

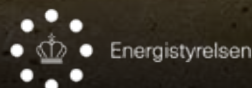


바이오가스 생산

덴마크 바이오가스의 경험과 통찰



Food & Bio Cluster
Denmark



INDUSTRIENS
FOND
FREMME
DANSK
KONKURRENCEVNE
The Danish Industry Foundation

바이오가스 생산분야 세계 선도국인 덴마크

PUBLISHED

Food & Bio Cluster Denmark,
Niels Pedersens Allé 2, 8830
Tjele, Denmark

COVER PHOTO

Nature Energy

AUTHORS

Michael Stöckler, Food &
Bio Cluster Denmark; Bodil
Harder, Daniel Berman
and Thomas Young Hwan
Westring Jensen, Danish
Energy Agency

CONTRIBUTORS

Reza Jan Larsen,
Biogasclean; Niels
Østergaard, SEGES; Jørgen
Fink, Nature Energy; Lars
Villadsgaard Toft, SEGES;
Anna-Marie Bøgh, Kemira

REVIEWING

Claus Gunge Mortensen and
Louise Krogh Johnson, Food
& Bio Cluster Denmark

PRODUCTION

Food & Bio Cluster Denmark

GRAPHIC DESIGN

DANSK DESIGNRUM
Trine Elmstrøm
www.danskdesignrum.dk

Marie Poulsen
Food & Bio Cluster Denmark

SUPPORTED BY

The Danish Industry
Foundation

DATE

June 2020

목차

1 서론	3	6 소화액의 사용	54
		6.1 비료 가치와 재활용	54
2 덴마크의 축산분뇨 사용을 위한 정책	4	6.2 영양분 함량	56
2.1 덴마크 바이오가스 지원제도	5	6.3 영양분의 가치	56
2.2 재생 천연가스 거래를 위한 덴마크 시장 모델	8	6.4 적용 방법과 암모니아 손실	59
2.3 유기 바이오가스 발전소	13		
3 바이오가스 발전소 설계	14	7 환경 문제 위험 줄이기	64
		7.1.1 질병의 확산 방지	64
4 덴마크의 바이오가스 생산	17	8 연구개발	66
4.1 바이오가스 생산을 위한 계획 수립	18	8.1 대학	66
4.2 사업계획 및 의사소통	19	8.1.1 오르후스 대학(Arhus University)	66
4.3 이용가능한 바이오매스	20	8.1.2 올보르그 대학(Alborg University)	66
4.3.1 분뇨	22	8.1.3 덴마크남부대학교	
4.3.2 잔류물	25	(University of Southern Denmark)	68
4.3.3 생활폐기물	25	8.1.4 로스킬데 대학(Roskilde University)	69
4.4 폐수처리장	28	8.1.5 덴마크공과대학교	
4.5 에너지 함량	29	(Technical University of Denmark)	69
4.6 매스 발란스	30	8.2 연구 기관	70
4.7 조직	30	8.2.1 덴마크 기술연구소	
4.8 만손(Månsson) 사례		(Danish Technological Institute)	71
- 녹색 및 유기농 바이오가스 파트너십	31	8.2.2 바이오가스 덴마크(Biogas Denmark)	72
		8.2.3 SEGES	72
		8.2.4 덴마크 식품 및 바이오 클러스터	
5 바이오가스의 사용	36	(Food & Bio Cluster Denmark)	73
5.1 바이오가스 손실	37		
5.2 덴마크 가스 품질 기준	38	9 회사, 공급업체와 자문회사	73
5.3 고질화	38		
5.3.1 탈황	44		
5.4 황의 화학적 침전	45		
5.4.1 다량 영양소로서 철	47		
5.4.2 미량 원소는 소량 영양소이다.	48		
5.4.3 혐기성 공정을 지원하는 화학 반응	48		
5.5 열병합 발전(CHP)	49		
5.6 운송 및 물류	50		
5.7 Power2X	51		

덴마크는 세계에서
가축사육 밀도가
가장 높다.



1 서론

덴마크는 세계에서 가축사육 밀도가 가장 높다. 발트해와 같은 취약한 자연으로 둘러 싸여 있다는 점과 함께, 이러한 사실은 축산분뇨를 환경적으로 안전하게 처리하는 기술 및 혁신 기술을 개발하고자 하는 상당한 노력을 위한 길을 마련했다.

자원고갈과 기후문제에 대한 인식 증가로 인해 분뇨를 활용한 에너지 함량과 비료의 가치를 활용하여 축산에서 온실가스 배출을 줄일 수 있는 잠재력이 있다는 점이 분명해졌다. 많은 덴마크 양돈농가 및 낙농가는 대부분 농민협동조합 소유의 산업규모 바이오가스 발전소를 통해, 축산분뇨 기반 바이오가스 생산에 참여하고 있다.

슬러리와 가축 배설물을 유기질 비료로 사용하는 것은 논란이 많은 문제이다. 유기질 비료는 중요한 영양 공급원이지만, 올바르게 취급되지 않는 경우 환경에 부정적인 영향을 줄 수 있기 때문이다. 유기질 비료의 영양분을 효율적으로 사용하여 환경에 대한 영향을 낮추기 위해서, 덴마크 기업들은 지속적으로 적용기술의 개선에 중점을 두고 있다. 덴마크 연구기관 및 대학들은 많은 현장 시험을 실시하여, 최고의 적용 전략을 확인했다. 이러한 노력은 지난 20년 동안 슬러리와 가축 배설물 적용 관행을 완전히 바꿔 놓았다. 동시에, EU 및

회원국들은 유기질 비료의 적용에 관한 규정을 도입하여, 적용 관행의 관련 영향으로 인한 환경 영향을 최소화했다.

덴마크의 바이오가스 생산은 2012년 이래로 빠르게 증가했으며, 2023년까지 재생 천연가스가 가스 그리드 내 가스의 30%를 차지할 것으로 예상된다. 연간 천 백만 톤이 넘는 바이오매스가 바이오가스 및 비료 생산에 사용된다.

본 발행물은 축산과 도시 폐기물 흐름의 환경 및 기후 영향을 줄이는 현재의 문제를 해결하는 동시에 재생가능 바이오가스 에너지를 증가시키는 문제를 해결하는 혁신적인 방식들과 도시 폐기물 흐름 생산 및 증가하는 인구를 위한 동물성 식품의 수요에 관심이 있는 이들을 위한 것이다.

덴마크는 전세계
풍력 에너지 생산 및 풍
력발전기생산 분야에서
선도적인 국가이지만,
바이오 가스 생산에서도
앞장서고 있다.



2 덴마크의 축산분뇨 사용을 위한 정책

확고한 정부 정책 및 법률이 덴마크의 축산분뇨 처리를 위한 선진 기술 솔루션 개발을 촉진했다.

초기단계에는 해로운 환경 영향을 줄이려는 목적이었으나, 현재 기후 친화적인 에너지 잠재력을 추가 활용하고자 한다. (초기단계에는 해로운 환경 영향을 줄이려는 목적이었으나, 현재 기후친화적인 에너지 잠재력을 추가 활용하고자 한다.) is missing.
덴마크에서 축산분뇨는 항상 중요한 자원으로 간주되었다. 농업은 덴마크 경제에서 중요한 역할을 하며, 덴마크는 세계 제일의 돈육 수출국일 정도로 가축 생산량이 크다. 덴마크에서 생산되는 축산분뇨의 양은 매년 약 3천5백만 톤이며, 이는 5백5십만 덴마크 주민 1인당 6톤에 해당한다.

환경 정책 80년대 초까지, 축산분뇨는 높은 농작물 생산성 및 저렴한 에너지 가격에 대한 압력과 함께, 1960년대와 1970년대에 화학 비료 사용에 밀려 설 자리를 잃어버린 채 천연 농작물 비료로만 간주되었다. 하지만 1985년, 영양소 토양침출 및 수질에 관한 문제 증가로 인해 덴마크 정부는 이른바 NPO 계획을 시작했다. NPO 계획은 농장에서 축산분뇨 저장을 위한 최소 용량뿐만 아니라, 농지와 가축 수를 조화시키는 요건을 설정했다. 이후, 더욱 엄격한 EU 및 덴마크 규정으로 인해 현재 축산분뇨 내 엄청난 양의 질소(N)와 인(P)을 화학 비료와 거의 동일한 효능으로 활용하는 기술 개발이 시작되어, 환경에서 N과 P 부하가 완화되고 농가의 비료 구매비용이 경감되었다.

현재, 환경적 고려사항은 다음과 같다. 이는 오염으로부터 환경을 보호하는 문제일 뿐만이 아니라, 자원 효율성 및 유기질 생활폐기물과 같은 지역 자원의 사용에 관한 문제이고, 이 경우, 전세계에서 인과 화석연료 매장량이 고갈되는 것에 관한 우려가 있다.

기후 정책 국제사회뿐만 아니라 덴마크에서 지구 온난화와 그 위험한 영향에 대한 인식으로 인해 이러한 영향을 줄이는 정책 대책이 도입되었다. UN 교토의정서에 의해 2005년부터 덴마크는 이산화탄소 저감을 실시했다.

바이오안보 측면 2003년 EU의 위생 패키지는 식품 안전이 농장에서 식탁까지 공급망의 모든 단계에 따라 좌우된다고 판단한다. 즉, 모든 농장이 식품 공급망의 일부이다. 식품 안전은 미생물, 플라스틱, 화학물질 및 이물질로 인한 식품의 오염을 다룬다. 축산 농장의 경우, 높은 식품 품질 보장은 축산분뇨로 오염된 우유와 같은 제품의 오염을 방지하는 것에 중점을 둔다. 덴마크에서는 농민 단체들과 수의사 및 기타 당국과 협력하여 위생사업규범(국가 가이드라인)이 개발되었다. 또한, 많은 민간 품질인증제도가 수립되었다. 식품 안전 및 위생에 중점을 두면서 분뇨 취급 및 처리 기술에 대한 요건들이 증가하여, 분뇨를 유출없이 쉽게 유지관리할 수 있다.

덴마크에서 바이오가스의 시장 동인:

- 전담 정부 지원제도
 - 투자 지원
 - 발전차액지원
- 농지에 질소 및 인 적용 제한
- 쓰레기 매립지내 유기 폐기물 투기 금지(1998)
- 고품 생활폐기물을 2023년까지 최소 50% 재활용하기 위한 국가 목표
- 폐기물 처리 수수료 -> 혼합 소화
- 기술 문제에 대한 후속 프로그램
- 천연가스망에 허용된 바이오가스
- 재생에너지운송 연료에 대한 혼합 의무(5.75-10%)

덴마크의 바이오가스 생산량은 빠르게 증가하고 있다.

2.1 덴마크 바이오가스 지원제도

30년 동안 덴마크의 바이오가스 기술은 다양한 인센티브와 보조금 제도를 통한 지원을 받아 발전했다. 2012년에 시작된 이전의 보조금 제도는 발전을 가속화했고, 바이오가스 생산과 천연가스 그리드 내 재생 천연가스의 양을 증가시켰다.

바이오가스 생산은 에너지 생산과 분뇨 및 유기 폐기물 처리를 연결한다. 덴마크에서는 산업, 서비스 부문과 가정에서 발생한 분뇨와 유기 폐기물은 일반적으로 농업용 바이오가스 발전소에서 혼합 소화된다.

분뇨가 바이오가스 생산에 사용되는 경우, 분뇨의 취급 및 저장에서 발생하는 온실가스 배출량이 감소된다. 바이오가스를 고질화하면 화석 천연가스를 대체할 수 있는 재생가능가스로 사용할 수 있다. 또한, 이 공정에서는 고품질 천연 비료가 부산물로 생산되어, 화학 비료를 대체한다.

덴마크의 바이오가스 생산은 빠르게 증가하고 있으며, 2012년에서 2020년까지 4배가 증가하여, 연간 총 생산량이 약 20 PJ에 달한다. 최근까지, 생산된 바이오가스의 대부분은 전력 발전에 사용되었다. 현재, 바이오가스는 점차적으로 고질화되어 천연가스 그리드로 주입되고 있으며, 이 그리드에서 바이오가스는 화석 천연가스를 대체하고 사업 공정, 운송, 난방과 전력에 사용된다. 2018년에는 덴마크 가스 소비량의 약 8%가 고질화 바이오가스였다(EU 기록). 2030년까지 천연가스 그리드 내 가스의 30%가 재생 천연가스일 것으로 예상된다

2012년-2020년 덴마크의 최근 및 예상 바이오가스 생산량과 사용량(PJ)

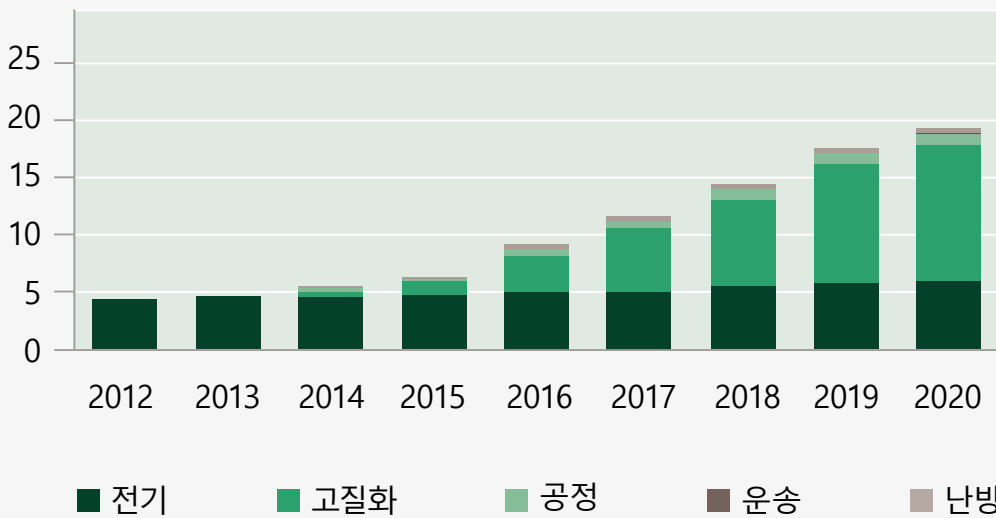


그림 2-1 덴마크의 최근 및 예상 바이오가스 생산량과 사용량

2025년까지 예상 바이오가스 생산량

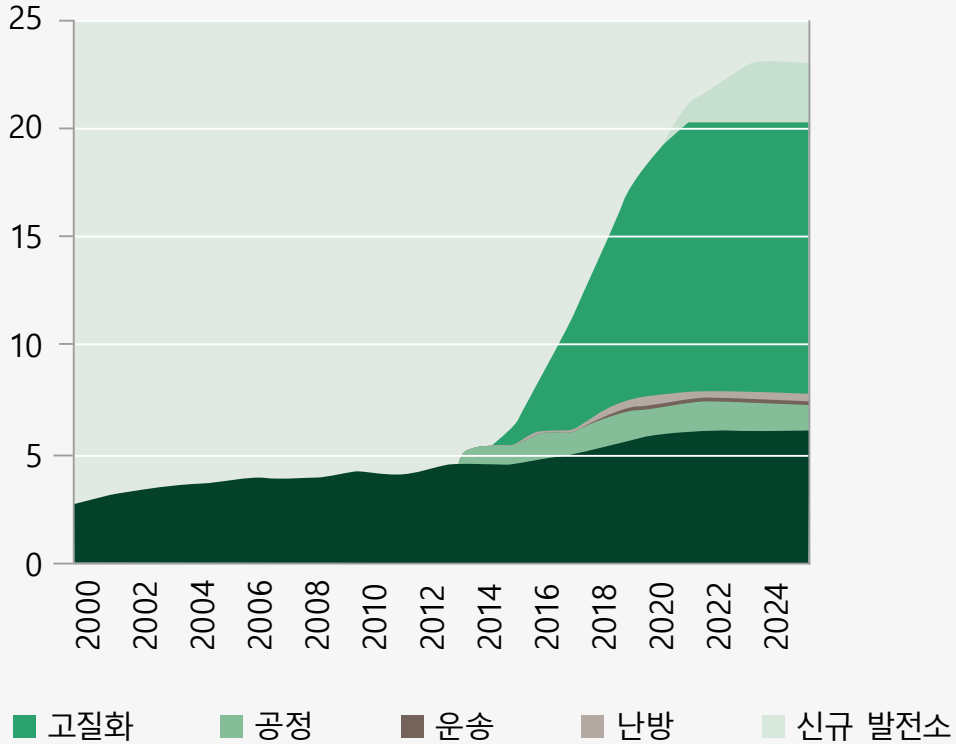


그림 2.2
연간 PJ로 계산된 2025년까지 예상 바이오가스 생산량

다. 그림 2-1은 2012년부터 2020년까지 덴마크의 과거 및 예상 바이오가스 생산량과 사용량을 보여준다.

2018년, 덴마크에서 32개의 바이오가스 발전소가 7.2 PJ(또는 1993 GWh 바이오메탄)의 메탄을 생산하고 있었다.

바이오가스 생산에 대한 인센티브.

덴마크 바이오가스 생산의 현재의 발전은 환경, 농업 및 에너지 규정 내 다음과 같은 일련의 인센티브를 통해 달성되었다.

- 전담 정부 지원 제도
- 화석연료 소비에 대한 세금
- 농지에서 질소와 인의 제한적 적용
- 1998년 이후 쓰레기 매립지내 유기 폐기물 투기 금지
- 폐기물 처리 수수료
- 후속 프로그램과 바이오가스 전담팀을 통한 핵심 이해관계자들과의 대화 및 공동 노력
- 신기술의 연구, 개발 및 시연 지원
- 바이오가스 생산에 에너지 작물을 사용하는 것에 대한 제한

정부 지원 제도.

다음과 같은 바이오가스의 사용은 아래 표에 명시된 지원을 받는다.

- 전기 생산
- 천연가스 그리드에 공급되는 고질화 바이오가스 또는 도시가스 그리드에 공급되는 청정 바이오가스

- 산업에서 공정 목적으로 바이오가스 사용
- 운송 연료로 바이오 가스 사용
- 난방용으로 바이오가스 사용

보조금 수급 자격이 되려면, 바이오가스 생산량은 투입 공급연료에서 5% 에너지 작물을 초과할 수 없다. 보조금은 다양한 목적을 위해 바이오 가스 사용자에게 수여된다. 여기에는 재생 천연가스(RNG) 생산을 위한 바이오가스 사용자들이 포함된다. 이전에는 바이오가스 발전소를 위한 투자지원제도가 존재했지만, 이 제도는 2016년에 종료되었다.

매우 낮은 천연가스 가격과 더불어 바이오가스 생산량의 증가로 인해, 보조금 제도의 비용이 크게 증가했다. 지원 비용 증가는 에너지 합의(2018년 6월부터)에서 2012년에 합의된 내용- 2020년 이후 준공되는 신규 발전소에 대한 보조금 제도를 중단한다는 정치적 결정에 동기를 부여했다. 대신, 바이오메탄과 수소와 메탄화 가스 등 기타 온실가스를 포함하는 RNG에 대한 새로운 제도가 수립되어 이행되었다. 이 제도는 덴마크에서 기술의 지속적 확장과 효율성 개선을 보장하는데 도움이 될 것이다. 자금의 일부는 유기 바이오가스 생산을 위해 특별히 마련된다.

바이오가스에서 전기를 직접 생산하는 대신에 재생 천연가스에 중점을 두는 이유는 덴마크가 에너지 시스템에서 재생 전력의 비율이 높고 풍력과 태양광 발전 이외에 다른 공급원의 예비 재생 전력이 필요한 상황에 근접하고 있기 때문이다.

2.2

재생 천연가스 거래를 위한 덴마크 시장 모델

재생 천연가스를 위한 시장 모델은 대체적으로 다음 세 개의 요소로 구성된다고 말할 수 있다.

- 시장: 일반적인 가스 시장에서 에너지 거래.
- 그리드: 가스 그리드 내 재생 천연가스의 물리적 운송.
- 녹색가치: 재생 천연가스의 "녹색" 가치의 가상 거래

일반적인 가스 시장에서 바이오가스의 거래 및 운송

일반적인 가스 시장에서 바이오가스를 거래하기 위해서, 바이오가스 생산업체나 바이오가스 고질화 시설 소유주는 바이오가스 판매업체와 계약을 체결해야 한다(또는 덴마크 가스송전사업자(Energinet)에 바이오가스 판매업체로 등록하기로 결정해야 한다).

또한, 바이오가스 판매업체는 이른바 shipper라 불리는 운송사와 계약을 체결하거나 하나의 업체로 등록해야 한다. 운송사들이 그리드 내 가스 시장에 바이오가스의 운송을 담당하기 때문이다.

