

# GIS와 농업통계자료를 활용한 바이오매스 가용부존량 분석

## Analysis of Feasible Biomass Potential Using GIS and Aggregating Agricultural Census Data

김 한 중\*      홍 성 구\*\*

Kim, Han Joong · Hong, Seong Gu

### Abstract

Recently, biomass application for energy is getting more interests from many countries since biomass is widely available over the nation wide, whereas fossil fuels are produced in several limited regions. Recognizing the importance, government is promoting renewable energy use in Korea. The locational characteristics of the existing biomass potential directly can be used to decide scale of power plant for local agricultural facility. Although there are a few studies on feasible biomass potential in local areas, it is expected that both government and commercial sectors recognize the potential of biomass energy and the importance of reducing greenhouse gases. When planning biomass energy systems, biomass price is determined by the costs of collection, transportation, chipping, drying if required. In this paper investigates the economic and spatial characteristic of biomass location by land use map. However typical area of each categories in local region is not correct to agricultural census data. Therefore we concerned about how to calculate feasible biomass potential which it can be describing total amount of plant scale, and to match both of data. Even though its spatial distribution, in rural area in Korea, to expand biomass energy programs in the area, government serve to find areas of higher biomass production with suitable locations for plants to convert to bio-energy in order to increase the usage of renewable energy.

### I. 서 론

2001년 10월 제7차 기후변화협약 당사국회의

(COP7)에서 교토의정서의 구체적인 실행방안이 타결된 이후 우리나라도 온실가스 저감을 위한 노력을 기울이게 되었다. 당시 세계 9위의

\* 한경대학교 농업생명과학대학 지역자원시스템공학 (hanjoong@hknu.ac.kr)      키워드 : biomass potential, biomass energy, rural village, agricultural facility  
\*\* 한경대학교 농업생명과학대학 지역자원시스템공학 (bb9@hknu.ac.kr)

온실가스 배출 국가였으나 영국, 캐나다 등에 앞선 세계 7위의 온실가스 배출국이 될 것으로 예상된다. 환경정책평가연구원의 연구결과에 따르면 2010년 기준 온실가스 발생을 10%를 저감하기 위해서는 11조원 이상의 비용이 발생할 것으로 추정하고 있다. 다행히 신재생에너지 보급률 향상을 위해 고효율 에너지기기의 보급 확대, 대체연료 자동차 개발의 가속화, 풍력 및 태양광 발전의 개발, 메탄가스의 연료화 기술 및 장치개발 등이 추진되어 오고 있다.

2004년 현재 농림업 부문 에너지 소비량 중 석유류는 91%, 나머지가 전력으로서 9%를 차지하고 있다. 물론 2007년 조사 결과 농업부문 에너지 소비량은 국가 전체 에너지 소비량의 1.8%로 상대적으로 낮아졌으나 연평균 5.4%의 증가율을 보이고 있다. 농가에서 이용되는 에너지를 포함시킨다면 이보다 많은 에너지가 농촌지역에서 소비되는 것으로 추정된다. 1992년부터는 비닐하우스 등의 농업시설을 위한 농업용 난방기가 집중적으로 보급되어 에너지 소비가 크게 증가한 주요 요인으로 보이며, 앞으로도 농림업분야에서의 에너지 소비량은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

농촌지역에 산재해 있는 바이오매스를 에너지원으로서 활용하기 위한 발전 또는 열병합 발전을 위해서는 부존량의 시공간적 발생 특성을 이해하고, 이를 고려한 적정 규모의 시설물 계획을 통하여 지역단위의 에너지 자원 확보에 불필요한 비용증가를 사전에 차단할 수 있을 것이다. 물론 재생에너지 이용의 경우 일반적으로 기존의 화석연료를 이용하는 시설에 비해서 초기 시설투자비가 상대적으로 높아 투자에 불리한 점이 있으나 농촌지역에 산재해

있는 미활용 바이오매스는 타 자원에 비교했을 때 화석연료 사용에 대한 보조금 지급과 같은 정책을 동등한 수준으로 지원할 수 있다면 그 잠재적 가치가 매우 높다고 할 수 있다.

본 연구에서는 농어촌 지역에서 발생하고 있는 바이오매스 자원 중에서 현재 경합이 상대적으로 적거나 아직까지 미활용 바이오매스 자원이면서 환경 개선 및 에너지 생산을 위해 이용될 수 있는 자원의 부존량을 평가하고자 한다. 이를 위해서 GIS기법을 이용한 토지이용도 분석을 실시하고, 이 자원을 가장 경제적으로 사용할 수 있는 시설농업지구를 대상으로 지역의 수요를 가정하고 가용 잠재 부존량에 대하여 국가교통망정보 중에서 도로망의 네트워크를 이용하여 수집거리비용 함수를 도출하는 방법을 분석하여 경제성분석의 기초자료 작성과정을 표준화하고, 자원활용 시설물 입지결정의 기초자료 구축방법을 제안하고자 한다.

