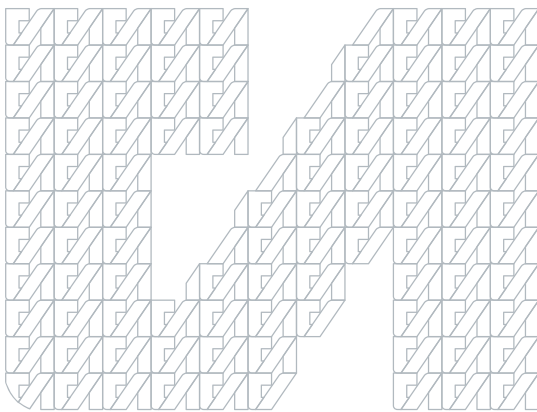


세종시 가축분뇨 특성분석 및 활용방안 연구

이윤희



연구책임

• 이윤희 / 세종연구실 연구위원

조사원

• 양재원 / 세종연구실

기본연구 2017-10

세종시 가축분뇨 특성분석 및 활용방안 연구

발행인 박재묵

발행일 2017년 11월

발행처 대전세종연구원

34863 대전광역시 중구 중앙로 85(선화동 287-2)

전화: 042-530-3500 팩스: 042-530-3528

홈페이지 : <http://www.dsi.re.kr>

인쇄 청맥기획 TEL 042-487-2589 FAX 042-487-1887

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 대전광역시와 세종특별자치시의 정책적 입장과는 다를 수 있습니다.

출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.

요약 및 정책건의

■ 연구의 배경 및 필요성

- 국내 가축분뇨 발생량의 90.6%가 퇴·액비화되고 있으나, 그 이용에 있어 많은 한계점이 있음
 - 저장 및 살포 농경지 부족
 - 저품질의 액비(저농도, 불균형) 생산과 미부숙 퇴·액비 생산으로 인한 악취 발생
 - 농경지 양분집적현상과 영양물질의 수계유출로 인한 부영양화 가속
 - 세종시의 농경지 총 양분량 648.1kg/ha(작물의 양분 요구량 160kg/ha, 488.1kg/ha 초과)
- 이에 따라 기존의 가축분뇨 자원화(퇴·액비화) 우선정책에서 자원화 및 에너지화 정책으로 그 패러다임이 변화하였으며, 가축분뇨법에 퇴·액비 부숙도 기준 신설 등 관리제도가 강화되었음
- 이러한 정책적 변화에 대응하기 위해 세종시 가축분뇨 발생특성을 고려한 관리 및 활용방안(에너지화)에 대해 숙고해볼 필요가 있음

■ 연구의 목적 및 내용

- 세종시 가축분뇨 발생 및 처리 현황 분석
- 가축분뇨 관리제도 및 정책추진 방향 검토
- 실용화 가능한 가축분뇨 에너지화 기술의 동향 검토
 - 바이오가스화 및 고체연료화
 - 각 기술의 원리, 특징 및 사례 등
- 세종시 가축분뇨의 활용방안 제언

■ 연구결과

(1) 세종시 가축분뇨 발생 및 관리 현황

- 2016년 12월 기준 가축사육두수는 한육우 25천두, 젓소 4천두, 돼지 89천두, 닭 4,321천두로 약 1,448톤/일의 가축분뇨가 발생하고 있음
 - 지역별 사육두수는 전의면, 소정면, 전동면 순으로 많음
 - 가축분뇨 발생량은 연서면 21%, 전의면 19%, 전동면 17% 순으로 높음
- 세종시에서 발생하는 가축분뇨의 69%(999.8톤/일)는 개별처리되고 있으며, 그 중 80.3%가 퇴비화되고 있음
- 전체 가축분뇨 중 66.2%(958.5톤/일)가 퇴·액비 등으로 자원화 처리되고 있으며, 현재 운영 중인 에너지화 시설은 없음

(2) 국내 가축분뇨 관리 정책 및 제도개선 추진 방향

- 관리 기준 강화
 - 축산 악취 민원 증가(2013년 → 2015년, 66% 증가)로 인한 악취 관리 강화 제도개선 추진
 - 무허가 시설 적법화 추진 및 정화처리 시설의 방류수 수질기준 강화
 - 퇴·액비 품질 기준 신설 및 관련 제도 신설, 전자인계관리시스템 도입을 통한 관리 체계 개선
- 자원화 시설 확대
 - 공공처리시설(고체연료화 시설 포함) 확충 및 에너지화 시설 확대를 위한 표준사업비 마련 연구
- 실태 조사 및 양분총량제 도입 추진
 - 축산 및 양분 현황, 환경오염 등의 조사결과를 바탕으로 중장기 운영 로드맵 마련
 - 현재 양분관리제 현장 적용을 위한 시범사업이 추진 중(2017년, 논산·김해·군산)

(3) 가축분뇨 관리 및 활용 기술 검토

- 가축분뇨 정책 방향에 맞추어 세종시의 환경용량을 고려한 가축분뇨 관리 정책을 마련할 필요가 있으며, 본 연구에서는 실용화 보급 가능성이 가장 높은 에너지화 시설(바이오가스화, 고체연료화)에 대해 검토함

[상용화 가능한 가축분뇨 에너지화 기술 요약]

구분	바이오가스화	고체연료화
기술 특성	메탄발효를 통한 기체 연료 (바이오가스) 생산기술	성형, 건조 과정을 통한 고체연료 생산기술
대상 원료	수분함량이 높은 원료 (함수율 80~98%)-습식소화 수분함량이 낮은 원료(함수율 70-80%)-건식소화	수분함량이 낮은 원료 (함수율 50~80%)
기술 수준	실용화 보급 단계	실용화 기술개발 단계
핵심 기술	협기발효 기술	건조기술
기술 분야	기계장치, 설비, 전기제어-계측, 생물학적 미생물 제어 기술	기계 장치 기술
운영 및 관리 난이도	High	Low
시설투자비	High (7천만 원/톤, 발전기 투자비 비중 높음-독일에 비해 약 3-4.5배)	Medium
운영경비	High (일반적으로 시설투자비의 15~17%)	High (건조비용 과다)
장점	<ul style="list-style-type: none"> 전기, 열에너지 생산공급 온실가스 저감 악취 경감 소화액과 슬러지의 유기비료화(농지환원 가능) 통합소화(음식물쓰레기, 하수슬러지 등)에 따른 에너지 생산효율 증대 	<ul style="list-style-type: none"> 기술수준이 낮고 단순하여 기술보급 확대에 유리 가축분뇨의 연소열을 이용하므로 에너지 전환 이용 효율 우수 가축분뇨 양분총량제 등 토양오염 저감 효과
단점	<ul style="list-style-type: none"> 잦은 기계고장 및 관리부실로 운영중단 사례 빈번 소화액 사용에 상당한 노동력과 시간 소요 농경지 및 액비저장조 확보 필요 퇴액비 사용에 대한 경증농가의 인식전환 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 건조에너지 과다소비로 경제성 낮음 고형연료 이용에서 대기오염물질(미세먼지) 등 2차적인 오염원 관리 필요 제조과정에서 다른 폐기물의 혼입 우려가 있어 고형연료 제품의 품질관리에 어려움

출처: 환경부(2013), 가축분뇨 고형연료 제품의 품질-등급 기준 마련 연구, p.58 재구성

(4) 가축분뇨 자원화 및 에너지화 공정 시나리오

- 자원화 및 에너지화 공정으로 1) 바이오가스화 → 퇴·액비화, 2) 바이오가스화 → 액비화 및 고체연료화, 3) 고체연료화에 대해 각 공정 시나리오별 물질 및 에너지수지를 검토함
- 세종시에서 발생하는 음식물쓰레기 전량을 투입하고 바이오가스화 시설에서 일반적으로 채택하는 원료 비율(가축분뇨 : 음식물쓰레기 = 7:3)을 기준으로 퇴·액비 생산 가능량 및 에너지 생산량을 산정함
- ① 바이오가스화 → 퇴·액비화 연계 공정
 - 세종시에서 발생하는 우분만 투입하는 것으로 가정하였을 때, 우분 발생량의 50% 가량 처리 가능
 - 한육우 분뇨가 전량 퇴비화 된다고 가정하였을 때, 우분 기인 퇴비 생산량이 30%수준으로 저감 될 것으로 예상됨
- ② 바이오가스화 → 액비화 및 고체연료화 연계 공정
 - 혐기성 소화과정에서 유기물 소비로 인한 퇴비화 효율 및 품질 저하 문제해결을 위해 고체연료화 공정으로 연계가 가능함
- ③ 고체연료화 공정
 - 다른 에너지화 공정에 비해 에너지 생산량이 가장 우수하며, 건조 방법 등 기술개발을 통해 에너지 생산량이 더욱 증가될 수 있음
 - 고체연료의 이용시 대기오염물질(미세먼지) 등 2차 오염물질이 발생할 수 있어 연계관리가 필요함

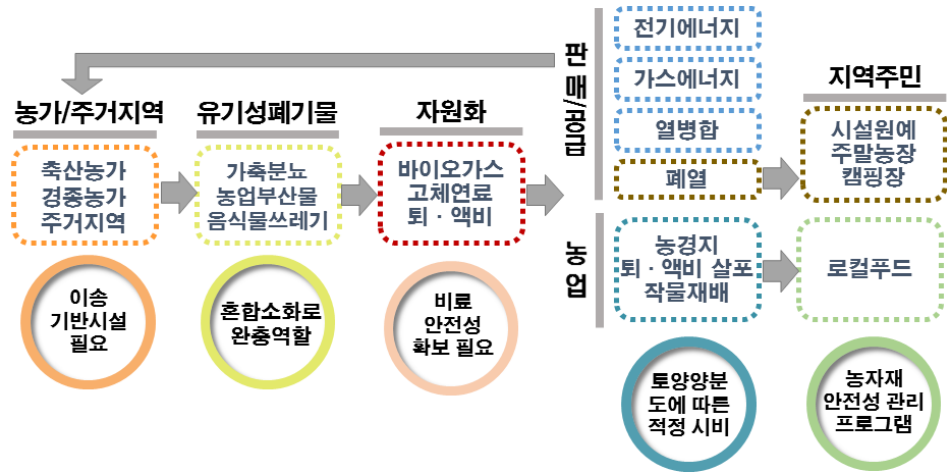
[공정별 부산물 및 에너지 생산 가능량]

자원화 공정	투입원료량(톤/일) (우분 : 음식물쓰레기)	부산물 생산 가능량(톤/일)	에너지 생산량 (kcal/톤)
바이오가스화 → 퇴·액비화	193(135:58)	퇴비 : 112.1 액비 : 59.6	176,935
바이오가스화 → 액비화/고체연료화	193(135:58)	액비 : 59.6 고체연료 : 42	614,434 (바이오가스: 176,935 고체연료: 437,499)
고체연료화	348.5(348.5:0)	고체연료 : 130	971,690

■ 결론 및 정책건의

- 걱정 수거체계 및 가축분뇨 에너지화 시설 구축
 - 한우분, 젓소분, 계분 등은 개별 퇴비화되는 비중이 높는데 반해 개별농가에서 퇴비화 부숙도 기준을 충족하기에는 시설 및 기술적 한계가 있음
 - 따라서 개별농가에서 퇴비화 되고 있는 가축분뇨에 대해 지자체 차원에서 적절한 수거체계를 갖추고(예: 농가에 분뇨 저장 컨테이너 설치 후 컨테이너를 직접 이송 → 약취 및 비점오염원 차단), 이를 바이오가스화하는 것이 에너지 생산뿐만 아니라 약취 민원해결 및 2차적인 환경오염 방지 차원에서도 효과적임
 - 환원농지 확보 및 경종농가와 바이오가스 플랜트 운영 주체간의 바이오가스화 후 퇴·액비의 사용에 대한 수요공급체계 확립이 필요함
 - 고체연료화 기술은 경제성 있는 건조기술의 개발 및 소각시 대기오염물질 발생에 대한 연계처리가 가능한 공정이 필요함(사업 초기에는 경제성이 아닌 공공재적 성격의 접근이 필요함)

- 지역밀착형 유기성폐기물 통합 자원순환 플랫폼 구축
 - 가축분뇨 및 음식물쓰레기의 수거에서부터 자원화물(퇴·액비) 살포 및 에너지 판매/공급까지 전 시스템을 일원화하여 운영
 - 유기성폐기물의 혼합소화를 통해 바이오가스를 생산하고, 에너지화하여 농가 및 주거지역에 공급/판매
 - 발생하는 폐열은 주변 시설원예, 주말농장, 캠핑장 등에 공급함으로써 지역주민에게 편의 제공
 - 생산된 농산물을 판매할 수 있는 로컬푸드 직매장(ex. Farmers Markets)과 연계하여 안전한 먹거리 제공 및 농가의 부가가치 창출
 - 로컬푸드 직매장은 지역 주민의 휴식 공간 및 관광자원으로 확대 활용



[지역밀착형 유기성폐기물 통합 자원순환 플랫폼 흐름도]

- 구성원들의 자발적인 참여와 협조
 - 사업 초기에는 정부 및 지자체의 지원을 받아 운영하되 시설의 장기적 운영을 위해서는 지역의 농·축협 혹은 조합단위 구성원들의 자발적인 참여와 협조가 필수적임
 - 효과적인 운영을 위해 지역 주민과의 원활한 의사소통을 통한 니즈 수용과 시설 운영자의 관리기술 선진화 등 다각적 노력이 필요함
- 가축분뇨 활용을 위한 체계적인 중장기 계획 마련
 - 지역여건을 고려한 시설 규모 및 부지선정, 원료(가축분뇨, 음식물쓰레기 등) 확보 및 에너지 공급 방안, 퇴·액비 수급처 확보 등에 대한 체계적인 계획을 마련해야함

차 례

제1장 서론	1
제1절 연구배경 및 필요성	3
1. 가축분뇨 퇴·액비 이용의 한계	3
2. 농경지 양분집적 현상	5
3. 가축분뇨 관리 패러다임의 변화	7
제2절 연구의 목적 및 내용	10
1. 연구목적	10
2. 연구내용	10
제2장 현황분석	11
제1절 가축분뇨 발생 및 처리현황	13
1. 가축분뇨 발생현황	13
2. 가축분뇨 처리현황	15
제2절 처리시설 현황	18
1. 공공처리시설	18
2. 공동자원화시설	20
제3절 가축분뇨 법령 및 정책 방향	21
1. 가축분뇨법 체계	21
2. 가축분뇨 관리제도 개선 추진현황	22
3. 주요 가축분뇨 관리 정책 방향	25
제3장 가축분뇨 활용방안	29
제1절 가축분뇨 에너지화 기술	32
1. 가축분뇨 바이오가스화	32
2. 가축분뇨 고체연료화	45

제2절 국내외 가축분뇨 에너지화 현황 및 사례	52
1. 바이오가스화 현황 및 적용 사례	52
2. 고체연료화 현황 및 적용 사례	68
제3절 세종시 가축분뇨 활용방안	74
1. 기본방향	74
2. 통합형 자원순환 플랫폼	75
3. 가축분뇨 자원화 공정 시나리오	83
제4장 총 합	89
1. 세종시 가축분뇨 발생특성	91
2. 가축분뇨 관리 정책 방향	91
3. 세종시 가축분뇨 관리 및 활용을 위한 기술적 검토	92
4. 세종시 가축분뇨 활용방안	95
참고문헌	97

표 차례

[표 1-1] 가축분뇨공공처리시설 설치 및 운영·관리지침 신·구조문 대비	8
[표 1-2] 가축분뇨의 에너지 전환 적용 가능 기술	9
[표 2-1] 가축분뇨 처리방법별 처리량	16
[표 2-2] 가축분뇨 공공처리시설 개요	18
[표 2-3] 가축분뇨 공동자원화시설 운영 현황	20
[표 2-4] 가축분뇨법 체계	21
[표 2-5] 가축분뇨 퇴·액비화 기준	23
[표 2-6] 현행 가축분뇨 정화시설의 방류수 수질기준	26
[표 3-1] 바이오가스화 기술의 주요 인자	35
[표 3-2] 가축분뇨 바이오가스화 가용 에너지 잠재량 추정	39
[표 3-3] 2015년 세종시 에너지원별 이용현황	40
[표 3-4] 가축분뇨 바이오가스화 경제적 효과	40
[표 3-5] 신재생 연료 혼합의무량 및 도입 전망	43
[표 3-6] 가축분뇨 바이오가스화 관련 법령	43
[표 3-7] 가축분뇨 바이오가스화 관련 추진과제	44
[표 3-8] 가축분뇨 고체연료화 가용 에너지 잠재량 추정	49
[표 3-9] 우분 고체연료화에 따른 경제적 효과	50
[표 3-10] 가축분뇨 고체연료의 성분 등에 관한 기준	51
[표 3-11] 가축분뇨 고체연료 법령의 개요	51
[표 3-12] 유기성폐기물의 바이오가스화 시설수 및 시설용량 증감 현황	52
[표 3-13] 가축분뇨 바이오가스 생산 및 이용량	53
[표 3-14] 가축분뇨 바이오가스 생산·이용 현황	54
[표 3-15] 가축분뇨 바이오가스화 시설 수	58

[표 3-16] 일본 가축분뇨 발생량 및 이용량	61
[표 3-17] 친환경에너지타운 추진경과	76
[표 3-18] 자연순환농업 추진 우수사례	77
[표 3-19] 논산계룡축협 지역단위통합관리센터 시설 개요	78
[표 3-20] 가축분뇨 1톤당 건조에너지 소요량	86
[표 3-21] 공정별 자원화물 및 에너지 생산 가능량	88
[표 4-1] 가축분뇨 관리 정책 추진방향 요약	92
[표 4-2] 가축분뇨 에너지화 기술 특징	94

그림 차례

[그림 1-1] 가축분뇨 퇴·액비 이용의 한계	4
[그림 1-2] 시·도별 양분수지 초과량 현황	6
[그림 1-3] 본 연구의 주요 내용	10
[그림 2-1] 세종시 축산 농가수 변화 추이	13
[그림 2-2] 세종시 가축사육두수 변화추이	14
[그림 2-3] 세종시 읍·면 가축사육두수 분포	14
[그림 2-4] 세종시 축종별·지역별 가축분뇨 발생량	15
[그림 2-5] 주요 축종별 개별처리 및 위탁처리 현황	16
[그림 2-6] 축종별 가축분뇨 처리방법	17
[그림 2-7] 세종시 등곡지구 가축분뇨공공처리시설 BCS 공정흐름도	19
[그림 2-8] 세종시 공동자원화시설 공정흐름도	19
[그림 3-1] 가축분뇨 처리 개요	31
[그림 3-2] 혐기소화를 통한 바이오가스 생성 단계	33
[그림 3-3] 혐기성 소화 공정 분류	34
[그림 3-4] 가축분뇨 에너지화 공정 및 활용 개념도	36
[그림 3-5] 바이오가스 플랜트의 시설규모별 비용-편익 변화	37
[그림 3-6] 전국 가축분뇨 에너지 잠재량	38
[그림 3-7] 가축분뇨 바이오가스화 에너지 잠재량 추정방법	39
[그림 3-8] 고체연료 공정 흐름도	45
[그림 3-9] 수분함량에 따른 고체연료 열량 변화	46
[그림 3-10] 가축분뇨 고체연료화 가용 에너지 잠재량 추정방법	49
[그림 3-11] 전북 농협 고창 바이오가스 발전소	55
[그림 3-12] 파주환경순환센터 시설 현장사진	56
[그림 3-13] 파주환경순환센터 시설 공정도	57
[그림 3-14] 중앙집중형 바이오가스 플랜트 개념	58

[그림 3-15] 독일 바이오가스화(A) 및 바이오메탄(B) 플랜트 수 및 발생 전력량	59
[그림 3-16] 덴마크 바이오가스화 시설 개요	60
[그림 3-17] 일본 바이오매스 활용 타운 공정	61
[그림 3-18] 미국 바이오가스 플랜트 분포도	62
[그림 3-19] 덴마크 중앙집중형 바이오가스화 시설(Vester Hiermitslev) 사례	63
[그림 3-20] 미국 가축분뇨 바이오가스화 시설 사례(페어 오크 농장) ..	65
[그림 3-21] 독일 Greenline 바이오가스 플랜트 공정도	65
[그림 3-22] 일본 난탄시 가축분뇨 바이오가스화/퇴·액비화 공정 개요 ..	66
[그림 3-23] 일본 난탄시 가축분뇨 바이오가스화/퇴·액비화 시설	67
[그림 3-24] 포천시 가축분뇨 고체연료화 시설 및 공정도	69
[그림 3-25] 황성군 가축분뇨 고체연료화 시설 및 공정도	71
[그림 3-26] 중국의 가축분뇨 고체연료 제조장치	72
[그림 3-27] 일본 미야자키현 바이오매스 플랜트	73
[그림 3-28] 친환경에너지타운 개념도	75
[그림 3-29] 가축분뇨 및 음식물류 혼합소화를 통한 바이오가스 생산 및 자원화 공정	76
[그림 3-30] 자연순환농업 개념도	77
[그림 3-31] 논산계룡축협 자연순환농업센터 주요시설 및 공정도	79
[그림 3-32] 지역밀착형 자원순환 플랫폼 구상	81
[그림 3-33] 지역밀착형 유기성폐기물 통합 자원순환 플랫폼 흐름도 ..	82
[그림 3-34] 미국 로컬푸드(Farmers Market) 매장 사례	83
[그림 3-35] 바이오가스화 및 퇴·액비화 연계 공정 물질수지	85
[그림 3-36] 바이오가스화 및 고체연료화 연계 공정 물질수지	87
[그림 3-37] 고체연료화 공정 물질수지	88
[그림 4-1] 지역밀착형 유기성 폐기물 자원순환 플랫폼 흐름도	95

DSI

제1장 서론

제1절 연구배경 및 필요성

제2절 연구의 목적 및 내용

DAEJEON SEJONG
RESEARCH
INSTITUTE

제1장 서론

제1절 연구배경 및 필요성

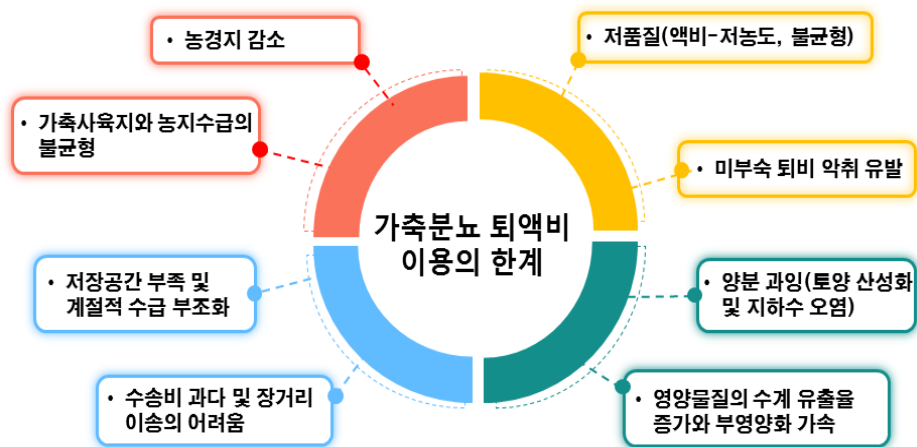
1. 가축분뇨 퇴·액비 이용의 한계

가축분뇨는 하천이나 호소의 수질에 영향을 주는 주요한 비점오염원으로서 산업폐수 및 생활하수에 비해 발생량은 전체의 약 1%정도이나, BOD 기준 오염부하는 전체의 약 37%를 차지하고 있다(환경부, 2015). 또한 유기물뿐만 아니라 질소·인 농도가 높아 오염부하량 측면에서 심각한 문제를 야기 시키고 있다. 이에 환경부는 가축분뇨의 관리를 위해 “가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률”에 따라 정화처리 위주의 공공처리시설에서 지역특성을 고려한 퇴·액비 자원화시설을 우선적으로 설치토록 전환하였고, 농림부는 축산농가, 경종농가, 양돈협회, 농협 등이 참여하는 “지역단위 퇴·액비 유통센터”를 활성화하여 자원화를 적극 추진하였다.

가축분뇨 발생량의 90.6%가 퇴·액비 형태로 자원화 되고 있으나(퇴비화 79.6%, 액비화 11%), 원활한 수급 및 수송이 이루어지지 못해 대부분의 자원을 부적정하게 사용하고 있다. 액비의 경우 수송비용 문제로 발생지역 인근에 과량 살포되는 경우가 많으며, 액비는 연중 생산되나 11월~2월 중에만 비료로써 농지에 살포되고 있어 6개월분 이상의 대형 저장시설이 요구된다. 하지만 현실적으로는 관리가 매우 어려운 실정이다. 퇴비는 규격화 및 품질관리가 어려우며, 생산시설에서 큰 부지 및 인력을 필요로 한다. 적정관리를 위해서는 축사면적과 동일한 규모의 퇴비시설을 확보할 필요가 있으나 사육규모의 경제성을 확보하기 어려운 문제가 있다. 이는 미부숙 퇴비 양산의 원인이 되고 있으며, 특히 악취발생으로 농가 및 자원화물 살포지역 인근에서 민원 발생이 빈번히 일어나고 있다.

가축분뇨의 미부숙 퇴·액비는 악취발생 문제뿐만 아니라 이를 농경지에 살포할 경우 미생물생장 급증으로 산소를 소비하여 토양환원상태를 유발시키고, 혐기성미생물 증식으로 유기산 및 페놀릭산 등을 생성시켜 작물뿌리장해를 유발시킨다. 특히 배수가 불량한 논에서의 피해는 매우 심각하다. 또한 퇴비의 수분조절제인 왕겨, 톱밥 등은 폴리페놀산(바닐릭산, 파라옥시벤조익산, 풀빅산 등)과 같은 생육저해물질을 생성시킨다. 그리고 미부숙 퇴비는 병원균의 온상이기도 하다. 정상 부숙퇴비는 퇴비 제조기간(부숙기간)에 온도가 60~70℃까지 올라가면서 병원성미생물이 사멸되는 반면, 미부숙 퇴비의 경우 병원성미생물이 사멸되는 온도에 미치지 못하여 병원균의 매개체가 된다.

현재 우리나라에서 생산된 가축분뇨 퇴·액비 전량을 농지로 환원하는 것은 현실적으로 어려운 실정이다. 도시화에 따른 농경지 면적의 감소, 가축사육지와 농지수급의 불균형, 양분집적(과잉)으로 인한 토양 산성화 및 지하수 오염과 영양물질의 수계 유출을 증가로 인한 부영양화 가속, 저품질 및 불균질한 퇴·액비 생산으로 농가 수요 감소 및 악취유발, 수송비 과다로 장거리 이송의 어려움, 퇴·액비의 저장 공간 부족과 계절적 수급 부조화 등 다양한 문제로 인해 가축분뇨 퇴·액비 이용에 한계가 있다[그림 1-1]. 따라서 축산업의 지속적 발전과 수질환경 보전의 양립을 위해 정화처리, 자원화 및 에너지화, 농지유출 관리 등 다각적인 종합대책이 필요하다.



[그림 1-1] 가축분뇨 퇴·액비 이용의 한계

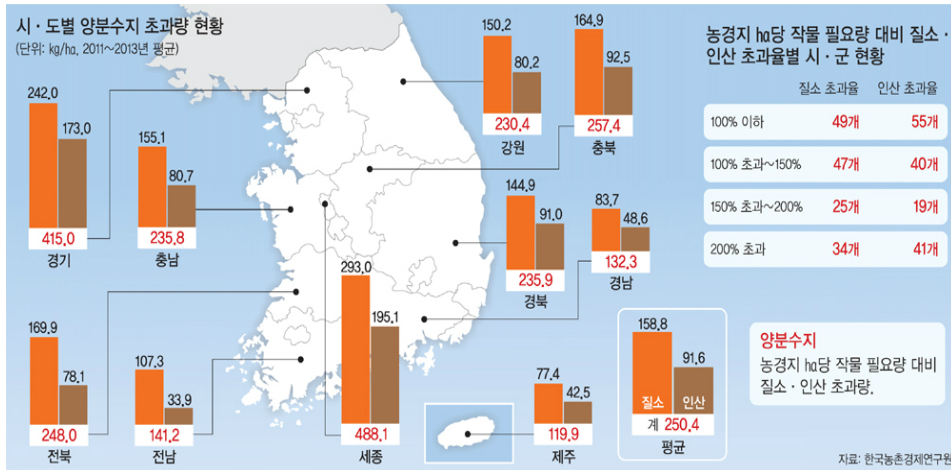
2. 농경지 양분집적 현상

2011~2013년 전국 10개 시도내 155개 시·군의 평균 질소와 인산의 양분수지(작물 흡수량 대비 초과량)¹⁾를 조사한 결과(한국농촌경제연구원), 평균적인 질소와 인산의 초과량은 농경지 ha당 250.4kg이었으며, 질소와 인산의 초과율은 150.4%로 작물이 필요한 양에 비해 2.5배정도가 과잉 공급되었다[그림 1-2]. 인산의 초과율은 157.9%(91.6kg/ha)였으며, 질소의 초과율은 146.7%(158.9kg/ha)로 나타났다.

