

## 농업부문 바이오매스의 이용활성화를 위한 정책방향과 전략(2/2차연도)

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 박 | 현 | 태 | 연 | 구 | 위 | 원 |   |
| 김 | 연 | 중 | 연 | 구 | 위 | 원 |   |
| 이 | 상 | 민 | 부 | 연 | 구 | 위 | 원 |
| 한 | 혜 | 성 | 연 | 구 | 원 |   |   |

**한국농촌경제연구원**

## 연구 담당

|       |       |                             |
|-------|-------|-----------------------------|
| 박 현 태 | 연구위원  | 연구총괄. 제1장, 제2장, 제4장, 제7장 집필 |
| 김 연 중 | 연구위원  | 제3장, 제5장, 제7장 집필            |
| 이 상 민 | 부연구위원 | 제2장, 제3장, 제6장 집필            |
| 한 혜 성 | 연구원   | 제2장, 제3장 집필                 |

## 머 리 말

---

바이오매스(biomass)란 에너지원과 자원으로서의 생물체량을 의미하는 것으로 농림업과 밀접한 관련이 있다. 바이오매스의 개발과 이용은 지금까지도 중요시되어 왔으나 앞으로도 매우 중요한 과제가 될 것으로 예상된다. 그 이유는 농림업바이오매스의 역할이 지금까지 담당해 오던 식량과 목재의 공급이라는 것 외에 지속가능하고 친환경적 에너지와 바이오제품의 공급이라는 새로운 영역까지 확장되고 있기 때문이다.

현재 바이오에너지 선진국의 바이오에너지 개발은 농림 부산물을 활용하기보다는 주산물을 원료로 하기 때문에 식량과 에너지의 경합문제, 환경훼손 문제 등이 제기되고 있다. 그럼에도 불구하고 바이오에너지는 재생가능하고, 대체에너지의 확보, 대기오염 감소, 원료 재배농가의 소득창출이라는 긍정적 효과를 지니고 있기 때문에 전 세계적으로 개발열풍이 불고 있는 실정이다.

이 연구는 바이오매스를 보다 효과적으로 이용할 수 있는 방향을 제시하고 정책적으로 뒷받침해야 할 과제 도출과 추진전략을 강구하기 위해 2006년부터 2007년까지 수행되었다. 1년차에서는 국내 농업부문 바이오매스 이용실태 파악과 문제점 발굴 등이 시도되었고, 바이오매스 이용 선진국들의 관련 제도와 정책 등을 소개하였다. 2년차에서는 국내외 바이오에너지 개발 동향에 대해 검토하고 시사점을 정리하였다. 또한 농림업 부문에서 발생하는 바이오매스의 자원화에 따른 경제성 분석을 통해 우리나라 입장에서 바이오매스 이용활성화를 위한 방안과 전략 등을 제시하였다.

아무쪼록 이 연구결과가 우리나라 바이오에너지 개발에 지침이 되고, 농촌현장에서 발생하는 바이오매스를 보다 효과적으로 이용하기 위한 정책 개발에 활용되기를 기대한다. 연구진행에 많은 도움을 주신 자문위원님들, 현지 조사에 협조해 주신 관련 전문가들께 감사드린다.

2007. 12.

한국농촌경제연구원장 최 정 섭

## 요 약

---

바이오매스(biomass)란 에너지원과 자원으로서의 생물체량을 의미한다. 바이오매스는 구체적으로 농작물과 부산물, 가축분뇨, 산림작업 부산물, 산업폐목재, 음식물쓰레기 등을 일컫기 때문에 농림업과 밀접한 관련을 갖는다. 이러한 바이오매스의 개발과 이용은 지금까지도 중요시되어 왔으나 앞으로 매우 중요한 과제가 될 것으로 예상된다.

이 연구는 바이오매스를 보다 효과적으로 이용할 수 있는 방향을 제시하고 정책적으로 뒷받침해야 할 과제 도출과 추진전략 강구를 위해 2006년부터 2007년까지 수행되었다. 1년차에서는 국내 농업부문 바이오매스 이용실태 파악과 문제점 발굴, 바이오매스 이용활성화를 위한 과제 도출 등이 시도되었다. 또한 바이오매스 이용 선진국들의 관련 제도와 정책 등을 소개하였다. 2년차에서는 국내외 바이오매스 이용 동향과 시사점에 대해 정리하고, 농림업 부문 바이오매스의 자원화에 따른 경제성 분석을 통해 우리나라 입장에서 바이오매스 이용방향과 전략 등을 제시하였다.

최근 들어 바이오매스를 이용한 바이오에너지 개발에 대해 세계 각국의 관심이 높아지고 있다. 주요 원인은 지속되고 있는 고유가 문제, 화석연료에 의한 환경 문제, 농업침체로 인한 농촌사회 쇠퇴 등 다양한 문제를 해결하기 위한 방편으로 바이오에너지의 역할이 부각되었기 때문이다. 바이오에너지는 고체, 기체 등 다양한 형태로 이용되고 있는데, 최근 가장 중요하게 부각되는 것은 액체로 된 바이오에탄올과 바이오디젤 등 수송용 바이오연료이다.

바이오에탄올은 미국과 브라질을 중심으로 생산되는데 세계 바이오연료 생산량의 85% 가량을 차지한다. 반면 바이오디젤은 EU 회원국이 주로 생산하고 있다. 바이오연료 생산 동향이 지역에 따라 현격한 차이를 보이는 것은 생산지의 바이오매스 부존량과 밀접한 관계가 있기 때문이다.

우리나라는 바이오에너지에 대한 개발수준이 선진국에 미치지 못하는

초보 단계라 할 수 있다. 바이오에탄올은 실증평가를 실시하고 도입 가능성을 검토하고 있으며, 바이오디젤은 현재 초기단계이지만 2006년부터 상용화 된 상태이다. 국내 바이오디젤의 시장규모는 연간 9만kl로 전체 경유 소비량의 0.5%에 그치고 있는 실정이다. 그나마 수입 대두유가 주요 원료로 이용되고 있다는 사실에 비추어 볼 때 본격적인 바이오에너지 개발 단계에 있다고 할 수 없다.

우리나라에서 도입 가능한 바이오디젤 원료작물로는 품종, 생산수준, 생산비, 바이오연료 제조기술 수준 등을 종합하여 고려해 볼 때 유채와 대두가 가능성 높은 것으로 나타났다. 바이오에탄올 원료작물로는 쌀(재고 현미)과 고구마 등이 가능하며 사회적 비용-편익 분석결과, 원료비가 상대적으로 낮은 쌀을 이용하는 것이 유리한 것으로 나타났다.

현재 주요 선진국들의 바이오에너지 개발은 자국의 경쟁력 있는 곡물을 이용하는 경우가 많다. 그러나 곡물을 이용한 개발은 예상하지 못했던 환경오염 문제, 식량 및 사료자원의 감소와 같은 심각한 부작용을 동반하게 되었다. 이러한 추가적인 문제를 해결하기 위해 선진국에서는 섬유질을 이용한 바이오연료 개발에 국가적인 노력을 기울이고 있다. 이와 같이 바이오에너지 개발은 해당 국가의 부존자원, 과학기술 등에 따라 좌우된다고 할 수 있으나 결국 그 국가의 개발의지에 따라 최종적으로 결정된다.

따라서 우리나라도 부존자원을 이용한 바이오에너지 개발에 매우 신중할 필요가 있다. 단순히 선진국에서 상용화된 곡물을 이용한 바이오연료 개발기술을 도입할 것이 아니라 우리 국토에 심각한 부작용을 초래하지 않는 범위 내에서 개발이 가능한 방법을 강구하여야 할 것이다. 이를 위해서는 선택과 집중에 의한 개발 전략이 필요하다. 바이오디젤의 경우는 유채와 같이 농가에서 도입 가능하고 농가소득과 연계할 수 있는 원료작물의 재배를 통해 생산을 확대할 필요가 있다. 바이오에탄올의 경우는 국내에서 대규모 경작을 통해 원료를 확보하기가 현실적으로 어렵다. 따라서 식량과 경합을 일으키지 않고 기존의 농림업 바이오매스를 이용할 수 있는 셀룰로오스에탄올 이른바 제2세대 바이오에너지 개발에 중점을 두고 추진할 필요가 있다. 우리의 상황을 충분히 인식하고 우리 사정에 맞는 바이오에너

지 개발을 위해 적극적인 투자와 지원을 아끼지 말아야 할 것이다.

한편, 농림업 바이오매스는 지역적으로 광범위하게 분산되어 수집에 어려움이 많고, 자원화 과정에서 경제성을 확보하기가 어려운 문제점을 내포하고 있다. 그러나 바이오매스의 이용은 폐자원의 활용이라는 점과 지구온난화 방지 등 환경문제를 완화하는 데 기여할 수 있다. 무엇보다도 바이오매스를 이용한 에너지 및 제품화가 새로운 산업으로 발전할 수 있는 가능성이 있다. 이러한 새로운 산업으로의 발전은 농업·농촌의 활성화에 기여하고 순환형 지역사회를 형성하는 데 기여할 수 있다.

농림지역 내에는 농산부산물, 가축분뇨, 목재나 산림작업 부산물 등 다양한 농림업바이오매스가 발생한다. 이러한 폐기물계 바이오매스를 효과적으로 이용하기 위해서는 단일 바이오매스를 대상으로 할 것이 아니라 농림업 각 부문에서 발생하는 바이오매스를 종합적으로 이용할 수 있는 시스템을 갖추어야 한다. 또한 농림업바이오매스뿐만 아니라 지역 내의 일반 가정·식품가공분야·식당 등에서 발생하는 음식물쓰레기와 식품폐기물 등도 자원화의 대상으로 삼아야 한다.

각종 바이오매스를 자원화하기 위해서는 지역단위에서 운영하는 가칭 바이오매스자원화센터가 필요하다. 자원화센터는 농축산부산물, 산림부산물, 식품폐기물, 음식물쓰레기 등을 이용하여 퇴비, 사료 등 바이오매스 제품과 가스 및 전기 등을 생산할 수 있는 설비와 운용 인력 확보가 선결 과제이다. 생산된 퇴비나 사료 등은 농업부문에 재 환원되고, 가스, 전기 등의 에너지는 지역 내의 일반 가정 및 농림업에서 이용할 수 있는 체계가 구축되어야 한다. 이러한 일련의 시스템이 지역 내 바이오매스자원화센터를 중심으로 작동되기 위해서는 바이오매스 발생자와 자원 이용자의 적극적인 참여가 전제조건이기는 하나 중앙 및 지방정부의 역할이 매우 중요한 요소라 할 수 있다.

ABSTRACT

---

## Policy Issues and Strategies to Boost Biomass Utilization in Agricultural Sector: Problems and Issues in Korea

Biomass is the total mass of living organisms in an ecosystem as a source of energy and raw materials. It is closely related with agriculture and forestry since it is mostly composed of agricultural products, by-products, animal manure, by-products from forestry activities, industrial wood waste, and food waste. The development and utilization of biomass have been a very important task and will continuously be treated as an important subject in the future.

This study is a two-year project with the main purposes of developing efficient utilization systems and finding tasks and strategies to make and support policies. This study began with subjects such as grasping the current situation, excavating the problems, and finding tasks for domestic agricultural biomass utilization. Related institutions and policies of developed countries on biomass were also introduced. For the second period of the study, utilization trends and suggestions on biomass have been summarized, and policy directions and strategies of biomass utilization have been also presented based on economic analyses.

Many countries around the world are interested in developing bioenergy because it plays an important role in solving various problems caused by high crude oil price, intensive use of fossil fuel, and stagnancy of agriculture. Bioenergy may be gaseous, liquid or solid. The worldwide interest focuses on biofuel, a liquid type of bioenergy.

Bioethanol and biodiesel are representative biofuels which replace gasoline and diesel. The United States and Brazil are the main producers of bioethanol and their share of total production is 85%. Biodiesel, on the other hand, is mainly produced by member countries of the EU. The differ-

ent trends of biofuel production are strongly related to the resource reserves in the production regions.

The development of bioenergy in Korea is just at the beginning stage. Bioethanol is being tested for introduction after the actual proof of assessment. On the other hand, biodiesel has been in the early stages of commercialization since 2006. The market size of biodiesel is 90 thousand kilo-liters, and its share accounts for only 0.5% of all diesel consumption. However, Korea is not in the real development stage since soybean oil, the main feedstock, is still imported from abroad.

Rapeseed and soybeans are good candidates for the feedstock of biodiesel when we assess the feasibility of feedstock based on production level, cost, technology and breeds. For bioethanol, rice (stock) and sweet potatoes are relatively good feedstocks.

The development of bioenergy in developed countries is mainly based on the competitive resources of their own. Grain-based biofuel, however, has been accompanied by unexpected serious side effects, such as environmental problems and decrease of food and feed. Some developed countries are making every effort to make biofuel from fiber, which will solve the problems caused by side effects. Bioenergy development depends on the resource reserves, technology, etc. but ultimately relies on the will of a government to develop bioenergy.

We need to be very careful, consequently, in developing bioenergy. It is required to find the most proper way for development. It cannot be done simply by adopting the existing method that developed countries are applying, but by finding ways that do not cause serious side effects to our country. For this purpose, we need to carefully set up development strategies based on good choice and concentration. For biodiesel, the conditions of good feedstock are that it should be easy to be adopted and its production is positively related to the household incomes just like rapeseed. For bioethanol, it is difficult to secure feedstock based on large-scale domestic cultivation. Therefore, we need to push forward our bioenergy development focusing on cellulosic ethanol, the second generation bioenergy which does not come into conflict with food for its feedstock. It is required not to be stingy with progressive investments and supports for the development of bioenergy which is fit for our circumstances.

Biomass from agricultural and forestry activities is usually scattered about in vast areas, and this makes it difficult to collect and be economically viable. The utilization of waste resources as feedstock, however, contributes to preventing global warming. And the production of bioenergy and biomaterials from biomass can expand into a new industry that leads to activate agriculture and rural society and form cyclic local areas.

Various forms of biomass, such as agricultural by-products, animal manure, and wood wastes of forest activities, are obtained in rural areas. Hence, it is required to prepare a comprehensive utilization system which will lead to the efficient use of biomass from various sources, rather than focusing on biomass from a single source.

The tentatively-named and locally-managed “Biomass Resource Center” is required to make biomass into energy or material resources. It is the prior task to obtain facilities and labor to produce compost, feed, and other biomaterials as well as gas and electricity from various biomass. The manure and feed should be reused for agricultural production, and the gas and electricity must be utilized for local households and agricultural activities. To operate these systems centering around the local biomass resource center, active participation of every stakeholder is a prerequisite to success, and the role of the central government is also very important.

Researchers: Park Hyun-Tae, Kim Yean-Jung, Lee Sang-Min, and Han Hye-Sung

Research Period: 2007.1~2007.12

E-mail address: [htpark@krei.re.kr](mailto:htpark@krei.re.kr), [yjkim@krei.re.kr](mailto:yjkim@krei.re.kr), [smlee@krei.re.kr](mailto:smlee@krei.re.kr),  
[funny1978@krei.re.kr](mailto:funny1978@krei.re.kr)

## 차 례

---

### 제1장 서론

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 1. 연구 필요성 .....          | 1  |
| 2. 연구 목적 .....           | 2  |
| 3. 선행연구 검토 .....         | 3  |
| 4. 연구범위와 방법 .....        | 7  |
| 5. 주요 연구내용과 보고서 구성 ..... | 10 |

### 제2장 바이오에너지 개발 및 이용 동향과 과제

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 1. 바이오에너지의 개념과 특징 .....            | 13 |
| 2. 주요 국가의 바이오에너지 개발 및 이용 동향 .....  | 20 |
| 3. 우리나라 바이오에너지 개발 동향 .....         | 32 |
| 4. 우리나라 바이오에너지 개발을 위한 과제와 전략 ..... | 44 |

### 제3장 바이오에너지 원료작물의 이용 가능성 분석

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 1. 바이오에너지 원료작물의 종류와 도입 필요성 ..... | 51 |
| 2. 바이오에너지 원료작물의 국내 생산현황 .....    | 53 |
| 3. 바이오에너지 연료작물의 경제성 분석 .....     | 62 |
| 4. 바이오에너지 연료작물 도입방향과 과제 .....    | 77 |

### 제4장 농산바이오매스의 이용 활성화 방안

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 1. 농산바이오매스의 종류와 발생량 .....          | 83  |
| 2. 농산바이오매스의 이용 동향과 시사점 .....       | 87  |
| 3. 농산바이오매스의 경제성 분석 .....           | 94  |
| 4. 농산바이오매스 이용 활성화를 위한 과제와 전략 ..... | 105 |

## 제5장 축산바이오매스의 이용 활성화 방안

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 1. 축산바이오매스의 종류와 발생량 .....          | 113 |
| 2. 축산바이오매스 이용 동향과 시사점 .....        | 117 |
| 3. 축산바이오매스의 경제성 분석 .....           | 123 |
| 4. 축산바이오매스 이용 활성화를 위한 과제와 전략 ..... | 145 |

## 제6장 임산 바이오매스의 이용 활성화 방안

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 1. 임산바이오매스의 종류와 발생량 .....          | 151 |
| 2. 임산바이오매스의 이용 동향과 시사점 .....       | 162 |
| 3. 임산바이오매스의 경제성 분석 .....           | 170 |
| 4. 임산바이오매스 이용 활성화를 위한 과제와 전략 ..... | 176 |

## 제7장 요약 및 결론

|             |     |
|-------------|-----|
| 1. 요약 ..... | 185 |
| 2. 결론 ..... | 192 |

|             |     |
|-------------|-----|
| 참고 문헌 ..... | 196 |
|-------------|-----|

## 표 차 례

---

### 제1장

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 표 1- 1. 농업부문 바이오매스 종류별 자원화 연구대상 .....     | 7  |
| 표 1- 2. 바이오매스 이용 경제성 분석을 위한 원고위탁 내용 ..... | 9  |
| 표 1- 3. 분야별 연구자문단 명단 .....                | 9  |
| 표 1- 4. 2차년도 전문가 간담회 내역 .....             | 10 |
| 표 1- 5. 1차년도의 주요 연구내용 .....               | 11 |

### 제2장

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 표 2- 1. 바이오에너지 이용의 장단점 .....            | 15 |
| 표 2- 2. 바이오연료의 종류별 특성 .....             | 16 |
| 표 2- 3. 세계 바이오연료 생산현황(2005) .....       | 17 |
| 표 2- 4. 세계 수송연료 시장 수요전망 .....           | 18 |
| 표 2- 5. 바이오에탄올 생산시설 및 생산능력 .....        | 21 |
| 표 2- 6. 원료 작물별 바이오에탄올 생산현황(2006) .....  | 21 |
| 표 2- 7. 에탄올 지원을 위한 법안 .....             | 22 |
| 표 2- 8. 연도별 EU 바이오연료 생산추이 .....         | 25 |
| 표 2- 9. EU 회원국의 바이오디젤 생산현황 .....        | 27 |
| 표 2-10. EU 회원국의 바이오디젤 생산능력 .....        | 27 |
| 표 2-11. EU 회원국의 바이오에탄올 생산현황 .....       | 28 |
| 표 2-12. 브라질 에탄올 생산현황 .....              | 29 |
| 표 2-13. 주요 국가의 원료별 에너지 생산비중(2005) ..... | 31 |
| 표 2-14. 우리나라 바이오매스 부존 및 가용 자원량 .....    | 33 |
| 표 2-15. 신·재생 에너지 보급목표 .....             | 33 |
| 표 2-16. 2011년 바이오에너지원별 보급계획 .....       | 34 |
| 표 2-17. 바이오 연료 도입 연혁 .....              | 35 |

|         |                                   |    |
|---------|-----------------------------------|----|
| 표 2-18. | 시범사업 기간 중 국내산 유채유 공급계획 .....      | 37 |
| 표 2-19. | 바이오디젤 보급목표 .....                  | 37 |
| 표 2-20. | 바이오에너지 국내외 기술현황 비교 .....          | 39 |
| 표 2-21. | 생산원료 조달 및 원료별 비중 현황과 전망 .....     | 41 |
| 표 2-22. | 향후 이용가능성이 높은 원료작물 .....           | 42 |
| 표 2-23. | 바이오디젤업체의 정부 부처별 요구사항 .....        | 43 |
| 표 2-24. | 바이오에너지 이용 활성화를 위한 추진과제 및 전략 ..... | 46 |
| 표 2-25. | 바이오에너지 개발 관련주체별 역할 .....          | 48 |

### 제3장

|         |                                      |    |
|---------|--------------------------------------|----|
| 표 3- 1. | 바이오에너지 연료 작물의 종류 및 활용 형태 .....       | 52 |
| 표 3- 2. | 대두의 국제 경쟁력 비교 .....                  | 53 |
| 표 3- 3. | 주요 작물별 오일 수율 .....                   | 54 |
| 표 3- 4. | 땅콩의 주요 생산국과의 경쟁력 비교 .....            | 55 |
| 표 3- 5. | 식물성오일 생산 비중 및 바이오디젤 원료 비중 .....      | 57 |
| 표 3- 6. | 한·중·일 고구마 경쟁력 비교 .....               | 59 |
| 표 3- 7. | 주요 작물의 단위면적당 수량 및 에탄올 생산량 비교 .....   | 60 |
| 표 3- 8. | 작물별 상용화 가능성 .....                    | 61 |
| 표 3- 9. | 사회적 비용-편익 추정에 사용된 자료(유채) .....       | 65 |
| 표 3-10. | 유채를 이용한 바이오디젤 생산의 B/C분석 결과 .....     | 67 |
| 표 3-11. | 유채 품종개발에 의한 바이오디젤 생산의 B/C분석 결과 ..... | 68 |
| 표 3-12. | 유채 품종개발에 대한 민감도 분석결과 비교 .....        | 69 |
| 표 3-13. | 시나리오별 석유대체효과 .....                   | 70 |
| 표 3-14. | 시나리오별 유가변동에 대한 민감도 분석결과 비교 .....     | 70 |
| 표 3-15. | 사회적 비용-편익 추정에 사용된 자료(대두) .....       | 71 |
| 표 3-16. | 대두를 이용한 바이오디젤 생산의 B/C분석 결과 .....     | 72 |
| 표 3-17. | 바이오에탄올 경제성 분석에 이용된 자료 .....          | 74 |
| 표 3-18. | 작물별 바이오에탄올 생산의 B/C분석 결과 .....        | 75 |
| 표 3-19. | 바이오연료별 경제성 분석결과(종합) .....            | 76 |

|         |                                             |    |
|---------|---------------------------------------------|----|
| 표 3-20. | 바이오에너지 원료작물별 상용화 가능성 .....                  | 79 |
| 표 3-21. | 바이오연료가 수송용 경우 소비량에서 차지하는<br>비중 전망 .....     | 81 |
| 표 3-22. | 바이오에너지 원료작물별 생산성 향상과 생산비 절감을<br>위한 전략 ..... | 81 |

#### 제4장

|         |                                         |     |
|---------|-----------------------------------------|-----|
| 표 4- 1. | 주요 농작물의 바이오매스 발생량 .....                 | 84  |
| 표 4- 2. | 농산바이오매스 종류별 에너지 부존량 .....               | 85  |
| 표 4- 3. | 과수바이오매스의 에너지 부존량 .....                  | 86  |
| 표 4- 4. | 신재생에너지 공급목표에서 농산바이오매스<br>에너지량의 비중 ..... | 86  |
| 표 4- 5. | 농산바이오매스의 이용용도 .....                     | 87  |
| 표 4- 6. | 지대별 농가의 벼짚 활용용도 .....                   | 88  |
| 표 4- 7. | 농가의 수도작 바이오매스 활용 실태 .....               | 89  |
| 표 4- 8. | RPC부산물의 판매처와 사용용도 .....                 | 90  |
| 표 4- 9. | 경제성 분석을 위한 기본 전제 .....                  | 95  |
| 표 4-10. | 곤포작업 경제성분석을 위한 지표 .....                 | 96  |
| 표 4-11. | 곤포생산을 위한 연간 고정비용 .....                  | 97  |
| 표 4-12. | 곤포생산을 위한 변동비용(1ha기준) .....              | 97  |
| 표 4-13. | 곤포판매를 통한 수입(1ha기준) .....                | 97  |
| 표 4-14. | 과수 전정가지의 톱밥화 경제성 분석을 위한 지표 .....        | 99  |
| 표 4-15. | 톱밥생산을 위한 연간 고정비용 .....                  | 99  |
| 표 4-16. | 톱밥생산을 위한 변동비용(1ha기준) .....              | 100 |
| 표 4-17. | 톱밥판매를 통한 수입(1ha기준) .....                | 100 |
| 표 4-18. | 과원규모별 톱밥화에 따른 손익 비교 .....               | 101 |
| 표 4-19. | 펠릿작업 경제성 분석을 위한 지표 .....                | 102 |
| 표 4-20. | 펠릿생산을 위한 연간 고정비용 .....                  | 103 |
| 표 4-21. | 펠릿생산을 위한 변동비용(1ha기준) .....              | 103 |

|         |                                 |     |
|---------|---------------------------------|-----|
| 표 4-22. | 펠릿판매를 통한 수입(1ha기준) .....        | 104 |
| 표 4-23. | 유채재배 규모별 펠릿화에 따른 손익 비교 .....    | 104 |
| 표 4-24. | 농산바이오매스 이용 활성화를 위한 추진과제 .....   | 106 |
| 표 4-25. | 농산바이오매스 이용 촉진을 위한 지원장비(예) ..... | 109 |
| 표 4-26. | 각종 바이오매스의 연료화 이용 예 .....        | 109 |
| 표 4-27. | 농산바이오매스 이용 활성화를 위한 주체별 역할 ..... | 112 |

## 제5장

|         |                                   |     |
|---------|-----------------------------------|-----|
| 표 5- 1. | 가축분뇨 발생량 현황(2006년) .....          | 114 |
| 표 5- 2. | 연도별 부산물비료 생산업체수 .....             | 118 |
| 표 5- 3. | 연도별 액비 저장조 설치 지원현황 .....          | 118 |
| 표 5- 4. | 축산폐수공공처리시설 운영현황 .....             | 119 |
| 표 5- 5. | 폐기물 해양배출량 현황 .....                | 120 |
| 표 5- 6. | 가축분뇨 발생 및 처리실태(2006년) .....       | 121 |
| 표 5- 7. | 처리방법에 의한 유형구분 .....               | 124 |
| 표 5- 8. | 자원화 유형별 처리시설 기준 및 특징 .....        | 125 |
| 표 5- 9. | 처리규모별 자원화 개요(유형 I) .....          | 126 |
| 표 5-10. | 처리규모별 자원화 개요(유형 II ~ 유형 IV) ..... | 127 |
| 표 5-11. | 자원화 유형별 설치비용 .....                | 129 |
| 표 5-12. | 자원화 유형별 · 규모별 경영비 .....           | 131 |
| 표 5-13. | 자원화 유형별 · 규모별 경제성 분석 결과 .....     | 133 |
| 표 5-14. | 유형별 경영성과(1만 두 기준) .....           | 135 |
| 표 5-15. | 바이오가스 시설기준 및 개요 .....             | 136 |
| 표 5-16. | 바이오가스 생산시설 경제성 평가 산정 기준 .....     | 137 |
| 표 5-17. | 축산 바이오가스 규모별 설치비용 .....           | 138 |
| 표 5-18. | 바이오매스 발생량 및 에너지 생산량(1일당) .....    | 139 |
| 표 5-19. | 축산 바이오가스 경제성 .....                | 140 |
| 표 5-20. | 바이오매스 발생량 및 에너지 생산량(1일당) .....    | 141 |
| 표 5-21. | 가축분뇨의 에너지 효과 .....                | 143 |

|         |                                         |     |
|---------|-----------------------------------------|-----|
| 표 5-22. | 가축분뇨의 자원화에 의한 원유대체효과 .....              | 143 |
| 표 5-23. | 산자부 바이오에너지 보급 목표대비 가축분뇨<br>대체 가능성 ..... | 144 |
| 표 5-24. | 축산바이오매스 이용 활성화를 위한 추진 전략 .....          | 147 |
| 표 5-25. | 축산바이오매스 이용 활성화를 위한 주체별 역할 .....         | 150 |

## 제6장

|         |                                         |     |
|---------|-----------------------------------------|-----|
| 표 6- 1. | 임산바이오매스 종류 .....                        | 152 |
| 표 6- 2. | 임산바이오매스 이용형태별 용도 .....                  | 153 |
| 표 6- 3. | 연료별 단위 비용당 발열량 .....                    | 154 |
| 표 6- 4. | 사업별 면적 및 임목벌채 허가실적(재적) .....            | 158 |
| 표 6- 5. | 산림작업 부산물 발생량 추정 .....                   | 158 |
| 표 6- 6. | 용도별 원목 수급추이 .....                       | 159 |
| 표 6- 7. | 원목 가공품 폐잔재 발생율 .....                    | 160 |
| 표 6- 8. | 연도별 목재류 폐기물 발생현황 .....                  | 161 |
| 표 6- 9. | 2005년 임산바이오매스 발생현황 .....                | 161 |
| 표 6-10. | 신재생에너지 공급목표에서 임산바이오매스<br>에너지량의 비중 ..... | 162 |
| 표 6-11. | 연료별 필요 가공 장비 .....                      | 163 |
| 표 6-12. | 산림작업 부산물 활용 비율 .....                    | 166 |
| 표 6-13. | 산업 폐목재 이용현황 .....                       | 166 |
| 표 6-14. | 생활폐목재 이용현황 .....                        | 167 |
| 표 6-15. | 건설폐목재 이용현황 .....                        | 167 |
| 표 6-16. | 사업장폐목재 이용현황 .....                       | 167 |
| 표 6-17. | 도시 폐목재 이용현황 .....                       | 168 |
| 표 6-18. | 2005년 폐목재 발생 및 이용현황 .....               | 168 |
| 표 6-19. | 용도별 폐목재 이용현황 .....                      | 169 |
| 표 6-20. | 에너지가격 추이 .....                          | 172 |
| 표 6-21. | 에너지원의 열환산 기준 .....                      | 172 |

|         |                                              |     |
|---------|----------------------------------------------|-----|
| 표 6-22. | 난방 설비별 단위 열량 생산 비용 .....                     | 173 |
| 표 6-23. | 농촌지역의 난방설비별 가구당 에너지 소비 형태<br>(열량기준) .....    | 174 |
| 표 6-24. | 등유보일러, 목재칩 보일러, 펠릿 보일러의 연료소비<br>경제성 비교 ..... | 174 |
| 표 6-25. | 보일러별 연간 및 누적 비용 비교 .....                     | 175 |
| 표 6-26. | 경제성 확보를 위한 보일러의 수명과 펠릿의<br>상한가격 .....        | 176 |
| 표 6-27. | 임산바이오매스 이용 활성화를 위한 추진 과제<br>및 전략 .....       | 178 |

## 그림 차례

---

### 제2장

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 그림 2- 1. 바이오매스의 바이오에너지 변환 과정 .....      | 14 |
| 그림 2- 2. 바이오에너지 변환시스템 .....             | 15 |
| 그림 2- 3. 2030년까지의 바이오에너지 기술개발 로드맵 ..... | 19 |
| 그림 2- 4. 미국의 연료용 바이오에탄올 생산 추이 .....     | 20 |
| 그림 2- 5. 바이오디젤의 제조 및 유통경로 .....         | 35 |
| 그림 2- 6. 바이오디젤 보급 전략 및 방향 .....         | 38 |
| 그림 2- 7. 우리나라 바이오에너지 기술개발 전망 .....      | 40 |
| 그림 2- 8. 산자부 정책 평가 .....                | 43 |
| 그림 2- 9. 우리나라 바이오에너지 개발 방향 .....        | 45 |

### 제3장

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 그림 3- 1. 주요 식물성 오일 가격동향 .....   | 56 |
| 그림 3- 2. 식물성 오일 동일면적당 생산량 ..... | 58 |
| 그림 3- 3. 바이오연료작물 개발 목표 .....    | 78 |
| 그림 3- 4. 향후 바이오연료작물 이용가능성 ..... | 80 |

### 제4장

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 그림 4- 1. 농산바이오매스의 분류 .....            | 83  |
| 그림 4- 2. 벧짚 결속기 및 곤포 .....            | 89  |
| 그림 4- 3. 과실 바이오매스의 이용형태 .....         | 91  |
| 그림 4- 4. 전정가지 파쇄 및 톱밥화 기계장치 .....     | 91  |
| 그림 4- 5. 벧짚의 곤포 이용 손익분기 규모 .....      | 98  |
| 그림 4- 6. 과수 전정가지의 톱밥 이용 손익분기 규모 ..... | 101 |
| 그림 4- 7. 유채줄기의 펠릿 이용 손익분기 규모 .....    | 104 |

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| 그림 4- 8. 농산바이오매스 이용 활성화를 위한 기본목표와<br>방향 ..... | 106 |
| 그림 4- 9. 농산바이오매스의 공급자·수요자 연결 체계 .....         | 108 |
| 그림 4-10. 지역단위에서의 바이오매스 이용시스템 구상 .....         | 111 |

## 제5장

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 그림 5- 1. 축산바이오매스의 자원화 형태 .....          | 115 |
| 그림 5- 2. 가축분뇨 처리형태별 비중 .....            | 121 |
| 그림 5- 3. 퇴·액비 자원화 유형별, 규모별 경제성과 .....   | 134 |
| 그림 5- 4. 축산바이오매스 이용 활성화를 위한 정책 방향 ..... | 145 |

## 제6장

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 그림 6- 1. 임산바이오매스 .....      | 152 |
| 그림 6- 2. 펠릿 운송용 펌프 트럭 ..... | 164 |

## 제7장

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| 그림 7- 1. 지역단위에서 자원순환을 고려한 바이오매스<br>이용 체계 ..... | 193 |
| 그림 7- 2. 우리나라 바이오에너지 개발 방향 .....               | 195 |

## 1. 연구 필요성

바이오매스(biomass)란 에너지원과 자원으로서의 생물체량을 의미한다. 생태학에서는 단위 면적당 존재하는 생태계 구성요소들의 무게로 정의한다. 바이오매스는 구체적으로 농작물과 부산물, 가축분뇨, 나무, 간벌재, 음식물 쓰레기 등을 일컫기 때문에 농림업과 밀접한 관련을 갖는다. 우리나라의 바이오매스 부존량은 연간 8천만 톤 이상이 되고 이 가운데 가용 자원량은 1천만 톤 이상인 것으로 알려져 있는데, 농업부산물, 가축분뇨, 임산자원 등이 대부분을 차지하고 있다.

현재 농촌현장에서 발생하는 바이오매스는 일부가 퇴비, 사료, 열에너지원으로 이용되고 있으나 대부분은 폐기되고 있다. 그러나 바이오매스의 이용은 폐자원의 활용, 환경문제 해소, 대체에너지 개발 등 광범위한 분야에서 효과를 기대할 수 있다. 무엇보다도 바이오매스를 이용한 에너지 및 제품화가 농림업인들에게 새로운 사업영역을 제공하고 고용기회를 창출함으로써 농업·농촌의 활성화에 기여할 수 있다는 점이다. 즉 바이오매스 이용을 통해 농림업의 역할이 지금까지 담당해 오던 식량과 목재의 공급이라는 것 외에 지속가능하고 친환경적 에너지와 바이오제품의 공급이라는 새로운 영역까지 확장되고 있다.

한편, 2000년대 들어 고유가가 지속되고 지구온난화, 대기오염 등 환경문제가 범지구적 이슈가 되면서 바이오매스를 이용한 바이오에너지 개발

과 보급이 미국, 브라질, EU 등을 중심으로 활발히 전개되고 있다. 특히 바이오에너지를 농촌내부와 국가 사회의 발전에 필요한 순환, 재생 가능한 자원으로 인식하고 각 정부에서는 일정한 목표를 수립하여 달성하기 위한 각종 정책들을 펼치고 있다.

다만 현재 바이오에너지 선진국의 바이오에너지 개발은 농림 부산물을 활용하기보다는 주산물을 원료로 사용하기 때문에 식량과 에너지의 경합 문제가 제기되고 있다. 그럼에도 불구하고 바이오에너지는 재생가능하고, 대체에너지의 확보, 환경개선, 원료 재배농가의 소득창출이라는 긍정적 효과를 지니고 있기 때문에 전 세계적으로 개발에 대한 열풍이 불고 있는 실정이다.

바이오매스의 개발과 이용은 지금까지도 중요시되어 왔으나 앞으로도 매우 중요한 과제가 될 것으로 예상된다. 특히 화석연료의 대체에너지로서 최근 큰 관심을 끌고 있는 바이오에너지가 사회, 경제적으로 주요한 이슈가 될 것이다. 따라서 바이오매스 개발과 이용에 대해 농업부문에서 대응하고 해결할 수 있는 방안에 대해 종합적으로 접근할 필요가 있다. 구체적으로는 바이오매스를 보다 효과적으로 이용할 수 있는 시스템을 개발하고 정책적으로 뒷받침되어야 할 과제도출과 추진전략이 필요한 시점이다.

## 2. 연구 목적

이 연구의 최종목적은 농림업바이오매스의 이용촉진을 위한 방향과 전략을 수립하는 것이다. 이를 달성하기 위해 아래와 같이 세부목적을 설정하였다.

첫째, 근래 세계적으로 확산되고 있는 바이오에너지에 대해 바이오에너지 선진국을 중심으로 개발 및 이용 동향, 정책 등을 검토한 후 시사점을 도출한다.

둘째, 우리나라의 바이오에너지 개발 동향을 검토한 후 우리 실정에 맞

는 개발 방향과 과제를 제시한다.

셋째, 우리나라 바이오에너지 개발 방향과 연계하여 국내 바이오연료작물의 도입 가능성과 경제성을 분석하고 도입방안을 검토한다.

넷째, 농림축산 부문의 바이오매스 자원화에 따른 경제성 분석과 바이오매스 이용촉진을 위한 과제를 도출하고 추진전략을 제시한다.

### 3. 선행연구 검토

농업부문 바이오매스 관련 선행연구는 농산바이오매스, 축산바이오매스, 임산바이오매스, 바이오에너지 관련 연구로 구분해서 검토해 볼 수 있다. 기존연구는 주로 농림업 부문별로 바이오매스의 부존량을 산정하고, 환경적 관점에서 자원화의 필요성을 제기하고 있다. 그러나 자원화에 따른 경제성 분석 등은 소홀히 취급되어 있다.

본 연구는 농림업 바이오매스 종류별 이용실태를 파악하고, 자원화에 따른 경제성 분석을 시도한 것이 특징이라 할 수 있다. 또한 바이오에너지와 관련해서는 우리나라 실정에 부합한 바이오에너지 개발방향을 제시하고, 국내 도입 가능한 작물을 중심으로 이용 가능성을 제시한 것이 선행연구와의 차이점이라 할 수 있다.

#### 3.1. 농산바이오매스 관련 연구

농산바이오매스 이용과 관련해서는 우선 한국동력자원연구소(1989)의 연구를 들 수 있다. 여기서는 작물별(수도작, 과수) 단위면적당 부산물 생산량과 주곡과의 비율을 조사하고, 에너지원으로 이용 가능한 바이오매스량을 추정하였다. 이 연구는 우리나라에서 바이오매스 발생량 조사연구로는 처음 시도되었다는 데 의의가 있으나 원단위의 적절성과 연구시점의 문

제로 활용에 한계가 있다.

홍성구 외(2005)는 수도작, 과수, 밭작물을 대상으로 단위면적당 부산물 발생량을 조사하였다. 그러나 조사 지역이 경기도 특정지역으로 한정되어 있고 에너지 이용을 전제로 한 기술개발에 초점이 맞춰져 있다.

농협중앙회(2005) 및 전라북도(2005)는 전북지역 수도작 부산물인 벼짚과 왕겨를 자원화 할 경우 비료성분 분석과 가치를 평가하였다. 이 연구에서 일부 조사결과는 부산물 발생과 이용에 대한 원단위 자료로 활용이 가능하나, 바이오매스 이용에 대한 종합적인 접근에는 이르지 못하고 있다.

한편 일본에서 수행한 농산바이오매스 연구로는 三重縣(2004)의 연구가 있다. 이 연구는 일본의 작물별 부산물 발생 원단위와 부산물의 발열량 원단위를 파악한 연구로 바이오매스 원단위의 참고자료로서 가치가 있다.

### 3.2. 축산바이오매스 관련 연구

축산바이오매스에서는 가축분뇨의 자원화 관련 연구가 주를 이룬다. 유철호 외(1995, 1996, 2000)는 가축분뇨 자원화의 필요성과 제약요인을 구명하고 자원화 촉진을 위한 제도적 장치에 대한 대안을 제시하였다. 그러나 가축분뇨의 활용방안으로 유기질 비료만을 대상으로 하였고, 농가단위의 접근보다는 자원화 업체의 조사결과 분석에 초점이 있어 축산바이오매스 이용의 종합적 접근은 미흡한 실정이다.

허길행(2000), 농촌진흥청(2002), 농림부·환경부(2004), 조익환(2005), 농림부(2006) 등의 연구는 가축분뇨에 의한 환경오염 문제를 언급하고 가축분뇨의 관리와 이용에 관한 대책을 제시하였다. 특히 가축분뇨의 자원화를 통해 경종과 축산을 연계함으로써 생태계를 보전하는 순환농업 구현의 필요성과 추진 방향을 언급하였다. 이들 연구는 가축분뇨 처리에 대한 정책적 대안제시 면에서는 의의가 있으나 자원화에 따른 경제성 분석 등은 누락되어 있다.

일본 農林水産省(2002), 近畿經濟産業局(2002), 京都府(2004) 등에서는

축산폐기물의 발생량과 처리상황, 이용시설의 종류, 사업성 등을 분석하였다. 또한 지역단위에서의 바이오매스 이용 가능량을 토대로 에너지화 방법과 이용시스템 등을 제시하였다. 이들 연구는 비록 일본 상황이기는 하나 사업성 검토 등은 참고할 가치가 있는 것으로 평가된다.

### 3.3. 임산바이오매스 관련 연구

임산바이오매스 관련 연구로는 농림부(1999), 최돈하 외(2002), 박경석 외(2003), 장철수 외(2004), 차두송 외(2004), 이임영(2005), 석현덕 외(2005) 등이 있다. 이들 연구에서는 국내 산림바이오매스의 발생량을 추정하고 임지폐목재의 이용실태와 문제점 파악, 에너지 활용 가능성 검토, 이용 활성화 방안 등을 제시하였다. 그러나 임산바이오매스의 에너지 이용을 위한 시설 투자비 등 사업성에 대한 검토가 미흡하고, 산재해 있는 바이오매스의 수집·반출 등을 위한 실질적인 대안제시가 미흡한 것으로 평가된다.

임산바이오매스 관련 연구는 일본에서 활발히 이루어졌다. 北海道(2002), 獨立行政法人森林總合研究所(2002), 和泉村(2003), 大木佑一(2003), 奈良縣(2004) 등의 연구에서는 임산바이오매스의 부존량을 조사하여 이용 가능량을 추정하고, 바이오매스 수집비용 산정 등 이용방법(직접 연소, 가스화)에 따른 사업성 등을 검토하였다. 특히 일본은 지자체 단위로 임산바이오매스 이용량 추정과 이용방법, 이용에 따른 사업성 등을 제시하고 있는 것이 특징이라 할 수 있다.

한편 임산바이오매스 관련 연구는 산림이 많은 북유럽이나 미주지역에서도 활발히 이루어지고 있는 것으로 보인다. Skog와 Rosen(1997), USDA(2004), Vogt(2005), Bolkesjo 외(2006), Zerbe(2006) 등의 연구에서는 임산바이오매스 이용이 에너지 생산의 한 방편일 뿐만 아니라 환경적 가치와 새로운 일자리 창출 등 사회경제적 효과를 추구할 수 있다고 소개하고 있다. 그러나 임산바이오매스의 경쟁력 및 생산 수준은 일반 에너지 가격에

크게 좌우되고, 자본비용이 높고 효율성이 낮아 긍정적인 점들이 상쇄될 수 있음을 언급하고 있다. 이들 연구들은 임산바이오매스의 이용이 환경적·사회적 쟁점과 부합되는 새로운 기회를 제공한다는 점은 제시하고 있으나 계량화된 수치는 제시하지 못하고 있다.

### 3.4. 바이오에너지 관련 연구

우리나라에서 바이오에너지 관련 연구는 최근에 시도되고 있기 때문에 선행연구가 많이 이뤄지지 않았다. 미래농정연구원(2005), 성진근(2006), 임용표(2006), 박종민(2006), 박진섭(2006), 김충실 외(2006) 등은 유채를 이용한 바이오디젤 생산의 필요성과 유채 재배에 따른 부수적 효과와 경제성 등을 분석하였다. 그러나 유채 생산비의 기준시점이 오래되어 현재의 여건 반영이 미흡하고, 유채를 에너지화할 때 비용투자 등 종합적 접근이 미흡한 것으로 평가된다.

배정환 외(2007)는 바이오디젤 업체의 자료를 이용해서 바이오디젤의 경제성을 분석하고 현재 바이오디젤 보급을 위한 지원제도의 개선방안을 제시하였다. 강희찬(2007)은 선진국의 바이오연료 개발동향을 소개하고, 비용편익 분석을 통해 바이오연료 도입의 타당성 분석을 시도하였다. 이들 바이오에너지 개발의 경제성 분석과 관련된 선행연구에 대해서는 제3장에서 보다 구체적으로 언급하였다.

한편, 대한무역투자진흥공사(2007)는 브라질, 독일, 중국, 말레이시아 등 주요 국가의 바이오에너지 개발동향을 소개하고 시사점을 정리하였다. 외교통상부 남미자원협력센터(2007a, 2007b)에서는 브라질과 아르헨티나의 바이오에너지 개발 정책 및 생산동향을 소개하고, 이들 국가와의 협력가능성을 제시하였다.

## 4. 연구범위와 방법

### 4.1. 연구범위

농업부문 연구대상 분야는 1년차와 마찬가지로 농산, 축산, 임산 3개 분야 외에 바이오에너지 원료작물을 추가하였다(표 1-1). 농산바이오매스는 수도작 부산물과 과수 전정가지, 축산바이오매스는 양돈분뇨, 임산바이오매스는 산림작업 부산물을 중심으로 하였다. 바이오에너지 원료작물로는 유채 외에 대두, 쌀(현미), 고구마 등을 포함하였다.

표 1-1. 농업부문 바이오매스 종류별 자원화 연구대상

|           |             | 바이오매스 종류            | 자원화 가능 분야                                   | 현재 단계                        | 연구대상             |
|-----------|-------------|---------------------|---------------------------------------------|------------------------------|------------------|
| 농<br>산    | 수<br>도<br>작 | 벼짚, 왕겨, 미강,<br>섶미 등 | - 왕겨숯 등 친환경자재<br>- 퇴비, 사료<br>- 가스화를 통한 열에너지 | 실용단계<br>실용단계<br>시험단계         | ●<br>●<br>X      |
|           | 과<br>수      | 전정가지                | - 톱밥<br>- 펠릿<br>- 가스화를 통한 열에너지              | 실용단계<br>실용단계<br>시험단계         | ●<br>●<br>X      |
| 축산        |             | 분뇨                  | - 퇴비·액비<br>- 가스화를 통한 열에너지<br>- 전기           | 실용단계<br>실용단계<br>시험단계         | ●<br>●<br>●      |
| 임산        |             | 폐잔재                 | - 톱밥<br>- 목재칩, 펠릿<br>- 가스화를 통한 열에너지<br>- 전기 | 실용단계<br>실용단계<br>시험단계<br>시험단계 | ●<br>●<br>X<br>X |
| 에너지<br>작물 | 유지계(유채 등)   |                     | - 바이오디젤                                     | 실용단계                         | ●                |
|           | 당질계(쌀 등)    |                     | - 바이오에탄올                                    | 시험단계                         | ●                |

보기: ●는 연구대상 포함, X는 연구대상에서 제외

농업부문 바이오매스를 이용한 자원화 연구대상은 현재 실용화 단계에 있는 제품과 에너지를 중심으로 하였다. 이에 따라 농산바이오매스는 퇴비와 사료, 축산바이오매스는 퇴비와 가스, 임산바이오매스는 목재칩과 펠릿 등 대체탄을 중심으로 하였다. 바이오에너지 원료작물을 이용한 에너지는 바이오디젤과 바이오에탄올 등 수송용 바이오연료를 중심으로 하였다.

### 3.2. 연구방법

농업부문에서 발생하는 바이오매스의 이용 동향을 파악하기 위해 현장 조사에 많은 시간을 할애하였다. 농업부문에서의 바이오에너지에 관한 연구는 흔치 않아서 국내외 기존 발표 자료를 지속적으로 입수하고자 노력하였고 해외 현지조사도 병행하였다.

우선 국내 현지조사에서는 바이오매스의 자원화 실태와 문제점 등을 파악하기 위해 미곡종합처리장(RPC), 퇴비공장, 목재가공업체, 농업공학연구소, 축산과학원, 산림과학원 등을 방문하여 조사하였다<sup>1</sup>. 아울러 국내 바이오에너지 개발동향을 파악하기 위해 바이오연료 제조업체를 조사하였다<sup>2</sup>. 해외 현지조사는 2007년 1월 스웨덴에서 개최된 OECD워크숍에 참석하여 바이오매스 관련 발표자료와 정보를 수집하고, 독일을 방문하여 바이오매스 이용 관련 사례와 자료를 수집하였다.

<sup>1</sup> RPC의 부산물 처리 실태를 파악하기 위해 농협RPC와 민간RPC, 농협지역본부 등을 방문 조사하였다. 또한 농산부산물 외에 가축분뇨, 산림부산물 등의 이용 실태를 파악하기 위해 유기질 퇴비를 생산하고 있는 업체들을 방문하여 원료 종류, 조달방법, 판매방법 등을 조사하였다. 산림바이오매스의 이용실태를 파악하기 위해 강원도에 소재한 목재가공업체와 충북 청원군의 실태를 조사하였다. 국립연구소는 부문별 바이오매스 관련 기초자료 수집을 위해 수차례 방문 조사 하였다.

<sup>2</sup> 국내 바이오디젤협회를 통해 바이오디젤 생산업체들의 원료조달 실태, 바이오에너지 정책에 대한 의향 등을 조사하였다. 17개 바이오디젤 업체 중 설문조사에 참여한 업체는 14개 회사이다.

농림업바이오매스 이용의 관건은 경제성 여부이다. 경제성 분석을 위한 분석기법은 바이오매스의 종류에 따라 손익분기분석, 비용편익분석, 민감도 분석을 시도하였다. 바이오매스별 자원화 방법이나 기술계수는 분야별 전문가에게 원고를 위탁하여 파악하였다. 분야별 원고위탁 내용은 <표 1-2>와 같다.

표 1-2. 바이오매스 이용 경제성 분석을 위한 원고위탁 내용

|    | 위탁내용                                                       | 원고<br>피위탁자 |
|----|------------------------------------------------------------|------------|
| 농산 | 벼짚의 곤포(베일사료) 이용, 유채줄기의 펠릿연료, 과수 전정가지의 톱밥이용에 따른 자원화방법과 기술계수 | 강금춘        |
| 축산 | 가축분뇨의 퇴비, 액비, 가스이용에 따른 방법과 기술계수                            | 윤영만        |
| 임산 | 임산부산물물의 목재칩, 펠릿 이용에 따른 방법과 기술계수                            | 김기원        |

연구 추진방향과 연구내용의 검토를 위해 1차년도와는 새롭게 분야별 전문가를 연구자문단으로 구성하여 총 4회의 간담회와 분야별 수시업무협의회를 개최하였다(표 1-3, 표 1-4).

표 1-3. 분야별 연구자문단 명단

| 분야      | 성명    | 소속              | 직위    |
|---------|-------|-----------------|-------|
| 농산바이오매스 | 이 상 은 | 한경대학교 식물생명환경과학부 | 교수    |
|         | 강 금 춘 | 농업공학연구소         | 연구사   |
| 축산바이오매스 | 박 치 호 | 축산과학원 자원화연구실    | 연구사   |
|         | 윤 영 만 | 한경대학교 바이오가스연구센터 | 교수    |
| 임산바이오매스 | 김 기 원 | 국민대학교 산림자원학과    | 교수    |
|         | 최 돈 하 | 산림과학원 임산공학부     | 과장    |
| 바이오에너지  | 배 정 환 | 에너지경제연구원        | 책임연구원 |
|         | 김 철 안 | 바이오디젤 협의회       | 사무국장  |
| 바이오매스정책 | 김 남 수 | 농림부 농생명산업정책과    | 과장    |
|         | 김 연 지 | 환경운동연합 에너지기후변화팀 | 부장    |

표 1-4. 2차년도 전문가 간담회 내역

|    | 일 자          | 간담회 내용                   |
|----|--------------|--------------------------|
| 1차 | 2007. 5. 30  | ○ 국내외 바이오매스 이용동향과 제약요인   |
| 2차 | 2007. 7. 4   | ○ 바이오매스 이용 경제성 분석 시 고려사항 |
| 3차 | 2007. 10. 4  | ○ 부문별 경제성 분석 결과 검토       |
| 4차 | 2007. 11. 13 | ○ 최종 연구결과 검토             |

## 5. 주요 연구내용과 보고서 구성

이 연구는 2006~2007년 2년에 걸쳐 수행한 연구원 기본과제로 금년이 최종년도이다. 1년차에서는 국내 농업부문 바이오매스 이용실태 파악과 문제점 발굴, 바이오매스 이용활성화를 위한 과제 도출 등이 시도되었다. 또한 바이오매스 이용 선진국들의 관련 제도와 정책 등을 소개하였다(표 1-5). 연구보고서 외에 연구 부속자료집을 2권 발행하였다<sup>3</sup>.

이와 같이 1차년도 연구는 바이오매스에 대한 개념과 중요성을 소개하고 기본적인 자료를 수집하여 정리한 것이다. 특히 일본, 유럽 등 소위 바이오매스 이용의 선진국들에 대한 바이오매스 이용 관련 제도와 정책을 소개한 점이 특징이라 할 수 있다. 그러나 국내 바이오매스 이용과 관련해서 분야별 이용실태 분석과 추진과제의 도출 등이 시도되었으나 현장에 바탕을 둔 심층적인 분석은 미흡한 것으로 평가된다.

<sup>3</sup> 1년차 연구보고서 명칭은 2년차와 마찬가지로 「농업부문 바이오매스의 이용활성화를 위한 정책방향과 전략(1/2차 연도)」이다. 참여연구진은 강창용 연구위원이 연구책임 및 국내외 바이오매스 정책분야를 담당하였고, 박현태 연구위원이 농산분야, 신용광 부연구위원이 축산분야, 민경택 전문연구원이 임산분야를 담당하였다. 또한 일본 오비히로대학교 사사키 교수와 독일의 괴팅겐대학교 퀴르스텐 박사가 협동연구자로 참여하여 일본과 독일의 바이오매스 이용실태와 정책을 담당하였다. 한편 자료집 I 은 「선진국 농업부문 바이오매스 이용활성화 정책 및 시사점」을 정리한 것이고, 자료집 II 는 「바이오매스 용어집」이다.

표 1-5. 1차년도 주요 연구내용

| 연구 분야                   | 주요 내용                                                                                   |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| ○ 바이오매스 이용의 사회·경제적 의의   | ○ 바이오매스의 개념과 분류, 바이오에너지 획득 방법, 이용조건 등을 정리<br>○ 기존 연구를 바탕으로 바이오매스 이용의 유효성을 사회경제적 측면에서 정리 |
| ○ 주요 선진국의 바이오매스 관련 정책   | ○ 영국의 바이오매스, 재생가능에너지 관련 정책<br>○ 독일의 바이오에너지 정책, 제도<br>○ 일본의 바이오매스 종합전략, 지원 제도 등          |
| ○ 우리나라 바이오매스 관련 주요 정책   | ○ 신·재생에너지 지원정책<br>○ 바이오매스 이용과 개발 촉진 계획                                                  |
| ○ 농업부문 바이오매스 이용실태와 과제   | ○ 농산, 축산, 임산 바이오매스의 종류와 이용형태<br>○ 분야별 이용실태와 문제<br>○ 이용활성화를 위한 과제                        |
| ○ 바이오매스 이용활성화를 위한 정책 과제 | ○ 국가차원, 농업부문별 추진과제                                                                      |

2년차에서는 국내외 바이오매스 이용 동향과 시사점에 대해 정리하고, 농림업 부문 바이오매스의 자원화에 따른 경제성 분석을 통해 우리나라 입장에서 바이오매스 이용방향과 전략 등을 제시하였다. 특히 최근 바이오에너지에 대한 개발이 세계적인 추세인 점을 고려하여 국내외 바이오에너지 개발동향과 우리의 방향, 바이오에너지 개발을 위한 원료작물에 대해 도입 가능성을 검토하였다. 2차년도 주요 연구내용은 다음과 같다.

제1장 서론에 이어 제2장에서는 바이오에너지의 이용 및 개발 동향과 과제에 대해 정리하였다. 여기서는 바이오매스와 바이오에너지에 대한 개념을 검토하고 미국, 브라질, EU 등의 바이오에너지 개발 및 정책 흐름을 파악하였다. 또한 우리나라의 바이오에너지 개발동향과 우리 실정에 부합하는 바이오에너지 개발을 위한 방향과 과제를 제시하였다.

제3장에서는 우리나라에서 도입 가능한 바이오에너지의 원료작물에 대해 검토하였다. 바이오디젤 원료작물 4종과 바이오에탄올 원료작물 4종을

중심으로 생산동향과 이용가능성 등을 검토하였다. 특히 바이오디젤 원료 작물인 유채와 대두, 바이오에탄올 원료작물인 쌀(현미)과 고구마에 대해서는 비용편익을 이용한 경제성 분석을 시도하였다. 이러한 검토와 분석을 통해 바이오에너지 원료작물 도입을 위한 방향과 과제를 제시하였다.

제4장에서 제6장까지는 각각 농산, 축산, 임산바이오매스의 이용활성화 방안에 대해 검토하였다. 각 분야별 바이오매스의 종류와 발생량을 정리하고 바이오매스 이용에 대한 실태파악을 통해 시사점을 도출하였다. 또한 바이오매스 이용에 따른 경제성을 분석하고 농촌현장에서 바이오매스 이용을 촉진하기 위한 과제와 전략을 제시하였다.

제7장에서는 제6장까지의 연구결과를 요약하고 결론을 유도하였다. 결론에서는 바이오매스의 이용활성화를 위한 농림업 부문 간 결합과 바이오에너지 개발을 위한 방향과 전략에 대해 종합적으로 언급하였다.

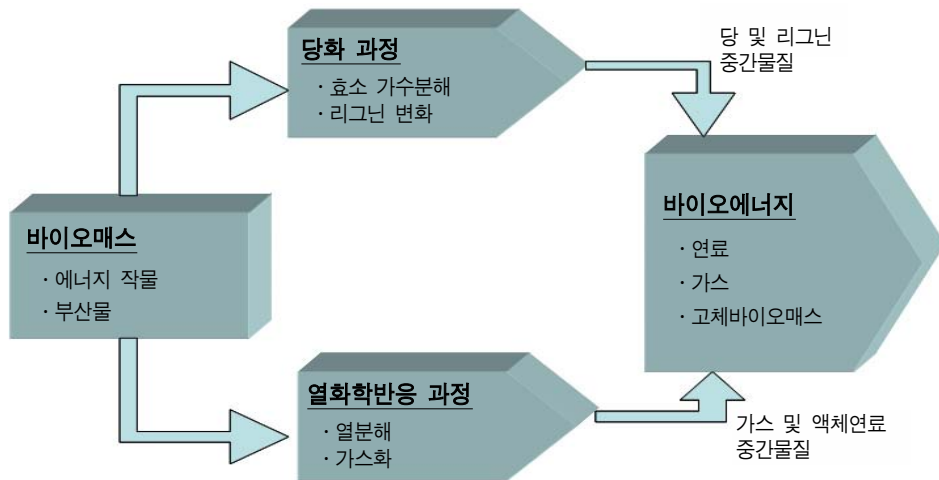
### 1. 바이오에너지의 개념과 특징

#### 1.1. 바이오매스와 바이오에너지

바이오매스란 재생 가능한 에너지원인 나무, 식물, 축분, 폐기물 등과 같은 생물로부터 생산되는 유기물을 일컫는다. 이러한 바이오매스는 연소, 가스화, 가수분해, 발효 등의 다양한 과정을 거쳐 바이오연료, 고체 바이오매스, 바이오가스 등의 바이오에너지로 변환된다.