## II. 연구 범위 및 방법

### 1. 연구 범위

바이오매스란 기본적으로 식물의 광합성에 의해서 저장된 태양에너지라고 볼 수 있으며, 최근에는 그 의미가 더 확대되어 지구상에 존재하는 유기물체의 전부를 말한다고 할 수 있다. 즉 바이오매스는 식물뿐만 아니라 동물 유래 유기물까지 포함한다고 볼 수 있다. 이 바이오매스는 다양한 목적으로 오랫동안 이용되고 있으며, 땅감용 나무와 건조된 우마분은 취사 및 난방용 연료로 이용되어 왔으며 현재에도

전 세계 인구의 1/3정도가 이러한 방법에 의존하고 있다. 이러한 방식으로 이용되는 바이오매스는 상업적으로 이용될 가치는 크지 않다. 따라서 본 연구에서는 바이오매스 부존자원 중에서 경합이 발생할 가능성이 매우 높거나 기 사용처가 분명하여 타용도 전용이 곤란한 논에서 나오는 부산물과 최근 펠릿과 같은 방법으로 이용성이 검토되고 있는 임산부산물을 제외한 농산부산물을 중심으로 부존량 산정과 평가, 활용범위 등을 GIS 시스템을 이용하여 조사, 분석, 기초 활용자료 작성 과정을 정량적으로 수행할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

## 2. GIS를 이용한 바이오매스 가용자원 평가방법

바이오매스는 화석연료와 달리 특정 국가에 집중되어 있지 않기 때문에 많은 국가에서 경제개발을 위하여 필수적인 에너지 보급방안으로 바이오에너지의 보급을 확대하는 방법이나 신재생에너지원의 개발을 통한 지속가능성에 대해 강조하고 있다(홍성구 2008). 화석연료에 대한 대안으로서 재생에너지원이 될 수 있는 바이오매스에 대한 관심이 증대되는 가운데 특히 바이오연료의 생산은 바이오매스를 생산 하는 농촌지역의 소득을 증대하는 방안으로 에너지비용 부분의 감축에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 예상되고 있다. 한편으로 농촌 지역에서의 화석연료에 대한 의존성을 저감시켜 농업과 농촌의 공익적인 측면으로 이산화탄소 배출감소에 일조할 수 있을 것으로 기대하고 있다(서교 외 2010).

국내에서도 바이오에너지를 포함한 재생에

너지의 도입과 보급 확대를 위해 발전차액 보조가 본격적으로 이루어지면서 바이오에너지 생산을 위한 시설 설치 사례가 증가하고 있으나 국내 바이오에너지 자원의 분포와 활용방법의 실용화측면에서는 유럽 등의 선진국과 비교하였을 때 아직도 기초적인 연구단계를 벗어나지 못한 수준이다. 특히 농촌지역에 산재해 있는 미활용 바이오매스에 의한 바이오에너지의 이용도를 높이기 위해서는 바이오에너지 작물을 이용하는 방법이나, 산림에서 발생하는 목질계 바이오매스뿐만 아니라 농경지에서 방치되거나 소각되는 농업부산물 바이오매스는 농촌지역에서 가능한 유효한 자원이므로, 이를 활용하기 위한 계획을 수립하여야 한다(홍성구 2008).

바이오매스 자원을 효율적으로 이용하기 위해서는 수요자에게 안정된 공급이 필수조건이다. 따라서 바이오매스를 이용하는 Power Plant를 운영하기 위해서는 사전에 공급받을 수 있는 부존자원량의 절대량에 대한 조사와 함께 수명기간 또는 운영시기조건에 적합한지 여부를 판단하기 위해서 시공간적인 분포가 함께 조사 되어야 한다. 또한 바이오매스 자원의 분포는 활용시설까지 운반하는데 소요되는 비용에도 영향을 줄 수 있다.

실제 수확 가능한 바이오매스 부존자원의 조사는 현장의 발생처에서 직접 제공하거나 조사반에 의하여 조사 후 수집되는 과정을 통해서 이루어질 수 있다. 그러나 논에서 나오는 벗짚, RPC 등에서 발생하는 부산물의 경우와는 다르게 밭작물, 과수의 전정지, 임산물 등은 종류와 발생량이 다양하기 때문에 전수조사의 방법 또한 매우 곤란한 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이 정보를 획득하는

방법으로 직접 조사보다는 간접적인 조사방법으로 GIS 기반의 토지이용 현황도(Land Use Map)를 고려하여 평가할 수 있는 방법을 검토하였다.

### 3. 바이오매스 이용 시설의 경제적 타당성 평가방법

신·재생에너지 관련 시설은 일반적으로 현재의 에너지 가격을 고려할 때, 충분한 경쟁력을 갖기 어렵다. 따라서 바이오매스 가스화-열병합 시설의 경제성 분석은 시설의 보급을 위해 중요하다. 또한 미래 농어촌 생산기반 시설로서 보급을 위한 정책·제도적 방안을 강구하는 것이 중요하다. 이를 위해서 본 연구에서는 본격적인 바이오매스 자원을 기반으로 하는 에너지개발 사업 시행 이전에 다양한 조사 방법으로 구축된 부존자원분포도를 이용하여 시설물의 위치결정에 이용하였다..

바이오매스 가스화시설의 위치는 바이오매스 자원의 공급 여건 또는 가스화시설에서 생산되는 열과 전기의 활용도를 함께 고려하여야 한다. 특히 열병합 시설에서 열의 이용은 전체 효율을 결정하는데 크게 영향을 미치기 때문이다. 그리고 가스화시설의 규모가 클수록 경제적으로 유리한 것이 일반적이다. 그러나 바이오매스 자원은 넓은 지역에 걸쳐 분포하므로 공간적으로 분포하는 지점에서 사용지역까지의 거리를 직선적으로 평가하는 유클리드 거리계산 방법이 아닌 실제 도로네트워크를 이용하여 이송하는 조건을 가정하여 거리를 계산한 결과로부터 공급비용을 결정할 수 있는 GIS-Network Analysis 기법을 사용하였다.

본 연구에서는 자원의 부존량 평가와 이용 가능자원량 평가를 위하여 GIS기반 공간분석 기법과 ArcGIS™의 Network Analysis 방법이 적합할 것으로 판단되었다.

## III. 자료구축 및 바이오매스 활용시설 배치 분석

### 1. 농산부산물 중심의 바이오매스 자원 평가

바이오매스 자원을 어떠한 방법으로든 이용할 때에는 부존량에 대한 조사나, 에너지 분야와의 경합 가능성, 토지이용과 수자원 이용 상 문제, 비료성분의 대체 및 비용, 지속 가능한 방식으로 바이오매스의 이용에 따른 제약 요인을 이해하여야 한다.

