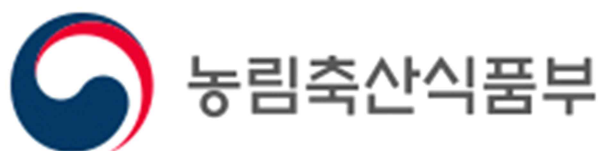


발 간 등 록 번 호

11-1543000-002952-01

농업 바이오매스 활성화 방안 연구

2019. 12.



제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 「농업 바이오매스 활성화 방안 연구」의 최종보고서로 제출합니다.

2019년 12월

연구기관명 : 재 단 법 인 녹 색 에 너 지 연 구 원

연구책임자 : 김 태 영 선 임 연 구 원

연구참여자 : 김 근 호 선 임 연 구 원

김 우 람 주 임

요약문

1. 연구 추진 배경

- 기후변화협약에 따라 우리나라는 2030년 배출전망치 대비 온실가스 감축 목표비율은 37%이며 이 중 농축산 부문에서 온실가스 감축 목표량은 1.6백만 CO₂e톤임
- 장기적으로 신재생에너지가 온실가스 감축에 크게 기여할 것으로 전망되고 있음
- 정부의 신재생에너지 보급 계획에 의해 2030년까지 신재생에너지 비율 20% 달성을 목표로 하고 있으며 이 중 바이오에너지는 2030년까지 1GW 신규 추가 필요
 - 바이오에너지 목표: ('17) 2.3GW → ('30) 3.3GW
- 도농격차, 고령화 등으로 인한 농업 관련 산업 활성화 필요

2. 연구 목적

- 농업 바이오매스 현황 및 이용실태조사를 통한 활성화 방안 제시
- 미이용 농업 바이오매스(농산 부산물 등) 에너지화 방안 마련 및 에너지화 잠재력 높은 농업 바이오매스(비식량 에너지작물 등) 에너지 활용 가능성 분석을 위한 바이오에너지 기술 수준과 경제성 분석, 산업 현황과 정책 현황 검토
- 농업 바이오매스 활성화를 위한 기술적·제도적·정책적 지원 방안 도출 및 사업모델 제안

3. 주요 연구 결과

□ 농업 바이오매스 현황 및 이용실태조사

- 현재까지 농업바이오매스 중 농업 작물의 재배면적, 생산량, 10a당 생산량은 매년 통계 집계되고 있으나 농산 부산물에 대한 관리 관련 법률이 없어 공식적인 조사가 이루어지지 않아 통계자료가 부재한 실정

- 농업 바이오매스는 농업 작물, 농산 부산물로 분류 가능하며 원료 성질에 따라 초본계, 목질계로 분류할 수 있음
- 농산 부산물은 사료, 퇴비, 토양 환원, 피복용으로 활용되며 소각 및 방치되는 비율이 높아 환경적 문제해결 및 경제적 효과를 위해서 에너지형태로 이용하는 것이 바람직할 것임(과수전정가지의 경우 41% 이상 소각 및 방치됨)
- 농업 작물은 대부분 식량원으로 이용, 케나프는 국내에서 사료 등의 이용 목적으로 재배
- 농업 바이오매스로 후보 탐색을 위한 이론적 부존량을 분석해보면 벧짚, 왕겨, 고추 줄기, 사과전정가지가 농업 바이오매스로써 이용가능성이 있으며 재배면적 당 생산량 측면에서 비식량 에너지작물로 활용 가능한 케나프가 타 농업 바이오매스의 비해 5~130배 높아 수집 시 경제적인 측면에서 운송비 절감 등의 긍정적 영향을 미칠 수 있을 것으로 보이며 역시도 활용가능성이 높음
- 지역별로 주된 농작물의 생산량 차이가 있었으며 이 때 발생하는 부산물을 각 지역별로 활용할 수 있는 방법 모색이 필요
 - 고추는 경상남도에서 48%를 생산하며 사과는 경상북도에서 66%를 생산

□ 농업 바이오매스 에너지 활용 가능성 분석

- 조사된 농업 바이오매스 26개 항목(벧짚, 왕겨, 과수전정가지 등)의 이론적 에너지 잠재량은 원자력 발전소 1기를 운영할 수 있는 수준이며 펠릿과 같은 고체연료 전환시 2018년 기준 목재펠릿 전체 공급량을 충당할 수 있는 수준
 - 농업 바이오매스를 고체연료형태의 에너지 환산기준 1,471,722toe이며 이는 원자력 발전소 에너지수급량 233,901,000toe의 6.3%
- 이 중 높은 생산량을 지닌 벧짚, 왕겨, 고추줄기, 사과전정가지를 모두 펠릿으로 전환한다고 가정한다면 에너지기준으로 572,467~1,081,006ton의 목재펠릿에 해당되는 양이며 이는 2018년 기준 목재펠릿 공급량 3,200,190ton의 17.8~33.8%를 대체할 수 있는 양임
- 벧짚, 왕겨, 고추줄기, 사과전정가지의 가용에너지잠재량은 1.4~2.6백만 tCO₂eq의 감축 효과가 있는 것으로 분석되었으며 이는 2030년 농축산 부문 온실가스 감축

목표량 1.6백만 톤을 충족할 수 있는 양(국가 온실가스 감축 목표량 314.8백만 톤의 0.4~0.8%)

- 농업 바이오매스를 바이오에너지로 전환할 수 있는 기술은 크게 고체 연료화(에그로펠릿, 에그로칩), 바이오에탄올 생산으로 나뉘며 농업 바이오매스로부터 고체연료화 기술은 상용화 가능한 수준이나 바이오에탄올은 실증연구 중임
- 농업 바이오매스 고체연료 제조시설과 농업 바이오매스 고체연료 사용 발전시설의 경제성 분석을 실시한 결과 농업 바이오매스를 이용한 고체연료(에그로펠릿) 제조 시설의 경우 경제성 확보 가능하나 에그로펠릿을 연료로 이용한 바이오매스 발전 시설의 경우 현재 목재펠릿 판매단가(약 30만원/톤)와 REC 0.5 적용 시 경제성 미 확보
 - REC 1.7~2.0 부여 시 경제성이 확보 가능
 - 펠릿 판매비용이 12만원/톤 미만일 경우 경제성 확보 가능
- 농업 바이오매스의 바이오에탄올의 경제성은 효소 가격에 결정짓는데 현재는 비싼 효소 가격으로 경제성이 없어 장기적인 접근이 필요
- 농업 바이오매스 에너지화에 따른 온실가스 감축, 높은 인력창출효과, 목재펠릿과 함께 바이오매스 분산발전 도입 가능 등의 긍정적 영향이 있지만 정책적 지원 없이는 경제성이 미확보 되며 수거·운송 체계 부재, 환경오염발생 물질 제거 기술 필요, 연소에 따른 환경적 문제 발생, REC 부여 시 수입산 사용에 대한 대처 방안 부재, 태양광과 같은 재생에너지원에 비해 재배면적당 낮은 에너지생산량, 공급안정성 부족, 장기 저장장치 필요 등의 우려사항이 존재
- 농업 바이오매스의 에너지화는 단순히 경제적인 측면을 고려하지 않고 방치, 소각에 따른 환경오염문제, 이산화탄소 감축 등의 간접적인 효과를 얻을 수 있는 형태로 접근하여 부가적인 경제적 효과를 누릴 수 있는 개념으로 관련된 정책 등의 사업을 진행할 필요가 있을 것으로 사료

□ 농업 바이오매스 활성화를 위한 지원 방안

- 농업 바이오매스 에너지화를 위해서 국내 환경에 적합한 농업 바이오매스 활용 바이오에너지 육성 정책, 미이용 및 신규 바이오매스 자원 활용 지원이 필요하여 다음과 같은 지원 방안이 모색되어야 함

1) 기술적 지원

- 고체연료화에 따른 질소, 회분 제거 기술적 지원 및 농업 바이오매스 특성에 맞는 기초 연구개발 필요

2) 정책적 지원

- 농업 바이오매스 분류 기준안 마련
- 농업 바이오매스 에너지 활성화 인센티브 지원
 - REC 도입 방안
 - 법령개정
 - 농업 바이오매스의 바이오에너지 설비 포함 지침 필요
 - 농업 바이오매스 고체연료 품질 기준 마련

○ 제시된 기술적, 정책적 지원 하에 농업 바이오매스 활성화를 위한 사업모델을 다음과 같이 제안함

- 대규모 농업 바이오매스 발생 지역에 대한 수거·유통 및 에너지화 지원 사업(비식량 에너지작물 및 재배면적당 생산량이 높은 농업 바이오매스 활용)
- 소규모 농업 바이오매스 발생 지역에 대한 수거 및 유통 지원 사업(과수 전정가지와 같은 미이용 농산 부산물 활용)
- 농업 바이오매스 에너지화에 따른 온실가스 감축 연계 사업

<목 차>

요약	I
제1장 서론	1
제1절 연구배경 및 목적	1
제2절 연구내용 및 수행체계	4
제2장 농업 바이오매스 현황 및 이용실태 조사	7
제1절 바이오매스 정의 및 분류	7
1. 바이오매스 정의	7
2. 바이오매스 분류	10
제2절 농업 바이오매스 발생	14
1. 농업 바이오매스 발생량 분석	14
2. 연도별 농업 바이오매스 발생량 및 재배면적	19
3. 지역별 주용 농업 바이오매스 자원 발생량 분포	22
제3절 농업바이오매스 이용 실태 분석	24
1. 농산 부산물 바이오매스 이용 현황	24
2. 농업 작물 바이오매스 이용 현황	33
제4절 농업바이오매스 이용 문제점 및 시사점	35
1. 문제점	35
2. 시사점	38
제3장 농업 바이오매스 에너지화 가능성 분석	39
제1절 바이오에너지 구분 및 기술 소개	39
1. 바이오에너지 구분	39
2. 바이오매스 전환 기술 및 연구 범위	46
제2절 농업 바이오매스 에너지잠재량 분석	49

제3절 농업 바이오에너지 기술 및 동향	54
1. 농업 바이오매스 바이오에너지화 기술 수준 분석	54
2. 국내외 바이오에너지 산업 현황	67
제4절 농업 바이오에너지 가격경쟁력 비교	80
1. 농업 바이오매스 고형연료화 가격경쟁력	81
2. 농업부산물 바이오에탄올 가격경쟁력	95
3. 경제성 분석에 따른 시사점	97
제5절 농업 바이오매스 에너지화에 따른 영향 및 평가	98
1. 농업 바이오매스 에너지화에 따른 영향	98
2. 농업 바이오매스 에너지화에 따른 우려사항	100
3. 농업 바이오매스 에너지화 가능성 평가	102
제4장 농업 바이오매스 정책/제도 현황 및 시사점	105
제1절 국내외 바이오에너지 관련 정책 및 사례	105
1. 국내 바이오매스 관련 정책/제도 현황	108
2. 국외 바이오매스 관련 정책/제도 현황	117
제2절 시사점	130
제5장 농업 바이오매스 활성화 추진 전략	133
제1절 농업 바이오매스 활성화를 위한 정책 및 지원 방안	133
1. 기술상 지원 방안	133
2. 정책상 지원 방안	134
제2절 농업 바이오매스 활성화를 위한 사업 모델	155
1. 농업 바이오매스 수거 및 유통 방안	155
2. 농업 바이오매스 생산을 통한 온실가스 감축 연계 방안	162
제6장 결론	163
참고문헌	166

<표 목 차>

제2장

<표 2-1> 행정 규칙에 언급된 바이오매스 정의	8
<표 2-2> 바이오매스로 취급되는 항목	8
<표 2-3> 기관별 바이오매스 정의 내용	9
<표 2-4> 기관별 바이오매스 분류 사례	11
<표 2-5> 농업 바이오매스 분류 항목	12
<표 2-6> 본 연구에서의 농업 바이오매스 분류	13
<표 2-7> 농업 바이오매스 이론적 부존량 산출 기준	15
<표 2-8> 농업 바이오매스 작물별 재배면적, 생산량과 부산물의 이론적 부존량	17
<표 2-9> 농업 바이오매스 에너지 작물 재배면적, 생산량, 이론적 부존량 추정치 비교	18
<표 2-10> 농업 바이오매스 종류별 이용용도 분석	25
<표 2-11> 농산 부산물의 활용 처리 기술별 비교	28
<표 2-12> 사료용 농업 부산물 종류 및 활용사례	29
<표 2-13> 퇴비, 토양환원 및 피복 농업 부산물 종류 및 활용사례	30
<표 2-14> 에너지화 용도 및 활용사례	31
<표 2-15> 왕겨 용도 및 활용사례	32
<표 2-16> 케나프 구성성분에 따른 활용 내용	33
<표 2-17> 농업 바이오매스의 관리	35
<표 2-18> 계절별 농작물의 수확 가능 시기	37

제3장

<표 3-1> 바이오에너지 등의 기준 및 범위	40
<표 3-2> 주요 바이오 에너지의 종류 및 용도	41
<표 3-3> 통계체계에 따른 바이오 에너지원의 분류	43
<표 3-4> 공급인증서(REC) 가중치 개정 사항 반영된 바이오 에너지 분류	43
<표 3-5> 연료형태와 수요 공급에 따른 바이오매스 종류	45

<표 3-6> 바이오매스 이용 바이오에너지 전환/활용기술	46
<표 3-7> 바이오매스 이용 바이오에너지 기술 수준 및 연구대상	48
<표 3-8> 농업 바이오매스 발생량 및 에너지 잠재량 산출 기준	49
<표 3-9> 주요 농업 바이오매스의 고체연료화(펠릿) 가채잠재량 추정	51
<표 3-10> 주요 농업 부산물로부터 연간 바이오에탄올 가채잠재량 추정치	52
<표 3-11> 주요 농업 바이오매스의 고체연료화(펠릿) 가용잠재량 추정	53
<표 3-12> 목재펠릿과 농산 부산물 펠릿의 원소 분석 비교	58
<표 3-13> 주요 농산 부산물의 화학적 성상 특성	59
<표 3-14> 케나프, 며, 목재(소나무)의 단위면적 당 수량, 에너지양 비교	61
<표 3-15> 우드펠릿, PKS, 케나프 펠릿 성분 및 이용성 비교	63
<표 3-16> 연도별 바이오에너지 생산량	67
<표 3-17> 바이오에너지 관련 기업체수 현황	69
<표 3-18> 바이오에너지 관련 산업 내 국내 업체 현황	70
<표 3-19> 기존 발전소 목재펠릿 발전 현황	71
<표 3-20> 신설 발전소 목재펠릿 발전 현황	72
<표 3-21> 기존 발전소 목재칩 발전 현황	73
<표 3-22> 신설 발전소 목재칩 발전 현황	74
<표 3-23> 연도별(2009~2018) 목재펠릿 생산(공급)량	74
<표 3-24> 2016~2018년 목재펠릿 수입현황	75
<표 3-25> 바이오에너지 관련 산업 내 해외 업체 현황	76
<표 3-26> 베트남 내 바이오매스 에너지화 사업	79
<표 3-27> 경제성 분석 대상 시설유형	82
<표 3-28> 고체연료화(펠릿) 제조시설 경제성 항목별 산출기준	84
<표 3-29> 고체연료화(펠릿) 발전시설 경제성 항목별 산출기준	86
<표 3-30> 고체연료(펠릿) 제조시설 비용·편익 분석 결과	87
<표 3-31> 농업 바이오매스 종류에 따른 발전시설 비용·편익 분석 결과	88
<표 3-32> 경제성 분석 대상 항목 산출 기준	92
<표 3-33> 농업 바이오매스 가중치 부여 현황과 부여(안)	95
<표 3-34> 바이오에탄올 원료작물별 경제성 비교	96
<표 3-35> 케나프의 성분 분석	99
<표 3-36> 에너지원별 투자대비 고용창출 효과	100

<표 3-37> 주요 농업 바이오매스 종류별 에너지화 가능성 비교 평가	102
---	-----

제4장

<표 4-1> 신재생에너지 관련 계획 및 정책 주요 내용	107
<표 4-2> 국내 바이오매스 관련 제도	108
<표 4-3> 발전설비용량 500MW 이상 보유 사업체	110
<표 4-4> 신재생에너지 공급의무화 제도 공급의무자의 연도별 공급의무비율 및 공급의무량	110
<표 4-5> 2018년 공급의무량 현황	111
<표 4-6> 공급인증서(REC) 가중치 개정 사항 반영된 바이오 에너지 분류	113
<표 4-7> 국내 바이오에너지 관련 정책	116
<표 4-8> 시설원예용 난방기 보급 현황	117
<표 4-9> 국외 바이오매스 관련 제도	118
<표 4-10> 일본 바이오매스타운의 바이오매스 이용 현황	121
<표 4-11> 연도별 주요 일본 바이오매스 정책	122
<표 4-12> 영국 RHI 제도의 지원대상 및 보조금 지원율 (비주거용 건축물)	124
<표 4-13> 영국 RHI 제도의 지원대상 및 보조금 지원율 (주거용 건축물)	124
<표 4-14> 독일의 농업 및 바이오매스 관련 지원 프로그램	126
<표 4-15> 미국 RFS 프로그램 개요	127
<표 4-16> 브라질 에탄올 의무혼합비율 변천	128

제5장

<표 5-1> ISO 고품바이오연료 정의 및 구분	135
<표 5-2> 농업·농촌 및 식품산업 기본법 시행령 및 개정안	137
<표 5-3> 바이오에너지 관련 법, 시행령, 지침, 규칙 현황 및 개정안	138
<표 5-4> 초본계 바이오매스 REC 가중치 추가 시 현행 및 개정안(예시)	140
<표 5-5> 목재펠릿의 규격·품질기준	142
<표 5-6> 바이오 고품연료제품(Bio-SRF)의 품질기준	143
<표 5-7> 목재펠릿과 Bio-SRF의 규격·품질기준 비교	144
<표 5-8> 목재펠릿 규격·품질표의 기재방법	145
<표 5-9> ISO 17225-2의 우드펠릿 품질기준	148

<표 5-10> 목재칩 분류 및 규격·품질기준	149
<표 5-11> 목재칩 분류 및 규격·품질 표시방법	150
<표 5-12> 호그의 분류 및 규격·품질 표시방법	151
<표 5-13> 바이오에너지 관련 법령 및 담당 부처	153
<표 5-14> 관계정부부처의 법제도 관련 제정 및 추가 사항(안)	154
<표 5-15> 농업 바이오매스 소규모 생산단지 사업 주체 및 역할	158
<표 5-16> 간척지 지구별, 용도별 토지이용계획 총괄표	159
<표 5-17> 농업 바이오매스 대규모 생산단지 사업 주체 및 역할	161

<그림 목 차>

제2장

<그림 2-1> 바이오매스의 종류 및 분류	10
<그림 2-2> 2018년 농업부산물 발생량 비율	18
<그림 2-3> 연도별 농작물 재배면적 및 생산량	20
<그림 2-4> 2018년 지역별 주요 농작물 발생량 비율	23
<그림 2-5> 농업 바이오매스 재이용, 이용도, 수요자에 따른 흐름도	24
<그림 2-6> 벧짚, 왕겨 및 보리짚의 활용 형태별 비율	27
<그림 2-7> 과수 전정가지의 활용 형태별 비율	27
<그림 2-8> 농업 주요 바이오매스자원 소각하는 원인별 분포	32
<그림 2-9> 케나프 작물과 바이오에너지작물센터에 재배되고 있는 거대억새 작물	34

제3장

<그림 3-1> 펠릿 생산 다이	54
<그림 3-2> 농산 부산물 바이오매스 펠릿	56
<그림 3-3> 펠릿 난방기 기계실 위치 및 설치 모습	57
<그림 3-4> 거대억새(miscanthus) 펠릿제조용 다이와 롤러	60
<그림 3-5> 케나프 가공에 따른 펠릿, 부산물, 분말 형태	61
<그림 3-6> 바이오에탄올 생산공정	65
<그림 3-7> 신재생에너지 원별 기업체수 현황	68
<그림 3-8> 중국의 농업부산물을 이용한 열병합 발전	78
<그림 3-9> 바이오매스 발전소 플랜트의 경제성 요소	80
<그림 3-10> 주요 농업 바이오매스의 REC 증가에 따른 민감도 분석 결과	89
<그림 3-11> 연료판매가격에 따른 민감도 분석 결과	89
<그림 3-12> REC 증가에 따른 민감도 분석 결과	93
<그림 3-13> REC 평가 방식	94

제4장

<그림 4-1> 신재생에너지 공급의무화제도 절차	109
<그림 4-2> 가중치 결정기준	112
<그림 4-3> REC 발급절차	114
<그림 4-4> 일본 바이오매스타운 바이오매스 활용 기술 현황	120

제5장

<그림 5-1> 지역별(도단위) 농작물 최대생산지역과 펠릿제조공장 매칭	156
<그림 5-2> 사과 최대생산지역과 펠릿제조공장 매칭	157
<그림 5-3> 농산부산물(과수 전정가지 등) 수거시스템	158
<그림 5-4> 간척지 토지이용계획도에 따른 바이오매스 생산단지 후보지	161

제1장

서론

제1절 연구배경 및 목적

1. 연구 배경

□ 기후변화협약에 따른 온실가스 감축 목표 설정 및 신재생에너지 필요

○ 2020년 만료 예정인 교토의정서를 대체, 2021년 1월부터 적용될 기후변화 대응을 담은 '파리기후변화협약'은 2016년 11월 발효¹⁾

- 파리협정은 선진국에만 온실가스 감축 의무를 부여했던 교토의정서와 달리 195개 당사국 모두에게 구속력 있는 보편적 첫 기후합의로써 장기목표로 산업화 이전 대비 지구 평균온도 상승을 '2°C보다 상당히 낮은 수준으로 유지'키로 하고, '1.5°C 이하로 제한하기 위한 노력을 추구'하기로 함

- 중국, 인도, 러시아, 일본, 유럽연합(EU) 등 주요배출국들은 오는 2030년까지 온실가스 배출량을 25~65%까지 감축하겠다고 공언

○ 우리나라는 2030년 배출전망치(BAU)²⁾ 대비 온실가스 37%를 줄이겠다는 내용의 감축 목표를 2015년 6월에 제출

- 2030년까지 농축산 부문에서의 온실가스 감축 목표량은 2030년 1.6백만 CO₂e톤 (30년 농축산부문 BAU 20.7백만 톤 대비 7.9% 감축 목표)

1) 에너지경제연구원(2017), 세계 에너지시장 인사이트 제17-12호

2) 특별한 감축 노력을 하지 않을 경우 예상되는 미래의 배출량

- 이러한 온실가스 감축을 위해서는 기존의 화석연료를 대체할 만한 대표적인 에너지원으로 손꼽히는 신·재생에너지³⁾ 개발·보급이 필수적인 요건임⁴⁾
- 국제에너지기구(IEA)에서는 장기(2050년) 온실가스 감축 잠재량에서도 신재생에너지, 에너지효율 개선, 발전부문이 가장 크게 기여할 것으로 예상한다고 전망하며 권고사항으로 지속가능한 바이오에너지를 위한 정책 보완이 필요하다고 강조⁵⁾
 - 신·재생에너지는 특정지역에만 분포하고 자원의 양이 한정된 화석연료와 달리 재생이 가능하기 때문에 고갈되지 않는 데다 오염물질이나 이산화탄소 배출량이 적어 환경문제를 유발하지 않는 장점이 있음

□ 정부의 신재생에너지 보급 계획

- 2017년 산업통상자원부에서는 신재생에너지 공급비율의 과속화를 위하여 「재생에너지 3020 이행계획」을 발표 2030년까지 신재생에너지 비율 20% 달성 계획 수립
 - 신·재생에너지의 종류는 신에너지로 수소에너지, 연료전지, 석탄을 액화·가스화한 에너지 및 중질잔사유를 가스화한 에너지가 있고 재생에너지로 태양에너지, 풍력, 수력, 해양에너지, 지열에너지, 폐기물에너지, 그리고 생물자원을 변환시켜 이용하는 바이오에너지가 있음
- 바이오에너지 공급 목표 '17년 2.3GW → '30년 3.3GW로 1GW 신규추가 계획

□ 국내 미이용 바이오매스 활용과 신규 바이오매스 발굴이 필요

- 이산화탄소 감축 문제와 바이오에너지 보급 계획을 달성하기 위해서 국내에 잠재되어 있는 농업 분야 미이용 바이오매스의 활용을 고려해 볼 필요가 있음
- 미이용 바이오매스 중 농작물 및 농업부산물과 같이 잠재량은 높으나 에너지화 비율이 낮은 이유를 찾아 활용을 증진시킬 수 있는 방안이 마련 필요
- 또한, 농업 바이오매스 중 재배면적당 생산량이 높은 신규 작물을 바이오에너지원으로 사용 가능성에 대한 검토 필요

3) '신·재생에너지'는 신에너지와 재생에너지의 합성어로 기존의 화석연료를 재활용하거나 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지를 의미한다.

4) IRENA(2017), Renewable energy statistics 2017

5) 국제에너지기구 IEA, 에너지기술전망 2017

□ 국내 작물 및 농업부산물 바이오매스 활용 방안 도출

- 현재 농업 바이오매스의 재생에너지활용에 관한 지원은 부재한 상태로 국내 에너지작물 및 농업 부산물 바이오매스를 활성화 할 수 있는 방안과 이에 따른 정책지원방안 도출 필요한 시점임
- 농촌지역의 경제·사회·환경적 측면에서 바이오매스의 이용확대에 크게 기여할 수 있음

2. 연구 목적

- 농업 바이오매스 활성화를 위한 농업 바이오매스의 이용실태, 활용 기술, 정책 현황 검토
- 미이용 농업 바이오매스 에너지화 방안 마련 및 에너지화 잠재력 높은 농업 바이오매스 에너지화 가능성 검토
- 농업 바이오매스 활성화를 위한 제도·정책·기술적 지원 방안 도출

제2절 연구내용 및 수행체계

1. 연구 수행 방법

- 농업 바이오매스의 바이오에너지 활용가능성을 도출하기 위하여 농산 부산물(미곡, 맥류, 잡곡, 과수전정가지 등)와 에너지작물(케나프, 억새)을 대상으로 조사
- 자료의 수집은 보고서와 논문을 통한 문헌조사, 통계조사 및 정책자료 등을 활용하였고, 현장적용 가능성을 평가하기 위해 관계기관 전문가 및 관련 산업계 종사자와의 인터뷰를 진행
- 외부전문가와 자문회의를 거쳐 주요 연구 내용 및 쟁점에 대해 관련 전문가 및 이해관계자 의견을 수렴

2. 연구 수행 내용

□ 바이오에너지 작물과 농업부산물의 활용 가능성 검토 및 기반분석

- 바이오에너지 농업작물 및 농산 부산물을 중심으로 현재 이용현황과 에너지자원으로서의 잠재량 및 기술수준 등 실효성 분석하였으며, 재배면적 당 생산량이 높은 케나프, 벧짚과 같은 초본류 바이오매스의 바이오에너지 원료로서의 사용 가능성 검토 진행
 - 농업 바이오매스의 에너지활용 가능성에 대해 검토하기 위해서 먼저 바이오에너지 정의, 기준 및 범위, 바이오에너지 형태 및 용도, 바이오에너지 분류
 - 이후 바이오매스의 에너지 전환 기술, 바이오고형연료와 바이오에탄올의 가채잠재량을 분석
 - 바이오고형연료화와 바이오에탄올의 기술 수준 분석, 국내외 활용 동향, 국내외 산업현황, 경제성 분석
- 농업 바이오매스 에너지화 시 긍정적 영향, 우려사항 검토, 에너지화 가능성 평가

□ **바이오매스 에너지화 국내외 사례와 정책적 시사점 제시**

- 농업 바이오매스 에너지화 정책 활성화 사례 및 목질계 바이오매스 등 다른 바이오매스 에너지원 관련 국내외 정책 방향 검토 및 시사점 제시

□ **농업분야 바이오매스 활성화를 위한 정책 방안 및 지원 체계 제안**

- 농업 바이오매스 이용 관련 법령 및 제도 검토 및 활성화를 위한 개선 방안 제안을 하였으며 현재 산업기반을 고려한 국산 원료 생산 가능성 등의 분석을 통해 농업분야 바이오매스를 에너지화할 수 있는 기술적, 정책적 지원 방안과 사업 모델을 제시

제2장

바이오매스 현황 및 이용실태 조사

제1절 바이오매스 정의 및 분류

1. 바이오매스 정의

- 바이오매스(biomass)는 에너지원과 자원으로서의 생물체를 의미하는 것으로 나무, 곡물, 식물, 가축분뇨, 농작물과 각종 음식물 쓰레기 등이 이에 해당
- 온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침에 바이오매스라 함은 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제2조제2항 바목에 따른 '재생 가능한 에너지로 변환될 수 있는 생물자원 및 생물자원을 이용해 생산한 연료를 의미한다'라고 명시(농림축산식품부, 산업통상자원부, 국토교통부, 환경부)

<표 2-1> 행정 규칙에 언급된 바이오매스 정의

바이오매스 정의	행정 규칙	비고
재생 가능한 에너지로 변환될 수 있는 생물자원 및 생물자원을 이용해 생산한 연료를 의미	온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침	[농림축산식품부고시 제2018-31호, 2018. 5. 2, 일부개정] 제2조(용어의 정의)
		[산업통상자원부고시 제2018-78호, 2018. 5. 2, 일부개정] 제2조(용어의 정의)
		[국토교통부고시 제2018-250호, 2018. 5. 2, 일부개정] 제2조(용어의 정의)
		[환경부고시 제2018-73호, 2018. 5. 2, 일부개정] 제2조(용어의 정의)
생물유기체, 유기성폐기물, 동물·식물의 유지(油脂)등으로 생물 또는 생물 기원의 모든 유기체 및 유기물	온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침	[환경부고시 제2016-255호, 2016. 12. 30, 전부개정] 별표 26 바이오매스로 취급되는 항목(제94조 제1항 관련)

자료 : 국가법령정보센터

- 「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침」 별표 16 제18조제1항에 의하면 바이오매스로 취급되는 항목은 <표 2-2>와 같음

<표 2-2> 바이오매스로 취급되는 항목

형 태	항 목
농업 작물	유채, 옥수수, 콩, 사탕수수, 고구마 등
농임산 부산물	임목 및 임목부산물, 볏짚, 왕겨, 건초, 수피 등
유기성 폐기물	폐목재, 펄프 및 제지(바이오매스 부문만 해당), 펄프 및 제지 슬러지, 흑액, 동/식물성 기름, 음식물 쓰레기, 축산 분뇨, 하수슬러지, 식물류폐기물 등
기 타	해조류, 조류, 수생식물 등

자료 : 농림축산식품부, 온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침 [시행2018.5.2. 별표 16. 제18조 제1항 관련]

- 각 정부고시, 기관별 용어집 등에서 언급한 바이오매스의 정의는 기본적으로 생물 또는 생물기원의 모든 유기체 및 유기물로부터 나온 생물유기체, 유기성폐기물, 동물·식물의 유지 등으로 원래는 '생물량'이라는 생태학적 용어였으나 현재는 에너지화할 수 있는 생물체량이란 의미로 사용되고 있음
- 각종 보고서에 바이오매스의 정의가 상이하여 법적 정의인 '재생 가능한 에너지로 변환될 수 있는 생물자원 및 생물자원을 이용해 생산한 연료'로 규정에 따르는 것이 바람직

<표 2-3> 기관별 바이오매스 정의 내용

기관(보고서)	바이오매스 정의 내용
한국에너지공단 (신재생에너지 백서)	원래 바이오매스의 뜻은 생물량 또는 생물 현존량을 나타내는 말이나 생물체 및 그의 활동에 수반되어 생기는 유기물의 총체를 의미. 그러나 최근에는 에너지, 화학공업 원료 등에 사용될 수 있는 것을 망라해서 동식물의 자원을 지칭하며 또한 이것으로 생기는 폐기물도 포함됨
한국농촌경제연구원 (바이오매스 용어집)	바이오매스란 원래 '생물량'이라는 생태학적 용어였으나 현재는 에너지화할 수 있는 생물체량이란 의미로 사용. 생태계의 순환과정 중에 관련된 모든 '유기체'를 일컬어 바이오매스라 하며 이 중에서 가장 많은 것은 식물자원. 바이오매스로부터 여러 가지 형태의 에너지를 얻을 수 있으며 이 에너지는 '재생성(renewability)'을 가지고 있음. 그 재생속도는 생물체마다 각기 다르며, 또한 계절 또는 하루를 주기로 하는 태양광의 조사량, 기후 그리고 날씨조건 등에 따라서 다름. 각 식물의 성장주기에 따라서도 다르며, 생물체의 재배조건에 따라서도 크게 달라짐. 그러나 통계학적으로는 재생 속도는 평균 1년을 주기로 한다고 보면 될 것임. 현재는 유기성 폐기물까지도 포함할 뿐만 아니라 어느 경우에는 지금까지 식량이나 유지작물 등의 개념으로 포괄하기도 하기 때문에 객관적이고 명확한 개념 정립은 어려움. 광범위한 바이오매스란 자원 이용을 목적으로 생산된 자원 식물, 농산물이나 목재, 농림잔재물이나 폐제재 및 흑액 등의 산업폐기물, 축산업에서 배출된 가축배설물, 수산업폐기물, 도시에서 나온 종이 쓰레기, 하수도 슬러지, 음식쓰레기까지 포함
국제표준기구(ISO)	바이오매스는 에너지 작물, 농작물 및 나무, 식량, 사료 및 섬유 작물 잔여물, 농업폐기물, 가공 부산물 및 기타 비 화석 유기물 등을 포함하는 식물 또는 동물 기반의 유기 물질

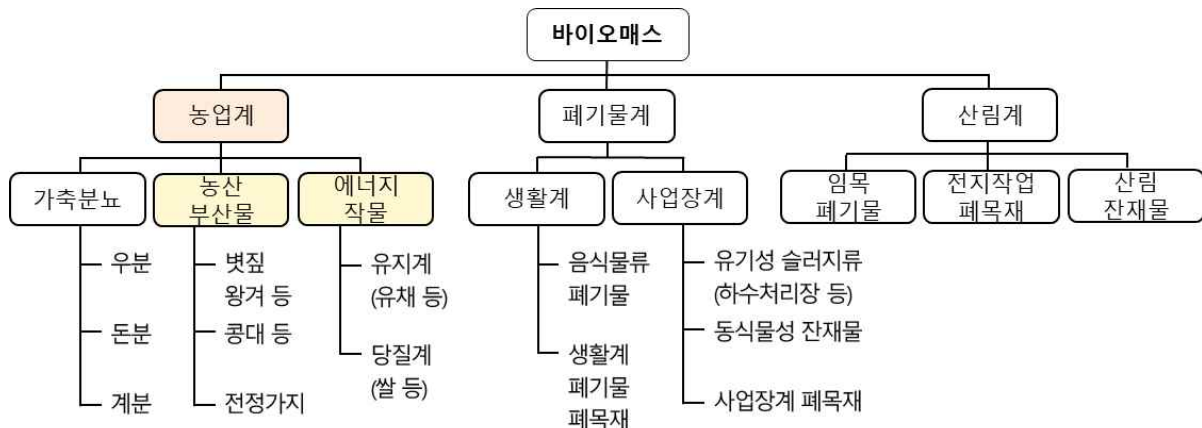
□ 농업 바이오매스의 정의

- 농업 바이오매스는 재생 가능한 에너지로 변환될 수 있는 농업 관련된 생물자원 및 그 생물자원을 이용해 생산한 연료라 정의할 수 있음
 - 농림축산식품부 「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침」에 따라 벼짚, 왕겨, 유채, 옥수수, 콩, 사탕수수, 고구마 등이 농업 바이오매스에 해당됨
 - 농업 바이오매스를 이용하여 액체연료(에탄올, 메탄올), 기체연료(수소), 고체연료(펠릿, 칩)와 같은 바이오연료(Biofuel)를 얻을 수 있으며 비료, 사료, 보드, 목탄 등의 제품을 만드는 자원으로 사용 가능⁶⁾

2. 바이오매스 분류

- 바이오매스는 <그림 2-1>과 같이 산업별로 크게 농업계, 폐기물계, 산림계로 분류 가능
 - 현재까지 바이오매스 관련 연구보고서에서의 바이오매스의 분류는 연구기관에 따라 서로 다르며 사용하는 용어도 달리하고 있으나 연구기관의 편의에 따라 분류한 것 일 뿐 실제 발생 또는 존재하는 대상 바이오매스의 종류 자체가 달라지는 것이 아니며 공통적으로 바이오매스의 분류는 크게 농업계, 축산계, 산림계, 폐기물계로 나눌 수 있음<표 2-4>

<그림 2-1> 바이오매스의 종류 및 분류



자료 : 농촌진흥청 국립농업과학원(2013), 농촌지역 유기성 자원의 농업적 이용 및 특성조사

6) 한국농촌경제연구원, 농업부문 바이오매스의 이용활성화를 위한 정책방향과 전략, 2006.

<표 2-4> 기관별 바이오매스 분류 사례

분류	한국			일본	한국축산경제연구원
	에너지관리공단	에너지기술연구원	농촌진흥청	농림수산성	
농업계	농업부산물	농업부산물	농업 부산물	농작물비식용부	1. 농산 부산물 - 벚짚 - 왕겨 - 과수 전정지 - 기타
			에너지 작물		
축산계	축산분뇨	축산분뇨	가축분뇨 (우분, 돈분, 계분)	가축배설물	2. 축산 폐기물 - 가축분뇨 - 폐사축
산림계	임산자원	폐지, 폐목재	임목폐기물	임지잔재	3. 임산 부산물 - 임목 - 벌목 잔재물 - 숲가꾸기 부산물
			전지작업 폐목재	건설발생목재	
			산림잔재물		
폐기물계	도시폐기물(생활)	음식쓰레기	생활계	제지폐수	4. 생활 및 산업 폐기물 - 음식 쓰레기 - 폐지 및 폐목재 - 슬러지(유기성오니) - 동물성 잔재물 - 폐식용유 - 어류 및 해조류 가공 폐기물
	도시폐기물(사업장)			종이	
	슬러지	슬러지	사업장계	식품폐기물	
				제재공장잔재	
				하수오니	

자료 : 농림수산물기술기획평가원(2010), '우리나라 바이오매스 이용실태에 관한 기초조사' 일부 발췌 연구진 수정 및 추가

□ 농업 바이오매스 분류 현황

- 농업바이오매스는 농림축산식품부 「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침」 별표 16 제18조제1항 바이오매스 형태 분류 기준에 따라 농업 작물(유채, 옥수수, 콩, 사탕수수, 고구마 등)과 농산 부산물(벼짚, 왕겨 등)로 분류

<표 2-5> 농업 바이오매스 분류 항목

형 태	항 목
농업 작물	유채, 옥수수, 콩, 사탕수수, 고구마 등
농산 부산물	볏짚, 왕겨, 건초 등

- 농업 작물은 <그림 2-1>과 같이 에너지 작물로 표현이 가능하며 세부적으로 성분에 따라 1) 고구마, 감자와 같은 전분질계, 2) 사탕수수, 옥수수와 같은 당질계, 3) 쌀과 같은 셀룰로스계, 4) 유채, 콩과 같은 유지계 등으로 분류할 수 있음
- 농산 부산물의 성분은 셀룰로스계로 이루어져 있으며 1) 볏짚, 왕겨와 같은 초본계와 2) 과수 전정가지와 같은 목질계로 분류할 수 있음

□ 본 연구에서의 농업 바이오매스 분류 및 범위

- 본 연구에서의 농업 바이오매스 분류 및 범위는 상기 <표 2-2>에서 언급한 바이오매스 형태에 따른 농업 작물, 농산 부산물로 나누어 분류하며 비식량 에너지 작물로서 잠재량이 높을 것으로 사료되는 케나프(Kenaf)와 억새를 농업 작물에 추가)
 - 농업작물: 벼, 밀, 보리, 콩, 팥, 녹두, 고구마, 감자, 옥수수, 메밀, 고추, 사과, 포도, 배, 복숭아, 감, 감귤, 자두, 케나프, 억새 등
 - 농산 부산물: 볏짚, 왕겨, 밀짚, 보리짚, 두류 줄기 및 깎지, 서류 줄기, 잡곡 줄기, 고추 줄기, 과수 전정가지 등
- 초본은 땅위줄기가 나무와 같은 목질로 되지 못한 풀 종류의 식물로 미곡, 맥류, 두류, 서류, 잡곡, 채소류의 농업 작물 뿐 만 아니라 부산물도 해당되며 케나프, 억새 또한 작물은 초본계로 분류되나 과수 부산물인 전정가지의 경우 목질계로 분류
 - 초본계: 농업작물(벼, 밀, 보리, 콩, 팥, 녹두, 고구마, 감자, 옥수수, 메밀, 고추, 케나프, 억새 등), 농산 부산물(볏짚, 왕겨, 밀짚, 보리짚, 두류 줄기 및 깎지, 서류 줄기, 잡곡 줄기, 고추 줄기 등)
 - 목질계: 과수 전정가지(사과, 포도, 배, 복숭아, 감, 감귤, 자두 등)
 - 단, 사과, 포도, 배, 복숭아, 감, 감귤, 자두 등과 같은 농업 작물은 과실계에 해당

7) 케나프는 전라북도 농업기술원에서 억새는 농촌진흥청 국립식량과학원에서 지속적으로 연구 수행중임

<표 2-6> 본 연구에서의 농업 바이오매스 분류

농업 작물	농산 부산물	초본계/목질계 여부
논벼, 밭벼	벼짚	초본계 ⁸⁾
	왕겨	
밀	밀짚	
보리 (겉보리, 쌀보리, 맥주보리)	보리짚	
콩, 팥, 녹두	콩 줄기, 팥 줄기, 녹두 줄기	
	콩 깻지, 팥 깻지, 녹두 깻지	
고구마, 감자	고구마 줄기, 감자 줄기	
옥수수, 메밀	옥수수 줄기, 메밀 줄기	
고추	고추 줄기	
사과, 포도, 배, 복숭아, 감, 감귤, 자두	과수 전정가지	
억새	-	초본계
양마(케나프, kenaf)	-	

8) 초본은 땅위줄기가 나무와 같은 목질로 되지 못한 풀 종류의 식물

제2절 농업 바이오매스 발생

1. 농업 바이오매스 발생량 분석

가. 분석 방법

□ 농업 바이오매스 발생량 통계 현황

- 현재까지 농업바이오매스 중 농업 작물의 재배면적, 생산량, 10a당 생산량은 매년 통계집계 처리되고 있으나 농산 부산물에 대한 관리는 관련 법률이 없어 공식적인 조사가 이루어지지 않아 통계자료가 부재한 실정
 - 농작물생산조사 자료는 농림축산식품부 '농림축산식품 주요통계 2019' 자료와 '국가통계포털'에 공개되고 있으며 조사된 농작물 품목은 미곡, 맥류, 잡곡, 두류, 서류, 참깨, 채소(과채류, 엽채류, 근채류, 조미채소), 고추, 과일, 특용작물로 10년~50년 정도의 누적된 자료가 공개되고 있음
 - 유기성 폐기물은 환경부 「폐기물 관리법」, 가축분뇨는 환경부 「가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률」, 산림 바이오매스는 산림청 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 의해 관리되고 있으나, 농산 부산물은 별도의 관리 법률이 마련되어 있지 않음
 - 농업 바이오매스 중 일부 볏짚은 가축조사료로 이용되어 농림축산식품부에서 활용 실태가 집계되고 있으며 왕겨, 쌀겨(미강)과 감귤박, 양파박은 사업장폐기물로 분류되어 환경부에서 집계하고 있으나 과수 전정가지 등 나머지 농산 부산물의 경우 발생량 등을 알 수 없음
- 비식량 에너지 작물에 속하는 케나프, 억새의 경우 재배면적, 생산량 등이 조사되고 있지 않음

□ 농업 바이오매스 이론적 부존량 산정 방법

- 2018년 기준 농작물생산조사 통계자료를 이용하여 농업 작물별 생산량에 농촌진흥청에서 집계한 부산물 발생량 환산계수를 적용하여 이론적 부존량을 산정

<표 2-7> 농업 바이오매스 이론적 부존량 산출 기준

구분		산출기준 및 정의	비고
이론적 부존량	통계원	• 2018년 기준 농작물 생산통계(재배면적, 생산량, 10a당 생산량)	‘농림축산식품부 주요통계’ ‘국가통계포털’
	대상	• 작물: 미곡(논벼, 밭벼), 맥류(밀, 걸보리, 쌀보리, 맥주보리), 두류(콩, 팥, 녹두), 서류(고구마, 감자), 잡곡(옥수수, 메밀), 채소류(고추), 과수(사과, 포도, 배, 복숭아, 감, 감귤, 자두) 21개 항목 • 부산물: 볏짚, 왕겨, 밀짚, 보리짚, 두류 줄기 및 깎지, 서류 줄기, 잡곡 줄기, 과수 전정가지 26개 항목	
	부산물 환산계수	• 농촌지역 5년(2004~2008년) 평균 총 생산량 기준으로 단위 면적당 부산물 생산량, 총 재배면적에 단위 면적당 부산물 발생비율, 시험포장 조사 결과를 바탕으로 바이오매스 환산계수를 분석 $\text{환산계수} = \frac{\text{바이오매스발생량}(kg/10a)}{5\text{년평균작물생산량}(kg/10a)}$	농촌진흥청 국립농업과학원 보고서(2013)

나. 분석 결과

□ 주요 농업 바이오매스 이론적 부존량⁹⁾

○ <표 2-8>과 같이 2018년 기준 26개 항목의 농업 바이오매스(농산 부산물)의 이론적 부존량은 7,242,388ton이며 건중량은 3,589,089ton에 해당되며 고체연료형태의 에너지로 환산하면 14,717,222Gcal 또는 1,471,722toe¹⁰⁾의 에너지 잠재량을 가진 것으로 분석됨¹¹⁾

- 1,471,722toe의 에너지 잠재량은 원자력발전소 에너지수급량 233,901,000toe¹²⁾의 6.3%(원자력 발전소 약 1기 가량의 발전량 수준)

○ 2018년 기준 농산 부산물의 경우 볏짚이 전체 이론적 부존량에 54.4%를 차지하여

9) 농림축산식품부(2014), 바이오매스 에너지화 추진전략 개발 보고서 부산물 이론적 부존량 부분 2018년 기준으로 재분석

10) TOE는 에너지의 양을 나타내는 단위로 석유환산톤(Ton of oil equivalent)이라고 하며 원유(석유) 1톤을 연소하였을 때 발생하는 열량으로 1toe=10,000,000kcal

11) 제3장에 상세히 언급

12) 산업통상자원부, 에너지경제연구원, 2018에너지통계연보

가장 높았으며, 고추줄기(9.5%), 왕겨(9.4%), 사과전정가지(8.6%), 포도 전정가지(3.8%), 고구마 줄기(3.6%), 배 전정 가지(1.8%) 순으로 집계됨<그림 2-4>

- 농산 부산물 중 벚짚(논벼), 왕겨(논벼), 고추 줄기, 사과 전정가지는 연간 60만 톤 이상의 이론적 부존량을 가지고 있으나 나머지 부산물들은 모두 30만 톤 미만의 부존량을 가지고 있었으며 이들 중 10~30만 톤을 보유한 부산물은 고구마 줄기, 포도 전정가지, 배 전정가지에 불과하였으며 나머지 부산물들은 모두 10만 톤 미만의 부존량을 보이고 있어 이론적 부존량 측면에서 벚짚, 왕겨, 고추 줄기, 사과 전정가지가 농업 바이오매스로써 이용가능성이 있음
- 에너지 작물인 케나프의 재배면적은 통계적으로 집계되지 않아 케나프 품종 보급하는 기관의 인터뷰를 통해 집계(케나프는 2018년 기준 재배면적 약 100ha로 추정¹³)하였으며 생산량은 1ha 당 최대 135톤을 생산했다는 연구 결과 보고에 따라 이론적 부존량 추정치를 산정¹⁴)
 - 케나프는 일반적으로 생체기준 평균 수확량은 70~90톤/ha/년, 건물수량기준 30~40톤/ha/년으로 알려져 있으나 2015년 농촌진흥청 연구보고서에서 작물선정 및 재배기술 개발에 따라 수확량을 79~135톤/ha/년으로 증가시킨 결과를 보고
- (거대)억새의 재배면적은 케나프와 같이 통계적으로 집계되지는 않지만 농촌진흥청 연구보고 결과 거대억새를 금강하구 옹포/용안 지구에 184ha¹⁵) 조성한 바가 있음
 - 억새는 건물수량기준 8-32톤/ha/년으로 알려짐¹⁶)

13) 종자보급양을 통한 추정(1ha당 15kg 과중), 크나프코리아 영농조합법인 등 관계자 인터뷰를 통한 종자보급양 확인

14) 농촌진흥청(2015), 새로운 사료자원인 케나프 최적생산기술 개발

15) 농촌진흥청(2014), 거대억새 1호 바이오매스 생산단지 조성에 관한 연구

16) AEBIOM(2007), European biomass statistic

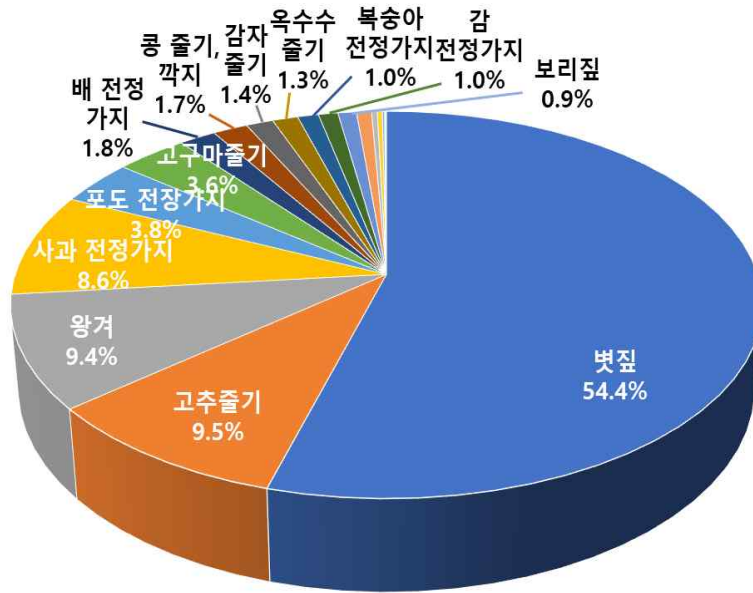
<표 2-8> 농업 바이오매스 작물별 재배면적, 생산량과 부산물의 이론적부존량(2018)

