

# 바이오에너지를 위한 전라남도의 환경적 및 지역적 특성 분석

박세준\*, 하민호\*, 차인수\*, 윤형상\*\*, 문채주\*\*\*, 임중열\*\*\*\*

\* 동신대학교, \*\* 퓨전정보기술, \*\*\* 목포대학교, \*\*\*\* 남부대학교

## Analysis of Environmental and Regional Characteristics of Joennam for Bioenergy

Se-Joon Park\*, Min-Ho Ha\*, In-Su Cha\*,

Hyung-Sang Yoon\*\*, Chae-Ju Moon\*\*\*, Jung-Yeol Lim\*\*\*\*

\* Donhshin Univ., \*\* Fusion Information Technology, \*\*\* Mokpo Univ., \*\*\*\* Nambu Univ.

### ABSTRACT

경제성장을 위해 필요한 화석에너지의 고갈과 국가 정세에 따른 에너지공급의 불안정성을 극복하기 위하여 장기적인 에너지 수급정책의 수립과 신재생에너지의 개발이 절실히 필요하다. 이미 유럽이나 미국 등 선진국과 브라질, 중국 등 후발개도국들이 고유가 및 기후변화 협약에 대비하고자 다양한 친환경적 수송용 대체연료 개발에 박차를 가하고 있어, 수송용 연료를 100% 수입에 의존하고 있는 우리나라에서는 그 필요성이 더욱 막대하다고 할 수 있다<sup>[1]</sup>. 본 논문에서는 화석에너지 고갈과 고유가 시대를 극복하기 위한 신에너지 개발 방안 중 바이오에너지에 대한 전라남도의 농·축·임·수산의 부존량과 잠재량을 지역적으로 조사 및 분석 하였고 그 처리실태 현황을 파악하였다.

### 1. 바이오에너지의 정의

바이오에너지란 농·축·임·수산의 부산물인 볏짚, 가축의 분뇨, 목재 그리고 해양의 홍조류 등의 다양한 물질을 이용, 미생물의 광합성에 의하여 생성되는 식물체, 균체와 이를 먹고 살아가는 동물체를 포함하는 생물유기체의 작용으로 얻어지는 에너지를 이용하는 것을 지칭한다. 따라서 바이오에너지의 자원은 전분질계의 자원과 초본, 임목과 볏짚, 왕겨와 같은 농부산물을 포함하는 셀룰로오스계의 자원과 사탕수수, 옥수수 등과 같은 당질계의 자원은 물론이고 가축의 분뇨, 사체와 미생물의 균체를 포함하는 동물 단백질계의 자원 및 연안의 녹·갈·홍조류와 같은 해양조류 및 이들 자원(바이오매스)에서 얻어지는 에너지를 일컫는다. 이와 같은 바이오에너지는 바이오매스 자원을 에너지화 하여 이용하는 것을 말하는데 석유, 가스, 석탄을 비롯한 화석연료의 다량사용으로 기후변화, 대기오염 등의 환경문제를 야기하고 궁극적으로는 이들 자원의 고갈이 염려되기 때문에 바이오에너지는 중요한 화석연료 대체에너지 자원으로 최근 큰 관심을 받고 있다.

바이오에너지는 그 형태가 여러 가지인데, 인류가 현재의 바이오테크놀로지 개발 단계상 특별히 관심을 두는 종류로는 속성수, 고에너지함유 작물, 수초와 조류, 농·축·임산 계 유헬폐기물, 각종 생활·산업폐기물류, 기타 오일생산 식물류 등이라 할 수 있다. 바이오에너지의 원료인 바이오매스의 일반적인 특징으로는 영구·재생·순환성이라는 것이며 여기서 전환된 에너지는 공해부하도가 극도로 낮고 지구 도처에 고루 자생한다는 점이

다. 그러나 원료 중량당 에너지 함유량(에너지 밀도)이 낮고 원료의 대량 수집, 집하가 어려우며 기질특성과 발생특성이 달라 에너지 전환기술 또한 상이하다는 취약점도 지니고 있다<sup>[2]</sup>.