임업부산물은 오랫동안 연료로 이용되어 왔으나 억새류(Miscanthus), 대극과의 한 속인 자트로파(Jatropha), 속성수인 버들류(Salix) 등의 에너지 작물은 새롭게 주목을 받게 되었고 이들의 생산, 수확, 저장, 가공 등에 대해 연구가 더 이루어져야 한다. 자트로파는 특히 바이오디젤 생산을 위한 원료로 각광을 받고 있다. 농업부산물과 임업 및 식품가공 부산물은 전 세계적으로 많은 양이 수집되어 다양한 형태의 바이오에너지 생산시설에서 활용되고 있다. 그러나 이들은 정량화하기 쉽지 않다.

한 지역에서 가용한 바이오매스 자원에 대한 자료 또한 구하기가 쉽지 않다. 시기별 뿐만 아니라 연간 변화량이 크기 때문이다. 목질 계 바이오매스는 임목축적량 조사에서부터 우드 칩의 함수비 분석, 농업부산물로서 벗짚은

발열량과 함수비와 같은 기본적인 조사가 선행되어야 한다. 한 지역 내에서 작물 생산량의 변화를 측정하기 위한 항공사진 판독 등의 기법을 동원하기도 한다. 바이오매스 자원 조사를 철저히 하기 위해서는 탄소 유출입에 대한 수지 분석도 수행하여야 한다.

충분한 양의 자료가 얻어졌을 때에는 지리 정보시스템과 지도중첩 등의 기법을 이용하여 이미 조사된 바이오매스 자원 또는 계획된 에너지 작물을 재배할 때 토지이용현황, 토양종류, 강우 및 기상조건 등을 고려할 수 있다. 지리정보시스템은 바이오에너지 시설의 위치를 결정하는데 대단히 유용하게 이용될 수 있다. 연간 바이오매스 소요량, 바이오매스 수집 운송에 필요한 도로망, 기존 전력선의 노선도 등을 종합적으로 고려할 수 있다.

농업부산물 바이오매스는 논과 밭, 과수원 등의 재배지에서 농작물 생산과정에서 발생하는 주산물과 부산물 모두를 말한다. 주산물의 경우 상품으로서 경제적 가치를 가지고 이용되므로 부산물을 주로 의미한다. 주요 농업 부산물로서는 수도작과 과수를 고려할 필요가 있다. 수도작에는 벗짚, 미강, 왕겨 등이 있고 밭작물 및 특용작물에서는 줄기과 죽, 과수에서는 전정가지가 농업부산물 바이오매스에 포함된다.

농업부산물 바이오매스의 발생량은 작물별 단위면적당의 자료와 재배면적을 고려하여 산정할 수 있다(Table 1). 재배면적이 가장 넓은 벼의 경우 벗짚이 연간 620여 만톤 발생되며, 110여 만톤의 왕겨가 발생된다. 그러나 이들 부산물 바이오매스는 에너지 또는 연료생산을 위해 이용되기 곤란하다. 벗짚은 축산농가의 조사료로서 유용하게 이용되고 있으며, 왕겨 또한 미곡처리장에서 많은 경우 판매되고 있는 실정이다. 고구마의 경우 단위면적당 발생량이 많으나 수도작 바이오매스와 마찬가지로 다른 용도로의 활용 여부를 충분히 검토하고 바이오에너지원으로서 포함하여야 할 것이다.

과수 전정가지를 조사하면, 과수의 종류별로 전정된 가지의 발생량에 차이가 있었으며 품종별로도 차이가 있다. 특히 재배 년 수에 따라서 부산물의 단위면적당 발생량은 크게 차이가 있다. 재배 년 수가 오래된 곳에서는 가지의 직경이 20cm 내외로 굵은 가지도 있으나 이러한 것들은 농가에서 땔감용으로 적극 활용하고 있다. 과수부산물의 경우 전정 직후 함수비가 40~50%의 분포를 보인다. 포도는 상대적으로 낮은 함수비를 보인다. 과수 전정가지와 밭작물 중 고추와 깨, 가지에 대한 함수비 자료는 Hong (2005)의 조사결과를 이용하였다.

Table 1. Biomass Resources for Selected Agricultural Residue

|              | Area ('06)<br>1,000ha | Type                      | Cultivated<br>(kg/10a) | Yearly generated<br>biomass<br>(1,000M/T) |
|--------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|---|
| Rice         | 955                   | rice straw,<br>rice husks | 653<br>118             | 6,236<br>1,127                            |
| Barley       | 58                    | straw                     | 298                    | 173                                       |
| Sweet potato | 17                    | stems                     | 646                    | 110                                       |
| Bean         | 101                   | stems                     | 269                    | 272                                       |
| Rape canola  | 0.7                   | stems                     | 460                    | 3   |

(Park Hyun Tae et. al 2007)

일부 농산 부산물은 농지에서 일정기간 자연 전조시킨 다음, 체계적인 수집, 수거체계를 갖추어 활용한다면 소각되어 사라지고 있는 자원에 대한 이용 가능성이 매우 높다. 농어촌 지역 바이오매스를 활용한 열병합 시설의 보급은 지역 내 바이오매스 자원의 충실한 활용이 전제되어야 한다. 이를 위해서는 기존의 자원뿐만 아니라 에너지작물을 재배하여 공급하는 방안도 고려되어야 한다. 그러나 시험 연구 단계에서는 기본적인 농산부산물 중심의 수치 자료를 기본으로 하기 위해서 토지이용지도 (Land Use Map) 만을 이용하고 통계정보를 이용하여 보완하는 정량적 절차를 제안하였다.

