


# 임업용 포워더의 주행 및 적재성능 개선에 관한 연구

A Study on Loading and Traveling Performance  
Improvement of Forestry Forwarder

오재현 최윤성 백승호 문호성 조민재  
 국립산림과학원  
National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.



국립산림과학원

National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.



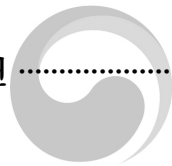
I. 서 론 .....	1
II. 국내외 임업용 포워더의 현황 및 특성 조사 .....	5
1. 국내외 기존 개발 및 활용되는 임업용 포워더 장비현황 조사 .....	7
1.1. 국내외 기존 개발 및 활용되는 임업용 포워더 조사 .....	7
1.2. 임업용 포워더의 설계를 위한 설문조사 .....	10
2. 문헌 및 선행연구를 활용한 임업용 포워더 장비 특성 분석 .....	13
2.1. 임업용 포워더 종류 및 특성 조사 .....	13
2.2. 기 개발된 임업용 포워더의 성능 조사 .....	19
2.3. 국외 임업용 포워더의 성능시험 조사 .....	20
III. 임업용 포워더의 구조 및 동력전달부 개선 설계 및 제작 .....	21
1. 임업용 포워더의 구조물 개선 설계·제작 및 성능 분석 .....	23
1.1. 임업용 포워더의 목표 제원 설정 및 축하중 조사분석 .....	23
1.2. 임업용 포워더의 구조 설계 및 차체구조물 컴퓨터 시뮬레이션 .....	24
1.2.1. 임업용 포워더의 차축 구조 설계 .....	24
1.2.2. 임업용 포워더의 차체구조물 컴퓨터 시뮬레이션 .....	25
1.2.3. 임업용 포워더의 동력전달 분석 .....	26
2. 등판성능 향상을 위한 동력전달부 개선 및 성능 분석 .....	28
2.1. 임업용 포워더의 등판성능 향상을 위한 동력전달부 .....	28
2.2. 임업용 포워더의 부품 선정 .....	28
2.2.1. 적용된 엔진 .....	28
2.2.2. 적용된 유압펌프 .....	30
2.2.3. 적용된 유압 주행 모터 .....	31

2.2.4. 적용된 트랜스미션 .....	32
2.2.5. 임업용 포워더의 등판성능 분석 .....	34
<b>IV. 임업용 포워더의 부속작업기의 작업 성능개선 .....</b>	<b>39</b>
1. 포워더 크레인 및 윈치의 성능개선 .....	41
1.1. 국외 임업용 크레인의 조사 .....	41
1.2. 임업용 크레인의 구조 설계 .....	42
1.3. 임업용 크레인의 작업 시 응력분포 및 안전도 해석 평가 .....	44
1.4. 임업용 크레인의 작업범위 및 리프팅 능력 측정 .....	45
1.5. 포워더 부속윈치의 견인력 및 유압특성 측정 분석 .....	46
2. 포워더의 제어시스템의 성능개선 .....	50
2.1. 임업용 포워더 시작기의 주행 및 조향 제어 특성 .....	50
2.1.1 임업용 포워더의 제어시스템 특성 .....	55
2.2. 임업용 포워더의 부속 작업기(크레인 및 윈치)의 제어 특성 .....	60
2.3. 임업용 포워더 제어 장치의 운전특성 분석 .....	61
<b>V. 임업용 포워더의 주행 안정성 및 현장 적용성 평가 .....</b>	<b>65</b>
1. 임내, 임도 및 작업로 주행과 목재수확 작업에 따른 현장 적용성 평가 .....	67
1.1. 현장에서의 임업용 포워더 시작기의 주행성능(속도, 등판 능력) .....	67
1.2. 임업용 크레인의 작업성능 평가(작업공정 산출을 위한 시간조사) .....	69
1.2.1. 임업용 크레인의 인양능력 및 회전력 측정 분석 .....	69
1.2.2. 임업용 크레인의 작업공정 산출을 위한 시간조사·분석 .....	69
1.3. 임업용 포워더의 주행 안정성 시뮬레이션(횡전도 안정성 등) .....	72
1.3.1. 공차시 횡전도 분석 .....	72
1.3.2. 적재 시 횡전도 분석 .....	74

---

# 목 차

2. 적용성 평가에 따른 포워더의 수정보완 연구 .....	75
2.1. 임업용 포워더의 주행 성능 및 안정성 개선 .....	75
2.2. 임업용 포워더의 적재 성능 및 안정성 개선 .....	78
2.3. 임업용 포워더 엔진제어시스템(ECO Idle) 개발 .....	79
3. 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 활용한 임업용 포워더의 주행 안정성 평가 .....	81
3.1. 적재함 크기별 횡전도 한계구명 .....	81
3.2. 토양 조건 및 적재조건별 주행속도 및 등판한계 구명 .....	83
3.3. 지형조건 및 적재조건 별 최적 주행속도 구명 .....	85
VI. 결 론 .....	87
VII. 참고문헌 .....	93



국립산림과학원

National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

# 표 목차

〈표 1〉 국내 활용 및 도입 기종의 제원 .....	7
〈표 2〉 국내 활용 및 도입 기종(국외장비)의 제원 .....	8
〈표 3〉 임업용 포워더 종류 및 특성(적재중량 10톤 기준) .....	14
〈표 4〉 국외 임업용 포워더의 분류 기준1) .....	16
〈표 5〉 국외 임업용 포워더의 군집 분석 .....	18
〈표 6〉 임업용 포워더의 평가시험 항목(KWF) .....	20
〈표 7〉 임업용 포워더의 축하중(전·후륜)비 측정 조사 .....	24
〈표 8〉 임업용 포워더에 적용된 엔진 제원 .....	29
〈표 9〉 선정된 유압 펌프의 제원 .....	30
〈표 10〉 선정된 유압 주행 모터 제원 .....	31
〈표 11〉 선정된 트랜스미션의 제원 .....	33
〈표 12〉 여러 가지 노면상태에 따른 트랙터 점착계수 .....	35
〈표 13〉 국외 적재중량 10톤 급 임업용 크레인 조사 .....	41
〈표 14〉 국외 임업용 크레인의 특성조사분석 .....	42
〈표 15〉 포워더 윈치 종류별 사양 및 규격 조사 .....	46
〈표 16〉 포워더 윈치의 유압모터 제원 .....	48
〈표 17〉 국외 임업용 포워더의 조향 각도 조사 .....	50
〈표 18〉 CAN통신 기반의 제어시스템의 구성 및 제원 .....	56
〈표 19〉 임업용 포워더의 주행 제어 방식 .....	58
〈표 20〉 포워더 크레인의 적재 공시재료 제원 .....	70
〈표 21〉 포워더 크레인 적재풀 사용 유·무에 따른 적재시간 .....	71
〈표 22〉 포워더 크레인 적재풀 사용 유·무에 따른 적재생산성 .....	71
〈표 23〉 포워더 크레인 적재풀 사용 유·무에 따른 적재비용 .....	72

# 그림 목차

<그림 1> 국내 활용 및 도입기종 .....	9
<그림 2> 국내 활용 및 도입 기종(국외장비) .....	9
<그림 3> 기 장비의 사용자에 대한 설문조사 .....	11
<그림 4> 기 장비의 사용자에 대한 설문조사 분석 .....	12
<그림 5> 차량중량과 적재중량의 상관관계 .....	15
<그림 6> 차량중량과 엔진출력의 상관관계 .....	15
<그림 7> 임업용 포워더를 베이스머신으로 한 각종 차량계 임업기계 .....	17
<그림 8> 국외 임업용 포워더의 군집분석(Medium forwarders) .....	18
<그림 9> 기 개발된 원목운반형 미니포워더의 성능개선 .....	19
<그림 10> 국외 임업용 포워더의 성능시험 보고서(KWF) .....	20
<그림 11> 임업용 포워더의 구조 설계(좌 : 고정식 프레임 구조, 우: 굴절식 프레임 구조) ..	23
<그림 12> 임업용 포워더의 축하중(전·후륜)비 측정조사(좌: 궤도형, 우: 차륜형) .....	24
<그림 13> 임업용 포워더의 보기차축 3D 구조 설계 .....	25
<그림 14> 임업용 포워더의 차체구조물 컴퓨터 시뮬레이션(응력분포, 변형도, 안전도) ..	26
<그림 15> 동력 전달 축(스플라인)의 현상 및 치수 .....	27
<그림 16> 임업용 포워더의 동력전달 흐름도 .....	28
<그림 17> 임업용 포워더에 적용된 엔진의 성능곡선 .....	29
<그림 18> 유압 펌프의 성능곡선 .....	30
<그림 19> 유압 주행 모터의 성능곡선 .....	31
<그림 20> 임업용 포워더에 적용된 트랜스미션 및 유압회로도 .....	33
<그림 21> 임업용 포워더의 트랜스미션 가동 시 압력 및 속도 변화 .....	34
<그림 22> 임업용 포워더의 하중에 따른 자유선체도 .....	34
<그림 23> 구동륜의 자유체선도 .....	35
<그림 24> 공차 시 임업용 포워더의 소요토크 .....	37
<그림 25> 적재 시 임업용 포워더의 소요토크 .....	38
<그림 26> 임업용 크레인의 하중에 따른 자유선체도 .....	42
<그림 27> 임업용 크레인의 구조 설계 .....	43
<그림 28> 임업용 포워더 크레인의 구조물 컴퓨터 시뮬레이션(응력분포, 변형도, 안전도) ..	44

<그림 29> 임업용 크레인의 작업범위도 .....	45
<그림 30> 임업용 크레인의 완성품 .....	45
<그림 31> 윈치용 드럼의 모식도 .....	46
<그림 32> 적용된 임업용 포워더의 윈치 유압모터 2D 도면 .....	48
<그림 33> 임업용 포워더의 윈치 3D 모델링 .....	49
<그림 34> 기 개발과 성능개선 된 포워더의 주행 방식 .....	51
<그림 35> 도입된 임업용 포워더의 조향 제어 특성 조사 .....	51
<그림 36> 굴절식 임업용 포워더의 회전반경 모식도 .....	52
<그림 37> 초기위치, 조향각도, 시간변화에 따른 포워더 자세 및 궤적변화 추정 모식도 ..	53
<그림 38> 굴절식 임업용 포워더의 회전주행 시뮬레이션 결과 .....	55
<그림 39> 임업용 포워더의 제어시스템 구축 .....	56
<그림 40> 임업용 포워더의 유압회로도 .....	57
<그림 41> 임업용 포워더의 주행 제어부 흐름도 .....	58
<그림 42> 임업용 포워더의 주행 및 작업기 작동원리 .....	59
<그림 43> 임업용 포워더 크레인의 조작 방법 .....	60
<그림 44> 임업용 포워더의 각 제어 부 테스트 벤치 .....	60
<그림 45> 국외 임업용 포워더의 운전특성 조사분석 .....	61
<그림 46> 임업용 포워더 운전석에서 작업자의 시야각(전·후측면) .....	62
<그림 47> 임업용 포워더의 운전캐빈 3D 모델링 .....	62
<그림 48> 임업용 포워더의 운전석 설계 계략도 .....	63
<그림 49> 임업용 포워더의 이론적 주행성능 분석(공차 VS 최대적재 시 주행) .....	67
<그림 50> 임업용 포워더 주행속도 측정 장치 .....	68
<그림 51> 임업용 포워더 주행속도 측정 시험 .....	68
<그림 52> 임업용 크레인의 인양능력 측정 .....	69
<그림 53> 임업용 크레인의 작업공정 시간 조사 .....	70
<그림 54> 임업용 크레인의 적재작업 원목 직경 분포도 .....	70
<그림 55> 황단기울기 25° 일 때 공차시 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화 ..	72
<그림 56> 황단기울기 30° 일 때 공차시 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화 ..	73

## 그림 목차

<그림 57> 횡단기울기 35° 일 때 공차시 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화	73
<그림 58> 횡단기울기 38° 일 때 공차시 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화	73
<그림 59> 횡단기울기 15° 일 때 적재시 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화	74
<그림 60> 횡단기울기 20° 일 때 적재시 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화	74
<그림 61> 횡단기울기 25° 일 때 적재시 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화	75
<그림 62> 횡단기울기 29° 일 때 적재시 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화	75
<그림 63> 임업용 포워더에 적용한 자동 차동잠금 장치 적용	76
<그림 64> 임업용 포워더 보기차축 리프팅 실린더 구조 적용	77
<그림 65> 임업용 포워더의 롤링 제어시스템 적용	77
<그림 66> 임업용 포워더의 운전 캐빈 댄핑 제어시스템 구조 적용	78
<그림 67> 임업용 포워더의 적재함 가변식 헤드보드 구조 적용	79
<그림 68> 임업용 포워더의 적재함 가변식 적재폴 구조 적용	79
<그림 69> 임업용 포워더의 엔진 성능곡선	80
<그림 70> 임업용 포워더의 엔진제어시스템(ECO Idle) 개념도	80
<그림 71> 횡단기울기 38° 일 때 공차시 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화	81
<그림 72> 횡단기울기 29° 일 때 적재시 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화	81
<그림 73> 횡단기울기 32° 일 때 적재시 1단 확장 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화	82
<그림 74> 횡단기울기 32° 일 때 적재시 2단 확장 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화	82
<그림 75> 마찰계수 0.7일 때, 공차시(좌) 및 적재시(우) 종단경사별 등판능력 분석	83
<그림 76> 마찰계수 0.6일 때, 공차시(좌) 및 적재시(우) 종단경사별 등판능력 분석	83
<그림 77> 마찰계수 0.5일 때, 공차시(좌) 및 적재시(우) 종단경사별 등판능력 분석	84
<그림 78> 마찰계수 0.4일 때, 공차시(좌) 및 적재시(우) 종단경사별 등판능력 분석	84
<그림 79> 장애물 생성 모델의 규격	85
<그림 80> 공차시 장애물 높이 15cm 통과시 4.8km/h 속도에서의 변화량	85
<그림 81> 적재시 장애물 높이 15cm 통과시 3.2km/h 속도에서의 변화량	86
<그림 82> 공차시 장애물 높이 25cm 통과시 3.2km/h 속도에서의 변화량	86
<그림 83> 적재시 장애물 높이 25cm 통과시 3.2km/h 속도에서의 변화량	86



국립산림과학원

National Institute of Forest Science

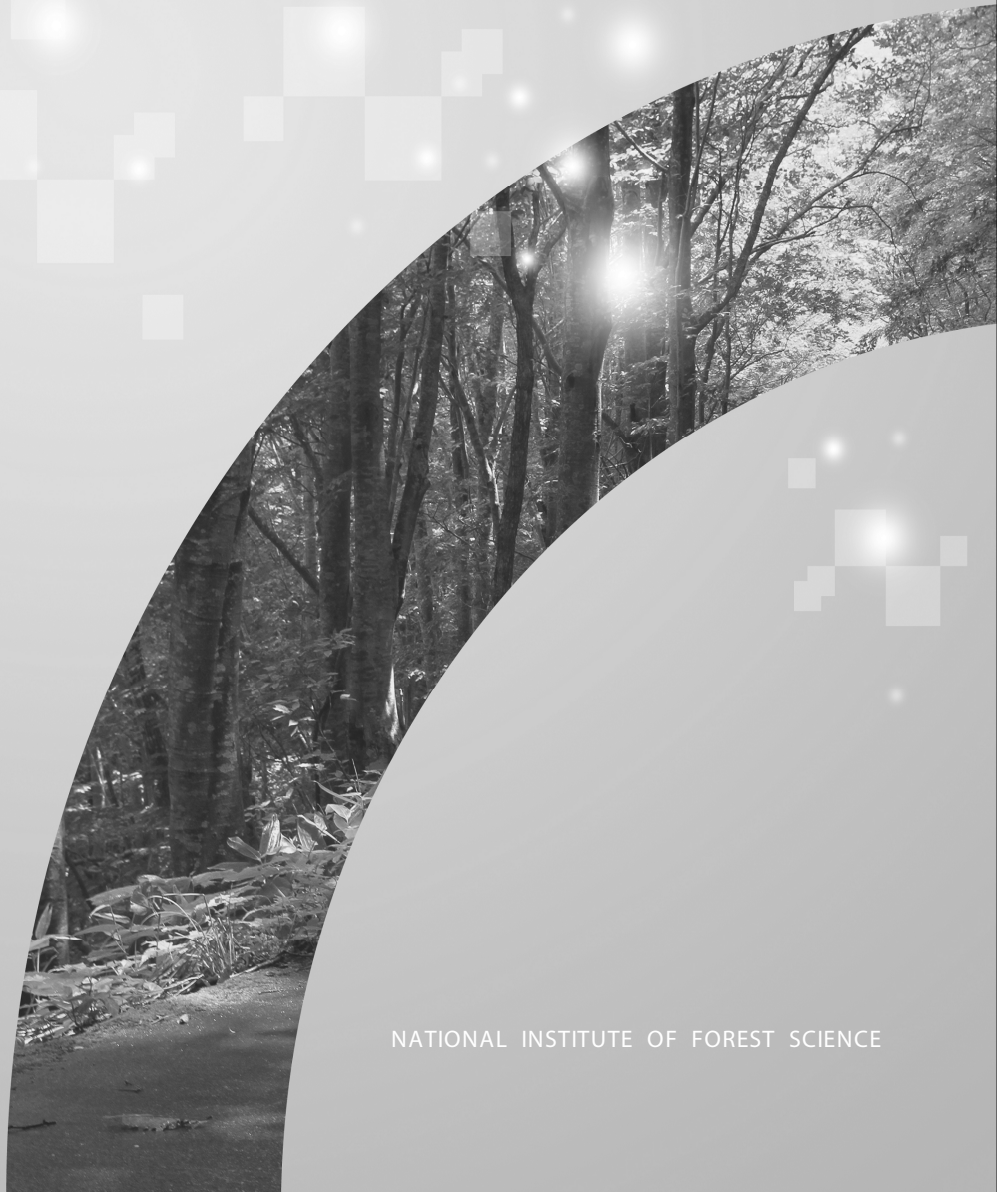
이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.



임업용 포워더의 주행 및  
적재성능 개선에 관한 연구

# I

## 서론





국립산림과학원

National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

## I. 서론

우리나라는 성공적인 치산녹화사업과 지속적인 숲가꾸기 사업 등으로 IV영급 이상의 산림이 전체산림의 69.1%이며, 점차 장령림으로 변화함에 따라 지속적인 간벌 및 개벌 등의 산림사업이 점점 증가하고 있는 실정이다.

또한 목재자원 보유국의 수출규제와 자국의 자원보호 등에 따른 목재수입의 여건이 악화되고 있으며, 산림청은 2017년 기준 국내 목재자급률을 16.2%에서 2035년까지 25.0%로 증대방안을 추진하는 등 국산재의 생산 및 이용에 관한 기대가 높아지고 있다.

현행 국내 목재 생산 시스템의 특성상 굴삭기 우드그랩을 이용한 단목생산방식으로 작업로 개설에 의한 집재가 주류를 이루고 있으며, 경영기반인 임도밀도가 낮아 생산재의 소운반 작업이 필요하여 목재운반용 포워더의 요구도가 매우 높은 상황이다.

이로 인해 과거 목재 소운반 또는 근거리 운반 장비로 불법개조차량인 영운기 및 GMC 트럭을 이용한 소운반 작업을 실시하였으나 작업의 효율성 및 작업안전을 위해 최근, 궤도형 건설 운반장비를 도입·운영하고 있다.

현재 국내 약 200대 이상의 건설용 운반장비가 국외로부터 도입되어 운영 되는 것으로 추정하고 있으며, 향후 국산재 생산의 비율이 높아짐에 따라 사용대수가 급격히 증가할 것으로 기대되고 있다. 그러나 현재 목재수확현장에서 사용되는 수입장비는 건설용으로 임업용으로 사용하기에는 등판능력과 주행성능 등에 불리한 점이 있으며 무엇보다도 수입 장비는 유지관리 비용이 높아 부품 및 제품의 국산화가 시급하다.

국내 임업기계 시장은 숲가꾸기 정책과 더불어 소경재 위주의 생산으로 임업기계도 소형장비 위주의 보급정책이 주류를 이루어 연간 100억이하의 시장규모였다. 그러나 2010년대에 들어서면서 중대경재의 본격적인 목재 생산과 더불어 고성능 임업기계의 보급의 필요성과 시스템화 된 장비의 현장투입이 이루어지면서 연간 200억 이상의 시장 규모를 보이고 있다.

최근 본격적인 국산재 생산시대를 맞이하여 연간 벌채량이 약 1,000만<sup>m</sup>에 달해 관련 목재산업분야의 생산성 향상 및 목재의 지속가능한 이용에 관한 기대심리가 높아 전문 임업기계회사가 업체에 진출하는 등 시장발전의 가능성을 높이고 있다.

이에 본 보고서에서는 추진하고자 하는 임업용 포워더의 성능개선은 국내 목재생산 현장에서의 생산성 향상 및 임업기계 시장을 산업화하는 좋은 기회가 될 것이며 향후, 주목받고 있는 바이오매스의 에너지화 산업과 더불어 임업기계시장뿐만 아니라 임업전반에 걸쳐 매우 긍정적인 시너지 효과를 줄 수 있을 것으로 기대된다.



국립산림과학원

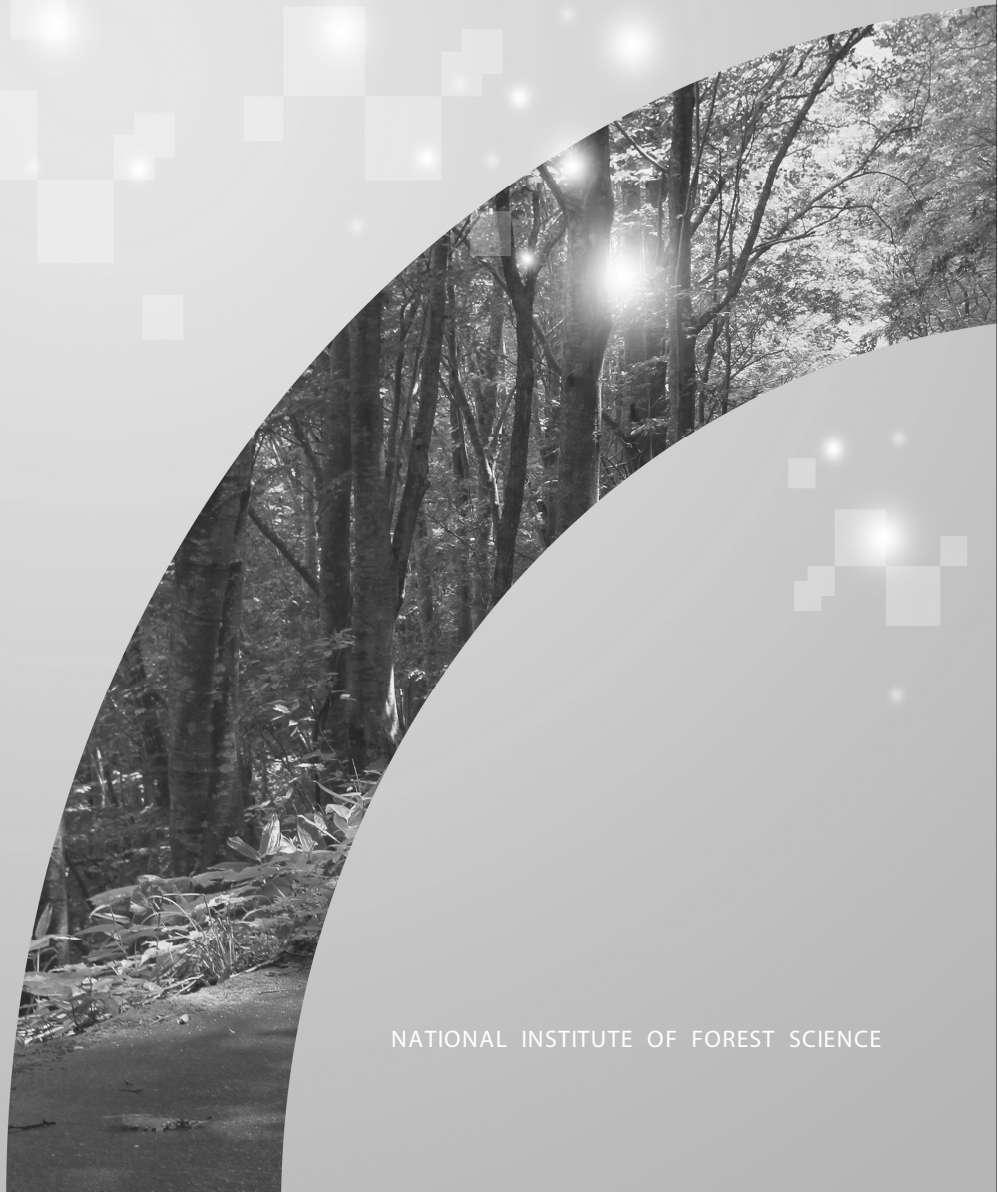
National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

임업용 포워더의 주행 및  
적재성능 개선에 관한 연구

## Ⅱ

# 국내·외 임업용 포워더의 현황 및 특성 조사





국립산림과학원

National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

## II. 국내외 임업용 포워더의 현황 및 특성 조사

### 1. 국내외 기존 개발 및 활용되는 임업용 포워더 장비현황 조사

#### 1.1. 국내외 기존 개발 및 활용되는 임업용 포워더 조사

현재 국내에서 사용되는 목재 운반용 차량(임업용 포워더)은 1950년대 도입된 미국 제 군용트럭인 6륜구동 트럭(GMC트럭, 영운기)이 민간용으로 활용되면서 그 시초를 찾아 볼 수 있다. 당시에는 벌채된 원목을 산지에서 제재소까지 운반하는 유일한 운송수단으로 현재까지도 산지에서 생산된 원목을 수요처까지 직접 운송하는 수단으로 활용되고 있다(그림 1의 (a, b)). 이런 6륜 구동트럭(GMC트럭)과 더불어 1990년대 후반부터 1톤 화물차를 개조하여 3톤 적재가 가능한 트럭이 작업현장에서 사용되었다(그림 1의 (c)).

〈표 1〉 국내 활용 및 도입 기종의 제원

장비명	GMC트럭	세렉스 화물차	영운기	궤도형 포워더
제조회사	GM	기아자동차(한국)		Morooka
모델명	GM	봉고Ⅲ	-	MST-800VDL
엔진출력	187PS	133PS	165PS	110PS
동력전달 방식	기계식 트랜스미션 (전진 5단, 후진 1단)	수동, 4WD	기계식 트랜스미션 (전진 6단, 후진 1단)	유압식 트랜스미션 (무단변속)
적재함크기 (W×L×H)	2,250×3,800× 2,600mm	1,600×1,390× 2,390mm	2,100×3,200× 2,200mm	1,905×2,960× 1,430mm
크레인 유무	없음	없음	없음	○, X
차량중량	9,850kg	2,560kg	6,960kg	6,820kg
최대 적재중량	약 10 ~ 12톤	약 3톤	약 8 ~ 10톤	약 6 ~ 8톤
주행속도	최대 80km/h (임도 및 공도주행용)	최대 80km/h(국도) (임도 및 공도주행용)	최대 70km/h (임내주행용)	최대 9.4km/h (임내주행용)
주행장치	차륜	차륜	차륜	고무궤도
조향방식	아커만	아커만	아커만	차동
차량전장 (W×L×H)	6,700×2,250× 3,600mm	4,680×1,740× 2,090mm	5,950×2,100× 2,520mm	4,900×2,300× 2,550mm

또한, 궤도형 건설 운반장비가 국외로부터 도입되어 약 200대 이상이 운영되는 것으로 추정하고 있다(그림 1의 (d)). 이는 임업용으로 사용하기에 등판능력과 주행성능 등에 불리한 점이 있으며 무엇보다도 수입 장비는 유지관리 비용이 높아 부품 및 제품의 국산화가 시급하다. <표 1>은 국내에서 활용되는 목재 운반용 차량의 제원을 나타냈다.

또한, 국내에 도입된 수입기종의 경우 차륜형과 궤도형으로 구분되며, 대부분 크레인이 장착되어 있어 장비 한 대로의 상차 및 운반 작업이 가능하다(그림 2). 차륜형 포워더 경우에는 윈치가 장착되어 있어 차량의 진입이 곤란한 지역에서는 효율적으로 사용할 수 있다(그림 2의 (b, c)). 궤도형 포워더와 트랙터 부착형 포워더는 본체와 트레일러 연결 부하 좌우 굴절각도 조절용 실린더가 장착되어 있어 도랑을 건너거나 장애물을 통과하기 용이한 장비이다. <표 2>는 국내에서 활용되는 수입기종에 제원을 나타냈다. 따라서, 본 연구에서는 현재 산림현장에서 활용되거나 도입된 기종을 조사 및 분석하여 국산화 기술을 확보하고, 국내 현장에 적합한 목재 운반용 차량(임업용 포워더)을 개발하고자 한다.

<표 2> 국내 활용 및 도입 기종(국외장비)의 제원

장비명	궤도형 포워더	차륜형 포워더	트랙터 부착형 포워더
제조회사	Terri	Oikawa	Kesla
모델명	Terri34	RM-8WD-6HC	102ND
엔진출력	33PS	36PS	트랙터 동력 (200PS 급)
동력전달 방식	유압식 트랜스미션 (3단)	기계식 트랜스미션	유압식
적재함크기 (W×L×H)	-	2.5×0.7mm	-
크레인 유무	있음	있음	있음
차량중량	3,040kg	2,600	2,760
최대 적재중량	3.6톤	2,000	10톤
주행속도	최대 17km/h (임내주행용)	최대 15km (임내주행용)	트랙터 주행속도 (임내주행용)
주행장치	차륜(고무궤도)	차륜	차륜
조향방식	차체굴절식	아커만	차체굴절식
차량전장 (W×L×H)	6.75×1.9×2.9mm	4.5×1.4×1.8	6,295×2,600





(a) GMC트럭



(b) 영운기 트럭



(c) 세렉스 트럭



(d) 궤도형 포워더

〈그림 1〉 국내 활용 및 도입기종



(a) Terri



(b) Oikawa



(c) Kesla

〈그림 2〉 국내 활용 및 도입 기종(국외장비)

## 1.2. 임업용 포워더의 설계를 위한 설문조사

국내의 기 장비의 사용자에게 대한 설문조사를 통해 임업용 포워더 개발에 반영하고자 실시하였다(그림 3). 국내 현장에서 요구되는 포워더의 사양은 적재중량 5~10톤으로 지역별로 차이가 있었으며, 주행속도는 15 km/hr 이상의 속도를 요구하였다. 설문조사의 정밀 조사를 통해 사용자가 원하는 형태로의 적용을 위해 분석하였다(그림 3).

설문조사를 통한 분석 결과 임업용 포워더의 설계에 가장 많이 반영되는 선호순으로 구동방식은 차륜형, 최대적재량 9~10톤, 최대 주행속도는 30~40km/h, 경사 주행능력은 40~50% 등으로 조사되었다. 조사 결과를 바탕으로 임업용 포워더의 설계 및 제적에 반영하였다(그림 4).



국립산림과학원

National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

동계별 원조(이)업의 내용에 따라 본 조사에서 개인의 비밀에 속하는 사항은 엄격히 보호됩니다.

조사일자 2015년 월 일

ID



## 목재 소운반용 차량(포위더) 선호도 모니터링

안녕하십니까? 먼저 귀하의 설문참여에 진심으로 감사드립니다.

본 설문조사는 목재 소운반용 차량(포위더) 선호도 모니터링을 통한 보다 나은 임업 기계의 성능개선 및 개발을 위해 목재생산업에 종사하시는 여러분의 소중한 의견을 듣고자 실시하고 있습니다. 실제 설문응답에는 약 5분 정도 소요될 것으로 예상되며, 귀하의 개인적 사항이나 설문내용과 관계되는 모든 사항은 절대 비밀이 보장됨은 물론 무기명으로 처리됩니다. 아울러 조사된 자료는 순수한 학문연구 목적으로만 사용됩니다. 귀하의 성의 있는 응답이 본 연구에 매우 귀중한 자료가 된다는 점을 유념하시고, 한 항목도 빠짐없이 응답해 주시기 간곡히 부탁드립니다. 감사합니다.

