

연구보고서 99-11

대체에너지 통계체계의 구축방안 연구

李 星 仁



Copyright(o) 1999. KEEI

목 차

요약

I. 서론

II. 국내 대체에너지 기술개발 추진현황

1. 우리나라의 대체에너지의 정의
2. 대체에너지의 기술개발 기본계획
 - 가. 기술개발의 추진경위
 - 나. 기술개발의 기본목표 및 추진전략
3. 대체에너지 기술개발 추진실적

III. 국내 대체에너지 통계체제 및 문제점

1. 대체에너지 이용시설 보급현황
 - 가. 태양열 에너지
 - 나. 태양광 에너지
 - 다. 바이오에너지
 - 라. 폐기물에너지
 - 마. 풍력
 - 바. 소수력
2. 대체에너지원별 소비통계 집계방식
 - 가. 태양열 에너지
 - 나. 태양광 에너지
 - 다. 바이오에너지
 - 라. 폐기물에너지
 - 마. 소수력 및 풍력
3. 대체에너지 소비통계체제의 문제점
 - 가. 대체에너지 통계의 특성
 - 나. 대체에너지 통계체제의 문제점

IV. 외국의 재생에너지 통계체제 분석

1. IEA(국제에너지기구)
 - 가. 재생에너지의 통계분류 및 범위
 - 나. 재생에너지원의 1차 에너지 정의 및 계산방법
 - 다. 에너지밸런스통계의 작성방법

2. 유럽연합(EU)

- 가. 재생에너지의 통계분류 및 범위
- 나. 1차 에너지 생산량 계산방법
- 다. 재생에너지원 통계 작성체계
- 라. 자료수집 및 추정방법

3. 미국

- 가. 재생에너지의 통계분류 및 범위
- 나. 재생에너지 소비통계 수집체계
- 다. 재생에너지 소비량 추정방법

4. 일본

- 가. 재생에너지의 통계분류 및 범위
- 나. 재생에너지 통계 자료수집
- 다. 신에너지 보급현황 및 목표

V. 대체에너지 통계체제의 개선방안

1. 재생에너지의 통계범위 정립

2. 재생에너지원별 통계작성 체계화

- 가. 통계 작성체계 개선방안
- 나. 자료수집 방법 및 유의사항

3. 재생에너지 소비통계 추정방식의 개선

- 가. 태양열 에너지 소비추정
- 나. 태양광 발전량 추정
- 다. 폐기물에너지 소비추정
- 라. 메탄가스 소비추정

VI. 요약 및 결론

참고문헌

표 목 차

- <표Ⅱ-1> 대체에너지원별 기술개발 내용
- <표Ⅱ-2> 대체에너지 기술개발 단계별 및 추진전략
- <표Ⅱ-3> 연도별 대체에너지 기술개발 지원실적
- <표Ⅱ-4> 분야별 과제수 및 연구비 지원실적('88~'97)
- <표Ⅱ-5> 분야별 주요 기술개발 성과
- <표Ⅲ-1> 국내 태양열 이용시설 연도별 보급현황
- <표Ⅲ-2> 국내 태양광 이용시설 연도별 보급현황
- <표Ⅲ-3> 메탄가스 이용시설의 연도별 보급현황
- <표Ⅲ-4> 대체탄 이용 및 생산기기의 설치현황
- <표Ⅲ-5> 폐기물 소각열 이용시설의 설치현황
- <표Ⅲ-6> 가동중인 풍력발전기 현황
- <표Ⅲ-7> 소수력 발전소 설치현황
- <표Ⅲ-8> 국내 대체에너지원별 연도별 소비량
- <표Ⅲ-9> 국내 대체에너지 소비실적 집계방식(1997년)
- <표Ⅳ-1> 재생에너지원의 1차에너지 형태
- <표Ⅳ-2> IEA의 에너지발란스표
- <표Ⅳ-3> 재생에너지원 통계분류 및 활용기술
- <표Ⅳ-4> 재생에너지원별 통계체계
- <표Ⅳ-5> 재생에너지관련 통계 SOURCES
- <표Ⅳ-6> 일본의 재생에너지 분류체계
- <표Ⅳ-7> 가정용 태양광발전 데이터 보고주기 및 보고내용
- <표Ⅳ-8> 신에너지 보급실적 및 목표
- <표Ⅴ-1> 재생에너지원별 통계범위 및 작성체계
- <표Ⅴ-2> 지역별 수평면 일사량
- <표Ⅴ-3> 방위별, 입사각도별 경사면 일사량 비교
- <표Ⅴ-4> 폐기물 발열량
- <표Ⅴ-5> 소각로의 열회수 및 변환방법

그림목차

- [그림Ⅱ-1] 대체에너지 기술개발의 추진체계
- [그림Ⅳ-1] EIA의 바이오매스 에너지 소비통계 분류체계

요 약

기후변화협약 등 국제적 환경규제가 강화됨에 따라 선진국을 중심으로 미래 에너지원 확보와 지구환경보호 차원에서 재생에너지원의 기술개발과 보급확대에 박차를 가하고 있다. 우리 나라는 1987년부터 대체에너지에 대한 기본계획을 수립하여 본격적으로 기술개발 및 보급확대를 추진하고 있다. 1997년부터 향후 10년간 5,270억원의 예산을 기술개발에 투자하고 시장창출과 보급확대로 2001년까지 총 에너지수요의 1.3%, 2006년까지는 2%를 대체에너지로 공급할 계획이다.

이러한 대체에너지 기술개발 및 보급계획의 수립, 실행 및 모니터링을 위해서는 이용실태에 관한 정확한 통계뿐만 아니라 체계적이고 종합적인 통계체계의 확립이 요구된다. 그러나 국내 재생에너지 통계는 데이터의 부족 및 통계체계의 미비로 수급흐름을 정확하게 반영하지 못하고 있어 정책 수립에 제대로 기여하지 못할 뿐만 아니라 국제적 수준에 부응하지 못하고 있는 실정이다. 본 연구는 국내 대체에너지의 수급흐름을 정확하게 파악할 수 있고 IEA의 회원국간 데이터 공유와 통계자료의 표준화를 이루는 통계체계를 제시하고, 보다 합리적인 소비량 추정방식을 도출코자 하였다. 이를 위해 재생에너지 통계분야에서 발달된 통계체계를 운영하고 있는 IEA와 유럽연합(EU), 미국 및 일본의 재생에너지 통계체계를 살펴보고, 국내 재생에너지 통계체계 및 집계방식의 개선방안을 모색하였다. 현행 재생에너지의 통계체계의 개선방안을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 재생에너지원의 통계범위를 국제수준에 맞게 재정립해야 한다. 우리 나라는 대체에너지를 태양에너지(태양열, 태양광발전), 바이오에너지, 풍력, 소수력, 연료전지, 석탄액화 및 가스화, 해양에너지, 폐기물에너지, 석탄혼합연료, 지열, 수소 등으로 정의하고 있다. 이 같은 정의는 통계측면에서 대표적인 바이오에너지로서 직접 연료로 사용되는 신탄, 흑액 등은 포함되지 못하는 반면 석탄혼합연료 등은 기존 통계와 중복되는 문제점이 있다. 따라서 통계범위에 모든 수력과 신탄을 포함시키고 석탄 혼합연료(석탄액화 및 가스화 포함)는 제외하는 것이 바람직하다. IEA, 미국, 유럽연합(EU)은 모든 수력을 재생에너지에 분류하고 있으며, 대부분의 국가들은 대표적인 바이오매스인 신탄을 재생에너지 통계에 포함시키고 있다. 석탄 혼합연료(석탄액화 및 가스화 포함)는 석탄통계에 포함시키는 것이 일반적이며 IEA는 석탄 및 전환부문에 포함시키고 있다.

둘째로 통계 작성체계를 수급흐름을 반영할 수 있도록 개선해야 한다. 에너지 통계는 모든 에너지원과 소비 용도에 관한 상황을 나타내는 것이며, 에너지통계가 추구해야 하는 명제는 에너지 공급량과 소비량을 표현하고, 에너지의 공급에서 최종 소비과정의 흐름과 배분을 정확하게 나타내어야 한다. 그러나 현행 재생에너지 통계는 수급흐름을 나타내지 못하고 있는 실정이다. 따라서 재생에너지원의 이용 행태를 자가소비 열생산, 외부판매 열생산, 자가발전 등으로 용도를 구분하여 통계를 작성하여야 한다. 통계적으로 자가소비 열생산을 위해 투입 연료는 최종소비로 집계하고, 제 3자 판매용 열생산과 자가발전을 위하여 투입한 연료는 전환부문에 집계하기 때문에 투입연료를 3가지 용도로 구분해야 한다. 그리고 현행통계는 폐기물에너지와 메탄가 소비량은 유효 에너지인 증기생산량을 에너지량으로 집계하는 문제점을 가지고 있는 바, 열 또는 전력 생산을 위하여 투입된 폐기물량과 메탄 가스량에 저위발열량을 곱하여 에너지량으로 집계하여야 한다.

셋째로 일부 재생에너지원의 소비량 추정방식을 개선해야 한다. 태양에너지의 경우 표준원단위를 정해 놓고 이용설비의 누적 보급대수를 단순히 곱하는 방식을 사용하고 있어 계절이나, 시간대, 그리고 기후 등 자연조건에 따라 변화하는 일사량과 집열기 면적 및 시스템 효율에 의한 에너지 생산량 변화를 제대로 반영하지 못하고 있다. 따라서 태양열 에너지 소비량은 보급 집열기의 집열면적, 일사량, 시스템 효율을 반영할 수 있는 추정방식으로 개선하는 것이 합리적이다. 또한 폐기물 에너지 및 메탄가스의 경우는 증기생산량을 추정하고 있으나 열 또는 전력생산을 위하여 투입된 량을 추정하는 방식으로 개선해야 할 것이다

I. 서론

1991년 리우에서 개최된 지구환경회의는 지구온난화에 대한 경고와 사람들에게 환경문제의 심각성을 깊이 인식시켜 주었다. 이후의 기후 변화방지협약에서는 선진국들의 경우 2000년 이산화탄소 배출량을 1990년 수준으로 동결한다는 의무조항을 명시하고, 개발도상국에 대해서도 단계적으로 대상범위를 확대한다는 내용의 구체적인 방안이 논의되고 있다. 지구온난화는 이산화탄소 배출량의 증가에 기인하는데, 이산화탄소 배출량을 줄이려면 화석연료의 사용을 제한해야 한다. 화석연료의 제한은 개발도상국의 경제성장에 막대한 영향을 미칠 것으로 우려된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 단기적으로 화석연료 중에서 청정에너지인 천연가스의 비중을 높이는 방안이 제기되고 있지만, 이것이 근본적인 대책이 되지는 못할 것으로 평가된다. 이에 따라 최근에는 화석연료를 대체할 에너지로 재생에너지에 대한 기술개발 및 보급확산을 위한 노력이 가속화되고 있는 상황이다.

국제적인 환경보호 추세에 따른 화석연료 사용 규제는 우리나라에도 크게 영향을 미칠 것으로 판단된다. 1996년 우리나라가 OECD에 가입함에 따라 기후변화협약의 선진국 의무조항을 준수하라는 압박이 강화될 것이 확실하기 때문이다. 특히 석유가 전체 에너지중에서 60% 이상을 차지하는 현 상황에서 화석연료 규제조치가 가시화 될 경우 우리 경제에 큰 충격을 주게 될 것으로 예상된다. 정부에서도 이러한 상황을 인식하고 적극적으로 에너지절약 및 대체에너지 개발에 투자하겠다는 계획을 수립하였다. 1997년부터 10년간 5,270억원의 예산을 투입하여 대체에너지 기술을 확보하고 2010년까지 총 에너지수요의 2%를 대체에너지로 공급하겠다는 계획이다.

따라서 국가적으로 대체에너지의 보급실적 및 전체 에너지에 있어 기여도를 정확하게 파악하여 기술개발 및 보급확대, 에너지수요의 분석, 중장기 에너지수요의 예측 등을 통해 에너지정책을 효율적으로 수립한다는 것은 매우 중요한 과제이다. 이러한 대체에너지 정책을 성공적으로 추진하기 위해서는 정확한 통계뿐만 아니라 체계적이고 종합적인 대체에너지통계의 작성과 편집이 필요하다. 우리나라는 자료의 절대량이 부족하여 현 대체에너지통계는 여전히 에너지 수급흐름을 정확하게 반영하지 못하고 있다. 한편 96년도 OECD/IEA 가입시 이행사항으로 에너지통계 제공의 의무를 지게 된다. IEA의 에너지통계체계는 우리나라 체계와 비교시 근본적인 흐름은 유사하나, 에너지원 및 수급 체계의 구조와 개념이 다소 다르며, 특히 우리나라 체계 보다 수급흐름을 상세하게 기술하고 있는 점이 크게 다르게 나타나고 있다.

본 연구는 이러한 요구에 부응하여 국내 대체에너지의 수급흐름을 정확하게 파악할 수 있고 IEA의 회원국간 데이터 공유와 통계자료의 표준화를 이루는 통계체계를 제시하고, 일부 대체에너지원의 소비량 집계방식을 개선하는데 그 목적을 두고서 본 보고서를 다음과 같이 구성하였다. 우선 II장에서는 우리나라의 대체에너지가 기술개발 추진현황을 기술개발 기본계획을 중심으로 추진목표 및 추진전략을 개관하고 지금까지의 추진실적을 분석하였다. III장에서는 대체에너지원별로 이용시설 보급현황과 소비실적 집계방식을 살펴보고 현행 대체에너지 통계의 문제점을 도출하였다. IV장에서는 국내 재생에너지 통계체계의 개선방안을 도출하고자 IEA와 유럽연합(EU), 미국 및 일본의 재생에너지 통계체계를 살펴보았다. 특히 에너지통계의 제공의무 뿐만 아니라 국제 에너지통계를 동일한 기준으로 비교 분석하고 있는 IEA의 재생에너지 통계분류 및 에너지밸런스의 개념과 구조를 개략적으로 살펴보았다. 또한 재생에너지분야에서 발달된 통계체계를 운영하고 있는 유럽연합(EU)의 통계작성체계, 자료수집 및 작성방법 등을 분석하였다. V장에서는 IEA 및 유럽연합 등과 비교하여 재생에너지원의 통계 범위 정립 및 통계작성 체계화 방안을 제시하였다. 그리고 태양에너지(태양열, 태양광)의 추정방식의 개선방안을 논의하고 폐기물 에너지 등에 대한 투입 및 산출에 대한 플로우를 통계적으로 처리하는 방안을 모색하였다. 끝으로 VI장에서는 지금까지의 검토·분석 결과를 요약하여 결론으로 삼았다.

II. 국내 대체에너지 기술개발 추진현황

1. 우리나라의 대체에너지의 정의

대체에너지의 정의는 각 나라별로 자국의 에너지 상황에 따라 다르며 넓게 정의하는 경우 석유 이외에 석탄, 원자력, 천연가스 및 신재생에너지 등 석유가 아닌 모든 에너지원으로 정의하기도 하며, 좁게는 신재생에너지(new & renewable energy) 또는 재생에너지 자체로만 정의하는 것이 일반적이다.

우리나라에서는 대체에너지를 「대체에너지개발 및 이용·보급촉진법」 제2조에 석유, 석탄, 원자력, 천연가스가 아닌 에너지로서 태양에너지(태양열, 태양광발전), 바이오에너지, 풍력, 소수력, 연료전지, 석탄액화 및 가스화, 해양에너지, 폐기물에너지, 기타 대통령령으로 정하는 에너지(석탄혼합연료, 지열, 수소에너지 등)로 정의하고 있다. 이 같은 대체에너지 정의는 <표 II-1>에서 보는 바와 같이 12개 기술분야로 비교적 넓은 의미의 에너지를 포함하고 있어서 이용분야도 다양하고 이에 따라 기술개발 내용도 서로 다른 특징을 가진다. 대체에너지원의 생산에너지 유형을 살펴보면, 가장 많은 분야는 전력 생산분야이며, 그 다음으로 열 생산분야, 그리고 액체연료(알콜, COM, CWM 등) 및 고체연료(RDF 등) 생산분야로 구성되어 있다.

이는 좁은 의미의 재생에너지에 폐기물에너지와 석탄혼합연료, 액화 및 가스화 등 석탄의 이용기술과 연료전지와 같은 신이용기술을 포함시킴으로써, 석유에너지에 대한 의존도를 줄이고 대부분 수입에 의존하는 국내 에너지 상황을 조금이라도 타개하려는 의도로 볼 수 있다. 이러한 넓은 의미의 정의는 화석에너지의 대체를 위한 가능한 모든 수단의 동원이라는 의미로서 재생에너지에 단기간 내에 활용 가능한 폐기물에너지와 같은 재생연료, 그리고 개발·이용될 경우 에너지 사용량이 매우 클 것으로 기대되는 연료전지나 석탄가스화 복합발전과 같은 화석연료의 고효율 이용기술을 포함하고 있다.

<표 II-1> 대체에너지원별 기술개발 내용

원 별	생산에너지유형	이 용 분 야	사 업 내 용
소수력	전력	전력공급	계곡, 댐 등의 낙차이용 발전기술(3,000kW등)
태양열	연(온수, 증기) 전력	건물 및 산업용 에너지	주택·건물에의 냉난방 이용기술
태양광	전력	특수용 및 낙도·오지의 전력공급	경제성 있는 발전기술 개발
풍력	전력	전력공급	바람 힘을 이용하는 발전기술, 일반적으로 풍속4m/sec 이상
해양에너지	전력	전력공급	조력, 파력 및 해수온도차를 이용한 발전기술
지열에너지	열(온수, 증기)	주택, 산업용 및 발전에너지	지하의 열을 이용하여 지역난방 및 발전기술
바이오에너지	가스연료(매탄) 액체연료(알콜) 고체연료(대체탄)	산업용(주정, 축산폐기물등) 수송용(에탄올등) 난방·취사용	각종바이오매스(생물자원)를 에너지화기술
폐기물에너지	열(온수, 증기) 가스연료(매탄등) 고체(RDF등)	주택, 상업용, 산업용 및 발전에너지	폐기물을 에너지화기술
수소에너지	가스연료(수소)	자동차, 발전 등	수소생산 및 이용기술
연료전지	전력+열 (열병합시스템)	전력공급 냉난방	수소와 산소를 이용한 고효율 신발전기술
석탄액화 및 가스화기술	석탄액화, 가스	산업용 및 발전에너지	석탄을 부가가치가 높은 연료로 전환 이용기술
석탄혼합연료	COM, CWM	산업용 연료	석탄에 석탄이외의 물질을 혼합하여 연소조건을 향상시키는 기술

2. 대체에너지의 기술개발 기본계획

가. 기술개발의 추진경위

우리 나라가 대체에너지 개발에 투자를 하기 시작한 것은 1970년대 이후로 선진국에 비해 짧은 역사를 갖고 있다. 정부는 1970년대 중반 이후부터 출연연구소 및 대학을 중심으로 대체에너지 기술개발을 추진하였다. 그러나 기술개발 투자규모 및 인적자원이 충분히 뒷받침 되지 못하여 체계적이고 효율적인 기술개발이 이루어지지 못하였다. 또한 1980년대에 들어서서는 전세계적으로 저유가가 유지되면서 대체에너지의 기술개발 및 보급에 대한 관심이 낮아졌다.

이에 따라 정부는 풍부하게 부존되어 있으나 이용되지 못하고 있는 대체에너지 자원을 적극 개발함으로써 에너지원의 다양화를 도모하고 장기적인 에너지 수급안정을 기하기 위하여 1987년 12월에 「대체에너지 개발촉진법」을 제정·공포하였다. 그리고 1988년 6월에는 대체에너지기술개발 기본계획을 확정하고 2001년까지의 기술개발 계획을 수립하여, 본격적으로 대체에너지 기술개발사업을 추진하였다. 1992년 7월에는 1단계 사업이 종료됨에 따라 그간의 에너지환경 여건변화와 국내기술수준을 재평가하고 원별 목표를 상향조정 또는 구체화하여 에너지 대체효과가 큰 기술의 보급을 활성화하는 방향으로 기본계획을 수정 보완하였다.

1997년 1월에는 1988년부터 추진해 온 기술개발 성과와 보급실적을 분석하고 국내외 에너지 여건변화 및 국내의 대체에너지 기술수준 등을 고려하여 당초 2001년까지 총 에너지의 3%를 대체에너지로 공급하려던 계획을 2006년까지 2%를 공급하도록 대체에너지 기술개발 기본계획을 목표를 수정하였다. 이러한 수정된 목표를 달성하기 위하여 에너지기술개발 10개년 계획을 수립하였다.

나. 기술개발의 기본목표 및 추진전략

현행 대체에너지기술개발 기본계획은 기본목표를 ① 대체에너지 이용의 경제성 및 편의성 제고로 신뢰성을 확보하고 기술 선진화 추구, ② 이용기술의 수요개발을 통한 보급확대로 국내 최종에너지 소비중 대체에너지 비중 제고, ③ 청정에너지로서의 환경보전과 미래 에너지원 확보에 기여하는데 두고 있다.

대체에너지 기술개발은 <표 II-2>에서 보는 바와 같이 제 1단계에서는 연구개발 기반구축, 제 2단계에서는 실용화 기반구축을 목표로 추진되었다. 그리고 현재 제 3단계로 중점기술 개발을 목표로 추진중에 있으며 4단계에서는 기술의 상용화에 목표를 두고 추진할 계획이다. 동 기본계획은 2006년까지 대체에너지의 실용화를 위한 기반을 다지고, 세계적으로 실용화가 확립된 분야중 경제성이 있는 기술의 상당부분을 국내기술로 자립시킴으로써 총 에너지수요의 2%를 대체에너지로 공급하는 것을 최종목표로 하고 있다.

<표 II-2> 대체에너지기술개발 단계별 목표 및 추진전략

구 분	제 1 단계	제 2 단계	제 3 단계	제 4 단계
계획 기간	1988~1991	1992~1996	1997~2001	2002~2006
개발 목표	연구기반 구축	실용화 기반구축	중점기술 개발	기술의 상용화
보급 목표	금융지원	수요개발 시범보급	시장창출	보급확대
대체에너지 비중(%)	0.5	0.6	1.3	2.0
총 연구비	302억원	709억원	2,033억원	3,237억원

자료 : 산업자원부, 제1차 국가에너지기본계획, 1997

이러한 기본계획은 당초 설정되었던 기본계획상의 2001년까지 국내 총 에너지 수요의 3%를 대체에너지로 보급하려던 당초목표에 비하여 상당히 후퇴한 것이다. 이는 상당 기간 지속된 유가안정과 에너지 사용의 편리성을 기대하는 사용자 요구를 충족시키지 못함으로써 시장진

출의 실패를 거듭해온 결과라 할 수 있다. 또한 대체에너지의 보급을 단순한 기술개발 후 보급이라는 국내 개발기술 보급정책 일변도로 추진함으로써 대체에너지 기술의 잠재적 가능성 확인, 공급 안정성 확보 및 대국민 신뢰성 확보에 매우 미흡하였다.

기술개발의 각 단계별로 살펴보면, 대체에너지 기술개발의 1단계는 1988년부터 1991년까지로 기술개발을 위한 기반구축을 목표로 추진되었다. 또한 대체에너지의 보급비중을 높이기 위한 방법으로 금융지원을 실시하였다. 연구기반 구축을 위해 전 분야를 대상으로 대학 및 연구소를 중심으로 기초, 응용연구에 치중하였으며, 1989년 9월부터는 대체에너지 가운데 개발될 경우 기존 에너지의 대체효과가 크고 실용화 가능성이 높다고 판단되는 연료전지 및 태양광 발전분야를 선정하여 「범국가적연구사업(National Project)」으로 명명하고 중점 지원하였다. 그리고 1991년부터는 기업에 의한 실용화 개발을 촉진하기 위해 태양열, 바이오에너지, 폐기물에너지 등 3개 분야에 기업주도 연구사업을 실시하였다. 이 결과 연구기반의 구축은 이루어졌으나 단순한 금융지원은 안정성 확보를 필수적 요인으로 안고 있는 에너지의 특성상 대체에너지를 인식시키는 역할을 수행하기 어려웠다. 그리고 기술개발만으로는 대체 에너지를 시장에서 성공시키기 힘들고 이는 실증시험과 상용화를 이끌어내기 위한 수단을 필요로 하였다.

2단계(1992~1996년)에서는 1단계 기반기술을 토대로 실용화 기반 구축을 목표로 추진되었다. 1993년 2월부터는 과학기술처가 주관하는 국가선도기술개발사업(G7 Project)에 "신에너지 기술 개발사업"이 포함되어 산업자원부(당시 동력자원부)가 추진하던 대체에너지 기술개발을 과학기술부(당시 과학기술처)와 공동으로 범부처적 사업으로 추진하였으며, 연차적으로 연료전지, 태양광발전, 석탄가스화 복합발전기술을 포함시켜서 3개 新발전 분야를 집중 지원해왔다. 2단계에서는 실용화 기반을 구축하는 것으로 기술개발 목표를 설정하였으나 단기간 내 연구기반 구축을 실시한 상황에서 실용화 기반을 구축하는 것은 매우 빠른 시도였으며, 수요개발과 시범보급으로 구성된 보급 목표도 대체에너지의 다양성에 비추어 국내에서 개발되어 공급 가능한 대체에너지 기술이 매우 적었고 가격구조에서 화석연료에 훨씬 미치지 못하며 하부구조, 법령, 제도 등이 미비한 상황에서 수요는 개발되지 못하고 시범사업도 미약한 수준에 그쳤다.

