C2005-30 / 2005. 10

목질 바이오매스 열에너지 개발의 경제성 분석과 에너지용 산림폐재의 지속적 확보방안

석 현 덕 연 구 위 원
민 경 택 전 문 연 구 원
손 철 호 위촉전문연구원
장 우 환 경북대학교 교수

KREI
한국농촌경제연구원

머 리 말

지구환경 문제의 대두와 고유가 시대를 맞아 친환경적인 재생에너지의 개발은 세계 각국의 주요 과제가 되고 있다. 이 가운데 바이오매스는 농산촌에 풍부하게 존재하는 자원으로 이를 에너지로 활용하는 것은 화석연료를 대체하여 지구 온난화 방지에 기여하며 자원순환형 사회 구축에 기여할 수 있다. 그뿐만 아니라 농산촌 지역 주민의 복지 증진 및 지역 활성화에도 기여한다는 점에서 매우 중요하다.

그러나, 우리나라 농산촌 현실에서 바이오매스를 연료로 활용하는 난방설비의 보급이 부족하고, 숲 가꾸기 과정에서 발생하는 산림폐잔재를 수집하여 에너지원으로 활용할 수 있는 체계가 미비하다. 이는 지속가능한 산림자원 관리뿐만 아니라 국가경제에도 바람직하지 못하다. 따라서 농산촌에 버려지고 방치되는 바이오매스 자원을 적극 활용하는 체계를 구축하는 것은 시급한 과제이다.

이 보고서는 산림폐잔재를 열에너지로 이용하기 위한 시스템 개발 연구에 협동과제로 참여한 결과물이다. 주요 외국의 목질 바이오매스 에너지 이용에 관한 동향을 살피고, 우리나라에서 산림 폐잔재를 에너지로 활용하는 방안을 모색하고자 하였다.

이 연구가 목질 바이오매스의 에너지 이용을 위한 정책수립에 유용한 자료가 되기를 바라며, 연구 과정에서 협조해 주신 공동연구자들께 깊이 감사드린다.

2005. 10.

한국농촌경제연구원장 **최 정 섭**

목 차

제 1 장 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적 ····· 1
2. 연구 내용과 방법 ····· 2
3. 선행연구 검토 ····· 3

제 2 장 목질 바이오매스 에너지 이용의 의의

1. 목질 바이오매스 에너지의 분류와 효과 ····· 5
2. 목질 바이오매스 에너지 이용의 특성과 형태 ····· 10

제 3 장 국내외 목질 바이오매스의 에너지 이용 사례

1. 우리나라의 목질 바이오매스 에너지 이용 ····· 20
2. 일본의 목질 바이오매스 에너지 이용 ····· 23
3. 미국의 바이오 에너지 이용 ····· 29
4. 유럽의 바이오에너지 이용 ····· 30

제 4 장 국내 목질 바이오매스의 에너지 활용 가능성

1. 목질 바이오매스 자원의 부존 및 발생 현황 ····· 35
2. 목질 바이오매스의 생산 비용 분석 ····· 47
3. 농산촌 지역의 에너지 이용 현황 ····· 50
4. 목질 바이오매스 에너지 이용의 경제성 분석 ····· 52

제 5 장 목질 바이오매스 에너지 이용의 활성화 방안

1. 목질 바이오매스 에너지 이용의 추진방향과 과제 ····· 56

2. 목질 바이오매스 에너지 활용 기술개발 방향 ····· 59
3. 산림폐잔재의 지속적 확보 방안 ····· 61

제 6 장 결론 및 요약 ····· 64

참고문헌 ····· 66

<부록> 바이오매스 일본 종합전략 ····· 68

표 차 례

제1장

표 1- 1. 연구개발 목표 및 내용 ····· 2

제2장

표 2- 1. 목질연료의 분류 ····· 6
표 2- 2. 연료별 환경효과 비교 ····· 8
표 2- 3. 목질 바이오매스 자원에 적용 가능한 에너지 전환기술 ····· 14

제3장

표 3- 1. 우리나라의 신・재생에너지 공급 목표 ····· 21
표 3- 2. 바이오에너지 분야 국내외 기술개발 보급 현황(2000년) ····· 22
표 3- 3. 2002년도 일본 목재산업의 바이오매스 에너지 이용 ····· 26
표 3- 4. 일본 임야청 지원에 의한 목질바이오매스 발전시설의 개요 ···· 26
표 3- 5. 유럽의 바이오에너지 이용 및 정책 ····· 32

제4장

표 4- 1. 우리나라의 영급별 산림면적 ····· 35
표 4- 2. 주요 수종별 영급별 ha당 표준임목재적(주부임목 합계) ····· 36
표 4- 3. 산림폐잔재가 발생하는 산림사업 실적 ····· 37
표 4- 4. 산림폐잔재의 구분 ····· 37
표 4- 5. 숲 가꾸기 공공근로사업장에서의 경급별 수종별 벌채 본수 ···· 39
표 4- 6. 평균목 재적에 의한 벌채목의 임목재적 추정치 ····· 39
표 4- 7. 시민단체의 숲 가꾸기 사업 모니터링 결과 ····· 40

표 4- 8. 산림 폐잔재 발생량 추정 ····· 41
표 4- 9. 산림 폐잔재의 활용용도별 수집량 ····· 44
표 4-10. 숲가꾸기 산물수집 공정 및 단가 ····· 48
표 4-11. 목재칩 파쇄비용 ····· 49
표 4-12. 목재칩 공급비용의 산출 ····· 49
표 4-13. 농촌 지역의 에너지 소비량 (열량기준) ····· 50
표 4-14. 농촌 지역의 난방설비별 가구당 에너지 소비 형태(고유 단위 기준) ···· 51
표 4-15. 농촌 지역의 난방설비별 가구당 에너지 소비 형태(열량기준) ····· 52
표 4-16. 에너지가격 추이 ····· 53
표 4-17. 에너지원의 열환산 기준 ····· 53
표 4-18. 난방 설비별 단위 열량 생산 비용 비교 ····· 54
표 4-19. 등유 보일러와 목재칩 보일러 비교 ····· 54

그 림 차 례

제2장

그림 2- 1. 국내 원유 도입단가 추이 ····· 11
그림 2- 2. 목질 바이오매스의 에너지 이용형태 ····· 18

제4장

그림 4- 1. 산림사업후 방치되는 산림폐잔재 ····· 38
그림 4- 2. 산림폐잔재의 유통경로 ····· 44
그림 4- 3. 목재칩 보일러 시작품 ····· 55

제 1 장

서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

지구환경 문제의 대두와 高油價시대를 맞이하여 각종 친환경적인 신・재생 에너지(new and renewable energy)의 개발이 활발해지고 있다. 신・재생 에너지 가운데 임산 바이오매스 에너지는 여러 가지 장점으로 인해 주목받고 있다. 임산 바이오매스 에너지는 화석연료에 비해 SO_2 발생이 없는 청정에너지이며 재생가능자원의 활용, 임업활동의 활성화, 폐자원 활용 및 외화절약 등에 기여하는 바가 크다.

선진국에서는 지역에 따라 연료림, 간벌재, 제재 폐재를 활용하는 임산 바이오매스 에너지가 화석연료와 경쟁력이 있을 것으로 확신하여 경제적이고 친환경적인 임산 바이오매스 에너지 프로그램을 실시하고 있다. 핀란드에서는 전체 에너지의 20% 수준을 바이오 에너지가 차지하며, 스웨덴은 15.3%, 오스트리아 4.0%, 스위스는 1.6%이다. EU는 자연에너지 이용 행동계획을 수립하여 2010년까지 목질계 에너지가 전체 에너지 소비량의 9%를 담당하도록 추진하고 있다. 일본은 2002년 신에너지 이용촉진법과 '바이오매스 일본 종합전략'을 수립하여 2010년까지 목질계 에너지로 2%를 충당하도록 계획하고 있다.

우리나라에서는 그동안 산림자원의 공급이 부족하였고 사용의 불편성 때문에 아직도 화석연료 의존도가 높은 실정이다. 그러나 최근 유류 가격이 급등하여 농산촌 지역에서 가계 부담이 높아지면서 목질 바이오매스의 에너지 이용에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재 숲 가꾸기 산물이 생산되고 있으며 가까운 장래에 간벌재의 대량생산이 예상되므로 이를 적극 활용할 수 있는 대책마련이 필요하다. 특히 산림 폐잔재를 수집 활용하는 것은 산불 및 홍수 피해의 위험요소를 제거하는 것이며 조림대상지에서는 정리 작업을 겸할 수 있다. 그리고 병충해 발생 가능성을 감소시켜 산림의 생태적 건강도를 증진시킬 수 있다.

이 연구의 목적은 산림 폐잔재를 활용한 농산촌 가정용 보일러 시스템의 경제성을 분석하는 것이며, 에너지용 폐잔재를 지속적으로 확보할 수 있는 방안을 모색하는 것이다.

2. 연구 내용과 방법

이 연구는 산림 폐잔재의 발생현황과 유통체계, 그 수집비용과 칩 제조비용을 분석하며 농산촌 지역의 에너지 이용실태조사에 기초하여 에너지 대체 가능성을 검토하는 것을 그 내용으로 한다.

표 1-1. 연구개발 목표 및 내용

연구개발목표	연구개발내용
농산촌 에너지 이용실태 및 에너지용 폐재이용의 잠재력 평가	▪ 농산촌 에너지 이용실태 ▪ 청정에너지용 산림폐재 이용의 잠재력 평가
열에너지 개발의 경제성 분석	▪ 목질 에너지 생산 및 개발비용 분석 ▪ 목질 에너지 공급가격과 대체가능성 분석 ▪ 에너지용 산림 폐재의 유통체계 분석
열에너지 공급 시스템의 경제성과 기술보급, 에너지용 산림폐재의 지속적 확보방안	▪ 열에너지 공급 시스템의 경제성 분석 ▪ 열에너지 공급 시스템의 보급 및 지원방안 ▪ 열에너지 산림폐재의 지속적 확보방안

이를 위해 기존의 통계자료와 문헌조사, 현지 방문 면담조사, 농촌 지역 에너지 이용 실태 조사 자료를 활용하여 목재 칩 이용 보일러의 타 에너지 보일러 시스템에 대한 대체 가능성, 경제적 타당성을 분석하였다.

3. 선행연구 검토

우리나라에서 산림자원을 바이오매스 자원으로서 에너지 평가를 시도한 것은 홍종준 외(1989)의 '바이오매스 자원조사 및 에너지 평가분석'이 있다. 이 보고서는 산림자원의 수간, 가지, 수피, 낙엽, 치수 등의 바이오매스를 추정하고 이를 에너지로 환산・평가하였다. 임업연구원(2000)은 산림폐잔재 뿐만 아니라 물류폐잔재, 건설폐잔재 등 폐잔재 발생 실태와 재활용 방안을 분석하고 폐목재를 처리 및 재활용하는 전담기구 설치를 제안하였다. 이임영(2005)은 벌채지 폐잔재 활용을 위하여 생산 시스템 개혁과 산림바이오매스의 산업화 추진을 제안하였다.

산림폐잔재의 다양한 활용에 관해서는 다수의 연구가 수행된 바 있다. 장우환(2003)은 산림폐잔재를 유기질 비료로 활용하는 방안에 대하여 제안하였고, 장철수(2004)은 조립식 탄화장치를 개발하여 산림폐잔재를 목탄, 목초액 제조에 활용하는 방안을 제안하였다. 오용성(2003)은 산림폐잔재를 Com-ply 제조에 활용하는 기술과 방안을 제안하였고, 최돈하(2002)은 발효처리하여 조사료로 이용하는 방안을 제안하였다.

이와 함께 산림폐잔재의 에너지 활용에 관한 연구도 활발하게 이루어지고 있다. 한국임정연구회(2003)는 숲 가꾸기 산물의 수집비용을 분석하고 경제적 활용을 위하여 에너지로 활용할 것은 제안하였다. 산림포럼이 주관한 '목질계 Bio-Energy의 활용 촉진을 위한 심포지엄', 강원대학교 삼림과학대학에서 주관한 '산림바이오매스 이용의 비전과 전략' 심포지엄은 산림폐잔재의 에너지 이용에 관한 높은 관심을 보여 주는 것이다.

우리나라와 산림자원 여건이 비슷한 일본에서는 산림자원이 풍부한 지방

자치단체를 중심으로 목질 바이오매스 활용에 관한 연구가 다수 수행되었다. 구체적으로 近畿経済産業局(2002), 滋賀縣山東町(2004), 三重縣(2004), 北海道(2002), 愛媛縣(2002) 등이 있다. 이들 연구는 소규모 열에너지 공급시스템보다는 지역난방, 바이오발전 시스템과 같은 대규모 에너지 공급을 분석하고 있다.

제 2 장

목질 바이오매스 에너지 이용의 의의

1. 목질 바이오매스 에너지의 분류와 효과

1.1. 목질 바이오매스 에너지의 분류

바이오매스란 어느 시점에 임의의 공간에 존재하는 특정한 생물군의 양을 중량이나 에너지량으로 나타낸 것이다. 바이오매스는 생태학 용어로서 원래 살아있는 동물, 식물, 미생물의 유기물량을 나타내지만 유기성 폐기물도 바이오매스에 포함된다. 바이오매스 자원으로는 나무, 초본식물, 그리고 수생식물, 해조류, 조류(藻類), 광합성세균 등이 있다. 유기성 폐기물, 농산폐기물, 임산폐기물, 축산폐기물, 산업폐기물, 도시 쓰레기 등도 직접 또는 변환하여 연료화할 수 있다.

바이오매스를 에너지원으로 이용하면 에너지를 저장할 수 있고 재생이 가능하며 물과 온도 조건만 맞으면 지구 어느 곳에서나 얻을 수 있고 적은 자본으로도 개발이 가능하며 원자력 등 다른 에너지와 비교할 때 환경친화적이며 안전하다. 그러나 바이오매스 자원을 얻기 위해 넓은 면적에서 수집할 필요가 있으며 자원량의 지역적 차이가 큰 것이 단점이다.

바이오매스를 에너지원으로 이용하는 방법에는 직접연소, 메탄발효, 알코올 발효 등이 있다. 예를 들어 생물이 공기가 없는 곳에서 썩으면 메탄가스

가 발생한다. 이 과정을 혐기발효라 하는데 이때 생성된 메탄가스, 즉 바이오 가스는 조리용, 난방용, 발전용 등의 연료로 사용할 수 있다. 지구에서 생산되는 바이오매스는 1억8천만 톤으로 알려져 있는데 이것을 바이오 프로세스로 메탄이나 수소가스로 바꿀 수 있다면 석유 소비를 대체할 수 있으며 적정하게 이용하면 고갈될 염려가 없다는 이점이 있다.

바이오매스 에너지는 식물이나 동물이 생성, 배출하는 유기물로부터 얻을 수 있는 에너지이다. 인류는 식물체를 열원으로 사용하였으며 산업혁명 이전에는 세계 에너지 소비량의 40% 정도가 이와 같은 바이오매스이었다. 이후 연료자원으로서 바이오매스는 석유나 석탄 등 화석연료로 대체되었으나 근래에 들어 화석연료의 부존 및 개발에 한계가 드러남에 따라 바이오매스는 재생 가능한 에너지 자원으로서 새롭게 주목받고 있다.

바이오매스 에너지는 무한한 태양에너지를 식물의 광합성 작용에 의해 유기물 자원으로 변환·고정하여 저장된다. 태양에서 지구로 전달되는 에너지의 약 0.07% 정도가 식물의 광합성 작용에 의해 유기물로 저장되는데 매년 바이오

표 2-1. 목질연료의 분류

목질연료	정의	제품 예
직접 목질연료	연료로서 직접 또는 간접적으로 이용되며, 에너지목적으로 생산된 목재	연료목재 - 미가공목재 - 칩, 펠렛 목탄
간접 목질연료	목재가공활동에서 생산되는 주요 고체바이오 연료	연료목재 - 수피, 톱밥 - 칩, 펠렛
회수 목질연료	연료로서 직접 또는 간접적으로 이용되어 임업계 외부의 사회경제활동에서 파생된 목재	연료목재 - 회수 미가공목재 - 목재콘테이너, 팔렛트 목구조물, 건설폐목재 가구 - 칩, 펠렛
목질계 파생연료	임업 또는 목재산업에서 생산되어 주로 액체 또는 기체 바이오 연료	액체연료 기체연료

자료 : FAO

매스의 순생산량은 약 2천억 톤에 이르는 것으로 추산된다. 이렇게 생산된 유기물 가운데 20%는 식량으로 이용되며 나머지 바이오매스는 약 40% 정도의 섬유소(cellulose), 25% 정도의 헤미셀룰로스(hemicellulose), 15% 정도의 리그닌(lignin)으로 구성되어 있다. 현재 지구에는 약 2조 톤의 바이오매스가 부존되어 있는 것으로 추정되는데 이는 석유 및 석탄 매장량에 육박하는 양이다.

1.2. 목질 바이오매스 에너지 이용의 효과

1.2.1. 에너지 자급도 향상

목질 바이오매스는 국내 가용 자원량이 풍부하여 에너지 자급도를 향상시킬 수 있는 가능성을 가지고 있다. 우리나라는 에너지원을 화석연료에 크게 의존하여 대부분 수입에 의존하고 있다. 목질 바이오매스는 국토의 65%를 차지하고 있는 산림자원을 활용할 수 있으므로 에너지원의 해외 의존도를 낮출 수 있다.

이와 함께 목질 바이오매스의 에너지 개발은 에너지 수입의존도 증가에 따른 위험성과 취약성을 최소화하는 방안이 될 수 있다. 우리나라는 에너지원의 대부분을 해외에 의존하고 있어 국제 정세의 변화에 따라 큰 충격을 받아 왔다. 바이오매스 에너지에 대한 활용 시스템을 갖추는 것은 이러한 외부 충격을 완화하는 완충장치를 갖추게 되는 것이다.

1.2.2. 지구 온난화방지에 기여

바이오매스는 원료를 변환하여 에너지로 사용하는 과정에서 대기 중의 이산화탄소를 증가시키지 않는 친환경적인 연료이다. 실제로 바이오매스를 연소시킬 경우 이산화탄소는 분명히 배출되지만, 이때 발생하는 이산화탄소는 원래 대기 중에 있던 것을 광합성 작용으로 흡수한 양과 동일하므로 전체적으로 이산화탄소 총량에는 영향을 미치지 않는다. 바이오매스 에너지는 이처럼 탄소중립적(carbon-neutral) 특성을 가진 에너지로 국제사회에서 인정되고 있다. 그리고 바이오매스의 에너지 이용은 화석연료 사용을 대체하게 되므로 그만큼 지구 온난화 방지에 기여하게 되는 것이다.

1.2.3. 환경친화적 에너지원

임산 바이오매스 에너지는 다른 에너지 시스템보다 환경성의 목적 달성에도 유리하다. 임산 바이오매스 에너지는 앞으로 화석연료의 대량소비나 원자력 의존이 어려워질 경우 대체에너지로 거론되는 태양열, 풍력, 지열 등과 더불어 그 중요성이 커질 것으로 전망된다.

표 2-2. 연료별 환경효과 비교

	난방유	천연가스	전기난방	목재칩
이산화탄소 방출량(g/KWH)	350	295	875	30
일산화탄소 방출량(g/KWH)	0.2	0.18	0.21	1.6
이산화황 방출량(g/KWH)	0.55	0.02	0.58	0.23

자료: CARMEN

목질 바이오매스의 연소 과정은 화석연료와 비교해서 중금속과 아황산화물, 질소산화물이 거의 발생하지 않으므로 환경 부담이 적은 청정에너지라 할 수 있다. 또한 목질 에너지는 산성비 오염 피해를 초래할 가능성이 거의 없다. 목질 바이오매스를 연소하는 과정에서 재가 발생하지만 이는 목재 무게의 1% 이하로서 통제가능한 수준이며 이를 비료로 활용할 수도 있다.

1.2.4. 국토 보전에 기여

우리나라의 산림은 Ⅲ, Ⅳ영급에 접어들어 간벌 등 숲 가꾸기가 절실히 필요한 시기이다. 그러나 간벌재의 활용도가 낮아 숲 가꾸기 작업이 충실히 행해지지 못하였다.

목질 바이오매스의 에너지 이용은 숲 가꾸기 산물의 활용도를 높여 숲 가꾸기 사업을 활성화하는 계기가 될 것이며, 미래의 산림자원을 더욱 충실히 가꾸는 기회가 될 것이다.

1.2.5. 임업 및 산촌진흥에 기여

목질 바이오매스의 에너지 이용은 다른 화석연료와 달리 재생가능하다는 장점

이 있다. 그러나 바이오매스 생산 과정에서 산림의 생산조건을 훼손하지 않기 위해서 지속가능한 산림관리가 필요하다. 이처럼 목질 바이오매스의 에너지 보급은 안정적 연료공급을 위한 산림자원 조성 및 숲 가꾸기 사업의 활성화를 유도하고 이로써 지역경제활동을 촉진하고 고용을 확대하여 중산간지역의 진흥에도 기여할 수 있다. 이처럼 임산 바이오매스의 이용확대는 임업 및 목재산업의 생산활동과 불가분의 관계이므로 다양한 산림의 정비 및 보전, 임업 주체의 육성과 확보, 목재산업의 구조 개혁 등과 함께 추진해 나아가는 것이 중요하다.

1.2.6. 농산촌 지역 복지에 기여

상대적으로 소득수준이 낮은 농산촌 지역 주민에게 지역에서 발생한 바이오매스를 활용한 에너지 시스템을 공급하는 것은 농산촌 지역 복지향상에도 기여한다. 유가의 상승은 저소득층에게 높은 부담을 주기 때문이다. 지역에서 발생하는 목질 바이오매스를 에너지로 활용할 수 있도록 지원하는 것은 농산촌 지역 복지 향상에도 바람직하다.

1.2.7. 새로운 성장동력 창출

이론적으로 바이오매스를 활용하여 석유화학 제품을 모두 생산가능하므로 기술적 발전만 충분하다면 바이오매스 산업은 일상생활과 산업전반에 엄청난 파급 효과를 일으킬 수 있는 산업이다. 바이오매스를 구성하는 탄수화물은 석유를 구성하는 탄화수소와 마찬가지로 이론적으로는 화학, 생물공학 기술을 응용하여 일상생활에서 쓰이는 거의 모든 화학제품을 만들 수 있다. 다만 탄탄한 인프라를 구축하고 값싸게 공급되는 석유화학 제품에 비해 상대적으로 경제성에서 뒤지고 있을 뿐이다. 최근에는 미국의 카길사가 네브라스카주에 바이오리파이너리(Biorefinery)를 건설하여 옥수수를 원료로 Lactic acid를 포함한 수개의 화학제품과 생분해성 플라스틱인 Polylactic Acid를 생산하기 시작하였다.

1.2.8. 순환형 사회 구축

지금까지는 유한한 자원에서 대량으로 상품을 생산하고 대량으로 소비, 폐

기하는 일방통행의 사회 시스템이라 할 수 있다. 이를 개선하여 폐기물의 발생을 억제하고, 유한한 자원을 효과적으로 활용하는 순환형사회로 이행하는 것이 사회적으로 요구되고 있다. 순환형사회의 구축을 위해 재생가능한 자원인 바이오매스의 역할이 중요하다. 바이오매스의 종합적인 활용을 통해 순환형사회의 구축을 앞당길 수 있을 것으로 기대된다.

2. 목질 바이오매스 에너지 이용의 특성과 형태

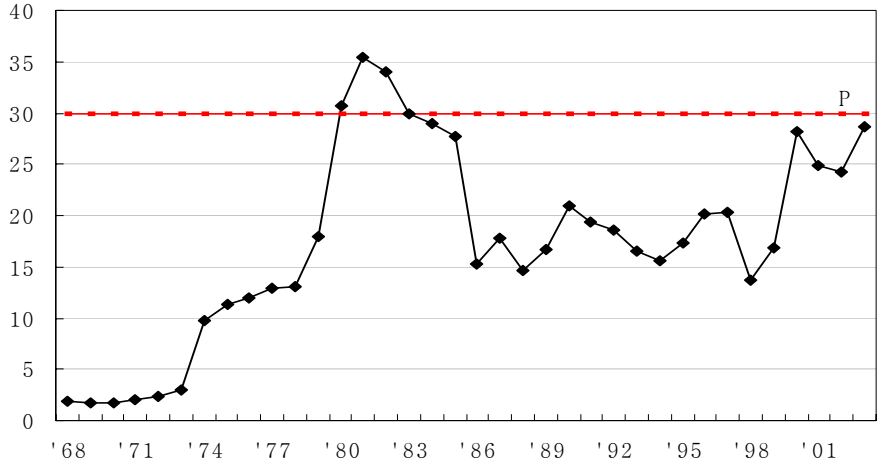
2.1. 바이오매스 에너지 이용의 특성

바이오매스 산업은 시장의 요구뿐만 아니라 정치, 사회 및 환경적 요인에 의해 연구개발 및 상용화가 진행되고 있는 산업으로 매립가스의 활용이나 바이오디젤의 경우와 같이 상용화 단계에 접어든 것도 있고, 열분해 가스화나 바이오매스로부터의 수소제조와 같이 아직까지 실증단계나 연구개발 단계에 머물러 있는 것도 있다. 바이오매스 에너지 이용의 특성은 다음과 같다.

첫째, 바이오매스 에너지 활용의 성공 여부는 현재 에너지원으로 널리 사용되고 있는 화석연료, 특히 석유와의 가격경쟁력 여부에 달려 있다. 즉, 석유의 가격이 얼마나 안정화되어 있는지 여부에 따라 경제성이 좌우된다. 역사적으로도 1974년 1차 석유파동, 1978년 2차 석유파동을 기점으로 대체에너지에 대한 관심이 증대되어 전 세계적으로 연구개발이 시작되었다. 일반적으로 경제학자들은 석유가격이 배럴당 30$ 이상이면 바이오매스를 포함하는 대체에너지가 충분한 가격경쟁력을 가질 수 있을 것으로 보고 있다. 그러나 2차 석유파동이후 약 20여년 동안 석유가격이 안정세를 보여 한동안 대체에너지 연구개발이 침체되기도 하였다. 그동안 계속되는 기술발전에도 불구하고 현재의 바이오매스 기술 수준으로는 아직 석유가격보다 비용이 높으므로 가격 이외의 세금우대나 정책적 지원 등에 의해 바이오매스의 에너지 활용 성공 여부가 좌우될 것이다.

그림 2-1. 국내 원유 도입단가 추이

(단위: $/bbl)



주: P는 대체에너지 선택가능 시점의 원유가격
자료: 에너지경제연구원(www.keei.re.kr)

둘째, 바이오매스의 에너지 활용은 각 국가별로 자원 보유 정도에 따라 특화되어 발전하여 왔다. 예로 브라질에서는 풍부한 사탕수수를 바탕으로 오래전부터 바이오에탄올을 생산하여 자동차 원료의 30% 가량을 대체하고 있으며, 유럽에서는 예전부터 자동차 배기가스의 문제점을 직시하고 대기오염의 주범인 경유 자동차 문제를 해결하고자 이를 대체할 수 있는 바이오디젤 개발에 주력하였다. 핀란드와 스웨덴은 임업·임산업이 발전하여 목재가공공장에서 폐목재를 에너지로 활용하는 비율이 높다. 이에 반해 상대적으로 바이오매스 자원을 골고루 보유하고 있는 미국에서는 다양한 기술이 고루 발전하였다.

2.2. 목질 바이오매스의 에너지 변환방법

바이오매스를 에너지로 이용하려면 바이오매스 자원 그 자체(제1차 에너지)를 전기, 열, 수송용 연료 등 사용하기 쉬운 형태의 에너지(제2차 에너지)로 변환하여야 한다. 실제 이용에서는 2차 에너지 이전에 가스와 슬러리 연료 등 1.5차 에너지의 형태를 취하는 것도 적지 않다. 에너지 이용기술을 논할 때는 이들의 변환기술을 논의하는 것이 된다. 이러한 변환은 이용효율을 높이고 운반 편의성을 높이기 위한 것이다. 예를 들면 전정 가지와 축산분뇨처럼 함수성

이 높은 바이오매스는 직접 열에너지로 이용하기 어려운 데 비하여 건조하여 장작으로 만들거나 연료가스로 변환하면 고효율의 에너지 이용이 가능하다.

