하향집재를 실시하여 작업난이도에 의한 생산성을 파악하였다. 요소작업시간 측정을 위해 스톱워치(stop-watch)를 이용한 연속작업 측정법을 실시하였고, 작업량을 요소작업시간 측정 중에 조사하여 야장에 기입하였다. 흉고직경(DBH), 수고, 조재목의 말구직경, 길이 등의 인자는 별도로 조사하여 분석에 사용하였다. 작업시간 및 직경, 길이, 작업분수를 이용하여 재적을 산출하고 이를 바탕으로 1일 작업량 및 노동생산성을 산출하였다.

가. 잣나무지역

(1) 하향집재 시

(가) 스윙야더 집재

스윙야더에 의한 실 집재작업 시간은 74분 58초이고 총 작업 사이클은 11사이클, 사이클 당 평균 집재시간은 2분 28초로 나타났다. 요소작업 중 반송기의 견인줄에 목재를 다는 초커

작업의 비중이 가장 높으며, 횡집재작업 시간은 20.8%를 차지한다. 최초 집재 작업지로 비숙련 작업원이 설치 및 철수 작업을 시행함으로써 각각 109분 35초, 72분 57초로 많은 시간이 소요되었다. 집재목의 평균 수고는 13.21m, 흉고직경은 19.09cm로 평균재적은 0.21m³이다. 시간당 생산 개수는 24.3개, 시간당 생산성은 5.1m³/hr이며 1일 집재재적은 20.3m³/일이다. 하향 집재시 굴삭기의 유류소비량은 0.78l/m³이며, C와 CO₂ 배출량은 각각 0.0035ton, 0.0128ton으로 나타났다.

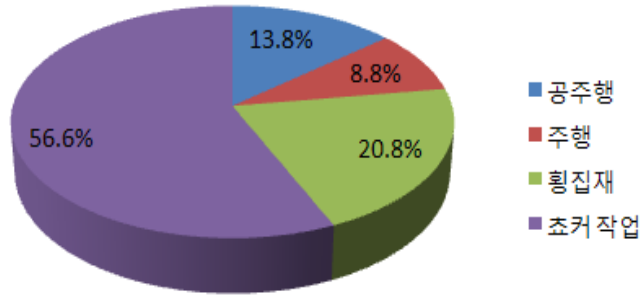


그림 139. 스윙야더 작업구성(잣나무, 하향)

(나) 스키더 소운재

스키더에 의한 실 운재작업 시간은 175분 46초이고 총 운재목의 개수는 20개, 총 재적은 3.59m³이다. 1회 집재목 개수는 1.6개로 조사되었으며, 집재목 로딩 작업에 42분이 소요되었다. 집재장에서 토장까지의 평균 주행시간은 4분 58초이다. 스키더의 시간당 생산성은 1.23m³/hr이며 1일 생산성은 7.36m³/일이다. 하향 집재시 트랙터의 유류소비량은 5.56l/m³이며, C와 CO₂ 배출량은 각각 0.0140ton, 0.0513ton으로 나타났다.

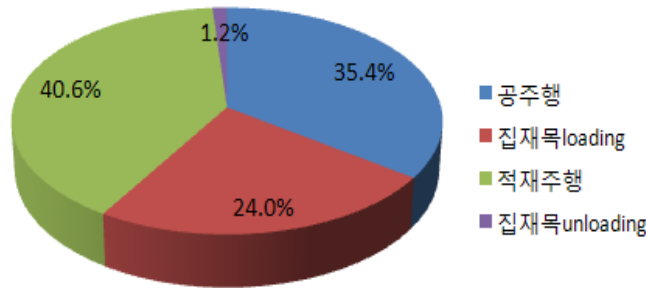


그림 140. 스키더 작업구성(잣나무)

(다) 프로세서 조재

프로세서에 의한 실 조재작업 시간은 112분 53초이며, 집재된 전목 및 조재된 원목의 정리 작업에 76분 7초가 소요되었다. 조재목의 길이는 프로세서에 3.6m로 셋팅하였으며, 실제 조재된 원목의 길이를 재본 결과, 평균 3.6m로 조재되었다. 총 조재목의 재적은 1.63m³이며, 프로세서의 시간당 생산성은 0.87m³/hr, 1일 생산성은 5.21m³/일이다. 프로세서 작업 또한 작업원의 기계조작이 미숙하여 생산성이 낮게 나타났다.

(2) 상향집재 시

(가) 스윙야더 집재

스윙야더에 의한 실 집재작업 시간은 75분 11초이고 총 작업 사이클은 12사이클, 사이클 당 평균 집재시간은 2분 13초로 나타났다. 요소작업 중 초커 작업의 비중이 가장 높으며, 횡집재작업 시간은 14.8%를 차지한다. 경사가 급한 지역으로 설치 및 철수 작업에 각각 60분 52초, 32분 55초가 소요되었다. 집재목의 평균 수고는 14.49m, 흉고직경 19.17cm로 평균재적은 0.23 m³이다. 시간당 생산갯수는 27.7개, 시간당 생산성은 6.1m³/hr이며, 1일 집재재적은 24.4m³/일이다. 하향 집재시 굴삭기의 유류소비량은 1.04l/m³이며, C와 CO₂ 배출량은 각각 0.0056ton, 0.0205ton으로 나타났다.

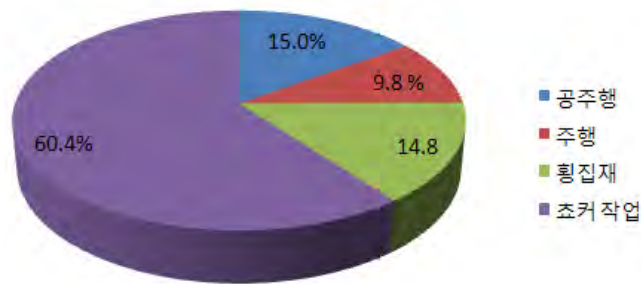


그림 141. 스윙야더 작업구성(리기다, 상향)

(나) 스키더 소운재

스키더에 의한 실 운재작업 시간은 59분 51초이고 총 운재목의 개수는 18개, 총 재적은 2.47m³이다. 1회 집재목 개수는 4.5개로 한번 주행할 때에 옮기는 양이 많아 전날의 작업에 비해 짧은 시간에 비슷한 개수를 소운재 작업하였다. 집재목 로딩 작업에 16분 35초가 소요되었으며, 평균 주행시간은 4분 33초로 분석되었다. 시간당 생산성은 1.54m³/hr이며 1일 운재재적은 9.26m³/일이다. 상향 집재시 트랙터의 유류소비량은 4.45l/m³이며, C와 CO₂ 배출량은 각각 0.0077ton, 0.0282ton으로 나타났다.

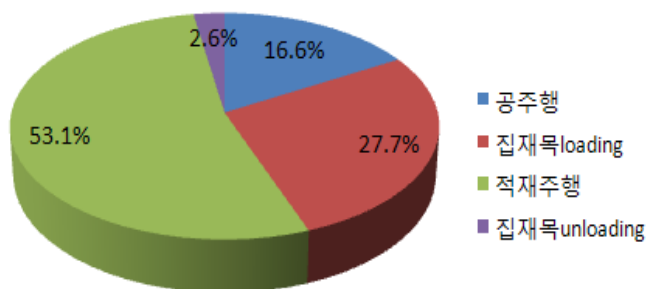


그림 142. 스키더 작업구성(리기다)

(다) 프로세서 조재

프로세서에 의한 실 조재작업 시간은 128분 33초이고 집재된 전목 및 조재된 원목의 정리 작업에 67분 5초가 소요되었다. 실제 조재된 원목의 길이를 재본 결과, 평균 3.6m로 조재되었으며 총 조재목의 재적은 3.71m³이다. 시간당 생산성은 1.73m³/hr이며 1일 조재재적은 10.38 m³/일이다.

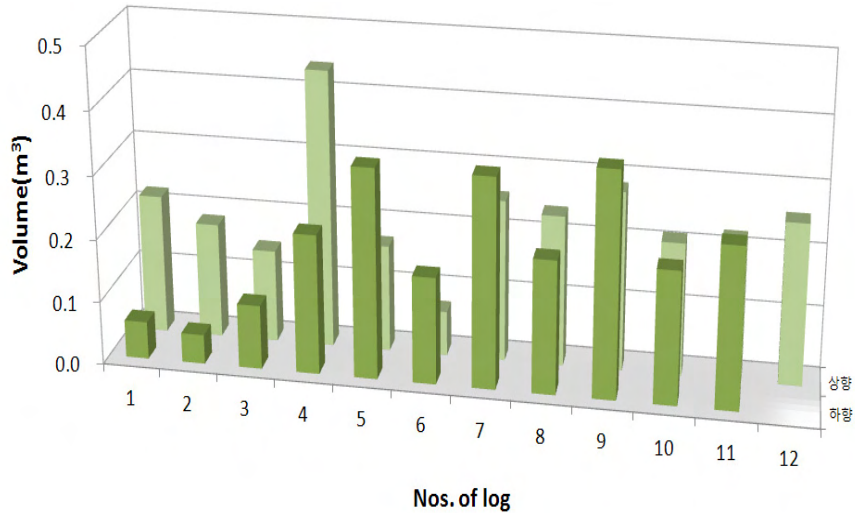


그림 143. 잣나무지역 집재목 재적

나. 리기다소나무지역

(1) 하향집재 시

(가) 스윙야더 집재

스윙야더에 의한 실 집재작업 시간은 95분 18초이고 총 작업 사이클은 21사이클, 사이클 당 평균 집재시간은 2분 8초로 나타났다. 요소작업 중 초커 작업과 횡집재 작업 시간의 비중이 높게 나타났다. 설치 및 철수 작업은 각각 58분 55초, 39분 44초가 소요되었으며 잣나무 지역과 비교해 볼 때 처음보다 숙련되어 작업시간이 단축되었다. 집재목의 평균 수고는 14.78m, 흉고직경 18.10cm로 평균재적은 0.19m³이다. 시간당 생산갯수는 28.13개, 시간당 생산성은 5.47m³/hr이며 1일 집재재적은 21.86m³/일이다. 하향 집재시 굴삭기의 유류소비량은 1.39l/m³이며, C와 CO₂ 배출량은 각각 0.0098ton, 0.0359ton으로 나타났다.

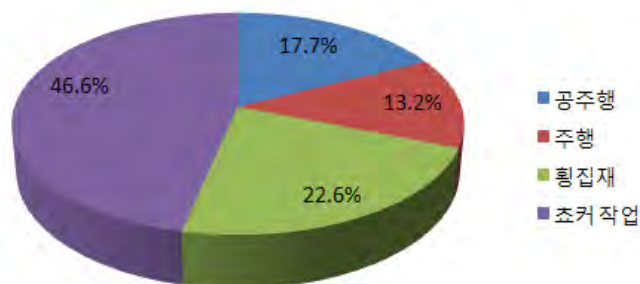


그림 144. 스윙야더 작업(리기다, 하향)

(나) 스키더 소운재

집재된 리기다소나무는 스키더에 의한 소운재작업을 실시하였으며, 실 운재작업 시간은 180분 32초이고 총 운재목의 개수는 22개, 총 재적은 3.62m³이다. 집재목 로딩 작업에 20분 11

초가 소요되었으며, 평균 주행시간은 4분 59초로 분석되었다. 시간당 생산성은 1.49m³/hr이며 1일 운재재적은 8.97m³/일이다. 상향 집재시 트랙터의 유류소비량은 3.31l/m³이며, C와 CO₂ 배출량은 각각 0.0084ton, 0.0308ton으로 나타났다.

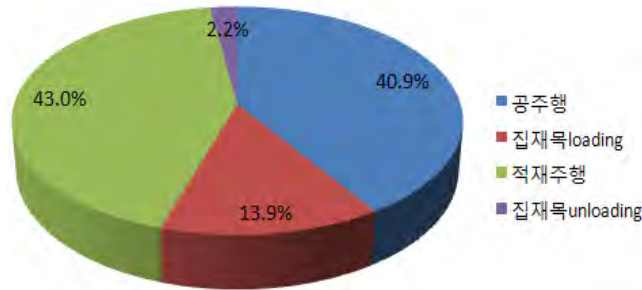


그림 145. 스키더 작업구성(리기다)

(다) 프로세서 조재

프로세서에 의한 실 조재작업 시간은 101분 18초이고 집재된 전목 및 조재된 원목의 정리 작업에 94분 32초가 소요되었다. 총 조재목의 재적은 3.47m³이다. 시간당 생산성은 2.06m³/hr이며 1일 조재재적은 12.33m³/일이다. 기계의 오작동으로 3번의 정비작업을 하였지만 프로세서의 연속적인 조재작업으로 인해 생산성이 향상되었다.

(2) 상향집재 시

(가) 스윙야더 집재

스윙야더에 의한 실 집재작업 시간은 63분 51초이고 총 작업 사이클은 14사이클, 사이클 당 평균 집재시간은 2분 15초로 나타났다. 요소작업 중 초커 작업의 비중이 가장 높으며, 횡집재작업 시간은 15.3%를 차지한다. 설치 및 철수 작업은 각각 65분 54초, 32분 19초로 집재구역이 계곡부위로 지주목까지의 가선설치가 쉽지 않아 설치작업 시간이 오래 걸렸으나 철수작업은 설치작업보다 수월하게 진행되었다. 평균 수고는 14.54m, 흉고직경 19.43cm로 평균재적은 0.22m³이다. 시간당 생산갯수는 26.67개, 시간당 생산성은 5.99m³/hr이며 1일 집재재적은 23.94m³/일이다. 상향 집재시 굴삭기의 유류소비량은 1.17l/m³이며, C와 CO₂ 배출량은 각각 0.0098ton, 0.0359ton으로 나타났다.