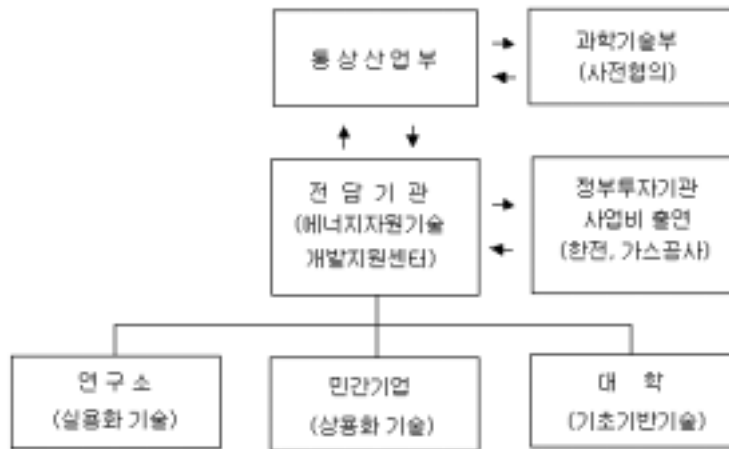
3단계에서는 2단계까지의 기술개발 추진결과를 토대로 기술개발 목표를 당초 기술자립 달성에서 중점분야의 기술개발로 수정하고 보급목표도 2006년까지 총 에너지 수요의 2%를 달성하기 위하여 당초 3%에서 1.3%로 하향 조정되었다. 중점기술 개발분야로는 국가선도 기술개발 사업으로 선정되어 집중 지원되어온 3개 분야에 태양열 에너지분야를 포함시켜 4개 중점분야가 선정되었다. 이들 중점 추진분야의 기술개발을 효율적으로 추진하기 위하여 산·학·연 전문가로 각 분야별 사업단을 구성하여 기술개발 성과분석과 개발방향을 설정하도록 하였다. 또한 바이오에너지, 폐기물에너지, 풍력에너지 등 3개 분야에 대해서는 연구회를 구성하여 기술개발 방향의 설정을 지원하도록 하고 있다.

4단계(2002~2006)에서는 중점 개발된 기술분야를 중심으로 기술의 상용화를 통한 시장진출과 보급으로 국내 총 에너지 수요의 2%를 보급할 것을 목표로 하고 있다. 세계적으로도 대체에너지 시장은 정부의 지원으로 이루어지고 있으며, 앞으로도 상당기간 지원시장의 형태로 운영될 것이다. 우리 나라에서도 4단계의 개발목표인 기술의 상용화와 보급확대를 위해서는 가격경쟁을 확보할 수 있도록 잠재적 편익을 반영하는 제도적 장치와 대체에너지 생산물(전력, 열, 액체 및 고체 에너지 등)의 구매가 가능한 시장구조로의 개편이 요구되고 있다.

3. 대체에너지 기술개발 추진실적

정부에서는 대체에너지 기술개발을 총괄하는 전문관리기관으로 에너지관리공단 부설 에너지자원 기술 개발지원센타를 지정하여 과제의 선정, 및 평가업무를 관리하도록 하고 있다. 매년 정부의 지원예산과 연차 실행계획이 확정되면 지원센타에서는 이를 근거로 수행과제를 공모하여 우수한 과제로 선정된 과제에 대하여 자금의 전부(대학, 연구소) 또는 일부 (민간기업, 연구조합)를 지원해 주고 있다.

[그림 II-1] 대체에너지 기술개발의 추진체계



정부는 대체에너지 연구개발체계를 확립하고 가용재원을 최대한 확보하여 대체에너지 기술 개발사업의 규모를 꾸준히 증대시켜왔다. 대체에너지개발촉진법 시행이후 1997년까지 대체 에너지 기술개발에 투자된 총사업비는 1,190억원이며, 이 가운데 정부지원 총액은 645억원, 민간부담금은 545억원으로 각각 54%, 46%를 차지하고 있다.

'이들 투자 사업비의 분야별 비중을 살펴보면, <표 II-4>에서 보는 바와 같이 연료전지, 태양광발전, 바이오에너지, 폐기물에너지 및 석탁이용 분야에 총 사업비의 80% 이상이 투자되었다. 이는 대체에너지 개발이 추진되었을 당시 국내 에너지 상황을 반영하여 에너지 대체 효과를 극대화하려는 추진전략의 결과이다. 1단계('88-'91)에서는 현실적으로 단기간 내에 이용 가능한 폐기물에너지(소각열 이용)와 주변에서 사용 원료의 획득이 용이할 것으로 판단된 바이오에너지 분야에 대한 투자가 활발하였다. 그러나 폐기물에너지는 쓰레기의 환경 문제 심화에 따라 에너지로서의 이용보다는 처리문제에 초점을 맞추어 환경정책으로 추진되고 있다. 그리고 바이오에너지의 경우는 기체연료(매탄)나 액체연료(알콜)의 생산기술로서 하부구조의 미비 등으로 실질적인 시장진입을 위한 경제성이 매우 낮은 것으로 평가되었다. 2단계에서는 연료전지와 태양광발전이 선도기술개발사업으로 집중 지원되어 태양광발전 분야에서는 오지나 도서지역, 가로등 및 공원시설 등에 대한 시범설치가 가능한 수준의 기술 개발이 이루어지고 연료전지 분야에서는 기술개발의 기반이 구축되었다.

이러한 지원현황은 단계적으로 국내 에너지 상황을 반영하여 왔으며 앞으로도 지속될 것이다. 최근 대두되고 있는 에너지환경 문제에 따라 대체에너지의 기술개발 및 보급 목표를 수정할 필요가 있으며 이는 좀더 환경친화적인 에너지, 즉 신재생에너지로의 정책전환을 필요로 하고 있다.

<표 11-4> 분야별 과제수 및 연구비 지원실적('88-'97)

(단위: 백만원)

분 야	과제수(개)	정부지원	민간부담	계	구성비(%)
태 양 광	43	9,426	9,548	18,974	16
연료전지	29	14,098	15,455	29,553	25
폐 기 물	26	5,117	9,683	14,800	12
바 이 오	64	10,439	8,742	19,181	16
석탄이용	33	8,106	5,986	14,092	12
풍 력	5	2,384	3,146	5,530	5
태 양 열	37	5,230	1,588	6,818	6
해 양	2	1,165	150	1,315	1
지 열	2	690	70	760	1
수 소	8	1,235	131	1,366	1
소 수 력	2	254	32	286	-
가 타	13	6,378	-	6,378	5
계	264	64,522	54,531	119,053	100

자료 : 에너지자원기술개발자원센터

대체에너지 기술개발의 주요 성과를 분야별로 살펴보면 <표 II-5>와 같다. 태양광 발전과 연료전지 분야를 적극적으로 지원한 결과, 100kW급 태양광 발전소를 1993년 충남 호도에 시범 설치하였으며 50호 미만 도서 및 벽지의 전화사업으로 태양광 발전을 추진중에 있다. 그리고 인산형 연료전지는 40kW급 시스템을 1994년 11월 한국가스공사에 설치하여 시험 운전중에 있다. 한편 메탄가스 회수 이용기술, 태양열 집열시스템 및 폐기물 소각처리기술 등이 국산화 개발 및 실용화 되어 보급되고 있다.

<표 II-5> 분야별 주요 기술개발 성과

분 야	기술개발 성과	비 고
태 양 열	- 태양열 온수기 국산화 개발	- 상용화 보급중
태 양 광	- 태양전지 국산화 및 100kW급 태양과알전 시스템 개발	- 결정질 Sixo양전지 국산화 - 도서용 시범설치 운전중
바 이 오	- 산업폐수 메탄가스 이용기술 확립 - 자동차연료용 알콜시험생산(1k ℓ/일)	- 상용화 보급중 - 파이롯트 플랜트 준공
폐 기 물	- 폐기물 소각열 이용시설 국산화	- 상용화 보급중
연료전지	- 인산형 연료전지 40kW급 개발	- 실용화 실증실험중
풍 력	- 300kW급 풍력발전기 개발	- 개발설치 운전중(실증실험)
석탄이용	- COM 실험공장 건설 및 실증실험 - CWF 실험공장 건설 및 실증실험	- 실증실험 완료후 가동중지 - 실증실험 완료후 가동중지

Ⅲ. 국내 대체에너지 통계체제 및 문제점

우리나라의 대체에너지 통계는 에너지관리공단이 수집 및 집계하여 「신·재생에너지 관련 자료집」으로 발표하고 있다. 에너지관리공단은 「대체에너지이용보급촉진법」에서 정의하고 있는 대체에너지 분류 및 이용분야를 기준으로 통계를 작성하고 있다. 대체에너지 통계는 크게 두가지로 나누어 볼 수 있다. 하나는 주로 생산자와 판매자를 통하여 수집할 수 있는 이용시설 보급통계이고 다른 하나는 이용자를 통하여 획득할 수 있는 이용실적(생산 및 소비실적)통계이다.

이용시설 보급통계는 생산자 및 판매자를 통해 자료 입수가 비교적 용이하고 통계자료의 신뢰성도 이용통계에 비하여 높다. 대체에너지 이용시설 보급대수 통계는 대체에너지 대안 및 이용시설에 대한 자금지원시 자료 및 간접적으로 생산 및 판매업체로부터 보급실적에 관한 정보를 수집하여 작성되고 있다.

이용실적 통계는 이용설비의 보급통계에 비하여 재생에너지원의 일반적 특성으로 인해 자료의 수집 및 통계를 작성하는데 상당한 시간과 노력이 요구될 뿐만 아니라 통계 자체에도 어느정도 한계성 가지게 된다. 대체에너지원의 이용통계는 이용설비의 보급통계를 기준으로 추정 또는 이용실적 자료를 수집하여 작성되고 있다.

1. 대체에너지 이용시설 보급현황

가. 태양열 에너지

태양열 이용시설은 열전환 방법이 기계적인 순환에 의존하는 설비형(Active)시스템과 비기계적인 자연순환에 의존하는 자연형(Passive)시스템으로 구분된다. 우리나라에서 설비형 시설은 ① 가정용 온수기 ② 골프장용 대형 급탕 ③ 양어장용 온수기 ④ 지중난방용(비닐하우스) 등이 보급되고 있다. 자연형 설비는 주택, 학교 등에 주로 보급되었으나 1994년 이후에는 보급실적이 전무하다.

1975년 처음으로 태양열 주택이 건설된 이래 1997년까지 국내에 보급된 태양열 이용설비의 보급실적을 <표 III-1>에서 보는 바와 같이 총 164,622개소에 이르고 있으며, 이중 설비형이 96%를 차지하고 있다. 에너지이용합리화법에 의하여 의무적으로 설치하여야 하는 골프장용 대형급탕과 양어장용 온수기, 지중난방용 등의 특수분야를 제외하면 가정용 온수기가 태양열 이용시설의 주요 보급분야라 할 수 있다.

태양열 이용설비의 국내 보급은 1979년 2차 석유파동 이후 정부의 대체에너지에 대한 지원 정책(융자 및 세제지원)에 힘입어 태양열 주택 700여채, 태양열 급탕전용 1,400세트가 보급되었으나, 1982년 기점으로 급격히 하향세를 보이다가 정부의 보급정책에 힘입어 1987년부터 꾸준히 증가세를 보이고 있다. 1993년부터는 농촌지도소가 농가를 대상으로 태양열온수기의 시범보급사업을 추진하고 있다. 이결과 긍정적 평가를 qkedmadmfhTJ 1996년부터 태양열온수기의 보급사업이 농가주생활개선사업에 포함되어 가정용 온수기의 보급확산에 크게 기여하고 있다.

<표 III-1> 국내 태양열 이용시설 연도별 보급현황

(단위 : 대)

구 분	~'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	계	
설 비 형 시 설	가정용	11,453	2,142	2,036	4,026	7,796	16,106	41,149	77,226	161,934
	골프장	34	14	10	8	3	6	6	6	87
	양어장	5	8	3	-	3	5	5	5	34
	지중난방	-	-	-	-	-	-	9	71	80
	기타	135	1	2	3	5	1	9	9	165
자연형 시설	2,315	2	3	1	1	-	-	-	2,322	
합 계	13,942	2,167	2,504	4,038	7,808	16,118	41,178	77,317	164,622	

자료 : 에너지관리공단, 『1997년도 신·재생에너지관련자료집』, 1998.

나. 태양광 에너지

태양광 발전시스템은 태양전지를 이용하여 전기를 발생시키는 방식이다. 태양전지는 반도체에 의하여 빛은 전기에너지로 변환시키는 소자이기 때문에 열발전 시스템과 같이 전기를 발생시키기 위한 장치와 부속장치를 설치할 필요성이 없다.

국내의 태양광 발전시스템을 1972년 해운항만청에서 등대부표에 태양전지와 축전지를 이용하여 야간 표시등으로 사용한 것을 효시로 80년대 들어서 본격적으로 보급되기 시작하였다. 1997년말 현재 총 설치용량은 2,573kWp에 다하고 있으며 한전 계통선이 미치지 않는 도서벽지, 등대, 통신 등 특수 용도로 주로 이용되고 있다.

90년대 들어 태양광 발전 시스템의 연도별 보급현황을 살펴보면 <표 III-2>과 같다. 1996년부터는 주택 또는 건물에 태양전지를 부착시키는 집적형 태양전지 어레이 설치와한전 계통선에 연계시켜 운영하는 계통연계형이 나타나기 시작하였다. 태양광의 설치용량 추이를 살펴보면 도서용 통신DDD 전원사업이 본격화된 1987년부터 RN준히 증가하던 설치용량이 1991년 477kWp를 정점으로 감소추세에 있다. 1995년부터 도서 전원용 및 계통연계형의 보급에 힘입어 다시 증가세를 보이고 있다.

<표 III-2> 국내 태양광 이용시설 연도별 보급현황

(단위 : kWp)

구 분	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97
電化시설	146.0	445.0	148.2	101.3	34.8	69.3	219.3	106.0
통신용				14.8	1.7	15.0	6.6	57.0
가로등·등대· 광고용	6.4	28.4	74.9	38.5	4.1	3.0	45.1	40.3
비상전화				-	9.6	5.0	30.0	57.5
우량축정	0.1			-	-	-	3.0	42.0
도로표시등				-	-	-	6.5	9.0
기 타		4.2	1.8	5.0	-	-	77.5	98.0
합 계	170.5	477.6	224.9	159.6	50.2	92.3	388	409.8

자료 : 에너지관리공단, 『1997년도 신·재생에너지관련자료집』, 1998.

현재까지 태양광발전 시스템을 개인이나 법인이 아닌 대부분 국가기관이나 공공기관에 보급되었다. 이는 태양광 발전이 기존 발전방식에 비하여 비교적 발전단가가 높고 초기 투자비가 많이 소요되는 것이 주요 장애요인으로 지적되고 있다. 이는 국내뿐만 아니라 해외에서도 유사한 추세를 보이고 있다. 태양광 발전시스템이 본격적으로 보급되기 위해서는 앞으로 태양전지 제조원가의 대폭 절감과 효율향상 및 대량 생산기술의 개발이 요구되고 있다.

태양광발전 시스템은 1992년까지 전량 수입에 의존하였으나 1993년부터 국산 태양광 발전시스템이 본격적으로 생산되어 보급되기 시작하였다. 태양전지 국내생산은 1단계 연구개발 완료된 1992년에 실트론(주)가 연간 300kWp 생산규모를 갖추고 단결정실리콘 태양전지를 1993년부터 생산하고 있으며 현재 생산규모는 500kWp에 이르고 있다. 생산능력을 갖추고 단결정실리콘 태양전지 모듈을 생산하고 있으며, 1994년에는 삼성전자가 연간 500kWp 생산설비를 갖추고 외국으로부터 학(주)도 1994년 말부터 500kWp 태양전지 모듈 생산설비를 갖추고 미국의 지멘스 솔라로부터 단결정실리콘 태양전지를 수입하여 사용하고 있다.

다. 바이오에너지

바이오에너지는 태양에너지가 식물에 의해 변환됨으로써 생물체에 축적되어 있는 유기물을 이용하는 것으로 화석자원과는 달리 재생가능한 에너지이다. 현재 지구상의 바이오에너지 부존량은 약 2조톤 정도로 알려지고 있다. 이 중에서 매년 2,000억톤이 광합성에 의하여 재생산되고 있다.

바이오매스로부터 생산된 에너지는 고체연료, 액체연료, 가스연료 등의 형태를 이용이 편리한 양질의 에너지이며, 방치될 경우 폐기물이 되므로 이를 활용하면 폐기물의 처리와 에너지 회수의효과를 동시에 거둘 수 있다. 국내에서는 바이오매스로부터 생산하여 이용중인 에너지원으로는 고체연료인 대체탄과 기체연료인 메탄가스 등이 있다.

국내 보급되어 이용되고 있는 메탄가스 이용시설을 <표 III-3>에서 보는 바와 같이 1997년 말 기준으로 101기가 설치되어 아직은 초보적인 보급단계에 머물고 있다. 메탄가스는 산업체 및 하수처리장에서 폐수의 혐기성 철과정에서 발생하는 메탄가스를 에너지원으로 이용되고 있다. 산업체의 메탄가스 이용은 대부분 주정공장, 식품공장에 이루어지고 있다. 그리고 1997년 말 현재 전국에는 79개소의 하수처리장이 가동중에 있으며, 하수처리방법중 메탄가스가 발생 가능한 표준활성슬러지법을 채택하고 있는 하수처리장은 중량하수처리장 등 63개소에 달하고 있다.

<표 III-3> 메탄가스 이용시설의 연도별 보급현황

구 분	~'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	계
시설수(기)	18	10	3	13	4	13	16	9	15	101

자료 : 에너지관리공단, 『1997년도 신·재생에너지관련자료집』, 1998.

바이오매스로부터 고체연료는 바이오매스(왕겨와 톱밥 등) 분쇄 → 고온압축 → 성형사출(혹은 탄화) 등의 과정을 거쳐 생산된다. 국내에서는 '80년대 초에 왕겨탄 등 대체탄 생산기술이 개발되어 생산 시설의 보급이 이루어져왔다. 대체탄은 주로 학교, 음식점 등에서 연료로 이용되고 있다. '97년말 기준으로 대체탄(왕겨탄, 착화탄) 제조기기의 총보급대수는 555대에 달하고 있다.

<표 III-4> 대체탄 이용 및 생산기기의 설치현황

구 분	~'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	계
기 기 수(기)	339	47	54	19	41	13	24	6	12	555
보급량(천톤)	361	85	90	64	54	48	48	12	67	829

자료 : 에너지관리공단, 『1997년도 신·재생에너지관련자료집』, 1998.

라. 폐기물에너지

산업 전 및 국민생활수준 향상과 더불어 생활폐기물은 물론 산업체에서 발생하는 폐기물의 발생량이 급격히 증가하고 있으나 폐기물매립의 여건은 매립장 확보의 어려움과 매립에 따른 폐해로 인하여 한계에 이르러, 이의 처리문제는 구내외적으로 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 최근에는 폐기물중 종이 및 프라스틱의 증가로 발열량이 증가하는 경향이며, 특히 우리나라의 경우 매립장의 부족으로 폐기물의 소각 및 소각열의 에너지로 이용 필요성이 증대하고 있다 에너지 회수가 가능한 물질로는 가연성 쓰레기, 페타이어, 폐유, 폐플라스틱, 폐유기용재 등을 들 수 있다.

폐기물을 이용한 에너지의 회수기술은 소각, 열분해에 의한 연료회수, 폐유류의 정제에 의한 연료화, 고체폐기물을 이용한 고체연료(Refuse Derived Fuel, RDF) 등의 제조로 구분할 수 있다. 소각열 이용은 소각시 발생하는 열을 인접한 시설에서 바로 이용하여야 하는 반면에 액체 또는 고체 연료의 형태로 회수되는 에너지는 수송, 저장이 가능하여 부가가치가 높다고 볼 수 있다. 소각 기술은 가장 쉽고 보편화된 기술로서 폐플라스틱, 폐지, 폐고무(페타이어), 슬러지, EH는 이들이 혼합된 잡쓰레기 등의 고체폐기물과 폐유, 폐용매와 같은 액상폐기물 등 모든 가연성 폐기물을 대상으로 한다. 소각로 시설은 보통 고체폐기물과 액상폐기물을 동시에 소각할 수 이Tefhr 하며, 소각서비, 열회수 설비(폐보일러), 후처리설비로 구성된다. 폐유는 다른 액상연료와 마찬가지로 분무방식에 의해 소각되며, 전처리, 분무소각, 후처리의 과정을 거쳐 처리된다. 폐유에는 물, 용매류, 고형분, 중금속 등의 불순물이 다량 포함될 수 있으므로 연소화염의 안정화와 유해물질의 사전제거를 위해 반드시 전처리과정을 거쳐야 한다.

국내에서 가동중인 폐기물 소각열 이용시설 설치현황은 <표 III-5>와 같다.1997년말 기준으로 폐기물 소각열 이용시설의 보급대수는 총 446기에 달하고 있으며, 시설용량으로는 시간당 6,855증기톤으로 집계되고 있다. 이 중에서 시설기수로는 22%에 불과한 폐가스 분야가 시설용량으로는 53.4%를 점하고 있다.

생활쓰레기 소각처리는 매립에 의한 처리가 한계에 달하면서 계속해서 늘어나고 있는 실정인데, 1997년말 현재 에너지 회수시설을 갖추고 있는 생활쓰레기 소각시설은 전국에는 36개가 가동중에 있다. 현재 가동중인 소각장에서 발생하는 증기의 사용처가 지역난방과 발전을 겸하고 있는 지역은 서울 목동, 대구 성서, 경남 창원, 부산 다대 등 5곳이다. 5개지역(고양 일산, 서울 상계, 부천 중동, 안양 평촌, 부산 해운대)은 지역난방에만 이용하고 있다.

또한 제지, 목재공장, 섬유공장, 고무공장, 화학공장, 등에서 자체 생산공정에서 발생하는 폐목재, 폐섬유, 폐고무, 폐유 등의 소각열이 이용되고 있다. 산업체에서 이용되고 있는 폐기물에너지 시설의 경우 폐목재 113개소(시설용량 1,188증기톤/시간), 기타 산업폐기물 199개소(시설용량 1,519증기톤/시간)로 파악되고 있다.

<표 III-5> 폐기물 소각열 이용시설의 설치현황

구 분	생활쓰레기	폐목재	폐가스	산업폐기물	합 계
시설수(기)	36	113	98	199	446
시설용량 (증기톤/시간)	486	1,188	3,662	1,519	6,855

자료 : 에너지관리공단, 『1997년도 신·재생에너지관련자료집』, 1998.

페타이어를 비롯한 폐고무류는 발열량이 매우 높은 에너지원으로서 일본과 미국 등에서는 시멘트킬른, 제지공장, 열병합발전소 등에서 연료로 사용되고 있다. 페타이어는 일반폐기물과는 달리 소각할 때 그름과 분진이 많이 발생하며, 불완전 연소로 인하여 악취와 유해가스가 발생되기 때문에 고도의 소각기술과 완전한 후처리시설이 요구된다. 국내의 경우는 (주)쌍용시멘트 영월공장에서 매년 2천만개씩 발생하는 페타이어를 소각하여 연료로 사용할 수 있는 시설을 갖추었다. 그리고 쌍용시멘트(주) 동해공장에서도 '98년에 페타이어를 소각하여 연료로 사용할 수 있는 시설을 설치할 계획이다.

도시고체폐기물 중에서 발열량이 높은 성분을 기계적 처리하여 고체연료(RDF:Refuse Derived Fuel)화 기술은 국내에서 개발 단계에 머물고 있다. 폐목재와 폐플라스틱, 음식폐기물 등을 대상으로 한 RDF제조 개발기술에 대한 연구가 서울시, 전주시, 진해시에서 실험적

으로 건설하여 가동한 바 있다. 그러나 단위공정별 수지 불균형과 처리 용량부족 등으로 정상가동을 하지 못하고 해체 또는 정지상태에 있다.

마. 풍력

풍력에너지는 에너지 밀도가 낮고 풍향, 풍속의 변화로 인하여 안정적인 에너지 공급에는 어려움이 있으나 잠재적인 자원이 광범위하게 부존되어 있는 청정에너지로서 풍향이 양호한 지점을 선택하여 가동률을 높이면 재생에너지 가운데 경제성이 높고 실용화가 용이한 에너지원으로 평가되고 있다. 풍력발전의 발전단가는 풍력자원에 결정적으로 영향을 받게 되지만 통상적으로 연평균 풍속이 4~5m/sec를 넘으면 가능성이 있는 지역이라 할 수 있다. 국내에서는 1970년대의 석유파동 이후 풍력발전 연구를 시작하였는데, 한국과학기술원(KAIST)이 1975년도에 경기도 화성군 엇섬에 설치한 25kW급 풍력발전기가 국내 풍력발전기의 효시이다. 1990년대 이전까지 소형 풍력발전기(1-14kW)가 단위전원 공급용으로써 연구개발의 시제품으로 또는 외국으로부터 도입하여 설치되었다. 그러나 지속적인 지원부족과 관리소홀 등의 이유로 대부분 철거되어 뚜렷한 성과를 거두지 못했다. 전원용으로 보급이 되기 시작한 것은 1990년 3월에 전북 옥구군 신시도에 설치된 20kW급 풍력발전기가 최초이다. 지금까지 국내에서 설치되어 가동중인 풍력발전기에 대한 현황을 다음의 <표 III-6>에 정리하였다. 1997년말 현재 13기의 풍력발전기가 가동중에 있으며 총 발전용량은 2,753kW에 달하고 있다. '96년부터는 1기당 용량이 대폭 커지고 있는 추세를 보이고 있다.