<그림 2-1>은 바이오매스가 바이오에너지로 변환하는 과정을 보여주고 있다. 바이오매스 생산단계에서는 연료, 전력 등을 만들기 위해 에너지 작물이나 부산물을 생산하게 된다. 당화란 화학적·생물학적 과정으로 바이오매스를 당으로 분해하여 바이오연료를 생산하기 위한 중간물질을 만드는 과정이다. 이 과정에서 생산되는 부산물 역시 바이오에너지 생산을 위해 이용된다. 열화학반응은 바이오매스를 열화학오일 또는 합성가스로 만들기 위한 방법이며, 이 과정을 통해 만들어진 중간물질들은 직접 연료로 쓰이거나 추가적인 정제 과정을 거쳐 오일, 가솔린, 디젤, 천연가스 등과 대체할 수 있는 연료로 변환된다.

그림 2-1. 바이오매스의 바이오에너지 변환 과정



## 1.2. 바이오에너지의 종류 및 특성

바이오에너지는 상기한 바와 같이 바이오매스를 이용하여 만들어지는 지속가능한 에너지를 일컫는다. 바이오에너지에는 바이오가스, 매립지가스 (Land-Fill Gas: LFG), 바이오에탄올, 바이오디젤 등이 있으며, 차량 및 난방용 연료, 발전 부문 등에 이용된다.

바이오매스는 직접 에너지로 이용할 수도 있지만 다양한 모습으로 변환되어 이용되는 경우가 많다(그림 2-2). 목질계 바이오매스의 경우 직접 연소시키거나, 탄화시키거나, 열분해 과정을 거쳐 가스로 변환시킬 수 있다. 탄수화물이 많은 농산물이나 식품폐기물은 발효를 통해 에탄올로 만들 수 있으며, 분뇨나 슬러지 등 함수율이 높은 폐기물은 메탄발효를 통해 메탄가스를 만들 수 있다. 또한 유지작물을 이용하여 바이오디젤을 생산할 수 있다.

바이오에너지가 주목받는 가장 큰 이유는 재생가능하고, 저장성이 있으며, 탄소 중립적이어서 환경 친화적이고, 생성에너지의 형태가 다양하다는 장점 때문이다. 그러나 바이오매스 자원을 확보하는 데 어려움이 있고, 적용기술이 다양하며, 과도하게 이용할 경우 환경파괴의 가능성도 내포하고

있다는 단점도 있다(표 2-1).

그림 2-2. 바이오에너지 변환시스템

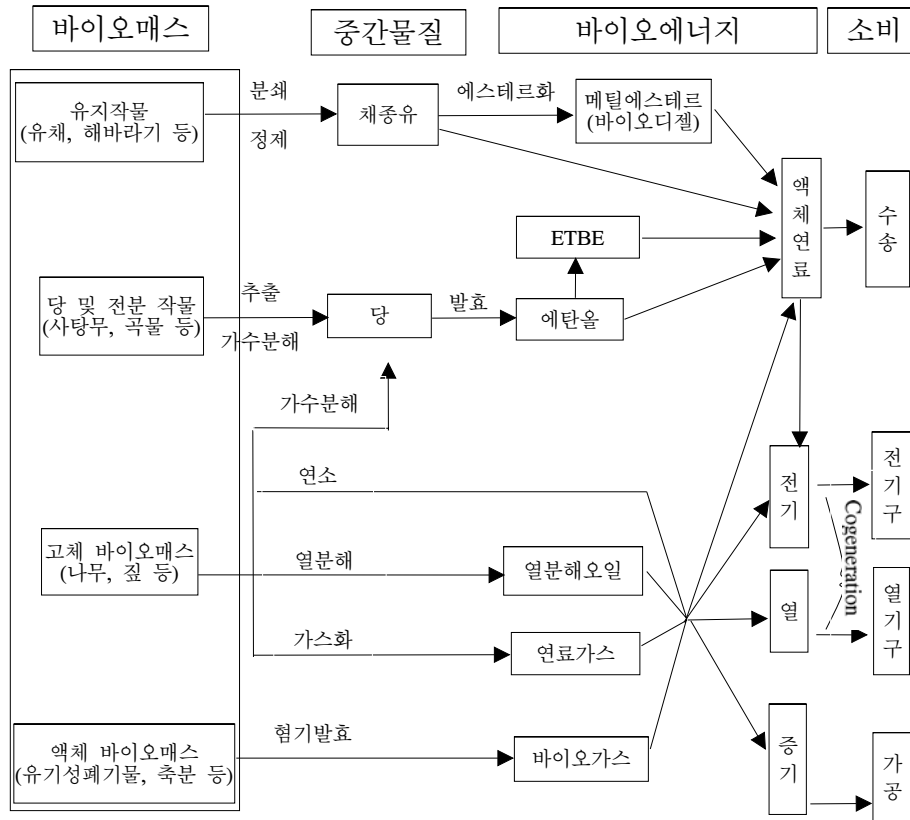


표 2-1. 바이오에너지 이용의 장단점

| 장점                                                                                                                                                                                                                                               | 단점                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- 풍부한 자원과 큰 파급효과</li> <li>- 환경 친화적 생산시스템</li> <li>- 환경오염의 저감(온실가스 등)</li> <li>- 생성에너지의 형태가 다양                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· 연료, 전력, 천연화학물 등</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자원의 산재(수집, 수송이 불편)</li> <li>- 다양한 자원에 따른 이용기술의 다양성과 개발의 어려움</li> <li>- 과도 이용시 환경파괴 가능성</li> <li>- 단위 공정의 대규모 설비 투자</li> </ul> |

자료: 에너지관리공단([http://racer.kemco.or.kr/html/main5\\_1\\_5.jsp](http://racer.kemco.or.kr/html/main5_1_5.jsp)).

바이오에너지는 액체, 고체, 기체의 형태로 이용되고 있는데, 화석 연료를 대체하기 위한 액체 연료의 중요성이 크게 부각되고 있다. 특히 고유가와 지구 온난화에 따른 환경문제 등으로 인해 수송용 연료를 중심으로 한 바이오에탄올과 바이오디젤의 상업화가 활발히 진행 중이다.

바이오에탄올은 당을 포함하거나 당으로 전환될 수 있는 녹말이나 섬유소를 포함한 바이오매스로부터 생산되며, 가솔린의 대체재로 사용할 수 있다. 미국은 주로 옥수수를 주원료로 이용하고, 브라질은 사탕수수, 유럽은 밀, 보리 등의 곡물과 사탕무를 주원료로 이용하고 있다(표 2-2).

바이오디젤은 동·식물성 기름을 에스테르화하여 생산하는데, 주원료로는 유채가 가장 널리 이용되고 있고, 해바라기, 대두, 야자 등의 식물성 기름과 폐식용유, 어류나 동물의 유지도 이용되고 있다. 바이오디젤은 경유의 대체재로 사용되는데, 경유에 비해 이산화탄소 배출 저감 등 환경 친화성이 뛰어난 것으로 알려져 있다.

셀룰로오스에탄올은 곡물이 아닌 나무, 풀, 지푸라기 등의 바이오매스를 이용하여 생산되는데, 당으로 전환하는 과정이 복잡하고 어려워 현재는 실험적으로 생산되고 있는 단계이다. 그러나 곡물을 이용하지 않기 때문에 현재 바이오에너지 생산으로 발생하는 대부분의 문제를 해결해 줄 수 있을 것으로 기대되는 차세대 연료(제2세대 바이오연료)라 할 수 있다.

표 2-2. 바이오연료의 종류별 특성

| 연료       | 재료                   | 장단점                                | 파급효과                         |
|----------|----------------------|------------------------------------|------------------------------|
| 바이오에탄올   | 사탕수수, 옥수수, 밀         | - 재생가능에너지<br>- 제조시 화석연료 사용에 대한 비난  | - 식량부족<br>- 사료, 계란, 육류 가격상승  |
| 바이오디젤    | 유채, 대두, 야자           | - 이산화탄소 배출 감축<br>- 산림파괴 논란         | - 식물성 기름값 급등<br>- 식품가격 상승    |
| 셀룰로오스에탄올 | 나뭇조각, 풀, 옥수수대, 농업폐기물 | - 환경, 윤리적 논란 없음<br>- 상용화에 최소 5년 소요 | - 석유대체<br>- 산림자원이 많은 국가 비교우위 |

자료: USDE. Energy Efficiency and Renewable Energy(<http://www1.eere.energy.gov>).

### 1.3. 바이오에너지 생산현황과 전망

2005년 현재 바이오연료 세계 총생산량은 연간 약 2천만toe로 전체 수송 연료의 약 1%를 차지하였다. 바이오에탄올이 1천 7백만toe로 바이오연료의 85% 이상을 차지하였고, 바이오디젤이 3백만toe를 차지하였다(표 2-3). 바이오에탄올은 브라질과 미국의 생산비중이 전체의 90%를 상회하였고, 바이오디젤은 EU의 생산 비중이 전체의 약 87%를 차지하였다.

표 2-3. 세계 바이오연료 생산현황(2005)

단위: 백만toe, %

|     | 바이오에탄올 |      | 바이오디젤 |      | 계     |      |
|-----|--------|------|-------|------|-------|------|
|     | 생산량    | 구성비  | 생산량   | 구성비  | 생산량   | 구성비  |
| 브라질 | 8.17   | 47.8 | 0.05  | 1.7  | 8.22  | 41.1 |
| 미국  | 7.50   | 43.9 | 0.22  | 7.5  | 7.72  | 38.6 |
| EU  | 0.48   | 2.8  | 2.53  | 86.9 | 3.01  | 15.1 |
| 중국  | 0.51   | 2.9  | -     | -    | 0.51  | 2.5  |
| 인도  | 0.15   | 0.8  | -     | -    | 0.15  | 0.7  |
| 세계  | 17.07  | 100  | 2.91  | 100  | 19.98 | 100  |

주: toe=석유환산톤(ton of oil equivalent)

자료: IEA(2006).

바이오연료가 원유를 일정 부분 대체할 것으로 예상됨에 따라 향후 바이오연료의 수요는 증가할 것으로 전망된다. 특히 원료 확보가 용이한 개발도상국을 중심으로 크게 증가할 것으로 보인다.

국제에너지기구(IEA)는 각국의 바이오연료 도입정책이 계획대로 추진될 경우 수송연료에서 차지하는 바이오연료의 비중은 현재 1% 수준에서 2015년에는 2~3%, 2030년에는 3~5%를 차지할 것으로 전망하였다. 또한 2004년부터 2030년까지 원유나 기타 연료의 연평균 증가율보다 바이오연료의 증가율이 훨씬 높을 것으로 전망하였다(표 2-4).

표 2-4. 세계 수송연료 시장 수요전망

단위: 백만toe, %

|       | 1990            | 2004            | 2015            |                 | 2030            |                 | 연평균증가율<br>(2004~2030) |     |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----|
|       |                 |                 | 시나리오            |                 | 시나리오            |                 | 시나리오                  |     |
|       |                 |                 | I               | II              | I               | II              | I                     | II  |
| 총수송연료 | 1,435<br>(100)  | 1,969<br>(100)  | 2,454<br>(100)  | 2,354<br>(100)  | 3,111<br>(100)  | 2,804<br>(100)  | 1.8                   | 1.4 |
| 원유    | 1,370<br>(95.5) | 1,861<br>(94.5) | 2,286<br>(93.1) | 2,166<br>(92.0) | 2,884<br>(92.7) | 2,520<br>(89.9) | 1.7                   | 1.2 |
| 바이오연료 | 6<br>(0.4)      | 15<br>(0.8)     | 54<br>(2.2)     | 73<br>(3.1)     | 92<br>(3.0)     | 147<br>(5.2)    | 7.1                   | 9.0 |
| 기타연료  | 59<br>(4.1)     | 93<br>(4.7)     | 114<br>(4.7)    | 115<br>(4.9)    | 135<br>(4.3)    | 138<br>(4.9)    | 1.4                   | 1.5 |

주1: ( )내는 총수송연료에 대한 구성비임.

주2: 시나리오 I 은 IEA가 2006년 중반까지 채택·시행되고 있는 각국의 에너지 관련 정책 및 조치들만을 반영하여 예측한 정태적 전망임. 시나리오 II는 에너지 위기와 지구 온난화 문제에 각국이 적극적으로 대처하고 대체에너지 활성화 노력에 동참한다는 가정을 바탕으로 한 동태적 전망임.

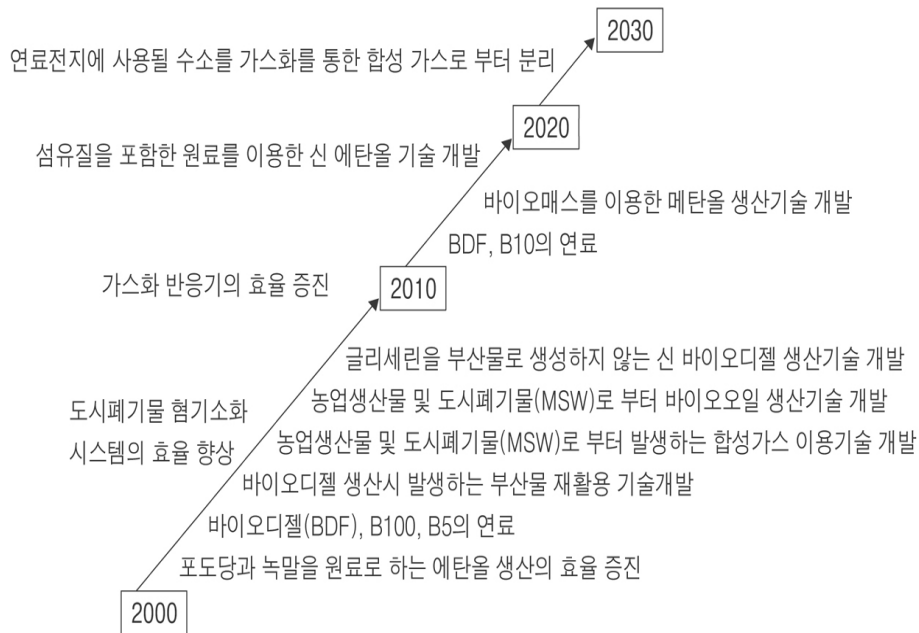
자료: IEA(2006).

#### 1.4. 바이오에너지의 연구개발 동향과 전망

바이오매스의 에너지 활용기술은 1974년 석유과동을 겪으면서 기존의 열에너지원 위주에서 신재생에너지로의 생산과 보급을 위한 기술개발이 추진되었다. 그러나 1980년대에는 저유가가 지속되었고 세계경제도 호황을 유지하였기 때문에 실용화에 소극적인 면을 보였다.

1990년대에는 지구온난화, 대기오염 등 환경문제가 범지구적 이슈가 되면서 청정 바이오에너지의 보급 필요성과 상용화 연구가 진행되기 시작하였다. 2000년대 들어 다시 고유가가 지속되고 온실가스 저감의 필요성 때문에 미국과 EU를 중심으로 바이오에탄올, 바이오디젤 등 바이오연료의 생산과 보급이 활발히 전개되고 있다.

그림 2-3. 2030년까지의 바이오에너지 기술개발 로드맵



자료: APEC(2006).

한편 APEC에서 전망한 2030년까지 바이오에너지 기술개발 로드맵에 따르면(그림 2-3), 2010년까지는 바이오디젤 생산과정에서 발생하는 각종 부산물을 재활용하는 기술과 오염 부산물을 이용한 기술개발이 이루어질 것으로 보고 있다. 또한 2020년까지는 바이오매스를 이용한 메탄올 및 셀룰로오스를 이용한 에탄올을 생산하는 기술이 개발되고, 2030년까지는 연료 전지용 수소를 합성가스로부터 생산하는 기술개발이 이루어질 것으로 전망하고 있다.

## 2. 주요 국가의 바이오에너지 개발 및 이용 동향

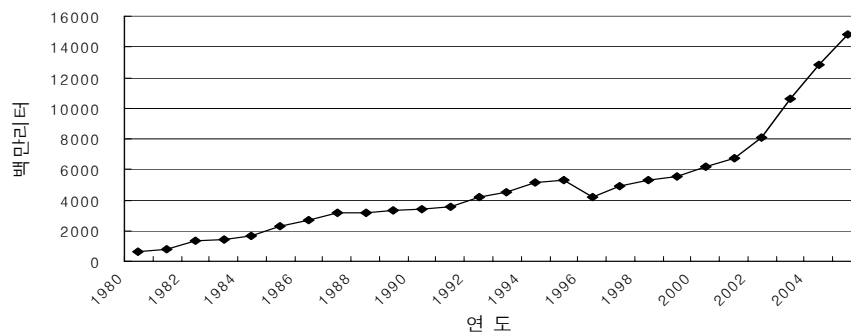
### 2.1. 미국

#### 2.1.1. 바이오에탄올

미국은 바이오연료 중에서도 바이오에탄올을 주로 이용하고 있으며, 브라질과 함께 2005년 전 세계 에탄올의 약 90%를 생산하였다. 연료용 바이오에탄올 생산량은 1980년부터 증가하기 시작하였으며 옥수수 공급이 부족했던 1995년, 1996년을 제외하면 지속적인 증가세를 유지하고 있다. 특히 2001년부터 가파르게 늘어난 것을 알 수 있다(그림 2-4).

미국의 에탄올 생산 공장 수는 1999년과 2006년 사이에 거의 2배로 늘어났다. 생산능력을 보면 1999년 50개 공장에서 17억 2백만 갤런<sup>4</sup>을 생산할 수 있었으나, 2006년에는 95개의 공장에서 43억 3,640만 갤런을 생산할 수 있게 되었다. 또한 총 17억 7,800만 갤런을 추가로 생산할 수 있는 공장 31개가 건설 중이다(표 2-5).

그림 2-4. 미국의 연료용 바이오에탄올 생산 추이



자료: RFA.

<sup>4</sup> 1 갤런=3.785리터

표 2-5. 바이오에탄올 생산시설 및 생산능력

|                      | 단위       | 1999    | 2002    | 2003    | 2004    | 2005    | 2006    | 연평균<br>증가율(%) |
|----------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------|
| 시설수                  | 개소       | 50      | 61      | 68      | 72      | 81      | 95      | 9.6           |
| 에탄올<br>생산능력          | 백만<br>갤런 | 1,701.7 | 2,347.3 | 2,706.8 | 3,100.8 | 3,643.7 | 4,336.4 | 14.3          |
| 건설중인<br>시설수          | 개소       | 5       | 13      | 11      | 15      | 16      | 31      | -             |
| 에탄올<br>생산능력<br>(건설중) | 백만<br>갤런 | 77      | 390.7   | 483     | 598     | 754     | 1,778   | -             |

주: 각 연도의 1월 기준  
자료: RFA.

바이오에탄올은 다양한 원료로부터 생산되지만 미국에서는 대부분 옥수수를 이용하는 것으로 알려져 있다. 옥수수만을 원료로 이용하는 시설이 85개소로 전체의 83%를 차지하며, 이들 시설의 연간생산량은 45억 1,600만 갤런으로 전체 생산량의 92.7%를 차지하는 것으로 나타났다. 양조찌꺼기와 같은 음료찌꺼기, 치즈유장<sup>5</sup> 등이 에탄올 원료로 사용되기도 하지만 생산량은 극히 일부에 지나지 않는다(표 2-6).

표 2-6. 원료 작물별 바이오에탄올 생산현황(2006)

| 단위: 백만 갤런, %, 개소 |       |       |     |        |
|------------------|-------|-------|-----|--------|
| 원료               | 연간생산량 | 생산량비율 | 시설수 | 시설수 비율 |
| 옥수수              | 4,516 | 92.7  | 85  | 83.3   |
| 옥수수/수수           | 162   | 3.3   | 5   | 4.9    |
| 옥수수/밀            | 90    | 1.8   | 2   | 2.0    |
| 옥수수/보리           | 40    | 0.8   | 1   | 1.0    |
| 수수/밀             | 40    | 0.8   | 1   | 1.0    |
| 음료찌꺼기            | 16    | 0.3   | 5   | 4.9    |
| 치즈유장             | 8     | 0.2   | 2   | 2.0    |
| 당/전분             | 2     | 0.0   | 1   | 1.0    |
| 합 계              | 4,872 | 100   | 102 | 100    |

주: 음료찌꺼기에는 양조찌꺼기 포함.  
자료: USDE(2006a).

<sup>5</sup> 치즈를 만들 때 우유가 응고한 뒤 분리되는 액체를 의미한다.

## 2.1.2. 주요정책

미국의 대표적인 바이오에너지인 에탄올에 대한 지원 법안은 아래의 <표 2-7>에 나타난 바와 같다.

### 가. 소비세 감면

미국의 에탄올 생산을 위한 토대는 1978년 에너지세법에서 세금감면의 내용을 개정하면서 갖추어졌다고 할 수 있다. 100% 에탄올(E100)에 대해 갤런 당 40센트(0.106달러/리터) 소비세 감면혜택을 부여하였으며, 10% 에탄올이 함유된 가솔린(E10, gasohol)에 대해서는 4센트의 감면혜택을 부여

표 2-7. 에탄올 지원을 위한 법안

| 연도   | 법 안                                               | 내 용                                                        |
|------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1978 | Energy Tax Act                                    | 에탄올 소비세 감면 0.40달러/갤런(0.106달러/리터), 가솔린(E10) 소비세 0.04달러/갤런   |
| 1982 | Surface Transportation Assistance Act             | 에탄올 세금감면 0.50달러/갤런, 가솔린 소비세 0.09달러/갤런으로 조정                 |
| 1984 | Tax Reform Act                                    | 에탄올 세금감면 0.60달러/갤런                                         |
| 1990 | Omnibus Budget Reconciliation Act                 | 에탄올 세금감면 0.54달러/갤런으로 인하하고 적용기간 2000년까지 연장                  |
| 1992 | Energy Policy Act                                 | E85 사용차량에 대한 세금 감면                                         |
| 1998 | Transportation Efficiency Act of the 21st Century | 에탄올 세금감면 적용기간 2007년까지 연장하되 2005년까지 0.51달러/갤런으로 인하          |
| 2004 | Jobs Creation Act                                 | 소비세 감면에서 생산자에 대한 세액공제로 전환하고 2010년까지 연장 적용                  |
| 2005 | Energy Policy Act                                 | 재생연료 생산기준 설정. 2006년 40억 갤런을 시작으로 2012년까지 75억 갤런(284억 리터)도달 |

자료: North Dakota Chamber of Commerce.

하였다. 이후 1982년 육상운송지원법(Surface Transportation Assistance Act)에서 에탄올에 대한 소비세 감세혜택이 갤런당 50센트로 인상되었으며, 1984년 세금개혁법을 통해 갤런당 60센트로 다시 인상되었다. 따라서 1978년부터 현재까지 에탄올에 대한 감면혜택은 갤런당 40~60센트를 유지하고 있어 원유가격 변화에 비해 상대적으로 고정되어 있는 것을 알 수 있다.

#### 나. 생산자 지원

에너지안보법(The Energy Security Act of 1980)에 따라 에탄올 생산자에 대한 지원이 허용되었는데 그 내용을 보면 생산능력이 1백만 갤런 이하인 시설에 대해 건설비용의 90%, 또는 연간 1백만 달러 미만의 융자를 지원하는 것으로 되어 있다. 또한 원유초과이익세법(The Crude Oil Windfall Profits Tax Act (1980))은 알코올을 혼합하는 생산자 또는 판매자에 대해 세금공제 혜택을 부여하였다. 포괄조정법(The Omnibus Reconciliation Act (1980))은 소규모 생산자에 대한 세액 공제혜택을 부여하였는데 매년 초기 1,500만 갤런(공장 당 150만 갤런)에 대해 갤런당 10센트의 공제혜택을 주었고, 2005년 에너지정책법(Energy Policy Act)에서 6,000만 갤런으로 상향 조정되었다.

#### 다. 관세

에탄올 산업보호를 위해 포괄조정법(1980)에서는 수입 에탄올에 부과하는 종가세 이외에 2차 관세인 갤런당 50센트의 종량세 부과를 허용하였다. 또한 1984년 재정적자감축법(Deficit Reduction Act)을 통해 관세를 60센트로 인상하였다.

#### 라. 소비촉진 정책

바이오에탄올 소비촉진을 위해 최종 이용시설의 보급을 확대하게 되는

데, 자동차대체연료법(The Alternative Motor Fuels Act (1988))을 통해 E85를 포함한 대체에너지자동차 품질규격을 충족하는 생산자에 대해 세금 공제혜택을 부여하였다.

#### 마. 친환경 정책

1990년 대기정화수정조항(Clean Air Act Amendments)은 일산화탄소 발생량을 저감하기 위한 노력으로 산소첨가제 사용을 의무화하였는데, 석유 산업에서 옥탄가 향상을 위해 이미 사용되고 있던 MTBE(methyl tertiary-butyl ether)는 지하수 오염 등 환경문제를 야기하였다. 따라서 미국 환경보호국(Environmental Protection Agency)은 1994년 산소첨가제의 30%를 재생에너지로 대체해야한다고 재생산화제규정(Renewable Oxygenate Rule)에 명시하였고, 1999년 캘리포니아를 필두로 MTBE의 사용을 금지하였다. 2006년 1월 현재 25개주에서 사용을 금지하였다.

#### 바. R&D

1978년부터 1998년까지 연간 기술개발 투자액은 약 5천만~1억 달러 수준이다. 개발 초기에 에너지부(Department of Energy)의 직접 연구개발 투자액은 1,500만 달러에 불과하였으며, 연방정부는 새로운 에너지 작물 및 재배법에 대한 개발을 시작하였다. 바이오연료에 대한 연구개발 투자는 최근들어 늘어나기 시작하였다.

### 2.1.3. 바이오디젤

미국의 바이오디젤 생산량은 바이오에탄올에 비해 매우 적어 2004년 약 10만 톤, 2005년 30만 톤, 2006년 60만 톤을 생산한 것으로 나타났다.

바이오디젤에 대한 정책은 1998년 보전재공인법(Conservation Reauthorization Act)을 통해 본격적으로 시작되었는데, 이 법안은 바이오디젤 사용

크레디트를 포함하는 것으로 450갤런의 바이오디젤 소비에 대해 1크레디트를 부여하는 것이다. 또한 미국고용창출법(American Jobs Creation Act (2004))을 통하여 바이오디젤에 대한 세금혜택이 처음으로 주어졌는데, 새로운 식물기름 또는 동물성 지방으로 만들어진 바이오디젤의 경우 갤런당 1달러, 폐유로 만들 경우 0.5달러의 세액공제를 받는 내용으로 되어 있다. 2005년 들어서는 에탄올에서와 같이 소규모 생산자만을 위한 세액 공제를 추가로 실시하게 되었다.

## 2.2. 유럽연합(EU)

### 2.2.1. 바이오디젤

EU의 2005년 바이오연료 생산량은 390만 톤(바이오디젤 318만 톤, 바이오에탄올 72만 톤)으로 2000년에 비해 312% 증가하였으며, 연평균 32.8%의 증가율을 보였다(표 2-8).

표 2-8. 연도별 EU 바이오연료 생산추이

단위: 천 톤, %

|             | 2000 | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 연평균<br>성장률 |
|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| 합계          | 947  | 1,071 | 1,383 | 1,869 | 2,356 | 3,905 | 32.8       |
| 바이오<br>디젤   | 715  | 803   | 1,000 | 1,445 | 1,933 | 3,184 | 34.8       |
| 바이오<br>에탄올  | 234  | 268   | 383   | 424   | 423   | 721   | 25.5       |
| 바이오<br>디젤비중 | 75.5 | 74.9  | 72.3  | 77.3  | 82.1  | 81.5  | -          |

자료: EC(2006a).

바이오디젤은 2005년 EU 바이오연료 생산량 가운데 가장 높은 비중(81.5%)을 차지하였다. 유럽바이오디젤위원회(European Biodiesel Board)에 따르면 2005년 생산량이 318만 톤으로 2004년 생산량 보다 125만 톤 증가하여 64.7% 늘어났다. 2000년부터 2005년까지 생산량 연평균 증가율은 34.8%로 바이오에탄올보다 높게 나타났다. 2005년 바이오연료에서 바이오디젤이 차지하는 비중도 2000년에 비해 6%포인트 높은 것으로 나타났다.

주요 회원국의 2005년 바이오디젤 생산 현황을 보면(표 2-9), 독일이 167만 톤으로 가장 많이 생산하였다. 이 양은 2004년에 비해 61% 증가한 것으로, EU 전체 생산량의 52.4%에 해당된다. 독일의 생산량 증가는 바이오연료에 대한 세금면제를 보장하는 법률 때문이었던 것으로 고려된다. 그러나 2006년부터 바이오디젤에 대한 세금을 부과하기 시작하였으므로 생산량 증가율이 감소할 것으로 예상된다.

이 밖에 프랑스 49만 2천 톤, 이탈리아 39만 6천 톤을 생산한 것으로 나타났다. 프랑스는 2001년 이후 지속적으로 바이오디젤 생산량이 감소하였으나 2005년 들어 다시 증가하였으며, 바이오연료에 관한 EU 지령(European Directive)의 목표를 2008년까지 달성하고<sup>6</sup>, 2010년까지 7%, 2015년까지 10% 혼합비율 달성을 목표로 한 야심찬 바이오연료 공급계획을 마련하였다. 이를 위해 바이오디젤과 바이오에탄올에 대한 세금을 인하하고, 석유 및 디젤 판매에 대한 환경세를 지속적으로 인상하여 2010년까지 7%를 적용할 계획이다.

EU의 바이오디젤 생산능력은 2006년 6백만 톤으로 전년에 비해 43.5% 증가한 것으로 나타났다. 독일의 생산능력 증가량이 약 77만 8천 톤으로 EU 전체 생산능력 증가의 42.3%를 차지하였다. 영국의 생산능력 증가량은 31만 6천 톤으로 전체의 17.2%, 프랑스는 13.2%를 차지하였다. 이러한 현상은 독일, 영국, 프랑스를 중심으로 바이오디젤 생산을 위한 투자가 집중되고 있음을 시사하고 있다(표 2-10).

<sup>6</sup> 2010년까지 바이오연료 사용량을 5.75%까지 늘릴 예정이다.

표 2-9. EU 회원국의 바이오디젤 생산현황

단위: 천 톤, %

|      | 2004         | 2005        | 증가율   |
|------|--------------|-------------|-------|
| EU   | 1,933.4(100) | 3,184(100)  | 64.7  |
| 프랑스  | 348 (18.0)   | 492(15.5)   | 41.4  |
| 스웨덴  | 1.4(0.1)     | 1(-)        | -28.6 |
| 독일   | 1,035(53.5)  | 1,669(52.4) | 61.3  |
| 영국   | 0.9(-)       | 51(1.6)     | 466.7 |
| 이탈리아 | 320(16.6)    | 396(12.4)   | 23.8  |
| 폴란드  | 0(-)         | 100(3.1)    | -     |
| 체코   | 60(3.1)      | 133(4.2)    | 121.7 |

주: ( )는 EU 전체 생산량에 대한 비중임.  
 자료: EC(2006a).

표 2-10. EU 회원국의 바이오디젤 생산능력

단위: 천 톤, %

|      | 2005  | 2006  | 증가량   | EU증가량대비<br>국가별 증가량비율 |
|------|-------|-------|-------|----------------------|
| EU   | 4,228 | 6,069 | 1,841 | 100                  |
| 프랑스  | 532   | 775   | 243   | 13.2                 |
| 스웨덴  | 12    | 52    | 40    | 2.2                  |
| 독일   | 1,903 | 2,681 | 778   | 42.3                 |
| 영국   | 129   | 445   | 316   | 17.2                 |
| 이탈리아 | 827   | 857   | 30    | 1.6                  |
| 체코   | 188   | 203   | 15    | 0.8                  |

자료: EC(2006a).

## 2.2.2. 바이오에탄올

2005년 전체 바이오연료 생산량에 대한 바이오에탄올의 비중은 18.5%에 불과하였다. EU 회원국의 생산현황을 보면(표 2-11), 스페인이 가장 많은 24만 톤을 기록하였으며, 스웨덴이 13만 톤으로 두 번째를 기록하였다.

표 2-11. EU 회원국의 바이오에탄올 생산현황

단위: 천 톤, %

|     | 2004        | 2005         | 증가율   |
|-----|-------------|--------------|-------|
| EU  | 422.8(100)  | 720.9(100)   | 70.8  |
| 프랑스 | 80.9(19.1)  | 99.78(13.8)  | 23.4  |
| 스웨덴 | 56.5(13.4)  | 130.16(18.1) | 130.3 |
| 독일  | 20.0(4.7)   | 120(16.7)    | 500.0 |
| 핀란드 | 3.8(0.1)    | 36.8(5.1)    | 876.6 |
| 체코  | -           | 1.12(0.2)    | -     |
| 스페인 | 202.4(47.9) | 240(33.3)    | 18.6  |

주: ( )는 EU 전체 생산량에 대한 비중임.

자료: EC(2006a).

### 2.2.3. 주요정책

바이오연료 산업 활성화와 소비촉진을 위한 대표적인 정책으로 세금면제와 원료작물 생산자에 대한 보조를 들 수 있다.

세금 관련정책은 EC의 실행영역이 아니므로 EU 회원국은 각기 다른 세금을 적용하고 있는데, 바이오연료에 부과하는 세금은 0~45%로 국가별로 매우 다양하다. 스페인과 스웨덴의 경우 바이오연료에 대한 소비세를 면제하고 있다. 독일은 최근까지 바이오연료에 대해 면세정책을 실시하였으나, 2007년 1월 1일부로 의무할당제를 도입하면서 초과 판매량에 대해서만 면세혜택을 부여하는 등 세금에 대한 면세혜택을 점진적으로 줄이고 있는 실정이다. 프랑스, 아일랜드, 이탈리아, 네덜란드 등은 제한된 양에 대해서만 세금혜택을 적용하고 있다.

바이오에너지의 원료에 대해서도 보조하고 있는데, 2003년 공동농업정책을 개정하면서 헥타르당 45유로에 해당하는 에너지작물에 대한 지원(Energy Crop Payment)을 새롭게 도입하였다. 이 정책은 전통적인 식용작물 재배지에 연료작물 재배를 유도하기 위해 고안된 것으로, 휴경지에는 적용되지 않으며, 최대 2백만 헥타르로 제한하여 9천만 유로를 최대 지원

액으로 정하였다. 그러나 바이오연료의 원료로 이용되는 작물은 식용작물에 대한 지원 대상에 해당하므로 이중 지원을 받는 결과를 초래하게 되어 2005년에 단일지급방식(Single farm payment system)을 만들어 지원을 통합하였다.

## 2.3. 브라질

### 2.3.1. 바이오에탄올

브라질은 세계에서 바이오에탄올을 가장 많이 생산하는 국가 중 하나로 2004년까지 세계 제일의 에탄올 생산국이었으나 2005년부터 미국의 생산량이 브라질을 앞서기 시작하였다. 하지만 여전히 전 세계 에탄올 생산량의 30% 이상을 차지하는 주요 생산국 위치에 있다(표 2-12).

바이오에탄올 소비에서도 2005년 자동차 연료소비량의 15%, 승용차 연료의 40%를 점유한 것으로 나타났다.

브라질은 바이오에탄올에 비해 저조한 성장을 보이던 바이오디젤의 활성화를 위해 2005년에 지침을 마련하였다. 그 내용은 2008년부터 혼합을 2%를 시작으로 2013년까지 5%를 달성하는 것이다.

표 2-12. 브라질 에탄올 생산현황

단위: 백만 리터, %

|        | 2004   | 2005   | 2006   |
|--------|--------|--------|--------|
| 브라질    | 15,100 | 16,000 | 17,000 |
| 세계     | 40,768 | 45,991 | 51,060 |
| 브라질 비중 | 37.0   | 34.8   | 33.3   |

자료: RFA.

### 2.3.2. 주요정책

1차 오일쇼크 이후 석유 의존도를 낮추기 위한 정부의 적극적인 육성정책에 힘입어 에탄올산업이 발달하기 시작하였다. 1975년부터 에탄올 혼합사용을 의무화하고, 기술개발에 대한 지원, 보조금 지급, 세금감면 등을 주요 내용으로 하는 에탄올산업 육성프로그램(Proalcool)을 추진하였다. 그 결과 세계에서 가장 빨리 에탄올 상용화에 성공하였다.

1980년대 들어 국제유가 안정과 설탕가격 상승으로 에탄올에 대한 정부지원이 중단되었으나, 2000년대 들어 고유가가 지속되면서 정부지원이 재개되었다. 그 내용은 에탄올연료 사용 승용차에 대한 공업제품세 감면, 에탄올 생산자에 대한 금융지원 등이다. 또한 차량연료 에탄올 혼합을 20~25%를 의무화하였다.

2005년에 국가에너지계획을 수립하여 에탄올산업 육성방안을 마련하였고, 2007년에는 경제성장 촉진 프로그램을 통해 2010년까지 4년간 60억 달러를 투자할 계획인 것으로 알려져 있다.

## 2.4. 주요 국가의 바이오에너지 이용 동향에 대한 시사점

바이오매스의 에너지 이용활성화를 위한 국가들의 노력은 크게 생산에 대한 세금감면, 배출가스 규제, 녹색가격제도(Green price system), 생태세(Eco-tax), 화석연료부담금(Fossil fuel levy(tax)), 재생에너지 의무할당구입제(RPS), 발전차액제도(Feed-in tariff), 재생가능에너지 인증제(Renewable certificate), 기후변화부담금(Climate Change Levy), 표준기준, 각종 정부의 지원 등으로 대표될 수 있다<sup>7</sup>. 이들 제도와 정책 등은 바이오매스 에너지의 개발, 이용과 활용에 직간접적인 영향을 미친다.

<sup>7</sup> 이들 바이오에너지 관련 제도와 정책은 1년차 연구보고서와 자료집 I (선진국 농업부문 바이오매스 이용활성화 정책과 시사)을 참조하였다.

바이오에너지 산업의 활성화는 정부의 의지에 따라 그 정도가 달라질 수 있다. 예를 들면 바이오연료의 중요성이 날로 높아지고 있는 가운데 산업의 활성화를 위해 독일, 스페인, 스웨덴 등은 세금혜택을 적용하고 있다. 이러한 정책은 바이오연료 개발에 따라 농업의 활로를 모색하고 직업창출의 기회를 이용할 수 있는 농업 대국의 경우 매우 유리하다. 그러나 세금수입의 감소를 유발하는 효과가 있어 연료에 대한 세금수입이 큰 비중을 차지하는 경우에는 목표 달성을 위한 투자를 연기하는 사태가 발생하게 될 것이다. 따라서 상당수 EU 회원국이 바이오연료에 관한 목표 혼합비율 5.75%를 달성하지 못할 것으로 예상된다. 그러므로 우리나라의 경우에도 농업활로의 이익과 세금감면 등에 따른 비용을 정확하게 고려하여 바이오매스 에너지 개발의 타당성을 판단해야 할 것이다.

주요 국가의 원료별 에너지 생산현황을 보면, 핀란드와 스웨덴의 경우 바이오에너지 비중이 가장 높다. 반면 화석연료에 대한 의존도가 높은 미국이나 영국의 경우에는 전체 에너지 생산량에서 바이오에너지가 차지하는 비중이 매우 낮은 것으로 나타났다(표 2-13).

표 2-13. 주요 국가의 원료별 에너지 생산비중(2005)

단위: %

|     | 화석연료 | 수력   | 핵    | 바이오매스 및 기타 |     |
|-----|------|------|------|------------|-----|
|     |      |      |      | 바이오매스      | 기타  |
| 세계  | 86.6 | 6.2  | 6.2  | 0.9        |     |
| 미국  | 79.4 | 3.9  | 11.8 | 4.1        | 0.9 |
| 독일  | 55.8 | 1.3  | 31.6 | 9.2        | 2.1 |
| 프랑스 | 1.5  | 3.3  | 86.1 | 8.8        | 0.2 |
| 스웨덴 | 0.9  | 18.2 | 54.4 | 26.3       | 0.3 |
| 핀란드 | 13.1 | 7.3  | 37.0 | 42.4       | 0.1 |
| 영국  | 87.8 | 0.2  | 10.5 | 1.3        | 0.1 |

주: 세계 자료는 2004년을 기준으로 하였으며, 국가별 자료는 2005년 기준  
자료: USDE(2006b).

이와 같이 바이오에너지 생산을 위한 국가별 노력은 해당 국가의 부존자원과 밀접하게 연관되어 있다. 목재자원이 풍부하여 관련 산업이 발달한 스웨덴과 핀란드는 다른 EU 회원국들과 달리 목재 및 펄프 제지 공정에서 발생하는 바이오매스를 에너지 생산에 많이 이용하고 있다. 또한 바이오디젤보다 목재를 이용하여 생산하는 셀룰로오스에탄올 시설에 적극적으로 투자하고 있는 것으로 알려져 있다.

### 3. 우리나라 바이오에너지 개발 동향

#### 3.1. 바이오매스 부존 및 바이오에너지 보급 현황

국내 바이오매스 부존 자원량은 연간 약 1,128만toe이며, 현재 기술로 에너지 이용이 가능한 자원은 부존량의 약 20%에 해당하는 231만 6천toe 이다. 이는 2000년도 전체 에너지 소비량의 1.3% 정도인 것으로 나타났으며, 2002년 기준 석유의 수입비용(세금부과 전 석유제품 가격으로 추산)으로 환산하면 8,107억 원에 이른다(표 2-14).

부존 및 가용 자원량을 볼 때, 에너지 공급측면에서 미래의 이용 가능성이 높은 자원은 임산자원, 농업부산물, 폐기물 중 폐지, 폐목재 등을 들 수 있다. 가축분뇨, 슬러지 등은 혐기소화 처리의 부산물로 바이오가스를 생산하는 데 이용된다.

실제 국내에 보급된 바이오에너지는 유기성 폐기물 혐기소화에 의한 메탄 생산 및 이용, 성형탄, LFG 이용 발전과 바이오연료인 바이오디젤정도이다. 2006년 7월부터 바이오디젤을 혼합한 BD5, BD20이 보급되기 시작하였고 바이오에탄올은 실증평가가 진행 중이다<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> BD5는 경유에 대한 바이오디젤 혼합비율이 5%인 것을 의미하고, BD20은 혼합비율이 20%인 것을 의미한다.

표 2-14. 우리나라 바이오매스 부존 및 가용 자원량

단위: 천 톤/년, 천toe/년, 억 원

|                      | 부존자원   |        | 가용자원   |       |       | 산출근거                 |
|----------------------|--------|--------|--------|-------|-------|----------------------|
|                      | 습증량    | 에너지    | 습증량    | 에너지   | 대체효과  |                      |
| 임산자원 <sup>1</sup>    | 12,000 | 5,100  | 2,000  | 850   | 2,975 | 부존: 임목축적<br>가용: 실제생산 |
| 농업부산물 <sup>1</sup>   | 11,850 | 4,000  | 3,000  | 1,050 | 3,675 | 1991년 실사결과           |
| 음식쓰레기 <sup>2</sup>   | 4,300  | 170    | 1,300  | 51    | 179   | 부존자원의 30%            |
| 폐지, 폐목재 <sup>2</sup> | 5,400  | 1,080  | 1,600  | 320   | 1,120 | 부존자원의 30%            |
| 축산분뇨 <sup>2</sup>    | 46,840 | 900    | 1,560  | 30    | 105   | 1/30정도 처리            |
| 슬러지 <sup>3</sup>     | 1,690  | 30     | 850    | 15    | 53    | 부존자원의 50%            |
| 계                    | 82,080 | 11,280 | 10,310 | 2,316 | 8,107 | 부존자원의<br>20.5%       |

주1: 홍종준 외(1991).

주2: 이용운 편(1999).

주3: 이호태(1998).

자료: 산업자원부(2006), KISTI(2002).

표 2-15. 신·재생 에너지 보급목표

단위: 천toe, %

|      | 총에너지수요  | 신재생에너지 공급 |       |       |        | 신재생<br>에너지 비중 |
|------|---------|-----------|-------|-------|--------|---------------|
|      |         | 폐기물       | 바이오   | 기타    | 계      |               |
| 2005 | 230,949 | 4,350     | 436   | 220   | 5,006  | 2.2           |
| 2006 | 237,589 | 5,050     | 495   | 374   | 5,919  | 2.5           |
| 2007 | 243,664 | 5,630     | 737   | 606   | 6,973  | 2.9           |
| 2008 | 250,486 | 6,150     | 768   | 1,020 | 7,938  | 3.2           |
| 2009 | 257,513 | 6,870     | 801   | 1,496 | 9,167  | 3.6           |
| 2010 | 263,555 | 7,110     | 833   | 2,281 | 10,224 | 3.9           |
| 2011 | 269,323 | 7,540     | 1,050 | 3,532 | 12,122 | 4.5           |
| 2012 | 274,978 | 8,930     | 1,082 | 4,252 | 14,264 | 5.2           |

주: 기타는 태양열, 태양광, 풍력, 소수력, IGCC, 연료전지, 해양, 지열 등임.

자료: 산업자원부(2006).

바이오에너지를 포함한 신재생에너지가 우리나라 총에너지 소비에서 차지하는 비중은 매우 미미한 편이다. 그러나 정부는 신재생에너지의 보급을 2005년 총에너지 수요의 2.2%에서 2012년 5.2%로 늘릴 계획이다. 신재생에너지의 2012년 구성비 계획을 살펴보면 폐기물이 63%를 차지하고, 바이오에너지 8%, 기타가 29%이다(표 2-15).

바이오에너지원별 보급 계획을 보면(표 2-16), 수송용으로 바이오디젤과 바이오에탄올을 보급하고, 발전용으로는 LFG, 메탄가스 이용설비의 보급을 촉진하는 것으로 되어 있다. 따라서 바이오에너지는 연료와 전력의 이원화된 시장수요가 창출될 것으로 전망된다.

표 2-16. 2011년 바이오에너지원별 보급계획

|       | 공급량(천toe) | 비중(%) |
|-------|-----------|-------|
| 대체탄   | 67,000    | 6.4   |
| 메탄가스  | 60,000    | 5.7   |
| LFG   | 371,000   | 35.2  |
| 바이오연료 | 555,000   | 52.7  |

자료: 대한무역투자진흥공사(2007).

### 3.2. 국내 바이오에너지 도입 현황

국내 바이오에너지 중 바이오에탄올의 경우 2006년 25억 원의 예산으로 실증평가를 실시하고, 2008년부터 도입을 위한 검토 작업에 들어갈 계획인 것으로 알려져 있다(강희찬, 2006). 바이오디젤의 경우는 2002년 5월부터 2006년 6월까지 4년간 시범사업을 거쳐 2006년 7월부터 전국적으로 보급함으로써 상용화된 상태이다(표 2-17).

현재 바이오디젤은 BD5와 BD20이 보급되었는데, BD5의 경우 정유사와 바이오디젤 업체 간 자율적 협약에 의해 2006년 7월부터 2008년 6월까지 2년간 연간 9만kl를 전국의 모든 주유소를 통해 공급하도록 되어 있다. 바

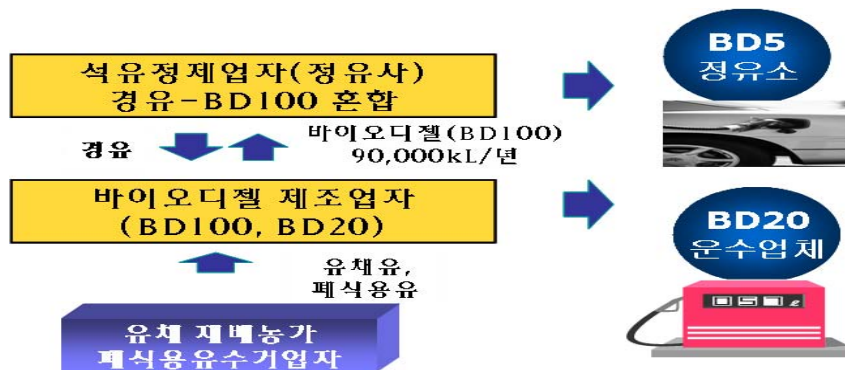
이오디젤 공급규모인 연간 9만kl는 우리나라 수송용 경유량의 0.5%에 해당하는 것으로 시중 주유소에서 판매하는 경유에는 바이오디젤이 0.5% 포함되어 있다. 즉 정유사는 바이오디젤 업체로부터 BD100을 납품받아서 경유와 혼합하여 판매하게 되는데 이때 바이오디젤의 혼합비율이 0.5%이다.

표 2-17. 바이오 연료 도입 연혁

|         | 시기      | 내용                                                                        |
|---------|---------|---------------------------------------------------------------------------|
| 바이오디젤   | 2002.5  | 수도권과 전북 지역 73개 주유소를 대상으로 2년간 BD20의 판매를 허용하는 시범보급사업착수                      |
|         | 2004.10 | ‘석유 및 석유대체연료사업법’을 개정하여 바이오 연료 보급을 위한 기반 정비                                |
|         | 2006.7  | 바이오 디젤 BD5, BD20의 전국 보급 개시, 2008년 6월까지 바이오디젤 9만kl(연간)를 경유에 혼합해 판매하기로 자율결정 |
|         | 2007.7  | BD5는 2007년 연말까지 면세혜택 부여<br>BD20은 한시적 면세혜택 2007년 연말까지 연장                   |
|         | 2007.9  | BD5, BD20에 혼합된 바이오디젤에 대해서 금년 말까지 시한인 전액 면세지원을 '08~'10년까지 추가적으로 연장         |
| 바이오 에탄올 | 2006.1  | 바이오에탄올 등 바이오 연료 보급 계획 발표                                                  |
|         | 2006.8  | 바이오 에탄올 실증평가 시작                                                           |

자료: 삼성경제연구소, 에너지경제연구원 자료에서 작성.

그림 2-5. 바이오디젤의 제조 및 유통경로



자료: 이진석(2006)

BD20은 자가정비시설과 주유 및 보관시설 등을 갖춘 사업장의 버스, 트럭, 건설기계 등에 사용하도록 되어 있다<sup>9</sup>. 따라서 초기 BD20 지정사업자는 레미콘업체 등 주로 개인 사업자였으나 그 대상이 서울시, 강동구청 등 지자체로 확대되어 2007년 9월 현재 23개소에 운영 중이다.

국내 바이오디젤 생산업체는 가야에너지, 에코에너지, BDK 등 총 18개 업체가 있으며 이중 8개 업체가 정유사에 바이오디젤을 공급하고 있다. 업체 간 시장 점유율은 정유사 입찰결과에 따라 유동적이다. 전체 업체의 생산능력은 2007년 9월 기준으로 연간 약 670,000kl인 것으로 알려져 있다<sup>10</sup>.

### 3.3. 바이오에너지 관련 제도와 정책

바이오에너지 관련 법규로는 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법(신재생에너지법)을 들 수 있는데, 이 법 제2조의 신재생에너지에 바이오분야를 포함시키고 있다. 또한 임업 및 산촌 진흥 촉진에 관한 법률 제5조 7항에 산림바이오매스 에너지 관련 사업에 대한 융자, 보조 등에 관한 내용을 포함하고 있다. 석유 및 석유대체연료사업법 제2조 11항, 제29조 5항에서는 석유대체에너지로 지정하고 있다. 이밖에 폐기물관리법, 비료관리법, 사료관리법 등에서도 바이오에너지에 관한 내용을 규정하고 있다.

바이오에너지 관련 지원정책을 살펴보면 바이오에너지가 신재생에너지에 포함되어 있기 때문에 산업자원부의 신재생에너지 지원정책의 범주에서 지원되고 있는 것을 알 수 있다. 현재 실시되고 있는 신재생에너지 관련 지원정책으로는 연구개발 지원, 공공기관 이용 의무화, 신재생에너지 발전차액 지원, 바이오가스 플랜트 지원, 바이오디젤에 대한 세금감면 등이 있다.

<sup>9</sup> 석유 및 석유대체연료사업법 시행령

<sup>10</sup> 업체별 생산능력은 산자부가 공개하고 있지 않기 때문에 통일된 자료가 없는 상태이다. 본 수치는 협회 내부 조사결과 자료이다.

바이오가스 플랜트 지원 사업은 가축분뇨를 이용한 바이오가스 발전에 대하여 발전차액 지원제도를 적용하는 것으로 2007년부터 시행하고 있다<sup>11</sup>. 바이오디젤에 대한 세금감면은 BD5, BD20에 대해 현재 전액 면세 지원하는 것을 2008~2010년까지 유지하기로 하였다.

농림부 관련 사업으로는 바이오디젤 원료용 유채 생산 시범사업이 있는데(표 2-18), 2007년부터 2009년까지 연간 26억 원의 예산으로 전국 3개도 5개 시군에 1,500ha의 시범단지를 조성하여 헥타르당 170만 원을 지원하는 것이다<sup>12</sup>.

표 2-18. 시범사업 기간 중 국내산 유채유 공급계획

단위: 천ha, 천kl

|      | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|------|------|------|------|------|
| 재배면적 | 1.5  | 1.5  | 1.5  | -    |
| 유채유  | -    | 2.4  | 2.4  | 2.4  |

주: 유채유 생산량은 전년도 유채 재배면적에 의해 결정된다. 2010년 이후의 재배규모는 시범사업 결과를 토대로 확대여부를 검토할 계획이다.

자료: 산업자원부(2007).

바이오디젤에 대한 중장기 보급 계획을<sup>13</sup> 살펴보면, BD5의 경우 경유에 혼합되는 바이오디젤 비율을 내년부터 매년 0.5%포인트씩 높여 2012년까지 3.0%까지 올린다는 목표를 세우고 있다(표 2-19).

표 2-19. 바이오디젤 보급목표

단위: %

| 연 도    | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 목표혼합비율 | 0.5  | 1.0  | 1.5  | 2.0  | 2.5  | 3.0  |

자료: 산업자원부(2007).

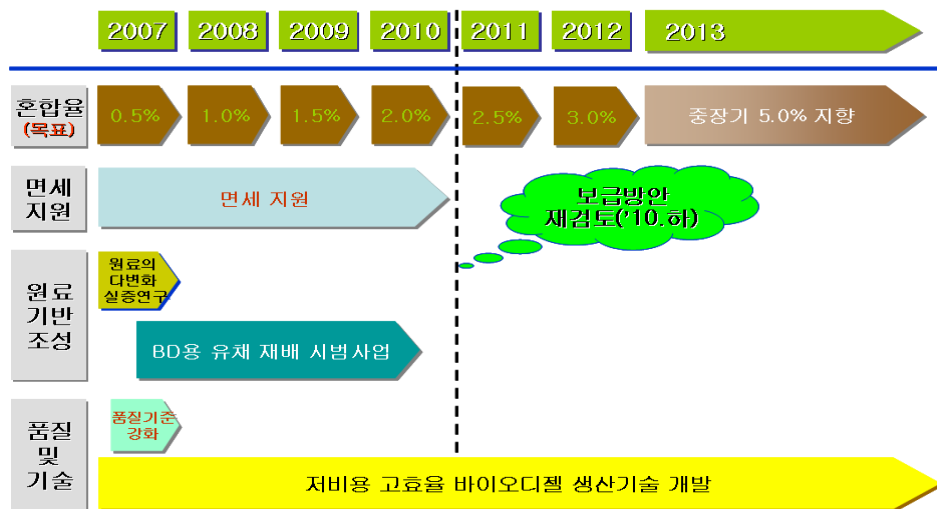
<sup>11</sup> 충남 홍성

<sup>12</sup> 전남 보성, 장흥, 전북 부안, 제주의 제주시와 서귀포

<sup>13</sup> 산업자원부(2007) 정리

한편 BD20은 자가정비시설 의무조항 완화를 통해 외부위탁정비계약도 허용하고, 전용주유소를 통한 지자체 보급을 추진할 예정이다. 그러나 이 계획은 불확실한 유가와 바이오디젤의 수급 및 가격, 국제적인 바이오연료 보급 추이, 국산원료의 생산 추이, 연구용역 결과 등을 종합 고려하여 2010년 하반기에 재검토할 계획이다(그림 2-6).

그림 2-6. 바이오디젤 보급 전략 및 방향



자료: 산업자원부(2007).

### 3.4. 바이오에너지 기술개발 수준

국내의 바이오에너지 기술개발은 그동안 가축분뇨의 메탄가스화 위주로 추진되었으며, 1988년 대체에너지 기술개발사업이 시작되면서 본격화 되었다. 2000년대 이후에는 LFG이용기술, 수소 생산기술, 연료변환기술 등 새로운 연구 분야가 부각되고 있다.

그러나 바이오매스 가스화 발전, 바이오정제(Bio-refinery) 기술개발의 상용화, 목질계 에탄올연료 개발, 에너지 작물의 육종을 통한 대량생산체

제를 구축해 나가고 있는 미국, 유럽, 일본 등 바이오매스 이용 선진국에 비해서는 기술수준이 매우 낮은 것으로 알려져 있다. 그나마 전분질계 에탄올 연료, 메탄발효, 유기성 폐기물 메탄발효, 바이오 고형연료 및 화학원료, 바이오디젤, 바이오수소생산, 생물학적 이산화탄소 고정화 등에서 미약하나마 기술개발이 이루어지고 있다. 그러나 바이오매스 가스화 발전을 포함한 바이오매스의 열화학적 이용(연소, 열분해, 가스화)에 관한 기술개발 및 보급은 매우 미흡한 수준이다(표 2-20).

2002년 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 예측한 우리나라 바이오에너지 기술개발 수준과 전망을 보면(그림 2-7), 2006년 이전에 상용화 연구가 이루어질 것으로 예상한 분야로는 전분질계 에탄올 연료, 메탄발효기술, 바이오고형원료 등이다.

바이오디젤은 2007년부터 상용화 단계에 있고, 목질계 에탄올 연료는 2009년 이후 상용화 단계에 이를 것으로 전망하였다. 그러나 바이오매스 가스화, 바이오수소생산, 바이오에너지 작물재배, 생물학적 이산화탄소 고정화 등은 2010년 이후에 가서야 상용화 될 것으로 전망하였다.

표 2-20. 바이오에너지 국내외 기술현황 비교

| 기술분야             | 국내                                    | 국외                                   |
|------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 연료변환기술           | 바이오에탄올: 연구, 기초기술<br>바이오디젤: 상용화 도입단계   | 산업화, 인프라구축 완료                        |
| 바이오가스 플랜트 및 공정개발 | 공정도입, 착수단계                            | 공정개발 및 현장적용<br>(유럽, 일본, 미국 지역)       |
| 바이오가스시설 생산·운영기술  | 공정 개발: 1960년대 말(농진청)<br>현장 적용: 1970년대 | 현장적용기술 운용<br>(독일, 오스트리아 등 유럽)        |
| 바이오가스 이용 기술      | 이용분야, 활용방법: 연구단계<br>열이용(전기변환)         | 가스이용 발전 상용화 단계<br>(독일, 오스트리아 등 유럽)   |
| 후처리 기술           | 액비 이용 도입단계                            | 액비이용, 살포기준 등 마련<br>-고액분리, 수처리 기술(유럽) |
| 바이오 연료작물 개발      | 연구시작 단계                               | 유지식물 등 육종기술 개발<br>전분작물 등 대량생산 단계     |

자료: 소규호(2006), 윤순강(2006)

그림 2-7. 우리나라 바이오에너지 기술개발 전망

| 기술분야                      | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| .전분질계 에탄올 연료              | →      |        |        |        |        |        |        |        |        |
| .목질계에탄올 연료                | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ |
| .메탄발효기술(폐수)               | →      |        |        |        |        |        |        |        |        |
| .메탄발효(유기성폐기물)             | →      |        |        |        | →      |        |        |        |        |
| .바이오매스 가스화                |        |        | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ |
| .바이오디젤                    | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ |
| .바이오 수소생산                 | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ |
| .바이오 고품연료                 | →      |        |        |        |        |        |        |        |        |
| .에너지 작물재배                 |        |        |        |        | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ |
| .생물학적 CO <sub>2</sub> 고정화 | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ | -----→ |

(주) 기초연구: -----→      응용/실용화 연구: -----→      상용화 연구: -----→

자료: KISTI(2002).

### 3.5. 바이오디젤 생산업체 인식도 조사

#### 3.5.1. 조사개요

바이오디젤협회의 협조를 받아 생산업체 17개를 대상으로 인식도조사를 실시하였다<sup>14</sup>. 17개 업체 중 설문조사에 참여한 업체는 14개 회사이다<sup>15</sup>.