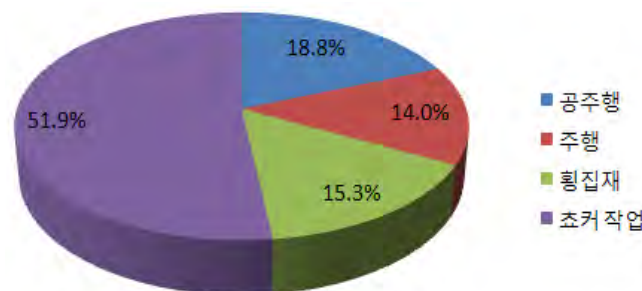


그림 146. 스윙야더 작업구성(리기다, 상향)

(나) 스키더 소운재

스키더에 의한 실 운재작업 시간은 111분 59초이고 총 운재목의 개수는 20개, 총 재적은 2.32m³이다. 짐재목 로딩 작업에 14분 19초가 소요되었으며, 평균 주행시간은 5분 11초로 분석되었다. 스키더의 시간당 생산성은 1.24m³/hr이며 1일 운재재적은 7.46m³/일이다. 상향 짐재시 트랙터의 유류소비량은 6.03l/m³이며, C와 CO₂ 배출량은 각각 0.0098ton, 0.0359ton으로 나타났다.

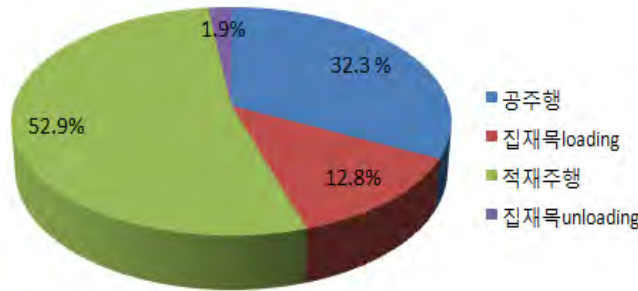


그림 147. 스키더 작업구성(리기다)

(다) 프로세서 조재

프로세서에 의한 실 조재작업 시간은 80분 40초이고 짐재된 전목 및 조재된 원목의 정리 작업에 61분 37초가 소요되었다. 작업원의 운전 미숙 및 한정된 공간의 토장에서 계속적인 작업으로 인하여 원목 정리 시간이 많이 걸린 것으로 나타났다. 총 조재목의 재적은 2.27m³이다. 시간당 생산성은 1.69m³/hr이며 1일 조재재적은 10.13m³/일이다.

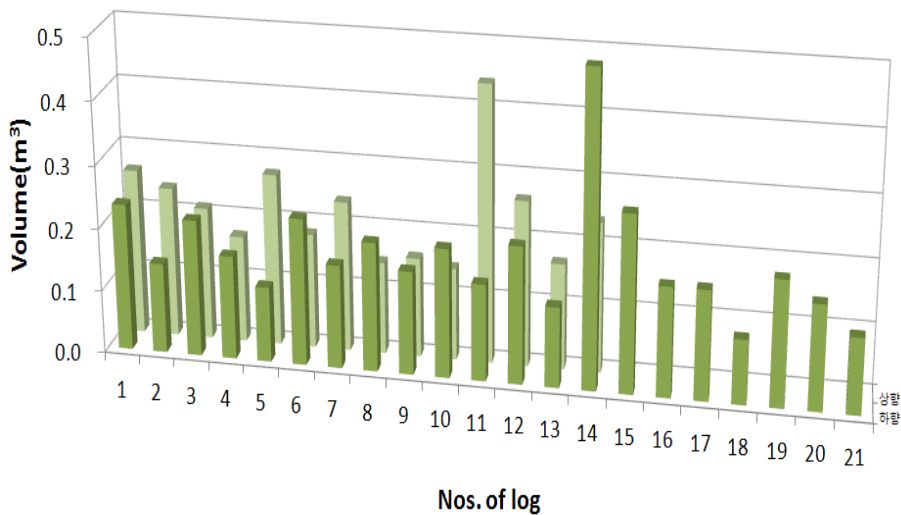


그림 148. 리기다지역 짐재목 재적

다. 낙엽송지역

(1) 하향짐재 시

(가) 스윙야더 집재

스윙야더에 의한 실 집재작업 시간은 59분 42초이고 총 작업 사이클은 12사이클, 사이클 당 평균 집재시간은 2분 10초로 나타났다. 요소작업 중 초커 작업의 비중이 가장 높으며, 횡집재작업 시간은 6.3%를 차지한다. 설치 및 철수 작업은 각각 31분 40초, 27분 14초로 비교적 완경사지로 30분 내외에 작업이 이루어졌다. 집재목의 평균 수고는 13.3m, 흉고직경 15.7cm로 평균재적은 0.3m³이다. 시간당 생산 갯수는 27.69개, 시간당 생산성은 7.31m³/hr이며 1일 집재재적은 29.27m³/일이다. 상향 집재시 굴삭기의 유류소비량은 2.06l/m³이며, C와 CO₂ 배출량은 각각 0.0126ton, 0.462ton으로 나타났다.

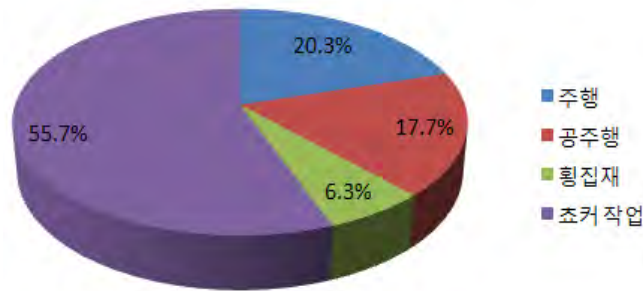


그림 149. 스윙야더 작업구성(낙엽송, 하향)

(나) 스키더 소운재

스키더에 의한 실 운재작업 시간은 56분 6초이고 총 운재목의 개수는 12개, 총 재적은 3.60m³이다. 낙엽송 작업지는 임도변에 집재장과 토장이 설치되었으며 두 작업장의 거리가 짧아 집재된 나무를 바로바로 토장까지 소운재작업이 이루어졌다. 또한 집재목의 언로딩 시 출발과 연속동작으로 이루어져 시간이 단축되었다. 시간당 생산성은 3.85m³/hr이며 1일 운재재적은 23.10m³/일이다. 하향 집재시 트랙터의 유류소비량은 7.32l/m³이며, C와 CO₂ 배출량은 각각 0.0119ton, 0.0436ton으로 나타났다.

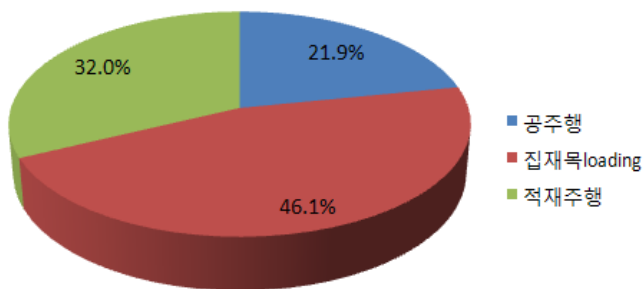


그림 150. 스키더 작업구성(낙엽송)

(다) 프로세서 조재

프로세서에 의한 실 조재작업 시간은 49분 20초이고 조재목의 평균 말구직경은 12.8cm이며, 조재목 길이는 평균 3.53m으로 총 조재목의 재적은 1.05m³이다. 시간당 생산성은 1.27m³/hr이며 1일 조재재적은 7.63m³/일이다.

(2) 상향집재 시

(가) 스윙야더 집재

스윙야더에 의한 실 집재작업 시간은 63분 4초이고 총 작업 사이클은 24사이클, 사이클당 평균 집재시간은 2분 30초로 나타났다. 요소작업 중 초커 작업의 비중이 가장 높으며, 횡집재 작업 시간은 6.7%를 차지한다. 설치 및 철수 작업은 각각 43분 53초, 37분 31초가 소요되었다. 집재목의 평균 수고는 14.0m, 흉고직경 14.5cm로 평균재적은 0.22m³이다. 시간당 생산 갯수는 24개, 시간당 생산성은 6.34m³/hr이며 1일 집재재적은 25.37m³/일이다. 상향 집재시 굴삭기의 유류소비량은 0.83l/m³이며, C와 CO₂ 배출량은 각각 0.0035ton, 0.0128ton으로 나타났다.

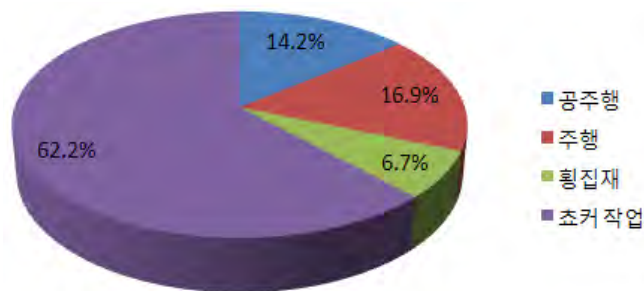


그림 151. 스윙야더 작업구성(낙엽송, 하향)

(나) 스키더 소운재

스키더에 의한 실 운재작업 시간은 64분 49초이고 총 운재목의 개수는 24개, 총 재적은 4.45m³이다. 시간당 생산성은 4.12m³/hr이며 1일 운재재적은 24.72m³/일로 생산성이 높게 나타났다. 집재목 로딩 작업에 38분 34초가 소요되었으며, 평균 주행시간은 1분 1초로 분석되었다. 하향 집재시 트랙터의 유류소비량은 2.92l/m³이며, C와 CO₂ 배출량은 각각 0.0091ton, 0.0334ton으로 나타났다.

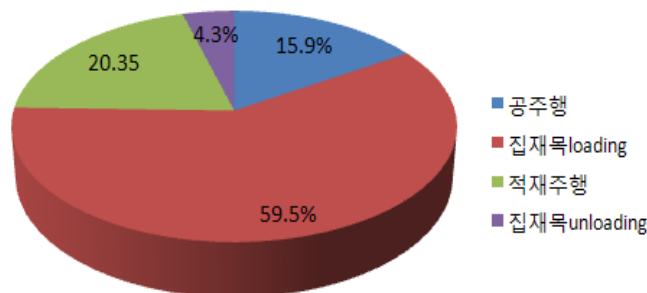


그림 152. 스키더 작업구성

(다) 프로세서 조재

프로세서에 의한 실 조재작업 시간은 87분 37초이고 총 조재목의 재적은 3.48m³이다. 시간당 생산성은 2.38m³/hr이며 1일 생산성은 14.30m³/일이다. 토장에서의 정리 작업 없이 연속적인 조재작업이 이루어져 생산성이 높게 나타났다.

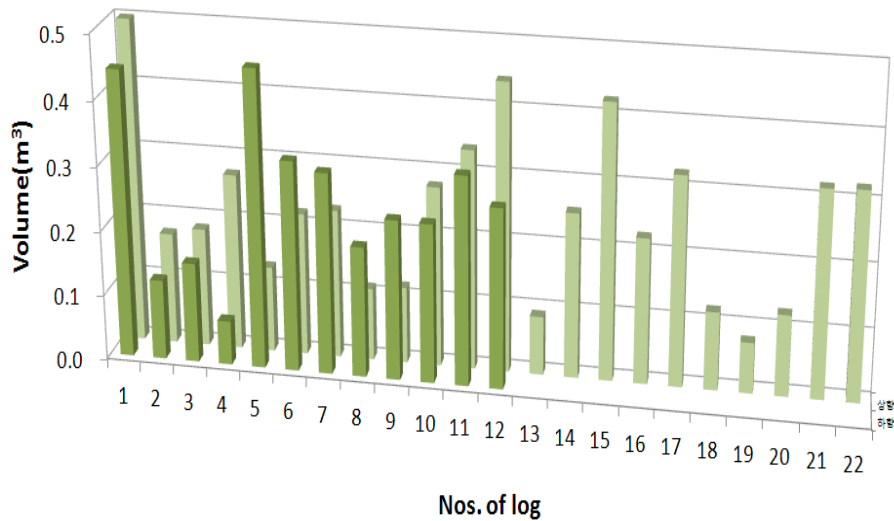


그림 153. 낙엽송지역 집재목 재적

라. 노동생산성 분석

스윙야더+스키더+프로세서에 의한 전목수확시스템을 적용하여 잣나무, 리기다소나무, 낙엽송 지역에 각각 하향집재, 상향집재를 실시한 결과 노동생산성은 표 23과 같이 나타났다.

표 23. 스윙야더+스키더+프로세서 작업 노동생산성

	하향		상향	
	m³/hr	m³/일	m³/hr	m³/일
잣나무	0.46	2.78	0.72	4.31
리기다소나무	0.75	4.48	0.64	3.83
낙엽송	0.84	5.07	1.22	7.31

최초 전목수확시스템 작업지인 잣나무 지역에서는 작업원들의 기계작업이 숙련되지 않아 다른 작업지에 비하여 생산성이 낮았지만 1일 평균 생산성이 3.55m³/일로 기존 목재수확시스템과 비슷한 결과를 나타냈다. 낙엽송 지역은 집재장과 토장의 거리가 가깝고 임도 변에 위치하고 있어 집재된 전목재의 스키더, 프로세서 작업이 바로바로 이루어져 1일 평균 생산성이 6.19m³/일로 높게 나타났다.

2. 경사지 농업에서의 적용가능성

경사지를 대상으로하는 목재수확과 농업에서의 경지로 활용하는 문제는 경사지의 지형적인 조건보다는 사회 경제적인 측면에서 결정되어야 할 문제이다. 다시 말하면 경사지에서의 임업은 기본적인 작업이 경사지이기 때문에 관계없지만 농업은 지역 인구에 비하여 농업생산을 위한 평야지의 경지가 충분하지 못한 지역에서 실현될 수 있는 것이다. 인구가 고밀한 지역인 서구의 스위스나 오스트리아 등지에서 경사지 농업이 발달된 것도 농업생산을 위한 평지가 절대적으로 부족하기 때문이라고 할 수 있다. 최근 우리나라는 공업 분야의 발달로 인하여 많은 농경지가 각종 공업시설 부지 혹은 주택지로서 전용되고 있으며 개간 및 간척사업으로 조성되는

농지 면적도 공업부지로 전용되는 면적을 따르지 못하여 연간 약 10천ha의 농경지가 감소되고 있는 실정이다. 또한 도시근교에서는 영농조건이 악화되어 농경지의 휴경화 현상이 나타나고 있다. 결과적으로 농업생산을 위한 농경지의 부족현상이 심화되고 있으며, 경사지 활용에 대한 사회 경제적인 여건이 성숙되고 있다고 하겠다.