세종시의 경우 평균적으로 농경지 ha당 작물의 양분 요구량은 160.0kg인 것에 반해, 488.1kg/ha가 초과되어 총 양분량이 648.1kg/ha로 나타나 조사대상 시·군 중 가장 높았다. 질소와 인산의 초과량은 각각 293kg/ha 및 195.1kg/ha로 나타났으며, 양분공급 요인별 비중은 질소는 화학비료의 비중이 높았고, 인산은 가축분뇨의 비중이 더 높게 나타났다.

그 밖에 타 시·도의 양분 초과량은 경기도 274.1%(415.0kg/ha), 충청북도 171.2%(257.4kg/ha), 경상북도 157.4%(235.9kg/ha), 충청남도 145.4%(235.8kg/ha) 등이었다. 조사대상 지역은 모두 농경지 작물 필요량 대비 양분집적 현상이 있는 것으로 나타났다. 또한 국내 농촌지역 천층 지하수의 20%가 음용수 기준을 초과하고 있으며, 대부분 가축분뇨가 오염원인 것으로 규명되고 있다(국립환경과학원, 2013). 따라서 이러한 현상으로 인한 토양 및 지하수의 2차 오염을 예방하기 위해서는 화학비료 및 가축분뇨 퇴·액비의 사용을 더 줄일 필요가 있다.

1) 양분수지는 단위면적당 양분 투입량에서 반출되는 양을 뺀 것으로 작물 요구량 대비 질소 및 인산 성분 초과량을 나타낸 것이다. 양분수지 지표 산출을 위해 가축사육두수 및 성분별 비료사용량(양분 투입부문)과 작물별 재배면적(산출 부문) 자료가 사용되었다. 또한, 가축분뇨 자원화를 통한 지역 간 이동은 고려되지 않았다.



[그림 1-2] 시·도별 양분수지 초과량 현황

따라서 환경부는 이러한 농경지 양분집적현상을 막기 위하여 지역별 양분수지를 종합적으로 관리하여 궁극적으로 양분균형을 달성함으로써 농업부문의 환경부하를 최소화할 수 있는 양분총량제를 도입할 계획이며, 현재 군산, 논산, 김해 지역에서 시범사업을 추진중에 있고 2018년부터 2020년까지 확대 시행할 계획이다. 또한 2021년부터는 스마트 양분관리체제를 구축해 지역단위 양분총량제를 정착시킬 계획이다.

‘지역단위 양분총량제(관리제)’란 과학적 토대 위에서 지역별 농경지의 양분 유입(Input)과 유출(Output)을 종합적으로 파악하여 해당지역의 환경용량 범위에서 수용 가능한 정도를 지표(양분 초과량)로 관리하기 위한 제도

3. 가축분뇨 관리 패러다임의 변화

2016년 9월에 6차 개정된 「가축분뇨공공처리시설 설치 및 운영·관리 지침」에 따르면 생산된 퇴·액비 처분을 위한 농지 확보 또는 판매방안 뿐만 아니라 수요처 및 살포농지 확보의 증빙자료를 제시하도록 신설 규정하였으며, 바이오가스시설 및 고체연료시설 등 에너지화 시설의 에너지원 활용 및 판매방안에 대한 규정을 신설하였다. 또한 처리방법 선정시 에너지화 및 자원화를 우선적으로 검토할 것을 원칙으로 제시하였다[표 1-1].

이처럼 현재 가축분뇨 관리는 기존의 퇴·액비 자원화 우선에서 자원화 및 에너지화 정책으로 변화하였으며, 추후 농경지 감소 및 양분집적 현상 등을 고려할 때 가축분뇨의 에너지화 방안에 대한 보다 다각적인 기술개발 및 정책수립이 필요할 것으로 사료된다. 가축분뇨를 이용한 바이오에너지 생산시설은 악취가 적고 지역내 에너지 공급에 활용될 수 있을 뿐만 아니라 화석연료 대체 및 CO₂ 감축으로 탄소배출 감소에도 효과가 있다. 현재 적용 가능한 대표적인 가축분뇨의 에너지 전환 기술은 바이오가스화 및 고체연료화가 있다[표 1-2].

또한, 2015년 퇴·액비화 기준과 더불어 퇴·액비의 적정 처리 및 관리 의무 제도를 신설하였으며, 퇴·액비 생산시 부숙도 기준 등을 강화함으로써 관리제도 기반을 마련하였다. 퇴비의 경우 경종농가에서 개별 퇴비화되는 비율이 높아 액비에 비해 상대적으로 부숙도 기준을 맞추기 어려울 것으로 예상된다. 이는 개별농가들의 의식수준과 관리시설 측면에서 현실성이 낮기 때문이다. 따라서 퇴·액비 관리기준을 보완할 수 있는 현실적인 관리방안이 수반될 필요가 있다.

[표 1-1] 가축분뇨공공처리시설 설치 및 운영·관리지침 신규조문 대비

현행	개정안
<p>2. 설치타당성 조사</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 가축분뇨공공처리시설의 효과, 주변에 미치는 영향 분석 - <u>생산된 퇴비·액비의 처분하기 위한 농지 확보 또는 판매 방안(퇴비·액비화 방법)</u> - 방류지점 및 방류하천 현황, 시설설치 후 주변환경에 미치는 영향, 상수원·취수장·유원지 등과의 관계(단독정화처리방법) - 질소인 등 오염물질이 하수종말처리장에 미치는 부하 및 하수종말처리장의 방류수질 변화(연계정화처리방법) ※ 정화처리시설의 경우 분석결과를 토대로 적정 방류수기준 제안 · <신설> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 가축분뇨공공처리시설의 효과, 주변에 미치는 영향 분석 - <u>생산된 퇴비·액비의 처분하기 위한 농지 확보 또는 판매 방안(퇴비·액비화 방법)</u> * <u>퇴비·액비화 관련 수요처 및 살포농지 확보 증빙자료제시</u> - (현행과 같음) - (현행과 같음) - <u>에너지원의 활용, 판매방안(바이오가스시설, 고체연료시설)</u>
<p>6. 기본설계</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>처리방법은 지역여건에 맞게 경제성, 환경성 등을 종합적으로 분석하여 선정 하되, 퇴비화 또는 액비화 등의 자원화 방법을 우선적으로 강구하고, 정화 처리방법은 자원화방법이 여의치 아니한 경우에 검토하도록 한다.</u> · <신설> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>처리방법은 지역여건에 맞게 경제성, 환경성 등을 종합적으로 분석하여 선정 하되, 바이오가스화, 고체연료화, 퇴비화 또는 액비화 등의 에너지화·자원화 방법을 우선적으로 강구하고, 정화 처리방법은 에너지화·자원화 방법이 여의치 아니한 경우에 검토하도록 한다.</u> ▪ <u>바이오가스화시설의 경우 가축분뇨이외에 음식물쓰레기 등 유기성폐기물과 혼합·처리할 수 있으며, 당초 사업 신청계획에 따라 음식물쓰레기 등을 처리용량의 50%이내에서 지역여건에 따라 처리량을 계획할 수 있다. 이 경우 검사의 방법, 검사의 절차·기준 등에 관하여는 「폐기물관리법」 제30조의 규정 등을 준용한다.</u>

출처: 환경부, 가축분뇨공공처리시설 설치 및 운영·관리지침(2016.9)

[표 1-2] 가축분뇨의 에너지 전환 적용 가능 기술

구분		종류	변화과정	변환기술	바이오에너지
가축분뇨	고상	한우, 젓소 톱밥우사 배출물	물리적 변환	고체연료화	가축분뇨 고체연료
	액상	돼지, 젓소 슬러리	생물학적 변환	혐기소화	바이오가스

출처: 이정임 외(2016)

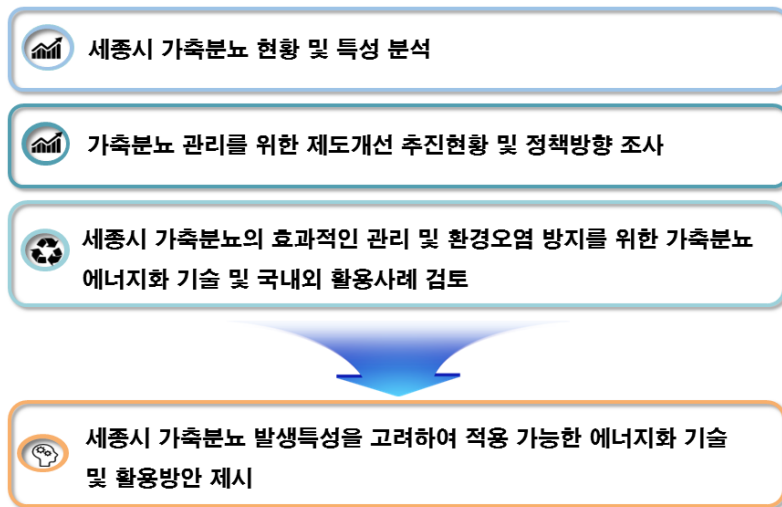
가축분뇨의 효율적인 관리 및 처리는 환경오염방지 뿐만 아니라 에너지 확보 및 보존 측면에서도 활용가치가 크다. 하지만 이러한 가축분뇨 에너지 전환 시설들은 초기 시설 투자비용 및 운영비가 많이 소요되고, 운영관리 미흡으로 인한 가동중단 사례가 빈번히 일어나고 있다. 따라서 효과적인 가축분뇨의 관리를 위해서는 경제성 확보를 위한 기술개발과 제도개선 등이 뒷받침되어야 할 것이다.

제2절 연구의 목적 및 내용

1. 연구목적

본 연구는 가축분뇨의 효과적인 관리 및 환경오염 방지를 위한 가축분뇨 에너지화 기술 및 국내외 활용사례를 검토하고, 세종시 가축분뇨 발생 특성을 고려하여 적용 가능한 에너지화 기술 및 활용방안 제시를 목적으로 하였다.

2. 연구내용



[그림 1-3] 본 연구의 주요 내용

제2장 현황분석

제1절 가축분뇨 발생 및 처리현황

제2절 처리시설 현황

제3절 가축분뇨 법령 및 정책 방향

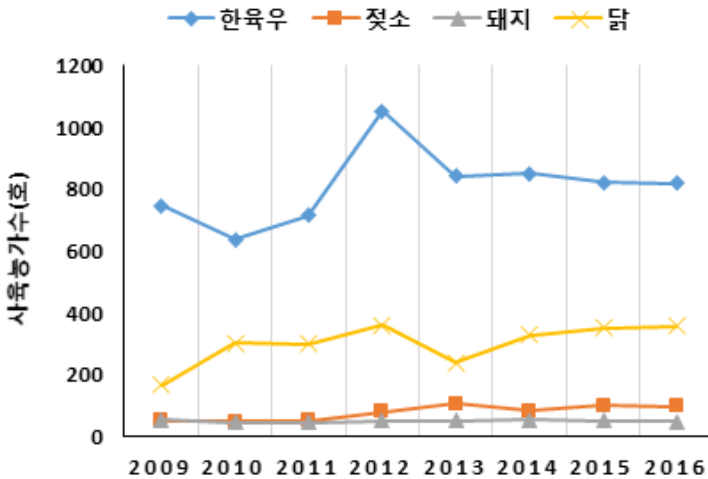
제2장 현황분석

제1절 가축분뇨 발생 및 처리현황

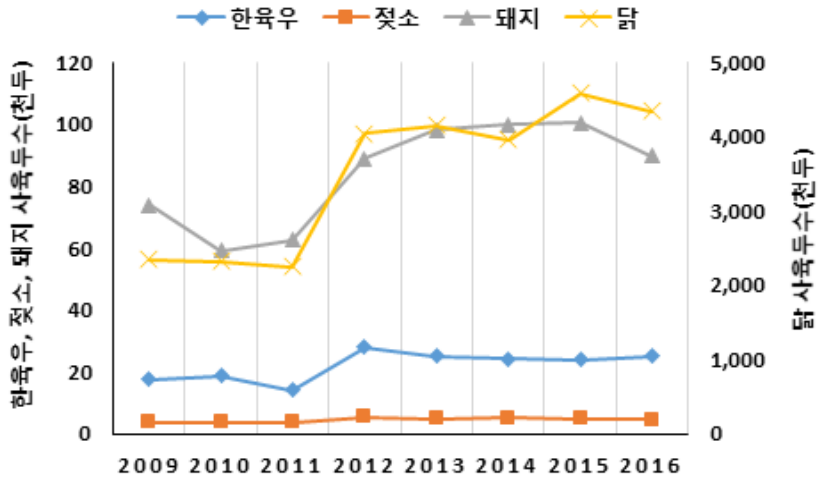
1. 가축분뇨 발생현황

1) 축산농가수 및 사육두수

세종시 축산 농가수(한육우, 젓소, 돼지, 닭 사육농가)는 2012년도에 1,545호로 가장 많았으며(세종특별자치시 출범에 따라 청원군(부강면) 편입에 의한 증가분), 이후 약 1,300호 정도가 유지되고 있다. 2016년 12월 기준 축산 농가수는 한육우 820호, 젓소 96호, 돼지 48호, 닭 358호이다[그림 2-1]. 사육두수는 2012년 4,166천두로 전년대비 179% 급증하였으며, 이후 4,000천두 정도의 사육두수는 나타내고 있다. 2016년 12월 기준 가축사육두수는 전년도 대비 약 5.2%정도 감소하였으며, 한육우 25천두, 젓소 4천두, 돼지 89천두, 닭 4,321천두 정도이다[그림 2-2].

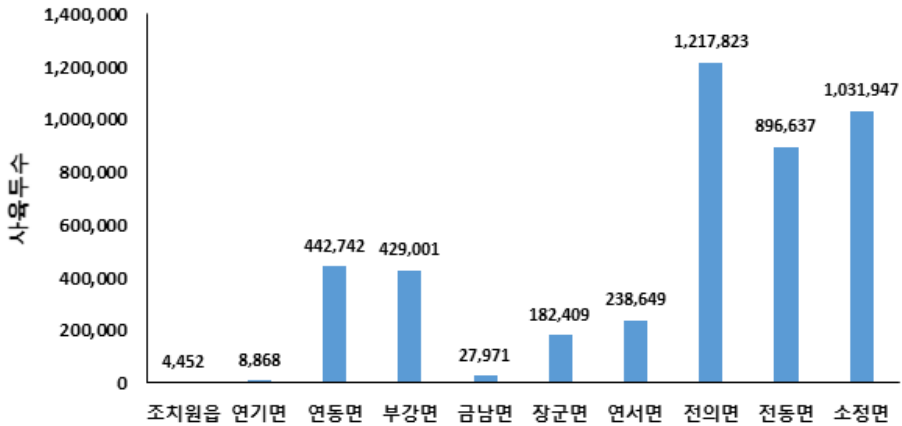


[그림 2-1] 세종시 축산 농가수 변화 추이



[그림 2-2] 세종시 가축사육두수 변화추이

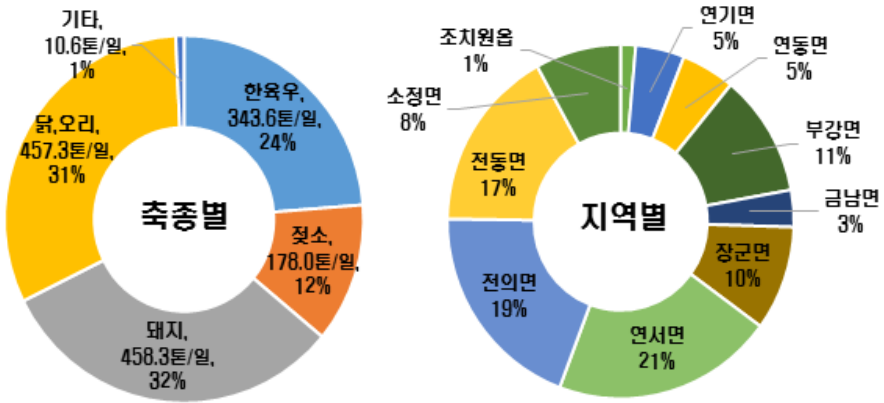
‘16년 기준 축종별 사육두수가 가장 많은 지역은 전의면이었고, 소정면, 전동면 순으로 나타났다. 소정면의 경우는 닭 사육두수가 대부분을 차지하고 있었으며, 전의면 다음으로 높게 나타났다.



[그림 2-3] 세종시 읍면 가축사육두수 분포

2) 가축분뇨 발생량

2016년 기준 세종시의 총 가축분뇨 발생량은 약 1,448톤/일로 축종별로는 돼지 458.3톤/일, 닭·오리 457.3톤/일, 한육우 343.6톤/일, 젖소 178.0톤/일이 발생되었으며, 돼지, 닭·오리, 한육우·젖소가 각각 32%, 31%, 36%를 차지하였다[그림 2-4]. 지역별로는 전체 가축분뇨 발생량의 57%가 연서면(21%), 전의면(19%), 전동면(17%)에서 발생되었다.



[그림 2-4] 세종시 축종별·지역별 가축분뇨 발생량

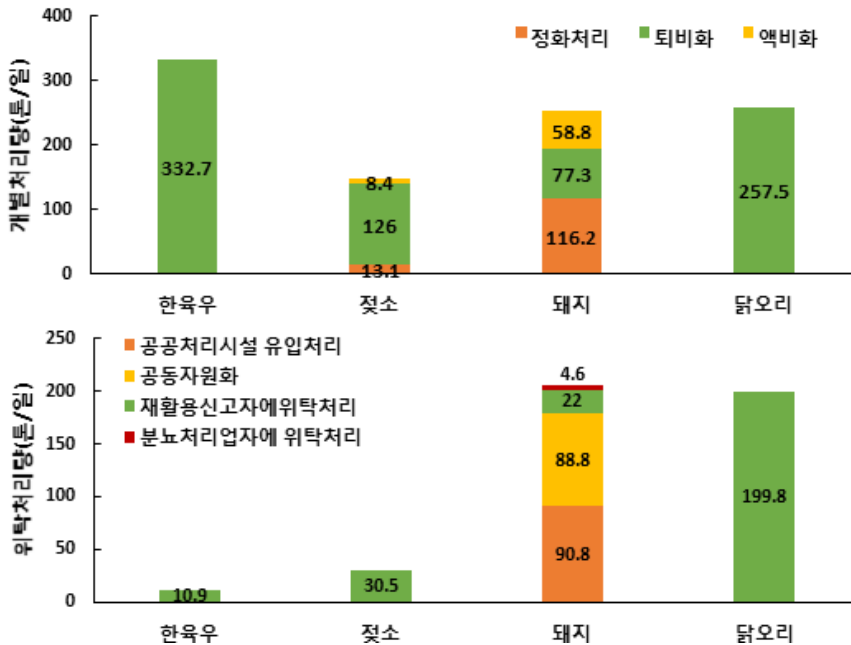
2. 가축분뇨 처리현황

세종시 '16년 기준 가축분뇨 처리현황은 처리방법별로 개별처리가 999.8톤/일로 69%를 차지하였으며, 위탁처리는 448.9톤/일로 31%를 차지하였다[표 2-1]. 개별처리방법으로 퇴비화가 80.3%를 차지하였으며, 축종별로 한육우 및 닭·오리는 전량 퇴비화되었으며, 돼지의 경우 46%(116.2톤/일) 정도가 정화처리 되었다. 위탁처리방법으로는 재활용신고자에 위탁처리하는 비중이 59%로 가장 높았으며, 축종별로 한육우, 젖소, 닭·오리는 전량 재활용신고자에 위탁처리 되었다. 돼지의 경우 44%(90.8톤/일)가 공공처리시설에서 처리되었고, 43%(88.8톤/일)는 공동자원화시설에서 처리되었다. 전체 발생량 1,447.9톤/일 중 자원화 비율은 66.2%(958.5톤/일)였으며, 정화처리는 15.2%, 그 외 18.4%였다.

[표 2-1] 가축분뇨 처리방법별 처리량

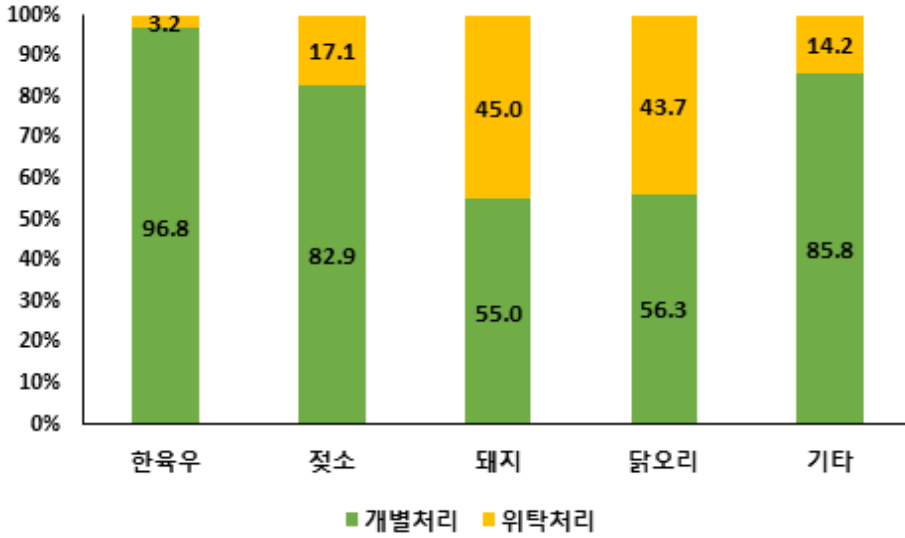
축종	총계	처리방법별 처리량 (톤/일)								
		개별처리				위탁처리				
		소계	정화처리	퇴비화	액비화	소계	공공처리시설 유입처리	공동자원화	재활용신고자에 위탁처리	분뇨처리업자에 위탁처리
합계	1,447.9	999.8 (69.1%)	129.4	802.5	67.2	448.9 (31.0%)	90.8	88.8	264.7	4.6
한육우	343.6	332.7 (96.8%)	-	332.7	-	10.9 (3.2%)	-	-	10.9	-
젖소	178.0	147.5 (82.9%)	13.1	126.0	8.4	30.5 (17.1%)	-	-	30.5	-
돼지	458.3	252.3 (55.1%)	116.2	77.3	58.8	206.2 (45.0%)	90.8	88.8	22.0	4.6
닭오리	457.3	257.5 (56.3%)	-	257.5	-	199.8 (43.7%)	-	-	199.8	-
기타	10.6	9.1 (85.8%)	0.1	9.0	-	1.5 (14.2%)	-	-	1.5	-

출처: 세종특별자치시 내부자료



[그림 2-5] 주요 축종별 개별처리 및 위탁처리 현황

축종별로 가축분뇨 처리방법은 한육우 및 젓소의 경우 각각 96.8% 및 82.9%로 개별처리의 비중이 높았으며, 돼지 및 닭·오리의 경우 각각 55% 및 56.3%가 개별처리 되었다.



[그림 2-6] 축종별 가축분뇨 처리방법

제2절 처리시설 현황

1. 공공처리시설

세종시 가축분뇨 공공처리시설로 부강면에 위치한 등곡지구 가축분뇨공공처리시설이 운영중에 있으며, 2012년 준공되어 120톤/일의 시설용량(처리시설 105톤/일, 자원화(액비)시설 15톤/일)을 갖추고 있다. 처리방법은 BCS(Bio-Ceramic SBR)공법을 이용하여 단독처리 되고 있고, 방류수역은 금강수계의 미호천이며, 연간운영비는 2016년 기준 약 17억 원/년 정도이다.

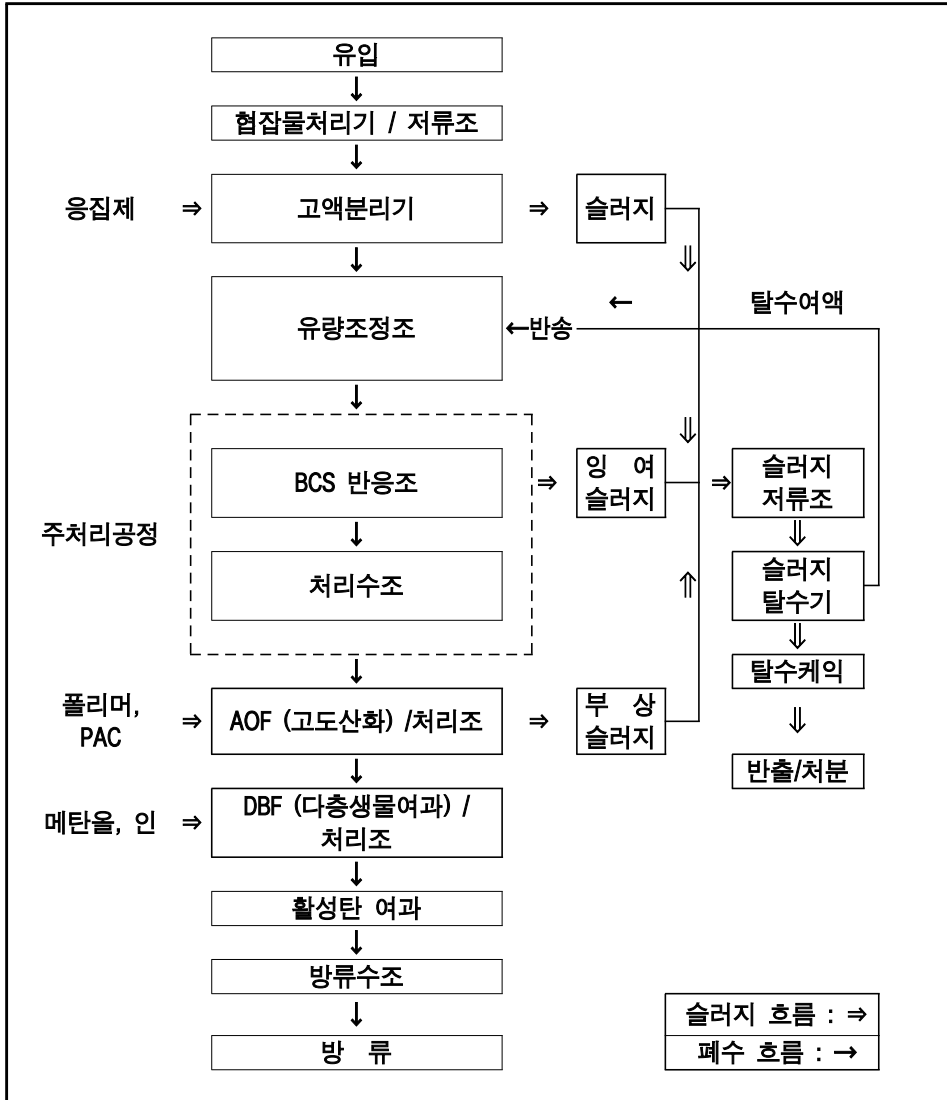
[표 2-2] 가축분뇨 공공처리시설 개요

시설명	등곡지구 가축분뇨공공처리시설
소재지	<ul style="list-style-type: none"> 자원화(액비)시설 : 세종특별자치시 부강면 등곡리 407-9 가축분뇨처리시설: 세종특별자치시 부강면 등곡리 509-1
처리시설용량	<ul style="list-style-type: none"> 자원화(액비)시설 : 15톤/일 가축분뇨처리시설 : 105톤/일
준공연도	2012년
연계처리여부	단독
가축분뇨처리방식	<ul style="list-style-type: none"> 전처리: 액비생산(E-PFR) 및 저장시설 전처리→주처리(BSC공정)→후처리(AOF, DBF, A/C) → 방류(등곡천)
슬러지처리방식	<ul style="list-style-type: none"> 탈수→슬러지 케이크→위탁처리
가축분뇨수거방식	<ul style="list-style-type: none"> 차량수거방식
비고	<ul style="list-style-type: none"> 청원군에서 이관(2012.7.1.)

