

전발연 2008-R-06

탄소배출권 확보를 위한 전라북도 유기성폐기물 바이오에너지 회수방안

2008



전북발전연구원
JEONBUK DEVELOPMENT INSTITUTE

연구진

연구책임	장남정 • 전북발전연구원 부연구위원
연구원	이은송 • 전북발전연구원 연구원
연구자문	김득수 • 군산대학교 교수
	김보국 • 전북발전연구원 연구위원
	고영규 • 전북의회 교육복지위원회
	한응재 • 전북도청 환경정책과장

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
전라북도의 정책과는 다를 수도 있습니다.

I. 연구의 개요

1. 연구배경 및 목적

급속한 인구의 증가와 산업화에 따른 환경오염은 인류를 위협하기에 이르렀고, 이를 방지하기 위한 국가 간 노력의 결과 다양한 국제환경협약이 체결되었다. 그 중 런던협약은 폐기물로 인한 해양오염 방지 및 해상소각 금지를 위한 협약으로 이에 따라 2012년부터 유기성폐기물의 해양투기가 금지된다. 따라서, 해양투기에 의존해 왔던 유기성폐기물의 처리를 위한 육상처리 방안의 대책이 시급하다.

또한, 최근 기상이변과 함께 전세계적으로 관심이 집중되는 기후변화협약은 온실가스 발생량 감축을 위한 국제협약이다. 현재 비감축의무국인 우리나라가 온실가스 발생량 감축에 참여할 수 있는 국제적인 방안으로는 CDM(Clean Development Mechanism)사업이 있다. CDM사업의 종류는 온실가스 발생원에 따라 에너지·산업, 수송, 농·축산, 임업, 폐기물 등 다양한 부문으로 구분할 수 있고, 지자체 차원의 적극적인 대처를 위해서는 각 부문의 특성에 따라 다양한 형태의 사업발굴이 필요한 시점이다.

이러한 현실에서 전라북도 차원에서 유기성폐기물의 육상처리와 동시에 CDM사업으로 탄소배출권을 확보할 수 있는 방안의 모색이 필요하다.

본 연구의 목적은 다음과 같다.

- 런던협약과 관련한 폐기물의 해양배출규제 강화에 따른 유기성폐기물의 육상처리 방안 모색

- 바이오에너지를 회수함으로써 탄소배출량을 절감하고 탄소배출권 확보가 가능한 사업(CDM사업)과 연계하여 후변화협약에 대응
- CDM사업에 대한 이해도를 높이고 사업효과를 평가함으로써 사업추진여부를 지자체에서 판단할 수 있는 기초자료를 제공한다.
- 유기성폐기물의 에너지 회수에 따른 경제성 확보와 더불어 CDM사업에 의한 탄소배출권 거래로 부가적인 수익 도모

2. 연구범위 및 내용

가. 시간적 범위

2008~2011년 중 수행가능한 사업

나. 공간적 범위

전라북도내 14개 시·군지역

다. 유기성폐기물 종류

하수슬러지, 음식물류 폐기물, 축산폐수

라. 연구내용

- 국제협약과 국내정세 파악
- 기후변화협약과 CDM사업 개요
- 전라북도 유기성폐기물의 처리현황 분석
- 유기성폐기물 처리기술 및 바이오에너지 활용기술 조사
- 유기성폐기물 CDM사업의 사례 및 수행방법 분석
- 유기성폐기물을 이용한 전라북도 탄소배출권 확보 잠재력 산정
- 전라북도 바이오에너지 회수사업 발굴
- 유기성폐기물의 CDM사업 추진을 위한 정책적 제언

II. 연구결과 및 정책제언

1. 결론

유기성폐기물의 바이오에너지화 사업은 해양투기를 근절하고 온실가스를 감축할 수 있을 뿐만 아니라, CDM사업을 통한 탄소배출권 확보 및 에너지회수의 경제적 수익을 기대할 수 있는 효율적인 사업이다.

본 연구에서는 기존의 CDM방법론을 이용하고, 특정 상황을 가정하여 CDM사업을 추진할 경우 확보가능한 탄소배출권을 예측해보았다. 전라북도 유기성폐기물 중 해양투기로 처리되는 하수슬러지, 음폐수, 축산폐수 에너지화시설을 도입할 경우와 기존의 음식물류 폐기물 처리시설을 에너지 회수공정으로 변경할 경우의 탄소배출권 잠재량을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 전라북도 유기성폐기물 중 해양투기 하수슬러지, 음식물류 폐기물, 음폐수, 축산폐수 전체를 대상으로 CDM사업을 수행할 경우 각각 연간 1.5억, 1.0억, 0.8억, 4.0억 원의 탄소배출권 확보가 가능한 것으로 산정됨(사업비 미반영)
- 각 사업의 예측저감량을 고려할 때 소규모 CDM사업(연간 60,000 톤CO₂e이하)이 가능함
- 음식물류 폐기물의 경우 바이오가스 발생 잠재력은 높으나 기존 공정의 온실가스 배출량이 낮아, 탄소배출권 잠재력은 상대적으로 낮고 전력공급을 통한 부가수익이 높음
- 축산폐수는 양적으로 잠재력이 높아 CDM사업 추진시 광역화를 통한 대규모화 또는 소규모 농가의 번들화(bundling) 방식이 타당함

전라북도에서 유기성폐기물의 바이오에너지 회수를 통해 추진 가능한 CDM사업은 다음과 같다. 본 연구에서의 탄소 배출권 산정은 다양한 가정에 의해 예측되었으므로, 실제 사업수행시 확보가능한 CER은 사업상황에 따라 달라질 수 있다.

구분		지역	시설용량 (톤/일, m ³ /일)	탄소배출권(억원/년)
하수슬러지 에너지화시설		익산	120	0.4~0.6
		군산	90	0.3~0.4
		정읍	60	0.2~0.3
음식물류 폐기물 처리시설 발생폐수(음폐수) 에너지화시설		익산	40	0.3
		익산, 김제(광역)	70	0.5
		익산, 김제, 정읍(광역)	90	0.6
축산 폐수	축산폐수 에너지화시설	김제	200	0.8
		완주	200	0.8
		정읍	150	0.6
		임실	80	0.3
	축산폐수 에너지화제도 (프로그램 CDM사업)	도내 10곳	500	1.9
		도내 14곳	700	2.7
혐기성 통합소화 시설 (슬러지 + 음식물)		전주	440	1.1
		익산 왕궁	200	0.8

※ 프로그램 CDM사업은 정립중인 단계이므로 향후 CDM집행위원회의 결정과정에 따라 등록여부가 달라질 수 있음. 현재 번들화(Bundling)를 통한 CDM사업은 수행가능함

2. 정책적 제언

가. 전담조직 구성 및 프로그램 CDM사업 검토 필요

기후변화 대응을 위한 전담조직을 구성하여 CDM사업의 발굴 및 추진업무를 담당할 CDM업무 전담자의 지정이 요구된다. 축산폐수의 경우 잠재력은 높으나 소규모 단위 사업으로 성립될 가능성이 높으므로, CDM업무 전담자는 번들화(bundling) CDM 또는 지자체 차원의 정책을 사업화할 수 있는 프로그램 CDM의 검토가 필요하다. 이러한 CDM사업 추진시 개별 사업에 소요되는 CDM사업비를 절감할 수 있으며, 사업자의 CDM사업 참여가 용이하다.

나. 바이오에너지 회수사업시 CDM사업의 우선 검토 필요

전라북도는 신재생에너지 산업을 성장동력산업으로 육성하고 있으며 도내 신재생에너지 사업의 활성화가 절실히 요구되는 시점이다.

유기성폐기물을 이용한 바이오에너지 회수사업은 환경부의 폐기물 재활용 정책과 신재생에너지 사업의 일환으로 적극 추진되고 있다. 현재 계획중이거나 향후 수행될 유기성폐기물을 이용한 바이오에너지 회수사업시 CDM사업을 검토할 수 있는 제도적 장치가 마련되어야 한다.

다. 국내 탄소시장 활성화에 참여

예측저감량이 충분하지 않거나 추가성 확보가 어려운 CDM사업의 경우 온실가스 등록소를 활용한 국내 탄소시장 참여가 필요하다. 국내 탄소시장 활성화에 참여함으로써 온실가스 감축노력에 대한 탄소배출권 확보 및 기후변화대응 이미지 제고를 기대할 수 있다.

라. 소화가스 정제를 통한 바이오에너지 가치증진 필요

바이오에너지의 부가가치 증진을 위해 회수가스를 정제하여 활용할 필요가 있다. 차후 발전보조금의 변동과 바이오에너지 수요의 증가에 대비하여 자동차(CNG버스) 연료 등으로 연계하는 방안이 필요하다.

마. CDM사업의 교육 및 홍보

도내 공무원, 환경시설 운영자, 폐기물 관련 사업자, 유관기업 등을 대상으로 한 CDM사업 교육 및 홍보가 필요하다. 교육 및 홍보를 통하여 현장에서 또는 관련 업무에서 CDM사업을 발굴할 수 있도록 유도하여 온실가스 감축에 능동적으로 참여할 수 있도록 하여야 한다. 도민홍보를 통해 민원의 대상이었던 유기성폐기물 처리시설에 대한 의식전환의 계기를 마련하여야 한다.

바. 도정의 CDM사업 추진의지 고취

CDM사업은 당장의 경제적 이익을 위해 수행하는 수익성 사업이 아니라 미래의 더 큰 손실을 막기 위한 경제적 투자임을 인식하고 적극적인 추진의지를 고취할 필요가 있다.

목 차

제 1 장 연구의 개요	3
1. 연구의 필요성	3
2. 연구의 목적	4
3. 연구의 범위	4
4. 연구의 내용	5
5. 연구의 구성	5
제 2 장 국제협약과 국내정세	9
1. 런던협약	9
가. 국제동향	9
나. 국내현황	10
2. 기후변화협약	13
가. 국제동향	13
나. 국내현황	15
다. 기후변화 제4차 종합대책 2008~2012 (2007.12.17)	16
제 3 장 CDM사업과 탄소배출권	21
1. 교토의정서와 CDM사업	21
가. 청정개발체제 (CDM)	21
나. 공동이행체제 (JI)	21
다. 배출권거래제 (ET)	22
2. CDM사업의 개요	22
가. CDM사업의 종류	22
나. CDM사업 원칙 및 참여요건	24
다. CDM사업 기간	25
라. 탄소배출권의 종류	26

3. CDM사업의 절차	26
가. 1단계 - CDM사업 발굴/계획	26
나. 2단계 - 정부승인 및 CDM사업 타당성 확인(validation)	27
다. 3단계 - CDM사업 등록(registration)	27
라. 4단계 - 모니터링(monitring)	27
마. 5단계 - CDM사업 검증(verification) 및 인증(certification)	28
바. 6단계 - CER발급	28
4. CDM사업과 방법론	29
가. 방법론의 필요성	29
나. 방법론의 구분 및 현황	30
5. CDM사업 비용	31
6. CDM사업 현황	32
7. 온실가스등록소와 국내 탄소배출권 (KCER)	35
가. 개요	35
나. 등록신청자격	35
다. 지원내용	35
라. 감축사업 등록 및 절차	36
마. 온실가스등록소 향후계획	37
8. 프로그램 CDM	38
가. 개념	38
나. 진행상황	38
다. 특징	38

제 4 장 전라북도 유기성폐기물 처리 현황분석	41
1. 하수슬러지	41
가. 정부의 정책방향 : 하수슬러지관리 종합대책 (환경부, 2007)	42
나. 하수슬러지 발생량 및 처리현황	42
다. 전라북도 시군별 처리계획	45
2. 음식물류 폐기물	47
가. 정부의 정책방향 I : 음식문화개선 및 음식물류 폐기물 종합대책(2006~2010)	47
나. 정부의 정책방향 II : 음식물류 폐기물 처리시설 발생폐수 육상처리 및 에너지화 종합대책 (2008~2012)	49
다. 음식물류 폐기물 발생량 및 처리현황	50
3. 축산폐수	53
가. 정부의 정책방향 : 가축분뇨 관리·이용대책 (농림부·환경부, 2004)	53
나. 축산폐수 발생량 및 처리현황	54
제 5 장 유기성폐기물 처리기술	63
1. 하수슬러지	63
가. 전처리	63
나. 중간처리	66
다. 최종처리	75
2. 음식물류 폐기물	75
가. 사료화	76
나. 퇴비화(호기성퇴비화, 혐기성퇴비화, 지렁이 분변토)	77
다. 하수병합처리	78
라. 탄화공법	79
3. 축산폐수	80
가. 전처리 및 물리·화학적 처리방안	80
나. 생물학적 처리방안	82
다. 자원화 방안	84

라. 기술개발 현황(EST)	86
4. 바이오에너지 회수공정	90
가. 혐기성 소화공정의 분류	90
나. 혐기성 통합소화 기술	91
다. CDM사업을 위한 유기성폐기물 처리기술	96
5. 바이오 에너지 활용기술	98
가. 직접이용	98
나. 소화가스 발전	98
다. 열병합 발전	99
라. 가스정제	100
마. 기타 활용방안	100
제 6 장 유기성폐기물 바이오에너지 회수와 탄소배출권	103
1. CDM사업 사례	103
가. 혐기성 소화를 이용한 축산폐수 발전사업 (필리핀)	103
나. 혐기성 소화가스를 이용한 열병합 발전사업 (멕시코)	107
다. 소형 혐기성소화조에서 생산되는 바이오가스를 이용한 열원공급	111
라. 혐기성소화를 이용한 발전사업과 호기성소화를 이용한 퇴비화 사업	115
마. 목재연료대신 이용할 수 있는 열에너지원으로 바이오가스 공급	118
바. 돈사농장폐수의 혐기성+호기성처리(칠레)	121
사. 유기성폐기물의 매립에서 선별과 퇴비화(콜롬비아)	123
2. 바이오에너지를 이용한 CDM사업 방법론	126
가. 사례정리 및 경향분석	126
나. 폐기물 관련 방법론 정리	127
3. 유기성폐기물과 탄소배출권	129
가. 하수슬러지	129
나. 음식물류 폐기물	132
다. 축산폐수	137
라. 전라북도 탄소배출권 확보 잠재력	140

4. 전라북도 유기성폐기물 바이오에너지 CDM사업	142
가. 하수슬러지	142
나. 음식물류 폐기물 및 음폐수	143
다. 축산폐수	143
라. 혐기성 통합소화	144
제 7 장 결론 및 정책적 제언	147
1. 결론	147
2. 정책적 제언	149
가. 전담조직 구성 및 프로그램 CDM사업 검토 필요	149
나. 바이오에너지 회수사업시 CDM사업의 우선 검토 필요	149
다. 국내 탄소시장 활성화에 참여	149
라. 소화가스 정제를 통한 바이오에너지 가치증진 필요	149
마. CDM사업의 교육 및 홍보	150
바. 도정의 CDM사업 추진의지 고취	150
참고문헌	151

표 목 차

<표 2.1-1> '72런던협약과 '96개정의정서 비교	9
<표 2.1-2> 해양투기 폐기물별 배출량	11
<표 2.2-1> 교토의정서 상의 감축대상가스	14
<표 2.2-2> 국가별 온실가스 감축목표 설정현황	15
<표 3.2-1> CDM사업분야	24
<표 3.2-2> 탄소배출권의 종류	26
<표 3.3-1> CDM 사업관련 주요기관 및 기능	29
<표 3.5-1> CDM사업 추진관련 소요비용 예측	32
<표 3.6-1> UN등록 CDM사업 현황 (2008년 2월 25일 기준)	33
<표 3.6-2> 국내 CDM사업 등록현황 (2008년 2월 25일 기준)	34
<표 4.1-1> 슬러지 종류에 따른 특성 및 고형물 농도	41
<표 4.1-2> 전국 하수슬러지 발생 및 처리현황 (2006년 기준)	43
<표 4.1-3> 시·군별 하수슬러지 발생 및 처리현황 (2006년 기준)	44
<표 4.1-4> 시·군별 하수슬러지 발생 및 처리계획	46
<표 4.2-1> 부처별 세부추진과제 현황	48
<표 4.2-2> 음식물류 폐기물 발생 현황 추이	50
<표 4.2-3> 전라북도 음식물류 폐기물 발생량 (2007년 기준)	51
<표 4.2-4> 음식물류 폐기물 처리시설 현황 (2007년 기준)	52
<표 4.3-1> 축산폐수배출시설 허가 및 신고대상시설 규모	54
<표 4.3-2> 전국 축산폐수 발생현황 (2004년 기준)	55
<표 4.3-3> 전라북도 축산농가 및 사육두수현황 (2006년 12월 기준)	56
<표 4.3-4> 전라북도 축산폐수 발생현황 (2006년 12월 기준)	57
<표 4.3-5> 전라북도 축종별 축산폐수 처리현황	58
<표 4.3-6> 전라북도 축산폐수 공공처리시설 현황 (2006년 12월 기준)	58
<표 5.1-1> 슬러지 감량화 기술의 분류	65

<표 5.2-1> 음식물류 폐기물 처리기술	76
<표 6.2-1> 유기성폐기물과 CDM사업 사례	127
<표 6.2-2> 소규모 CDM사업	128
<표 6.2-3> 대규모 CDM사업	128
<표 6.3-1> 하수슬러지 CDM사업에 따른 온실가스 예측저감량 및 탄소배출권 (전라북도 전체)	131
<표 6.3-2> 음식물류 폐기물 CDM사업에 따른 온실가스 예측저감량 및 탄소배출권 (전라북도 전체)	136
<표 6.3-3> 음폐수 CDM사업에 따른 온실가스 예측저감량 및 탄소배출권 (전라북도 전체)	137
<표 6.3-4> 축산폐수 CDM사업에 따른 온실가스 예측저감량 및 탄소배출권 (전라북도 전체)	139
<표 6.3-5> 전라북도 대상 유기성폐기물의 탄소배출권 및 전력수입 잠재력	140
<표 7.1-1> 전라북도 유기성폐기물 바이오에너지 CDM사업	148

그림목차

<그림 1.5-1> 연구추진전략	6
<그림 2.2-1> 교토의정서 부속서 및 비준결과	14
<그림 3.1-1> 교토 메카니즘	22
<그림 3.3-1> CDM사업의 절차	28
<그림 3.4-1> CDM사업의 온실가스 감축량	30
<그림 3.7-1> 온실가스등록소 감축사업 등록절차	36
<그림 3.7-2> 온실가스등록소 감축사업 인증절차	37
<그림 4.1-1> 하수슬러지 발생량 (2006년 기준, 단위 : 톤/일)	46
<그림 4.2-1> 음식물류 폐기물 발생 및 처리현황 (2007년 기준, 단위 : 톤/일)	53
<그림 4.3-1> 전라북도 축산폐수 발생량 및 처리시설 (2006년 12월 기준, 단위 : m ³ /일)	59
<그림 5.1-1> 하수슬러지 처리방법의 분류	64
<그림 5.1-2> 미생물에 의한 분해과정	67
<그림 5.4-1> 유기성폐기물의 혐기성소화처리 공정의 분류	90
<그림 6.3-1> 해양투기 축산폐수 혐기성 소화시 확보가능한 탄소배출권	141

제 1 장

JDI

연구의 개요

1. 연구의 필요성
2. 연구의 목적
3. 연구의 범위
4. 연구의 내용

제 I 장 연구의 개요

1. 연구의 필요성

급속한 인구의 증가와 산업화에 따른 환경오염은 인류를 위협하기에 이르렀고, 이를 방지하기 위한 국가간 노력의 결과가 다양한 국제환경협약이다. 런던협약은 폐기물로 인한 해양오염 방지 및 해상소각 금지를 위한 협약이다. 이 협약은 유럽 북해의 폐기물 오염에 따라 체결한 유럽국가간의 오슬로협약이 그 모체로 1972년 채택되어 1975년부터 발효되었다. 우리나라는 1992년 가입하여 1994년부터 가입국으로서 효력이 발생하였으며, 이에 따라 2012년부터 유기성폐기물의 해양투기가 금지된다. 따라서, 해양투기에 의존해 왔던 유기성폐기물의 처리를 위한 육상처리 방안의 대책이 시급한 시점이다.

또한, 최근 기상이변과 함께 전세계적으로 관심이 집중되는 기후변화협약은 온실가스 발생량 감축을 위한 국제협약이다. 기후변화협약은 지구온난화 현상에 대한 과학적 근거를 기초로 1992년 채택되었으며, 우리나라는 1993년 가입하여 2013년 이후의 무감축국 참여압력을 받고 있는 상황이다. 따라서, 중앙정부에서는 구체적인 계획을 세우기 위해 종합대책을 마련하고 있으며, 지자체 차원의 적극적인 참여를 유도하고 있다. 현재 비감축의무국인 우리나라가 온실가스 발생량 감축에 참여할 수 있는 국제적인 방안으로는 CDM(Clean Development Mechanism)사업이 있다. CDM사업의 종류는 온실가스 발생원에 따라 에너지·산업, 수송, 농·축산, 임업, 폐기물 등 다양한 부문으로 구분할 수 있고, 지자체 차원의 적극적인 대처를 위해서는 각 부문의 특성에 따라 다양한 형태의 사업발굴이 필요한 시점이다.

이러한 현실에서 전라북도 차원에서 유기성폐기물의 육상처리와 동시에 CDM사업으로 탄소배출권을 확보할 수 있는 방안의 모색이 필요하다.

2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 다음과 같다.

- 런던협약과 관련한 폐기물의 해양배출규제 강화에 따른 유기성폐기물의 육상 처리 방안을 모색한다.
- 바이오에너지를 회수함으로써 탄소배출량을 절감하고 탄소배출권 확보가 가능한 사업(CDM사업)과 연계하여 기후변화협약에 대응한다.
- CDM사업에 대한 이해도를 높이고 사업효과를 평가함으로써 사업추진여부를 지자체에서 판단할 수 있는 기초자료를 제공한다.
- 유기성폐기물의 에너지 회수에 따른 경제성 확보와 더불어 CDM사업에 의한 탄소배출권 거래로 부가적인 수익을 도모한다.

3. 연구의 범위

가. 시간적 범위

- 2008~2011년 중 수행가능한 사업
- 연구기간 : 2008년 1~4월

나. 공간적 범위

전라북도내 14개 시·군지역

다. 유기성폐기물 종류

하수슬러지, 음식물류 폐기물, 축산폐수

4. 연구의 내용

본 연구에서는 전라북도에서 바이오에너지 회수를 통한 유기성폐기물의 육상처리와 동시에 CDM사업으로 탄소배출권을 확보할 수 있는 방안을 조사한다.

연구에서 검토할 내용은 다음과 같다.

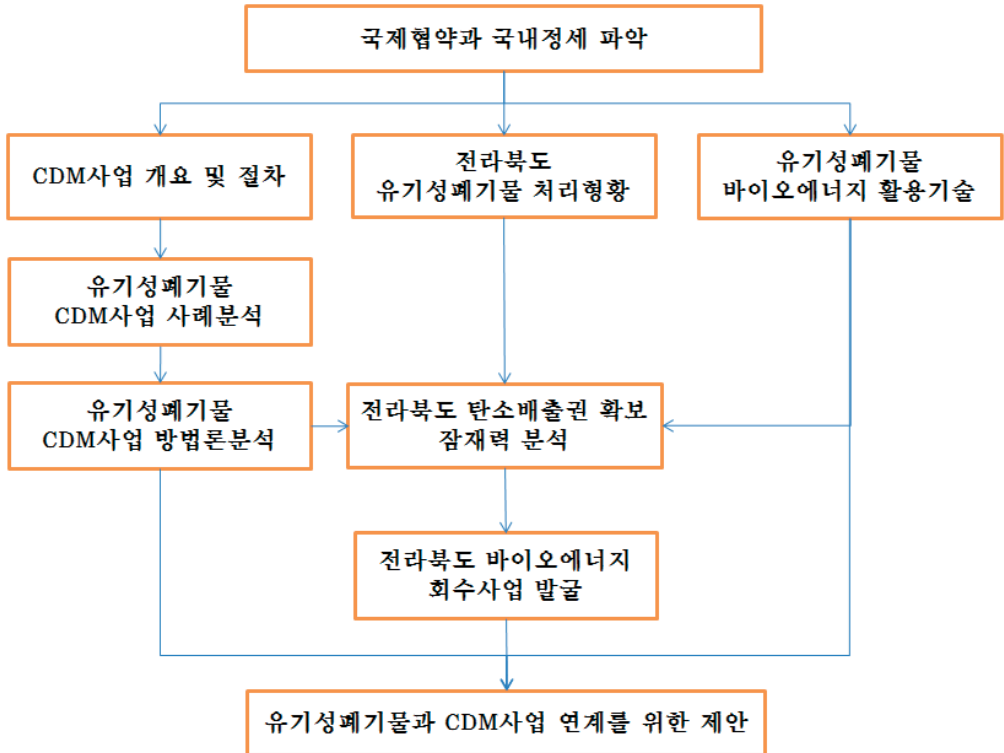
- 국제협약과 국내정세
- 기후변화협약과 CDM사업
- 전라북도 유기성폐기물의 처리현황
- 유기성폐기물 처리기술 및 바이오에너지 활용기술
- 유기성폐기물 CDM사업의 사례 및 수행방법
- 유기성폐기물을 이용한 전라북도 탄소배출권 확보 잠재력
- 전라북도 바이오에너지 회수사업 발굴
- 유기성폐기물의 CDM사업 추진을 위한 제언

5. 연구의 구성

연구의 추진전략은 크게 현황조사, 잠재력 분석 및 가능한 사업발굴, 정책적 제언으로 구분할 수 있다. 현황조사는 CDM사업, 전라북도 유기성폐기물 처리, 유기성폐기물 바이오에너지 활용기술 부분으로 수행되었다. 우선 CDM사업이 무엇이며 어떤 과정이 필요한지, 배출권, 방법론, 비용, 현황 등에 대해 조사하였고, 사업의 대상이 되는 전라북도 유기성폐기물의 현황을 조사한 후 CDM사업을 위한 유기성폐기물 처리기술에 대해 정리하였다. CDM사업 추진과정과 탄소배출권 산정을 위해 국외 유기성폐기물 CDM사업 사례를 조사하고 관련 방법론을 분석하였다.

현황조사 자료를 이용하여 전라북도에서 유기성폐기물 CDM사업을 수행할 경우 확보가능한 탄소배출권 잠재력을 산정해 보았으며, 처리현황 및 기술을 종합하여 전라북도 바이오에너지 회수사업을 제안하였다.

최종적으로 탄소배출권 잠재력 및 산정결과를 분석하여 전라북도에서 유기성폐기물과 CDM사업 연계시 고려해야할 사항과 필요한 정책적 방향을 제시하였다.



<그림1.5-1> 연구추진전략

제 2 장

JDI

국제협약과 국내정세

1. 런던협약
2. 기후변화협약

제 2 장 국제협약과 국내정세

1. 런던협약

가. 국제동향

런던협약(London Convention; 폐기물 및 기타물질의 투기에 대한 해양오염방지에 관한 협약(Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and other Matters))은 유럽 북해의 폐기물 오염에 따라 체결한 유럽국가간의 오슬로 협약을 모체로, 1972년 채택되어 1975년 8월 15개국이 비준함으로써 발효되었고, 우리나라는 1992년에 가입하여 1994년에 당사국 지위를 획득하였다.

그러나, 런던협약에 가입한 국가는 매년 해양투기폐기물 현황을 사무국에 보고할 의무가 있으나 구속력이 없어 대부분 당사국이 의무적으로 해양투기를 금지하지 않아 그 실효성이 문제시 되었다. 따라서, 런던협약 당사국회의에서 개편을 통해 1996년 개정의정서를 채택하였으며, 런던협약 '96개정정서는 26개국의 비준을 얻어 2006년 3월 발효되었다.

런던협약 '96개정정서는 목적, 규제방식, 적용범위에서 '72런던협약과 차이가 있으며, 사전예방원칙, 오염자부담원칙, 보고의무 등이 도입되었다. <표2.1-1>은 '72런던협약과 '96개정정서의 차이점을 비교하였다.