## 2. 바이오매스의 공간적 분포특성

바이오매스자원의 에너지화를 위해서는 광범위하게 분산되어있는 자원의 수집과 운반, 저장, 가공단계를 거쳐야 한다. 특히 수집과 운반과정은 바이오에너지의 비용을 결정하는 중요한 부분이다. 따라서 바이오에너지 시설물의 위치선정은 자원활용의 경쟁관계의 평가와 같은 적절한 평가를 통해서 최소의 비용으로 에너지생산 수요를 만족시킬 수 있는 충분한 바이오매스자원의 확보가 가장 우선적으로 요구된다 (Luis Panichelli와 Edgard Gnansounou, 2008). 따라서 공간적으로 분포되어 있는 바이오매스 자원의 분포현황을 통한 이용가능한 자원 량의 평가와 에너지생산 수요를 평가하여 최소의 운반비용을 지불 범위에서 적절한 위치를 선정하기 위해서 GIS 기반의 공간분석과 네트워크 분석기법의 적용이 평가 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다. 문현 자료 및 농업총조사(2005) 자료를

이용할 경우 부존량 중에서 이용 가능한 바이오매스 부존자원의 크기를 전국 통계와 시범 지역인 안성시를 대상으로 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다.

전국에 분포된 과수에 의한 부산물과 농산부산물의 바이오매스 이용 가능량은 1,102,957.47 M/T 으로 나타났으며, 이중 미곡 관련 바이오매스를 제외할 경우 농산부산물이 24.2%이고 과수에 의한 부산물이 75.8%로 나타났다. 시범 연구지역인 안성지역에서도 과수전지에 의한 이용가능량이 94%에 달하기 때문에 미곡 관련 바이오매스를 제외한 농산부산물과 과수원의 위치에 따른 각 바이오매스 부존자원에 대하여 공간적인 부존량 분포를 분석하는 것이 향후 가스화 시설배치 과정에서 경제성에 많은 영향을 줄 수 있을 것으로 판단되었다. 안성지역에서 살펴본 결과 평균바이오매스 이용가능 부존량 계수는 농업총조사표의 토지이용면적과 기존 연구 결과(홍성구 2005)에서 제시된 과수 전정지의 경우는 전량이 바이오매스 에너지로 전환될 수 있다고 가정하였다 (Table 3).

Fig. 1의 결과를 보면, 밭작물과 과수, 기타 자원의 분포도를 공간적 분석결과로부터 확인 할 수 있다. 시범 연구지역인 안성지역의 경우에는 크게 양성면, 미양면, 일죽면 중심으로 대규모의 시설영농 단지가 형성되어 있는 특징이 있으며, 이 지역을 대상으로 적극적인 바이오매스 자원과 에너지 활용정책 수립을 검토해 볼 수 있을 것으로 판단되었다. 활용측면으로는 소규모의 에너지자원화 시설물의 주요 수요자를 농업생산시설물로 선정할 경우 유류 비용 지원측면에서 정부의 비용지원 대신 에너지시설물을 제공함으로써 화석연료 사용량의

Table 2. Available Biomass Potential in Agricultural By-products

&lt;Unit: M/T&gt;

|                             | Barley   | Corn     | Bean     | Red bean | Potato | Sweet potato | Pepper    | Garlic   | Sesame   |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|--------|--------------|-----------|----------|----------|
| Available rate for fuel (%) | 25.2     | 18       | 10.1     | 10       | 0.6    | 0.6          | 70        | 70       | 70       |
| Nation                      | 27,362.6 | 10,234.7 | 19,177.3 | 715.3    | 206.5  | 727.9        | 145,789.6 | 42,557.1 | 20,750.5 |
| Ansung                      | 17.7     | 20.9     | 120.9    | 3.0      | 0.5    | 2.5          | 996.1     | 118.3    | 116.5    |
| - Gongdo                    | -        | 1.5      | 13.8     | 0.3      | 0.0    | 0.4          | 60.9      | 15.3     | 17.6     |
| - Bogae                     | 0.8      | 1.3      | 8.7      | 0.2      | 0.0    | 0.2          | 90.7      | 12.9     | 9.4      |
| - Geumgwang                 | 0.6      | 0.2      | 8.2      | 0.3      | 0.0    | 0.1          | 132.2     | 7.9      | 9.5      |
| - Seoun                     | -        | 0.5      | 6.8      | 0.1      | 0.0    | 0.1          | 33.8      | 7.2      | 2.9      |
| - Miyang                    | 1.0      | 5.4      | 10.0     | 0.3      | 0.0    | 0.2          | 75.5      | 13.2     | 7.5      |
| - Daeduk                    | 13.4     | 0.6      | 11.4     | 0.4      | 0.1    | 0.2          | 62.1      | 8.6      | 14.1     |
| - Yangsung                  | -        | 0.6      | 5.5      | 0.2      | 0.0    | 0.1          | 46.8      | 7.4      | 3.1      |
| - Wongok                    | -        | 1.5      | 2.3      | 0.2      | 0.0    | 0.2          | 34.3      | 4.1      | 2.9      |
| - Iljuk                     | 0.0      | 3.0      | 16.2     | 0.3      | 0.0    | 0.2          | 138.4     | 11.4     | 15.6     |
| - Juksan                    | -        | 3.1      | 14.1     | 0.2      | 0.1    | 0.2          | 108.0     | 5.6      | 13.2     |
| - Samjuk                    | 0.1      | 0.9      | 9.8      | 0.2      | 0.0    | 0.1          | 92.1      | 6.8      | 9.9      |
| - Gosam                     | -        | 0.6      | 4.1      | 0.1      | 0.0    | 0.1          | 41.5      | 6.4      | 2.8      |
| - Ansung 1 dong             | 0.7      | 0.4      | 3.9      | 0.1      | 0.0    | 0.1          | 25.4      | 1.6      | 2.5      |
| - Ansung 2 dong             | 0.7      | 0.1      | 3.0      | 0.1      | 0.0    | 0.1          | 21.0      | 4.0      | 2.5      |
| - Ansung 3 dong             | 0.2      | 1.1      | 3.3      | 0.2      | 0.0    | 0.2          | 33.2      | 5.9      | 3.0      |

감소를 유도하고 장기적인 정부지원을 기대하기 어려워지는 상황을 고려할 경우에도 자립기반을 제공하는 장점을 기대할 수 있다.