	작물별	재배면적 (ha)	생산량(ton)	10a당 생산량(kg)	부산물	환산계수	이론적부존 량(ton)
미곡 17)	논벼	737,408	3,867,415	524	벼짚	1.020	3,944,763
					왕겨	0.177	684,532
	밭벼	265	630	238	벼짚	1.062	669
					왕겨	0.236	149
맥류 18)	밀	6,600	25,788	391	밀짚	0.708	18,258
	겉보리	11,999	25,817	215	보리짚	0.589	15,206
	쌀보리	24,538	52,295	213	보리짚	0.662	34,619
	맥주보리	10,700	24,590	230	보리짚	0.690	16,967
두류	콩	50,638	89,410	177	줄기	1.000	89,410
					각지	0.417	37,284
	팥	4,775	5,640	118	줄기	1.079	6,086
					각지	0.368	2,076
	녹두	1,694	2,083	123	줄기	1.092	2,275
					각지	0.404	842
서류 19)	고구마	20,948	305,304	1,457	줄기	0.850	259,508
	감자	23,402	548,065	2,342	줄기	0.180	98,652
잡곡	옥수수	15,472	78,012	504	줄기	1.189	92,756
	메밀	2,928	2,908	99	줄기	1.278	3,716
채소류	고추	33,630	265,254	789	줄기	2.600	689,660
과수	사과	33,234	475,303	1,430	전정가지	1.316	625,499
	포도	12,795	175,399	1,371	전정가지	1.562	273,973
	배	10,303	203,166	1,972	전정가지	0.656	133,277
	복숭아	21,087	206,889	981	전정가지	0.367	75,928
	감	23,918	263,030	1,100	전정가지	0.270	71,018
	감귤	21,572	621,154	2,879	전정가지	0.088	54,662
	자두	7,266	53,794	740	전정가지	0.383	20,603
합 계							7,252,388

자료 : 농림축산식품부(2014), 바이오매스 에너지화 추진전략 개발 보고서 내용을 2018년 기준으로 연구진 재분석 및 수정

17) 백미 기준
18) 정곡 기준
19) 생서 기준

<그림 2-2> 2018년 농업부산물 발생량 비율



<표 2-9> 농업 바이오매스 에너지 작물 재배면적, 생산량, 이론적부존량 추정치 비교

작물별	재배면적 (ha)	생산량 (ton)	10a당 생산량 (kg)	이론적부존량 (ton)
케나프	100	13,500	13,500	13,500
(거대)억새 ²⁰⁾	184	3,967	2,156	2,156

자료 : 농촌진흥청(2015), 새로운 사료자원인 케나프 최적생산기술 개발, 농촌진흥청(2014), 거대억새 1호 바이오매스 생산단지 조성에 관한 연구 자료로부터 연구진 재분석

□ 단위면적 당 생산량

- <표 2-8>, <표 2-9>에서의 10a당 생산량은 케나프(13,500kg)가 가장 높았으며 감귤(2,879kg), 감자(2,342kg), 배(1,972kg), 고구마(1,457kg), 사과(1,430kg), 포도(1,371kg), 감(1,100kg), 복숭아(981kg), 고추(789kg), 자두(740kg), 논벼(524kg) 순으로 집계
- 농산물 중에서는 과수와 서류(감자, 고구마)의 10a당 생산량이 높았으며 이를 제외하고는 고추, 논벼의 10a당 생산량이 다른 작물에 비해 높음
- 케나프의 10a당 생산량은 13,500kg으로 다른 작물에 비해 5~130배 가량 차이나는

20) 농촌진흥청(2014), 거대억새 1호 바이오매스 생산단지 조성에 관한 연구 자료

높은 재배면적당 생산량은 바이오매스의 경제성 측면에서 운송비 절감 등의 단점을 보완할 수 있는 주요 지표로 판단되며 농업 바이오매스의 활성화에 대한 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단

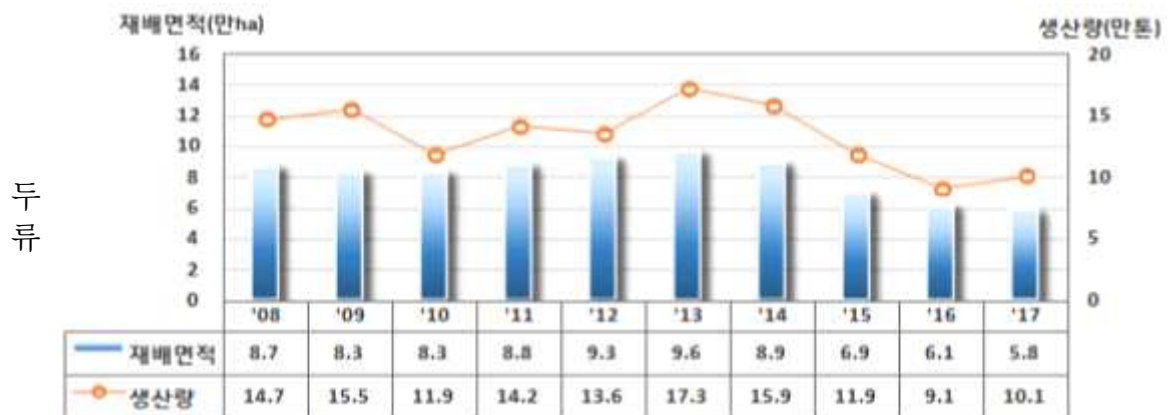
- 단, 재배면적이 추정치 약 100ha로 가장 낮은 재배면적을 나타내어 이론적 부존량 등의 수치가 낮음

2. 연도별 농업 바이오매스 발생량 및 재배면적

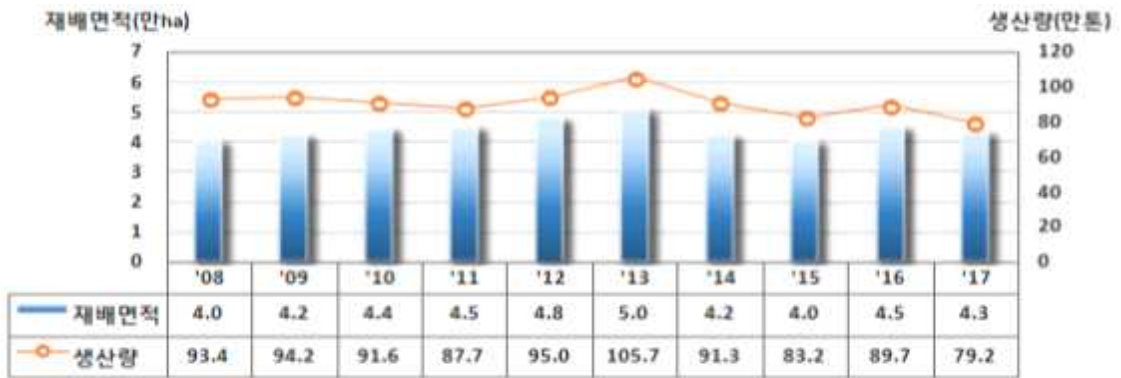
□ 연도별 작물재배면적 및 생산량 추이

- 통계청 2018년 농작물생산통계 자료에서 2008~2017년까지 연도별 농업 바이오매스의 재배면적과 생산량을 공급안정성 측면에서 추세를 확인한 결과 식량작물의 재배면적과 생산량은 감소 추세이나, 2013년 이후 생산량은 기상 여건과 재배면적 감소에 따라 2년 주기로 등락을 반복
 - 전체 식량작물은 2017년 기준 2008년 대비 재배면적은 19.7% 감소하였으며 생산량은 18.8% 감소
 - 2017년 식량작물 생산량은 446만 6천 톤으로 2016년 보다 24만 1천 톤(5.1%) 감소하였으며 2008년 대비 103만 2천 톤(18.8%) 감소
 - 2016년 대비 재배면적의 가장 큰 감소 원인은 맥류(밀, 보리)에 있으며 2016년 47,071ha에서 38,379ha로 18.5% 감소하였는데 등숙기에 일조시간 등 기상호조로 작황은 원활하였으나, 잦은 비로 인해 적정 파종시기를 놓쳐 감소
 - 생산량의 경우 서류(고구마, 감자)가 2016년 216,899톤에서 2017년 194,045톤으로 10.5% 감소하여 가장 큰 감소 원인으로 밝혀졌으며 가뭄으로 재배면적이 5.5% 감소함과 동시에 한해 피해가 겹쳤기 때문임
- 비록 전체 식량작물 재배면적과 생산량은 감소하는 추이이지만, 2013년 이후로 큰 변동은 없었고 기상여건에 따라 약간의 변동이 발생한 것으로 분석되었으며 당분간 이렇게 급격히 변하지 않는 재배면적과 생산량이 유지될 것으로 보여 앞으로 농업 바이오매스의 안정적인 공급이 유지될 것으로 판단
- 비식량 에너지 작물인 케나프와 억새는 관련 통계내용 부재로 미집계

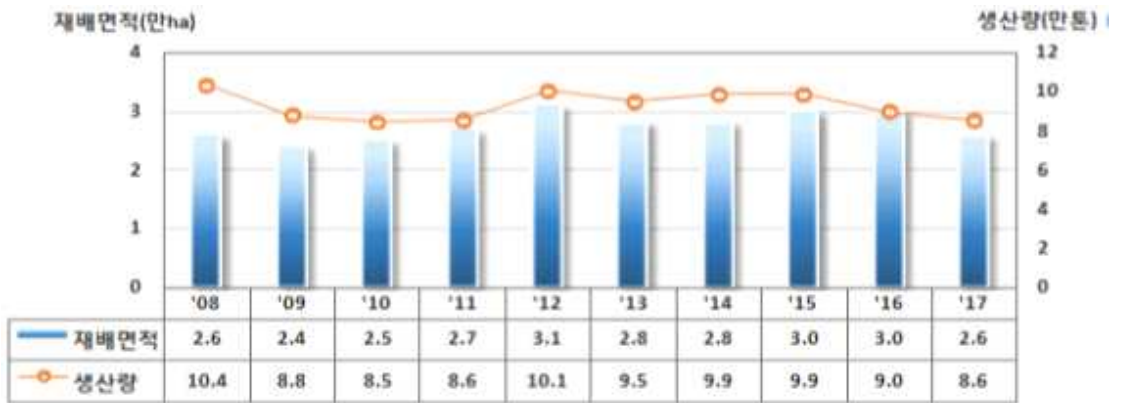
<그림 2-3> 연도별 농작물 재배면적 및 생산량



서류



잡곡



채소류



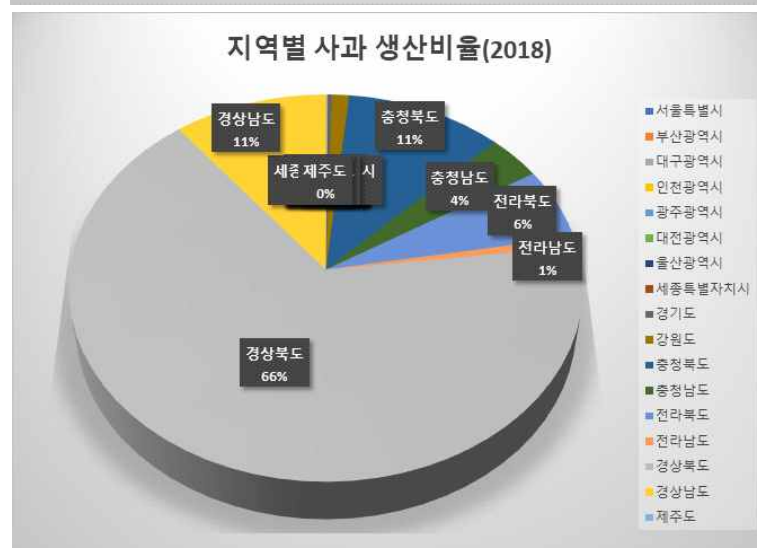
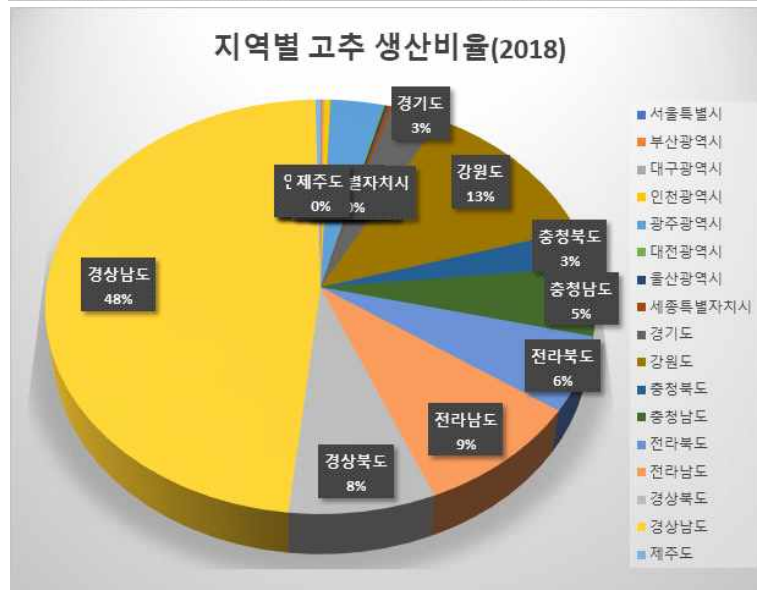
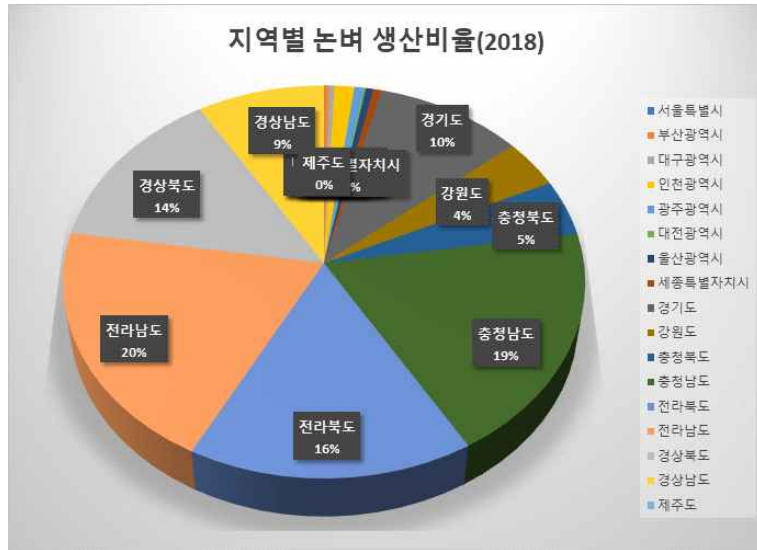
과수



3. 지역별 주요 농업 바이오매스 자원 발생량 분포

- 2018년 농림축산식품부 주요통계 자료와 국가통계포털 자료로부터 <표 2-8>에 근거하여 이론적 부존량이 높은 농업 바이오매스인 벧짚, 왕겨, 고추줄기, 사과 전정가지의 원작물인 논벼, 고추, 사과의 지역별 발생량을 <그림 2-4>와 같이 시각화함
- 지역별 농업 바이오매스의 발생량 분포를 분석한 결과 농산 부산물의 가장 높은 비율을 차지하고 있는 논벼 벧짚의 실제 총생산량은 2018년 전국기준 4,565,842톤으로 지역별로 생산량 순위는 전남이 가장 높았으며, 충남, 전북, 경북, 경기, 경남, 충북, 강원, 인천, 울산, 광주, 세종, 대구, 부산, 대전, 서울, 제주도 순으로 집계
 - 지역별 순서에 따른 발생량과 비율: 전라남도(882,267톤, 19.8%), 충청남도(817,783톤, 18.9%), 전라북도(808,189톤, 16.2%), 경상북도(604,315톤, 13.8%), 경기도(485,213톤, 10.1%), 경상남도(458,143톤, 8.7%), 충청북도(178,001톤, 4.6%), 강원도(145,626톤, 4.0%), 인천광역시(69,463톤, 1.3%), 울산광역시(27,119톤, 0.5%), 광주광역시(25,229톤), 세종특별자치시(22,568톤), 대구광역시(18,429톤), 부산광역시(16,734톤), 대전광역시(5,907톤), 서울특별시(788톤), 제주도(38톤) 순
- 고추의 경우 2018년 기준 총생산량 265,254톤의 48%를 경상남도(127,225톤)에서 생산하였으며 강원도(33,335톤, 13%), 전라남도(24,333톤, 9%), 경상북도(20,929톤, 8%), 전라북도(15,584, 6%) 순으로 집계됨
- 사과는 2018년 기준 총생산량 475,303톤의 66%를 경상북도(315,230톤)에서 생산하였으며 충청북도(51,580톤, 11%), 경상남도(50,461톤, 11%), 전라북도(28,597톤, 6%) 순으로 집계됨
- 이러한 지역별 주요 농업 바이오매스 자원별 발생량 자료를 이용하여 각 지역에 맞는 농업 바이오매스의 활용 방안을 모색 할 수 있을 것으로 봄
 - 경상남도에서는 고추줄기, 경상북도에서는 사과 전정가지를 수거하는 모델을 개발 가능하며 수집된 바이오매스는 제품화, 에너지화 할 수 있을 것으로 판단

<그림 2-4> 2018년 지역별 주요 농작물 발생량 비율



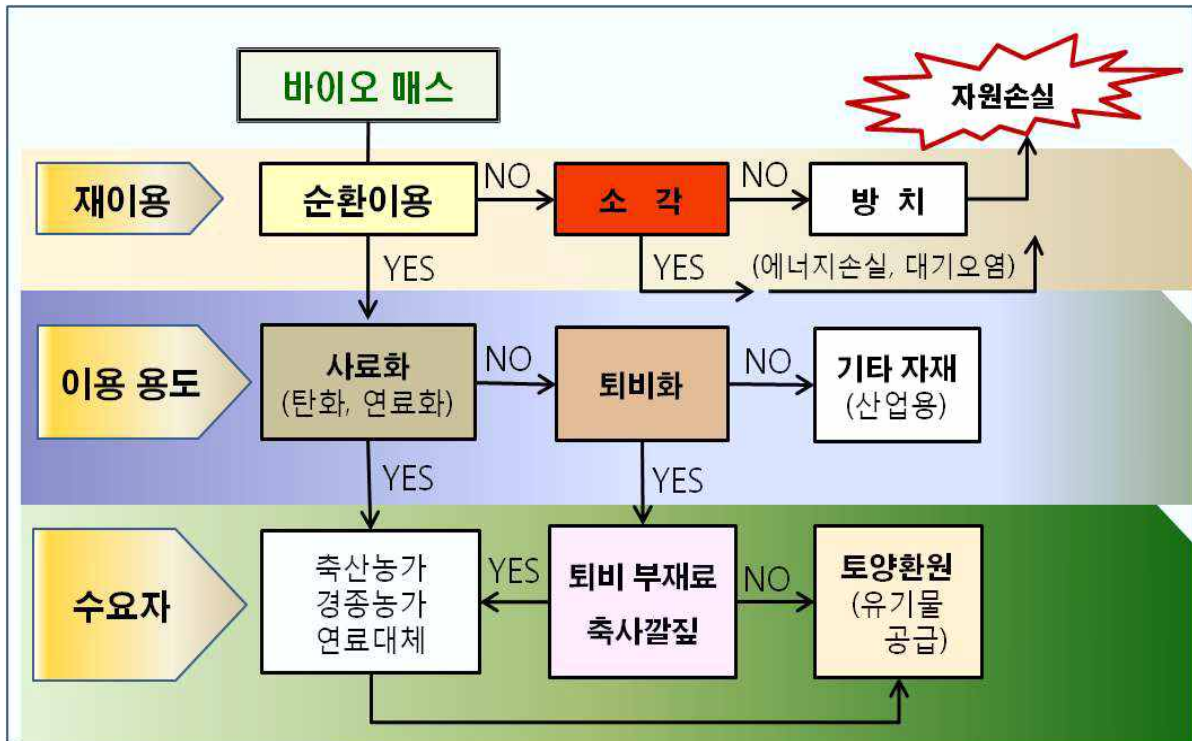
제3절 농업바이오매스 이용 실태 분석

1. 농산 부산물 바이오매스 이용 현황²¹⁾

가. 이용 흐름도

- 농업 바이오매스의 이용 흐름을 분석해보면 바이오매스의 축산농가, 경종농가의 수요자가 있을시 사료화, 탄화, 연료화, 퇴비화된 형태로 이용될 수 있으며 그렇지 않을 경우 토양환원, 소각, 방치가 됨
- 소각 및 방치의 경우 에너지 손실, 대기오염, 자원손실이 되기 때문에 이러한 미이용 농업 바이오매스의 활용이 에너지, 자원, 환경적인 측면에서 중요하다고 볼 수 있음

<그림 2-5> 농업 바이오매스 재이용, 이용도, 수요자에 따른 흐름도



21) 자료: 농촌진흥청(2013), 농촌지역 유기성 자원의 농업적 이용 및 특성 조사

나. 농산 바이오매스 종류별 이용 용도 및 형태

- 농촌진흥청(2013) 조사에 따르면 농산 부산물의 이용 형태는 대부분 원형 그대로 이용하는 경우가 많았으며 작업의 편리성이나 사용 효율을 향상시키기 위해서 일부 농가에서는 절단하여 이용
 - 벧짚, 밀짚, 보리짚, 콩대, 고추대는 원형, 절단한 형태로 이용
- 농산 부산물의 이용 용도는 조사료, 축사용 깔짚, 퇴비, 토양 피복 형태로 이용되는 경우가 많으며 콩대, 옥수수대, 과수 전정가지의 경우 연료로 이용되는 경우가 있음
 - 벧짚은 조사료, 축사용 깔짚, 퇴비, 토양피복 형태로 이용
 - 왕겨는 용도가 다양하여 팽화왕겨나 왕겨탄, 왕겨숯 등 기능성을 향상시킨 가공품으로 이용
 - 콩대와 같은 일부 부산물의 경우에는 사료 또는 퇴비 등으로 가공하여 사용
 - 과수 전정가지는 원형 또는 절단, 파쇄 형태로 퇴비화 하거나 잡초방지나 토양유실 방지, 토양수분보존을 위하여 토양피복용으로 이용되기도 하고, 연료로 사용되는 경우도 있음
 - 조사된 농산부산물의 이용용도는 크게 사료, 퇴비, 토양 환원 및 피복용이 주류를 이루고 있으며 에너지화 사례도 존재

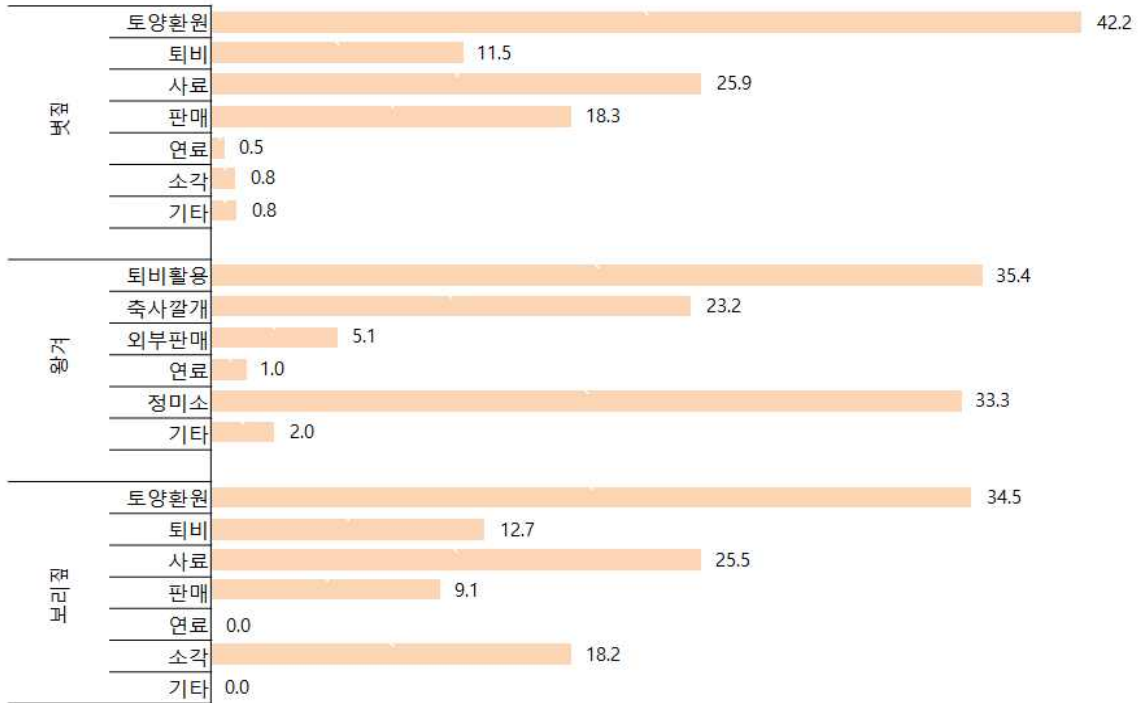
<표 2-10> 농업 바이오매스 종류별 이용용도 분석

구분	종류	이용 형태	이용 용도
부산물	벧짚	원형, 절단	조사료, 축사용 깔짚, 퇴비, 토양피복
	왕겨	원형, 팽화왕겨, 왕겨탄, 왕겨숯, 왕초액 등	연료, 축사용 깔짚, 퇴비, 상토 원료, 공산품(헬멧)
	밀짚	원형, 절단	조사료, 축사용 깔짚, 퇴비, 토양피복
	보리짚	원형, 절단	소각, 축사용 깔짚, 토양피복
	콩대	원형, 절단	사료, 연료
	옥수수대	원형, 가공	사료, 연료, 퇴비, 버섯배지
	고추대	원형, 절단	연료, 소각
	전정가지	원형, 절단, 파쇄	퇴비, 토양피복용(잡초방지, 토양유실 방지, 토양수분 보존), 연료, 타용도(울타리) 등

- <그림 2-6, 2-7>은 벧짚, 왕겨, 보리짚, 과수 전정가지의 활용 형태별 비율을 나타내며 각 분류에 따라 활용 비율로 벧짚은 42.2%가 벧 수확과 동시에 절단하여 토양에 환원하고 있었고, 26% 정도는 사료용으로 판매하고 있는 것으로 조사됨. 왕겨의 경우에는 35% 정도가 퇴비 수분조절용 등으로 사용하고 있었고, 23% 정도는 축사깔개로 사용하고 있으나 이와 비슷한 33%의 농가에서는 쌀을 도정한 후 정미소에 그대로 버리고 있는 실정. 보리짚은 벧짚에 비하여 토양환원이나 사료 또는 퇴비용으로 사용되는 농가가 적었으며, 소각하고 있는 농가가 18% 정도로 높게 나타남
 - 벧짚: 토양환원(42.2%), 사료(25.9%), 판매(18.3%), 퇴비(11.5%), 소각(0.8%), 연료(0.5%)
 - 왕겨: 퇴비(35.4%), 정미소(33.3%), 축사깔개(23.2%), 판매(5.1%), 연료(1.0%)
 - 보리짚: 토양환원(34.5%), 사료(25.5%), 소각(18.2%), 퇴비(12.7%), 판매(9.1%)
- 과수 전정가지는 42% 이상의 비율로 소각 및 방치
 - 과수전정가지: 토양환원(24.8~38.9%), 소각(24.6~26.5%), 땀감(11.1~23.1%), 방치(15.7~17.5%), 퇴비(7.1~9.1%)
- 논벼, 왕겨의 경우 퇴비, 사료와 같은 제품형태로 이용되는 경우가 많지만 과수전정가지의 경우 42% 이상 소각, 방치되고 있는데 이는 에너지·자원 손실, 대기오염이 되기 때문에 이러한 미이용 농업 바이오매스 활용이 에너지·자원, 환경적인 측면에서 중요하다고 볼 수 있으며 경제적으로 농가에 이득이 되는 방향으로 정책 등이 펼쳐져야 할 것으로 보임

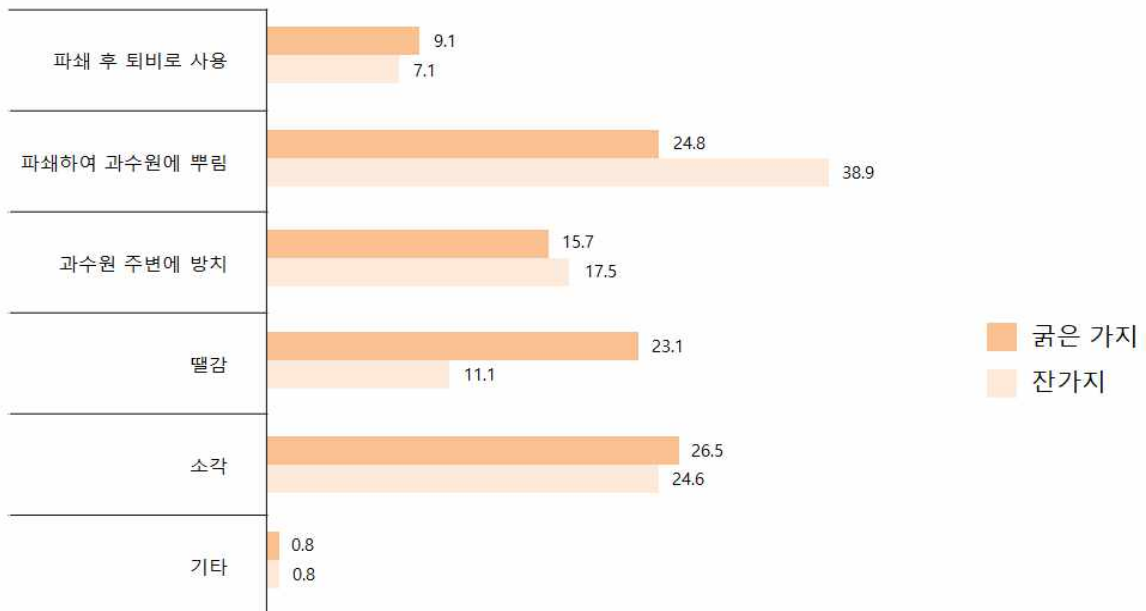
<그림 2-6> 벼짚, 왕겨 및 보리짚의 활용 형태별 비율

단위 : %



<그림 2-7> 과수 전정가지의 활용 형태별 비율

단위 : %



다. 농산 부산물 이용방법별 원료 구분

- 농업 부산물은 크게 사료화, 퇴비화, 토양 환원 및 피복, 직접연소 및 난방, 소각 등으로 활용 처리되고 있음
- 농촌진흥청에서 실시한 바이오매스의 활용실태 및 처리기술별 조사는 전국 170개 시군농업기술센터 담당지도사의 면접조사방식으로 이루어졌으며 총 조사농가는 1,360농가로 시군농업기술센터별 논, 밭, 과수, 원예 중심으로 4개 유형을 설정하였으며, 유형별 2농가씩 8농가를 대상으로 조사

<표 2-11> 농산 부산물의 활용 처리 기술별 비교

방법	전환형태 및 용도	원료(이용 가능한 바이오매스)
사료화	사료	농산부산물
퇴비화	퇴비	농산부산물, 과수 전정가지
토양 환원 및 피복	절단, 파쇄, 칩	농산부산물, 과수 전정가지
직접연소, 난방	chip, pellet, briquette	농산부산물, 초본류, 과수 전정가지
소각	연소재	농산부산물, 초본류, 과수 전정가지
기타	기능성 물질, 탄화, 팽연화	농산 부산물(왕겨)

자료 : 농촌진흥청(2013), 농촌지역 유기성 자원의 농업적 이용 및 특정조사

□ 사료

- 농촌지역에서 발생하는 대부분의 농산 부산물(벼짚, 밀짚, 보리짚, 콩대, 옥수수대, 고구마 줄기 등)은 사료로 활용이 가능
- 벼짚, 보리짚은 가축두수가 많은 전업축산에서 선호하는 편이며 소규모로 가축을 사육하는 농가에서는 벼짚뿐만 아니라 콩대, 콩깍지, 고구마 줄기 등 다양한 농산 부산물을 사료로 활용하는 경향
- 벼짚 같은 경우에는 겨울철 가축 사료를 이용하기 위하여 아래 <표 2-12>와 같이 농경지에서 수거하여 곤포로 저장하여 이용
- 상기 언급한 농촌진흥청 보고서에 따르면 벼짚의 사료활용은 25.9%로 토양환원(42.2%) 다음으로 높았으며, 왕겨는 거의 활용되지 않았고, 보리짚은 25.5%로 퇴비 활용(35.4%)에 이어 2번째 높은 것으로 분석

- 농산 부산물의 사료적 가치는 배합사료 1kg 대체물량으로 비교하였을 때 고구마 줄기(1.09kg), 콩깍지(1.43kg), 옥수수대(1.71kg), 보리짚(1.72kg), 벃짚(1.92kg) 순으로 고구마 줄기가 가장 효율적인 사료자원으로 평가되었으나 벃짚, 보리짚의 경우 상대적으로 사료적 가치가 낮은 것으로 분석

<표 2-12> 사료용 농업 부산물 종류 및 활용사례

용도	농업 부산물	활용사례 (예)
사료	벃짚	
	보리짚	
	고구마줄기	
	옥수수대	

□ 퇴비

- 퇴비화는 주로 벃짚, 왕겨나 과수 전정가지 중 잔가지를 파쇄 또는 절단하여 가축 분뇨와 섞어 사용하는 퇴비 부재료의 성격이 강함
- 상기 농촌진흥청 보고서에 따르면 벃짚의 퇴비활용은 11.5%로 토양환원(42.2%), 사료(25.9%), 판매(18.3%) 다음 순이었으며, 왕겨의 경우 35.4%로 가장 높았으며, 보리짚은 12.7%로 퇴비활용(35.4%), 사료(25.5%), 소각(18.2%) 다음으로 높았음
- 과수 전정가지의 경우 파쇄 후 퇴비로 사용하는 것이 굵은 가지의 경우 9.1%, 잔가지의 경우 7.1%로 분석되어 상대적으로 퇴비화율은 낮음

□ 토양 환원 및 피복

- 토양환원은 벃짚, 보리짚 등을 콤바인으로 수확과 동시에 절단하여 농경지에 직접 살포한 후 경운하는 경우가 일반적이며, 고구마 줄기나 채소류 등도 절단하여 살포 후 경운하는 방법이 많이 사용되며, 옥수수대는 농경지에 피복해 두었다가 다른 작물 재배 전에 경운하여 사용하며, 과수 전정가지 중 잔가지 등은 절단하여 과수나무 주변이나 토양 피복용으로 사용
- 벃짚과 보리짚의 경우 토양환원이 각각 42.2%, 34.5%로 가장 높았으며, 왕겨는 거

의 활용되지 않았으며, 파쇄하여 과수원에 뿌리는 경우에는 굵은 가지가 24.8%로 소각(26.5%)에 이어 두 번째로 높았고 잔가지의 경우는 38.9%로 가장 높았음

<표 2-13> 퇴비, 토양환원 및 피복 농업 부산물 종류 및 활용사례

용도	농업 부산물	활용사례 (예)	
토양순환 퇴비원료	벼짚		
	왕겨		
	보리짚		
	옥수수대		
	과수전정가지		
토양피복	벼짚		
	보리짚		
	옥수수대		
	과수전정가지		

□ 에너지화

- 직접연소 또는 난방용은 재래식 온돌을 가지고 있거나 부업축산을 하는 소규모의 가축을 기르는 농가에서는 난방용으로 콩대, 고추대, 깻대 등을 사용
- 벼짚, 왕겨, 보리짚, 콩대, 옥수수대, 과수전정가지와 같은 농산 부산물의 고품화는 펠릿, бри켓 등으로 최종 생산물의 부피를 줄일 수 있으며 연료 또는 열에너지를 이용한 발전 등에 활용이 가능한 반면 시설비용 및 유지관리비가 비싸고 원료확보 및 수요처 확보가 어려움
- 벼짚, 왕겨, 보리짚의 에너지화 이용률은 모두 1% 이하로 낮았으나 과수 전정가지의 경우 굵은 가지는 23.1%로 파쇄하여 과수원이 뿌리거나(24.8%), 소각(26.5%) 다음으로 높은 이용률을 보였으나 잔가지의 경우 11.1%로 낮은 이용률을 보임

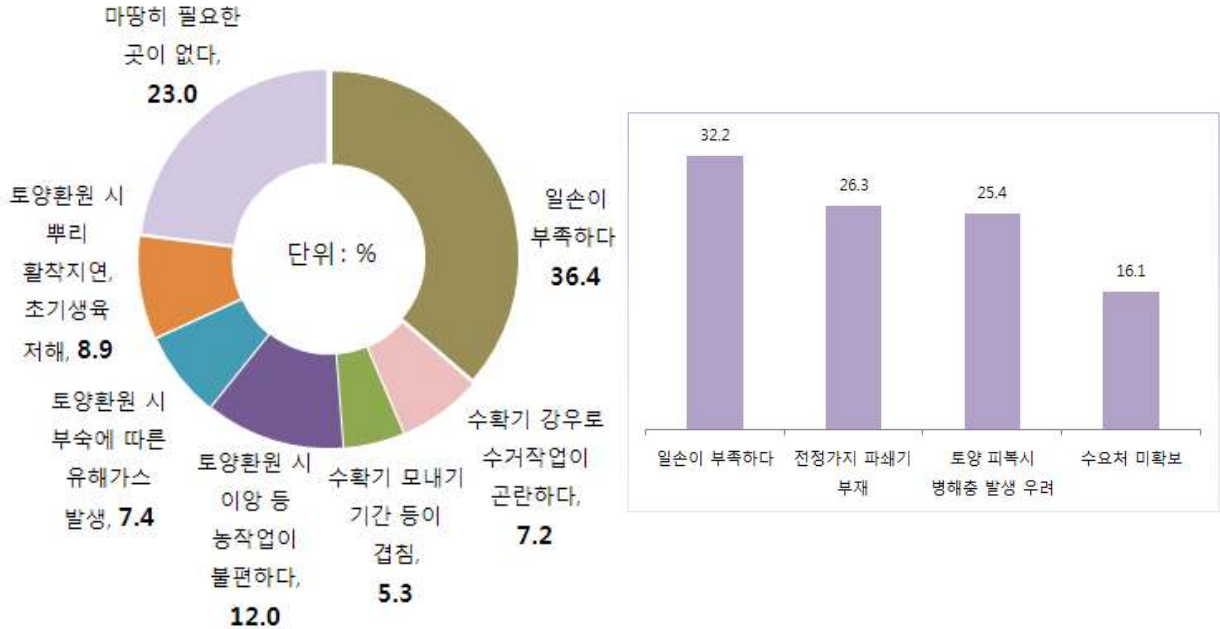
<표 2-14> 에너지화 용도 및 활용사례

용도	농업 부산물	활용사례 (예)	
펠릿	벼짚		
	보리짚		
	콩대		
	옥수수대		
	참깨대		
	들깨대		
	과수전정가지		
연료	벼짚		
	왕겨		
	보리짚		
	고구미줄기		
	콩대		
	옥수수대		
	과수전정가지		

□ 소각

- 소각의 경우에는 일손이 부족하거나 노령화된 농가에서 이루어지는 경향을 보임
 - 보리짚, 고추대, 콩대 등과 같은 농산부산물은 가축사료 등 특별한 수요가 없는 경우 농경지에서 태워버리는 현상이 많음
- 벼짚의 경우 소각은 0.8%를 보였으며, 왕겨는 소각 되는 경우가 거의 없었으며, 보리짚은 18.2%로 높은 비율을 차지하였는데, 소각 원인 분석 결과 일손이 부족한 경우가 36.4%, 마땅히 필요한 곳이 없기 때문에 소각 23.0%, 토양 환원 시 이양 등 농작업이 불편 12.0%, 토양 환원 시 뿌리 활착지연, 조기 생육 저해 문제 8.9%, 토양 환원 시 부숙에 따른 유해가스 발생 7.4%로 일손이 부족하거나 마땅히 필요 없는 경우가 대부분의 원인
- 과수 전정가지의 경우 굵은 가지, 잔가지 의 소각 비율이 26.5%, 24.6%로 높았는데 이에 대한 원인 분석 결과 일손이 부족한 경우 32.2%, 전정가지 파쇄기 부재 26.3%, 토양 피복 시 병해충 발생 우려 25.4%, 수요처 미확보 16.1%로 과수 전정가지를 활용할 수 있는 환경여건 부족이 종합적인 원인으로 파악

<그림 2-8> 농업 주요 바이오매스자원 소각하는 원인별 분포



<벼짚, 왕겨 및 보리짚>

<과수 전정가지>

□ 기타

- 왕겨의 경우에는 실리카 성분을 추출하거나 탄화왕겨 또는 팽연화왕겨로 사용
 - 탄화 왕겨의 경우 보온재 및 단열재로 주로 쓰이며 용강을 담은 레들이나 인고트 주조중인 주물 위쪽에 집어넣는 용도로 제강 공장에서 자주 쓰임
 - 팽연화왕겨는 음식물쓰레기 및 오니, 축분 등을 이용한 퇴비제조용 탄질비 조절제, 수분조절제, 사료 부형제, 동물용 의약품 부형제, 퇴비용 톱밥 대체재, 축사 깔짚 등 다양한 분야에서 사용되고 있음

<표 2-15> 왕겨 종류별 용도 및 활용사례

용도	농업 부산물	활용사례 (예)
기능성 물질	왕겨	
탄화	왕겨	
팽연화	왕겨	

2. 농업 작물 바이오매스 이용 현황

□ 농업 작물 활용

- 농업 작물인 벼, 고구마, 감자, 옥수수 등은 바이오연료(바이오에탄올 등) 생산 위한 원료로 사용가능하나 국내에서는 대부분 식량원으로 이용하여 연료화 어려움
 - 식량으로 소비되는 농업작물: 벼, 밀, 보리, 콩, 팥, 녹두, 고구마, 감자, 옥수수, 메밀, 고추, 사과, 포도, 배, 복숭아, 감 감귤, 자두 등
- 케나프는 비식량 작물로 잎, 줄기 씨앗 등으로 분류되어 사료, 버섯배지, 연료, 축사갈래, 섬유, 펄프 등으로 이용되고 있으며 경제성에 따라서 연료화 비율이 높아질 수 있음
 - 케나프는 기후 및 토양에 대한 광범위한 적응성을 갖고 있으며, 농후사료 원료곡으로 많이 사용되는 옥수수보다 생산량이 월등히 높으며, 조단백함량도 옥수수에 비해 높게 나타나고 있어 높은 생산성에 의한 사료가격 안정화 및 조사료의 안정적인 공급이 가능한 작목으로 옥수수에 비해 습지 적응성이 강하여 논재배가 가능하며, 논을 이용한 대규모 재배면적 확보가 용이하므로 새로운 사료작물로서 가치가 있음

<표 2-16> 케나프 구성성분에 따른 활용 내용

구성	이용내용	비고
잎	말 등의 고급 사료	단백질 함량이 쇠고기 보다 높음
줄기	칩 형태로 가공하여 석탄 화력발전소에 적용	석탄보다 대기오염물질의 발생이 현저히 적으며, SiO ₂ (실리카)가 발생하지 않음
	반계동물의 배변용 깔개로 사용	
	전기자동차 등의 부품으로 사용	가볍고 내구성 강함
	해수의 기름 흡착재	기공이 커 흡착율 높음
줄기/잎	소 등의 가축에 사료로 제공	
재	거름으로 사용	
씨앗	화장품 및 축산용 보조사료	

자료 : 환경부, 한국환경산업기술원, 친환경 작물에 대한 분석 보고서(케나프)

- 거대억새는 비식량 에너지 작물로 연구되고 있으며 일반 억새는 뿌리는 약으로 줄

기와 앞은 가축사료나 지분을 잇는데 쓰였으나 현재는 경관용으로 방치되는 것이 대부분

<그림 2-9> 케나프 작물(왼)과 바이오에너지작물센터에 재배되고 있는 거대억새 작물(오)



제4절 농업 바이오매스 이용 문제점 및 시사점

1. 문제점

□ 소각·악취 등에 따른 환경적 문제

- 수확 후 건조시켜 소각하는 경우가 많아 화재로 이어질 위험성 높음
 - 지자체에서는 일정 기간 산림감독원이나 공무원들의 지도 아래 소각하는 경우도 있으나, 관리 소홀로 인한 화재 발생을 방지하는 데는 한계
 - 직접 소각은 미세먼지 주범 물질인 질소, 황산화물, 회분 다량 방출
- 대규모 시설원에 또는 발작물 농가들은 수확 잔재물을 공터에 적재한 후 잘 부숙시켜 퇴비 등으로 이용하는 경우가 많으나, 일부는 관리 소홀로 수확 잔재물을 부패시켜 악취 또는 침출수를 유발하는 등 경관을 해치거나 환경부담을 유발

□ 농업 바이오매스 통계·관리 체계 부재

- 농산 부산물의 대부분은 발생량과 처리량이 통계적으로 집계되고 있지 않고 통계청의 농작물 재배면적과 생산량 자료로부터 부산물 전환계수를 통해 추정하는 상황이며, 미이용 부산물의 경우 농경지에 방치되거나 자체 소각 처리됨
- 농산 부산물 중에서 벗짚은 농식품부의 가축 조사료 수급 활성화 정책에 따라 관리되고 있으나 이외의 품목들(과수 전정가지 등)은 명확한 관리제도가 없는 상황
 - 작물재배 잔사(줄기, 잎 등)은 관련 담당부서가 없어 관리되지 못함
 - 왕겨, 쌀겨, 감귤박, 양파박 등은 사업장폐기물로 환경부에서 관리(실제로는 일부)

<표 2-17> 농업 바이오매스의 관리

종류	관리부서	비고
벗짚	농림축산식품부	가축조사료 이용
작물재배 잔사 (줄기, 잎 등)	없음	
왕겨, 쌀겨(미강) 등	환경부	사업장폐기물
감귤박, 양파박 등	환경부	사업장폐기물

자료 : 한국농촌경제연구원(2017), 농축산 유기성 폐자원의 자원화기술 현황과 발전 방향

- 농업 바이오매스의 활용을 위해서는 바이오매스의 종류와 발생량이 파악되고, 바이오매스의 수요자와 수요량에 대한 정보 필요하나 이러한 시스템 부재

□ 농업 바이오매스 수거·유통방안의 어려움

- 농업 바이오매스는 지역적으로 분산되어 있어 운송비 등의 경제적인 문제 때문에 수집이 어려우며 물량 파악 어려움
 - 원예 작물을 포함한 발작물과 특용 작물 등의 부산물 발생량은 정확한 통계자료가 없고, 추정하기에도 어려움
 - 특히 지역적 발생 분산으로 수거 및 운송에 따른 비용이 발생하는 등 유통 측면에서 경제성이 나오지 않는 문제를 야기
- 농업 바이오매스를 상업적으로 활용하기 위해서는 발생된 바이오매스를 일정한 장소에 수거하는 일이 중요하나 이용에 따른 효과보다는 수거작업이 번거롭고 이에 따른 비용이 발생
- 현 단계에서 경제적으로 과수 전정가지 등의 바이오매스를 처리할 수 있는 방법은 파쇄 후 퇴비로 활용하는 것이나 농가에서 파쇄기 구입을 꺼려하여 방치하거나 소가 시킴(41% 이상)
 - 원인으로 파쇄기 구입비용이 약 500만원 정도이고 연간 이용 일수가 며칠에 불과
 - 인근 과수농가 간에 공동구입, 공동사용도 고려할 수 있으나 농가 간 이동이 불편하고 관리상의 문제 있음

□ 외래 작물의 생태교란 잠재위험

- 케나프의 경우 원산지가 대부분 해외(미국, 이스라엘 등)로 생태학적으로 대량재배 시 생태교란 위험이 존재하나 현재까지는 생태계 교란종으로 분류되고 있지는 않음
 - 케나프는 여타 도입식물과 달리 1년생 초본식물로서 노지에서 결실되지 않아 생태계 교란이 없고 잡초화 되지 않다고 알려져 있으나 관련 연구는 부재²²⁾
 - 억새의 경우 우리나라가 원산지인 토종작물로 생태학적인 측면에서 생태교란의 위험성이 없음

22) 김대석(2012), 케나프 식재를 이용한 토양오염 물질 및 염분 제거 방법

□ 지속적인 공급의 어려움

- 농산부산물은 대부분 가을철에 집중하여 발생으로 인한 지속적인 활용도 떨어짐
 - 논작물 및 밭작물의 경우 우리나라 농업의 특성상 봄부터 가을까지 1기작으로 마무리되어 지속적 원료 공급이 어려우며 원료의 장기 보관 시 관리방법 확보 필요

