

에너지용 산림바이오매스의 수확 비용 분석

Harvesting Cost Analysis of Forest Biomass as an Alternatively Energy Source

오재현¹, 이진아^{1*}, 차두송²

(¹국립산림과학원 산림생산기술연구소, ²강원대학교)

1. 연구목적

산림청은 1996년부터 산림의 가치증진을 위한 숲가꾸기를 실시하고 있지만, 높은 수확 비용으로 인하여 현재 벌채 부산물은 활용하지 않고 방치되고 있다. 하지만, 유가 급등과 지구 온난화의 심화로 이전에는 버려졌던 벌채 부산물에서 나오는 바이오매스의 에너지 활용에 대한 기대가 상승하고 있다. 특히, 미이용 바이오매스 에너지를 활용하므로써 환경적인 측면과 수익성 개선에 대한 기대가 커지고 있으며, 이러한 미이용 산림 자원의 에너지 이용을 위해 수확비용을 절감할 수 있는 효율적인 시스템이 구축에 관한 관심이 증대하고 있다. 이에 선진 임업국은 GIS를 이용하여 바이오매스의 양과 수확비용 사이의 관계를 분석하고, 산림의 산림바이오매스 에너지 이용의 가능성을 논의하였으며(Yoshioka et al. 2000, 2002, 2005a, and 2005b), van Belle et al.(2003)은 GIS를 기초로 산림 바이오매스의 연간 이용량과 수확비용 사이의 관계에 대하여 분석하였다. 이런 GIS 계획 및 분석 기법은 목재수확뿐만 아니라 임도계획 등에 도 적용하여(Dean 1997, Eriksson and Ronnqvist 2003, Forsberg and Ronnqvist 2003, Kiuender et al. 2000, Martin et al. 2000, pentek et al. 2004 and 2005), 최근에는 북유럽국가를 중심으로 GIS를 활용한 이용가능한 산림 바이오매스 자원량을 평가하는데 적극 이용하고 있다(Nord-Larsen and Talbot 2004, Ranta 2003 and 2004, Tarbot and Nord-Larsen 2003). 따라서 본 연구에서는 산림바이오매스를 에너지원으로 활용할 때 가장 중요한 지속적인 공급가능성 및 경제성을 판단하기 위해 GIS를 이용한 산림바이오매스 이용 가능량을 구하고 이를 통해 수확·이용시의 비용을 결정하여 보다 효율적인 에너지 이용시스템 구축을 위한 기초 자료를 구축하고자 하였다. 또한 GIS를 이용한 산림바이오매스 에너지 수확공급비용 예측에 필요한 바이오매스의 집재 및 운송거리를 보다 정확히 예측 계획할 수 있는 기법을 중심으로 수행하였다. 본 연구는 2009년도 산림과학기술개발사업(과제번호:S110910L060110)의 지원으로 이루어진 것입니다.

2. 연구방법

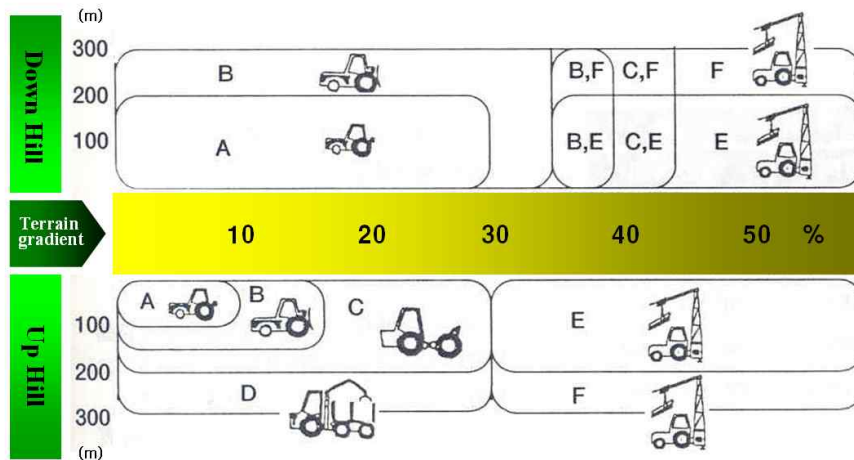
본 연구에서는 국립산림과학원 광릉 시험림을 대상으로 산림조사부, 수치지형도, 소반도, 도로망도를 기반으로 이용가능한 산림 바이오매스량을 산정한 후, 대상지역내의 지형 및 경사조건을 기준으로 투입가능한 수확 및 운송장비를 GIS를 통하여 선정하여 집재 및 운송에 필요한 비용을 집재 및 운송거리의 함수식을 이용하여 계산하였다. 적용된 생산운송장비의 선정기준은 그림1과 같이 경사별, 집재거리별 기준으로 적용하였으며 비용계산에 필요한 식은 원목생산과 벌채부산물생산을 모두고려하여 분석하였다(표 1,2). 또한 집재 및 운송비용 계산에 필요한 집재거리 및 운송거리는 기반시설이 설치되어 있는 지역에 추가적으로 임도 및 작업도를 추가적으로 설치하여 생산하는 것을 기반으로 하였으며, 이에 대한 거리들은 GIS 기법을 적용하여 선정된 집재장을 기준으로 직선거리에 대한 대상지역의 경사를 고려한 우회율을 적용하여 실제 집재 및 운송거리로 환산하였다. 적용된 우회율은 기존대상지역에 설치된 임도 및 작업로를 기준으로 경사에 대한 함수식을 구하여 적용하였다.