#### IV. 바이오매스기반의 에너지시설 적지 선정

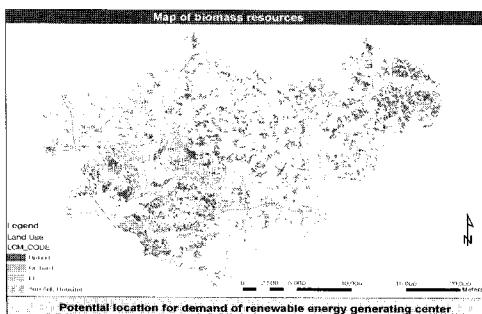
##### 1. 적지 선정을 위한 입지결정 방법

본 연구에서 대상으로 하는 Power Plant는 바이오매스 자원을 기반으로 한 가스생산 및

이 과정에서 발생하는 폐열을 수집하여 난방에너지를 제공할 수 있는 발전시설로 제안하였다. 중간집하장, 저장시설물 같은 시설물의 위치는 가용자원의 수집 범위를 중복되지 않으면서, 최대한 이용가능한 자원규모를 토대로 최적의 시설규모 결정에 이용된다. 그러나 지역별 바이오매스는 다양한 형태로 공급될 수 있기 때문에, 바이오매스 수요량과 공급범위를 1단계로 산정하고, 가용자원별 수송비용이 다시 산정되어 지역별 에너지 생산량별 단가와 설치 가능한 에너지생산 시설의 적정규모가 순환계산 과정을 통하여 결정된다. 이

Table 3. Conversion Coefficient of Available Biomass Potential on the Land Use Type

|                                     | Upland | Fruits | Etc. |
|-------------------------------------|--------|--------|------|
| Conversion rate of biomass (ton/ha) | 5.025  | 0.705  | 2.5  |



**Fig. 1. Spatial Distribution Map of Biomass Resources**

과정은 전형적인 입지-배분 문제로 정의될 수 있다. (Chalmers S, et.al. 2003, Voivontas D et.al 2001). 이 과정은 선형계획 최적화법을 통한 수송비용최적화에 의한 접근이나, GIS 기법을 이용한 입지배분방법을 적용할 수 있다. 이 과정은 대부분 바이오매스 생산지점에서 최초의 에너지생산시설에 생산총량을 할당하는 방식으로 평가된다. 바이오매스가 최초로 생산되는 지점에서의 비용의 변동성을 고려하더라도 실제 이용비용은 수송비용에 따라 이용지점에서의 가격은 달라질 수 있다. 공간적인 등가비용 반경 내에서 생산되는 바이오매스가 단계적으로 가까이에 있는 시설에 최소의 비용조건으로 할당되기 때문에, 실질적인 시설물별로 이용가능량이 될 수 있으며, 그 반경을 벗어나는 곳의 바이오매스는 인접 시설물에 할당되어야 한다(Voivontas D, et.al 2001). 본 연구에서는 인접 바이오에너지 플랜트 간에 자원할당에 경합에 의한 상승 부분은 포함하지 않는다.

## 2. 바이오매스 시설 배치 기준 수립

재생가능한 바이오매스 자원의 활용을 위한

시설물의 입지결정을 위해서 공간구조상의 합리적 위치를 설명하는데 이용하고 있는 입지-배분 모형을 적용하였다. 농산 부산물 중심의 바이오매스에 대한 처리 대상 농가의 공간적 범위가 시설물의 처리능력과 연관되어 있기 때문에 농촌지역에서의 국가보조적사업 성격을 갖기 때문에 바이오매스 자원의 판매단계에서 수익을 균등하게 배분하는 이익의 크기를 최대화한 후에 시행될 수 있다. 이때 바이오매스 자원에 대한 수요는 바이오매스에너지 센터에서 권역 내에서 생산되는 자원을 최대한 활용할 수 있는 규모로 가정하고 입지를 결정하여야 된다.

넓게는 바이오에너지 생산시설의 적용 범위 구역설정 또는 바이오매스 자원 수급시 차량 이동 한계구역 설정과정은 다기준 공간 의사 결정 문제로 볼 수 있다. 따라서 처리시설의 비용균형, 처리공간의 연속성 등의 조건을 고려한다. 어떠한 형태의 목적함수를 취하든 이동성 조건은 구역 내에서 서비스 제공자의 이동을 최소화시킴으로써 수송서비스 제공의 효율성을 향상시키는데 기여한다.