<표 III-6>가동중인 풍력발전기 현황

설치년도	용량(kW)	설치자	제작사	설치장소
1990. 3	20	한국풍력발전(주)	JACOBS	전북 옥구군 신시도
1992. 7	20	KIST	KIST	제주 북제주군 월령리
1992.10	250	한국관광공사/KIER	HSW	제주 서귀포시 중문
1994.12	170, 80	한국화이바(주)	FloWind/자체	전남 무안(연구단지)
1994.12	30×2	KIER	HSW	제주 북제주군 월령리
1995. 4	100	KIER	VESTAS	제주 북제주군 월령리
1996.11	3	한국솔라	Bergey	부산동아대학교
1996.12	300	한국화이바(주)	자체	전남 무안(연구단지)
1997. 8	500, 50	한국화이바(주)	ZOND/자체	전남 무안, 제주 마라도
1997.12	600×2	효성중공업	VESTAS/자체	제주 북제주군 행원리

자료 : 에너지관리공단, 『1997년도 신·재생에너지관련자료집』, 1998.

1993년도부터 한국에너지기술연구소가 제주 월령에 풍력, 태양광 및 태양열 관련 시설을 설치하여 신재생에너지 시범단지를 조성함으로써, 본격적인 풍력박전에 의한 발전과 한전 계통선에 연계하는 전기가 마련되었다. 또한 우리 나라도 본격적인 풍력 박전기의 실용화에 한 발짝 다가선 것으로 평가되고 있다. 시범단지에는 100kW 풍력발전기 1기와 30kW 풍력박전기 2기가 설치되었다.

한국과학기술연구원은 1단계의 사업기간중 3년동안 국산화 연구개발을 통해 소형(20kw) 수평축 풍력발전기를 자체 제작하여 1992년 제주 월령단지 내에 설치하였다. 2단계 사업기간에는 복합재료 분야의 전문제조업체인 한국화이바(주)가 중형 풍력발전시스템인 다리우스형(Darrius) 수직축 300kW 풍력발전기의 개발 연구를 수행하였고, 98년 현재 수평축 500kW급 중형 풍력발전시스템 개발을 진행중에 있다. 그러나 아직까지는 모두 연구개발 단계에 머물러 실용화까지는 다소 시일이 소요될 전망이다. 현재 진행되고 있는 국산화 개발사업의 내용을 살펴보면, 대부분의 요소기술은 이미 국내 기술로서 확보되었으며 일부의 특정기술만이 그 첨단성과 관련 경험의 부족으로 인해 아직 개발에 어려움을 겪고 있다

현재 신뢰성을 이미 확보한 선진외국의 풍력시스템을 도입하여 풍력발전기에 대한 설치 운영 및 개발 연구가 진행되고 있는데, 제주도에 설치되어 가동중인 250kW급과 100kW급, 30kW급 풍력발전기의 운전을 통하여 계통연계용 풍력발전기의 운전특성에 대한 연구가 수행되고 있다. 또한 풍력발전기의 성능특성에 대한 각종 측정 및 분석작업도 병행하여 국산화 기술개발에도 이용할 수 있도록 기술적 경험을 축적하고 있다.

바. 소수력

소수력 발전은 물의 운동에너지와 위치 에너지를 이용하여 수차를 회전시켜 전기를 생산하는 방식으로 우리 나라에서는 설비용량이 3,000kW급 이하의 규모를 소수력 발전으로 정의하고 있다. 이러한 정의는 나라마다 자국의 자원개발 의지에 따라 다소 차이를 보이고 있다. 일반적으로 1만kW급 이하의 발전소를 소수력 발전소로 보고 있다.

우리 나라에서 소수력 발전은 1957년에 충북 괴산군에 2,600kW급 규모의 발전소를 가동한 것이 효시이며, 1982년 제정된 「소수력 개발 활성화 방안」이 공포되면서부터 본격적으로 개발되었다. 소수력 발전은 <표 III-7>에서 보는 바와 같이 1997년말 기준으로 총 21개소가 설치되어 운전 중에 있으며 총 발전용량은 총 37,300kW에 달한다.

소수력 발전소는 낙차를 얻는 방법에 따라 ① 수로식 발전소 ② 댐식 발전소 ③ 댐-수로식 발전소로 구분되며, 국내에서는 수로식 소수력 발전소가 다른 발전방식에 비하여 경제성 면에서 유리하기 때문에 지금까지 개발이 많이 되었다.

<표 III-7> 소수력 발전소 설치 현황

발전소	전력공급 개시일	시설용량(kW)	설치장소
괴산	57. 4	2,600	충북 괴산군 칠성면 사은리
안흥	78. 6	450,	강원도 횡성군 안흥면 강림리
추산	78. 8	600×2	경북 울릉군 북면 나리동
연천	85. 5	3,000×2	경기 연천군 청산면 장탄리
포천	86. 2	495×2	경기 포천군 영북면 대회산리
임기	86. 8	550×2	경북 봉화군 법전면 놀산리
동진	87. 1	500×4	전북 정읍시 정우면 우산리
방우리	87. 3	530×4	충남 금산군 부리면 방우리
소천	87. 7	480×5	경북 봉화군 소천면 현동리
금강	88. 3	450×3	충북 옥천군 동이면 우산리
봉화	88. 9	500×4	경북 봉화군 명호면 삼동리
단양	89. 4	350×6	충북 단양군 영춘면 사자원리
산내	89. 9	500, 320	전북 남원군 산내면 장항리
광천	91.11	450	전남 승주군 주암면 광천리
영월	94. 4	400×7	강원도 영월군 영월읍 장양리
덕송	93. 3	1,000×2	강원도 정성군 정선읍 덕송리
봉정	93. 5	480×4	강원도 정성군 북면 본정리
대아	93. 6	500×6	전북 완주군 고산면 소향리
경천	95. 6	400×2	경북 문경시 동로면 마광리
반변	96.10	530×2	경북 안동군 임하면 천전리
보령	97.12	140×1	충남 보령시 미산면 상계리
계(21개소)		37,300	

자료 : 에너지관리공단, 『1997년도 신·재생에너지관련자료집』, 1998.

2. 대체에너지원별 소비통계 집계방식

현재 우리나라의 재생에너지 소비통계는 에너지관리공단의 에너지자원기술개발지원센터에서 집계하여 공식적으로 발표하고 있다. 재생에너지 소비량은 <표 III-8>에서 보는 바와 같이 1997년 기준으로 1,421,천TOE에 달하고 있는 것으로 집계되고 있다. 이는 국내 1차 에너지 소비량 179,825천TOE의 0.79% 수준을 차지하고 있는 것이다. 대체에너지 소비는 1990년 이후 연평균 12.5%씩 증가하였으며, 이는 동기간 중 1차 에너지 소비증가율 9.4%에 비하면 3% 포인트 정도 높은 수준이다

<표 III-8> 국내 대체에너지원별 연도별 소비량

(단위 : TOE)

구 분	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97
태양열	8,506	9,940	11,365	12,614	14,141	16,839	22,083	32,016	45,543
태양광	716	887	1,310	1,766	2,016	2153	2245	2,560	3,078
바이오	53,485	59,626	62,613	57,276	58,830	57,239	59,174	50,421	67,582
폐기물	133,435	246,918	318,675	461,180	545,550	804,496	804,496	1,056,440	1,282,457
소수력	18,290	18,540	18,635	19,465	28,785	22,538	20,435	20,349	22,451
풍력	18	25	32	123	313	108	108	87	202
합계	214,450	335,936	412,630	552,424	649,635	908,541	908,541	1,161,873	1,421,313
총에너지 소비비중	0.26	0.36	0.4	0.4	0.51	0.57	0.6	0.7	0.79

자료 : 에너지관리공단, 『1997년도 신·재생에너지관련자료집』, 1998.

가. 태양열 에너지

태양열 이용기기의 보급대수는 매년 생산 및 수입업체를 대상으로 지역별, 용도별 판매량에 대한 자료를 수집하여 집계되고 있다. 태양열 소비량은 태양열 집열기 보급대수에 가동율과 표준원단위를 곱하여 추정되고 있다. 태양열 에너지 소비량은 다음과 같이 추정되고 있다.

$$\text{태양열 이용량(TOE)} = (\text{전년도 소비량} \times 90\%) + \{(\text{금년도 보급대수} \times \text{가동율}) \times \text{표준원단위}\}$$

여기서 태양열 이용기기의 누적 보급대수에 대해서는 고장 및 철거 등에 따른 가동중지 등을 감안하여 전년도 추정 소비량의 90%정도가 이용된 것으로 가정하고 있다. 이는 전수조사의 과정을 거치지 않는 이상 가동률이 얼마인지 철거 또는 중단대수가 얼마인지를 파악하기가 어렵기 때문이다. 그리고 당해 연도에 설치된 태양열 이용기기의 경우는 가동율을 50%로 가정하고, 표준원단위로는 한국에너지기술연구소가 1982년 연구보고서에서 제시한 집열판 1매당 연간 에너지 생산량 0.14TOE를 적용하여 추정하고 있다

나. 태양광 에너지

태양광 발전시스템의 보급실적을 에너지관리공단이 자금지원 자료를 중심으로 보급대수 및 발전용량이 파악되고 있다. 태양광 에너지 소비량은 태양광발전 시설용량(kWp)에 표준원단위를 곱하여 추정되고 있다. 태양광 에너지의 소비량은 다음과 같은 방식으로 추정되고 있다.

$$\begin{aligned} \text{태양광 이용량(TOE)} = & \{ \text{누적설치 발전용량(kWp)} \times \text{가동율(100\%)} \\ & + \text{금년설치 발전용량(kWp)} \times \text{가동율(50\%)} \} \\ & \times \text{표준원단위(1.3TOE/kWp)} \end{aligned}$$

여기서 기 설치된 태양광 발전시스템의 대해서는 100% 가동되고 있는 것으로 가정하고 당해연도에 신규로 설치된 태양광 발전시스템의 경우 50%가 가동되고 있는 것으로 가정하고 있다. 표준원단위로는 한국에너지기술연구소는 1986년에 제시한 바 있는 1.3TOE/kWp·년을 적용하고 있다.

<표 III-9> 국내 대체에너지 소비실적 집계방식(1997년)

구 분	산출근거 및 방법
태양열	- 에너지환산기준 : 공문태양(600-1705호) : 0.14TOE/집열판 1매·년 - 시설가동율 : 전년 이용실적 90% '97년 시설 가동율 50% 적용 - 태양열 이용량 : $32,016\text{TOE} \times 90\% + (238,976\text{매} \times 50\%) \times 0.14\text{TOE}/\text{매} \cdot \text{년} = 45,543\text{TOE}/\text{년}$
태양광	- 에너지환산기준 : 동자(연) 공문 태양 (600-1705호) : 1.3TOE/kW - 시설가동율 : '97년 시설가동율 50%적용 - 태양광 이용량 : $2,163\text{kW} + 410\text{kW} \times 0.5) \times 1.3\text{TOE}/\text{kW} \cdot \text{년} = 3078\text{TOE}/\text{년}$
대체탄	- 에너지환산기준 : 평균발열량 4,200kcal/kg, '97판매 실적치 기준 - 대체탄/ 착하탄 이용량 : $67,484\text{톤} \times 0.42\text{TOE}/\text{톤} = 28,343\text{TOE}/\text{년}$
메탄가스	- 에너지환산기준 : 전수조사 결과 101개소의 연간 총 증기발생량, 운전 부하율 80%, 보조연료 사용율 30%를 기준 - 메탄가스 이용량 : $0.13 \times 10^7\text{톤}/\text{년} \times 0.8 \times 0.7 \times 539,000\text{kcal}/\text{톤} \div 10^7\text{kcal}/\text{TOE} = 39,239 \text{ TOE}/\text{년}$
폐기물 에너지	- 에너지환산기준 : 전수조사 결과 446개소의 연간 총 증기발생량, 운전 부하율 80%, 보조연료 사용율 30%를 기준 - 폐기물 이용량 : $4.18 \times 10^7\text{톤}/\text{년} \times 0.8 \times 0.7 \times 539,000\text{kcal}/\text{톤} \div 10^7\text{kcal}/\text{TOE} = 1,261,691\text{TOE}/\text{년}$ - 폐유 정제 이용량(판매 실적치 기준) : $988,851\text{L}/\text{Dm} \times 200\text{L}/\text{Dm} \times 9,900\text{kcal}/\text{L} \div 10^7\text{kcal}/\text{TOE} = 195,792 \text{ TOE}$ 주) 발전소 판매비율 8% (15,663TOE)는 별도 계상 - 시멘트 킬른 폐타이어 이용량(실적치 기준) : $6,671\text{톤} \times 103\text{kg}/\text{톤} \times 7,650\text{kg}/\text{kcal} \div 10^7\text{kcal}/\text{TOE} = 5,103\text{TOE}$
소수력	- 에너지 환산기준 (실적치 기준) : 2500kcal/kWh - 소수력발전 이용량 : $89,803\text{MWh} \times 0.25\text{TOE}/\text{MWh} = 22,451\text{TOE}$
풍 력	- 에너지 환산기준(석유환산, 실적치 기준) : 2 500kcal/kWh - 풍력 발전 이용량 : $808\text{MWh} \times 0.25\text{TOE}/\text{MWh} = 202\text{TOE}$

자료 : 에너지관리공단, 『1997년도 신·재생에너지관련자료집』, 1998.

다. 바이오에너지

바이오에너지의 경우 바이오매스로부터 생산되어 이용되고 있는 대체탄과 메탄가스 이용량에 대해 통계가 집계되고 있다

대체탄의 경우는 공급량에 발열량을 곱하여 추정되고 있다. 대체탄 소비실적은 협회 및 판매업체를 통해 공급량에 대한 자료를 수집하고, 공급량에 평균 발열량 4,200kcal/kg을 적용하여 집계되고 있다. 대체탄중 왕겨탄의 경우는 해당업체의 모임인 한국대체신탄공업협동조합에서 공급량을 집계하여 발표하고 있다. 착화탄의 경우는 금와실업 등 판매업체를 대상으로 판매실적을 조사하여 집계하고 있다.

메탄가스의 이용시설의 보급대수는 에너지관리공단의 계속 사용검사를 받는 보일러를 기준

으로 집계되고 있다. 메탄가스의 에너지소비량은 메탄가스 이용시설을 보유하고 있는 101개 시설을 대상으로 보일러의 증기 발생량에 대해 전수 조사하고, 여기에 운전부하율 80%, 메탄가스 사용율 70%를 적용하여 메탄가스를 이용한 증기생산량을 추정하여 이를 메탄가스 소비량으로 집계되고 있다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{메탄가스 소비량(TOE)} = \{ \text{증기 발생량(톤)} \times \text{운전부하율(80\%)} \\ \times \text{메탄가스 이용율(70\%)} \} \times \text{증기 발} \\ \text{열량 (539,000kcal/톤)} / 10^7 \text{kcal/TOE}$$

라. 폐기물에너지

우리 나라에서 소비실적 통계가 집계되고 있는 폐기물 에너지로는 3종류 폐기물 소각열 이용(산업폐기물 및 생활쓰레기 소각), 폐유정제 및 페타이어 등이다.

폐기물 이용설비의 보급대수는 에너지관리공단의 계속 사용검사를 받는 보일러를 기준으로 시설통계가 집계되고 있다. 폐기물 이용시설 통계는 폐목재, 폐가스, 생활쓰레기 및 산업폐기물의 소각열 보일러 등을 포함한다. 폐기물 에너지 소비량은 다음과 같이 집계 되고 있다.

$$\text{폐기물 소비량(TOE)} = \{ \text{증기 발생량(톤)} \times \text{운전부하율(80\%)} \\ \times \text{폐기물 이용율(970\%)} \} \times \text{증기발열량} \\ \text{(539,000kcal/톤)} / 10^7 \text{kcal/TOE}$$

폐기물 소각열 이용량은 소각열 회수시설을 보유하고 있는 446개 시설에 대상으로 보일러의 증기 발생량을 전수조사하고, 여기에 운전부하율 80%, 보조연료 사용율 30%를 적용하여 에너지 이용량을 추정하고 있다. 그리고 증기 발열량으로 539,000kcal/톤가 적용되고 있다.

정제 연료유 소비량의 경우는 정제 연료유 판매량에 대한 통계자료를 수집하고 판매 실적량에 벵커-C유 발열량 9,900kcal/ℓ를 적용하여 집계하고 있다. 정제 연료유는 환경부에 의하여 폐유허유 예치금 관리 및 이에 따른 처리실적 보고 의무가 있는 유허유공업협회와 수거 및 처리계약을 체결한 업체에서 1개월 단위로 보고하고 있는 처리량을 확인하여 집계하고 있다.

페타이어 소비량의 경우는 연료로 사용된 페타이어의 사용량에 페타이어 발열량 7,650kcal/ℓ를 적용하여 집계하고 있다. 페타이어의 경우는 환경부에 의하여 페타이어 예치금 관리 및 이에 따른 처리실적 보고의 의무가 있는 대한타이어공업협회, 수거 및 처리계약을 체결한 업체에서 보고하는 ① 가공이용(재생타이어, 밧줄용 등) ② 원형이용(토목 공사, 진지구축용 등) ③ 열이용(시멘트킬른, 건류가스, 열분해)3가지 용도중 열이용 형태로 사용된 양을 집계하고 있다.

마. 소수력 및 풍력

소수력 발전량은 한국전력공사에서 전량을 구입하고 있어 자료수집이 용이하다. 따라서 한전이 소수력 발전소를 구입한 전력량을 기준으로 2,500kcal/kWh의 발열량을 적용하여 소비량을 집계하고 있다. 풍력발전의 경우는 국내에 설치된 보급대수가 적어 자료수집이 용이하다. 풍력발전의 소비통계는 발전량에 대한 통계를 수집하여 2,500kcal/kWh의 발열량을 적용하여 집계되고 있다. 따라서 현행 대체에너지 통계에서 소수력과 풍력발전의 에너지 소비통계가 가장 신뢰할수 있는 통계라고 할 수 있다.

3. 대체에너지 소비통계체제의 문제점

가. 대체에너지 통계의 특성

대체에너지의 소비실적 통계는 이용설비의 보급통계에 비하여 자료의 수집 및 통계를 작성하는데 상당한 시간과 노력이 요구될 뿐만 아니라 통계 자체에도 어느 정도 한계성 가지게 된다. 이는 재생에너지가 다음과 같은 일반적 특성을 가지고 있기 때문이다.

첫째로, 태양열 온수기, 독립형 태양발전 등 많은 재생에너지원들이 지역적으로 분산(dispersed)되어 이용되고 있다. 전력계통과 연계되어 있는 태양광 발전시스템의 경우는 비교적 이용자 정보뿐만 아니라 이용통계를 수집하기가 용이하다. 그러나 독립형 태양광 발전 시스템이나 태양열 온수기의 경우는 사용자의 파악이 어렵고 실제 이용실태에 대해 정확하게 조사한다는 것은 거의 불가능하다고 볼 수 있다.

둘째로, 재생에너지원은 다른 에너지원에 비하여 공급체계가 정립되지 못한 특징을 가지고 있다. 석유나 가스 등 기존 에너지원은 유통체계가 제한적이고 잘 정비되어 있어 재고변동을 합리적으로 가정할 경우 공급통계를 토대로 소비량을 추정하기가 용이하다. 그러나 재생에너지의 경우는 소비실태 조사를 통해서 추정할 수밖에 없다. 소비조사를 실시할 경우는 상당한 경비와 노력이 요구된다. 전수조사의 과정을 거치지 않는 이상 가동률이 얼마인지 철거 또는 중단대수가 얼마인지를 파악하기란 어렵다. 또한 전수조사를 실시하더라도 대체에너지의 생산량 및 소비량을 객관적으로 측정할 수 있는 측정기기의 부재는 조사 통계치의 신뢰성을 떨어지게 한다.

셋째로, 일부 재생에너지원은 비에너지 생산과정의 부산물로 생산되어 이용되고 있다. 따라서 이들 재생에너지원의 생산 및 이용자들이 일반적인 에너지공급 유통상에 있지 않아 파악하는데 어려움이 있다.

나. 대체에너지 통계체제의 문제점

현행 재생에너지 소비통계는 이용설비 보급실적을 토대로 추정하거나 일부는 소비실적 자료를 수집하여 작성되고 있다. 재생에너지원이 지역별로 광범위하게 분산되어 있고 이용자가 대부분 소규모 이용자이기 때문에 정보를 그것도 매년 수집하기란 쉬운 일이 아니다. 국내 재생에너지 소비통계는 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

첫째, 재생에너지원의 통계범위가 불명확하다. 우리 나라에서 대체에너지는 「대체에너지개발 및 이용·보급촉진법」 제2조에 석유, 석탄, 원자력, 천연가스가 아닌 에너지로써 태양에너지(태양열, 태양광발전), 바이오에너지, 풍력, 소수력, 연료전지, 석탄액화 및 가스화, 해양에너지, 폐기물에너지, 기타 대통령령으로 정하는 에너지(석탄혼합연료, 지열, 수소 등)로 정의하고 있다. 이 같은 정의는 기술개발 측면에서의 의미가 있으나 통계측면에서는 문제점이 있다. 현행 대체에너지 정의를 기준으로 통계를 작성할 경우 바이오매스중에서 직접 연료로 사용되는 신탄, 흑액 등이 포함되지 않는 문제가 발생한다. 또한 일부는 기존 통계와 중복되는 부문이 있다. 예를 들면 소수력의 경우는 기존 통계에서 수력으로 포함되어 집계되고 있다. 따라서 재생에너지의 통계범위를 명확하게 정립할 필요성이 있다.

둘째, 체계적인 자료수집 및 통계체제가 미흡하다. 특히 재생에너지원은 지역별로 광범위하게 확산되어 있고, 통계를 수집하는 기관이나 집계하는 시점에 따라 큰 차이가 발생하고 있다. 이는 대체에너지 이용기기의 객관적 측정기기의 부재로 공급량, 소비량 조사 통계치에 대한 신뢰도 낮기 때문이기도 하지만 체계적인 자료수집 및 통계체제가 미흡하기 때문이다. 현행 재생에너지 통계체제는 수급흐름을 제대로 파악하기가 어렵고, 또한 1차 에너지와 최종에너지 소비 개념이 혼재 되어 있다. 태양과 발전, 풍력, 소수력 등은 1차 에너지 기준으로 집계하고, 폐기물 에너지와 메탄가스 이용량은 유효 에너지 기준으로 집계 되고 있다. 이러한 혼선은 재생에너지 데이터 자료 집계 과정에서 전체 통계의 큰 영향을 주는 요인으로 작용하고 있다.

셋째로 일부 재생에너지원의 소비량 집계방식이 불합리적이다. 앞서서도 살펴본 바와 같이 일부 재생에너지원의 소비량의 표준원단위를 정해 놓고 이용설비의 누적 보급대수를 단순히 곱하는 방식으로 추정 되고 있다. 태양에너지(태양열 및 태양광)의 경우 이용량에 영향을 미치는 수평면 일사량 등의 요인(factor)을 고려하지 않고 단순 표준원단위로 계산되고 있다.

IV. 외국의 재생에너지 통계체제 분석

1. IEA(국제에너지기구)

가. 재생에너지의 통계분류 및 범위

IEA는 에너지수급발스표에서 재생에너지원의 통계를 ① 수력, ② 지열 및 태양에너지 등, ③ 가연성 재생 및 폐기물 등 3가지 항목으로 분류하여 표시하고 있다. 수력은 수력발전으로 생산한 전력의 에너지량을 나타내며, 수력발전에는 양수발전을 제외하고 있다. 지열 및 태양에너지 등 항목에는 지열에너지, 태양에너지, 풍력에너지, 조력 및 파력에너지 등을 포함한다. 그리고 가연성 재생 및 폐기물을 고체바이오매스/동물연료, 가스/액체바이오매스, 도시폐기물, 산업폐기물로 분류하고 있다.

고체바이오매스 및 동물연료는 열 또는 전력 생산을 위하여 직접 연소할 수 있는 바이오매스로 직접 연료로 사용되거나 연료, 전력 또는 열로 전화할 수 있는 모든 식물(plant matter)로 정의된다. 고체바이오매스 및 동물연료를 목재(wood), 식물쓰레기(vegetable waste), 흑액(Black Liquor), 기타 및 불특정(Other & Non-specified) 항목으로 분류하고 있다. 목재는 직접 채취한 원형 그대로 연료로 사용되는 목재와 토탄 생산을 위하여 사용한 목재를 포함한다. 식물쓰레기는 목재폐기물, 톱밥, 벧짚, 에너지식물과 기타 식물폐기물 등을 포함한다. 흑액은 제지산업의 공정과정에서 발생하는 부산물을 말한다. 이외의 고체바이오매스 및 동물연료는 기타 및 불특정 항목으로 분류하고 있다.