<sup>14</sup> 바이오디젤협회는 2007년 6월 산업자원부로부터 법인 설립허가를 받은 단체로, 가야에너지, 비엔디에너지, 에코에너지, 비디케이, 쓰리엠안전개발, 단석산업 등 6개 업체가 발기인으로 참여했다. 전체 바이오디젤 업체 18개 중에서 협회에 등록된 업체는 정회원 8개 업체, 준회원(관련 산업) 1개 업체이다.

<sup>15</sup> 바이오디젤을 실제 생산하여 정유사에 납품을 하고 있는 회사는 가야에너지, 비엔디에너지, 에코에너지, 비디케이, 쓰리엠안전개발, 단석산업, 에너지 등 7개이다.

### 3.5.2. 조사결과

바이오디젤업체의 연간 생산 능력은 평균 38,308kl인 것으로 나타났다. 현재 주로 이용하는 생산원료는 대두유와 폐식용유인데, 91.9%가 수입 대두유를 사용하고 8%만이 국산 대두유를 이용하고 있다. 반면 폐식용유의 경우 전체의 66.7%가 국산을 이용하고 있다(표 2-21). 그러나 바이오디젤 생산원료로서 향후 5년 내에 자트로파의 비중이 커지고 대두의 이용이 감소할 것으로 전망하였다.

표 2-21. 생산원료 조달 및 원료별 비중 현황과 전망

|      | 생산원료 조달처 비중 |      |       |      | 원료별 비중 |       |       |
|------|-------------|------|-------|------|--------|-------|-------|
|      | 현재          |      | 향후 5년 |      | 현재     | 향후 5년 | 증감    |
|      | 국내          | 수입   | 국내    | 수입   |        |       |       |
| 대두   | 8.1         | 91.9 | 11.8  | 88.2 | 62.5   | 36.3  | -26.2 |
| 폐식용유 | 66.7        | 33.3 | 94.4  | 5.6  | 27.5   | 22.9  | -4.6  |
| 유채   | -           | -    | 61.0  | 39.0 | 1.7    | 6.9   | 5.2   |
| 팜유   | -           | -    | 0.0   | 100  | 8.3    | 16.0  | 7.7   |
| 자트로파 | -           | -    | 0.0   | 100  | 0.0    | 17.9  | 17.9  |

현재와 비교하여 5년 후 구입원료의 종류도 늘어나고 국내산과 수입산의 비중도 변화할 것으로 보았다. 대두와 폐식용유의 경우 국내산의 비중이 늘어날 것으로 예상하였으며, 팜유와 자트로파의 경우 거의 대부분 수입산을 이용할 것으로 보았다<sup>16</sup>. 원료 구입 비중의 변화에 대한 원인으로 생산원가 절감, 공급안정성, 원료비 상승에 따른 구매원료 다변화 등을 들었다.

한편 바이오디젤 원료비가 전체 비용에서 차지하는 비중은 평균 76.6%인 것으로 나타났다. 원료 구입과 관련된 문제점으로는 높은 대두유가격,

<sup>16</sup> 5년 이후에는 자트로파를 자가 생산할 계획을 가지고 있는 업체도 있었다.

원자재 수입과 관련한 현지 동향과 악 어려움, 폐식용유 품질관리의 어려움, 국제 가격의 급격한 변동 등을 들었다.

향후 수송용 경유시장에서 바이오디젤이 경유를 대체할 수 있는 비율은 최고 약 12.9%정도인 것으로 전망하였는데, 업체의 수익성을 고려한 희망 대체수준은 평균 18.5%인 것으로 조사되었다. 현재 의무사용량과 비교해서 5년 후 연간 163.6만kl까지 공급이 확대되기를 희망하였으며, 원료로 이용가능성이 높은 작물로 국산의 경우 유채, 대두, 해바라기 등을 선택하였고, 수입산으로는 자트로파, 대두, 팜유 등을 언급하였다(표 2-22).

표 2-22. 향후 이용가능성이 높은 원료작물

단위: %

|     | 유채 | 대두 | 해바라기 | 아주까리 | 겨자 | 자트로파 | 팜유 | 계   |
|-----|----|----|------|------|----|------|----|-----|
| 국내산 | 48 | 31 | 11   | 8    | 2  | -    | -  | 100 |
| 수입산 | 9  | 28 | -    | -    | -  | 39   | 24 | 100 |

산자부 정책인 면세혜택, 판매비율, 보급제도, 품질기준에 대한 척도평가 결과 면세정책에 대해서는 만족도가 높았으나 보급제도의 경우 1.71점(5점 만점)으로 가장 낮게 나타났다(그림 2-8).

정부 부처별 정책 지원에 대한 요구사항으로는 세제혜택에 대한 지속적인 관리, 보급확대에 대한 구체적인 시행계획, 원료작물에 대한 생산성 향상 및 생산원가 지원 등이 포함되어 있다.

유통과 관련해서는 BD20의 경우 판매가 매우 제한적인 점과, BD5의 경우 바이오디젤 생산업체가 직접 판매하지 못하고 정유업체에만 납품하도록 되어 있어서 정유업체의 경영결정에 따를 수밖에 없다는 점을 지적하였다. 따라서 원료가격이 폭등하더라도 자율적인 가격 조정이 불가능하고 정유사의 요구수준에 따를 수밖에 없는 문제점이 있다. 또한 정유사의 최저가 입찰제로 인해 사업자 간의 출혈 경쟁이 심화되고 있는 것도 문제점으로 지적하였다.

그림 2-8. 산자부 정책 평가<sup>17</sup>

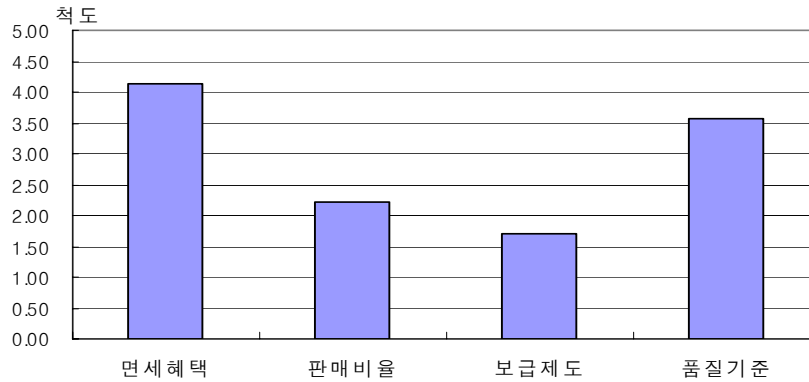


표 2-23. 바이오디젤업체의 정부 부처별 요구사항

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 산자부 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유전개발기금 등을 이용한 유지작물 해외 플랜테이션 지원</li> <li>- 대기업과 중소기업 간의 상생이 가능하도록 중재</li> <li>- 세제혜택에 대한 지속적인 관리 필요</li> <li>- 바이오디젤 사업장 조건 완화</li> <li>- 바이오디젤 불법유통 방지 대책 마련</li> <li>- 원료 다변화 위한 실증 시험</li> <li>- 품질규정으로 인한 원료 차별화 철폐 등 보급확대에 대한 구체적인 시행계획을 요구함.</li> </ul> |
| 농림부 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내에서 재배 가능한 바이오디젤 원료작물을 육종하고 생명공학 등을 이용하여 생산성 향상</li> <li>- 바이오디젤 원료 작물재배 시 원가 지원</li> <li>- 현실성 있는 BD작물을 선정, 생산에 투입하여 상생(BD업체, 농민)하게 하고 실질적인 국산원료의 경작을 통해 일부나마 대체가 가능하도록 정책입안</li> <li>- BD원료 플랜테이션에 대한 철저한 경제성 및 자생가능성 검토</li> </ul>                       |
| 환경부 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 바이오디젤 사용 사업장에 대한 대기환경 개선 효과 홍보 및 인센티브제도 도입</li> <li>- 환경적 요소를 감안하여 지속적으로 BD사용국가(선진)에 대한 정부정책과 실행세부지침을 벤치마킹할 필요가 있음</li> </ul>                                                                                                                                |

<sup>17</sup> 2007년 9월 현재 기준

이상의 문제점에 대한 제도적 보완사항으로는 바이오디젤 매출처를 다양화하는 등 바이오디젤 생산회사들이 자생력을 가질 수 있도록 유통구조를 변화시킬 필요가 있다고 지적하였다. 또한 입찰방식은 덤핑가격 입찰을 방지하기 위해 입찰가격 중 최저가와 최고가를 제외한 후 최저가를 입찰하는 방식으로 변경할 필요성을 제기하였다.

## 4. 우리나라 바이오에너지 개발을 위한 과제와 전략

### 4.1. 기본방향

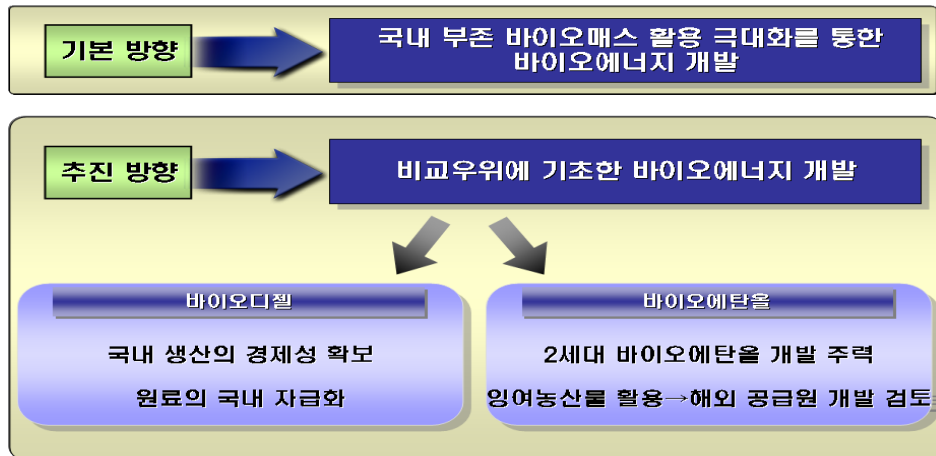
바이오에너지 개발은 해당 국가의 부존자원, 과학기술, 에너지 이용방법 등과 매우 밀접한 관계를 가지므로 국가별로 특성에 맞추어 개발할 필요가 있다. 우리나라의 경우 바이오에너지 개발이 선진국에 비해서는 초기단계에 있는 것으로 평가되므로 우선 바이오에너지를 생산하기 위해 투입되는 바이오매스를 신중하게 선택해야 할 것이다. 즉 우리 국토에 심각한 부작용을 초래하지 않는 범위 내에서 풍부하고 지속적인 생산이 가능한 바이오매스를 중심으로 바이오에너지가 개발되어야 한다.

우리나라 입장에서 미국이나 브라질과 같이 대규모 경작을 통해 바이오에너지 원료작물을 확보하기는 현실적으로 어렵다. 따라서 국내에 부존하는 바이오매스를 최대한 활용하는 개발전략이 필요하다(그림 2-9). 현재 농업 내부에서 발생하는 바이오매스에는 농업부산물, 가축분뇨, 산림작업 부산물 등 다양한 종류가 있다. 그 외에 국내 재배를 통해 바이오에너지 원료를 확보하고 재배농가의 소득향상과 연계할 수 있는 일부 에너지작물이 있다. 결국 우리 실정에 맞는 바이오매스 전략이란 이들 바이오매스를 이용하되 비교우위에 기초해서 바이오에너지와 바이오제품을 개발하는 것이다.

이러한 측면에서 볼 때, 바이오에너지 가운데 바이오디젤은 국내 생산의

경제성 확보가 가능한 원료를 선택하여 자급하는 방향으로 개발할 필요가 있다. 바이오에탄올의 경우는 셀룰로오스에탄올(제2세대 에탄올) 개발에 주력할 필요가 있으며, 곡물을 이용할 경우 잉여농산물을 활용하고, 해외 공급원 개발에 대해서도 검토해야 할 것으로 보인다.

그림 2-9. 우리나라 바이오에너지 개발 방향



바이오에너지는 생산비가 높아 경제적 효율성이 떨어지므로 도입단계에서 시장에 의한 자발적 활성화는 매우 어렵다. 이는 바이오에너지 산업의 활성화를 위한 선진국의 다양한 지원정책을 살펴봐도 쉽게 알 수 있다. 생산비용을 감당할 수 있는 수준에 이르기 전인 개발 초기에는 바이오에너지 선진국들이 적용하였던 재정적인 지원을 아끼지 말아야 할 것이다. 동시에 실현 가능한 장기목표를 정하고 이를 달성하기 위해 관련주체의 적극적인 참여를 유도하며 목표 달성을 위한 추진체계를 마련할 필요가 있다.

바이오매스는 부피가 커서 휴대하거나 보관하기가 쉽지 않다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 에너지 밀도가 높은 연료를 개발하는 방향으로 기술이 전개되어야 할 것이며, 이 부분에 국가 차원의 투자가 이루어져야 할 것이다. 또한 바이오에너지 이용을 활성화하기 위해 필요한 설비보급을 확대하고, 환경보호, 에너지 안보 등 바이오에너지의 순기능적 역할에 대한 국민적인 공감대를 형성하는 노력이 필요하다.

## 4.2. 추진과제

바이오에너지 개발이 효과적으로 이루어지기 위해서는 원료확보 및 공급, 제조, 기술개발, 관련제도 등 모든 구성 분야가 유기적인 관계를 유지해야 한다(표 2-24). 농업부문에서 바이오에너지 개발은 원료 재배농가의 소득과 연계되어야 한다. 이를 위해서는 원료 작물의 생산성을 올릴 수 있는 품종개발이 지속적으로 이루어져야 하고, 원료작물에 대한 재정지원이 요구된다. 또한 바이오에너지가 안정적으로 생산되기 위해서는 원료가 제조업체에 지속적으로 공급될 수 있는 체계가 구축되어야 한다. 즉 원료작물 재배의 규모화 및 단지화를 통해 필요 물량을 확보하고, 재배농가, 제조업체, 지역농협 등이 참여한 공급 시스템을 구비하여야 할 것이다.

바이오에너지산업의 안정적인 정착을 위해서는 우선 재정적 지원 방안과 제도적 지원 방안을 적절하게 혼합하여 최대의 효과를 달성할 수 있도록 해야 할 것이다. 또한 고밀도 에너지 연료를 생산하기 위한 기술개발 방안을 마련하고, R&D를 위한 국가의 투자 계획을 수립할 필요가 있다. 동시에 바이오매스 이용을 활성화할 수 있도록 바이오에너지 생산업체를 적극적으로 육성하는 방안을 마련하여야 한다.

표 2-24. 바이오에너지 이용 활성화를 위한 추진과제 및 전략

| 추진과제                       | 추진전략                                      |
|----------------------------|-------------------------------------------|
| ○ 원료재배농가의 소득향상 도모          | - 원료작물 직불제 등 재정지원<br>- 유지작물 다수확 품종개발      |
| ○ 원료의 안정적 공급체계 구축          | - 원료 생산의 규모화 및 집단화<br>- 수확 후 안정적 공급체계 도입  |
| ○ 바이오에너지산업 정착을 위한 제도 정비    | - 발전차액지원, 세금혜택, 의무구입제<br>- 바이오에너지 소비 목표설정 |
| ○ 바이오에너지 기술개발 강화           | - 제2세대 연료개발<br>- 민간 개발 기술 적극 수용           |
| ○ 바이오에너지 이용에 대한 사회적 공감대 형성 | - 바이오에너지 긍정적 효과 홍보<br>- 체험교육, 정보네트워크 운용   |

이밖에 소비활성화를 위해 바이오에너지 이용 설비 보급 확대, 바이오에너지 이용의 사회적 공감대 형성을 위한 교육 및 홍보 방안 등을 마련할 필요가 있다.

### 4.3. 추진전략

바이오에너지 원료작물 생산에 따른 농가소득을 보전하기 위해서는 기술개발과 규모의 경제가 정착되기 전까지는 현재 시범적으로 실시하고 있는 직접지불제 등의 지원을 지속적으로 적용하는 것이 바람직하다. 또한 원료작물의 다수확 품종개발을 통해 단위면적당 농가소득을 제고시킴으로써 원료작물의 안정적 생산을 유도해 나가야 할 것이다.

바이오에너지 생산을 위한 원료를 안정적으로 공급하기 위해서는 우선 재배면적이 확대되어야 한다. 기존 재배지역뿐만 아니라 재배가 가능한 휴경지와 간척지 개발, 2기작을 통한 규모화를 도모할 필요가 있다. 지역단위에서의 적정 재배규모는 유채시범사업기간 동안 자료를 축적하여 규모의 경제를 달성할 수 있는 면적을 파악할 수 있을 것이다. 또한 원료 생산 후 보관, 운반, 대금정산 등이 지역 내에서 원활히 이루어질 수 있도록 지역농협을 중심으로 조직화를 유도할 필요가 있다.

바이오에너지 산업의 안정된 정착을 위해 기존에 실시하고 있던 발전차액지원, 시설보조금, 세금혜택, 의무구입제도 등 정책적 인센티브를 적극 활용해야 한다. 바이오연료의 경우 경제적 타당성 문제가 해결된다고 하더라도 기존 대형 정유사가 점유하고 있는 시장에 소규모 바이오연료 회사들의 진입이 어렵다. 따라서 점진적으로 의무 혼합제 비율을 높여 원료공급을 흡수하고 자연스럽게 바이오연료 소비를 촉진하도록 유도할 필요가 있다.

바이오에너지 기술개발을 위해서는 국가가 부피가 큰 바이오매스를 에너지 밀도가 높은 연료로 변환하는 기술을 지원하고, 민간이 개발한 가치 있는 기술도 적극 수용할 필요가 있다. 특히 제2세대 연료로 각광받는 셀룰로스에탄올 개발을 위한 R&D 투자를 확대하여 제1세대 바이오연료 생

산에 따른 부작용을 극복해 나가야 할 것이다.

바이오에너지는 재생가능하면서 화석연료를 대체할 수 있다는 점에서 세계적으로 주목받고 있으며, 많은 나라들이 적극적으로 개발하고 있다. 우리나라의 경우에도 1차 에너지 생산량의 높은 비율을 화석연료에 의존하고 있으며, 특히 액체연료의 경우 100% 수입하고 있는 실정이므로 바이오에너지 개발은 국가의 발전을 좌우할 만큼 매우 중요한 사안이다. 바이오에너지 개발이 원활히 이루어지기 위해서는 국민의 공감대 속에서 바이오에너지의 소비가 활성화되어야 한다. 이를 위해서는 바이오에너지의 긍정적인 효과, 특히 이산화탄소 배출감소와 지구 온난화방지 효과 등에 대한 적극적인 홍보가 필요하다. 바이오매스 이용에 대한 국민적 이해를 향상시킬 수 있도록 관련 심포지엄 개최, 팸플릿과 포스터 작성·배포 등의 작업이 이루어져야 할 것이다. 또한 바이오매스 및 에너지 관련 정보를 효율적으로 수집·정리·제공하기 위해 정보 네트워크를 운영하고, 바이오매스 체험활동 등의 교육을 추진할 필요도 있다.

표 2-25. 바이오에너지 개발 관련주체별 역할

| 주 체  | 역 할                                                                                                                                         |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 생산농가 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연료작물 재배, 수확 및 양질의 원료 공급</li> <li>- 원료 작물 생산비 절감을 위한 자구 노력</li> <li>- 농가 간 조직화를 통한 비용 절감</li> </ul> |
| 생산업체 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원료 작물 매입 계약 이행</li> <li>- 판매 및 유통과정에서 업체 간 공정거래 체계 확립</li> <li>- 품질규격 준수</li> </ul>                |
| 연구소  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원료작물 다수확 품종 개발</li> <li>- 수확 일관체계 기술 및 기계 개발</li> <li>- 재배기술 지도</li> </ul>                         |
| 지자체  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 바이오연료 이용 관련 조례 제정</li> <li>- 바이오연료 이용 시설 및 원료 구매, 운송 등 지원</li> <li>- 대단위 생산기반 조성</li> </ul>        |
| 중앙정부 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원료작물 직접지불제 도입 및 확대(농림부)</li> <li>- 세제지원, 혼합사용 비율 의무제도</li> </ul>                                   |

이러한 일련의 과제와 전략이 실행에 옮겨지기 위해서는 바이오에너지 개발과 관련된 생산농가, 생산업체, 연구소, 지자체 및 중앙정부 등 각 주체의 역할 설정과 분담이 명확해야 한다(표 2-25).

원료 생산농가는 생산비 절감을 위한 자구노력, 농가 간 조직화를 통한 비용 절감, 양질의 원료 공급 등을 위해 노력해야 할 것이다. 바이오에너지 생산업체는 원료작물 매입계약을 철저히 이행하고, 판매 및 유통과정에서 공정거래 체계를 확립하며, 품질 규격을 준수해야 한다. 바이오에너지 관련 연구소는 제2세대 바이오에너지 개발과 더불어 원료작물의 다수확 품종개발, 수확 일관체계 기술 및 기계를 개발하며, 개발된 기술을 현장에서 지도해야 할 것이다. 지자체는 바이오에너지 이용 관련 조례를 제정하며, 이용시설 및 원료수매, 운송 등에 대해 지원하고, 대단위 생산기반을 조성하도록 해야 한다. 중앙정부는 원료작물 재배에 따른 소득 감소를 보전하기 위해 직접지불제를 도입하고(농림부), 세제지원, 혼합사용 비율 의무제 도입, 품질관리(산자부), 환경개선효과 홍보(환경부) 등 국가 단위에서 가능한 과제들을 우선적으로 실시해야 할 것이다.

### 1. 바이오에너지 원료작물의 종류와 도입 필요성

#### 1.1. 바이오에너지 원료작물의 종류

최근 국제 유가 상승으로 석유를 대체할 수 있는 바이오연료에 대한 관심이 늘어나면서 일부 농산물 가격이 급등하는 현상이 나타나고 있다. 국제 곡물가격의 변동 추이를 살펴보면 옥수수, 사탕수수 등 바이오연료의 원료로 이용되는 농산물의 가격이 2~3년간 2배 이상 상승했다<sup>18</sup>. 이처럼 과거 식량이나 사료용으로만 이용되던 작물들이 바이오에너지 원료용으로 주목받으면서 농업부문의 역할이 그 어느 때보다도 중요해졌다.

수송용 바이오연료는 크게 바이오디젤과 바이오에탄올로 나눌 수 있다. 석유계 바이오디젤의 경우 유채, 대두, 해바라기 등 식물성 유지로부터 추출한 기름을 이용하여 에스테르화공정을 거쳐 바이오디젤로 변환시킬 수 있다. 바이오에탄올은 고구마, 쌀, 옥수수 같은 전분작물과 사탕수수, 사탕무와 같은 설탕작물로부터 추출한 당을 효모로 발효시켜 생산한다(표 3-1).

<sup>18</sup> 이러한 현상을 애그플레이션(Agflation)이라고 하는데 agriculture(농업)과 inflation의 합성어로 농산물의 가격이 올라 일반 물가도 함께 오르는 현상을 말한다.

표 3-1. 바이오에너지 연료 작물의 종류 및 활용 형태

|        | 종류                                                       | 이용형태   |
|--------|----------------------------------------------------------|--------|
| 유지계 작물 | 유채, 대두, 팥, 해바라기, 자트로파, 홍화, 아주까리, 겨자, 땅콩, 쌀겨              | 바이오디젤  |
| 당질계 작물 | 옥수수, 맥류(쌀, 쌀보리), 고구마, 감자, 사탕수수, 사탕무, 트리티케일, 카사바(cassava) | 바이오에탄올 |

## 1.2. 바이오에너지 원료작물 재배의 필요성

### 1.2.1. 농업기능의 다변화

과거 단순히 먹거리 생산만을 담당했던 농업은 수자원 함양, 자연경관 제공, 생태계유지, 토양 유실 및 홍수 방지 등 다원적 기능의 역할이 강조되고 있다. 최근 들어 국제 환경 규제 심화로 인한 대체에너지 필요성이 증대되면서 바이오에너지 원료작물 공급 기능까지 담당하게 되었다. 이와 같이 농업의 역할이 확대됨에 따라 바이오에너지 원료 작물은 식량 및 사료 수급에 영향을 미쳐 세계 농업구조에 큰 변화를 초래할 것으로 전망된다.

### 1.2.2. 환경 개선 효과

화석연료와 달리 바이오연료는 친환경에너지로 온실가스 감축, 대기오염 저감 등 환경개선 효과가 있다. 따라서 바이오연료의 이용을 확대하여 기후 변화 협약 등 국제 환경규제에 적절히 대응할 수 있을 것으로 기대된다.

### 1.2.3. 농업의 부가가치 향상

대외적으로 DDA, FTA 등 농산물 시장개방의 여파로 국내 생산이 줄어들어 농가소득이 감소할 것으로 예상되며, 대내적으로는 농가인구 감소 및

노령화로 농촌 공동화가 심화되고 있다. 따라서 에너지 작물재배를 통해 농가 소득을 증대시키고 농촌지역의 활성화를 유도할 수 있다.

## 2. 바이오에너지 원료작물의 국내 생산현황<sup>19</sup>

### 2.1. 바이오디젤 작물(유지계 작물)

#### 2.1.1. 대두

대두는 기계화 생산체계가 구축된 기간작물로 유채, 해바라기와 함께 대표적인 바이오디젤 원료작물 중 하나이다. 바이오디젤의 주원료인 대두유의 수입 추이를 살펴보면 1990년 이후 증가하다가 2000년대에 감소한 후 최근 다시 늘어나고 있다.

주요 국가별 경쟁력을 비교하면 우리나라 대두는 생산성 및 가격경쟁력은 낮으나 가공적성(加工適性)은 우수한 것으로 나타났다(표 3-2).

표 3-2. 대두의 국제 경쟁력 비교

|              | 한국      | 미국    | 일본       | 중국     |
|--------------|---------|-------|----------|--------|
| 수량(kg/10a)   | 162     | 239   | 172      | 179    |
| 생산비(원/kg)    | 2,571   | 246   | 4,007    | 247    |
| 가격(원/kg)     | 3,605   | 287   | 2,867    | 423    |
| 순수익(원/10a)   | 167,551 | 9,860 | -194,236 | 34,650 |
| 노동시간(hr/10a) | 39.1    | 0.5   | 13.7     | 60.0   |
| 가공적성         | 상       | 중하    | 상        | 중상     |

자료: 농촌진흥청(2005).

<sup>19</sup> 농촌진흥청(2006), 농촌진흥청(2007) 참고

연료용 작물로서 대두는 유채와 작부체계가 가장 적합한 여름작물이며 재배지역에 제약을 받지 않는다. 따라서 과잉 생산되는 벼를 대체할 수 있는 바이오디젤 원료로 기대된다.

표 3-3. 주요 작물별 오일 수율

단위: kg

| 작물              | 기름 함량 | 작물              | 기름 함량 |
|-----------------|-------|-----------------|-------|
| 대두(Soybean)     | 14    | 팜과일(Palm Fruit) | 20    |
| 유채(Rapeseed)    | 37    | 참깨(Sesame)      | 50    |
| 면실(Cotton seed) | 13    | 코프라(Copra)      | 62    |
| 땅콩(Ground nut)  | 42    | 해바라기(Sunflower) | 32    |

주1: 기름 함량은 종자 100kg당 기준

주2: 코프라는 야자씨의 배젖을 말린 것으로 지방을 많이 함유하고 있어 과자의 재료, 마가린, 비누, 야자유 따위의 원료로 쓰고 찌꺼기는 짐승의 먹이로 사용됨.

자료: 농촌진흥청(2006).

하지만 대두는 유채에 비하여 기름 함량이 떨어져(표 3-3), 바이오디젤 수율이 낮고 주 수입국인 미국에 비해 단위 면적당 수량, 생산비, 노동시간 등이 모두 열위에 있다. 또한 수익성도 타 밭작물에 비해 낮고 가격이 불안정하여 농가의 생산의욕이 저조한 것이 제약요인이다<sup>20</sup>.

## 2.1.2. 땅콩

세계 최초 바이오디젤 원료인 땅콩은 광합성 능력이 높고 단위면적당 에너지 생산량은 대두의 3.4배이다. 그러나 WTO 체제 출범 후 국산 땅콩 생산기반이 위축되어 전체 농업 생산액에서 차지하는 비중은 0.04%(2005년 141억)에 불과한 실정이다. 반면 수입물량은 1995년에 비해 무려 232% 증가하였다.

<sup>20</sup> 도매가격: 2002년 2,835(원/kg) ⇒ 2004년 5,353(원/kg) ⇒ 2006년 2,665(원/kg)

국산 땅콩의 품질은 주요 생산국보다 우수하지만 수량과 비용이 열위에 있고 기계화 수준이 매우 미흡한 것으로 나타났다(표 3-4)<sup>21</sup>.

표 3-4. 땅콩의 주요 생산국과의 경쟁력 비교

|              | 한국    | 중국    | 미국    |
|--------------|-------|-------|-------|
| 수량(kg/10a)   | 206   | 296   | 325   |
| 품질           | 우수    | 보통    | 우수    |
| 국내시장가격(원/kg) | 4,025 | 1,928 | 1,928 |
| 생산비(원/kg)    | 1,906 | 450   | 775   |

주: 생산비는 2004년 기준이며 나머지는 2005년 기준임.

자료: 농촌진흥청(2007).

바이오디젤 원료용 작물로서 땅콩의 가장 큰 장점은 기름함량이 매우 높다는 것이다(표 3-3). 그러나 생산성이 낮으며 국산 땅콩에 대한 바이오디젤 연구도 전무한 실정이어서 원료용 작물로서의 보급 및 확대에 제약요인으로 작용한다<sup>22</sup>.

### 2.1.3. 유채

바이오디젤의 대표적인 원료작물인 유채는 기름함량도 높고 유지에 올레인산이 다량 함유되어 EU 등 선진국에서 많이 이용되고 있다<sup>23</sup>. 하지만 국내 생산현황은 재배면적과 생산량 모두 지속적으로 감소하고 있는 실정이다. 이처럼 유채 생산이 감소하는 이유는 정부의 유채 수매가격이 1992년 이후부터 현재까지 동결되어 유채생산에 대한 동기가 감소하였기 때문이다.

<sup>21</sup> 세부적인 내용은 농촌진흥청(2006) 참조

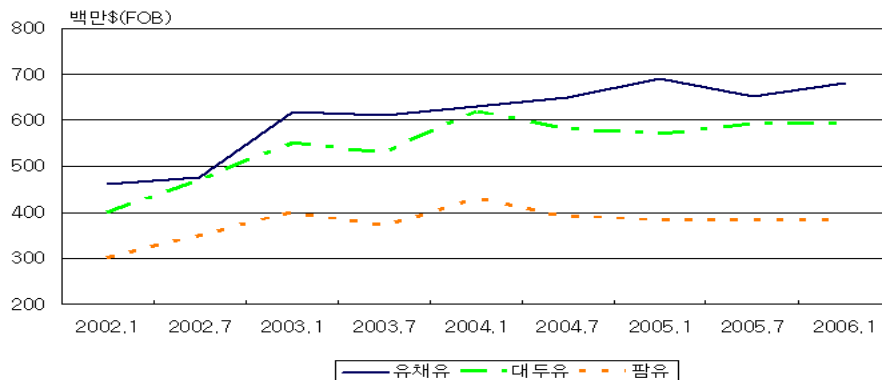
<sup>22</sup> 땅콩은 미국에서는 이미 원료용 작물로서 우수성이 입증되었다.

<sup>23</sup> 유채는 EU, 캐나다, 중국, 인도, 호주 등에서 경제적으로 중요한 위치를 차지하면서 전 세계 기름작물 중 가장 선도적인 작물로 평가 받고 있다.

유채를 바이오디젤 원료로 재배할 경우 국내에서 개발된 유채 품종의 수량은 448kg/10a(농가 실증시험, 2002년 개발된 1대 잡종 ‘선망’)까지 늘어날 수 있다. 이 수치는 EU국가들의 300kg/10a 보다 높기 때문에 바이오디젤 생산단가를 낮추는 데 유리할 것으로 예상된다. 또한 환경 친화적인 청정에너지를 제공할 뿐만 아니라 밀원(蜜源), 관상, 환경정화 등이 기대되어 농촌경관을 증진하는 간접적인 효과도 기대할 수 있다.

하지만 현재 기술로 유채를 원료로 생산한 바이오디젤은 석유계 디젤에 비해 생산원가가 높다는 문제점이 있다. 따라서 원료비를 절감할 수 있도록 바이오디젤 원료용 유채 생산기반의 확충이 필요하다.

그림 3-1. 주요 식물성 오일 가격동향



자료: ECO Solution, [www.ecosol.co.kr](http://www.ecosol.co.kr).

## 2.1.4. 해바라기

해바라기는 토질에 대한 적응성이 높기 때문에 어떠한 토양에도 재배가 가능한 작물이다. 재배면적은 2002년 6ha에서 2005년 11ha로 소폭 증가하였다.

연료용 작물로서 해바라기의 장점은 종자에 20~30%의 기름이 포함되어 있어 기름함량이 높다는 것이다<sup>24</sup>. 해바라기 종자는 식용, 비누원료, 도

료원료, 연료용, 제과용 등으로 다양하게 이용되며 잎과 함께 찌꺼기는 사료로 이용이 가능하다. 또한 유채와 함께 2005년부터 시범사업으로 시행하고 있는 경관보전직불제의 대상작물로 정부의 지원을 받을 수 있다.

전 세계적으로 해바라기는 바이오디젤 원료용 작물로서 유채에 이어 가장 많이 이용되고 있다(표 3-5).

표 3-5. 식물성오일 생산 비중 및 바이오디젤 원료 비중

|      | 식물성오일 생산 비중 | 바이오디젤 원료 비중 |
|------|-------------|-------------|
| 팜유   | 33%         | 1%          |
| 대두   | 31%         | 2%          |
| 유채   | 14%         | 83%         |
| 해바라기 | 8%          | 13%         |
| 땅콩   | 5%          | -           |
| 면실유  | 4%          | -           |
| 코코넛  | 3%          | -           |
| 올리브  | 2%          | -           |
| 기타   | -           | 1%          |
| 계    | 100%        | 100%        |

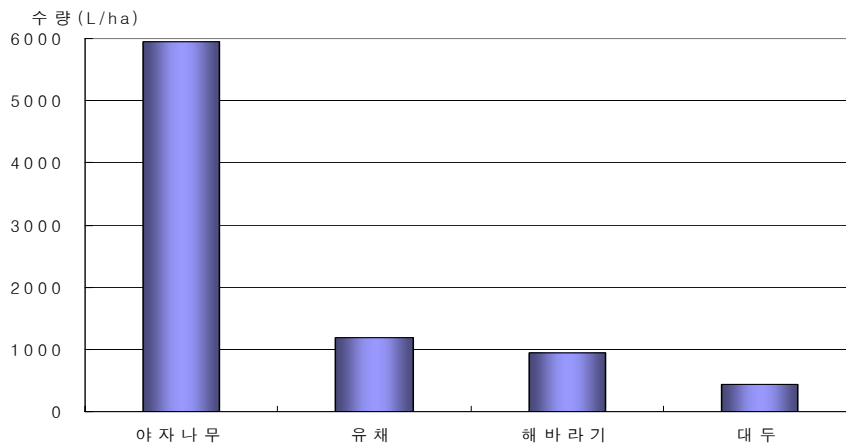
자료: 자료: USDA(2005), ECO Solution, www.ecosol.co.kr.

식물별 단위면적당 생산성을 비교했을 때(그림 3-2), 팜유(5,950리터/ha), 유채(1,190리터/ha), 해바라기(952리터/ha), 대두(446리터/ha)의 순으로 높게 나타나 해바라기도 연료용으로 가능성이 있는 것으로 분석되었다<sup>25</sup>. 그러나 아직 국내 연구사례가 없으며 생산성 측면에서 유채 및 대두에 비해 열위에 있는 것이 이용을 제약하는 요인으로 작용하고 있다.

<sup>24</sup> 국립농업유전자원센터 사이버 농작물 품종백과

<sup>25</sup> 국외기준, 농촌진흥청(2006)

그림 3-2. 식물성 오일 동일면적당 생산량



자료: 농촌진흥청(2006).

## 2.2. 바이오에탄올 작물(당질계 작물)

### 2.2.1. 고구마

고구마(건물 중 기준)는 70~80%가 전분이면서 단위면적당 수량도 높고 생육가능 온도도 15~35℃이며 북위한계는 43도로 4~11월 중 우리나라 전 지역에서 재배가 가능한 작물이다<sup>26</sup>.

국내 재배면적 및 생산량은 1980년대 이후 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 식용고구마는 식물검역법상 수입금지 품목에 해당하여 생고구마 수입 물량이 없으며, 전분 및 가공용은 국내 생산비가 높기 때문에 2006년 중국으로부터 고구마 전분 2만 3천 톤, 고구마칩 7천 톤을 수입하였다.

국산 고구마는 생산비 및 수확량에서 중국에 비해 열위에 있으나 일본보다는 경쟁력이 있는 것으로 나타났다(표 3-6). 하지만 주로 식용으로 이용되며 전분, 가공용 이용 비중은 일본에 비하여 매우 낮은 실정이다.

<sup>26</sup> 경제적 재배 표고한계: 해발 700m

표 3-6. 한·중·일 고구마 경쟁력 비교

|              | 한국    | 중국    | 일본    | 중국대비(%) | 일본대비(%) |
|--------------|-------|-------|-------|---------|---------|
| 수량(kg/10a)   | 2,500 | 2,029 | 2,473 | 123     | 101     |
| 노력시간(시간/10a) | 75    | 116   | 59    | 65      | 127     |
| 생산비(천원/10a)  | 493   | 60    | 900   | 822     | 55      |
| 가격(천원/톤)     | 834   | 70    | 2,125 | 1,191   | 39      |

자료: 농촌진흥청, 2007.

바이오에탄올 원료로 고구마를 이용할 경우 일시에 분말로 바뀌야 하며 제조과정도 복잡하다는 단점이 있다. 하지만 아직 바이오에탄올 연구가 초기 단계인 만큼 우리 여건에 맞는 고생산성 품종 개발 및 기술개발이 이루어진다면 향후 이용 가능성이 있을 것으로 보인다.

## 2.2.2. 쌀(재고 현미)

쌀은 바이오에탄올 생산수율이 높아 유망 원료작물 중 하나로 여겨진다. 벼 재배면적은 2000년 1,072,363ha에서 2006년 955,229ha로 감소추세를 보이고 있다. 같은 기간 생산량도 줄어 2006년에 5,037,689톤을 생산하였다.

기술적으로 쌀을 이용한 바이오에탄올 생산이 가능하지만 수입산과 국산의 가격차(약 10배)가 크기 때문에 가격경쟁력이 확보되어야 상용화가 가능할 것으로 보인다.

## 2.2.3. 쌀보리

쌀보리는 주요 농가 소득원이었으나 수요 감소에 따른 재고가 누적되어 생산 과잉이 나타나고 있다<sup>27</sup>. 따라서 연료용 작물로서 겨울철 농경지를

<sup>27</sup> 2007년 사료용으로 재고 처분 11만 톤

이용하여 바이오에탄올 생산에 이용할 수 있을 것으로 보인다<sup>28</sup>.

향후 연료용 쌀보리의 품종개발을 통해서 바이오에탄올 생산수율을 증대시키고 안정적인 원료 공급망이 확보된다면 한국형 에너지 작물로 이용 가능성이 있는 것으로 보인다.

## 2.2.4. 옥수수

국내 옥수수 생산은 1980년 이후 꾸준히 감소추세를 보이고 있다. 곡실용 옥수수는 수입 의존도<sup>29</sup>가 매우 높으며 식용 옥수수는 가공제품(통조림) 위주로 일부 수입되고 있는 실정이다. 원료용 옥수수는 타 작물에 비해 ha당 에탄올 생산량은 양호하지만 생산비용, 품질 등에서 모두 경쟁력이 없는 것으로 나타났다.

또한 국내에서는 고효율 옥수수 대량 생산에 관한 연구가 선진국에 비해 저조한 실정이고 시장개방으로 인한 수입 확대, 수매량 감소와 수매가격 정체로 인한 가격 불확실성 등의 원인으로 농가의 옥수수 생산의욕도 떨어져 연료이용에 걸림돌이 된다.

표 3-7. 주요 작물의 단위면적당 수량 및 에탄올 생산량 비교

|     | 수량(톤/ha) | 에탄올 생산량(리터/ha) |
|-----|----------|----------------|
| 옥수수 | 8        | 3,000          |
| 고구마 | 35       | 4,500          |
| 맥류  | 5        | 1,400          |

자료: 오경석, 농진청(2005.11), “국내 바이오에탄올의 필요성”

<sup>28</sup> 보리는 동절기 2모작의 대표적인 작물로서 전분함량이 72.2%로 높아 바이오에탄올 생산 시 이용가치가 있다.

<sup>29</sup> 수입산 곡실용 옥수수의 비중은 사료용 77%, 가공용 23%이다.

해외 옥수수 이용 동향을 살펴보면, 미국은 전분질 작물인 옥수수를 주 원료로 하여 바이오에탄올을 생산하고 있다. 식용, 사료용에서 원료용 등으로 이용이 확대됨에 따라 미국 곡물시장의 옥수수 가격(2007.1)은 톤당 146달러로 전년 대비 74% 상승하였다.

## 2.3. 바이오연료 작물별 이용가능성 검토

표 3-8. 작물별 상용화 가능성<sup>30</sup>

| 바이오 디젤    | Oil 함량<br>(kg/중자 100kg)      | 품종 수준 | 생산 수준 | 제약요인                           | 생산비 | 기술 수준 | 상용화 가능성 |
|-----------|------------------------------|-------|-------|--------------------------------|-----|-------|---------|
| 대두        | 14                           | △     | ×     | 유채에 비하여 바이오디젤 수율이 낮음. 가격경쟁력 열위 | ◎   | ◎     | ◎       |
| 땅콩        | 42                           | ◎     | ×     | 국내 연구사례 없음                     | ×   | ×     | ×       |
| 유채        | 37                           | △     | ×     | 디젤연료에 비해 높은 생산원가               | ◎   | ◎     | ◎       |
| 해바라기      | 32                           | △     | ×     | 국내 연구사례 없음. 생산효율이 떨어짐.         | △   | ×     | △       |
| 바이오에탄올    | 수득량 <sup>31</sup><br>(무수에탄올) | 품종 수준 | 생산 수준 | 제약요인                           | 생산비 | 기술 수준 | 상용화 가능성 |
| 고구마 (절간)  | 412 ℓ/톤                      | △     | △     | 제조공정이 복잡하고 제조비용이 비쌈            | ×   | ×     | △       |
| 쌀 (재고 현미) | 441 ℓ/톤                      | ◎     | △     | 수입산과 가격경쟁력 열위                  | △   | △     | ◎       |
| 쌀보리       | 379 ℓ/톤                      | ◎     | △     | 수입원료와의 가격차 향후 생산 감소예측          | ×   | ×     | △       |
| 옥수수       | -                            | ×     | ×     | 국내 연구사례 없음 생산농가 의욕저하           | ×   | △     | ×       |

주: 높음(◎), 중간(△), 낮음(×)

<sup>30</sup> 작물별 상용화 가능성은 정부, 업체, 관련 단체 등의 전문가 의견을 종합하여 연구진이 최종 분석 후 전망한 것이다.

<sup>31</sup> 산업자원부(2005) 참조

앞에서 언급한 품목별 생산현황 및 제약요인을 토대로 우리나라에서 이용 가능한 바이오연료 작물을 검토하였다. <표 3-8>에서 제시한 것과 같이 바이오디젤용으로는 유채, 대두, 해바라기가 이용 가능성이 있는 것으로 분석되었으며, 바이오에탄올 원료로는 쌀과 고구마가 이용 가능성이 있는 것으로 나타났다.

### 3. 바이오에너지 연료작물의 경제성 분석

#### 3.1. 선행연구

최근 바이오연료에 대한 사회적 관심이 높아지면서 경제적 타당성에 관한 논의가 다양하게 제기되고 있다. 현재 상용화된 바이오디젤의 경제적 타당성 분석에 관한 연구가 대부분인데 미래농정연구원(2005), 강희찬(2007), 배정환(2006, 2007), 산업자원부(2005), 성진근(2006) 등이 대표적이다.

미래농정연구원(2005)은 국내에서 유채를 휴경지나 이모작 지역에서 재배하는 5가지 시나리오를 구성하여 분석하였다. 그 결과, 바이오디젤 생산량은 최소 7.6만~최대 45.4만kl로 분석되었으며 부수적인 효과(경관보전, 석유대체, 환경보전효과)를 추정한 수치는 1,040억 원에서 1조 2,240억 원인 것으로 나타났다.

강희찬(2007)은 수송용 연료의 1%를 바이오디젤 및 에탄올로 대체할 경우 발생하는 수입대체, 온실가스 감소 등의 사회적 편익을 계산하였다. 분석결과 발생한 총 편익은 바이오디젤을 국내에서 생산할 경우 1억 2,900만 달러, 바이오에탄올을 국내에서 생산할 경우 4,770만 달러, 바이오에탄올을 수입할 경우 1,090만 달러, 바이오디젤을 수입할 경우 -4,120만 달러 순이었다. 따라서 바이오디젤의 국내 생산이 사회적으로 가장 바람직한 것으로 제시했다.

배정환(2006, 2007)은 유채재배면적을 달리하는 시나리오를 구성하여 바이오디젤 생산량을 추정하였는데 시나리오별로 10만~113만kl가 생산될 것으로 전망했다. 석유대체, 이산화탄소저감, 경관보전 등 편익의 총 가치는 1,231억 원에서 1조 4,564억 원으로 추정되었다. 농업안보가치 및 기타 사회적 가치를 고려할 때, 국산 유채를 이용한 바이오디젤 보급은 사회 후생을 증가시키는 것으로 나타났다. 한편 바이오디젤 가격을 2007~2017년 간 예측해 보고 경유가격과 상대적인 비교를 통해 경제성이 확보되는 시점의 적절한 면세 규모를 산정하였다. 추정결과 2008~2010년간 교통세 100%면세, 2011~2014년 교통세 71% 면세, 2015~2017년 부가가치세 면세와 정유사의 바이오디젤 사용의무화를 적정선으로 제시하였다.

성진근(2006)은 유채 22만ha 재배로 얻게 되는 사회경제적 효과를 연간 9,270억 원으로 계산하고 이 중 농가소득 증대효과 42.1%, 그 외 정부비용 절감효과 30.2%, 원유수입 대체효과 20.5%, 환경 개선효과 7.2%로 추정했다.

산업자원부(2005)는 해외 바이오에탄올 도입의 타당성 분석에서 인프라 구축비용이 바이오에탄올의 경제성을 좌우하는 중요한 요인이라고 밝히고 있다. 또한, 단기적으로 휘발유에 바이오에탄올을 소량 첨가하여 사용하는 방안이 국내 적용가능성이 높은 것으로 분석했다.

### 3.2. 시사점

유채를 이용한 바이오디젤 생산에서 총 생산비용을 리터당 0.59달러 이하로 낮출 경우 사회적 이익이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 바이오디젤의 경우 가격조건으로만 본다면 수입하는 것이 유리하지만 농업 및 에너지 안보 관점에서 수입보다 농업보조금을 지불하더라도 국내에서 유채를 재배하여 이용하는 것이 바람직하다는 것을 의미한다. 따라서 국내 원료작물로 바이오디젤을 생산하는 것이 중요하며, 이 과정에서 경제성을 확보할 수 있도록 원료작물의 개발과 보급 육성에 주력할 필요가 있다.

바이오에탄올은 국내 생산 시 비용조건을 충족시키지 못할 가능성이 높기 때문에 국산화에는 한계가 있을 것으로 보인다. 바이오에탄올의 원료로 주로 이용되는 옥수수는 국내에서 리터당 0.49달러 이하의 생산비용이 투입되어야 하는 것으로 분석되어 바이오디젤보다 국산화가 까다로운 것으로 나타났다. 따라서 국내에서 바이오에탄올 생산에 활용 가능한 원료를 확보하기는 어려울 것으로 보인다. 때문에 원료작물에 대한 정부의 보조금 지원없이 단기간으로 바이오에탄올의 시장진입은 힘들 것으로 예상된다.

### 3.3. 원료작물별 경제성 분석

바이오 연료 생산의 사회적 비용-편익분석(Cost Benefit Analysis)을 통해 수송용 연료작물의 경제성을 비교·평가할 수 있다. 분석 대상 작물은 앞에서 검토한 에너지 작물 가운데 상용화 가능성이 큰 작물을 중심으로 선정하였다. 바이오디젤 원료작물로는 유채와 대두를 대상으로 하였고, 바이오에탄올 작물로는 쌀(재고 현미)과 고구마(절간)로 한정하였다.

#### 3.3.1. 유채의 경제성 분석

##### 가. 분석을 위한 가정

유채의 경제성 분석을 위한 기본가정은 다음과 같다. 첫째, 비용은 원료 생산비와 1차 가공을 포함한 바이오디젤 제조비용으로 나누어 계산하였다<sup>32</sup>.

둘째, 편익은 생산 단계별로 발생된 부산물을 판매하여 발생하는 수익을 직접 편익으로 산정하였다. 바이오디젤은 수입되는 원유와 대체 가능하기 때문에 원유 대체효과를 반영하였다. 또한 일반 화석연료를 대체하여 사용함에 따라 발생하는 다양한 환경적인 편익을 고려하였는데 이들 편익을 간접편익으로 간주하였다.

<sup>32</sup> 자료의 제약으로 유통비용은 고려하지 않았다.

표 3-9. 사회적 비용-편익 추정에 사용된 자료(유채)

|        | 유채(일반 종자)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |             | 유채(일반 종자보다 10% 향상)                  |            |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------|------------|
| 원료비    | 유채씨 3톤/ha                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2.51 톤/BDkl | 유채씨 3.3톤/ha                         | 2.51톤/BDkl |
|        | 유채유 1.26톤/ha                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1.06 톤/BDkl | 유채유 1.39톤/ha                        | 1.06톤/BDkl |
|        | BD 0.3982kl <sup>33</sup> /유채씨 톤                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |             |                                     |            |
| 제조 비용  | · 바이오디젤 생산비용: 협회 회원사 평균비용 307원/리터 적용 <sup>34</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |                                     |            |
| 면적     | BD kl당 생산면적: 0.84ha                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             | BD kl당 생산면적: 0.76ha                 |            |
| 생산 비용  | · 유채씨 생산비용은 2006년 가격으로 환산(kg당 673원) <sup>35</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |             | · 유채씨 생산비용은 2006년 가격으로 환산(kg당 451원) |            |
|        | · 유채 생산과 비교를 위해 보리 생산비용을 계산, 2000년~2002년 농축산물 소득자료를 2006년 값으로 환산하여 적용함 <sup>36</sup> .                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |                                     |            |
| 부산물 편익 | · 유채씨 톤당 유채박 0.5톤 생산(유채박 가격은 200원/kg 가정)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |                                     |            |
|        | · 유채짚은 유채씨 톤당 0.98톤 생산되며, 가격은 10,000원으로 가정함 <sup>37</sup> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |             |                                     |            |
|        | · 유채씨 톤당 글리세린 0.1톤(352원/kg)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |             |                                     |            |
| 간접 편익  | · 경관편익을 계측하기 위해 경관보존직접지불금 170만 원/ha 적용하면 바이오디젤 kl당 1,428,571원에 해당<br>· 석유대체편익은 2007년 1월~10월 평균 두바이유 가격을 적용                                                                                                                                                                                                                                                                        |             |                                     |            |
| 환경 편익  | · 환경편익 계산을 위해 적용한 배출가스는 이산화탄소, SOx, NOx, TSP, CO 등으로 한정하고, 일반 경유 1톤당 이들 배출가스의 배출계수는 3.07톤, 0.017톤, 0.0023톤, 0.00025톤으로 가정 <sup>38</sup><br>· 이들 가스의 저감비율은 BD100 기준 이산화탄소 78.45%, SOx 100%, TSP 47% 등이며, NOx는 10% 증가 가정 <sup>39</sup><br>· 배기가스의 환경피해 비용은 톤당 SOx 3,430,670원, NOx 2,660,777원, TSP 9,116,767원, CO 3,639,274원으로 가정하고 이산화탄소는 2005년 EU의 배출권거래가격(23유로)을 적용 <sup>40</sup> |             |                                     |            |

33 바이오디젤 부피-무게 전환 계수: 0.8845적용, 1ℓ=0.8845kg

34 배정환 외(2007)

35 농촌진흥청 표준소득자료('90, '91, '92년 평균값) 생산비용을 2006년 농림수산물 생산자가격지수를 이용하여 2006년 기준으로 환산함.

36 겉보리 기준 10a당 147,650원

37 배정환(2006)

38 배정환(2006), 박종길(1997)

39 이진석(2004)

40 유승직(2000)

셋째, 원료와 바이오디젤 생산자가 다를 경우 거래되는 가격이나 원료생산을 늘리기 위한 보조금, 바이오디젤의 가격경쟁력을 갖추기 위해 적용하는 면세 등은 사회 전체로 봤을 때 이전지출(*transfer payments*)에 해당하므로 이를 비용과 편익에서 제외시켰다<sup>41</sup>.

넷째, 현재 보리 재고가 늘어나는 상황에서 보리 생산에 따른 편익은 없는 것으로 가정하였다.

끝으로 경관편익을 계측할 때 CVM (*contingent valuation methods*: 가상가치평가법)등 분석기법을 이용해서 추정하는 것이 바람직하지만 본 분석에서는 경관보존직불금을 경관편익의 가치로 가정하였다. 이를 정리한 것이 <표 3-9>에 나타나 있다.

## 나. 분석 결과

벼재배 후 후작으로 겉보리를 재배하고 있는 경지에 겉보리 대신 유채(일반 종자)를 생산하는 경우와, 아무것도 심지 않는 휴경지에 유채를 재배하는 경우로 나누어 비용-편익 분석을 실시하였다.

바이오디젤 1kl를 생산하는 과정에서 발생하는 비용과 편익을 계산하였는데, 먼저 벼와 겉보리를 재배하는 경지에 겉보리 대신 유채를 재배할 경우 사회 전체적으로 봤을 때 겉보리 재배비용이 절약된다. 따라서 유채 생산비용은 실제 생산비용에서 겉보리 생산비용을 제외한 만큼만 산정된다. 그러나 휴경지에 유채를 재배할 경우에는 사회적으로 절약되는 비용없이 유채생산비가 모두 비용으로 계상된다. 따라서 비용은 겉보리 대신 유채를 재배했을 때 BD kl당 111만 원인 반면, 휴경지에 유채를 재배했을 때는 BD kl당 235만 원으로 높게 나타난다(표 3-10).

편익은 직접편익과 간접편익으로 나눌 수 있는데 겉보리 대신 유채를 경작했을 때나, 휴경지에 유채를 심었을 때나 동일하다. 직접편익은 유채짚 판매, 유채박 판매, 글리세린 판매 등으로 구성되며 BDkl당 36만 원이며,

<sup>41</sup> 김동건(2005)

간접편익은 경관편익, 석유대체(에너지안보)편익, 이산화탄소 절감편익 등을 포함하여 BDkl당 196만 원인 것으로 나타났다.

따라서 겉보리 대신 유채를 경작했을 때 순편익은 BDkl당 121만 원이며, 휴경지에 유채를 재배했을 때 순편익은 BDkl당 -3만 원으로 겉보리대신 유채를 경작했을 때 사회적으로 순편익이 큰 것으로 나타났다.

표 3-10. 유채를 이용한 바이오디젤 생산의 B/C분석 결과

기준: 천 원/BDkl

|                   |                           | 쌀+겉보리(유채)    | 휴경지(유채)       |
|-------------------|---------------------------|--------------|---------------|
| ① 비용              | 유채생산비(A)                  | 1,689        | 1,689         |
|                   | 겉보리대체비용(B)                | 1,240        | -             |
|                   | 총생산비(C=A-B)               | 449          | 1,689         |
|                   | 착유비(D)                    | 356          | 356           |
|                   | 바이오디젤생산비(E)               | 307          | 307           |
|                   | <b>비용합(F=C+D+E)</b>       | <b>1,112</b> | <b>2,353</b>  |
| ② 직접편익            | 유채짚판매                     | 25           | 25            |
|                   | 유채박판매                     | 251          | 251           |
|                   | 글리세린판매                    | 88           | 88            |
|                   | <b>직접편익합</b>              | <b>364</b>   | <b>364</b>    |
| ③ 간접편익            | 경관편익(간접)                  | 1,428        | 1,428         |
|                   | 석유대체(에너지안보)편익             | 380          | 380           |
|                   | CO <sub>2</sub> (이산화탄소)저감 | 80           | 80            |
|                   | SOx(황산화물)저감               | 66           | 66            |
|                   | NOx(질소산화물)저감              | -1           | -1            |
|                   | TSP(총부유물)저감               | 1            | 1             |
|                   | CO(일산화탄소)저감               | 1            | 1             |
|                   | <b>간접편익합</b>              | <b>1,956</b> | <b>1,956</b>  |
| <b>순편익(편익-비용)</b> | <b>④편익합(G=②+③)</b>        | <b>2,320</b> | <b>2,320</b>  |
|                   | <b>직접순편익(②-①)</b>         | <b>-748</b>  | <b>-1,989</b> |
|                   | <b>전체순편익(④-①)</b>         | <b>1,208</b> | <b>-33</b>    |

주1: 1ha에 바이오디젤은 1.19kl가 생산되며, 바이오디젤 kl당으로 환산한 경관직불금 143만 원을 적용하였음.

주2: 석유대체(에너지안보)편익은 2007년 1월~10월 평균 두바이유 가격(64.87달러)과 환율(930.53원)을 이용하여 추정함.

### 다. 유채 품종개발에 의한 민감도 분석

유채 신품종을 개발하여 생산량이 지금보다 10% 증가한 3.3톤이 된다고 가정하고 민감도 분석을 실시하였다. 종자개량 전에는 유채 1ha를 재배하여 바이오디젤 1.19kl를 생산할 수 있었으나, 개량된 유채로는 1ha에 바이오디젤 1.31kl를 생산할 수 있다.

비용은 겉보리 대신 유채를 재배했을 경우 BDkl당 67만 원이고, 휴경지에 유채를 재배했을 때는 180만 원인 것으로 나타났다(표 3-11).

표 3-11. 유채 품종개발에 의한 바이오디젤 생산의 B/C분석 결과

기준: 천 원/BDkl

|            |                     | 쌀+겉보리(유채)    | 휴경지(유채)       |
|------------|---------------------|--------------|---------------|
| ① 비용       | 유채생산비(A)            | 1,132        | 1,132         |
|            | 겉보리대체비용(B)          | 827          | -             |
|            | 총생산비(C=A-B)         | 305          | 1,132         |
|            | 착유비(D)              | 356          | 356           |
|            | 바이오디젤생산비(E)         | 307          | 307           |
|            | <b>비용합(F=C+D+E)</b> | <b>673</b>   | <b>1,795</b>  |
| ② 직접편익     | 유채짚판매               | 25           | 25            |
|            | 유채박판매               | 251          | 251           |
|            | 글리세린판매              | 88           | 88            |
|            | <b>직접편익합</b>        | <b>364</b>   | <b>364</b>    |
| ③ 간접편익     | 경관편익(간접)            | 1,871        | 1,871         |
|            | 석유대체(에너지안보)편익       | 380          | 380           |
|            | CO <sub>2</sub> 저감  | 80           | 80            |
|            | SOx저감               | 66           | 66            |
|            | NOx저감               | -1           | -1            |
|            | TSP저감               | 1            | 1             |
|            | CO저감                | 1            | 1             |
|            | <b>간접편익합</b>        | <b>2,399</b> | <b>2,399</b>  |
|            | <b>④편익합(G=②+③)</b>  | <b>2,763</b> | <b>2,763</b>  |
| 순편익(편익-비용) | <b>직접순편익(②-①)</b>   | <b>-309</b>  | <b>-1,431</b> |
|            | <b>전체순편익(④-①)</b>   | <b>2,090</b> | <b>968</b>    |

주: 종자가 개량된 경우에 1ha에서 3.3톤의 유채가 생산되고 생산된 유채는 1.31kl의 바이오디젤을 생산하므로 경관편익은 바이오디젤 kl당 187만원을 적용함.