바이오매스의 에너지 변환 방법은 크게 열화학적인 변환과 생물화학적 변환으로 구별할 수 있다. 열화학적 변환은 열을 가하여 화학적인 반응을 진행시키는 것으로 연소, 가열가스화, 수열반응 등을 말한다. 생물화학적 변환은 생물의 작용에 의해 에너지로 활용가능한 물질을 얻는 것으로 메탄발효와 에탄올 발효가 이에 해당한다.

바이오매스의 에너지이용은 물질재료로 이용하는 것보다 품질 제한이 적고 기술적으로도 도입이 용이하다. 그러나 에너지의 중량당 가격은 물질재료의 10분 1정도인 것이 일반적이고 에너지 변환제품은 고부가가치의 제품이 아니므로 폐기물과 같은 저가의 바이오매스를 사용해서 네거티브 코스트를 이용하는 연구가 필요하다. 그러므로 전체적인 경제성을 포함해서 논의할 필요는 있겠지만 우선 물질재료로서 이용하고 사용 후의 폐기물을 에너지로 이용하는 다단계적인 바이오매스 이용이 바람직하다.

바이오매스 에너지 변환방식은 직접연소, 열화학적 변환, 생물화학적 변환, 기타 변환 등으로 크게 나뉘는데, 여기에서는 목질 바이오매스를 중심으로 직접연소, 화학적 변환의 가스화, 알코올 발효를 통한 에탄올 제조, 그리고 목질 펠렛(pellet)의 제조방법과 목질 바이오매스의 이용방식에 대해 기술한다.

2.1.1. 직접연소

목질 바이오매스의 연소에 영향을 미치는 인자에는 연료형태, 함수율, 발열량 등의 연료특성과 연소량, 공기비율, 연소온도, 연소시간 등의 연소조건, 연소장치의 구조 등을 들 수 있다.

현재 주로 이용되는 목질 바이오매스 연료는 펠렛과 칩 형태가 있고, 에너지 변환방식은 직접 연소와 가스화 방식이 있다. 직접 연소의 연료 형태는 펠렛, 급탄, 유동상, 미세분말 등이 있고, 연소장치로는 보일러와 스토브 등이 활용된다.

소규모 보일러와 스토브는 열 이용에, 중규모 및 대규모 보일러는 열병합 발전에 주로 이용된다. 목질 바이오매스를 사용하는 보일러의 선정은 보일러

구조를 참고하고 용도, 연료특성 및 연소량 등을 고려하며 효율, 배출가스, 비용 등을 검토하여야 한다.

구체적으로 직접 연소 기술에는 목질바이오매스를 직접 연소하여 열로서 이용하거나 또는 보일러 발전을 행하는 기술, 석탄 화력발전소 등에서 석탄 등의 화석자원과 바이오매스를 혼합연소하는 기술, 100℃~150℃ 정도의 가열로 목분 또는 목분과 석탄의 혼합물을 가압, 리그닌을 점착시켜 성형・고형화하는 기술이 있다.

2.1.2. 열화학적 변환

목질바이오매스의 열화학적 변환에는 목질바이오매스를 400℃~600℃로 열분해 가스화하여 가열가스를 발생시킨 다음에 발생한 가열가스를 이용해서 소각탄을 1300℃이상의 고온으로 용융(鎔融)처리하는 기술, 500℃~600℃로 바이오매스를 급속히 가열하여 열분해를 진행시켜 기름 형태의 생성물을 얻는 기술, 목질 바이오매스를 가열・열분해하여 고효율의 고체생성물(탄)을 얻는 기술 등이 있다.

목질 바이오매스의 가스화는 열화학적 변환 전체를 가리키는 경우도 있고 건식 열분해를 포함한 가스화 이용방식을 일컫는 경우도 있으며, 부분산화방식의 가스화만을 이야기하는 경우도 있다.

가스화 연소장치를 선정할 때에는 구조와 특성, 생성되는 가스의 이용방법 등을 참조하고 용도, 원료특성, 원료공급량 등을 고려하며 효율, 배출가스, 비용 등을 검토해야 한다. 직접 연소방식이 아닌 가스화방식을 택하는 이유가 있어야 하며 다음 사항을 고려해야 한다. 가스화 장치는 일산화탄소나 수소와 같은 위험성 높은 가스를 생성하므로 안전성 확보가 무엇보다 중요하다. 따라서 설계, 시공, 운전, 유지보수 등에 숙련된 기술자가 요구된다. 생성가스에는 타르가 함유되어 있어 타르 제거과정이 설계되어 있지 않으면 타르가 기기에 부착되어 여러 가지 문제를 발생시킨다. 직접연소에 비하여 거쳐야 하는 공정이 많으므로 설비가 복잡하고 제어도 훨씬 어렵다.

2.1.3. 생물화학적 변환

에탄올 발효기술은 술 제조기술과 비슷하다. 보통 쌀이나 사탕수수에 있는

표 2-3. 목질 바이오매스 자원에 적용 가능한 에너지 전환기술

구분	기술의 개요	현재 기술수준	기술의 경제성	적용 가능한 에너지 전환기술과 대표적 사례
에탄올 발효	▪ 목질바이오매스에 포함된 셀룰로스를 원료로 하여 미생물을 이용한 발효 과정에서 에탄올을 생산하는 기술	▪ 리그노셀룰로스를 원료로 한 에탄올 생산은 연구개발 단계의 수준임	▪ 실증단계에 있어 경제성 확인이 어려움 (미국 Arkenol社의 기술 등, 현실적인 비용경쟁력을 제시한 계산 사례가 다수 있음)	[전환기술] 알코올 연료로서 이용 [대표사례] 볏짚을 이용한 알코올 생산도 검토중
직접연소	▪ 목질자원등, 저함수율의 바이오매스를 직접 연소시켜 발전과 열공급에 이용하는 기술 ▪ 대규모는 발전, 소규모는 열이용이 중심이다.	▪ 실용화기술 ▪ 북유럽에서는 대규모시설(지역열 공급이 주가 되어 전력시세에 따라 발전)이 있음. ▪ 유럽과 북미의 대형 제재공장에서는 발전장치를 병설해서 자가소비전력에 충당하고 잉여전략을 판매하기도 함 ▪ 일본에서도 집성공장에서 열이용을 주로 하며 잉여 증기를 발전으로 전용하는 사례가 있음	다음과 같은 이유로 경제성은 그다지 높지 않음 ▪ 중량당 발전량이 적음 ▪ 자원이 분산되어 있어 운반에 높은 비용이 소요 ▪ 건조공정이 필요 ▪ 流動床爐에서는 공기를 흡입하는 콤프레서가 있어야 하는 등 火格子爐보다 비용이 높음	[바이오매스 종류] 농림산계의 함수율이 낮은 바이오매스 자원 [전환기술] 보일러+증기 터어빈 발전 [대표사례] 제재공장, 제지공장 등에서 널리 행해짐. 일본 奧山縣 銘建공업에서는 345만kWh/년의 발전을 행함
펠렛	▪ 목질자원을 운송, 저장의 취급, 연소의 제어·자동화가 용이한 펠렛으로 가공해서 연소함. ▪ 열이용이 주체	▪ 실용화기술 ▪ 북유럽에서는 지역열 공급이 어려운 지역에서 발달하고 있음	▪ 실용화기술이나 수요의 지역적 혹은 안정적인 확보가 관건 ▪ 동절기이용만을 목적으로 한 경우 저장고의 확보가 필요	[전환기술] 난방연료로의 이용 [대표사례] 일본 葛卷林業에서 펠렛을 생산. 연료로서 이용하는 사례는 많음
탄화이용	▪ 목질자원을 산소가 희박하고 수증기가 많은 환경에서 가열하여 가연성 가스를 추출하고 고활성의 목탄을 얻는 기술	▪ 실용화기술 ▪ 공업적인 제탄공장이 국내외에 있음 ▪ 일본에는 임업 분야에서 下川町의 낙엽송 제탄 등 다수 사례가 있음	▪ 일본 岩手縣의 조사에 의해 목탄 1kg의 생산비는 150円정도로 추정하고, 발열량 8,070kcal/kg을 고려하면 재래형 연료보다 비율 높음 ▪ 탄의 산업적 수요가 중요하며 연료이외의 용도(활성탄 등)에서는 장래성 있음	[전환기술] 연료로서 이용 [대표사례] 보통 목탄은 시판되고 있으며 레저용으로 널리 이용됨

<표계속>

구분	기술의 개요	현재 기술수준	기술의 경제성	적용 가능한 에너지 전환기술과 대표적 사례
열분해·가스화 기 술	▪ 목질자원을 부분연소 혹은 불활성가스에서 가열하여 저분자로 분해하는 기술 ▪ 분해온도에 따라 유화와 가스화로 분류됨.	▪ 폐기물처리에서는 실용화 수준의 기술. ▪ 일본에는 폐기물처리 플랜트로서 설치된 사례가 있음	▪ 바이오매스를 대상으로 한 열분해가스화로는 가동사례가 많지 않고 경제성이 명확하지 않음. ▪ 폐기물의 가스화로는 현재 쓰레기 소각로보다 다소 저렴한 편임	[바이오매스 종류] 농림산계의 함수율이 낮은 바이오매스 자원
열분해 유화	▪ 목질자원을 불활성가스(질소)에서 500℃이하로 가열 분해하여 액체(油)를 얻는 기술	▪ 가스화에 비해 반응공정이 복잡하고 고품질의 기름(경질탄화수소유)을 고수율로 제조하므로 기술은 개발 과정에 있음 ▪ 북미, 유럽에서는 벤치규모의 연구가 진행 중임.	▪ 폐기물계 바이오매스를 이용한 연료유 생산에서 바이오유는 디젤유의 대체 가능성을 가지고 있음을 보여 주는 사례가 있음	[전환기술] 연료유 대체물질로서 이용 [대표사례] 연구개발 단계임
열분해 가스화	▪ 목질자원을 부분연소 혹은 불활성가스에서 가열·분해하여 CO, H2 등 가열성 가스를 얻음. ▪ 발생한 고온의 가스를 이용해서 발전을 행함 ▪ 생성물은 연료전지의 연료, 화학원료 또는 메탄올 합성연료로서 이용하는 것도 가능	▪ 실증, 일부 실용화단계의 기술 ▪ 북유럽과 북미에서는 대규모 실증 플랜트 가동 중(수MW규모) ▪ 수kW~수100kW의 소규모가스화로는 분산전원·열원용으로 유럽, 인도에서 실용화된 사례가 있음 ▪ 고 H2비율의 합성가스화는 곤란(수증기의 품질개선이 필요함)	▪ 가스화에 의해 얻은 연료를 IGCC에 이용하면 발전효율이 상승하여 경제성 향상 ▪ 가스화→연료합성(메탄올·DME 합성)은 연구개발단계의 기술이나, 화석연료가스화를 경유하는 연료전환기술은 실용단계의 요소기술로서 바이오매스에도 적용가능함	[전환기술] 가스터어빈, 가스엔진, 가스화복합발전(IGCC), 열이용 [대표사례] 대규모 사례로서 스웨덴의 베르나모 IGCC 실증플랜트가 있음. 소규모로서는 인도의 固定床 가스화로+디젤발전기의 분산형 발전시스템(3~100kW 규모)의 도입사례 등이 있음
超臨界流體利用	▪ 초임계수에서 유기물의 분해반응을 진행시키면 물에서 반응시키는 것과 마찬가지로 원료바이오매스의 건조공정이 불필요해짐.	▪ 기초연구단계	▪ 연구개발단계의 기술이므로 경제성은 명확하지 않음	[전환기술] 셀룰로스계 자원의 고속분해기술로서 장래성 있음 (에탄올발효에도 적용가능함)

자료 : 日本 近畿經濟産業局(2002)

전분과 당분이 풍부한 바이오매스를 원료로 이용하지만 식량을 사용할 경우 비용이 많이 들기 때문에 대개 목질계 폐재·미이용재에 포함된 셀룰로스를 당화하여 에탄올로 발효하는 기술이 개발되어 있다.

선진국에도 목질 바이오매스로부터 에탄올을 상업적으로 생산하는 경우는 많지 않지만 기술 자체는 이미 개발되어 있는 수준이다. 목질 바이오매스로부터 에탄올을 생산하는 방법은 목질 바이오매스를 셀룰로우스와 목질소로 분해하여 당분(글루코우스)으로 변환시키며, 당분을 효모나 유전자 조작 미생물을 이용하여 발효시켜 에탄올을 만들고 증류나 분리막을 활용하여 회수 및 농축하는 공정을 거친다. 글루코우스 변환공정에는 목질소를 분리하여 제거하는 과정이 필요하지만 그것이 쉽지 않기 때문에 생산비용을 증가시키는 요인이 된다.

2.3. 목질바이오매스의 에너지 이용형태와 유의점

2.2.1. 바이오매스 발전시스템

바이오매스 발전시스템에는 바이오매스 증기 터어빈 발전과 바이오매스 가스화 발전이 있다. 바이오매스 자원을 연소하여 발생하는 열을 이용해서 보일러로 증기를 발생시켜 증기터빈을 구동시키는 것에 의해 발전하는 방식으로 화력발전소의 석유를 바이오매스로 바꾸는 방식이다. 그리고 바이오매스 가스화 발전은 바이오매스에서 가연성의 가스를 만들어 가스엔진으로 터빈을 돌리는 방식으로 소규모, 고효율로 자본비용이 낮은 바이오매스 발전으로 주목된다. 일본의 사례에서 목질계 바이오매스를 단순 연소하여 전기를 생산하는 것은 효율이 낮아 경제성을 확보하기 어려운 것으로 밝혀졌다. 그러므로 목질계 바이오매스 발전 시스템을 구축하는 데는 효율이 높은 가스화에 의한 열병합 발전기술이 필요하다.

2.2.2. 지역난방

목질 바이오매스를 연료로 사용하여 지역전체의 난방 에너지가 되는 증기

(온수)를 보일러에서 집중적으로 생산하여 효율적으로 열을 공급하는 것이다. 지역난방 시스템은 북유럽에서 발달하였는데 일부 기술적인 문제와 정부 지원이 보장되면 단기간에 적용가능한 것으로 파악된다. 지역난방의 연료는 임목 폐기물과 벌목재로 가공한 우드칩이 사용된다. 우드칩에는 회분 함량이 3~5% 포함되어 있으나 연료로 활용하는 데는 큰 문제가 되지 않는 것으로 분석된다.

2.2.3. 펠렛

목재를 연료로 가공하는 방법은 여러 가지가 있으나 가장 단순한 방법은 목재 칩으로 분쇄하는 것이다. 그러나 연료용 칩은 가공이 단순한 반면에 함수율이 높고 불균일하며 분량이 많은 단점이 있다. 그러한 단점을 해결하는 수단으로 펠렛이 주목받고 있다.

목질 펠렛의 제조공정은 톱밥이나 목피 및 폐목재를 균일하게 파쇄하고 압축하여 펠렛으로 성형하는 과정을 거친다. 펠렛의 길이는 10~20mm, 직경은 6~15mm로 하며 최대 25mm까지도 가능하다. 가정용으로는 6mm 정도가 가장 좋다. 목질 펠렛 제조에는 열을 가하여 용해 및 고착시키기 위한 접합제 등의 첨가물이 필요없다.

목질 펠렛은 최소 발열량이 약 4,000~5,000㎉/kg이며, 함수율 8~13%, 무게 650kg/㎥, 등유 1㎥=펠렛 2.1t의 특성을 가지고 있다. 모양과 수분함유율이 일정하여 자동운전기기에 적합하고 압축으로 밀도가 높기 때문에 수송에도 적합하며 건조된 것은 장기간 저장할 수도 있다. 단점으로는 습기에 약하고, 성형과정에 에너지가 소비되며, 또한 연소 후에 재가 남기 때문에 그 처리가 필요하다는 점이다.

서구의 여러 나라에서는 펠렛을 사용하는 난로 판매가 증가하고 있으며 펠렛 사용의 보일러에 의한 온수 공급의 지역난방도 활발해지고 있다. 지역난방이 가능하지 않은 독립주택에서는 지하실에 소형 펠렛 보일러를 설치하여 온수난방하고 있다. 목질 펠렛을 보급하기 위해서는 수급상의 균형을 확보해야 하고 품질표준화가 필요하고 석유와 동등한 수준의 안정적, 저비용의 판매체제가 구축되어야 한다.

그림 2-2. 목질 바이오매스의 에너지 이용형태

<목재 칩>

<펠렛>

<장작>

2.2.4. 우드 칩

대용량의 자동화된 난방시스템에서는 우드칩이 주로 사용된다. 우드칩은 수집된 임산 부산물을 분쇄하여 제조한다. 분쇄 과정에서 소비되는 에너지는 2～5㎾h/t로 잠재 열량의 0.5% 이하이다. 자동화 난방 시스템의 연료로 사용하기 위해서는 최적 균일 크기로 유지하는 것과 수분 함량을 낮게 유지하는 것이 중요하다. 그리고 수분 함량에 따라 발열량이 달라지므로 보관이 중요하다.

2.2.5. 석탄과 혼합연소(co-firing)

가동 중인 석탄 화력발전소에서 바이오매스와 석탄을 혼합연소하는 것은 바이오매스 소비량이 많아 대체 에너지 보급 효과가 크다. 그러나 이러한 바이오매스의 다량 소비는 바이오매스의 조달가능성에 따라 공정의 적용 여부가 제한된다. 특히 우리나라와 같이 바이오매스의 수집비용이 높은 곳에서는 큰 문제가 될 수 있다.

2.2.6. 바이오에탄올 생산

목재에서 에탄올을 만드는 것은 기술적으로는 가능하지만 전분을 주성분으로 하는 농산물에 비해서 제조공정이 다단계(칩화, 탈리그닌, 당화, 정제)이며 생산비가 높기 때문에 현실적인 제조기술의 개발이 필요하다.

우리나라에서도 목질계 바이오매스로부터 휘발유 대체연료인 바이오에탄

올을 생산하는 기술을 실용화하기 위해 많은 연구가 있었다. 그러나 양산 공정으로 활용하기에는 아직 문제점이 많아 현재 생산성 향상을 위한 요소기술 연구가 수행되고 있다.

2.2.7. 바이오매스 에너지 이용의 유의점

바이오매스의 에너지 이용에는 다음과 같은 사항들을 유의하여야 한다. 먼저 열이용을 우선한다. 발전의 경우에는 대규모 발전(10MW이상)이 아니면 열병합발전을 기본으로 하고 또한 열이용의 경제성을 고려해야 한다. 중소규모 이하에서 열이용이 없는 증기사이클 발전은 열효율이 극히 낮으므로 피하는 것이 바람직하다.

그리고 환경 문제를 엄격히 고려해야 한다. 연료의 수집, 집적 과정에서 발생하는 문제, 연소 과정에서 배출되는 연기, 연소후 남는 재의 처리 등을 종합적으로 고려해야 한다.

제 3 장

국내외 목질 바이오매스의 에너지 이용 사례

1. 우리나라의 목질 바이오매스 에너지 이용

1.1. 필요성

교토의정서가 공식적으로 발효됨에 따라 우리나라도 2013년부터 2017년 사이에 탄소배출 감축 의무를 지게 될 가능성이 높다. 우리나라는 최근 10년간 이산화탄소 배출량이 연평균 10% 이상 증가하여 세계 1위를 기록하였으며 온실가스 배출량은 세계 10위이었다. 이러한 국내 온실가스 배출량은 앞으로도 계속 증가하여 2010년에는 1990년 대비 2.4배가 되고 배출순위도 세계 6위로 높아질 것으로 전망된다. 이러한 높은 이산화탄소 배출원인은 석유, 석탄과 같은 화석연료의 과다 사용에 있다. 이처럼 높은 수준의 탄소배출량을 긴급하게 감축하는 것은 경제성장에 큰 위협요인이 될 것이다.

정부는 교토의정서 비준에 따른 이산화탄소 감축 의무와 고유가 등에 적극 대응하기 위해 신·재생 에너지 기술 개발 및 보급 활성화를 위한 지원 정책마련에 나서고 있다. 이를 통해 2011년까지 신·재생 에너지의 보급 비율을 총 에너지 소비의 5%로 높인다는 목표를 설정한 바 있다<표 3-1>.

우리나라의 바이오에너지 보급 목표는 2011년 기준 1.05×10^6 toe로 전체

표 3-1. 우리나라의 신・재생에너지 공급 목표

(단위: 천TOE)

분야	2003		2006		2011	
	공급량	비중	공급량	비중	공급량	비중
태 양 열	41.4	0.93	101.5	1.45	318.1	2.39
태 양 광	2.7	0.06	21.9	0.31	341.2	2.56
풍 력	13.1	0.29	125.9	1.80	1,311.4	9.83
소 수 력	50.0	1.12	111.0	1.59	446.0	3.34
수 소	-	-	-	-	1.3	0.01
석탄이용	-	-	-	-	374.6	2.81
폐 기 물	3,080.0	69.20	5,050.0	72.13	7,540.0	56.54
바 이 오	197.0	4.43	495.0	7.07	1,050.0	7.87
연료전지	-	-	0.4	0.01	147.1	1.10
해 양	-	-	0.7	0.01	431.5	3.24
지 열	0.8	0.02	12.1	0.17	160.8	1.21
소 계	3,385	76.05	5,919	84.54	12,122	90.90
수 력	1,066	23.95	1,082	15.45	1,213	9.10
총 계	4,451	100	7,001	100	13,335	100
총에너지소비	215,825		237,589		269,323	
총에너지 대비 신・재생에너지 비중(%)	2.06		3.0		5.0	

주: 2003년 이후에는 신・재생에너지에 대수력을 포함함

신・재생 에너지의 7.9%이지만 신・재생 에너지에서 세 번째로 높다. 이러한 바이오에너지 보급의 대부분은 유기성 폐기물의 혐기소화에 의해 발생되는 바이오가스(LFG 포함)와 경유 대체연료인 바이오디젤이 차지하며 목질계 바이오매스의 활용에 의해 생산 가능한 목질계 바이오매스 에너지 비율은 극히 미미하다. 이러한 목질계 바이오매스의 에너지 부분이 보급 목표에서 거의 제외된 이유는 이에 대한 기술 개발이 이루어지지 못했기 때문이다.

1.2. 국내 바이오매스 에너지 기술 개발 현황

우리나라에서 신・재생 에너지로서 바이오에너지 기술의 장기적 목표가

표 3-2. 바이오에너지 분야 국내외 기술개발 보급 현황(2000년)

기술 분야/ 세부기술	국외기술현황		국내기술현황	
	주요개발국가명	개발단계	주관기관명	개발단계
전분질계 에탄올연료 (gashol, ETBE)	미국(38억ℓ/년) 브라질(120억ℓ/년) 프랑스(7만톤/년)	상용화	알코올산업조합 삼성Eng.	개발연구
목질계 에탄올 연료	미국(300ℓ/일) 프랑스(30㎥발효조) 일본(150ℓ/일)	개발연구	에너지기술(연)	응용연구
메탄발효 기술	EU국가, 일본, 미국	상용화	현대 Eng. (여상발효조) 대우건설 (UASB) (주)거신	상용화 보급시험 보급연구
메탄발효 유기성 폐기물처리	프랑스, 독일, 핀란드, 네덜란드, 벨지움, 이탈리아, 일본 등	보급 (실용화)		상용화
바이오매스 가스화	이탈리아, 스웨덴, 브라질	실용화 연구		미착수
바이오 디젤	프랑스, 이탈리아, 독일, 오스트리아, 벨지움, 체코 (4백만 톤/년 규모)	상용화	두원정공 에너지기술(연) 신한에너지	기초연구
바이오 수소 생산	일본	응용연구	에너지기술(연)	응용연구
바이오 고형 연료	프랑스, 스페인, 스웨덴	상용화	에너지기술(연) 왕겨탄업체	상용화
에너지 작물 재배	미국, EU국가 (10년이상재배시험)	개발연구		미착수
생물학적 CO2 고정화	미국, 일본	응용연구	에너지기술(연)	응용연구

자료: 이상필 외(2002)

설정된 것은 에너지 관리공단이 주도한 1988년 6월의 대체에너지 기술 개발 기본계획에 의한 것이며 1988년부터 1992년까지 연구개발 초기에 수많은 기초 기술연구가 진행되었다. 이 계획은 1992년 기술 수준, 환경영향, 국내 여건을 고려하여 실용화 연구를 목표로 수정되었고 유기성 폐수 및 폐기물의 혐기발효 또는 매립지 추출에 의한 대규모 메탄가스 발생 이용기술, 바이오

에탄올 개발 보급을 실제적 목표로 하여 중장기적으로 바이오디젤, 바이오매스의 가스화 발전, 바이오수소 생산기술을 개발하는 것을 목표로 기술 개발이 진행되고 있다.

목질계 바이오매스를 원료로 하는 에너지 생산기술은 생물학적 방법에 의해 바이오에탄올을 생산하여 휘발유 대체연료로 활용하고자 하는 연구가 수행되어 많은 요소기술이 확보되었다. 하지만 실용화에는 아직도 상당한 시간이 소요될 것으로 파악되어 목질계 바이오매스를 실제 에너지로 활용하는 기술은 현재 대규모로 적용된 사례는 없다.

<표 3-2>는 외국과 국내에서 개발되고 있는 주요 바이오에너지 기술개발 현황과 기술 수준을 비교한 것이다. 우리나라는 전분질계 에탄올 연료, 메탄발효, 유기성 폐기물 메탄발효, 바이오고형연료 생산 분야에서 상업적 활용이 가능한 기술을 확보하고 있으며 목질계 에탄올 및 화학원료, 바이오 디젤, 바이오 수소생산, 생물학적 CO_2 고정화 등에서만 다소간의 기술개발 활동이 지속되고 있다. 현재로서 거의 연구개발 혹은 보급 촉진활동이 없는 바이오매스 가스화 발전을 포함한 바이오매스의 열화학적 이용(연소, 열분해, 가스화)에 관한 기술개발 및 보급 촉진이 하루빨리 추진되어야 할 것이다.

2. 일본의 목질 바이오매스 에너지 이용

2.1. 일본의 목질 바이오매스 활용 동향

일본에서 목질바이오매스 활용에 관한 주요 시책은 크게 변화하고 있는데, 그 주요 흐름은 아래와 같다.

2001년 10월에 내각에서 결정된 「삼림・임업기본계획」은 지구 온난화의 방지, 산림의 다면적 기능의 고도발휘를 도모하고 임산물의 신규 수요를 개척하기 위해 바이오매스 에너지의 이용체계 정비를 정하고 있다.

2002년 1월에 「신에너지 이용의 촉진에 관한 특별조치법 시행령」을 일부

개정하여 바이오매스(연료제조, 열이용, 발전)도 태양광발전, 풍력발전 등과 함께 신에너지로서 법적인 인정을 받게 되었다.

2003년 4월에 시행된 「전기사업자에 의한 신에너지 등의 이용에 관한 특별조치법」(통칭 RPS법)은 전기사업자에게 그 판매전력량의 일정 비율(2003년의 이용목표율은 0.88%)을 신에너지에서 창출되는 전기 이용을 의무화하였는데, 풍력 및 태양광과 함께 바이오매스에서 유래하는 전기도 그 대상으로 정하고 있다.

그리고 2002년 3월에 책정된 「지구온난화대책추진대강」에는 이산화탄소 배출 삭감을 위한 신에너지 대책으로서 바이오매스 발전 33만㎾(원유환산으로 34만KL 상당), 바이오매스 열이용 67만KL(원유환산)를 2010년 목표로 제시하고 있다. 그리고 온실효과가스 흡수원 대책 가운데 산림에 의한 3.9%의 이산화탄소 흡수량을 확보하기 위해 삼림・임업대책의 하나로서 임지잔재, 제재공장의 폐잔재를 목질 바이오매스 에너지로 활용하는 것이 명시되어 있다. 지구 온난화대책에서 목질 바이오매스의 에너지 이용은 이산화탄소의 배출량 삭감뿐만 아니라 그 이용의 촉진을 통해서 이산화탄소의 흡수원인 산림의 정비에도 기여하는 것이다.

