2010년 경제·인문사회연구회 녹색성장 종합연구 총서

농업부문 에너지 수급전망과 청정에너지 농업시스템 구축(1/2차연도)

1. 녹색성장 종합연구 총서 시리즈

녹색성장 종합연구 총서 일련번호	연구기관 고유 일련번호	연구보고서명	연구기관
10-02-63-(1)	R614	농업부문 에너지 수급전망과 청정에너지 농업시스템 구축	한국농촌경제 연구원
10-02-63-(2)	R614-1	농업부문 에너지 수급 구조와 전망	한국농촌경제 연구원
10-02-63-(3)	R614-2	농업부문 에너지 이용 실태	한국농촌경제 연구원
10-02-63-(4)	R614-3	농업부문의 청정에너지 이용 실태와 과제	한국농촌경제 연구원

2. 참여연구진

연구기관		연구책임자	참여연구진
주관 연구 기관	한국농촌경제연구원	김연중 연구위원	박현태 선임연구위원 강창용 선임연구위원 박기환 연구위원 정은미 연구위원 김윤형 부연구위원 이웅연 연구원 박민지 인턴연구원
협력 연구 기관	서울대학교		김한호 교수

연구보고 R614 | 2010. 10.

농업부문 에너지 수급전망과
청정에너지 농업시스템 구축(1/2차연도)

김 연 중 연 구 위 원
박 현 태 선임연구위원
강 창 용 선임연구위원
박 기 환 연 구 위 원
정 은 미 연 구 위 원
김 윤 형 부연 구위 원
이 웅 연 연 구 원
박 민 지 인 턴 연 구 원

한국농촌경제연구원

연구 담당

김 연 중	연 구 위 원	전체 총괄, 제1세부과제 총괄
강 창 용	선임연구위원	제1세부과제
박 기 환	연 구 위 원	제1세부과제
김 윤 형	부 연 구 위 원	제1세부과제
정 은 미	연 구 위 원	제2세부과제 총괄
이 웅 연	연 구 원	제2세부과제
박 현 태	선임연구위원	제3세부과제 총괄
김 연 중	연 구 위 원	제3세부과제
박 민 지	인 턴 연 구 원	자료 수집 및 정리

머 리 말

최근 정부는 국가 에너지 비중을 석유류를 포함한 화석연료에서 청정에너지를 포함한 친환경에너지 분야로 전환하는 것을 골자로 한 '국가 에너지 기본계획'을 수립해 추진 중이다. 이는 농업분야까지를 총망라하는 것으로 농업분야에서도 청정에너지의 활용을 적극 추진해야 함을 의미한다.

농업부문의 에너지 사용량은 매년 증가하고 있고, 유가가 상승함에 따라 농업의 경쟁력은 악화되고 있다. 따라서 에너지 문제와 환경문제를 해결하기 위해 청정에너지의 개발과 활용이 적극 모색되어야 할 시점이다.

청정에너지는 환경을 오염시키지 않은 깨끗한 에너지로 자연친화적이고 재생가능하다. 또한 고갈의 위협에 직면해 있는 화석에너지를 대체할 수 있다는 점에서 주목받고 있다. 청정에너지가 확대 보급될 경우 고유가에 의한 경영비 압박을 해소하고, 자원을 재활용할 수 있다는 측면에서 높은 관심을 갖게 된다.

이 연구는 화석에너지 의존적인 현재의 영농시스템을 보완할 수 있는 청정에너지 농업시스템에 대한 방향과 전략을 강구하기 위해 2010년부터 2011년까지 수행할 계획이다. 1년차에는 국내 농업부문의 에너지 수급문제를 조망해 보고 영농활동에서의 에너지 이용과 청정에너지 이용실태 분석을 등을 통해 문제점을 발굴하고 개선과제를 도출하였다. 또한 청정에너지 이용 선진국들의 정책 등을 소개하였다. 2년차에는 주요국의 청정에너지 농업시스템에 대한 사례와 우리 여건에서의 청정에너지 농업시스템 및 시스템 구축을 위한 방향과 전략을 제시할 예정이다.

이 연구결과가 농업부문의 에너지 이용시스템을 규명하고 이를 바탕으로 농업용 에너지를 효율적으로 이용하기 위한 정책개발에 활용되기를 기대한다. 연구진행에 많은 도움을 주신 국내외 에너지 전문가, 조사에 협조해 주신 관련 전문가들께 감사드린다.

2010. 10.

한국농촌경제연구원장 오 세 익

요 약

농업부문의 에너지 사용량은 매년 증가하고 있고, 유가가 상승함에 따라 농업의 경쟁력은 악화되고 있다. 따라서 에너지 문제와 환경문제를 해결하기 위해 청정에너지의 개발과 활용을 적극 모색해야 할 시점이다.

우리나라는 경제발전과 국내외 경제여건의 변화에 따라 에너지 소비 구조 및 에너지원별 소비량이 크게 변화하고 있다. 세계 OECD 국가의 에너지 소비량은 미국이 가장 많고, 일본, 독일 등의 순이며, 우리나라는 OECD 국가의 에너지 소비량의 4.2% 수준을 차지하고 있다.

농업부문은 국가 에너지 소비량의 1.8%에 불과하지만, 농산물 생산비에서 에너지가 차지하는 비중은 매우 높다. 특히, 시설원예 확대, 기계화 진전 등으로 에너지 투입이 증가하고 있어 농업부문 에너지의 효율적 관리의 필요성과 정책적 관심이 고조되고 있다.

농업부문의 경우 에너지원별 소비량은 석유가 73%로 크게 높으며, 전기 19%, 석탄 8%, 천연가스 0.3% 등의 순으로 타 산업에 비해 석유류 소비가 주를 이루고 있다. 그러나 농업부문의 신재생에너지의 소비는 거의 없는 상태로 신재생에너지 보급은 아직 미미한 수준이다.

농업부문 에너지의 효율적 관리 방안 마련을 위해 산업연관분석을 이용하여 농업부문의 에너지 투입 구조를 파악했다. 결과, 경종부문에서 에너지 소비가 크게 증가하였다. 경종부문은 주로 채소와 화훼가 주이며, 채소의 경우 연평균 9% 이상 소비규모가 증가하였으며, 화훼도 연평균 11% 이상으로 소비규모가 증가하였다. 이들 부문은 주로 시설재배가 보편화되고 있어 농업부문에서는 대표적인 에너지 소비부문으로 분류되고 있는 분야들로 최근 소득수준 향상과 함께 도시근교에서 재배면적이 확대되고 있는 것에 기인한다.

농가의 에너지 이용실태를 파악한 결과 농가에서 이용하는 에너지는 석유류와 전기에 의존 비중이 높았다. 특히 과채류는 가온을 위해 석유류 사용이 95%이며 전기에 의존하는 비중은 5% 내외로 낮았다. 반면, 경종과

과수는 농기계를 이용할 때, 석유류를 주로 이용하고 보관 및 건조 등은 전기를 이용하고 있다. 작목별로 비교하면, 토마토 농가의 연간 경유 사용량은 벼 재배 농가의 7배, 과수 농가의 28배에 이르고, 시설원예의 겨울철 재배 시 가온에 필요한 에너지의 95%를 석유류에서 얻고 있다.

현재 이용가능한 모든 에너지원 중 농가가 선호하는 것은 석유류와 전기인 반면, 지열, 태양열, 풍력 등 신재생에너지에 대한 선호는 낮았다. 농가도 유가상승에 대비하기 위해 노력하지만 신재생에너지의 상용화가 우선되어야 선호 및 이용이 가능할 것이다.

한편, 시설원예 농가의 향후 도입의향이 큰 에너지 절감시설은 다겹보온커튼과 수평형 지열히트펌프이다. 열효율이 높은 시설로 교체는 어느 농가나 원하지만 초기비용 부담이 문제이다. 농업용 에너지 정책에서 중소농가에 대한 대책은 설치비용이 저렴한 에너지 절감시설 보급에 초점을 맞추어야 한다.

현재 신재생에너지 중에서 농업부문에서 이용 가능성이 큰 에너지원으로는 지열과 바이오매스에너지이다. 지열을 이용한 히트펌프시스템과 목재펠릿 등이 있다. 이러한 신재생에너지를 난방에 이용할 경우 연료비 절감과 생산성 증대 등의 직접적인 효과와 CO_2 배출이 감소하는 간접효과를 누릴 수 있다.

1ha의 온실에서 지열히트펌프와 경유보일러를 이용했을 때 난방비 비교를 통해 경제성을 검토하였다. 유가가 배럴당 70달러일 때 지열히트펌프와 경유난방비의 운영비를 비교해 보면, 경유난방 시 지열히트펌프를 이용하는 것보다 3.7배 높다. 지열히트펌프를 이용하면 경영비 절감액이 1년 동안 1억 2,000만 원에 이른다. 또한 1ha 온실에서 파프리카를 재배할 경우 경유보일러에서의 소득은 9,887.5만 원이었으나 지열히트펌프를 이용했을 때는 생산량 증가로 인해 2억 2,614.3만 원을 달성하였다. 지열히트펌프 사용이 경유보일러 이용 시보다 1억 2,726.8만 원의 추가소득을 가져왔다. 그 외에 경유 보일러 사용 시 발생하는 탄소배출량은 $516TCO_2$인데, 지열히트펌프의 경우는 $52TCO_2$로 이산화탄소가 $464.4TCO_2$ 절감된다. 절감된 이산화탄소를 국제거래가격(21달러)을 적용하면 간접효과는 1,228.8만 원에 이

른다.

한편, 유가가 배럴당 70달러일 때 목재펠릿보일러와 경유보일러의 운영비를 비교해 보면, 목재펠릿보일러를 사용하는 경우가 경유보일러를 사용할 때보다 비용이 많아 비경제적이다. 그러나 유가가 100달러일 경우는 경유보일러 운영비용이 목재펠릿보다 1.3배, 120달러일 경우는 1.5배 많아 유가가 100달러 이상일 경우는 목재펠릿보일러 사용이 더 경제적이다.

이와 같이 지열히트펌프나 목재펠릿을 이용한 난방이 궁극적으로는 더 경제적임에도 불구하고 보급이 부진한 이유는 몇 가지 문제가 있기 때문으로 보인다.

지열히트펌프를 1ha 온실에 설치하기 위해서는 정부가 설치비의 80%를 보조하더라도 농가가 2억 1,000만 원을 부담해야 하기 때문에 쉽게 투자하기 어렵다. 그 외에도 지열히트펌프 시스템에 대한 농가의 이해 부족, 시설 설치를 위한 부지확보 문제, 설계·시공업체의 기술수준 저위 문제 등이 있다.

목재펠릿의 경우는 현행 면세유나 농사용 전기요금이 펠릿보다 저렴하고 사용이 편리하다고 생각하는 농가가 많아 보급이 저조한 것으로 보인다. 그 외에도 펠릿 구입의 불편성, 보관 장소 확보 문제, 구입 단가 문제 등이 지적되고 있다.

지열에너지나 목질바이오매스 등 청정에너지원이 농업부문에서 널리 활용되기 위해서는 우선 이들 에너지에 대한 이용확대 기반이 구축되어야 할 것이다. 특히 신재생에너지 이용시설 설치에 대한 정부지원이 강구되어야 하고 신재생에너지 이용을 장려하기 위한 인센티브제가 도입되어야 한다. 또한 농업부문에서 활용 가능한 청정에너지 이용시설의 공급가격을 낮출 수 있도록 지속적인 기술개발과 전문 시공업체의 육성도 필요하다.

미국, 일본, 유럽 등 선진국들은 지구 온난화 대응방안으로 화석 연료 사용량을 감소시키는 동시에 청정에너지 보급과 에너지 효율성 제고를 위해 노력하고 있다.

미국은 「Waxman-Markey」 법안을 통해 온실가스 감축을 위한 국가적 목표를 2005년 수준 대비 2020년까지 17%, 2050년까지 80% 이상 삭감하

는 것을 목표로 하고 있다.

일본은「지구 온난화 방지 기본 법안」이 2010년 3월에 통과되어 2020년을 목표로 온실가스를 1990년 대비 25%까지 줄일 계획이며 재생가능에너지의 1차 에너지에서 차지하는 비율을 2020년까지 10%로 설정하였다. 유럽은 2020년까지 재생에너지 사용 비율을 20%까지 끌어올리고 이와 동시에 온실가스 발생을 20% 절감시키며 에너지 효율을 20% 끌어올리는「Renewable Energy Target for Europe 2020」계획을 실행 중이다.

이러한 정책들을 바탕으로 미국 농업은 풍력, 태양열, 녹조 및 바이오 에탄올 생산을 이용해 청정에너지 보급에 노력하고 있다. 일본의 경우 2010년까지 300개 지역에 바이오매스타운을 정비할 계획을 세우고 있으며, 경작 면적 축소 정책의 일환으로 홋카이도와 니가타에서 쌀을 원료로 하는 에탄올 생산을 시도하고 있다.

유럽은 바이오디젤의 최대 생산국으로 최근 목재펠릿과 같은 산림에서 공급되는 바이오에너지와 가축 분뇨를 이용한 바이오가스 생산에도 노력하고 있다. 특히 유럽은 기존 천연 가스망을 이용한 바이오가스 보급을 위해 많은 투자를 하고 있다.

이러한 선진국들의 청청 에너지 사용은 온실가스 감축은 물론 농촌 지역의 고용 창출 및 에너지 비용 절감, 에너지 독립 및 안보 강화, 소비자 보호 등의 효과를 가져 올 것으로 예상하고 있다. 선진국 사례에서 살펴 본 바와 같이 우리나라도 재생에너지 사용을 장려하고, 에너지 효율성을 제고함으로써 화석 연료 사용량을 감소시키는 방안을 조속히 마련해야 한다. 이를 위해 국내외에서 사용 가능한 청정에너지원 발굴과 인프라 구축에 국가 차원의 투자 및 지원이 필요하다.

ABSTRACT

Prospect of Demand and Supply of Energy in the Agricultural Sector and Strategies for Introducing Clean Energy Farming System

Energy consumption in the agriculture sector increases annually and, depending on increasing oil price, the competitiveness of agriculture is threatened. Accordingly, it is time to positively search for the development and utilization of clean energy to solve energy and environmental problems.

The agriculture sector continues to use 1.8% of national energy consumption, but the cost of energy in agricultural production is very high. In particular, energy inputs such as expansion of horticulture facilities and mechanization processes are increasing, raising the necessity of and policy interest in the efficient management of energy in the agriculture sector.

In the agricultural sector, regarding consumption by energy sources, oil occupies 73%, electricity 19%, and natural gas 0.3%; however, the consumption of new renewal energy in the agriculture sector is almost nothing, and the distribution of new renewal energy is still at an insufficient level. To prepare an efficient management plan for agricultural energy, an input-output analysis was conducted to understand the energy input structure of the agricultural sector. It was found that energy consumption has largely increased in the farming sector. The farming sector comprises mainly vegetables and flowering plants, with annual consumption of vegetables increasing by 9% and that of flowering plants more than 11%.

Among all currently usable energy sources, farmers prefer mainly oil and electricity, and preference for new renewable energy sources such as terrestrial heat, solar heat, and wind was low. The facilities with big energy reduction that will be preferred by greenhouse growers in the future are multilayered heat-keeping curtains and vertical heat terrestrial heat

pumps. Every farmer wants to upgrade to a highly efficiency facility, but the problem is cost.

At present, the major applicable energy sources in the agriculture sector among new renewable energy sources are terrestrial heat and biomass energy. Heat pump systems and wood-pellet stoves also use terrestrial heat. Use of new renewable energy sources for heating has direct effects such as reduction of fuel expenses and increased productivity and indirect effects such as reduction of CO_2 discharge.

To achieve wide application of clean energy sources such as terrestrial energy or wood-pellet biomass in the agriculture sector, the basis expansion of these energies should first be implemented. In particular, support for facility installation of the new renewable energy source should be planned, and an incentive system to encourage its use should be introduced. In addition, consistent technology development and collaboration with professional construction companies so as to reduce supply prices of clean energy facilities applicable to the agriculture sector are required.

As a countermeasure to global warming, advanced countries such as the United States, Japan, and Europe put their efforts into reducing fossil fuel consumption and raising energy efficiency as well as into distribution of clean energy.

With a national goal of reducing greenhouse gases in the U.S., the Waxman-Markey bill established a goal of curtailing them 17% by 2020 and 80% by 2050 compared with the 2005 level.
In the case of Japan, the Basic Bill for Global Warming Prevention was passed in March 2010, and greenhouse gases are planned to be reduced 25% by 2020 compared with 1990. Europe is in the process of implementing the plan outlined in “Renewable Energy Target for Europe 2020” to increase consumption of renewable energy by 2020 while simultaneously reducing 20% of greenhouse gas generation.

Based on these policies, American agriculture is trying to distribute clean energy by using wind force, solar energy, and bio-ethanol production. Japan is planning to maintain biomass towns in 300 regions by 2010. Europe is putting its efforts into producing bioenergy such as wood pellets supplied from forests and biogas using livestock manure.

The use of clean energy by these advanced countries is expected to bring about not only a reduction in greenhouse gases but also increased employment opportunities in agricultural regions and reduced energy costs, energy independence, security reinforcement, and consumer protection. As reviewed in the cases of advanced countries, our country should also encourage the use of renewable energy and raise energy efficiency in preparation for a plan to reduce the consumption of fossil energy; for this, the development and infrastructure implementation of clean energy usable in our country and overseas countries should be sponsored and supported at the level of the nation.

Researchers: Yean-Jung Kim, Ki-Hwan Park, Chang-Yong Kang,
Yun-Hyung Kim, Eun-Mee Jeong, Woong-Yeon Lee,
Hyun-Tae Park, Min-Ji Park
E-mail address: yjkim@krei.re.kr

차 례

제1장 서론

1. 연구의 필요성 ········· 1
2. 연구 목적 ········· 2
3. 선행 연구 검토 ········· 3
4. 연구범위 및 방법 ········· 11
5. 보고서 구성 ········· 13

제2장 농업부문 에너지 수급 구조와 전망

1. 국내외 에너지 이용실태 ········· 15
2. 우리나라 에너지 정책의 변천 ········· 18
3. 농업부문 에너지 투입구조의 변화 ········· 22
4. 청정에너지 수급 실태와 전망 ········· 40

제3장 농업부문 에너지 이용 실태

1. 농가의 에너지 이용 실태 ········· 51
2. 시설원예의 에너지 절감시설 이용실태와 과제 ········· 73
3. 에너지 절감시설 보급의 과제 ········· 88

제4장 농업부문의 청정에너지 이용실태와 과제

1. 농업부문에서 이용 가능성 청정에너지원과 보급정책 ········· 94
2. 청정에너지의 농업부문 이용에 따른 경제성 ········· 103
3. 농업부문 청정에너지 이용상의 문제 ········· 111
4. 청정에너지의 농업부문 활용 전망과 과제 ········· 115

제5장 주요국 농업부문 청정에너지 이용실태와 시사점

1. 청정에너지 이용 실태 ······ 125
2. 청정에너지 목표 및 주요 정책 ······ 130
3. 청정에너지의 사회적 효과 ······ 135
4. 시사점 ······ 137

제6장 요약 및 결론

1. 요약 ······ 143
2. 결론 ······ 150

참고 문헌 ······ 161

표 차례

제1장

표 1- 1. 시설원예 에너지 효율성을 높이는 방법 ······ 7
표 1- 2. 에너지 소비 및 절감시설 실태 조사 농가 수 ······ 12
표 1- 3. 외부원고 위탁제목 및 내용 ······ 12

제2장

표 2- 1. 세계 주요국의 1차 에너지 소비량 ······ 16
표 2- 2. 주요 국가의 신재생에너지원별 소비 비중(2008년) ······ 16
표 2- 3. 국내 1차 에너지 소비량 중 신재생에너지 비중 ······ 17
표 2- 4. 농업 내 부문별 총에너지 투입추이 ······ 24
표 2- 5. 최종 에너지원별 비중 추이 ······ 25
표 2- 6. 농업관련 산업의 에너지 소비추이 ······ 27
표 2- 7. 농업관련 산업 총에너지원별 투입 추이 ······ 28
표 2- 8. 농업 내 부문별 에너지 원단위 ······ 30
표 2- 9. 농업 내 부문별 에너지 투입계수 ······ 31
표 2-10. 시설채소·화훼 에너지소비 10% 절감 시 에너지원별 절감량 ······ 33
표 2-11. 주요 농축산물 소비전망치 ······ 35
표 2-12. 벼(쌀)의 에너지 소비(유발)량 예측결과 ······ 36
표 2-13. 콩 및 감자의 에너지 소비(유발)량 예측결과 ······ 37
표 2-14. 낙농(원유) 및 육우(쇠고기) 에너지 소비(유발)량 예측결과 ······ 38
표 2-15. 양돈(돼지고기) 및 가금(닭고기)의 에너지 소비(유발)량 예측결과 ······ 39
표 2-16. 각국의 신재생에너지의 분류와 대상범위 비교 ······ 41

표 2-17. 신재생에너지원별 특징 ······ 42
표 2-18. 국내 신재생에너지원별 보급실태 ······ 45
표 2-19. 신재생에너지의 산업별 이용 현황 ······ 46
표 2-20. 신재생에너지 보급 잠재량 ······ 47
표 2-21. 신재생에너지원별 공급 목표 ······ 48

제3장

표 3- 1. 조사 농가 수 및 조사 내용 ······ 51
표 3- 2. 벼 농가의 경영주 연령 및 재배면적 규모별 응답수 ······ 52
표 3- 3. 벼 농가의 농작업 위탁(+, -) 여부 ······ 53
표 3- 4. 벼 농가의 경영주 연령별 평균 경영면적 ······ 53
표 3- 5. 벼 농가의 재배면적규모별 평균 경영면적 ······ 54
표 3- 6. 벼 농가의 연평균 석유 및 전기(단위면적당) 사용량 ······ 55
표 3- 7. 벼 농가의 에너지 사용 용도 ······ 56
표 3- 8. 과채 농가의 재배면적 규모별 응답수 ······ 57
표 3- 9. 과채 농가의 작기별 재배품목 ······ 57
표 3-10. 토마토 농가의 작형별 응답수와 경영규모 ······ 58
표 3-11. 오이 농가의 작형별 응답수와 경영규모 ······ 58
표 3-12. 토마토 농가의 작형별 석유류 사용량 ······ 59
표 3-13. 오이 농가의 작형별 석유류 사용량 ······ 59
표 3-14. 토마토 농가의 재배면적 규모별 에너지 사용량 ······ 60
표 3-15. 오이 농가의 재배면적 규모별 에너지 사용 ······ 61
표 3-16. 토마토 농가의 에너지 사용 용도 ······ 62
표 3-17. 오이 농가의 에너지 사용 용도 ······ 62
표 3-18. 과일 농가의 재배면적별 응답수와 평균 경영규모 ······ 63
표 3-19. 과일 농가의 재배면적별 저온창고의 면적 및 저장가능량 ······ 64
표 3-20. 과일 농가의 농기계 종류별 보유율 ······ 64
표 3-21. 과일 농가의 과원 관리 시설 보유 유무 ······ 64

표 3-22. 과수 농가의 에너지 사용량 ··· 65
표 3-23. 과수 농가의 에너지 사용 용도 ··· 66
표 3-24. 농가의 농업용 에너지 사용 용도 ··· 66
표 3-25. 전기 이용의 문제점 ··· 68
표 3-26. 경유 이용의 문제점 ··· 69
표 3-27. 농가의 신재생에너지 인지 여부 ··· 72
표 3-28. 농가의 신재생에너지 이용 의향 ··· 72
표 3-29. 시설재배의 가온방법 ··· 73
표 3-30. 시설재배의 보온재 이용현황 ··· 74
표 3-31. 시설원예 농가의 가온 방식 및 보온재 시설 ··· 75
표 3-32. 시설원예 농가의 시설하우스 외형 겹수 ··· 76
표 3-33. 시설 난방용 에너지원 ··· 77
표 3-34. 에너지 절감을 위해 노력하는 사항 ··· 78
표 3-35. 에너지 절감 시설 이용과 도입 의향 ··· 78
표 3-36. 연동하우스 수평예인 권취식 다겹보온커튼의 경제성 분석 ··· 80
표 3-37. 배기열 회수기 사용 전후 유류 사용량 비교 ··· 84
표 3-38. 탄소발열체 난방기와 경유 난방기의 에너지 사용량 비교 ··· 85
표 3-39. 정부의 에너지 정책에 대한 필요 정도 ··· 89

제4장

표 4- 1. 지열 보급 전망 ··· 97
표 4- 2. 가축분뇨 처리를 위한 바이오가스 플랜트 설치 사례 ··· 102
표 4- 3. 지열히트펌프와 경유난방기 경제성 비교 ··· 104
표 4- 4. 지열히트펌프 보급효과 ··· 105
표 4- 5. 파프리카농가의 지역별, 난방 방법별 경영성과 비교 ··· 107
표 4- 6. 목재펠릿보일러와 경유난방기 경제성 비교 ··· 109
표 4- 7. 목재펠릿과 경유스팀보일러의 사례비교 ··· 111
표 4- 8. 지열에너지 공급 잠재량 ··· 112

표 4- 9. 농가의 지열에너지 보급 확대 저조요인 ···························· 113
표 4-10. 목재펠릿에 대한 농가의 의향 ·· 114
표 4-11. 신재생에너지의 경제성 확보 기술개발 전망 ····················· 118
표 4-12. 시설농가의 신재생에너지 난방에 대한 인식 정도 ········· 119
표 4-13. 지열에너지 보급 확대 관련 농가의 요구 사항 ················ 119
표 4-14. 목재펠릿 보급 확대 관련 농가의 의견 ····························· 120

제5장

표 5- 1. 주요국의 청정에너지 농업부분 이용 실태 및 정책 ········ 142

그림 차례

제1장

그림 1- 1. 연차별 연구목적 ··· 3
그림 1- 2. 청정에너지 농업의 의미 ··· 5
그림 1- 3. 보고서 구성 ··· 14

제2장

그림 2- 1. 산업별, 에너지원별 소비량 구성(2008년) ··· 18
그림 2- 2. 에너지 산업연관표의 기본구조 ··· 23
그림 2- 3. 신재생에너지 분류 및 이용실태(2008년) ··· 45

제3장

그림 3- 1. 농가의 석유류 사용량 ··· 67
그림 3- 2. 농가의 선호 에너지원 ··· 71

제4장

그림 4- 1. 중·저온 지열에너지의 직접 이용 시스템 ··· 94
그림 4- 2. 지열히트펌프의 종류 ··· 95
그림 4- 3. 온도차에너지의 이용개념 ··· 96
그림 4- 4. 목재 연료별 특징 ··· 98
그림 4- 5. 축산바이오매스의 자원화 형태 ··· 100
그림 4- 6. 지열히트펌프 보급에 의한 경영성과(경남지역 사례) ·· 108
그림 4- 7. 농림어업부문에서 신재생에너지의 위치 ··· 116
그림 4- 8. 가축분뇨의 자원화 시스템 모형도 ··· 117

제6장

그림 6- 1. 지역 단위의 에너지 자립형 형태 ··· 152

서　　론

1. 연구의 필요성

우리나라 농업은 에너지 의존성이 강하다. 농림어업 분야의 에너지 소비량은 1981년 75만 8,000toe[1]에서 2008년 286만 toe로 3.8배 증가하였으며, 면세유 기준 농업용 유류 사용량은 1990년 64만 9,399톤에서 2008년에 197만 5,412톤으로 3배 이상 증가하였다.

농업소득 향상을 위해서는 경영비 절감방안이 무엇보다 필요하다. 국제적으로 화석연료의 고갈 가능성과 국제유가 전망이 불투명한 상황에서[2] 화석 연료 의존도를 낮추거나 효율성을 높여 경영비를 절감시킬 필요가 있다.

지구온난화로 인한 기후변화에 대한 국제적인 대응노력으로 탄소 배출량을 삭감해야 하는 상황이 도래하고 있다. 탄소 배출량의 감축은 농업부문에서도 에너지 소비 절감 압박으로 이어지고, 이는 농업생산성 증가에 제약요인이 되고 있다. 아울러 탄소세와 탄소배출권거래제도가 도입되면 농업은 또 다른 양상의 문제에 봉착할 것이다[3].

---

1 toe는 Ton of Oil Equivalent의 약자인 에너지 단위로 원유 1톤이 가지고 있는 열량임. 10^7Kcal 혹은 전기 4,000KWh에 해당.

2 IEA(Internatinal Energy Agency)는 배럴당 국제원유가격(2007년 실질가격 기준)이 2015년 100달러, 2020년 110달러, 2025년 116달러가 될 것으로 전망(IEA, 2008).

3 김창길 외(2007)의 연구에 따르면 교토의정서 이행에 따라 2013년부터 탄소배

농업부문에서 에너지 의존성이 큰 분야는 원예분야이다. 특히 고온성 작물의 경우 최근 몇 년 사이에 에너지 사용비중이 크게 증가하고 있어 에너지 절감이 요구된다. 최근 에너지 절감을 위해 에너지 절감시설과 화석연료를 대체할 수 있는 신재생에너지가 개발·보급되고 있으나 보급의 정도가 미미한 수준이다. 따라서 보급이 원활하게 진행되지 못하는 원인을 규명하여 보급·확대 방안을 모색할 필요가 있다.

또한 농가의 에너지 비용절감과 지구 온난화에 대한 탄소배출량 감축을 위해서는 농업부문에서 에너지 이용의 효율성을 높일 수 있는 에너지 절감시설과 화석연료를 대체할 수 있는 신재생에너지 이용을 늘리는 등 농업부문의 에너지 이용 구조의 재검토도 필요하다[4].

2. 연구 목적

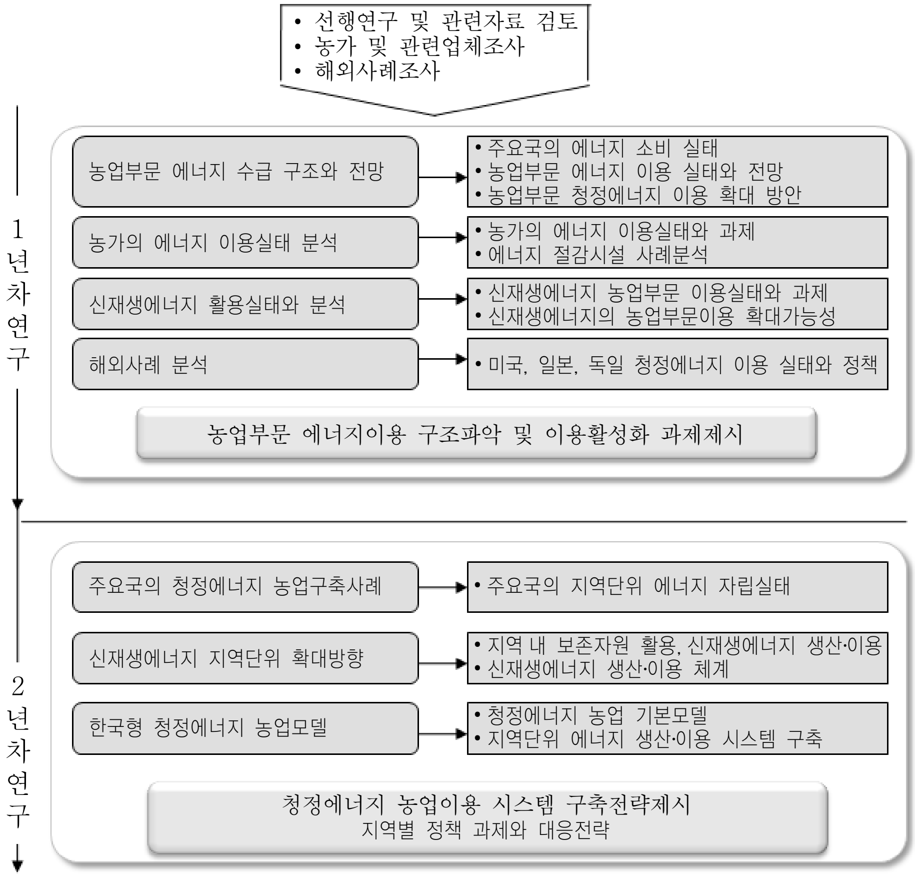
이 연구의 1차년도 목적은 에너지 수급 실태와 전망, 농가의 에너지 이용실태 파악, 화석연료를 대체할 수 있는 청정에너지 이용과 관련된 실태와 문제점 등을 제시하고, 선진국의 에너지 이용실태를 통해 시사점을 도출하는 것이다.

2차년도는 1년차 과제에서 수행한 에너지 이용실태분석 결과와 외국의 에너지 자립실태 사례를 벤치마킹하여 우리 농업부문에 청정에너지 이용 확대 방향을 설정하는 것이다. 나아가 이를 달성하기 위한 세부 전략을 수립하여 청정에너지를 농업부문에 확대 이용될 수 있는 시스템을 개발하고자 한다.

출권 제도가 도입될 경우 경종·축산 부문의 순수입 감소액이 2015년 6,670억 원에서 2025년 1조 9,511억 원으로 증가할 것임. 또한 30%의 탄소세가 도입되면 경영비가 1.8~18.9% 상승하는 것으로 분석되었음.

4 지구온난화에 대응뿐만 아니라 인류가 이용할 수 있는 화석연료가 40~70년 이내에 고갈될 것이란 사실(박영숙 외, 2008)에 대비하기 위해서도 앞으로 농업생산의 화석연료 의존성을 낮춰야 함.

그림 1-1. 연차별 연구목적



3. 선행 연구 검토

3.1. 청정에너지 농업과 관련 개념

국제사회에서 지속가능한 발전과 에너지를 접목시키려는 시도는 2000년 이후부터 가시화되었다. 2001년 UN의 ‘지속가능발전위원회’(U.N. Commission

on Sustainable Development: UNCSD)는 제9차 지속가능발전위원회 총회에서 '지속가능한 발전을 위한 에너지 합의문'을 채택하였고, 이를 바탕으로 2002년 '지속가능발전에 관한 세계 정상회의'(World Summit on Sustainable Development: WSSD)에서 에너지 부문에 대한 전략이 논의되었다.

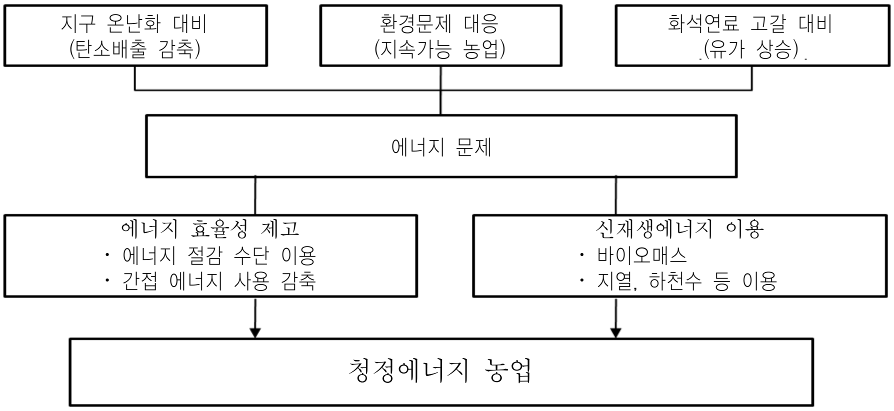
미국 농무성이 지원하는 SARE의 정의에 따르면 지속가능한 농업(sustainable agriculture)은 ①농가소득을 높이고, ②토질 향상, 연료와 합성비료 및 농약 등 비재생 자원에 대한 의존성을 낮추며, 야생, 수질 등에 대한 부정적인 영향의 최소화 등을 통해 환경 관리를 촉진하고, ③농가의 생활을 향상시키는 것이라 정의하고 있다.

Pablo and Burguillio(2007)는 재생가능에너지가 지역의 지속가능한 발전에 기여할 수 있는 사회경제적 효과로 고용 효과, 수입 효과, 인구유입효과, 에너지 자립, 교육적 효과, 생산활동의 다양화, 사회적 결속력 증대와 인적자원 개발, 수입분배효과, 관광효과 등을 꼽았다.

심성희(2009)는「에너지 부문의 기후변화대응과 연계한 녹색성장 전략 연구」에서 지속가능발전의 개념과 녹색산업의 개념을 검토하고, 지역별 녹색산업화 잠재력과 녹색산업화 추진현황, 클러스터 조성을 통한 성장동력화 방안을 제시하였다. 이로서 녹색기술을 통해 녹색산업을 성장동력화하고 기존의 화석에너지 의존도를 줄여 기후변화대응 역량을 키워나가는 데 있다고 보고 있다. 특히 녹색산업을 통해 기존의 화석에너지에 대한 국내산업의 의존도를 낮추어 우리나라가 직면한 화석에너지 자원에 대한 제약조건을 완화시켜 성장역량을 높일 수 있다고 보고 있다.

이상의 선행연구를 통해 볼 때 청정에너지농업은 지속가능한 농업 또는 친환경농업보다는 하위개념으로서 지속가능한 농업, 환경농업, 녹색성장을 위한 수단 중의 한 측면으로서 에너지 이용을 강조하는 개념이다. 이를 통해 친환경농업과 지속가능 농업이 실현될 수 있을 것이다.

그림 1-2. 청정에너지 농업의 의미



3.2. 에너지 수급 분석

산업자원부(2008)의 에너지총조사보고서에서는 에너지원별 소비구조, 산업별 업종별 소비구조, 농림어업의 에너지 소비구조 등을 제시하고 있다. 동 보고서에 따르면 2007년 농림업 에너지는 농업기계용 52.7%, 수송용 6.3%, 건물/사무실 10.8%, 온실/축사용 30.9%로 구성되어 있다.

김충실(1980)은 “농업용 에너지 소비구조의 변화”에서 산업연관표를 이용하여 에너지 종류별 농업용 에너지 소비실적을 파악하고, 에너지 투입계수를 통해 에너지원별 농업용 에너지 투입 변화를 분석하였다.

김정부 외(1981)는 「농촌의 에너지 수급에 관한 연구」에서 산업연관표를 이용하여 농업용 에너지의 소비구조, 집약도, 열효율 등을 계산하였다. 1975년 당시 농업생산의 에너지 원별 구성은 석탄(40.8%), 석유(17.8%), 연탄(39.7%), 전기(1.7%)순이었다. 농업용 에너지 집약도는 에너지원단위 및 강도를 이용하여 파악하였다. 이어서 40개 마을 400호 농가를 대상으로 1년간에 걸쳐 에너지 이용실태를 조사하였다. 볏짚 등 농산부산물과 임산연료 등의 공급가능성을 분석하였다.

김충실(1981)은 “농업생산의 에너지 집약도 분석”에서 산업연관표를 이용하여 비료와 농약 생산의 직접·간접에너지를 계산하고, 농업부문별로 생산의 직접·간접에너지 투입 구조를 분석하였다. 또한 에너지 원단위와 강도개념을 이용하여 주요 부문별 에너지 이용의 집약도를 분석하였다.

강창용 외(2001)는 「농업용 전기 및 유류의 이용·관리제도 개선방안」 연구에서 농업용 에너지 소비의 변화를 「에너지총조사보고서」를 이용하여 농업부문별·에너지원별로 살펴보고, 농업용 면세류와 전기의 공급·이용과 문제점을 파악하고, 개선방안을 제시한 바 있다.

서세욱(2009)은 “농업부문 에너지 소비현황과 대응방안”에서 에너지경제연구원의 「에너지총조사보고서」를 이용하여 농림업 용도별·에너지원별·업종별로 에너지 소비실태를 제시한 바 있다. 앞서 강창용 외(2001)의 경우처럼 농업부문 에너지 수급을 에너지의 집약도 개념을 이용하여 농업 부문 에너지 수급 실태를 심층적으로 분석하지는 못했다.

검토한 선행연구 중 농업 부문 에너지 수급을 체계적으로 전망한 연구는 찾아보기 어려운 실정이다. 이 연구에서도 농업부문에 에너지 공급실태와 최종수요자인 농가의 에너지 수요실태를 파악하고 중장기적으로 품목의 전망을 통해 농가의 에너지 수요를 전망하고자 한다.

3.3. 에너지 효율성 제고

농진청(2008)은 실용적 농업 에너지 절감기술 10선 등을 비롯하여 최근 에너지 절감 효과가 크고 실용적인 기술을 선별하여 제시하고 있다.

정인환·고순철(2004)은 우리나라 농업부문의 비효율성 반환경성 문제를 제기하며 그 대안으로 재생가능한 에너지원과 적용 가능한 에너지의 수요관리기법을 소개하고 농업에너지 제도의 개선과 정책대안을 제시하였다.

김현태(2008)는 농업분야 에너지 소비 현황, 신재생에너지 개발현황과 국가 지원계획을 분석하고 에너지 절약형 농업 생산기반 조성 방안에 대해 검토하였다.

山家公雄(2008)는 「일본형 바이오에탄올」에서 바이오연료를 둘러싼 환경, 에너지, 식량 측면에서의 논점을 정리하고 세계 바이오연료 생산 현황과 일본의 바이오연료 생산이 지역농업에 기여하는 사례를 소개하고 있다. 일본 입장에서 바이오연료가 에너지나 환경분야 등을 포함하지만 본질적으로는 식량자급문제, 농업·농촌문제라는 관점에서 접근하고 있다.

표 1-1. 시설원예 에너지 효율성을 높이는 방법

종류		시설 또는 방법
<Ⅰ> 열효율이 높은시설	가온시설 장비	- 무한궤도 연소식 석탄온풍난방기 - 열매체 전기온풍난방기 - 온실 냉난방 겸용 지열히트펌프 시스템 - 수막재배시설
	보온시설 시스템	- 수평예인 다겹 보온커튼시설 - 중앙권취식 보온터널 자동개폐장치 - 일사감응 변온 및 경보시스템 - 온풍난방기 배기열 회수장치 및 지중난방시스템 - 시설원예용 자동제습장치 - 지층난방시설 - 전기발열체나 온수파이프를 이용한 축열 물주머니 활용
	난방효율 증진	- 온풍난방기 청소에 의한 난방비 절감 - 온풍난방기용 이중닥트
<Ⅱ> 효율이 좋은 난방연료 선택		- 지역, 작목, 작형, 재배규모에 따라 유효발열량당 가격, 난방기 설치비용, 난방기 사용 편리성, 연간 연료사용량을 고려함
<Ⅲ> 지역특성에 맞는 에너지 절감을 위한 절감시설 및 작목		- 시설의 설치 방향: 단동은 동서, 연동은 남북으로 함 - 외부피복자재는 햇빛 투과율이 높은 필름을 사용함 - 방적성이 우수한 피복자재를 사용함 - 지역에 알맞은 작목을 선정함 - 작물별 적온 및 변온 관리하여 난방비를 줄임 - 지역실정을 고려하여 재배 작형을 조절함 - 시설 틈새에서 빠져나가는 환기 전열을 최소화함 - 가온에 필요한 난방공간을 최소화함 - 북쪽 내부 벽면에 반사필름을 설치함

바이오연료 생산이 농업정책(보조금, 농산물 가격 하락 등)과 관계가 있는 EU, 미국, 브라질의 사례를 소개하고 일본의 바이오에탄올 생산과 관련한 정책동향과 활동, 각 사업주체의 입장을 정리하여 바이오연료 사업의 성격을 파악하였다.

3.4. 신재생에너지

황문성 외(2008)에 따르면 신재생에너지는 기존의 화석연료나 원자력이 아닌 새로운(new)기술을 활용한 에너지 또는 재생가능한(renewable)에너지를 의미하고 있다.

신재생에너지의 특징은 ①재생이 가능하고 고갈될 염려가 없는 비고갈성 에너지, ②이산화탄소 발생이 없는 환경친화형 청정에너지, ③연구개발에 의해 에너지 확보가 가능한 기술주도형 에너지, ④정부지원과 장기적인 선행 투자가 필요한 공공 미래 에너지를 말한다.

박순천(2006)은 신재생에너지 개발보급 전망을 분석하고 과제를 도출하였다. 이를 위해 우리나라 신재생에너지 자원량을 추정하고, 신재생에너지 이용실태를 분석하였다. 또한 오스트리아, 스웨덴 등 OECD 국가의 신재생에너지 보급 현황을 분석하고, 신재생에너지 기술 개발 현황을 설명하였다. 보고서에 따르면 우리나라는 자연에너지 자원 잠재량은 10억 TOE인데 이 중 이용 가능량은 1.1억 TOE로 2003년 에너지 공급량의 50%에 해당한다. 또한 2003년 국내 신재생에너지 사용량은 325만 TOE/년으로 전체 에너지 소비의 1.5%에 불과하다.

지식경제부 보도자료(2008.12.31)에서 정부는 3차 신재생에너지 기술개발 및 이용기본계획을 통해 신재생에너지 보급 목표를 2015년 4.3%, 2020년 6.1%, 2030년 11.0%로 설정하고 있다. 동 보고서에 따르면 연료별 2006~2030년 세계 에너지 수요의 연평균 증가율은 석탄 2.0%, 석유 1.0%, 가스 1.8%, 원자력 0.9%, 바이오 및 폐기물 1.4%가 될 것으로 전망하고 있다. 또한 신재생에너지가 빠르게 확대되어 세계 1차 에너지 수요에

서 신재생에너지가 차지하는 비중은 2006년 7%에서 2030년 10%로 확대될 전망이다.