개량품종의 직접편익은 BDkl당 36만 원으로 종자개량 전과 동일하다. 반면에 간접편익은 경관편익, 에너지안보편익, 이산화탄소 절감편익 등을 계산한 결과 BDkl당 240만 원으로 증가하였다. 따라서 겉보리대신 유채를 경작했을 때 순편익은 BDkl당 209만 원이며, 휴경지에 유채를 재배했을 때 순편익은 BDkl당 97만 원으로 겉보리대신 유채를 경작했을 때 사회적 순편익이 더 큰 것으로 나타났다.

신품종 도입 관련 민감도 분석 결과에 따르면(표 3-12), 바이오디젤 1kl 생산 시 ha당 3.3톤의 유채가 생산될 경우 이모작(쌀+유채) 재배는 일반 종자를 이용하는 경우보다 사회적 편익이 증가하였다. 또한 휴경지에 재배할 경우에도 일반품종을 휴경지에 재배했을 때보다 사회적 편익이 증가하였다. 결과적으로 품종개발로 인해 유채를 이용한 바이오디젤 생산의 사회적 편익은 증가하는 것으로 나타났다.

표 3-12. 유채 품종개발에 대한 민감도 분석결과 비교

기준: 천 원/BDkl

|         | 일반품종  |        | 품종개발(10% 증량) |        |
|---------|-------|--------|--------------|--------|
|         | 쌀+유채  | 휴경지 이용 | 쌀+유채         | 휴경지 이용 |
| 비용합     | 1,112 | 2,353  | 673          | 1,795  |
| 편익(직간접) | 2,320 | 2,320  | 2,763        | 2,763  |
| 순편익     | 1,208 | -33    | 2,090        | 968    |

#### 라. 유가변동에 대한 민감도 분석

최근 국제유가는 한정된 석유 매장량, 국제정세의 불확실성, 지속적인 석유 수요 확대 등으로 인해 고공행진을 계속하고 있다. 국제유가가 높을 수록 바이오디젤 생산에 따른 석유대체효과가 크게 나타날 것이다. 국제유가 변화에 따른 석유대체효과를 파악하기 위해 2007년 1월~10월까지 배럴 당 두바이유 평균 가격(64.87달러)을 기준으로 하여 10달러씩 상승하는 경우를 가정하였다. 계측결과 기준유가를 적용하였을 경우 유채를 이용한 바

이오디젤 1kl 생산에 따른 석유대체효과는 38만 원으로 나타났다. 만일 유가가 배럴당 95달러로 상승하게 되면 석유대체효과는 56만 원인 것으로 나타났다(표 3-13). 유가변동에 따른 석유대체효과의 변화로 바이오디젤 생산의 비용-편익 결과도 다르게 나타난다.

표 3-13. 시나리오별 석유대체 효과

기준: 천 원/BDkl

| 두바이유 가격        | 원/배럴   | 원/리터(석유대체효과) |
|----------------|--------|--------------|
| 65\$(시나리오 I)   | 60,484 | 380          |
| 75\$(시나리오 II)  | 69,790 | 439          |
| 85\$(시나리오 III) | 79,095 | 497          |
| 95\$(시나리오 IV)  | 88,400 | 556          |

시나리오별 경제성 분석 결과 전체 순편익은 쌀과 유채의 이모작인 경우 최소 121만 원 ~ 최대 138만 원으로 추정되었다. 휴경지를 이용할 경우는 현재 유가를 반영하였을 때(시나리오 I)만 순편익이 마이너스로 나타났으며 향후 두바이유 가격이 꾸준히 증가함에 따라 경제성이 있는 것으로 분석되었다(표 3-14).

표 3-14. 시나리오별 유가변동에 대한 민감도 분석결과 비교<sup>42</sup>

기준: 천 원/BDkl

| Dubai 가격       | 쌀+유채  |       |       | 휴경지를 이용할 경우 |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|
|                | 비용합   | 편익합   | 전체순편익 | 비용합         | 편익합   | 전체순편익 |
| 65\$(시나리오 I)   | 1,112 | 2,320 | 1,208 | 2,353       | 2,320 | -33   |
| 75\$(시나리오 II)  |       | 2,379 | 1,267 |             | 2,379 | 26    |
| 85\$(시나리오 III) |       | 2,437 | 1,325 |             | 2,437 | 84    |
| 95\$(시나리오 IV)  |       | 2,496 | 1,384 |             | 2,496 | 143   |

<sup>42</sup> 유채 일반품종 적용

### 3.3.2. 대두의 경제성 분석

#### 가. 분석을 위한 가정

대두의 사회적 비용-편익분석을 위한 가정은 유채와 동일하지만 사용된 자료는 <표 3-15>과 같다. 경제성분석을 위한 기술적인 요인을 살펴보면 1ha의 밭에 대두를 재배했을 때 수확량은 1.7톤이며, 대두 1.7톤으로 대두유 0.33톤을 생산할 수 있다. 바이오디젤 1kl를 생산하기 위해서는 대두 3.81톤이 필요하고, 대두유는 0.74톤이 필요하다. 따라서 대두 1ha를 재배하면 바이오디젤 0.446kl가 생산된다.

비용-편익에서 비용은 대두 생산비, 대두유 전환비용, 바이오디젤 전환 비용 등으로 구성되어 있고, 편익은 부산물 편익, 밭농업직불금과 환경편익을 생각할 수 있다.

표 3-15. 사회적 비용-편익 추정에 사용된 자료(대두)

|       |                                                                 |            |
|-------|-----------------------------------------------------------------|------------|
| 원료비   | 대두 1.7톤/ha                                                      | 3.81톤/BDkl |
|       | 대두유 0.33톤/ha                                                    | 0.74톤/BDkl |
|       | BD: 0.446kl/ha                                                  |            |
| 제조비용  | · 바이오디젤 협회 회원사들의 평균비용 307원/리터 적용                                |            |
| 면적    | · BD kl당 생산면적: 2.24ha                                           |            |
| 생산비용  | · 대두 생산비용은 2006년 가격으로 환산(ha당 3,071,152원)                        |            |
|       | · 대두 생산비 리터당 987원 <sup>43</sup> 바이오디젤 생산원료비는 681원 <sup>44</sup> |            |
|       | · 대두 ha당 생산량 1,700kg(2004~2006년 3개년 평균수량 적용)                    |            |
| 부산물편익 | · 대두박: 1,367kg/ha, 500원/kg                                      |            |
|       | · 글리세린 65kg/ha, (38.2kg/대두1톤)                                   |            |
| 간접편익  | · 밭농업 직불금 40만 원/ha                                              |            |
| 환경편익  | · 유채와 동일함.                                                      |            |

<sup>43</sup> 배정환 외(2007)

<sup>44</sup> 기름함량 20%, 바이오디젤전환 비율 98% 적용, 대두 kg당 대두유 332kg 생산

## 나. 분석 결과

대두를 이용하여 바이오디젤을 생산할 경우, 경제성이 있는지를 분석했다. 바이오디젤 생산을 위해 일반경지에 대두를 재배했을 때와 조건불리지역으로 휴경하고 있는 토지에 대두를 재배할 경우로 나누어 비교하였다. 분석에 앞서 조건불리지역에 대두를 재배할 경우 1ha당 40만 원의 발농업 직불금을 받는 것으로 가정하였다<sup>45</sup>.

표 3-16. 대두를 이용한 바이오디젤 생산의 B/C분석 결과

기준: 천 원/BDkl

|                        | 항 목                   | 일반경지         | 조건불리지역        |
|------------------------|-----------------------|--------------|---------------|
| ① 비용                   | 대두유생산비(A)             | 1,527        | 1,527         |
|                        | 바이오디젤생산(B)            | 306          | 306           |
|                        | <b>비용합(C=A+B)</b>     | <b>1,833</b> | <b>1,833</b>  |
| ② 직접편익                 | 대두박판매액                | 840          | 840           |
|                        | 글리세린판매                | 87           | 87            |
|                        | <b>직접편익합</b>          | <b>927</b>   | <b>927</b>    |
| ③ 간접편익                 | 조건불리직불제 <sup>46</sup> | -            | 897           |
|                        | 에너지안보(석유대체편익)         | 380          | 380           |
|                        | CO <sub>2</sub> 저감    | 80           | 80            |
|                        | SO <sub>x</sub> 저감    | 66           | 66            |
|                        | NO <sub>x</sub> 저감    | -1           | -1            |
|                        | TSP저감                 | 1            | 1             |
|                        | CO저감                  | 1            | 1             |
|                        | <b>간접편익합</b>          | <b>527</b>   | <b>1,424</b>  |
|                        | <b>④편익합(D=②+③)</b>    | <b>1,454</b> | <b>2,351</b>  |
| <b>순편익<br/>(편익-비용)</b> | <b>직접순편익(②-①)</b>     | <b>-906</b>  | <b>-1,833</b> |
|                        | <b>전체순편익(④-①)</b>     | <b>-379</b>  | <b>518</b>    |

<sup>45</sup> 실제로 직접지불금을 받는 것이 아니라 이 금액에 해당하는 사회적 편익이 발생하는 것을 의미한다. 즉 조건불리지역에 작물을 재배함으로써 지역사회 활성화 및 농업의 공익기능 유지 등을 통한 편익이 발생한다고 가정하였다.

<sup>46</sup> 조건불리직불금을 간접편익으로 이용(정부 지원이 있을 경우)하였다.

비용은 대두를 재배하는 비용과 생산된 대두를 바이오디젤로 전환하는 비용으로 구성된다. 따라서 바이오디젤 1kl기준으로 계산했을 때 183만 원의 비용이 소요되는 것으로 나타났다.

편익은 직접편익과 간접편익으로 나누어 분석하였는데 직접편익은 대두 박 판매액, 글리세린 판매액 등이며 바이오디젤 kl당 93만 원이 발생하였다. 한편 간접편익에서 발농업직불금이 없는 경우 바이오디젤 kl당 53만 원, 있는 경우 142만 원이 발생하는 것으로 분석되었다.

분석결과(표 3-16), 일반경지에 대두만 재배했을 경우 바이오디젤 kl당 순편익은 -38만 원이고, 휴경지에 직불금을 받고 대두를 재배했을 경우 52만 원의 순편익이 발생한다.

### 3.3.3. 바이오에탄올 작물(쌀과 고구마)의 경제성 분석

#### 가. 분석을 위한 가정

바이오에탄올 작물의 경제성 분석을 위한 가정은 <표 3-17>과 같다. 비용은 크게 원료 생산비와 바이오에탄올 제조비용을 고려하였다. 이때 최종 탈수 공정까지 드는 총비용은 각각 전체비용의 30%에 해당되는 것으로 가정하였다. 바이오에탄올 1kl를 생산하는 데 사용되는 쌀과 고구마 원료 생산비는 각각 34만 원, 243만 원씩을 적용하였다. 각 품목별 부산물은 모두 건조주정박만 고려하였으며 부산물 가격은 kg당 140원으로 가정하였다. 그밖에 환경편익에는 이산화탄소, 일산화탄소, 분진 저감 효과를 고려하였으며<sup>47</sup> 추가로 논의 다원적 기능 추정액<sup>48</sup>과 발농업직불금을 이용해 간접

47 바이오디젤과 달리 에탄올의 환경편익계수는 구체적으로 추정된 환경계수가 없다(본 분석에서 이용한 환경편익 이외에 HC저감, Mutagenicity, Air Toxics 감소 효과, 탄소배출권(에너지 안보) 등이 있다.).

48 김태곤 외(2005). 발농업직불금의 경우와 마찬가지로 실제로 직접지불금을 받는다는 것을 의미하지 않고 이 금액에 해당하는 편익이 발생한다는 것을 의미한다(주석 43).

편익을 수치화하였다.

기술적 요인으로는 전분 톤당 에탄올 715.4ℓ 생산이 가능하며<sup>49</sup> 실제 제조에 이용되는 쌀 전분함량(69~70%)과 고구마 전분함량(66~67%)을 각각 적용하였다<sup>50</sup>. 원료 톤당 바이오에탄올 생산량 추정식은 다음과 같다.

$$\frac{715.4 \times \text{전분함량} \times \text{발효비율}(0.89) \times \text{증류비율}(0.98)}{0.95(95\% \text{ 주정생산})}$$

표 3-17. 바이오에탄올 경제성 분석에 이용된 자료<sup>51</sup>

| 쌀(재고 현미)                                                                                                                                                                                        | 고구마(절간)                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 쌀 톤당 바이오에탄올 0.453kl 생산                                                                                                                                                                          | 고구마 톤당 바이오에탄올 0.433kl 생산                      |
| 바이오에탄올 원료비: 337,000원/kl                                                                                                                                                                         | 바이오에탄올 원료비: 2,430,000원/kl                     |
| 바이오에탄올 가공비: 144,429원/kl                                                                                                                                                                         | 바이오에탄올 가공비: 1,041,429원/kl                     |
| 쌀 톤당 투입량: 2.21톤/kl                                                                                                                                                                              | 고구마 톤당 투입량: 2.31톤/kl                          |
| 건조주정박 가격: 140원/kg,<br>건조주정박 생산량: 0.39kg/현미 톤                                                                                                                                                    | 건조주정박 가격: 140원/kg,<br>건조주정박 생산량: 0.39kg/고구마 톤 |
| 간접외부효과 적용(가정): 쌀 ⇒ 논의 다원적 기능 600,000원(ha)<br>고구마 ⇒ 경관편익: 발농업직불금 400,000원(조건불리직불제)                                                                                                               |                                               |
| 환경편익 계산을 위해 적용한 배출가스는 이산화탄소, CO, 분진저감으로 한정하고, 일반 경유 1톤당 이들 배출가스의 배출계수는 3.07톤, 0.00063톤, 0.00025 톤으로 가정함 <sup>52</sup> . 이들 가스의 저감비율은 E100 기준 이산화탄소 70%, CO -43.2%, 분진저감 -55.4% <sup>53</sup> 적용 |                                               |

<sup>49</sup> 생산업체 내부자료(2007)

<sup>50</sup> 경제성 분석 시 쌀의 전분함량은 69%, 고구마는 66%를 적용하였다.

<sup>51</sup> 산업자원부(2005)의 국내 에탄올 원료 사용 현황자료 이용

<sup>52</sup> 배정환(2006), 박종길(1997)

<sup>53</sup> 한국에너지기술연구원(2005)

## 나. 분석 결과

쌀과 고구마의 ha당 생산량은 고구마가 쌀에 비해 월등히 높았다. 바이오에탄올 생산은 쌀을 이용할 경우(바이오에탄올 1kl 기준) 총비용이 48만원으로 나타났으나, 고구마는 347만원으로 쌀보다 훨씬 높다. 이는 원료비용과 바이오에탄올 공정비용의 편차가 크기 때문이다.

한편 편익은 부산물 편익, 긍정적 외부효과, 환경편익 등으로 구분되는데, 부산물 편익은 두 작물 모두 동일하나 긍정적 외부효과는 논의 다원적 기능을 고려한 쌀의 편익이 발농업직불금을 고려한 고구마보다 높게 나타났다.

바이오에탄올 1kl 생산에 대한 사회적 순편익은 쌀이 -14만원으로 추정되었으며 고구마의 경우 -333만원으로 나타나 모두 경제성이 없는 것으로 분석되었다(표 3-18). 또한 간접편익 중 긍정적 외부효과를 포함하더라도 순비용이 높게 나타나 쌀과 고구마를 바이오에탄올 원료 작물로 이용하기에는 아직까지는 한계가 있을 것으로 판단된다.

표 3-18. 작물별 바이오에탄올 생산의 B/C분석 결과

기준: 바이오에탄올 1kl

|            |                   |                    | 쌀(재고 현미)    | 고구마(절간)       |
|------------|-------------------|--------------------|-------------|---------------|
|            |                   |                    | 천 원         | 천 원           |
| 비용         | ① 직접비             | 원료비                | 337         | 2,430         |
|            |                   | 바이오에탄올제조비          | 144         | 1,041         |
|            |                   | <b>비용합</b>         | <b>481</b>  | <b>3,471</b>  |
| 편익         | ② 직접편익            | 건조주정박              | 121         | 126           |
|            | ③ 간접편익            | 간접편익 <sup>54</sup> | 250         | 51            |
|            |                   | 이산화탄소 저감           | 88          | 88            |
|            |                   | CO 저감              | 0.7         | 0.7           |
|            |                   | 분진 저감              | 1.8         | 1.8           |
|            | <b>④ 편익합(②+③)</b> |                    | <b>341</b>  | <b>141</b>    |
| <b>순편익</b> |                   | <b>직접 순편익=②-①</b>  | <b>-481</b> | <b>-3,471</b> |
|            |                   | <b>전체 순편익=④-①</b>  | <b>-141</b> | <b>-3,330</b> |

<sup>54</sup> 농업의 다원적 기능 환산금액(쌀)과 발농업직불금(고구마)을 적용하였다. 자세한 설명은 김태곤 외(2005) 참고

## 3.3.4 시사점

직접 편익만을 고려했을 경우 국내산 작물을 이용하여 바이오디젤(유채, 대두), 바이오에탄올(쌀, 고구마)을 생산하는 것은 모두 사회적으로 경제성이 없다. 특히 바이오에탄올은 간접편익을 포함한 전체 순편익도 경제성이 없는 것으로 나타났다(표 3-19). 그러나 바이오디젤의 경우에는 간접편익을 포함하여 고려할 경우 순편익이 양의 값을 가지는 것으로 나타났는데 유채는 겉보리 대체작목으로 재배할 경우, 대두는 조건불리지역에서 재배할 경우 경제성이 있는 것으로 추정되었다. 또한 품종에 대한 민감도 분석 결과 유채는 품종개량을 통해 1ha당 생산성이 3.3톤으로 증가한다면 쌀과 유채를 이모작하는 경우와 휴경지를 이용하는 경우 모두 사회적 편익이 발생하는 것으로 나타났다. 향후 유가 상승으로 인한 석유대체효과를 반영한 경우에도 유채는 양쪽 시나리오 모두 순편익이 높게 나타났다.

표 3-19. 바이오연료별 경제성 분석결과(종합)

기준: 천 원/바이오연료 kl

| 수송용<br>연료  | 원료별          | 시나리오    | 비용    | 편익    | 순편익    |
|------------|--------------|---------|-------|-------|--------|
| 바이오<br>디젤  | 유채           | 쌀+유채    | 1,112 | 2,320 | 1,208  |
|            |              | 휴경지(유채) | 2,353 | 2,320 | -33    |
|            | 유채<br>(품종개발) | 쌀+유채    | 673   | 2,763 | 2,090  |
|            |              | 휴경지(유채) | 1,795 | 2,763 | 968    |
|            | 대두           | 대두      | 1,833 | 1,454 | -379   |
|            |              | 조건불리직불제 | 1,833 | 2,351 | 518    |
| 바이오<br>에탄올 | 쌀            | 쌀       | 481   | 341   | -141   |
|            | 고구마          | 고구마     | 3,471 | 141   | -3,330 |

국내 바이오에탄올에 대한 사회적 비용-편익 분석결과 원료비가 상대적으로 낮은 쌀을 이용하는 것이 고구마를 이용하는 경우보다는 유리한 것으로 나타났다. 그러나 두 경우 모두 순편익이 음의 값을 가지므로 바이오에

탄을 원료 작물로 이용하기에는 어려움이 있다. 결국 국산 원료를 이용한 바이오에탄올은 순수한 주정용 에탄올 생산과정에서 탈수공정만 거치면 생산이 가능하지만 수입 농산물과 가격차가 크기 때문에 경제성 측면에서 문제가 될 수 있다<sup>55</sup>. 특히 에탄올 생산자 입장에서 봤을 때 고구마는 쌀에 비해 품질이 떨어지고 공정과정이 복잡하기 때문에 향후 바이오에탄올 원료로 이용하기 위해서는 이러한 문제를 해결해야 할 것으로 보인다.

## 4. 바이오에너지 연료작물 도입방향과 과제

### 4.1. 기본방향

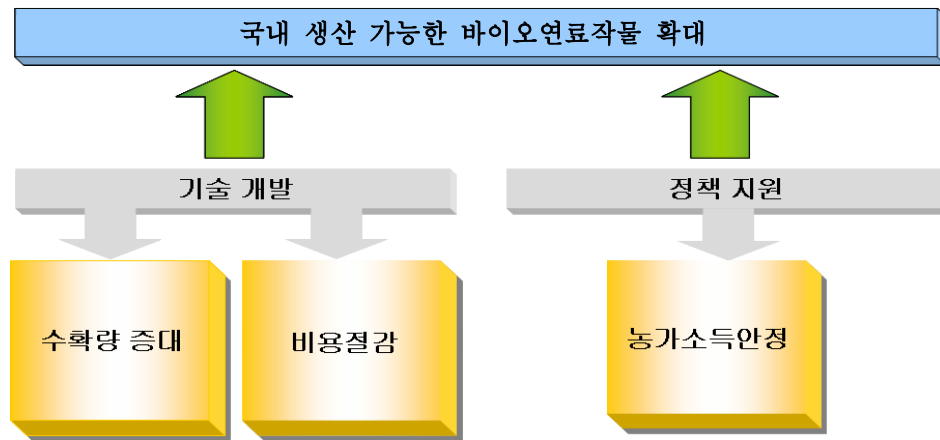
바이오연료 작물은 에너지 원료용뿐만 아니라 식량 수급에도 큰 영향을 미치기 때문에 신중히 접근할 필요가 있다. 우선 기존의 작부체계와 부합하는 범위에서 환경 부담을 최소화할 수 있고, 원료생산을 위한 정부지원이 최소화될 수 있는 방법을 강구해야 할 것이다.

이를 위해서는 국내에서 대량 재배가 가능한 작물 가운데에서 이용 가능성이 높은 연료작물을 선택하여 육성할 필요가 있다(그림 3-3). 기술적으로도 단위면적당 생산비를 줄이고 수확량을 높일 수 있는 기술개발의 투자가 추진되어야 한다. 한편 정책적으로는 연료작물 재배농가가 안정적인 생산을 영위할 수 있도록 직불제 등 허용 가능한 지원책이 도입되어야 할 것이다.

---

<sup>55</sup> 동시에 식용인 원료를 에너지로 소비함에 따른 부정적 사회 인식도 고려해야 한다.

그림 3-3. 바이오연료작물 개발 목표



## 4.2. 추진과제

바이오에너지 산업 활성화의 목적은 에너지 안보강화, 환경오염감축, 농촌사회 활성화 등으로 요약할 수 있다<sup>56</sup>. 따라서 바이오 연료작물 이용 측면에서도 이러한 목표를 벗어나지 않는 방향으로 전개되어야 할 것이며, 특히 농촌사회 활성화 방안은 농업의 관점에서 매우 중요한 목표라 할 수 있다. 바이오연료 작물은 국내에서 생산되는 작물 가운데 유지함량, 재배 기간, 재배가능지역 등 모든 요소를 고려하여 가장 효율적인 작물을 선택하여 생산비 부담을 줄이는 것이 핵심이다.

현재 바이오디젤 원료 작물인 유채에 대해 시범사업이 추진되고 있다. 이러한 사업이 일회성으로 끝나기보다는 사업의 결과를 토대로 부족한 부분을 보완해서 가능성이 있는 연료작물의 재배를 확대해 나가야 할 것이다. 시범사업이 예정된 바이오에탄올의 경우 에너지작물의 전분을 당으로 전환

<sup>56</sup> 하지만 바이오연료 확대 보급에 따라 곡물가격 폭등으로 가축 사료 가격 상승, 식량연료를 에너지원으로 소비함에 따른 식량불균형 문제 등 시장 왜곡 현상도 고려해야 한다.

하기에 가장 적합한 작물을 선택하되, 되도록 저장기간이 짧고 부피가 작은 작물을 선택하는 것이 상용화를 앞당기는 지름길이다. 현재 바이오에탄올 생산업체에서는 쌀을 이용 가능한 작물로 고려하고 있다(표 3-20)<sup>57</sup>.

한편 바이오연료 생산비 가운데 원료비가 차지하는 비중이 크기 때문에 수입 원료와의 가격차를 줄이는 것도 매우 중요하다. 그밖에 해바라기, 땅콩과 같이 우리나라에서 재배되거나 재배가 가능한 작물이면서 향후 이용 가능성이 있는 작물을 중심으로 바이오연료 가능성에 대한 기술적인 검토가 추진되어야 한다.

표 3-20. 바이오에너지 원료작물별 상용화 가능성<sup>58</sup>

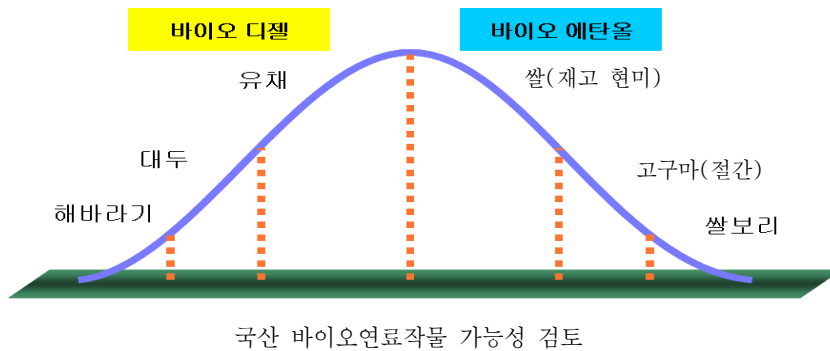
|                            | 작목별 | 정책방향                                                                                       | 경제성<br>분석결과 | 상용화<br>가능성 |
|----------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------|
| 바<br>이<br>오<br>디<br>젤      | 대두  | · 다수성 품종 재배 유도<br>· 소득작물 전·후작 재배로 지력 유지와 농경지활용                                             | △           | ◎          |
|                            | 땅콩  | · 수매가의 현실화 및 수매제도 지속 ⇒ 생산 장려<br>· 다수성 신품종 종자보급 확대 및 생산비 절감<br>· 기술적 연구 투자 강화               | -           | ×          |
|                            | 유채  | · 바이오디젤 생산원료 구축으로 농가소득 안정화<br>· 수매제도 및 시범 사업중인 경관보존 직불제 지속<br>· 원료생산비 절감 및 단위면적당 생산량 증대 필요 | △           | ◎          |
| 바<br>이<br>오<br>에<br>탄<br>올 | 고구마 | · 용도별 고품질 다수성 품종개발<br>· 유통기한 연장을 위한 천연 코팅제 개발<br>· 노동비 등 생산비 절감을 위한 노력 필요                  | ×           | △          |
|                            | 쌀   | · 바이오에탄올 생산수율 증진 및 고품종 개량 필요<br>· 기술적 연구 투자 강화                                             | △           | ◎          |
|                            | 쌀보리 | · 바이오에탄올 생산수율 증진 및 고품종 개량 필요<br>· 기술적 연구 투자 강화                                             | -           | △          |

주: 높음(◎), 중간(△), 낮음(×)

<sup>57</sup> 고구마의 경우 수확기간이 짧고 보관하기 어려워 대량 처리 시설이 필요하며, 전분분해과정에서 많은 수분을 필요로 하는 습식밀링(wet milling) 방법을 적용해야하므로 기존의 에탄올 공정을 모두 교체해야 하는 문제점이 있다. 또한 이 방법은 원료투입 단계에서 자동화하기 쉽지 않다는 약점이 있다.

<sup>58</sup> 상용화 가능성은 경제성분석 결과 및 전문가 의견을 종합하여 연구진이 전망한 것이다.

그림 3-4. 향후 바이오연료작물 이용가능성



### 4.3. 추진전략

세계 곡물가격 상승과 원료의 높은 수입 의존도를 감안할 때 향후 바이오디젤의 국내 원료작물로 유채와 대두의 이용 가능성이 높을 것으로 전망된다(그림 3-4). 특히 유채의 경우 현재 1,500ha에 대해 시범사업을 실시하고 있으므로 그 결과에 따라 점진적으로 재배지역을 확대할 필요가 있으며, 쌀과 함께 이모작함으로써 사회적 비용을 절감할 수 있다. 따라서 가장 효율적인 바이오에너지 작물 생산방법은 우선 이모작을 통해 유채를 생산하고, 추가적으로 한계농지에 대두생산 및 유흥지 유채생산 등을 추진할 필요가 있다.

현재 이모작을 통한 유채재배 가능면적은 618,064ha<sup>59</sup>이며, 여기서 생산할 수 있는 바이오디젤은 738,339kl이다<sup>60</sup>. 산자부가 제시한 바이오디젤 혼합비율 목표에 따라 전체 수송용 경유 소비량에서 차지하는 비중을 현재 최대 생산 가능량 기준으로 예측해 보면 <표 3-21>과 같다.

<sup>59</sup> 국립농산물품질관리원

<sup>60</sup> 반면 2002년 개발된 ‘선망(4.48톤/ha)’의 경우 1,102,587kl 생산 가능할 것으로 예상된다. 이는 2005년 수소용 경유 소비량(17,719,531kl)의 6.2%에 해당된다.

표 3-21. 바이오연료가 수송용 경유 소비량에서 차지하는 비중 전망<sup>61</sup>

단위: kℓ

|              | 2007년<br>(혼합 비율 0.5%) | 2008년<br>(혼합 비율 1%) | 2009년<br>(혼합 비율 1.5%) | 2010년<br>(혼합 비율 2%) |
|--------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| 수송용<br>경유소비량 | 18,119,209            | 18,876,451          | 19,665,340            | 20,390,935          |
| 유채(%)        | 4.07                  | 3.91                | 3.75                  | 3.62                |
| 대두(%)        | 1.52                  | 1.46                | 1.40                  | 1.35                |

주: 기준량은 유채이용 시 738,339kℓ, 대두 275,657kℓ임.

자료: 배정환 외(2007), ‘국가에너지기본계획시안’참조

표 3-22. 바이오에너지 원료작물별 생산성 향상과 생산비 절감을 위한 전략

|     | 품종부분                                 | 농가 소득 안정화                              | 기술 및 연구 분야                               |
|-----|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| 대두  | · BD용 양질<br>· 지방산 조성 품종<br>개발        | · 콩 가격 불안정을 줄<br>이기 위한 수매제도<br>유지 및 확대 | · 소득작물 전·후작 재배<br>로 지력 유지 및 농경지<br>고도 활용 |
| 땅콩  | · 신품종보급 저조.<br>· 우량품종 조기 보<br>급체계 구축 | · 소면적 작물에 대한<br>생산지원 정책 필요             | · 수량성이 높은 땅콩 논<br>재배는 벼 대체 작물로<br>집중연구   |
| 유채  | · 내한성 및 다수성<br>갖춘 품종 육성,<br>보급       | · 경관보존직불금제를<br>지속적으로 추진                | · 새로운 작부체계 도입                            |
| 고구마 | · 바이오에탄올 원<br>료용 품종개발 확대             | · 저장고 및 유통정책<br>지원 강화                  | · 간편 큐어링 방법 개발<br>· 천연 코팅제 개발            |
| 맥류  | · 수율 향상을 위한<br>품종개발                  | · 겨울 농경지 이용촉<br>진을 위한 생산지원             | · 수량성 및 수율 향상 적<br>정 재배법 개발              |

<sup>61</sup> 생산면적은 현재 이모작 재배가능 면적(618,064ha) 기준이다.

국산 연료작물의 도입 초기에는 원료비 부담을 줄이기 위해 정부의 적극적인 지원이 필요하므로 중복되지 않는 범위 내에서 경관보존직불제, 밭농업직불제(조건불리직불제), 유채수매제와 같은 정책을 유지할 필요가 있다<sup>62</sup>. 이와 함께, 바이오에너지 원료 작물별 특성을 고려하여 생산성 향상과 생산비 절감을 위한 품목별 세부전략 수립이 이루어져야 할 것이다. 우리나라에서 도입 가능한 바이오에너지 원료작물의 생산성 향상과 생산비 절감을 위한 방안들을 정리하면 <표 3-22>과 같다.

---

<sup>62</sup> 기술개발의 동기를 부여하고 시장경제로 유도하기 위해 합리적인 시점에서 정부의 지원을 점차 줄여가는 것이 바람직하다.

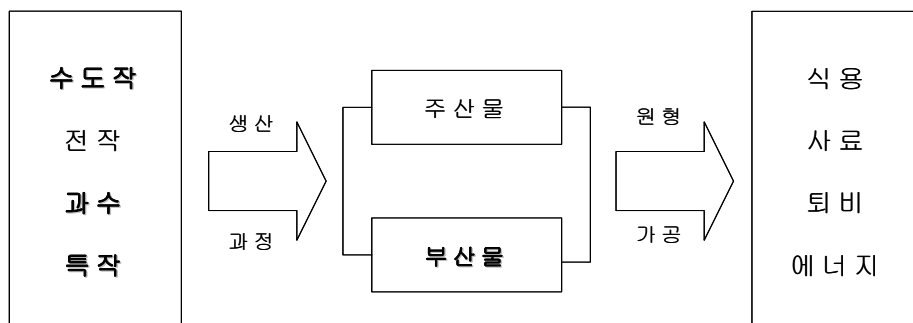
## 1. 농산바이오매스의 종류와 발생량

### 1.1. 농산바이오매스의 종류

농산바이오매스는 넓은 의미에서 수도작, 전작, 과수, 특작 등 농작물 생산에서 발생하는 주산물과 부산물을 의미한다. 그러나 이 연구에서는 주산물을 제외한 부산물을 연구대상으로 한다.

주요 작물로는 농산부문에서 비중이 큰 수도작과 과수를 대상으로 하였고 유채도 포함하였다. 유채의 경우는 재배면적은 미미한 수준이나 최근 바이오디젤의 원료로 유채씨가 주목을 받고 있기 때문에 분석대상에 포함하였다.

그림 4-1. 농산바이오매스의 분류



농산바이오매스의 종류에는 수도작의 경우 벳짚, 왕겨, 미강 등이 있고, 전작과 특작은 줄기와 쥔, 과수에서는 전정가지 등이 있다. 이들 농산바이오매스는 변환과정을 거쳐 식용, 사료, 퇴비와 같은 제품, 바이오에너지 등으로 이용될 수 있다(그림 4-1).

## 1.2. 농산바이오매스의 발생량

농산바이오매스 발생량은 작물별 단위면적당 발생량과 재배면적에 비례한다. 주요 농산물의 단위면적당(10a) 바이오매스 발생량은 수도작 부산물인 건조상태의 벳짚이 653kg으로 가장 많고, 고구마 줄기도 646kg으로 벳짚과 비슷한 수준이다.

2006년 작물별 재배면적을 기준으로 농산바이오매스의 연간 발생량을 추정한 결과(표 4-1), 재배면적과 단위면적당 발생량이 많은 벳짚이 623만 6천 톤으로 가장 많고 다음이 왕겨로 연간 112만 7천 톤이 발생한 것으로 나타났다. 이에 비하여 다른 작물의 바이오매스 발생량은 재배면적이 벳에 비하여 상대적으로 작기 때문에 발생량 또한 적게 나타났다.

표 4-1. 주요 농작물의 바이오매스 발생량

|     | 2006재배면적<br>(천ha) | 부산물 | 발생량<br>(kg/10a) | 연간 발생량<br>(천 톤) |
|-----|-------------------|-----|-----------------|-----------------|
| 벼   | 955               | 벳짚  | 653             | 6,236           |
|     |                   | 왕겨  | 118             | 1,127           |
| 맥류  | 58                | 쥔   | 298             | 173             |
| 고구마 | 17                | 줄기  | 646             | 110             |
| 대두  | 101               | 줄기  | 269             | 272             |
| 유채  | 0.7               | 줄기  | 460             | 3               |

주: 10a당 벳짚 발생량은 연구자에 따라 최소 500kg에서 최대 653kg으로 차이가 있으나 여기서는 최대치를 적용함.

자료: 농업공학연구소의 단위면적당 발생량 자료를 이용하여 작성

유채 줄기는 10a당 460kg이 발생하는 것으로 조사되었으며, 2006년도 전체 유채재배면적(0.7ha)을 적용할 경우 3천 톤의 바이오매스가 발생한 것으로 나타났다. 유채 줄기 발생량은 타 작물에 비해 아직 미미한 수준이나 바이오디젤 원료확보를 위해 유채 재배면적이 늘어날 것으로 예상되기 때문에 앞으로 유채 줄기 발생량도 크게 증가할 것으로 보인다. 이 경우 유채 줄기를 효과적으로 이용하기 위한 방안이 대두될 것으로 보인다.

### 1.3. 농산바이오매스의 에너지 부존량

농산바이오매스의 에너지 부존량은 이들 바이오매스의 연간 발생량과 단위 중량당 발열량을 이용하여 산출할 수 있다. 벳짚, 왕겨, 보릿짚, 유채 및 콩의 줄기 등 농산바이오매스 단위중량(kg)당 열에너지량은 콩대가 4,044kcal로 가장 높고 유채대가 3,970kcal, 벳짚이 3,312kcal로 가장 낮다.

이들 농산바이오매스의 에너지량을 석유환산톤으로 계산한 결과(표 4-2), 바이오매스 발생량이 가장 많은 벳짚이 206만 5,363toe로 가장 많고 유채대는 1,191toe에 불과하다. 주요 농산바이오매스의 에너지 부존량은 단위 중량당 열량도 영향을 미치는 것은 하나 결국 연간 바이오매스 발생량에 비례함을 알 수 있다.

표 4-2. 농산바이오매스 종류별 에너지 부존량

|     | 단위중량당 열량<br>(kcal/kg) | 연간 바이오매스 발생량<br>(천 톤) | 바이오매스 에너지량<br>(toe) |
|-----|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 벳짚  | 3,312                 | 6,236                 | 2,065,363           |
| 왕겨  | 3,433                 | 1,127                 | 386,899             |
| 보릿짚 | 3,653                 | 173                   | 63,197              |
| 유채대 | 3,970                 | 3                     | 1,191               |
| 콩대  | 4,044                 | 272                   | 109,997             |

자료: 농업공학연구소 내부자료

한편, 과수의 경우 단위면적당 열량과 과수 재배면적을 기준으로 전국의 과수 바이오매스 에너지 양을 석유환산톤으로 계산한 결과, 사과가 16만 9,225toe로 가장 많고 포도, 배, 복숭아 순이다(표 4-3).

표 4-3. 과수바이오매스의 에너지 부존량

|     | 단위중량당 열량<br>(kcal/kg) |             | 단위면적당<br>열량(kcal/m <sup>2</sup> ) | 바이오매스 에너지량    |              |
|-----|-----------------------|-------------|-----------------------------------|---------------|--------------|
|     | 건조                    | 수분함유(%)     |                                   | 재배면적<br>(천ha) | 부존량<br>(toe) |
| 사과  | 4,599                 | 2,933(32.8) | 6,268                             | 27            | 169,225      |
| 배   | 4,532                 | 2,702(35.1) | 3,811                             | 22            | 83,840       |
| 포도  | 4,486                 | 3,176(22.9) | 4,743                             | 22            | 104,344      |
| 복숭아 | 4,601                 | 3,599(24.1) | 2,098                             | 15            | 31,465       |

자료: 홍성구 외(2005).

앞에서 추정한 농산바이오매스의 에너지 부존량을 전량 이용한다면 2012년 우리나라 신재생에너지 공급목표(1,553만 1천toe)의 19.4%를 농산 바이오매스로 충당할 수 있다(표 4-4). 태양광, 풍력, 소수력 등 신재생에너지의 구성분야를 고려할 때 농촌현장에서 발생하는 농산바이오매스만 잘 이용하더라도 신재생에너지 공급목표를 달성하는 데 크게 기여할 것으로 기대된다.

표 4-4. 신재생에너지 공급목표에서 농산바이오매스 에너지량의 비중  
단위: 천toe, %

|      | 2012년 신재생에너지<br>공급목표(A) | 농산바이오매스 부존량(B) |            |       | B/A  |
|------|-------------------------|----------------|------------|-------|------|
|      |                         | 농작물<br>(5종)    | 과수<br>(4종) | 계     |      |
| 에너지량 | 15,531                  | 2,627          | 389        | 3,016 | 19.4 |

자료: 산업자원부(2006)에서 작성.

## 2. 농산바이오매스의 이용 동향과 시사점

### 2.1. 농산바이오매스의 이용 형태

농산바이오매스는 원형 또는 가공의 형태로 식용, 사료, 퇴비, 에너지원 등으로 이용되고 있다. 수도작 바이오매스 중 벃짚은 원형상태 또는 절단해서 조사료나 축사의 깔짚으로 이용되는 비율이 높다. 왕겨는 원형 또는 가공의 상태로 사료나 퇴비로 사용되고 있다. 미강, 쉼미, 청미 등은 가공하여 사료로 많이 사용되고 있다(표 4-5).

과수바이오매스인 전정된 가지는 파쇄하여 퇴비로 사용하거나 원형의 상태로 펄감에 주로 사용하고 있다. 유지작물인 유채는 유채씨를 이용해서 유채유나 바이오디젤을 생산하고 유채 줄기는 사료 및 퇴비, 연료용으로 이용되기도 한다.

표 4-5. 농산바이오매스의 이용용도

| 작물  | 종류 | 이용용도                   | 이용 형태          |
|-----|----|------------------------|----------------|
| 수도작 | 벃짚 | 조사료, 축사 깔짚             | 원형, 절단         |
|     | 왕겨 | 축사 깔재, 사료, 퇴비, 공산품(헬멧) | 원형, 왕겨숯, 왕초액 등 |
|     | 미강 | 사료, 퇴비, 현미유 등          | 원형, 펄릿         |
|     | 쉼미 | 사료, 떡용                 | 가공             |
|     | 청미 | 사료                     | 가공             |
| 과실  | 전지 | 퇴비, 펄감, 타용도(울타리) 등     | 파쇄, 원형         |
| 유채  | 줄기 | 사료, 퇴비, 연료용            | 원형             |
|     | 씨  | 식용유, 바이오디젤             | 가공             |

## 2.2. 농산바이오매스의 이용 동향

### 2.2.1. 볏짚

볏짚에는 규산, 칼리, 질소 등이 함유되어 있어 농가들은 퇴비로 이용하는 비율이 약 60%로 가장 높고, 가축사료로 활용하는 비율도 약 25%에 이른다. 외부에 판매하는 비율도 약 8%를 차지하고 있는데(표 4-6), 이는 축산농가에 사료용으로 판매하는 경우가 대부분이다.

최근에는 축산농가의 수요 증가로 <그림 4-2>와 같은 베일 형태로 결속한 후 비닐로 포장한 이른바 곤포를 만들어 판매하는 비율이 빠르게 증가하고 있는 추세이다. 그러나 건조상태에서 볏짚을 결속하기 위한 트랙터 구동형 결속기가 고가(트랙터 50마력급 결속기 기준 약 2,000만원)여서 소규모 농가가 쉽게 곤포를 만들어 판매하기는 어려운 실정이다. 따라서 개별농가가 기계를 보유하는 것보다는 공동이용이나 전문 처리업자에게 맡기는 편이 유리할 것으로 판단된다.

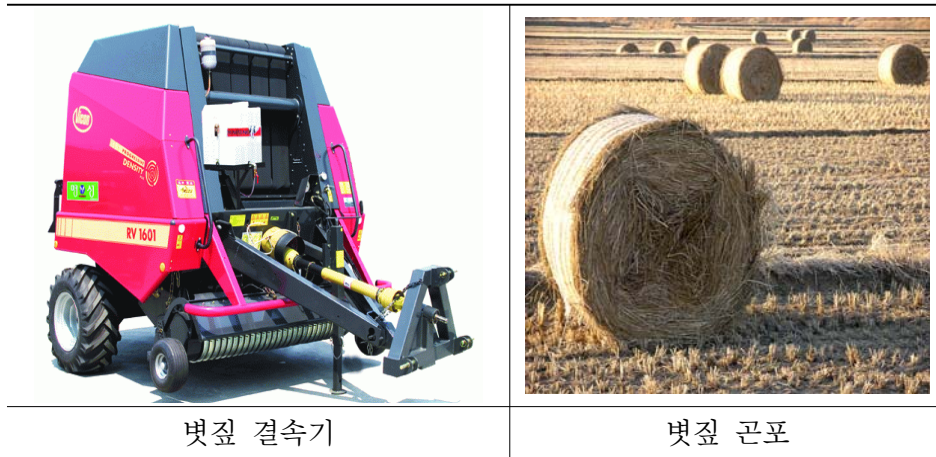
표 4-6. 지대별 농가의 볏짚 활용용도

단위: %

|      | 자가논, 밭에<br>퇴비로 이용 | 본인 가축<br>사료로 이용 | 외부에<br>무상공급 | 외부에<br>판매 | 과수원<br>등에 이용 | 계   |
|------|-------------------|-----------------|-------------|-----------|--------------|-----|
| 도시근교 | 66.0              | -               | 4.0         | 28.0      | 2.0          | 100 |
| 평야지  | 62.8              | 18.6            | -           | 18.6      | -            | 100 |
| 산간지  | 46.0              | 39.0            | 5.0         | -         | 10.0         | 100 |
| 준산간지 | 62.6              | 26.5            | 2.3         | 4.3       | 4.3          | 100 |
| 평균   | 59.3              | 25.1            | 2.7         | 8.2       | 4.7          | 100 |

자료: 한국농촌경제연구원 통신휘(수도작) 조사결과, 2006.

그림 4-2. 벧짚 결속기 및 곤포



## 2.2.2. 벧짚 외

일반 농가의 벧짚 외 부산물 처리는 왕겨의 경우 퇴비로 사용하는 비율이 가장 높고, 미강은 퇴비와 가축사료로 이용하는 비율이 높다. 쉼미와 청미는 약 80% 정도를 가축 사료로 이용하고 있으며 일부 식용으로 이용하기도 한다. 큰 비중은 차지하지 않으나 도정과정에서 발생하는 부산물을 정미소에 두고 오는 경우도 있다(표 4-7).

표 4-7. 농가의 수도작 바이오매스 활용 실태

단위: %

|    | 퇴비로 활용 | 가축사료/<br>깔개 | 식용 활용 | 정미소에<br>두고 옴 | 계   |
|----|--------|-------------|-------|--------------|-----|
| 왕겨 | 82.9   | 9.8         | -     | 7.3          | 100 |
| 미강 | 41.0   | 48.7        | -     | 10.3         | 100 |
| 쉼미 | -      | 80.0        | 10.0  | 10.0         | 100 |
| 청미 | -      | 76.9        | 19.2  | 3.9          | 100 |

자료: 한국농촌경제연구원 통신휘(수도작) 조사결과, 2006.

한편, RPC는 왕겨의 경우 왕겨숯과 왕초액, 미강은 미강펠릿 등으로 자체 가공하여 친환경농업자재로 활용하는 경우가 있으나 이는 극히 일부 RPC에서 수행하고 있다. 대부분은 부산물을 전문 수거업체나 농가에 판매하고 있다(표 4-8). 왕겨를 제외한 미강, 쉼미, 청미 등은 대부분 가축 사료용으로 이용되고 있다.

RPC 부산물을 효과적으로 이용하기 위해서는 RPC가 부산물 가공시설을 직접 설치하여 운영하는 것보다는 전문 업체를 활용하는 것이 비용측면이나 제품의 안전성면에서 유리할 것으로 보인다. 즉 RPC와 유기질 비료 업체 간에 OEM방식의 제휴를 통해 맞춤형 퇴비(수도작용, 원예용 등)를 생산해서 관내 농민이 활용할 수 있는 방안이 강구될 필요가 있다.

표 4-8. RPC부산물의 판매처와 사용용도

|     | 판매처       | 주요 사용용도            |
|-----|-----------|--------------------|
| 왕 겨 | 전문업체 및 농가 | 축산용, 마늘밭 등 퇴비용     |
| 미 강 |           | 사료용, 현미유, 친환경쌀겨농법용 |
| 쉼 미 | 전문업체 및 농가 | 사료용, 떡용            |
| 청 미 | 농가 및 수요자  | 사료용                |

자료: 농협중앙회(2006).

### 2.2.3. 과수 전정가지

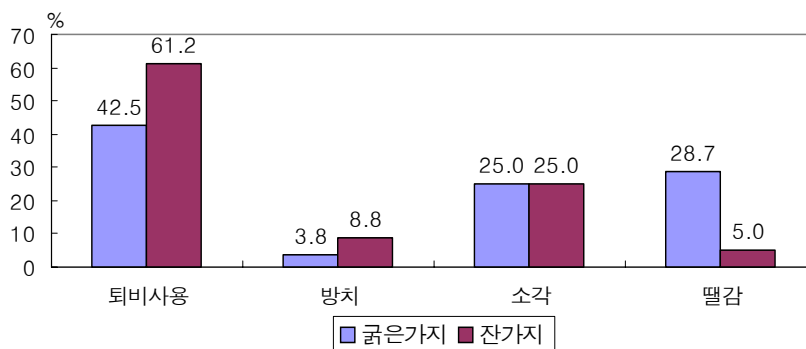
과실 부산물 바이오매스의 이용형태는 잔가지의 경우 파쇄하여 퇴비로 이용하는 경우가 가장 많고, 껍은가지는 펄프감으로 사용하기도 한다. 경우에 따라서는 모아서 울타리로 사용하기도 하나 소각하는 비율이 높고 과수원 내에 방치하는 경우도 있다(그림 4-3).

전정가지를 부가가치가 가장 높게 이용하는 방법은 톱밥화하여 축산농가에 판매하는 것이다. 그러나 현실적으로 과수농가가 전정가지를 톱밥으로 만들어 축산농가에 판매하는 경우는 거의 없다. 이는 발생하는 전정가지량이 톱밥을 만들어 판매할 만큼 많이 발생하지 않을 뿐만 아니라 톱밥

을 만드는 기계가 고가이기 때문이다.

전정가지를 파쇄하여 퇴비화하거나 톱밥화하는 기계장치로 잔가지 파쇄기 및 톱밥 제조기가 있다(그림 4-4). 이들 기계장치는 구동되는 동력원에 따라 트랙터 구동형, 경운기 구동형, 모터 구동형 및 엔진 부착 자주형 등이 있다. 가격은 모터 부착형 소형의 경우에는 500만 원 정도이나 엔진이 부착된 자주형의 경우에는 약 6,000만 원으로 고가이다.

그림 4-3. 과일 바이오매스의 이용형태



자료: 한국농촌경제연구원 현지조사(17농가) 결과, 2006.

그림 4-4. 전정가지 파쇄 및 톱밥화 기계장치



## 2.2.4. 유채 줄기

유채는 대부분 수도작과 이모작으로 재배되기 때문에 유채씨를 수확한 후 곧바로 이앙하여야 하는 관계로 수확기간이 한정되어 있다. 따라서 유채 줄기는 대부분의 농가에서 수확콤바인 작업 후 바로 포장에서 소각을 하거나 경운 및 로타베이터 작업을 통해 퇴비로 사용하고 있다.

이와 같이 유채 줄기의 수집작업이 어렵기 때문에 사료화하거나 에너지화하지 못하고 있는 실정이다. 유채 줄기를 보다 효과적으로 이용하기 위해서는 단순히 소각하는 대신 베일러 등의 기계를 이용한 결속작업을 통해 사료 및 에너지원으로서의 이용을 도모할 필요가 있다.

현재까지 유채 생산을 위한 전용 기계는 수확 콤바인 정도가 보급 중에 있으나 농촌진흥청 농업공학연구소에서 유채 생산의 일관기계화를 위하여 유채 파종기, 수확 콤바인, 유채 정선기, 유채 건조기 등을 개발 중에 있다.

## 2.3. 농산바이오매스 이용에서의 시사점

농산바이오매스 이용 실태와 동향에서 나타난 제약요인을 통해서 바이오매스의 이용활성화를 위해 몇 가지 시사점을 도출할 수 있다.

첫째, 농산바이오매스의 수집을 원활히 할 수 있는 체계를 갖추는 것이 매우 중요하다. 농산바이오매스는 넓은 면적에 분포하고 있기 때문에 이를 얼마나 효율적으로 수집·수송할 수 있을 지가 바이오매스 이용시 논의되어지는 최대 과제이다. 바이오매스 생산자와 사용자의 연계에 의한 효율적인 지역단위의 수집 시스템을 구축할 필요가 있다. 이를 위해서는 어느 한 가지 자원에 국한시켜 이용하기보다는 지역단위를 중심으로 농산바이오매스의 저장 및 처리시설을 구축하고 수집체계를 마련하여 바이오매스 생산자와 이용자의 연계를 활성화시키는 방안이 필요하다.

나아가 바이오매스의 이용에 관계하는 모든 경제주체의 효과적인 연계와 적절한 비용부담을 통해 바이오매스의 회수 → 재자원화 → 유통 → 소

비에 이르는 전체적인 시스템이 구축되어야 한다. 이를 통하여 결과적으로는 농산촌뿐만 아니라 인근 도시지역까지 포함하는 순환형 지역사회의 구축에 기여하게 될 것이다.

둘째, 농산바이오매스를 수요가 많고 부가가치가 큰 방향으로 자원화할 필요가 있다. 농산바이오매스는 축산이나 임산분야에 비해 활용용도가 다양하여 그동안 농가 차원에서 자체적으로 이용하는 비율이 높았다. 그러나 그 활용 측면에서 일부 친환경농업자재로 활용되는 경우가 있으나 주로 퇴비 정도에 불과하다. 농산바이오매스 이용의 부가가치를 높이기 위해서는 보다 다양한 제품화나 에너지화를 도모할 필요가 있다. 예를 들어 볏짚 등은 축산농가로부터 수요가 꾸준히 증가하고 있기 때문에 곤포 형태로 사료화하고, 전정가지는 톱밥화하여 축산농가의 수분조절제로 활용하는 등 부가가치가 높은 용도로 이용할 필요가 있다. 유채 줄기의 경우도 펠릿화하여 열에너지원으로 활용할 필요가 있다.

셋째, 바이오매스의 자원화 과정에서 규모의 유리성을 추구해 나가야 한다. 농산바이오매스를 농가단계에서 제품화하거나 에너지화하는 데는 기계장치 투자비용과 기술적인 측면에서 제약요인이 많다. 이를 해결하기 위해서는 조직화를 통한 공동이용이나 자원화 전문업체와 제휴한 이용시스템을 갖출 필요가 있다. 예를 들어 유채 수확용 콤바인의 경우 가격이 7천만 원 정도로 개별농가가 구입하기는 현실적으로 불가능하다. 따라서 작목반 및 규모가 큰 영농단위별로 공동구입하여 사용하는 방안이 필요하다.

넷째, 농산바이오매스 이용촉진을 위한 연구개발이 강화되어야 한다. 바이오매스에너지 선진국에서는 농산바이오매스를 바이오가스화 내지 전기화 수준까지 도달해 있으나 우리의 경우 퇴비화 수준에 머물고 있다. 농산바이오매스의 부가가치를 높일 수 있는 제품개발, 이용기술, 가공설비 등 바이오매스의 효과적인 이용을 위한 연구개발이 뒷받침되어야 한다. 특히 바이오매스 이용의 경제성을 향상시키기 위해서는 보다 효율이 높은 변환기술의 개발이 필요하다.

다섯째, 바이오매스의 변환 후 이용도를 높일 수 있는 방안이 강구되어야 한다. 바이오매스의 변환 후에 바이오 제품이나 바이오에너지는 화석

에너지 및 화석 에너지 제품과 경쟁하게 된다. 즉 변환 후의 에너지나 제품의 이용 수요가 기대만큼 성장할지는 예측할 수 없다. 따라서 지구 온난화 방지나 산림·농업의 다원적 기능에 대한 국민의 이해 증진과 함께 기술개발·보급에 대한 지원 강화가 필요하다.

마지막으로 바이오매스 이용과 관련해서는 중앙정부 및 지방정부의 정책적 지원이 뒷받침 되어야 하고, 주민의 참여의식이 무엇보다 중요하다. 중앙정부의 투융자지원, 세제지원이나 의무제도 도입뿐만 아니라 지역 내 바이오매스의 적극적인 이용을 유도하기 위한 조례의 제정이나 바이오매스의 이용에 힘쓰고 있는 기업, 단체 등에 대한 특례, 지역 내 바이오매스 이용시설의 설치 및 원료조달, 운송 등에 대한 지방정부의 지원 등을 고려할 수 있다.

바이오매스 이용의 환경적·경제적 편익 및 필요성에 대한 지역주민의 공감대 형성이 무엇보다 중요하다. 또한 바이오매스의 이용을 둘러싼 각 부문 간 이해관계 발생 시 이를 조정하여 자원이 원활하고 효율적으로 이용될 수 있도록 하는 조정장치가 필요하다.

### 3. 농산바이오매스의 경제성 분석

#### 3.1. 분석을 위한 기본 전제

농산바이오매스 이용에 따른 경제성 분석대상과 자원화 종류는 볏짚을 이용한 볏짚 곤포(베일), 과수 전정가지를 이용한 톱밥, 유채 줄기를 이용한 펠릿화로 설정하였다. 볏짚은 농산바이오매스 중에서는 비중이 가장 크고 최근 곤포에 대한 수요가 증가하고 있는 추세이다. 과수 전정가지는 축산농가에서 수요가 많은 톱밥으로 활용할 경우 부가가치를 높일 수 있을 것이다. 유채 줄기는 단위 중량당 열량이 많아 펠릿화하여 보일러 원료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

이들 3분야의 경제성 분석에서 공통적으로 적용한 전제는 <표 4-9>와 같다. 우선 연간 감가상각비는 신규기계구입비를 내용연수로 나눈 직선법을 적용하였다. 기계별 내용연수는 베일러는 8년, 펠릿제조기는 10년으로 하였고 기계의 잔존가액은 없는 것으로 가정하였다. 연간 수리비 계수는 6%, 연간 이자율은 5%를 적용하였다. 작업과정에서 인건비는 1일 8시간 기준 6만원으로 가정하였다. 작업과정에서의 연료비는 2006년 면세경유 평균가격인 리터당 657원, 윤활유비는 연료비의 15%를 적용하였다. 70마력 기준 트랙터의 연료 소모량은 시간당 18.6리터를 적용하였다.

표 4-9. 경제성 분석을 위한 기본 전제

| 항목    | 지표 및 내역                  | 비고             |
|-------|--------------------------|----------------|
| 감각상각비 | 신규기계구입비÷내용연수             |                |
| 내용연수  | 결속기, 베일러: 8년, 펠릿제조기: 10년 |                |
| 잔존가액  | 없음(0)                    |                |
| 수리비   | 기계비 × 수리비계수(6%)          |                |
| 이자    | 부분현재가 × 연이율(5%)          | 기계비÷2 × 연이율    |
| 인건비   | 60,000원/8시간(시간당 7,500원)  | 2006년 농협조시치 평균 |
| 연료비   | 리터당 657원                 | 2006년 평균 면세경유  |
| 윤활유비  | 연료비의 15%                 |                |
| 연료소모량 | 시간당 18.6리터               | 트랙터 70마력       |

자료: 농업공학연구소

경제성 분석을 위한 분석 틀은 아래의 손익분기점 도출 공식을 이용하였다.

$$S = \frac{FC}{I - VC}$$

$S$  : 손익분기 면적(ha),  $FC$  : 연간 고정비용  
 $VC$  : ha당 변동비용,  $I$  : ha당 판매 수입

### 3.2. 볏짚의 곤포(베일사료) 이용 경제성

농업부문에서 축산의 비중이 커지면서 볏짚 곤포의 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 현재 볏짚 곤포의 판매단가는 400kg기준 개당 4만원에 이른다. 볏짚 곤포를 만들기 위해서는 볏짚을 결속한 후 비닐로 포장하기 때문에 결속기(bailer)와 베일래퍼(bail-lapper)가 필요하다.

한편, 곤포 1개의 중량은 대체로 400kg이기 때문에 논 1ha에서의 볏짚 생산량을 6,530kg이라 할 경우 1ha의 논에서 곤포 16.3개를 생산할 수 있다. 결속기의 작업성능은 시간당 7,200kg을 결속할 수 있어 논 1ha를 작업하는데 54분 정도가 소요된다. 베일래퍼의 시간당 작업 성능은 400kg 곤포(베일형태)기준 30개를 포장할 수 있기 때문에 1ha(베일 16.3개)를 작업하는데 32분 정도가 소요된다. 결속기의 가격은 2,600만 원, 베일래퍼는 2,000만 원을 적용하였다. 여기서 결속기와 베일래퍼는 70마력 트랙터 견인형이다. 이상의 분석지표를 정리하면 <표 4-10>과 같다.

앞에서 언급한 기본 전제와 지표를 이용하여 볏짚 곤포를 만들었을 때의 손익분기 분석을 시도하였다. 우선 비용 측면에서 보면 고정비와 변동비로 구분할 수 있다.