바이오가스가 일반 상업적 가스 시장의 그리드로 주입되면, 더 이상 화석기반 천연가스와 재생 천연가스의 일반적인 흐름을 구분할 수 없다. 즉, 가스 그리드에 들어가서 가스 시장의 상업적 흐름에 투입되는 즉시, 바이오가스는 천연가스로 간주되고 일반적인 천연가스와 동일한 조건으로 거래되고, 가격도 이에 따라 책정될 것이다.

가상 거래

언급했듯이, 가스 그리드로 주입되면, 바이오가스를 다른 가스와 구별할 수 없다. 구별을 위해서, 시장 요건 및 수요를 기반으로 다양한 가상 거래 제도가 수립되었다.

원산지 보증

덴마크와 일부 다른 유럽 국가들에서는 가스 그리드에 공급되는 바이오가스의 재생가능 속성을 문서화하기 위한 목적으로 국가 원산지 보증(Guarantees of Origin)등록을 자발적으로 수립했다. 그러므로 GO 제도의 기능은 에너지가 재생가능한 공급원에서 공급되고, 구매된 수량이 한번만 판매되어 중복 계산이 방지됨을 확인하는 것이다.

GO는 자발적으로 일부 또는 전체 가스 소비량을 재생가능한 공급원으로 충당하도록 선택하는 민간 가정이나 회사들이 사용할 수 있는 시장기반 수단으로 간주된다. CSR (기업의 사회적 책임) 전략에 따라 기업들이 주로 GO를 자발적으로 구매하고, 민간 가정은 이보다 더 적은 범위로 구매한다. 최근, 지자체 당국들도 대중교통을 위한 가스 구동 버스 시행과 관련하여 GO를 구매하기 시작했다.

GO는 EU 배출권 거래제도(EU ETS)에 따라 인정된다. 즉, EU ETS가 적용되는 회사들은 EU ETS 대차대조표에서 이산화탄소 배출량을 상쇄하는 수단으로 GO를 공개할 수 있다.

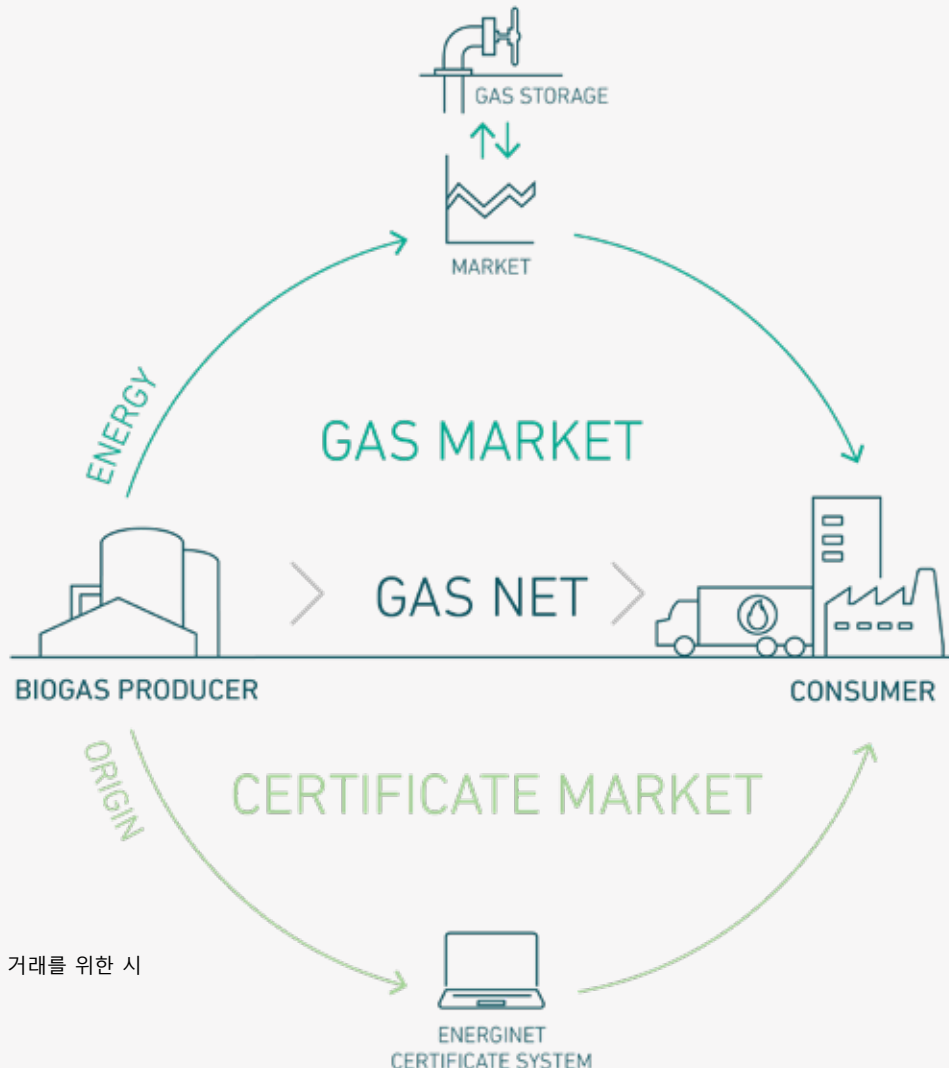


그림 2.3
덴마크 재생가스 거래를 위한 시장 모델

EU에서, 연료 공급업체들은 공급 에너지 조합에 일정한 비율의 재생 연료를 포함시켜야 한다. 바이오티켓(bioticket)은 최소 비율에 대해 초과 배송하는 연료 공급업체에만 발행되며, 결국 미달 배송을 하는 연료 공급업체에게 거래될 수 있다. GO의 많은 부분이 이 의무가 적용되는 문서의 일부로 활용된다고 가정된다.

대다수의 EU 국가들은 아직 GO 등록기관을 마련하지 않았으며, GO 등록기관을 보유한 국가들은 다양한 규칙과 컴퓨터 시스템에 따라 이를 운영한다. 현재, 덴마크와 독일 사이에서 두 개의 등록기관 간 거래만 실시되고 있다.

국가간 이전을 더욱 투명하고 신뢰할 수 있게 하기 위해서, 모든 유럽 등록기관은 컴퓨터 시스템뿐만 아니라 규칙의 차이를 해결할 수 있는 시설을 설립하고자 하는 목적으로 범유럽 연합(유럽재생가스등록소(European Renewable Gas Registry))를 만들었다.

예: 원산지 보증

바이오가스 생산업체는 고질화 시설에서 바이오가스를 재생 천연가스 품질로 고질화 한다. 고질화 시설 소유주는 재생 천연가스를 가스 그리드와 연결하고 공급한다. 그리드 회사들은 가스의 물리적 분배와 취급을 담당한다. 재생 천연가스의 에너지 함량은 가스 시장에서 일반적인 천연가스로 거래된다. 재생 속성 및/또는 이산화탄소 저감과 같은 녹색가치는 원산지 보증과 같은 다양한 제도를 통해 가상으로 거래된다.

원산지 보증은 바이오가스 생산업체에게 발행되고 원산지 보증 계정 소유자들 사이에서 거래된다. 최종 소비자가 가스 소비량에 해당하는 원산지 보증을 구매하면, 해당 소비자가 재생 천연가스 양에 상응하는 구매를 함으로써 관련 이산화탄소 저감이 이루어 졌다고 보증된다.



그림 2.4
만손(Månsson)의 유기 바이오가스 발전소
사진 Nature Energy

2.3

유기 바이오가스 발전소

유기농 농가들은 바이오가스 발전소에 특히 관심이 있다. 이들에게 있어서, 주요 인센티브는 바이오가스 생산 자체가 아니라 유기농 비료의 생산이다.

네이처 에너지 만손(Nature Energy Månsson) 발전소는 대규모 유기농 바이오가스 발전소이다. 이 발전소는 매년 최대 6백만 입방 미터의 고질화 바이오가스(바이오메탄)를 생산한다. 이 가스는 전국 천연가스망으로 전송된다. 즉, 이는 현재 3,600개 이상의 가정에 CO2-중립 가스를 공급할 수 있는 생산량이다.

이 발전소는 주로 소와 닭의 유기농 분뇨를 받지만, 돼지의 일반적인 분뇨와 털도 받는다. 또한, 유기질 바이오매스는 유기농 클로버 풀뿐만 아니라 악셀 만손의 채소 생산에서 발생하는 폐기물의 형태로 공급된다.

바이오가스 생산 자체가 아니라, 유기농 비료의 생산이다.

유기농 바이오매스와 일반적인 바이오매스의 비율은 거의 일치하므로, 가스 생산의 잔여 생성물은 농업 재배의 천연 비료 형태로 유기농 생산의 일부로 사용될 수 있다.

발전소는 많은 폐기물 처리 탱크, 혼합 탱크와 저장 탱크로 구성된다. 트럭들이 바이오매스를 내려놓고 나서 탈기된 비료를 싣는다. 모든 생산은 닫힌 시스템에서 이루어진다. 즉, 특히 모든 탱크가 폐쇄되어 있고 하역작업은 닫힌 문 뒤에서 이루어진다. 공정 장소와 탱크에는 일정한 환기가 제공되어, 시간 당 수차례 환기된다. 공기는 밖으로 배출되기 전에 미생물을 사용하여 공기를 정화하고 냄새를 최대한 줄이는 필터를 통과한다. 트럭들은 매 방문 이후 세척되고 발전소는 흠뻑으로 둘러싸여 있다.

네이처 에너지 만손(Nature Energy Månsson)은 150,000톤의 분뇨, 유기농 클로버 풀과 악셀 만손 A/S(Axel Månsson A/S)의 채소 잔류물에서 바이오가스를 생산한다.

바이오가스과 유기농은 매우 훌륭한 파트너이다. 슬러리, 녹색 폐기물, 유기농 클로버 풀과 기타 유기농 폐기물 생성물이 바이오가스 발전소에서 처리되면, 바이오매스에서 기체가 탈기된다. 남아있는 천연 비료는 현장에서 더 높은 수율을 제공하고, 식물에 흡수되기 쉽고, 특히 수생환경으로 질소가 침출되는 것을 줄인다. 또한, 위생 요소도 높다.

덴마크에서 유기농 비료는 희소 자원이며, 유기농 제품 수요가 증가하면 문제가 될 수 있지만, 바이오가스 영역에서 유기농 농가는 자가족할 수 있게 된다.

3 바이오가스 발 전소 설계

덴마크 바이오가스 부문은 바이오가스 발전소 설계와 바이오가스 발전소 구성요소 생산에 특화되어 있다. 설계와 기능이 바이오가스 발전소의 생산성 및 경제성에 중요한 주요 구성요소들에는 바이오매스 전처리 솔루션, 소화조 탱크, 소화조 탱크용 혼합기와 고질화 장비가 있다.

소화조 탱크의 중요한 특징은 외부 온도와 상관없이 안정적인 내부 온도를 유지하고 열 요구를 가능한 낮추는 능력이다. 절연재는 상대적으로 가격이 저렴하며, 너무 얇지 않아야 한다. 호열균 공정에는 20-30cm 절연재가 권장된다. 안정적인 온도가 바이오가스 생산 운영에 중요하다.

호열성 또는 중온성

- 호열성 혐기 소화(Thermophilic anaerobic digestion)는 덴마크에서 가장 널리 사용되는 기술이다.
- 짧은 체류시간(20일 미만)으로 인해, 소 분뇨와 같은 느린 속도로 분해되는 바이오매스로부터의 호열성 바이오가스 수율은 중온성보다 30% 더 높다.
- 호열성 혐기소화는 바이오매스의 높은 암모니아 함량(3g NH₄-N/L 초과)으로 인해 문제가 될 수 있다.

온도 범위

- 호냉성 (10°C - 25°C)
- 중온성 (25°C - 45°C)
- 호열성 (50°C - 60°C)

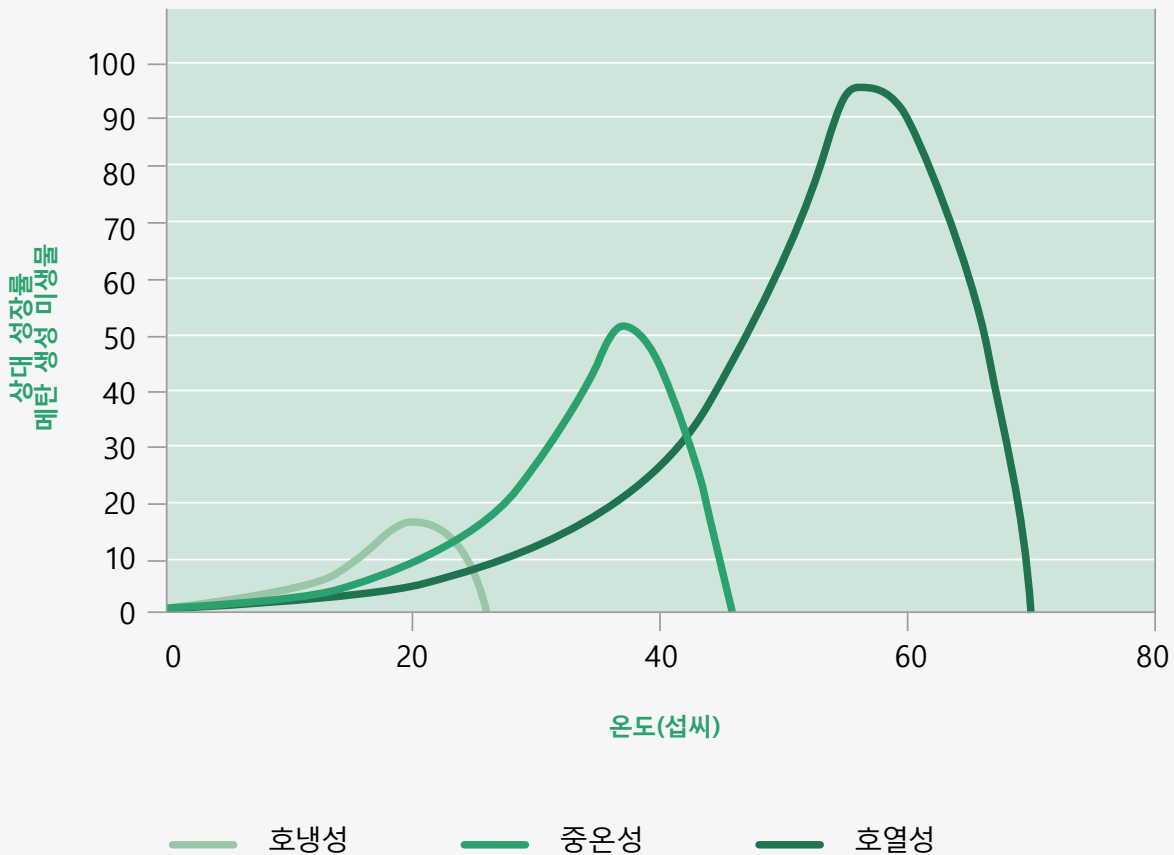


그림 3.1
바이오가스플랜트 전환율



사진 Nature Energy

	중온성	호열성
가스 생산	높은 암모니아 수치 및 기타 억제제에 대한 낮은 민감성	특정 체류시간에 공정이 더 빠르고 가스 수율이 더 높음. 높은 암모니아 수치에 민감.
소화액	중간 수준의 병원체 불활성화	높은 수준의 병원체 불활성화
에너지 투입	중간	열교환기가 포함되지 않는 한 높음 - 열의 가치가 높은 경우 해당.

그림 3.2 네이처에너지사 코르스크로 바이오가스 발전소

유연한 전처리 솔루션은 소유주에게 다양한 유형의 바이오매스를 얻을 수 있고 동시에 다양한 유형의 폐기물에 대한 비용을 받아 발전소의 경제성을 개선할 수 있는 기회를 제공한다. 열교환기는 열의 대체 값이 높은 바이오가스 발전소에서 수익성이 있으며, 특히 호열성 발전소의 경우에 그러하다.

많은 경우, 바이오가스를 10-15% 추가 생산하고 포집하기 위한 목적으로 1차 및 2차 소화조인 두 개의 직렬 연결 소화조 탱크를 시공하는 쪽으로 결정한다.

소화조 탱크에서 내용물 혼합은 메탄 생성 미생물에 최상의 조건을 제공하고 소화액에서 바이오가스가 배출될 수 있도록 하는데 중요하다. 혼합은 수중 프로펠러 혼합기(submerged propeller mixers)로 이루어지는 경우가 많다. 바이오가스 발전소에서 전력 소비량의 가장 많은 비중은 소화조 탱크를 교반(stirring)하고 가열하는데 사용된다. 결과적으로, 에너지 효율적인 교반은 수익성이 있는 바이오

적절한 설계는 효율적인 생산을 보장한다.

가스 생산의 성공을 위한 주요 기준이다. 탱크들이 높이가 지름보다 큰 원통형인 경우, 소화조 탱크와 분뇨기반 바이오매스의 혼합은 최소한의 에너지를 사용하여 이루어진다.

고체와 액체로의 분뇨 분리는 독립형 기술인 경우가 많다. 하지만 많은 분뇨 분리기는 소화 전 및/또는 후의 바이오가스 생산과 관련하여 설치되어 있다.

4 덴마크의 바이오가스 생산

대부분의 덴마크 바이오가스 생산시설은 대형 중앙집중식 연속 교반탱크 반응기(CSTR) 발전소를 기반의 혼합소화 타입이며, 재생 천연가스가 천연가스 그리드로 직접 주입되는 고질화 시설을 소유하고 있다.

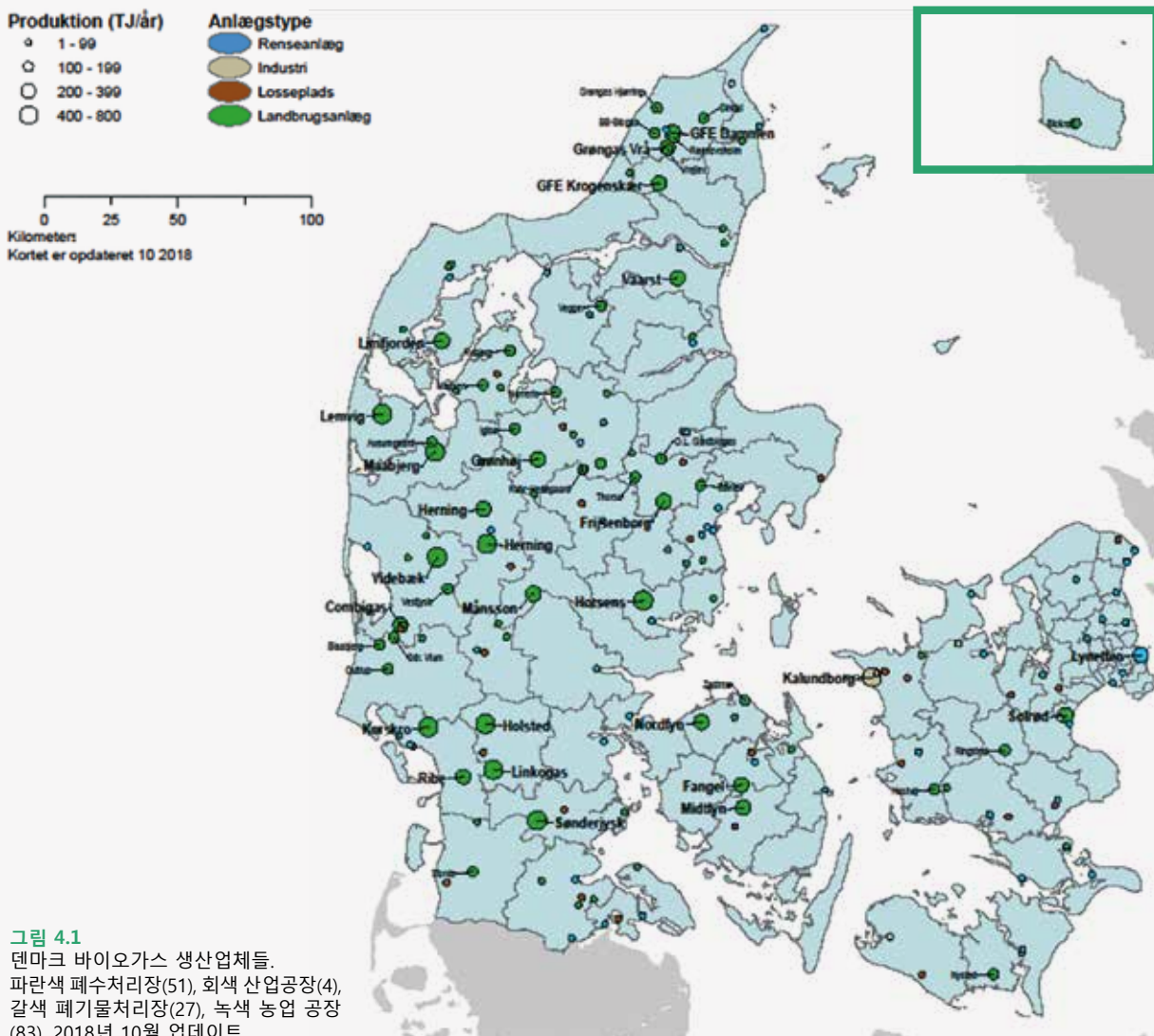


그림 4.1
덴마크 바이오가스 생산업체들.
파란색 폐수처리장(51), 회색 산업공장(4), 갈색 폐기물처리장(27), 녹색 농업 공장(83). 2018년 10월 업데이트.