경사지 활용은 이러한 사회 경제적인 여건과 더불어 경사지의 토성, 기후조건 및 기계화를 위한 농업기계의 활용 여부에 의하여 그 정도가 결정된다. 따라서 경사지의 경지화는 지역적인 여건에 따라 적절하게 추진될 수밖에 없으며, 기계화는 경사지의 활용도를 결정하는 중요한 요인이 된다고 하겠다. 동구의 헝가리는 경사지의 30~40%를 농경지로 이용하고 있음에 비하여 오스트리아는 50~60%를 이용하고 있음은 경사지 활용에 대한 지역적 여건의 종합적인 결과라고 하겠다.

가. 경사지 기계화의 의의

경사지의 잠재적인 농업생산 능력은 평야지에 비하여 크게 떨어지지 않는다. 경제작목의 선택, 지력향상, 효율적인 작업을 통하여 경사지가 가진 잠재력을 극대화할 수 있다. 그러나 경사지에서의 농작업은 평야지 작업에 비하여 노동생산성이 낮고 많은 에너지가 소모된다. 또 작업 방법에 있어서도, 작업의 안전성을 높이고 표토의 유실을 방지하기 위해서는 많은 제약을 받게 된다(김경옥, 1987). 경사지 농업에서 이러한 저노동력 생산성은 경사지의 활용을 억제하는 요인으로 작용하게 된다. 따라서 경사지의 활용을 촉진하기 위해서는 노동생산성을 향상시킬 수 있는 대책이 요구되며 기계화는 이러한 목적으로 고려되어야 한다. 결국 경사지 농업의 기계화는 경사지의 잠재적인 농업생산 능력을 극대화 하는 방안으로서 노동생산성을 제고하기 위한 것으로 보아야 할 것이다. 또한 기계화는 경사지의 활용 정도를 결정하는 중요한 요인이 된다는 것은 이미 언급한 바와 같다. 특히 경사지에서 주로사용하는 임업기계의 경우 경사지농업의 기계화에 충분히 적용할 가능성이 매우 크다.

나. 경사지의 기계화

(1) 경사지의 분류

경사지는 지면의 경사도에 따라 분류할 수 있다. 경사도란 수평면에 대한 지면의 기울기로써 도(°)혹은 %로서 표시되며, 동일한 경사지역이라 하더라도 부분적으로는 경사도의 변화가 존재하므로 실제적으로는 평균적인 의미로 사용된다.

경사도에 따라 경사지를 분류하면 일반적으로 0~5°를 평탄지, 5~15°를 완경사지, 15~20°를 급경사지, 25° 이상을 급준 경사지로 분류하지만 일정한 분류기준이 없고, 국가에 따라, 혹은 분류목적이나 경사지의 이용목적에 따라 변의로 분류하고 있다. 예를 들면 경사지의 활용의 저조한 독일에서는 약 11°(20%)까지를 완경사지로 분류하는데 비하여 경사지의 활용이 높은 오스트리아에서는 11°(20%)까지를 평지, 11~22°(20~40%)를 완경사지, 22~35°(40~70%)를 중경사지, 35°(70%) 이상을 급경사지로 분류하고 있다.

우리나라에서는 0~4°(0~7%)를 평탄지 혹은 매우 약한 경사지, 4~8.5°(7~15%)를 약한 경사지, 8.5~16.7°(15~30%)를 경사지, 16.7~40°(30~60%)를 심한 경사지, 40°(60%) 이상을 매우 심한 경사지로 분류하여 지목의 적성등급을 결정하는 기준으로 이용하고 있다. 즉 논·밭은

1°(2%)까지, 과수지는 4°(7%)까지, 초지는 8.5°(15%)까지를 1급지로 분류하고 있다. 그림 154는 경사지에 따른 경사지의 분류와 지목별 적성등급을 나타낸 것이다. 기계화의 관점에서 경사지를 분류하면 기계사용이 제한되는 정도에 따라 평지, 완경사지, 경사지, 급경사지로 분류할 수 있다.

지 목	경사지 구분	평탄 Level	매우약한경사 Gentle slope	약한경사 Slope	경사 Moderate steep	심한경사 Steep	매우심한경사 Very steep
		경사도	1.15 2	4 7	8.15 15	16.7 30	40 60
답토		1	2	3	4		
전토		1	2	3	4		
과수 및 상전토		1		2	3	4	
초지토		1			2	3, 4	
임지토		1				2, 3	4

* 숫자는 등급을 나타낸다.

그림 154. 경사지 분류와 지목의 적성등급

일반적으로 평지용 기계가 제한 없이 사용될 수 있는 경사도는 1~2°까지이며, 경사지전용 기계라 하더라도 안전하게 작업할 수 있는 최대경사도는 20° 전후이다. 표 24는 기계화를 고려한 경사지의 분류와 각 경사지별 기계사용상의 특징을 나타낸 것이다. 그러나 임업기계의 경우 매우 급준한 지역에서의 목재생산도 고려되기 때문에 이러한 부분을 작업이 아닌 자재운반 등의 작업에 응용한다면 매우 큰 성과를 얻을 수도 있다.

(2) 경사지의 이용현황과 기계화 가능면적

우리나라의 경지는 대부분 1° 이상의 경사지에 해당하며 1° 이하의 평탄지에 해당되는 면적은 전경지 면적의 약 15.5%에 불과하다. 평탄지의 83%는 답토로서 평탄지의 대부분을 답토가 차지하고 있으며 주로 전토, 과수지, 상전지, 초지, 임지 등으로 이용되고 있다.

표 24. 기계화에 의한 경사지 분류

분류	경사도	특징
평지(plain)	1~2°	기계사용이 전혀 제한을 받지 않는다.
완경사지(gentle slope)	2~9°	기계는 특별한 조건에서만 사용될 수 있으며, 기계의 성능을 높이기 위하여 특별한 장치가 필요하다.
경사지(medium slope)	9~20°	경사지용 기계만이 사용 될 수 있다.
급경사지(steep slope)	20° 이상	기계사용이 불가능하다.

지목별로는 전토가 1° 이상 경사지의 약 22%로, 임지가 50%로서 대부분의 경사지를 차지하고 있으며, 과수·상전토 및 초지는 약 5%정도이다. 경사도별로 보면 전토는 대체로 6°까지, 과수지는 11°까지, 11° 이상의 경사지는 초지 혹은 임지로 이용되는 것이 보편적이나, 우리나라에서는 전토의 약 70%가 1~9°의 경사지이며, 과수·상전지는 83%가 1~17°, 초지는 85%가 1~17°의 경사지에 해당된다. 즉 우리나라에서 직접 농업생산에 이용되고 있는 경사지는 대부분 전토, 과수지, 초지로서 17°까지의 경사도에 해당된다고 할 수 있다.

(3) 경사지용 기계의 특징과 설계방향

경사지용기계는 경사지라고 하는 불리한 지형조건에서 사용되므로, 충분한 견인력, 높은 작업능률과 작업정도 등 평지에서 요구되는 일반적인 농업기계의 특성에 추가하여 특히 높은 안정성이 요구된다. 즉 경사지용기계는 평지용 기계와 비교하여 작업능률과 작업정도가 떨어지지 않고 안정성이 높아야 한다.

이러한 경사지용 기계가 갖추어야 할 구조상 특징을 평지용 기계와 비교하여 검토하여 본다.

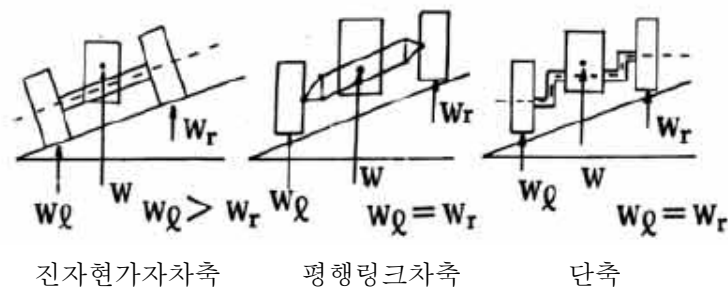


그림 155. 자세 조정용 차축

(가) 힘전도를 방지하기 위하여

- ① 기계의 중심을 최대한 낮춘다. 즉 기계의 하부에서 중량분포가 크도록 하고 차륜의 직경을 작게 한다.
- ② 차륜의 폭을 크게 한다.
- ③ 기계가 받는 충격을 완화하기 위하여 차륜의 현가장치를 설치하며, 타이어는 저압타이어를 이용한다.
- ④ 급경사지용 기계에는 단축이나 평행링크차축을 설치하여 기계의 자세를 조정할 수 있도록 한다. 기계의 자세를 조정할 수 있는 차축에서는 그림 155에서와 같이 진자현가차축(pendulum suspension axle), 평행링크차축(parallelogram rear axle), 단축이 있다. 자세조정용 차축은 경사도에 관계없이 차체를 항상 수직상태로 유지할 수 있으며, 차우 차륜 작용하는 토양반력을 같게 함으로써 차륜이 미끄러지는 것을 방지하고 견인력을 증가시킬 수 있다.

(나) 후방전도를 방지하기 위하여

- ① 기계의 중심을 최대한 낮춘다.

- ② 전륜 후방의 분담하중을 같게 한다.
- ③ 4륜구동 등과 같이 다륜구동 방식을 택한다.

(다) 전도시의 안전을 위하여

- ① 안전프레임, 전도보호장치 (ROPS)등을 설치하여 기체가 전도되었을 때 굴러가지 않도록 한다.
- ② 이상 엔진정지선(life line)을 설치하여 기체가 전도되었을 때 엔진을 정지할 수 있도록 한다.

(라) 등판성능을 높이기 위하여

- ① 기체의 중량을 작게 하고 구동륜 중량을 크게 하여 견인력을 얻는다.
- ② 케도형 혹은 다륜구동형 주행장치를 택한다.
- ③ 구름 저항이 작은 타이어를 이용한다.
- ④ 접지면적이 크고 러그를 가진 타이어를 사용하여 미끄럼을 방지한다.

(마) 조향 및 운전 능률을 높이기 위하여

- ① 선회반경을 작게 한다.
- ② 조향 브레이크를 설치한다.
- ③ 조향 차륜의 중량을 작게 한다.
- ④ 중간거리를 단축한다.
- ⑤ 운전자가 기체의 전후, 하부를 쉽게 관찰할 수 있도록 시야를 좋게 한다.

(바) 토양 다짐을 최소화하기 위하여

- ① 광폭 타이어를 사용한다.
- ② 케도형이나 다륜구동식 주행장치를 택한다.

(사) 작업기 부착방식

- ① 기계의 전후방에 작업기를 부착할 수 있도록 한다.
- ② 견인형 작업기에는 지지륜을 부착하여 안정성을 높인다.

경사지용 기계에서 요구되는 이와 같은 구조적인 특징을 모두 만족할 수 있는 기계는 없다. 어떤 조건은 다른 조건과 서로 대립되기 때문이다. 이를테면 안정성을 높이기 위하여 차륜을 작게 하고 기계의 지상고를 낮추어야 하지만, 작물에 손상을 주지 않고 장애물과 충돌을 방지하려면 기체의 지상고를 높여야 한다. 결국 기계는 주어진 지형조건과 작업 목적에 따라서 적절하게 설계되어야 한다.

다. 경사지 기계화의 문제점과 대책

노동생산성의 향상, 작업능률의 증대, 안전작업 등 경사지 기계화가 지향하는 목표를 성공적으로 달성하기 위해서는 기계화를 위한 제반 여건이 함께 성숙되어야 한다. 경사지 기계화는 경사지라고 하는 분리한 지형적인 조건 때문에 평지의 기계화에 비하여 경사지용 기계개발 안

전대책 등 새로운 여건이 확립되지 않았다. 우리나라에서와 같이 아직 경사지 농업이 활성화되어 있지 않고, 기계화가 시작 단계에 있는 상태에서, 이러한 여건들은 경사지 기계화를 위하여 선결되어야 할 과제라 할 수 있다. 선결 과제의 하나로서 기반조성과 경사지용 기계개발에 대한 문제점과 그 대책을 살펴본다.

(1) 기반조성

우리나라의 경사 경지는 대체로 단위 경작면적이 작기 때문에 기계화 작업을 효율적으로 수행하기 어렵다. 또 경작형태에 있어서도 대단위 경작보다는 다양한 작목을 소량으로 재배하는 형태가 많기 때문에 기계화의 측면에서는 비효율적인 경작 형태가 많다. 지형적인 조건에서도 경사도가 균일않고 동일한 경사지역 내에서도 부분적으로 경사도의 변화가 심하며 경도심이 얇고 표토의 유실이 심하다. 이와 같이 불리한 경사도 농업의 경작형태나 지형적인 여건을 기계화에 적합한 상태로 전환하지 않고서는 기계화의 효과를 얻을 수 없다.

우선 경사 경지를 일정한 면적을 구획정리하여 경사도가 균일 하도록 정지 하여야 한다. 경사가 심한 경우에는 계단식 경지로 전환하고, 기계 진입을 위한 농로와 표토의 유실을 방지하기 위한 배수로 등을 설치하여야 한다. 최근 정부에서 추진하고 있는 산지개발사업이나 밭작물기초조성사업도 기계화를 전후로 설계되고 시공되어야 한다.

기계화에 적합한 경작형태는 동일한 작물을 집단 재배하는 단지재배형태라고 할 수 있다. 다양한 작업기가 개발되어 공급되기까지는 작목 변화에서 오는 노동 피크기의 형성을 되도록 억제하여야 한다. 따라서 지역에 따라 적합한 작목이 선택되고 작부체계가 확립되어 기계개발에 필요한 정보가 제공되어야 하며 혹은 개발된 기계가 효과적으로 이용될 수 있는 작부체계가 연구되어야 한다. 경사지의 재정비, 작부체계의 확립은 경사지 기계화를 위한 기본 조건이라 할 수 있다.