환경적 영향으로 기후변화 대응, 오염물질 배출 감소, 자원순환, 농업의 지속, 인근 생태계 영향 등이 있고, 사회경제적 영향으로는 에너지 자립, 고용 효과, 수입발생 효과, 관광 효과, 생산활동의 다양화, 교육 효과, 수입분배 효과, 사회적 결속증대와 인적자원 개발, 이농방지 등이 있다.

김연중 외(2009)는 경유난방 대비 지열히트펌프와 목재펠릿의 경제성을 비교 검토한 후, 이들 시설의 보급에 따른 문제점과 효과를 계측하였다. 유사한 연구로 최칠구 외(2009)는 지열히트펌트와 경유보일러를 이용했을 때 지역별 에너지 절감 효과와 증수 효과를 계측하였다. 여기서 경유난방(유가 배럴당 70달러)이 지열히트펌프(자부담 20% 가정)난방보다 운영비 면에서 3.7배 과다, 지열난방의 경우 작물의 증수효과, 이산화탄소 절감 효과 등이 있다고 주장하였다.

농식품부 외(2009)의 농어업용 에너지 해결을 위한 심포지엄 자료에서는 에너지 절감을 위한 지열보급 계획, 목재펠릿 공급 및 수요촉진 대책, 에너지 절감시설 보급 계획 등을 발표하였다.

E.M.W.Smeets et al.(2007)은 바이오에너지의 원료로 에너지작물, 농림부산물 및 폐기물, 산림의 성장의 세 가지 유형을 제시하고 2050년까지의 세계 바이오에너지 잠재량을 추정하였다. 지역별 바이오에너지의 잠재량은 식량이나 목재 수요, 생물다양성을 위한 산림보호 등과 같은 요소에 의해 영향을 받는데, 특히 식량증산을 위한 기술이 발달하면 잉여농경지가 생기고 이러한 잉여농경지가 바이오에너지 작물 생산에 영향을 크게 미친다고 보았다.

일본 농림수산성(2008)의 바이오매스타운 구상책정 매뉴얼에서는 일본 바이오매스 종합전략(2002년 각의결정, 2006년 개정) 추진의 일환으로 추진하고 있는 바이오매스타운 조성의 단계별 지침서를 제시하였다. 바이오매스타운은 전국에 2008년까지 105개 지구를 공표하였고, 2010년까지는 300개 지구를 목표로 하고 있다.

3.5. 본 연구의 차별성

선행연구 대부분이 환경농업, 에너지 비용 절감, 신재생에너지 활용 등의 주제로 개별적으로 이뤄진 데 비해 본 연구는 그동안 연구가 미진했던 농업부문 에너지 문제에 국한하여 농업부분의 에너지 수급의 특성과 전망을 파악한 후, 에너지 효율성 제고 및 신재생에너지 확대 보급 방안, 즉 청정에너지 농업 시스템 구축 방안을 종합적으로 제시한다는 점에서 이전의 다른 연구와 차별성을 지닌다.

이 연구를 통해 농업 부문에 청정에너지의 개념 정립과 에너지 수급의 발전적인 개선 방안이 제시될 것이다. 이때 지구온난화 대비, 환경보전, 에너지 비용 절감 등을 동시에 고려하고자 한다. 에너지 효율성 관련 선행연구는 에너지 절감 기술의 소개, 에너지 절감시설 보급 확대를 위한 정책의 필요성을 제기하는 연구가 대부분이며, 에너지 절감시설의 이용 실태와 문제점은 단일 사례조사에 불과한 내용이 많다는 점이다.

본 연구는 시설원예 에너지 절감시설의 공급자와 이용자의 현황을 조사하여 에너지 절감시설 보급 및 이용확대의 제약 요인을 구체적으로 살펴보고 경제성 분석 등을 기초로 실증적 문제를 파악하고자 한다.

신재생에너지의 농업적 이용에 대한 국내 선행연구는 매우 제한적이다. 즉 경유난방 대용으로 지열과 목재펠릿 난방시스템의 보급 효과 측정에 중점을 두고 있다. 외국의 경우에도 농업과 관련해서는 바이오에너지에 대한 연구가 주류를 이루고 있다.

본 연구의 최종성과는 농가의 에너지 이용 실태와 지열, 목재펠릿뿐만 아니라 바이오매스, 폐기물, 하천수 등 신재생에너지원의 범위를 확대하고, 이러한 신재생에너지가 농업부문의 에너지원으로 경제성이 있는가, 또한 지역에 미치는 영향은 무엇인가 등 사회경제적 입장에서 보다 포괄적인 접근을 시도할 것이다.

신재생에너지 등 국가 에너지 수급 목표의 틀 속에서 농업 부문 에너지 수급 전망이 이뤄질 것이다. 연구방법 면에서도 농업부문 에너지 수요를 전망하는 데 계량경제학모형과 산업연관표 분석기법을 이용하였다.

4. 연구범위 및 방법

4.1. 연구범위

농업부문에 이용되고 있는 전체 에너지 총량은 에너지 총조사 결과를 이용하고, 농업생산을 위한 에너지 이용 실태는 산업연관표를 이용하여 작물별, 축종별, 비료, 농약, 사료 등으로 구분하여 분석하였다.

농업생산에 이용되는 에너지를 대상으로 하되, 농업부문에 이용 가능한 신재생에너지(지열, 목재펠릿)를 분석 대상으로 하였다.

에너지 이용실태 분석을 위해서는 재배면적이 많은 쌀 재배농가, 단위면적당 에너지 소비가 많은 시설채소로 오이, 토마토, 저장과 가공부분에 에너지 소비가 많은 과일류로 사과, 배 재배농가로 한정하였다.

4.2. 연구방법

연구를 위한 통계자료와 기존연구 결과를 활용하였다. 통계자료로는「에너지총조사보고서」,「에너지통계연보」,「산업연관표」등을 이용하여 농업부문 에너지 수급 실태를 분석하였다. 청정에너지 관련 외국 문헌과 에너지 효율성 제고 및 신재생에너지 기술개발 현황과 전망은 기존연구 결과를 활용하였다.

조사 농가수는 535호이며, 이 중 에너지 절감시설에 대한 조사는 432농가, 신재생에너지 이용에 관한 조사는 103농가를 실시하였다. 에너지 이용실태는 재배면적, 가사와 농업용 에너지원별 이용량, 에너지원별 이용의 문제점, 신재생에너지 이용의 문제점 등을 조사하였고, 신재생에너지 이용실태 조사는 시설형태별 재배면적, 냉난방방법, 에너지원별 난방의존도, 냉난방시설 중 신재생에너지 교체의향, 에너지 절감시설 교체의향, 신재생에너지 및 에너지 절감시설의 문제점과 이용확대 방안 등을 조사하였다.

표 1-2. 에너지 소비 및 절감시설 실태 조사 농가 수 (535농가)

에너지 절감	쌀	오이, 토마토	사과, 배	계
	114	195	123	432
신재생에너지	과채류	화훼류		
	60	43		103

국제세미나를 2회 개최하였다. 1회(6.15)는 국내외 전문가를 초청하여 "농업분야 신재생에너지 생산 및 이용" 주제로 국제세미나를 개최하였고, 2회(9.10)는 "주요국의 농업부문 신재생에너지 이용 실태와 정책" 심포지엄을 개최하였다.

그리고 연구의 효율성을 높이기 위해 국내 주요기관에 원고를 위탁하였고, 외국에는 일본, 미국, 독일, EU 등 주요국의 에너지 이용실태와 전망에 대한 원고를 외국 전문가에게 의뢰하였다.

표 1-3. 외부원고 위탁제목 및 내용

위탁제목	위탁내용	위탁자
1. 한국 에너지 수급실태와 정책변천 및 에너지 원별 수요	· 60년대부터 농업 에너지 정책의 변천 · 에너지 정책에 따른 농업 성장 실태	환경농업 연구원 강정일
2. 에너지 산업연관분석을 이용한 농업부문 에너지 투입구조 분석	· 농업부분 에너지연관표 작성 · 농업부문 에너지 투입구조 분석 · 원예분야 에너지 절감효과 추정 · 에너지 수급 중장기 전망	서울대 김한호
3. 농업부문 신재생에너지 기술수준과 개발 방향	· 신재생에너지 원별 공급잠재량 · 원별 농업부문 활용기술 분석	에기연 장기창

4. 해 외 사 례	일본의 농업부문 에너지 이용과 전망	· 재생에너지 관련 정책 · 농업분야의 온실가스 감축 대책	농림수산성 고이즈미
	일본의 농업 부문 청정에너지 이용 실태와 전망	· 청정에너지 정책 · 에너지 생산·활용 실태, 성공사례	에너지전 략연구원 山家公雄
	미국의 농업 부문 청정에너지 이용 실태와 전망	· 청정에너지 정책 · 에너지 생산·활용 실태, 시사점	미주리대 Don Day
	독일의 농업 부문 청정에너지 이용 실태와 전망	· 청정에너지 정책 · 에너지 생산·활용 실태, 성공사례	인텔리전트 Rian Van
	EU 주요국의 신재생에너지 생산 · 이용실태와 시사점	· 유럽신재생에너지 정책과 동향 · 농업부문 재생에너지 생산과 이용실태 · 국내 재생에너지 이용확대 시사점	F&D 이광연

5. 보고서 구성

이 연구의 총괄제목은 "농업부문 에너지 수급 전망과 청정에너지 농업시스템구축"으로, 3개의 세부과제로 구성되어 있으며, 총괄보고서는 총 6장으로 구성되어 있다.

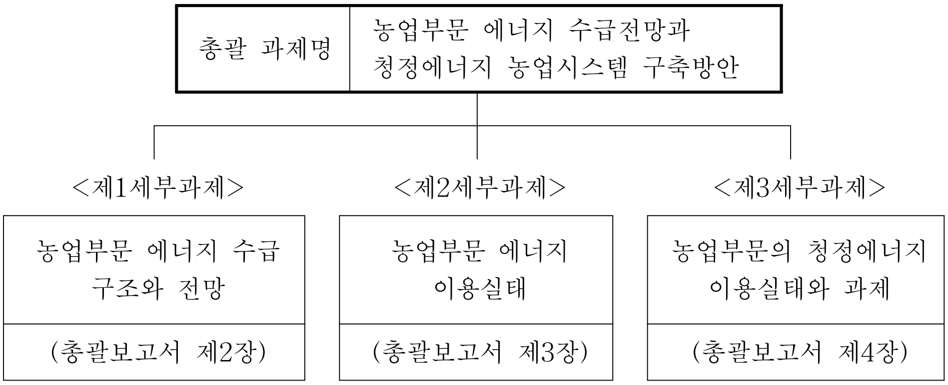
총괄보고서 1장은 서론이고, 제2장은 제1세부과제인 "농업부문 에너지 수급 구조와 전망"을 정리하였으며, 제3장은 제2세부과제인 "농업부분 에너지 이용 실태", 제4장은 제3세부과제는 "농업부문의 청정에너지 이용실태와 과제", 제5장은 주요국의 농업부문 청정에너지 이용실태와 시사점, 마지막 6장은 요약 및 결론으로 구성되어 있다.

각 세부과제별로 별도의 보고서가 발간될 것이며, 제1세부과제는 농업부

문의 에너지 정책변화와 이용실태, 농업부문 에너지 수급과 전망, 농업부문 중장기 에너지 수급 전망 등을 다루고 있다.

제2세부과제는 농가의 에너지 이용실태와 농가단위의 에너지 효율적 이용방안, 제3세부과제는 신재생에너지 이용실태와 전망, 신재생에너지 보급 확대 가능성 등을 다루고 있다.

그림 1-3. 보고서 구성



농업부문 에너지 수급 구조와 전망

제2장

1. 국내외 에너지 이용실태

1.1. 주요국의 에너지 이용 현황

세계 OECD 국가의 2008년 에너지 소비량은 54억 3,371.2만 toe로 2000년대 중반 이후 정체하고 있다. 미국의 2008년 에너지 소비량은 22억 9,702.8만 toe로 OECD 국가의 42.3%를 차지하고 있어 가장 많은 에너지를 소비하는 국가이며, 다음으로 일본이 4억 9,111.5만 toe로 9.3%, 독일은 6.2%인 3억 3,489.3만 toe 순으로 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 한편, 우리나라는 OECD 국가의 에너지 소비량의 4.2% 수준을 차지하고 있다.

세계 주요국의 에너지 사용량 중 신재생에너지 이용률을 살펴보면, 덴마크는 에너지 소비량이 전체 OECD 국가 소비량의 0.4%에 불과하지만, 신재생에너지 이용률은 18.5%로 가장 높으며, 다음으로 캐나다가 16.4%로 나타났다.

반면, 미국과 일본은 에너지 소비량이 가장 많은 국가임에도 불구하고 신재생에너지 이용률은 각각 5.3%, 3.2%로 낮은 편이며, 우리나라도 주요 OECD 국가 가운데 가장 낮은 2.4%에 불과하다.

표 2-1. 세계 주요국의 1차 에너지 소비량

단위: 천 toe

	2000	2005	2008	신재생에너지	
				사용량	비중(%)
미 국	2,283,283	2,323,399	2,297,028	122,109	5.3
독 일	337,291	338,695	334,839	28,239	8.4
일 본	517,687	518,898	491,115	15,938	3.2
덴마크	18,583	18,803	19,176	3,546	18.5
프랑스	253,218	271,409	266,918	19,992	7.5
영 국	223,993	222,747	207,425	5,764	2.8
한 국	188,852	210,379	240,752	5,858	2.4

자료: 에너지관리공단, 「신재생에너지 보급통계」, 2008.

주요 국가의 신재생에너지원별 소비는 바이오에너지의 경우 주로 미국, 독일, 덴마크, 프랑스, 영국에서 많이 사용하고 있으며, 수력은 일본, 프랑스, 폐기물은 한국이 78%로 가장 높다. 지열의 소비비중은 전반적으로 낮은 가운데 일본이 16%, 미국은 8.5%로 타 국가에 비해 상대적으로 높은 편이며, 우리나라는 0.3% 미만으로 아주 미미한 실정이다.

표 2-2. 주요 국가의 신재생에너지원별 소비 비중(2008년)

단위: %

	미국	독일	일본	덴마크	프랑스	영국	한국
태양열	1.3	1.3	3.2	0.3	0.2	0.8	1.0
태양광	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
바이오	61.0	61.5	29.1	55.8	57.4	62.3	7.3
풍 력	3.7	12.3	1.6	16.8	2.5	10.6	1.6
수 력	17.7	6.4	40.1	0.1	27.5	7.5	11.3
폐기물	7.8	16.5	10.0	26.6	11.6	18.8	78.0
지 열	8.5	0.9	16.0	0.3	0.6	0.0	0.3
해 양	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0

1.2. 우리나라의 에너지 이용실태

우리나라의 에너지 소비량은 2000년 1억 9,288.7만 toe에서 2008년 2억 4,075.2만 toe로 연평균 2.8% 증가하고 있다. 국내 신·재생 에너지 이용량은 2008년 585.8만 toe로 국내 1차 에너지 총소비량의 2.43%에 불과하지만, 연평균 증가율은 13.5%로 나타나 신재생에너지의 보급률이 빠르게 확대되는 경향을 나타내고 있다.

표 2-3. 국내 1차 에너지 소비량 중 신재생에너지 비중

단위: 천 toe, %

	2000	2005	2006	2007	2008	증가율
총에너지	192,887	228,622	233,372	236,454	240,752	2.8
신재생에너지	2,127	4,892	5,225	5,609	5,858	13.5
비중	1.10	2.13	2.24	2.37	2.43	-

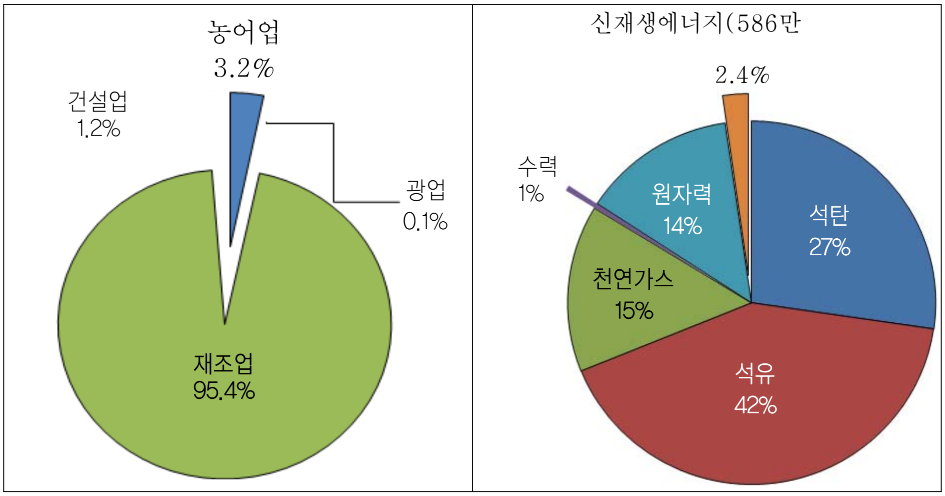
자료: 에너지관리공단,「신재생에너지 보급통계」, 2008.

2008년 에너지 총소비량 가운데 제조업이 차지하는 비중이 95.4%로 압도적으로 높은 반면, 농어업 분야는 3.2%로 에너지 소비 비중이 미미한 편이다. 우리나라의 에너지원별 소비량은 석유가 42%로 가장 많으며, 다음으로 석탄 27%, 천연가스 15%, 원자력 14%, 신재생에너지 2.4% 순으로 나타났다.

농업부문의 에너지원별 소비량은 석유가 73%로 크게 높은 가운데, 전기 19%, 석탄 8%, 천연가스 0.3% 등의 순으로 타 산업에 비해 농업부문은 석유류 소비가 주를 이루고 있다. 농업부문의 신재생에너지의 소비는 거의 없는 상태이므로 신재생에너지 보급은 아직 미미한 수준이다.

그러나 정부가 신재생에너지 보급을 2015년에는 4.3%, 2020년 6.1%, 2030년에는 11% 수준까지 확대할 목표를 설정하고 있어 향후 농업분야에서도 신재생에너지의 이용이 증가할 것으로 전망된다.

그림 2-1. 산업별, 에너지원별 소비량 구성(2008년)



자료: 에너지관리공단, 『신재생에너지 보급통계』, 2008.

2. 우리나라 에너지 정책의 변천[5]

한국의 에너지 정책 변천은 대체로 다음과 같이 4단계 즉, 4기로 구분하고 있다.[6] 제1기는 한국에 에너지정책의 맹아가 발생한 태동기로 1961~1972년, 제2기는 1차 및 2차 석유파동을 겪은 1973~1982년, 제3기는 국제유가가 안정되었던 1982~2000년, 제4기는 고유가와 기후변화협약의 압력이 고조되기 시작한 2001년부터 현재까지로 규정하고 있다. 이에 따라 각 시기별 정책 환경 및 정책 목표, 에너지 수급상황을 살펴보고자 한다.

---

5 본 절은 (사)환경농업연구원에 의뢰한 "한국의 에너지 수급실태와 정책변천 및 전망" 원고결과를 수정·편집하여 정리하였다.

6 한국행정연구원(2008).

2.1. 태동기(1961～1972년)

한국은 이 시기 에너지가 절대빈곤한 상황이었으며, 에너지의 절반 이상이 석탄으로 석유는 9.8%에 지나지 않았다. 그러나 1966년 석탄 파동으로 국가의 에너지정책은 석탄중심에서 석유중심인 ‘주유종탄(主油從炭)정책’으로 전환되었으며, 이로 인해 석유를 사용하는 비중이 급격하게 증가하였다. 정부는 에너지 부족 현상을 극복하기 위하여 제1차 경제개발 5개년계획의 1순위 주요 정책과제로 ‘에너지 공급원의 확보’를 채택하였으며, 발전소와 정유공장 건설을 강력하게 추진하였다.

그 결과 한국전력공사가 설립되었으며, 이어서 대한석유공사(현 SK에너지의 전신)가 설립되어 본격적으로 자주적인 석유산업이 시작되었다. 이후 극동정유공업(현 현대정유)과 호남정유(현 GS칼텍스)가 정제시설을 가동하기 시작하였다. 한편, 정부는 ‘석유사업법’, ‘광업개발조성법’, ‘석탄개발임시조치법’ 등 각종 법률을 제정·공포하였으며, 서울시영 도시가스를 설립하면서 현재와 같은 형태의 도시가스사업이 시작되었다. 이와 같은 정부의 정책적 지원에 힘입어 총에너지소비의 평균 증가율은 7.7%, 석유의존도는 42.3%로 늘어났다[7]

2.2. 긴장기(1972～1982년)

1962년부터 시작된 경제개발 5개년계획의 성공적 추진으로 경제가 성장함에 따라 증가하는 에너지 수요를 국내부존 자원의 한계로 해외 에너지자원에 크게 의존하게 되면서 에너지 수입의존도는 점점 심화되기 시작하였다.

1973년의 제1차 석유파동은 우리 경제에 큰 충격을 주었으나, 수출확대정책, 중화학공업 추진, 중동건설 참여 등으로 에너지 파동을 극복하고 높

7 강창순 외(1992).

은 경제 성장을 이룩하였다. 1970년대 중반 이후 국제 석유정세의 호전에 의한 유가안정과 중화학공업육성 등으로 인해 석유의존도는 계속 증가하였다. 1978년에는 에너지정책의 효율적 추진을 위해 동력자원부가 발족되고, 전력난 해소를 위해 국내 최초로 고리원자력발전소가 준공되었다.

1979년 촉발된 제2차 석유파동으로 1980년 GNP는 마이너스 성장률을 보였고, 에너지 수입액은 국내 총수입의 25.3%를 차지하였다. 또한, 1인당 에너지 소비량은 1.15toe로 1972년에 비해 거의 2배가 증가하였다.

정부는 제1차 및 제2차 석유파동 이후 에너지 절약과 원활한 공급을 위해 ‘열관리법’, ‘석탄수급 조정에 관한 임시조치법’[8], ‘에너지이용합리화법’을 제정·공포하였으며, 에너지원의 다원화, 공급선의 다변화, 비축물량의 확대, 해외자원개발 추진은 물론 원자력발전소 건설 등을 통해 석유 대체 에너지의 이용 확대를 도모하였다.

2.3. 이완기(1983～2000년)

이 시기는 국제 유가의 하락과 경제성장에 따른 소득증가로 에너지 절약 의지가 이완되고, 에너지정책에 대한 관심이 상대적으로 주목을 받지 못했던 기간이다. 가장 특징적인 에너지관련 국제여건의 변화는 1992년에 체결된 지구온난화 방지를 위한 기후변화협약으로 성장과 환경의 조화를 뒷받침할 새로운 에너지정책에 대한 문제를 제기하였다.

정부는 국내 석유시장의 경쟁을 촉진하고 석유산업의 대외경쟁력을 강화하기 위해 1997년 1월부터 본격적으로 석유산업에 대한 자유화를 시행하게 되었다. 또한, 최종에너지 소비에서 산업부문이 차지하는 비중은 1976년 41.7%에서 1990년대에는 48.1%로 높아졌다. 승용차 보급의 급격한 확대로 수송부문의 에너지 소비가 급증하여 최종에너지 소비에서 차지

---

8 ‘석탄수급조정에 관한 임시조치법’은 1986년 ‘석탄산업법’의 시행으로 폐지되었으며, 주요 내용은 ‘석탄산업법’에 반영되었다.

하는 수송부문의 비중은 1976년 9.3%에서 1990년 18.9%로 2배 이상 증가하였다.

반면, 가정·상업과 공공부문의 최종에너지 소비는 타 부문에 비해 증가 추세가 둔화 양상을 띠고 있었다. 그러나 1980년대 후반의 지속적인 에너지가격 인하와 소득수준 향상으로 가정·상업과 공공부문 연료의 주종이 무연탄에서 석유·가스 등 고급에너지로 대체되었으며, 이에 따라 1990년에는 LNG가 총에너지에서 3.2%를 차지하였다.

한편, 정부는 농업경영비용을 줄이는 지원정책의 하나로 농업용 면세유류를 1986년부터 공급하기 시작하였으며, 농업용 유류에 대한 세금면제는 『조세특례제한법(제106조, 제111조, 동법시행령 제106조)』에 근거하고 있으며, 공급절차는 국세청고시(제89-104호, 개정 제98-3호: 1998.1.8)에 제시되어 있다[9].

2.4. 위기도래기(2001년～현재)

국제유가의 고공행진과 지구 온난화 방지를 위한 기후변화협약 등에 의한 국내외의 환경규제로 에너지 위기가 다시 고조되는 시기로 고공행진을 계속하는 에너지 문제 해결을 위하여 대체에너지개발 즉 신재생에너지의 개발을 위한 정책이 추진되었다.

정부는 2003년 12월에 수립한 '제2차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획'에 분야별로 기술개발 일정을 제시하고 기술수준, 성공가능성, 경제적 파급효과 등을 고려하여 추진전략을 차별화하여 기술개발을 추진하고 있다.

우리나라는 2002년 10월 교토의정서를 비준하여 세계의 기후변화 방지 노력에 참여하는 제도적인 체제를 구비하였으며, 기후변화정책을 종합적으로 추진하는 3개년 단위의 기후변화협약 대응 종합계획을 수립하여 기후

9 강창용 외(2001).

변화 대응정책을 추진하고 있다. 또한, 정부는 2009년 11월에 국내 온실가스 배출량을 2020년까지 2005년 대비 4% 감축하기로 결정하였으며, 2010년 1월 13일에는 '저탄소 녹색성장 기본법'을 제정·공포하여 온실가스·에너지 목표관리를 하고 있다.

3. 농업부문 에너지 투입구조의 변화[10]

3.1. 농업부문 에너지 투입구조 분석 방법

농업부문의 에너지 투입 구조를 파악하기 위해 에너지 산업연관표를 직접 작성하였으며, 이를 기반으로 에너지 산업연관분석을 시도하였다. 에너지 산업연관표는 일정기간 동안에 국민경제에서 재화와 서비스의 생산 및 처분과정에서 발생하는 모든 거래를 일정한 원칙과 형식에 따라 기록하되 에너지 거래를 공통된 물리적 단위로 표시하는 종합적인 통계표라 할 수 있다.

이 연구에서 분석한 에너지 산업연관표 기본 구조는 기존 산업연관표와 마찬가지로 재화 및 서비스의 거래를 산업(부문) 상호 간의 중간재 거래, 각 산업에서의 본원적 생산요소(노동, 자본 등) 투입, 각 산업 생산물의 최종수요(소비, 투자, 수출 등)로 구분하여 기록한다. 이 때 각 생산물의 거래를 에너지부문과 비(非)에너지부문으로 구분하여 에너지의 거래단위는 공통된 실물단위(석유환산톤[11])로 측정하고, 비에너지부문은 화폐단위(백만 원)로 평가한 혼합단위(hybrid units)로 나타내어 산업연관표의 형태로 구성하였다.

10 본 절은 서울대학교 산학협력단(연구책임자 김한호 교수)에 연구위탁 의뢰한 결과를 수정·편집하여 정리하였다.

11 석유환산톤(TOE: Ton of Oil Equivalent)은 각각 다른 종류의 에너지원들을 원유 1ton이 발열하는 칼로리를 기준으로 표준화한 물리적 단위이다.

그림 2-2. 에너지 산업연관표의 기본구조

		중간수요		최종수요 (F)	총수요 (A+F)	수입(공제) (M)	총산출 (X)
		에너지부문	에너지 외 부문				
중간투입	에너지부문	TOE	TOE	TOE	TOE	TOE	TOE
	에너지 외 부문	백만 원	백만 원	백만 원	백만 원	백만 원	백만 원
부가가치(V)		백만 원	백만 원	(외생부문)			
총투입(X)		백만 원	백만 원				

이와 같은 에너지 산업연관분석은 주로 Miller et al.(1985)에 의해 제시된 바와 같이 직접 에너지 산업연관표를 작성하여 이를 바탕으로 부분 조정 등의 과정을 거쳐 농업을 중심으로 재배치하는 작업을 실시하였다.

농업부문은 산업연관표의 기본분류를 기준으로 농림수산업에 해당되는 28개 부분으로 세분화였다. 이와 함께 농업 생산과 밀접한 연관성을 지니고 있는 비료 및 농약, 사료, 음식료 제조업부문을 하나의 독립된 부문으로 설정하였다. 이외의 나머지 부문들은 크게 광업, 제조업, 서비스 부문으로 통하였는데 부문 조정한 결과는 다음과 같다[12].

3.2. 총에너지 투입구조

3.2.1. 농업 내 부문별 총에너지 투입 구조

우리나라 농림수산업은 2007년 기준으로 379만 toe의 에너지를 소비함으로써 354만 toe이었던 1995년에 비해 1.7배 증가한 것으로 나타났다. 경종부문에서 소비는 확대되고 있는 반면, 축산 및 임수산부문은 전반적으로 소비규모가 축소되어 전체 농림수산 부문에서의 차지하는 비중도 경종부문의 점유율이 증가하고 있다.

12 자세한 에너지 산업연관분석과 에너지 산업연관표 작성방법에 관해서는 부록 참조.

표 2-4. 농업 내 부문별 총에너지 투입추이

단위: toe

	1995	2000	2005	2007	연평균 증가율 (%)
경종	734,337	1,092,439	1,756,101	1,594,648	4.6
벼	268,770	424,428	322,541	242,780	-0.6
보리	92,445	48,276	19,690	10,774	-12.6
밀	2,426	529	1,256	1,133	-4.5
잡곡	16,021	14,051	907	846	-17.3
채소	121,682	249,702	589,667	572,809	9.1
과실	117,306	161,183	246,719	211,044	3.5
콩류	7,276	10,825	10,393	5,413	-1.7
감자류	8,725	8,891	4,628	4,857	-3.4
유지작물	1,179	987	1,232	1,067	-0.6
약용작물	6,765	6,826	13,643	15,428	4.8
기타식용작물 및 잎담배	15,217	14,700	11,685	8,166	-3.7
섬유작물	0	89	8	12	14.5
화훼작물	67,424	135,266	527,602	513,714	11.9
천연고무	0	0	0	0	0
종자 및 묘목	9,075	16,651	6,081	6,560	-1.9
기타 비식용작물	26	36	49	45	3.2
축산	714,026	905,442	373,862	277,868	-5.6
낙농	153,844	261,419	68,293	61,514	-5.4
육우	419,457	392,666	74,079	68,006	-10.7
양돈	70,728	131,399	85,327	76,311	0.4
가금	60,397	115,225	139,544	58,234	-0.2
기타축산	9,600	4,734	6,618	13,803	2.1
임수산물	1,987,793	2,150,067	1,279,208	1,516,727	-1.6
영림	2,978	13,513	8,834	12,143	8.3
원목	239	3,139	2,809	5,480	18.4
식용 임산물	5,852	7,093	7,902	6,430	0.6
기타 임산물	17,802	49,023	26,715	24,411	1.9
수산어획	1,873,663	1,913,464	1,064,825	1,237,091	-2.4
수산양식	87,259	163,835	168,123	231,173	5.7
농림어업서비스	105,394	170,778	326,986	396,429	7.8
농림수산업	3,541,550	4,318,726	3,736,158	3,785,672	0.4

경종부문에서는 채소와 화훼의 에너지 사용이 두드러지는데 채소의 경우 2007년 57만 toe로 1995년의 12만 toe에서 연평균 9% 이상 소비규모가 증가하였으며, 화훼도 연평균 11% 이상으로 소비규모가 증가하였다.

이들 부문은 주로 시설재배가 보편화되고 있어 농업부문에서는 대표적인 에너지 소비부문으로 분류되고 있는 분야들로 최근 소득수준 향상과 함께 도시근교에서 재배면적이 확대되고 있는 것에 기인한다.

축산부문의 에너지 소비량은 연평균 5.6% 감소하고 있는 가운데, 특히 육우의 감소율이 10.7%로 높은 것으로 나타난 반면, 양돈은 0.4% 에너지 소비량이 증가하였다.

3.2.2. 에너지원별 투입 구조

최종 에너지원 중에는 유류에 대한 의존도가 절대적이지만 축산부문의 경우 유류에서 전력으로 무게 중심이 옮겨가고 있음을 확인할 수 있다. 농림수산업을 전체적으로 살펴보았을 경우 최종 에너지 중 80% 이상을 유류에 의존하고 있다. 그러나 이러한 농림수산업의 유류 의존도가 점차 낮아지고 있으며, 이를 주도하고 있는 것이 축산부문이다.

표 2-5. 최종 에너지원별 비중 추이

단위: %

	연도	경종	축산	임수산물	농림어업 서비스	농림 수산업
석탄제품	1995	13.2	2.0	0.5	0.0	3.3
	2000	5.7	0.8	0.2	0.0	1.7
	2005	6.2	5.3	0.5	0.0	3.6
	2007	12.6	10.2	1.0	0.0	6.5
석유제품	1995	72.2	81.3	98.1	59.7	88.7
	2000	82.1	86.3	97.7	68.6	90.5
	2005	85.7	38.8	94.3	75.8	84.4
	2007	76.4	26.5	91.3	64.0	78.5

전력	1995	14.5	16.8	1.3	40.3	7.9
	2000	11.7	12.8	1.8	30.0	7.4
	2005	7.4	55.8	4.2	23.1	11.2
	2007	9.7	63.3	5.9	34.0	13.5
도시가스	1995	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	2000	0.6	0.0	0.3	1.3	0.4
	2005	0.7	0.0	1.0	1.1	0.8
	2007	1.4	0.0	1.8	2.0	1.5
기타	1995	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2000	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
	2005	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

축산부문의 경우 석유제품의 비중이 2000년까지 80% 이상을 유지하였으나, 2005년 38.8%, 2007년에는 26.5%로 낮아졌다. 반면, 전력 비중은 2000년대 초반까지 20% 미만을 유지해 오다 2007년에는 63.3%에 이르게 되었다. 이러한 축산부문의 유류에서 전력으로의 전환은 축산부문 중 어느 한두 부문에 국한되거나 주도되지 않고, 축산 전 분야에서 나타나는 현상이라 할 수 있다. 이는 축산의 경우 특히 겨울철 축사의 온도 조절을 위한 보일러 등의 보온시설이 유류 중심에서 전력 중심으로 이동한 데 따른 것으로 추측된다.

3.2.3. 농업관련 산업의 에너지 소비 구조

비료 및 농약산업의 경우 2007년 기준으로 42만 toe 정도의 에너지를 소비하고 있는 것으로 나타났으며, 그 규모가 1995년 이후 연평균 4% 이상의 비율로 지속적으로 감소하고 있는 것으로 나타났다.

표 2-6. 농업관련 산업의 에너지 소비추이

단위: toe, %, %p

		1995	2000	2005	2007	연평균 증감률 ('07/'95)
비료 및 농약	총에너지	889,437	614,912	413,611	419,749	-4.4
	1차 에너지	49,775	58,568	29,826	25,014	-4.0
	최종 에너지	839,662	556,344	383,785	394,735	-4.4
사료	총에너지	131,626	166,664	176,128	257,892	4.0
	1차 에너지	24,063	26,205	28,143	36,688	2.5
	최종 에너지	107,563	140,459	147,985	221,204	4.2
비중						
비료 및 농약	총에너지	100.0	100.0	100.0	100.0	0.000
	1차 에너지	5.6	9.5	7.2	6.0	0.363
	최종 에너지	94.4	90.5	92.8	94.0	-0.363
사료	총에너지	100.0	100.0	100.0	100.0	0.000
	1차 에너지	18.3	15.7	16.0	14.2	-4.055
	최종 에너지	81.7	84.3	84.0	85.8	4.055

사료산업은 2007년 기준으로 26만 toe 정도의 에너지를 소비하고 있는 것으로 나타났지만, 오히려 비료 및 농약산업과는 반대로 1995년 이후 연평균 4% 이상 그 규모가 확대되고 있다.

에너지원 구성에 있어서 비료 및 농약산업과 사료산업 모두 유류제품에 대한 에너지 의존도가 높은 것으로 분석되었으나, 그 의존도는 점차 낮아지고 있다. 그러나 이처럼 감소하고 있는 유류를 대체하는 전략에 있어서 양 부문이 차이를 보이고 있는데, 비료 및 농약의 경우는 전력과 함께 온배수 등 다른 에너지원으로 눈을 돌리고 있는 반면, 사료의 경우 전력과 함께 도시가스로의 전환을 시도하고 있는 것으로 나타났다.

표 2-7. 농업관련 산업 총에너지원별 투입 추이

단위: toe, %

	비료 및 농약					사료				
	1995	2000	2005	2007	증가율	1995	2000	2005	2007	증가율
석탄	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0.0
원유	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0.0
천연가스	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0.0
석탄제품	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0.0
석유제품	788,397	512,621	312,946	312,580	-5.4	61,817	67,082	57,622	60,695	-0.1
수력원자력	10,877	16,056	22,420	19,211	3.3	17,024	21,819	28,117	36,661	4.5
전력	42,095	39,171	34,661	38,639	-0.5	25,922	34,141	40,062	68,696	5.7
도시가스	0	754	673	946	40.3	0	8,011	10,265	23,144	59.1
기타	5,973	7,139	8,250	9,734	2.9	940	1,471	0	0	-40.3
총에너지	889,437	614,912	413,611	419,749	-4.4	131,626	166,664	176,128	257,892	4.0

3.3. 농업부문 에너지 이용 효과

3.3.1. 농업부문 에너지 이용 효율성

농업생산에 에너지가 얼마나 어떻게 투입되느냐와 함께 얼마나 효율적으로 활용되고 있는가라는 문제도 정책적인 관점에서는 중요한 문제이다.

본 연구에서는 한국 경제 전체를 대상으로 분석한 바와 같은 방법으로 농업의 에너지 이용 효율을 에너지 원단위를 활용하여 측정하였다. 에너지 원단위(toe/백만 원)는 생산과정에 직접 투입된 에너지량을 부가가치로 나눈 값으로 부가가치 한 단위를 생산하기 위하여 필요한 에너지 투입량을 의미한다(이인규 외. 2009). 이러한 정의로 말미암아 에너지 원단위가 낮으면 낮을수록 동일한 부가가치를 창출하기 위해 소요되는 에너지가 적은 것이 되기 때문에 효율적이라고 해석이 가능하게 된다.

농업부문의 에너지 원단위를 살펴보면, 전체적으로는 별다른 추세 없이 0.18~0.2 정도를 유지해 왔으나, 2000년 이후 연평균 8% 정도로 감소하고 있는 것으로 나타났다.

경종부문에서 채소의 경우 투입되는 에너지에 비해 에너지 원단위가 0.105toe/백만 원으로 유사한 투입 구조를 가진 화훼(0.653)에 비해 상대적으로 낮아 에너지를 효율적으로 활용하고 있음을 확인할 수 있다. 단, 1995년 0.022toe/백만 원으로 효율적이었던 데 비해 이후 지속적으로 효율성이 악화되고 있다.

에너지 고소비 부문인 화훼는 0.653toe/백만 원으로 수산어획(0.711), 농림어업서비스(0.759)와 함께 상대적으로 비효율적인 부문으로 분류된다. 더구나 2000년 이후 0.156toe/백만 원에서 2007년 0.653toe/백만 원으로 급격하게 효율성이 악화되고 있다.

상대적으로 고소비 부문인 동시에 에너지 소비 유발효과도 높은 화훼부문의 효율성이 현 수준에서 낮을 뿐만 아니라 향후에도 지속적으로 악화될 것으로 전망되는 만큼, 화훼 특히 시설화훼의 에너지 효율 증진을 위한 정책적 대안 마련이 시급한 것으로 판단된다.

축산부문의 경우 1995년 0.473에서 2007년 0.005정도로 상대적으로 큰 폭의 감소를 경험한 반면, 농림어업서비스부문은 같은 기간 0.135에서 0.894로 상대적으로 큰 폭으로 증가하였다.

표 2-8. 농업 내 부문별 에너지 원단위

단위: toe/백만 원

	1995	2000	2005	2007	증감 ('07/'95)
경종	0.044	0.062	0.104	0.095	0.052
벼	0.038	0.056	0.050	0.040	0.002
보리	0.626	0.427	0.123	0.076	-0.550
밀	1.698	0.716	0.306	0.324	-1.374
잡곡	0.573	0.482	0.019	0.016	-0.557
채소	0.022	0.045	0.112	0.105	0.083
과실	0.090	0.103	0.147	0.114	0.023
콩류	0.017	0.041	0.024	0.018	0.001
감자류	0.052	0.033	0.018	0.023	-0.029
유지작물	0.003	0.003	0.005	0.004	0.001
약용작물	0.008	0.011	0.014	0.011	0.003
기타식용작물 및 잎담배	0.038	0.032	0.070	0.060	0.022
섬유작물	0.000	0.012	0.004	0.010	0.010
화훼작물	0.274	0.156	0.462	0.653	0.379
천연고무	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
종자 및 묘목	0.065	0.264	0.237	0.250	0.185
기타 비식용작물	0.023	0.018	0.045	0.042	0.019
축산	0.473	0.225	0.086	0.048	-0.425
낙농	0.929	0.887	0.094	0.085	-0.844
육우	0.538	0.293	0.056	0.048	-0.489
양돈	0.292	0.105	0.071	0.046	-0.246
가금	0.581	0.127	0.166	0.034	-0.547
기타축산	0.044	0.020	0.027	0.056	0.012
임수산물	0.505	0.712	0.408	0.388	-0.117
영림	0.013	0.060	0.036	0.035	0.022
원목	0.003	0.074	0.042	0.087	0.084
식용 임산물	0.010	0.013	0.013	0.008	-0.001
기타 임산물	0.040	0.189	0.210	0.218	0.178
수산어획	0.959	1.198	0.771	0.711	-0.248
수산양식	0.143	0.455	0.237	0.266	0.124
농림어업서비스	0.135	0.245	0.660	0.894	0.759
농림수산업	0.186	0.196	0.178	0.177	-0.008

3.3.2. 농업 부문별 에너지 투입계수

에너지 투입계수는 해당 산업의 단위산출(백만 원)을 위해 투입되어야 하는 에너지의 규모를 의미하며, 에너지 투입계수 값이 크다는 것은 같은 산출량을 생산하기 위해 보다 많은 에너지가 소요된다는 것을 의미하게 되어 결국 에너지 의존도 내지는 에너지 집약도로 해석이 가능하다.

농업(농림수산업)이 백만 원어치의 산출물을 생산하기 위해서는 2007년 기준으로 0.0180toe의 에너지가 요구되는 것으로 분석되었다. 이러한 농업의 에너지 투입계수는 1995년(0.0258toe/백만 원) 대비 약 30% 이상(0.0078toe/백만 원) 감소한 것으로 나타나 전반적으로는 에너지에 대한 의존도에서 벗어나고 있음을 확인할 수 있다.

표 2-9. 농업 내 부문별 에너지 투입계수

단위: toe/백만 원

	1995	2000	2005	2007	증감 ('07/'95)
경종	0.0056	0.0060	0.0084	0.0074	0.0017
벼	0.0021	0.0023	0.0016	0.0012	-0.0009
채소	0.0009	0.0013	0.0027	0.0025	0.0016
과실	0.0010	0.0010	0.0013	0.0011	0.0001
화훼작물	0.0005	0.0007	0.0024	0.0023	0.0017
축산	0.0056	0.0050	0.0023	0.0017	-0.0038
임수산물	0.0136	0.0108	0.0060	0.0068	-0.0068
농림어업서비스	0.0010	0.0010	0.0017	0.0021	0.0012
농림수산업	0.0258	0.0228	0.0185	0.0180	-0.0078

에너지 투입계수의 정의에 의해 결국 에너지 투입계수의 산정결과는 앞서 살펴본 에너지 투입량의 결과와 유사하다는 사실도 확인된다. 경종부문에서는 역시 원예, 채소 등이 임수산 부문에서 수산어획이 상대적으로 투입계수 값이 큰 것으로 나타났다. 이들 산업들이 에너지의 절대량만을 많이 소비하는 것과 함께 동일한 산출량을 생산하는데, 보다 많은 양의 에너지가 요구되는 에너지 의존적 산업 내지는 에너지를 집약적으로 사용하는

산업이라는 사실을 보여주고 있다.

3.4. 시설채소 및 화훼부문에서 에너지 절감효과

에너지 산업연관분석은 생산물이 생산되어 최종소비자에게 전달되는 과정에서 생산 공정에 직접적으로 사용된 에너지는 물론 간접적으로 중간재에 체화된 에너지 총량을 예측하는 데 유용한 틀을 제공한다. 이를 이용하면 에너지 소비량의 변화는 물론 소비구조 변화 또는 특정 산업부문의 생산기술 변화에 따른 에너지 필요량의 변화를 추정하는 것이 가능하며, 이는 실제 에너지 절감대책을 수립하거나 에너지고효율 설비 등을 계획함에 있어 정책의 효과를 측정하는 데 유용한 정보가 될 수 있다.

