

벌출작업 기종의 선정을 위한 GIS 활용

전권석¹ · 마호섭^{2*}

Application of GIS for Selection of Logging Operation Machine

Kwon-Seok JEON¹ · Ho-Seop MA^{2*}

요 약

지리정보시스템(GIS)에 의하여 구축되어진 수치지형모델(DTM)을 이용하여 경상남도 남해군 금산의 국유림(2,948ha)을 대상으로 지형분석을 실시한 후, 현재 우리나라에서 보유하고 있는 벌출작업기계 3기종을 선택하여 산림경영계획의 측면에서 지형별 투입가능한 산림작업기계의 영역을 분류하고 적용성을 검토하였다. 금산의 표고는 201~250m(15.5%), 251~300m(14.5%)의 순으로 분포하였으며, 400m까지의 누적 면적점유율은 78.7%로서 비교적 표고가 낮은 것으로 나타났다. 대상 임분, 작업규모, 경사 및 지형에 따른 차량계 벌출작업기계의 투입가능한 지역(경사 30% 이하)은 17.2%(511.7ha)였으며, 원치부착 차량계 벌출작업기계의 투입가능한 지역(경사 31~60%)은 63.8%(1,896.3ha)였고, 가선계가 가능한 지역(경사 61~80%)은 18.4%(545.5ha)로 나타났다. 본 지역의 경우 중경사지형의 점유율이 81.0%로서 집재기종 중 트랙터부착 집재기(Logging Boogie)의 사용이 적절하다고 판단되며, 이는 향후 대상지역의 산림작업 계획시 기초자료로 활용할 수 있을 것이다. 임목수확작업에 필요한 기계의 이용계획과 작업방법을 선정할 경우에는 지형, 임도망, 임상, 작업규모, 노동력과 작업기술, 기계 및 자본력 등 많은 인자들이 중요한 결정요인이지만 무엇보다도 지형적인 요소가 가장 중요한 요인이다. 특히, 지형정보시스템을 이용하여 집재지형을 분류하면 산지사면의 경사길이와 경사도에 따라 벌출작업이 가능한 대표기종의 선정에 많은 도움이 될 수 있을 것이다.

주요어: 지리정보시스템, 수치지형모델, 벌출작업기계, 임목수확

ABSTRACT

This study was aimed at suggest a proper logging method of mountain forest using geographic information system(GIS) based on digital terrain model(DTM) in the National Forest at Mt. Kumsan in Namhae-gun, Gyungsangnam-do, which has about 2,948 ha in area. The areal percentage of 201 to 250m in the elevation was about 15.5%, elevation of 251 to 300m was 14.5%, and 78.75% for higher than 400m. The accumulated areal percentage of below 30% in the gradient was 17.2%, and

2003년 2월 19일 접수 Received on February 19, 2003 / 2003년 3월 22일 심사완료 Accepted on March 22, 2003

¹ 임업연구원 중부임업시험장 Chungbu Experiment Station, Korea Forest Research Institute

² 경상대학교 산림과학부 Division of Forest Science, Gyeongsang National University

* 연락처 E-mail: mahoseop@nongae.gsnu.ac.kr

81.0% for steeper than 60%. The area for tractor skidding was 17.2%(511.7ha), the area for tractor attached winch skidding was 63.8%(1,896.3ha) and 18.4%(545.5ha) for cable yarding. It is important to choose the proper logging machines for timber harvesting. In general, the selection of logging operation system was affected several major environmental factors like as terrain conditions(slope gradient, slope length) and stand factors. The rate of middle slope gradients in terrain conditions showed higher than that of steep slope gradients in this area. Therefore, it considered that the logging operation system in this area could apply to tractor+winch operating machine according to terrain conditions.

KEYWORDS: GIS, Digital Terrain Model, Logging Operation Machine, Timber Harvesting

서 론

우리나라 산림은 아직 유풍림 단계를 벗어난지 얼마되지 않아 계속적인 간벌과 보육작업이 필요하지만 농산촌의 인구감소와 고령화로 인한 임업노동력 확보가 곤란하여 경제성이 저하되고 있는 실정이다. 또한, 우리나라는 급준한 산악지형과 생산성 향상 등을 고려한 임목생산방법을 도입하여 임지의 훼손방지와 산림환경보전을 위한 환경친화적이고 효율적인 임목수확작업시스템의 구축이 시급히 요청되고 있다. 따라서 향후 간벌작업의 촉진과 국산재 생산비의 절감, 임업노동력 확보, 노동조건 개선 등을 위해서는 임업기계화가 절실히 필요하다.

인력에 의존하던 산림작업방법에서는 집재계획의 중요성이 크게 인식되질 않았으나 기계화집재에 의한 전간 혹은 전목재 임목생산방법이 적용 될 경우에는 투입되는 기종, 집재규모 등 임목수확 작업계획을 수립하여 지형과 임상조건에 적합한 집재방법의 개발이 필요하게 된다. 집재작업은 임목생산에서 가장 많은 비용을 차지하는 작업이며, 집재작업의 능률과 집재작업용 기계의 이용 및 관리는 임업기계화의 중요한 부분이다.

또한, 임목수확 작업에서 다공정 작업이 가능해지고 작업능률과 작업의 안전성이 향상된 새로운 집재기계가 개발됨에 따라 이를 이용한

집재작업에 대한 연구도 많이 증가하고 있다.