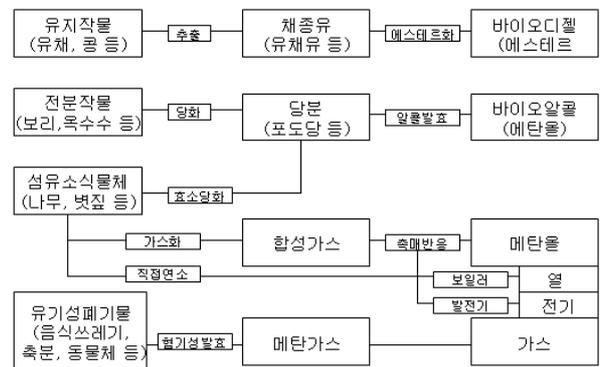


그림 1 바이오에너지 변환시스템

### 2. 전라남도 농·축·임·수산 부산물 현황조사

#### 2.1 농산부산물

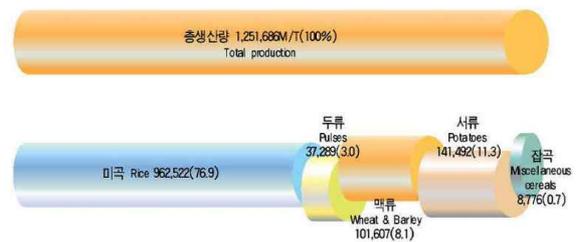


그림 2 전라남도 식량작물 총 생산량

농산 바이오매스는 순환주기가 거의 1년으로 매우 짧아, 임산 바이오매스처럼 에너지의 계속적인 축적이 이루어지지 않는다. 즉, 매년 수확으로 그 바이오매스를 이용하여야 하므로 계획적인 이용을 할 수도 있지만, 보다 많은 비용이 소용된다. 우리나라에서 재배되는 농작물은 약 100여종으로 용도 및 성분에 따라 식물, 단백질식물, 유지식물, 섬유식물, 약용식물, 기호식물, 향료식물 등으로 나눌 수 있으나, 대부분 작물이 전체의 생산량의 적은 부분을 차지하고 있다.<sup>[2]</sup>

표 1 전라남도 시군별 경지면적 현황

	2004(A)			2005(B)			증△감(B-A)		
	계	논	밭	계	논	밭	계	논	밭
전라남도	324,700	218,512	106,188	323,645	217,883	105,762	△1,055	△629	△426
목포시	1,111	383	728	1,103	378	725	△8	△5	△3
여수시	9,677	3,942	5,735	9,635	3,936	5,699	△42	△6	△36
순천시	15,317	10,159	5,158	15,175	10,048	5,127	△142	△111	△31
나주시	23,894	16,829	7,065	23,850	16,806	7,044	△44	△23	△21
광양시	6,621	4,623	1,998	6,546	4,447	2,099	△75	△176	△101
담양군	10,633	8,815	1,818	10,615	8,811	1,804	△18	△4	△14
곡성군	8,975	6,545	2,430	8,955	6,526	2,429	△20	△19	△1
구례군	6,163	4,238	1,925	6,149	4,218	1,931	△14	△20	△6
고흥군	22,444	14,722	7,722	22,320	14,678	7,642	△124	△44	△80
보성군	15,467	11,479	3,988	15,403	11,422	3,981	△64	△57	△7
화순군	11,493	7,881	3,612	11,460	7,851	3,609	△33	△30	△3
장흥군	13,193	10,468	2,725	13,148	10,450	2,698	△45	△18	△27
장성군	13,592	11,187	2,405	13,642	11,275	2,367	△50	△88	△38
해남군	38,209	26,865	11,344	38,161	26,878	11,283	△48	△13	△61
영암군	23,013	17,719	5,294	22,981	17,667	5,314	△32	△52	△20
무안군	20,324	10,894	9,430	20,239	10,856	9,383	△85	△38	△47
함평군	13,983	9,840	4,153	13,903	9,774	4,129	△80	△66	△24
영광군	16,881	12,071	4,790	16,801	12,046	4,755	△80	△25	△55
장흥군	11,792	8,376	3,416	11,719	8,308	3,411	△73	△68	△5
완주군	8,440	3,381	5,059	8,390	3,444	4,946	△50	△63	△13
진도군	12,663	7,313	5,350	12,641	7,289	5,352	△22	△24	△2
신안군	20,825	10,782	10,043	20,809	10,775	10,034	△16	△7	△9