가스/액체바이오매스는 바이오매스와 폐기물의 혐기성 발효에 의해 생산되는 가스로 열 또는 전력을 생산하기 위한 연료로 사용된 바이오매스가스(매립지 가스, 슬러지 가스 등)와 바이오매스로부터 생산한 알콜 연료(에탄올 등) 등을 포함하고 있다. 도시고체폐기물은 자치정부에서 수거, 운반, 처리하고 있는 가정, 상업 및 공공기관(병원 포함) 부문에서 발생하는 고체 및 액체 폐기물 중에서 열 또는 전력을 생산하기 위하여 직접 소각되고 있는 폐기물을 말한다. 산업폐기물은 산업부문에서 발생하는 폐기물 중에서 열 또는 전력을 생산하기 위하여 직접 소각할 수 있는 고체 및 액체 폐기물을 말하며, 고체바이오매스 및 동물연료 통계항목에 보고되지 않은 것을 대상으로 하고 있다.

나. 재생에너지원의 1차 에너지 정의 및 계산방법

에너지발란스표 통계 작성시에는 수력, 지열에너지, 태양에너지, 풍력에너지 등의 에너지원에 대해서 1차 에너지 형태를 정의해야 한다. 예를 들면, 수력발전의 경우 1차 에너지 형태를 정의해야 한다. 예를 들면, 수력발전의 경우 1차 에너지 형태를 물의 운동에너지와 생산 전력중에 어느 것으로 볼 것인가 정의해야 한다. 그리고 태양발전의 경우도 입사 태양에너지량과 생산 전력중에서 1차 에너지의 형태를 정의하여야 한다. IEA는 생산과정에서 다단계의 변환과정을 거치는 경우 첫 번째 변환 에너지를 1차 에너지 형태로 정의하고 있다. 이 원칙을 적용할 경우, 결국은 재생에너지원의 1차에너지의 형태를 열과 전력중에서 선택하여야 한다. IEA는 지열에너지의 열과 전력생산, 태양에너지의 열생산의 경우는 열을 1차 에너지로 정의하고 있다. 그리고 수력발전, 풍력발전, 태양발전, 해양발전의 경우는 생산전력을 1차 에너지로 정의하고 있다.

<표 IV-1> 재생에너지원의 1차에너지 형태

1차 에너지 형태	재 생 에 너 지 원
열	- 태양에너지의 열생산, 지열에너지의 열 및 전력생산
전력	- 수력발전, 풍력발전, 태양발전, 해양에너지 발전

이들 에너지원의 1차 에너지량을 계산하는 방법으로 「부분대체방법」과 「실질에너지량방

법」이 사용되고 있다.

부분대체방법(Partial Substitution Method : PSM)은 수력, 원자력, 풍력, 지열, 태양발전 등의 경우 1차 에너지량을 기존 화력발전소에서 동일량의 전력을 생산하기 위하여 필요한 1차 에너지량으로 계산하는 방법이다. 여기서는 1차 에너지량 계산은 기존 화력발전소의 평균발전 효율을 이용하여 계산된다. 그러나 이 방법은 적절한 발전효율의 선택에 어려움이 있고, 또한 수력발전의 비중이 높은 국가의 경우에는 부적절한 단점을 가지고 있다. 따라서 IEA 등 대다수 국제기구들은 현재 이 방법을 적용하지 않고 있으며 실질에너지량방법을 이용하고 있다.

실질에너지량방법(Physical energy content method : PECM)은 1차 에너지생산량으로 1차 에너지의 실질에너지량을 적용하는 것이다. 이는 IEA가 채택하고 있는 1차 에너지 형태에 대한 정의와 부합된다. 예를 들면, IEA가 1차 에너지 형태로 열(heat)을 선택하고 있는 태양열시스템의 열생산과 지열에너지의 경우 생산된 열량이 1차 에너지량이다. 지열발전의 경우 연료로 투입한 지열의 열량을 알지 못할 경우 전력생산량을 토대로 발전효율을 적용하여 계산한다. 그러나 지열발전의 실질 열효율을 알지 못할 경우는 평균 열효율 10%을 적용하여 전력생산량을 토대로 계산할 것을 IEA는 권고하고 있다. 수력, 태양발전, 풍력발전 및 해양발전의 경우는 1차 에너지의 형태로 전력을 선택하고 있어 생산전력량의 실질에너지량이 1차 에너지량이 된다. 이는 이들 발전의 경우 발전효율이 100%라는 것을 의미함으로 발전량에 전력의 열량(1kWH=860kcal)을 곱하여 1차 에너지 열량을 계산한다.

다. 에너지발란스통계의 작성방법

에너지 수급통계는 한 국가가 경제활동을 영위하는데 사용하는 에너지의 공급과 소비의 흐름을 표시한다. 어떤 에너지는 1차 에너지로 생산, 수입되어 그대로 소비되고, 어떤 에너지는 전환되어 2차 에너지로 소비되는 에너지의 흐름구조를 가지고 있다. 에너지 수급통계는 에너지원별 통계와 총에너지 수급통계로 구분할 수 있다. 총 에너지 수급 통계는 에너지란스 통계로 작성하고 있다. 에너지발란스 통계는 <표 IV-2>에서 보는 바와 같이 열(列)에는 에너지원을 표시하고 행(行)으로는 공급, 전환, 소비에 이르기까지 에너지원의 흐름을 표현하고 있다.

IEA의 에너지발란스에 대해서 살펴보면, 에너지발란스에는 에너지 제품과 합계를 나타내는 11개의 열과 에너지의 수급을 표시하는 57개의 행이 있다.

<표 IV-2> IEA의 에너지балан스표

공급 및 소비	석탄	원유	석유제품	가스	원자력	수력	지열/태양열 등	가연성 재생 및 폐기물	천력	열	합계
1. 국내생산 2. 수입 3. 수출 4. 국제방카링 5. 재고변동											
6. 1차 공급											
7. 이 전 8. 통계오차 8. 전기발전 10. CHP발전 11. 열 생산 12. 가스제조 13. 석유정제 14. 석탄전환 15. 액 화 16. 기타전환 17. 자체소비 18. 배전손실											
19. 최종소비											
20. 산업부문 35 수송부문 43 기타부문 48 비에너지											
53. 전력생산 - 전기발전 - CHP발전 56. 열 생산 - CHP발전 - 열 생산											

자료 : IEA, Energy Balances of OECD Countries, 1998

에너지원별로 공급, 전환, 소비에 이르기까지 에너지원의 흐름을 표현하고 있는 행(行) 항목의 분류는 다음과 같은 기능을 가지고 있다.

1행: 국내생산은 석탄류, 원유, 석유제품, 가스류, 원자력, 수력, 지열 및 태양에너지 등, 가연성 재생/폐기물에너지, Heat Pump로부터 생산열 등 1차 에너지의 생산량을 의미한다. 생산량은 불순물을 제거한 생산량으로 계산한다.

2행 및 3행: 수출입은 통관과 관계없이 국경을 통과한 에너지량을 나타낸다.

4행: 국제방카링은 균함, 어선을 포함한 모든 국가의 해양 운항 선박에 인도한 양을 포함하며, 내륙, 연안 수송용 선박의 소비는 제외한다.

5행: 재고변동에서 재고의 감소는 표에서 양의 수치로서 나타내며 공급량에 가산한다, 재고의 증가는 음의 수치로서 공급량에서 공제한다.

6행: 1차 에너지 총공급량 = 국내생산 + 수입 - 수출 - 국제방카링 ± 재고변동으로 계산된다.

7행: 이전(transfers)항목에는 제품내 이전, 제품간 이전 및 재활용 제품(재처리 유탄유 등)량을 포함한다.

8행: 통계오차는 에너지원에 대해 설명되지 않는 통계적 차이를 포함하며, 환산계수의 다양성으로 발생하는 통계차이도 포함한다.

9행: 전기발전은 단지 전력만을 생산하는 발전소를 의미하며, 공공발전 및 자가발전 모두를 포함한다. 발전소에 CHP발전기가 포함되어 발전기 단위 기준으로 투입과 산출을 구별하기 어려울 경우는 전체 발전소를 CHP발전으로 분류한다. 전력 생산에 투입한 1차 및 2차 에너지의 연료소비량을 해당 列(1열~8열)에 음의 수치로 표시한다. 총발전량(발전소의 자가소비 포함)은 9열 "전력"란에 양의 수치로 표시한다. 그리고 전환손실은 11열 "합계"란에 음의 수치로 표시한다.

10행: CHP(열병합발전)는 전력과 열을 동시에 생산하는 발전소를 의미하며, 공공발전과 자가 발전을 포함한다. 투입한 1차 및 2차 연료소비량을 해당 列(1열~8열)에 음의 수치로 작성한다. 발전량은 9열 "전력"란에 양의 수치로 표시하고 열생산량은 10열 "열"란에 양의 수치로 작성한다. 그리고 전환손실은 11열 "합계"란에 음의 수치로 표시한다. 그러나 자가사업자의 열병합발전의 경우는 발전에 투입한 연료와 발전량은 10행에서 작성하나, 열의 경우는 외부에 판매한 열량과 이를 생산하기 위해 투입연료만 10행에 작성한다. 그리고 자가 열소비량과 투입연료는 해당 소비부문의 최종소비에서 작성하여야 한다.

11행: 열생산자는 단지 열만을 생산하여 제 3자에게 판매하고 있는 플랜트를 말하며, 공공 및 자가열생산 플랜트를 포함한다. 난방, 취사, 운수, 산업 공정용으로 가정, 산업, 상업부문 소비자에게 여러 에너지원으로부터 생산한 열의 수송, 배분시스템에 투입되는 1, 2차 연료를 1-8열에 표현한다.

12행: Gas Works에서 가스생산은 발전부와 유사하며 가스생산은 4열 천연가스에 양의 값으로, 투입연료는 1열(석탄), 3열(석유제품), 4열(천연가스투입)에 음의 수치로, 전환손실은 "합계"열에 표현한다.

13행: 석유정제는 정제업에 모든 1차 에너지 투입과 석유제품의 생산을 표현하며, 합계란은 정제업자의 자가소비 및 손실이 나타난다.

14행: 석탄전환은 석탄의 연료전환 즉, 고체연료가 코크스로, 코크스가 고로가스로 전환할 때 발생하는 손실을 표현한다.

15행: 액화는 석탄 및 천연가스의 액화 등 다양한 액화공정을 포함한다.

16행: 기타 전환은 언급하지 않은 이외의 전환(목탄생산 손실 등)과 석유화학부문에서 유입량(backflows)을 포함한다.

17행: 자가소비는 전환업자가 난방, 수송, 조명용으로 소비한 1, 2차 에너지를 음의 수치로 표현하며 석탄광, 발전소 자가소비(양수용 전력 포함), 석유 및 가스를 추출시 소비한 에너지(파이프라인 소비 포함)을 포함한다.

18행: 유통 및 배분손실은 가스 공급, 전력 송전 및 석탄 수송에서의 손실을 포함한다.

19행: 최종에너지 소비는 최종소비부문의 소비 합계이며 최종소비에서 석유화학 원료는 화학산업 아래 별도 항목으로 표기하고, 반면 용제, 유탄유, 아스팔트, 파라핀왁스 및 기타 석유제품과 같은 비에너지는 비에너지 소비와 최종에너지 소비합계에 포함한다.

20-34행: 산업부문은 표준산업분류로 세분하고, 산업부문의 수송에너지는 수송부문에 포함한다.

35-40행: 수송부문은 국제방카링을 제외한 수송용 연료로서 산업의 수송에너지를 포함하여 도로, 철도, 내국 항해(소형배, 어선, 방카가 아닌 연안 선박 포함) 및 기타 수송용을 포함한다.

41-45행: 기타부문은 농업, 가정, 상업, 공공 서비스와 기타 소비를 포함하나 많은 국가에서는 가정용과 상업, 공공서비스 소비를 구분할수 없다. 농업과 가정부문 소비구분이 어려운 경우에 가정부문소비에 농업, 상업, 공공서비스 소비를 포함하고, 또한 기타에는 군용을 포함한다.

46-49행: 비에너지소비에는 용제, 파라핀왁스, 유탄유, 아스팔트 및 기타석유제품을 포함하

며, 이들 제품소비를 부문별로 작성한다. 상기 제품은 비에너지 용도로 사용된다고 볼 수 있으나, 석유 코크스는 비에너지로 사용된 근거가 있을 때만 이에 포함하고, 그렇지 않을 경우에는 에너지로 표현한다. 석탄의 비에너지 용도는 카본블랙이나 전극 등이 있다. 단, 석유화학산업의 원료용으로 사용된 납사는 등 석유제품은 23행의 원료용에 포함한다.

50-52행: 연료 종류별 발전량을 전기발전 및 CHP발전으로 구분하여 작성한다.

48-51行: 비에너지 소비는 용제, 윤활유, 아스팔트, 왁스 및 기타 석유제품의 소비를 포함한다. 비에너지 소비 항목아래 부문별로 구분하며 최종에너지 합계에도 포함한다. 석유코크스는 비에너지용으로 소비되었을 때만 포함하고 그 외는 산업 및 타부문 소비로 표현한다. 석탄의 비에너지 소비에는 카본블랙, 흑연, 전극 등 원료용을 포함한다.

52-54行: 발전량은 원자력, 수력(양수발전 제외), 지열발전소 뿐 아니라 화력 발전소에서 생산한 전력량을 전기발전 및 CHP발전으로 구분한다.

54-57行: 열생산량은 CHP, 열생산자로 구분되는 발전소의 생산열량을 말하며 TJ로 표현한다.

1) 단위

기본단위로 표시한 기초자료를 공통단위로서 열량과 동력단위로 표현할 수 있으며, calories, joules, British thermal units 및 kWh로 나타내고 있다. IEA는 에너지발란스에서 공통단위로 석유환산톤(ton of oil equivalent:TOE)단위를 사용하고 있다. IEA 회원국이 TOE단위를 사용하는 것은 정책적 요소로서 석유의 중요성 때문이며, 1 TOE는 10^7 kcal로 정의하고 있다. 이것은 원유의 평균 열량에 매우 가까운 열량이며, 계산용과 표현용 단위를 별도 처리하지 않으면서 일치성을 가지기 때문에 편리한 단위이다. 따라서 무게(metric) 단위가 배럴과 같은 부피(non-metric) 단위보다 이점이 있다. 기본단위는 각 에너지의 순열량에 준하여 TOE로 전환한다. 木材 1톤은 원료탄 1톤보다 상당히 적은 열량을 함유한다는 것은 명백하다. 결과적으로 원료탄은 상대적으로 높은 계수가 적용되어야 한다. 각 연료는 원칙적으로 순발열량이 서로 다르다.

2) 발란스와 순발열량

IEA 에너지발란스에서는 순발열량으로 표현하고 있다. 순발열량은 기존 기술을 이용한 연소과정상 어떤 연료가 방출할 수 있는 최대 열량이다. 순발열량과 총발열량의 차이는 연소과정 동안 응축으로 빼앗긴 열량에 해당하며, 열손실은 에너지가 가지고 있는 수소와 수분의 함양에 의존한다. 순열량과 총열량의 차이는 석탄이 3~10%, 석유가 7~9%, 가스가 8~10%, 사탕수수 등(bagasse) 목재 및 기타 연료가 10~40%, 전력은 차이가 없다. 동일 연료의 수분의 함량도 국별로 상당한 차이가 있다.

3) 손실

발란스표에서는 최종소비에서 발생하는 손실은 고려하지 않고 그 이전에 발생한 (예시: 생산 및 추출, 전환, 송전, 배분등)손실만을 나타내고 있다. 최종소비에서 연료 연소기의 효율은 고려하지 않고 있는데, 예를 들면 가정용 석유난방기기는 60%의 효율수준을 가질 수 있으며, 반면 전기축열기는 95~100% 효율을 가지고 히터펌프는 100%에 가까운 효율을 지니고 있다. 그러나 이러한 효율지표가 반드시 유효열량에 대한 지침이 되는 것은 아니다. 예를 들면 가스기기는 통상 필요시 열을 전달하는 반면, 전기축열기 및 요리용 기기는 이용자가 열을 완전히 조절할 수 없는 열을 방출할 수가 있다.

에너지 수요와 절약에 대한 분석시 최종소비 손실을 고려한 즉 유효 에너지를 고려하는 것이 가장 이상적이다. 이러한 목적을 위해서 특정년도의 조사가 이용되고 있지만, 이에 대한 통계적 시계열을 유지하기에는 예산이 많이 소요된다.

송전 및 배분 손실은 에너지 발란스에서 전환 및 에너지부문에 나타낸다. 전환손실, 즉 전환부문에서 연료투입량과 산출량의 차이를 전환 과정상 합계열(전력, 열)이나 에너지원의 해당

열에 나타낸다. 전력 및 열생산의 경우 전환손실의 계산은 전력 및 열의 생산열량에서 투입 열량을 차감한 부분이 된다. 이때 투입열량 계산시에는 투입연료의 고유열량으로, 전력 생산은 $1\text{kwh} = 860\text{kcal}$ 를 적용하여 생산열량을 계산한다.

2. 유럽연합(EU)

유럽 각국의 에너지정책은 70년대 초부터 80년대 초반까지는 에너지 안정확보 중점 두었으나 80년대 중반부터는 환경문제가 대두됨에 따라 에너지 안보와 환경보호의 조화에 중점을 두고 있다. 유럽연합은 재생에너지기술의 지원사업을 1978년부터 본격적으로 추진하기 시작하였으며 재생에너지의 보급촉진은 80년대 후반들어 본격적으로 추진되고 있다. 최근 유럽연합은 현재 6% 수준인 재생에너지를 2010년까지 1차 에너지소비량의 12%까지 확대한다는 계획을 수립하였다. 이는 환경문제에 효율적으로 대처하고 지금까지 축적한 기술력을 바탕으로 에너지환경 기술시장을 선점하겠다는 의도를 내재하고 있다.

재생에너지의 보급 촉진정책으로 유럽연합과 회원국에 있어 전체 에너지수급에 대한 재생에너지의 기여도를 평가하기 위해서는 재생에너지 통계체제의 구축 필요성이 제기되었다. 이에 따라 EU 집행위원회는 재생에너지의 보급 추진상황을 모니터링하기 위하여 유럽연합통계국(EUROSTAT)으로 하여금 회원국의 협조를 받아 재생에너지의 통계체제를 구축하도록 하였다. EUROSTAT는 재생에너지의 통계자료 수집 및 작성방법, 에너지발란스표 작성방법 등 재생에너지 통계체제를 정립하고 1990년부터 적용하고 있다. 현재 유럽연합통계국(EUROSTAT)은 회원국의 협조를 받아 재생에너지의 통계를 수집하여 에너지발란스 통계에 포함시켜 작성하고 있다. 유럽연합의 재생에너지 통계체제를 살펴보면 다음과 같다.

가. 재생에너지의 통계분류 및 범위

EU는 재생에너지의 통계대상을 <표 IV-3>에서 보는 바와 같이 수력, 태양에너지, 풍력에너지, 지열에너지, 파력, 조력, 바이오매스/폐기물로 분류하고 있다. 재생에너지원(renewable energy sources)의 종류는 일부에 불과하지만 그 활용기술은 매우 다양하다. 그러나 많은 활용기술들은 아직 연구개발 중으로 상업화 단계에는 이르지 못하고 있다.

<표 IV-3> 재생에너지원 통계분류 및 활용기술

재생에너지원	활용기술
수력	1) 수력발전 - 대규모(10MW 이상), 소규모(1~10MW 이상), 미니(1MW 이하)
풍력에너지	1) 풍력발전(계통연계형 풍력발전)
태양에너지	1) 태양열 집열기(가정용 온수, 수영장 난방) 2) 태양광 발전(계통연계형 태양광발전)
지열에너지	1) 계통연계 지열발전, 지열이용(지역난방, 농업용 온수)
파력/조력	1) 파력 및 조력 발전(계통연계형 지열발전)
히트펌프	1) 공기, 지하, 지하수, 지표수 이용
바이오매스 및 폐기물	1) 직접연소 - 도시고체폐기물 - 계통연계 소각로, 지역난방플랜트 연계 전력/열 생산 - 목재작물/목재폐기물/기타 고체폐기물 - 가정용 목재연소 열생산, 지역난방플랜트 열생산, 산업용 열생산, 공공용 및 자급용 전력생산 2) 혐기발효(열/전력 생산용 가스생산) - 매립지 폐기물, 하수오니, 동물오니, 농산업 폐기물 3) 바이오연료 - 설탕/녹말 작물(연료 첨가제 및 대체용 에탄올 생산) - 식물성 기름작물(디젤오일 대체품 생산)

따라서 EU는 향후 에너지공급에 크게 기여할 수 있는 기술로 현재 경제적으로 활용이 가능하거나 근접한 기술만을 통계대상으로 하고 있다. 주변에너지(공기, 지하, 지하수, 지표수 등)를 이용하는 히트펌프에 대해서는 논란이 있었지만 활용측면에서 재생에너지원의 대상에 포함시키고 있다. 또한 재생에너지원으로서 수력의 경우 소수력 뿐만 아니라 중·대수력 전을 모두 포함하고 있다.

나. 1차 에너지 생산량 계산방법

EUROSRAT는 에너지수급발란스 통계작성에서 재생에너지통계(태양에너지, 풍력에너지, 바이오매스 등)를 통계자료 부족 및 에너지 이용도가 낮아 제외하여 왔다. 그러나 재생에너지 통계를 에너지원별 1차 에너지생산량을 기준으로 하고 있는 에너지발란스 통계에 반영하기 위해서 재생에너지원별 1차 에너지 계산방법을 정립하여 회원국 모두에게 적용할 수 있는 단일방안으로 제시하였다. 재생에너지원의 1차에너지 정의 및 계산방법은 IEA와 동일하다. 현재 EUROSRAT가 사용하고 있는 재생에너지별로 1차 에너지 계산방법은 살펴보면 다음

과 같다.

- 수력, 풍력, 태양광발전 : 1차 에너지생산량(TJ)은 총발전량으로 $1\text{kWh} = 3,600\text{KJ}(1\text{kWh} = 860\text{kcal})$ 환산기준으로 계산한다.
- 태양열집열기 : 1차 에너지생산량(TJ)은 열전달 유체에 전달되는 열량으로 입사 태양에너지에서 광학 및 집열기 손실을 감(-)하여 계산한다.
- Heat Pump : 1차 에너지생산량은 실제 이용할 수 있는 열량으로 주변에서 제거된 열량에서 기기 자체에서 소비된 에너지를 제한 값이다.
- 바이오매스/폐기물 : 도시고체폐기물과 목재/목재폐기물/기타 고체폐기물의 경우 1차 에너지소비량은 연소후 생산 열량(연료의 NCV에 해당)으로 한다. 습윤성 폐기물의 혐기발효에서 1차 에너지소비량은 생산된 바이오가스의 열량 (NCV)으로 한다. 바이오연료의 경우 1차 에너지소비량은 연료의 열량에 해당하는 값으로 한다.

다. 재생에너지원 통계 작성체계

유럽연합통계국(EUROSTAT)은 재생에너지의 통계체계를 살펴보면 <표 IV-4>와 같이 정리할 수 있다. 유럽연합의 재생에너지 통계체제는 유럽공동체 및 회원국의 정책에 따른 공급영향을 정확하게 평가할 수 있도록 일련의 종합적인 통계자료를 포함하고 있다.이렇게 함으로써 에너지공급의 안정화 및 다원화에 대한 평가뿐만 아니라 개별 재생에너지 이용기술이 어느 정도 보급되고 있는지 적시에 판단하고, 추가적인 정책을 수립할 수 있도록 하고 있다. 그리고 동 통계체제는 전회원국에 걸쳐 일관성 있게 통계를 작성하고 상호비교의 목적에 부합되도록 하고 있다.

또한 재생에너지의 생산 및 소비의 성격이 다양한 점을 감안하여 각원별 활용기술의 파악을 주요 생산자 및 소비자를 중심으로 적은 비용으로 효과적으로 이루어 질 수 있도록 통계대상을 최소한으로 줄였다. 회원국들이 계통연계시스템에 중점을 두고 있는 점을 감안하여 통계대상으로 계통연계형만을 대상으로 하고 있다. 따라서 독립형 수력발전, 풍력 및 소규모 태양광발전 등은 통계에서 포함시키지 않고 있다. 또한 투자비, 에너지생산가격 등 경제지표 등도 통계에 포함시키지 않고 있다.

EUROSTAT는 통계수집에 소요되는 비용이 재생에너지원별로 차이가 있으므로 동일기술이라도 활용부문에 따라 자료수집의 주기를 달리 할 것을 권고하고 있다. 그리고 통계자료를 일차로 생산자 및 이용자로부터 수집하고, 이 같은 자료수집이 어려울 경우 전문협회 및 전문가로부터 필요자료를 입수하여 추정할 것을 권고하고 있다.