노재후와 김재원(1988)은 트랙터부착 집재기계로서 로깅부기의 필요성을 설명하였으며, 노재후 등(1988)은 가선계 집재기계인 케이블 크레인(타워야더)의 국내 적용이 가능하다고 하였다. 강건우(1989)는 임업에서 순수작업시간과 임목형상조건과의 관계를 연구한 바 있으며, 김기원(1993)은 산림지형특성을 고려한 산림수확방법 및 집재방법의 선정기준을 검토한 바 있다. 송태영 등(1998)은 케도형 집재차의 집재작업방법에 따른 작업비용 비교연구에서 작업시간과 작업능률, 작업비용을 분석하였다. 또한 송태영 등(1994)은 자동지타기에 의한 가지치기 능률조사를 통하여 가지치기 공정을 규명하여 비교 연구하였다.

김재원 등(1996)은 트랙터부착용 집재원치의 국산화 개발을 통해 트랙터부착 가선계 집재기계의 실용성을 높이는 필요성을 강조하였으며, 박종명(1997)은 가선계 임업기계를 중심으로 임목생산 작업량에 맞는 임목생산장비의 선택이 필요하다고 하였다. 또한 산림청(2001)에서는 우리나라의 급경사지 지형과 임상, 간벌작업등에 알맞고 경제적으로 실용성이 높은 임업기계의 보급을 위해 굴삭기를 이용한 가선계 집재기계인 타워집재기와 조재기인 원목집계톱을 개발하였다. 또한 산림청(2000)에서는 국산재 생산·공급체계 구축을 위한 합리적인 방안 연구에서 목상의 영업실태 분석을

통하여 벌채생산비 및 유통이윤에 대해 규명한 바 있다. 이근태와 박상준(2001)은 차량계 임업기계 중심의 임목수확작업 모델을 제시하였으며, 가선계 집재기계로서 HAM200 타워집재기와 FARM1 원치집재기에 대한 요소작업과 작업공정 및 작업시스템을 분석하여 기초자료를 제공한 바 있다.

後藤(1988)은 상이한 집재조건 하의 비개발지에서 최적의 집재방법을 선택하기 위하여 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 방법을 이용하였다. 김한수 등(2000)은 지리정보시스템을 이용한 벌채가능지역을 구분한 바 있으며, 전권석과 마호섭(2002)은 벌출작업을 위한 임도망의 계획에 있어서 GIS를 활용방안을 제시한 바 있다.

Heinimanin(1994)에 의하면 벌채 및 집재작업에 있어서 최적의 시스템 투입여부가 가장 중요한 요인이고, 이를 위해 의사결정과 최적의 선택을 위한 정보시스템의 구축이 필요하다고 하였다. Samset(1975)은 집재지형을 분류하는데 있어서 주로 경사, 지형위험도, 지표상태, 토양지력, 지리급이 중요 구분인자로 한 방법을 사용하였고, 노르웨이 산림지형 사면의 경사길이와 경사도에 따라 작업가능한 대표작업기종에 의해 분류하는 기능적 지형분류 방법을 이용하였다.

임목수확작업에 필요한 기계의 이용계획과 작업방법을 선정할 때에는 지형, 임도망, 임상, 작업규모, 노동력과 작업기술, 기계 및 자본력 등이 고려되어야 한다. 이들 많은 인자들이 중요한 결정요인이지만 무엇보다도 지형적인 문제가 임목수확작업을 결정짓는 요인 가운데 가장 중요한 요인이다(FAO, 1985; Heinrich, 1982a; 1982b).

본 연구의 목적은 지형정보시스템에 의한 조사지역의 지형분석을 통하여 현재 조사대상 지역에 벌출작업기계의 투입이 가능한 지역을 분류함으로써 우리나라에 도입되어 있는 벌출기계를 효율적으로 사용하고 임업기계의 활용

도를 높이고자 함에 있다.

조사 및 방법

1. 조사지

본 조사지역은 경남 남해군에 위치한 금산 일대의 국유림으로서 사면이 바다에 연하여 있는 표고 701m의 비교적 중경사(평균 45~50%) 지역이다. 수계는 최고봉인 금산에서 발원하는 수원이 북동쪽의 내산저수지와 북서쪽의 북곡저수지로 유입되고 있다(그림 1).

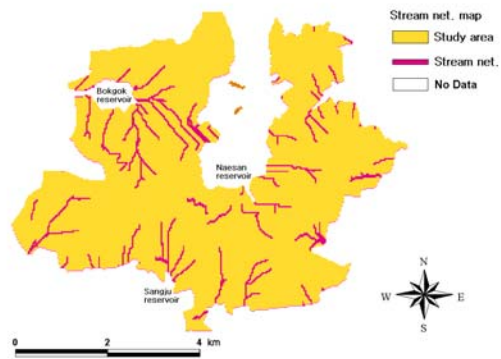


FIGURE 1. Image of stream network in study area

본 조사지역의 지황은 그림 2과 같고, 남부 임업시험장 금산시험림 608ha, 경상대학교 연습림 200.2ha, 남원영림서 자연휴양림 201.0ha를 포함하여 약 2,948ha의 대면적으로서 공도와 인접하고 있는 지점이 많음을 알 수 있다(그림 2, 표 1). 최고봉인 금산의 남쪽사면의 일부지역이 한려해상국립공원지역(11임반의 일부와 12, 13임반)으로 지정되어 있다.

임황은 소나무, 리기다소나무, 편백 및 삼나무 등 인공조림지를 제외하고는 대부분 온대남부에서 잘자라는 활엽수 및 혼효림으로 구성되어 있다.