<표 2-18> 계절별 농작물의 수확 가능 시기

작물/월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
논벼												
밭벼												
보리												
맥주보리												
밀												
감자												
고구마												
좁쌀												
옥수수												
메밀												
콩												
팥												
녹두												
참깨												
들깨												
땅콩												
유채												
후추												
사과												
배												
복숭아												
포도												
귤												
감												
자두												

자료 : 박우균 등(2011), 농업부문 바이오매스 자원 환산계수 및 잠재량 산정, 한국환경농학회지

2. 시사점

- 현재까지 농업바이오매스 중 농업 작물의 재배면적, 생산량, 10a당 생산량은 매년 통계집계 처리되고 있으나 농산 부산물에 대한 관리는 관련 법률이 없어 공식적인 조사가 이루어지지 않아 통계자료가 부재한 실정으로 농산 부산물의 통계처리를 위해서는 관리 법률이 마련될 필요가 있음
 - 농산 부산물 중에서 벧짚은 농식품부의 가축 조사료 수급 활성화 정책에 따라 일부 관리되고 있으며, 이외의 품목들은 명확한 관리제도가 없는 상황
 - 이렇게 농업 바이오매스 관리 체계가 확보되지 않으면 관련 산업 기반 부족, 정부의 제도적 지원 부족이 농업 바이오매스 에너지화 활성화에 걸림돌이 될 수 있음
 - 이에 따라 정부의 제도적 지원 방법이 모색되어야 하며 농업 바이오매스 활성화 될 수 있게 미이용 바이오매스와 신규 농업 작물 후보 탐색이 필요
- 농업 바이오매스로 후보 탐색을 위한 이론적 부존량을 분석해보면 벧짚, 왕겨, 고추 줄기, 사과전정가지가 농업 바이오매스로서 이용가능성이 있으며 재배면적 당 생산량 측면에서 비식량 에너지작물로 활용가능한 케나프가 타 농업 바이오매스의 비해 5~130배 높아 수집 시 경제적인 측면에서 운송비 절감 등의 긍정적 영향을 미칠 수 있을 것으로 보이며 억새도 활용가능성이 높음
- 지역별로 주된 농작물의 생산량 차이가 있었으며 고추는 경상남도에서 48%를 생산하며 사과는 경상북도에서 66%를 생산하는데, 이 때 발생하는 부산물을 각 지역별로 활용할 수 있는 방법 모색이 필요
- 농산 부산물의 기존 이용 실태를 분석한 결과 환경적 문제(소각, 토양 잔류에 따른 부패에 따른 악취, 침출수 유발 등)가 발생하며 특히 과수 전정가지의 경우 방치나 소각되는 비율이 41%를 넘기 때문에 환경적인 문제 해결과 경제적 효과를 위해서 미이용 고추줄기, 과수 전정가지 등을 에너지화 하는 것이 필요할 것으로 사료
- 타 용도로 활용되는 농산 부산물을 에너지화 유인을 통해 타 용도 활용 비중을 낮추는 것은 시장 잠재량을 확대하는 방안이 될 수 있음

제3장

농업 바이오매스의 에너지화 가능성 분석

제1절 바이오에너지 구분 및 기술 소개

1. 바이오 에너지 구분

가. 바이오에너지 정의

- 바이오 에너지는 바이오매스를 원료로 하여 직접연소, 발효, 액화, 가스화, 고형 연료화 등의 변환을 통해 얻어지는 에너지
 - 농림축산식품부 고시 「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침」 제18조 제1항 관련 바이오매스로 취급되는 항목에 명시
 - 신재생에너지법에서는 바이오에너지는 유기성 생물체를 총칭하는 바이오매스(Biomass)를 직접 또는 생화학적, 물리적 변환과정을 통해 액체, 가스, 고체연료나 전기, 열에너지 형태로 이용하는 화학, 생물, 연소공학 등의 기술²³⁾
 - 주요 바이오매스 자원으로는 유지작물, 전분작물, 섬유소 식물체 등이 있으며 음식물쓰레기, 축산폐기물과 같은 유기성 폐기물들도 자원으로 이용하여 바이오디젤과 바이오알코올, 열, 전기, 수송연료 등을 생산

23) 산업통상자원부, 2018 신재생에너지백서

나. 바이오에너지 기준 및 범위

- 바이오에너지의 기준은 생물유기체를 변환시켜 얻은 기체, 액체 또는 고체 연료이며 이러한 연료를 변환시켜 얻어지는 에너지
 - 단, 신·재생에너지가 아닌 석유제품 등과 혼합된 경우에는 생물유기체로부터 생산된 부분만을 바이오에너지로 봄
- 바이오에너지의 범위는 바이오가스, 바이오에탄올, 바이오액화유 및 합성가스, 매립지가스, 바이오디젤, 팜갑, 목재칩 및 목탄 등이 이에 해당됨
 - 산업통상자원부 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령」 별표 1 바이오에너지 등의 기준 및 범위(제2조 관련)에서 바이오에너지의 기준과 범위를 아래 표와 같이 지정(2019년 10월 1일 시행 대통령령 제30095호)

<표 3-1> 바이오에너지 등의 기준 및 범위

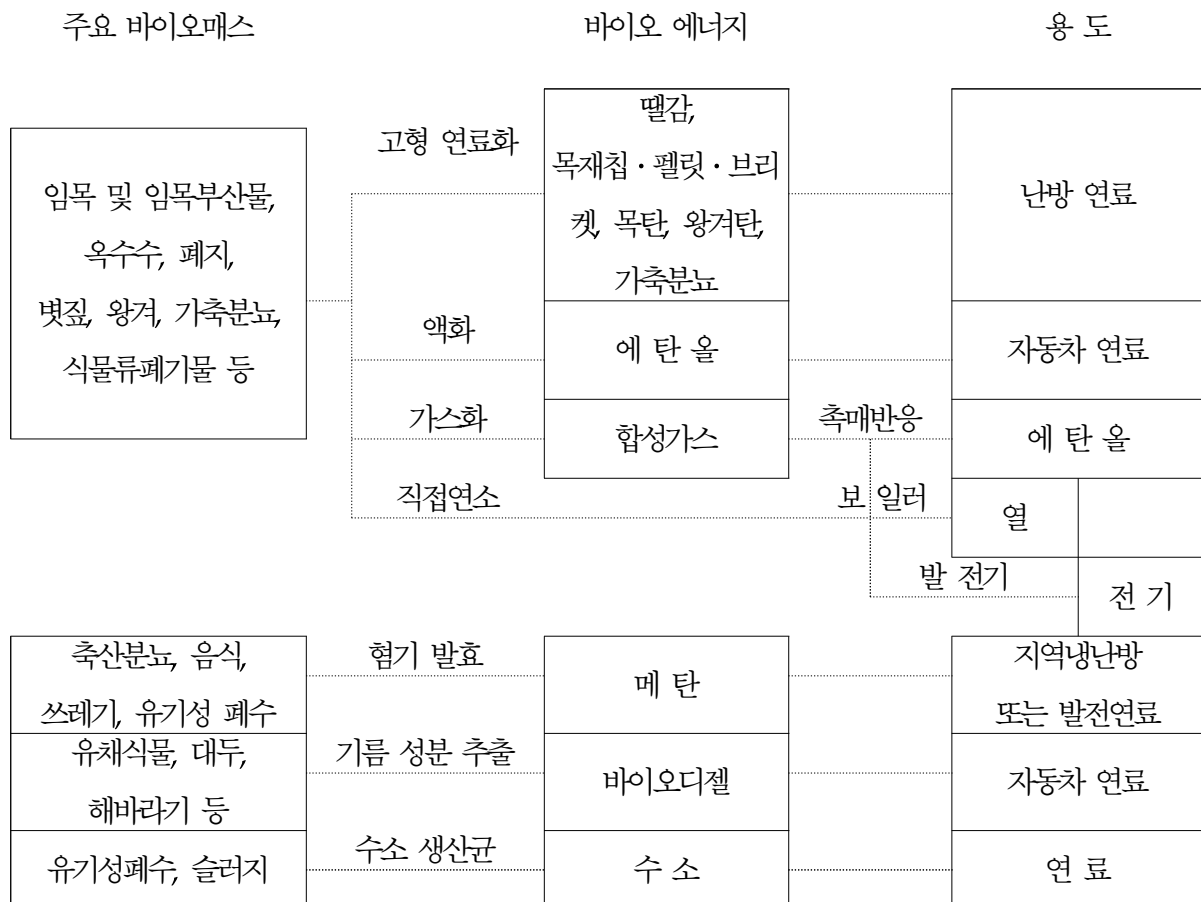
에너지원의 종류	기준 및 범위	
3. 바이오에너지	가. 기준	1) 생물유기체를 변환시켜 얻어지는 기체, 액체 또는 고체의 연료 2) 1)의 연료를 연소 또는 변환시켜 얻어지는 에너지 ※ 1) 또는 2)의 에너지가 신·재생에너지가 아닌 석유제품 등과 혼합된 경우에는 생물유기체로부터 생산된 부분만을 바이오에너지로 본다.
	나. 범위	1) 생물유기체를 변환시킨 바이오가스, 바이오에탄올, 바이오액화유 및 합성가스 2) 쓰레기매립장의 유기성폐기물을 변환시킨 매립지가스 3) 동물·식물의 유지(油脂)를 변환시킨 바이오디젤 4) 생물유기체를 변환시킨 팜갑, 목재칩, 펠릿 및 목탄 등의 고체연료

자료 : 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령」 제2조 관련 [별표1]

다. 주요 바이오에너지 형태 및 용도

- 농림축산식품부 고시 제2018-31호 「온실가스 배출권거래제의 배출량보고 및 인증에 관한 지침」의 별표16 바이오매스로 취급되는 항목(제18조제1항 관련)에서는 주요 바이오에너지의 종류 및 용도를 <표 3-2>와 같이 분류
- 임목 및 임목부산물, 옥수수, 폐지, 볏짚, 왕겨, 가축분뇨, 식물류폐기물은 고형연료화, 액화, 가스화를 통해 각각 땀감, 목재칩·펠릿·브리켓, 목탄, 왕겨탄, 가축분뇨, 에탄올, 합성가스 바이오에너지로 분류되었으며 용도상 난방 연료, 자동차 연료, 열, 전기로 나눔
 - 축산분뇨, 음식, 쓰레기, 유기성 폐수는 혐기 발효를 통해 메탄가스로 전환되며 유채식물, 대두, 해바라기는 기름성분 추출을 통해 바이오디젤로 전환되며 유기성폐수, 슬러지는 수소생산균을 통해 수소로 전환된 바이오에너지 형태로 분류

<표 3-2> 주요 바이오 에너지의 종류 및 용도



자료 : 농림축산식품부, 온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침

[시행2018.5.2. 별표 16. 제18조 제1항 관련]

□ 농업 바이오매스 이용한 바이오에너지화

- <표 3-2>의 바이오매스 중 옥수수, 벧짚, 왕겨는 농업 바이오매스에 해당되며 고형 연료화, 액화, 가스화, 직접연소를 통해 용도에 따라 난방 연료, 자동차 연료, 열, 전기로 분류
 - 현재까지 국내에서는 정부 지원 하에 임목 및 임목 부산물을 고형연료화 하여 난방연료, 발전소의 열 및 전기를 생산하는 원료로 사용되고 있으나 농업 바이오매스의 고형연료화의 경우 왕겨 등을 이용하여 일부 상용화 단계에 있으나 정부의 제도지원이 없어 많이 활용되지 못하는 상황
 - 바이오매스 액화의 경우 아직까지 시험단계이며 특히 농업 바이오매스의 액화의 경우는 연구단계에 머물러 있는 수준

라. 바이오에너지 분류

□ 통계체계에 따른 바이오에너지원 분류

- 바이오에너지는 산업통상자원부 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법」 제2조(정의)와 동법 시행령 제2조 관련(별표1) 바이오에너지 등의 기준 및 범위에 의거하여 12개의 세부분야로 나누어 분류되어 생산량을 통계 수집함
 - 산업자원통상부의 「신·재생에너지 보급통계」 보고서에서 신재생에너지원 총 10개(태양에너지, 풍력, 수력, 해양에너지, 지열에너지, 수열에너지, 바이오에너지, 폐기물에너지, 연료전지, 석탄을 액화가스화한 에너지 및 중질잔사유를 가스화한 에너지)로 에너지원을 분류하고 각 에너지원별로 27개 세부분야로 나누어 통계조사함
 - 바이오에너지의 세부분류 항목으로는 <표 3-3>와 같이 바이오가스, 매립지가스, 바이오디젤, 우드칩, 성형탄, 임산연료, 목재펠릿, 폐목재, 흑액, 하수슬러지고형연료, Bio-SRF, 바이오중유임

<표 3-3> 통계체계에 따른 바이오 에너지원의 분류

에너지원	세부분류	통계 작성 대상
바이오에너지	바이오가스	바이오가스를 연료로 전기 또는 열을 생산하는 설비
	매립지가스	매립지가스를 연료로 전기 또는 열을 생산하는 설비
	바이오디젤	바이오디젤을 생산/판매하는 업체
	우드칩	우드칩을 연료로 전기 또는 열을 생산하는 설비
	성형탄	성형탄을 생산/판매하는 업체
	임산연료	연료로 사용되는 흑탄, 백탄, 장작, 지엽의 생산량
	목재펠릿	목재펠릿을 연료로 전기 또는 열을 생산하는 설비
	폐목재	폐목재를 연료로 전기 또는 열을 생산하는 설비
	흑액	흑액을 연료로 전기 또는 열을 생산하는 설비
	하수슬러지고형연료	하수슬러지 고형연료로 전기 또는 열을 생산하는 설비
	Bio-SRF	Bio-SRF를 연료로 전기 또는 열을 생산하는 설비
바이오중유	바이오중유를 연료로 전기 또는 열을 생산하는 설비	

자료 : 산업자원통상부(2018), 2017년 신·재생에너지 보급 통계

□ 신재생에너지 공급인증서(REC) 가중치에 따른 바이오에너지 분류

- 산업자원통상부 「신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침」 과 「공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙」 에 따른 신재생에너지 센터 공고에 따르면 바이오에너지는 Bio-SRF, 매립지가스, 목재펠릿, 목재칩, 기타바이오(바이오중유, 하수슬러지), 미이용산림바이오매스로 구분되어 공급인증서 가중치를 부여하고 있다. 목재칩, 목재펠릿, Bio-SRF, 미이용바이오매스는 세부적으로 석탄혼소, 전소 전환설비, 전소로 구분되어 공급인증서 가중치를 달리 받음

<표 3-4> 공급인증서(REC) 가중치 개정 사항 반영된 바이오 에너지 분류

구분	공급인증서 가중치	대상에너지 및 기준
바이오에너지	0.25	Bio-SRF
	0.5	매립지가스, 목재펠릿, 목재칩
	1.0	기타 바이오에너지
	1.5	미이용산림바이오매스혼소설비
	2.0	미이용산림바이오매스(바이오에너지 전소설비만 적용)

자료 : 산업자원통상부(2018)

○ 신재생에너지 센터 공고 「공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙」의 바이오에너지 설비는 생물 유기체를 변환시켜 얻어지는 기체, 액체, 또는 고체의 연료로서 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 연료를 연소 또는 변환시켜 전기를 생산하는 설비를 말한다고 명시

1. 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따른 임산물
 2. 「목재의 지속가능한 이용에 관한 법률」에 따른 목재펠릿, 목재칩, 목재브리켓
 3. 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」에 따른 바이오고형연료제품 (Bio-SRF)
 4. 「폐기물관리법」에 따른 폐기물 중 생물기원의 유기성 폐기물
 5. 「발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시」에 따른 발전용 바이오중유
 6. 「폐기물관리법」에 따른 폐기물 원료의 매립지 가스
 7. 바이오가스 및 바이오수소
 8. 「산림바이오매스에너지의 이용·보급 촉진에 관한 규정」 제2조에 따른 미이용 산림바이오매스
- 단, 신·재생에너지가 아닌 연료와 혼합되는 경우에는 바이오에너지의 열량 비율만 적용하며, 바이오에너지 비율 산정이 불가능한 경우에는 전체를 바이오에너지에서 제외한다.

□ 연료에 따른 바이오에너지원 분류

- 한국농촌경제연구원에서는 <표 3-5>와 같이 공급 생산 측면에서 농업연료로 연료작물, 농업부산물, 동물부산물, 농산업부산물, 목질연료로 직접연료목, 간접연료목, 회수연료목, 회수연료목, 목질이용연료, 도시부산물로서 도시부산물로 나누었으며 연료 수요 측면에서 고형연료, 액체연료, 가스연료로 나눔
- 고형연료로는 목탄, 연료목, 도시고형폐기물로 분류될 수 있으며 액체로는 에탄올, 메탄올과 같은 바이오수송연료, 가스로는 바이오가스, 매립지가스, 슬러지가스, 가스화산물 등이 있음

<표 3-5> 연료형태와 수요 공급에 따른 바이오매스 종류

생산측 공급	일반 그룹	이용측 수요	
연료작물	농업연료	고형: 짚, 줄기, 껍질, 목질연료로부터의 목탄	
농업부산물		액체: 에탄올, 채원류, 메탄올, oil digester	
동물부산물			가스: 바이오가스, pyrolysis gases from agrofuels
농산업부산물			
직접연료목	목질연료	고형: 연료목(원목, 칩, 톱밥, 펠릿), 목탄	
간접연료목		액체: 흑유, 메탄올, pyrolytic oil	
회수연료목			가스: 가스화로로부터의 산물, pyrolysis 가스
목질이용연료			
도시부산물	도시부산물	고형: 도시고형폐기물	
		액체: 오폐수 슬러지	
		가스: 매립지가스, 슬러지가스	

자료 : 한국농촌경제연구원(2006), 농업부문 바이오매스의 이용활성화를 위한 정책방향과 전략

2. 바이오매스 전환 기술 및 연구 범위

가. 바이오매스 전환 기술

- 바이오매스 원료를 에너지로 전환하는 기술은 원료를 직접 연소시켜 열을 얻는 직접연소, 원료를 열분해하거나 가스화하여 숯이나 가연성가스 등을 얻는 열화학적 변환, 혐기성 발효를 통해 메탄가스를 얻거나 당화 하여 에탄올과 같은 액체 연료를 얻는 생화학적 변환, 식물유를 에스테르화 하여 바이오디젤 등을 제조하는 화학적 변환 기술로 분류

<표 3-6> 바이오매스 이용 바이오에너지 전환/활용기술

기술		원료 바이오매스	제조물	기술수준 (단계)	
물리적 변환	고체 연료화	목질계 및 초본계 등	펠릿 칩 등	상용화	
	직접연소	목질계, 초본계, 왕겨, 하수슬러지, 음식쓰레기 등	열, 전기 등	상용화	
열화학적 변환	고체 연료화	탄화 반탄화 수열탄화	목질계, 초본계, 하수슬러지 등	고체연료	상용화
				바이오코크스 등	실증연구
					실증연구
	가스화	목질계, 초본계, 하수슬러지 등	합성가스, 열전기	상용화	
	액체연료화 (BTL)	목질계, 초본계 등	액체연료 (에탄올 등)	실증연구	
	수열가스화	목질계, 초본계 등	합성가스, 열, 전기	실증연구	
	액체연료제조 (에스테르화)	폐식용유, 유지작물 등	바이오디젤 (BDF 등)	상용화	
	급속열분해액화	목질계, 초본계 등	액체연료 (BDF 등)	실증연구	
	수열액화	목질계, 초본계 등	액체연료 (BDF 등)	연구	
수소화 분해	유지작물 등	경질탄화수소연료	실증연구		
생물화학적 변환	메탄발효 (건식 및 습식)	하수 슬러지, 축산분뇨, 음식쓰레기 등	바이오가스, 열, 전기	상용화	
	수소발효	음식쓰레기 등	바이오가스, 열, 전기	연구	
	당질 및 전분질계 발효	당질 및 전분질계 자원식물 등	바이오에탄올	상용화	
	셀룰로오스계 발효	셀룰로오스계 자원식물 등	바이오에탄올	실증연구	
	부탄올발효	당질, 전분질계 및 초본계 등	바이오부탄올	연구	

자료 : 김진오 등(2013) / 윤영만(2014), 국내 바이오매스 이용실태와 활성화 방안/ 한국농촌경제연구원(2017), 농축산 유기성 폐자원의 자원화 실태와 문제점

□ 직접연소

- 직접연소 기술은 바이오매스를 태워 열, 수증기 등을 얻고, 최종적으로 전기를 얻을 수 있는 기술
 - 역사적으로 가장 오래된 이용 기술이면서 바이오매스 에너지 변환 방법 중 가장 쉬운 방법으로 널리 사용되고 있으며, 전 세계 1차 에너지 소비의 15%를 담당
 - 목재 외에 폐목재, 나무껍질, 나무부스러기, 톱밥 등과 같은 목재폐기물을 주요 열원으로 사용하며, 농업부산물, 도시 폐기물 등도 열원으로 사용될 수 있음
- 연소 방법은 스토커형, 선회류형, 유동상식 연소 등 다양한 방법이 있으며, 지역냉난방, 발전, 혼합연소 발전 등에 다양하게 활용
- 석탄과 같은 화석연료에 비해 발열량이 낮지만 바이오매스를 효과적으로 연소시키기 위한 방법 및 장치 개발이 이루어지고 있으며, 생활폐기물을 연료화하기 위한 장치 개발과 폐기물을 혼합, 정형화하여 열량이 높은 연료로도 제조

□ 열화학적 변환

- 바이오매스를 열화학적으로 변환하여 에너지를 이용하는 방법은 직접연소 외에 열분해, 액화 및 가스화로 대별할 수 있음. 열분해 및 액화 기술은 바이오매스를 상압 혹은 고압에서 산소가 결핍한 상태에서 가열하여 탄화 및 액화를 유도하는 것이고, 가스화는 바이오매스를 공기, 산소, 수소, 수증기, 일산화탄소 혹은 이산화탄소 존재 하에 가열하여 반응시켜 가스 상태로 변환하는 방법

□ 생화학적 변환

- 생화학적 변환기술은 바이오매스의 수분 함량에 따라 전처리 과정을 달리하는 것으로, 수분 함수량이 적은 목질계 바이오매스는 자연건조 후에 연소하여 에너지를 얻고, 수분 함수량이 높은 조류, 식품 및 축산폐기물 등은 추가 건조 공정이 필요하다. 생물을 사용하는 메탄 발효나 에탄올 발효는 건조 공정을 필요로 하지 않으므로 수분이 많이 함유된 바이오매스 에너지 변환에 유효한 방법임
- 알코올 발효는 글루코오스 등과 같은 당으로부터 미생물의 발효능력을 이용하여 바이오에탄올을 생산하는 기술
 - 전분질계나 목질계 바이오매스를 이용하는 경우 알코올 발효 전에 당화 공정을

거치며, 발효원료가 당질계인 경우 효모에 의해 알코올로 변환됨

나. 바이오에너지 기술조사 연구 범위

- <표 3-7>의 바이오에너지 전환 기술 중 초본계 바이오매스에 해당되는 기술을 나타냈으며 이에 따른 본 연구 대상에 해당되는지 여부를 아래 표 오른쪽에 표기
- 초본계 농업 바이오매스로부터 상용화 되거나 앞으로 유용한 기술인 고체연료화(바이오고형연료), 바이오연료(바이오 에탄올) 기술에 대해서 언급

<표 3-7> 바이오매스 이용 바이오에너지 기술 수준 및 연구대상(농업바이오매스 관련 해당)

기술		원료 바이오매스	제조물	기술수준 (단계)	연구 대상
물리적 변환	고체 연료화	목질계 및 초본계 등	펠릿, 칩 등	상용화	●
열화학적 변환	직접연소	목질계, 초본계, 왕겨 등	열, 전기 등	상용화	X
	고체 연료화	목질계, 초본계 등	고체연료, 바이오코크스 등	상용화	X
				실증연구	X
				실증연구	X
	가스화	목질계, 초본계 등	합성가스, 열전기	상용화	X
	액체연료화 (BTL)	목질계, 초본계 등	액체연료 (에탄올 등)	실증연구	X
	수열가스화	목질계, 초본계 등	합성가스, 열, 전기	실증연구	X
	급속열분해액화	목질계, 초본계 등	액체연료 (BDF 등)	실증연구	X
수열액화	목질계, 초본계 등	액체연료 (BDF 등)	연구	X	
생물화학적 변환	당질 및 전분질계 발효	당질 및 전분질계 자원식물 등	바이오에탄올	상용화	●
	셀룰로오스계 발효	셀룰로오스계 자원식물 등	바이오에탄올	실증연구	●
	부탄올발효	당질, 전분질계 및 초본계 등	바이오부탄올	연구	X

자료 : 김진오 등(2013) / 윤영만(2014), 국내 바이오매스 이용실태와 활성화 방안 / 한국농촌경제연구원(2017), 농축산 유기성 폐자원의 자원화 실태와 문제점.

**●는 연구대상 포함, X는 연구대상에서 제외

제2절 농업 바이오매스 에너지잠재량 분석

□ 농업 바이오매스 잠재량 산정 방법

- 앞서 2018년 기준 농작물생산조사 통계자료로부터 계산한 이론적 부존량에서 함수율을 고려하여 계산한 건조중량에 발열량을 환산하여 고체 연료화에 따른 가채잠재량과 건조중량에 셀룰로오스 함량에 따른 바이오에탄올 생산 가채잠재량을 추정
- 가채잠재량으로부터 기존 문헌 조사에 따른 현실적으로 에너지화할 수 있는 에너지이용률을 적용하여 가용잠재량을 추정
 - 가채잠재량 : 이론적 부존량에서 함수율을 제외한 건조중량
 - 가용잠재량 : 가채잠재량에서 에너지이용률을 적용한 양

<표 3-8> 농업 바이오매스 발생량 및 에너지 잠재량 산출 기준

구분		산출기준 및 정의		비고
가채잠재량	고체연료화(펠릿) 잠재력	대상	• 벧짚, 왕겨, 밀짚, 보리짚, 두류 줄기 및 깍지, 서류 줄기, 잡곡 줄기, 과수 전정가지 24개 항목	
		발열량 환산	• 에너지 원 단위 산정(kcal/kg 건조중량)	농촌진흥청 국립농업과학원 보고서(2013)
	바이오에탄올 잠재력	대상	• 벧짚, 밀짚, 보리짚, 두류 줄기 및 깍지, 서류 줄기, 잡곡 줄기, 과수 전정가지 12개 항목	
		환산	• 벧짚, 밀짚, 보리짚(생체) 발생량의 함수율 15% 가정 • 벧짚, 밀짚, 보리짚의 셀룰로오스 함량 건물 기준 36.3%, 35.2%, 34.8%로 가정(바이오에너지작물센터 시험자료) • 벧짚, 밀짚, 보리짚은 최대 당화율 0.90, 환원당으로부터의 에탄올 이론수득률 0.511 및 최대발효수율 0.81을 적용하여 잠재량 추정	농림축산식품부 (2014) 보고서
가용잠재량	대상	• 벧짚(논벼), 왕겨(논벼), 고추(줄기), 사과(전정가지) 4개 항목	이론적부존량, 가채잠재량 기준 대표 바이오매스 선정	
	적용	• 에너지이용률 계수 적용	에너지기술연구원 보고서, 국립축산과학원 (2010) 보고서	

가. 연료화 가채잠재량

□ 고체 연료화 가채잠재량 산출 방법

- 고체연료화에 따른 가채잠재량 산출은 농림축산식품부 '바이오매스 에너지화 추진 전략 개발'(2014)에서 추정된 내용을 토대로 2018년 기준 국가통계포털 자료 농업 작물 생산량<표 2-8>의 자료를 재계산
- 농업 부산물로부터 고체연료화 잠재량을 추정하기 위해서 건조중량은 각각의 발열량(생체중)으로부터 농촌진흥청 국립식량과학원 '셀룰로오스계 농업부산물 이용 바이오에탄올 생산기술 개발'보고서(2013)에 나타난 함수율을 통해 산정하였으며 부산물별 발열량 환산은 농촌진흥청 국립농업과학원 '농촌지역 유기성 자원의 농업적 이용 및 특성조사'보고서(2013)을 이용

□ 고체 연료화 가채잠재량 추정

- <표 2-8>에서의 농업 바이오매스의 이론적 부존량 7,242,388ton에서 함수율을 적용한 가채잠재량(건조중량)은 3,589,089ton이며 각 바이오매스의 건조중량 기준 발열량을 곱해 에너지로 환산한 결과 14,717,222Gcal 또는 1,471,722toe²⁴⁾의 에너지 잠재량을 가진 것으로 분석되며 이를 목재펠릿 1ton=0.45toe 기준으로 단순 환산하면 3,270,494ton에 해당되는 펠릿 생산 가능<표 3-9>
 - 1,471,722toe의 에너지 잠재량은 원자력발전소 에너지수급량 233,901,000toe²⁵⁾의 6.3%(원자력 발전소 약 1기 가량의 발전량 수준)
 - 에너지잠재량 1,471,222toe는 2017년 기준 1차 에너지 생산량의 0.49%이고 신재생 에너지 생산량의 8.9%며, 전체 바이오에너지 생산량의 40.9%에 해당하며 목재펠릿 생산량 1,099,000 toe보다 34% 높은 에너지량
 - 2017년 기준 에너지 생산량을 보면 총 1차 에너지는 302,065,000toe이며 이 중 신재생에너지는 16,448,000toe를 생산하여 5.4%의 비율을 나타냈다. 이 중 바이오에너지의 생산량은 3,593,000toe로 21.8%를 차지
 - 비록 농업 바이오매스 중 볏짚(발벼, 볏짚 포함)과 왕겨의 사용량이 비료, 가축사료 등으로 다양하게 이용되고 있어 이를 제외시킨다고 하여도 700,991toe로 총 1

24) TOE는 에너지의 양을 나타내는 단위로 석유환산톤(Ton of oil equivalent)이라고 하며 원유(석유) 1톤을 연소하였을 때 발생하는 열량으로 1toe=10,000,000kcal

25) 자료: 산업통상자원부, 에너지경제연구원, 2018에너지통계연보

차 에너지의 0.23%, 신재생에너지 생산량의 4.3%, 바이오에너지의 19.5%에 달하는 수치

<표 3-9> 주요 농업 바이오매스의 고체연료화(펠릿) 가채잠재량 추정(2018)

작물별 부산물	건조중량 (ton)	부산물별 발열량환산 (kcal/kg 건조량)	농업부산물 잠재에너지량 (Gcal)	농업부산물 잠재에너지량 (toe ²⁶)	펠릿 잠재량 ^{a)} (ton)
논벼(벼짚)	1,333,330	3,903	5,203,986	520,399	1,156,441
논벼(왕겨)	616,079	4,061	2,501,898	250,190	555,977
밭벼(벼짚)	226	3,903	882	88	196
밭벼(왕겨)	134	4,061	543	54	121
밀(밀짚)	7,485	4,049	30,309	3,031	6,735
겉보리(보리짚)	6,235	3,946	24,602	2,460	5,467
쌀보리(보리짚)	14,194	3,790	53,796	5,380	11,955
맥주보리(보리짚)	6,957	3,868	26,908	2,691	5,980
콩(줄기)	30,310	4,081	123,696	12,370	27,488
콩(깍지)	12,639	3,971	0,190	5,019	11,153
팥(줄기)	2,063	4,081	8,419	842	1,871
팥(깍지)	704	3,971	2,794	279	621
녹두(줄기)	771	4,081	3,147	315	699
녹두(깍지)	285	3,971	1,133	113	252
고구마(줄기)	87,973	4,133	363,593	36,359	80,798
감자(줄기)	33,443	4,107	137,349	13,735	30,522
옥수수(줄기)	31,444	4,104	129,047	12,905	28,677
메밀(줄기)	1,259	4,576	5,763	576	1,281
고추(줄기)	577,245	4,301	2,482,729	248,273	551,718
사과(전정가지)	420,334	4,421	1,858,298	185,830	412,955
포도(전정가지)	211,234	4,156	877,887	87,789	195,086
배(전정가지)	86,497	4,306	372,455	37,245	82,768
복숭아(전정가지)	57,629	4,246	244,694	24,469	54,376
감(전정가지)	50,618	4,210	213,104	21,310	47,356
합계	3,589,089	-	14,717,222	1,471,722	3,270,494

주1) 목재펠릿 1ton=0.45toe (산림청)

자료 : 농림축산식품부, 바이오매스 에너지화 추진전략 개발(2014) 보고서 내용을 2018년 통계청 자료 기준으로 재작성

26) TOE: 에너지의 양을 나타내는 단위로 석유환산톤(Ton of oil equivalent)이라고 하며 원유(석유) 1톤을 연소하였을 때 발생하는 열량으로 1toe는 10,000,000kcal에 해당.

나. 바이오에탄올 가채잠재량

□ 바이오에탄올 가채잠재량 산출 방법²⁷⁾

- 농업 부산물로부터 고형연료화 잠재량을 추정하기 위해서 건조중량은 각각의 발생량(생체중)으로부터 농촌진흥청 국립식량과학원 보고서에 나타난 함수율을 통해 산정
 - 바이오에너지작물센터의 시험자료를 활용하여 벳짚, 밀짚, 보리짚의 셀룰로오스 함량을 건조중량 기준 36.3%, 35.2%, 34.8%로 가정하였으며 나머지 작물은 해당 값의 평균값 35.43%를 적용
 - 바이오에탄올 생산 잠재력을 추정하기 위해 최대 당화율 0.90, 환원당으로부터의 에탄올 이론 수득률 0.511 및 최대 발효수율 0.81을 적용하여 잠재량을 추정

□ 바이오에탄올 가채잠재량 추정

- 앞서 농업 바이오매스 부존량을 조사한 26종 중 현재까지 보고된 가채잠재량을 추정할 수 있는 바이오매스 중 12종만의 2018년 기준의 농업부산물의 연간 바이오에탄올 잠재량을 아래 <표 3-10>과 같이 나타내었으며 373,906ton의 바이오에탄올을 생산이 가능

<표 3-10> 주요 농업 부산물로부터 연간 바이오에탄올 가채잠재량 추정치(2018)

작물별	부산물	부산물 생산량(ton)	함수율(%)	건조중량 (ton)	셀룰로오스 함량(%)	바이오에탄올 생산잠재량(ton)
논벼	벳짚	3,944,763	66.2	1,333,330	36.30	180,299
밭벼	벳짚	669	66.2	226	36.30	31
밀	밀짚	18,258	59.0	7,486	35.20	982
겉보리	보리짚	15,206	59.0	6,234	34.80	808
쌀보리	보리짚	34,619	59.0	14,194	34.80	1,840
맥주보리	보리짚	16,967	59.0	6,956	34.80	902
고구마	줄기	259,508	61.1	100,949	35.43	13,324
옥수수	줄기	92,756	61.1	36,082	35.43	4,762

27) 농촌진흥청 국립식량과학원, 셀룰로오스계 농업부산물 이용 바이오에탄올 생산기술개발, 2013의 바이오에탄올 생산 잠재력 추정식 인용하여 재산정

고추	줄기	689,660	16.3	577,245	35.43	76,187
사과	전정가지	625,499	32.8	420,335	35.43	55,477
포도	전정가지	273,973	22.9	211,233	35.43	27,879
배	전정가지	133,277	35.1	86,497	35.43	11,416
합계		7,252,388		2,803,623		373,906

다. 농업 바이오매스 가용잠재량

□ 주요 농업 바이오매스 가용잠재량 추정

- 주요 농업 바이오매스(볏짚, 왕겨, 고추줄기, 사과전정가지)의 가용잠재량은 599,647~1,147,820ton이며 이의 에너지 가용잠재량은 257,610~486,453toe으로 약 1.37~2.58백만 tCO₂eq의 감축 효과가 있는 것으로 분석²⁸⁾
 - 이는 2030년 농축산 부문 온실가스 감축 목표량 1.6백만 톤을 충당 할 수 있는 양
- 볏짚, 왕겨, 고추줄기, 사과 전정가지를 모두 펠릿으로 전환한다고 가정한다면 에너지기준으로 572,467~1,081,006ton의 목재펠릿에 해당되는 양이며 이는 2018년 기준 목재펠릿 공급량 3,200,190ton의 17.8~33.8%를 대체할 수 있는 양임

<표 3-11> 주요 농업 바이오매스의 고체연료화(펠릿) 가용잠재량 추정

작물별 부산물	건조중량 (ton)	바이오매스별 발열량 (Gcal)	에너지 이용률 (%) ²⁹⁾	바이오매스 가용잠재량 (ton)	바이오매스 가용잠재량 (toe)	펠릿잠재량 (ton)	온실가스 감축량 (tCO ₂ eq)
논벼 (볏짚)	1,333,330	5,203,986	2.4~14.6	32,000~194,666	12,490~75,978	27,755~168,840	66,337~403,552
논벼 (왕겨)	616,079	2,501,898	7.3~30.2	44,974~186,056	18,264~75,557	40,586~167,905	97,007~401,317
고추 (줄기)	577,245	2,482,729	59.8	345,192	148,467	329,927	788,572
사과 (전정가지)	420,334	1,858,298	41.85~100	175,910~420,334	77,770~185,830	172,822~412,955	413,068~987,020
합계	2,502,220	10,076,074	22.9~38.4	599,647~1,147,820	257,610~486,453	572,467~1,081,006	1,364,984~2,580,461

28) 1TOE=11.63MWh, 전력부문 온실가스 배출계수 0.4567 tCO₂/MWh 이용(환경부, 2018)

29) 에너지 이용에 대한 최근 조사자료는 없으며, 1980년대 조사 자료 이용(에너지기술연구원, 국립축산과학원 보고서)

제3절 농업 바이오매스 에너지화 기술 및 동향

1. 농업 바이오매스 바이오에너지화 기술 수준 분석

가. 고체연료화: 애그로펠릿(agropellet)

- 펠릿(pellet) 연료는 유기물질을 펠릿 모양으로 압축해 만든 바이오 연료로 에너지 작물, 작물 잔해(crop residue), 생목재, 음식폐기물, 산업폐기물과 그 연산물(co-product)들을 활용해서 만들 수 있음
 - 애그로펠릿은 농업 바이오매스를 이용하여 제조한 펠릿이라 지칭하며 agro와 pellet의 조합된 단어임
 - 펠릿은 에너지 생산, 상업용&가정용 난방, 요리용 연료로 쓰일 수 있음
 - 일반적으로 목재펠릿으로 자주 사용되고 있으며 산림에서 생산된 목재나 제재소에서 나오는 부산물을 톱밥으로 분쇄한 다음, 높은 온도와 압력으로 압축하여 일정한 크기로 생산
 - 목재 펠릿은 작고 일정한 크기로 압축 생산되기 때문에 작은 공간에 많은 양을 저장할 수 있는 이점이 있으며, 난방장치 소형화, 연료공급 자동화 등의 장점과 함께, 재생산 가능한 목재자원을 활용하여 화석연료를 대체하고 온실가스를 감축하는 효과가 있어 신재생에너지원으로 분류
- 한편, 목재에는 리그닌(lignin), 헤미셀룰로스(hemi-cellulose) 및 송진(resin)과 같은 성분이 있는데 톱밥으로 파쇄된 목재가 <그림 3-1>과 같은 다이를 빠져나오면서 열에 의해 연화되어 목재 펠릿 표면에 플라스틱과 같은 막을 형성하게 되면서 성형이 되기 때문에 성형에 아무런 첨가물질이 필요 없음
 - 농업 바이오매스의 펠릿 또한 유사한 형태의 다이를 통해 펠릿 생산이 가능

<그림 3-1> 펠릿 생산 다이



자료 : 농촌진흥청, 농림부산물의 처리 및 에너지자원화 기술 개발, 2009.

1) 농산 부산물 펠릿 기술 현황

- 농업 바이오매스를 이용한 펠릿 생산 국내 수준은 현재 제조·가공 가능한 수준
- 농업 바이오매스의 펠릿은 부피가 작을 뿐 아니라 높은 밀도와 낮은 습도를 가지고 있기 때문에 타 펠릿에 비해 잘 썩지 않아 장거리 운송과 저장이 용이
- 또한, 사용자 이용이 쉽고 표준화된 형태를 가지고 있어 버너에 자동적으로 공급하기가 기술적으로 쉬우며, 투자비용이 적게 소요됨으로써 시장이 화석연료에 대한 대안으로 쉽게 받아들일 수 있음
 - 일반적인 바이오매스는 특별한 취급과 연소장치를 필요로 하는 것으로 알려져 있지만, 초본계 혼합펠릿은 표준화된 형태로 생산이 용이
- 농업 바이오매스 펠릿은 주어진 범위의 특성 내에서 쉽게 조절되며 목질계 바이오매스와 혼합이 가능
- 하지만, 유럽 내에서는 초본계 혼합펠릿의 경우 다양한 형태로 여러 생산자들로부터 제조되고 있으나 품질이 매우 불균일하고, 제품생산에 따른 변이가 많은 실정

□ 농산 부산물(벼짚, 왕겨, 고추대, 과수전정가지) 펠릿 기술 현황

- 앞서 농산 부산물의 발생량, 단위면적당 생산량을 고려하면 벼짚, 왕겨, 고추대, 사과전정가지가 농업 바이오매스로서 연료화 가능성이 높다는 것을 알 수 있었으며 이에 따라 4가지 부산물의 펠릿 기술 사례를 파악
- (벼짚, 왕겨 펠릿) 농촌진흥청 국립농업과학원에서 '농림부산물의 처리 및 에너지자원화 기술개발 연구'에서 벼짚, 왕겨를 이용하여 펠릿 제조장치 시제품 제작을 통해 <그림 3-2>과 같이 왕겨펠릿, 벼짚 펠릿 등을 생산³⁰⁾
 - 실험결과 목재(톱밥)펠릿의 발열량은 일반적으로 4,500kcal/kg 정도인데, 벼짚과 왕겨의 발열량은 각각 3,744kcal/kg, 3,599kcal/kg으로 목재펠릿에 비해 80~83%정도 수준의 발열량을 보임
 - 왕겨, 벼짚 펠릿의 경우 회분함량이 보통 13%로 벼짚과 왕겨에 포함되어 있는 실리카(규사)성분 때문에 연소 시 회분량이 많아 재가 많이 발생
 - 가정용으로는 부적합하고 대량으로 쓰이는 소각로 등의 산업용 및 유동층발전소 등에 적합

30) 자료 : 농촌진흥청(2009), 농림부산물의 처리 및 에너지자원화 기술 개발

<그림 3-2> 농산 부산물 바이오매스 펠릿



자료 : 농촌진흥청, 농림부산물의 처리 및 에너지자원화 기술 개발, 2009.

