

# 미국 오레곤주의 대면적 산림을 대상으로 산림바이오매스의 생산량 추정과 네트워크 경로 분석을 통한 바이오매스 수송비용의 산출

## Estimating the volume and transportation cost of forest residue available for utilization in a large forestland in Oregon

정우담<sup>1</sup>, Nate Anderson<sup>1</sup>, 정주상<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>미국 몬태나대학교 산림경영학과, <sup>2</sup>서울대학교 산림과학부)

### 1. 연구목적

산림바이오매스 가공시설의 경제적 타당성을 분석하기 위해서는 산림바이오매스 원자재 비용 및 이용 가능한 바이오매스 재적을 예측하는 것이 필수적이다. 특히 넓은 지역에 분포되어 있는 산림 바이오매스는 수송비용이 원자재 비용의 상당부분을 차지하고 있는 중요 인자로 기존의 도로망을 바탕으로 수송경로를 분석함으로써 지역적 특성을 고려한 수송비용을 산출하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 이 연구에서는 미국 오레곤주의 대규모 산림지역을 대상으로 이용 가능한 산림바이오매스 생산량을 추정하고 네트워크 분석을 통해 원자재의 수송경로 및 수송비용을 산출함으로써 바이오매스 가공시설의 경제성을 분석하고 가공시설의 적절 규모를 제안하기 위해 필요한 기본 자료를 제공하고자 시행되었다.

### 2. 연구방법

#### 1) 연구대상지

산악지형으로 둘러싸여 있는 미국 오레곤주 서부지역을 대상으로 이 연구가 수행되었으며 (그림1에서 빨간색으로 표시된 구역), 연구대상지의 총 면적은 약 6백만 헥타로, Douglas fir, Western Hemlock, 혼효림 등의 임상을 포함하고 있다.