- 1) 구역내 단위 지역간의 네트워크거리
- 2) 구역내 단위 지역의 자원량과 이들 간의 네트워크거리를 이용한 공간상호작용
- 3) 구역내의 모든 단위 지역을 순회하는 네트워크 이동거리

공간분석기법과 토지피복 정보를 이용한 속성분석 결과를 이용하여 이동성조건, 즉, 이동거리 및 시간을 이용한 임피던스를 이용하여 목적함수를 정의할 수 있다. 이 과정을 지속 가능한 방법으로 적용하기 위해서 다음 Fig. 2와

같이 GIS 및 농업 총조사 자료, 토지이용도(Land Use) 수치지도, 교통망도(Transport Network Map)를 이용하는 과정을 적용하였다(G. Fiorese, G. Guariso 2010). 실제 이동성조건은 수확 가능한 바이오매스 자원의 종류와 규모별로 현장 조건에 의한 수집, 차량 적재방법에 따른 비용, 접근 가능한 차량 유지비용, 운반비용, 바이오매스 처리센터장의 적재장에서의 비용을 고려하여 현지에서 바이오매스처리장까지의 비용을 결정할 수 있다. 이 비용은 바이오가스센터의 설치 규모와 운전규모별 경제성 분석 결과에 따라서 수집이동 거리가 결정되는 Feed back 과정을 통해서 결정된다. 이 과정을 최적화기법으로 통하여 결정하기 위해서는 GIS시스템의 최단거리 노선 결정과 서비스결정범위 산정을 통해서 공공서비스 한계를 산정하는 방법을 적용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 환경부에서 제작된 토지이용도(Land Use Map)의 이용방법 (LCM\_CODE)과

경험적으로 조사된 작물 종류별로 발생하는 바이오매스 용량산정(ton/ha)방법을 이용할 수 있도록 Fig. 2 단계별 절차를 적용하였다.

### 3. 시설물의 공간적 입지 결정 방법

GIS기반의 공간분석(Spatial Analysis)은 GIS의 각종 공간분석 기법과 공간 및 속성 데이터를 이용하여 현실세계에서 발생하는 각종 공간 문제를 분석하였다. 최근까지의 바이오매스 부존량 산정에 대한 연구에서 GIS기반 연구는 부존량 평가에 이용된 기초 통계자료와 공간분포정보를 행정구역 시군 단위의 분포를 총량적으로 표현하였기 때문에 공간분석을 바탕으로 시설물의 입지선정과정에는 한계가 있을 수밖에 없었다. 따라서 본 연구에서도 역시 바이오매스 부존자원의 조사를 전수조사를 통하여 구축하는 데는 한계가 있기 때문에 GIS 기반의 공간분석과 농업총조사 통계자료(농업총조사 2005)의 비율과 토지이용도 체계상의 밭, 과수원, 기타 이용상황에 대한 공간적 분포상태를 이용하였다. 기존의 전수조사 또는 표본조사로 시행한 선행연구를 통하여 공간적, 지역적, 수령별로 농산부산물 및 과수의 전정가지에 의한 바이오매스 부존량에는 상당한 변동성이 있는 것으로 조사되어 있다(홍성구 2005). 본 연구에서는 GIS 자료구조 및 토지이용도를 활용하기 위해서 부존자원에 대하여 다음과 같은 가정을 통하여 모델구축 및 모의결과가 정량화 될 수 있도록 접근하였다.

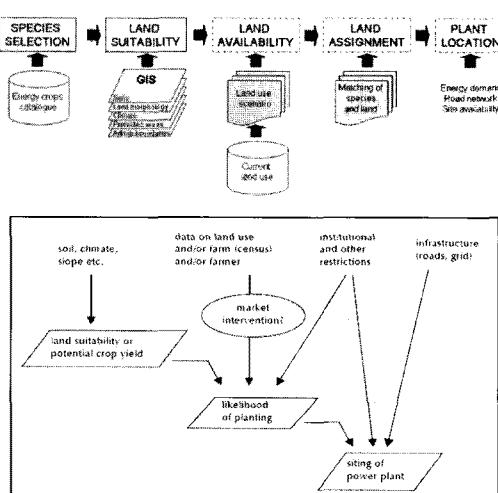


Fig. 2. Steps of the Proposed Method

1) 수집비용의 정량화 : 부존량의 분포가 평균적으로 각 토지이용 분류별로 균등한 밀도로 골고루 분포하기 때문에 일정 면적 이상의

### 경우 인건비 등으로 정량화

2) 사전 집하장 활용 비용 : 일정한 비용을 지불하고 농가단위에서 특정장소에 이송이 가능한 형태로 취합해주는 비용으로 단위 생산 무게당의 비용으로 정량화

3) Power Plant 까지의 운송비용 : 적재 비용, 운반비용은 취합된 바이오매스 중량(부피환산) 대비하여 특정 규격의 차량으로 Power Plant까지 수송하기 때문에 차량의 적재중량으로 적재비용을 평가할 수 있으며, 운반비용 역시 적재중량을 실어서 일정한 최적 경로(도로 네트워크)를 이용한다고 가정하기 때문에 연비계산에 의하여 운송거리당 수송비로 결정

4) 운영비: 운반차량 관리 및 인건비

5) 최종 목적지에서의 창고저장 관리비 등으로 정량화

이중에서 본 연구에서는 부지의 규격별 수집비용의 정량화를 위해서는 작물별, 과수종별 시기별로 비용을 산정하는 표준화과정이 요구된다. 실질적으로 바이오매스 기반의 에너지 생산의 타당성 평가에 가장 중요한 인자가 되지만 본 연구에서는 실제 공간적인 자원의 분포에 따라서 변동성을 갖게 되는 Power Plant까지의 운송비용을 주요 변수로 하여 공간적 입지를 결정할 수 있다.