- 발열량이 목재펠릿에 비해 낮기 때문에 효율을 높이고 회분함량을 낮추기 위해 농업 부산물(왕겨 등)과 목질계(툽밥)을 혼합
 - 소나무와 전나무 부산물을 원료로 한 펠릿은 평균 발열량이 4,050kcal/kg으로 일반적인 펠릿 발열량 4,500kcal/kg과 거의 유사
 - 반면 혼합 펠릿은 툽밥의 혼합비율이 감소할수록 발열량이 감소하여 툽밥 7+벚짚 3, 툽밥 7+왕겨 3으로 혼합한 펠릿에 비해 툽밥 3+벚짚 7, 툽밥 3+왕겨 7로 혼합한 펠릿의 발열량이 모두 약 9% 감소
 - 소나무와 전나무 펠릿의 회분함량은 각각 0.42, 0.35로 매우 낮았으나, 농업 부산물인 벚짚과 왕겨의 혼합율이 높아질수록 회분함량도 높음
 - 특히 왕겨가 섞여 있는 혼합펠릿에서 회분함량이 높았으며, 이는 왕겨 자체가 회분을 많이 포함하고 있기 때문인 것으로 사료
- 농산 부산물을 펠릿화하기 위해서는 농산 부산물별 목재와의 최적 혼합비율을 찾는 연구과정이 사전에 필요
- 농산 부산물을 이용하여 연속식 난방시스템 개발 후 농가현장실증<그림 3-3>
 - 농업용 10만 kcal/h급 펠릿 난방기를 개발(효율 84.2%)하였으며 사용자(농민)의 개입을 최소화하기 위한 알고리즘을 설계 및 적용하여 축열조의 온도를 센싱하여 설정온도 이하가 되면 연소가 시작되게 설계
 - 제주특별자치도 서귀포시 토평동 소재의 망고재배 농가에 설치(면적 1,232m², 온실 5.5m 폭 × 길이 32m)하였으며 설정온도 22℃로 유지되어 운전

<그림 3-3> 펠릿 난방기 기계실 위치 및 설치 모습



자료 : 농촌진흥청(2009), 농림부산물 처리 및 에너지자원화 기술 개발

- 농림축산식품부(2013)에서는 농산 부산물 펠릿 제조를 위한 원료건조시스템, 연소용 고효율 보일러 개발, 중형급 펠릿 제조장치, 농산 부산물의 성형성과 연소효율 개선을 위한 전처리 기술을 개발함³¹⁾
 - 원료건조시스템은 함수율 12% 이하의 펠릿 원료만을 선택 배출시키는 배출제어장치를 포함하며, 배출제어장치는 수분센서와 레벨센서가 구비되고, 두 센서의 감지 여부에 따라 건조가 끝난 펠릿 원료의 정상배출 및 비정상 배출을 시키는 정역모터로 구성
 - 농산 부산물을 연료로 사용할 경우 목재에 비해 연소온도가 높고 불완전 연소와 탄화가스 물질 및 높은 회분성분으로 클링커의 발생량이 많아 농산 부산물 연소용 고효율 보일러는 벧짚, 왕겨 등과 같은 농산 부산물을 대상으로 제조된 펠릿의 연소효율을 향상시키는 목적으로 개발(벧짚 펠릿의 열효율이 목재펠릿의 70~75% 수준)
 - 옥수수대, 보리짚을 이용한 중형급 펠릿 제조장치를 개발한 결과 비산먼지 방지를 위한 집진 설비 연결이 필요하며, 보리짚은 분쇄가 용이하고 함수율이 낮아 분쇄시 스크린의 막힘현상이 없는 반면 옥수수대의 경우 옥수수알이 거의 파쇄되지 않아 처리량이 감소하여 원료 수거시 수거방법 확립이 필요하다는 결과를 얻음에 따라 원료별 적정 투입방법 필요
 - 전처리 기술 개발 연구결과를 종합하면 농산 부산물은 4급 이하 또는 열병합발전 소용의 저급 펠릿 제조를 위한 연료로 적당할 것으로 분석되며 고등급의 펠릿 제조용 원료로 사용되기 위해서는 펠릿의 품질 기준에서 요구하는 성질(특히, 회분

31) 자료: 농림축산식품부(2013), 농업부산물 활용 펠릿 제조기술 개발

의 함유량, 질소 및 황 함유량, 발열량) 개선을 위한 추가적인 공정이 필요

- 연료용으로 사용되는 펠릿은 함수율이 10% 미만일 때 열효율이 증대될 수 있어 공기 중에 노출된 펠릿은 흡습을 통해 함수율이 상승되므로 펠릿제조 이후 저장시에는 반드시 외부공기가 통하지 않는 비닐 씰링을 통해 저장해야 함
- 벚짚, 왕겨 펠릿은 목재펠릿에 비해 질소 비율이 4.5배 높으며 황 비율이 2배 가량 높은 것으로 분석되었으며 벚짚/왕겨를 30%/70%로 섞었을 때 질소 비율이 2.5배 높고, 황 비율은 유사한 것으로 분석<표 3-12>

<표 3-12> 목재펠릿과 농산 부산물 펠릿의 원소 분석 비교

시료	원소분석(%)			
	질소	탄소	수소	황
목재 펠릿(100%)	0.18 ± 0.05	50.12 ± 0.26	6.22 ± 0.26	0.06 ± 0.06
벚짚 펠릿(100%)	0.82 ± 0.01	40.75 ± 0.24	5.54 ± 0.05	0.13 ± 0.01
벚짚/왕겨 펠릿 (벚짚 40%:왕겨 60%)	0.87 ± 0.02	40.86 ± 0.15	5.53 ± 0.02	0.12 ± 0.01
벚짚/왕겨 펠릿 (벚짚 30%:왕겨 70%)	0.46 ± 0.00	46.97 ± 0.06	6.20 ± 0.02	0.06 ± 0.00

- 시설원에 현장적용 및 성능분석결과 개발된 시스템은 농가 현장 적용가능한 것으로 판단
 - 충북 진천군 이월면 비닐하우스 2동 (400평, 600평)에 설치하여 연료투입량, 연소 상태, 외기온도변화에 따른 실내온도변화 등을 실험한 결과 전체적으로 큰 문제점이 발생하지 않았으며 연소비율에 따라 실내-외기온도 변화는 비례적으로 변하고 열량은 충분한 것으로 판단되었음
- (고추 줄기, 과수 전정가지 펠릿) 고추 줄기와 과수 전정가지는 앞서 농산 부산물 발생량 측면에서 이용가능성이 높으나 현재까지 연구결과 검색결과 펠릿화한 실증 연구 사례는 부재한 것으로 보임
 - 이에 따라 고추 줄기와 과수 전정가지(사과 전정가지 등)를 펠릿화하여 연료로 사용할 수 있는 추가 연구개발이 필요할 것으로 사료
 - 단, 아래 <표 3-3>에서 벚짚, 왕겨, 고추 줄기, 사과전정가지의 화학적 성상 특성

을 확인해보면 고추줄기와 사과전정가지는 벚짚, 왕겨보다 높은 발열량을 가지고 있어 벚짚, 왕겨보다 이용가능성이 높을 것으로 사료되고 사과 전정가지의 경우 목질계에 속하기 때문에 펠릿화할시 목재펠릿과 유사한 성질과 성분을 지닐 것으로 판단

<표 3-13> 주요 농산 부산물의 화학적 성상 특성

시료	원소분석(%)				에너지(kcal/kg)	
	질소	탄소	수소	황	고위발열량	저위발열량
벚짚	0.6	41.1	5.57	0.09	3,710	3,340
왕겨	0.0	44.5	5.21	0.00	3,990	3,630
고추 줄기	0.4	48.3	6.29	0.01	4,480	3,940
사과 전정가지	1.2	50.5	6.41	0.05	4,820	4,400

자료 : 농림축산식품부(2014), 농입축산 바이오매스 순환 실증단지 모델구축 및 사업지침서 개발 자료 이용

2) 비식량 에너지 작물 펠릿 기술 현황

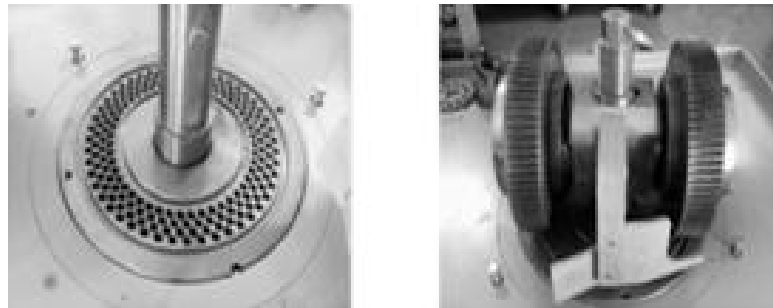
□ 익새 작물 펠릿화 기술 현황³²⁾

- 익새 바이오매스로 성형한 펠릿을 소나무 톱밥 펠릿과 비교하였으며 성형 단계별 물리적 특성 변화, 소요 전력 그리고 성형된 펠릿의 품질과 연소 특성 개선을 위해 석회혼합 비율별로 펠릿을 성형하여 회분 함량 등의 연소특성을 파악
- 시험 재료로 익새는 전북 익산시 용안면 석동리 소재 '거대 익새 생산단지'에서 재배한 거대1호(*M. sacchariflorus* cv. Geodae 1)를 수확하여 수분 17% 정도로 건조 후 바이오매스 절단기로 5~10cm 길이로 절단하여 사용하였으며 소나무 톱밥은 전남 무안군 무안읍의 제재소에서 구입하여 유리온실 내에서 수분함량 15%로 건조하여 사용
- 겉보기 밀도는 익새가 원료단계와 분쇄 후에 소나무 톱밥에 비해 낮았으나 펠릿 성형 후에는 소나무 톱밥과 비슷(익새: 653 g/L, 소나무 톱밥: 656 g/L)

32) 자료 : 문윤호 등(2016), 바이오에너지용 익새 펠릿의 품질 및 연소 특성

- 수분함량은 억새(17%)가 원료 단계에서 소나무 톱밥(15%)에 비해 높았으나 분쇄 후에는 비슷(억새: 11.8%, 소나무 톱밥: 12.2%)하였고, 펠릿 성형 후에는 낮아짐(억새: 6.7%, 소나무 톱밥: 7.7%)
 - 억새는 소나무 톱밥 펠릿성형 공정에 없는 밀도증가 단계가 있지만 총 소요 전력이 비슷하였고, 성형된 펠릿의 내구성(억새: 98.0%, 소나무 톱밥: 98.1%)과 성형율(억새: 99.7%, 소나무 톱밥: 99.4%)도 소나무 톱밥과 차이가 없었음
 - 억새 펠릿은 석회혼합 비율이 증가함에 따라 회분함량이 증가하고 고위 발열량이 다소 낮아졌으나, 회분 용융점이 높아지고 clinker 발생률은 감소하는 경향이 있음
- 현재 보급된 펠릿 연소 버너는 대부분 목재 펠릿에 적합하도록 제작되어 억새 펠릿의 소비 확대를 위해서는 성형 시 석회 혼합방법 개선을 통한 연소효율 향상과 더불어 가동 시 클링커를 자동으로 제거할 수 있는 버너 개발이 필요

<그림 3-4> 거대억새(miscanthus) 펠릿제조용 다이와 롤러



자료 : 문운호 등(2016), 바이오에너지용 억새 펠릿의 품질 및 연소 특성

□ 케나프 작물 펠릿화 기술 현황

- 현재까지 케나프의 펠릿화 관련 연구개발 보고서는 발표된 바는 없으나 현재 한국 에너지기술연구원과 전라북도 농업기술원 등에서 케나프를 화력발전소 연료용으로 사용하기 위한 연구를 진행 중
- 펠릿 제조업체를 이용하여 톤당 10만원 정도의 비용을 지불하면 재배한 케나프 작물을 펠릿 형태로 가공이 가능한 것으로 조사됨
- 케나프 펠릿연료로 가공시 질소 함량과 회분량이 높아 발전소에 사용 품질기준에 부적합하기 때문에 산처리를 하여 저회분 케나프 펠릿 개발을 하고 있으며 인터뷰 결과 발전소 공급가능한 수준의 질소 함량과 회분 함량을 지닌 케나프 펠릿 제품 기술을 개발하여 연료로서 이용가능성이 높아짐

- 케나프를 펠릿으로 가공하면 저위발열량 4,050kcal/kg, 고위발열량 4390kcal/kg으로 목재 펠릿 발열량의 98% 정도로 볏짚, 왕겨와 같은 농산 부산물의 발열량 보다 높아 연료 이용에 농업부산물 보다 경쟁력이 있음
- 단위면적당 생산량(건물기준)이 벼, 목재에 비해 2.5~5배 가량 높기 때문에 수량을 고려한 재배면적당 에너지 산출량을 비교해봤을 때 목재에 비해 3배 이상 높음<표 3-14>

<그림 3-5> 케나프 가공에 따른 펠릿, 부산물, 분말 형태



자료 : (주)해오름발전 제공 제품 사진 촬영

<표 3-14> 케나프, 벼, 목재(소나무)의 단위면적 당 수량, 에너지량 비교

대 상	수량 (톤/ha/년) 건물기준	에너지량		총 에너지 산출량		
		단위열량 (천kcal/ton)	에너지량 (천kcal/ton)	천kcal	상대비율 (%)	
케 나 프	32톤	4,390	140,480	140,480	267	
벼	(짚+왕겨)	7.2톤	4,061	29,239	52,657	100
	볏 짚	6톤	3,903	23,418		
목재 (소나무)	유령(평균10년령)	6.9톤	4,500	31,050	45,225 (유령50%+ 성숙50%)	86
	성숙(평균48년령)	13.2톤	4,500	59,400		

3) 목재펠릿, 초본계 펠릿 PKS(Palm Kernel Shell), 케나프 펠릿 비교³³⁾

- 목재펠릿은 산림청에서 관할하며 2019년 기준 전소에 한하여 REC 가중치 0.5를 부여받으며 발열량은 3,800~4,500kcal/kg으로 가장 높고 수분함량이 0.05wt%로 가장 낮으나 97.3% 수입을 하여 사용하고 있고 수분흡수 때문에 기술적으로 옥외보관이 불가한 것으로 판단
- PKS(Palm Kernel Shell)는 Bio-SRF로 이용되어 환경부에서 관할하며 최근 Bio-SRF 가중치가 전소시 0.5로 낮춰졌으며 발열량은 3,500~3,900kcal/kg으로 가장 낮으나 원료비용이 낮기 때문에 경제성이 있는 것으로 판단
 - 바이오고형연료 중 하나인 팜껍질(PKS)은 목재 바이오매스 대체용으로 인도네시아나 말레이시아에서 생산된 오일팜 씨앗껍질을 열병합 발전 원료로 활용하기 위해 수입
 - 산림청 연구에 따르면 원료가격이 120~150\$/ton으로 저렴하기 때문에 삼성물산, LG 상사 등 국내 기업에서 오일팜조립지를 2011년 기준 10만 ha 이상 확보³⁴⁾
- 억새 펠릿과 케나프 펠릿의 경우 아직까지 에너지화로 활용된 실증사례가 거의 없으며 가중치 부여가 되고 있지 않으나 발열량은 각각 3,894~4,300kcal/kg, 4,050~4,392kcal/kg으로 목재펠릿의 95% 이상의 수준으로 PKS 보다 높지만 현재 기준으로 원료비용(케나프 펠릿 ~270\$/ton)이 PKS(120~150\$/ton) 보다 높은 단점을 가지고 있음
 - 현재 억새는 농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물센터에서 케나프는 전라북도 농업기술원에서 연구개발 중

33) 농림축산식품부 보고서의 동서발전 노서균 자료와 자체 분석 자료 중 표 내용 발췌 및 수정

34) 자료: 산림청(2011), 목질자원대체 오일팜 바이오매스 고도활용 기초연구

<표 3-15> 우드펠릿, PKS, 케나프 펠릿 성분 및 이용성 비교

	목재펠릿	PKS	억새 펠릿	케나프 펠릿
관할	산림청	환경부	부재 (농촌진흥청 연구개발 중)	부재 (전북농기원 연구개발 중)
성분	목질계	초본계	초본계	초본계
발전소 사용	발전소에서 미분화가 100% 사용가능	섬유질때문에 발전소에서 미분화 어려움 사용가능한 발전소는 전체 3%	현재 국내에서는 미이용	현재 국내에서는 미이용
REC	가중치 0.5	가중치 0.25	미부여	미부여
발열량	3,800~4,500kcal/kg	3,500~3,900kcal/kg	3,894~4,300kcal/kg	4050~4390kcal/kg
염소성분	0.05wt%이하	0.1~0.2wt%	-	0.55wt%
수분함수량	10%미만	10~25%	15%	20~25%
비중	0.60~0.70	0.55~0.65	-	-
원료비용	180~220\$/ton	120~150\$/ton	-	~270\$/ton
수입부과세	10%	없음	없음	없음
수입처	사용처 확정없이 수입가능	사용시설 인증받은 사용자와 계약 후 수입신고가능	-	-
보관	수분흡수 때문에 기술적으로 옥외보관 불가	기술적으로 옥외보관 가능하나 법적으로 옥내보관	-	-
보일러	미분탄보일러 및 유동층보일러	유동층보일러	-	-
생산지	전 세계	인도네시아, 말레이시아	국내원산지	아프리카, 인도 등

나. 고체연료화: 칩

- 칩이란 연료로 사용되며, 연소 및 가스화 등 에너지 생산을 위해 고안된 기계를 이용하여 바이오매스를 작은 크기의 조각으로 분쇄함으로써 제조된 생산물을 칩과 호그로 구분

- 애그로칩도 애그로펠릿과 같이 농업 바이오매스를 이용하여 제조한 칩이라 지칭
- 목재연료칩은 산림 산업 및 임산업에서 생산된 원목 및 산림부산물을 이용하여 디스크와 드럼식 칩퍼 등과 같은 장비를 이용하여 비교적 일정한 형상으로 생산한 연료이며 산림부산물은 목질계 바이오매스로 원목 이외에 줄기부, 가지부, 뿌리부 등을 포함³⁵⁾
- 현재까지 목질계 바이오매스를 제외한 초본계 등의 바이오매스를 이용한 칩 제작 및 생산 사례는 미미하나 농촌 바이오매스 중 부산물 바이오매스에 속하는 과수 가지 등을 이동식 칩 제조기를 이용한 사례가 존재
- 장점으로는 바이오매스 고품연료화가 가지고 있는 폐자원재활용 측면으로 친환경성 확보가 용이하며 석탄, 중유 등의 화석연료와 혼합사용이 가능하다는 점
 - 펠릿과 다르게 칩은 건조, 압축 및 성형 등의 과정이 보다 간편하여 원 재료의 품질(함수율 등)이 확보된다면 낮은 생산단가로 비교적 높은 품질의 칩 생산이 가능
- 하지만 마찬가지로 바이오매스 수확과 확보가 어려운데, 특히 칩 생산은 대부분 현장에서 이루어져 부지 특성에 따라 선별기 이용이 힘들어 생산 칩의 품질 유지가 어려움
- 또한 펠릿 대비 칩의 부피가 크기 때문에 저장 및 관련 설비비용이 비교적 높은 편이며 원목대비 칩 생산단가는 1톤당 약 7만원 정도로 임지잔재 10만원/톤가 3만원/톤 가량 높음

다. 바이오에탄올

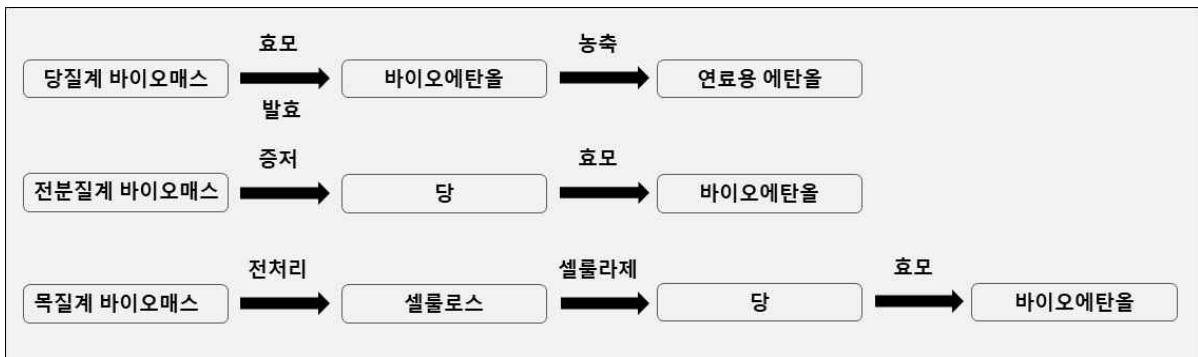
□ 바이오에탄올 생산 기술 수준

- 알코올 발효는 기본적으로 글루코오스 등의 당으로부터 미생물(효모 등)의 발효능력을 이용하여 바이오에탄올 생산하는 기술로서 앞서 2장에서 농업 바이오매스는 성분에 따라 1) 감자, 고구마와 같은 전분질계, 2) 벼, 케나프, 억새와 같은 셀룰로오스계, 3) 사탕수수 등과 같은 당질계로 분류되는데 <그림 3-3>과 같이 바이오에탄올을 생산하기 위해서 원료 성분에 따라 서로 다른 공정이 필요
 - 당질계인 경우 이들은 효모에 의해 발효되어 알코올로 변환되며 정제 및 농축시키면 연료용 에탄올 생산이 가능

35) 국립산림과학원고시 제2013-4호, 2013.6.28., 제정

- 전분질계의 경우 당의 형태로 전환한 후에 효모로 발효하여 바이오에탄올을 생산
- 목질계 바이오매스는 당질계, 전분질계 바이오매스에 비해 매우 견고한 구조를 가지고 있어 이를 분해하는데 여러 단계의 공정을 거쳐야 하는데 1) 셀룰로오스의 접근 가능성을 증가시키기 위한 전처리 공정(Pretreatment), 2) 셀룰로오스의 가수분해를 통해 발효 가능한 당류로 변환하는 당화 공정(Saccharification), 3) 생성된 당을 효모 및 박테리아를 이용하여 알코올로 전환 시키는 발효 공정(Fermentation), 4) 발효액으로부터 에탄올을 증류시키고 물을 제거하는 정제 공정(purification)으로 구성을 통해 최종적으로 연료용 바이오에탄올 생산이 가능

<그림 3-6> 바이오에탄올 생산공정



자료 : 이진원, 박창훈(2011), 바이오에너지의 종류와 생산방법

- CO₂감축과 화석연료(가솔린)의 대체품으로서 바이오알코올이 관심을 받고 있으며, 비식량자원 원료개발과 고효율 플랜트의 개발의 필요성이 대두됨에 따라 농산 부산물(목질계 바이오매스 포함)을 이용한 에너지화 기술개발이 진행 중
 - 특히 효율적인 전처리 및 당화기술의 개발, hemicellulose유래 pentose류를 효율적으로 에탄올로 변환시킬 수 있는 균주의 개발 등이 극복해야 할 과제
 - 현재 상용화된 바이오에탄올 생산 기술은 모두 사람이 식량으로 사용할 수 있는 당질계 또는 전분질계 바이오매스를 원료로 사용하므로 식량을 에너지로 사용한다는 데 대한 문제뿐만 아니라 앞으로 식량 수요가 늘어날 경우 원료 수급에 문제가 발생할 수 있다는 우려가 증가
- 바이오에탄올 생산을 위해서는 전처리 공정을 통한 바이오매스의 분리 및 당화공정을 거쳐 발효성 당으로 전환하여야 하는데 이 과정에서 상당한 비용이 소요되어 경제성이 매우 낮은 것으로 알려짐

1) 농산 부산물 바이오에너지 기술 현황

□ 농산 부산물 바이오에탄올 전환 기술 현황

- 국내에서는 벼짚, 고추줄기, 과수전정가지 등과 같은 농산 부산물을 직접 이용하여 바이오에탄올을 생산하는 연구개발은 거의 이루어지지 않고 있으며 일본의 경우는 벼 부산물을 이용하여 현미 15,000톤을 처리하여 6,700kl의 에탄올을 생산하였다는 보고가 있음
 - 국내 연구진에서는 농산 부산물 중 하나인 폐옥수수대를 이용하여 바이오에탄올 생산한 연구결과를 발표. 연구결과에서 효소적 당화는 묽은황산처리가 가장 효과적이며, 효소량이 당 수율이 가장 큰 영향을 주는 인자로 파악되었으며, 에탄올 생산 모델 균주인 *Saccharomyces cerevisiae* 균주를 이용하여 분리당화 발효공정에서 37%의 에탄올 수율, 0.42 g/L/hr의 생산성을 보여 1kg의 폐옥수수대로부터 88.4g의 에탄올을 생산³⁶⁾
- 벼짚 등 벼 부산물은 리그닌 함량이 낮고 50%이상이 셀룰로오스 등 섬유질로 구성되어 있으며 화학적 구조도 목질계보다 느슨하여 바이오에탄올, 바이오오일 등 다양한 바이오연료의 생산에 유리하나 회분이 문제라고 알려짐
 - 하지만 상대적으로 목질계에 비해 유리한 것으로 전처리 공정, 값싸고 높은 분해 효율을 지니는 효소 개발을 위해 연구 진행 중
- 농산 부산물을 직접 이용한 바이오에탄올 전환 기술은 미래 기술 선점을 위한 측면에서 R&D 투자가 필요할 것으로 사료

2) 비식량 에너지 작물 바이오에탄올 전환 기술 현황

- 농촌진흥청에서는 억새로부터 바이오에탄올 생산을 위하여 연속식 전처리 방법에 의한 발효당 생산기술, 파일럿플랜트규모의 바이오매스 전처리 최적 공정 개발, 파일럿규모의 에탄올 생산 공정 기술 개발(160L/톤), 고농도 연속 당화 공정 기술개발(총 발효당 농도 130g/L) 등을 진행하였음³⁷⁾
- 현재까지 케나프 작물을 이용하여 바이오에탄올을 전환하는 기술은 보고된 바가 없어 앞으로 연구개발이 필요할 것으로 사료

36) 최재민 등(2012), 강원지역 폐옥수수대로부터 바이오에탄올 생산: 효소 당화부터 발효까지

37) 농촌진흥청 국립식량과학원(2016), 초본계 바이오매스 이용 바이오에탄올 생산 규모화 기술개발

2. 국내외 바이오에너지 산업 현황

가. 국내 동향

□ 국내 바이오에너지 생산량(통계체계에 따른 분류)

- 바이오에너지 중 목재펠릿이 2013년부터 급격히 증가한 이후로 지속적으로 전체 바이오에너지에서 가장 높은 생산량을 보이고 있으며 2017년 기준 30.6%를 차지.
- 그 다음으로 임산연료(18.0%), Bio-SRF(12.2%), 바이오디젤(11.9%), 바이오중유(7.4%), 흑액(6.4%), 바이오가스(3.8%), 우드칩(3.4%), 매립지가스(3.0%), 하수슬러지 고형연료(2.8%), 폐목재(2.1%), 성형탄(0.4%) 순으로 나타났으며 주로 고형연료 바이오매스에서 높은 생산량을 보임

<표 3-16> 연도별 바이오에너지 생산량

(단위: 천toe)

구분	2008	2013	2014	2015	2016	2017
총1차에너지	234,062	279,801	282,481	286,936	293,778	302,065
신재생에너지	5,225	9,879	11,537	13,292	14,178	16,448
바이오에너지	274	1,558	2,821	2,765	2,765	3,593
- 바이오가스	77	139	141	108	95	98
- 매립지가스	53	97	79	75	71	77
- 바이오디젤	53	369	387	441	442	428
- 우드칩	5	168	190	373	223	122
- 성형탄	34	23	24	15	15	15
- 임산연료	50	49	5	44	123	648
- 목재펠릿	-	268	795	823	817	1,099
- 폐목재	-	175	191	103	82	75
- 흑액	-	229	322	231	228	230
- 하수슬러지 고형연료	-	37	41	78	77	100
- Bio-SRF	-	-	527	281	281	437
- 바이오중유	-	-	113	306	306	266

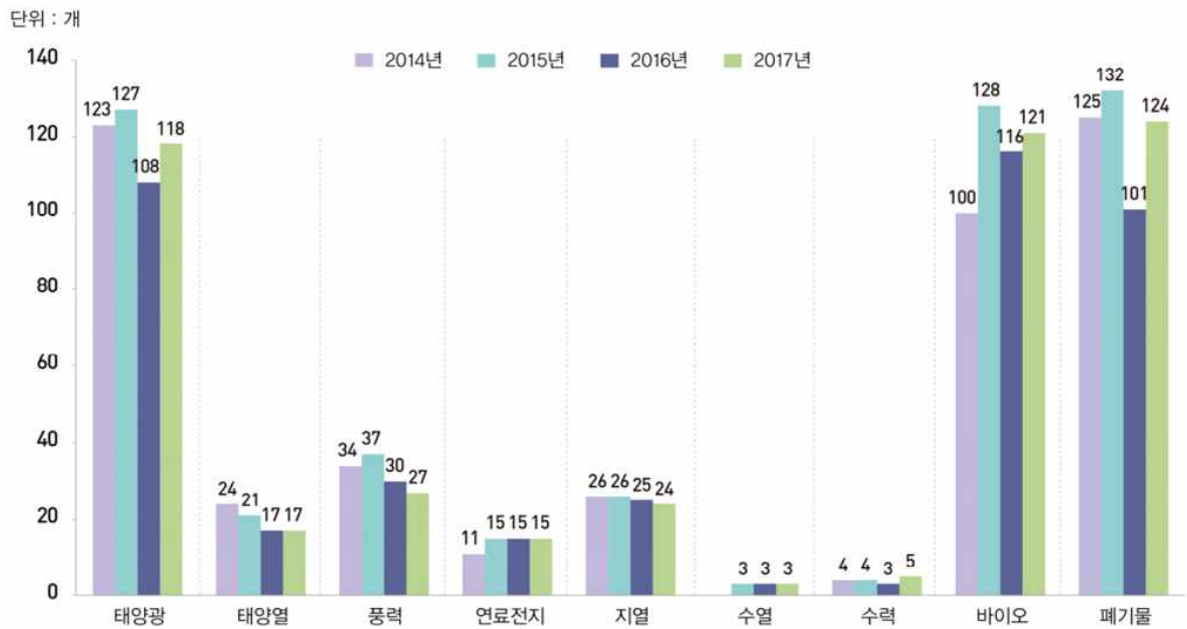
자료 : 한국에너지공단(2018), NICE평가정보 재가공자료

□ 신재생에너지 종사 기업체수 현황

- 산업통상자원부 & 한국에너지공단에서 발표한 국내 신재생에너지 원별 기업체수는 태양광, 태양열, 풍력, 연료전지, 지열, 수열, 수력, 바이오, 폐기물 부분에서 합계 2017년 기준 451개로 2014년과 비슷한 숫자를 보이고 있음
- 2017년 기준 폐기물의 기업수가 124개로 가장 많으며 그 다음으로 바이오, 태양광 순이며 각각 전체 기업 수 대비 27.5%, 26.8%, 26.2%를 차지
- 이렇게 높은 비율의 바이오에너지 관련 기업 수는 새로운 바이오에너지 기술이 도입되게 되면 그만큼 안정적으로 산업이 확산할 수 있는 원동력이 될 수 있을 것으로 판단

<그림 3-7> 신재생에너지 원별 기업체수 현황

<신재생에너지 원별 기업체수 현황>



자료 : 산업통상자원부 & 한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2017년 신·재생에너지 산업통계, 2018.

□ 바이오에너지 종사 기업체수 현황

- <그림 3-7>에서 총 바이오에너지 관련 기업에 대한 세부 바이오에너지 구분을 하여 <표 3-20>과 같이 나타냈으며 이 때 바이오에너지 종사 기업체수는 2017년 기

준 121개로 전년대비 4% 증가

- Bio-SRF 종사 기업이 36.9%, 목재펠릿, 우드칩 종사 기업이 14.9%, 하수슬러지 고형연료 종사 기업이 12.1%를 보이는 등 대부분 고체연료에 관련된 기업수가 많은 것으로 분석

○ 농업 바이오매스의 고체연료 에너지화시 이러한 산업군 활용으로 빠르고 안정적으로 확산 및 보급할 수 있을 것으로 판단

<표 3-17> 바이오에너지 관련 기업체수 현황

구분	바이오 디젤	바이오 가스	바이오 증유	Bio-SRF	우드칩	목재 펠릿	목재 펠릿 보일러	하수 슬러지 고형 연료	합계 ^{주)}	
'14	기업체수	12	×	8	24	23	20	×	15	100
	비중(%)	10.9	×	7.3	21.8	20.9	18.2	×	13.6	100.0
'15	기업체수	12	3	9	45	22	19	10	18	128
	비중(%)	8.7	2.2	6.5	32.6	15.9	13.8	7.2	13.0	100.0
'16	기업체수	10	×	9	47	17	14	×	23	116
	비중(%)	7.6	×	6.9	35.9	13.0	10.7	×	17.6	100.0
'17	기업체수	7	3	11	52	21	21	9	17	121
	비중(%)	5.0	2.1	7.8	36.9	14.9	14.9	6.4	12.1	100.0
전년대비 증감률(%)	▽30.0	×	△22.2	△10.6	△23.5	△50.0	×	▽26.1	△4.3	

주) 기업체수 합계는 동일 에너지원 상의 2개 이상 품목을 영위하는 기업체의 중복을 제외한 수치로 품목별 기업체수의 단순합과 일치하지 않음

자료 : 산업통상자원부 & 한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2017년 신·재생에너지 산업통계, 2018.

□ 바이오매스 관련 업체 현황

○ 국내 바이오에너지 시장에 참여하고 있는 주요 업체는 크게 고체(목재 펠릿 등), 액체(바이오디젤, 바이오에탄올, 바이오부탄올 등), 기체(바이오가스 등) 바이오연료를 개발 및 제조하는 기업군으로 분류되며, 신재생에너지 의무 공급 실적으로 인정받는 품목 위주로 시장이 형성되어 있음

- 고체 바이오연료의 경우 신영이엔피를 주축으로 목재 펠릿 원료를 생산

- 바이오디젤의 경우 사업 초기에는 중소기업 중심으로 시장이 형성되었으나 시장이 점차 확대되며 SK케미칼, 애경유화와 같은 대기업이 시장에 진출하며 중소기업의 경쟁력이 다소 약화된 상태
- 바이오에탄올, 바이오부탄올 등의 경우 아직 국내 시장이 형성되지 않았으며, 연구개발 및 실증테스트 단계에 머물러 있는 상태로, GS케미칼, SK이노베이션, 창해에탄올 등이 참여하고 있는 중
- 목재 펠릿을 제조하는 기업에 농업 바이오매스를 이용한 펠릿 제조기술 개발 지원 등을 하면 쉽고 빠르게 농업 바이오매스 에너지화 보급이 이루어질 것으로 예상
- 바이오에탄올과 같은 액체 바이오연료의 경우 대기업들의 참여로 보다 더 안정적인 시장 형성이 이루어질 수 있을 것으로 봄

<표 3-18> 바이오에너지 관련 산업 내 국내 업체 현황

분류	주요 제품	참여기업	
		대기업	중소기업
고체 바이오연료	목재 펠릿	-	신영이앤피, 풍림, 아주녹화개발, 청림, 대현우드, 규원에너지
액체 바이오연료	바이오디젤	SK케미칼, GS바이오, 애경유화	JC케미칼, 단석산업, 이맥바이오, 엠에너지, 에코솔루션
	바이오에탄올	-	창해에탄올, 젠닥스, 바이올시스템즈, 퓨넥스
	바이오부탄올	GS칼텍스, SK이노베이션	-
	바이오중유	SK케미칼, GS바이오, 애경유화	JC케미칼, 단석산업, 에코솔루션, 오일텍, 옥천유지, 에너지, 엠에너지, 에스씨
	바이오오일	-	대경에스코, ENFC
기체 바이오연료	바이오가스	대우건설, 한솔이엠이	서희건설, 리클린, 한라산업개발

자료 : 한국IR협의회, 바이오에너지 정부정책 기반 바이오에너지 보급 지속 성장 전망, 2019.

□ 발전사 현황(목재펠릿 이용)38)

- 2018년 기준 국내 RPS 대상(공급의무자) 발전사인 한국전력 5대 자회사(남동발전, 동서발전, 남부발전, 서부발전, 중부발전)가 목재펠릿 발전을 하고 있으며 석탄 혼소 및 바이오매스 전용 총 설비용량은 22,345MW이며 대부분 혼소로 발전하며 이중 바이오매스 용량은 882MW 수준
 - 전소시설은 한국남동발전 영동 1호기(125MW)가 유일
- RPS 비대상 발전소의 전체 설비용량은 821.2MW 규모이고 혼소율 고려 목재펠릿 바이오매스 용량은 279.9MW 이상일 것으로 추정
 - 단, 한화에너지 군산발전과 현대에너지 여수발전의 혼소율은 정보없음

<표 3-19> 기존 발전소 목재펠릿 발전 현황

구분	발전사	발전소명	전소/혼소 (혼소율)		설비용량 (MW)	바이오매스용량 (MW)
			전소	혼소		
RPS 대상	한국남동발전	영동에코 1호기	전소	100%	125	125
		삼천포화력 1~6호기	혼소	3%	3,360	101
		여수화력 2호기	혼소	3%	340	10
		영흥화력 1~6호기	혼소	3%	5,520	166
	한국동서발전	당진화력 1, 2호기	혼소	2%	1,000	20
	한국남부발전	하동화력 1~8호기	혼소	4%	4,000	140
	한국서부발전	태안화력 1~8호기	혼소	3%	4,000	120
	한국중부발전	보령화력 1~6호기	혼소	5%	3,000	150
		보령화력 7~8호기	혼소	5%	1,000	50
소계					22,345	882
RPS 비대상	대림에너지 포승그린과워	평택 포승바이오	전소	100%	43.2	43.2
	OCI SE	새만금 열병합 발전	혼소	50%	303	151.5
	군장에너지	GE 4 열병합 발전	혼소	34%	250	85
	한화에너지	군산발전	혼소	n/a	99	n/a
	현대에너지	여수 현대에너지	혼소	n/a	126	n/a
	소계					821.2

주) 한화에너지 군산발전과 현대에너지 여수발전의 혼소율은 정보없음
 자료 : 산림청(2018), 국산원목 REC 가중치 적용에 따른 국내 목재시장 변화 모니터링

38) 산림청(2018), 국산원목 REC 가중치 적용에 따른 국내 목재시장 변화모니터링 보고서 자료

○ 목재펠릿 발전소는 2020년에 5기가 완공되어 총 619.9MW 바이오매스 용량이 추가될 예정이며 2021년에는 3기가 추가되어 총 430MW 바이오매스 용량이 추가될 예정

- 2021년까지 총 1,049.9MW의 바이오매스 용량이 추가될 예정

- 그 밖에 총 9곳의 바이오매스 발전소가 신설될 예정이나 완공예정일이나 전소/혼소 여부, 바이오매스 발전용량 등은 알려지지 않음

<표 3-20> 신설 발전소 목재펠릿 발전 현황

완공예정일 (수급개시일)	구분	발전사	발전소명	전소/혼소 (혼소율)		설비용량 (MW)	바이오매스 용량(MW)	
				전소	혼소			
2020 년	6월	RPS	한국남동발전	영동 2호기	전소	100%	200	200
	7월	대상	한국중부발전 (군산바이오에너지)	군산바이오	전소	100%	200	200
	12월	RPS 비대상	군장에너지 (SMG 바이오)	SMG 바이오	전소	100%	100	100
	12월		포항진재생에너지 (주)	포항바이오	전소	100%	110	110
	-		영덕그린에너지	바이오매스 화력 발전소	전소	100%	9.9	9.9
2021 년	-	RPS	한국남부발전	삼천바이오매스	전소	100%	100	100
	연말	대상	한국수력원자력 (광양그린에너지)	광양 그린에너지	전소	100%	220	220
	12월	RPS 비대상	CGN 대산전력	대산 바이오매스 발전소	전소	100%	110	110
n/a	RPS 대상	한국동서발전	호남화력	n/a	n/a	n/a	n/a	
		한국동서발전 (석문바이오매스)	석문에너지	n/a	n/a	n/a	n/a	
	RPS 비대상	GS 에너지	GS 에너지	n/a	n/a	n/a	n/a	
		고성그린파워	고성그린파워	n/a	n/a	n/a	n/a	
		김천에너지	김천에너지	n/a	n/a	n/a	n/a	
		안인화력	안인화력	n/a	n/a	n/a	n/a	
		한국지역난방기술 KDHEC	한국지역난방기 술 KDHEC	n/a	n/a	n/a	n/a	
		GS 동해전력	GS 동해전력	n/a	n/a	n/a	n/a	
포스코	포스코파워	n/a	n/a	2100	n/a			

자료 : 산림청(2018), 국산원목 REC 가중치 적용에 따른 국내 목재시장 변화 모니터링

□ 발전사 현황(목재칩 이용)³⁹⁾

○ 2018년 기준 국내 RPS 대상 발전사 한국지역난방공사, 동서발전, GS EPS에서 전체 설비용량 576.9MW 규모 바이오매스 용량 216.9MW 규모로 목재칩 발전을 하고 있음

- 동해화력 1,2호기를 제외하고 모두 전소 발전

○ RPS 비대상 목재칩 발전소 6곳의 전체 설비용량은 194.73MW 규모이고 혼소율 고려 목재칩 바이오매스 용량은 62.57MW임

<표 3-21> 기존 발전소 목재칩 발전 현황

구분	발전사	발전소명	전소/혼소 (혼소율)		설비용량 (MW)	바이오매스용량 (MW)
			전소	혼소		
RPS 대상	한국지역난방공사	대구우드칩 열병합발전소	전소	100%	3	3
	한국동서발전	석문 바이오매스	전소	100%	38.9	38.9
	한국동서발전	동해 바이오매스	전소	100%	30	30
	GS EPS	당진 바이오매스 1호기	전소	100%	105	105
	한국동서발전	동해화력 1,2호기	혼소	10%	400	40
	소계					576.9
RPS 비대상	전주페이퍼	전주페이퍼 바이오매스 발전소	전소	100%	32.36	32.36
	이건에너지	열병합발전	전소	100%	8.5	8.5
	금호석유화학	여수 제2에너지	혼소	10%	144.97	14.5
	한솔홈데코	열병합발전	혼소	62%	4.5	2.81
	이월에너지	열병합발전	전소	100%	3	3
	대재에너지	열병합발전	전소	100%	1.4	1.4
	소계					194.73

자료 : 산림청(2018), 국산원목 REC 가중치 적용에 따른 국내 목재시장 변화 모니터링

39) 산림청(2018), 국산원목 REC 가중치 적용에 따른 국내 목재시장 변화모니터링 보고서 자료

- 목재칩 발전소는 2021년 기준으로 추가 3기가 완공되어 총 180.5MW의 바이오매스 용량이 추가될 예정

<표 3-22> 신설 발전소 목재칩 발전 현황

완공예정일 (수급개시일)		구분	발전사	발전소명	전소/혼소 (혼소율)		설비용량 (MW)	바이오매스 용량(MW)
2018 년	-	RPS 비대상	GS포천 그린에너지	GS 포천 열병합발전소	혼소	15%	169.9	25.5
2021 년	1월	RPS 대상	GS EPS	GS 당진 바이오매스2호기	전소	100%	105	105
2021 년	12월	RPS 비대상	여수그린에너지	열병합발전	혼소	20%	250	50

자료 : 산림청(2018), 국산원목 REC 가중치 적용에 따른 국내 목재시장 변화 모니터링

□ 발전사 바이오매스 공급 현황

- 이처럼 신재생에너지 의무공급량 달성 등을 위해 발전사에서는 지속적으로 바이오매스를 이용하고 설비용량을 증가시키고 있으나 현재까지 사용되는 대부분의 바이오매스는 수입산으로 산림청에서는 미이용 산림바이오매스에 REC 2.0 부여하여 국내산 목재 이용을 촉구하는 방향을 가지고 있음
- 2018년 기준 94.1%의 목재펠릿이 수입되어 발전소에 공급됨
- 농업 바이오매스도 이와 같이 농업바이오매스 이용 애그로펠릿 이용 활성화 측면에서 수입산 문제를 고려해야하며 미이용 농업 바이오매스 측면에서 접근해야할 필요가 있을 것으로 사료

<표 3-23> 연도별(2009~2018) 목재펠릿 생산(공급)량

(단위: 톤)

연도별	공급량(A+B)		국내 생산량(A)		수입량(B)		제조시설 가동률(%)
	톤	비율(%)	톤	비율(%)	톤	비율(%)	
2009	20,570	100	8,527	41.5	12,043	58.5	48.6
2010	33,980	100	13,088	38.5	20,892	61.5	44.7
2011	64,013	100	34,335	53.6	29,678	46.4	41.6
2012	173,790	100	51,343	29.5	122,447	70.5	46.1

2013	550,271	100	65,603	11.9	484,668	88.1	52.6
2014	1,940,103	100	90,462	4.7	1,849,641	95.3	61.8
2015	1,552,821	100	82,137	5.3	1,470,684	94.7	50.1
2016	1,769,213	100	52,572	3.0	1,716,641	97.0	30.6
2017	1,773,294	100	67,446	3.8	1,705,848	96.2	39.4
2018	3,200,190	100	187,745	5.9	3,012,445	94.1	39.8

* '14~'16년 수입산에 대한 공급량은 Bio-SRF 포함(수입 통관코드가 같음, '16년 11월부터 분리)

** 발전사의 목재펠릿 Bio-SRF 소비량을 조사하여 재분류 하였을 시 '16년 목재펠릿 수입량은 620천톤

자료 : 산림청(2018년 12월 기준) 자료 발췌 후 연구진 수정

- 목재펠릿 주로 베트남에서 수입(60.4%)되고 있으며 2018년 기준 평균적으로 톤당 152달러에 수입되고 있어 국내 목재펠릿 공급의 절반 정도의 가격임

<표 3-24> 2016~2018년 목재펠릿 수입현황

(단위: 천톤, 천\$)

국가별	2016년			2017년			2018년 11월		
	수입량	톤당 가격 (\$)	수입금액	수입량	톤당 가격 (\$)	수입금액	수입량	톤당 가격 (\$)	수입금액
계	1,717	101	172,642	1,706	118	202,038	2,759	152	418,738
베트남	1,255	97	121,735	889	116	103,315	1,667	153	255,764
말레이지 아	199	100	19,900	343	116	40,606	474	147	69,844
러시아	126	113	14,238	128	121	15,509	68	153	10,385
인도네시 아	76	107	8,132	115	115	13,210	199	142	28,314
캐나다	35	157	5,495	120	131	15,728	0.1	200	20
태국	21	94	1,974	95	116	10,962	280	150	42,044
미국	0.2	280	56	10.6	156	1,652	10	180	1,804
뉴질랜드				3.6	185	666	8	192	1,539
기타	5.1	218	1,112	1.8	216	389	53	170	9,024

자료 : 관세청 목재펠릿 수입현황

나. 국외 동향

□ 국외 바이오에너지 관련 산업 해외 업체 현황

- 세계 바이오에너지는 시장은 원료가 풍부한 미국, 브라질, 유럽을 중심으로 시장이 형성되어 꾸준히 성장해왔으며, 바이오에너지 생산 및 소비의 80% 이상을 차지
- 세계 바이오연료 시장은 재생에너지 지원 정책에 힘입어 바이오에탄올과 바이오디젤 시장이 80% 이상을 차지
- 바이오에탄올 최대 생산 및 소비국은 미국으로, 주요 생산 기업은 POET, Archer Daniels Midland, Green plains, Butamax 등이 있음
- 바이오디젤은 유럽이 최대 생산 및 소비국으로, Neste Oil, Archer Daniels, Cargill 등이 시장에 참여

<표 3-25> 바이오에너지 관련 산업 내 해외 업체 현황

분류	주요 제품	참여기업
고체 바이오연료	목재 펠릿	Fulghum Fibrefuels(미국), Drax Group(영국), Enviva Partners(미국), Graanul Invest(에스토니아), Pinnacle Renewable Energy(캐나다) 등
	바이오디젤	Neste Oil(핀란드), Bunge(미국), Archer Daniels Midland(미국), Wilmar International(싱가포르), Cargill(미국), Louis Dreyfus(네덜란드), Renewable Energy Group(미국) 등
액체 바이오연료	바이오에탄올	POET(미국), BP(미국), Algenol(미국), Archer Daniels Midland(미국), Pacific Ethanol(미국), Abengoa(스페인), Valero energy(미국), GranBio(브라질), Cargill(미국), Green Plains(미국),
	바이오부탄올	Butamax(미국), POET(미국)
	바이오오일	Dynamotiv(캐나다) 등
기체 바이오연료	바이오가스	Schmack Biogas(독일), Flotech(미국), ErviTech Biogas(독일), Planet Biogas Global(캐나다) 등

자료 : 한국IR협의회(2019), 바이오에너지 정부정책 기반 바이오에너지 보급 지속 성장 전망

□ 국외 바이오매스 산업 현황⁴⁰⁾

○ 일본⁴¹⁾

- 메쓰비시 제지와 화장지 등 제조기업 오지 홀딩스는 2019년 완공을 목표로 목재 칩과 팜 코코넛 껍질을 주원료로 7만 5,000kW급 바이오매스 발전소를 건설 중
 - 전자매체 증가 등에 따른 종이 시장 축소에 대응하기 위해 바이오매스 발전 시장 진출을 추진하였으며 전력 판매에 따른 연간 수입은 100억 엔 전망
- 시멘트 업체 중 하나인 태평양 시멘트는 팜코코넛 열매 껍질을 통해 발전용량 7만 5,000kW급 바이오매스 발전소를 2019년에 가동할 계획
 - 주력산업인 시멘트 산업이 도쿄 올림픽 이후 수요가 불확실하다고 판단
- 전력 기업 중 하나인 이렉스는 2020년 총 500억 엔을 투자해 바이오매스 발전소 2곳을 설립할 계획
- 관서전력은 미이용 목재를 활용하여 20만kW급 바이오매스 발전소를 2022년까지 개설할 목표를 가지고 추진 중

○ 독일

- 독일은 국토면적(357,031km²)의 80% 이상에서 바이오매스를 생산하고 있는데, 주로 농업에서 생산되고 있음
 - 바이오에너지와 재생에너지 생산에 사용되는 농지의 전체 면적이 2006년에 1,561,000ha로 전체의 13% 바이오매스 전기생산량은 크게 증가하고 있는데, 2004~2005년 거의 두 배 증가하여 13,114GWh를 생산
 - 대부분 전기는 목질계 폐잔재와 바이오가스로부터 생산
- 독일의 목재펠릿 생산능력이 340만 톤/년(2017년 1월 기준)에 달하고 있으나, 2013년 이후 중소 규모 생산업체의 운영 중단으로 생산설비 증설은 정체되어 있음
- 독일에는 120개의 바이오매스를 연소하는 열병합발전이 가동 중이며, 4백만 톤의 바이오매스를 사용하여(대부분 폐기물과 폐목재) 약 5,000GWh의 전기를 생산
 - 바이오매스를 가스화하여 발전하는 시스템은 2005년 말, 2,700개이며, 650MW의 전기를 생산

○ 미국

- 세계에서 가장 큰 규모의 우드펠릿 생산능력(1,320만 톤/년, 2016년 기준)을 보유하고 있으며 2004년 이후 해외 우드펠릿 수요(특히 EU)가 급격하게 증가함에 따

40) 에너지경제연구원(2017), 세계에너지시장인사이트 제17-25호 세계바이오매스(우드펠릿)수급현황 및 시장변화요인

41) 해외환경통합정보시스템, 일본 바이오에너지분야 정책 및 산업동향

라 생산설비 규모가 증설되고 있음

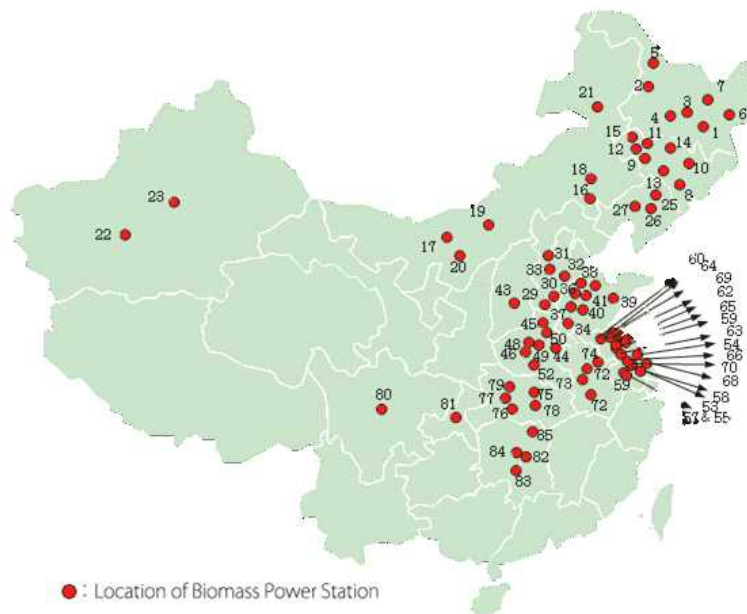
○ 캐나다

- 목재펠릿의 연간 생산능력(400만 톤/년, 42개 우드펠릿 플랜트, 2016년말 기준)을 보유하고 있으며, 풍부한 산림자원을 바탕으로8) 해외 우드펠릿 수요 증가에 따라 급속하게 성장

○ 중국

- 중국의 바이오매스 에너지에 대한 수요는 2014년을 기준으로 향후 5년간 매년 40% 가량 성장할 것으로 예상
 - 특히, 바이오에탄올 생산량 세계 3위의 국가인 중국으로서는 높은 잠재력을 가지고 있음
- 농촌지역에 산재해 있는 개발 가능한 풍부한 바이오 에너지 자원을 활용하여 농촌 잉여인력을 경제 활성화에 기여 기대를 하고 있음
- 중국에서는 2012년 기준 85개소의 열병합 발전이 세워졌으며 이때까지 총 용량은 1,664MW로 평균적으로 20MW의 열병합 발전이 생긴 것
- 중국 정부의 국책사업으로 시작되었으며 정부에서 건설비용을 부담하였으며 배일(벚짚)을 200원/kg에 수매를 하여 운영되고 있으며 현재까지 지속적으로 확산

<그림 3-8> 중국의 농업부산물을 이용한 열병합 발전



자료 : 2012 Asia biomass energy, CHP 중국통계

○ 베트남

- 베트남은 2010년 기준 세계 2위의 쌀 수출국(쌀 생산국 5위)로 쌀 생산의 부산물인 왕겨 생산량이 다대한 관계로, 이를 활용한 전력 생산의 잠재력이 높음
 - 2010년에는 약 752만 톤, 2020년에는 약 790만 톤의 왕겨가 생산 가능 할 것으로 평가됨에 따라 바이오매스 자원화 시장의 잠재력이 높은 것으로 평가
 - 2010년 기준 베트남의 왕겨 활용 현황은 매년 약 300만 톤 정도의 왕겨가 활용될 뿐이며, 나머지는 하천 등지에 방치해 환경오염을 유발하는 실정으로 전력 생산을 위한 연료로는 거의 사용되고 있지 않음
- 베트남의 바이오매스 사업은 2009년 말 기준으로 <표 3-17>에 나타냈으며 주로 왕겨를 이용한 바이오매스 전력발전소 건립이 주요 사업 내용임
 - 이 밖에 왕겨를 이용한 바이오매스 자원화 사업이 활성화되고 있으며 Mekong Delta 지역에 약 10개의 바이오매스 발전소를 건립할 예정
- 국내에서는 이러한 베트남 지역의 특성을 고려하여 베트남에 바이오매스 열병합 발전시설(사업 규모로는 전력 3.6MW+스팀 23tons/hr) 건설 추진을 위해 각종 현황 및 경제성 분석을 하여 베트남 왕겨 발생지에서 분산형 펠릿제조기를 이용하여 왕겨 펠릿을 생산하고자하는 사업을 추진하였음
- 이 밖에 베트남의 우드펠릿의 생산의 경우 생산능력이 매우 높으며 생산비용이 가장 낮은 이유는 대규모 가구제조 산업에서 발생하는 폐목재의 공급이 풍부