<표2.1-1> '72런던협약과 '96개정정서의 비교

구 분	'72런던협약	'96개정정서
목 적	해양투기 통제	모든오염원(육상오염원 포함)으로부터 해양환경 보호
규제방식	해양투기를 허용하되 특정물질만 금지 (Positive System) - 유기할로겐 화합물 - 수은과 수은화합물 - 카드뮴과 카드뮴 화합물 - 지속성 플라스틱류 - 원유와 그 폐기물 - 방사성 폐기물 - 생물·화학전을 위하여 생산한 물질	해양투기는 불가능하지만 특정항목에 대해서만 허용 (Negative System) - 준실물질 - 하수오니 - 생선 및 생선가공 과정 발생폐기물 - 선박, 플랫폼, 해상인공구조물 - 비활성, 무기질 지질물질 - 천연성 유기물질 - 컨테이너, 고철 및 벌크형태의 폐기물
적용범위	내수면 적용배제	내수면에도 적용
일반원칙	-	사전예방원칙, 오염자부담원칙, 보고의무 등

- 사전예방원칙 (Precautionary Approach): 당사국은 투기행위와 그로 인한 영향 간의 상관관계를 입증할 결정적인 증거가 없다 하더라도, 해양환경에 유입된 폐기물 및 기타물질이 해를 미칠 수 있다고 생각할 만한 사유가 있는 경우에는 적절한 예방조치를 취해야 함
- 오염자부담원칙 (Polluter Pays Principle): 해양배출을 허가받은 자는 배출로 인해 초래될 오염을 방지하고, 이에 관한 규제조치 시행시 발생하는 모든 비용을 부담 해야함
- 보고의무: 당사국들은 폐기물 해양배출 허가현황과 폐기물 투기장 환경상태를 매년보고하고, 법과 제도적인 조치사항에 대해서는 주기적으로 보고하여야 함

나. 국내현황

<표2.1-2>는 우리나라 해양투기 폐기물별 배출량을 보여준다. 해양배출 폐기물은 크게 액상류, 오폐수(유기성), 무기물, 원료동식물폐기물, 수산가공 잔재물, 수저준설토사로 구분된다. 오폐수(유기성)는 수분함량이 85%이하이면서 유기물(VS함량, 생분해 가능한 물질의 함량)의 함량이 40%이상으로 환경부의 관련법 내에서 관리되고 있는 분뇨처리오니, 폐수처리오니, 하수처리오니 등이 속한다. 무기성오니는 수분함량 85% 이하이고 유기물 함량이 40%이하로 정수오니가 대표적이며 무기물로 분류된다.

해양투기 폐기물의 총량을 보면 2005년까지 꾸준한 증가세를 보이는데 2005년 기준 유기성폐기물(하수슬러지, 음식물류 폐기물, 축산폐수)이 약 59%를 차지하고 있다. 그간 2005년까지 꾸준한 증가를 보인 해양투기의 원인은 다음과 같다(해양수산부, 육상폐기물 해양투기 종합대책, 2006).

1) 육상위주 환경정책으로 해양투기 의존 심화

- 하수오니, 음식물류폐기물 등의 육상직매립 금지로 해양투기량 급증
- 축산폐수를 해양배출업자에게 전량 위탁처리하는 경우 축산농가의 폐수처리시설 면제함으로써 해양투기량 급증

2) 육상처리에 비해 해양투기비용이 4~14배 정도 저렴

3) 지역민원(NIMBY)으로 폐기물의 재활용 등 처리시설 설치 곤란

<표2.1-2> 해양투기 폐기물별 배출량

(단위: 천m³)

	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05
총 계	5,643	5,976	6,444	7,104	7,671	8,475	8,874	9,749	9,929
액상류	3,677	3,920	3,819	3,795	4,164	4,684	5,259	5,884	5,827
▪분뇨	1,778	1,780	1,746	1,667	1,554	1,538	1,593	1,582	807
▪폐수	1,650	1,934	1,916	2,021	2,543	3,146	3,666	4,302	5,020
(축산폐수)	(52)	(297)	(605)	(765)	(1,127)	(1,626)	(2,006)	(2,346)	(2,745)
(음식물폐수1)	..	..	..	..	..	..	..	(698)	(1,498)
▪폐산·폐알칼리2)	249	206	157	107	67	-	-	-	-
오니류	1,685	1,848	2,289	2,787	3,004	3,074	3,056	3,230	3,115
▪분뇨처리오니	..	8	24	30	11	12	18	23	26
▪폐수처리오니	1,419	1,351	1,607	1,837	1,848	1,794	1,674	1,660	1,460
(축산폐수처리오니)3)	..	..	..	..	..	..	..	(10)	(19)
▪하수처리오니	266	489	658	920	1,145	1,268	1,364	1,547	1,629
무기물	237	195	308	444	295	450	368	372	373
▪건설공사오니	-	2	19	14	22	35	35	35	13
▪정수공사오니	199	182	223	210	196	301	259	238	196
▪하수도준설물	38	11	55	101	77	114	74	95	67
▪광물성폐기물4)	..	-	11	119	-	-	-	4	97
원료동식물폐기물	20	-	5	5	6	27	45	31	18
수산가공잔재물	24	13	8	8	6	5	5	12	28
수저준설토사	-	-	15	65	196	235	141	220	568

주 : 1) '04년부터 폐수에서 분리 작성
 2) 폐산 및 폐알칼리 : '02년부터 해양투기 금지
 3) '04년부터 폐수처리 오니에서 분리 작성
 4) '01~'04년 까지 폐기물 발생업체 조업중단

배출량과 관련하여 하수슬러지는 1997년(직매립 금지)이후에 2005년에 6배 증가(270천m³ → 1,630천m³), 축산폐수는 2001년(폐수처리시설 의무면제)이후에 2005년에 2.4배 증가(1,130천m³ → 2,750천m³), 음식물류 폐기물은 육상 직매립 금지 후 음식물류 폐기물 폐수는 2004년(직매립 금지)에 비해 2005년에 2배가량 증가(700천m³ → 1,500천m³)한 것으로 조사되어 유기성폐기물에 의한 해양투기의 증가가 큰 원인으로 분석되었다.

이에 따라 해양수산부는 런던협약 96의정서 발효에 대비하여, 육상폐기물 해양투기 종합대책(2006)을 수립하여 육상폐기물의 해양투기량을 2011년까지 2005년기준 50%이하로 절감하는 목표를 수립하였다.

또한, 해양투기 허용품목을 14종에서 9종으로 축소하고 폐기물의 해양배출 처리기준 강화하기 위해 해양오염방지법(현 해양환경관리법) 시행규칙을 개정(2006년 2월)하였고 중금속 등 해양오염 가능성이 높은 하수슬러지와 축산폐수의 해양투기를 2012년부터 전면금지하고자 하였다. 그 외에도, 해양환경개선부담금 요율 인상 및 징수방법을 개선하였으며, 해양투기 관리방식 개편(해양투기 총 허용량 설정, 분산투기방식 및 휴식년제 도입, 허용요건 강화) 및 불법투기행위 단속강화의 대책을 수립하였다.

이와 동시에 환경부에서는 하수슬러지관리 종합대책을 수립하여 슬러지의 해양투기를 막고, 재활용, 소각, 매립의 방식으로 육상처리대책을 마련하였으며, 음식물류 폐기물 국고보조를 통한 지자체 공공처리시설 설치 확대, 가축분뇨 자원화를 위한 공공처리시설 등의 계획을 수립하였다. 또한, 음식물류 폐기물 처리시설의 발생폐수(음폐수)의 해양투기도 2013년부터 전면금지하기 위해 “음폐수 육상처리 및 에너지화 종합대책”을 수립하였다.

농림부에서도 가축분뇨 분리시설 설치지원 확대 및 기존 처리시설 가동을 향상을 위한 개보수 지원, 도시·공단 지역의 폐수처리오니의 퇴비화 추진을 위한 제도개선 추진, 가축분뇨의 퇴·액비 이용 확대 등의 지원 방안을 마련하였다.

2. 기후변화협약

가. 국제동향

기후변화협약은 1972년 로마클럽의 “성장의 한계”가 발간된 후 지구 온난화에 대한 본격적인 논의로부터 시작되었다. 1988년 국제과학자 그룹인 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change)가 기후변화에 대한 과학적 접근을 시도하였고, 1992년 기후변화에 관한 국제연합 기본협약(UNFCCC; United Nations Framework Convention on Climate Change)이 채택되었다. 1993년 우리나라는 47번째로 협약에 가입하였으며, 1997년 제3차 당사국 총회에서 선진국 38개국에게 차별화된 감축목표를 부여하고 온실가스 감축수단을 도입한 “교토의정서”가 채택되었다.

그후 미국의 교토의정서 탈퇴 (2001년 3월)로 난항을 겪지만 EU와 일본의 지속적 참여와 러시아 비준서 제출 등의 노력으로 2005년 2월 교토의정서가 발효되었다. 교토의정서에서 언급한 감축대상가스는 <표2.2-1>와 같이 이산화탄소, 메탄, 이산화질소, HFCs, PFCs, SF6이다. 교토의정서에 따르면, 부속서1 국가들은 1차 의무이행기간 (2008~2012년) 동안 1990년 온실가스 배출량 대비 평균 5.2%를 감축하여야 하며, 부속서2 국가들은 감축노력과 함께 온실가스감축을 위한 개도국에 대한 재정지원 및 기술이전의 의무를 가진다. 교토의정서 상의 부속서 및 교토의정서 비준현황은 <그림 2.2-1>과 같다. 의무 미부담 비준국인 터키와 벨라루스를 제외한 38개 국가와 유럽공동체가 의무감축대상으로 지정이 되었다. 우리나라는 멕시코 등과 함께 비부속서1에 속하며, 2002년 11월에 교토의정서를 비준하였다.

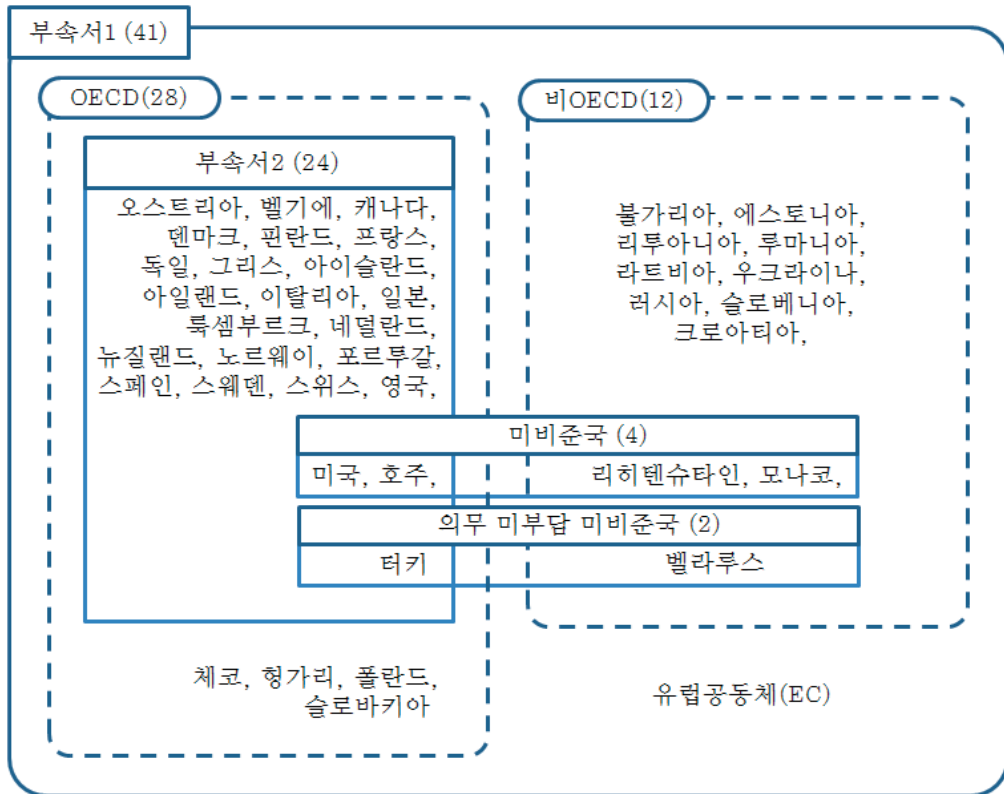
2005년 기준으로 EU 15개국의 배출량은 1990년 대비 2%감소하였으나, 캐나다는 25%, 일본은 7%가량 증가한 것으로 나타났다. 일본의 경우 산업계에는 달성 가능한 목표만을 부여하고 부족부분에 대해서는 배출권을 구매할 계획이다. 반면, 러시아 등의 시장경제 전환국가들의 배출량은 감소하였다.

현재 UN등 국제사회에서는 온실가스 감축문제를 최우선 과제로 추진하고 있으며, 선진각국은 온실가스 감축을 위한 정책을 적극적으로 추진하고 있다. 최근 국가별 온실가스 감축목표 설정현황은 <표2.2-2>와 같다.

<표2.2-1> 교토의정서 상의 감축대상가스

온실가스	온난화지수*	배출원
CO ₂	1	에너지사용/산업공정
CH ₄	21	폐기물/농업/축산
N ₂ O	310	산업공정/비료사용
PFCs	140~11,700	냉매/세척용
HFCs	6,500~9,200	반도체 제조
SF ₆	23,900	LCD모니터제조/산업공정

*자료: IPCC, Climate Change 1995 : The Science of Climate Change (1996)
 온난화지수(GWP): 질량 1kg 기준으로 이산화탄소 대비 온실가스의 가열효과 평가기준 (100년 기준) 1차의무기간(2008~2012) 적용계수



<그림2.2-1> 교토의정서 부속서 및 비준결과

<표2.2-2> 국가별 온실가스 감축목표 설정현황

구분		감축목표
EU	영국	2050년까지 1990년대비 60% 감축(2007.6, UK Climate Change Bill) → 2050년까지 1990년대비 80% 감축(2007.10, 고든 브라운 수상)
	독일	2020년까지 1990년대비 40% 감축
	노르웨이	2050년까지 배출량을 zero로 추진
미국		America's Climate Security Act(Lieberman-Warner) 상원 환경위에서 통과(2007.12.5) → 온실가스를 2050년까지 2005년 대비 70% 감축(Cap & Trade)
		캘리포니아주 : 2020년까지 1990년 수준으로 감축하는 법률안 도입 (2006.9)
일본		전 지구적으로 2050년까지 현재수준 대비 50% 감축목표 선언 (2007.5, Cool Earth 50 이니셔티브)
중국		GDP당 에너지소비량을 2010년까지 2005년 대비 20%, 2020년까지 30% 감축 및 신재생 에너지 비중 10%로 확대 (2007.6)
멕시코		주요 업종의 2007~2014년까지 약 1억CO ₂ 톤 감축잠재량 제시(2007.5)
G8 정상회의 (독일)		G8 주요 선진국이 주도해 2050년까지 세계 온실가스 배출량을 1990년 대비 절반수준으로 감축(EU, 일본, 캐나다 제안)
APEC 정상회담		기후변화 시드니 APEC 정상선언 채택 * APEC회원국간 2050년까지 에너지 집약도를 2005년 대비 25% 감축, 2020년까지 산림 2천만 ha 추가조성, 아태 에너지기술 네트워크 설립
IPCC 보고서 (2007.11)		2050년까지 온실가스 배출량을 2000년 대비 50~85%로 감축 2015년부터 온실가스 배출량 감소세로 전환 필요 기온상승 2℃ 이하 및 온실가스 농도 445ppm 이하로 억제
UNDP(2007.11)		2050년까지 1990년 기준 20% 감축(개도국), 선진국은 80% 감축

자료: 국무조정실 기후변화대책기획단 기후변화 제4차 종합대책 관련 참고자료(2007.12.17)

나. 국내현황

우리나라의 온실가스 배출량은 2005년 기준 591.1백만CO₂톤으로 1990년 대비 98.7%가 증가하였다. 이는 OECD국가 중 배출량은 6위이고 배출증가율은 1위에 해당한다. 따라서, 국제사회에서 2012년 이후 의무감축에 대한 압력이 매우 높은 실정이다.

중앙정부는 기후변화협약의 대책수립을 위해 1998년 국무총리를 위원장으로 하는 기후변화협약 관계장관회의를 구성하고 기후변화협약 제1차 종합대책(1999~2001년)을 수립하였다.

2002년 국무총리 훈령으로 관계장관회의가 국무총리를 위원장으로 하는 기후변화 협약 대책위원회로 격상되고, 협상능력강화, 감축기술개발, 감축대책강화, 교토메카니즘 및 통계기반구축, 국민참여와 협력유도 등 5개부문 84개의 과제가 포함된 제2차 종합대책(2002~2004년)을 수립하였다. 제3차 종합대책(2005~2007년)은 외교부, 산자부, 환경부, 농림부, 과기부 등 총19개의 정부부처가 참여하여 협약 이행기반 구축사업, 기후변화 적응기반 구축사업, 부문별 온실가스 감축사업의 3대부문 총 92개의 과제가 진행되었다.

그러나, 그간의 대책은 의무부담 국가가 아니라는 제3자의 입장을 고수하면서 에너지 다소비형 산업구조의 현실에서 업계의 부담을 고려하여 기후변화 국제협상에서 소극적으로 대응하였다는 지적을 받았다. 또한, 중장기전략 및 구체적 감축 목표의 부재로 산업계의 불확실성이 증대되었고 부처별 과제에 대한 면밀한 평가부족, 기후변화 영향평가 및 연구개발에 대한 투자가 미흡하다는 평가를 받았다.

다. 기후변화 제4차 종합대책 2008~2012 (2007.12.17)

1) 개요

“국제적 위상에 부합하는 온실가스 감축 및 기술개발을 통한 기후변화 영향 최소화”의 비전을 제시하여 범지구적인 온실가스 감축노력에 적극적으로 동참하면서 “녹색성장(Green Growth)”을 달성하고자 함

2) 목표

- 가) 온실가스 감축을 위해 부문별 단기 목표 및 중장기 국가 목표 설정 (2008년 중 국가 감축목표 제시 예정)
- 나) 기후변화 적응대책의 수립·시행으로 사회·경제·환경적 피해 최소화
- 다) 선진국 수준의 온실가스 감축기술 확보

3) 추진내용

가) 온실가스 감축분야

- 저탄소 에너지공급시스템 구축 : 신재생에너지, 바이오디젤, 천연가스 등 목표 설정
- 원자력 비중 확대 검토 : 원자력에 의한 온실가스 감축 인정추진
- 부문별 에너지수요 중점 관리 : 부문별 에너지 절약 개선
- 농축산·산림·폐기물 온실가스 감축 : 유기질 비료 공급, 산림확충, 매립가스 자원화
- 기후 친화형 신산업구조 유도 : 친환경시장(Green Ocean) 창출, 저탄소형 산업구조로 전환
- 탄소시장 활성화 추진 : 자발적 배출권 거래시장 출범, 탄소펀드 조성

나) 기후변화 적응분야

- 기후변화 예측능력 제고 : 통합 예측모델 개발 및 감시체계 구축
- 기후변화 영향평가 및 적응 : 적응 마스터플랜 수립(2008년), 국가차원의 적응 대책 수립(2011년), 생태계, 대기, 보건, 농업, 산림, 해양, 산업, 물관리, 도시, 방재 10개 부문별 적응대책 시행
- 범사회적 역량 강화 : 정부-지자체간 기후변화정책협의회 발족, 국민참여 확보, 환경교육 활성화 등

다) 연구개발 분야

- 연구개발투자의 전략성 강화 및 종합조정기능 보강:
연구개발 로드맵 및 R&D 투자 방향과 예산배분 (2008년)
- 기초·원천기술 확보 : 기초연구 비중 확대
- 온실가스 배출 감축기술 개발 : 대체에너지 개발, 에너지 다소비기기 고효율화
- 원자력 기술개발 확대 : 원전기기 성능개선, 기술자립화 추진

라) 인프라구축 분야

- 기후변화대책법(가칭) 제정 추진
- 기후변화대응 재원대책 강구
- 국가 인벤토리 시스템 구축
- 국가 총체적 대응체계 구축

마) 국제협력 분야

- 감축의무부담 대비 협상
- 국제공조 및 개도국 지원

제 3 장

JDI

CDM사업과 탄소배출권

1. 교토의정서와 CDM사업
2. CDM사업의 개요
3. CDM사업의 절차
4. CDM사업과 방법론
5. CDM사업 비용
6. CDM사업 현황
7. 온실가스등록소와 국내 탄소배출권 (KCER)
8. 프로그램 CDM

제 3 장 CDM사업과 탄소배출권

지자체에서 CDM사업에 어려움을 느끼는 이유는 CDM사업이 무엇인지(정의), 어떻게 진행되는지(절차), 사업효과는 어떤지(탄소배출권) 파악하기 어렵기 때문이다. III 장에서는 CDM사업의 탄생에서부터, 사업종류, 배출권종류, 사업절차, 사업에 필요한 방법론의 정의, 사업비용, 사업현황 등에 대해 정리하였다. 사업의 효과부분은 VI장에서 전라북도의 유기성폐기물 처리현황과 가능한 처리기술을 고려하여 탄소배출권량 산정해봄으로써 평가하였다.

1. 교토의정서와 CDM사업

교토의정서 상의 의무감축 국가들은 할당받은 온실가스를 감축하기 위해 교토메카니즘을 도입하였다. 교토메카니즘은 청정개발체제(CDM; Clean Development Mechanism), 공동이행제도(Joint Implementation), 배출권거래제(ET; Emission Trading)로 구성되어 있으며, 상호간의 관계를 <그림3.1-1>에 나타내었다.

가. 청정개발체제 (CDM)

CDM은 감축의무국이 비감축의무국에 투자하여 온실가스를 감축하고 감축량을 인정받는 제도이다. 선진국은 감축목표를 달성할 수 있으며, 개발도상국은 기술과 재정적 지원을 받을 수 있는 지속가능한 개발에 기초한 제도이다. CDM에서 발생하는 탄소배출권은 CER(Certified Emission Reduction)의 형태로 발급된다.

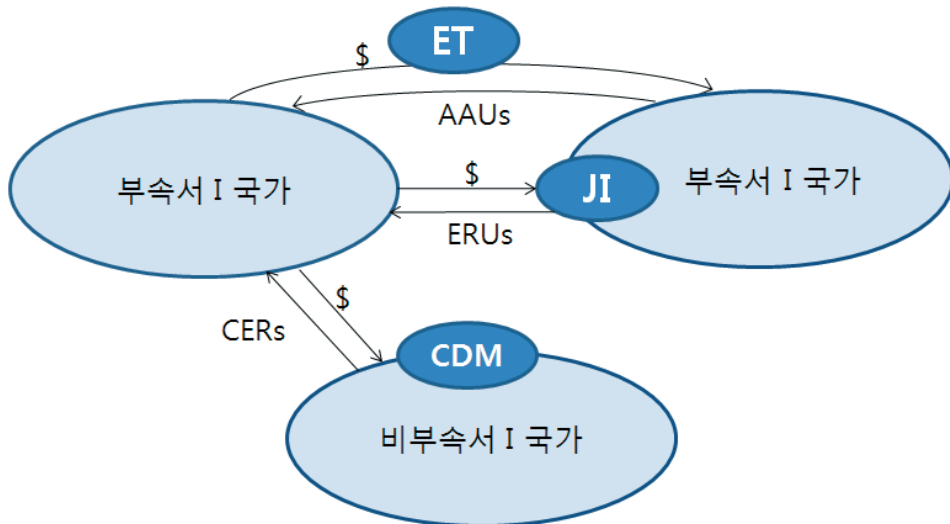
나. 공동이행제도 (JI)

JI는 감축의무국들 사이에 온실가스 감축사업을 공동으로 수행하고 온실가스 감축량의 일부분을 투자국의 실적으로 인정하는 제도이다. 예를 들어, EU의 경우 동부유

럽국가와 공동이행을 추진하여 배출권 확보가 가능하다. JI에서 발생하는 탄소배출권은 ERU(emission reduction unit)의 형태로 발행된다.

다. 배출권거래제 (ET)

ET는 감축의무국이 감축량을 초과 달성하였을 경우 초과분을 거래하는 제도로 의무감축국의 온실가스 감축비용을 분산하여 GDP손실을 줄이기 위한 방안이다. 2008년 이후 본격적으로 의무감축이 시작됨에 따라 배출권거래를 위한 탄소시장이 활성화되고 있다.



<그림3.1-1> 교토 메카니즘

2. CDM사업의 개요

CDM사업의 전반적인 정보는 UNFCCC의 CDM관련 인터넷 사이트 (<http://cdm.unfccc.int>)에서 검색이 가능하다.

가. CDM사업의 종류

1) 투자자 형태에 따른 CDM사업

가) Bilateral CDM

감축의무국과 비감축의무국 사이의 CDM사업으로 교토메카니즘의 기본 구상안이다.

나) Multilateral CDM

다수의 선진국이 World Bank와 같은 국제 중개소에 의해 설립된 Multilateral 펀드에 투자하는 형태로 Bilateral CDM의 위험을 분담할 수 있다.

다) Unilateral CDM

개도국(비부속서 국가)이 CDM사업을 발굴하고 배출권을 가지는 사업이다. 제18차 CDM집행위원회(2005년 2월)에서 Unilateral CDM사업이 승인됨에 따라 개도국인 우리나라도 CDM사업을 통해 교토메카니즘에 참여할 수 있게 되었다.

2) 규모에 따른 CDM사업

가) 소규모 CDM사업 (제12차 당사국 총회 개정)

- Type I : 최대발전용량이 15MW 이하의 재생에너지 사업
- Type II : 연간 60GWh 이하의 에너지를 감축하는 에너지 효율 향상 사업
- Type III : 연간 배출 감축량이 60,000 톤CO₂e 이하의 사업

나) 일반 CDM사업

- 소규모 CDM사업을 제외한 모든 CDM사업

3) 분야에 따른 분류

CDM사업은 사업형태에 따라 <표3.2-1>과 같이 15개 분야로 분류된다. 15개의 분야중 조림 및 재조림은 흡수원에 의한 CDM사업이며 나머지 14개 분야는 감축에 의한 CDM사업으로 구분할 수 있다. 조림(afforestation)은 50년간 산림이 아니던 토지를 산림으로 전환하는 사업이며, 재조림(reforestation)은 1990년 이전에 산림이 아닌 토지를 산림으로 전환하는 사업이다.

<표3.2-1> CDM사업분야

번호	분야
1	에너지 산업 Energy Industries (renewable/Non-renewable sources)
2	에너지 공급 Energy distribution
3	에너지 수요 Energy demand
4	제조업 Manufacturing Industries
5	화학 산업 Chemical Industries
6	건설 Construction
7	수송 Transport
8	광업/광물 Mining/mineral production
9	금속공업 Metal production
10	연료로부터의 탈루성 배출 Fugitive emission from fuels (solid, oil and gas)
11	할로겐화 탄소, 6불화황 생산/소비 Fugitive emission from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride
12	용제사용 Solvents use
13	폐기물 취급 및 처리 Waste handling and dispose
14	조림 및 재조림 Afforestation and reforestation
15	농업 Agriculture

나. CDM사업 원칙 및 참여요건

1) CDM사업 원칙

교토의정서에서는 CDM사업으로 인정받기 위한 원칙을 다음과 같이 제시하였다.

- CDM사업 참여국 정부가 자발적으로 CDM사업에 참여하여야 함

- CDM사업에 따라 감축활동의 결과를 정량적으로 측정할 수 있어야하며, 온실가스 감축활동이 대기 중 온실가스 농도를 감축하는 장기적인 효과를 이끌어내어야 함
- CDM사업으로 인한 온실가스 감축은 CDM 사업이 없는 경우 나타날 결과에 비하여 추가적인 효과를 가져와야함 (추가성 원칙; 사업의 추가성 입증은 UNFCCC에서 개발한 추가성 검증틀을 사용하며, 행정법규에 부응하는 사업활동 규명, 투자분석, 장벽분석, 상례분석의 과정이 있음)

2) CDM사업 참여요건

부속서1 국가 및 비부속서1 국가가 CDM사업에 참여할 수 있는 기본요건은 다음과 같다.

- 교토의정서 비준
- CDM사업에 자발적 참여
- 국가 CDM 승인기구(DNA: Designated National Authority)설립

부속서1 국가의 경우 위의 요건을 만족시키고 동시에 다음의 요건을 만족하여야 한다.