연구기관 국립산림과학원 산림생산기술연구소  
연구책임 임업연구관 오재원  
(Tel. 031-540-1182, e-mail: jhoh7038@korea.kr)

### I 다음은 귀하의 일반적인 사항입니다. 해당되는 곳에 V해 주세요.

- Q1. 귀하의 성별은?  남  여
- Q2. 귀하의 연령은?  20대  30대  40대  50대  60대  70대 이상
- Q3. 귀하의 결혼여부는?  기혼  미혼
- Q4. 귀하의 최종 학력은?  
 초등학교졸업  중학교졸업  고등학교졸업  전문대이상 졸업
- Q5. 귀하의 월평균 소득은?  
 100만원 미만  100-200만원 미만  200-300만원 미만  
 300-400만원 미만  400-500만원 미만  500만원 이상
- Q6. 귀하의 월평균 원장차임 근무일수(원장차임자 기준, 위탁차임의 경우도 포함)는?  
 10일 미만  10일-15일  15일-20일  20일 이상
- Q7. 귀하의 원목생산업 종사 경력은? ( )년 ( )개월
- Q8. 귀하의 거주지는?  
 서울  인천/경기  강원  충청  경상  전라  제주

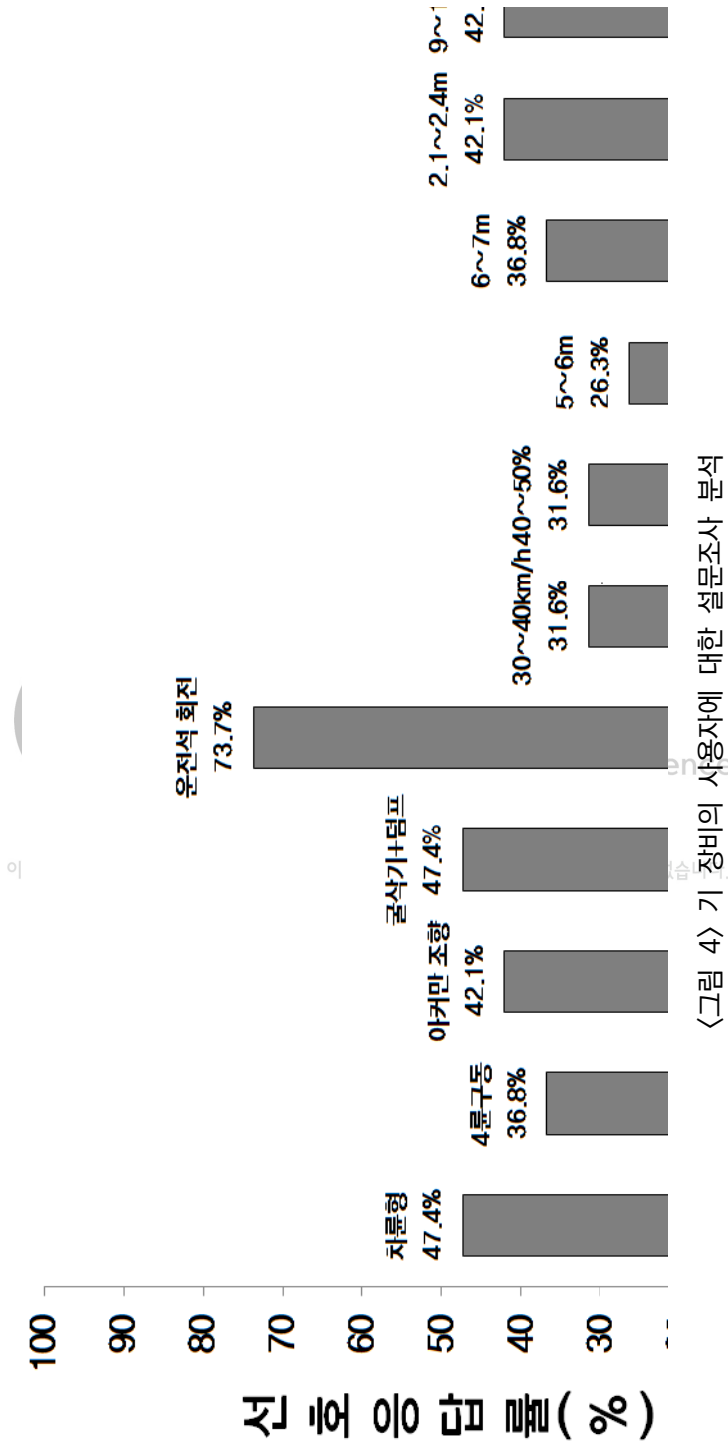
### II

### 다음은 목재 소운반용 차량(포위더)의 구조 및 성능에 관한 문항들입니다. 해당되는 곳에 V해 주세요.

- Q1. 다음의 구동방식 중 어느 것을 선호하십니까?  
 차륜형  케노형  반케노형  트랙터 견인형  기타( )
- Q2. 다음의 차륜형 중 어느 것을 선호하십니까?  
 4륜구동  6륜구동  8륜구동  기타( )
- Q3. 다음의 조향방식 중 어느 것을 선호하십니까?  
 아커만(Ackerman)조향방식, 일반차륜형  
 차체틀격식(Articulated frame steering)조향방식  
 기타( )
- Q4. 다음의 상·하차방식 중 어느 것을 선호하십니까?  
 장착된 크레인(그레플)  장착된 크레인(그레플) + 덤프  
 롤러기 + 덤프  기타( )
- Q5. 다음의 기능 중 선호하는 것을 모두 고르십시오.(복수응답 가능)  
 팀핑(수평보정)  랜덤보기(지형보정)  운전석 회전  
 캐빈 회전  윈치  기타( )
- Q6. 다음 중 최대 주행속도는 어느 것을 선호하십니까?  
 20-30km/hr  30-40km/hr  40-50km/hr  50km/hr 이상  기타( )
- Q7. 다음 중 경사주행능력은 어느 것을 선호하십니까?  
 10%-20%  20%-30%  30%-40%  40%-50%  50% 이상  기타( )
- Q8. 다음 중 차광회전반경(배경)은 어느 것을 선호하십니까?  
 5m 미만  5-6m  6-7m  7-8m  10m 미만  기타( )
- Q9. 다음 중 차광 길이(전장)는 어느 것을 선호하십니까?  
 5-6m  6-7m  7-8m  8-9m  9m 이상  기타( )
- Q10. 다음 중 차폭의 크기(전폭)는 어느 것을 선호하십니까?  
 1.5-1.8m  1.8-2.1m  2.1-2.4m  2.4-2.7m  2.7m 이상  기타( )
- Q11. 다음 중 최대적재량은 어느 것을 선호하십니까?  
 6-7톤  7-8톤  8-9톤  9-10톤  10톤 이상  기타( )
- Q12. 다음 중 크레인견인력은 어느 것을 선호하십니까?  
 200-250kg  250-300kg  300-350kg  350-400kg  400-450kg  450kg 이상
- Q13. 다음 중 구입가능한 목재 소운반용 차량(포위더)의 가격은?  
 1억 미만(적재량 3톤)  1억-2억(적재량 5톤)  
 2억-3억(적재량 8톤)  3억 이상(적재량 10톤)  기타( )

### 귀하의 귀중한 답변에 진심으로 감사드립니다.

<그림 3> 기 장비의 사용자에 대한 설문조사



## 2. 문헌 및 선행연구를 활용한 임업용 포워더 장비 특성 분석

### 2.1. 임업용 포워더 종류 및 특성 조사

임업용 포워더는 적재량과 주행성능이 작업능률을 좌우하는 큰 요인이 된다. 적재량이 클수록 작업능률이 향상되지만 차량중량 및 엔진출력도 같이 커지기 때문에 주행하는 도로의 특성에 대응한 선택이 필요하다.

기존 국내에서 개발한 원목운반용 미니포워더는 소경목 생산을 위한 장비로 엔진출력은 60마력 급, 적재중량 2톤으로 개발되었다. 그러나 현재 중대경제 시대를 맞이하여, 기존 개발된 장비와 현장에서 사용되는 장비들의 경우 성능이 낮고 전용장비가 아니라 작업에 어려운 문제점이 있었다. 이에 국내 현장에 적합한 임업용 포워더를 개발하기 위해 먼저 외국에서 개발되어 사용되는 기존제품에 대한 사양을 조사하였다. 임업용 포워더는 그 종류가 다양하고 또한 기능적인 면에서도 많은 차이를 가지고 있다.

이에, 임업용 포워더의 목표성능 설정을 위한 외국제품의 성능자료를 수집하였다. 23개사 87개 기종의 포워더에 대해 특성을 조사하였으며, <표 3>은 적재중량 10톤 기준으로 조사를 실시하였다.

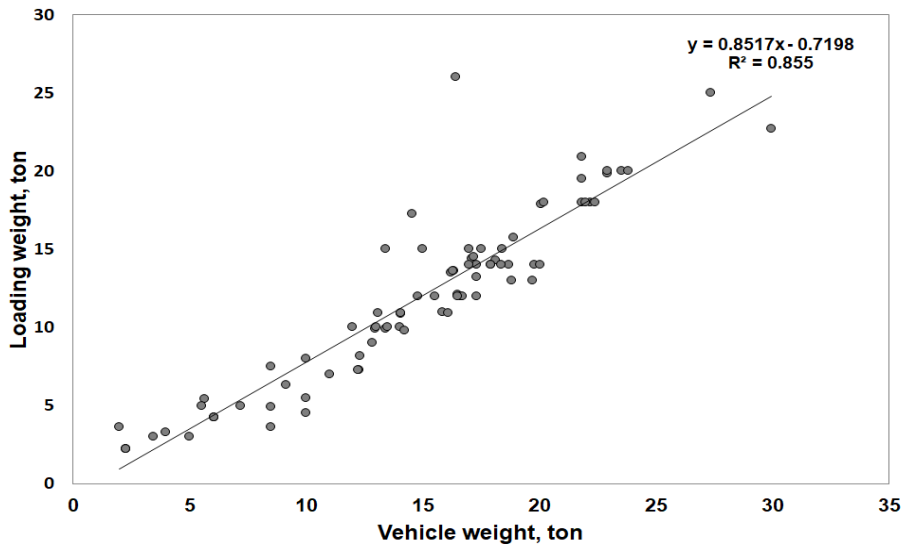
임업용 포워더를 제작하는 업체는 23여 업체에 이르며 크기, 종류, 모델 등이 다양하다. 차륜의 수도 6~10개 정도이며, 적재능력은 최소 3톤에서 최대 25톤 정도이다. 본 연구의 개발품은 우리나라 임지조건에 적합하도록 사양을 검토하였다. 또한 임도 및 작업로에서의 주행과 회전을 고려하여 최소회전반경은 7m 내외로 설계사양을 정하여 작업의 효율성 향상을 도모하였다. 그리고 적재함의 길이는 4,100mm로 우리나라에서 생산되는 목재의 길이가 대부분 3.6m, 2.7m 및 1.8m이므로 이러한 원목을 적재하기에 적합한 규격이다.

따라서 임업용 포워더의 목표성능 설정을 위해 외국제품의 성능자료를 수집 및 분석하였다. 현재 목재생산현장에서 소운반용 포워더의 적재량이 6~7톤인 것을 감안해, 요구하는 9~10톤을 만족하기 위해 차량중량, 적재중량, 엔진출력을 기반으로 상관관계를 분석하였다(그림 5, 6).

〈표 3〉 임업용 포워더 종류 및 특성(적재중량 10톤 기준)

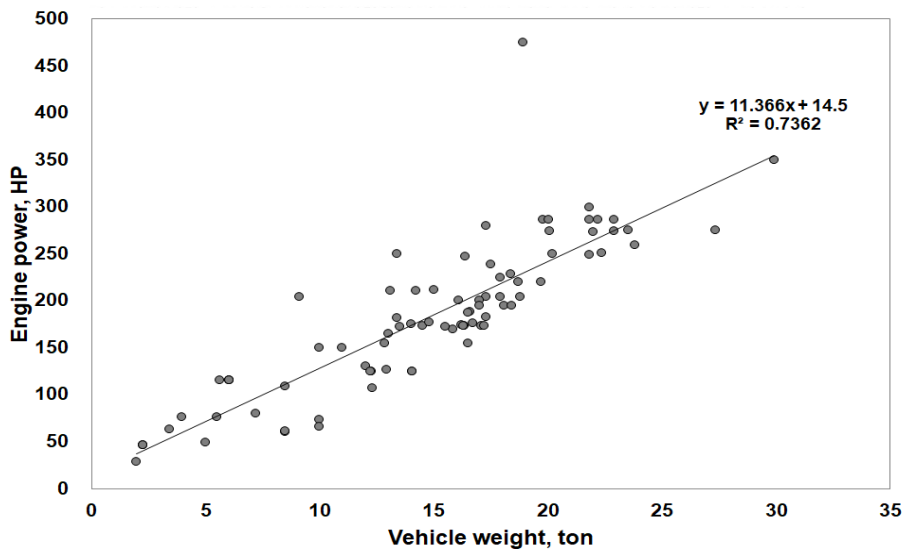
제작회사	모델	길이/폭/높이 (m)	최대 속도 (km/h)	엔진 출력 (hp)	차륜 (개)	적재 능력 (ton)	주행 장치	그래플 인양능력 (kNm)
John deere	810E	8.2/2.3/3.8	23	127	6	9.9	HST-기계식	76.0
Ponsse	Gazelle	9.1/2.7/3.7	23	175	8	10.0	HST-기계식	106.0
Prentice	2344	9.9/2.6/3.5	23	125	6	7.3	전자식	-
	2346	9.8/2.6/3.6	23	125	6	10.9	전자식	-
Rotten	F10B	9.1/2.5/3.7	25	155	8	9.0	HST-기계식	86.7
Dingo	AD8A-24	9.0/2.7/3.3	20	211	8	9.8	HST-기계식	70.0
	AD64-24	9.0/2.7/3.3	20	211	6	10.9	HST-기계식	70.0
	AD6-18	8.5/2.4/3.0	20	150	6	8.0	HST-기계식	56.0
	AD8-18	8.4/2.4/3.0	20	150	6	7.0	HST-기계식	56.0
Eco log	554D	8.2/2.7/3.6	25	130	8	10.0	HST-기계식	-
Volvo	BM9111	8.6/2.5/3.3	23	80	8	10.0	HST-기계식	-
Barko	409	7.3/2.6/3.4	26	148	8	8.2	HST-기계식	47.0
	612	10.3/2.6/3.4	26	200	8	10.9	HST-기계식	60.0
Sampo rosenlew	FR28	8.0/2.7/3.3	25	165	8	10.0	HST-기계식	78.0
Logset	4F GT	9.1/2.5/3.7	25	172	8	10.0	HST-기계식	91.0
Novotny	LVS 720	8.4/2.3/3.0	22	109	8	7.5	HST-기계식	53.0
Agroforeka	AFA 15	-	23	107	8	8.2	전자식	-
Gremo	950F	8.3/2.8/3.6	25	151	8	10.0	HST-기계식	59.0
	950R	7.9/2.6/3.5	25	151	8	10.0	HST-기계식	64.0
	1050F	8.4/2.6/3.4	25	164	8	10.5	HST-기계식	78.0
France	EQF	-	25	160	8	9.0	HST-기계식	67.0





〈그림 5〉 차량중량과 적재중량의 상관관계

〈그림 5〉에서의 차량중량과 적재중량을 이용한 상관관계 분석 결과는 차량중량이 증가할수록 적재중량이 증가하는 경향이었으며, 회귀식은  $y = 0.8517x - 0.7198$  ( $R^2 = 0.855$ )로 분석되었다.



〈그림 6〉 차량중량과 엔진출력의 상관관계

〈그림 6〉에서의 차량중량과 엔진출력을 이용한 상관관계 분석은 차량중량이 증가할 수록 엔진출력이 증가하였으며, 회귀식은  $y = 11.366x + 14.5$  ( $R^2 = 0.7362$ )로 분석되었다.

바퀴형 포워더는 〈그림 7〉과 같이 다양한 형태의 작업기를 장착하여 본래의 목적인 원목을 수집·적재하여 소운반하는 경우이외의 목적으로도 사용할 수 있다. 특히 현장의 목재수확시스템에 따라 포워더는 베이스머신의 활용범위가 매우 큰 편이며 작업기의 종류에 따라 다양한 목재수확의 단위작업에 적용될 수 있다.

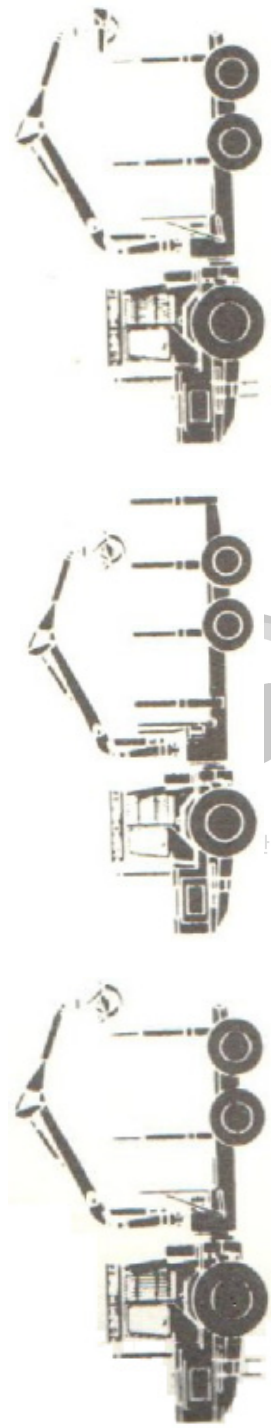
일반적으로 포워더의 구분은 관련 시장에서 장비의 크기, 동력원의 출력 등을 기반으로 4개의 그룹으로 나누고 있다〈표 4〉.

〈표 4〉 국외 임업용 포워더의 분류 기준<sup>1)</sup>.

Machine type	Wheels	Weight (t)	Maximum load (t)	Engine (kW)	Lifting torque of crane (kNm)
Thinning forwarders	8	10~12	9	90	75
All-purpose forwarders	6 or 8	12~16	10~12	130	100
Final felling forwarders	8	15~20	13~17	150	130~150
Heavy final felling forwarders	8	20~22	18~19	200	140~160

1) JVP Forest Systems Oy. 2010. Introduction to forest operations and technology. pp. 98





(a) 포워더

(b) 적재부 연장형 포워더

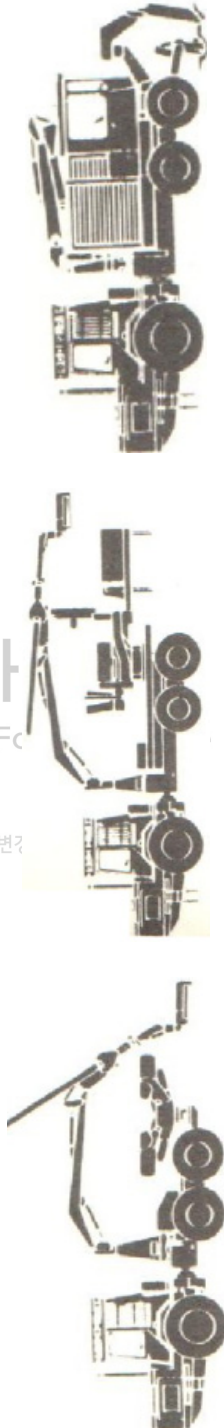
(c) 그레플 소 포워더



(d) 펠러 스키더

(e) 클램프크 스키더

(f) 프로세서



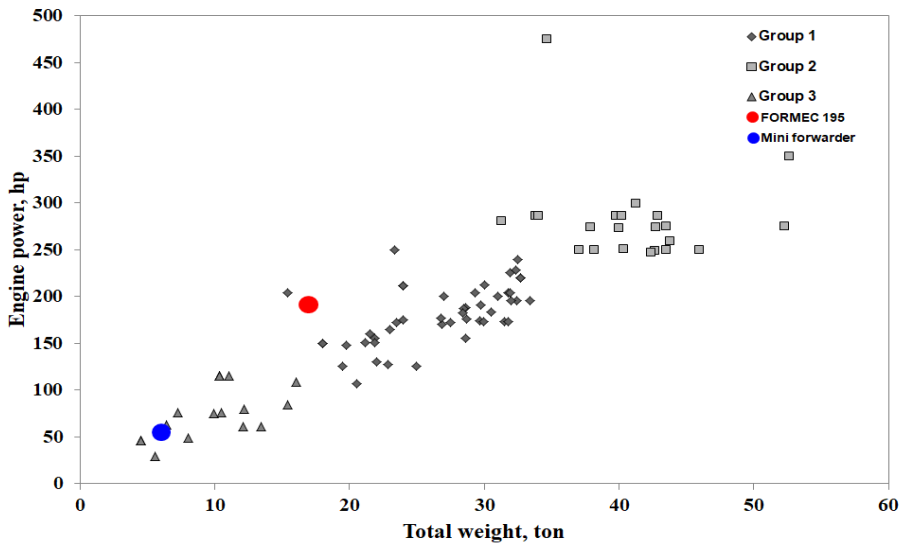
(g) 하베스터

(h) 컴팩트 하베스터

(i) 묘목 이식기

〈그림 7〉 임업용 포워더를 베이스머신으로 한 각종 차량계 임업기계

본 연구에서 개발하고자 하는 임업용 포워더의 목표 사양은 공차중량 10톤, 적재중량 7톤, 엔진출력은 145 kW이며, 국외 임업용 포워더의 종류 및 사양을 조사하여 군집분석을 실시한 결과는 <표 5>과 같이 medium forwarders급으로 나타났다. 이는 국외 임업용 포워더의 분류 기준을 이용하여 분류한 결과 All-purpose forwarders에 속하는 것으로 나타났다.



<그림 8> 국외 임업용 포워더의 군집분석(Medium forwarders)

<표 5> 국외 임업용 포워더의 군집 분석

items	Group1 Small forwarders (n=18)		Group2 Medium forwarders (n=47)		Group1 Heavy forwarders (n=22)	
	Total weight (ton)	Engine power (hp)	Total weight (ton)	Engine power (hp)	Total weight (ton)	Engine power (hp)
Average	10	76	27	181	41	282
Standard deviation	4	28	5	32	5	49
Minimum	5	29	15	107	31	247
Maximum	16	115	33	250	53	475

## 2.2. 기 개발된 임업용 포워더의 성능 조사

본 연구의 목적인 임업용 포워더의 주행 및 적재성능 개선을 위해 기 개발된 원목운반용 미니포워더의 성능조사 및 개선점을 검토하였다. 성능개선 대상인 원목운반용 미니포워더는 2001년 특정연구과제로 수행된 연구 성과물이다(그림 9).

기 개발된 원목운반용 미니포워더는 적재중량 2톤, 구동방식은 6륜 전류구동방식, 동력전달방식은 HST시스템, 조향방식은 유압식 애커만 방식, 등판능력은 최대 30°이상으로 개발되었으나, 운전캐빈이 없어 작업자의 위험성이 높은 실정이다.

또한 국내현장에서는 적재중량이 5톤, 10톤, 작업자의 안전과 작업의 편의성 등이 요구되어 기 개발된 원목운반용 미니포워더의 경우 이를 만족하지 못하고 성능이 부족하기 때문에 성능개선이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 파악하여 성능개선을 실시하고자 하였다. 엔진 출력 및 동력 계통을 개선, 운전석 보호캐빈 추가(역방향 작업가능), 차체굴절식 개량, 크레인 성능 개량, 적재용량 확대, 주행장치 개선(체인, 트랙이용) 등을 고려하였다(그림 9).



〈그림 9〉 기 개발된 원목운반형 미니포워더의 성능개선

### 2.3. 국외 임업용 포워더의 성능시험 조사

국외의 경우 독일의 산림작업 및 임업기계위원회(KWF)에서는 임업용 포워더의 평가 시험항목 및 기술적 성능시험을 통해 장비의 적정성 및 검정제도를 시행하고 있다(그림 10).



〈그림 10〉 국외 임업용 포워더의 성능시험 보고서(KWF)

임업용 포워더의 평가시험 항목은 다음 〈표 6〉과 같으며, 개발된 장비의 평가시험을 통해 적합성 및 안정성 등 현장에서 바람직한 장비로 사용되기 위해 필수적인 검정방법이다. 따라서 국내에도 시급히 검정제도가 도입되어야 될 것으로 판단된다.

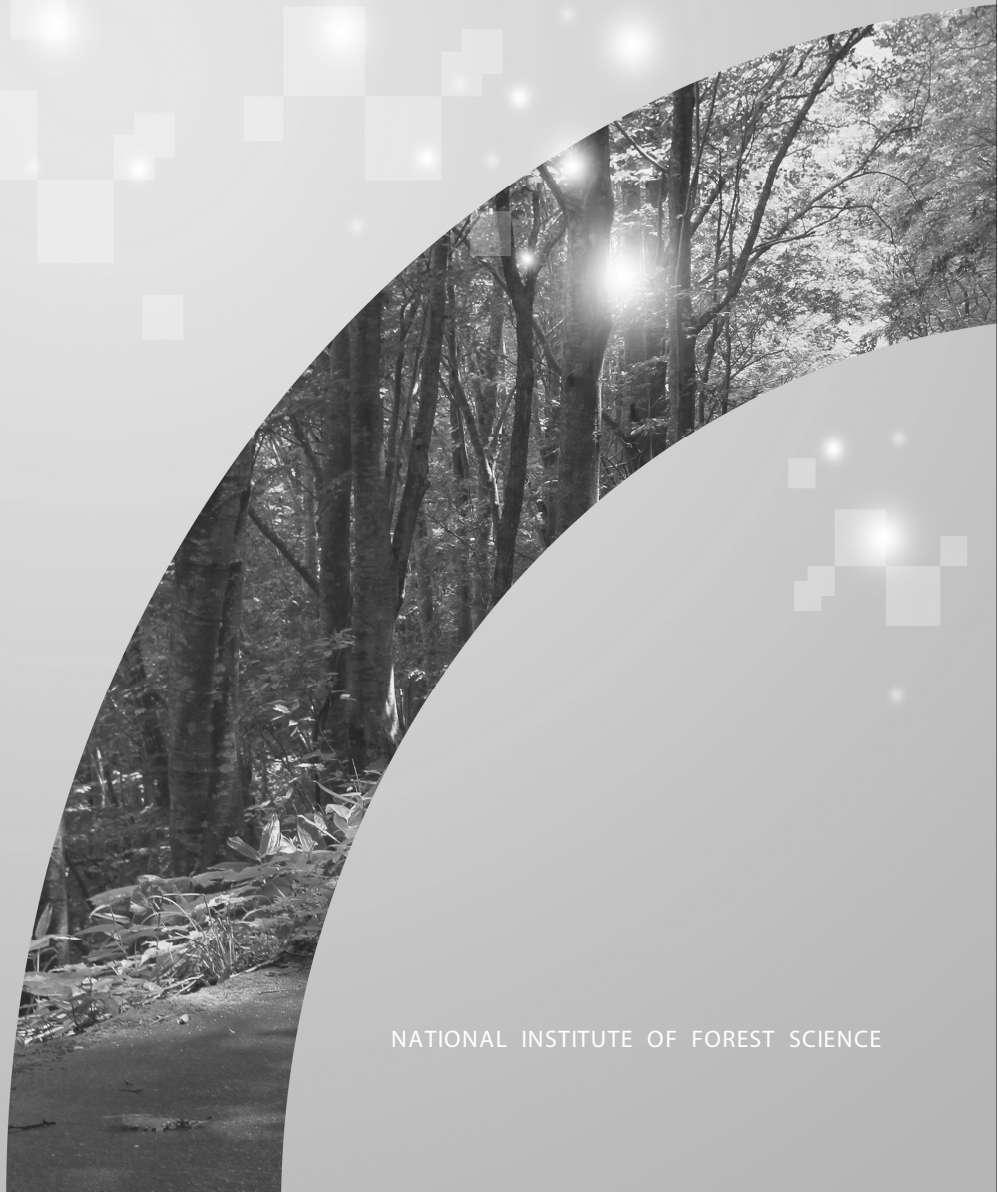
〈표 6〉 임업용 포워더의 평가시험 항목(KWF)

평가시험항목	기술적 성능
1) Forwarder class(1)	1) Axle loads and payload
2) Loading(4)	2) Engine
3) Transport(4)	3) Hydraulic work circuit
4) Ergonomics(6)	4) Hydraulic transmission circuit
5) Work safety(1)	5) Crane
6) Ecology(4)	6) Grapple and rotator
7) Economy(3)	7) Wood bunk
8) Special features(1)	8) Cab
	9) Spare parts supply, handbook and service
	10) Machine cost and calculation basic

임업용 포워더의 주행 및  
적재성능 개선에 관한 연구

# Ⅲ

## 임업용 포워더의 구조 및 동력전달부 개선 설계 및 제작





국립산림과학원

National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

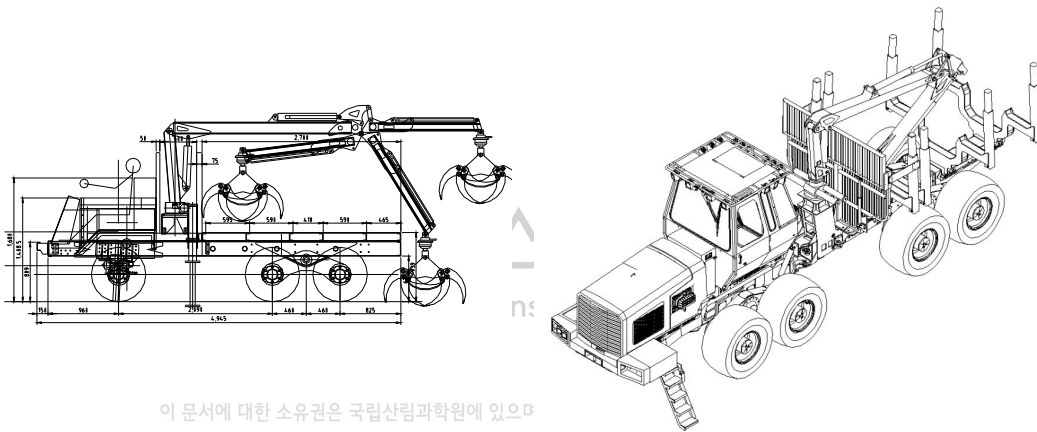


### III. 임업용 포워더의 구조 및 동력전달부 개선 설계 및 제작

#### 1. 임업용 포워더의 구조물 개선 설계·제작 및 성능 분석

##### 1.1. 임업용 포워더의 목표 제원 설정 및 축하중 조사분석

임업용 포워더의 구조물 개선 설계를 위해 기 개발된 고정식 프레임 구조에서 굴절식 프레임 구조로 설계를 하였으며, 적재 총 중량은 17톤, 공차중량 10톤을 목표로 설계를 실시하였다(그림 11).



〈그림 11〉 임업용 포워더의 구조 설계(좌 : 고정식 프레임 구조, 우 : 굴절식 프레임 구조)

임업용 포워더의 차축 설계를 위해 국내·외 포워더의 축하중(전·후륜)비 측정 조사를 실시하였다(그림 12). 궤도형의 축 하중비는 공차 시 2.0:1.0 비율로 전륜에 하중이 더 발생하였고, 적재 시 1.0:3.0 비율로 후륜으로 하중이 전이된 것으로 나타났다. 차륜형도 궤도형과 같이 전륜중량에 비율이 더 높게 나타났으나, 후륜에서는 전륜과 거의 차이가 없는 것으로 나타났다(표 7).



〈그림 12〉 임업용 포워더의 축하중(전·후륜)비 측정조사(좌 : 궤도형, 우 : 차륜형)

〈표 7〉 임업용 포워더의 축하중(전·후륜)비 측정 조사

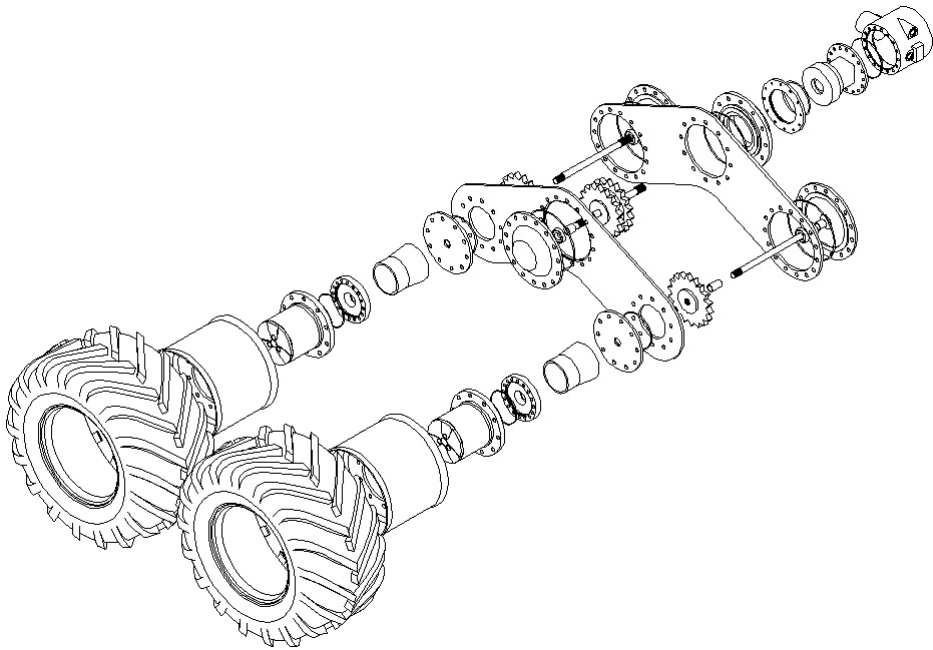
구 분	궤도형		차륜형	
	전륜중량 (톤/비율)	후륜중량 (톤/비율)	전륜중량 (톤/비율)	후륜중량 (톤/비율)
공 차	2.4 / 2.0	1.2 / 1.0	9.3 / 2.3	4.0 / 1.0
적 재	2.1 / 1.0	3.9 / 3.0	9.0 / 1.0	7.5 / 1.2

## 1.2. 임업용 포워더의 구조 설계 및 차체구조물 컴퓨터 시뮬레이션

### 1.2.1. 임업용 포워더의 차축 구조 설계

임업용 포워더의 차축 구조는 보기식(Bogie)으로 채택하여 적재중량 10톤급으로 8륜 구동 보기형식 차축으로 설계를 실시하였다(그림 13). 보기식 차축은 대형 포워더에 많이 사용되는 구조로서 지형의 굴곡에 순응하여 고정식 차축보다 차체의 상하진동을 감소시키며 장애물을 쉽게 통과할 수 있는 장치이며, 각 차륜의 접지압을 일정하게 유지시킬 수 있는 장점이 있어 보기식으로 채택하였다.