(2) 경사지용 기계의 개발

평지용 기계의 경사지 이용은 기종에 따라 차이가 있으나 일정한 한계가 있기 때문에 경사지 기계화를 위해서는 경사지 전용 기계의 개발은 불가피 하다. 경사지 전용 기계는 평지용 기계에 비하여 특히 안정성이 높고, 경사도 판별장치가 구비되어야 하며, 견인성능을 높이기 위한 다륜구동, 저 중심식 기계가 요구된다. 최근 4륜구동 트랙터가 생산되어 트랙터의 경사지 적응성이 향상되었으나, 경지 기계화에 주력하여온 우리나라에서는 아직 경사지 전용 기계의 개발은 전무한 실정이다.

경사지용 기계개발을 위한 연구로서는 우선 현재 사용되고 있는 경지용 기계에 대한 경사지 적응성이 규명되어야 한다. 이러한 결과를 기초로 하여 경사지 적응성을 높이기 위한 설계 및 기술적인 검토가 이루어져야 하고 필요한 경우에는 경사지 적응성 향상을 위한 부착장치가 개발되어야 한다. 또 외국의 경사지 전용 기계를 도입하여 국내의 지경여건에서 적응성을 검토하고 그 결과를 전용기 여건에 이용하여야 한다. 그러나 경사지용 기계는 설계상의 특수만을 부여함으로써 이루어질 수는 없는 것이며, 작목, 재배방식, 작업 목적 등에 따라서 적절하게 설계되어야 한다. 즉 작목에 따라 기계의 요구조건이 상이하므로 다양한 전용기가 개발되어야 한다.

경사지용 기계는 안전장치 및 특수한 기능을 수행할 수 있는 장치가 추가적으로 부착되어야 하므로 평지용 기계에 비하여 생산원가가 높아질 수 있다. 또 우리나라의 경사도 작업형태

에서 단일작물의 대단위 단지조성이 어려운 실정임을 감안하면, 단일기종의 대량생산보다는 소량의 다 기종 생산체제를 구축하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 이러한 점에서 경사지용 기계개발에 대한 정부 차원의 지원이 요구된다.

기계의 이용 면에서도 모든 농업기계에는 안전작업한계를 표시하여 무리한 이용에서 야기되는 안전사고를 방지하여야 한다. 또 안전이용, 작업기 부착방법, 등에 대한 훈련을 강화하여 경사지에서 기계이용을 극대화하여야 한다. 또한 임업용 장비를 이용한 자재의 운반이나 굴삭기 베이스의 농작업기는 충분히 경사지 농업에서도 가능성이 있을 것으로 판단된다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

연도	세부연구개발 목표	목표달성도	관련분야 기여도
2009	자동 장력 조절형 집재원치의 설계 및 시작품 제작	100%	자동장력 조절형 집재원치의 설계 및 제작으로 임지잔재 자원화 사업에 활용할 수 있으며 기존 집재작업보다 생산성 향상시킴.
	장력 조절형 집재 원치의 유압제어 시스템 설계·제작	100%	유압제어 시스템을 설계·제작하여 관련 임업기계의 유압제어기술 및 유압설계기술을 발전시킴.
	자동 장력 조절형 집재원치의 성능평가	100%	자동 장력 조절형 집재원치가 현장에 투입되어 전목집재로 인한 바이오매스 발전 분야에서의 원료공급 가능성을 열었음.
2011	자주식 무선조정 목재반송기의 설계 및 시작품 제작	100%	자주식 무선조정 목재반송기를 제작함으로써 중경목 이하 소경목의 집재작업에 이용되어 현장의 활용성을 높일 수 있음.
	자주식 무선조정 목재반송기의 제어시스템 설계·제작 및 시험	100%	무선 통신에 의한 무선조정 및 제어방식을 임업기계분야에서 실용화시킴으로써 관련분야 기술발전에 이바지 함.
	자주식 무선조정 목재반송기의 성능평가	100%	무선조정 목재반송기의 현장에서의 집재작업을 통해 성능을 평가하고, 현장에서의 적용성을 한층 강화함.
3차년도	자주식 무선조정 목재반송기를 이용한 작업시스템 개발 및 평가	100%	개발된 장비와 스키더, 프로세서 조합의 작업시스템을 실시하여 기존의 방법보다 우수한 시스템임을 입증함.
	무선조정식 초커 설계제작	100%	무선조정식 초커의 제반지식 습득으로 고효율 저비용의 신기술 적용가능성을 기대하게 함.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

- 현재의 시작기를 생산성 있고 규모 있게 만들어 현재 국내의 부족한 에너지용 바이오매스 생산 현장에 투입하는 연구를 추가적으로 수행하는 것이 3년 연구결과의 현장적용이 되는 길이라고 판단됨.
- 국내의 임업기계 시장규모 상 중소기업이나 대기업에서 기술개발에 투자 상황이 근본적으로 되지 못하나 향후 바이오에너지 시장의 확대와 더불어 바이오 에너지의 원료를 지속적으로 저비용에 공급 가능케 하는 키 역할을 할 수 있는 임업기계시장은 확대 될 것으로 보여 국가주도의 기술개발이 더욱더 활발하게 이루어져야 하기 때문임.
- 현재 산림청에서 역점적으로 추진하는 목재펠릿 사업을 보면 2012년 현재 구산재로 40만 톤을 생산하게 계획되어 있으나 원료생산기반의 부족과 원료생산을 저비용으로 할 수 있는 임업기계의 보급이 아직도 부족한 상황임. 이에 산림청에서는 부족한 생산기반 확대를 위해 임업기계장비의 보급예산을 확충하고 부족한 원료를 추가적으로 확보하기 위해 바이오순환림, 목재에너지림을 조성하고 있음. 이러한 분야에도 본 연구에서 개발한 자동장력 조절형 집재원치의 효과적인 사용이 기대됨.
- 앞서 언급한 바와 같이 위축된 임업기계시장은 현재 바이오매스 에너지 시장이 확대됨으로 인해 자연스럽게 확대 성장할 것으로 판단되어 기술이전을 희망하는 기업이 연구기간 중에도 있었음. 이러한 시점에서 본 연구개발을 통해 개발된 장비와 시스템을 현재의 전 목집재 시범사업과 임지잔재 자원화 시범사업과 연계 하여 시범적으로 각 지방청 현장에 보급하여 실연회 및 현장 토론회를 통해 관련기업의 관심유도 및 임업기계분야의 활성화를 도모한다면 기업화하는 것은 시간문제일 것으로 판단됨.
- 또한 기업화의 걸림돌인 자본금 문제를 해결하기 위해 현행 산림조합을 통해 지원하는 대출금을 현실화 하여 고성능 임업기계의 개발 및 생산이 기업을 통해 주도되도록 유도하는 것이 기업화를 추진하는 가장 좋은 방법일 것임. 단순히 기계제작만을 기술 이전하여 기업화하는 것 보다는 관련정책의 확대 및 내실화를 도모하여 기업들이 앞 다투어 임업기계 분야로 관심을 돌리 수 있도록 하는 것이 중요함.
- 현재 출원중인 기술이외에 추가로 특허출원신청 예정이며 보고서 제출 후 정리된 내용을 기반으로 논문투고(한국임학회지, 바이오시스템공학회지) 예정임.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 스윙야더에 의한 간벌재 생산 시스템

1. 서론

스윙야더에 의한 간벌재 생산 시스템의 적용사례를 통해 생산성과 목재수확작업의 유용성을 고찰하기 위해 일본 도쿠시마현의 사례를 문헌을 통해 고찰한 결과를 제시하고자 한다.

일본 도쿠시마현에서는 1999년도부터 5년 동안 29,600ha의 간벌을 실시하는 [긴급 간벌 추진 계획]을 시행하였는데 간벌재는 목재 가격의 침체에 의한 목재 생산과 관련된 채산성의 악화로 인해 간벌되어도 반출되지 않고 임내에 방치되어있는 상황이었다. 이러한 간벌재를 반출하여 유효하게 이용하기 위해서는 고성능 임업기계를 사용한 간벌재 생산량의 증대와 효율화가 필요하다. 이 역의 고성능 임업기계의 도입 상황을 보면, 표 25처럼 1993년~2001년까지의 도입 실적은 27대가 되고 있다.

표 25. 도쿠시마현의 고성능 임업기계 연도별 도입 대수

(단위 : 대수)

도입연도 기계종류	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001 (속보치)	합계
프로세서	3	2	1	2	1	4	1	1		15
타워야더			1	1	1	1				4
스윙야더					1				2	3
포워더					1	1	1	1		4
하베스터				1						1
계	3	2	2	4	3	7	2	2	2	27

앞으로 이러한 기계를 효율적으로 이용하여 생산 효율을 향상시키기 위해서는 어디서, 누가, 어떻게 간벌재를 반출할까를 염두에 두고 현장의 상황에 따른 합리적인 생산 시스템을 구축·보급해 나가지 않으면 안 된다. 이번 열상간벌에 의한 벌도, 스윙야더에 의한 전목 집재를 하고, 프로세서로 조재하는 생산 시스템의 현지조사를 실시하여 사례로 보고한 것을 정리하였다.

2. 조사지의 내용

가. 조사지의 개요

- 조사 장소 : 해부군 해남
- 수종 : 삼나무, 임령 : 42년생
- 시업 개소 : 약 0.5ha, 지황 : 남향 경사면

나. 간벌(벌목) 방법

- 간벌방법 : 열상간벌(4존 4벌-열폭 약 8m, 2존 2벌-열폭 약 4m), 본수간벌율 약 50%,
- 간벌목 본수 : 257개, 평균흉고직경 : 23.5cm, 평균수고 : 16.6m

- 벌채 일시 : 2001년 12월 12일~13일(2일간), 작업 인원수 : 4명

다. 목재생산에 사용한 기계와 인원

- 집재 작업용 기계 : 스윙야더(굴삭기 탑재형 미니 타워야더 南星 DW-25)
- 조재 작업용 등 기계 : 프로세서(그레플 프로세서 이와후지 GPi-40A)
- 집재 및 조재 작업에 투입 인원수 : 스윙야더 오퍼레이터 1명, 초커맨(임내) 2명, 초커맨(스윙야더) 1명, 프로세서 오퍼레이터 1명 합계 5명
- 집재 및 조재 조사일 : 2001년 3월 11일~12일
- 그림 156과 157은 스윙야더와 프로세서의 작업 상황 등을 나타낸다.



그림 156. 열상간벌과 스윙야더에 의한 집재작업



그림 157. 스윙야더와 프로세서에 의한 조재작업

3. 생산 시스템의 조사 결과

가. 스윙야더 작업 공정별 집재 능력

다음은 스윙야더의 작업을 공정별, 요소 작업별로 분석하여 표준적인 집재 사이클을 요구했다. 이번의 집재 견인 방법은 (1) 단선에 의한 지면끌기 집재 (2) 러닝 스카이라인 방식으로 시행하였다. 견인 방법은 집재 거리나 산의 경사각 등을 감안하여 오퍼레이터(가선 등의 집재 경험이 풍부)의 판단에 의해 선택하였다. 따라서 이 2종류의 집재를 합한 공정 결과를 표 26에 나타냈다. 표준적인 1사이클 시간을 구하고 견인 시간에 관해서는 반출된 전간재적별로 공정 시간을 분석하여 이 결과를 1사이클 평균전간재적 0.6m³ (다른 공정 조건에 맞추기 위해)으로 바꿔서 반출 거리별로 공정 시간을 산출했다. 그림 158을 기본으로 표준적인 스윙야더의 생산성을 산출했다.

표 26. 스윙야더의 평균집재 사이클 시간

집재공정항목	집재거리		
	0~20m	20~40m	40~60m
공주행 시간	0:01:01	1:01:28	0:01:01
초커 설치시간	0:00:20		
주행 시간	0:01:46	0:02:18	0:02:57
초커 해체시간	0:00:20		
계	0'03:27	0:04:26	0:05:28
↓			
1사이클(채적0.6m ³)당 시간	3분 30초	4분 30초	5분 30초

반출 거리 60m이내에서 1사이클(전간재적 0.6m³) 당 평균 시간을 4분 30초로 했다. 1일 반출 회수를 51회(2일째의 집재 시간 4시간 32분의 사이클 회수를 선택)로 하면 반출 채적(전간재적)은 0.6m³×51회 = 30.6m³/일(참고 : 2일째의 추정전간 38.43m³)이다. 스윙야더에 관한 작업 인원수는 4명이므로 1인당 반출 채적(전간재적)은 7.65m³/일이 되었다.

나. 스윙야더에 의한 집재 작업의 정리

위의 조사 결과에서 스윙야더에 의한 집재 작업의 특징을 다음과 같이 나타내었다.

- (1) 기계의 가설 철거가 간단하고 쉬운 집재 견인 방법으로 열에서 열까지의 이동 시간(평균 약6분)이 적다.
- (2) 기계 본체가 이동하거나 암을 흔들어서 임도등의 평지로 목재를 내리는 것으로, 짐내림이 안정적이다. 다음의 프로세서로 조재 작업을 원활히 실시할 수 있다.
- (3) 하이리드(지면끌기)를 선택할 때 그루터기 등의 장애물에 대해 암을 흔드는 것으로 원활한 집재 작업을 실시할 수 있다.
- (4) 백호우 자체의 자중으로 예비 줄이 거의 필요 없다.