계획 수립이 성공에
중요하다.



4.1

바이오가스 생산을 위한 계획 수립

바이오가스 발전소 계획 수립 및 이해관계자 구성.

바이오가스 생산 또는 혐기 소화 처리는 산소가 없는 상태에서 미생물이 생체분자로 분해되어, 주로 메탄과 이산화탄소로 구성된 바이오가스라는 가스 혼합물을 생성하는 일련의 생물학적 공정이다.

생산의 계획 수립

바이오가스 발전소는 기술적 구성과 운영이 복잡하며, 예컨대 엔지니어링, 생물학, 화학, 무역, 농업과 물류와 같은 분야들의 지식을 필요로 한다. 그러므로 전문 엔지니어링 컨설팅회사의 개입이 바이오가스 발전소의 성공에 결정적이다. 이러한 컨설팅회사들은 다양한 방식으로 개입할 수 있다. 이 회사들이 지원할 수 있는 가장 중요한 서비스에는 타당성 연구, 당국 환경승인 신청, 입찰 자료 작성, 시공/설치의 감독과 발전소 시운전이 있다.

많은 이해관계자가 계획수립 단계에 참여하며, 이 과정을 최적화하기 위해서는 참여하는 이해관계자들과 이 과정에서 이들의 역할을 설명하는 것이 좋다.

일반적으로 참여하는 이해관계자 목록은 아래와 같다.

- 프로젝트 개시인 또는 투자자(농가, 유틸리티, 지자체)
- 재정 파트너(들)
- 바이오매스 공급업체(농가, 업계 등)
- 소화액 수령자(농가, 지자체 등)
- 바이오가스 구매자(CHP 공장, 가스 회사, 업계 등)
- 지방자치단체
- 현지 이해관계자들(이웃주민, 정치인, NGO, 현지 연합 등)
- 기술 공급 업체 및 자문회사
- 계약사

프로젝트 내 조직과 활동들을 시각화하여, 공정 안팎에 모두 참여하는 사람들의 일반적인 개요를 제공하는 것이 좋다. 구조 조직은 각 활동을 담당하는 이와 참여하는 이들을 명확히 표시해야 한다. 다음 목록은 계획수립 과정 내 주요 활동들을 포함한다.

- 바이오가스 발전소의 자금조달
- 당국과의 대화 및 승인 과정
- 바이오가스 발전소 설계(부지, 건물 및 기술)
- 바이오매스 공급자들과 대화 및 계약
- 소화 액 수령자들과 대화 및 계약
- 바이오가스 구매자들과 대화
- 시공 과정
- 당국의 허가

과정의 주요 측면들을 조율하고 중요한 의사결정을 내리기 위한 일정을 관리하는 전반적인 운영위원회뿐만 아니라 각 활동에 실무 그룹을 마련하는 것이 권장된다. 덴마크에서는 실무그룹에 현지 이해관계자들을 포함할 것을 강력히 권장한다. 이러한 활동들 중 다수는 다른 활동들에 의존한다. 그렇기 때문에 과정을 최적화하기 위해 활동들 간 조율에 특히 중점을 두는 것이 중요해진다. 승인 과정은 길고 시간이 많이 소요되며, 적절한 시기에 이용할 수 있는 올바른 정보를 확보하는 것이 필요하다.

4.2

사업계획 및 의사소통

예정된 바이오가스 발전소의 프로젝트 관리는 자연스럽게 기술적 측면에 중점을 두며, 따라서 공급업체와 계약업체들에게 보내는 기술 설명서와 도면이 작성된다. 이를 보충하기 위해서는 다른 이해관계자들에게 보내는 자료를 작성하는 것이 좋다.

이해관계자 분석은 다양한 이해관계자 그룹에 제공되는 다양한 정보의 필요성을 밝힐 수 있다. 재정 파트너들은 사업 사례와 그 배후의 계산서에 관심이 있다. 바이오매스 공급업체와 소화액 수령자들은 소화액의 경제성, 물류와 품질 등에 관심이 있다. 당국은 일반적인 지역 공동체와 환경에 대한 영향에 대한 관심뿐만 아니라, 기후 및 재생 에너지에 관련된 이익에 관심을 갖는다. 현지 정치인, 이웃주민과 이해관계자들은 가능한 결과와 영향에 대한 지역의 관점에 관심이 있다. 이러한 자료는 일자리, 현지에서 생산된 에너지, 더 낮은 에너지 가격, 교통 및 냄새에 대한 영향과 현지에서 시각적 영향에 관한 정보를 포함할 수 있다.

다음 목록은 프로젝트 내와 프로젝트에 관한 의사소통에 도움을 줄 수 있는 다양한 정보를 나타낸다.

- 투자자와 재정 파트너들에게 보내는 사업계획
- 바이오가스의 개요를 설명하고 투자자, 재정 파트너, 현지 정치인, 이웃주민, 현지 이해관계자(예. 기준 발전소)들에게 보내는 비공식 간행물.
- 바이오매스 공급업체와 소화 잔류물 수령자들에게 보내는 투입, 산출량, 기술의 선택, 경제성 등을 설명하는 바이오가스 발전소에 관한 전문적인 정보.
- 바이오가스 구매자들에게 보내는 바이오가스 발전소의 기술, 생산량과 가스 품질을 설명하는 전문적인 정보.
- 당국에 보내는 법률절차에 따른 승인 자료.
- 계약업체 및 기술 공급업체에 보내는 기술 설명서 및 도면.

작성된 정보는 다양한 이해관계자에게 보내는 모든 다양한 간행물에 사용될 수 있는 설명서, 도면, 시각화 자료 등을 모두 포함할 수 있다.

목표는 각각의 개별 이해관계자 유형의 필요에 맞춰 구체적인 정보를 조정하는 것이다. 이는 각각의 이해관계자에게 가능한 가장 관련성이 있는 정보를 제공하고 훌륭한 개요를 제공한다. 이러한 투명성은 조직이 바이오가스 발전소의 모든 측면에 관심을 갖고 있음을 증명한다.

4.3

이용가능한 바이오매스

돼지와 소에서 발생하는 슬러리 m3 당 잠재적 바이오가스 수율은 제한되어 있기 때문에, 에너지 함량이 더 높은 바이오매스와의 혼합 소화를 제안하는 것이 경제적으로 합리적이다.

하지만 사실상 다음과 같은 차이로 인해서 바이오가스 발전소의 실제 생산성에는 큰 차이가 있다.

- 전처리 기술을 포함한 기술적 구성;
- 개별 원료의 품질과 원료들의 전체 혼합물;
- 그리고 발전소의 관리.

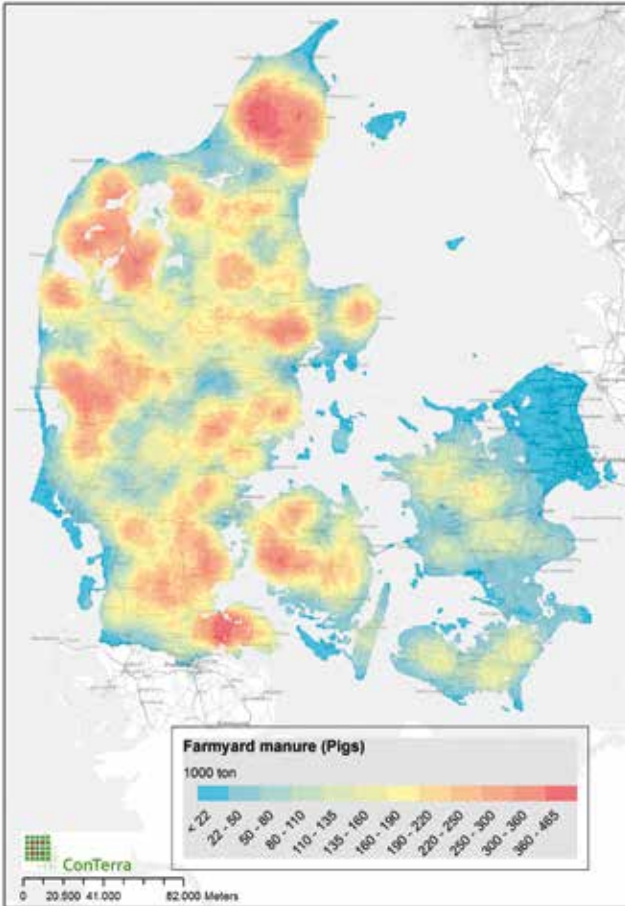


그림 4.2 덴마크 돼지 생산의 분포 사진
사진 ConTerra.

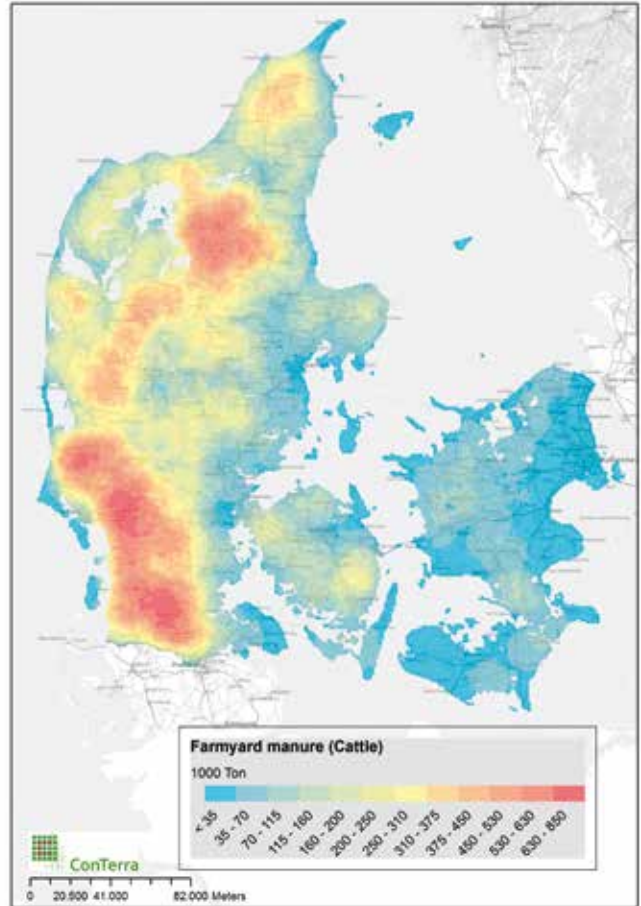


그림 4.3 덴마크 소 생산의 분포 사진
사진 ConTerra.

덴마크의 가축 생산은 주로 덴마크 서부 지역에 집중되어 있다.

슬러리와 유기 산업 폐기물의 혼합 소화의 장점은 다음과 같다.

- 가스 생산량 증진. 에너지가 풍부한 유기 폐기물이 슬러리와 함께 소화되면 공급원료 m3 당 바이오가스 수율이 높아진다.
- 안정적인 소화 공정. 슬러리와와의 혼합 소화로 폐기물 소화가 안정적이 된다.
- 규모의 장점. 중앙집중식 발전소는 여러 개별 소화조들보다 관리가 더 용이한 많은 다양한 업계에서 발생하는 폐기물을 수령한다. 또한, 수령한 폐기물 흐름에서 신규 수익이 가능하다.
- 영양분 활용과 재활용. 농민들은 제품을 비료로 최종 사용해야 할 책임이 있다. 저렴하고환경적으로 지속 가능한 폐기물 재활용 시스템이 가능하다.

4.3.1 분뇨

덴마크 바이오가스 기술은 지속가능한 축산분뇨 처리공정분야에 있어 국제적으로 유명하다. 축산분뇨는 바이오매스 혼합물의 대부분을 차지하고 있으며 에너지가 효율적으로 활용되는 경우 높은 순에너지 생산성을 보장하고, 농장 규모 발전소와 산업 규모 발전소로 확장가능하고 적합하다.

축산분뇨는 거의 균질한 가축 배설물과 소변의 혼합물로 주로 구성된 유기물이며, 깔짚과 사료 잔류물, 폐수 유출액과 공정수 등 가축

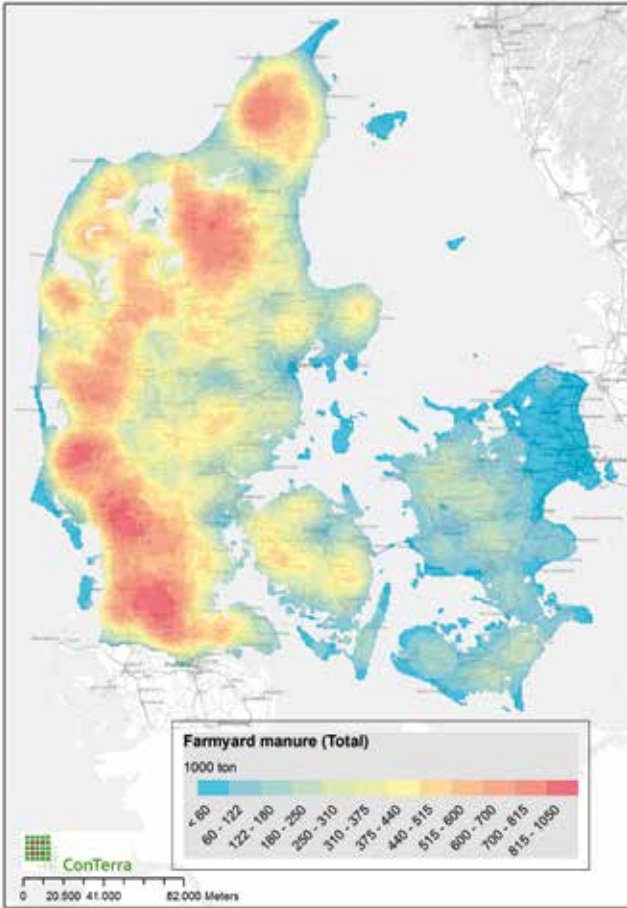


그림 4.4
덴마크 총 분뇨 생산의 사진
사진 Conterra.

생산에서 발생하는 폐기물로 설명되는 기타 물질의 부차적인 물질을 포함한다.

축산분뇨의 가장 중요한 하위 그룹은 다음과 같다.

- 슬러리(slurry)
- 축사 깔짚(Deep bedding/litter)
- 액비(liquid manure)
- 고비(solid manure)

축산분뇨 조건은 대중적이며, 법률로 요구되지 않는다. 덴마크 법률은 축산 농장의 분뇨 생산에 대한 공식 기본값에 따라 계산된 기간인 최소 9개월 동안 슬러리를 저장할 수 있는 용량을 갖출 것을 요구한다. 축산분뇨의 안전하고 충분한 저장은 좋은 분뇨 관리의 전제 조건이며, 분뇨 품질을 보존하고 슬러리의 경우에는 식물에 영양분이 필요한 봄에 농작물 비료로 사용될 수 있다.

축산분뇨에서 에너지 생산. 현재 이미 약 20%의 덴마크 축산분뇨가 에너지 생산에 활용된다. 이 수치에 따르면, 덴마크는 이 분야에서 세계 최고 국가이지만, 아직 활용되지 않은 엄청난 잠재력도 남아있다.

에너지 목적을 위한 분뇨의 가치는 주로 유기물의 함량, 신선도, 조회분과 물에 따라 달라진다.

일반적으로, 특히 분리 고형분과 같은 일부 가공된 형태의 생분뇨뿐만 아니라, 모든 유형의 미가공 축산분뇨에는 혐기 소화가 적절할 수 있다.


바이오가스 생산과 관련하여, 휘발성 고형물(VS)로 계산하는 것이 일반적인 관행이다. 특정 분석들이 존재하지 않는 한 경험 법칙에 따라서, 축산분뇨의 VS 함량은 건조물(DM) 함량의 75%로 간주될 수 있다

분뇨 취급

본 절은 유기질 비료와 관련하여 사용된 가장 일반적인 조건 및 관행들을 소개한다. 이 가이드는 영양분 사용 효율을 최대화하고 환경 영향을 최소화하기 위해 슬러리, 축사 깔짚과 처리후 바이오매스를 사용할 수 있는 방법에 대한 영감을 제공한다. 덴마크에서는 지난 25년 동안 개선된 분뇨 관리를 통해 화학 비료의 N 소비량을 약 50% 줄일 수 있었다. 이러한 감소의 핵심은 공기 정화 및 현장 살포를 위한 혁신 기술의 사용뿐만 아니라, 비료 규범에 따른 비료 계획의 일관된 분뇨의 안전한 저장과 농작물에 대한 올바른 적용 타이밍이다. 이를 통해 덴마크 농가들은 많은 비용을 절약한다.

축산분뇨가 에너지 생산에 사용되는지 여부에 상관없이, 목표는 항상 주어진 생산 시스템에서 가능한 높은 품질의 축산분뇨를 생산하고 취급 방식을 통해 훌륭한 품질을 보존하는 것이다.

고품질의 분뇨는 일반적으로 가능한 한 높은농도를 의미한다. 이는 특히 분뇨를 유기물 함량에 기반한 바이오가스 형태의 에너지 생산에 사용할 때 그러하다.

An aerial photograph of a biogas plant. In the foreground, there is a long, white, rectangular building with a corrugated metal roof. To the right of the building, there are several large, circular digesters with white conical covers. The ground is a mix of dirt and gravel. In the background, there are more digesters and some green areas. The sun is visible in the top right corner, creating a bright glow.

**바이오매스용
생물반응기, 고질화 및
저장 시설을 갖춘
매드슨(Madsens)
바이오가스**



축산분뇨의 유기물은 어느 정도까지는 사료의 염분 및 당분 함량, 인 및 단백질 기준과 돼지 사료에 벤조산 및/또는 피타아제 사용을 포함한 사료 배급량에 따라 달라진다. 하지만 주어진 축산 생산 단위에서 생성된 축산분뇨 유형과 품질은 주로 건물 설계와 분뇨 취급에 사용된 기술에 의해 결정된다.

덴마크는 배설 시부터 저장소에 도착할 때까지 축산분뇨의 좋은 품질을 보존하는 기술을 사용하는 것에 주목하고 있다. 이는 주로 분뇨의 질소 절반 이상이 환기 공기와 함께 손실되어 농민에게 큰 경제적 손실을 초래할 수 있는 암모니아 증발 방지에 관한 것이다. 암모니아는 대기와 환경을 오염시키므로, 인간과 동물의 건강을 위협한다. 또 다른 중요한 측면은 분뇨를 물로 희석할 때 세척용 물의 과도한 사용 및 물 낭비를 방지하는 것이다.

분뇨 저장

고형 분뇨(solid manure)와 축사 깔짚(deep litter)은 배수구와 지지벽 또는 누출 및 침수를 방지하는 최소 2m의 테두리가 있는 콘크리트 분뇨패드에서 저장된다. 슬러리는 일반적으로 탱크에 저장된다.

덴마크에서는 일반적으로 조립식 콘크리트 요소들로 만든 원형 탱크가 슬러리 저장에 사용된다. 이는 해당 탱크의 내구성을 고려한 가장 저렴한 솔루션이자 슬러리 저장을 위한 안전한 방식으로 인정된다.

이웃 주택들에서 300m 미만에 설치된 양돈 및 밍크 농장의 새로운 슬러리 탱크에는 플로팅 천 형태의 덮개, 텐트 커버 등이 제공되어야 한다. 분뇨 위에 천연 겹데기가 형성되어 있고 정기적으로 모니터링되는 경우에는 고정식 덮개 설치를 생략할 수 있다.

4.3.2 잔류물

식품 생산 및 바이오매스 처리에서 발생하는 잔류물은 바이오가스 생산의 중요한 원료이다. 덴마크에서는 다른 목적이 아닌 경우, 바이오가스 생산을 위해 사실상 모든 유기질 잔류물이 수집되어 사용된다.

4.3.3 생활폐기물

덴마크는 생활폐기물의 50% 재활용 목표를 포함하는 자원 전략을 가지고 있다. 이 목표를 달성하기 위해, 대부분의 덴마크 지자체는 가정에서 유기 폐기물을 근원 분리하고, 이후에 재활용될 수 있는 별도의 부분으로 수집해야 한다.

