

정책 이슈페이퍼 12-13

바이오가스의 전과정(LCA)평가

■ 소진영 외

목 차

- I. 배경 및 문제점 / 1
- II. 조사 및 분석 결과 / 3
- III. 정책 제언 / 15
- IV. 기대 효과 / 18
- 〈참고자료〉 / 20



에너지경제연구원
KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE

I . 배경 및 문제점

- 앞으로 신재생에너지 분야에 부문별로 특화된 시장창출제도들이 확대 시행되어 바이오에너지의 보급도 급격히 확대될 것으로 예상됨
 - 2012년 초 RPS제도가 시행되었고, 조만간 RFS와 RHO 또는 RHI가 도입될 가능성이 높아 향후 바이오에너지의 보급이 급격히 확대될 것으로 예상
- 국제적으로, 바이오에너지 보급에 따른 부작용을 최소화하며 이용 및 개발을 확대하는 개념인 '지속가능한 이용 및 개발'의 중요성이 크게 부각
 - 바이오에너지의 개발과 이용이 초래할 수 있는 식량과의 경쟁문제, 산림 파괴 등의 사회, 경제, 환경적인 문제들에 대한 우려가 제기
 - GBEP(Global Bioenergy Partnership)는 바이오에너지의 환경, 사회, 경제적 측면의 지속가능성 관련 지표를 개발하여 발표
 - EU에서는 2009년에 신재생에너지지침(Renewable Energy Directive, RED)에 지속가능성 기준(Sustainability Criteria)을 도입
 - 이 기준에 적합하게 생산 및 이용되는 바이오에너지만을 회원국들의 보급량 산정에 포함하게끔 규정
- 지속가능성 기준의 지표 중 가장 중요한 정량적 지표의 하나는 바이오에너지의 온실가스 감축효과임
 - 바이오에너지는 화석연료를 대체함으로써 화석연료에서 배출되는 온실가스의 일부를 감축함
 - 이는 바이오에너지의 제조 및 사용 과정에서 발생하는 온실가스를 바이오매스가 성장하는 과정에서 다시 포집하여 순환시키기 때문임

- 본 연구는 우리나라에서 바이오에너지가 지속가능하게 개발 및 이용되고 있는지 평가하고 시사점을 도출하는 것을 목적으로 함
 - 우리나라의 바이오가스 시설 총 50개 중 6개 시설을 대상으로 전과정평가 (Life Cycle Analysis, LCA) 수행
 - 연구의 한정된 시간을 고려하여 바이오에너지 중 바이오가스에 초점을 두었음
 - EU RED에서 채택한 LCA 방법론 및 지표를 활용하여 지속가능성 평가
 - 본 연구에서 지속가능성의 평가는 EU RED와 마찬가지로 환경성, 특히 온실가스 감축효과에 초점을 둠
 - 대상 시설들의 전과정 자료를 수집하고 LCA를 수행하여 열, 발전 및 수송 부문의 바이오가스 지속가능성을 평가함
 - 바이오에너지 전과정에서 환경성을 개선할 수 있도록 시사점을 도출함
 - 부문별 바이오가스 생산 및 이용 전과정의 단계별 온실가스 배출량 분석을 통해 환경성 및 효율성 개선을 위한 시사점 도출

Ⅱ. 조사 및 분석 결과

1. 우리나라 바이오가스 시설 현황 및 시사점

- 바이오가스로 유기물이 산소가 없는 극도의 환원 상태에서 혐기성 미생물에 의해 분해되어 발생하는 메탄(CH_4)을 주성분으로 하는 혼합기체임
 - 바이오가스는 기존 가스보일러를 이용해 직접연소가 가능하며, 가스엔진, 가스터빈, 증기터빈 발전기를 이용하여 전기에너지로 변환시킬 수 있음
 - 또한 바이오가스를 분리·정제하여 얻은 바이오메탄올을 압축하여 수송용 연료로 활용함으로써 저장성과 활용가치를 높일 수 있음
- 2010년 말 기준 국내에 설치·운전 중인 바이오가스 생산시설은 총 50기로, 2009년 대비 1개소가 증가
 - 2010년 신규설치 2개소, 운영중단 3개소, 병합처리전환 2개소, 기존시설 추가 2개소였음
 - 운영 중인 50개 시설 중 40개는 2007년 이전에 설치되었으며, 나머지 10개소는 2007년 이후에 설치된 시설임

<표 1> 우리나라 바이오가스 시설 현황

(단위: 개소수)

년도	계	투입 원료 종류				
		가축분뇨	음식물쓰레기	음 폐수	하수슬러지	병합
2009	49	9	2	5	20	13
2010	50	7	2	6	20	15
증감	1(+5, -4)	△2(+1, -3)	0	1	0(+1, -1)	2(+3, -1)

자료: 환경부(2011)

- 2008년 이후 음식물쓰레기, 음폐수, 가축분뇨 및 병합처리 시설이 증가하고 있는 추세임

□ 2010년 생산된 바이오가스는 157,074천m³로 전년도 대비 12.4% 증가함

- 하수슬러지의 생산량이 전체 생산량의 약 45%로 가장 많으며, 병합처리 방식 43.7%, 음식물폐기물 7.0%, 음폐수 4.2%, 가축분뇨 0.3%를 차지함

<표 2> 우리나라 바이오가스 생산 현황

(단위: 천m³)

생산 방식	생산량	생산비율	단순처리량	단순처리 비율
하수슬러지 바이오가스	70,510	44.89%	13,358	18.9%
병합처리 바이오가스	68,586	43.66%	15,358	22.4%
음식물 바이오가스	10,939	6.96%	391	3.6%
음폐수 바이오가스	6,536	4.16%	3,329	50.9%
가축분뇨 바이오가스	503	0.32%	443	88.1%
전체	157,074		32,676	20.8%

자료: 환경부(2011)

□ 전체 생산량 중 약 80%만 에너지로 이용되고, 나머지 20%는 소각(flaring) 등 단순처리 되고 있어 미이용률을 줄이기 위한 대책이 필요함