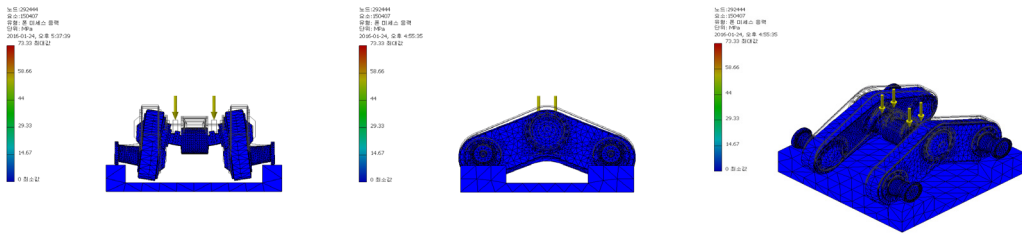


〈그림 13〉 임업용 포워더의 보기차축 3D 구조 설계

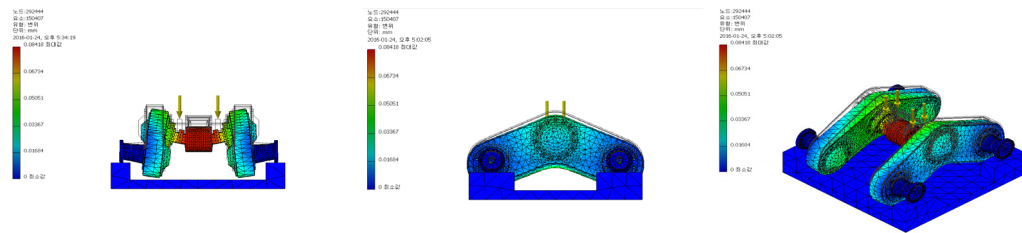
National Institute of Forest Science

### 1.2.2. 임업용 포워더의 차체구조물 컴퓨터 시뮬레이션

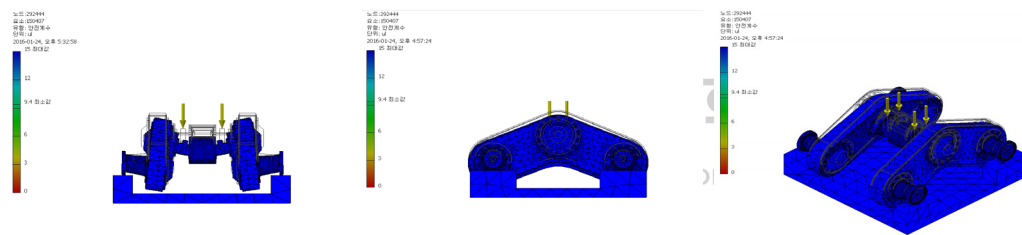
임업용 포워더의 10톤 적재중량에 의한 차체구조물 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다 (그림 14). 차체구조물 컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 소프트웨어는 Autocad사의 Inventor를 이용하여 구조물의 응력분포, 변형도, 안전도를 분석하였다. 최대응력은 73.3 Mpa, 최대변위는 0.08 mm, 안전계수는 9.40의 시뮬레이션 결과로 충분히 10톤을 적재할 수 있는 구조로 분석되었다.



(a) 임업용포워더 차체 구조물 응력분포(최대응력 : 73.3Mpa)



(b) 임업용 포워더의 차체 구조물 변형도(최대변위 : 0.08mm)



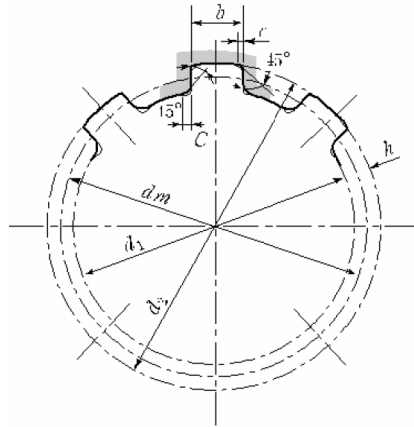
이 문서에서 (c) 임업용 포워더의 차체 구조물 안전도(안전계수)는 9.40입니다.

〈그림 14〉 임업용 포워더의 차체구조물 컴퓨터 시뮬레이션(응력분포, 변형도, 안전도)

### 1.2.3. 임업용 포워더의 동력전달 분석

보기차축 동력전달 축의 최대토크 산출을 통한 동력전달에 필요한 스프로킷, 체인 등을 선정하였다. 동력 전달 축은 스플라인 형태로 전달토크는 다음 식 (1)과 〈그림 15〉을 통해 산출할 수 있다.

$$T = \eta z P_a (h - 2c) l \frac{d_m}{2} \quad (1)$$



〈그림 15〉 동력 전달 축(스플라인)의 현상 및 치수

여기서,

$h$  = 이의높이(mm)

$c$  = 잇면의 모떼기(mm)

$P_a$  = 허용접촉면적(kgf/cm<sup>2</sup>)

$l$  = 보스의 길이(mm)

$d_1$  = 스플라인의 작은지름(mm)

$d_2$  = 스플라인의 큰지름(mm)

$\eta$  = 접촉효율(%)

$z$  = 스플라인 잇수

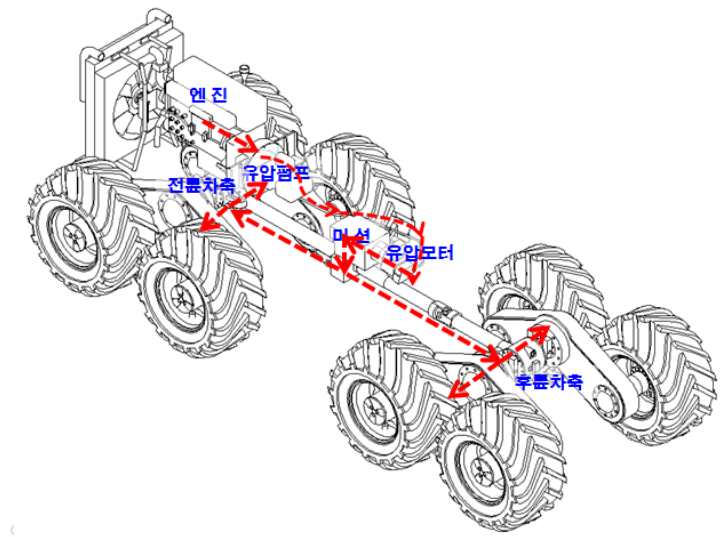
$d_m$  = 평균지름(mm)

보기차축의 전달토크는 279.69kgf · m로 산출되었으며, 이를 바탕으로 체인 규격은 DY160, 스프로켓의 잇수는 18개로 선정하였다.

## 2. 등판성능 향상을 위한 동력전달부 개선 및 성능 분석

### 2.1. 임업용 포워더의 등판성능 향상을 위한 동력전달부

임업용 포워더의 동력전달부 구조 설계 및 동력 전달 흐름도는 <그림 16>과 같다. 동력전달방식은 기존에 개발된 완전 유압식 구동방식에서 유압기계식 동력전달방식으로 개선하여 설계를 실시하였다.



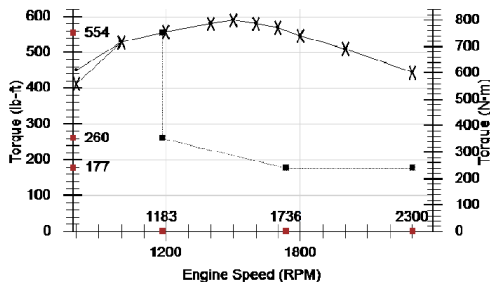
<그림 16> 임업용 포워더의 동력전달 흐름도

임업용 포워더의 동력전달부는 유압기계식 구동방식으로 동력 전달은 엔진→유압펌프→유압모터→트랜스미션→기계식 구동축→차동장치→감속기→휠 순으로 전달된다.

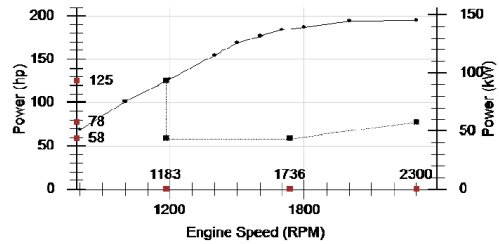
### 2.2. 임업용 포워더의 부품 선정

#### 2.2.1. 적용된 엔진

임업용 포워더의 적용엔진은 일반 자동차용 엔진보다 부하가 크게 걸리므로 내구성을 고려하여 엔진회전수를 낮추어 사용되는 있는 것이 일반적이다. 본 개발대상의 임업용 포워더에 탑재되는 엔진은 커민스의 산업용 엔진으로 최대출력은 195마력(최대토크 800N-m/1,500rpm)이고 성능곡선은 <그림 17>과 같다.



(a) 토크곡선



(b) 동력곡선

〈그림 17〉 임업용 포워더에 적용된 엔진의 성능곡선

임업용 포워더의 장착된 엔진의 특성은 내마모성이 강한 부품을 사용하여 내구성이 높고 중저속에서 토크가 높아 산업용으로 적합하다. 본 엔진의 주용도는 굴삭기, 로더 등의 산업장비에 이용되고 있으며 자세한 제원은 〈표 8〉과 같다.

〈표 8〉 임업용 포워더에 적용된 엔진 제원

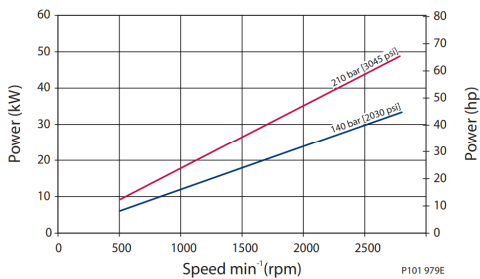
구분	정격 출력	최대 토크
Engine speed(rpm)	2,300	1,500
Output power(hp)	145	126
Torque(N-m)	603	800
Friction horsepower(kW)	35	18
Intake manifold pressure(kPa)	167	115
Turbo comp. outlet pressure(kPa)	177	118
Turbo comp. outlet temperature(deg C)	169	141
Inlet air flow(L/s)	225	119
Charge air flow(kg/min)	15.4	8
Exhaust gas flow(L/s)	463	289
Exhaust gas temperature(deg C)	336	389
Maximum fuel flow to pump(kg/hr)	162	-
Heat rejection to coolant(kW)	99	84
Heat rejection to ambient(kW)	15	13
Heat rejection to exhaust(kW)	96	64

### 2.2.2. 적용된 유압펌프

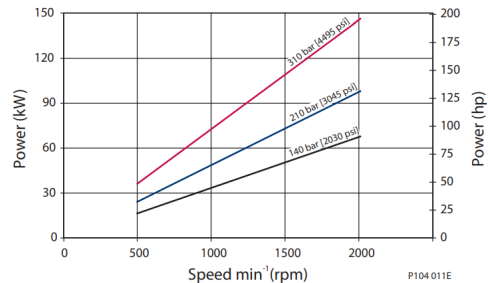
임업용 포워더의 동력전달을 위해 적재중량 10톤을 운반할 수 있는 동력전달 유압 펌프를 선정하였다. 선정된 유압펌프의 제원은 <표 9>와 같으며, 2연 펌프(175cc/rev)로 포워더의 주행(130cc/rev) 및 작업기(45cc/rev) 등을 구동시킬 수 있는 유압동력전달 장치이다. 선정된 유압펌프의 성능곡선은 <그림 18>과 같다.

<표 9> 선정된 유압 펌프의 제원

구 분	단위	모델명	
		K45D	E130B
Maximum displacement	cm <sup>3</sup>	45	130
Flow at rated speed (theoretical)	L/min	119.3	286
Input torque at maximum displacement (theoretical)	N-m/bar	0.716	2.069
Mass moment inertia of internal rotating components	kg·m <sup>2</sup>	0.00203	0.0128
Weight	Axial ports	kg	19.0
	Radial ports	kg	24.0
Input speed	Minimum	rpm	500
	Continuous	rpm	2,650
	Maximum	rpm	2,800
Working pressure	Continuous	bar	210
	Maximum	bar	310



(a) 45cc/rev 유압펌프



(b) 130cc/rev 유압펌프

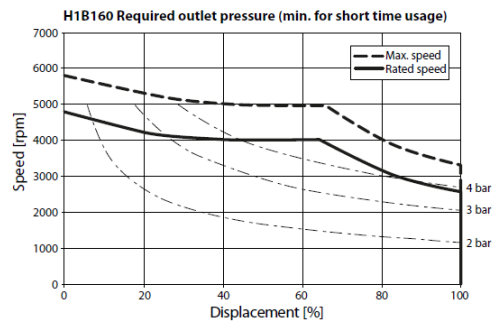
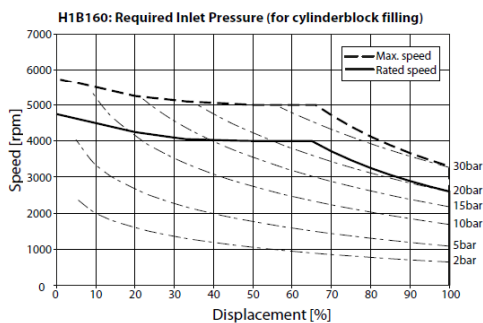
<그림 18> 유압 펌프의 성능곡선

### 2.2.3. 적용된 유압 주행 모터

임업용 포워더의 주행을 위해 선정된 유압모터의 제원은 <표 10>과 같다. 유압모터의 구동은 유압펌프의 압력과 유량을 통해 작동되며, 포워더의 최대 주행 속도 40km/h 이상 낼 수 있는 성능의 유압모터를 선정하였다. 선정된 유압모터의 성능곡선은 <그림 19>와 같다.

<표 10> 선정된 유압 주행 모터 제원

구분		Unit	H1B-160
Displacement	Maximum	cm <sup>3</sup>	160
	Minimum		32
Theor. flow at max. displ.	at rated speed	L/min	416
	at max. speed	N-m/bar	528
Theoretical torque at max. displacement		kW	2.55
Theor. corner power at rated speed and max. working pressure		kg·m <sup>2</sup>	513
Rated out speed	max. displ. 32°	rpm	2,600
	min. displ. 6°	rpm	4,250
	zero displ. 0°	rpm	4,750
Maximum output speed	max. displ. 32°	rpm	3,300
	min. displ. 6°	rpm	5,250
	zero displ. 0°	rpm	5,750
System pressure	Maximum working	bar	450
	Maximum	bar	480



<그림 19> 유압 주행 모터의 성능곡선

적용된 유압모터의 성능확인을 위해 엔진속도 2,300rpm 일 때를 고려하여 유압모터 토크와 최종 감속되었을 때의 소요동력은 식 (2), (3), (4)에 의해 산출되었다.

$$\begin{aligned} \text{유압모터의 회전속도(N)} &= \frac{300.0 \times 1000 \times 0.999}{160} & (2) \\ &= 1,873rpm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{유압모터의 토크(T)} &= \frac{160 \times 310 \times 0.999}{20 \times \pi} & (3) \\ &= 788.6Nm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{유압모터의 파워(P)} &= \frac{788.6 \times 2 \times \pi \times 1,879}{60} & (4) \\ &= 155.17kW \end{aligned}$$

#### 2.2.4. 적용된 트랜스미션

임업용 포워더의 주행 시 저속 및 고속 주행을 할 수 있는 트랜스미션의 제원은 <표 11>과 같다. 트랜스미션은 파일럿 압력에 의해 작동되며, 저속의 감속비는 1:4.42, 고속의 감속비는 1:1.8이며 유압모터의 제원상 고속 주행 시 최대 시속 40km/h이상 낼 수 있는 성능의 트랜스미션을 선정하였다(그림 19). 또한, 식(5), (6)에 의해 저속, 고속에 대한 트랜스미션의 토크 및 파워를 산출하였다.

$$\begin{aligned} \text{트랜스미션의 토크(T)} &= \frac{9550 \times 153.17kW}{423.8rpm} = 3,451.6N \cdot m & (5) \\ \text{(1단 일 경우, 감속비 4.42:1)} & \end{aligned}$$

$$\text{트랜스미션의 파워(P)} = 3,451.6N \cdot m \times 44.38rad/s = 153kW$$

$$\begin{aligned} \text{트랜스미션의 토크(T)} &= \frac{9550 \times 153.17kW}{1,486rpm} = 1,000N \cdot m & (6) \\ \text{(2단 일 경우, 감속비 1.26:1)} & \end{aligned}$$

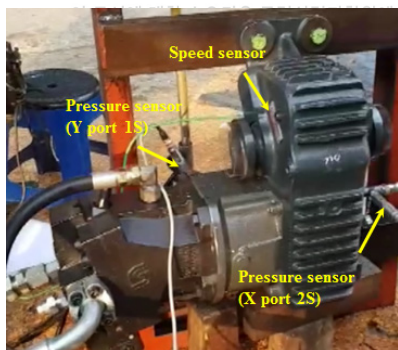
$$\text{트랜스미션의 파워(P)} = 1,000N \cdot m \times 155.67rad/s = 156kW$$



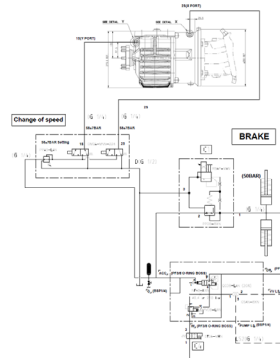
〈표 11〉 선정된 트랜스미션의 제원

구분	단위	Transmission LS4.2
Torque input max.	N-m	803
Rotation input max.	rpm	4,520
Power input max.	kW	94
Transmission ratio gang 1.	-	4.42
Transmission ratio gang 2.	-	1.18
Park brake torque output shaft new	N-m	4,027
Park brake torque output shaft worn.	N-m	2,640

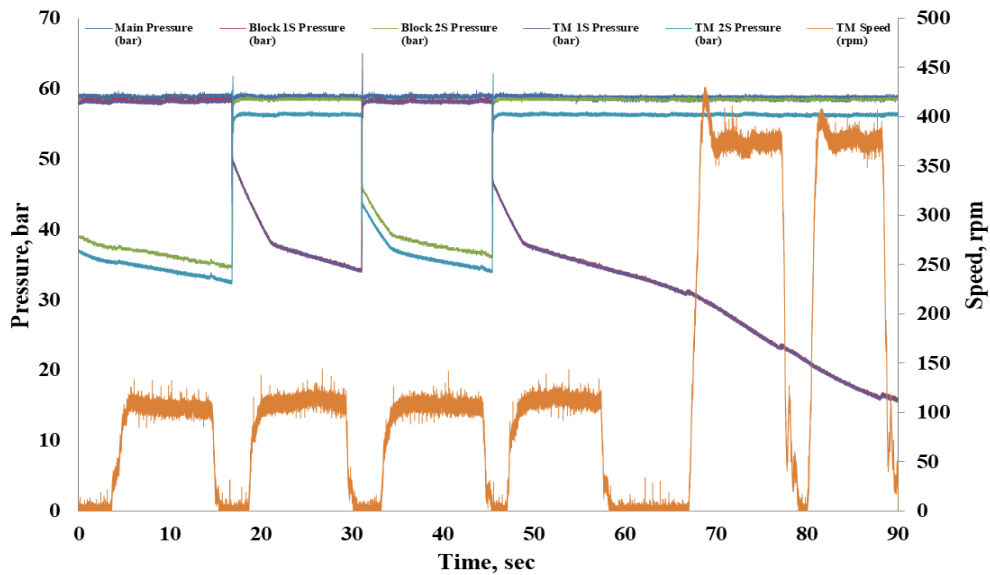
적용된 트랜스미션의 성능시험을 위해 1속, 2속 포트에 58bar를 설정하여, 포워더의 전진 및 후진 시에 압력과 속도센서를 이용하여 작동 유무를 확인하였다(그림 20). 측정 결과, 1속과 2속으로 변화하였을 때 빠르게 응답하여 동작이 이루어지고 정상적으로 작동되는 것으로 나타났다(그림 21).



있으며, 동의 없으



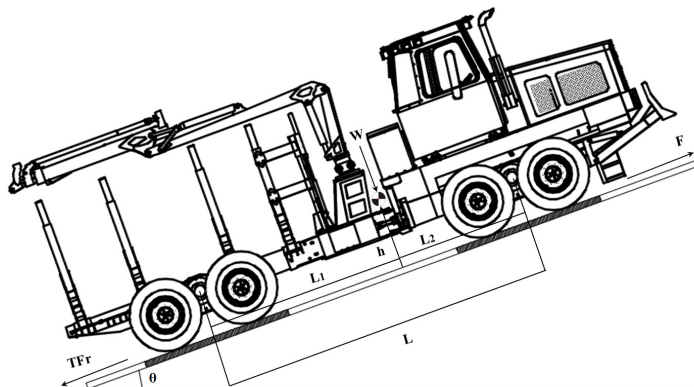
〈그림 20〉 임업용 포워더에 적용된 트랜스미션 및 유압회로도



〈그림 21〉 임업용 포워더의 트랜스미션 가동 시 압력 및 속도 변화

### 2.2.5. 임업용 포워더의 등판성능 분석

임업용 포워더의 등판성능 향상을 위해 가장 험한 지형으로 설정한 경사지 20°를 주행할 때 구동륜에 작용하는 하중전이를 고려하여 각각 전륜과 후륜의 작용하중을 산출하였다. 이를 적용하여 경사지에서의 포워더의 공차주행과 적재주행 시 토양 추진력을 산출하였다.



〈그림 22〉 임업용 포워더의 하중에 따른 자유선체도

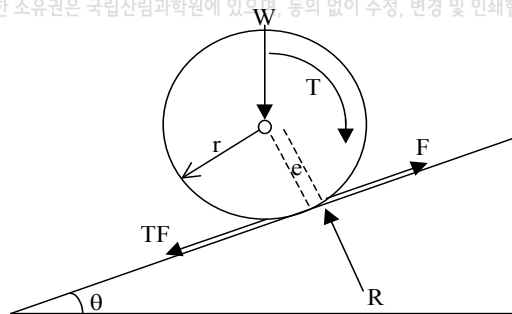
여기서,  $W$ =적재 포워더의 전체무게(공차 12,500kg 적재 19,500kg)  
 $L$ =축간거리(5.4m)  
 $\theta$ =등판경사( $20^\circ$ )  
 $h$ =포워더의 무게중심 높이(1m)  
 $L_1$ =포워더 무게중심과 후륜축간의 거리(2.9m)  
 $L_2$ =포워더 무게중심과 전륜축간의 거리(2.5m)

<표 12> 여러 가지 노면상태에 따른 트랙터 점착계수<sup>1)</sup>

노면	궤도형	차륜형
얼음	0.12	0.12
사질식토(윤)	0.27	0.17
모래(건)	0.29	0.20
다져진 눈	-	0.20
미끄러운바위(윤)	0.15	0.20
모래(습윤)	0.32	0.35
자갈	-	0.36
미끄러운바위(건)	0.20	0.50
점토(건)	0.58	0.55

1) 산림과 임업기술(III) 산림경영, 산림청, 2000년, 582pp

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.



<그림 23> 구동륜의 자유체선도

공차 및 적재 시 포워더와 무게 중심점, 차량 무게중심의 높이, 차량 무게중심과 전·후륜간의 수평거리 등의 인자와 각 차륜에 작용하는 지면반력과 힘의 평형관계식을 이용하여 최대경사지  $20^\circ$ 에서 일정한 속도로 주행하는 공차시 임업용 포워더의 전·후륜에 작용하는 하중은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{전륜부에 작용하는 하중} &= \frac{W(L_1 \cos\theta - h \sin\theta)}{L \cdot \cos\theta} & (7) \\ &= \frac{19,500kg(2.9m \cdot \cos 20^\circ - 1m \cdot \sin 20^\circ)}{5.4m \cdot \cos 20^\circ} \end{aligned}$$

$$= 8,086.6kg(79,326N)$$

$$\begin{aligned} \text{후륜부에 작용하는 하중} &= \frac{W(L_2 \cos\theta + h \sin\theta)}{L \cdot \cos\theta} & (8) \\ &= \frac{19,500kg(2.5m \cdot \cos 20^\circ + 1m \cdot \sin 20^\circ)}{5.4m \cdot \cos 20^\circ} \end{aligned}$$

$$= 8,086.6kg(79,326N)$$

$$\begin{aligned} \text{전륜부의 토양추진력} \quad F_f &= W(\sin\theta + \mu \cos\theta) & (9) \\ &= 79,326N(\sin 20^\circ + 0.3 \times \cos 20^\circ) \\ &= 49,494N \end{aligned}$$

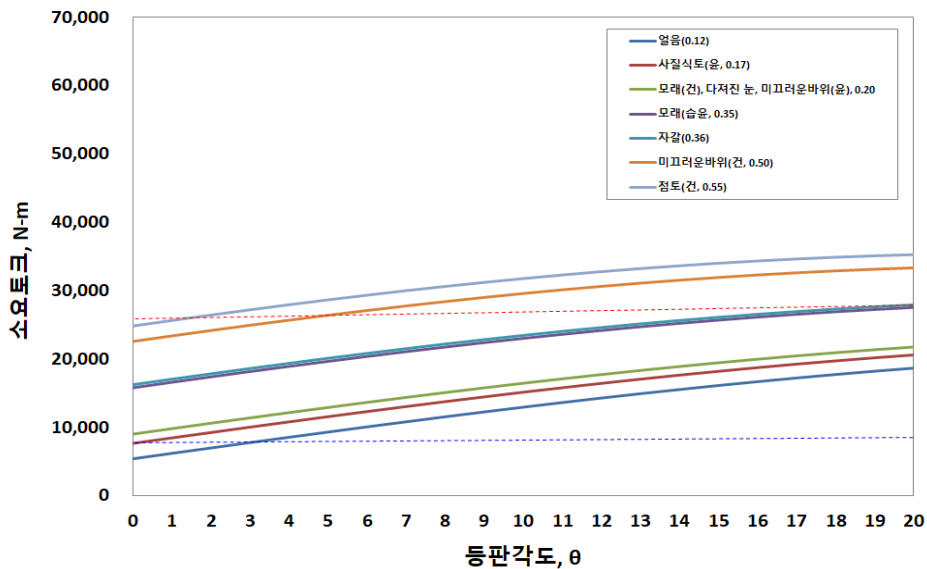
$$\begin{aligned} \text{후륜부의 토양추진력} \quad F_r &= W(\sin\theta + \mu \cos\theta) & (10) \\ &= 89,588.0N(\sin 20^\circ + 0.3 \times \cos 20^\circ) \\ &= 55,896.5N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{전륜 보기차축에 소요되는 토크} \quad T_f &= \frac{F_f \times r}{n} & (11) \\ &= \frac{49,494N \times 0.585m}{2} \\ &= 14,477.0N \cdot m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{후륜 보기차축에 소요되는 토크} \quad T_r &= \frac{F_r \times r}{n} & (12) \\ &= \frac{55,896.5N \times 0.585m}{2} \\ &= 16,349.7N \cdot m \end{aligned}$$

산출된 포워더와 전륜, 후륜의 하중 값을 이용하여 전륜과 후륜의 토양추진력을 산출할 수 있다. 여기서 차륜형 포워더가 주행하는 임도의 상태는 상당히 열악하다 가정 하에 구름저항계수 값을 고려하였으며, 모래가 섞인 점토질 도로의 상태를 나타내는 마찰계수 0.3으로 가정하였다(표 12).

따라서, 앞서 산출한 차륜에 작용하는 하중과 경사지 주행 시 발생하는 경사저항, 구름저항을 고려하여 각 차륜의 토양 추진력을 식 (13)과 (14)을 통해 산출하였으며, 차륜의 구동하기 위해 필요한 토크는 30,826.7 N · m로 산출되었다.



〈그림 24〉 공차 시 임업용 포워더의 소요토크

적재시 임업용 포워더의 전·후륜에 작용하는 하중은 다음과 같다.

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

$$\begin{aligned}
 \text{전륜부에 작용하는 하중} &= \frac{W(L_1 \cos\theta - h \sin\theta)}{L \cdot \cos\theta} & (13) \\
 &= \frac{29,500\text{kg}(2.9\text{m} \cdot \cos 20^\circ - 1\text{m} \cdot \sin 20^\circ)}{5.4\text{m} \cdot \cos 20^\circ} \\
 &= 12,233.6\text{kg} (120,012\text{N})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{후륜부에 작용하는 하중} &= \frac{W(L_2 \cos\theta - h \sin\theta)}{L \cdot \cos\theta} & (14) \\
 &= \frac{29,500\text{kg}(2.5\text{m} \cdot \cos 20^\circ + 1\text{m} \cdot \sin 20^\circ)}{5.4\text{m} \cdot \cos 20^\circ} \\
 &= 13,815.6\text{kg} (135,530.6\text{N})
 \end{aligned}$$

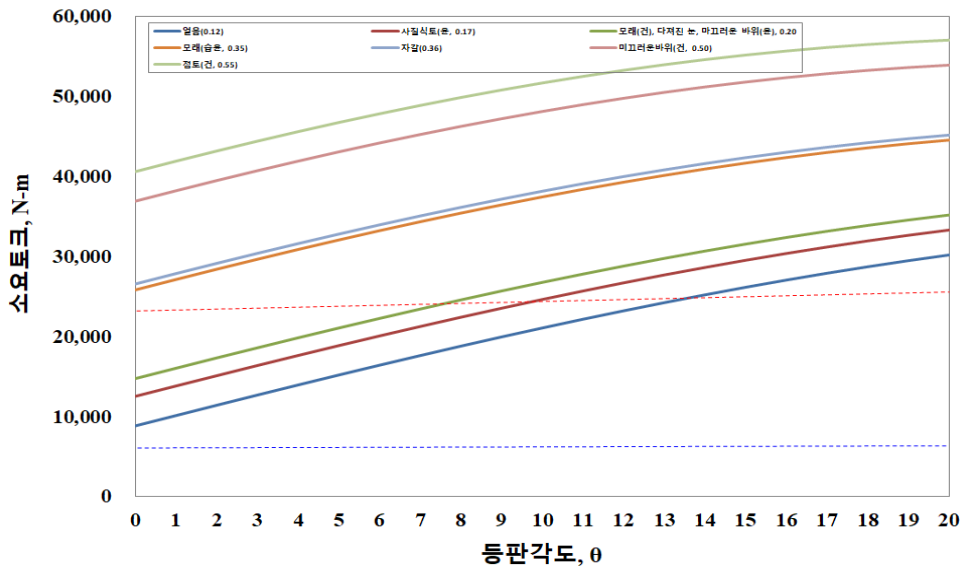
$$\begin{aligned}
 \text{전륜부의 토양추진력} \quad F_f &= W(\sin\theta + \mu \cos\theta) & (15) \\
 &= 120,012\text{N}(\sin 20^\circ + 0.3 \times \cos 20^\circ) \\
 &= 74,878.9\text{N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{후륜부의 토양추진력 } F_r &= W(\sin\theta + \mu\cos\theta) & (16) \\
 &= 135,815.6N(\sin 20^\circ + 0.3 \times \cos 20^\circ) \\
 &= 84,739.1N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{전륜 보기차축에 소요되는 토크 } T_f &= \frac{F_f \times r}{n} & (17) \\
 &= \frac{74,878.9N \times 0.585m}{2} \\
 &= 21,902.1N \cdot m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{후륜 보기차축에 소요되는 토크 } T_r &= \frac{F_r \times r}{n} & (18) \\
 &= \frac{84,739.1N \times 0.585m}{2} \\
 &= 24,786.2N \cdot m
 \end{aligned}$$

따라서, 앞서 산출한 차륜에 자용하는 하중과 경사지 주행 시 발생하는 경사저항, 구름저항을 고려하여 각 차륜의 토양 추진력을 식 (17)과 (18)을 통해 산출하였으며, 차륜의 구동하기 위해 필요한 토크는 46,688.3 N · m로 산출되었다.

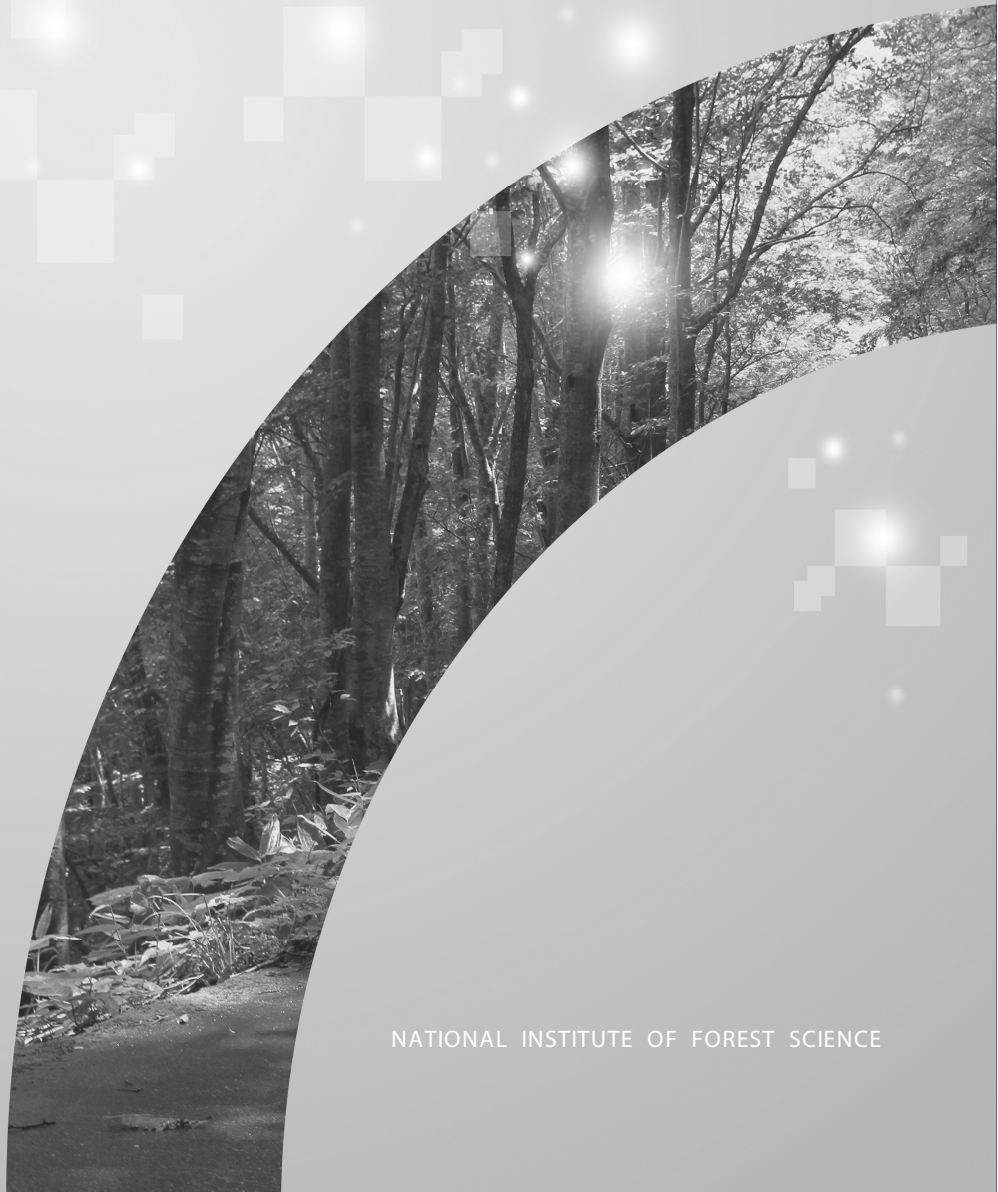


〈그림 25〉 적재 시 임업용 포워더의 소요토크

임업용 포워더의 주행 및  
적재성능 개선에 관한 연구

# IV

## 임업용 포워더의 부속작업기의 작업 성능개선





국립산림과학원

National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.