농업 분야의 에너지 산업연관표를 이용하여 에너지 절감효과를 추정하는 분석 틀을 소개하는 차원에서 시설채소 및 화훼 부문에서의 에너지 절감이 이루어졌을 경우 이것이 농업부문 전체 에너지 소비에 미치는 효과를 추정하였다.

원예 부문은 농업 내에서도 자체적으로 에너지 의존도가 높을 뿐만 아니라 타 산업과의 연관관계를 통해 유발되는 간접적인 에너지 의존도 역시 높은 부문으로 이들 부문에서의 에너지 절감 정책은 충분한 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

시설채소와 화훼 부문은 에너지 소비 측면, 또는 의존도 측면에서는 공통점을 지녔지만, 에너지 사용 효율성면에서는 차이점을 가지고 있어 이러한 차이가 반영되는 정도를 파악하는 것도 필요하다.

추정 방법은 시설채소 및 화훼 부문에서 활용되는 에너지 10%를 절감할 경우를 정책 시나리오로 설정, 그 유발효과를 추정한다. 보다 자세하게는 에너지 산업연관표로부터 도출한 2007년 에너지유발계수를 이용하여 각 부문의 에너지투입량을 10%절감했을 때 경제 전체적으로 절감되는 에너지량을 추정하였다.

추정결과, 시설채소는 에너지 소비를 10% 절감 시 15,270toe, 화훼의 경

우 44,440toe 만큼의 절감을 유도할 수 있을 것으로 분석되었다. 시설채소의 경우 10% 절감량이 55,725toe이며, 유발된 절감량은 15,270toe이므로 실제 절감률은 12.7% 정도인 것으로 추정되었다.

표 2-10. 시설채소·화훼 에너지소비 10% 절감 시 에너지원별 절감량

단위: toe

	시설채소			화훼		
	총 에너지 절감량	1차 에너지 절감량	화석 연료 절감량	총 에너지 절감량	1차 에너지 절감량	화석 연료 절감량
무연탄	174	174	174	335	335	335
유연탄	2,566	2,566	2,566	5,010	5,010	5,010
원유	4,649	4,649	4,649	15,909	15,909	15,909
천연가스	498	498	498	1,449	1,449	1,449
석탄제품	1,015	51	0	2,171	109	0
나프타	706	295	0	542	226	0
휘발유 및 제트유	323	30	0	165	15	0
등유	2,148	45	0	142	3	0
경유	848	15	0	12,698	222	0
중유	726	169	0	2,785	650	0
액화석유가스	86	52	0	131	79	0
윤활유 및 기타석유제품	51	2	0	72	3	0
수력	10	10	0	16	16	0
화력	578	2	0	975	4	0
원자력	332	332	0	510	510	0
기타발전	30	0	0	46	0	0
도시가스	492	1	0	1,431	3	0
증기및온수공급업	37	0	0	53	0	0
전체	15,270	8,892	7,887	44,440	24,543	22,702

화훼는 10% 절감량이 51,371toe이며, 유발된 절감량이 44,440toe이므로 실제 절감률은 18.7% 정도인 것으로 나타났다. 결국 화훼의 경우가 채소에 비해 실제 절감효과가 더 큰 것으로 분석되었다. 한편, 온실효과와 직접적으로 관련된 화석연료의 절감효과도 각각 채소의 경우 7,887toe, 화훼의 경우 22,702toe인 것으로 추정된다.

3.5. 주요 농축산물 에너지 소비 전망

3.5.1. 주요 품목의 중장기 소비전망

농업부문의 에너지 산업연관표를 작성, 이를 기반으로 농업부문의 에너지 정책수립을 위한 분석틀로 활용하기 위한 다양한 형태의 에너지 산업연관분석을 제안하는 것을 목적 중 하나로 삼고 있다. 이러한 취지의 일환으로 이루어진 앞 절의 시설채소 및 화훼부문의 에너지절감효과 추정은 2007년이라는 시점을 기준으로 한 횡단면적인 분석에 국한된 것이다.

에너지 산업연관분석은 이와 같이 횡단면 분석과는 별도로 이를 동태·시계열적으로 확장할 경우 또 다른 측면에서의 정책적 함의를 지닌 분석결과을 도출할 수 있다. 이러한 분석의 좋은 예 중 하나는 주요 산업 부문의 최종수요를 장기 예측하고 이 자료를 활용해 전 산업의 에너지 소비량을 장기 예측하는 것이다.

본 연구에서는 에너지 산업연관분석을 동태·시계열적으로 확장하여 특히 주요 농축산물의 장기 수요예측 정보를 기반으로 향후 에너지 소비량을 전망하였다.

에너지 소비 예측을 위해서 본 연구에서 설정한 농축산물은 쌀(벼), 콩, 감자, 원유(낙농), 쇠고기(육우), 돼지고기(양돈), 닭고기(가금) 7개 품목이다. 이들 품목의 수요량 예측치는 우리 연구원에서 발표한「농업전망」결과를 참조하여 산정 지수화하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

전망치에서 품목별 차이가 존재하는 것이 사실이지만, 쌀을 제외한 나머

지 품목들은 2020년까지 2007년 대비 최대 71.1%(쇠고기)에서 최소 2.1%(감자)까지 최종수요가 증가할 것으로 예측되었다. 쌀의 경우 2020년에는 2007년 수요량의 80% 정도까지 수요량이 감소하는 것으로 전망된다.

표 2-11. 주요 농축산물 소비전망치

지수: 2007년 소비량=100

	2007	2009	2010	2015	2020
벼(쌀)	100.0	96.7	95.1	88.6	80.2
콩	100.0	89.9	100.0	106.7	113.5
감자	100.0	97.8	101.4	99.3	102.2
낙농(원유)	100.0	98.6	99.8	107.6	113.8
육우(쇠고기)	100.0	105.3	115.8	146.1	171.1
양돈(돼지고기)	100.0	96.4	101.0	103.1	108.3
가금(닭고기)	100.0	107.9	114.6	121.3	129.2

3.5.2. 주요 농축산물 에너지 소비 추정결과

쌀은 앞에서 언급한 바와 같이 최종 수요의 감소로 인해 에너지 소비는 2007년 4만 9,000toe에서 2020년에는 3만 9,000toe로 약 1만 toe가 감소할 것으로 전망된다. 에너지원별로는 원유나 경유 등과 같은 유류제품의 소비가 큰 폭으로 감소할 것으로 전망되며, 유연탄과 같은 1차 에너지의 소비 또한 감소폭이 클 것으로 예상된다.

콩의 경우 최종 수요의 증가 영향으로 에너지 소비량은 2007년 3만 3,000 toe에서 2020년 3만 7,000toe로 약 4,000toe가 증가할 것으로 전망된다. 에너지원별로는 특히 1차 에너지원인 원유의 소비가 크게 증가하여 2020년까지 총 1,600toe가 증가할 것으로 전망된다.

표 2-12. 벼(쌀)의 에너지 소비(유발)량 예측결과

단위: toe

	벼(쌀)					
	2007	2009	2010	2015	2020	증감 ('20/'07)
무연탄	322	311	306	285	258	-64
유연탄	7,165	6,932	6,811	6,345	5,748	-1,416
원유	13,670	13,225	12,994	12,105	10,968	-2,702
천연가스	3,042	2,943	2,891	2,693	2,440	-601
석탄제품	215	208	204	190	172	-42
나프타	2,015	1,949	1,915	1,784	1,616	-398
휘발유 및 제트유	2,367	2,290	2,250	2,096	1,899	-468
등유	135	130	128	119	108	-27
경유	6,379	6,171	6,063	5,649	5,118	-1,261
중유	3,430	3,318	3,260	3,037	2,752	-678
액화석유가스	320	309	304	283	256	-63
윤활유 및 기타석유제품	152	147	145	135	122	-30
수력	70	68	67	62	56	-14
화력	3,950	3,821	3,755	3,498	3,169	-781
원자력	2,241	2,168	2,130	1,985	1,798	-443
기타발전	70	68	67	62	56	-14
도시가스	3,004	2,907	2,856	2,661	2,410	-594
증기및온수공급업	104	100	99	92	83	-21
전체	48,648	47,067	46,245	43,081	39,033	-9,616

감자는 수요 변동이 약 2%일 것으로 전망됨에 따라 에너지 소비(유발)량도 상대적으로 다른 품목에 비해 큰 변동은 없을 것으로 예상된다. 감자의 에너지 소비는 2007년 3만 toe에서 2020년에는 3만 1,000toe로 1,000toe 미만의 증가가 있을 것으로 예측되어 그다지 변화 없이 일정 정도 유지될 것으로 전망된다.

표 2-13. 콩 및 감자의 에너지 소비(유발)량 예측결과

단위: toe

	콩					감자				
	2007	2010	2015	2020	증감 ('20 /'07)	2007	2010	2015	2020	증감 ('20 /'07)
무연탄	186	186	199	211	25	239	243	237	244	5
유연탄	3,140	3,140	3,352	3,563	423	3,423	3,472	3,398	3,497	74
원유	11,506	11,506	12,282	13,057	1,551	9,601	9,739	9,532	9,809	207
천연가스	1,396	1,396	1,490	1,584	188	1,494	1,516	1,483	1,526	32
석탄제품	240	240	256	272	32	342	347	339	349	7
나프타	2,629	2,629	2,806	2,983	354	2,922	2,964	2,901	2,985	63
휘발유 및 제트유	1,590	1,590	1,697	1,804	214	1,235	1,253	1,226	1,262	27
등유	104	104	111	118	14	96	97	95	98	2
경유	4,981	4,981	5,317	5,653	672	3,355	3,403	3,331	3,427	72
중유	2,508	2,508	2,678	2,847	338	2,512	2,548	2,494	2,566	54
액화 석유가스	343	343	366	389	46	337	341	334	344	7
윤활유 및 기타석유제품	161	161	171	182	22	191	194	190	195	4
수력	27	27	29	31	4	28	29	28	29	1
화력	1,550	1,550	1,655	1,759	209	1,616	1,639	1,604	1,650	35
원자력	884	884	943	1,003	119	922	935	915	942	20
기타발전	81	81	86	92	11	98	99	97	100	2
도시가스	1,379	1,379	1,472	1,565	186	1,476	1,497	1,465	1,508	32
증기 및 온수공급업	131	131	140	149	18	122	124	121	124	3
전체	32,834	32,834	35,048	37,261	4,427	30,008	30,440	29,792	30,656	648

원유의 경우 최종 수요가 완만한 증가추세로 전망되어 에너지 소비는 2007년 3만 6,000toe에서 2020년에는 4만 1,000toe로 약 5,000toe 정도 증가할 것으로 예측된다. 원유는 특징적으로 다른 에너지원에 비해 1차 에너지원인 유연탄의 소비 증가가 클 것으로 전망되어 2020년까지 1,000toe이상의 증가세를 보일 것으로 보인다.

쇠고기는 2010년 이후 발생하게 될 최종 수요의 급격한 증가 추세를 반영하여 에너지 소비가 2007년 14만 toe에서 2010년까지는 16만 toe까지 증가하다, 2010년 이후 2020년까지 24만 toe로 거의 70% 이상 10만 toe 가까이 증가할 것으로 전망된다. 쇠고기의 경우 주로 유연탄, 원유, 천연가스 등 1차 에너지원의 소비를 촉진시키는 한편, 중유나 화력발전 등 전력 생산으로 인한 에너지 소비도 함께 증가할 것으로 예상된다.

표 2-14. 낙농(원유) 및 육우(쇠고기) 에너지 소비(유발)량 예측결과

단위: toe

	낙농(원유)					육우(쇠고기)				
	2007	2010	2015	2020	증감 ('20/'07)	2007	2010	2015	2020	증감 ('20/'07)
무연탄	395	395	425	450	55	1,476	1,709	2,156	2,525	1,049
유연탄	8,653	8,640	9,313	9,848	1,195	28,671	33,198	41,875	49,043	20,372
원유	4,965	4,957	5,343	5,651	686	25,242	29,228	36,867	43,178	17,935
천연가스	3,855	3,849	4,148	4,387	532	13,579	15,723	19,833	23,227	9,648
석탄제품	236	236	254	269	33	1,231	1,425	1,797	2,105	874
나프타	1,012	1,011	1,089	1,152	140	5,170	5,986	7,551	8,843	3,673
휘발유 및 제트유	627	626	674	713	87	3,168	3,669	4,628	5,420	2,251
등유	326	326	351	371	45	2,210	2,559	3,228	3,780	1,570
경유	1,275	1,273	1,372	1,451	176	5,818	6,736	8,497	9,951	4,134
중유	2,772	2,768	2,983	3,155	383	12,206	14,133	17,826	20,878	8,672
액화 석유가스	380	380	409	433	52	1,748	2,024	2,553	2,990	1,242
윤활유 및 기타석유제품	205	204	220	233	28	2,489	2,881	3,635	4,257	1,768
수력	87	87	94	99	12	277	320	404	473	197
화력	4,832	4,824	5,200	5,499	667	15,540	17,994	22,697	26,582	11,042
원자력	2,536	2,532	2,729	2,886	350	8,186	9,479	11,956	14,002	5,816
기타발전	53	53	57	61	7	274	317	400	469	195
도시가스	3,808	3,802	4,098	4,333	526	13,413	15,531	19,590	22,944	9,530
증기 및 온수공급업	26	26	28	30	4	129	150	189	221	92
전체	36,044	35,986	38,790	41,021	4,977	140,827	163,063	205,682	240,888	100,061

돼지고기는 2015년까지 최종 수요의 변동이 약 4%이며, 이후 2007년 대비 8% 이상 증가가 있을 것으로 전망됨에 따라 에너지 소비(유발)량도 상대적으로 다른 품목에 비해 2015년까지 큰 변동이 없으며, 이후 2020년까지 증가세가 커질 것으로 전망된다.

닭고기의 경우 최종 수요의 완만한 증가추세로 인해 에너지 소비량은 2007년 14만 8,000toe에서 2020년에는 19만 1,000toe로 증가할 것으로 전망되고 있다.

표 2-15. 양돈(돼지고기) 및 가금(닭고기)의 에너지 소비(유발)량 예측결과

단위: toe

	양돈(돼지고기)					가금(닭고기)				
	2007	2010	2015	2020	증감('20/'07)	2007	2010	2015	2020	증감('20/'07)
무연탄	86	87	89	93	7	1,496	1,714	1,815	1,932	437
유연탄	1,625	1,642	1,675	1,760	135	30,213	34,626	36,663	39,039	8,826
원유	1,116	1,127	1,151	1,209	93	26,866	30,791	32,602	34,715	7,849
천연가스	680	687	701	736	57	14,534	16,657	17,637	18,780	4,246
석탄제품	199	201	205	216	17	1,502	1,721	1,822	1,941	439
나프타	223	225	230	242	19	4,345	4,980	5,273	5,615	1,269
휘발유 및 제트유	146	148	151	158	12	3,032	3,475	3,679	3,918	886
등유	46	47	48	50	4	746	855	905	964	218
경유	297	300	307	322	25	9,989	11,448	12,122	12,907	2,918
중유	608	614	627	659	51	13,144	15,064	15,950	16,983	3,840
액화 석유가스	84	85	86	91	7	1,852	2,122	2,247	2,392	541
윤활유 및 기타석유제품	42	42	43	45	3	764	876	928	988	223
수력	13	13	13	14	1	265	303	321	342	77
화력	768	776	792	832	64	16,227	18,597	19,691	20,968	4,741
원자력	401	405	413	434	33	8,450	9,684	10,253	10,918	2,468
기타발전	13	13	13	14	1	245	281	297	317	72
도시가스	671	678	692	727	56	14,357	16,454	17,422	18,551	4,194
증기 및 온수공급업	6	6	6	6	0	122	140	148	158	36
전체	7,023	7,096	7,243	7,608	585	148,149	169,788	179,776	191,428	43,279

4. 청정에너지 수급 실태와 전망

4.1. 청정에너지 범위 및 의의

4.1.1. 청정에너지 범위

청정에너지와 유사한 개념인 무공해에너지는 환경을 오염시키지 않는 깨끗한 에너지를 가리키는 용어로 클린에너지, 청정에너지, 새로운 에너지라고도 불린다.

청정에너지는 태양·지열·풍력·조력(潮力) 등의 그린에너지(green energy)와 생물체를 에너지원(源)으로 하는 바이오매스 에너지(biomass energy), 액화석탄·가스화석탄, 수소에너지 등의 합성연료(두산백과사전 EnCyber & EnCyber.com)로 구성되어 있어 청정에너지는 신재생에너지를 포함한다.

신재생에너지 즉 청정에너지는 종류가 다양할 뿐만 아니라 또 어느 범위까지를 청정에너지로 볼 것이냐에 따라 그 정의에 차이가 있다. 각 국가마다 계획과 백서 등에서 정의를 달리 내리고 있다.

일본에서는 ‘신에너지(New Energy)’라는 명칭을 주로 사용하고 있으며(동경도, 2006), 세계적으로는 ‘재생가능에너지(Renewable Energy)’라는 명칭을 사용하는 경우가 많다. 우리나라에서는 신에너지와 재생에너지를 통틀어서 ‘신재생에너지(NRE: New & Renewable Energy)’라는 명칭을 사용하고 있다.

표 2-16. 각국의 신재생에너지의 분류와 대상범위 비교

<table>
<tr><th>법령 등
종 류</th><th>일본
신에너지
법[1]</th><th>EU
백서[2]</th><th>US
DOE/EIA[3]</th><th>IEA
WEO[4]</th><th>한국
신재생에너지
기본계획[5]</th></tr>
<tr><td>태양광발전</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr>
<tr><td>태양열발전</td><td>-</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td rowspan="2">○</td></tr>
<tr><td>태양열이용</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr>
<tr><td>패시브솔라</td><td>○</td><td>○</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>바이오매스발전</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td rowspan="3">○</td></tr>
<tr><td>바이오매스열이용</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr>
<tr><td>바이오매스연료</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr>
<tr><td>풍력발전</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr>
<tr><td>수력발전</td><td>-</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr>
<tr><td>지열</td><td>-</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr>
<tr><td>설빙</td><td>○</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>온도차에너지</td><td>○</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>해양온도차발전</td><td>-</td><td>○</td><td>○</td><td>-</td><td rowspan="4">○</td></tr>
<tr><td>파력발전</td><td>-</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr>
<tr><td>조류발전</td><td>-</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr>
<tr><td>조력발전</td><td>-</td><td>○</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>폐기물발전</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td rowspan="3">○</td></tr>
<tr><td>폐기물열이용</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr>
<tr><td>폐기물연료제조</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr>
</table>

주 1) 일본「신에너지 이용 등의 촉진에 관한 특별조치법」

2) EU 재생가능에너지 백서(Energy For The Future: Renewable Sources Of Energy, COM(97)599)

3) 미국 에너지, 에너지절약 정보국(Department of Energy, Energy Information Administration)

4) 국제에너지기관(International Energy Agency)의 통계자료(World Energy Outlook)

5) 한국「대체에너지개발 및 이용보급촉진법 제2조」

자료: 동경도 환경국, 2006(수정).

국내에서는 청정에너지 즉 신재생에너지를「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법」제2조의 규정에 의거하여『기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛·물·지열·강수·생물유기체 등을 포함하여 재생가능한 에너지로 변환시켜 이용하는 에너지』로 정의하고 있다.

국내 신재생에너지의 종류와 특징은 다음과 같다. 재생에너지는 8개 분야, 신에너지는 3개 분야로 분류하는데 태양열, 태양광발전, 풍력, 바이오매스, 폐기물에너지, 지열, 해양에너지, 소수력은 재생에너지에 해당하며, 신에너지는 연료전지, 석탄액화 및 가스화, 수소에너지이다.

신에너지인 연료전지, 석탄 가스화, 수소에너지의 특징은 기술개발이 필요하고, 현재 수준에서는 설치비 등이 고가이다.

표 2-17. 신재생에너지원별 특징

		장점	단점
신에너지	연료전지	저공해, 고효율, 휴대가능, 타 산업으로의 높은 연관성	고가의 발전비용, 추가 기술개발 필요
	석탄 가스화	적은 불순물, 연소조정 편리, 석유와의 유사성	공해발생, 저장 및 해상수송 제한, 거액 투자비 소요
	수소 에너지	저공해, 무한정, 연료전지 등 다양한 활용	저장·수송 곤란, 안정성 문제, 수소 분리비용 과다
재생에너지	태양열 태양광	무공해, 무한정, 낮은 유지비, 높은 활용도, 규모의 유연성	낮은 에너지밀도 넓은 설치면적, 낮은 경제성, 초기 설치비, 계절 영향
	바이오	풍부한 부존자원, 환경오염 감소, 다양한 형태의 에너지 생성	수집·수송 불편, 생물학적 공정 복잡, 높은 설비 투자비
	풍력	무공해, 무한정, 상대적 저렴한 유지비 및 설치비	불규칙한 바람, 발전시설 수시 교체, 소음 등으로 인한 민원
	수력	발전원가 저렴, 무공해	지역적 편재, 수몰지역 보상비 문제
	해양	무공해, 무한정 공급	대규모 시설투자, 전력 소비지와 원거리
	폐기물	저렴한 원료비, 쓰레기 절감, 폐기물 환경오염 방지	복잡한 처리기술, 가공과정에서 환경오염 유발 가능
	지열	무공해, 발전원가 저렴	지역적 제약, 설비투자

자료: 황문성 외(2008)

재생에너지에서 태양열은 넓은 설치면적에 설치가 가능하나, 경제성이 낮고 초기 설치비가 많을 뿐만 아니라 계절에 따라 효능차이가 발생한다. 바이오에너지는 풍부한 부존자원을 활용할 수 있으며, 환경오염도 감소시킬 수 있으나, 생성, 수집·수송이 불편하고 생물학적 공정이 복잡하다.

폐기물은 우리나라에서 가장 많이 사용하고 있는 신재생에너지 중의 하나로 저렴한 원료비, 쓰레기 절감, 폐기물을 환경에 오염되지 않도록 사용하고는 있으나, 가공과정에서 환경오염을 유발하고 있어 정부도 일부분에 대해서는 신재생에너지에서 제외하고자 한다.

지열은 공해가 없으며 발전원가가 저렴하나, 지역적 제약이 따르고 설비투자비가 많다. 새롭게 신재생에너지로 전환될 수 있는 에너지는 온도차에너지인데, 온도차 에너지는 해수, 하천수 등을 이용하는 것으로 자원양이 풍부하고, 비용도 적게 들어 효과적이다.

농업 생산을 위해 이용 가능한 신재생에너지는 지열과 바이오에너지 가운데 목재펠릿, 축분을 이용한 바이오가스 등이 있다.

4.1.2. 청정에너지 이용의 의의

미국에서는 1988년 지속가능한 농업연구 및 교육(Sustainable Agriculture Research & Education: SARE)의 틀하에서 청정에너지 프로그램이 시작될 때부터 농무성 차원에서 청정에너지 농업 프로그램을 추진해 오고 있다. SARE에 따르면 청정에너지농업(clean energy farming)은 ①에너지 효율을 향상시켜 경영비를 절감하고, ②에너지를 절약하고 동시에 자연자원도 보전하는 농법 이행, ③재생가능한 에너지 생산 및 이용을 의미한다고 정의하였다.

첫째, 청정에너지농업을 실천할 수 있는 수단은 트랙터 관리 철저, 전구 교체 등과 같은 기계 및 설비의 기능 향상, 에너지 절감형 건축 등과 같은 효율성 제고를 통해 에너지 이용과 비용을 낮추는 일이다.

둘째, 윤작 등 작형 조절 등을 통해 비료, 농약 사용량을 줄여 에너지 소비를 줄이는 것이다.

셋째, 태양열, 풍력, 바이오작물, 가축분뇨 등을 이용하여 농장에서 에너지를 생산하는 것을 들 수 있다[13].

재생가능에너지가 지역의 지속가능한 발전에 기여할 수 있는 사회경제적 효과로 고용 효과, 수입발생 효과, 인구유입효과, 에너지 자립, 교육적 효과, 생산활동의 다양화, 사회적 결속력 증대와 인적자원 개발, 수입분배 효과, 관광효과 등을 계상할 수 있다[14].

4.2. 신재생에너지 이용 동향과 전망

2008년 기준 국내 신재생에너지 이용량은 585.8만 toe로 국내 1차 에너지 총소비량에서 차지하는 비중은 2.43%에 불과하다. 그러나 2000년 이후 총에너지 소비량의 증가율보다 신재생에너지의 보급률이 보다 빠르게 증가하는 경향을 보이고 있다(표 2-3 참조).

신재생에너지원별로는 태양열과 수력의 경우 에너지 소비량이 지속적으로 감소하는 추세인 반면, 바이오, 풍력, 폐기물, 태양광, 지열 등은 매년 증가하고 있는 것으로 나타났다.

2008년 기준 신재생에너지원별 보급실태를 살펴보면, 폐기물이 전체의 78%로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 수력은 에너지 소비량이 감소함에도 불구하고 11.3%로 두 번째로 높은 비중을 보이고 있다. 또한, 최근 바이오에너지 사용 증가로 신재생에너지 가운데 세 번째인 7.3%로 나타났다. 이들 3개 에너지원을 제외하면, 타 에너지원들의 보급률은 매우 미미한 수준이다.

신재생에너지 가운데 보급비중이 가장 높은 폐기물은 폐가스, 산업폐기물, 폐목재, 생활폐기물, 대형도시쓰레기 등으로 구성되어 있으며, 바이오열원으로는 바이오가스, 매립지가스, 바이오디젤, 우드칩, 성형탄, 임산연

13 http://www.sare.org/publications/energy/energy.pdf

14 Pablo and Burguillio(2007).

료 등을 들 수 있다.

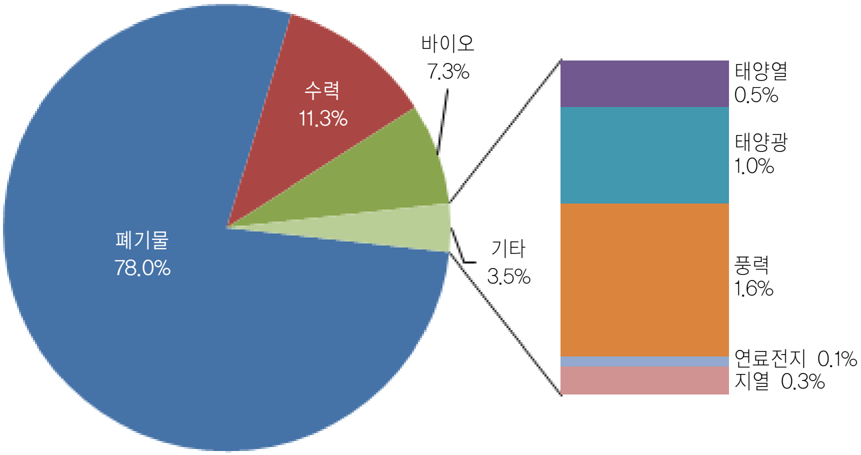
표 2-18. 국내 신재생에너지원별 보급실태

단위: toe, %

에너지원	2000	2005	2006	2007	2008	2008 비중
태 양 열	41,689	34,729	33,018	29,375	28,036	0.5
태 양 광	1,321	3,600	7,756	15,325	61,128	1.0
바 이 오	82,004	181,275	274,482	370,159	426,760	7.3
풍 력	4,171	32,472	59,728	80,763	93,747	1.6
수 력	20,456	918,504	867,058	780,899	660,148	11.3
연료전지	0	526	1,670	1,832	4,367	0.1
폐 기 물	1,977,662	3,705,547	3,975,272	4,319,309	4,568,568	78.0
지 열	0	2,558	6,208	11,144	15,726	0.3
계	2,127,303	4,879,211	5,225,192	5,608,806	5,858,480	100.0

자료: 에너지관리공단. 신재생에너지 보급통계. 2008.

그림 2-3. 신재생에너지 분류 및 이용실태(2008년)



신재생에너지의 산업별 이용 현황을 보면, 태양열은 가정용으로 54.5% 사용하고, 태양광은 발전 산업용으로 94% 사용되고 있다. 지열은 공공시설에 37.5%, 사회복지시설 21.3%, 교육시설에 13.4%가 사용되고 있는 것으로 나타났다.

표 2-19. 신재생에너지의 산업별 이용 현황

단위: %

	가정용	공공 시설	교육 시설	사회 복지	상업 시설	산업 시설	발전 산업용	기타
태양열	54.5	7.1	5.2	11.1	5.0	0.0	0.0	17.1
태양광	3.9	1.1	0.3	0.0	0.0	0.1	94.0	0.6
지 열	1.3	37.5	13.4	21.3	4.4	0.0	0.0	22.0

자료: 에너지관리공단, 신재생에너지 보급통계, 2008

농업부문의 신재생에너지 이용은 0.1% 미만으로 아주 미미한 실정이며, 현재의 기술수준으로는 태양열, 바이오매스, 지열 등이고 최근 온도차에너지가 신재생에너지로 부각되고 있으나, 경제성까지 고려한다면 아직은 정부의 보조정책이 없다면 보급·확대가 어려운 실정이다.

그러나 향후 기술개발(R&D)로 설치비용이 절감되거나, 열효율이 지금보다 크게 향상되고, 국제유가가 급상승하게 되면 보급·확대 가능성이 있다.

4.3. 신재생에너지의 공급 잠재량과 공급확대 전망

4.3.1. 신재생에너지의 공급 잠재량

신재생에너지원별 부존잠재량은 국내에 부존하는 에너지의 총량을 말하며, 가용잠재량은 에너지 설비 입지의 지리적 여건을 고려한 에너지량이다. 기술잠재량은 현재 기술수준으로 산출될 수 있는 에너지량(효율 고려)이며, 공급잠재량은 현 에너지환경 및 기타 여건을 고려한 에너지 총량이

라 할 수 있다.

신재생에너지원별 공급 잠재량을 보면, 지열이 2,789.6만 toe(전체 잠재량의 30.8%)로 가장 많고, 다음이 태양열, 수력, 태양광 순이다. 공급 잠재량이 많은 에너지원들의 경우 현재 이용률이 매우 미미하기 때문에 이들 에너지원의 이용을 활성화할 수 있는 기술개발 및 보급정책이 지속적으로 추진되어야 할 것이다.

표 2-20. 신재생에너지 보급 잠재량

단위: 천 toe

		부존잠재량	가용잠재량	기술잠재량	공급잠재량	비율(%)
태양열		11,159,495	3,483,910	104,517	20,903	23.08
태양광				46,825	9,365	10.34
바이오		141,855	11,656	6,171	6,171	6.81
풍력	육상	246,750	12,003	9,416	810	0.89
	해상	220,206	38,150	20,007	1,727	1.91
수력(대수력포함)		126,273	65,210	20,867	20,867	23.04
지 열		2,352,800,000	131,050,960	191,334	27,896	30.80
해 양					2,839	3.14
합 계		2,364,694,579	134,661,889	399,137	90,578	100.00

자료: 지식경제부, 제3차 신재생에너지기본계획, 2008.12.

4.3.2. 신재생에너지의 공급전망

정부의 제3차 신재생에너지 기본계획에 의하면, 향후 2030년까지 신재생에너지 보급량은 3,302.7만 toe에 이르러 총에너지 수요 중 11%를 차지할 것으로 전망된다. 2008~2030년간 신재생에너지의 연평균 증가율은 7.8%로 동 기간 연평균 0.9% 증가에 그친 총에너지 수요에 비해 훨씬 높은 증가율을 보일 것으로 예상된다.

신재생에너지원별 증가율을 보면, 해양에너지의 증가율이 가장 높고 다음으로 지열, 태양열, 풍력 등의 증가율이 높게 나타날 것으로 예상된다. 바이오에너지의 경우 증가율은 높은 편에 속하지 않지만, 에너지량은

1,035.7만 toe에 이를 것으로 보인다. 반면, 현재 신재생에너지 수요에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 폐기물과 수력의 경우 각각 4.0%, 1.9%의 낮은 증가율에 그칠 것으로 전망된다.

신재생에너지원별로는 2030년 가장 큰 비중을 차지하는 에너지원이 역시 폐기물로 전망되며, 다음으로 바이오에너지, 풍력 순이 될 것으로 예상된다. 폐기물의 경우 2030년까지도 가장 중요한 신재생에너지원이 될 것으로 전망되지만, 그 비중은 2008년 73.7%에서 2030년 33.4%로 크게 감소할 것으로 예상된다. 반면, 바이오에너지의 비중은 2008년 8.1%에서 2030년 31.4%로 크게 증가하여 신재생에너지 보급 확대를 선도할 것으로 전망된다.

표 2-21. 신재생에너지원별 공급 목표

단위: 천 toe, %

	2008	2010	2015	2020	2030	연평균 증가율
태양열	33 (0.5)	40 (0.5)	63 (0.5)	342 (2.0)	1,882 (5.7)	20.2
태양광	59 (0.9)	138 (1.8)	313 (2.7)	552 (3.2)	1,364 (4.1)	15.3
풍 력	106 (1.7)	220 (2.9)	1,084 (9.2)	2,035 (11.6)	4,155 (12.6)	18.1
바이오	518 (8.1)	987 (13.0)	2,210 (18.8)	4,211 (24.0)	10,357 (31.4)	14.6
수 력	946 (14.9)	972 (12.8)	1,071 (9.1)	1,165 (6.6)	1,447 (4.4)	1.9
지 열	9 (0.1)	43 (0.6)	280 (2.4)	544 (3.1)	1,261 (3.8)	25.5
해 양	0 (0.0)	70 (0.9)	393 (3.3)	907 (5.2)	1,540 (4.7)	49.6
폐기물	4,688 (73.7)	5,097 (67.4)	6,316 (53.8)	7,764 (44.3)	11,021 (33.4)	4.0
합 계	6,360	7,566	11,731	17,520	33,027	7.8
1차에너지 (백만 toe)	247	253	270	287	300	0.9
비 중	2.58	2.98	4.33	6.08	11.0	

주: ( )는 연도별 신재생에너지 합계에서 차지하는 비중임.
자료: 지식경제부, 제3차 신재생에너지 기본계획, 2008.

전반적으로 현재의 폐기물 중심의 신재생에너지 공급 구조에서 바이오에너지, 풍력, 태양에너지 등 자연재생에너지원 중심의 공급 구조로 전환될 것으로 전망된다. 폐기물 중심의 신재생에너지 공급 구조가 반드시 나쁜 것은 아니지만 현재 폐기물의 대부분을 부생가스 등의 비재생에너지가 차지하고 있는 것을 감안하면, 자연재생에너지 공급 증가는 바람직한 방향이라 판단된다.

농업부문 에너지 이용 실태

제3장

1. 농가의 에너지 이용 실태

일반적으로 농업부문 에너지 이용에 대해 논의할 때, 난방용 에너지 이용이 많은 시설원예 작목을 주요 대상으로 하지만 농업부문 에너지 이용의 정도를 비교하기 위해서 경종과 과수의 에너지 사용 실태도 조사하였다.

본 과제 1차년도에는 쌀, 오이, 토마토, 사과, 배 5품목 농가의 농업용 에너지 사용에 대해 한국농촌경제연구원 농업관측센터 표본농가를 대상으로 전화조사하였다. 조사기간은 2010년 5월(쌀), 7월(과채, 과일)이고, 조사농가수와 조사내용은 <표 3-1>과 같다. 조사내용 중 에너지원별 이용량과 사용용도별 비중은 농가의 추정치이다. 따라서 농가가 직접 기장한 서류에 근거하지 않았기 때문에 정확성에는 한계가 있음을 미리 밝힌다.

표 3-1. 조사 농가 수 및 조사 내용

품목	농가 수	조사내용
쌀	114	재배면적 농업용 용도별 에너지원과 이용량 에너지원별 이용의 문제점 신재생에너지 및 에너지 정책 의견
오이	93	
토마토	87	
사과	51	
배	59	

1.1. 벼 농가의 에너지 이용 실태

1.1.1. 농가 개요

전국 벼 재배 98농가를 대상으로 전화 조사한 결과, 경영주의 연령은 30대 이하를 제외하고 각 연령대가 고르게 분포하며, 재배면적은 3ha 이하가 49%, 5ha 이상이 37%를 차지하고 있다(표 3-2).

벼 재배는 기계화율이 높고 농작업을 위탁주거나 위탁받아 이루어지는 경우가 많기 때문에 이에 대해 경영주 연령별과 재배면적별로 나누어 살펴보았다. 해당 연령 및 재배면적별로 농작업 위탁여부를 살펴본 것이 <표 3-3>이다. 50대가 농작업을 위탁받아 경영하는 비율이 57%인 반면 60~70대는 위탁을 주는 비율이 각각 44%, 56%로 높다.

경영주 연령별 벼 재배규모는 50대가 3만2천평으로 가장 규모가 크게 경영하는 것으로 보아 벼 전업농이 많은 것으로 추측되며, 30~40대는 위탁받는 면적이 약 10만평 정도로 큰 것으로 조사되었다(표 3-5). 30~40대는 벼 재배뿐만 아니라 밭 농사나 시설재배도 50대의 2배를 경영하고 있다.

표 3-2. 벼 농가의 경영주 연령 및 재배면적 규모별 응답수

단위: 명, %

연령	응답수	비율	재배면적	응답수	비율
30대 이하	4	4.1	1ha 이하	19	19.4
40대	28	28.6	1～3ha	29	29.6
50대	23	23.5	3～5ha	14	14.3
60대	25	25.5	5～10ha	19	19.4
70대 이상	18	18.4	10ha 이상	17	17.3
계	98	100.0	계	98	100.0

표 3-3. 벼 농가의 농작업 위탁(+, -) 여부

단위: 명, %

연령	위탁(+)		위탁(-)		재배면적	위탁(+)		위탁(-)	
	수	비율	수	비율		수	비율	수	비율
30대 이하	1	25.0	0	0.0	1ha 이하	7	28.0	6	24.0
40대	10	35.7	6	21.4	1~3ha	16	57.1	2	7.1
50대	13	56.5	3	13.0	3~5ha	2	16.7	6	50.0
60대	3	12.0	11	44.0	5~10ha	2	11.1	8	44.4
70대 이상	0	0.0	10	55.6	10ha이상	0	0.0	8	53.3
계	27	27.6	30	30.6	계	27	27.6	30	30.6

표 3-4. 벼 농가의 경영주 연령별 평균 경영면적

단위: 평

	논			밭	시설재배
	평균 재배면적	위탁받은 (+)면적	위탁한(-) 면적		
30대 이하	16,000	100,000		12,000	
40대	24,833	97,540	10,571	3,231	1,225
50대	32,252	41,643	38,333	1,659	654
60대	14,616	36,001	17,050	2,580	750
70대 이상	5,234	-	3,588	1,123	100
평균	19,720	62,152	12,820	2,474	771

한편, 벼 재배면적 규모별로 살펴보면, 규모가 5ha 이상인 경우는 농작업 등을 위탁받은 면적이 크지만, 3~5ha인 경우는 벼 재배 농작업은 위탁하는 대신 밭 작물과 시설재배에 집중도가 높다(표 3-5). 이 결과는 쌀 가격이 정체 또는 하락하여 벼 재배의 수익성이 감소하는 사실과 관련이 있다. 벼 재배가 농가경제에 큰 역할을 하지 못하므로 재배면적 규모에 관계없이 농작업의 수위탁이 빈번히 발생하고 있다.

표 3-5. 벼 농가의 재배면적규모별 평균 경영면적

단위: 평

	논			밭	시설재배
	평균 재배면적	위탁받은 (+)면적	위탁한(-) 면적		
1ha 이하	1,828	2,200	1,750	1,477	450
1~3ha	6,316	30,750	6,085	3,011	813
3~5ha	12,467	4,667	8,500	4,435	1,925
5~10ha	23,461	39,667	14,000	1,638	232
10ha 이상	74,706	148,125	77,500	2,833	500
평균	19,720	62,152	12,820	2,474	771

1.1.2. 에너지 연간 사용량

벼 재배의 농작업 기계화율은 1991년 67%에서 2009년 91%로 증가하였고, 10a당 노동투하시간은 1991년 54시간에서 2007년 19시간으로 65% 감소하였다[15]. 이에 따라 벼 재배의 농업기계용 유류 사용도 크게 증가하였다.

본 조사는 모두 벼를 재배하는 농가이지만 벼 이외에도 축산 14명(14%)을 비롯하여 채소류, 과일류 등 여러 작목을 동시에 재배하고 있다. 그 때문에 에너지 사용량 조사결과는 모두 벼 재배만의 사용량이 아니라 벼를 주로 재배하는 농가의 전체 에너지 사용량이라는 한계가 있다.

벼 재배농가는 연간 경유 6,000리터, 등·중유·벙커C유 등 4,000리터, 휘발유 400리터와 전기 4,000만 원을 사용하는 것으로 조사되었다(표 3-6).

재배면적 규모별 농가의 농업용 에너지 사용량은 재배면적 증가에 따라 급증하여 10ha 이상인 농가는 경유의 면세유 외에 구입량도 경유 사용량의 36%에 이르는 반면 기타 석유류를 1만 리터 이상 사용한다. 재배면적 1~3ha의 경유의 면세유 이용률이 47%로 낮고 재배면적 3~5ha의 면세유

15 농림수산식품 주요통계(2010)

사용량이 많은 것은 주요 소득원이 축산 및 시설재배인 농가가 포함되었기 때문이다. 그러나 단위면적당 사용량으로 살펴보면 재배 규모가 클수록 단위면적당 사용량은 감소하여 규모의 경제가 실현되는 것을 알 수 있다.

전기 사용량도 재배면적 규모에 따라 증가하는데 재배규모가 클수록 건조, 정미를 농가에서 직접 수행하는 비중이 높기 때문이다.

표 3-6. 벼 농가의 연평균 석유 및 전기 (단위면적당) 사용량

단위: 리터, 리터/3.3㎡, kwh

	경유								
	면세	구입	단위 사용량	등·중유 벙커C유	단위 사용량	휘발유	단위 사용량	전기	단위 사용량
응답수	87	38		41		78		28	
평균	3,902	2,471		4,138		441		4051만 원	
1ha이하	1,858	268	1.39	1,650	0.29	193	0.22	6,259	0.61
1~3ha	1,066	1,218	0.25	563	0.08	306	0.05	7,529	1.25
3~5ha	5,696	2,299	0.72	938	0.07	662	0.09	16,635	1.14
5~10ha	2,856	1,456	0.12	1,530	0.06	288	0.01	62,901	2.06
10ha이상	9,934	5,667	0.16	10,228	0.04	887	0.01	168,568	0.75

주: 단위사용량은 연간 단위면적(1평=3.3㎡)당 사용량(리터)을 말함.

1.1.3. 에너지원별 사용 용도

에너지 사용 용도는 모두 벼 재배의 용도가 아니라 벼를 주로 재배하는 농가의 사용 용도라는 한계가 있다.

벼 재배에서 경유와 휘발유는 농작업용 농기계에 90% 이상 사용하지만 등유, 중유 등 기타 석유류는 농기계에 16%, 건조·정미작업에 84%를 사용하고 있다(표 3-7). 한편 전기는 벼 재배 농가 중 일부 시설재배를 겸하는 농가의 관주용 농기계가 포함되어 8%를 사용하고, 기타에는 축사용 사용 등이 포함되어 47%로 높게 조사되었다.

벼 농가의 에너지 사용은 농작업용 농기계와 건조 및 정미 등 가공에 집

중되어 있다. 벼 재배에서 주요 농작업의 농기계율은 경운·정지, 이앙, 수확이 99.6%, 방제 98.4%이지만 건조의 농기계 이용률은 55.3%에 머물고 있는 사실을 감안할 때, 건조작업도 농기계 의존률이 증가할 것으로 예상된다. 다만, 농가 고령화와 노동력 부족이 심화되고 있는 현실에서 농가단위 건조작업보다 농협 등 생산자단체의 공동 시설을 이용하도록 장려가 필요하다.

표 3-7. 벼 농가의 에너지 사용 용도

단위: %

	농기계	건조·정미	보관	수송	기타	계
경유(면세)	93.7	4.2	0.0	1.3	0.8	100
경유(구입)	93.9	2.8	0.0	3.0	0.3	100
등유, 중유 벙커C유 등	16.0	84.0	0.0	0.3	0.0	100
휘발유	99.1	0	0.0	0.3	0.7	100
전기(일반)	8.2	36.5	18.0	0.0	37.7	100

1.2. 과채 농가의 에너지 이용 실태

1.2.1. 농가 개요

과채류는 연중 소비되는 토마토와 오이를 비교하였다. 전국 토마토 87농가, 오이 93농가를 조사한 결과, 재배면적별로 토마토가 1천5백평~2천평 31%, 오이가 5백평~1천평 36%로 가장 많다(표 3-8). 토마토 농가의 재배면적이 오이 농가보다 크다는 사실을 감안하고 향후 논의를 전개한다.

과채 농가는 연중 2~3기작 재배까지 가능하다. 본 조사에서 해당 작목의 정식시기를 기준으로 작형을 나누었지만 가온시설은 연중 생산이 가능하므로 해당 작목의 작형이 억제라 하더라도 타 작목의 겨울철 재배가 있을 수 있다. 그러므로 해당 작목 외에도 2~3기작의 정식시기를 조사하여

타 작목이라도 과채류의 겨울철 재배(정식시기 9월~익년 1월)가 포함되어 있다면 촉성작형으로 분류하였다. 반면 해당 작목이 여름철 재배가 주요 시기인 억제작형은 윤작 작목에 반촉형작형이 있더라도 억제작형으로 표시하였다. 억제작형에서 에너지 사용이 많은 경우는 2~3기작에 가온작목이 윤작되는 것으로 이해해야 한다.