다. 프로세서의 조재 능력 분석

프로세서의 오퍼레이터는 경험 연수 10년의 숙련자로 목재를 잡고 조재, 정리하는 원활한 작업을 하였다. 여기에서는 조사 대상목 전체 163개 중에 흉고직경이 확인된 98개를 조사 대상

으로 했다. 조재된 전목 98개를 입목 재적으로 환산한 수치는 37.63m³이 되고, 제재 후에 측정
한 이용 재적이 19.92m³(이용 재적율 53%)였다. 지형, 조건 등에 의해 다르지만 반출된 전목의
대부분은 40% 정도는 밑부분의 구루러짐이 현저한 나무로 밑부분에서 1~3m 정도는 이용되지
않으므로 이용 재적이 저하했다고 추측된다. 2일간 조사한 조재 대상목 163개의 이용 재적은 1
일째가 12.6m³(실작업시간 4시간 25분), 2일째가 20.37m³(실작업 시간 6시간), 합계 32.97m³이었
다. 이것으로부터 2일째의 데이터에서 프로세서의 1일 능력을 추정하면 이용 재적으로 20m³,
추정전간재적 $20\text{m}^3 \div 0.53 = 37.7\text{m}^3$ 이다. 또한 프로세서에 의한 제재 작업에 관련된 작업 인원수는
1명이므로, 1인당 이용 재적은 20m³/일, 추정전간재적 37.7m³/일이었다. 또한 프로세서 가동은
제재 작업 이외에도 2t트럭으로의 목재 적입작업이나 제재 통나무를 계측하기 위한 여분의 정
리 작업이 포함되어 있다.

라. 프로세서에 의한 제재 작업의 정리

제재 작업은 제재용 톨러의 회전을 이용한 측척 및 가지치기 작업과 유압식 chain saw로
하는 절단기구에 의한 거단작업으로 구성된다. 따라서 이번 조사 시의 제재 작업상의 유의점을
다음과 같이 나타냈다.

- (1) 가지의 저항이 큰 경우는 선회나 송재에 의한 관성을 이용한다. 또한 가지치기를 먼저
한 후에 측척, 조재작업을 실시한다.
- (2) 지름의 큰 목재나 휘어짐이 심한 목재를 조재하는 경우에는 제재 길이를 적당히 체크
하여 전기톱에 의한 제재도 병용한다. 이번에는 오퍼레이터가 목측으로 말구직경 16~
20cm 정도의 통나무(통칭적 치수)는 길이 3m, 그 외는 길이 4m로 제재하였다.
- (3) 가끔 오퍼레이터가 목재의 곡선을 판단할 수 있도록 전면에서 목재를 직각으로 하여
확인 작업을 실시했다. 또한 비교적 큰 지름의 목재는 톱으로 자르는 위치를 낮게 하
여 목재의 갈라짐을 방지했다.
- (4) 가지치기에 의해 발생하는 가지 등은 그래플로 임도 토면에 적당하게 집적하고 노면은
깔끔하게 정리했다.

마. 생산 시스템

집재 및 제재 등의 각 작업 공정 결과를 근거로 하여 각 공정을 효율적으로 묶기 위한 시
스템을 검토했다. 스윙야더와 프로세서의 현장 배치와 재의 흐름을 그림 158에 나타내었다.

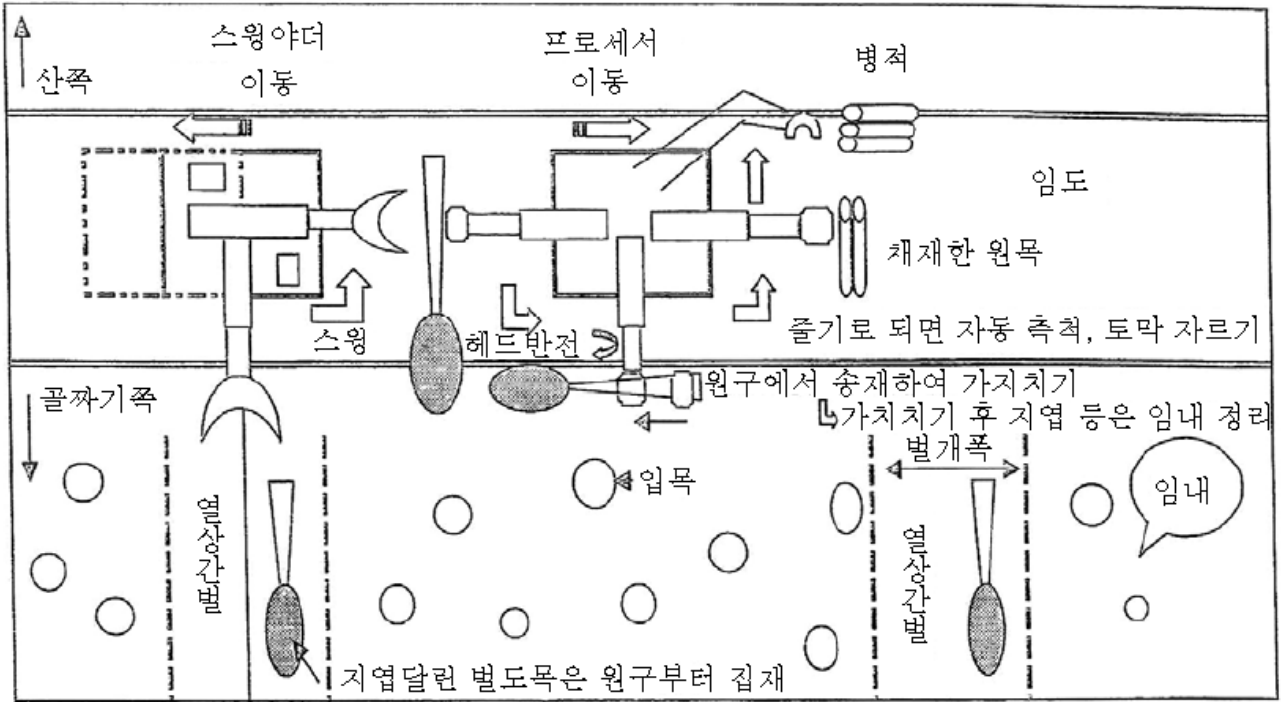


그림 158. 고성능임업기계 배치와 목재의 흐름

이 그림과 같이 효율적 작업을 실시할 수 있는 기계 배치에 의해 원활하게 각 공정의 작업이 실시되었다. 스윙야더 원치에 의해 집재된 목재는 암을 스윙하여 임도의 노면으로 하역된다. 그리고 프로세서가 잡아서 선회하면서 가지치기 실시하여 측척, 조재를 실시한다. 노면에 있는 제재목은 다시 프로세서가 옮겨줘어서 임도 가장자리에 적당히 병렬로 쌓아가는 흐름이다.

이 시스템으로의 포인트는 스윙야더가 이동하거나 암을 스윙하여 임도의 평지로 목재를 옮기는 것으로 집내림이 안정적인 것이다. 또한 산의 경사면까지 밖에 집재 할 수 없는 경우와 달리 집재된 목재가 안정적인 것으로 프로세서가 받아서 넘기기를 원활히 실시할 수 있다. 물론 평지에서의 작업은 효율적이다.

이와 같이 각 생산 공정을 실시하는 기계의 배치, 낭비 없는 목재의 흐름에 의해 생산성의 효율화를 도모할 수 있는 동시에 각 작업을 유효하게 연합함으로써 생산량의 증대를 도모할 수 있다고 생각된다. 이번 간벌재 생산 시스템의 생산성을 정리하면 그림 159와 같다.

타이어	지형	시스템	작업공정				시스템합계
			벌목	나무모으기	집재	조재	
고성능병용급경사지	전목	전기톱	별목분리방식				시스템합계
			스윙야더	프로세서			
조사결과	세트인원	2인	5인			5인	
	생산성		30m ³ /日	20m ³ /日	20m ³ /日		
	노동생산성		7.5m ³ /人·日	20m ³ /人·日	4m ³ /人·日		

그림 159. 스윙야더에 의한 간벌재 시스템의 생산성

이번 조사 결과에 의해 간벌재의 집재로부터 제재까지의 시스템으로서의 생산성은 20m³/일, 노동생산성은 4m³/명·일이었다. 그러나 이 생산 시스템에 있어서의 세트 인원은 최종 3명(스윙야더오퍼레이터 1명+초커맨 1명+프로세서 오퍼레이터 겸 짐내림 1명)까지 합리화가 가능하다고 생각된다. 이 경우 노동 생산성은 6.6m³/명·일이 되어 새로운 생산성의 증대를 기대할 수 있을 것으로 추측된다.

4. 결과 및 고찰

이번 스윙야더에 의한 간벌재 생산 시스템에 관하여 공정 조사를 기본으로 생산 방법의 분석과 생산성을 보고했다. 그 결과 스윙야더에 의한 전목으로 집재하고 프로세서로 제재하는 간벌재 생산 시스템은 1일당 20m³이 생산량이었다.

이 생산 시스템을 유효하게 실시할 수 있는 현장 조건에 대하여 고찰하면 다음과 같다.

- 가. 베이스 머신을 투입할 수 있는 임도와 작업도가 필요함,
- 나. 베이스 머신이 선회하고 작업할 수 있는 장소가 필요하며 교통량이 많은 일반도로에서의 작업은 효율이 나쁘다.
- 다. 임도와 작업도의 진행 방향에 대해서 산, 골짜기 쪽 약 50m정도(원치 권상 능력에 의한 다)의 범위가 집재 가능하다. 다만 임도 등의 산쪽이 높은 경우는 산쪽의 집재 작업은 어렵다. 이상 3개의 현장 조건에 해당하는 간벌 대상 산림을 작업 범위로 생각할 수 있다. 그리고 이러한 조건에 맞는 현장은 당연히 생산성이 높은 산림이다. 이와 같이 생산 범위는 한정되어 있지만 이 생산 시스템은 로망 정비가 진행된 지역에서는 유효한 생산 방법이라고 생각할 수 있다.

제 2 절 기계화 작업에 적합한 간벌방법

1. 시작

일본도 산림의 목재의 생산기능뿐만 아니라 수자원의 함양이나 국토 보전 등의 다면적 기능을 가지고 있으며, 그러한 기능을 고도로 발휘하기 위해서는 산림을 건전한 상태로 육성하는 것이 중요하다고 판단하고 있다. 그러나 최근 장기화된 목재 가격의 침체로 의해 산림 소유자는 간벌을 실시하고자 하나, 생각하는 것처럼 가꿀 수 없는 것이 현실이다. 이러한 상황을 근거로 하여 일본의 각현에서는 2003년도를 [산림소생의원년]으로 정하여 간벌 등의 조림 사업이나 치산 사업의 추진, 방치림 대책 등을 착수하여 산림 정비를 적극적으로 진행하였다.

임업 기술 센터에서는 임야청의 대형 프로젝트 연구 [기계화 작업 시스템에 적합한 산림 시업법의 개발](1997~2000연도)에 참가하여 조금이라도 산을 가꾸어서 우리 지역의 소득을 환원 받을 수 있도록 고성능 임업 기계 등을 사용하여 간벌의 생산성을 향상시키고 비용 저감을 도모하기 위한 간벌방법(열상 간벌이나 어골형상 간벌)에 대하여 연구를 실시했다.

이번 시험 연구의 결과는 일본의 간벌 방법의 현지 적응화의 전망을 세운 것으로 현·시·읍·면은 물론 산림 조합 등 임업 관계 단체나 산림 소유자들에게 널리 이용되어 실효성이 있는 간벌 추진에 이바지할 것으로 기대하고 있다.

2. 기계화 작업에 적합한 열상간벌

가. 열상간벌의 사고방식

간벌을 실시하고는 싶지만 목재 가격의 지속적인 침체로 인해 경비를 조달할 수 있을 만한 수입을 올리는 것은 매우 어려워지고 있다. 그 결과로 간벌을 하지 않아서 형질 불량목이 증대하고, 임상 식생의 소실에 의해 표토 유량이나 지력이 감퇴하는 등 이용되지 않고 있는 산이 매우 많아지고 있다. 또한 노동력 부족과 고령화에 의한 요인도 생각하는 것처럼 간벌이 실행되지 않고 있는 현실이다. 이러한 현실을 타개하기 위해서는 생산성이 높고 경비가 저렴한 [기계적 간벌 : 열상 간벌 등]을 간벌방법으로 선택하여 도입하는 것이 앞으로 필요하다고 생각된다.

표 27. 간벌방법과 특징

간벌작업	간벌 대상목	집재의 난이도	수익성	간벌후의 임분상황	특징
정성간벌	형질불량목	×	×	형질이 균일하고, 잔존목의 배치가 균등	벌채 반출에 힘이 듭
정량간벌 (하층간벌)	성장불량목	×	×	우세목이 잔존하고, 잔존목의 배치가 균등	직경이 가늘기 때문에, 목재 가격이 낮고, 경비가 많이 든다.
정량간벌 (상층간벌)	우세목 폭목	×	○	우세목이 아닌 개체가 남아서 배치는 불균일	주벌이 늦어 벌채 반출에 힘이 듭
정량간벌 (기계적간벌)	레, 어골 등	○	○	형질에 관계없이 존재, 배치는 불균일	벌채열이 직선으로 집재가 용역

(1) 열상간벌을 어떻게 산에 적용하면 좋을까?

- 단지화하여 간벌 면적이 비교적 결정된 임분(대체로 3ha이상)
- 장래 복층림사업으로 전개를 예정하고 있는 임분
- 1회~2회 정도의 하층 간벌이 실시되고 있는 임분
- 평균흉고직경이 대체로 20cm이상의 임분
- 6영급 이상으로 이용 가능한 임목 비율이 50%이상인 임분(이용 재적 50m³이상)
- 풍해·설해 등의 기상재해가 일어나기 어려운 임분
- 집재 거리가 대체로 50m에서 200m의 임분

나. 열상간벌의 장점

(1) 최대 장점은 비용 저감

- 선목 : 기계적으로 능률이 좋다(기존 간벌의 약 60%~70%로 실시가능).
- 간벌목은 가치가 높은 우세목도 포함되어 있으므로 간벌 수입을 기대할 수 있다.
- 벌도 : 장해목도 적고, 작업 효율이 좋다(기존 간벌의 약 50%~60%).
- 집재 : 짐걸이 이동, 잔존목 손상이 적고, 집재가 용이하다(기존 간벌의 약 40%~50%).
- 제재 : 전목 집재가 용이하기 때문에 프로세서를 사용하며 생산성도 높고, 경노동으로 실시 할 수 있다(기존 간벌의 약 30%~50%).
- 전체 : 선목·벌도·집재·제재 등의 작업을 병행하여 시행, 작업 효율이 높아지므로 생산 비용의 저감으로 이어진다(전체적으로 기존 간벌의 약 50%~70%).