근원 분리된 생활폐기물을 사용하려면, 바이오매스를 바이오가스 발전소에서 사용할 수 있는 펄프로 가공하는 기술을 개발해야 한다. 이러한 기술 중 하나는 Gemidan 사의 ECOGI 발전소이다.

처리된 공급원료는 현지 혐기성소화 발전소를 통해 바이오가스로 변환하기 위한 순수 유기질원료를 생산한다. 공정 유연성과 유기질 원료 순도가 ECOGI 개발의 핵심 성능 목표이다. 전처리 기술은 별도로 성능이 테스트되어, 플라스틱, 유리 및 금속을 포함하는 오염도가 높은 공급원료를 처리하는데 매우 효율적임이 입증되었다. 유기질 원료 순도는 무기질 물리적 오염이 99.96% 없는 상태에서 독립적으로 검증되었다. 농지의 소성 오염을 방지하고 물 절약에 도움이 되는 이 기술은 친환경 순환경제의 최첨단 기술이다.

생산된 바이오펄프는 에너지(바이오가스)와 소화 잔류물, 농지에서 사용하기 위한 고품질 비료를 생산하는데 사용된다. 이 공정을 더욱 지속 가능하게 하기 위해서, 공정의 각 단계에서 물을 재사용한다. 음식물 쓰레기 처리에 필요한 담수량을 매년 25,000 입방 미터 줄이기 위해 빗물을 수집한다. 음식물 쓰레기의 경우, 이를 통해 순환 경제가 완성된다.



그림 4.7 이 시설은 모든 유형(가정, 상업 및 산업)에서 유기 폐기물(음식물 쓰레기) 자원을 분리하여 처리함으로써 순환 경제를 지원한다. 이러한 강력하고, 효율적이며 신뢰할 만한 자동화 공정은 음식물 쓰레기에서 발생하는 비닐봉지, 금속 캔, 플라스틱 병과 기타 포장과 같은 무기질 불순물의 제거를 보장하여, 순도가 높은 바이오펄프를 생산한다. **사진** Gemidan.



그림 4.6

ECOGI는 덴마크 프레데릭스하운에 중앙화된 음식물 쓰레기 전처리 시설을 설립하였다. 이 시설은 Gemidan 폐기물 관리 그룹이 소유하고 운영한다. 이 시설의 처리 용량은 50,000톤 이상이다. 공급원료는 이 지역의 가정, 산업 및 유통회사들에서 나오는 포장물 포함 음식물 쓰레기(공정내 유기질 자원 자동 분리함)를 포함한다. 사진 Gemidan.

덴마크에서 음식물 쓰레기는 바이오가스 및 비료 생산의 핵심 자원으로 간주된다.



그림 4.8

덴마크 프레데릭스하운의 전처리 시설. 사진 Gemidan.



그림 4.9

소화기에 들어갈 준비가 된 완제품 바이오펠트.



사진 Food & Bio Cluster Denmark.

4.4 폐수처리장

자원 활용 및 자원 효율이 환경보호만큼 중요한 파라미터가 된 폐수처리장은 패러다임 전환 중에 있다. 폐수 처리는 에너지 집약적이다. 한편, 폐수 자체는 최근의 발전으로 인해 그 어느 때보다 혁신적으로 활용할 수 있는 많은 양의 에너지와 영양분을 함유한다.

일부 폐수처리장은 순 에너지 생산자가 될 수 있음을 보여주었다. 즉, 이 처리장들은 소비하는 것보다 더 많은 에너지를 생산한다. 이들은 바이오가스/전력/열 생산을 위해 가능한 최대의 유기 탄소(COD)를 활용하면서, 동시에 운영 최적화를 통해 에너지 소비를 저감하는 것에 중점을 둔다.

많은 덴마크 폐수 처리장은 일부는 1차 슬러지에서 발생하고 일부는 생물학적 잉여 슬러지에서 발생하는 슬러지 생산의 혐기 처리(바이오가스 생산)를 갖추고 있다.

폐수처리장 와 농업기반 바이오가스 발전소의 바이오가스 생산 간 주요 차이는 폐수처리장에서는 부패한 바이오매스가 처리장에서 기계적으로 탈수된다는 점이다. 이로 인해 이후에 처리되는 바이오매스의 건조물 함량이 상당히 증가하고 운송 비용은 감소한다. 탈기 슬러지의 탈수는 폐수처리장 처리장의 내부 부하에 기여한다.

4.5 에너지 함량

신규 바이오가스 발전소 계획 시 진행 중인 운영과 관련하여, 이용 가능한 바이오매스의 바이오가스 잠재력에 관한 철저한 지식이 필요하다. 분뇨와 하수 슬러지와 같은 가장 널리 사용되는 바이오매스의 에너지 함량은 제한적이므로, 수익성이 있는 운영을 달성하기 위해 에너지 함량이 훨씬 더 높은 바이오매스가 있는 바이오가스 발전소에 공급원료를 보충해야 할 수 있다.

또한, 바이오가스에 투입되는 바이오매스의 구성은 모든 필수 영양분이 충분한 양으로 존재해야 한다. 암모니아와 같은 생물 반응기 내 다양한 물질의 억제 농도도 예방해야 한다. 다양한 바이오매스의 일반적인 바이오가스 잠재력은 아래 팩트 박스에 제공된다.

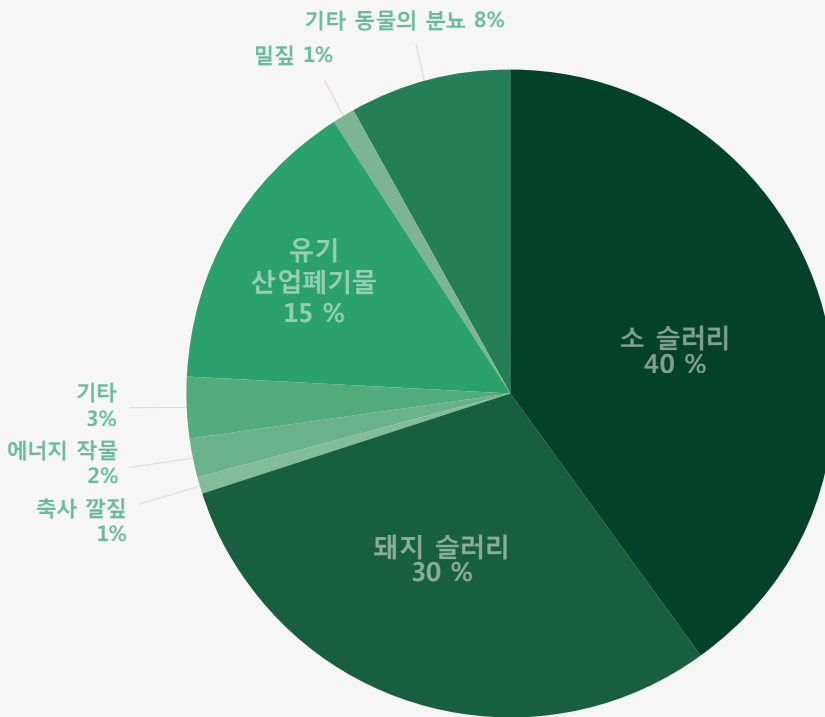


그림 4.10 평균 공급원료 조합에 따른 2025년 농업 바이오가스 발전소의 예상 바이오가스 생산.

유기물질	공정	수율, 바이오가스 ml/g	ml CH ₄ /g	CH ₄ %
셀룰로오스	$(C_6H_{10}O_5)_n + n H_2O \rightarrow 3nCH_4 + 3nCO_2$	830	415	50,0
단백질	$2C_5H_7NO_2 + 8H_2O \rightarrow 5CH_4 + 3CO_2 + 2(NH_4)(HCO_3)$	793	504	63,6
지방	$C_{57}H_{104}O_6 + 28H_2O \rightarrow 40CH_4 + 17CO_2$	1444	1014	70,2

4.6 매스 발란스

바이오가스 발전소에서 발생하는 소화액의 영양분 함량은 전적으로 발전소로 공급되는 바이오매스에 따라 좌우된다. 영양분 물질 수지는 항상 바이오가스 생산 계획과 관련하여 계산된다.

혼합 소화는 다음과 같은 이유 때문에 중요하다.

- 충분한 가용 바이오매스가 있다는 점이 보장된다.
- 영양분 구성이 보장된다.
- 바이오가스 잠재력이 최적화된다.
- 바이오가스 공정이 안정화된다.
- 영양분이 재활용되고 재사용된다.

물류. 축산 농장과 바이오가스 발전소 간 축산분뇨와 소화액 운송은 산업 규모 바이오가스 발전소의 중요한 활동이다. 운송을 최소화하려면, 사용 중인 트럭들의 용량이 커야 하고, 교통 및 소음 불편과 질병 확산 위험을 줄이기 위해 매 운송 사이에 세척이 쉬워야 한다. 마지막으로, 운송 중 또는 하역과 관련하여 내용물이 유출되어서는 안 된다.

4.7 조직

농업 바이오가스 발전소는 농장 규모 또는 산업 규모 바이오가스 생산으로 구성된다. 산업 규모 바이오가스 발전소의 특징은 대규모이다: 덴마크에서 매년 평균 100,000톤을 초과하는 축산분뇨와 기타 바이오매스 원료를 처리한다. 이들은 농민 소유 협동조합으로 구성되거나 일부는 에너지 회사와 같은 기타 이해관계자들에 의해 구성되는 경우가 많다. 이러한 발전소들은 보통 40-100개의 농장 (때로는 이보다 더 많은 농장)들의 분뇨를 처리하며, 발전소를 운영하는 몇 명의 직원들을 두고 있다. 산업 규모 바이오가스 발전소의 주요 장점은 규모의 경제를 활용하여 더 효율적인 기술에 투자할 수 있게 된다는 점이다. 분뇨를 처리한 농민들에게는 보증금 이외에 자신의 자본을 발전소에 묶어 놓을 필요가 없다는 점과 발전소가 혐기 소화된 분뇨, 즉 소화액의 재분배를 위한 지역 센터 역할을 한다는 점이 바이오가스 발전소의 중요한 요소이다.

농장 규모 바이오가스 발전소의 특징은 소수의 축산 농장에서만 분뇨를 받고 농장의 합법적 및 경제적 일원이 된다는 점이다. 특히 대규모 축산 농장의 경우 그규모로 인해 얼마간 규모의 경제를 활용할 수 있고 발전소가 생산이 없는 것에 비해 생산으로 인한 불편이 덜하다고 약속할 수 있는 경우 매력적이다.

농장 규모 바이오가스 발전소의 장점은 다음과 같다.

- 발전소 설립에 관한 의사결정 과정이 보다 쉽고 빠르다.
- 농장이 자체 열을 생산할 수 있으며, 이는 특히 양돈 농장에게 유리하다.
- 운송이 최소화된다.

4.8 만손(Månsson) 사례 - 녹색 및 유기농 바이오가스 파트너십

세계 최대 바이오가스 제조업체 중 하나인 네이처 에너지(Nature Energy)는 2017년에 주요 유기농가인 악셀 만손(Axel Månsson)과 협력했다. 협력을 통해 이들은 폐기물을 녹색 가스로 전환하고 있다. 이 바이오가스 발전소는 확장되어, 친환경적이며 이산화탄소 중립을 이룬 가스로 약 12,000개 주택을 난방하기에 충분한 바이오가스를 생산할 준비를 갖추는 것이다.

덴마크에서, 바이오가스는 보다 지속가능한 사회로의 전환에 있어서 중요한 요소로 간주된다. 덴마크 기후변화위원회(Danish Council on Climate Change)와 덴마크 기후파트너십(Danish climate Partnerships)의 보고서에서, 바이오가스는 덴마크 녹색 전환의 핵심 동인으로 강조된다. 파트너십은 덴마크 기업 공동체를 대표하고, 위원회는 독립적인 전문가 기관이다. 두 기관의 권고사항은 덴마크의 미래 기후 정책에 필수적으로 고려된다.

풍력 및 태양광 에너지와 함께, 바이오가스는 더욱 환경 친화적인 미래를 이룩하기 위한 제3의 기본요소이다. 이를 유념하여, 2017년에 네이처 에너지와 악셀 만손은 유기농 바이오가스 발전소를 공동으로 설립했다.

2019년, 더 많은 농가들이 공급업체가 되는 것과 바이오가스 생산에 기여하는데 관심을 보임에 따라, 이 두 회사는 발전소를 확장하기로 결정했다. 확장 이외에도, 이 지역의 일반적인 관행농가의 분뇨와 일반 음식물 쓰레기의 처리를 170,000 톤 늘리기 위해 별도의 일반 유기물 처리 라인이 추가되었는데, 이로 인해 더욱 친환경적인 가스를 생산하고 지역에서 새로운 녹색 일자리를 창출할 수 있게 되었다.

총 38개의 농가가 이 발전소에 분뇨를 공급하고 있다. 확장이 완료되면, 총 1천7백만 Nm³의 메탄을 생산할 것이다. 이는 약 12,000개 가정에 이산화탄소 중립을 이룬 바이오가스로 에너지를 공급하는 공급량에 해당한다.

유기농 바이오비료와 일반 바이오비료가 섞이는 것을 방지하기 위해, 유기농 라인과 일반 라인이 별도로 운영되고 있다.



그림 4.11
만손 바이오가스 발전소. 사진 Nature Energy.

바이오가스는 순환 경제의 훌륭한 예이다.

유기농 바이오가스 발전소는 주로 낙농가의 분뇨, 산란장의 분뇨, 클로버와 악셀 만손 농장에서 발생하는 채소 폐기물과 같은 유기농물질을 처리한다.

확장 이후, 매년 이 발전소는 녹색 가스로 전환되는 255,000톤의 바이오매스를 처리하고, 이후 바이오비료를 유기농 농가들에 제공할 것이다.

네이처 에너지 사는 농장 비옥화를 계획할 때 농가들을 지원하고, 농가들이 질소 및 인 규정을 모두 준수하도록 하기 위해 영양분을 분석하고 있다.

또한, 바이오가스 발전소는 바이오비료의 사용을 최적화하고 유기질 비료 또는 화학 비료를 구매할 필요성을 줄이기 위해 영양분을 재분배하고 있다.

평균 15-20km의 거리 내에서 네이처 에너지 사 소속 트럭들이 슬러리를 운반한다. 트럭이 특정 농장에서 슬러리를 실고, 동시에 회사가 액체 소화액을 공급한다. 이러한 방식으로, 바이오가스는 순환 경제의 훌륭한 예를 보여주고 있다.

악셀 만손(Axel Månsson)에 관하여

- 악셀 만손은 40년이 넘는 기간동안 채소와 계란을 생산하고 있으며, 1,100 헥타르를 경작하는 덴마크 최대 채소 생산농가 중 하나이다.
- 생산량의 절반은 유기농이다. 또한, 이 회사는 매년 140,000 마리의 암탉에게서 4천5백만개의 유기농 계란을 생산한다.

네이처 에너지(Nature Energy)에 관하여

- 네이처 에너지는 세계 최대 바이오가스 생산업체 중 하나이며, 특히, 분뇨와 사육의 폐기물을 바이오비료와 녹색 및 기후친화적인 가스로 전환한다. 즉, 농업에서 발생하는 기후를 손상시키는 가스를 저장하면서, 화석 천연가스에 대한 요구도 줄인다.
- 2021년부터, 네이처 에너지는 매년 4,700,000톤의 분뇨와 다른 바이오매스를 가치가 있는 바이오비료로 변환하고, 동시에 매년 1,700만 Nm³의 메탄을 생산할 것이다. 이는 120,000개 가정을 이산화탄소 중립 에너지로 난방하기에 충분한 양이다. 네이처 에너지는 현재 덴마크에서 10개의 발전소를 보유하고 있으며, 해외에서 2개의 발전소를 운영하고 있다.



그림 4.12
만손 네이처 에너지의 시설에 설치된 바이오가스 고질화 시설.
현지 농업에서 유기농 물질이 공급되는 바이오가스 발전소.

사진 Nature Energy.

5 바이오가스의 사용

덴마크에서는 오랫동안 바이오가스가 생산되어 사용되었다. 전통적으로, 바이오가스는 열병합 발전소(CHP)의 전력과 열 생산에 사용되었으며, 대다수의 오래된 발전소들은 CHP를 갖추고 있다.

2012년에 이행된 지원제도와 관련하여, 바이오가스를 바이오메탄으로 고질화하여 천연가스망으로 주입할 수 있게 되었다. 결과적으로, 덴마크에서 생산된 대부분의 바이오가스는 바이오메탄으로 고질화되어, 가스망을 통해 판매된다. 가스 분배 시스템은 널리 분포되어 있으며, 거의 전국 모든 곳에서 액세스할 수 있다.

2019년, 덴마크 의회는 2030년까지 이산화탄소를 1990년 수준 대비 70% 저감한다는 원대한 기후 목표에 합의했다. 이 목표를 위해서는 에너지 절약과 전기화에 대한 대규모 투자가 필요하다. 녹색 전환으로 인해, 에너지 생산과 에너지 소비의 시점이 달라지고 있다. 전력에 대한 필요성은 풍력과 태양광에서 많은 양의 전기를 생산하는 시기와 항상 일치하지는 않으며, 반대로 전력 생산이 소비보다 상당히 높은 경우가 종종 있다.

덴마크는 잉여 전력을 흡수하는 능력이 절실히 필요하지만, 동시에 에너지 소비량이 높음에도 불구하고 태양광과 풍력이 이를 제공하지 못하는 상황에 대비하여 상당한 예비 용량을 갖추어야 한다.

기존 가스 그리드는 현재까지 가장 큰 덴마크 에너지 저장시설이다. 가스 그리드는 덴마크의 연간 전력 소비량의 3분의 1과 동일한 에너지를 저장할 수 있다. 덴마크의 많은 지역 난방 시스템도 전력을 흡수할 수 있지만, 가스 그리드와는 달리 전력을 전기 그리드로 되돌려 줄 수 있는 저장소 기능은 할 수 없다.

바이오가스 생산을 통해 풍력과 태양광의 간헐성에 영향받는 전기 그리드를 안정화시킬 수 있다.

**바이오가스는
적용 분야가 많은
가치있는 제품이다.**

가스 그리드 내 바이오가스는 (풍력과 태양광과 같은) 재생에너지의 비율이 더 높은 전기 그리드에 대한 엄청난 부담을 극복하는데 도움이 되며, 동시에 소비자의 비용을 줄인다. 날씨가 추운 기간 동안, 가스 보일러는 열을 합리적인 가격으로 공급하고 전기 그리드를 완충할 수 있다.

바이오가스는 산업과 운송에 사용될 수 있다. 향후 수년 동안 전기화가 가능할 것으로 예상되지 않는 분야에서 바이오가스가 필요하다. 예를 들어, 많은 운송과 공정 산업들이 있다.

바이오가스 발전소와 가스망은 식품 생산의 기후 영향을 줄이는데 도움이 되고 전력과 녹색 전력에 영향을 미치지 않는 솔루션을 위한 녹색 에너지를 공급할 수도 있다. 가스 그리드는 덴마크의 최대 녹색 에너지 저장시설이며, 전력 그리드를 안정화하는데 도움이 되고, 전력 발전을 소비와 동일한 속도로 진행할 수 있다.

5.1 바이오가스 손실

2016년, 바이오가스 산업 연합(Biogas Industry Association)은 덴마크 에너지청(Danish energy Agency)과 협력하여 자발적인 메탄 손실 측정프로그램을 시작했다. 바이오가스 업계의 자발적 메탄 손실 측정 프로그램은 덴마크 바이오가스 발전소에서 발생하는 손실이 1% 목표에 근접하고 있다고 기록한다.

잠재적인 손실이 있었지만, 현재 누출을 발견하고 손실을 수량화하는 방법들이 이용 가능하고, 특히 메탄 손실을 최소화할 수 있다는 점을 보여주었던 시범 프로젝트가 이 프로그램의 배경이었다. 이는 운영 경제에 유리하고, 특히 기후변화 동인으로 바이오가스 발전소의 효과를 최적화하는데 중요한 수단이다.

자발적 측정 프로그램은 다음 세 개의 요소로 구성된다.
1. 자체 모니터링 프로그램. 2. 누출감지 3. 메탄 손실의 수량화.

덴마크 당국은 이 문제에 대해 계속해서 연구하고 있으며, 바이오가스 발전소의 메탄 배출량을 모니터링하기 위한 영구적인 의무 제도가 예상된다.



5.2 덴마크 가스 품질 기준

바이오메탄의 가스 품질은 일반적인 천연가스와 동일해야 하며, 항상 덴마크 가스 규정과 품질 규격(Quality Specifications)을 준수해야 한다.