<표 3-26> 베트남 내 바이오매스 에너지화 사업

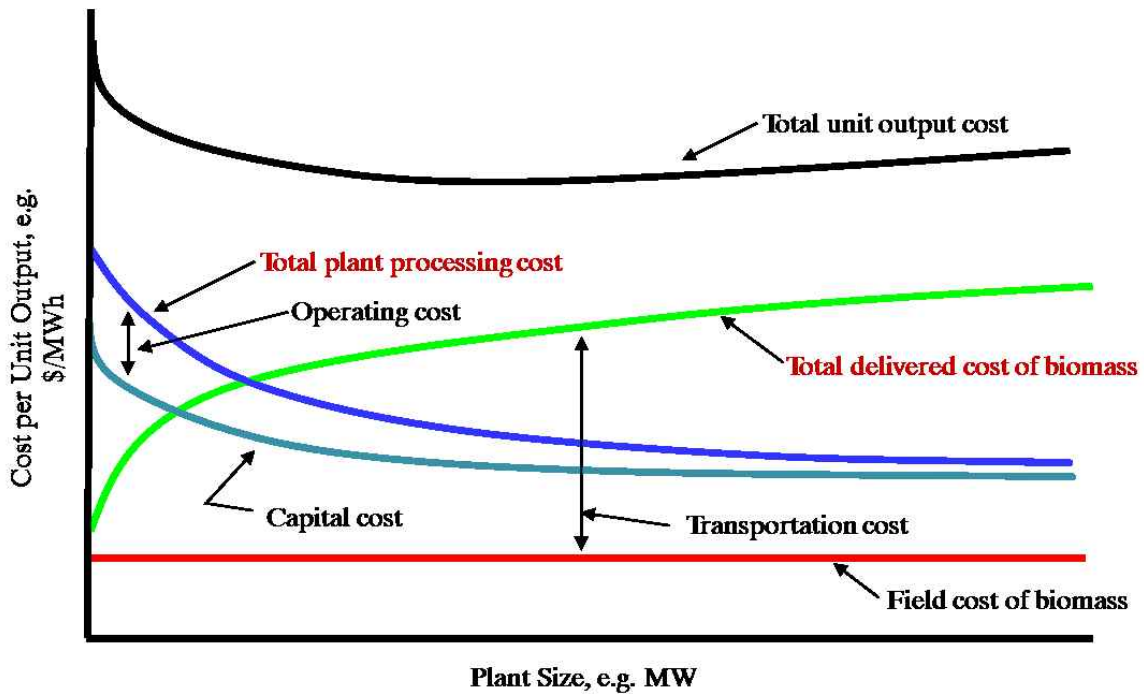
사업명	종류	특징
Dinh Hai Rice Husk Combustion Power Co-Generation Project	18MW 왕겨 바이오매스 전력발전소 건설	운영기간: 50년
Rice Husk Power Project	4~6MW 왕겨 바이오매스 전력발전소 건설	부지 규모: 10ha
Lap Vo Rice Husk Biomass Power Project	10MW 왕겨 바이오매스 전력발전소 건설	운영 기간: 50년 부지 규모: 24ha
Rice-husk Electric Power Plant Project	9MW 왕겨 바이오매스 전력발전소 건설	총 예상 CERs감소: 연간 약 4만 1804 톤 운영기간: 25~30년
Go Cat 쓰레기 처리사업	쓰레기처리 중 메탄가스 포집 및 포집한 메탄가스를 전력으로 변환	투자자금의 70%는 네덜란드 정부 개발 원조로, 30%는 호치민시 예산으로 충당됨

자료 : 호치민 KBC, KOTRA / 한국환경공단, 해외 폐자원 및 바이오매스 에너지화 및 CDM 사업개발, 2012

제4절 농업 바이오에너지 가격경쟁력 비교

- 바이오매스 발전플랜트의 크기가 커질수록 발전단가 대비 운전비용(operating cost), 자본 비용(capital cost) 등은 감소하지만 운송비가 커지게 되어 전체적인 비용은 증가함
- 바이오매스 원료의 가장 큰 장점은 원료의 단가가 낮은 것이나 부피가 커서 운반 거리가 멀면 운송비가 경영에 영향을 미침
 - 왕복 20km 이내의 원료수급은 벗짚 관행 대비 거리가 1/10~1/20정도 예상
 - 운반비 이외에 가장 중요요소는 바이오매스 원료의 가격

<그림 3-9> 바이오매스 발전소 플랜트의 경제성 요소



1. 농업 바이오매스 고체연료화 가격경쟁력

가. 농업 바이오매스 고체연료화 경제성 분석⁴²⁾

□ 경제성 분석 방법 개요

- 경제성 분석에 대한 방법으로는 편익/비용 비율(benefit-cost ratio: B/C ratio), 순현재가치(net present value: NPV), 내부수익률(internal rate of return: IRR)의 기법을 일반적으로 사용
 - 편익/비용 비율(B/C ratio)는 사업의 순편익규모를 제시하지 않는 대신 비용 대비 편익의 비율만 다루기 때문에 수익성이 가장 높은 사업이 채택되는 것을 권고하는 방식으로 산출공식은 다음과 같음

$$B/C\ ratio = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- 여기서 B_t 는 t 시점의 편익, C_t 는 t 시점의 비용, r 은 할인율(이자율), n 은 사업기간을 의미함
 - 순현재가치(NPV)는 미래의 여러 시점에서 발생할 현금의 순유출입(net cash flow)를 분식시점의 현재가치로 할인하여 더한 값으로, 특정 프로젝트의 순현재가치를 나타내며 일반적으로 다음과 같이 구함

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

- 내부수익률(IRR)은 사업의 시행으로 발생하는 편익과 비용의 현재가치로 환산한 값이 같아지는 할인율을 구하는 방법으로 여기에서 내부수익률이란 순현재가치가 0이 되도록 하는 할인율을 의미하며(NPV=0일 때의 수익률이 내부수익률임), 일일 반적으로 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 높은 것으로 판단하고 내부수익률이 사회적 할인율보다 작으면 낮은 것으로 판단하게 되며 산출공식은 다음과 같음

42) 한국농촌경제연구원(2017), 농축산 폐자원의 효율적 자원화 방안연구 자료 이용

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+p)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+p)^t}$$

- 여기서 B_t 는 편익의 현재가치, C_t 는 비용의 현재가치, p 는 내부수익률, n 은 사업 기간을 의미함

□ 비용편익분석 산출기준

- 농업 바이오매스의 상용화 수준의 고체연료화(펠릿제조) 기술과 농업 바이오매스로부터 제조한 펠릿을 이용한 발전시설의 경제성 검토는 비용편익 분석으로 진행
 - 농산 부산물을 이용한 고체연료(펠릿)는 선별·파쇄 등의 전처리 공정, 건조·성형 등의 제조공정을 갖춘 제조시설에서 생산한 것으로 하며 이에 따라 농업 바이오매스의 에너지화 기술의 경제성을 분석하기 위해서 제조시설의 설치 및 운전에만 따른 비용, 제품 생산에 따른 수익, 다양한 편익효과를 고려하여 비용·편익을 분석한 결과임
 - 앞선 장에서 농업 바이오매스의 이론적 잠재량, 가채잠재량을 고려하여 선정한 벧짚, 왕겨, 고추줄기, 사과전정가지와 재배면적 당 생산량을 고려한 비식량 에너지 작물인 케나프, 거대억새를 이용하여 10MW 규모의 바이오매스 발전시설에 대하여 전기판매에 따른 수익, 편익효과를 고려하여 비용·편익을 분석하였으며 REC 부여와 연료판매가격에 따른 민감도 분석을 시행

<표 3-27> 경제성 분석 대상 시설유형

구분	처리방식	대상바이오매스	시설용량	제품	비고
유형 1	펠릿연료화	농산부산물 ¹⁾	50톤/일	바이오매스 발전소 판매	화력건조
유형 2	펠릿 발전		10MW	전력 한전 판매	농업 바이오매스항목: 벧짚, 왕겨, 고추줄기, 사과전정가지, 케나프, 거대억새

주 1) 벧짚, 고추, 전정가지 등 농업 바이오매스

<유형 1>

- 시설유형1 펠릿 제조시설의 경제성 분석을 위한 비용 편익 항목별 산출기준은 <표 3-28>와 같음
 - 각 시설에 공통으로 적용된 사항은 가동일 수 365일, 가동률은 32%(2018년 제조시설 생산규모/생산량 × 100, 산림청⁴³)
 - 실제 가동일 수는 다를 수 있으나 생산규모에 따른 생산량의 가동률로 계상하여 가동일 수를 365일로 설정
- 비용측면의 유지관리비와 감가상각비는 시설가동률에 관계없이 일정하게 지출되는 고정비로 계상
- 농업부산물을 고체연료로 제조하는 시설로 비용 항목에는 유지관리비, 감가상각비, 원료수집비용, 원료구매비용을 두었으며, 직접 편익 항목에는 고체연료(펠릿) 판매 수익을 둬
 - 감가상각비는 내구연한 20년에 잔존가치 10%로 설정
 - 농업 바이오매스(농산 부산물 등)의 수집·운반을 위한 평균이송거리는 20km로 1일 10회 운행하는 것으로 가정
 - 시설설치비 및 유지관리비는 농업바이오매스 펠릿제조시설 정보 부재로 한국농촌경제연구원(2017)에서 설정한 하수슬러지건조연료화 시설 평균 톤당 설치비(농산 부산물의 수분함량 대비 하수슬러지의 수분함량 비율을 조정하여 재계산) 및 평균 유지관리비를 적용
 - 원료생산비용은 볏짚 톤당 판매가격 110,000원(50,000~55,000원/500kg 중형베일)에서 볏짚, 고추줄기, 사과 전정가지 함수율 평균 38.4%로 가정하여 178,571원/톤으로 산정
 - 연료판매 가격은 2018년 12월 기준 국내 목재펠릿 제조업체 7곳(신영이앤피, 단양산림조합, 세온엔텍, 아주녹화개발, 대현우드, 삼다비료에너지, 대한제재소)에서 산업용 관내·관외로 판매하는 가격의 평균값 294,836원으로 산정
- 간접 편익에는 CO₂ 감축효과, 신재생에너지 공급인증서(REC) 가격을 설정
 - CO₂ 감축효과는 발전과정에서 배출되는 CO₂ 배출계수를 기준으로 분석
 - 현재는 Bio-SRF, 목재펠릿, 목재칩, 미이용산림바이오매스만이 REC 가중치 산정되어 있으나 애그로펠릿과 같은 농업 바이오매스에도 REC 가중치 산정이 될 경우를

43) 산림청 목재산업과(2018), 참고자료 버려진 목재로 친환경 전기생산 시대 열다 참고7 자료

가정하여 REC를 간접편익에 포함시킴

- REC 가격은 최근 1년 평균(2018년 8월~2019년 7월) REC 거래가 77,009원/WMh로 산정하였으며 가중치는 목재펠릿 기준인 0.5 REC 적용
- 신재생에너지 공급인증서는 고체연료(펠릿)를 이용하여 발전하는 발전사업자가 거래하는 수익으로 간접편익 효과를 분석
- 발전기준투입대비 발전 열량인 열효율은 39%로 산정(목재펠릿 열↔전기 전환 효율 적용, 산림청)

<표 3-28> 고체연료화(펠릿) 제조시설 경제성 항목별 산출기준

구분(단위)		산출기준
비용	유지관리비	공통: 296일 가동(가동률 81% 기준) 41,968원/톤
	감가상각비	내구연한 20년, 잔존가액 10% 기준(정액법)
	원료수집비용	운송수단: 경유차량(10톤) • 연비: 3.5km/L(경유 1,335.98원/L 2019년 평균가격) • 평균운송거리: 20km • 운송횟수: 10회/일
	원료구매비용	178,581원/톤(물 톤당 110,000원, 함수율 38.4% 적용)
직접편익	연료(펠릿)판매	297,479원/톤 적용(국내 목재펠릿 제조업체 평균가, 2018년 12월 기준)
간접편익	CO ₂ 감축	국내 농업농촌 자발적 온실가스 감축사업(농식품부)에 따른 10,000원/톤-CO ₂ 기존 발전시설에서 감소할 수 있는 CO ₂ 배출량 원단위 0.4428톤-CO ₂ -eq/MWh 기준
	REC	연료공급량(kg) × 연료의 저위발열량(Kcal/kg) × 0.39%(발전효율) ÷ 860kcal × 0.5(목재펠릿 가중치 적용) × 296일(연 가동시간) × REC 가격(원/MWh) • REC => 77,009원/MWh (2018.08~2019.07 평균 거래가격)

자료: 산림청(2019), 목재펠릿+통계자료;

전력거래소(<https://www.kpx.or.kr/www/contents.do?key=225>: 2019. 11.);

전력부문 발전단 온실가스 배출계수

<유형 2>

- 시설유형2 애그로펠릿을 이용한 발전시설의 경제성 분석을 위한 비용 편익 항목별 산출기준은 <표 3-29>와 같음
 - 각 시설에 공통으로 적용된 사항은 가동일 수 296일(2017년 기준 남동발전 석탄화력발전기 가동율 81% 적용)
- 비용측면의 유지관리비와 감가상각비는 시설가동률에 관계없이 일정하게 지출되는 고정비로 계상
 - 총 공사비는 우드펠릿 이용을 위한 200MW규모의 군산바이오매스 발전소 공사비 5,853억원을 기준으로 MW 당 29.3억 원으로 산정하여 300억 원으로 설정
- 애그로펠릿을 이용한 발전시설 비용 항목에는 유지관리비, 감가상각비, 연료구매비용을 두었으며, 직접 편익 항목에는 전력판매수익(SMP)와 REC 거래 수익을 둠
 - 감가상각비는 내구연한 20년에 잔존가치 10%로 설정
 - 유지관리비는 발전 용량(10MW), 가동일(296일)을 고려하여 발전에 따른 운영비 단가 25원/kWh(동서발전)으로 가정하여 연간 14.4억 원으로 설정
 - 연료구매비용은 2018년 12월 기준 국내 목재펠릿 제조업체 7곳(신영이앤피, 단양 산림조합, 세온엔텍, 아주녹화개발, 대현우드, 삼다비료에너지, 대한제재소)에서 산업용 관외용으로 판매하는 가격의 평균값 297,479원으로 산정하였으며 이 때 운송비는 연료 구입단가에 포함하였음
 - 전력판매수익은 최근 1년간(2018년 8월~2019년 7월) SMP 평균가 96,419원/MWh를 적용하였으며 송전시 소내소비율이 발생하기 때문에 이를 14%로 가정하여 전력판매수익을 계상함
 - REC 가격은 최근 1년 평균(2018년 8월~2019년 7월) REC 거래가 77,009원/WMh로 산정하였으며 가중치는 목재펠릿 기준인 0.5 REC 적용
 - 발전기준투입대비 발전 열량인 열효율은 39%로 산정(목재펠릿 열↔전기 전환 효율 적용, 산림청)
- 간접 편익에는 CO₂ 감축효과, 신재생에너지 공급인증서(REC) 가격을 설정
 - CO₂ 감축효과는 발전과정에서 배출되는 CO₂ 배출계수를 기준으로 분석

<표 3-29> 고체연료(펠릿) 발전시설 경제성 항목별 산출기준

구분(단위)		산출기준
비용	유지관리비	공통: 296일 가동(가동률 81% 기준) 운영비: 발전량 × 운영비단가(25원/kWh)
	감가상각비	사업비 300억 원 설정(군산바이오매스 발전소 약 29.3억 원/MW 기준) 감가기간 20년, 잔존가액 10% 기준(정액법)
	연료구매비용	구매비용: 구입단가(294,836원/톤) × 연료량 • 국내 목재펠릿 제조업체 평균가(2018년 12월 기준) • 연료 구입단가는 운송비 포함
직접편익	전력판매수익	연료공급량(kg) × 연료의 저위발열량(Kcal/kg) × 0.39%(발전효율) ÷ 860kcal × 296일(연 가동시간) × SMP 가격(원/MWh) • SMP => 96,419원/MWh (2018.08~2019.07 평균 시세) • 소내소비율: 14% 적용
	REC 거래	연료공급량(kg) × 연료의 저위발열량(Kcal/kg) × 0.39%(발전효율) ÷ 860kcal × 0.5(목재펠릿 가중치 적용) × 296일(연 가동시간) × REC 가 격(원/MWh) • REC => 77,009원/MWh (2018.08~2019.07 평균 거래가격) • 소내소비율: 14% 적용
간접편익	CO ₂ 감축	국내 농업농촌 자발적 온실가스 감축사업(농식품부)에 따른 10,000원/톤 -CO ₂ 기존 발전시설에서 감소할 수 있는 CO ₂ 배출량 원단위 0.4428톤 -CO ₂ -eq/MWh 기준

자료: 산림청(2019), 목재펠릿+통계자료;
전력거래소(<https://www.kpx.or.kr/www/contents.do?key=225>: 2019. 11.);
전력부문 발전단 온실가스 배출계수

□ 비용편익분석 결과

<유형 1>

- 농산부산물을 이용한 펠릿 제조시설에 대하여 편익에서 비용을 차감하는 형태로 경제성 분석을 수행
- 고체연료(애그로펠릿) 제조시설의 총 발생비용은 246,132원/톤으로 고체연료 판매에 따른 직접편익은 294,836원/톤으로 나타나 직접편익에 따른 수지(직접편익-비용)는 50,208원/톤이었음
- 간접편익에서 CO₂ 감축 효과는 5,889원/톤, REC 거래 유발 효과는 56,116원/톤으

로 나타나 총 간접편익 효과는 62,004원/톤으로 바이오고형연료 제조시설의 연간 직접편익수지는 연간 2억 9,321만 원의 흑자를 기록하게 되며 간접편익을 고려한 총 편익수지는 연간 6억 5531만 원의 흑자를 시현하는 것으로 분석

<표 3-30> 고체연료(펠릿) 제조시설 비용·편익 분석 결과

구분		고체연료(펠릿) 제조시설	
		천 원/년	원/톤
비용(A)	유지관리비	245,093	41,968
	감가상각비	131,760	24,066
	원료수집비용	8,916	1,527
	원료구매비용	1,042,857	178,571
	소계	1,428,627	246,132
직접편익(B)	고형연료판매	1,721,840	294,836
간접편익(C)	CO ₂ 감축	34,389	5,889
	REC	327,715	56,116
	소계	355,604	62,004
수지(D)	직접편익수지(D1=B-A)	293,213	50,208
	총편익수지(D2=B+C-A)	655,318	112,212

<유형 2>

- 앞선 장에서 농업 바이오매스의 이론적 잠재량, 가채잠재량, 재배면적 당 생산량을 고려하여 벧짚, 왕겨, 고추줄기, 사과전정가지, 케나프, 거대억새를 이용한 10MW 규모의 바이오매스 발전시설에 대하여 편익에서 비용을 차감하는 형태로 경제성 분석을 수행
- 각기 원료가 다르게 제조한 애그로펠릿를 이용한 10MW급 발전시설의 총 발생비용은 <표 3-9, 3-14, 3-15>에 기술한 농업 바이오매스의 발열량 차이로 인하여 112~124억 원으로 전력판매수익과 REC 거래에 따른 직접편익은 66억 7,871만 원으로 나타나 직접편익에 따른 수지(직접편익-비용)는 -56억 9094만 원이었음
- 간접편익에서 CO₂ 감축 효과는 1억 2548만 원으로 나타나 간접편익을 고려한 총 편익수지는 연간 44.4~55.9억 원 원의 적자를 기록하는 것으로 분석
- 농업 바이오매스 원료에 따른 경제성은 농업 바이오매스의 발열량 순인 사과 전정가지, 케나프, 고추줄기, 왕겨, 벧짚, 거대억새 순으로 높은 결과가 나옴

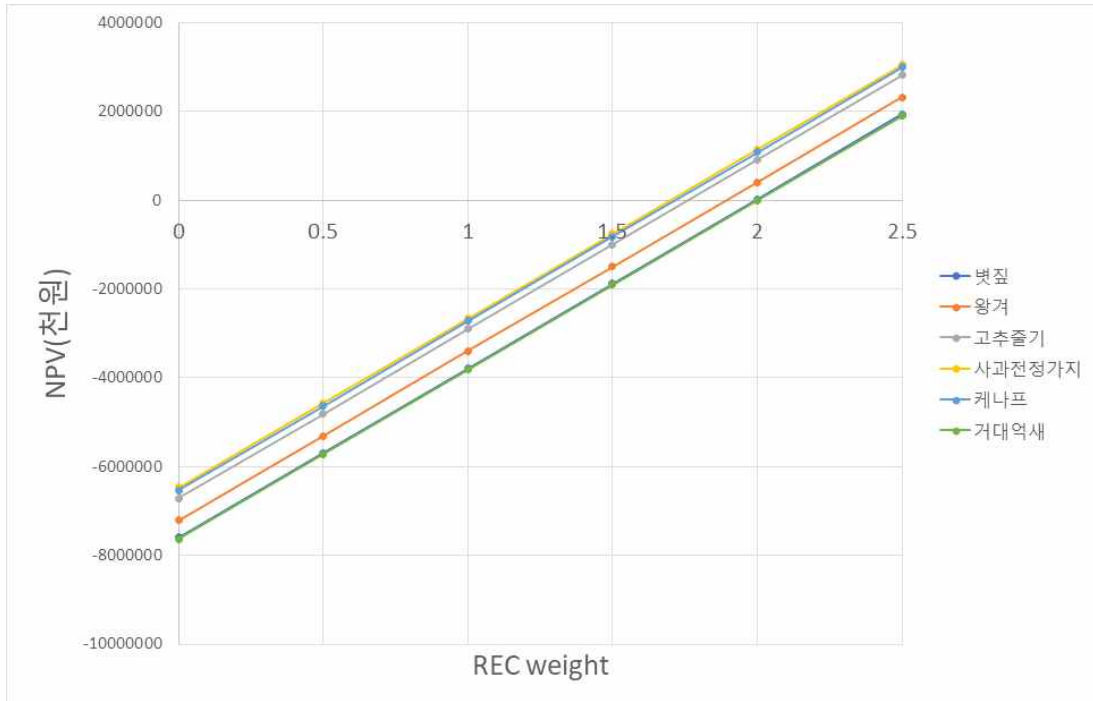
<표 3-31> 농업 바이오매스 종류에 따른 발전시설 비용·편익 분석 결과

구분		농업 바이오매스 발전시설 연료구분 (천 원/년)					
		벼짚	왕겨	고추줄기	사과전정가지	케나프	거대억새
비용(A)	유지관리비	1,437,500	1,437,500	1,437,500	1,437,500	1,437,500	1,437,500
	감가상각비	1,350,000	1,350,000	1,350,000	1,350,000	1,350,000	1,350,000
	연료구매비용	9,582,161	9,198,874	8,697,654	8,461,785	8,520,752	9,611,644
	소계	12,369,661	11,986,374	11,485,154	11,249,285	11,308,252	12,399,144
직접 편익(B)	전력판매수익	4,772,741	4,772,741	4,772,741	4,772,741	4,772,741	4,772,741
	REC 거래	1,905,973	1,905,973	1,905,973	1,905,973	1,905,973	1,905,973
	소계	6,678,713	6,678,713	6,678,713	6,678,713	6,678,713	6,678,713
간접 편익(C)	CO ₂ 감축	125,488	125,488	125,488	125,488	125,488	125,488
	소계	125,488	125,488	125,488	125,488	125,488	125,488
수지(D)	직접편익수지	-5,690,947	-5,307,661	-4,806,440	-4,570,572	-4,629,539	-5,720,431
	(D1=B-A)						
	총편익수지 (D2=B+C-A)	-5,565,460	-5,182,173	-4,680,953	-4,445,084	-4,504,051	-5,594,943

□ 민감도분석

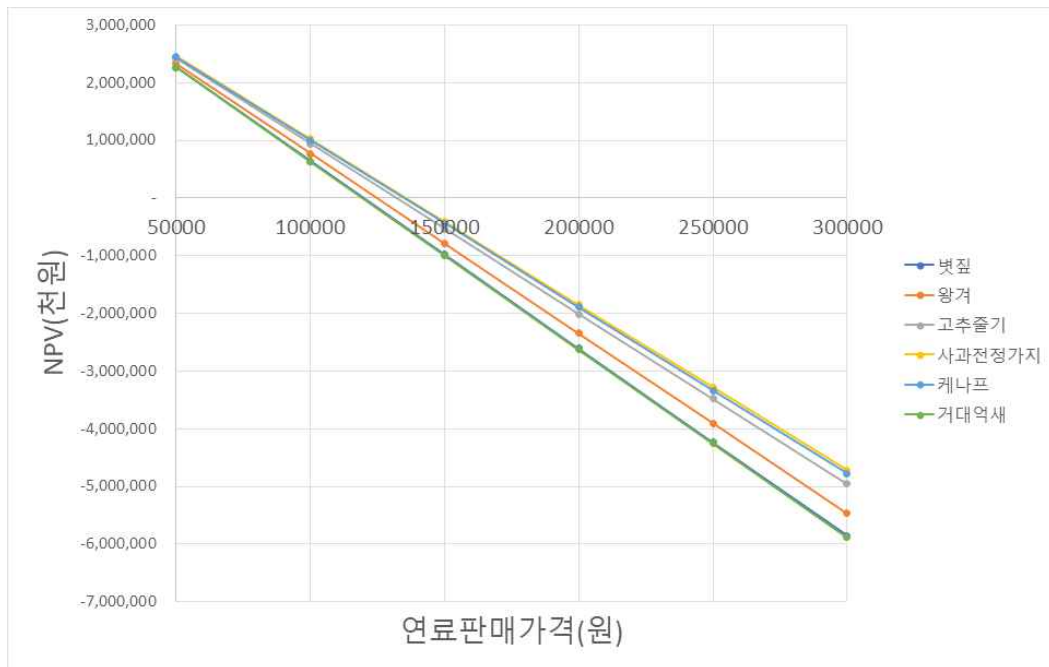
- 농업 바이오매스 중 이론적 잠재량, 가체잠재량을 고려하여 선정된 벼짚, 왕겨, 고추줄기, 사과전정가지와 재배면적 당 생산량을 고려한 에너지 작물인 케나프, 거대억새를 활용한 농업 바이오매스 발전소의 경제성 확보를 위한 대안 모색이 필요한 시점에서 경제성평가에 영향을 미치는 주요변수의 변동에 대한 민감도를 분석
 - 민감도분석 대상인 주요 변수는 REC 가중치의 변동(0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5)과 연료판매가격(5, 10, 15, 20, 25, 30만 원)에 따라 설정
- REC 가중치가 0에서 2.5까지 0.5씩 증가할 때의 NPV 변화를 분석
- 민감도 분석 결과 <그림 3-10>과 같이 REC 가중치가 1.7~2.0 이상일 경우 농업 바이오매스 모두 경제성을 확보하는 것으로 분석
 - 발열량이 가장 높은 사과전정가지기의 경우 REC 1.7이상일 때 경제성 확보 가능
 - 발열량이 가장 낮은 것으로 조사된 거대억새의 경우 REC 2.0 이상일 때 경제성 확보 가능

<그림 3-10> 주요 농업 바이오매스의 REC 증가에 따른 민감도 분석 결과



○ REC를 0.5로 고정한 후 연료구매비용에 따른 민감도 분석시 애그로펠릿 판매비용은 12만 원/톤 미만으로 책정되어야 경제성이 확보된 것으로 분석

<그림 3-11> 연료판매가격에 따른 민감도 분석 결과



□ 얀해간척지 지역 발전소 및 농민을 고려한 고체연료화 경제성(케냐프)44)

- 본 내용은 논문 결과를 발췌한 내용으로 새만금 간척지의 농업용지에서 위탁농업으로 케냐프를 재배하고 인근지역에서 펠릿화하여 신규 초본계 바이오매스 화력발전소에 연료로 공급하는 사업구조와 벼를 재배하고 있는 절대농지에서 농가가 직접 재배한 케냐프를 펠릿화하여 신규 초본계 바이오매스 화력발전소에 연료로 공급하는 사업구조로 경제성 분석이 진행됨
- 케냐프 경제성분석 추정식은 자연로그 함수형태로 새만금 간척지의 케냐프 재배면적(ha)이 증가할수록 단위(10a) 당 케냐프 생산원가가 감소한다. 함수의 기울기는 -65,540으로 우하향 하는 형태를 가지고 있음

$$C = -65,540 \ln(X) + 820,589$$

C : 10 a당 케냐프 생산원가(원/10 a)

X : 케냐프 재배면적(ha)

○ 산출기준

- 절대농지의 소유권은 농가에 있고 작물을 재배하기 위한 목적으로 보유하고 있으므로, 케냐프 생산원가는 비교 작물의 기대수익으로 산정하는 수익접근방법을 적용
- 원가접근방법은 재배규모가 증가함에 따라 생산원가가 감소하는 형태로 나타나기 때문에 규모의 경제성을 반영하지만, 수익접근방법은 비교 작물의 재배면적에 대한 평균 수입으로 생산원가를 추정하기 때문에 규모의 경제성은 반영하지 않음
- 절대농지의 위치는 한국남동발전 영동예코발전본부 인근에 위치하여 운송비용의 최소화가 가능한 강릉시를 대상으로 분석
- 이에 따라 쌀의 연간 수입은 2016년 강릉시 평균인 921,719원/10a를 적용(농촌진흥청, 2017)
- 신규 초본계 바이오매스 화력발전소의 초기투자비용은 국내 정보가 없기 때문에 대표적인 미국의 바이오매스 설비 단가 72.03USD/MWh를 적용하였고, 초기투자비용을 산정하기 위한 할인율은 10%를 적용
- 규모대비 연평균 전력생산량 비율인 이용률은 2017년 남동발전 석탄화력발전기 이

44) 엄병환 & 강찬호, 2019 논문 발췌

용률인 81.0%를 적용하였으며, 발전기 투입대비 발전 열량인 열효율은 2017년 기력 발전소 기준 38.66%를 적용(KEPCO, 2018)

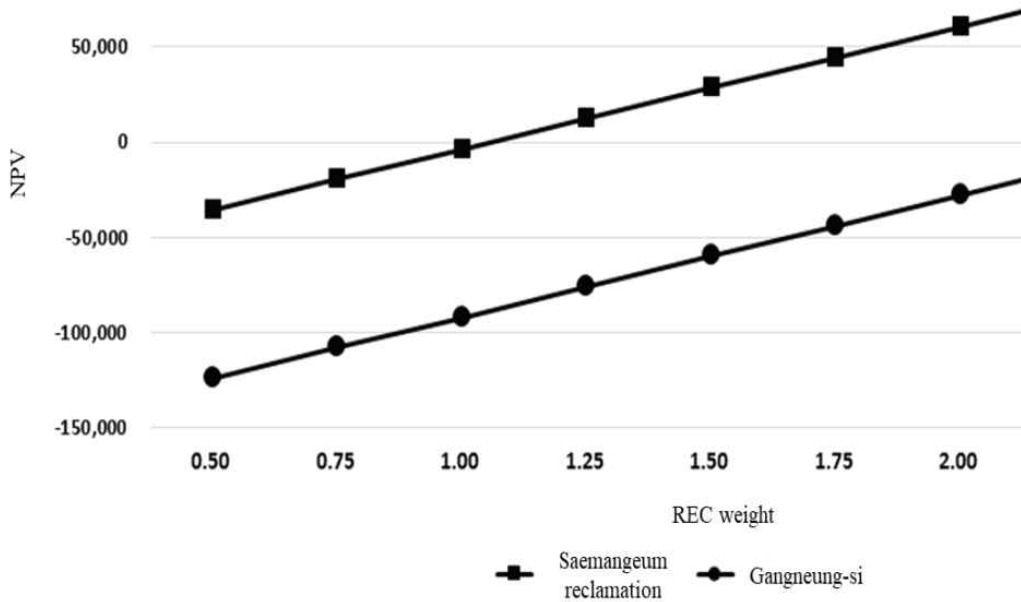
- 초본계 바이오매스의 연간 발전량은 발전기 규모에 8,760시간과 이용률을 곱하여 35,480 MWh/yr으로 산정하였으며, 초기투자비용은 설비 내용연수 40년 동안의 발전량을 현재가치로 환산한 값인 346,957 MWh에 설비단가를 곱하여 24,991,307 USD로 산정
- 바이오매스 화력발전소의 내용연수는 화력발전 내용연수를 적용하였으며, 2017년 평균환율 1,070.5원/USD를 적용하여 초기투자비는 267.53 억원으로 산정(IEA, 2015; Statics Korea, 2018)
- 면적 1ha당 케냐프 생산량은 새만금 간척지의 경우 20.16 톤/ha이며, 강릉시의 경우 22.05 톤/ha를 적용하였으며, 케냐프 발열량은 저위발열량 3,910 kcal/kg을 적용(Kim 2014; Lee et al., 2018)
- 새만금 간척지의 케냐프 생산원가는 추정식에 재배면적 1,113 ha를 반영하여 3,608,381 원/ha로 산정
- 재배면적 추정식은 대상면적 중 건축물, 도로 등을 차감한 토지이용율 90%를 적용
- 경제성 분석의 가격기준은 2017년 12월이며, 2017년 1월~12월의 기준가격을 적용
- 분석기간은 총 41년으로 초본계 바이오매스 발전소 건설기간 1년과 사업기간 40년으로 구성되어 있으며 사업기간은 초기투자비 산정에 적용한 발전소 내용연수와 동일하게 적용
- 케냐프 연료단가는 면적당 케냐프 생산원가를 면적당 생산수율로 나누어 산정된 무게(톤) 단위당 케냐프 생산단가인 새만금 간척지 178,987 원/톤, 강릉시 417,972 원/톤에 국산재 목재펠릿과 유사하게 펠릿제조비용 100,000 원/톤과 운송비용 40,000원/톤을 가산하고 경관보전직불금 1,700,000원/ha, 받고정직불금 500,000원/ha를 차감하여 산정(MAFRA, 2018)

<표 3-32> 경제성 분석 대상 항목 산출 기준

구분(단위)	Content	비고
발전소 시설 용량(MW)	5	
연간발전량(MWh)	35,480	가동률 295일(365일 x 0.81)
발전량 대비 시설비용(원/MWh)	77,108	
초기발전소 투자비용(원)	26,753,194,000	
생산단가(원/ton)	178,987	새만금간척지
	417,972	강릉시
운송비(원/ton)	40,000	생산단가에 가산
펠릿제조비용(원/ton)	100,000	생산단가에 가산
경관보전직불금(원/ha)	1,700,000	생산단가에 차감
밭고정직불금(원/ha)	500,000	생산단가에 차감
인건비(원/인)	81,000,000	8명 투입(기술인력 3명, 운영인력 4명, 발전소장 1명)
전력판매단가 (REC 판매단가(원/REC))	102,388	SMP 86,27원/kWh 적용(2015~2017)

- 경제성 평가결과, 새만금 간척지의 NPV는 -35,395백만원으로 산정되었으며, IRR은 41년 동안 모든 연도의 현금흐름이 음(-)의 수로 나타나 산정이 불가능
 - 강릉시의 NPV는 -123,670백만원으로 나타나 새만금 간척지의 경제성 보다 3.5배 낮은 것으로 도출
 - 강릉시가 새만금간척지보다 경제성이 낮은 것은 수익접근방법의 생산원가가 원가 접근방법보다 2.55배 높기 때문임
 - 경제성 평가결과는 새만금 간척지와 강릉시 모두 수입의 증가나 비용의 절감이 없는 경우 경제성을 확보하지 못하는 것으로 해석 할 수 있음
- (민감도 분석) 케냐프 연료단가 대비 정부 지원금 비율이 0%에서 100%까지 10%씩 증가할 때와 REC 가중치가 0.50에서 2.50까지 0.25씩 증가할 때의 NPV 변화를 분석
 - 정부지원금에 대한 민감도 분석결과 케냐프 연료단가 대비 새만금 간척지 47.4%, 강릉시 75.9%를 정부에서 지원하는 경우 경제성을 확보하며, REC 가중치가 새만금 간척지 1.05, 강릉시 2.43인 경우 NPV는 '0'으로 최소한의 경제성을 확보 가능

<그림 3-12> REC 증가에 따른 민감도 분석 결과



자료 : 엄병환 & 강찬호, 2019, 초본계 바이오매스 활용 석탄발전소 연료전환 모형 경제성 분석 연루

□ 재배, 수확, 전처리 등에 대한 가격경쟁력(거대역새)⁴⁵⁾

- 거대역새 생산함수 추정결과 거대역새 생장에 영향을 미치는 주요 인자는 광합성 유효방사(PAR)로 나타났으며, 모델링 결과 평균 21.56 ton/ha, 최대 42.47 ton/ha의 생산량이 가능할 것으로 나타남
- 거대역새 최적 수확시기 산정결과 PAR와 일강우량에 따라 모의된 최적 수확시기는식재 후 240일 정도로 예측되며, 바이오에탄올 생산시 경제성은 없는 것으로 나타남
- 거대역새 바이오에너지 생산에 따른 경제성 분석결과 역새의 생산성이 40 ton/ha로 향상되고, 근경의 낱품비가 50% 수준으로 낮아져야 경제성이 확보될 것으로 판단

□ 농업 바이오매스 고체연료화에 따른 REC 부여 시나리오

- REC 가중치는 경제성(정량)지표와 정책성(정성)지표를 바탕으로 「신에너지 및 재

45) 농촌진흥청(2014), 거대역새 대규모 재배 시범단지 기초 환경영향 평가 및 경제성 분석 자료

생에너지 개발·이용·보급 촉진법」에 의한 가중치는 아래 고시 내용을 고려하여 산정됨

- 고시: 1. 환경, 기술개발 및 산업활성화에 미치는 영향, 2. 발전 원가, 3. 부존 잠재량, 4. 온실가스 배출 저감에 미치는 효과, 5. 전력 수급의 안정에 미치는 영향, 6. 지역주민의 수용 정도
- REC부여를 위해서는 신재생에너지 원별 LCOE 분포에 따라서 전력시장가격과 REC 가격을 바탕으로 기술경제성에 국한하여 가중치를 산출할 수 있으며 이때 바이오(전소)발전 가중치는 0.93 REC, 바이오(혼소)발전 가중치는 0.55 REC로 산출됨

<바이오발전 '18년 전력시장가격과 REC 가격을 바탕으로 기술경제성에 국한한 가중치 산출>

환산가중치 = (발전원가 - SMP)/REC가격

① 바이오(전소)발전 가중치 = (170.14천원/MWh-83.61천원/MWh)/92.45천원/REC = 0.93 REC

② 바이오(혼소)발전 가중치 = (134.94천원/MWh-83.61천원/MWh)/92.45천원/REC = 0.55 REC

<그림 3-13> REC 평가 방식



- 앞서 농업 바이오매스는 시설 인근 20km 이내 지속적 공급가능한 지역일 경우 경제성을 확보되며 농업 바이오매스 연료이용 발전시설의 경우 미이용 산림바이오매스와 같이 1.5~2.0 수준으로 부여시 이용이 가능할 것으로 사료

- 하지만, 산재되어 있는 농가에서의 원료공급은 운송비로 인해 보다 높은 경제적 지원사업 필요할 수 있음
- 하지만 농업 바이오매스는 목재펠릿에 비해 낮은 부존잠재량과 이에 따른 전력 수급의 안정에 미치는 영향, 주민수용성 등을 고려했을 때 농업 바이오매스 고체연료(초본계 펠릿, 칩)의 REC 가중치는 목재펠릿의 가중치 수준인 0.25~0.5 정도로 부여될 것으로 전망하나 초기 산업 활성화를 위해서는 보다 높은 수준의 REC 가중치가 부여되어야 할 것임

<표 3-33> 농업 바이오매스 가중치 부여 현황과 부여(안)

현행 가중치 부여 바이오에너지	REC 가중치	가중치 부여(안) 농업 바이오매스	현황	예상
Bio-SRF	0.25	초본계 Bio-SRF	현재부여	실제 거의 미이용
목재펠릿, 목재칩	0.5	애그로펠릿, 애그로칩	미부여	이용성(경제성) 낮음
미이용산림바이오매스	1.5~2.0	미이용농업바이오매스	미부여	이용성 높음

2. 농업 바이오매스 바이오에탄올 가격경쟁력

□ 농업 바이오매스 바이오에탄올 생산 경제성 분석⁴⁶⁾

- 초본계 바이오매스(억새 등)의 경제성 분석은 기준 시나리오, 대안시나리오, 민감도 분석에 따라 진행되었으며 탄소배출권 및 에너지안보 편익과 같은 사회적 편익을 제외하고 분석
 - 투자사업 경제성 분석 방법은 순현재가치기법(NPV), 내부수익률법(IRR), 편익비용비율(B/C ratio)법에 근거하여 사업시행여부를 판단
 - NPV=0 또는 B/C=1 이상일 때 경제성 있는 것으로 판단
- 초본계 바이오매스의 경제성은 효소(enzyme) 가격 형성에 중요한 부분으로 NPV=0 또는 B/C=1을 만족시키는 효소 가격은 473.8원/L이나 2017년 기준 미국의 에탄올 가격이 1.49 \$/갤런(약 450원/L)인 점을 감안하면 경제성이 없는 것으로 사료

46) 조지혜 등, 초본계 바이오에탄올 생산의 경제성과 파급효과 분석, 2016. 자료 이용

- 효소 비용을 최저, 중간, 최고 세 가지로 나누어 분석한 결과 최저일 때(효소 비용 304원/L → 에탄올 가격 760.9원/L) NPV(순현재가치기법) 기준 78,676백만원, B/C 기준 1.08, IRR 기준 7.3%로 경제성 있는 것으로 평가되며 중간(효소 비용 944원), 최고 일 때는 경제성이 없는 것으로 나타남
- 운송 수거 비용을 추가로 고려한다면 경제성이 확보되지 않아 초본계 농업 바이오 매스로부터의 에탄올 생산은 장기적으로 접근해야할 필요 있음

□ 바이오에탄올 원료작물별 가격경쟁력 비교

- 바이오에탄올 원료작물별 경제성을 분석한 문헌자료를 살펴보면, 바이오 에탄올 원료로 가장 많이 사용되고 있는 옥수수를 기준으로 사탕수수의 원료비는 옥수수 대비 33% 수준이며, 한국에 수입된 카사바는 옥수수의 97% 수준임
- 2008년 에너지기술연구원 연구결과 섬유질계를 원료로 바이오에탄올을 생산할 경우 옥수수 대비 원료비가 130~167%정도 높은 수준에 있다. 경제성에서 차이가 나기 때문에 국내 업계에서는 해외에서 수입 된 사탕수수나 카사바와 같은 값싼 원료를 선택하여 사용할 수밖에 없는 구조임

<표 3-34> 바이오에탄올 원료작물별 경제성 비교

작물종류	단가(\$/L)	상대비율(%)
옥수수(미국)(2007DOE자료)	0.6	100
사탕수수(브라질)(2007Embrapa)	0.2	33
한국(카사바 국외생산)	0.58	97
2세대 섬유질계 원료작물(2008에기원)	0.8~1.0	130~167

자료 : 바이오매스 에너지화 추진전략 개발 계획(2014)

3. 경제성 분석에 따른 시사점

- 농업 바이오매스를 이용하여 고체연료(펠릿), 액체연료(에탄올) 생산시 고체연료의 경우 제조업체는 경제성이 있는 것으로 분석되었으나 발전시설의 경우 REC 1.7~2.0 이상이 부여되어야만 경제성이 확보된 것으로 분석되었음. 하지만 바이오에탄올의 경우 바이오에탄올 생산을 위한 효소 가격이 원료가격 보다 높게 형성되어 있어 경제성 확보가 힘들고 농업 바이오매스 원료 확보를 위한 수집·운송, 제조 시설 공사비와 운영비 등을 고려한다면 더욱더 힘들기 때문에 효소 가격을 낮추는 연구결과가 필요할 것으로 사료
- 농업 바이오매스를 이용한 고체연료(펠릿) 제조시설은 국내 제조업체 생산 목재펠릿 가격으로 공급하게 된다면 경제성이 있는 것으로 판단되나 수입되는 목재펠릿 가격인 152달러(2018년 11월 기준)에 비해 가격적으로 우위에 있지 못함
 - 하지만 2018년 기준 5.9%밖에 안되는 국내 목재펠릿 공급 비율을 농업 바이오매스 펠릿 공급으로 비율을 높일 수 있을 것으로 추정
- 농업 바이오매스를 이용한 발전시설에서 발전수익은 농업 바이오매스 발열량과 밀접한 관련이 있어 애그로펠릿의 발열량을 높일 수 있는 방안이 모색되어야 함
- 바이오매스 발전소 발전량을 충족하기 위해서는 원료공급이 원활하게 이루어져야 하며 이에 따른 농작물 생산 가능한 재배면적이 확보가 필요하므로 운송비와 재배면적 확보를 고려하여 재배면적 당 생산량이 높고 발열량이 높은 바이오매스를 확보하는 것이 필요
- 최근 SMP와 REC 가격이 감소하고 있는 추세로 발전시설의 발전수익에 따른 경제성 확보가 쉽지 않아 농업 바이오매스의 에너지화 활성을 위해서는 경제성 확보가 가능한 지원(예: 높은 REC 부여 등)이 필요할 것으로 사료

제5절 농업 바이오매스 에너지화에 따른 영향 및 평가

1. 농업 바이오매스 에너지화에 따른 영향

□ 목재펠릿과 함께 바이오매스 분산발전 도입 가능

- 농업 바이오매스를 펠릿과 같은 형태로 고체연료로 전환 후 이용 시 2018년 기준 94.1%를 차지하고 있는 수입산 목재펠릿의 이용률을 낮출 수 있을 것으로 기대
 - 앞서 농업 바이오매스(농산 부산물)를 모두 펠릿으로 전환한다고 가정한다면 에너지기준으로 3,270,194ton의 목재펠릿에 해당되는 양이며 이는 2018년 기준 목재펠릿 공급량 3,200,190ton을 모두 대체할 수 있는 양임
 - 비록 농산 부산물을 모두 펠릿화하기는 현실적으로 어렵지만, 고추줄기와 사과 전정가지로부터 발생하는 양으로 964,673ton의 목재펠릿에 해당되는 양 생산이 가능하여 이는 2018년 기준 목재펠릿 공급량의 30% 가량을 대체할 수 있음
 - 일반적으로 농업 바이오매스의 펠릿 발열량이 80%인 것을 감안하여도 24%의 목재펠릿 공급량을 대체할 수 있음

□ 온실가스 감축 효과

- 바이오에너지는 IEA나 IPCC로부터 탄소제로 배출로 인정받고 있는 상황으로 중요한 온실가스 저감 수단으로 활용이 가능
 - 탄소중립적란 연소를 통한 이산화탄소 발생을 이산화탄소 흡수로 완충한다는 의미
- 녹색성장위원회 '폐자원 및 바이오매스 에너지 대책' 보고서(2008)에 따르면 2020년까지 목질계 및 초본계 부산물 바이오매스의 에너지화시 182만 CO₂톤의 온실가스 감축효과가 있을 것으로 예측
- 케나프의 경우 일반 식물체의 3~9배 높은 수준의 이산화탄소 흡수력을 보유하고 있으며 일본 삼나무 대비 7배 높은 이산화탄소 흡수력을 보유⁴⁷⁾
- 억새 또한 다른 에너지작물(스위치그래스, 리드카나리그래스) 보다 10~20% 이상 이산화감축 효과가 뛰어남

47) N, saba 등, 2015.