표 3 축분의 22개 시군별 하루 발생량 (단위 : kg)

지역	발생량(추정치)	지역	발생량(추정치)
목포	172,578	장흥	831,843
여수	482,457	강진	514,509
순천	1,098,294	해남	906,359
나주	<b>3,529,856</b>	영암	1,376,169
광양	177,741	무안	<b>2,221,247</b>
담양	762,718	함평	1,888,364
곡성	538,633	영광	1,195,141
구례	322,594	장성	588,031
고흥	632,385	완도	192,311
보성	593,421	진도	124,067
화순	683,271	신안	370,275
계			<b>19,202,264</b>

2.2 축산부산물

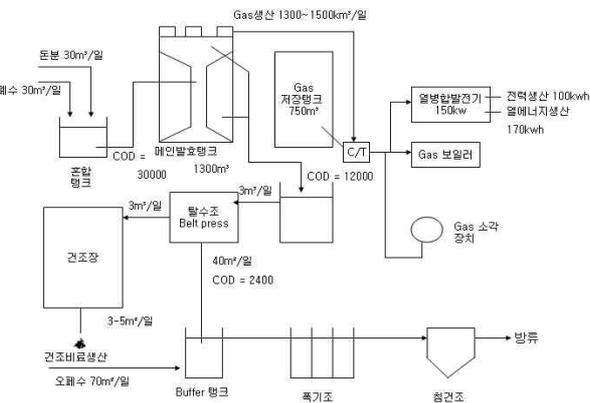


그림 3 축산폐기물의 에너지 회수 및 최종 방류수 처리 시스템

축산의 규모 및 분포상태는 인구의 도시집중 등으로 인하여 대도시 근교에 집중되어 있다. 축산폐기물은 우리나라에서 사용하고 있는 한우, 젓소, 돼지, 닭, 오리 등의 배설물인 고농도 유기물 분뇨가 되었으며, 부준특성은 지역별 가축종류의 사육규모에 따라 달라진다<sup>[2]</sup>. 2004년 4월 환경부와 농림부는 축산분뇨 관리정책의 연계성과 효율성을 강화하고, 자원화 및 공공처리 등 관리대책의 실효성을 확보하기 위해 양부처가 참여하는 '축산분뇨 관리·이용 대책 추진기획단'을 발족하였다. 축산폐수 발생량은 전체 오·폐수의 0.6%이나, 고농도(2~3만mg/L)로 오염부하(BOD)로는 약 26%를 차지하고 있어 수질오염의 주용 원인이 되고 있다.