출처: 환경부(2016년 12월 기준)

[그림 2-7]은 세종시 공공처리시설 처리공정도를 나타낸 것이다. 협잡물 종합처리를 거쳐 저류된 축분은 고액분리된 후 액상은 생물반응조로 유입되고 고형분은 슬러지 저류조로 이송된다. SBR 생물 반응조에서 호기 및 무산소 조건을 반복하며 질산화 및 탈질반응을 일으키고 이때 메탄올을 탄소원으로 주입하여 탈질율을 높인다. 이후 잔류된 유기물질을 제거하기 위

하여 오존을 주입하고 생물막여과(DBAF) 및 활성탄을 거쳐 정화 방류되는 시스템이다. DBAF의 하단은 무산소 조건, 상부는 호기조건으로 운전되어 하부에서는 질소제거가 가능하고, 상부에서는 미제거된 유기물과 암모니아성질소(NH₃-N)를 제거시킨다. 슬러지 저류조에는 고액분리, 반응조 잉여슬러지, 가압부상 후 발생된 슬러지가 유입되고, 탈수여액은 유량조정조로 유입된다.



[그림 2-7] 세종시 등곡지구 가축분뇨공공처리시설 BCS 공정흐름도

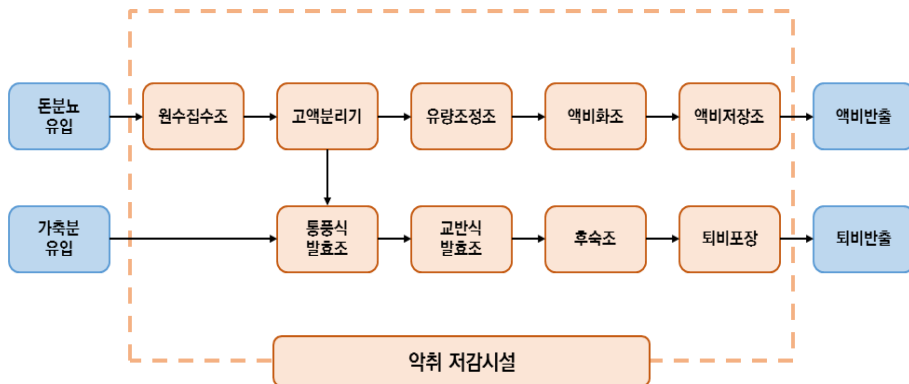
2. 공동자원화시설

세종시 가축분뇨 공동자원화시설은 도원 진생원 포크 영농조합에 가입된 20개 돼지농가의 가축분뇨를 자원화하고 있다. 유입된 축분 및 돈분뇨를 호기성 발효과정을 거쳐 액비로 반출하고 있으며, 고액분리 후 슬러지는 퇴비사의 통풍식 및 교반식 발효조에서 발효시키고 후숙조에서 안정화 단계를 거쳐 퇴비로 반출하고 있다[그림 2-8]. 시설용량은 퇴비 10톤/일, 액비 110톤/일이며, 액비화 및 퇴비화 시설은 밀폐화 되어있고, 화학적 세정 방식을 이용한 악취방지 시설을 사용하고 있다. 부숙된 액비는 농가에 무상으로 살포하고 있으나 원활한 액비살포를 위해 저장조의 추가 설치가 필요한 실정이다.

[표 2-3] 가축분뇨 공동자원화시설 운영 현황

시설명	소재지	퇴비 (톤/일)	액비 (톤/일)	설치년도
도원 진생원 포크 영농조합	세종시 연서면	10	110	2009

출처: 축산환경관리원(2016), 가축분뇨 처리시설 및 관련기술 평가



[그림 2-8] 세종시 공동자원화시설 공정흐름도

제3절 가축분뇨 법령 및 정책방향

1. 가축분뇨법 체계

우리나라 가축분뇨법의 체계는 아래 [표 3-4]와 같으며, 크게 배출원, 측정·감시, 사전입지규제, 배출·처리시설 기준, 사후관리, 기타부칙으로 구분하여 정리하였다.

[표 3-4] 가축분뇨법 체계

분류	내용	분류	내용
배출원	배출시설 약 115,000개소 ※축산부문 : BOD배출부하량 (25.4%, 15년) ※축산악취 : 악취민원 중 약 28% 차지 ※양분(비료+가축분뇨)초과 : 2배 이상	배출·처리시설기준등	• 가축분뇨 및 퇴·액비 처리의무 규정(10조) - 유출방지, 액비살포기준 • 배출시설 설치허가신고 - 시설면적으로 허가대상, 신고대상 분류 • 배출시설 허가(신고)자에 대한 처리시설 설치의무(12조) • 처리시설 설치기준(12조의 2) • 정화시설의 방류수 수질기준(13조) • 퇴비액비화 기준(13조의 2) • 허가취소 - 허가취소, 사용중지, 폐쇄명령 • 공공처리시설 설치 등(24조) • 가축분뇨 재활용 신고(27조) • 가축분뇨관련영업(28조) • 전자인계관리시스템(37조의 2)
측정·감시	• 가축분뇨관리기본계획(5조) - 시도지사 등 - 환경부장관 승인 • 가축분뇨 실태조사(7조) - 국립환경과학원 위임 ① 양분관리실태 ② 오염현황 • 가축분뇨관리 및 처리 실적 보고(44조)	사후관리	• 배출·처리시설 관리 및 행위 규제(17조) - 처리시설 유입처리 및 부적정 처리 배출 규제 - 퇴비·액비화 기준 및 살포기준 준수 • 퇴비·액비의 이용 촉진계획 수립 및 품질관리(19, 20조) • 퇴비·액비의 적정한 살포 행정지도(21조) • 축산환경관리원의 설립·운영(38조의 2) - 농식품부 산하에 둠 - (목적)친환경 가축사육 환경 조성 및 가축분뇨 자원화의 효율적 수행
사전입지규제등	• 국가·지자체·축산업자의 책무(3조) - 가축분뇨 발생현황 파악 - 환경오염 방지 - 가축분뇨 자원화 노력 • 가축사육제한(8조) - 주거밀집지역 - 상수원보호구역 - 특별대책지역 - 수변구역 - 환경기준 초과 지역 등	기타부칙	<무허가 축사 적법화 관련> • 가축사육제한구역 특례(8조) - 조례제정 이전에 존재한 시설 적법화 가능 • 폐쇄명령 등 특례(9조) - 배출시설 규모별 행정처분(사용중지·폐쇄명령) 유예 기간 부여 ※1단계('18년 3월), 2단계('19년 3월), 소규모 미만('24년 3월)

출처: 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률[법률 제14476호, 2016.12.27. 개정, 2017.3.28. 시행]

2. 가축분뇨 관리제도 개선 추진현황²⁾

1) 사전예방 강화

- 사전 실태조사 : 가축분뇨 및 액비살포 등으로 인해 오염된 지역에 대한 실태조사 근거를 마련하고, 농식품부장관, 환경부장관(국립환경과학원장에게 권한 위임) 또는 시도지사가 양분, 수질 및 수생태계, 토양 등의 오염실태 및 생활환경을 사전에 조사한다.
- 수변구역 축사입지 제한 : 상수원 수질을 보전하기 위하여 4대강 수변구역을 지자체 조례로 가축사육을 제한한다.
 - ※ 가축사육제한구역 : 주거밀집지역, 상수원보호 지역, 특별대책지역, 수변구역
- 불법축사 위탁사육 금지 : 대형사료회사, 정육회사 등이 무허가·미신고 축사에 가축과 사료를 제공하여 위탁사육하는 행위를 금지한다.

2) 농가지원 확대 및 자원화 촉진

- 농협의 공공처리시설 설치[자원화시설³⁾] : 농협의 경종농가 유통망을 활용하여 생산된 자원을 효율적으로 보급한다.
- 축산환경관리원 설립 : 농식품부장관이 축산농가 지원을 위한 축산환경관리원 설립(2015.5)
 - ※ (주요기능) 정부의 축산농가 지원업무 대행, 가축분뇨 배출 및 처리시설 컨설팅, 퇴·액비 품질관리 및 유통 활성화, 교육·홍보 등
- 처리시설 설치 면제, 무허가 축사 적법화 : 처리시설 설치 외의 방법으로 가축분뇨를 적정하게 처리할 수 있는 경우 처리시설 설치를 면제(가금류 사육농가 지원)한다. 가축사육제한구역으로 지정되기 전에 입지한 축사에 한하여 입지(거리)제한의 적용을 법 시행 후 3년간 유예한다.

2) 2017 축산환경 전문컨설턴트 양성교육 기초과정 교육자료 중 '가축분뇨 법령 및 정책방향' 자료 인용

3) 퇴비·액비 또는 바이오에너지 시설

3) 관리체계화

- 퇴·액비화 기준 신설 : 퇴·액비화 기준에 적합하도록 하여 양질의 퇴·액비 생산을 유도하며, 비료관리법에 적용하는 경우에는 주거 인접지역에 액비살포를 허용하고 액비살포지 확보를 제외한다.

[표 3-5] 가축분뇨 퇴·액비화 기준

항목	퇴비화 기준	액비화 기준
부숙도	‘20.3.25 적용 부숙후기 또는 부숙완료 기준 (단, 1,500m ³ 미만 배출시설은 부숙중기 기준)	‘17.3.25 적용 부숙완료 기준 (단, 신고대상 배출시설은 ‘19.3.25적용)
함수율	70(55)% 이하	95(95)% 이상 (단, 젓소는 93% 이상)
구리	500(360)mg/kg 이하	70(50)mg/kg 이하
아연	1,200(900)mg/kg 이하	170(130)mg/kg 이하
염분	2.5(1.8)% 이하	2.0(1.8)% 이하

주: ()는 「비료관리법」에 따른 비료공정규격

출처: 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령(대통령령 제27932호, 2017.3.8. 일부개정, 2017.3.8. 시행)

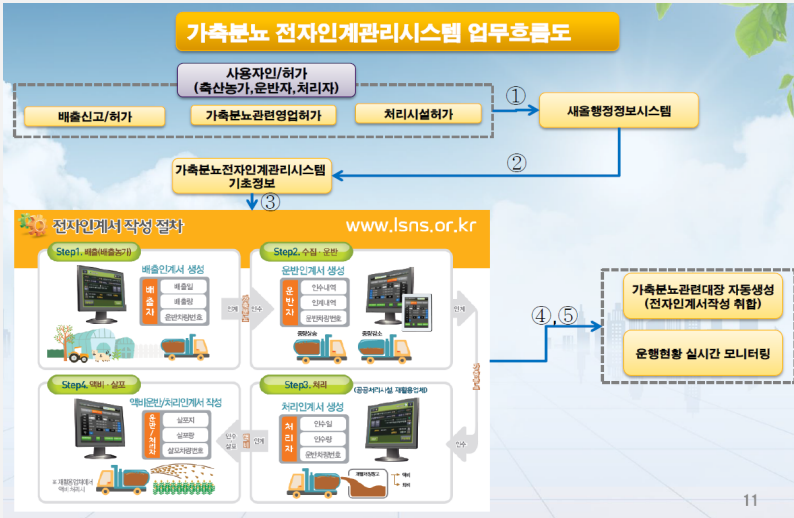
- 불법축사 사용중지 및 폐쇄명령 신설 : 무허가·미신고 시설에 대한 사용중지명령을 신설하였고, 사용중지명령 미이행 또는 가축사육제한구역 등 입지제한지역에 설치시 폐쇄명령을 신설하였다.
- ※ 유예기간(법 시행 후 3~4년) 설정 및 사용중지명령에 갈음하는 과징금(최대 1억 원) 신설
- 가축분뇨 처리방법 확대(고체연료화 신설) : 품질기준은 「폐기물관리법」에 따른 유기성오니의 기준과 비슷하게 정하였다. 공급대상시설은 시멘트소성로, 발전용량이 2MW이상의 발전시설, 석탄사용량이 2톤/hr 이상인 지역난방시설 등으로 제한한다.
- 퇴비·액비 부적정 보관 및 사용 금지 : 생활환경이나 공공수역이 오염되거나 오염될 우려가 있는 경우에는 배출·수집·운반·처리·살포자 또는 그 소유자·관리자에게 보관 방법 변경이나 수거 등 조치 명령을 내린다.

※ 살포자가 공공수역을 오염시켰을 경우 처벌근거 마련(5년 이하 징역 또는 5천만 원 이하 벌금)

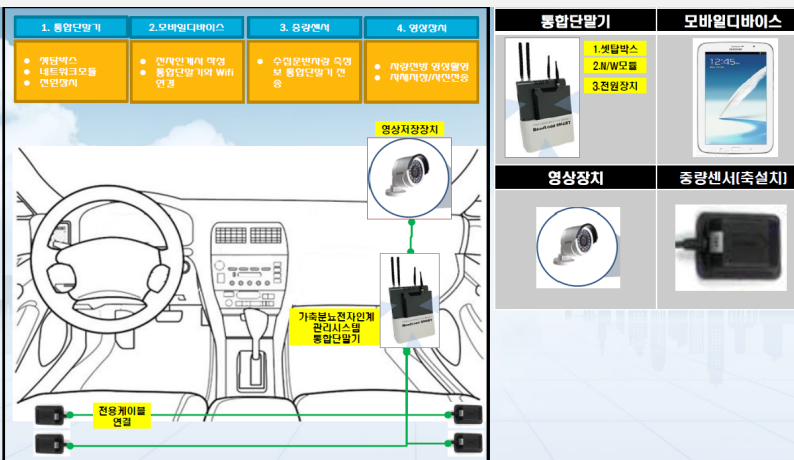
- 전자인계 관리제도 도입4) : (돼지)가축분뇨 및 액비의 배출부터 최종처리까지 전과정을 체계적으로 관리한다.

< 가축분뇨 전자인계관리시스템 >

○ 업무흐름도



○ 전자인계시스템 장비구성(새만금 유역 사례)



출처: 가축분뇨전자인계관리시스템 교육자료(<http://www.lsns.or.kr/cust/viewCustEdu.do>)

4) 2017년 1월부터 허가대상 배출시설(4,526개소) 의무화 적용(신고대상 배출시설은 '19년부터 적용)

3. 주요 가축분뇨 관리 정책 방향⁵⁾

1) 가축분뇨 공공처리시설 확충

환경부는 고체연료화를 포함하여 공공처리시설을 확대하고, 가축분뇨 고체연료화 활성화 등 처리기술 다양화를 위한 기반 조성을 추진하고 있다. 현재 바이오에너지화 공공처리시설은 3개소(양산, 홍천, 논산) 운영 중에 있으며, 8개소가 설치 중이다. 하지만 기술적 노하우 부족, 주민반대로 사업지연 사례가 발생되고 있으며, 표준사업지의 적정성 검토가 요구되고 있다. 또한 2015년에 가축분뇨 고체연료화 도입을 위한 관련 법령을 개정 및 고시 제정하였으나, 고체연료 사용처 제한, 안정적인 가축분뇨 확보 곤란, 대기오염 우려 등의 현실적 문제점을 가지고 있다. 이에 환경부는 바이오에너지화 공공처리시설 국고 우선 지원을 통한 확대 추진을 계획하고 있으며, 공공처리시설 적정사업비 산정을 위한 표준사업비 마련 연구와 처리기술(고체연료, 질소인 회수, 소각처리 등) 확대를 위한 연구를 추진 중에 있다.

2) 축산악취 관리 강화를 위한 제도개선 추진

축산악취 민원은 전체 민원 중 27.7%를 차지하고 있으며, 지속적으로 증가 추세(2013년 → 2015년, 66% 증가)에 있다. 2015년 기준 악취배출시설 민원(10,894건) 중 축산악취 민원은 약 40%를 차지하였다. 축산악취 특성 및 현장에 맞는 제도적 미흡사항을 해결하기 위하여 제도개선(안)을 마련하고, 관련법령인 악취방지법(산업시설·사후관리 중심, 악취측정 기준·방법 미흡) 및 가축분뇨법(시설기준)을 개정할 계획이다.

5) 2017 축산환경 전문컨설턴트 양성교육 기초과정 교육자료 중 '가축분뇨 법령 및 정책방향' 자료 인용

3) 무허가 축사 적법화 추진

축산업의 규모화·전업화 과정에서 제도개선이 따르지 않아 상당수 농가가(전체 축사 115,306 개소 중 4.4만 개소(38%) 무허가) 건축법 및 가축분뇨법에 따른 무허가 상태이다. 이에 범부처(농식품부, 환경부, 국토부) 합동 무허가 축사 개선대책을 마련하고, 가축분뇨법을 개정하여 무허가 축사에 대한 사용중지·폐쇄명령을 신설하였다. 또한 2018년 3월부터 축산업의 여건을 고려하여 규모에 따라 사용중지·폐쇄명령 적용을 유예하도록 하였고, 기타 건축법령 개정(건폐율 적용 완화 등) 및 가축분뇨법령 개정 등 제도개선을 병행 추진하였다. 추후 전국단위의 중앙상담반을 구성(120여 개소)하여 집중 운영하고, 중앙 TF 및 적법화 상담반을 운영할 계획이다.

4) 가축분뇨 정화시설의 방류수수질기준 단계적 강화

가축분뇨 공공처리시설의 방류수 수질기준은 엄격히 관리하고 있으나, 개별 축산농가 정화시설의 수질기준은 상대적으로 느슨하다(공공처리시설의 4배). 더욱이 공공처리시설에 유입하지 않은 대규모 축산농가의 가축사육 비중이 증가하고 있다(약 40% 차지).

[표 3-6] 현행 가축분뇨 정화시설의 방류수 수질기준

구분	항목	공공처리시설	축산농가의 개별처리시설	
			특정지역	기타지역
허가대상	BOD, SS (mg/L)	30 이하	40 이하	120 이하
배출시설	T-N/T-P (mg/L)	60/8 이하	120/40 이하	250/100 이하

출처: 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙(환경부령 제 685호, 2015.3.25. 일부개정, 2017.3.25. 시행)

개선안 마련을 위하여 기초조사, 전문가·이해관계자 의견수렴, 비용편익 분석 등을 통해 대규모 축산농가의 방류수 수질기준 강화 방안 연구를 추진 중이며, 정화시설의 방류수수질기준 개선(안) 마련 및 시행규칙을 개정할 계획이다.

5) 퇴비·액비 관리 강화

가축분뇨 처리방식 중 자원화(퇴비·액비) 처리 비중은 90%를 차지하고 있으나, 퇴비·액비의 부적정한 처리 및 과잉 살포 문제로 악취 민원 증가와 농지의 양분과잉 현상이 일어나고 있다. 또한, 액비 보관 및 관리 부실로 인한 유출 오염사고 발생이 빈번하다. 이에 제도적 관리기반 마련을 위하여 퇴·액비화 기준 신설 및 퇴·액비의 적정 처리 및 관리 의무 제도를 신설⁶⁾하였으며(2015년), 2017년 1월부터 가축분뇨 전자인계관리시스템을 시행하고 있다. 향후 관계부처·지자체 합동 지도점검(수시) 등을 통해 제도의 조기 정착을 유도하고, 이해관계자 토론회, 교육 및 컨설팅(축산환경관리원 활용)을 강화할 계획이다. 또한 퇴·액비 관리 및 운영실태 조사로 시설 및 운영 관리 강화 방안을 마련하고, 액비유통센터 관리 강화, 퇴·액비 품질 제고, 살포지 관리 체계 개선 등의 제도를 개선해나갈 계획이다.

6) 가축분뇨 실태조사

가축분뇨 실태조사의 목적은 농경지 내 양분, 가축분뇨 등으로 인한 환경오염실태를 체계적으로 조사하여 가축분뇨 관련 정책을 효율적으로 수립·추진하는 것이다. 조사내용은 축산 및 양분 현황 조사, 환경오염(하천, 호소, 지하수, 토양, 악취 등) 조사 등이며, 조사결과는 관련 정책(제도개선) 수립 추진, 필요시 가축사육제한구역 지정, 양분과잉지역에 대한 축사이전 및 철거 지원(농식품부) 등에 활용할 예정이다. 현재 안성시·홍성군의 1차 실태조사가 진행 중이며, 이 결과를 토대로 추가 정밀조사를 실시하고, 추가 실태조사 지역을 선정하여 중장기 운영 로드맵을 마련할 계획이다.

6) 생활환경이나 공공수역을 오염시키거나 우려가 있는 행위 금지 및 방지에 필요한 조치명령

7) 양분관리제 도입 추진

양분관리제 도입방안 마련 및 기반조성을 위해 환경부·농식품부 공동 연구가 추진되었으며(2014년~2016년), 양분관리제의 단계적 도입 방향을 ‘제 2차 물환경관리 기본계획’에 반영하였다. 현재 양분관리제 현장 적용을 위한 시범사업이 추진 중(2017년, 논산·김해·군산)이며, 양분수지 분석, 양분수지 개선 목표 수립 및 삭감수단 발굴·적용 등에 초점을 맞추고 있다. 추후 지역별 양분수지를 고려하여 가축분뇨 공공(공동)처리시설을 확충·지원하고, 시범사업을 확대 추진할 계획이다. 또한 양분관리제 제도화 방안 마련, 이해관계자 의견수렴 및 법제화를 추진할 계획이다.

제3장 가축분뇨 활용방안

제1절 가축분뇨 에너지화 기술

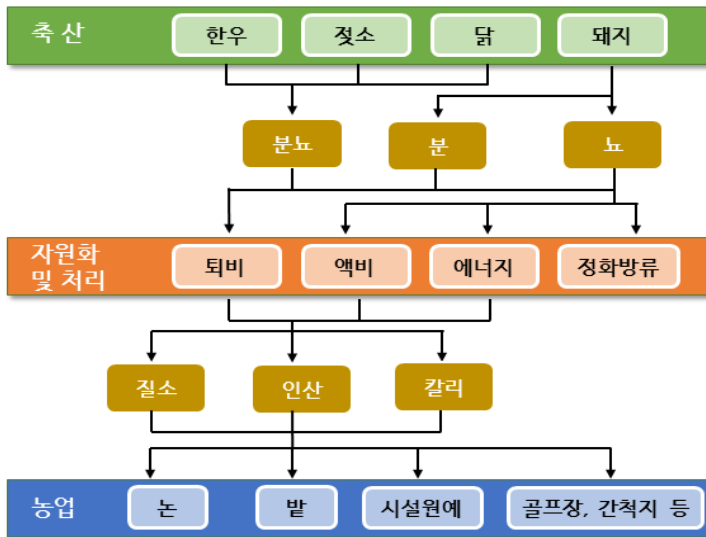
제2절 국내외 가축분뇨 에너지화 현황 및 사례

제3절 세종시 가축분뇨 활용방안

제3장 가축분뇨 활용방안

가축분뇨 처리방법은 퇴비화, 액비화 및 에너지화하는 자원화처리와 정화처리로 구분할 수 있다[그림 3-1]. 자원화처리는 발생된 가축분뇨를 고액분리하거나 분뇨가 혼합된 상태를 퇴·액비화하여 농경지에 비료로 살포하거나 혐기소화 과정을 통해 메탄을 회수하는 에너지화 방법을 말한다. 정화처리는 분뇨혼합 상태 혹은 고액분리한 액상 분뇨를 방류수 수질기준내로 정화 처리하여 수계로 방류하는 방법이다.

본 장에서는 가축분뇨의 처리방법 중 에너지화를 위한 기술적 방안으로 바이오가스화 및 고체연료화에 대한 원리, 기술동향, 사례 등을 검토하고, 세종시의 가축분뇨 발생특성을 고려한 가축분뇨 활용방안(에너지화 방안)에 대해 제시하였다.



[그림 3-1] 가축분뇨 처리 개요

자료: 농림축산식품부, 농업·농촌 70년(2015)

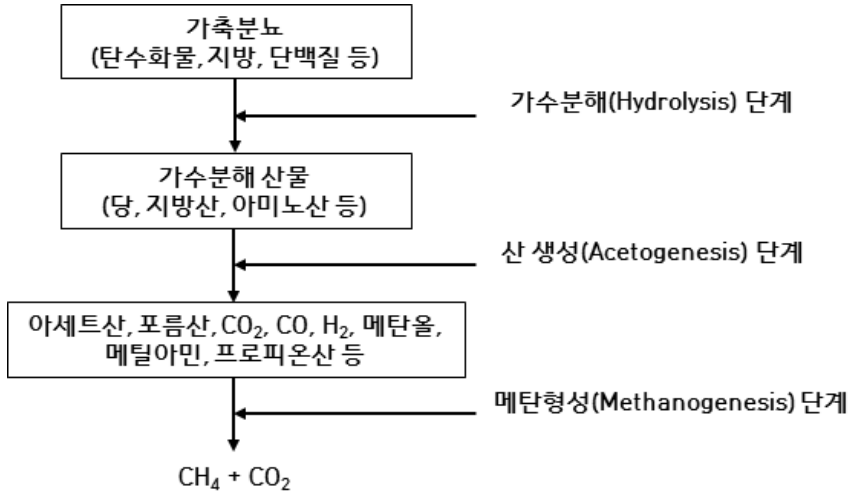
제1절 가축분뇨 에너지화 기술

1. 가축분뇨 바이오가스화

1) 혐기소화 원리 및 공정

바이오가스는 혐기성 조건하에서 유기물질이 분해되며 생성되는 혼합 가스이며, 주로 메탄(50~75%)과 이산화탄소(25~50%)로 구성되어 있고 미량의 수소, 질소, 산소 등이 포함되어 있다. 메탄 생성과정은 다음 [그림 3-2]와 같다.

- ① 가수분해 단계 : 가축분뇨 등 고분자 유기물질에 포함된 복잡한 결합의 탄수화물, 지방, 단백질 등이 가수분해균에 의해 단당류, 지방산, 아미노산 등과 같은 간단한 유기 성분으로 바뀐다. 이 과정은 다른 단계에 비해 긴 반응시간을 필요로 하여 혐기성 소화과정의 율속단계로 알려져 있다.
- ② 산 생성 단계 : 가수분해를 통해 생성된 중간 생성물은 산 생성 박테리아에 의해 단사슬 지방산인 프로피온산, 뷰티르산 등으로 분해되고 소량의 젖산과 알코올이 함께 생성된다. 생성된 물질들을 이용하여 초산 생성 박테리아에 의해 초산이 형성되며 함께 수소와 이산화탄소로 변환된다.
- ③ 메탄 생성 단계 : 메탄 생성 박테리아에 의해 수소와 이산화탄소가 반응하여 메탄이 생성된다.



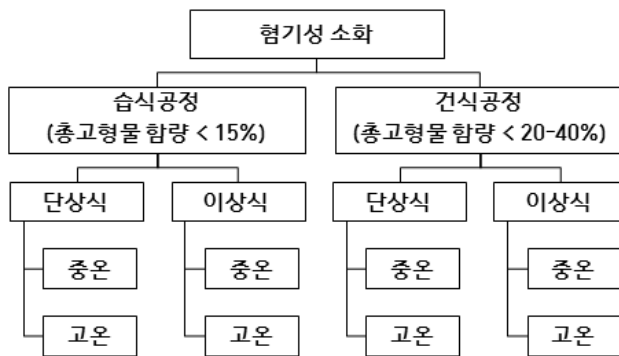
[그림 3-2] 혐기소화를 통한 바이오가스 생성 단계

혐기소화 공정은 수분함량에 따라 습식공정과 건식공정으로 분류되며 세부적으로는 소화방법(단상식, 이상식) 및 소화온도(중온, 고온)에 따라 분류된다[그림 3-3].

일반적으로 소화조 내 가축분뇨의 펄핑 가능여부를 기준으로 하여 건조 바이오매스 함량이 약 15% 미만은 습식공정, 20~40%는 건식공정으로 분류한다. 습식공정의 경우 수분함량이 높아 운전성이 좋고 연속적인 운전에도 기계적 문제가 발생하지 않지만 건식공정에 비해 폐수가 다량 발생하며 적정 온도를 유지하기 위한 에너지 소비량이 크다는 단점이 있다. 건식공정은 유입 바이오매스에 물을 가하는 방식으로 바이오매스의 함량을 조절하는데 용이하고 고부하 조건에서 운전하기 때문에 대량의 메탄생성이 가능하다는 장점이 있다.