□ 석탄대비 미세먼지 발생 등 환경 오염 저감 효과

- 농업 바이오매스를 고체연료 형태로 전환하여 연료로 이용할시 석탄발전에 비해 미세먼지의 1차 원인물질이 되는 회분 발생량과 미세먼지 주성분인 황 함유량이 적어 미세먼지 저감 효과가 클 것으로 기대됨
- 초본계 바이오매스 중 하나인 케나프의 경우 회분량이 3.4%로 석탄의 약 1/4 수준이며 황 함유량은 0.02%로 석탄의 1/10 수준

<표 3-35> 케나프의 성분 분석

공업분석(wt, %)			원소분석(wt, %)				
휘발분 (VM)	회분 (Ash)	고정탄소 (F.C)	탄소 (C)	수소 (H)	질소 (N)	산소 (O)	황 (S)
77.33	3.42 *석탄 12	17.01	46.00	5.92	1.09	43.55	0.02 *석탄 0.2

자료 : 전라북도 농업기술원 자료 제공(분석기관: 한국에너지기술연구원)

□ 인력 창출 효과

- 바이오매스 발전은 타 신재생에너지원 중 가장 높은 고용 창출효과가 있으며, 그 중 농림업 부문의 고용창출 효과가 매우 뛰어난 것으로 확인⁴⁸⁾
- 녹색성장위원회 '폐자원 및 바이오매스 에너지 대책' 보고서에 따르면 2020년까지 목질계 및 초본계 부산물 바이오매스의 에너지화시 3만 2천개, 바이오매스 작물 조상을 통해 1만 1천개의 일자리 창출 가능할하고 연 3조 3,165억원의 경제효과가 있을 것으로 예측
- 특히 석탄에너지원 대비 2.5배 이상의 고용창출 효과가 있는 것으로 알려짐

48) Pollin, Heintz, and Garrett-Peltier 2009

<표 3-36> 에너지원별 투자대비 고용창출 효과

에너지원	직접고용 Direct	간접고용 Indirect	고용유발 Induced	합 계 Total
석유/천연가스	0.8	29	23	52
석탄	1.9	3.0	3.9	6.9
스마트그리드	4.3	4.6	7.9	12.5
풍력	4.6	4.9	8.4	13.3
태양	5.4	4.4	9.3	13.7
바이오매스	7.4	5.0	12.4	17.4

자료 : Pollin, Heintz, and Garrett-Peltier(2009)

2. 농업 바이오매스 에너지화 우려사항

□ 낮은 경제성과 수거·운송 체계 부재

- 농업 바이오매스를 에너지 연료로 사용하기 위해서는 원료의 수집과 운송을 하여야 하는데 농업 바이오매스는 지역적으로 분산되어 있어 운송비 등의 경제적인 문제 때문에 수집이 어려움
 - 특히 지역적 발생 분산으로 수거 및 운송에 따른 비용이 발생하는 등 유통 측면에서 경제성 확보가 어려운 상태
- 농업 바이오매스를 상업적으로 활용하기 위해서는 발생된 바이오매스를 일정한 장소에 수거하는 일이 중요하나 이용에 따른 효과보다는 수거작업이 번거롭고 이에 따른 비용이 발생함에 따라 농업 바이오매스를 수집할 수 있는 체계 확보가 필요한 시점임

□ 정부의 제도적 지원시(REC 부여) 수입산 사용에 대한 문제점 해결방안 도출 필요

- 케냐프 등의 에너지 작물을 바이오에너지원으로 활성화를 위해서 애그로펠릿과 같은 제조 제품에 높은 가중치를 부여하더라도 수입산 대비 국내생산 농업 바이오매스의 가격 경쟁력에서 밀리게 되면 목재펠릿과 같이 대부분을 수입(94.1%)에 의존하는 문제가 발생할 수 있음

- 관세법에 명기한 금지 품목(폭발물, 마약류 등) 외 모든 품목의 수입이 가능
- 가공하지 않은 형태의 케나프(생체)의 이용은 수입산 사용문제해결이 가능하나 케나프의 높은 질소함량으로 고체연료품질기준 부적합 및 연소 시 대기환경보전법에 따른 NO₂ 기준 농도(50ppm) 초과될 수 있어 이에 따른 기술 개발 필요

□ 질소 함량, 회분 함량 제거 기술 필요

- 비록 농업 바이오매스는 발전소에 연료로 사용하고 있는 석탄에 비해 황, 질소 함량에 적은 것으로 알려져 있으나 목재펠릿, 목재칩과 같은 고체연료로 제조할시 산림청의 목재펠릿 규격·품질기준 원소분석 항목 기준함량에 적합해야하며 환경부의 대기환경보전법에 따른 연소시 배출기준에 적합해야하는데, 애그로펠릿은 연소시 목질펠릿에 비해 높은 농도의 회분을 생산하기 때문에 완전연소가 가능한 방법 탐색 혹은 전처리할 수 있는 기술개발 필요
- 연소로 인한 미세먼지 원인 물질인 질소화합물, 황화합물 발생으로 인한 환경적 문제 야기하는데, 특히 초본계 농업 바이오매스는 목재펠릿에 비해 회분 함량이 높아 연소 후 후처리 공정이 반드시 필요
- 케나프의 경우 타 작물 대비 높은 질소를 함유하고 있어 고체연료 품질기준에 부적합함에 따라 케나프 작물의 전처리 기술 혹은 품질개량으로 낮은 질소를 함유하는 신규작물 개발과 같은 연구개발 지원이 필요할 것으로 보임
- 환경적인 문제 삼아 지역주민들이 바이오매스 발전소 설치를 반대하는 문제 등 주민수용성 문제 등을 극복을 위하여 친환경적인 농업 바이오매스 연료 품질을 확보 해야 함

□ 다른 신재생에너지원에 비해 재배면적당 낮은 발전효율

- 같은 부지면적에 에너지 생산량은 농업작물을 이용한 바이오 에너지보다 태양광 발전이 더 효율적임
- 바이오에너지는 연간 단위면적당 발전량 측면에서 태양광발전의 약 5.8% 수준으로 낮은 발전량을 보이는 것으로 분석
 - 태양광 발전은 하루 3.5시간 가동한 것으로 산정하며 농업 바이오매스는 케나프 기준으로 계산할 시 태양광 발전은 m²당 0.02toe, 농업 바이오매스의 고체연료는 m²당 0.0014toe 에너지 생산 가능한 것으로 계산

□ 작물생산의 계절적 영향으로 공급안정성 부족 및 장기 저장장치 필요

- 농업 작물과 농산 부산물들은 봄~가을에 주로 발생하여 발전을 위한 연료의 지속적인 연료 미공급 문제 발생 가능성 존재
- 연료의 지속적인 공급을 위하여 수거 및 제조한 고체연료를 함수율 증가를 막기 위한 작업(비닐 씰링 등) 후 장기저장 해야 하며 이를 위한 저장고가 필요

3. 농업 바이오매스 에너지화 가능성 평가

- 농업 바이오매스의 이론적 부존량, 가채잠재량을 고려하면 벧짚, 왕겨, 고추줄기, 사과 전정가지가 이용가능성이 높으며 재배면적 당 생산량 등을 고려하면 비식량 에너지작물인 케나프, 거대억새가 에너지로서 이용가능성이 있으나 산재되어 분포에 따른 수집·수거 체계 부재 등의 장애요인이 존재

<표 3-37> 주요 농업 바이오매스 종류별 에너지화 가능성 비교 평가

농업 바이오매스	미 활용률	발생시기	재배면적 (농가당)	수거처	에너지활용가능성	에너지화 장애요인
벧짚	대부분 활용 (소각율 0.8%)	9월 하순~11월 중순	-	농협	▪ 대부분 이용상태로 에너지 활용가능성이 낮음	▪ 타용도 사용 ▪ 함수율 높음
왕겨	대부분 활용	9월 하순~11월 중순	-	농협, 수거업체	▪ 폐기물로 분류되어 Bio-SRF로 REC 0.25 부여가 가능하나 연료로서 이용비율이 낮음	▪ 타용도 사용 ▪ 바이오에탄올 이용어려움
고추줄기	대부분 소각, 방치	6월~10월	500~25,000 평 다양	없음	▪ 주로 경상남도에 발생 (48%)하여 제조업체의 운송비 절감 가능 ▪ 발열량 높음 (4,301kca/kg)	▪ 수집수거 어려움 ▪ 분류지원체계 부재
과수 전정가지 (사과 등)	<굵은가지> 소각 26.5%, 방치 15.7% <잔가지> 소각 24.6%, 방치 17.5%	대부분 2월에 발생	300~1,000 평	없음	▪ 주로 경상북도에서 발생(66%)하며 제조업체의 운송비 절감 가능 ▪ 목질계로 초분계에 비해 질소함량 등이 적고 기존 제조시설 이용 가능 ▪ 발열량 높음 (4,421kca/kg)	▪ 수집수거 어려움 ▪ 분류지원체계 부재

케나프	대부분 활용	9~10월	-	없음	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 비식량에너지 작물 ▪ 재배면적 당 생산비 타 작물대비(5~130배 높음) ▪ 염분저항성이 있어 간척지 등에 적용가능 ▪ 발열량 높음 (4,390kca/kg) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 비료투입비율 높음 ▪ 질소함량이 높음(제거기술 개발필요) ▪ 외래작물로 생태교란 잠재성 존재
억새	미활용	-	-	없음	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 비식량 에너지작물로서 케나프 대비 질소함량이 적음 ▪ 염분저항성이 있어 간척지 등에 적용가능 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 한번 재배시 20년 이상 계속 재배해야함

- 현재 농업 바이오매스의 고체연료 전환 형태는 펠릿과 칩으로 나뉘며 현재 기술적으로 상용화 가능한 수준까지 기술발전이 있는 것으로 분석되나 관련 산업군은 형성되지 않음
 - 다만 목질계 바이오고형연료는 발전소 중심 보급으로 상용화 되어 있어 성질이 비슷한 초본계 농업 바이오매스의 기술개발과 목질바이오매스 산업군을 이용한다면 보급 및 확산이 쉽게 이루어질 것으로 예상
 - 단, 회분 비율 감소 등의 기술적인 문제 등을 해결한다면 목재펠릿과 함께 바이오에너지로 이용이 충분히 가능
 - 케나프 펠릿과 억새 펠릿은 일반 초본계 펠릿(왕겨 펠릿, 벧짚 펠릿 등)에 비해 발열량이 높으며 목재 펠릿과 비교하여 90% 이상의 발열량 수준을 보이고 있으며 특히 케나프의 경우 재배면적당 생산량과 재배면적당 에너지생산량을 비교한다면 타 농업 바이오매스에 비해 공급량과 운송비 측면에서 경제성이 있을 것으로 판단
- 초본계 농업 바이오매스를 이용한 바이오에탄올 생산의 경우 연구개발단계이며 보급에 대해서는 중장기적으로 접근해야할 필요가 있음
- 농업 바이오매스를 이용한 고체연료(애그로펠릿) 제조시설의 경우 경제성 확보가 능하나 애그로펠릿을 이용한 바이오매스 발전시설의 경우 현재 목재펠릿 판매단가(약 30만원/톤)와 REC 0.5 기준으로는 경제성이 없음
 - REC 1.7~2.0 부여 시 경제성이 확보 가능

- 펠릿 판매비용이 12만원/톤 미만일 경우 경제성 확보 가능
- 새만금 간척지의 농업용지에서 위탁농업으로 케나프를 재배하고 인근지역에서 펠릿화하여 신규 초본계 바이오매스 화력발전소에 연료로 공급하는 사업구조와 벼를 재배하고 있는 절대농지에서 농가가 직접 재배한 케나프를 펠릿화하여 신규 초본계 바이오매스 화력발전소에 연료로 공급하는 사업구조로 경제성 분석한 보고서내용에 따라 새만금 간척지에는 REC 1.05, 강릉시에는 2.43을 부여하였을 때 경제성이 있는 것으로 판단
- 하지만 위의 경제성 분석은 운송거리 20km 이내의 지점으로 운송비가 최소로 발생했을 때를 가정으로 계산한 결과로 실제 산재되어 있는 소규모 농가들로부터 발생하는 농업 바이오매스를 수거 및 유통하는 것을 고려할 필요가 있음
 - 케나프와 억새의 경우 염분에 대한 저항성을 가지고 있기 때문에 간척지 등에 대규모 재배하여 운송비 절감 효과를 얻을 수 있음
- 바이오에탄올의 경우 열화학적인 측면에서 단순히 변형하는 공정 보다 훨씬 더 복잡한 공정을 가지고 있으며 이때 발생하는 비용으로 인해 경제성이 없는 것으로 분석
 - 특히, 셀룰로스 형태의 바이오매스를 당으로 전환하기 위해 사용해야하는 비싼 효소의 가격이 원료 가격보다 비싸게 책정되기 때문에 값싼 효소를 탐색하는 연구 개발이 필요
- 농업 바이오매스의 에너지화는 단순히 경제적인 측면을 고려하지 않고 방치, 소각에 따른 환경오염문제, 이산화탄소 감축 등의 간접적인 효과를 얻을 수 있는 형태로 접근하여 부가적인 경제적 효과를 누릴 수 있는 개념으로 관련된 정책 등의 사업을 진행할 필요가 있을 것으로 사료
- 하지만 펠릿, 칩 등의 고체연료로써 이용하기 위해서는 제조된 연료의 원소성분, 발열량 등이 명시되는 품질 규격·기준이 필요함

제4장

바이오에너지 관련 정책/제도 현황 및 시사점

제1절 국내외 바이오에너지 관련 정책 및 사례

□ 국내 신·재생에너지 정책 동향

- 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법」은 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛·물·지열·강수·생물유기체 등을 포함하는 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지로서 태양광, 태양열, 태양에너지, 바이오에너지, 풍력, 수력, 연료전지, 석탄 액화·가스화에너지 및 증질잔사유 가스화 에너지, 해양에너지, 폐기물에너지, 지열, 수열에너지, 수소에너지 등 12개 분야를 신·재생에너지로 정의
- 신재생에너지를 막대한 초기투자비와 낮은 가격 경쟁력 등으로 경제성이 미흡함에도 불구하고 화석에너지 고갈문제와 환경문제에 대한 핵심 해결방안이라는 점에서 그 중요성과 개발 필요성이 점차 증가
- 제1, 2차 석유파동 이후 에너지원 다양화, 에너지 소비구조 개선 등의 필요성을 실감하여 1987년 「대체에너지개발촉진법」을 제정
- 2001년 신재생에너지의 이용보급을 확대하기 위한 「대체에너지 개발기술, 보급기본계획」을 수립하여 2003년 기준 1차 에너지의 2%를 신재생에너지로 공급할 계획 수립
- 2003년에는 최초의 중장기계획인 「제2차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기

본계획」을 수립하여 2011년까지 1차 에너지의 5%를 신재생에너지로 공급하기로 함

- 2008년에는 「제3차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획」을 수립하였는데, 이 계획은 최초로 국가에너지 최상위 계획인 에너지기본계획에서 결정한 보급목표를 이행하기 위한 구체적인 전략 발표
- 2012년 신·재생에너지공급의무화제도(RPS)의 시행을 위한 시행시기와 의무비율 2010년에는 「신·재생에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」의 일부 내용 개정
- 국가와 지방자치단체 등의 건축하는 건축물에 사용되는 에너지의 일정 비율 이상이 신재생에너지를 이용하여 공급되는 에너지를 사용하도록 의무화
- 3차 기본계획 발표 이후 매년 「신재생에너지산업 발전전략(2010.10)」, 「모두가 체감하고 함께하는 신·재생에너지(2011.10)」, 「태양광산업 재도약 프로젝트(2012.05)」, 「신재생에너지활성화방안(2013.08)」, 「제2차 에너지기본계획(2014.01)」 등을 통해 보급목표 달성을 위해 정책방향과 보급여건을 개선하는 작업을 병행
- 「재생에너지 3020 이행계획(2017.12)」 발표에 따라 8차 전력수급기본계획(2017.12)과 2014년 9월에 발표된 「제4차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획」을 수정(2018.06)하여 보급 확대 및 산업육성 전략을 추진 중

<표 4-1> 신재생에너지 관련 계획 및 정책 주요 내용

각조	내 용	조항
신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획	산업통상자원부장관은 기본계획의 목표 및 기간, 신·재생에너지원별 기술개발 및 이용·보급의 목표, 총전력생산량 중 신·재생에너지 발전량이 차지하는 비율의 목표, 「에너지법」 제2조제10호에 따른 온실가스의 배출 감소 목표, 기본계획의 추진방법, 신·재생에너지 기술수준의 평가와 보급전망 및 기대효과, 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급에 관한 지원 방안, 신·재생에너지 분야 전문인력 양성계획, 직전 기본계획에 대한 평가, 그 밖에 기본계획의 목표달성을 위하여 산업통상자원부장관이 필요하다고 인정하는 사항을 포함한 기본계획을 5년마다 수립하여야 한다.	제5조
공공기관 설치의무화	산업통상자원부장관은 국가 및 지방자치단체, 「공공기관의 운영에 관한 법률」에 따른 공기업, 정부가 대통령령으로 정하는 금액 이상을 출연한 정부출연기관 등이 신축·증축 또는 개축하는 건축물에 대하여 예상 에너지사용량의 일정 비율 이상을 신·재생에너지를 이용하여 공급되는 에너지를 사용하도록 신·재생에너지 설비를 의무적으로 설치하게 할 수 있다.	제12조
신·재생에너지 공급 의무화	산업통상자원부장관은 신·재생에너지의 이용·보급을 촉진하고 신·재생에너지산업의 활성화를 위하여 필요하다고 인정하면 「전기사업법」에 따른 발전사업자, 「집단에너지 사업법」 및 「전기사업법」에 따른 발전사업의 허가를 받은 것으로 보는 자, 공공기관 중 대통령령으로 정하는 자(공급의무자)에게 발전량의 일정량 이상을 의무적으로 신·재생에너지를 이용하여 공급하게 할 수 있다.	제12조의 5~10
신·재생에너지 설비 인증	신·재생에너지 설비를 제조하거나 수입하여 판매하려는 자는 「산업표준화법」 제15조에 따른 제품의 인증(설비인증)을 받을 수 있고, 산업통상자원부장관은 산업통상자원부령으로 정하는 바에 따라 설비인증에 드는 경비의 일부를 지원하거나, 「산업표준법」 제13조에 따라 지정된 설비인증기관에 대하여 지정 목적상 필요한 범위에서 행정상의 지원 등을 할 수 있다.	제13조
신·재생에너지 발전 차액지원	산업통상자원부장관은 신·재생에너지 발전에 의하여 공급되는 전기의 기준가격을 발전원별로 정한 경우에 그 가격을 고시해야 하며, 신·재생에너지 발전에 의하여 공급한 전기의 전력거래가격이 고시한 기준가격보다 낮은 경우에는 그 전기를 공급한 신·재생에너지 발전사업자에게 기준가격과 전력거래가격의 차액(발전차액)을 지원한다. 동 제도는 2011.12.31.까지 유효하다.	제17조
신·재생에너지 기술의 국제표준화 지원 및 설비 및 그 부품의 공용화	산업통상자원부장관은 국내에서 개발되었거나 개발 중인 신·재생에너지 관련 기술이 「국가표준기본법」 제3조제2호에 따른 국제표준에 부합되도록 하기 위하여 설비인증기관에 대하여 표준화기반 구축, 국제활동 등에 필요한 지원을 할 수 있으며, 신·재생에너지설비 및 그 부품을 공용화품목으로 지정하여 운영할 수 있다.	제20조, 제21조
신·재생에너지 연료 혼합의무화	산업통상자원부장관은 신·재생에너지의 이용·보급을 촉진하고 신·재생에너지산업의 활성화를 위하여 필요하다고 인정하는 경우 「석유 및 석유대체 연료사업법」 제2조에 따른 석유정제업자 또는 석유수출입업자에게 일정 비율 이상의 신·재생에너지 연료를 수송용연료에 혼합하게 할 수 있다. 동 제도는 2015년 7월 31일부터 시행된다.	제23조의 2~제23조의 6
신·재생에너지 보급 사업	산업통상자원부장관은 신·재생에너지의 이용·보급을 촉진하기 위하여 신기술의 적용사업 및 시범사업, 환경친화적 신·재생에너지 집적화단지 및 시범단지 조성사업, 지방자치단체와 연계한 보급사업, 실용화된 신·재생에너지 설비의 보급을 지원하는 사업, 그 밖에 신·재생에너지 기술의 이용·보급을 촉진하기 위하여 필요한 사업으로서 산업통상자원부장관이 정하는 사업에 대하여 보급사업을 추진할 수 있다.	제27조

1. 국내 바이오매스 관련 정책/제도 현황

가. 바이오매스 관련 제도

- 국내 바이오매스 관련 제도는 신재생연료혼합의무화제도(RFS), 신재생에너지 열공급 의무화제도(RHO), 신재생에너지공급의무화(RPS)와 이에 관련된 신재생에너지공급인증서(REC)가 있으며 이 중 RPS, REC에 대해 자세히 언급

<표 4-2> 국내 바이오매스 관련 제도

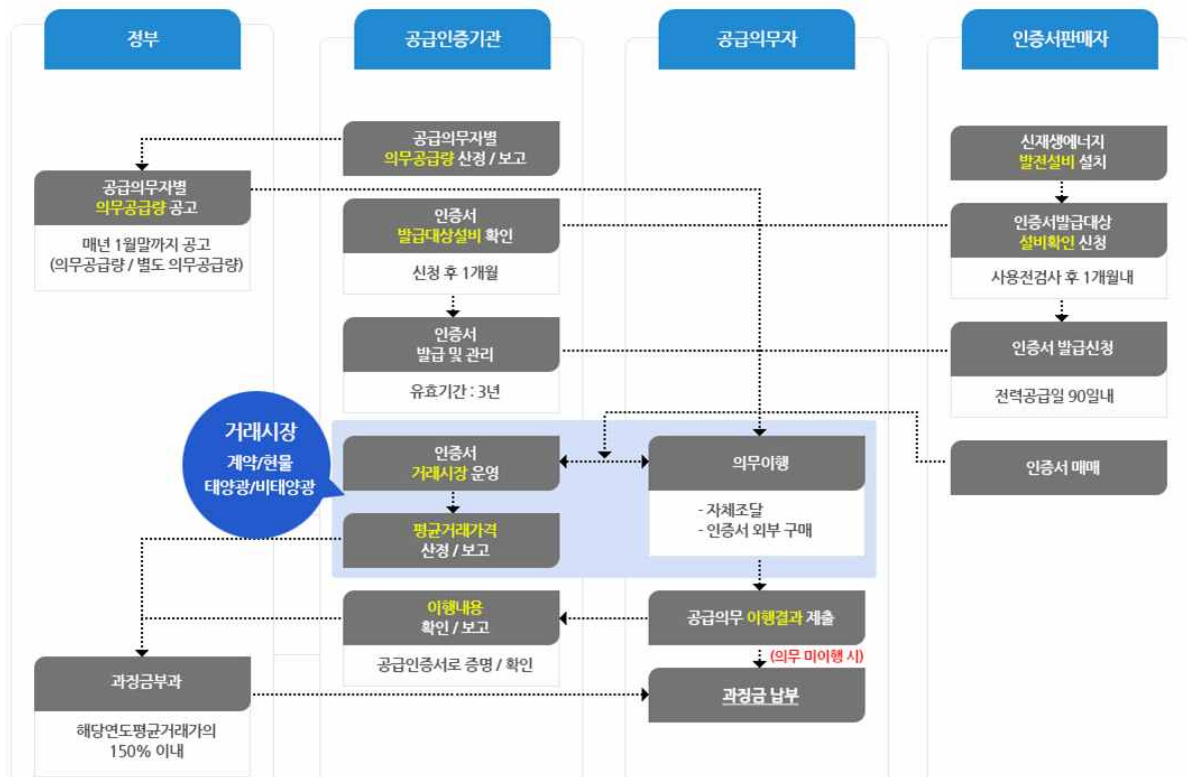
제도명	설명																																		
신재생연료혼합의무화제도(RFS)	석유정제업자 또는 석유수출입업자(혼합의무자)에게 일정비율 이상의 신재생에너지 연료를 수송용 연료에 혼합하도록 의무화한 제도로 이미 미국, 브라질, 유럽에서도 시행중인 제도																																		
신재생에너지 열공급 의무화제도(RHO)	일정 연면적 이상 신축 건축물에서 사용하는 열에너지의 일정 비율을 신재생에너지를 이용하여 공급하도록 하는 제도로, 이는 태양열, 지열, 바이오매스, 연료전지 등 신재생 에너지산업의 활성화를 위해 준비 중이며 관련 법 개정 추진 중에 있다. 연면적 일정률 이상의 신축 또는 신증축 건물대상에 의무부과 비율을 정함.																																		
신재생에너지공급의무화(RPS)	에너지 사업자에게 생산하는 에너지의 일정 비율을 재생에너지로 공급, 판매하도록 강제하는 제도, 일본, 미국, 호주, 영국, 스웨덴 등에서 시행 중 <연도별 의무공급량의 비율(제18조의4제1항 관련)> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>해당연도</td> <td>2012</td> <td>2013</td> <td>2014</td> <td>2015</td> <td>2016</td> <td>2017</td> </tr> <tr> <td>공급의무비율(%)</td> <td>2.0</td> <td>2.5</td> <td>3.0</td> <td>3.0</td> <td>3.5</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>해당연도</td> <td>2018</td> <td>2019</td> <td>2020</td> <td>2021</td> <td>2022</td> <td>2023 이후</td> </tr> <tr> <td>공급의무비율(%)</td> <td>5.0</td> <td>6.0</td> <td>7.0</td> <td>8.0</td> <td>9.0</td> <td>10.0</td> </tr> </table>	해당연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017	공급의무비율(%)	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	해당연도	2018	2019	2020	2021	2022	2023 이후	공급의무비율(%)	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0						
해당연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017																													
공급의무비율(%)	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0																													
해당연도	2018	2019	2020	2021	2022	2023 이후																													
공급의무비율(%)	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0																													
신재생에너지공급인증서(REC)	공급인증서 발급대상 설비에서 공급되는 전력량에 가중치를 곱하여 MWh 단위를 기준으로 발급하며 발전사업자가 신 재생에너지 설비를 이용하여 전기를 생산 공급하였음을 증명하는 인증서로 공급의무자는 공급의무량에 대해 신 재생에너지 공급인증서를 구매하여 충당함 <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">전원</th> <th colspan="2">대상에너지 및 기준</th> <th rowspan="2">공급인증서 가중치</th> </tr> <tr> <th>구분</th> <th>세부기준</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">바이오</td> <td colspan="2">매립지가스</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">목재칩, 목재펠릿</td> <td>석탄혼소</td> <td>가중치제외</td> </tr> <tr> <td>전소 전환설비</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>전소</td> <td>1단계 : 1.0 2단계 : 0.5</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Bio-SRF</td> <td>석탄혼소</td> <td>가중치제외</td> </tr> <tr> <td>전소 전환설비</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>전소</td> <td>1단계 : 0.5 2단계 : 0.25</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">미이용바이오</td> <td>석탄혼소</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>전소 전환설비</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>전소</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">기타바이오(바이오중유, 하수슬러지 등)</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>	전원	대상에너지 및 기준		공급인증서 가중치	구분	세부기준	바이오	매립지가스		0.5	목재칩, 목재펠릿	석탄혼소	가중치제외	전소 전환설비	0.5	전소	1단계 : 1.0 2단계 : 0.5	Bio-SRF	석탄혼소	가중치제외	전소 전환설비	0.25	전소	1단계 : 0.5 2단계 : 0.25	미이용바이오	석탄혼소	1.5	전소 전환설비	2.0	전소	2.0	기타바이오(바이오중유, 하수슬러지 등)		1.0
전원	대상에너지 및 기준		공급인증서 가중치																																
	구분	세부기준																																	
바이오	매립지가스		0.5																																
	목재칩, 목재펠릿	석탄혼소	가중치제외																																
		전소 전환설비	0.5																																
		전소	1단계 : 1.0 2단계 : 0.5																																
	Bio-SRF	석탄혼소	가중치제외																																
		전소 전환설비	0.25																																
		전소	1단계 : 0.5 2단계 : 0.25																																
	미이용바이오	석탄혼소	1.5																																
		전소 전환설비	2.0																																
		전소	2.0																																
기타바이오(바이오중유, 하수슬러지 등)		1.0																																	

□ 신재생에너지 공급의무화 제도: RPS

○ 신재생에너지공급의무화제도는 일정규모(500MW) 이상의 발전설비(신재생에너지 설비는 제외)를 보유한 발전사업자(공급의무자)에게 총 발전량의 일정비율 이상을 신·재생에너지를 이용하여 공급토록 의무화한 제도

- 시행: 2012년 1월 1일
- 당해연도 1월, 500MW 이상 발전설비를 소유한 자를 공급의무자로 지정하고, 연도별 공급의무량은 당해연도 1월말 1차 공고 후, 9월 재공고를 통해 확정한다. 의무이행은 당해연도에 실시하여, 공급의무량 대비 이행실적(이행연기량 포함)의 확인은 차년도 3월에 실시한다. 과징금은 미이행량에 공급인정서 평균거래가격의 150% 이내를 곱한 값으로 하여 차년도 7월에 부과

<그림 4-1> 신재생에너지 공급의무화제도 절차



자료 : 산업통상자원부 & 에너지공단

○ 공급의무자 범위 : 총 발전설비용량 500MW 이상을 보유한 18개 발전사업자(2019년 현재 기준)

<표 4-3> 발전설비용량 500MW 이상 보유 사업체

구분	사업체명
한전발전자회사(6개사)	한국수력원자력, 남동발전, 중부발전, 서부발전, 남부발전, 동서발전
공공기관(2개사)	지역난방공사, 수자원공사
민간발전사업자(13개사)	포스코에너지, SK E&S, GS EPS, GS파워, CGN울촌전력, 평택에너지서비스, 대륜발전, 에스파워, 포천파워, 동두천드림파워, 파주에너지서비스, GS동해전력, 포천민자발전

○ 연도별 공급의무량

<표 4-4> 신재생에너지 공급의무화 제도 공급의무자의 연도별 공급의무비율 및 공급의무량

해당연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017
공급의무비율 (%)	20	25	3.0	3.0	3.5	4.0
공급의무량 (천REC)	6,420	9,210	11,577	12,375	15,081	17,039
해당연도	2018	2019	2020	2021	2022	2023 이후
공급의무비율 (%)	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
공급의무량 (천REC)	21,999	-	-	-	-	-

자료 : 신재생 원스톱 사업정보 통합포털

*공급의무량 = 공급의무자의 총발전량(신재생에너지발전량 제외) X 의무비율

○ 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급·촉진법 시행령」 별표3에서는 연도별 의무 공급량의 비율을 규정

- 2019년 현재 공급의무량 비율은 6.0%
- 연도별 총 의무공급량=총발전량(전년도/신재생 제외) × 의무비율(%)

<표 4-5> 2018년 공급의무량 현황

구분	공급의무자	공급의무량(MWh)
한전발전자회사 (6개사)	한국수력원자력	3,448,994
	한국남동발전	3,862,729
	한국중부발전	2,916,317
	한국서부발전	2,598,712
	한국남부발전	2,749,321
	한국동서발전	2,786,870
공공기관 (2개사)	한국지역난방공사	364,183
	한국수자원공사	35,269
민간발전사업자 (13개사)	SK E&S	313,800
	GS EFS	337,814
	GS파워	110,811
	포스코에너지	432,961
	CGN울촌전력	279,391
	평택에너지서비스	117,259
	대륜발전	51,633
	에스파워	205,256
	포천파워	190,862
	동두천드림파워	338,294
	파주에너지서비스	472,779
	GS동해전력	216,673
	포천민자발전	169,683
합계		21,999,611

자료 : 신재생 원스톱 사업정보 통합포털

□ 신재생에너지 공급인증서 제도: REC

- REC(Renewable Energy Certificate)란 공급인증서의 발급 및 거래단위로서 공급인
증서 발급대상 설비에서 공급된 MWh기준의 신·재생에너지 전력량에 대해 가중
치를 곱하여 부여하는 단위
 - 단, 의무공급량 이행실적 확인 시에는 1REC를 1MWh로 봄
 - 공급의무자는 공급의무량에 대해 신·재생에너지 공급인증서(REC)를 구매하여 총

당할 수 있음

- RPS 지침에 의거, 3년마다 REC 가중치 재검토를 해야하며 관련 지침에 따라 2012년 RPS 제도 도입 시 최초 가중치 제정 후 2015년에 1차 개정이 이루어졌으며 2018년 2차 개정이 이루어짐
 - 산업통상자원부 고시 「신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리운영·지침」 제7조에 따름
- 가중치 결정은 신재생에너지법 시행령상 경제적 측면과 정책적 측면을 고려하여 정하도록 규정되어 있으며 2차 가중치 산정 시 시행령상 기준에 따라 전원별 경제성 및 정책성 분석 수행으로 결정
 - 경제성 측면에서 신재생전원의 발전원가 분석은 국내에서 일반적으로 활용되는 LCOE 분석 방안 사용
 - 정책성 분석은 특정 전원에 이해관계를 가지지 않은 신재생 및 전력 분야 전문가 설문에 기초한 AHP 방식을 활용
- 이러한 결과로 바이오에너지의 경우 <표 4-6>과 같이 미이용바이오는 1.0에서 1.5~2.0으로 상승, 매립지가스, 기타바이오(바이오중유, 하수슬러지 등)는 현행유지, 목재칩, 목재펠릿, Bio-SRF는 가중치 제외되거나 0.25~0.5으로 낮아짐

<그림 4-2> 가중치 결정기준



자료 : RPS 제도개선을 위한 공정회(2018)

<표 4-6> 공급인증서(REC) 가중치 개정 사항 반영된 바이오 에너지 분류

전원	대상에너지 및 기준		공급인증서 가중치		비고
	구분	세부기준	개정 전	개정 후	
바이오	매립지가스		0.5	현행유지	-
	목재칩, 목재펠릿	석탄혼소	1.0	가중치제외	즉시적용
		전소 전환설비	1.0	0.5	즉시적용
		전소	1.5	1단계 : 1.0 2단계 : 0.5	유예기간 설정 ¹⁾
	Bio-SRF	석탄혼소	1.0	가중치제외	즉시적용
		전소 전환설비	1.0	0.25	즉시적용
		전소	1.5	1단계 : 0.5 2단계 : 0.25	유예기간 설정
	미이용바이오	석탄혼소	1.0	1.5	즉시적용
		전소 전환설비	1.0	2.0	즉시적용
		전소	1.5	2.0	즉시적용
	기타바이오(바이오중유, 하수슬러지 등)		1.0	현행유지	

주1) 2019년 6월 30일까지 전기사업법 제61조에 따른 공사계획 인가(신고) 또는 집단에너지사업법 제22조에 따른 공사계획 승인(신고)을 받은 경우(단, 발전사업허가 또는 집단에너지사업 허가를 받고 2018년 6월 26일 이전에 상업운전을 개시한 경우는 제외)

자료 : 산업자원통상부, 2018

공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙(신재생에너지센터 공고 제2019-1호)

② 바이오에너지 설비

생물 유기체를 변환시켜 얻어지는 기체, 액체 또는 고체의 연료로서 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 연료를 연소 또는 변환시켜 전기를 생산하는 설비를 말한다.

1. 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따른 임산물
2. 「목재의 지속가능한 이용에 관한 법률」에 따른 목재펠릿, 목재칩, 목재브리켓
3. 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」에 따른 바이오고형연료제품(Bio-SRF)
4. 「폐기물관리법」에 따른 폐기물 중 생물기원의 유기성 폐기물
5. 「발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시」에 따른 발전용 바이오중유
6. 「폐기물관리법」에 따른 폐기물 원료의 매립지 가스
7. 바이오가스 및 바이오수소
8. 「산림바이오매스에너지의 이용·보급 촉진에 관한 규정」 제2조에 따른 미이용 산림바이오매스

단, 신·재생에너지가 아닌 연료와 혼합되는 경우에는 바이오에너지의 열량 비율만 적용하며, 바이오에너지 비율 산정이 불가능한 경우에는 전체를 바이오에너지에서 제외한다.

대상에너지 및 기준에 따른 공급인증서 가중치는 지침 별표 2에 따라 다음과 같이 적용한다.

구 분	공급인증서 가중치	대상에너지 및 기준
바이오 에너지	0.25	Bio-SRF
	0.5	매립지가스, 목재펠릿, 목재칩
	1.0	기타 바이오에너지
	1.5	미이용산림바이오매스혼소설비
	2.0	미이용산림바이오매스(바이오에너지 전소설비만 적용)

목재펠릿, 목재칩, Bio-SRF의 경우 지침 별표2에도 불구하고 아래의 기준에 해당하는 경우 각각에 해당하는 가중치를 적용할 수 있다.

구분	가중치	기준
목재펠릿, 목재칩	1.0	2019년 6월 30일까지 전기사업법 제61조에 따른 공사계획 인가(신고) 또는 집단에너지사업법 제22조에 따른 공사계획 승인(신고)을 받은 경우(단, 발전사업허가 또는 집단에너지사업 허가를 받고 2018년 6월 26일 이전에 상업운전을 개시한 경우는 제외)
Bio-SRF	0.5	

‘매립지가스’란 쓰레기매립장의 유기성폐기물을 변환시킨 가스를 말한다.

바이오에너지의 비율은 공급인증서 발급신청기간을 기준으로 산정한다.

지침 별표 2에 따라 건설 폐목재 및 사업장 폐목재(신축현장 폐목재, 목재파레트, 목재포장재, 전선드럼 등) 중 재활용이 가능한 폐목재를 연료로 사용하는 경우에는 공급인증서 발급 가중치를 적용하지 않는다. 이를 증명하기 위하여 공급인증서를 발급 받고자 하는 자는 폐기물관리법, 건설 폐기물 재활용 촉진에 관한 법률, 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 등에 따라 다음 각 항목을 관리하여야 한다.

1. 건설폐기물 및 사업장 일반폐기물 처리계획 신고서(5톤 이상)
2. 폐기물 위수탁처리 계약서(계근표 포함)
3. 전자정보입력시스템(올바로시스템) 폐기물 신고내역
4. 폐기물 재활용시설 운영·관리대장(5톤 이상) 및 폐기물 수탁 재활용 관리대장
5. 고품연료 공급계약서

○ REC 발급절차

<그림 4-3> REC 발급절차



나. 바이오에너지 관련 국내 정책

□ 바이오매스 국내 정책 현황

- 우리나라의 바이오 연료 보급 정책은 바이오 디젤부터 시작되었으며, '15년 7월부터 바이오 디젤 및 바이오 에탄올의 연료혼입 의무화 제도(RFS) 시행
 - '07년 9월 재정부 및 관계부처 합동으로 제1차 바이오 디젤 중장기 보급계획을 통하여 최초로 바이오 디젤 중장기 로드맵 및 혼합비율 목표 제시
- 당초 혼합비율을 '07년부터 0.5%씩 상향하여 RFS가 도입되는 '12년에는 3.0% 수준 도달을 목표로 하였으나, 석유업체 등의 반발로 인해 현재 혼합비율은 2.0%에 불과('14)
- 미이용 산림바이오매스에너지 활성화를 위한 정책으로 산림청에서는 목재펠릿 보급 사업을 추진하였음
 - '08년부터 목재펠릿 제조시설 및 보일러 지원, 국내 목재펠릿 산업 육성
 - 산림분야 자원순환 경제 : 조림, 숲가꾸기, 벌채, 목재이용의 선순환 구조를 통해 소득 및 일자리 창출, 지역경제에 기여하고 기후변화에 대응함
- 이에 관련하여 미이용 산림바이오매스에 대한 REC 가중치 상향 요청을 하여 2.0을 부여받음
 - REC가중치인 1.5를 동일하게 적용 시 32.7원/kWh 발전 손실(원료가격 26만원/톤 기준)
 - 온실가스 저감, 산업활성화, 발전단가, 환경영향성, 고용창출, 후방산업효과 : 미이용 >수입 이라는 측면에서 접근
- 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 시행개정
 - 2014년 7월, 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 과 시행령 개정으로 생활폐기물, 폐고무류, 농업부산물, 식물 잔재물 등 다양한 폐기물에서 가연성의 고형연료 성분을 추출할 수 있도록 제조 원료 기준이 확대됐으며 팜 껍질 등 동남아시아에서 주로 발생하는 바이오매스도 수입할 수 있도록 허용되었음

□ 바이오매스 국내 정책 사업 현황⁴⁹⁾

- 국내에서는 주로 목재펠릿 등의 바이오에너지 지원 사업을 운영하고 있으나 농업 바이오매스 에너지 활용에 관한 정책 사업은 부재
- 농업 바이오매스 활성화를 위해서는 관련 정책 사업이 필요할 것으로 사료되며 농산 부산물이나 비식량 에너지 작물의 활용 정책이 경제적, 환경적 측면에서 유리할 것으로 판단

<표 47> 국내 바이오에너지 관련 정책

관계부처	정책사업
농림축산식품부	농업에너지이용 효율화 : 목재펠릿난방기 등의 시설을 농업분야 적용 및 농자재 가격 상승으로 인한 농가 경영비 부담 경감을 위한 에너지절감자재(다겹보온커튼, 공기열 냉난방시설 등) 지원
산림청	목재펠릿보일러 보급 : 목재펠릿 보급을 통해 농촌 주민의 난방비 절감 및 화석연료를 대체를 통한 온실가스 배출량을 줄임으로써 기후변화 대응에 기여하는 목적으로 보일러(본체 및 연통, 연료통) 및 축열조와 이에 따른 설치비 지원
산업통상자원부 & 한국에너지공단	그린 홈 100만호 보급사업 : 2020년까지 신재생에너지 주택 100만호를 보급하는 목표로 하며, 태양열, 바이오, 지열 등 신재생에너지를 주택에 설치할 경우 설치 기준단가의 일부를 정부에서 보조 및 지원하는 사업
	일반 보급 사업 : 상용화된 신·재생에너지 설비에 대해 자가용으로 사용하는 경우 설치비의 일정 부분을 지원하며, 바이오 설비의 경우 기준단가의 50% 이내를 지원 중
	지방 보급 사업 : 16개 광역지자체 및 기초지방자치단체를 지원하는 사업이며, 직접 시설물을 설치하는 사업으로서 바이오와 같은 신재생에너지 보급 사업에 대한 필요자금의 50%이내를 지원 중

49) 에너지관리공단, 2012

- 농림축산식품부에서는 목재펠릿 난방기 등을 농가 경영비 부담 차원에서 시설원예 단지에 국비:지방비:자비:융자=30:30:20:20 형태로 지원해주고 있음

<표 4-8> 시설원예용 난방기 보급 현황

연도	용도	보조율 (국:지:자:융)	보급단가 (천원)	보급 대수	
				계획	실적
2010	시설원예용	40:20:20:20	150,000	-	138ha
2011	시설원예용	40:20:20:20		-	140ha
2012	시설원예용	40:20:20:20		-	150ha
2013	시설원예용	40:20:20:20		-	135ha
2014	시설원예용	40:20:20:20		90ha	90ha
2015	시설원예용	30:30:20:20		45ha	45ha
2016	시설원예용	30:30:20:20		31ha	32ha
2017	시설원예용	30:30:20:20		30ha	

자료 : 산림청(2018), 목재펠릿 통계자료

2. 국외 바이오매스 관련 정책/제도 현황

- 국외 바이오에너지 관련 제도는 재생에너지의무할당제, 발전차액지원제도, 수송연료 재생에너지 의무할당제도, 친환경난방보조금 지급제도, 신재생에너지 자발적 공급협약, 재생가능연료표준, 신재생열에너지보조금 등이 있으며 각 나라별로 조금씩 형태가 다른 바이오에너지 제도를 실행
 - 재생에너지의무할당제, 발전차액지원제도, 수송연료 재생에너지 의무할당제도는 현재 우리나라에서도 실행하고 있는 제도와 유사

<표 49> 국외 바이오매스 관련 제도

제도명	설명
재생에너지의무할당제 (Renewable Portfolio Standard; RPS)	에너지 사업자에게 생산하는 에너지의 일정 비율을 재생에너지로 공급, 판매하도록 강제하는 제도로 일본, 미국, 호주, 영국, 스웨덴 등 포함
발전차액지원제도 (Feed in Tariff; FIT)	신재생 에너지 시설을 통해 발전한 전기를 일정한 고정가격(원가+이윤)으로 매입해주는 방식, 기술적 한계로 인해 효율적이지 못한 신재생 에너지를 빠르게 발전시킬 수 있는 제도로 주로 독일, 덴마크, 스페인 등 유럽국가 시행
재생에너지 의무할당제도 (Renewable Obligation; RO)	전력공급업체는 매년 일정량의 전력을 재생에너지로 사용하여 공급토록 의무화
수송연료 재생에너지 의무할당제도 (Renewable Transport Fuel Obligation; RTO)	수송연료의 일정비율을 바이오연료로 공급하는 제도
친환경 난방보조금 지급제도 (Renewable Heat Premium Payment; RHPP)	주택소유주, 지역사회 등이 신재생에너지 기술을 구입하는데 도움을 주는 제도
신재생에너지 자발적 공급협약 (Renewable Portfolio Agreement; RPA)	6개 발전자회사, 한국지역난방공사, 수자원공사 등이 정부와 협약을 하여 신재생에너지 부분에 투자를 하면 발전차액지원을 수혜
재생가능연료표준 (Renewable Fuels Standards; RFS)	가솔린 및 디젤에 에탄올 및 선도 바이오연료를 매년 특정량 혼합하도록 하는 재생가능 연료혼합 표준
신재생에너지보조금 (Renewable Heat Incentive; RHI)	신재생에너지 생산자에 보조금을 지급하는 것으로, 주택의 경우 보일러 설치비용의 일부를 지원

자료 : 녹색기술센터(2014) 바이오에너지 이슈분석 및 정책제언

가. 일본

□ 에너지 정책

- 일본 정부는 ‘제5차 에너지기본계획’ 수립 방향을 제시하는 기본방향을 발표하였다. 제5차 에너지기본 수립 기본방향(안)은 일본이 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 제출한 이산화탄소감축 목표(2030년까지 2013년 대비 26% 감축) 달성을 기반으로 하고 있으며, 4차 에너지기본 정책방향 기조를 유지하는 한편, 재생에너지 역할을 더욱 강화하

는 것을 목표로 설정하고 있음

- 일본은 2030년 전원구성(발전량 기준) 목표를 석유 3%, 석탄 26%, LNG 27%, 원자력 20~22%, 재생에너지 22~24%(수력 8.8~9.2%, 태양광 7.0%, 풍력 1.7%, 바이오매스 3.7~4.6%, 지열 1.0~1.1%)로 설정한 바 있음

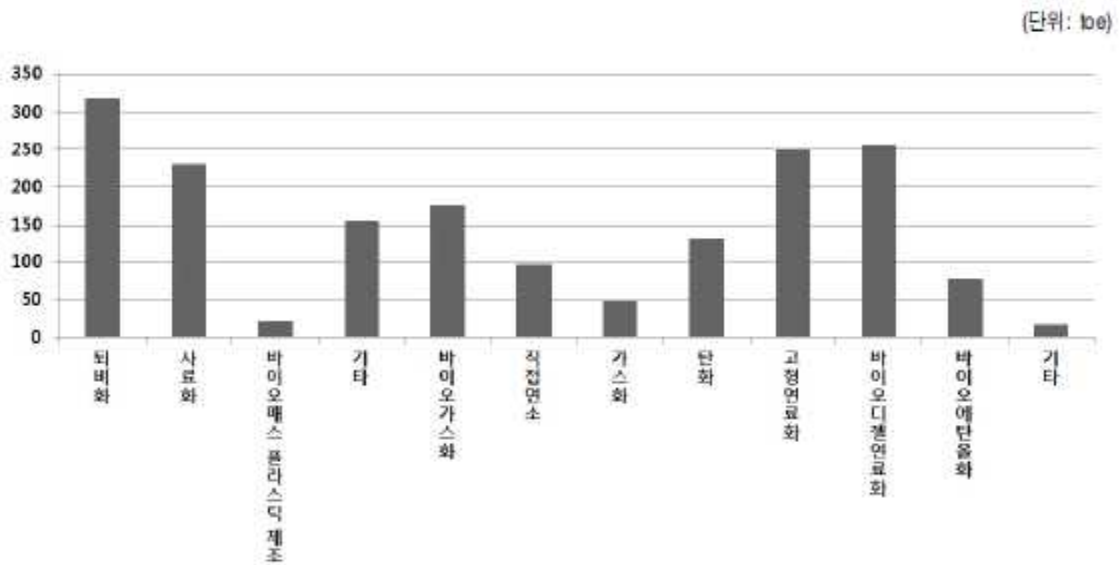
□ 바이오매스 활용 정책

- “바이오매스 일본 종합전략 (2002년)”과 같은 지속가능한 바이오매스 활용 정책을 추진하였다. “교토 의정서” 발효에 따른 “바이오매스 종합전략” 개정을 통한 부산물 바이오매스 활용을 격상 추진
 - 기존 부산물 바이오매스 활용율 80%(2002년) → 최대 90%(2008년)까지 상향 조정
 - 기존 미이용 바이오매스 활용율 25%(2002년) → 최대 40%(2006년)까지 상향 조정
- 2008년 경제산업성 및 농림수산업성은 “바이오연료 기술혁신계획” 수립, 2015년까지 작물계(셀룰로오스계) 바이오매스를 이용한 에탄올 생산 활성화를 주도
- 2009년, “바이오매스 활용 추진 기본법” 개정을 통한 바이오매스 활용방안의 체계를 제정비하고 바이오 연료 도입 의무 부과 (RFS) 제도를 도입
- 바이오에너지와 더불어 재생에너지 보급 및 확산 촉진을 위한 고정가격 배수제도 (FIT)를 2011년 특별 조치법을 통해 시행
- 2011년 후쿠시마의 원전사고 이후 원자력 의존도 개선을 위한 통합분산형 발전체제로 전환을 위한 바이오매스 활용도 상향을 주도하고 있음
 - 일본재생기본전략(2011)을 통해 일본재생의 근간으로서 혁신적 에너지·환경정책 재설계
- 일본신에너지·산업기술종합개발기구 (NEDO) 와 과학기술진흥기구 (JST) 등은 차세대 연료 개발 및 바이오 에너지 상용화 연구를 수행 중
 - NEDO의 경우 2014년 현재 바이오매스에너지기술개발 및 바이오매스 에너지의 지역자립시스템화 실증사업 과제 지원
 - JST의 경우, 첨단 저탄소화 기술개발사업 (ALCA) 등을 통해 바이오매스의 비약적 증산, CO₂부터 직접 에너지 및 물질 생산 가능한 기술기반 확립, 미생물을 활용한 고효율 에너지 생산 등 연구 과제 지원
- ‘과학기술 이노베이션 종합전략 2014’을 통해 첫 번째 정책과제로서 “청정하고 경

제적인 에너지 시스템 실현"을 제시하고 바이오 연료 등 세부 분야에 대한 기술개발 목표를 제시하였다. 바이오 연료 분야 요소기술 개발을 크게 미세조류 유래의 연료 제조기술개발 및 셀룰로오스계 연료 제조기술개발로 나누고 있으며, 실용화 기술개발 대상으로서 셀룰로오스계 연료 생산 시스템 제시

- 일본에서는 바이오매스타운 바이오매스 활용하는 사업을 진행하고 있으며 2020까지 600개의 바이오매스 활용 추진 계획 책정되어 있다(2,600 toe의 바이오매스 활용). 특히, 바이오매스의 활용에 어려운 점인 바이오매스의 수집·운반부터 가공까지 종합적인 기술체계의 확립을 추진 중

<그림 44> 일본 바이오매스타운 바이오매스 활용 기술 현황



자료 : 바이오에너지 원료 수급 중장기방안 모색을 위한 워크샵, 2014

- 일본 농림수산성의 미이용계 바이오매스의 활용 목표는 25%였으나, 현재 활용도가 미미한 실정이며, 미이용계 바이오매스의 효율적인 수집시스템이 확립되지 못하였고 비이용면에서 바이오매스 사업자의 수요를 충분히 이끌어내지 못한 것이 원인인 것으로 분석