조사농가의 토마토와 오이의 2기작 비율은 66~68%, 3기작은 7~9%로 연중 생산하는 비율이 높다(표 3-9).

표 3-8. 과채 농가의 재배면적 규모별 응답수

단위: 명, %

	토마토		오이	
	응답수	비율	응답수	비율
500평 이하	5	5.7	8	8.6
500~1,000평	22	25.3	33	35.5
1,000~1,500평	19	21.8	25	26.9
1,500~2,500평	27	31.0	12	12.9
2,500평 이상	14	16.1	15	16.1
계	87	100	93	100

표 3-9. 과채 농가의 작기별 재배품목

단위: 명, %

	토마토			오이		
	1기작	2기작	3기작	1기작	2기작	3기작
오이	0.0	10.2	12.5	91.4	68.9	0.0
토마토	95.4	67.8	25.0	1.1	16.4	16.7
과채 기타	4.6	16.9	50.0	5.4	9.8	66.7
기타	0.0	5.1	12.5	2.2	4.9	16.7
응답수	87	59	8	93	61	6
비율(%)	100.0	67.8	9.2	100.0	65.6	6.5

한편 조사대상 농가의 작형은 겨울철 재배인 촉성작형이 토마토 64%, 오이 60%로 촉성작형의 비중이 높다(표 3-10, 표 3-11). 한국농촌경제연구원 농업관측센터는 매월 출하량을 발표하므로 겨울철 재배 또는 출하하는 농가가 다수 포함되어 있기 때문이다. 토마토 농가의 시설재배는 규모는 촉성작형이 평균 900평이며 반촉성과 억제 작형은 촉성작형의 경영규모보다 2~3배 큰 반면, 오이 농가의 시설재배 규모는 촉성과 반촉성 작형의 규모는 비슷하고 억제작형의 규모가 상대적으로 큰 것으로 조사되었다.

표 3-10. 토마토 농가의 작형별 응답수와 경영규모

단위: 명, %, 평

	응답수		경영규모		
	빈도	비율	논	밭	시설재배
촉성	56	64.4	4,388	3,537	936
반촉성	19	21.8	2,765	2,531	2,025
억제	12	13.8	5,417	5,890	2,971
계(또는 평균)	87	100.0	4,103	3,669	1,472

표 3-11. 오이 농가의 작형별 응답수와 경영규모

단위: 명, %, 평

	응답수		경영규모		
	빈도	비율	논	밭	시설재배
촉성	56	60.2	4,010	1,662	1,512
반촉성	29	31.2	6,081	3,622	1,360
억제	8	8.6	6,750	3,643	1,900
계(또는 평균)	93	100.0	5,614	2,976	1,591

1.2.2. 에너지 연간 사용량

본 조사는 농가의 재배작목 전체를 대상으로 에너지 사용량을 조사하였고 해당 작목이 주요 소득원인 경우만을 분석 대상으로 하였다. 그러므로

조사결과는 해당 작목의 에너지 사용만을 의미하는 것이 아니라는 한계가 있다.

과채류의 에너지 사용량은 겨울철 재배 여부와 재배면적에 비례하여 증가한다. 석유류 연간 사용량은, 토마토는 경유 3만 1,000리터, 등유 및 중유 등을 2만 6,000리터를 사용하고, 오이는 경유 2만 2,000리터, 등유 및 중유 1만 2,000리터를 사용한다(표 3-12, 표 3-13). 이를 금액으로 환산하면, 토마토는 평균 경유 2천 500만 원, 등유 등 1천 400만 원, 오이는 평균 경유 1천 900만 원, 등유 등은 700만 원 정도가 소요된다[16].

표 3-12. 토마토 농가의 작형별 석유류 사용량

단위: 리터(ℓ)

	경유		등·중유, 벙커C유		휘발유	
	연간사용량	단위사용량	연간사용량	단위사용량	연간사용량	단위사용량
촉성	37,667	19.6	17,949	17.4	227	0.15
반촉성	17,800	12.9	13,541	12.3	255	0.21
억제	22,109	8.8	12,500	2.5	163	0.47
평균	31,446	16.7	26,073	10.8	222	0.19

주: 단위사용량은 연간 단위면적(1평=3.3㎡)당 사용량(리터)을 말함.

표 3-13. 오이 농가의 작형별 석유류 사용량

단위: 리터(ℓ)

	경유		등·중유, 벙커C유		휘발유	
	연간사용량	단위사용량	연간사용량	단위사용량	연간사용량	단위사용량
촉성	28,294	20.1	20,340	10.7	998	0.62
반촉성	15,264	13.1	7,250	6.8	223	0.18
억제	4,296	3.7	250	0.6	153	0.05
평균	22,495	16.7	12,045	7.2	664	0.42

주: 단위사용량은 연간 단위면적(1평=3.3㎡)당 사용량(리터)을 말함.

16 단가는 리터당 경유 면세유 720원, 경유 과세유 1,260원, 등중유 면세 555원을 적용함. 이 단가는 2009년 1월 농협중앙회가 조사한 전국 평균가격이며 지역에 따라 차이가 있음.

토마토 농가의 연간 석유류 사용량은 작형별 큰 차이가 없지만[17] 단위면적당 경유 사용량은 반촉성작형은 촉성작형의 65%, 억제작형은 촉성작형의 44%를 사용하는 것으로 차이가 나타난다. 오이 농가의 연간 석유류 사용량은 촉성작형의 경유 사용이 반촉성작형의 2배, 억제작형의 6.4배를 사용하고 있다. 단위면적당 경유 사용량은 반촉성작형은 촉성작형의 65%, 억제작형은 촉성작형의 18%를 사용하는 것으로 조사되었다.

토마토 농가의 에너지 사용량은 작형별 구별이 쉽지 않지만 재배면적별 사용량은 뚜렷이 구분되고 있다. 시설재배 면적이 클수록 에너지 사용량은 크게 증가하여 2천5백평 이상의 경유 사용량은 5백~1천평 사용량의 2.9배에 이른다(표 3-14). 단위면적당 사용량은 가온에 이용하는 난방방식의 차이에 따라 경유나 등·중유·벙커C유, 전기의 사용량에 편차가 있다.

표 3-14. 토마토 농가의 재배면적 규모별 에너지 사용량

단위: 리터(ℓ), %

	경유								
	면세	구입	단위 사용량	등, 중유 벙커C유	단위 사용량	휘발유	단위 사용량	전기	단위 사용량
0.5천평이하	4,640	-	13.5	-	-	140	0.30	-	-
0.5~1천평	15,165	5,333	18.3	32,262	36.0	268	0.34	58,121	80.5
1~1.5천평	25,737	6250	21.1	5,000	3.9	221	0.18	135,615	107.9
1.5~2.5천평	24,902	18,525	13.4	15,898	7.9	225	0.11	26,364	16.5
2.5천평 이상	67,643	24,244	15.5	37,500	7.3	163	0.05	216,730	54.3
평균	28,618	15,664	16.7	26,073	17.8	222	0.19	133,128	57.4

주: 단위사용량은 연간 단위면적(1평=3.3㎡)당 사용량(리터)을 말함.

17 농가단위 에너지 사용량을 조사하였고, 토마토는 반촉성작형의 평균 재배면적이 촉성작형보다 크기 때문에 에너지 사용량으로 작형을 구분하기 어렵다는 점이 본 조사의 한계이다.

오이 농가의 에너지 사용량도 재배면적 증가에 따라 크게 증가하는데 2천5백평 이상의 경유 사용량은 5백~1천평 사용량의 1.7배에 이르지만나 단위면적당 경유 사용량은 재배면적 규모가 클수록 감소하여 규모의 경제 효과가 나타나는 것으로 조사되었다(표 3-15).

한편 전기 온풍기의 사용이 증가하며 전기 사용량도 크게 증가하였다. 토마토의 전기 사용량은 연평균 320만 원, 오이는 215만 원이 소요된다.

표 3-15. 오이 농가의 재배면적 규모별 에너지 사용

단위: 리터(ℓ), %

	경유								
	면세	구입	단위 사용량	등,중유 벙커C유	단위 사용량	휘발유	단위 사용량	전기	단위 사용량
0.5천평이하	8,413	2,500	20.4	650	1.8	200	0.5	25,095	56.5
0.5~1천평	13,066	3,044	17.5	12,000	12.0	325	0.5	66,455	79.1
1~1.5천평	20,614	6,900	16.4	2,500	1.3	263	0.2	107,822	83.7
1.5~2.5천평	35,671	10,000	17.5	13,600	6.9	1,157	0.7	96,008	47.4
2.5천평 이상	39,650	6,850	12.4	3,000	1.5	1,420	0.5	102,239	26.7
평균	21,301	5,130	16.7	12,045	7.2	664	0.4	82,707	66.2

주: 단위사용량은 연간 단위면적(1평=3.3㎡)당 사용량(리터)을 말함.

1.2.3. 에너지원별 사용 용도

농가의 에너지 사용량을 사용 용도별로 나누어 조사하였다. 토마토 농가는 시설가온에 경유, 등·중유를 이용하는 비중이 96~99%에 이르고 전기를 이용하는 비중도 64%로 높다(표 3-15). 반면 휘발유는 전량 농기계에 사용하고 전기는 가온을 위한 시설내부 농기계 등에 28%를 이용하고 있다. 오이 농가도 시설 가온에 경유 이용 비중이 90% 이상이고 전기 이용도 71%에 이르는 등 시설 가온에 사용하는 에너지 비율이 절대적으로 높다(표 3-16).

한편 등유, 중유, 벙커C유 등의 이용 비율을 응답한 수는 약 10%에 불과하지만 주로 가온에 사용하는 것으로 조사되었다. 농가는 면세율이 50%인 경유를 선호하지만 면세유 공급량이 부족하고 경영비 절감을 위하여 경유보다 저렴한 대체 석유류를 사용한다.

표 3-16. 토마토 농가의 에너지 사용 용도

단위:%

	농기계	가온	선별, 저장	수송	기타	계	응답수
경유(면세)	3.5	96.0	0.0	0.5	0.0	100	83
경유(구입)	0.8	99.2	0.0	0.0	0.0	100	19
등유, 중유, 벙커C유	1.1	98.7	0.0	0.0	0.2	100	9
휘발유	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	44
전기	27.5	64.3	2.2	0.0	6.0	100	25
나무(목재펠릿)	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100	1

표 3-17. 오이 농가의 에너지 사용 용도

단위:%

	농기계	가온	선별, 저장	수송	기타	계	응답수
경유(면세)	8.4	91.2	0.0	0.3	0.1	100	82
경유(구입)	7.2	92.8	0.0	0.0	0.0	100	21
등유, 중유, 벙커C유	1.3	98.7	0.0	0.0	0.0	100	8
휘발유	93.6	6.4	0.0	0.0	0.0	100	43
전기	8.8	70.6	0.0	0.0	20.6	100	41
나무(목재펠릿)	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100	1

1.3. 과수 농가의 에너지 이용 실태

1.3.1. 농가 개요

과일(사과, 배) 110농가를 조사한 결과, 재배면적 규모별 응답수는 2천평 ~6천평이 60%이며 조사농가의 과수원 경영규모는 2천~4천평 규모가 33%, 4~6천평 규모가 27%로 6천평 이하가 66%를 차지하고 평균 재배규모는 약 6천 평이다(표 3-17).

과일은 수확 후 3~8개월 이상 장기저장하며 분산출하가 가능하므로 저온창고의 유무는 에너지 사용의 중요한 요인이다. 또한 과원 관리에 각종 농기계 사용이 많으므로 그 내용도 조사하였다.

과일 조사농가의 69%인 76호가 저온창고를 보유하고 있다(3-18). 저온창고의 보유 비율은 경영규모 증가에 비례하여 증가하지만 8천평 이상 농가의 경우는 그 비율이 약간 감소하는데 규모가 큰 농가는 개인 저온창고보다 영농조합법인이나 작목반 등 생산자단체의 공동시설을 이용하는 것으로 조사되었다.

표 3-18. 과일 농가의 재배면적별 응답수와 평균 경영규모

단위: 명, %, 평

	조사 응답		경영규모		
	응답수	비율	논	밭	과수원
2천평 이하	7	6.4	1,780	1,157	1,471
2천~4천 평	36	32.7	2,843	2,258	3,219
4천~6천 평	30	27.3	2,515	2,860	5,050
6천~8천 평	13	11.8	2,667	7,200	7,354
8천평 이상	24	21.8	3,857	4,650	11,209
계(또는 평균)	110	100.0	2,782	2,905	5,790

또한 농가가 보유한 저온창고의 규모는 평균 20평 규모이며 저장가능량은 약 45톤이다.

표 3-19. 과일 농가의 재배면적별 저온창고의 면적 및 저장가능량

단위: 평, %, 톤

	보유 비중	면적규모	저장가능량
2천평 이하	42.9	11.7	17.5
2천~4천평	63.9	15.5	41.4
4천~6천평	66.7	19.3	30.5
6천~8천평	92.3	25.3	63.1
8천평 이상	75.0	25.8	56.4
평균	69.1	20.3	44.6

과일 농가의 농기계 사용율은 예초기, SS기, 트랙터, 퇴비살포기의 순으로 보유 비율이 높다(표 3-19). 과원 관리에는 관수시설 87%, 스프링클러 45%, 해충유인포집기 30%의 순으로 구비한 것으로 조사되었다(표 3-20).

표 3-20. 과일 농가의 농기계 종류별 보유율

단위: 명, %

	트랙터	SS기	예초기	퇴비살포기	기타
응답수	70	98	106	41	21
비율	63.6	89.1	96.4	37.3	19.1

표 3-21. 과일 농가의 과원 관리 시설 보유 유무

단위: 명, %

	관수 시설	스프링쿨러	미세살수 장치	해충유인 포집기	(저온피해 방지용) 방상팬	야생동물 방지철책
응답수	96	49	16	33	10	11
비율	87.3	44.5	14.5	30.0	9.1	10.0

1.3.2. 에너지 연간 사용량과 에너지원별 사용 용도

과일농가의 에너지 사용량은 그 절대량이 크지는 않으나 재배면적에 따라 차이는 있다. 경유는 평균 1천 5백리터를 사용하고 전기는 평균 연간 116만 원을 지출한다(표 3-21). 규모가 클수록 단위면적당 전기 사용량은 감소하지만 경유 사용량이 증가하는 것은 일부 트랙터를 보유한 농가가 농작업을 수탁하여 대행하고 있기 때문인 것으로 조사되었다.

과일 농가의 석유류 사용은 거의 농기계에 이용된다. 경유 면세유는 93%, 휘발유의 96%가 농기계에 이용되며 수송에는 10% 내외가 이용된다(표 3-22). 등·중유는 농기계에 이용이 30%이고 기타에 70%인데, 이는 시설재배 농가의 시설 가온량이 포함된 것이다. 반면 전기는 과수원의 스프링클러 등 관수시설이나 야생동물 철책 등 과원 관리에 22%, 선별 및 저장에 78%가 이용된다.

표 3-22. 과수 농가의 에너지 사용량

단위: 리터, kwh

	경유								
	면세	구입	단위 사용량	등,중유 벙커C유	단위 사용량	휘발유	단위 사용량	전기	단위 사용량
응답수	90	43		3		98		88	
평균	1,095	1,014		733		592		116만 원	
2천평 이하	230	120	0.23		-	159	0.12	18,821	7.9
2천~4천평	613	439	0.22	733	0.2	464	0.14	34,264	10.5
4천~6천평	750	541	0.21		-	588	0.11	44,838	8.9
6천~8천평	3,067	277	0.41		-	800	0.11	60,203	8.2
8천평 이상	1,226	2,027	0.23		-	785	0.07	51,787	4.8

주: 단위사용량은 연간 단위면적(1평=3.3㎡)당 사용량(리터)을 말함.

표 3-23. 과수 농가의 에너지 사용 용도

단위: %, 명

	농기계	가온	선별, 저장	수송	기타	계	응답 응답수
경유(면세)	92.5	0.0	0.0	6.4	1.2	100	92
경유(구입)	89.6	0.0	0.0	12.4	0.0	100	46
등유, 중유, 벙커C유	30.0	0.0	0.0	0.0	70.0	100	3
휘발유	95.9	0.3	0.0	2.8	0.9	100	103
전기(일반)	2.1	14.1	77.6	0.0	6.2	100	83

1.4. 농업용 에너지원별 농가인식과 과제

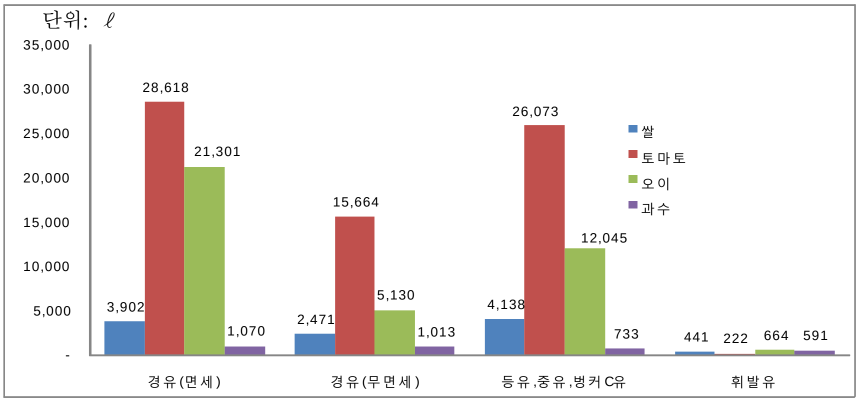
1.4.1. 에너지 사용 용도 비교

앞의 작목별 농업용 에너지 사용 용도와 연간 사용량을 비교한 것이 <표 3-23>이다. 사용 에너지는 석유류와 전기에 의존 비중이 높은데 과채는 석유류 사용의 95%를 가온에 사용하며 전기에 의존하는 비중이 5% 내외로 작은 반면, 경종과 과수는 농기계는 석유류를 이용하고, 보관 및 건조 등은 전기를 이용하고 있다.

표 3-24. 농가의 농업용 에너지 사용 용도

	석유류	전기	기타 에너지와 용도
경종	농기계 94% 차량 3%	건조·정미 및 보관 90%	
과채	가온 95% 농기계·차량 1%	가온 75%	나무(목재펠릿) : 가온
과수	농기계 90% 차량 3%	저장 78%, 과원 관리 22%	

그림 3-1. 농가의 석유류 사용량



<그림 3-1>은 앞 절에서 분류한 작목별 석유류의 연평균 사용량을 비교한 것이다. 과채인 토마토, 오이 농가의 유류 사용량이 벼 재배나 과수 재배 농가보다 월등히 많다. 토마토 농가의 경유 연간 사용량은 벼 재배 농가의 7배, 과수 농가의 28배에 이른다. 그러므로 농업부문 에너지 절감을 논의할 때, 겨울철 재배 가온에 필요한 에너지의 95% 석유류에 의존하고 그 사용량도 타작목에 비해 크게 많은 과채류가 주요 대상이 되고 있다.

또한 과채 농가는 겨울철 가온에 면세유만으로 부족하여 추가 구입하는 경우도 많다. 토마토 농가는 면세유가 부족하여 과세된 경유를 추가 구입[18]하는데 그 구입량도 면세량의 55%에 이르는데 이는 농가의 경영비가 높아지는 이유가 된다.

1.4.2. 농가의 에너지원별 이용 문제점

이 절은 현재 주로 사용하고 있는 농업용 에너지원을 중심으로 해당 에너지원의 구체적인 이용 실태와 농가가 에너지원을 이용하며 느끼는 불만 등 이용의 문제점을 조사한 내용이다.

---

18 토마토 농가는 경유 사용량의 42%를 비면세로 구입한다고 조사되었다(표 3-14 참조).

가. 전기

전기선만 연결되면 자유롭게 이용할 수 있는 전기는 어느 에너지원보다 사용이 편리하고, 한편 농업용 전기요금은 20.6원/kWh(농사용-갑)～36.4원/kWh(농사용-병)으로 값싸기 때문에 농가가 가장 선호하는 에너지원이다.

벼 재배의 경우, 양수, 배수펌프 등에 사용되는 전기는 농사용(갑), 육묘는 농사용(병), 건조기는 농사용(병)을 적용받지만 계약전력이 1~3kWh 미만으로 비용부담이 크지 않지만, 민간 RPC의 건조·도정시설은 산업용 전기를 적용받아 불만이 있다.

시설원에는 유가상승과 값싼 심야전력의 공급으로 전기 이용이 크게 확대되고 있다. 특히 온수보일러에 의한 공간난방이나 지중가온이 증가하는 추세에서 심야전기의 사용이 증가하지만 고압전력 사용에 따른 설비 투자비[19]는 농가가 부담하여야 하므로 시설 농가의 이용도가 그다지 높지 않다.

그러므로 농가 조사 결과, 벼 재배 농가는 84%가 만족한다고 응답하지만, 가온에 에너지 사용량이 많은 과채농가나 저온창고를 유지해야 하는 과수 농가의 경우는 전기에 대한 만족도가 42～49%에 불과하다(표 3-24).

표 3-25. 전기 이용의 문제점

단위: 명, %

	벼 농가	과채농가	과수농가
가격이 비싸다	8.8	31	44.7
전기 시설 설치비가 많이 든다	6.1	18	2.4
해당시설에는 에너지 효율이 낮다	0.0	3	2.4
공급이 불안정하다	0.9	6	1.2
기타(만족함, 이용불편 없음)	84.2	42	49.4
계	100.0	100	100

19 한전의 전력공급 규정에 따르면, 75kW 이상의 경우 전기안전관리자를 두어야 하며, 100kW 이상일 경우 수전설비를 추가로 설치하여야 하고 그 비용을 이용자가 부담하여야 함.

과채농가는 주거지역과 떨어진 시설하우스까지 전기를 연결하기 위해서 전기승압을 해야 하고, 가온 등에 전기를 이용하기 위해서는 새로운 전열기기를 구입해야 하므로 그에 따른 비용부담이 크기 때문이다.

과수농가는 출하기 가격 하락을 방지하기 위해 개별 저온창고를 보유하는 비율이 증가하고 있다[20]. 저온창고는 모두 전기를 이용하므로 전기 요금이 저렴하길 원하는 이유로 가격에 불만이 큰 것으로 나타났다.

나. 경유

농기계 보급과 시설농업의 확대에 따라 유류 사용이 증가하자, 정부는 농업경영비용을 줄이는 지원정책의 일환으로 1986년부터 농업용 면세유류를 공급하였다. 농업용 유류에 대한 세금면제는 조세특례제한법에 근거하여 시행되고 있다.

경유는 농기계의 에너지원과 시설원예의 가온에 이용된다. 모든 농기계나 가온 시설이 석유류를 이용하도록 설계되어 있고 농가도 그에 익숙해지다보니 석유류 이외의 에너지원 사용은 아예 고려하지 않는 실정이다.

표 3-26. 경유 이용의 문제점

단위: 명, %

내　　용	벼 농가	과채 농가	과수 농가
가격이 비싸다(면세율이 낮다)	1.8	51.5	11.5
면세유 양이 적다	71.9	38.3	77.0
가격이 불안정하다	1.8	3.6	2.3
설비 교체 필요하여 비용이 많이 든다	0.9	3.6	1.1
기타(만족함, 이용에 불편 없음)	23.7	3.0	8.0
계	100.0	100	100.0

20 과수 조사대상의 68%인 84농가가 저온창고를 보유하고 연평균 7.9개월 가동한다.

농가 조사 결과, 벼, 과채, 과수 모두 농가의 불만이 큰 것을 알 수 있다. 최근 면세유 부정사용에 대한 언론의 지적으로 면세유 양이 크게 감소함에 따라 농가에서 사용하는 면세유 양이 부족하기 때문에 제기되는 문제이다.

한편, 과채의 경우는 유가상승으로 면세유 가격도 크게 상승하여 가온을 하는 농가에게 경영비 상승으로 직결되고 있다. 그러나 겨울철에도 과채류를 요구하는 소비자의 소비패턴은 겨울철 재배 농산물이 지속적으로 고가격을 유지하도록 유인하고 있다. 이러한 겨울철 고가격에 대한 기대로 농가의 정식시기는 점점 앞당겨지는 경향이 있고 그에 따라 가온시기가 길어져 에너지 사용량이 증가한다. 그러므로 과채 농가는 유가 상승분에 대해 면세율을 높여줄 것과 유류의 면세량을 늘려줄 것을 요구하고 있다.

1990년대 이후 농기계화율이 크게 진척되어 농기계에 이용되는 경유 사용은 이미 정점에 근접하고 있으나 시설원예의 가온으로 사용되는 수요는 지속적으로 증가하고 있으므로 그에 대한 대책이 필요하다.

다. 기타

전기나 경유 이외 농업 에너지원으로 이용되는 것이 나무(화목)나 연탄, 가스 등이다.

그러나 노동력이 부족한 농촌에서 연료용 나무를 직접 구하는 것도 문제이고 구입하더라도 부피가 커서 대량보관할 장소가 필요하며 지속적으로 연료를 투입해야 하므로 사용하기 불편한 연료이다.

연탄도 나무와 같은 특성이 있고 만일 연탄을 이용하려면 난방기구를 교체해야 하는 번거로움도 있다.

한편 LPG는 가격이 비싸고, 도시가스는 가격이 저렴하지만 농촌지역에 설비가 들어오지 않기 때문에 이용하지 못하는 실정이다.

1.5. 농가의 에너지 인지도와 향후 이용 의향

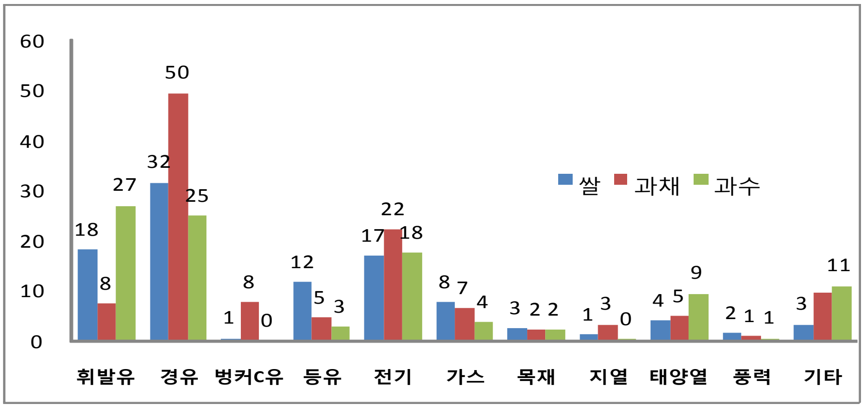
1.5.1. 농가의 에너지 선호도

이용가능한 모든 에너지원에 대해 농가의 선호도를 조사한 결과, 현재 이용되는 석유류와 전기에 대한 선호가 높은 반면, 지열, 태양열, 풍력 등 신재생에너지에 대한 선호는 낮았다(그림 3-2).

농가는 해당작목의 시설에 이용되는 에너지 순으로 선호하는 것으로 나타났다. 벼 재배 농가는 농기계에 사용하는 경유, 휘발유의 순으로 선호가 높았고 과채 농가는 가온에 필요한 경유, 전기의 순으로 선호하며, 과수 농가는 저온창고용 전기와 과원관리 농기계용 휘발유를 선호하는 것으로 조사되었다. 이 결과는 현재 농업용으로 석유류와 전기에 대한 의존이 크다는 사실을 반증하는 한편, 새로운 에너지원을 이용하려면 설비를 모두 교체해야 하는 것이 부담되기 때문에 선호도가 높지 않은 것으로 나타났다.

한편, 과수농가의 태양열에 대한 선호가 다른 작목에 비해 크다는 점은 유의미하다. 농가도 유가상승에 대비하기 위해 노력하지만 신재생에너지의 상용화가 우선되어야 선호 및 이용이 가능할 것이다.

그림 3-2. 농가의 선호 에너지원



주: 선호하는 순별로 1순위(3), 2순위(2), 3순위(1)로 배점하여 각 에너지별로 합산한 것임.

1.5.2. 신재생에너지 인지도와 향후 이용 의향

농가가 지열, 목재펠릿, 바이오가스, 태양열 등 신재생에너지에 대해 알고 있는 비율은 높은 편이다. 특히 태양열, 태양광이나 풍력에 대해서는 80% 이상이 알고 있고 지열은 겨울철 가온이 필요한 과채 농가가 관심이 높은 것으로 나타났다(표 3-26). 그러나 향후 이용할 의향이 있는 농가는 태양열을 제외하면 10～20%에 불과하다(표3-27). 지열에 관심이 높은 과채 농가도 이용할 의향이 있는 농가는 토마토 19%, 오이 14% 수준이다.

표 3-27. 농가의 신재생에너지 인지 여부

단위: %

	벼 농가	토마토 농가	오이 농가	과수 농가
지열히트펌프	45.0	72.6	67.6	47.2
목재펠릿	68.2	82.1	79.4	60.2
축산 바이오가스	71.8	71.6	77.5	61.0
태양열, 태양광	96.3	88.4	89.2	91.1
풍력	89.0	81.1	84.3	83.7

표 3-28. 농가의 신재생에너지 이용 의향

단위: %

	벼 농가	토마토 농가	오이 농가	과수 농가
지열히트펌프	13.2	18.9	13.7	2.4
목재펠릿	16.0	10.5	7.8	1.6
축산 바이오가스	16.7	4.2	2.0	0.0
태양열, 태양광	47.3	12.6	15.7	26.8
풍력	21.1	5.3	6.9	4.9

정부가 지열 시설 설치에 80%를 보조하고 있지만 기본 설비단가가 높기 때문이다. 신재생에너지 중 정부 보조사업으로 일부 상용화가 진전되고 있는 태양열, 태양광은 현재보다 설치비가 낮아진다면 이용이 증가할 것으로 예상된다. 신재생에너지에 관한 농가의 이용실태와 주요 정책은 다음 장에

서 상세히 제시하였다.

2. 시설원예의 에너지 절감시설 이용실태와 과제

2.1. 우리나라 시설재배 개요

우리나라에서 시설재배의 겨울철 재배에는 가온이나 보온이 필요하다. 우리나라 시설재배 면적 중 가온하지 않는 시설은 약 76%이다. 무가온 시설은 감소하는 반면 가온 시설이 증가하는 추세이다(표 3-28).

표 3-29. 시설재배의 가온방법

단위: ha, %

		2005	2007	2009	2009년 비중		증감률 ('09/'05)
무가온		38,599	39,643	38,069	76.1		98.6
가온	고체연료	529	666	747	1.5	6.2	141.2
	유류	9,430	9,495	11,114	22.2	93.0	117.9
	가스	15	26	32	0.06	0.3	213.3
	계	9,975	10,210	11,955	23.9	100.0	119.8
합계		48,574	49,853	50,024	100.0		103.0

자료: 농림수산식품부, 「농림수산 주요통계」, 2010.

가온하는 시설은 에너지원으로 유류를 93% 사용하며, 고체연료는 연탄, 폐목, 코르크의 순으로 약 6%를 사용하고 있다. 최근 고체연료 사용이 증가하고 있으나 에너지원으로 사용하는 비중은 낮다.

겨울철 재배에 필요한 보온재는 연동하우스의 경우 부직포류의 일이층 커튼을 59%로 가장 많이 사용하고 단동하우스는 다중피복 46%와 내부터널 이용 32%의 순으로 이용하고 있다. 최근 유가상승으로 2005년에 비해

2009년은 알미늄 스크린 약 6배를 비롯하여 두겹 이상 다겹보온재 이용이 크게 증가한 반면, 열효율이 낮은 연동하우스의 부직포류 일층커튼이나 노동력 소요가 많은 단동하우스의 내부터널은 감소하였다.

표 3-30. 시설재배의 보온재 이용현황

단위: ha, %

			2005	2007	2009	2009년 비중		증감률 ('09/'05)
연동하우스	부직포	일층커튼	2,129	2,027	1,509	3.1	24.9	70.9
		이층커튼	1,387	1,587	1,809	3.7	29.8	130.4
		삼층이상	77	167	229	0.5	3.8	297.4
		소계	3,593	3,781	3,547	7.3	58.5	98.7
	알미늄 스크린	일층커튼	98	103	137	0.3	2.3	139.8
		이층커튼	233	391	191	0.4	3.1	82.0
		삼층이상	14	38	86	0.2	1.4	614.3
		소계	345	532	414	0.9	6.8	120.0
	다겹보온		722	654	1,108	2.3	18.3	153.5
	기타		955	960	998	2.1	16.4	104.5
	계		5,615	5,927	6,067	12.5	(100)	108.0
단동하우스	다중피복		18,011	18,577	19,572	40.5	46.3	108.7
	내부터널		15,961	15,851	13,695	28.3	32.4	85.8
	외부보온		2,445	2,648	2,933	6.1	6.9	120.0
	기타		6,544	6,665	6,116	12.6	14.5	93.5
	계		42,961	43,741	42,316	87.5	(100)	98.5
합계			48,574	49,668	48,383	100.0		99.6

자료: 농림수산식품부, 「농림수산 주요통계」, 2010.

2.2. 과채 농가의 에너지 절감시설 이용 실태

과채 농가를 대상으로 시설하우스 시설 및 가온방식, 에너지절감 노력, 에너지절감시설 이용 및 향후 의향에 대해 조사하였다. 조사 대상은 앞 절의 과채 농가(토마토 87호, 오이 93호)와 같다.

2.2.1. 시설 종류 및 난방방식

전국 시설재배의 무가온 비율이 76%이지만 본 조사에 응답한 과채농가는, 토마토 25%, 오이 34% 농가만이 난방없이 무가온으로 재배하는 것으로 조사되었다(표 3-28). 시설에 가온하여 겨울철에도 휴경없이 연중 작물을 재배하는 농가 비율이 전국 평균보다 높다[21].

무가온은 겨울철 재배를 하지 않는 강원 일부지역과 겨울철 재배를 하더라도 생육이 끝난 후 출하시기를 조절하거나 수막재배나 보온재만 활용하는 것으로 조사되었다.

표 3-31. 시설원예 농가의 가온 방식 및 보온재 시설

단위: 명, %

		가온			보온재		
		없음	온풍	온수	수막 재배	부직포	보온 커튼
토마토	응답수	20	54	7	11	40	32
	비율	24.7	66.7	8.6	13.3	48.2	38.6
오이	응답수	24	44	2	11	30	17
	비율	34.3	62.9	2.9	19.0	51.7	29.3

가온방법은 온수보다 온풍을 이용하는 비율이 월등히 높다. 사실 겨울철 야간 온도를 유지하는 방법으로 온풍보다 온수가 열효율에서 유리하지만, 온수를 이용하기 위해서는 고가의 시설 설치비가 소요된다. 그러므로 시설 설치비가 상대적으로 저렴한 온풍기를 거의 이용한다.

보온재는 겨울철 재배를 하는 촉성작형 뿐만 아니라 2~3월 정식을 하는 반촉성 작형도 이용하므로 이용률이 높게 나타났다. 특히 수막재배는

21 한국농촌경제연구원 농업관측은 매월 출하량을 발표하므로 겨울철 재배 또는 출하하는 농가가 다수 포함되어 있다. 또 겨울철 재배를 하는 농가는 연중 2~3기작으로 연중 재배하는 비중이 높다. 본 조사의 과채 농가는 촉성과 반촉성 작형이 약 90%를 차지한다.

과채류 재배에 자칫 곰팡이병 발생을 유발하는 원인이 되므로 농가에서 사용을 꺼리지만 한겨울 재배 시 외부 온도를 차단하여 온수나 온풍의 에너지 절감에 도움이 되므로 이용하는 것으로 조사되었다. 또한 부직포도 약 50% 이용하며 보온커튼도 토마토 농가의 39%, 오이 농가의 29%가 이용하고 있다.

한편, 시설의 외형은 유리온실 농가 2곳을 제외하면 모두 비닐을 사용하고 있다. 그리고 비닐의 겹수는 2중 이용 비율이 토마토 51%, 오이 39%로 가장 높다. 또한 상대적으로 고온성작물인 오이의 시설 외형이 토마토보다 3중 또는 4중의 비율도 높다(표 3-29). 비닐 겹수는 촉성 또는 반촉성 등 작형에 관계없이 지역적 특성에 따라 선택하는 경우가 많다. 겨울철 재배에 비닐겹수가 많을수록 에너지 절감에 도움이 되지만 광 투과성에 영향을 미쳐 일사량이 낮아지는 문제가 있다. 예를 들면, 안개일수가 많은 경북 안동과 같은 지역은 겨울철 재배를 하지만 비닐 3겹에도 일사량이 크게 감소하므로 에너지 절감에 보온재를 이용하는 데 그치고 있다.

표 3-32. 시설원예 농가의 시설하우스 외형 겹수

단위: 명, %

		1중	2중	3중	4중
토마토	응답수	16	44	23	3
	비율	18.6	51.2	26.7	3.5
오이	응답수	15	35	31	10
	비율	16.5	38.5	34.1	11.0

시설 난방용에 이용하는 에너지원은 경유가 토마토 91%, 오이 95%로 경유에 의존하는 비율이 높음을 알 수 있다. 그 외 전기온풍기용를 이용하거나 경유대신 값싼 중유 또는 벙커C유를 사용하는 비중이 4~8%이다(표 3-30).

표 3-33. 시설 난방용 에너지원

단위: 명, %

		경유	중유 벙커C	연탄, 갈탄	전기	기타	계
토마토	응답수	61	4	1	2	2	70
	비율	87.1	5.7	1.4	2.9	2.9	100.0
오이	응답수	68	1	0	2	1	72
	비율	94.4	1.4	0.0	2.8	1.4	100.0

2.2.2. 에너지 절감시설 이용 및 향후 도입 의향

과채 농가의 촉성 또는 반촉성 농가는 경영비 중 광열동력비의 비중이 20~35%에 이르므로 재배기간 중 열손실을 최소화하기 위해 노력한다.

본 조사대상 과채 농가가 열손실 최소화를 위해 가장 노력하는 부분은 ‘시설 틈새에서 빠져나가는 환기 전열을 최소화’한다는 응답이 토마토 36%, 오이 43%, ‘시설의 열효율을 높이기 위해 자주 청소’하는 비중도 각각 28%, 24%로 높게 나타났다(표 3-31).

반면, 열효율이 높은 시설로 교체하는 것은 구입 및 설치 비용부담으로 이용률이 10~15%로 낮고, 겨울철 평균 기온이 상대적으로 낮은 지역의 경우 지역실정을 고려하여 재배 작형을 조절하는 경우도 10%대에 불과하다. 유가상승으로 농가의 경영비 부담이 클 때, 재배작형을 조절하는 방법이 있으나 한겨울 재배 시 농산물가격이 높고 그에 따라 농가소득이 높기 때문에 적극 도입하지 않는 것으로 나타났다.

한편, 현재 사용 중인 에너지 절감시설은 다겹보온커튼과 보온터널 자동개폐기 장치로 나타났다(표 3-32). 다겹보온커튼은 열효율이 높아 겨울철 재배에 필수 보온재이므로 이미 설치하여 이용하는 농가가 많고, 2008년 이후 에너지 절감시설 보급사업도 이용률을 높이는 데 기여했다. 수막보온커튼이나 온풍난방기 배기열 회수장치도 보급이 빠르게 진행되고 있다.

표 3-34. 에너지 절감을 위해 노력하는 사항(복수응답)

단위: 명, %

	토마토		오이	
	응답수	구성비	응답수	구성비
열효율이 높은 시설로 교체	28	15.4	13	9.8
기존 시설의 열효율을 높이기 위해 자주 청소함	51	28.0	32	24.2
지역실정을 고려하여 재배 작형을 조절함	24	13.2	15	11.4
시설 틈새에서 빠져나가는 환기 전열을 최소화 함	66	36.3	57	43.2
가온 시설의 북쪽 내부 벽면에 반사필름 설치	12	6.6	11	8.3
기타	1	0.5	4	3.0
계	182	100.0	132	100.0

표 3-35. 에너지 절감 시설 이용과 도입 의향(복수응답)

단위: %

	토마토		오이	
	현재 이용	향후 도입 예정	현재 사용	향후 도입 예정
수평열 지열히트펌프	0.9	30.0	1.9	23.0
농업용 열회수형 환기장치	4.5	13.3	0.9	11.5
온풍난방기 배기열 회수장치	10.7	10.0	17.0	11.5
시설원예용 제습기	1.8	5.0	0.0	3.3
다겹보온커튼	32.1	20.0	26.4	32.8
보온터널 자동개폐장치	32.1	8.3	30.2	8.2
지하수 이용 수막보온커튼	11.6	6.7	16.0	4.9
일사량 감응 자동변온관리장치	6.3	6.7	7.5	4.9

과채농가의 향후 도입의향이 큰 에너지 절감시설은 다겹보온커튼과 수평열 지열히트펌프이다. 열효율이 높은 시설로 교체는 어느 농가나 원하지만 비용 부담이 문제이다. 과거 새로운 농기계나 시설을 도입하여 농업생

산성은 높아졌지만, 불안정한 농산물가격으로 설치비가 그대로 농가부채로 전가된 경험이 있다.

그러므로 영세농가일수록 열효율이 높은 시설 도입을 미루는 경향이 있고, 에너지 절감시설을 이용하지 못하여 상대적으로 경영비가 높다. 따라서 농업용 에너지 정책에서 영세농에 대한 대책은 가능한 설치비용이 저렴한 에너지 절감시설 보급에 초점을 맞추어야 한다.

또한 수막보온커튼의 도입 의향이 낮은데, 이미 이용하는 농가도 있으므로 이용방법에 대한 홍보나 교육 부족으로 판단된다. 따라서 정부의 다양한 에너지 절감시설과 이용방법에 대해 적극 홍보와 보급도 필요하다.

2.3. 시설원예 농가의 에너지 절감시설 이용 사례 분석

이 절은 농촌진흥청이 시설원예 농가에 보급하고 있는 온실 보온력 향상 기술이나 에너지 절감 난방기술을 중심으로 시·군농업기술센터의 조사 자료를 이용하거나 농가 방문조사한 결과이다.

2.3.1. 연동하우스의 수평예인 권취식 다겹보온 커튼

연동형 온실의 경우, 주로 부직포, 알루미늄 스크린 등의 보온자재를 중방 윗부분에 수평방향으로 1중 또는 2중으로 설치하고 예인선, 개폐축, 드럼 등을 전동모터와 연결하여 개폐하는 방식을 이용한다.

다겹보온 커튼은 여러 종류의 보온자재를 몇 겹으로 겹쳐서 보온력이 높으며, 수평예인 권취식 개폐방식은 작동 시 고장이 적고, 내구성이 좋아 연동형 하우스의 보온커튼 개폐장치로 적합하다. 다겹 보온재는 알루미늄, 부직포, 폴리프로필렌, 화학솜 등의 소재를 조합하여 만든 것이다.

가. 사례 1: 경북 상주의 오이 농가

수평예인 권취식 다겹보온 커튼의 에너지 절감효과 사례로 경북 상주의 오이 재배농가를 대상으로 하였다.

비교 대상은 재배규모 40a(1,200평) 연동하우스의 구조와 재배기간이 동일한 동일지역의 보온재로 부직포 활용 농가와 수평예인 권취식 다겹보온 커튼 설치 농가이다. 비교 결과는 <표 3-33>과 같다.

이 사례는 에너지 절감 효과는 15%로 높은 편이나 병해충, 생리장해 발생으로 생산량이 5.2% 감소하였고 그에 따라 소득이 12.8% 감소하였다. 즉, 에너지 절감시설 보급사업의 대표적인 실패 사례이다.

실패의 이유는 농진청이 선정한 1개 업체가 전국 농가를 대상으로 다겹보온커튼을 보급하였는데, 단동 하우스에 효과가 있으나 연동하우스에는 피복자재의 구조물 결합으로 습도조절을 못하였기 때문이다.

표 3-36. 연동하우스 수평예인 권취식 다겹보온커튼의 경제성 분석

단위: 천원/10a, kg/10a

	수평예인 권취식 다겹보온커튼(A)	부직포 커튼 (B)	경제적 효과 (A/B)
소득	39,790	45,648	87.2%
수량	19,667	20,745	94.8%
에너지 비용	5,412	6,353	85.0%

원래 다겹보온 커튼은 5겹(망사+옥스포드+피폰+부직포+알미늄 스크린)으로 구성되어 보온력은 우수하나 통기성이 없고 통풍이 되지 않아 변온관리가 필요한 작물에는 병해충, 생리장해 발생 위험 높다. 즉, 하우스 안의 습기가 야간에 이슬형태로 피복재에 흡수되어 있다가 물방울로 떨어져 습도를 높이는 역할을 하였기 때문이다. 그렇기 때문에 농가나 시·군농업기술센터에서 피폰을 제외한 보온재로 설치할 것을 제시했으나 사업의 일관성 때문에 그대로 시행되었고 재배 시 경유 사용량은 감소했지만 생리장해

발생으로 생산량이 낮아졌다. 이 경우는 피폰을 제외한 보온재였다면 통풍이 비교적 원활했을 것이라는 비판이 있다.