- 특히, 가축분뇨 시설은 생산된 가스의 약 88%가 이용되지 못하고 있으며, 음폐수 시설도 미이용률이 50.9%로 높게 나타남

※ 월별·계절별로 생산량의 편차가 심해서, 발전설비 용량이나 소내 소비량 보다 생산이 높을 때는 소각 등 단순처리함

- 가축분뇨 등 많은 시설들이 에너지화 보다는 폐기물의 처리를 목적으로 시설을 운영하고 있어, 생산된 바이오가스를 효율적으로 이용하지 못함

- 에너지화를 목적으로 건설된 음식물 바이오가스 시설의 경우는 단순처리 비율이 3.6%로 낮게 나타남
 - ※ 폐기물의 단순처리 보다는 상업적인 에너지화를 목적으로 건설되어 설비의 이윤 극대화를 위해 효율적으로 운영하고 있기 때문인 것으로 평가됨
- 바이오가스로 생산되는 열에너지 및 생산공정에서 발생하는 열원의 활용을 위한 인프라가 미흡한 것도 이용률 저하의 한 요소임
- 바이오가스로 전력을 생산하는 경우 전력계통망에 연계가 비교적 용이한 반면, 열에너지는 열공급망과 연계를 위한 인프라가 미흡함
 - ※ 파이프라인 등 공급설비 인프라가 미흡하고 개별 설비 운영자가 자체 투자로 이를 설치하기에는 비용이 높아 많은 양이 이용되지 않고 폐기됨

2. 바이오가스 시설 환경성 분석

- 지속가능성은 개념적으로 다양한 정의들이 존재하지만, 아직 논란의 여지가 있어 국제적으로 합의된 정의를 도출하는 것도 쉽지 않음
 - 하지만, 지속가능하지 않은 행위 또는 관행들은 식별이 가능하며, 운영의 측면에서 이를 식별하고 제거해 나감으로써 지속가능성을 추구하는 추세임
- EU는 신재생에너지지침(RED)에 지속가능성 기준을 명문화하였으며, 미국도 지속가능성 관련 온실가스 감축효과에 대한 구체적인 기준을 제시함
 - EU의 기준에는 대체하는 화석연료 대비 온실가스 감축효과가 35% 이상이어야 하며, 기준에 준하지 않는 경우 회원국 보급량으로 인정하지 않음
 - 2017년부터 50% 이상으로 강화될 것이며, 2018년부터는 2017년 1월 1일 이후 가동을 개시한 설비에 대해서 60%의 감축 기준을 적용할 예정임

- 미국은 전통적, 선진형, 셀룰로오스계 바이오연료에 대해 각각 화석연료 대비 20%, 50%, 60% 이상의 온실가스 감축 기준을 적용함
- 본 연구에서는 바이오가스 시설 6개를 대상으로 LCA 방법론을 통해 온실가스 배출량을 산정하였으며, 대체하는 화석에너지 대비 감축효과를 산출함
 - 생산된 바이오가스를 직접 판매하거나, 전력이나 수송용 연료 등 최종에너지의 형태로 외부에 판매한 실적이 있는 6개 시설들을 대상으로 함
 - 전과정을 제조 前단계, 제조단계 및 배출단계로 구분하여 산출했으며, 열, 전력 및 수송부문에서 바이오가스의 감축효과를 산출함
- 설비별 바이오가스 생산량 1Nm³당 온실가스 배출량은 최솟값이 약 0.1kgCO₂^{*}, 최댓값이 1.1kgCO₂로, 약 10배 가까운 큰 편차를 보임
 - ※ kgCO₂는 온실가스들의 이산화탄소 환산단위임
 - 단계별로는 제조단계의 배출량 기여도가 약 92%로 가장 높으며, 제조 前 단계에서는 배출량 기여도가 약 5%로 비교적 낮게 나타남
 - 제조공정에서 에너지의 투입에 따른 환경부하가 높게 나타남

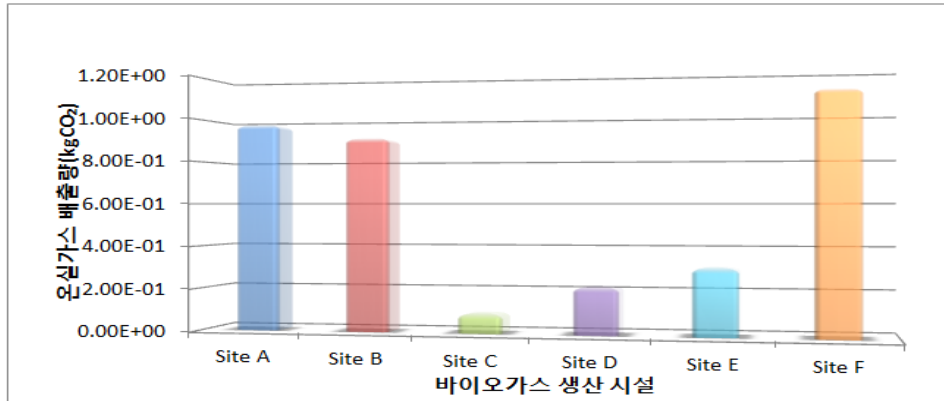
<표 3> 생산시설 및 단계별 온실가스 배출량

(단위: kgCO₂/Nm³)

구분	Site A	Site B	Site C	Site D	Site E	Site F
제조 前단계	5.23E-04	7.57E-02	0.00E+00	1.15E-01	4.52E-06	3.60E-03
생산단계	9.77E-01	8.26E-01	9.37E-02	1.04E-01	2.33E-01	1.11E+00
폐기단계	1.46E-03	8.93E-03	0.00E+00	3.43E-03	8.05E-02	0.00E+00
총배출량	9.79E-01	9.11E-01	9.37E-02	2.23E-01	3.14E-01	1.11E+00