단상식 소화조의 경우 고부하 조건에서 운전 시 가수분해/산 생성 반응이 메탄생성반응보다 빠르게 진행되어, 유기산 축적으로 인한 pH저하로 메탄생성균의 생장이 저해되는 문제가 있다. 이는 가수분해와 산 형성을 위한 박테리아의 최적 pH는 5.0~6.2인데 반해 메탄 생성에 관여하는 박테리아의 최적 pH는 6.5~8.0이기 때문이다. 이러한 문제를 보완하기 위해 단계별 반응조를 구분하여 구성한 것이 이상식 소화조 시스템이다.

바이오가스화 공정의 대부분은 가스 생성률 및 공정안정성이 높고, 메탄형성 박테리아가 가장 잘 성장하는 온도(37~42℃)인 중온소화법을 적용하고 있다. 고온 소화의 경우 높은 온도(50~60℃)로 인해 병원균이 사멸되는 장점이 있으나, 고온에서 활동하는 메탄생성 박테리아 균종이 적어 중온소화법에 비해 가스 생성률 및 공정 안정성이 낮은 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고자 고온과 중온 소화조를 직렬로 배열하는 연구가 진행되고 있으며, 이 공정은 재래식 소화공정에 비해 유기물 감량과 메탄 생성률이 높고 병원균 또한 효과적으로 줄일 수 있는 장점이 있다(국립환경과학원, 2016).



[그림 3-3] 혐기성 소화 공정 분류

혐기성 소화를 통한 바이오가스화 기술의 주요 인자는 반응조 내 체류 시간, pH의 제어, 온도 제어, 독성물질 등이 있으며, 그 특징은 [표 3-1]과 같다. 혐기소화 공정은 호기성 공정에 비해 안정화되는데 많은 시간이 소요되며, 특히 가축분뇨를 이용한 혐기소화 공정은 pH 저하와 고농도 암모니아성 질소에 의한 독성으로 인해 정상운전을 유지하기가 매우 어려워 고난도 운전기술이 요구된다.

[표 3-1] 바이오가스화 기술의 주요 인자

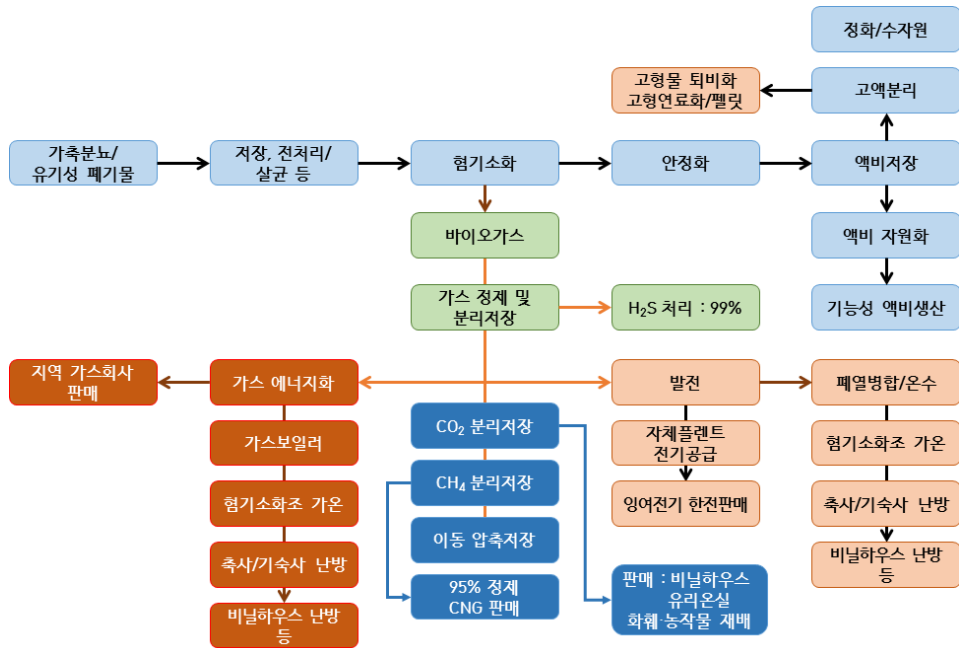
주요 인자	특징
반응조 내 체류시간	<ul style="list-style-type: none"> • 혐기성 시스템 : 호기성 공정에서 보다 세포합성 위한 에너지 낮게 유지 • 수일간의 성장시간 필요 • 공정의 안정적 처리효율 획득 위해 많은 시간 필요 • 다량의 미생물 유실, 독성물질 유입은 공정 실패의 주요 원인
pH의 제어	<ul style="list-style-type: none"> • 메탄생성균의 최적 pH : 6.5 ~ 7.6 • 중간산물인 유기산의 축적 → pH 저하 → 메탄균 활성 저하 • 적정 pH 유지 위해 다량의 완충제(buffer) 공급 필요
온도의 제어	<ul style="list-style-type: none"> • 운전 온도 : 35℃ 및 55℃(에너지 과소비 문제로 주로 중온공정 사용) • 온도 저하 : 물질대사율의 급격한 저하 • 메탄생성균 대사율에 크게 영향 미침
독성물질에 대한 적응 능력	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 산업폐수에 혐기성 공정 적용 시 독성 검증 필요 • 혐기성 공정 : 독성물질에 상대적으로 강함 <ul style="list-style-type: none"> - 포름알데히드, 클로로폼, 트리클로로에틸렌, 시안화물, 사염화탄소 : 분해가능 • 오랜 시간 동안 저농도의 독성물질에 노출 시 정상적인 물질대사 가능 <ul style="list-style-type: none"> - 순응(acclimation) : 적절한 제어와 모니터링 필수

출처: 축산환경관리원, 2017년 축산환경 전문컨설턴트 교육 내부자료

2) 가축분뇨 바이오가스 에너지화 공정

가축분뇨를 활용한 바이오가스화 공정은 가축분뇨의 처리와 동시에 유용한 에너지원인 메탄을 회수함으로써 온실가스의 저감과 자원순환(퇴·액비화)에 기여할 수 있다[그림 3-4]. 바이오가스를 연료로 전기를 생산하는 시설의 온실가스 배출량은 9.16gCO₂/MJ로 국내 발전부문 배출량 평균인 55gCO₂/MJ 대비 83%의 저감효과가 있으며, 수송용 연료로 사용되는 경우 화석연료에 비해 75~95%의 저감효과가 있는 것으로 보고되었다(소진영, 2012).

바이오가스 1m³당 열량은 약 5,100kcal(메탄 저위발열량 8,500kcal/m³ × 바이오가스 메탄함유량 60%)로 도시가스 열량 (10,100kcal/m³)의 절반정도 수준이지만 친환경 가연가스로 충분한 활용가치가 있다. 바이오가스의 효율성을 향상시키고 배기가스로 인한 대기오염 방지 및 시설 장비의 부식을 막기 위해 가스 중 포함되어 있는 황화수소를 고효율(10ppm 이하)로 정제해야한다.

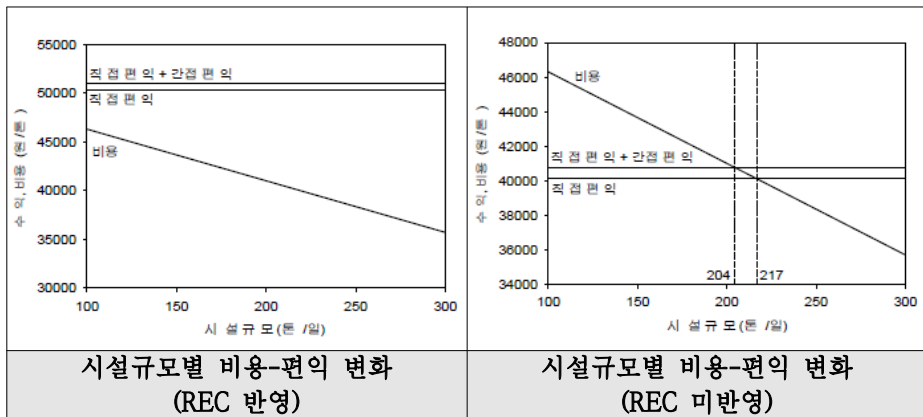


[그림 3-4] 가축분뇨 에너지화 공정 및 활용 개념도

바이오가스를 생산하고 남은 소화액은 성분이 비교적 안정되어 있어 균 일한 품질의 액비를 생산함으로써 비료가치를 향상시킬 수 있으며, 농지에 액비가 과다하게 살포되는 것을 방지할 수 있다. 또한 혐기성 소화를 거치는 바이오가스화 공정의 특성상 가축분뇨의 감량효과가 탁월하여 액비생산의 가장 큰 문제인 저장 공간을 확보하는데 효과적이다. 더불어 바이오가스 생산 공정은 악취발생이 적어 인근 주민의 악취로 인한 피해를 최소화할 수 있으며, 민원발생을 줄일 수 있다.

하지만 가축분뇨 내 존재하는 미량의 중금속은 메탄 생성과정과 바이오 가스화 부산물을 액비로서 사용하는데 제한적 요인으로 작용할 수 있다. 구리 화합물의 경우 항균작용을 하여 낮은 농도에서도 메탄 생성을 저하시킬 수 있다. 또한 가축분뇨 내 미량의 중금속이 처리되지 않고 액비로 농지에 살포될 경우 식물의 성장에 지장을 초래하고, 나아가 중금속이 포함된 동식물을 섭취함으로써 인체에 피해를 끼칠 우려가 있다. 더욱이 지하수나 인근 하천으로 유입되어 오염을 유발시킬 가능성이 매우 높다. 이는 바이오 가스공정 연계처리로 생산하는 액비뿐만 아니라 대부분의 액비에 해당되는 문제이기도 하다.

또한 바이오가스 플랜트는 초기 투자비용이 크고 수입은 가축분뇨의 수거·처리, 전력의 판매, 배출권 거래 등으로 이루어져있어 유기성폐기물의 원활한 공급이 중요하므로 플랜트 설치 시 수송거리에 대한 고려와 면밀한 에너지 잠재량 평가가 필요하다. 시설규모에 따른 비용-편익은 100톤/일 이상의 규모에서 수익성이 있는 것으로 평가되고 있으며, REC⁷⁾ 미반영시 217톤/일 이상에서 수익이 발생하는 것으로 평가되고 있다(이정임 등, 2016).

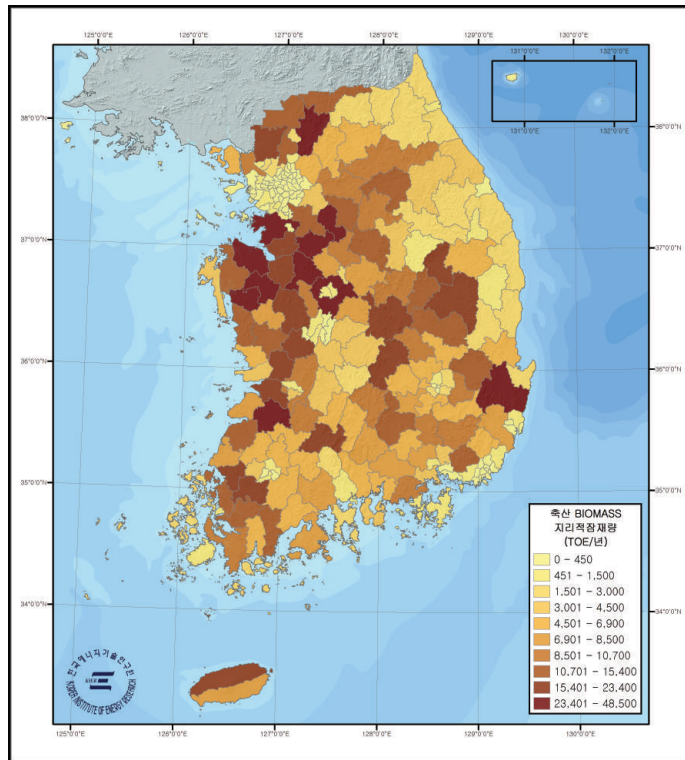


[그림 3-5] 바이오가스 플랜트의 시설규모별 비용-편익 변화

7) 발전사업자가 신.재생에너지를 이용하는 경우 주어지는 인센티브

3) 가축분뇨 바이오가스화 가용 에너지 잠재량 추정

전국 가축분뇨 바이오매스의 가용 에너지 잠재량은 경기남부와 충청북부가 가장 높으며[그림 2-9]8), 가축 종류별 에너지 밀도는 우분뇨가 63%, 돈분뇨가 23%, 계분뇨가 14% 정도를 차지하고 있다. 가축분뇨의 바이오가스화는 지역여건에 따라 경제성이 달라지므로 지역적 상황에 적합한 생산 방식과 설비를 도입할 필요가 있다.



[그림 3-6] 전국 가축분뇨 에너지 잠재량

8) 신재생에너지 데이터센터 자원지도시스템
(<http://kredc.kier.re.kr/eBookFile/biomass/biomass.HTML>)

2010년 기준 전국의 가축분뇨 가용 에너지 잠재량은 15,963,761Gcal/년 이었으며, 그 중 세종시(연기군)의 가용 에너지 잠재량은 121,058Gal/년으로 추정되었다. 2016년 기준 세종시의 축종별 사육두수에 기초한 가축분뇨 에너지 잠재량을 [그림 3-7]에 의거하여 추정해 본 결과, 총 가용 에너지 잠재량은 201,484Gcal/년 이었다.

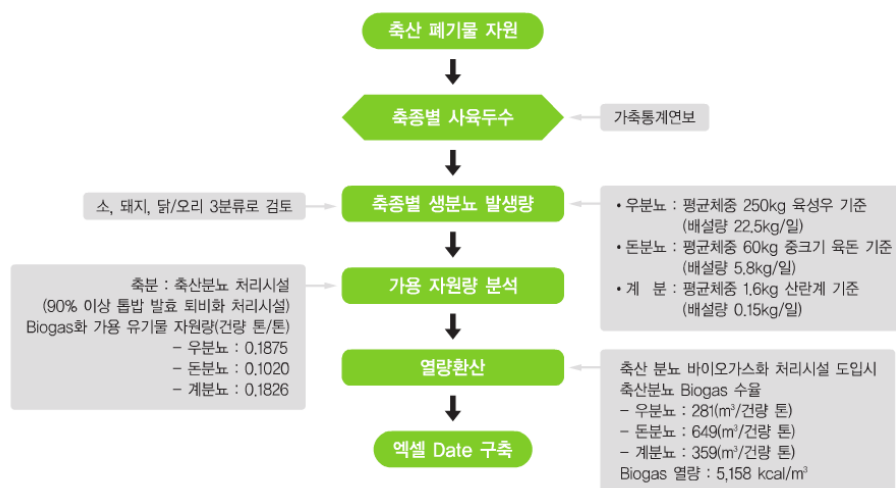
[표 3-2] 가축분뇨 바이오가스화 가용 에너지 잠재량 추정

(단위: Gcal/년)

구분		우분	계분	돈분	총 가용 에너지 잠재량
2010년 기준	전국	5,102,590	3,259,338	7,601,835	15,963,761
	연기군 (세종시)	32,973	33,137	54,947	121,057
2016년 기준	세종시	55,979	80,550	64,955	201,484

주: 2016년 기준은 가축분뇨 바이오가스화 에너지 잠재량 추정방법[그림 3-7]에 의거하여 저자 계산

출처: 신재생에너지 데이터센터(<http://kredc.kier.re.kr/kier/>)



[그림 3-7] 가축분뇨 바이오가스화 에너지 잠재량 추정방법

2015년 기준 세종시 에너지원별 이용량은 569천 TOE이며, 그중 신재생 및 기타에너지원은 54천 TOE로 9.5%정도를 차지하고 있다. 가축분뇨의 바이오가스화 가용 에너지 잠재량(201,484Gcal/년)을 석유환산톤(TOE)로 환산해보면 약 20천 TOE 정도이며, 세종시에서 발생하는 가축분뇨를 에너지화할 경우 신재생에너지 이용비율을 약 13%로 확대할 수 있다.

[표 3-3] 2015년 세종시 에너지원별 이용현황

(단위: 천TOE,%)

구분	합계	석탄	석유	도시가스	전력	열에너지	신재생 및 기타
전국	218,608	34,921	107,322	22,115	41,594	1,559	11,096
세종시	569	14	172	76	227	25	54
전국대비 비율(%)	0.26	0.04	0.16	0.34	0.55	1.60	0.49

주: TOE(Ton of Oil Equivalent) : 석유환산톤(모든 에너지원의 발열량을 석유의 발열량으로 환산한 것)

주: 열에너지는 한국지역난방공사, 서울시도시개발공사, GS파워(주)의 공급량 기준

출처: 에너지경제연구원, 2016 지역에너지통계연보

4) 가축분뇨 바이오가스화 경제적 효과

가축분뇨의 바이오에너지화 시설 1개소 당 경제적 효과는 아래와 같이 산출되었다. 자료는 2009년 농림부의 가축분뇨 바이오에너지화 실행계획에서 발췌한 것이며, 시설규모는 100톤/일 기준으로 계산된 것이다. 결과보고에 따르면, 가축분뇨의 바이오가스화로 인해 시설 1개소 당 연간 1,060백만원의 경제적 효과가 있었으며, 78명의 일자리 창출효과가 있는 것으로 분석되었다.

[표 3-4] 가축분뇨 바이오가스화 경제적 효과

계	시설 1개소(100톤/일) 당 경제적 효과(연간)				일 자리 창출효과
	처리비용 절감효과	화학비료 대체효과	원유대체 효과	온실가스 감축 효과	
1,060백만 원	365백만 원 (36,500톤/년)	386백만 원	249백만 원 (3,980배럴/년)	60백만 원 (1,862톤 CO ₂ /년)	78명 (5명)

출처: 농림부(2009), 가축분뇨 바이오에너지화 실행계획

< 바이오에너지화 시설(1일 100톤 처리) 1개소 당 경제적 효과 >

○ 산출근거

i) 1개소 당 처리비용 절감효과 : 365백만 원/년 (①-②)

- ① 해양투기 : 100톤/일 × 365일/년 × 25,000원/톤 = 912.5백만원/년
- ② 일반처리 : 100톤/일 × 365일/년 × 15,000원/톤 = 547.5백만원/년
- ※ 가축분뇨 해양배출 비용 : 20,000원~35,000원/톤 (적용: 25,000원/톤)

ii) 원유대체 효과 : 249백만 원/개소(100톤 처리)

- 원유량 : $6.121 \times 10^9 \text{kcal/년} \div 9,675 \text{kcal/L} \div 158.9 \text{L/배럴} = 3,980 \text{배럴/년}$
- 석유환산(toe) : $6.121 \times 10^9 \text{kcal/년} \div 10^7 \text{kcal/toe} = 612.1 \text{ toe/년}$
- 원유대체효과 : $3,980 \text{배럴/년} \times \$56.6/\text{배럴} \times 1,105 \text{원}/\$ = 249 \text{백만 원/년}$

< 기초자료 >

- 원유환산 1ton(1toe) = $10^7 \text{kcal} = 1.16 \text{kL} = 7.33 \text{배럴}$, 1배럴 = 158.9L
- 원유 발열량 : $10,750 \text{kcal/kg} \times 0.9 = 9,675 \text{kcal/L}$
- 원유가 : \$56.6/배럴('04~' 07 평균), 환율 : 1,105원/\$ ('08년 평균: 외환은행)
- 가축분뇨 톤당 바이오가스 발생량 : 30m^3 (이중 메탄함량은 65%)
- 메탄 발열량 : $8,600 \text{kcal/m}^3$
- 바이오가스 발생량 : $100 \text{톤/일} \times 30 \text{m}^3/\text{톤} = 3,000 \text{m}^3/\text{년}$ (메탄: $1,950 \text{m}^3/\text{일}$)
- 가스 발열량: $1,950 \text{m}^3/\text{일} \times 8,600 \text{kcal/m}^3 \times 365 \text{일/년} = 6.121 \times 10^9 \text{kcal/년}$

iii) 온실가스 감축효과 : 60백만 원/개소

- 이산화탄소량 : $507.4 \text{ C/년} \times (44/12) = 1,862.2 \text{톤CO}_2/\text{년}$
- 탄소배출권 : $1,862.2 \text{톤CO}_2/\text{년} \times \pounds 20/\text{톤CO}_2 \times 1,610 \text{원}/\pounds = 60 \text{백만 원/년}$

< 기초자료 > 이산화탄소 감축량(발열량 기준 환산)

- 바이오가스의 toe(toe/년) = 바이오가스 발열량/ 10^7kcal (원유 순발열량)
 - $6.121 \times 10^9 \text{kcal/년} \div 10^7 \text{kcal/toe} = 612.1 \text{ toe/년}$
 - ※ toe : 석유환산톤(tonnage of oil equivalent)
- 총탄소량(TC) = 바이오가스 toe/년 × 0.829(IPCC 원유 탄소배출계수)
 - $612.1 \text{ toe/년} \times 0.829 \text{톤C/toe} = 507.4 \text{톤 C/년}$
- 이산화탄소(CO₂)량 = TC × (이산화탄소 분자량/탄소원자량)
- 탄소배출권(CERs) 가격 : $\pounds 20/\text{CO}_2$, 환율: 1,610원/ \pounds ('08년 평균 : 외환은행)

iv) 일자리 창출효과

- 바이오가스시설(70억 원) : **78명**(시설건설 73, 시설운영 5)
- 공동자원화시설(30억 원) : **37명**(시설건설 32, 시설운영 5)
- ※ 기반시설 투입비용 10억 원당 : 10.5명(취업유발계수 : '05년 한국은행 산업 연관지표 발표자료)

v) 화학비료 대체효과(1개소 기준) : 386백만원

- 돈분 슬러리 질소함량 : 0.47% = 4.7kgN/톤
 - 가축분뇨 질소량 : 100톤/일 × 4.7kgN/톤 × 365일/년 = 171,550kgN/년
 - 호 과 : 171,550kgN/년 ÷ 9.2kg/포 × 20,700원/포(요소) = 386백만원/년
- < 기초자료 >
- 화학비료(요소비료 20kg/포, 질소함량 46%)
 - 질소함량 : 20kg/포 × 0.46 = 9.2kg/포
 - 요소비료 가격: 20,700원/포 (농협판매가격 : '08.6.18이전 12,400원, '08.6.18 이후 20,700원, '09.1.19 14,300원)
- ※ 복합비료(21-17-17) : ('08.6.이전) 12,950원/포 → ('08.7.~08.12.) 22,000원 /포 → ('09.1.) 14,300원/포

출처: 농림부(2009), 가축분뇨 바이오에너지화 실행계획

5) 가축분뇨 바이오가스화 제도 및 정책

2009년 폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획에 국내 신재생에너지 보급을 위해 바이오가스화 시설의 설치를 추진하였다. 2012년 RPS⁹⁾제도를 시행에 따라 일정규모(500MW) 이상의 발전설비(신재생에너지 설비 제외)를 보유한 발전사업자(공급의무자)에게 총 발전량의 일정 비율 이상을 신·재생에너지를 이용하여 공급토록 의무화하고 있다.

RPS제도 도입 이후 바이오·폐기물 활용 발전량이 전체의 56.8%를 차지하고 있으며(한국에너지공단, 2015), 바이오가스의 상당량은 발전용으로 활용되고 있다(KEI, 2014).

2015년 7월 RFS¹⁰⁾제도 도입으로 경유에 한해 바이오연료를 일정 비율 혼합하여 공급하는 것을 의무화하였으며, 2018년부터 RFS 비율을 3.0%로 상향하고 바이오에탄올과 바이오가스의 혼합의무 도입도 추진할 계획이다. 바이오가스의 경우 국내 인프라 구축 상황에 따라 2017년 도입을 검토할 예정이다(KEI, 2014).

9) 신재생에너지 공급의무화 제도(Renewable Energy Portfolio Standard)

10) 신재생연료 의무 혼합제도(RFS, Renewable Fuel Standard)란 수송연료에 바이오 디젤, 바이오에탄올, 바이오가스 등의 신재생연료를 일정 비율 이상 의무적으로 혼합하도록 하는 제도

[표 3-5] 신재생 연료 혼합의무량 및 도입 전망

구분	신재생 연료		
	바이오디젤(BD)	바이오에탄올	바이오가스
혼합대상	경유(디젤)	휘발유	천연가스
생산원료	대두, 유채, 폐식용유	사료용 옥수수 등 당질, 곡류 등의 전분질	유기성폐기물, 에너지 작물
의무혼합비율	2.5%	10% 이내 예상	미정
적용년도	2015.7.31	미정	미정
적용업종	국내 정유사(SK, GS칼텍스, 현대오일, S오일)		도시가스사업자(소매업) 한국가스공사(도매업)

출처: 2017 축산환경 전문컨설턴트 양성교육 기초과정 교육자료 중 ‘바이오가스화 처리’ 자료 인용

[표 3-6] 가축분뇨 바이오가스화 관련 법령

분류	내용	분류	내용
정의	<ul style="list-style-type: none"> • 가축분뇨법 - 시설의 정의(제2조7,8,9항) • 신재생에너지법 - 재생에너지 기준(제2조2항) • 도시가스사업법(제2조2,5항) 	설치기준	<ul style="list-style-type: none"> • 가축분뇨법 - 처리시설 설치의무 및 설치기준(제12조, 제12조2) - 처리시설의 설계·시공(제16조) - 공공처리시설의 설치(제24조) • 도시가스사업법 - 사업의 허가(제3조)
사후관리	<ul style="list-style-type: none"> • 가축분뇨법 - 가축분뇨 통합관리(제23조) - 공공처리시설운영(제25조) - 전자인계관리시스템(제37조2) - 담당자 교육(제38조) • 신재생에너지법 - 발전가격고시 및 지원(제17조) - 신재생에너지 혼합의무(제24조2) - 이용 및 보급 촉진, 사업화(제27조, 28조) • 도시가스사업법(제2조2,5항) - 가스 공급계획 작성(제18조) - 가스공급시설 이용(제39조6) 	측정 및 감시	<ul style="list-style-type: none"> • 가축분뇨법 - 처리시설의 관리 및 허가취소(제17조, 18조) - 가축분뇨 관련 영업 허가취소(제32조) - 처리시설 및 처리기술 평가(제43조) - 가축분뇨관리 및 처리 실적 보고(제44조) • 신재생에너지법 - 신재생에너지 품질검사(제12조12) • 도시가스사업법 - 바이오가스 처분제한(제8조3) - 가스사업자 허가취소(제9조) - 도시가스 공급시 품질검사(제25조2)

출처: 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률[법률 제14476호, 2016.12.27. 개정, 2017.3.28. 시행], 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법[법률 제14670호, 2017.3.21. 개정, 2017.9.22. 시행], 도시가스사업법[법률 제14310호], 2016.12.2. 개정, 2017.6.3. 시행]

가축분뇨 바이오가스화 관련 추진과제로는 공공처리시설의 자원화/에너지화 시설 확충과 바이오가스의 대체 천연가스 활용 및 친환경에너지타운 조성 등이 있다(표 3-7 참조).