- 초기감축목표가 확정되어 있을 것
- 국가 배출량, 흡수량 산정시스템을 갖고 있을 것
- 국가 온실가스 등기부(registry)를 가지고 있을 것
- 연간 온실가스 인벤토리를 제출할 것

우리나라의 경우 2002년 11월 교토의정서를 비준하였으며, 국무조정실 산업 심의관실이 DNA업무를 담당하고 있어 CDM사업의 요건을 만족하였다.

다. CDM사업 기간

CDM사업자는 다음의 사업기간을 선택할 수 있으며, 이를 사업계획서에 명시하여야 한다.

- 최대 2번의 사업기간 갱신가능하며 1회당 7년 (총 21년).
- 갱신없이 최대 10년

라. 탄소배출권의 종류

현재 배출권 시장에서 발행되는 탄소배출권의 종류를 정리하면 <표3.2-2>와 같다.

<표3.2-2> 탄소배출권의 종류

단 위	단위명	발행자	설명
AAU	Assigned Amount Units	국가 레지스트리	의무감축국가의 초기할당량 (초기감축목표)
RMU	Removal Units	국가 레지스트리	토지이용, 토지이용 변경 및 산림부분에서의 온실가스 감축분
ERU	Emission Reduction Units	국가 레지스트리	J사업으로 인해 발생한 온실가스 감축분
CER	Certified Emissions Reductions	CDM 레지스트리	CDM사업에서의 온실가스 감축분
tCER	Temporary CERs	CDM 레지스트리	신규조립 및 재조립 CDM사업의 일시적 CER
iCER	Long-term CERs	CDM 레지스트리	신규조립 및 재조립 CDM사업의 장기적 CER

자료: 에너지관리공단, 제3차 기후변화대책WEEK 세미나 - 국제 탄소시장 동향 세미나 (2008)

3. CDM사업의 절차

CDM사업을 절차를 간단히 요약하면, CDM 사업계획서를 기후변화협약의 취지에 맞는지 타당성을 검증(validation)받고, 실제 감축활동이 이루어지는지 활동내용과 결과를 확인(monitoring)하여 검증(verification) 및 인증(certification)의 과정을 거쳐 CER을 발급받는 과정이다. CDM사업 절차를 <그림3.3-1>에 정리하였으며, <표 3.3-1>는 CDM사업과 관련된 주요기관 및 역할을 보여준다. CDM사업 절차는 크게 6 단계로 구성된다.

가. 1단계 - CDM사업 발굴/계획

CDM사업을 발굴하여 CDM사업계획서 (PDD; Project Design Document)를 작성한다. 사업계획서의 구성은 다음과 같다.

- 사업개론
- 베이스라인 방법론 적용
- 사업기간/CER발급 기간
- 모니터링 방법론 및 계획적용
- 원인별 지구온난화가스 배출량 계산
- 환경영향
- CDM사업으로부터 영향받을 수 있는 이해당사자의 의견

나. 2단계 - 정부승인 및 CDM사업 타당성 확인(validation)

DNA에 PDD를 제출하여 국가승인서를 받고, CDM사업 운영기구(DOE; Designated Operational Entity) 중 하나를 선정하여 작성된 CDM PDD의 타당성을 확인받는다. DOE에서는 제출된 PDD가 CDM사업의 요건을 만족하는지 검토하고 이를 바탕으로 타당성확인 보고서를 작성한다. 국내에서는 에너지관리공단(에너지산업분야)과 한국품질재단(에너지산업, 에너지배분, 에너지수요)이 DOE로 지정되어 있다 (2006년 12월 기준).

다. 3단계 - CDM사업 등록(registration)

CDM사업등록서, CDM PDD, DOE의 타당성검토 확인보고서, 부속서1 국가 승인서, 비부속서 국가 승인서를 첨부하여 CDM집행위원회 (EB; Executive Board)에 CDM사업 등록을 요청한다. 우리나라가 참여가능한 Unilateral CDM사업의 경우 부속서1 국가 승인서 첨부는 필요없으며, 발행된 CER계좌이체 요구시 부속서1 국가의 승인서를 포함하도록 되어있다.

라. 4단계 - 모니터링(monitring)

CDM사업자는 PDD에 제시한 모니터링 계획에 따라 모니터링을 실시하고 모니터링보고서를 DOE에 제출한다.

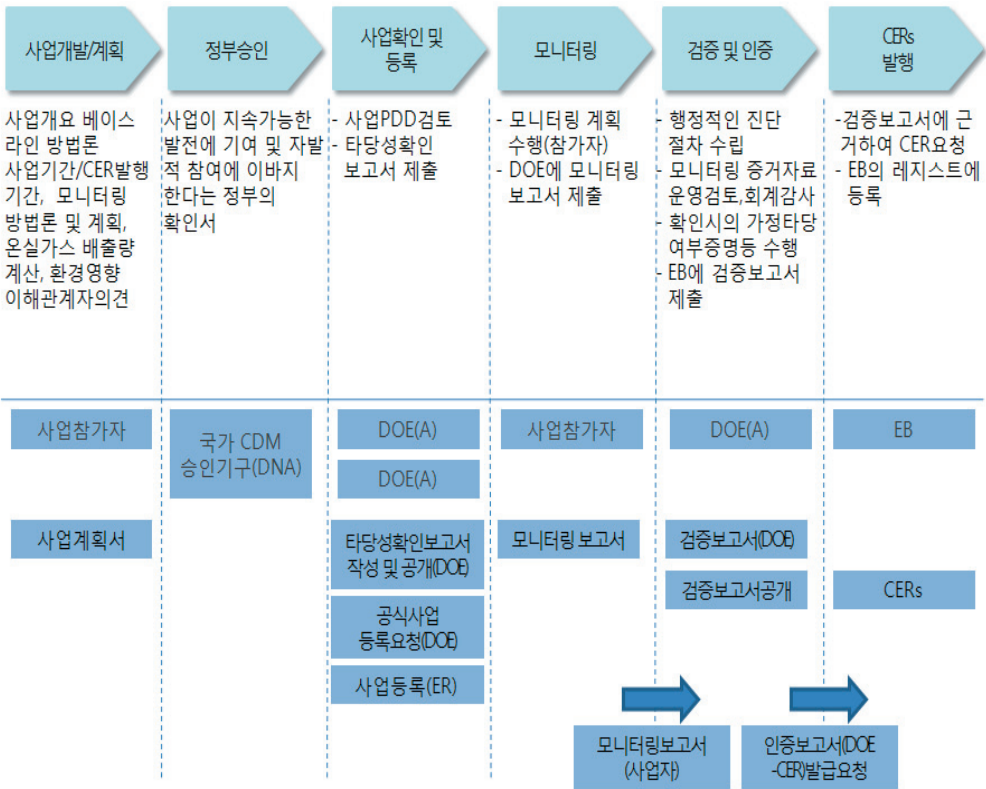
마. 5단계 - CDM사업 검증(verification) 및 인증(certification)

DOE는 모니터링 보고서 검토 및 현장실사를 모니터링 결과 및 절차를 평가하고 검증보고서를 작성한다. 이후 DOE는 검증사항에 근거하여 EB에 검증된 양의 CER의 발행을 요청하게 되고, 배출저감량에 대한 인증보증서를 작성한다.

이때 소규모 CDM사업의 경우 타당성 확인을 수행한 DOE가 검증 및 인증이 가능하지만, 일반 CDM사업의 경우 타 DOE를 선정하여 검증 및 인증 절차를 밟아야 한다.

바. 6단계 - CER발급

CER발급 요청을 받은 CDM 레지스트리 관리자는 EB 미결제좌로 CER을 발행하게 된다. 미결제좌의 CER로부터 CDM 사무비용, 개발도상국 지원기금(CER의 2%), 환경비용을 공제한 CER이 CDM사업자의 계좌로 이전되게 된다.



자료: 2006 기업을 위한 CDM사업 지침서

<그림3.3-1> CDM사업의 절차

<표3.3-1> CDM 사업관련 주요기관 및 기능

주요기관	구 성	기 능
COP/MOP (당사국총회)	교토의정서 비준국	CDM 사업 관련 최고 의사결정기관
EB (CDM집행위원회)	총10명 -교토의정서 당사국 중 UN 5개 지역그룹에서 각 한 명(총 5명) -부속서 1 국가 2명 -비부속서 1 국가 2명 -도서국가 1명	COP/MOP의 지침에 따라 CDM 사업 관리·감독
DOE (CDM사업 운영기구)	CDM 집행위원회에서 지정	CDM 사업 타당성 확인 및 배출 감축량 검증
DNA (국가 CDM승인가구)	교토의정서 비준국의 CDM 사업관련 정부기관	CDM 사업 승인서 발급

자료: 에너지관리공단, 2006 기업을 위한 CDM사업 지침서, 2007

4. CDM사업과 방법론

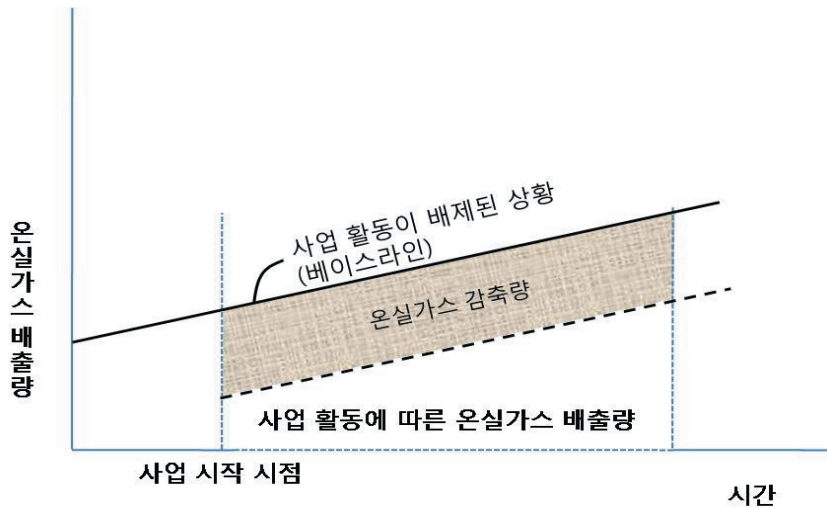
가. 방법론의 필요성

탄소배출권은 시장원리에 의해 거래되는 대상이다. 에너지관리공단의 “2007년 CDM방법론 맵 작성”(2007)을 인용하면, “수요자의 입장에서서는 실제 존재하는 생산공정(CDM사업 활동)에서 생산된 물품(탄소배출권)의 질과 양을 정량적으로 파악 할 수 있고 또 그 생산 공정(감축활동)의 운전상태와 물품(탄소배출권)의 생산현황을 확인(모니터링) 할 수 있을 때 비로소 그 물품의 질과 양을 인정할 수 있다.”라고 하였다.

즉, CDM사업이 시장원리에서 인정받기 위해서는 온실가스 감축량을 정량적으로 보여주는 논리와 실체를 확인할 수 있는 방법이 제시되어야만 하는데 그 논리체계가 CDM 방법론이다. CDM사업에 적용할 수 있는 방법론은 UNFCCC에서 승인한 방법론만 사용이 가능하며, CDM사업시 적용가능한 방법론이 없을 경우 방법론을 제시하여 승인을 받아야만 한다.

나. 방법론의 구분 및 현황

방법론은 감축량을 정량적으로 파악할 수 있는 논리체계인 “베이스라인 방법론”과 실체를 확인할 수 있는 방법체계인 “모니터링 방법론”으로 구분된다. 베이스라인이란 CDM사업이 없을 경우의 온실가스 기준이 되는 상황을 말한다. <그림3.4-1>과 같이 CDM사업에 의한 온실가스 감축량은 CDM사업 활동이 없을 때의 온실가스 배출량에서 CDM사업 활동결과 배출되는 온실가스 배출량의 차로 계산할 수 있다.



출처: 에너지관리공단, 2007년 CDM방법론 맵 작성, 2007

<그림3.4-1>CDM사업의 온실가스 감축량

베이스라인 방법론에서 다루는 내용은 다음과 같다.

- 베이스라인 설정과 관련된 조건
- 베이스라인 배출량 계산법
- 사업의 추가성 입증 방법
- 사업 경계 및 누출 설정
- 감축량 계산방법
- 사업활동에 대한 규명
- 사업 배출량 계산법

1) 소규모 CDM사업 방법론

승인된 소규모 방법론(AMS; Approved Methodology for Small Scale)은 Type 에 따라 구분된다. Type I(재생에너지), Type II(에너지 효율 향상 사업), Type III(기타 온실가스 배출감축 사업)의 방법론이 각각 5개, 7개, 20개가 등록되어 있으며, 소규모 조림/재조림 방법론(AR-AMS: Approved Small Scale Afforestation/Reforestation Methodologies)은 3개를 찾아 볼 수 있다 (UNFCCC 홈페이지 2008년 2월기준).

2) 일반 CDM사업 방법론

일반 CDM사업 방법론은 승인된 대규모 방법론 (AM: Approved Large Scale Methodologies)과 승인된 통합 방법론 (ACM: Approved Consolidated Methodologies)의 사용이 가능하다. 통합 방법론은 이미 승인된 방법론들을 모아서 만든 방법론으로 통합방법론에 포함된 이전의 방법론은 폐기하게 된다. 2008년 2월 현재 AM은 49개, ACM은 11개가 등록되어 있으며, 승인된 조림/재조림 방법론 (AR-AM: Approved Afforestation/Reforestation Methodologies)은 10개가 있다.

각각의 방법론 및 검토중인 신규 방법론 (NM: New Methodologies)은 UNFCCC의 CDM사이트에서 검색이 가능하다.

5. CDM사업 비용

단계별 CDM사업 소요비용을 예측하면 <표3.5-1>와 같다. <표3.5-1>의 비용은 대략적인 추정가격이며, 사업의 종류와 특성에 따라 소요비용은 차이가 있다. 소규모 CDM사업일 경우 기획단계에서 18,500~117,000 US\$정도의 비용이 소요되며, 일반 CDM사업일 경우 38,500~610,000 US\$의 비용이 소모된다. 건설단계에서 발생하는 모니터링 장비의 경우 사업별로 다양지만, 전체 사업 공사비에 비하면 크지 않을 것이다. 운영단계에서는 매년 검증시 최소 CER의 2% + 5,000 US\$의 비용이 소모된다.

<표3.5-1> CDM사업 추진 관련 소요비용 예측

단 계		내 용	비 용	
			일반 US\$/건	소규모 US\$/건
기 획	1단계 (계획)	- 타당성조사	5,000~30,000	2,000~7,500
		- PDD 작성	15,000~100,000	10,000~25,000
		- 신규방법론 (필요시, 등록비 1,000\$포함)	20,000~100,000	20,000~50,000
	2단계 (타당성 확인)	- DNA 승인	국가마다 상이함 (우리나라 비용없음)	
		- DOE 타당성 확인 보고서 작성비용	8,000~30,000	6,500~10,000
	3단계 (사업등록)	- CDM사업 등록비용 ◦ 초기 15,000 CERs - 0.1 US\$/CER ◦ 15,000 CERs 초과분 - 0.2 US\$/CER	10,500~350,000*	0~24,500**
건 설	4단계 (모니터링)	- 모니터링 장비 설치	사업별로 다양함	
운 영	5단계 (검증 및 인증)	- 최초검증	5,000~30,000	5,000~15,000
		- 이후검증	5,000~25,000	5,000~10,000
	6단계 (CER 발급)	- 개도국 기후변화 적응비용	연간 CER 판매액의 2%	
		- 행정비용	한도없음, 등록비용은 차감됨	

자료: EcoSecurities & CD4CDM, Guidebook to Financing CDM Projects (2007) 인용

*최소비용은 연간 15,000 CER로 계산한 값임 (기간 7년기준)

**연간 감축량 15,000 CER 미만일 경우 등록비 면제, 최대비용은 연간 25,000 CER로 계산한 값임(기간 7년기준)

6. CDM사업 현황

2008년 2월 25일 기준 UN등록 CDM사업현황은 <표3.6-1>와 같다. 승인된 사업은 총 945건으로 인도(314), 브라질(125), 중국(161) 순으로 많으며, 우리나라는 17건으로 전체 사업건수의 1.8%를 차지하고 있다. 배출량으로 보면 중국이 연간 92,902 천톤CO₂e로 전체 배출권의 48%로 가장 큰 부분을 차지하고 있으며, 인도, 브라질 순으로 배출권이 많다. 우리나라는 연간 14,356 천톤CO₂e로 전체 배출량의 7.45%를 차지하고 있다. 전세계 사업규모별로는 대규모 53.0%, 소규모 47.0%양상이며 사업내용별로는 에너지가 53.1%, 폐기물이 21.0%로 집계되었다. 실제 CER 발생횟수는 500회로 총 121,107 천톤CO₂e가 발행되었다.

<표3.6-2>은 2008년 2월 25일 기준 국내 UN등록 CDM사업 현황을 보여준다. 국내 CDM사업은 울산화학 HFC 열분해사업이 처음 2003년 1월 1일 등록되었고, 2006년부터 본격적으로 등록을 시작하였다.

최근 수자원 공사 풍력발전사업으로 17건의 사업이 UN에 등록이 되었으며, 31개의 사업이 등록요청 중에 있다. 17개의 등록 사업 중 신재생에너지 관련으로 10개의 사업이 차지하고 있으며, 온실가스 배출감축이 4개, 폐기물이 2개로 조사되었다.

<표3.6-1> UN등록 CDM사업 현황 (2008년 2월 25일 기준)

구분	07-12-31	08-02-25	전년대비 증감율(%)
○ CDM 등록(건수)	855	945	6.8
- 인도	300	314	4.7
- 브라질	113	314	4.7
- 중국	143	161	12.6
- 멕시코	100	101	1.0
- 기타 국가	213	227	6.6
- 한국	16	17	3.3
· 한국점유율	1.81	1.80	-0.6
○ 예상 CER(천톤CO ₂ e)	187,004	192,627	3.0
- 중국	89,990	92,902	3.2
- 인도	28,208	28,910	2.5
- 브라질	17,413	17,675	1.5
- 기타 국가	37,041	38,784	4.7
- 한국	14,352	14,356	0.0
· 한국점유율	7.67	7.45	-2.9
○ 사업규모별 점유율(%)	100.00	100.00	
- 대규모	52.99	53.02	0.1
- 소규모	47.01	46.98	-0.1
○ 사업내용별 점유율(%)	100.00	100.00	
- 에너지	53.10	53.19	0.2
- 폐기물	21.01	20.95	-0.3
- 농업	7.24	6.79	-6.2
- 연료 탈루성배출	7.67	8.02	4.6
- 기타	10.98	11.05	0.6
○ 주요 투자국별(건)			
- 영국	309	331	7.1
- 네덜란드	107	119	11.2
- 일본	94	99	5.3
- 스위스	47	48	2.1
- 브라질	1	1	0.0
○ 실제 CER 발행			
- 발행건수	442	500	13.1
- 발행량 (천톤CO ₂ e)	102,471	121,107	18.2
○ DOE(개)	18	19	5.6

자료:에너지관리공단 CDM인증원 홈페이지(<http://www.kemcocdm.or.kr>)

<표3.6-2> 국내 CDM사업 등록현황 (2008년 2월 25일 기준)

NO.	사업명	상태	유형	사용 방법론	연간감축량 (천CO ₂ e)	기간	배출권발생 시작일	다당성 확인	검증	배출권 구매자
1	울산화학 HFO 열분해사업	등록	HFCs	AM1	1,400	7	03-01-01	JQA	DNV	일본(NEOS Fluor + Manubeni), 영국(Carbon Compliance Acquisition 5+EDF Trading)
2	온산 로디아 N ₂ O 감축사업	등록	N ₂ O	AM21	9,151	7	06-09-01	DNV	TOV-SOD	프랑스, 일본, 영국, 네덜란드(ORBEO)
3	강원풍력발전 (14+2+35+2-96 MW)	등록	Wind	ACM2	149	10	06-12-31	KEMCO		일본(Marubeni+Eurus Energy Japan)
4	서화조력발전 (254MW)	등록	Tidal	ACM2	315	7	09-07-01	DNV		
5	영덕풍력발전 (40MW)	등록	Wind	ACM2	60	7	06-01-01	KFQ		일본(Mrubeni)
6	수자원공사 소수력 발전 (4.74MW)	등록	Hydro	AMS-I.D.	10	7	06-01-01	DNV		
7	지역난방공사 강남지사 연료전환	등록	Fossil fuel switch	AM8	35	10	08-01-01	DNV		
8	동해태양광발전 (1MW)	등록	Solar	AMS-I.D.	1	10	06-11-01	BSI		
9	휴켄스 질산공장 N ₂ O 제거사업	등록	N ₂ O	AM28	1,268	7	06-12-15	TOV-SOD		독일(RWE)
10	수자원공사 소수력 발전 2 (3,125MW)	등록	Hydro	AMS-I.D.	9	7	08-06-01	DNV		
11	중부발전 재생에너지사업 (풍력 3MW, 소수력 1.4MW)	등록	Hydro	AMS-I.D.	9	7	07-01-01	KEMCO		
12	수도권매립지 가스 이용 전력생산사업	등록	Landfill gas	ACM1 +ACM2	1,210	10	07-04-01	DNV		
13	남동발전 소수력 (영흥 3MW, 삼천포 2.97MW)	등록	Hydro	AMS-I.D.	21	10	07-11-01	KEMCO		
14	울산 한화 질산공장 N ₂ O감축사업	등록	N ₂ O	AM28	281	7	07-07-01	TOV-SOD		일본(Mitsubishi)
15	대구 방천리 매립지 가스	등록	Landfill gas	ACM1	405	7	07-08-01	LRQA		
16	한경풍력발전 2단계	등록	Wind	AMS-I.	29	7	07-11-01	KEMCO		
17	수자원공사 방어머리 풍력발전	등록	Wind	AMS-I.D.	3	7	08-01-01	DNV		

자료:에너지관리공단 CDM인증원 홈페이지(<http://www.kemcocdm.or.kr>)

7. 온실가스등록소와 국내 탄소배출권 (KCER)

가. 개요

온실가스 감축활동에 대해 산업계의 온실가스 배출 감축역량을 지원하고, 감축실적관리를 통해 기업들의 자발적인 감축활동에 대한 불확실성을 해소하기 위해 중앙정부에서는 “온실가스 배출 감축사업등록 및 관리제도”를 시행하고 있다. 현재 에너지관리공단 온실가스등록소(<http://reg.kemco.or.kr>)에서 운영중이다.

나. 등록신청자격

- 1) 온실가스 배출감축 예상량이 연간 500 톤CO₂e 이상인 사업이면서 다음 중 하나에 해당하는 사업이어야 함
 - 에너지이용합리화를 통한 사업
 - 신에너지 및 재생에너지개발·이용·보급촉진법 제2조에서 규정한 신·재생에너지를 개발하는 사업
 - 기타 정부가 인정하는 온실가스 배출 감축사업
- 2) 감축사업은 등록신청일을 기준으로 1년이내 착공된 사업에 한하여 신청가능함
- 3) 사업시작시점에 대한 근거자료 제출필요

다. 지원내용

- 1) 온실가스 감축실적(KCER; Korea Certified Emission Reduction)에 대한 인센티브 지급(정부구매)
 - 검증된 온실가스 감축실적을 정부가 구매함으로써 인센티브 지급
 - 정부구매가격 : 4,000원~6,000원/톤CO₂e (2007년 4,982원/톤CO₂e)
- 2) 사업계획서 작성 등에 소요된 행정비용의 일부를 등록순으로 지원

라. 감축사업 등록 및 절차

온실가스 등록소에 사업등록 절차는 크게 감축사업을 등록하는 사업계획단계와 감축사업을 이행하는 사업이행단계로 구분되며, 모든 절차의 기준 및 보고서들은 투명성과 신뢰성을 기본 원칙으로 한다.

1) 사업계획단계

- 사업자는 등록신청서, 사업계획서, 타당성평가 보고서를 작성하여 온실가스등록소 홈페이지에 온라인으로 신청하며, 과정은 <그림 3.7-1>과 같다.
- 등록신청서와 사업계획서는 등록신청자가 작성하며, 타당성평가 보고서는 검증전문기관이 타당성평가완료 후 작성한다.
- 2008년 1월 현재 검증전문기관은 총 7개로 (재)한국품질재단 품질인증센터, 에너지관리공단 CDM인증원, 한국표준협회, DNV인증원, SGS인증원, 한국가스안전공사, 로이드인증원이 있다.

업무절차	주요내용	담당기관
감축사업 개발 및 사업계획서 작성	- 사업계획서 작성 ※ 방법론·사업경계 설정, 누출량 등을 기술	등록신청자
↓		
타당성 평가 실시 (validation)	- 검증기관에서 문서검토 및 현장조사 실시 - 시정·보완조치 후 검증기관이 타당성평가 보고서 작성 ※'07.10.11부터는 등록신청 전에 타당성평가를 검증기관으로부터 받은 후 평가보고서를 작성·제출	등록신청자가 지정된 검증전문기관에 의뢰하여 실시
↓		
감축사업 등록신청	- 감축사업을 온실가스 감축 등록소에 온라인으로 신청(http://reg.kemco.or.kr) - 구비서류 : 등록신청서, 사업계획서, 타당성평가 보고서	등록신청자 →공단(등록소) ※수시 접수
↓		
등록평가위원회 개최	- 정부, 학계, 전문가로 15인 이내의 등록위원회를 구성하여 등록여부를 검토	산자부, 공단(등록소)
↓		
평가결과 통보 및 등록	- 평가결과 통보 및 감축사업 등록 관리	공단(등록소) →등록신청자

자료: 에너지관리공단, '08년 온실가스 배출 감축사업등록 및 관리제도 안내 (2008)

<그림3.7-1> 온실가스등록소 감축사업 등록절차

2) 사업이행단계

- 사업이행단계는 사업자가 등록된 감축사업을 이행하고 검증기관에서 실제 감축실적을 검증한 후 정부가최종 인증하여 “온실가스배출감축실적인증서”를 발급하는 단계이며, 과정은 <그림 3.7-2>와 같다.

업무절차	주요내용	담당기관
모니터링 보고서 작성	- 모니터링 보고서 서식에 따라 매1년마다 1회이상 작성하여 검증기관으로부터 검증을 받아야 함	사업시행자가 작성
↓		
검증 실시 (실적확인)	- 모니터링 보고서에 대한 검증 실시 - 문서검토 및 현장조사 - 시정 및 보완조치 사항 확인	사업시행자가 검증전문기관에 검증의뢰
↓		
인증 신청	- 검증전문기관은 검증내용을 바탕으로 등록소에 감축실적 인증을 신청 ※ 구비서류 : 인증신청서, 모니터링 보고서, 검증보고서	검증전문기관 →공단(등록소)
↓		
인증평가위원회 개최	- 정부, 학계, 전문가로 15인 이내의 등록위원회를 구성하여 검증결과 검토	산자부, 공단(등록소)
↓		
평가결과 통보 및 실적인증	- 평가결과를 검증기관에 통지 - 인증시 『온실가스 배출 감축시설 인증서』 발급 - 반려시 검증기관에서 재검증	공단(등록소) →검증전문기관, 사업시행자

자료: 에너지관리공단, '08년 온실가스 배출 감축사업등록 및 관리제도 안내, 2008

<그림3.7-2> 온실가스등록소 감축사업 인증절차

마. 온실가스등록소 향후계획

- 1) 교토 메카니즘에 구소되지 않는 자발적 해외탄소시장과의 연계추진
 - CCX(시카고기후거래소)와 유통가능성 논의 중
- 2) 탄소중립 프로그램을 통한 기업 및 개인의 KCER 자발적 구매 유도
 - 국내 탄소시장 활성화

8. 프로그램 CDM

가. 개념

작고 흩어져 있는 저감사업을 개념수준에서 프로그램을 CDM사업으로 등록하여 온실가스를 감축하는 사업이다.

나. 진행상황

2007년 6월 32차 CDM EB(집행위원회)는 프로그램 CDM의 기본규칙을 공표하였고 33차 CDM EB에서는 사업계획서 양식을 승인하였으나, 아직 등록된 사업은 없다.