[그림 1] 바이오가스 1Nm³당 온실가스 배출량

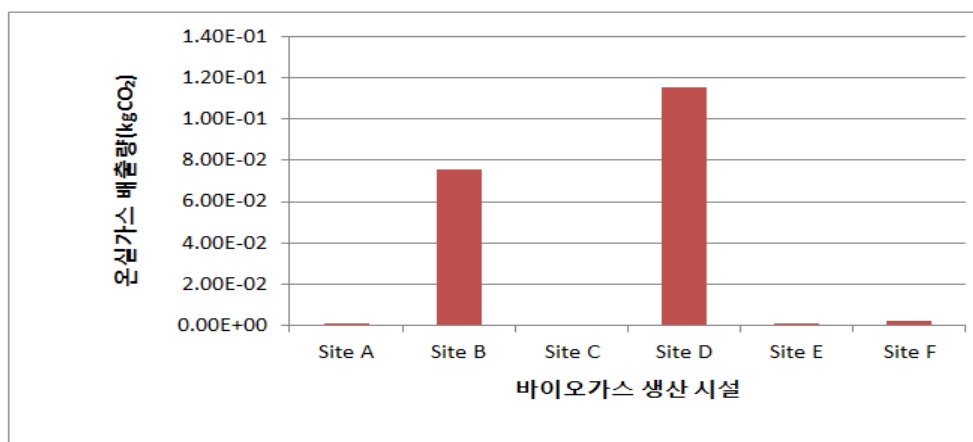
(단위: kgCO₂/Nm³)



- 제조 前단계에서는 원료물질의 수송 수단과 수송 거리가 온실가스 배출량을 좌우하는 주요 변수임
 - 관로 이송과 공로를 이용한 트럭 수송 중 트럭 수송에 의존하는 시설들의 온실가스 배출량이 훨씬 높음
 - 원료물질의 에너지밀도보다는 수송 거리가 배출량을 좌우하는 주요 변수임

[그림 2] 제조 前단계의 시설별 온실가스 배출량

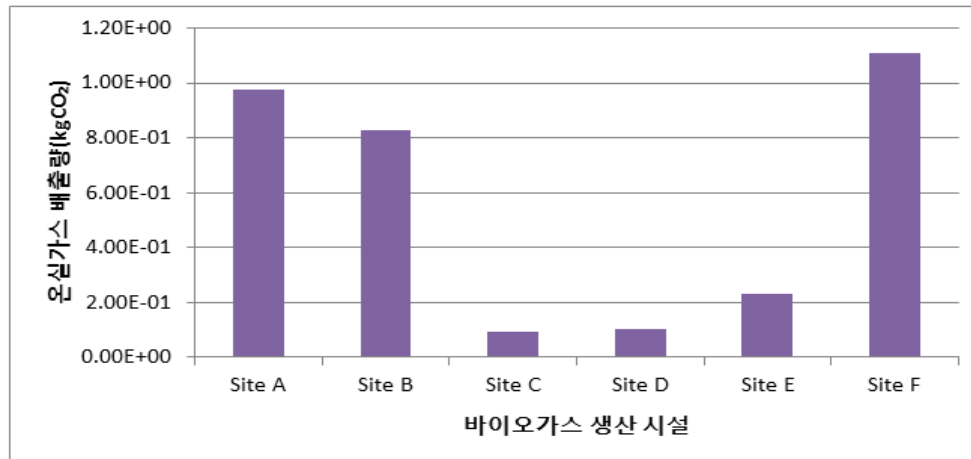
(단위: kgCO₂/Nm³)



- 제조단계에서는 다양한 요소들이 온실가스 배출량에 영향을 미침
 - 폐기물처리시설과 연계공정으로 바이오가스 설비를 운영하는 시설들의 배출량이 독립운영 시설들에 비해 다소 높음
 - ※ 연계공정의 경우, 일부 폐기물처리공정이 시스템 경계 내에 있으며, 생산된 바이오가스가 공정에 일부 투입되어 배출량으로 포함되기 때문에 다소 높음
 - 단위당 유기물의 함량이 높은 원료물질을 투입하는 시설들의 온실가스 배출량이 그렇지 않은 시설들에 비해 다소 낮게 나타남([그림 3] 참조)
 - ※ A와 B 시설들은 유기물 함량이 낮은 원료물질을 주로 투입하며, 이 때문에 제조공정에서 원단위 당 많은 원료물질을 처리함에 따라 에너지 및 유틸리티의 사용이 높은 것으로 파악됨
 - ※ 시설물 C, D의 경우 유기물 함량이 높은 원료물질을 주로 투입하고 있으며, 이러한 특성에 적합하게 독립적인 공정설비를 갖추고 있음
 - 전력의 공급원도 중요한 변수 중 하나로, 자가 발전으로 소비를 충당하는 시설들이 그렇지 않은 시설들보다 온실가스 배출량이 적게 나타남
 - ※ C, D, E 시설은 자체적으로 발전설비를 갖추고, 생산된 바이오가스를 전력으로 변환해 시설 전력수요의 일부 또는 전부를 충당하고 있음
 - 우리나라 바이오가스 설비들의 주요 투입물은 용수를 제외하고는 대부분이 에너지원에 해당됨
 - ※ 시설들의 온실가스 배출량은 각 설비들의 에너지 사용량 및 에너지효율과 밀접한 관계임

[그림 3] 제조단계의 시설별 온실가스 배출량

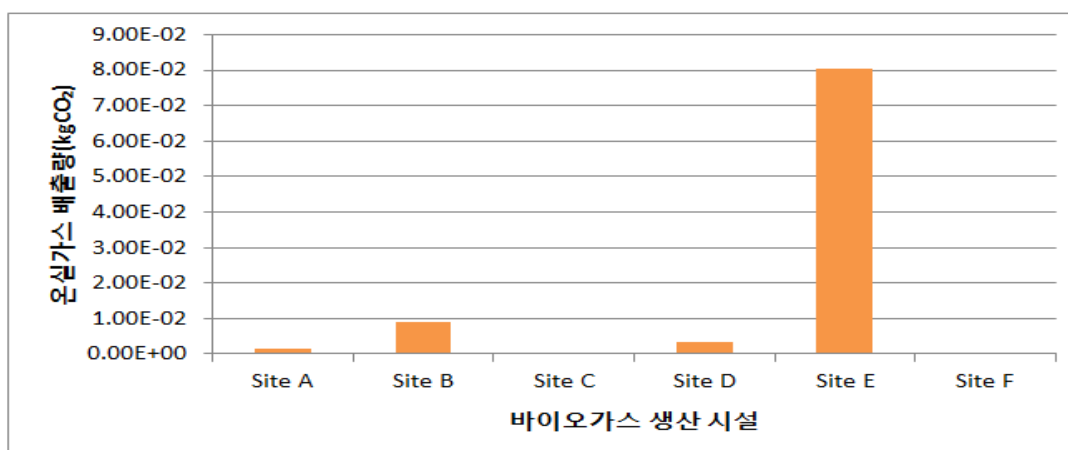
(단위: $\text{kgCO}_2/\text{Nm}^3$)