고정비는 결속기와 베일래퍼의 감가상각비, 수리비, 이자로 구성되고 그 비용은 <표 4-11>과 같다. 결속기의 연간 고정비는 546만원, 베일래퍼는 420만원으로 연간 총고정비는 966만원이 소요된다.

표 4-10. 곤포작업 경제성분석을 위한 지표

|                | 경제성분석을 위한 지표                |
|----------------|-----------------------------|
| 논 1ha에서 볏짚 생산량 | 6,530kg(곤포 16.3개 생산)        |
| 곤포 1개의 중량      | 400kg                       |
| 결속기 구입가격       | 26,000,000원(내구년 8년)         |
| 베일래퍼           | 20,000,000원(내구년 8년)         |
| 결속기 작업성능       | 시간당 7,200kg(1ha 작업시 54분 소요) |
| 베일래퍼 작업성능      | 시간당 30개(1ha 작업시 32분 소요)     |
| 곤포 판매단가        | 40,000원/개                   |

표 4-11. 곤포생산을 위한 연간 고정비용

단위: 원

|       | 결속기       | 베일래퍼      | 계         |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 감가상각비 | 3,250,000 | 2,500,000 | 5,750,000 |
| 수리비   | 1,560,000 | 1,200,000 | 2,760,000 |
| 이자    | 650,000   | 500,000   | 1,150,000 |
| 계     | 5,460,000 | 4,200,000 | 9,660,000 |

변동비는 트랙터 사용에 따른 연료비, 윤활유비, 곤포작업 인건비로 구성된다. 논 1ha 벧짚작업을 기준으로 했을 경우 결속작업(54분 소요)을 위한 비용은 19,400원, 베일래퍼 작업(32분 소요)은 11,500원이 소요되어 총 30,900원이 소요된다(표 4-12).

표 4-12. 곤포생산을 위한 변동비용(1ha기준)

단위: 원

|      | 결속 작업  | 베일래퍼 작업 | 계      |
|------|--------|---------|--------|
| 연료비  | 11,000 | 6,520   | 17,520 |
| 윤활유비 | 1,650  | 980     | 2,630  |
| 인건비  | 6,750  | 4,000   | 10,750 |
| 계    | 19,400 | 11,500  | 30,900 |

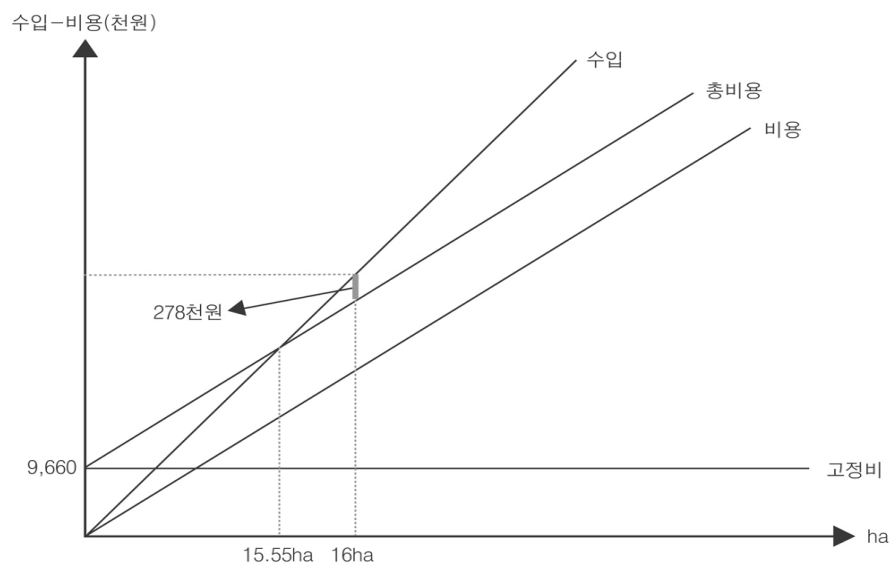
한편, 수입측면을 보면 곤포 1개의 판매가격이 4만 원이고 1ha에서 16.3개의 곤포를 만들어 낼 수 있으므로 논 1ha에서 65만 2천원의 수입이 발생한다(표 4-13).

표 4-13. 곤포판매를 통한 수입(1ha기준)

| 논1ha 곤포생산량 | 곤포 개당 판매가 | 곤포 판매수입    |
|------------|-----------|------------|
| 16.3개      | 40,000원   | 652,000(원) |

이상의 비용과 수입을 가지고 손익분기점 도출 공식을 이용하여 곤포 생산의 손익분기 면적을 계산하면 15.55ha이다. 따라서 농가단위에서 곤포 생산을 위해서는 최소 16ha 이상의 논에서 발생하는 볏짚을 활용해야 수익을 창출할 수가 있다. 만약 논 10ha에서 발생하는 볏짚을 이용하여 곤포를 생산할 경우는 3백만 원 이상의 손실을 보게 된다. 논 16ha에서 발생하는 볏짚을 이용할 경우는 27만 8천 원의 수익을 올릴 수가 있다. 이상의 손익분기 규모를 그림으로 나타내면 <그림 4-5>와 같다.

그림 4-5. 볏짚의 곤포 이용 손익분기 규모



### 3.3. 과수 전정가지의 톱밥 이용 경제성

볏짚을 이용한 곤포와 마찬가지로 농촌현장에서는 축산농가로부터 톱밥의 수요가 매우 많다. 톱밥은 축산농가에서 가축분뇨의 수분조절제로 활용되고 있는데 톱밥 공급량이 적어 축산농가에서는 톱밥 구입에 어려움을 겪고 있다. 그럼에도 불구하고 과수농가의 전정가지는 톱밥화되지 못하고 방

치되거나 태워버리는 경우가 많다. 이는 과수 전정가지를 수집해서 톱밥화하기가 번거롭고 비용이 상당히 소요되기 때문으로 보인다.

현재 톱밥 가격은 5톤 트럭(3,000kg 적재) 기준 50만 원 정도로 매우 고가이다. 사과와 배 과수원을 기준으로 할 경우 과수원 1ha에서 발생하는 전정가지는 17,000kg으로 이를 전량 톱밥화할 경우 17,000kg을 생산할 수 있다. 전정가지를 톱밥화하기 위해서는 톱밥제조기가 필요한데 톱밥제조기(트랙터 견인형) 가격은 1,300만 원 정도이다. 전정가지를 톱밥화하기 위해서는 수거작업이 필요한데 1ha의 전정가지를 수거하기 위해서는 1인 기준 10일(80시간)이 필요하다. 톱밥제조기의 성능은 시간당 2,400kg을 톱밥화할 수 있다. 따라서 수거된 전정가지 17,000kg을 톱밥화하는 데는 7.1시간(425분)이 소요된다(표 4-14).

과수 전정가지를 톱밥화하는 데 있어 고정비용은 톱밥제조기 구입 및 사용에 따른 감가상각비, 수리비, 이자 등이다. 앞에서 언급한 기본가정과 분석 지표를 이용하여 계산한 연간 고정비는 273만 원이다(표 4-15).

표 4-14. 과수 전정가지의 톱밥화 경제성 분석을 위한 지표

|                   | 경제성 분석을 위한 지표                |
|-------------------|------------------------------|
| 과수원 1ha에서의 전정가지량  | 17,000kg(톱밥 17,000kg 생산)     |
| 과수원 1ha 전정가지 수거시간 | 1인 10일(80시간)                 |
| 톱밥제조기 구입가격        | 13,000,000원(내구년 8년)          |
| 톱밥제조기 작업성능        | 시간당 2,400kg(1ha 작업시 425분 소요) |
| 톱밥 판매단가           | 500,000원/5톤트럭(3,000kg)       |

표 4-15. 톱밥생산을 위한 연간 고정비용

단위: 원

|       | 고정비용      | 산출기준                |
|-------|-----------|---------------------|
| 감가상각비 | 1,625,000 | 13,000,000÷8년       |
| 수리비   | 780,000   | 13,000,000 × 6%     |
| 이자    | 325,000   | 13,000,000 ÷ 2 × 5% |
| 계     | 2,730,000 |                     |

변동비는 전정가지를 수거하고 톱밥작업을 하는 데 소요되는 인건비와 트랙터를 사용하여 톱밥제조기를 가동하는 데 소요되는 연료비, 윤활유비 등으로 구성된다.

과수원 1ha의 전정가지를 수거하는 데 소요되는 시간은 10일(80시간)이기 때문에 수거인건비는 600,000원, 톱밥작업에는 425분이 소요되기 때문에 운전인건비가 53,130원이다. 트랙터 425분 사용에 따른 연료비는 86,560원, 윤활유비는 12,980원이다. 따라서 과수원 1ha의 전정가지를 톱밥화하는 데 소요되는 총 변동비는 75만 2,670원이다(표 4-16).

표 4-16. 톱밥생산을 위한 변동비용(1ha기준)

단위: 원

|       | 변동비용    | 산출근거                        |
|-------|---------|-----------------------------|
| 연료비   | 86,560  | 18.6리터/60분 × 657원/리터 × 425분 |
| 윤활유비  | 12,980  | 86,560원 × 15%               |
| 수거인건비 | 600,000 | 7,500원/시간 × 80시간            |
| 운전인건비 | 53,130  | 7,500원/시간 × 425분            |
| 계     | 752,670 |                             |

한편, 수입측면을 보면 톱밥 5톤트럭 1대분(3,000kg) 판매가격이 50만원이고 1ha의 과수원 전정가지로 17,000kg의 톱밥을 만들어 낼 수 있으므로 과수원 1ha에서 283만 3천원의 수입이 발생한다(표 4-17).

표 4-17. 톱밥판매를 통한 수입(1ha기준)

| 과수원 1ha 톱밥생산량 | 톱밥 kg당 판매가 | 톱밥 판매수입    |
|---------------|------------|------------|
| 17,000kg      | 167원       | 2,833,000원 |

이상의 비용과 수입을 가지고 손익분기점 도출 공식을 이용하여 톱밥 생산의 손익분기 면적을 계산하면 131ha이다. 따라서 농가단위에서 톱밥생산을 위해서는 최소 1.5ha이상의 과수원에서 발생하는 전정가지를 이용해

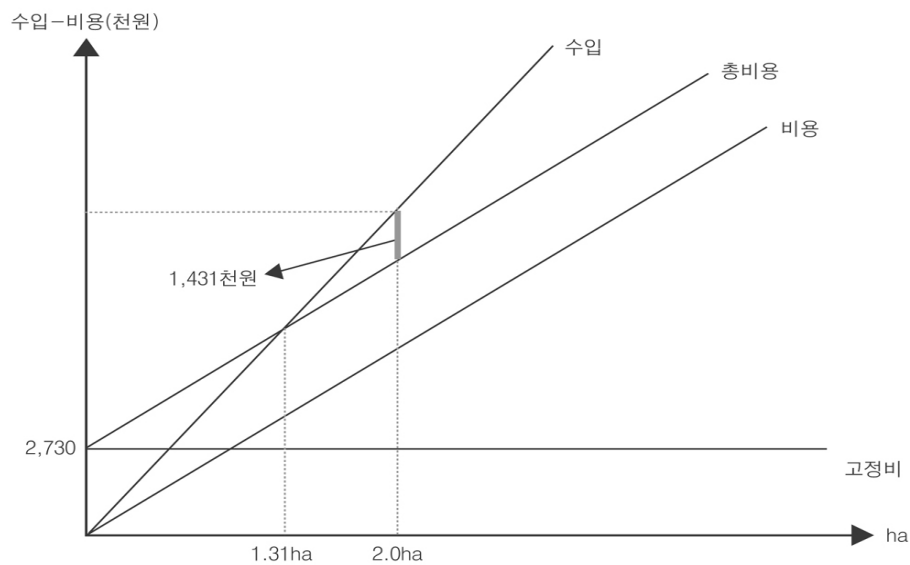
야 수익을 창출할 수가 있다. 만약 과수원 1ha에서 발생하는 전정가지만을 톱밥화해서 판매할 경우는 65만원의 손실을 보게되고, 2ha 과수원의 전정가지를 톱밥화할 경우는 143만원의 수익을 올릴 수가 있다(표 4-18). 이상의 손익분기 규모를 그림으로 나타내면 <그림 4-6>과 같다.

표 4-18. 과원규모별 톱밥화에 따른 손익 비교

단위: 천 원

|        | 수입(A)  | 비용(B) | 손익(A-B) |
|--------|--------|-------|---------|
| 1ha    | 2,833  | 3,483 | -650    |
| 2ha    | 5,666  | 4,235 | 1,431   |
| 손익분기면적 | 1.31ha |       |         |

그림 4-6. 과수 전정가지의 톱밥 이용 손익분기 규모



### 3.4. 유채줄기의 펠릿 연료 이용 경제성

현재 유채는 제주도와 남부지방 일부지역에서 재배되고 있다. 그러나 유채가 바이오디젤의 원료로서 각광을 받으면서 앞으로 유채재배면적이 크게 증가할 것으로 예상된다. 유채줄기는 단위 중량당 발열량이 높음에도 불구하고 현재까지는 대부분 작업포장에서 태워버리는 경우가 많았다. 그러나 향후 유채재배가 확대되었을 때 이를 펠릿화해서 열원으로 활용하는 방법을 모색할 필요가 있다.

현재 열원으로 사용되는 펠릿의 판매단가는 20kg기준 포대 당 1만 원에 이른다. 유채밭 1ha에서 유채줄기는 4,600kg이 생산된다. 따라서 이를 펠릿화할 경우 230포대를 생산할 수 있다(표 4-19).

유채줄기를 펠릿화하기 위해서는 유채줄기 결속기(bailer)와 펠릿제조기가 필요하다. 결속기는 트랙터 견인형으로 구입가격은 2,600만 원, 시간당 작업 성능은 7,200kg을 결속할 수 있어 유채밭 1ha를 작업하는 데 38분 정도가 소요된다. 펠릿제조기의 구입가격은 500만 원이고 시간당 작업 성능은 500kg으로 1ha면적의 유채줄기를 작업하기 위해서는 9.2시간(552분)이 소요된다. 펠릿제조기는 전기를 이용해서 작동되는데, 시간당 전력소모량은 15kw이고 농사용전기(병)를 사용할 수 있다.

표 4-19. 펠릿작업 경제성 분석을 위한 지표

|                    | 경제성 분석을 위한 지표                         |
|--------------------|---------------------------------------|
| 유채밭 1ha에서 유채줄기 생산량 | 4,600kg(펠릿 230포대)                     |
| 펠릿 1포대 중량          | 20kg                                  |
| 결속기 구입가격           | 26,000,000원(내구년 8년)                   |
| 펠릿제조기 가격           | 5,000,000원(내구년 10년)                   |
| 결속기 작업성능           | 시간당 7,200kg(1ha 작업시 38분 소요)           |
| 펠릿제조기 작업성능         | 시간당 500kg(1ha 작업시 9.2시간 소요)           |
| 펠릿제조기 전력소요         | 시간당 15kw                              |
| 전력단가(농사용전기)        | 36.4원/kwh<br>기본요금: 계약전력 15kw × 1,070원 |
| 펠릿 판매단가            | 10,000원/포대                            |

이러한 지표 하에서 펠릿제조를 위한 고정비는 결속기와 펠릿제조기의 감가상각비, 수리비, 이자 등으로 구성되고 그 비용은 <표 4-20>과 같다. 결속기의 연간 고정비는 546만 원, 톱밥제조기는 92만 5천 원으로 연간 총 고정비는 638만 5천 원이 소요된다.

표 4-20. 펠릿생산을 위한 연간 고정비용

단위: 원

|       | 결속기       | 톱밥제조기   | 계         |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 감가상각비 | 3,250,000 | 500,000 | 3,750,000 |
| 수리비   | 1,560,000 | 300,000 | 1,860,000 |
| 이자    | 650,000   | 125,000 | 775,000   |
| 계     | 5,460,000 | 925,000 | 6,385,000 |

변동비는 트랙터 사용에 따른 연료비, 윤활유비, 결속작업 인건비와 펠릿 제조기 가동에 따른 전기료와 인건비 등으로 구성된다. 유채밭 1ha의 유채 줄기를 기준으로 했을 경우 결속작업(38분 소요)을 위한 비용은 13,650원, 펠릿 작업(9.2시간 소요)은 90,070원으로 총 103,720원이 소요된다(표 4-21).

표 4-21. 펠릿생산을 위한 변동비용(1ha기준)

단위: 원

|      | 결속 작업  | 펠릿 작업  | 계       |
|------|--------|--------|---------|
| 연료비  | 7,740  | -      | 7,740   |
| 윤활유비 | 1,160  | -      | 1,160   |
| 전기료  |        | 21,070 | 21,070  |
| 인건비  | 4,750  | 69,000 | 73,750  |
| 계    | 13,650 | 90,070 | 103,720 |

한편, 수입측면을 보면 펠릿 1포대의 판매가격이 1만 원이고 1ha에서 펠릿 230포대를 만들어 낼 수 있으므로 유채밭 1ha에서 230만 원의 수입이 발생한다(표 4-22).

표 4-22. 펠릿판매를 통한 수입(1ha기준)

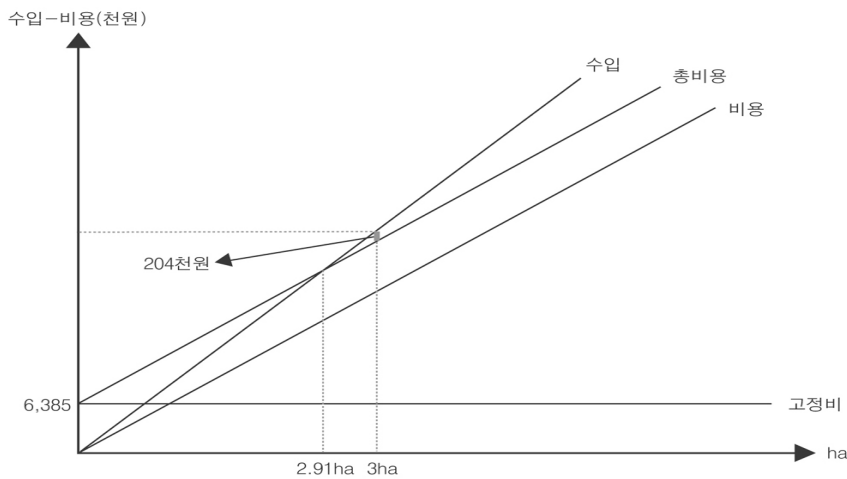
| 유채밭 1ha 펠릿 생산량 | 펠릿 포대당 판매가 | 펠릿 판매수입    |
|----------------|------------|------------|
| 230포대          | 10,000원    | 2,300,000원 |

이상의 비용과 수입을 가지고 손익분기점 도출 공식을 이용하여 유채줄기 펠릿생산의 손익분기 면적을 계산하면 2.91ha이다. 따라서 농가단위에서 유채펠릿 생산을 위해서는 최소 3ha이상의 유채밭에서 발생하는 유채줄기를 활용해야 수익을 창출할 수가 있다. 만약 유채밭 2ha에서 발생하는 유채줄기만을 펠릿화해서 판매할 경우는 약 200만 원의 손실을 보게 되고, 3ha의 유채줄기를 펠릿화할 경우는 약 20만 원의 수익을 올릴 수가 있다 (표 4-23). 이상의 손익분기 규모를 그림으로 나타내면 <그림4 -7>과 같다.

표 4-23. 유채재배 규모별 펠릿화에 따른 손익 비교

| 단위: 천 원 |        |       |         |
|---------|--------|-------|---------|
|         | 수입(A)  | 비용(B) | 손익(A-B) |
| 2ha     | 4,600  | 6,592 | -1,992  |
| 3ha     | 6,900  | 6,696 | 204     |
| 손익분기면적  | 2.91ha |       |         |

그림 4-7. 유채줄기의 펠릿 이용 손익분기 규모



## 4. 농산바이오매스 이용 활성화를 위한 과제와 전략

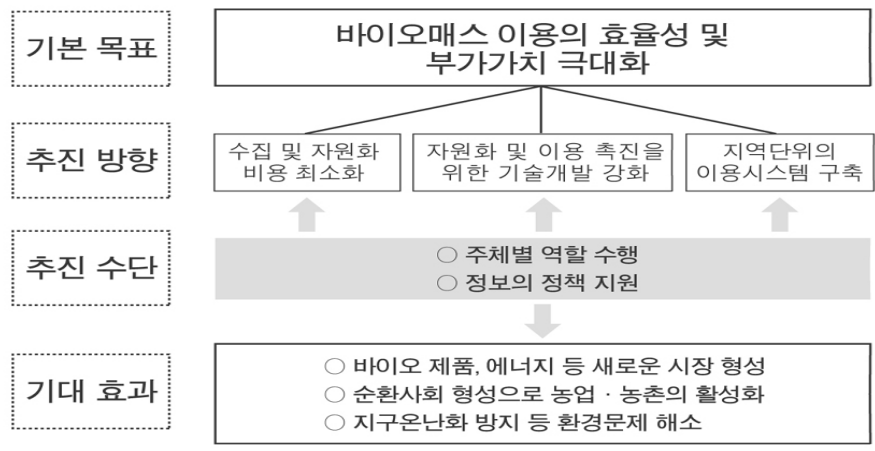
### 4.1. 기본목표와 방향

농산바이오매스는 축산이나 임산분야에 비해 활용용도가 다양하여 그동안 농가 차원에서 자체적으로 이용하는 비율이 높았다. 그러나 그 활용 측면에서 보면 퇴비정도에 불과하고 부가가치가 높은 친환경자재나 에너지원까지는 이르지 못하고 있다.

농산바이오매스도 에너지 및 제품화를 통해서 새로운 산업의 소재로 발전시켜 나갈 수 있는 가능성이 크다. 또한 농촌지역의 폐기물계 바이오매스를 효과적으로 활용함으로써 농림업의 자연순환기능을 유지·증진시켜 농업·농촌의 활성화에 기여할 수 있다. 나아가 바이오매스의 이용은 궁극적으로 지구 온난화 방지와 같은 환경문제 해소에도 기여할 것으로 기대된다.

따라서 농산바이오매스 이용을 위한 기본목표를 바이오매스 이용의 효율성을 높이고 부가가치를 극대화하는 것으로 설정할 필요가 있다(그림 4-8). 이러한 기본목표 하에서 목표달성을 위한 추진방향은 다음과 같이 3가지 측면에서 접근할 수가 있다. 첫째, 바이오매스 이용에서 가장 큰 걸림돌은 수집의 어려움과 자원화의 경제성에 있다. 따라서 바이오매스 수집 및 자원화 비용을 최소화하는 것이다. 둘째는 농산바이오매스의 자원화 및 이용 촉진을 위한 기술개발을 강화해야 한다. 이를 통해 자원화를 용이하게 하고 부가가치가 높고 경제성이 있는 에너지와 제품을 만들어 낼 수 있다. 셋째는 농산바이오매스의 종류가 다양하고, 발생지역이 광범위해서 단일 바이오매스 이용만으로는 이용이나 자원화에 한계가 있다. 따라서 적절한 규모의 지역단위에서 바이오매스 이용을 최적화할 수 있도록 지역단위의 이용시스템을 구축해 나가야 한다.

그림 4-8. 농산바이오매스 이용 활성화를 위한 기본목표와 방향



4.2. 추진과제

농산바이오매스 이용활성화를 위한 목표와 추진방향 하에서 2절에서 언급한 시사점과 경제성 분석 결과를 토대로 추진과제를 도출해 보면 다음과 같다(표 4-24).

표 4-24. 농산바이오매스 이용 활성화를 위한 추진과제

| 추진방향                   | 추진과제                                                            |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 바이오매스 수집 및 자원화 비용 최소화  | - 바이오매스 발생주체, 자원화주체, 이용주체 간 연계성 구축<br>- 바이오매스 이용촉진을 위한 시설·장비 지원 |
| 자원화 및 이용촉진을 위한 기술개발 강화 | - 농산바이오매스의 에너지 변환기술 개발 지원<br>- 자원화 제품에 대한 연구개발 강화               |
| 지역단위의 이용시스템 구축         | - 지역의 특성을 고려한 이용시스템 도입<br>- 이용시스템 구축을 위한 주체별 역할 설정              |

우선 농산바이오매스의 수집 및 자원화 비용을 최소화하기 위한 과제로는 바이오매스 발생주체, 자원화주체, 이용주체 간의 연계성을 구축하고 바이오매스 이용촉진을 위한 장비나 시설에 대한 지원이 필요하다. 농산바이오매스 자원화 및 이용촉진의 기술개발을 위한 과제로는 바이오매스의 에너지 변환 기술개발에 대한 지원과 자원화 제품에 대한 연구개발이 강화되어야 한다. 지역단위에서의 농산바이오매스 이용시스템이 구축되기 위해서는 지역의 특성을 고려한 순환형 이용시스템이 도입되어야 하고 여기에 참여하고 있는 각 주체별 역할이 분명히 설정되어야 한다.

### 4.3. 추진전략

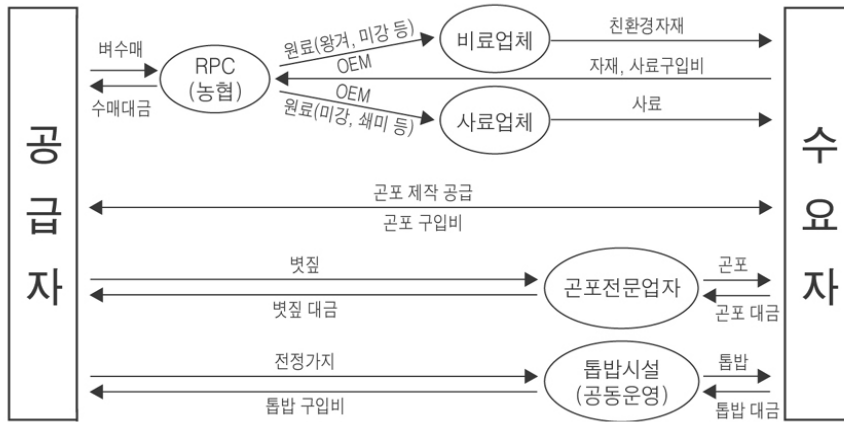
#### 4.3.1. 자원화 주체를 통한 공급자와 수요자 연계

농산바이오매스는 지역적으로 광범위하게 분산되어 있어 물량과약이 곤란하고 수집에 어려움이 많다. 또한 자원화 과정에서 규모의 경제성을 살리지 못하고, 자원화 후 수요자와의 연결고리도 정착되어 있지 않다.

예를 들면, 최근 친환경농업의 확대와 더불어 일부 RPC에서 미곡부산물을 이용하여 왕겨숯, 미강펠릿 등 친환경농업 자재를 만들어 지역 농가에 공급하고 있다. 그러나 RPC에서 친환경자재 생산을 담당하기에는 인력, 기술수준, 인허가 문제, 제조비용 등 여러 문제점이 나타나고 있다. 따라서 <그림 4-9>와 같이 RPC가 중심이 되어 전문 비료업체에 OEM방식의 친환경자재 생산을 위탁하고, 생산된 자재를 지역 농가에 공급하는 시스템이 미곡에서 발생하는 부산물의 활용도를 높일 수 있는 방법이 될 수 있다.

또한 축산농가로부터 수요가 많은 볏짚 곤포나 톱밥의 경우도 대규모 수도작 농가나 과수농가의 경우는 직접 제작하여 축산농가에 공급할 수도 있으나 규모화를 통해 비용절감을 도모할 수 있도록 전문업자 또는 공동제조 시설을 활용하는 것이 바람직한 방법이다.

그림 4-9. 농산바이오매스의 공급자·수요자 연결 체계



#### 4.3.2. 농산바이오매스 이용 촉진을 위한 시설·장비 지원

농산바이오매스를 이용하고 자원화함에 있어 규모의 유리성을 살리기 위해서는 전문업체와 연계하거나 조직화를 통해 추진하는 것이 바람직하다. 그러나 지역 여건에 따라서는 RPC나 과수농가가 직접 자원화의 주체가 될 수밖에 없는 경우가 있다. 이 경우 자원화를 위한 시설 및 장비에 대해 지원을 강화하여 바이오매스의 활용도를 제고시켜 나가야 한다.

수도권 지대 농협RPC의 대부분은 왕겨 및 미강을 이용한 친환경자재를 생산하여 관내 조합원에게 공급하기를 희망한다. 그러나 친환경자재 제조 시설을 설치하기 위해서는 일시에 많은 투자비가 소요되므로 대부분 RPC가 적극적으로 참여하지 못하고 있는 상태이다. 과수 농가들도 전정가지를 파쇄하여 퇴비로 활용코자 하나 파쇄기 구입비용이 1천만 원 내외이고 연간 이용 일수도 며칠에 불과하여 파쇄기 구입을 꺼리고 있는 실정이다. 따라서 이러한 시설이나 장비에 대한 지원이 적절히 이루어질 경우 농산바이오매스를 보다 적극적으로 이용할 수 있을 것이다(표 4-25).

표 4-25. 농산바이오매스 이용 촉진을 위한 지원장비(예)

|         | 기계·설비 종류   | 기계·설비 소요액 | 지원대상    |
|---------|------------|-----------|---------|
| 미곡바이오매스 | 탄화시설, 펠릿시설 | 4억~7억 원   | RPC     |
| 과실바이오매스 | 과쇄기        | 1천만 원 내외  | 개별 과수농가 |

#### 4.3.3. 농산바이오매스의 에너지 변환기술 개발 지원

현재 농촌 현장에서 농산바이오매스를 이용한 자원화 방법은 퇴비화, 소각, 사료화 등의 소극적인 방법이라 할 수 있다. 그러나 바이오매스 이용의 부가가치를 높이고 농촌사회의 발전 및 자원순환형 사회를 형성하기 위해서는 적극적인 자원화 방안을 강구할 필요가 있다. 적극적인 자원화 방안에는 에너지화하는 방법을 모색해 볼 수 있다. 특히 농산바이오매스의 에너지화는 최근 고유가에 대응하고 지속가능한 대체에너지 개발이라는 점에서 큰 의미를 부여할 수 있을 것이다.

표 4-26. 각종 바이오매스의 연료화 이용 예

| 원료 바이오매스              | 이용 방법      | 이용 형태                  |
|-----------------------|------------|------------------------|
| 농산부산물, 목재, 폐재 등       | 직접연소       | 연소열(난방열, 전기에너지)        |
|                       | 가열(산소공급)   | 가스화(열병합발전)             |
|                       | 가열(공기차단)   | 바이오오일·가스(전기, 열), 목탄    |
| 축산분뇨, 음식물쓰레기, 농산물잔사 등 | 혐기성 발효     | 메탄(열병합발전→전기, 열)        |
|                       | 발효, 화학적 분해 | 퇴비, 사료                 |
| 사탕수수, 사탕무, 옥수수, 카사바 등 | 발효(알코올화)   | 에탄올(자동차연료, 발전용, 난방용 등) |
| 대두, 유채, 동물성지방, 폐식용유   | 추출, 에스테르화  | 바이오디젤(발전, 난방, 수송용)     |

농산바이오매스 자원에는 다종다양한 것이 존재하고 그 성상(발열량, 비중, 함수율 등), 발생 형태, 발생 규모 등이 다르기 때문에 에너지 이용을 위해 변환 기술이 중요하다. 농산바이오매스의 에너지 변환기술은 직접 연소 외에 다른 열화학적 변환(가스화, 탄화 등), 생물화학적 변환(메탄 발효 등) 등을 고려할 수 있는데, 특히 열화학적 변환기술과 생물화학적 변환기술 개발에 지원을 강화할 필요가 있다. 이들 변환기술을 이용하여 농산바이오매스를 에너지화한 예를 소개하면 <표 4-26>과 같다.

#### 4.3.4. 자원화 제품에 대한 연구개발 강화

현재까지 농산바이오매스는 퇴비화에 가장 많이 이용되고 있는데, 퇴비가 대부분 농가단계에서 이루어지고 있어 비료성분에 대한 검증과정 없이 사용되고 있다. 따라서 농가단위에서 퇴비화시 퇴비 제조방법이나 시비 방법, 효과 등에 대한 연구개발과 농가지도가 추진되어야 한다.

일부 RPC에서 자원화하고 있는 친환경농업 자재 또한 정확한 성분분석이나 품질 보증 없이 사용되고 있다. 이러한 친환경자재의 효과와 제조방법에 대한 연구개발이 뒷받침되고, 개발된 기술이 농촌현장에 보급되어야 농산바이오매스의 이용을 활성화할 수 있을 것이다.

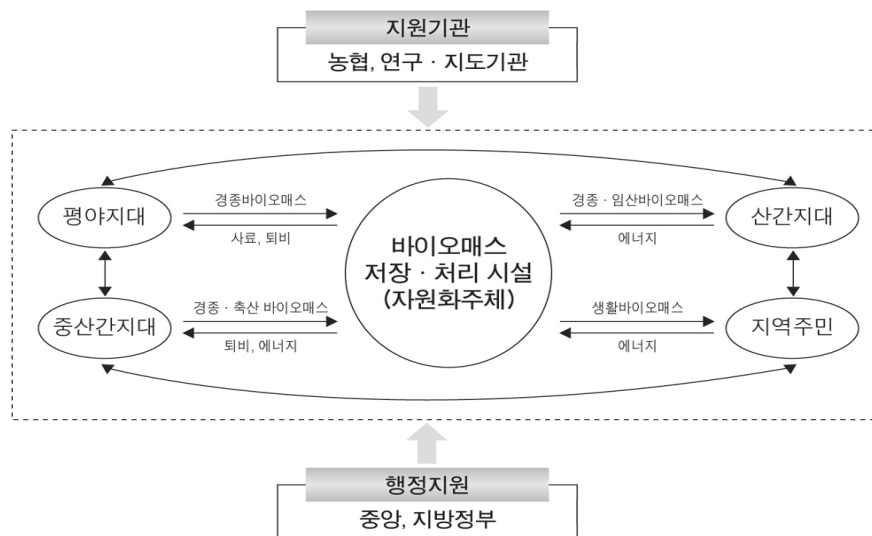
#### 4.3.5. 지역의 특성을 고려한 이용시스템 도입

농촌현장에서 발생하는 바이오매스의 종류는 지역에 따라 다소 차이가 있다. 평야지역에서는 주로 수도작 위주의 경종작물로부터 발생하는 바이오매스량이 많을 것이다. 준산간지역에서는 경종과 축산부문의 바이오매스 발생량이 많고, 산간지역에서는 경종과 임산부문에서 발생하는 바이오매스 발생량이 많을 것이다. 따라서 지역에 따라 바이오매스 활용시설이나 방법을 다르게 할 필요가 있다.

이를테면 평야지역의 수도작 주산지에서는 볏짚, 왕겨 등을 이용한 사료, 퇴비화 제조시설이 바람직하다. 축산부문이 많은 지역에서는 퇴비 또

는 에너지화 시설이 필요하다. 산간지역에서는 임산바이오매스를 이용한 에너지화 시설이 바람직하다. 따라서 지역의 주 작물을 고려한 바이오매스의 저장 및 처리시설을 구비하고 수집체계를 마련하여 바이오매스 생산자와 이용자의 연계를 활성화시켜 나가야 한다. 이러한 시스템을 그림으로 나타내면 <그림 4-10>과 같다.

그림 4-10. 지역단위에서의 바이오매스 이용시스템 구상



#### 4.3.6. 순환 이용시스템 구축을 위한 주체별 역할 설정

농산바이오매스의 이용이 지금까지의 소극적 이용에서 벗어나 바이오제품과 친환경적 에너지 생산단계에 까지 이른다면 이는 분명 새로운 산업으로 발전할 수 있을 것이다. 이를 통해 농업, 농촌의 활성화에도 기여하게 될 것이며, 농촌내부뿐만 아니라 지역의 주민까지를 아우르는 순환형 지역 사회를 형성하게 될 것이다.

지역에서 발생하는 바이오매스 이용이 활성화되기 위해서는 바이오매스의 생산 및 수집, 운송 체계, 자원화시설 등이 구비되어야 한다. 아울러 제도적인 장치와 정부의 지원, 사회적 인식도 뒷받침되어야 한다. 이러한 일련의 시스템이 정착되기 위해서는 바이오매스 이용과 관련된 각 주체의 역할이 분명해야 하고 여기에 따른 노력이 필요하다.

지역단위에서 바이오매스 이용과 관련된 주체로는 우선 바이오매스 발생주체이며 이용주체인 농가와 지역주민, 농협, 연구 및 지도기관, 자원화주체(전문업체 또는 공동조직), 중앙 및 지방 정부 등이 있다. 이들 관련 주체의 역할을 정리하면 <표 4-27>과 같다.

표 4-27. 농산바이오매스 이용 활성화를 위한 주체별 역할

| 주체                    | 역할                                                                                                             |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 지역 농가                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 바이오매스 발생 최소화 및 바이오매스 수거</li> <li>- 바이오제품 및 에너지 적극 이용</li> </ul>       |
| 지역 주민                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 바이오매스 이용에 적극 참여</li> <li>- 생활폐기물의 발생 최소화 및 자원화</li> </ul>             |
| 농협                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 바이오매스 수집, 운송시스템 및 자원화시설 운용</li> <li>- 바이오매스 발생자와 수요자 연결</li> </ul>    |
| 자원화주체<br>(전문업체, 공동조직) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 양질의 바이오제품, 에너지 생산</li> <li>- 자원화 과정에서 비용절감</li> </ul>                 |
| 연구·지도기관               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 바이오제품 품질기준 설정, 자원화 기술 지도</li> <li>- 바이오매스의 자원화 과정에서 문제점 해결</li> </ul> |
| 중앙 및 지방정부             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 바이오매스 이용 관련 조례 제정</li> <li>- 바이오매스 자원화 시설·장비 재정 지원</li> </ul>         |

### 1. 축산바이오매스의 종류와 발생량

#### 1.1. 축산바이오매스의 종류

축산부문의 바이오매스는 소, 돼지, 닭 등의 가축을 사육하는 과정에서 발생하는 생성물을 의미한다. 주로 가축분뇨를 지칭하며 도축과정에서 발생하는 가축이나 털 등도 축산바이오매스에 해당된다. 이 연구는 축산바이오매스 중에서 비중이 가장 큰 가축분뇨를 대상으로 한다.

가축분뇨란 소, 돼지, 닭, 젖소, 오리 등 동물이 유·무기 사료를 섭취한 후 체외로 배설한 유기성 물질<sup>63</sup>을 말한다. 가축분뇨는 대부분이 기계적 이용, 물질 이용, 열화학적 처리단계를 거쳐 자원화(퇴비, 액비)로 이용되고 있으며 최근에는 생물학적 처리단계를 거쳐 바이오에너지인 가스 및 전기로 이용되기도 한다.

<sup>63</sup> 2007년 9월부터 시행되는 “가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률”은 가축분뇨는 분뇨 이외에 가축사육과정에서 사용된 물까지 포함하고 있다. 과거 “오수·분뇨·축산폐수의 처리에 관한 법률”(오분법)에서는 가축분뇨를 “오염물질”로 보던 관점과 청소수가 섞인 것을 축산폐수로 보던 관점이 “자원화”라는 긍정적인 폐자원으로 인식되어 축산환경에 큰 전환점이 되었다.

## 1.2. 축산바이오매스의 발생량

가축분뇨 총 발생량은 축종별 사육두수에 축종별 발생원단위를 곱하여 계산하였다. 환경부 고시 제1999-109호에 의하면 가축별 배출원단위<sup>64</sup>는 한우 14.6kg, 젓소 45.6kg, 돼지 4.2~8.6kg(슬러리 돈사 5.3kg, 톱밥깔짚 4.2kg, 정화 8.6kg), 닭·오리 0.12kg/일/수, 사슴·양 0.7kg, 개 1.1kg 등이다.

2006년 우리나라 가축분뇨 총 발생량은 하루에 16만 9천 톤이며, 연간 약 6,150만 톤이 발생한 것으로 추정된다(표 5-1).

표 5-1. 가축 분뇨 발생량 현황(2006년)

단위: 톤/일

|            | 계              | 허가대상         | 신고대상         | 신고미만         |
|------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 소·말        | 29,799(17.7)   | 6,228        | 12,158       | 11,412       |
| 젓소         | 39,718(23.6)   | 12,710       | 18,905       | 8,103        |
| 돼지         | 80,685(47.9)   | 52,203       | 23,238       | 5,245        |
| 닭·오리       | 15,308(9.1)    | -            | 10,486       | 4,823        |
| 사슴, 양, 개 등 | 2,997(1.8)     | -            | -            | 2,997        |
| 계          | 168,507(100.0) | 71,141(42.2) | 64,787(38.4) | 32,579(19.3) |

주: ( )은 축종별, 허가·신고·신고미만 구분별 비중임.

자료: 농림부(2007).

분뇨발생량 중 돼지에 의한 발생량이 가장 많으며 전체 발생량의 50%를 차지하고 있다. 발생형태는 미규제 및 신고미만의 농가<sup>65</sup>에서 발생하는 분뇨가 약 33,000톤/일으로 19%를 차지하며 허가 및 신고 농가<sup>66</sup>에서 발생하는 분뇨가 약 136,000톤/일으로 81%를 차지하고 있다.

<sup>64</sup> 축종별 가축분뇨 발생원단위= 분배설량+노배설량+세정수이다.

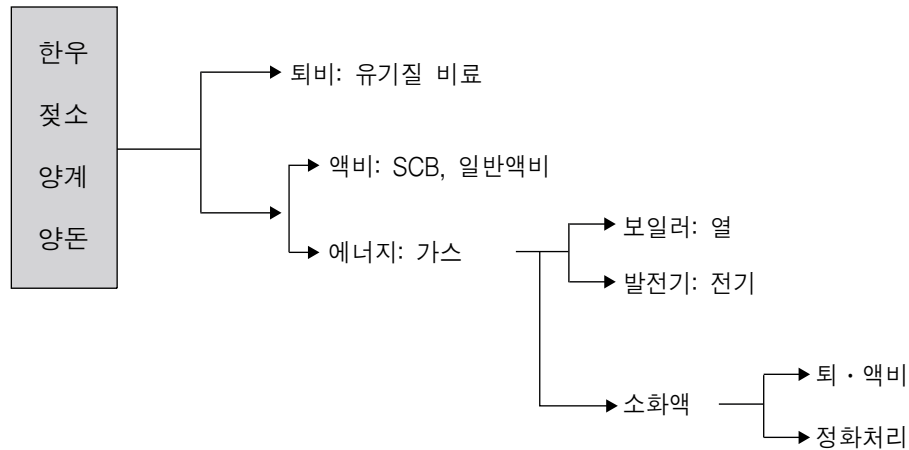
<sup>65</sup> 신고미만 농가로부터 발생한 분뇨는 무단방류 금지 이외에 처리 의무가 없고 자율 관리한다.

<sup>66</sup> 정화처리 시 허가대상 BOD 50~150mg/ℓ, 신고대상 BOD 150~350mg/ℓ이며, 반드시 처리시설을 설치하여 운영할 의무가 있다.

### 1.3. 축산바이오매스의 자원화 형태

축산바이오매스를 이용한 자원화 형태는 퇴비, 액비, 퇴·액비, 가스를 이용한 열에너지 및 전기 등이 있다(그림 5-1).

그림 5-1. 축산바이오매스의 자원화 형태



#### 1.3.1. 퇴비

퇴비화는 유기물이 미생물에 의하여 분해되어 안정화되는 과정이며 그 최종 물질은 환경에 악영향을 주지 않아야 하고, 토양에 사용할 수 있어야 하며, 저장하기에 충분한 부식도 상태의 물질로 변화시키는 생화학적 공정이다. 퇴비화의 목적은 가축분뇨를 이용하여 위생적으로 안전하게 처리하는 것과 퇴비를 토양 유기물 공급원과 화학비료 대체재로 이용하기 위함이다.

우리나라에 널리 보급되어 있는 퇴비화 시설은 규모와 특성에 따라 3가지로 나눌 수 있다. 하나는 개방형 야적식이고, 둘째는 개방형 교반식으로 중대규모 공동처리시설에서 주로 적용하고 있는 시설이다. 셋째는 악취문제와 퇴비화 기간을 단축시킨 밀폐형 기계식이다.

개방형 야적식 퇴비화와 개방형 교반식 퇴비화의 문제는 악취가 심하고, 침출수에 의한 2차 오염이 발생하기도 한다. 그러나 밀폐형 기계식은 악취나 2차 오염문제는 해결할 수 있으나, 시설비가 많이 들고 유지관리비와 야적장 등의 부지확보가 문제로 대두된다.

### 13.2. 액비

액비화 방법에는 호기성 처리법<sup>67</sup>과 혐기성 처리법<sup>68</sup> 그리고 SCB(퇴비단 여과법)<sup>69</sup> 등이 있다. 호기성 처리법은 분뇨를 유기질 액비로 만들었을 때, 악취가 감소되고, 비료성분도 일정하여 비효가 높다.

혐기성 액비화 처리방법은 기존에는 액비생산만을 목적으로 활용하였으나 최근에는 에너지활용 측면을 고려하여 혐기소화과정에서 발생하는 바이오가스를 열과 전기로 사용하고 여기서 남은 소화액은 액비로 활용하는 방법이다.

SCB(퇴비단여과)방법은 수분함량이 많은 양돈 슬러리 처리에 적합한 방법이다. SCB 방법은 슬러리상의 양돈 분뇨를 1차 저장조에 저류시키고, 볏짚 또는 톱밥을 여과상으로 활용하는 것이 특징이다. 저장조의 슬러리를 여과상에 살포하면 고상의 유기물은 퇴비단에 걸려 발효되고, 액상은 여과되어 액비로 활용할 수 있는 방법이다.

<sup>67</sup> 호기성 미생물이 산소를 이용하여 유기물을 분해하는 생화학 반응이다. 호기성 발효는 유기물의 분해와 함께 온도가 상승하여 악취와 병원균이 소멸된 유동성이 좋은 흑갈색의 액비를 생성할 수 있다.

<sup>68</sup> 혐기성 액비화 방법은 저장 액비화 방법이다. 저장액비화법은 대형저류조에서 축산폐수를 장기간 부숙시킴으로서 축산폐수를 처리하는 방법이다. 축종별 발효조 용량은 축사 100㎡당 한우의 경우 250ℓ, 젖소 400ℓ, 돼지 860ℓ를 기준으로 액비화 시설을 설치해야 한다. 따라서 대규모의 저장시설이 필요하며, 처리기간이 길고, 충분한 살포 면적 확보가 필요하다.

<sup>69</sup> SCB(Slurry Composting Biofiltration, 퇴비단여과)는 기존 양돈분뇨 퇴비화시설 바닥을 개조(물빠짐과 통기성)함으로써 퇴비화시설의 문제점 개선과 생물여과기능을 가지게 하는 방법이다.

### 13.3. 바이오가스

바이오가스 생산 원료는 가축분뇨, 음식물쓰레기, 도축부산물 등 고농도 유기성 폐기물이다. 이 원료가 혐기성 소화조로 유입되고, 혐기성 소화조 내에서 메탄을 생산한다. 메탄 생산 단계는 기능적으로 서로 다른 미생물에 의해 세단계로 구분된다.

첫 번째 단계는 복합 고분자 유기물이 가수분해 미생물에 의해 단순 단위 화합물로 쪼개지는 가수분해(hydrolysis) 단계이고, 두 번째는 단순 단위 화합물이 메탄생성의 원료로 사용되는 이산화탄소( $\text{CO}_2$ ), 수소( $\text{H}_2$ ), 각종 휘발성지방산 등을 생산하는 산생성(acetogenesis) 단계이다. 마지막으로 전 단계에서 생산된 산물을 이용하여 메탄( $\text{CH}_4$ )을 생산하는 메탄생성단계이다.

결과적으로 유기물이 산소( $\text{O}_2$ )가 없는 극도의 환원상태에서 미생물에 의해 분해되면서 생성되는 메탄( $\text{CH}_4$ )이 약 40~70%, 이산화탄소( $\text{CO}_2$ ) 약 30~60%, 기타 황화수소( $\text{H}_2\text{S}$ ), 수소( $\text{H}_2$ ), 수분, 휘발성지방산(VFA) 가스를 포함하는 기체가 바로 바이오가스가 된다.

## 2. 축산바이오매스 이용 동향과 시사점

### 2.1. 축산바이오매스 자원화 시설

#### 2.1.1. 축분퇴비공장

가축분뇨 등을 이용하여 부산물비료를 생산·판매하는 비료생산업체는 1994년 190개소에서 2005년 872개소로 10년간 4배 이상 증가하였다(표 5-2). 가축분뇨 처리를 위한 부산물퇴비 생산업체가 정부의 지원으로 늘었다.

그러나 대부분 부산물퇴비생산업체의 가동률이 낮고 경영수지도 좋은 편은 아니다. 이는 부산물 비료에 대한 수요자가 비료성분을 믿지 못하는

경우가 많아 소비자가 적고, 부산물 비료 소비 시기는 계절적으로 한정되어 있어 생산업체가 부산물 비료를 장기간 저장해야 하므로 저장비용이 많이 발생하는 경우가 많기 때문이다.

표 5-2. 연도별 부산물비료 생산업체수

단위: 개소

| 1994 | 1996 | 1998 | 2000 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 190  | 351  | 494  | 569  | 724  | 809  | 823  | 872  |

자료: 농업과학기술원(2006).

또한 축분을 이용한 퇴비화시설은 가축분뇨의 발효과정에서 유해한 가스가 발생하기 때문에 부식이 빠르게 진전되어 퇴비시설에 대한 감가상각비가 크고, 퇴비를 만드는 부재료인 톱밥과 왕겨 등의 자재비가 상승하여 생산업체는 경제적으로 어려움을 겪고 있다.

## 2.1.2. 액비화 시설

정부의 액비화 시설 지원은 축산농가로부터 발생한 축분을 처리할 수 있도록 하고, 생산된 액비는 경종농가가 활용할 수 있도록 2001년도부터 액비저장조에 대한 지원을 실시하였다. 가축분뇨 액비화 시설에 대한 지원 조건은 총 사업비의 80%가 보조(국고 30%, 지방비 50%)이며 자부담이 20%이다. 지원 단가는 액비저장조 200톤 규모에 1,700만 원 수준이다. 2001년부터 2006년까지 지원실적은 총 1,463개소에 198억 원이다(표 5-3).

표 5-3. 연도별 액비 저장조 설치 지원현황

단위: 개소, 억 원

|     | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 계     |
|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 설치수 | 339  | 442  | 682  | 738  | 679  | 520  | 1,463 |
| 지원액 | 41   | 22   | 32   | 41   | 35   | 27   | 198   |

자료: 농림부(2007).

액비 활용도를 높이기 위해 정부에서 액비저장조에 대한 지원을 실시하고 있으나, 축분을 수거하여 액비를 만들고 액비를 살포하는 과정에 문제가 있다. 수거단계에서는 수거비용이 높고, 생산된 액비는 수요자가 비효 문제, 악취 등으로 살포를 꺼리고 있다.

### 2.1.3. 축분의 에너지화 시설

산자부 “신재생에너지 보급지원 사업”과 다양한 지원책에 힘입어 2007년도 시범사업으로 전라북도 정읍, 무주, 고창에 가축분뇨를 이용한 바이오가스 생산시설을 설치할 계획에 있다. 또한, 정부 이외의 일부 업체들이 농가형 바이오가스 생산시설을 건설하고, 대학과 기업 등에서 연구용 바이오가스시설 설치·운동을 추진하고는 있으나 현재 미미한 실정이다. 이들이 상용화되기 위해서는 경제성 평가가 선행되어야 하고 그 문제점과 개선방안이 도출되어야 한다.

### 2.1.4. 축산폐수공공처리시설

환경부는 신고미만의 소규모 축산농가에서 발생하는 가축분뇨의 처리를 지원하기 위하여 지방양여금을 지원하여 축산폐수공공처리시설을 설치·운영하고 있다. 축산폐수공공처리시설은 2007년 현재 52개소이며, 처리용량은 10,215<sup>m³</sup>/일이다(표 5-4). 그러나 가동률이 저조하고, 방류수 수질기준 초과, 규제미만 농가의 축산폐수 유입부진 등의 문제점을 가지고 있다.

표 5-4. 축산폐수공공처리시설 운영현황

|                         | 2003.12 | 2005.12 | 2007.6 |
|-------------------------|---------|---------|--------|
| 시설수                     | 41      | 49      | 52     |
| 시설용량( <sup>m³</sup> /일) | 9,745   | 10,105  | 10,215 |

자료: 환경부(2007).

### 2.1.5. 해양배출

폐기물의 해양배출제도는 국제협약(런던협약)에 의해 국제적으로 규제되고 있으며 이는 해양오염방지법 제16조에 근거하고 있다. 해양오염방지법 제16조에는 폐기물의 해양배출을 원칙적으로 금지하고 있는 실정이다.

2006년도 해양배출 총량은 881만 2천<sup>3</sup>m<sup>3</sup>이었다. 폐기물 종류별로는 축산폐수가 30%인 260만 7천<sup>3</sup>m<sup>3</sup>로 가장 많은 실정이다(표 5-5). 그러나 2012년부터는 축산폐수의 해양투기가 전면 금지되므로 이에 대한 대책수립이 시급하다.

표 5-5. 폐기물 해양배출량 현황

단위: 천<sup>3</sup>m

|        | 계     | 축산폐수  | 폐수처리<br>오니 | 사업장<br>폐수 | 분뇨    | 하수처리<br>오니 | 무기물류 | 기타  |
|--------|-------|-------|------------|-----------|-------|------------|------|-----|
| 2004   | 9,749 | 2,346 | 1,683      | 1,956     | 1,582 | 1,547      | 273  | 362 |
| 2005   | 9,929 | 2,745 | 1,486      | 2,275     | 807   | 1,629      | 209  | 778 |
| 2006   | 8,812 | 2,607 | 1,410      | 2,220     | 364   | 1,640      | 129  | 442 |
| 2007.8 | 5,094 | 1,328 | 820        | 1,400     | 262   | 1,153      | 0    | 132 |

자료: 해양수산부(2007).

## 2.2. 축산바이오매스의 처리 및 이용실태

가축분뇨 하루 발생량은 16만 9천 톤이다. 처리 유형별로 <표 5-6>에서 살펴보면 미규제 신고미만 농가에서는 공공처리로 6백 톤, 자체자원화처리로 3만 1,500톤을 처리하고 있다. 허가 및 신고 대상농가에서는 공공처리가 6,900톤, 해양배출이 6,500톤, 퇴비공장의 공동처리가 1만 7백 톤이며, 나머지 10만 2,600톤은 농가에서 자체처리(퇴비·액비·정화)하고 있다.

표 5-6. 가축분뇨 발생 및 처리실태(2006년)

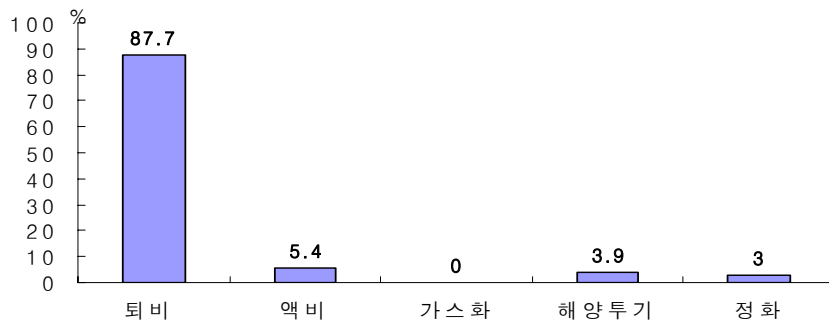
단위: 천 톤/일

| 발생량 | 처리량     |             |          |            |      |     |     |          |
|-----|---------|-------------|----------|------------|------|-----|-----|----------|
|     | 미규제신고미만 |             | 허가신고농가   |            |      |     |     |          |
|     | 공공      | 자체<br>(자원화) | 공공<br>처리 | 공동<br>(퇴비) | 자체처리 |     |     | 해양<br>투기 |
|     |         |             |          |            | 퇴비   | 액비  | 정화  |          |
| 169 | 0.6     | 31.5        | 6.9      | 10.7       | 98.5 | 9.0 | 5.1 | 6.5      |

자료: 농림부·환경부(2006) 자료를 재계산하였음.

가축분뇨의 이용·처리형태는 퇴비화가 87.7%로 가장 많고, 액비 5.4%, 해양배출 3.9%, 정화처리 3.1% 등이다(그림 5-2). 가스화는 현재 미미한 상태이며, 가스화를 통해 열 및 전기로 에너지화 한 경우에도 그 부산물인 소화액은 퇴비·액비 등으로 다시 처리해야 하는 어려움이 있다.

그림 5-2. 가축분뇨 처리형태별 비중



자료: 농림부·환경부, 2006. 자료를 재계산하였음.

## 2.3. 축산바이오매스의 자원화를 위한 시사점

### 2.3.1. 자원화업체의 육성 및 자원화 제품 수요기반 확대

가축분뇨를 이용한 자원화 업체의 경영상태는 좋지 않다. 축산농가로부터 분뇨 수거비용이 높고, 가축분뇨의 처리과정에서 유해가스 발생으로 기계부식이 빨라 감가상각비 부담이 크다. 또한 비료생산의 경우 부재료인 톱밥과 왕겨 등의 자재비가 상승하였다. 여기에 생산된 비료의 소비시기가 계절적으로 한정되어 있어 비료를 장기간 저장해야 하므로 저장비용이 많이 소요되는 문제가 있다.

무엇보다도 가축분뇨를 이용한 자원화제품에 대한 수요자들의 인식이 미흡한 것이 가장 큰 애로사항이다. 특히 액비의 경우는 소비자들이 비효율을 믿지 않고, 악취로 인해 민원이 발생하고 있어 살포할 경지가 적은 실정이다.

따라서 자원화 업체가 안정적으로 생산할 수 있도록 자원화 시설에 대한 지속적인 지원이 필요하다. 또한 가축분뇨 자원화의 필요성과 제품의 우수성 홍보를 통해 수요자의 인식을 제고시켜 나갈 필요가 있다.

### 2.3.2. 해양배출 금지 대응책 마련

최근 해양수산부에서 2012년까지 가축분뇨의 해양투기를 전면 금지하겠다고 한 것은 현재 많은 양이 해양 투기되고 있는 현실을 감안할 때 매우 심각한 문제이다. 단기적으로 해양투기 금지시기를 늦출 수는 있겠으나 궁극적으로는 해양투기에 의존한 가축분뇨처리로는 축산의 장래를 보장할 수 없다. 따라서 가축분뇨의 다양한 자원화를 추진할 필요가 있다.

### 2.3.3. 바이오에너지 정책에 부응한 지원확대

정부의 신·재생에너지 보급목표는 2006년 1차 에너지 소비량의 3%,

2011년 5%이다. 이 중 바이오에너지는 2006년에 신·재생에너지의 7.1%인 49만 5천toe, 2012년에는 2배 이상 증가한 108만 2천toe를 목표로 하고 있다. 이러한 목표달성을 위해 정부는 신·재생에너지인 태양광, 풍력, 소수력, 매립지가스, 폐기물, 가축분뇨를 이용하여 생산된 전기의 기준가격을 고시하고 전력거래가격과의 차액을 지원하고 있다. 그러나 현재의 매전가격으로는 경제성이 없다.

따라서 정부의 신·재생에너지 정책에 부응해서 가축분뇨를 자원화하려는 농가나 단체에 대해 대폭적인 지원이 있어야 할 것이다. 즉 신·재생에너지 개발방향에 맞춰 자원화하기 위해서는 시설비 지원, 자원화 기술개발, 생산된 전력의 고가 매입 등에 지원을 아끼지 말아야 할 것이다.

### 3. 축산바이오매스의 경제성 분석

#### 3.1. 경제성 분석을 위한 자원화 시설 형태별 유형구분

한육우에서 발생한 분뇨의 50% 이상은 자작지 농경지에 이용하고 나머지 50%는 주변 농가의 경지에 퇴비로 이용하고 있다. 양계의 경우 분뇨의 40%는 퇴비공장에 판매하고 나머지 60%는 인근 지역의 경지에 퇴비로 활용하고 있다. 따라서 한육우, 닭의 분뇨처리는 큰 어려움이 없다.

양돈 농가에서 발생한 축분은 다른 축종에서 발생한 축분보다 수분이 많아 자원화하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서 실시한 경제성분석은 자원화하기 어려운 돼지분뇨를 대상으로 하였으며, 돼지분뇨 처리형태 중 가장 널리 보급되어 있는 슬러리 돈사를 대상으로 하였다. 돼지분뇨의 자원화 규모와 자원화 형태를 고려하여 4개의 유형으로 구분하고 유형별로 경제성 분석을 실시하였다(표 5-7).