(2) 주삭식(sky line) 타워야더 이용 예시

(가) 주삭식 타워야더 이점

- 줄을 길게 늘임.
- 스판을 길게 잡음.
- 반송기 주행 속도가 빠름.

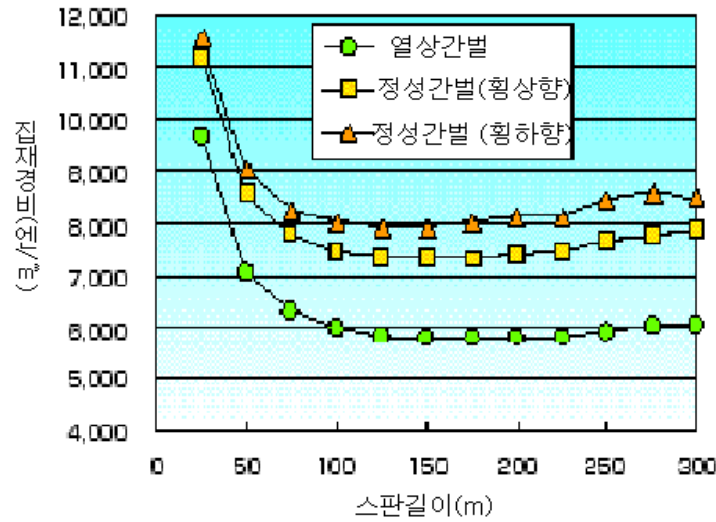


그림 160. 벌채방식별 주삭식 타워야더의 집재 경비
(간별면적 3ha)

(임황 : 삼나무 38년생, 평균흉고직경 20cm, 2,400본/ha)

주삭식 타워야더를 사용하여 열상·정성(횡상향과 하향)간별에 있어서의 집재 경비를 비교하였다. 중형의 타워야더에서는 스판 길이 120~180m가 경비적으로 저렴한 집재가 가능하다. 열상 간별은 정성 간별과 비교해서 약 30% 저렴한 집재가 가능하다. 경비는 집재와 관련된 노무비(16,000엔/인·일), 고정비, 변동비, 가설·철거비를 포함한다.

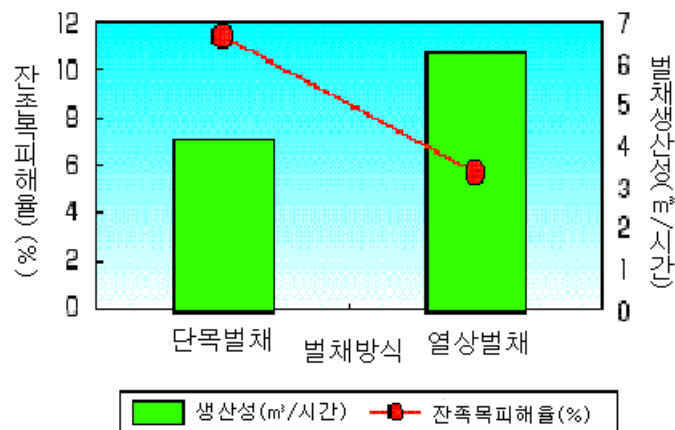


그림 161. 가선계 벌채의 잔존목 피해율과 생산성

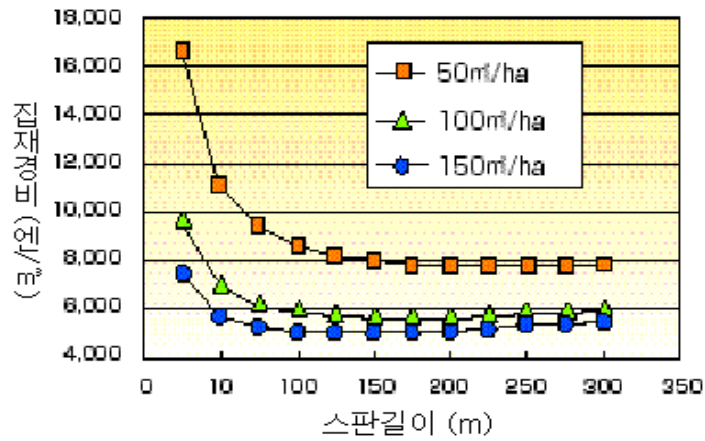


그림 162. 열상간별에 의한 출재적별의 집재경비

(나) 주삭식 타워야더의 단점

- 가설·철거 시간이 걸림
- 넓은 작업 공간이 필요
- 고가

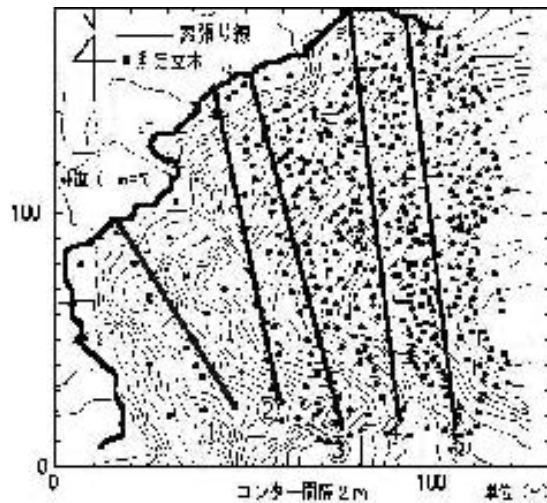


圖-1 타워야더 배치도

그림 163. 타워야더 견인 위치도

주삭식 타워야더의 견인 예시이다. 작업도로부터 능선으로 견인을 함으로써 줄을 높게 늘인다. 또한 횡취도 가능해진다. 벌채열 폭 약 5m, 횡취상향·하향 폭 약 15m이다.



그림 164. 주삭식 타워야더와 프로세서 작업시스템



그림 165. 줄이 높고, 횡취도 가능하다
별채열 폭 약 5m, 잔존열 폭 약 15m

(다) 비주삭식 타워야더(스윙야더)을 이용한 예

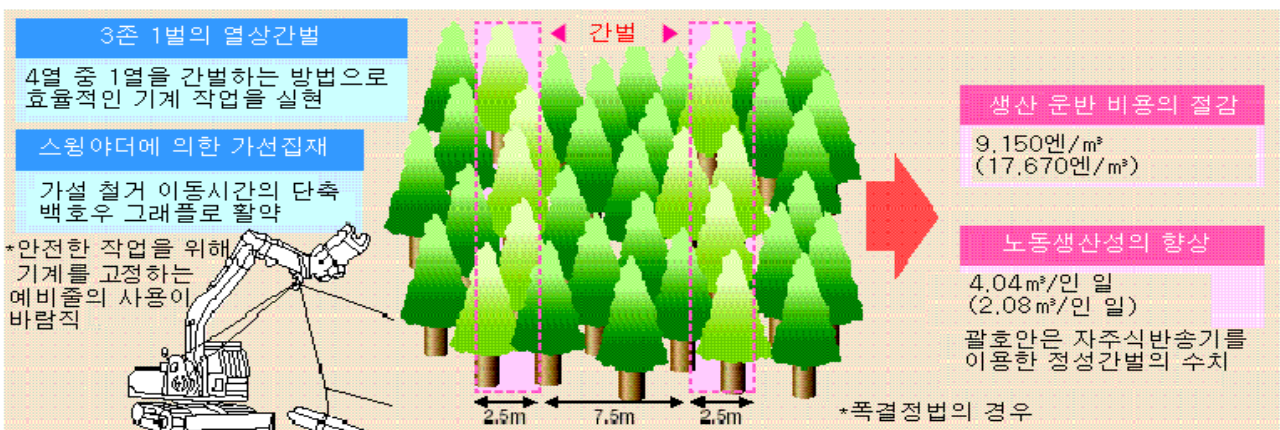


그림 166. 비주삭식 타워야더(스윙야더)을 이용한 예

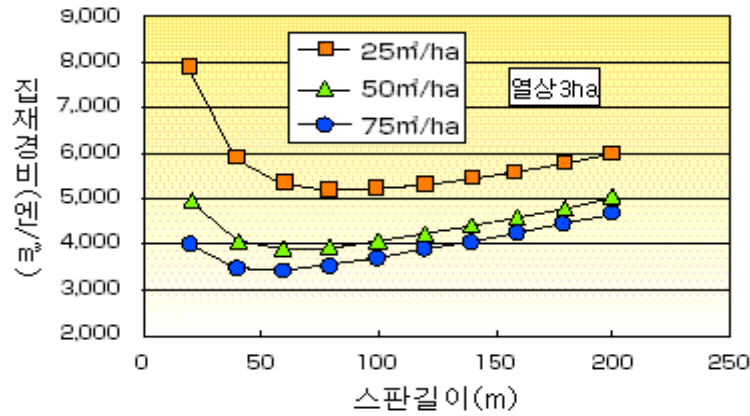


그림 167. 스윙야더의 집재제적별 경비



그림 168. 스윙야더와 프로세서의 작업 시스템

다. 열상간벌의 단점과 처리방법

- 소규모 분산하는 장소에서는 부적합
단지화와 작업 로트를 확보한다(대체로 3ha이상).
- 벌채열숲 주변 나무로 편심 성장의 우려가 있는 것은 열상 간벌 5년 후의 31년생 삼나무·사이프러스숲을 조사한 결과 편심 성장은 볼 수 없었다.
줄기가 굵고, 확실히 한다면 걱정 없다고 생각된다.
- 간벌 후에 형질 불량목이나 열세목이 간벌 되지 않고 잔존한다.
열 이외의 잔존열에 대해서도 가지치기나 정성 간벌을 실시한다.
- 간벌열의 폐쇄 회복이 늦어 임지에 쓸데없는 공간이 생기는 것은 고령숲에서의 수관 폭은, 입목밀도가 낮아져도 극단적으로 평균 수관폭이 바뀌는 것이 아니며, 수관폭을 한계치로서 가정하면 벌채 폭은 최대 5 m정도가 적당. 다음번의 집재선에 사용한다.
- 바람·설해에 대한 저항성이 저하하는 것은 형상비가 높은 임분이나 기상해가 발생하기 쉬운 임분은 피한다.
- 잔존열의 간벌 효과가 뒤떨어지는 것은 임분 성장량이 작다.
간벌 효과를 높여 생산성 향상에 배려하는 방법으로서 가선을 등뼈로 간주하여 물고기의 뼈모양 으로 벌채하는 [어골장 간벌]을 검토한다.

(1) 주삭식 타워야더에 의한 [어골모양 간벌] 작업사례

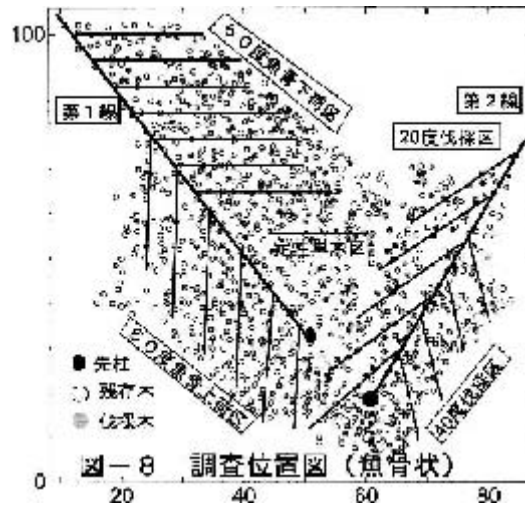


그림 169. 횡취 각도별, 황축 방향별(상하)로 조사

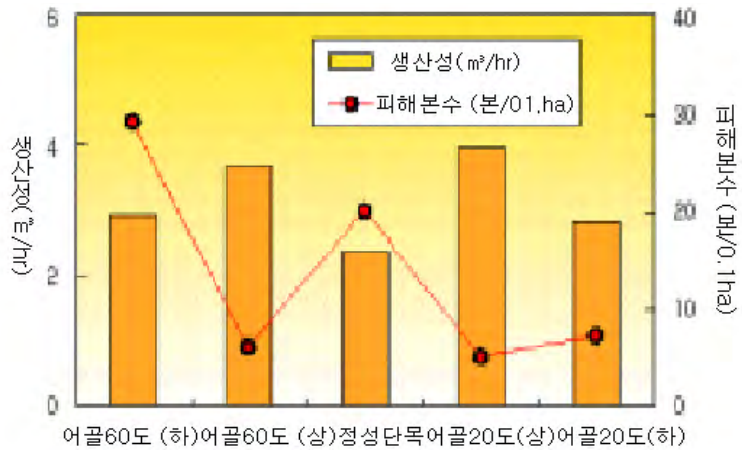


그림 170. 횡취 각도, 방향별의 생산성과 잔존목 피해율

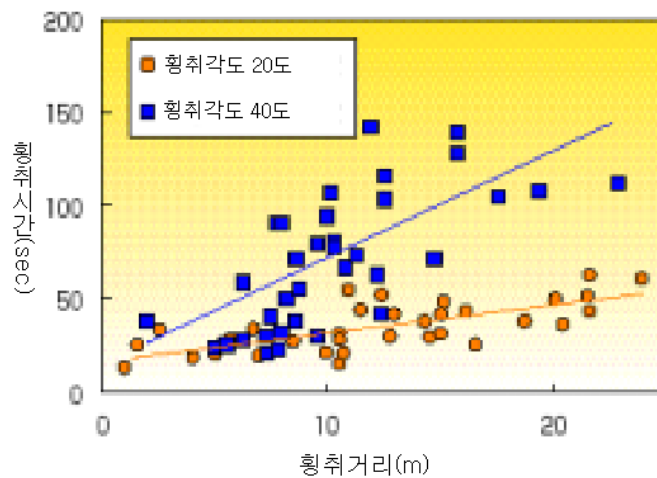


그림 171. 횡취 각도별 횡취 시간

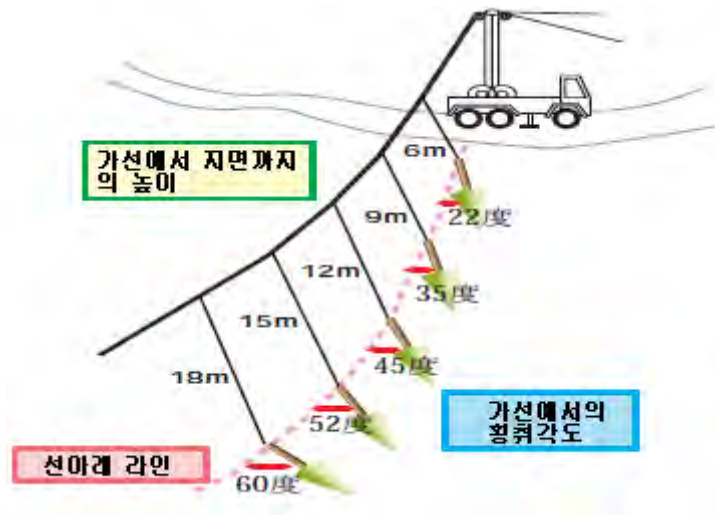


그림 172. 상향집재에서의 가선 높이와 적정 횡취 각도의 관계



그림 173. 어골모양 벌채폭 12m, 잔존폭 4m
삼나무 38년생, 평균흉고직경 9cm, 2550본/ha

어골모양 간벌은 정성 간벌과 비교해서 약 1.5배 정도 생산성이 높다. 횡취 방향별로는 하향으로 횡령하는 것보다도 상향 횡령하는 것이 생산성도, 잔존목 피해 개수도 적은 결과가 되었다. 가선 높이가 낮은 경우, 예각으로 벌채를 실시할 필요가 있다. 적정 횡령 각도를 그림으로 나타낸다.