<표 IV-4> 재생에너지원별 통계체계

구 분		통 계	
수 력	1) 계통연계형 대규모 (10MW 이상) 수력발전		- 플랜트수 - 설치용량(MW) - Gross/Net 발전량(MWh)
	2) 계통연계형 소규모 (10MW 이상) 수력발전		- 플랜트수 - 설치용량(MW) - Gross/Net 발전량(MWh)
	3) 계통연계형 미니 (1MW 이하) 수력발전		- 플랜트수 - 설치용량(MW) - Gross/Net 발전량(MWh)
풍력에너지	1) 계통연계형 풍력발전		- 플랜트수 - 설치용량(MW) - Gross/Net 발전량(MWh)
태양에너지	1) 태양열집열기(가정용 온수, 수영장 난방)		- 집열기 면적(m ²) - 총생산열량(TJ) - 가정온수용 생산열량분(TJ)
	2) 계통연계형 태양광발전		- 플랜트수 - 설치용량(MW) · 결정실리콘모듈(kWp) · 박막모듈(kWp) - Gross/Net 발전량(MWh)
지열에너지	1) 계통연계형 지열발전		- 플랜트수 - 설치용량(MW) - 투입열량(TJ) - Gross/Net 발전량(MWh)
	2) 지열이용(지역난방, 농업용 온수)		- 설치용량(MW) - 생산열량(MW) · 산업이용열량(TJ) · 가정이용열량(TJ)
	직접연소	① 도시고체 폐기물	- 계통연계 소각로 및 지역난방플랜트 연계전력/열 생산 - 플랜트수 - 소각 MSW의 양(톤,TJ) - Gross/Net 발전량(MWh) - 열 생산량(TJ)

<표 IV-4> 에서 계속

구 분		통 계		
바이오매스 및 폐기물	1) 직접연소	② 목재 · 목재 폐기물 · 기타 고체 폐기물	- 가정용 목재연소	- 소비 목재량(톤, TJ)
			- 지역난방 열생산	- 플랜트수 - 설치용량(MWth) - 연료 소비량(톤, TJ) - 열생산량(TJ)
			- 산업용 현장 열생산	상 동
			-공공용 자금용 전력생산	- 계통연계 전력생산
	- 계통연계 열병합발전	- 플랜트수 - 설치용량(MWth) - 연료 소비량(톤, TJ) - Gross/Net 발전량(MWh) - 열생산량(TJ) · 제3자 판매분(TJ)		
	혐기발효	① 매립지 폐기물 바이오가스 생산 (열/전력 생산용 가스 생산)	- 생산가스량(TJ) - Gross/Net 발전량(MWh) - 열생산량(TJ)	
			② 하수오니 바이오가스 생산 (열/전력 생산용 가스 생산)	- 생산가스량(TJ) - 발효용 자체가스소비(TJ) - 가스 판매량(TJ) - Gross/Net 발전량(MWh) - 열생산량(TJ)
			③ 동물오니 바이오가스 생산 (열/전력 생산용 가스 생산)	상 동
			④ 농산업 폐기물 바이오가스 생산 (열/전력 생산용 가스 생산)	- 생산가스량(TJ) - 발효용 자체가스소비(TJ) - Gross/Net 발전량(MWh) - 열생산량(TJ)
	바이오연료	① 설탕/논밭 작물로부터 연료 첨가제 및 대체용 에탄올 생산	- 플랜트수 - 설치용량(MWth) - 생산량(톤) - 수입/수출(톤) - 재고변동(톤)	
② 식물성 기름작물로부터 디젤오일 대체품 생산			상 동	

라. 자료수집 및 추정방법

재생에너지원은 주로 지방 및 농촌의 에너지원으로 이용되기 때문에 기존 에너지와 달리 비정형적인 방법으로 이용되고 있는 경우가 많아 통계자료를 비용 효과적으로 수집하는데 어려움이 있다. 각 회원국의 자료수집 방법은 재생에너지 개발현황, 정책 우선순위, 기존의 통계체제(가계 및 산업체 조사 등), 특히 재생에너지관련 통계체제(공사립관련기관, 협회)의 유무에 따라 상당한 차이를 보이고 있다. 따라서 유럽연합통계국(EUROSTAT)는 재생에너지의 통계에 대한 자료수집 및 추정방법을 작성하여 회원국에 권고하고 있다. 이는 각 회원국에게 의무적으로 적용토록 하기 위한 것이 아니라 통계자료를 보다 경제적이며 효과적으로 수집할 수 있도록 하기 위한 것이다. 재생에너지원별 통계 자료의 수집 및 추정방법을 살펴보면 다음과 같다.

1) 수력

수력 발전량 통계는 기존의 통계 체제로 전력회사, 계통선 운전업자 및 송전회사 등으로부터 자료수집이 가능하나 일부 통계자료의 수집이 어려울 경우 발전량을 아래와 같은 계산방식으로 추정한다.

$$E_H = P_H \times LF$$

E_H : 수력 발전량(MWh)
 P_H : Threshold 이하의 설치용량(MW)
 LF : 부하율(%)

부하율(연간발전량/설비용량)은 설치용량과 발전량에 관한 자료를 갖고 있는 대규모 수력발전소를 기준으로 추정한다. 또는 자료가 없을 경우는 각국별 평균치를 적용한다.

2) 풍력

풍력 발전량에 관한 통계자료의 입수가 어려울 경우 설치용량을 기준으로 발전량은 아래와 같은 계산방식으로 추정한다. 부하율의 경우 지역별 풍속의 차이 및 시스템 규모에 따른 기술상 특정수치를 감안하여야 한다.

$$E_w = P_w \times LF$$

E_w : 풍력 발전량(MWh)
 P_w : 설치용량(MW)
 LF : 부하율(%)

3) 태양에너지

태양열온수기(집열기)의 경우는 열생산량을 집열기 설치면적에 일사량과 시스템효율을 적용하여 다음과 같이 추정한다.

$$E_s = S \times I_m \times E$$

E_s : 열생산량(TJ)
 S : 집열기 설치면적(m^2)
 I_m : 평균 일사량($MJ/m^2/year$)
 E : 시스템효율(광학 및 집열기 손실 고려 값)

여기서 일사량은 입지와 관련한 특정계수이지만 각국의 평균치를 적용하여도 무방하다. 태양광 발전의 발전량은 통계자료의 입수가 어려울 경우 설치용량을 기준으로 아래와 같은 계

산방식으로 추정한다.

$$E_P = P_P \times LF$$

E_P : 태양광 발전량(MWh)

P_P : 설치용량(MW)

LF : 부하율(%)

4) 지열

계통연계 지열발전의 경우는 기존의 방법으로 자료수집이 가능하다. 전력회사 및 플랜트 운전업자들이 주요 통계자료를 제공하고 있다. 투입열량은 직접 측정하기 어렵지만 플랜트의 효율 및 실제 발전량을 토대로 추정할 수 있다. 또한 지역난방 및 열이용의 경우는 플랜트의 운전업자로부터 필요자료를 수집할 수 있다. 지열의 직접 이용할 경우 시설의 기술적 특성치를 토대로 다음과 같이 추정한다.

$$E_G = W \times h_i \times T$$

E_G : 열생산량(TJ)

W : Well delivery(kg/h)

h_i : 생산과 reinjection borehole사이의 엔탈피 차이(KJ/kg)

T : 연간가동시간(시간)

기술적 특성치는 각국의 관련기관이나 전문협회 및 관련 농업단체로부터 제공된 기술자료 입수하여 이용한다.

5) 히트펌프

트펌프는 유럽국가에서 광범위하게 이용되고 있다. 그러나 열생산에 관한 통계자료를 수집하기가 어려울 경우 설치용량을 기준으로 다음과 같이 추정한다.

$$E_{HP} = P \times COP \times LF$$

E_{HP} : 열생산량(TJ)

P : 설치용량(MW)

COP : 성능계수

LF : 부하율(%)

성능지수는 기기의 규모에 따른 히트펌프의 특성치로 대형시설의 값을 적용한다. 부하율은 시설이 설치된 입지에 따라 달라진다. 일반적으로 히트펌프에 관한 자료(유형별 설치용량, 규모, 활용분야 등)는 전문협회에서 완벽하게 구비하고 있으므로 이를 활용한다. 주변으로부터 제거된 열에 해당하는 생산열량은 다음과 같이 추정한다.

$$E = P \times (COP-1) \times LF$$

6) 바이오매스

도시고체폐기물을 이용한 계통연계 소각로나 지역난방플랜트 연계 전력/열 생산, 목재작물/목재폐기물/기타 고체폐기물 이용한 열생산과 공공용 및 자급용 전력생산의 경우는 대상 플랜트 수가 적기 때문에 운전업자로부터 직접 자료를 입수하여 작성한다. 또한 기존의 방법으로 연료소비량, 발전량, 열생산량 및 기기에 관한 자료의 조사가 가능하다.

목재작물/목재폐기물/기타 고체폐기물을 이용한 가정용 열생산의 경우는 회원국의 재생에너지 지원중 중요한 역할을 담당하고 있다. 가정용 연소 목재중 상거래에 의한 전체의 1/3에 불

과하기 때문에 실태조사가 필수적이다. EUROSTAT가 주기적으로 "가정부문 에너지조사"를 실시하고 있어 이를 토대로 추정하고 있다.

목재작물/목재폐기물/기타 고체폐기물을 이용한 산업현장 열생산에 관한 통계자료는 제조업체, 특히 목재 및 제지산업의 에너지소비조사에 이용되는 조사표를 보완하여 입수가 가능하다.

매립지폐기물과 하수오니 혐기발효(열/전력용 가스생산)의 통계자료는 열생산량과 발전량에 관한 자료는 플랜트 운전업자로부터 입수할 수 있고, 가스생산량은 설치시설의 전력/열생산에 관한 명목 성능지수를 이용하여 추정할 수 있다. 하수오니와 관련되는 자료입수가 불가능할 경우 발효용 가스소비량을 다음과 같이 추정한다.

$$E_g = I_{eg} \times M_{pc} \times H_m$$

E_g : 가스 소비량(TJ)

I_{eg} : 시설에 관련되는 주민수

M_{pc} : 1인당 연간 습윤성 폐기물량(kg/year)

H_m : 습윤성 폐기물 kg당 발효공정에 소요되는 열량

동물오니 혐기발효(열/전력용 가스생산) : 여러 개의 농장을 관할하는 대규모 플랜트의 경우 운전업자로부터 자료를 직접 입수할 수 있다. 개인적으로 운영하는 소규모 시스템의 경우는 가축당 이론 가스생산량을 토대로 추정한다.

농산업폐기물 혐기발효(열/전력용 가스생산)의 통계자료는 산업체 에너지소비 조사시스템을 통해 필요 자료의 입수가 가능하다. 그리고 바이오 연료(설탕 녹말 작물, 식물성 기름 작물)의 통계자료도 플랜트 및 외부 상거래 내역으로부터 자료의 입수가 가능하다.

통계자료 수집은 관련 기관이나 시설업자를 대상으로 조사서 발송하여 수집하고 이 방법이 여의치 않을 경우 기술전문가들의 추정을 통하여 작성한다. 설문조사시 에너지통계에 대한 전문지식이 없는 개인을 대상으로 할 경우 질문서 내용을 직설적으로 작성하고 필요로 하는 자료에 대해 명확한 설명이 포함되어야 한다. 개별 시설운영자로부터 자료 입수가 어려워 전문가의 추정에 의존할 경우 전문가는 관련분야의 전문가이어야 하며 추정내용에 대해 다른 나라의 전문가들로부터 인정을 받아야 한다. 그리고 추정내용은 주기적으로 보완한다. 자료 수집시는 필요자료가 모두 포함되어야 한다. 특히 공정내에서 에너지가 사용되는 부분, 특정단위(톤, 리터 등)의 투입연료량과 열량값, 기존 에너지와 혼합이용의 경우는 추후 재생에너지의 공급분을 추정할 수 있도록 모든 에너지에 관한 자료를 파악하여야 한다.

3. 미국

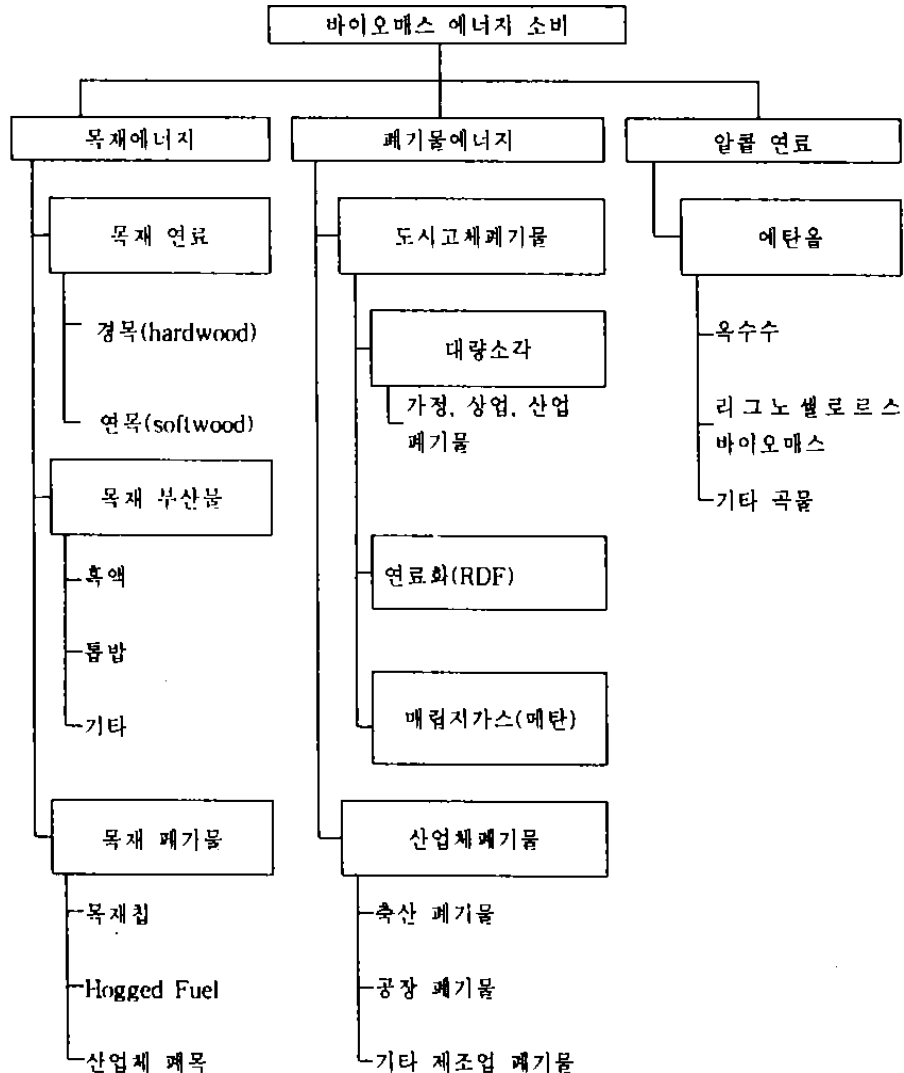
가. 재생에너지의 통계분류 및 범위

미국의 재생에너지 통계는 에너지부(DOE) 산하의 에너지정보국(EIA)에서 담당하고 있다. EIA는 재생에너지를 ① 수력(양수발전 제외), ② 지열에너지, ③ 태양에너지(태양열, 태양광), ④ 풍력에너지, ⑤ 바이오매스(목재, 목재폐기물, 목재부산물, 토탄, 도시고체폐기물, 농업폐기물, 볏짚, 폐타이어, 매립지가스, 어류기름, 기타 폐기물 등 포함)로 분류하여 통계를 집계하고 있다.

바이오매스의 경우는 [그림 IV-1]에서 보는 바와 같이 목재에너지, 폐기물에너지, 알콜연료로 분류하고 있다. 그러나 EIA는 바이오매스중 농업폐기물, 분뇨 및 하수 처리시설로부터 바이오매스 가스의 생산 및 이용 통계는 데이터의 신뢰성 문제로 포함시키지 않고 있다. 목재에너지는 목재연료(wood fuel), 목재부산물(wood by products), 목재폐기물(wood waste) 등을 포함한다. 목재연료로는 원목과 신탄등이 있으며 원목은 주로 산업 및 발전부문에서 열생산 및 발전용 연료로 이용되고 있고, 신탄은 가정 및 상업부문에서 난방 및 취사용으로 이용되고 있다. 목재부산물은 제지공정에서 부산물로 생산되는 흑액(black liquor), 톱밥, 기타 등을 포함하고 있다. 목재폐기물은 목재 칩 (wood chip), hogged 연료 (폐목을 잘게 부

수어 큰 덩어리), 산업체 폐목으로 구성되어있다

[그림 IV-1] EIA의 바이오매스 에너지 소비통계 분류체계



자료 : 1) EIA, Estimates of U.S. Biomass Energy Consumption 1992, 1994. 5
 2) EIA, Renewable Energy Annual 1997, 1998. 3

폐기물에너지는 도시고체폐기물과 산업체폐기물로 구분된다. 도시고체폐기물의 에너지는 가정, 상업 및 산업부문에서 발생하는 쓰레기를 대량소각, 고체연료화(Reuse-Derived Fuel : RDF) 및 매립지(landfill)로부터 메탄가스 회수를 포함하고 있다. 대량소각은 쓰레기를 단순히 소각 처리하여, 이 과정에서 발생하는 열을 스팀 및 전력 생산용으로 이용하는 것이다. 또한 RDF는 일반 보일러 및 RDF 보일러의 고체연료로 사용할 수 있도록 쓰레기로부터 가연성 물질을 선별, 회수, 압축 성형하여 발열량이 높고, 제품의 품질이 균일한 고체연료를 생산하는 것이다. 그리고 도시폐기물 매립지에서는 폐기물 중 생분해성 물질이 혐기성 박테리아에 의해 분해 반응으로 생물학적 변화를 일으켜, CH₄ 와 CO₂를 주요성분으로 하는 가스가 발생하는데, 이들 매립지 가스를 회수하여 에너지로 이용하는 것이다. 산업체폐기물은 축산폐기물, 공장폐기물, 기타 제조업 쓰레기를 포함하고 있다.

알콜 연료는 원유, 천연가스, 석탄 등 화석연료 뿐만 아니라 바이오매스를 원료(feedstocks)

로 사용하여 여러 가지 전환공정을 통해서 생산된다. 이와 같이 바이오매스로부터 추출된 알콜 연료는 재생에너지원으로 분류된다. 미국은 옥수수, 리그노셀룰로스(ligocellulose) 바이오매스(및 기타 곡물로부터 알콜연료(에탄올)를 생산하고 있다.

나. 재생에너지 소비통계 수집체제

미국의 EIA는 재생에너지 통계정보를 <표 IV-5>에서 보는 바와 같이 다양한 자료원으로부터 수집하고 있다. 재생에너지원의 전력생산 통계정보는 보고(Report)체계를 통해 수집하고 있다. 반면 재생에너지의 열생산 통계정보는 조사(Survey)를 통해 수집되고 있다.

재생에너지원의 전력통계는 전력회사(Utility)와 기타 전력생산자(Nonutility)들의 보고자료를 토대로 작성되고 있다. 전력회사(Utility)들은 "월간 발전소 보고서(Monthly Power Plant Report:EIA-759)", "연간 전력회사 보고서(Annual Electric Utility Report: EIA-861)", "연간 발전기보고서(Annual Electric Generator Report: EIA-860)를 작성하여 EIA에 보고하고 있다. 그리고 독립계 전력 생산자(IPP)뿐만 아니라 1MW이상의 시설용량을 보유하고 있는 기타 전력생산자(Nonutility)들도 매년 "연간 기타 전력생산자 보고서(Annual Nonutility Power Producer Report: EIA-867)"를 작성하여 보고하고 있다. EIA는 전력생산업자들의 보고자료를 토대로 재생에너지원별 설비용량, 전력생산량등의 통계를 작성하고 있으나 1MW 이하의 발전설비에 관한 통계는 집계되지 못하고 있는 문제점을 가지고 있다.

재생에너지원의 열생산 통계는 정기적으로 실시되고 있는 에너지소비실태조사를 통해 수집되고 있다. EIA는 3년마다 가정부문에너지소비조사(EIA-457A/H), 제조업체에너지소비조사(EIA-846A/C), 상업빌딩에너지소비조사(EIA-871A/F)를 실시하고 있으며, 이들 조사를 통해 목재에너지 등 바이오매스 소비통계 자료가 수집되고 있다. 또한 재생에너지로는 유일하게 태양에너지에 대해 공급실적 조사가 실시되고 있다. EIA는 매년 태양열집열기 제조업체 및 수출입업자를 대상으로 집열기의 종류별, 지역별 시장별 공급실적에 대해 전수조사를 실시하고 있다. 또한 태양광모듈 공급실적에 대해서도 매년 제조업체 및 수출입업체를 대상으로 종류별, 지역별, 시장별 공급실적에 대해 전수조사를 실시하고 있다.

<표 IV-5> 재생에너지관련 통계 SOURCES

조 사	조 사 개 요
1. 연간 태양열집열기 제조업체조사 (Form EIA-63A)	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지원 : 태양에너지 - 조사주기 : 매년 - 조사대상 : 제조업체 및 수입업자 - 조사내용 : 태양열집열기의 종류별, 지역별, 시장별 공급량 등에 대한 데이터 수집
2. 연간 태양광모듈/셀 제조업체조사 (Form EIA-63B)	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지원 : 태양에너지 - 조사주기 : 매년 - 조사대상 : 제조업체 및 수입업자 - 조사내용 : 태양광모듈/셀의 종류별, 지역별, 시장별 공급량 등에 관한 데이터 수집
3. 가정부문에너지소비조사 (Form EIA-457A/H)	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지원 : 석탄 및 석탄제품, 전기, 천연가스, 석유 및 석유제품, 목재 등 - 조사주기 : 3년 - 조사대상 : 전력회사, 천연가스유통업자, 석유유통업자, 비영리기관, 개인/가구 - 보고요구 : 자율적 및 강제적 - 조사내용 : 에너지공급업자로부터 에너지소비 및 에너지비용 데이터 수집, 가구를 대상으로 인터뷰를 통해 주택형태, 가전기기, 사용용도 및 인구통계적 특징 데이터 등
4. 제조업체에너지소비조사 (Form EIA-846A/C)	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지원 : 석탄 및 석탄제품, 전기, 천연가스, 석유 및 석유제품, 목재 등 - 조사주기 : 3년 - 조사대상 : 제조업체 - 보고요구 : 강제적 - 조사내용 : 에너지 소비, 이용행태, 연료진환능력, 자가발전, 기타 발전업자로부터 전력구입량, 에너지관리프로그램 참여, 신기술 도입 등에 관한 데이터 수집

조 사	조 사 개 요
<p>4. 상업빌딩에너지소비조사 (Form EIA-871A/F)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지원 : 전기, 천연가스, 석유 및 석유제품, 목재, 기타에너지원 - 조사주기 : 3년 - 조사대상 : 상업빌딩, 연방정부기관, 에너지공급업자 - 보고요구 : 강제적 - 조사내용: 에너지공급사를 대상으로 상업빌딩의 에너지소비 및 지출에 관한 데이터를 수집. 빌딩소유자나 관리자를 대상으로는 상업빌딩의 물리적 특징에 관한 데이터를 수집.
<p>5. 월간 발전소 보고서(Monthly Power Plant Report) (Form EIA-759)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지원 : 전력 - 보고주기 : 매월 - 보고대상 : 전력회사(Electric Utility) - 보고요구 : 강제적 - 보고내용: 전력회사들은 매월 발전소별 순발전량, 연료 소비량 및 연료 재고변동에 관해 월간 데이터를 보고.
<p>6. 연간 전력회사 보고서(Annual Electric Utility Report) : Form EIA-861</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지원 : 전력 - 보고주기 : 매년 - 보고대상 : 전력회사(Electric Utility) - 보고요구 : 강제적 - 조사내용: 전력회사들은 발전량, 전력구입량 및 판매량(고객별) 등에 관해 연간 데이터를 작성하여 보고.

조 사	조 사 개 요
7. 연간 기타 전력생산자 보고서 (Annual Nonutility Power Producer Report) Form EIA-867	- 에너지원 : 전력 - 보고주기 : 매년 - 보고대상 : 기타 전력생산자(Nonutility) - 보고요구 : 강제적 - 보고내용 : 1MW 이상의 발전능력을 소유하고 있거나 계획중인 기타 발전업자들은 발전 량, 시설용량, 에너지소비 등에 관해 보고.
8. 연간 발전기 보고서 (Annual Electric Generator Report) : EIA-860:	- 에너지원 : 전력 - 조사주기 : 매년 - 조사대상 : 전력회사(Electric Utility) - 보고요구 : 강제적 - 보고내용 : 전력회사들은 기존 및 10년 이 내 가동예정인 발전소의 발전용량, 순발전 능력, 발전연료, 가동예정일 등 보고.

다. 재생에너지 소비량 추정방법

1) 태양열 소비량 추정

EIA는 태양열 시스템의 에너지 소비량(열생산량)을 추정하여 집계하고 있다. 태양열시스템의 내구연수를 20년으로 간주하고 지금까지 설치된 태양열시스템이 모두 100% 가동되고 있는 것으로 가정하고 있다. 이 같은 가정을 토대로 시스템효율 50%, 일평균 일사량 1,500Btu/ft², 연간가동일수 365일을 적용하여 소비량을 추정하고 있다. 태양열 에너지 소비량(열생산량)은 다음과 같은 추정방식으로 집계되고 있다.

$$E_s = S \times I_m \times E \times D$$

E_s : 열생산량(Btu)

S : 집열기 국내공급량(ft²)

I_m : 일평균 일사량(Btu/ft²)

E : 시스템 효율(%)

D : 연간 가동일수(365일)

2) 목재에너지

가) 가정부문 목재에너지 소비량 추정

가정부문 목재에너지 소비량은 3년마다 시행하는 "가정부문에너지소비조사(RECS)"의 통계치를 이용하고 있다. 그러나 동 조사가 실시하지 않은 년도의 경우 가장 최근의 소비 조사 결과 데이터를 토대로 다음과 같이 추정하고 있다.

$$E_T = E_s \times (D_T / D_s)$$

E_T : 추정연도 목재에너지 소비량
 E_s : RECS의 목재에너지 소비량
 D_s : RECS의 조사연도 난방일수
 D_T : 추정연도 난방일수

이는 가정부문의 목재에너지 소비량은 난방일당 목재소비량이 동일하다는 가정을 토대로 난방일수에 의해 결정되고 있다고 정하고 있다.