## IV. 임업용 포워더의 부속작업기의 작업 성능개선

### 1. 포워더 크레인 및 윈치의 성능개선

#### 1.1. 국외 임업용 크레인의 조사

임업용 크레인의 구조 설계 및 해석을 위해 25개사 91개 기종의 적재중량 10톤 급 임업용 크레인에 대해 리프팅 능력 등 11개 항목을 조사·분석하였다<표 13>.

<표 13> 국외 적재중량 10톤 급 임업용 크레인 조사

모델명	적재 중량 (ton)	크레인		리프팅 능력 (kNm)	선회 토크 (kNm)	선회 각도 (°)	필러 (mm)	붐 (mm)	암 (mm)	리치 (m)	확장 길이 (m)	작동 유량 (ℓ/min)	작동 압력 (Mpa)	크레인 중량 (kg)	최대 거리에서 리프팅 힘 (KN)
		제조사	모델												
810E	9.9	CF1	CF198	76.0	19	380	2166	3500	2480	9.8	3.94	60-80	24	1400	410
Gazelle	10.0	Ponsse K70+	K70+	106.0	24.5	360	-	-	-	10	-	-	235	-	-
409	8.2	Kesla F500	500	47.0	16	380	1725	3400	1930	6.53	1.2	60-80	18.5	970	735
612	10.9	Kesla F600	600	60.0	380	1900	3780	2370	8.2	8.5	70-90	22	1,425	740	740
BM9111	10.0	Cranab 6010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FR28	10.0	MeseraF 59 Kesla 600	59FT 100i	78.0	19.3	380	1806	3400	2400	10	4.2	80~100	19	1350	410
4F GT	10.0	Mesera Loglift 61	-	91.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LVS 720	7.5	cranab fc 53 tele	FC53	53.0	12	380	-	-	-	6.5	1.55	40-80	18.5	720	632.0
AFA 15	8.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
950F	10.0	-	-	59.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
950R	10.0	Loglift 51F	F51FT 87	64.0	17.5	380	선택	3250	2434	8.64	2.98	60~80	20	1015	480
1050F	10.5	Loglift 59F	F59F 72	87.0	21.9	380	1806	3400	2400	7.19	1.39	80~100	21.5	1110	810
SIFOR 809F (8WD)	9.0	Cranab FC65	FC6S	67.0	22	370	선택	3400	2090	7.2	1.7	90~150	23.5	1,235	560.7

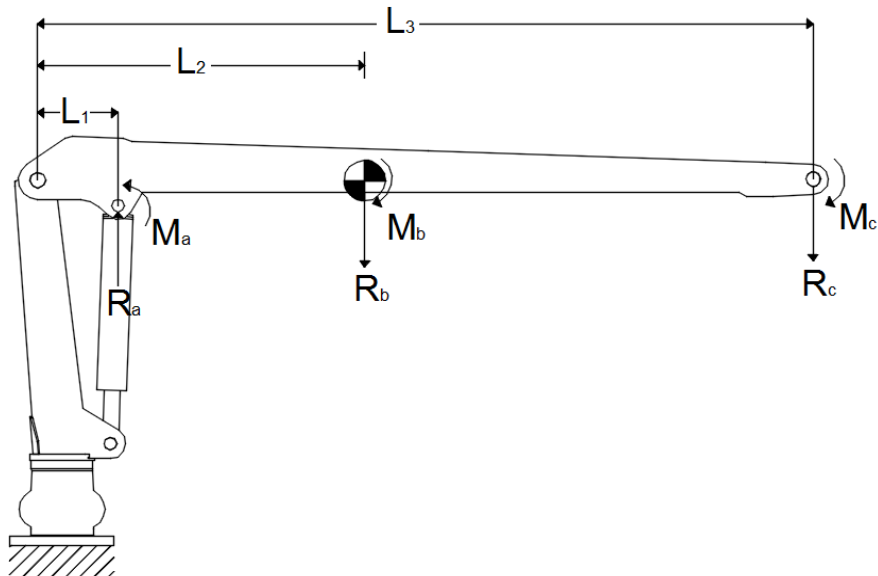
적재중량 10톤 급 기준으로 조사·분석한 결과 크레인 평균 길이 8.3m로 나타났고, 평균 리프팅 능력 8,886.9N로 분석되었다<표 14>.

<표 14> 국외 임업용 크레인의 특성조사분석

구분	크레인 길이(m)	리프팅 능력(N)
최소	6.5	4,591.1
최대	10.0	12,095.7
평균	8.3	8,886.9

## 1.2. 임업용 크레인의 구조 설계

임업용 크레인의 목표는 말구직경 34cm, 길이 3.6m, 1회 적재량 기준 낙엽송 원목 2개(6,475N)를 기준으로 설계하였다. 임업용 크레인의 하중에 변화에 따른 역학분석 통해 이론적 검증을 실시하였다<그림 26>.



<그림 26> 임업용 크레인의 하중에 따른 자유선체도

여기서,  $L_1$  = 회전축에서 힘이 가해지는 거리, m

$L_2$  = 회전축에서 힘이 부여되는 거리, m

$L_3$  = 회전축에서 크레인의 무게중심까지 거리, m

$R_a$  = 유압실린더에서 가해지는 힘, N

$R_b$  = 크레인 무게중심에 부여되는 힘, N

$R_c$  = 크레인 뿔에서 부여되는 힘, N

$W$  = 무게중심

$$\sum M = M_a + M_b - M_c + (R_a \times L_1) - (R_b \times L_2) - (R_c \times L_3) = 0$$

$$\sum M_a = M_a + M_b - M_c - (R_b \times (L_2 - L_1) - R_c \times (L_3 - L_2)) = 0$$

$$\sum M_b = M_b + M_a - M_c + (R_a \times (L_2 - L_1) - R_c \times (L_3 - L_2)) = 0$$

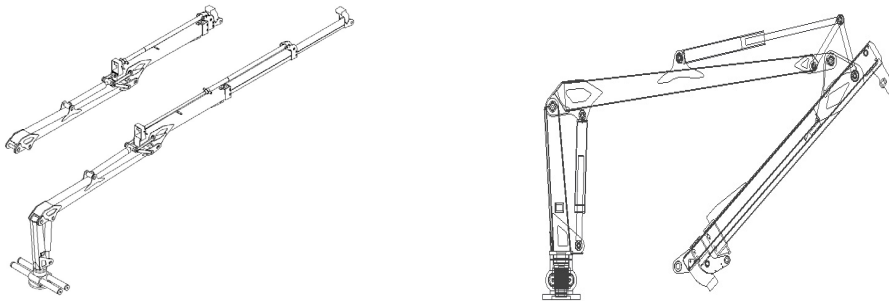
$$\sum M_c = -M_b + M_a + M_c - (R_b \times (L_3 - L_1) + R_a \times (L_2 - L_1)) = 0$$

$$R_a \text{에 대한 모멘트 } M_{Ra} = L_1 \times R_a$$

$$R_b \text{에 대한 모멘트 } M_{Rb} = L_2 \times -R_b$$

$$R_c \text{에 대한 모멘트 } M_{Rc} = L_3 \times -R_c$$

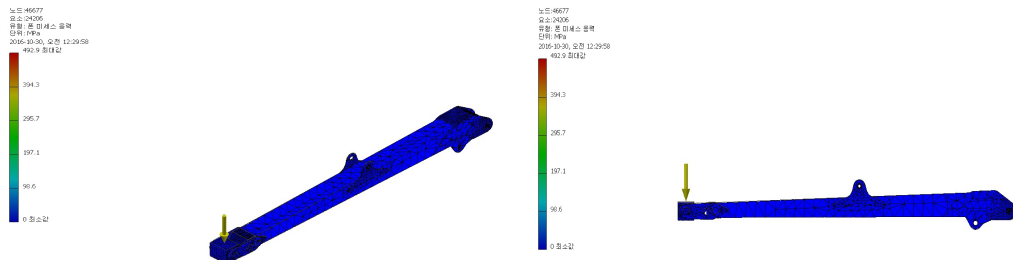
임업용 크레인 최소거리에서 리프팅 할 수 있는 능력이 목재무게+크레인 암 무게가 12,361N로 나타났다. 크레인 작동압력 190bar 일 때, 실린더의 최소 단면적은 67.0cm<sup>2</sup>으로 리프팅 능력이 12,730N으로 목재무게+크레인 암 무게 보다 높게 산출되어 이를 기준으로 구조 설계 하였다<그림 27>.



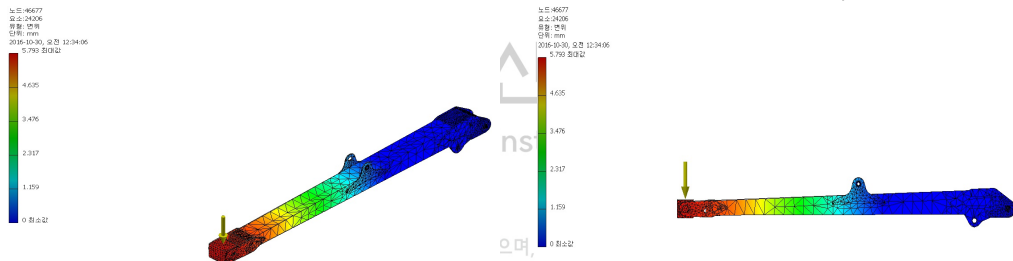
<그림 27> 임업용 크레인의 구조 설계

### 1.3. 임업용 크레인의 작업 시 응력분포 및 안전도 해석 평가

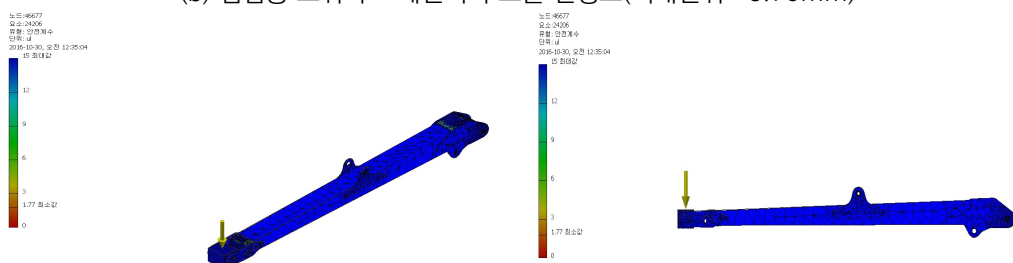
임업용 포워더 크레인의 최대리프팅 능력에 의한 구조물을 컴퓨터 시뮬레이션 하였다 <그림 28>. 구조물 컴퓨터 시뮬레이션에서 사용된 소프트웨어는 Autocad사의 Inventor 를 이용하여 구조물의 응력분포, 변형도, 안전도를 분석하였다. 최대응력 492.9Mpa, 최대변위 5.79mm, 안전계수 1.77로 분석되었다.



(a) 임업용 포워더 크레인의 구조물 응력분포(최대응력 : 492.9Mpa)



(b) 임업용 포워더 크레인의 구조물 변형도(최대변위 : 5.79mm)

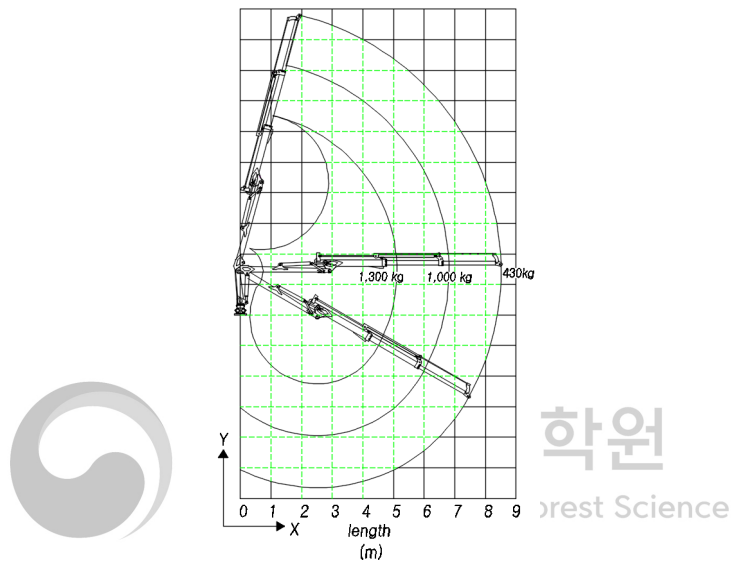


(c) 임업용 포워더 크레인의 구조물 안전도(안전계수 : 1.77)

<그림 28> 임업용 포워더 크레인의 구조물 컴퓨터 시뮬레이션(응력분포, 변형도, 안전도)

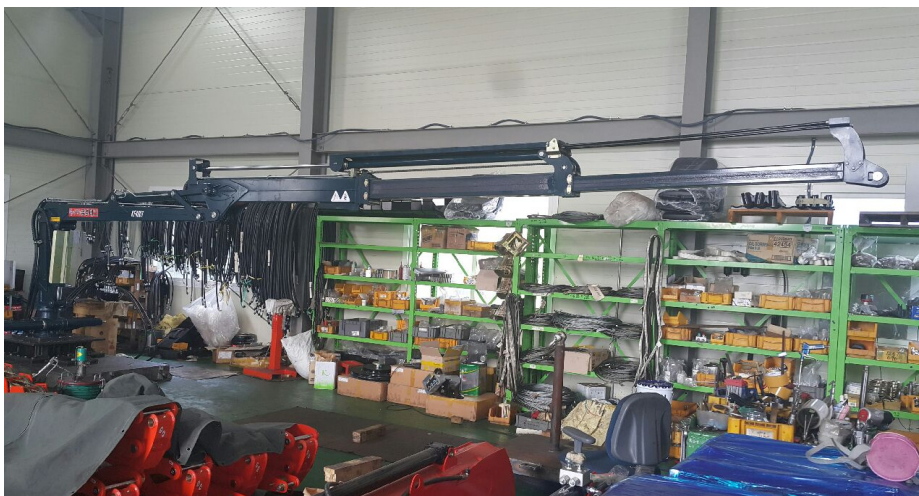
### 1.4. 임업용 크레인의 작업범위 및 리프팅 능력 측정

임업용 크레인의 작업범위는 최대길이 8.5m, 최소거리에서 리프팅 능력 12,361N, 회전능력 380°으로 설계·제작하였다<그림 29, 30>. 크레인의 작업범위별 최소, 최대 일 때의 리프팅 능력을 측정하였다.



<그림 29> 임업용 크레인의 작업범위도

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 인용 및 인쇄할 수 없습니다.



<그림 30> 임업용 크레인의 완성품

### 1.5. 포워더 부속원치의 견인력 및 유압특성 측정 분석

국내에 도입되거나 기 개발 된 포워더 원치의 부착 형태별로 조사·분석하였다(표 15).

〈표 15〉 포워더 원치 종류별 사양 및 규격 조사

원치 적용 포워더 제작사명	드럼사양(mm)			와이어 직경 (mm)	집재 거리 (m)	견인력 (톤)	동력 방식	조작 방식
	플랜지 직경	드럼폭	드럼 직경					
기 개발 원치 <sup>1)</sup>	230	238	90	10	80	2.0	유압 (체인감속)	레버
OIKAWA <sup>1)</sup>	288	240	140	8	150	1.8	유압 (체인감속)	레버
MOROOKA <sup>1)</sup>	305	210	153	10	60	2.0	유압 (기어감속)	레버
KINETIC <sup>2)</sup>	160	58	60	6	20	1.0	유압 (기어감속)	무선 리모컨
KESLA <sup>2)</sup>	175	145	100	6	40	1.4	유압 (기어감속)	무선 리모컨

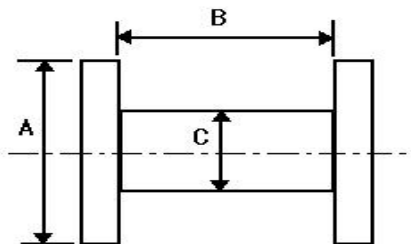
1) 포워더 전면에 부착된 원치 형태

2) 크레인에 부착된 원치 형태

National Institute of Forest Science

포워더 원치의 설계는 원거리의 원목을 견인 집재하거나 차량이 빠졌을 때 탈출하기 위한 보조용으로 드럼용량  $\phi 10\text{mm} \times 80\text{m}$ , 견인력 5톤으로 포워더 전면에 부착할 수 있도록 고려하였다. 포워더 원치는 와이어로프를 풀 때는 유압의 가동이 되지 않는 상태에서 풀리는 free pulling 시스템을 적용하였다.

원치의 드럼 설계는 드럼 폭(B)와 플랜지(A) 각도는 와이어로프가 안전하게 감길 수 있도록 90도가 되어야 하며, 와이어로프를 드럼의 가장 아래쪽에 안전하게 감기도록 배럴 표면에 홈을 파 놓은 경우도 있다(그림 31).



〈그림 31〉 원치용 드럼의 모식도

드럼의 규격은 베어드럼 직경(C)이 295mm, 드럼 폭(B)이 370mm, 플랜지직경(A)이 340mm로 여기에 직경 10mm의 와이어로프를 감을 경우 다음과 같이 드럼에 감기는 와이어로프의 길이를 산출할 수 있다.

- 중간직경에서 와이어로프 1롤의 길이 :  $\pi \cdot \{C + (A-C)/2\}$
- 1 레이어의 와이어로프 :  $B/d$
- 레이어의 수 :  $(A-C)/2d$
- 드럼에 감기는 와이어로프 길이 :  $L = \pi \cdot \{C+(A-C)/2\} \cdot B/d \cdot (A-C)/2d$

$$L = \frac{\pi B (A+C) \cdot (A-C)}{4d^2} = \frac{\pi B}{4d^2} (A^2 - C^2) \quad (19)$$

포워더 윈치의 견인력 및 견인속도를 목표 사양에 부합되는 설정치를 얻기 위한 윈치 드럼 요구 토크와 모터의 토크는 엔진 회전수, 펌프용적효율, 토크효율, 모터용량 및 펌프용량 등의 자료를 이용하여 산출이 가능하다.

설계된 드럼 요구 토크와 모터 요구 토크를 확인하기 위해 이론적 검토를 실시하였다. 윈치 드럼의 요구 토크와 감김 속도 등에 대한 계산식을 이용하여 드럼 요구 토크는  $7,799.0N \cdot m$ 로 산출되었다.

$$T_D = r \times F = 159 \times \frac{5,000 \times G}{1,000} = 7,799.0N \cdot m$$

여기서,  $T_D$  = 드럼에서의 토크( $N \cdot m$ )

$r$  = 와이어로프가 감긴 상태에서의 베어드럼과 폴드럼 반경(mm)

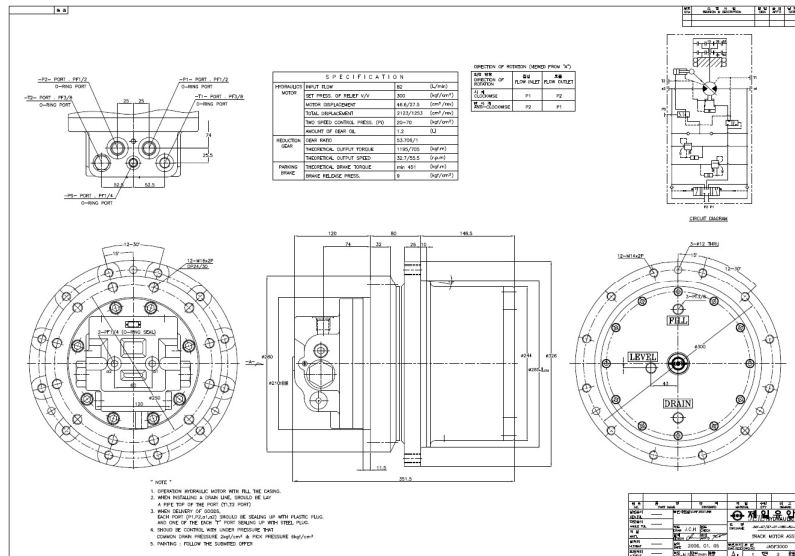
$F$  = 인양하중(N)

$G$  = 중력가속도(N)

드럼 요구 토크에서 산출된 값을 기준으로 유압모터를 선정하여 드럼 요구 토크에 만족되는 지를 검토하였다. 유압모터는 감속기를 부착하여, 건설기계, 특장차량, 산업기계 등 많은 분야에서 사용되고 있다. 선정된 유압모터는 2속 사판형 엑시얼 피스톤 모터로서 브레이크 밸브, 미케니컬 브레이크를 내장하고 있으며 유압모터의 제원은 다음과 같다<표 16, 그림 32>.

〈표 16〉 포워더 원치의 유압모터 제원

구 분	사양 및 규격	
유압모터	입력 유량	82 L/min
	사용 압력	300 kgf/cm <sup>2</sup>
	모터 용량	46.6/27.5 cc/rev
	총 모터 용량	2,123/1,253 cc/rev
	2속 제어 압력	20~70 kgf/cm <sup>2</sup>
	기어오일 용량	1.2 L
기어비	기어비	53.706/1
	이론적 출력 토크	1,195/705 kgf · m
	이론적 출력 속도	32.7/55.5 rpm
파킹 브레이크	이론적 브레이크 토크	최소 451 kgf · m
	브레이크 해제 압력	9 kgf/cm <sup>2</sup>



〈그림 32〉 적용된 임업용 포워더의 원치 유압모터 2D 도면

포워더 원치의 유압모터 요구 토크는 다음의 식 (20)을 이용하여 산출하였다. 이를 기준으로 원치를 설계하였다(그림 33).



$$T_M = \frac{P \cdot q_m \cdot \eta_m}{2\pi \times 100} \quad (20)$$

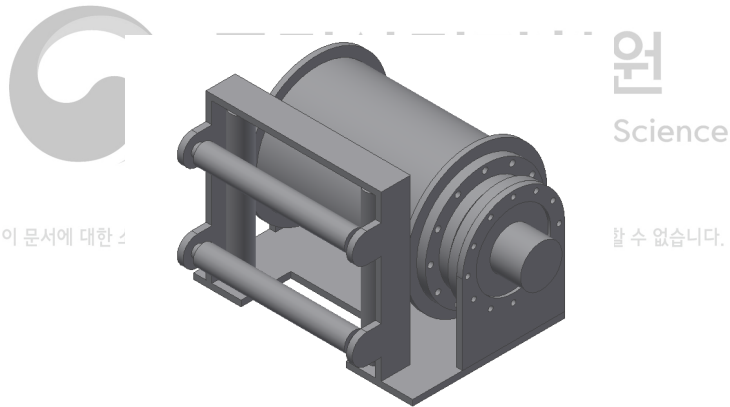
여기서,  $P$  = 모터 사용 압력  
 $Q_m$  = 1회전당 토출유량  
 $\eta_m$  = 모터 기계효율  
 감속비 = 53.7 : 1  
 웬기어 효율 = 일반적으로 45% 적용

$$T_M' = \frac{1}{53.7} T_D = \frac{7,799.0}{53.7} \approx 145.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_M = \frac{145.2}{0.45} \approx 322.7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_M = 322.7 = \frac{P \cdot q \cdot \eta_m}{2\pi \times 100}$$

$$\therefore P \cdot q_m = \frac{322.7 \times 200\pi}{0.85} \approx 238,418.4$$



〈그림 33〉 임업용 포워더의 원치 3D 모델링

## 2. 포워더의 제어시스템의 성능개선

### 2.1. 임업용 포워더 시작기의 주행 및 조향 제어 특성

국내에서 기 개발된 원목운반용 미니포워더는 6륜 전륜구동방식(유압 구동식)으로 6개의 차륜 중 부하를 받지 않는 쪽으로 유압이 흐르는 경향이 있어 험로 탈출에 문제점이 있다<그림 34>.

개선된 포워더의 경우 8륜 구동방식으로 기계식 동력전달방식이나 차동장치의 잠금 기능이 미 적용되어 LSD 방식(Limited slip differential, 차동제한장치)으로 적용하였다.

기 개발된 포워더의 경우 주행 및 작업기 등을 유압 파일럿 방식으로 제어하여 각각 작동 시 운전자가 자리를 이동해야 되는 단점이 있다. 또한, 기계장비의 이상 진단 파악이 엔진계통의 지시계로만 구성되어 있어 다른 작동부 등의 이상 진단이 어려운 문제점이 있었다.

임업용 포워더의 조향 제어 특성을 분석하기 위해 국내에 도입되어 있는 궤도 및 차륜형 차체굴절식의 포워더를 조사한 결과 포워더의 조향 방식은 앞 차체프레임과 뒤 차체프레임을 유압실린더로 연결하여 이를 유압 파일럿 방식으로 조이스틱이나 스티어링을 이용하여 조향한다<그림 35>.

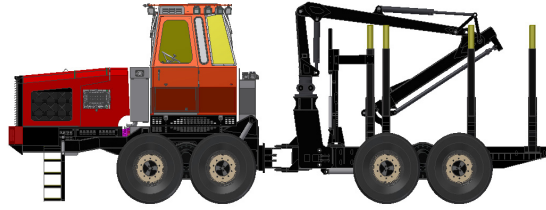
임업용 포워더 조향 제어를 위해 국외 임업용 포워더의 조향각도를 조사하였다<표 17>. 본 연구에서 임업용 포워더의 조향 각도를 35°로 설정하였다.

<표 17> 국외 임업용 포워더의 조향 각도 조사

포워더 종류	John Deere	Ponsse	Valmet	Volvo
조향 각도(°)	38.0	37.0	38.5	53.0



(a) 기 개발된 원목운반용 미니포워더(리지드)



(b) 성능개선된 포워더(아티큘레이트)

〈그림 34〉 기 개발과 성능개선 된 포워더의 주행 방식



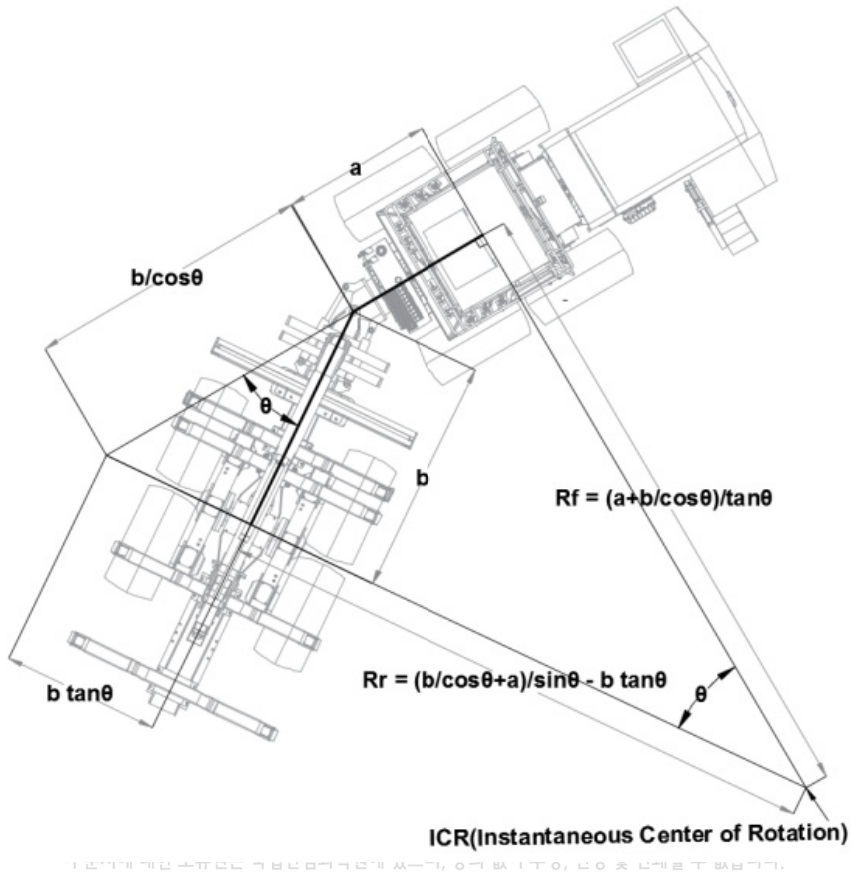
(a) 궤도형 차체굴절식의 임업용 포워더(조이스틱 조향 장치)



(b) 차륜형 차체굴절식의 임업용 포워더(스티어링 조향 장치)



〈그림 35〉 도입된 임업용 포워더의 조향 제어 특성 조사



〈그림 36〉 굴절식 임업용 포워더의 회전반경 모식도

임업용 포워더의 기구학적 해석을 통해 회전반경을 분석하였다. 임업용 포워더는 굴절 조인트에 의해 연결된 2개의 차량으로 구성되어 있고, 굴절 조인트의 각도를 제어함으로써 조향을 할 수 있도록 되어 있다. 여기서 임업용 포워더의 8개의 바퀴는 지면에 모두 접촉하여 돌고, 순간 회전축(ICR : Instantaneous Center of Rotation)에 수직인 방향으로 회전하며 슬립은 없는 것으로 가정하였다. 물론 회전시에 회전축을 중심으로 바퀴의 가장 바깥부분은 가장 안쪽에 있는 부분보다 빨리 돌아야 하며, 전체적인 차축에 있어서도 후차축 부분이 더 길기 때문에 앞차축보다 더 천천히 돌아야 한다. 이러한 실제 상황의 문제들은 기계의 설계 제작과 제어시스템에 따라서 더 심한 가정이 될 수도 적절한 가정이 될 수도 있다. 따라서 다음의 기구학적인 분석을 통해 도출된 식은 지금까지 가정한 이상적인 것을 기준으로 유도하였다. 임업용 포워더의 운전석이 있는 앞쪽 차량

가상축의 중심과 뒤쪽 차량 가상축의 중심은 순간회전축(IRC)을 중심으로 반경 R의 원운동을 한다. 굴절식 임업용 포워더에 대해서 R은 차량의 형상과 조향각도에 의해 <그림 36>과 같이 주어진다. 앞쪽차량의 축에 대해서 반경 Rf는 다음 식 (21)과 같다.

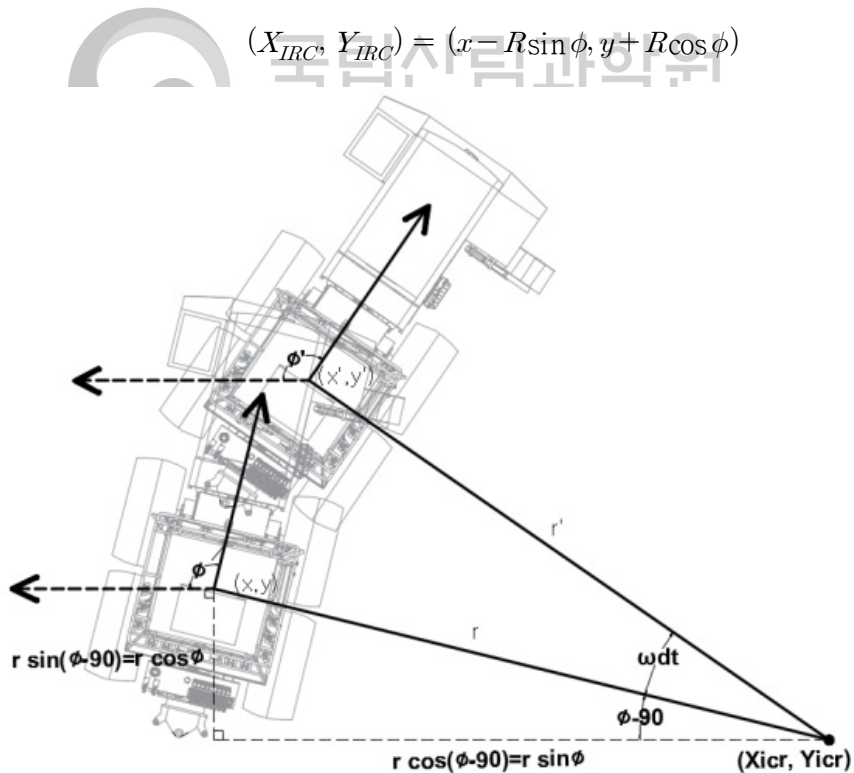
$$R_f = (a + b/\cos\theta) / \tan\theta \quad (21)$$

뒤쪽차량의 축에 대해서 반경 Rr은 다음 식 19와 같다.

$$R_r = (b/\cos\theta + a) / \sin\theta - b\tan\theta \quad (22)$$

위의 가정하에 임업용 포워더의 뒤쪽차량의 움직임은 기하학적 형상에 의해 주어지므로 앞쪽차량부의 운동을 예측하는 것만으로 굴절식 임업용 포워더의 자세를 충분히 예측가능하다. 어떤 시간 t에서 가상의 앞쪽축의 중간에서 측정된 차량의 자세(x, y, ϕ)가 주어지면 IRC에 관한 좌표(X<sub>IRC</sub>, Y<sub>IRC</sub>)는 다음 식 (23)과 같다.

$$(X_{IRC}, Y_{IRC}) = (x - R\sin\phi, y + R\cos\phi) \quad (23)$$



<그림 37> 초기위치, 조향각도, 시간변화에 따른 포워더 자세 및 궤적변화 추정 모식도

차량이 원을 따라 움직이기 때문에,  $2\pi/T$  (단위: rad/sec)로 정의되는 각속도  $\omega$ 로 표현하는 것이 유용하다. 여기서 T는 IRC 중심으로 1회전 하는데 걸리는 시간(sec)이다.