- 배출단계에서는 침사와 헹잡물 등 불순물이 많은 원료물질을 처리하는 시설들의 온실가스 배출량이 그렇지 않은 시설에 비해 다소 높게 나타남
- 소화 후 발생하는 폐기물의 수송 거리가 온실가스 배출량의 주요 요소이기는 하지만, 원단위당 폐기물 발생 비율 또한 주요 변수라고 할 수 있음

[그림 4] 배출단계에서의 시설별 온실가스 배출량

(단위: $\text{kgCO}_2/\text{Nm}^3$)



3. 바이오가스 시설 온실가스 감축효과 및 지속가능성 분석

□ 열 부문 바이오가스 시설들의 온실가스 감축효과

- 우리나라 바이오가스는 열 부문 화석연료 대비 90~94%의 감축효과가 있는 것으로 나타남
- 열 부문에서는 산업용 보일러의 연료인 LNG, B-C유 및 연료용 유연탄의 배출량을 산출하여 비교함
- LNG를 대체할 경우 약 90%, B-C유를 대체할 경우 92%, 연료용 유연탄을 대체할 경우 94%의 감축효과가 있는 것으로 평가됨
- 바이오에너지의 사용에서 유발되는 온실가스를 고려하지 않는 EU RED의 산출 규정¹⁾에 따르면, 열 부문의 바이오가스는 지속가능한 것으로 평가됨*

※ EU RED의 온실가스 감축효과 35%, 50%, 60% 기준 적용 시

<표 4> 열 부문 연료별 열량당 온실가스 배출량

(단위: gCO₂/MJ)

구분		6개 시설 가중 평균	LNG	B-C유	연료용 유연탄
생산		7.0	12.4	5.9	18.6
연소	CO ₂	54.6	56.1	77.4	94.6
	CH ₄	0.02	0.02	0.06	0.02
	N ₂ O	0.03	0.03	0.19	0.47
	소계	54.7	56.2	77.6	95.1
총계		7.0	68.5	83.6	113.7
감축효과(%)		-	90%	92%	94%

1) IPCC 또한 바이오에너지의 사용에서 발생하는 온실가스 배출량은 국가 배출량에 포함하지 않는 것을 원칙으로 하고 있다.

□ 발전 부문 바이오가스 시설들의 온실가스 감축효과

- 바이오가스 발전 부문은 감축효과가 시설에 따라 76~86% 정도인 것으로 나타남
- 생산된 바이오가스의 전량을 발전연료로 활용하는 C시설과 D시설의 온실가스 배출량을 국가 LCI 데이터베이스정보망의 발전 부문 온실가스 배출량과 비교함
- C시설은 86% 감축, D시설은 76% 감축, 2개 시설의 가중평균은 83%의 감축효과가 있어, 발전 부문 바이오가스는 지속가능한 것으로 평가됨
- ※ C시설과 D시설 배출량의 차이는 주로 제조 前단계의 원료물질 수송 시 발생하는 배출량의 차이가 주요 원인임

<표 5> 발전 부문 연료별 열량당 온실가스 배출량

구분	단위	Site C	Site D	2개 시설 가중평균	전력
온실가스 배출량	kgCO ₂ /Nm ³	0.09	0.22	-	-
바이오가스 투입량	Nm ³ /kWh	0.76	0.53	-	-
온실가스 배출량	kgCO ₂ /kWh	0.07	0.12	0.08	0.50
온실가스 배출량	gCO ₂ /MJ	7.96	13.04	9.16	55.00
감축효과	%	86	76	83	-

□ 수송 부문 바이오가스 시설들의 온실가스 감축효과

- 수송 부문에서는 시설별로 대체하는 화석연료 대비 75~95%의 감축효과가 있는 것으로 나타남

- 수송용 바이오가스를 생산하는 2개 시설의 배출량과 바이오가스가 대체하는 수송용 화석연료의 배출량을 비교함
- ※ 직접적으로 대체하는 LNG와 간접적으로 대체하는 LPG, 경유 및 휘발유의 배출량을 비교함
- LNG 대비로는 시설별로 83~95%의 감축효과가 있었으며, 나머지 화석연료 대비로는 시설별로 75~95%의 감축효과가 나타남
- ※ LPG의 배출량 49.0gCO₂/MJ, 휘발유는 70.9gCO₂/MJ, LNG는 71.4gCO₂/MJ, 경유는 73.3gCO₂/MJ임
- 수송 부문의 감축효과도 주로 사용단계에서 발생하며, EU RED의 기준에 따르면 모두 지속가능하게 생산되고 이용되는 것으로 평가됨

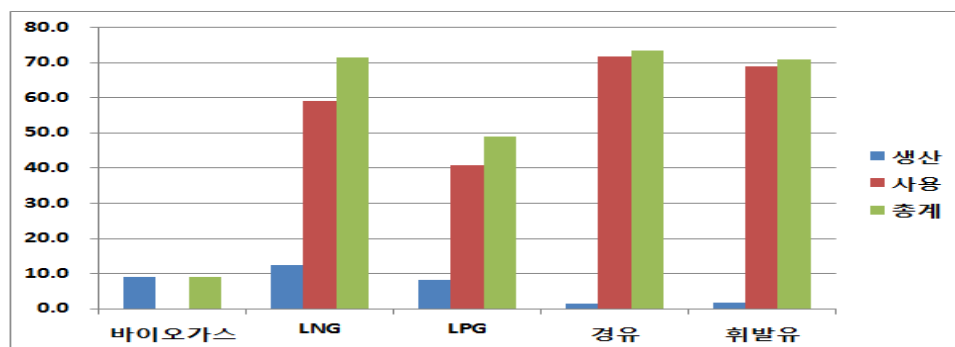
<표 6> 수송 부문 바이오가스의 온실가스 감축효과

(단위: gCO₂/MJ, %)