다. 특징

소규모 CDM사업의 경우 사업개발과 사업계획서 작성에 많은 비용이 소모되었고, 기존의 작업사업을 묶었던 CDM사업의 경우 개별사업을 일일이 확인하고 등록하는 불편함이 있었다. 특히, 가정의 고효율 전구 설치와 같은 저감노력들은 그 동안 감축사업으로 인정받기가 어려웠으나, 프로그램 CDM은 국가/지자체의 정책 등을 감축사업으로 추진할 수 있을 것이다. 지속가능경영 뉴스레터(102호)에 따르면 프로그램 CDM의 특성은 다음과 같다.

- 프로그램 CDM은 작고 흩어져 있는 저감사업들이 탄소시장에 진입할 수 있는 기회를 제공함
- 기존의 번들(bundling) CDM과 달리 개별 하부사업을 검증할 필요가 없어 개념단계에서 전체 사업을 등록할 수 있으므로 위험도가 낮음
- 프로그램 CDM은 중소기업에 적합하며, 지역적 에너지효율사업, 화석연료전환, 재생에너지 사용 등 특히 가정과 소규모 사업자 및 교통 분야에 유망함

프로그램 CDM은 새로운 개념의 CDM사업으로 이를 통해 많은 량의 온실가스 저감이 이루어질 것으로 기대된다.

제4장

JDI

전라북도 유기성폐기물 처리 현황분석

1. 하수슬러지
2. 음식물류 폐기물
3. 축산폐수

제 4 장 전라북도 유기성폐기물 처리 현황분석

2008년 3월 환경부는 업무보고를 통해 유기성폐기물 에너지화 및 발전사업을 포함한 폐기물에너지화 종합대책(2008년 5월 예정)을 수립할 계획이다. 이에 따라 유기성 폐기물의 육상처리시설 도입에 있어 에너지화 방안이 우선적으로 검토될 것으로 판단된다.

1. 하수슬러지

우리나라 하수처리시설은 대부분 활성슬러지 공법이 사용되고 있다. 활성슬러지 공법은 호기성 미생물의 오염물 산화작용을 이용한 공법으로 1차 침전조에서 생슬러지, 2차 침전조에서 호기성 미생물로 구성된 잉여슬러지가 발생한다. 일반적으로 생슬러지와 잉여슬러지는 하수처리장 내에서 농축, 소화, 탈수의 과정을 거쳐 탈수슬러지 형태로 배출되며, 본 연구는 최종 탈수슬러지를 대상으로 한다.

<표4.1-1>은 슬러지의 종류에 따른 특성 및 고형물 농도를 나타내었다. 고형물 농도를 높여감에 따라 수분함량을 줄여 전체 슬러지 부피를 감소시킬 뿐 아니라 안정화, 무해화를 통해 악취 및 위생상의 문제를 해결할 수 있다.

<표4.1-1> 슬러지 종류에 따른 특성 및 고형물 농도

슬러지 종류	특 성	고형물 농도(%)
생슬러지	회색, 점착성, 악취가 심하다.	4.0 ~ 10.0
잉여슬러지	갈색, 흙냄새가 나며, 단독 또는 생슬러지와 혼합하여 소화가 가능.	0.8 ~ 2.5
혼합슬러지	생슬러지와 잉여슬러지의 혼합. 농축전 분배조에서 혼합시 생성	0.5 ~ 1.5
농축슬러지	생, 잉여, 혼합슬러지를 소화시키기 전 감량시킨 슬러지	2.0 ~ 8.0
소화슬러지	혐기성 또는 호기성 소화 처리해서 농축·분해된 슬러지(대부분 혐기성 소화). 암갈색내지 흑갈색으로 다량의 가스 포함. 소화 후 악취발생이 없고 슬러지가 건조되면 가스는 날아가고 양토화 된다.	2.5 ~ 7.0
탈수슬러지	슬러지의 수분을 감소, 운반과 소각, 최종처분을 용이하게 하기 위함.	20 ~ 40

자료: 환경관리공단, 하수슬러지 처리 및 자원화 방안, 2005

가. 정부의 정책방향 : 하수슬러지관리 종합대책 (환경부, 2007)

1) 개요

하수슬러지 직매립 금지에 따라 대부분 하수처리장에서 비용이 저렴한 해양투기에 의존하게 되자, 환경부에서는 2011년 말까지 하수슬러지 해양배출을 금지하고 육상처리시설을 완비기 위한 대책을 마련하였다. 2006년 7월 하수슬러지 관리 기본계획을 수립하였으며, 이를 기본으로 2007년 5월 하수슬러지관리 종합대책을 수립하였다.

2) 목표

가) 2011년 말까지 하수슬러지처리시설 완비

- 해양배출 : 2006년 71% -> 2011년말 0%
- 재활용 : 2006년 15% -> 2011년말 57%
- 소각 : 2006년 13% -> 2011년말 34%
- 매립 : 2006년 1% -> 2011년말 9%

나) 재활용 활성화를 위한 관련제도 정비

3) 추진방향

가) 감량화 : 소화조 효율향상 및 바이오가스 재활용 촉진

나) 재활용 : 지역특성에 적합한 재활용 방법 채택

- 매립지 인근지역은 고화처리하여 복토재 활용
- 소량발생 및 농촌지역은 퇴비화 추진
- 생활폐기물소각장에 여유가 있는 지자체는 혼합소각
- 시멘트회사 인근지역은 시멘트 원료화 추진

다) 소각 : 재활용이 곤란한 경우 선택

나. 하수슬러지 발생량 및 처리현황

<표4.1-2>의 2006년 기준 전국 하수슬러지 발생량을 살펴보면, 2002년 대비 약 23%가 증가한 2,687,256톤/년으로 꾸준히 증가하는 추세에 있다

. 2006년도 전국 하수슬러지 처리방안은 재활용 12%, 매립 2%, 소각 11%, 해양투기 73%, 기타 2%로 해양투기에 크게 의존하고 있는 상황이지만, 처음으로 해양투기 처분량은 감소하기 시작하였다. 전라북도의 경우 14개시군 20개소의 하수처리장에서 117,420톤/년의 하수슬러지가 발생하여, 전국 발생량의 4.4%를 차지하고 있었다.

<표4.1-2> 전국 하수슬러지 발생 및 처리현황 (2006년 기준)

(단위:톤/년)

지역	하수처리장	발생량 (A)=(B)+(C)	처분량						이월량 (C)
			계(B)	재활용	육상매립	소각	해양투기	기타	
'02	207개소	2,073,095	2,072,972	106,624	254,919	200,338	1,471,472	39,619	123
'03	242개소	2,266,888	2,266,661	152,124	113,419	279,527	1,625,676	95,915	227
'04	268개소	2,426,070	2,426,070	239,085	34,295	283,356	1,869,334		
'05	294개소	2,560,959	2,560,196	122,365	43,740	285,778	1,993,865	114,449	763
전국('06)	344개소	2,687,256	2,686,344	333,657	43,337	307,495	1,957,078	42,542	911
서울특별시	4개소	657,048	657,048	196,899	5,808	105,133	311,178	38,031	-
부산광역시	9개소	177,899	177,899	-	-	12,306	165,593	-	-
대구광역시	6개소	160,962	160,962	1,995	-	-	158,967	-	-
인천광역시	7개소	65,807	65,781	39,337	-	-	26,444	-	26
광주광역시	2개소	89,569	89,569	-	-	-	89,569	-	-
대전광역시	2개소	82,658	82,658	-	-	-	82,658	-	-
울산광역시	6개소	53,618	53,618	-	-	-	53,618	-	-
경기도	82개소	772,450	771,894	31,449	30,692	143,680	566,073	-	557
강원도	23개소	57,222	57,208	7,120	1,067	-	49,021	-	13
충청북도	33개소	77,285	77,235	22,085	-	18,445	36,705	-	50
충청남도	31개소	78,366	78,362	15,794	-	1,546	61,022	-	4
전라북도	20개소	117,420	117,388	814	-	-	116,574	-	32
전라남도	42개소	50,952	50,796	2,238	2,651	6,231	35,165	4,511	156
경상북도	37개소	121,946	121,937	10,093	1,215	7,411	103,218	-	9
경상남도	35개소	110,838	110,832	8,071	1,676	12,743	88,343	-	6
제주도	5개소	13,216	13,157	-	228	-	12,930	-	59

자료: 환경부, 2006 하수도통계, 2007 (전북지역 수정)

시군별 하수슬러지 발생 및 처리현황은 <표4.1-3>와 같다. 시지역에서 발생하는 하수슬러지가 전체 발생량의 95.4%로 대부분이며, 시지역의 하수슬러지는 전량 해양투기로 처리하고 있었다. 군지역의 경우 진안, 장수, 임실, 순창이 퇴비화를 통해 연간 814톤을 재활용하고 있으나, 군지역 하수슬러지 발생량의 84.8%는 해양투기에 의존하고 있었다.

<표4.1-3> 시·군별 하수슬러지 발생 및 처리현황 (2006년 기준)

(단위:톤/년)

지역별	하수처리장명	발생량 (A)=(B)+(C)	처분량						이월량(C)
			계(B)	재활용	육상매립	소각	해양투기	기타	
전라북도	20개소	117,420	117,420	814	-	-	116,574	-	32
시부	9개소	112,056	112,024	-	-	-	112,024	-	32
전주시	전주환경사업소	48,475	48,475	-	-	-	48,475	-	-
군산시	군산하수종말처리장	20,864	20,864	-	-	-	20,864	-	-
익산하수종말처리장	28,815	28,815	-	-	-	28,815	-	-	
	익산시								
함열하수종말처리장	64	64	-	-	-	64	-	-	
정읍시	정읍하수종말처리장	5,632	5,600	-	-	-	5,600	-	32
	남원시	남원하수종말처리장	5,169	5,169	-	-	-	5,169	-
	운봉하수종말처리장	-	-	-	-	-	-	-	-
인월하수종말처리장	-	-	-	-	-	-	-	-	
김제시	김제하수종말처리장	3,037	3,037	-	-	-	3,037	-	-
군부	11개소	5,364	5,364	814	-	-	4,550	-	-
완주군	삼례하수종말처리장	1,527	1,527	-	-	-	1,527	-	-
진안군	진안하수종말처리장	381	381	381	-	-	-	-	-
무주군	무주하수종말처리장	263	263	-	-	-	263	-	-
	장수군	장수하수종말처리장	139	139	139	-	-	-	-
장계하수종말처리장	121	121	121	-	-	-	-	-	-
	임실군	임실하수종말처리장	20	20	20	-	-	-	-
오수하수종말처리장	44	44	44	-	-	-	-	-	
순창군	순창하수종말처리장	109	109	109	-	-	-	-	-
	고창군	고창하수종말처리장	1,406	1,406	-	-	-	1,406	-
아산하수종말처리장	-	-	-	-	-	-	-	-	

자료: 환경부, 2006하수도통계, 2007 (자료수정)

다. 전라북도 시군별 처리계획

각 시군의 슬러지 발생량과 처리계획은 <표4.1-4>와<그림4.1-1>과 같다. 2006년 기준 14개 시군지역에 대한 하수슬러지 발생량은 321.7톤/일이며, 향후 추가처리시설을 고려한 2011년 예상발생량(환경부, 하수슬러지 관리 종합대책, 2007)은 454.7톤/일로 예측되었다. 전주시, 익산시, 고창군의 경우 진행사항은 다음과 같다.

1) 전주시

- 전주시의 경우 2002년 11월 환경부 대상사업으로 확정되었으나, 2004년 12월 진행중인 기본 및 실시설계 용역이 주민민원으로 중지 되었음
- 처리장 주변 주민들과 협의를 진행하고 있으며, 2007년 8월 주민들의 의견 수렴을 위한 하수슬러지 적정 처리방안 토론회를 개최하였음
- 음식물류 폐기물 처리시설과 함께 입지선정을 위한 타당성 조사 용역을 수행 중에 있음 (2008년 3월 현재)

2) 익산시

- 익산시 익산하수처리장내 처리용량 120톤/일의 하수슬러지 처리시설을 계획하고 있음
- 2007년 4월 하수슬러지 처리시설 광역화를 추진하였으나 지자체간 이해관계가 상이하여 무산됨
- 2008년 2월까지 주민의견 수렴결과 반영 및 입찰안내서 작성 예정임
- 2008년 3월 설계·시공 입찰공고 예정임

3) 고창군

- 고창하수종말처리장 내 처리용량 10톤/일의 퇴비화 공법으로 공사중에 있음
- 2007년 8월 기본 및 실시설계를 완료하였으며, 2008년까지 완공예정임

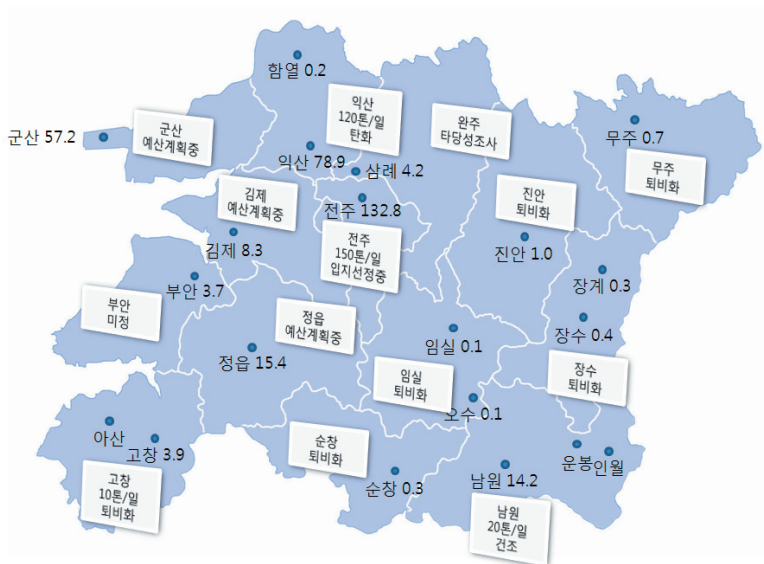
남원시, 완주군의 경우 하수슬러지 처리시설을 위한 사업추진 중이며, 군산시, 정읍시, 김제시는 예산신청 준비 중이다. 무주군의 경우 2007년부터 민간위탁을 통해 재활용하고 있다.

하수슬러지 처리시설은 해양투기 금지에 따라 시급한 현황임에도 불구하고, 사업을 추진하는 도중 주민의 반대로 슬러지 처리시설 위치 및 처리공법의 결정이 지연되고 있었다. 또한, 지역적 이기주의로 광역화 추진에도 어려움이 있는 것으로 조사되었다.

<표4.1-4> 시·군별 하수슬러지 발생 및 처리계획

지역별	2006년 발생량 (톤/일)	2006년 처리현황	2011년 예상 발생량* (톤/일)	처리계획	비고
전주시	132.8	해양투기	135.0	진행중	처리용량 150톤/일, 입지선정중
군산시	57.2	해양투기	90.0	미정	2009년 예산신청계획
익산시	79.1	해양투기	120.5	탄화	처리용량 120톤/일, 터키입찰추진
정읍시	15.4	해양투기	57.0	미정	2009년 예산신청계획
남원시	14.2	해양투기	18.9	건조	처리용량 20톤/일, 건조시설 설치추진
김제시	8.3	해양투기	11.0	미정	2009년 예산신청계획
완주군	4.2	해양투기	6.0	진행중	타당성 조사 및 기본계획 수행중
진안군	1.0	재활용	1.2	퇴비화	재활용 중
무주군	0.7	해양투기	1.2	퇴비화	민간 재활용업체 위탁 (2007년~)
장수군	0.7	재활용	0.9	퇴비화	재활용 중
임실군	0.2	재활용	1.5	퇴비화	재활용 중
순창군	0.3	재활용	0.3	퇴비화	재활용 중
고창군	3.9	해양투기	6.2	퇴비화	처리용량 10톤/일, 공사착수
부안군	3.7	해양투기	5.0	미정	계획수립 필요
합계	321.7		454.7		

*환경부, 하수슬러지 관리 종합대책, 2007



<그림4.1-1> 하수슬러지 발생량 (2006년 기준, 단위 : 톤/일)

2. 음식물류 폐기물

가. 정부의 정책방향 1 : 음식문화개선 및 음식물류 폐기물 종합대책 (2006~2010)

1) 개요

정부에서는 음식물류 폐기물의 감량 및 자원화 추진을 통한 자원순환형 사회 구축을 위해 2005년 11월 국무조정실 주관으로 환경부, 보건복지부, 농림부, 해양수산부 등 10개 부처 합동으로 “음식문화개선 및 음식물류 폐기물 종합대책(2006~2010)”을 수립하였다. 정책의 기본방향은 다음과 같다.

- 가) 환경친화적 생산·유통·소비체계를 확립함으로써 음식물류 폐기물 발생량 감소
- 나) 재활용의 내실화 및 적정처리방안 강구를 통한 “자원순환형”관리체계 확립
- 다) 관계부처 모두가 참여하는 범정부 차원의 대책수립으로 대책의 실효성 제고

2) 목표

- 가) 음식물류폐기물 감량화, 재활용 추진 목표
 - 2006년도 대비, 2010년도 예상 발생량의 5%감량
(2010년 예측발생량 : 13,095톤/일 → 목표발생량 : 12,440톤/일)
 - 2010년도 재활용율 83%로 제고 (2004년 77%)
- 나) 음식물류 폐기물 공공처리 목표
 - 2010년도 공공처리율 60%로 제고 (2004년 29%)

3) 추진방향

- 가) 음식물류 폐기물 발생 및 낭비요인의 사전 예방기능 강화
 - 식품의 생산·유통·소비단계별 환경부하를 최소화하기 위한 예방차원의 환경친화적 생산·유통·소비체계 확립
 - 국민 식생활 개선으로 음식물류폐기물 발생 요인 최소화
- 나) 음식물류폐기물 발생의 최소화 추진전략
 - 농산물 생산·출하 및 판매방법 개선을 통한 농산물쓰레기의 발생 최소화

- 환경친화적인 음식문화 정착을 위한 제도개선 및 국민 실천의식 제고를 통한 소비단계에서의 발생 최소화
- 쓰레기 배출방법 개선 및 감량의무사업장 제도의 개선을 통한 배출단계에서의 최소화

다) 처리시스템의 효율적 구축 및 기반시설 확충

- 분리배출·수거·운반·처리 전 과정에 대한 효율적 연계체계를 구축하고, 배출 및 처리 주체간 협력시스템을 구축
- 처리시설 확충을 위한 재원 확보 및 처리방법의 다양화 추진

라) 추진협력체계 구축 및 효율화

- 정책목표의 달성을 위한 관계부처 합동 대응전략 수립으로 효율적 추진
- 효과적인 정책수립 및 집행을 위하여 정책 부처간 추진협력체계 구축·운영

마) 국민의 참여 확대와 협조체계 강화

- 국민적인 공감대를 바탕으로 강력한 정책추진이 될 수 있도록 대국민 홍보기능의 강화 및 민간단체와 협력체계의 유지

4) 세부추진과제

각 부처별 세부추진과제 현황은 <표4.2-1>과 같다. (2007년 6월 기준)

<표4.2-1> 부처별 세부추진과제 현황

구분	주요 과제명	세부추진 과제수	추진중 과제수	완료 과제수
계		98	78	20
국무조정실	정책협의체 구성·운영	1	1	-
농림부	농산물 표준규격 공동출하사업 확대 등	12	11	1
보건복지부	음식문화 개선 및 「좋은 식단」 사업과의 협조강화 추진 등	24	18	6
교육인적자원부	식습관 개선 및 음식물류폐기물 줄이기 감량화를 위한 학교교육 강화 등	12	9	3
행정자치부 (지자체)	사회교육을 통한 음식문화개선 및 감량화 등	4	4	-
해양수산부	수산물 규격출하사업 확대 등	6	5	1
국방부	군부대 급식개선을 통한 음식물류 폐기물 발생저감 추진 등	7	6	1
여성부	유아대상 표준교육 프로그램개발 보급	1	1	-
국정홍보처	음식문화 개선등에 대한 국민의식조사	1	1	-
환경부	음식물류 폐기물 처리기술개발 등	30	22	8

자료: 음식물문화개선 및 음식물류폐기물 종합대책(2006~2010) 과제별 추진실적 및 2007년 계획(안), (2007.6)

나. 정부의 정책방향 II : 음식물류 폐기물 처리시설 발생폐수 육상처리 및 에너지화 종합대책 (2008~2012)

1) 개요

음식물류 폐기물의 재활용율은 증가하고 있지만, 재활용의 90% 이상이 사료화·퇴비화 에 의존하고 있는 실정이다. 퇴비화·사료화를 위해서는 염분제거가 필요하며, 이 과정에서 세척수와 음식물 침출수가 음폐수(음식물류 폐기물 처리시설 발생폐수)로 발생된다. 이러한 음폐수의 발생이 증가함에 따라 육상처리로 전환, 에너지화 함으로써 대체연료 생산 및 오염원을 저감하고자 환경부에서는 “음식물류 폐기물 처리시설 발생폐수 육상처리 및 에너지화 종합대책(2008~2012)”을 수립하였다.

2) 목표

- 가) 해양배출 음폐수의 에너지화 등을 통해 향후 5년내 육상처리 전환
- 나) 음폐수 및 음식물류 폐기물의 에너지 자원화를 위한 인프라 구축 및 생산된 에너지의 수요처 확보

3) 추진방안

- 가) 음폐수의 연도별 해역배출량을 제한, 단계적인 육상처리 전환
- 나) 음식물류 폐기물 줄이기 홍보, 공정개선을 통한 처리대상량 감축
- 다) 지역별 음식물 쓰레기 성상 및 음폐수 발생 특성을 고려한 육상처리 추진방안 마련
 - 공공하수처리시설 등 환경기초시설의 보완 개선을 통한 병합처리 추진
 - 시범사업을 거쳐 지역별 공공 및 민간 음폐수 자원화시설 확충 등
- 라) 신설되는 음식물류 폐기물 공공처리시설은 바이오가스 연료화시설로 설치토록 유도 (국고보조시 우선 지원)

다. 음식물류 폐기물 발생량 및 처리현황

<표4.2-2>는 우리나라 음식물류 폐기물 발생현황을 보여준다. 1998년 이후 조금씩 감소하던 음식물류 쓰레기 배출현황은 2005년 1월 이후 음식물류 폐기물의 직매립 금지와 함께 음식물 분리수거가 본격화됨에 따라 증가하는 경향을 보였다. 환경부에서는 앞으로 음식소비 증가 및 분리수거의 확장 시행에 따라 음식물류 폐기물의 발생은 증가할 것으로 전망하고 있다. 전라북도는 2006년 기준 562톤/일의 음식물류 폐기물이 발생하였다. 그러나 전국대비 발생 비율은 1998년 3.1%에서 2006년 4.1%로 증가하였는데, 이는 군단위의 음식물 분리수거 확장 시행에 따라 발생량이 증가한 것으로 분석된다.

<표4.2-2>음식물류 폐기물 발생 현황 추이

단위(톤/일)

발생량(톤/일)	'98	'99	00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'12 (추정*)
전국발생량	11,789	11,577	11,434	11,237	11,397	11,398	11,424	12,977	13,547	13,681
증가율(%)	-9.8	-1.9	-1.2	-1.7	1.4	0.0	0.2	13.2	4.4	-
전라북도	371	412	395	391	402	454	415	520	562	616**
전국대비(%)	3.1	3.6	3.5	3.5	3.5	4.0	3.6	4.0	4.1	4.5

자료: 국립환경과학원, 전국폐기물 발생 및 처리현황, 각년도

*환경부, 음식물류 폐기물 처리시설 발생폐수 육상처리 및 에너지화 종합대책, 2007

**전라북도 환경정책과 자료

<표4.2-3>는 최근 5년간 전라북도 음식물류 폐기물 발생량과 2012년 발생 예측량을 보여준다. 2007년 기준 약 550톤/일의 음식물류 폐기물이 수거되고 있으며, 시부에서 88.4%가 발생하는 것으로 집계되었다. 전주, 군산, 익산이 전체발생량의 74%이며, 이를 제외한 11개 시군의 경우 각각 30톤/일 미만으로 나타났다. 음식물류 폐기물 발생량은 2012년 616.3톤/일로 2007년 대비 11% 증가할 것으로 예측되었다.

<표4.2-3> 전라북도 음식물류 폐기물 발생량 (2007년 기준)

(단위:톤/일)

구 분	'03	'04	'05	'06	'07	'12예상
전라북도	454.2	415.1	520.2	561.6	550.4	616.3
시부	404.4	357.1	464.2	489.6	486.3	545.5
전주시	146.0	123.4	222.8	229.2	220.0	231.0
군산시	72.7	62.1	80.3	82.9	86.1	103.8
익산시	95.0	76.3	76.6	98.8	100.4	120.0
정읍시	33.4	40.3	32.9	30.5	29.8	35.2
남원시	24.0	21.0	20.1	20.4	22.0	25.0
김제시	33.3	34.0	31.5	27.8	28.0	30.5
군부	49.8	58.0	56.0	72.0	64.1	70.8
완주군	5.6	15.1	13.2	27.4	15.7	15.0
진안군	4.0	4.1	4.2	4.1	3.7	4.5
무주군	2.7	5.3	5.3	3.2	3.3	3.0
장수군	3.5	4.0	4.0	4.0	5.3	3.4
임실군	8.0	4.3	5.6	1.8	3.1	8.0
순창군	3.0	3.0	3.0	2.2	5.0	6.9
고창군	10.5	11.2	11.7	13.0	14.2	14.1
부안군	12.5	11.0	9.0	16.3	13.8	15.9

자료 : 전라북도 환경정책과 자료수정

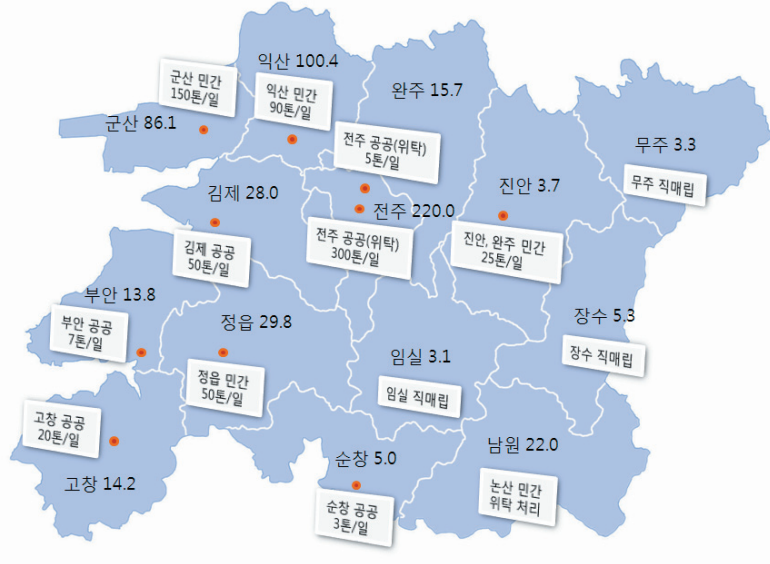
전라북도 음식물류 폐기물 처리시설을 <표4.2-4>에 정리하였으며, <그림4.2-1>은 전라북도 음식물류 폐기물 발생량과 처리시설 현황을 나타내었다. 공공처리시설은 6개소, 민간처리시설은 4개소로 총 10개의 처리시설이 운영되고 있으며, 진안의 사료화설비를 제외하면, 모두 퇴비화 시설이며, 생산된 재활용 제품에 대해 자가사용 또는 무상공급으로 처리되고 있었다. 음폐수 처리는 전라북도 전체 발생량의 25%를 해양투기에 의존하는 것으로 조사되었다. 해양배출로 음폐수를 처리하는 곳은 김제, 익산, 정읍, 진안으로 총량은 110m³/일이었다.

전주 음식물 처리시설(300톤/일)의 경우 위탁기간이 2012년 5월 14일자로 종료됨에 따라 신규 공공처리시설을 위한 타당성 조사 및 기본계획 용역을 수행중에 있다. 익산시는 시설용량 150톤/일의 민간처리시설을 준비중이며 음폐수처리에 대한 구체적인 대처방안이 필요할 것으로 판단된다. 남원시는 충남 논산의 민간업체로, 완주군은 진안군 처리시설로 위탁처리를 하고 있는 실정이며, 무주, 장수, 임실은 직매립하여 처리하고 있다.