[표 3-7] 가축분뇨 바이오가스화 관련 추진과제

관련부처	세부 추진과제
환경부, 농림수산식품부 (바이오가스 생산)	<ul style="list-style-type: none"> • 정화처리에서 자원화시설 중심으로 전환 • 가축분뇨 공동 자원화/에너지화 시설 등 확충 <ul style="list-style-type: none"> - 2020년까지 돈분뇨 발생량의 50%이상 처리 - 2020년까지 공동자원화 150개소, 에너지화시설 35개소 • 환경순환형 가축분뇨 공공처리시설 확충 <ul style="list-style-type: none"> - 한국환경공단이 기술지원 - 2016년 기준 울진군, 서산시, 제주시, 금산군 등 4개소 사업 진행 중 • 설치운영주체를 지자체 중심으로 수의성을 보장하는 지역능협 중심으로 단계적 전환 <ul style="list-style-type: none"> - 2016년 기준 영주, 천안 농축협 등 사업 진행 중
환경부, 지식경제부 (바이오가스 활용)	<ul style="list-style-type: none"> • 바이오가스의 대체천연가스(자동차연료, 도시가스) 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 도시가스내 바이오가스(바이오메탄) 포함(2009. 3) - 지식경제부 - 바이오가스 자동차연료 제조기준 마련(2011. 3) - 환경부 - 도시가스 품질기준 마련(2012.2) - 지식경제부 • 친환경 에너지타운 조성 <ul style="list-style-type: none"> - 2017년 하반기 중 5개소(아산·청주·경주·영천·양산시) 완공 - 3개소(인제, 음성, 제주) 착공(6월), 5개소 추가선정

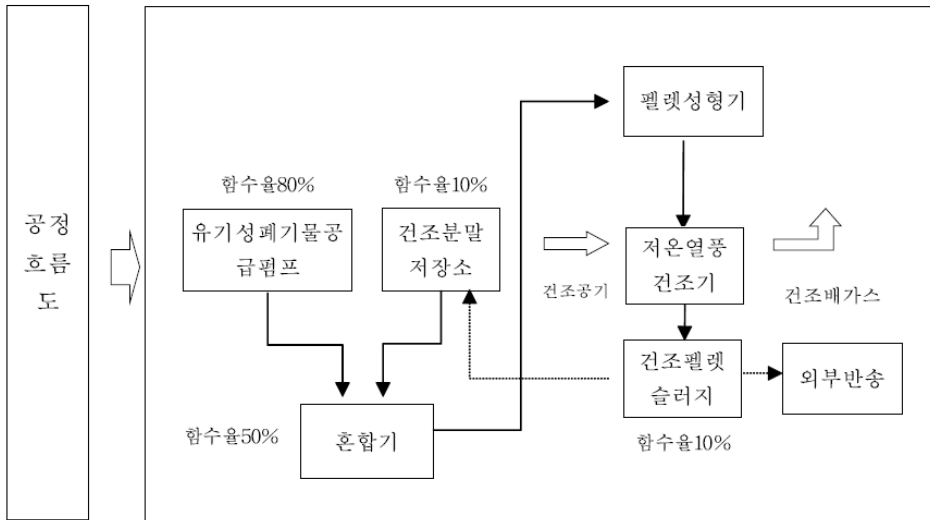
출처: 2017 축산환경 전문컨설턴트 양성교육 기초과정 교육자료 중 ‘바이오가스화 처리’ 자료 인용

2. 가축분뇨 고체연료화

1) 고체연료화 공정

가축분뇨 고체연료화 기술은 가축분뇨의 수분을 제거한 후 고체연료로 재이용하는 방법으로 국내 운영중인 고체연료생산시설은 대부분 목질계 원료가 대부분이며, 최근에 하수슬러지 및 축산분뇨 슬러지를 고체연료로 생산하는 연구가 진행되었다.

일반적인 고체연료화 공정 흐름은 수거된 유기성 폐기물을 적정한 함수율을 가지도록 건조 혹은 건조분말과 혼합한 후, 필요에 의해 펠렛 성형을 거쳐 고체연료기준에 적합한 함수율까지 재건조하여 제조한다.

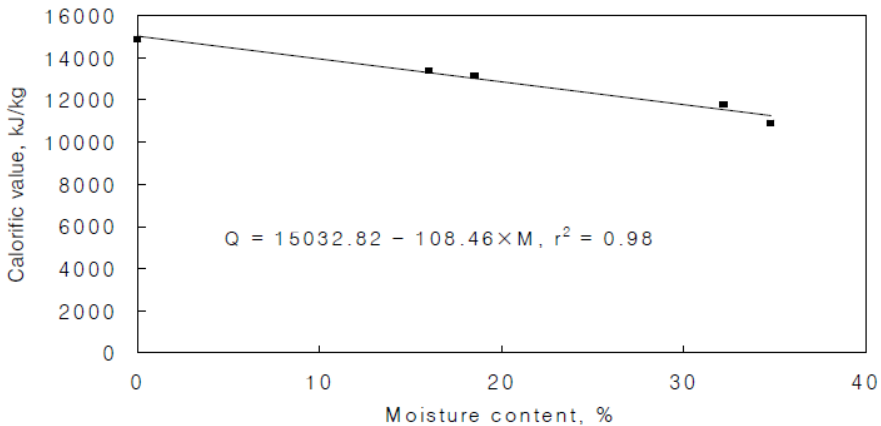


[그림 3-8] 고체연료 공정 흐름도

출처: 수도권매립지관광공사(2015)

고체연료는 원료의 초기 함수율에 따라 건조를 위한 에너지 및 약품 등에 의해 경제성 편차가 크다. 과거 연구결과에 따르면 우분 고체연료의 함수율에 따른 발열량을 분석한 결과, 함수율이 0%일 때 약 14,906kJ/kg이었

으며, 35%일 때는 약 10,918kJ/kg으로 감소하는 것으로 나타났다(이귀현, 2010). 또한 함수율이 높은 경우 보관과정에서 높은 유기물질 함량으로 인해 부패 가능성이 있어 관리에 주의가 필요하다.



[그림 3-9] 수분함량에 따른 고체연료 열량 변화

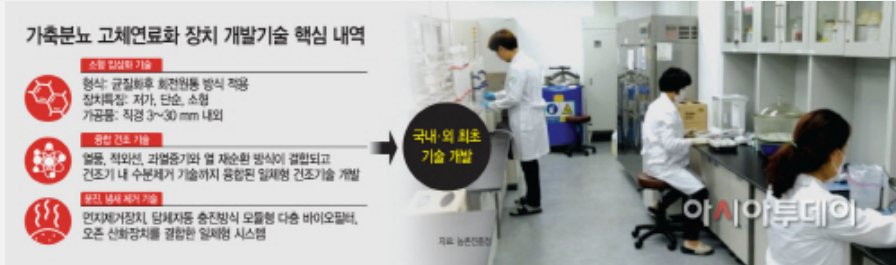
자료: 이귀현(2010) 연구에서 발췌

고체연료의 실용화를 위해서는 고액 분리기술 확보 및 분리효율의 개선이 중요하며, 고체연료를 사용할 경우 발생하는 열량은 최종 생산물의 함수율과 밀접한 연관이 있기 때문에 건조기술의 확보 또한 필요하다. 현재 원료의 건조기술로 열적건조와 유중건조¹¹⁾ 등의 연구가 진행되고 있다. 유중건조를 통한 고형연료 생산기술 연구 중 이 등(2017)의 연구에 따르면, 축산분뇨슬러지 30g을 130℃에서 식물성 기름으로 25분간 처리했을 때 가장 효과적이었으며, 이때 고체연료의 열량은 5,211kcal/kg 정도로 목재 고형연료에 비해 높다고 보고하였다. 최근 농촌진흥청 국립축산과학원에서 축사에서 배출된 축분 상태와 무관하게 가축분뇨를 고체연료로 가공하는 장치와 건조시간을 단축하고 잔열을 최대한 활용하는 복합회전형 건조 장치를 개발하였으며, 건조 관련 산업 개발에 기여할 것으로 전망하고 있다.

11) 공기 대신 기름을 열 매체로 이용하여 건조속도를 높이는 특징이 있다.

< 연료·전기로 재탄생... 가축분뇨 '차세대 에너지원' 각광 >

아시아투데이 2017년 5월 26일자



버려지던 가축분뇨의 에너지자원 시대가 열렸다. 농촌진흥청이 가축분뇨를 활용, 고체연료화, 연료전지 기술을 개발해 실용화하는데 성공한 것이다. 25일 농진청에 따르면 2015년부터 올해까지 각각 9억7200만 원, 2억1000만 원의 예산을 투입해 ‘가축분뇨 고형연료 열량증대 기술개발’, ‘유기물 부하에 저항이 있는 중첩형 미생물연료전지 시스템 구축’ 연구개발(R&D)을 진행하고 있다. ‘가축분뇨 고형연료 열량증대 기술개발’은 국내·외 적용된 적이 없는 새로운 형태의 가축분뇨 고체연료화 기술을 개발해 가축분뇨를 연료자원으로 활용을 목적으로 한다. 농진청은 ‘가축분뇨를 에너지자원으로 전환시키는 고체연료화 장치를 개발해 시장에 선보였다. 이와 관련해 농진청은 축사에서 배출된 축분상태와 무관하게 가축분뇨를 고체연료로 가공하는 장치와 건조시간을 단축하고 잔열을 최대한 활용하는 복합회전형 건조장치를 개발했다.

또한 분진과 냄새물질을 제거하는 모듈형 공기정화 장치도 개발한 상태다. 정광화 농진청 국립축산과학원 농업연구사는 “축사에서 배출된 분뇨상태에 따라 탈수 및 균질화 적용으로 고체연료로 즉시 가공할 수 있다”면서 “열풍, 적외선 건조, 과열증기, 열 재순환, 건조기내 수분도 자동으로 제거 가능하다”고 말했다. 농진청은 가축분뇨 고체연료화 기술이 관련 산업체 발전에 기여할 것으로 내다봤다.

정광화 연구사는 “새로 개발한 건조장치를 가축분뇨 고체연료화 산업체뿐만 아니라 일반 건조관련 산업체가 활용할 수 있도록 하면 국내 건조관련 산업 발전에 기여할 것”이라고 말했다. 특히 기존 제철, 발전분야에 소요되는 석탄소요량 1% 대체시 연간 약 1,070억 원의 경제적 효과도 창출할 수 있을 것으로 예상했다.

고체연료는 고도의 생물학적 공정을 통해 생산되는 바이오가스와 달리 건조, 파쇄, 혼합 및 필요에 따라 성형의 물리적 공정을 통해 생산되어 비교적 기술 수준이 낮다. 따라서 공정의 관리 및 효율의 유지가 용이하여 기술의 보급이 용이할 것으로 판단되며, 생산 후 함수율이 낮아 보관 및 운반이 용이하다. 또한 처리공정에서 슬러지가 발생하지 않아 향후 가축분뇨 양분총량제의 도입에도 효과적인 것으로 판단된다.

한편 고체연료를 통해 에너지를 얻는 연소과정에서 질소산화물(NO_x)과 황산화물(SO_x) 등 대기오염물질이 발생될 수 있으며, 고체연료의 수분함량이 높을 경우 불완전 연소하여 일산화탄소(CO)가 과다하게 배출될 수 있다. 이 외에도 염화수소(HCl), 먼지 및 미량의 금속화합물 배출이 우려된다. 환경부 연구결과에 따르면 대기오염방지시설을 갖추지 않은 시설에서 시간당 20kg의 가축분뇨 고체연료를 소각했을 때 일산화탄소, 염화수소, 황산화물, 질소산화물 등이 배출허용기준을 초과하여 배출되는 것으로 나타났다(환경부, 2013). 따라서 고체연료는 대기오염방지시설이 설치된 곳에서 사용하는 것이 바람직하다.

2) 고체연료화 가용 에너지 잠재량

고체연료는 연소 시 발생하는 에너지를 이용하여 에너지 전환효율이 우수하다. 2010년 기준 축종별 가축분뇨 발생원단위를 토대로 전국 가축분뇨 발생량을 추정하고, 수분조절제 사용량을 추산하여 합산한 결과 총 21,965천 톤/년의 고체연료 원료가 발생하는 것으로 산출되었다(환경부, 2013). 산출된 원료에 따른 가축분뇨 에너지 잠재량은 3.3천만 GCal/년으로 신재생 에너지 데이터센터에서 바이오가스화 기술의 에너지 잠재량(약 1.6천만 GCal/년)의 2배에 달하는 것으로 추정되었다(환경부, 2013).

2016년 세종시 가축분뇨 고체연료화시 에너지 잠재량을 추정한 결과, 연간 304,518Gcal(약 30천 TOE)의 에너지를 생산할 수 있을 것으로 나타났다. 이는 수분조절제(툽밥, wt 19.5%)를 통해 함수율을 60%로 조정했을 경우의 수치로 첨가되는 수분조절제의 열량이 합산된 수치이다.

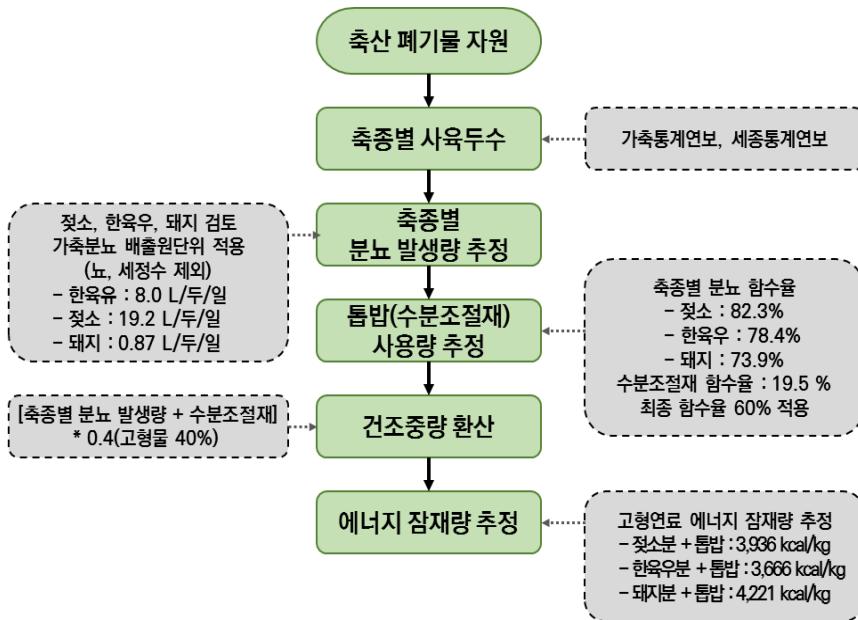
[표 3-8] 가축분뇨 고체연료화 가용 에너지 잠재량 추정

(단위: Gcal/년)

구 분		젓소분+톱밥	한육우분+톱밥	돼지분+톱밥	총 가용 에너지 잠재량
2010년 기준	전국	8,692,815	17,115,082	8,057,209	33,865,106
	연기군 (세종시)	62,737	116,325	42,567	221,629
2016년 기준	세종시	83,456	148,638	72,425	304,518

주: 2016년 기준은 가축분뇨 고체연료화 가용 에너지 잠재량 추정방법[그림 3-10]에 의거하여 저자 계산

출처: 신재생에너지 데이터센터(<http://kredc.kier.re.kr/kier/>)



[그림 3-10] 가축분뇨 고체연료화 가용 에너지 잠재량 추정방법

3) 가축분뇨 고체연료화 경제적 효과

농촌진흥청의 보도자료(2016.5.26.)에 따르면, 우분의 고체연료화에 따른 경제적 효과는 한 해 발생하는 우분 중 일부를 고체연료화해 기존의 제철 및 발전분야에 쓰이는 석탄 소요량의 1%만 대체해도 약 1,070억 원의 효과가 있는 것으로 분석되었다.

[표 3-9] 우분 고체연료화에 따른 경제적 효과

분야	총 소비량	단가(달러/톤)	총액 (환산금액)	대체량	대체금액
제철	무연탄 829만4천톤	127.6	1조 2천억	1%	120억
	유연탄 3,519만8천톤	75.6	3조	1%	300억
발전	유연탄 7,547만9천톤	75.6	6조 5천억	1%	650억
총계	-	-	10조 7천억	-	1,070억

주) 근거: 2014년 분야별 석탄 소요량 통계(대한석탄공사)

환율: 1,149.05원/1달러(2016.04.26. 17:59 100회차 기준, 제공:KEB 하나은행)

출처: 농촌진흥청 보도자료 2016.5.26. 소풍, 수거 뒤 바로 고체연료 만든다.

4) 가축분뇨 고체연료화 제도 및 정책

2015년 12월 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」에 가축분뇨 고체연료에 대한 정의가 제정되었고, 2016년 5월 가축분뇨 고체연료화를 법적기반이 마련되었다. 가축분뇨 고체연료 기준 신설과 함께 품질검사 방법 및 기관, 공급대상 시설이 규정되었다. 공급대상 시설은 시멘트 소성로, 화력발전시설, 열병합발전시설 및 발전용량이 2MW 이상인 발전시설 등 대기오염과 안정성을 고려하여 규모가 큰 시설에 한정하여 규정되었다.

[표 3-10] 가축분뇨 고체연료의 성분 등에 관한 기준

구분		단위	기준
길이(원형인 경우 지름)		mm	40 이하
저위발열량		kcal/kg	3,000 이상(가축분뇨에서 일부 에너지를 회수한 후 가축분뇨 고체연료로 가공하는 경우에는 2,000 이상)
수분		%	20 이하
회분		%	30 이하
황분		%	2 이하
금속 성분	수은(Hg)	mg/kg	1.2 이하
	카드뮴(Cd)		9.0 이하
	납(Pb)		200.0 이하
	크롬(Cr)		70.0 이하

비고 : 1. 성형제품의 형태를 펠릿으로 제조한 것으로 한정한다.
 2. 저위발열량은 다른 물질과 혼합되지 않은 상태를 기준으로 한다.
 3. 회분, 황분, 금속성분은 건조된 상태를 기준으로 한다. 다만, 화력발전시설에서 사용되는 가축분뇨 고체연료의 경우에는 회분이 30%를 초과할 수 있다.
 출처: 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙(환경부령 제 599호, 2015.3.25. 일부개정, 2017.3.25. 시행)

[표 3-11] 가축분뇨 고체연료 법령의 개요

구분	법령
정의	가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 제2조
품질 기준	가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙 제 11조의2, 별표4의2
제조시설 설치 또는 변경 시 준공심사 및 가동 상태 점검	가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 제15조
품질기준 검사기관	가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령 제 12조의 3
품질검사 기준 및 방법	가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령 제12조의 4, 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 제25조의 5, 시행규칙 제20조의 2
제조사 및 사용자 준수사항	가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 제15조의 2, 제17조, 제18조의 3, 제 25조, 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙 제20조의6 별표8
고체연료 공급대상 시설	가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙 제 12조의 3
대기오염물질 배출 허용기준	대기환경보전법 제16조1항, 시행규칙 제15조 별표6
악취물질 허용기준	악취방지법 시행규칙 제3조 별표2
잔류성 유기물질 허용기준	잔류성유기오염물질 관리법 시행규칙 제7조 별표3

출처: 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률[법률 제14476호, 2016.12.27. 개정, 2017.3.28. 시행], 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률[법률 제14230호, 2016.5.29. 개정, 2016.5.29. 시행], 대기환경보전법[법률 제14476호, 2016.12.27. 개정, 2017.3.28. 시행], 악취방지법[법률 제 14491호, 2016.12.27. 개정, 2017.6.28. 시행], 잔류성 유기오염물질 관리법[법률 제 11862호, 2015.1.1. 시행]

제2절 국내외 가축분뇨 에너지화 현황 및 사례

1. 바이오가스화 현황 및 적용 사례

1) 국내 현황 및 적용 사례

① 바이오가스화 시설 및 생산 현황

현재까지 가축분뇨를 이용한 바이오가스 생산은 가축분뇨 단독 혹은 음식물이나 하수슬러지와 병합하여 처리하는 시설에서 이루어졌다. 2015년 기준 유기성폐자원(음식물, 가축분뇨, 하수슬러지)에서 바이오가스를 생산·이용하는 시설은 88개소로 전년 대비 17개소 증가하였으며, 향후 병합 바이오가스화 처리시설은 지속적인 증가가 예상된다(환경부, 2016). 시설용량은 2015년 기준 56,523톤/일로 전년도 대비 12.6% 증가하였으나, 가축분뇨를 이용한 바이오가스화 시설의 경우 225톤/일 감소하여 495톤/일로 나타났다. 처리실적은 17,597천 톤/년으로 조사되었으며 전년도 대비 11.1% 증가하였고, 가축분뇨의 경우 처리량이 115천 톤/년으로 전년대비 19.6% 감소하였다.

[표 3-12] 유기성폐기물의 바이오가스화 시설수 및 시설용량 증감 현황

시설	조사년도	계	음식물	가축분뇨	하수슬러지	병합
시설수 (개소)	2014	71(9)	20(1)	6(2)	21(0)	24(6)
	2015	88(11)	20(1)	6(4)	32(0)	30(6)
	증감	+17	-	-	+11	+6
시설용량 (톤/일)	2014	50,201	4,507	720	27,430	17,544
	2015	56,523	5,099	495	31,619	19,310
	증감	+6,322 (12.6%)	+592 (13.1%)	-225 (-31.2%)	+4,189 (15.3%)	+1,766 (10.1%)
시설별 처리량 (천톤/년)	2014	15,838	1,035	143	7,325	7,335
	2015	17,597	1,040	115	8,745	7,697
	증감	1,759 (11.1%)	5 (0.5%)	-28 (-19.6%)	1,420 (19.4%)	362 (4.9%)

주: ()는 민간시설

출처: 환경부(2016), 2015 유기성폐자원 에너지 활용시설 현황

환경부 조사에 따르면[표 3-14], 2015년 기준 가축분뇨만을 이용하여 바이오가스를 생산하는 시설은 6개소가 있으며, 바이오가스 생산량은 1,707천 m³/년 정도이다. 병합처리를 하는 30개소 가운데 13개소는 가축분뇨와 그 외의 폐기물(음식물쓰레기, 음폐수, 하수슬러지)을 혼합하여 바이오가스를 생산하고 있다(17,052천 m³/년).

생산된 바이오가스는 상당부분 전기와 열에너지 생산에 사용되고 있으며, 연소 처리되는 미활용율은 9.4% 정도이다. 시설별 바이오가스 활용비율 중 가축분뇨 바이오가스화시설이 90.6%로 가장 높다(음식물 60.1%, 하수슬러지 80.9%, 병합 80.9%).

[표 3-13] 가축분뇨 바이오가스 생산 및 이용량

구분		바이오가스(천 m ³ /년)	비율(%)
생산량		1,707	100
활용량	소계	1,547	90.6
	발전	1,364	79.9
	외부공급	-	-
	자체이용	183	10.7
미활용(연소처리)		160	9.4

출처: 환경부(2016), 2015 유기성폐자원 에너지 활용시설 현황을 재정리

[표 3-14] 가축분뇨 바이오가스 생산·이용 현황

(단위: 천 m³/년)

구분	순번	시설명	가동 년도	생산·이용			비고
				생산량	이용 량	미 이용량	
합계	총 19개소			18,758	16,780	1,978	
가축 분뇨 바이 오가 스	소계(6개소)			1,707	1,547	160	
	1	경기 안성 디에이치엠(주) 유기성자원 바이오에너지화시설	2009	80	80	-	
	2	경기안성국제축산영농조합유기성 폐기물바이오가스연구시설	2008	18	14	4	
	3	전북 농협 고창 바이오가스 발전소	2010	188	73	115	
	4	전북 장수군 바이오가스 열병합시설	2010	154	154	-	
	5	경남 양산시 양산(원동)바이오가스 열병합시설	2011	1,182	1,182	-	
	6	제주 가축분뇨 공공처리장	2005	84	43	41	
가축 분뇨 병합 처리 바이 오가 스	소계(13개소)			17,052	15,234	1,818	
	1	울산광역시 온산바이오에너지센터	2014	1,898	1,038	860	음식물+축분
	2	경기 파주시 음식물 및 축분혼합 처리시설	2004	807	744	63	음식물+축분
	3	경기 포천 바이오에너지(주)	2013	1,748	1,421	327	음식물+축분
	4	강원 홍천 가축분뇨 공공처리 자원화시설	2015	246	66	180	음식물+축분
	5	충남 청양 여양농장 바이오가스 플랜트	2007	737	737	-	하수슬러지+ 축분
	6	전북 정읍 가축분뇨 공동자원화 시설	2012	1,771	1,771	-	음폐수+축분
	7	전남 순천 공공하수처리시설	2010	1,401	1,401	-	음폐수+하수 슬러지+축분
	8	전남 담양군 가축분뇨바이오 열병합발전소	2014	1,098	1,098	-	음폐수+축분
	9	전남 보성군 가축분뇨공공처리시설	2010	126	126	-	음식물+축분
	10	경북 칠곡군 구미 하수처리장	1987	2,888	2,888	-	음폐수+하수 슬러지+축분
	11	경남 밀양 음식물쓰레기 하수병합처리시설	2002	747	359	388	음식물+축분 +기타
	12	경남 창녕 (주)우포월드 바이오가스 플랜트	2008	2,038	2,038	-	음폐수+축분
13	경남 양산시 바이오가스화 처리시설	2014	1,547	1,547	-	음식물+축분	

출처: 환경부(2016), 2015 유기성폐자원 에너지 활용시설 현황을 재정리

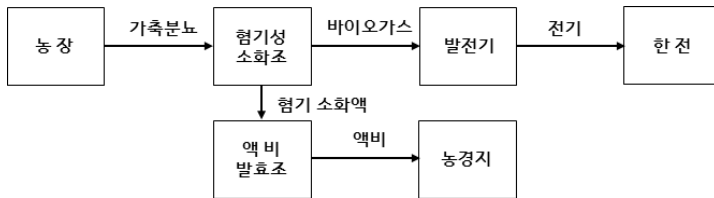
② 바이오가스화 사례

□ 전북 농협 고창 바이오가스 발전소

지식경제부 지원으로 설립된 고창 바이오가스 발전소는 2009년 완공되어 하루 50m³의 가축분뇨를 처리하고 있다. 가축분뇨 처리공정은 고액분리기를 통해 이물질 제거하고 48시간 발효 공정을 통해 553m³의 메탄가스를 생산하고 있으며, 생산된 바이오가스는 발전시설을 통해 전력을 생산하여 한국전력공사로 공급하고 있다. 바이오가스로부터 생산되는 전력은 연간 630MW에 달하며, 발생하는 부산물은 6개월 정도의 발효공정을 거쳐 액비로 고창군 일대 농경지에 무상으로 살포되고 있다.



현장 전경



공정도

[그림 3-11] 전북 농협 고창 바이오가스 발전소

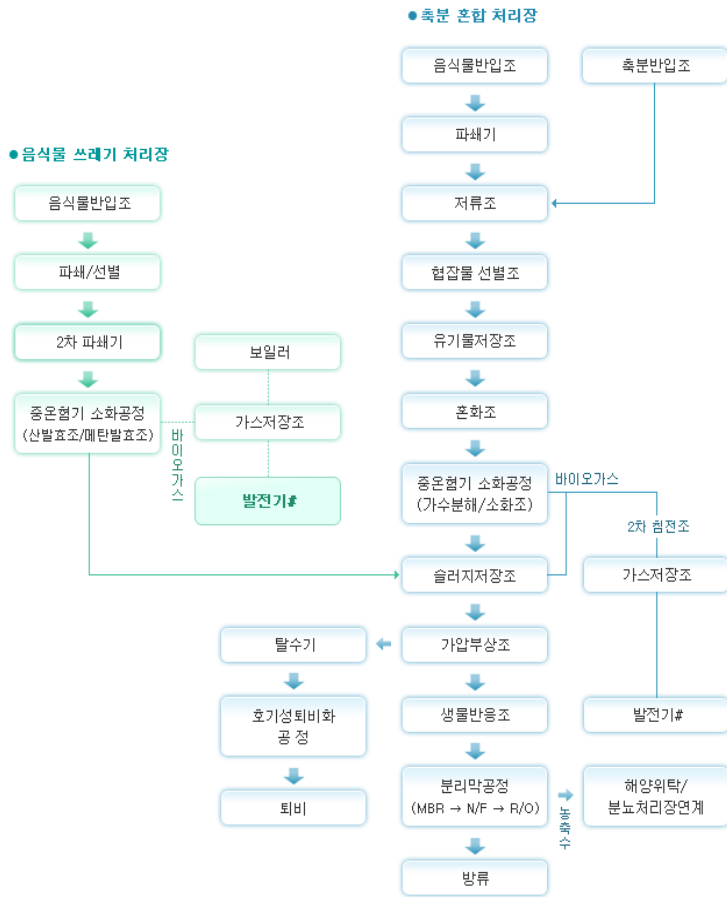
□ 파주환경순환센터

파주 시설관리공단에서 운영하는 파주환경순환센터는 2005년 음식물 쓰레기 및 가축분뇨 혼합처리시설을 설치하여 경기도에서 발생하는 음식물쓰레기와 가축분뇨를 통해 바이오가스를 생산하고 있다. 시설은 30톤/일의 음식물쓰레기를 처리하는 공정과 20톤/일의 음식물쓰레기와 60톤/일의 가축분뇨를 혼합하여 처리하는 공정이 있으며 두 공정 모두 중온 이상식 혐기성 소화공정을 거쳐 바이오가스를 생산한다. 2상 혐기소화공정은 폐기물 감량화율(전환율 70% 이상)이 높은 장점이 있다.