토양은 모암의 경우 주로 경상계 혈암이지만 화강암과 편마암지역들은 암석이 심하게 노출된 곳이 많이 있다. 토성은 양토, 식양토

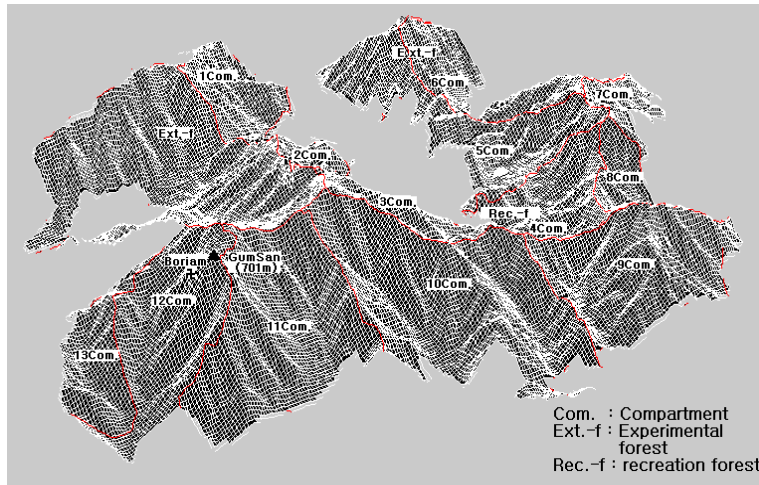


FIGURE 2. Three dimension map of compartments in study are

TABLE 1. Comparison of growing stock and area by compartments

Compartments No.	Area (ha)	Volume (m ³ /ha)
Exp. forest	608	114.13
1	159	59.72
2	101	62.38
3	182	103.78
4	115	96.46
5	306	53.89
6	264	75.34
7	121	44.54
8	79	82.65
9	230	52.58
10	325	75.01
11	201	78.98
12	158	62.69
13	99	42.24
Total	2,948	77.98

및 사양토로서 표토가 얇고 부식층이 적어 토양 생산능력은 '중' 이상으로 보통의 임지에 속한다.

남해 금산의 국유림은 산림경영계획상 남부임업시험장의 시험림 1개소와 13개 임반으로 구성되어 있다. 특히 장기적인 산림경영계획을 위한 연구지역으로 선정된 남부임업시험장의 시험림은 단위면적당 임목축적이 114.13 m³/ha로서 아주 높다.

그리고 13개 임반 중 3임반과 4임반의 경우 주변의 내산저수지와 인접하고 있으며 다른 임반에 비하여 단위면적당 임목축적이 각각 103.78m³, 96.46m³로서 높게 나타나 편백림으로 구성된 자연휴양림으로서 경관 및 자연적인 조건이 양호한 지역임을 알 수 있다.

2. 적정 임도밀도의 산출

본 연구에서는 임업경영적인 관점에서 Matthews(1942)의 생산원가관리이론을 적용하여 생산비 가운데 임도의 개설에 따라 크게 변화하는 집제비와 임도개설비를 이용하여 두 비용의 합계가 가장 최소화되는 임도밀도를 식 (1)과 같이 산출하였다.

$$RD = 50\sqrt{\frac{Q \cdot EC \cdot (1+n) \cdot (1+n')}{RC}} \quad (1)$$

여기서,

RD : 임도밀도(m/ha) Q : 집제제적(m³/ha)

EC : 집재비(원/m³/m)

RC : 임도비용(원/m), 1998년 건설비 적용

(1+η) : 임도우회계수(1.0~2.0)에서 1.4의 값을 적용

(1+η') : 집재거리우회계수(1.0~1.5)에서 1.2의 값을 적용

1) 집재비용

위의 식 (1)에 적용된 집재기종별 일반적인 재원과 집재비 산출을 위한 1일평균적재량, 임목재적당 작업비용, 단위면적당 집재비 등은 다음과 같다(노재후와 김재원, 1988; 노재후 등, 1988).

① 트랙터부착 로깅부기의 경우 3인 1조의 작업원이 집재작업시 1일(6시간 기준) 평균적재량은 25.0m³/일이고 임목재적당 작업비용은 9,939원/m³이다. 이때 단위면적당 집재비는 66.3원/m³/m(9,939원/m³÷150m)이라고 보고한 결과를 적용하였다.

② 안마디젤화사제인 케도식 임내차량(YCT250W)과 타워야더 Koller-K300의 평균적재량은 12.9m³/일, 15.0m³/일이며 임목재적당 작업비용은 18,700원/m³, 17,397원/m³로서 단위면적당 집재비는 각각 187.0원/m³/m, 58.0원/m³/m로 나타났다.

2) 임도비(개설비와 유지관리비)

임도비는 임도개설비와 유지관리비(km당 임도개설비의 0.5%)의 합계로서, 대상지역이 국유림임을 감안하여 단위거리당 임도비를 최후 개설년도인 1998년의 국유임도단가(73,160 원/m)를 적용하였다.

3) 임도 및 집재우회계수

대상지역의 평균산지경사가 40%임을 감안하여 임도우회계수(η)는 직선거리에 대한 경사지에 개설되는 임도의 우회율은 0.4를 적용하였으며, 집재우회계수(η')는 직선거리에 대한

집재시의 우회율로서 0.2를 적용하였다.

4) 평균수확량

단위면적당 평균수확량(Q)은 일반적으로 간벌작업인 경우로 가정하므로 본 연구는 ha당 평균축적(약 78m³/ha)을 적용하였으며, 이때 침활혼효림과 천연침엽수림이 대부분 혼재하므로 70%의 이용율을 적용하였다.

5) 대상지역의 적정임도밀도

이상의 각 요인을 대상지역의 적정임도밀도를 산출하기 위하여 적용되어진 집재기종의 일반적인 재원과 집재비 산출을 위한 1일 평균적재량, 임목재적당 작업비용, 단위재적당 집재비 등은 표 2와 같다.