구분		Site E	Site F	가중평균
배출량		3.4	12.2	9.1
감축효과	LNG 대비	95%	83%	87%
	LPG 대비	93%	75%	81%
	경유 대비	95%	83%	88%
	휘발유 대비	95%	83%	87%

[그림 5] 수송 부문 단계별 온실가스 배출량

(단위: gCO₂/MJ)



- 감축효과는 생산단계에서도 다소 나타나지만, 사용단계에서 크게 나타나며, 사용단계에서 탄소중립인 바이오가스의 장점이 반영된 것으로 보임
- 열, 발전 및 수송의 모든 분야에서 EU RED 지속가능성 기준의 온실가스 부문 35%(2017년부터 50%, 2018년부터 60%) 감축효과 기준을 모두 충족하고 있는 것으로 평가

□ EU의 바이오가스 온실가스 감축량과의 비교

- EU의 RED에는 원료별 바이오가스의 온실가스 배출량, 대체 화석연료의 온실가스 배출량, 그리고 온실가스 감축효과가 제시됨
 - 도시유기성폐기물, 습분뇨 및 건분뇨 기원 바이오가스(CNG 형태) 세 종류의 온실가스 배출량과 화석연료 대비 감축효과가 제시됨
 - ※ 대체하는 화석연료의 온실가스 배출량은 83.8gCO₂/MJ를 적용함
 - 원료별 바이오가스 모두 73% 이상의 감축효과가 있으며, 건분뇨 기원 바이오가스의 전형적 감축효과²⁾가 86%로 가장 높음

<표 7> EU RED의 바이오가스 온실가스 감축효과

(단위: gCO₂/MJ, %)

구분		바이오가스 배출량			대체 화석연료 배출량	감축효과
		생산	수송	총계		
도시유기성 폐기물	전형적	14	3	17	83.8	80%
	디폴트	20	3	23	83.8	73%
습분뇨	전형적	8	5	13	83.8	84%
	디폴트	11	5	16	83.8	81%
건분뇨	전형적	8	4	12	83.8	86%
	디폴트	11	4	15	83.8	82%

2) 감축효과는 전형적 감축효과(typical value)와 디폴트 감축효과(default value) 등 두 가지 종류의 감축효과로 나누어 수록됨. 전자는 특정 바이오연료의 생산 경로(pathway)에 대한 대표적 온실가스 감축효과의 추정치를 의미함. 후자는 미리 결정된 요인들의 적용을 통해 전형적 감축효과로부터 유래된(derived) 값을 의미하며, RED에 명시된 상황 하에서는 실질적 감축효과(actual value)를 대신할 수 있음. 여기서 실질적 감축효과라 함은 RED의 온실가스 배출량 산정 방법에 따라 산출된 감축효과를 의미함.

- 우리나라 CNG 생산 시설 2개의 온실가스 감축효과가 EU에 비해 수치상으로는 다소 높게 나타나지만, 직접적인 비교는 의미가 없는 것으로 판단됨
 - 우리나라 CNG 생산 시설별 온실가스 감축효과가 75~95%로, 73~84%인 EU에 비해 수치상으로는 다소 높게 나타남
 - 하지만, 시스템 경계의 차이와 비교 대상 화석연료의 온실가스 배출량의 차이에 따라 직접적인 비교는 의미가 없는 것으로 판단됨
 - EU RED는 생산된 바이오가스를 CNG 제조시설로 수송하는 단계와 생산된 CNG를 유통하는 단계를 시스템 경계에 포함하나, 본 연구는 포함하지 않음
 - ※ EU는 수송 및 유통단계가 전체 배출량에서 차지하는 비중이 적게는 13%에서 많게는 38%까지 차지함
 - ※ 바이오가스의 자동차연료화가 초기단계인 우리나라의 경우, CNG화가 시범사업 단계 수준이며, CNG 충전소가 바이오가스 생산설비와 인접하여 있어 수송 및 유통단계에서 온실가스 배출이 거의 없음
 - 비교 대상 화석연료의 온실가스 배출량도 EU RED는 83.8gCO₂/MJ인 반면, 우리나라는 49~73gCO₂/MJ로 EU RED보다 다소 낮음

III. 정책 제언

- 바이오가스 시설들의 환경성을 높이기 위해서는 먼저 제조단계에서의 에너지 효율 개선에 중점을 둘 필요가 있음
 - 제조 前단계, 제조단계, 배출단계의 3 단계 중 제조단계에서 배출되는 온실가스가 전체의 92%로 가장 높아 개선의 효과도 클 것으로 평가됨
 - 공정들의 에너지효율향상을 위한 투자를 통해 환경부하를 줄여야 함
 - 국가적 및 기업적 수준에서 에너지효율향상과 관련된 기술 R&D에 투자가 집중되어야 함
- 신규 바이오가스 시설들은 가급적이면 독립적으로 운영되는 시설로 고려할 필요가 있음
 - 폐기물처리시설과 연계되어 운영되는 시설보다는 독립적으로 운영되는 시설들의 온실가스 배출량이 적게 나타나는 경향이 있었음
 - 기존 시설에는 계량기의 별도 설치 등을 통해 시설 간 경계를 명확히 하여 시설의 효율적 운영과 데이터 관리를 도모
- 신규 바이오가스 시설의 경우, 원료물질과 공정 폐기물을 처리하는 시설에 인접한 장소를 선택함으로써 환경부하를 경감할 수 있음
 - 제조단계 배출량이 비슷할 경우 시설 간 총 배출량의 차이는 제조 前단계의 원료물질 수송에서 주로 유발되기 때문에 그 수송 거리를 단축해야 함
 - 특히, 원료물질이 발생하는 폐기물처리시설, 또는 집하장과 근접한 장소를 입지로 선택함으로써 환경부하를 경감할 수 있음