네트워크 내부에서 경로탐색과 같은 복잡한 실세계의 네트워크에 대하여 최적의 경로를 찾는 문제 보다는 실제 입지시설에 주요 영향을 주는 중, 소 권역의 도심점(Centroid)과 같은 중심점에서의 접근성과 접근 비용을 평균적으로 이용하는 방법을 적절하게 사용할 필요가 있다. 자원의 배분설계문제는 네트워크

상에서 분산되어 있는 수요자들에게 한정된 자원을 공급하는 것이다. 이 결과는 공급자원의 한정된 량을 토대로 자원 활용 측면에서의 이익의 발생규모를 최적화 할 수 있는 시설물의 설계규모를 결정하는 데 이용할 수 있다. 즉, 자원의 한계, 자원이용에 따른 비용의 한계, 총수요가 공급을 초과하지 않을 공간적 한계를 결정하는 것이다. 본 연구에서는 입지후보지역으로 시설농업지역과 바이오매스자원 이용가능 부존량 발생지점별로 이동거리 효율에 의해서 최대지원범위결정(MaxCover Model), 최소비용거리함수(MinDistance)개념을 적용하여 결정한 후 상세설계단계에서 위치를 결정할 수 있다.

토지피복지도로부터 추출된 시범연구지역의 면적과 농업총조사로부터 조사된 토지이용체계별 면적을 다음 Table4에 제시하였다. 토지이용도(GIS) 상에서 기하학적으로 추출한 경지로 구분된 총면적은 2,096.8ha 이지만 농업총조사 통계표상의 면적은 1,398 ha로 나타나서 약 50% 이상 크게 나타났다. 시설농업이 대부분 논을 이용하여 시행되고 있다는 점을 고려할 때, 실제 바이오매스 이용가능량이 생산되는 밭, 과수, 기타지역의 경우는 2.19배로 나타났다. 따라서 실제 조사자료와 수치지도 토지이용도를 직접 이용한 부존량 조사는 지역별로 편차가 발생할 수 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서는 이용가능 부존량 산정에 있어서 작목별 면적 수치지도 면적과 실제 이용면적의 차이를 전수조사 및 지적도를 이용하기 전 단계에서 부존량과 이를 이용한 Power Plant의 적지선정과정의 매개변수들의 산정가능성을 살펴볼 수 있도록 비율을 적용하여 수요위치에 면적 및 부존량 산정에 반영하였다.

**Table 4. Result of Comparison Real Cultivated Area and Agricultural Land-use Code's Area Based on GIS Layer**

| LCM CODE      | Area of LU ( $m^2$ )         | Aggregating agricultural census data (2005) | Real cultivated area (evaluated) |  |
|---------------|------------------------------|---|----------------------------------|--|
|               |                              |   | Area ( $m^2$ )                   | Ratio                                      |
| 210 (Paddy)   | 136,048,137                  | Facility agriculture (2,155,460)            |                                  |  |
| 220 (Upland)  | 49,822,554                   | Upland + Etc. (17,554,600)                  |                                  |  |
| 250 (Etc)     | 10,449,435                   |   |                                  | 30%  |
| 240 (Orchard) | 13,648,082                   | Orchard (16,120,000)                        |                                  | 118%                                       |
| Summation     | Paddy field<br>(136,048,137) | Upland + etc.<br>+ Orchard<br>(72,920,071)  | Paddy field<br>(139,820,000)     | Upland + etc.<br>+ Orchard<br>(35,820,060) |
|               |                              |   |                                  | 49%  |

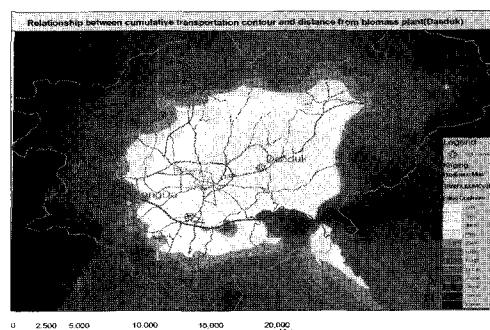
## V. 바이오매스 부존량을 고려한 이용 시설 입지선정

국가교통도 Level II와 농촌지역에서의 도로네트워크 사용에 있어서 한계는 농로, 마을 간 연락도로와 같은 경작지에 접근하는 선형이 없기 때문에 간선-지선 도로망에서 수요자 점까지의 이동거리평가에 오차가 나타날 수 있으나, 전체 이동거리만을 저항값(Impedance)로 할 경우에는 평균적 의미로 볼 때 오차의 수준이 극히 미미할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 ArcGisVer.9.2의 Spatial Analysis (Clip, Union), Spatial Query by Attributes, Network Analysis 기능을 이용하여 자료 전처리 및 분석을 수행할 수 있도록 구성하였다.

Power Plant 예상 지점은 바이오매스 생산 지역으로부터 시범 Power Plant까지 바이오매스 운송 등비용 권역과 등비용 도로를 통해서 자원의 분포지역별 비용이 증가하는 구간에 대해서는 향후 바이오매스 부존자원 활용계획을 수립할 때 단순히 자원의 개발측면뿐만 아니라 도로망의 확충과 같은 SOC 자원의

확보가 중요한 재생에너지 등의 개발과 보급 성공을 위한 과제가 될 수 있을 것이다.

시범지구에서의 바이오매스 부존량 산정결과와 대안으로 수립된 Power Plant 위치별로 바이오매스 자원의 부존량을 대상으로 총 비용항목 및 공통적으로 소요되는 고정적인 비용을 제외한 이송비용을 중심으로 적지선정분석을 실시하였다. 그 결과는 Fig. 3의 경제적 잠재력(Economical Potential)을 중심으로 결정한 바이오매스 수송량을 대상으로 하였다. 다양한 대안 Power Plant 위치는 현재



**Fig. 3. Isocost Curve Map for Transportation from Biomass Resources to Pilot Power Plant**

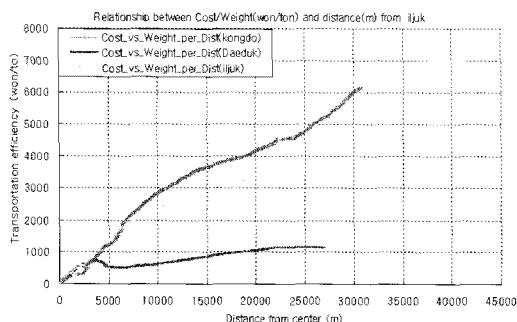


Fig. 4. Relationship Between Cost-Efficiency and Transporting Distance Daeduk for Power Plant

시설영농을 시행하고 있는 지역 중에서 공간적으로 바이오매스 생산능력과 도로망의 접근성 양호한 지역을 대상으로 선정하였다.