나) 산업부문 목재에너지 소비량 추정

산업부문 목재에너지 소비량은 3년마다 시행하는 "산업부문에너지소비조사(MECS)"의 통계치를 토대로 추정하고 있다. 그러나 동 조사가 실시하지 않은 년도의 경우 가장 최근의 소비조사 데이터를 토대로 다음과 같이 추정하고 있다. 여기서 시간에 따른 난방일당 목재소비량이 동일하다고 가정하고 있다.

$E_T = E_s \times (D_T / D_s)$
 E_T : 추정연도 목재에너지 소비량
 E_s : RECS의 목재에너지 소비량
 D_T : 추정연도 산업부문 에너지소비량
 D_s : RECS의 산업부문 에너지소비량

3) 도시폐기물(MSW)의 소각

EIA는 도시고체폐기물의 에너지 이용량을 기존 통계자료를 이용하여 추정하고 있는데, 소각열을 이용한 전력생산 또는 전력과 열을 동시에 생산할 경우는 다음과 같이 추정하고 있다.

$E_w = I_w \times V_w \times D \times 2,000$ 파운드/톤
 E_w : 폐기물에너지 소비량
 I_w : 폐기물 소각량(톤/일)
 V_w : 폐기물 발열량(Btu/파운드)
 D : 연간 가동일수

4) 매립지(Landfill)가스

매립지 가스는 열량이 보통 400~500 Btu/ft³로 유용한 에너지로 이용될 수 있으며 또한 메탄가스만을 분리 회수하여 고열량(약 950Btu/ft³) 에너지로 이용되고 있다. EIA는 매립지로부터 회수하여 에너지로 이용되고 있는 메탄가스의 소비량을 다음과 같은 방식으로 추정하고 있다.

$E_m = P_m \times V_m \times D \times 24$ 시간
 E_m : 메탄가스 소비량
 P_m : 메탄가스 생산량(ft³ /일)
 V_m : 폐기물 발열량(Btu/ft³)
 D : 연간 가동일수

4. 일본

일본의 에너지통계를 살펴보면 기본 에너지발란스표에 41개 항목에 35개 에너지를 포함하

고 있다. 요약 에너지발판스표에는 12개 항목에 11개 에너지원이 축약되어 있다. 이들중 재생에너지원으로 분류될 수 있는 에너지원은 기본표에서 태양에너지, 지열에너지, 재활용연료 발전(RDF), 수력 및 기타로 표시되고 있다. 요약 발판스표에서는 수력, 지열에너지 그리고 신에너지/기타로 표시하고 있다.

일본의 재생에너지의 공급 및 소비통계 조사는 신에너지산업기술종합개발기구(NEDO : New Energy Development Organization)와 신에너지재단(NEF : New Energy Foundation)이 실시하고 있다. 신에너지 재단은 일부 대체에너지원에 대한 공급 및 소비통계조사를 지원하는 역할을 하고 있다. NEDO는 주로 풍력이나 태양광 발전에 대한 연구개발 차원에서 시범프로젝트를 관리하고 있으며 NEF는 신에너지 시설 및 이용기기의 공급 및 소비조사를 담당하고 있다. 그리고 태양열 이용분야의 경우는 태양열이용기술의 전문단체인 솔라시스템 진흥협회에서 전국적인 공급회사 네트워크를 구성하여 공급실태에 대한 자료를 축적하고 있다.

가. 재생에너지의 통계분류 및 범위

일본은 1994년 12월 석유의존도 감축, 지구온난화에 대응, 지역의 환경부하 저감을 위해 대체에너지 보급촉진을 목적으로 하는 "신에너지 도입대강"을 수립하였다. 도입대강에서는 ① 재생가능에너지, ② 재활용에너지, ③ 재래에너지의 신이용 형태 등 3개 분야를 중점 추진분야로 정하고 구체적으로는 태양광발전, 태양열 이용, 폐기물발전, 대체연료자동차, 열병합발전, 연료전지, 미활용에너지(해수·하수·하천수 이용 및 폐열 이용), 풍력 및 파력에너지 등 8개 분야를 선정하였다. 재생가능에너지는 태양광발전, 태양열이용, 풍력에너지, 해양에너지(파력, 조력), 해수·하수·하천수 온도차에너지 등을 포함한다. 그리고 재활용에너지는 폐열, 일반폐기물, 산업폐기물, 농림업폐기물 등을 포함하고 있다. 재래에너지 신이용 형태에는 열병합발전, 대체자동차(전기, 천연가스, LPG 자동차), 연료전지 등이 포함한다.

<표 IV-6> 일본의 재생에너지 분류체계

구분	대분류		소분류	
재생에너지	태양광		- 태양광 발전	
	태양열		- 태양열 이용 등	
	중소수력		- 중소수력 발전 및 다목적 이용	
	지열에너지		- 지열 발전 및 다목적 이용	
	풍력에너지		- 풍력 발전 및 다목적 이용	
	해양에너지		- 파력, 조력 발전 및 다목적 이용	
	해수·하천수·하수처리수 이용		- 해수·하천수·하수처리수 등 이용 열공급사업 등	
재 화 용 에 너 지	폐열	발전소폐열		- 발전소폐열 다목적이용
		공장폐열		- 폐열발전·폐열다목적이용/로정압 발전
		LNG기화냉열		- LNG 기화냉열발전/다목적이용
		기기·장치폐열 (도시형폐열)		- 대형전자계산기, 변전소, 지하철등의 폐열이용
		기타		- 병원의 온배수
	폐기물	일반 폐기물	소각	- 쓰레기 소각발전 - 쓰레기 소각열 이용
			고체연료화	- RDF화, RDF이용
			기타	- 기타
		산업 폐기물	폐액	- 공장폐액 발효 메탄가스
			목질계	- 목질계 폐기물 연료이용
			페타이어	- 페타이어 이용
			기타	- 기타
		축산폐기물		- 축산폐기물 발효 메탄가스 이용
		농림업폐기물		- 농림업폐기물 이용
		하수오니		- 하수오니 발효 메탄가스 이용
		기타		- 기타

일본은 재생에너지를 신에너지로 정의하고 있는 재생에너지와 재활용에너지에 중소수력과 지열을 포함하여 재생에너지라고 통상적으로 정의하고 있다. 수력의 경우 양수시스템을 가진 경우 대수력으로 분류하고 나머진 중소수력으로 분류하고 있다.

나. 재생에너지 통계 자료수집

일본은 신에너지 분야에 대해 NEDO, 신에너지재단(NEF) 등을 통해 지원하고 있다. 지금까지 신재생에너지 대한 일본정부의 지원은 대부분이 건설비에 대한 보조금이었으며, 금액으로는 주택용 태양광 발전에 대한 보조가 두드어 진다. 또한 연구개발 투자에 대해서는 정부

부문과 함께 민간부문에서도 활발하게 추진되고 있다.

일본은 신에너지에 대해 별도로 소비통계 조사를 실시하고 있는지 않다. 재생에너지 통계는 여러 방면의 소스를 통해 수집되는 공급 및 소비통계 자료를 자원에너지청이 취합, 분석하여 통계를 작성되고 있다. 수력이나, 지열발전의 경우는 공급실적이 전력회사를 통해 보고되고 있으며 쓰레기 소각 지역난방 및 발전의 경우도 해당기관을 통해 실적이 보고되고 있다. 산업쓰레기 및 폐열 등 기타 신에너지원의 통계자료는 기존 에너지 실태조사의 조사대상 항목에 포함되어 수집되고 있다. 일본 통상산업성은 1981년이래 매년 상업, 광업, 산업부문을 대상으로 에너지소비구조 통계조사를 실시하고 있으며 일본에너지경제연구소는 가정부문을 대상으로 매년 민생부문 에너지소비실태 조사를 실시하고 있다.

또한 신에너지재단(NEF)은 부정기적으로 신에너지와 중소수력과 지열에너지를 포함하는 재생에너지 보급실적을 조사하고 있다. NEF는 태양에너지, 지열에너지, 풍력에너지, 바이오매스, 폐열 에너지, 중소수력 등 신재생에너지의 개발 및 이용을 촉진하기 위하여 1980년에 설립되었으며 신재생에너지의 개발 및 이용에 관련한 연구 및 조사활동을 담당하고 있다. NEF는 가정용 태양광발전을 대상으로 통계 및 운전실적 관련 자료를 수집하기 위하여 모니터링 시스템을 운영하고 있다.

일본정부는 2000년까지 태양광발전을 400MW로 보급목표를 달성하기 위하여 NEF를 통해 1992년부터 공공기관의 태양광 발전시스템 설치에 대해 보조금을 지급하던 것을 1994년부터는 일반가정의 태양광 발전시스템 설치에 대해서도 설치비용의 50%까지 보조금을 지원하고 있다.

NEF는 보조금을 받아 태양광발전 시스템을 설치한 가정으로부터 설치후 3년간 분기별로 태양광 발전량, 전력 판매량 및 전력 구입량을 보고 받고 있으며, 또한 유지보수 및 사용 경험을 매년 보고토록 하고 있다.

<표 IV-7> 가정용 태양광발전 데이터 보고주기 및 보고내용

보 고 주 기	보 고 내 용
분기별(발전량)	- 태양광 발전량 - 전력 구입량 - 전력 판매량
연간(유지보수)	- 가동중지 기간 및 고장내역 - 고장수리 내역 및 비용
연간(이용경험)	- 에너지절약 인지도 변화 - 만족도(비용효과, 편리성, 시스템 규모 및 외양) - 소음 및 떨림 등 문제점 - 기타 문제점(주변의 평가, 사후 서비스 등)

다. 신에너지 보급현황 및 목표

온실가스 배출억제가 주요 이슈로 등장한 이후, 일본에서는 감축목표 달성을 위한 각종 대안과 정책적 지원방안에 대한 논의가 활발하게 이루어지고 있다. 대안으로는 강력한 에너지 절약과 대책을 위하여 재생에너지의 도입 확대가 중요한 수단으로 등장하고 있다. 특히 재생에너지 중에서도 사용시 이산화탄소 배출이 전혀 없어서 환경부하가 적은 태양광과 풍력 등 자연에너지에 대한 관심이 크게 늘어나고 있는 추세이다. 그러나 이들 자연에너지원은 주로 경제적인 이유로 아직 대규모의 보급단계에는 이르지 못하였으며 지금까지 완만한 기술개발과 보급이 이루어져 왔다. 신에너지의 보급에 있어 최대의 난제는 경제성이다. 통산성에 의하면 주택용 태양광발전은 통상 전기요금보다 3~4배나 높으며, 풍력발전이 비용도 화력발전의 2~3배나 된다. 또한 에너지를 지속적으로 공급할 수 있는 “안전성”이 결여되어 있다는 점도 문제점으로 지적되고 있다. 태양광발전의 가동율은 12%로 다른 발전형식에 비하여 매우 낮은 수준이다.

일본정부는 환경부하가 적은 신에너지의 보급을 촉진하기 위해서 “신에너지 이용촉진 특별 조치법”을 97년 6월부터 시행하고 있다. 동 법은 통상성 장관이 인정한 기업들에게 신에너지 발전에 필요한 총경비의 최대 1/3까지 보조한다든지, 중소기업에 통상의우대용자제도를 확대하여 무이자 융자이 상환기간을 연장한다든지 하는 대책들이 포함되어 있다.

일본의 신에너지 보급실적 및 목표를 살펴보면<표 IV-8>과 같다.

일본정부는 신에너지 공급을 2010년까지 1차 에너지중 3.1%(1,910만kl)로 확대할 계획이다. 1996년 신에너지 보급실적은 686만kl로 1차에너지공급에서 단지 1.1%를 차지하고 있다

<표 IV-8> 신에너지 보급실적 및 목표

에너지원	보급실적		목 표	기술 및 이용
	1990	1996년	2010	
태양광 발전	0.2만kl (0.9만kW)	1.4만kl (5.7만kW)	122만kl (500만kW)	- 발전효율 : 10~15% - 가동율 : 12%(화력발전 70%)
태양열 이용	126만kl	104만kl	450만kl	- 열변환효율 : 50~55%
풍력 발전	0.1만kl (0.3만kW)	0.6만kl (1.4만kW)	12만kl (30만kW)	- 발전효율 : 25~30% - 가동율 : 20%
폐기물 발전	44만kl (48만kW)	82만kl (89만kW)	662만kl (500만kW)	- 전효율 : 10~20% - 가동율 : 65%
폐기물 열이용	3.7만kl	4.4만kl	14만kl	- 발열량 : 1,000~3,000kcal/kg
온도차에너지 등	1.8만kl	3.3만kl	58만kl	- 해수, 하천수 이용
흑액 및 폐재	508만kl	490만kl	592	- 발열량 : 3,000kcal/
합 계	679만kl	686만kl	1,910만kl	
1차에너지중비중		1.1%	3.1%	

신에너지 보급실적을 살펴보면, 청정에너지로 주목받고 있는 태양광발전은 1994년부터 시작된 보조금지원에 힘입어 1990년 0.9만kW에서 1996년에는 5.7만kW로 6배 정도 발전용량이 증가하였다. 또한, 풍력발전도 1990년 0.3만kW에서 1.4만kW로 약 5배로 발전용량이 확대되었다.

지방자치단체를 중심으로 보급되고 있는 폐기물 발전은 1990년대에 들어와 비약적으로 증가하여 1990년의 발전용량은 48만kW에 달하였지만 1996년에는 89만kW로 증가되었다. 폐기물 발전용량의 90%이상을 쓰레기 소각발전용량이 차지하고 있다. 현재 가동되고 있는 쓰레기 소각발전설비는 모두 지방공공단체에 의해 운전되고 있다.

V. 대체에너지 통계체제의 개선방안

1. 재생에너지의 통계범위 정립

대체에너지는 화석연료 및 원자력 에너지 등 기존에 개발된 에너지를 대체할 수 있는 에너지를 총칭한다. 재생에너지는 대체에너지 중에서 인간이 이용하는 만큼 다시 생성되는 에너지를 의미한다. 화석연료는 생성되는 양보다는 소비량이 많은 고갈성 자원인 반면, 재생에너지는 소비량만큼 다시 생성되기 때문에 고갈의 문제가 없다는 것이 장점이다. 또한 온실가스 배출 등 환경오염을 유발하는 화석연료에 비해 환경오염을 거의 유발하지 않는다는 사실도 재생에너지의 장점으로 지적된다.

최근 국제적으로 통계적 측면에서는 대체에너지라는 용어 대신에 재생에너지라는 용어로 통일되는 추세를 보이고 있다. 일반적으로 재생에너지는 수력, 태양에너지, 풍력에너지, 지열에너지, 해양에너지(파력 및 조력 포함), 바이오매스 및 폐기물로 정의된다. 재생에너지의 통계의 범위는 각 나라별로 자국의 에너지 상황에 따라 다소 차이를 보이고 있다. IEA는 재생에너지를 ① 수력, ② 태양에너지, ③ 풍력에너지, ④ 지열에너지, ⑤ 가연성 재생/폐기물(고체바이오매스/동물부산물, 기체/액체 바이오매스, 도시고체폐기물, 산업폐기물)로 분류하고 있다. 유럽연합(EU)은 ① 수력, ② 태양에너지, ③ 풍력에너지, ④ 지열에너지, ⑤ 바이오매스/폐기물(도시고체폐기물, 목재/목재 폐기물/기타고체폐기물, 매립지 가스, 하수오니 가스, 농산업폐기물 가스, 바이오연료), ⑥ 히트펌프로 정의하고 있다. 미국은 ① 수력, ② 태양에너지, ③ 풍력에너지, ④ 지열에너지, ⑤ 바이오매스(목재에너지, 폐기물에너지, 바이오연료)로 분류하고 있다. 우리나라는 ① 태양에너지(태양열, 태양광 발전), ② 바이오에너지, ③ 풍력, ④ 소수력, ⑤ 연료전지, ⑥ 석탄액화 및 가스화, ⑦ 해양에너지, ⑧ 폐기물에너지, ⑨ 석탄혼합연료, ⑩ 지열로 정의하고 있다.

우리나라의 대체에너지 정의는 기술개발 측면에서의 의미가 있으나 통계적 측면에서는 현재 이용되고 있는 재생에너지중 미 포함되어 있어 일부는 집계에서 제외되고 일부는 기존 통계와 중복되는 문제가 있다. 또한 외국의 재생에너지 통계분류 및 범위와도 다소 차이를 보이고 있다. 따라서 재생에너지 통계가 종합적인 통계자료를 포함하고 상호비교의 목적에 부합되도록 통계측면에서 국제수준에 맞게 재생에너지의 통계범위를 정립해야 할 것이다.

첫째로 우리나라도 재생에너지 통계에 모든 수력을 포함하는 것이 바람직하다. IEA, 미국 및 유럽연합(EU)은 모든 수력을 재생에너지로 분류하여 소비통계를 집계하고 있다. 유럽연합은 기술개발 측면에서 소수력만을 재생에너지로 분류하고 있으나 통계적 측면에서는 모든 수력을 포함하여 집계하고 있다. 그러나 우리나라와 일본은 수력발전이 정의상으로는 재생에너지에 속하지만, 기존에 개발된 에너지라는 측면에서 재생에너지에서 제외시키고 수력중 소수력만을 재생에너지로 분류하고 있다.

둘째로 재생에너지원 통계에 신탄을 포함시켜야 한다. 현재 대체에너지 정의에서 바이오에너지로 바이오매스로부터 생산된 가스연료, 액체연료, 고체연료만을 대상으로 하고 연료로 직접 투입되는 바이오매스를 대상에서 제외하고 있다. 이 결과 에너지관리공단이 발표하고 있는 「신·재생에너지 이용통계」에 신탄의 소비통계가 집계되지 못하고 있다. 신탄은 대표적인 바이오매스이며 대부분 국가들이 재생에너지 통계에 포함시키고 있다. 바이오매스를 에너지원으로 이용하는 방법은 여러 가지가 있다. 연료로 직접투입은 바이오매스의 이용 용도 중에서 가장 저위의 것이나 오늘날 세계 에너지공급량에서 상당량을 차지하고 있으며 주로 가정부문에서 요리용과 난방용으로 이용되고 있다. 대부분 국가에서 투입되는 바이오매스가 높은 비중을 차지하고 있다. IEA는 신탄을 포함하여 직접 연료로 바이오매스가 재생에너지 소비에서 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 특히 직접 연료로 가.투입되는 바이오매스를 고체바이오매스/동물연료를 목재, 식물쓰레기, 흑액, 기타항목으로 분류하여 소비통계를 집계하고 있다. 미국은 목재에너지를 목재연료, 목재부산물, 목재폐기물로 분류하여 소비통계를 집계하고 있다. EUROSTAT은 직접 연료로 투입되는 바이오매스를 목재/목재폐기물/기타 고체폐기물 항목으로 분류하여 재생에너지 소비통계에 포함하고 있다.

셋째로 석탄 혼합연료(석탄액화 및 가스화 포함)를 재생에너지의 통계에 포함시키지 않아야 한다. 국내에서 석탄 혼합연료의 이용시설이 건설되었으나 현재 가동 중지상태에 있어 소비통계가 집계

되지 않고 있어 문제가 없으나, 향후 국내에 보급되어 소비통계가 집계될 경우 재생에너지 통계에서 제외하여야 한다. 석탄 혼합연료(석탄액화 및 가스화 포함)는 석탄통계에 포함시키는 것이 일반적이며 IEA는 석탄 및 전환부문에 포함시키고 있다.

넷째로 공기, 지하의 환기배열, 지하수, 하천수 등 온도차 에너지를 재생에너지원에 포함시키는 것이 바람직하다. 유럽연합(EU) 및 일본등에서는 하수, 하천수 등의 온도차 에너지를 재생에너지원에 포함시켜 소비통계를 작성하고 있다. IEA도 에너지발판스표에서 이들 온도차를 이용한 히트펌프의 생산열을 1차 에너지(국내생산)로 집계하고 있다. 공기, 지하의 환기배열, 지하수, 하천수 등 온도차를 히트펌프(Heat Pump)를 통해 에너지로 이용이 가능하다. 유럽 특히 북유럽지역에서는 하수의 온도차 에너지가 지역냉방의 열원으로 널리 이용되고 있고, 프랑스에서는 지하철 배열을 히트펌프 열원으로 이용되고 있다. 일본의 경우도 생활하수 또는 하수처리수 및 지하철 배열을 열원으로 히트펌프를 가동하여 냉난방, 급탕 등에 이용하고 있다.

2. 재생에너지원별 통계작성 체계화

가. 통계 작성체계 개선방안

통계자료의 작성에는 자료수집과 조직화를 위한 기초로써 일정한 원리나 지침이 필요하다. 에너지의 수급통계는 모든 에너지원과 소비 용도에 관한 상황을 나타내는 것이며, 에너지통계가 추구해야 하는 명제는 에너지 공급량과 소비량을 표현하고, 에너지의 공급에서 최종소비과정의 흐름과 배분을 정확하게 나타내어야 한다. 경제활동의 기본요소인 에너지는 1차 에너지가 생산, 수입되어 어떤 에너지는 그대로 소비되고 어떤 에너지는 전환되어 2차 에너지로 소비되는 에너지 흐름구조를 가지고 있다.

IEA의 에너지통계 체계는 우리 나라와 비교시 근본적인 흐름은 유사하나, 에너지원 및 수급체계의 구조와 개념이 다소 다르며, 특히 우리나라 체계 보다 수급흐름을 상세하게 기술하고 있다. IEA는 제3자관매용 열생산, 자가발전을 전환부문에 반영하고 있다. 현실적으로 OECD 가입에 따른 에너지통계작성·제출의무를 고려할 때 재생에너지 통계도 IEA 통계체계에 맞게 작성하는 것이 바람직하다. 그러나 국내 재생에너지 통계는 수급흐름을 제대로 반영하지 못하고 있으며 또한 1차 에너지와 유효 에너지가 혼재되어 있는 문제점을 가지고 있다. 따라서 국내 재생에너지 통계를 국제수준의 통계기준에 맞추고 현행 통계체제의 문제점을 해결하기 위해서는 통계 작성체계에서 다음 사항이 개선되어야 한다.

첫째로 재생에너지원의 이용 형태를 자가소비 열생산, 외부관매 열생산, 자가발전 등으로 용도를 구분하여 통계를 작성하여야 한다. 통계적으로 자가소비 열생산을 위해 투입 연료는 최종소비로 집계하고, 제3자 관매용 열생산과 자가발전을 위하여 투입한 연료는 전환부문에 집계하기 때문에 투입연료를 3가지 용도로 구분해야 한다. 예를 들면 산업체에서 열생산 연료로 폐기물을 투입하였을 경우 투입 폐기물은 최종소비로 산정하고 전력생산에 투입되는 폐기물 연료는 전환부문의 소비로 산정하기 때문에 동일 보일러 시스템에 투입한 연료를 두 가지 용도로 구분해야 한다.

둘째로 에너지 통계체제의 일관성을 유지하기 위해서 폐기물에너지와 메탄가스 이용량을 1차 에너지원으로 소비통계로 집계하여야 한다. 에너지 통계는 최종 소비부문에서 연소기기의 효율 차이에 따른 손실을 고려하지 않고 그 이전 발생한 즉 생산, 전환, 송전, 배분 등의 손실만을 나타내고 있다. 그러나 현행 재생에너지원의 소비통계 중에서 폐기물 에너지와 메탄가스 소비량은 연료로 사용하여 생산된 증기량을 에너지량으로 집계하고 있어 유효 에너지를 소비량을 집계하는 문제점을 가지고 있다. 폐기물 에너지와 메탄가스 소비량 통계도 다른 에너지원의 소비통계 체제와의 동일하게 집계되어야 한다. 따라서 폐기물 에너지의 경우는 열 또는 발전에 투입한 폐기물량을 파악하여 발열량을 곱하여 에너지량으로 집계하여야 한다. 또한 메탄가스의 경우도 열 또는 전력을 생산하기 위하여 투입한 메탄 가스량을 파악하여 발열량을 곱하여 에너지량으로 집계하여야 한다.