2002년 12월, 일본 농림수산성은 산림에 의한 이산화탄소 흡수량을 높이기 위하여 「지구온난화대책추진대강」에서 제시된 「지구온난화방지 산림흡수원 10개년 대책」을 결정하였다. 그 중에서 '건전한 산림의 정비', '보안림의 적절한 관리 및 보전의 추진', '국민이 참가하는 숲 가꾸기의 추진', '흡수량의 보고 및 정비체제의 강화'와 함께 '목재 및 목질 바이오매스의 이용 추진'을 주요 대책의 하나로 언급하고 있다.

바이오매스의 종합적인 활용에 관한 전략으로서 2002년 12월에 발표된 「바이오매스 일본 종합전략」은 목질 바이오매스에 관하여 '산림정비에 따라 발생하는 임지잔재에 대해서 목재생산 시스템과 연계하여 효율적인 생산・반출・유통 시스템의 구축', '목질계 폐재, 미이용재에 대해서 가정과 공공시설에서의 에너지 이용 추진', '목재건조용 열원으로서 이용'을 제시하고 있다.

2.2. 바이오매스 연료 개발 동향

바이오매스로부터 생산된 에탄올을 자동차연료용 가솔린에 혼입하여 사용하는 것이 언론에 보도되고 있다. 2001년도 운송부문의 이산화탄소 배출량은 기준년 1990년도에 비해서 22% 정도 증가하였기 때문에 탄소중립적인 바이오매스 유래의 에탄올은 새로운 자동차용 연료로서 주목받고 있다.

경제산업성의 자원에너지조사회는 에탄올 혼입을 3%까지 허용하고, 환경성의 중앙환경심의회도 1.3질량%(에탄올 환산으로 약 3.5%)의 혼입을 허용할 예정이다. 그리고 주유소의 위험물 보안대책을 소관하는 소방청도 바이오 연료의 안전성을 검토하고 있다. 일본의 연간 가솔린 소비량은 약 6,000만KL로 3% 혼입을 가정하면 필요한 에탄올의 양은 약 180만KL에 이른다.

'구조개혁특구'는 지방공공단체와 민간사업자의 자발적인 입안으로 지역특성에 따라 규제 특례를 도입하여 특정 지역에서 구조 개혁을 추진하는 제도이다. 바이오매스에 관해서 '구조개혁특구에서 사용 후의 제품 또는 부산물을 재생자원으로 이용하고, 유류의 원료로 부정하게 사용될 우려가 없는 알코올 제조는 알코올사업법에 의한 유통관리 규정을 적용하지 않는다'고 되어 있다. 또 폐목재의 용광로 투입에 대해서 '재생인정제도의 특례대상으로서 적절한 조치를 취한 후 쉽게 부패하지 않는 폐목재를 제철원료로 이용하는 것은 폐기물처리법에 의한 시설 및 사업 허가를 요하지 않는다'고 정하고 있어 이들 제도를 활용할 수 있다.

2.3. 목질 바이오매스 에너지 이용시설의 도입현황

2.3.1. 목재산업에서 열·전기의 이용

일본 임야청이 목재산업을 대상으로 수행한 조사에 의하면 275개의 제재공장이 수피와 단재를 에너지로 이용하고 있다. 시설 내역으로는 목질자원이용보일러가 300기인데, 주로 목재건조와 합판의 열증, 공장내 난방에 그 열을 이용하고 있다. 또 발전기는 대규모 합판업체를 중심으로 33기가 도입되어 있다<표 3-3>.

표 3-3. 2002년도 일본 목재산업의 바이오매스 에너지 이용

(단위: 기)

	바이오매스 에너지 이용 시설수			비고
	톱밥 보일러	발전기	기타	
목재산업	(243) 300	(25) 33	(37) 10	▪ 톱밥보일러는 목재건조, 열압축, 난방 등에 이용 ▪ 발전된 전기는 주로 공장내에서 이용(판매하는 경우도 있음) ▪ 목재산업의 기타에는 연소건조기를 포함
제 지	(8) 13	(17) 47	(2) 3	
가 구	(9) 18	(6) 6	(0) 0	
기 타	(41) 36	(1) 4	(4) 5	
계	(301) 367	(49) 90	(43) 18	

자료: 일본 임야청, ( )안은 2001년도 조사결과

표 3-4. 일본 임야청 지원에 의한 목질바이오매스 발전시설의 개요

秋田縣 熊代市		靜岡縣 靜岡市	
시설규모	3,000kW	시설규모	230 kW
사업비	1,464백만엔	사업비	220백만엔
사용연료	53,160톤/년	사용연료	3,959톤/년
사업주체	熊代삼림자원이용협동조합	사업주체	靜岡제재협동조합
사업명	임업구조개선사업	사업명	목질바이오매스에너지이용촉진사업
사업실시년도	2001～2002년도	사업실시년도	2003년도
岐阜縣 白川町		**宮崎縣**	
시설규모	600kW	시설규모	1,200kW
사업비	562백만엔	사업비	490백만엔
사용연료	9,000톤/년	사용연료	21,120톤/년
사업주체	東濃 편백제품유통협동조합	사업주체	협동조합우드에너지
사업명	목질에너지이용촉진사업	사업명	임업구조개선사업
사업실시년도	2002년도	사업실시년도	2001～2003년

자료 : 일본 임야청(2003)

2001년도와 비교하면 시설수가 증가하였으며 폐기물 소각에 대해서 「다이옥신류 대책특별조치법」과 「폐기물의 처리 및 청소에 관한 법률」로 규제가 강화되었기 때문에 목재산업에서도 수피와 단재를 바이오매스 에너지로 이용하려는 움직임이 높아지고 있다. 그리고 종래 발전된 전기는 공장내 동력원으로 이용하였으나, RPS법의 시행을 계기로 전력회사에 전기를 판매하는 목재 기업과 협동조합도 나타나고 있다. 임야청의 보조사업을 활용한 발전시설은 <표 3-4>와 같다.

2.3.2. 펠렛 제조시설의 증가

1970년대 후반에는 전국에서 20개 이상의 펠렛공장이 있었지만 석유가격이 내려가면서 최근에는 3개 공장(생산량은 합계로 2천여톤)이 생산하는 것에 불과하다. 그러나 목질 바이오매스 에너지 이용을 확대하려는 움직임이 활발해지고 임야청의 보조사업을 활용한 펠렛 제조시설이 증가하면서 지방자치단체에서 펠렛을 연료로 이용하는 보일러와 난로를 도입하는 사례가 증가하고 있다.

2002년 8월에는 大阪府산림조합 三島지점, 2003년 3월에는 埼玉縣의 西川지역목질자원활용센터(飯能市)의 제조시설이 각각 완성・제조를 개시하였고, 長野縣의 上伊邦산림조합(高遠町), 岩手縣의 케센프리컷협동조합(住田町), 山形縣의 협동조합우드에너지(寒河江市)에서도 펠렛 제조시설의 건설을 추진하고 있다. 이러한 움직임을 통해서 지역적인 地産地消에 의한 바이오매스의 순환적인 이용 시스템의 구축을 목표로 지역활성화의 움직임이 생겨나고 있다. 이외에도 福島縣의 會津若松市에서는 東北전력의 자회사가 댐에 수몰되는 나무를 활용해서 펠렛을 제조하는 등 목재산업이외에 확산되고 있다.

펠렛 제조시설의 연간 총생산량은 약 5,000~6,000톤으로 추정되지만, 바이오매스 이용의 선진국인 스웨덴은 약 78만 톤, 미국에서는 약 60만 톤을 생산하고 있다.

2.3.3. 펠렛 난로의 개발

펠렛을 연소하는 데는 전용 난로와 보일러가 필요하다. 일본에서도 펠렛 난로를 생산한 적이 있지만 근래에는 미국, 캐나다, 스웨덴 등에서 수입하는

제품이 많다. 펠렛 제조시설의 증가와 함께 岩手縣, 山形縣, 埼玉縣에서 현과 민간기업이 협력하여 일본의 기후・주거에 어울리는 펠렛난로(FF식의 팬히터와 같은 조작성과 성능을 가지고 있으며 리모컨, 자동점화, 타이머도 장착)를 개발하고 있다.

2.3.4. 에너지 다소비형 산업의 목질바이오매스 활용

석탄수입량의 약 40%를 소비하는 전력산업 그리고 최종 에너지소비의 약 30%를 차지하는 시멘트, 제지, 화학, 제철 등의 에너지 다소비형 산업은 지구 온난화 방지와 신에너지 이용의 확대를 위해 석탄 등 화석연료의 일부를 목질 바이오매스 에너지로 대체를 시도하고 있다. 화력발전소에서 석탄과 목재의 혼합 연소, 제철업에서는 코크스의 대체, 시멘트 키룬에 목재칩의 투입 등 일부에서는 실용플랜트도 가동하고 있다.

2.4. 임야청의 지원

일본 임야청은 목질 바이오매스 에너지 이용 추진을 ① 순환형사회의 구축과 지구 온난화방지에 공헌, ② 산촌지역에서 자원의 활용을 통한 새로운 산업의 육성 및 고용 창출 ③ 삼림・임업・목재산업의 새로운 형태 창출이라는 관점에서 목재의 액화・가스화 등 기술 개발, 목재건조용 목질자원이용 보일러의 정비, 수요개척을 위한 조사를 수행하고 있다. 국유림사업에서도 국유임야내의 풍력, 소규모 수력, 산림바이오매스 3개의 자연에너지 자원에 대하여 이용가능성을 검토하고 자연에너지를 이용한 발전시설용지로서 국유임야를 대부할 수 있도록 조치하는 등 지구 온난화방지와 지역진흥의 관점에서 자연에너지 이용을 추진하고 있다.

2003년도에는 「바이오매스 일본 종합전략」에 따라 목질바이오매스 에너지 이용촉진사업의 예산액을 약 3배로 확대하여 ①펠렛 제조시설 ②바이오매스 발전시설 ③공공시설의 목질자원이용 보일러와 펠렛 난로의 도입 등을 중점 추진하고 목질바이오매스 이용의 최대 과제인 임지잔재의 활용 제고를 위해 임지잔재의 수집・운반의 효율화를 목적으로 터보그라인더의 정비도 추진하고 있다.

그리고 임업개선자금법을 개정하여 임업분야뿐만 아니라 목재산업분야를

융자대상에 추가하였다. 그리하여 제재공장에서 단재를 에너지로 이용하는 시설을 설치할 때 임업・목재산업개선자금(무이자)의 융자가 가능해져 목재산업의 목질바이오매스 이용을 지원하게 되었다. 2003년도부터 지역재의 이용을 촉진하기 위해 지방재정조치가 확충되어 새롭게 목질 바이오매스 에너지 이용을 촉진하는 방안에 대해서 보통 교부세가 조치되었으며 광역 자치단체와 기초 자치단체의 단독사업에 활용할 수 있도록 지원하고 있다.

3. 미국의 바이오 에너지 이용

미국에서 바이오매스에 의한 발전(發電)은 전력회사만이 아니라 공장의 자가용 발전설비로서 이용되는 예가 많다. 가장 이용이 많은 것은 펄프공장, 제지공장이다. 펄프・종이의 원료인 목질계 폐기물에서 가스를 제조하고 터어빈으로 발전하여 공장의 운용전원으로 활용한다. 이처럼 산업계에서 바이오매스 전력의 80%를 사용하고 있다. 미국의 바이오매스 이용지역은 북서부, 그리고 서해안 등 산림자원이 풍부하여 임업・임산업이 발달한 州가 대부분이다.

바이오매스에 의한 발전 비용은 화석연료보다 높기 때문에 소매용 전력으로서 보급되어 있지 않지만 보급환경이 점차 개선되고 있다. 소비자의 환경에 대한 관심이 높아지고 기술개발에 따라 전력회사가 적극 재생가능 에너지를 도입하면 비용절감도 추진되기 때문이다.

미국에서 바이오매스 발전의 총출력은 약 11,000MW로 이는 전미 총출력의 거의 1%이다. 바이오매스 발전은 1978년 전미 PURPA법(the Public Utility Regulation Policies Act)이 제정되어 1980년대에 급속히 보급되었다. 이 법에 따라 전력회사는 자체적인 추가설비 투자보다 저렴하게 전력을 공급하는 재생가능에너지 사업자로부터 전력을 구입하는 의무를 가지게 된 것이다. 이 법의 시행에 따라 바이오매스를 이용한 소규모 발전설비 건설이 촉진되었으며 임업이 주요 산업이 되는 메인州에서는 주 전체 발전량의 26%를 바이오매스 발전으로 공급하게 되었다.

그러나 1992년 이후 화석에너지의 가격이 하락하면서 바이오매스 발전의 출력

은 감소하고 있다. 이에 대해 연방에너지省은 '바이오파워 프로그램'을 발족하고 바이오매스 시장 확대와 신기술의 개발을 추진하고 있다. 1999년에는 클린턴 전 대통령에 의해 '바이오제품과 바이오에너지의 개발 및 촉진'에 관한 대통령령을 공포하여 2010년까지 바이오매스 제품과 에너지 소비량을 3배로 증가시켜 농업과 지방경제에 200억달러의 추가수입을 창출하는 방침을 제시하였다. 이 대통령령에서는 종래의 바이오매스 발전과 열 이용에 바이오 리파이너리(bio refinery)라는 새로운 단어를 사용하여 옥수수에서 생산되는 바이오에탄올과 바이오플라스틱 등의 바이오매스 제품을 대폭 취급하는 것으로 주목받았다.

부시 대통령은 2002년 10월에 '미국의 바이오 에너지와 제품의 비전'을 발표하여 클린턴 대통령령을 크게 변경하였다. 첫째, 2010년까지의 바이오매스 이용 3배 증대 목표를 대폭 하향조정하였다. 바이오 전력과 바이오 연료의 사용 증가 목표를 1.4배로 하향 조정하고, 바이오 제품에 대해서는 2.4배로 조정하였다. 둘째, 국가전략을 바이오매스 전체 이용이 아니라 바이오 리파이너리 산업의 창출・육성에 초점을 맞추는 것이다. 부시 정부의 비전에서 바이오 연료는 30년간 연간 15%, 바이오제품은 연간 5.7% 확대를 목표로 하지만 바이오 파워(전력・열)의 목표치는 2030년까지 연간 1.5%에 지나지 않는다.

4. 유럽의 바이오에너지 이용

EU위원회는 1997년 11월에 '미래 에너지 : 재생가능에너지'를 발표하면서 에너지 정책목표를 에너지 공급의 안정 확보, 경쟁력 개선, 환경보전의 세 가지로 설정하고 화석연료를 대체하는 친환경적인 에너지로서 재생가능에너지 보급정책을 실시하고 있다. 그리고 EU위원회가 2000년 5월에 채택한 '재생가능에너지원 전력 이용 촉진을 위한 지침'에서는 2010년까지 EU의 총전력 소비량의 22%를 재생가능에너지원 전력으로 담당한다는 목표를 정하였고 EU가맹국별 비중을 정하였다.

EU위원회는 이 지침에서 재생가능에너지가 가지는 의의를 다음과 같이 지적하고 있다. 첫째, 이산화탄소를 삭감할 수 있기 때문에 교토의정서의 이산

화탄소 삭감목표를 달성하는 데 기여할 뿐만 아니라 산성우 발생도 억제할 수 있다. 둘째, 지방에서 새로운 고용을 창출하는데 기여한다. 셋째, 지역활성화에 도움이 된다. 넷째, 원료를 국내에서 조달할 수 있기 때문에 석유 등의 수입이 줄고 에너지 안정성을 유지할 수 있다. 이러한 의의를 인식하여 각 가맹국들은 재생가능에너지 시설의 초기 투자비의 20~40%를 보조하고 있으며 전력회사가 재생가능에너지원 전력을 일정가격으로 장기간 구입하도록 의무화하고 있다. 그리고 탄소・에너지세를 실시하고 있는 가맹국에서는 석유 또는 석탄과 같은 화석연료에 대해 세금을 비싸게 부과하고 있다. 그리고 바이오가스에 대해서는 보조 또는 면세조치를 취하고 있다.

EU 차원의 바이오에너지 연구개발은 JOULE(비핵 신・재생에너지 연구개발)과 THERMIE(신에너지 기술의 실증, 활용, 보급) 프로그램에서 이루어지고 있다. JOULE 프로그램의 중요 지원 대상과제는 유럽연합 역내에 바이오매스 자원이 많으므로 향후 장기적 에너지 공급에 큰 역할을 기대하며 가용자원의 조사 및 확보, 보급 타당성 조사, 정책연구에 주력하고 에너지 작물재배(갈대 등), 소규모 가스화 발전기술, 수수로부터 에탄올 생산기술 개발 등을 병행하고 있다.

THERMIE 프로그램에서는 바이오매스 가스화 발전을 1990~1994년에 걸친 계획의 핵심 목적과제로 선정하여 추진한 바 있으며 산업 및 도시폐기물의 메탄가스화 및 퇴비화 보급, LFG 발전기술 실증, 바이오디젤 생산기술 실증 등의 대형과제를 선정하여 집중적으로 투자하고 있다.

프랑스는 바이오에너지 기술개발에 주력하여 1983~1988년 남서부의 Soustons에 발효조 규모 30㎥의 목질계 에탄올 파일럿 플랜트를 건설하여 요소기술을 확보하였다. 그 공장은 현재 셀룰로스를 생산하고 있으며 당화효소 생산기술의 향상 등을 계속적으로 도모하고 있다. 바이오연료의 실용화 부문은 목재연료의 보급에 주력하여 가정은 물론 상업 부문으로 공급을 확대하려고 하며, 유채유를 에스테르화한 바이오디젤, 에탄올은 시범보급중이며 에탄올과 부틸렌에서 생산되는 ETBE는 Elf사가 75,000톤 규모의 공장을 건설 상용화하였다. 프랑스는 농업생산국으로 유채유는 바이오디젤, 밀과 사탕무 등은 에탄올, 목질계 바이오매스는 바이오 고체연료 생산이라는 방향으로 기술개발을 추진하고 있다.

표 3-5. 유럽의 바이오에너지 이용 및 정책

국가	바이오에너지 이용현황	주요 정책	바이오매스 공급	열과 발전	바이오연료
오스트리아	바이오매스는 에너지공급의 11%를 차지함. 산림폐잔재를 이용하여 소규모의 지역난방 시스템을 운영. 정책지원은 주단위 시행.	개별 난방 시스템과 가스화시설에 금융지원. 바이오매스 생산농가에 보조. 바이오연료에 대한 세제지원 및 무기연료에 대한 조세부과	주로 폐잔재를 활용. 바이오 디젤용으로 유채를 생산	전통적 목재보일러의 수가 줄면서 열생산은 감소. 그러나 목재보일러는 여전히 중요한데 약1/5은 현대화되었음. 1990-2000년에 열생산은 현상 유지 수준이나 전기생산은 10배로 성장	RME 생산에 주력. 연간 바이오디젤 생산에 제한없음. 2010년에는 현수준보다 3배 증가할 전망.
덴마크	1.2백만 톤의 짚과 산림폐잔재 활용을 위한 프로그램 운영. 대규모 CHP, 지역난방에서 바이오매스를 활용하고 바이오매스 잔재를 이용.	2005년부터 에너지작물을 활용하는 장기에너지 프로그램 운용. 바이오에너지에 대한 보조금은 50%까지 가능할 것으로 예상. feed-in tariff를 10년간 보증함.	볏짚, 목질 폐잔재, 폐기물		바이오연료에 대한 구체적인 정책은 없지만 새로운 EU 지침에 부합하록 조정.
핀란드	1차에너지 수요의 20%를 바이오매스로부터 확보. 특히 펄프·제지산업에서 폐잔재와 흑액으로 에너지를 생산하여 크게 기여. 바이오매스에 대한 정부지원이 강하여 2배 확대도 가능.	에너지세 면제. 산주들이 산림폐잔재를 생산하도록 재정지원. 폐기물의 에너지 생산 목표로 함	산림폐잔재, 흑액, 토탄. 산림폐잔재 활용도 제고는 향후 공급비용을 인상시킬 것임.	2010년에 1000MWe 이상의 바이오매스 발전시설을 설치할 계획. 1990-2000년에 열생산은 60% 증대, 전기 생산은 70% 증대	바이오연료의 상업적 생산은 없음. 열분해에 관한 R&D가 많음
프랑스	구체적인 바이오에너지 정책은 없으나 바이오연료(에탄올과 바이오디젤)와 난방용 바이오매스의 역할은 중요함. 400PJ의 열, 50PJ의 연료, 10PJe를 생산함. 그러나 지난 10년간 성장률은 매우 낮음. 전략에는 바이오물질도 포함하고 있음. 전기는 우선순위 낮음. 바이오매스는 재생에너지의 약 2/3를 차지함(총에너지의 6%)	바이오디젤에는 100% 면세, 바이오에탄올에는 80%의 면세혜택 부여. 투자보조, 연구개발. 폐기물 연소 및 매립가스에 대한 feed-in tariff가 다른 부문으로 확대될 전망.	폐잔재와 폐기물 등 이용가능 자원을 활용하여 열생산. 유채와 곡초류 생산. 바이오 물질의 이용에 대한 관심 높음	주로 가정용 난방이며, 시장이 안정되어 있고 실질적 기술진보는 없음. 집단 또는 산업적 난방 시스템도 많지 않음. 열생산을 위한 현대적 보일러 개념 추구. 바이오가스 활용이 많음.	바이오 연료이용의 선진국으로 바이오매스에 대한 재정지원이 높음. 최근 바이오연료 지원에 관한 EU법령과 일치하지 않은 지원으로 문제가 야기됨. 바이오연료의 경쟁력 향상이 중요 목표임.

<표계속>

국가	바이오에너지 이용현황	주요 정책	바이오매스 공급	열과 발전	바이오연료
독일	재생에너지는 총에너지의 약 3%수준임. 바이오매스 에너지는 약 300PJ이나 2010년에는 800PJ로 증가전망. 폐기물 정책이 엄격하여 매립을 억제하고 재활용을 목표로 함.	바이오연료에 대한 면세혜택부여	주로 폐기물과 폐잔재를 활용. 바이오디젤용으로 유채를 생산	폐기물과 폐잔재 활용이 중요. 바이오 디젤용 유채 생산.	바이오매스 이용의 선진국으로 특히 RME 기술수준 높음. 독일은 바이오디젤 생산비율에 대한 제약없으며 총 생산은 2000년 10PJ임.
네덜란드	바이오매스와 폐기물의 에너지공급은 2000년 50PJ 이상임. 2007년 85PJ, 2020년에는 약 150PJ를 목표로 함. 장기적으로 바이오매스에 의한 에너지 공급이 중요해질 것임.(2040년 600~1000PJ)	높은 연료비용에 대한 치대 100% 보조. 다양한 R&D 프로그램과 지원대책. 농업부의 역할 중요. 규모와 연료에 관계없이 다양한 기술에 대한 feed-in tariff 지원. 투자에 대한 보조와 세제지원.	폐기물과 폐잔재가 주요 자원임. 녹색전기생산을 위해 바이오매스를 수입하고 있음. 장기목표 달성을 위해 수입이 중요함.	폐기물 소각과 석탄 발전소의 혼합연소가 중요. 전기생산은 향후 10년간 6배 증가 전망.	소형 RME사업이 일부 있고 합성가스개발에 관심높음. 비당 전분 연료에서 EtOH 생산 분야의 연구 활발.
스페인	총에너지에서 바이오매스의 기여가 현재 160PJ(전체 재생에너지의 약 50%)에서 2010년에 430PJ(재생에너지의 약 2/3)로 증가전망. 재생에너지 공급은 2000년 6% 수준이나 2010년 30%를 목표로 함	바이오에너지 프로젝트 투자에 대하여 세금공제(10%), 직접 보조(30%까지), 이자할인(5%까지). 소비세 감세	폐기물과 폐잔재 활용. 에너지 작물에도 관심높은데 전통적인 유채와 곡초류 외에도 사탕수수와 같은 새로운 기회 시도.	바이오가스의 생산 및 이용으로 전기생산을 목표로 함. 열생산은 일정 수준 유지.	RME와 에탄올 생산 증가. 리그노셀룰로스 바이오매스로부터 에탄올 생산활동. 2010년 20PJ의 에탄올을 목표.
스웨덴	바이오매스가 전체 에너지 수요의 17%를 차지하고 있음. 펄프 및 제지산업의 폐기물을 활용하며, 지역난방(CHP), 공간난방을 위해 목재사용이 대부분임. 바이오매스 이용은 2020년에 에너지공급의 40%가 될 것으로 전망됨.	탄소세 및 에너지세를 주로 활용하는 조세 및 행정지원	목질연료가 전체의 70%를 차지하고 있음. 물류확대에 따라 목재시장이 점차 전국과 무역으로 확대되고 있음.	바이오전기생산은 빠르게 성장하지 않으나, 열생산은 꾸준히 증가하여 1990년 160PJ에서 2000년 270PJ에 이름	주로 바이오 에탄올임. 스웨덴은 리그노셀룰로스 바이오매스를 활용하여 에탄올 생산의 선진기술국임. 또한 유연연료 자동차 및 연료공급소를 실행하고 있음
영국	재생에너지는 전체에너지 공급의 1% 수준이며 바이오매스는 그중 2/3임. 바이오매스와 폐기물을 활용하는 전기생산이 크게 성장하고 있음. 폐기물을 주로 활용하고 있지만, 장기적으로 영국은 에너지 작물으 대규모로 사용하고자 함.	CHP 시설 보조. 바이오연료에 대해서는 직접 보조 아닌 면세지원. 온실가스완화 정책의 일부로서 바이오에너지 활용. 폐기물 정책과도 연계. 바이오연료 사업의 혁신적 투자지원. 바이오연료에 관한 부과금 감면, 단벌기 관목류 재배농가 지원.	MSW가 대부분임. 장기적으로 에너지 작물(버드나무)이 중요할 것으로 전망됨.	MSW 소각이 바이오매스 에너지의 약 50%정도임. 1990-2000년에 전기생산은 8배 증가(4500GWhe), 열생산은 두 배가 되어 거의 40PJ임.	재생자동차연료를 포함하여 근래에 정책지원

자료: Faaij(2004)

덴마크에서는 1970년대의 1차 오일쇼크를 계기로 원자력 발전에 의존하지 않고 재생가능한 에너지에 의한 에너지 자급권을 형성해 왔다. 또한 바이오매스 이용을 늘리기 위해서 석탄연료에는 높은 세율의 에너지세, CO_2세, 유황세를 부과하고 있다. 바이오매스 수확을 위한 작업 시스템은 체인톱 또는 펠러번처로 벌목하고 칩 하베스터로 칩핑작업을 하면서 작업을 진행한다. 임내에서는 칩셔틀이라 불리는 트랙터의 뒤에 장착된 컨테이너에 칩을 싣고 산지집재장까지 왕복운반을 한다. 벌목은 간벌의 경우 열상간벌을 하고 개벌은 칩핑작업이 손쉽도록 한 방향으로 벌도방향을 정한다. 칩의 공도운반은 산림작업과 별도의 트럭회사가 소유하고 있는 컨테이너 또는 트럭을 이용하고 약 40㎥의 컨테이너를 보통 한번에 두 개를 연결하여 운반한다. 히팅 플랜트 또는 저장소까지 운반할 수 있다. 보통 30~40km 정도를 운반하지만, 운반거리가 150km에 달하는 경우도 있다. 칩의 소비가 매년 바뀌고 칩의 수확이 부족한 시기도 있기 때문에 칩의 안정 공급을 위해서는 저장도 중요한 공정으로 고려하고 있다. 덴마크에서는 칩을 이용하여 지역에 온열을 공급하는 히팅 플랜트가 1984년에는 3개소였지만 1999년에는 약 50개로 늘었으며 칩소비량 725,000㎥l.v., 1,800TJ의 에너지 생산에 이른다. 히팅 플랜트는 현재 각지에서 건설 중이거나 조업을 시작하였다. 플랜트의 건설과 유지를 위해 재생가능에너지를 위한 그린 에너지세를 재원으로 하는 정부 보조가 있었다.