<표 4-10> 일본 바이오매스타운의 바이오매스 이용 현황

구분	바이오매스 종류	개소수(개소)
폐기물계 바이오매스	가축분뇨	297
	농업계폐기물(폐균상 ¹ 등)	41
	식품폐기물	296
	폐식용유	251
	수산가공잔사 ²	44
	제재공장잔사 등	236
	건설발생목재	165
	가로수, 공원, 가정전정지, 예초 ³	168
	고지, 폐지	54
	하수슬러지 등	260
	기타	14
미이용계 바이오매스	쌀겨 등	275
	야초 ⁴ 등 비식용부분	90
	간벌재, 임지잔재	263
	과수전정지	110
	대나무	58
	기타	39
자원식물계 바이오매스	자원작물	80

- 주 1: 폐균상은 버섯폐배지를 말함
 주 2: 잔사는 잔여물을 말함
 주 3: 예초는 잔디 예초물을 말함
 주 4: 야초는 야생에서 자라는 풀을 말함
 * 자료 : 일본 유기자원협회

- 한편, 일본에서 농축산 폐자원을 자원화하기 위한 노력은 폐자원의 종류별로 다양하게 진행되고 있으며 일본의 바이오매스 정책은 2002년 12월에 식품폐기물과 가축분뇨와 같은 바이오매스를 활용하기 위한 '바이오매스 일본 종합전략' 수립을 계기로 본격화
- 바이오매스 일본 종합전략 이후, 2009년 「바이오매스 활용 추진 기본법」, 2010년 바이오매스 활용 추진 기본계획, 2012년 바이오매스 사업화 전략, 2016년 새로운 바이오매스 활용 추진 기본계획이 현재까지 일본의 바이오매스 관련 핵심 시책임

<표 4-11> 연도별 주요 일본 바이오매스 정책

연도	시책	요지
2002년	바이오매스·일본 종합 전략 (2002. 12. 각의결정, 2006. 3. 개정)	<2010년을 기준으로 한 목표 설정> <ul style="list-style-type: none"> 폐기물계 바이오매스 80% 이상 미이용 바이오매스 25% 이상 활용
2009년	바이오매스 활용 추진 기본법 (2009. 6. 제정, 동년 9월 시행)	<ul style="list-style-type: none"> 바이오매스 활용 시책 종합적·계획적 추진 바이오매스 활용 추진 계획 책정(정부, 도부현, 시정촌) 바이오매스 활용 추진회의 설치
2010년	바이오매스 활용 추진 기본계획 (2010. 12. 각의결정)	<2020년을 기준으로 한 목표 설정> <ul style="list-style-type: none"> 600개 시정촌 바이오매스 활용추진계획 책정 5,000억 엔 규모의 신산업 창출 탄소환산 약 2,600만 톤(연간) 바이오매스 이용 다종다양한 바이오매스 이용기술을 평가한 「기술로드맵」 책정
2012년	바이오매스 사업화 전략 (2012. 9. 바이오매스 활용 추진회의 결정)	<ul style="list-style-type: none"> 기술과 바이오매스 선택과 집중으로 사업화 바이오매스 산업을 축으로 한 마을만들기(바이오매스 산업도시 추진)
2016년	새로운 바이오매스 활용 추진 기본계획 (2016. 9. 각의결정)	<2025년을 기준으로 한 목표 설정> <ul style="list-style-type: none"> 탄소환산 약 2,600만 톤(연간) 바이오매스 이용 600개 시정촌 바이오매스 활용추진계획책정 5,000억 엔 규모의 신산업 창출

자료 : 농림수산성(<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/attach/pdf/index-22.pdf>: 2017. 10. 2.). 바이오매스 활용을 둘러싼 상황. 한국농촌경제연구원_농축산 폐자원의 효율적 자원화 방안 연구(2차년도), 2017. 자료 발취

○ 일본 바이오매스 정책 평가

- 2002년에 수립된 '바이오매스 일본 종합전략(이하 종합전략)'에 따라 수행해 오던 바이오매스의 이용에 관한 전략적 구상 사업이 2012년 종료되면서 사업추진 실적에 대한 자체 평가가 진행되었다. 일본 농림수산성은 '종합전략'의 기본 목표인 폐기물계 바이오매스 80% 이상, 미이용 바이오매스 25% 이상의 활용 목표 중에서, 폐기물계 바이오매스의 80% 이상 활용 목표는 충족되었으나 미이용계 바이오매스의 활용이 저조한 것으로 평가하였다. 미이용 바이오매스는 탄소량 환산 기준으로 약 17%의 이용률을 나타냄에 따라 당초 목표인 25%와 비교하여 매우 저조한 것으로 평가하였다. 이는 미이용 바이오매스를 효율적으로 수집하는 체계가 확립되지 못하였을 뿐만 아니라 비용 측면에서 바이오매스 사업자의 수요를 충분히 이끌어내지 못한 것이 주요 요인으로 평가됨

- 바이오매스 타운 300개 조성 목표는 공표 지구가 310개소로 지구 수는 목표치를 상회하고 있다. 그러나 바이오매스 구상을 공표한 지역의 조직이 발전적으로 성장하지 못하고 있고, 바이오매스 구상에 명시한 바이오매스 이용률과 경제성 측면에서 목표를 충분히 달성하지 못하는 지역이 상당수 존재하는 것으로 평가됨
- 이러한 '바이오매스 일본 종합전략'은 구체적인 기술개발 계획 수립이 미진한 관계로 바이오매스를 이용하는 전환기술에 대한 조사·정리 수준에 그치고 있고 바이오매스 전환기술 간의 연계체계를 효율적으로 확립하지 못할 뿐만 아니라 온실가스 감축 측면에서 실용화·보급 단계까지 적용할 수 있는 기술이 매우 미흡한 것으로 나타났다. 평가 결과 이와 같은 여러 요인이 바이오매스 이용률 저하와 낮은 경제성의 주요한 원인으로 나타남

나. 유럽

- EU에서 바이오매스는 에너지 자원으로 두 가지 측면, 에너지자급도 제고와 지구 온난화 가스 감축 수단으로 중시되고 있음
- EU에서 바이오에너지는 전체 에너지 1차 소비에서 3.7%, 재생에너지 가운데에서는 65.4%(재생 열에서 96.2%, 재생전기에서 11.6%, 액화 바이오연료 100%)로 재생에너지 정책은 바이오에너지 정책이라 해도 무방할 정도임
- 2009년 재생가능에너지지령 (Renewable Energy Directive)에 따라 '10년까지 수송 연료의 5.75%, 2020년까지 10%까지 의무혼합비율 상승 조정 검토하였다. 특히 10%의 수송연료의 목표 중, 90% 이상을 바이오 연료로 달성 추진 중
- 바이오 연료 보급 확산을 위해 혼합경유 과세경감조치 및 에너지작물 재배에 대한 국가 보조프로그램 운영하였다. 유채, 폐식용유, 목질계 바이오매스를 활용한 바이오 디젤 및 바이오 가스 생산이 활성화되어 있으며 특히 디젤은 전 세계 공급량의 41% 점유 중
- 2010년 저탄소 에너지 기술 개발 및 상용화 촉진을 위해 유럽 전략적 에너지 기술 계획 (European Strategic Energy Plan; SET Plan) 수립하였다. 주요 분야는 바이오 에너지, CCS, 전력 그리드, 수소연료전지, 원자력, 스마트 시티, 태양광, 풍력이다. 바이오 에너지 분야의 경우 2020년까지 상업적으로 활용가능한 혁신적 바이오 에너지 밸류체인에 관한 장기간 연구 및 실증 추진 중이며 2020년까지 해당 계획을 위해 총 9억 유로 투자 예정

□ 영국

- 영국의 경우, 신재생 에너지 목표 비중 (15%) 달성을 위해 신재생에너지 의무 사용 제도, 수송용 신재생 연료 의무 혼합제도(RTFO), 재생에너지 열원프로그램 등 운영하였다. 2007년 세계 최초로 바이오 연료에 대한 지속가능성 관리를 위해 교통부 산하에 신재생연료청 (Renewable Fuel Agency) 설치하였다. 2011년 11월 신·재생열인센티브제도(Renewable Heat Incentive, RHI)를 도입하였으며, 이 제도는 FIT(Feed-in Tariff) 제도와 유사한 신·재생열에너지 도입관련 정책으로 세계에서 처음으로 소개 되었음
- 영국은 이 제도를 향후 20년간 추진할 계획이며, 2단계로 나눠 시행되고 있음
 - 1단계에서는 비주거용 건축물을 대상으로 이용기술과 생산규모에 따라 보조금 지원율을 7개로 나누어 지급하고, 그 중 3개가 바이오매스로 설정
 - 2단계는 주거용 건축물을 대상으로 지원 대상 기술 중 하나인 바이오매스의 효율 성능 개선과 보급 확대에 초점을 맞추어 보조금 지원율을 적용

<표 4-12> 영국 RHI 제도의 지원 대상 및 보조금 지원율 (비주거용 건축물)

보조금 분류	내 용	규 모	등 급	보조금지원수준 (펜스 / kWh)
소형 상업용 바이오매스	고형 바이오매스	200kW 이상	Tier 1	8.3
			Tier 2	2.1
중형 상업용 바이오매스		200~1,000kW	Tier 1	5.1
			Tier 2	2.1
대형 상업용 바이오매스		1,000kW 미만		1.0

자료 : DECC(2012), pp14-15

<표 4-13> 영국 RHI 제도의 지원 대상 및 보조금 지원율 (주거용 건축물)

(단위 : 펜스/kWh)

연도	2014년 이전	2014년	등급개념015년
바이오매스	12.20	8.93 ~ 12.20	6.43 ~ 7.14

자료 : DECC 홈페이지(2015)

□ 덴마크

- 덴마크의 경우, “에너지의 합리적인 소비를 통해 재생에너지의 활용을 촉진을 위해 에너지 사용료의 60%에 세금을 부과가 가능함

□ 독일

- 신재생에너지 개발 및 보급에 가장 선진국인 독일은 전체 난방에너지의 9.9%가 신재생에너지이며, 이중 가장 큰 비중을 차지하는 것이 고품 바이오매스로 대부분은 목질계 바이오매스에서 유래하였으며 이에 독일에서는 농업 관련 바이오매스를 이용한 바이오에너지 관련 다양한 지원 정책을 추진 중
 - 2007년의 “특별각료회의”와 2008년 “EU Climate and Energy Package”를 통한 다양한 지원 정책을 추진
 - 독일 정부는 농업 및 바이오매스 지원 정책은 농업투자 지원 프로그램, 기후변화/신재생에너지/물 관리/생물 다양성/통합 농촌개발 등 다양한 정책이 추진 중
 - 2013년, 독일의 에너지 생산을 위한 곡물 경작지 규모는 이미 210만 헥타르에 달했다. 이 규모는 독일 전체 경작지의 약 12.6%에 달하는 수치이고 2020년에는 400만 헥타르를 웃돌 것으로 예상
 - 2014년 기준, 독일에서 목질계 바이오매스를 이용한 난로 및 난방시설은 총 1,400만 개이며, 이 중 80만 개는 중앙난방 시스템에 목질계 바이오매스를 이용하고 있음
 - 2000년도 중반 이후 주거용 목질계 바이오매스의 비중은 감소하고 있으나, 여전히 전체 신·재생에너지시장의 50% 이상을 담당
 - 2050년에는 독일의 난방, 전력, 연료 전체수요를 통틀어 약 23%를 상회할 것이며 목재, 에너지 곡물(energy crop), 건초(straw), 유기잔물(organic residue) 등이 지속 가능한 전력 발전에 큰 역할을 할 것으로 보임

<표 414> 독일의 농업 및 바이오매스 관련 지원 프로그램

프로그램	내용	지원대상	담당기관
농업투자 지원 프로그램	기업의 가치창출 증가, 건설적 및 기술적 요구 사항 창조, 생산비용의 절감, 생산조건 및 근로 조건의 개선을 통한 내구재 투자, 농업분야에서의 환경조건 개선 (에너지절약과 대체 에너지원의 변환)	농업기업	독일연방 식품, 농업 소비자 보호부 (BMELV), 주정부 농업기관 및 농업회의소
기후변화, 신재생에너지, 물 관리, 생물 다양성 및 낙농부문 구조조정 동반대책 관련 개별운영 컨설팅 조치	농업의 소득 다변화 대책, 신재생에너지 분산 공급 대책 (지역 난방관 또는 바이오 가스관) 등과 같이 농촌 구조를 개선하기 위한 개별 컨설팅	농업기업	독일연방 식품, 농업 소비자 보호부 (BMELV), 주정부 농업기관 및 농업회의소
통합 농촌개발	신재생에너지 분산 공급(지역난방관 또는 바이오가스관), 농가 소득 다변화, 고용창출, 지역 개발 등 통합 농촌 개발 계획 지원·투자	지역 및 지역단체, 물 및 토양협회, 개별사업자, 농업기업	주정부 농업기관 및 농업회의소
시장 인센티브 프로그램	바이오매스 시설과 태양열 시설 등을 이용하는 보일러 및 온수 저장시설	개인, 프리랜서, 중소기업, 지자체/지방기업과 목적단체, 기타 공공기관, 비영리단체(협회)	연방 경제 및 수출통제사무소
바이오매스의 에너지 활용" 지원 프로그램	바이오매스 에너지화 사업에 크게 기여할 수 있는 가행성 연구, 측정프로그램, 파일럿 또는 시범사업, 기술 개발 또는 공정최적화 방안	연구기관, 중소기업	독일연방 환경부 (BMU) /울리히 프로젝트 담당자(Pfj)
지속가능성 사업	에너지 효율 증대 (에너지절감 난방시스템, 건물단열 등), 농업에서의 배출 저감 등	EU위원회가 정의한 농업, 원예, 와인 중소기업	연 금 은 행 (Rentenbank)

다. 미국

- 중동의존형의 에너지 정책 탈피 등을 목적으로 에너지 정책법 (2005년)을 통해 신재생에너지 혼합 의무제(Renewable Fuel Standard, RFS) 도입
- 미국 에너지부 산하 에너지정보국 (Energy Information Administration)의 수급 예측 데이터를 기반으로 EPA에서 매년 11월에 차년도 사용 의무량을 검토·조정 추진

<표 4-15> 미국 RFS 프로그램 개요

구 분	내 용
시행시기	- RFS 1 program : 2007년 9월 1일 ~ 2010년 11월 30일 종료 - RFS 2 program : 2010년 12월 1일 ~
목 표	목표연도 (2020년) : 수송용 연료의 20% 바이오연료 혼합의무
의무대상자	수송용 화석연료 공급업자 - 정제사업자, 수입사업자 및 혼합업자 등
대상연료	에탄올, 바이오디젤 등의 바이오연료
의무기간	1년 단위
감독기관	환경보호청 (Environmental Protection Agency, EPA)

자료 : EPA(2005)

- 최근 환경보호청(EPA)는 재생가능연료표준 (Renewable Fuel Standard; RFS) 프로그램 하에서 2013년 최종 에탄올 혼합함량 고시하였다. 재생가능 혼합요구량은 약 165.5억 갤런으로, 총연료 공급량 기준 9.74% 혼합하고 있는 상황이다. 바이오 디젤 12.8억 갤런 (1.13%), 차세대 바이오연료 27.5억 갤런 (1.62%) 및 600만 갤런의 셀룰로오스계 바이오연료 혼합 의무화하고 있다. 세계 곡물가 상승 등에 대한 축산·식품업계의 비판, 급유 인프라 부족으로 인한 소비 한계 등의 요인 등 고려하여 2014년부터 혼합 의무량 조정 중
- 현재 소위 블렌드 월(Blend Wall)이라고 지칭되는 상황으로, 현재 미국의 급유 설비는 E10 (가솔린dp 10%의 바이오 에탄올 혼합) 중심으로 구축되어 있어, 10% 이상의 혼합연료를 급유하는 설비를 증가않고 사용 의무량을 보장할 수 없으며, 가솔린 가격상승 및 자동차 연비 개선 등의 요인으로 인해 가솔린에 대한 수요 자체 역시 감소 경향을 보이고 있어 바이오 연료 수요 견인 역시 역부족인 상태
- 미국 에너지부 (DOE)의 바이오 에너지 센터 주관 하에 미국 에너지 자립도 증진 등 위한 바이오 연료에 대한 연구개발 및 상용화 프로젝트 지원 진행 중으로 2004년에 가격 경쟁력 있는 조류 기반 바이오연료 (350만 달러) 및 차세대 바이오 연료 개발 프로젝트 (600만 달러)에 대한 지원 발표

라. 브라질

- 세계 최고의 바이오에탄올 생산국인, 브라질은 1975년부터 에탄올산업 육성프로그램 (ProAlcool program)을 시작하여 바이오에탄올의 생산 및 활용에 관하여 세계적인 명성을 얻고 있음
- 최근에는 10개년 에너지계획 (Brazilian Decennial Expansion Plan, 2011)을 수립하고, 970억 헤알 (약 601억 달러)을 투자하여 2020년까지 브라질 에너지의 21.8% (현재 17.7%)를 바이오에탄올로 생산하고, 석유와 바이오에탄올을 번갈아 연료로 사용할 수 있는 Flex차량 사용을 대중화하는 것을 목표로 하고 있음
- 에탄올 가격 보조, 전국 공급망 건설을 위한 금융 지원, 에탄올 연료 자동차 생산에 대한 인센티브 지원 제도 등으로 구성
 - 최근에도 브라질은 에탄올 산업에 대한 정책적 지원을 이어나가고 있는데, 1977년 에탄올 4.5%로 시작된 의무혼합제는 여러 차례 상향조정되어 2016년 기준 27%로 높아졌고, 가변연료차량에 대한 세제혜택과 에탄올 산업에 대한 금융 지원 등이 제공되고 있음
 - 미국과 함께 세계 전체 에탄올 생산량의 80% 이상 차지하고 있으며 사탕수수를 주요 바이오매스로 활용
 - 석유 수입에 대한 외화 유출 방지 및 설탕 생산 확대를 통한 유희자원 활용도를 높여 지역별 개인별 소득 증대 및 빈부격차 완화 도모 추진

<표 4-16> 브라질 에탄올 의무혼합비율 변천

기간	혼합비율
2006년 1~2월	25%
3~10월	20%
2006년 11월~2007년 5월	23%
2007년 6월~2010년 1월	25%
2010년 2~4월	20%
2010년 5월~2011년 9월	25%
2011년 10월~2013년 4월	20%
2013년 5월~2015년 3월	25%
2015년 3월~최근	27%

자료: USDA Foreign Agriculture Service(2016), Brazil Biofuels Annual Report 2016

- 바이오 연료 연구는 1950년대부터 이미 시작하였으며 1980년대 세계 최초로 수송

연료용 바이오 디젤 관련 특허 취득

마. 중국

- 광활한 경작지 및 다양한 기후대로 인하여 바이오매스 생산량 및 다양성에서의 우위 보유하고 있다. 중국은 재생에너지 이용을 촉진하기 위하여 재생에너지법 (中華人民共和國可再生能源法) 제정하였다. 이 중 특히 바이오에너지는 중국의 농촌 에너지 현황 및 에너지 구조 개선을 위해 가장 중요한 위치를 점하고 있는 것으로 평가 되고 있음
- 성공적인 삼농(三農) 정책을 위하여 농업 부산물을 활용하는 바이오매스 산업을 진행하였으며 가장 큰 사회적 문제 중 하나인 '도농격차'를 해소할 수 있는 방안으로 전폭적인 국가지원을 추진 중
- 국가 에너지 수급 안정성 및 환경개선, 농업·농촌 발전에서 바이오 에너지의 중요성을 인식, 바이오매스 에너지 개발을 위한 중장기 발전계획 및 구체적인 생산량 목표 수립
 - 2010년 바이오매스 액체 연료 생산량 목표는 200만톤 수준에 불과하였으나 2020년에는 2010년 대비 5배 가량 수준인 1,000만톤으로 상향 계획 중
 - 중국도 바이오연료 혼합이 의무화 되어 있으며, 헤이룽장성 등 6개 성에서 E10이 사용되고 있음
 - 바이오디젤은 제한된 생산설비 등으로 의무혼합제도가 시행되지 않고 있으며 일부 도시에서만 연료로 승인되어 제한적으로 사용
 - 2016~2020년 경제개발 5개년 계획에 셀룰로오스계 및 해조류 기반 바이오연료 생산을 늘리는 방안이 논의되고 있지만 구체적인 목표는 미정 상태

바. 동남아

- 사탕수수과 당밀, 카사바(이상 에탄올), 오일팜, 코코넛(이상 바이오디젤) 등을 원료로 사용하며 바이오연료 혼합 의무화, 세제혜택, 보조금 지급 등의 정책을 시행하고 있음
 - 인도네시아의 경우 바이오연료 사용 확대를 위해 2009년 리터당 11센트 수준이었던 보조금을 2011년 27센트로 높였고, 인도네시아 의회는 이를 더욱 확대하여

2012년부터 30센트 이상으로 늘리는 것으로 함

- 하지만 투자부족과 유통 인프라 부족 등 동남아 국가들의 바이오연료 정책은 대부분 목표치를 달성하지 못하고 있으며, 목표치 달성을 위한 부단한 노력이 필요해 보임

제2절 시사점

□ 국내 환경에 적합한 바이오에너지 육성 정책 필요

- 해외 정책/제도 분석 결과 각 나라별 환경을 고려한 바이오에너지 육성 정책을 펼치고 있으며 농업인들의 경제적 상황을 고려한 정책을 추진하는 상황이나 우리나라는 이러한 정책이 부재함에 따라 해외 사례를 고려하여 농산 부산물을 활용하는 에너지산업 활성화 정책이 필요

□ 도농 격차 해소하는 접근 방식으로 농업 바이오매스 활성화

- 중국과 같이 도시와 농촌의 소득격차를 줄이기 위한 방안으로서 정부의 지원 하에 농업 바이오매스 에너지화 방안 검토 필요

□ 지자체 및 주민 참여형 정책이 필요

- 주민 수용성을 고려하여 외국과 같이 마을 단위로 지역 주민(농민)이 농업 바이오매스 생산, 판매, 유통 등의 활동을 직접 참여할 수 있는 농업 바이오매스 에너지화 활성화 관련 정책 수립 필요

□ 수거율 및 미이용 자원의 에너지화 비중 제고

- 가연성 바이오매스 경우는 수요처 근거리 통합형 원료시스템 구축과 원료 공급의 광역화 및 집적화가 필요함에 따라 이를 고려한 방안 모색 필요
- 간척지, 유휴 농지 이용 대규모 농업 바이오매스 재배가 대안일 수 있음

□ 미이용 및 신규 바이오매스 자원활용 지원 필요

- 에너지잠재량이 높은 미이용 및 신규 농업 바이오매스 활용 정책 및 기술 개발 사업을 통해 시장잠재량 확대
- 농업 바이오매스의 에너지화시 공급인증서(REC) 발급, 신재생에너지공급의무화, 발전차액지원제도 등 정책/제도적 지원 가능 방안 검토 필요

제5장

농업 바이오매스 활성화 추진 전략

제1절 농업 바이오매스 활성화를 위한 정책 및 지원 방안

1. 기술상 지원 방안

□ 질소 함량, 회분 함량 제거 기술 필요

- 초본계 펠릿은 연소시 목질펠릿에 비해 높은 농도의 회분을 생산하기 때문에 완전 연소가 가능한 방법 탐색 혹은 전처리할 수 있는 기술개발 필요
- 또한 케나프의 경우 타 작물 대비 높은 질소를 함유하고 있어 고체연료 품질기준에 부적합함에 따라 케나프 작물의 전처리 기술 혹은 품질개량으로 낮은 질소를 함유하는 신규작물 개발과 같은 연구개발 지원이 필요할 것으로 보임

□ 농업 바이오매스 특성에 맞는 에너지화 연구개발 필요

- 농업 바이오매스는 성분에 따라 전분질계, 셀룰로스계, 당질계 등 각기 다른 성분을 지니고 있고 각 작물마다 서로 다른 특성을 보이기 때문에 이러한 사항을 고려하여 연구 개발이 필요
- 국내의 경우 벼짚, 왕겨, 폐옥수수대와 같은 일부 농산 부산물과 비식량 에너지 작

물을 제외하고 나머지 농산 부산물의 연구개발이 이루어지지 않음

- 국내 보고서에서는 고추줄기와 같은 부산물을 이용한 연구사례는 검색되지 않음
- 케나프를 펠릿화하는 연구는 진행되고 있으나 에탄올 생산 연구는 진행되고 있지 않음
- 거대억새의 경우 펠릿화하거나 바이오에탄올 생산 연구가 진행 중에 있으나 상용화 가능한 신규품종개발, 효소개발이 좀 더 연구되어야 함

2. 정책상 지원 방안

가. 농업 바이오매스 정의 및 분류 기준안 마련

- 현재까지 농업 바이오매스의 구체적인 정의 및 분류 방식이 없어 관리 및 조사 항목에 어려운 점이 많음
- 국제 ISO 기준에 따르면 농업 바이오매스의 고품바이오원료로서 목질계, 초본계(피 목질계 줄기 식물/작물), 과실계, 해양 바이오매스로 나뉘게 되는데 이에 따라 국내에서도 바이오매스의 분류는 초본계, 과실계, 해양, 농산물 배합물 및 혼합물 배합 등으로 분류할 필요가 있을 것임
- 유럽, 미국 등 대부분 선진국은 2014년 제정된 국제 고품바이오 연료(Solid Biofuel) 표준 ISO17255 국제인증 기준을 준수하고 있음

<표 5-1> ISO 고형바이오연료 정의 및 구분

정의/연료구분	내용
ISO 바이오매스 정의	에너지 작물, 농작물 및 나무, 식량, 사료 및 섬유 작물 잔여물, 농업 폐기물, 가공 부산물 및 기타 비 화석 유기물 등을 포함하는 식물 또는 동물 기반의 유기 물질
ISO 기준 고형바이오 연료구분	<p>가. General Requirement(ISO-17725-1)의 고형바이오연료 구분</p> <ul style="list-style-type: none"> - Woody Biomass : 목질계 바이오매스 - Herbaceous Biomass : 초본계 바이오매스(비목질계 줄기식물/작물) - Fruit Biomass: 과실계 바이오매스 - Aquatic Biomass: 해양 바이오매스 - Blended(intentional) and Mixtures(unintentional) : 농산물 배합물과 혼합물 <p>나. Graded Wood pellet(ISO-17225-2)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 목재유형, 화학처리여부, 화학성분에 따라 펠릿등급 구분 - 가정용/상업용(A1,A2, B), 산업용(I1, I2, I3)으로 등급구분 - 화학처리된 목재 미포함(단, 병해충 방지를 위한 화학처리된 목재는 해당되지 않으나, 화학성분기준에 부합여부로 사용여부 판단) <p>다. Graded Non-Wood Pellets(ISO-17225-6)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 초본계, 과실, 해양 바이오매스, 배합물과 혼합물을 포함 - 일반적으로 회분, 염소, 질소, 황 성분이 목질계에 비해 높은 것으로 간주 특수 디자인된 시설에서 사용권고

자료: ISO

나. 농업 바이오매스 에너지 활성화 인센티브 지원

1) 농업 바이오매스 고체연료 공급인증서 가중치(REC)의 도입 방안

- 현재 우리나라에서 유채를 제외한 농산 부산물과 비식량 농업 에너지 작물의 실용화 사례는 거의 없는 실정
 - 단, 신재생에너지원 및 겨울철 농가소득원 개발을 위해 바이오디젤용 유채의 국내 생산 확대 및 경제성 확인을 위한 시범사업을 전개

- 유채재배로 쌀보리 재배 시 보다 낮은 소득 발생을 고려하여 유채 재배농가에 대하여 170만원/ha씩 지원
 - 하지만 당초 생산 목표 4,000kg/ha 대비 1/4 수준인 835kg/ha의 매우 낮은 생산량을 보였으며 목표(40%)대비 80% 수준의 낮은 착수율(31.8%)을 보였으며, 쌀보리 대비 62%의 수입률, 채산성 악화로 인한 수매참여포기로 인하여 유채생산 시범사업이 실패하게 됨
- 이러한 농업 바이오매스의 저조한 산업화 상황은 태양광, 풍력 등 다른 재생에너지 부문과 비교하여 낮은 인센티브를 부여받고 있으며, 이러한 낮은 인센티브는 농업 바이오매스 에너지 산업화를 저해하는 악순환이 반복되고 있음
- 신재생에너지인증서(REC)의 가중치를 살펴보면, 태양광에너지의 경우 신재생에너지 인증서의 가중치가 설치부지와 시설용량에 따라 0.7에서 1.5의 수준을 보이고 있으며, 전력저장장치(ESS)와 연계하는 경우 가중치 5.0까지 부여하고 있음
 - 풍력설비의 경우 전력저장장치(ESS)와 연계하는 경우 5.5 수준까지 가중치를 부여
 - 바이오매스 중 가장 널리 쓰이고 있는 목재펠릿, 목재칩도 석탄혼소는 가중치가 제외되었으며 전소 전환설비 및 전소는 0.5로 과거 전소시 1.0을 부여받았을 때 보다 감소함
 - 미이용 산림바이오매스의 전소발전의 경우만이 가장 높은 가중치 1.5~2.0(석탄혼소 1.5)를 부여받고 있는 상황
 - 그러나 농업 바이오매스 중 왕겨 펠릿이 속하는 바이오매스(Bio-SRF)의 경우 석탄혼소 시 가중치 제외되었으며 전소전환 설비시 0.25, 전소시 0.25~0.5 수준이고 바이오중유는 1.0이며 해외에서 널리 쓰이고 있는 바이오에탄올의 경우 해당되는 가중치는 없음
 - 농업 바이오매스 중 왕겨 펠릿 등을 제외하고 고추줄기, 과수 전정가지, 비식량 에너지 작물의 경우 펠릿으로 제작시 REC 미부여인 상태
- 농업 바이오매스의 에너지화시 경제성 확보 및 산업 등 활성화를 위해서는 REC 도입이 필요하며 이에 따라 법령개정, 제도보완 등이 필요
- 하지만 농업 바이오매스의 고체연료가 공급인증서 발급 규칙에 인정이 된다고 하더라도 목재펠릿과 같이 수입목재가 94.1% 차지하는 부작용이 발생할 수 있으므로 이에 대한 보완이 필요하며 현재까지는 생체 그대로를 이용하여 수입산 문제를 막을 수 있지만 생체 연료 이용시 대기환경보전법에 따른 질산화물 발생이 높기 때

문에 발전소에 쓰일 수 있는 연료로서 부적합함

- 수입산 농업 바이오매스 고체연료의 도입 문제에 대한 고려는 필요하며 본 연구에서는 REC 도입을 할 때 정부부처에서 필요한 사항들에 대해 언급

□ 법령개정

- 농림축산식품부 「농업·농촌 및 식품산업 기본법 시행령」 제21조에 농업바이오매스의 발전 및 열 에너지 사업을 진행하기 위한 항목이 신설될 필요 있음

<표 5-2> 농업·농촌 및 식품산업 기본법 시행령 및 개정안

「농업·농촌 및 식품산업 기본법 시행령」	개정안
<p>제21조(준농촌에 대한 지원) ① 농림축산식품부장관은 법 제61조에 따라 농촌 외의 지역으로서 「농지법」에 따른 농업진흥지역과 「개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법」에 따른 개발제한구역에서 시행되는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사업에 대해서는 세부사업내용 및 지원조건을 정하여 필요한 지원을 할 수 있다. <개정 2013. 3. 23., 2015. 12. 22.></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 농업의 경영 혁신 및 인력 육성에 관한 사업 2. 농업의 기계화 및 시설현대화에 관한 사업 3. 농산물의 유통·가공 및 수출 지원에 관한 사업 4. 소득원 다양화에 관한 사업 5. 임업·산촌 지원에 관한 사업 6. 농로 및 농업용 수리시설의 보강 또는 개·보수에 관한 사업 7. 식품산업 지원에 관한 사업 8. 농업·농촌의 공익기능 지원에 관한 사업 <p>(신설)</p>	<p>제21조(준농촌에 대한 지원) ① 농림축산식품부장관은 법 제61조에 따라 농촌 외의 지역으로서 「농지법」에 따른 농업진흥지역과 「개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법」에 따른 개발제한구역에서 시행되는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사업에 대해서는 세부사업내용 및 지원조건을 정하여 필요한 지원을 할 수 있다. <개정 2013. 3. 23., 2015. 12. 22.></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 농업의 경영 혁신 및 인력 육성에 관한 사업 2. 농업의 기계화 및 시설현대화에 관한 사업 3. 농산물의 유통·가공 및 수출 지원에 관한 사업 4. 소득원 다양화에 관한 사업 5. 임업·산촌 지원에 관한 사업 6. 농로 및 농업용 수리시설의 보강 또는 개·보수에 관한 사업 7. 식품산업 지원에 관한 사업 8. 농업·농촌의 공익기능 지원에 관한 사업 9. 농업 바이오매스(농산 부산물, 비식용 농작물 등)의 발전 및 열 에너지이용에 관

<p>② 제1항에 따른 사업 외에 농업인의 복지에 관한 사업, 농업인의 자녀 교육에 관한 사업 및 생활환경 개선사업에 대해서는 관계 중앙행정기관의 장이 세부사업 내용 및 지원조건을 정하여 필요한 지원을 할 수 있다.</p>	<p>한 사업</p> <p>② 제1항에 따른 사업 외에 농업인의 복지에 관한 사업, 농업인의 자녀 교육에 관한 사업 및 생활환경 개선사업에 대해서는 관계 중앙행정기관의 장이 세부사업 내용 및 지원조건을 정하여 필요한 지원을 할 수 있다.</p>
--	--

□ 농업 바이오매스 에너지 설비 포함

- 농림축산식품부의 현행법에는 농업 바이오매스를 이용하여 제조한 펠릿, 칩(애그로 펠릿, 애그로 칩)과 같은 고체연료에 명명할 근거가 없으므로 농림부고시나 지침 등으로 농업 바이오매스 연료에 대한 품질 기준 등 명시가 필요할 것으로 보임
 - 애그로(agro) 펠릿, 애그리 칩은 농산 부산물과 비식량 에너지 작물과 같은 농업 바이오매스를 목재펠릿, 목재칩과 같이 고체연료로 전환한 펠릿, 칩을 의미
- 또한 애그로 펠릿, 애그리 칩의 경우 「신재생 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」과 「신재생 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진시행령」에 의하면 애그로 펠릿, 애그리 칩은 바이오에너지에 해당되나 「신·재생에너지 공급의무화 제도 및 연료 혼합의무화제도 관리 운영지침」과 「공급인증서 발급 및 거래 시장 운영에 관한 규칙」에는 애그로 펠릿, 애그리 칩이 포함되지 않음으로 인해 농업 바이오매스의 에너지원으로서의 경제성 확보가 떨어지게 됨

<표 5-3> 바이오에너지 관련 법, 시행령, 지침, 규칙 현황 및 개정안

관련법	현황		개정(안)
신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 (2조 2바)	(바이오에너지 정의) 바. 생물자원을 변환시켜 이용하는 바이오에너지로서 대통령령으로 정하는 기준 및 범위에 해당하는 에너지		현행
신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령 [별표 1] 바이오에너지 등의 기준 및 범위	3. 바이오에너지 가. 기준	1) 생물유기체를 변환시켜 얻어지는 기체, 액체 또는 고체의 연료 2) 1)의 연료를 연소 또는 변환시켜 얻어지는 에너지	현행
등의 기준 및 범위 (제2조 관련)	나. 범위	1) 생물유기체를 변환시킨 바이오가스, 바이오에탄올, 바	현행

		이오액화유 및 합성가스 2) 쓰레기매립장의 유기성폐기물을 변환시킨 매립지가스 3) 동물·식물의 유지를 변환시킨 바이오디젤 및 바이오중유 4) 생물유기체를 변환시킨 땀감, 목재칩, 펠릿 및 목탄 등의 고체연료	
산·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리 운영지침		(바이오에너지 가중치) 9. 바이오에너지와 폐기물에너지는 영 제2조(바이오에너지 등의 기준 및 범위) 별표 1에서 정한 기준과 범위에 해당하는 에너지로서 폐기물관리법, 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률, 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 등에 따라 연료로서 품질인증을 받아 적법하게 제조·유통·처리된 연료를 사용하여 생산한 에너지...	
공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙		② 바이오에너지 설비 생물 유기체를 변환시켜 얻어지는 기체, 액체 또는 고체의 연료로서 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 연료를 연소 또는 변환시켜 전기를 생산하는 설비를 말한다. 1. 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따른 임산물 2. 「목재의 지속가능한 이용에 관한 법률」에 따른 목재펠릿, 목재칩, 목재브리켓 3. 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」에 따른 바이오고형연료제품(Bio-SRF) 4. 「폐기물관리법」에 따른 폐기물 중 생물기원의 유기성 폐기물 5. 「발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시」에 따른 발전용 바이오중유 6. 「폐기물관리법」에 따른 폐기물 원료의 매립지 가스 7. 바이오가스 및 바이오수소 8. 「산림바이오매스에너지의 이용·보급	② 바이오에너지 설비 생물 유기체를 변환시켜 얻어지는 기체, 액체 또는 고체의 연료로서 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 연료를 연소 또는 변환시켜 전기를 생산하는 설비를 말한다. 1. 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따른 임산물 2. 「목재의 지속가능한 이용에 관한 법률」에 따른 목재펠릿, 목재칩, 목재브리켓 3. 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」에 따른 바이오고형연료제품(Bio-SRF) 4. 「폐기물관리법」에 따른 폐기물 중 생물기원의 유기성 폐기물 5. 「발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시」에 따른 발전용 바이오중유 6. 「폐기물관리법」에 따른 폐기물 원료의 매립지 가스 7. 바이오가스 및 바이오수소 8. 「산림바이오매스에너지의 이용·보급

	축진에 관한 규정」 제2조에 따른 미이용산림바이오매스	급 축진에 관한 규정」 제2조에 따른 미이용산림바이오매스 9. 「농업 바이오매스 에너지의 이용 보급 축진에 관한 규정」 제2조에 따른 애그로 펠릿 애그로 칩
--	-------------------------------	--

□ REC 가중치 산정안

- 고추줄기, 과수 전정가지 등과 같은 농산 부산물이나 비식량 에너지 작물 농업 바이오매스에 대한 가중치를 산정 수치는 앞서 LCOE 분석 방법을 통해 혼소시 REC 0.55, 전소시 REC 0.97의 수치가 산정
 - 목재펠릿, 목재칩이 REC 0.5가 부과로 인해 애그로 펠릿, 애그로 칩의 경우 비슷한 수준의 가중치를 얻을 것으로 예상되지만 초기 산업활성화 측면에서 0.5 이상을 고려해 볼 필요가 있음
 - 애그로 펠릿과 애그로 칩에는 고추줄기와 같은 농산 부산물과 케나프, 억새와 같은 비식량 에너지 작물을 펠릿, 칩으로 제작시 해당될 수 있음
- 과수 전정가지의 경우 미이용 바이오매스이며 목질계에 속하나 산림청에서 관리하는 품목이 아니라 공급인증서 가중치에 포함되지 않음
 - 환경적, 경제적인 측면을 고려하여 과수 전정가지 이용 활성화를 위해서는 미이용 산림바이오매스와 비슷한 수준의 REC 부여가 필요할 것으로 보임

<표 5-4> 초본계 바이오매스 REC 가중치 추가시 현행 및 개정안(예시)

현행		개정안(예시)	
공급인증서 가중치	대상에너지 및 기준	공급인증서 가중치	대상에너지 및 기준
0.25	Bio-SRF	0.25	Bio-SRF
0.5	매립지가스, 목재펠릿, 목재칩	0.5	매립지가스, 목재펠릿, 목재칩
1.0	기타 바이오에너지	1.0	기타 바이오에너지
1.5	미이용 산림바이오매스(혼소설비)	1.5	미이용 산림바이오매스(혼소설비)
2.0	미이용 산림바이오매스(전소설비)	2.0	미이용 산림바이오매스(전소설비)
		0.5~1.0 (추가)	애그로펠릿, 애그로 칩
		1.5 (추가)	미이용 농업바이오매스(혼소설비)
		2.0 (추가)	미이용 농업바이오매스(전소설비)

주) 본 개정안은 농업 바이오매스의 활성화 측면에서 저자의견을 고려한 개정안 예시이므로 이를 실제 반영시 추가적인 분석이 필요함

다. 농업 바이오매스 품질 기준 마련

1) 바이오매스 관련 유사 사례 품질 기준 검토

□ 목재펠릿: 국내 품질기준

- RPS 제도 등 신·재생에너지의 수요량 증가로 이미 국내로 수입되는 목질계 바이오매스 자원은 해마다 급증하고 있어 산림청에서는 「목재의 지속가능한 이용에 관한 법률」과 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」에 따라 유통에 대한 품질관리를 이행하고 있음 동 법률의 내용 중 본 연구와 관련된 사항을 요약하면 다음과 같음
 - 첫째로, 목재펠릿에 관하여 「목재의 지속가능한 이용에 관한 법률」 제20조에 수입하거나 제조한 목재펠릿을 유통하기 위해서는 산림청장이 고시한 품질검사를 받고 이를 표시하도록 하고 있으며, 제24조에서 등록을 명시하고 있음. 목재펠릿은 오염되지 않은 목재를 압축·성형하여 생산하는 고체 바이오연료를 뜻하므로 목재펠릿에 비해 품질 기준이 낮은 Bio-SRF가 목재펠릿으로 신고되어서는 안됨. 목재펠릿의 규격 및 품질 기준은 <표 5-3>와 같음
 - 두 번째로, 앞서 언급한 Bio-SRF를 수입하거나 제조하여 유통하기 위해서는 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 제25조4에 따라 신고하여야 하며, 제25조의5 및 제25조의6에 따라 환경부 장관이 고시한 품질검사를 받고 이를 표시하여야 함. 기존의 WCF(Wood Chip Fuel), RPF(Refuse Plastic Fuel), TDF(Tire Derived Fuel)를 구분해 관리하던 것과 달리, 현재는 SRF와 Bio-SRF로 통합 관리하여 2014년 7월부터 품질 기준이 적용되고 있음

<표 5-5> 목재펠릿의 규격·품질기준

특성	단위	1급펠릿	2급펠릿	3급펠릿	4급펠릿
크기(지름)	mm	6-8	6-8	6-8	6-25
크기(길이)	mm	≤32	≤32	≤32	≤32
겉보기밀도	kg/m ³	≥640	≥600	≥550	≥500
함수율	%	≤10	≤10	≤15	≤15
회분	%	≤0.7	≤1.5	≤3.0	≤6.0
미세분	%	<1.0	<1.0	<2.0	<2.0
내구성	%	≥97.5	≥97.5	≥95	≥95
발열량	kcal/kg (MJ/kg)	≥4,300 (≥18.0)	≥4,300 (≥18.0)	≥4,040 (≥16.9)	≥4,040 (≥16.9)
황	%	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
염소	%	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
질소	%	<0.3	<0.5	<0.7	<1.0
비소	mg/kg	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0
카드뮴	mg/kg	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5
크롬	mg/kg	≤10	≤10	≤10	≤10
구리	mg/kg	≤10	≤10	≤10	≤10
납	mg/kg	≤10	≤10	≤10	≤10
수은	mg/kg	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.05
니켈	mg/kg	≤10	≤10	≤10	≤10
아연	mg/kg	≤100	≤100	≤100	≤100
회분용융 거동온도	℃	권장 표시항목			
기타첨가물	%	<20	<20	<20	<20

자료 : 국립산림과학원 고시 제2013-5호.

<표 5-6> 바이오 고형연료제품(Bio-SRF)의 품질기준

구분		단위	성형		비성형	
모양 및 크기		mm	직경	50 이하	가로	50 이하
			길이	100 이하	세로	120 이하
수분		wt %	10 이하		25 이하	
저위발열량		kcal/kg	수입 고형연료제품: 3,150 이상 제조 고형연료제품: 3,000 이상			
회분		wt %	15 이하			
염소		wt %	0.5 이하			
황분		wt %	0.6 이하			
바이오매스		wt %	95 이상			
금속성분	수은(Hg)	mg/kg	0.6 이하			
	카드뮴(Cd)		5.0 이하			
	납(Pb)		100 이하			
	비소(As)		5.0 이하			
	크롬(Cr)		70.0 이하			
비고		1. 회분, 염소, 황분 및 금속성분은 건조된 상태를 기준으로 한다. 2. 성형제품은 펠릿으로 제조한 것으로 한정한다. 3. 바이오매스 함유량은 고형연료제품의 함유 성분 중에서 수분과 회분을 제외한 나머지 성분 중 바이오매스의 비율을 말한다.				

자료 : 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 시행규칙 [별표 7].

- 목재펠릿과 Bio-SRF의 품질 기준은 <표 5-4>와 같이 비교될 수 있으며, Bio-SRF의 품질 기준이 목재펠릿의 기준에 비해 규제가 약한 것을 확인할 수 있음. 고형연료 제품의 활성화와 목재펠릿의 품질관리 강화를 위해 두 가지 제품을 구분하여 관리함에 따라 현 제도에서 Bio-SRF에 대한 수입 장벽이 낮아지게 되어 저품질의 제품이 수입될 우려가 있는 상황이나 그러나 수입량은 지속해서 늘어날 것으로 예측되므로, 이에 대한 제도 강화를 통해 저품질 제품의 무분별한 수입을 막고 철저한 품질관리를 통해 제품에 대한 신뢰성을 함양할 필요가 있음

<표 5-7> 목재펠릿과 Bio-SRF의 규격·품질기준 비교

특성	단위	목재펠릿				Bio-SRF	
		1급펠릿	2급펠릿	3급펠릿	4급펠릿	성형	비성형
크기(지름)	mm	6-8	6-8	6-8	6-25	50 이하	50 이하
크기(길이)	mm	≤32	≤32	≤32	≤32	100 이하	120 이하
겉보기밀도	kg/m ³	≥640	≥600	≥550	≥500		
함수율	%	≤10	≤10	≤15	≤15	10 이하	25 이하
회분	%	≤0.7	≤1.5	≤3.0	≤6.0	15 이하	
미세분	%	<1.0	<1.0	<2.0	<2.0		
내구성	%	≥97.5	≥97.5	≥95	≥95		
발열량	kcal/kg	≥4,300	≥4,300	≥4,040	≥4,040	수입 고형연료제품: 3,150 이상	
	(MJ/kg)	(≥18.0)	(≥18.0)	(≥16.9)	(≥16.9)	제조 고형연료제품: 3,000 이상	
황	%	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.6 이하	
염소	%	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.5 이하	
질소	%	<0.3	<0.5	<0.7	<1.0		
비소	mg/kg	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	5.0 이하	
카드뮴	mg/kg	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	5.0 이하	
크롬	mg/kg	≤10	≤10	≤10	≤10	70.0 이하	
구리	mg/kg	≤10	≤10	≤10	≤10		
납	mg/kg	≤10	≤10	≤10	≤10	100 이하	
수은	mg/kg	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.05	0.6 이하	
니켈	mg/kg	≤10	≤10	≤10	≤10		
아연	mg/kg	≤100	≤100	≤100	≤100		
회분용융 거동온도	℃	권장 표시항목					
기타첨가물	%	<20	<20	<20	<20		

- 품질관리 개선책의 하나로 바이오매스 생산자에 대한 체크리스트를 제공하는 것들
 들 수 있음. 영국은 RHI 시행으로 인한 바이오매스 공급자의 난립 예방 및 생산된
 바이오매스의 품질 보증, 소비자에게 공급자에 대한 정보 제공을 통해 신·재생에
 너지 시장에서 공정한 경쟁을 유도하는 Biomass Suppliers List(BSL)를 마련
 - BSL을 통해 열 생산을 위해 사용되는 목질계 바이오매스는 지속 가능한 산림이나
 재활용을 통해서 제공되고 있다는 사실을 증명해야 함
- 이를 위해서는 UK-TPP(UK Government Timber Procurement Policy)에서 정한 특
 정 기준을 만족시켜야 함. 또한 바이오매스 생산자는 산림 관리 방법에 대한 상세
 한 정보를 관계당국에 제공해야 할 의무를 지며, 가공 과정을 거쳐 생산된 목재

연료에 대한 공급 과정 관리정보도 동시에 제공해야 함. 산림의 지속 가능성은 ISAE 3000(International Standard on Assurance Engagements 3000)이나 이와 동등한 기준을 이용해 평가하도록 명시하고 있음

- 품질기준 항목 및 용어정의 사례 검토: 예) 상품명, 등급, 종류, 원산지, 품질(크기, 밀도, 함수율, 회분, 발열량, 화학성분, 무기물, 기타첨가물), 무게, 생산자(수입자)의 주소·성명 등의 정보, 제조일자 등의 농업 바이오매스의 규격·품질기준 항목을 제안하고 있음
- 바이오매스 중 신재생에너지 공급인증서(REC) 가중치에 적용되고 있는 목재펠릿의 사례의 경우 국립산림과학원 고시 2009년 5월 21일 [제정] 제2009-2호, 2013년 6월 28일 [개정] 제2013-5호에 의하여 아래와 같이 목재펠릿 규격·품질기준을 정함

<표 5-8> 목재펠릿 규격·품질표의 기재방법

목재펠릿 규격·품질		
상 품 명	각 회사의 고유 상품명을 표시한다.	
목재펠릿의 등급	1급부터 4급까지의 등급으로 구분하여 표시한다.	
종 류	목부, 수피 및 일반펠릿으로 구분하여 표시한다.	
원 산 지	생산된 국기를 표시한다.	
품 질	크기(직경)	직경을 mm단위로 표시한다.
	겉보기밀도	둘째자리까지 명기하여 000kg/m ³ 이상으로 표시한다.
	함수율	소수점 첫째자리까지 명기하여 0.0% 이하로 표시한다.
	회 분	소수점 첫째자리까지 명기하여 0.0% 이하로 표시한다.
	발열량	둘째자리까지 0,000kcal/kg 이상으로 표시하고, ()안에 소수점 첫째자리까지 00.0MJ/kg 이상으로 병기한다.
	화학성분	S 0.00 %, Cl 0.00 %, N 0.0 % 이하로 표시한다.
	무기물	As 0.0mg/kg Cd 0.0mg/kg Cr 00mg/kg Cu 00mg/kg Pb 00mg/kg Hg 0.00 mg/kg Ni 00mg/kg Zn 000mg/kg 이하로 표시한다.
	회분용융	산화조건에서 측정한 수축개시온도(SST), 변형온도(DT), 반구형변화온도
	거동온도	(HT), 용융온도(FI)를 °C로 표시한다.
기타첨가물	접착제로서 000 0.0% 이하로 표시한다.	
무 게	무게를 kg 단위로 표시한다.	
생 산 자 (수입자)	주 소	생산자 또는 수입자의 주소를 표시하며 ()에는 전화번호를 표시한다.
	성 명 (회사명)	대표자의 성명, 회사명을 표시한다.
제 조 일 자	목재펠릿을 생산한 년, 월을 표시한다.	