셋째로 전력의 열량기준을 향후 국제기준을 따라 환산해야 할 것이다. IEA, EUROSTAT(유럽연합통계국)은 수력발전, 태양발전, 풍력발전, 해양발전 등의 경우는 전력 생산량을, 태양

열 생산 및 지열 이용(열 및 전력 생산)의 경우는 열을 1차 에너지로 정의하고 1차 에너지량 계산방법으로 "실질에너지량법"을 적용하고 있다. IEA는 전력의 열량은 1kWh=860kcal를 적용하고, 전력의 열량환산시 수력발전, 태양발전, 풍력발전의 경우는 발전효율을 100%로 계상하여 1kWh=860kcal를 적용하여 1차 에너지 생산량을 계산하고, 지열 발전의 경우는 발전효율을 10%로 계산하여 1kWh=8,600kcal(860kcal/0.10)을 적용하여 1차 에너지 생산량을 계산하고 있다. 동기준은 EUROSTAT, BP, UN 등에서도 따르고 있는 실정이다. 그러나 우리나라의 경우는 1차 에너지량 계산방법으로 부분대체방법(PSM)을 적용하고 있다. 전력의 열량은 1kWh=860kcal를 적용하고 있으나, 수력, 태양광 발전, 풍력발전의 1차 에너지 생산량으로 열량환산시 1kWh=2,500kcal(발전효율 34.4%)를 적용하고 있다. 따라서 수력발전, 태양광 발전, 풍력 등의 열량기준을 향후 국제기준에 따라 1차 에너지로 열량환산시 1kWh=860kcal를 적용하여야 할 것이다.

재생에너지원 기초통계는 보급 및 이용실태를 정확하게 평가할 수 있도록 일련의 종합적인 통계자료를 포함하여야 하며, 통계가 일관성 있게 작성되고 상호비교의 목적에 부합되도록 하여야 한다. 또한 재생에너지의 생산 및 소비의 성격이 다양한 점을 감안하여 각 원별 활용 기술의 파악을 주요 생산자 및 소비자를 중심으로 적은 비용으로 효과적으로 이루어 질 수 있도록 통계범위를 최소화하는 것이 바람직하다. 따라서 재생에너지원의 기초통계를 <표 V-1>와 같이 수집하여 작성하는 것이 바람직하다.

<표 V-1> 재생에너지원별 통계범위 및 작성체계

구 분	통 계		비 고
수 력	대 수 력	- 설치용량(KW) - 발전량(KWh)	한전 통계 이용
	소 수 력	- 설치용량(KW) - 발전량(KWh)	한전 통계 이용
풍력에너지	풍력발전	- 보급대수 - 설치용량(KW) - 발전량(KWh)	조사
태양에너지	태 양 열	- 보급 집열기면적(m ²) - 생산열량(TOE)	조사 추정
	태 양 광	- 보급대수 - 설치용량(KWp) - 발전량(KWh)	조사 조사 추정

<표 V-1>에서 계속

구 분	총 계		비 고	
바이오매스/ 폐기물	신 탄	- 생산량(톤) - 생산열량(TOE)	산림청 통계 등 이용	
	대 세 탄	- 공급량(톤) - 생산열량(TOE)	대체신탄공업협 동조합	
	생활 쓰 레 기	지역난방용 열생산	- 플랜트수 - 설치용량(중기톤/시간) - 소라 MSW의 양(톤,TOE) - 열 생산량(TOE)	조사
		산업용 열생산	- 플랜트수 - 설치용량(중기톤/시간) - 연료 소비량(톤, TOE)	설문조사
		자가발전	- 플랜트수 - 설치용량(MW) - 발전량(KWh) - 연료 소비량(톤, TOE)	설문조사
	산업 폐 기 물	산업용 열생산	- 플랜트수 - 설치용량(중기톤/시간) - 연료 소비량(톤, TOE)	설문조사
		자가발전	- 플랜트수 - 설치용량(MW) - 발전량(KWh) - 연료 소비량(톤, TOE)	설문조사
		메탄가스 이용 (열 및 전력 생산 이용)	- 가스 생산량(TOE) - 발전용량(MW) - 발전량(KWh) - 발전용 연료 이용량(TOE) - 보일러 연료 이용량(TOE)	설문조사
	온도차에너지 (Heat pump)	대기, 지하, 하수, 하천수 등	- 설치용량(MW) - 생산열량(TOE)	조사 조사 및 추정

나. 자료수집 방법 및 유의사항

재생에너지 통계는 크게 두가지로 나누어 볼 수 있다. 하나는 생산자와 판매자를 통하여 수집할 수 있는 이용시설 통계이고, 다른 하나는 이용자를 통하여 수집할 수 있는 이용실적(생산 및 소비실적)통계이다. 수집된 통계자료를 시계열화(time series)하여 최신자료를 계속 보완시켜 나가고 체계적인 조사 및 데이터베이스 구축이 필요하다.

통계자료 수집방법은 2가지 방법이 있다. 하나는 관련 기관이나 시설 운영업자에게 필요한 자료를 요청하는 조사서를 발송하여 수집하는 방법이다. 다른 방법은 이 방법이 여의치 않을 경우 추정을 통하여 작성하는 방법이다. 설문조사를 통해 자료를 수집할 경우는 재생에너지원이 활용 규모나 이용방법이 다양하기 때문에 관련기관이나 개인이 정확하게 답변할

수 있도록 조사표의 내용을 세밀하게 설계하여야 한다. 이렇게 함으로써 조사표 작성내용이 충실해지고 조사표의 회수율도 높일 수 있다.

설문조사시 에너지통계에 대한 전문지식이 없는 개인을 대상으로 할 경우 질문서 내용을 직설적으로 작성하고, 필요로 하는 자료에 대해 명확한 설명이 포함되어야 한다. 그러나 대규모 시설운영자를 대상으로 조사할 경우 조사표의 내용에 별 문제가 없다. 개별 시설운영자로부터 자료 입수가 어려울 경우는 전문가의 자문을 구하고 추정내용은 주기적으로 보완해야 한다.

자료 수집시는 필요자료가 모두 포함되어야 하며, 특히 다음과 같은 내용은 매우 중요하다.

- ① 공정내에서 에너지가 사용되는 부분, 실제 측정이 되지 않는 부분의 파악(예: 오니 분해기),
- ② 폐기물의 경우 반드시 열량값이 필요.
- ③ 투입연료는 반드시 특정단위(톤, 리터 등)로 표시하고 열량값도 반드시 필요.
- ④ 다른 에너지와 혼합 이용할 경우는 추후 재생에너지의 공급분을 추정할 수 있도록 모든 에너지에 관한 자료를 파악해야 한다.

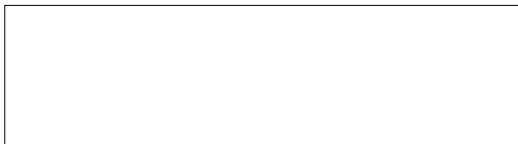
3. 재생에너지 소비통계 추정방식의 개선

가. 태양열 에너지 소비추정

태양에너지의 30% 가량은 우주로 반사되고, 45% 정도는 지표로 흡수되며, 23% 정도가 지구상의 물의 순환을 발생시킨다. 바람과 조류는 1% 이하의 태양에너지에 의해 형성된다. 그리고 0.03% 미만의 태양에너지가 식물의 광합성에 이용되는데 이것이 오늘날 광범위하게 이용되는 화석연료의 근원이다. 태양은 지표상에서 이용 가능한 거의 모든 에너지의 근원이라고 할 수 있다. 태양에너지는 계절이나, 시간대, 그리고 기후 등과 같은 조건에 따라 지구의 지표에 방사하는 에너지량은 달라진다.

태양에너지를 이용하는 기술은 이용유형에 따라 크게 두 가지로 분류된다. 하나는 집열장치 이용하여 태양열 에너지를 이용하는 기술이고, 다른 하나는 태양광 에너지로부터 전기를 생산하는 기술이다. 태양열 에너지를 이용하는 기술은 열에너지를 이용하는 기술과 열에너지를 전기에너지로 변환시키는 기술로 구분할 수 있다. 열에너지를 이용하는 기술은 집열판을 통하여 태양열 에너지를 흡수하여 가정용 난방 및 온수를 공급하거나, 수영장의 물을 급탕하거나 산업공정에 필요한 열을 제공하는 등의 용도로 이용된다. 열에너지를 효율적으로 모으기 위해서는 집열판이 중요한 역할을 하게 된다.

태양열 이용기기의 에너지 생산량은 계절이나, 시간대, 그리고 기후등 자연조건에 따라 변하는 일사량과 집열판 면적 및 전체 시스템 효율에 의해 결정된다. 그러나 현행 태양열 에너지 소비량은 표준원단위를 정해 놓고 누적 이용설비의 보급대수(기)를 곱하여 추정되고 있어 연도별 일사량 차이와 집열기 집열면적의 차이를 반영하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 태양열 에너지 소비량을 집열면적과 일사량 변화에 연계하여 다음과 같이 추정할 수 있다.



- Es : 열생산량(TOE)
- S : 집열기 설치면적(m²)
- Im : 일평균 일사량(kcal/m²/day)
- E : 시스템 효율(50%)

일사량 자료는 기상청이 지역별, 월별 통계를 발표하고 있어 이를 이용하면 된다. 우리나라의 수평면 일사량 추이를 지역별로 살펴보면 <표 V-2>와 같다. 1982-1996년 기간중 연평균 1일 수평면 일사량은 3,087kcal/m²이며, 계절별로는 봄이 3,835kcal/m², 여름 3,766kcal/m², 가

을 2,705kcal/m², 겨울 2,041kcal/m²로 나타났다. 봄철과 여름철의 일사조건이 가장 좋으며 가을철과 겨울철은 연평균치에 못 미치는 낮은 수준을 보이고 있다.

<표 V-2> 지역별 수평면 일사량

(단위: kcal/m²/day)

구 분	82-96년 평균	1995년	1996년	1997
춘 천	2,973	2,823	3,058	3,028
강 룡	3,026	3,108	2,948	3,070
서 울	2,780	2,586	2,681	2,776
원 주	2,974	na	2,958	na
서 산	3,224	3,081	2,936	3,213
청 주	3,061	3,058	3,090	2,996
대 전	3,082	3,411	3,335	3,466
포 향	3,105	3,332	3,218	3,235
대 구	3,047	3,178	2,685	3,055
진 주	2,955	2,748	2,781	na
광 주	3,143	3,222	3,074	3,151
부 산	3,180	3,231	2,934	2,993
목 포	3,338	3,423	3,346	3,526
제 주	2,931	3,032	2,670	na
진 주	3,355	3,336	3,189	3,258
영 주	3,223	3,132	3,240	-
평 균	3,087	3,152	3,010	3,147

시스템 효율은 일사량, 외기온도 등 기후조건에 따라 시스템의 순환유량과 온도분포가 변화하기 때문에 연간 성능평가가 요구된다. 국내에서 실용화되어 있는 집열기의 효율이 60~70%정도로 알려지고 있다. 그러나 국내 태양열 집열기의 성능평가 기준은 실외에서 측정일의 최대 집열효율에서 최대 열손실계수값을 제한 값으로 규정하고 있어 이수치는 단순히 측정당일의 효율을 나타내는 수치이며 실제 획득 가능한 에너지량이라고 보기가 어렵다. 집열기 시스템의 연간 성능평가는 현재 에너지기술연구소에 의해 평가모델링이 개발되었으나 실제 적용한 수치는 없는 실정이다. 일본의 경우는 태양열시스템의 열변환효율이 50~55% 수준에 있다. 미국 IEA는 태양열 에너지생산(소비)량 추정시 시스템효율을 50%로 가정하고 이를 적용하고 있다. 따라서 상기 추정방식에서는 시스템효율을 50% 적용하여 추정할 수

있을 것이다.

나. 태양광 발전량 추정

태양광발전은 무한정, 무공해의 태양 에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술이다. 기본 원리는 반도체 PN 접합으로 구성된 태양전지(Solar Cell)에 태양광이 입사되면 光에너지에 의한 전자-陽孔 쌍이 일어나고, 電子와 陽孔이 이동하여 N층과 P층을 각각 음극과 양극으로 대전시키는 光起電力 효과(photovoltaic effect)에 의해 起電力이 발생하여 외부에 접속된 부하에 전류가 흐르게 된다.

태양광 발전의 일반적인 특성을 살펴보면, 무한정 무공해의 태양 에너지를 이용함으로 연료비가 불필요하고 대기오염이나 폐기물 발생이 없으며, 발전 부위가 반도체 소자이고 제어가 전자 부품이므로 기계적인 진동과 소음이 없다. 또한 태양 전지의 수명이 최소 20년 이상으로 길고 발전 시스템을 반자동화 또는 자동화시키기에 용이하며, 운전 및 유지 관리에 따른 비용을 최소화 할 수 있는 장점을 지니고 있다. 그러나 태양 전지는 가격이 비싸 많은 태양광 발전 시스템의 건설에는 초기 투자가 요구되므로 상용 전력에 비하여 발전 단가가 높고, 일사량에 따른 발전량 편차가 심하므로 안정된 전력 공급을 위한 추가적인 건설비 보완이 필요한 단점을 가지고 있다.

태양전지는 비, 눈 또는 구름에 의해 햇빛이 비치지 않는 날과 밤에는 전기가 발생하지 않을 뿐만 아니라 일사량의 강도에 따라 불균일한 직류가 발생한다. 따라서 일반적인 태양광 발전 시스템은 수요자에게 항상 필요한 전기를 공급하기 위하여 모듈을 직·병렬로 연결한 태양전지 어레이(array)와 전력 저장용 축전지(storage battery), 전력 조정기(power controller) 및 직·교류 변환장치인 인버터(inverter)등의 주변장치로 구성된다.

태양광 발전시스템은 이용목적에 따라 여러 가지의 형태가 있을 수 있지만, 태양광 발전시스템과 전력계통과의 연계유무에 따라 독립형과 계통연계형으로 분류할 수 있다. 독립형 태양광 발전시스템은 태양전지 어레이, 축전지 및 전력변환장치(인버터, 전력조정기) 등으로 구성되어 있다. 국내에 보급된 태양광 발전시스템은 대부분 독립형이다.

국내 보급된 태양광 발전시스템이 대부분 독립형 시스템이어서 전력 생산량과 소비량을 정확하게 파악한다는 것은 거의 불가능하다. 또한 생산 및 소비실태에 대해 전수조사를 실시한다고 하더라도 정확한 통계자료를 수집하기가 어렵고, 또한 상당한 시간과 예산이 소요되어 비용 효과적이지 못하다. 따라서 추정방법이 보다 비용 효과적이라고 할 수 있다. 추정방법을 통해 태양광 발전시스템의 에너지 이용량 통계를 집계하기 위해서는 다음과 같은 가정이 필요하다.

첫째, 태양광 발전시스템에서 생산된 전력이 모두 사용된다고 가정한다. 태양광 발전시스템은 송배전 거리가 전혀 없거나 비교적 짧은 On-Site형의 용도에 주로 이용되므로 송배전 손실은 없는 것으로 가정 할 수 있다. 가장 단순한 태양광발전 시스템은 기능적으로 태양전지가 직접 부하에 전용으로 연결된 것이라고 할 수 있으며 발전기능과 부하가 1대 1로 대응한다. 그러나 일반적인 태양광 발전시스템은 어떤 범위의 불특정 부하를 대상으로 하는 시스템이다. 따라서 일사조건이 양호한 날은 발전 가능시간중 일부시간만 발전하여도 축전용량이 부족하여 그 이후의 발전량은 대기중에 방전시키는 사례가 발생할 수 있으며 또한 일시적으로 전력 부하가 낮아 발전량이 방전될 수도 있다. 그러나 이러한 특성을 전체 발전설비에 대해 감안하기란 사실상 불가능하다.

둘째, 보급된 이용설비는 전량 가동중이라는 가정이다. 태양광 발전시스템이 고장수리 및 점검을 위한 일시 가동중지 상태에 있을 수 있고, 또한 고장으로 가동중지 및 폐기 철거된 시스템이 존재 할 수 있다. 그러나 이러한 부분을 파악하는 것은 불가능하다. 따라서 태양전지의 수명이 최소 20년 이상으로 알려져 있는바, 설치연수가 20년이 못되는 태양광발전 시스템은 모두 정상 가동중인 것으로 가정한다.

태양광 발전시스템의 발전량은 발전용량과 설치입지의 일사량, 그리고 시스템 효율에 의해 결정된다. 시스템 효율은 태양전지 어레이, 축전지, 인버터 등 시스템을 구성하는 요소의 효율에 의해 결정되며, 이들 구성요소들은 시스템 수명기간동안 다소 차이가 있을 수 있으나 전체적으로 거의 일정한 것으로 볼 수 있어 사실상 발전량의 변동에 영향을 미치는 것은 일

사량의 변화라고 볼 수 있다.

그러나 현행 태양광 발전시스템의 이용량 집계방식은 설치된 총 발전용량(kwp)에 표준원단위(0.13TOE/kWp·년)를 곱하여 추정하고 있어 연도별 일사량 변화를 반영하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 일사량 변화에 연계하여 추정하는 것이 바람직하다. 태양광 발전시스템의 발전량을 태양전지 용량과 시스템 효율, 경사면 일사량을 토대로 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$E_p = P_p \times I_m \times E \times 365\text{일}$$

E_p : 전력 생산량(kWh)
 P_p : 태양전지 발전용량(kWp)
 I_m : 경사면 일사량(kWh/m²/day)
 E : 발전시스템 효율(%)

태양전지(PV) 규격은 일사조건 1kW/m², 온도 25℃ 조건의 표준시험상태(Standard Testing Condition) 하에서 출력으로 정해지며, 출력은 최대출력(Peak Watt: Wp)으로 표기한다. 따라서 태양전지 용량 1kWp는 표준시험 상태하에서 최대 1kW의 전력을 생산할 수 있는 능력을 의미한다.

태양에너지 이용시스템은 주로 태양에너지의 입사각도에 따라 시스템의 성능이 크게 좌우된다. 따라서 수평면 일사량과 경사면 일사량의 관계를 살펴보면 <표 V-3>와 같다. 남향에서 지표면에 대한 경사각도가 30° 에서 최대의 일사량을 받으며, 수평면 일사량 대비 경사면 일사량은 1.21배 수준이다. 이는 북향 수직면에 비해서는 무려 4배 높은 수준이다. 남향에서 지표면에 대한 경사각도가 0° ~90° 사이의 집열면에서는 경사각도가 30° 에서 최대의 일사량을 받는다. 남향면에서의 경사각도별로 계절별로 살펴보면, 봄과 가을철에서는 지표면에 대한 경사각도가 30° 인 집열면에서, 여름철은 경사각도가 15° 에서, 겨울철은 경사각도가 45° 에서 최대의 일사량을 받는다. 따라서 상기 방식에서 수평면 일사량을 kWh=860kcal를 적용하여 kWh로 환산하고, 시스템이 남향 30° 경사각도로 설치된 것으로 가정하여 경사면 일사량을 수평면 일사량에 1.21를 곱하여 계산하여 적용한다.

<표 V-3> 방위별, 입사각도별 경사면 일사량 비교

(단위: kcal/m²/day)

수평면 일사량 (A)	입사면 방 위	경사면일사량(B)		정남향 경사면과의 비교					
		일사량	B/A	15°	30°	45°	60°	75°	90°
3,064	S (β=15°)	3,504	1.14	1.00	0.94	0.97	1.09	1.28	1.53
	S (β=30°)	3,715	1.21	1.06	1.00	1.03	1.15	1.36	1.62
	S (β=45°)	3,626	1.18	1.03	0.98	1.00	1.12	1.33	1.58
	S (β=60°)	3,224	1.05	0.92	0.87	0.89	1.00	1.18	1.40
	S (β=75°)	2,731	0.89	0.78	0.74	0.75	0.85	1.00	1.19
	S (β=90°)	2,297	0.75	0.66	0.62	0.63	0.71	0.84	1.00
	E (β=90°)	1,499	0.49	0.43	0.40	0.41	0.46	0.55	0.65
	W(β=90°)	1,514	0.49	0.43	0.41	0.42	0.47	0.55	0.66
	N(β=90°)	580	0.19	0.17	0.16	0.16	0.18	0.21	0.25

자료 : 국내 일사량 분석·평가 및 데이터 표준화 연구, 한국에너지기술연구소, 1997

태양광 발전시스템의 구성방식은 다양하며, 일반적으로 시스템은 태양전지, 인버터, 축전지로 구성된다. 따라서 시스템 효율은 구성요소인 태양전지 어레이의 발전효율과 인버터 효율 및 축전지의 충방전 효율에 의해 결정된다. 시스템 효율은 구성방식 및 구성요소의 효율의 차이로 시스템마다 차이를 보일 수 있다. 인버터의 효율은 정격에서 85%~96% 정도이다. 축전지는 0℃ 이하에서는 충전효율이 매우 떨어지며, 25℃ 이상에서는 노화가 가속화되는 성질을 갖고 있어 외기온도에 큰 영향을 받는다. 한국에너지기술연구소가 1994년에 수행한 "태양에너지 시설 적용 연구"에서 낮기간동안 태양전지에서 발전한 전력을 모두 축전지에 저장시키고 야간에만 조명용으로 사용하는 2.75kWp 발전시스템을 구성하여 5일간 실효한바 있다. 이 결과에 의하면, 태양전지 어레이의 직류발전효율은 75.2%, 인버터의 효율은 91.0%, 축전지 충방전 효율은 82.5%로 종합 시스템 효율은 56.6%로 나타났다. 따라서 상기 추정방식에서 발전시스템 효율을 60%로 가정하여 적용하더라도 크게 무리가 없을 것이다. 일반적으로 국내에서 태양전지의 용량 결정시 발전시스템 효율을 60%로 가정하여 산정하고 있다.

또한 태양광 발전시스템의 발전량을 설치용량을 기준으로 연간부하율을 곱하여 추정할 수 있다. EUROSTAT는 회원국에게 일부 태양광 시스템의 발전량에 관한 통계자료의 입수가 어려울 경우, 이 방식을 사용하여 추정할 것을 권고하고 있다. 이 방식을 사용할 경우, 일부 태양광 발전시스템을 대상으로 부하율에 관한 자료를 입수하여 평균부하율을 적용하여 추정한다.

$$E_p = P_p \times LF$$

E_p : 전력 생산량(kWh)

P_p : 태양전지 발전용량(kWp)

LF : 연간 부하율(%)

다. 폐기물에너지 소비추정

폐기물 에너지로 생활쓰레기 및 산업체 폐기물을 직접 소각하여 발생한 열을 에너지로 이용

되고 있다. 폐기물 소각에 따른 열을 회수하여 활용하는 것은 자원활용과 에너지 절약의 측면에서 바람직하다. 이러한 소각에 의한 에너지 회수량은 폐기물의 소각량과 폐기물 발열량에 영향을 받게 된다. 폐기물 1톤을 소각시킬 경우의 발열량은 소각처리되는 폐기물의 성분에 따라 상이하게 나타나는데, 정상별 폐기물의 발열량은 <표V-4>와 같다. 폐기물의 발열량이 낮아지게 되면 소각 및 활용의 효율성이 떨어지게 된다.

<표V-4>폐기물 발열량

(단위 : kcal/kg)

	음식물류	종이류	플라스틱	목재류	기타유기물	평균
고위발열량	1,175	2,813	7,512	3,286	4,727	2,595
저위발열량	740	2,684	7,432	3,164	4,646	2,360

자료 : 전국폐기물통계조사(97), 환경부

폐기물 소각으로 회수한 열에너지 전량이 에너지로 이용되지 않을 수도 있다. 이는 회수열의 생산특성(폐기물의 소각처리에 따라 부산물로 발생)과 열의 수요특성(난방이나 생산 등 열 사용의 특성에 따라 부하 변동이 있음)이 부합되지 않을 수도 있기 때문이다. 따라서 에너지로 이용된 열 또는 전력생산을 위하여 투입된 폐기물의 투입량만 확인조사가 가능하다면 해당 투입폐기물의 발열량을 곱하여 폐기물 에너지량을 계산할 수 있다. 여기서 발열량은 저위발열량을 적용하여야 한다. 저위발열량은 쓰레기의 완전 연소시 발생하는 열량을 의미하며 쓰레기에 함유된 수분이나 연소시 생성되는 수분에 의해 흡수되는 열량을 제외한 값이다. 즉 최저발열량은 기존 기술을 이용한 연소과정상 어떤 연료가 방출할 수 있는 최대발열량으로 순발열량(NCV)이라고도 부른다.

통계적으로 자가소비 열생산에 투입한 연료는 최종소비로 산정하고 제 3자 판매한 열과 자가 발전에 투입된 연료는 전환부문에 포함시켜야 한다. 따라서 폐기물 에너지는 자가소비, 제3자 판매용 열, 자가발전으로 용도를 구분해 집계하여야 한다.

1) 도시쓰레기

도시쓰레기의 에너지원으로 이용방법은 가연성 물질을 분리하여 소각함으로써 열을 회수하는 직접소각과 고체연료화(RDF) 이용, 매립지가스(LFG) 이용 등이 있다. 국내에서는 직접소각에 의한 에너지 회수방법이 유일하게 이용되고 있는 실정이다. 직접소각을 통해 에너지를 회수하는 방법인 공정별 개요를 살펴보면, ① 계량대 (반입쓰레기 중량 및 성분조사) ② 반입장 (수집된 쓰레기를 저장고에 하역) ③ 저장고(반입된 쓰레기를 일시 보관, 3일분까지 저장가능) ④ 소각로(화격자소각로로 투입된 쓰레기는 건조, 전연소, 후연소의 3단계를 거쳐 750~950℃로 거의 완전 연소) ⑤ 폐열보일러(연소시 발생하는 열을 이용하여 증기생산) ⑥ 세정탑 (가성소다를 주입하여 연소생성물중 가스상 물질제거) ⑦ 반응탑 (소석회와활성탄을 주입하여 유해가스, 중금속) ⑧ 백필터 (여과포를 이용하여 다이옥신 등 오염물질 제거) ⑨ 탈초설비(암모니아를 주입하여 질소산화물을 환원하여 N2로 배출) ⑩ 재저장고(소각 잔재물 저장설비) 등 10단계로 구성되어 있다.