전술한 자료 1)~4)를 적용하여 집재기종중 트랙터부착 로깅부기의 적정임도밀도, 임도간격, 집재거리, 평균집재거리를 산출하는 과정은 아래와 같다.

$$D = 50 \sqrt{\frac{54.6 \times 66.3 \times 1.4 \times 1.2}{73,160}} \approx 14.4 \text{m/ha}$$

여기서,

$$Q(\text{집재재적}) = 78 \text{m}^3/\text{ha} \times 70\% = 54.6 \text{m}^3/\text{ha}$$

$$EC(\text{집재비}) = 9,939 \text{원}/\text{m}^3 \div 150 = 66.3 \text{원}/\text{m}^3/\text{m}$$

$$RC(\text{임도비용}) = 73,160 \text{원}/\text{m}$$

$$\text{임도우회계수}(1+\eta) = 1.4$$

$$\text{집재거리우회계수}(1+\eta') = 1.2$$

위의 결과 대상지역의 적정임도밀도는 14.4m/ha이고, 임도간격은 10,000m²/14.4m = 694m가 됨을 알 수 있다.

3. 조사 적용기계

본 연구에서 적용성 검토의 대상기계는 국내에 도입되어 있는 환경사지 집재작업용과 급경사지 집재작업용 임업기계 3기종으로서, 트랙터부착 집재기(Logging Boogie), 임내작업차(YCT 250W)와 타워야더(K-300)를 선정하였다. 적용된 기계의 제원은 표 2과 같다.

로깅 부기는 농용트랙터에 장착하여 사용

하는 배부식 트레일러 원치의 일종으로서, 오스트리아 Holzknicht사가 제작한 비교적 간단한 장비로 중·완급경사지의 소규모 집재등에 널리 이용되고 있는 기종이다. YCT 250W는 일본의 Yanmar사가 제작한 소형임내작업차로서 차폭이 좁아 작업로를 이용한 집운재가 가능하며 소형 원치와 간이 타워가 장착되어 있어 간이 하이리드식 집재가 가능한 기종이다. K-300은 급경사지에서 작업가능한 타워야더로서 오스트리아의 Koller사에서 제작한 기종으로 상향집재 위주의 가선집재기계이며, 농용 트랙터의 후부에 부착하여 최대 집재거리 350m 이내에서 작업이 가능한 집재기계이다.

4. 자료의 구축과 처리

산림작업구역의 주요점과 구역은 수치지형도(1:5,000)상에 임소반도, 간이산림토양도 등의 데이터(data)에 의한 각 주제도(layer)를 구축하여 이들을 중첩하여 데이터베이스화하고 산림작업구역의 선정에 이용하였다. 조사대상 지역의 database는 수치지형도(1:5,000)를 토대로 구축한 후 체계적이고 종합적인 산림지역

의 지형분석을 위하여 한 격자(cell)의 크기를 30m×30m로 설정하였다.

산림작업 중 집재작업에 영향을 미치는 인자로 판단되는 경사도, 표고, 수계망, 기설임도노선 등에 대한 지형분석을 위하여 수치지형도를 이용하고 등고선 레이어를 불규칙 삼각망(triangulated irregular network, TIN)으로 변환하는 3차원 분석과 TIN에서 지형적 특성을 추출하는 표면분석 등에 활용하였다. GIS를 이용한 작업계획 수립을 위하여 수치지형도(1:5,000)로부터 지형에 관한 데이터를 추출하여 DTM을 작성하고 다음자료를 활용할 수 있도록 한 후 기설임도 및 수계망, 능선 등의 위치도를 래스터 데이터로 작성하였다. 데이터는 시업기본도로 부터 작업지 경계, 임도 등을 기초로 기능을 분류하였고 수치지형도의 표고값을 이용하여 DTM을 작성하였다.

이상의 데이터처리를 위하여 사용된 소프트웨어는 AutoCAD R14와 GIS S/W인 ArcView Ver 3.2이며, 경사도와 표고에 대한 분석으로 임목반출시 신속한 의사결정을 위한 기본계획 지표자료로 활용할 수 있도록 하였다.

TABLE 2. Summary data of logging operations machines

Item	Logging method		
Equipment	YCT250W	Logging Boogie	Koller K300)
Source	FRI Korea, Yanmar Diesel(Japan)	FRI Korea, Holzknecht(Austria)	FRI Korea, Koller Co.(Austria)
Maximum yarding distance (m)	100.0	150.0	300.0
Crew size	3.0	3.0	3.0
Operating hours per day	6.0	6.0	6.0
Operation cost (Won/m ³)	18,700	9,939	17,397
Total operation cost per day (Won/day)	224,397	248,484	260,948
Daily production(m ³ /day)	12.9	25.0	15.0
Logging cost per unit volume(EC) (Won/m ³ · m)	187.0	66.3	58.0

Source : Forest Research Institute, Korea Forest Service Forest Administration Office(1998)

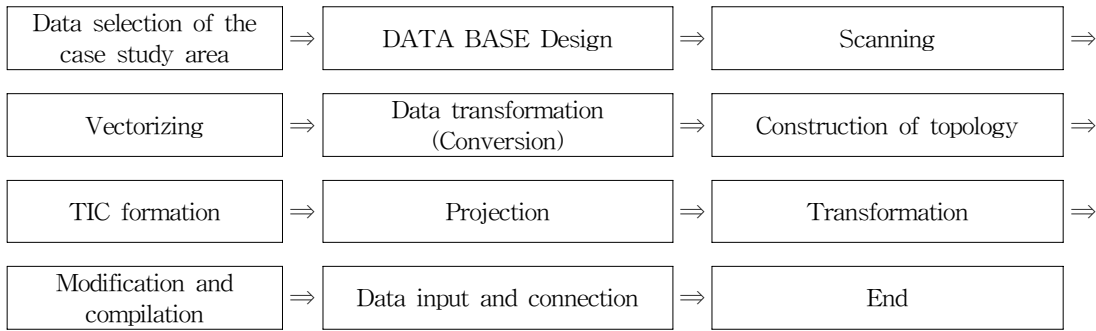


FIGURE 3. Flow chart of GIS database construction process

본 연구를 수행하기 위한 공간자료의 database화 구축과정은 그림 3과 같다.