제 4 장

국내 목질 바이오매스의 에너지 활용 가능성

1. 목질 바이오매스 자원의 부존 및 발생 현황

1.1. 목질 바이오매스의 생산 잠재력

산림에서 발생하는 바이오매스 자원이라 하면 크게 숲에서 직접 채취할 수 있는 임산 바이오매스 자원과 목재 가공 등의 과정에서 발생하는 폐목재 바이오매스 자원으로 구분할 수 있다.

우리나라의 산림은 Ⅲ영급을 지나서 Ⅳ영급 시대로 변화하고 있다. 이는 소경재 간벌시대가 지나가고 있음을 의미한다. 산림의 생태적 건강성을 유지하고 자원가치를 높이기 위해서는 숲 가꾸기 사업이 필요한 시점이다.

표 4-1. 우리나라의 영급별 산림면적

단위: ha

	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	죽림지	계
시업지	321,507	813,717	1,959,296	1,383,778	382,495	90,414	5,264	5,068,579
제한지	45,904	150,112	500,171	423,998	131,130	43,707	836	1,331,722
계	367,411	963,829	2,459,467	1,807,776	513,625	134,121	6,100	6,400,301

자료 : 임업통계연보

우리나라에 분포하는 주요 수종별 영급별 표준임목재적은 <표 4-2>와 같다. <표 4-2>를 기초로 30%의 간벌률을 적용하면 표준재적이 가장 낮은 중부소나무의 경우도 Ⅲ영급에서 25.8㎥/ha 이상의 간벌재가 생산되고 Ⅳ영급에서는 41.7㎥/ha의 간벌재를 생산할 수 있다. 우리나라의 전국 시업지 가운데 Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ영급의 면적 4,156,791ha를 대상으로 10년 주기의 숲 가꾸기를 실시한다면 연간 숲 가꾸기 대상면적은 약 416천ha가 된다. 숲 가꾸기 과정에서 ha당 약 30㎥의 간벌재를 생산하다고 가정하면 숲 가꾸기 과정에서 발생하는 목질 바이오매스는 연간 12,480천㎥에 이른다.

표 4-2. 주요 수종별 영급별 ha당 표준임목재적(주부임목 합계)

단위: ㎥

수종 / 영급	강원소나무 (10)	리기다 (10)	잣나무 (14)	낙엽송 (14)	중부소나무 (10)	상수리 (18)
Ⅱ영급	77.8	83.6	61.0	87.0	31.9	50.6
Ⅲ영급	183.2	157.8	144.8	169.0	86.9	103.8
Ⅳ영급	231.3	238.3	206.0	230.8	139.4	156.4

주 : ( )의 수치는 지위지수
자료: 임분수확표

1.2. 산림폐잔재의 발생 현황

산림폐잔재는 주벌이나 육림 등 각종 산림사업에서 발생하여 산지에 버려지는 말목, 가지, 근주 그리고 산림 내에서 반출되지 않는 미이용 잔재를 말한다. 산림폐잔재가 발생하는 산림사업에는 숲 가꾸기 사업, 일반 육림 사업, 목재벌채 사업 등이 있다. 그리고 숲 가꾸기 사업에는 간벌, 어린나무 가꾸기, 덩굴제거, 풀베기, 천연림 보육, 기타 사업 등이 있지만 자원으로서 목질 바이오매스를 이용가능한 사업은 간벌과 천연림 보육이다.

<표 4-3>은 산림폐잔재가 발생하는 산림사업의 추진 실적을 나타낸 것으로 과거에 비하여 숲 가꾸기 사업이 크게 증가하였다. 우리나라 숲이 3영급에서 4영급으로 이동 과정에 있어 숲 가꾸기 사업이 매우 필요하며 이는 앞으로도 점차 늘어날 것으로 전망된다.

표 4-3. 산림폐잔재가 발생하는 산림사업 실적

단위: ha

	숲가꾸기사업		임목벌채허가실적					
	간벌	천연림 보육	주벌	간벌	수종갱신	피해목	기타	용재생산 (1,000㎥)
1998	37,276	27,296	7,300	20,813	5,945	-	10,800	1,428
1999	54,177	52,588	10,173	26,031	7,200	-	10,685	1,694
2000	51,740	52,055	9,271	24,029	6,907	3,109	7,774	1,592
2001	44,392	44,605	9,296	23,734	8,532	2,403	6,486	1,533
2002	56,186	61,656	8,263	26,312	6,106	3,362	4,875	1,605
2003	68,432	103,312	7,754	25,721	6,292	1,892	6,324	1,740
2004	68,349	110,838	8,864	21,646	6,591	3,044	5,929	2,037

자료: 임업통계연보

각종 산림사업 과정에서 발생하는 바이오매스 자원으로서는 관목, 어린 나무, 수간부, 지엽부, 수피, 피해목, 고사목, 불량목, 후동목 등이 있으며, 수종에 따라 이들 각각은 다양하게 이용된다. 잣나무, 소나무, 편백 등의 잎과 가지는 향료용으로, 그리고 거의 모든 수종의 잎과 작은 가지는 사료용으로 사용할 수 있다. 작은 줄기(말구직경 12㎝이하)와 가지는 칩 또는 톱밥으로 가공하여 토양개량용이나 가축사의 깔개, 퇴비 등으로 사용할 수 있으며, 소경재(직경 7~15㎝)는 조경재, 갱목, 펄프용, 연료재, 하드보드, 축사 정화제 등으로 사용할 수 있다. 중경재(직경 16~30㎝)는 제재소를 거쳐 수간부는 건축자재로, 수피는 연료용으로, 피죽은 펄프 또는 축사정화제 등으로 사용할 수 있다.

표 4-4. 산림폐잔재의 구분

종류	내 용
미활용 폐잔재	관목, 맹아지 등이나 가로수 정리산물
	직경 6㎝ 이하의 어린나무, 가지 등과 간벌과 주벌에서 발생하는 초두부와 가지 등
활용 폐잔재	말구직경이 7㎝이상으로 펄프재 등으로 공업원료 이상으로 이용될 수 있는 목재로서 간벌과 주벌을 통해 생산

현재 중경재 이상은 다양한 용도로 사용되고 있어 생산자가 수집하고 있으나 소경목 등은 산림 내에 버려지고 있는 실정이다. 숲 가꾸기 과정에서 산림폐잔재가 대량으로 발생하지만 수집이 저조한 것은 산림사업장 1개소의 면적이 작고 분산되어 있어 수집비용이 높기 때문이다. 게다가 민유림에서는 임도 등 기반시설이 부족하여 기계장비와 차량 진입이 어려워 비용부담이 가중되며 수집하여도 마땅한 용도가 없어 수집을 기피하고 있는 실정이다. 근래에는 버려지는 간벌재를 수집하여 톱밥 또는 연료로 활용하는 사례도 있으나 농산촌 거주자의 대부분이 고령화되어 활용인력이 절대 부족한 실정이다. 또한 부재산주가 많아 산림폐잔재의 활용에 대한 관심은 낮으나 무단 활용시에는 마찰이 발생하여 민원발생의 소지가 되기도 한다.

그림 4-1. 산림사업후 방치되는 산림폐잔재

1.2. 산림폐잔재 발생량 추정조건

숲 가꾸기 사업에서 발생하는 목재들은 활용가치가 매우 낮아 산림폐잔재가 될 가능성이 매우 높다. 숲 가꾸기 공공근로사업장의 현지 조사결과 산출된 직경급별 본수를 보면, 총 ha당 2,360본 가운데 6㎝이하가 1,766본, 8~12㎝가 429본, 14~18㎝가 117본, 20㎝이상이 38본인 것으로 나타났다<표 4-5>. 이들 직경급별 본수와 표준목 재적을 적용하여 재적으로 환산하면 숲 가꾸기 사업장에서 발생하는 ha당 간재적량은 44.6㎥/ha인 것으로 분석되었다. 이 가운데 다른 용도로 사용할 수 있는 20㎝이상의 중경재를 제외하면 숲 가꾸기 사업에서 발생하여 버려지는 폐잔재는 31.8㎥/ha으로 추정된다.

표 4-5. 숲 가꾸기 공공근로사업장에서의 경급별 수종별 벌채 본수

수종	지위지수	경급별 생산본수(본/ha)				
		계	6㎝	8～12㎝	14～18㎝	20㎝이상
소나무	23	2,905	2,228	506	116	55
리기다	13	2,984	2,345	511	96	32
낙엽송	7	896	136	450	246	64
잣나무	9	1,510	1,183	149	163	15
활엽수	25	2,249	1,738	409	75	27
평균	-	2,360	1,776	429	117	38

자료 : 장철수 외(2004)에서 인용

표 4-6. 평균목 재적에 의한 벌채목의 임목재적 추정치

수종	지위지수	경급별 재적(㎥/ha)				
		계	6㎝	8～12㎝	14～18㎝	20㎝이상
소나무	23	50.8	8.9	13.7	12.3	15.9
리기다	13	46.2	9.4	15.7	11.3	9.8
낙엽송	7	67.1	0.5	15.8	30.3	20.5
잣나무	9	49.6	4.7	4.5	20.1	20.3
활엽수	25	29.8	7.0	9.1	7.1	6.6
평균	-	44.6	7.1	11.7	13.0	12.8

자료 : 장철수 외(2004)에서 인용

이러한 결론은 시민단체에서 수행한 숲 가꾸기 사업 모니터링 결과와도 비슷하다<표 4-7>. 즉, 숲 가꾸기 사업에서 발생하는 산물의 대부분은 흉고직경 8~18㎝의 소경재이고, ha당 약 34.8 ㎥의 숲 가꾸기 산물이 발생하고 있다. 여기에서 일부 수집하여 활용되는 사례도 있지만 대부분은 현장에 버려지는 것으로 보고하고 있다.

목재벌채 허가사업의 경우는 벌채허가재적에 (1-조재율)/조재율을 곱하여 산출하였다. 조재율은 주벌, 수종갱신, 기타를 벌기령 40년생 기준으로 0.85를, 간벌은 20년생을 기준으로 0.6을 적용하였다.(오민영 외, 1987)

표 4-7. 시민단체의 숲 가꾸기 사업 모니터링 결과

조사지역	주요수종	경급 (㎝)	수고 (m)	ha당 입목축적		ha당 간벌량		간벌률 (%)
				본수	재적(㎥)	본수	재적(㎥)	
양평 삼성리	잣나무, 상수리	16	14	1,435	157	173	49	31
양평 마룡리	잣나무, 낙엽송	18	13	925	167	470	55	33
가평 설곡리	잣나무, 신갈	20	11	1,827	172	663	51	30
가평 설곡리	신갈, 굴참	14	12	2,343	130	970	39	30
평창 방림리	잣나무, 낙엽송	12	11	2,090	129	905	27	21
평창 하리	소나무, 신갈	16	10	1,938	128	834	32	25
홍천 희망리	소나무, 잣나무	12	10	1,962	163	541	45	28
홍천 갈마리	소나무, 활엽수	10	10	6,450	151	1,511	36	24
충주 문성리	소나무, 낙엽송	12	15	1,425	197	475	39	33
충주 가신리	낙엽송, 참나무류	14	12	1,045	148	345	25	33
충주 문성리	소나무, 참나무류	10	11	1,955	117	643	26	33
음성 맹동리	낙엽송	10	7	1,359	131	483	29	36
음성 맹동리	소나무, 낙엽송	10	5	1,731	79	528	12	31
공주 운암리	소나무, 참나무류	14	12	1,825	142	669	36	26
공주 운암리	소나무, 참나무류	20	12	1,639	101	373	21	21
평균		14	11	1,997	141	639	35	29

자료 : 생명의숲국민운동, 이임영(2005)에서 재인용

1.3. 산림폐잔재 발생량 추정

산림폐잔재는 대부분 숲 가꾸기 사업에서 발생하는 것으로 추정되었다. 임목벌채사업에서도 주벌이나 수종갱신보다는 간벌사업에서 산림폐잔재가 다수 발생하는 것으로 추정된다.

정리하면 우리나라 산림은 정상적으로 관리할 경우 매년 약 1,000만㎥ 이상의 목질 바이오매스를 생산할 수 있는 잠재력을 가지고 있으며 현재 연간 약 700만㎥의 목질 바이오매스를 생산하고 있다.

정상적인 숲 가꾸기를 위해서는 현재보다 2배 정도의 숲 가꾸기 사업이 실행되어야 한다. 이에 따른 정부 예산확보와 사업 추진에 따라 숲 가꾸기 사업량은 점차 확대될 것이며 그에 따라 목질 바이오매스의 생산량도 증가하게 될 것이다.

표 4-8. 산림 폐잔재 발생량 추정

단위: 천㎥

	계	숲가꾸기사업	임목벌채		
			주벌	간벌	수종갱신
1998	2,776	2,260	41.01	441.70	33.40
1999	4,376	3,737	56.22	543.51	39.79
2000	4,221	3,633	50.98	499.17	37.98
2001	3,691	3,115	49.85	480.79	45.75
2002	4,783	4,124	47.84	575.53	35.35
2003	6,723	6,011	49.62	621.81	40.26
2004	7,030	6,272	69.16	638.00	51.42

1.4. 산림폐잔재 수집・활용실태

1.4.1. 현행 산림폐잔재 수집 시스템

산림폐잔재 수집은 간벌, 주벌 등 벌채형태 및 인력, 기계 등 작업형태와 밀접한 관계가 있는데 우리나라의 경우 기계화가 상당히 지연되어 주로 인력에 의존하고 있다. 왜냐하면 영림작업의 분산화와 영세성, 지속적인 사업량 확보의 불투명과 함께 숲 가꾸기 사업이라든가 간벌작업의 경우 생산되는 목재는 소경재에 불과함으로 간벌 소경재에 대한 용도개발 부족 등으로 시장이 형성되어 있지 않으며 원료의 지속적인 공급체계가 되어 있지 않기 때문이다.

이에 따라 경사지 31° 이상이 전체 산림의 대부분인 우리나라의 경우 벌목작업은 기계톱을 사용하여 이루어지는 데 대부분 인력과 소형윈치, 굴착기 등 소형장비를 이용하기 때문에 단목집재(재장 4m 이하) 방법을 사용하고 있다. 경사도 25% 미만의 완경사지는 농업용 트랙터를 이용한 집재, 25~60%의 중경사지는 집재로를 이용한 집재, 경사도 60%이상의 급경사지는 가선집재 등으로 이루어지고 있다. 그러나 아직까지 우리나라는 가선집재 방법이 국유림 일부를 제외하고는 널리 적용되고 있지 않으므로 4륜 구동의 트럭을 이용하기 위해 급경사지에 무리하게 작업로를 개설하여 임지훼손 문제가 빈

번히 발생되고 있는 실정이다.

현재 우리나라 산지에서 이루어지는 산림폐잔재 수집 시스템을 목재생산 방법과 연관지어 구분하면 전목생산에 의한 방법, 전간재 생산에 의한 방법, 단목생산에 의한 방법 등이 있는 것으로 나타났다. 전목생산에 의한 방법은 임분내에서 벌도목을 스키더, 타워야더 등으로 전목집재를 한 뒤 임도변 또는 토장에서 가지, 통나무 자르기를 한 다음 폐잔재를 수집하는 작업 형태로 소요인력을 최소화할 수 있다. 전간재 생산에 의한 방법은 임분내에서 벌도와 가지자르기만을 실시한 벌도목을 임업용 트랙터, 스키더, 타워야더 등을 이용하여 임도변이나 토장까지 집재하여 그곳에서 원목생산을 한 다음 폐잔재를 수집하는 방법으로 노동생산성을 높일 수 있는 방법이다. 단목생산에 의한 방법은 임분내에서 벌도, 가지자르기, 통나무 자르기 등 전체적인 조재작업을 실시한 다음 폐잔재를 수집하여 임도변이나 토장까지 운반·집재하는 방법으로 주로 인력작업에 의존하는 방법이다.

현재 단목생산에 의한 산지폐잔재 수집 시스템이 대부분이고 전간재나 전목생산에 의한 방법은 일부 국유림이나 또는 기계화 시범사업 등을 통해 제시되고 있을 뿐 일반화되지 못하고 있는 실정이다. 산지폐잔재를 효율적으로 수집하고 이용하기 위해서는 전간재나 전목생산에 의한 방법을 도입하는 것이 필수적인 것으로 생각한다.

현재와 같이 인력 위주의 단목생산에 의한 집재의 경우 폐잔재를 수집하기가 매우 어려운데 이는 수집비용이 벌채 등 생산비를 훨씬 상회하기 때문이다. 이에 따라 사실상 산림작업 현장에서 소경재는 그대로 폐기되고 있다. 정부는 숲 가꾸기 사업의 활성화를 위해 수집산물을 적극 이용할 수 있도록 칩이나 톱밥 가공장비를 보조 형태로 지원하고 있으나 이는 시범사업에 불과하고 널리 활용되고 있지는 못하다.

1.4.2. 산림폐잔재 수집실태

산림폐잔재 가운데 현재 수집되어 이용되고 있는 것은 숲 가꾸기 공공근로 사업에 국한되어 이루어지고 있으며 수집된 산림폐잔재는 톱밥, 조사료, 원주

목, 매각, 임산연료 등의 형태로 활용되고 있다. 수집되어 활용되는 산림폐잔재는 2002년에 약 67천㎥으로 파악되었으며 수집된 산림폐잔재의 주요 용도는 원목매각, 톱밥, 임산연료 등이다. 임업연구원(2000)에 의하면 재활용되는 산림폐잔재의 용도는 지주목, 톱밥제조용, 땔감용 등의 순이다. 따라서 실제 발생하는 산림폐잔재 가운데 수집되어 활용되는 경우는 숲 가꾸기 공공근로사업의 경우 2000년에 49.5% 수준이나 최근에는 민유림을 중심으로 용도개발이 되지 않아 수집량이 줄어들고 있는 추세이다.

특히 일반 육림사업이나 목재벌채허가사업의 경우 전적으로 인력에 의한 벌채에 의존하고 있어 산림폐잔재가 거의 수집되지 않고 있는 실정이다. 산림폐잔재의 이용실태 조사결과 말구직경이 7~15cm 이하의 폐잔재는 톱밥, 칩 등으로 일부 활용되나 직경 6cm 이하의 작은 나무, 간벌재와 주벌재의 초두목, 가지목은 거의 전량 폐기되고 있었다.

산지에서 폐기되는 폐잔재 발생량도 16~20%에 달하는 것으로 조사되었다. 강릉, 삼척, 영월, 정선, 단양, 구미 등 6개 국유림관리소의 임목 부위별 폐잔재의 수집 실태를 조사한 결과 수집물량의 96%가 줄기(수간)이며, 초두부 2%, 가지 1%,잎 1% 정도로서 사실상 줄기이외에는 산지에서 폐기되는 실정이다.

말구직경 7~15cm 의 산림폐잔재 활용이 강구될 필요가 있으나 이를 위해서는 부가가치의 증진방안이 필요하다. 그러나 간벌과 주벌작업방식으로 보아 폐잔재를 벌채작업과 별도로 조제 활용할 경우 생산가(임금, 집재, 운반비 등)가 시장가를 훨씬 상회하여 경제성이 없으므로 벌채작업과 동시에 산지현장에서의 가공이 필수조건임을 거듭 확인하였다. 그러므로 현행 간벌 및 주벌작업시 벌채목 수집 시스템을 현행 인력 위주에서 전간재 또는 전목집재 시스템으로 전환해야 한다.

1.5. 산림폐잔재의 활용과 유통체계

산림 폐잔재 가운데 현재 수집되어 활용하는 것은 숲 가꾸기 공공근로사업에 국한하여 이루어지고 있으며, 수집된 산림 폐잔재는 톱밥, 조사료, 원주목, 원목 매각, 임산연료 등의 형태로 활용되고 있는 것으로 파악되었다. 수

집되어 이용되는 산림 폐잔재는 2002년에 67천㎥으로 파악되었으며, 수집된 산림 폐잔재의 주요 용도는 원목매각, 톱밥, 임산연료 등이다.

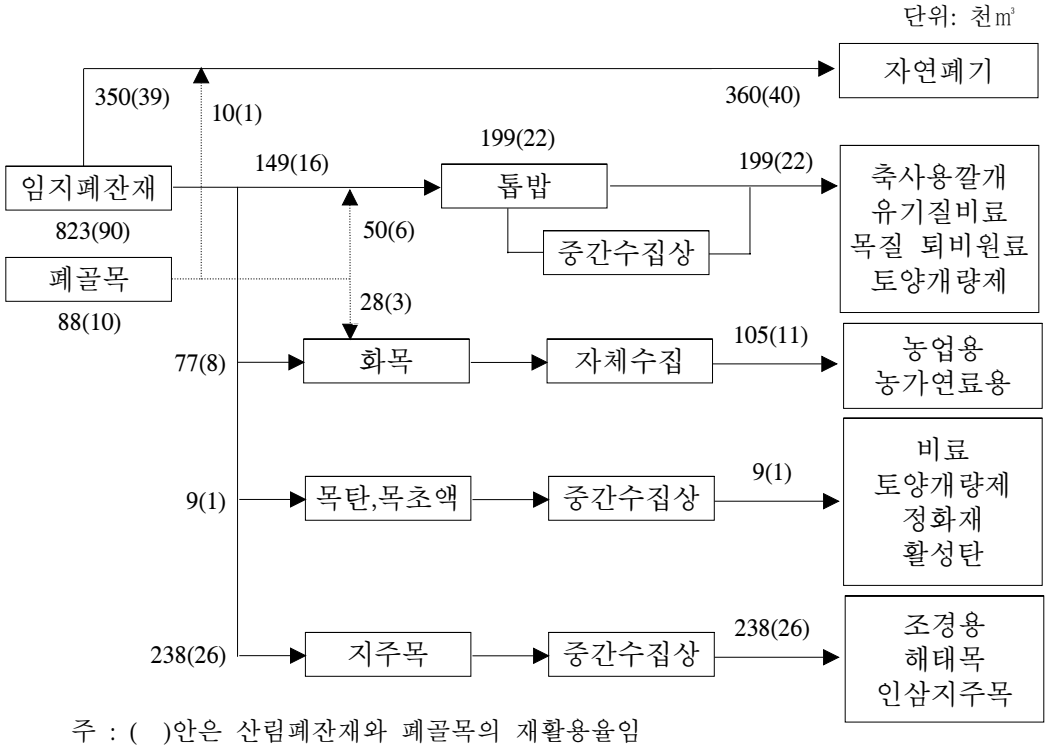
표 4-9. 산림 폐잔재의 활용용도별 수집량

(단위 : ㎥)

	1998	1999	2000	2001	2002	합계
톱 밥	9,845	36,714	36,845	29,848	13,059	126,311
조 사 료	-	919	941	504	539	2,903
원 주 목	477	1,845	7,287	5,147	4,086	18,842
원목매각	6,266	37,945	43,381	30,952	20,799	139,343
임산연료	27,182	42,801	42,618	42,312	28,038	182,951
합계	43,730	120,224	131,072	108,763	66,521	470,350

자료 : 산림청 내부자료

그림 4-2. 산림폐잔재의 유통경로



주 : ( )안은 산림폐잔재와 폐골목의 재활용율임
자료 : 임업연구원(2000)

임업연구원(2000)의 조사에 의한 1998년도 산림 폐잔재의 유통경로는 <그림 4-2>와 같다. 용도별 유통구성비를 살펴보면, 산지에서 발생하는 1998년 폐잔재 발생량은 823천㎥이었고, 표고재배에서 발생하는 폐골목은 88천㎥로 전체 911천㎥에 달한다. 폐잔재 발생량 가운데 톱밥으로 22%가 활용되고 있으며, 화목용으로는 11%, 목탄 및 목초액으로 1%, 조경용이나 해태목, 인삼 지주목으로 26% 정도가 이용되고 있으며 산림 내 버려지는 물량도 40%에 달하고 있는 실정이다. 또한, 톱밥이나 조사료, 지주목으로 활용되는 부분은 중간수집상을 거쳐 제조업자에게 유통되고 있으나 火木用은 농가에서 자체 수집하여 소비하는 것으로 나타났다.

1.6. 산림폐잔재 수집・활용의 문제점

1.6.1. 용도의 부재

산림 바이오매스 발생의 특징은 '얇고, 넓게' 발생한다는 것이다. 이러한 특징 때문에 숲 가꾸기 사업에서 소규모로 발생하는 소경재 또는 가지 등을 경제적 자원으로서 활용할 수 있는 용도가 많지 않다. 기술적으로는 소경재를 활용하는 다양한 제품들이 개발되어 있지만 여기에 공급하기에는 물량이 충분하지 않다. 일부 지역에서는 톱밥으로 가공하여 지역 축산농가에 공급하고 있는 경우도 있지만 대부분은 마땅한 용도를 찾지 못하고 있다.

1.6.2. 수집비용의 과다

현행 산림작업이 대체로 인력에 의존하고 있어 숲 가꾸기 산물의 수집비용이 매우 높다. 이처럼 높은 수집비용은 바이오매스의 활용을 저해하는 가장 큰 요인이다. 또한 우리나라 산림의 경사가 급하여 소형 기계장비 투입이 어렵기 때문에 소수 인력으로 산물을 반출하는 것은 거의 불가능한 실정이다. 이러한 이유로 임내에 상당한 산림 바이오매스가 쌓여있어도 반출이 어렵고 활용되지 못한다.

1.6.3. 임도 등 기반시설의 부족

숲 가꾸기 사업에서 발생하는 산물을 반출하는 데는 차량과 기계장비가

필요하나 민유림에는 임도시설이 부족하여 이를 반출하지 못하고 있다. 차량이 진입할 수 있는 곳에는 지역 주민이 자발적으로 수집하여 활용하는 사례도 있다. 그러나 차량진입이 어려운 곳에서 인력으로 산물을 반출하는 것은 거의 불가능하므로 임내에 방치하고 있다.

1.6.4. 산림작업의 분산

육림과 간벌 등 산림보육작업은 우량재 생산비율을 현격하게 증가시킴과 동시에 잔존 임분의 생장을 촉진하고 생태적으로 건강한 자원을 갖추는 데 일조하고 있는 필수적인 작업이다.

이러한 산림보육작업이 집단적으로 발생할 경우 기계화 작업의 효율을 높일 수 있고 생산되는 산림폐잔재의 수집 및 활용을 위한 비용을 절감할 수 있다. 그러나 현재는 이들 산림보육작업이 동일 시·군 지역에서도 소규모로 여러 곳에 분산되어 이루어지고 있어 산림폐잔재의 수집 및 활용이 어렵다. 특히 인력작업에 의존하는 현행 수확 및 집재 시스템의 경우 임도나 운재로가 개설되어 있지 않으면 작업이 어려워지고 시설비가 많이 소요되어 실질적인 산림폐잔재의 수집·활용은 기대할 수 없다.

1.6.5. 인센티브의 부재

산림폐잔재의 활용은 수집비용의 과다로 현실적으로 산주 개인이 시도하기에는 어렵기 때문에 이러한 산림 폐잔재를 수집·활용하는데 정책적 지원이 필요함에도 수집에 대한 유인제도는 거의 없는 실정이다.

2003년부터 기존의 숲 가꾸기 공공근로사업이 일반 육림사업으로 전환되면서 기존의 숲 가꾸기 공공근로사업에 따른 산물 활용 부분도 이에 포함되어 국고보조가 이루어졌다. 이후 산림자원관리가 산림으로부터 생산되는 경제적 산물을 중심으로 하는 협의의 산림자원관리개념에서 벗어나 건전한 산림생태계의 종합적 관리체제로 전환하면서 '지속 가능한 산림자원관리지침(산림청 훈령 제785호, 2004.2.12)'이 마련되어 숲 가꾸기 산물의 처리 지침이 제도화되었다.