알려진 차량 속도 v는 앞쪽 차량의 축의 중간점 움직이는 것으로 가정하면  $2\pi r/T$ 로 표현 될 수 있으며,  $\omega$ 는 다음과 같이 식 (24)에 나타낼 수 있다

$$\omega = v/r \quad (24)$$

$t + dt$  에서의 새로운 방위각  $\phi'$ 는 다음 식 (25)와 같다.

$$\phi' = \omega dt + \phi \quad (25)$$

이를 기반으로, 초기위치에서  $t + dt$ 의 새로운 위치 ( $x'$ ,  $y'$ )은 점 ( $x$ ,  $y$ )를 점 IRC를 중심으로  $\omega dt$ 의 각도만큼 2차원으로 회전시킴으로써 계산된다.

$$x' = \cos(\omega dt)(x - X_{IRC}) - \sin(\omega dt)(y - Y_{IRC}) + X_{IRC} \quad (26)$$

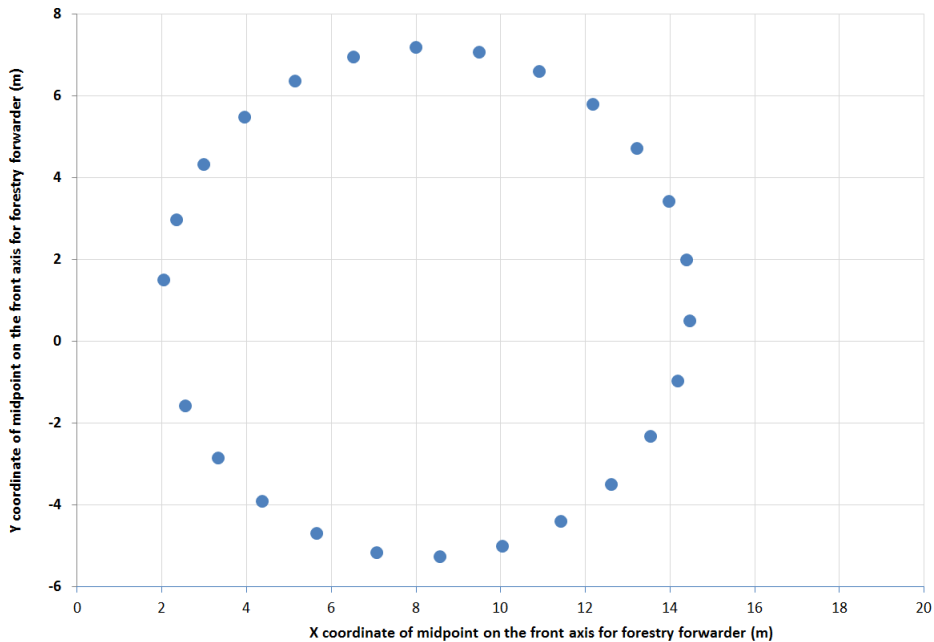
$$y' = \sin(\omega dt)(x - X_{IRC}) + \cos(\omega dt)(y - Y_{IRC}) + Y_{IRC} \quad (27)$$

따라서 굴절식 임업용 포워더의 조향에 따른 앞쪽 차량의 자세를 구하는 방법은 시간 t에서 초기 자세 ( $x$ ,  $y$ ,  $\phi$ ), 기록된 차량의 속도 v 및 조향 각도  $\theta$ 가 주어지면, 시간 ( $t + dt$ )의 자세( $x'$ ,  $y'$ ,  $\phi'$ )는 다음의 알고리즘에 의해 추정 할 수 있다.

조향각 34.47°도 고정된 상태에서는 회전반경은 6.23m 로 임도 및 작업 임도의 곡선 부에서의 주행이 스위치백(switch back) 없이 통과할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한 굴절식 임업용 포워더의 조향에 따른 앞쪽 차량의 자세를 시뮬레이션 하기 위해 앞서 분석한 최소 회전반경의 조향각도와 회전반경을 기준으로 초기 앞쪽 차량의 방위각이 85° 이고 임업용 포워더의 주행속도가 3m/sec 일 때 0.5초 마다의 임업용 포워더의 자세를  $x$ ,  $y$ ,  $\theta$  좌표계를 사용하여 시뮬레이션 하였다(그림 38). 그 결과 기준이 되는 회전중심 축의 좌표 및 전륜차축의 중간점의 좌표를 얻을 수 있었다.

이러한 결과는 초기 임업용 포워더의 자세를 기준으로 포워더의 주행조건에 따른 이동 궤적을 추정가능하다는 의미이며, 향후 무인용 또는 자율주행형 포워더에 대한 기초적인 자료로 활용될 수 있을 것이다. 앞서 언급한 시간 t에서 초기 자세 ( $x$ ,  $y$ ,  $\phi$ ), 기록된

차량의 속도  $v$  및 조향 각도  $\theta$ 가 주어지면, 시간  $(t + dt)$ 의 자세  $(x', y', \phi')$ 는 각종 센서에 의해 계측하여 기록 후 재현이 가능하다. 또한 이러한 해석결과는 작업현장 또는 임도, 작업로 등에서 주위 사물에 따라 측정된 센서 값을 기준으로 포워더의 조향과 주행에 관련된 액츄에이터를 능동적으로 제어 할 수 있는 기본적인 제어 알고리즘의 기초형태로 활용 될 수 있다.



〈그림 38〉 굴절식 임업용 포워더의 회전주행 시뮬레이션 결과

### 2.1.1 임업용 포워더의 제어시스템 특성

본 연구에서는 이러한 문제점을 파악하여 수정·보완 성능개선 연구를 실시하였다. 임업용 포워더는 최근 차량, 건설장비 등에서 사용되는 표준 통신 규격인 CAN통신 기반 제어시스템을 적용하였다.

포워더의 제어를 위해 CAN통신 기반시스템을 적용하여 주행, 조향, 작업기 제어 부를 구성하였고, 엔진 제어 판넬을 구성하여 CAN통신 디스플레이, 엔진속도 조정, 비상정지 등으로 이루어져 있다(그림 39). CAN통신 기반 제어시스템의 제원은 다음과 같다(표 18).





(a) 포워더 제어를 위한 CAN통신 기반 시스템 구축

(b) 엔진 컨트롤 장치 구축

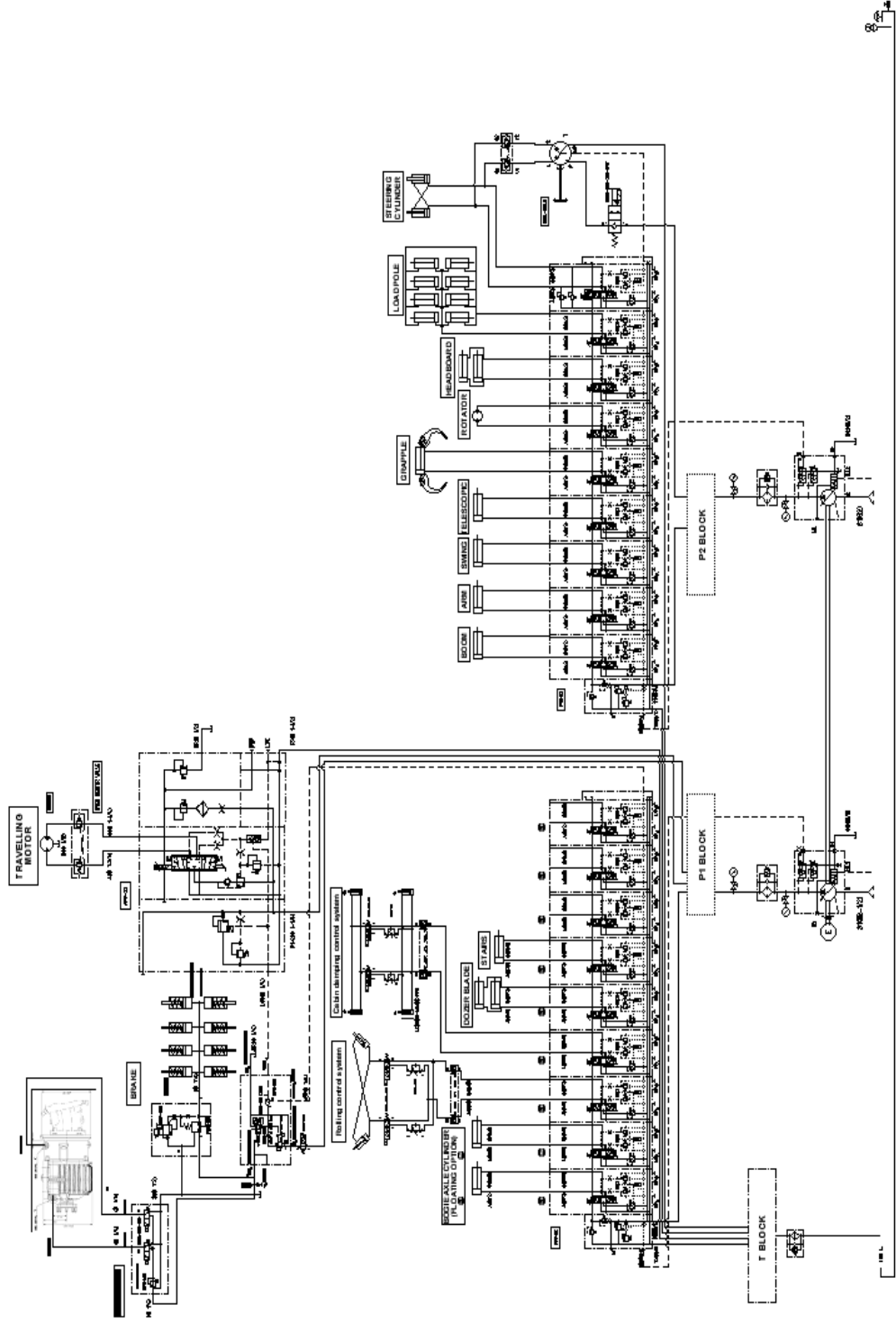
〈그림 39〉 임업용 포워더의 제어시스템 구축

〈표 18〉 CAN통신 기반의 제어시스템의 구성 및 제원

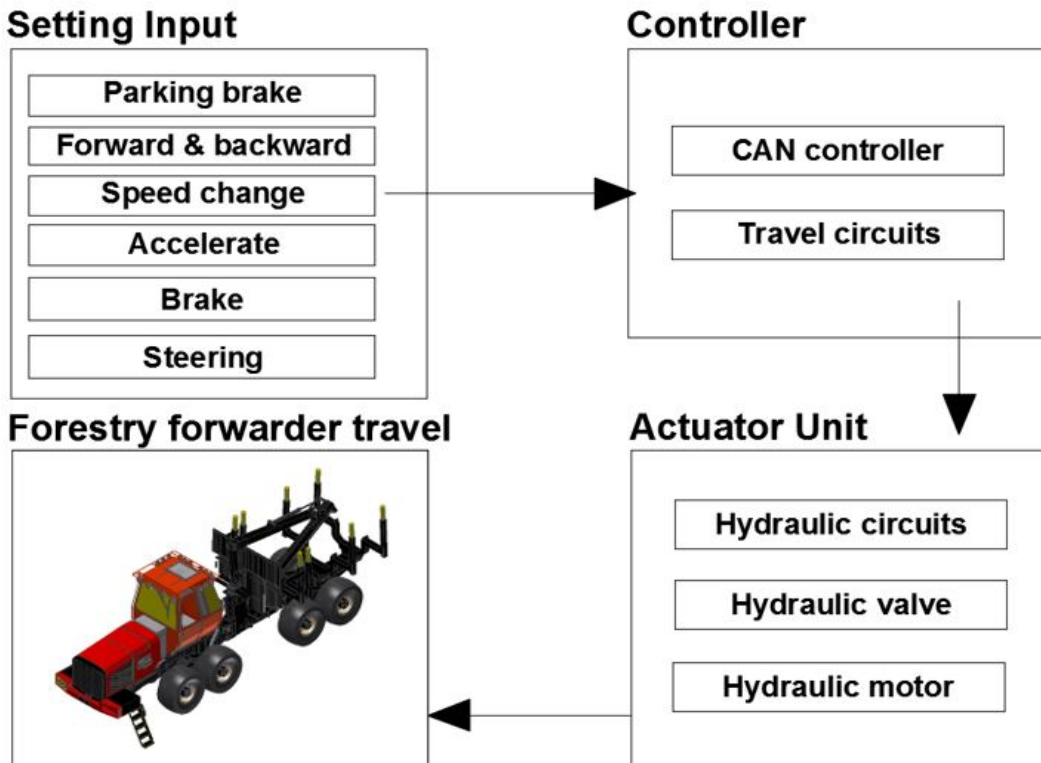
구 분	규격 및 사양
 메인 컨트롤러	1. 제어방식 : CAN통신 기반 2. 입-출력 사양 - 입력 : 총 22개(아날로그, 디지털 등) - 출력 : 총 16개(아날로그, 디지털 등) 3. 전원공급 : 9~36VDC(센서공급 전압 5VDC) 4. 크기 : 가로 159.7mm×세로 193.8mm× 높이 51.6mm 5. 중량 : 0.53kg *없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.
 디스플레이 컨트롤러	1. 제어방식 : CAN통신 기반 2. 디스플레이 : 7인치 TFT display 800×480 픽셀 3. 전원공급 : 9~36VDC 4. 크기 : 가로 235.2mm×세로 163.5mm× 높이 42.6mm 5. 중량 : 1kg
 소프트웨어	1. 운영체제 : 32, 64-bit windows7 2. CPU : 1.5GHz 이상 3. RAM : 1GB 이상 4. HDD : 1GB 이상 여유 공간

임업용 포워더의 유압회로는 유압동력, 작업기 제어부(크레인 및 윈치), 주행 제어부로 구성되어 있으며 유압구성원을 제어하기 위한 회로도를 설계하였다(그림 40).





〈그림 40〉 임업용 포워더의 유압회로도



〈그림 41〉 임업용 포워더의 주행 제어부 흐름도

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

임업용 포워더 주행 제어부 구성 및 방식을 선정하였다(그림 41). 메인컨트롤러에서 운전석의 입력 신호를 받아 설계된 프로그램을 통해 출력되어 주행된다(표 19).

〈표 19〉 임업용 포워더의 주행 제어 방식

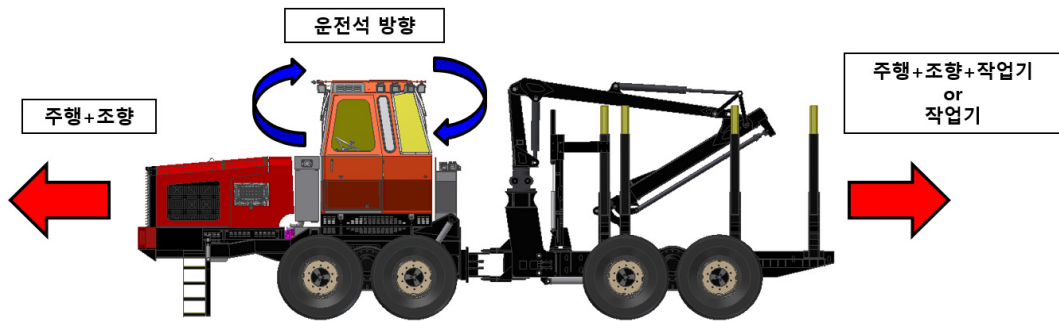
구 분	제어방식
파킹브레이크	온 · 오프 스위치
전 · 후진	3방향 스위치(전진, 중립, 후진)
변속	3방향 스위치(저속, 중립, 고속)
가속	전자식 페달(비례제어)
브레이크	전자식 페달(비례제어)
조향장치	전자식 조이스틱

기 개발 포워더는 주행 및 작업기 작동 시 자리를 이동하기 때문에 노동부담 및 작업능률이 감소되어, 포워더의 주행 및 작업기 조작 시 캐빈 내 운전석을 회전할 수 있도록 기능개선 하여 오퍼레이터의 노동 부담을 줄일 수 있도록 고려하였다.

임업용 포워더의 운전석이 전면을 향해있을 때 주행 및 조향만 제어되며, 운전석이 후면에 위치할 때는 주행, 조향 및 작업기의 제어가 동시에 가능하도록 고려하였다. 전면과 후면에 위치를 운전석이 회전했을 때 신호를 컨트롤러에서 입력받아 위치를 구분하여 작동될 수 있도록 설계하였다<그림 42>.



이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원(a)기 개발 포워더 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

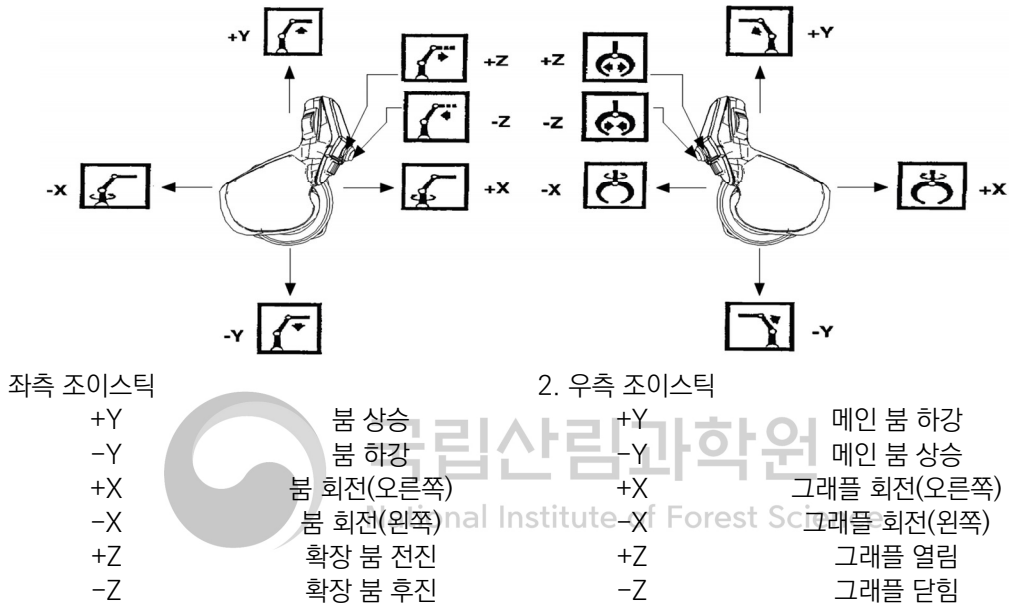


(b) 성능개선된 포워더

<그림 42> 임업용 포워더의 주행 및 작업기 작동원리

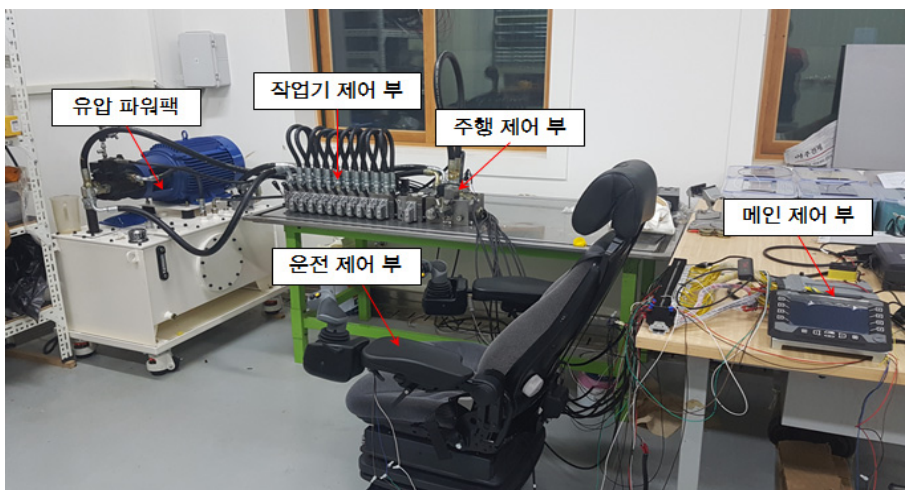
## 2.2. 임업용 포워더의 부속 작업기(크레인 및 윈치)의 제어 특성

임업용 포워더의 부속 작업기 크레인 제어 용 조이스틱의 선정 및 레버별 기능을 결정하였다(그림 43). 포워더의 주행 및 작업기의 제어 특성을 파악하기 위해 유압 파워팩을 이용한 테스트 벤치를 제작하여 각 제어부별로 프로그램 오류여부를 확인하였다(그림 44).



이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

〈그림 43〉 임업용 포워더 크레인의 조작 방법



〈그림 44〉 임업용 포워더의 각 제어 부 테스트 벤치

### 2.3. 임업용 포워더 제어 장치의 운전특성 분석

임업용 포워더 제어 장치의 운전특성을 분석하기 위해 국외 임업용 포워더의 운전특성과 운전석 기능 등을 조사·분석하였다. 국외 임업용 포워더의 경우 대부분 조이스틱을 이용한 조향방식(차체굴절식)으로 작동되고, 운전석이 회전하여 앞뒤로 제어할 수 있는 형태로 구성되어 있다. 또한 대부분 CAN-통신 기반으로 주행 및 작업기 작동뿐만 아니라 기계장비의 이상 진단 등 운전하기에 용이하도록 설계되어 있다<그림 45>.

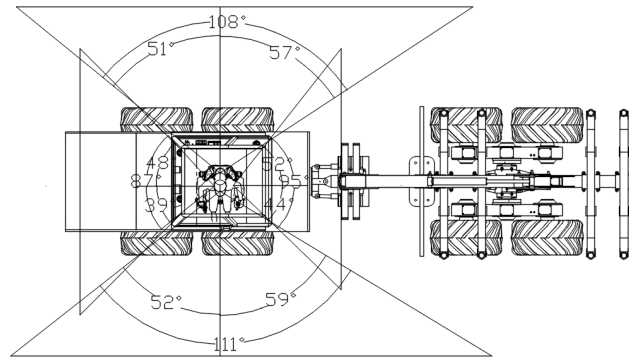


<그림 45> 국외 임업용 포워더의 운전특성 조사분석

국외 임업용 포워더의 운전석 특성의 경우 대부분 운전석 암레스트에 콘솔이 부착되어 구성되어 있으며, 구성은 주행 및 작업기를 제어할 수 있는 조이스틱, 엔진의 이상 진단 및 각 작동부의 제어를 위한 디스플레이와 스위치 등으로 구성되어 있다.

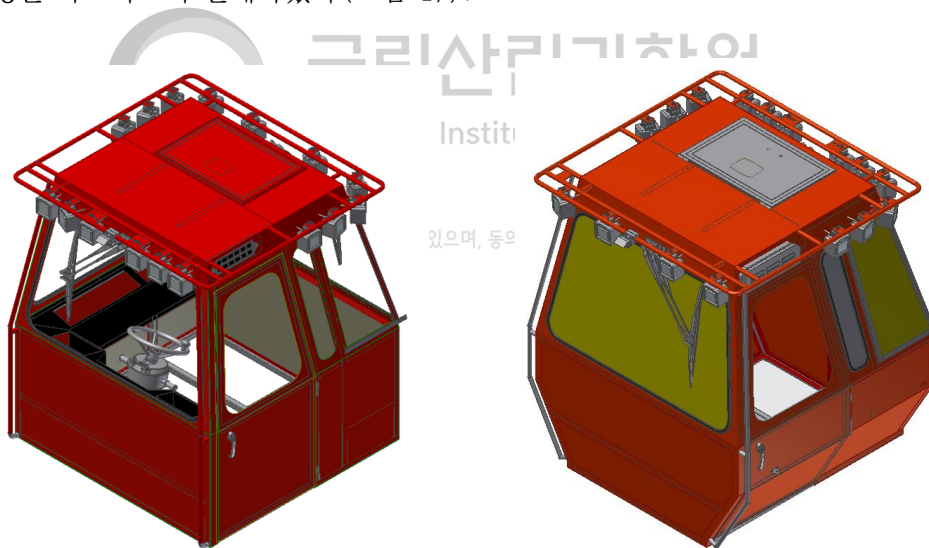
국외의 경우 임업용 장비 운전캐빈 안에서의 시야각, 소음, 진동 등 설계의 기준에 대한 표준(Ergonomic guidelines for forest machines)이 제시되어 있으며, 이를 기준으로 운전캐빈 및 구조설계 등을 할 필요가 있다.

이를 인용하여 운전석에서 작업자의 시야각은 65° 이상으로 설계되어야 한다. 본 연구에서 개발하고자 하는 포워더는 작업자 위치가 전면 일 때 최대 87°, 후면에서 최대 95°, 측면에서 최대 111°로 작업자의 시야를 넓혀 작업이 용이하도록 고려하여 설계하였다 <그림 46>.



〈그림 46〉 임업용 포워더 운전석에서 작업자의 시야각(전·후측면)

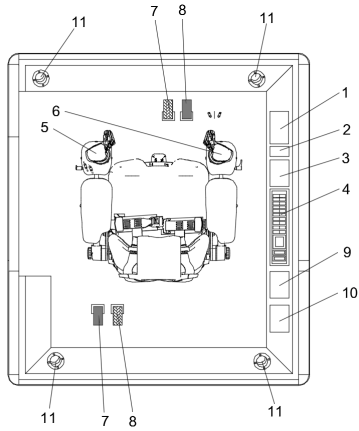
기 개발된 포워더의 경우 운전캐빈이 없어 작업자의 위험 노출 및 안정성의 문제 발생이 높은 문제점이 있었다. 이를 반영하여 운전캐빈을 설계하여 작업자의 운전 용이성과 안정성을 확보하도록 설계하였다(그림 47).



〈그림 47〉 임업용 포워더의 운전캐빈 3D 모델링

운전캐빈안에서의 제어를 CAN통신 기반으로 엔진이나 부속작업기의 이상 진단을 디스플레이어를 통해 확인 및 조치, 조이스틱 또는 기타 작동 스위치들을 이용하여 포워더를 제어할 수 있도록 고려하였다(그림 48).





- 1. Engine control panel
- 2. Signal lights
- 3. Master display
- 4. Dashboard
- 5. Left control joystick
- 6. Right control joystick
- 7. Accelerate pedal
- 8. Brake pedal
- 9. Heater/AC controls
- 10. Audio system

〈그림 48〉 임업용 포워더의 운전석 설계 계획도

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.



국립산림과학원

National Institute of Forest Science

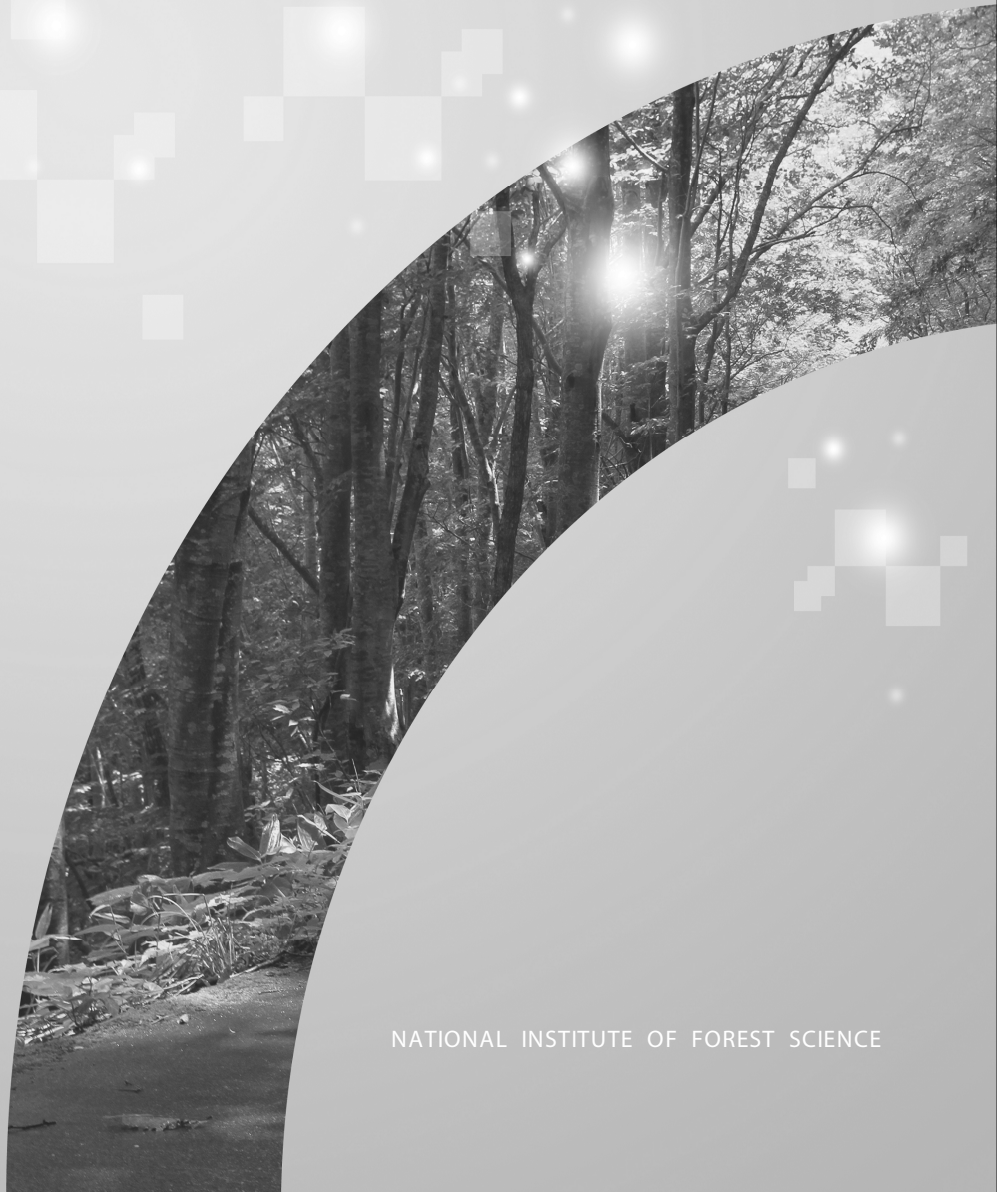
이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.



임업용 포워더의 주행 및  
적재성능 개선에 관한 연구

V

# 임업용 포워더의 주행 안정성 및 현장 적용성 평가





국립산림과학원

National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

## V. 임업용 포워더의 주행 안정성 및 현장 적용성 평가

### 1. 임내, 임도 및 작업로 주행과 목재수확 작업에 따른 현장 적용성 평가

#### 1.1. 현장에서의 임업용 포워더 시작기의 주행성능(속도, 등판 능력)

현장에서의 임업용 포워더 시작기의 주행성능 시험 전 이론적으로 속도 및 등판능력 분석을 실시하였다. 현재 적용된 포워더 엔진의 동력은 195마력(800N-m at 1,500rpm)이며, 최대등판 능력은 포워더의 공차 중량 17톤, 최대적재 중량 27톤을 고려하였을 때, 최저 속도가 5km/h가 되는 지점까지를 최대등판능력으로 판단하였다(그림 49).

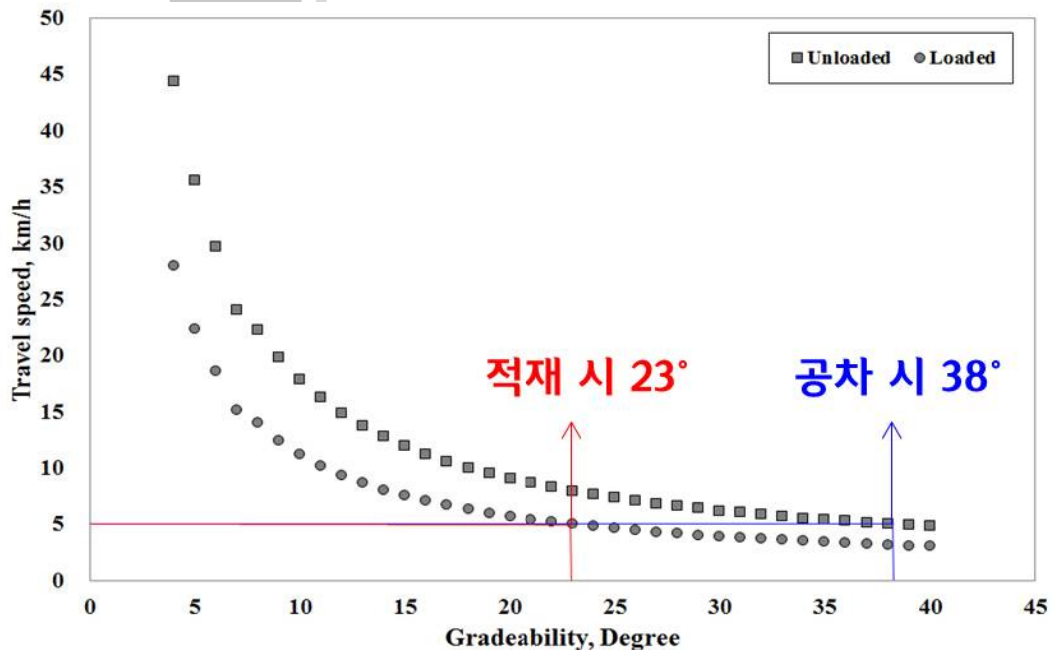
$$V = Q \times 75 / W / \sin \alpha$$

$V$  = 주행속도(km/h)

$Q$  = 엔진최대출력(PS)

$W$  = 차량중량(kg)

$\alpha$  = 경사각(°)



〈그림 49〉 임업용 포워더의 이론적 주행성능 분석(공차 VS 최대적재 시 주행)

임업용 포워더의 최대등판능력을 이론적으로 분석한 결과 공차 주행 시 등판능력은 38°, 최대적재 주행 시는 23°로 분석되었다.

임업용 포워더의 주행속도를 측정하기 위해 <그림 50>와 같이 포워더 끝단에 오륜 장치를 설치하였다. 주행 속도를 평가하기 위해 일반 포장도로 100m을 기준으로 하여 오륜 장치에서 측정되는 값과 실제로 스톱워치를 이용한 측정값을 비교하였다<그림 51>.