<표4.2-4> 음식물류 폐기물 처리시설 현황 (2007년 기준)

구분	시·군	명칭	설치일	시설종류	시설용량 (톤/일)	운영형태	음폐수처리(㎥/일)				제품생산	
							계(100)	육상(%)	해양(%)	연계처리	생산(톤/일)	처리
계		10					462.5 (100)	352.5 (75)	110 (25)			
지방	소계	6					254.2 (100)	224.5 (88)	30 (12)			
	전주	대물원산	2002.04	감량 퇴비	300	위탁	200 (100)	200 (100)		하수	24	퇴비공장 무상공급
	전주	농수산물 도매시장	2002.04	감량 퇴비	5	위탁	4 (100)	4 (100)		하수	0.5	농가 무상
	김제	김제시 퇴비화시설	2002.12	퇴비	50	직영	30 (100)		30 (100)	해양배출	3.4	농가 무상
	순창	순창군 퇴비화시설	2001.11	퇴비	3	직영	2.5 (100)	2.5 (100)		침출수	0.6	농가 무상
	부안	부안군 퇴비화시설	2000.12	감량 퇴비	7	직영	10 (100)	10 (100)		침출수	0.3	농가 무상
	고창	고창군 퇴비화시설	2007.04	퇴비	20	직영	8 (100)	8 (100)		하수	2.0	농가 무상
민간	소계	4					208 (100)	128 (62)	80 (38)			
	군산	(주)금호환 경	2006.08	퇴비	150	민간	80 (100)	80 (100)		하수	12	농가 무상
	익산	(주)푸른환경 익산지점	2001.08	퇴비	90	민간	80 (100)	40 (50)	40 (50)	해양배출 하수병행	35	농가 무상
	정읍	정읍남은음식 물자원회(주)	2005.03	퇴비	50	민간	28 (100)	8 (28)	20 (72)	해양배출 침출수병행	3	농가 무상
	진안	이삭	2000.10	사료	85	민간	20 (100)		20 (100)	해양배출	9	자가 사용
기타	남원	충남 논산 중부자원에 위탁처리										
	완주	진안 처리시설로 위탁										
	무주	매립장 직매립										
	장수	매립장 직매립										
	임실	매립장 직매립										

자료 : 전라북도 환경정책과 자료수정



<그림 4.2-1> 음식물류 폐기물 발생 및 처리현황 (2007년 기준, 단위 : 톤/일)

3. 축산폐수

가. 정부의 정책방향 : 가축분뇨 관리·이용대책 (농림부·환경부, 2004)

1) 개요

가축분뇨의 처리 및 자원화를 위해 농림부는 개별농가를 지원하였고, 환경부는 공공처리에 중점을 두고 추진을 하였으나, 부처간의 연계부족 환경상의 문제가 제기되어 농림부와 환경부가 합동하여 2004년 11월 가축분뇨 관리·이용대책을 수립하였다.

2) 목표

- 가축분뇨 이용확대로 자원순환형 친환경축산 기반 구축
- 가축분뇨 적정처리로 하천수질을 I ~ II급수로 개선

3) 기본방향

- 가축사육 단계에서 분뇨 발생을 최소화
- 발생한 가축분뇨는 최대한 퇴·액비로 자원화하되, 잔여량은 적정하게 정화처리
- 자원화된 비료의 유통·공급체계 확립 및 퇴·액비로 생산된 농산물 판매 확대

4) 추진원칙

- 개별농가 지원 및 공공처리시설 정상화 등 양부처가 추진해 오고 있는 기존 대책을 합리적으로 개선
- 사후관리 중심에서 양분총량제 및 사육두수총량제, 사육제한 확대 등 오염사 전예방원칙의 도입
- 가축분뇨 퇴·액비 유통·이용 확대, 친환경농산물 진흥 등 최종 수요자인 경종(耕種)농업 부문과 연계 강화
- 대책의 차질없는 이행을 위해 양부처 합동으로 지속 관리

나. 축산폐수 발생량 및 처리현황

축산농가의 관리는 사육시설 규모에 따라 허가·신고·신고미만으로 분류된다. 축산폐수배출시설 허가 및 신고대상시설의 규모는<표4.3-1>과 같다. 허가 및 신고농가는 축산폐수 처리시설을 설치하고 운영해야하는 의무가 있으나, 신고미만의 경우 처리의무를 부여하지 않고 있다. 다만, 신고미만 및 신고대상 배출시설로서 공공처리시설로 유입하여 처리하는 것이 불가피하다고 시장·군수·구청장이 인정하는 경우 공공처리시설에서 처리가 가능하다.

<표4.3-1> 축산폐수배출시설 허가 및 신고대상시설 규모

구분	허가대상	신고대상
돼지사육시설	면적 1,000㎡ 이상, 다만 수질보전특별대책지역 등에서는 면적 500㎡이상으로 한다	면적 50㎡이상 1,000㎡미만, 수질보전특별대책지역 등에서는 면적 50㎡이상 500㎡미만으로 한다.
소(젓소제외) 사육시설	면적 900㎡이상, 다만 수질보전특별대책지역 등에서는 면적 450㎡이상으로 한다	면적 100㎡ 이상 900㎡미만, 다만, 수질보전특별대책지역 등에서는 면적 100㎡ 이상 450㎡미만으로 한다.
젓소사육시설	축사면적 900㎡이상 또는 운동장 면적 2,700㎡이상. 다만, 수질보전특별대책지역 등에서는 축사면적 450㎡이상 또는 운동장 면적 1,350㎡이상으로 한다.	축사면적 100㎡이상 900㎡미만 또는 운동장 면적 300㎡이상 2700㎡미만, 다만, 수질보전특별대책지역에서는 축사면적 100㎡ 이상 450㎡미만 또는 운동장 면적 300㎡이상 1,350㎡미만으로 한다.
말사육시설	면적 900㎡이상. 다만, 수질보전특별대책지역 등에서는 면적 450㎡이상으로 한다.	면적 100㎡이상 900㎡미만, 다만, 수질보전특별대책지역 등에서는 면적 100㎡이상 450㎡미만으로 한다
닭·오리·양 사육시설		면적 150㎡이상
사슴사육시설		면적 500㎡이상

자료: 환경부, 2007환경통계연감, 2007

<표4.3-2>에는 2004년 기준 전국 축산폐수 발생량을 나타내었다. 2004년 기준 우리나라는 전국적으로 130,746m³/일의 축산폐수가 발생하고 있으며, 전라북도는 14,265 m³/일로 전국대비 약 11%의 발생량을 보이고 있었다. 허가대상 및 신고대상 농가수는 전국대비 17%로 각각 1,852호와 6,901호로 조사되었다.

<표 4.3-2> 전국 축산폐수 발생현황 (2004년 기준)

구 분	허가대상 농가수	신고대상 농가수	발생량
2004	10,744	40,537	130,746
서 울	-	-	-
부 산	6	120	304
대 구	47	286	705
인 천	56	657	934
광 주	13	112	195
대 전	2	76	92
울 산	73	536	852
경 기	2,169	6,293	29,974
강 원	643	2,941	7,7049
총 북	540	2,312	7,049
총 남	1,267	5,023	20,974
전 북	1,852	6,901	14,265
전 남	996	4,768	14,879
경 북	1,356	6,474	16,687
경 남	1,414	3,789	13,462
제 주	310	259	3,593

자료 : 환경부, 2007환경통계연감, 2007

<표4.3-3>의 전라북도 축산농가 및 사육두수현황에서 전라북도 축산농가는 2006년 12월 기준으로 22,383호이며 허가대상, 신고대상, 신고미만이 각각 7.2%, 27.1%, 65.7%로 집계되었다. 관리대상 가축인 돼지, 소(젓소), 말, 양, 사슴, 닭, 오리의 사육두수는 약 23백만 두수로 허가대상, 신고대상, 신고미만이 각각 3.4%, 79.8%, 16.8%로 신고대상 농가에서 가장 많은 두수가 사육되는 것으로 조사되었다.

그러나, 신고대상 사육두수의 97%가 축산폐수 발생에 큰 영향이 없는 닭과 오리
를 사육하고 있는 반면, 축산폐수 발생에 직접적인 영향을 미치는 젓소, 소, 말, 돼지
의 경우 전체 16,344호에서 총 1,465천 두수를 사육하며, 허가대상이 이들 사육두수의
55.5%를 차지하고 있었다.

<표4.3-3> 전라북도 축산농가 및 사육두수현황 (2006년 12월 기준)

지역	합계		허가대상		신고대상		신고미만	
	농가수	마리수	농가수	마리수	농가수	마리수	농가수	마리수
전라북도	22,383 (16,344)	23,693,657 (1,465,217)	1,610 (1,610)	813,452 (813,452)	6,062 (5,052)	18,906,498 (578,659)	14,711 (9,682)	3,973,707 (73,106)
전주시	226	153,675	2	3,542	10	52,462	214	97,671
군산시	326	414,500	31	38,789	98	362,705	197	13,006
익산시	2,524	2,484,751	102	65,964	931	1,727,683	1,491	691,104
정읍시	4,052	4,504,235	276	206,240	981	4,266,156	2,795	31,839
남원시	681	3,561,632	151	62,390	481	3,499,094	49	148
김제시	1,593	3,505,430	158	129,955	879	3,369,992	556	5,483
완주군	974	582,200	153	61,360	431	497,699	390	23,141
진안군	1,942	1,754,765	35	36,113	167	1,195,072	1,740	523,580
무주군	252	13,150	51	12,784	190	77	11	289
장수군	2,286	208,209	110	46,701	486	145,799	1,690	15,709
임실군	2,030	1,968,910	222	73,349	329	822,499	1,479	1,073,062
순창군	1,900	1,872,769	114	28,374	338	1,205,743	1,448	638,652
고창군	1,528	1,388,112	132	30,621	370	1,350,258	1,026	7,233
부안군	2,069	1,281,319	73	17,270	371	411,259	1,625	852,790

자료: 전라북도 수질보전과, (): 젓소, 소, 말, 돼지의 합

<표4.3-4>에서는 젓소, 소·말, 돼지를 중심으로 원단위를 사용하여 전라북도 축
산폐수 발생현황을 산정하였다. 2006년말 기준 전라북도의 축산폐수 발생량은 총
15,600m³/일로 허가대상에서 전체 54.4%가 발생하였다. 시군별 통계에 따르면, 정읍이
3,288m³/일로 가장 많은 발생량을 보이고, 익산, 김제, 남원 순으로 발생량이 많았다.

<표4.3-4> 전라북도 축산폐수 발생현황 (2006년 12월 기준)

단위 m³/일

지역	합계	허가대상				신고대상				신고미만			
		계	젖소	소·말	돼지	계	젖소	소·말	돼지	계	젖소	소·말	돼지
전라북도	15,600	8,494	1,290	1,103	6,101	6,187	665	1,633	3,889	919	107	495	317
전주시	63	31	-	1	30	13	2	3	8	19	5	5	9
군산시	496	344	9	9	326	132	39	20	73	20	3	16	1
익산시	2,663	657	71	79	507	1,738	31	154	1,553	268	-	53	215
정읍시	3,288	2,082	259	239	1,584	1,096	155	399	542	110	2	107	1
남원시	1,066	712	159	113	440	352	60	91	201	2	-	2	-
김제시	2,620	1,233	71	140	1,022	1,331	16	314	1,002	55	-	19	36
완주군	950	597	33	104	460	328	32	135	161	25	3	21	1
진안군	527	335	23	15	297	90	13	31	46	102	6	46	50
무주군	264	125	4	29	92	135	9	36	90	4	-	4	-
장수군	630	457	5	125	327	135	3	111	21	38	-	34	4
임실군	1,005	833	209	79	545	154	71	43	40	18	-	18	-
순창군	485	309	28	103	178	158	25	97	36	18	-	18	-
고창군	1,044	612	398	63	151	349	194	70	85	83	20	63	-
부안군	499	167	21	4	142	175	15	129	31	157	68	89	-

산출근거(원단위): 젖소 = 45.6L/두/일, 소·말 = 14.6L/두/일, 돼지 = 8.6L/두/일 (환경부고시 제1999-109호, 1999.7)

<표4.3-5>의 축산폐수 처리방법별 분류에 따르면 자가처리가 78.7%, 위탁처리 21.3%이며, 공공처리시설을 통해 전체발생량의 9.6%, 해양투기를 통한 처리는 6.5%로 조사되었다. 해양투기 축산폐수는 전량 돈사에서 발생하였으며, 퇴비화를 통한 처리방법이 68.2%로 가장 많았다. 시군별 해양투기 축산폐수는 김제, 완주가 300톤/일 이상으로 가장 많았으며 정읍, 임실, 익산, 군산이 각각 약 180, 120, 90, 70톤/일의 발생량을 보였다. 남원, 고창, 장수, 부안은 20톤/일 미만이며, 전주, 진안, 무주, 순창은 해양투기 축산폐수 배출량이 없는 것으로 조사되었다.

<표4.3-5> 전라북도 축종별 축산폐수 처리현황

축종	합계 (%)	자가처리(%)				위탁처리(%)			
		계	정화처리	퇴비화	액비화	계	공공처리	해양배출	재활용업자
합계	100.0	78.7	1.3	68.2	9.2	21.3	9.6	6.5	5.2
돼지	100.0	65.3	2.3	48.6	14.4	34.7	17.4	11.8	5.5
한우	100.0	96.2	-	92.7	3.4	3.8	-	-	3.8
젓소	100.0	99.6	-	99.6	-	0.4	-	-	0.4
말	100.0	100.0	-	100.0	-	-	-	-	-
사슴	100.0	100.0	-	100.0	-	-	-	-	-
양	100.0	100.0	-	100.0	-	-	-	-	-
닭·오리	100.0	88.5	-	83.8	4.7	11.5	-	-	11.5
개	100.0	100.0	-	100.0	-	-	-	-	-

자료: 전라북도 수질보전과 (2007년말 기준)

축산폐수 공공처리시설 현황은 <표4.3-6>와 같이, 2006년 12월 기준으로 총10개의 처리시설이 운영중에 있다. 축산폐수처리시설이 없는 시군으로는 전주, 군산, 남원으로 조사되었다.

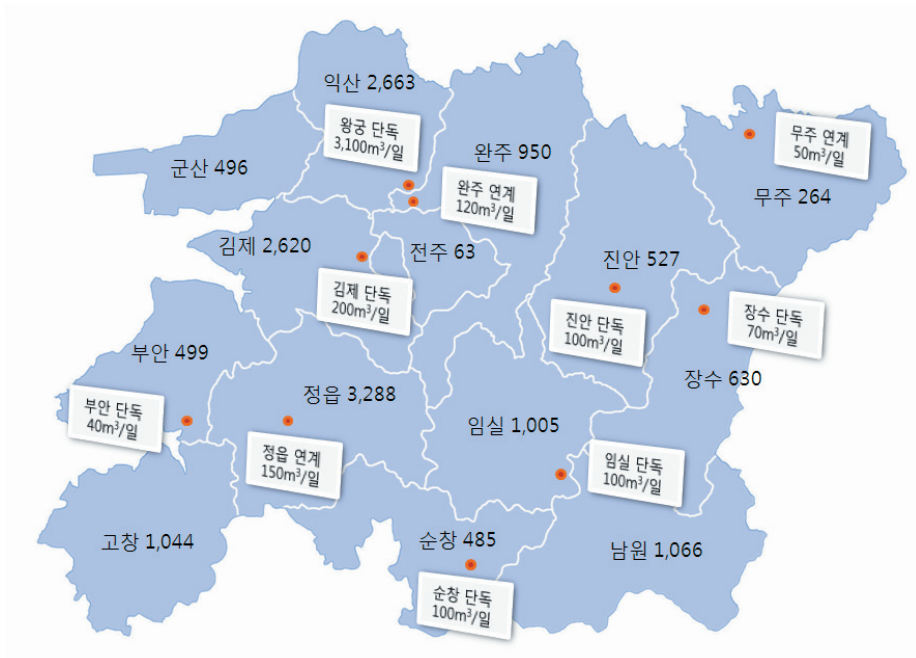
<표4.3-6> 전라북도 축산폐수 공공처리시설 현황 (2006년 12월 기준)

처리장 명	소재지	시설용량 (m ³ /일)	처리방법	최초준공일 (증설·보강공사)	질소·인·처리 시설 설치여부	비 고
10개소		4,030	하수연계5 분뇨병합6		7개소 설치	
익산	왕궁면 온수리 320	3,100	생물학적 처리	'99. 1. 4 (보강추진 중)	추진중	
정읍	영파동 426-1	150	하수연계 (액상부식)	'99. 10. 31 (2000. 2. 17), (2004. 4. 7)	설 치	민간위탁 (분뇨병합)
김제	웅지면 용암리 14	200	액상부식	'98. 12. 27 (2000.12.23)	설 치	민간위탁
원주	삼례읍 후정리 150	120	하수연계 (액상부식)	'99. 3. 30	연계처리	(분뇨병합)
진안	진안읍 정곡리 278	100	액상부식	'98. 1. 20 (2000.4.23)	설 치	
무주	무주읍 당산리 1642-1	50	하수연계 (BCS)	2006. 1. 1	연계처리	
장수	장계면 금곡리 산15	70	B3공법	2000. 5. 28	설 치	(분뇨병합)
임실	오수면 용정리 368	100	하수연계 (KHFS)	'96. 9. 25 (2000.1.13)	설 치	(분뇨병합)
순창	유등면 창신리 538	100	하수연계 (액상부식)	'99. 12. 31	설 치	민간위탁 (분뇨병합)
부안	계화면 창북리 1451	40	액상부식 (분뇨병합)	2005.12. 28 (2007. 1)	설 치	민간위탁 (분뇨병합)

자료: 전라북도 수질보전과

<그림4.3-1>은 축산폐수 발생량 및 공공처리시설 현황을 보여준다.'신고미만의 경우 수거가 어렵고 대부분이 농업과 연계한 부업형태로 이루어져 있어 자체처리가 일반적인 현실이며, 허가대상의 경우 자체처리시설을 설치해야하므로 신고대상의 일부가 공공처리시설 대상이 될 수 있다. 또한, 해양투기 축산폐수를 대상으로 신규 공공처리 시설이 필요하다.

익산 왕궁의 경우 공공처리시설에 하수와 축산폐수가 동시에 유입(3,100m³/일)되고 있으며, 보강공사 추진시 축산폐수만(700m³/일)을 처리하기 위한 계획이 진행 중이다. 김제는 60m³/일 규모 증설을 추진 중이며, 장수군, 임실군도 개선공사를 계획 중이다. 고창은 100m³/일 규모의 처리시설을 신설할 계획에 있다. 무주, 정읍, 고창의 경우 축산폐수를 이용한 50m³/일 규모의 열병합 발전시설을 신재생에너지 시범사업으로 진행 중에 있다.



<그림 4.3-1> 전라북도 축산폐수 발생량 및 처리시설 (2006년 12월 기준, 단위 : m³/일)

제 5 장

JDI

유기성폐기물 처리기술

1. 하수슬러지
2. 음식물류 폐기물
3. 축산폐수
4. 바이오에너지 회수공정
5. 바이오에너지 활용기술

제 5 장 유기성폐기물 처리기술

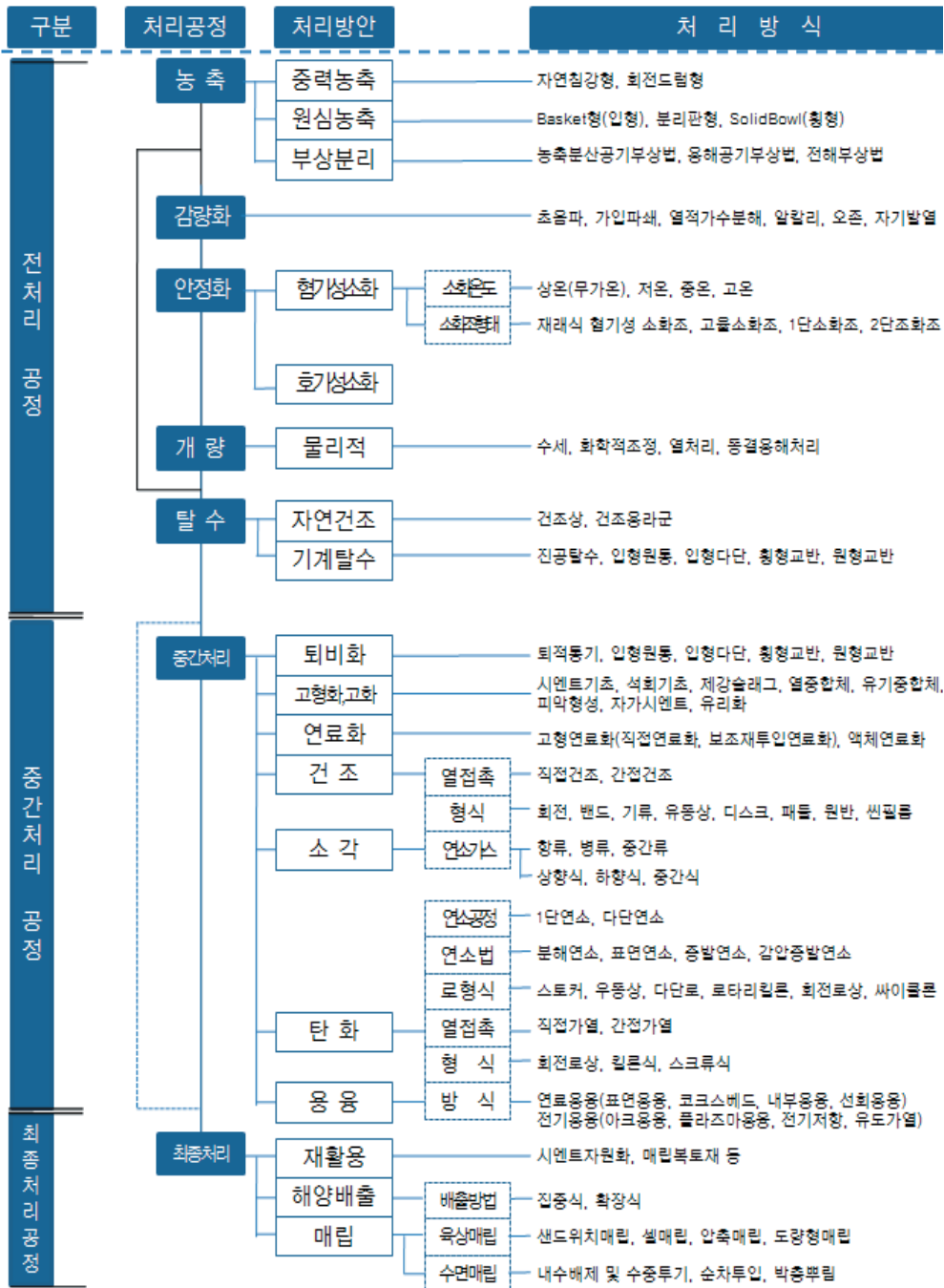
1. 하수슬러지

하수슬러지 처리·처분 방법은 크게 전처리단계, 중간처리단계, 최종처리단계로 구분할 수 있다. <그림5.1-1>은 하수슬러지 처리방법을 분류한 것이다. 전처리단계는 기존 하수처리장 내에서 이루어지는 단계로 농축, 안정화, 개량, 탈수와 같이 감량화를 주목적으로 한다. 중간처리는 탈수슬러지를 재이용 또는 최종처리하기 위한 것으로 퇴비, 고화, 연료화, 건조, 소각, 탄화, 용융 등이 이에 속하며, 최종처리는 전처리 또는 중간처리에서 발생된 처리부산물을 매립 또는 재이용하는 것이다. 하수슬러지 처리기술 부분은 “대구광역시 하수슬러지 처리시설 건설사업 타당성조사 및 기본계획 보고서(2006)”를 참고하였다.

가. 전처리

1) 슬러지 감량화

전통적인 슬러지 감량화는 침전조에서 인발된 슬러지가 농축조에서 농축되고 혐기성 소화조에서 안정화되거나 물리적인 개량 후 탈수되는 과정을 통해 이루어진다. 그러나, 2차 침전조에서 발생하는 잉여슬러지를 혐기성 소화시킬 경우 호기성 미생물의 세포벽의 분해가 어려워 혐기성 소화효율 및 탈수성이 낮아지는 문제를 유발한다. 이러한 경우 잉여슬러지를 전처리하여 혐기성 소화를 쉽게 하는 가용화 기술들을 통해 소화효율 및 슬러지 감량율을 증진시킬 수 있다. 가용화를 이용한 감량화 기술을 <표5.1-1>에 나타내었다. 또한, 슬러지 감량화를 위해 가용화된 슬러지를 생물반응조에 반응시켜 잉여슬러지 발생 자체를 원천적으로 저감하는 기술(생물학적 감량화)도 개발이 되었다.



<그림5.1-1> 하수슬러지 처리방법의 분류

<표5.1-1> 슬러지 감량화 기술의 분류

처리기술	처리 방법
생물학적 감량화 방법	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 고온 혐기성 세균을 이용한 방법 ◦ 소화균을 이용하는 방법
화학적 감량화 방법	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 오존을 이용한 처리방법 ◦ 알칼리 약품처리법
물리적 감량화 방법	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Cavitation 파쇄법 ◦ 초임계수를 이용한 방법 ◦ Mill 파쇄법 ◦ 초음파를 이용한 처리방법
복합 감량화 방법	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 알칼리 처리 + 기계적 파쇄 ◦ 알칼리 처리 + 오존 ◦ 알칼리 처리 + 가압 파쇄 ◦ 알칼리 처리 + 초음파

자료: 대구광역시, 하수슬러지 처리시설 건설사업 타당성 조사 및 기본계획 보고서, 2006

2) 소화조 개선

환경부에서는 2005년 슬러지 감량을 증진과 바이오 가스 활용 증대를 위해 “하수처리장 소화조 효율 개선사업-부생가스를 이용한 에너지 이용 효율 확대 3개년(2005~2007)계획”을 추진하였다. 소화조 개선은 기존 운영중인 소화조의 문제점을 파악하고 그 문제를 해결함으로써 소화효율 증진을 통해 슬러지를 감량화 하는 방안이다. 혐기성 소화조 개선을 위한 중점고려 사항은 다음과 같다.

가) 소화조 혼합

혐기성 소화의 혼합 방식은 액체순환, 기계순환, 가스교반법이 있으나, 일반적으로 소화조 구조상 시공 및 운영이 용이한 가스교반법이 많이 쓰인다. 혼합의 증진을 통해 얻을 수 있는 효과는 다음과 같다.

- 감량 대상 슬러지와 혐기성 미생물의 접촉을 증진하여 생물반응을 증가
- 열전달을 일정하게 하여 온도차를 최소화
- 소화조내 완충작용을 도와 pH 조절이 가능
- 미생물 부산물 혹은 독성 물질의 회석효과
- 소화조 상부의 스킴발생을 억제하여 가스발생 촉진
- 밀도가 큰 무기고형물질(모래 등)의 침전을 최소화

나) 소화조 가온

혐기성 미생물이 온도에 따라 활성에 큰 영향을 받으므로 중온(35℃) 또는 고온(55℃)을 일정하게 유지하여 미생물 활성을 최대로 유지하여야 한다.

다) 소화조 준설

소화조 내부에 모래와 같은 무기고형물질이 축적될 경우 충분한 체류시간을 유지할 수 없어 혐기성 소화 효율이 떨어진다. 소화조 준설은 소화조 내부에 축적된 무기고형물질을 제거하여 미생물 반응시간을 충분히 확보해 주는 방법이다.

혐기성 미생물은 호기성 미생물에 비해 외부조건에 민감한 특성이 있는데, 혐기성 소화 운영 지표로는 온도, pH, 휘발성 유기산의 농도, 알칼리도, 가스 중 이산화탄소 조성 등이 있다. 혐기성 소화조 운영시 운영지표를 항상 모니터링 할 필요가 있으며, 이상시에는 즉각적인 조치가 필요하다.