이 사례에서 나타나듯, 에너지 절감시설 시범사업의 대상작물을 선정할 때, 보온으로만 관리가 가능한 작물에 다겹보온커튼 사업을 시행하고 변온관리가 필요한 작물은 시범사업에서 제외해야 한다.

또한 농촌진흥청 공동기술개발 연구한 업체에서 자재 생산공급을 독과점하여 생산·공급하기 때문에, 특히 2009년처럼 예산 조기 집행할 경우 전국 동시 다발 발주 시 시공업체가 적기에 시공이 곤란한 경우도 있었다.

이러한 보급사업은 지역의 재배환경 또는 작물 재배 형태에 따라 다양한 방법이 적용될 수 있도록 농가 또는 시·군농업기술센터의 의견을 청취하여 결정하고 사업자 선정도 이를 감안하여야 실효성 있는 사업이 될 것이다.

나. 사례 2: 충남 부여 토마토 농가

연동하우스 4,000평에 토마토를 9월 정식하여 12월부터 익년 6월까지 출하하는 농가의 사례이다. 연동하우스는 4중으로, 비닐+다겹보온커튼(스크린+부직포)+ 2중 비닐이며 온풍 난방을 한다. 정부의 보조나 융자 등 지원없이 2005년 농가 개인이 에너지 절감을 위해 다겹보온커튼을 설치하였다. 이외 일사량 감응 자동변온관리장치, 온풍난방기 배기열 회수장치, 시설원예용 제습기 등 농가 스스로 에너지 절감시설을 최대 이용하고 있다.

한편, 이 농가의 특징은 에너지 절감시설도 충분히 이용하는 반면, 최저온도 이상으로 충분히 가온하여 생산성 높이고 있다. 그 결과, 에너지 사용량은 2009년 경유 5만 리터를 사용에서 2010년 6만 5,000리터로 사용량이 30% 증가하였지만 소득은 약 75% 증가하였다[22].

따라서 에너지 절감시설을 충분히 이용하면서 생산량을 높이는 것이 농가 소득에 유리하다는 결과를 얻을 수 있다. 에너지 절감시설 보급이 농가

---

22 2010년 1~2월의 한파와 3~5월의 이상 기온으로, 충남 부여지역 시설원에 농가의 유류 사용은 전년 대비 20% 증가한 것으로 조사되었다.

경제에 실질적으로 도움이 되려면 생산성 향상을 동시에 고려해야 한다.

다. 사례 3: 대전광역시 오이 농가

연동하우스 1,200평에 오이를 연중 3기작 재배하는 농가의 사례이다. 연동하우스의 형태는 총 3중 비닐과 부직포이며 보조사업으로 중앙권취식 수평 다겹보온커튼을 설치하였고 경유를 에너지원으로 온풍난방을 하는 경우이다.

2009년 중앙권취식 다겹보온커튼을 설치하여 2년차 사용 중인데, 에너지 절감 비율을 전년과 직접 비교하면 설치 이전보다 경유는 약 30% 절감하였다. 2010년 1월 이후 이상기후 영향으로 오이 가격이 큰 폭으로 상승하여 생산량 증대를 위해 최저온도를 전년보다 높인 것을 고려하면 에너지 절감효과는 40% 이상일 것으로 예상된다.

2.3.2. 단동 하우스의 다겹보온 커튼

단동하우스에 이용되는 다겹 보온커튼은 보통 하우스 외형 2~3겹 중 가장 안쪽 비닐 위에 설치하므로 연동하우스에서 발생하는 병해충 발생이나 생리장애는 나타나지 않고 보온효과가 확연히 나타났다.

다음은 충남 부여의 단동하우스 2,000평에, 12월 말 정식하여 3월부터 출하하는 토마토 농가의 사례이다.

2009년 재배면적의 일부 1,200평(단동하우스 6동)에 다겹보온커튼을 설치하였다. 단동하우스 형태는 4중으로 2중 비닐+보온커튼(부직포)+1중 비닐에 경유를 사용하는 온풍난방이다. 겨울철 난방비가 경영비의 35%를 차지하므로 온풍난방기 배기열 회수장치 등 에너지 절감시설을 스스로 설치해서 사용했지만 다겹보온커튼은 비용부담으로 미루다가 시범사업으로 설치하게 되었다.

단동 하우스 2~3겹의 안쪽에 부직포 등 다겹보온커튼을 설치한 결과, 이 농가의 경유 사용량이 전년 3만 리터에서 2010년 2만 리터로 33% 절감되

었다. 이는 재배면적 전체의 사용량이므로 다겹보온커튼을 설치한 1,200평으로 재환산하면 약 56% 절감된 것으로 나타난다.

2.3.3. 수막 보온시스템

수막 보온시스템이란 지하수를 비롯하여 온천수, 발전소의 폐수, 기타 산업용 폐수 등을 피복 비닐 위에 살포하여 물이 갖고 있는 열에너지에 의한 보온효과와 피복재를 통한 열손실을 방지하는 단열효과를 가진 에너지 절감 기술이다. 보통 수막재배 방식이라 부른다.

수막재배는 1984년 도입된 이후 급격히 확산되어 2001년 7,241ha의 시설에서 사용되고 있는 것으로 조사되었다. 현재 사용되는 수막재배는 한번 사용한 지하수를 배수로로 흘려버리는 비순환식 방식이 대부분이어서 지하수 고갈과 오염을 유발하기도 하는 부정적인 측면도 있다.

다음은 대전광역시에서 1천평의 오이 재배 농가에서 수막재배를 이용하는 사례이다. 이 농가의 단동하우스는 총 4중 비닐에 수막재배를 이용하는 형태이다. 하우스 구조가 2중 비닐+수막재배+2중 비닐의 외형이다.

이 농가의 경유 사용량은 2009년 연간 4만 3,000리터에서 2010년은 3만 6,000리터 사용하여 수막재배 이전보다 경유를 약 16%를 절감하게 되었다. 다만 철분이 많은 지하수를 이용하다 보니 피복재 오염으로 광투과율이 저하되는 문제가 나타나기도 하지만 에너지 절감 효과가 더욱 크기 때문에 지속 이용할 것으로 조사되었다.

2.3.4. 배기열 회수기

배기열 회수장치는 기존 사용 중인 온풍난방기의 연도에 간단히 부착하여 사용한다. 직육면체 모양의 열 교환기 내부에 열회수효율이 탁월한 핀 부착형 히트파이프를 수직으로 교차하여 배열하는 형태로 14만 kcal/h의 온풍난방기 부착 시 흡입 공기온도가 낮을수록 열회수율은 효과가 우수하여 영하 10℃에서 열회수율은 85%에 이른다.

배기열 회수장치는 설치를 희망농가는 많으나 자부담이 높아 설치를 기피하는 경향이 있는 것으로 조사되었다. 배기열 회수기는 장치와 설치가 간단하지만 기기 가격은 보조 250만 원/대에 자부담 100만 원으로 높은 편이다. 가온 농가에게는 반드시 필요한 기기이지만 선뜻 설치하지 못하는 실정이다.

다음은 경북 상주의 오이재배 4농가의 배기열 회수기 사용 전(2009년)과 사용 후(2010년)를 비교한 결과이다(표 3-34). 이 시설의 보급으로 유류사용량은 최대 14%～최저 5% 절감하였다.

표 3-37. 배기열 회수기 사용 전 후 유류 사용량 비교

단위: 평, 리터, 백만 원,%

농가	면적	사용량			사용금액		
		2010년 (A)	2009년 (B)	전년대비 절감효과	2010년 (A)	2009년 (B)	전년대비 절감효과
A	1,800	40,000	48,000	16.7	30	38	21.1
B	1,400	40,000	42,000	4.8	34	36	5.6
C	500	13,000	15,000	13.3	11	12.7	13.4
D	1,800	37,000	43,000	14.0	28	35	20.0

주: 재배기간(2009년 12월～2010년 1월) 중 바깥 기온이 전년보다 -1.5～1.0℃ 낮았음. 경유 면세유 가격은 2008년 말 857원/ℓ, 2009년 말 850원/ℓ이고, 온풍기 가동 기간은 2009년 10월~2010년 5월 하순임.

2.3.5. 탄소발열체 난방기

탄소 발열체는 절연 또는 난연성 소재인 PET 필름에 고저항체인 탄소를 도포하여 열을 발산하는 장치로 기존 니크롬선 발열체보다 7배 이상 발열속도가 빠르다. 그러므로 농업용 난방기에 적용하면 난방기를 소형화 할 수 있고 열효율이 높아 에너지 절감이 가능하다. 다만, 에너지원으로 전기를 이용하므로 해당 시설하우스에 전기 승압이 선행되어야 이용할 수 있다.

다음은 경북 상주의 오이 재배 농가 1200평 연동하우스에 탄소발열체 난방기 시범사업을 인근 경유 사용 농가와 비교한 결과이다(표 3-35).

연동하우스 같은 면적에 2009년 11월 10일~2010년 4월 25일, 166일간 난방기를 가동한 후, 탄소 발열체 난방의 전기 요금과 경유 난방의 유류비를 비교한 결과, 탄소 발열체 난방의 에너지 절감 효과 60%에 이른다.

그러나 개별 농가에서 발열체 난방기 설치 시에 전기 승압과 기기구입 비용에 부담이 크고, 한전에서 농업용 고압전기 판매사업 중단을 요청하고 있다. 농가 입장에서는 탄소발열체 난방기 4대(72kw/대)를 설치하는 보조 6,000만 원, 자부담 140만 원/대이 소요되었고 350kw의 전기 승압을 갖추는데 큰 비용이 소요되었다. 한전에서 중단을 요청하는 이유는 전기 생산비(110~120원/kWh)에 미치지 못하는 농업용 전기 가격(52~55/kWh) 체계 때문이다.

표 3-38. 탄소발열체 난방기와 경유 난방기의 에너지 사용량 비교

	탄소발열체 난방	경유 난방
조건	- 연동비닐하우스 1,200평 - 야간 최저 설정온도 12℃	
에너지 사용량	전기 사용량 190,629kw (한전 고객종합정보 내역에 의함)	경유 사용량 33,146ℓ (경유 평균단가 : 784.41원/ℓ 적용)
에너지사용금액	10,382천원	26,000천원
탄소 발열체 난방의 에너지 절감 효과 60%		

2.3.6. 고체 연료 보일러

고체 연료 보일러는 목재펠릿, 목재칩, 팜껍질, 브리켓, 우드칩 등 고체용 연료는 모두 사용가능한 연소용 보일러통과 축열조의 간단한 설비이다.

고체연료 보일러는 설치비 보조가 60%인데도 경유 보일러보다 비싸 농가는 기피하고 있는 것으로 조사되었다. 또한 농업용 난방 연료가 목재→

석탄·연탄→경유→전기의 순으로 발전하고 있으며, 이용 편리성에 주목한다면 목재 가공한 펠릿은 영세농가의 겨울철 재배에 일부 활용될 것으로 판단된다.

다음은 경북 상주의 오이 재배에 고체연료 보일러를 설치한 농가 사례이다. 설비구조물 4,000만 원은 보조받고 내부 배관 및 시설은 농가 자부담으로 설치하는 조건이다. 해당 농가는 무상으로 공급되는 팜껍질을 이용할 예정이지만 팜 이외에도 각종 고체 연료를 이용할 수 있기 때문에 설치를 결정하게 되었다.

목재펠릿은 단가 높고 분진 발생으로 인해 공해의 우려가 있으나, 팜은 연소 후 잔재물이 거의 없어서 호평받고 있다. 다만, 팜은 현재 인도네시아에서 거의 무상으로 공급받지만 해당농가는 과거 목재펠릿이 공급되지 않아 경유보일러 재설치한 경험이 있기 때문에 향후 팜 수요가 증가하면 가격이 높아질 수 있다는 우려가 있다. 또한 매일 청소와 연료보급이 필요하므로 그에 따른 불편함이 있다.

2.3.7. 지열 냉난방시설

지열을 이용한 냉난방시설은 설치비가 10.5억 원/ha으로 초기 투자비가 크다. 그러므로 중앙정부 및 지자체가 80%를 보조하여 설치를 지원하고 있다. 지열 냉난방시설은 2010년 현재 250ha에 보급되었는데 파프리카, 화훼, 양돈 등 비교적 가격이 안정적인 작물 또는 축산에 집중·이용된다.

가. 파프리카 농가 사례

다음은 충남 부여의 수직밀폐형 지열방식을 채택한 파프리카 영농조합 사례이다.

유리온실 3.3ha 중 3ha에 파프리카를 재배하고 0.3ha은 육묘장으로 이용하는데, 유리온실 A동(2ha)은 여름작형, 유리온실 B동(1ha)은 겨울작형으로 재배하며 유리온실 B동에 지열 냉난방시설을 이용하고 있다.

지열 시설은 2006년, 총사업비 5억 4,000만 원(2억 원 보조)으로 지하 150m에 66공을 천공하는 수직밀폐형으로 설치하였다.

겨울작형인 1ha의 연료 사용량은, 지열 시설 설치 이전은 경유만 연간 100만 리터 이상 또는 경유 면세량이 감소한 후에는 중유 사용이 증가하여 연간 경유 53만 리터와 중유 50만 리터 사용하여 경영비의 40%가 광열동력비로 지출되었다. 그러나 지열 시설을 이용한 2009년은 경유만 연간 37만 리터 사용하여 2005년과 비교하면 석유류 사용은 약 63% 절감되었다.

지열 시설을 이용하여 절감된 내용을 비용으로 환산하면 다음과 같다. 경유 800원/리터으로 가정하면, 경유 사용량은 2006년 연간 100만 리터(약 8억 원)에서 2009년 연간 37만 리터(약 3억 원)으로 감소하였다. 반면, 지열 시설 가동을 위한 추가 전기요금이 월 600만 원(연간 7,200만 원) 소요되고, 지열 시설의 감가상각비와 수리비를 연간 2,500만 원으로 추정하면 약 1억 원이 추가 소요된다. 그 결과 연간 약 4억 원/ha이 절감된 것으로 추정된다.

나. 지열 냉난방시설의 효과

파프리카 재배 농가에서 지열을 이용하거나 도입하는 사례는 크게 증가하고 있다. 에너지 절감과 경영비 절감으로 농가에 도움이 되기 때문이다. 파프리카 재배는 여름철 고온에 작기를 마치는 겨울작형과 겨울철 한파 전에 작기를 마치는 여름작형으로 나뉘는데, 냉난방 시설을 갖춘다면 재배시기의 연장이 가능해진다.

지열 냉난방시설 설치로 얻은 효과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 겨울철 재배 난방이용으로 연료비가 크게 절감되었다. 전국 파프리카 겨울 재배에 모두 지열 시설을 이용하며 사례와 같이 약 4억 원/ha이 절약된다고 가정할 경우, 연간 1,000억 원이 절감되는 것으로 추산된다[23].

---

23 2009년 전국 파프리카 재배면적은 410ha이며, 이 중 겨울재배작형이 60%로 가정함.

둘째, 여름철 재배에 냉방이용으로 생산성이 향상되었다. 파프리카는 여름철 냉방 시설이 없을 경우 고온에 생리장애로 수확량이 감소하는데 냉방을 이용으로 수확량이 유지되었다. 또한 지열 시설 설치로 겨울철 재배뿐만 아니라 여름철 재배도 가능하여 농가 수익 향상에 기여하였다. 앞의 사례에서 지열 설치 이전의 단위수확량 60kg/3.3㎡에서 설치 후 74kg/3.3㎡로 약 20%의 증수 효과가 나타났다.

셋째, 지열 시설 도입으로 파프리카의 연중 재배가 가능하면, 여름작형과 겨울작형을 분산하여 재배할 수 있으므로 계절적 노동 강도나 노동력 수요가 연중 분산될 수 있다. 따라서 인력을 상시 고용할 수 있고 노동력을 안정적으로 확보하기에 용이하다. 농촌 지역에 농업노동력 구인이 점점 어려워지는 현실에서 연중 작업이 가능한 작업장이 선호되기 때문이다.

3. 에너지 절감시설 보급의 과제

3.1. 농업용 에너지 사용의 고려사항

농가는 일반적으로 사용하는 전기, 석유류에 대한 의견이 많은데, 특히 현행 면세유와 전기의 가격이 낮아지기를 원하고 있다. 특히 면세유에 대해서 현행 농기계 보유대수에 따라 책정하는 면세량 설정에 불만이 많고 이를 경작면적에 비례해야 책정할 것을 요구하고 있다.

한편, 신재생에너지는 일부 수요가 있지만 설치 비용이 크므로 보조금을 지원하고 있다. 농가 입장에서 신재생에너지를 이용하고 싶지만 현행 태양열 설비는 보상기간 지나면 유지·보수의 A/S문제로 이용을 기피하는 것으로 조사되었다. 또한 신재생에너지 이용정보나 정부의 에너지 보조에 관한 정보의 부족으로 이용하지 못한다는 응답도 있는 것으로 보아 정보 제공을 위한 책자 배포 등의 정책도 필요하다.

농가는 에너지 비용을 절감과 생산성 향상을 동시에 고려한다. 그러므로

에너지 절감시설을 보급할 때는 다음과 같은 점을 유의하여 지역실정에 적합한 시설 또는 방법을 보급해야 한다.

첫째, 에너지 절감시설 보급이 생육 최저온도를 유지하기 위한 것으로 이해해서는 안된다. 생육 최저온도만 유지하게 되면 생산성이 낮고 그에 따라 수익성이 낮아질 우려가 있다. 예를 들면, 방울토마토의 최저 온도는 12～13℃이나 생육 최저온도 5℃(얼지 않는 온도)까지 낮추면 과채의 크기가 작고 품질이 낮아진다.

둘째, 경유보다 값싼 연탄·목재 이용을 권장하며 에너지 절감시설을 보급하는 것은 자칫 노동력 과다 소요를 유발한다. 농업용 에너지가 값싼 연탄, 목재 등 고체연료에서 값비싼 경유나 전기로 전환하는 것은 고체연료가 일정 온도를 유지하는데 시간이 짧아 온도 관리나 연료 교체에 신경써야 하고 번거롭기 때문이다.

셋째, 에너지 절감시설을 도입하는 것이 영세 농가에게 경영비 부담으로 작용할 수 있다. 시설 보급에 보조율이 높을수록 해당농가는 이익이지만 시설을 도입하지 못한 농가는 상대적으로 가격경쟁력이 낮아지게 되는 현상이 발생한다. 새로운 시설이나 설비를 도입할 때 비용 부담이 큰데 농산물가격이 불안정하게 되면 대부분 농가부채로 전가되기도 한다.

표 3-39. 정부의 에너지 정책에 대한 필요 정도

단위: 점, %

	벼 농가	과수농가
면세유 가격, 농업용 전기 가격을 더 낮추어야 한다	20.3	20.9
석유 대체에너지(태양열, 바이오가스 등) 기술 개발 필요	20.1	20.3
석유 대체에너지 이용 설비를 값싸게 공급해야 한다	20.0	19.9
시설보다 에너지 절감 방법에 대해 컨설팅해야 한다	18.5	19.0
에너지절감 시설의 지원을 늘여야 한다	19.5	19.4
기타	1.7	0.6
계	100	100

주: 각 개별항목(정책내용)에 대한 필요 정도를 5점 척도로 점수화함.

3.2. 생산성 향상을 전제로 하는 에너지 절감

농가 조사결과, 에너지 절감시설에 대한 이용의 관심도는 높으나 정작 설치비용 부담으로 실제 이용률이나 향후 도입 의향은 의외로 높지 않다. 이는 농가가 에너지 절감시설에 의한 경영비 축소보다 생산량 증대에 따른 소득증가에 관심이 집중되기 때문이다. 즉, 에너지를 절감하기 위해 최저 온도를 설정하고 경영비를 줄이는 효과보다 오히려 에너지 사용을 늘려 적정온도를 설정하고 품질과 생산량을 높이는 것이 유리하다는 의견이다. 또한, 농가는 관리(작업)의 편의성에 집중하기 때문에 에너지 절감에는 크게 노력하지 못하는 경우가 많다. 에너지 절감에 대한 농가 교육 등 농가의 의식 전환에 동기부여가 필요하다.

따라서, 정부의 에너지 정책은 농가의 에너지에 대한 의식이 에너지 절감과 생산성 향상을 동시에 고려할 수 있는 방향으로 추진되어야 한다. 농가가 에너지 절감시설을 이용할 수 있도록 지원·홍보하는 한편, 겨울철 재배의 품질향상과 생산량 증대를 위한 새로운 기술과 방법을 동시에 개발해야 한다.

다른 한편, 과채류 농가의 조사결과에서 나타나듯 시설하우스 난방에 경유를 비롯한 석유류에 의존하는 비율이 99%이다. 만약 유가상승이 지속될 경우 겨울철 시설원예 품목의 경영비를 급등시키고 출하량 감소로 가격 변동에도 영향을 미치는 요인이다. 그러므로 정부 에너지 정책은 경유를 대체할 신재생에너지 보급에 노력해야 한다. 농가의 경유 의존도를 낮추기 위해서는 앞에서도 지적했듯, 정부의 에너지 정책에 관한 정보나 신재생에너지 이용정보를 제공하고 홍보를 위한 책자 배포 등 보다 적극적인 유인 정책이 필요하다.

3.3. 지역 실정에 맞는 에너지 절감시설 보급

정부의 농업용 에너지 절감시설 보급사업이 2007년 유가상승으로 갑자

기 추진되면서 전국적으로 일괄 적용되는 현재의 방식으로는 실효성이 낮아진다.

앞에서 지적한 연동하우스 다겹보온커튼의 사례 외에도, 경남 진주의 딸기 재배에 수막재배 시설을 다수 설치한 경우 겨울철 수자원 부족 시 큰 문제가 되고 있다.

따라서 정부의 보급사업은 지역의 재배환경 또는 작물에 따라 다양한 방법이 적용될 수 있도록 농가 또는 시·군농업기술센터의 의견을 청취하여 결정하여 한다. 지역 실정에 맞는 적정 수의 시설이 보급될 수 있도록 행정, 전문가, 실수요자인 농가의 의견과 지역농업을 유지·발전하는 차원에서 여론을 수집하여 반영하여야 한다.

3.4. 정부의 지원방식 전환

에너지 절감시설이 효과는 분명히 있으나 시설 설비 가격이 고가이므로 정부 보조가 있다하더라도 농가는 시설 설치에 비용부담이 크다. 즉 농가는 해당설비를 도입하기 원하지만 설비비가 자칫 농가부채로 전가될 것을 우려하여 망설이는 경향이 있다.

그런데 농가의 비판은 에너지 절감시설의 설비가 다른 여타 산업의 에너지 절감시설보다 현격히 비싸다는 점이다. 이는 자재 생산·공급을 독과점하는 사업방식에 문제가 있기 때문이다. 특히 에너지 절감 기술은 농촌진흥청과 공동기술개발 연구한 업체에서 생산하여 전국에 공급하므로 독과점이 심각하다. 따라서 공동기술개발 업체를 복수화하고 기술이전 업체를 복수로 결정해야만 설비 단가를 낮출 수 있고 수요가 많거나 동시 다발 발주 시 적기 내 시공이 가능하다. 또한 사업자 선정과 관련된 방법도 지역의 의견을 연구·반영할 수 있는 업체를 지역에서 직접 선정할 수 있어야 지역 실정에 맞는 에너지 절감시설을 보급하는 데 실효성이 있을 것이다.

한편, 신재생에너지로 보급이 증가하는 지열의 경우, 냉난방을 사용하는 시설원예 농가에 경유 사용보다 60% 이상 에너지 절감 효과가 있지만 시

설비의 20%를 자부담할 능력이 있는 농가가 많지 않다는 문제가 있다. 따라서 정부의 지원은 에너지 절감효과가 큰 작목을 중심으로 보급을 늘리고 소규모 농가도 이용 가능한 시설 개발에 중점을 두어야 한다.

농업부문의 청정에너지 이용실태와 과제

제4장

농업부문에서 활용되는 에너지는 주로 열에너지이다. 따라서 열에너지를 생산할 수 있는 청정에너지는 태양열, 바이오매스, 지열 등이고 최근 온도차에너지가 신재생에너지로 부각되고 있다. 그러나 현재 농업부문에서 이용되고 있고, 현실적으로 이용 가능성이 큰 에너지원으로는 지열과 바이오매스에너지이다. 따라서 이 장에서는 농업부문에 활용도가 높은 지열 및 바이오에너지의 기술개발 동향과 기술적인 가능성, 경제성 등을 검토한 후, 이들 에너지원의 보급상의 문제와 보급 확대를 위한 과제를 도출하고자 한다.

내용 중에 청정에너지와 신재생에너지가 혼용되어 있다. 청정에너지의 개념 부분에서도 언급하였으나 청정에너지는 신재생에너지보다 더 포괄적인 개념이다. 때문에 대부분의 국가는 청정에너지보다 개념이 더 확실한 신재생에너지를 정책대상으로 삼고 있다. 본 연구에서도 신재생에너지를 연구의 대상으로 하고 있으며, 청정에너지란 용어 속에 신재생에너지를 포함하고 있다.

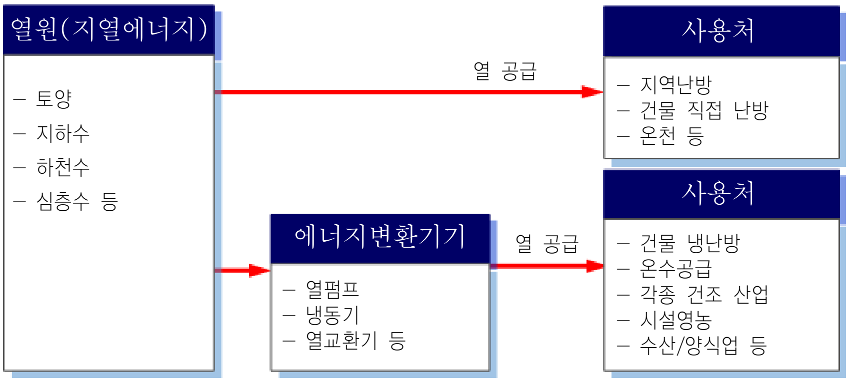
1. 농업부문에서 이용가능 청정에너지원과 보급정책

1.1. 농업부문에서 이용 가능성이 큰 청정에너지원

1.1.1. 지열에너지

지열이용은 심층부의 지열수로부터 토양(ground), 지하수(ground water), 지표수(surface water)에 이르기까지 지구가 포함하고 있는 열을 이용하는 것이다. 지열이용기술 시스템을 보면 100℃ 이상의 지열은 주로 지열발전용으로 이용하고 30~100℃ 정도의 지열은 주로 온천 등에 이용하고 있다. 30℃ 이하의 지열은 직접 이용하기가 어렵기 때문에 주로 열펌프의 열원으로 이용하여 건물의 냉난방 및 농업, 양식 등에 활용하고 있다.

그림 4-1. 중·저온 지열에너지의 직접 이용 시스템



현재 농업부문에서 가장 보편화된 지열이용 형태는 히트펌프를 활용한 것이다. 지열히트펌프는 땅속의 열(5~20℃)을 히트펌프의 열원으로 이용하는 것으로, 신재생에너지 중 가장 안정적이고 효율적인 냉난방 시스템이다. 종류로는 수직밀폐형, 수직개방형, 수평밀폐형, 하천수 이용형이 있다.

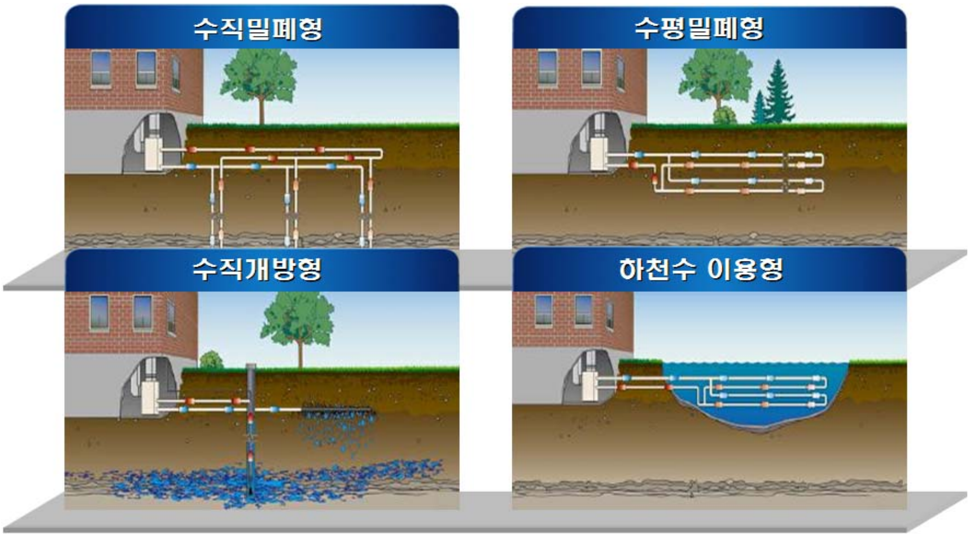
종류별 특징은 수직밀폐형의 경우 일반건물의 냉난방시스템으로 가장

많이 보급되고 있으며, 중소용량의 냉난방 시스템에 적합하다. 수직밀폐형은 지열히트펌프 중 가장 설치비용이 많이 들고, 설치공사기간도 가장 많이 필요하나, 국내의 경우 거의 모든 지역에 설치가 가능하다. 단 간척지의 경우에는 지반이 약해 파일을 설치해야 하기 때문에 설치비용 증가로 경제성이 떨어지는 단점이 있다.

수직개방형은 땅속의 지하수를 퍼올려 히트펌프의 열원으로 이용한 후 땅속으로 환원시켜 지하수를 재활용하는 방식이어서 중대형 용량의 냉난방 시스템에 적합하다. 수직밀폐형보다 설치비용이 적게 들고 공사기간도 짧지만, 지하수가 풍부한 지역에 설치해야 효과적이다.

수평밀폐형 지열히트펌프는 땅속 3m 이내의 깊이에 PE파이프를 수평으로 설치하여 이용하는 방식이다. 수직밀폐형에 비하여 넓은 설치면적이 필요하다. 이를 충분하게 확보할 수 있는 농촌지역에 설치가 용이하나 기존 시설이 설치된 곳에는 부지확보가 문제이다.

그림 4-2. 지열히트펌프의 종류

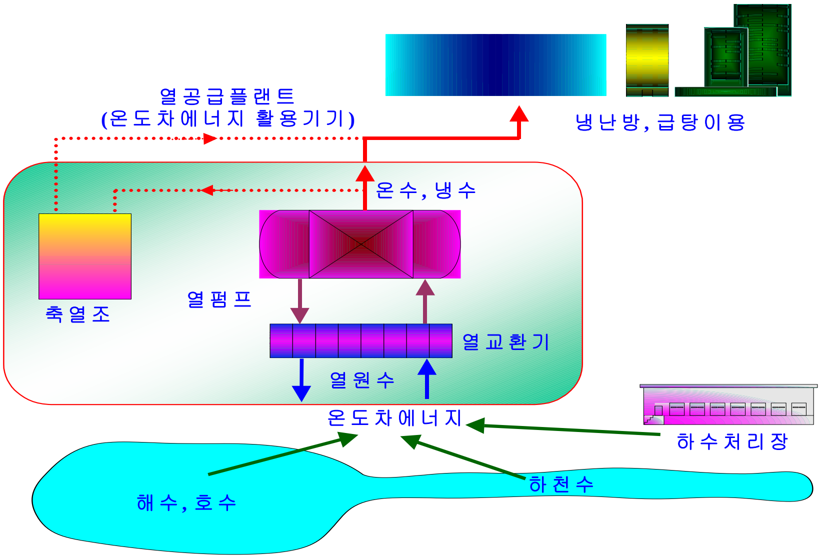


자료: 농촌진흥청, 내부자료

지열이용시스템과 유사한 것으로 최근 각광을 받고 있는 온도차에너지(Temperature Difference Energy)가 있다. 온도차에너지는 기온과 약간의 온도차가 있는 하천수, 해수, 하수처리수 등의 열을 열펌프(Heat Pump)로 회수하여 시설원예의 냉난방 등에 이용하는 경우를 말한다.

온도차에너지는 열수요가 많은 시설원예 지역에서 풍부하게 얻을 수 있는 비고갈성 에너지자원이다. 열을 얻을 때에 연료를 연소하지 않아 생태학적으로 환경에 크게 영향을 끼치지 않기 때문에 친환경적 청정자원인 동시에, 공공성 에너지 자원이라는 특징을 가지고 있다.

그림 4-3. 온도차에너지의 이용개념



하천수, 해수, 하수처리수 등의 수온은 지역에 따라 다르나 일반적으로 여름철에는 기온보다 약 5℃ 정도 낮고, 겨울철에는 기온보다 약 10℃ 정도 높다. 뿐만 아니라 대기온도에 비해 연간·일간을 통해 온도변화가 적다는 점 등이 열펌프의 열원으로서 매력적인 특징을 가지고 있다. 그러나 하천수의 경우 유량의 계절변화가 크고 강우 등 기후의 영향에 의한 온도변

화가 크다는 점에 유의할 필요가 있다. 또한 취수에 관한 수리권의 문제가 있으며, 이용 시스템 설계 시에는 부유물 유입방지 및 생물부착방지 대책 등이 필요하다.

지열은 국내 공급잠재량이 많고 에너지공급 안정성이 높아 설치 이후 만족도도 높은 신재생에너지원이다. 지열은 크게 지열냉난방(천부지열)과 지열발전(심부지열)으로 구분한다. 지열냉난방은 공공기관 설치의무화 및 Green Home 100만호 보급사업을 통해 보급이 크게 확대될 것으로 전망된다. 지열냉난방 공급용량은 2008년 33,858rt에서 2030년 2,892천rt로 연평균 22%의 높은 증가율을 나타낼 것으로 전망된다.

지열발전은 2009년 보급을 시작하여 2030년까지 400mw 보급을 목표로 하며 1차에너지량은 701천toe로 전망될 예정이다. 그러나 아직 지열발전이 국내에서 시작 되지 않았기 때문에 보급 시기는 다소 늦어질 전망이다.

표 4-1. 지열 보급 전망(목표안)

		2008	2010	2015	2020	2030
지열냉난방	용량(rt)	33,858	103,834	543,565	1,062,330	2,891,515
	에너지량(toe)	8,520	25,100	93,682	193,344	560,629
지열발전	용량(rt)	-	20	106	200	400
	에너지량(toe)	-	35,040	186,150	350,400	700,800

자료: 지식경제부, 제3차 신재생에너지 기본계획, 2008.

1.1.2. 목질계 바이오매스

목질계 바이오매스는 가공형태에 따라 임산폐기물, 장작, 목재칩, 목재펠릿 등으로 구분되며, 선진국에서는 장작 → 목재칩 → 목재펠릿으로 이용형태가 변화하고 있다. 종류별 특징은 임산폐기물의 경우 가격이 낮으나 발열량이 적고, 재 발생이 많아 중소규모의 지역난방이나 대규모 열병합장치에서 주로 활용할 수 있다. 장작은 별 가공 없이 사용가능하고, 전통적인 개별난방 또는 찜질방에 이용 가능하다.

목재칩은 제조공정이 단순하고, 생산비가 저렴하나 저장시설이 요구되며, 대규모 지역난방 또는 중대규모 열병합에 이용된다. 목재칩의 크기는 담배 크기에서 작은 성냥갑 정도(50～150mm)로 가공비 및 가공 시 에너지소비가 적으나 대용량의 설비를 필요로 한다.

그림 4-4. 목재 연료별 특징

	임산폐기물	장작	목재칩	목재펠릿
원/Mcal	18	56	59	89
가격	45천 원/톤	150천 원/톤	160천 원/톤	400천 원/톤
발열량	2,500Kcal/㎏	2,700Kcal/㎏	2,700Kcal/㎏	4,500Kcal/㎏
장점	• 폐기물 재활용 • 생산비 매우저렴	• 별도가공 불필요	• 제조공정 단순 • 생산비 저렴	• 이용이 편리 • 오염배출 최소
단점	• 재 발생 과다 • 칩으로 가공필요	• 재 발생 과다 • 수요처 한정	• 저장시설 요구 • 잦은 고장	• 제조공정 복잡 • 제조비용 상당
용도	• 중소규모지역난방 • 대규모 열병합	• 전통적개별난방 • 찜질방 등	• 대규모지역난방 • 중대규모열병합	• 가정용 난방 • 소규모시설난방 • 혼소발전

자료: 산림청. 2009. 목재펠릿의 에너지 활용대책 보고 자료

목재펠릿은 건조된 목재 잔재를 고압으로 압축하여 생산하며, 크기는 직경 4～10mm, 길이 20～50mm 정도이다. 발열량이 kg당 4,500kacl로 높고, 이용이 편리하며 오염배출이 적으나, 제조공정이 복잡하고 제조비용이 높다. 목재펠릿 사용은 농촌주택용과 소규모 시설난방에 적합하다. 목제펠릿은 다른 목질계 연료보다 안정성, 균질성, 사용편리성, 친환경성, 운송·보관의 용이성 등에서 우수하다. 별도의 첨가제를 사용하지 않는 무공해친환경 연료로, 연료비가 경유의 57%, 보일러 등유의 85% 수준이다.

목질바이오매스의 에너지이용형태는 열병합발전과 산업용 스팀으로 구

분한다. 제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획에 의하면 2030년까지 목질바이오매스 공급용량은 전력 462mw, 열 3,717gcal/h로 전망되며 1차에너지 기준 2,756천toe로 분석된다. 이는 단기적으로 공급 가능한 폐목재 및 숲가꾸기 부산물의 공급잠재량을 초과하는 양이다.

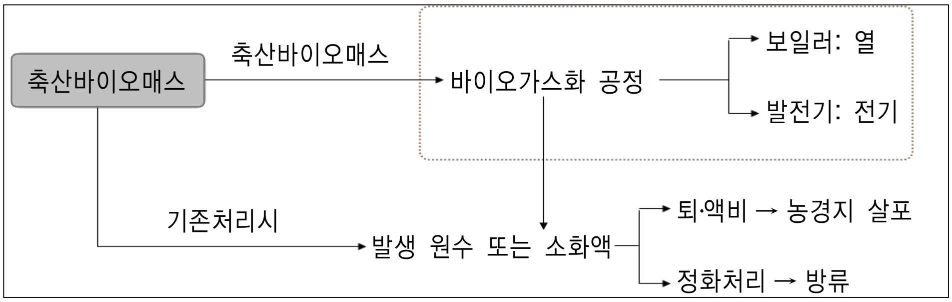
1.1.3. 가축분뇨 등을 이용한 바이오가스

바이오가스는 혐기성 소화작용으로 메탄생성박테리아가 바이오매스를 분해할 때에 발생하는 대사산물의 하나로, 메탄과 이산화탄소의 혼합 형태인 기체를 말한다. 바이오가스의 형태는 퇴비가스, 습지가스 등 자연적으로 생성되는 것과 제조된 가스가 있다. 현재 국내에서 바이오가스를 생산하기 위하여 이용할 수 있는 유기성폐자원으로는 음식물쓰레기, 하수슬러지, 가축분뇨 등이 있고, 이를 이용하여 바이오가스 생산이 가능하며 이를 전력 및 열 생산에 활용할 수 있다.

한편, 2012년 이후 폐기물 해양배출관련 국제협약에 의해 가축분뇨의 해양투기가 전면 금지될 것으로 예상됨에 따라 가축분뇨의 해결이 축산농가뿐만 아니라 사회적으로 큰 관심사항이 되고 있다. 현재 축산농가에서 발생되는 축분의 처리가 90% 가까이 비료자원화로 이루어지고 있는데, 비료자원화와 같은 소극적 처리기술의 도입보다는 신개념의 처리기술 도입이 필요하다.

이에 따라 최근 지자체를 중심으로 혐기성소화공정을 이용한 가축분뇨 자원화를 모색하고 있다. 아직 상용화 단계에는 이르지 못하고 있지만 궁극적으로는 친환경생태시스템을 도입하여 폐기물발생현장에서 고효율, 저비용처리를 통한 분산형 발전시스템의 도입이 필요한 상황이다. 분산형 발전시스템 도입을 통해 폐기물 처리비용을 줄일 수 있고, 열 및 전기를 생산하여 영농활동에 사용할 수가 있다.

그림 4-5. 축산바이오매스의 자원화 형태



1.2. 농업부문의 청정에너지 보급정책

1.2.1. 지열에너지

농업부문에서 지열에너지 이용은 지식경제부가 2009년에 지열히트펌프 보급사업을 시범적으로 추진하면서 확대되었다. 2009년, 총사업비 1,111억 원(국고 667억 원, 지방비 222억 원, 자부담 222억 원)을 들여 전국 106개 사업장에 지원하였다. 사업장별로는 개인농가 75호, 법인체 31개소이며, 형태별로는 수평형 13개소, 수직밀폐형 57개소, 수직개방형 36개소이다. 당초에는 제주도의 경우 지질이 현무암으로 되어 있어 지열히트펌프 설치에 문제가 있는 것으로 판단됨에 따라 지원하지 않았다. 그러나 최근 제주도는 지중공기열 히트펌프 설치가 가능하며, 효과가 있다는 연구결과가 도출되어 이를 신규로 설치·지원하고 있다.

2010년부터는 지열 냉·난방 보급사업이 지식경제부에서 농림수산식품부로 이관되었다. 농림수산식품부는 2010년부터 2014년까지 5개년 동안 약 1조 원의 예산을 투입하기로 계획하고 있다. 2010년 지원량은 시설원예농가 162호이며, 설치면적은 106.7ha이다. 2010년 사업비는 1,041억 원이고, 2011년 예산은 1,400억 원이 책정되어 있다. 지원대상도 시설원예농가 이

외에 축산, 양식시설까지 확대보급할 계획이다.

1.2.2. 목질계바이오매스

목질계바이오매스 이용은 목재펠릿이 중심을 이룬다. 사용용도도 시설 난방이나 농업용보다는 주택난방에 주 목적이 있다. 목재펠릿 보급사업은 농가주택의 16%를 현재 보일러에서 목재펠릿 보일러로 대체 공급할 계획이다. 농가주택 대상으로 펠릿 보일러를 2012년까지 3만 9천 대, 2020년에는 14만 3천 대를 보급할 계획이다. 특히 정책사업으로 추진하고 있는 농어촌 뉴타운 지역에 우선 보급하기로 하였는데, 농어촌 뉴타운 설치는 2025년까지 6천 호, 전원마을은 2017년까지 8천 호를 계획하고 있다.

펠릿보일러 공급을 위해 정책적으로 숲 가꾸기 산물수집사업, 펠릿공장 지원, 펠릿보일러 지원, 산림탄소순환마을 조성 지원, 바이오순환림 조성사업, 해외조림사업, 해외펠릿 공장설립지원, 기술개발사업 등을 시행중에 있다.

1.2.3. 가축분뇨 등의 바이오에너지

가축분뇨를 활용한 자원화사업은 여러 부처에서 실시하고 있다[24]. 그 가운데 가축분뇨를 메탄발효하여 에너지를 생산하는 사업은 지식경제부의 ‘신재생에너지 보급지원사업’이 대표적이라 할 수 있다. 이 사업은 2006~2007년부터 경기도 이천, 충남 청양 등에서 지식경제부의 시범사업으로 추진되고 있는데, 가축분뇨를 이용하여 가스나 전력을 생산하는 것이다. 시범사업의 경우 가축분뇨 1일 처리능력 20톤 기준 총사업비가 10~14억 원

24. 각 부처의 대표적인 사업으로 농림수산식품부는 ‘가축분뇨처리시설 지원사업’, ‘자연순환농업활성화사업’, 환경부는 ‘폐기물에너지자원화사업’, 지식경제부는 ‘신재생에너지보급·융자사업’, ‘발전차액지원사업’, 농촌진흥청은 ‘자연순환농업 기술개발사업’ 등을 추진하고 있음.

정도 소요되는데 정부 보조가 8~10억 원 나머지 자부담의 형태로 추진되고 있다.

최근에는 정부 이외에 일부 업체들이 농가형 바이오가스 생산시설을 설치하고, 대학과 기업 등에서 연구용 바이오가스 시설의 설치·운영을 추진하는 사례도 있다.

표 4-2. 가축분뇨 처리를 위한 바이오가스 플랜트 설치 사례

플랜트 설치 지역	처리대상	생산에너지	가동상태
파주시	가축분뇨 및 음식물쓰레기(66톤/일)	전기(5mwh)	가동중
고양시 화훼단지	음식물쓰레기(250톤/일) 가축분뇨(10톤/일)	전기 난방연료	건설중
안성시 한경대	가축분뇨 및 음식물쓰레기(5톤/일)	전기(450kwh/일) 난방연료(500mcal)	가동중
이천 모전영농조합	가축분뇨(20톤/일)	전기(480kwh/일)	가동중
포천시	가축분뇨,음식물탈리액 (300톤/일)	전기, 가스	건설중
원주시 가현동	음식물탈리액,가축분뇨, 하수슬러지, 도축장부산물	가스 차량연료	건설중
청양 여양농장	가축분뇨(20톤/일)	전기(960kwh/일)	가동중
아산하수종말처리장	가축분뇨와 음식물쓰레기(100톤/일)	전기(2,867wh/일) 열(5,734mcal)	가동중
창녕	가축분뇨와 음식물쓰레기(100톤/일)	전기(9,600kwh/일)	가동중
순천	가축분뇨(20톤/일)	전기(1,000kwh/일)	가동중
무안, 화순, 함평, 영광	가축분뇨(700톤/일)	전기(33mwh)	건설중
제주	가축분뇨(50톤/일)	전기(1,869kwh/일)	건설중

자료: 서세욱, "저탄소 녹색성장의 핵심, 바이오매스 활용", 시선집중 GS&J 제78호에서 발췌 정리함.