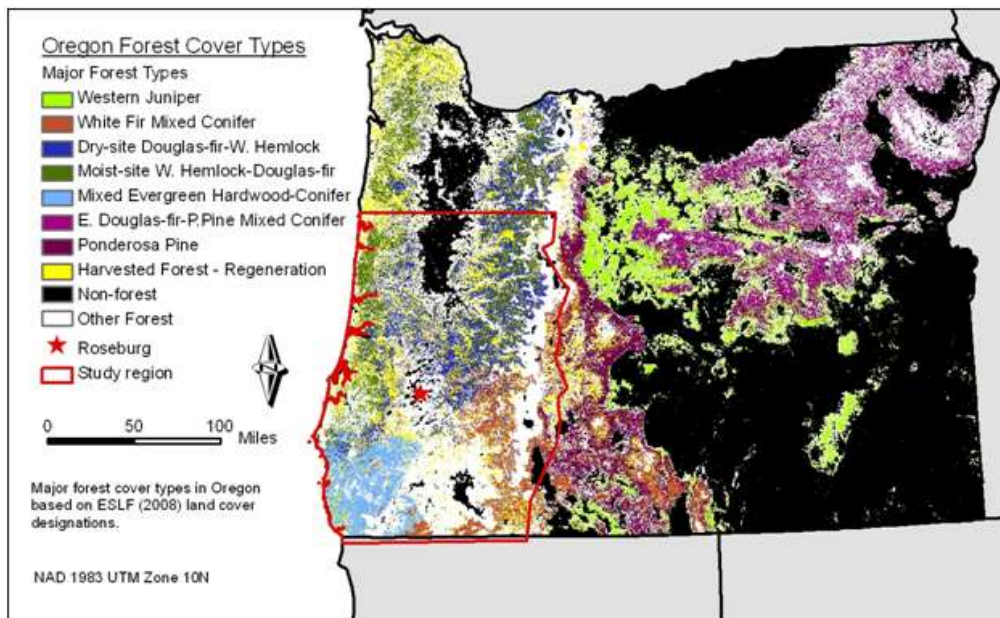


그림 1. 미국 오레곤주에 위치한 연구대상지 및 임상도

## 2) 이용 가능한 산림바이오매스 생산량의 추정

임상도, 소유구분도 등 GIS 수치자료를 이용하여 목재생산이 가능한 산림지역을 추출한 후, 미국 임목생산량조사 자료에 나타난 소유별, 시군별 생산량을 바탕으로 지역별 헥타당 연평균 목재생산량을 추정하였다. 이 목재(목재의 수간부분)생산량을 기준으로 목재로 사용되지 못하고 버려지는 죽데기, 가지 등 산림바이오매스 재적을 추정식을 통해 역으로 산출함으로써 지역별 바이오매스 생산량을 헥타당 연평균 재적으로 산출하였다. 그 후, 임목생산량조사 자료에 기록되어 있는 실제 오레곤 산림지역에서 사용되고 있는 연간 산림바이오매스의 재적을 삭감한 후 그 나머지 양을 새로 이용 가능한 산림바이오매스 재적으로 가정하여 산출하였다.

## 3) 네트워크 분석을 통한 수송경로 도출 및 비용 산출

고속도로, 지방도, 임도 등의 GIS 수치자료를 수집한 후, 이들을 연결하여 전체 도로망을 제작하였으며 (그림 2), 도로상에서 일정간격별로 목재수집장이 위치한다고 가정한 후 (그림 3), 개별 목재수집장의 위치를 바탕으로 Thiessen polygon을 작성하였다. 그 후, 위에서 추정된 헥타당 바이오매스 생산량을 이용하여 polygon별 산림바이오매스의 연간 생산량을 산출하였다.

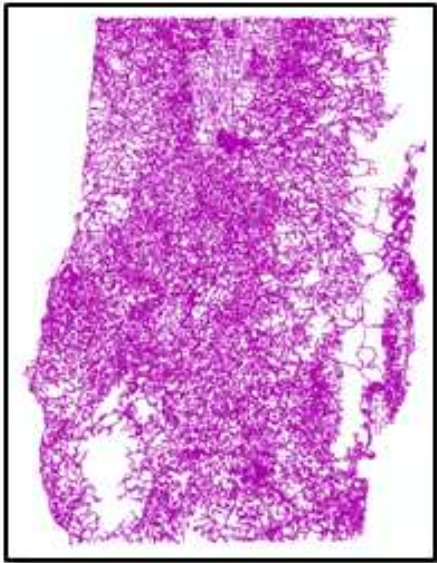


그림 2. 연구대상지내에 위치한 도로망



그림 3. 일정간격으로 배치된 목재수집장 위치

새로운 산림바이오매스 가공시설이 오레곤주 로즈버그(Roseburg)시에 위치한다는 가정 하에, 최단 경로찾기 알고리즘(shortest path algorithm)을 바탕으로 개발된 NETWORK2000프로그램을 이용하여 각각의 polygon (목재수집장)과 로즈버그시를 최소의 수송비용을 연결하는 경로를 도출하였으며, 이를 토대로 각각의 polygon에서 로즈버그시까지의 재적당 바이오매스 수송비용을 산출하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 1) 이용 가능한 산림바이오매스 생산량

오레곤주 산림지역에서 이용 가능한 산림바이오매스 연간 생산량 추정 결과는 그림 4의 맨 오른쪽 지도(Available)에 나타난 바와 같다. 연구대상지역에서 이용 가능한 산림바이오매스의 연간 생산량은 건조중량으로 약 2백만 톤으로 추정되었으며, 지역별 연간 생산 가능량은 헥타당 0ton에서부터 2ton이 넘는 지역에 이르기 까지 다양한 분포를 이루고 있는 것으로 나타났다.