녹색 가스의 생산 및 화학구성은 전통적인 천연가스와는 크게 다르다. 녹색 가스를 덴마크 천연가스망에 공급하는 것은 여전히 다소 새로운 일이며, 최근까지는 가스망의 상호운용성에 영향을 미치는 규모가 아니었다. 하지만 바이오 가스 주입 증가로 인해, 안전한 운영을 보장하는 올바른 균형을 정의하는 방법에 관한 문제가 제기되고 있으나, 높은 세정 비용 때문에 바이오메탄의 주입을 방해할 정도로 요건을 엄격하게 적용하지는 않았다.

또한, 국가 간에 가스가 거래됨에 따라, 가스 품질 규격의 차이가 문제가 될 수 있다. 유럽에서는 가스 품질 규격이 국가 차원에서 규제되는데, 이러한 국가별 차이는 여전히 풀어야 할 숙제거리이다. 그리드로 바이오메탄을 주입하는 측면에서, 가스 품질 규격이 덜 엄격한 국가들의 바이오가스 생산업체들의 세정 비용이 더 낮으므로, 이는 경쟁 환경에 영향을 줄 수 있다. 아마 더 중요한 것은 가스 시스템들 간 가스의 물리적 거래를 방해할 수 있다는 점이다.

5.3 고질화

혐기 소화로 생산된 바이오가스는 전력을 생산하는 가스 터빈에 사용되는 경우가 많다. 가스의 가치를 높이고 기타 적용분야에서 가스를 활용할 수 있게 하기 위해서, 바이오가스를 고질화하는 것이 유리할 수 있다. 고질화를 통해 다양한 불순물뿐만 아니라, 이산화탄소를 제거하고 바이오메탄을 생산한다. 언급한바, 바이오메탄은 천연가스와 유사하고, 천연가스 그리드로 공급되거나 차량 연료로 공급되는 등 유사한 적용분야에서 사용할 수 있다.

최근 활용하는 효율적인 방식으로 바이오가스를 사용하기 위한 세 가지 옵션은 다음과 같다:

- 열병합 발전소(CHP)에서 에너지로 변환
- 천연가스 그리드로 공급
- 차량 연료

미가공 바이오가스는 사용 전에 항상 세정 단계를 거쳐야 한다. 바이오가스 발전소에서, 황화수소(H₂S)가 어느정도 제거된다. 가스 그리드에서 사용되거나 차량 연료를 위한 바이오가스의 경우, 가스는 먼저 가스 고질화 장치에서 세정을 거쳐 고질화해야 한다. 이 장치를 통해, 가스에서 이산화탄소 CO₂, H₂S, 수증기와 암모니아가 제거된다.

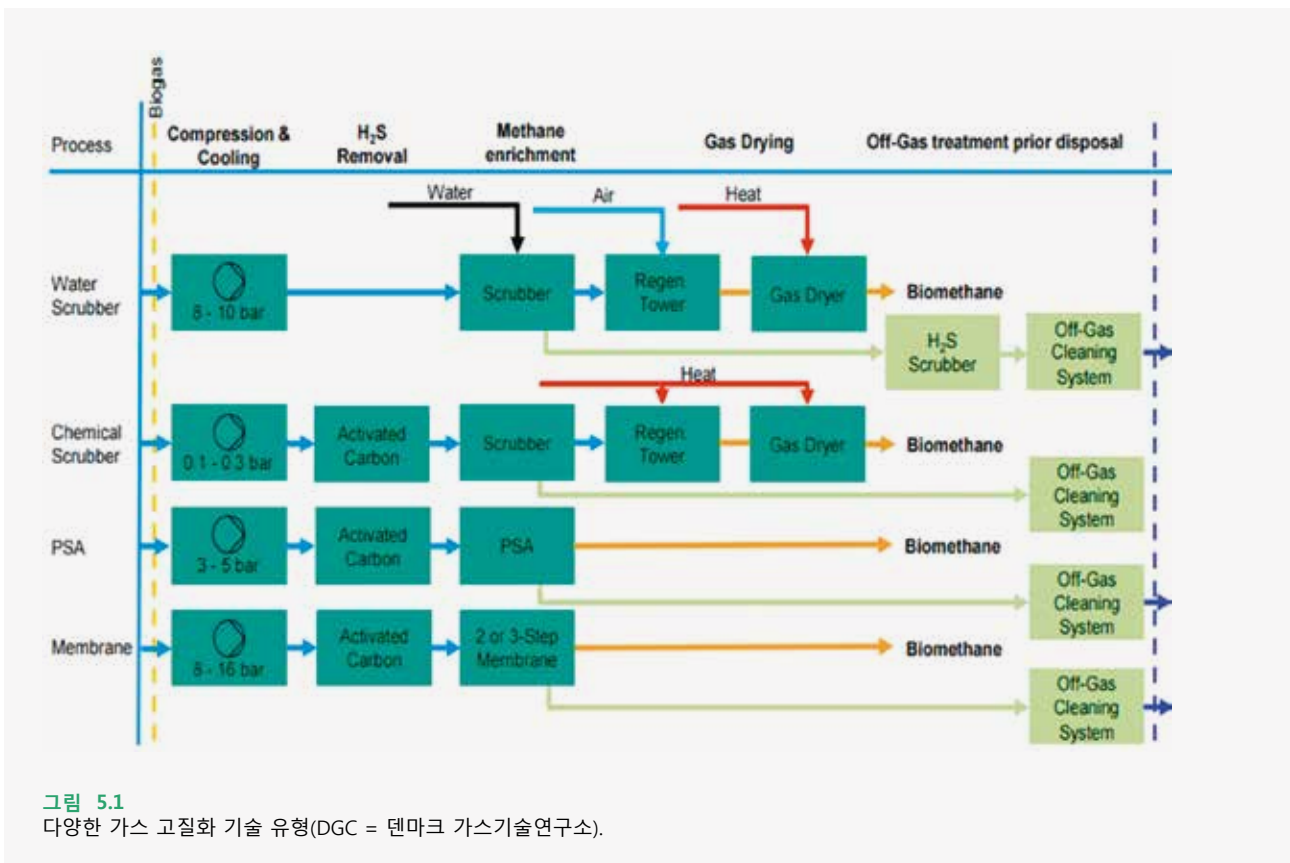


그림 5.1 다양한 가스 고질화 기술 유형(DGC = 덴마크 가스기술연구소).

현재, 다른 바이오가스 고질화 기술들이 시장에 나와 있다. 이들 중 일부는 용매에 따라 이산화탄소와 메탄의 용해도가 달라진다는 사실을 이용한다. 이산화탄소에 대한 용해도가 높지만 메탄이 변화하지 않고 통과하는 용매를 선택함으로써, 바이오가스의 메탄에서 이산화탄소를 효율적으로 분리할 수 있다.

바이오가스 고질화에 사용된 일반적인 용매는 Genosorb와 같은 유기 용매뿐만 아니라, 물, 암모니아이다. 상이한 압력들에서 표면 상의 이산화탄소 및 메탄의 흡착 거동 차이는 메탄에서 이산화탄소를 효과적으로 분리하는데 사용할 수 있는 압력변동흡착(pressure swing absorption, PSA)에 사용된다. 또 다른 일반적인 바이오가스 고질화 기술은 메탄보다 이산화탄소가 멤브레인과 같은 반투과성 장벽을 통과할 가능성이 더 크다는 사실을 이용한다. 바이오가스가 이러한 막을 통과하게 함으로써, 이산화탄소가 가스에서 제거되어, 생성물 흐름에 농축된 메탄을 남길 수 있다. 마지막으로, 메탄과 이산화탄소의 비등점 차이를 액화 증류법에서 가스를 분리하는데 이용할 수 있다.

농업 잔류물, 생물학적 폐기물이나 하수슬러지와 같은 다양한 원료에서 생산된 바이오가스는 H₂S, 실록산, 암모니아, 산소와 휘발성 유

기탄소(VOC)와 같은 불순물 등 원치 않는 물질들을 낮은 농도로 함유한다. 대부분의 바이오가스 고질화 기술에서 H₂S가 메탄에서 분리된다. 이러한 제거가 얼마나 효율적인지 그리고 가스 생성물 요건을 충족하기에 충분한지 여부는 다양한 기술에 따라 다르다. 스크러버(Scrubbers)는 물, 아민 또는 유기 용매의 흡착을 이용하여 일반적으로 대부분의 H₂S를 제거하고, 폴리싱 필터(polishing filters)는 멤브레인 고질화와 PSA에 필요하다. 하지만 메탄 가스에서 분리된 H₂S는 결국 탈기 공기(stripper air)와 같은 CO₂가 풍부한 기류를 형성하여, 일반적으로 환경 규제에 의해 제거되어야 한다. (출처: Energiforsk 2016).

바이오가스 고질화의 기본 개념은 유입구 가스에서 CO₂(~40%)와 기타 소량의 가스(H₂S, H₂O, H₂, N₂, O₂ 와 VOC)를 분리하여 미가공 바이오가스 (~60%)에 CH₄를 농도를 높이는 것이다. 이 공정은 이러한 가스들의 다양한 화학 및 물리적 특성을 활용하는 다양한 종류의 분리기술을 적용하여 실시할 수 있다. 따라서, 이 기술들은 분리에 어떤 유형의 화학 물리적 메커니즘을 주로 활용하는지에 따라 분류될 수도 있다.

고질화 바이오가스는 품질이 높다.

이용 가능한 고질화 기술:

1. 압력변동흡착(PSA)
2. 워터 스크러버
3. 아민 스크러버
4. 유기 물리적 세정
5. 멤브레인 분리
6. 극저온 고질화

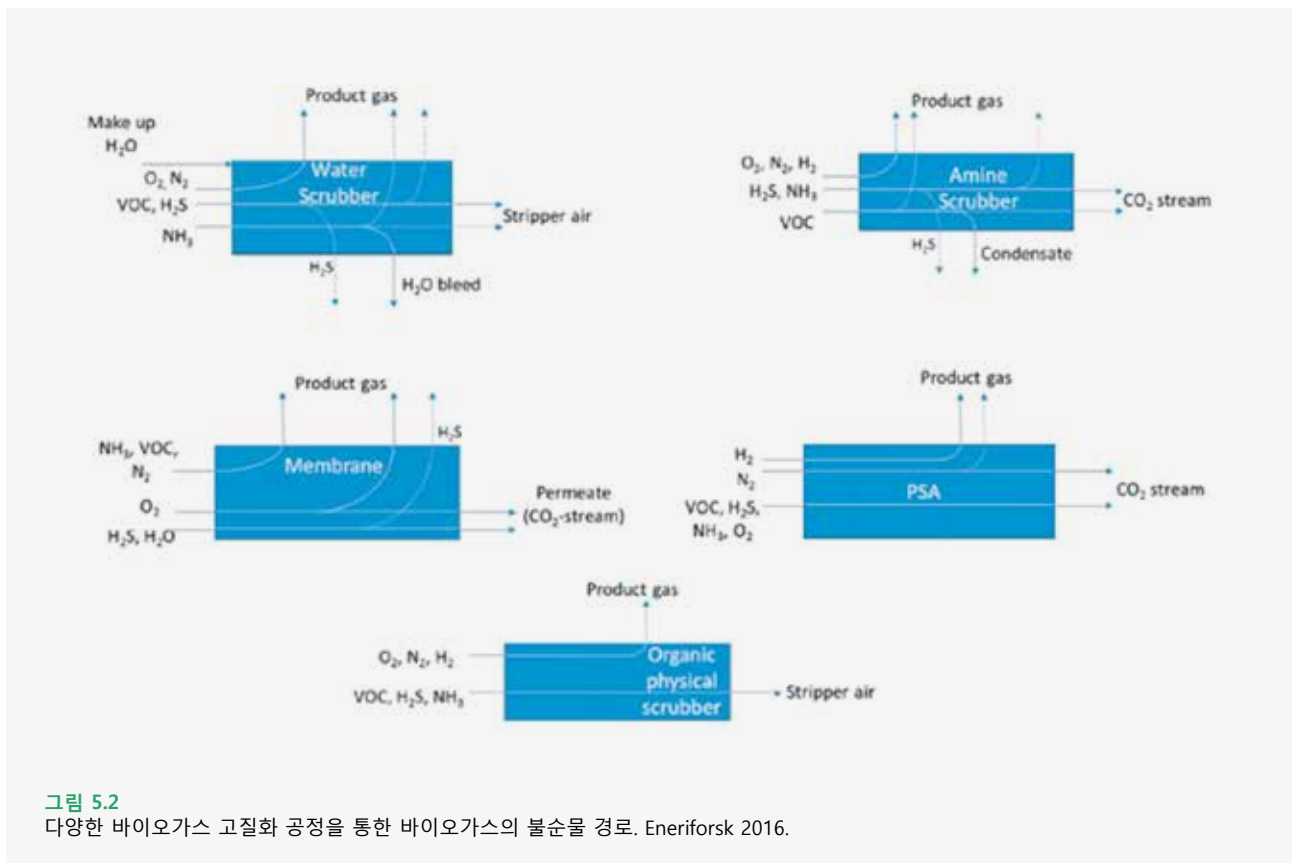


그림 5.2 다양한 바이오가스 고질화 공정을 통한 바이오가스의 불순물 경로. Eneriforsk 2016.

덴마크 회사 암몬가스(AMMONGAS)의 바이오가스 고질화 시설은 현재 매년 9 PJ의 바이오메탄(2020년 총 덴마크 생산량의 3분의 4)을 생산하고 있으며, 덴마크에서 화석연료로 인한 CO2 배출량을 매년 500,000톤씩 저감하고 있다.

아민을 기반으로 한 암몬가스(Ammongas) 사의 고질화는 바이오메탄에서 CO2를 분리하는데 있어서 효율성이 높으므로 메탄슬립이 0.04%에 불과할 정도로 매우 낮아 괄목할 만하다. 또한, CO2 분리 효율성이 높기 때문에, 고질화 가스를 액화시켜 사용가능하다.

전처리 없이도 미가공 바이오가스를 처리할 수 있으므로 이 고질화 장치는 상당히 효율적이다. 에너지 소비량은 미가공 바이오 가스 0.12 kWh/m³ 미만의 전력 소비량과 바이오가스 약 0.2 kWh/m³의 순 열 수요로 매우 낮다(고질화와 탈황 공정 모두에 대한 총 수치). 고질화 시설은 평상시 예정된 유지보수를 포함하여 평균 98.5%의 높은 가용성을 갖추고 있으며, 전처리가 없으므로 산소 및 질소가 추가되어 가스를 오염시킬 위험이 없다.

그림 5.3

매드슨 바이오에너지(Madsens bioenergy)의 암몬가스(Ammongas) 사의 고질화타워. 고질화된 바이오메탄을 99%이상의 가용성으로 덴마크 가스 그리드에 공급한다. 이 시설은 밀짚과 나뭇조각 바이오매스 보일러에서 전력을 공급받고, 따라서 고질화 공장에서 회수된 열은 전체 바이오가스 발전소에 전력을 공급하는데 사용된다.

대다수의 덴마크
신규 바이오가스 발전소
는 아민 세정 기술을
사용하여 바이오가스를
천연 가스 그리드
품질로 고질화한다.





그림 5.4

덴마크 브란데의 네이처 에너지 만순(Nature Energy Maansson) 사의 바이오가스 청정기 QSR 탈황 공장. 사진 Biogasclean.



그림 5.5

덴마크 코르스크로(Korskro)의 NGF 네이처 에너지 사의 바이오가스 청정기 QSR 탈황 공장. 사진 Biogasclean.

5.3.1 탈황

대부분의 덴마크 고질화 프로젝트에서, 아민 기반의 고질화 장치 조합은 덴마크 회사 바이오클린(Biogasclean A/S)의 바이오가스 청정기 QSR 탈황 시스템(Biogascleaner QSR desulphurization system)과 함께 사용된다. 바이오가스 청정기 QSR 탈황 시스템은 CO₂ 흐름을 세정하기 위해 아민 고질화 장치 하부에 설치된다. 상기 언급된 수치들을 참고하면, 이러한 기술들의 조합은 가능한 최대의 OPEX와 가능한 최저의 메탄 손실 덕분에 경쟁우위가 크다. 2017년 1월부터 2020년 1월까지, 가스 그리드로 바이오메탄을 생산하는 16개의 덴마크 고질화 프로젝트에 바이오클린 사가 선정되었다. 이러한 고질화 프로젝트 이외에도, 바이오클린 사의 시스템은 전세계적으로 580 MW 이상의 가스 엔진에 청정 가스를 공급한다.

바이오가스 청정기 QSR은 아민 고질화 장치 하부에 설치되며, CO₂ 흐름에 농축된 H₂S를 7,500 ppm H₂S에서 최대 50 ppm까지 감소시킨다.

네이처 에너지 사 코르스크로(Korskro) 바이오가스 발전소는 매년 공공 가스 그리드에 약 2천2백만 입방 미터의 바이오메탄을 생산한다.

바이오가스 청정기 QSR은 아민 고질화 장치 하부에 설치되며, CO₂ 흐름에 농축된 H₂S를 8,000 ppm H₂S에서 최대 50 ppm까지 감소시킨다. 세정된 CO₂는 추가로 처리되어 식품 업계에서 활용된다.



그림 5.6
염화철을 위한 저장탱크 설비.
사진 Kemira.

**바이오가스 발전소 운영
과 가스 품질을 유지하는
데 있어 황의 컨트롤은
필수적이다.**

5.4 황의 화학적 침전

바이오가스 발전소는 일반적으로 습식 원료에 3-15%의 건조 고형분(DS)이 있는 상태에서 작동된다. 대부분의 경우, DS는 약 50% 분해되며, 소화조의 소화액 상태로 배출구에서는 2-7%의 DS를 함유하고 있다. DS로의 유기물 부하는 일반적으로 소화조 용량 m³ 당 하루에 2-5kg의 DS이다.

메탄 생성과 동시에, 황화수소도 생성된다. 원료 유형에 따라, 황화수소 생성량이 달라진다. 분뇨 처리장의 바이오가스는 황화수소 수치가 최대 2000-8000 ppm인 반면, 생활폐기물 처리장에서 발생한 바이오가스에서 이 수치는 일반적으로 600-800 ppm이다. 철염은 독성 황화수소를 제거하는데 사용되고, 소화조 또는 필요 시 원료 수용 탱크로 투입된다. 원료에 따라, 황화수소 수치를 줄이는데 다양한 철이 필요하다.

원료 유형에 따라, 미량 원소와 같은 첨가제가 필요할 수 있다.

에너지 작물, 농업 잔류물과 비농업 원료의 경우, 원료에서 차지하는 미량 원소 함량이 낮기 때문에 미량 원소 보충이 필요하다. 소화조에 미량 원소들이 보충되지 않는 경우, 미생물 공정이 제한될 것이다. 이러한 공정의 제한으로 인해, 유기물 부하가 증가하고 안정적인 공정을 유지하는데 문제가 발생하고, 소화조/반응기에서 휘발성 지방산(VFA) 수치가 높아지는 문제가 발생할 것이다. 낮은 생물분해율 일으키는 VFA와 더 길어진 지방산으로 인해 소화조/반응기에서 균형 잡힌 미생물 공정을 유지하는데 심각한 문제가 초래되며 바이오가스 수율이 감소할 것이다. 이로 인해 메탄과 이산화탄소로 바람직한 수준으로 분해되지 않을 것이며 대신, 처리된 소화 액에서 메탄 가스로 변환되고, 이른바 메탄슬립(methane slip)으로 대기 중으로 방출될 것이다. 결과적으로 시설의 전반적인 결과와 수익성이 감소할 뿐만

아니라, 메탄 가스가 매우 강력한 온실가스이므로 환경 문제도 발생한다. 그렇기 때문에 대기 중으로 메탄이 방출되어서는 안된다. 소화조에서 VFA 수치는 1500 mg/l을 초과하지 않아야 한다.

원료 내 에너지 함량에 따라, 바이오가스 수율이 크게 달라질 수 있다. 일반적으로, 양돈 분뇨의 경우 바이오가스 수율이 휘발성 고체(VS) 1톤 당 메탄 200m³인 반면, 식품 및 식장 폐기물의 기질의 경우에는 VS 1톤 당 메탄 660m³의 가스 수율을 갖는다.



그림 5.7
컨테이너 솔루션인 저장 탱크 설비. 사진 Kemira.

5.4.1 다량 영양소로서 철

철은 모든 박테리아 공정에 관여하는 혐기 소화의 핵심 구성요소이다.