그림 174. 횡취작업에서의 지연시간

가선 높이가 낮은 경우 횡취각도가 커지고 짐걸이 거리는 짧아지지만, 가선하에서의 목재의 방향 전환시에 짐걸이나 조재 등의 지연 시간에 많은 시간이 필요한 결과가 된다.

라. 열상간벌의 설계

여기에서 말하는 [열상간벌]은 식재열을 기준으로 하는 간벌이 아니라, 일정폭을 가진 벌채열과 잔존열이 교대로 반복하는 방법을 「열상간벌」이라고 한다.

(1) 벌채열 폭과 잔존열 폭

- 벌채열 폭은 최저 2m, 최대 5m로 하여 간벌대상임분에 따라 설정한다.
- 잔존열 폭은 간벌율을 설정하여 열간의 거리를 결정하고 있다.
- (예) 2m 벌채열에서 간벌율 30%로 하면, 열간의 거리는 약 6.5m가 된다.

(2) 벌채열의 방향

- 최대 경사 방향 혹은 약간 각도를 붙인 방향이 적합하다.
- 벌채열방향을 최대 경사 방향으로 하여 각도를 붙이는 경우.
- 대략 60도(지산경사각) 이내로 한다.

일본의 이와테임업기술센터 [고성능 기계화에 적절한 간벌 방법]으로부터 인용 발췌한 것을 적용한 것이다.

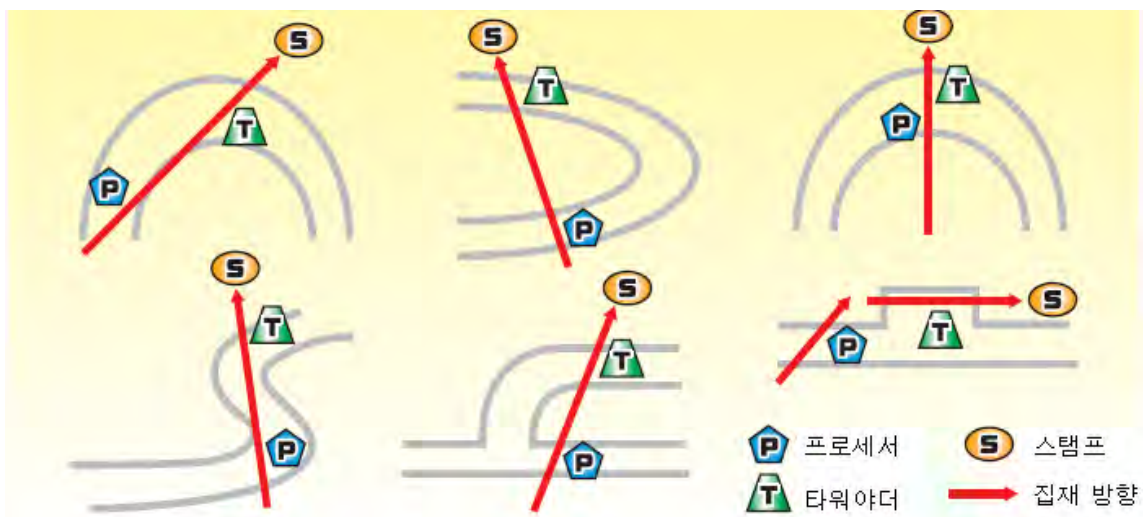
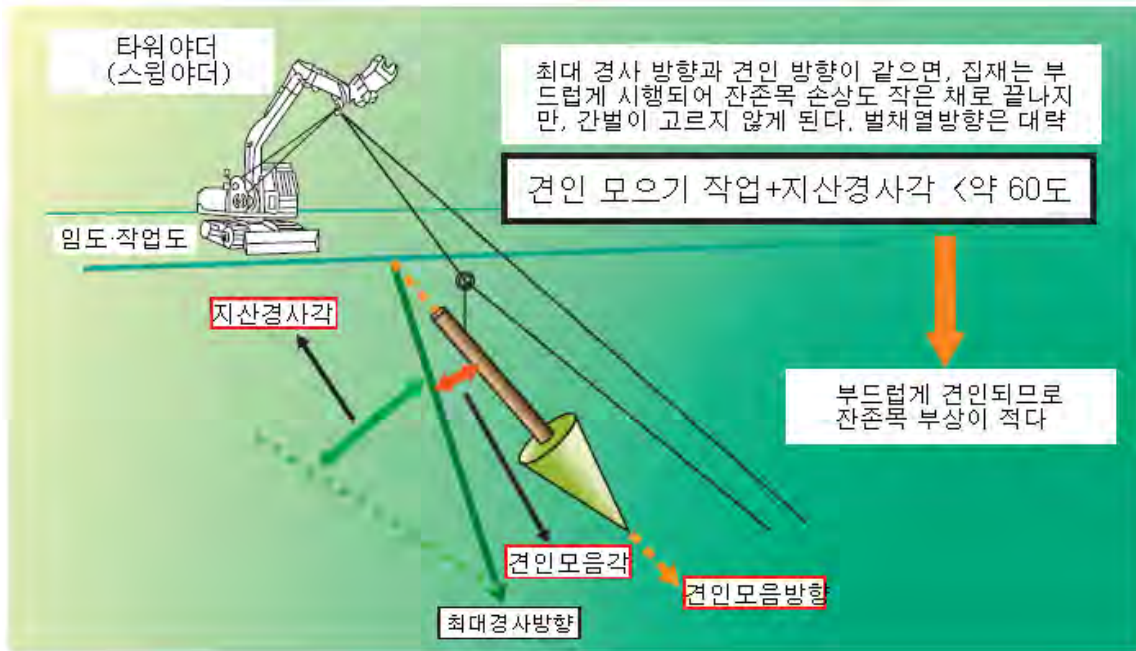


그림 175. 작업 공간과 레이아웃 예

마. 열상간벌의 실제

(1) 지형에 맞는 벌채방법: 잔존열의 벌채방법

가선의 높이에도 좌우되나 잔존열의 횡취 거리는 비주줄식으로 6~8m 이내, 주줄식으로 15~20m 이내로 설정하고, 전목으로 횡취 불가능한 경우(잔존목 부상의 우려가 있는 경우)는 조재하여 단목 집재가 현명하다.

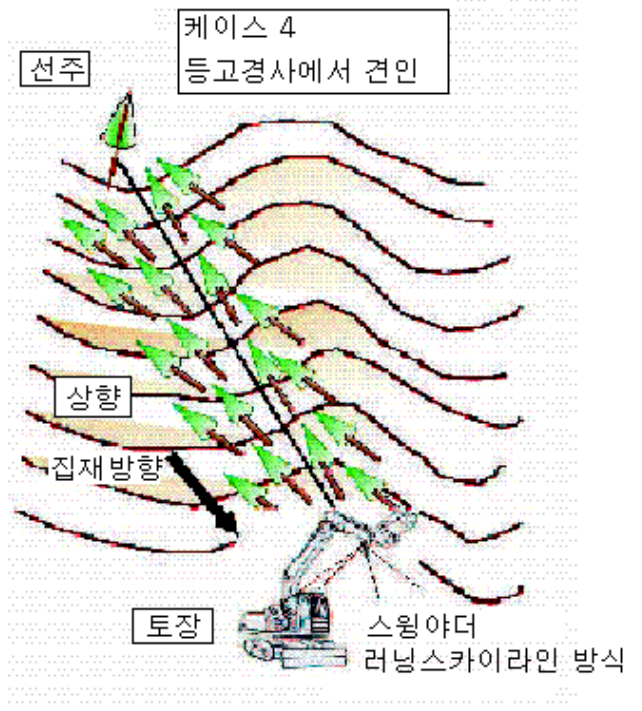
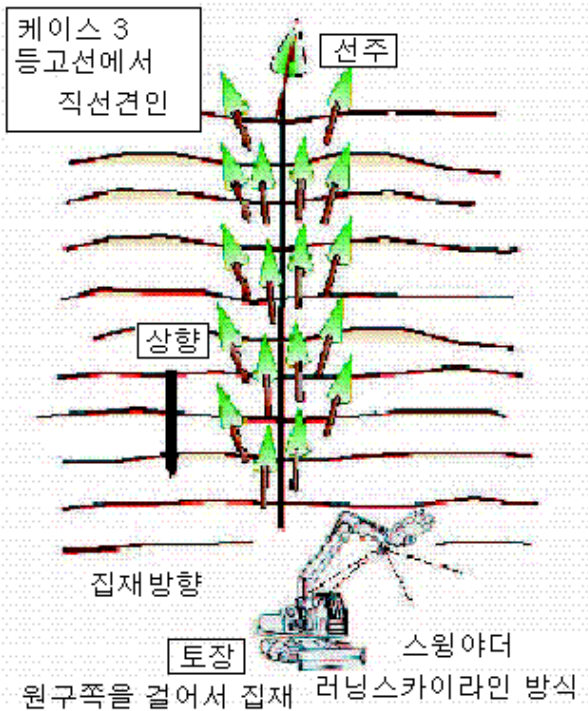
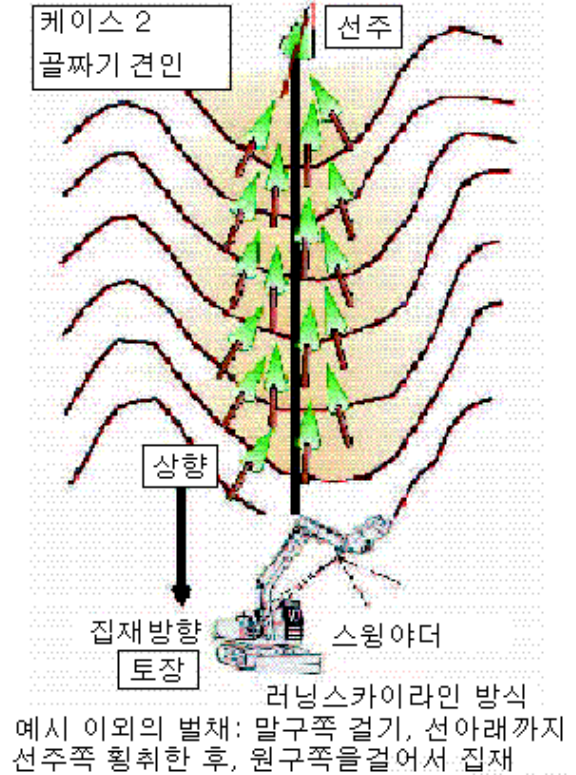
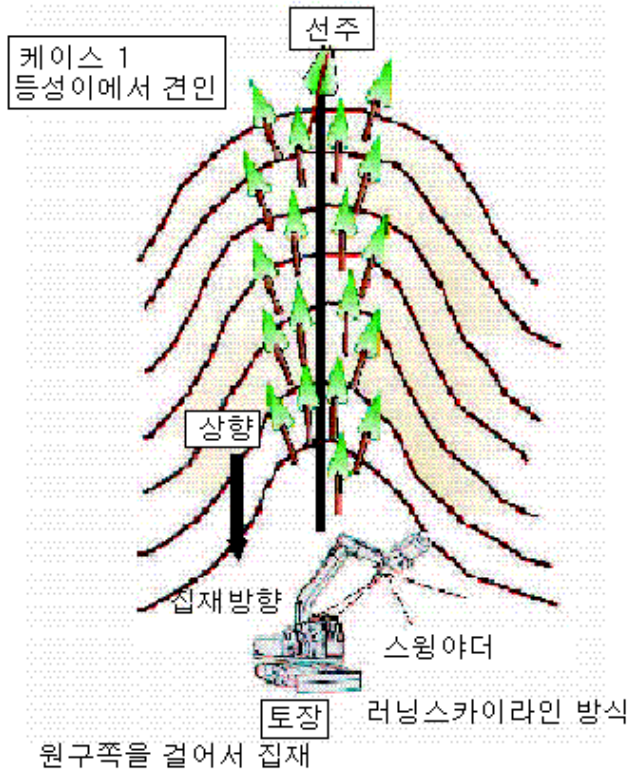


그림 176. 지형에 맞는 벌채방법: 잔존열의 벌채방법

3. 소형 프로세서 도입에 의한 간벌방법

가. 소형프로세서 작업 시스템

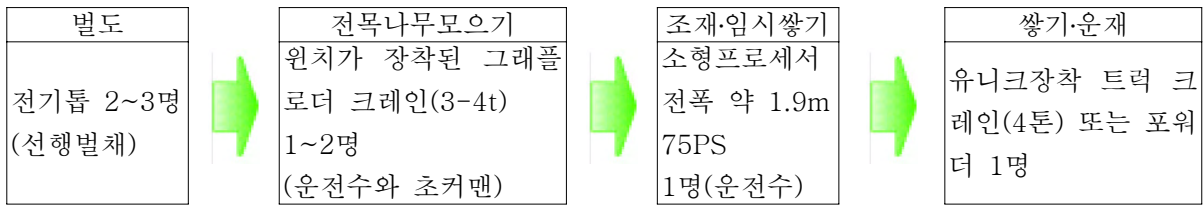


그림 177. 소형프로세서 작업 시스템



그림 178. 그레플 로더에 의한 나무모으기 작업
임내로망밀도를 높여 나무모으는 거리를 단축



그림 179. 임내작업차도 (폭 2~2.5m)에서의 조재작업
지형이 험한 장소에서는 산방향 (사진)으로 송재

나. 소형 프로세서 작업을 통한 간벌 작업

아래 그림과 같이 임내 작업 차도측(나무모으기쪽 5m)을 강도(개수 간벌율 약 50%) 간벌하는 플롯과 통상 간벌 플롯의 프로세서 조재 작업을 비교하였다. 임내 작업 차도립 주변 강도 간벌 플롯이 제재 작업에서 약 1.5배 생산성이 높은 결과가 되었다. 이것은 임내 작업 차도 부근에 프로세서의 작업 공간이 확보되어서 목재의 잡기나 실선회, 채재, 가지 정리 등을 효율적

으로 실시할 수 있었기 때문이다.