결과 및 고찰

1. 지형분석

1) 표고분석

연구 대상지역의 수치지형도를 이용하여 획득한 표고자료에 따라 50m 단위로 표고를 분류하여 이미지화 한 결과는 그림 4와 같다.

또한 50m 단위의 표고별 분포는 표 3과 같다.

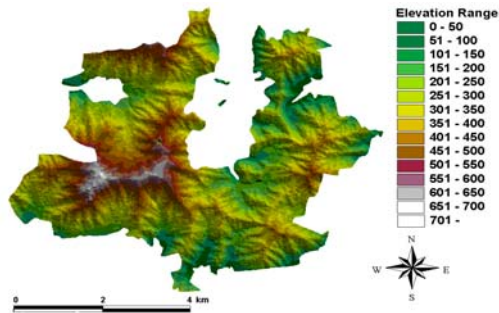


FIGURE 4. Image of elevation distribution in the study area

TABLE 3. Percentage of elevation distributions in study area

Range index	Altitude range (m)	No. of cells	Percentage (%)	Accumulated percentage(%)
01	0 ~ 50	19	0.058	0.058
02	51 ~ 100	984	2.980	3.038
03	101 ~ 150	2,737	8.289	11.326
04	151 ~ 200	4,395	13.310	24.637
05	201 ~ 250	5,107	15.466	40.103
06	251 ~ 300	4,792	14.512	54.615
07	301 ~ 350	4,329	13.110	67.726
08	351 ~ 400	3,639	11.021	78.746
09	401 ~ 450	2,518	7.626	86.372
10	451 ~ 500	1,738	5.263	91.635
11	501 ~ 550	1,321	4.001	95.636
12	551 ~ 600	865	2.620	98.256
13	601 ~ 650	469	1.420	99.676
14	651 ~ 700	106	0.321	99.997
15	701 ~	1	0.003	100.000
Total		33,020	100.000	

표 3에서 201~250m의 범위가 15.5%로서 가장 많이 나타났으며, 다음으로 251~300m의 범위가 14.5%를 차지하고 있었다. 그리고 표고 400m까지의 누적점유율은 78.7%로서 산복부위의 면적이 비교적 넓게 분포하고 있는 것으로 나타났다. 대상지역의 전체면적 2,948ha 내의 격자수는 33,020개로써 약 23.8ha의 차이가 있으며, 이는 격자를 분할함에 있어서 경계지역이 일부 포함되어진 결과이다.

2) 산지경사도 분석

일반적으로 경사도는 동일한 대상지형이라도 측정 및 계산방식에 따라 약간의 차이는 있지만 격자형 수치지형도를 이용하여 계산식에 의해 경사도를 구할 경우 격자의 크기가 커질수록 미세지형의 특성을 상실하게 되며, 지형도상의 값보다 현지에서 구한 경사도가 완만해지는 경향이 있음을 고려하여 격자의 크기를 기존연구(100m×100m, 50m×50m)보다 더욱 세분하여 30m×30m로 설정하였다.

벌출작업기계의 적용성 검토를 위해 수치지형도(1:5,000)상에서 작성한 격자(30m×30m)를 표시하여 격자점별 표고로부터 산지경사를 산출하였다.

그 이론적인 배경은 다음과 같다.

$$\text{등고선법} : \tan G(\%) = \Delta Z/D$$

여기서, D = 두 격자간의 거리,

ΔZ = 한 격자내에서의 표고 차

수치지형도상에서 추출한 수치표고모형(DTM) 데이터를 이용하여 산지경사를 10% 단위로 분류하였으며, 이를 이미지화한 결과는 그림 5와 같다.

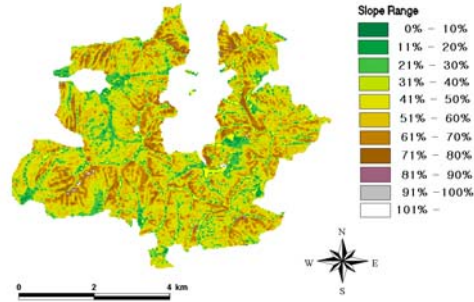


FIGURE 5. Image of gradient distribution in study area

또한, 10% 단위로 경사도별 면적과 누적점유율을 나타낸 결과는 표 4와 같다. 대상지역의 경우 산지경사 30%까지의 누적점유율은 17.2%(511.7ha)로 나타났으며, 60%까지의 누적점유율은 81.0%(2,408.0ha)로서 비교적 중경사지역에 해당됨을 알 수 있다. 반면, 산지경

TABLE 4. Percentage of gradient distributions of in study area

Range index	Slope range (%)	No. of cells	Area (ha)	Percentage (%)	Accumulated percentage(%)
01	0 ~ 10	754	67.9	2.28	2.28
02	11 ~ 20	1,478	133.0	4.48	6.76
03	21 ~ 30	3,453	310.8	10.46	17.22
04	31 ~ 40	5,736	516.2	17.37	34.59
05	41 ~ 50	7,649	688.4	23.16	57.75
06	51 ~ 60	7,686	691.7	23.28	81.03
07	61 ~ 70	4,801	432.1	14.54	95.57
08	71 ~ 80	1,260	113.4	3.82	99.39
09	81 ~ 90	151	13.6	0.46	99.84
10	91 ~ 100	13	1.1	0.04	99.88
11	101 ~	39	3.6	0.12	100.00
Total		33,020	2,971.8	100.0	

사 81% 이상의 누적점유율은 약 0.6%(18.3ha)나 되는데 이 지역들은 모두 현지조사를 통하여 확인한 결과 암반이 노출된 지역으로 나타났다.