측정 결과로 오륜장치를 이용하였을 때 주행속도는 4.05km/h, 스톱워치를 이용한 주행속도는 4.14km/h로 나타났으며, 거의 유사한 것으로 나타났다. 또한 최대 주행 후 작업로 및 노면상태에 따른 주행속도 측정을 진행할 예정이다.



<그림 50> 임업용 포워더 주행속도 측정 장치



<그림 51> 임업용 포워더 주행속도 측정 시험



## 1.2. 임업용 크레인의 작업성능 평가(작업공정 산출을 위한 시간조사)

### 1.2.1. 임업용 크레인의 인양능력 및 회전력 측정 분석

임업용 포워더 크레인의 작업성능 평가를 위해 말구직경 34cm, 길이 3.6m, 1회 적재량 기준 낙엽송 원목 2개 6,475N를 기준으로 크레인의 인양능력(Lifting capacity) 및 회전력(Slewing torque) 평가를 실시하였다(그림 52). 임업용 크레인의 작업범위가 8.5m 일 때, 최대인양능력은 430kg, 회전력(Slewing torque)는 13.5kN으로 분석되었다.



〈그림 52〉 임업용 크레인의 인양능력 측정

### 1.2.2. 임업용 크레인의 작업공정 산출을 위한 시간조사·분석

임업용 크레인의 작업공정 산출을 위해 시간조사를 실시하였다. 작업자 2명을 대상으로 포워더의 적재헤드보드 및 적재풀이 가변했을 때의 경우, 상사점에 위치하였을 때를 비교하여 작업공정에 미치는 영향을 조사하였다(그림 53).



(a) 헤드보드 및 적재물 가변 시 작업



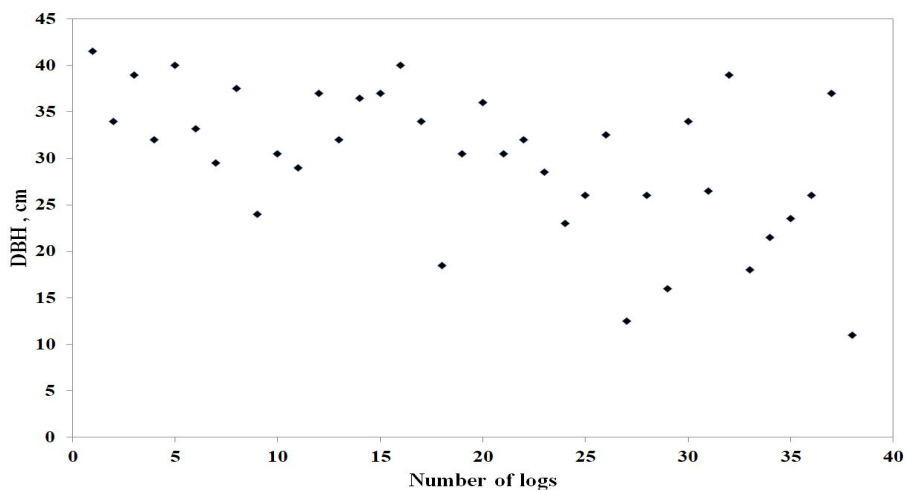
(b) 헤드보드 및 적재물 상승 시 작업

〈그림 53〉 임업용 크레인의 작업공정 시간 조사

〈표 20〉은 포워더 크레인을 이용한 적재 시 공시재료 제원을 나타냈다. 각각의 평균 제원으로 원구 29.9 cm, 말구 23.2 cm, 재장 3.5 m이다. 이에 대한 직경 분포도는 〈그림 54〉에 나타냈다.

〈표 20〉 포워더 크레인의 적재 공시재료 제원

구 분	원 구 (cm)	말 구 (cm)	재 장 (m)
최 소	11.0	8.5	2.2
최 대	41.5	31.7	4.2
평 균	29.9	23.2	3.5
표준편차	7.81	6.06	0.52



〈그림 54〉 임업용 크레인의 적재작업 원목 직경 분포도

포워더 크레인의 적재풀 사용 유·무에 따라 엔진속도 1,500rpm일 경우, 작업자 A가 1,800rpm일 경우 작업자 B가 적재시간이 낮은 것으로 분석되었다(표 21).

〈표 21〉 포워더 크레인 적재풀 사용 유·무에 따른 적재시간 (단위: 초)

구 분	1,500 rpm				1,800 rpm			
	작업자 A		작업자 B		작업자 A		작업자 B	
	상차	하차	상차	하차	상차	하차	상차	하차
적재풀 사용	607.7	298.7	691.0	389.3	520.7	305.3	500.0	340.0
적재풀 미사용	673.0	320.0	536.0	336.7	480.0	300.0	580.0	380.0

적재생산성은 적재풀 사용기준, 1,500rpm과 1,800rpm에서 작업자 A의 상차작업 생산성은 각각 47.6m<sup>3</sup>/PMH과 55.6m<sup>3</sup>/PMH이고, 하차작업 생산성은 각각 96.9m<sup>3</sup>/PMH과 94.8m<sup>3</sup>/PMH로 분석되었다. 적재풀 사용기준, 엔진속도별 작업자 B의 상차 및 하차작업의 생산성은 각각 41.9m<sup>3</sup>/PMH, 57.9m<sup>3</sup>/PMH, 74.3m<sup>3</sup>/PMH, 85.1m<sup>3</sup>/PMH로 분석되었다(표 22).

〈표 22〉 포워더 크레인 적재풀 사용 유·무에 따른 적재생산성 (단위: m<sup>3</sup>/PMH)

구 분	1,500 rpm				1,800 rpm			
	작업자 A		작업자 B		작업자 A		작업자 B	
	상차	하차	상차	하차	상차	하차	상차	하차
적재풀 사용	47.6	96.9	41.9	74.3	55.6	94.8	57.9	85.1
적재풀 미사용	43.0	90.5	54.0	86.0	60.3	96.5	49.9	76.2

적재생산성은 적재풀 사용기준, 1,500rpm과 1,800rpm에서 작업자 A의 상차작업 비용은 각각 2,533원/m<sup>3</sup>과 2,170원/m<sup>3</sup>이고, 하차작업 비용은 각각 1,245원/m<sup>3</sup>과 1,272원/m<sup>3</sup>로 분석되었다. 적재풀 사용기준, 엔진속도별 작업자 B의 상차 및 하차작업의 생산성은 각각 2,234원/m<sup>3</sup>, 2,417원/m<sup>3</sup>, 1,403원/m<sup>3</sup>, 1,584원/m<sup>3</sup>로 분석되었다(표 23).

〈표 23〉 포워더 크레인 적재폴 사용 유·무에 따른 적재비용

(단위: 원/㎥)

구 분	1,500 rpm				1,800 rpm			
	작업자 A		작업자 B		작업자 A		작업자 B	
	상차	하차	상차	하차	상차	하차	상차	하차
적재폴 사 용	2,533	1,245	2,880	1,623	2,170	1,272	2,084	1,417
적재폴 미사용	2,805	1,334	2,234	1,403	2,001	1,250	2,417	1,584

※ 초기구입비: 3억 적용

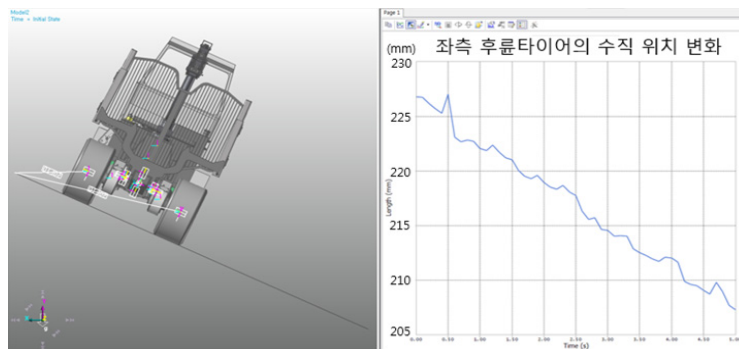
### 1.3. 임업용 포워더의 주행 안정성 시뮬레이션(횡전도 안정성 등)

임업용 포워더의 지면의 횡단기울기 즉, 시뮬레이션에서의 x축의 기울기를 조정하면서 정지상태에서의 공차 시와 적재 시의 한계 횡전도 기울기를 분석하였다.

#### 1.3.1. 공차시 횡전도 분석

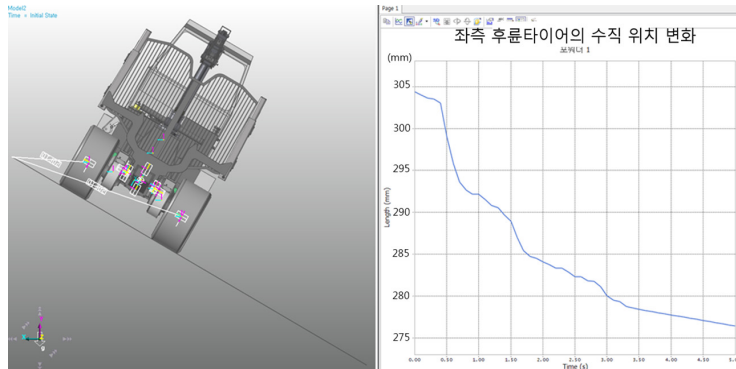
공차 시 임업용 포워더의 횡전도 시뮬레이션의 결과를 보면 〈그림 55, 56〉와 같이 횡전도 기울기가 25°, 30° 일 때, 좌측 후륜 타이어 무게중심의 움직임을 보면 지면과의 미세한 분리 현상과 슬립현상이 나타났으나 차량의 전도 현상은 나타나지 않았다.

〈그림 57〉과 같이 횡전도 기울기가 35°일 때 좌측 후륜 타이어 무게중심의 움직임을 보면 지면과의 분리현상과 슬립현상이 나타나 불안정한 현상이 나타났으며, 〈그림 58〉과 같이 횡전도 기울기가 38°일 때 좌측 후륜 타이어 무게중심의 움직임을 보면 지면과의 완전 분리현상이 나타났다.

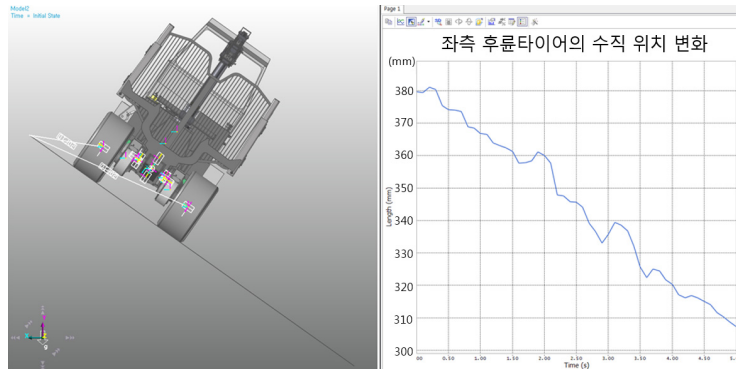


〈그림 55〉 횡단기울기 25° 일 때 공차시 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화

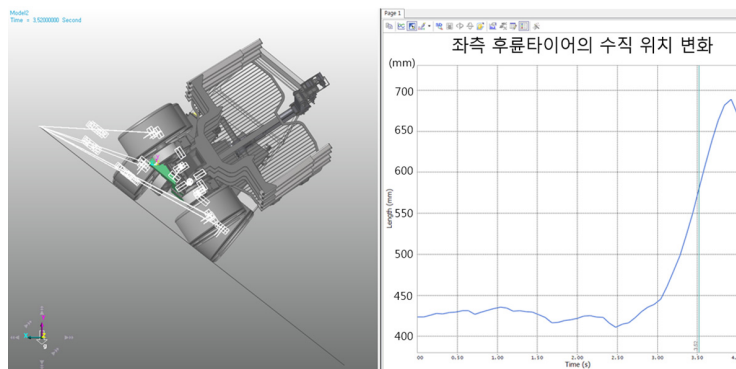




〈그림 56〉 횡단기울기 30° 일 때 공차시 포워더 좌측 후률타이어 무게중심의 위치 변화



〈그림 57〉 횡단기울기 35° 일 때 공차시 포워더 좌측 후률타이어 무게중심의 위치 변화

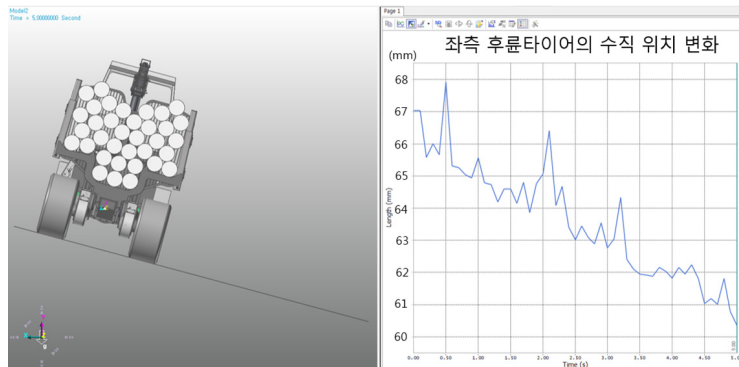


〈그림 58〉 횡단기울기 38° 일 때 공차시 포워더 좌측 후률타이어 무게중심의 위치 변화

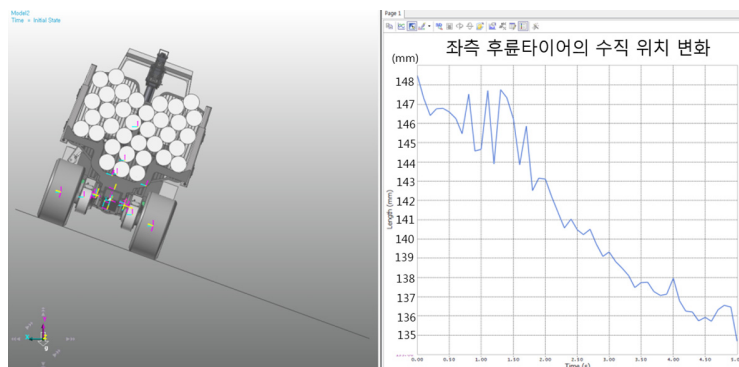
### 1.3.2. 적재 시 횡전도 분석

적재시(8ton) 임업용 포워더의 횡전도 시뮬레이션의 결과를 보면 <그림 59, 60>과 같이 횡전도 기울기가 15°, 20°일 때, 좌측 후륜 타이어 무게중심의 움직임을 보면 지면과의 미세한 분리 현상과 슬립현상이 나타났으나 차량의 전도 현상은 나타나지 않았다.

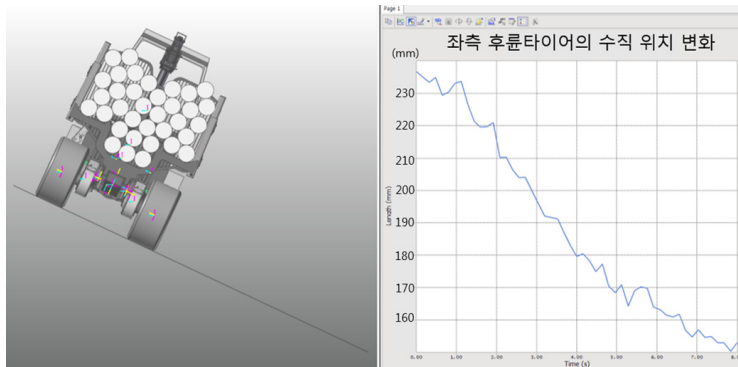
<그림 61>과 같이 횡전도 기울기가 25° 일 때 좌측 후륜 타이어 무게중심의 움직임을 보면 지면과의 분리현상과 슬립현상이 나타나 불안정한 현상이 나타났으며, <그림 62>과 같이 횡전도 기울기가 29° 일 때 좌측 후륜 타이어 무게중심의 움직임을 보면 지면과의 완전 분리현상이 나타났다.



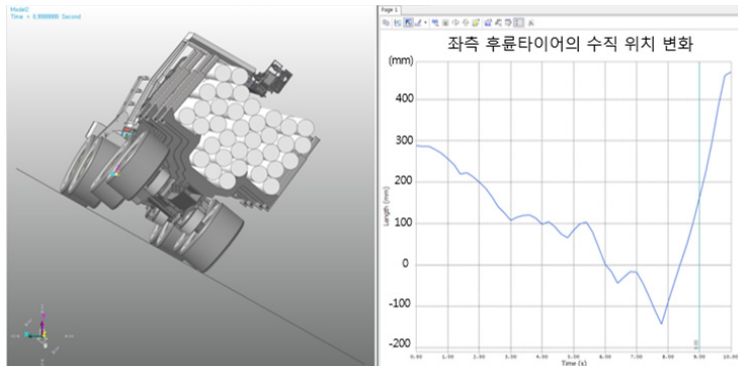
<그림 59> 횡단기울기 15° 일 때 적재시 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화



<그림 60> 횡단기울기 20° 일 때 적재시 포워더 좌측 후륜 타이어 무게중심의 위치 변화



〈그림 61〉 횡단기울기 25° 일 때 적재시 포워더 좌측 후률타이어 무게중심의 위치 변화

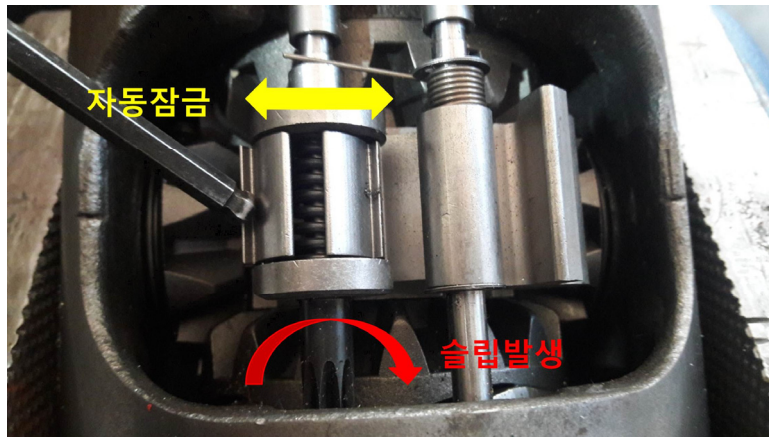


〈그림 62〉 횡단기울기 29° 일 때 적재시 포워더 좌측 후률타이어 무게중심의 위치 변화

## 2. 적용성 평가에 따른 포워더의 수정보완 연구

### 2.1. 임업용 포워더의 주행 성능 및 안정성 개선

임업용 포워더의 경우 임내 주행으로 주행 시 험로탈출 및 장애물을 원활히 통과할 수 있기 위해서는 LSD 차동잠금 장치(Limited Slip Differential) 또는 자동 차동잠금 장치(ADL, Auto Differential Lock)가 적용되어야 한다(그림 63). 보통의 차동 장치에서는 한쪽 바퀴가 한번 공회전을 하면 차량을 주행시킬 수 없는데 대하여, 이것은 자동적으로 차동 작용을 정지 또는 제한하여 미끄러지기 쉬운 노면으로 부터의 발진을 용이하게 하는 장점이 있다. 따라서 본 연구에는 자동적으로 차동잠금이 되어 주행을 원활히 할 수 있는 시스템인 자동 차동잠금 장치 기술을 채택하여 적용하였다.

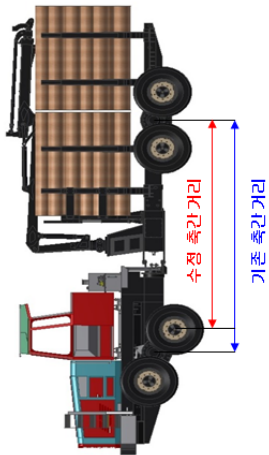
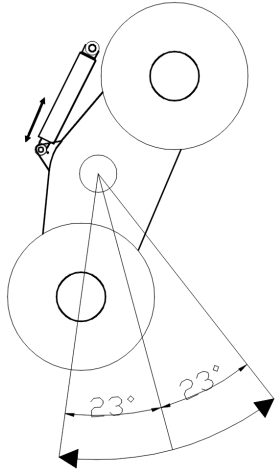


〈그림 63〉 임업용 포워더에 적용한 자동 차동잠금 장치 적용

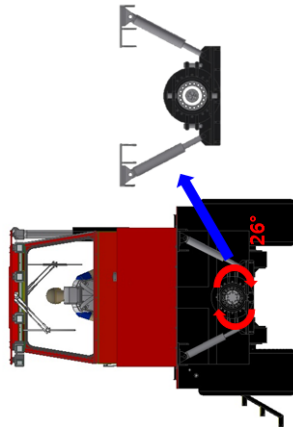
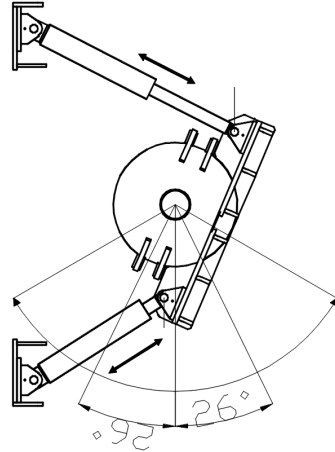
임업용 포워더의 주행 성능을 개선하기 위해 보기차축 리프팅 실린더 구조 설계로 회전 반경을 8.4m에서 7.5m(차체거리 10.1m)로 축소하였다(그림 64). 임업용 포워더 주행 시 횡전도를 방지하기 위해 횡전도 안정성 시뮬레이션 분석결과를 바탕으로 롤링 제어 시스템을 적용하여 최대 횡전도 각이 26°까지 될 수 있도록 설계 반영하였다(그림 65).

National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

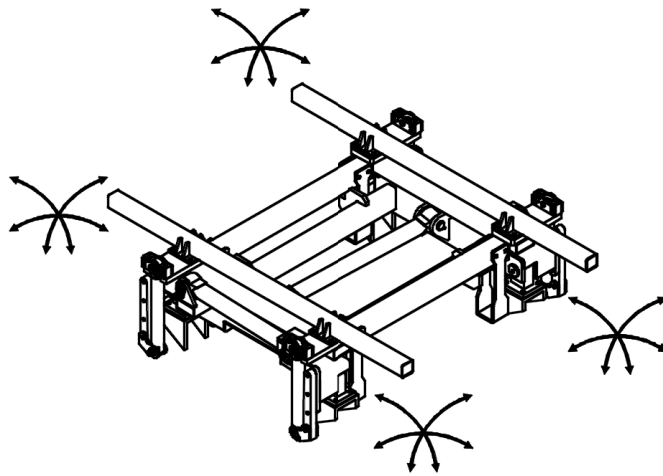


〈그림 64〉 임업용 포워더 보기차축 리프팅 실린더 구조 적용



〈그림 65〉 임업용 포워더의 롤링 제어시스템 적용

임업용 포워더의 운전캐빈 작업 성능개선을 위해 댐핑 제어시스템 구조를 설계하였다. 운전캐빈은 0~200mm 까지 높이가 상승되며 포워더의 운반, 주행, 작업 시 3수준으로 설정하여 운송 및 시야확보에 따른 작업효율을 높일 수 있도록 설계하였다. 또한 LVDT센서를 댐핑실린더에 장착하여 운전캐빈의 변위를 제어할 수 있도록 구성하였으며, 주행 시 운전캐빈의 댐핑 제어를 통하여 운전자가 받는 피로 경감을 줄일 수 있도록 설계 반영하였다(그림 66).

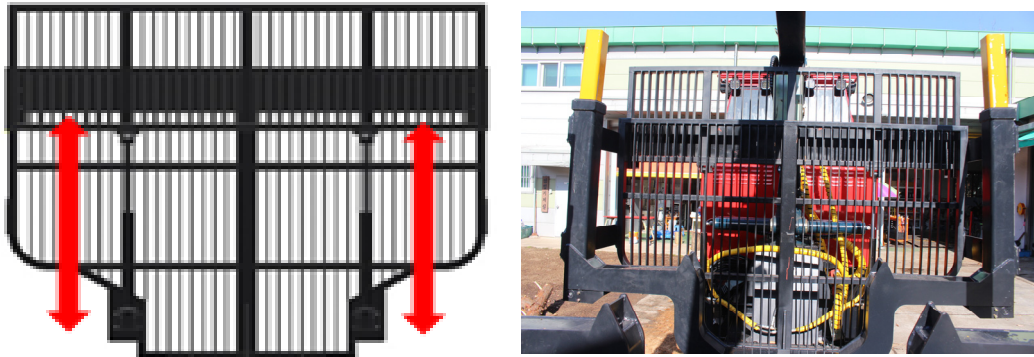


〈그림 66〉 임업용 포워더의 운전 캐빈 댐핑 제어시스템 구조 적용

## 2.2. 임업용 포워더의 적재 성능 및 안정성 개선

임업용 포워더의 적재성능 및 안정성 개선을 위해 헤드보드 및 적재폴 구조를 가변식으로 적용하여 최대 400mm 상승할 수 있도록 구조 설계하였다(그림 67). 헤드보드 및 적재폴이 하강 시 작업자가 초기 작업 시 시야확보 및 상·하차작업이 용이하다. 또한 상승 시에는 적재를 더욱 많이 할 수 있어 생산성을 높일 수 있는 구조로 반영하여 설계하였다(그림 68).





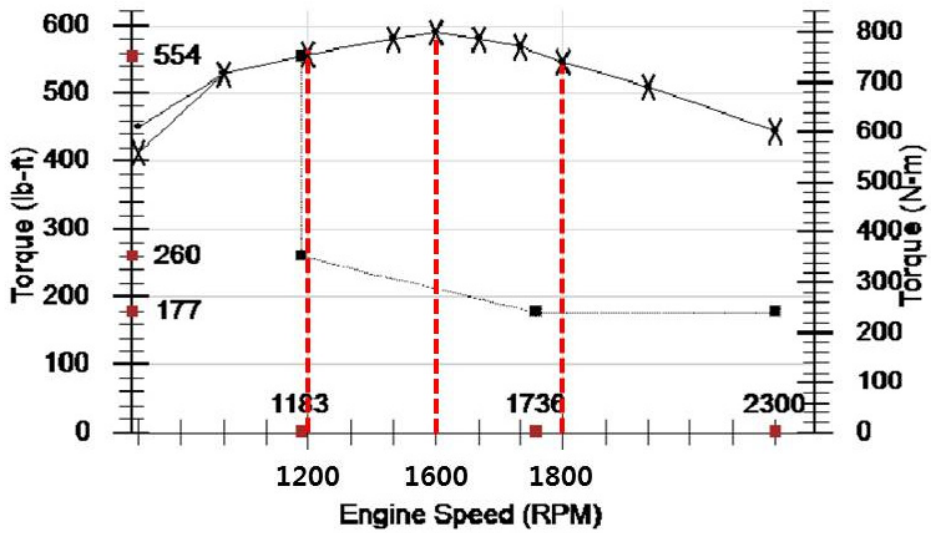
〈그림 67〉 임업용 포워더의 적재함 가변식 헤드보드 구조 적용



〈그림 68〉 임업용 포워더의 적재함 가변식 적재플 구조 적용

### 2.3. 임업용 포워더 엔진제어시스템(ECO Idle) 개발

현재 사용되어지는 임업기계 및 건설기계의 증장비에 ECO Idle이 적용되어 있어, 설정된 작업을 수행 중 부하를 받지 않을 때 엔진회전속도를 자동적으로 감소시켜 연료소비량을 줄일 수 있는 장점이 있다. 이에 본 연구과제에 적용하였으며, 임업용 포워더에서는 엔진 토크에 따른 회전속도를 고려하여 3단계로 구분하였다(그림 69). 엔진속도가 1단계 1,200rpm(작업), 2단계 1,600rpm(주행), 3단계 1,800rpm(주행 및 작업)로 구분되며, 포워더에 장착된 유압펌프의 부하감지(Load sensing)에 의해 엔진 회전속도가 자동 전환되어 연료소비량을 저감할 수 있도록 적용하였다(그림 70).



〈그림 69〉 임업용 포워더의 엔진 성능곡선



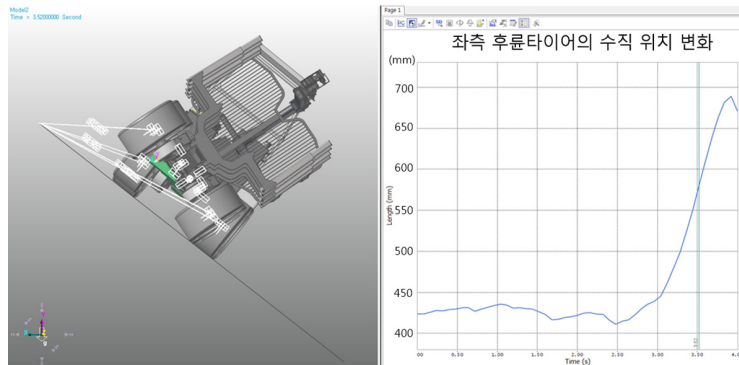
〈그림 70〉 임업용 포워더의 엔진제어시스템(ECO Idle) 개념도



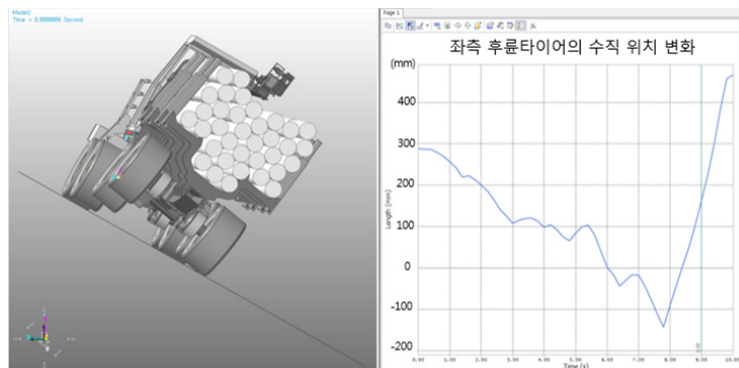
### 3. 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 활용한 임업용 포워더의 주행 안정성 평가

#### 3.1. 적재함 크기별 횡전도 한계구명

임업용 포워더 3D 모듈의 물리적 분석 결과 기본형 적재함과 확장형 적재함의 무게중심 위치는 약 2cm 정도 차이가 있었고, 차량의 중량은 14.5톤, 기본형 적재함 적재 중량은 8톤, 확장형 적재함 1의 적재 중량은 10톤, 확장형 적재 중량은 12톤으로 나타났다. 또한 한계 횡전도 기울기 분석에서 공차 시 38°, 적재 시 29°로 분석되었다(그림 71, 72)

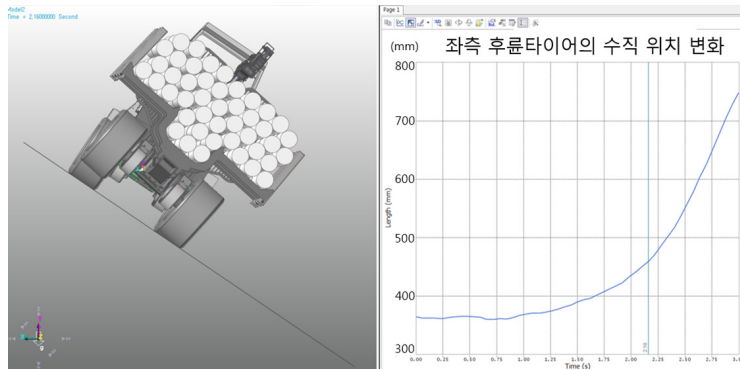


〈그림 71〉 횡단기울기 38° 일 때 공차시 포워더 좌측 후률타이어 무게중심의 위치 변화

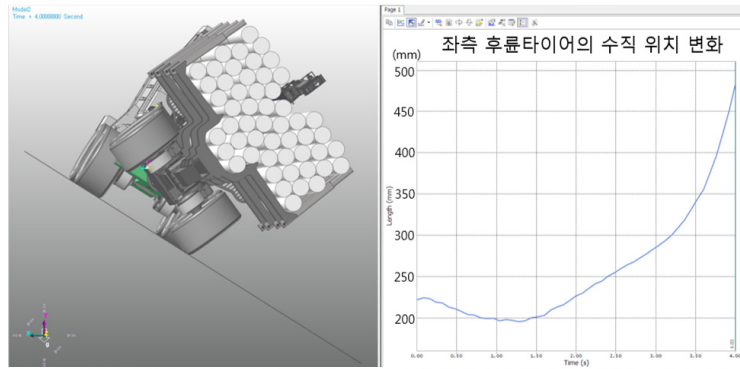


〈그림 72〉 횡단기울기 29° 일 때 적재시 포워더 좌측 후률타이어 무게중심의 위치 변화

적재함 확장형은 횡전도가 일어나지 않고 45°일 때 완전 슬립(Slip) 현상이 발생되었었다. 또한 적재 시 적재함 가로 확장형 일 때 32°, 적재 시 적재함 가로세로 확장형 일 때 32°로 분석되었다(그림 73, 74).