- 전처리공정 및 소화공정에서 폐기물의 감량화가 이루어지기 때문에 배출단계보다는 제조 前단계에서 수송할 폐기물의 양이 많음

□ 유기물의 함량이 낮은 원료물질을 주로 투입하는 시설들은 유기물의 함량이 높은 원료물질들과 병합처리함으로써 환경부하를 경감할 수 있음

- 유기성물질이 많이 함유된 원료물질을 투입하는 그룹의 생산 효율성이 그렇지 않은 그룹보다 높은 경향을 보임
- 하지만, 소화공정 후에 발생하는 방류수의 수질 기준을 맞추기 어렵다는 이유로 병합처리가 확대되지 못하는 문제가 있음
- 음식물쓰레기, 축산분뇨 등 폐기물을 종류별로 관리하는 부처 및 체계가 나뉘어져 있는 점도 병합처리를 어렵게 함

□ 잉여가스의 단순 소각을 최소화하고 자원화 비율을 높여서 기존 시설들의 이용 효율을 제고할 필요가 있음

- 6개 대상시설 중 4개의 시설에서 잉여가스를 단순소각하고 있으며, 생산된 바이오가스의 약 11%를 소각하는 시설도 있음
- 우리나라 바이오가스 시설들이 생산하는 전체 바이오가스 중 약 21%가 단순처리되며, 특히 가축분뇨와 음폐수 시설들의 미이용 비율이 각각 88%와 51%로 높게 나타남
- 정부의 지원이나 설치 의무화를 통해 바이오가스의 저장 시설을 설치하도록 유도함으로써 단순 소각을 줄이고, 설비의 효율을 향상시킬 수 있음
- 도입이 논의되고 있는 RHO 등 시장창출제도는 시장기능을 통해 자원화 효율을 향상시킬 수 있는 또 다른 방법이 될 수 있음

- 바이오가스 시설의 전 과정에서 공정별 또는 설비별로 계측시스템을 설치하여 자료 및 데이터가 관리될 수 있도록 하여야 함
 - 일부 시설은 할당을 위한 근거 확보하기 어려워 전 과정 온실가스 배출량 산정에 제약이 있음
 - 대상 시설 중 한 개는 연계되어 있는 전체 시설 규모에 비하여 바이오가스 생산시설의 비중이 극히 작아 별도로 자료가 관리되지 않고 있음
 - 바이오가스 생산 시설의 지속가능성 평가의 근간이 되는 경제성 및 환경성 평가를 위해서는 설비별 계측 시스템의 설치가 필수적이라 할 수 있음
- 국가적인 차원에서 바이오에너지 분야 LCA 분석을 위한 인프라를 확충
 - 열 부문과 수송 부문에서 신재생에너지가 대체하는 화석연료에 대해 명확히 정의(단일 종류 또는 일종의 바스켓)하고 그 정의에 따라 배출계수를 산정하여 국가 LCI 데이터베이스정보망에서 제공할 필요가 있음
 - 열 부문과 수송 부문은 대체하는 화석연료가 다수이며 각각의 배출계수들에 차이가 있어 비교 에너지원에 따라서 감축효과가 크게 달라질 수 있음
- 특정 정책별로 그 특성에 적합한 신재생에너지원들에 적용할 수 있는 LCA 방법의 지침 마련이 필요
 - EU RED는 온실가스 감축효과를 실질적 감축효과, 전형적 감축효과 그리고 디폴트 감축효과로 구분
 - 구체적으로 각각에 대한 산정 방법 또는 산정치를 마련하여 지침에 포함
 - 우리나라도 환경성과평가를 위한 국가적 지침은 마련되어 있지만, EU RED와 같이 특정 정책의 특성에 적합하게 설계된 방법론의 설계가 필요

IV. 기대 효과

□ 정부의 신재생에너지 시장창출제도 도입 시 기초자료로 활용

- 정부는 RFS, RHO 등 다양한 신재생에너지 시장창출제도의 도입을 검토하고 있으며, 일부 제도에 대해 이미 세부 운영방안을 준비 중임
- 본 연구에서 구축한 LCA 방법론 및 연구 결과가 신재생에너지 공급인증서(Renewable Energy Certificate, REC)의 가중치 산정 등 제도 설계를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대됨

□ 바이오에너지 보급에 따른 부작용을 최소화할 수 있도록 정책을 설계하여 바이오에너지 보급 확대 및 산업화에 기여

- 일부 업계에서는 RFS제도 도입에 앞서 바이오연료의 온실가스 감축효과 여부를 LCA를 통해 검증할 것을 요구하고 있음
- 향후 본 연구의 범위를 특정 제도별로 그 대상이 되는 바이오에너지로 확대하고, 투명한 절차에 따른 환경영향 평가 결과의 제공이 필요함
- 이를 통해 해당 제도에 대해 이해당사자들의 합리적인 판단을 위한 과학적 자료를 제공함으로써, 제도의 수용성을 제고하여 보급 및 산업화 확대를 기대할 수 있음

□ 바이오가스 시설들의 환경성 향상 및 효율성 제고를 위한 기초자료로 활용

- 기존의 폐기물의 처리가 주요 목적인 시설이나 규모가 작은 시설, 그리고 노후화된 시설들의 환경성 및 효율성 개선을 위한 기초 자료로 활용
 - 미이용되는 약 20%의 자원을 효율적으로 활용하기 위한 대책 마련 필요

- 신규 시설의 입지 선정 등 의사결정 시 환경성 및 효율성 제고를 위한 참고 자료로 활용
- 바이오에너지 분야 LCA 분석을 위한 인프라 확충으로 정책설계 역량 강화
 - 바이오에너지 지속가능성 분석과 관련된 국가 LCI 데이터베이스정보망의 보완을 통해 LCA 분석 및 환경영향 평가 인프라 확충
 - EU RED와 같이 특정 정책의 특성에 적합한 LCA 방법론 및 분석 방법론 설계 경험 축적