이에 따라 숲 가꾸기 사업후 재해가 우려되는 지역 즉, 임도, 마을 등을 중심으로 30m 이내 지역에 한정되어 산물을 수집, 활용할 수 있도록 ha당 인공림은 710,571원, 천연림은 556,030원을 국고 50%, 지방비 40%, 자부담 10%로 보조하고 있다. 또한 산림폐잔재를 활용하기 위해 톱밥과 칩을 겸용하여 생산할 수 있는 산물활용장비(4,800만원 상당)에 대해 국고 50%, 지방비 50%로 보조하고 있다. 결국 산림폐잔재의 수집은 숲 가꾸기 사업후 재해우려지역을 중심으로 30m 이내에만 가능하고 산물의 활용용도도 톱밥과 칩에 국한되어 생산 장비에 대한 지원이 마련되었음을 알 수 있다.

1.6.6. 산주와의 이해관계 문제

우리나라 산림의 소유구조는 영세산주가 많고 부재산주가 많은 특징을 가지고 있다. 이 때문에 시·군에서는 숲 가꾸기 사업을 계획하면서 산주동의를 구하는 데 어려움을 겪고 있다. 이들 산주들은 산림경영에 대한 관심은 적지만 산림작업에서 발생하는 산물을 반출하는 데는 부정적이어서 산물활용 과정에서 민원발생을 초래한다. 이러한 이유로 담당 공무원들은 숲 가꾸기 작업을 수행하고 적극적인 산물 활용에 나서지 못하게 된다.

2. 목질 바이오매스의 생산 비용 분석

숲 가꾸기 작업으로 산림에 방치되는 폐잔재를 수집하여 목재 칩으로 가공하여 보일러 연료로 사용하도록 공급하는 데에 투입되는 총비용을 계산할 필요가 있다. 이 과정의 구성비용을 살펴보면 간벌재를 임도까지 끌어내리는데 소요되는 집재비용, 원목을 파쇄기까지 운반하는데 소요되는 상차비와 운반비, 파쇄비용, 그리고 목재칩을 실수요자에게 공급하는데 소요되는 운반비용으로 구성된다.

2.1 산림 폐잔재 집재비용

먼저, 산림 내 폐잔재를 임도변까지 끌어내리는데 소요되는 집재비용을 검

토한다. 산림 내 폐잔재의 수집비용은 산림청의 산물수집 품셈 자료를 활용하여 구하였다. 인력작업에 의한 산림작업 산물 수집비용은 노동투입량에 노임단가를 곱하여 구하며 임분 상태와 작업조건에 따라 ±10%의 차등을 적용한다. 인력작업에 의한 산림작업 산물의 수집비용은 인공림 간벌의 경우 36,617원/㎥, 천연림 보육의 경우 36,778원/㎥으로 추정되었다. 이것은 집재거리 30m 내외에 있는 경우를 가정한 것이며 집재거리가 멀어질수록 수집비용은 더욱 상승한다.

표 4-10. 숲가꾸기 산물수집 공정 및 단가

구분	공정 (인・일/ha)	수집량 (㎥)	수집량 (t)	수집비용 (원/ha)	수집단가 (원/㎥)	수집단가 (원/t)
인공림 간벌	15.4	19.3	13.6	706,708	36,617	51,963
천연림 보육	12.1	15.1	10.7	555,342	36,778	51,714

주 1. 산림청의 산물수집 공정을 기초로 작성, 노무비는 41,218원 적용
2. 수집비용에는 노무비 외에 부대비용도 포함됨
3. 목재 1㎥은 0.706톤으로 환산

2.2 파쇄비용

파쇄작업은 5인1조 작업으로 이루어지고 있는데 인건비는 기계조작원은 48,100원/일, 보조원은 33,000원/일으로 계산하고 작업은 50분 작업 10분 휴식으로 가정하였다. 소모품은 클러치와 목재파쇄기 칼날이며 연간 100만원이 소요되는 것으로 가정하였다.

목재파쇄기의 1일 사용료는 103,675원으로 산출되었다. 사용료 가운데 유류대가 대부분을 차지하고 있다. 만약 정부가 기계를 구입하여 보조로 지원하는 경우에는 이자(4,442원)와 감가상각비(17,768원)가 제외되어 1일 기계 사용료는 81,465원이 된다. 현재 간벌재 활용을 위해 산물활용장비를 정부가 보조하고 있으므로 기계를 정부로부터 보조로 조달하는 것으로 가정하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 따라서 목재칩 1 톤 생산을 위한 파쇄비용은 10,007원으로 추정되었다.

표 4-11. 목재칩 파쇄비용

구분	기계구입시	기계구입 정부보조
1일 작업량(kg/일)	26,139	26,139
1일 인건비(원/일)	180,100	180,100
1일 기계사용료(원/일)	103,675	81,465
1일 생산비용(원/일)	283,775	261,565
톤당 생산비용(원/톤)	10,857	10,007

주: 장비는 (주)풍림환경특장의 125마력 목재파쇄기
자료: 한국임정연구회(2003)

2.3 목질 바이오매스(칩) 공급 비용 분석

목재 칩 생산비용은 원목을 임도까지 끌어내리는데 소요되는 집재비용, 원목을 파쇄기까지 운반하는데 소요되는 상차비와 운반비용, 파쇄비용 그리고 칩을 소비자에게 전달하는데 소요되는 운반비용으로 구성된다.

먼저 간벌재를 임도까지 수집하는 비용은 51,963원/톤으로 산출되었다. 상차비용은 김의경, 정상기(2000)의 연구결과에서 인용하여 재당 14원이 소요되는 것으로 가정하였으며, 운반비용은 시군 관내의 경우 재당 40원이 소요되는 것으로 가정하였다. 목재칩으로 파쇄하는 비용은 파쇄기를 정부보조로 구입하는 것을 가정하여 톤당 10,007원이 소요되는 것으로 가정하였다. 그리고 칩을 실수요자에게 공급하는데 소요되는 운반비용은 비교적 가까운 지역에 공급하므로 일률적으로 원목운반비의 절반으로 가정하였다.

표 4-12. 목재칩 공급비용의 산출

(단위 : 원)

구분	목재칩 1톤 생산	비고
간벌재 수집(집재) 비용	51,963	인공림간벌, 인력수집
간벌재 상차 비용	5,833	14원/재 (1재=0.0024톤)
간벌재 운반 비용	16,667	40원/재
파쇄 비용	10,007	
칩 운반비용	8,333	원목운반비용의 절반
칩생산자 고정비용 및 이윤	27,841	생산비의 30%
총비용	120,644	

간벌재를 수집하고 칩을 만들어 실수요자에게 공급하는 것은 산림조합 등의 공급주체가 일관되게 담당하여 작업을 실시하므로 그러한 작업을 수행하는데 따르는 시설 및 인건비 등의 고정경비가 발생하고 적정이윤도 보장해 주어야 하므로 총생산경비의 30%를 공정비용 및 이윤으로 보장해 주는 것으로 가정하였다. 이러한 가정에 따라 계산한 결과 목재칩 1톤 공급에 120,644원이 소요되는 것으로 파악되었다.

3. 농산촌 지역의 에너지 이용 현황

숲 가꾸기 사업에서 발생하는 목질 바이오매스를 에너지로 활용하기 위해서는 우선 자원이용이 용이한 농산촌 지역에 적용할 수 있을 것이다. 이러한 점에 기초하여 농촌 지역의 에너지 소비 실태를 살펴보고 이에 기초하여 기존의 화석연료 에너지 소비에 대한 목질 바이오매스 에너지의 대체 가능성을 분석해 보고자 한다.

표 4-13. 농촌 지역의 에너지 소비량 (열량기준)

(단위: 10^9 kcal)

		합계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
연 탄		259.1	90.2	-	-	40.2	33.5	69.3	-	25.9	-
석유류	등 유	15,580.3	2,590.0	1,340.1	1,864.2	2,516.4	1,201.4	2,153.4	1,925.4	1,613.5	375.8
	경 유	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	중질중유	83.1	-	-	-	83.1	-	-	-	-	-
	프로판	6,742.5	1,097.8	895.9	1,042.7	975.4	403.6	839.0	780.3	526.0	181.7
가스	취사용	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	난방용	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
전 력		3,499.4	604.7	299.7	344.3	490.7	235.8	626.6	420.1	379.9	97.6
열에너지		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
임산연료		155.5	-	47.9	-	12.7	66.0	28.9	-	-	-
합 계		26,319.9	4,382.7	2,583.6	3,251.3	4,118.5	1,940.3	3,717.2	3,125.9	2,545.3	655.1

자료 : 에너지경제연구원. 2002년도 에너지총조사보고서. 산업자원부

<표 4-13>는 농촌 지역의 에너지 소비량을 열량 기준으로 정리한 것이다. 이를 보면 우리나라 농촌 지역의 에너지 소비는 석유류에 대한 의존도가 높고 그 외 전력과 연탄을 사용하고 있는 것으로 나타났다. 임산연료의 사용은 비교적 산림자원이 풍부한 전북과 강원도에서 일부 사용되고 있으나 전체적으로 매우 적은 것으로 나타났다. 이처럼 석유의존도가 높기 때문에 유가의 상승은 상대적으로 소득이 낮은 농촌 지역의 가계에 높은 부담을 안겨 준다.

농촌 지역의 난방설비별 가구당 에너지 소비 형태는 <표 4-14>와 같다. 가정에서 난방설비의 선택은 연료의 가격, 소득수준, 편리성 등의 요인에 따라 선택할 것이다. 가구당 에너지 소비형태를 열량 단위로 환산하여 정리한 것이 <표 4-15>이다. 이에 의하면 재래식 아궁이를 사용하는 농가는 임산연료를 사용하여 $9,450.0\times10^3$ ㎉의 열을 소비하며, 연탄 아궁이를 사용하는 농가는 연탄을 사용하여 $7,233.0\times10^3$ ㎉의 열을, 석유 보일러를 사용하는 농가는 등유를 사용하여 $11,084.7\times10^3$ ㎉의 열량을 소비하는 것으로 나타났다. 따라서 기존 보일러 시스템을 임산연료 보일러로 대체하려면 그에 상응하는 열량을 공급할 수 있어야 한다.

표 4-14. 농촌 지역의 난방설비별 가구당 에너지 소비 형태(고유 단위 기준)

		단위	평균	재래식 아궁이	연탄 아궁이	석유 보일러	LPG 보일러	중앙 난방 보일러	전기 보일러 및 온돌	기타
연 탄		kg	33.6	-	1,605.1	9.0	-	-	-	-
석유류	등 유	ℓ	1,045.1	-	103.7	1,274.1	17.5	52.0	91.8	-
	경 유	ℓ	-	-	-	-	-	-	-	-
	중질중유	ℓ	4.9	-	-	-	-	1,219.0	-	-
	프 로 판	kg	327.9	113.5	120.6	221.3	1,414.6	137.5	265.2	298.4
가스	취 사 용	㎥	-	-	-	-	-	-	-	-
	난 방 용	㎥	-	-	-	-	-	-	-	-
전 력		kWh	2,374.6	1,636.5	2,085.0	2,354.7	2,474.9	2,067.0	2,534.2	2,781.2
열에너지		Mcal	-	-	-	-	-	-	-	-
임산연료		kg	32.4	3,375.0	73.7	-	-	-	-	944.4

자료 : 에너지경제연구원. 2002년도 에너지총조사보고서. 산업자원부

표 4-15. 농촌 지역의 난방설비별 가구당 에너지 소비 형태(열량기준)

(단위: 10^3 ㎉)

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

자료 : 에너지경제연구원. 2002년도 에너지총조사보고서. 산업자원부

4. 목질 바이오매스 에너지 이용의 경제성 분석

농산촌 지역에서 목질 바이오매스가 다른 에너지원을 대체할 수 있는 가능성을 살펴보기 위해서는 시계열 자료를 활용한 계량분석모형을 설정하는 작업이 필요하다. 그러나 국내에서 목질 바이오매스 에너지의 보급이 충분하지 않고 관련 자료도 충분히 확보되어 있지 않아 불가능한 실정이다. 그러므로 기존 통계자료를 활용하여 이를 검토해 보고자 한다.

먼저, 농산촌 지역에서 주로 활용하고 있는 에너지의 가격을 살펴보면 <표 4-16>와 같다. 보일러 등유의 가격은 1990년대 후반부터 환율 상승, 국제 유가 변동에 따라 크게 상승하고 있지만 연탄 또는 전력의 가격은 상대적으로 안정된 추세를 보여 주고 있다. 따라서 목질 바이오매스를 활용한 보일러의 개발·보급은 주로 석유제품을 활용한 보일러를 대체하게 될 것이다.

표 4-16. 에너지가격 추이

	보일러 등유 (원/ℓ)	연탄가격(원/3.6kg)	전력가격(원/kWh)
1991	482.2	167.25	54.23
1992	231.1	167.25	58.09
1993	254.0	167.25	58.90
1994	252.3	167.25	60.22
1995	261.6	167.25	61.28
1996	314.3	167.25	62.99
1997	373.5	167.25	65.26
1998	498.2	167.25	72.08
1999	445.6	167.25	71.59
2000	545.0	167.25	74.65
2001	574.0	167.25	77.06
2002	553.5	167.25	73.88
2003	640.0	184.00	74.68

자료 : www.keei.re.kr
주: 연탄가격은 공장도가격임. 도소매가격은 시·도지사 결정

에너지는 종류에 따라 고체, 액체, 기체 등 각기 다른 형태를 취하므로 이를 물량 단위로 비교하기는 어렵다. 그러므로 각 에너지의 발열량을 기준으로 각 에너지원의 효율성을 비교하게 되는데 그 환산 기준은 <표 4-17>과 같다.

표 4-17. 에너지원의 열환산 기준

구분	원유	등유	무연탄	전력	임산연료
단위	kcal/kg	kcal/ℓ	kcal/kg	kcal/kWh	kcal/kg
발열량	10,000	8,700	4,500	860	2,800

주 : 임산연료의 발열량은 함수율 50%로 가정한 수치임. 기건 상태의 발열량은 4,500임.
자료 : 에너지이용합리화법 시행규칙. 1999.

각 에너지원의 열환산 기준에 따라 농촌 지역에서 주로 사용하는 난방용 보일러에 대한 단위 열량당 비용을 계산하면 <표 4-18>과 같다. 연료용 목재칩은 보관 여부에 따라 함수율이 달라지고 함수율에 따라 연료발열량도 달라

표 4-18. 난방 설비별 단위 열량 생산 비용 비교

구분	연탄보일러	등유보일러	전기보일러	심야전기 보일러	목재 칩 보일러
에너지단가	202.5원/장 (3.6kg)	640원/ℓ	74.7원/kWh	32.6원/kWh	126.6원/kg
연료발열량	4,500 kcal/kg	8,700kcal/ℓ	860kcal/kWh	860kcal/kWh	2,800kcal/kg
열효율(%)	71.6	80	95	95	70
단위열량당 비용 (원/1000㎉)	17.5	92.0	91.4	39.9	35.2

주 1. 열효율은 제조사, 기종에 따라 달라질 수 있음
2. 연료 가격은 물가정보 참조

지는데, 이 연구에서는 우리나라 에너지통계에서 일반적으로 적용하는 임산연료의 발열량 2,800㎉/㎏을 적용하였다.

전기보일러가 단위 열량당 생산 비용이 가장 높고 그 다음이 등유보일러로 나타났다. 목재 칩 보일러는 단위 열량 생산비용으로 비교해 볼 때 연탄보일러보다는 못하지만 등유보일러, 전기보일러보다는 비용효율적인 것으로 나타났다.

현실적으로 목재 칩 보일러가 대체가능한 난방 시스템은 등유보일러이므로 이들 난방 시스템을 비교해 볼 필요가 있다. 앞에서 본 것처럼 농촌의 등유보일러 사용 가구는 연간 11,084천㎉의 열을 소비하므로 이를 목재 칩 보일러로 대체하려면 역시 동일한 열량을 제공하여야 한다. 이러한 가정으로 계산하면 <표 4-19>에 제시한 것처럼 목재 칩 보일러는 연간 4톤 가량의 목재 칩을 소비하고, 연료비용은 등유보일러의 60% 수준으로 절감할 수 있을

표 4-19. 등유 보일러와 목재칩 보일러 비교

	등유 보일러	목재칩 보일러
연료 가격	640원/ℓ	126.6원/㎏
단위 연료 발열량	8,700㎉/ℓ	2,800㎉/㎏
연간 필요 발열량	11,084,700 ㎉	11,084,700 ㎉
연간 연료 소비량	1,274.1 ℓ (1.274㎥)	3,958.8 ㎏ (5.6㎥)
연간 연료 비용	815,414원	501,184원

것으로 추정된다. 한편, 부피로 볼 때 등유보일러보다 5배 이상이 되어 취급이 어렵다는 점을 감안해야 할 것이다. 즉, 저장에 따른 비용, 관리불편에 따른 비용이 동반되나 이러한 점은 비용에 반영하지 못하였다.

위의 계산은 최근의 상승된 유가에 기초한 것이며, 바이오매스 에너지 이용의 경제성은 유가 변동에 따라 영향을 받는다. 또한 농촌 노임이 점차 상승하는 추세인 점도 중요한 변동요인이 된다.

한편, 농산촌 지역에 목재 칩 보일러를 공급하기 위해서는 매년 가구당 4톤 가량의 목재칩을 안정적으로 공급할 수 있는 지역을 선정해야 할 것이다.

그림 4-3. 목재칩 보일러 시작품

주 : 창신대학에서 제작.

제 5 장

목질 바이오매스 에너지 이용의 활성화 방안

1. 목질 바이오매스 에너지 이용의 추진방향과 과제

1.1. 목질 바이오매스 에너지 이용의 추진방향

1.1.1. 열에너지 이용 시스템 보급

숲 가꾸기 사업에서 발생하는 목질 바이오매스의 활용도가 낮은 것은 활용할 수 있는 용도가 없는 것이 가장 큰 원인이다. 그러므로 목질 바이오매스 에너지를 활용할 수 있는 장치, 에너지 시스템을 보급하는 것이 우선적인 과제이다.

우리나라에서는 벌채 및 숲 가꾸기 현장의 규모가 작고 분산되어 있어 이를 수집하는 데에 많은 비용이 소요된다. 그러므로 생산된 바이오매스의 운반비용을 최소화하는 것이 중요하다. 그러므로 난방설비의 보급은 농가 또는 마을 공동난방 등을 중심으로 소형 보일러 위주의 시설 설치를 추진하는 것이 바람직하다.

강원도는 지역의 풍부한 산림자원을 활용하여 목재 에너지 활용계획을 세우고 나무보일러 설치를 지원하고 있는데, 지역 주민에게 호응을 얻어 사업

을 지속적으로 운영하고 있다. 현재 도에서 지원하는 나무 보일러는 장작을 사용하므로 설비 운영상의 불편함에 대한 호소가 많다. 장작연료의 크기가 불균일하여 투입이 자동화되어 있지 못하므로 빈번하게 연료를 공급해야 하는 점, 부피당 열발생량이 낮아 많은 연료를 쌓아 두어야 하는 공간의 문제 등이 주요 불편사항으로 지적된다.

목재 칩을 연료로 활용하는 보일러의 공급은 이러한 불편을 어느 정도 해소할 것으로 기대된다. 그러므로 나무보일러와 비슷한 보조지원을 통해 칩 보일러 설치를 지원할 필요가 있다. 연료는 숲 가꾸기 산물 수집을 통해 발생하는 목질 바이오매스를 칩으로 가공하여 저렴하게 공급해야 한다.

1.1.2. 지역순환형 시스템 확립

지역에서 발생·배출되는 목질 폐기물, 미이용 바이오매스, 자원 작물의 바이오매스를 그 지역에서 물질재료 또는 제품으로 변환하고 그 지역에서 소비하며 최대한 이용하여 최종적으로 바이오매스 폐기물에서 에너지를 추출하여 지역에너지로 활용하는 자원순환형 체제가 구축되어야 한다. 특히, 목질 바이오매스 에너지에 의한 발전과 열공급에 관한 사업을 추진하는 데는 목질 바이오매스의 안정적인 공급량의 확보, 전기와 열의 공급대상 확보, 효율적인 에너지 변환기술, 정책적 지원 등이 필요하다. 그리고 목질 바이오매스는 화석연료에 비해 밀도가 낮으므로 이용 활성화를 위해서는 수송비용을 최소화할 수 있는 지역 단위의 효율적인 순환구조를 구축하는 것이 무엇보다 중요하다. 순환형 경제사회 시스템을 구축하는 지역의 우위성을 확보하기 위해 제조업에서 환경부하가 낮은 원료의 조달과 재사용, 재활용을 고려한 제품 제조, 자원·에너지 부담이 적은 생산기술을 개발하여 임업·목재산업의 활성화와 환경이 조화되는 복합형 신산업의 창출을 검토할 필요가 있다.

1.1.3. 산림관리·토지이용 시스템 정비

목재생산형 산림경영체제에서 목질 바이오매스 에너지 이용에 적합한 체제로 전환할 필요가 있다. 즉, 연료용 바이오매스를 안정적으로 공급할 수

있는 산림관리·토지이용 시스템으로 정비해 나아가야 한다.

현실적으로 농업생산성이 낮은 유휴농지에 연료용재를 조림하도록 지원하는 것도 방안이다. 농지를 산림으로 전환하면 수목 자체는 물론이고 토양의 탄소저장 기능도 획기적으로 증가시켜 지구 온난화 방지에도 기여하는 효과가 크다. 그러나 농지의 조림은 산림전환행위로 여겨져 농지전용절차가 필요하고 임야는 농지보다 토지가격이 낮아 농지소유자의 자발적인 조림을 기대하기 어렵다.

이에 유휴 농지에 속성수를 심어 연료림을 조성하는 행위에 대하여 규제를 완화하고 탄소흡수 및 농촌 경관자원조성이라는 측면에서 경관직불제에 포함할 필요가 있다. 여기에서 발생하는 산물을 칩 또는 펠렛으로 가공하여 농산촌 지역의 에너지원으로 활용하는 것은 순환형 지역사회 구축에 기여하는 것이 된다. 이를 위해 연료용재로 활용할 수 있는 속성수 품종 개발 및 보급 정책도 동반되어야 할 것이다.

1.1.4. 산림에 관한 정보 시스템 정비

산림에 관한 정보를 지속적으로 파악, 분석할 수 있는 원격탐사기술과 지리정보 시스템 등을 활용한 산림정보 관리시스템을 확립해야 한다. 산림자원의 정밀한 분석을 통해 바이오매스 발생을 추정하고 최적의 수집망 구축이 가능하다.

1.2. 목질 바이오매스 에너지 이용의 과제

1.2.1. 목질 바이오매스 자원량 파악의 곤란

목질 바이오매스의 부존량 파악이 곤란하여 장래를 위한 사업계획의 수립과 추진에서 어려움이 많다. 바이오매스 자원에 대해서 생산부터 소비, 폐기까지의 기초적인 자료를 수집하고 발생량 추정기법을 확립할 필요가 있다. 이를 위해 계량기법의 통일, 자료정비의 검토가 필요하다.

여기에 기초하여 지역에 밀착한 바이오매스 공급량의 확보, 수요와 공급의 균형, 설비·수집·반출에 따르는 비용에 대한 지역적 평가가 필요하다.

1.2.2. 목질 바이오매스의 수집 비용

목질 바이오매스는 넓고 얇게 존재하며 수분함량이 많아 다루기 어렵고 수집·운반비용이 높은 단점이 있다. 이 때문에 화석연료에 비해 경제적으로 불리하며 목질 바이오매스의 이용을 저해하고 있다. 수집 비용을 증대시키는 요인에는 부족한 산림관리 인프라도 있다. 임도망이 충분히 확충되어 있지 않기 때문에 숲에 접근하기 어렵고 운반비용을 높이는 것이다.

또 목질 바이오매스의 발생장소, 시기, 물량 등이 불안정하고 그에 따라 반입비, 운반비 등의 수집비용(인건비 등)이 시설의 운영경비와 채산성에 직접 영향을 미친다.

1.2.3. 에너지 변환기술의 미흡

과거 우리나라에서도 목질 바이오매스를 주된 연료로 이용하여 왔지만, 화석연료가 보급되면서 목질 바이오매스의 에너지 이용은 점차 줄어들었다. 근래 국제유가가 상승함에 따라 농산촌 지역에서는 풍부한 산림자원을 에너지로 이용하려 시도하고 있지만 난방설비와 변환기술이 마땅하지 않다. 손으로 던져 넣는 방식이 아니라 자동화되고 번거로움을 덜어 주는 목질 바이오매스 연료가 부족한 실정이다. 이처럼 설비와 변환기술이 미흡한 것은 목질 바이오매스의 에너지 활용을 저해하는 주된 요인이다.

2. 목질 바이오매스 에너지 활용 기술개발 방향

기술적인 관점에서 바이오매스 에너지 이용의 고도화를 위한 과제와 상정 가능한 해결책을 정리하면 다음과 같다.

2.1. 에너지 효율 향상

목질 바이오매스의 에너지 사용은 다른 화석연료에 비하여 에너지 효율성이 크게 떨어진다. 즉, 연료가 차지하는 공간이 매우 크다는 단점을 가지고 있다.

현재 선진국에서는 펠렛 형태로 성형 압축된 목질 바이오매스 에너지를 활용하고 있다. 이와 같은 기술로 목질 바이오매스의 에너지 효율성을 개선하여 석유와 같은 화석연료와 비교하여 불편함이 없도록 기술개발을 추진해야 한다.

2.2. 에너지 변환효율의 향상

에너지 변환효율이 향상되면 단위원료 투입량당 에너지 생산성이 높아지고 바이오매스 에너지 이용 플랜트의 수익성 개선에도 기여할 것이다.

메탄 발효는 현재에도 성숙된 기술이지만 저에너지로 고효율의 바이오가스를 회수하기 위해 메탄발효의 반응속도를 향상시키는 것이 과제이다. 그 방법으로서 발효온도를 상승시켜 반응속도를 높이는 것을 생각할 수 있지만 가축분뇨를 원료로 하는 경우는 암모니아 농도가 높고 발효저해가 일어나는 문제가 있다. 따라서 암모니아 농도를 저감하는 기술, 암모니아 내성이 높은 메탄발효균을 개발하여 고도발효에 의한 반응속도 향상을 도모하는 것이 필요하다.

반응속도와 함께 분해율을 향상하면 발효 찌꺼기의 발생을 억제할 수 있다. 찌꺼기는 섬유질이 많이 함유되어 있어 이를 더욱 분해해서 바이오가스를 회수하는 것은 비효율이므로 대부분 소각시키고 있다. 하지만 여기에서 바이오가스를 회수할 수 있으면 경제성 향상을 기대할 수 있다.

2.2. 요소기술 및 주변기술의 개발

목질 바이오매스의 에너지 이용을 위한 개발과제로서 메탄발효, 가스화 등 중심기술 외에도 요소기술, 주변기술의 개발이 중요하다.

목질 바이오매스를 수집할 때 우리나라 산림은 경사가 급한 산악지대이므로 서구에서 사용되는 장치를 직접 도입하는 것은 곤란하고 우리나라 산지조건에서 작업할 수 있는 기계장비의 개발이 필요하다. 경사가 급한 우리나라 지형에서 활용할 수 있는 벌채 장비, 운반 장비를 개발하는 것은 목질 바이오매스 활용도를 크게 높일 것이다. 그리고 원료 운반이 어려운 간벌재 등을 칩으로 만들거나 압축성형하여 밀도를 높이는 기술 개발도 필요하다.

목질 바이오매스를 활용하는 난방설비 등의 열효율을 개선하는 것도 필요

하다. 고체 형태의 목질 바이오매스는 연료로 사용하기에 불편함이 많아 화석연료보다 사용을 기피한다. 이러한 불편한 요소를 줄여서 통제할 수 있고 열효율을 높이는 기술개발이 필요하다.

2.3. 기술혁신

바이오매스는 화석연료의 대체물질을 제조하는 것이 가능한 기술이므로 에너지 문제, 온난화대책, 그리고 신규 화학산업 창출에 크게 공헌할 것으로 기대되며 혁신적인 기술의 연구개발도 추진되고 있다.

수소발효기술은 앞으로 도입보급이 기대되는 연료전지용 연료로서의 이용이 가능하고 셀룰로스계 자원의 에탄올 발효기술은 연료, 화학 기간원료로서 이용하는 것이 가능하다. 또 초임계를 이용한 전환기술은 바이오매스의 건조공정이 필요하지 않으므로 에너지 사용에서 유리할 뿐만 아니라 금후의 화학 기간원료 제조 프로세스에 혁명적인 영향을 미칠 가능성을 감추고 있다.