나. 중간처리

1) 퇴비화

가) 개요

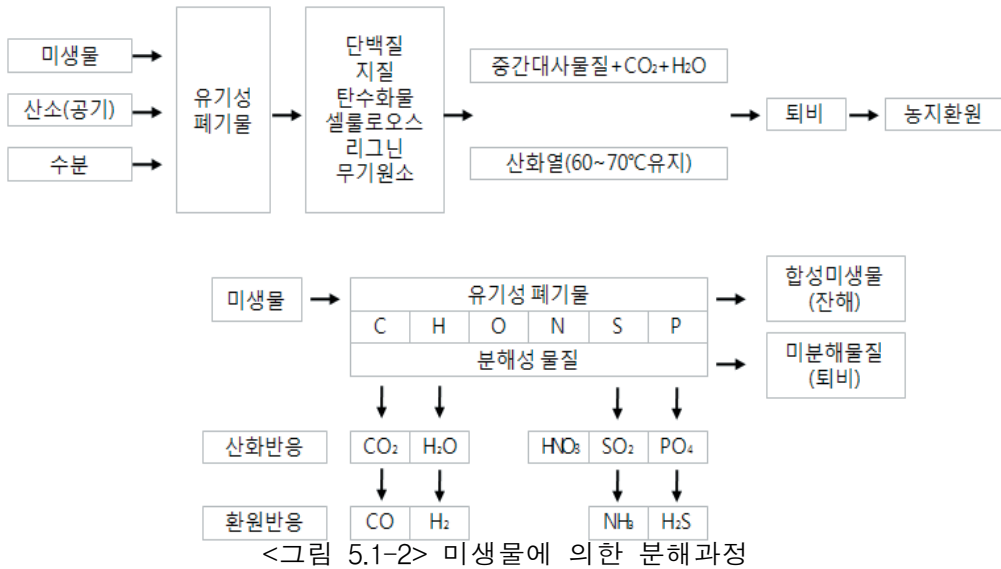
퇴비화중 하수슬러지 퇴비화란 하수슬러지 중 분해가 쉬운 유기물을 특정 조건 하에서 토양미생물에 의해 분해시켜 녹농지로 이용가능한 형태로 안정화시키는 과정을 말한다. 퇴비화는 크게 나누면 혐기법과 호기법이 있다. 그러나 혐기성 처리는 퇴비화 속도가 늦기 때문에 공업적인 퇴비화 플랜트에서는 대부분 호기성처리가 사용되고 있다.

나) 퇴비화의 물리·화학적 요소

- 탄질소비 : 최적의 C/N비는 20~35
- 공기 : 호기성 퇴비화 미생물이 요구하는 임계산소량은 5%
- pH : 퇴비화 미생물의 최적생육 pH는 5.5~8.5
- 온도 : 탄소분해율이 좋은 온도는 60℃
- 입도 : 입도가 너무 큰 것보다 작은 것이 유리하나 통기성을 고려하여 적당해야함
- 함수율 : 최적 퇴비화 더미를 조성할 경우 습도는 50~60%

다) 퇴비화반응의 최종 생성물

미생물에 의한 분해반응기구는 <그림 5.1-2>와 같다.



- 최종생성물: 퇴비화의 최종생성물은 휴믹산 같은 부식질, 미생물군과 그 유해로 생각되며 미숙한 퇴비에는 분해가 느린 셀룰로오스, 리그닌도 포함된다.

라) 퇴비화 방식

주로 이용되는 방식은 공기공급채널 위에 통기제를 혼합한 슬러지를 두꺼럼 쌓은 다음 공급 공기량, 과도한 온도상승 등을 기계적으로 관리하는 자연퇴적(Windrow)방식 퇴비화, 퇴비단(Composting Pad) 위에 통기제를 혼합한 슬러지를 쌓아 퇴비화시키는 고정 통풍식(Aerated Static Pile) 퇴비화, 용기내에 통기제를 혼합한 슬러지를 투입하여 퇴비화시키는 통기형(Vessel System) 퇴비화의 3가지 방식이 있다.

근래에는 용도와 소비자의 기호에 맞는 품질을 생산하기 위한 다양한 발효 방법들이 개발되었으며 기본적으로 퇴비화는 전처리공정, 발효공정(1차, 2차 발효), 후처리공정(가공, 저장 등)의 3단계 공정을 따른다.

2) 고형화, 고화

가) 개요

고형화는 원래 방사성폐기물을 처리하는데 사용되어 왔으며 주요한 목적은 쉽게 운반할 수 있고 오랫동안 저장하기 위한 적당한 고형물을 만드는데 있다. 이러한 물질은 오염물 노출의 가능성을 감소시키고 쉽게 분해되지 않으며 값이 싸고 쉽게 생산되어야 한다. 슬러지의 고화란 탈수케익 혹은 슬러지에 고화제를 첨가하여 슬러지의 물리·화학적 성상을 개선하고 최종처분 시 작업능률의 촉진, 중금속류 등 유해물질의 무해화, 안정화를 도모하는 방법이다.

나) 목적과 방법

- 최종처분을 위한 유해슬러지 고형화/안정화의 목적
 - 폐기물을 용이하게 다루기 위함
 - 오염물질의 손실과 전달이 발생할 수 있는 표면적의 감소
 - 폐기물 내 어떠한 오염물질의 용존성(용해도)감소
 - 폐기물의 독성 감소
- 고형화/안정화의 방법
 - 시멘트 기초법 : 포틀랜드 시멘트와 석회, 점토 그리고 실리카 혼합물을 함께 혼합하여 하나의 단일체와 같은 최종물질을 만드는 공정
 - 석회 기초법 : 석회를 미세한 포졸란 물질 및 폐기물과 혼합하면 슬러지중의 수분을 화합수의 형태로 만들고 석회자체의 수화반응에서 발생하는 열에 의해 수분이 증발되면서 슬러지중의 수분이 감소되고 압밀이 촉진되는 방법
 - 열가소성 플라스틱법 : 건조시킨 폐기물을 고온(100~150℃)에서 열가소성 물질과 혼합한 후 냉각하여 고형화시키는 기술
 - 피막형성법 : 유해폐기물을 운반, 저장, 처분하는데 용이하도록 폴리에틸렌과 같은 플라스틱으로 피막을 입혀 단단히 고체덩어리로 만드는 방법
 - 자가-시멘트화법 : 슬러지의 일부(10% 정도)를 생석회화한 후 여기에 소량의 첨가물을 넣어 수분을 조절하면 폐기물이 스스로 고형화되는 성질을 이용하는 방법
 - 유리화법 : 유리는 일종의 열가소성 무기물로서 SiO₂, Na₂CO₃, CaO 등의 유리물질을 1600℃ 이상으로 가열하여 액화한 뒤 폐기물과 혼합하여 냉각시켜 고형화하는 방법

3) 연료화

가) 개요

연료화기술은 슬러지가 가지고 있는 열량을 연료로 이용할 수 있는 수준까지 높여서 연료를 만드는 기술이며, 연료화된 슬러지는 석탄 대체연료로 활용되므로 연료수입 대체효과를 기대할 수 있다. 하지만 생산된 연료는 일반연료와 연소 조건이 상이 할 수 있으므로 수요처의 상황, 열량을 높이기 위해 투입하는 첨가제의 수급상황 등을 종합적으로 검토할 필요가 있다.

이용되는 기술은 열량보조제로 어떤 것을 이용하느냐에 따라 석탄을 이용한 연료화기술과 플라스틱을 이용한 연료화기술이 있다.

나) 연료화 방안

건조한 슬러지를 직접 고품연료로 이용하는 방법과 첨가제를 가한 슬러지를 연료로 사용하는 방법, 건조한 슬러지를 연료로 사용하는 방법 및 건조한 슬러지를 열분해하여 그 생성물을 연료로 이용하는 방법으로 구분할 수 있다.

다) 하수슬러지의 연료화 기술

- 고품연료화 기술

슬러지에 석탄분말을 첨가·성형하여 고열량 고품위 고품연료를 제조하는 기술로서 슬러지 연료화 과정에서 탈수슬러지의 물성에 따라 첨가제의 량 및 구성성분비를 조절하여 줌으로써 자소성을 향상시키고 주된 사용처인 시멘트회사, 화력발전소 및 농사보일러 등의 용도에 맞게 분말형태와 펠렛 형태의 연료를 생산할 수 있다.

슬러지의 고품연료화는 원료의 혼합과 건조가 핵심공정이다. 슬러지 건조 시 점성구간에 과부하와 높은 에너지의 소모로 인한 건조 시 문제점을 석탄분말 혼합에 의한 슬러지 물성변화로 해결하였다. 또한 석탄분말의 혼합으로 연료화 제품의 열량향상과 연소특성 개선에 기여하고 있다.

- 액화연료화 기술

초임계 습식산화 반응 시스템의 운영비의 비경제성을 극복하기 위해 지하에 반응조를 건설함으로써 지상의 거대한 열교환기나 에너지발생장치 없이도 지하의 지열효과를 최대한 활용하여 낮은 발열량으로 분해되기 쉬운 유기성폐기물을 처리할 수 있다는 원리에서 출발한 것으로 1990년대에 미국에서 실용화된 기술이다.

기본적인 원리는 지하 1500m까지 지하 시추하여 직선형 원통형 반응조를 건설하여 자연조건인 지하로 내려갈수록 온도 및 압력이 증가한다는 기본원리를 이용한 것으로 반응온도와 압력은 150~350℃, 140~350bar로 유기성폐기물을 완전 분해시키기 위해 개발된 시스템이다. 이는 지반이 안정한 지역에 설치가 가능하며 암반이 형성된 지역에 설치한다.

4) 건조

가) 개요

건조기술은 슬러지 내에 포함되어 있는 수분을 낮출 목적으로 적용하는 기술이며 건조결과 처리용량의 감소에 따른 물류비의 감소, 미생물의 사멸에 따른 안정화, 열량가치 향상 등의 효과를 기대할 수 있다.

이용되는 기술은 슬러지를 열풍과 직접 접촉시켜서 건조하는 직접건조기술과 증기 등의 열매체에 의해 가열된 전열면에 슬러지를 접촉시켜 건조하는 간접건조기술이 있으며, 건조된 슬러지는 토지이용, 시멘트원료 등으로 재활용하거나 소각, 용융 등의 중간처리시설에 공급된다.

나) 건조 방식

- 열건조방식(열원의 종류에 따른 분류)

- 열풍건조: 열을 열매체(스팀, 오일 등)에 전달한 후 열매체가 건조기에 설치된 배관을 통과하면서 열전도 현상을 통해 현열·잠열을 전달하여 슬러지를 간접적으로 건조하는 방식이며 건조기의 종류에는 드럼건조기, 로타리건조기, 체인커베이어 등이 있음

- 열매체건조 : 고온가스(열풍)와 슬러지가 건조기내에서 직접 접촉(대류)하여 건조하는 방식이며 건조기의 종류에는 디스크건조기, 패들건조기, 다단식건조기 등이 있음
- 혼합식건조 : 열풍과 열매체를 혼합한 방식으로 대류와 전도에 의해 슬러지를 건조하는 방식이며 건조기의 종류에는 유동상건조기 등이 있음

- 기류건조방식

기류건조기는 수분을 함유했을 경우에는 진흙형태이거나 괴상인 물질은 열기류중에 입자상이나 분말상으로 분산시켜 열기류와 병류로 급송하면서 건조하는 건조장치이며 입경이 작은 재료로 항울건조 기간의 건조처리에 적합하다. 이때 슬러지는 건조기 내부에서 고속으로 이동하며 함수율이 10%로 떨어진다. 싸이클론에 의하여 가스와 증기가 슬러지와 분리되고 건조된 슬러지는 부처리공정으로 이동되어 재활용, 소각 등이 가능하다. 장·단점을 살펴보면 다음과 같다.

<장점>

- 피건조물입자의 열풍 중 분산효과가 우수
- 고온의 건조가스 사용 가능(연료나 별도의 열원을 사용하지 않음)
- 건조시간이 짧음(0.5~2초)
- 작은 입경의 건조가 용이
- 단울건조 처리에 적합
- 기존 탈수기동 설비내에 연계설치가 가능하며 종형으로 소요부지가 적게 소요
- 피건조물에 대한 장치계 내의 선별과 이송이 가능
- 슬러지처리비용이 열건조방식에 비해 저렴

<단점>

- 가연성 재료에서는 분진폭발, 화재 등의 위험성이 있음
- 재료에 따른 장시간 운전에서의 부착의 성장성이 있음
- 저수분함량까지의 건조가 필요
- 청소방법이 난이함
- 운전폭이 좁음
- 사용자 입장에서 운전비용이 다소 큼
- 회전건조기에 비해 풍압이 높고, 동력소모가 큼
- 설계제작이 어려움

5) 소각

가) 개요

소각기술은 공기중의 산소를 이용하여 슬러지 중의 가연성 물질을 연소시키는 열적 처리기술이며 가연성분의 연소에 따른 감량화 및 전염병 예방을 위한 화학적·물리적 안정화, 부패성 물질처리를 위한 무해화, 효율적인 열 이용 등의 장점이 있는 기술이다. 하지만 소각에 따른 다이옥신 등의 오염물질 배출로 인한 민원발생이 예상되며 소각재의 중금속 용출 영향이 크고 건설비와 처분비가 고가라는 단점이 있다.

이용되는 기술로는 전용소각시설에서 슬러지를 소각하는 단독소각기술과 생활쓰레기 등의 다른 폐기물과 혼합하여 소각하는 혼합소각기술, 다른 열사용 플랜트의 연료로 이용하는 기술이 있으며, 소각 후 남는 불연물은 매립하거나 시멘트 공장의 원료로 공급한다.

나) 소각방식의 분류

하수슬러지 소각에 사용되고 있는 소각방식은 국가별·지역별 특성에 따라 다르나 일반적으로 연소가스의 유동방향에 의한 분류와 연소공정에 의한 분류 및 고체연소방법에 의한 분류, 소각로의 형식과 구조에 의한 분류 등으로 구분할 수 있다.

6) 탄화

가) 개요

탄화란 예부터 널리 상용하던 탄화로의 원리에 기초하여 슬러지 등 유기성폐기물을 무산소 상태에서 가열하면 로내에서 수분 및 가스가 발생하고 열분해가 시작되며, 잔존물에는 탄소를 주체로하는 무기물이 남는 것을 말한다.

기존의 슬러지 소각로는 고수분의 슬러지를 효율적으로 소각하기 위하여 건조공정, 소각공정을 모두 갖춘 병행 시스템이었으며, 최근에 탄화원리에 기초하여 공기를 차단하는 등의 기술개발에 의하여 소각공정을 탄화공정으로 대체할 수 있게 되었다. 탄화과정은 건조기에서 함수율을 20~30%로 건조한 후 탄화로에 넣고 400~550℃의 저 산소 상태에서 20~40분 처리하여 함수율 5~8%의 탄화물을 얻는다.

나) 기술적 적용 특징

<장점>

- 처리부산물이 거의 발생하지 않는 환경친화적인 처리
- 발생가스(열분해가스)를 재이용하는 에너지 절약 시스템
- 단시간처리와 대량처리가 가능하며 가량화율이 높음
- 대기오염물질 및 악취 등 2차 환경오염유발이 적음
- 소각과 비교하여 환경영향과 건설비 및 소용면적이 적음
- 탄화물의 활용방안이 다양하며 유상판매 가능성으로 경제성확보 기대
- 탄화물의 장기보관 가능
- 발생가스가 비교적 무해하며 배출량이 적음
- 폐열활용 가능

<단점>

- 탄화제품 특성이 안정적이지 못하고 인식부족으로 수요처 확보가 어려움
- 관련기준 및 규제 아직은 미흡함
- 탄화물의 사용자 환경인식도 저조
- 처리부산물 재이용 불가시 추가 처분비 소요
- 비교적 처분비가 고가임

다) 탄화물 유효적용분야

슬러지를 탄화처리 할 경우 무취상태로 화학적으로 안정되어 있으며 안전하게 장기 보관 및 운송이 용이하며, 다음과 같이 다양한 용도로 재활용될 수 있다.

- | | |
|-----------|--------------|
| - 보조 연료 | - 매립장의 복토재 |
| - 토양 개량제 | - 건축 자재 |
| - 보온 단열재 | - 흡착 탈취제 |
| - 흡음, 방음재 | - 적조 구제용 살포제 |
| - 퇴비 부자재 | - 용설제 |
| - 제습제 | - 여과, 흡착제 |
| - 폐수처리제 | - 전자파 방지제 |
| - 제설제 | - 하천 정화제 |

라) 탄화방식

탄화방식은 열원과 슬러지의 열접촉방식에 따라 직접가열식과 간접가열식이 있으며, 탄화로 구조에 따라 스크류식과 로타리킬른식, 회전로상식 등이 있다.

7) 용융

가) 개요

용융이란 중유, 석탄 등의 연료 또는 전기를 열원으로 사용하여 폐기물 등을 약 1,300℃이상의 고온에서 액체 상태로 만드는 공정으로서 용융 슬래그와 용융 비산재를 포함하는 배가스를 생성하는 단위공정을 말한다.

용융은 슬러지중의 무기물을 용융시켜 최종 처분되는 물질이 남지 않도록 하기 위해 적용하는 기술이며, 배출되는 잔재물이 유리상의 결정체들이므로 중금속 등의 유해물질이 함유된 슬러지의 안정화처리 및 슬래그의 유효이용 측면에서 괄목할만한 효과를 나타낸다. 하지만 용융에 이용되는 열량이 과다하여 운영비가 많이 소요되고, 고온의 처리과정이 요구되는 관계로 시설설치비가 많이 소요된다는 단점이 있다.

나) 용융공정의 주요구성

- 전처리 공정 : 탈수 슬러지를 각 용융로 형식에 적당한 함수율, 성상, 형상으로 처리하여 용융공정으로 대상물질(건조슬러지 또는 소각회)을 안정적으로 공급하는 공정
- 용융공정 : 전처리공정으로부터 공급된 피용융물을 열분해, 소각, 용융하여 용액으로 배출하는 공정
- 폐열회수 공정 : 용융공정으로부터의 폐가스의 열량을 회수하고 용융시스템 내외에서 유효이용하기 위한 공정
- 폐가스 처리공정 : 폐열회수 공정으로부터의 폐가스를 대기중으로 방출하는데 있어서 알맞은 성상으로 처리하는 공정
- 용융슬래그 생성공정 : 용융공정으로부터 용액을 냉각, 고화하여 슬래그를 생성하는 공정

다) 용융의 종류

하수슬러지의 용융기술은 중금속 등의 유해물질이 함유된 슬러지의 안정화처리 및 슬래그의 유효이용 측면에서 괄목할 만한 효과를 나타내었으며 현재까지 용융 공정은 탄소원의 연소열을 이용하는 것과 전기를 이용하는 방식이 개발되었다.

용융대상물의 종류에 따라 폐기물을 직접 용융시키는 직접용융방식과 소각재를 용융시키는 재용융방식으로 나눌 수 있다.

다. 최종처리

1) 재활용

- 가) 퇴비화 - 토양개량제, 매립지 복토제
- 나) 고품화, 고화 - 시멘트원료, 건설자재, 매립지 복토제
- 다) 연료화 - 연료제품
- 라) 건조 - 토양개량제, 시멘트원료
- 마) 소각 - 건설자재화(벽돌원료), 시멘트원료
- 바) 탄화 - 연료제품, 숯대용품
- 사) 용융 - 건설자재

2) 매립

슬러지 매립방법은 슬러지 단독 트렌치 매립(좁은 트렌치 매립, 넓은 트렌치 매립), 슬러지 단독 지역식 매립(마운드형 매립, 층형 매립, 독형 매립), 혼합식 매립(슬러지/쓰레기혼합매립, 슬러지/흙 혼합매립)으로 분류할 수 있다.

2. 음식물류 폐기물

음식물류 폐기물은 건조발열량이 높고, 유기성 물질로서 영양소가 풍부하여 자원화 가능성이 매우 높은 반면 수분함량이 높고 쉽게 부패되어 매립 및 소각에 어려움이 있다. 우리나라는 공식적으로 1996년부터 자원화 기술이 도입되었으나 국내의 음식물류 폐기물이 수분이 높고, 염분이 높은 특성을 고려하지 않고 외국의 공정을 도입하여 운영에 많은 문제가 있어왔다.

음식물류 폐기물 처리시설은 규모에 따라, 가정용, 사업장용, 공공처리로 구분할 수 있으며, 처리목적에 따라 감량화시설, 자원화시설로 분류된다. 감량화 및 자원화 시설의 처리방식은 <표5.2-1>와 같으며, 본 연구에서는 자원화 기술에 대해 정리하였다.

<표5.2-1> 음식물류 폐기물 처리기술

구분	처리방식	설치장소
감량화	건조, 발효, 발효·건조, 소멸, 탈수	가정용 (소형), 사업장용(중형)
자원화	발효(퇴비), 발효건조(사료), 건조(사료·퇴비), 메탄화(연료화), 하수병합처리, 지렁이사육	공공처리용(플랜트)

가. 사료화

음식물류 폐기물 사료화란 음식물류 폐기물을 주원료로 하여 동물의 영양섭취 및 성장 등에 유익하게 사용할 목적으로 사료관리법의 제8조 제2항의 규정에 의하여 농림부령이 정하는 적합한 시설을 갖추고 사료관리법의 규정에서 정한 사료를 생산하는 일련의 공정을 말하는 것으로 대상 가축으로는 소에게는 급이가 금지되었으며 주로 돼지, 오리, 닭, 개 등의 가축에 급이되고 있다.

1) 건식사료화

기계적 설비에 의해서 고속 열풍 및 가온기를 이용하여 건조시키는 방법으로 제품의 수분함량이 약 15% 이하가 되도록 처리하는 방법이다

2) 습식사료화

음식물류 폐기물을 신속하게 수거·운반하여 일정조건의 살균과정을 거친 후 수분조절을 위한 부형재를 일정비율 혼합하여 수분 70~80%의 상태로 급이하는 방법이다. 부형재로는 미강, 옥수수 등이 대부분이다.

3) 발효사료화

여러 가지 미생물군과 요소들을 발효 설비에 첨가함으로써 음식물류 폐기물 내의 유기물을 발효시켜 가축의 사료로 이용하는 방법으로 건조발효 방법과 습식발효 방법으로 구분할 수 있다.

나. 퇴비화(호기성퇴비화, 혐기성퇴비화, 지렁이 분변토)

음식물류 폐기물 등 유기성폐기물의 퇴비화란 오랜 역사를 갖는 기술로서 현재 국내에서 적용되고 있는 퇴비화 기술은 유기물질을 소화하는 미생물의 산소 필요 유무에 따른 호기성 퇴비화와 혐기성 퇴비화가 있으며 최근 기술인 지렁이 분변토 기술로 구분된다.

1) 호기성 퇴비화

호기성 퇴비화란 음식물류폐기물 중 유기물을 산소가 존재하는 상태에서 호기성 미생물에 의해 생물학적으로 안정화하는 과정을 말한다. 이 과정에서 호기성 미생물은 유기성폐기물을 낙엽, 왕겨, 톱밥 등과 함께 충분히 교반한 후 유기물을 분해하여 최종적으로 부식질인 퇴비물질, 물과 이산화탄소를 생성한다. 호기성 미생물에 의해 유기물이 분해되는 과정에서 내부의 온도는 60~70℃로 증가하고 이러한 발열반응에 의해 수분 증발이 이루어져 주된 감량효과를 얻게 된다.

호기성 퇴비화 설비는 전처리공정(선별, 혼합 등), 주 발효공정(발효, 숙성), 후처리공정(선별, 균질화, 포장 등)으로 구분된다.

2) 혐기성 퇴비화

호기성 퇴비화와 달리 산소가 존재하지 않는 조건에서 혐기성 미생물에 의해 음식물류 폐기물 중 유기물을 생물학적으로 안정화시키는 공정이다. 미생물에 의한 유기물의 분해과정은 산 생성 미생물에 의해 유기물이 유기산이나 각종 알콜류로 전환되는 산발효 단계와 산발효 산물의 메탄 생성균에 의해 최종적으로 메탄, 이산화탄소, 황화수소, 암모니아 등으로 전환되는 메탄생성 단계로 크게 2단계로 구분된다. 이 과정에서는 각종 가스상 대사산물 이외에 생물학적으로 안정한 잔류물이 얻어진다. 메탄발효과정을 거쳐 생산된 가스는 별도로 포집하고 최종적으로 잔류하는 발효액 중(음식물류폐기물)슬러지는 탈수하여 호기성 퇴비화하는 것이 일반적이다.

메탄가스는 음식물쓰레기 1톤에서 약40m³의 메탄가스가 발생되고 슬러지 생산량(1/10)은 적으나, 최적운전조건이 어려우며 처리과정에서 발생하는 수질오염물질의 적정처리 및 악취방지대책이 요구된다.

3) 지렁이 분변토

유기성 폐기물을 처리하는 기술에서 지렁이를 이용하는 기술은 음식물류폐기물을 지렁이 먹이로 공급하여 처리한 후 처리된 폐기물(분변토)을 비료로서 이용하고 증식된 지렁이는 판매하는 공정이다.

기본적인 공정의 구성을 살펴보면 1단계로 지렁이 먹이 제조를 위해 탈수기를 이용하여 음식물류 폐기물을 탈수한 후 톱밥, 왕겨 등과 혼합하고 발효제를 첨가하여 1개월간 발효 부숙시킨 후 부숙된 퇴비와 다른 슬러지를 혼합하여 지렁이 먹이로 제조한다. 2단계로 지렁이먹이를 사육장에 1회 10cm높이로 주 1~2회 살포하고 적정습도(65~75%)유지를 위한 수분살수와 최적온도(15~25℃)를 유지시켜 지렁이의 성장에 적합한 조건을 유지한다. 최종적으로 살포된 누적량의 최대 1m높이가 되면 지렁이와 분변토를 분리하여 지렁이는 판매하고 분변토는 고품질의 밭아용 퇴비 등으로 이용된다.

지렁이 분변토는 적정습도 및 온도유지가 중요하며, 퇴비화에 따른 악취제거가 필요하다.

다. 하수병합처리

1) 개요

음식물류 폐기물과 하수 처리장에서 발생하는 하수슬러지와외의 병합처리공법으로 수거된 음식물류 폐기물을 파봉, 파쇄, 선별 및 분쇄 등의 전처리를 거쳐 혐잡물 제거 및 적정 입도로 처리 후 기존시설인 하수처리장의 소화조에 투입하여 농축슬러지와 함께 혐기성 소화 처리하는 공정을 말한다.

이 기술은 고농도 유기물을 함유한 음식물류 폐기물을 슬러지 농축조 또는 소화조에 투입함으로써 소화조의 효율증대 및 메탄발생을 극대화하여 에너지비용을 절감할 수 있으며, 기존의 하수처리장 시설을 이용하므로 민원발생에 따른 문제를 최소화할 수 있고 음식물류 폐기물의 대량처리에 장점이 있다.

2) 기술적용의 특징

음식물류 폐기물의 하수병합처리 시 이물질의 선별, 분쇄 등의 전처리 공정이 매우 중요하며 선별공정은 습식 및 건식으로 구별되고 일반적으로 습식선별은 염분 및 악취발생문제의 해결측면에서 유리하나 용수사용량 증가, 가수로 인한 소화조에의 최종투입량 및 설비규모 증대 등에 영향을 미친다.

그러나 같은 선별방식이라 하더라도 각 기술보유업체별 적용설비 및 공정이 상이하므로 일률적으로 평가·비교하기는 어렵고 전처리후 음식물류 폐기물의 상태, 하수처리장 처리공정, 소화조의 운영실태 등을 종합적으로 검토하여 병합처리 시 소화조의 운영에 지장이 없을 뿐만 아니라 가장 경제적이고 효율적인 공정으로 구성하여야 한다.

가) 장점

- 시설비 및 운영비 절감
- 이용가능한 부산물(유기산, 메탄) 생성
- 하수처리장 인근에 입지시 최근에 설치 증가

나) 단점

- 하수처리장 농축조, 소화조의 여유용량이 부족시 설치불가
- 소화조 운영상의 경험필요

라. 탄화공법

음식물류 폐기물을 고온의 열풍을 이용하여 과립상으로 건조시킨 후 짧은 시간 내에 수직다단층을 통과시켜 탄화물(숯)로 건류 탄화시키는 방법으로 생성된 탄화물(숯)은 비료, 연료에너지, 탈취제 등으로 재활용하고 있다.