〈그림 73〉 횡단기울기 32° 일 때 적재시 1단 확장 포워더 좌측 후률타이어 무게중심의 위치 변화



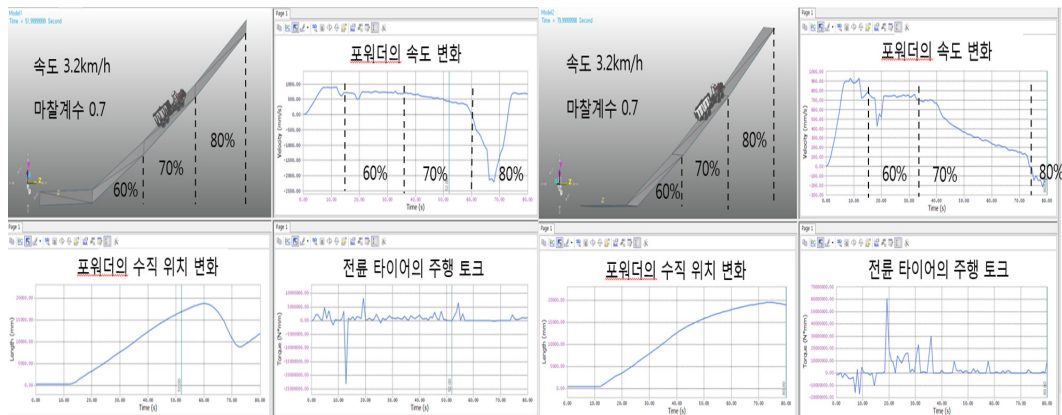
〈그림 74〉 횡단기울기 32° 일 때 적재시 2단 확장 포워더 좌측 후률타이어 무게중심의 위치 변화

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

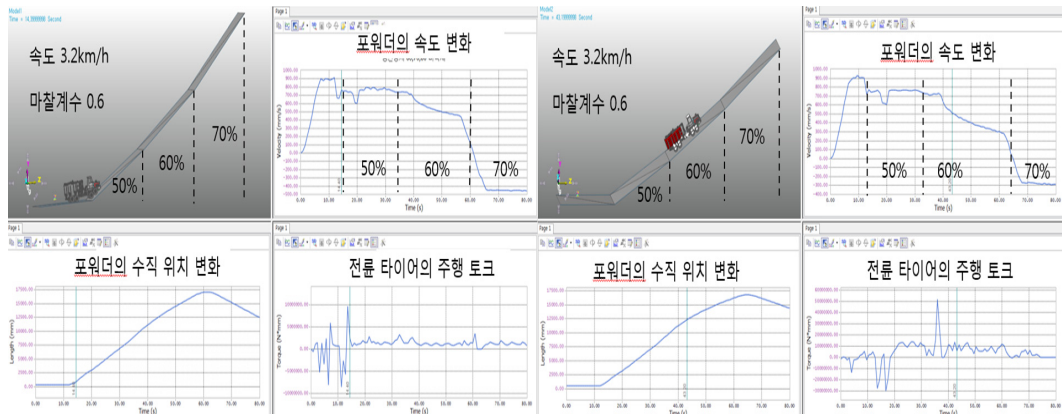
### 3.2. 토양 조건 및 적재조건별 주행속도 및 등판한계 구명

등판한계 기울기 분석은 지면의 상태에 따라, 즉 지면과 포워더 타이어와의 마찰계수에 따라 지면 상태를 설정하고 지면의 기울기를 설정하여 주행 시뮬레이션을 실시하였다.

마찰계수 0.7일 때, 공차 시 및 적재 시 60%, 마찰계수 0.6일 때, 공차 시 및 적재 시 50%, 마찰계수 0.5일 때, 공차시 및 적재시 40%, 마찰계수 0.4일 때, 공차시 및 적재시 30% 이하의 경사에서 안정적인 주행이 되는 것으로 분석되었다<그림 75, 76, 77, 78>.

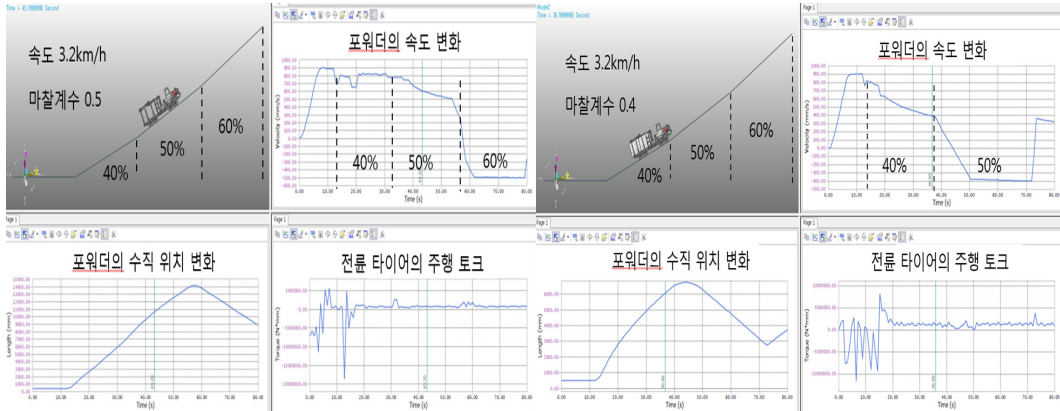


〈그림 75〉 마찰계수 0.7일 때, 공차시(좌) 및 적재시(우) 종단경사별 등판능력 분석  
이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

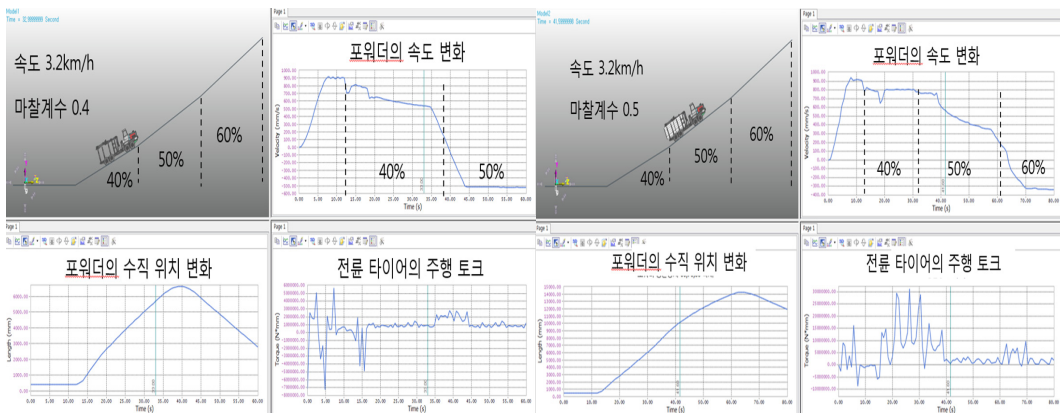


〈그림 76〉 마찰계수 0.6일 때, 공차시(좌) 및 적재시(우) 종단경사별 등판능력 분석

임업용 포워더의 주행 및 적재성능 개선에 관한 연구



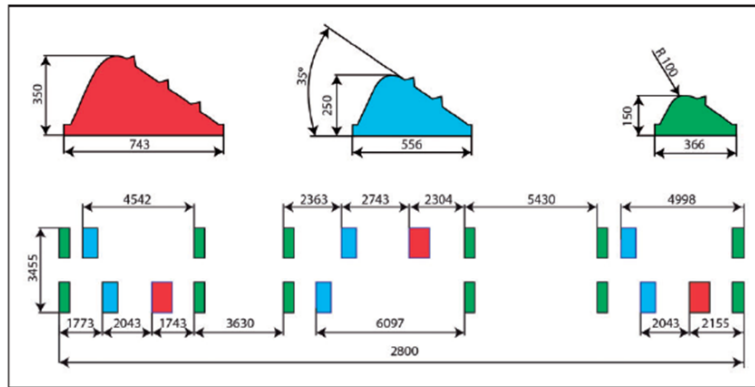
〈그림 77〉 마찰계수 0.5일 때, 공차시(좌) 및 적재시(우) 종단경사별 등판능력 분석



〈그림 78〉 마찰계수 0.4일 때, 공차시(좌) 및 적재시(우) 종단경사별 등판능력 분석

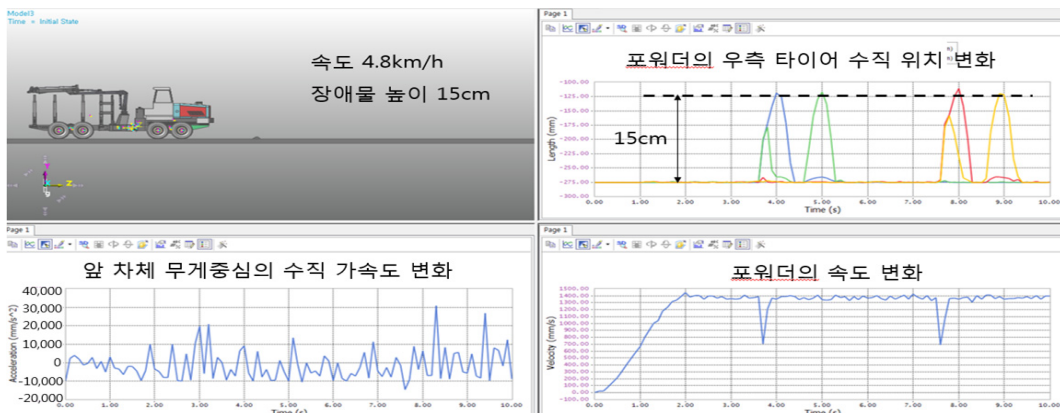
### 3.3. 지형조건 및 적재조건 별 최적 주행속도 구명

주행 안정성 분석은 포워더가 장애물(그림 79)을 통과할 때 타이어 무게중심의 수직 위치 변화, 포워더 앞 차체의 수직가속도, 포워더의 속도 변화를 통하여 주행안정성을 분석하였다.



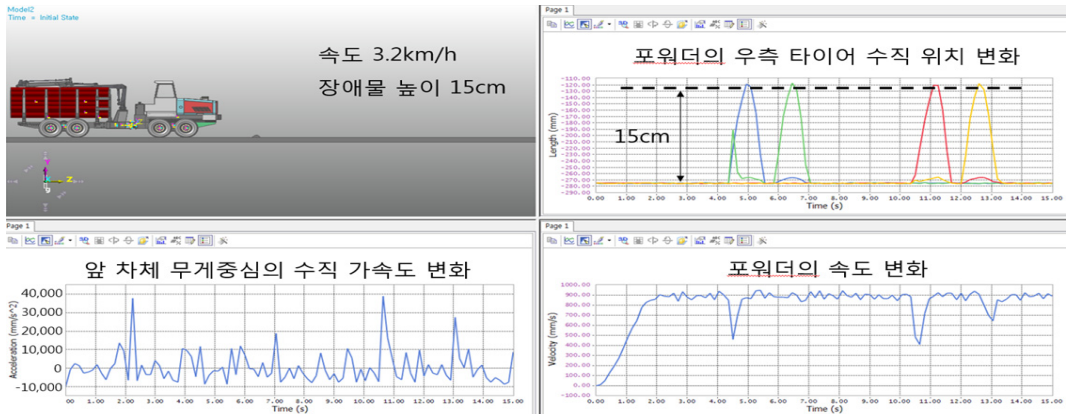
〈그림 79〉 장애물 생성 모델의 규격

장애물 높이 15cm 통과 시 공차 및 적재 시 안정주행 속도는 각 4.8km/h, 3.2km/h(그림 80, 81,), 장애물 높이 25cm 통과 시 공차 및 적재 시 안전주행 속도는 각 3.2km/h, 3.2km/h(그림 82, 83,), 장애물 35cm 통과 시 공차 및 적재 시 안전주행 속도는 각 1.6 km/h, 3.2km/h로 분석되었다.

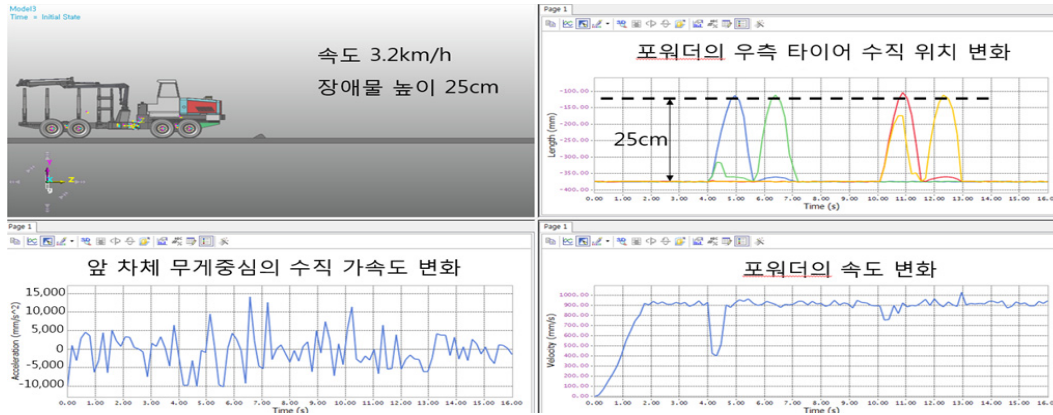


〈그림 80〉 공차시 장애물 높이 15cm 통과시 4.8km/h 속도에서의 변화량

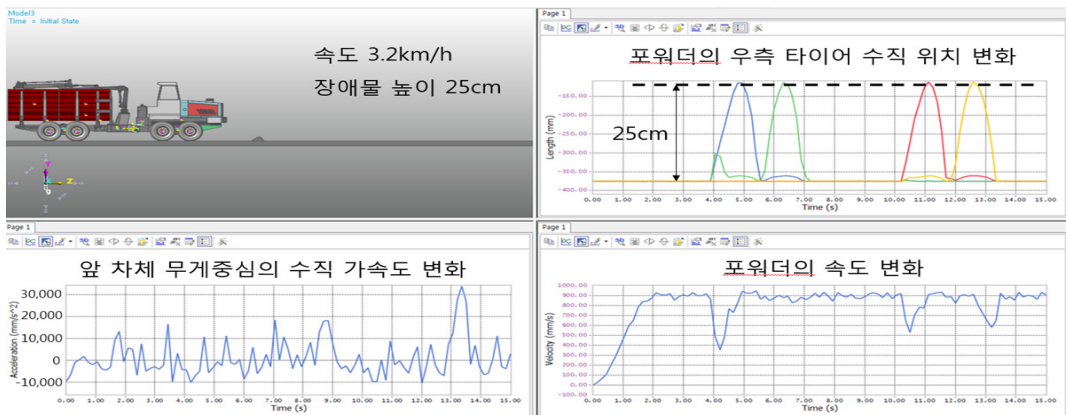
임업용 포워더의 주행 및 적재성능 개선에 관한 연구



〈그림 81〉 적재시 장애물 높이 15cm 통과시 3.2km/h 속도에서의 변화량



〈그림 82〉 공차시 장애물 높이 25cm 통과시 3.2km/h 속도에서의 변화량



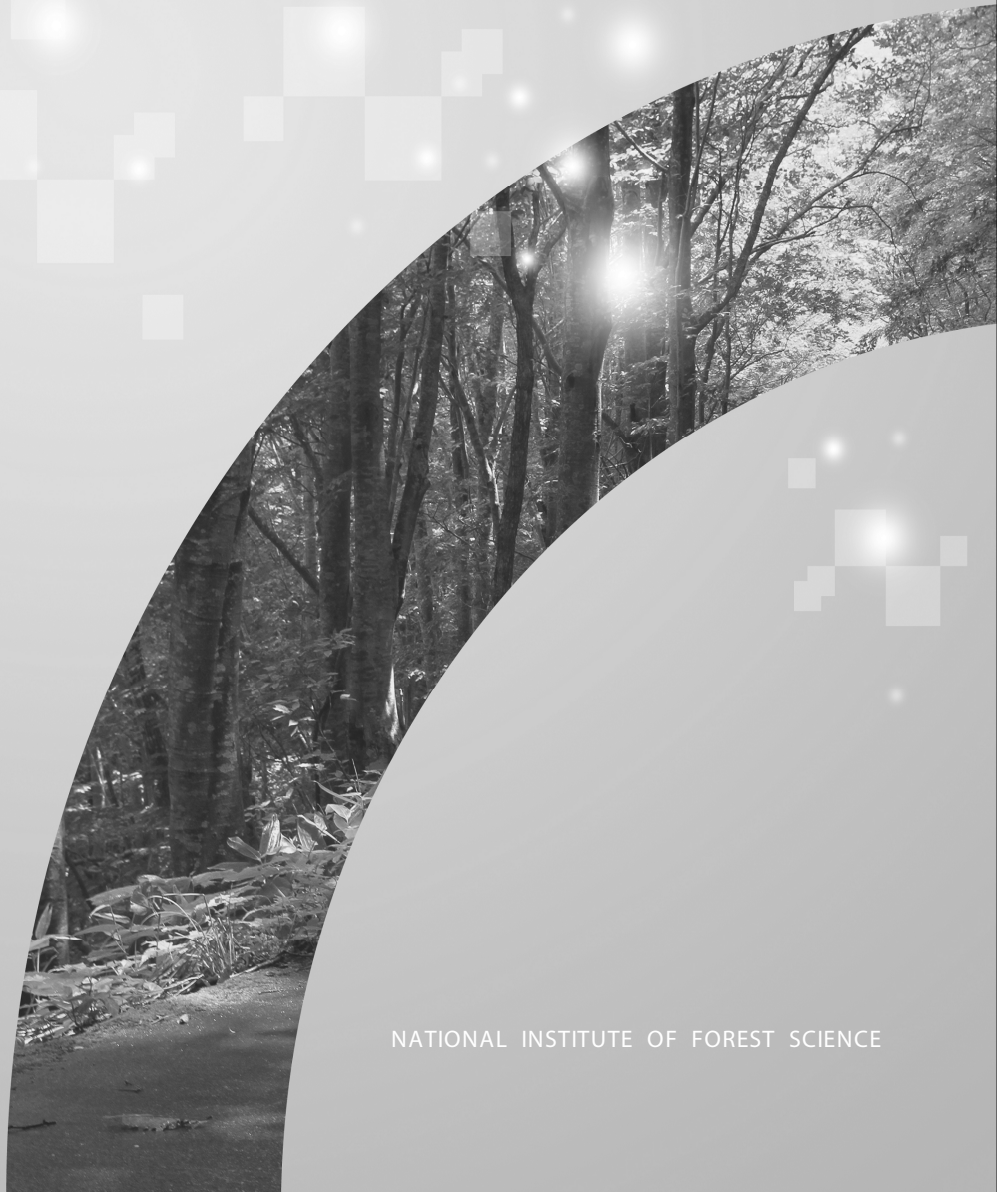
〈그림 83〉 적재시 장애물 높이 25cm 통과시 3.2km/h 속도에서의 변화량



임업용 포워더의 주행 및  
적재성능 개선에 관한 연구

# VI

## 결론







국립산림과학원

National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

## VI. 결론

임내를 주행하는 소운반 작업장비는 산림 내 경사지를 주행할 수 있게 개발되어야 하나 국내에서는 전용장비가 아닌 불법개조차량과 궤도식 건설용 운반차량을 주로 이용하고 있다. 이에 경사지를 자유로이 주행할 수 있는 전용장비인 임업용 포워더가 이전에 개발되었으나 현재 산림 현장에 적합하지 않기 때문에 이를 대체할 수 있는 임업용 포워더의 필요성이 작업현장에서 확대되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 국내 산림현장에 적합하고 국산화 기술을 이용한 임업용 포워더를 개발하여 임업의 생산성 향상과 비용을 절감하고자 하였다. 또한, 현재 임업기계 시장을 고려하여 보다 저렴하고 보급이 용이하고 사용이 편리한 고성능 임업기계를 개발하고자 하였다.

임업용 포워더는 주로 작업로나 하베스터에 의해 벌도와 조재된 원목을 차체에 탑재된 로그 그래플로 상차하여 임도변의 토장까지 운반할 수 있는 고성능 임업기계이다. 임업용 포워더는 차체의 최저 지상고가 높고 보기식 차축(bogie axle)이 적용되어 있어 그루터기와 같은 장애물이 있거나 지형이 균일하지 않은 곳에서도 주행이 가능하며, 한번에 대량의 원목을 운반할 수 있는 탁월한 적재운반능력이 있는 것이 특징이다.

과거에 개발된 원목운반용 미니포워더의 경우 적재중량 2톤, 6륜 전륜구동방식, HST 시스템 동력전달방식, 유압식 애커만 조향 방식, 최대 30의 등판능력으로 개발되었다. 그러나 운전캐빈이 없어 작업자의 위험성이 높고, 소경재 수확방식을 대상으로 개발되었기 때문에 현재의 중대경재 수확작업에 사용하기에 적합하지 않는 실정이다.

이러한 문제점을 파악하여 임업용 포워더의 성능개선을 위해 엔진출력 및 동력계동 개선, 운전석 보호캐빈 추가(역방향 작업가능), 차체굴절식 개선, 크레인 성능개선, 적재용량 확대, 주행장치 개선(체인, 트럭이용) 등을 고려하여 성능을 개선하였다.

본 연구에서 임업용 포워더의 목표 설정을 위해 원목생산업에 종사하는 임업인을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 이에 구동방식은 차륜형, 최대적재량 9~10톤, 최대 주행속도는 30~40km/h, 경사 주행능력은 40~50%를 선호하는 것으로 조사되었다.

이에 최대 적재중량 10톤을 기준으로 국외에서 개발된 임업용 포워더의 종류와 특성을 분석하여 차량중량과 엔진출력을 선정하는 기초자료로 사용하였다. 수집된 데이터를

이용하여 군집분석을 실시한 결과, 임업용 포워더는 국외 포워더 분류기준상 중형급으로 분류되었다. 독일의 산림작업 및 임업기계위원회(KWF)에서는 임업용 포워더의 평가 시험 항목 및 기술적 성능시험을 통해 장비의 적정성 및 검정제도를 시행하고 있다. 이는 개발된 장비의 평가시험을 통해 적합성 및 안정성 등 현장에서 적합한 장비로 사용되기 위해 필수적인 검정방법이다. 그러나 국내에서는 이러한 검정제도가 마련되어 있지 않기 때문에 향후 현장에서 적합한 장비로 사용하기 위해 장비 평가시험에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

임업용 포워더의 구동은 유압기계식으로 하였고, 적재중량과 주행속도 등을 고려한 유압펌프, 유압모터, 트랜스미션, 최종 감속장치로 구성하였다. 또한, 포워더의 주행조건을 고려하여 적재중량 10톤과 최대속도 20km이상으로 경사지를 주행할 수 있도록 메인 동력을 195마력으로 선정하였다.

임업용 포워더의 기본 프레임은 자체 제작하였으며, 적재중량 10톤급으로 8륜구동 보기형식 차축으로 개발하였다. 이는 중대형 포워더에 많이 사용되는 구조로서 지형의 굴곡에 순응하여 고정식 차축보다 차체의 상하진동을 감소시키며 장애물을 쉽게 통과할 수 있는 장치이다. 또한, 3D 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 구조물의 응력분포, 변형도, 안전도를 분석하여 구조물의 안정성을 검증하였다.

임업용 포워더는 완·중경사지(20 미만)에서 주행이 가능한 장비로 높은 등판성능을 요구한다. 이에 공차 및 적재시 전·후륜에 작용하는 하중전이, 노면상태 등을 고려하여 토양 추진력과 소요동력을 산출하여 등판성능을 향상시킬 수 있도록 개발하였다.

임업용 포워더의 또하나의 기능은 임지에 산재되어 있는 원목을 자체에 장착된 크레인을 이용하여 적재함에 상·하차작업을 할 수 있으므로 작업생산 능률을 향상시키기 위해서는 크레인의 각 작동 부 실린더의 속도가 신속하고, 장애물이 많은 좁은 공간에서도 작업에 지장을 주지 않고 원목을 신고 내릴 수 있도록 관절식 크레인을 대부분 이용하고 있다.

임업용 포워더 크레인의 목표 설정은 낙엽송 원목의 말구직경 34cm, 길이 3.6m, 1회 적재량 원목 2개를 기준으로 하였으며, 역학분석으로 이론적 검증을 통해 설계에 반영하였다. 또한, 3D 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 응력분포, 변형도, 안전도 등을 분석하여 크레인의 구조물 안전성을 검증하였다. 또한, 포워더 크레인은 2단식 관절과 마지막 붐을 연장할 수 있는 1단 신축식을 적용하여 크레인을 설계하였다. 메인 붐의 회전은 실

린더(랙과 피니언)에 의한 회전방법을 적용하였고, 신속한 작업과 차체 주위에 있는 원목의 상·하차 작업이 가능하도록 회전각도를 380로 설정하였다. 크레인의 작업범위는 최대 연장길이 8.5m일 때, 리프팅 능력은 4,218N을 들어 올릴 수 있도록 성능을 개선하였다.

기존에 개발된 원목운반용 미니포워더는 6륜 전륜구동방식으로 6개의 차륜 중 부하를 받지 않는 쪽으로 유압이 흐르는 경향이 있어 험로 탈출에 문제점이 있었다. 이를 개선하기 위해서 임업용 포워더의 구동을 8륜 전·후륜방식으로의 기계식 동력전달방식과 견인력 5톤의 차체 견인용 윈치를 적용하였고, 험로 탈출을 위한 자동장금장치(differential lock)을 차축에 적용하였다.

임업용 포워더는 조향방식은 조이스틱과 스티어링 휠을 이용한 제어방식으로 구분되며, 주행 시에서는 스티어링 휠로 제어하고 작업 할 때에는 조이스틱을 이용하여 제어할 수 있도록 편리성을 추가하였다..

기 개발 장비의 경우 주행 및 작업기 등을 유압 파일럿 방식으로 제어하여 각각 작동 시 운전자가 자리를 이동해야 되는 단점이 있었으며, 기계장비의 이상 진단 파악이 엔진 계통의 지시계로만 구성되어 있어 다른 작동부 등의 이상 진단이 어려운 문제점이 있었다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 본 연구에서 CAN통신 기반으로 시스템을 구성하고, 주행, 조향, 작업 부 제어로 구분하여 시스템화하였다. CAN통신을 적용함으로써 장비의 이상 진단을 손쉽게 확인할 수 있어 작업의 용이성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

현재 국외에서는 작업환경개선을 위해 작업자의 시야각, 소음, 진동 등에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 이에 본 연구는 임업용 포워더의 운전캐빈을 개발하여 작업환경을 개선하고 작업 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

이에 앞서, 임업용 포워더의 주행 안정성 시뮬레이션을 통해 공차 및 적재시의 횡전도와 적재조건별 주행속도에 따른 등판능력, 지형조건 및 적재조건별 최적 주행속도 분석 결과는 본 연구에서 설정한 목표에 도달하여 만족하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 현장 적용성 평가를 위해 주행속도는 속도 측정 장치를 이용한 데이터와 실제 주행시간을 측정하여 비교하였을 때 거의 유사한 결과로 나타났으며 설계 기준에 만족하였다. 향후 임도와 작업로 등 노면상태에 따른 주행 성능에 관한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

포워더 크레인의 적재성능 시험은 작업자 2명을 대상으로 실시하였으며, 엔진속도별

적재시험은 작업자에 따라 적재시간, 생산성, 비용의 경향이 다르게 나타났으며, 작업자의 숙련도와 크레인 조작방식에 영향이 큰 것으로 판단된다. 향후 국외에서 선행 개발된 조작 제어 기술인 크레인 붐 팁 컨트롤(Crane boom tip control)을 적용하거나, 패러렐 크레인(Parallel crane)을 이용하여 크레인의 작업범위를 최소화하고 간편한 제어방식을 통해 생산성을 향상시킬 수 있는 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

앞서 언급한 바와 같이 임업용 포워더의 성능개선 연구를 수행하여 개발된 요소기술과 성능평가를 통해 얻은 결과를 토대로 향후 임업용 포워더를 이용한 적용성 평가를 통해 문제점을 찾고 이를 해결하여 생산성 향상과 비용을 절감할 수 있는 국산화 기술 확보하기 위한 연구가 앞으로 활발히 진행되어야 할 것으로 판단되며, 지속적인 현장 적용성 연구가 필요 할 것이다.

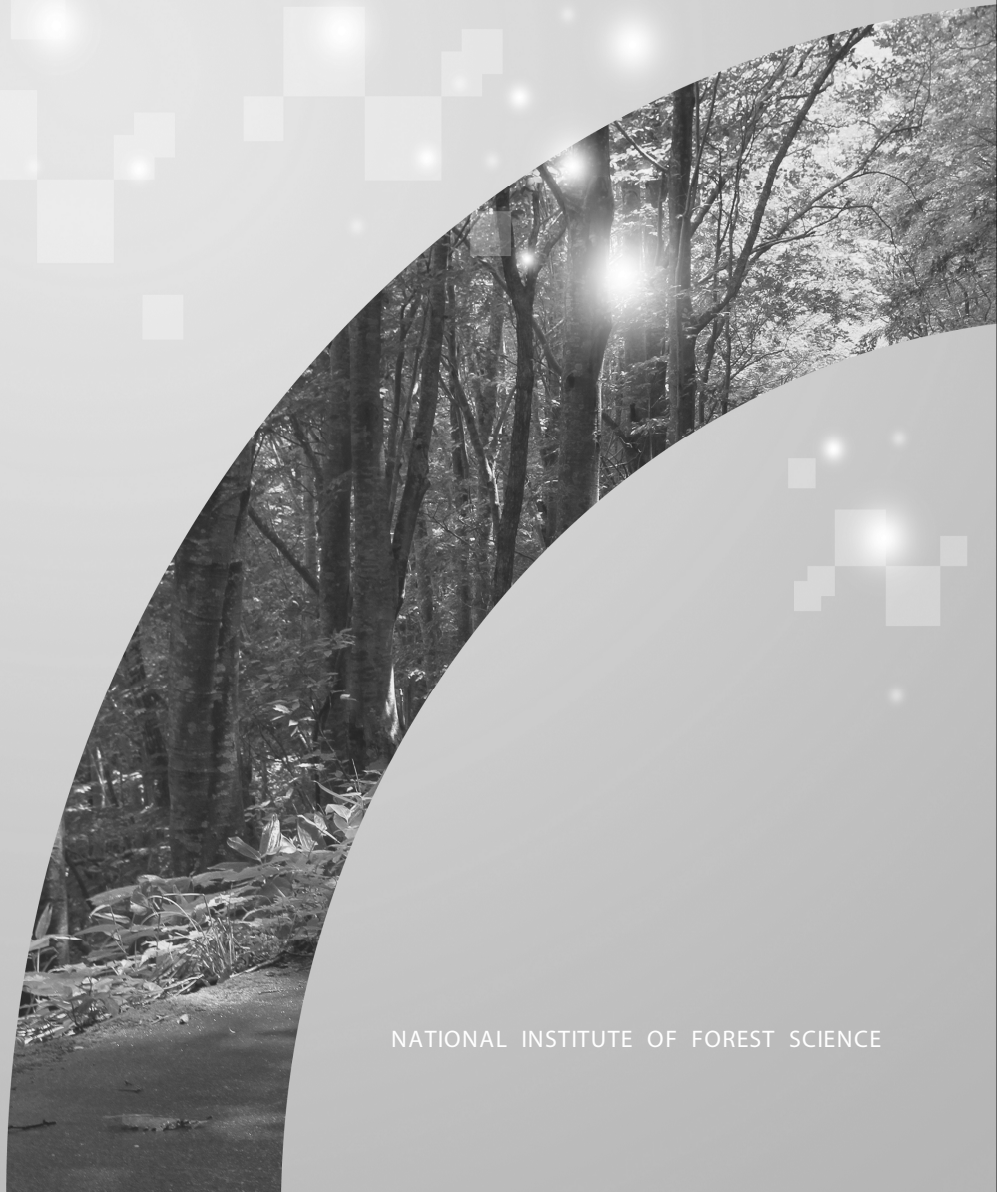
국내에서도 중대경재의 본격적인 목재 생산과 더불어 고성능 임업기계 보급의 필요성 확대와 시스템화 장비의 현장투입이 이루어지면서 임업기계 시장의 규모가 커지고 있다. 현재까지의 연구를 기반으로 국내 산림현장에 적합한 고성능 임업기계를 개발하고 더 나아가 성능개선을 통해 작업 생산성과 작업의 질을 향상시킴으로써 임업의 발전에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 앞으로도 이러한 분야에 대한 집중적인 연구와 현장적용에 대한 국내 임업의 신산업화에 큰 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

임업용 포워더의 주행 및  
적재성능 개선에 관한 연구

# VII

## 참고문헌





국립산림과학원

National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.



## VII. 참고문헌

- 가. 김재환. 2013. 반궤도식 임내작업차 개발에 관한 연구. 경북대학교 농학박사학위 논문. 경북대학원 대학원. pp1-126.
- 나. 농림부. 2001. 원목운반용 미니포워더 개발. 임업연구원. pp1-189.
- 다. Kazuhiro Aruga, Yuto Otsuka, Chikara Nakahata, Reiko Yamaguchi, Masashi Saito, Mayu Nagasaki. 2013. Operational efficiencies and costs of an arm roll forwarder: A case study at Nasu in Tochigi Prefecture, Japan. *Journal of Forestry Research* 24(3) : 577-583.
- 라. Ola Ringdahl, 2011. Automation in Forestry - Development of Unmanned Forwarders. PhD Thesis, Department of Computing Science Umeå University, Sweden.
- 마. Suivinen, A., 2006. Economic comparison of the use of tyres, wheel chains and bogie tracks for timber extraction. *Croatian journal of forest engineering* 27(2):81-102.
- 바. JVP Forest Systems Oy and Jori Uusitalo. 2010. Introduction to Forest Operations and Technology. pp.98-100.