2. 지형별 벌출작업기계의 적용성 평가

임목집재는 벌채된 목재를 임도변까지 운반하는 것으로서 벌채지점과 임도의 간격이 멀수록 집재거리가 커져 단위채적당 집재비용은 증가되며, 임도의 간격이 가까울수록 임도의 개설비용은 증가되지만 집재비용은 감소하게 되므로 최소한의 임도비용과 유지비를 포함하는 임도개설비와 집재비의 합이 최소화되는 임도밀도를 적정임도밀도(optimum road density; ORD)라고 한다. 본 연구에서는 임업경영적인 관점에서 Matthews(1942)의 생산원가관리이론을 적용하여 생산비 가운데 임도의 개설에 따라 크게 변화하는 집재비와 임도개설비를 이용하여 두 비용의 합계가 가장 최소화되는 적정임도밀도를 산출하였다.

조사대상지역에 대하여 우리나라에서 보유하고 있는 궤도형 임내작업차(YCT250W), 트랙터부착 집재기(Logging Boogie) 및 급경사지형 타워야더(Koller-K300)를 중심으로 집재작업기계별 적정임도밀도와 임도간격, 집재거리, 평균집재거리를 산출한 결과는 표 5와 같다.

표 5에서 궤도형 임내작업차(YCT250W)의 경우 적정임도밀도는 24.2m/ha로서 트랙터부착 집재기(Logging Boogie)의 14.4m/ha, 타워야더(Koller-K300)의 13.4m/ha에 비하여 높게 나타났다. 임도밀도가 집재기계에 따라 큰 차이를 나타내는 것은 적정임도밀도의 경우 고정적인 수치로 나타나는 것이 아니라 노동임금, 목재가격, 기계구입가 및 유지관리비, 임도개설비 및 유지관리비 등의 차이에 의한 것으로 판단되며 이러한 적정임도밀도는 적용 가능한 목재수확방법(시스템)에 따라 지역적으로 결정되어지는 것이라 사료된다.

특히 트랙터부착 로깅부기의 경우, 표 5에서 적정임도밀도는 14.4m/ha이므로, 임도간격은 694m가 된다. 이때 산지 지형조건이 한쪽 임도에서만 집재가 가능하다면 집재거리는 임도간격의 1/2이므로 347.2m, 개발지수는 $14.4 \times 347.2 / 2,500 = 2.0$ 이 되고, 양쪽 임도로 부터 집재가 가능하고 임도가 고르게 배치되어 있을 때는 집재거리 즉, 평균집재거리는 임도간격의 1/4인 173.5m가 되며, 개발지수는 $14.4 \times 173.5 / 2,500 = 1.0$ 이 된다.

위의 집재기종들에 대한 값은 기복이 전혀 없는 평지림을 기준으로 산출한 것이므로 실제로 경사나 굴곡 또는 기복도가 있는 산지에 임도를 선형배치 할 경우에는 보정치를 계산하여야 한다.

TABLE 5. Working conditions of logging operations method by road density

Item	Logging method		
	YCT250W	Logging Boogie	Koller K300
Equipment			
Optimal forest-road density (m/ha)	24.2	14.4	13.4
Forest road spacing (m)	413.2	694.0	746.3
Logging distance (m)	206.6	347.2	373.1
Average logging distance (m)	103.3	173.5	186.6

벌채 및 집재작업 계획에는 최적의 시스템 투입여부가 가장 중요한 요인이므로 이를 위한 의사결정을 위하여 지형정보시스템의 구축이 필요하다(Heinimanin, 1994). 後藤(1988)은 상이한 집재조건하의 비개발지에서 최적의 집재방법을 선택하기 위하여 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 방법을 이용하였다.

특히, 임목수확작업에 필요한 장비의 이용 계획과 작업방법을 선정할 때에는 대상임분, 작업규모, 지형, 임도노망, 기술수준과 노동력, 장비 및 자본력 등이 고려되어야 한다. 이들 많은 인자들이 중요한 결정요인이지만 무엇보다도 지형적인 요소가 가장 중요한 요인이다. Samset(1975)은 집재지형을 분류하는데 있어서 주로 경사, 지형위험도, 지표상태, 토양지력, 지리급이 중요 구분인자로 한 방법을 사용하였고, 노르웨이 산림지형 사면의 경사길이와 경사도에 따라 벌출작업이 가능한 대표작업기종에 의해 분류하는 기능적 지형분류 방법을 이용하였다. 芝正己(1993)은 임목반출을 위하여 지형 및 경사요인을 중심으로 이용가치에 따라 임내노망을 계획하고, 임목반출시 차량계가 이용 가능한 산지경사영역은 30% 이하, 원치부착 차량계가 이용 가능한 산지경사영역은 31~60% 범위, 가선계를 이용한 임목반출영역은 61~80% 범위로 구분하여 평가한 바 있다.