음식물류 폐기물의 열분해 공정은 일반적으로 400~500℃의 반응온도에서 반응촉진제를 사용하지 않고 운영된다. 이때 생성되는 부산물은 탄화물이 처리량의 약 7%, 연소성 가스가 처리량의 약 12% 정도 생성되며, 나머지는 소량의 타르를 포함하는 폐수로 발생된다.

3. 축산폐수

축산폐수는 다량의 SS를 함유한 고농도 난분해성 유기성폐기물로 단일 공정으로 처리가 매우 어렵다. 우리나라는 외국과 달리 수계에 직접 처리수를 방류할 수 있지만, 엄격한 방류수 수질기준을 만족시키기 위해서는 다양한 복합공정이 필요한 현실이며, 자원화를 통해 생산된 퇴비와 액비의 경우도 수요처 확보 및 비점오염원 문제가 대두되고 있다.

가. 전처리 및 물리·화학적 처리방안

1) 전처리 공정

축산폐수 공공처리시설에 수거, 운반되어 반입되는 폐수에는 각종 협잡물(토사류, 조대고형물, 금속류, 사료찌꺼기, 육모, 부유물질 등)이 포함되어 있다. 이러한 물질들을 제거하기 위해 적절한 처리가 요구되어 지는데 이러한 공정을 전처리라고 하며 이에 대한 처리방식은 다음과 같이 구분할 수 있다.

가) 종합협잡물처리기

연속자동운전방식으로 투입기, 로타리 스크린, 스크류프레스, 유량조정조, 제사 펌프, 사이클론, 원심분리기, 스크류콘베이어 및 제어장치로 구성되어 협잡물의 여과, 여과된 협잡물의 탈수, 모래 및 씨앗류의 제거, 제거된 모래 및 씨앗류의 탈수 등이 이루어져 협잡물 및 토사류의 처리효율은 만족스럽고 처리실적이 많으나 미세 및 부유물처리가 불량한 실정이다.

나) 종합협잡물처리기+2차스크린

종합협잡물처리장치와 2차스크린을 두어 협잡물의 여과, 여과된 협잡물의 탈수, 모래 및 씨앗류의 제거, 제거된 모래 및 씨앗류의 탈수 등이 이루어져 협잡물 및 토사류의 처리효율은 우수하고 사이클론에서 일부 상승하는 씨앗류를 2차스크린에서 추가제거가 가능하나 부유물처리가 불량하고 운전경험이 부족한 실정이다.

다) 종합협잡물처리기+미세협잡물처리기

종합협잡물처리장치와 미세스크린을 두어 협잡물의 제거 및 부유물질을 제거한다. 협잡물 및 토사류의 처리효율이 만족스러우며 부유물 제거효율이 우수하여 후단처리공정으로서 안정성이 있으나 동력비가 많이 들고 장치 및 구조가 복잡하다.

2) 물리·화학적 공정

분뇨 및 축산 폐수는 다량의 SS를 함유한 고농도 난분해성 유기폐수이므로 후처리공정인 탈질반응을 원활하도록 하기 위하여 입자상물질을 제거하는 물리·화학적 처리방법을 고려하였다. 물리·화학적 처리방법은 대표적으로 중력침전법, 응집침전법, 원심분리법, 부상분리법 등이 있으나 처리효율이 우수하며 현실적으로 분뇨 및 축산폐수에 적용 가능한 응집침전법, 원심분리법, 부상분리법 등이 있다.

가) 응집침전법

입자가 클 경우에는 중력침전이 가능하나 입자가 미세한 경우에는 분리하기 어려우므로 응집제 등을 사용하여 침전을 시키는 방법이다.

나) 원심분리법

폴리머 등의 보조응집제를 사용하여 강제 응집시킨 후 고형물을 함수율 75~80%의 탈수케익으로 배출한다. 침강속도가 느리고 가벼운 작은 입자를 보다 완전하고 짧은 시간에 분리할 수 있다는 장점이 있으며 안정화된 슬러지를 탈수 후 매립 또는 퇴비화하는데 다소 유리한 방법이다.

다) 부상분리법

부상분리란 고형물 또는 액체입자를 액상으로부터 분리해내는 방법으로 미세한 기포를 액상중에 발생시켜 기포가 입자상 물질에 달라붙어 입자가 표면으로 떠오르게 하는 것이다. 이때 표면상으로 부상한 입자들은 스크레이퍼로 수집한다. 폐수처리에서는 현탁물질의 제거와 생물고형물의 농축에 주로 이용되며, 침강분리에 비해 침강속도가 느린 작고 가벼운 입자를 보다 완전하고 짧은 시간에 분리할 수 있다는 장점이 있어 분뇨 및 축산폐수에 적합한 방법이다.

나. 생물학적 처리방안

1) 개요

미생물을 이용한 생물학적 반응에 의하여 오염물질을 제거하는 방법을 생물학적 단위공정이라 하며 일반 폐수처리장에서 1,2차 처리공정에 많이 적용된다. 이러한 생물학적 공정들은 폐수내 용존유기물을 응집침전 가능한 생물학적 고형물 및 무기성 고형물로 전환시켜 고액분리시설에서 제거되도록 한다. 기본적으로 폐수 중의 이러한 오염물질들은 미생물들의 대사작용에 의하여 미생물 세포로 전환되어 대기중으로 방출되는 가스나 침전에 의하여 제거되며 축산폐수에 적용되는 대표적인 생물학적 공정은 다음과 같다.

2) 주요공법

가) 액상부식법

액상부식법은 크게 두 가지 과정으로 이루어지는데 조내에 투입되는 축산폐수의 유기물은 이미 생성된 BOD산화균 등 호기성미생물의 영양원으로 섭취되고 그 일부가 공급된 산소에 의해 생화학적으로 산화되어 CO_2 와 H_2O 로 분해되는 산화과정과 이때 얻어지는 에너지를 이용하여 섭취된 유기물이 생체반응에 의해 균체로 전환되어 미생물이 증식하는 동화작용으로 이루어진다. 또한 미생물 동화작용에서의 대사산물도 관여하여 가용성 유기물의 흡착, 중합, 축합 등의 복합과정을 거쳐 분자의 거대화가 이루어지므로 일부 가용성 유기물의 고형화로 인한 정화작용도 이루어진다.

나) BCS(Bio Ceramic System)

BCS는 SBR에 미생물담체를 두는 공법으로 이를 스테인레스통 안에 장착한 탑형태로서 부유미생물 뿐만 아니라 부착성미생물을 활용하여 동일한 포기조 용적에서 고농도(일반반응조의 2배)로 미생물을 유지할 수 있으므로 높은 용적 부하율의 운전이 가능하여 처리능력을 기존 포기조의 수배까지 올릴 수 있는 특징이 있다.

다) B3(Bio Best Bacillus)공법

B3공법은 호기성소화공법을 개량한 방법으로서 사상균의 일종인 그람양성 통기성 바실러스균류만을 선택 배양하여 유기물 부족현상을 유도하여 포자를 형성하게 한다. 이로 인하여 슬러지의 침강성이 향상되고 변화의 폭이 비교적 큰 유기물의 부하변동이나 외부조건 변화에도 강하며 동시에 취기제거도 탁월하여 반응조 후단의 별도의 탈취시설이 필요 없다.

고농도 유기물 함유 축산폐수처리시설에 적용할 경우 운전이 단순하면서도 유기물의 제거뿐만 아니라 고도처리로서의 질소와 인의 제거효율이 탁월하며, 슬러지의 발생량이 적고 탈수효율도 양호하다.

라) 자연정화(HBR)공법

배양조에서 배양된 토양미생물(바실러스 등)을 저류조, 포기조 등에 공급하며, 포기조에서 간헐 포기함으로써 혐기-무산소-호기조건을 형성하여 질소와 인, 유기물 등을 결합, 응집, 축중합 등으로 제거하는 능력을 상승시키는 방법으로 미생물 증식을 위해 침강슬러지를 배양조에 1Q정도 반송한다. 배양조에는 토양바실러스균을 증식시키기 위하여 제올라이트, 맥반석 계통의 작은 돌 혹은 공(Pellet)따위를 수중과 지상에 설치하고 생성된 미생물이 부착할 수 있는 쇠석종류의 돌을 설치하여 미생물을 일정량 포기조에 공급하는 원리로 구성된다.

마) 고효율산화법

호기성 세균중 홍색 비유황세균 계열인 로도 슈도모나스 캡슐레이커스(광화학세균)를 현장 배양에 의해 간헐적으로 투입시킴으로서 고농도 축산폐수의 초기 포기에 의해 생성된 유해가스를 한계농도 미만까지 제거하여 공생균의 출현환경을 조성함으로써 공생작용에 의한 유기물의 분해를 극대화 시킨다. 또한 무산소조, 호기조를 반복적으로 병생함으로써 질산화와 유도시키는데 이때 일반적인 탈질화 반응제로 사용되는 탄소원의 별도 주입 없이 탈질화과 가능하도록 하였다.

바) 고도고액분리소화 공법

고도고액분리소화 공법은 전처리시설-호기성소화조-오니침가조로 구성된 공정으로 전처리 단계에서 고도고액분리한 후 고농도의 유기 고형 성분을 호기성소화로 소화시킨후 산호사로 만든 여재를 사용한 미생물 첨가조(질화조 내부)를 이용하여 미처리된 유기물 및 질소인을 제거시키는 것으로서 탄소원 공급이 필요없으며 탈질을 위하여 질화조에서 탈질조로 4~5Q정도 내부반송을 하며, 미생물체류시간을 증가시키기 위하여 침전조에서 안정화조(또는 질산화조)로 1~2Q정도 반송한다.

사) 고효율혐기성 하이셴 공법

이 처리공정은 혐기성 하이셴 소화조-활성오니조-SBR조로 구성되어 있으며 고효율혐기성소화조(세라믹담체이용) 및 활성오니조, SBR을 이용하여 유기물 및 질소를 제거하는 공정으로 활성슬러지조에서 질산화된 폐수를 혐기성 소화조에 반송시켜 탈질시키며 혐기조에서 발생하는 유기산을 탄소원으로 이용하는 공법이다. 혐기조에는 다공성 세라믹담체를 넣어 흡착 미생물을 활성화시키며 후단에 SBR을 설치하여 이중으로 탈질화시키는 공정이다.

다. 자원화 방안

1) 퇴비화

가) 개요

오래전부터 퇴비원료로 사용되어 온 유기자원인 축산분뇨가 적절한 발효조건에서 퇴비화되면 대부분의 유기물질이 물, 이산화탄소, 암모니아 등의 무기물로 전환하게 되고 그 밖의 중간생성물과 증식된 균체가 남아 부식물질로 변화한다. 그러나 고액분리 등으로 수분함량을 낮춘 가축분은 호기성 조건 제공만으로도 퇴비화가 충분히 가능하다.

나) 퇴비화방법

-퇴비단식공법

- 뒤집기식 퇴비단공법 : 퇴비 대상물질과 공극개량물질 그리고 생산된 퇴비를 혼합하여 수분 또는 pH, C/N비를 조정한 후 Front-End Loader, 불도저, 로터리교반기 등에 의해 기계적으로 뒤집어 공기를 공급하는 방식으로 비가 적은 지역에서는 옥외에서 발효를 하지만 보통은 옥내에서 한다.
- 공기주입식 퇴비단공법 : 뒤집기식 퇴비단공법에 산소를 공급하는 설비를 추가한 공법으로 구멍이 뚫린 유공관 파이프를 퇴비단의 바닥에 깔고 송풍기와 연결하여 공기를 주입하거나 흡인하여 공기를 공급한다. 악취문제가 발생할 수 있으나 공정이 효율적이며 흡인방식으로 운영할 경우 효율은 다소 떨어지거나 악취제거 효과를 기대할 수 있다.

- 기계식공법

기계식공법은 발효기간이 10일 이하로 퇴비단 공법과 비교할 때 짧은 시간이 소요되며 날씨와 기후에 영향을 덜 받고 악취 방지 등의 장점이 있다.

- Plug Flow 방식 : 발효조 내에 슬러지를 섞는 방식으로 다단식 소각로의 경우처럼 슬러지를 위로부터 아래로 여러 단계를 통하여 떨어뜨린다는 것이다. 일반적으로 높이가 4m이상이고 건축 구조물 안에 설치하며 유기물질은 분산장치를 통하여 배출한다. 공기공급은 대개 강제 공기공급방식을 이용하므로 물질흐름의 반대로 흐르게 된다. 혼합물을 보내는 방법으로는 개폐식, 회전날개방식 등이 있으며, 이 공법은 장치에 의한 혼합물의 파쇄가 이루어져 발효를 촉진하며 필요 부지면적이 작은 장점이 있다.
- 완전혼합방식 : 발효조 내부에 교반장치를 설치하여 혼합 및 교반을 수행하므로 발효전 혼합장치가 필요하지 않으며, 수직형과 수평형이 있다. 그리고 공기흐름의 경로를 짧게 유지하여 온도 및 수분함량을 균일하게 유지하여 발효효율을 증진시키며 운영상의 문제점이 적다. 이 공법은 여러 가지 공기 공급방식을 채택할 수 있으며 직렬 또는 병렬로 연결하여 운전할 수도 있다.

2) 액비화

가) 개요

축산분뇨는 고형물과 액상으로 구분되는데 이중 액상분뇨에 액비화 공정을 적용하여 자원화 할 수 있도록 한 것이다. 액상분뇨란 가축의 분, 뇨 그리고 가축이 섭취하고 남은 사료, 짚, 청소수가 혼합된 것으로 여건에 따라 다양한 수분함량을 보유하고 있다. 액상분뇨는 일반적으로 수분함량이 85% 이상인 액상물로서 혐기성 상태 또는 포기나 교반상태에서 부숙되어 분해가 종료된 안정화된 것을 말한다.

나) 액비화 방식

- 호기성 액비화

호기성균을 첨가한 포기방식으로 소요기간이 짧으며(5~10일) 감량화율은 10~20%정도이다. 포기조와 액비저장탱크시설만이 요구되나 액비저장용량은 비교적 대용량의 시설이 필요하다. 질소보존율은 낮으나 대장균과 악취제거효율이 매우 높으며 점도가 낮아 회석이 필요없으며 살포가 아주 용이하며 병·해충의 우려가 없다.

- 혐기성 액비화

저장방식으로 장기간(6개월)의 시간이 소요되며 감량화율은 5~10%정도이다. 저류탱크, 부숙탱크, 액비저장탱크 등의 시설이 요구되며 액비저장용량은 비교적 대용량의 시설이 필요하다. 질소보존율이 높으나 대장균과 악취제거효율이 매우 낮으며 점도가 커 회석이 필요(3~5배)하며 살포시 장애가 많고 병·해충의 우려가 커서 환경적, 위생적 요인으로 인한 민원발생 소지가 크다.

라. 기술개발 현황(EST)

가장 대규모 사업 중의 하나이며 돈사폐수 처리시스템의 진보된 방법이 미국의 노스캐롤라이나에서 진행되었다. 2002년 여름과 가을에, 노스캐롤라이나의 법무장관은 미국에서 가장 큰 돼지고기 생산 회사인 Smithfield Foods와 협력하여 그 회사가 소유하고 있는 노스캐롤라이나의 돼지 농장과 그들의 소농장들, 그리고 두 회사 산하의 가장 모범적인 농장들에게 EST(Environmentally Superior Technologies)발전 기금을 사용할 수 있도록 허용하였다.

18가지의 후보기술들은 재활용으로서 고형물의 분리, 고·액처리, 부산물 회수, 3차처리를 포함하고 있다. 18가지의 후보기술들은 다음의 5가지 지표에 의해 확인되며 최종적으로 ISSUES(Innovative Sustainable Systems Utilizing Economical Solutions)로서 발전된다.

- 직접방출과 누출수, 유거수를 통한 표층수와 지하수로의 동물폐기물의 방출량 제거
- 대기중으로의 실질적인 암모니아 방출 제거
- 돈사가 위치한 부지와 경계부근의 실질적인 악취 발생 제거
- 병을 옮기는 곤충과 공기로 운반되는 병원균의 실질적인 방출 제거
- 토양과 지하수에 포함된 무기물과 중금속의 실질적인 제거

EST로서 ISSUES의 목적은 존재하는 기본적인 시설을 통합하고 최대한으로 이용하는 것이다. 돈사 폐기물처리의 접근법으로서 ISSUES는 세 가지 분야로 구성되어 있다. 세 가지 접근법은 ABS(Aerobic Blanket System Technology), PCS(Permeable Cover System), RENEW(Recycling of Existing Nutrients, Energy and Water)이다.

1) ABS

ABS의 기본적인 목표는 혐기성 라군에서 악취와 암모니아 배출량을 저감하기 위한 것이다. 안정조건하에서의 모든 시스템은 NO₃-N의 59%로 증가와 함께 27~33%로 질소함량의 저감을 가져온다. 이는 탈질화에 의해서 암모니아의 방출이 줄어들고 유기물의 보유는 축적된 슬러지 생체량에 결합되어 있는 형태이기 때문이다. 인, 아연, 구리의 보유율은 각각 50%, 64%, 35%이다. 이러한 보유율은 생체량과 슬러지의 축적에 의한 것으로 보인다.

돈사에서 나온 폐수는 혐기성 라군으로 유입되고 혐기성 라군의 유출수는 호기성 소화조나 호기성 라군으로 유입된다. 질화된 호기성 소화조의 유출수는 압축된 공기와 함께 혐기성 라군의 위에 위치한 노즐을 통해 혐기성 라군의 표면에 미스트로 뿌려진다. 공기는 잠재적인 휘발성 화합물질을 흡착하여 물에 응집시키는 것을 돕는다.

2) PCS

PCS의 적용은 질소와 무기질의 처리를 용이하게 하기 위해 그리고 악취나 암모니아의 방출량을 감소시키기 위해 폴리프로필렌으로 짜여진 통기성커버(바이오캡)를 혐기성 처리 라군에 덮는다. 호기성 소화조는 질화작용이 중요시된다. 호기성 소화조로부터의 유출수는 돈사를 청소하는데 사용되고 여분의 유출수는 땅에 뿌리거나 증발을 막기위해 통기성커버위에 뿌리기 위해 저장한다.

PCS기술의 사용은 전체시스템을 통틀어 51%의 총질소와 46%의 암모니아성 질소가 감소되는 결과를 보였다. ABS에서와 같이 암모니아성 질소의 계절적인 영향(온도)으로 따뜻한 계절에 호기성 소화조는 낮은 값을 기록하였다. 통기성 커버는 라군의 방출량을 감소할 수 있도록 경계와 생물막에 작용하도록 설계되었다.

3) RENEW

적용된 RENEW공정은 균등화, 농축장치, 혐기성소화조(중온성), 저장고, 수처리 등의 공정들을 포함하고 있다. 이는 77,000gallon/일(8.7 l/head/일)로 추정되는 8개의 돈사에서 나오는 폐기물을 다루도록 설계되었다.

소화조에는 오직 농축 슬러지만 공급되도록 하였지만 실제 운전에 있어서는 농축되지 않은 슬러지와 혐기성 소화조의 유입수가 포함되어 있다. 혐기성 소화조의 유출수는 질화 기간 동안 호기성 소화조에 저장된다. 이 유출수는 정화조, 모래여과기, 역삼투, 균등화, UV필터 등의 더 나은 수처리 후에 각 집의 수세식 탱크에 저장되기도 하고 동물의 음용수원으로 재사용된다.

혐기성소화조는 65~70% CH₄, 30~35% CO₂, 0.5% H₂S, NH₃와 함께 35 SCFgas/kg 제거VS(0.98m³ gas/kg 제거VS)를 생산한다. 소화조의 VS제거효율은 71%정도 이다. 각 돼지당 0.13m³ gas/일이 생산되고 부피당 열량은 5,900kcal/m³ gas이다.

4) HSAD(High Solid Anaerobic Digestion)

HSAD는 고형환경에서 소화생성물과 혐기성미생물을 이용하여 막전이지론을 근거로 한 혁신적인 혐기성 기술이다. HSAD는 균음식물 폐기물에 적용되었다. 효율적인 소화에 요구되는 박테리아 필름을 보호하고 보존하기 위해 그리고 폴리머의 급속한 와해와 가용화에 필요한 가수분해 박테리아와 기질의 지속적인 접촉을 유지하기 위한 낮은 웨어와 pug-thin 교반을 이용하며 박테리아 군집은 4,000ppm을 초과하는 암모니아를 축적한다. 총질소는 HASD공정에 의해 50%정도 가까이 감소한다. 메탄은 $2.7\text{m}^3/\text{m}^3$ feed 정도 생산된다.

5) BAF(Biological Aerated Filter) System

양돈장 폐기물을 처리하기 위해 고/액분리 공정을 포함하고 있는 BAF시스템은 두 개의 BAF단계를 거쳐 균등화된 액체를 만든다. 각 BAF단은 130m^3 의 플라스틱미디어로 채워져 있으며 151m^3 정도 된다. 평균 COD부하는 $6\text{kgCOD}/\text{m}^3$ media이다. COD, BOD, 질소제거효율은 27°C 에서 75%보다 크지만, 10°C 에서는 50~70%보다 낮다. COD와 TN의 제거효율은 각각 37~67%, 46~69%정도 이다. 유출수에는 높은 농도의 $\text{NO}_x\text{-N}$ 이 남아있다. BAF시스템은 미디어 폐색을 방지하기 위해 역세척을 실시한다.

6) BEST(Biomass Energy Sustainable Technology) Biofuel System

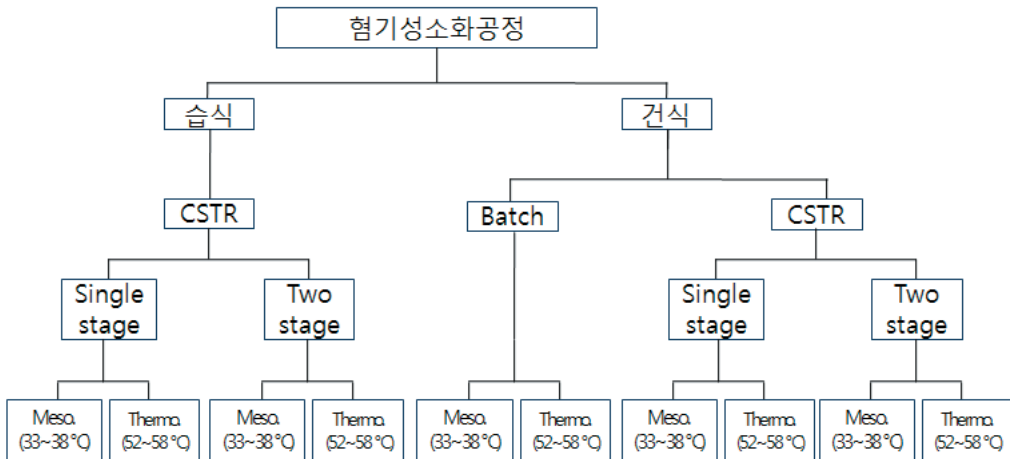
혐기성소화조에 의한 BEST는 바이오연료시스템으로서 Smith Foods 회사에 설치되었다. 이 시스템은 세 개의 완충지와 네 개의 소화조를 포함하고 있다. 이 폐기물은 중력의 작용으로 농축되고 4.5% 고형물로서 소화조로 공급된다. 혐기성소화조는 지하에 설치되고 완벽하게 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)의 다중 라이너로 밀봉된다. 총 $53,000\text{m}^3\text{gas}$ 가 35°C 에서 65~70% CH_4 와 함께 생산된다. 이 가스는 수집되어 바이오메탄올 공정으로 공급된다.

4. 바이오에너지 회수공정

가. 혐기성 소화공정의 분류

혐기성 소화 처리시스템은 시료의 물리·화학적 특성 중 총고형물(total solid, TS) 함량에 좌우되며 보통 2~5% TS를 함유한 고형물을 low solid, 6~15% TS를 함유한 고형물을 medium solid, 고형물 함량이 15% TS 이상인 고형물을 high solid로 구분한다. 혐기성 소화공정의 가장 큰 단점은 혐기성 소화균의 성장속도가 느려서 장시간의 체류시간이 요구됨에 따라 반응조의 크기가 커야한다는 것인데 이러한 문제점을 극복하기 위하여 혐기성 고정 및 유동 생물막공법과 고농도 입상 플럭을 이용한 UASB공법이 개발되어 응용되고 있다.

유기성 폐기물의 혐기성소화 공정의 분류는 다음 그림과 같이 고형물함량에 따라 습식과 건식공정으로 나눌 수 있다.



자료: 한국태양에너지학회지 제14권 제1호(2005), “유기성 폐기물의 바이오가스화 기술 및 현황”

<그림 5.4-1> 유기성 폐기물의 혐기성 소화처리 공정의 분류

1) 습식 혐기성소화 공정

일반적으로 습식소화 공정에서 처리 가능한 유기성 고형 폐기물의 최대 고형물 함량은 15% 미만이며, 재래식 혐기성 소화조에서 처리할 수 있는 고형물 함량은 7~10%범위이다. 습식소화는 처리대상 폐기물의 높은 수분함량 때문에 소화조 운전상 취급이 용이하며 대부분의 반응조 형태는 완전혼합형으로 수직혼합이 지배적이며, 소화 이후 다량의 폐수 발생과 가온시 에너지 소비량이 증가하는 단점이 있지만 기계적 문제없이 연속적으로 운전이 가능하다.

2) 건식 혐기성소화 공정

유기성 고형폐기물의 건식소화 공정은 처리대상 유기성 고형폐기물의 고형물 함량이 거의 25~40%정도 이며 주로 식물 바이오매스, 농작물 잔류물, 농업폐기물 그리고 생분해성 도시고형폐기물을 대상으로 한 혐기성소화 공정이다. 건식소화 공정은 시료에 소량의 물을 가하여 고형물함량 조절이 용이하며, 부피가 작은 반응조에 높은 유기물 부하량을 유지할 수 있기 때문에 대량의 메탄생성이 가능하다. 또한 최종분해산물은 원심분리 혹은 여과과정 없이 직접 회수가 가능하며 액상처리수가 발생하지 않는 장점이 있다.

나. 혐기성 통합소화 기술

유기성 고형폐기물의 혐기성 통합소화(anaerobic co-digestion)는 물리·화학적 성상이 각각 다른 둘 이상의 유기성 폐기물을 혼합하여 단일소화조에서 일괄적으로 처리하는 소화공정으로 정의되며, 통합소화공정의 적용은 유기성 폐기물의 안정적인 처리뿐만 아니라 소화효율의 향상과 더불어 바이오가스의 에너지 이용과 폐기물의 처리비용 그리고 소화 잔류물의 퇴비로서의 가치 측면에서 단일 폐기물 소화고정에 비하여 훨씬 효과적이고 경제적이다. 유럽의 경우 혐기성 소화공정을 이용한 음식물류 폐기물, 축산폐수, 슬러지의 통합소화가 일반화되어 있으나, 국내의 경우에는 최근 주목받아 적용이 증가하는 추세이다. 본 연구에서는 국외의 대표적인 혐기성 소화기술과 국내사례 중심으로 정리를 하였다.

1) 국외기술

국외의 대표적인 혐기성 소화기술은 다음과 같다.

가) DRANCO(Dry Anaerobic Composting) Process

DRANCO Process는 TS함량이 30~35%인 유기성 도시폐기물을 혐기성 소화시키기 위하여 1980년 초 벨기에에서 개발된 공법으로 메탄가스에 의해 에너지를 회수하고 Humus 형태의 유기질비료인 최종산물을 얻는 공정이다.

나) Valorga Process

프랑스의 Valorga회사에서 개발한 Valorga Process는 분쇄된 고형폐기물의 유기성분이 중온조건에서 TS 35%로 유지되어 반응기로 유입된 후 반연속식으로 운전되는 공정이다. 소화조의 잔류물은 그대로 고형물 여과공정을 이용하여 고액분리 후 액체는 다시 소화조로 반송하고 탈수케익은 토양개량제로 사용한다.