표 1. 이용가능한 바이오매스량 산출을 위한 적용식 및 계수

바이오매스 종류	자원량 예측식(ton)	용적밀도		확대계수		조재율	간벌율
간벌목재	=재적·조재율·간벌율 ·용적밀도·확대계수	침엽수	활엽수	침엽수	활엽수	0.7~0.9	0.8
벌채부산물	=재적·조재율·간벌율 ·확대계수	0.47	0.65	1.6512	1.7201		

표 2. 수확 비용 계산식(Yoshioka, 2001)

집재기계	임지잔재	간벌재	활엽수
시스템	벌채 부산물 이용	전목을 이용 벌도(chain saw)	전목을 이용 벌도(chain saw)
타워야더	공정	분쇄(소형 치퍼) 수송(트럭)	집재(타워야더) 분쇄(중형 치퍼) 수송(트럭)
	계산식 (원/m ³)	$= (0.027L_T + 1955) \cdot 13.5$	$= (0.027L_T + 1955) \cdot 13.5$ $= (5.540L_Y + 14363/L_Y + 0.027L_T + 3585) \cdot 13.5$



A:소형 스키더, B:중형스키더, C:대형 스키더, D:포워더, E:비주삭식 소형 타워야더, F:소형타워야더

그림 1. 집재장비 선정기준

3. 결과 및 고찰

가. 이용가능한 산림바이오매스량 산출 및 투입장비선정

그림 2와 같이 광릉 시험림의 이용가능한 바이오매스량을 구하였으며, 바이오매스 생산을 위한 집재장비의 선정결과를 그림 3에 나타내었다.

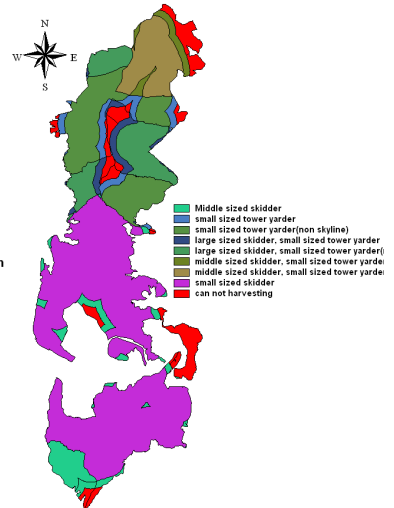
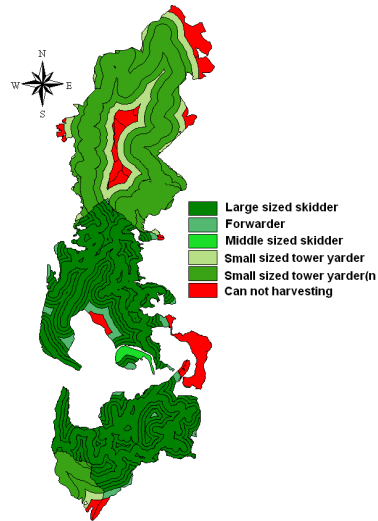
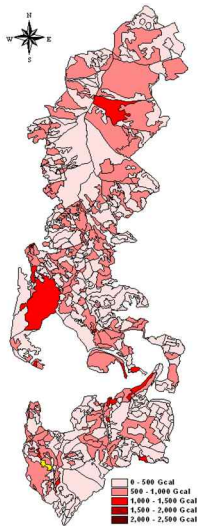