유형 I 은 기존 퇴비화 시설을 개량한 것으로 고액분리를 통해 슬러리를 고상과 액상으로 구분하고, 고상은 퇴비화, 액상은 액비화하는 형태이다.

고상의 수분함량은 85%로 가정하였다.

농가 대부분이 유형Ⅱ의 형태이며, 양돈 슬러리 전량을 퇴비화하는 것이다. 발생한 슬러리는 수분함량이 높아 퇴비생산을 위해서 톱밥이 많이 필요하다. 그러나 최근 톱밥가격의 상승으로 경제성에 문제가 있다.

유형Ⅲ은 액비유통이 원활한 지역에서 채택하는 방법으로 전량 액비화하는 단순한 형태이다.

유형Ⅳ는 최근 축산연구소가 개발한 공법으로 퇴비단을 생물여과단으로 사용함으로써 톱밥의 투입량을 현저히 절감시킨 형태이다.

표 5-7. 처리방법에 의한 유형구분

|      | 유형Ⅰ   | 유형Ⅱ | 유형Ⅲ | 유형Ⅳ |
|------|-------|-----|-----|-----|
| 처리방법 | 퇴·액비화 | 퇴비화 | 액비화 | SCB |

### 3.1.1. 유형별 특징

분뇨를 퇴·액비로 처리하는 유형Ⅰ의 경우 유입원료는 고상일 때 수분함량이 85%, 액상일 때 98% 이상이다. 퇴·액비 생산에 필요한 건축물은 발효퇴비사, 약적퇴비사, 액비저장조이다. 주요 기계장치로는 퇴비교반기, 고액분리기가 있다. 또한 분뇨를 퇴·액비화 하기 위해서는 수분함량 85%인 분의 경우 1m<sup>3</sup>당 톱밥이 1m<sup>3</sup>가 소요된다(표 5-8).

유형Ⅱ는 유입원료를 전량 퇴비화하는 방법이다. 퇴비 생산에 필요한 건축물은 발효퇴비사, 약적퇴비사이며, 주요 기계장치로는 퇴비교반기가 있다. 분뇨를 퇴비화하기 위해서는 수분함량 95%인 분뇨슬러리 1m<sup>3</sup>당 톱밥이 3m<sup>3</sup>가 소요되어 톱밥 가격에 따라 경영성과가 크게 달라질 수 있다.

유형Ⅲ은 유입원료를 전량 액비화하는 방법이다. 액비 생산에 필요한 건축물은 액비저장조, 단순저류조이며, 특별한 기계장치는 필요하지 않으나, 액비수요처 확보가 주요한 변수로 작용하게 된다.

유형Ⅳ는 유입된 분뇨를 고액분리없이 SCB퇴비단 처리를 하는 방법이며, 퇴·액비 생산에 필요한 건축물은 슬러리지류조, SCB발효퇴비사, 약적퇴비사, 액비저장조이다. 주요 기계장치로는 퇴비교반기, 송풍기, 고액분리기가 있다. 분뇨를 퇴·액비화 하기 위해서는 분뇨슬러리 1m<sup>3</sup>당 톱밥이 0.6m<sup>3</sup>가 소요되어 다른 유형에 비해 톱밥 구입비에서 유리한 유형이다.

표 5-8. 자원화 유형별 처리시설 기준 및 특징

|        |         | 유형Ⅰ                                    | 유형Ⅱ                                    | 유형Ⅲ                | 유형Ⅳ                                          |
|--------|---------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------|
| 처리특성   |         | 고상은 퇴비화, 액상은 액비화                       | 고액분리 없이 전량 퇴비화                         | 고액분리 없이 전량 액비화     | SCB퇴비단처리, 여과액은 액비화                           |
| 유입원료특성 |         | 수분함량: 고상 약 85%, 액상 98% 이상              | 수분함량: 95% 이상                           | 수분함량: 95% 이상       | 수분함량: 95% 이상                                 |
| 시설개요   | 건축물     | · 발효퇴비사<br>· 약적퇴비사<br>· 액비저장조          | · 발효퇴비사<br>· 약적퇴비사                     | · 액비저장조<br>· 단순저류조 | · 슬러리지류조<br>· SCB발효퇴비사<br>· 약적퇴비사<br>· 액비저장조 |
|        | 기계장치 기타 | · 퇴비교반기<br>· 고액분리기                     | · 퇴비교반기                                | -                  | · 퇴비교반기<br>· 퇴비단내 송풍기<br>· 고액분리기             |
| 운전개요   | 톱밥 투입   | 원료 1m <sup>3</sup> 당 톱밥1m <sup>3</sup> | 원료 1m <sup>3</sup> 당 톱밥3m <sup>3</sup> | -                  | 원료 1m <sup>3</sup> 당 톱밥0.6m <sup>3</sup>     |
|        | 발효기간    | 180일                                   | 180일                                   | 180일               | 180일                                         |
|        | 교반시간    | 1시간/일<br>(1,000두 기준)                   | 1시간/일<br>(1,000두 기준)                   | -                  | 1시간/일<br>(1,000두 기준)                         |
|        | 송풍시간    | -                                      | -                                      | 8시간/일              | 16시간/일                                       |

## 3.1.2. 유형별 자원화 계수

유형I의 경우 처리규모별 자원화 계수는 <표 5-9>와 같다. 양돈 분뇨의 수분함량은 95%이며 1,000두를 기준으로 할 때 1일 축분 발생량은 8.6m<sup>3</sup>이며, 고상으로 4.2m<sup>3</sup>, 액상으로 4.4m<sup>3</sup>가 발생한다.

고상을 이용하여 퇴비를 만들기 위해서는 톱밥이 고상의 2배가 필요하고, 퇴비사는 저장기간을 180일을 기준으로 할 때 1,260m<sup>3</sup>의 면적이 필요하다. 퇴비생산량은 고상의 80%와 톱밥투입량을 고려하면 1일당 4.9톤이 생산된다.

표 5-9. 처리규모별 자원화 개요(유형I)

|                            |                                  | 규모(처리두수, 두) |     |       |       |       |       |       |       |        |       |
|----------------------------|----------------------------------|-------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
|                            |                                  | 1,000       |     | 2,000 |       | 3,000 |       | 5,000 |       | 10,000 |       |
| 원료<br>성상                   | 고액분리 여부                          | 여           |     | 여     |       | 여     |       | 여     |       | 여      |       |
|                            |                                  | 고상          | 액상  | 고상    | 액상    | 고상    | 액상    | 고상    | 액상    | 고상     | 액상    |
|                            | 수분함량(%)                          | 85          | 98  | 85    | 98    | 85    | 98    | 85    | 98    | 85     | 98    |
| 발생량<br>(m <sup>3</sup> /일) | 슬러리                              | -           | -   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -      | -     |
|                            | 고상                               | 4.2         |     | 8.4   |       | 12.6  |       | 21    |       | 42     |       |
|                            | 액상                               |             | 4.4 |       | 8.8   |       | 13.2  |       | 22    |        | 44    |
| 유형 I                       | 톱밥투입량<br>(m <sup>3</sup> /일)     | 8.4         |     | 16.8  |       | 25.2  |       | 42    |       | 82     |       |
|                            | 퇴비사면적<br>(m <sup>2</sup> )       | 1,260       |     | 2,520 |       | 3,780 |       | 6,300 |       | 12,600 |       |
|                            | 퇴비생산량<br>(ton/일)                 | 4.9         |     | 9.8   |       | 14.6  |       | 24.4  |       | 48.8   |       |
|                            | 액비량<br>(m <sup>3</sup> /6개월)     |             | 792 |       | 1,584 |       | 2,376 |       | 3,960 |        | 7,920 |
|                            | 저장조수<br>(200m <sup>3</sup> 기준,기) |             | 4   |       | 8     |       | 12    |       | 20    |        | 40    |

자료: 농림부(2007), 강원대학교(2006), 환경대학교(2005).

액비를 생산하기 위해서는 액비 저장조가 필요하며 액비 저장조는 액상 1일 발생량  $4.4\text{m}^3$ 에 180일을 계산하면  $792\text{m}^3$ 가 된다. 액비 저장조는  $200\text{m}^3$ 를 기준으로 할 때 4기가 필요하다. 분뇨 발생량, 톱밥투입량, 퇴비사면적 등은 처리규모에 따라 비례적으로 증가하는 것으로 가정하였다.

유형Ⅱ에서 Ⅳ까지 처리규모별 퇴·액비 발생량과 이를 처리하기 위한 톱밥 투입량, 퇴비사면적, 퇴비 및 액비 생산량은 <표 5-10>과 같다.

표 5-10. 처리규모별 자원화 개요(유형Ⅱ~유형Ⅳ)

|                                  |                                  | 규모(처리두수, 두) |       |        |        |        |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------|-------|--------|--------|--------|
|                                  |                                  | 1,000       | 2,000 | 3,000  | 5,000  | 10,000 |
| 원료<br>성상                         | 고액분리<br>여부                       | 부           | 부     | 부      | 부      | 부      |
|                                  |                                  | 슬러리         | 슬러리   | 슬러리    | 슬러리    | 슬러리    |
|                                  | 수분함량(%)                          | 95          | 95    | 95     | 95     | 95     |
| 발생량<br>( $\text{m}^3/\text{일}$ ) | 슬러리                              | 8.6         | 17.2  | 25.8   | 43     | 86     |
|                                  | 고상                               | -           | -     | -      | -      | -      |
|                                  | 액상                               | -           | -     | -      | -      | -      |
| 유형Ⅱ                              | 톱밥투입량( $\text{m}^3/\text{일}$ )   | 25.8        | 51.6  | 77.4   | 129    | 258    |
|                                  | 퇴비사면적( $\text{m}^2$ )            | 3,440       | 6,880 | 10,320 | 17,200 | 34,400 |
|                                  | 퇴비생산량( $\text{ton}/\text{일}$ )   | 11.5        | 23.1  | 34.6   | 57.7   | 115.5  |
| 유형Ⅲ                              | 액비량( $\text{m}^3/6\text{개월}$ )   | 1,548       | 3,096 | 4,644  | 7,740  | 15,480 |
|                                  | 저장조( $200\text{m}^3$ 기준,기)       | 8           | 16    | 24     | 39     | 78     |
| 유형Ⅳ                              | 톱밥투입량( $\text{m}^3/\text{일}$ )   | 5.2         | 10.3  | 15.5   | 25.8   | 51.6   |
|                                  | 퇴비사면적( $\text{m}^2$ )            | 1,376       | 2,752 | 4,128  | 6,880  | 13,760 |
|                                  | 퇴비생산량( $\text{ton}/\text{일}$ )   | 3.7         | 7.4   | 11.1   | 18.4   | 36.9   |
|                                  | 액비량( $\text{m}^3/6\text{개월}$ )   | 929         | 1,858 | 2,787  | 4,644  | 9,288  |
|                                  | 저장조수<br>( $200\text{m}^3$ 기준, 기) | 5           | 10    | 14     | 24     | 47     |

자료: 농림부(2007), 강원대학교(2006).

유형Ⅱ는 퇴비만을 생산하는 업체로 톱밥은 슬러리  $8.6\text{m}^3$ 의 3배로  $25.8\text{m}^3$ 가 필요하다. 퇴비사 면적은 저장기간을 180일을 기준으로 할 때 슬러리 발생량과 톱밥투입량을 고려하여  $3,440\text{m}^3 = (8.6+25.8) \times 180\text{일}/1.8^{70}$ 가 필요하다. 퇴비생산량은 슬러리의 80%, 톱밥 투입량을 고려하여 하루당 11.5톤<sup>71</sup>이 생산된다.

유형Ⅲ은 액비만을 생산하는 경우로 1,000두를 기준으로 할 때, 슬러리는 1일당  $8.6\text{m}^3$  발생하므로 6개월 동안의 액비량은  $1,548\text{m}^3$ 이 발생한다.

유형Ⅳ는 톱밥투입량은 하루당  $5.2\text{m}^3 (= (8.6 \times 3 \times 0.2))$ 이고, 퇴비사면적은 슬러리량과 톱밥투입량을 고려하면  $1,376\text{m}^2 (= (8.6+5.2) \times 180\text{일}/1.8)$ 이며, 슬러리의 60%, 저장기간 180일 기준으로 보면 액비량은 6개월에  $928\text{m}^3$ 이 된다.

유형별로 톱밥 투입량, 퇴비생산량 및 액비생산량을 보면, 톱밥투입량은 유형Ⅱ가 가장 많고, 유형Ⅲ은 없다. 퇴비 생산량은 유형Ⅱ가 가장 많고, 다음은 유형Ⅰ이다. 액비생산량은 유형Ⅲ이 가장 많고, 유형Ⅳ, 유형Ⅰ 순이다.

따라서 투입요소인 톱밥의 가격에 따라 자원화 시설의 형태를 결정해야 한다. 그리고 생산물인 퇴비는 퇴비판매가격과 연결되며, 액비는 액비를 소비할 수 있는 지역인지를 고려하여 어떤 자원화 시설이 필요한지를 결정해야 할 필요가 있다.

## 3.2. 퇴·액비 시설 유형별 경제성 분석

### 3.2.1. 유형별 설치비

자원화 시설의 설치물은 퇴비사, 기계장치, 액비저장탱크로 구성되어 있다. 퇴비사 설치비용은  $\text{m}^2$ 당 12만 원으로 유형Ⅰ의 1,000두 규모에서는 12

<sup>70</sup> 1.8은 퇴비사 구조물의 높이(발효퇴비단 높이)다.

<sup>71</sup> (슬러리량 $\times 0.8$ ) $\times 1,000$ +톱밥투입량 $\times$ 톱밥의 비중( $181\text{kg}/\text{m}^3$ )

만 원×1,260m<sup>2</sup>으로 1억 5천만 원이다. 기계장치는 스크류 교반기 1기에 8,000만 원, 고액분리기 4,000만 원을 합하면 1억 2천만 원이 된다. 액비저장탱크는 기당 1,700만 원으로 유형 I의 경우 4기가 필요하여 6,800만 원이다.

표 5-11. 자원화 유형별 설치비용

|        |                                        |                     | 규모(처리두수, 두) |         |           |           |           |
|--------|----------------------------------------|---------------------|-------------|---------|-----------|-----------|-----------|
|        |                                        |                     | 1,000       | 2,000   | 3,000     | 5,000     | 10,000    |
| 유형 I   | 퇴비화 <sup>1</sup>                       | 퇴비사 <sup>2</sup>    | 151,200     | 302,400 | 453,600   | 756,000   | 1,512,000 |
|        |                                        | 기계장치 <sup>3</sup>   | 120,000     | 120,000 | 120,000   | 240,000   | 360,000   |
|        | 액비화 <sup>1</sup>                       | 저장액비탱크 <sup>4</sup> | 68,000      | 136,000 | 204,000   | 340,000   | 680,000   |
|        |                                        | 계(천원)               | 339,200     | 558,400 | 777,600   | 1,336,000 | 2,552,000 |
|        | 톤당설치비 <sup>5</sup> (원/m <sup>3</sup> ) |                     | 108,060     | 88,946  | 82,574    | 85,123    | 81,300    |
| 유형 II  | 퇴비화                                    | 퇴비사                 | 412,800     | 825,600 | 1,238,400 | 2,064,000 | 4,128,000 |
|        |                                        | 기계장치                | 80,000      | 80,000  | 80,000    | 160,000   | 240,000   |
|        | 계(천원)                                  |                     | 492,800     | 905,600 | 1,318,400 | 2,224,000 | 4,368,000 |
|        | 톤당설치비(원/m <sup>3</sup> )               |                     | 156,993     | 144,250 | 140,002   | 141,701   | 139,153   |
| 유형 III | 액비화                                    | 저장액비탱크              | 136,000     | 272,000 | 408,000   | 663,000   | 1,326,000 |
|        | 계(천원)                                  |                     | 136,000     | 272,000 | 408,000   | 663,000   | 1,326,000 |
|        | 톤당설치비(원/m <sup>3</sup> )               |                     | 43,326      | 43,326  | 43,326    | 42,243    | 42,243    |
| 유형 IV  | SCB<br>(퇴,액비)                          | 퇴비사                 | 165,120     | 330,240 | 495,360   | 825,600   | 1,651,200 |
|        |                                        | 기계장치                | 120,000     | 120,000 | 120,000   | 240,000   | 360,000   |
|        |                                        | 저장액비탱크              | 85,000      | 170,000 | 238,000   | 408,000   | 799,000   |
|        | 계(천원)                                  |                     | 370,120     | 620,240 | 853,360   | 1,473,600 | 2,810,200 |
|        | 톤당설치비(원/m <sup>3</sup> )               |                     | 117,910     | 98,796  | 90,619    | 93,890    | 89,525    |

주1. 퇴비화: 보조50, 융자50(연리 3%), 1액비화 : 보조80, 자부담20

주2. 퇴비사설치비: 건설공사의 용도별 표준단가적용(경량철골 퇴비사, 노동부고시 제 2006-48호 중 별표3)

주3. 기계장치비: 스크류교반기 1기 80,000천 원, 고액분리기 40,000천 원 적용

주4. 액비저장조 설치비: 200m<sup>3</sup>기준 기당 17,000천 원 적용

주5. 연간 처리되는 가축분뇨 톤당 처리비: 시설설치비/가축분뇨 일발생량 ×356일로 계산

따라서 유형I의 1,000두 규모에서 총 설치비는 3억 4천만 원이고, 2,000두 규모에서는 5억 6천만 원, 3,000두 규모에서는 7억 8천만 원, 1만두 규모에서는 26억 원의 설치비가 필요하다. 각 유형별 처리비용은 <표 5-11>과 같다.

톤당 설치비는 연간 처리량을 기준으로 하였을 경우 유형I의 1,000두 처리규모에서는 10만 8천 원(총비용 3억 4천만 원/ 총퇴비생산량  $8.6 \times 365$ )이다. 유형II의 톤당 설치비용은 15만 7천 원, 유형III은 4만 3천 원, 유형IV는 11만 8천 원으로 유형별로 톤당 설치비용의 차이가 있다.

톤당 설치비는 처리규모가 커짐에 따라 감소한다. 처리규모에 따라 크게 감소하는 형태는 퇴비만을 생산하는 업체와 퇴비·액비를 동시에 생산하는 업체이다. 규모에 따라 큰 차이가 없는 형태는 액비만을 생산하는 유형이다. 톤당 설치비는 퇴비만을 생산하는 유형II가 가장 높고, 유형IV, 유형I 그리고 유형III 순이다(표 5-11).

### 3.2.2. 유형별 경영비

경영비는 인건비, 톱밥구입비, 전력비, 수선비, 감가상각비, 융자금 이자 등을 실제 투입한량을 기준으로 계산한 결과이다(표 5-12).

톤당 인건비는 인건비 총액을 일일작업시간을 고려하고 퇴비 총발생량으로 나누어 계산하였다. 톱밥투입비는 투입량에 톱밥단가(15,000원/m<sup>3</sup>)를 곱해 산출하였고, 전력비는 교반기, 폭기장치, 고액분리기에 사용한 전력을 계산하였다.<sup>72</sup> 감가상각비는 퇴비사 20년, 기계장치 8년으로 내용연수를 적용하였으며, 융자금 이자는 시설비의 50% 정부지원이므로 나머지 50%에 대해서는 연리 3% 이자율을 적용하여 계산하였다.

72 톤당인건비 =  $\frac{200\text{만원} \times \frac{2\text{시간}}{8\text{시간}} \times 12\text{개월}}{\text{퇴비총발생량(톤)}}$

표 5-12. 자원화 유형별 · 규모별 경영비

단위: 원/m<sup>3</sup>

|        |        | 규모(처리두수, 두) |          |          |          |          |
|--------|--------|-------------|----------|----------|----------|----------|
|        |        | 1,000       | 2,000    | 3,000    | 5,000    | 10,000   |
| 유형 I   | 인건비    | 1,911.4     | 955.7    | 637.1    | 382.3    | 191.1    |
|        | 톱밥투입비  | 14,651.2    | 14,651.2 | 14,651.2 | 14,651.2 | 14,651.2 |
|        | 전력비    | 594.3       | 594.3    | 594.3    | 594.3    | 594.3    |
|        | 기타수선비등 | 3,899.4     | 1,987.9  | 1,350.8  | 1,605.6  | 1,223.4  |
|        | 감가상각비  | 8,270.1     | 5,880.8  | 5,084.4  | 5,402.9  | 4,925.1  |
|        | 융자금이자  | 1,296.0     | 1,009.2  | 913.7    | 951.9    | 894.6    |
|        | 계      | 30,622.3    | 25,079.1 | 23,231.4 | 23,588.2 | 22,479.6 |
| 유형 II  | 인건비    | 1,911.4     | 955.7    | 637.1    | 382.3    | 191.1    |
|        | 톱밥투입비  | 45,000.0    | 45,000.0 | 45,000.0 | 45,000.0 | 45,000.0 |
|        | 전력비    | 169.3       | 169.3    | 169.3    | 169.3    | 169.3    |
|        | 기타수선비등 | 2,548.6     | 1,274.3  | 849.5    | 1,019.4  | 764.6    |
|        | 감가상각비  | 9,761.1     | 8,168.2  | 7,637.3  | 7,849.6  | 7,531.1  |
|        | 융자금이자  | 2,354.9     | 2,163.7  | 2,100.0  | 2,125.5  | 2,087.3  |
|        | 계      | 61,745.3    | 57,731.3 | 56,393.3 | 56,546.2 | 55,743.4 |
| 유형 III | 인건비    | 955.7       | 477.9    | 318.6    | 191.1    | 95.6     |
|        | 톱밥투입비  | -           | -        | -        | -        | -        |
|        | 전력비    | 595.9       | 595.9    | 595.9    | 581.0    | 581.0    |
|        | 기타수선비등 | 152.9       | 152.9    | 152.9    | 149.1    | 149.1    |
|        | 감가상각비  | 2,166.3     | 2,166.3  | 2,166.3  | 2,112.1  | 2,112.1  |
|        | 융자금이자  | 649.9       | 649.9    | 649.9    | 633.6    | 633.6    |
|        | 계      | 4,520.7     | 4,042.9  | 3,883.6  | 3,667.0  | 3,571.4  |
| 유형 IV  | 인건비    | 1,911.4     | 955.7    | 637.1    | 382.3    | 191.1    |
|        | 톱밥투입비  | 9,000.0     | 9,000.0  | 9,000.0  | 9,000.0  | 9,000.0  |
|        | 전력비    | 618.0       | 618.0    | 618.0    | 618.0    | 618.0    |
|        | 기타수선비등 | 3,918.4     | 2,007.0  | 1,363.5  | 1,620.9  | 1,236.7  |
|        | 감가상각비  | 8,762.7     | 6,373.4  | 5,486.7  | 5,841.4  | 5,336.4  |
|        | 융자금이자  | 1,362.5     | 1,075.8  | 980.2    | 1,018.4  | 961.1    |
|        | 계      | 25,573.0    | 20,029.8 | 18,085.4 | 18,480.9 | 17,343.3 |

자료: 농림부(2007), 강원대학교(2006), 환경대학교(2005).

### 3.2.3. 유형별 수익 및 경제성 분석

경제성 분석은 수입에서 비용을 제하여 산출하였다. 수입은 화학비료 절감효과<sup>73</sup>, 퇴비판매수입, 가축분뇨 처리비, 액비살포비로 구성되어 있다.

가축분뇨 처리비는 축산농가가 분뇨를 대행 처리하기 위해 지불하는 비용, 액비살포비는 액비공장에서 액비를 생산하여 경지에 살포하면서 농가로부터 받는 수입이다. 비용은 고정비인 기계 설치에 대한 감가상각비, 자본금 이자, 운영비 등을 계산하여 유형별로 수익성을 추정하였다.

유형별·규모별로 경제성 분석결과 모든 유형에서 퇴비판매수입만으로는 적자운영이고, 화학비료 절감효과와 가축분뇨 처리비, 액비살포비 등을 수입으로 할 때 수익이 발생하는 유형과 규모가 나타나고 있다(표 5-13).

유형Ⅰ에서 퇴비판매 수입으로는 어떤 규모에서도 수익이 발생하지 않는다. 다만 퇴비판매수입, 화학비료절감효과, 가축분뇨 처리비까지를 수입으로 계산할 때는 모든 규모에서 수익이 발생하게 된다.

유형Ⅱ는 퇴비판매수입, 화학비료절감효과, 축산분뇨처리비 등을 전부 수입으로 계산해도 적자운영이다. 이는 다른 유형에 비해 값 비싼 톱밥을 많이 사용하고 있어 비용이 절대적으로 높다.

유형Ⅲ은 화학비료 절감효과만을 계산할 때는 5,000두 이상에서 수익이 발생하고 가축분뇨 처리비와 액비살포비까지 포함하면 모든 규모에서 수익이 발생한다. 유형Ⅳ는 4가지 수입요소 모두를 고려하면 모든 규모에서 수익이 발생하고 퇴비판매수입, 화학비료절감효과, 액비 살포비 등 3가지 수입 요소를 고려할 경우는 10,000두 이상에서만 수익이 발생하는 것으로 분석되었다(그림 5-3).

<sup>73</sup> 화학비료절감효과: 가축분뇨 농경지환원에 따른 복합비료 대체비용(원/톤) = 연간 가축분뇨 슬러리 발생량(m<sup>3</sup>)×0.25%(질소성분 이용율)÷17%(복합비료대체량 환산계수, 복합비료 중 질소성분비율)×250,000원/톤(복합비료 가격)으로 추정하였다.

표 5-13. 자원화 유형별 · 규모별 경제성 분석 결과

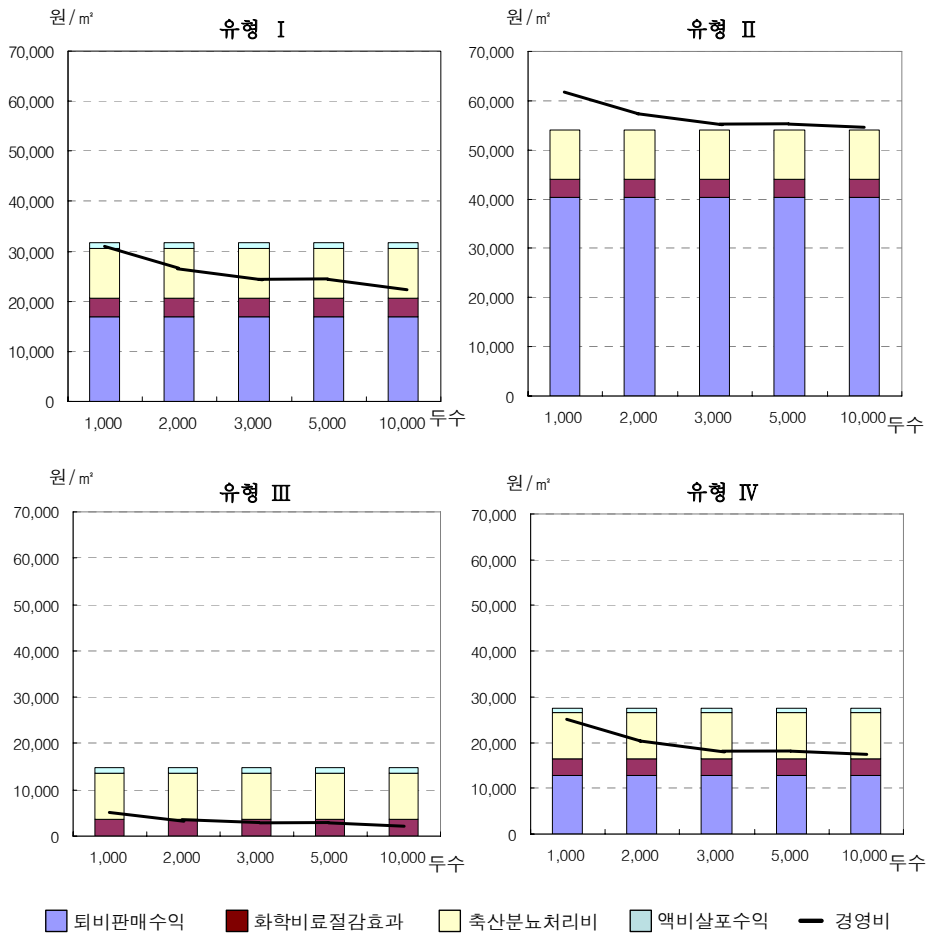
단위: 원/m<sup>3</sup>

|        |         |         | 규 모 (처리두수, 두) |        |        |        |        |
|--------|---------|---------|---------------|--------|--------|--------|--------|
|        |         |         | 1,000         | 2,000  | 3,000  | 5,000  | 10,000 |
| 유형 I   | 수입(A)   | 퇴비 판매   | 17,025        | 17,025 | 17,025 | 17,025 | 17,025 |
|        |         | 화학비료 절감 | 3,677         | 3,677  | 3,677  | 3,677  | 3,677  |
|        |         | 가축분뇨 처리 | 10,000        | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 |
|        |         | 액비 살포   | 1,000         | 1,000  | 1,000  | 1,000  | 1,000  |
|        | 비용(B)   | 경영비     | 30,622        | 25,079 | 23,231 | 23,588 | 22,480 |
|        | 수익(A-B) |         | 1,080         | 6,623  | 8,471  | 8,114  | 9,222  |
| 유형 II  | 수입(A)   | 퇴비 판매   | 40,290        | 40,290 | 40,290 | 40,290 | 40,290 |
|        |         | 화학비료 절감 | 3,677         | 3,677  | 3,677  | 3,677  | 3,677  |
|        |         | 가축분뇨 처리 | 10,000        | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 |
|        |         | 액비 살포   | -             | -      | -      | -      | -      |
|        | 비용(B)   | 경영비     | 61,745        | 57,731 | 56,393 | 56,546 | 55,743 |
|        | 수익(A-B) |         | -7,748        | -3,764 | -2,426 | -2,579 | -1,776 |
| 유형 III | 수입(A)   | 퇴비 판매   | -             | -      | -      | -      | -      |
|        |         | 화학비료 절감 | 3,677         | 3,677  | 3,677  | 3,677  | 3,677  |
|        |         | 가축분뇨 처리 | 10,000        | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 |
|        |         | 액비 살포   | 1,000         | 1,000  | 1,000  | 1,000  | 1,000  |
|        | 비용(B)   | 경영비     | 4,521         | 4,043  | 3,884  | 3,667  | 3,571  |
|        | 수익(A-B) |         | 10,156        | 10,634 | 10,793 | 11,010 | 11,105 |
| 유형 IV  | 수입(A)   | 퇴비 판매   | 12,858        | 12,858 | 12,858 | 12,858 | 12,858 |
|        |         | 화학비료 절감 | 3,677         | 3,677  | 3,677  | 3,677  | 3,677  |
|        |         | 가축분뇨 처리 | 10,000        | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 |
|        |         | 액비 살포   | 1,000         | 1,000  | 1,000  | 1,000  | 1,000  |
|        | 비용(B)   | 경영비     | 25,573        | 20,030 | 18,085 | 18,481 | 17,343 |
|        | 수익(A-B) |         | 1,962         | 7,505  | 9,450  | 9,054  | 10,192 |

주 1: 가축분뇨처리비는 해양투기비용이 현재 톤당 18,000~25,000원 수준이지만 농가가 실제 지불하려는 금액은 톤당 10,000원으로 가정하였음.

2: 액비살포시 1ha당 15만원씩 농협으로부터 지원금을 받는다. 이를 이용하여 1ha당 150톤을 살포하는 것으로 하고, 1톤당 1,000원을 액비살포수익으로 계산하였음.

그림 5-3. 퇴·액비 자원화 유형별, 규모별 경제성과



축분 처리규모가 1만두일 때 유형별로 경제성 분석을 실시해 보았다(표 5-14). 분석 결과 1만두 이상일지라도 모든 유형에서 퇴비판매 수익만으로는 경영적자이다. 그러나 퇴비판매수입에 분뇨처리비, 액비살포비 등을 고려했을 때 유형II를 제외하고 수익이 발생하였다. 직접수입과 간접수입(화학비료절감효과)을 전체 수입으로 계산했을 때에도 유형II는 1,776원/m³의 손해를 보게 된다. 유형II가 경제성이 없는 것은 톱밥을 가장 많이 사용하는 유형으로 톱밥가격의 상승에 의해 부의 부호를 가지는 것으로 나타났다.

표 5-14. 유형별 경영성과(1만 두 기준)

단위: 원/m<sup>3</sup>

|             |           | 유형 I    | 유형 II    | 유형 III  | 유형 IV   |
|-------------|-----------|---------|----------|---------|---------|
| 직접수입<br>(B) | 퇴비판매수입(A) | 17,025  | 40,290   | -       | 12,858  |
|             | 분뇨처리비     | 10,000  | 10,000   | 10,000  | 10,000  |
|             | 살포비       | 1,000   | -        | 1,000   | 1,000   |
| 간접수입 (C)    | 화학비료절감효과  | 3,677   | 3,677    | 3,677   | 3,677   |
| 비 용(D)      |           | 22,480  | 55,743   | 3,572   | 17,343  |
| 순수익(E)      | E=A-D     | - 5,455 | - 15,453 | - 3,572 | - 4,485 |
|             | E=B-D     | 5,545   | - 5,453  | 7,428   | 6,515   |
|             | E=(B+C)-D | 9,222   | - 1,776  | 11,105  | 10,192  |

### 3.2.4. 분석결과 시사점

동일한 퇴·액비 시설이라면 규모가 큰 시설에서 경제성이 있다. 따라서 퇴·액비시설은 지역단위로 규모화된 시설이 필요하다. 퇴비사별로 단위당 (m<sup>3</sup>) 퇴비 판매가격은 일정하고, 경영비는 퇴비사 규모가 클수록 감소하므로 규모가 크기 위해서는 지역단위의 퇴비사가 필요하다.

분뇨 자원화 시설은 지역 여건에 기반을 둘 필요가 있다. 유형II는 경영비 중 톱밥 구입비용이 가장 크므로 톱밥을 쉽게 구할 수 있는 지역이면서 생산된 퇴비의 수요처가 확실한 지역에서 설치 운영되어야 한다. 유형III과 IV는 액비를 생산하고 있으므로 액비살포경지가 확보될 수 있는 지역에서 유리하다.

가축분뇨의 자원화를 위해서는 분뇨처리비와 액비살포비가 보장되어야 한다. 축산 농가가 분뇨를 처리하기 위해 지불하는 비용을 퇴비화 공장에 지불해야 하고(톤당 1만 원 이상), 액비를 경작농가에 살포했을 때 경작농가로부터 일정 금액(톤당 1천 원 이상)을 받아야 자원화 시설에서 경제성이 있는 것으로 나타났다.

### 3.3. 바이오가스의 경제성 분석

#### 3.3.1. 바이오가스 시설 개요

바이오가스를 생산하기 위해서는 유입원료가 있어야 하고, 가스화 시설로는 건축물과 기계장치가 필요하다. 이를 운전하기 위해서는 혐기소화장치, 탈황장치, 보일러, 발전기, 가스 연소탑 등이 필요하다(표 5-15).

표 5-15. 바이오가스 시설기준 및 개요

|              |         |                                                                                                                                                                  |
|--------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 바이오가스 처리특성   |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 발생 양돈슬러리 전량 혐기소화조 유입</li> <li>· CSTR(Continuous Stirred Tank Reactor)에 의한 혐기소화공정 채택</li> </ul>                          |
| 유입원료 특성      |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수분함량 95%, TS함량 5%</li> </ul>                                                                                            |
| 바이오가스화 시설 개요 | 건축물     | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 원료조, 혐기발효조(CSTR형, VS기준 2.0~3.0kg/m<sup>3</sup>/일로 설계)</li> <li>· 발전기실</li> </ul>                                        |
|              | 기계장치 기타 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 원료조: 원료조교반기, 원료투입펌프</li> <li>· 발효조: 발효조 교반기, 소화액 이송펌프</li> <li>· 기계실(발전기실): 탈황장치, 가스보일러, 가스발전기, 가스부스터, 가스연소탑</li> </ul> |
| 운전 개요        | 원료투입    | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 스크린 설치: 원료 중 돼지털 등 이물질 제거</li> <li>· 혼합, 분쇄 과정: 유입원료성상을 일정하게 유지</li> </ul>                                              |
|              | 혐기소화    | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 중온발효(35℃): 생산바이오가스 활용 소화조 및 원료조가온유지</li> <li>· 체류시간: 30일</li> </ul>                                                     |
|              | 탈황장치    | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 황화수소(H<sub>2</sub>S) 및 수분 제거</li> </ul>                                                                                 |
|              | 보일러     | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 겨울철 혐기소화조 가온을 위한 온수공급</li> </ul>                                                                                        |
|              | 발전기     | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 전소 또는 혼소엔진 발전기: 전력변환, 배출 온수는 소화조가온에 사용</li> </ul>                                                                       |
|              | 가스 연소탑  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 잉여 바이오가스 연소배출</li> </ul>                                                                                                |
| 바이오가스 생산량    |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 유입VS(kg)×VS 분해율(60%)×단위메탄가스발생량(0.58m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/분해VS kg)/메탄농도(60%)×100로 계산</li> </ul>                   |
| 소화액 특성       |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 유입 VS 60% 분해(바이오가스로 전환)</li> <li>· 수분함량 95% 이상</li> <li>· 유입원료 중 질소(N), 인(P) 함량 변화 미미</li> </ul>                        |

자료: 황수철 외(2006).

양돈 농가로부터 유입된 분뇨는 수분함량이 95%이며, 분뇨를 이용하여 바이오가스화 이후에도 분뇨의 양과 수분함량에는 크게 변화가 없다. 이는 바이오가스 시설을 도입하더라도 기존 자원화시설에 유입되는 혐기소화액의 성장과 양은 당초 발생한 양돈 슬러리 양과 크게 다르지 않다는 것이다. 즉 바이오가스화 이후에도 여전히 분뇨는 그대로 남아있어 이를 처리해야 하는 고민이 있다.

따라서 바이오가스화는 가축분뇨의 처리방안이라기 보다는 신·재생에너지 생산이라는 차원에서 다루어져야 한다.

### 3.3.2. 바이오가스 시설 산정기준 및 설치비

#### 가. 바이오가스 경제성 평가 산정 기준

규모가 하루에 5m<sup>3</sup>을 처리할 수 있는 혐기소화 공정형바이오가스 플랜트 설계 자료를 기초로 경제성 평가 산정기준을 작성하였다. 바이오가스 시설의 경제성 평가 산정기준은 <표 5-16>과 같이 설정하였다.

표 5-16. 바이오가스 생산시설 경제성 평가 산정 기준

| 항목       |                                                     | 기준값   |
|----------|-----------------------------------------------------|-------|
| 분뇨성장     | TS함량 <sup>74</sup> (%)                              | 5     |
|          | VS함량 <sup>75</sup> (TS중 %)                          | 80    |
| 바이오가스 생산 | VS분해율 <sup>76</sup> (%)                             | 60    |
|          | 단위메탄가스발생량(m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /분해 VS kg) | 0.58  |
|          | 메탄농도(%)                                             | 60    |
| 발전기      | 혼소발전기 바이오가스소비량(m <sup>3</sup> /hr)                  | 13.7  |
|          | 전력환산기준(kw/hr)                                       | 30    |
|          | 중유소비량(L/hr)                                         | 2     |
| 소비전력     | 플랜트전력비기준(kwh/일)                                     | 123.4 |

자료: 황수철 외(2006).

<sup>74</sup> TS(total solid)는 분뇨나 폐수 중에 들어 있는 총 고형물로 총고형물에는 유기물과 무기물이 있으며, 이 모두를 총고형물 TS함량으로 표시한다.

<sup>75</sup> VS(volatile solid)는 휘발성 고형물임. 이는 회화로(550도)에서 회화시 휘발되는

바이오가스를 생산하는 데 투입되는 전력은 농가용 전력으로 36.4원/kw을 적용한 반면, 바이오가스로 발전한 전력은 85.7원/kw(150kw 미만)에 매전하는 것으로 분석했다. 즉 저렴한 농가전력을 사용하고 발전된 전기는 산자부의 매전가격을 적용하여 경제성을 분석하였다.

#### 나. 바이오가스 규모별 설치비

바이오가스를 생산하기 위해 고정적으로 필요한 장비는 메탄발효조, 가스저장조, 기타공사비, 탈황탑 등이다. 바이오가스 규모에 따라 비례적으로 비용은 증가한다. 사육규모에 따라 설치비용은 2억 원에서 많게는 6억 원까지 소요된다(표 5-17).

표 5-17. 축산 바이오가스 규모별 설치비용

단위: 천 원

|        |        | 규모(처리두수, 두) |         |         |         |         |
|--------|--------|-------------|---------|---------|---------|---------|
|        |        | 1,000       | 2,000   | 3,000   | 5,000   | 10,000  |
| 토목, 건축 | 메탄발효조  | 50,000      | 70,000  | 80,000  | 120,000 | 200,000 |
|        | 가스저장조  | 30,000      | 30,000  | 40,000  | 50,000  | 50,000  |
|        | 기타공사비  | 50,000      | 50,000  | 70,000  | 80,000  | 95,000  |
| 기계 장치  | 탈황탑    | 2,000       | 2,000   | 2,000   | 3,000   | 3,000   |
|        | 열병합발전기 | 100,000     | 115,000 | 149,000 | 207,000 | 297,000 |
| 계      |        | 232,000     | 267,000 | 341,000 | 460,000 | 645,000 |

자료: 박철순(2001) 사례조사결과.

유기물의 양으로 일반적으로 유기성 고형물을 의미하며, 이들 유기성 고형물 중에서 약 60% 정도가 혐기소화조에서 메탄가스로 전환된다.

<sup>76</sup> VS분해율은 휘발성고형물 중에서 혐기소화조 내에서 메탄으로 전환되는 데 소요되는 VS의 비율을 의미한다.

### 3.3.3. 바이오가스 규모별 경제성 분석

#### 가. 바이오가스 규모별 에너지 생산량

바이오매스 발생량은 두당 발생량(8.6kg)에 두수를 곱해 산정하였다. TS량은 TS함량(5%)에 발생량(8.6m<sup>3</sup>/일)을 곱해 산출했다. VS량은 TS량(430kg/일)에 VS 함량(80%)을 곱해서 구했다. 분해VS량은 VS량(344kg/일)에 VS 분해율(60%)을 적용하였다(표 5-18).

바이오가스 1일 발생량은 199.5m<sup>3</sup>이다.

$$= \text{분해VS량}(206.4\text{kg/일}) \times \frac{\text{단위메탄가스발생량}(0.58)}{\text{메탄농도}(60\%)}$$

발전 전력량(kwh/일)은 436.9kwh이다.

$$= \frac{\text{바이오가스발생량}(199.5\text{m}^3/\text{일})}{\text{혼소발전기바이오가스소비량}(13.7\text{m}^3/\text{hr})} \times \text{전력환산기준} 30\text{Kw/hr}$$

표 5-18. 바이오매스 발생량 및 에너지 생산량(1일당)

|               |                                 | 규모(처리두수, 두) |       |         |         |         |
|---------------|---------------------------------|-------------|-------|---------|---------|---------|
|               |                                 | 1,000       | 2,000 | 3,000   | 5,000   | 10,000  |
| 바이오매스<br>발생량  | 발생량<br>(m <sup>3</sup> /일)      | 8.6         | 17.2  | 25.8    | 43.0    | 86.0    |
|               | TS량<br>(kg/일)                   | 430.0       | 860.0 | 1,290.0 | 2,150.0 | 4,300.0 |
|               | VS량(kg/일)                       | 344.0       | 688.0 | 1,032.0 | 1,720.0 | 3,440.0 |
| 바이오에너지<br>생산량 | 바이오가스발생량<br>(m <sup>3</sup> /일) | 199.5       | 399.0 | 598.6   | 997.6   | 1,995.2 |
|               | 발전전력량<br>(kw/일)                 | 436.9       | 873.8 | 1,310.7 | 2,184.5 | 4,369.1 |

## 나. 바이오가스 규모별 경영성과

사육규모 1,000두에서 1일당 발전량은 436.9kw이다. 1일당 발전량을 톤당으로 환산하면(436.9kw/8.6) 50.8kw이다. 발생된 전력을 85.7원/kw<sup>77</sup>에 매전할 경우 전력판매수입은 톤(m<sup>3</sup>)당 4,354원이다(표 5-19).

비용은 인건비, 전력비, 유류대, 수선비, 감가상각비, 고정비 이자 등으로 구성되었으며, 1,000두 경우 톤당 2만 998원이 비용이다. 규모가 커질수록 비용은 감소하여 1만 두일 경우 8,119원이다.

생산된 전력을 현행 판매단가인 kw당 85.7원을 적용하면 전력판매수입은 모든 규모에서 손해이다. 독일의 경우 매전가격을 kw당 134원으로 지불하고 있어 우리도 134원을 적용해도 손해이며, 1만두 이상에서 손익분기점이 되려면 kw당 160원이 되어야 하나 현실적으로 어렵다고 판단된다.

표 5-19. 축산 바이오가스 경제성

단위: 원/m<sup>3</sup>

|             |                          | 규모(처리두수, 두) |          |          |          |         |
|-------------|--------------------------|-------------|----------|----------|----------|---------|
|             |                          | 1,000       | 2,000    | 3,000    | 5,000    | 10,000  |
| 비용          | 인건비                      | 955.7       | 477.9    | 318.6    | 191.1    | 95.6    |
|             | 전력비                      | 898.4       | 898.4    | 898.4    | 898.4    | 898.4   |
|             | 유류대                      | 2,370.8     | 2,370.8  | 2,370.8  | 2,370.8  | 2,370.8 |
|             | 수선비등                     | 3,249.4     | 1,863.7  | 1,603.5  | 1,338.0  | 955.7   |
|             | 감가상각비                    | 6,132.5     | 3,524.2  | 3,013.2  | 2,468.9  | 1,744.2 |
|             | 고정비이자                    | 7,390.9     | 4,252.9  | 3,621.1  | 2,930.9  | 2,054.8 |
|             | 계(A)                     | 20,997.7    | 13,387.8 | 11,825.5 | 10,198.1 | 8,119.4 |
| 수입          | 발전량(kwh/m <sup>3</sup> ) | 50.8        | 50.8     | 50.8     | 50.8     | 50.8    |
|             | 판매수입(B)                  | 4,353.6     | 4,353.6  | 4,353.6  | 4,353.6  | 4,353.6 |
| 경영성과(C=B-A) |                          | -16,644     | -9,034   | -7,472   | -5,844   | -3,565  |

주: 발전전력을 85.7원/kwh으로 판매

<sup>77</sup> 에너지관리공단에서 신·재생에너지 발전차액지원제도 하에서 바이오가스에 의해 발생한 전력은 발생량이 150kW 미만일 경우 기준가격 70.71원에 발전차액지원 15원을 더한 85.71/kw원이다.

지금까지의 분석결과는 바이오가스 생산을 통한 이산화탄소 저감효과와 석유에너지 대체효과를 무시한 것으로 이러한 환경적 에너지적 편익을 동시에 고려할 경우 바이오가스 생산시설의 경제적 가치는 향상될 것으로 판단된다.

#### 다. 바이오가스 민감도 분석

가축분뇨를 이용하여 바이오가스를 생산하고 이를 이용하여 전기화했을 때 수입이 발생한다. 이 때 중요하게 작용하는 것은 총고형물질(TS) 함량이다. 지금까지 바이오가스 생산을 위한 기계설비 및 기술은 총고형물질 함량을 5%에서 15%까지 처리할 수 있는 기계장치이다.

총고형물질의 함량을 높이기 위해서는 지역에서 배출되는 음식물쓰레기를 포함하거나, 축사관리를 선진화하여 총고형물질(TS) 함량을 높이는 것이다. 총고형물질의 함량은 현재 5%가 일반적이며, 이때는 분석결과와 같이 모든 규모에서 이익이 발생하지 않는다.

따라서 총고형물질의 함량을 10%로 조정하고, 분뇨 처리규모를 확대하여 1만 두를 처리했을 때 톤당 589원의 이익이 발생하게 된다(표 5-20).

표 5-20. 바이오매스 발생량 및 에너지 생산량(1일당)

단위: 원/m<sup>3</sup>

|                                |         | 규모(처리두수, 두) |          |          |          |         |
|--------------------------------|---------|-------------|----------|----------|----------|---------|
|                                |         | 1,000       | 2,000    | 3,000    | 5,000    | 10,000  |
| 비용                             |         | 20,997.7    | 13,387.8 | 11,825.5 | 10,198.1 | 8,119.4 |
| 발전전력량<br>(Kwh/m <sup>3</sup> ) | TS( 5%) | 50.8        | 50.8     | 50.8     | 50.8     | 50.8    |
|                                | TS(10%) | 101.6       | 101.6    | 101.6    | 101.6    | 101.6   |
| 판매수입<br>(원/m <sup>3</sup> )    | TS( 5%) | 4,353.8     | 4,353.8  | 4,353.8  | 4,353.8  | 4,353.8 |
|                                | TS(10%) | 8,707.6     | 8,707.6  | 8,707.6  | 8,707.6  | 8,707.6 |
| 경영성과<br>(원/m <sup>3</sup> )    | TS( 5%) | -16,644     | -9,034   | -7,472   | -5,837   | -3,765  |
|                                | TS(10%) | -12,290     | -4,680   | -3,118   | -1,484   | 589     |

#### 4.3.4. 가축분뇨의 에너지량과 원유대체효과

가축분뇨를 전부 바이오에너지화하면 연간 에너지 발생량이 43만 9천toe가 된다. 에너지 발생량을 원유로 대체하면 연간 2,775억 원의 원유대체효과가 있는 것으로 추정된다.

##### 가. 자원화 효과계측을 위한 가정

| 에너지 효과 가정                                                                                                                                                                                                                                  | 원유대체 효과 가정                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 축산폐수 168천 톤/일</li> <li>○ BOD 30kg/㎏=3만mg/l</li> <li>○ BOD 제거율 80%(메탄전환율)</li> <li>○ 1kgBOD당 0.35m<sup>3</sup> 메탄가스 발생</li> <li>○ 메탄발열량 8,500kcal/m<sup>3</sup></li> <li>○ bbl/toe=7.41</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 유가(\$/bbl)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 두바이(\$/bbl)=86.99</li> <li>- 브렌트(\$/bbl)=93.06</li> <li>- 텍사스(\$/bbl)=95.02</li> </ul> </li> <li>○ 환율: 916.4원/달러</li> </ul> |

자료: 에너지 효과 측정을 위한 가정은 산업자원부 보도자료(2006)를 이용하였고, 원유대체 효과가정에서 유가는 최근 2007년 11월 1일부터 11월 30일까지 한 달 동안의 평균값이고, 환율 또한 최근 1달 평균값임.

##### 나. 축산분뇨의 에너지 효과

가축분뇨의 연간 발생량은 6,150만 톤으로 추정되며, 이를 자원화했을 때 메탄발생량은 5억 1,660만m<sup>3</sup>가 되고, 이를 에너지발생으로 추정하면 43만 9천toe가 된다. 유량으로 환산하면 325만 4천 배럴이 된다. 계산식은 다음과 같다.

- 메탄발생량=BOD/l × 축산분뇨 × 메탄전환율 × 메탄발생량/BOD  
 - 51,660만m<sup>3</sup> = 30kg × 6,150만 톤/년 × 80% × 0.35m<sup>3</sup>
- 에너지 발생량 = 메탄발생량 × 메탄발열량  
 - 4조 3,900억kcal=43.9만toe = 51,660만m<sup>3</sup> × 8,500kcal/m<sup>3</sup>
- 총유량 = 에너지발생량 × 7.41(bbl/toe)  
 - 3,254천bbl = 43.9만toe × 7.41(bbl/toe)

가축분뇨를 한육우와 양돈으로 구분하였다. 한육우 등에서 발생하는 분뇨는 수분이 적어 퇴비화하고, 양돈 분뇨는 에너지화하는 것으로 가정하였다. 양돈만을 에너지화 했을 때 158만 8천 배럴에 해당하는 에너지효과를 얻을 수 있고 한육우 등에 의한 에너지는 169만 6천 배럴에 해당한다(표 5-21).

표 5-21. 가축분뇨의 에너지 효과

단위: 천bbl

| 총유량   | 한육우 등 <sup>1</sup> | 양돈    |
|-------|--------------------|-------|
| 3,254 | 1,696              | 1,588 |

주 1: 한육우, 젓소, 닭, 말, 오리, 개 등으로 양돈을 제외한 모든 축종임.

#### 다. 가축분뇨의 원유대체 효과

가축분뇨를 전부 에너지화 했을 때 원유대체효과는 두바이유의 경우 2,594억 원, 브랜트유로는 2,775억 원, 텍사스유로는 2,834억 원의 원유대체효과가 있는 것으로 추정된다(표 5-22).

표 5-22. 가축분뇨의 자원화에 의한 원유대체 효과

단위: 억 원

|                   | 두바이   | 브랜트   | 텍사스   |
|-------------------|-------|-------|-------|
| 축산전체              | 2,594 | 2,775 | 2,834 |
| 한우 등 <sup>1</sup> | 1,352 | 1,446 | 1,477 |
| 양돈                | 1,242 | 1,329 | 1,357 |

주1: 한육우, 젓소, 닭, 말, 오리, 개 등으로 양돈을 제외한 모든 축종임.

#### 라. 산자부의 신·재생에너지 정책 목표

산자부 바이오에너지 공급목표는 2012년에 108만 2천toe이다. 가축분뇨를 전부 에너지화할 경우 목표치의 40.6%인 43만 9천toe를 공급할 수 있

는 것으로 추정되었다. 산자부의 신·재생에너지 공급목표는 2012년에 1,553만 1천toe이다. 축산분뇨를 이용하여 달성할 수 있는 것은 2.8%에 해당한다(표 5-23).

표 5-23. 산자부 바이오에너지 보급 목표대비 가축분뇨 대체 가능성  
단위: %

|         | 목표치(2012)             | 축산합계 | 한육우 등 | 양돈   |
|---------|-----------------------|------|-------|------|
| 바이오 에너지 | 100.0<br>(1,082천 toe) | 40.6 | 20.4  | 20.2 |
| 신·재생에너지 | 100.0<br>(15,531천toe) | 2.8  | 1.4   | 1.4  |

### 3.3.5. 분석결과 시사점

바이오가스의 손익분기점은 분뇨처리규모가 1만 두 이상이면서 총고형물질함량(TS)이 10% 이상에서 이루어진다. 따라서 바이오가스 시설은 지역단위에서 대규모로 설립되어야 하고, 기술개발로 총고형물질함량(TS)을 10% 이상 높일 수 있어야 한다.

바이오가스는 개별농가 단위로는 어렵고, 지역단위에서 집단적으로 사육하거나, 인접지역의 사육농가와 연계되어야 한다. 또한 축산분뇨를 바이오가스화 할지라도 소화액이 그대로 남아있기 때문에 소화액을 지역 내에서 이용할 수 있는 경지가 요구된다.

바이오가스에 의한 전력매전에 의한 경제성은 사실 희박하다. 경제성을 가지기 위해서는 직접적으로 시설 설치비 보조가 이루어져야 하고, 사회적 편익인 지구온난화가스 삭감, 지하수 오염 방지 등이 사회적 편익으로 계산되어야 한다.

가축분뇨를 이용한 바이오가스는 경제성보다는 산자부의 신·재생 에너지 정책의 일환으로 참여될 필요가 있다. 산자부는 바이오에너지 공급목표를 2012년에 108만 2천toe으로 설정하고 있다. 현재 축산부문에서 모든 축

분을 전부 에너지화했을 때 목표치의 40.6%를 달성할 수 있으며, 산자부의 신·재생 에너지공급목표의 2.8%에 해당된다.

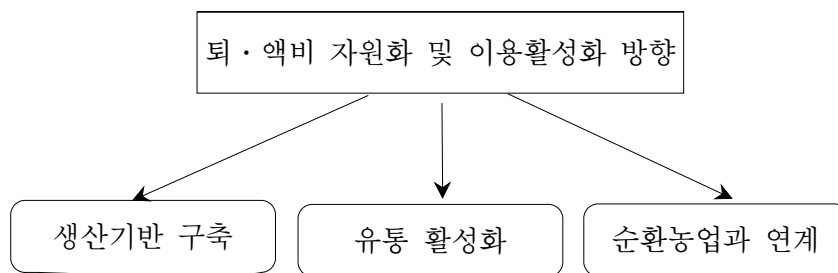
## 4. 축산바이오매스 이용 활성화를 위한 과제와 전략

### 4.1. 기본방향

우리나라의 가축 사육두수는 매년 증가하고 있으며, 이로 인해 분뇨 발생량이 증가하고 있다. 가축분뇨 발생량은 2006년에 가축두수를 고려하여 추정한 결과 1일 16만 9천 톤이 배출되고 있으나, 분뇨를 이용한 자원화 생산기반이 취약하다.

가축분뇨의 자원화를 위해서는 우선 자원화 생산기반이 구축되어야 한다. 두 번째는 퇴·액비 등 자원화 제품의 유통활성화가 이루어져야 한다. 현재 자원화된 퇴·액비의 품질이 일정하지 않아 소비자가 꺼리는 경향이 있어, 작물 및 지역 토양에 맞는 맞춤형 퇴비를 공급할 수 있어야 한다. 셋째는 지역단위의 경종, 축산, 과수, 임산 농가가 연계하여 생산에 필요한 자원을 서로 교환하는 순환시스템이 구축되고 이러한 시스템 하에서 가축 분뇨의 자원화가 활성화 되어야 한다(그림 5-4).

그림 5-4. 축산바이오매스 이용 활성화를 위한 정책 방향



## 4.2. 추진 과제

가축분뇨 자원화를 위한 생산기반 구축과 관련해서는 우선 퇴·액비 생산업체의 경영 안정을 위한 시설지원을 강화하고, 바이오에너지 생산시설 설치에도 지원이 필요하다. 바이오에너지 시설비용은 2억 3천만 원에서 6억 원 정도로 농가 스스로 설치하기에는 경제적으로 부담이 크다. 현재 산자부에서 시범사업으로만 설치비의 50%를 지원하고 있으나, 바이오에너지 생산업체에게도 지원이 확대되어야 한다.

가축분뇨의 자원화를 위한 기술개발은 지속적으로 추진되어야 할 과제이다. 현재 자원화를 위한 시설 설치비가 높고, 자원화 원료 중 톱밥 가격이 상승하고 있어 톱밥 대체 원료 개발과 톱밥을 효율적으로 이용할 수 있는 기술개발이 시급하다. 또한 경지에 퇴·액비 살포시 많은 악취가 발생하여 주위의 민원이 발생하므로 사용을 꺼리고 있어, 악취 제거 기술 개발에도 역점을 두어야 한다.

자원화된 제품의 유통활성화와 관련해서는 수요처 개발이 중요하다. 현재 퇴·액비의 경우는 공급에 비해 수요가 적은 편이다. 유기질 비료의 비효를 믿지 못해 수요가 적은 경우와 불량 퇴비 거래가 근절되지 않아 수요가 적은 경우가 있다. 따라서 소비확대를 위해서는 퇴·액비 생산업체와 수요자 상호간에 유통질서가 확립되어야 한다. 퇴·액비 수급 안정을 위해 유통협의체를 구성할 필요가 있다. 이를 통해 대량 수요처를 개발하고, 사전에 수요를 파악하여 수급안정을 유도할 수 있을 것이다.

지역단위에서 경종, 축산, 과수, 임산 농가의 연계성이 강화되어야 한다. 분뇨 자원화 시설은 자원화 과정에서 상호 부산물의 교환이 손쉽게 이루어질 수 있어야 하며, 이들 농가 간에 지역단위에서 상호 연계성을 갖는 것이 중요하다.

### 4.3. 추진 전략

#### 4.3.1. 고품질 퇴·액비 생산을 위해 축사 및 자원화 시설 지원

양질의 자원을 생산하기 위해서는 우선 축사가 현대화 되어야 하고, 낙후된 자원화 시설은 개·보수가 이루어져야 한다. 자원화 기술 변화에 따라 자원화 시설도 새롭게 설치되어야 한다. 현행 퇴·액비 생산시설 신축 시 정부의 50% 국고지원, 자부담 50%는 지속적으로 유지할 필요가 있다 (표 5-24).