본 연구에서도 우리나라에서 보유하고 있는 케도형 임내작업차(YCT250W), 트랙터부착 집재기(Logging Boogie) 및 타워야더(Koller-K300)를 중심으로 수치지형도상의 표고와 사면길이에 따라 경사도를 측정하여 집재작업 가능성을 분석한 결과는 그림 6과 같다. 그림 6에서 보면 임목반출시 차량계의 이용이 가능한 산지경사영역인 30% 이하의 이용구역은 전체면적 2,971.8ha 중 17.2%(511.7ha)를 차지하고 있었으며, 원치부착 차량계의 이용이 가능한 산지경사영역인 31~60%까지의 이용구역은 전체면적 중 63.8%(1,896.3ha)로 나타났다. 그

리고 가선계를 이용한 임목반출영역인 61~80%는 전체면적 중 18.4%(545.5ha)로 나타났으며, 또한 차량계와 가선계의 반출이 곤란한 영역인 산지경사 81% 이상은 전체면적 중 약 0.6%(18.3ha)로서 암반지역으로 나타났다.

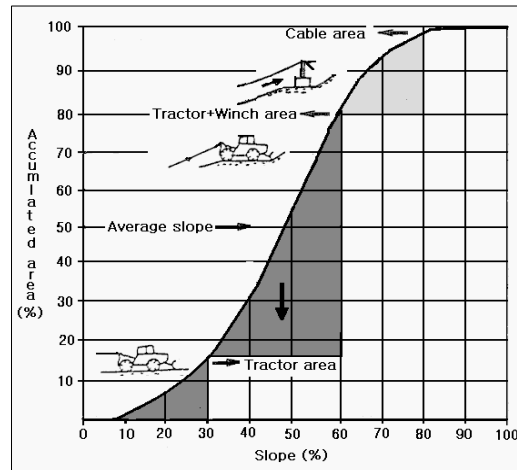


FIGURE 6. A classification of logging method by slope

본 조사지역의 산림경영계획에 따른 산림작업 중 임목반출방법을 도출하기 위하여 대상지역의 지형분석 후 표고 및 산지경사의 분포곡선을 기반으로 대상임분, 작업규모, 임도망 등을 고려하여 벌출작업기계별 임목반출방법의 이용구분도와 작업영역을 나타낸 결과는 그림 7과 같다.

그림 7에서 보면 임목반출시 차량계를 이용할 가능영역은 북곡저수지 인근의 시험림과 8임반지역의 완경사 지점이며, 원치부착 차량계를 이용할 가능영역은 8, 9, 10, 11임반의 중경사 지대, 가선계를 이용할 임목반출영역은 시험림과 1임반 및 6임반의 중경사지점에서 능선부위까지와 2임반 및 3임반의 급경사지로 도출되었다. 본 조사지역의 경우 표고 400m까지의 누적점유율은 78.7%로서 산복부위의 면적이 비교적 넓게 분포하고, 산지경사에 있어서도 60%까지의 누적점유율이 81.0%(2,408.0ha)로

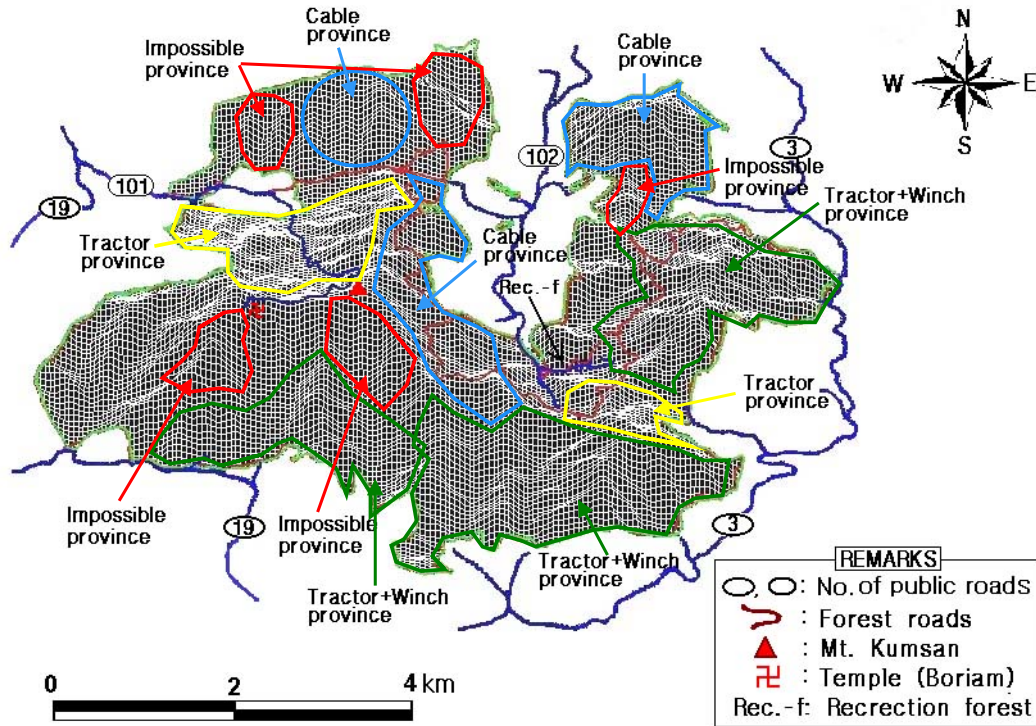


FIGURE 7. A classification map of working province by logging machines

서 중경사지역에 해당하므로 집재작업 기종의 선택은 완·중경사지의 소규모 집재 등에 널리 이용되고 있는 트랙터부착 집재기(Logging Boogie) 등의 사용이 적절하다고 사료된다. 이는 향후 조사대상지역의 임업기계를 이용한 벌출작업 계획시에 기초자료로 적용될 수 있을 것이다.