1.2.4. 기타 청정에너지 보급정책

기타 청정에너지 보급정책과 관련한 주요정책으로 그린홈과 신재생에너지 의무사용 정책을 들 수 있다. 제3차 기본계획에 의하면, 신재생에너지 보급·확산을 위해 태양광, 태양열, 지열 등 부존자원을 최대로 활용하여 2020년까지 그린홈 100만 호 사업을 추진한다. 또한, 공공건물의 신·개축 및 증축 시 에너지사용량의 5% 이상을 의무적으로 신재생에너지로 사용토록 하고, 민간건물 중 신재생에너지를 이용할 경우 인증제도를 시행하여 인센티브를 부여토록 하고 있다.

정부는 보급목표를 달성하기 위해 2012년부터 신재생에너지 의무할당제(Renewable Portfolio Standards)를 도입하여 일정규모 이상의 발전사업자로 하여금 발전량의 일정비율 이상을 신재생에너지로 공급하도록 의무화하고, 신재생에너지 인증서 거래시장을 개설하여 수요공급에 따라 가격을 결정할 계획이다.

2. 청정에너지의 농업부문 이용에 따른 경제성[25]

2.1. 지열

2.1.1. 지열히트펌프 이용의 경제성

1ha의 온실에서 수평밀폐형 지열히트펌프 난방과 경유보일러 난방과의 비교를 통해 경제성을 검토하였다. 수평밀폐형 지열히트펌프를 1ha 온실에

25 가축분뇨를 이용한 바이오가스의 경제성 분석은 박현태 외(2007)의 “농업부문 바이오매스의 이용활성화를 위한 정책방향과 전략(2/2차연도)” pp.136-141을 참조.

설치하는 데 드는 비용은 10억 5천만 원이다. 현재 정부는 시설 설치에 따른 농가의 부담을 덜어 주기 위해 중앙정부 60%, 지자체 20% 등 설치비의 총 80%를 지원하고, 나머지 20%는 농가가 부담토록 하고 있다.

농가의 자부담률 20% 기준 시 농가가 부담하는 초기설치비는 2억 1천만 원이며, 감가상각비 등 시설 설치에 따른 고정비는 2,614만 원이다. 지열히트펌프를 1년간 가동했을 때 경유비와 전기료 등 변동비는 1,932만 원이 소요된다. 따라서 1ha 온실의 연간 운영비는 4,546만 원이 소요된다.

표 4-3. 지열히트펌프와 경유난방기 경제성 비교(1ha 기준)

단위: 만 원, %

		지열 히트펌프		경유난방		
		자부담 100%	자부담 20%	70$ 805원	100$ 1,083원	120$ 1,268원
설치비		105,000	21,000	4,000		
고정비(감가상각, 수선, 이자)		13,070	2,614	600		
변동비	경유소비량(ℓ)	19,899	19,899	198,990	198,990	198,990
	경유비	1,602	1,602	16,019	21,551	25,232
	전력소비량(kwh)	82,592	82,592	8,259	8,259	8,259
	전기료	330	330	33	33	33
	계(경유비+전기료)	1,932	1,932	16,052	21,584	25,265
운영비 계(고정비+변동비)		15,003	4,546	16,652	22,184	25,865
자부담 20% 기준 지수(배)		3.3	1	3.7	4.7	5.7

주: 감가상각비에서 시설자재비는 내구년수 10년 기계는 20년으로 하고, 수선비는 기계비의 5%, 고정자본이자는 설치비의 5%를 적용하였음. 전력요금은 40원(부가세 포함), 경유면세가격은 820원/리터임.

한편, 일반 경유보일러의 경우 설치비는 4천만 원이며 이때 고정비는 600만 원에 이른다. 변동비는 유가가 배럴당 70달러일 때 경유비 1억 6,019만 원, 전기료 33만 원으로 총운영비는 1억 6,652만 원이 소요된다.

따라서 유가가 배럴당 70달러일 때 지열히트펌프와 경유난방비의 운영

비를 비교해 보면, 경유난방 시 비용이 지열히트펌프를 이용하는 것보다 3.7배 높다. 지열히트펌프를 이용하면 경영비 절감액이 1년 동안 1억 2천만 원(16,652-4,546=12,106만 원)에 이르러 1.74년(21,000/12,106=1.735)이면 투자자본의 회수가 가능하다.

지열히트펌프시설을 도입할 경우 난방비절감 외에 이산화탄소의 발생을 줄임으로써 환경보전의 효과를 누릴 수 있으며, 재배기간의 연장 등으로 작물의 생산량도 더 늘릴 수 있다. 여기서 이산화탄소 절감에 의한 간접효과를 보면, 경유보일러는 1ha 난방에 경유를 198,990리터를 사용하는데 지열히트펌프는 19,899리터가 소요되어 경유난방의 10% 수준으로 감소된다. 이에 따라 경유보일러 사용 시 발생하는 탄소배출량은 516TCO_2인데, 지열히트펌프의 경우는 52TCO_2로 이산화탄소가 464.4TCO_2 절감된다. 절감된 이산화탄소를 국제거래가격(21달러)을 적용하여 환산하면 간접효과는 12,288천 원이다.

작물 증수에 의한 소득효과를 보면, 1ha 온실에서 파프리카를 재배할 경우 경유보일러에서의 소득은 98,875천 원이었으나 지열히트펌프를 이용했을 때는 증수로 인해 2억 26,143천 원을 달성하였다. 따라서 지열히트펌프 사용이 경유보일러 이용 때 보다 1억 27,268천 원의 소득증대 효과를 볼 수 있다.

표 4-4. 지열히트펌프 보급효과

		단위	경유(A)	지열(B)	증감(A-B)
CO_2 절감 효과	경유소비량	(ℓ)	198,990	19,899	179,091
	TCO_2 배출량	TCO2	516.0	51.6	464.4
	TCO_2 가액	천 원	13,653	1,365	12,288
증수에 따른 소득증대효과		천 원	98,875	226,143	127,268

주: TCO_2 =TC × 44/12 [이산화탄소분자량/탄소원자량]이며, TC=해당연료의 toe × 탄소배출계수(TC/toe)로 계산하며, TCO_2의 국제거래가격은 21달러임. 환율 1,260원 기준.

2.1.2. 지열히트펌프와 경유보일러 난방의 운영사례

강원지역과 경남지역에서 기존 경유난방기와 지열히트펌프를 이용했을 때 파프리카 경영성과를 비교해 보았다. 경영성과의 지표로는 생산량, 품질향상에 따른 가격, 경영비, 조수익, 소득 등을 고려하였다.

강원지역의 경우 경유보일러 난방시설을 갖춘 온실에서 3.3m^2(1평)당 파프리카 생산량은 25kg으로 1ha온실에서는 75톤이 생산된다. 지열히트펌프를 설치한 온실에서는 경유난방에 비해 2배가 많은 150톤이 생산된다. 이는 수확시기의 연장에 의한 것이다. 즉 경유보일러 시설 농가는 3월 중순에 정식하여 6월 상순~11월 하순까지 수확하지만, 지열히트펌프 시설을 설치한 농가는 2월 중순에 정식하고, 5월 상순~12월 하순까지 수확하므로 수확기간이 2개월 연장됨에 따라 생산량이 늘어나게 된다. 이에 따라 조수입도 지열히트펌프 설치 농가가 경유보일러 설치 농가보다 2배 이상 많다.

1ha 온실에서의 총경영비는 경유보일러 온실이 1억 35,556천 원이고 지열히트펌프 온실이 2억 53,449천 원으로 지열히트펌프 온실이 경유보일러 온실보다 1.87배 많다. 이는 지열히트펌프 온실의 재배기간이 경유보일러 온실보다 길기 때문에 종묘비를 제외한 모든 비용이 더 많이 소요되기 때문이다. 재배기간이 연장됨에 따라 특히 광열비, 고용노력비 등이 높게 나타나고 있다.

결국 1ha 파프리카 온실에서의 소득은 경유보일러 온실이 1억 12,033천 원, 지열히트펌프 온실이 2억 44,251천 원으로 지열히트펌프 온실이 경유보일러 온실보다 약 2.2배 높게 나타나고 있다.

한편, 동일한 재배작물과 시설을 기준으로 경남지역에서도 경영성과를 비교해 보았다.

경남지역의 파프리카 수확량은 경유보일러 온실의 경우 3.3m^2(1평)당 40kg으로 강원지역보다 많고, 1ha 온실에서는 120톤이 생산된다. 지열히트펌프 온실에서의 생산량은 180톤으로 경유보일러 온실보다 1.5배 많다. 이 또한 수확시기가 늘어난 것에 기인한다. 경유보일러 온실에서는 8월 중순에 정식하여 11월 중순부터 이듬해 6월 중순까지 수확하지만, 지열히트펌

프 온실에서는 7월 중순에 정식하고 10월 중순부터 이듬해 6월 중순까지 수확이 가능하여 수확기간이 1개월 연장된다. 생산량이 증가함에 따라 조수입도 증가하게 되는데, 경유보일러 온실의 1ha당 조수입은 3억 84,360천 원, 지열히트펌프 온실은 5억 76,540천 원으로 지열히트펌프 온실이 1.5배 높다.

표 4-5. 파프리카농가의 지역별, 난방 방법별 경영성과 비교

단위: 천 원/1ha, 배

		강원지역			경남지역		
		경유(A)	지열(B)	B/A	경유(C)	지열(D)	D/C
조수입	수량(톤/1ha)	74.6	150	2.01	120	180	1.50
	단가(원/kg)	3,318	3,318	1.00	3,203	3,203	1.00
	금 액	247,589	497,700	2.01	384,360	576,540	1.50
경영비	종 묘 비	16,791	16,791	1.00	22,720	22,720	1.00
	양 액 비	9,175	11,928	1.30	13,634	17,724	1.30
	농 약 비	2,381	3,095	1.30	5,357	6,964	1.30
	광 열 비	26,741	87,500	3.27	94,800	87,500	0.92
	제재료비	24,734	39,810	1.61	44,420	56,420	1.27
	감가상각비	39,874	49,099	1.23	67,529	76,754	1.14
	수 선 비	2,210	9,360	4.24	2,728	9,878	3.62
	고용노력비	12,616	25,232	2.00	28,540	57,080	2.00
	기 타	1,034	10,634	10.28	5,757	15,357	2.67
	계	135,556	253,449	1.87	285,485	350,397	1.23
소 득		112,033	244,251	2.18	98,875	226,143	2.29

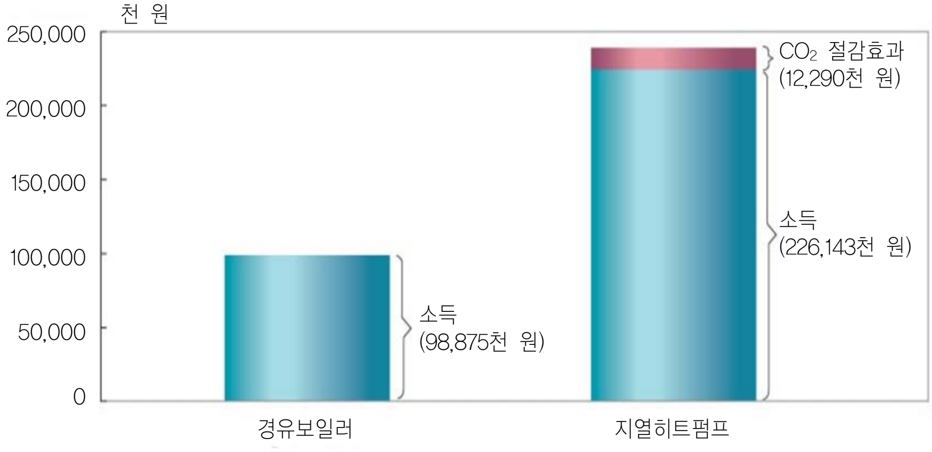
자료: 농촌진흥청, 2009.

경영비는 경유보일러 온실이 2억 85,485천 원, 지열히트펌프 온실이 3억 50,397천 원으로 지열히트펌프 온실이 1.23배 많다. 이 또한 재배기간이 늘어남에 따라 여타 비용이 증가한 것에 기인하고 있다. 다만 광열비는 지열히트펌프 온실이 경유보일러 온실보다 적게 소요되었다. 이는 경남지역은 겨울작형이어서 겨울철에 지속적으로 난방을 하게 되는데, 경유보일러 시설은 재배기간이 1개월 짧음에도 불구하고 유류값이 고가이기 때문이다.

결과적으로 경유보일러 온실의 ha당 소득은 98,875천 원이고 지열히트펌프 온실의 소득은 2억 26,143천 원으로 지열히트펌프 온실 소득이 경유보일러 온실보다 약 2.3배 높게 나타나고 있다.

전체적으로 보면 지열히트펌프를 설치한 경우가 경유보일러를 설치한 것에 비해 소득측면이나 환경측면에서 유리한 것으로 볼 수 있다. 경남지역 사례에서 보는 바와 같이 경유보일러 대신 지열히트펌프를 이용했을 때, 수량 증가에 의한 ha당 소득이 2배 이상 증가하는 직접효과를 누릴 수 있다. 또한 농가의 소득에는 영향을 미치지는 않지만 이산화탄소 감소에 의한 간접효과도 있다. 1ha의 파프리카 온실에서 경유보일러를 사용할 때보다 지열히트펌프를 이용할 때 경유소비량 감소에 따른 이산화탄소 발생량 감소로 약 12,290천 원의 효과가 발생하고 있다.

그림 4-6. 지열히트펌프 보급에 의한 경영성과(경남지역 사례)



2.2. 목질바이오

2.2.1. 목재펠릿 이용의 경제성

1ha의 온실에서 목재펠릿보일러 난방과 경유보일러 난방과의 비교를 통해 경제성을 검토하였다. 목재펠릿보일러를 1ha 온실에 설치하는 데 드는 비용은 1억 5천만 원이다. 현재 정부는 시설 설치에 따른 농가의 부담을 덜어 주기 위해 중앙정부 30%, 지자체 30%, 융자 20%, 농가 자부담 20%의 조건으로 지원하고 있다.

농가가 융자를 포함하여 초기 설치비의 40%를 부담할 경우 1ha 온실 기준 목재펠릿 보일러 설치비는 6,000만 원이며, 감가상각비 등 시설 설치에 따른 고정비는 1,200만 원이다. 목재펠릿보일러 사용에 따른 변동비는 펠릿구입비, 유류비, 전기료 등 연간 1억 6,041만 원이 소요되어 연간 총운영비는 1억 7,241만 원에 이른다.

표 4-6. 목재펠릿보일러와 경유난방기 경제성 비교(ha 기준)

단위: 만 원, %

		목재펠릿		경유난방		
		자부담 100%	자부담 40%	70$ 805원	100$ 1,083원	120$ 1,268원
설치비		15,000	6,000	4,000		
고정비(감가상각, 수선, 이자)		3,000	1,200	600		
변동비	펠릿(kg), 경유(ℓ)	400,191	400,191	198,990	198,990	198,990
	펠릿비용, 경유비	16,008	16,008	16,019	21,551	25,232
	전력소비량(kwh)	8,259	8,259	8,259	8,259	8,259
	전기료	33	33	33	33	33
	계(펠릿, 경유, 전기)	16,041	16,041	16,052	21,584	25,265
운영비 계(고정비 + 변동비)		19,041	17,241	16,652	22,184	25,865
자부담 40% 기준 지수(배)		1.1	1	0.97	1.3	1.5

주: 감가상각비는 총설치비의 50%를 내구년수 10년, 수선비는 총설치비의 5%, 고정자본이자는 총설치비의 5%를 적용하였음. 전력요금은 40원(부가세 포함), 목재펠릿가격은 kg당 400원 적용

경유 보일러의 경우 설치비는 4천만 원이며 이때 고정비는 600만 원이다. 변동비는 유가가 배럴당 70달러일 때 1억 6,052만 원으로 연간 총운영비는 1억 6,652만 원이 소요된다.

따라서 유가가 배럴당 70달러일 때 목재펠릿보일러와 경유보일러의 운영비를 비교해 보면, 목재펠릿보일러를 사용하는 경우가 경유보일러를 사용할 때보다 비용이 많아 비경제적이다. 그러나 유가가 100달러일 경우는 경유보일러 운영비용이 목재펠릿보다 1.3배, 120달러일 경우는 1.5배 많아 유가가 100달러 이상일 경우는 목재펠릿보일러 사용이 더 경제적이다.

2.2.2. 목재펠릿보일러와 경유보일러 난방의 운영 사례

경기도 여주에서 느타리버섯을 재배하는 농가의 사례를 통해 목재펠릿보일러의 경제성을 검토하였다. 사례농가는 경유보일러와 목재펠릿보일러를 모두 사용하는 농가로 유류가격 상승에 따라 2008년에 목재펠릿보일러를 추가로 설치하였다. 사례 농가는 느타리버섯 살균에 스팀을 사용하고 있는데, 목재펠릿보일러를 이용하여 1일 3,200병을 살균하고 있다.

우선 경유보일러를 사용할 경우 비용을 보면, 보일러 설치비는 800만 원이다. 고정비는 감각상각비, 수선비, 이자 등으로 구성되는데 감가상각비는 내구년수를 10년으로 볼 경우 연간 80만 원이다. 여기에 수선비와 이자는 통상 설치비의 5%를 계상하기 때문에 각각 40만 원이다. 따라서 연간 총고정비는 160만 원이다. 변동비는 유가에 영향을 받게 되는데, 유가가 배럴당 70달러일 때는 1,127만 원, 100달러일 때는 1,516만 원이 소요된다. 따라서 사례농가의 연간 총비용은 유가가 배럴당 70달러일 때 1,287만 원, 유가가 100달러일 때는 1,676만 원이 소요된다.

한편, 목재펠릿보일러 사용에 따른 비용을 보면, 우선 설치비가 3,150만 원인데, 통상 보조를 60% 받을 수 있기 때문에 실제 설치비는 1,260만 원이다. 이때 고정비는 252만 원, 변동비는 1,200만 원으로 연간 총비용은 1,452만 원이 소요된다.

따라서 경유보일러와 목재펠릿보일러의 연간 총비용을 비교해 보면, 국

제유가가 배럴당 70달러일 때는 경유보일러를 활용하는 것이 더 유리하다. 그러나 국제유가가 배럴당 100달러가 되면 목재펠릿보일러를 사용하는 것이 경유보일러를 사용하는 것보다 224만 원의 비용을 절감할 수 있어 더 경제적이다.

표 4-7. 목재펠릿과 경유스팀보일러의 사례비교

		목재펠릿 스팀보일러		경유스팀보일러		
		보조60%	보조0%	유가$70 805원	유가$100 1,083원	유가$120 1,268원
설치비(만 원)		1,260	3,150	800		
고정비(감가상각, 수선, 이자)		252	630	160		
변동비	경유소비량(ℓ)	-	-	14,000	14,000	14,000
	살균비용(만 원)	1,200	1,200	1,127	1,516	1,775
비용 합계(고정비+변동비)		1,452	1,830	1,287	1,676	1,935
목재펠릿(보조60%) 대비 경유난방(배)		1.0	-	0.87	1.15	1.33

주: 목재펠릿보일러와 경유보일러의 내구년수는 10년, 연간 가동일을 200일, 목재펠릿의 발열량은 4,223kcal/kg를 적용함.

3. 농업부문 청정에너지 이용상의 문제

3.1. 지열에너지

3.1.1. 공급 측면

국내 지열공급잠재량은 27,896천toe이며 2008년까지 사용량은 0.03% 미

만으로 사용이 미미하다. 그러나 공급잠재량이 많아 향후 기술개발이 이루어진다면 사용량은 크게 증가할 것으로 보인다. 지열은 크게 지열냉난방과 지열발전의 형태로 이용되고 있는데, 농업부문에서는 주로 히트펌프를 활용하여 온실의 냉난방에 이용하고 있다.

표 4-8. 지열에너지 공급 잠재량

단위: 천toe, %

2008 사용량(A)	공급잠재량(B)	사용량 비중(A/B)
9	27,896	0.03

자료: 에너지경제연구원, 제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획, 2009.

지열히트펌프의 경우 현재는 보급 초기단계로 설계·시공업체의 시공경험 및 기술력이 완전히 정착되지 못한 상황으로 전반적인 기술 수준이 낮다. 그럼에도 지열전문기업의 등록이 아주 간단한 조건으로 되어 있어 등록되는 업체 수는 기하급수적으로 증가하고 있는 실정이다.

온실시공에서 제어시스템은 오랜 운전결과를 토대로 개선되어 원활한 운전이 가능한 시스템으로 발전하였다. 그러나 지열히트펌프 설치사업은 활동기간이 짧아 지열히트펌프 설치업체의 전문성이 결여되어 있다.

3.1.2. 수요 측면

1ha 온실에 지열히트펌프 설치 시 정부가 설치비의 80%를 보조하더라도 현재의 설치비 조건에서는 농가가 2억 1천만 원을 부담해야 한다. 때문에 쉽게 투자하기 어렵다. 여기에 지열히트펌프의 내구연수를 20년 정도로 보고 있는데 이에 대한 실증실험이 없고 현재 보급 초기단계라 농가에서는 지열히트펌프 시스템에 대한 이해가 부족하고 그 효과에 대한 확신이 없는 상태이다.

수평형 지열히트펌프의 경우 1ha 온실면적에 지열히트펌프를 설치하기 위해서는 1ha 부지가 필요하다. 그런데 지열히트펌프 시설은 반영구적이기

때문에 임차농은 현실적으로 설치하기가 어렵다. 특히 파이프를 매설할 부지를 확보하는 데 어려움이 있어 자가 용지가 아닐 경우 지열히트펌프의 도입이 제약을 받을 수밖에 없다.

한편 재배온실을 신규로 설치하는 경우에는 지열히트펌프를 동시에 설치할 수 있기 때문에 비용부담을 줄일 수 있다. 그러나 이미 설치된 온실에 지열히트펌프를 설치하기 위해서는 온실을 부분적으로 철거한 후 작업해야 하기 때문에 비용이 더 많이 발생할 뿐만 아니라 작물생산에도 영향을 미치게 된다.

표 4-9. 농가의 지열에너지 보급확대 저조요인

단위: %

비용과다	모름	기술불신	부지협소	임차지	경작규모	이용기술	기타
32.3	13.8	10.8	10.8	7.7	5.6	5.1	13.9

자료: 한국농촌경제연구원, 전국 시설원예농가 101개 조사결과.

지열히트펌프 시설은 대규모·자동화 온실에서 효율이 높고, 파프리카·장미 등 고온성 작물재배에 적합한 시설이다. 즉 소규모 온실은 지열히트펌프 설치에 의한 효과가 적고, 저온성 작물에는 실익이 적을 수 있는 등 온실상태 및 재배작물의 종류에 따라 효과가 다르게 나타날 수 있다.

3.2. 목질바이오

3.2.1. 공급 측면

산림청은 목재펠릿 공급 가능량을 2012년 75만 톤, 2020년 500만 톤으로 예측하고 있다. 그러나 공급 가능량의 80%가 외국산이기 때문에 수입이 원활하지 못하면 수급에 문제가 있을 수 있다. 국내 목재펠릿 생산은 2012년 40만 톤, 2020년 100만 톤, 해외수입은 2012년 35만 톤, 2020년에

400만 톤으로 자급률이 20%에 불과하다.

현재까지 목재펠릿은 시설원예용으로 보급되기보다는 주택의 난방용으로 보급되는 비율이 높았다. 그러나 앞으로는 시설원예 난방에 이용되는 비율이 늘어날 것으로 예상된다. 시설원예용 목재펠릿 공급계획량은 2012년 50만 톤, 2020년에는 125만 톤이다. 1ha 온실의 난방에 필요한 목재펠릿은 약 241톤으로 2020년 공급계획량 125만 톤으로는 5,180ha의 온실에 공급할 수 있는 양이다. 이는 현재 시설면적 5만 3,360ha의 9.7%에 불과한 실정으로 가격조건이 개선될 경우 목재펠릿의 수요는 증가할 것으로 예상된다.

3.2.2. 수요 측면

목재펠릿에 대한 시설농가의 의향 가운데 가장 비중이 높게 나타난 것은 목재펠릿에 대한 인식 부족이었다. 다음으로 펠릿을 이용하고자 할 때 바로 구입이 어렵고 지속적으로 공급받을 수 있는지 의문스러워하는 경우도 많았다. 그리고 사용량이 많은 겨울철에는 펠릿 보관을 위해서 넓은 창고가 필요하나 공간 확보가 용이하지 않은 등의 이유로 농가 수요가 적은 것으로 조사되었다. 특히 현행 면세유나 농사용 전기요금이 펠릿보다 저렴하고 사용이 편리하다고 생각하는 농가가 많아 펠릿 보급이 저조한 것으로 보인다.

표 4-10. 목재펠릿에 대한 농가의 의향

단위: %

목재펠릿을 모름	구입이 어려움	기술 신뢰성 부족	면세유·전기에 비해 불리	기타
33.6	22.6	15.8	13.0	15.0

자료: 한국농촌경제연구원, 전국 시설원예농가 101개 조사결과.

4. 청정에너지의 농업부문 활용전망과 과제

4.1. 청정에너지의 농업부문 활용전망

환경규제 강화, 화석에너지 소비의 증가 등으로 청정에너지에 대한 관심과 수요가 크게 증가할 것으로 예상된다. 그러나 각국은 청정에너지라는 개념보다는 그 용어가 보다 명확한 신재생에너지를 중심으로 에너지산업을 전개해 나갈 것으로 보인다.

현재 선진국들은 신재생에너지산업을 국가의 새로운 성장동력으로 육성하기 위해 다양한 지원책을 강구하고 있다. 우리나라는 2000년대 들어 에너지 개발에 대한 개념을 기존의 '대체에너지' 개념에서 '신에너지 및 재생에너지'로 재정립하고 신재생에너지산업 육성을 위한 정책을 추진 중이다[26].

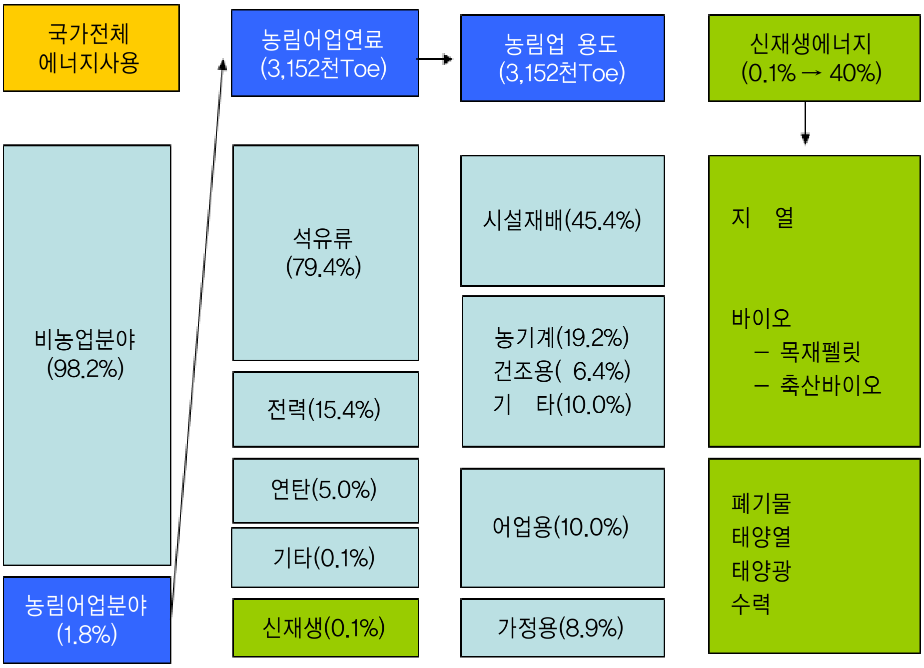
현재 농업부문에서 사용하는 에너지는 국가 전체 에너지 사용량의 1.8% 수준이며, 에너지원 비중은 석유류가 79.4%로 가장 많고 다음이 전력, 연탄의 순이다. 신재생에너지는 0.1%에 불과한 실정이다. 농림어업 부문별 에너지 사용 비중은 시설재배용이 45.5%로 가장 많고, 농기계용이 19.2%이며, 어업용으로 10%가 사용되고 있다.

다양한 신재생에너지원 중에서 향후 농업부문에서 가장 활발히 이용될 것으로 예상되는 에너지원은 지열과 바이오에너지일 것으로 전망된다. 지열은 국내 공급잠재량이 가장 많고 에너지공급 안전성이 높아, 설치 이후에 만족도가 높은 에너지원이다. 바이오에너지의 원료가 되는 바이오매스는 대부분 농림업 부문에서 산출되고 바이오에너지는 탄소 중립적이기 때문에 바이오매스 활용이 농업정책, 에너지정책, 환경정책에서 큰 관심사항

26 우리나라는 2004년 12월 31일 기존의 「대체에너지 개발 및 이용·보급 촉진법」을 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」으로 개정하여 대체에너지라는 용어를 신재생에너지로 대체하였음.

이 될 것으로 보인다.

그림 4-7. 농림어업부문에서 신재생에너지의 위치

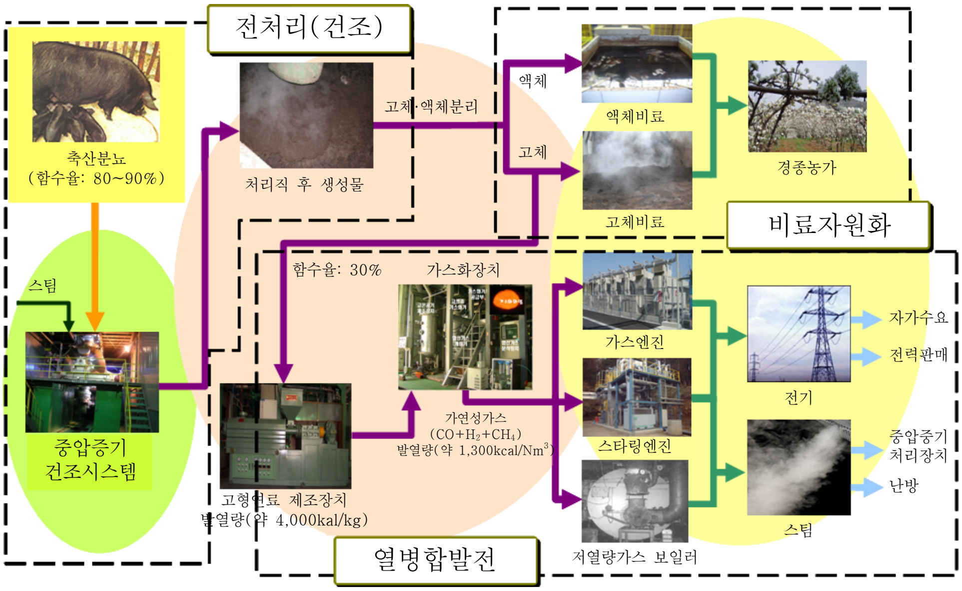


농업부문에서 발생하는 바이오에너지 가운데 특히 관심을 끄는 것은 가축분뇨를 이용한 바이오에너지이다. 1990년대 이후 급격히 늘어난 가축사육두수 때문에 가축분뇨의 처리가 축산농가에게는 최대의 현안문제가 되어 있으며, 사회적으로도 환경문제를 일으키고 있다. 그동안 가축분뇨 처리는 비료로서의 자원화에 중점이 있었으나 최근 한 가지 대안으로 가축분뇨를 이용한 바이오가스 생산이 대두되고 있다.

현재 바이오가스 생산 자체만으로는 경제성을 확보하기 어려우나 가축분뇨를 자원화해서 에너지를 얻을 수 있고 이산화탄소의 배출을 줄이는 등 지구온난화 방지에도 기여할 수 있다. 가축분뇨를 메탄발효하면 바이오가스가 추출되고 바이오가스를 이용하여 전기와 열을 활용할 수가 있다. 그런데 가축분뇨는 바이오가스를 생산할 뿐만 아니라 발효 후 배출되는 소화

액에 질소, 인, 가리 등의 비료성분이 함유되어 있기 때문에 소화액을 적절하게 토양에 환원시키는 것이 중요하다. 따라서 축산농가의 개별적인 접근으로는 해결하기 어렵고 지역 내 경종농가와의 연계가 선행되어야 한다.

그림 4-8. 가축분뇨의 자원화 시스템 모형도



신재생에너지의 기술개발 로드맵에 의하면, 바이오가스 생산기술은 2013년이면 경제성을 확보할 수 있으나 바이오오일 등은 2018년 이후에나 가능할 것으로 보인다. 지열은 주거용 및 지열히트펌프의 경우 2011년 정도면 어느 정도 경제성을 확보할 수 있을 것으로 전망되고, 저비용에 의한 천공 및 시공기술은 2015년경에나 가능할 것으로 보인다.

표 4-11. 신재생에너지의 경제성 확보 기술개발 전망

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
바이오	바이오가스 생산기술				↔							
	저온 협기성 소화기술									↔		
	BTL									↔		
	바이오 오일									↔		
지열	주거용, 지열히트펌프		↔									
	저비용 천공 및 시공기술						↔					
	친환경 열펌프 시스템								↔			
	지열발전 플랜트										↔	
	심부굴착기술										↔	

자료: 지식경제부, 제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획.

4.2. 청정에너지의 농업부문 이용확대를 위한 과제

4.2.1. 신재생에너지에 대한 홍보 및 이용확대 기반 구축

농가들이 농업용 면세유와 전기사용에 익숙해 있기 때문에 신재생에너지에 대한 인식은 낮은 편이다. 규모화, 전문화된 농가보다는 소규모 농가일수록 에너지 절약에 대한 인식이 부족하고 신재생에너지에 대한 관심이 적은 편이다. 고온성 작물을 재배하는 농가의 경우에도 유가 상승 시에는 에너지절감에 대한 관심을 일시적으로 보이다가 일정기간이 지나면 다시 무관심해지는 경향이 있다. 현재 신재생에너지가 농업부문에 사용되고 있는 것은 농업부문 에너지 사용량의 0.01% 미만으로 아직 신재생에너지에 대한 에너지 절감효과 및 특성을 알지 못하고 있는 실정이다.

신재생에너지 사용에 대한 농어업인의 인식 제고를 위해 신재생에너지 사용 시 누릴 수 있는 효과 등에 대해 농업인 교육을 추진할 필요가 있다. 신재생에너지에 대해 홍보와 시범사업을 통해 농가로부터 수요가 발생하도록 하고, 신재생에너지 기기에 대해 정부의 인증 제도를 도입하여 사후

표 4-12. 시설농가의 신재생에너지 난방에 대한 인식 정도

단위: %

	지열히트펌프	목재펠릿	바이오에너지	태양열, 태양광
알고 있다	61.4	45.5	40.6	87.1
모른다	38.6	54.5	59.4	12.9
계	100	100	100	100

자료: 한국농촌경제연구원, 전국 시설원예농가 101개 조사결과.

관리를 할 수 있는 기반을 구축해 나가야 한다. 이를 위해 농촌현장에서 모범적으로 신재생에너지를 이용하는 우수농가 및 지자체에 대해 인센티브제도를 도입함으로써 신재생에너지 사용을 적극 권장할 필요가 있다.

농가단계에서는 현재 이용하고 있는 에너지 시스템이 어떤 문제가 있고 어떻게 해야 하는지 알지 못하는 경우가 많다. 농가의 에너지 이용실태를 진단하고 향후 에너지 이용방안을 컨설팅할 수 있는 시스템이 필요하다. 특히 대규모시설원예 및 축산농가 등의 리스트를 작성하여 이들 농가를 대상으로 사전홍보를 강화하고 농가여건에 맞는 에너지 시설 및 규모 등에 대한 컨설팅이 필요하다.

지열에너지의 보급확대와 관련하여 농가가 요구하는 사항을 보면, 자부담 경감에 대한 우선순위가 가장 높다. 그 외에 농가는 설치업체에게 최소한 10년간은 사후관리에 대한 보장을 희망하고 있다. 또한 설치시설에 대한 컨설팅, 농가가 사용할 수 있는 매뉴얼 작성 및 공급업체에서 원격모니터링할 수 있는 체계가 구축·운영되기를 원하고 있다.

표 4-13. 지열에너지 보급확대관련 농가의 요구사항

단위: %

자부담 경감	설치후 A/S 보장	설치시설 컨설팅	정부인정 공급업체	사용교육, 매뉴얼	원격관리 체계 구축	기타
29.9	20.1	16.7	12.1	10.9	6.9	3.4

자료: 한국농촌경제연구원, 전국 시설원예농가 101개 조사결과.

4.2.2. 신재생에너지 시설설치에 대한 지원강화

신재생에너지를 이용하기 위한 시설설치에는 많은 자금이 소요된다. 1ha 규모의 온실에 지열히트펌프를 설치하는 경우 현재 제도에서는 정부가 80%를 보조함에도 불구하고 농가가 2억여 원을 부담해야 한다. 농가 입장에서는 2억 원이 큰 부담이 아닐 수 없다. 이처럼 농가가 일시에 지불할 능력이 없을 경우 할부 또는 시설담보제도를 도입하여 연차적으로 상환하는 방안이 강구되어야 할 것이다.

신재생에너지의 활용은 에너지사용이 많은 시설이나 규모화된 농장에서 더 효과적일 수 있다. 따라서 신규로 설치하는 첨단온실, 대규모 농업회사의 유리온실, 대규모 비닐온실 등에 대해서는 신재생에너지를 우선적으로 사용할 수 있도록 인센티브를 부여할 필요가 있다.

목재펠릿의 보급과 관련한 농가의 의향을 보면, 공급을 확대하기 위해서는 지속적 공급시스템의 구축 및 펠릿가격 인하가 필요한 것으로 나타나고 있다. 적정가격으로는 현행 kg당 400원에서 20% 정도를 낮춰 320원에 공급할 경우 농가의 수요가 늘어날 것으로 예상된다.

또한 펠릿난방기, 목재펠릿이 제조업체에 따라 효율성의 차이가 많으므로 기술이 검증된 업체에 한해 보급을 허용할 필요가 있다. 목재펠릿에 대한 소비자 신뢰제고를 위해 규격표준화를 통한 품질관리를 요구하기도 하였다.

표 4-14. 목재펠릿 보급 확대 관련 농가의 의견

단위: %

지속적 공급	펠릿가격 안정화	설치 컨설팅	설치후 A/S 보장	정부인정 공급업체	기타
33.1	33.1	14.4	9.3	5.1	5.0

자료: 한국농촌경제연구원, 전국 시설원예농가 101개 조사결과.

4.2.3. 농업부문 신재생에너지에 대한 지속적인 기술개발 추진

정부는 2008년 말에 제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획을 확정하여 발표하였다. 이 계획은 신재생에너지의 보급목표, 신재생에너지의 시간 단계별 기술개발 로드맵, 화석연료 수준의 경제성 확보시기 등을 담고 있다. 그러나 기본계획에서 언급된 내용들이 대부분 일반 산업 분야에서 추진할 내용이어서 농업부문과의 연계성은 부족한 실정이다. 한 가지 예를 들면, 지열의 경우 주거용 히트펌프나 지열발전 플랜트 개발이 중점이다.

따라서 농업부문에서 활용 가능한 신재생에너지를 중심으로 한 지속적이고 체계적인 기술개발이 필요하다. 현재는 농업용 신재생에너지 활용에 대한 기술수준이 낮기 때문에 시설 공급가격이 매우 고가이다. 농업용으로 전문화된 기술개발이 지속적으로 이루어진다면 공급가격을 크게 낮출 수 있어 수요확대 가능성이 크다. 더 나아가 지열이나 바이오에너지 외에 다양한 신재생에너지원 중 농업부문에서 활용가치가 큰 신재생에너지자원에 대한 연구개발이 꾸준히 진행되어야 할 것이다.

4.2.4. 전문 시공업체 육성

신재생에너지의 보급확산을 위해서는 신재생에너지 시설설치를 담당하는 전문 업체의 확보가 중요하다. 현재 지열히트펌프를 설치하고자 하는 업체는 1,200여 개를 상회하고 있으나 실제 시공능력을 갖춘 업체는 30여 곳에 불과하다. 더욱이 시설원예농가나 축산농가 등 농업부문에 지열히트펌프를 설치할 수 있는 전문 시공업체는 1~2개에 불과한 실정이다. 따라서 농업의 특성에 맞는 시설을 용이하게 설치할 수 있도록 농업시설 관련 전문 시공업체의 육성이 필요하다.

농업전문 시공업체 육성 시 고려해야 할 사항은 설계와 시공을 통합해 사업을 추진하여 효율화를 유도할 필요가 있다. 현재는 설계와 시공업체가 분리되어 있어 사업추진이 지연되고 사후에 문제가 발생했을 때 책임 소재

가 불분명하여 농가가 피해를 볼 수 있다. 그리고 시공된 시설에 대해서는 일정 기간 시공업체가 사후관리(A/S)를 담당해야 하고, 시공업체나 공급업체가 모니터를 통해 운영 상태를 지속적으로 관리토록 해야 한다. 일정 기간이 지난 후에는 지역별로 전문 관리 업체를 지정하여 필요시 신속하고 효율적인 사후관리가 가능토록 추진할 필요가 있다.

4.2.5. 농업용 에너지통계 확보

현재는 주요품목별 에너지사용 및 에너지원별 이용실태 자료가 없는 등 농업분야의 에너지 통계가 미흡한 실정이다. 이는 에너지 총조사 실시 시 농업분야의 표본이 전체표본의 1.6% 수준인 305농가에 불과하여 구체적인 에너지 사용실태를 파악하기 어려운 구조 때문이다. 농업부문에서의 에너지 관련연구를 심층적으로 수행하기 위해서는 에너지 총 조사 시 농업분야의 표본을 확대하여 더 구체적인 통계자료를 확보할 필요가 있다.

4.2.6. 외국의 신재생에너지 이용 관련 제도 및 정책 벤치마킹

영국, 독일 등 EU국가들은 2020년까지 신재생에너지 사용비율을 20%까지 확대하려는 목표를 가지고, 이의 달성을 위해 다양한 세금정책과 신재생에너지 사용을 의무화하는 등의 제도를 도입하고 있다. 일본의 경우도 2020년까지 1차에너지의 10%를 신재생에너지로 충당하려는 목표를 설정하고 그 정책수단의 하나로 ‘고정가격매입제도’를 도입하고 있다. 농업부문에서의 한 예로는 농촌현장에 풍부한 벼셀룰로즈를 활용하여 바이오연료를 만들기 위한 기술개발 지원을 강화하고 있다.

대부분의 신재생에너지 개발은 지역을 기반으로 하고 있다. 따라서 지역 단위에서 신재생에너지를 생산하여 소비하는 시스템 개발이 무엇보다 중요하다. 이러한 시스템 개발을 위해 외국의 선진 사례와 관련 제도 등을 벤치마킹할 필요가 있다. 예를 들어 독일의 윤데마을과 같이 지역 기반의 신재생에너지 산업은 새로운 일자리를 제공하고 있다. 그에 따라 지역 경

제의 활성화가 이루어지고 환경의 개선과 함께 관광이라는 부수입도 가져다주고 있다[27].

27. 독일 윤데마을에 대한 보다 구체적인 내용은 본 연구의 부속자료로 발간한 자료집 참조.

주요국 농업부문 청정에너지 이용실태와 시사점 제5장

1. 청정에너지 이용 실태

1.1. 미국

미국은 에너지의 약 87%를 화석 연료에서 얻는 반면, 핵에너지 및 재생가능 에너지원에서 얻는 비중은 13%에 지나지 않는다. 미국의 농업 부문 역시 화석 연료 에너지에 많이 의존하며 농가에서 사용하는 에너지의 약 68%가 화석 연료 에너지이다. 미국 전체 에너지 사용량 중 약 10%가 농업 부문에 사용되고 있어 농업 생산비에 에너지 비용이 큰 비중을 차지하고 있는 실정이다.

미국은 농업부문에 청정에너지인 풍력, 태양열, 녹조 및 바이오 에탄올 생산을 이용해 화석 연료 의존량을 줄이면서 에너지 효율성 제고를 위해 노력하고 있다. 미국은 2020년까지 풍력 발전으로 미국 전기의 5%를 생산한다는 목표를 세웠으며 미 에너지부가 이 목표를 달성한다면 앞으로 20년간 농촌에 자본 투자금 6천억 달러를 지원할 수 있고 농민들과 지주들에게 신규 소득 12억 달러와 일자리 8만 개를 제공할 수 있을 것으로 추정하고 있다. 이론상으로 풍력은 현재 미국이 사용하고 있는 전기의 다섯 배를 생산할 수 있지만 풍력 발전소를 설립하는 데 문제는 풍력 발전에 가장 적합한 지역들은 멀리 떨어져 있어서 도시 지역으로 전력망을 연결하기가 적합하지 않다는 점이다.