현재는 대부분의 기술이 연구실 수준에 머물러 있는 것이 많고, 앞으로는 서서히 규모를 확대하여 실증화하는 연구개발을 추진할 필요가 있다.

2.4. 소규모화

일부에서 실용화가 시작된 소규모 분산형의 직접연소 발전, 가스화 발전, 메탄발효는 기술적으로 아직 완성된 단계가 아니다. 에너지 이용시설의 소규모화를 추진하면 자원이 발생하는 곳에서 변환이 가능하다. 이를 통해 원료수송의 비용을 절감할 수 있고 지역 현실에 부합하는 규모의 바이오매스 에너지 시설을 도입할 수 있다.

3. 산림폐잔재의 지속적 확보 방안

3.1. 생산작업의 기계화를 통한 산림작업방식의 개선

숲 가꾸기 사업을 포함하여 벌채허가사업의 간벌재 또는 주벌재를 생산하

는 수확작업 방식을 현행 인력위주에서 인력과 기계를 조합하는 방식으로 전환할 필요가 있다. 인력 위주의 단재생산의 경우 벌채 현장에서 모든 작업이 이루어지므로 수집 및 운반 등에 많은 인력 및 비용이 소요되며 또한 수집 과정에서 산림에 피해를 주거나 사고위험이 높다. 반면 기계화 작업에서는 전간재나 전목생산이 가능하므로 생산성도 향상되고 바이오매스 활용을 높이고 산림피해의 최소화를 도모할 수 있다.

이를 위하여 임도 등 산림생산기반시설의 확충, 기계화 구입 자금 지원, 기계화 지원센터, 전문기술자 양성 등을 추진해야 한다.

3.2. 임업・임산업의 집약화와 통합화

바이오매스는 다종다양한 자원으로 구성되어 있고 생산부터 가공, 소비의 과정에서 형태를 바꾸어 발생한다. 바이오매스의 에너지 변환기술과 이용기술도 마찬가지이다. 직접연소, 열화학적 변환, 생물화학적 변환을 통해 연료형태가 달라지며 최종적으로는 발전(發電), 열이용, 수송연료의 형태로 각각의 목적에 따라 이용된다. 따라서 생산, 수집, 유통, 처리, 가공, 에너지 변환, 조림과 육림 등에서 유기적 연결이 필요하고 경제적 또는 채산가능한 자원순환형 사회 시스템 구축이 필요하다.

소규모의 단위 제재소에서 목재가공과 건조 등에 필요한 전기와 열을 자체에서 발생하는 제재폐기물로 충당하는 것은 어렵다. 그리고 산림의 소유형태가 소규모 분산적이라는 점을 감안하여 지역 단위에서 조직적으로 산림을 활용하는 시스템을 검토해야 한다. 이를 통해 임업・임산업의 집약화・통합화를 추진하여 산림의 벌채 및 반출 비용, 그리고 연료용 목질바이오매스의 생산비용을 절감할 수 있다. 아울러 임업활동을 활성화하고 임업이 산업으로서 고용기회를 창출할 수 있다. 이에 따라 목질 바이오매스 등의 산림폐기물의 새로운 시장과 산업의 창출을 기대할 수 있다.

3.3. 병해충 피해목의 에너지 이용

최근 급속히 확산되는 소나무 재선충 등 병해충에 의해 피해입은 임목들

의 경우 산지에서 완전 소각해 버리고 있다. 중요한 자원을 낭비하고 있는 것이다. 소각처리도 필요하지만 자원을 충분히 활용한다는 차원에서 에너지로 활용하는 방안이 필요하다. 지역난방 시스템이 갖추어진 곳에서는 직접연소도 가능할 것이며, 피해목이라도 펠렛으로 가공하는 것에는 문제가 없을 것이다.

3.4. 산림폐잔재 수집 및 활용 제도 개선

산림 폐잔재를 수집·활용하기 위해 지원하는 현행 국고보조 대상사업은 숲 가꾸기 간벌 및 천연림 보육(간벌단계) 사업이다. 국고보조에 의해 사업을 실행한 후 발생하는 산물의 수집대상 지역은 사업에 따른 재해발생 우려지역 즉, 농경지, 도로, 하천, 임도, 마을, 계곡 만수위 등으로부터 사면거리 30m 내외 지역에 국한한다. 그리고 수집된 산물은 산주의 동의를 얻어 톱밥, 우드칩, 벌도목, 원목 등으로 생산하여 공익 공공목적으로 활용하거나 매각토록 하고 있다.

산림폐잔재를 적극 수집, 활용하기 위해서는 중장기적으로 국고보조 대상사업을 숲 가꾸기 사업에서 일반 간벌, 주벌, 수종갱신 등의 범위까지 넓히고 또한 수집지역의 범위도 기계화 집재가 가능한 범위까지 확대하여야 한다. 일본의 경우 산림작업을 임도변까지 산물을 반출하여 활용할 수 있도록 지원하여 산물활용을 적극 도모하고 있다. 그렇게 하기 위해서는 작업지에서 임도까지의 거리, 경사 등을 고려한 보정계수를 도입하여 실질적인 보조액을 산출하고 적용해야 할 것이다.

제 6 장

결론 및 요약

지구환경 문제의 대두와 高油價시대를 맞이하여 각종 친환경적인 신·재생 에너지(new and renewable energy)의 개발이 활발해지고 있다. 이 가운데 바이오매스 에너지는 오염이 적고, 재생가능한 자원이며, 화석연료를 대체할 수 있으며, 순환형 사회 구축의 기초가 된다는 점에서 주목받고 있다. 이 연구는 산림작업 과정에서 발생하는 폐잔재를 에너지로 활용하기 위한 방안에 관한 것이다.

바이오매스를 에너지로 변환하는 방법에는 직접 연소, 열화학적 변환, 생물화학적 변환 등이 있다. 그리고 목질 바이오매스를 에너지로 이용하는 방법에는 바이오매스 발전 시스템, 지역난방, 펠렛, 우드 칩, 석탄과 혼합연소, 바이오에탄올 생산 등이 있다.

우리나라는 신·재생 에너지 기술개발 및 보급 활성화를 위한 정책을 마련하면서 2011년까지 총에너지 소비의 5%로 높인다는 목표를 설정하고 있다. 이 가운데 바이오에너지는 7.9% 이지만 폐기물과 풍력 다음의 비중이다. 주요 선진국에서도 목재를 비롯한 바이오매스의 에너지 이용을 높이기 위해 정책지원과 기술개발에 투자하고 있다.

우리나라 산림은 Ⅲ, Ⅳ영급에 접어들어 숲 가꾸기 사업이 활성화되어야 하는 시기이고 이 과정에서 바이오매스가 대량 생산되고 있다. 그러나 현재

숲 가꾸기에서 발생하는 목질 바이오매스 자원은 마땅한 용도의 부재, 수집 인력확보의 어려움, 수집비용의 과다 등으로 대부분 숲에 방치되고 활용되지 못하는 실정이다. 이렇게 방치되는 바이오매스 자원을 수집하여 농산촌 저소득 주민의 에너지원으로 공급하는 것은 자원의 활용도 제고, 주민복지 향상, 화석연료 대체, 지구 온난화 방지, 자원순환형 사회구축이라는 목적을 달성할 수 있다.

농산촌 지역에서 석유 보일러를 사용하는 가정은 연간 1,274.1ℓ의 등유를 소비하여 11,084.7×10^3kcal 의 열량을 얻는다. 이를 연간비용으로 환산하면 815,414원이 된다. 한편, 목재 칩 보일러를 이용하여 동일한 열량의 에너지를 얻으려면 연간 4톤가량의 목재 칩이 필요하다. 이를 비용으로 환산하면 501,184원이 된다. 그러므로 목질 바이오매스를 수집하여 칩으로 가공한 후 농산촌 지역의 에너지원으로 활용하는 것은 경제적으로 타당하다고 볼 수 있다. 게다가 산림 내의 폐잔재를 수집하여 처리하는 것은 다양한 효과를 기대할 수 있으므로 경제적 타당성은 더욱 높아진다. 그러나 현실에서 개별적으로 바이오매스 자원을 수집하여 칩으로 가공하는 것은 어려움이 있으므로 숲 가꾸기 사업에 바이오매스 수집 작업을 포함하여 국가 보조로 이루어질 필요가 있다.

목질 바이오매스의 에너지 이용을 높이기 위해서는 먼저 이를 활용할 수 있는 에너지 시스템이 보급되어야 한다. 우리나라처럼 산림작업의 규모가 작고 분산되어 있는 지역에서 생산된 바이오매스는 운반거리가 최소화되도록 농가 또는 마을 공동난방 등 소형 보일러 위주의 시설 설치를 추진하는 것이 타당하다. 기존의 장작 나무 보일러는 사용에 불편함이 많으므로 목재칩 보일러는 이러한 불편함을 어느 정도 해소할 수 있을 것이다. 또한 원활하게 목질 바이오매스 연료를 확보할 수 있도록 임도 시설이 확대되어야 한다. 그 외에 유휴지에 연료용재 조림을 위한 규제완화 및 보조, 산물수집 보조금 확대 등의 지원이 필요하다.

참 고 문 헌

국립산림과학원 산림조사과. 2001. “지위지수분류표 · 곡선 및 임분수확표”.

김갑덕, 김철민. 1988. “국내 삼림 Biomass의 생산에 관한 연구와 동향”. 임산에너지 8(2):94~107

김영철. 2004.『바이오매스의 에너지 변환기술과 이용기술』. KISTI.

김외정 외. 2000.『폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 촉진방안』. 임업연구원 연구자료 제159호.

김의경, 정상기. 2000.『국산재 생산 · 공급체계 구축을 위한 합리적 방안연구』. 산림청

김이식. 2004. “세계 바이오에너지 생산과 시사점”. 농협 CEO Focus 제146호.

민경택. 2005. “기후 변화협약에 대응한 산림자원관리전략”. 교토의정서 발효에 따른 한국의 경제전략. 경제사회연구회 공동워크숍. 경제사회연구회

산림청. 2005.『임업통계연보』.

서세욱. 2005. “바이오매스 자원의 활용과 조건”. 농촌과사회 2005년여름호. 한국농어촌사회연구소.

오민영, 이홍균, 김영환. 1987. “주요 수종의 최적 벌기령에 관한 연구”. 1987년도 임업연구원 시험연구보고서 24~44

이상필, 강현무, 박동운. 2002.『바이오매스』. KISTI 심층정보분석보고서.

이임영. 2005. “벌채지 폐잔재의 활용 방안”. 임정연구 제43호:107~117

이진석. 2004. “한국의 바이오에너지 이용과 정책 방향”. 목질계 Bio-energy의 활용 촉진을 위한 심포지엄 발표자료. 산림포럼.

장우환 외. 2003.『산림유기자원을 활용한 산림자연퇴비의 실용화에 관한 연구』. 농림부

장철수 외. 2004.『산림 내 폐잔재의 현지 활용을 위한 한국형 조립식 탄화장치 기술 개발 및 실용화 연구』. 농림부

차두송, 오재헌, 우종춘. 2004. “대체에너지원으로서 국내 산림바이오매스 자원의 잠재력과 이용가능성”. 강원대학교 삼림과학연구 제20호:110~130.

최돈하 외. 2002.『발표처리에 의한 목질계 자원의 조사료화』. 농림부

한국임정연구회. 2003.『숲 가꾸기 산물의 경제적 활용 방안에 관한 연구』. 산림청

홍종준 외. 1989.『바이오매스 자원조사 및 에너지 평가분석』. 한국동력자원연구소 KE-89-17

熊崎寛. 2004. “木質バイオマスの可能性と課題”. 農業構造問題研究 No.220. 農業構造問題研究會

近畿経済産業局. 2002.『循環型木經濟社會の形成を目指したバイオマスエネルギー活用促進に向けた調査』

青森縣統計情報局. 2004.『木質バイオマスのエネルギー利用について』

愛媛縣. 2002.『木質バイオマス高度活用調査檢討 報告書』

三重縣. 2004.『三重縣バイオマスエネルギー利用ビジョソ』

佐賀縣山東町. 2004.『山東町本質バイオマスシステム導入に向けて』

北海道. 2002.『木質バイオマス資源利用モデル調査報告書』

C.A.R.M.E.N. 2001. Energetische Nutzung von Biomasse.

Domac, J., K. Richards, S. Risovic. 2005. “Socio-economic drivers in implementing bioenergy projects”. *Biomass and Bioenergy* 28:97~106

Faaij, Andre P.C. 2004. “Bio-energy in Europe : changing technology choices”. *Energy Plicy*. In press.

[부록] 바이오매스 일본 종합전략

2002년 12월 27일
일본 각의결정

1. 배경

1.1. 왜, 지금 『바이오매스 일본』인가?

인류는 예로부터 태양에너지를 사용하여 생물에 의해 생산된 자원인 바이오매스를 식료・목재로서, 에너지와 제품으로서 이용하여 생활을 영위하여 왔다. 그러나 경제적인 풍부함과 편리함을 손에 넣고 발전하는 과정에서 생활기반의 대부분을 고갈이 예상되는 석탄과 석유등 화석자원에 의존하게 되었다.

대량생산, 대량소비, 대량폐기의 사회 시스템은 자연의 정화능력을 넘어 지구 온난화, 폐기물, 유해물질 등 다양한 환경 문제를 심화시켰다.

이 종합전략에서 다루는 바이오매스는 생물자원(bio)의 물량(mass)을 가리키는 개념으로 「재생 가능한, 생물유래의 유기성자원으로 화석연료를 제외한 것」이다. 바이오매스는 지구에 내리쬐는 태양에너지를 사용해서 무기물인 물과 이산화탄소(CO_2)에서 생물이 광합성을 통해 생성한 유기물이며, 생명과 태양에너지가 존재하는 한 인간의 라이프사이클에서 지속적으로 재생 가능한 자원이다.

바이오매스를 연소하여 방출되는 CO_2는 생물의 성장 과정에서 광합성을 통해 대기 중에서 흡수한 CO_2이므로 바이오매스는 인간의 라이프사이클에서 대기 중의 CO_2를 증가시키지 않는 「탄소중립적」인 특성을 가지고 있다. 이 때문에 화석자원 유래의 에너지와 제품을 바이오매스로 대체하는 것은 지구

온난화를 유발하는 온실효과가스의 하나인 CO_2 배출삭감에 크게 공헌할 수 있는 것이다.

그리고 바이오매스는 화석자원과 같이 에너지로서도 제품으로서도 이활용할 수 있으며 국민생활에서 폭넓은 이활용이 가능하다.

화석자원도 옛날 생물에 의해 생성된 것이나 이는 수억년에 걸쳐 축적되어 온 것이고 인간의 라이프사이클에서는 재생 불가능한 자원으로 언젠가는 고갈이 예상되는 유한의 자원이다. 이러한 화석자원을 차세대도 계속 활용할 수 있도록 하며 화석자원 의존을 저감하는 의미에서도 바이오매스를 종래의 식료・목재로서의 이용에 머무르지 않고 새로운 관점에서 에너지 또는 제품 활용을 추진하여 지속적으로 발전 가능한 사회를 지향하는 것, 이것이 지금 요구되고 있다.

일본에서도 1970년대 석유위기의 시기에 바이오매스의 새로운 이활용에 대해서 다양한 연구개발, 실용화가 추진되어 왔지만 석유가격이 안정화되면서 일반 생활에 확산하는 데에 이르지 못한 실정이다. 그러나 지금 다음과 같은 이유에서 에너지와 제품으로서 바이오매스를 종합적으로 최대한 이용하여 지속적으로 발전 가능한 사회「바이오매스 일본」을 가능한 조기에 실현하는 것이 강력히 요구되고 있다.

1.1.1. 지구 온난화 방지를 위하여

지구 온난화문제는 차세대에 풍부한 자원과 아름다운 환경으로 둘러싸인 지구를 남겨주기 위하여 인류가 시급히 해결해야 하는 매우 중요한 환경 문제의 하나이다. 일본도 교토의정서 체결에 의해 1990년의 온실효과가스 배출량에 비해 6% 삭감을, 2008년부터 2012년까지의 제1약속기간에 달성할 의무를 지고 있다. 지구 온난화대책이 늦어질수록 단기간의 의무이행을 요구하고 있기 때문에 지금부터 할 수 있는 방안을 착실히 추진하는 것이 필요하다.

지구 온난화대책의 일환으로서는 배출삭감대책으로서 바이오매스 이활용 대책을 착실히 추진하고, 흡수원 대책으로서 산림경영에 의한 탄소흡수량의 상한치(기준년 총배출량 대비 3.9%)를 확보하기 위하여 산림대책을 추진하는

것도 중요하다. 이를 위해, 탄소중립적 특성을 가진 바이오매스의 이활용을 도모하는 것은 화석자원에서 유래한 에너지와 제품을 대체하고, 화석자원에서 유래하는 CO_2의 발생을 억제할 수 있기 때문에 지구 온난화의 방지라는 관점에서 그 추진이 중요해지고 있다.

또, 2002년 요하네스버그에서 개최된 '지속 가능한 개발에 관한 세계 정상회의'에서 채택된 '행동계획'은 바이오매스를 포함한 재생가능 에너지에 관계된 기술 개발, 산업화의 추진 등을 포함하여, 바이오매스의 종합적인 이활용은 국제적인 합의사항이 되고 있다.

1.1.2. 순환형 사회 형성을 위하여

지금까지의 유한한 자원에서 상품을 대량 생산하고 이것을 대량으로 소비, 폐기하는 일방통행의 사회 시스템을 고쳐, 폐기물의 발생을 억제하고, 유한한 자원을 효과적으로 활용하는 순환형사회로 이행하는 것이 강력히 요구되고 있으며, 이러한 「순환형사회형성추진기본법」에 담긴 이념을 구체화하는 것이 필요하게 되었다. 이 순환형사회의 형성을 위해 자연에서 생성된 지속적으로 재생 가능한 자원인 바이오매스는 중요한 역할을 맡고 있으며 이의 종합적인 이활용을 통해, 순환형사회에의 이행을 가속화해 나아가는 것이 필요하게 되었다.

1.1.3. 경쟁력 있는 새로운 전략적 산업육성을 위하여

일본의 경제사회에서 1990년대 초와 비교해서 크게 저하되고 있는 산업경쟁력을 재생하는 것이 경제 활성화의 열쇠가 되고 있다. 산업이 고도로 발전하고 인구가 집중하는 일본에서는 환경 문제가 매우 일찍부터 이슈화되고 있지만 이 기회를 이용하여 환경기술, 환경산업의 육성에 솔선해서 추진해 나가는 것이 필요하다. 이 선진적인 추진에 의해 지금부터 경제적 발전을 맞이하는 나라들에서 심각한 우려가 있는 환경 문제의 해결을 위해, 환경보전을 도모하면서 경제 활성화가 도모되는 사회 모델을 세계에 제시하는 것이 가능하다.

바이오매스를 새로운 에너지와 제품에 이활용하여 혁신적인 기술・제품의

개발, 노하우의 축적, 선구적인 비즈니스 모델 창출 등이 가능하게 되고, 완전히 새로운 환경조화형 산업과 그와 함께 새로운 고용의 창출을 기대할 수 있다. 바이오매스 관련 산업을 일본의 전략산업으로 육성하여 일본의 산업경쟁력을 재구축해 가는 것이 필요하다.

1.1.4. 농림어업, 농산어촌의 활성화를 위하여

일본은 화석자원이 부족하고 아시아몬순지대에 속한 온난・다우한 기후에 있어 자연에서 발생하는 바이오매스가 풍부하고 그 대부분은 농산어촌에 존재한다. 또 가축배설물, 볏짚, 임지잔재 등 농림어업에서 발생하는 바이오매스를 효과적으로 활용하여 농림어업의 자연순환 기능을 유지증진하고 그 지속적인 발전을 도모하는 것이 가능하다. 그리고 바이오매스의 이활용은 농림어업에 지금까지의 식료와 목재의 공급역할에 더하여 에너지와 공업제품의 공급 가능성을 부여하게 되며 도시와 농산어촌의 공생과 교류를 촉진하여 그 새로운 발전의 하나의 열쇠가 될 것이며 일본전체의 활성화에 기여할 것으로 기대된다.

1.2. 일본의 바이오매스 이활용의 현황

1.2.1. 바이오매스 이활용의 상황

일본은 온난다우한 기후에 의해 상당한 바이오매스 부존량이 예상된다. 그럼에도 바이오매스의 인지도가 낮은 것은 '넓고 얇게' 존재하여 수분함유량이 많고 부피가 많아 다루기 어렵다는 바이오매스의 특성 때문이다. 바이오매스는 수집이 곤란한 것, 효율이 높은 변환기술의 개발이 충분하지 않은 것, 사업 채산성의 문제 등으로 인해 충분히 활용되고 있지 못하다.

또, 경제성의 관점에서 현재는 폐기물계 바이오매스의 일부는 이활용이 추진되고 있지만 농작물 비식용부와 임지잔재와 같은 바이오매스의 유효 이활용은 충분하지 못하다. 그리고 에너지용 자원작물의 재배는 거의 없다.

일본에서 개별 바이오매스의 이활용 상황에 대해서 현재 파악 가능한 최신의 조사결과는 다음과 같다.

가축배설물은 연간 약 9,100만톤 발생하여 약 80%가 이용되고 있지만, 그 대부분은 퇴비 등 비료로 이용된다. 그러나 남九州지역과 같은 축산밀집지대에서는 수송성이 나쁘고 질소 등의 성분량을 고려하면 가축배설물을 비료로서 농지에 환원하는 것은 한계가 있다.

식품폐기물은 약 1,900만 톤 발생하는 것으로 추계되지만, 비료와 사료로 이용되는 것은 10%에 미치지 못하며 나머지 90%는 소각 또는 매립 처리되고 있는 것으로 추계된다.

또, 종이의 소비량은 약 3,100만 톤으로 그 중 반 이상이 재활용되고 있지만, 나머지 약 1,400만 톤이 고지로서 회수되지 않고, 대부분 소각되고 있다. 게다가, 제지공장에서 펄프생산단계에 발생하는 폐액인 흑액이 연간 약 1,400만 톤(건조중량) 발생하여 에너지(주로 직접 연소)로서 이용되고 있다.

하수오니는 연간발생량 7,600만 톤(농축오니베이스) 가운데 약 40%가 매립되고 있으며, 나머지 약 60%가 건설자재와 퇴비로서 이용되고 있다. 또 농업집락 배수오니의 일부가 퇴비로서 이용되고 있지만 배설물 오니는 연간발생량 약 3,200만톤 대부분이 소각・매립되고 있다.

목질계 폐재・미이용재를 보면 제재공장의 잔재(연간발생량 약 610만 톤)는 거의 에너지와 비료로서 재활용되고 있지만, 간벌재・피해목 등 임지잔재(연간발생량 약 390만 톤)의 대부분과 금후 발생량 증가가 예상되는 건설발생목재(현시점에서의 연간발생량 약 480만 톤)의 약 60%가 미이용되고 있다. 건설발생목재는 제지원료, 보드원료, 가축부료 등과 에너지(주로 직접 연소)에 이용되고 있다.

볏짚과 겨 등 농작물 비식용부분은 연간발생량 약 1,300만 톤 가운데 약 30%가 퇴비, 사료, 축사부료 등으로 이용되고 있지만 발생하는 볏짚 가운데 약 70%가 농지에 버려지는 등 대부분이 저이용에 머무르고 있다.

1.2.2. 바이오매스 이활용 기술의 현황

바이오매스 이활용 기술은 에너지로서의 이활용과 제품으로서의 이활용 2가지로 구분되며 주요 기술의 현황은 아래와 같다.

가. 에너지 이활용

톱밥연소보일러와 펠렛 스토브 등에 의한 직접 연소, 탄화 등은 종래부터 널리 이용되어 온 기술이다. 그리고 가축배설물을 원료로 메탄가스를 생성하는 메탄발효와 식품폐기물인 폐식용유에서 바이오디젤을 만들어 내는 에스테르화 기술은 근년 각지에서 이미 이용이 시작되어 있지만 이들 기존기술에 대해서는 에너지변환효율의 향상, 제조비용 저하에 관한 기술혁신과 잔류물의 처리 등이 과제가 되고 있다.

또, 바이오매스를 직접 연소하는 것뿐만 아니라 가스화 혹은 액화하여 이용하는 것에 의해 에너지 변환효율을 향상시킨다거나 에너지로서의 편리성을 높이는 각종 기술이 계속 개발되어 금후의 실용화가 기대된다. 특히 바이오매스의 부분적인 산화에 의해 얻어지는 가스를 발전과 액체연료제조에 이용하는 가스화에 대해서는 기술 개발이 정력적으로 추진되고 있다.

그리고 전분을 원료로서 에탄올 발효하여 액체연료를 제조하는 기술에 대해서는 이미 실용화되어 셀룰로스계 바이오매스인 목질계 폐재・미이용재를 당화해서 에탄올 발효하는 기술 개발은 실증단계에서 추진되고 있다.

나. 제품 이활용

바이오매스의 퇴비화와 축산・양어용의 사료화는 이미 실용화된 기술이지만, 이용자 입장에서 품질의 안정과 편리성의 향상이 큰 과제이며 각종 기술 개발이 행해지고 있는 중이다.

목질계 폐재・미용재는 양적으로 많기 때문에 종래보다 다양한 기술 개발이 행해져 왔고 목질계 폐재를 분쇄해서 재구성하는 재생 목질보드와 목재플라스틱 복합소재는 이미 널리 이용되고 있다. 그리고 리그닌과 고지를 복합하여 목질 플라스틱의 제조기술이 실증단계이며 그라파이트를 비롯한 목질계 소재의 제조기술 개발도 정력적으로 추진되고 있다.

또, 근래 생분해성 소재에 대해서 종래의 플라스틱과 달리 미생물에 의해 분해되는 특성에 대해 각계에서 높은 관심을 가지고 있으며 바이오매스 유래의 유산과 전분을 원료로 한 플라스틱에 대해서는 이미 일부 상업생산이 개시되고 있다.

금후 폐기하거나 리사이클할 때 환경에 미치는 영향을 충분히 고려하여 내열성과 강도 등의 물성개량이 추진되면 용도와 수요 확대를 기대할 수 있다.

그리고 수산폐기물, 농작물 비식용 부분을 이용한 기능성 식품과 화학제품의 원료를 제조하는 기술도 기대되는데 예를 들면, 기능성식품의 원료가 되는 DHA, EPA, γ-아미노 낙산, 식물섬유, 갑각류를 원료로 한 항균섬유의 원료로서 이용된 키토산 및 화장품의 원료가 되는 콜라겐을 추출하는 기술에 대해서는 이미 실용화되고 있다. 현재, 다양한 기능을 가진 의약품과 신소재의 원료가 되고 있는 각종 물질을 제조하기 위한 기술 개발이 실증단계 혹은 기초단계에서 추진되고 있다.

2. 『바이오매스 일본 종합전략』의 목표

2.1. 「바이오매스 일본」의 진전 시나리오

바이오매스에 관계하는 전체 사람들의 공통이해를 높이기 위해 「바이오매스 일본」의 추진 경로를 명확히 하는 것이 필요하다.

이 경우 「바이오매스 일본」의 추진을 좌우하는 중요한 요소인 이활용의 대상이 되는 바이오매스의 전개방향 및 바이오매스의 이활용 기술의 전개방향은 다음과 같이 생각할 수 있다.

2.1.1. 바이오매스 이활용의 전개방향

바이오매스는 생물에 의해 생산되므로 '넓고, 얇게' 존재하는 특성을 가진다. 따라서 그 수집에 관한 비용 및 수집량에 의한 변환효율이 이활용의 용이함을 크게 좌우한다.

가. 폐기물계 바이오매스

우선 폐기되는 종이, 가축배설물, 식품폐기물, 건설발생목재, 흑액, 하수오

니라고 하는 폐기물계 바이오매스는 그 이활용에 관한 비용 등 경제성을 고려할 때 폐기물처리비를 부가해서 수집하는 것도 있기 때문에 당해 비용을 이활용을 위한 비용으로서 사용할 수 있으므로, 이활용이 비교적 빨리 추진될 것이 예상된다.