표 2 전라남도 시군별 가축 현황

구분	한우		젓소		돼지		닭		오리	
	호수	두수	호수	두수	호수	두수	호수	수수	호수	수수
계	38,268	351,930	614	40,237	2,503	958,498	13,621	30,596,768	1,426	4,490,176
목포	24	322	-	-	2	509	1	1,500	-	-
여수	2,367	10,066	1	20	175	28,981	1,052	781,998	101	979
순천	2,812	15,740	84	5,481	86	57,809	1,730	908,724	52	206,027
나주	2,089	29,522	151	10,372	232	220,889	169	5,300,238	94	1,362,398
광양	928	4,797	4	206	36	10,585	1,072	66,090	43	760
담양	1,540	22,428	31	1,412	38	35,529	412	530,419	29	68,967
곡성	1,166	9,632	26	1,736	49	18,599	936	1,388,280	38	69,458
구례	1,039	6,677	5	549	54	15,482	870	482,772	68	135,527
고흥	4,684	26,580	42	2,200	105	15,332	978	23,820	88	87,576
보성	2,690	16,638	40	2,804	75	20,413	1,028	286,937	74	145,098
화순	1,389	9,224	21	1,392	120	45,754	867	799,885	73	40,883
장흥	2,889	34,678	5	485	58	20,635	552	761,902	104	412,685
장성	1,952	19,502	6	485	57	14,665	636	661,778	164	86,345
해남	1,702	20,027	18	1,530	140	43,309	819	1,482,682	110	92,914
영암	1,055	27,730	52	4,315	85	46,260	373	2,585,894	68	860,170
무안	1,783	26,648	19	1,102	107	148,569	217	4,261,780	47	364,294
함평	1,790	21,470	63	3,853	52	62,107	248	7,807,456	52	329,101
영광	1,366	13,096	24	1,446	56	82,608	51	2,043,600	18	44,215
장흥	1,540	13,970	22	869	40	32,638	696	509,054	117	75,897
완도	1,638	10,330	-	-	402	4,776	309	3,572	15	268
진도	351	3,338	-	-	409	6,473	110	73,738	17	106,696
신안	1,484	9,515	-	-	105	26,576	485	24,709	54	988

표 4 전라남도 축산 바이오매스 자원 잠재량

구분	가축수	마리당 일평균 축분 배출량 (건조기준)	메탄가스 발생량 (m³/kg)	에너지량 (TOE/년)
한·육우	351,530	4.0	0.325	91,715
젓소	40,257	4.5	0.325	118,192
돼지	598,498	0.7	0.400	53,877
닭	30,596,768	0.03	0.450	82,921
오리	4,490,176	0.03(추정치)	0.450(추정치)	12,169
총계				358,874

표 5 공정의 에너지 수치 (100톤/일 기준)

항목	연간 생산량	에너지 환산	비고
바이오가스	1,560,000m³/y		67% 메탄기준 년 300일 투입기준
바이오가스 열량	9,984 MWh/y	6.4 kWh/m³	총 에너지
가스엔진 열효율	8,486 MWh/y	85%	회수에너지
전기에너지	3,594 MWh/y	36%	전력생산
열 에너지	4,892 MWh/y	49%	열 회수(고온수)
가스엔진 용량	410kW(Nominal)	3,594,000/24hr/365D	650kW선정
자체소요 전력	1,654 MWh/y	자체소요율 46%	
잉여전력	1,940 MWh/y	잉여율 54%	
잉여열	3,375 MWh/y	잉여율 69%	30평형 아파트 375세대 난방가능 (6kWh/Dx150일)

2.3 입산부산물

표 6 지역별 산림기본통계 (단위 : ha)

행정구역	총 계	침엽수	활엽수	혼효림	죽림	무림목적지
계	65695	39481	12896	148168	3913	19757
목포시	1245	777	51	240	0	177
여수시	30738	20996	2029	5172	21	2540
순천시	62732	38224	13841	7936	136	1595
나주시	23333	17002	1852	3699	127	833
광양시	30460	9795	17037	3223	106	299
담양군	27852	16539	5137	3333	1797	1046
곡성군	38534	21068	6827	9976	149	514
구례군	34148	12011	17059	4692	109	277
고흥군	46240	19591	6531	18376	66	1676
보성군	41333	18237	6959	15120	242	775
화순군	56019	23654	10908	17613	282	1262
장흥군	40927	18442	8683	11961	335	1486
장성군	29062	16834	4651	6759	59	961
해남군	44792	28288	7173	7358	57	1906
영암군	23502	12560	3427	6246	115	1154
무안군	13676	9693	373	3508	47	55
함평군	17071	12694	378	3797	92	110
영광군	20762	15722	887	3741	6	406
장흥군	31837	20533	7130	3408	135	631
완도군	25715	14714	5997	3807	14	1183
진도군	24783	18317	1538	4561	0	367
신안군	30704	25850	728	3642	0	484