바이오가스 생성의 경우, 황화수소 농도를 줄이기 위해 다양한 제품이 사용된다. 황화수소를 줄이면 발전소설비, 가스처리시스템과 가스 고질화 시스템의 부식이 방지된다. 고질화 바이오메탄이 차량 연료, 공공 가스 그리드 또는 일반적인 에너지원으로 사용되기 위한 용도인 경우, 일반적으로 황화수소 수치를 기체상에서 100ppm 미만으로 줄여야 한다.

철을 함유하는 제품들은 주로 바이오가스 시스템의 황화수소 제어에 사용된다. 추가된 철 Fe는 황화 이온 S2와 반응하고, 시스템에 고형 소화액을 남기는 고형 성분인 황화 철을 형성한다. 철 제품들은 소화조에 직접 추가되거나 소화조 전에 추가된다. 상용용 철 제품들은 액체 또는 고체의 다양한 형태로 이용할 수 있다.

5.4.2 미량 원소는 소량 영양소이다.

혐기성 소화조/반응기 환경의 미생물들은 신진대사에 의한 셀룰로오스, 녹말, 단백질, 지방, 당, 지방산의 분해를 위해 효소와 조효소를 활용하고, 중간체 화합물을 주요 최종 생성물 메탄과 이산화탄소로 변환한다.

혐기성 생물분해에 미량 원소가 필요한 것은 미량 원소의 자연적인 함량과 관련이 있다. 생활 폐수 슬러지와 축산 생산에서 발생하는 분뇨와 같은 살아있는 생물에서 비롯되는 원료들에는 미량 원소가 이미 충분한 수준으로 존재하므로, 미량 원소를 추가할 필요가 없다. 그러나 유기물 부하가 4 [kg VS/(m³·d)] 이상으로 증가하는 경우에는 메탄 CH4 수율을 유지하고 바이오가스 발전소의 산출량을 줄이지 않기 위해서 미량 원소 보충이 필요할 것이다.

에너지 작물, 농업 잔류물, 산업 유기 잔류물, 생활 폐기물, 유기 폐기물과 산업 폐수에서 비롯된 원료들의 미량 원소는 일반적으로 매우 낮아서, 혐기성 생물분해 공정 동안 미량 원소를 추가해야 할 필요성이 높다. 그렇지 않으면, 탄수화물, 단백질과 지방을 바이오가스로 이전하는 미생물의 기능이 저해될 것이다.

5.4.3 혐기성 공정을 지원하는 화학 반응

상기 언급했듯이, 바이오가스 발전소가 제대로 작동하기 위해서는 화학 반응이 필요하다. BDP(Kemira Biogas Digestion Products 바이오가스 소화 제품) 포트폴리오에는 특히 바이오가스 발전소와 산업 혐기성 폐수처리장을 위한 순수 철 제품이 있다. 또한 이 포트폴리오는 다양한 유형과 농도의 미량 원소들을 함유하는 특수 철염으로 구성된다. BDP 제품의 BDP 선정은 원료, 설계 또는 혐기 소화 공정과 공정의 부하를 기준으로 한다.

물론, 철 제품을 추가하는 목적은 생성된 바이오가스에서 황화수소의 양을 줄여 기기 및 장비의 부식을 방지하고, 가스 엔진, 가스 그리드 및/또는 차량 연료에 수용되는 바이오가스를 제공하는 것이다. BDP 제품을 함유하는 미량 원소는 바이오가스 생산량과 바이오가스 수율을 높이기 위해 사용된다. 이를 통해 유기물 부하율이 증가할 수 있으며, 소화조/반응기 내 VFA 수치는 거품생성 문제와 함께 감소할 것이다. 소화조/반응기 내 VFA 산과 더 길어진 지방산의 감소량이 높아짐에 따라, 산은 더 높은 수치에서 메탄과 이산화탄소로 변환된다.

메탄슬립 역시 감소하고 환경에 대한 부정적인 영향도 완화된다.

일반적으로 말하자면, 이러한 화학물 추가라 인해 별도의 투자 없이도 발전소 용량을 증가시킬 수 있다. 바이오가스 수율 및 바이오가스 생산량 증가 측면에서 발전소의 경제적 생산량도 높아진다. 생물분해 경로에서, 철은 다량 영양소이며 모든 박테리아 공정에 관여하는 혐기 소화의 핵심 구성요소이다. 철은 황화물 S2를 침전시키고, 황화수소 H2S의 독작용을 억제한다.

유기물의 구성은 바이오가스 형성과 생성된 메탄의 양에 큰 영향을 미친다.



그림 5.8 엔bacher(Jenbacher) 사가 제공하는 바이오가스 발전소를 위한 가스 엔진과 발전기 사진 Jenbacher.

5.5 열병합 발전(CHP)

전력 및 열 생산을 위한 엔진 발전기 시설을 사용하는 열병합 발전(CHP)이 수십년 간 덴마크 바이오가스 발전소에 적용되었다.

가스 엔진에 바이오가스를 사용함으로써, 바이오가스의 에너지 함량의 35-40%에 해당하는 전력을 생산할 수 있고, 나머지 에너지의 일부는 고온 플루가스에서 다른 일부는 뜨거운 물에서 발생하는 열로 방출된다. 즉, 바이오가스의 에너지 함량의 약 60%이 열로 방출되므로, 수익성이 있는 사업을 위해서는 다른 목적으로 합리적인 가격으로 열을 판매해야 한다. 덴마크의 CHP 시설은 1년 중 더운 기간 동안 적절한 가격으로 열을 판매하는 것이 어려울 수 있다는 문제에 직면하고 있다.

5.6 운송 및 물류

바이오가스 발전소의 운영과 관련한 운송 및 물류는 운영비의 중요한 부분에 해당한다. 따라서 이 부분을 잘 관리하는 것이 경제적으로 매우 중요하다.

대부분의 바이오매스가 펌핑을 통해 공급될 수 있으므로, 폐수기반 시설과 산업 시설들에서 바이오가스 생산은 농업기반 시설과는 다르다. 농업기반 시설의 경우, 거의 모든 바이오매스가 트럭 운송으로 공급된다. 특수 설계된 트럭들이 분뇨와 같은 액체 바이오매스를 시설들로 운송하고 소화처리후 소화액을 배출한다. 바이오매스 수집 및 농가로 소화액 공급에 관한 물류 계획 수립은 매우 중요한 업무이다.



5.7 Power2X

덴마크가 향후 수십년 동안 100% 재생에너지로 에너지 전환하고자 하는 목표는 크고 복잡한 작업이다. 장기 에너지 시스템 분석들은 오랫동안 전기분해요법이 전체 에너지 시스템의 전환에서 중심적인 요소가 될 수 있을 것이라고 보여주었지만, 아마도 2030년 전까지는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 예상된다.

P2X(Power2X)는 전기분해요법을 통해 재생에너지로 얻은 전력을 수소로 전환하고, 이후 기체 및 액체 연료로 정제하는 것이다. 이 공정들은 청정 재생에너지 공급으로의 비용대비 효율적인 전환에서 핵심적인 필수 요소가 될 것으로 예상된다.

여러 분석들에 따르면, 덴마크 에너지 시스템의 발전에 있어 이른바 부문별 연결을 통한 다양한 에너지 시스템들의 대규모 전기화가 중

**바이오매스
공급의 물류는
경제에 매우
중요하다.**



그림 5.9
분뇨 운송을 위해 특수 설계된 트럭.
사진 덴마크 식품 바이오 클러스터(Food & Bio Cluster)

Power-2-X

수소 열 및 전력 생산(예. CHP 시설), 운송 부문(예. 연료 전지), 화학 원료(예. 정제소에서)에 사용할 수 있다. 천연가스망에 소량 주입도 가능할 수 있다. 수소는 다음의 P2X 제품을 생산하는 일반적인 첫 번째 공정 단계인 물의 전기분해요법으로 생성된다.

합성 메탄 천연가스망에 직접 공급하고 천연가스와 동일한 목적으로 사용할 수 있다. 생산에는 CO2 공급원이 필요하다. 이 공정은 P2G(Power-to-Gas)라고도 불린다.

합성 액체 연료 예. 메탄올, 가솔린, 등유(제트 연료)와 경유. 해당 화석 원유 제품과 동일한 목적으로 사용할 수 있다. 생산에는 CO2 공급원이 필요하다. 이 공정은 PtL(Power-to-Liquid)라고도 불린다.

암모니아 비료의 기본 성분. 암모니아는 수소를 위한 에너지 운반체 또는 직접 연료로 사용되기도 한다. 생산에 CO2 공급원이 필요하지 않으며, 질소/공기에서 직접 발생하는 질소만 필요하다. 2018년 국제 운송을 위한 CO2 저감 목표 도입 이래로, 주요 시장 참여자들이 전기분해요법 기반 암모니아를 운송을 위한 CO2 미함유 추진제로 개발하고자 하는 큰 추진력이 있었다.

요하다. 전기 열펌프로 실내 난방에 에너지를 효율적으로 전달할 수 있으며, 전력이 운송 분야에 있어 가장 에너지 효율적이고 청정한 에너지원인 경우가 많다. 현재, 풍력 및 태양광 전력 발전은 재생에너지를 생산하는 가장 저렴한 방식이다. 최근 가격이 크게 하락하면서, 재생가능한 풍력 및 태양광 전력 발전이 전세계적으로 추진력을 얻고 있으며, 현재 풍력 및 태양광 전력 발전의 비중은 상당히 높다.

분석들에 따르면, 2050년 에너지 소비량의 40-60%는 직접 전력 소비량으로 전환할 수 없다. 이러한 에너지 소비량은 다른 연료로 충당되어야 한다. 선박, 항공기와 중장비수송, 산업, 예비 전력 발전 등의 많은 부분들을 위한 액체 및 기체 연료의 필요성이 여전히 클 것으로 예상된다. 이로 인해, P2X 생산 특히, 이를 바이오가스를 기반으로 시작한다는 것을 주목할 수 있다.



그림 5.10
오르후스 대학(Aarhus University) 테스트 시설에서
CO2와 H+의 메탄 전환.
사진 덴마크 식품 & 바이오 클러스터.



그림 5.11
CO₂와 H₂의 메탄 전환을 위한 오르후스 대학의 Haldor Topsøe의 시범 시설
사진 덴마크 식품 & 바이오 클러스터

6 소화액의 사용

6.1 비료 가치와 재활용

대다수의 가축사료는 식물로 구성되고 식물은 다양한 영양분을 함유한다. 이들 영양분 중 일부는 동물들에 의해 우유, 고기 또는 계란으로 전환되지만, 나머지는 동물들을 거쳐 슬러리나 배설물이 된다. 이것이 농작물에 살포되면, 순환고리가 완성되고 사실상 거의 모든 필요한 영양분이 농작물에 공급된다. 하지만 동물성 제품에서 영양분 제거를 부분적으로 보상하기 위해서, 생활 또는 산업 폐기물로부터 일정량의 무기질 비료를 보충할 필요가 종종 있다.

전세계 인의 천연 매장량 고갈로 인해, 산업적으로 생산된 화학 비료를 대체하는 영양분들을 재활용하는 것이 점차 중요해지고 있다. 바이오가스 발전소의 소화액은 영양분과 유기물이 풍부하고 생분해보다 접근성이 더 용이한 영양분을 함유하는 훌륭한 바이오 비료이다. 덴마크와 유럽에서는 생분뇨/슬러리와 바이오가스 발전소의 소화액을 추가 처리없이 농작물 비료로 직접 사용한다.

화학 비료를 소화액으로 교체하려면, 소화액이 효율적이고 안전한 방식으로 처리되고 사용될 수 있어야 한다.

덴마크 규정

덴마크에서는 환경식품부(Ministry of Environment and Food)가 분뇨를 비료로 사용하는 것에 관한 규정과 관련 EU 법률 이행을 담당한다.

가장 중요한 규정은 다음과 같다.

- 축산 생산의 분뇨 관리를 규정하는 제정법위임명령(Statutory order)
- 농업 및 식물에 비료 사용을 규정하는 제정법위임명령
- 농지에서 유기폐기물을 비료로 사용하는 것을 규정하는 제정법위임명령
- 도축장 등 동물의 잔류물 사용은 덴마크 수의식품청(Veterinary and Food administration)에서 규제한다.

이 규정의 중요한 요소들은 다음과 같다.

- 축산분뇨를 처리하지 않고 농지에 사용할 수 있다. 소화관의 내용물, 우유와 유제품에도 동일한 사항이 적용된다.
- 분뇨와 슬러리는 기밀 밀폐된 저장 탱크에 보관해야 한다.
- 분뇨와 슬러리의 영양분은 경지에서 비료로 사용되어야 한다. 유일한 대안은 승인된 소각장에서 소각하는 것이다.
- 농지에 합법적으로 적용할 수 있는 헥타르 당 N과 P의 수량에 대한 한도치가 있다.
- 축산농장이 자체 경지에 합법적으로 적용할 수 있는 것보다 더 많은 분뇨가 있는 경우, 초과 분뇨가 다른 농장, 바이오가스 발전소 또는 소각장으로 배정된다는 서면 합의서가 있어야 한다.
- 냄새와 침출을 방지하기 위해 액비 또는 처리후 바이오매스는 특정 기술을 통해 적용되어야 한다.
- 영양분을 효율적으로 사용하고 침출을 방지하기 위해 액체 비료 또는 처리후 바이오매스는 식물 성장 시기 직전과 도중에 적용되어야 한다.
- 생활 폐기물과 같은 특정 유형의 유기성 폐기물은 허가 없이 농지에 적용할 수 있지만, 다른 유형들에는 허가가 필요하다. 두 유형 모두에 중금속, 환경유해물질 및 플라스틱과 같은 물리적 불순물에 대한 한도치를 적용한다. 제3자가 해당 한도를 관리한다.
- 유기성 폐기물을 농지에 적용하기 전 규정상 위생처리들(유형에 따른 안정화, 제어된 비료화 처리 또는 제어된 살균)을 거쳐야 한다.
- 동물성 부산물들은 EU 규정을 준수해야 한다. 이 규정은 위험한 동물성 부산물을 사료에 사용하는 것을 금지한다. 특정 질병으로 폐사한 동물과 같은 고위험 재료들은 금지해야 한다. 저위험 재료들은 바이오가스에 사용할 수 있지만, 경우에 따라 압력 살균을 거친 후에만 사용 가능하다. 이러한 재료들을 취급하기 위해서, 바이오가스 발전소는 승인된 살균 장치를 갖춰야 한다.



	건조물 %	총 질소 Kg/톤	암모니아태 질소 kg/톤	인 Kg/톤	칼륨 Kg/톤
암소의 슬러리	8	4,9	3,0	0,8	4,4
비육 돼지의 슬러리	6	5,0	3,5	1,2	2,6
암돼지의 슬러리	4	3,8	2,6	0,9	1,9
배설물(고형)	20	6,0	1,5	1,6	2,5
소변	3	5,0	4,5	0,2	8,0
심층 쓰레기	30	10,0	2,0	1,5	10,0

그림 6.1
동물성 유기비료의 핵심주요 영양소의 일반적 농도

6.2 영양분 함량

동물에서 기인한 유기질 비료는 70-98%의 수분과 불과 2-30%의 영양분 및 유기화합물로 구성된다. 고형 유기질 비료와 축사 깔짚에는 밀짚 함량이 높고 영양분과 고형물의 농도가 상대적으로 높다. 슬러리와 같은 액체 유기질 비료에는 수분 함량이 높고 밀짚은 거의 없으므로, 고형물과 영양분의 농도가 상대적으로 낮다.

유기질 비료의 최대 영양분 농도는 이른바 다량 영양소(예. 질소, 인, 포타슘과 마그네슘)이다. 기타 영양분은 더 낮은 농도로 발견된다(예. 나트륨, 구리, 아연, 붕소와 몰리브덴). 대부분의 영양분은 식물을 통해 직접 흡수할 수 있다.

유기질 비료의 질소는 다음과 같은 두 형태로 발생한다.

- 식물에 직접 이용 가능한 암모니아
- 식물이 흡수하기 전에 토양에서 전환되어야 하는 유기 질소. 하지만 무기질 비료의 중요한 구성요소인 질산염은 동물에서 기인한 유기질 비료에서 큰 농도로 발견되지 않는다.

표에 명시된 농도는 일반적으로 덴마크에서 실제로 발견된 농도이다. 하지만 슬러리와 배설물의 구성에 모두 영향을 주는 사료공급 관행, 폐수, 축사 설계, 밀짚 사용 등의 차이로 인해서 농장들 간 큰 차이가 있을 것이다.

6.3 영양분의 가치

농장에서 슬러리, 배설물과 처리후 바이오매스의 가치는 상당히 크다. 유기질 비료는 농지에서 무기질 비료를 부분적으로 또는 완전히 대체할 수 있다. 그렇기 때문에, 슬러리, 배설물과 처리후 바이오매스가 최적으로 사용되는 경우, 무기질 비료를 위한 비용이 절약된다. 동물에서 기인한 유기질 비료에는 정가표가 없지만, 그 가치는 대체하는 무기질 비료의 가치에서 추산할 수 있다.

표는 다양한 농장 유형과 규모에 대한 총 비료 가치를 나타낸다. 계산된 가치는 무기질 비료에 사용된 인, 포타슘과 사용된 질소의 등가량을 기준으로 한다. 완전한 가치를 실현하려면, 특히 슬러리, 배설물 및 처리후 바이오매스를 올바른 농작물에 적절한 시기에 최적의 장비 사용하여 적용하는 것이 중요하다.

생산된 양은 표준 연간 생산량이다. 가치의 계산에서, 분뇨/슬러리의 평균 영양분 함량에 대한 덴마크 표준은 사용된 가축, 사료공급, 축사 유형 등에 따라 좌우된다.

퍼센트 단위의 이용률(utilization rate)은 적용 연도에 농작물에 사용된 질소(총-N)의 양을 측정한다(첫해 효과). 무기질 비료 내 질소의 사용 효율은 100%라고 정의된다. 첫해 효과(first-year effect)는 주로 유기질 비료의 암모니아태 질소 함량의 결과이다.

잔류 효과(residual effect)는 슬러리, 배설물 또는 처리후 바이오매스를 적용한 이후 수 년 동안 질소의 효과를 측정한다. 잔류 효과는 주로 유기 질소 함량의 결과이다. 10년 동안 잔류 효과는 돼지 슬러리에서 7-10%, 소 슬러리에서 10-15%, 고형 유기질 비료에서 16-24%일 것으로 추산된다.

질소 이용률은 매우 다양하다. 비소화성 식물 잔류물에 유기적으로 결합되어 식물이 이용할 수 없는 슬러리와 배설물의 양의 차이로 인해, 작물이 섭취하는 질소의 양이 달라진다. 질소의 생체 이용률이 가장 높은 것은 슬러리와 소변이다. 질소의 이용률이 고체 유기질 비료보다 액체 유기질 비료에서 더 높기 때문이다.

질소의 일부가 식물에 흡수되기 전에 환경으로 손실되기 때문에, 이용률 범위는 다양하다. 이러한 손실을 최소화할 때, 가장 높은 질소 이용률이 달성된다. 예를 들어, 가장 적절한 적용 장비를 선정하고 최적의 시기에 최적의 양으로 비료를 적용할 때만 달성된다.

대부분의 유기질 비료는 봄에 적용하도록 권장된다. 그러므로 가을과 겨울 동안 슬러리와 배설물의 저장 용량이 필요할 것이다. 최적 용량은 8-9 개월의 생산량을 위한 저장 용량이다.

비료 유형	톤/동물	생산된 비료		
		총생산량, 톤	톤 당 가치 EUR	총 가치, EUR
암태지 슬러리	9,60	8.160	4	36.680
성숙돈 슬러리	0,54	5.400	6	32.227
소 슬러리	38,00	11.460	6	71.408
소 슬러리	38,00	19.100	6	119.013

그림 6.2
일반적인 비료 유형에 대한 2016년 11월 덴마크의 추산 비료 가치.

비료 유형	작물과 적용 방법	이용 효율 % 첫해
돼지 슬러리	겨울 작물(곡물, 유채씨)에 트레일러 호스	65
소 슬러리	겨울 작물(곡물, 유채씨)에 트레일러 호스	45
소 슬러리	풀에 주입	50
소 슬러리	겨울 작물(곡물, 유채씨)에 트레일 호스	50
액체 유기질 비료	겨울 작물(곡물, 유채씨)에 트레일 호스	85
고체 유기질 비료	겨울 작물(곡물, 유채씨)에 널리 살포	25
축사 깔짚	겨울 작물(곡물, 유채씨)에 널리 살포	85

그림 6.3
유기질 비료의 질소 활용. 작물 재배 시 봄과 여름. SEGES P/S.