< 참고자료 >

1. LCA 개요

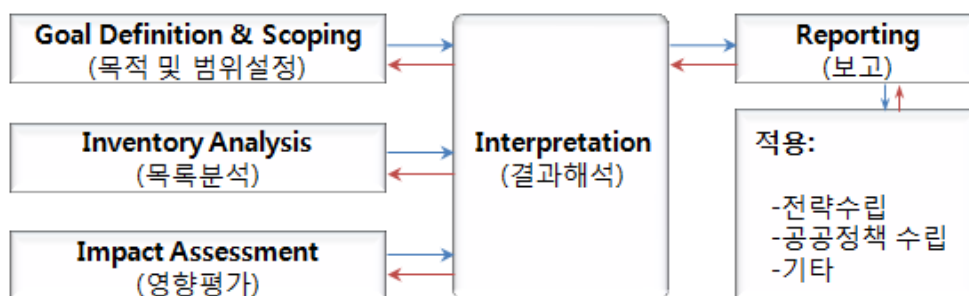
□ LCA 정의

- LCA(Life Cycle Assessment)란 대상 제품이나, 공정, 서비스의 정의된 시스템의 전 과정에 대한 투입물 및 산출물 목록을 취합하고, 이러한 투입물, 산출물에 관련된 잠재적인 환경영향을 평가하는 방법론

□ LCA의 구성

- LCA는 ISO14040시리즈에서 규정하고 있는 바와 같이 네 가지의 요소로 구성됨
- 목적 및 범위설정(Goal Definition and Scope), 목록분석(Inventory Analysis), 영향평가(Impact Assessment), 결과해석(Interpretation)의 4단계와 보고(Reporting) 및 검토(Critical Review)로 구성

[그림 6] LCA의 구성요소



□ 목적 및 범위 설정(Goal Definition and Scope)

- 목적정의 및 범위설정 과정은 전과정평가의 목적 및 범위를 결정하는 과정으로, 전과정평가의 목적 및 범위에 따라 수행하여야 할 연구의 범위 및 깊이가 결정됨
- 이에 따라 수집하는 자료, 분석방법, 결과가 다르기 때문에 전제 조건 등이 제시되어야 하며, 그 내용에는 LCA 수행의 이유, 도출된 결론의 용도 및 사용 주체, 사용 자료의 신뢰도, 검토 등이 포함

□ 목록분석(Inventory Analysis)

- 목록분석 단계는 제품 시스템과 관련된 단위 공정별 투입물(Input)과 배출물(Output)에 대한 데이터를 수집하여 정리하고 이를 기능단위에 맞게 정량화하는 일련의 과정임
- 즉, 평가를 실시하고자 하는 대상제품에 대한 공정흐름도를 작성하고 데이터를 수집하고 정리하는 것임
- 목록분석 시 파악하는 투입물에는 원재료, 부재료, 연료, 에너지 및 물 사용 등이 포함되어야 하고, 배출물에는 대기 배출물, 수계 배출물, 고형 폐기물이 포함

□ 영향평가(Impact Assessment)

- 목록분석만으로는 비교대상이 되는 시설들의 상대적인 환경성 우위만을 인지할 수 있을 뿐이고, 대상 시설의 환경성을 파악하기는 곤란함
- 영향평가는 전과정목록분석 결과를 이용하여 잠재적인 환경영향을 평가하는 것을 목적으로 함

- 즉, 환경에 미치는 영향 정도를 정량적이고 정성적으로 추산하여 주어진 시스템이 환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가하는 것임
- 또한 전과정영향평가를 통해 처리시설의 Life Cycle에서 환경적 Key factor (주요 약품, 연료 등)를 규명할 수 있으며, 처리시설별 환경적 우위성을 평가할 수 있음

□ 결과해석(Interpretation)

- 결과해석의 목적은 목록분석이나 영향평가 단계로부터 얻은 결과를 분석하여 보고하고 결론을 도출하는 것임
- 또한 이때 LCA의 결과가 갖는 한계점들을 설명하고, 목록분석 및 LCA에 대한 건의사항을 제공함

2. EU의 지속가능성 기준

□ 개요

- EU의 RED 17조에는 바이오연료 및 액상 바이오에너지(이하 바이오연료와 액상 바이오에너지를 ‘바이오에너지’로 칭함)에 대한 지속가능성 기준에 대해 규정
 - 이 기준에 부합하는 바이오에너지만을 국가 보급목표의 실적에 포함할 수 있도록 함
- 제18조에는 지속가능성 기준 준수의 인증에 관한 사항을 포함하며, 19조에는 바이오에너지가 초래하는 온실가스 영향의 계산에 대한 사항을 포함

○ 지속가능성 기준은 총 5개 분야로 구분하여 주어짐

- 바이오에너지가 대체하는 화석연료 대비 온실가스 감축 기준,
- 생물다양성의 가치가 높은 지역에서 생산되는 원료에 대한 제한,
- 고농도 탄소를 축적한 토지에서 생산되는 원료에 대한 제한,
- 이탄지대에서 생산되는 원료에 대한 제한,
- 그리고 다른 EU의 법령과의 관계 등임

□ 온실가스 감축 기준

- 대체하는 화석연료 대비 바이오에너지의 온실가스 감축 기준을 35% 이상으로 설정
- 이 기준은 향후 강화되도록 설계됨
 - 2017년부터는 50% 이상, 2018년부터는 2017년 1월 1일 이후 가동을 개시한 설비에서 생산된 바이오연료에 대해서 60%의 감축 기준이 적용

□ 생물다양성 가치

- 생물다양성의 가치가 높은 다음의 토지에서 생산되는 원자재를 활용한 바이오에너지는 인정되지 않음
 - 원시림 및 기타 자연림,
 - 희귀 생태계 및 멸종위기의 생태계 또는 종의 보호를 위해 중요하다고 인정받은 지역,
 - 종구성(種構成)이 풍부하며 손상되지 않은, 생물다양성이 높은 지역