목질계 바이오매스는 셀룰로오스(cellulose)가 포함된 나무, 초본식물을 의미하여 이들에게서 파생된 제품이나 그것의 폐기물 즉 목재, 폐목재, 종이 등을 포함한다. 본 연구에서는 목질계 바이오매스를 나무와 이에서 파생된 제품 및 폐기물로 한정하기로 한다. 목질계 바이오매스는 그 자체를 사용할 목적으로 확보한 벌목재와 다른 목적이나 다른 활동의 부산물로 발생하는 폐기목재로 구분된다.

전라남도의 산림면적은 총 696천ha(전국 6,394천ha의 10.9%)이며 국·공유림 104ha(15%)와 사유림 592ha(85%)으로 이루어져 있다.

## 2.4 해산부산물

전라남도는 현재 여러 연구소와 학교 등에서 활발히 연구되고 있는 해조류를 이용한 바이오에너지 이용에 가장 적합한 지역적 특성을 갖고 있다. 상기 국내 해조바이오매스의 지역별 생산량 그림에서 확인할 수 있듯이 타 도와 비교가 안 될 정도로 많은 해조류바이오매스를 보유하고 있다.

해조류는 녹조류, 갈조류, 홍조류 이 세 가지로 구분되는데, 그 중에서도 홍조류에는 갈락탄(60%~70%)의 함유량이 녹조류, 갈조류에 비해 월등히 높아 해조류 유래 에너지변환에 있어 아주 많은 잠재량을 갖고 있다. 또한 양식이 용이하여 대량 생산의 가능성이 있어 미래의 바이오에너지 중에서 높은 관심이 주목되고 있고 활발히 연구 중이다.



그림 4 국내 해조바이오매스의 지역별 생산량

## 3. 농·축·임산 부산물 처리실태

농산폐기물 및 농산가공 폐기물은 풍부한 영양성분 및 다양한 유효성분을 함유하고 있으나 그대로 폐기되고 있어 가까운 자원의 손실을 초래할 뿐 아니라 환경의 주된 오염원이 되고 있다. 특히 이와 같은 유기성 폐기물은 우리나라에서 발생하는 전체 폐기물의 절반 이상을 차지하고 있어 이들의 재활용에 관한 검토는 시급하다고 하겠다. 볏짚의 경우 과거에는 유기질 자급비료인 퇴비의 주요원료로 활용되었으나 최근에는 콤바인으로 수확할 때 절단하여 토양에 환원하고 있으며 약 15% 수준인 100~120여 만 톤만이 축우용 사료로 공급되거나 버섯자실체 배양의 배지로 사용되고 있으나, 대부분의 경우 운반, 보관 등의 어려움으로 인하여 소각되거나 현장에 버려지는 경우가 많다. 그러나 온실가스의 저감차원에서 농산폐기물의 소각을 전면 금지할 경우를 대비하여 이들 폐기물의 재활용에 관한 기술개발이 필요한 실정이다.