표 5-24. 축산바이오매스 이용 활성화를 위한 추진 전략

| 추진과제                                  | 추진전략                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 생산시설비 지원                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고품질 퇴·액비 생산농가의 시설 설치비 지원(50:50)</li> <li>- 퇴·액비, 에너지 자원화 시설 설치비 지원 지속(50:50)</li> </ul>                                                                             |
| 퇴·액비 생산업체 경영 안정화                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 경제성 있도록 매진가격 85.7원/kwh, 105원/kwh 차등 지원</li> <li>- 분뇨 수요자에게 퇴액비 살포비 지원(30원/평)</li> <li>- 축산 농가분뇨 수거 시 해양투기 비용의 일부 지원(10,000원)</li> </ul>                             |
| 퇴·액비 수요처 개발·확대                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유기질 비료가격 보조 지속</li> <li>- 퇴·액비 성분무료검사 및 시비처방서 발부</li> <li>- 퇴·액비 시연회 개최하여 우수비료 홍보</li> <li>- 유통 협의체 구성·운영하여 대규모 수요처 개발</li> <li>- 퇴·액비 품질관리 및 불량퇴비 유통 근절</li> </ul> |
| 경종/축산/과수/임산 농가와 연계성 강화(지자체, 유통협의체 구성) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지자체 중심으로 경종/축산/과수/임산 농가와 연계 프로그램</li> <li>- 지역 내에 맞는 퇴·액비 시설 종류와 위치 선정</li> <li>- 지자체 중심으로 퇴·액비 수요 파악</li> <li>- 친환경 농업과 연계하여 자원순환 농업 유도</li> </ul>                 |

### 43.2. 퇴·액비 생산업체의 수익성 제고

축산분뇨를 이용하여 퇴·액비화하는 업체의 수익성 보장을 위해서는 축산 농가가 분뇨를 처리하는 비용의 일부를 퇴비화 공장에 지불해야 한다. 분뇨를 해양 투기할 때, 축산농가는 톤당 2~3만 원 정도 지불하고 있다. 따라서 퇴·액비 생산업체에게도 최소 톤당 1만 원 이상의 처리비용이 지불되어야 지속적인 자원화 작업이 이루어질 것이다.

현재 액비를 경지에 살포했을 때 무상으로 하는 경우도 있고, 경작농가로부터 20원/평을 받기도 한다. 그러나 액비 살포비를 50원/평으로 상향 조정하고, 차액 30원은 지자체에서 부담한다면 퇴·액비 생산업체는 어느 정도 경제성을 가질 수 있을 것이다.

### 43.3. 퇴·액비의 수요처 확대 및 개발 노력

퇴·액비의 수요확대를 위해서는 작물 및 토양에 맞는 맞춤형 퇴비 생산이 필요하다. 이를 위해서는 퇴·액비 유통협의체를 구성하여 대규모 소비처를 발굴함으로써 소비확대를 유도하도록 하고, 퇴·액비 품질관리를 철저히 하여 소비자가 믿고 사용할 수 있도록 해야 한다.

퇴·액비 주문 시 수요자는 시비 처방서를 제출하고 생산업체는 이를 기초로 생산해야 할 것이다. 유기질 비료의 수요 확대를 위해서 유기질 비료 가격 보조를 지속적으로 유지하고, 퇴·액비 시연회를 개최하여 우수 비료를 홍보하여 수요를 확대해야 할 것이다.

### 43.4. 지역 내 농가의 연계로 자원화 유도

축산농가와 지역 내 경종, 과수, 특작 농가 등의 연계를 통해 자원화를 촉진시켜 나가야 한다. 축산농가 또는 자원화 업체는 지역의 특성을 고려하여 퇴·액비 시설의 종류, 위치, 규모 등을 결정해야 할 것이다. 퇴·액비 수요자인 경종, 과수, 특작 농가는 필요한 퇴·액비에 대해 살포비를 지

불하고, 일반 축산농가도 자원화 시설을 갖춘 농가/업체에게 소정의 분뇨 수거비를 지불토록 해서 자원화의 인센티브를 갖도록 해야 한다. 이를 위해서는 지역 내 다양한 농가를 연계할 수 있는 시스템 개발이 요구된다.

#### 4.3.5. 주체별 역할 강화

축산이 경쟁력 있는 산업으로 성장하기 위해서는 여러 가지 현안이 해결되어야 한다. 그 중에서 가축분뇨 처리는 시급한 현안이다. 이러한 문제는 축산농가의 힘만으로는 해결하기 어렵다. 축산부문뿐만 아니라 가축분뇨 자원화와 관련 있는 모든 주체의 참여가 전제되어야 한다(표 5-25).

축산농가는 가축분뇨에 이물질이 섞이지 않도록 관리를 잘하고, 항생제 등의 사용을 억제하여 발생한 분뇨가 양질의 퇴·액비가 되도록 해야 한다.

퇴·액비 생산업체는 수요자의 요구에 맞는 맞춤형 비료를 생산해야 한다. 주문한 농가의 작물이나, 지역의 토양 특성을 조사 분석하고 분석 자료를 이용하여 작물 생산에 적합한 비료를 공급해야 한다.

퇴·액비를 소비하는 농민은 화학비료의 시비를 최소화하고, 축분 비료로 대체하려는 의지가 필요하며, 환경농업의 실천 의지를 가져야 할 것이다.

연구소는 퇴·액비와 바이오에너지 기술을 개발하여 보급해야 한다. 퇴·액비 생산업체의 비용절감을 위해 생산기술 및 기계개발을 담당해야 한다. 또한 생산비 중 톱밥비용이 가장 큰 부분을 차지하므로 톱밥을 효율적으로 사용하는 기술, 톱밥 대신 왕겨 등 값싼 원료로 대체할 수 있는 기술 개발이 필요하다. 퇴·액비의 수요를 증가시키기 위해 악취제거 기술을 개발보급하여 축분 소비자인 농가로 하여금 이용을 확대할 수 있도록 해야 한다.

지자체는 퇴·액비 유통활성화에 노력해야한다. 지역에서 발생한 축분을 지역 내에서 이용할 수 있도록 축분처리비 및 액비 살포비 지원, 지역여건에 맞는 자원화 시설 유도, 경종, 축산, 과수 등 농가 간에 부산물을 교환할 수 있는 지역단위 순환농업 시스템 개발에 지원을 아끼지 말아야 한다.

정부는 가축분뇨의 이용활성화를 위한 장기적인 로드맵을 작성해야 한

다. 이에 맞추어 퇴·액비화 시설과 에너지화 시설에 지원, 액비 살포비 지원, 축분 수거비 지원 등으로 지역 내 축분을 최대한 이용할 수 있는 재정 지원을 담당해야 할 것이다.

표 5-25. 축산바이오매스 이용 활성화를 위한 주체별 역할

|              | 기본방안                      | 세부 내용                                                             |
|--------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 축산농가         | • 양질의 분뇨생산                | - 축사관리를 통한 이물질 제거<br>- 가축에 항생제 사용 제한                              |
| 퇴·액비<br>생산업체 | • 수요자 요구에 맞는<br>맞춤형 퇴비 생산 | - 작물 및 토양조건을 고려한 퇴·액비<br>생산                                       |
| 일반농민         | • 환경농업실천 의지               | - 축분비료 이용 확대<br>- 화학비료 사용 절감                                      |
| 연구소          | • 퇴·액비생산기술 개발             | - 퇴·액비 생산비용 절감기술개발<br>- 톱밥 및 왕겨 이용기술개발<br>- 사용자를 위한 악취제거기술 개발     |
|              | • 바이오에너지생산기술개발            | - 비용 절감기술 개발                                                      |
| 자자체          | • 지역순환농업시스템구축             | - 경종/축산/과수/임산 농가 연계<br>- 지역단위로 퇴·액비시설 규모화<br>- 지역여건에 맞는 퇴·액비시설 설치 |
|              | • 퇴·액비 유통활성화              | - 축분 처리비 및 액비살포비 지원<br>- 퇴·액비 사용농가의 경영성과 보급                       |
| 정부           | • 장기적인 축산분뇨 이용<br>로드맵 작성  | - 퇴·액비, 에너지화 시설비 지원 지속<br>- 축산 분뇨 처리 및 이용 로드맵 작성                  |
|              | • 신·재생에너지목표 수립            | - 신·재생에너지 정책 실천<br>- 전력 매전가격 차등 지원                                |
|              | • 정부 부처 간 역할 분담           | - 정부의 신규사업 발굴 및 역할 분담<br>- 정책 6개 분야 40여개 정책 분담                    |

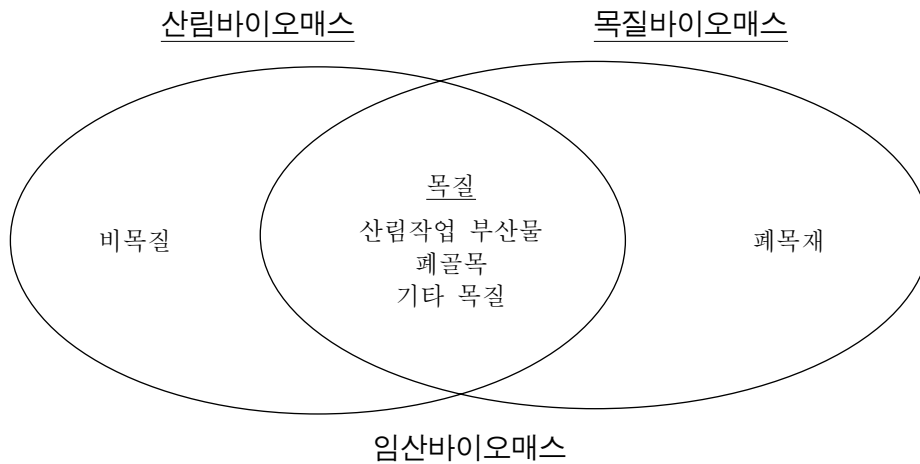
### 1. 임산바이오매스의 종류와 발생량

#### 1.1. 임산바이오매스의 종류

임산바이오매스란 산림에서 얻을 수 있는 수목을 비롯한 모든 종류의 유기체를 일컫는 산림바이오매스와, 산림바이오매스 가운데 자원으로 활용 가능한 목질 그리고 산업현장과 생활 속에서 발생하는 폐목재 등을 포함하는 목질 바이오매스를 통칭한다(그림6-1). 산림작업 부산물은 산림바이오매스에 포함되는 것으로 간벌, 어린나무가꾸기 등의 숲가꾸기 작업을 통해 발생하거나 병충해 등으로 인해 죽은 후 숲속에 그대로 버려지는 것들을 말한다. 산업 폐목재는 건축 내·외장재 등의 제작에 필요한 재료를 가공하거나 악기·가구 등의 최종제품을 가공할 때 발생하는 수피, 죽데기, 톱밥, 자투리 등을 지칭한다. 도시 폐목재<sup>78</sup>는 건설폐목재, 사업장폐목재, 생활폐목재 등으로 구분할 수 있다. 이 밖에 표고재배에 사용된 폐골목과 화학펄프 제조공정의 리그닌제거과정에서 발생하는 흑액(Black Liquor) 등이 임산바이오매스에 포함된다.

<sup>78</sup> 이 연구에서 통용되는 도시폐목재란 폐기물 통계작성 분류인 생활폐기물(가정 생활 폐기물과 사업장 생활 폐기물), 사업장배출시설계폐기물, 건축폐기물 가운데 목재류만을 포함하는 것으로 EU에서 사용하는 용어인 Solid urban waste 와 비슷한 의미로 이용되었다. 여기서 사업장배출시설계폐기물은 편의상 사업장폐기물로 하였다.

그림 6-1. 임산바이오매스



일반적인 바이오매스 연구에서와 같이 여기에서도 상용 가능한 목재를 제외한 산림작업 부산물과 산업·도시 폐목재를 그 대상으로 한다(표 6-1).

표 6-1. 임산바이오매스 종류

|          | 종 류                                                   |
|----------|-------------------------------------------------------|
| 산림작업 부산물 | 산림활동을 통해 발생하여 방치되는 목재                                 |
| 산업 폐목재   | 원목이나 나무제품을 원료로 사용하는 산업의 부산물, 1차 및 2차 가공 폐목재로 구분할 수 있음 |
| 도시 폐목재   | 건축물의 건설·해체과정에 발생하는 폐목재, 생활폐목재, 사업장에서 발생하는 폐목재         |
| 기 타      | 표고폐골목, 흑액                                             |

## 1.2. 임산바이오매스의 자원화 형태

다양한 경로를 통하여 발생하는 임산바이오매스는 다른 분야 바이오매스와 마찬가지로 바이오에너지 또는 바이오물질의 원료로 사용된다.

임산바이오매스의 이용형태를 살펴보면(표 6-2), 고형연료화를 통해 목탄, 펠릿, 칩 등을 만들고, 액화하여 바이오에탄올 및 바이오오일 등을 만들 수 있다. 또한 가스화를 통해 합성가스를 만들며, 정제를 통해 유용물질을 만든다. 이들 제품의 용도를 살펴보면 목탄이나 펠릿은 열을 생산하기 위해 사용되며, 에탄올 및 오일은 연료, 합성가스는 전력생산이나 메탄올 제조원료로 이용된다. 또한 유용물질은 화학품 또는 의약품에 이용된다.

표 6-2. 임산바이오매스 이용형태별 용도

| 원 료     | 과 정   | 형 태             | 용 도      |
|---------|-------|-----------------|----------|
| 임산바이오매스 | 고형연료화 | 목재자체, 목탄, 펠릿, 칩 | 열        |
|         | 액화    | 바이오에탄올·오일       | 연료       |
|         | 가스화   | 합성가스            | 전력, 메탄올  |
|         | 바이오정제 | 유용물질            | 화학품, 의약품 |

### 12.1. 칩(chip)

목편이라고도 하는데 길이는 1~5cm 크기이며 수분함량은 25~50%이다. 야적밀도(srm)<sup>79</sup>는 침엽수의 경우 175kg/srm, 활엽수의 경우 225kg/srm이며, 발열량은 함수율에 따라서 다른데 보통 30%에서 3,010kcal/kg를 적용한다. 벌채된 목재 1m<sup>3</sup>로 약 2.45m<sup>3</sup>(=srm: 야적밀도)의 칩을 만들 수 있는데, 이것은 일반적인 재적이 아니라 야적된 칩의 재적을 말한다.

<sup>79</sup> 야적밀도(野積密度)란 Schuettraummeter(srm)로서 ‘퇴적된 상태의 단위부피 당 무게’를 말하며 칩이나 펠릿의 단위밀도에 쓰인다. 일반 목재는 ‘재적’(Festmeter: fm), 장작의 경우 ‘층적밀도’(층적밀도, Raummeter: rm)를 사용함. 이들 3개 단위 간의 관계는 1srm = 0.57rm = 0.41fm(m<sup>3</sup>)와 같다(Steffens, pp. 81~82).

## 12.2. 펠릿(pellet)

1970년대에 개발되기 시작하였는데 처음에는 난로의 연료로 사용되었으나 최근에는 열량이 높아 보일러와 같은 소규모 열에너지 공급 시설뿐만 아니라 열병합 발전소의 연료로도 사용되고 있다.

짧은 원통형 또는 구형 조각으로 수분함량 10% 정도이며, 지름 6~8mm, 길이 10~30mm의 규격을 갖추었는데 나무와 수분 이외의 다른 성분, 즉 결합제와 같은 화학성분은 전혀 포함되어 있지 않아 화목과 목재칩의 성분과 동일하다. 제조과정은 톱밥 형태로 파쇄한 후 건조·소성·냉각을 거치며, 4,500kcal/kg 이상의 고발열량을 보여 독일, 오스트리아, 스위스 등 유럽 선진국을 중심으로 많이 이용되고 있다.

목질펠릿은 크기와 질이 균일하기 때문에 에너지 생산량을 정확하게 제어할 수 있고, 연소공기의 공급량을 조절하여 최적의 연소효율을 유지할 수 있다. 또한 여타 목재연료처럼 환경오염을 최소화(CO<sub>2</sub>-neutral)하고, 기존 에너지 기기를 약간만 변형하여도 활용할 수 있다. 무엇보다도 압축·제조되었기 때문에 다른 목질계 연료에 비해 에너지 밀도가 현저하게 높아 산업화의 잠재력이 매우 크다. 동시에 부피가 감소하여 운송비용 및 저장비용을 절감하는 데 크게 기여한다.

표 6-3. 연료별 단위 비용당 발열량

|      | 총발열량   | 단위       | 단위가격(원) | kcal/원 |
|------|--------|----------|---------|--------|
| 목질펠릿 | 4,500  | kcal/kg  | 300     | 15.0   |
| 경유   | 9,050  | kcal/ℓ   | 1,250   | 7.2    |
| 벙커C유 | 9,900  | kcal/ℓ   | 519     | 19.1   |
| 등유   | 8,950  | kcal/ℓ   | 961     | 9.3    |
| 휘발유  | 8,000  | kcal/ℓ   | 1,538   | 5.2    |
| 천연가스 | 13,000 | kcal/kg  | 680     | 19.1   |
| 전기   | 860    | kcal/kWh | 64.4    | 13.4   |

자료: 에너지기본법 시행규칙.

우리나라에서는 2004년부터 산업자원부 지원으로 (주)건조기술에서 연구를 실시하였는데, 건조공정에서 에너지효율을 높여 생산단가를 절감하였다. 뿐만 아니라, 생산 공정을 100% 국산화하여 목질계 바이오매스 에너지 확산에 기여하고 제조플랜트의 수출도 기대된다.

### 1.2.3. 바이오에탄올

전 세계적으로 유가상승, 환경보존 등 화석연료 사용에 대한 부담이 증가하고 바이오에탄올에 대한 관심이 고조되고 있으나, 곡물을 이용한 에탄올 생산의 부작용에 대한 우려 또한 높아지고 있다. 목질바이오매스를 당으로 변환하여 에탄올을 만들 수 있는데, 곡물을 이용하여 생산하는 에탄올보다 기술개발의 가능성이 풍부하며 환경개선 효과가 우수하다. 또한 원료의 지역, 기후, 작황 등에 대한 의존도가 낮다. 따라서 목질계 에탄올은 세계적으로 제2세대 바이오연료라 불리며 개발되고 있는 실정이다. 그러나 효율적인 당화 및 발효 기술 개발이 부족하여 상용화에 어려움을 겪고 있으며, 원료 수집 및 생산 비용 절감을 통해 경제성을 제고할 필요가 있다.

미국의 경우 2006년 조지부시 대통령의 연두기자회견(State of the Union Address)을 통해 목질계 바이오에탄올 생산기술 개발 연구자금 지원을 계획하였으며, 2012년까지 상용화하겠다는 목표를 정하였다.

우리나라도 현재 기술개발이 거의 완성단계에 있는 전분질계 에탄올 생산에 힘써야겠으나, 동시에 목질계 바이오에탄올 기술개발을 위한 투자에도 국가적인 차원에서 관심을 가져야 할 것이다.

### 1.2.4. 바이오오일

목재를 고속으로 가열한 후 냉각하는 과정에서 발생하는 액상 생성물로서 단위 부피당 에너지 밀도가 목재칩의 약 2.5배이다. 바이오오일은 지방산 메틸 에스테르(Fatty Acid Methyl Ester: FAME), 글리세롤 유도체, 지방산 유도체 등 각종 화학제품을 생산하는 바이오정제 원료로서 이들 제품

은 산업바이오기술로 생산할 수 있는 여러 제품 중 가장 빠른 시일 내에 상업화가 가능한 것으로 평가받고 있다<sup>80</sup>.

### 12.5. 가스화(Gasification)

목재를 고속으로 가열한 후 냉각하는 과정에서 발생하는 기체로 정제를 통하여 천연가스와 동일하게 사용하거나, 저장·수송할 수 있다. 핀란드, 네덜란드, 스웨덴 등 목재가 풍부한 국가들은 소규모 발전소 연료로 사용하고 있는데 실증실험이 거의 완료된 상태이다.

### 12.6. 바이오 화학원료 생산

에탄올과 유용 화학원료를 동시에 생산하는 것으로 석유화학 공정을 통해 화학원료를 생산하는 것과 같은 원리이다.

## 1.3. 임산바이오매스 발생현황

임산바이오매스 발생량 추정을 위해 다양한 방법이 이용될 수 있으나, 산업 폐목재와 도시 폐목재에 대해서는 유일하게 여겨지는 임업연구원(현 국립산림과학원) 연구결과<sup>81</sup>를 적용하여 계산하였다.

### 1.3.1. 산림작업 부산물

벌채나 숲가꾸기 등의 산림작업 후 임지에 그대로 방치된 부산물을 가리킨다. 임목벌채 시 발생하는 부산물은 사업별 임목벌채재적에 조재율을 적

<sup>80</sup> 바이오산업협회, <http://www.bak.or.kr>

<sup>81</sup> 임업연구원(2000)

용한 값과 지상부 확장계수를 이용하여 계산하였다<sup>82</sup>. 즉 부산물 발생부피는 조재율에 대한 부산물 발생률에 임목벌채재적을 곱한 값과 줄기재적을 제외한 가지와 잎의 재적을 합하여 구하였다. 조재율은 주벌과 수종갱신 그리고 기타의 경우에는 0.85를 적용하고, 간벌에 대해서는 0.6을 적용하였다.

$$\text{부산물 발생부피} = (1 - \text{조재율}) / \text{조재율} \times \text{임목벌채재적} + \text{임목벌채재적} \times (\text{지상부 확장계수} - 1)$$

실제 각 사업별 임목벌채재적은 사업의 벌채허가재적의 비와 같다고 가정하며, 실제임목벌채재적을 전체에 대한 각 사업별 임목벌채허가재적의 비중으로 곱하여 각 사업별 임목벌채재적을 구하였다. 숲가꾸기 사업의 경우 부산물 발생량은 ha당 32.9m<sup>3</sup>를 적용하여 계산하고 전량 산림에 방치되는 것으로 가정하였다<sup>83</sup>.

이상의 공식과 자료를 적용하여 계산한 2005년 산림작업 부산물 발생량은 약 733만 1천m<sup>3</sup>인 것으로 추정된다(표 6-5). 이밖에 폐골목은 1996년 표고생산량과 2005년 생산량의 비율을 이용하여 계산한 14만 1천m<sup>3</sup>로 가정하였다<sup>84</sup>. 따라서 임지에서 발생하는 산림작업 부산물은 폐골목을 포함하여 747만 2천m<sup>3</sup>인 것으로 추정된다.

<sup>82</sup> 오민영 외 (1987), 김갑덕 외(1988). 줄기 양에 대한 줄기와 가지 잎 등 지상부 전체 양을 나타내는 계수로 침엽수의 경우 1.29, 활엽수 1.22, 혼효림 1.26을 사용하는데, 이 연구에서는 혼효림 계수를 적용하였다.

<sup>83</sup> 강창용 외(2006)

<sup>84</sup> 표고재배기술의 변화가 없다고 가정하였으며, 산림청 자료에 따르면 2006년 톱밥배지를 이용한 표고생산량은 전체의 약 4%가 되는 것으로 추정되었다. 전체 폐골목 발생량에서 차지하는 비중이 매우 작으므로 1996년과 2005년 표고 생산은 모두 원목재배를 이용한 것으로 가정한다. 임업연구원(2000)은 1996년 폐골목 발생부피를 88천m<sup>3</sup>로 추정하였다.

표 6-4. 사업별 면적 및 임목벌채 허가실적(재적)

|      | 숲가꾸기사업(ha) |           |         | 임목벌채허가재적(천m <sup>3</sup> ) |     |          |     |     |              |
|------|------------|-----------|---------|----------------------------|-----|----------|-----|-----|--------------|
|      | 간벌         | 천연림<br>보육 | 소계      | 주벌                         | 간벌  | 수종<br>갱신 | 피해목 | 기타  | 실제임목<br>벌채재적 |
| 2001 | 44,392     | 44,605    | 88,997  | 463                        | 237 | 395      | 60  | 112 | 1,533        |
| 2002 | 56,186     | 61,656    | 117,842 | 474                        | 273 | 297      | 96  | 90  | 1,605        |
| 2003 | 68,432     | 103,312   | 171,744 | 454                        | 337 | 326      | 55  | 111 | 1,740        |
| 2004 | 68,349     | 110,838   | 179,187 | 522                        | 340 | 470      | 66  | 161 | 2,037        |
| 2005 | 62,541     | 121,537   | 184,078 | 590                        | 439 | 423      | 73  | 207 | 2,350        |

자료: 산림청(2006c).

표 6-5. 산림작업 부산물 발생량 추정

단위: 천m<sup>3</sup>

|      | 숲가꾸기사업 |           |       | 임목벌채재적 |     |          |      |    | 합계    |
|------|--------|-----------|-------|--------|-----|----------|------|----|-------|
|      | 간벌     | 천연림<br>보육 | 소계    | 주벌     | 간벌  | 수종<br>갱신 | 피해목  | 기타 |       |
| 2001 | 1,460  | 1,468     | 2,928 | 245    | 266 | 209      | 0.07 | 59 | 3,706 |
| 2002 | 1,849  | 2,028     | 3,877 | 270    | 330 | 169      | 0.13 | 51 | 4,698 |
| 2003 | 2,251  | 3,399     | 5,650 | 269    | 423 | 193      | 0.07 | 66 | 6,601 |
| 2004 | 2,249  | 3,647     | 5,895 | 298    | 412 | 268      | 0.09 | 92 | 6,964 |
| 2005 | 2,058  | 3,999     | 6,056 | 350    | 552 | 250      | 0.10 | 23 | 7,331 |

### 13.2. 산업 폐목재

목재를 이용하여 가공하는 과정에서 발생하는 폐목재로서 중간재 성격을 가진 합판, 제재목 등을 가공할 때 발생하는 폐목재와 최종제품인 가구, 악기 등을 제작하는 과정에서 발생하는 폐목재로 나눌 수 있다. 폐목재 발생량은 일반적으로 원목 투입량을 기준으로 계산하는데, 가구, 악기 등의 최종제품 생산을 위해 투입된 원목의 양을 파악하지 못하므로 이 연구에서는

합판, 제재목 등의 가공과정에서 발생하는 폐목재만을 대상으로 하였다.

원목의 용도별 이용 현황을 살펴보면, 제재목에 투입되는 원목이 전체의 약 68%를 차지하고, 합판 15%, 펄프 4%, 보드류 4% 등인 것으로 나타났다<sup>85</sup>. 그러나 수출용 제작에 투입된 원목이 크게 줄어들어 2005년 합판용 원목 사용량은 전체의 7%에 불과한 반면 펄프생산에 투입된 원목의 비율은 18%로 증가하였다.

표 6-6. 용도별 원목 수급추이

단위: 천m<sup>3</sup>, %

|     |     | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 연평균<br>증감율 |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| 수요  | 계   | 8,836 | 9,312 | 8,727 | 8,619 | 8,372 | -1.1       |
|     | 내수용 | 소계    | 8,665 | 9,207 | 8,622 | 8,473 | -0.8       |
|     |     | 깅목    | 140   | 58    | 63    | 62    | -17.0      |
|     |     | 펄프    | 1,036 | 1,145 | 1,216 | 1,424 | 8.3        |
|     |     | 합판    | 504   | 638   | 758   | 597   | 1.7        |
|     |     | 일반    | 6,985 | 7,366 | 6,585 | 6,390 | -2.5       |
|     | 수출용 | 소계    | 171   | 105   | 105   | 146   | -19.2      |
|     |     | 합판    | 109   | 63    | 67    | 75    | -30.2      |
|     |     | 제재목기타 | 62    | 42    | 38    | 71    | -7.9       |
|     | 공급  | 계     | 8,836 | 9,312 | 8,727 | 8,619 | -1.1       |
|     |     | 국내재   | 1,533 | 1,605 | 1,740 | 2,037 | 8.9        |
|     |     | 수입재   | 7,303 | 7,707 | 6,987 | 6,582 | -3.8       |
| 자급률 |     | 17.3  | 17.2  | 19.9  | 23.6  | 28.1  | 10.1       |

자료 : 산림청(2006b, 2006c)

<sup>85</sup> 임업연구원(2000)

원목의 가공과정에서 발생하는 폐목재 발생율은 <표 6-7>과 같이 나타난다. 일반 용도로 분류된 원목은 제재목을 비롯하여 보드류, 표고자목 등을 생산하기 위해 투입되나 구체적인 투입비율을 파악하지 못하였으므로 2000년 조사 당시 가장 많은 비중을 차지한 제재목으로 가정하여 적용하였다<sup>86</sup>.

표 6-7. 원목 가공품 폐잔재 발생율

단위: %

|     | 제품수율 | 폐잔재 발생율 | 비 고     |
|-----|------|---------|---------|
| 합판  | 58   | 32      | 감모율 10% |
| 펄프  | 86   | 14      |         |
| 제재목 | 73   | 27      |         |

2005년 원목을 투입하여 발생한 폐잔재를 계산하면 합판 18만 1천 $m^3$ , 펄프 21만 6천 $m^3$ , 제재목 167만 5천 $m^3$  등으로 총 약 2,00만 $m^3$ 로 추정된다.

### 13.3. 도시 폐목재

앞서 정의한 바와 같이 생활폐기물, 사업장폐기물, 건설폐기물 가운데 목재류에 해당하는 것으로 연도별 발생량을 보면 <표 6-8>과 같다. 세 종류의 폐목재 가운데 건설폐목재 발생량이 가장 많은 것으로 나타났는데, 2005년 일일 평균 3,676톤이 발생하였으며 이 양을 연간 발생하는 부피로 환산하면 298만 $m^3$ 에 해당한다. 2005년 도시 폐목재 발생량은 639만 $m^3$ 로 2001년에 비해 약 10% 증가한 것으로 나타났다.

<sup>86</sup> 전체의 68%

표 6-8. 연도별 목재류 폐기물 발생현황

단위: 천m<sup>3</sup>/년

|        | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 합 계    | 5,814 | 5,304 | 5,417 | 5,661 | 6,390 |
| 생활폐목재  | 1,947 | 1,947 | 1,990 | 1,964 | 1,834 |
| 사업장폐목재 | 1,344 | 1,222 | 1,372 | 1,063 | 1,574 |
| 건설폐목재  | 2,523 | 2,135 | 2,055 | 2,634 | 2,982 |

주1: 원래의 단위인 톤/일에 365와 0.45(전건중비중)을 곱하여 연간 부피를 나타내는 천 m<sup>3</sup>/년으로 환산

주2: 사업장폐목재는 폐목재와 폐지가 혼합된 것임.

자료: 환경부(2006).

### 13.4. 임산바이오매스 발생량

적용 가능한 자료를 이용하여 2005년 임산바이오매스 발생량을 추정하였는데, 2005년 총 발생 가능량은 약 1,593만 4천m<sup>3</sup>였던 것으로 나타났다. 임지 내 산림작업 부산물의 비중이 46.9%로 가장 높게 나타났으며, 도시 폐목재가 40.1%를 차지하였다(표 6-9).

표 6-9. 2005년 임산바이오매스 발생현황

단위: 천m<sup>3</sup>, %

|          | 발생량    | 비중   |
|----------|--------|------|
| 합계       | 15,934 | 100  |
| 산림작업 부산물 | 7,472  | 46.9 |
| 산업 폐목재   | 2,072  | 13.0 |
| 도시 폐목재   | 6,390  | 40.1 |

주: 산림작업 부산물은 폐골목을 포함.

이상 추정된 2005년도 임산바이오매스를 에너지 양으로 환산하면 322만 7천toe가 되며, 이 양은 우리나라 2012년도 신재생에너지 공급목표의 약 21%에 해당한다(표 6-10).

표 6-10. 신재생에너지 공급목표에서 임산바이오매스 에너지량의 비중  
단위: 천toe, %

|      | 2012년<br>신재생에너지<br>공급목표(A) | 임산바이오매스부존량(B) |     |       |       | B/A  |
|------|----------------------------|---------------|-----|-------|-------|------|
|      |                            | 임지            | 산업  | 도시    | 소계    |      |
| 에너지량 | 15,531                     | 1,513         | 420 | 1,294 | 3,227 | 20.8 |

주: 목재의 에너지는 바이오매스재적×전건중비중(0.45 dry ton/m<sup>3</sup>)×0.45(에너지환산계수)에 대입하여 계산하였음.

## 2. 임산바이오매스의 이용 동향과 시사점

### 2.1. 임산바이오매스 자원화시설

임산바이오매스를 자원화하기 위한 과정으로는 최종 목적에 따라 다양한 시설이 필요하겠으나, 여기서는 산림작업 부산물의 에너지 자원화에 초점을 맞추어 살펴보기로 한다.

에너지 생산을 포함한 임산바이오매스 이용의 시작 단계는 원료확보를 위한 목재생산 시설에서부터 출발하며, 생산된 목재를 이용하여 연료로 만드는 과정, 그리고 연료를 이용하여 에너지를 만드는 최종 시설이 필요하다.

#### 2.1.1. 목재 생산 시설

목재를 연료로 만들기 위해서는 원료인 임목을 벌채하고 집재해야 하는데 벌목과정에는 기계톱, 하베스터가 필요하며, 집재 및 운반 과정에는 집재기, 트럭과 같은 운송장비가 필요하다. 벌목에 쓰이는 톱은 주로 기계톱, 엔진톱, 전기톱, 전동톱 등으로 나눌 수 있는데 우리나라에서는 거의 수입

산 장비를 사용하고 있다. 또한 기계톱은 휘발유용과 전동체인톱으로 구분하는데 바(Bar)의 길이에 따라서 여러 가지 크기로 나뉜다.

### 2.1.2. 연료 생산 시설

간벌과정에서 벌채된 목재를 장작이나 칩, 펠릿 등으로 가공하기 위해서 필요한 장비들은 아래의 표와 같다(표 6-11). 칩을 생산하는 기계는 칩퍼(Chipper)라고 부르는데 처리할 수 있는 통나무의 직경에 따라서 구분한다. 운영방법에 따라서 자주식과 견인식으로 구분할 수 있는데 어느 것이나 산림작업 현장에서 운용할 수 있다.

펠릿은 원료를 매트릭스 프레스로 곱게 갈아 제조하는데, 형상이 불규칙하고 부피당 발열량이 낮으며 함수율의 편차가 심한 화목(장작)의 문제점을 해결하고 산업적으로 이용하기 위해 개발되었다. 우리나라에서 필요한 펠릿은 거의 수입에 의존하고 있으나, 최근 제작된 펠릿제조기가 양산될 전망이어서 국산화가 가능해질 것으로 기대된다.

표 6-11. 연료별 필요 가공 장비

|    | 칩(목편)   | 펠릿           | 톱밥탄     | 목재분말 | 장작    |
|----|---------|--------------|---------|------|-------|
| 장비 | Chipper | Matrix press | 피스톤 프레스 | 파쇄기  | 톱, 도끼 |

### 2.1.3. 임산바이오매스 이용 시설

현재까지 우리나라에서 개발된 주요 임산바이오매스 이용시설로는 보일러를 들 수 있다. 보일러는 어떤 연료를 사용하느냐에 따라서 화목 보일러, 칩 보일러, 펠릿 보일러 등으로 구분된다. 현재 칩 보일러나 펠릿 보일러는 대부분 수입산이나, 국산 보일러도 일부 공급되고 있다.

화목 보일러는 연료가 되는 화목을 저장하는 곳, 연소실, 그리고 열교환

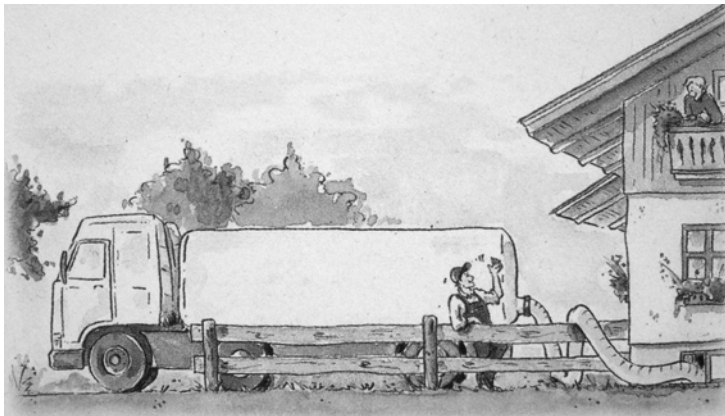
이 이루어지는 열교환기 등 세부분으로 구성된다. 주거 면적이  $150\text{m}^2$ 이고 열부하가  $12\text{kW}$ 인 단독주택에서 난방이 필요한 계절에 소요되는 화목의 양은  $12\text{m}^3$ 으로 이를 난방유로 환산하면 약  $2,300\ell$ 에 해당된다.

목재칩 보일러는 칩을 저장하기 위한 공간이 필요하며, 연료를 저장고에서 스파이럴 기어(나사식 컨베이어 시스템) 이송장치를 통해 보일러로 이송하거나 밀대형식을 취하여 이송시킨다. 연료의 지속적인 공급과 연소공기의 조절을 통하여 높은 열효율을 얻을 수 있다. 또한 전자동 운전이 가능하며, 배기가스 배출량이 매우 적고 관리가 용이하다는 장점이 있다.

펠릿보일러의 구조는 목재칩 보일러와 동일하여 한 보일러에서 두 가지 연료를 모두 사용할 수 있다.  $150\text{m}^2$ 의 주거면적과  $12\text{kW}$  열부하에 소요되는 목재 펠릿의 양은  $7.5\text{m}^3$ 으로 목재칩의 약  $1/4$ 에 해당하는 저장 공간이 필요하다. 또한 펠릿은 펌프 트럭으로 공급되기 때문에 청결을 유지할 수 있다.

1997년에 발생한 외환위기 이전에는 국내에서 폐재 및 간벌재를 난방 및 온수용 보일러의 열에너지 원료로 활용하는 사례가 매우 적었으나, 기름값의 폭등으로 목재 보일러의 사용이 늘어나고 있는 실정이다. 특히 강원도에서는 목재보일러를 주택의 난방 및 소규모 지역난방 장치로 유도하기 위해 재정적으로 지원하고 있다.

그림 6-2. 펠릿 운송용 펌프 트럭



또 다른 형태의 임산바이오매스 이용시설로 현재 일부에서 이용되고 있는 열병합발전(Co-generation)을 들 수 있는데, 전기를 생산하고 나온 폐열을 지역난방 또는 공정용 열원으로 사용하는 것으로 전기와 열을 동시에 생산·공급하는 발전방식이다.

## 2.2. 임산바이오매스 이용 동향과 문제점

국내 임산바이오매스 이용현황을 파악하기 위해서는 원료로 공급되는 바이오매스의 공급실태를 직접 파악하거나 바이오매스를 이용하여 만든 제품의 이용현황을 파악하는 방법이 있다. 그러나 제품으로 이용되는 품목 가운데는 화목과 같이 가공공정을 거치지 않고 원료의 형태로 이용되는 것들이 있어 이용현황 파악에 혼돈을 일으킬 우려가 있으므로 여기서는 원료로서의 바이오매스 공급현황을 알아보기로 한다.

현재까지 공급되고 있는 바이오매스의 형태는 직접연소를 위한 화목, 톱밥 그리고 기초적인 가공이 필요한 목탄과 목재칩 정도인 것으로 생각할 수 있다.

이용현황 역시 임업연구원(2000년)에서 실시한 연구가 유일한 것이므로 최근 자료를 그 결과에 적용하였다.

### 2.2.1. 산림작업 부산물

임업연구원(2000)에 따르면 산림작업 후 발생하는 부산물 가운데 약 60%가 톱밥, 화목, 지주목 등으로 재활용되며, 약 40% 가량이 임지 내에 방치된 것으로 나타났다. 따라서 부산물 활용 비율에 변화가 없다고 가정하고 2005년 자료를 적용할 경우 전체 747만 2천 $m^3$  가운데 441만 6천 $m^3$ 만 다시 활용되었고, 나머지 305만 6천 $m^3$ 는 폐기되었던 것으로 추정할 수 있다(표 6-12). 이 양을 에너지로 환산하면 약 61만 8,840toe가 되며<sup>87</sup>, 2005년 석유류 소비량의 0.7%에 해당된다.

표 6-12. 산림작업 부산물 활용 비율

|                         | 재 활용  |       |      |       |     | 폐기    |
|-------------------------|-------|-------|------|-------|-----|-------|
|                         | 소계    | 톱밥    | 화목   | 지주목   | 목탄  |       |
| 산림작업부산물 이용율(%)          | 57.5  | 18.1  | 9.4  | 29.9  | 1.1 | 42.5  |
| 폐골목 이용율(%)              | 88.6  | 56.8  | 31.8 | -     | -   | 11.4  |
| 가중평균 이용율(%)             | 59.1  | 18.9  | 9.8  | 29.9  | 1.1 | 40.9  |
| 2005년(천m <sup>3</sup> ) | 4,416 | 1,410 | 736  | 2,189 | 81  | 3,056 |

자료: 임업연구원(2000).

## 2.2.2. 산업 폐목재

목재제품 가공과정에서 발생하는 폐목재는 전량 회수되어 이용되는 것으로 나타났는데, 보드류 생산을 위해 투입되는 양이 전체의 약 30%이며, 자체연료로 이용되는 비율이 48%를 차지한다. 2005년 산업 폐목재 발생량 207만 2천m<sup>3</sup>을 적용하면 자체연료용으로 약 99만 4천m<sup>3</sup>가 이용되었으며, 축사 깔개용으로 약 33만 2천m<sup>3</sup>가 활용되었다(표 6-13).

표 6-13. 산업 폐목재 이용현황

|                         | 합 계   | 재이용 | 보드류용 | 축사용 | 자체연료용 |
|-------------------------|-------|-----|------|-----|-------|
| 이용률(%)                  | 100   | 6   | 30   | 16  | 48    |
| 2005년(천m <sup>3</sup> ) | 2,072 | 124 | 622  | 332 | 994   |

자료: 임업연구원(2000).

<sup>87</sup> 임목재적 × 전건중비중(0.45 dry ton/m<sup>3</sup>) × 0.45(에너지 환산계수)

### 2.2.3. 도시 폐목재

생활폐목재의 이용현황을 살펴보면 대부분이 소각(61%)되거나 매립(32%)되었던 것을 알 수 있으며(표 6-14), 재활용된 폐목재는 주로 톱밥이나 칩 생산에 이용되었다.

표 6-14. 생활폐목재 이용현황

|                         | 합 계   | 재활용 | 소 각   | 매 립 |
|-------------------------|-------|-----|-------|-----|
| 이용률(%)                  | 100   | 7   | 61    | 32  |
| 2005년(천m <sup>3</sup> ) | 1,834 | 128 | 1,119 | 587 |

자료: 임업연구원(2000).

건설폐목재의 경우 생활폐목재와 마찬가지로 대부분 소각되거나 매립되었고(표 6-15), 활용되는 경우에는 보드류 생산에 투입되거나 연료로 이용되었다.

표 6-15. 건설폐목재 이용현황

|                         | 합 계   | 재생보드 | 연 료 | 소 각   | 매 립   |
|-------------------------|-------|------|-----|-------|-------|
| 이용률(%)                  | 100   | 2.0  | 2.3 | 59.2  | 36.5  |
| 2005년(천m <sup>3</sup> ) | 2,982 | 60   | 69  | 1,765 | 1,088 |

자료: 임업연구원(2000).

사업장폐목재에 관한 이용현황은 알려진 바가 없어 앞서 제시된 용도별 산업 폐목재 이용 비율을 그대로 적용하여 추정하였다.

표 6-16. 사업장폐목재 이용현황

|                         | 합 계   | 재이용 | 보드류용 | 축사용 | 자체연료용 |
|-------------------------|-------|-----|------|-----|-------|
| 이용률(%)                  | 100   | 6   | 30   | 16  | 48    |
| 2005년(천m <sup>3</sup> ) | 1,574 | 94  | 472  | 252 | 756   |

자료: 임업연구원(2000).

이상의 추정 값을 적용하여 도시 폐목재 이용현황을 살펴보면 약 71%가 소각되거나 매립되었던 것을 알 수 있다(표 6-17).

표 6-17. 도시 폐목재 이용현황

|                          | 계     | 재활용 | 보드용 | 연료   | 축사용 | 소각    | 매립    |
|--------------------------|-------|-----|-----|------|-----|-------|-------|
| 이용률(%)                   | 100   | 3.5 | 8.3 | 12.9 | 3.9 | 45.1  | 26.2  |
| 2005년(천 m <sup>3</sup> ) | 6,390 | 222 | 532 | 825  | 252 | 2,884 | 1,675 |

## 2.2.4. 총이용량

폐목재 발생 원인별 이용량과 이용비율을 살펴보면 발생량이 가장 적은 산업 폐목재의 이용률이 가장 높은 것으로 나타났다(표 6-18). 또한 대부분 버려지는 것으로 생각되던 산림작업 부산물보다 오히려 도시 폐목재 이용률이 더 낮은 것으로 나타났다. 이와 같이 발생 원인별로 이용률에 큰 차이를 보이는 것은 폐목재의 재활용 비용과 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다. 도시 폐목재의 경우 여러 가지 물질과 혼합되어 있어 분리해서 이용하기가 어렵기 때문에 이용률이 현저히 떨어졌던 것으로 보인다. 산림작업 부산물의 경우에는 수집 비용이 상대적으로 많이 들기 때문에 이용률이 낮았던 것으로 보인다.

표 6-18. 2005년 폐목재 발생 및 이용현황

| 단위: 천 m <sup>3</sup> |        |       |        |
|----------------------|--------|-------|--------|
|                      | 발생량    | 이용량   | 이용률(%) |
| 합 계                  | 15,934 | 8,319 | 52.2   |
| 산림작업 부산물             | 7,472  | 4,416 | 59.1   |
| 산업 폐목재               | 2,072  | 2,072 | 100.0  |
| 도시 폐목재               | 6,390  | 1,831 | 28.7   |

자료: 표 6-9, 표 6-12, 표 6-13, 표 6-17을 이용하여 계산

한편 전체 폐목재의 용도별 이용 현황을 보면(표 6-19), 소각, 매각, 폐기되는 경우가 전체의 약 47.8%를 차지하는 것으로 나타났다. 이용되는 폐목재의 경우 연료용으로 가장 많이 투입되었던 것으로 나타났으나, 가장 기초적인 형태인 화목 등으로 대부분 이용되었다. 이밖에 지주목과 톱밥용, 보드류의 순으로 많이 이용되었던 것으로 나타났다.

표 6-19. 용도별 폐목재 이용현황

단위: 천m<sup>3</sup>, %

|             | 합계     | 재이용 | 톱밥    | 지주목   | 목탄용 | 보드류   | 축사용 | 연료용   | 폐기    |
|-------------|--------|-----|-------|-------|-----|-------|-----|-------|-------|
| 산림작업<br>부산물 | 7,472  | -   | 1,410 | 2,189 | 81  | -     | -   | 736   | 3,056 |
| 산업폐목재       | 2072   | 124 | -     | -     | -   | 622   | 332 | 994   | -     |
| 도시폐목재       | 6390   | 222 | -     | -     | -   | 532   | 252 | 825   | 4,559 |
| 합 계         | 15,934 | 346 | 1,410 | 2,189 | 81  | 1,154 | 584 | 2,555 | 7,615 |
| 이용률         | 100    | 2.2 | 8.8   | 13.7  | 0.5 | 7.2   | 3.7 | 16.0  | 47.8  |

자료: 표 6-12, 표 6-13, 표 6-17을 이용하여 계산

## 2.2.5. 임산바이오매스 이용 상의 문제

산림작업 부산물의 경우 벌채 현장에서 발생하는 원료를 이용하여 연료로 자원화하는 과정에서 형태에 관계없이 고비용 문제가 발생한다. 우리나라의 산림은 대부분 가파른 경사에 형성되어 있어 벌채현장에서 발생한 간벌재 등을 임도변까지 운반하기 위한 기계화여건이 전반적으로 어려운 실정이다. 특히 집재장비는 하중이 무거운 원목을 운반해야하므로 경사의 제약을 심하게 받는다. 또한 목재생산 형태가 대면적 개별에서 소면적 개별 및 간벌위주로 바뀔에 따라 생산성을 높일 수 있는 중대형장비를 투입할 대상지가 부족한 실정이다. 따라서 운송비를 포함한 생산비가 매우 높기 때문에 칩과 펠릿의 가격이 상승하거나, 혹은 생산비가 높아서 원료 수집 자체가 어려워지는 경우가 발생하게 된다.

도시 폐목재의 경우 페인트, 방부제, 기름 등 오염물질이 포함되어 있어

이들 물질을 제거하기 위한 처리비용이 추가로 필요하며, 도시 폐목재를 주 원료로 하는 파티클보드 산업과 원료 이용에서 상충되는 경우가 발생한다.

### 2.3. 임산바이오매스 이용에서의 시사점

임산바이오매스인 부산물 및 폐목재는 이용률이 50%에도 미치지 못하는 것으로 나타났는데, 이는 앞서 지적한 바와 같이 수집환경이 까다롭고 처리 비용이 많이 들기 때문이다. 그 이유는 현장에서 발생하는 폐목재의 수집이 용이하고, 목재 가공과정에서 발생하여 불순물을 분리 처리할 필요가 없는 산업 폐목재의 경우 전량 다시 이용된다는 사실에서도 짐작할 수 있다. 또한 안정적인 공급이 보장되지 않은 상태에서 이용 형태도 매우 초보적인 수준을 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 가장 높은 이용률을 나타내는 연료용 폐목재도 기술적인 개발이 선진국 수준에 미치지 못하며, 단순한 화목용 보일러의 연료로 주로 이용되고 있다.

따라서 임산 바이오매스 이용활성화를 위해서는 우선 안정적인 공급을 유도할 수 있는 방안을 마련하여 원료 수급에 대한 우려를 없애는 것이 중요한 과제이다. 동시에 초보적인 단계의 이용 형태에서 벗어나기 위해 적극적인 기술개발에 국가차원의 투자를 아끼지 말아야 할 것이다. 특히 원유가격의 상승과 함께 친환경적인 것으로 알려진 목질계 바이오에탄올 개발에 적극적인 투자를 유도하여 에너지에 대한 수입의존도를 낮추고 지역경제 활성화를 이룩할 수 있는 방편으로 삼아야 할 것이다.

## 3. 임산바이오매스의 경제성 분석

현재 우리나라의 임산바이오매스 활용 기술·환경 등을 고려하여 가장 가능성 있는 목재보일러를 분석의 대상으로 정하였다.

### 3.1. 목재칩 보일러 시스템

현재 강원도에서 보급하려는 칩보일러는 설계열량이 20,000kcal로 대당 약 3백만 원 선에서 일반가정에 공급될 것으로 예상된다. 칩을 직접 생산하지 않고 구매하여 쓸 경우에는 건조(bdt) 톤당 16만 원에 구입할 수 있으며, 산주가 자기 산에서 간벌재 등을 활용하여 칩을 생산한다면 구매비용은 들지 않지만 칩을 생산하기 위한 칩퍼가 필요하다. 칩퍼가 없을 경우 칩퍼비용을 톤당 1만 5천 ~2만 원 지불해야 한다. 농가 보급형으로 개발된 칩퍼가격은 자주 운전식 목재칩 제조기의 경우 조달가격이 3,400만 원/대, 소비자 현장인도가격은 여기에 10%를 부가한 3,740만 원이 된다. 견인용의 경우 조달가격 2,450만 원이며 소비자 현장인도가격은 약 2,700만 원이다.

### 3.2. 펠릿보일러

현재 국산화 생산능력을 갖추고 양산하려는 펠릿보일러는 일반농가나 단독주택의 99.174m<sup>2</sup>(30평형)을 위해 보급형으로 개발한 30,000kcal 용량 보일러이다. 보일러 가격과 설치비를 합한 가격은 450~500만 원 수준이다. 현재 필요한 양의 거의 대부분을 수입하는 것으로 알려져 있는 펠릿의 경우 수입산의 가격은 톤당 20~40만 원에 거래되고 있다<sup>88</sup>. 난방일수를 연간 4개월, 하루 8시간, 시간 당 연료소비는 6.6kg으로 가정하면 연간 총 연료 소비량은 다음과 같다.

- 펠릿 1kg의 발열량은 4,500kcal이므로 설계용량 30,000kcal/hr ÷ 4,500kcal/kg = 6.666kg/hr, 즉 시간당 6.6kg의 펠릿이 필요
  - 연간 펠릿 연료 소비량 = 6.6kg/시간 × 8시간/일 × 120일 = 6,336kg/년
- 따라서 펠릿가격을 kg당 300원으로 가정하였을 경우, 총연료비는 (6.336톤/년 × 300,000원/ton = 1,900,800원/년) 연간 190만 원이 소요된다.

<sup>88</sup> 에코저널 2006. 10. 16.

### 3.3. 임산바이오매스 열에너지화 경제성 분석

농산촌 지역에서 주로 활용하고 있는 에너지 가격을 살펴보면 보일러용 등유의 가격은 1990년대 후반부터 환율 상승, 국제 유가 변동에 따라 크게 상승하고 있지만 연탄 또는 전력의 가격은 상대적으로 안정된 추세를 보인다(표 6-20). 따라서 목질 바이오매스를 활용한 보일러는 주로 석유보일러를 대체하게 될 것으로 예상된다.

표 6-20. 에너지가격 추이

|      | 보일러 등유<br>(원/ℓ) | 연탄<br>(원/3.6kg) | 전력<br>(원/kWh) | 목재칩<br>(원/kg) | 펠릿<br>(원/kg) |
|------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|
| 1995 | 261.6           | 167.25          | 61.28         | -             | -            |
| 2000 | 545.0           | 167.25          | 74.65         | -             | -            |
| 2003 | 640.0           | 184.00          | 74.68         | -             | -            |
| 2007 | 990.0           | 300.00          | 113.8         | 160.0         | 300.0        |

주: 2007년도 가격 중 연탄은 연탄은행가격, 등유는 현재 농촌 소매가격임.

자료: 한국에너지경제연구원(<http://www.keei.re.kr>).

에너지는 종류에 따라 고체, 액체, 기체 등 각기 다른 형태를 취하므로 이를 물량 단위로 비교하기는 어렵다. 그러므로 에너지의 발열량을 기준으로 각 에너지원의 효율성을 비교하면 <표 6-21>과 같다.

표 6-21. 에너지원의 열환산 기준

|     | 원유      | 등유     | 무연탄     | 전력       | 임산연료    |         |         |
|-----|---------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|
|     |         |        |         |          | 일반      | 칩       | 펠릿      |
| 단위  | kcal/kg | kcal/ℓ | kcal/kg | kcal/kWh | kcal/kg | kcal/kg | kcal/kg |
| 발열량 | 10,000  | 8,950  | 4,500   | 860      | 2,800   | 3,010   | 4,500   |

주: 임산연료의 발열량은 함수율 50%일 때 2,800kcal이나 칩의 경우 3,010kcal(독일기준).

자료: 에너지이용합리화법 시행규칙(1999).

에너지원의 열환산 기준에 따라 농촌 지역에서 주로 사용하는 난방용 보일러에 대한 단위 열량당 비용을 계산하면 전기보일러와 등유 보일러의 생산비용이 가장 높은 것으로 나타났다(표 6-22). 칩보일러는 단위 열량 생산 비용으로 비교해 볼 때 연탄보일러보다는 못하지만 전기보일러나 등유보일러보다는 비용면에서 효율적인 것으로 나타났다. 그 다음으로 경제적인 보일러는 펠릿보일러로 계산되었는데 칩보일러보다 약 25% 정도 비싼 것으로 나타났다.

표 6-22. 난방 설비별 단위 열량 생산 비용

단위: %, 원/천kcal

|              | 연탄보일러             | 등유보일러           | 전기보일러           | 심야전기<br>보일러     | 목재칩<br>보일러      | 목재 펠릿<br>보일러     |
|--------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 단가           | 300원/장<br>(3.6kg) | 990원/ℓ          | 113.8원/kWh      | 38.0원/kWh       | 160원/kg         | 300원/kg          |
| 발열량          | 4,500<br>kcal/kg  | 8,950<br>kcal/ℓ | 860<br>kcal/kWh | 860<br>kcal/kWh | 3010<br>kcal/kg | 4,500<br>kcal/kg |
| 열효율          | 71.6              | 80              | 95              | 95              | 70              | 70               |
| 단위열량<br>당 비용 | 25.9              | 138.3           | 139.3           | 46.5            | 75.9            | 95.2             |

주 1. 열효율은 제조사, 기종에 따라 달라질 수 있음.

2. 연료가격은 물가정보 참조

2002년에 에너지경제연구원에서 가구당 에너지 소비 형태를 조사한 바에 따르면(표 6-23), 재래식 아궁이를 사용하는 농가는 임산연료를 사용하여 9,45만kcal의 열을 소비한다. 연탄아궁이를 사용하는 농가는 연탄을 사용하여 723만kcal의 열을, 석유보일러를 사용하는 농가는 등유를 사용하여 1,108만 4,700 kcal의 열량을 소비하는 것으로 나타났다. 따라서 기존 보일러 시스템을 임산연료 보일러로 대체하려면 그에 상응하는 열량을 공급할 수 있어야 한다.

현실적으로 목재칩 보일러가 대체가능한 난방 시스템은 등유보일러이므로 이들 난방 시스템을 비교해 볼 필요가 있다. 농촌의 등유보일러 사용

가구의 연간 소비열량 1,108만 4천kcal와 동일한 열량을 제공하는 목재 칩 보일러로 대체하려면 <표 6-24>에 나타난 바와 같이 연간 3.7톤(3,682.6kg)의 목재 칩을 소비하여야 하며, 이때 연료비용은 등유보일러의 50% 이하 수준으로 절감할 수 있을 것으로 예상된다. 펠릿 보일러의 경우에도 연료 소비량은 2,463kg이 필요하며, 연간 연료비용도 74만 원으로 등유보일러의 60% 수준인 것으로 분석되었다.

표 6-23. 농촌지역의 난방설비별 가구당 에너지 소비 형태(열량기준)

단위: 천kcal

|             |      | 평균       | 재래식<br>아궁이 | 연탄<br>아궁이 | 석유<br>보일러 | LPG<br>보일러 | 중양<br>난방<br>보일러 | 전기<br>보일러<br>및 온돌 | 기타      |
|-------------|------|----------|------------|-----------|-----------|------------|-----------------|-------------------|---------|
| 연 탄         |      | 151.2    | -          | 7,233.0   | 40.0      | -          | -               | -                 | -       |
| 석<br>유<br>류 | 등 유  | 9,029.4  | -          | 902.2     | 11,084.7  | 152.3      | 452.4           | 798.7             | -       |
|             | 경 유  | -        | -          | -         | -         | -          | -               | -                 | -       |
|             | 중질중유 | 48.5     | -          | -         | -         | -          | 12,068.1        | -                 | -       |
|             | 프로판  | 3,934.8  | 1,362.0    | 1,447.2   | 2,655.6   | 16,975.2   | 1,650.0         | 3,182.4           | 3,580.8 |
| 가<br>스      | 취사용  | -        | -          | -         | -         | -          | -               | -                 | -       |
|             | 난방용  | -        | -          | -         | -         | -          | -               | -                 | -       |
| 전 력         |      | 2,042.2  | 1,407.4    | 1,793.1   | 2,025.0   | 2,128.4    | 1,777.6         | 2,179.4           | 2,391.8 |
| 열에너지        |      | -        | -          | -         | -         | -          | -               | -                 | -       |
| 임산연료        |      | 90.7     | 9,450.0    | 2,06.4    | -         | -          | -               | -                 | 2,644.3 |
| 합 계         |      | 15,296.8 | 12,219.4   | 11,581.9  | 15,805.8  | 19,255.9   | 15,948.1        | 6,160.5           | 8,616.9 |

자료: 에너지경제연구원(2003).

표 6-24. 등유보일러, 목재칩 보일러, 펠릿 보일러의 연료소비 경제성 비교

|           | 등유보일러               | 목재칩 보일러          | 펠릿 보일러            |
|-----------|---------------------|------------------|-------------------|
| 연료 가격     | 990원/ℓ              | 160원/kg          | 300원/kg           |
| 단위 연료 발열량 | 8,700kcal/ℓ         | 3,010kcal/kg     | 4,500kcal/kg      |
| 연간 필요 발열량 | 11,084,700 kcal     | 11,084,700 kcal  | 11,084,700kcal    |
| 연간 연료 소비량 | 1,238.5 ℓ (1.238m³) | 3,682.6kg(7.5m³) | 2,463.3kg(1.56m³) |
| 연간 연료비용   | 1,226,129원          | 589,220원         | 738,980원          |

위의 계산은 최근에 상승한 유가를 기초로 한 것으로 바이오매스 에너지 이용의 경제성은 유가 변동에 따라 영향을 받게 될 것이다.