비료 유형	작물과 적용 방법	이용 효율 % 첫해
돼지 슬러리	봄 곡류 또는 옥수수에 주입	75
소 슬러리	봄 곡류 또는 옥수수에 주입	70
돼지 슬러리	겨울 유채씨에 주입	65
액체 유기질 비료	봄 곡물 또는 옥수수에 주입	90
고체 유기질 비료	봄 곡물 앞에서 쟁기질	40
축사 깔짚	봄 곡물 앞 쟁기질	30
축사 깔짚	옥수수 또는 비트 앞 쟁기질	35

그림 6.4
파종 전 적용되는 질소 활용.

바이오가스 발전소의
소화액은 고부가가치의
비료 제품이다.





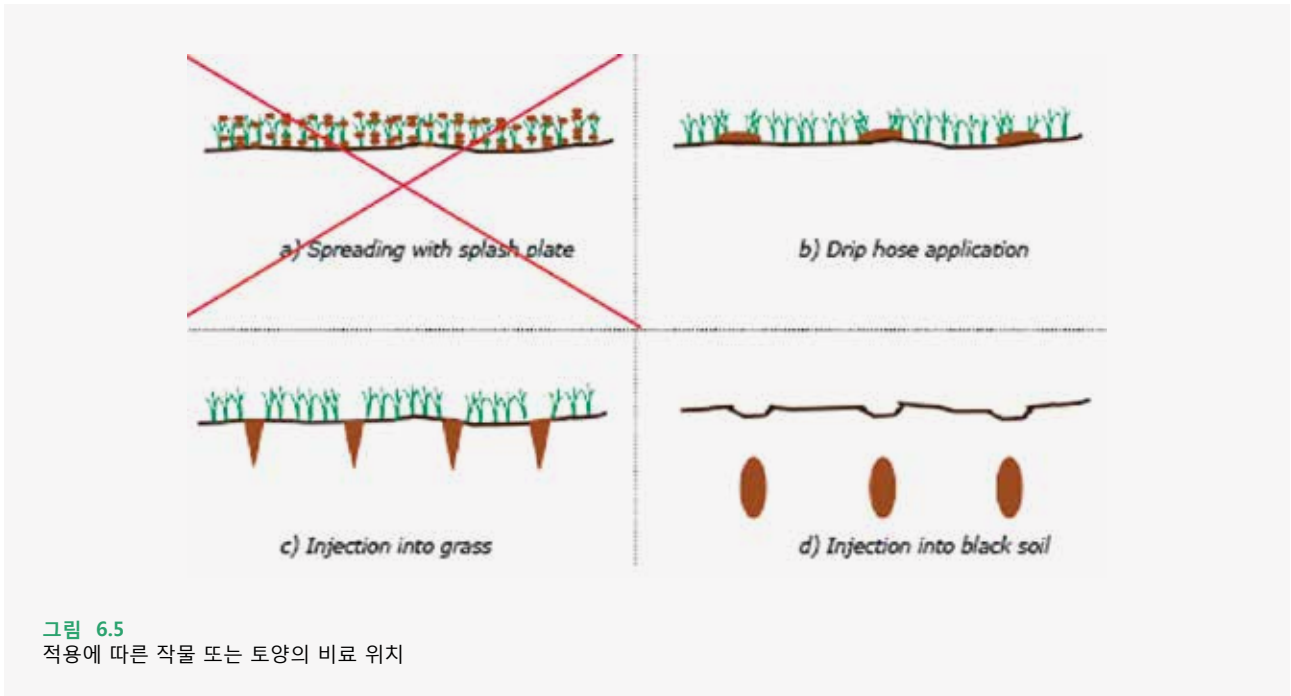


그림 6.5
적용에 따른 작물 또는 토양의 비료 위치

6.4 적용 방법과 암모니아 손실

혼합은 적용 전의 중요한 과정이다. 슬러리 저장탱크에서, 저장 과정 중에 영양분이 분리된다. 특히 건조물, 인, 유기 질소와 일부 소량 영양소가 분리되어 바닥층과 부유층에 고농도로 축적된다. 암모니아태 질소와 포타슘은 수용성이므로 분리되지 않는다.

적용 전에 슬러리를 철저히 혼합하면, 다음의 두 가지 장점이 있다.

- 슬러리가 균질하고 퍼내기 쉽다. 탱크를 완전히 비울 수 있다.
- 슬러리의 첫번째 부하부터 마지막 부하까지 영양분(특히 인)의 농도가 일정하다.

축사 깔짚 같은 고체 유기질 비료는 퇴비 살포기를 사용해서만 적용할 수 있다. 이 유형의 유기질 비료에서 발생하는 암모니아 손실은 적용 직후 가능한 빨리 축사 깔짚/배설물을 쟁기질하여 줄이는 것이 최선이다.

반면, 액체 유기질 비료는 여러 다양한 기술을 사용하여 적용할 수 있다. 특정 작물과 적용 시기에 가장 적절한 방법을 선택하여 영양분 활용을 최적화할 수 있다. 그림은 액체 유기질 비료의 적용에 적절한 방법들을 보여준다.

검정선은 토양 표면을 나타내고, 갈색 부분은 분뇨를 나타낸다. 비료의 대기 접촉은 네 가지 방법으로 매우 달라진다는 점을 유의해야 한다. 암모니아 증발이 가장 커서 질소 손실도 가장 큰 스피레쉬 플레이트를 사용하는 접촉은 상당히 중요하다. 결과적으로, 덴마크에서 이 방법은 금지된다. 공기 중 노출이 길수록, 암모니아 증발/배출에서 발생하는 질소 손실이 커진다. 그러므로 스피레쉬 플레이트 살포보다 주입기, 투입기(incorporators)와 드립 호스를 사용하는 것이 바람직하다.

비료효과의 최적화를 위해 적절한 소화액 처리 는 필수적이다.

2001년과 2002년 이후, 건강 및 환경 고려사항으로 인해 관개 대포 사용과 광역 살포로 액체 분뇨를 살포하는 것이 각각 금지되었다.

바이오가스 소화액의 경우, 암모니아를 폐쇄된 슬러리 탱크에 저장하고 주입이나 밴드 부설시스템을 통해 살포하는 등 암모니아 증발을 막는 기술을 사용하는 것이 특히 중요하다. 소화 액에 pH가 높을 뿐만 아니라 광물화된 형태의 질소의 비중이 크다는 사실때문에, 암모니아 증발의 위험이 높아진다.



그림 6.6
질소 손실이 매우 크기 때문에 광역 살포 및 살수는 허용되지 않는다. **사진** Seges.



그림 6.7
트레일 호스에 의한 토지 적용. 광역 살포 대비 약 50%의 N-배출량 감소. **사진** GØMA.



그림 6.8
풀에 주입. 트레일 호스 적용 대비 약 25%의 N-배출량 감소. **사진** Samson Agro.



그림 6.9
흑색토 주입. 트레일 호스 적용 대비 약 85%의 N-배출량 감소. **사진** Samson Agro.

오르후스 대학 바이오가
스 발전소
세계 유일의 최대 R&D
목적 발전소



7 환경 문제 위험 줄이기

다음과 같은 가능한 환경 문제들을 언급할 수 있다.

- 암모니아 증발
- 질소 침출
- 탈 질소
- 인 손실
- 표면 유출
- 악취

적절한 시기에 올바른 기술을 사용하여 이러한 위험을 모두 줄이거나 제거할 수 있다.

바이오가스 발전소에서 발생하는 소화액은 생분뇨보다 냄새가 적고 비료로서 가치가 높다. 암모니아 증발에 대한 위험이 더 높음에도 불구하고, 소화액은 미처리 슬러리보다 냄새가 훨씬 덜하다. 소화액이 점도가 더 낮고, 더 균질화되어 있으며, 입자 크기가 더 작아서 특히 토양으로 빠르게 스며들기 때문이다. 축산 농가에 대한 이웃 주민들의 주요 우려는 냄새와 관련이 있으므로, 이러한 사실은 바이오가스 생산 투자에 대한 농가의 의사결정에 중요하다.

NH₄-N 양의 증가로 인해, 소화액으로 비료를 주는 농장은 10-20% 더 적은 투입량으로 동일한 비료 효과를 얻는 경우가 종종 있다.

7.1.1 질병의 확산 방지

슬러리 1 밀리미터는 1억 개 이상의 미생물을 함유할 수 있다. 이 미생물 중 일부는 전염성이며 동물과 인간에게 질병을 유발한다. 그렇기 때문에, 질병의 확산을 최소화하기 위해 슬러리 취급 시 예방조치를 취하는 것이 중요하다.

하지만 슬러리, 처리후 바이오매스와 배설물의 운송 및 적용 중에, 운송 및 적용 장비가 과압, 넘침과 세척 부족으로 인해 병원균에 오염될 수 있기 때문에, 질병이 한 무리에서 다른 무리로 확산될 수 있는 위험이 있다. 따라서 운송 탱크를 채우는 동안 넘치거나 새지 않는 장비를 사용하는 것이 중요하고, 장비를 적절하게 유지보수하고 방수하여 운송 중 과압으로 인한 문제가 발생하지 않도록 해야 한다. 자주 장비를 세척하면 질병 확산의 위험을 최소화할 수 있다.

일반적으로, 곡물과 같이 숙성될 때까지 수확하지 않는 작물에 질병이 전염될 위험은 미미하다. 슬러리 적용과 작물 수확 사이 간격이 길고, 해당 기간 동안 전염성 세균들이 자외선 복사에 의해 매우 효과적으로 분해되기 때문이다.

질병 전염의 가장 큰 위험은 풀에 슬러리를 적용할 때 발생하므로, 특별한 지침이 필요하다.

덴마크 규정은 덴마크에서 혐기 소화가 관련 병원균을 효과적으로 제거한다는 경험을 바탕으로 한다.

슬러리 저장에서 발생하는 질소 손실, NH₄-N의 %

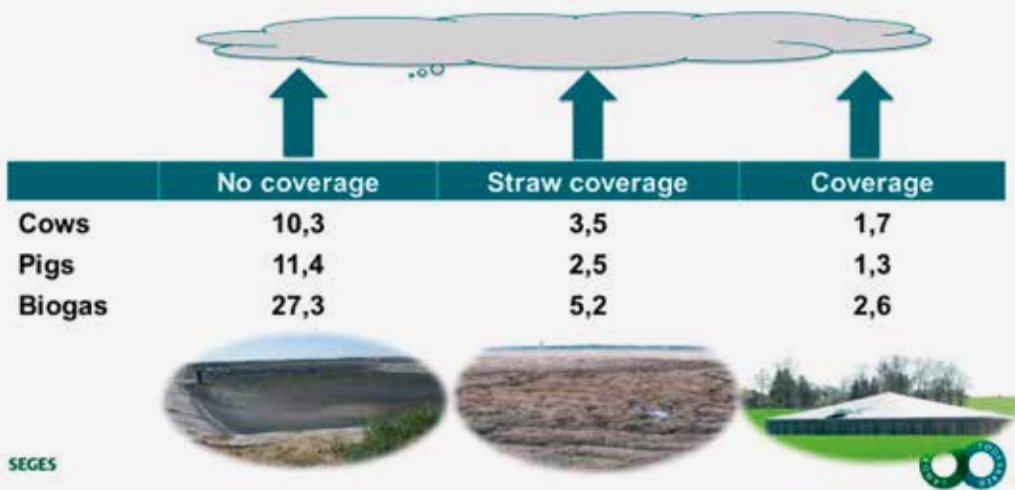


그림 7.1 다양한 저장 시설에서 발생하는 손실. Lars Villadsgaard Toft, SEGES.

8 연구개발

8.1 대학

덴마크에는 바이오가스 생산 분야의 연구를 수행하는 대학과 연구 기관들이 있다. 연구의 주요 목표는 고급 전처리 기술, 첨가제 및 효소의 사용, 사료 배합의 최적화와 축산분뇨를 보충하는 밀짚과 같은 새로운 원료와 기타 폐기물의 바이오가스 잠재력 등을 통해 분뇨기반 바이오가스 생산의 수익성을 지속가능한 방식으로 높이는 방법을 찾는 것이다.

8.1.1 오르후스 대학(Arhus University)

오르후스 대학(AU)은 약 42,500명의 학생과 11,500명의 직원이 있는 덴마크 최대 대학이다. 오르후스 대학은 Watec(물 연구소)와 CBIO(순환 바이오경제 센터)를 설립하여, 2017년에 미래 연구 전략을 수립했다. 공학과(Department of Engineering)는 바이오기반 사회와 순환 바이오경제를 위한 생물자원 기술에 관한 강력한 포트폴리오를 보유하고 있다. AU는 연구소 분석장비에서 시범 및 상업 규모 반응기에 이르는 물 연구, 바이오가스 및 생물정제 부문에서 훌륭한 실험 시설에 지속적으로 투자했다. 예를 들어, 가스전송라인과 가스 엔진을 갖춘 본격적인 바이오가스 발전소를 운영한다. 또한, 소형 및 대형 바이오가스 소화조들을 갖춘 바이오가스 시험 발전소를 운영한다. 소화탱크 크기: 본격 시설 1,200m³, 시험 시설 2 x 30 m³ 및 2 x 10 m³. 전처리와 고부가가치성의 소화액 제품의 생산으로 가스 생산량을 늘리기 위해 실험들을 진행하고 있다.

AU-Foulum은 오르후스대학에서 바이오가스 연구그룹을 이끌고 있다. 오르후스대학 바이오가스 연구는 전처리, 공정 제어, 반응기 설계, 고속 소화조, 환경 영향, 가스 고질화, 분리 및 소화 잔류물의 가치 사슬 등과 같은 대부분의 분야를 아우르는 혐기 소화 연구와 긴밀한 산업적 협업을 하고 있다. 이외에도, 오랫동안 연구원들은 바이오가스 설비 설계를 통해 업계와 함께 노력해오고 있다. 기존 바이오가스 인프라가 메탄화와 P2X 프로젝트를 포함한 첨단 기술로 업그레이드된다.

8.1.2 올보르그 대학(Alborg University)

올보르그 대학(AAU)은 생물정제기술(biorefinery) 개념과 바이오가스 생산, 혐기 소화와 바이오에너지 시스템 구현 프로젝트 분야에서 오랜 경험을 보유하고 있다. 바이오가스는 유럽연합(EU)의 향후 에너지 정책 목표를 달성하는데 중요한 역할을 할 것으로 예상된다. 하지만 에너지 작물 생산에 사용된 농지 비중의 증가로 인해 바이오가스 원료의 지속가능성은 비판적으로 논의되었다. 균형있는 바이오매스 선정과 지속가능한 농업 잔류물 선택 시 보여지는 바이오가스 에너지 잠재력은 혼합 소화시 바이오가스 시설 바이오가스 생산 수율이 개선되는 것으로 보고되었다. 연구된 잔류 바이오매스의 유형은 동물 분뇨, 곡물 생산에서 발생하는 밀짚 부산물과 순환식 및 영구 초원과 목초지의 잉여분 풀이었다. 결과에 따르면, 주로 사용되고 있는 에너지 작물인 옥수수 사용에 대한 지속가능한 에너지 작물의 대안은 유럽 바이오가스 부문의 지속적인 전진적 발전을 보장하기에 충분한 정도로 모든 EU 회원국에 존재한다.

주요 연구 활동들은 주로 사용된 물 처리에 관한 공학 생태계, 자원의 생물학적 회복(인 등)과 바이오에너지 생산에서 미생물 군집들의 구조 및 기능과 관련되어 있다. 배양되지 않은 미생물들이 혐기성 관찰과 추적자를 사용하는 등 단일 세포 미생물학과 결합한 다양한 오믹스(Omics) 방법(균유전체학, 메타 유전체학, 메타 단백질체학과 대사체학)으로 조사된다. 연구는 주로 P-제거, N-제거에 관여하는 생물과 거품 형성 및 팽창 작용을 초래하는 생물에 중점을 둔다.



그림 8.1 Foulum의 본격 시험 및 시범 시설. 사진 덴마크 식품 & 바이오 클러스터

올보르그 대학

바이오에너지 및 환경공학 연구소(Center for Bioenergy and Green Engineering)
덴마크 에스비에르(Esbjerg) 캠퍼스

올보르그 대학

미생물 군집 연구소(Center for Microbial Communities)
화학 및 생명과학과(Department of Chemistry and Bioscience)

8.1.3 덴마크남부대학교 (University of Southern Denmark)

덴마크남부대학교(SDU)는 특히 다양한 바이오매스 유형의 사용, 가스 잠재력과 공정 최적화를 포함하는 바이오가스 생산 연구 내에서 광범위한 활동을 수행하고 있다. 가장 최근에는 총 9개의 바이오가스 고질화 시스템에 대해 신뢰할 수 있는 결과들을 보장하는 데이터 샘플링을 실시했다. 단순한 설계 공정을 통해, 모델이 개별 설계된 바이오가스 고질화 시스템을 시뮬레이션했다. 엑셀 모델은 시스템 경제학, 에너지 비용과 에너지 흐름에 관한 지식을 제공할 것이다. 이 모델은 네 개의 전통적인 고질화 시스템(아민 스크러버, PSA, 멤브레인인공 스크러버와 세 개의 수소보조 바이오가스 고질화(HABU)법), 화학 촉매제, 현장 생물학적 바이오가스 고질화와 현장 외 생물학적 바이오가스 고질화를 포함한다. 또한, 생물살수 필터(biotrickling filter)와 아민 스크러버를 사용하는 결합 솔루션도 포함되었다.

생화학 처리, 환경 건강을 위한 호기성 및 혐기성 생물적 환경정화와 바이오에너지 생산을 통한 고부가가치성 제품들에 대한 바이오매스 전환의 전문적 방법.

- 바이오가스 생산을 위한 혐기 소화 공정과 혼합 소화 최적화
- NIR, 메탄 잠재력과 저장성 유기물의 비파괴 분석
- 다변량 데이터 분석(계량화학), PLS 모델링
- 폐수 및 슬러지 처리공정기술
- 바이오가스 생산을 위한 전처리, 사전 저장 기술
- 탄소 가치사슬 분석
- 생물정제기술과 바이오 경제

화학과(Department of Chemistry)

생물 환경 기술
DU 바이오기술
Campusvej 55
5230 Odense M, Denmark

8.1.4 로스킬데 대학(Roskilde University)

로스킬데 대학(RUC)은 덴마크 국내와 해외에 바이오가스 확대를 위한 중요한 잠재력이 있기 때문에, 바이오가스 연구를 실시하고 있다. 또한, 바이오가스는 재생에너지 이상이며, 기후, 환경 및 지역 공동체에 다음과 같은 복합적인 이익을 창출하는데 도움이 된다.

- 비료 구매 비용 절감.
- 질소 가용성 증가로 인한 농업 생산량 증가.
- 미사용 잔류 제품의 가치 창출(예. 밀짚과 산업 폐기물).
- 영양분의 재순환.
- 현지 일자리 창출.

로스킬데 대학 연구소(RUC)

Universitetsvej 1
DK-4000 Roskilde, Denmark.

8.1.5 덴마크공과대학교 (Technical University of Denmark)

덴마크공과대학교(DTU)는 트럭 및 비행기용 바이오연료 생산을 위해 더욱 수익성이 높은 바이오가스 생산 방법을 개발하는데 기여하고자 한다.

에너지기술개발 및 시범 프로그램(Energy Technology Development and Demonstration Programme: EUDP)은 eFuel 프로젝트에 수 백만 DKK의 보조금을 지급했다. eFuel 프로젝트의 목표는 바이오가스 발전소에서 배출된 이산화탄소를 메탄으로 전환하여 화석연료미함유 항공 연료 및 플라스틱 등의 제조에 있어서 미래의 녹색 원료가 될 수 있는 새롭고 강력한 기술을 개발하는 것이다.

이 공정은 최대 40%의 이산화탄소를 생산하는 바이오가스 발전소에서 이산화탄소를 회수하는 것을 포함한다(현재는 대기 중으로 방출됨). 이를 통해 바이오가스가 화석연료를 사용하지 않게 되며, 이산화탄소 수집으로 이 공정은 더욱 수익성이 높아진다.

이 공정의 다른 원료는 물과 전기에서 생성된 수소이다. 전력 그리드에서 풍력의 양이 증가함에 따라, 이 기술은 풍력을 저장하기 위한 고수요 방법이다.

eFuel 기술은 바이오매스의 수율을 60% 이상 증가시킬 것이며, 이로 인해 바이오가스를 화물 운송 및 항공을 위한 고급 바이오연료로 가공하는 것의 수익성이 높아질 것이다.

DTU는 바이오연료(바이오가스, 바이오수소, 바이오에탄올) 생산, 혐기성 공정의 최적화와 유기 폐기물과 폐수 처리를 위한 지속가능한 솔루션 개발 분야에 풍부한 전문지식을 보유하고 있다. DTU 환경과의 바이오에너지 그룹(The Bioenergy Group at DTU Environment)은 바이오가스, 바이오연료, 미생물 전기화학, 생물자원으로서의 조류와 생물정제기술 분야들에서 연구를 실시하고 있다.