대부분 축산 농가는 퇴·액비 등 자원화시설 위주의 축산분뇨처리시설 설치·운영 중이다. 그래서 농림부와 환경부가 내는 통계상으로는 축산분뇨는 적절하게 잘 처리되고 있고 일부 미신고 소규모 축산농가의 축산분뇨처리 문제가 될 뿐이다. 그러나 실제로는 축산분뇨의 생산비가 많이

들고 막상 축산분뇨를 생산해도 수요처 확보가 어려워 자원화시설의 가동률이 상당히 낮은 편이다. 그러다보니 자원화시설을 이용하기 보다는 손쉽고 비용이 적게 드는 해양배출, 공공처리시설 위탁은 물론, 무단방류, 농지 과잉살포(농지를 분노투기장으로 이용), 노천야적, 허가·신고 되지 않은 토지에 살포 같은 방식으로 축산분뇨를 처리하는 경우가 다반사이다. 특히, 장마철에 큰비가 올 때는 용처를 찾지 못한 퇴비·액비 등의 무단투기가 성행하고 있다.

산림청 통계에 의하면 우리나라의 총 목재 수요량은 27,289,000m<sup>3</sup>으로 이 중 약 94%에 달하는 25,649,000m<sup>3</sup>을 10억 달러 이상 들여 수입하고 있다. 따라서 자급률은 5%정도에 지나지 않고 있다. 국토의 60% 이상이 산지이고 그 산지에 488,168,000m<sup>3</sup>의 임목이 축적된 나라로서 이처럼 목재 자급률이 낮은 것은 산지녹화에만 집중하였을 뿐 경제적인 수목을 조림, 육림하지 못한 이유가 가장 설득력이 있다. 오히려 과도하게 밀식된 수목들로 인하여 인간의 접근이 어려워지면서 마른 가지와 낙엽이 그대로 축적되어 매년 대형 산불의 발생 원인이 되고 있다. 수입된 목재가 이용되고 남게 되는 폐목재의 재활용 비율이 43.4%로 6,000,000m<sup>3</sup> 이상의 수입목재가 그대로 폐기되고 있는 실정이다. 연료로 사용되고 있는 약 18%의 목재도 장작 정도의 수준으로 재활용되고 있을 뿐 체계적인 재활용이 되지 못하고 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 전라남도의 바이오에너지를 위한 자원의 잠재량 및 타당성을 조사하고 분석하였다. 현재 활발히 진행되고 있는 바이오에너지 분야에서 기술적이 아닌 기초 자원 조사 자료로서 전라남도에 적절한 바이오에너지의 방향을 모색하고 제시함이 이 논문의 목적이다. 전라남도 바이오에너지의 방향은 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째, 왕겨나 볏짚 등과 같은 농산 폐기물은 전라남도의 넓은 평야지대로부터 대량으로 제공될 수 있다.

둘째, 축산분뇨 바이오에너지가스화는 분뇨의 수거, 처리 및 운반 등의 치명적인 문제를 안고 있다. 앞에서 조사한 시군별 가축 분포 현황과 더불어 부존자원의 에너지화 잠재량을 파악하여 축산분뇨 폐기물 플랜트를 지역적 특성에 맞게 건설한다.

셋째, 풍부한 천연 해산 부산자원과 더불어 우뚝가사리와 같은 에너지화 잠재량이 우수한 해조류를 대규모로 양식하여 에너지를 얻음으로서 전라남도의 에너지 수급에 대한 경쟁력을 신장시킨다.

이 세 가지 결과로서 전라남도 농·축·수산 유래 바이오에너지의 미래는 밝다고 할 수 있다.

이 논문은 전라남도의 바이오가스 에너지이용 용역사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음

## 참고 문헌

- [1] 배정환, “바이오연료의 보급전망과 사회적 비용·편익 분석”, 에너지경제연구원, 수시연구보고서 06-04 pp. 1-2, 2006
- [2] 홍종순 외 8인, “바이오매스 자원조사 및 에너지 평가분석(III)”, 한국에너지기술연구원 KE-91031G pp. 12-16, 1991. Analysis: Second Edition, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. pp. 1-14, 1978.
- [3] 박순철 외 4인, “전라북도 지역의 축산폐기물 바이오가스화 타당성 조사 연구”, 한국에너지기술연구원, GOVP1200108296, 2001