기기설비를 포함한 개별 보일러 비용을 모두 고려했을 때 목재칩 보일러의 경우 4년째 접어들면서 등유보일러보다 비용효율적인 것으로 나타났으며, 펠릿 보일러의 경우 6년째부터 등유보일러의 비용보다 적은 것으로 나타났다. 현재가치 계산을 위해 칩 및 펠릿보일러의 기기설치 비용은 발열량 30,000kcal 기준 500만 원으로 가정하였으며, 등유보일러의 경우 동일 발열량을 기준으로 하였을 때 기기비용 43만 원, 설치비용 평당 6만 7천 원으로 가정하여 총 기기설치비는 217만 2천 원으로 정하였다. 기기 및 설치비용은 첫해에 모두 발생하는 것으로 계산하였으며, 자본 이자율 4%를 적용하였다.

표 6-25. 보일러별 연간 및 누적 비용 비교

단위: 천 원

| 연 차       |        | 0     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 칩<br>보일러  | 연간현재가치 | 5,589 | 567   | 545   | 524   | 504   | 484   | 466   |
|           | 누적합계   |       | 6,156 | 6,701 | 7,224 | 7,728 | 8,212 | 8,678 |
| 펠릿<br>보일러 | 연간현재가치 | 5,739 | 711   | 683   | 657   | 632   | 607   | 584   |
|           | 누적합계   |       | 6,450 | 7,133 | 7,790 | 8,421 | 9,029 | 9,613 |
| 등유<br>보일러 | 연간현재가치 | 3,398 | 1,179 | 1,134 | 1,090 | 1,048 | 1,008 | 969   |
|           | 누적합계   |       | 4,577 | 5,711 | 6,801 | 7,849 | 8,857 | 9,826 |

위의 경제성 분석은 펠릿의 가격을 300원/kg으로 가정한 것이다. 그러나 이 가격은 수입산 펠릿의 평균가격이며, 실제 상용화되지 않은 국산 펠릿의 가격은 현 상태에서는 정확히 예측하기 힘들다고 할 수 있다. 따라서 펠릿의 가격에 따른 경제성 변화의 민감도를 분석함으로써 국산화된 펠릿의 적정 가격 수준에 대해 살펴보기로 한다.

분석을 위한 가정은 위에서 언급한 바와 같고, 다만 보일러의 수명에 대한 가정을 추가하였다.

20년 수명의 펠릿 보일러 사용이 경제성을 가지기 위해서는 펠릿의 가격은 최대 419원/kg을 초과해서는 안되는 것으로 분석되었다. 또한 보일러의 수명은 15년과 10년으로 줄었을 경우 펠릿의 상한 가격은 403원/kg 및 371원/kg 인 것으로 나타났다(표 6-26). 따라서 경제성 확보를 위한 펠릿의 상한 가격은 보일러의 수명과 비례하는 것을 알 수 있다. 즉 보일러의 수명이 길수록 펠릿의 상한 가격이 높아도 경제성을 확보할 수 있다는 것이다.

표 6-26. 경제성 확보를 위한 보일러의 수명과 펠릿의 상한가격

단위: 원/kg, 천 원

|              | 펠릿보일러 수명 |        |        |        |
|--------------|----------|--------|--------|--------|
|              | 6년       | 10년    | 15년    | 20년    |
| 펠릿 상한가격      | 300      | 371    | 403    | 419    |
| 펠릿보일러비용순현재가치 | 9,613    | 13,326 | 17,030 | 20,059 |
| 등유보일러비용순현재가치 | 9,826    | 13,343 | 17,031 | 20,062 |

## 4. 임산바이오매스 이용 활성화를 위한 과제와 전략

### 4.1. 기본방향

임산바이오매스는 다른 분야 바이오매스에 비해 이용 방법이 상대적으로 쉬운 것으로 알려져 있다. 그러나 발생범위가 광범위하고 부피가 커서 운반하거나 처리하기가 매우 번거롭다는 단점이 있다. 따라서 임산 바이오매스 이용을 활성화하기 위해서는 공급측면의 가장 큰 문제점으로 지적되는 수집 및 처리비용을 줄여 원료 공급을 효율화하는 방안이 필요할 것이다. 수요를 활성화하기 위해서 기존 기술을 이용한 열에너지 변환시설 보급을 확대하며, 동시에 기술개발을 통한 바이오에너지 대량생산 기회를 만들어 나가야 한다. 즉 기술개발 없이 현 상태에서 바로 적용 가능한 목재

보일러의 이용을 확대해 나가는 것이다. 단기적으로 칩 또는 펠릿을 이용한 가정용 소형 보일러 보급을 늘려야 하며, 장기적으로는 펠릿을 이용하는 발전시설 이용에 초점을 맞추어 나간다.

현재 기술이 없거나 매우 초보적인 단계인 가스화, 바이오오일, 바이오에탄올 개발을 위해서는 국가차원에서 기술개발을 위한 지속적인 투자가 필요하다. 기존의 목탄 생산과정에서 개발이 가능한 가스 및 바이오오일의 경우 기술개발을 위한 투자의 우선적인 대상이 될 것이다. 작물에 기초한 바이오에탄올 생산의 부작용은 목질계 바이오매스를 이용한 에탄올 생산을 촉진하는 계기가 될 것이다. 이러한 바이오에탄올은 제2세대 바이오연료로 고려되는 만큼 지속적인 연구·개발을 통해 상용화할 수 있도록 노력해야 할 것이다.

## 4.2. 추진 과제

### 4.2.1. 수집 및 처리비용 절감

현재 우리나라 임산바이오매스 활용에 가장 큰 문제점은 수집환경이 까다롭고 처리 비용이 높아 극히 일부 농가에서만 난방연료나 축사용으로 사용된다는 점이다. 산림작업 부산물의 경우 대부분 가파른 경사에서 발생하기 때문에 운송이 용이한 지점까지 운반하기 위한 기계화여건이 전반적으로 어려운 실정이다. 또한 대부분 벌채작업이 솜아베기(간벌)를 위주로 실시하므로 임도 등을 통한 기계장비의 접근이 매우 어렵다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 벌채한 임목을 임도까지 운반할 수 있는 제도적 뒷받침이 수반되어야 할 것이다. 동시에 산림사업의 기계화 시스템을 도입하여 작업 효율성을 제고할 필요가 있다. 이를 위해서는 우선 한국형 산림에 적합한 기계장비 개발이 이루어져야 하며, 과학적인 설계에 따라 최적의 임도를 건설할 수 있는 방법이 마련되어야 한다.

산림작업 부산물과 함께 도시폐목재에 대해서도 재활용을 제고 방안이

강구되어야 할 것이다. 정책적으로 화학물질 오염 정도를 경감하고 분리수거할 수 있는 방향으로 유도하여 비용효율화를 달성하도록 한다.

표 6-27. 임산바이오매스 이용 활성화를 위한 추진 과제 및 전략

|                             | 추진과제                                                                                                                                                                                                                                        | 전략                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 수집비용<br>절감                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>임산바이오매스 활용에 있어 까다로운 수집환경과 높은 처리비용 문제를 해결하기 위해서는 별채한 임목을 임도까지 운반할 수 있는 제도적 뒷받침 필요</li> <li>동시에 산림사업의 기계화 시스템을 도입하여 작업의 효율성 제고</li> <li>한국형 산림에 적합한 기계 장비 개발</li> <li>과학적인 설계에 따라 최적의 임도 건설</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>수집비용을 숲가꾸기 사업비에 포함하여 효율적인 집행체계 마련</li> <li>지형상 문제 극복을 위해 경사지 특성에 따라 적합한 장비 선정               <ul style="list-style-type: none"> <li>우리 산악에 적합한 소규모 장비개발</li> <li>집재거리 300~500m를 커버할 수 있는 가선 집재기 보급</li> </ul> </li> <li>경사와 장비의 특성에 따라 적정한 임도를 설계하고 배치               <ul style="list-style-type: none"> <li>간단한 정보입력만으로 최적의 임도배치에 대한 설계도를 얻을 수 있는 최적화 프로그램(가칭) 개발</li> </ul> </li> <li>바이오매스 원료를 현장에서 직접 처리하는 방법 모색               <ul style="list-style-type: none"> <li>원료수집과 동시에 연료를 생산하는 자동화 시스템 구축</li> </ul> </li> </ul> |
| 에너지<br>변환기술<br>향상           | <ul style="list-style-type: none"> <li>장작을 에너지 고밀도 제품으로 변환하여 산업에너지로 활용               <ul style="list-style-type: none"> <li>바이오매스 특성에 따른 소규모 변환기술</li> <li>기존의 변환기술을 효과적으로 이용</li> <li>민간 사업자들의 변환기술 개발에 대한 동기부여</li> </ul> </li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>바이오가스, 바이오오일, 에탄올 등 다양한 에너지 변환 기술 개발</li> <li>고부가가치 제품을 생산 제조하는 기술 개발 및 실용화에 국고 지원</li> <li>지방자치단체 및 민간이 주체적으로 추진하는 변환기술 및 시설에 대해서는 국가적 지원</li> <li>기존 변환기술에 대한 상용화 지원</li> <li>개발 기술 적용을 위해 국가기관 시설에 우선 적용하고 지방자치단체 및 민간 시설에 적용하도록 유도</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 에너지<br>이용<br>시설<br>보급<br>확대 | <ul style="list-style-type: none"> <li>바이오매스에 대한 국민적 인식을 함양하여 수요창출</li> <li>임산바이오매스 소비 활성화를 위해 최종 목재에너지 생산시설 보급확대 방안 마련</li> </ul>                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>실용화 단계에 있는 시설의 위험부담 경감을 위해 공공부문에서 솔선수범하여 도입</li> <li>임산바이오매스 이용 시설의 환경적 가치에 대한 환원방안 마련               <ul style="list-style-type: none"> <li>시설비 지원</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 지역<br>순환<br>시스템<br>구축       | <ul style="list-style-type: none"> <li>폐기물로 인한 환경부하를 최소화하고, 연료 밀도가 낮은 원료의 이동을 줄여 생산비용 절감</li> </ul>                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>한 지역에서 생산된 바이오매스를 이용하여 물질의 재료 또는 제품을 만든 후 그 지역에서 최대한 소비하다가 최종단계에서 바이오매스 폐기물을 이용하여 에너지로 변환</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

## 4.2.2. 에너지 변환 기술 향상

바이오매스 이용의 단점 가운데 하나가 화석연료에 비해 연료의 부피가 커서 많은 공간을 차지하여 이용하기가 불편하다는 것이다. 장작을 칩 형태로 변환하는 것은 단위부피당 에너지 밀도를 높여 산업 에너지로 활용하기 위한 방법이다. 따라서 초보적인 단계를 벗어나 부피가 작고 에너지 열량을 높이는 변환효율 제고기술 개발이 시급하다 할 수 있다. 이를 위해서는 우선 기존의 변환기술을 효과적으로 이용하여야 하며, 민간 사업자들의 변환기술 개발에 대한 동기를 부여하는 방안을 마련해야 한다.

## 4.2.3. 에너지 이용 시설 보급 확대

바이오매스 이용을 활성화하기 위한 방편으로 바이오매스에 대한 국민적 인식을 함양하여 수요를 창출할 필요가 있다. 친환경적이며, 에너지 안보를 보장할 수 있으며, 농촌지역 사회 활성화에 긍정적인 영향을 미친다는 사실을 널리 홍보하여 자발적으로 바이오매스 관련 원료를 소비할 수 있도록 하는 것이다.

임산바이오매스 소비 활성화를 위해 최종 목재에너지 생산 설비의 보급이 필요한데, 현재 강원도에서 실시하고 있는 목재보일러 보급과 같이 지역의 임산바이오매스 특성에 맞는 이용 시설 보급을 확대하여 실시하여야 한다.

## 4.2.4. 지역 순환 시스템 구축

폐기물로 인해 우려되는 환경에 대한 부하를 최소화하고, 연료밀도가 낮은 원료의 이동을 줄여 생산비용을 절감하기 위해서는 일정한 지역 내에서 원료가 생산되고 소비되는 순환시스템을 구축할 필요가 있다.

### 4.3. 추진 전략

#### 4.3.1. 수집 및 처리비용 절감

현재 솥아베기 등 숲가꾸기 사업비에는 벌채현장에서 단목처리까지만 포함되어 있고, 임도까지 수집하는 것은 ‘산물수집’으로 따로 구분되어 있다. 이와 같은 사업비 구조를 일원화하여 효율적인 집행체계를 마련하는 것이 바람직하다. 즉 솥아베기 사업비에 벌채, 단목처리뿐만 아니라 산물을 임도로 운반하는 비용까지 포함하는 표준품셈을 편성해야 한다.

지형상의 문제를 극복하기 위해 경사지의 특성에 따라서 적합한 집운재 장비를 선정하는 것이 중요하므로 우리나라 산악에 적합한 기동성 있는 소규모 장비를 개발해야 할 것이며, 무엇보다도 집재거리 300~500m에서 유용한 가선 집재기의 보급이 시급한 실정이다.

개벌이 아닌 솥아베기가 대부분인 산림작업에서 최소의 비용으로 가장 효율적인 임도를 건설하는 것은 수집비용을 절약하는 중요한 방법 중의 하나이다. 따라서 임도경사와 장비의 특성에 따라 적절한 임도를 설계하고 배치하는 기술이 필요하다. 해당 산림의 정보입력만으로 최적의 임도배치에 대한 설계도를 얻을 수 있는 벌채 최적화 프로그램(가칭)을 개발하여 간편하게 이용할 수 있도록 할 필요가 있다.

바이오매스는 부피가 커서 운반비용이 많이 든다는 단점이 있다. 따라서 운반과정을 거치지 않고 바이오매스를 현장에서 직접 처리하는 방법을 모색할 수 있는데, 원료수집과 동시에 연료를 생산하는 자동화 시스템을 구축하는 것이다. 예를 들면 칩퍼를 숲가꾸기 현장에 직접 견인하여 산물이 수집되는 대로 현장에서 연료로 생산하여 포장하는 방법이 있는데, 이 방법은 운반부피를 최소화하여 생산비를 현저하게 절감할 것으로 판단된다.

산림작업 부산물의 경우 간벌재 및 잔재를 우선적으로 이용하고, 추가적으로 갱신수종인 리기다소나무를 이용하는 방법을 고려할 수 있다. 2005년 리기다소나무 식재 면적은 41만 1천ha, 축적은 2,895만 $m^3$ 로 ha당 약 70 $m^3$  정도가 축적되어 있다. 섬유판원자재로 투입되는 양이 연간 약 110만  $m^3$ 가

되며, 이를 제외한 130만 $\text{m}^3$ 을 에너지 생산을 위해 투입하더라도 12년간 사용 가능하다. 또한 벌채 후 속성수를 조림할 경우 연간 34,300ha에 조성 이 가능하며, 속성수 중의 하나인 포플러의 경우 성장기를 감안하여 4년 후부터 연간 약 2,74만 $\text{m}^3$ 의 바이오매스(줄기재적) 생산이 가능하다.

이밖에 약 20만ha에 달하는 한계농지 가운데 조림이 가능한 유휴토지 4,579ha<sup>89</sup>를 속성수 재배를 위해 이용할 경우 약 37만 $\text{m}^3$ 의 바이오매스 생산이 가능하다.

도시폐목재의 경우 재활용 가능한 폐기물(폐목재)과 소각 또는 매립될 폐기물을 구분하여 처리하도록 유도하는 경제적인 인센티브를 차별적으로 적용할 필요가 있다. 즉 오염물질 유발자책임원칙 하에 폐기물 처리비용을 유발자가 부담하게 하는 일본과 같이 우리나라에서도 도시 폐목재에 대한 처리비용을 이용자가 아닌 유발자에게 부과하고, 처리 폐기물의 재활용 가능여부에 따라 비용을 다르게 적용하여 폐목재 활용비용을 높여야 한다.

### 4.3.2. 에너지 변환 기술 향상

임산바이오매스를 보다 쉽고 편리하게 이용할 수 있도록 하기 위해서는 바이오가스, 바이오오일, 바이오에탄올 등 다양한 에너지 변환 기술 개발이 시급하다. 그러므로 고부가가치 제품을 생산 제조하는 기술개발 및 실용화에 국고 지원을 아끼지 말아야 할 것이며, 특히 지방자치단체 및 민간이 주체적으로 추진하는 변환기술 및 시설에 대해서는 적극적으로 국가가 지원해야 할 것이다.

한편 기존에 개발된 변환기술에 대해 상용화할 수 있도록 지원해 나가며, 개발된 기술을 현장에 적용하기 위해 우선적으로 국가기관 시설에 도입하고 지방자치단체 및 민간 시설에도 적용하도록 유도하여야 한다.

<sup>89</sup> 산림청(2006a)

### 4.3.3. 에너지 이용 시설 보급 확대

최종적인 바이오매스 이용시설의 보급을 확대하기 위해서는 우선 실용화 단계에 있는 시설의 위험부담을 감수할 수 있는 공공부문에서 솔선수범하여 도입할 필요가 있다. 일정기간 안정적인 운용에 대한 검증이 완료되면 민간에 보급하는 전략이 필요하다. 또한 임산바이오매스 이용시설의 환경적 가치에 대한 환원방안을 마련하여 시설비를 지원하는 등 적극적인 유치를 유도하여야 한다.

### 4.3.4. 지역 순환 시스템 구축

한 지역에서 생산된 바이오매스를 이용하여 물질의 재료 또는 제품을 만든 후 그 지역에서 최대한 소비하다가 최종 단계에서 바이오매스 폐기물을 이용하여 에너지로 변환할 경우 폐기물 발생을 줄이고 한정된 자원을 효과적으로 자급할 수 있는 순환 시스템을 구축할 수 있게 된다.

임산바이오매스의 경우 현재 순환체계를 구축할 수 있는 방법은 지역의 숲가꾸기 산물을 이용한 난방이라 할 수 있다. 앞서 분석한 목재 보일러의 열에너지 자원화를 순환체계로 고려할 경우 매년 가구당 3.7톤 가량의 목재 칩 또는 2.46톤의 펠릿을 안정적으로 공급할 수 있는 지역을 선정해야 할 것이다. 이 양을 생재로 환산하기 위해서는 무게로 나타난 목재 칩을 야적부피로 바꾼 다음 다시 재적으로 환산하면 되는데, 1 야적부피의 무게에 대해 침엽수와 활엽수 평균(200kg/srm)을 적용할 경우  $18.41\text{srm} (= 3,682.6\text{kg} \div 200\text{kg})$ 이 된다. 그리고 이 값을  $2.45\text{srm}/\text{m}^3$ 으로 나누면  $7.5\text{m}^3$ 의 생재(生材)로 변환할 수 있다. 펠릿의 경우 야적밀도가  $650\text{kg}/\text{srm}$ 이므로  $2,463.3\text{kg}$ 의 펠릿은  $3.79\text{srm}$ 이 되며  $1.55\text{m}^3$ 의 생재 재적에 해당한다.

석유보일러를 목재보일러로 대체할 경우 연간 필요한 목재는 칩보일러의 경우  $7.5\text{m}^3$ , 펠릿보일러의 경우  $1.6\text{m}^3$ 이다.

일정 면적 숲의 벌기령(rotation period)을 30년, 부산물(간벌재) 발생량은 ha당  $32.9\text{m}^3$ 로 가정할 경우 연간 산림작업 부산물 생산량은  $1.1\text{m}^3/\text{ha}$ 가 된

다. 따라서 발열량 30,000kcal 용량의 칩보일러를 운전하기 위한 산림면적은 약 6.8ha가 필요하며, 같은 용량의 펠릿보일러를 운전하기 위해서는 약 1.5ha가 필요하게 된다. 따라서 일반산주<sup>90</sup>의 경우 칩보일러 사용을 위한 산림면적이 평균 소유면적보다 넓어 추가적인 칩의 구매가 필요하게 된다. 그러나 전업 산주<sup>91</sup>의 경우 최소 약 7.4대의 30,000kcal 칩보일러를 운전할 수 있다는 것을 알 수 있다. 펠릿보일러의 경우에는 전업 산주뿐만 아니라 일반산주의 평균 산림면적으로도 충분히 생산할 수 있게 된다. 따라서 30,000kcal 발열량의 목재보일러를 이용하여 연간 11,084,700kcal를 생산하기 위한 열에너지 자원화의 경우, 지역순환의 범위는 칩보일러 6.8ha, 펠릿보일러 1.5ha에 이른다.

---

<sup>90</sup> 1ha 이상의 산림을 소유한 산주로서 평균 소유 산림면적은 5.57ha(2006년 임업 통계연보 참조)

<sup>91</sup> 최소 소유 산림면적이 50ha인 산주(2006년 임업통계연보 참조)

## 1. 요약

### 1.1. 연구개요

농촌현장에서 발생하는 바이오매스는 일부가 퇴비, 사료, 열원으로 이용되고 있으나 대부분은 버려지고 있다. 그러나 바이오매스의 이용은 폐자원의 활용, 환경문제 해소, 대체에너지 개발 등 광범위한 부분에서 효과를 기대할 수 있다. 바이오매스의 개발과 이용은 지금까지도 중요시되어 왔으나 앞으로도 매우 중요한 과제가 될 것으로 예상된다. 특히 화석연료 대체에너지로서 최근 큰 관심을 끌고 있는 바이오에너지가 사회, 경제적으로 주요한 이슈가 될 것이다.

따라서 바이오매스 개발과 이용에 대해 농업부문에서 대응하고 해결할 수 있는 방안에 대해 종합적으로 접근할 필요가 있다. 이 연구는 이러한 배경 하에서 바이오매스를 보다 효과적으로 이용할 수 있는 시스템을 개발하고 정책적으로 뒷받침해야 할 과제 도출과 추진전략을 강구하기 위해 2006년부터 2007년까지 수행되었다.

1년차에서는 국내 농업부문 바이오매스 이용실태 파악과 문제점 발굴, 바이오매스 이용활성화를 위한 과제 도출 등이 시도되었다. 또한 바이오매스 이용 선진국들의 관련 제도와 정책 등을 소개하였다. 2년차에서는 국내외 바이오매스 이용 동향과 시사점에 대해 정리하고, 농림업 부문 바이오

매스의 자원화에 따른 경제성 분석을 통해 우리나라 입장에서 바이오매스 이용방향과 전략 등을 제시하였다.

## 1.2. 바이오에너지 이용 및 개발 동향과 과제

바이오매스를 변환하여 만드는 바이오에너지는 재생가능하고 환경 친화적이라는 장점이 있으나 자원 확보비용이 많이 들고 과도하게 이용할 경우 환경을 파괴할 수 있다는 단점도 있다. 바이오에너지는 고체, 기체 등 다양한 형태로 이용되고 있는데, 최근 가장 중요하게 부각되는 것은 수송용 연료로서 화석연료와 대체할 수 있는 액체로 된 바이오에탄올과 바이오디젤이다. 바이오에탄올은 미국과 브라질을 중심으로 생산되는데 전체 생산량이 1천 7백만toe로 바이오연료 생산량의 85% 가량을 차지한다. 반면 바이오디젤은 약 2천 9백만toe로 EU 회원국이 주로 생산하고 있다. 이와 같이 바이오연료 생산현황이 지역에 따라 현격한 차이를 보이는 것은 생산지의 바이오매스 부존량과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문이다.

최근 들어 바이오연료의 생산량이 급격하게 늘어나고 있는데 이는 원유 가격의 상승과 무관하지 않은 것으로 여겨진다. 브라질을 제외한 대부분 국가의 경우 바이오연료 생산비가 높아 시장기능에 의한 산업 활성화가 불가능하다. 그럼에도 불구하고 선진국들은 바이오연료 산업의 활성화를 위해 다양한 정책적 지원을 아끼지 않고 있다.

우리나라의 경우 바이오연료에 대한 개발수준이 선진국에 미치지 못하는 초보 단계라 할 수 있다. 바이오에탄올은 실증평가를 실시하고 도입 가능성을 검토하고 있으며, 바이오디젤은 현재 초기단계이지만 2006년부터 상용화된 상태이다. 그러나 현재로서는 국내의 부존자원을 이용한 개발이 아니라 대부분 수입 원료에 의존하여 생산하고 있는 실정이다. 따라서 정부는 본격적인 바이오연료 개발을 위해 2007년부터 국내 농산물을 이용한 바이오디젤 생산을 위해 유채에 대한 시범사업을 추진 중이며, 점차 그 범위를 확대해 나갈 계획이다.

### 1.3. 바이오에너지 원료작물의 이용 가능성 분석

최근 원유가격의 상승으로 바이오 연료용 곡물 수요가 증가하고 국제 곡물가격이 급등하는 등 전 세계적으로 바이오에너지에 대한 열풍이 불고 있다. 바이오에너지 원료작물 재배는 에너지의 안정적인 공급뿐만 아니라 에너지 안보강화, 환경오염 감축, 농촌사회 활성화 등 다양한 편익 효과를 얻을 수 있다.

우리나라에서 도입 가능한 바이오디젤 원료작물로는 품종, 생산수준, 생산비, 바이오연료 제조기술 수준 등을 종합하여 고려해 볼 때 유채와 대두가 이용 가능성이 높은 것으로 나타났다. 바이오디젤 원료작물로 주목을 받고 있는 유채는 2007년부터 2009년까지 3년 동안 연간 총 26억 원의 사업비를 들여 시범사업이 진행되고 있다. 현재 전북 부안군, 전남 보성·장흥군, 제주시·서귀포시 등 3개 권역에 1,500ha의 생산단지를 조성 중에 있다.

유채를 이용한 바이오디젤 생산의 경제성 분석 결과, 현재 농가에 보급되어 있는 일반품종의 경우(ha당 유채씨 3톤 생산) 바이오디젤 1kl생산을 위한 총 투입 비용은 유채를 쌀 후작으로 재배시 111만 2천 원, 휴경지에 재배시 235만 3천 원으로 추정되었다. 만일 품종개발을 통해 단위당 수량이 10% 높아진다면(ha당 유채씨 3.3톤 생산) 전체 비용은 각각 67만 3천 원, 179만 5천 원으로 감소한다. 이에 따라 바이오디젤 1kl 보급에 따른 순편익은 일반품종의 경우 각각 120만 8천 원, -3만 3천 원이다. 품종개발의 경우는 각각 209만 원, 96만 8천 원으로 분석되었다. 따라서 유채의 품종개발을 통해 쌀 후작으로 재배하는 것이 사회적 편익을 증가시키는 것으로 나타나 품종개발의 중요성을 제기하고 있다. 대두의 경우도 조건불리직불제가 적용된 휴경지에서 재배할 경우에 사회적 순편익이 51만 8천 원으로 추정되어 정부의 지원이 필요한 것으로 나타났다.

바이오에탄올 작물로는 쌀(재고 현미), 고구마 등이 가능하며 사회적 비용-편익 분석결과, 원료비가 상대적으로 낮은 쌀을 이용하는 것이 유리한 것으로 보인다. 바이오에탄올 1kl생산에 대한 사회적 순비용은 쌀이 14만

원으로 추정되었고 고구마의 경우 약 3백만 원의 순비용이 발생하여 경제성이 없는 것으로 나타났다. 그러나 쌀의 경우 우리의 주식이기 때문에 공급량 확보가 불확실하고 이를 연료용으로 이용하는 데 있어 사회적인 공감대를 얻기 어려울 것으로 보인다.

국내 원료작물을 이용한 바이오에너지 생산을 위해서는 품종별 생산성, 재배기술 수준, 재배가능면적 등 모든 요소를 고려하고 식량수급에 영향을 주지 않으면서 가장 경제적인 작물을 선택·집중하여 생산비를 줄이는 것이 무엇보다 중요하다. 이러한 원료비 부담을 줄이기 위해 정부의 적극적인 지원이 필요하므로 중복되지 않는 범위 내에서 경관보존직불제, 밭농업 직불제, 유채수매제와 같은 정책적 지원이 지속되어야 할 것이다.

#### 1.4. 농산바이오매스의 이용 활성화 방안

농산바이오매스는 원형 또는 가공의 형태로 식용, 사료, 퇴비, 에너지원 등으로 이용되고 있다. 수도작 바이오매스 중 벳짚은 원형상태 또는 절단해서 조사료나 축사의 깔짚으로 이용되는 비율이 높다. 왕겨는 원형 또는 가공의 상태로 사료나 퇴비로 사용되고 있다. 미강, 쉼미, 청미 등은 가공하여 사료로 많이 사용되고 있다. 과수바이오매스인 전정가지는 파쇄하여 퇴비로 사용하거나 원형의 상태로 땔감에 주로 사용되고 있다. 유지작물인 유채는 유채씨를 이용해서 유채유나 바이오디젤을 생산하고 유채줄기는 사료 및 퇴비, 연료용으로 이용되기도 한다.

벳짚, 왕겨, 콩대, 과수 전정가지 등 농산바이오매스의 에너지 부존량을 추정하면 3,016천toe에 이른다. 이를 전량 이용한다면 2012년 우리나라 신재생에너지 공급목표(15,531천toe)의 19.4%를 농산바이오매스로 충당할 수 있다. 태양광, 풍력, 소수력 등 신재생에너지의 구성분야를 고려할 때 농촌현장에서 발생하는 농산바이오매스만 잘 이용하더라도 신재생에너지 공급목표를 달성하는 데 크게 기여할 것으로 기대된다.

농산바이오매스 이용에 따른 경제성 분석 결과를 보면, 벳짚을 이용한

곤포 생산의 손익분기 면적은 15.55ha이다. 농가단위에서 곤포생산을 위해서는 최소 16ha이상의 논에서 발생하는 볏짚을 활용해야 수익을 창출할 수가 있다. 과수 전정가지를 이용한 톱밥 생산의 손익분기 면적은 1.31ha이다. 톱밥생산을 위해서는 최소 1.5ha이상의 과수원에서 발생하는 전정가지를 이용해야 한다. 유채줄기를 이용한 펠릿 생산의 손익분기 면적은 2.91ha이다. 따라서 최소 3ha이상의 유채밭에서 발생하는 유채줄기를 활용해야 수익을 창출할 수가 있다.

농산바이오매스는 축산이나 임산분야에 비해 활용용도가 다양하여 그동안 농가 차원에서 자체적으로 이용하는 비율이 높았다. 그러나 그 활용 측면에서 보면 퇴비정도에 불과하고 부가가치가 높은 친환경자재나 에너지원까지는 이르지 못하고 있다. 따라서 농산바이오매스 이용을 위한 기본목표를 바이오매스 이용의 효율성을 높이고 부가가치를 극대화하는 것으로 설정할 필요가 있다. 목표달성을 위해서는 바이오매스 수집 및 자원화 비용을 최소화하고, 농산바이오매스의 자원화 및 이용 촉진을 위한 기술개발을 강화해야 한다. 또한 적절한 규모의 지역단위에서 바이오매스 이용을 최적화할 수 있도록 지역단위의 이용시스템을 구축해 나가야 한다.

농산바이오매스의 수집 및 자원화 비용을 최소화하기 위한 과제로는 바이오매스 발생주체, 자원화주체, 이용주체 간의 연계성을 구축하고 바이오매스 이용촉진을 위한 장비나 시설에 대한 지원이 필요하다. 농산바이오매스 자원화 및 이용촉진의 기술개발을 위한 과제로는 바이오매스의 에너지 변환 기술개발에 대한 지원과 자원화 제품에 대한 연구개발이 강화되어야 한다. 지역단위에서의 농산바이오매스 이용시스템이 구축되기 위해서는 지역의 특성을 고려한 순환형 이용시스템이 도입되어야 하고 여기에 참여하고 있는 각 주체별 역할이 분명히 설정되어야 한다.

## 1.5. 축산바이오매스의 이용활성화 방안

우리나라 축산업의 비중이 커지면서 가축 사육두수도 증가하고 있다. 그

결과 가축분뇨가 증가하고 있으며, 2012년 이후에는 가축분뇨의 해양투기도 금지되어 가축분뇨를 자원화할 수밖에 없다. 하루에 발생하는 가축분뇨는 16만 9천 톤에 이르고 연간으로는 약 6,150만 톤에 상당한다. 가축분뇨를 이용한 자원화 형태는 퇴비, 액비, 퇴·액비, 가스를 이용한 열에너지 및 전기 등이 있다.

가축분뇨 중에서 양돈을 제외한 다른 축종에서 발생하는 분뇨는 자체농가 또는 지역 내에서 퇴비로 환원하는 데 문제가 없다. 다만 양돈분뇨는 전체 분뇨 발생량의 50%를 차지하고 있으며, 환경오염에 많은 영향을 미친다. 양돈분뇨의 이용 확대를 위해 자원화 형태별 경제성 분석을 3가지 형태로 시도하였다. 하나는 자원화 형태별(퇴·액비, 퇴비, 액비, 액비(SCB)) 4가지 유형으로 분류하여 사육규모별로 분석하였다. 둘째는 양돈분뇨의 가스화를 통해 전기에너지화 할 경우 사육규모별 경제성을 검토하였다. 셋째는 한우 등을 포함한 가축분뇨 전체를 에너지화했을 때 원유 대체효과를 분석하였다.

가축분뇨의 자원화 형태별 분석결과, 모든 유형에서 퇴비, 액비 판매수익만으로는 적자운영이었다. 다만 퇴비 시용에 따른 화학비료 절감효과와 가축분뇨 처리비, 액비살포비 등을 수익으로 고려할 때 유형Ⅱ를 제외하면 수익이 발생하는 것으로 분석되었다.

축산농가에서 발생하는 가축분뇨만으로 바이오가스를 생산하는 경우 경제성이 없다. 바이오가스를 이용한 발생 전력을 85.7원/kwh에 매전할 경우 전력판매수익은 가축분뇨 1톤( $m^3$ )당 4,354원이고, 비용은 1,000두에서 2만 1천 원, 1만 두에서 8,100원으로 모든 규모에서 이익이 발생하지 않는다. 그러나 기술개발로 총고형물질(TS) 함량을 현재 5%에서 10%로 상향조정하면 보다 유리한 조건이 된다. 총고형물질 함량이 10%이면서 1만 두 이상일 경우에 톤당 589원의 수익이 발생한다.

가축분뇨 전체를 자원화했을 때 메탄발생량은 5억 1,660만 $m^3$ 가 되고, 이를 에너지발생량으로 환산하면 43.9만toe가 되며, 유량으로 환산하면 3,254천 배럴에 해당한다. 따라서 가축분뇨를 전부 에너지화 했을 때 원유 대체효과는 두바이유 기준 2,594억 원에 이를 것으로 분석되었다.

가축분뇨의 이용활성화를 위해서는 자원화 생산기반 구축, 퇴·액비의 유통활성화, 지역단위의 순환농업시스템이 구축되어야 한다. 이를 추진하기 위해서는 자원화된 퇴·액비의 소비처 개발과 바이오에너지 생산시설이 선결되어야 한다. 또한 지역단위에서 경종, 축산, 과수, 임산 농가의 연계성이 강화되고 생산자, 수요자, 지자체, 연구소 등의 주체별 역할이 명확하게 설정되어야 한다.

## 1.6. 임산바이오매스의 이용활성화 방안

산림에서 버려지는 산림작업 부산물과 목재가공 과정에서 발생하는 산업폐목재 그리고 건설폐목재, 산업폐목재, 생활폐목재 등을 포함하는 도시폐목재 등을 임산바이오매스라고 규정했을 때, 2005년 발생량은 1,582만 7천 $m^3$ 로 에너지로 환산하면 320만 5천toe가 된다. 이 가운데 약 49.6%가 이용되고 있으며, 47% 가량은 소각, 매각, 폐기되는 것으로 나타났다.

이렇게 이용률이 낮은 이유는 임산바이오매스의 수집환경이 까다롭고 처리비용이 높기 때문이다. 또한 안정적인 공급이 보장되지 않은 상황에서 적극적인 투자가 이루어지지 않아 기술개발이 매우 느리므로 이용형태도 매우 초보적인 수준에 그치고 있다. 따라서 임산바이오매스 이용활성화를 위해서는 우선 안정적인 공급을 유도할 수 있는 방안을 마련하여 원료수급에 대한 우려를 없애줌으로써 기술개발에 대한 동기를 부여할 필요가 있다.

현재 우리나라에서 이용되고 있는 칩보일러와 펠릿보일러에 대한 경제성분석을 실시한 결과, 등유보일러보다는 비용면에서 효율적인 것으로 나타났다. 펠릿 가격에 대한 감응도 분석결과에서는 펠릿의 상한 가격이 보일러의 수명과 비례하는 것을 알 수 있다. 즉 펠릿의 상한 가격이 높아도 보일러의 수명이 길면 경제성을 확보할 수 있다는 것이다.

이 연구를 통해 살펴본 바와 같이 임산바이오매스 발생량은 풍부한 것으로 나타났다. 이 연구의 정의에 따라 부산물과 폐목재만을 고려하더라도 2005년 발생량은 2012년 신재생에너지 공급목표의 21%를 차지한다. 그러

나 발생하는 임산바이오매스의 대부분은 버려지고 있으며, 이용되는 경우에도 화목과 목재 칩 등의 매우 초보적인 형태를 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

이러한 문제점은 다양한 원인에 기인하겠으나 가장 중요한 것으로는 기술개발의 부재와 높은 수집비용에 있다고 할 수 있다. 형태에 관계없이 기본적으로 부산물이나 폐목재 이용의 경제성이 없는 상황에서 임산바이오매스는 불가피한 경우에만 이용되어 왔으며, 이러한 최소한의 사용은 기술개발에 대한 절실함을 유발하지 않게 된 것이다. 더욱이 30년 가까이 이어져온 안정된 원유가격은 임산바이오매스 이용의 필요성을 최소화할 수 있는 원인을 제공하였다고 할 수 있다.

그러나 21세기 들어 원유가격이 가파르게 상승하고, 지구환경문제가 심각하게 고려되고 있는 상황에서, 대기오염에 상대적으로 중립적인 것으로 알려진 바이오에너지의 역할은 그 어느 때보다 중요하게 여겨지고 있다. 동시에 다른 분야 바이오매스와 마찬가지로 임산바이오매스의 중요성도 부각되고 있는 실정이다. 따라서 임산바이오매스 개발에 적극적인 투자를 아끼지 말아야 할 것이며, 이를 위해서는 임산바이오매스의 안정적이고 지속적인 공급방안이 마련되어야 할 것이다.

## 2. 결론

### 2.1. 자원순환체계에 의한 바이오매스 이용시스템 구축

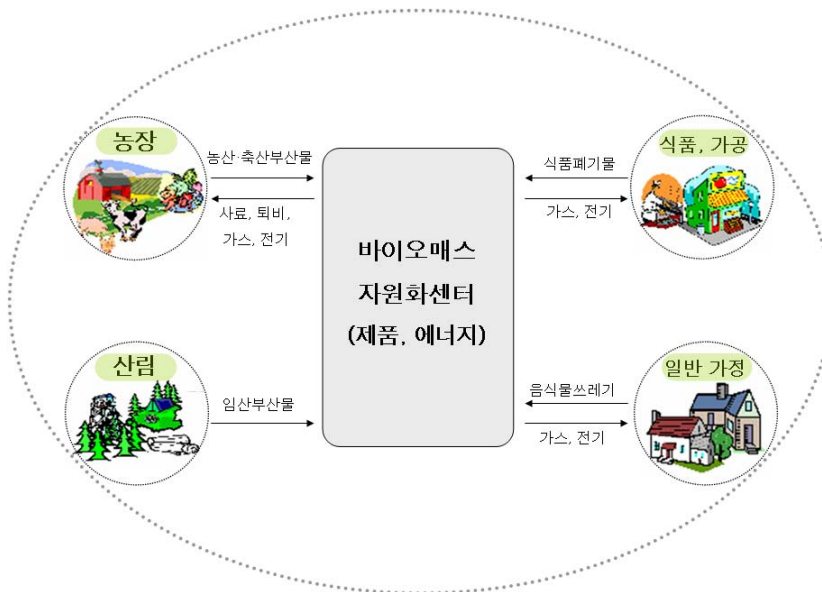
농림업 바이오매스는 지역적으로 광범위하게 분산되어 수집에 어려움이 많고, 자원화 과정에서 경제성을 확보하기가 어려운 문제점을 내포하고 있다. 그러나 바이오매스의 이용은 폐자원의 활용이라는 점과 지구온난화 방지 등 환경문제를 완화하는 데 기여할 수 있다. 무엇보다도 바이오매스를 이용한 에너지 및 제품화가 새로운 산업으로 발전할 수 있는 가능성이 있

다는 것이다. 이러한 새로운 산업으로의 발전은 농업·농촌의 활성화에 기여하고 순환형 지역사회를 형성하는 데 기여할 수 있다.

농림지역 내에는 농산부산물, 가축분뇨, 목재나 임산부산물 등 다양한 농림업 바이오매스가 발생하고 있다. 이러한 폐기물계 바이오매스를 효과적으로 이용하기 위해서는 단일 바이오매스를 대상으로 할 것이 아니라 농림업 각 부문에서 발생하는 바이오매스를 종합적으로 이용할 수 있는 시스템을 갖추어야 한다. 또한 농림업 바이오매스뿐만 아니라 지역 내의 일반 가정·식품가공분야·식당 등에서 발생하는 음식물쓰레기와 식품폐기물 등도 자원화의 대상으로 삼아야 한다(그림 7-1).

각종 바이오매스를 자원화하기 위해서는 지역단위에서 운영하는 가칭 바이오매스자원화센터가 필요하다. 자원화센터는 농축산부산물, 산림부산물, 식품폐기물, 음식물쓰레기 등을 이용하여 퇴비, 사료 등 바이오매스 제품과 가스 및 전기 등을 생산할 수 있는 설비와 운용 인력 확보가 선결 과제이다. 생산된 퇴비나 사료 등은 농업부문에 재 환원되고, 가스, 전기 등

그림 7-1. 지역단위에서 자원순환을 고려한 바이오매스 이용 체계



의 에너지는 지역 내의 일반 가정 및 농림업에서 이용할 수 있는 체계가 구축되어야 한다. 이러한 일련의 시스템이 지역 내 바이오매스자원화센터를 중심으로 작동되기 위해서는 바이오매스 발생자와 자원 이용자의 적극적인 참여가 전제조건이기는 하나 중앙 및 지방정부의 역할도 매우 중요한 요소라 할 수 있다.

## 2.2. 선택과 집중에 의한 바이오에너지 개발

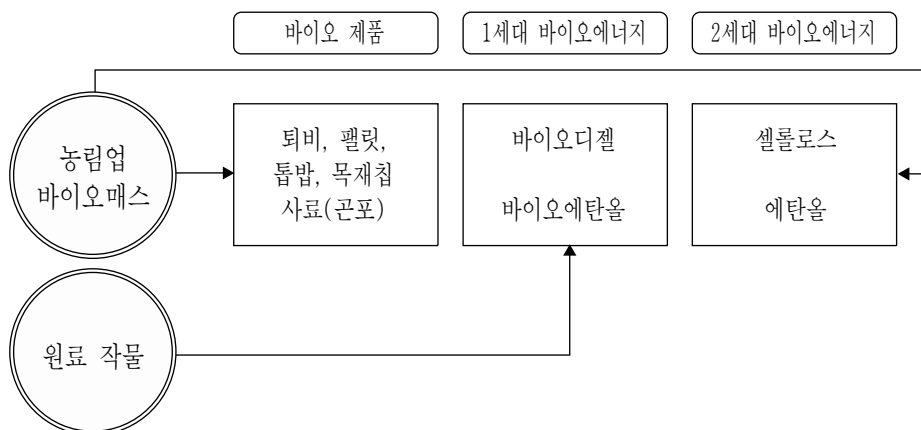
최근 들어 바이오에너지 개발에 대한 세계 각국의 관심이 높아지고 있다. 주요 원인은 석유 수출국의 국내정세 불안으로 인한 에너지안보 문제, 화석연료에 의한 환경문제, 농업침체로 인한 농촌사회 쇠퇴 등 다양한 문제를 해결하기 위한 방편으로 바이오에너지의 역할이 부각되었기 때문이다. 특히 주요 선진국들은 곡물을 이용하여 바이오연료 개발에 매우 적극적인데, 기술개발에서부터 상용화에 이르기까지 다양한 지원 정책을 살펴보면 바이오연료 산업의 활성화를 위한 그들의 노력을 짐작할 수 있다. 그러나 곡물을 이용한 개발은 예상하지 못했던 환경오염 문제, 식량 및 사료 자원의 감소와 같은 심각한 부작용을 동반하였으며, 이러한 추가적인 문제를 해결하기 위해 선진국에서는 섬유질을 이용한 바이오연료 개발에 국가적인 노력을 기울이고 있다.

이에 반해 우리나라의 경우 바이오에너지 개발 수준이 아직 시작 단계에 있다고 할 수 있다. 현재 상용화된 바이오디젤의 경우에도 시장규모가 9만 kl로 전체 소비량의 0.5%에 그치고 있는 실정이다. 그나마 수입 대두유가 주요 원료로 이용되고 있다는 사실에 비추어 볼 때 본격적인 바이오에너지 개발 단계에 있다고 할 수 없다. 따라서 우리나라의 부존자원을 이용한 바이오에너지 개발에 매우 신중할 필요가 있다. 단순히 선진국에서 상용화된 곡물을 이용한 바이오연료 개발기술을 도입할 것이 아니라 우리 국토에 심각한 부작용을 초래하지 않는 범위 내에서 개발이 가능한 방법을 강구하여야 할 것이다.

바이오에너지 개발은 해당 국가의 부존자원, 과학기술 등에 따라 좌우된다고 할 수 있으나 결국 그 국가의 개발의지에 따라 최종적으로 결정된다. 그러므로 우리의 상황을 충분히 인식하고 우리 사정에 맞는 바이오에너지 개발을 위해 적극적인 투자와 지원을 아끼지 말아야 한다. 특히 자연자원이 풍부하지 않은 우리나라의 경우 바이오에너지 개발은 국가의 발전을 좌우하는 매우 중요한 사안으로 부각되고 있다.

따라서 우리 현실에서 바이오에너지의 개발은 선택과 집중에 의한 개발 전략이 필요하다. 바이오디젤의 경우는 유채와 같이 농가에서 도입 가능하고 농가소득과 연계할 수 있는 원료작물의 재배를 통해 생산을 확대할 필요가 있다. 바이오에탄올의 경우는 국내에서 대규모 경작을 통해 원료를 확보하기가 현실적으로 어렵다. 때문에 식량과 경합을 일으키지 않고 기존의 농림업 바이오매스를 이용할 수 있는 셀룰로오스에탄올 이른바 제2세대 바이오에너지 개발에 중점을 두고 추진할 필요가 있다(그림 7-2).

그림 7-2. 우리나라 바이오에너지 개발 방향



## 참고 문헌

---

- 강원대학교. 2006. “환경친화형 바이오 대체에너지 기술개발 및 정책.” 강원대학교 농업과학연구소 주최 심포지엄 자료집.
- 강창용 외. 2006. 「농업부문 바이오매스의 이용활성화를 위한 정책방향과 전략(1/2 차 연도). 연구보고서 523. 한국농촌경제연구원.
- 강희찬. 2007. “한국형 바이오연료의 가능성 평가 및 시사점.” 삼성경제연구소.
- 권기수. 2007. “브라질 바이오에탄올 산업의 발전 현황과 전망.” 「지역경제포커스」. Vol. 1. No. 16. 대외경제정책연구원.
- 김갑덕, 김철민. 1998. “국내 삼림 Biomass의 생산에 관한 연구와 동향.” 「임산에너지」 8(2): 94-107.
- 김동진. 2005. 「비용·편익분석」. 박영사
- 김윤호 외. 2007. 「가축분뇨 자원화기술 연구성과」. 농촌진흥청
- 김충실 외. 2006. “바이오디젤 원료용 유채재배의 경제성 분석.” 「한국유기농업학회지」 제14권제3호. 한국유기농업학회.
- 김태곤 외. 2005. 「발농업직접지불제 도입방안연구」 p.51. 한국농촌경제연구원.
- 농림부. 2006. 「가축분뇨 자연순환농업 정책 방향」.
- 농림부. 2006. 「가축분뇨 자원화시스템 평가」.
- 농림부. 2006. 「농림업주요통계」.
- 농림부. 2007. 광역친환경농업단지 활성화를 위한 세미나(2007.7, 경남, 산청).
- 농림부·환경부. 2004. 「가축분뇨 관리·이용 대책」.
- 농수산물 유통공사. 연도별수출입통계. 대두(신선).
- 농촌진흥청. 2004. 「농축산물 소득자료집」.
- 농촌진흥청. 2005. 「주요국별 농축산물 생산비 비교」.
- 농촌진흥청. 2006. 「농업용 친환경 에너지 연구개발 중장기 계획」.
- 농촌진흥청. 2007. 「FTA대응 농축산물 경쟁력 강화를 위한 주요 품목별 기술개발 전략」.
- 농협중앙회. 2005. 「친환경 고품질 쌀 생산체계 분석과 RPC부산물의 친환경 자원화 모색」.
- 농협중앙회. 2006. “양곡부 내부자료.”

- 대한무역투자진흥공사(KOTRA). 2007. “세계 바이오에너지 개발동향.” 『Global Business Report』 07-001.
- 미래농정연구원. 2005. 『산업용 원료로 사용가능한 농작물의 경제성 분석 및 정책적 지원방안 연구』.
- 박경석 외. 2003. 『산림사업의 공적관리 시스템 강화 및 임산바이오매스를 활용한 대체에너지 보급』. 임업연구원.
- 박종길. 1997. 『김해시 대기질 관리를 위한 대기오염 조사 - 대기오염 물질의 농도와 배출량 추정』. 인제대학교.
- 박종민. 2006. “바이오디젤용 유채생산 정책.” 충남대 세미나 자료.
- 박진섭. 2006. “유채를 통한 자원 순환형 사회 만들기.” 충남대 세미나 자료.
- 배정환. 2006. 『바이오연료의 보급전망과 사회적 비용·편익 분석』. 에너지경제연구원.
- 배정환 외. 2007. 『바이오디젤의 경제성 예측 및 지원제도 개선에 관한 연구』. 에너지경제연구원.
- 산림청. 2006a. “유휴토지 조립 5개년 계획.”
- 산림청. 2006b. 『임산물수출입통계(2006)』.
- 산림청. 2006c. 『임업통계연보』.
- 산업자원부. 2005. 『해외 바이오에탄올의 도입 타당성 분석연구』.
- 산업자원부. 2006. 『2005년 신·재생에너지 백서』.
- 산업자원부. 2007. “바이오디젤 중장기 보급계획.” 2007.9.7. 보도자료.
- 석현덕 외. 2005. 『목질 바이오매스 열에너지 개발의 경제성 분석과 에너지용 산림폐재의 지속적 확보방안』. C2005-30. 한국농촌경제연구원.
- 성진근. 2006. “바이오에너지 작물도입을 통한 농업의 다원적기능 확장.” 2006년 하계 공동학술대회 발표논문집(I). 한국농업경제학회·한국농업정책학회.
- 소규호. 2006. “농업환경을 고려한 바이오에너지 연구 전략.” 환경친화형 바이오대체에너지 기술개발 및 정책 심포지엄 자료, 강원대·농촌진흥청.
- 에너지경제연구원. 2003. 『2002년도 에너지총조사보고서』.
- 에너지이용합리화법 시행규칙. 1999.
- 에코저널. 2006. “바이오매스 대체에너지 개발 확대.” 2006. 10. 16.
- 오민영, 이흥균, 김영환. 1987. 『주요 수종의 최적 벌기령에 관한 연구』. 1987년 임업연구원 시험 연구보고서. pp.24-44. 임업연구원.
- 외교통상부 남미자원협력센터. 2007a. 『아르헨티나의 바이오에너지 정책과 개발 및

- 생산 현황」.
- 외교통상부 남미자원협력센터. 2007b. 「브라질 바이오에너지 정책 및 개발 생산 동향」.
- 유승직. 2000. 「국제온실가스 감축에 따른 사회적 영향분석 연구」. 에너지경제연구원.
- 유철호 외. 2000. 「가축분뇨 자원화 촉진을 위한 제도개선 연구」. 연구자료. 한국농촌경제연구원.
- 유철호, 정민국. 1996. “가축분뇨의 자원화 촉진방안.” 『농촌경제』 제19권 제3호. 한국농촌경제연구원.
- 윤순강. 2006. “친환경 농업을 위한 대체에너지 연구방향.” 환경친화형 바이오대체 에너지 기술개발 및 정책 심포지엄 자료. 강원대·농촌진흥청.
- 이임영. 2005. “별채지 폐잔재의 활용 방안.” 『임정연구』 제43호.
- 이용운 편. 1999. 「1999 환경산업총람」. 환경관리연구소.
- 이진석. 2004. “바이오디젤 상용화 현황 및 전망.” 『설비저널』 제33권 제10호. 한국에너지기술연구원.
- 이진석. 2006. “국내외 바이오디젤 활용현황 및 보급 전망.” 기후변화, 고유가 대응 에너지 정책토론회 자료.
- 이호태. 1998. “슬러지 감량화 및 이용기술 현황.” 소각기술심포지엄자료. 순천대학교.
- 임업연구원. 2000. 「폐목재의 발생실태 및 재활용 촉진방안」. 연구자료 제159호.
- 임용표. 2006. “유채자원 확보를 위한 우리의 현실과 과제.” 충남대 세미나 자료.
- 장철수 외. 2004. 「산림 내 폐잔재의 현지 활용을 위한 한국형 조립식 탄화장치 기술개발 및 실용화 연구」. 농림부.
- 전라북도. 2005. 「전북 쌀산업 발전 대책」.
- 조익환. 2005. “유기경종과 유기축산을 연계한 지역별 순환농업.” 한국초지학회.
- 차두송 외. 2004. “대체에너지원으로서 국내 산림바이오매스 자원의 잠재력과 이용 가능성.” 『산림과학연구』 제20호. 강원대학교.
- 최돈하 외. 2002. 「발효처리에 의한 목질계 자원의 조사료화」. 농림부.
- 한경대학교. 2005. 도농복합지역 친환경 대체에너지 시스템 구축을 위한 지역혁신 1차 포럼, 한경대학교 GRRC·RIS 센터 주최 심포지엄 자료집.
- 한국동력자원연구소. 1989. 「바이오매스 자원조사 및 에너지 평가 분석」.
- 한국에너지기술연구원. 2005. 「국내 바이오에탄올 생산필요성」. 전문가워크샵 자료.
- 허길행. 2000. “가축분뇨 발효 액비화에 의한 농업부문 자원순환체계 복원 연구.”

- 「농촌경제」 제23권 제3호. 한국농촌경제연구원.
- 홍성구 외. 2005. 「농촌지역 바이오매스 자원의 최적 이용 기술개발」. 농림부.
- 홍종준 외. 1991. 「바이오매스 자원조사 및 에너지 평가분석」. 한국동력자원연구소.
- 환경부. 2006. 「폐기물통계」.
- 황수철 외. 2006. 「국내여건에 적합한 가축분뇨 바이오가스 생산 최적시스템 연구」.  
(사) 농정연구센터.
- 京都府. 2004. 「バイオマス等未活用エネルギー實證試験事業・同事業調査」.
- 近畿經濟産業局. 2002. 「バイオマスエネルギー活用促進に向けた調査」.
- 奈良縣. 2004. 「奈良縣木質バイオマス資源利用可能性調査」.
- 農林水産省. 2002. 「Biomass利活用事業導入模型 検討調査」.
- 大木佑一. 2003. 「木質Biomass-Energy利用の現状と今後の課題」. (財)日本Energy經濟研究所.
- 獨立行政法人森林總合研究所. 2002. 「木質系Biomass・Energyの利用技術及び供給可能量の評價に關する研究」.
- 北海道. 2002. 「木質バイオマス資源利用モデル調査報告書」.
- 三重縣. 2004. 「三重縣バイオマスエネルギー利用ビジョン」.
- 和泉村. 2003. 「木質系Biomassの供給可能量の調査評價」.
- APEC. 2006. “Biofuel Taskforce working paper.”
- Bolkesjo, Torjus Folsland, Tromborg, Erik and Solberg Birger. 2006. “Bioenergy from the forest sector: Economic potential and interactions with timber and forest products markets in Norway.” *Scandinavian Journal of Forest Research* 2006(21): 175-185.
- EC. 2000. Biomass: An Energy Resource for the European Union. Community research.
- EC. 2006a. Biofuels Barometer 2006. EurObserv'ER. <<http://ec.europa.eu>>.
- EC. 2006b. Biogas Barometer 2006. EurObserv'ER. <<http://ec.europa.eu>>.
- EC. 2006c. Solid Biomass Barometer 2006. EurObserv'ER. <<http://ec.europa.eu>>.
- EC. 2006d. State of Renewable Energies in Europe: 6th Report (EurObserv'ER, 2006).
- EIA(Energy Information Administration). 2005. *Annual Energy Review*.
- Eurostat yearbook 2006-2007. 2007. In the Spotlight-Energy. <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>>.
- IEA. World Energy Outlook 2006.

- KISTI. 2002. 『바이오매스』.
- North Dakota Department of Commerce. 2006. National Legislative History. <<http://goefuel.com>>.
- NREL(National Renewable Energy Laboratory). 2006. From Biomass to Biofuels. NREL/BR-510-39436.
- Oil World 2005.
- RFA(Renewable Fuels Association). Ethanol Industry Overview. <<http://www.ethanolrfa.org>>.
- Skog, Kenneth E., Howard N. Rosen. 1997. "United States wood biomass for energy and chemicals: Possible changes in supply, end uses, and environmental impacts." *Forest Products Journal* 47(2): 63-69.
- Steffens, R. Holzfeuerungsanlagen. VWF. 114S.
- USDA. 2004. Wood Biomass for Energy. Forest Products Laboratory TechLine.
- USDA. 2005. Production, Supply and Distribution Online.
- USDA. 2006. Brazil Bio-Fuels Annual 2006. USDA Foreign Agricultural Service, Globla Agriculture Information Network(GAIN) No. BR6008.
- USDA. 2006. Brazil Sugar Annual 2006. USDA Foreign Agricultural Service, Globla Agriculture Information Network(GAIN) No. BR6002.
- USDE(U. S. Department of Energy). 2003. Roadmap for Agriculture Biomass Feedstock Supply in the United States. Oak Ridge National Lab.
- USDE. 2006a. Biomass Energy Data Book ed1. Oak Ridge National Lab.
- USDE. 2006b. Annual Energy Review 2005. Energy Information Administration. DOE/EIA-0384.
- Vogt, Kristiina A., Michael G. Andreu, Daniel J. Vogt, Ragnhildur Singurdardottir, Robert L. Edmonds, Peter Schiess, Kevin Hodgson. 2005. "Societal Values and Economic Return Added for Forest Owners by Linking Forests to Bioenergy Production." *Journal of Forestry* 2005: 21-27.
- Worldwatch Institute. Biofuels for Transportation, 2006.
- Zerbe, John I. 2006. "Thermal Energy, Electricity, and Transportation Fuels from Wood." *Forest Products Journal* 56(1): 6-14.
- 국립농산물품질관리원. <[www.naqs.go.kr](http://www.naqs.go.kr)>.
- 농림부. <[www.maf.go.kr](http://www.maf.go.kr)>.

- 농산물유통공사. <[www.at.or.kr](http://www.at.or.kr)>.
- 매일경제. 2007. 3. 31. <[www.mk.co.kr](http://www.mk.co.kr)>.
- 바이오산업협회. <[www.bak.or.kr](http://www.bak.or.kr)>.
- 에너지관리공단. <[www.kemco.or.kr](http://www.kemco.or.kr)>.
- 한국무역협회. <[www.kita.net](http://www.kita.net)>.
- 해양수산전자민원창구. <[badasori.momaf.go.kr](http://badasori.momaf.go.kr)>.
- 환경부. <[www.me.go.kr](http://www.me.go.kr)>.
- ECO Solution. <[www.ecosol.co.kr](http://www.ecosol.co.kr)>.

연구보고 R545

농업부문 바이오매스의 이용활성화를  
위한 정책방향과 전략(2/2차연도)

---

등 록 제6-0007호(1979. 5. 25)

인 쇄 2007. 12.

발 행 2007. 12.

발행인 최정섭

발행처 한국농촌경제연구원

130-710 서울특별시 동대문구 회기동 4-102

전화 02-3299-4000 <http://www.krei.re.kr>

인쇄처 (주)문원사

전화 02-739-3911~5 <http://www.munwonsa@chol.com>

---

ISBN 978-89-6013-055-5 93520

- 이 책에 실린 내용은 출처를 명시하면 자유롭게 인용할 수 있습니다.  
무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.