현 시점에서 폐기물계 바이오매스 가운데 상당량이 한 군데로 집적되고 있는 것에는 식품폐기물, 건설발생목재 등이 있다. 이들은 식품순환자원의 재생이용 등의 촉진에 관한 법률, 건설공사 자재의 재자원화등에 관한 법률 등 개별 리사이클법의 규제에 따라 이미 에너지와 제품으로서 이활용되고 있지만, 금후 제도의 확산, 수집・수송, 변환 효율화 등에 의해 더욱 그 이활용이 진전될 것으로 기대된다.

폐기물계 바이오매스의 연간 부존량은 습중량으로 약 30,500만 톤, 건중량으로 약 5,600만 톤으로 예상된다. 이를 에너지로 환산하면 약 930 PJ(원유환산으로 약 2,400만킬로리터)에 상당한다. 또, 탄소량으로 환산하면 2,200만 톤에 상당하고 이는 일본에서 생산되고 있는 플라스틱에 포함되어 있는 전체 탄소량의 약 2.2배에 상당한다.

나. 미이용 바이오매스

2010년을 전망하면 현 시점에서 수집 비용때문에 농지에 방치되어 있는 미이용 농작물 비식용부분, 임지잔재라고 하는 미이용 바이오매스가 바이오매스의 수집 시스템 기술의 발달 등에 의해 저비용으로 수집이 가능해져 그 이활용이 추진되는 것이 기대된다.

미이용 바이오매스의 연간 부존량은 습중량으로 약 1,600만 톤, 건중량으로 약 1,200만 톤이 예상된다. 이를 에너지로 환산하면 약 210 PJ (원유환산으로 약 550만 킬로리터), 탄소량으로 환산하면 약 530만 톤에 상당한다.

다. 자원작물

2020년경에는 에너지와 제품 변환효율이 크게 향상되어 바이오매스에 대해 원료값을 지불하여도 화석연료 에너지 가격과 제품가격에 대항할 수 있

을 것으로 기대된다. 이 경우 미이용지에 에너지원과 제품원료 공급을 목적으로 재배하는 이른바 「자원작물」이 가능할 것으로 예상된다.

자원작물의 연간 부존량을 시산하면 습중량으로 약 1,900만 톤, 건중량으로 약 1,200만 톤이 예상된다. 이를 에너지로 환산하면 약 210 PJ (원유환산으로 약 540 킬로리터), 탄소량으로 환산하면 약 520만 톤에 상당한다.

라. 신작물

현 시점에서 반세기후 즉 2050년경에는 해양식물과 유전자 조작식물이라고 하는 신작물에 의한 효율적인 바이오매스의 생산의 가능하여 비약적으로 생산량이 증대될 것으로 기대된다.

폐기물계 바이오매스, 미이용 바이오매스, 자원작물의 연간 부존량을 단순합계하여 전부를 에너지로 환산하면 약 1,300 PJ(석유환산으로 약 3,500만킬로리터), 탄소량으로 환산하면 약 3,300만 톤(국내에서 생산되는 플라스틱을 포함하는 탄소량의 약 3.3배)에 상당한다.

2.1.2. 바이오매스 이활용 기술의 전개방향

바이오매스를 에너지 또는 제품으로 변환하는 기술에 대해서는 이미 실용화되고 있기 때문에 실증 혹은 연구개발단계에 이르기까지 다양한 기술이 있으며 주변기술을 포함해서 연구・기술개발이 진행되고 있다.

가. 고효율의 수집・변환기술의 개발・실용화

바이오매스 이활용의 추진에는 경제성 향상을 도모하여야 하며 이를 위해서 수집・변환효율이 높은 기술, 바이오매스 자원의 수집・운반을 효율적으로 운용하는 물류 시스템을 개발・실용화하는 것이 매우 중요하다.

일본에는 옛부터 양조업 등을 통해서 우수한 과학기술이 축적되어 있고, 이를 기초로 한 바이오테크놀로지가 급속히 발전하고 있다. 근년에는 열・압력과 화학등에 의한 이화학적인 바이오매스 변환기술이 진전되었고 바이오테크놀로지를 활용하여 생물화학적인 프로세스를 이용해서 고효율의 바이오

매스 변환기술이 개발되어 세계에서 선구적인 획기적 기술의 실용화가 기대된다.

나. 바이오매스 리파이너리의 구축

이용자의 다양한 요구에 대응하고 바이오매스 에너지와 제품의 폭넓은 용도로 이활용하기 위해 바이오매스에서 얻어지는 연료와 물질의 다양화와 고부가가치화를 추진할 필요가 있다.

이를 위해서 에너지로서도 제품으로서도 이활용할 수 있는 바이오매스의 특성을 살려 바이오매스를 원료로서 다종다양한 연료와 유용물질을 체계적으로 생산하는 「바이오매스 리파이너리」의 구축이 유효한 수단이다. 화석자원에 의한 「오일 리파이너리」로 발전을 이룩한 일본에서 적극 도입을 추진할 필요가 있다.

다. 바이오매스의 다단계적 이용

바이오매스를 자원으로서 충분히 활용하는 데는 원칙으로서 바이오매스를 완전히 연소시켜 CO_2를 돌려보내지 않고 제품으로서 가치높은 순으로 가능한 오래 반복해서 사용하고 최종적으로는 연소시켜 에너지로 이용하는 다단계적(캐스케이드적) 이용을 추구해야 한다. 이를 위해 종래는 제각기 행해온 개별적 기술 개발을 체계화하고, 실용화하는 것이 급선무이다. 그리고 질소, 인 등 영양염류에 대해서도 친환경적이고 순환적인 이활용을 도모하는 것이 중요하다.

라. 다른 분야와의 연대, 주변기술의 개발

바이오매스 변환기술의 실용화에 따라 미래 기술 개발에 관계된 기초연구의 추진과 함께 생명과학분야만이 아니라 시스템공학을 비롯한 이공계 분야, 이활용 촉진을 위한 사회 시스템과 경제성 평가 등 인문・사회과학분야와의 협동과 바이오테크놀로지, 나노테크놀로지 등 첨단기술의 연구진과의 협동 및 산・학・관 협력이 중요하며, 이들 다방면의 지식을 종합적으로 활용하면

서 기술의 개발・실용화를 추진하는 것이 필요불가결하다.

또, 수집・변환기술만이 아니라 예를 들면, 메탄발효에 의해 생기는 폐수의 처리기술 등, 주변기술의 개발・실용화가 동시에 추진되는 것이 필요하다. 바이오매스의 생산・수집에서 변환, 이용에 이르는 각 요소기술이 일체가 되어야 바이오매스의 이활용이 더욱 추진된다.

2.2. 『바이오매스 일본』 실현을 위한 구체적 목표

「바이오매스 일본」의 가능한 조기 실현을 위해 관계자의 협력체제를 촉진함과 동시에 「바이오매스 일본」의 현실 상황을 평가하기 위한 지표로서 구체적인 목표를 제시하는 것이 중요하다.

그러나 에너지 가격을 장기에 걸쳐 예측하는 것이 어렵고 사업계가 바이오매스의 이활용에 투자할 때 참고가 되도록 하기 위해, 교토의정서 이행의 제1약속기간 중간에 2010년을 목표로 하면서 바이오매스 이활용의 진척상황과 경제적, 사회적 환경 변화를 근거로 하여 이 목표를 적절히 수정하도록 한다.

가. 기술적 관점

기술 개발에 의한 경제성 향상은 바이오매스의 이활용을 더욱 촉진하기 위한 중요한 과제의 하나이므로 기술 개발을 추진하는 관계자들에게 기술적인 목표를 제시하고 바이오매스 이활용 기술의 개발을 촉진하는 것이 중요하다.

바이오매스 이활용 기술은 완성도가 다른 다양한 기술이 있고 각각의 기술적 과제를 극복해 가는 것이 필요하다. 그 중 바이오매스를 에너지로 변환하는 기술에 대해서는 특히 변환효율의 향상이 중요하고 가능한 많은 기술이 높은 변환효율을 실현해 가는 것이 기대된다. 또, 바이오매스를 제품으로 변환하는 기술에 대해서는 변환된 제품의 다양화와 고부가가치화를 실현해 가는 것이 기대된다.

이상을 종합적으로 감안하여 기술적인 목표를 다음과 같이 한다.

a. 직접연소 및 가스화 플랜트 등 함수율이 낮은 바이오매스를 에너지로 변환하는 기술에서 다음을 실현할 수 있는 기술을 개발한다.
   - 바이오매스의 일처리량 20톤 정도의 플랜트(여러 시정촌 규모를 상정)에서 에너지 변환효율이 전력으로서 20%, 혹은 연료로서 80% 정도
   - 바이이매스의 광역수집에 관한 환경이 갖춰진 경우 바이오매스 일처리량 100톤 정도의 플랜트(광역자치단체를 상정)에서 에너지 변환효율이 전력으로서 30% 정도

b. 메탄 발효등 함수율이 높은 바이오매스를 에너지로 변환하는 기술에서 바이오매스의 일처리량 5톤정도의 플랜트(집락에서 시정톤규모를 상정)에서 에너지변환효율이 전력으로서 10%, 혹은 열로서 40% 정도를 실현할 수 있는 기술을 개발한다.

c. 바이오매스를 제품으로 변환하는 기술에서 현 시점에서 실용화하고 있는 바이오매스 유래의 플라스틱의 원료가격을 200엔/kg 정도로 함과 함께 리그닌과 셀룰로스의 유효활용을 추진하기 위해 새롭게 실용화 단계의 제품을 10종 이상 만들어낸다.

나. 지역적 관점

바이오매스의 이활용은 지역이 자주적으로 다루기 위한 목표를 제시하고 지역의 실정에 따라 시스템을 구축하는 것이 중요하며 지역의 특성과 이용방법에 따라 다양한 전개가 기대된다.

이러한 점을 감안해서 지역적 관점의 목표로서 폐기물계 바이오매스를 탄소량 환산으로 90% 이상 또는 미이용 바이오매스를 탄소량 환산으로 40% 이상 이활용하는 시스템을 가진 기초자치단체를 500개 정도 구축한다.

다. 전국적 관점

바이오매스의 종합적인 이활용은 관계자들에게 전국적 관점의 목표를 제시하고 「바이오매스 일본」의 진전 시나리오, 기술의 진전, 지역 활동의 활성화 등의 수준에 따라 그 추진을 도모하는 것이 중요하다.

한편, 일본의 에너지 수요를 감안하여 앞으로 경제성 향상 등의 관점에서 바이오매스 유래의 수입연료 활용의 검토, 지구온난화대책추진대강에 담긴 각종 목표와의 정합성 도모,「순환형사회형성추진기본법」이념의 존중 등이 중요하다.

이상을 종합적으로 감안하여 전국적인 관점에서의 목표를 다음과 같이 예상한다.

폐기물계 바이오매스 이활용의 전개는 식품순환자원의 재생이용 등의 촉진에 관한 법률 등, 개별적인 법에 의해 리사이클 의무화 등이 조치되고 있지만, 금후 제도의 확산을 도모하고 수집・수송, 변환의 효율화가 진전되면 폐기물계 바이오매스의 상당 부분이 이활용될 것으로 기대된다.

그리고 이활용이 예상되는 미이용 바이오매스는 수집 시스템의 정비, 바이오매스・리파이너리의 확립 등에 의해 일정부분이 경제적으로 성립되는 형태로 이활용될 것이 기대된다.

화석 에너지 가격과 지구 온난화대책의 진전에 따라 새로운 수요에 대응한 민간 기업의 활동에 의해 에너지원과 제품원료로 사용하는 것을 목적으로 자원작물의 이활용이 기대된다.

이런 것 때문에 폐기물계 바이오매스가 탄소환산량으로 80% 이상 이활용되고 미이용 바이오매스가 탄소량환산으로 25% 이상 이활용된다. 그리고, 자원작물에 대해서는 탄소량 환산으로 10만 톤 정도가 이활용될 것이 기대된다.

3.「바이오매스 일본」실현을 위한 기본 전략

「바이오매스 일본」의 조기 실현에 맞추어 해결해야 하는 과제가 있는 주요 사항에 대해서 그 기본 방향과 실시주체・실시시기를 명시한 구체적인 행동계획을 다음과 같이 제시한다. 정부는 구체적 행동계획을 착실히 실행하면서 평가를 수행하고 사회경제 동향의 변화를 감안하여 지속적으로 수정하면서 전략을 추진한다.

3.1. 바이오매스 이활용 추진을 위한 전반적 사항에 관한 전략

3.1.1. 국민적 이해의 확산

가. 기본방향

「바이오매스 일본」의 원활한 실현에는 바이오매스를 종합적으로 활용하는 시스템을 구축하는 것이 전제되고 이를 위해서는 바이오매스 활용에 관련되는 사람들 모두의 이해와 협력이 필요하다. 이를 위해서는 바이오매스의 이활용이 이산화탄소 배출삭감대책과 흡수원대책으로서 지구 온난화를 방지하는 효과가 있는 것 등을 알기 쉽게 설명하여 「바이오매스 일본」의 구축이 앞으로 국민 생활에 깊이 관련되어 있음을 충분히 주지시키는 것이 필요하다. 그리고 나서 순환형사회의 형성 등 다른 환경 관련 활동과 유기적으로 연대하여 보급계발을 효과적으로 도모해 가는 것이 적당하다. 특히 폐기물계 바이오매스는 자원으로서 이활용 가능한 것이라는 발상의 전환을 요구하여 단순히 버리는 것이 아니라 에너지원과 제품원료로 적절히 순환이용해야 하는 것이라는 이해가 중요하다.

이를 위해서 필요에 따라 정확하고 다양한 정보를 축적하고 알기 쉽게 제공하는 것이 중요하며 바이오매스에 관련하는 정보를 효율적 그리고 효과적으로 정리・제공하는 시스템의 구축이 필요하다.

그리고 바이오매스 이활용에 대한 사회적 합의 형성을 추구하는 국민적 운동으로서 국민 각층의 협동을 활성화해 가는 것이 필요하다. 이를 위해 가시적인 시스템과 국민에 보여 주는 것이 중요하므로 각지에서의 모범사례를 지원함과 동시에 이벤트 등에서의 모델 전시등도 실시할 필요가 있다. 또, 바이오매스 이활용의 구체적인 실천은 자연과 융합하는 환경교육으로서의 요소를 가지고 있는 것에 유의해야 한다.

나. 구체적인 행동계획

• 정부홍보의 전개, 심포지엄의 개최, 팜플렛과 포스터의 작성 및 배포 등을

통해 바이오매스 이활용에 관한 국민적 이해를 양성한다. <2002년도 착수> (내각부, 문부과학성, 농림수산성, 경제산업성, 국토교통성, 환경성)

- 바이오매스 이활용에 관계되는 신기술, 우수사례의 평가, 소비자에 보급계발 등을 행한다. <2002년도 착수> (농림수산성, 경제산업성, 국토교통성, 환경성)
- 「愛・地球博(아이치 세계박람회)」에서 생쓰레기 등 유기성 폐기물을 「생분해하는 쓰레기」로서 분별회수하고 이들을 메탄 발효시켜 얻은 메탄가스를 발전에 사용하는 것처럼 바이오매스의 리사이클 시스템의 모델사업을 행한다. 또, 「愛・地球博」에서 생분해성 플라스틱 제품의 적극적인 도입을 도모한다. <2002년도 착수, 2005년도 달성> (농림수산성, 경제산업성)
- 바이오매스 관련 정보를 효율적으로 수집・정리・제공하기 위해 바이오매스에 관계하는 정보 네트워크를 중심으로 IT를 활용한 정보거점(바이오매스 정보본부)을 창설한다. <2003년도 착수> (농림수산성)
- 바이오매스에 의한 체험활동 등의 환경교육을 추진한다. <실시중> (농림수산성, 문부과학성)

3.1.2. 시스템 전체의 설계

가. 기본방향

바이오매스를 지속적으로 이활용하기 위해 그 생산, 수집, 변환, 이용의 각 단계가 유기적으로 협조하여, 전체로서 경제성있는 순환 시스템을 구축하는 것이 중요하다. 이를 위해 각 단계에 관계된 개별 요소기술개발을 더욱 추진하고 전체 시스템으로서의 경제성을 고려하여 지역의 조건에 맞는 모델을 제시할 수 있도록 시스템 전체의 설계기법을 개발해야 한다. 이 경우 에너지와 제품으로서 이활용할 수 있는 바이오매스의 특성을 살려서 다종다양한 연료와 유용물질을 체계적으로 생산하고 유한한 자원을 최대한 그리고 합리적으로 이용하는 「바이오매스・리파이너리」를 효과적으로 도입하여 시스템

전체의 경제성 향상을 도모하는 것이 중요하다.

시스템 전체의 설계에 대해서는 질소 등의 중요 물질수지를 고려하는 것이 중요하다. 이를 평가하기 위해 바이오매스 이활용 시스템의 전체 공정을 일관해서 정량적으로 환경에 미치는 영향을 평가하는 전과정평가(LCA)기법을 확립하는 것이 필요하다. 그리고 시스템 전체를 효율적으로 설계하기 위해 대학 등에 지금까지 축적되고 있는 지식을 적극 활용해야 한다.

일본 전체의 바이오매스 이활용의 진척 상황을 파악하는 관점에서 바이오매스의 생산에서 변환, 이용, 폐기에 이르기까지의 자료를 정비하고 정기적으로 갱신하는 것이 필요하다. 바이오매스 이활용을 추진하는 데에 새로운 환경부하를 주지 않도록 배려해야 한다.

나. 구체적인 행동계획

- 바이오매스 이활용의 프로세스 기술을 개발하고 실용화・보급을 도모하기 위해 안전성・영향평가, 시스템 전체의 경제성・사업채산성의 평가・검증 등, 바이오매스의 효율적인 이활용이 가능한 사회 시스템 설계에 관한 연구개발, 실증시험을 행한다. <2003년도 착수, 2007년도 달성> (문부과학성, 환경성)
- 바이오매스의 이활용 시스템의 효율에 기여하는 유전자 변환체의 이용에서 리스크관리에 관한 연구개발을 행한다. <2002년도 착수> (경제산업성)
- 적설한랭지에서 가축배설물 등의 바이오매스 순환시스템 확립을 위해 실증시험, 수집・수송기법, 최적 시설규모 등의 검증을 행한다. <실시중, 2005년도 달성> (국토교통성)
- 적정하고 효과적인 바이오매스의 이활용을 촉진하고 지역의 활동을 지원하기 위해 바이오매스 이활용 지침 및 질소 등의 물질순환 모델을 검토하여 자원순환계획 매뉴얼을 책정한다. <2003년도 착수> (농림수산성)
- 바이오매스의 이활용 시스템의 LCA평가기법을 개발하여 실증단위 플랜트에 적용, 그 평가결과를 시스템의 고도화에 반영한다. <2003년도 착수> (농림수산성)

- 하수오니의 유효이용을 촉진하기 위해 정보 네트워크 시스템의 구축·하수오니처리종합계획 책정매뉴얼을 수정한다. <2002년도 착수> (국토교통성)
- 유전자 조작생물의 이용 등이 생물다양성의 보전 및 그 지속가능한 이용에 미치는 악영향 방지를 목적으로 하는 국제협약인 생물다양성조약 카르타헤나의정서를 체결하기 위해 관련되는 국내법을 정비하고 국내실시체제를 구축한다. 이에 기초하여 유전자 조작생물의 이용에 우선해서 생물다양성의 보전 및 그 지속가능한 이용에 미치는 악영향을 심사한다. <2002년도 착수> (문부과학성, 농림수산성, 경제산업성, 환경성)
- 유전자 조작생물에 관한 위험 평가와 관리 기술(리스크·편익의 정량화 기법 등)을 개발하기 위해 환경에의 의도적인 도입에서 사전평가·사후관리기법의 검토와 조사연구를 행한다. <2002년도 착수> (문부과학성, 농림수산성, 경제산업성)

3.1.3. 지역에서 창의 모색

가. 기본방향

바이오매스의 부존상황, 이용에 대한 수요 조건 등은 지역에 따라 다양하게 나타난다. 바이오매스 이활용은 지역의 특성과 이용방법에 따라 다양하게 되므로 지역의 실정에 따른 시스템을 구축하는 것이 필요하다.

이를 위해 바이오매스 이활용의 규모와 형태를 일률로 국가가 결정하는 것은 적당하지 않고 각 지역에서 바이오매스 공급자부터 변환후의 이용자까지 협력해서 그 지역에서 최적이라 생각하는 것을 주체적으로 검토, 선택하고 지역의 특성을 살려서 창의성 넘치는 방안을 추진해야 한다. 이를 위해 국가는 지역의 선택에 참고가 될 수 있도록 필요한 정보를 적극 제공하고 지역의 주체적인 방안이 쉽게 진전될 수 있는 환경이 창출되도록 노력해야 한다.

지역자원을 지역에서 활용하는 것은 앞으로 더욱 중요하게 될 것이다. 바

이오매스에 대해서도 지역에서 이활용을 추진하여 지역산업의 에너지 자급, 고용확보 등을 통한 지역 활성화를 도모해 가는 것이 중요하다.

나. 구체적인 행동계획

- 지방공공단체, 민간기업, 대학, 시민 등 지역에서 관계자들의 바이오매스 이활용의 추진을 위한 연대, 협조, 합의형성, 지역 계획 수립 등을 촉진한다. <실시중> (문부과학성, 농림수산성, 경제산업성, 환경성)
- 바이오매스 이활용의 도입에 관심 있는 지방공공단체를 시작으로 관계자들에게 그 도입의 검토에 필요한 정보와 지역 단위의 주체적인 활동을 위한 촉진하기 위한 정보를 제공한다. <실시중> (농림수산성, 경제산업성, 환경성)
- 바이오매스 리파이너리의 본격도입을 가속화하기 위해 지역의 특성을 살려서 바이오매스를 효율적으로 이활용하는 (가칭)바이오매스 타운 구상을 관계 부처가 일체가 되어 검토를 개시한다. <2002년도 착수> (농림수산성, 경제산업성, 환경성)

3.1.4. 관계자의 역할분담 및 협력

가. 기본방향

바이오매스 이활용의 추진을 위해 민간에서 시장원리에 기초한 전개를 기본으로 하여 국가, 지방공공단체, 바이오매스 공급·이용자 등이 각각의 역할에 따라 추진하는 것이 중요하다.

국가는 「바이오매스 일본 종합전략」을 알기 쉬운 형태로 제시하고 전략추진을 위한 시책을 마련하며 필요에 따른 제도를 개정하여 사업화, 설비투자 등 기업 활동의 참고가 되도록 하는 것이 중요하다. 또, 바이오매스의 이활용에 관계되는 소관 성청이 여러 분야에 걸쳐 있으므로 실효성 있는 형태로 연대를 추진한다. 그리고 바이오매스 이활용의 추진에 관한 시책의 효과를 평가해서 필요하다면 적절히 수정하여야 한다.

지방공공단체에서는 각각의 지역 특성에 근거한 대응이 중요하지만 특히

기초자치단체가 일반폐기물 행정에서 중요한 역할을 수행하는 점을 감안하여 시스템 전체의 경제성 등에도 유의해서 바이오매스 이활용의 추진을 도모하도록 노력해야 한다. 그 후에는 국가와 연대하여 바이오매스의 이활용에 대한 사회적 합의의 형성을 추진할 필요가 있다.

바이오매스 공급・이용자는 바이오매스 이활용의 경제성 향상에 노력하고 분별 등의 노력에 의해 원활한 이활용을 추진하는 것이 필요하다. 특히, 바이오매스의 상당 부분을 맡고 있는 농림어업자에 대해서는 「바이오매스 일본」의 실현을 위해 큰 역할을 맡는 것이 기대된다.

그리고 환경 NPO 등이 지역에서 바이오매스 이활용의 추진에 맡는 역할은 중요하고 이들 단체의 활동을 효과적으로 지원하는 방책을 강구해야 한다.

또, 바이오매스 이활용의 추진에 대해 실용화 기술을 개발해서 사업화를 추진하는 민간기업, 기술 개발과 시스템 기술구축의 기초연구를 수행하는 대학, 지구 온난화 방지 등을 선도하는 국가, 지역행정을 맡는 지방공공단체 등 산학관이 밀접하게 연대하는 것이 중요하고 각종 시책의 수행에서 산학관의 밀접한 연대를 지키면서 추진한다.

나. 구체적인 행동계획

- 「바이오매스 일본 종합전략」을 공표하고 지방공공단체를 비롯한 관계자들에게 적극적으로 그리고 알기 쉽게 주지시킨다. <2002년도 착수> (관계부성)
- 관계부성의 연대와 기동적인 대응을 도모하기 위해 목표의 달성상황의 확인, 관계시책의 조정 등을 행하는 「바이오매스 일본종합전략」추진회의를 설치하고 범정부적으로 「바이오매스 일본 종합전략」의 추진을 도모한다. <2002년도 착수> (관계부성)
- 「바이오매스 일본 종합전략」추진회의에서 다양한 의견과 민간의 시야를 반영시키기 위해 학직 경험자, 민간기업, 소비자 등으로 구성한 자문기구를 설치하여 정부의 바이오매스 이활용 추진을 위한 방안의 향상을 도모한다. <2002년도 착수> (관계부성)
- 「바이오매스 일본 종합전략」의 착실한 추진을 위한 법제화를 추진하고

관계 부성이 일체가 되어 검토를 개시한다. <2002년도 착수> (농림수산성, 환경성, 관계부성)

- 순환형사회 형성에 공헌하는 것으로서 「순환형사회형성추진기본계획」에 바이오매스를 위치지우고, 그 이활용 상황 등을 정리하여 연차보고를 행한다. <2003년 3월 각의결정예정> (환경성, 관계부성)
- 환경NPO, 지역에서 바이오매스 이활용의 조정 등의 활동을 지원한다. <2003년도 착수> (농림수산성, 경제산업성, 환경성)
- 총합과학기술회의의 지구 온난화연구 이니셔티브 및 쓰레기 제로형·자원순환형 기술연구 이니셔티브하에서 각각에서 바이오매스 이활용에 관한 개별요소기술·시스템화 기술의 연구개발에 대해서 관계부성의 유기적인 연대·협력 추진을 도모한다. <2002년도 착수> (총합과학기술회의)
- 바이오매스 이활용 기술에 관한 정부의 연구개발을 효율적·효과적으로 추진하기 위해 각 부성의 개선요구에 대해서 관계부성간 그리고 산학관의 연대를 강화하여 종합적으로 조정하고 예산편성에 반영하고, 시책의 중요성·추진체제 등의 관점에서 우선순위를 정한다. <2002년도 착수> (총합과학기술회의)
- 총합과학기술회의 온난화대책기술프로젝트팀(2002년6월19일 총합과학기술회의 결정)에서 바이오매스 이용 등 신에너지 기술을 포함한 온난화대책기술에 관한 조사·검토를 행하고 2002년 도중에 연구개발 전략을 정리한다. <2002년도 착수> (총합과학기술회의)
- 「바이오테크놀로지 전략대강」(BT 전략회의)을 근거하여 바이오매스에 관한 연구개발과 원활한 도입을 위한 조치 등을 실시한다. (총합과학기술회의, 관계부성)

3.1.5. 바이오매스 이활용 추진을 위한 경쟁조건의 정비

가. 기본방향

바이오매스 이활용은 최종적으로는 민간의 자유로운 창의와 노력에 의한

경쟁적인 기업 활동에 의해 추진되는 것을 지향해야 한다. 그럼에도 아직 초기 단계인 바이오매스 산업에 대해서는 현재의 사회경제적 상황중 일정 기간의 지원이 필요한 경우가 있다. 또, 민간사업자가 사업을 개시할 때, 모델이 없는 것은 사업화를 주저하게 하므로 추진 모델이 될 만한 전국적인 사례를 구축해 가는 것이 중요하다.

모델 사례의 구축은 선행하는 위험을 경감하도록 배려하면서 한정된 지역에서 첨단적 그리고 종합적인 바이오매스 이활용 시스템의 구축을 일종의 실증실험으로서 행하는 것이 필요하다. 그 후 관계부성이 공동으로 노력하는 것이 중요하다.