그림2. 이용가능 바이오매스량 그림 3. 대상지의 투입임업기계선정(좌:상향집재, 우:하향집재)

나. 산림바이오매스 생산비용 산출

대상지인 광릉 시험림에서 14임반 바소반을 산림바이오매스 생산비용 분석 장소로 정하여 분석하였다. 유역 면적을 소집재장은 0.3ha 단위로, 중집재장은 0.5ha 단위로 선정한 결과, 대상지에 17곳의 소집재장과 12곳의 중집재장이 배치되었다(그림 6). 배치된 중집재장 중에서 기존 임도와 가장 가까운 집재장을 연결하여 150m로 Buffering하여 Buffering 내에 겹치는 집재장을 제거하고, 150m외에 가장 가까운 집재장을 연결하는 방법을 반복하여 최적의 직선거리를 구하였다. 분석 결과, 작업로를 개설하기 위해서는 5개의 중집재장이 필요하고 포함되지 않는 지역을 보완하기 위해 소집재장 2곳을 연결한 결과 0.06ha의 집재 불가지역을 제외하고 모두 집재할 수 있는 것으로 분석되었다.

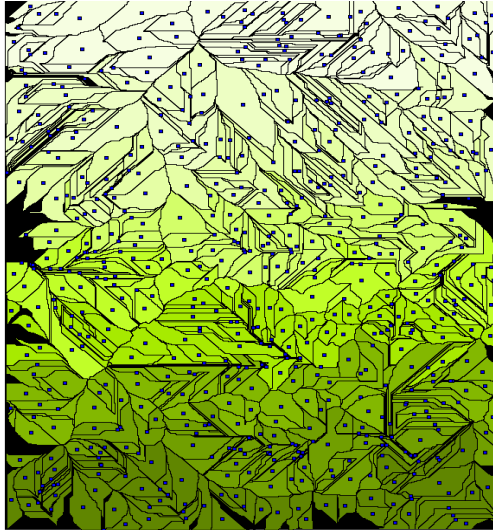


그림 4. 0.5ha이상인 지역



그림 5. 0.3ha이상인 지역

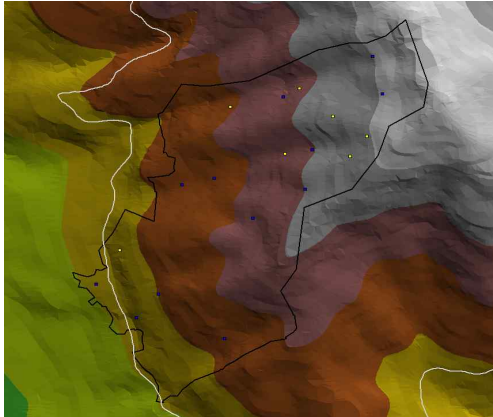


그림 6. 대상지역

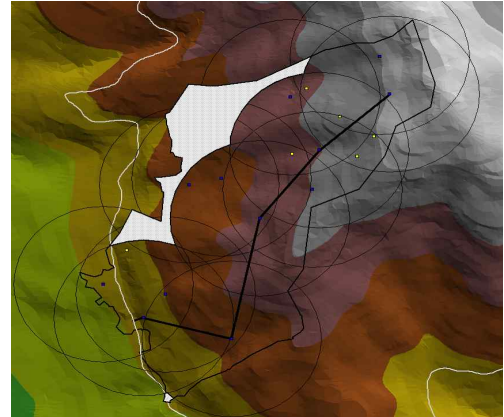


그림 7. 중집재장 개설 작업로

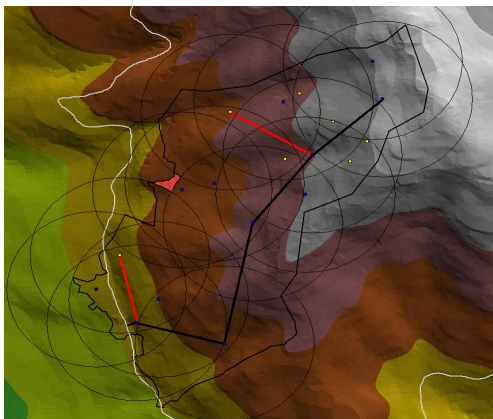


그림 8. 소집재장 개설 작업로

표 3. 광릉 시험림의 임도 별 경사

경사° \ 임도	10° 이하	11~20°	21~30°	31~40°	41~50°	50°이상	계(m)
1	473.27	1258.55	902.29	942.22	303.53	17.46	3897.32
2	104.20	380.71	179.92	1.24	-	-	666.07
3	4.8	646.20	1436.08	310.04	32.76	-	2429.88
4	2705.70	1761.2	315.44	130.7	-	3.31	4916.35
5	527.83	212.27	15.64	-	-	-	755.74

6	663.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	663.69
7	595.17	779.72	98.28	40.19	101.76	3.86	1618.98				
8	559.31	626.42	101.38	-	8.96	-	1296.07				