미국에서 태양열 발전 잠재력이 가장 높은 지역은 남서부이다. 하지만 이 지역은 인구밀도가 낮은 지역이기 때문에 태양에서 얻은 에너지를 인구가 많은 도시 지역으로 전송해야 하는 문제점이 있다.

바이오에너지의 경우 현재까지 미국에서 바이오매스를 에너지로 전환하는 산업은 초기 단계이지만 연구, 교육 프로그램들이 빠르게 늘어나고 있고 투자자본도 증가하고 있어 곧 바이오매스 에너지 생산 및 전환 시설이 가동을 시작할 것으로 예상하고 있다. 현재 미국에서 에너지 생산에 가장 성공적인 바이오매스는 옥수수에서 생산되는 바이오에탄올이다. 바이오에탄올 공장이 가져다 줄 수 있는 경제적 혜택 중 하나는 지역사회의 일자리 창출이며 아이오와의 경우 2007년 말에 에탄올 공장으로 인해 1,242개의 일자리가 생겼는데, 이는 공장 하나당 평균 42개의 일자리를 창출한 것이다.

하지만 이러한 노력에도 불구하고 현재 청정에너지 보급에는 몇 가지 걸림돌이 존재한다. 미국은 여전히 화석연료에 대한 비중이 크며, 가격도 상대적으로 저렴하여 세금 감면 정책 등의 유인책 없이는 청정에너지로의 전환이 어렵다. 또한 미국이 상업적 규모로 셀룰로오스계 에탄올 생산 시설을 가동하려면 아직 몇 년은 더 있어야 할 것으로 보인다. 따라서 농민들에게 에탄올 공장에 쓸 셀룰로오스계 공급 원료 생산을 권장하기는 어렵다. 또한 풍력과 태양열 같은 잠재적 에너지원은 전력망 시설 설치 문제로 어느 정도 제약이 있다. 최적의 풍력, 태양열 에너지원을 얻을 수 있는 곳은 인구가 많지 않은 지역이기 때문에 에너지를 인구가 많은 지역으로 전송해 와야 하는 문제가 있으며, 이를 위해서는 전력망을 확대하고 현대화하는 작업이 필요할 것이다.

1.2. 일본

일본은 농업의 바이오매스 자원을 활용하고, 산업과 고용을 창출함과 동시에 에너지 자급에도 기여하기 위해 국책사업으로 바이오매스 산업을 추

진해 나갈 계획이다. 농수산성이 주관으로 관계 7부성이 연계하여 추진하는 「바이오매스 일본 종합 전략」은 2010년까지 300개 지역 바이오매스타운을 정비할 계획을 세우고 있으며, 2010년 7월 말 현재 283개 지역이 정해졌다. 하지만 많은 지역이 바이오매스 타운 구상을 하고 있지만 목표를 달성할 수 없는 지역이 많아 차후 계획 검증 및 기술체계 정비 등의 해결책을 모색하고 있는 실정이다. 에너지 정책적인 측면에서는 경제산업성의 장기 에너지수급 전망 중에서, 바이오연료는 새로운 에너지로 선정되어 2011년까지 국산 바이오연료를 원유환산으로 5만㎘을 보급시킬 국가 목표를 내세우고 있으며, 2020년까지 50㎘를 사용할 것으로 목표로 하고 있다.

한편 경작 면적 축소 정책의 일환으로 홋카이도와 니가타에서 쌀을 원료로 에탄올을 생산을 시도하고 있다. 하지만 식량과 경합, 환경효과(지속가능성 기준), 농지전용 문제 등이 발생하여 이를 극복하는 방안으로 벼 전체(볏짚과 왕겨 등의 셀룰로오스를 포함)를 활용하여 에탄올을 개발하는 것을 적극적으로 추진하고 있다. 모리타 교수 및 연구소에서는 볏짚과 왕겨를 에탄올 제조공정에 연료로 공급하는 기술, 벼 전체를 다발로 활용하여 에탄올을 만드는 기술, 벼과 속에서 에탄올 생산에 가장 적합한 품종의 선택과 개발 등을 실시하고 있으며 교토대학의 우에다 교수 그룹이 개발한 효모는 셀룰로오스의 알코올화의 길을 크게 열어 놓을 것으로 주목받고 있다.

1.3. 유럽연합

현재 유럽은 전체 사용 에너지의 80% 이상을 화석에너지로부터 공급받고 있다. 2006년에 유럽의 1차 에너지 소비에서 36.9%가 석유에 의존했으며, 24%를 천연가스를 사용했다. 또한 17.8%는 석탄과 같은 고체연료로부터 공급받았으며 원자력의 의존 비율은 14%를 기록하고 있다. 재생에너지는 전체 에너지 사용량의 9%를 기록하고 있으며 이 중 바이오매스와 수력이 재생에너지의 대부분을 차지하고 있으며 풍력, 지열, 태양에너지는 재생에너지의 작은 비율을 차지하고 있다.

2004년 기준으로 유럽에서 생산되는 바이오연료의 80%는 바이오디젤이다. 나머지 20%는 바이오에탄올이 차지하고 있다. 바이오디젤의 주요 생산원은 유채 기름이고, 바이오에탄올의 경우 사탕무와 밀이 사용되고 있다. 1992 블레어하우스 합의[28]에 따라 식량곡물 생산 잠재력이 낮은 유보지에서의 바이오에너지 곡물의 재배가 가능해졌으나 석유 대비 가격 경쟁력 약화가 보급에 걸림돌로 작용하고 있다. 2004년 기준으로 유럽은 7억 6,800만 갤런의 바이오연료를 생산한 것으로 추정하고 있으며 독일의 바이오연료 생산은 유럽에서 생산하는 바이오디젤의 반 이상을 생산하고 있다. 다음으로 프랑스와 이탈리아가 바이오디젤 생산의 주요국이다. 바이오에탄올의 경우 스페인이 유럽 생산을 주도하고 있다.

한편 유럽 회원국들에서 사용하는 재생에너지 중에 산림에서 생산되는 에너지가 많은 비중을 차지하고 있으며, 우드칩과 목재펠릿과 같은 목재연료의 기술개발은 재생에너지 사용 확대에 많은 영향을 끼쳤다. 나무의 셀룰로오스에 기반을 둔 바이오에탄올은 현재는 경제성이 낮지만 기술 발전에 따라 가까운 미래에는 주요한 재생에너지 공급원으로 그 역할이 확대될 것이다. 2005년 유럽 27개국에 대한 산림 에너지 조사에 따르면 3억 3,200만 m^3의 나무가 에너지로 사용되었다. 이중 45%가 산림 부산물이고 49%가 목재산업의 부산물이었다. 또한 6%가 재생나무에 의해 공급되었다. 2006년 유럽 27개국의 재생에너지 비중은 9%로 산림으로부터 공급된 재생에너지는 5%를 차지한다. 5%의 에너지 공급은 전체 에너지 대비 그리 큰 양은 아니지만 유럽회원국들에게 화석 연료나 원자력보다 중요성이 더욱 더 높아지고 있다. 2020년 유럽 연합은 재생에너지 사용 비중을 20%로 목표하고 있다. 2005년 공급량을 기준으로 한다면 추가적으로 3억 5,300만 m^3의 나무가 추가적으로 더 필요하게 된다. 만약 25% 정도의 증

28 우루과이라운드(UR) 농산물 협상을 타결하기 위해 1992년 말 미국과 유럽이 체결한 농산물 협정으로 미국 워싱턴의 영빈관 블레어하우스에서 체결돼 블레어하우스 협정이라 한다. 주요 내용은 보조금이 지급된 농산물의 수출량을 UR 타결 이후 6년간 21% 감축하고 농산물에 대한 수출보조금을 36% 줄인다는 협정이다.

가를 필요로 한다면 1억 9,800만 m^3의 나무가 더 필요하게 된다.

바이오가스는 다양한 형태의 바이오매스로부터 소화과정을 통해 생산하게 되며 소나 돼지와 같은 가축에서 발생하는 분뇨가 바이오가스를 위한 일차자원으로 사용될 수 있다. 유럽 27개국에서는 매년 15억 톤의 가축 분뇨가 발생하는 것으로 집계하고 있다. 이렇게 발생하는 분뇨를 처리하지 않고 방치하는 경우 수질오염, 병원균 방사, 유기물 침출과 암모니아 방출 등의 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 재생에너지로의 전환과 식량 생산을 위한 영양분 제공에 활용하여야 한다. 스웨덴에서는 최근 2~3년 전부터 바이오가스를 차량용 연료로 사용하고 있는데 사용 폭이 급속도로 확대되고 있다. 최근 12,000대의 차량이 바이오가스를 이용하여 있으며 2010년까지 최대 70,000대의 차량이 이 바이오가스를 이용할 것으로 예상하고 있다. 또한 이를 위해 500개 이상의 바이오가스 충전소가 보급될 것으로 예상하고 있다.

열복합발전에서의 바이오가스 사용은 매우 좋은 사용 사례이다. 또한 유럽은 바이오가스를 개량하여 천연가스 공급망을 통해 보급하기를 원하고 있으며 이러한 방법을 통해 바이오가스 보급에 따른 문제점이 해결될 것으로 예상하고 있다. 바이오가스의 가스망 공급을 위한 시설들이 현재 추진 중이며 독일에서는 모듈식 바이오가스 시설에 대한 연구도 추진 중에 있다. 이러한 가스망을 통한 바이오가스의 공급은 새로운 기회와 가능성을 제공한다. 유럽회원국은 가스망에 많은 비용을 투자했고 망관리에 많은 노하우를 가지고 있으며 현재 공급된 천연가스 인프라를 그대로 사용하면서 환경 친화적이며 재생 가능한 에너지를 공급할 수 있는 방안을 연구하고 있다.

유럽에서 성공적으로 재생에너지 도입을 한 지역들은 이를 통한 부의 축적과 대외적인 홍보를 통해 타 지역의 모범을 보이고 있다. 윤데마을은 독일에서 처음으로 시작된 바이오에너지 마을이며, 바이오매스에 의한 열과 전기의 자급화를 위해 협동조합을 결성하고 750만 달러를 투자하여 액체 상태의 분뇨와 여러 작물의 사일리지를 사용한 바이오가스 시설을 건설하여 열복합발전을 시작하였으며, 145가구가 여기에서 생산된 열을 지역난방

을 통해 공급받고 있다. 악헨탈 프로젝트는 독일 바이어른 주의 남쪽 6개 지방자치와 오스트리아 티롤 지방의 3개 지방자치체에 의해 시작되었으며, 열에너지 공급을 위한 자원으로는 우드칩, 톱밥, 바이오가스, 초본계 바이오매스, 태양광과 바이오오일이 이용되며, 전기 에너지 공급을 위해서는 수력, 태양광과 지열이 이용되고 있다. 이 프로젝트는 유럽의 대표적인 에너지 자립 모델로 발전하였으며, 타국가로부터 참관을 위한 관광수입이 증가하고 있다.

2. 청정에너지 목표 및 주요 정책

2.1. 미국

1970년대 에너지 위기로 미국 내에서 재생에너지와 에너지 효율성 제고를 위한 여러 가지 대책이 논의되었으나, 1980년대를 거치며 원유 공급이 늘고 에너지 가격도 안정되었다. 이에 따라 원유를 보다 낮은 가격에 안정적으로 공급받을 수 있게 되자 에너지 보존과 효율 및 대체 연료 생산에 대한 관심도 점차 줄어들었다. 연구 및 교육 프로그램에 대한 자금 지원도 1980년 중반이 되자 사라지고, 이 중 상당수의 프로그램이 중단되었다. 그러나, 2000년대부터 다시 시작된 에너지 위기에 대응하여 연방정부 차원의 여러 가지 프로그램을 통해 재생에너지와 에너지 효율성 제고를 위해 다각도로 노력하고 있다. 최근 미국은「Waxman-Markey」법안을 통해 온실가스 감축을 위한 국가적 목표를 2005년 수준 대비 2020년까지 17%, 2050년까지 80% 이상 삭감하는 것을 목표로 하고 있다. 이 중 재생가능 에너지 사용량은 2022년까지 360억 갤런(이 중 옥수수 기반 에탄올이 차지하는 비중은 150억 갤런으로 제한), 신재생전기 의무공급 비율은 2012년 6%, 2025～2039년에는 25%로 설정하고 있다. 이러한 재생가능 에너지 목표 달성을 위해 미 정부는 재생가능 에너지 생산뿐 아니라 에너지 보존 및 에

너지 사용 효율성을 권장하는 정책을 마련했다.

미 농무부와 에너지부가 합동으로 발표한「바이오매스 연구 및 개발법」은 연방의 모든 바이오 기반 제품들과 바이오에너지 연구개발을 조율하고 가속화하기 위한 정부 기관들의 합동노력에 대한 지침 제공하고 있다.「2008년 농업법」의 에너지 관련 조항은 기존 프로그램을 확대하고, 바이오 기반 및 기타 재생가능 에너지원의 생산, 사용, 개발을 장려하기 위해 신규 조항들도 다수 추가하고 있다. 본 법은 바이오연료와 관한 조항 등을 포함해 여러 세금 관련 조항도 포함하고 있는데, 세금 관련 조항에는 셀룰로오스계 바이오연료에 대한 한시적 세금 공제 제공, 에탄올에 관한 재생가능 연료 기준에 도달한 후에는 에탄올에 대한 세금 공제 축소, 2010년에 거쳐 연료 사용 목적으로 수입되는 에탄올에 대한 추가적 세금 확대 등이 포함된다.「2007년 에너지 독립 및 안보법」은 미국의 에너지 독립 및 안보 확보, 청정 재생가능 연료의 생산 증가, 소비자 보호, 제품·건물·차량의 효율성 증가, 온실 가스를 포집해 저장하는 옵션에 대한 연구 및 실행 촉진, 연방 정부의 에너지 성능 개선 등을 위해 만들어졌으며, 자동차와 트럭의 효율성을 높이는 등의 전반적인 에너지 대책을 다수 제공하고 있다. 또한 '개량 바이오연료'라 불리는 연료를 포함, 바이오연료의 연구개발이 더욱 활발해지도록 지원하고 있다. 식량 작물과의 경합을 피하기 위해, 곡물에서 생산되는 에탄올보다는 셀룰로오스 에탄올 같은 연료를 지원하고 있으며 바이오연료에 대한 수요를 충족시키기 위해서 곡물 이외의 다른 연료원도 재생가능 연료에 포함하고 있다.

이와는 별도로 바이오매스 생산을 늘이기 위해 주 정부 차원의 인센티브 프로그램을 제공하고 있다. 예를 들어, 테네시 대학의 바이오연료 이니셔티브는 테네시의 경제 발전을 보장하고 청정에너지를 사용하면서도 수입 석유에 대한 의존도를 줄이기 위한 목적으로 만들어진 산학 협력 이니셔티브이다. 테네시대학은 이니셔티브의 일환으로 최근 미국 최초로 테네시 주 보노르에 스위치그래스(switchgrass)에서 에탄올을 생산하는 설비를 합작투자 형식으로 설립했다. 이 설비에서 하루에 스위치그래스, 나무조각 및 기타 임지와 농지의 바이오매스 170톤을 처리해 1년에 에탄올 500만 갤런

을 생산하게 될 것이다. 이렇게 생산된 연료는 이미 ‘그래솔린’이라는 이름으로 상표 등록되어 있다. 이 설비의 적정 처리 용량이 돌아갈 수 있도록 충분한 바이오매스를 생산하기 위해서 테네시대학의 바이오연료 이니셔티브에는 스위치그래스 인센티브 프로그램이 포함되어 있다. 3년 동안 스위치그래스를 재배하는 농민들은 1에이커당 450달러를 받을 수 있고, 품질이 좋은 스위치그래스 종자와 기술 지원도 받을 수 있다.

2.2. 일본

저탄소 사회 실현을 위해 일본정부는 환경부 중심으로「지구 온난화 방지 기본 법안」이 2010년 3월에 통과되어 2020년을 목표로 온실가스를 1990년 대비 25%까지 줄일 계획이다. 재생가능에너지의 1차 에너지에서 차지하는 비율을 2020년까지 10%로 할 것이라 명시되었다. 이것을 실현하기 위한 정책으로 온난화대책 세금, 배출권 거래, 재생가능에너지에 관한 고정가격 매입제도의 도입을 검토하고 있다.

한편, 에너지 기본법에 따라「개정에너지 기본계획」이 책정되고 2010년 6월 최종 확정되었다. 목표연도를 2030년으로 계획하고 있으며 온실가스는 1990년 대비 30% 감소를 목표로 하고 있다. 한편, 수요측면에서는 에너지 절약을 진행하여 생활에서 발생되는 CO_2배출량을 2030년까지 절감할 계획이다. 이와 같이 수요 부문에서 에너지 절약, 저탄소를 실현하기 위해서는 에너지 절약 기기의 도입 등 기술 혁신뿐만 아니라, 소비자의 의식 변화가 매우 중요하게 된다. 또한 차세대 인프라 인「스마트 그리드」의 보급이 필수적이라는 판단하에 경제 산업부는 가능한 한 조기에 스마트 계량기를 보급시키는 방침을 세우고 있다.

친환경 정책, 에너지 보안을 위해 전력 회사가 판매하는 전력의 일정 비율을 재생가능에너지로 이용하는 것을 의무화하는 RPS(Renewables Portfolio Standard) 제도가 도입되었지만, 포트폴리오는 예상 외로 작고 현황은 1.5% 미만에 머물고 있다. 앞서 언급한 바와 같이,「지구 온난화 방

지 기본 법안」은 재생가능에너지를 2020년까지 1차 에너지의 10%를 차지하고자 하는 목표를 설정하고 이를 위한 정책수단으로 고정가격 매입제도(일본형 FIT), 온난화대책 세금, 배출권 거래의 도입이 검토되고 있다. 특히 재생가능에너지를 고정가격으로 매입하는 제도는 실시방향이 정해져 있어 재생가능에너지 보급의 핵심 정책으로 주목 받고 있다. 검토 기간을 거쳐, 7월에 경제산업성에서 제도방안의 대략적인 계획이 발표되었으며 재생가능에너지를 「태양광발전」과 「기타 재생가능에너지」로 구분하고 있다. 태양광발전은 매입가격이 43엔/kwh, 매입기간은 10년, 매입량은 전량 또는 잉여분으로 설정되어 있다. 태양광 이외에는 매입가격은 15~20엔/kwh, 매입기간은 15~20년, 매입량은 전량이다.

일본 정부는 1990년 대비 2020년까지 온실가스를 25% 삭감하는 방침을 표명하고 있다. 이를 위해 농업 분야에도 다양한 대책이 검토되고 있으며, 농업 분야에는 최대 7.9% 절감이 가능한 것으로 예상하고 있다. 먼저 「농림수산업·식품 산업의 배출삭감대책」에서 1.7%를 차지하고 있다. 시책사례는 가온하우스의 60%에 히트펌프 및 다겹 커튼을 도입하여 165만 t-CO_2 (이하 CO_2 생략) 절감이, 또한 목재가공 시설 등에서 보일러의 연료를 중유에서 간벌재 칩 등으로 대체함으로 70만 톤의 삭감이 가능한 것으로 추정하고 있다. 다음으로 「산림·농지토양의 흡수원 대책」이며, 3.2%까지 절감가능하다. 간벌 등 적절한 산림정비의 실시 등에 의해 산림흡수원에서 3,700만 톤, 녹비의 면적확대와 벼의 퇴비사용량 두 배 증가로 농지 토양에 의한 흡수가 380만 톤 절감이 가능할 것으로 예상하고 있다. 또한 「나무 이용에 의한 에너지 절약 효과」로 0.5%를 기록할 전망이다. 에너지 분야로, 「바이오매스의 활용」에서 0.5% 감소, 태양광 및 소수력 발전 등의 「재생가능 에너지의 활용」에서 2% 삭감을 전망하고 있다.

2.3. 유럽연합

유럽 연합은 전세계 다른 국가들에게 재생에너지의 표준 모델을 제시함과 동시에 이 분야의 산업 리더 역할을 수행하고 있으며 재생에너지 관련 산업 및 시설에 많은 투자를 하고 있다. 후손들로부터 잠시 빌려 사용하는 지구의 환경 보호를 위해서라도 재생에너지의 사용 확대는 유럽 회원국의 당면한 과제이며 공동으로 추구하는 목표이다. 이를 위해 단기적 목표로 유럽 회원국은 재생에너지 사용 확대와 관련된 로드맵을 수립하였다. 2020년까지 재생에너지 사용 비율을 20%까지 끌어올리고 이와 동시에 온실가스 발생을 20% 절감시키며 에너지 효율을 20% 끌어올리는 「Renewable Energy Target for Europe 2020」 계획을 실행 중이다. 이에 더 나가 2040 시나리오도 구상하고 있다. 2040 시나리오는 2040년에 전체 사용 에너지의 50%를 재생에너지를 통해 공급받는다는 계획으로 유럽 회원국의 기후변화와 에너지 전환의 의지를 반영하고 있다. 재생 가능한 에너지원으로부터 생산된 에너지를 관할하는 주요 법령은 RES-E(Renewable Energy Sources in the Electricity sector) 법령으로 EU가 교토의정서 목표를 달성하는 데 가장 주효했던 법령이었다. RES-E 법령은 재생 가능한 에너지 원으로부터의 전기 생산에 관한 기존 법령과 바이오연료에 관한 기존 법령를 수정, 폐지한 것이다. 법령은 전기 생산, 난방 및 냉방용 에너지의 20%, 운송수단에 사용되는 에너지의 10%를 재생 가능한 에너지로 사용할 것을 전반적인 목표로 잡고 있다.

2000년 유럽 연합을 구성하는 27개국의 평균 재생에너지 사용은 1차 에너지 대비 5.8%였다. 유럽 연합의 재생에너지 투자는 지속적으로 이루어져 왔으며, 2007년 자료에 따르면 재생에너지 사용 비율은 7.8%까지 증가하였다. 2000년부터 2007년까지 8년간 자료를 살펴보면, 2004년을 기점으로 재생에너지 보급량이 크게 확대되고 있는 것을 알 수 있다. 2004년의 재생에너지 사용 확대는 기후협약에 따른 탄소배출량 감소와 큰 관련이 있는 것으로 예상하고 있다. 독일의 경우 교토의정서에 따른 EU-15의 8% 감축목표를 바탕으로 독일은 온실가스를 1990년도 수준 대비 온실가스 21%

감축 목표를 설정하였다. 그리고 EU의 기후 및 에너지 규정을 준수하기 위해 다양한 목표를 마련하였는데, 이 중에는 2030년까지 신재생에너지를 통한 전기 생산량을 30%로 증대하고(최근에는 2050년까지 100% 달성으로 상향조정함), 2015년을 기준으로 바이오연료 쿼터에 기반한 온실가스 감축, 2020년까지 재생에너지를 통한 열 생산 14% 달성 등이 포함되어 있다. 이러한 목표는 2007년 8월 23일 메제베르크 (Meseberg)에서 열린 특별 각료회의에서 채택된 '통합 에너지 및 기후변화 프로그램' (Integrated Energy and Climate Change) 일환으로 마련되었다. 이러한 목표 달성을 위해 독일재생가능에너지법(The Renewable Energy Sources Act;EEG)은 2000년 발효되었으며, 이 법안에는 독일이 재생에너지분야의 선봉에 설수 있는 기반을 마련해 준 경제적 수단인 '발전차액 지원제도'(feed-in tariff, FIT)가 포함되어 있다. FIT는 재생에너지원으로 생산한 전력 비용을 정부가 지원해 주는 제도로 투자를 촉진시키는 역할을 한다. 바이오매스의 경우 보장 가격은 kWh당 7.71~11.55유로 센트이며, 설비규모에 따라 가격이 다르다. 바이오연료 쿼터제는 연료 공급자가 교통수단 연료 중 바이오연료 비중을 2015년까지 8%, 2020년까지 12~15%로 높이며 바이오에탄올 비중 상한선을 5%로 제한한 규정으로, 세금면제전략의 대안으로 2007년에 도입되었다.

3. 청정에너지의 사회적 효과

3.1. 미국

미국은 청정에너지 사용이 온실가스 감축은 물론 고용 창출, 에너지 독립 및 안보 강화, 소비자 보호 등의 효과를 가져 올 것으로 예상하고 있다. 미 에너지부에 따르면 풍력 에너지만으로 2020년까지 8만 개의 새로운 일자리와 농민들과 농촌 지주들에게 새로운 소득 12억 달러를 제공할 수 있

는 것으로 추정된다. 아이오와 주립대의 연구 결과는 에탄올 처리 시설이 추가로 들어설 경우 아이오와 지역이 기대할 수 있는 잠재적 경제 효과를 명확하게 보여주었다. 이 연구에 따르면 연간 5,000만 갤런의 작업을 한다고 가정할 경우 35명의 근로자가 필요하며 2005년 시장가치 기준으로 1억 1,800만 달러의 상품을 생산할 수 있다. 그렇게 하기 위해 에탄올 공장은 간접적으로 1,300만 달러의 옥수수 이외의 투입요소가 필요하며, 이에 따라 추가로 75개의 일자리를 창출한다. 직접 산업과 간접 공급 산업에 고용된 근로자들이 본인들의 소득을 연구가 이루어진 지역에서 가계 지출로 전환한다면, 23개의 일자리가 추가로 필요해 전체적으로 봤을 때 에탄올 공장은 133개의 일자리와 지역 부가가치 2,500만 달러를 창출할 수 있다.

3.2. 일본

현재 일본 농업을 둘러싼 상황은 심각하고, 많은 과제를 안고 있다. 그것은 낮은 식량자급률 때문이다. 현재의 자급률(칼로리 기준)은 40%이고, 선진국 가운데에서 가장 낮은 상황이다. 국토가 좁은 반면에 산악지대가 많아서 경지면적이 작고, 넓게 정리된 토지가 적다는 구조적인 문제를 안고 있는 것이 사실이다. 그러나 가장 큰 요인은 소비자가 주식인 밥을 먹지 않기 때문이다. 1인당 소비량은 절정기에 비해 절반 수준이며 감소추세가 멈추지 않고 있다. 이것을 주원인으로, 논농업 그리고 농지·농촌이 급속하게 축소하고 있다. 이러한 경작지 감소 현상은 식량 위기를 초래할 수 있기 때문에 주식인 쌀의 안정적 공급 및 논으로서의 기능 유지를 위해서 일본 정부는 논을 다른 작물로 바꾸는 전작을 정책적으로 장려하고 있는 실정이다. 이러한 상황에서 수송용으로 쌀을 원료로 하는 바이오에너지의 이용은 식료에 대한 경합문제와 라이프사이클에 걸친 지속가능성 기준 등의 논란에도 불구하고 농업과 지역의 활성화로 이어질 것으로 예상하고 있다. 논의 다면적 활용 및 자급률 개선 대책으로 연료용 쌀을 재배하는 것은 에너지 자급률을 향상에 기여하고 논으로서의 기능 유지 및 식량자급능력의

유지 효과를 가져 올 것으로 기대하고 있다. 이러한 의미에서 바이오연료는 환경과 에너지뿐만 아니라 농업, 지역, 산림과 종합적인 환경보전 등을 포함하는 다양한 효과에 대해 논의가 이루어져야 한다.

3.3. 유럽연합

대규모 식품 회사들은 우유와 같은 제품에 대한 가격 인하 압력을 가하고 이와 동시에 유럽 연합은 농업 보조금 삭감에 대한 압력을 받고 있다. 또한 농업에 소요되는 자원의 비용은 계속 상승하고 있다. 이러한 상황에서 농업을 지속시키고 비용을 적정한 수준으로 유지하기 위해서는 대책이 필요하다. 청정에너지 농업은 에너지 비용 삭감 또는 안정화, 에너지 자립 증대, 농업에 새로운 수익 창출, 비료 또는 운송연료 등에 대한 대형 기업들의 가격지배체제를 무너뜨리는 것 등의 문제를 한꺼번에 해결할 수 있는 방안을 제시할 수 있다. 그중 공동소유로 운영되는 바이오가스 발전소는 해당 지역사회에 일자리 창출, 저렴한 전기 제공, 전기 판매를 통한 수익 제공, 거대 전력회사에 지불할 비용을 지역 사회로 환원하는 등 다양한 혜택을 가져온다. 이러한 혜택은 농가들이 직면한 여러 문제를 상쇄시키고 앞으로 20년 후에도 유럽에서 저렴한 가격의 농작물을 재배할 수 있는 환경을 제공한다. 이와 동시에 정부의 기후 변화 및 에너지 자립이라는 목표를 해결하는 데도 도움을 준다.

4. 시사점

선진국 사례에서 살펴 본 바와 같이 우리나라도 재생에너지 사용을 장려하고, 에너지 효율성을 제고함으로써 화석 연료 사용량을 감소시키는 방안을 조속히 마련해야 할 것이다. 하지만 국내 재생에너지는 여러 가지 요인

들로 인하여 사용 가능한 에너지원의 제약과 생산 가능 인프라의 절대 부족이라는 두 가지 큰 문제점을 안고 있다. 이 두 가지 문제점을 다른 각도에서 살펴볼 때, 두 문제 모두 재생에너지 생산 가능한 지역이 매우 작다는 것으로부터 발생하고 있다. 따라서 국내 재생에너지 정책은 국내 자원의 활용이라는 측면과 더불어 해외 자원 확대의 두 가지 방향으로 접근이 필요하게 된다. 국내 자원의 활용은 수집 및 보관 시스템의 지원에 초점을 맞추어 이를 통한 경제활동의 증가를 목표로 하여야 한다. 기존 인프라가 잘 구축된 화석 연료와 달리 재생에너지는 추가적인 인프라가 필요하기 때문에 다른 자원에 비하여 현재까지는 경쟁이 약한 편이다. 따라서 재생에너지 자원 확보를 위한 국가 차원의 과감한 투자가 필요하다.

다양한 에너지원을 사용하는 유럽과 달리 농업분야에서 국내 사용 가능한 재생에너지원은 많은 제약을 받고 있다. 또한 재생에너지 생산에 투입되는 비용이 상대적으로 크게 발생하고 있다. 하지만 국내 생산 가능한 재생에너지의 수급은 국가 에너지 안보와 에너지 자립도 확충이라는 대전제를 위해서는 미약한 자원이라도 발굴하여 사용해야 할 실정이다.

국내 이용 가능한 재생에너지원은 크게 농업, 임업, 축산업으로 구분할 수 있으며 추가로 수력도 이용 가능하다. 농업에서 생산 가능한 재생에너지는 유채와 같은 작물을 통한 바이오디젤의 생산과 농업부산물을 이용한 바이오매스의 생산이 가능하다. 국내에서 바이오에탄올을 생산할 수 있는 원재료는 주로 곡물이며 국내 생산되는 곡물은 대부분 벼이다. 최근 식문화의 변화로 쌀 소비가 줄어들면서 벼의 과잉 생산이 예상되지만, 벼를 이용하여 바이오에탄올을 생산하려면 해결해야 할 많은 문제점이 나타나게 된다. 벼를 식량이 아닌 에너지로 사용하는 문제는 관습적, 문화적인 충격으로 나타나기 때문에 이에 대한 접근은 매우 조심스럽다. 바이오에탄올을 생산할 수 있는 다른 작물로는 보리나 밀을 이용할 수 있지만 국내 보리나 밀의 경작지역은 매우 작은 편으로 에너지로 이용할 수 있는 양이 아니다. 바이오디젤을 생산할 수 있는 에너지 작물로 유채나 콩을 이용할 수 있다. 유채의 경우 국내에서 몇몇 시험 재배를 통해 유채기름을 생산하였다. 하지만 경제성과 사용 용도의 제한으로 상업적인 접근은 어려운 실정이다.

국내 식문화의 변화로 축산업은 성장하고 있다. 하지만 축산업에서 발생하는 분뇨의 처리는 매우 큰 문제로 나타나고 있다. 특히 2005년부터 분뇨의 해양 투기 금지를 시행한 이후 분뇨의 처리는 축산업에 있어 해결해야 할 매우 큰 과제이다. 축산업에서 발생하는 분뇨를 바이오가스 생산을 위한 원재료로 이용하는 것은 분뇨처리에 가장 이상적인 방법이다. 하지만 바이오가스 시설의 경우 초기 투자 비용이 매우 큰 문제점을 안고 있다. 또한 분뇨만을 이용하는 경우 바이오가스 생산량이 매우 적은 관계로 경제성에 심각한 문제가 발생하게 된다. 유럽의 대부분의 바이오가스 시설의 경우 분뇨를 이용하지만 가스 생산의 주 원료는 옥수수이다. 바이오가스 시설 주변의 농지에 옥수수를 심어 분뇨와 함께 가스 생산 원료로 사용하고 있다. 따라서 국내 바이오가스 시설의 경제성을 위해서는 볏집이나 옥수수대, 고추대 등의 농업부산물을 같이 사용하는 것을 권장할 수 있다. 농업 부산물을 같이 사용하는 경우 발생하는 가스의 양이 많아지므로 약간의 경제성을 기대할 수 있다. 하지만 농업부산물의 경우 수집에 많은 비용이 발생하는 또 다른 문제를 가지고 있다. 유럽에서의 바이오가스 시설은 분뇨 처리 외에 음식물 찌꺼기에 대한 처리를 동시에 하는 경우가 많다. 하지만 국내 음식물 찌꺼기의 경우 소금 함량으로 직접 사용에 무리가 있다. 따라서 국내 음식물 찌꺼기의 경우 소금 성분 제거 과정을 거쳐야 바이오가스 생산용 원재료로 이용 가능하며 이 경우 추가적인 비용이 발생하게 된다.

국내에서 수력은 재생에너지원에서 폐기물 다음으로 큰 비중을 차지하는 재생에너지원이다. 하지만 국내 수력 생산시설의 경우 대수력을 통한 전기 생산시설로 추가 개발의 여력은 거의 없는 실정이다. 하지만 소수력의 경우 개발 가능한 지역이 많이 분포되어 있으며, 소수력을 통해 저장된 물은 농업 및 임업에 활용 가능하기 때문에 소수력에 대한 더 많은 관련 연구가 필요하다.

국내 임업에서 생산되는 재생에너지로 이용 가능한 산림부산물은 절대양으로 그리 큰 편은 아니지만 다른 재생에너지원에 비한다면 매우 큰 양이 된다. 또한 산림에서 공급되는 재생에너지는 향후 개발에 따라 그 공급

량을 늘릴 수 있는 매우 큰 잠재성을 가지고 있다. 우리나라의 산림 면적은 6,416천ha로 국토의 64.4%를 차지하고 있으며 적극적인 취수사업을 통해 산림자원의 잠재량은 매우 큰 편이다. 장기간의 식목을 통해 국내 산림은 매년 9,500만 m^3씩 증가하고 있다. 증가량을 전부 에너지로 전환하는 경우 17,548천toe로 국가 전체 사용에너지의 7% 정도 되는 양이다.

산림 바이오에너지 이용에 큰 걸림돌은 경제성 부분이다. 기존에 인프라가 잘 구축되어 있는 화석 연료에 비하여 생산과정에 더 많은 비용이 발생하게 된다. 경제성으로 접근하는 경우 사업 타당성이 없게 된다. 하지만 국가 차원으로의 접근은 경제적인 희생을 통해 다른 효과를 가져오게 된다. 우리나라는 수출을 통해 벌어들인 외화를 화석 연료 구매를 위해 많이 지출하고 있으며 에너지 구입을 위해 사용하는 외화는 무역수지에 나쁜 영향을 주고 있다. 산림에너지를 효율적으로 수집할 수 있다면 국내 에너지 자립도의 증가와 함께 에너지 수입에 사용되는 외화를 줄이는 이중적인 효과를 가져 올 수 있다. 또한 산림자원의 수집을 위해 발생하는 고용 창출과 이를 통한 내수 경기의 활성화라는 부가 이익을 얻을 수 있다.

국내 농업분야의 재생에너지는 경제성과 생산가능량의 이중적인 문제를 가지고 있다. 이 문제를 해결하기 위해서는 국내가 아닌 해외의 재생에너지 사용에 대한 적극적인 검토가 있어야 한다. 대부분의 대체 가능한 재생에너지는 지역 기반의 에너지이다. 즉 생산된 지역에서 소비를 해야 하는 구조적인 단점을 가지고 있다. 하지만 재생에너지원 중에 농업과 임업분야에서 생산되는 재생에너지는 이동이 가능하다. 이러한 이유로 국내 생산이 아닌 해외로부터 생산하여 국내로 들여오는 정책에 대한 연구가 필요하다.

재생에너지 산업은 미래를 대비하는 산업으로 많은 기업과 국가가 사활을 걸고 있다. 하지만 실질적인 면을 살펴보면 미리 선점한 부분보다는 아직 선점되지 못한 부분이 많이 존재한다. 특히 동남아시아는 농업, 임업 분야의 재생에너지를 생산하여 국내로 들여오기에 최적의 조건을 갖추고 있다. 아직까지는 화석 연료 중심으로 인하여 해당 지역의 개발에 대한 다른 국가의 관심은 적은 편이다. 동남아시아의 바이오작물, 산림 에너지 확보를 위한 전략적인 접근이 필요한 때이다. 동남아시아의 자원 확보에 대한

접근은 우리의 발전된 기술이전을 통한 자원 확보 전략을 사용할 수 있다. 즉 농업, 임업, 의료가 통합된 교육 시설과 교육 인원의 지원을 통해 바이오에너지 생산의 핵심 기술을 전수하고, 생산된 바이오에너지의 국내 유입을 하는 것이다. 관련 산업을 위한 장비나 기술과의 교환을 통해 생산된 에너지 구입에 드는 외화반출을 줄이는 것도 고려해 볼 만한 방법론이다.

해외 바이오자원 확보와 함께 국내 에너지 자립을 위한 노력도 동시에 이루어져야 한다. 국내 바이오에너지 확대를 위한 정책은 수집 중심의 정책을 제안한다. 농업분야의 바이오에너지는 부피에 비하여 에너지양이 작은 구조를 가지고 있다. 또한 유럽에 비하여 국내 일인당 경작지의 비율이 낮기 때문에 수집에 더 큰 비용이 발생하게 된다. 이러한 이유로 바이오에너지 수집에 보조금을 지불하는 정책을 고려해야 한다. 농업분야의 바이오에너지 사용은 발생하는 이익에 비하여 더 큰 비용이 발생하게 된다. 즉 경제성이 발생하지 않는 사업이다. 하지만 국가 전체적인 측면으로 봤을 때는 농업부문의 재생에너지 지원 정책은 에너지 수입에 발생하는 외화의 절감과 국내 고용의 증가와 함께 관련 경제활동의 증가로 더 큰 이익을 가져다주게 된다.

표 5-1. 주요국의 청정에너지 농업부문 이용 실태 및 정책

	미국	일본	유럽 연합
이용 실태	· 풍력, 태양열, 녹조 및 바이오에탄올 생산	· '10년까지 300개 지역 바이오매스타운 정비 계획, 쌀을 원료로 에탄올 생산	· 바이오디젤, 농업 폐기물을 이용한 바이오가스를 열병합 발전에 사용, 바이오가스의 천연가스망 직접 공급, 목재 펠릿
정책 목표	· 온실가스 배출량 '05년 대비 '20년까지 17%, '50년까지 80% 이상 삭감 · 재생가능 에너지 사용량 '22년까지 360억 갤런 · 신재생전기 의무공급 비율 '12년 6%, 2025~2039년 25% 설정	· 온실가스 '90년 대비 '20년 까지 25%, '25년까지 80% 감축 · 재생가능에너지 1차 에너지에서 차지하는 비율을 '20년까지 10%	· 유럽연합: 재생에너지 사용 비율 '20년까지 20%, 온실가스 발생 '90년 대비 20% 절감 -독일: 온실가스 '90년 대비 '12년까지 21% 감축, 재생에너지를 통한 열 생산 14% 달성
주요 정책	· 바이오매스 연구 및 개발법, '08년 농업법, '07년 에너지 독립 및 안보법, 신재생전기의무할당제(RES), 미국 청정에너지 안전법(Waxman -Makey 법안)	· 지구 온난화 방지 기본 법안, 개정 에너지 기본 계획, RPS (Renewables Portfolio Standard) 제도, 고정가격 매입제도(일본형 FIT)	· 유럽연합: 재생가능한 에너지원으로부터의 에너지 사용 촉진에 관한 법령(RSE-E), 연료 기준 및 에너지 과세 지침 -독일: 재생에너지원법, 발전차액 지원제도, 바이오연료 쿼터제
이용 실태	· 풍력, 태양열, 녹조 및 바이오에탄올 생산	· '10년까지 300개 지역 바이오매스타운 정비 계획, 쌀을 원료로 에탄올 생산	· 바이오디젤, 농업 폐기물을 이용한 바이오가스를 열병합 발전에 사용, 바이오가스의 천연가스망 직접 공급, 목재 펠릿

요약 및 결론

제6장

1. 요약

1.1. 연구개요

농업부문이 매년 성장과 함께 에너지 소비량도 증가하고 있다. 농업부문에 에너지 사용은 주로 화석연료에 의존하고 있어 향후 지구온난화 억제를 위해 사용량 감축을 종용하게 될 것이고, 더욱 화석연료의 보유량이 점차 감소하게 되면 유가 상승과 연계되어 농업소득도 보장 받을 수 없게 된다.

화석연료 사용 절감을 위해서는 에너지 이용 효율화를 위해 에너지 절감시설의 도입과 대체에너지 개발 보급이 필요하다. 농업분야에서 에너지 절감시설과 대체에너지인 신재생에너지의 이용실태를 파악하고 이용확대 방안을 제시하였다.

이 연구의 1차년도 목적은 에너지 수급 실태와 전망, 농가의 에너지 이용실태 파악, 화석연료를 대체할 수 있는 청정에너지 이용과 관련된 실태와 문제점 등을 제시하고, 선진국의 에너지 이용실태를 통해 시사점을 도출하는 것이다.

2차년도는 1년차 과제에서 도출된 에너지절감의 기본방향을 이용하고, 외국의 에너지 자립실태 사례를 벤치마킹하여 우리 농업부문에 청정에너지 이용확대 방향 설정과 이를 달성하기 위한 세부 전략을 수립하여 청정에너지를 농업부분에 확대 이용될 수 있는 시스템을 개발하고자 한다.

1.2. 농업부문 에너지 수급 구조와 전망

우리나라는 경제발전과 국내외 경제여건의 변화에 따라 에너지 소비 구조 및 에너지원별 소비량이 크게 변화되고 있다. 세계 OECD 국가의 에너지 소비량은 2000년대 중반 이후 정체하고 있는 가운데, 미국이 가장 많은 에너지를 소비하고 있으며, 다음으로 일본, 독일 등의 순이다. 이 중 우리나라는 OECD 국가의 에너지 소비량의 4.2% 수준을 차지하고 있다.

농업부문은 국가 에너지 소비량의 1.8%에 불과하지만, 농산물 생산비에서 에너지가 차지하는 비중은 매우 높다. 특히, 시설원예 확대, 기계화 진전 등으로 에너지 투입이 증가하고 있어 농업부문 에너지의 효율적 관리의 필요성과 정책적 관심이 고조되고 있다.

농업부문 에너지의 효율적 관리 방안 마련을 위해서는 우선 농업부문의 에너지 투입 구조를 파악하는 것은 물론, 에너지 소비 전망이 필요한데 에너지 산업연관표 작성을 기반으로 에너지 산업연관분석을 시도하였다.

분석 결과, 우리나라 농림수산업은 2007년 기준으로 379만 toe의 에너지를 소비한 것으로 나타났다. 경종부문에서의 소비는 확대되고 있다. 경종부문에서는 채소와 화훼의 에너지 사용이 두드러지는데 채소의 경우 연평균 9% 이상 소비규모가 증가하였으며, 화훼도 연평균 11% 이상으로 소비규모가 증가하였다. 이들 부문은 주로 시설재배가 보편화되고 있어 농업부문에서는 대표적인 에너지 소비부문으로 분류되고 있는 분야들로 최근 소득수준 향상과 함께 도시근교에서 재배영역이 확대되고 있는 것에 기인한다.

농업생산에 에너지가 얼마나 어떻게 투입되느냐와 함께 얼마나 효율적으로 활용되고 있는가의 문제도 중요하다. 농업부문의 에너지 이용 효과를 분석하기 위해 에너지 원단위를 활용하여 측정하였다. 측정결과, 2000년 이후 연 평균 8% 정도로 감소하고 있는 것으로 나타났다.

경종부문에서 채소의 경우 에너지 원단위가 유사한 투입 구조를 가진 화훼에 비해 상대적으로 낮아 에너지를 효율적으로 활용하고 있음을 확인할 수 있다. 에너지 고소비 부문인 화훼는 수산어획, 농림어업서비스와 함께 비효율적인 부문으로 분류된다. 따라서 화훼 특히, 시설화훼의 에너지 효

율 증진을 위한 정책적 대안 마련이 시급하다.