소화공정을 통해 2015년 기준 807천 m³/년의 바이오가스를 생산하고, 남은 슬러지는 가압부상조를 통해 고형물을 분리하여 고형물은 퇴비화하고, 여액은 생물반응조와 분리막 공정을 거쳐 인근 문산천에 방류하고 있다. 생산된 바이오가스는 전력을 생산하여 자체사용하고 있으며, 일부는 보일러 설비를 가동하는데 사용하고 있다.



[그림 3-12] 파주환경순환센터 시설 현장사진



[그림 3-13] 파주환경순환센터 시설 공정도

2) 국외 현황 및 적용 사례

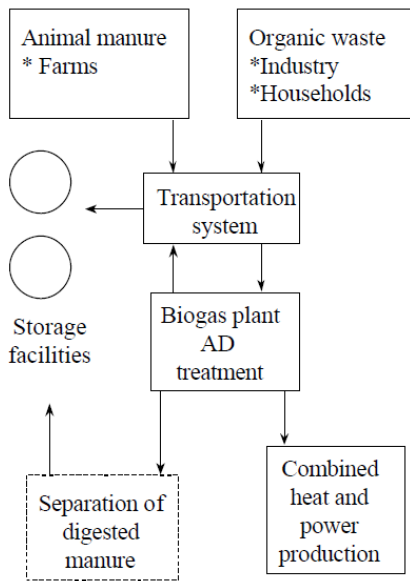
① 바이오가스화 시설 및 생산 현황

가축분뇨 바이오가스 생산시설은 유럽, 일본 등지에서 이미 실용화 보급 단계에 있다. 특히, 독일 및 덴마크에서는 1970년대부터 시작하여 농가형 및 중앙집중형의 시설이 보급되기 시작하였다. 일본의 경우 2000년도 이후 유럽의 기술도입을 통해 시설이 보급 확산되었다.

[표 3-15] 가축분뇨 바이오가스화 시설 수

주요국가	시설 수(개소)		비 고
	중앙집중형	농가형	
덴마크	21	60	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 유기성폐기물(돈분뇨, 우분, 계분, 어류가공업 및 피혁공장 슬러지, 사료폐기물 등) 통합소화 소화액 퇴액비화→초지살포
독일	11	5000	<ul style="list-style-type: none"> 사료용 옥수수 등 혼합투입
일본	10	70	<ul style="list-style-type: none"> 젓소분, 돈분뇨, 음식물쓰레기 등 통합소화 북해도에 46개소 집중

출처: IEA(2011)

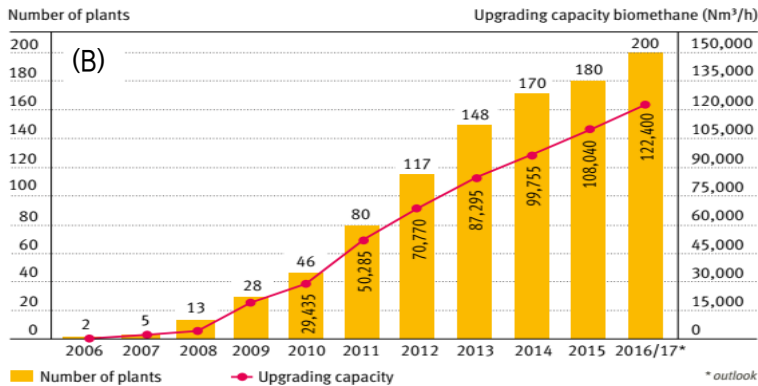
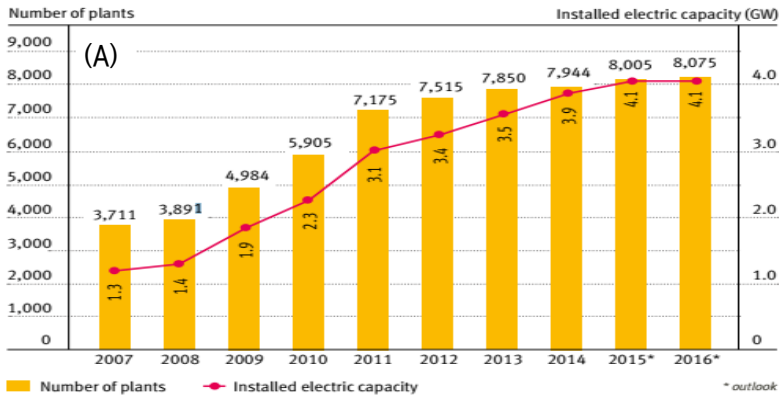


[그림 3-14] 중앙집중형 바이오가스 플랜트 개념

□ 독일

독일은 1990년 전력공급법과 2000년 재생가능에너지법(EEG)의 시행으로 바이오가스 플랜트의 경제적 이윤이 보장되어 시설과 발전용량이 급격히 증가하는 계기가 되었다. 이후 EEG 2012법의 적용으로 소규모 슬러리/가축분뇨 바이오가스 플랜트에서 생산되는 전력에 특별 보조금 지원 및 발전용량, 투입원료, 고품질화 기술 적용여부 등에 따라 지원이 세분화되었다. 또한 2008년 제정된 재생에너지난방법은 2020년까지 난방의 14%를 신재생에너지를 활용하는 목표를 설정하였다. 이러한 정책적 지원을 바탕으로 관련

기술 및 산업의 성장으로 현재 독일은 세계 바이오가스 기술을 선도하고 있다. 2014년 기준 바이오가스 플랜트 7,944개소가 운영 중이며 바이오가스를 통해 4.1GW의 전력을 생산하고 있고, 180개소의 바이오메탄¹²⁾ 플랜트가 운영 중이며 108,040Nm³/h의 바이오메탄을 생산하고 있다.

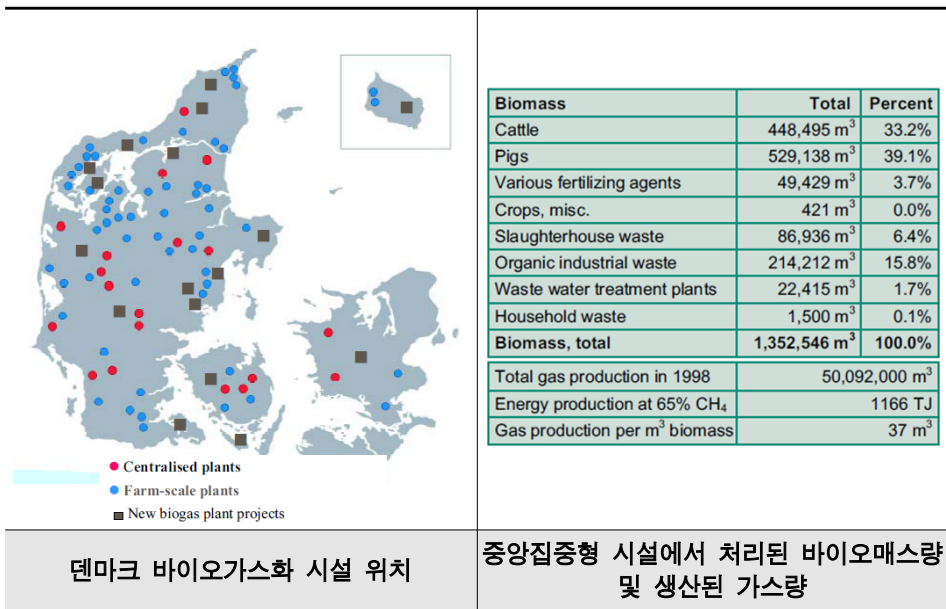


[그림 3-15] 독일 바이오가스화(A) 및 바이오메탄(B) 플랜트 수 및 발생 전력량
출처 : FNR(2016), BIOENERGY IN GERMANY-FACTS AND FIGURES

12) 고질화(Upgrading)공정을 거친 바이오가스 : 혐기성 메탄발효 공정을 통해 생산된 바이오가스 내 이산화탄소를 분리하여 메탄함량을 95% 이상으로 정제한 바이오가스를 말함

□ 덴마크

덴마크는 81개소의 바이오가스 시설이 운영 중에 있고 그 중 21개소는 중앙집중형 바이오가스화 시설이다. 중앙집중형은 가축분뇨 외에 다양한 바이오매스를 통합 처리하여 농가형에 비해 생산성이 높은 장점이 있으며, 덴마크의 경우 1990년대 후반까지 정부 주도의 중앙집중형 시설 설치가 추진되었으나 정부의 지원이 종결된 이후 농가형 시설이 늘어나고 있는 추세이다.



[그림 3-16] 덴마크 바이오가스화 시설 개요

□ 일본

일본은 2002년 바이오매스·일본종합전략을 수립하여 바이오매스를 활용한 농산어촌의 새로운 가능성 개척과 온난화 방지, 순환형 사회 형성 및 새로운 산업 육성 등을 추진하였다. 동시에 바이오연료의 활용 촉진을 위한 바이오매스타운 구축 확대를 도모하였다. 2017년 4월 기준 374개소의 바이오매스타운을 구축하였다.

[표 3-16] 일본 가축분뇨 발생량 및 이용량

(만톤, %)

가축 분뇨	연도							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
발생량	8,800	8,700	8,800	8,500	8,400	8,400	8,300	8,100
이용량	7,900	7,900	7,600	7,400	7,400	7,300	7,150	7,000
이용률	90	90	87	87	87	87	87	87

출처 : 바이오매스種類別の利用率等の推移(2016)

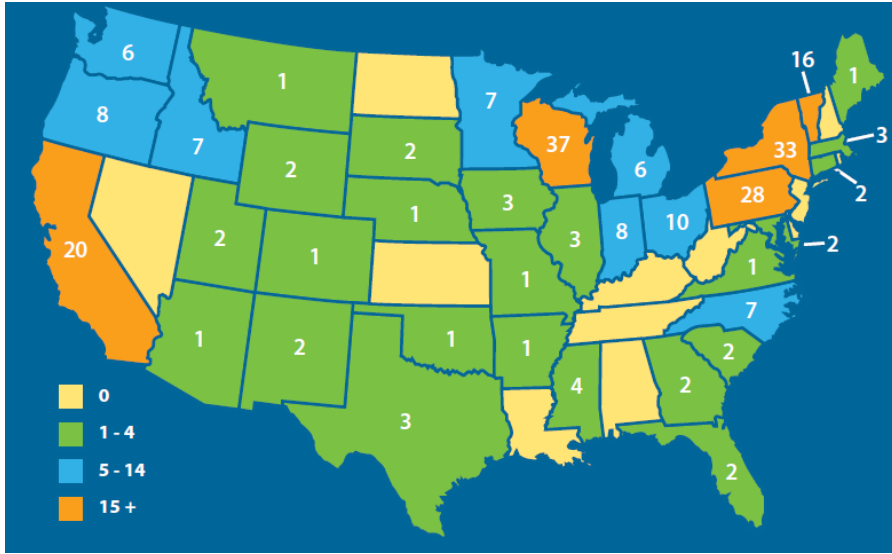


[그림 3-17] 일본 바이오매스 활용 타운 공정

출처 : <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/index.html>

□ 미국

미국은 1994년부터 농업 부문에서 발생하는 메탄의 가치를 인지하고 이를 활용하는 기술을 보급하고자 ‘AgSTAR Program’ 을 통해 가축분뇨 등을 활용한 바이오가스 플랜트를 연구보급하고 있다. 2014년 기준 247개소의 바이오가스 플랜트가 운영되고 있으며 그 중 76%는 낙농업이다. 바이오가스 플랜트를 통해 생산된 바이오가스는 대부분 열병합발전(50%)과 전력 생산(34%)에 사용되고, 1994년 이래로 바이오가스 플랜트를 통해 19백만 톤의 CO₂를 감축하고 53억 kWh의 전력을 생산하였으며, 2014년 한 해 949백만 kWh를 생산하였다.



[그림 3-18] 미국 바이오가스 플랜트 분포도

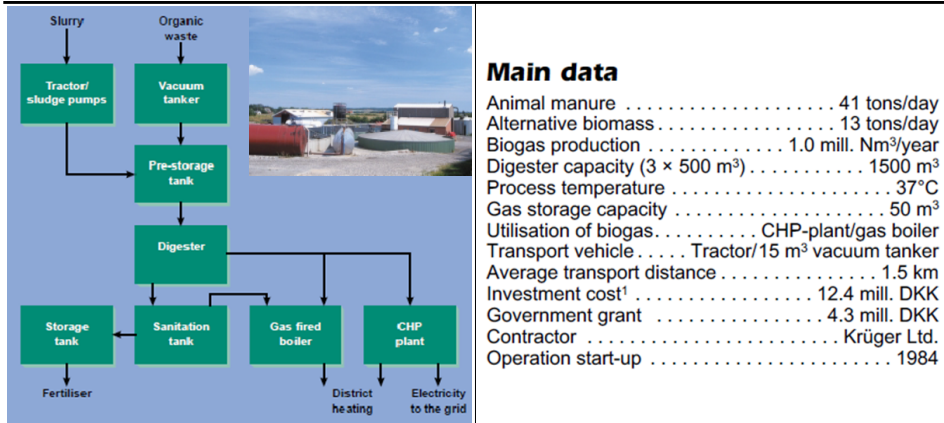
출처 : <https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/AJTGPQ-DE-Karte>

② 바이오가스화 사례

□ 덴마크 중앙집중형 바이오가스 시설

Vester Hiermitslev 바이오가스 플랜트는 덴마크 최초의 중앙집중형 통합소화 시설(1984년)이며, 운전상 문제로 1987-88년, 1991년에 추가 건설되었다. 5개의 우사 및 돈사로부터 분뇨가 공급되며, 어류가공업, 피혁공장 슬러지, 사료 폐기물과 통합소화하고 있다.

하루 유입되는 원료는 가축분뇨 41톤, 바이오매스 13톤이며 이를 처리하여 연간 100만Nm³의 바이오가스를 생산한다. 초기 유입된 원료를 혼합하여 37°C 중온소화 과정을 통해 바이오가스를 생산하고, 남은 부산물은 57°C에서 4시간가량 멸균과정을 거쳐 안정화된 비료로서 인근 농장, 학교에 판매한다. 생산된 바이오가스는 2개의 열병합 발전기를 통해 전력으로 전환되며 일부 과잉 생산분은 가스보일러를 통해 열에너지로 자체 소비한다.



Main data

Animal manure	41 tons/day
Alternative biomass	13 tons/day
Biogas production	1.0 mill. Nm ³ /year
Digester capacity (3 × 500 m ³)	1500 m ³
Process temperature	37°C
Gas storage capacity	50 m ³
Utilisation of biogas	CHP-plant/gas boiler
Transport vehicle	Tractor/15 m ³ vacuum tanker
Average transport distance	1.5 km
Investment cost ¹⁾	12.4 mill. DKK
Government grant	4.3 mill. DKK
Contractor	Krüger Ltd.
Operation start-up	1984

Vester Hiermitslev 바이오가스 플랜트 공정도 및 시설 데이터

[그림 3-19] 덴마크 중앙집중형 바이오가스화 시설(Vester Hiermitslev) 사례

□ 페어 오크 농장(Fair Oaks Farm), 미국

미국 인디애나주의 페어 오크 농장에서는 매일 약 2천300톤의 분뇨를 3만7천 마리의 젖소로부터 얻고 있다. 하루 3번 농장바닥에 쌓인 분뇨를 청소차를 이용하여 수집하고 중앙분뇨처리장으로 이송시킨다. 6개의 바이오가스 소화조를 운영하고 있다. 전처리과정으로 이물질과 물기를 제거한 후 지하에 매설되어 있는 중앙 바이오가스 소화조(2천7백 톤 규모)에서 15~21일간 발효시켜 바이오가스(60% 메탄, 40% 이산화탄소) 생산한다. 소화조의 위쪽에 설치된 파이프를 통해 바이오가스를 수집하고, 메탄가스만 정제하여 재생 가능한 천연가스로 활용한다. 정제된 메탄가스를 이용하여 전기생산이 가능하며, 3천 마리의 젖소분뇨로 8백 가구에 전기 공급이 가능하다. 농장의 축산분뇨를 전부 합하면 1만2천 가구가 사용할 수 있는 전기가 생산된다. 혐기소화액은 액비로 만들어 농지로 환원시키고, 소화찌꺼기는 탈수하여 비료로 활용함으로써 축산과 농업을 하나로 이은 자연순환공정이라 할 수 있다. 소화찌꺼기의 탈수 시스템을 접목시키기 전에는 라군(Lagoon)을 조성하여 자연 고액분리 하였다.

13) 넓고 얇으며 움푹 패인 땅에 폐수를 유입시켜 자연스런 상태로 정화처리를 하는 안정화지를 말함. 건조 및 유지비는 적게 드는 반면 악취를 유발하며, 평탄하고 광대한 토지가 소요됨(출처: 환경공학용어사전)

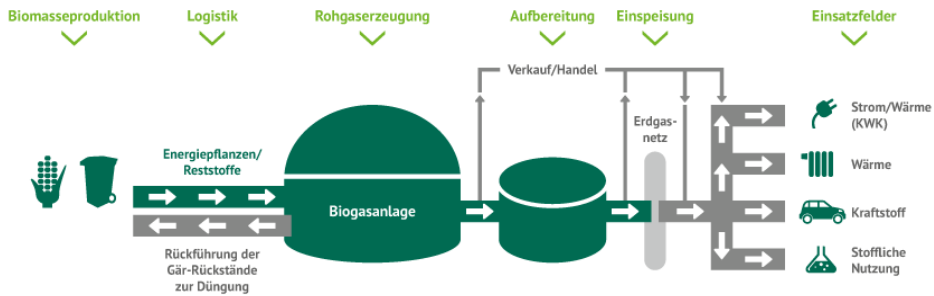


출처: 페어 오크 농장 관련 기사 : How A Huge Dairy Is Solving A Major Pollution Problem (2016.6.27.) (<http://fortune.com/2016/01/27/fair-oaks-dairy-farm-manure-fuel/>)

[그림 3-20] 미국 가축분뇨 바이오가스화 시설 사례(페어 오크 농장)

□ 독일

독일 Vettin에 위치한 Greenline 바이오가스 플랜트는 2014년에 800kW 규모로 가동을 시작하여 우분과 농작물을 혼합원료로 하여 혐기성 처리를 통해 메탄을 생산하고 있으며, 2016년에는 그 규모를 8.5MW로 확장하였다. 원료는 전용 파이프라인을 통해 바이오가스 플랜트로 직접 유입된다. 일당 슬러리 70,000톤, 옥수수 사일리지(silage) 50,000톤, 고품분뇨 7,000톤을 처리할 수 있으며, 3개의 발효기와 2개의 2차 발효기, 6개의 소화조 저장탱크를 보유하고 있다. 발효기와 소화탱크의 총 체적은 각각 23,000m³, 42,000m³으로 약 75백만 kWh의 바이오가스와 열을 생산할 수 있으며, 약 16,000가구에 공급하는데 충분한 양이다. 생산된 바이오가스는 물리-유기 세정공정(bio-natural scrubbing)을 통해 정제하여 천연가스화시킨 후 지역 천연가스 네트워크로 공급한다.



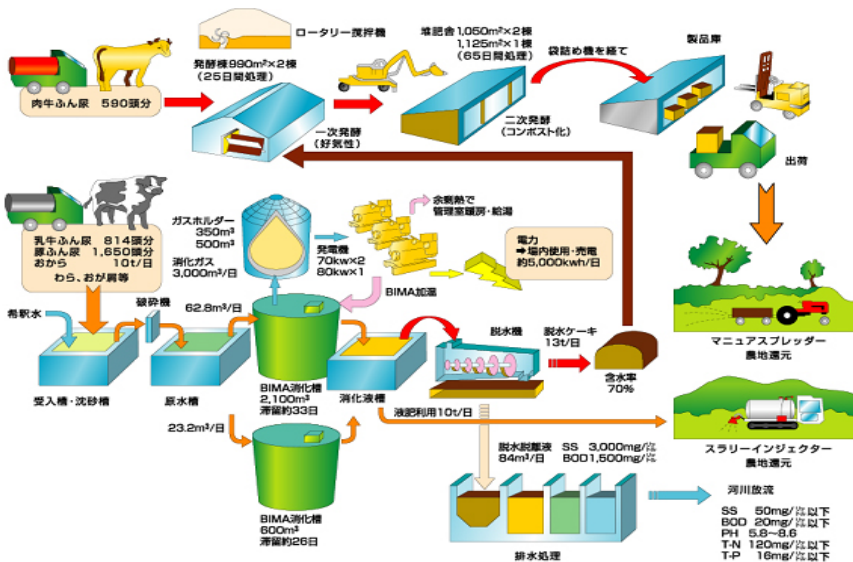
[그림 3-21] 독일 Greenline 바이오가스 플랜트 공정도

□ 일본

일본 교토 난탄시에 위치한 바이오가스 플랜트는 인근 마을과 농가로부터 약 젓소 800두, 돼지 1,650두의 분뇨와 음식물쓰레기(콩비지)를 수거·처리하여 연간 96만 kWh의 전력을 생산하고 있다. 수거한 원료는 분쇄 등의 전처리과정을 거쳐 중온 혐기소화하고 있으며, 바이오가스 생산량은 3,000m³/일(메탄 60%) 정도이다. 바이오가스 저장소는 500m³ 및 350m³ 규모 2기를 운영하고 있으며 탈황과정을 거쳐 발전기로 보내진다. 발전기는

70kW 2기, 80kW 1기를 운영하고 있으며, 생산된 전기는 시설의 전력으로 사용하고 잉여 전력은 판매하고 있다.

혐기소화액은 프레스 탈수기를 통해 여액과 슬러지케익으로 분리하여 여액은 속효성 비료로서 그대로 사용하고, 슬러지케익은 퇴비사로 이송하고 육우분과 혼합하여 25일간 1차 발효 후, 65일 동안 추가 발효하여 퇴비로 사용한다.



[그림 3-22] 일본 난탄시 가축분뇨 바이오가스화/퇴·액비화 공정 개요

	
<p>BIMA 소화조</p>	<p>탈황설비</p>
	
<p>발전기</p>	<p>소화여액(속효성 비료)</p>
	
<p>1차 퇴비사(회전식 교반기)</p>	<p>2차 퇴비사(퇴적 발효)</p>

[그림 3-23] 일본 난탄시 가축분뇨 바이오가스화/퇴액비화 시설

2. 고체연료화 현황 및 적용 사례

1) 국내 현황 및 적용 사례

① 고체연료화 시설 현황

현재까지는 주로 하수슬러지와 생활폐기물을 대상으로 한 고체연료 기술에 대한 연구가 주를 이루어졌다. 가축분뇨를 대상으로 한 고체연료화는 2015년 관련제도가 시행됨에 따라 기술적 연구가 일부 대학과 국가 연구기관에서 진행중에 있다. 가축분뇨 고체연료화는 실용화 가능기술이지만, 제조된 고체연료의 건조와 연소효율 측면에서 개선의 여지가 있어 현재 보급된 시설수는 소수이다.

국내 화력발전소가 밀집해 있는 서해안 일대에 위치한 보령화력발전소는 친환경 에너지 타운 조성 사업의 일환으로 보령시 주교면과 오천면 발전소 내에 2018년까지 53억 원을 들여 가축분뇨 고체연료화 시설 및 공공처리시설을 설치할 예정이다. 시설이 완공되면 연간 5억 원의 가축분뇨 처리비용이 절감될 것으로 전망하고 있으며, 생산한 고체연료를 판매하여 11억 3,000만원의 수익을 거둘 것으로 전망하고 있다.

② 고체연료화 사례

□ 경기도 포천시

포천 에너지 자립형 마을 시범사업의 일환으로 인근 한우, 젓소 사육농가 2~3곳에 50톤/일 규모의 고체연료 제조장치를 보급하였다. 배출된 가축분뇨를 함수율 60%까지 건조시킨 후 성형·가공하여 후속 건조설비를 통해 함수율 45~50%로 건조시키고, 자연건조를 거쳐 최종 생산하는 공정이다. 건조설비에 사용되는 에너지는 생산한 고체연료를 연소시켜 자체 수급하고 있다.



[그림 3-24] 포천시 가축분뇨 고체연료화 시설 및 공정도

□ 강원도 횡성군

강원도 횡성군 유동목장의 고체연료화 시설은 고온성 미생물을 이용하여 발효하고 기계 교반에 의하여 수분 및 악취를 제거 후 성형하여 축분 전용 보일러를 이용, 자연 순환형 대체 에너지로 활용하여 사용하는 시스템이다. 축분을 건조함에 있어 별도의 에너지를 사용하지 않고 발효 중 발생하는 열원을 이용하며, 우분탄 제조 과정에서 필요에 따라 생산된 우분 고체를 연료로 사용하기도 한다. 성형된 연료는 전용 보일러를 이용하여 에너지원으로 활용하여 생활난방, 온수, 축산급수, 농업난방분야에 이용이 가능하다.

유동목장은 한우 100마리를 사육하고 있으며 발생하는 분뇨(우분 및 깔집, 톱밥)의 열량 측정결과 5,500kcal/kg으로 무연탄(4,500kcal/kg)과 비슷한 에너지를 발생하는 것으로 나타났다. 이전에는 분뇨수거 후 퇴비화하여 볏짚 퇴비로 사용하였으나 현재는 전량 연료화에 사용하여 월 100만원 이상의 난방비를 절감하고 있다.

고체연료화 공정은 우사에서 수거한 분뇨를 스키드로더 투입 버킷에 하루 1.2m³씩 투입하여 호기성 발효과정을 통해 악취를 저감하며, 호기성 처리과정에 투입된 우분의 30%가량이 발효과정에서 소비된다. 투입되는 우분의 수분함량은 70~80% 정도이며, 호기성 처리 후 펠렛 성형과정을 거쳐 수분함량 40% 내외까지 건조시켜 연료로 사용한다.



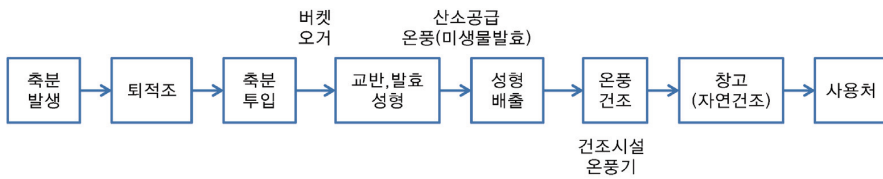
발효조



교반과정



연료성형



시설 공정도

[그림 3-25] 횡성군 가축분뇨 고체연료화 시설 및 공정도

출처: <http://www.erae.biz>

2) 국외 현황 및 적용 사례

1980년대부터 미국, 일본 등 RDF 관련 연구가 진행되어 현재는 발전, 지역난방 등에 활용되고 있다. 일본의 경우 폐기물 분쇄 후 펠릿 형태의 RDF 연료를 제조하여 주로 화력발전소용으로 사용되고 있다. 미국은 폐기물 건조 후 직접 연소원으로 활용하는 방식을 사용하고 있으며, 주로 페플라스틱 등의 생활폐기물을 파쇄 하여 석탄 등의 원료와 함께 화력발전소 연료로 사용하고 있다. 대부분 목재, 생활폐기물 등을 이용하여 고형연료화 혹은 직접 연소시키는 사례가 많다.

덴마크, 네덜란드, 일본 등에서 가축분뇨를 이용한 고체연료 생산 기술 개발을 위한 연구가 수행되었으며, 주로 화력발전소용 연료제조를 목적으로 개발되었다. 최근 중국에서는 소, 젓소, 닭, 말 등의 분을 이용하여 펠릿 고형연료를 제조하는 다양한 종류의 소규모 장치들이 상용화되고 있다.

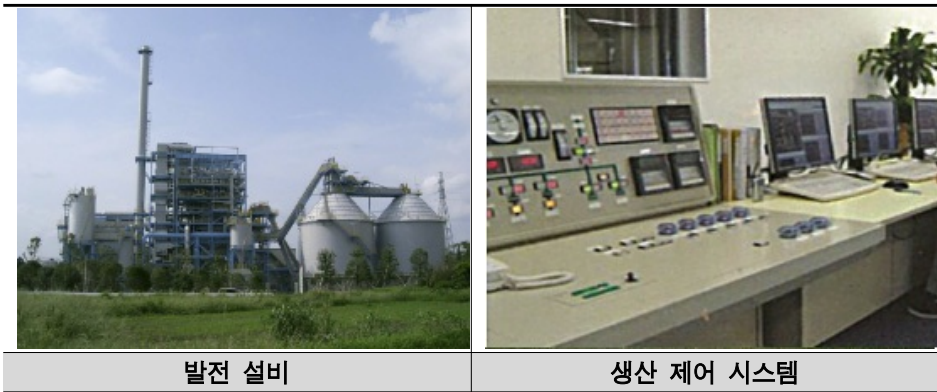


[그림 3-26] 중국의 가축분뇨 고체연료 제조장치

출처: Wholly(China) Marketing Co., Ltd.