국립산림과학원

National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

## 국립산림과학원 연구보고 목록

서 명	일련번호	발행연도
2002 태풍 루사에 의한 산지재해 원인과 복구대책	03-01	2003
2002년도 산림병해충발생예찰조사연보	03-02	2003
임목축적 생장을 적용방법 개발	03-03	2003
지속가능한 산림경영을 위한 현지적용 기준 및 지표보고서(2002)	03-04	2003
21세기 국유림의 역할 및 관리강화방안	03-05	2003
도시숲이 직장인에게 미치는 영향 및 학교숲의 편익	03-06	2003
주 5일제 근무제 도입에 따른 산림, 임업분야 영향 및 대응방안	03-07	2003
지속가능 발전시대의 산림관리 방향	03-08	2003
밤·표고 소득 분석	03-09	2003
우리나라 산림휴양실태 및 수요전망	03-10	2003
전국 산촌기초조사보고서(전국)	03-11	2003
전국 산촌기초조사보고서(광역시)	03-12	2003
산림사업의 공적관리 시스템 강화 및 임산바이오매스를 활용한 대체에너지 보급	03-13	2003
주요 수종의 임목자원평가 및 예측시스템	04-01	2004
2003년도 산림병해충발생예찰조사연보	04-02	2004
산림기능구분도 작성	04-03	2004
A feasibility study on rehabilitation of degraded forests and establishment of agroforestry based on community participation in JAVA the republic of INDONESIA	04-04	2004
2003년도 밤 표고 소득분석	04-05	2004
한국의 산림입지(산림토양)	04-06	2004
주요 산불피해지 임목 및 임분회복	04-07	2004
산림지속성 지수 개발에 관한 기초연구	04-08	2004
주요 단기소득임산물의 수급 및 유통실태	04-09	2004
제주시험림의 사회·경제·경영조사 분석	04-10	2004
지속가능한 산림경영 이행을 위한 IPF/IFF 실행권고안의 국내이행 평가	04-11	2004
일제강점기 조선의 산림 이용(산업용재와 연료재의 수급 추이 및 영향)	05-01	2005
제주시험림 조사 보고서(II)-산림생태계 분야	05-02	2005
2004년도 산림병해충발생예찰조사연보	05-03	2005
지구온난화, 기후변화협약, 산림(기후변화협약에 대응한 산림의 역할)	05-04	2005
열대림 조성·관리에 관한 연구 보고서 -인도네시아 KTH사 조림지를 중심으로	05-05	2005
소나무재선충병 항공방제가 소나무림 생태계에 미치는 영향	05-06	2005
산림의 공익기능계량화 연구 보고서	05-07	2005
오염지역 식생복원을 위한 환경정화 수종 육성	05-08	2005
도시숲의 생태적 가치	05-09	2005
산림유전자원 종자목록(난대산림연구소 보유편 2005)	05-10	2005
2004년도 밤 표고 소득분석	05-11	2005
특용수종 재배기술	05-12	2005
침엽수 구조부재의 장기하중 특성	05-13	2005
주요 목재문화재의 수종구성	05-14	2005
생명의 물 수액	05-15	2005
목탄·목초액 이용	05-16	2005
목질칩을 이용한 분뇨처리	05-17	2005
도시림형 산림공원 조성방안	05-18	2005
“국민의 숲” 제도 운영 활성화 방안	05-19	2005
건조목재 품질인증제 타당성 조사	05-20	2005
환경친화성 생물농약개발	05-21	2005
속성수 신품종 육성현황	05-22	2005

서 명	일련번호	발행연도
DNA MEArker 분석과 QTL MEApping	05-23	2005
2005년도 산림병해충발생예찰연보	06-01	2006
GIS에 의한 수치산지이용구분도 구축방법	06-02	2006
제주유망수종 신품종 육성	06-03	2006
국유림 영림계획단위 산림기능구분도 작성	06-04	2006
환경호르몬의 분해기술	06-05	2006
포플러 배양세포 발현유전자 대량 염기서열 분석	06-06	2006
제주지역 외래 식물편람	06-07	2006
한라산 고산지대의 산림생태계 안정화	06-08	2006
국유림 장기경영 계획기법 및 임분단위 사업의사결정 지원시스템 개발	06-09	2006
조림 CDM사업 길잡이	06-10	2006
지역개발 촉진을 위한 산촌진흥계획 방향 정립	06-11	2006
자연재배형 표고톱밥 재배시스템	06-12	2006
지속가능한 산림경영 현지이행 및 모니터링체계 구축	06-13	2006
지구온난화와 산림 그리고 탄소나무 계산기	06-14	2006
2005 밤·표고 소득 분석	06-15	2006
아까시나무 황하피해 및 임분 관리	06-16	2006
우리나라의 산림녹화 성공요인	06-17	2006
채종원의 수형조절을 통한 종자생산 관리방안	06-18	2006
제4차 전국산림자원조사서(제주도 기본계획구)	06-19	2006
기후변화협약 대응 산림부문 온실가스 통계체계 구축	06-20	2006
저항성 품종 육성	06-21	2006
진주시험림 산림조사보고서	06-22	2006
임업기계, 장비의 활용	06-23	2006
임도구조개량 방법개선	06-24	2006
활엽수혼효림 시업법체계화	06-25	2006
천연소나무림 임분유형 구분	06-26	2006
백두대간 보호지역내 벌기령 이상 산림의 표준입목가액 산정기준	06-27	2006
2006년도 산림병해충발생예찰 조사연보	07-01	2007
제주특산수종의 조경 및 절화용 품종특성과 재배기술	07-02	2007
평균경사도 산출 및 능선구분 프로그램	07-03	2007
숲 가꾸기에 의한 녹색댐 조성효과	07-04	2007
산림의 공익기능 계량화 연구	07-05	2007
산불피해지 생태계변화 조사(1997~2006)	07-06	2007
리기다소나무의 구조용집성재 이용기술개발 및 성능향상	07-07	2007
극대중분광 영상자료의 산림정보해석 및 활용기법개발	07-08	2007
친환경임산물의 소비자 의향과 마케팅전략 - 밤·표고를 중심으로 -	07-09	2007
산림자원의 기내대량증식	07-10	2007
1970년대 산림녹화정책	07-11	2007
오갈피나무류 대량배양	07-12	2007
국내외 환경변화에 따른 임업보조금 체계개편 방안	07-13	2007
제주시험림의 생태관광계획 수립	07-14	2007
고성능 목질 세라믹 복합재 개발	07-15	2007
제주시험림의 지속가능한 산림경영 현지이행체계 수립	07-16	2007
가시오갈피 우량품종 육성 및 재배법 개발	07-17	2007
2006 밤·표고 소득분석	07-18	2007
산림부문의 추세 및 장기전망	07-19	2007
2007년도 산림병해충발생예찰 조사연보	07-20	2007
품질인증 제품검사의 방부제 용탈시험 추가 타당성 시험	07-21	2007
우리나라 산림바이오매스 자원평가	07-22	2007
밤생산조절 직접직불제 도입방안 관한 연구	07-23	2007

서 명	일련번호	발행연도
산림부문 온실가스 흡수원 배출원 인벤토리 평가	07-24	2007
국유림의 산림휴양기능 확대방안	07-25	2007
산불피해지 복구 및 산림의 내화성 증진기술	07-26	2007
산림환경서비스 지불제 도입 기초연구	07-27	2007
우리나라 임가경제조사를 위한 임목자산가치 평가시스템의 구축	08-01	2008
국산재의 건축부재 이용을 위한 연구 - 대단면재 및 접합부 개발 평가 -	08-02	2008
산촌체험관광 발전방안	08-03	2008
제주지역의 희귀식물	08-04	2008
산림병해충 방제를 위한 천연물제제 개발	08-05	2008
외래 및 돌발 병해충의 방제 대책 연구	08-06	2008
버섯 균사체의 액체배양 및 유용물질생산	08-07	2008
Trends and Projections for the Forest Sector in the Republic of Korea	08-08	2008
족제비싸리(Amorpha fruticosa)의 생리활성물질 탐색 연구	08-09	2008
두릅나무 병해 방제 연구	08-10	2008
산림부문 온실가스 흡수·배출계수 관리 방안	08-11	2008
북한 사회주의 체제의 중앙·지방 산림조직 특징 및 운용체계 분석	08-12	2008
백합나무 조림적지 및 타당성 조사	08-13	2008
1:5,000 임상도 제작 방안수립	08-14	2008
산림부문 IPCC 2006 가이드라인 적용성 평가	08-15	2008
주요 산림기능별 시업법 개발	08-16	2008
천연 소나무림 시업법 개발	08-17	2008
효율적 산림작업을 위한 임내도로망 배치기술	08-18	2008
2008년도 산림병해충발생예찰조사연보	08-19	2008
목질제품의 VOC 평가 및 개선	08-20	2008
도시숲 이용형태별 시업모델	08-21	2008
산림작업의 표준화에 관한 연구	08-22	2008
산음 '치유의 숲' 조성 기본계획	08-23	2008
적지적수(適地適樹) 역사와 그 활용 연구	09-01	2009
산지전용허가기준의 개선방안	09-02	2009
무역자유화 협상에 따른 임업 및 임산업 영향 및 대응 방안	09-03	2009
친환경임산물 생산기반 및 유통체계 확립 방안	09-04	2009
산림바이오에너지 이용 기술	09-05	2009
대형산불피해지의 지표지질 변화	09-06	2009
한국의 산림인증 현황과 표준체계 시안 개발	09-07	2009
능이 접종묘 생산 및 꽃송이버섯 재배 실용화 기술	09-08	2009
임산염료 자원 및 기능성 신소재 개발	09-09	2009
백색부후균의 분자생물학적 연구	09-10	2009
주요 수종의 산지시험	09-11	2009
용재수종의 유전검정 시험	09-12	2009
2009년 지속가능한 산림경영 국가보고서	09-13	2009
산림공간정보체계 미래모형 및 실행계획 분석	09-14	2009
구조부재의 비파괴 등급평가 시스템	09-15	2009
품종보호제도 정착을 위한 산림수종 품종특성 검정	09-16	2009
임목의 기내재분화 체계개발	09-17	2009
산림문화자산 유형분류 및 조사체계개발	09-18	2009
2009년도 산림병해충 발생예찰조사연보	09-19	2009
토석류 발생특성 및 피해예측기법 개발	09-20	2009
소나무재선충병 기초 생태특성 연구	09-21	2009
소나무재선충병 방제방법 연구	09-22	2009
분재재배 방법개선 및 관리기술개발	09-23	2009

서 명	일련번호	발행연도
임목수확 작업시스템	09-24	2009
우리나라 야생 차나무 유전자원 보존	09-25	2009
야외사용 방부합판의 제조 및 종합이용	09-26	2009
산림기능 및 생태환경 특성에 따른 광릉시험림 경영계획 수립	09-27	2009
시험림의 산불피해저감을 위한 산불관리시스템 및 내화수림 조성	09-28	2009
산림사업에 따른 유역의 물 환경 변화 연구	09-29	2009
조림 CDM 사업 가이드북	09-30	2009
산지약용자원의 생산 및 유통실태	09-31	2009
산촌생태마을 도농교류 활성화 및 운영프로그램 개발	10-01	2010
산림생태지도 작성연구	10-02	2010
살아있는 지혜 산림전통지식과 현대의 만남	10-03	2010
국내 목재생산 잠재력 예측	10-04	2010
생리활성물질을 이용한 스트레스 저항성 유전자원 개발	10-05	2010
체세포배 복제를 이용한 임목류 대량증식	10-06	2010
속성수를 이용한 phytoremediation	10-07	2010
산불피해지의 계류생태계 변화	10-08	2010
자생수종의 Gene Bank 조성시험	10-09	2010
밤나무 주요 재배 품종의 형태적 특성 및 구분	10-10	2010
북한의 황폐산림 복구 협력 방향 및 과제	10-11	2010
다자참여를 통한 국유림 경영 활성화 방안	10-12	2010
목탄의 환경유해물질 흡착능 평가 및 이용	10-13	2010
임업노동력 수급전망 및 근로조건 개선 방안	10-14	2010
기능성 수종 품종육성 및 재배기술	10-15	2010
임목의 뿌리 생장 특성에 대한 QTL mapping 연구	10-16	2010
산불 초기 연소형태 및 뒷불 재발화 관리기술 연구	10-17	2010
밤나무 친환경 재배관리 기술	10-18	2010
도시녹지 온실가스 인벤토리 -서울시를 대상으로-	10-19	2010
요소멜라민계 목재접착제의 합성·이용기술 개선	10-20	2010
백두대간의 지리적 범위 구명 및 훼손지의 생태적 복원모델 개발	10-21	2010
송이 감염묘를 이용한 송이 인공생산 기술 개발	10-22	2010
참나무시들음병 발병생태 및 방제연구	10-23	2010
GPS와 RFID 융합기술을 활용한 국가산림자원조사 현지조사시스템 프로토타입 개발 연구	10-24	2010
산림 온실가스 인벤토리를 위한 주요 수종별 탄소배출계수	10-25	2010
산림의 공익기능 계량화 연구	10-26	2010
최근관사상법을 활용한 녹지네트워크 경향 및 생물서식공간 분석	10-27	2010
한국형 목조건축	10-28	2010
국산 주요 수종의 기초 및 응용물성	10-29	2010
경관생태기법을 이용한 산불피해지 복원전략 수립	10-30	2010
산지약용자원의 생산 및 유통 실태	10-31	2010
제주고사리 산지재배기술 연구	10-32	2010
한국의 소나무재선충병 방제연구	10-33	2010
소나무재선충병 발현기작 구명 및 방제체계 개발	10-34	2010
소나무재선충병 생물검정법 개발 및 방제제 개발	10-35	2010
소나무재선충병 진단키트 개발 및 방제관련 유용유전자 탐색	10-36	2010
소나무재선충 매개충의 실용적 방제기술 개발	10-37	2010
소나무재선충의 방제 생리기전 구명 및 방제후보물질 개발	10-38	2010
항공라이다를 이용한 정량적 산림정보 해석	10-39	2010
2010년도 산림병해충 발생예찰조사 연보	10-40	2010
제주지역 산림유전자원의 수집 및 보존연구	11-01	2011

서 명	일련번호	발행연도
사유림의 산림기능구분도 작성	11-02	2011
소나무재선충병 내병성 품종 육성 연구	11-03	2011
산지전용타당성 조사제도 도입방안 연구	11-04	2011
열대림 임목개량 및 우량종묘 대량생산 기술 개발	11-05	2011
백합나무 바이오순환림 조성 및 관리 매뉴얼	11-06	2011
포플러 바이오순환림 조성 및 관리 매뉴얼	11-07	2011
임산버섯 우량종균 및 재배기술 개발	11-08	2011
북한 산림복구 지원·협력을 위한 국제기구 활용방안	11-09	2011
국산 침엽수재의 등급별 구조성능 평가	11-10	2011
잣나무 임분건전성에 따른 관리방안	11-11	2011
간벌소경재를 이용한 임도사면 안정구조물 개발	11-12	2011
항공사진 DB자료를 활용한 제5차 임상도 제작	11-13	2011
산림유역의 물순환 조사	11-14	2011
임지내 미이용 바이오매스 수집을 위한 효율적 작업시스템 구축 및 수집촉진 방안에 관한 연구	11-15	2011
산림병해충 발생예찰 연구 보고서	11-16	2011
무궁화·조경수 육성	11-17	2011
동해안 산불피해지 경관조림 - 계획과 성과	11-18	2011
도장목재의 VOC 방출 특성 및 유해물질 저감기술	11-19	2011
2009-2010 Annual report of the project entitled analysis of extreme fire behavior and regime	11-20	2011
간벌재 이용 친환경 건설신기술	11-21	2011
산림교육 활성화를 위한 네트워크 구축 방안 연구	11-22	2011
대기오염과 산림생태계 변화	11-23	2011
토석류 피해예측지도 시범제작 및 전국화 방안 연구	11-24	2011
고성 산불피해지 야생동물상 변화	11-25	2011
매화산경영모델링의 SFM 현장이행을 위한 전략 수립	11-26	2011
경제림육성단지 관리방안과 장기경영계획 모델	11-27	2011
산지약용자원의 생산 및 유통 경쟁력 강화 방안(Ⅲ)	11-28	2011
생물다양성 보전 및 생태적 산림관리 연구	11-29	2011
2011년도 산림병해충 발생예찰조사 연보	11-30	2011
산림탄소순환마을 기반구축 및 모델개발	12-01	2012
디지털 항공영상을 이용한 대축척 임상도 제작 및 갱신방법 개발	12-02	2012
인도네시아 REDD+ 전략 및 이행	12-03	2012
건전묘목 생산을 위한 묘포도양관리 기술개발	12-04	2012
Phytoremediation 기법을 이용한 휴·폐광지 오염물질 정화기술 개발	12-05	2012
기후변화에 따른 제주지역 육상생태계의 영향평가 및 모니터링 기반 구축	12-06	2012
제주지역 희귀식물 모니터링	12-07	2012
임목유전자 대량 기능분석 연구	12-08	2012
숲 품격 평가방법 개발 및 활용	12-09	2012
수액의 생리화학적 특성 해석 및 자원수종 발굴	12-10	2012
대사물질을 이용한 신속생장 우량목의 조기선발 인자	12-11	2012
천마의 유성증식법	12-12	2012
보안림의 관리제도 및 관리방안	12-13	2012
산지약용자원의 생산 및 유통실태(Ⅵ)	12-14	2012
입목벌채제도 개선 및 정책방향	12-15	2012
신기능 형질전환체 개발 연구	12-16	2012
산지특성평가제도 법제화 방안 연구	12-17	2012
차량용 목조교량의 설계, 시공 및 평가 - 경간 30m 2차선의 집성재 아치트러스 1등급	12-18	2012
인도네시아 REDD+ 사업 이행 가이드라인	13-01	2013
산림병해충 발생예찰 조사 연보	13-02	2013



서 명	일련번호	발행연도
국내 산림인증제 도입 관련 정책 및 제도화 연구	13-03	2013
수확된 목제품의 탄소계정 기반 구축 연구	13-04	2013
인도네시아 REDD+의 이상과 현실: 국가 전략 및 이행능력 평가	13-05	2013
주요 조림수종의 육림방법에 따른 목재 재질 평가 및 가치 분석	13-06	2013
산림의 공익기능 계량화 연구	13-07	2013
임도 건설의 투자효과 분석	13-08	2013
소나무재선충병 발병시스템 연구(I)	13-09	2013
소나무재선충병 발병시스템 연구(II)	13-10	2013
민간부문·지자체의 북한 산림복구지원 활성화 방안 연구	13-11	2013
최적규격의 묘목 생산을 위한 시설양묘 사업기술 개발	13-12	2013
목질계 에탄올 생산을 위한 전처리효소 대량생산 시스템 개발	13-13	2013
효율적인 숲길조성·관리 및 숲길 거점 산촌지역 활성화 연구(I) - 숲길의 조성관리	13-14	2013
효율적인 숲길조성·관리 및 숲길 거점 산촌지역 활성화 연구(II) - 숲길의 이용자 만족과 거점 마을 활성화	13-15	2013
효율적인 숲길조성·관리 및 숲길 거점 산촌지역 활성화 연구(III) - 숲길 거버넌스 구축	13-16	2013
참나무시들음병 종합관리 연구	13-17	2013
미활용 산림바이오매스 자원 발굴 및 목재펠릿 특성	13-18	2013
한반도 디지털 산지기후도 제작 및 산지기후 예측	13-19	2013
친환경 난연목재 제조기술 개발	13-20	2013
목재·플라스틱 복합재(WPC)의 제조기술 개발	13-21	2013
산촌생태마을 유형별·수준별 운영 프로그램 개발	13-22	2013
cDNA microarray를 이용한 현사시나무 배양세포의 성장단계별 유전자 발현 분석	13-23	2013
동해안 산불피해지역 개미군집의 변화	13-24	2013
인니 열대림 성장 우수 수종 및 리그닌 저함량 신품종 육성	13-25	2013
외국 유망수종 육성시험	13-26	2013
침엽수를 이용한 버섯재배 기술 개발	13-27	2013
유실수 품종육성 및 재배기술 개발	13-28	2013
속성수를 이용한 영양염류 제거효과 구명 및 실용화 기술 개발	13-29	2013
나노셀룰로오스 복합재료의 제조기술 개발	13-30	2013
광 및 수분 환경에 따른 주요 수종의 성장과 생리반응 특성	13-31	2013
산림식물자원으로부터 퇴행성 뇌질환 생리활성물질 개발	13-32	2013
산지은행제도 도입 방안	13-33	2013
「2006 IPCC 가이드라인」 도입에 따른 개선방안 연구	13-34	2013
산림수종의 유전다양성 평가와 현지내 보존	13-35	2013
소백산 주목림의 유전구조와 유전자원보존	13-36	2013
산불피해강도의 정량적 평가기법 개발 및 피해특성 구명	13-37	2013
기후변화 대응 산림재해 변화 예측 및 대응전략 개발	13-38	2013
한국의 산림 바이오매스 자원량 및 지도(Map)	14-01	2014
꽃자왈의 생태와 문화	14-02	2014
2013년도 산림병해충발생예찰조사연보	14-03	2014
캄보디아 REDD+ 정책: 국가 로드맵 및 이행능력 평가	14-04	2014
국가산림자원조사 자료와 RS/GIS기술을 이용한 산림탄소지도 제작 모델 개발	14-05	2014
가리왕산 딱정벌레의 다양성과 풍부도에 대한 산림관리의 영향	14-06	2014
목질계 탄화보드 성능개선 연구	14-07	2014
한국 주요 수종별 탄소배출계수 및 바이오매스 상대생장식	14-08	2014
국가등산로 노선 지정 기준 및 관리 방안 연구	14-09	2014
산행안전지원대의 효율적 운영 방안 연구	14-10	2014
주요 용재수종의 배우자 기여도 및 종자생산량 분석	14-11	2014

서 명	일련번호	발행연도
목질판상제품용 하이브리드 접착제의 합성·이용기술 개발	14-12	2014
산림복지 추진 체계 및 모니터링 기법 개발 연구	14-13	2014
고성능 임업기계를 활용한 저비용·고효율 작업시스템 개발	14-14	2014
원통형 단판적층재 제조 및 이용	14-15	2014
산림생산기반조성을 위한 체계적 임도망 구축기술 개발	14-16	2014
상록활엽수종을 활용한 실내재배용 조경수 개발	14-17	2014
Bt 기반기술을 이용한 백합나무·소나무 대량생산 기술개발	14-18	2014
풍력발전단지 설치에 따른 산지관리방안 연구	14-19	2014
지구환경변화에 대응한 장기생태연구	14-20	2014
기후변화에 따른 주요 수종의 적지분포 변화 예측	14-21	2014
공업화 목조주택 상용화 기술개발 및 전과정평가	14-22	2014
매화산경영모델링을 통한 국유림 SFM 현장이행 체계 개발	14-23	2014
제주시험림 지속가능한 산림경영 10년, 그리고 지표 모니터링	14-24	2014
산림해충 페로몬 및 천연물 해충방제제의 현장적용기술 개발	14-25	2014
기후변화 적응과 탄소흡수 증진 그리고 수종 육성	14-26	2014
산림유전자원의 분자표지자 개발 및 이용연구	14-27	2014
지속가능한 산림경영에 관한 대한민국 국가보고서 2014	14-28	2014
산촌생태마을 운영·관리 체계 개발 및 제도 개선	15-01	2015
2014년도 산림병해충발생예찰조사연보	15-02	2015
산림복지서비스 시설을 위한 유니버설 디자인 매뉴얼	15-03	2015
산불지도 작성 알고리즘 개발 및 제작기법 연구	15-04	2015
단기소득임산물 경영 의사결정지원 시스템 개발	15-05	2015
미얀마 REDD+ 정책: 국가 전략 및 이행능력 평가	15-06	2015
한국의 산림 분야 개발협력 발전 방안	15-07	2015
북한 산림복구 관련 시나리오 구상 및 모니터링 지표개발	15-08	2015
새만금 방조제 사면 수목생육기반 구축 연구	15-09	2015
주요 인공림의 수종갱신을 위한 조림기술 개발	15-10	2015
산림탄소경영 최적화 기법 개발	15-11	2015
산림치유인자의 특성과 치유효과	15-12	2015
균근성 버섯의 형태학적 배양 특성	15-13	2015
리그닌을 이용한 바이오공중합체 제조 및 소재화 연구	15-14	2015
분자생리적 접근을 통한 성숙목 재분화 연구	15-15	2015
피난처를 이용한 산림유전자원 복원 연구	15-16	2015
대형 목조건축물 구조요소 개발	15-17	2015
산림치유효과 평가 및 치유 프로그램 운영 사례 분석	15-18	2015
환경성 질환 및 실내공기질 개선용 피톤치드 소재 개발	15-19	2015
동해안 산불피해지역 지표성 딱정벌레(Carabidae, Coleoptera)군집의 변화	15-20	2015
기후변화에 따른 산림생태계 영향평가 및 적응 연구	15-21	2015
도시생활권의 산지토사재해 방재시스템 개발	15-22	2015
한국잔디 특성 및 재배 기술 연구	15-23	2015
도시화 및 인간간섭 산림녹지의 Biotope 계량화 및 관리방안	15-24	2015
초분광 영상자료를 이용한 소나무재선충병 피해목 탐지	15-25	2015
산지관광 활성화를 위한 산림분야 제도적 기반 구축 방안	16-01	2016
산림토양 산성화 영향모니터링 및 평가관리 기술 개발	16-02	2016
2015년도 산림병해충 발생예찰조사 연보	16-03	2016
Phytoremediation 기법을 이용한 휴·폐광지 오염물질 정화 모니터링	16-04	2016
야계 사방구조물의 적정배치 의사결정 지원 시스템 개발	16-05	2016
산불피해지 생태계변화 모니터링 및 복구관리 기술 개발	16-06	2016
목재 및 목질재료의 난연성능 향상	16-07	2016
구리계 보존제 처리목재의 내구성 및 안전성 평가	16-08	2016

서 명	일련번호	발행연도
해안방재림 효과분석 및 조성기술 개발	16-09	2016
지역별 소나무의 재질발현 메커니즘 연구	16-10	2016
고주파 가열에 의한 고속생력 집성조건 구명 및 집성재의 성능평가	16-11	2016
산림수자원 장기 모니터링 및 관리기술 개발	16-12	2016
신개념 목질계 바이오매스 고밀도 반탄화연료 특성	16-13	2016
산림바이오에너지 제조 기반 기술	16-14	2016
산지구분타당성조사 체계 정립에 관한 연구	16-15	2016
사유림 경영 지원제도 개선 방안 연구	16-16	2016
국내 환경적합 표고교주 육성 및 기능성 표고 재배기술 연구	16-17	2016
산불방지시스템 고도화를 위한 주요 침엽수종의 연료모델 개발	16-18	2016
나노셀룰로오스 복합재료의 기능성 첨단소재화 연구 -나노셀룰로오스 응용 분야-	16-19	2016
나노셀룰로오스 복합재료의 기능성 첨단소재화 연구 -공업출 목재 플라스틱 복합재 분야-	16-20	2016
천연유래 방제물질을 이용한 나비목 수목해충 방제 연구	16-21	2016
동해안 산불피해지역 딱정벌레군집의 변화	16-22	2016
산림탄소상쇄제도 활성화 방안 연구	16-23	2016
산림병해충 발생조사 및 예측 연구 보고서(2011-2015)	16-24	2016
통합 산림관리를 위한 산림생태계 분석 및 평가	16-25	2016
북한의 시장화 확산에 대응한 산림복구 지원 전략	16-26	2016
나라꽃 무궁화 품종육성 및 특성평가	16-27	2016
소나무재선충병 수종별 피해양상 분석 및 방제기술 개선	16-28	2016
주요 용재수종 채종원의 진전세대 조성 기법 및 개량효과 증진 연구	16-29	2016
임상도 고도화를 위한 원격탐사자료 활용방안	16-30	2016
학교숲-텃밭 통합체험프로그램 교사용 지도서	16-31	2016
해외산림자원개발 투자 촉진 방안	16-32	2016
산림환경서비스 증진 활동에 대한 보상체계 구축 연구	16-33	2016
국가산림자원 해석 및 평가기술 개발	16-34	2016
난대수종의 생산관리 및 이용증진 기술개발	16-35	2016
산림기후 모니터링 체계 구축	16-36	2016
난·아열대산림유전자원 보존연구(I)	16-37	2016
주요 용재수종 육성을 위한 선발 및 유전검정 시험 <small>있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.</small>	16-38	2016
산림복합경영을 위한 산림소득단지 조성 기술	16-39	2016
인도네시아 습지대 산림조성 수종 및 생명공학기술을 이용한 리그닌 저함량 신품종 육성	16-40	2016
2016년도 산림병해충 발생예찰조사 연보	17-01	2017
꾸지뽕나무로부터 퇴행성 뇌기능 개선을 위한 효능 구명	17-02	2017
산촌 생태관광 도입에 의한 산촌진흥 방안 연구	17-03	2017
목재제품의 국가표준과 국제표준	17-04	2017
목질자원을 활용한 친환경 축산기술 연구	17-05	2017
산림 토양탄소모델 개발 및 활용	17-06	2017
섬유판 재활용 기술 및 성능 개선	17-07	2017
난아열대수종 지역적응성 검정 및 육성연구	17-08	2017
한국나비포변화 분석	17-09	2017
대경재 생산 작업시스템 개발 및 작업안전	17-10	2017
주요 수종의 천연갱신 메커니즘 및 중·대경재 수확작업	17-11	2017
대사·유전체 정보를 이용한 유용형질 발굴 연구	17-12	2017
목재 운송을 위한 임내도로의 적정 구조·규격과 계통적 연계 연구	17-13	2017
탄화보드의 흡착·분해 성능개선 및 제조공정 변환 연구	17-14	2017
산림건강성 모니터링 지표 및 평가기법 개발	17-15	2017
중앙아시아 산림분야 개발수요와 한국의 협력 전략	17-16	2017
참나무시들음병 발병 메커니즘 구명 및 방제 연구	17-17	2017
도시생활권의 산지토사재해 방재시스템 개발 2015~2016	17-18	2017

서 명	일련번호	발행연도
남부 주요 수종의 자원화를 위한 임분조성 및 무육관리 방안	17-19	2017
목구조물의 흰개미 방제 및 예출조사	17-20	2017
새만금 노출간척지 수목생육기반 및 수목보호시설 설치효과 모니터링	17-21	2017
산림토양도 및 적지적수도 제작기법 개선과 응용	17-22	2017
산림휴양치유마을 조성 방안 및 모델 개발	17-23	2017
사회서비스 연계를 통한 산림치유서비스 확대방안	17-24	2017
산지일시사용제도 개선 방안에 관한 연구	17-25	2017
단벌기 목재에너지림 조성을 위한 우수클론 선발 및 관리	17-26	2017
산림전통지식 유형분류 및 활용방안	17-27	2017
산림탄소흡수원 정보 통계기반 구축	17-28	2017
생애주기별 산림교육 연계성 강화 방안	17-29	2017
벌채부산물을 활용한 소규모 분산형 에너지 생산 이용 연구	17-30	2017
유망 식·약용 및 밀원수종 특성 분석과 재배기술 개발	17-31	2017
교잡종 밤나무 품종 육성 및 재배관리 기술	17-32	2017
주요 산채·산약초의 주요생산 기술 및 임간재배 환경개선 방법	17-33	2017
산촌마을과 산림복지시설 연계 산촌관광 확대 방안	18-01	2018
대나무 자원의 인벤토리 구축 및 임분관리기술 개발	18-02	2018
압축방제, 소나무재선충병 피해근절을 향해	18-03	2018
산촌의 미래 전망·산촌인구 전망 및 귀산촌인 인식을 중심으로	18-04	2018
한국 개미의 분포:온도와 서식처	18-05	2018
산림 파리(벼룩파리과, 큰날개파리과, 춤파리과, 장다리파리과)의 분포(2006~2009)와 기후변화 예측	18-06	2018
주요 활엽수종 고품질 목목 생산을 위한 양묘기술 개발	18-07	2018
리그닌 유도체 나노섬유를 이용한 예폭시 강화 및 전도성 복합 소재화 연구	18-08	2018
백두대간의 지형보전을 위한 산림경관 복원기술 개발	18-09	2018
접근불능지역 실시간 산불위험예보 기반 구축	18-10	2018
임업의 6차 산업화 매뉴얼	18-11	2018
한국 나방군집의 변화 기후변화와 경관변화의 영향	18-12	2018
2017년도 산림병해충 발생 예찰조사 연보	18-13	2018
사방분야 실태조사를 통한 발전전략 수립 및 사방사업 효과 분석	18-14	2018
주요 산림수종의 동적성장모델 개발	18-15	2018
산악기상 정보 서비스 및 현장실용화 기술 개발	18-16	2018
산지계류수 수질정화기능 증진기술 개발	18-17	2018
식물반응기법을 이용한 산림토양 특성 평가	18-18	2018
저지시험림 산림복지 공간 및 프로그램 '자연이 만든 예술, 저지 곳자왈'	18-19	2018
잣나무림의 피톤치드 농도 및 미기상인자 발생특성	18-20	2018
산림치유효과 추적조사 체계 개발	18-21	2018
산림복지통계 구축방안 연구	18-22	2018
대축적 산림공간정보 기반 산림수자원 평가 및 예측기법 개발	18-23	2018
목재부후균에 의한 생물학적 목질성분변환 기반 연구	18-24	2018
산림과수 품종육성 및 재배기술 개발	18-25	2018
기후변화 적응 및 탄소흡수 증진을 위한 수종육성 연구	18-26	2018
외국 유망수종 육성시험 II	18-27	2018
조경 및 임산소득 수종 병해충의 특성 및 방제	18-28	2018
산림생산성 증진을 위한 기능성 유전자 개발 연구	18-29	2018
기후변화에 따른 산림생태계 영향평가 및 적응 연구(II)	18-30	2018
생활친화형 무궁화 신품종 육성 및 재배기술 개발	18-31	2018
사유림 경영 규모화를 위한 산림경영모델 연구	18-32	2018
제주 산림병해충 발생 특성 구명 및 피해 저감 연구 최종보고서	18-33	2018
임업용 포워더의 주행 및 적재성능 개선에 관한 연구	18-34	2018



국립산림과학원

National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

국립산림과학원 연구보고 제18-34호

---

---

## 임업용 포워더의 주행 및 적재성능 개선에 관한 연구

---

---

2018년 12월 인쇄

2018년 12월 발행

발행인 : 이창재

집필인 : 오재현, 최윤성, 백승호, 문호성, 조민재

연락처 : Tel. 031-540-1181 Fax. 031-540-1199

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 주장, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.

발행처 : 국립산림과학원

서울특별시 동대문구 회기로 57

인쇄처 : 웃고문화사(Tel. 02-2267-3956)

---

---

■ 종이도 나무에서 나옵니다.

〈비매품〉

ISBN 979-11-6019-291-9 93520



국립산림과학원

National Institute of Forest Science

이 문서에 대한 소유권은 국립산림과학원에 있으며, 동의 없이 수정, 변경 및 인쇄할 수 없습니다.