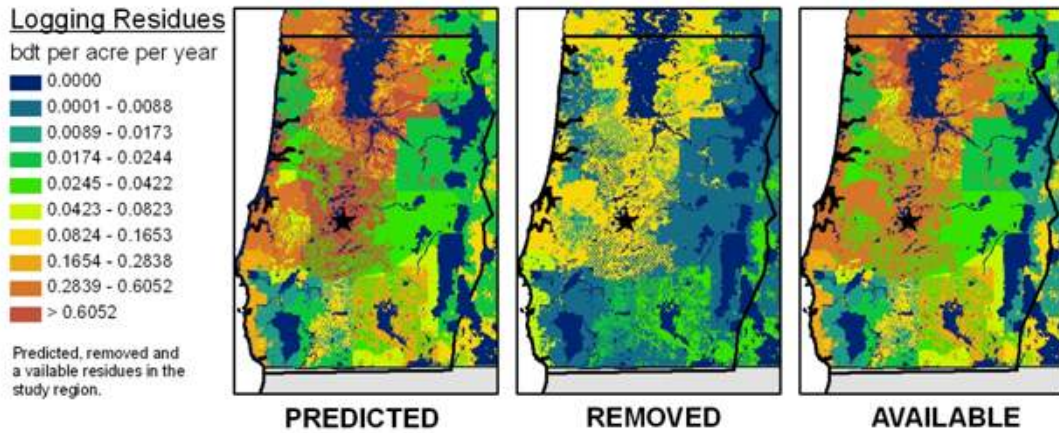


그림 4. 이용가능한 산림바이오매스의 연간생산량 (acre당 바이오매스 건조중량)

2) Thiessen polygon별 바이오매스 연간 생산량 및 목재수송비용

그림 5는 위에서 얻은 헥타당 바이오매스 생산량을 이용해 목재수집장을 바탕으로 작성된 Thiessen polygon별 바이오매스 연간 생산량을 산출한 결과로 이용 가능한 바이오매스를 건조중량 (ton)으로 나타내고 있다. 목재생산이 활발한 정도, 평균 임목제적, 그리고 polygon의 크기에 따라 바이오매스 생산량이 달라지는 것으로 나타났는데, polygon별 연간 생산량은 0톤부터 최대 약 5,000 톤에 이르는 다양한 분포를 나타내고 있다.

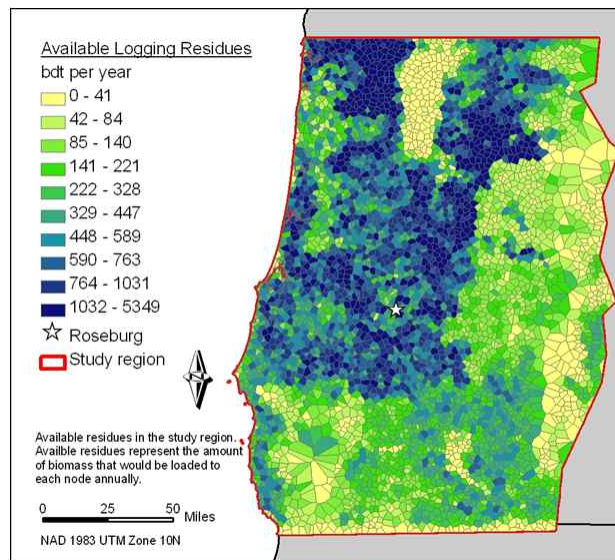


그림 5. Thiessen polygon별 산림바이오매스의 연간 생산량

각각의 polygon에서부터 로즈버그시에 위치한 바이오매스 가공시설까지 최소비용의 수송경로를 도출한 후 산출한 바이오매스 수송비용이 그림 6에 제시되어 있으며, 로즈버그시까지의 수송거리, 도로의 특성 (속도)에 따라 바이오매스 단위 재적당 수송비용이 크게 달라지는 것으로 나타났다.