9	963.87	733	269.91	117.31	47.04	1.52	2132.65				
10	82.83	2035.91	950.99	38.83	-	-	3108.56				
11	166.37	144.98	17.17	1.22	-	-	329.74				
계	6,690.67	8,444.98	4,290.93	1,611.53	535.05	76.15	21,485.31				

표 4. 광릉 시험림의 임도 별 도로 길이 및 우회율

임도 m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
기존	3897.3	666.	2429.8	4916.3	755.	663.	1618.9	1296.	2132.6	3108.5	329.
도로	2	07	8	5	74	69	8	07	5	6	74
직선	2577.1	591.	1403.2	1945.2	636.	636.	778.	950.	1995.4	950.02	326.
도로	8	86	1	6	16	22	48	02	4		30
우회율	0.51	0.13	0.73	1.53	0.19	0.04	1.08	0.36	0.07	2.27	0.01

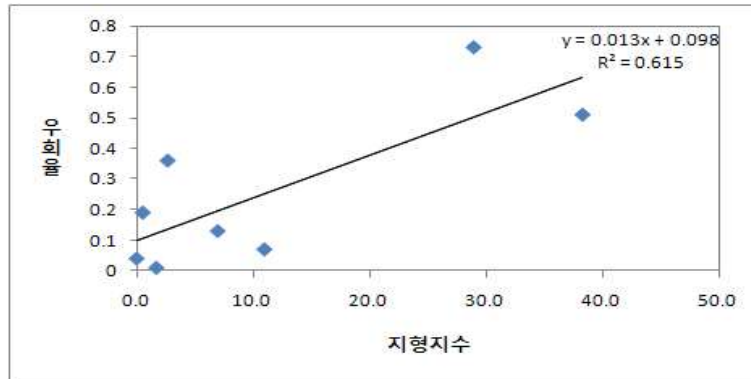


그림 9. 지형지수와 우회율의 관계

직선거리를 개선하기 위하여 우회율과 지형지수를 고려한 실제 거리를 구하였다. 우회율과 지형지수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{우회율 } \eta = (I - I_0) / I_0 \dots \dots \dots (1)$$

여기서, I : 임도의 노선길이(m), I_0 : 임도의 직선길이(m)

$$\text{지형지수 } F = \frac{100 + P60 - P30}{2} \dots \dots \dots (2)$$

여기서, P30(완경사비율) : 경사 30%미만의 면적비율(%), p60(급경사비율) : 경사 60%이상의 면적비율(%)

우회율과 지형지수의 관계를 분석하여 $y = 0.013x + 0.098$ 을 구하였다. 14임반 4소반의 지형지수는 59.8로 위 식에 대입해 본 결과 작업로의 노선길이는 1358.28m으로 짐재장을 연결하여 구한 직선거리보다 628.02m 우회한 것으로 볼 수 있다. 우회율과 지형지수를 고려한 노선길이를 수확 비용 계산식에 적용하여 정확한 수확비용을 구할 수 있을 것이다.