네덜란드와 일본에서는 소각로를 통해 직접 연소하여 전력을 생산하는 시설도 다수이다. 일본 미야자키현에 설립된 바이오매스 시설은 양계농장에서 배출되는 계분을 직접 연소하여 발전하는 방식이다. 설립 당시 미야자키현은 일본 내 육계 사육두수가 2위로, 계분을 이용한 퇴비의 공급 과잉으로 계분 처리 수단으로 발전사업이 시작되었다. 하루 최대 소각용량은 440톤으로 발전 용량은 11,350kW이다. 악취 영향을 고려하여 연료 공급설

비는 밀폐형으로 설계되어 있고, 공급된 연료는 균일화된 함수율을 가지도록 건조하여 소각로로 공급한다. 계분 내에 포함된 나트륨, 칼륨 등은 전열부나 벽면에 부착하여 효율 저하를 초래하기 때문에 골뚝으로 배출되는 연기의 온도 관리가 중요한데 생산 제어 시스템으로 쉽게 관리·조작할 수 있도록 하였다. 소각하여 발생한 전력은 인근 가정에 공급하고, 남은 소각재는 인과 칼륨이 풍부하여 비료로 사용하고 있다.



[그림 3-27] 일본 미야자키현 바이오매스 플랜트

출처: http://www.yokogawa.co.jp/energy/casestudy/miyazaki_biomass.htm

제3절 세종시 가축분뇨 활용방안

1. 기본방향

「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령」(대통령령 제27932호, 2017.3.8. 시행)에 의거 가축분뇨의 퇴·액비화 기준이 신설됨에 따라 농가에서 생산되는 퇴·액비는 부숙도 및 함수율 등 그 기준(표 3-5 참조)을 충족해야만 한다(액비화 : 2017년 3월 25일부터 적용, 퇴비화: 2020년 3월 25일부터 적용). 기존까지는 가축분뇨의 퇴비화 부숙도에 대한 기준이 적용되지 않아 미부숙에 따른 악취 및 환경오염 등 다양한 문제들이 제기되었으나, 법 개정이 따라 상당부분 해소가 가능할 것으로 전망된다. 축종별로 돼지의 경우에는 액비화 기준에 맞게 생산이 가능할 것으로 보이는 반면 한우, 젓소, 양계 등의 퇴비화에 있어서는 아직 그 준비과정이 미흡한 실정이다. 퇴비화에 대한 법률 강화 시점이 다가옴에도 불구하고 기준 충족을 위한 농가에서의 적절한 관리법은 여전히 모호하다.

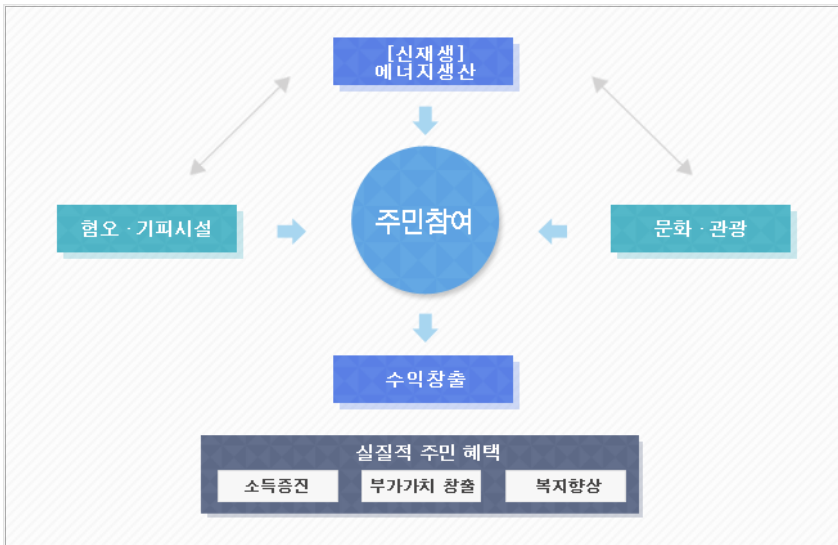
세종시의 경우 가축분뇨 발생량은 2016년 기준 1,447.9톤/일이며, 축종별로 한우 및 젓소가 36%, 돼지가 32%, 양계가 32% 정도이다. 가축분뇨의 활용비율은 자원화가 66.2%, 정화처리가 15.2%, 그 외(재활용업자에게 위탁처리 등) 18.4%였다. 자원화 중 개별처리시설에서 퇴비화되는 비중은 80.3%로 높은 편이며, 이는 전국적으로도 비슷한 추이다. 따라서 세종시에서도 새로이 적용되는 가축분뇨 자원화 기준을 준수하기 위한 대안이 필요하다. 이에 본 연구에서는 세종시의 가축분뇨 관리 및 활용방안으로 에너지화(바이오가스화, 고체연료화) 시설의 도입과 나아가 유기성 폐기물(가축분뇨, 음식물쓰레기, 농업부산물 등), 농업 그리고 소비자(로컬푸드)를 연계할 수 있는 지역밀착형 자원순환체계에 대해 숙고해보았다.

2. 통합형 자원순환 플랫폼

1) 가축분뇨 자원순환 시스템 사례

(1) 친환경에너지타운

친환경에너지타운의 추진 목적은 소각 및 매립장 등 혐오·기피 시설에 친환경에너지 생산시설을 설치함으로써 환경과 에너지 문제를 동시에 해결하고 생산된 전기를 지역 주민에게 공급함으로써 실질적인 주민 혜택에 기여하는 사업이다(한국에너지공단, 신·재생에너지센터). 2014년 5월에 광주, 홍천, 진천에 친환경에너지타운 시범사업을 추진하였으며, 그 중 환경부에서 홍천에 가축분뇨 바이오가스·퇴비 생산시설을 설치하여 운영하였다. 본 사업으로 총 16개소(환경부 10개소, 산업부 5개소, 농림부 1개소)를 선정하여 추진 중이다.



[그림 3-28] 친환경에너지타운 개념도

출처: 한국에너지공단 신·재생에너지센터

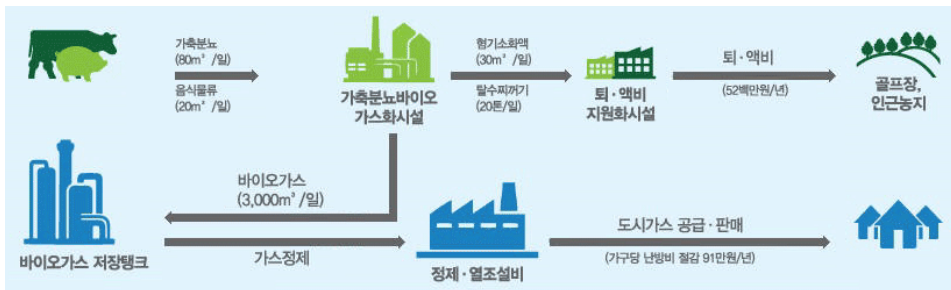
[표 3-17] 친환경에너지타운 추진경과

구분	지역	사업내용	주관부처	
시범사업 ('14.5월)	광주	매립지 상단 대규모 태양광 설비(20MW) 구축	산업부	
	홍천	바이오가스·퇴비 생산시설 설치	환경부	
	진천	신재생에너지간 융복합 설비 구축	미래부	
본 사업	2015	전남(순천)	하수처리장 인근 태양광 발전(9.3MW)	산업부
		경기(안산)	시화산단내 폐활성탄 센터 건립, 신재생 자가설비	
		경남(하동)	폐축사시설을 활용한 태양광 발전(2.7MW)	
		경남(남해)	폐기물가스화 설비 인근에 신재생 자가설비	
	2016	충남(서산)	폐교 리모델링으로 에너지저장 펜션 운영(태양광, 지열운영)	

출처: 한국에너지공단 신·재생에너지센터

□ 홍천 친환경에너지타운

홍천은 기존 가축분뇨처리시설과 하수처리장에서 발생하는 악취로 인해 주민의 불만이 큰 지역이었다. 2015년 친환경에너지타운 조성사업의 일환으로 바이오가스화 시설을 설치하여 냄새 저감을 유도하고 생산된 바이오가스를 주민에게 환원하고 일부를 판매하여 수익을 창출하였다. 홍천 친환경에너지타운에 위치한 바이오가스화 시설은 가축분뇨 80m³/일, 음폐수 20m³/일을 유입하여 3,000m³/일의 바이오 가스를 생산·정제 후 마을주민에게 공급하여 연간 42백만 원의 난방비를 절감하고 있으며, 소화액과 소화슬러지를 퇴·액비화하여 인근 농지, 골프장에 판매하여 연간 52백만 원의 수익을 창출하고 있다.

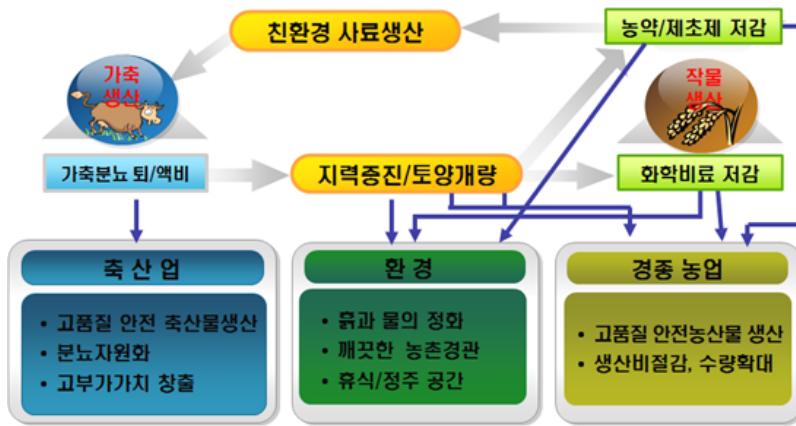


[그림 3-29] 가축분뇨 및 음식물류 혼합소화를 통한 바이오가스 생산 및 자원화 공정

출처: <http://www.hcenergytown.com/>

(2) 자연순환농업센터

자연순환농업은 에너지절감, 환경부하 경감, 물질순환 촉진, 토양비옥도 유지 증진을 목표로 특정 공법이나 자재에 국한되지 않고 가축분뇨를 토양에 환원함으로써 화학비료와 농약의 사용을 절감하고 토양을 유지·보전하는 농업을 말한다. 지역 농·축협 및 영농조합법인이 퇴·액비 살포 주체가 되어 지역별로 특화된 자연순환농업을 추진하고 있다. 경종·축산이 연계하여 자연순환농업 협약을 체결한 농·축협 등에 대해서는 운영자금을 지원하여 시설 개소수를 확장하고 있으며(2006년 20개소 → 2008년 70개소 → 2010년 100개소 → 2012년 120개소), 화석연료를 대체할 수 있는 신재생에너지(가스 또는 전기)를 생산할 계획이다(농림부, 2013).



[그림 3-30] 자연순환농업 개념도

[표 3-18] 자연순환농업 추진 우수사례

지역	사업내용
논산	<ul style="list-style-type: none"> 논산계룡축협과 6개 지역조합이 자연순환농업 추진 경종농가는 토양개량을 통한 지력증진, 화학비료·농약사용 감축을 통한 경영비 절감은 물론 품질향상 등의 효과를 거두고 있음 액비사용면적: '04년 400ha → '06년 1,100ha → '07년 2,100ha
오창	<ul style="list-style-type: none"> 다살림영농조합·도드람양돈조합이 오창·문백농협과 자연순환농업 추진 다살림은 양질의 무항생제 퇴·액비 제공, 농협은 친환경농업에 활용, 도드람조합은 필요한 기술지원 및 자문
김제	<ul style="list-style-type: none"> 애버그린영농조합이 자연순환농업과 조사료 생산을 연계 가축분뇨 수거 → 퇴·액비화 → 조사료포 시비(일반 경종작물도 연계) → 조사료 생산·판매 → 축산농가 사료이용

출처: 농림부(2008), 자연순환형 친환경축산 정책 방향

□ **논산계룡축협 자연순환농업센터/지역단위 통합관리센터**

논산계룡축협 자연순환농업센터는 2015년 9월 지역단위 통합관리 센터를 준공하여 기존의 퇴·액비를 생산하던 공정에 바이오가스를 생산시설을 추가하였다. 논산계룡축협 자연순환농업센터는 가축분뇨 110톤, 음식물쓰레기 30톤, 농림축산 부산물 10톤을 처리할 수 있는 시설로, 논산에서 발생하는 가축분뇨의 25%와 음식물쓰레기 전량을 처리할 수 있는 수준으로 설계되었다.

폐자원을 자원화하여 바이오가스 5,400Nm³/일, 퇴비 32톤/일, 액비 120톤/일을 생산하고 있으며, 퇴·액비와 바이오가스의 일부는 인근 농가에 공급하고 바이오가스를 통해 생산되는 전기(7,740kW/일)는 한국전력공사에 판매하고 있다. 또한 자연순환농업센터에서 전 조합원이 가축분뇨수거에서부터 퇴·액비 살포까지 도맡아 함으로서 양돈농가만이 아니라 지역내 경종농가에게도 골고루 혜택을 주는 공공시설로 자리매김하고 있다.

[표 3-19] 논산계룡축협 지역단위통합관리센터 시설 개요

시설명		논산계룡축협 지역단위통합관리센터			
사업부지	위치	충남 논산시 채운면 계백로499번길 52-109			
	면적	부지면적 : 16,908.6m ² , 시설면적 : 5,892.34m ²			
시설용량		150톤/일(가축분뇨 110톤/일, 음식물 30톤/일, 농축부산물 10톤/일)			
생산량		바이오가스 5,400Nm ³ /일, 전기생산량 7,740kw/일 퇴비 32톤/일, 액비 120톤/일			
처리방식	전처리	주처리	자원화	부대시설	
	가축분뇨(스크린) 음식물(파쇄선별기) 농축산부산물 및 돈모(분쇄기)	혐기성소화시설 (건식, 습식)	퇴비화 액비화 발전시설	탈취설비 미생물배양시설	



시설주요 사진



전처리동



소화조동



퇴비화동



액비화동



발전시설



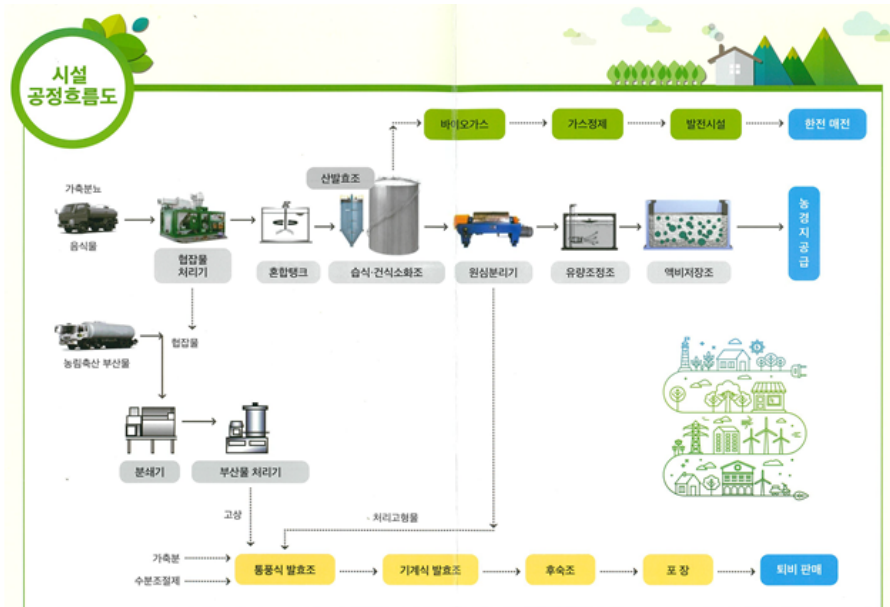
가스저장시설



악취방지시설



미생물배양동



[그림 3-31] 논산계룡축협 자연순환농업센터 주요시설 및 공정도

< 자연순환농업 : 충남 논산계룡축협 자연순환농업센터 >

농민신문 2017.05.22. 기사내용

- 토양 성분 따라 액비량 조절 연 7만t 350곳에 무상공급
- 축산농 분뇨처리 부담 덜고 농산물 품질 높여 일석이조



그동안 축산업계의 골칫덩이로 취급되던 가축분뇨가 자연순환농업을 통해 ‘냄새 없는 귀중한 자원’으로 거듭나고 있다. 자연순환농업은 퇴·액비로 자원화한 가축분뇨를 토양에 환원시켜 고품질 안전 농산물을 생산하는 것을 말한다. 아직 걸음마 단계이긴 하지만 가축분뇨에서 나오는 바이오가스로 전기도 생산한다.

국내 가축분뇨 자원화의 ‘메카’라고 불리는 논산계룡축협의 자연순환농업센터는 지역단위통합관리센터를 비롯해 논산지역 내 3곳에 설치·운영되고 있다. 환경부 지원을 받은 지역단위통합관리센터는 가축분뇨와 음식물, 농축산 부산물을 섞어 바이오가스를 생산한 뒤 남은 잔재물은 퇴·액비로 만드는 시설이다.

자연순환농업센터는 축산농가 160가구에서 매일 400t의 분뇨를 1t당 평균 2만3000원을 받고 수거한다. 그리고 버리는 것 없이 똑같은 양의 퇴·액비를 생산해낸다. 특히 30일 동안의 공정을 통해 생산한 액비는 정부지원 아래 논산지역 내 350여농가의 농경지 2100여ha에 무상으로 뿌린다. 연간 살포량은 7만여t에 달한다. 김완주 자연순환농업센터 부장장은 “연평균 500여농가가 신청하는데, 이중 70%밖에 공급해주지 못하고 있다”고 말했다. 공짜라도 대충 공급하는 건 아니다. 농가가 신청하면 토양 성분을 분석해 액비 살포량을 처방해주는 ‘맞춤식’으로 운영한다.

퇴비는 <장군비료>라는 상표를 붙여 논산·대전·세종지역 경종농가에 주로 판매한다. 연간 20kg들이 90만 포대를 판다. 가격은 운송비를 포함해 한포대당 3,750원이다. 이같은 자원화는 축산·경종농가 모두에 큰 도움을 주고 있다. 축산농가는 가축분뇨처리 부담을 덜고, 경종농가는 양질의 액비로 농산물의 품질과 수확량을 높일 수 있기 때문이다.

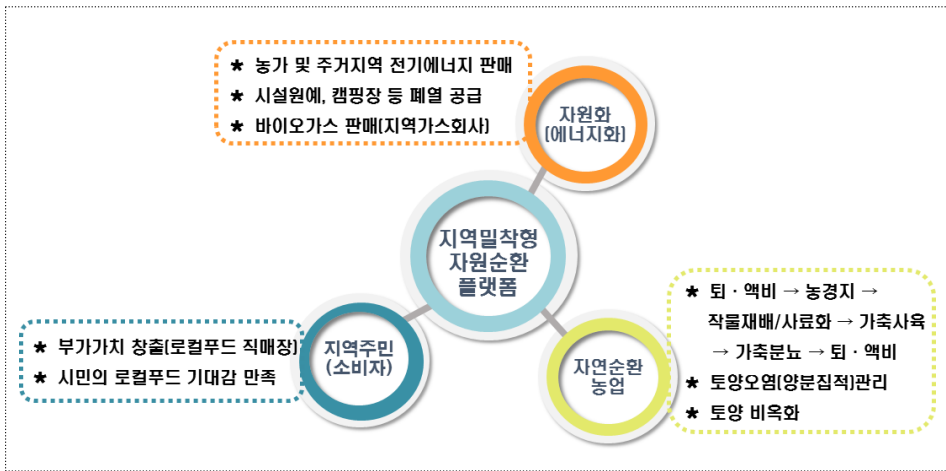
양돈농가 도기정씨(61·연산면)는 “축협이 가축분뇨를 도맡아 처리해주니까 돼지를 기르기가 한결 수월하다”고 말했다. 벼농사를 짓는 김정익씨(68·연무읍)도 “액비를 밀거름으로 넣은 뒤부터 토양이 눈에 띄게 좋아졌다”며 “예전엔 660㎡(200평)당 20kg짜리 화학비료 1~2포대를 뿌렸는데, 액비를 사용한 후부터는 반만 넣는다”고 말했다. 김씨는 액비를 사용한 후 품질향상은 물론 벼 도정률도 평균(67%) 이상 나온다고 했다.

자연순환농업센터는 여기서 그치지 않고 가축분뇨 자원화 과정에서 추출한 바이오가스로 하루 평균 1만2000kW의 전기를 생산해 한국전력에 팔고 있다. 1만2000kW의 전기는 일반 가정 1500가구가 사용할 수 있는 양이다.

권병양 자연순환농업센터 장장은 “가축분뇨 자원화는 축산농가와 경종농가가 함께 살 수 있는 미래사업”이라며 “앞으로 바이오가스로 완전혼합발효사료(TMF) 공장을 운영하는 등 다양한 사업을 추진할 계획”이라고 말했다.

2) 지역밀착형 자원순환 플랫폼 구상

가축분뇨, 음식물쓰레기, 농산부산물 등 유기성 폐기물을 대상으로 한 지역밀착형 자원순환 플랫폼의 기본 구상은 혐기소화(건식, 습식)를 통한 자원화(에너지화 및 퇴·액비화), 자연순환농업(가축분뇨 퇴·액비 → 농경지 → 작물재배/농업부산물 → 사료화 → 가축사육) 및 지역주민(소비자)을 잇는 유기적인 구조이다.



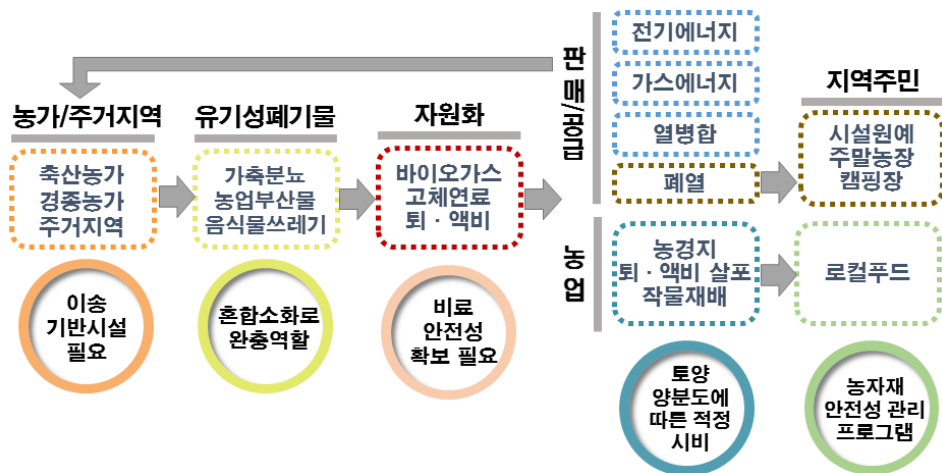
[그림 3-32] 지역밀착형 자원순환 플랫폼 구상

지역밀착형 자원순환 플랫폼의 첫 번째는 가축분뇨, 음식물쓰레기, 농산부산물 등 유기성폐기물의 통합소화이다. 가축분뇨는 유기물 함량에 비해 상대적으로 질소, 인의 함량이 높아 부족한 유기물을 음식물쓰레기 혹은 농산부산물로부터 공급받을 수 있어 서로 완충역할을 함으로써 바이오가스 생산 효율을 높일 수 있다. 생산된 바이오가스는 발전기를 이용하여 전기 에너지를 생산하여 축산농가, 경종농가 및 주거지역 등에 공급 혹은 판매가 가능하며, 폐열은 시설원예, 캠핑장 등에서 활용이 가능하다.

바이오가스 생산 후 액상은 액비로 슬러지는 퇴비로 생산하여 현지 농지에 순환시킴으로써 화학비료 및 유박비료¹⁴⁾의 사용을 억제하여 토양의

양분집적현상을 줄일 수 있다. 또한 유기성 폐기물로부터 생산된 퇴·액비는 유기물 함량 및 영양성분이 균형을 이루어 화학비료(주성분: 질소, 인, 칼륨)에 비해 토양을 건강하고 비옥하게 만들 수 있다. 이러한 토양에서 재배된 농산물은 로컬푸드 직매장(ex. Farmers Market)을 통해 지역주민(소비자)에게 제공함으로써 부가가치를 창출할 수 있다. 미국의 경우 로컬푸드 마켓이 활성화되어 있으며, 지역 주민들의 휴식공간을 겸하고 있다. 점차 시민들의 안전한 먹거리에 대한 기대감 및 의식수준이 높아지고 있어 로컬푸드의 만족도를 더욱 향상시킬 수 있는 기반이 될 것으로 기대된다. 이를 위해서는 믿을 수 있는 농자재 안전성 관리 프로그램이 전제되어야 할 것이다.

축종별 분뇨특성(돼지: 액상, 한우, 젓소, 양계: 고상)에 따라 혐기소화의 운전방식을 습식과 건식으로 운영하여 바이오가스를 생산할 수 있으며, 가축분뇨 시설에 대한 가장 큰 민원요소인 악취문제의 해결에도 상당히 효과적일 것이다. 또한 바이오가스화 후 퇴·액비 생산은 가축분뇨의 감량화 및 안정화 측면에서도 매우 효과적일 것으로 사료된다.



[그림 3-33] 지역밀착형 유기성폐기물 통합 자원순환 플랫폼 흐름도

14) 유박비료는 다량 사용 시 작물에 피해를 주며, 발효과정이 없어 유익한 미생물의 증식이 일어나지 않는다. 뿐만 아니라 지력(땅심)을 높이는 리그닌(목질)이 없어 토양 유기물이 생기지 않아 작물성장에만 도움이 될 뿐 지력을 살리거나 토양을 비옥하게 하는 것에는 효과가 없다.



Athens Farmers Market, Ohio

Hollywood Farmers Market

[그림 3-34] 미국 로컬푸드(Farmers Market) 매장 사례

3. 가축분뇨 자원화 공정 시나리오

세종시의 가축분뇨를 포함한 유기성폐기물(음식물쓰레기, 농업부산물)을 이용하여 지역밀착형 자원순환 플랫폼을 운영할 경우 자원화시설 방안으로 1) 바이오가스화 → 퇴·액비화, 2) 바이오가스화 → 액비화 및 고체연료화, 3) 고체연료화에 대해 각 시나리오별 물질수지를 검토하였다.

1) 바이오가스화 및 퇴·액비화 연계 공정

바이오가스화공정은 건식 및 습식 운전으로 가축분뇨 및 음식물쓰레기 등 혼합원료를 투입하여 에너지 회수 효율을 높일 수 있으며, 부산물을 활용하여 퇴·액비를 생산할 수 있고 생산된 퇴·액비는 소화과정에서 병원성균이 사멸되어 안정화된 퇴·액비 생산이 가능하다. 다만 공정 도입 시 시설비가 기존의 자원화 설비에 비해 과다하고 운전의 난이도가 높아 공정 도입 초기에 운전 미숙과 잦은 기계 결함으로 인해 효율이 낮아져 가동 중지 및 폐쇄한 사례가 있다. 또한 현재 가동 중인 시설에서 음식물쓰레기 확보 및 액비의 경쟁력 부족 등의 문제점이 제시되기도 하였다.

현재 운영 중인 바이오가스 플랜트 중 가축분뇨와 음식물쓰레기를 혼합하여 처리하는 플랜트 4개소의 운영 현황을 토대로 세종시에 바이오가스 통합처리 플랜트 설치 시 회수 가능한 바이오가스 생산량을 산정하였다. 투입 원료의 비율은 바이오가스화 시설에서 일반적으로 많이 채택하고 있는 가축분뇨(우분) 70%와 음식물쓰레기 30%를 기준으로 하였으며, 세종시에서 발생하는 음식물쓰레기 전량을 투입하는 것으로 가정하였다.