그리고 화석자원의 이활용과 경쟁조건을 정비하기 위해 기타 정책수단에 대해서 해외 동향을 참고하고 바이오매스의 부존상황과 이용조건 등 일본의 독자적 사정에 근거하여 검토한다.

나. 구체적인 행동계획

- 바이오매스 이활용에 의욕적인 모델지역 등을 대상으로 관계부처가 공동으로 시설정비, 기술지도 등 이활용 촉진 대책을 종합적으로 실시한다. <실시중> (농림수산성, 경제산업성, 환경성)
- 지구온난화대책추진대강에 기초하여 '단계적 접근'이라는 기본 방향에 따라 제1단계의 추진 과정에 근거하여 제2단계 이후를 향해 관련된 모든 대책・시책의 진척상황・배출상황 등을 평가해서 그 결과에 따라 재생가능한 바이오매스의 이활용 촉진을 도모할 수 있는 시책에 대해서도 검토한다. 또, 조세, 과징금 등의 경제적 기법에 대해서 다양한 장에서 종합적으로 검토하는 것은 대강의 정책혼합 활용의 기본 방향을 따르는 것이며 바이오매스의 이활용 촉진의 관점에서도 검토한다. (농림수산성, 경제산업성, 환경성)
- 바이오디젤연료의 경쟁조건 정비를 검토하기 위한 전제로서 바이오디젤연료도입의 장단점을 평가한다. <2003년도 착수> (농림수산성, 경제산업성, 환경성)

3.1.6. 국제적 시점의 고려

가. 기본방향

현재의 물질수지는 세계규모에서 생각해야 하며 또 환경 문제도 지구환경 문제로서 추진해 나가지 않으면 안 된다. 또, 산업의 국제경쟁력을 확보한다는 관점에서 바이오매스 산업을 전략 산업으로 발전시키는 것이 중요하다는 점도 명심해야 한다. 「지속 가능한 개발에 관한 세계정상회의(요하네스버그 서미트)」에서 채택한 「행동계획」에서 바이오매스를 포함한 재생가능에너지에 관계된 기술 개발, 지속적인 이용 그리고 산업화의 추진은 국제적인 합의사항이 되어 있다.

지구환경대책에는 일본의 바이오매스 이활용에 관계되는 기술을 지구 온난화 방지기술로서 교토의정서에 기초하여 청정개발체계(CDM), 공동실시(JI) 등의 활용도 고려하여 해외에 보급하는 것이 중요하다.

또, 일본에서 질소 등의 수지밸런스를 생각한 경우, 대량의 사료・식료・목재 등의 수입에 의해 대폭적인 수입초과가 되고 있지만 이들은 해외의 토양자원, 수자원에 의존해서 생산된 것이며 해외에서는 사막화 진행 등을 일으키는 원인이 되고 있다. 이 때문에 해외에서 지속적인 농림수산업의 추진에 관계되도록 바이오매스 이활용 성과의 해외 보급을 검토해야 한다.

이처럼 국제적인 방안은 기후가 가까운 아시아에 대한 기술협력으로서의 국제공헌이 되므로 국제적 시점에서 바이오매스 이활용 시스템의 구축을 검토해야 한다.

나. 구체적인 행동계획

- 구체적인 프로젝트 실시를 통해 경험을 쌓기 위해 CDM 내지 JI의 틀을 활용하는 것을 고려하고 바이오매스의 이활용 등에 관계된 프로젝트를 발굴하여 그 실현가능성 등을 조사한다. <2002년도 착수> (농림수산성, 경제산업성, 환경성)
- 발전도상국에서 바이오매스 이활용의 모델사업 실시, 국제심포지엄의 개

최 등을 통해 일본의 바이오매스 이활용 기술, 실용사례 등의 해외 보급, 해외 여러 나라와의 연대, 협력관계의 구축을 도모한다. <2003년도 착수> (농림수산성, 경제산업성, 국토교통성)

- CDM 신청비용을 밝히는 등 지혜와 경험 축적을 통해 민간사업자의 추진을 지원하기 위하여 바이오매스 이활용 등에 관한 CDM 사업의 신청 절차 등을 시험적으로 실시한다. <2003년도 착수> (환경성)
- 지구 온난화대책추진대강의 단계적 접근에 따라 제2단계(2005년~) 및 제3단계(2008년~) 이전에 실시하는 관련대책·시책의 평가·수정에서 CDM, JI에 관련하는 대책·시책에 대해서의 평가·수정도 행한다. <2005년도> (농림수산성, 환경성, 경제산업성)

3.2. 바이오매스의 생산, 수집, 수송에 관한 전략

3.2.1. 경제성의 향상

가. 기본방향

'넓고, 얇게' 존재하는 바이오매스를 어떻게 효율적으로 수집·수송할 것인가는 바이오매스 이활용에서 큰 과제이다. 따라서 수집·수송에 관한 비용 절감을 도모하는 것이 바이오매스 이활용을 추진하기 위해 중요하다.

이를 위해 하수오니 등 이미 집적되어 존재하는 바이오매스를 유효 이용하는 것 외에, 농림수산물 집하유통 시스템 등 기존 시스템을 유효하게 활용하고 동맥물류와 정맥물류를 조합하여 효율적인 수집·수송 시스템을 구축하는 것이 필요하다.

또, 식품폐기물은 각 가정, 자치회 등 지역커뮤니티, 슈퍼 등의 체인 단위에서 감량(수분의 감소 등)·분별에의 협력을 추진한다. 산림정비에서 발생하는 임지잔재는 목재 생산시스템과 연계한 효율적인 생산·반출·유통 시스템을 구축하여 바이오매스의 특성에 따른 효율적인 수집·수송 시스템의 구축이 필요하다.

그리고 수집·수송비용의 대폭 삭감을 목적으로 현장의 필요에 따라 현실적인 수집시스템기술의 연구개발, 실용화 등을 추진하는 것이 필요하다.

나. 구체적인 행동계획

- 농업 폐기물, 식품폐기물을 효율적으로 수집하는 시스템 구축을 검토·지원한다. <실시중> (농림수산성, 국토교통성)
- 급경사지에 대응해서 간벌 등의 실시가 가능하도록 고성능임업기계의 개발을 행한다. <실시중> (농림수산성)
- 수산가공잔재의 발생·회수·처리상황 등을 분석해서 지역의 유형화를 행하고 고선도, 저비용으로 회수하는 시스템의 모델을 작성해서 그 보급계발을 도모한다. <2002년도착수, 2005년도 달성> (농림수산성)
- 바이오매스 수송의 효율화에 기여하는 수상운송 등을 활용하여 환경부하가 적은 정맥물류 시스템을 구축한다. <2002년도 착수> (국토교통성)
- 민간기업이 행하는 식품폐기물의 효율적 분별과 운반·회수기술의 개발을 지원한다. <2003년도 착수> (농림수산성)
- 바이오매스·폐기물의 처리·재자원화 프로젝트의 일환으로서 산학관 협동에 의한 효율적인 수집·수송 시스템을 구축하기 위해 지역사례연구를 통해 바이오매스·폐기물의 재자원화를 위한 물류 시스템에 관한 연구개발을 행한다. <2003년도 착수> (문부과학성)

3.2.2. 경제적 요건이외의 고비용조건 개선

가. 기본방향

바이오매스의 생산·수송에서 사회적인 규제·관행 등은 고비용의 원인이 되기도 한다.

폐기물 바이오매스는 국민·사업자 등의 협력에 의해 바이오매스 이외의 것과 분별을 철저히 하는 등 바이오매스 이활용이 용이하게 되는 형태로 실시한다. 동시에 '넓게, 얇게' 존재하는 바이오매스를 집약화해서 이활용하기

위한 광역수집과 동맥물류와의 일체적인 수집 등의 효율적인 수집·수송이 가능하게 하는 방책을 수립하여 수집·수송에서 환경부하와 青森縣과 岩手縣과 경계에서 보이는 광역적인 바이오매스를 포함한 불법투기 문제를 근거로 하여 검토해야 한다.

또, 바이오매스 이활용 시스템의 경제성은 바이오매스의 원료로서의 가격에 좌우되므로 가능한 낮은 가격으로 조달이 가능하도록 고비용의 원인이 되는 생산·수입 등의 사회적인 규제·관행 등을 재검토할 필요가 있다.

나. 구체적인 행동계획

- 부패성, 휘발성이 없어 성상이 변화하기 어려워 생활환경보전에 지장을 주지 않는 폐기물인 바이오매스는 리사이클 기술 개발을 추진하여 재생이용인정제도의 확충도 포함한 수집운반에 관계된 절차의 합리화를 검토한다. <2003년도부터 계속 검토> (환경성)
- 바이오 프로세스에 투입된 식물성 원료공급은 원료수급의 확대에 관계된 새로운 시장을 창출하는 용도를 대상으로서 그 절반이상을 차지하는 옥수수 전분 제조용과 수수의 관세할당제도의 운용에 대하여 검토한다. <2003년도 착수, 2004년도 달성> (농림수산성)
- 바이오매스의 효율적인 생산에 노력하는 농업인을 주요 구성원으로 제한하지 않고, 농업생산법인 이외의 법인이 농지를 경작할 수 있는 구조개혁특구의 활용을 도모한다. <2003년도 착수> (농림수산성)

3.2.3. 생산에 필요한 환경정비

가. 기본방향

농림어업은 태양과 흙, 물 등에서 농림수산물을 생산하는 자연의 순환 기능을 이용한 산업이고 바이오매스의 순환적인 이활용의 최초단계인 생산을 맡고 있다. 또, 바이오매스 생산뿐 아니라 식료, 사료 등으로서 사용되는 바이오매스를 퇴비로서 재이용하고 바이오매스를 재생산할 수 있다. 그리고 에

너지로서 이용할 수 없는 질소, 인 등의 영양염류도 활용할 수 있으므로 농림어업의 바이오매스 생산에 기여하는 역할이 크다.

이 때문에 기술 개발의 진전에 의한 경제성 향상 전망을 근거로 삼으면서 에너지원과 제품의 원료가 되는 자원 작물의 바이오매스의 생산도 고려하는 새로운 농림어업의 전개를 검토해야 한다. 그다음 에너지원과 제품 원료가 되는 바이오매스의 생산에 대한 수요가 창출되고 민간의 기업 활동에 의한 경제성있는 바이오매스의 생산을 행하는 것이 필요하다.

그리고 다수확 작물의 평가를 행하여 에너지원과 제품원료로서 바이오매스의 안정적인 저비용 생산을 실현하는 것이 중요하다.

나. 구체적인 행동계획

- 에너지원과 제품의 원료로서 바이오매스의 생산에 관계된 경제성 향상의 관점에 근거하여 자원 작물의 재배를 희망하는 지역에 그 생산 모델을 검토한다.
- 바이오매스 생산효율이 높은 작물의 재배 연구를 추진한다. <실시중> (농림수산성)

3.3. 바이오매스의 변환에 관한 전략

3.3.1. 경제성의 향상

가. 기본방향

바이오매스는 사료, 비료, 공업용 원료와 에너지 등 다양한 형태로 이용이 가능하다. 그 변환에는 직접연소・탄화, 추출에서 열화학적 변환, 생물화학적 변환까지 다양한 방법이 고려되고 있지만, 경제성 향상을 도모하기 위해서는 변환효율이 높은 방법을 개발하는 것이 매우 중요하다. 또, 바이오매스의 용도를 확대하기 위해서 이용자의 필요에 합치하는 제품의 다양화, 고부가가치화를 도모하는 것이 불가결하다. 그래서 바이오매스의 특성에 따라 소

규모에서 변환효율이 높은 기술 개발을 추진하는 것이 필요하다. 또, 혁신적인 기술뿐만 아니라 퇴비화 기술 등 이미 일반화되어 있는 기술을 활용하는 것도 기술보급상황과 변환의 간편함 등에서 경제성의 향상을 도모할 수 있는 점에 유의해야 한다.

민간사업자 등이 선구적인 바이오매스의 변환시설을 건설하는 경우, 민간의 구상을 받아들여 경제성있는 모델의 관점에서 국가가 그 모델을 효율적으로 지원하는 것이 중요하다. 또 기존의 바이오매스 변환시설을 효과적으로 활용하는 것은 저비용 그리고 단기적으로 실시 가능한 방안으로서 중요하다.

나. 구체적인 행동계획

- 다양한 바이오매스를 효율적으로 에너지로 변환하는 기술의 개발・실용화를 지원한다. <실시중> (문부과학성, 농림수산성, 경제산업성, 국토교통성, 환경성)
- 바이오매스로부터 고부가가치 제품을 생산・제조하는 기술의 개발・실용화를 지원한다. <실시중> (문부과학성, 농림수산성, 경제산업성, 환경성)
- 지방공공단체가 설치하는 바이오매스의 변환시설, 민간사업자등이 주체적으로 추진하는 바이오매스의 변환시설 중에서 기술과 시스템에서 선도적인 것은 국가가 성장을 지원한다. <실시중> (농림수산성, 경제산업성, 환경성)
- 기존의 바이오매스 변환시설의 기능 강화를 지원한다. <실시중> (농림수산성)
- 정부 청사내 식당에서 나오는 식품폐기물을 비료와 사료로 재이용해서 농가에 제공하는 등 재생사업을 솔선수범하고 지방공공단체와 민간에 대해서 권장한다. <실시중> (농림수산성, 환경성, 관계부처)
- 하수오니에서 생산된 메탄가스의 저장・이용기술의 개발을 추진하고 하수오니와 그 외 바이오매스를 기존의 하수도시설에서 에너지로 변환하는 모델사업을 행한다. <실시중・2003년도 착수> (국토교통성)
- 가축배설물의 바이오매스를 수소에너지로 변환, 저장하여 CO_2의 삭감을

도모하고 수요에 따라 효율적인 에너지이용을 행하기 위한 실증연구를 행한다. <2003년도 착수> (국토교통성)

3.3.2. 혁신적인 변환기술의 전개, 다른 분야 기술과의 연대

가. 기본방향

에너지 변환에 대해서는 종래부터 직접연소를 중심으로 상당량이 이용되어 왔지만, 앞으로는 에너지변환효율이 높은 혁신적인 변환기술의 개발을 통한 경제성 향상과 이용자 편리성의 향상이 중요하다.

제품 변환은 지금까지 비료, 사료 형태로 상당량 이용되어 왔지만, 앞으로는 혁신적인 용도로서 고부가가치 기능성 식품원료 또는 의약품·화장품의 원료로서 이용, 흑연과 같은 기능성 소재 생산 등으로 기술 개발을 추진하는 것이 중요하다. 또, 소재이외의 영양염류(질소, 인 등)를 효율적으로 회수하는 기술을 개발하는 것도 필요하다.

바이오매스 변환기술의 실용화는 장래적인 기술 개발에 관계있는 기초연구를 추진하여야 한다. 생명과학분야만 아니라 시스템공학을 비롯한 공학계 분야와 연계하여 바이오테크놀로지, 나노테크놀로지 등 첨단기술의 연구진과 연대하여 다방면의 지식을 종합적으로 활용해서 기술 개발을 추진해 나가는 것이 필요하다. 그리고 세계의 선두주자가 될 수 있는 기술 개발에 중점적으로 자원을 배분하는 것이 필요하다.

나. 구체적인 행동계획

- 목질계 폐재·미이용재의 효과적 활용으로서 당화·발효, 액체연료와 공업제품 등으로 변환하는 기술의 조기실용화를 추진한다. <실시중> (농림수산성)
- 가축배설물 등 바이오매스에서 영양염류를 효율적으로 회수하는 기술을 개발한다. <실시중> (농림수산성, 국토교통성)
- 식물에 의한 유용물질생산에 관계된 생합성 프로세스를 해명함과 동시

에, 일련의 대사를 총괄적으로 제어하는 기술을 개발한다. <2002년도 착수, 2009년도 달성> (경제산업성)

- 생물 기능을 활용한 공업프로세스의 기반기술을 개발한다. <2004년도 착수, 2010년도 달성> (경제산업성)
- 폐기물계 바이오매스의 혐기처리 등 효율화를 위해, 혐기미생물을 중심으로 한 미생물의 구성과 기능을 해석하고 이들을 모니터링하여 미생물을 제어하는 기법을 개발한다. <2002년도 달성> (경제산업성)
- 식물과 곤충 등 기능유전자해명을 추진하여 이들 생물에 의한 유용물질 생산기술을 개발한다. <실시중> (문부과학성, 농림수산성)
- 바이오매스 고도변환기술의 시작품 등을 이용해서 실용화를 향한 기초적 자료를 축적한다. <2003년도 착수> (농림수산성)
- 「BT연구개발의 추진에 대해서」(총합과학기술회의)에서 바이오매스 이용을 포함한 바이오테크놀로지에 관계된 과학기술의 추진방책을 근거하여 착실히 그 추진을 도모한다. <2002년도 착수> (총합과학기술회의, 관계부처)

3.3.3. 경제적 요인 이외의 고비용조건 개선

가. 기본방향

바이오매스의 변환에 대해서도 사회적인 규제·관행에 의해 비용이 증가하는 면이 있다.

시설건설에 관계된 규제에 대해서 토지이용조정의 관점과 지역의 반대에 의해 입지가 어려운 문제 등을 염두에 두면서 바이오매스 변환시설의 원활한 건설을 검토해야 한다. 또, 바이오매스의 변환에 관계된 여러 시책에 대해서도 바이오매스의 변환 및 이용을 촉진하는 관점에서 충분히 검토하고 필요에 따라 고쳐야 한다.

나. 구체적인 행동계획

- 비슷한 성상을 가진 바이오매스를 처리하는 폐기물처리시설의 설치의

허가취득절차의 합리화에 대해서 검토한다. <2002년도 착수, 2003년도 달성> (환경성)

- 인정구조개혁특별구역에서 사용한 물품 또는 부산물을 재생자원으로서 이용하고 주류 원료로서 부정사용할 염려가 없는 것으로 제조되는 알코올에 대해서는 알코올사업법에 기초한 유통관리 등에 관계된 규정을 적용하도록 한다. <2003년도 착수> (경제산업성)
- 부패성, 휘발성을 가지지 않고 성상이 변화하기 어려워 생활환경보전의 문제가 없는 폐기물 바이오매스는 재생기술의 진전에 따라 재생이용인정제도의 확충을 포함하여 재생에 관계된 절차의 합리화를 검토한다. <2003년도부터 계속 검토> (환경성)

3.4. 바이오매스 변환후의 이용에 관한 전략

3.4.1. 이용 수요의 창출, 확대

가. 기본방향

바이오매스의 변환후 에너지와 제품은 충분한 이용수요가 있는 것이 중요하다.

바이오매스에 대해서는 아직 국민적 인식이 부족하므로 바이오매스 이용의 이점을 충분히 이해하고 있지 못하므로 국민적 이해를 양성하여 이용자의 필요를 높이는 것이 중요하다. 이를 위해서 실용화단계의 위험부담을 경감하기 위한 공공기관의 솔선도입과 지역 열공급 시스템에 의한 자가 이용 등 에너지이용의 확대가 효과적이다.

또, 바이오매스의 변환후 이용 수요의 확대를 위해 지구 온난화대책추진대강에 기초하여 제2단계를 향한 대책·시책의 진척상황·배출상황 등을 평가하고 필요한 추가적 대책·시책을 강구해 가는 단계적 접근으로 대응한다. 그리고 조세, 과징금 등의 경제적 수단을 다양한 장에서 종합적으로 검토하며 정책혼합 활용의 사고방식에 따라 바이오매스의 변환후 이용 수요의 확

대관점을 검토한다.

바이오매스의 변환후 제품의 품질과 안전성을 확보하는 것이 제품 유통의 전제이고, 이러한 관점에서 제품의 평가를 행하며 필요에 따라 이용자가 안심하고 이용, 선택할 수 있도록 제품의 품질평가, 규격화, 직별 수법의 도입 등을 검토하는 것이 중요하다.

그리고 농용지의 퇴비 투여 가능량의 제시 등 바이오매스의 이활용에 관한 수요를 파악, 제시하여 공급 측의 참고가 되도록 하여 이용의 촉진을 도모하는 것이 필요하다.

나. 구체적인 행동계획

- 생분해성 플라스틱 및 식물원료 유래 플라스틱의 그린구입법에 의한 특정조달품목으로 취급하는 것을 검토한다. <실시중> (농림수산성, 경제산업성, 환경성) 이와 함께, BT관련제품(생분해성 플라스틱 등)의 환경부하에 대해서 원재료의 제조부터 제품의 폐기까지 전과정의 에너지 사용과 온난화에 미치는 영향, 순환형사회 시스템에 미치는 영향, 유해물질의 배출에 의한 영향, 생태계에 미치는 영향 등 다양한 관점에서 검토하고 환경부하 저감에 기여하는 제품에 대해서는 그린구입을 추진하여 보급 촉진을 도모한다. <실시중> (환경성)
- 환경친화형 바이오매스유래의 플라스틱을 그린구입법에 기초하여 조달방침에 추가하고 솔선해서 구입한다. <2003년도 착수> (농림수산성)
- 전기사업자에 의한 신에너지 등의 이용에 관한 특별조치법에서 바이오매스 발전에 의한 전기가 다른 신에너지와 동일하게 취급되도록 함과 동시에 본법의 대상이 되는 바이오매스 발전설비의 인정을 원활히 추진한다. <2002년도 착수> (농림수산성, 경제산업성, 국토교통성, 환경성)
- 퇴비 등 바이오매스의 변환후 제품에 대해서 안전성과 효과를 평가하고 공급 측의 참고가 되는 토양조건에 관한 데이터를 축적하기 위한 조사를 행한다. <2002년도 착수> (농림수산성)
- 목질계 폐재·미이용재는 가정과 공용시설 등에서 에너지 이용을 추진

한다. <2002년도 착수> (농림수산성)

- 바이오매스 유래의 플라스틱은 농림수산성의 식당에서 도입 실시한다. 또, 그 직별수법을 검토하고 농업용 멀칭필름의 이용을 모델로 실증하는 방안을 지원한다. <2003년도 착수> (농림수산성)

3.4.2. 농림어업, 농산어촌의 활성화

가. 기본방향

농림어업은 본래 자연순환 기능을 가지며, 그 유지증진을 바이오매스의 유효활용을 통해 도모할 필요가 있고 바이오매스의 대부분이 농산촌에서 발생하여 그 이용의 상당 부분을 농산어촌이 맡고 있다. 그러므로 농림어업, 농산어촌은 바이오매스의 이활용에 중요한 역할을 수행하는 것이 기대된다. 농림어업, 농산어촌을 바이오매스 생산, 이용의 장으로서 전개하고 그 활성화를 도모하는 것이 가능하다. 이 경우 건전한 물 환경을 보전하는 관점에서 질소가 과잉한 지역에서는 지역 간의 제품이동과 탄화, 에너지화 등 다양한 이활용을 검토할 필요가 있다.

이 때문에 농산어촌의 지역 특성에 따라 질소의 유효활용 등 바이오매스의 이활용을 원활히 추진하고 도시에서 발생하는 식품폐기물로 제조한 퇴비를 이용하여 재배한 유기농산물을 도시의 슈퍼에서 판매하는 것 등을 통해 도시와 농산어촌의 공생・교류를 촉진하는 것도 필요하다. 또, 시설원예, 축사 등에 에너지 공급, 목재건조 열원으로서의 이용, 농업자재 등으로서 바이오매스 이활용 등 농림어업과의 연대를 추진하는 것도 중요하다.

그리고 토양중 탄소의 축적과 비료성분의 유효이용, 바이오매스의 지속적 생산을 확보하는 관점에서 퇴비 투입에 의한 흙만들기를 적절히 행하는 지속형 농업을 추진하는 것이 중요하다.

나. 구체적인 행동계획

- 퇴비 등을 도입한 흙만들기를 통해서 환경보전형 농업을 추진한다. <실

시중> (농림수산성)

- 농업용 시설전원, 농업자재, 수산기반, 목재건조용 열원 등 바이오매스 에너지 및 제품의 농림어업에서의 이용을 촉진한다. <2002년도 착수> (농림수산성)
- 농업현장에서 바이오매스 제품을 이용하도록 기술지도 등 보급활동을 행한다. <2002년도 착수> (농림수산성)

3.4.3. 이용에 필요한 환경의 정비

가. 기본방향

바이오매스를 변환해서 새롭게 에너지 및 제품으로 이용하는 경우 기존 시스템에 큰 혼란을 초래하지 않고 원활한 도입을 도모할 수 있도록 계획적으로 추진하는 것이 중요하다. 이때, 경제면, 에너지면 및 환경면의 수지를 고려하고 필요한 설비도 계획적으로 정비하는 것이 필요하다.

특히, 해외에서 이미 실용화되고 있는 것처럼 현재 화석자원에 의존하고 있는 자동차연료에서 바이오매스 연료를 이용하는 것은 지구 온난화방지, 순환형 사회형성 등의 관점에서 효과적이다. 그러나 한편으로 안전성, 공급안정성, 경제성, 환경 영향 등의 문제가 있으므로 그 영향에 대해서 일본의 사정에 근거하여 적절히 평가하고 국가가 주도해서 그 도입일정을 알기 쉽게 제시하면서 계획적으로 이용에 필요한 환경을 정비해야 한다.

또, '넓고, 얇게' 존재하는 바이오매스의 특성을 살리기 위해서는 지역에서 효율적으로 에너지로서 이용할 수 있는 지역분산형의 이용 시스템을 개발해서 그 원활한 도입을 촉진하는 것이 필요하다. 이때 에너지 효율의 향상을 위해 일본에서는 보급되지 않은 열이용의 도입을 촉진하는 것이 필요하다.

나. 구체적인 행동계획

- 분산형 전원을 활용한 전력 공급을 현행 이상으로 용이화해 가는 방향으로 현행 전기사업제도를 검토해서 조속히 결론을 얻는다. <2002년도

착수> (경제산업성)

- 구조개혁특별구역내의 전기 공급자와 수요자와의 관계에서 대체조치에 의해 수요자 보호가 필요 없다면, 자본관계 · 인적관계 · 생산공정 관계에 관계없이 특정공급제도를 활용하는 방향으로 대응한다. <2003년도 착수> (경제산업성)
- 식품폐기물로 제조하는 바이오 디젤연료 등의 품질평가, 안전 · 환경성 평가, 자동차의 주행실험 등을 행한다. <2002년도 착수> (농림수산성, 경제산업성, 국토교통성, 환경성)
- 바이오매스 자동차연료의 원활한 도입을 위해 폭넓게 의견을 모으면서 관계부처가 일체가 되어 규격화, 공급체제의 정비 등의 도입일정을 검토하기 위해 그 전제로서 바이오매스 자동차연료도입의 장단점에 대해서 일본 사정에 근거하여 평가한다. <2003년도 착수> (농림수산성, 경제산업성, 국토교통성, 환경성)
- 바이오매스 자동차연료의 안전성 확인, 품질평가 등을 위해 일정 이용 시스템의 실증 등을 행한다. <2003년도 착수> (농림수산성, 경제산업성, 환경성)
- 지역에서 바이오매스 열이용의 촉진을 위한 도입방법을 검토한다. <2003년도 착수> (농림수산성)
- 바이오매스 플라스틱 등 공업용 원료제품에 관한 경제성 검증, 시험제작, 품질평가, 공급체제의 방법을 검토한다. <2003년도 착수> (농림수산성)

C2005-30 / 2005. 10

목질 바이오매스 열에너지 개발의 경제성 분석과
에너지용 산림폐재의 지속적 확보방안

등 록 제6-0007호 (1979. 5. 25)
인 쇄 2005. 10
발 행 2005. 10.
발행인 최정섭
발행처 한국농촌경제연구원
130-710 서울특별시 동대문구 회기동 4-102
전화 02-3299-4000 팩시밀리 02-959-6110 http://www.krei.re.kr
인쇄처 동양문화인쇄포럼 전화 02-2242-7120 팩시밀리 02-2213-2247
E-mail: dongyp@chol.com

- 이 책에 실린 내용은 출처를 명시하면 자유롭게 인용할 수 있습니다. 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.
- 이 연구는 본연구원의 공식견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.