또한 이 결과는 단위 거리당 운송비용의 임계치를 적용하였을 때 자원의 분포한계를 결정하는 데에도 이용될 수 있다. Fig. 4의 분석 결과로부터 대안 지구중 한 지점인 대덕 지구에서 바이오매스 처리용량을 결정할 때 임계비용이 700(won/ton)일 때는 13km 이내에 있는 자원의 확보가 가능하지만 1,000(won/ton) 이상일 경우에는 20km까지 자원 확보 범위가 확대되어야 함을 나타낸다. 이 경우에는 수용 능력을 키워서 Power Plant의 크기를 늘릴 수 있기 때문에 규모의 경제효과를 통해서 운영비의 절감효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다(홍성구 2010).

## VI. 요약 및 결론

본 연구에서는 농업부산물을 대상으로 에너지생산을 위해서는 에너지 수급을 고려한 Power Plant를 설치 대상지역의 결정 단계

에서는 지역별 부존자원량과 이용가능량에 대한 평가가 선행되어야 하며, 충분한 부존자원을 대상으로 비용-효율적이고 경쟁력있는 자원으로 활용가능한지 분석이 요구된다. 본 연구에서는 이 과정을 수치지도 및 농업통계정보를 기반으로 GIS의 공간분석 기법 및 공간통계적 기법, 네트워크분석 이론을 도입하여 해결하고자 하였다.

- 부존량 평가 방법에서는 부존자원을 점형 자료로 보는 과정에서 면형의 개념으로 분포 밀도를 분석할 경우에 사용될 수 있는 예측지도를 구축하였다.

- 시범지구에서의 바이오매스 자원의 부존량을 대상으로 경제적 잠재자원을 중심으로 결정한 바이오매스 수송량을 이용하여 적합지역을 판단할 수 있는 단위중량과 이송거리 관계를 이용하여 최적위치 검토과정을 제시하였다.

- 대안지역 중에서 공간적으로 바이오매스 생산능력과 도로망의 접근성 양호한 지역을 대상으로 선정하고, Power Plant 위치결정 단계에서는 용량 즉, 수요자원의 총량과 이동 거리에 따른 비용의 상승을 고려하여 서비스 제공의 경제성평가 모델을 이용하여 최적위치를 결정할 수 있는 기초자료 확보가 가능함을 확인하였다.

- 대안위치에 1기씩 설치한다고 가정하였을 때 포장 단위의 수집비용, 적재비용, 저장비용은 필요한 바이오매스용량대비 단위 비용은 동일하기 때문에 권역 내에서 가용자원을 이용하는데 어느 정도의 최소비용으로 최대의 용량을 이용할 수 있는지를 평가하는 방법으로 시행되었다. 대안으로 선정된 지점의 타당성을 비교하는데 공간적 분석기법과 네트워크분석

기법이 용이한 방법이 될 수 있음을 확인하였다.

## 참고문헌

1. Carlos Gasco, 2010, Renewables: Part of the solution, Prospective Regulatory Department, ICREP annual meeting Granada.
2. Chatmiers S, Hartsough B, De Lasaux M. 2003, Develop a GIS-based tool for estimating supply curves for forest thinning and residues to biomass facilities in California. Final report. Department of Biological & Agricultural Engineering, University of California, Davis, p.39.
3. ESRI, 2007, ArcGIS Network Analysis.
4. Fiorese1 G., Cozzolino E., Guarisol G., Paris G., 2010, Planning biomass energy production in a farming area, International Conference on Renewable Energies and Power Quality.
5. Fiorese1 G., Guarisol G., 2010, A GIS-based approach to evaluate biomass potential from energy crops at regional scale, Environmental Modelling & Software 25, pp.702~11.
6. (ICREPQ'0) Granada (Spain), 23th to 25th March, 2010.
7. Luis Panichelli, Edgard Gnansounou, 2008, GIS-based approach for defining bioenergy facilities location: A case study in Northern Spain based on marginal delivery costs and resources competition between facilities, BIOMASS AND BIOENERGY 32, pp.289~300.
8. Vovontas D, Assimacopoulos D, Koukios EG. 2001, Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method, BIOMASS AND BIOENERGY 20, pp.101~112.
9. Park, Hyun Tae, 2007. Policy issues and strategies to boost: biomass utilization in agricultural sectors, KREI.
10. Suh, Kyo, Kim, Taegon, Lee, Jeong-Jae, 2010, Evaluations of potential biofuels and environmental implications with latent biomass resources in South Korea, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 52, No. 4, pp.35~44.
11. Hong, Jong Jun, 1989, Biomass resources survey and energy evaluation, Korea Institute of Energy Research, KE-89-17.
12. Hong, Seong Gu, 2004, Evaluation of agricultural biomass resources for renewable energy, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 45, No. 3, pp.85~92.
13. Hong, Seong Gu, 2005, Production and Effective Use of Fuel Gas from Agricultural Biomass , MAFF.
14. Hong, Seong Gu, 2008, Strategic planning for bioenergy considering biomass availability in rural area, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 50, No. 4, pp.51~58.
15. Hong, Seong Gu, 2010, Strategies to boost of green growth: biomass cogeneration power plant distribution in agricultural sectors, Rural Research Institute, p.233.