결론

지리정보시스템(GIS)을 이용하여 경상남도 남해군 금산의 국유림을 대상으로 임업기계의 활용도를 높이고자 임업경영적 측면과 지형에 따른 벌출작업기계의 적용성을 검토하였다. 조사지의 표고는 201~250m의 범위가 15.5%로서 가장 많이 나타났으며, 다음으로 표고 251~300m의 범위는 14.5%로 나타났다. 표고

400m까지의 누적점유율은 78.7%로서 대상지역의 경우 대체로 낮았으나, 단위면적당 임목축적은 114.13m³/ha로서 비교적 높게 나타났다. 산지경사도는 30%까지의 누적점유율은 17.2%(511.7ha), 60%까지의 누적점유율은 81.0%(2,408.0ha)로서 대체적으로 중경사지역으로 나타났다. 반면 산지경사 81% 이상의 지역은 암석지대로서 누적점유율은 약 0.6%(18.3ha)로 나타났다.

산림작업기종별 임목반출방법의 이용구분도를 나타낸 결과, 임목반출시 차량계의 이용이 가능한 산지경사영역인 30% 이하의 이용구역면적은 전체면적 중 17.2%(511.7ha)를 차지하고 있었으며, 차량계에 윈치를 부착하여 이용이 가능한 산지경사영역인 31~60%까지의 이용구역면적은 전체면적 중 63.8%(1,896.3ha)를 차지하였다. 그리고 가선계를 이용한 임목반출영역인 61~80%는 전체면적 중 18.4%(545.5ha)로 나타났

다. 본 조사지역의 경우 중경사지형의 점유율이 81.0%로서 집재기종 중 트랙터부착 집재기(Logging Boogie)의 사용이 적절하다고 판단되며, 이는 향후 대상지역의 산림작업 계획시 기초자료로 활용할 수 있을 것이다. 임목수확작업에 필요한 기계의 이용계획과 작업방법을 선정할 경우에는 지형, 임도망, 임상, 작업규모, 노동력과 작업기술, 기계 및 자본력 등 많은 인자들이 중요한 결정요인이지만 무엇보다도 지형적인 요소가 가장 중요한 요인이다. 특히, 지형정보시스템을 이용하여 집재지형을 분류하면 산지사면의 경사길이와 경사도에 따라 벌출작업이 가능한 대표기종의 선정에 많은 도움이 될 수 있을 것이다. **KAGIS**

참고문헌

- 강건우. 1989. 임업에서의 순수작업시간과 임목형상조건과의 관계연구. 한국임학회지 78(4):381-395
- 김기원. 1993. 산림지형특성을 고려한 산림수확방법 및 집재방법의 선정기준. 한국임학회지 82(2):195-206.
- 김재원, 박문섭, 송태영. 1996. 집재작업 강도 평가에 관한 연구. 산림과학논문집 54:40-52.
- 김한수, 원현규, 최조룡, 우중춘. 2000. 지리정보시스템을 이용한 벌채가능지역의 구분 및 임목가격 산정에 관한 연구. 한국지리정보학회지 3(3):54-68.
- 노재후. 1993. 집재작업 시스템의 작업능력 분석에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문. 123쪽.
- 노재후, 김재원. 1988. 로깅부기의 사용방법 및 타당성 연구. 임연연보 36:135-144.
- 노재후, 김재원, 박문섭. 1988. 케이블 크레인의 국내적용가능성에 관한 연구. 임연연보 36:145-153.
- 박종명. 1997. 작업량에 따른 적정 집재기계의 선정. 한국임학회지 86(4):450-458.
- 산림청. 2000. 국산재 생산·공급체계 구축을 위한 합리적 방안 연구. 산림청. 234쪽.
- 산림청. 2001. 굴삭기를 이용한 타워집재기 및 원목집계탑 개발. 122쪽.
- 송태영, 김재원, 박문섭, 강건우. 1998. 궤도형 집재차의 집재작업방법에 따른 작업비용 비교연구. 한국산림경제연구지 6(2):20-28.
- 송태영, 노대균, 김재원, 박문섭. 1994. 조립 및 육림작업 기계화 기술개발(자동지타기에 의한 가지치기능력조사). 산림과학논문집 50:164-169
- 이근태, 박상준. 2001. 환경친화적인 임목수확 모델 개발 및 공정조사에 관한 연구. 산림조합중앙회. 114쪽.
- 전권석, 마호섭. 2002. 임도망의 계획에 있어서 GIS 활용방안. 한국지리정보학회지5(3):99-106.
- 차두송, 조구현. 1994. 기계화 집재작업을 위한 노망정비에 관한 연구(II) - 적정임도간격 및 임도밀도. 한국임학회지 83(3):299-310.
- 後藤純一. 1988. 非皆伐施業における集材方法決定モデルの構築. 高知大演報 15:79-88.
- 芝正己. 1993. 代案比較による林内路網計劃と評價法の最適化について(V)-利用價值分析による三重大學演習林の代案路網計劃評價. 日本林學會誌 75 (5):431-439.
- FAO. 1985. Logging and transport in steep terrain. FAO. Forestry Paper 14, Rev. 1. 133pp.
- Heinimanin, H.R. 1994. Conceptual design of a spatial decision support system for harvesting planning. Proceeding of the International Seminar on Forest Operation under Mountainous Conditions. Harbin. China. pp.19-27.
- Heinrich, R. 1982a. Application of intermediate technology in wood harvesting in developing countries. In: Logging of Mountain Forests. FAO Forestry Paper 33:131-146.
- Heinrich, R. 1982b. Logging technique in

- Austria. In: Logging and Transport in Steep Terrain. FAO Forestry 14(1):111-128.
- Mattews, D. M. 1942. Cost Control in the Logging Industry. McGraw-Hill, N.Y. 374pp.
- Samset, I. 1975. The accessibility of forest terrain and its influence on forestry conditions in Norway. Medd. Nor. Inst. Skogforsk. 32(1):1-92. [KAGIS](#)