<바이오가스화 → 퇴액비화>

i) 세종시 가축분뇨 및 음식물쓰레기 발생량

- ① 가축분뇨(우분) : $23,869\text{두} \times 14.6\text{L/두·일} \times 10^{-3}\text{톤/L} = 348.5\text{톤/일}$
- ② 음식물쓰레기
: $214,364\text{인} \times 0.27\text{kg/인·일} \times 10^{-3}\text{톤/kg} = 57.87\text{톤/일} \approx 58\text{톤/일}$

ii) 투입원료 비율 및 VS 함량

- 가축분뇨 : 음식물쓰레기 → 70 : 30
- ① 가축분뇨 VS함량 : $135\text{톤/일} \times 0.251 = 33.9\text{톤-VS/일}$
- ② 음식물류 폐기물 VS함량 : $58\text{톤/일} \times 0.163 = 9.5\text{톤-VS/일}$
- 유기물 평균 분해율
: 가축분뇨(우분) 40%, 음식물류 폐기물 82.2%¹⁾

iii) 바이오가스 생산량 및 에너지 생산량

- ① 가축분뇨 바이오가스 생산량
: $33.89\text{톤-VS/일} \times 281\text{m}^3\text{-CH}_4\text{/톤-VS}^2 \times 0.4^4 = 3,809.2\text{m}^3\text{-CH}_4$
- ② 음식물쓰레기 바이오가스 생산량
: $9.5\text{톤-VS/일} \times 360\text{m}^3\text{-CH}_4\text{/톤-VS}^3 \times 0.822^4 = 2,811.2\text{m}^3\text{-CH}_4\text{/일}$
- ③ 발열량 : $6,620.4\text{m}^3\text{-CH}_4\text{/일} \times 5,158\text{kcal/m}^3\text{-CH}_4^1 = 34,148,436\text{kcal/일}$
- ④ 투입원료 대비 에너지 생산량 : $34,148,436\text{kcal/일} \div 193\text{톤} = 176,935\text{kcal/톤}$

iv) 퇴액비 생산 가능량

- 소화 후 저류조 유입량 : 171.7톤/일(함수율 80.4%)
- 고액분리 후 여액(액비화) : 59.6m³/일
- 고액분리 후 잔류 고형물(퇴비화) : 112.1톤/일(함수율 70%)

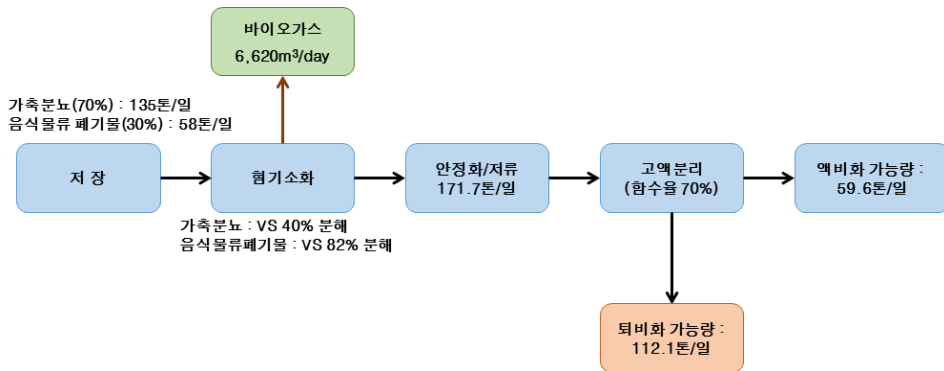
출처: 1) 국립환경과학원(2014), 「유기성폐자원의 고효율 바이오가스화를 위한 최적 운영방안 연구(I) -음식물류폐기물 바이오가스화 시설의 기술지침서 마련」

2) 신재생에너지 데이터센터, 가축분뇨 바이오가스화 에너지 잠재량 추정방법

3) 환경부(2015), 음식물류폐기물 바이오가스화시설 기술지침서 2nd Edition

4) 혐기성 소화 시 우분의 VS 평균 분해율, 한국환경공단(2011), 바이오가스 에너지화 기술

본 공정을 통해 세종시에서 발생되는 우분의 50% 이상이 처리가능하며, 하루 6,620m³의 바이오가스 생산이 가능하고 투입원료 대비 에너지 생산량은 톤 당 176,935kcal로 계산되었다. 퇴·액비화 공정 연계 시 소화액의 고액분리 여액은 액비화하고, 잔류고형물은 퇴비화하여 활용 가능하다.



[그림 3-35] 바이오가스화 및 퇴·액비화 연계 공정 물질수지

2) 바이오가스화 → 액비화 및 고체연료화 연계 공정

바이오가스화 공정 후 고액분리에 의해 발생하는 고형물을 퇴비화 하지 않고 고체연료화 공정으로 연계할 경우에 대해 검토하였다. 혐기소화 과정에서 가축분뇨 및 음식물쓰레기의 유기물이 분해되어 소비되기 때문에 고체연료화 단일 공정에 비해 에너지 생산량은 감소되나 선행 공정에서 바이오가스가 생산되는 장점이 있다.

본 공정을 통해 생산되는 바이오가스량은 6,620m³/일로 176,935kcal/톤의 에너지 생산이 가능하며, 소화액의 고액분리 여액은 액비화하고, 잔류고형물의 함수율을 20%로 건조할 경우 42톤/일의 고체연료 생산이 가능하다. 건조에 소요되는 에너지량(386,875kcal/톤)을 고려한 투입원료 대비 에너지 생산량은 442,062kcal/톤으로 산출되었다.

<바이오가스화 → 액비화 및 고체연료화>

i) 바이오가스화 공정

- 투입원료 : 가축분뇨 135톤/일, 음식물쓰레기 58톤/일
- 바이오가스 생산량 : 6,620.4m³-CH₄/일
- 투입원료 대비 에너지 생산량 : 176,935kcal/톤
- 소화 후 저류조 유입량 : 171.7톤/일

ii) 고체연료 생산량

- ① 고액분리 후 잔류 고형물 : 112.1톤/일(함수율 70%)
- ② 고체연료 생산량(함수율 70%→20%)
 - 고체연료 생산량 : 42.0톤/일
 - 건조 소요에너지 : 386,875kcal/톤¹⁾

iii) 고체연료 에너지 생산량

- ① 고체연료 에너지 생산량
: 42.0톤/일 × 3,043kcal/kg²⁾ × 1000 = 127,806,000kcal/일
- ② 건조 소요에너지 : 386,875kcal/톤 × 112.1톤/일 = 43,368,688kcal/일
- ③ 투입원료 대비 에너지 생산량
: (127,806,000 - 43,368,688)kcal/일 ÷ 193톤/일 = 437,499kcal/톤
※ 원료의 함수율, 건조 방식에 따라 달라질 수 있음

1) [표 3-20] 참조

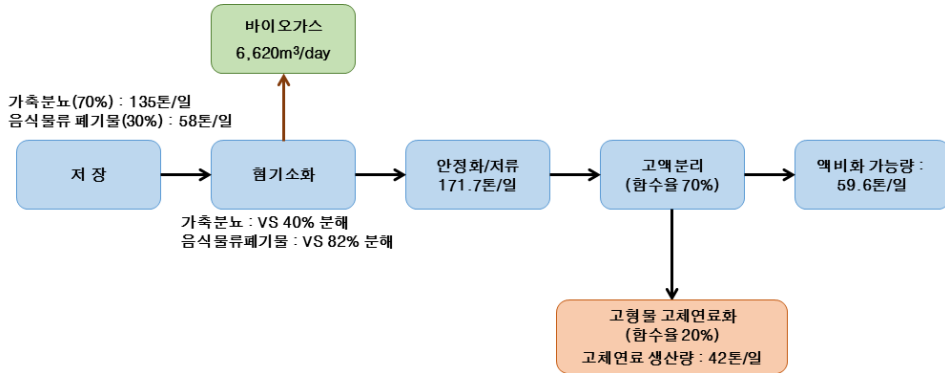
2) 정광화(2016), 젖소 분뇨 반 건식 혐기성 소화 및 잔재물의 고체연료화

[표 3-20] 가축분뇨 1톤당 건조에너지 소요량

(단위: kcal/톤)

건조물 수분함량(%) 고형물 수분함량(%)	30	25	20	15	10
90	530,571	536,467	541,625	546,176	550,222
80	442,143	453,933	464,250	473,353	481,444
70	353,714	371,400	386,875	400,529	412,667
60	265,286	288,867	309,500	327,706	343,889
50	176,857	206,333	232,125	254,882	275,111
40	88,429	123,800	154,750	182,059	206,333

출처 : 환경부(2013), 가축분뇨 고형연료 제품의 품질등급 기준 마련 연구용역 보고서



[그림 3-36] 바이오가스화 및 고체연료화 연계 공정 물질수지

3) 고체연료화 공정

우분+톱밥의 발열량은 함수율 20% 기준 3,642kcal/kg으로 세종시에서 발생하는 348.5톤의 우분을 전량 고체연료화 할 경우 고체연료를 통해 생산되는 에너지는 473,460,000kcal/일로 나타났다. 고체연료는 생산 후 함수율 20%까지 건조시키는 것으로 하였을 때 130톤의 고체연료를 생산할 수 있으며, 고체연료 건조에 필요한 에너지는 총 134,825,938kcal로 투입원료 대비 에너지 생산량은 971,690kcal/톤으로 산출되었다.

<고체연료화 공정>

세종시 발생 우분 전량 처리 시, 투입 원료 348.5톤/일

i) 고체연료 생산량(함수율 70%→20%)

: 고체연료 생산량 : 130톤/일

ii) 고체연료 에너지 생산량

① 고체연료 에너지 생산량

: 130톤/일 × 3,642kcal/kg¹⁾ × 1000 = 473,460,000kcal/일

② 건조 소요에너지(원료 함수율 70%→20%)

: 386,875kcal/톤 × 348.5톤/일 = 134,825,938kcal/일

③ 투입원료 대비 에너지 생산량

: (473,460,000 - 134,825,938)kcal/일 ÷ 348.5톤/일 = 971,690kcal/톤

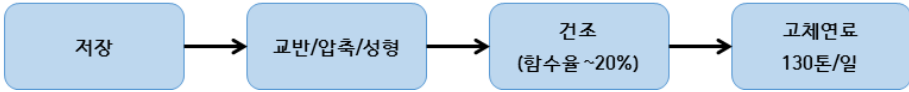
iii) 소각 부산물 발생량

- 139.84톤/일 × 0.2²⁾ = 27.97톤/일

출처: 1) 정광화(2016), 젖소 분뇨 반 건식 혐기성 소화 및 잔계물의 고체연료화

2) 하상안 외(2008), P시 소각장의 하수슬러지 및 음식물 쓰레기의 혼제소각 시 타당성 분석

한육우 분뇨 : 348.5톤/일
(세종시 한육우 두수 X 원단위)



[그림 3-37] 고체연료화 공정 물질수지

4) 공정 시나리오별 비교

공정별 에너지 생산량은 고체연료화, 바이오가스화 → 액비화 및 고체연료화, 바이오가스화 → 퇴·액비화 순으로 높게 나타났다. 바이오가스 공정 연계시설에서 생산되는 고체연료의 경우 혐기성 소화과정에서 유기물이 소비되어 톤당 에너지 생산량은 고체연료화 단일 공정에서 생산되는 고체연료에 비해 절반가량으로 나타났다.

바이오가스화 단일 공정의 경우 에너지 생산량은 가장 적지만 부산물을 통해 퇴·액비를 생산할 수 있어 자원순환농업에 가장 적합할 것으로 보이며, 후속 공정으로 고체연료화를 연계할 경우 준수한 에너지 생산량과 액비 생산량을 나타냈다. 고체연료화 단일 공정의 경우 바이오가스화 공정에 비해 5배 이상의 에너지 생산량이 기대되며, 건조방법 및 기술에 따라 에너지 생산량은 더욱 증가될 수 있을 것으로 보인다.

[표 3-21] 공정별 부산물 및 에너지 생산 가능량

자원화 공정	투입 원료량(톤/일) (우분 : 음식물쓰레기)	부산물 생산 가능량(톤/일)	에너지 생산량 (kcal/톤)
바이오가스화 → 퇴·액비화	193 (135:58)	퇴비 : 112.1 액비 : 59.6	176,935
바이오가스화 → 액비화 및 고체연료화	193 (135:58)	액비 : 59.6 고체연료 : 42	614,434 (바이오가스: 176,935 고체연료: 437,499)
고체연료화	348.5 (348.5:0)	고체연료 : 130	971,690

DSI

제4장 종합

DAEJEON SEJONG
RESEARCH
INSTITUTE

제4장 종합

1. 세종시 가축분뇨 발생특성

세종시의 가축분뇨는 약 1,500톤/일 정도 발생되는데, 축종별로 한우 및 젓소가 36%, 돼지가 32%, 양계가 32% 정도이다. 가축분뇨의 활용비율은 자원화가 66.2%, 정화처리가 15.2%, 그 외(재활용업자에게 위탁처리 등) 18.4%였다. 세종시에서 사육되는 축종은 한우, 젓소, 양계 비율이 높으며(68%), 이로부터 발생하는 가축분뇨는 낮은 함수율로 인해 대부분 개별농가에서 퇴비화되는 비중이 높다(80.3%)는 것에 주목할 필요가 있다. 퇴·액비화의 법적기준이 신설 및 강화됨에 따라 이를 준수하기 위한 대안이 요구되고 있으나, 개별농가에서 퇴비화 부숙도 기준을 충족하기 위한 현실적 방안은 모호하기 때문이다. 또한 가축분뇨 관리제도의 패러다임이 기존의 자원화(퇴·액비화)에서 자원화 및 에너지화로 변화함에 따라 이에 대응하는 세종시의 가축분뇨에 대한 현실적인 관리 및 활용방안(에너지화) 마련이 필요할 것으로 판단된다.

2. 가축분뇨 관리 정책 방향

최근 추진되고 있는 가축분뇨의 관리 정책은 에너지화(가스화 및 고체연료화) 시설을 포함하는 공공처리시설의 확충, 축산 악취 관리 강화, 무허가 축사 적법화, 가축분뇨 정화시설의 방류수 수질기준 강화, 퇴·액비 관리 강화(가축분뇨법에 퇴·액비 비료화 기준 신설함), 가축분뇨 실태조사, 양분관리제 도입 등이다. 이러한 정책 방향에 맞추어 세종시의 환경용량을 고려한 가축분뇨 관리 정책을 마련할 필요가 있으며, 본 연구에서는 에너지화 시설을 통한 세종시의 가축분뇨 활용방안에 대해 제시하였다.

[표 4-1] 가축분뇨 관리 정책 추진방향 요약

가축분뇨 관리정책	추진방향
가축분뇨 공공처리시설 확충	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 바이오에너지화(고체연료화 포함) 공공처리시설 확대 ▪ 가축분뇨 고체연료화 활성화 등 처리기술 다양화를 위한 기반 조성
축산 악취 관리 강화를 위한 제도개선 추진	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농식품부의 ‘깨끗한 축산환경 조성’ 추진대책과 연계하여 협업 추진 ※ 환경친화축산농장 확대, 선진화된 축사 모델 보급·확산, 악취 취약농가 기술지원 등
무허가 축사 적법화 추진	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 축산업의 여건을 고려하여 규모에 따라 사용종지·폐쇄명령 적용 유예 ▪ 기타 건축법령 개성(건폐율 적용 완화 등), 가축분뇨법령 개정 등 제도개선 병행 추진
가축분뇨 정화시설의 방류수 수질기준 단계적 강화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 정화시설의 방류수수질기준 개선(안) 마련 및 시행규칙 개정 ▪ 배출시설 방류수수질기준의 T-N농도 강화('19년: 250mg/L)
퇴비, 액비 관리강화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 퇴액비 시설 및 운영 관리 강화 ▪ 액비유통센터 관리 강화, 퇴·액비 비료화 등 품질 제고, 살포지 관리 체계 개선 등 협업 추진
가축분뇨 실태조사	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농경지 내 양분, 가축분뇨 등으로 인한 환경오염실태를 체계적으로 조사하여 가축분뇨 관련 정책을 효율적으로 수립·추진 ▪ 실태조사 지역 확장 및 증장기 운영 로드맵 마련
양분관리제 도입 추진	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지역별 양분수지를 고려하여 가축분뇨 공공(공동)처리시설 확충·지원 ▪ 시범사업 확대 추진 ▪ 양분관리제 제도화 방안 마련 및 이해관계자 의견수렴

3. 세종시 가축분뇨 관리 및 활용을 위한 기술적 검토

돼지, 한우, 젓소, 양계 등의 가축분뇨 관리 및 활용을 위한 에너지화 방안으로 실용화 보급 가능성이 큰 기술인 바이오가스화와 고체연료 기술에 대해 검토하였다.

기존의 가축분뇨 바이오가스화 실증사례를 보면 대부분 낮은 소화효율로 인해 경제성 문제 및 악취 발생의 처리기술 미흡으로 가동이 중단되거나 폐쇄되는 사례가 많았다. 하지만 최근에는 기술개발에 따라 혐기소화

효율이 개선되고 있으며, 다른 유기성폐기물(음식물, 하수 등)과의 병합소화로 경제성 문제 해소에 노력하고 있다. 또한 축종별로 수분함량이 높은 양돈분뇨와 한우, 젓소, 양계 등 수분함량이 낮은 분뇨에 대해 각각 습식 및 건식으로 혐기소화가 가능하다.

따라서 혐기소화를 통한 바이오가스화는 ‘가축분뇨의 퇴·액비화 관리 기준 강화’에 대한 대응책이 될 수 있을 것으로 판단된다. 현실적으로 한우분, 젓소분, 계분 등은 개별 퇴비화되는 비중이 높는데 반해 개별농가에서 부숙도 기준을 충족하기에는 시설적, 기술적 문제 등의 한계가 있기 때문이다. 따라서 개별농가에서 퇴비화 되고 있는 가축분뇨에 대해 지자체 차원에서 적절한 수거체계를 갖추고(예: 농가에 분뇨 저장 컨테이너 설치 후 컨테이너를 직접 이송 → 악취 및 비점오염원 차단), 이를 바이오가스화하는 것이 에너지 생산뿐만 아니라 악취 민원해결 및 2차적인 환경오염 방지 차원에서도 효과적일 것으로 판단된다. 바이오가스화 시설의 성립을 위한 전제조건으로 소화액(액비) 및 슬러지(퇴비)를 비료로써 효과적으로 활용할 수 있는 환원농지의 존재가 필수적이다. 또한 경종농가와 바이오가스 플랜트 운영 주체간의 바이오가스화 후 자원화물(퇴·액비)의 사용에 대한 수요공급체계 확립도 필요할 것으로 사료된다.

가축분뇨의 고체연료화 기술의 핵심기술은 건조기술이며, 국내 실용화 실적은 미흡한 상태로 경제성 있는 건조기술의 개발이 필요하다. 전처리 단계에서 수분을 감소시켜 고형물 비율을 증가시킴으로 건조에 소요되는 에너지를 줄여 경제성을 높여야 할 것이다. 현재 가축분뇨 고형연료화 기술은 기술개발 단계의 수준이지만, 가축분뇨와 유사한 성상의 하수슬러지의 경우 고형연료화 기술이 상용화되어 있어 가축분뇨의 고체연료화는 충분히 실용화 보급이 가능할 것으로 판단된다(환경부, 2013). 또한 고체연료화 공정은 소각을 거쳐 에너지를 생산하기 때문에 소각과정에서 대기오염 물질이 발생할 수 있고, 특히 투입원료의 특성상 인체에 유해한 다이옥신이 발생할 가능성이 있어 철저한 관리가 요구된다.

다음은 바이오가스화 기술과 고체연료화 기술의 특징 및 장·단점 등을 다음 [표 4-2]에 정리하였다.

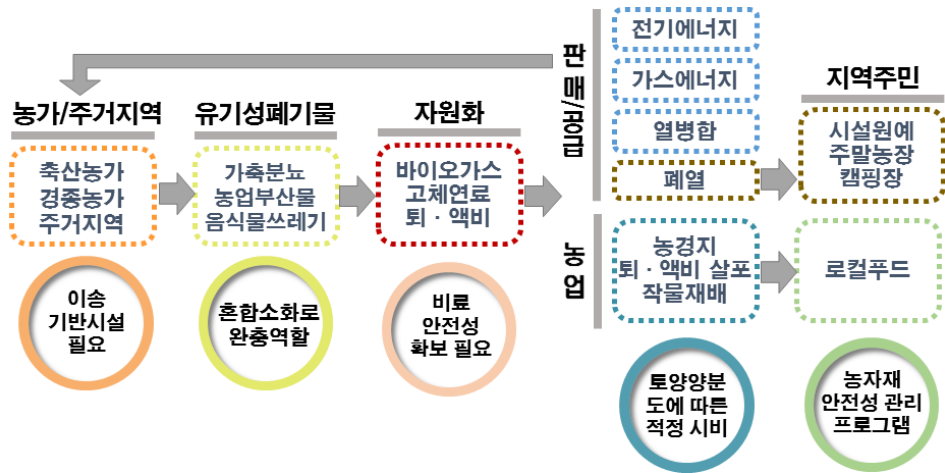
[표 4-2] 가축분뇨 에너지화 기술 특징

구분	바이오가스화	고체연료화
기술 특성	메탄발효를 통한 기체 연료 (바이오가스) 생산기술	성형, 건조 과정을 통한 고체연료 생산기술
대상 원료	수분함량이 높은 원료 (함수율 80~98%)-습식소화 수분함량이 낮은 원료(함수율 70~80%)-건식소화	수분함량이 낮은 원료 (함수율 50~80%)
기술 수준	실용화 보급 단계	실용화 기술개발 단계
핵심 기술	혐기발효 기술	건조기술
기술 분야	기계장치, 설비, 전기제어·계측, 생물학적 미생물 제어 기술	기계 장치 기술
운영 및 관리 난이도	High	Low
시설투자비	High (7천만 원/톤, 발전기 투자비 비중 높음-독일에 비해 약 3~4.5배)	Medium
운영경비	High (일반적으로 시설투자비의 15~17%)	High (건조비용 과다)
장점	<ul style="list-style-type: none"> 전기, 열에너지 생산·공급 온실가스 저감 약취 경감 소화액과 슬러지의 유기비료화(농지환원 가능) 통합소화(음식물쓰레기, 하수슬러지 등)에 따른 에너지 생산효율 증대 	<ul style="list-style-type: none"> 기술수준이 낮고 단순하여 기술보급 확대에 유리 가축분뇨의 연소열을 이용하므로 에너지 전환 이용 효율 우수 가축분뇨 양분총량제 등 토양오염 저감 효과
단점	<ul style="list-style-type: none"> 잡은 기계고장 및 관리부실로 운영중단 사례 빈번 소화액 사용에 상당한 노동력과 시간 소요 농경지 및 액비저장조 확보 필요 퇴·액비 사용에 대한 경종농가의 인식전환 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 건조에너지 과다소비로 경제성 낮음 고형연료 이용에서 대기오염물질(미세먼지) 등 2차적인 오염원 관리 필요 제조과정에서 다른 폐기물의 혼입 우려가 있어 고형연료 제품의 품질관리에 어려움

출처: 환경부(2013), 가축분뇨 고형연료 제품의 품질·등급 기준 마련 연구, p.58 재구성

4. 세종시 가축분뇨 활용방안

사업 초기에는 정부 및 지자체의 지원을 받아 운영하되 시설의 장기적 운영을 위해서는 지역의 농·축협 혹은 조합단위 구성원들의 자발적인 참여와 협조가 필수적이다. 또한 효과적인 운영을 위해 지역 주민과의 원활한 의사소통을 통한 니즈 수용과 시설 운영자의 관리기술 선진화 등 다각적 노력이 필요하다. 더불어 지역여건을 고려한 시설 규모 및 부지선정, 원료(가축분뇨, 음식물쓰레기 등) 확보 및 에너지 공급 방안, 퇴·액비 수급처 확보 등에 대한 체계적인 계획을 마련해야할 것이다. 본 연구에서 제안하는 지역밀착형 유기성 폐기물 자원순환 플랫폼의 체계는 가축분뇨 및 음식물쓰레기 등의 수거에서부터 자원화물(퇴·액비) 살포 및 에너지 판매/공급까지 전 시스템을 일원화하여 운영하고, 생산된 농산물을 판매할 수 있는 로컬푸드 마켓(ex. Farmers Markets)을 연계하는 통합형 자원순환단지이다. 자원순환단지내의 로컬푸드 마켓은 경종농가와 지역주민들의 자발적인 참여유도를 통해 세종시의 특색 있는 휴식 공간 및 관광자원으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.



[그림 4-1] 지역밀착형 유기성 폐기물 자원순환 플랫폼 흐름도

참고문헌

□ 문헌자료

- 국립환경과학원(2012), 수계오염총량관리기술지침
- 국립환경과학원(2016), 통합처리 바이오가스화 시설의 기술지침서
- 기획재정부(2017), 2016 공공기관 경영 우수사례집
- 농림부(2008), 자연순환형 친환경축산 정책 방향
- 농림부(2013), 중장기 가축분뇨 자원화 대책 수립·시행(농림부 2013.5.2. 보도자료)
- 농림축산식품부(2006), 국내여건에 적합한 가축분뇨 바이오가스생산 최적시스템 연구
- 농협중앙회(2009), 가축분뇨 자원화시설 표준설계도(해설서)
- 소진영(2012), 지속가능성 평가를 위한 바이오에너지 전과정 평가, 에너지경제연구원 기본연구보고서 12-17
- 수도권매립지관광공사(2015), 유기성폐기물고체연료제품(Bio-SRF) 대상 확대 가능성 연구
- 이귀현(2010), 우분 성형 고휘연료의 열 및 물리화학적 특성, 바이오시스템공학 논문지, Vol. 35, No. 1, p. 64-68
- 이정임, 이시은(2016), 농업부산물의 에너지 활용 방안, 경기연구원 정책연구, 2016-78
- 이준호, 박소연, 이경호(2017), 유증건조를 이용한 축산분뇨슬러지의 고휘연료화 공정 연구, 한국산학기술학회논문지, Vol. 18, No. 2, p. 294-301
- 정광화(2016), 젖소 분뇨 반 건식 혐기성 소화 및 잔재물의 고체연료화, 충남대학교 박사학위논문
- 조지혜 외(2014), 폐자원 및 바이오에너지의 용도별 적정 배분방안(Ⅰ), 한국환경정책평가연구원 기후환경정책연구 2014-04
- 축산환경관리원(2017), 축산환경 전문컨설턴트 양성교육 기초과정(교육자료)
- 하상안, 유미영, 염혜경(2008), P시 소각장의 하수슬러지 및 음식물 쓰레기의 혼재소각 시 타당성 분석
- 한국농촌경제연구원(2014), 일본의 농업·농촌 재생가능 에너지 정책
- 한국환경공단(2011), 바이오가스 에너지화 기술
- 한국환경공단(2017), 고휘연료제품 제조·사용·수입 실적현황
- 한국환경산업기술원(2013), 폐자원 에너지화 기술동향보고서
- 환경부(2012), 음식물류폐기물과 가축분뇨 병합 처리시설 관리방안 및 인허가 처리기준 연구
- 환경부(2013), 가축분뇨 고휘연료 제품의 품질등급 기준 마련 연구용역 보고서

환경부(2013), 제 4차(2011~2012) 전국폐기물통계조사
환경부(2015), 음식물류폐기물 바이오가스화시설 기술지침서 2nd Edition
환경부(2016), 2015 유기성폐자원 에너지 활용시설 현황
Danish Energy Agency(2016), ENERGY STATISTICS 2015
EurObservEr(2015), THE STATE OF RENEWABLE ENERGIES IN EUROPE
IEA Bioenergy(2016), IEA Bioenergy Countries' Report

□ 인터넷자료

신재생에너지 데이터센터(<http://kredc.kier.re.kr/kier/>)
가축분뇨전자인계관리시스템(<https://www.lsns.or.kr/main.do>)
한국에너지공단 신·재생에너지센터
(<http://www.knrec.or.kr/knrec/12/KNREC122100.asp>)
법제처(<http://www.moleg.go.kr/main.html>)
지앤이타임즈(2013. 02. 19), CNG-LPG에 바이오가스 도입 검토, 윤병호
축산신문(2008. 09. 08), 김제에 연간 3만톤 액비 생산 축분뇨 공동자원화시설
구축, 박윤만
한국농어민신문(2012. 05. 07.), 농진청 신품종신기술 적용현장을 가다 ③에버그린영농조합법인
한국일보(2016. 06. 12.), 소똥으로 전기생산한다, 이준호