☐ 고농도 탄소를 축적한 토지

- 2008년에는 아래와 같은 상태에 있었지만 더 이상 그 상태를 유지하지 못하는, 고농도 탄소를 축적한 토지에서 얻어진 원자재로 제조된 바이오에너지는 인정되지 않음
 - 습지로 대부분의 기간 동안 물에 잠겨 있는 토지,
 - 일정 기준에 도달할 수 있는 수목들로 이루어진 연속적인 삼림지역,
 - 일정 기준의 토지로, 전용 전후로 축적된 탄소의 농도가 온실가스 감축 기준을 충족하지 못하는 토지

☐ 이탄지대

- 2008년 1월에 이탄지대였으며, 원자재 재배 및 수확으로 인해 원래 非침수 토양에 침수를 유발하지 않았다는 것을 증명할 수 없는 토지에서 생산된 원자재 기원의 바이오에너지는 제외됨

☐ 기타

- EU 역내에서 생산되는 바이오연료의 원자재는 기존의 이사회규정(the Council Regulation)에서 정하고 있는 환경·농업적 규제 및 기준을 충족하여야 함

3. 참고문헌

- 국립농업과학원, 『바이오에너지 이용체계 구축연구(시험연구보고서)』, 2009
- 국회예산정책처, 『유기성폐자원 바이오가스화 사업 평가』, 사업평가 12-09 (통권 266호), 국회예산정책처, 2012
- 김기동, 『음식물류폐기물 발생폐수의 바이오메탄 활용방안』, 한국가스공사, 2007
- 김유정(2005), 『신·재생에너지 정책 동향 및 지속가능성 분석』, 한국지질자원연구원
- 김재곤, 『국내외 바이오에너지의 보급현황, 지속가능성 기준 도입현황과 기술개발 연구현황 분석』, 석유관리원, 2012
- 김호석(2007), 『신재생에너지와 지속가능발전』, 한국신·재생에너지학회, 춘계 학술대회논문집, 2007, pp.747-752
- 남재작 외 4인, 『전과정평가 방법을 이용한 가축분뇨/음식물폐기물 통합 소화형 바이오가스 시설의 온실가스 배출량 평가』, 한국환경농학회지 제27권 제4호, 2008
- 농촌경제연구원, 『농업부문 바이오매스 이용활성화를 위한 정책방향과 전략 (2/2차연도)』, 2007
- 윤영만·김연중·김창현, 2009, 양돈 바이오매스의 퇴·액비화 방법별 경제성평가. 『농촌경제』. 제31권 제6호: 39-62
- 임송택 외 2인, 『축산분뇨의 호기성퇴비화 및 메탄화공정 전과정평가』, Korea Journal of LCA, Vol.7, No.1. 2006
- 지식경제부, 『신·재생에너지 RD&D 전략 2030[유기성폐자원 바이오에너지 분야]』, 2007

환경대학교, 『한·독 기술협력을 위한 바이오가스 기술·정책 워크숍 자료집』,
2011

환경부, 『2010 폐자원 에너지 통계·자료집. (1권) 유기성 폐자원에너지활용시
설』, 2011

Buswell, A.M. and Mueller, H.F. 1952. Mechanism of Methane Fermentation.
Industrial and Engineering Chemistry. 44 (3): 550-552

EBA, 『Biogas perspective in Europe. Biogas region seminar』, 30th June 2010,
Brussels, 2010

EPA AgStar Project: <http://www.epa.gov/agstar/projects/index.htm>

Ernsting, Almuth, “Biomass and Biofuels in the Renewable Energy
Directive”, [http://www.biofuelwatch.org.uk/docs/RenewableEnergyDire-](http://www.biofuelwatch.org.uk/docs/RenewableEnergyDirective.pdf)
ctive.pdf, January 2009

EU, DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF
THE CONCIL of 23 April 2009

GBEP, “The Global Bioenergy Partnership Sustainability Indicators for
Bioenergy”, First edition, 2011

Hejnfelt, A. and I. Angelidaki, 2009, Anaerobic digestion of slaughterhous
by-products, Biomass & Energy, 33:1046-1054

IEA. 『Good practice in quality management of AD residues from biogas
production』, 2001

IEA Bioenergy Task37: http://www.iea-biogas.net/_content/publications/

member-country-reports.html

Jury, C., Enrico, B., Daniel, K., Bianca, S., and Joëlle, W. (2010), "Life Cycle Assessment of biogas production by monofermentation of energy crops and injection into the natural gas grid", Biomass and Bioenergy, vol.34, pp. 54-66

Y. Lechon, H. Cabal, C. de la Rua, N. Caldes, M. Santamaria, R. Saez (2009), "Energy and greenhouse gas emission savings of biofuels in Spain's transport fuel. The adoption of the EU policy on biofuels", Biomass and Bioenergy, vol.33(2009) pp.920-932

Joao Malca, Fausto Freire (2006), "Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bio-ethyl tertiary butyl ether (bioETBE): Assessing the implications of allocation", Energy 31, pp.3362-3380

Varanda, M. G., Pinto, G., and Martins, F. (2011), "Life cycle analysis of biodiesel production", Fuel Processing Technology, vol.92, pp. 1087-1094

The WCED, "Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future," The World Commission for Environment and Development, 1987

環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 廃棄物対策課, 『日本の廃棄物処理(平成21年度版)』, 2011

環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 廃棄物対策課, 『メタンガス化生ごみメタン) 施設整備マニュアル』, 2008

정책 이슈페이퍼 12-13
바이오가스의 전과정(LCA)평가

2012년 11월 6일 인쇄

2012년 11월 7일 발행

저 자 소 진 영 외

발행인 김 진 우

발행처 에너지경제연구원

437-713 경기도 의왕시 내손순환로 132

전화: (031)420-2114(代) 팩시밀리 : (031)422-4958

등 록 1992년 12월 7일 제7호

인 쇄 범 신 사 (02)503-8737