에너지 산업연관분석을 동태·시계열적 확장하여 특히 주요 농축산물의 장기 수요예측 정보를 기반으로 에너지 소비량의 향후 추이를 전망하였다. 에너지 소비 예측을 위해 필요한 주요 품목별 수요 예측치는 우리 연구원에서 발표한「농업전망」결과를 참조하여 산정 지수화하였다.

주요 품목별 에너지 소비량 전망 결과, 쌀의 에너지 소비량은 2020년에는 3만 9천 toe로 2007년 대비 약 1만 toe가 감소할 것으로 전망되며, 에너지원별로는 원유나 경유 등과 같은 유류제품의 소비가 큰 폭으로 감소할 것으로 예상된다. 콩의 에너지 소비량은 2007년 3만 3천 toe에서 2020년 3만 7천 toe로 증가할 것으로 예측되는데, 특히 1차 에너지원인 원유의 소비가 크게 증가할 것으로 전망된다. 감자는 에너지 소비량이 2007년 3만 toe에서 2020년 3만 1천 toe로 예측되어 그다지 변화 없이 일정 정도 유지될 것으로 전망된다.

한편, 농가의 에너지 비용절감과 지구 온난화에 대한 탄소배출량 감축을 위해서는 농업부문의 에너지 이용의 효율성을 높이고, 신재생에너지 이용을 늘리는 등 농업부문의 에너지 이용 구조의 재검토를 통한 변화가 요구된다.

농업부문의 경우 에너지원별 소비량은 석유가 73%로 크게 높으며, 전기 19%, 석탄 8%, 천연가스 0.3% 등의 순으로 타 산업에 비해 석유류 소비가 주를 이루고 있다. 그러나 농업부문의 신재생에너지의 소비는 거의 없는 상태로 신재생에너지 보급은 아직 미미한 수준이다. 그러나 정부가 신재생에너지 보급을 2015년에는 4.3%, 2020년 6.1%, 2030년에는 11% 수준까지 확대할 목표를 설정하고 있어 향후 농업분야에서도 신재생에너지의 이용이 증가할 것으로 전망된다.

에너지는 국가경제 전반에 걸쳐 가장 중요한 자원이며, 유가 상승 등으로 농산물 생산비가 증가하고 있어 농업부문에서도 많은 관심을 기울이고 있는 분야이다. 이 때문에 정부는 에너지 절약 및 에너지의 효율적 이용 등에 대해 여러 가지 정책을 마련하고 있으며, 농업분야에서도 에너지 절감시설을 보급하고 에너지의 효율적 이용에 대한 연구 및 대책을 강화하고 있다.

따라서 주요 농축산물의 에너지 수요를 전망함으로써 농업부문 에너지 정책 수립의 기초자료를 제공하고, 농업부문 청정에너지 수급 실태 파악과 향후 전망을 통해 청정에너지 농업시스템 구축의 참고자료를 제시하여 에너지와 관련된 효율적인 정부정책 방안이 마련되도록 노력하는 것이 무엇보다 중요하다.

1.3. 농가의 에너지 이용 실태 분석

3장에서는 농가조사를 통해 농업부문 에너지 이용과 에너지 절감시설의 이용 실태를 살펴보았다. 농업부문에서 에너지 이용을 논의할 때 에너지 이용이 가장 많은 시설원예를 주요 대상으로 하지만 에너지 사용량의 정도를 비교하기 위해 경종, 과수, 과채의 5품목을 조사하였다.

농가에서 이용하는 에너지는 석유류와 전기에 의존 비중이 높다. 과채는 석유류 사용의 95%를 시설 가온에 사용하며 전기에 의존하는 비중이 5% 내외로 작은 반면, 경종과 과수는 농기계는 석유류를 이용하고 보관 및 건조 등은 전기를 이용하고 있다. 작목별 농업용 에너지 사용량을 비교하면, 토마토 농가의 연간 경유 사용량은 벼 재배 농가의 7배, 과수 농가의 28배에 이르고, 시설원예의 겨울철 재배 시 가온에 필요한 에너지의 95%를 석유류에서 얻고 있다.

현재 이용가능한 모든 에너지원 중 농가가 선호하는 것은 현재 주로 이용되는 석유류와 전기인 반면, 지열, 태양열, 풍력 등 신재생에너지에 대한 선호는 낮았다. 농가도 유가상승에 대비하기 위해 노력하지만 신재생에너지의 상용화가 우선되어야 선호 및 이용이 가능할 것이다.

한편, 시설원예 농가의 향후 도입의향이 큰 에너지 절감시설은 다겹보온커튼과 수평열 지열히트펌프이다. 열효율이 높은 시설로 교체는 어느 농가나 원하지만 비용 부담이 문제이다. 농업용 에너지 정책에서 중소농가에 대한 대책은 설치비용이 저렴한 에너지 절감시설 보급에 초점을 맞추어야 한다.

농가는 에너지 절감시설을 도입할 때 고정비용 회수를 고려하게 되므로 에너지 절감도 중요하지만 생산성 향상으로 인한 소득증대에 관심이 집중된다. 그러므로 정부의 에너지 정책은 농가의 에너지에 대한 의식이 에너지 절감과 생산성 향상을 동시에 고려할 수 있는 방향으로 추진되어야 한다. 정부는 농가가 에너지 절감시설을 이용할 수 있도록 지원·홍보하는 한편, 겨울철 재배의 품질향상과 생산량 증대를 위한 새로운 기술과 방법을 동시에 개발해야 한다. 또한 지역의 재배환경 또는 작물에 따라 실정에 맞는 에너지 절감시설이 도입될 수 있도록 행정, 전문가, 실수요자인 농가의 의견을 반영한 에너지 정책이 필요하다.

1.4. 농업부문의 청정에너지 이용실태와 과제

농업부문에서 활용되는 에너지는 주로 열에너지이다. 따라서 열에너지를 생산할 수 있는 청정에너지는 태양열, 바이오매스, 지열 등이고 최근 온도차에너지가 신재생에너지로 부각되고 있다. 그러나 현재 농업부문에서 이용되고 있고, 현실적으로 이용 가능성이 큰 에너지원으로는 지열과 바이오매스에너지이다. 따라서 이 연구에서는 청정에너지에 대한 개념을 검토하고 농업부문에서 활용도가 높은 지열 및 바이오에너지를 중심으로 에너지원별 기술적용 가능성과 경제성 등을 검토한 후, 이들 에너지원의 보급상의 문제와 보급 확대를 위한 과제를 도출하였다.

청정에너지는 신재생에너지보다 더 포괄적인 개념이다. 때문에 대부분의 국가는 청정에너지보다 구체성 더 강한 신재생에너지를 정책대상으로 삼고 있다. 본 연구에서도 신재생에너지를 연구의 대상으로 하고 있으며, 청정에너지란 용어 속에 신재생에너지를 포함하고 있다.

신재생에너지 중에서 현재 농업분야의 난방용으로 보급되고 있는 것은 지열을 이용한 히트펌프시스템과 목재펠릿 등이 있다. 이러한 신재생에너지를 난방에 이용할 경우 연료비 절감과 생산성 증대 등의 직접적인 효과와 CO_2 배출이 감소하는 간접효과를 누릴 수 있다.

1ha의 온실에서 지열히트펌프와 경유보일러를 이용했을 때 난방비 비교를 통해 경제성을 검토하였다. 유가가 배럴당 70달러일 때 지열히트펌프와 경유난방비의 운영비를 비교해 보면, 경유난방 시 비용이 지열히트펌프를 이용하는 것보다 3.7배 높다. 지열히트펌프를 이용하면 경영비 절감액이 1년 동안 1억 2천만 원에 이른다. 또한 1ha온실에서 파프리카를 재배할 경우 경유보일러에서의 소득은 98,875천 원이었으나 지열히트펌프를 이용했을 때는 생산량 증가로 인해 2억 26,143천 원을 달성하였다. 지열히트펌프 사용이 경유보일러 이용 시보다 1억 27,268천 원의 추가소득을 가져왔다. 그 외에 경유 보일러 사용 시 발생하는 탄소배출량은 516TCO_2인데, 지열히트펌프의 경우는 52TCO_2로 이산화탄소가 464.4TCO_2 절감된다. 절감된 이산화탄소를 국제거래가격(21달러)을 적용하면 간접효과는 12,288천 원에 이른다.

한편, 유가가 배럴당 70달러일 때 목재펠릿보일러와 경유보일러의 운영비를 비교해 보면, 목재펠릿보일러를 사용하는 경우가 경유보일러를 사용할 때 보다 비용이 많아 비경제적이다. 그러나 유가가 100달러일 경우는 경유보일러 운영비용이 목재펠릿보다 1.3배, 120달러일 경우는 1.5배 많아 유가가 100달러 이상일 경우는 목재펠릿보일러 사용이 더 경제적이다.

이와 같이 지열히트펌프나 목재펠릿을 이용한 난방이 궁극적으로는 더 경제적임에도 불구하고 보급이 부진한 이유는 몇 가지 문제가 있기 때문으로 보인다.

지열히트펌프의 경우 1ha 온실에 설치하기 위해서는 정부가 설치비의 80%를 보조하더라도 농가가 2억 1천만 원을 부담해야 하기 때문에 쉽게 투자하기 어렵다. 그 외에도 지열히트펌프 시스템에 대한 농가의 이해 부족, 시설 설치를 위한 부지확보 문제, 설계·시공업체의 기술수준 저위 문제 등에 기인하고 있다.

목재펠릿의 경우는 현행 면세유나 농사용 전기요금이 펠릿보다 저렴하고 사용이 편리하다고 생각하는 농가가 많아 보급이 저조한 것으로 보인다. 그 외에도 펠릿 구입의 불편성, 보관 장소 확보 문제, 구입 단가 문제 등이 지적되고 있다.

지열에너지나 목질바이오매스 등 청정에너지원이 농업부문에서 널리 활용되기 위해서는 우선 이들 에너지에 대한 이용확대 기반이 구축되어야 할 것이다. 특히 신재생에너지 이용시설 설치에 대한 지원이 강구되어야 하고 신재생에너지 이용을 장려하기 위한 인센티브제가 도입되어야 한다. 또한 농업부문에서 활용 가능한 청정에너지 이용시설의 공급가격을 낮출 수 있도록 지속적인 기술개발과 전문 시공업체의 육성도 필요하다. 대부분의 청정에너지는 지역을 기반으로 하고 있다. 따라서 지역단위에서 청정에너지를 생산하여 소비하는 시스템 개발이 무엇보다 중요하다. 이러한 시스템 개발을 위해 외국의 선진 사례와 관련 제도 등을 벤치마킹할 필요가 있다.

1.5. 주요국 농업부문 청정에너지 이용실태와 시사점

미국, 일본, 유럽 등 선진국들은 지구 온난화 대응방안으로 화석 연료 사용량을 감소시키는 동시에 청정에너지 보급과 에너지 효율성 제고를 위해 노력하고 있다.

미국은「Waxman-Markey」법안을 통해 온실가스 감축을 위한 국가적 목표를 2005년 수준 대비 2020년까지 17%, 2050년까지 80% 이상 삭감하는 것을 목표로 하고 있으며, 이중 재생가능 에너지 사용량은 2022년까지 360억 갤런, 신재생전기 의무공급 비율은 2012년 6%, 2025~2039년에는 25%로 설정하였다.

일본의 경우「지구 온난화 방지 기본 법안」이 2010년 3월에 통과되어 2020년을 목표로 온실가스를 1990년 대비 25%까지 줄일 계획이며 재생가능에너지의 1차 에너지에서 차지하는 비율을 2020년까지 10%로 설정하였다. 유럽은 2020년까지 재생에너지 사용 비율을 20%까지 끌어올리고 이와 동시에 온실가스 발생을 20% 절감시키며 에너지 효율을 20% 끌어올리는「Renewable Energy Target for Europe 2020」계획을 실행 중이다.

이러한 정책들을 바탕으로 미국 농업은 풍력, 태양열, 녹조 및 바이오 에탄올 생산을 이용해 청정에너지 보급에 노력하고 있다. 일본의 경우 2010

년까지 300개 지역 바이오매스타운을 정비할 계획을 세우고 있으며, 경작면적 축소 정책의 일환으로 홋카이도와 니가타에서 쌀을 원료로 에탄올을 생산을 시도하고 있다.

유럽은 바이오디젤의 최대 생산국으로 최근 목재펠릿과 같은 산림에서 공급되는 바이오에너지와 가축 분뇨를 이용한 바이오가스 생산에도 노력을 하고 있다. 특히 유럽은 기존 천연 가스망을 이용한 바이오가스 보급을 위해 많은 투자를 하고 있다.

이러한 선진국들의 청청 에너지 사용은 온실가스 감축은 물론 농촌 지역의 고용 창출 및 에너지 비용 절감, 에너지 독립 및 안보 강화, 소비자 보호 등의 효과를 가져 올 것으로 예상하고 있다. 선진국 사례에서 살펴 본 바와 같이 우리나라도 재생에너지 사용을 장려하고, 에너지 효율성을 제고함으로써 화석 연료 사용량을 감소시키는 방안을 조속히 마련해야 할 것이며 이를 위해 국내외 사용 가능한 청정에너지원 발굴과 인프라 구축에 국가 차원의 투자 및 지원이 필요하다.

2. 결론

국제유가의 불안정, 지구 온난화 방지를 위한 기후변화협약 등에 의한 국내외의 환경규제 등으로 청정에너지에 대한 국제적 관심이 고조되고 있다. 특히 선진국들을 중심으로 청정에너지의 개발·보급이 크게 확대되고 있으며 신성장동력으로 육성 중에 있다. 우리나라는 에너지공급의 대부분을 외국에 의존하고 있음에도 불구하고 청정에너지산업은 아직 초기 단계에 머물고 있다. 그러나 청정에너지산업은 전후방산업과의 연관성이 높고 환경친화적이란 측면에서 성장동력원으로 발전할 가능성이 높기 때문에 적극 육성할 필요가 있다.

우리나라에서 청정에너지 개발을 위한 정책은 신재생에너지 기술개발 정책이라 할 수 있다. 신재생에너지 기술개발의 법적 근거는 ‘에너지기본

법' 제11조, '신에너지및 재생에너지개발이용보급촉진법' 제5조에 기초하고 있다. 신재생에너지 기술개발은 현재 여건으로는 화석연료와 경쟁력이 없지만, 화석연료의 고갈 이후 대체재로서 신재생에너지개발은 반드시 필요하기 때문에 초기에는 정부 주도의 기술개발과 시장기반 조성이 요구된다. 즉 신재생에너지는 장기적인 선행투자와 사회적 수용성이 필요한 공공성이 강한 분야로서 정부의 개입과 지원이 필요한 분야이다. 정부는 재원확보를 통해 신재생에너지 관련 연구개발 투자를 확대하고 보급을 장려하기 위한 다양한 정책을 추진함으로써 신재생에너지 시장을 정착시켜 나가야 할 것이다.

신재생에너지산업이 활성화되기 위해서는 궁극적으로 민간부문의 참여가 확대되어야 한다. 신재생에너지 관련 산업도 하나의 산업이기 때문에 시장경제원리에 의한 산업화가 필요하다. 신재생에너지는 아직 미개척분야가 많고 새로운 기술이 개발되고 새로운 사업기회가 창출되고 있기 때문에 민간참여의 여지가 많은 산업이다. 다만 산업화 초기에는 민간부문의 참여를 유도하기 위해 정부의 선도적 역할이 요구된다.

신재생에너지산업의 발전을 위해서는 장기적인 목표를 설정하고 정책의 일관성을 유지할 필요가 있다. 장기적 관점에서 일관된 정책추진이 뒷받침될 때 민간기업의 참여를 유도할 수 있다. 또한 국가의 에너지 정책은 경제 전반에 영향을 미칠 뿐만 아니라 지역과 사회에도 파급효과가 크기 때문에 사회적 공감대를 형성하여 추진할 필요가 있다.

농업부문에서 활용 가능한 청정에너지와 관련해서는 아무래도 지열과 바이오에너지가 관심의 대상이 될 수밖에 없다. 지열은 다양한 신재생에너지원 중에서 공급잠재량이 가장 많고 농가에서 이용하기가 용이하기 때문이다. 바이오에너지는 원료가 되는 바이오매스를 농업·농촌 부문에서 대부분 충당할 수 있을 뿐만 아니라 처리하는 수단이 될 수 있기 때문이다. 농촌지역 내에는 농산부산물, 가축분뇨, 목재나 임산물 등 다양한 바이오에너지 원료가 발생하고 있다. 이러한 바이오매스를 효과적으로 이용하기 위해서는 단일 바이오매스를 대상으로 할 것이 아니라 농촌지역 내에서 발생하는 모든 바이오매스를 종합적으로 이용할 수 있는 시스템을 갖추어야 한

다. 뿐만 아니라 지역 내의 일반가정, 식품가공업체 등에서 발생하는 음식물쓰레기나 식품폐기물 등도 바이오에너지 원료로 활용할 필요가 있다.

청정에너지는 대체로 지역을 기반으로 하고 있기 때문에 지역단위에서 청정에너지를 생산하여 소비할 수 있는 소규모 분산형 시스템 개발이 중요하다. 우선은 앞에서 언급한 지열과 바이오에너지 중심으로 열과 전기를 생산하여 영농활동 및 지역 내의 가정에서 이용할 수 있는 시스템이 갖춰져야 할 것이다. 중장기적으로는 지열이나 바이오에너지 외에도 태양열, 풍력 등 다양한 신재생에너지원을 대상으로 각 지역에 맞는 에너지 시스템을 개발하여 보급할 필요가 있다. 궁극적으로는 청정에너지를 이용하여 지역단위에서 에너지 자립을 도모할 수 있는 시스템을 갖추어 나가야 할 것이다. 이러한 농업부문에서의 청정에너지시스템에 대한 추가적인 연구는 2년차에서 수행할 예정이다.

그림 6-1. 지역 단위의 에너지 자립형 형태

부 록

에너지 산업연관분석 및 작성 방법[29]

에너지 산업연관표의 특징

일반적인 산업연관표의 거래 항등식은 식 (1)과 같으며, 이로부터 도출되는 최종수요의 생산유발액은 식 (2)와 같다.

$$Ax + y = x \quad (1)$$

$$x = (I - A)^{-1} y \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)에서 A는 산업연관표의 투입계수(화폐단위) 행렬, x는 산업연관표의 산출(화폐단위) 벡터, y는 산업연관표의 최종수요(화폐단위) 벡터를 의미한다.

식 (2)에서 $(I - A)^{-1}$가 최종수요의 일반적인 생산유발계수 행렬이며, 이를 기반으로 다양한 형태의 분석이 이루어지게 된다. 즉, 궁극적으로 산업연관분석은 산업연관표의 생산유발계수를 구하는 것이 목적이다.

일반적인 산업연관표에서와 같이 에너지 투입구조 및 관련된 다양한 효과를 파악하고 정책적 효과를 측정하기 위해서는 무엇보다 에너지유발계수를 추정하는 것이 요구된다.

산업연관분석에서의 생산유발계수에 대응된 에너지 산업연관분석에서의 측도가 바로 에너지유발계수[30]이다.

---

29 본 내용은 서울대학교 산학협력단(연구책임자 김한호 교수)에 연구위탁 의뢰한 결과 중 일부를 발췌·재정리하였다.

30 일반적인 산업연관분석에서와 같이 최종수요 공급에 필요한 에너지의 물리적 요구량을 ‘에너지유발량’이라고 한다면, 최종수요 단위당 에너지의 물리적 요구량 즉, 최종수요 1단위 공급에 필요한 에너지의 물리적 요구량은 ‘에너지유

에너지유발계수를 추정하는 다양한 방법이 있을 수 있겠지만, 주로 활용되고 있는 방법은 크게 일반적인 산업연관표 상의 최종수요 자료만을 활용하여 간접적으로 추정하는 방법(Herendeen 1973)과 에너지 산업연관표를 직접 작성하여 이를 통해 추정하는 방법(Miller et al. 1985)으로 대별할 수 있다.

□ 최종수요를 활용하여 간접적으로 산정하는 방법

에너지 산업연관표를 직접 작성하지 않고도 에너지유발계수를 산정하는 방법 중 가장 보편화되어 있는 방법은 Herendeen(1973)에 의해 제안된 방법이다.

Herendeen(1973)은 일반적인 최종수요의 생산유발계수를 활용하여 최종수요 단위당 에너지의 물리적 요구량 곧 에너지유발계수을 도출할 수 있음을 보인 바 있다.

에너지유발계수 추정을 위해 Herendeen(1973)에 의해 제안된 방법은 다음과 같다.

우선 에너지의 물리적 수급 균형식은 다음과 같이 식 (3)과 같이 정의할 수 있다.

$$Z^E i + y^E = x^E \qquad (3)$$

식 (3)에서 Z^E은 에너지 산업연관표의 산업간 거래(실물단위) 행렬, y^E은 에너지 산업연관표의 최종수요(실물단위) 벡터, x^E은 에너지 산업연관표의 산출(실물단위) 벡터, $i \equiv (111...1)'$를 의미한다.

보다 자세하게는 1차 에너지 부문(첨자 c), 최종 에너지 부문(첨자 p), 에너지 외 부문(첨자 m)을 나누어 식 (3)의 각 행렬 및 벡터를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z^E = \begin{pmatrix} Z^{E_{cc}} & Z^{E_{cp}} & Z^{E_{cm}} \\ Z^{E_{pc}} & Z^{E_{pp}} & Z^{E_{pm}} \end{pmatrix}$$

$$y^E = (y^{E_c} \ y^{E_p})'$$

발계수'라 할 수 있다.

$$x^{E} = (x^{E_c}\ x^{E_p})'$$

그리고 산출액 단위당 에너지의 물리적 투입계수 곧 ‘에너지 투입량계수 (D)’와 단당 최종수요액의 에너지 구입량(S)은 식 (4), 식 (5)와 같이 산정할 수 있다.

이때 단위당 최종 수요액의 에너지 구입량은 최종 수요로 사용된 에너지에 대한 가격의 역수로서 ‘에너지 최종 소비량계수’로 볼 수 있으며, 이것이 Herendeen(1973)이 제안한 에너지유발계수 산정 방법에서 핵심적인 역할을 해준다고 할 수 있다.

$$D = Z^{E}(\hat{x})^{-1} \qquad (4)$$

$$S = \breve{y}^{E}\,(\hat{y})^{-1} \qquad (5)$$

단, $\breve{y}^{E} = \begin{pmatrix} y^{E_c} & 0 & 0 \\ 0 & y^{E_p} & 0 \end{pmatrix}$

식 (4)와 식 (5)를 통해 Z^{E}와 y^{E}가 도출되게 되며, 이를 식 (3)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 식 (6)이 도출된다.

$$Dx + Sy = x^{E} \qquad (6)$$

식 (2)의 x를 식 (6)에 대입하여 정리하면 최종수요의 에너지 (생산)유발량이 다음과 같이 도출되게 된다.

$$x^{E} = D(I - A)^{-1} + Sy \qquad (7)$$

결국 식 (7)을 통해 에너지유발계수 벡터(Γ)를 다음과 같이 유도할 있게 된다.

$$\Gamma = D(I - A)^{-1} + S \qquad (8)$$

식 (8)의 에너지유발계수 벡터(Γ)의 하나의 원소(element) γ_{ij}은 화폐단위로 표시된 j상품 한 단위를 최종수요로 공급하기 위해 필요로 하는(즉, 생산되어야 하는) i에너지 부문의 물리적 요구량을 의미한다. 만일 j부문이 에너지 부문이라면 그 단위는 역시 실물이 된다.

한편, 최종수요의 에너지유발계수는 어떤 방식으로 도출하든 관계없이 에너지전환 조건을 만족해야 한다. 전환조건이란 j부문의 최종수요 1단위

를 충족시키기 위해 요구되는 최종에너지 요구량이 이러한 최종에너지를 생산하는데 투입되는 1차 에너지의 요구량보다 커서는 안 된다는 것으로서 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\gamma_{1차에너지 \cdot j} \geq \gamma_{최종 에너지 \cdot j} \quad (\text{for } \forall j)$$

가령 석유제품은 원유의 정제로부터 공급되는 제품이기 때문에 어떤 상품 1단위의 최종수요 공급에 필요한 원유량은 그 석유 제품량보다 크거나 같아야 한다. 그러나 앞서 제시한 Herendeen(1973)의 방법으로 추정된 에너지유발계수(Γ)는 이와 같은 에너지전환 조건을 만족하지 못하는 단점을 지니고 있다.

에너지 총공급량은 변화가 없으면서 산업별 공급가격이 변화하여 에너지 배분구조가 변화할 경우 에너지전환 조건을 만족하지 않을 수 있기 때문이다(심상렬(2005) 참조).

이로 인해 이러한 에너지전환 조건을 만족할 수 있는 에너지유발계수 추정법이 필요로 하게 되는데, 만일 실물단위와 화폐단위를 혼합한 에너지 산업연관표를 직접 작성하여 이를 추정할 경우에는 이러한 문제들을 비껴갈 수 있게 된다(Miller et al. 1985).

□ 에너지 산업연관표를 활용하여 적접적으로 산정하는 방법

Miller et al.(1985)은 에너지유발계수를 에너지연관표의 항등식으로부터 도출하였는데, 그 과정은 다음과 같다.

우선 에너지연관표의 항등식은 식 (9)와 같다.

$$A^{*}x^{*} + y^{*} = x^{*} \tag{9}$$

단, A*는 에너지연관표의 투입계수(실물-화폐 혼합단위) 행렬로서 에너지연관표의 산업간 거래(실물-화폐 혼합단위) 행렬을 Z* 라고 한다면 Z* $(\widehat{x^{*}})^{-1}$라 할 수 있다. 한편 x*는 에너지연관표의 산출(실물-화폐 혼합단위) 벡터, y*는 에너지연관표의 최종수요(실물-화폐 혼합단위) 벡터를 의미한다.

앞서 제시한 식 (1)과 식 (2)에서와 같이 일반적 행렬 연산에 따라 식 (10)과 같이 최종수요에 대응되는 생산량 벡터를 구할 수 있다.

$$x^* = (I - A^*)^{-1} y^* \quad (10)$$

그리고 에너지 산업연관표를 활용하여 추정하게 되는 에너지유발계수는 다음과 같다.

$$\Gamma^* = I^E (I - A^*)^{-1} = I^E \Gamma^* \quad (11)$$

단, 여기서 $I^E = \begin{pmatrix} 1\,0\,0 \\ 0\,1\,0 \end{pmatrix}$

이러한 방식으로 추정된 에너지유발계수 벡터(Γ^*)는 모든 실물단위 최종수요 벡터에 대하여 에너지전환 조건을 만족하게 된다. 에너지유발계수 벡터(Γ^*)가 에너지전환 조건을 만족하기 위해서는 식 (10)이 Hawkins-Simon 조건을 만족해야 한다(심상렬 2005).

우선 산업연관표의 항등식으로부터 도출된 식 (2)에서 $(I - A)$는 개념적으로 Hawkins-Simon 조건을 만족하게 된다(강광하 2000). 마찬가지로 에너지 산업연관표의 항등식으로부터 도출된 식 (10)의 $(I - A^*)$도 개념적으로 Hawkins-Simon 조건을 만족하게 된다.

왜냐하면 투입계수의 단위가 실물단위와 화폐단위로 혼합되어 있다고 하더라도 Hawkins-Simon 조건의 경제적 의미는 변화되지 않기 때문이다. 다시 말하면 Hawkins-Simon 조건은 최종수요 한 단위 생산에 투입되는 직간접 투입량이 1보다 적어야 한다는 의미인데 그것은 실물단위로 표시한 역행렬에서도 여전히 성립하고 있다[31].

이처럼 에너지 산업연관표를 직접 작성하는 방법은 에너지라는 재화가 지닌 특수성 곧 전후방 연쇄과정에서의 에너지 전환조건 충족이라는 제약을 만족할 수 있어 방법론적으로 매우 우월하다고 할 수 있다. 이와 함께 에너지 산업연관표를 작성하여 분석할 경우 다음과 같은 점에서 유용할 수 있다.

에너지 산업연관표로부터 도출되는 역행렬(Γ^*)에서 1차에너지는 다른 최종에너지로의 투입량을 포함하면서 에너지전환 조건과 부합하기 때문에 주어진 특정한 최종수요에 대하여 1차 에너지의 공급계획에 활용될 수 있

31 보다 구체적인 증명 과정은 심상렬(2005)을 참조.

는 장점을 지니고 있다.

그러나 에너지 산업연관표를 활용하는 방법에는 또한 다음과 같은 단점 내지 한계점도 지니고 있다.

에너지 산업연관표는 에너지전환 조건을 확보하기 위해 에너지 부문에 대해 산업연관표의 금액표시 구조를 포기한 것으로 볼 수 있다. 이로 인해 에너지 산업연관표는 통상의 연관표에서 세로(열)방향의 의미를 상실하고 있다. 즉, 연관표의 투입계수는 투입구조를 보여주고 있는데 에너지 산업연관표는 실물단위를 사용하므로 투입구조를 살펴보기 어려운 단점을 지니고 있으며, 이는 연관표를 통해 가격체계의 분석 등 산업연관표를 이용하고 있는 기존의 여러 가지 분석구조에 제약을 가하는 요인이라 할 수 있다.

따라서 기존 산업연관표의 투입구조 체계를 유지하면서 에너지전환조건을 동시에 만족시키는 에너지 및 경제의 연관 구조가 반영된 에너지 산업연관표를 작성하는 것이 바람직하다. 결국 에너지 산업연관표는 에너지 단위가 실물이라는 것을 제외하고는 기본적인 구조가 산업연관표와 동일하기 때문에 기존 산업연관분석 모형이 제공하는 여러 가지 유용한 분석틀을 함께 제공할 수 있다.

예를 들어 각 부문 생산에 필요한 직접 에너지투입량은 물론 생산물이 생산되어 최종수요자에게 전달되는 과정에서 요구되는 간접 에너지필요량을 계산함으로써 산업별 에너지 효율을 비교하거나 직·간접적 에너지의존도를 분석할 수 있고, 최종수요를 생산하는 데 필요한 에너지양을 측정하거나 경제성장에 필요한 에너지 수요량을 추정하는 데에도 활용될 수 있다.

에너지 산업연관표의 작성 방법

앞서 언급한 바와 같이 에너지 산업연관분석은 주로 Miller et al.(1985)에 의해 제시된 바와 같이 직접 에너지 산업연관표를 작성하여 이를 바탕으로 하는 것이 대세를 이루고 있다. 국내에서도 이러한 에너지 산업연관표 작성이 연구목적 등에 따라 다양한 형태로 이루어지고 있다.

본 연구에서는 기존연구를 참조하여 다음과 같은 방식으로 농업 중심의 에너지 산업연관표를 작성하였다.

□ 산업연관표 선정작업

화폐단위 및 실물단위가 혼합된 형태의 산업연관표인 에너지 산업연관표는 모든 재화의 단위를 금액으로 나타낸 일반적인 산업연관표 중 에너지 투입부분을 실물단위(석유환산톤(TOE))로 변환해 주는 방법으로 작성한다. 이로 인해 에너지 산업연관표 작성을 위해서는 연구의 목적이나 범위 등을 고려하여 적절한 산업연관표를 선정하는 절차가 선행되어야 한다.

일반적인 산업연관표는 각 거래를 평가하는 가격 기준에 따라 당해연도의 가격으로 작성한 경상가격 산업연관표와 특정 연도(기준연도)의 가격으로 평가한 불변가격 산업연관표로 구분할 수 있다.

경상가격 산업연관표는 당해연도의 경제현황을 파악하기에는 바람직하지만, 기술구조에 실물변동요인과 가격변동요인이 혼재되어 있어 순수한 실물변동에 다른 기술구조 변화를 분석하기에는 제약이 따른다. 따라서 기술변화에 대한 시계열 비교를 위해서는 경상가격 산업연관표보다는 불변가격 산업연관표가 더 유용하다.

본 연구에서는 2005년 가격기준으로 평가한 1995-2000-2005년 불변산업연관표를 기초로 하여 에너지 산업연관표를 작성하고자 한다. 또한, 비록 실측표는 아니지만, 가장 최근 경제현실을 반영하여 비교하기 위해 2007년 연장표도 함께 사용하되 2005년 가격기준으로 평가한 1995-2000-2005년 불변산업연관표에 맞추어 조정하는 작업을 한 후 작성에 활용하도록 하였다.

□ 산업연관표 부문조정

다음으로 에너지 산업연관표를 작성하기 위해서는 부문분류를 정의하는 것이 요구된다. 한국은행에서 공표하는 불변가격 산업연관표는 품목분류를 350개로 분류하고 있는데 비해, 여타 에너지관련 통계는 산업별로 통합되어 작성되고 있기 때문에 가용자료의 세분화 정도를 감안하여 부문을 통합

재조정하는 것이 불가피하다. 이 때 주의할 것은 가능한 한 에너지부문을 세분화할수록 에너지 종류별 분석 및 관련연구로 확장하는 데 더 유용할 수 있다.

산업연관표의 기본부문은 에너지를 상당히 세분화하고 있어서 에너지 부문을 분류하는데 큰 어려움은 없지만 원유 및 천연 가스의 경우 대부분을 수입에 의존하고 있고 용도(배분)가 유사하여 한 부문으로 통합하여 처리하고 있다.

원유와 천연가스는 1차에너지[32]로서 비중이 크고, 특히 에너지 관련 연구에서 매우 중요하게 다루어지는 부문이기 때문에 각각 분리할 필요가 있다. 원유와 천연가스의 분할은 각 연도 경상가격 산업연관표의 거래비율을 이용하여 분리하고 비중이 미미한 석탄과 기타 석탄 제품을 통합하며, 윤활유제품과 기타 석유정제품을 하나의 부문으로 통합하여 에너지부문을 총 18개 부문으로 구분하였다.

분할된 에너지 부문은 무연탄, 유연탄, 원유, 천연가스, 석탄제품, 나프타, 휘발유 및 제트유, 등유, 경유, 중유, 액화석유가스, 윤활유 및 기타석유제품, 수력, 화력, 원자력, 기타발전, 도시가스, 증기 및 온수 공급업이다.

나머지 에너지부문 외 부문은 본 연구의 주 관심 대상인 농업을 중심으로 재배치하는 작업을 실시하였다. 우선 농업부문은 산업연관표의 기분분류를 기준으로 농업(보다 정확하게는 농림수산업에 해당하는 부문)에 해당되는 28개 부문으로 세분화하였다.

이와 함께 농업 생산과는 밀접한 연관성을 가진 비료 및 농약, 사료, 음식료 제조업부문도 하나의 독립된 부문으로 설정하였다. 이외의 나머지 부문들은 크게 광업, 제조업, 서비스 부문으로 통합하였다.

32 1차에너지(primary energy)란 석탄(유연탄, 무연탄 등), 원유, 천연가스, 수력, 지열, 태양열 등 자연으로부터 최초 채굴 또는 채집되어 천연자원 상태에서 공급되는 에너지를 의미한다.

참고 문헌

강창용 외. 2001.「농업용 전기 및 유류의 이용·관리제도 개선방안」. 한국농촌경제연구원.

강희찬. 2007.「한국형 바이오연료의 가능성 평가 및 시사점」. 삼성경제연구소.

김연중 외. 2009.「농어업용 에너지 절감시설 보급효과 및 정책방안」. 한국농촌경제연구원

김연중, 박현태, 한혜성. 2009.「농업용 신재생에너지 활용방안 연구」. 한국농촌경제연구원.

김윤경. “환경산업연관표 2000을 이용한 산업부문의 이산화탄소(CO_2) 발생 분석.”「자원 환경·경제연구」. 제15권 제3호. 2006.

김정부 외. 1981.「농촌의 에너지 수급에 관한 연구」. 한국농촌경제연구원 연구보고 42.

김진수, 허은녕. 2005. “구조분해분석을 통한 국내 산업별 에너지 소비 변화요인 연구.”「자원 환경·경제연구」. 제14권 제2호.

김창길 외. 2002.「지역단위 농업환경모형의 체계화에 관한 연구」. 한국농촌경제연구원.

김창길 외. 2003.「친환경농축산업 육성정책의 평가와 발전방향」. 한국농촌경제연구원.

김창길 외. 2007.「교토의정서 이행에 따른 농업부문 대응 전략」. 한국농촌경제연구원 연구보고 541.

김창길 외. 2008. “농업부문「녹색성장」의 개념과 추진과제.” 농업부문 녹색성장 추진 방안. 한국농촌경제연구원주최 ‘농업부문 녹색성장 심포지엄’ 자료집. pp. 3-24.

김창길. 2007a. “선진국 친환경농업정책 동향과 우리의 정책과제.” 친환경농업정책의 선진화를 위한 과제. 선진국형 농정으로의 전환을 위한 연구 자료집 4. 한국농촌경제연구원.

김창범. 2003. “에너지소비와 경제성장의 동태적 인과관계.”「자원·환경경제연구」. 제12권 제2호. pp. 327-346.

김충실, 이현근. 2009. “농업부문 에너지 소비의 CO_2 배출량 분석”,「농촌경제」. 제

32권 제1호.
김충실. 1980. “농업용 에너지 소비구조의 변화.” 「농촌경제」. 제3권 제4호. pp. 127-133.
김충실. 1981. “농업생산의 에너지 집약도 분석.” 「농촌경제」. 제4권 제3호. pp. 99-115.
김현태. 2008. “에너지 절감형 농업생산기반 조성.” 「농어촌과 환경」. 한국농촌공사.
김호석 외. 2009. 「지속가능발전 관점에서의 녹색성장 의미와 평가방안에 관한 연구」. 한국환경정책평가연구원.
김희선. 2008. 「지역의 지속가능한 발전을 위한 재생가능에너지의 활용」. 서울대학교 대학원 도시계획학 석사학위논문.
농림수산식품부. 2009. 「농림수산식품주요통계」.
농촌진흥청. 2008. 「시설원예 에너지 절감 가이드북」.
농촌진흥청. 2009. 「농업시설 열손실 진단 사례집」.
두산백과사전 (EnCyber & EnCyber.com).
박광수 외. 2002. 「중·단기 에너지 수급 전망 연구(II)」. 에너지경제연구원.
박순철. 2006. “신재생에너지 개발 보급 전망과 과제.” 바이오시스템공학. Vol. 31. No. 3. pp. 292-303(한국농업기계학회 창립 30주년 기념 특별강연).
박영숙 외. 2008. 「미리 가 본 2018년 유엔미래보고서」. 교보문고.
박재환. 2009. “구조분해분석을 통한 국내 CO_2 배출 요인 분석.” 서울대학교 석사학위 논문.
박준영, 허은영, “구조분해분석을 이용한 CO_2 배출량 변화요인분석에 관한 연구.” 「한국자원공학회지」. 제39권 제4호. 2002.
박창수 외. 2003. 「산업부문내의 에너지 대체 효과 분석」. 에너지경제연구원.
배정환 외. 2007. 「바이오디젤의 경제성 예측 및 지원제도 개선에 관한 연구」. 에너지경제연구원.
산업자원부. 2006. 「2005년도 에너지총조사보고서」.
서세욱. 2009. “농업부문 에너지 소비현황과 대응 방안.” 「저탄소 녹색성장과 한국농업」. 사단법인농정연구센터 제17회 연례심초지엄 자료집. pp. 28-53.
서종혁. 2007. 「한국농업기술이노베이션: 성과와 전략」. 한국농촌경제연구원 연구총서 25.
심상렬. 2005. 「에너지 산업연관표 작성」. 에너지경제연구원 보고서.
심성희 외. 2009. 「에너지 부문의 기후변화대응과 연계한 녹색성장 전략연구」. 기본

연구보고서 09-22. 에너지경제연구원.
안지운 외. 2009.「기술경제분석을 통한 미래에너지시스템 구축 전망: 미래에너지 전망모형 구축 기반 연구」. 에너지경제연구원.
에너지경제연구원. 2009.「에너지통계연보」.
유재국. 2009.「신재생에너지 의무할당제 도입관련 쟁점분석」. 국회입법조사처 현안보고서 제23호.
윤순진. 2002. "지속가능한 발전과 21세기 에너지 정책: 에너지체제 전환의 필요성과 에너지정책 전환의 바람직한 방향."「한국행정학보」. 제36권제3호. pp. 269-300.
윤순진. 2007. "농업과 기후변화의 완화: 에너지 소비와 생산을 중심으로."「농촌사회」. 제17집1호. pp. 91-127.
이영철. 2009.「세상을 바꿀 한국의 녹색기술」. 녹색성장위원회.
이용선 외. 2006.「국제유가 상승이 농업에 미치는 영향」. 한국농촌경제연구원
이인규, 박미숙. 2009. "에너지 산업연관표를 이용한 에너지 수요구조 및 효율성 분석."「계간국민계정」 통권 제39호, pp. 54-94
이충원 외. 2010. "농림수산식품분야 저탄소 녹색성장 추진전략."「농업전망 2011」. 한국농촌경제연구원.
정기호 외. 2009. "시, 군 경제-에너지-환경 산업연관모형: 포항시 사례."「국토연구」. 제60권.
정래권. 2008. "녹색성장의 발전방향." 농업부문 녹색성장 추진 방안. 한국농촌경제연구원주최 "농업부문 녹색성장 심포지엄" 자료집. pp. 3-24.
정은미 외. 2008.「유가상승이 시설채소 농가에 미치는 영향」. 한국농촌경제연구원.
정인환, 고순철. 2004. "우리나라 농업 에너지체계의 전환을 위한 정책대안."「한국농촌지도학회지」. 제11권 제2호 pp. 251-265.
정인환, 고순철. 2004. "우리나라 농업 에너지체계의 전환을 위한 정책대안." 한국농촌지도학회지 제11권 제2호 pp. 251-265.
조영탁, 황수철. 2009. "한국의 농정전환과 지속가능한 농업·농촌 패러다임 모색.-한국농업의 저탄소 녹색성장의 검토와 개선방향."「저탄소 녹색성장과 한국농업」. 사단법인농정연구센터 제17회 연례심초지엄 자료집. pp. 2-25.
지식경제부. 2008. 보도자료(2008.12.31).
지식경제부. 2009.「2008년도 에너지총조사보고서」.
차경수 외. 2008.「에너지 수급 분석 및 전망 기반 구축」. 에너지경제연구원.

최식인. 2003. “우리나라의 에너지소비와 GDP의 연관성.”「지역사회개발연구」. 제28집1호. pp. 41-53.

최충규. “산업부문별 CO_2 배출량에 대한 비교정태분석.”「월간산업동향」. 제11권 제6호, 1993.

최칠구 외. 2009.「땅에서 찾아낸 에너지의 보고」. 농촌진흥청.

최한주, 이기훈. “산업연관분석을 이용한 우리나라 산업의 CO_2 배출변화 요인 분석.” 2002 경제학 공동 학술대회 발표 논문. 2002.

______. “환경 혼합 산업연관모형을 이용한 산업별 이산화탄소 배출량 추정과 변화요인 분석.”「자원·환경경제연구」 제15권 제1호, 2006, pp. 27-50.

황문성, 박종현, 김영민. 2008.「신재생에나지산업 현황 및 발전방향」. 한국은행 조사국.

農林水産省. 2008.「バイオマスタウソ構想策定マニュアル」.

柳下立夫 외. 2003.「バイオエネルギー技術と応用展開」. シーエムシー出版 .

山家公雄. 2008.「日本型バイオエタノール革命」. 日本経済新聞出版社.

E.M.W.Smeets et al. 2007. “A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050.” Progress in Energy and Combustion Science 33 (2007) 56-106.

Herendeen, R.A., “An Energy Input-Output Matrix for the United Sates.” 1963; User’s Guide 1973.

IEA. 2009.「World Energy Outlook 2008」.

IEA. 각년도. Energy Balances of OECD Countries(각국의 에너지 보급현황 자료).

Koeppen, Dietrich W. 2009. “Desaggregation in Interegional Input-Output Models - An Estimation Approach for Distortion.” 17th International Input-Output Conference, International Input-Output Association.

Miller, R. and P. Blair. 1985. Input-Output Analysis: Foundations and Extensions, New Jersey, Prentice-Hal.

Pablo. R and Burguillo. M. 2007. “Assessing the Impact of Renewable Energy Development on Local Substantiality: Towards a Theoretical Framework.” Renewable and Sustainable Energy Review.

Wolsky, Alan M., “Disaggregating Input-Output Models.” The Review of Economics

and Statistics, Vol. 66, No.2, 1984.

<http://www.sare.org/highlights/2008/index.shtml>.
<http://www.sare.org/publications/energy/energy.pdf>.
<http://www.sare.org/publications/explore/explore.pdf>.

연구보고 R614
농업부문 에너지 수급전망과 청정에너지 농업시스템 구축(1/2차연도)

등 록 제6-0007호(1979. 5. 25)
인 쇄 2010. 11.
발 행 2010. 11.
발행인 오세익
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 E-mail: munwonsa@chol.com

ISBN 978-89-6013-182-8 93520
• 이 책에 실린 내용은 출처를 명시하면 자유롭게 인용할 수 있습니다.
무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.