폐기물 소각에 의해 발생한 배가스의 온도는 dust의 용융이나 질소 산화물의 생성을 억제하기 위해 최고 950℃, 악취방지를 위해 최저 750℃로 유지하여야 하기 때문에 소각로 출구에서 750~950℃ 정도이다. 이 같은 소각배열을 <표V-5>에서 보는 바와 같이 여러 가지 형태로 변환하여 이용된다. 국내에서 에너지를 회수하고 있는 대형쓰레기 소각장의 경우 대부분 폐열보일러에서 고온·고압의 증기상태로 회수하여 냉난방 열원과 전력 생산에 이용하고 있으며 성남소각장의 경우는 열 교환기에서 온수로 열을 회수하고 있다.

<표 V-5> 소각로의 열회수 및 변환방법

변환방법	회수형태	회 수 방 법
온수변환	온 수	연소배기가스의 열을 이용하여 열교환기에서 온수 회수
증기변환	온열원	폐열보일러에서 연소가스의 열을 증기로 회수
	냉열원	
전기변환	발 전	폐열보일러에서 회수한 증기로 발전

현재 가동중인 소각시설 중 회수에너지를 지역난방용으로 판매하거나 자체난방이나 자가발전 등으로 여열을 자체 소비하고 있다. 폐기물에너지는 열 생산을 위하여 투입된 폐기물량에 저위발열량을 곱하여 에너지량으로 집계하여야 한다. 따라서 폐기물에너지 소비량은 열 또는 발전용 연료로 투입한 생활쓰레기 소각량을 조사하여 저위발열량을 곱하여 다음과 같이 집계한다.

$$\text{WES (TOE)} = \frac{\text{MSW} \times \text{NCV} \times \text{U}}{10^7 \text{kcal/TOE}}$$

- WES : 폐기물에너지 소비량(TOE)
- MSW : 쓰레기 소각량(톤)
- NCV : 소각 쓰레기 저위발열량(kcal/톤)
- U : 소각열 에너지 이용율(%)

통계적으로 최종소비에서 발생하는 손실을 고려하지 않고 그 이전에 발생한 손실만을 나타내고 있는 것에 유의해야 한다. 여기서 발열량은 소각 처리되는 폐기물의 성분에 따라 상이함으로 시설업자가 제시하는 소각쓰레기의 저위발열량을 적용한다. 대형 쓰레기 소각장의 경우 저위발열량에 대한 자료 입수가 비교적 용이하다. 그러나 일부 소각장에서 저위발열량에 대한 자료입수가 어려울 경우, 발열량에 대한 자료를 입수한 소각장의 평균 저위발열량을 적용할 수 있을 것이다. 소각 회수열의 전량이 에너지로 이용되었을 경우는 문제가 없으나 일부만 사용하였을 경우에는 에너지로 이용한 이용률을 파악하여 계산하여야 한다. 그리고 소각열의 이용 용도를 제3자 판매분과 자체소비 및 자가발전용으로 구분하여 각각의 비율로 폐기물 에너지의 투입연료를 배분한다. 자가발전용 연료로 소각열을 이용하였을 경우 투입 폐기물량을 모르고 발전량만을 알 경우는 발전효율을 적용하여 추정할 수 있다. 자가발전시설을 보유하고 있는 4개 소각장의 발전열효율은 5% 이하로 일본의 폐기물 발전효율 15~20%에 비하여 상당히 낮은 수준에 있다. 이는 이들 소각장이 내륙에 위치하고 있어 증기터빈의 배기증기로 공냉식 복수기를 사용하고 있기 때문이다. 1997년 10개 대형 생활쓰레기 소각장의 소각열 이용실태에 관한 조사에 따르면, 생활폐기물 소각량은 689,922톤이며, 이들 쓰레기의 평균 저위발열량은 1,522kcal/kg(최저 1,220~최고2,00kcal/kg)로 조사되었다. 소각열 총발생량은 1,020,000Gcal으로 집계되었으며 이중 53.2%가 에너지로 이용되고 나머지 46.8%가 미활용된 것으로 나타났다. 소각열의 이용 용도를 살펴보면 총발생량중 11.9%는 소각장내 사용하고, 40%는 지역난방 등, 1.3%는 자가발전에 이용되었다. 폐기물 소각량이나 저위발열량을 모르고 열(증기)생산량만을 알 경우는 다음과 같이 폐기물 에너지량을 추정할 수 있다.



- WES : 폐기물에너지 소비량
- SQ : 순수 폐기물 소각 증기발생량(스팀톤)
- BER : 보일러 효율(80%)
- SCV : 스팀 발열량(539,000kcal/톤)
- Ur : 소각열 에너지 이용율(%)
- OF : 보조연료 사용비율(%)

여기서 보일러 효율은 80%를 적용하고 단위 증기발열량 539,000kcal/톤 적용한다. 그리고 SQ는 순수 폐기물 소각에 의한 증기 발생량을 의미하며, 소각시 투입 쓰레기의 발열량이 낮아 보조 연료를 투입하였을 경우에는 이들 연료로부터 열(증기) 발생량을 제외하여야 한다. 보조연료에 의한 증기 발생량은 투입 연료량에 보일러 효율을 적용하여 역산함으로써 추정할 수 있다. 지역난방용 열 판매량은 기존 통계에서 파악할 수 있으므로 이 방식을 이용하여 열 생산을 위해 투입한 폐기물 에너지량을 추산할 수 있다.

2) 산업체 폐기물 소각

산업폐기물은 산업체의 생산활동 결과로 배출되는 폐기물과 생산과정에서 배출되는 부생물, 에너지사용이나 화학공정 등에서 발생하는 폐에너지나 부생가스 등을 총칭하는 개념으로 업종별, 공정별로 그 종류가 다양하며 많은 양이 발생하고 있다. 산업폐기물의 이용실태는 산업폐기물의 특성상 별도의 공급체계나 유통체계가 없어 파악하기가 용이하지 않다. 에너지로 이용되는 폐기물은 주로 폐목, 폐지, 폐섬유, 폐합성수지, 폐슬러지, 폐피혁, 폐타이어, 폐용제류, 폐페인트 등이다.

산업체의 폐기물에너지 소비량은 열 또는 발전용 연료로 투입한 폐기물량을 조사하여 저위 발열량을 곱하여 집계한다. 따라서 산업체의 폐기물에너지 소비량도 도시쓰레기의 에너지 소비량의 추정방식과 동일한 방식으로 추정할 수 있다. 산업체에서 열생산 연료로 폐기물 투입하였을 경우 투입 폐기물은 최종소비로 산정하고 전력생산에 투입되는 폐기물 연료는 전환부문의 소비로 산정하기 때문에 동일 보일러 시스템에 투입한 연료를 두가지 용도로 구분해야 한다

IEA는 폐목, 폐가스 등 폐기물을 발전 투입연료로 사용하였을 경우에는 열량으로 표현하며, 동 투입열량을 모를 경우는 발전효율 33%를 적용하여 투입량을 산출할 것을 권고하고 있다. 한국전력공사가 상용자가발전사업체에 대해 매년 조사를 실시하고 있는 바, 이 조사결과를 토대로 발전용 연료로 투입된 폐기물 에너지량을 추정하여 소비량을 집계하는 방안을 모색할 필요가 있다. 한전의 조사결과에 의하면 국내에서 현재 폐목 등 재생에너지를 연료로 사용하는 자가발전소가 상당수 가동되고 있다. 폐목을 연료로 사용하여 자가발전하고 있는 업체로는 선창산업(5,520kW), 이견산업(3,665kW),대성목재(3,200kW) 등이 있다.

라. 메탄가스 소비추정

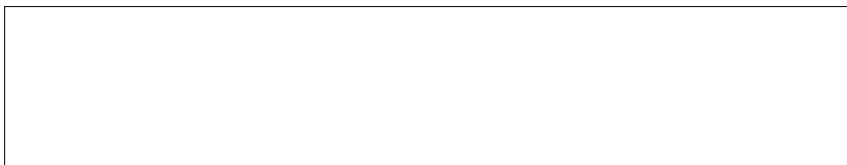
메탄가스는 유기물이 혐기상태(산소가 공급되지 않는 상태)에서 발효되며 발생한다. 폐기물을 처리하여 메탄가스를 발생시키는 혐기성 소화기술은 유럽각국 및 선진국에서는 이미 상용화되어 활발하게 보급되고 있다. 또한 쓰레기를 매립하였을 때 발생하는 농도 50~70%의 메탄가스(매립지 가스)를 이용하는 방식도 보편화되고 있다. 이 같은 메탄가스의 이용이 급속히 보급되고 있는 것은 이들 폐기물성 바이오 매스 자원(예를 들면, 축산 폐수, 음식쓰레기, 폐지 등)이 재활용되거나 에너지로 재순환되지 않으면 환경 문제를 일으키게 된다, 그러나 바이오매스를 에너지로 이용하면 화석 연료와는 달리 대기중의 CO₂를 증가시키지 않고

순환되기 때문이다. 국내에서는 유기물 농도가 높은 축산분뇨, 공장폐수, 생활 하수 등을 혐기소화 처리할 때 발생하는 메탄가스를 회수하여 에너지로 이용하는 것에 국한되었으나, 최근에는 유기성 고형 폐기물(음식 쓰레기 등)을 반응기 안에서 혐기소화 시킬 때 나오는 가스를 이용한 방법도 도입되었다. 우리 나라에서는 주정공장 등 산업체 및 하수처리장 등에서는 하수처리과정에서 발생하는 메탄가스를 회수하여 에너지로 이용되고 있다. 하수처리 방법중 메탄가스가 발생 가능한 표준활성슬러지법을 채택하고 있는 하수처리장의 처리계통을 살펴보면, ① 침사지 (모래 및 진흙제거) ② 유입펌프장 (수처리하기에 적당한 높이까지 하수를 끌어올림) ③ 최초침전지 (하수가 약 2시간정도 체류하면서 BOD 및 SS를 각각 30~35% 제거) ④ 포기조(공기를 불어넣어 주면서 미생물이 성장 번식하여 유기물을 미생물 덩어리로 만듦) ⑤ 최종침전지(하수가 3시간정도 체류하면서 활성오니는 침전되어 대부분 포기조로 반송되며 일부는 잉여슬러지 형태로 농축조로 보냄) ⑥ 방류펌프장(처리된 하수를 하천 등으로 배출함) 등 크게 6단계로 구분된다. 6단계 처리과정 중 3, 4, 5단계에서 발생하는 슬러지(sludge) 및 오니를 소화조에서 처리하는 과정에서 많은 양의 소화가스가 발생한다. 일반적으로 소화가스의 성분은 메탄가스가 60~65%, 탄산가스가 35~40%, 황화수소 및 기타가스가 1~2%의 구성되어 있다. 메탄(소화)가스의 평균발열량은 5,000~5,500kcal/m³ 정도이다.

메탄가스의 이용은 탈황법에 의하여 황화수소를 제거한 후 가스탱크에 저장하여 보일러나 자가발전기의 연료로 사용되고 있다. 따라서 메탄가스 소비량은 보일러 또는 발전용 연료로 투입한 메탄 가스량을 조사하여 발열량을 곱하여 집계하여야 한다.



여기서 메탄가스의 평균 발열량은 5,250kcal/m³를 적용할 수 있을 것이다. 메탄가스 생산량은 계기(메타기)가 부착되어 있어 파악하기가 용이하다. 발생한 메탄가스의 전량이 에너지로 이용되었을 경우는 문제가 없으나 일부만 사용하였을 경우에는 메탄가스의 연료로 이용한 량을 파악하여 이를 기준으로 집계하여야 한다. 그리고 메탄가스의 이용 용도를 보일러 연료와 자가발전 연료로 구분한다. 만약 소화조 가온보일러의 연료로 투입된 메탄 가스량을 모르고 열(증기)발생량만을 알 경우는 다음과 같이 메탄가스 에너지량을 다음과 같이 추정할 수 있다.



여기서 보일러 효율은 80%를 적용하고 단위 증기발열량 539,000kcal/톤을 적용한다. 그리고 보일러 연료로 메탄가스 이외에 다른 연료가 투입되었을 경우에는 연료의 열(증기)발생량을 제외하여야 한다. 타 연료의 열발생량은 보일러 효율을 적용, 역산하여 추정할 수 있다.

메탄가스 이용사례를 살펴보면, 중량하수처리장의 경우 1997년에 14,829,714m³의 메탄가스가 발생하여 이 중에서 60.8%에 달하는 5,816,640m³를 보일러 연료로 사용하고, 나머지는 발전용 연료로 이용하였다. 이를 평균발열량 5,250Kcal/m³로 적용하여 에너지량으로 환산하면 7,785.6TOE에 달한다. 참고로 현행 추정방식으로 집계하면 5,112.3TOE로 실제사용량과의 차이가 2,673.3TOE가 발생하여 50%이상의 차이가 있다. 이는 1차 에너지와 유효에너지(센터)와의 개념상 차이와 보조연료 사용량, 운전부하율 적용 등에서의 차이에 기인한다.

VI. 요약 및 결론

최근 에너지 수요의 증가는 에너지원의 고갈과 심각한 환경문제를 유발하여 에너지 이용의 제약요인으로 대두되기에 이르렀다. 이에 대한 근본적인 대책으로 선진국을 중심으로 각 국가에서는 미래 에너지원 확보와 지구환경보호 차원에서 강력한 정책적 지원하에 재생에너지의 기술개발과 보급확대에 노력하고 있다. 재생에너지는 인간이 이용하는 만큼 다시 생성되는 에너지를 의미하며 일반적으로 재생에너지에는 수력, 태양에너지, 풍력에너지, 지열에너지, 해양에너지(파력 및 조력 포함), 바이오매스 및 폐기물을 포함한다. 화석연료는 생성되는 양보다는 소비량이 많은 고갈성 자원인 반면, 재생에너지는 소비량 만큼 다시 생성되기 때문에 고갈의 문제가 없다는 장점을 가지고 있다. 또한 온실가스 배출 등 환경오염을 유발하는 화석연료에 비해 환경오염을 거의 유발하지 않는다는 사실도 재생에너지의 장점으로 지적된다.

우리 나라는 1987년 「대체에너지개발촉진법」을 제정하고 기본계획을 수립하여 본격적으로 기술개발 및 보급확대를 추진하고 있다. 그 동안 대체에너지 기술개발에 총 1,190억원을 투자하였으며, 1997년부터 향후 10년간 5,270억원의 예산을 기술개발에 투자할 계획이다. 정부는 기술의 상용화를 통한 시장창출과 보급확대로 2001년까지 총 에너지수요의 1.3%, 2006년까지는 2%를 대체에너지로 공급할 계획이다. 대체에너지 정책을 성공적으로 추진하기 위해서는 국가적으로 보급 실적 및 전체 에너지에 있어 기여도를 정확하게 파악하고 체계적이고 종합적인 통계의 작성과 편집이 필요하다. 그러나 국내 재생에너지 통계는 수급흐름을 제대로 반영하지 못하고 있으며 또한 1차 에너지와 유효 에너지가 혼재되어 있고 소비량의 추정 방법에도 문제점을 가지고 있다. 현실적으로 OECD 가입에 따른 에너지통계작성·제출의무를 고려할 때 재생에너지 통계도 IEA 통계체계에 맞게 작성하는 것이 바람직하다.

첫째로 재생에너지원의 통계범위를 명확하게 정립해야 한다. 최근 국제적으로 통계적 측면에서는 대체에너지라는 용어 대신에 재생에너지라는 용어로 통일되는 추세를 보이고 있다. 우리 나라는 대체에너지로 태양에너지(태양열, 태양광발전), 바이오에너지, 풍력, 소수력, 연료전지, 석탄액화 및 가스화, 해양에너지, 폐기물에너지, 석탄혼합연료, 지열로 정의하고 있다. 이 같은 대체에너지 정의를 기준으로 재생에너지 통계가 작성되고 있어 현재 이용되고 있는 일부 재생에너지원 집계에서 제외되고, 일부는 기존 통계와 중복되는 문제가 있다. 따라서 통계적 측면에서 재생에너지의 통계범위에 다음 사항이 개선되어야 한다. 우리나라도 재생에너지 통계에서 모든 수력을 포함해야 한다. IEA, 미국, 유럽연합은(EU)은 모든 수력을 재생에너지로 분류하고 있으나 우리 나라와 일본은 소수력만을 재생에너지로 분류하고 있다. 그리고 재생에너지원 통계에 신탄을 포함시켜야 한다. 현재 국내 대체에너지에서 바이오에너지로 바이오매스로부터 생산된 가스연료, 액체연료, 고체연료만을 대상으로 하고 연료로 직접 투입되는 바이오매스를 대상에서 제외하고 있다. 신탄은 대표적인 바이오매스이며 대부분 국가들이 재생에너지 통계에 포함시키고 있다. IEA, EUROSTAT 및 미국은 재생에너지 소비통계에 포함하고 있다. 또한 공기, 지하의 환기배열, 지하수, 하천수 등 온도차 에너지를 향후 국내에서 이용될 경우 재생에너지원에 포함시키는 것이 바람직하다. 유럽연합(EU) 및 일본 등에서는 하수, 하천수 등의 온도차 에너지를 재생에너지원에 포함시켜 소비통계를 작성하고 있다. 그러나 석탄혼합연료는 재생에너지 통계에서 제외하는 것이 바람직하다. 석탄 혼합연료(석탄액화 및 가스화 포함)는 석탄통계에 포함시키는 것이 일반적이며 IEA는 석탄 및 전환부문에 포함시키고 있다.

둘째, 체계적인 자료수집 및 수급흐름을 반영하는 통계체제로 개선해야 한다. 통계자료의 작성에는 자료수집과 조직화를 위한 기초로써 일정한 원리나 지침이 필요하다. 에너지의 수급 통계는 모든 에너지원과 소비 용도에 관한 상황을 나타내는 것이며, 에너지통계가 추구해야 하는 명제는 에너지 공급량과 소비량을 표현하고, 에너지의 공급에서 최종소비과정의 흐름과 배분을 정확하게 나타내어야 한다. 따라서 재생에너지원의 이용 행태를 자가소비 열생산, 외부판매 열생산, 자가발전 등으로 용도를 구분하여 통계를 작성하여야 한다. 통계적으로 자가 소비 열생산을 위해 투입 연료는 최종소비로 집계하고, 제 3자 판매용 열생산과 자가발전을 위하여 투입한 연료는 전환부문에 집계하기 때문에 투입연료를 3가지 용도로 구분해야 하며 최종소비에서 발생하는 손실을 고려하지 않고 그 이전에 발생한 손실만을 나타내고 있

는 것에 유의해야 한다. 그리고 수력, 태양광 발전, 풍력 등의 열량기준을 향후 국제기준에 따라 1차 에너지로 열량환산시 $1\text{kWh}=860\text{kcal}$ 를 적용하여야 할 것이다. IEA, EUROSTAT (유럽연합통계국)은 전력의 경우 1차 에너지량 계산방법으로 "실질에너지량법"을 적용하고 있으나 우리나라에서는 부분대체방법을 사용하고 있다. IEA에서 수력발전, 태양발전, 풍력 발전의 경우는 발전효율을 100%로 계상하여 $1\text{kWh}=860\text{kcal}$ 를 적용하고, 지열 발전의 경우는 발전효율 10%로 계상하여 $1\text{kWh}=8,600\text{kcal}(860\text{kcal}/0.10)$ 을 적용하여 1차 에너지 생산량을 계산하고 있다. 동 기준은 EUROSTAT, BP, UN 등에서도 따르고 있는 실정이다. 그러나 우리나라는 수력, 태양력, 풍력 발전의 1차 에너지 생산량으로 열량환산시 $1\text{kWh}=2,500\text{kcal}$ (발전효율 34.4%)를 적용하고 있다.

셋째로 일부 재생에너지원의 소비량 집계방식을 개선해야 한다. 현행 우리나라의 재생에너지 소비통계는 이용설비 보급실적을 토대로 추정하거나 일부는 소비실적 자료를 수집하여 작성되고 있다. 추정방식으로는 표준원단위를 정해 놓고 이용설비의 누적 보급대수를 단순히 곱하는 방식이 사용되고 있다. 태양열 소비량은 집열기 보급대수에 표준원단위(0.14TOE)를 곱하여 추정되고 있어 일사량 및 집열면적의 차이를 반영하지 못하고 있다. 태양열 이용기기의 에너지 생산량은 계절이나, 시간대, 그리고 기후 등 자연조건에 따라 변화하는 일사량과 집열판 면적 및 시스템 효율에 의해 결정된다. 따라서 태양열 에너지 소비량은 보급 집열기의 집열면적, 일사량, 시스템 효율을 반영하여 추정하여야 한다. 또한 태양광 발전시스템의 소비량도 발전용량(kWp)에 표준원단위(0.13TOE/kWp·년)를 곱하여 추정하고 있어 연도별 일사량 변화를 반영하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 태양광 발전시스템의 발전량은 발전용량과 설치입지의 일사량, 그리고 시스템 효율에 의해 결정된다. 따라서 태양광 발전시스템의 발전량을 태양전지 용량과 시스템 효율, 경사면 일사량을 토대로 추정하는 것이 합리적이다. 폐기물 에너지와 메탄가 소비량은 유효 에너지인 증기생산량을 에너지량으로 집계하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 폐기물 에너지는 열 생산을 위하여 투입된 폐기물량에 저위발열량을 곱하여 에너지량으로 집계하여야 한다. 소각열의 이용 용도를 제3자 판매분과 자체소비 및 자가발전용으로 구분하여 각각의 폐기물의 투입량을 구분해야 한다. 또한 메탄가스의 소비량의 경우도 유기물이 혐기상태(산소가 공급되지 않는 상태)에서 발효되며 발생하는 메탄가스중 보일러나 자가발전기의 연료로 사용된 투입량 조사하여 발열량($5,250\text{kcal}/\text{m}^3$)을 곱하여 집계하여야 한다. 메탄가스의 이용 용도를 보일러 연료와 자가발전 연료와 구분하여야 작성하여야 한다.

재생에너지는 지역적으로 분산(dispersed)되어 이용되고 있고, 다른 에너지원에 비하여 공급 체계가 정립되지 못한 특징을 가지고 있다. 또한 일부 재생에너지원은 非에너지 생산과정의 부산물로 생산·이용되고 있다. 이 같은 재생에너지원의 일반적 특성으로 인하여 일부 재생에너지원의 경우는 소비실태에 관한 전수조사의 과정을 거치지 않는 이상 정확한 소비량을 파악하기란 어렵다. 따라서 재생에너지의 소비통계는 자료의 수집 및 통계를 작성하는데 상당한 시간과 비용이 수반되어 바, 신뢰성 있는 소비통계를 작성하기 위해서는 정부의 적극적인 지원이 요구되고 있다.

참 고 문 헌

- 박태식, 「에너지 수급통계체계 및 열량환산기준에 관한 연구」, 에너지경제연구원, 1996
- 김진오, 「대체에너지 소비통계체계 구축을 위한 정보네트워크 구성 및 계산프로그램 개발 연구」, 에너지경제연구원, 1990
- 상공자원부, 「대체에너지 수급통계 정비방안 연구」, 1995
- 에너지관리공단, 「1997년도 신·재생에너지관련자료집」, 1998
- 한국에너지기술연구소, 「신·재생에너지 기술 워크샵」, 1997
- 한국에너지기술연구소, 「독립형 PV 시스템 이용기술 합리화 방안 연구(I)」, 1995
- 한국에너지기술연구소, 「독립형 PV 시스템 이용기술 합리화 방안 연구(III)」, 1996
- 한국에너지기술연구소, 「소수력발전소의 경쟁력강화에 의한 개발활성화 방안 연구」, 1997
- 한국에너지기술연구소, 「풍력발전 유망지역의 풍력자원 정밀조사」, 1997
- 한국에너지기술연구소, 「농축산 폐기물의 통합소화에 의한 에너지 및 퇴비생산 공정개발 연구(I)」, 1997
- 한국에너지기술연구소, 「액상 폐기물의 발생원별 특성조사 및 최적처리기법(II)」, 1996
- 한국에너지기술연구소, 「액상 폐기물의 발생원별 특성조사 및 최적처리기법(III)」, 1997
- 한국에너지기술연구소, 「국내 일사량 분석·평가 및 데이터 표준화 연구」, 1997
- 한국에너지기술연구소, 「태양열 온수급탕 시스템 성능표준화 연구」, 1997
- 과학기술처, 「태양에너지시설 적용 연구」, 1994
- IEA, 「Energy Statistics of OECD Countries 1995-1996」, 1998
- IEA, 「Energy Statistics & Balances of OECD Countries 1993-1994」, 1996
- IEA, 「Energy Statistics of NON-OECD Countries 1995-1996」, 1998
- IEA, 「Renewable Energy Annual 1998」, 1998
- IEA, 「Annual Energy Review 1996」, 1997
- IEA, 「Estimates of U.S. Biomass Energy Consumption 1992」, 1994
- European Commission, 「Renewable Energy Sources Statistics 1989-1991」, 1995
- EUROSTAT, 「Principles and Methods of The Energy Balances Sheets」, 1998