자료 : 국립산림과학원 고시 제2013-5호.

□ 목재펠릿: 국외 품질기준⁵⁰⁾

- 목재펠릿은 세계적으로 가정·상업부문 난방연료 및 산업부문 열원, 발전부문의 연료로 활용되고 있으며, 국제표준에 의한 연료요건을 준용하여 각 국가가 개별적으로 정립한 연료기준⁵⁰⁾에 이용되고 있음
 - 2014년 도입된 국제표준 ISO17225-2)은 우드펠릿 품질기준을 크게 가정·상업용(A1, A2, B)과 산업용(I1, I2, I3)으로 구분하여 규정하고 있음
 - 목재펠릿 연료품질 기준은 우드펠릿 원료의 성상을 기준으로 설정되고 있으며, 가정·상업용 품질요건이 일반적으로 환경적·위생적 요건 충족 필요성 때문에 산업용(발전용) 보다 더 강화되어 있음
 - 가정·상업용(A1, A2, B) 우드펠릿은 난방용 스토브 또는 보일러에 사용되며, 상대적으로 강화된 품질기준을 적용하고 있음
 - 품질 구분은 ▲A등급(스토브 및 50kW 이하의 소형보일러용) ▲B등급(50kW초과 500kW이하 보일러용)으로 나뉘고 있음
 - 산업용 목재펠릿은 품질등급 I1, I2, I3 등 3단계로 나뉘고 있으며, 주로 산업용 보일러 연료와 바이오매스 발전설비 연료로 사용되고 있음
 - 특히, 발전용은 온실가스 감축 목적으로 석탄 혼소발전 또는 바이오매스(우드펠릿) 전용발전설비에 청정연료로 사용되고 있음
 - 우드펠릿의 품질기준은 가정용 A1, A2, B 등급 품위(A1 > A2 > B), 산업용은 I1, I2, I3 등급(I1 > I2 > I3)으로 품위가 차별화 됨
 - 한편, 국제표준(ISO 17225-2) 품질기준 이외에, 구매국가(자)의 요구에 따라 ISO 보다 강화된 품질인증(certification)기준 또한 적용됨
 - 유럽펠릿협회(European Pellets Council)에서 설정한 우드펠릿 품질인증 기준인 ENplus가 가정·상업용(난방용)5) 우드펠릿 기준으로 세계적으로 적용됨
 - ENplus(ENplus A1, ENplus A2, ENplus B)는 ISO 17225-2에 근거하고 있으나, 다음과 같은 세부항목에서 다소 강화된 품질기준을 설정
- 주요 선진국의 목재펠릿 품질관리 및 보급 현황
 - (유럽) 국제표준이 설정되기 이전부터 스웨덴, 오스트리아, 독일 등 국가들이 주축이 되어 유럽 내 품질표준(EN14961-2)을 설정한 바 있음
 - 유럽표준(EN14961-2)은 2014년 국제표준(ISO17225-2)이 수립되고 난 이후 국제표

50) 출처: 세계 바이오매스(우드펠릿) 수급현황 및 시장 변화 요인, 2017.

준(ISO17225-2)으로 대체

- 기존 EN14961-2를 기준으로 설정된 품질인증 기준 ENplus 또한 2015년에 ISO17225-2를 기반으로 한 인증기준으로 재설정
 - 스웨덴: 자국 품질기준인 A1등급(EN14961-2 기반)에 근거하여 우드펠릿이 생산되며, 최근에는 시장의 요구에 따라 ENplus기준에 의한 공급이 모색
 - 오스트리아: 자국 내 86% 우드펠릿 생산기업이 ENplus 인증을 획득하였으며, 인증 받은 기업 대부분이 ENplus A1 상품을 생산하는 것으로 평가
 - 독일·영국: 가정용(난방용)은 ENplus 기준을, 산업용(발전용) 우드펠릿은 매매자간 계약에 의한 품질기준으로 공급하고 있음
- (미국) 우드펠릿 품질기준을 용도별(산업용·발전용 및 가정·상업용)로 차별화된 기준을 적용하고 있음
- 산업·발전용: 산업용 우드펠릿의 품질기준은 미국의 주요 수출대상국이 EU국가들이기에 EU 기준에 부합하도록 최적화되어 있음
 - 미국의 우드펠릿 생산량 중 62%(2015년)는 수출용 우드펠릿(산업용)으로 수출량 99%이상이 EU국가로 수출

<표 5-9> ISO 17225-2의 우드펠릿 품질기준

주요 요건	단위	가정·상업용			산업용		
		A1	A2	B	I1	I2	I3
직경*	(mm)	6	6	6	6	6	6
		8	8	8	8	8	8
							10
							12
길이**	(mm)	3.15 ≤ L ≤ 40			3.15 ≤ L ≤ 40		
용적 밀도	3 (kg/m ³)	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600
회분 함량	(w-%*** dry)	≤ 0.7	≤ 1.2	≤ 2.0	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 3.0
수분 함량	(w-%)	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
내구성	(w-%)	≥ 97.5	≥ 97.5	≥ 96.5	97.5 ≤ DU ≤ 99.0	97.0 ≤ DU ≤ 99.0	96.5 ≤ DU ≤ 99.0
발열량	(MJ/kg)	≥ 16.5	≥ 16.5	≥ 16.5	≥ 16.5	≥ 16.5	≥ 16.5
황 S	(w-% dry)	≤ 0.04	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05
질소 N		≤ 0.3	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.6
염소 Cl		≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.05	≤ 0.06
비소 As	(mg/kg dry)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 2	≤ 2	≤ 2
카드뮴 Cd		≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 1	≤ 1	≤ 1
크롬 Cr		≤ 10	≤ 15	≤ 15	≤ 15	≤ 15	≤ 15
구리 Cu		≤ 10	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20
납 Pb		≤ 10	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20
수은 Hg		≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1
니켈 Ni		≤ 10	≤ 10	≤ 10	-	-	-
아연 Zn		≤ 100	≤ 200	≤ 200	≤ 200	≤ 200	≤ 200
회분용융 거동온도	℃	ᄂ 산화조건(550℃)에서 측정된 모든 특성온도(수축개시온도(SST), 변형온도(DT), 반구형변화온도(HI), 용융온도(FI))를 ℃로 표기 해야 함**** ᄂ pre-ashing 온도가 550℃가 아닐 경우 이를 표기해야 함					

주 : *직경기준에서 ± 1mm까지 허용; **40mm를 초과하는 펠릿은 전체의 1%로 제한되며, 최고 길이는 45mm를 초과할 수 없음; ***w-%는 중량비(% of weight)를 의미
 ****SST(Shrinkage starting temperature), DT(Deformation temperature), HT(Hemisphere temperature), FT(Flow temperature)

자료 : Coford(2016), Review of worldwide standards for solid biofuels 재구성

□ 목재칩

- 목재칩의 기준은 「목재의 지속 가능한 이용에 관한 법률(제11429호)」 제20조 제1항에 따라 목질계 고체바이오연료 중 목재칩의 품질 향상 및 유통질서 확립을 위해 국내에서 생산되거나 외국에서 수입되는 목재칩의 규격 및 품질기준을 정하는 것을 목적으로 함
- 사용원료의 제한에서 “목재연료칩” 제조를 위해서는 산림 작업 및 목재가공 중에서 생산된 원목 및 산림부산물을 기계적으로 가공·처리한 상태의 것으로서 가공·처리과정에서 페인트, 기름·방부제 등 화학물질에 의해 오염된 목재는 원료로 사용할 수 없음

<표 5-10> 목재칩 분류 및 규격·품질기준

구분		목재연료칩	호그	
크기	균일성 습량무게의 80%	10mm~45mm이하 10mm~63mm이하 10mm~100mm이하	10mm~63mm이하 10mm~100mm이하 10mm~200mm이하	
미세분	5mm이하 입자	습량 무게 기준 5% 미만		
회분	건량무게 기준	0.7%이하 1.5%이하 3.0%이하 6.0%이하	1.5%이하 3.0%이하 6.0%이하 10.0%이하	
흡수율	습량무게 기준	20%이하 30%이하 40%이하		
발열량	저위발열량	1,900kcal/kg 이상 2,700kcal/kg 이상 3,500kcal/kg 이상 4,300kcal/kg 이상		
질소	건량무게 기준	1.0%이하	3.0%이하 6.0%이하	
염소	건량무게 기준	0.05%미만	0.30%미만	
황	건량무게 기준	0.05%미만	1.20%미만	
무기 금속	비소	건량무게 기준	-	2.0mg/kg이하
	카드뮴	건량무게 기준	-	2.0mg/kg이하
	크롬	건량무게 기준	-	30.0mg/kg이하
	납	건량무게 기준	-	30.0mg/kg이하
	수은	건량무게 기준	-	1.0mg/kg이하

자료 : 국립산림과학원 고시 2013-4호.

<표 5-11> 목재칩 분류 및 규격·품질 표시방법

제품명	'잘타는 연료 칩(예)	판매되는 제품명
품 종	목재연료칩	목재칩 구분
제조원료	'숯기꾸기산물 활엽수'	활엽수, 침엽수 구분
제조회사	'(주)녹색성장'	제조 회사명 기입
제조일자	'2011.01.'(예)	월까지 표시
무 게(kg)	'3,500'(예)	kg단위, 습량기준
표시항목(목재연료칩 예시)		
크기	10mm~45mm이하 <input type="checkbox"/>	1종을 선정하여 표기
	10mm~63mm이하 <input type="checkbox"/>	
	10mm~100mm이하 <input type="checkbox"/>	
미세분(%)	5% 미만 <input type="checkbox"/>	기준 만족 시 표시
회분(%)	0.7%이하 <input type="checkbox"/>	1종을 선정하여 표기
	1.5%이하 <input type="checkbox"/>	
	3.0%이하 <input type="checkbox"/>	
	6.0%이하 <input type="checkbox"/>	
함수율(%)	20%이하 <input type="checkbox"/>	1종을 선정하여 표기
	30%이하 <input type="checkbox"/>	
	40%이하 <input type="checkbox"/>	
발열량(kcal/kg)	1,900kcal/kg 이상 <input type="checkbox"/>	1종을 선정하여 표기
	2,700kcal/kg 이상 <input type="checkbox"/>	
	3,500kcal/kg 이상 <input type="checkbox"/>	
	4,300kcal/kg 이상 <input type="checkbox"/>	
질소	1.0%이하 <input type="checkbox"/>	기준 만족 시 표시
염소	0.05%미만 <input type="checkbox"/>	기준 만족 시 표시
황	0.05%미만 <input type="checkbox"/>	기준 만족 시 표시

자료 : 국립산림과학원 고시 2013-4호.

<표 5-12> 호그의 분류 및 규격·품질 표시방법

제품명	'잘타는 연료 찹'(예)	판매되는 제품명
품 종	호그	목재칩 구분
제조원료	'숲가꾸기산물 활엽수'	활엽수, 침엽수 구분
제조회사	'(주)녹색성장'	제조 회사명 기입
제조일자	'2011.01.'(예)	월까지 표시
무 게(kg)	'3,500'(예)	kg단위, 습량기준
표시항목(호그 예시)		
크기	10mm~63mm이하 <input type="checkbox"/>	1종을 선정하여 표기
	10mm~100mm이하 <input type="checkbox"/>	
	10mm~200mm이하 <input type="checkbox"/>	
미세분(%)	5% 미만 <input type="checkbox"/>	기준 만족 시 표시
회분(%)	1.5%이하 <input type="checkbox"/>	1종을 선정하여 표기
	3.0%이하 <input type="checkbox"/>	
	6.0%이하 <input type="checkbox"/>	
	10.0%이하 <input type="checkbox"/>	
함수율(%)	20%이하 <input type="checkbox"/>	1종을 선정하여 표기
	30%이하 <input type="checkbox"/>	
	40%이하 <input type="checkbox"/>	
발열량(kcal/kg)	1,900kcal/kg 이상 <input type="checkbox"/>	1종을 선정하여 표기
	2,700kcal/kg 이상 <input type="checkbox"/>	
	3,500kcal/kg 이상 <input type="checkbox"/>	
	4,300kcal/kg 이상 <input type="checkbox"/>	
질소	3.0%이하 <input type="checkbox"/>	기준 만족 시 표시
	6.0%이하 <input type="checkbox"/>	
염소	0.3%미만 <input type="checkbox"/>	기준 만족 시 표시
황	1.2%미만 <input type="checkbox"/>	기준 만족 시 표시
비소	2.0mg/kg이하 <input type="checkbox"/>	기준 만족 시 표시
카드뮴	2.0mg/kg이하 <input type="checkbox"/>	기준 만족 시 표시
크롬	30.0mg/kg이하 <input type="checkbox"/>	기준 만족 시 표시
납	30.0mg/kg이하 <input type="checkbox"/>	기준 만족 시 표시
수은	1.0mg/kg이하 <input type="checkbox"/>	기준 만족 시 표시

자료 : 국립산림과학원 고시 2013-4호.

2) 농업 바이오매스 품질기준(안) 제시

- 농림축산식품부의 현행법에는 농업 바이오매스를 이용하여 제조한 애그로 펠릿, 애그로 칩을 명명할 근거가 없으므로 고시나 지침에 애그로 펠릿, 애그로 칩 품질 기준 등 명시가 필요
- 애그로 펠릿, 애그로 칩은 목재펠릿, 목재칩과 유사한 규격 및 품질기준안이 될 것으로 사료
 - 목재펠릿은 국제표준 ISO 규격과 거의 동일
 - 이에 따른 펠릿, 칩의 각 규격·품질기준 및 규격·품질표의 기재방법은 앞서 보였던 <표 5-1, 4, 6, 7>을 참조
 - 규격 및 품질 기준으로 크기, 함수율, 회분, 발열량, 황, 질소, 중금속, 기타 첨가물 등을 고려 필요
 - 규격 및 품질표의 기재방법으로 등급, 종류, 원산지, 품질, 무게, 생산자(수입자), 제조일자 등을 고려 필요
- 농림축산식품부에서는 농업 바이오매스로부터 제조한 애그로펠릿이나 애그로칩의 연료화에 따른 품질관리를 위해 「농업 바이오매스의 규격 품질 기준」에 대한 고시를 제정할 필요가 있을 것임

라. 농업 바이오매스 에너지화 관련 법령/제도 개선을 위한 관계부처별 역할

- 국내 에너지에 관련하여 산업통상자원부, 국토교통부, 해양수산부, 농림축산식품부, 환경부, 산림청에서 각기 다른 법령 중복되어 담당부처가 연관되어 있음
- 농업 바이오매스 중 일부는 연료로서 기준이 명확하지 않는데 이중 왕겨는 폐기물에 속해 왕겨 펠릿의 경우 Bio-SRF로 취급되나 작물 재배 잔사(고추 줄기 등), 과수 전정가지의 경우 연료로서 취급되는 항목이 부재
 - 이에 따라 농업 바이오매스의 작물재배 잔사(줄기, 잎 등)는 <농식품부>, <환경부>와 과수 전정가지에 대한 <농식품부>, <환경부>, <산림청>의 사전 조율 후 담당관리 부서를 명확히 하여 연료로서 정책적, 제도적 지원을 받을 수 있게 해야할 필요가 있음

- 문제는 산에 심은 과수의 경우 산림청이 관할하게 되고, 논과 밭 등 평지에 심으면 농림축산식품부에서 관리하게 되는데 이에 대한 조율이 필요할 것으로 사료

<표 5-13> 바이오에너지 관련 법령 및 담당 부처

구분	관련 법령	담당부처
에너지 정의 및 이용	에너지기본법, 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법, 집단에너지사업법, 석유 및 석유대체연료법, 전원개발촉진법, 전기사업법, 발전소주변지역자원에 관한 법률	산업통상자원부, 국토교통부, 해양수산부
폐자원 에너지화	폐기물관리법, 자원의 절약 및 재활용촉진에 관한 법률, 환경영향평가법, 대기환경보전법, 하수도법, 가축분뇨 자원화 및 이용촉진에 관한 법률	농림축산식품부, 환경부
농업계 바이오매스 에너지화	농지법, 친환경농업육서법, 비료관리법, 축산법, 가축분뇨의 자원화 및 이용촉진에 관한 법률	농림축산식품부
산림계 바이오매스 에너지화	산림기본법, 산림자원의 조성 및 관리 관한 법률, 임업 및 산촌진흥촉진에 관한 법률	산림청

□ 관계정부부처의 농업 바이오매스의 에너지화 관련 제도 신설 및 정비

- 농업바이오매스의 에너지화 활성을 위한 각 정부부처의 제도 신설 및 정비를 해야 할 필요가 있음
- 농업 바이오매스의 분류 및 기준이 명확하여야 하며 바이오에너지에 포함 시 이력 관리가 가능할 수 있고 환경적인 측면에서 문제가 생기지 않게 <농림축산식품부>에서는 「농업 바이오매스의 규격 품질 기준」에 대한 고시를 제정할 필요가 있을 것으로 사료되며 「농업 바이오매스 에너지 이용에 관한 이용·보급 촉진에 관한 규정」을 신규 제정할 필요가 있음
- 농업 바이오매스 연료화에 따른 품질기준 검토 및 품질관리인증담당기관 필요(농촌진흥청에 검토·관리 위임)
- 농업 바이오매스 에너지화시 온실가스배출에 관련이 있으므로 <농림축산식품부>, <환경부>, <국토교통부>, <산업통상자원부>에서는 「온실가스배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침」에 애그로 펠릿과 애그로 칩과 같은 농업 바이오매스를 바이오에너지로서 포함
- <산업통상자원부>에서는 「신재생에너지 공급의무화 제도 및 연료 혼합 의무화제

도 관리 운영지침」에 농업 바이오매스가 이에 포함시킬 수 있는 방안을 검토해야 하며 특히 경제적인 면을 고려한 활성화 방안으로는 「공급 인증서 발급 및 거래 시장 운영에 관한 규칙」에 농업 바이오매스(농산 부산물, 비식량 에너지작물 포함)를 이용한 애그리펠릿, 애그리칩을 REC 적용 대상에 포함시켜 가중치를 부여해야 하는 점을 검토해야함

<표 5-14> 관계정부부처의 법·제도 관련 제정 및 추가 사항(안)

정부부처	정부부처별 법·제도 제정 및 추가 내용(안)
농림축산식품부	「농업·농촌 및 식품산업 기본법 시행령」 제21조에 9항 농업 바이오매스(농산 부산물, 비식용 농작물 등)의 발전 및 열 에너지이용에 관한 사업 신설
	「농업 바이오매스의 규격·품질 기준」 등에 대한 신규 고시 제정
	「농업 바이오매스 에너지 이용에 관한 이용·보급·촉진에 관한 규정」 신규 고시 제정
	「온실가스배출권거래제의 배출량보고 및 인증에 관한 지침」에 농업바이오매스 추가
환경부	「온실가스배출권거래제의 배출량보고 및 인증에 관한 지침」에 농업바이오매스 추가
국토교통부	「온실가스배출권거래제의 배출량보고 및 인증에 관한 지침」에 농업바이오매스 추가
산업통상자원부	「온실가스배출권거래제의 배출량보고 및 인증에 관한 지침」에 농업바이오매스 추가
	「신재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합 의무화제도 관리 운영지침」에 농업 바이오매스 추가 검토
	「공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한규칙」에서 애그로 펠릿, 애그로 칩과 같은 농업 바이오매스를 REC 적용대상에 포함하기 위한 9항 「농업 바이오매스 에너지의 이용·보급·촉진에 관한 규정」 제2조에 따른 애그로 펠릿, 애그로 칩 추가 검토

제2절 농업 바이오매스 활성화를 위한 사업 모델

1. 농업 바이오매스 수거 및 유통 방안

가. 소규모 발생지역 농업 바이오매스 수거·유통 및 에너지화 방안

□ 목적 및 필요성

- 단위 농가당 소량으로 발생하는 농업 바이오매스는 판매수익대비 수거 비용이 높아 경제성이 떨어짐
- 정부/지자체에서 소규모 산재된 미이용 농업 바이오매스(초본계 및 목질계) 수거 사업을 주도적으로 운영하여 공급자와 수요자를 연결할 수 있는 체계 구축 및 지원 사업을 통해 점차적으로 민간 수거업자 혹은 지역주민이 주도적으로 운영할 수 있는 기초 마련 필요
- 특히, 과수 전정가지의 경우 전체 발생량 대비 소각 및 방치되는 비율이 41% 이상으로 매우 높기 때문에 환경적인 측면에서 운송비를 고려하여 목재펠릿 제조업체와 근거리에 있는 수거·유통 방안이 필요

□ 시범사업 대상지 선정

- 농업 바이오매스를 에너지화 시 운송비를 저감시키며 수요처를 찾는 것이 중요하여 다음과 같은 사항을 고려해서 선정 필요
 - 1) 수요처에서 필요로 하는 농업 바이오매스를 수거대상으로 선정
 - 2) 수거량이 많아야 함
 - 3) 수송거리가 짧아 비용을 최소화할 수 있는 지역 선정
- 수거량과 수송거리를 고려하여 지역별 최대 생산 농산물과 펠릿 제조업체를 <그림 5-1>과 같이 매칭하였으며 각 지역별(도단위)로 최대 생산 농산물은 다음과 같음
 - 강원도 : 감자, 옥수수
 - 경상북도 : 콩, 사과, 포도, 복숭아, 감, 자두
 - 경상남도 : 고추, 감
 - 전라남도 : 쌀, 보리, 밀, 녹두, 고구마, 배
 - 전라북도 : 쌀, 콩, 팥

- 충청남도 : 배
- 제주도 : 메밀, 감귤

<그림 5-1> 지역별(도단위) 농작물 최대생산지역과 펠릿제조공장 매칭



- 2017년 기준 전국대비 62%의 비율을 차지하는 사과최대생산 지역인 경상북도 (338,034톤)에서 영주시, 안동시, 청송군은 각각 70,161톤(20.8%), 64,403톤(19.1%), 99,642톤(29.5%) 합쳐서 경상북도의 69.3%, 전국대비 43%의 사과 생산량을 보여 <그림 5-2>와 같이 펠릿제조공장과 매칭
 - 이러한 생산량으로부터 발생하는 사과전정가지를 모두 펠릿화할시 103,558toe의 에너지를 얻을 수 있으며 목재펠릿 230,128톤에 해당하는 양임
- 영주시의 경우 영주시내 기준 인근 50km이내에 목재펠릿 제조사가 있어 다른 지역에 비해 가까운 곳에 위치

<그림 5-2> 사과 최대생산지역과 펠릿제조공장 매칭



□ 운영방안모델

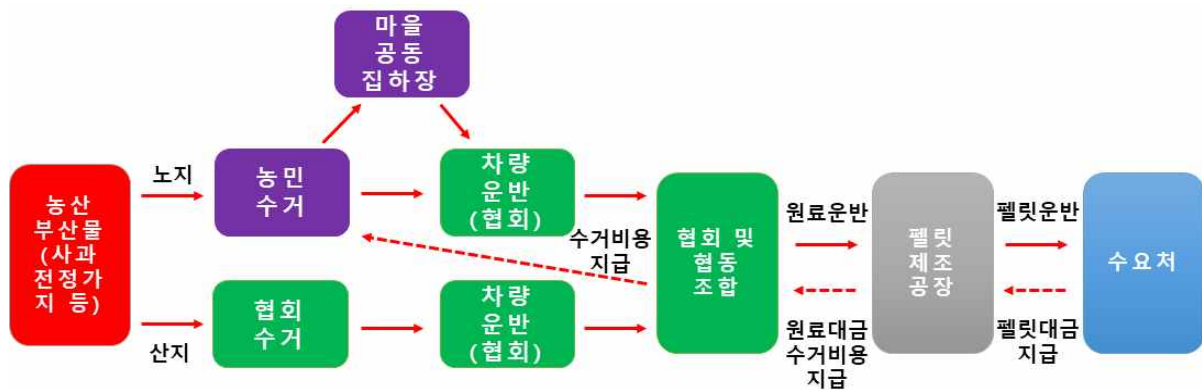
- 산림청의 '임지잔재 자원화시범사업'과 같이 농업 바이오매스 수거시범사업을 통해 바이오매스별 실제 수거가능량, 수거비용, 수익성 확보 방안, 수거 시 발생하는 문제점, 보조금액 등을 파악하여 제도운영의 기초데이터 확보 후 본 사업을 추진할 필요가 있음
- 농산 부산물(사과 전정가지 등)은 농민들이 과수원에서 수거하여 협회에 직접 제공하거나 마을 공동 집하장에 보관할 수 있으면 집하장까지 운송

- 수거비용은 협회나 협동조합으로부터 받을 수 있도록 함
- 협회나 협동조합에서는 저장고에 저장하여 수요처 요구 시 공급해주거나 아니면 바로 공급하여 원료대금 및 수거비용을 펠릿 제조공장에서 지급받을 수 있게 함
- 펠릿제조공장에서는 발전사나 시설에 공급하여 펠릿대금 등을 지급받도록 함

<표 5-15> 농업 바이오매스 소규모 생산단지 사업 주체 및 역할

주체	역할
농업부산물 생산자	▪ 농업 바이오매스(작물 또는 부산물) 판매
협회/협동조합	▪ 공동 집하장 관리 운영(마을 단위) ▪ 수거 사업 홍보 및 교육 ▪ 공동 집하장에서 수요처까지 수거 및 운반
수요처	▪ 펠릿제조 업체, 에너지업체 등과 구매계약서 체결
농림축산식품부	▪ 농업 바이오매스 수거 사업 운영 지침 제정 및 제도 운영 ▪ 홍보 및 교육

<그림 5-3> 농산부산물(과수 전정가지 등) 수거시스템



나. 간척지/유휴지를 활용한 대규모 농업 바이오매스 수거·유통 및 에너지화 방안

□ 배경

- 「간척지의 농어업적 이용 및 관리에 관한 법률」 제5조, 농림축산식품부 고시 제 2019-45호 “간척지의 농어업적 이용 종합계획”에 따라 간척지 전체 30천ha에서 바이오작물을 재배할 수 있는 곳은 삼산지구 20ha, 영산강Ⅲ-1지구 55ha, 영산강Ⅲ-2지구 50ha, 화옹지구 41ha로 재배작물 및 토지활용 다양화, 수요자 중심의 맞춤형 상생농촌 조성, 연구개발 목적으로 이용이 가능

<표 5-16> 간척지 지구별, 용도별 토지이용계획 총괄표

지구명	합계 (ha)	토지 이용 계획											
		수출 원예	일반 원예	종자 단지	친환 경축 산	지원 시설	관광 농어 업	복합 곡물	생태 환경	기술 연구	바이 오 단지	수산 단지	
합 계	30,529	2,936	2,943	1,287	4,847	1,668	1,279	12,556	1,265	693	166	889	
준공 후 처 분 전 간 척 지	계	13,384	1,359	1,210	619	3,022	411	227	4,820	250	452	125	889
	석문	1,896	65	85	150	870	75		364	117			170
	이원	837	273			200	50	12	242				60
	남포	825		64	50	250	5	18	381		10		47
	삼산	283				100		4	125	15		20	19
	고흥	1,903	139		100	500	20	117	929		30		68
	군내	464							410				54
	보전	213							187				26
	시화	745	100	63					304	118	160		
	영산강Ⅲ-1	3,357	362	598	169	602	126	36	957		252	55	200
	영산강Ⅲ-2	2,861	420	400	150	500	135	40	921			50	245
시 행 중	계	17,145	1,577	1,733	668	1,825	1,257	1,052	7,736	1,015	241	41	
	화옹	4,482	25	437	402	671	137	296	1,710	692	71	41	
	시화	2,891	200	53	100	650	120	10	1,435	323			
	영산강Ⅲ-2	1,202	0	240					962				
	새만금	8,570	1,352	1,003	166	504	1,000	746	3,629		170		

자료 : 농림축산식품부(2019), 간척지의 농어업적 이용 종합계획

□ 목적

- 케나프, 억새와 같은 비식량 에너지 작물을 이용하여 에너지발전 시설에 제공 목적으로 농업 바이오매스 생산단지를 확보 및 이용
 - 케나프, 억새는 내염성이 타작물에 비해 높아 염도가 높은 지역에서도 재배가능

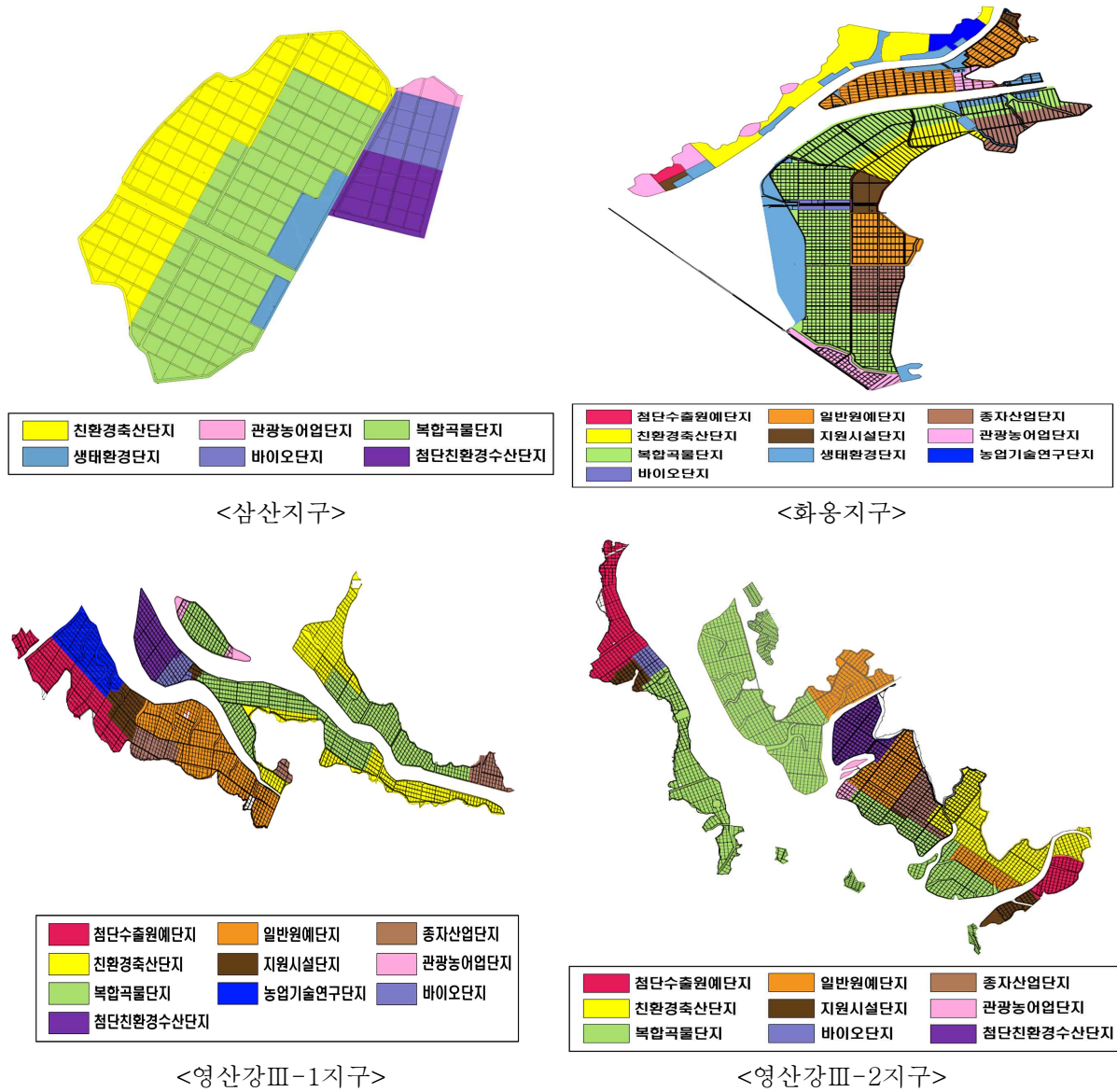
□ 시범사업 대상지 선정

- 비식량 에너지작물의 대규모 단지 후보로는 삼산지구 20ha, 영산강Ⅲ-1지구 55ha, 영산강Ⅲ-2지구 50ha, 화옹지구 41ha가 있으며 현재 구체적인 활용계획이 없는 상태로 운송비 측면을 고려하여 인근에 펠릿제조사와 발전사가 있는 곳을 판단하였을 때 다른 지역에 비해 영산강Ⅲ-1지구 혹은 영산강Ⅲ-2지구가 장성군에 있는 펠릿제조사와 가까워 적합할 것으로 판단
 - 새만금 단지의 경우 바이오단지가 없지만 2022년에 완공된 군산 바이오매스발전소와 인접하여 접근성 측면에서 가장 적합할 것으로 사료되어 농림축산식품부 관계자 인터뷰 결과 이미 타이용 계획이 잡혀져 있어 활용이 힘든 것으로 판단

□ 운영방안

- 대규모 농작물 재배지역으로 펠릿제조업체 혹은 수거조직(협회 및 협동조합)에서 직접수거를 하는 형식의 모델을 운영
 - 농업 바이오매스 발생량이 많기 때문에 단위면적당 수거비용을 절감할 수 있어 규모의 경제효과가 있으므로 직접수거체계를 도입하는 것이 유리
 - 상황에 따라 농민이 직접 수거하여 운송해주고 수거 및 운송비를 받을 수 있도록 함
- 협회나 협동조합에서 수거 시 저장고에 저장하여 수요처 요구시 공급해주거나 아니면 바로 공급하여 원료대금 및 수거비용을 펠릿 제조공장으로부터 지급받을 수 있게 함
- 펠릿제조공장에서는 발전사나 시설에 공급하여 펠릿대금 등을 지급받도록 함

<그림 5-4> 간척지 토지이용계획도에 따른 바이오매스 생산단지 후보지



<표 5-17> 농업 바이오매스 대규모 생산단지 사업 주체 및 역할

주체	역할
에너지작물 생산자	<ul style="list-style-type: none"> 농업 바이오매스(작물 또는 부산물) 판매
협회/협동조합	<ul style="list-style-type: none"> 대규모로 발생하는 농업 바이오매스의 활용처 컨택 농업부산물 수요니즈가 있는 업체 조사 후 수거계약 농업부산물 발생지에서 수요처까지 직접수거/유통 농작물 수거비용 절감방법 연구
수요처	<ul style="list-style-type: none"> 펠릿제조 업체, 에너지업체 등과 대량공급계약서 체결
농림축산식품부	<ul style="list-style-type: none"> 농업 바이오매스 에너지화를 위한 대규모 영농단지 조성 계획 협회/협동조합 지원 및 감독

2. 농업 바이오매스 생산을 통한 온실가스 감축 연계 방안

- 2030년까지 농축산 부문에서의 온실가스 감축 목표량은 2030년 1.6백만 CO₂e톤으로 주요 감축 수단은 아래와 같음⁵¹⁾
 - 논물관리 감축기술 개발 및 보급 : 0.3백만 톤 감축
 - 가축분뇨에너지화 및 자원화 시설 확충 : 0.4백만 톤 감축
 - 양질조사료 가축급여 확대 및 저메탄사료 공급 확대 : 0.2백만 톤 감축
- 농업 바이오매스 에너지 활성화 지원 사업을 통한 온실가스 감축 추가 수단으로 활용
 - 앞서 주요 농업 바이오매스(벼짚, 왕겨, 고추줄기, 사과전정가지)의 가용에너지 가용잠재량 257,610~486,453toe으로도 1,368,275~2,583,757 tCO₂eq 의 감축 효과가 있는 것으로 분석되었으며 이는 2030년 농축산 부문 온실가스 감축 목표량 1.6백만 톤을 충당 할 수 있는 양임.
- 농업 바이오매스의 분류 및 통계 체계 확보 후 농업 바이오매스 에너지화에 따른 온실가스 감축량 분석

51) 관계부처 합동, 2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안, 2018.

제6장

결론

- 기후변화협약에 따른 온실가스 감축, 정부의 신재생에너지 보급 계획, 농촌 산업 활성화 측면에서 농업 바이오매스의 활용은 중요한 이슈임
- 농산 부산물은 이용실태를 분석한 결과 사료, 퇴비, 토양 환원, 피복용으로 활용되며 소각 및 방치되는 비율 41% 이상으로 높아 환경적 문제해결 및 경제적 효과를 위해서 에너지형태로 이용하는 것이 바람직할 것으로 판단
- 미이용 농업 바이오매스(농산 부산물 등) 에너지화 방안 마련 및 에너지화 잠재력 높은 농업 바이오매스(비식량 에너지작물 등) 에너지화 가능성 검토한 결과 미이용 농산 부산물인 벚짚, 왕겨, 고추줄기, 사과전정가지가 생산량 측면에서 케나프, 거대역새 작물이 단위면적 당 생산량 측면에서 에너지화 이용가능성 있음
- 또한, 농업 바이오매스의 에너지활용시 높은 에너지잠재량, 온실가스 감축, 높은 인력 창출 효과 등의 긍정적인 영향이 있음
 - 농업 바이오매스의 고체연료화로 전환 시 에너지잠재량은 원자력 발전소 1기 운영 가능 수준(24개 원자력발전소 에너지수급량 233,901천toe의 6.3%)
 - 앞으로의 이용률을 고려하여 타용도로 사용되는 비율을 제외한 생산된 짚, 왕겨, 고추줄기, 사과전정가지를 모두 펠릿으로 전환한다고 가정한다면 에너지기준으로 572,467~1,081,006ton의 목재펠릿에 해당되는 양이며 이는 2018년 기준 목재펠릿 공급량 3,200,190ton의 17.8~33.8%를 대체할 수 있는 양임
 - 이때 벚짚, 왕겨, 고추줄기, 사과전정가지를 에너지로 전환시 온실가스 1.4~2.6백만

tCO₂eq 절감 가능해 농축산 부문 온실가스감축 목표량 총당 가능(국가 온실가스 감축 목표량 314.8백만 톤의 0.4~0.8%)

- 농업 바이오매스 연료화 기술에서 펠릿, 칩 형태의 고체연료, 바이오에탄올과 같은 액체연료로 생산이 가능한데 고체연료 생산은 현재 기술적으로 상용화 가능한 수준까지 기술개발이 된 것으로 분석되나 바이오에탄올은 실증연구 수준
- 농업 바이오매스 고체연료 제조시설과 농업 바이오매스 고체연료 사용 발전시설의 비용편익분석과 민감도 분석을 실시한 결과 농업 바이오매스를 이용한 고체연료(애그로펠릿) 제조시설의 경우 직접 편익에 따른 경제성 확보 가능하나 애그로펠릿을 이용한 바이오매스 발전시설의 경우 현재 목재펠릿 판매단가(약 30만원/톤)와 REC 0.5 적용 시 경제성 미확보
- 경제성 확보가 가능하기 위해서는 바이오매스 발전 REC 1.7~2.0 이상 정도 부여해야 하며 애그로펠릿 판매비용 12만원/톤 미만일 경우는 경제성 확보 가능
- 바이오에탄올의 경우 효소 가격 문제로 경제성이 없어 바이오에탄올 이용은 중장기적인 접근해야 함
- 농업 바이오매스 에너지화에 따른 온실가스 감축, 높은 인력창출효과, 목재펠릿과 함께 바이오매스 분산발전 도입 가능 등의 긍정적 영향이 있지만 정책적 지원 없이는 경제성 미확보되며, 수거·운송 체계 부재, 환경오염발생 물질 제거 기술 필요, 연소에 따른 환경적 문제 발생, REC 부여 시 수입산 사용에 대한 대처 방안 부재, 태양광과 같은 재생에너지원에 비해 재배면적당 낮은 에너지생산량, 공급안정성 부족, 장기 저장장치 필요 등의 우려사항이 존재
 - 케나프, 억새와 같은 비식량 에너지작물의 고체연료화에 따른 높은 REC 부여 시 목재펠릿과 같이 수입산 사용비율이 높아지는 문제의 해결방안이 부재함(가공하지 않은 형태의 이용은 수입산 사용문제해결이 가능하나 케나프의 높은 질소함량으로 고체연료품질기준 부적합 및 연소 시 대기환경보전법에 따른 NO₂ 기준 농도 초과 예상)
- 이외에도 농업 바이오매스 연료화시 애로사항들이 존재하는데 기술적으로 1) 고체연료화에 따른 질소, 회분 제거 기술 지원, 2) 다양한 농업 바이오매스 활용을 위한 기초연구개발이 필요, 정책적으로 1) 분류체계 마련, 2) 농업 바이오매스 에너지화 활성화를 위한 REC 도입에 따른 법령개정, 신규 지침, 품질기준 마련 등이 필요, 4) 수거 및 유통방안 확보가 필요한 것으로 분석

- 이에 따라 본 연구에서는 위의 문제점 해결하기 위한 다음과 같은 정책적 지원 방안 및 사업모델(안)을 제시
 - 대규모 농업 바이오매스 발생 지역에 대한 수거·유통 및 에너지화 지원 사업(비식량 에너지작물 및 재배면적당 생산량이 높은 농업 바이오매스 활용)
 - 소규모 농업 바이오매스 발생 지역에 대한 수거 및 유통 지원 사업(과수 전정가지와 같은 미이용 농산 부산물 활용)
 - 농업 바이오매스 에너지화에 따른 온실가스 감축 연계 사업

<참고 문헌>

- AEBIOM, 2007, European biomass statistic
- International Energy Agency (IEA), 2015. Projected Costs of Generating Electricity (2015 Edition)
- IRENA, 2017, Renewable energy statistics 2017
- Pollin, Heintz, and Garrett-Peltier, 2009, The economic benefits of investing in clean energy
- USDA Foreign Agriculture Service, 2016, Brazil Biofuels Annual Report 2016
- 국제에너지기구 IEA, 2017, 에너지기술전망
- 관계부처 합동, 2018, 2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안
- 국립산림과학원, 2012, 산림탄소순환마을의 바이오에너지 공급을 위한 이동식 소형펠릿 생산 플랜트 개발
- 국립환경과학원, 2014, 수입 바이오 고형연료(PKS) 제품의 품질 및 연료 가능성 연구
- 김대석, 2012, 케나프 식재를 이용한 토양오염 물질 및 염분 제거 방법
- 농림축산식품부, 2013, 농업부산물 활용 펠릿 제조기술 개발
- 농림축산식품부, 2014, 바이오매스 에너지화 추진전략 개발
- 농림축산식품부, 2014, 농업부산물 바이오매스 순환 실증단지 모델구축 및 사업지침서 개발
- 농림축산식품부, 2019, 간척지의 농어업적 이용 종합계획
- 농림수산물기술기획평가원, 2010, 우리나라 바이오매스 이용실태에 관한 기초조사
- 농촌진흥청, 2009, 농업부산물의 처리 및 에너지자원화 기술 개발
- 농촌진흥청, 2011, 농업부산물을 이용한 Cellulosic 바이오에탄올 생산기술 개발
- 농촌진흥청, 2013, 셀룰로오스계 농업부산물 이용 바이오에탄올 생산기술 개발

농촌진흥청, 2013, 농촌지역 바이오매스 자원의 순환활용기술 개발

농촌진흥청, 2013, 농촌지역 유기성 자원의 농업적 이용 및 특성조사

농촌진흥청, 2014, 거대억새 1호 바이오매스 생산단지 조성에 관한 연구

농촌진흥청, 2014, 거대억새 대규모 재배 시범단지 기초 환경영향 평가 및 경제성 분석

농촌진흥청, 2015, 새로운 사료자원인 케나프 최적생산기술 개발

농촌진흥청 국립식량과학원, 2013, 셀룰로오스계 농업부산물 이용 바이오에탄올 생산기술 개발

농촌진흥청 국립식량과학원, 2016, 초본계 바이오매스 이용 바이오에탄올 생산 규모화 기술개발

녹색기술센터, 2014, 바이오에너지 이슈분석 및 정책제언

문윤호, 이지은, 유경단, 차영록, 송연상, 이경보, 2016, 바이오에너지용 억새 펠릿의 품질 및 연소 특성, Clean Technol., 22(4), pp. 286-291

바이오에너지 원료 수급 증장기방안 모색을 위한 워크샵, 2014

박우균, 신중두, 이선일, 권순익, 소규호, 2011, 농업부문 바이오매스 자원 환산계수 및 잡재량 산정, 한국환경농학회지

산림청, 2011, 목질자원대체 오일팜 바이오매스 고도활용 기초연구

산림청, 2018, 국산원목 REC 가중치 적용에 따른 국내 목재시장 변화 모니터링

산림청, 2018, 목재펠릿 통계자료

산업통상자원부, 2017, 재생에너지 3020 이행계획(안)

산업통상자원부, 2018, 2018 신재생에너지백서

산업자원통상부, 2018, 2017년 신·재생에너지 보급 통계

산업통상자원부, 2018, RPS 제도개선을 위한 공정회

산업통상자원부 & 에너지경제연구원, 2018, 2018에너지통계연보

산업통상자원부 & 한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2018, 2017년 신·재생에너지 산업통계

에너지경제연구원, 2017, 세계바이오매스(우드펠릿)수급현황 및 시장변화요인, 세계에너지 시장인사이트 제17-25호

에너지경제연구원, 2017, 세계 에너지시장 인사이트 제17-12호

- 윤영만, 2014, 국내 바이오매스 이용실태와 활성화 방안
- 이진원, 박창훈, 2011, 바이오에너지의 종류와 생산방법
- 조지혜, 정준성, 배정환, 2016, 초본계 바이오에탄올 생산의 경제성과 과급효과 분석, 한국
신재생에너지학회 12(3), pp. 149-155
- 최재민, 최석순, 염승호, 2012, 「강원지역 폐옥수수대로부터 바이오에탄올 생산: 효소 당화
부터 발효까지」, *Appl. Chem Eng.*, 23(3), 326-332
- 한국환경정책평가연구원, 2015, 폐자원 및 바이오에너지의 용도별 적정 배분방안-목질계
바이오매스를 중심으로
- 한국에너지공단, 2018, 2018 KEA 에너지 편람
- 한국에너지공단, 2018, NICE평가정보
- 한국농어촌공사, 2016, 바이오작물 생산 증대 및 농촌 바이오에너지 생산기술 개발
- 한국농촌경제연구원, 2006, 바이오매스 용어집
- 한국농촌경제연구원, 2006, 농업부문 바이오매스의 이용활성화를 위한 정책방향과 전략 1
- 한국농촌경제연구원, 2006, 농업부문 바이오매스의 이용활성화를 위한 정책방향과 전략 2
- 한국농촌경제연구원, 2017, 농축산 폐자원의 효율적 자원화 방안연구
- 한국농촌경제연구원, 2017, 농축산 유기성 폐자원의 자원화 실태와 문제점
- 한국농촌경제연구원, 2017, 농축산 유기성폐자원의 자원화기술 현황과 발전 방향
- 한국축산경제연구원, 2010, 우리나라 바이오매스 이용실태에 관한 기초조사
- 한국IR협의회, 2019, 바이오에너지 정부정책 기반 바이오에너지 보급 지속 성장 전망
- 한국환경공단, 2012, 해외 폐자원 및 바이오매스 에너지화 및 CDM 사업개발
- 해외환경통합정보시스템, 2019, 일본 바이오에너지분야 정책 및 산업동향
- 호치민 KBC, KOTRA
- 국가법령정보센터, <http://www.law.go.kr/>
- 농림수산성, 2017, <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/attach/pdf/index-22.pdf>:
2017. 10. 2.
- 농림축산식품부, <http://www.mafra.go.kr/>
- 산림청, <http://www.forest.go.kr/>

신재생 원스톱 사업정보 통합포털, <http://onerec.kmos.kr/>

전력거래소, <https://www.kpx.or.kr/>

농림축산식품부, 「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침」

농림축산식품부, 「농업·농촌 및 식품산업 기본법 시행령」

산업통상자원부, 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」

산업통상자원부, 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령」

산업통상자원부, 「신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침」

신재생에너지센터, 한국전력거래소, 「공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙」

산림청, 「산림바이오매스에너지의 이용·보급 촉진에 관한 규정」

환경부, 「대기환경보전법」

환경부, 「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침」

환경부, 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」