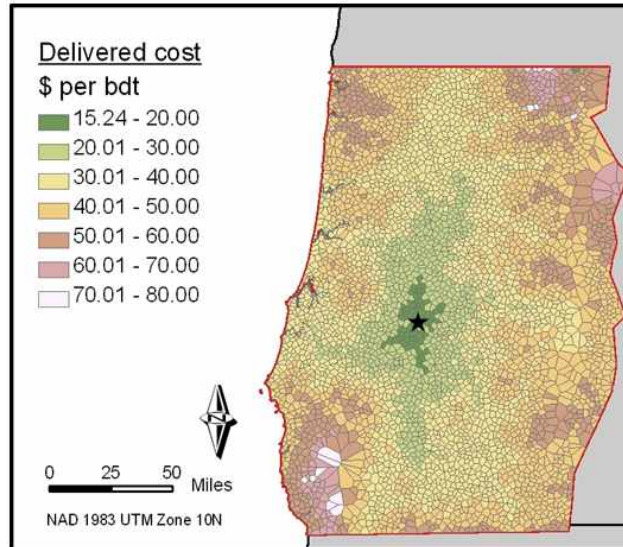


그림 6. Thiessen polygon별 산림바이오매스의 ton당 수송비용

위에 나타난 두 가지 결과를 GIS를 통해 중첩하여 분석하면, 바이오매스 가공시설의 규모에 따라 연간 바이오매스 소비량을 충족시켜주는 바이오매스 공급지역을 얻을 수 있었으며, 바이오매스 원자재의 평균 수송비용 또한 산출할 수 있었다 (그림 7). 그 결과로, 하루 200ton의 바이오매스를 가공하는 규모의 시설을 로즈버그시에 건설할 경우, 원자재의 평균 수송비용은 ton당 \$20정도로 나타났으며, 그 10배 규모인 2,000ton의 바이오매스를 소비하는 시설이 건설 될 경우에는 원자재 수송비용이 ton당 약 \$30정도로 나타났다.

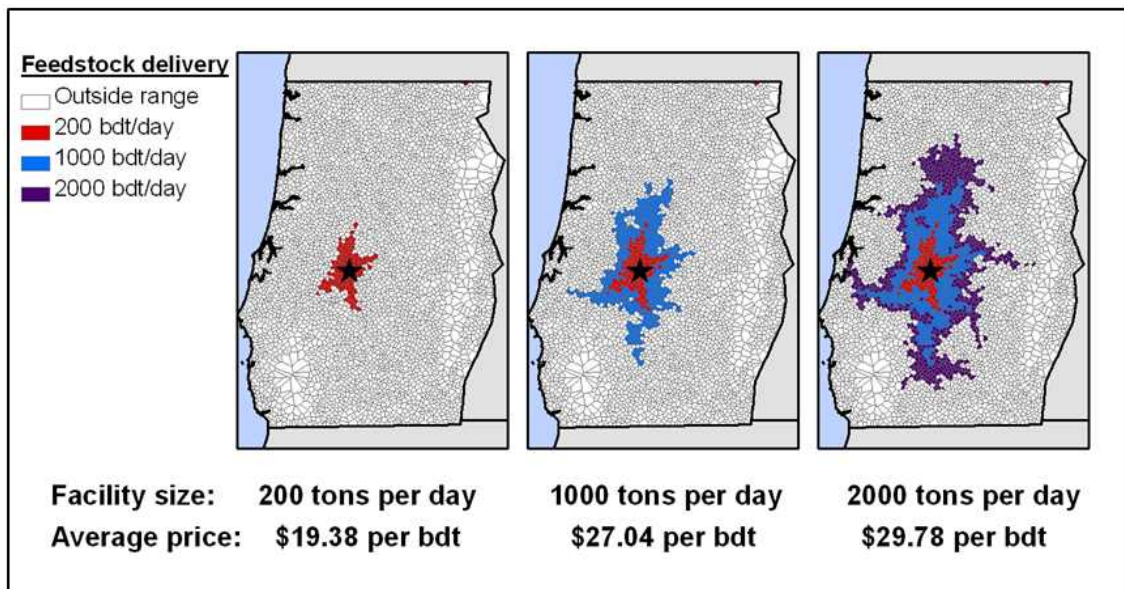


그림 7. 산림바이오매스 가공시설의 규모에 따른 원료공급지역 및 ton당 평균 수송비용