DTU 바이오에너지 그룹은 폐기물과 잔류물이 에너지와 연료 이외에 다양한 바이오 제품으로 전환되는 다양한 생물정제기술 접근법을 연구하고 있다. 바이오가스를 사용하는 새로운 경로의 일례는 호기성 공정에서 메탄을 단일세포 단백질로 미생물적으로 전환하여, 동물 사료로 이용할 수 있도록 하는 것이다. DTU는 몇몇 회사들과 코펜하겐 지

체와 함께 MUDP 프로젝트(FUBAF)에서 이 경로를 개발했다. 바이오가스에서 발생한 이산화탄소가 유기물 잔류물질과 함께 사용되어 바이오숙신산을 생성하는 또 다른 흥미로운 제품은 다양한 완제품에 사용된 흥미로운 플랫폼 화학물질이다. 현재, 이 개념은 EU 자금지원 프로젝트(Neosucces)를 통해 업스케일링 단계에 있다.

8.2 연구 기관

덴마크에는 바이오가스 발전소의 설계, 기획, 설립 및 운영에 역량을 갖춘 많은 회사와 기관들이 있다. 이 절에서는 이들 중 일부를 강조한다.

8.2.1 덴마크 기술연구소 (Danish Technological Institute)

덴마크 기술연구소(DTI)는 바이오가스 생산과 바이오매스 적용의 화학 및 생명공학 측면에 15년 이상의 경험을 보유하고 있다. 덴마크 기술연구소는 개념, 프로토타입과 상업용 솔루션의 개발, 테스트 및 검증과 바이오가스 발전소에서 발생하는 영양분의 활용으로 덴마크와 국제 기업들을 지원한다.

바이오 기반 사회로의 전환에서, 바이오가스 발전소는 핵심적인 역할을 한다. 동시에, 농업에서 발생하는 유기 폐기물과 잔류 바이오매스가 녹색 에너지에 활용되면서, 바이오가스 발전소는 영양분과 탄소를 농지에 다시 재활용할 수 있다. 덴마크 기술연구소는 처리후 바이오매스의 최적 활용을 위한 솔루션 개발 및 문서화에 10년 이상의 경험을 가지고 있다. 이 연구소는 탈기 분뇨나 그 부산물의 비료 가치를 결정하는 현장 시험을 수행할 수 있다.

DTI는 다음에 대한 조언을 제공한다.

- 처리후 바이오매스의 분리 및 추가 처리를 위한 기술 개발
- 처리후 바이오매스를 기반으로 한 새로운 비료 제품과 토질 개선제
- 섬유 부분에 대한 적용
- 처리후 바이오매스의 비료 효과를 개선하는 기회들
- 농지에 대한 인 적용의 한도를 충족하는데 사용하는 솔루션
- 처리후 바이오매스 기술에 대한 투자의 재정적 평가
- 다양한 솔루션의 효과 및 운영 안정성에 대한 증거를 위한 탈기 슬러리 처리기술의 시연, 테스트 및 검증

기술연구소

생물환경기술(Bio- and Environmental technology)
Agro Food Park 13
8200 Aarhus N, Denmark

8.2.2 바이오가스 덴마크(Biogas Denmark)

이 바이오가스 산업 협회는 산업과 가정에서 발생하는 잔류물인 축산분뇨의 전환과 미래 에너지 및 식품 공급을 보장하는 기후 친화적 재생에너지를 위한 기타 유기질 잔류물과 바이오매스를 통해 화석을 사용하지 않는 사회로 전환을 위해 노력하고 있다. 바이오가스 산업 협회는 바이오가스 생산업체, 시설 및 장비 공급업체, 자문회사, 바이오매스 공급업체, 에너지, 운송, 폐기물 및 농업 부문, 지식 기관 등을 포함하여, 바이오가스에 관련이 있는 모든 이해당사자들을 대표한다.

바이오가스 산업 협회는 덴마크 국내와 해외에서 바이오가스 생산 및 사용을 증진하기 위해 노력한다.



8.2.3 SEGES

SEGES와 덴마크 농업자문국 이사회(Danish Agricultural Advisory Board)는 비료 분야를 포함한 농업 분야에서 자문업무를 수행하는 수천 명의 사람들을 포함한다.

SEGES는 바이오가스 분야에서 자문을 제공하고 바이오가스 농장, 바이오가스 공동 발전소, 산업용 바이오가스 정제소와 폐수처리장의 혐기 소화 탱크를 포함하는 오래된 기준 목록을 가지고 있다.

SEGES의 자문 서비스는 다음을 포함한다.

- 바이오가스 발전소를 위한 시스템 설계, 장비 구비와 제어 개념
- 발전소 벤치마킹을 포함한 질량 및 에너지 수치 계산.
- 생물학적 공정 최적화, 기계 및 제어관련 조건을 포함한 기존 발전소의 운영 최적화
- 바이오매스 인증 및 바이오가스 생산 관련 감사
- 유기질 바이오매스 및 바이오가스 생산에 관한 특별 조건
- 난방 및 바이오가스 발전소에 적합한 슬러리 및 슬러지용 열교환기를 포함한 위생 시설의 치수결정과 설계
- 황처리장과 악취제거기의 설계 및 최적화.

SEGES 직원들은 일본, 중국, 대만, 태국, 남아프리카공화국, 불가리아와 기타 유럽 국가들을 포함한 전세계 여러 국가의 참고문헌을 가지고 있다.

또한, SEGES는 바이오가스 발전소뿐만 아니라, 거래 및 분쟁에 관한 실사 업무, 시각 및 평가 업무 등을 수행한다. 덴마크 농업 자문위원회(Danish Agricultural Advisory Council)와 협력하여 덴마크의 작업들에 대한 권한 처리를 수행한다.

8.2.4 덴마크 식품 및 바이오 클러스터 (Food & Bio Cluster Denmark)

덴마크 식품 & 바이오 클러스터는 덴마크의 식품 및 생물자원을 위한 국가 클러스터이다. 이 기관은 덴마크 및 국제 기업들과 지식기반 기관들을 위한 클러스터의 혁신 및 성장을 위한 종합 플랫폼이다. 연구소와 기업 간 협력을 증진하고 회원들에게 네트워크, 자금조달, 사업개발, 프로젝트 및 시설에 대한 원스톱숍(one-stop-shop)을 제공한다. 소프트 펀딩 신청서 작성, 주제별 투어 및 사업 임무 구성, 전문지식 분야 내 다양한 주제에 대한 보고서 작성 등과 같은 다양한 자문 서비스를 제공한다.

더 상세한 정보는 www.foodbiocluster.dk를 방문하기 바란다.

9 회사, 공급업체와 자문회사

덴마크 회사들은 바이오가스 생산을 구축하고 운영하는데 있어서 오랜 경험을 가지고 있다.

덴마크 회사들은 다음을 제공할 수 있다.

- 노하우와 조언
- 장비 공급
- 완전한 설비 및 시설의 공급
- 계획수립에 대한 협력
- 시설의 설계
- 실행에 대한 협력
- 운영에 대한 협력


덴마크 회사들은 다음을 제공할 수 있다.

- 턴키 바이오가스 발전소
- 턴키 고질화 시설
- 턴키 전처리 시설
- 가스 모터 설비 - CHP
- 가스 냉각 설비
- 저장 시설

로고	연락처	설명	바이오매스처리&전처리리	턴키 엔지니어링/자문-	시설 구성요소	가스 조절 & 사용용	비료 사용	R & D	기타
	Aikan A/S Vadsbystræde 6 DK - 2640 Hedehusene +45 4399 5020 www.aikan.dk	Aikan A/S는 20년 동안, 진정으로 지속 가능한 폐기물 재순환과 에너지 생산을 위한 강력한 솔루션을 제공했다. Aikan은 모든 공급원과 순도의 고품질 폐기물을 처리하고, 낮은 설치 및 운영 비용에도 불구하고 폐기물 전처리와 최종 사용자 제품의 취급을 포함한다.	●	●			●	●	
	Ammongas A/S Ejby Mosevej 5 DK - 2600 Glostrup +45 4363 6300 www.ammongas.dk	Ammongas A/S는 아민을 사용한 바이오가스 고질화, 암모니아 분리와 집중, 세정기 시스템과 활성 탄소 필터를 포함하는 공기 및 가스 정화를 위한 턴키 환경 시설을 생산한다.		●		●			
	BioCover A/S Veerst Skovvej 6 DK - 6600 Vejlen +45 2963 4936 www.biocover.dk	SyreN 시스템은 적용하는 동안 슬러리를 안정화시킨다. 이 시스템은 질소 이용률을 80%까지 높여서, 헥타르 당 질소 50Kg을 추가하는 암모니아 배출을 중단시킨다. 이를 통해, 황산염 비료로 적절한 양의 황을 첨가하면서 최대 40% 더 많은 인 식물을 사용할 수 있게 된다.					●		
	Biogasclean A/S Magnoliavej 10 DK - 5250 Odense SV +45 6617 2177 www.biogasclean.com	Biogasclean A/S는 운영비가 낮고, 가용성이 높고, 성능 보장을 제공하며, 화학물질을 사용하지 않는 전자동 생물학적 탈황 시스템을 공급한다. 580MW 이상의 가스 엔진에 청정 가스를 공급하는 270개 이상의 레퍼런스.			●	●			
	Copenhagen Capacity Nørregade 7b 3th floor DK - 1165 Copenhagen +45 4022 1436 www.copcap.com	Copenhagen Capacity는 외국 회사들과 투자자들이 코펜하겐 지역에서 사업 기회를 찾아 실현하는 것을 지원한다. 덴마크의 바이오가스 생산 및 사용은 정부 이니셔티브와 원대한 정치 풍조 목표로 인해 점점 더 강력하게 권장되고 있으며, 2천5백만 마리의 돼지를 사육하는 대규모 농업 부문은 바이오가스 산업의 강력한 근간을 이룬다.	●	●	●	●	●	●	
	Danish Biogas Consulting Glamøstervej 18B DK - 8600 Silkeborg +45 8683 7483 danskbiogasraadgivning.dk	Danish Biogas Consulting는 계획수립 및 프로젝트 개발에서 설계, 이행, 운영 및 유지관리에 이르기까지 바이오가스 생산의 모든 단계에서 서비스를 제공한다. 운영 서비스는 지속가능성 인증뿐만 아니라, 실험실 분석, 생물학적 모니터링과 최적화를 포함한다.	●	●	●	●	●	●	●
	Danish Energy Agency Carsten Niebuhrs Gade 43 DK - 1577 Copenhagen +45 3392 6700 www.ens.dk/en	덴마크 에너지청 바이오에너지부(Danish Energy Agencies Bioenergy Division)는 EU 지침의 이행과 덴마크 바이오가스 부문의 지속 가능한 발전을 보장하는데 필요한 규제 프레임워크를 개발한다. 에너지청은 바이오가스 보조금 제도를 개발 및 관리한다.							●
	Danish Technological Institute Kongsvang Alle 29 DK - 8000 Aarhus C +45 7220 2000 www.teknologisk.dk	덴마크 기술연구소 (Danish Technological Institute)-AgroTech는 혐기 소화 문제의 광범위한 분야 내 자문 및 기술개발에서 30년 이상의 경험을 가지고 있다. 당사의 고객은 기업, 농가와 정부이다.	●	●	●	●	●	●	
	Food & Bio Cluster Denmark Agro Food Park 13 DK - 8200 N Skejby +45 8999 2500 www.foodbiocluster.dk	덴마크 식품 & 바이오 클러스터(Food & Bio Cluster Denmark)는 덴마크의 식품 및 생물자원을 위한 국가 클러스터이다. 우리는 이 클러스터에서 (덴마크와 국제 기업 및 지식기반 연구기관의) 혁신 및 성장을 위한 종합 플랫폼이다.						●	●
	Gemidan Ecogi A/S Drivervej 8 DK - 6670 Holsted +45 7678 2101 www.ecogi.dk	Gemidan Ecogi 기술은 수년 간의 폐기물 처리 경험을 바탕으로 개발되었다. 이 기술은 특히 최소 플라스틱 함량에 있어서 펄프 순도의 새로운 표준을 수립한다. Gemidan Ecogi는 순도와 품질에 대해 ETV 인증을 받은 독특한 유기성 원료 제품을 생산하는 것으로 유명하다.	●		●				
	Kemira Oyj Amager Strandvej 390 DK - 2770 Kastrup +45 6991 8893 www.kemira.com	높은 바이오가스 수율과 낮은 고질화 비용을 실현하려면, 황화수소의 수치를 낮게 유지해야 한다. Kemira BDP 제품 포트폴리오는 소화조에서 황화물 수치를 제어하는 가장 효율적인 방법이다.	●			●			



로고	연락처	설명	바이오매스처리&전처리	턴키 엔지니어링/자문-	시설 구성요소	가스 조절 & 사용용	비료 사용	R & D	기타
	Landbrug & Fødevarer F.m.b.A. - SEGES Agro Food Park 15 DK - 8200 Aarhus N +45 8740 5000 www.seges.dk/en	SEGES는 농업과 농장 관리의 모든 측면을 대상으로 하며, 영양분 관리 및 활용 분야에 광범위한 지식을 보유하고 있다. SEGES는 바이오가스 분야에서 자문을 제공하고, 많은 바이오가스 농장과 바이오가스 공동 발전소의 운영을 계획하고 최적화했다.	●	●	●	●	●	●	●
	LSH-Biotech ApS Katrineholmsalle 62 DK - 8300 Odder +45 2960 3008 www.lsh-biotech.dk	LSH-BIOTECH는 수년 동안 주로 바이오가스 기술 내에서 업계 위해 전문 장비를 설계, 계획 및 개발하고 있는 지식 기반 회사이다. 그러므로 당사의 기술은 사업과 기술 전문지식에 대한 철저한 이해를 기반으로 한다.	●	●	●	●			●
	Lundsby Biogas A/S Hjarbækvej 65 DK - 8831 Løgstrup +45 9649 4300 www.lundsbybiogas.dk	품질과 경험을 갖춘 맞춤형 솔루션인 내구성이 있고, 유연하고, 단순한 기술의 턴키 바이오가스 발전소를 관리하고 시공한다. 당사는 다양한 고질화 시설의 공급업체와 협력하며, 따라서 발전소가 바이오 천연가스를 천연가스망에 공급한다. 당사는 공급할 가능성이 있는 경우, 발전소/난방 설비에 대한 고려에 참여한다.	●	●	●	●	●	●	●
	Nature Energy Biogas Ørbækvej 260 DK - 5220 Odense SØ +45 70 22 40 00 www.natureenergy.dk	Nature Energy는 매년 1억7천만 m3 이상의 바이오메탄을 생산하는 10개의 발전소를 운영 중인 주요 덴마크 바이오메탄 공급업체이며, 세계 최대 바이오메탄 생산업체이다. 투입원료는 주로 동물 분뇨와 음식을 폐기물이다. 더 많은 발전소가 건설 및 최종 개발 단계 중이다.		●		●	●	●	●
ON:OFF MANAGEMENT	ON/OFF Management ApS Toldboden 3, 1 sal D DK - DK-8800 Viborg +45 2943 7648 www.onoffmanagement.dk	국내 및 해외에서 30년 이상의 바이오가스 분야 경험. 사업 사례와 프로젝트 개발, 프로젝트 관리, 바이오가스 발전소 설계, 시행, 시운전, 협력 및 최적화와 같은 분야들에서 능력 입증.		●					
	PlanEnergi Jyllandsgade 1 DK - 9520 Skørping +45 9682 0400 www.planenergi.dk	PlanEnergi는 재생에너지 시스템을 계획, 이행 및 운영하고자 하는 고객들에게 자문을 제공하는 제2의 회사이다. PlanEnergi는 자문 서비스는 계획 수립, 설계, 입찰, 이행 중 감독, 시운전 및 바이오가스 운영의 최적화를 포함한다.	●	●	●	●	●	●	●
	PurFil ApS Blaabaervej 61 DK - 5260 Odense S +45 4015 8777 www.purfil.com	PurFil®는 액체 "폐기물"을 위한 일련의 새로운 "화학물질을 소비하지 않는" 분리장치 모듈이다. PURROT® - PURUF® - PURRO® - PURNIT® - PURDRY® - PURCOMP®. 농사, 폐수처리장과 바이오가스 발전소에서 필수 사전 및/또는 사후 처리 정도에 관한 추가 모듈로 판매(레고 블록 유사).	●	●	●		●		
	Ramboll A/S Hannemanns Allé 53 DK - 2300 Copenhagen S +45 5161 1000 www.ramboll.com/energy	Ramboll은 바이오가스 생산에 30년 이상의 경험을 가지고 있으며, 가장 최근에는 스칸디나비아 최대 규모의 시설들에 자문 서비스를 제공했다. 당사는 바이오가스 생산업체, 하수처리 및 폐기물 관리 회사들, 지방/중앙 정부, 프로젝트 개발업체, 투자자와 은행들에 조언을 제공한다.		●					●
	Renew Energy A/S Kullinggade 31 DK - 5700 Svendborg +45 6222 0001 www.renewenergy.dk	협기 소화와 고급 분리 솔루션을 전문으로 하는 바이오가스 엔지니어링 서비스 회사이며, 농업, 식품 및 증류 부문의 설계, 엔지니어링, 조달, 시공관리, 시운전과 운영서비스에서 30년 이상의 경험을 가지고 있다.	●	●	●	●	●	●	●
	SAMSON AGRO A/S Vestermarksvej 25 DK - 8800 Viborg +45 8750 9300 www.samson-agro.com	SAMSON AGRO는 유기질 비료 적용을 위한 고품질 기계 및 장비를 생산하는 덴마크 기반 국제 제조업체이다. 당사의 목표는 영양분 활용을 최적화하고 축산분뇨를 효율적이고 경제적으로 건전한 방식으로 적용하는 솔루션에 대한 세계 농업 부문의 수요를 충족하는 것이다.					●		
	Technical University of Denmark Bygningstorvet, Building 115 DK - 2800 Lyngby +45 4525 2525 www.dtu.dk	DTU는 사회의 이익을 위해 자연과학과 기술과학을 이용하는 가치를 개발 및 창출하고자 하는 비전을 가진 공업대학교이다. 2019년 Leiden Ranking에 따르면, 이 대학은 최고의 스칸디나비아 대학이며, 유럽 49위, 세계 119위 대학이다.							●

로고	연락처	설명	바이오메스처리&전처리리	턴키 엔지니어링/자문-	시설 구성요소	가스 조절 & 사용용	비료 사용	R & D	기타
	Unibio A/S Langebjerg 1 DK - 4000 Roskilde +45 6310 4040 www.unibio.dk	Unibio는 메탄이나 농축 바이오가스를 공급원료로 사용하는 발효기술이 핵심 역량인 주요 덴마크 산업 바이오기술 회사이다. Unibio는 모든 출처의 메탄을 고농도 유기질 단백질 제품으로 전환하는 U-Loop®라는 혁신적인 자체 발효기술을 개발했다.	●	●	●			●	

REFERENCES

- LIVESTOCK MANURE TO ENERGY** Status, Technologies and Innovations in Denmark 2012. Agro Business Park.
- PRESENTATION, ENS MARTS 2019** Bodil Harder
- BIOGAS UPGRADING – TECHNICAL REVIEW** Energiforsk 2016
- BIOGAS DANMARK** www.biogasbranchen.dk
- DGC, REVIEW OF BIOGAS UPGRADING** Project Report. September 2017
- ENERGIFORSK 2016**
- BIOGAS DANMARK** Bruno Sander Nielsen 21/04-2020
- SCANDINAVIAN BIOGAS HANDBOOK** Aspects of planning a biogas plant, ABP 2014
- PTX I DANMARK FØR 2030** Energinet, april 2019
- SEGES** Lars Villadsgaard Toft
- BIOGASCLEAN** Note April 2020, Reza Jan Larsen
- NATURE ENERGY** Note April 2020, Jørgen Fink
- NETTOENERGIPRODUKTION I VANDSEKTOREN** Niras, dec. 2017
- BIOGAS RESEARCH AND PRACTICAL** Experiences at Aarhus University Foulum in Denmark, Henrik Bjarne Møller.
- KEMIRA NOTE 13-05-2020** Chemical precipitation
- THE USE OF BIOGAS** Britt Nilsson and Anna-Marie Bogh Public 13-05-2020, Kemira Oyj P.O.Box 330, FI-00101 Helsinki Finland





**Food & Bio Cluster
Denmark**

Niels Pedersens Allé 2
DK - 8830 Tjele
+45 8999 2599
www.foodbiocluster.dk