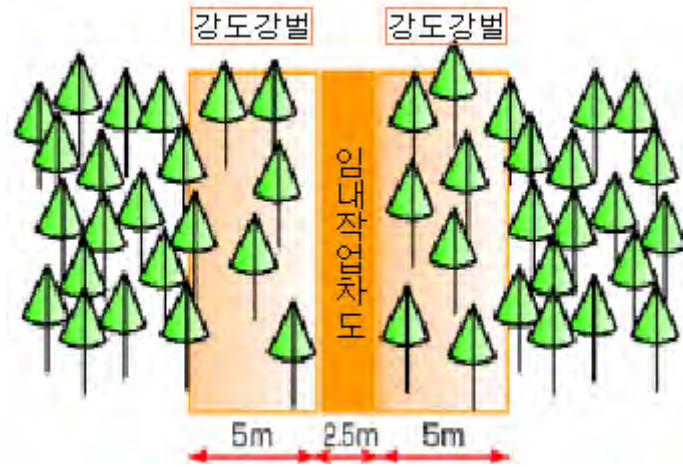


그림 180. 프로세서 작업

표 28. 소형프로세서조재작업시험결과

간벌방법	면적 (m ²)	간벌전본수 (본/ha)	경사 (도)	집재 방향	흉고직경 (cm)	출재적 (m ³)	조재생산성 (m ³ /hr)
플롯1 통상간벌	406.1	1,872	8	상향	15.3	1.97	2.70
플롯2 통상간벌	377.4	1,724	28	상향	15.3	1.54	1.43
플롯3 통상간벌	429.8	1,883	5	하향	15.1	2.07	2.38
플롯4 통상간벌	454.5	2,048	35	하향	13.5	2.90	1.2
평균	417.0	1,882	19		14.8	2.12	2.11
플롯5 강도간벌	426.0	1,831	15	상향	15.3	2.99	3.31
플롯6 강도간벌	383.4	1,906	31	상향	14.2	1.88	3.33
플롯7 강도간벌	441.3	1,746	11	하향	15.5	2.47	3.22
플롯8 강도간벌	435.4	2,069	18	하향	14.8	2.36	2.59
평균	421.4	1,888	19		15.0	2.42	3.11

다. 소형 프로세서 작업 시스템의 생산성 계산예

생산성 (m³/시) 작업률 (ks)

전기톱	PA	7.5	0.9	단위 (3.0×2.5) (※작업률은 기계의 대수와 조합에 따라, 작업조건에 따라 변함)
그래플로더	PB	3.4	0.5	
프로세서	PC	5.5	0.5	

○ 제취작업 시스템의 생산성 (P')=m · ks · P_o (m:공정수 3)
P_o =1/(1/7.5+ 1/3.4+ 1/5.5)=1.640 (m³/시)[직렬작업의 생산성]
ks =(0.9+ 0.5+ 0.5)/3=0.633
P' =3 · ks · P_o=3.11 (m³/시)[시스템 전체의 생산성]

○ 1일 생산성(실동시간=6H인 경우)
P=6 · P'=18.66 (m³/일) P_L=19.66/5=3.73(m³/인·일)

라. 나무모으기 공정으로부터 산출한 로망밀도

(1) 작업조건

- 간벌면적 5ha. 출재적7.0m³/ha
- 임내작업차도
- W=2.5m (736엔/m)
- 우회율 0.4
- 집재경비는 임금, 기계대여료, 연료 등을 포함

(2) 결과

집재(나무모으기) 경비와 설비경비에서 적정로망밀도를 산출하면, 300~350m/ha에서 생산비가 작은 결과가 된다.

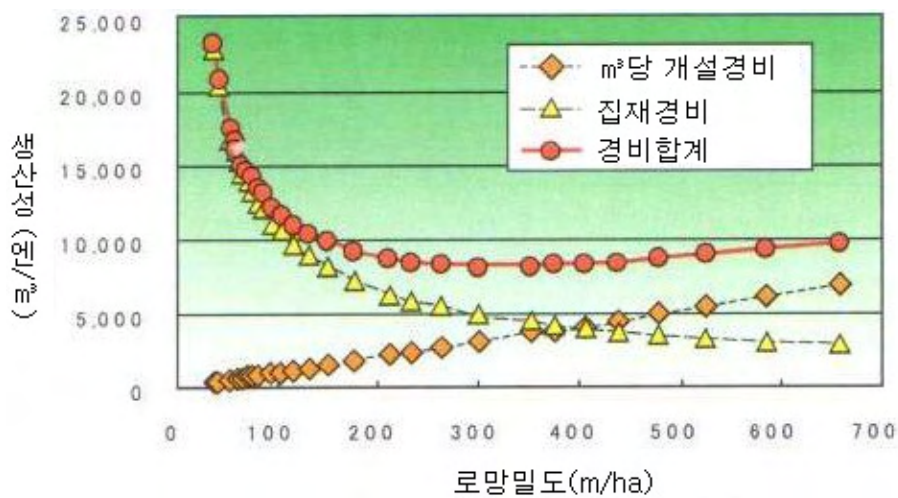


그림 181. 최소생산비와 적정집재로망밀도



그림 182. 임도 아래 나무 모으기 상황
그 다음 소형프로세서로 조재



그림 183. 임내작업차도(W=2m)의 개설상황
절취높이를 낮게 설계하는 것이 중요

4. 진화하는 기계화작업 시스템

3t급 백호우를 베이스로 하는 그레플 로더 크레인(통칭 미니 그레플)과 임내 작업차(1.3t 적재)의 작업 시스템은 현대 각지의 환경사지의 간벌 작업에 보급 정착하였다. 이 시스템의 특징은 고밀도 임내 작업 차도(폭 2m)의 개설에 의하여 나무모으기 거리의 단축, 노동 부하의 경감, 생산성의 향상이다. 아래 그림은 선진적으로 동일 시스템을 도입한 (주)[향나무]의 간벌작업일보에서 사이벌의 작업 일보다 추출한 것으로 평균의 생산성은 2.4m³/인·일, 평균 경비 10,560엔/m³(산토장까지의 경비)가 된다.

앞으로 더욱 현지의 사정에 맞추어 간벌 작업의 비용 저감을 향한 방안이 기대된다.



그림 184. 기계화 작업

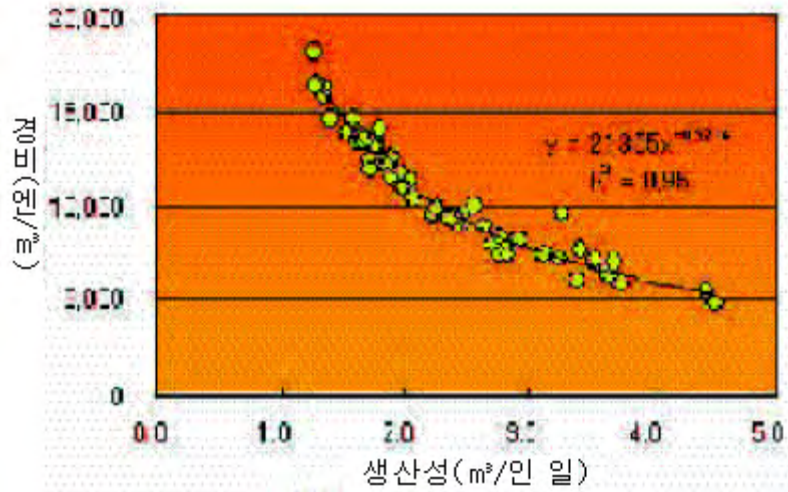


그림 185. 전체 생산성과 경비의 관계

5. 자료

가. 현대의 고성능임업기계의 도입 상황

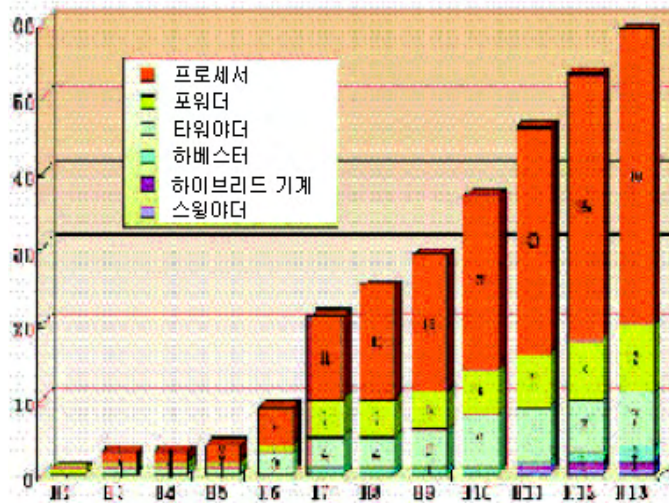


그림 186. 고성능임업기계의 도입 상황

일본의 에히메현에 있어서의 고성능 임업 기계는 2001년말 60대를 사서 이 가운데 프로세서의 도입이 40대(약67%)로 많이 도입되고 있다. 최근에는 간벌용의 소형 프로세서가 도입되어 임내 작업 차도와 편성하여 간벌 작업에 활용되고 있다.

나. 임내로망정비상황

2001년 말 현대의 임도밀도(작업임도 포함)는 9.8m/ha, 임내 로망밀도(공도를 포함) 20.3m/ha로, 간벌 추진을 위해서도 더욱 정비가 요구되고 있으며 임내 작업 차도폭이 2.0~2.5m 구조구격으로 일본의 현대에서 정비되고 있는 상황으로 국내에서도 이에 대한 검토가 필요하다..

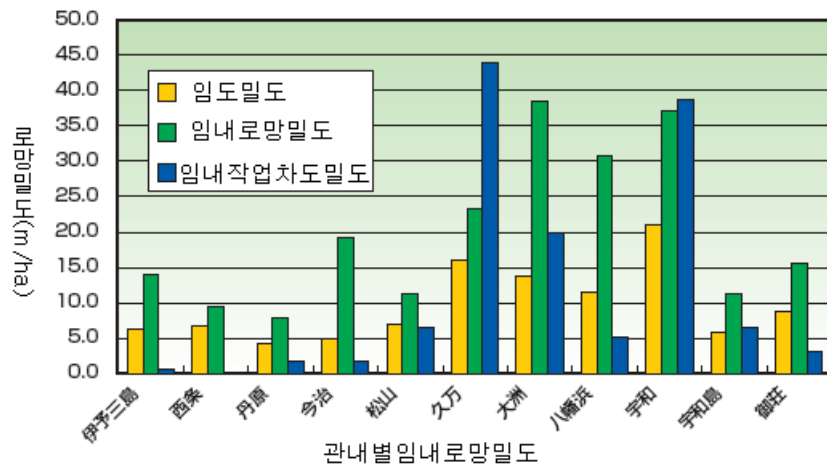


그림 187. 일본에히메현 임내 로망 밀도

제 7 장 참고문헌

1. Astrom, K. J. and T. Hangglund. 1995. PID Controllers : Theory, Design, and Tuning. Inst. Society of America.
2. Kim, J. K., Y. S. Mo, G. Y. Ryu, S. H. Hwang, and Y. W. Yoon. 1999. Z-N Tuning Development for PID Controller and Its Application, Korea
3. United States Patent, 1983, Remotely Releasable Choker
4. 산림 Webzine 1995년 11월호. 임업기술. 라디케리 집재기에 의한 간벌재 수확잡업
5. 특허실용, 2005, 자동 개폐형 샤클 조립체
6. 홍원표, 조한근. 2001. 무선원격측정에 의한 소의 승가행위 검출. 한국농업기계학회지. pp.481~486
7. 히로베 신지. 1997. 산림총합연구소. 타워야더의 삭장력 특성 및 원격조작의 가능성에 관한 연구. pp47~56
8. 柿田 昌訓. 2007. 新間伐システム作業マニュアル. 2007年度普及重點課題解決推進事業
9. 後藤 誠. 2002. スイングヤーダによる間伐材生産システム. 機械化林業 No.585
10. 谷山 徹. 2003. 機械化作業に適した間伐方法. 林業技術センター 研究成果移轉實施報告