다) Kompogas Process

1991년 스위스에서 Willinger에 의해 개발되었으며 소화조의 잔류물을 그대로 고형물 여과공정을 이용하여 고액분리하는 Valorga Process와 아주 유사한 공정으로 1992년에 연간 3,000톤을 처리할 수 있는 상용화 시설을 건설하였다. 다른 공정에 비하여 훨씬 높은 메탄 생산율을 달성하고 있다.

라) Biocell Process

Biocell Process는 네덜란드에서 개발된 공정으로 설비 및 유지관리가 저렴한 공정이다. 이 공법은 회분식 운전이 경제적이라는 측면을 고려하여 회분식 반응조로 운전하며 반응조는 혼합이 존재하지 않기 때문에 함수율을 유지하는 것이 중요한 변수가 된다. 통상 28% 정도의 TS농도가 적당하다.

마) SEBAC(SEquential Batch Anaerobic Composting) Process

SEBAC Process는 도시고형폐기물 중의 유기성 성분으로부터 메탄과 퇴비의 생산을 위해 플로리다대학에서 개발된 공정이다. 소화공정은 3개의 반응조를 이용하여 3단계로 이루어지며 초기 반응조는 말기 반응조의 침출수에 의해 식종이 되고 초기 반응조의 산발효 부산물은 말기 반응조에서 메탄으로 전환되는 침출수 재순환 방법으로 운전된다. 이 공정은 약 TS 65%인 유기성 도시폐기물에 사용된다.

바) BIOMET Process

BIOMET Process는 스웨덴에서 연구된 공법으로 통합소화공정으로 운반된 도시고형폐기물과 하수슬러지를 혼합하여 TS가 15% 정도로 조절하여 처리한다. 처리공정은 운반되어 온 도시고형폐기물을 파쇄하여 유기성 고형물을 분해하고 하수슬러지와 혼합한 후 기계적인 hydropulper로 분쇄하여 무거운 무기질 성분을 분리한 후 소화한다.

사) 국외사례

- 독일 : BAT공법, 고온습식 혐기성소화, 라데베르크 병합시설, BRV공법
- 캐나다 : 해밀턴 발효건조 사료화시설
- 오스트리아 : 이시글시설, SAB공정, SAB공법 · BSFC공법
- 미국 : 올란도 사료화 시설
- 일본 : 호기성 고속퇴비화 시설

2) 국내사례

국내사례는 국립환경과학원의 “유기성폐기물 종합관리기술 구축 III (유기성폐기물 통합처리기술과 바이오매스 이용체계 구축)”를 참조하였다.

가) 음식물류 폐기물과 하수병합처리시설

- 사례1(경남)

시설용량 20톤/일 규모로 평균 10.4톤/일의 음식물류 폐기물을 처리하고 있다. 혐기소화시설에서는 운영상의 큰 문제점은 없으나 바이오가스 발생량이 설계치 2,350m³/일의 8.7% 밖에 되지 않을 정도로 메탄발효율이 낮으며 소화조 가온을 위해 사용되고 있으나 2시간이면 모두 소비되어 경유를 이용하고 있다.

- 사례2(대구)

대구 음식물류 폐기물 발생량 중 약33%를 처리하고 있다. 유기성폐기물 처리효율은 42.9%로 낮은 편이며 소화조 투입시 관막힘 현상 때문에 침사조로 음식물을 전량 투입하므로 활성슬러지조의 부하량이 증가한다.

- 사례3(서울)

기존의 하수처리장을 이용하여 음식물류 폐기물을 하수처리장과 병합 처리하는 목적의 시범사업으로 운영해오고 있으며 유기성폐기물의 처리효율은 44% 정도이다. 발생가스 사용방법은 소화조 가온, 난방, 소각시 사용하고 있으며 8개의 2단 소화조 중 한 곳으로만 음식물류 폐기물을 투입하고 있다.

- 사례4(울산)

울산에서 발생하는 음식물류 폐기물의 약 50%를 소화하고 있다. 유기성폐기물의 처리효율은 약 46%정도이며 약품비가 처리비용에서 차지하는 비율이 높다는 것을 제외하고는 어려움은 없다. 병합 처리 후 가스량의 증가로 소화조 가온으로 사용할 뿐만 아니라 (주)SK에도 판매하고 있다.

- 사례5(강원)

이 처리장에서는 하수, 음식물류 폐기물, 분뇨 및 인근 매립장에서 발생하는 침출수를 하수처리장의 소화조를 이용하여 통합처리하고 있다. 타 시설과는 달리 산발효조를 이용하여 산발효후 전처리과정을 거친 분뇨와 함께 소화조로 직투입하고 있는 시스템을 갖추고 있다.

- 사례6(경남)

현재 시설용량을 초과하는 음식물류 폐기물을 처리하고 있다. 농촌의 특성상 농작물찌꺼기가 다량 반입되며 이로 인해 펌프가 막히는 현상이 빈번히 발생하고 있다. 소화조 열원을 공급하고도 잉여가스가 생산되고 있어 현재는 소각하고 있으나 향후 활용도를 높이기 위하여 소규모 발전시설의 도입을 계획중이다.

- 사례7(부산)

시설용량 120톤/일 규모의 음식물류 폐기물 처리시설을 운영하고 있다. 별도의 화학약품은 투입되지 않으며 혼합 저류조에서 혼합된 음식물류 폐기물과 슬러지는 소화조에 투입된다. 소화조에서 발생하는 바이오가스를 이용하여 소화조 가온에 필요한 열원을 모두 충당하고 있으며 잉여가스 또한 생산된다. 잉여가스 일부는 발전시설 가동에 사용하고 있으며 나머지는 소각하고 있다.

나) 음식물류 폐기물과 축산분뇨 병합처리시설

- 사례1(경기도)

전국에서 유일하게 존재하는 음식물류 폐기물과 축산분뇨 병합처리시설이다. 오염부하량이 큰 축산분뇨와 직매립이 금지된 음식물류 폐기물을 안전하고 경제적으로 처리하는데 효율적인 시설이다. 여기서 발생하는 바이오가스를 이용하여 사계절 소화조 자체가온 및 전력으로 활용하며 잉여가스는 소각하고 있다. 혐기소화 후 발생하는 잉여슬러지는 위탁하여 퇴비화하고 있다. 또한 가압 부상조를 거친 처리수는 생물반응조 및 분리막 공정을 거쳐 방류하고 있다.

다) 축산분뇨와 분뇨병합처리시설

- 사례1(경기)

실제 유입되는 용량은 거의 대부분이 축산폐수로 약 80%정도 이상이며 분뇨는 가끔 유입되는 실정이다. 주처리 공법은 BCS공법으로 저류조 이후 시설에 문제 발생 시 처리장의 가동이 불가능하다는 단점이 있다. 반응조의 특성상 온도상승으로 인한 냉각장치가 따로 필요하며 탈수 케익은 전량 해양투기하고 있다.

- 사례2(경기)

실제로 유입되는 양은 분뇨 약 75%, 축산 약 25% 정도이다. 주요 처리공법은 액상부식법이며 유지·보수에도 큰 어려움이 없다. 발생하는 협잡물은 소각을 통해 처리하고 하루 6톤가량 발생하는 탈수슬러지는 전량 퇴비로 주변농가에 무상공급하고 있다. 기상이 좋지 않은 날 악취문제와 기계의 소음이 문제가 되지만 병합처리 자체는 안정적으로 이루어지고 있다.

- 사례3(경기)

전국에서 최초로 축산분뇨와 분뇨병합처리를 실시한 처리시설이다. 주요공법은 B3공법이며 악취에 탁월한 공법으로 별도의 탈취시설은 없다. 축산폐수의 유입량이 줄고 분뇨의 유입량이 증가하는 추세로 보아 분뇨처리장으로의 전환 가능성도 있다. 탈수케익은 퇴비화하고 있다.

- 사례4(전남)

현재 반입량 가운데 70~80% 정도가 축산분뇨이며 나머지는 정화조분뇨이다. 처리공법은 액상부식법을 사용하고 있으며 발생하는 탈수케익은 해양배출되고 있다. 전처리 과정에서의 암모니아로 인한 악취가 문제점으로 지적되었으며 여름에 미생물의 활성감소(액상부식조의 온도상승이 원인)로 처리효율이 떨어지며 액상부식공정에서 약품투여 로 인해 발생하는 슬러지케익은 퇴비기준에 미달되어 퇴비화가 불가능한 실정이다. 이의 위탁처리비도 비용적인 측면에서 문제가 되고 있다.

- 사례5(경남)

현재 반입량 가운데 70% 이상이 축산분뇨이며 나머지는 주로 정화조분뇨이다. 처리공법은 액상부식법을 사용하고 있으며 반입된 축산폐수와 분뇨를 초기 투입부분부터 혼합하여 투입한다. 여름철 액상부식조 온도상승으로 운전이 어려워 무기성분 및 이물질은 소각처리 되고 별도로 분리된 분성분은 농가에서 수거하여 짚겨와 혼합하여 퇴비원료로 사용하고 있다. 운영상의 가장 큰 문제점은 축산분뇨의 유입량 및 오염부하의 변동이며 소규모 축산농가의 처리과정 없이 배출되는 고농도의 폐수가 문제로 지적되고 있다.

국내에서 유기성폐기물 처리기술은 신뢰성 문제로 많은 시행착오를 겪어왔지만, 최근 기술적 경험이 축적되면서 신뢰성이 회복되는 단계로 판단된다.

다. CDM사업을 위한 유기성폐기물 처리기술

1) 하수슬러지

하수슬러지를 이용한 에너지 회수시설은 이미 기존처리시설에서 소화조의 형태로 많이 존재하고 있다. 하수처리장에서 발생하는 최종 탈수슬러지를 대상으로하는 하수슬러지 신규 처리설비를 구상하기 전에 탈수슬러지 발생을 최소화하는 기술이 가장 경제적인 공정이라 생각한다. 기존시설을 이용하여 설치비를 절감하는 동시에 처리슬러지 양을 줄임으로써 운영비도 줄일 수 있을 것이다. 에너지를 회수하여 CDM사업의 탄소배출권을 극대화하기 위한 방안은 다음과 같다.

- 감량화기술과 소화효율개선을 통하여 슬러지 소화율을 증가시켜 가스 발생량은 극대화 하고, 탈수슬러지 발생량은 최소화 하여야함
- 재이용을 위한 건조시설은 열원을 이용하는 공정보다는 기류 건조 등 에너지 저 소비형 건조설비가 적합함
- 건조슬러지의 처리는 소각, 재활용, 탄화 등 다양하겠지만, 가장 경제적인 방안은 고화를 통한 매립장 복토재 사용임. 매립가스 회수시설이 있는 경우 매립장 자체의 가스발생량 향상에도 도움을 줄 수 있을 것임

2) 음식물류 폐기물

음식물류 폐기물 처리를 위해 에너지 회수공정을 적용할 경우 소화액 처리문제가 발생한다. 또한, 에너지 회수를 위해 하수처리장 기존소화조를 이용할 경우, 소화조 불안정 문제를 유발할 수 있는 현실이다. CDM사업과 연계한 음식물류 폐기물의 처리는 혐기성(통합)소화 공법을 통해 바이오가스를 회수한 후 소화액을 수처리 공정을 거쳐 방류하거나 하수처리장과 연계하는 방안 등을 고려할 수 있다.

3) 축산폐수

지금까지 축산폐수 처리시설은 기존의 수처리공정을 적용하여 처리하는 경우가 많았다. 복잡한 수처리공정의 조합과 기존 혐기성시설의 운영상 어려움으로 축산폐수처리에 대한 신뢰도는 아직까지 낮은 현실이다. 최근에는 국내에서도 에너지회수설비 사례가 증가하는 만큼, 기술적 및 운영상의 경험이 축적될 것으로 판단한다. 혐기성소화를 이용한 축산폐수의 처리는 바이오가스 회수 후 소화액을 재활용, 수처리 공정을 거쳐 방류, 하수처리장과 연계하는 방안 등을 고려할 수 있다.

5. 바이오 에너지 활용기술

혐기성 소화를 통해 이론적으로 COD(유기물) 1kg당 0.35m³의 메탄가스가 발생된다. 메탄가스의 발열량은 9,500 kcal/Nm³(고위발열량 기준)으로 천연가스의 85%가 메탄가스임을 고려할 때 훌륭한 에너지원이 될 수 있다. 다만, 혐기성 소화시 발생하는 황화수소를 포함한 황화합물, 암모니아 등의 불순물 제거를 위해 정제시설이 필요하며, 소화가스 관로내의 생성되는 수분을 제거하기 위해 배관에 드레인 제거기가 필요하다.

메탄의 순도를 높인 질 좋은 가스를 생산하기 위해서는 카르바민산, 제올라이트, 막 등을 이용한 이산화탄소 제거시설이 필요하다. 혐기성 소화를 통해 발생된 바이오가스의 활용방안을 정리하면 다음과 같다.

가. 직접이용

혐기성 소화를 통해 발생된 가스를 인근지역 보일러 연료로 사용하는 방안이다. 우리나라 하수처리장 혐기성소화조는 일반적으로 중온(35℃)소화를 하고 있으므로, 소화조에서 발생된 소화가스를 보일러에 공급하여 가온에 사용할 수 있다. 보일러는 소화조 가온형식에 따라 스팀을 공급(직접가온)하거나 온수를 공급(간접가온)한다. 그러나 가온이 상대적으로 불필요한 여름의 경우 연소설비를 통해 잉여가스를 태우기도 한다. 최근에는 처리장내 음식물, 슬러지 등의 건조설비를 두는 경우 가온용 연소보일러에 잉여가스를 공급하여 열원으로 이용한다.

나. 소화가스 발전

소화가스를 연소한 폭발력으로 발전기를 돌려 전기를 생산하는 방법으로 처리장에서 전기를 직접 사용하거나 잉여전력을 송전하는 방식이다. 현재 가장 널리 사용되는 발전기술은 가스엔진, 가스터빈, 스팀터빈이 있다.

1) 가스엔진

전 세계적으로 가장 일반적으로 사용되는 기술로 소형 승용차에 사용되는 내연 기관이다. 발전효율이 25~35%이며, 부하변동에 효과적으로 대처할 수 있다는 장점이 있다. 반면, 가스성분의 변화에는 민감하며, 불순물이 있을 경우 내구성이 떨어지고 NO_x 발생량이 상대적으로 높은 단점이 있다.

2) 가스터빈

고온·고압의 연소가스로 터빈을 가동시키는 회전형 열기관이다. 경제성을 가질려면 시간당 최소한 2,500 Nm³(약 4MW급)의 가스량이 필요하므로 대규모 시설의 소화가스 활용에 적절하다. 발전효율은 20~28%이고 부하변동에 민감하나, 기계적 구동 부분이 적고 유지보수가 용이한 장점이 있다.

3) 스팀터빈

고온·고압의 증기를 노즐로 터빈에 분사하여 회전력을 얻는 원동기이다. 발전효율은 20~31%로 변화폭이 크며 발전용량 10MW이상의 큰 용량에 사용이 가능하다. 가스엔진과 스팀터빈에 비해 유량과 성분에 안정적이다. 반면 설치 및 유기관리비가 높고, 증기 생산에 필요한 적정량 이상의 소화가스가 지속적으로 필요하다.

다. 열병합 발전

“열병합 발전”은 증기(열원)와 전기를 동시에 얻을 수 있는 개념이다. 고압의 증기를 생산하여 터빈을 구동하여 전기를 얻고 압력이 떨어진 증기를 다시 회수하여 난방 등의 열원으로 사용할 수 있다. 열병합 발전은 유럽의 화력발전소에서 시작되었으며, 대규모 집중형 보다는 소규모 분산형이 경제성면에서 우수한 것으로 알려져 있다.

현재 국내에서 열병합 발전은 주로 공동주택 및 대형 건물에서 시행되고 있는데, 2005년 12월 기준으로 108개소 160기가 설치되어 총발전용량 138MW (국내 총 발전용량의 0.2%)를 공급한다 (국립환경과학원, 유기성폐기물 종합관리기술 구축 III, 2006). 지금까지 대부분의 열

병합 발전은 LNG, 병커C유 등을 이용하여 전기 및 열원을 공급하였다. 그러나, 최근 목질계 바이오매스, 가연성 폐기물, 폐기물 고형연료 (RDF; Refuse Derived Fuel) 등을 이용한 열병합 발전 뿐만 아니라 유기성폐기물의 소화가스를 이용한 열병합 발전시설이 주목받고 있다.

라. 가스정제

소화가스를 정제하여 배관망을 통해 필요로 하는 수요처에 공급하는 기술이다.

1) 중질가스화

중질가스화는 간단한 전처리 및 배관망을 설치하여 수요자에게 직접 연료로 공급하는 방안이다. 초기투자비 및 운전관리비가 저렴하고, 최종 수요처의 확보에 따라 100% 재활용이 가능한 장점이 있는 반면 최종수요처가 근거리에 있어야 하며 저장용기 부피의 제한으로 계절별로 수요 편차가 없는 산업용 외에는 수요처 발굴이 힘들다는 단점이 있다.

2) 고질가스화

전처리 및 1, 2차 정제를 통해 고질의 메탄을 생산하여 LNG수준의 연료를 공급하는 방안이다. 고질가스 활용방안은 초기투자비의 부담은 있으나, 중질가스에 비해 고부가가치의 연료생산을 기대할 수 있어 도시가스나 자동차연료(CNG)로 사용이 가능하다. 그러나, 현행 도시가스사업법상 발열량 기준 및 배관 등 인허가에 협의가 필요하고, 고압의 압축공정이 필요하다는 단점이 있다.

마. 기타 활용방안

마이크로 터빈 발전, 침출수 증발, 연료전지화, 메탄을 생산, 인산화 탄소 생산 등이 있다.

제 6 장

JDI

유기성폐기물 바이오에너지 회수와 탄소배출권

1. CDM사업 사례
2. 바이오에너지를 이용한 CDM사업 방법론
3. 유기성폐기물과 탄소배출권
4. 전라북도 유기성폐기물 바이오에너지 CDM사업

제 6 장 유기성폐기물 바이오에너지 회수와 탄소배출권

1. CDM사업 사례

본 연구에서는 전라북도의 유기성폐기물을 대상으로 CDM사업을 수행할 경우 적용방법 및 확보가능한 탄소배출권을 조사하고자 하였다. CDM방법론을 이용한 배출권 산정과정을 분석하기 위해 UN에 등록된 CDM사업 중 유기성폐기물과 관련된 사업을 선정하였다. 사례조사는 사업내용과 온실가스 감축량에 따른 탄소배출권 산정을 중심으로 수행되었다. 이를 통해 유기성폐기물에 적용가능한 CDM방법론을 선정한 후 전라북도 현황을 적용할 경우 확보가능한 탄소배출권을 추정하였다.

가. 혐기성 소화를 이용한 축산폐수 발전사업 (필리핀)

1) 사업명

- 돈사폐수 혐기성 소화를 이용한 현장발전 패키지 사업 (2007년 10월 17일 등록)

2) 사업설명

가) 사업내용

- 필리핀의 Chona's 농장(돼지 사육 5,000두)과 Sunjin 농장(돼지 사육 6,261두)에서 발생하는 축산폐수가 개방형 라군 공정으로 처리되고 있으나, 메탄배출과 심한 악취로 문제가 되고 있음
- 라군 공정에서 바닥 차수제와 상부커버를 설치한 CIGAR (PhilBIO사) 시스템을 도입하여 혐기성 처리효율을 향상시키고, 발생된 메탄가스를 회수하여 전기를 생산함.
- 100kW 가스발전기를 각 처리장에 설치하여 연간 767MWh의 전기를 생산하여 농장전력수요의 100%를 충당함 (잉여가스는 연소)

나) 사업목적

- 농장폐수를 관리하여 폐수의 유기물 부하량 감소
- 시급한 현안 문제인 악취 감소

- 바이오가스를 이용한 전력생산
- 온실가스 배출량 감소

3) 사업참여자

- Opol Chona's 농장 : 필리핀 (주최국)
- 사단법인 Sunjin 유전학 : 필리핀 (주최국)
- 주식회사 PhilBIO : 필리핀 (주최국)
- 유한회사 Equity + Environment Assets Ireland : 영국 (공식 연락처)

4) 사업위치

- Chona's 농장 (필리핀 미사미스 오리엔탈)와 Sunjin 농장 (필리핀 안티폴로시)

5) 베이스라인 방법론

- 소규모 CDM사업 Type I.D (전력 계통연계시스템에 제공하는 재생에너지 발전)
 - AMS-I.D (방법론)
- 소규모 CDM사업 Type III.D (메탄회수)
 - AMS-III.D (방법론)

가) 베이스라인

- AMS- I.D 베이스라인

$$E_{\text{baseline}} = EP_{\text{BIO}} \times CEF_{\text{grid}}$$

E_{baseline} : 발전에 의한 베이스라인 (톤CO₂e/년)

EP_{BIO} : 바이오가스에 의한 대체전력량 (MWh)

CEF_{grid} : 전력공급에 따른 배출계수 (톤CO₂e/MWh)

- AMS-III.D 베이스라인

$$FE_{\text{baseline}} = FM_{\text{baseline}} \times GWP$$

FE_{baseline} : 탈루성 온실가스 배출 베이스라인 (톤CO₂e/년)

FM_{baseline} : 탈루성 메탄가스 배출 베이스라인 (톤/년)

GWP : 메탄의 지구온난화지수 (톤CO₂e/톤)

$$FM_{\text{baseline}} = EF_i \times \text{Pop}$$

EF_i : 돼지의 연간 배출계수 (kg/년)

Pop : 돼지 사육두수

$$EF_i = VS_i \times 365 \text{ 일/년} \times B_{oi} \times 0.67 \text{ kg/m}^3 \times \Sigma \text{MCF} \times \text{MS\%}$$

VS_i : 돼지의 하루 VS배출계수 (kg/일)

B_{oi} : 최대 메탄발생량 (m³/kg of VS)

MCF : 처리공정에 따른 메탄변환인자

MS% : 축산폐수 회수율

- 총 베이스라인 (TBemissions)

$$TB_{\text{emissions}} = FE_{\text{baseline}} + E_{\text{baseline}}$$

나) 사업 활동에 따른 온실가스 배출량

$$PE_{\text{project}} = E_{\text{digester}} + E_{\text{flare}} + E_{\text{non-biogenic}} + E_{\text{power}} + E_{\text{sludge}}$$

PE_{project} : 사업배출량 (톤CO₂e/년)

E_{digester} : 포집되지 않고 대기로 방출되는 메탄발생량 (톤CO₂e/년) (1)

E_{flare} : 소각되지 않고 누출되는 메탄발생량 (톤CO₂e/년) (2)

$E_{\text{non-biogenic}}$: 비생물학적 메탄 연소에 따른 온실가스 발생량 (톤CO₂e/년) (3)

E_{power} : 운영중 전기 또는 화석연료 사용에 따른 온실가스 발생량(톤CO₂e/년) (4)

E_{sludge} : 소화조에서 발생하는 슬러지에 의한 온실가스 발생량(톤CO₂e/년) (5)

(1)* $E_{\text{digester}} = FE_{\text{baseline}} \times 10\%$

(2)* $E_{\text{flare}} = Q_{\text{flare}} \times (1 - \text{flare efficiency})$

Q_{flare} : 연소되는 메탄의 양 (톤CO₂e/년) = 0 (사업계획서상 메탄전량 포집예정)

(3)* $E_{\text{non-biogenic}} = 0$ (메탄이외 연료사용 계획없음)

(4)* $E_{\text{power}} = 0$ (CIGAR 시스템 소요전력 없음)

(5)* $E_{\text{sludge}} = 0$ (슬러지 인발계획 없음)

* 온실가스 감축량 예측시 조건임. 모니터링의 경우 실측치를 이용하여 산정됨.

다) 온실가스 감축량 (ER)

$$ER = TB_{\text{emissions}} - PE_{\text{project}}$$

6) 인증기간 동안 배출저감량 예측

년도	베이스라인 (톤CO ₂ e/년)		사업배출량 (톤CO ₂ e/년)	년간 배출 저감량 (톤CO ₂ e)
	메탄포집	전력		
2007 (9월부터)	1,853	268	186	1,935
2008	5,559	803	556	5,806
2009	5,559	803	556	5,806
2010	5,559	803	556	5,806
2011	5,559	803	556	5,806
2012	5,559	803	556	5,806
2013	5,559	803	556	5,806
2014 (8월까지)	3,706	535	370	3,871
총 배출저감량	38,913	5,621	3,891	40,642
총 인증기간	7년 (21년까지 갱신 가능)			
인증기간도안의 평균 연간 배출저감량	5,806			

7) 모니터링 계획

- 전력량, 바이오가스, 메탄함량, 연소가스량, 연소효율, 혐기성 커버 누출여부
- 연소효율(내정값 90%적용)
- 슬러지 발생량(농장기록 사용)

나. 혐기성 소화가스를 이용한 열병합 발전사업 (멕시코)

1) 사업명

- 천연가스와 현장폐수의 생물학적 소화에 의해 생성된 바이오 가스로 전기와 열수를 사용하기위한 열병합발전사업(2006년 8월 19일 등록)

2) 사업설명

이 사업의 목적은 공정폐수로부터 청정 재생에너지인 바이오가스를 생산하여 에너지로 사용하는 것이다. 현재 바이오가스는 La Costena-Jugomex식품 가공공정에서 나오는 폐수로 부터 혐기성소화를 통해 생성되며 대기중으로 방출된다.

이 사업은 전기와 열수의 생산을 위한 열병합발전 엔진장치, 전기 변전소, 그 밖의 다른 장치들로 구성되어 있다. 이 사업이 환경친화적개발인 이유는 다음과 같다.

- 이 회사의 하루당 20.8MWh에 해당하는 전기사용량의 감소를 가져옴
- 천연가스의 사용을 줄이기 위해 메탄으로 바꾼 La Costena-Jugomex는 화석 연료를 청정 재생연료로 대체하고 있으며 이는 또한 비재생자원의 절약에 도움이 되고 있음

3) 사업참여자

- La Costena : 멕시코(주최국)
- Jugomex : 멕시코(주최국)
- Econergy Mexico : 멕시코(주최국)

4) 사업위치

- Tulpetlac(멕시코시티의 수도권 지역내)

5) 베이스라인 방법론

- 소규모 CDM사업 Type IC (재생에너지 사업)
→AMS-IC

가) 베이스라인

$$BTEE = ADTE \times NGEF_{IPCC} \times MCF \times ECF$$

BTEE : 연간 기본 열에너지 배출량(톤CO₂e)

NGEF_{IPCC} : 천연가스의 탄소용적(15,3톤C/TJ)

MCF : 질량 변환 factor(44CO₂/12C)

ECF : 에너지 변환 factor(0.003601TJ/MWh)

$$ADTE = ATEO / \eta_{process\ boilers}$$

ADTE : 연간 대체된 열에너지량(MWh)

ATEO : 연간 열병합시스템에서의 열에너지 방출량(MWh)

$\eta_{process\ boilers}$: 기존의 보일러에서의 열효율(75%)

$$BEEE = ADEE \times BER$$

BEEE : 연간 기본 전기에너지 배출량(톤CO₂e)

ADEE : 연간 대체된 전기에너지량(MWh)

BER : 전기 grid의 베이스라인 배출량 비율(톤CO₂/MWh)

- 온실가스 배출량 총 베이스라인(TBE)

$$TBE(\text{톤CO}_2\text{e}) = BTEE + BEEE$$

나) 사업활동에 따른 온실가스 배출량

$$NGPE = ANGEU \times NGEF_{IPCC} \times MCF \times ECF$$

NGPE : 연간 천연가스 사업 배출량(톤CO₂e)
 NGEF_{IPCC} : 천연가스의 탄소 용적(15.3톤C/TJ)
 MCF : 질량 변환 factor(44CO₂/12C)
 ECF : 에너지 변환 factor(0.003601TJ/MWh)

$$ANGEU = AEI_{cogen} - AMC$$

ANGEU : 연간 열병합시스템에서 연소된 천연가스(MWh)
 AEI_{cogen} : 연간 열병합시스템의 투입에너지(MWh)
 AMC : 연간 생물학적 소화에서 메탄생산량(MWh)

다) 온실가스 감축량

$$ER = TBE - NGPE$$

6) 인증기간 동안 배출저감량 예측

년 도	베이스라인(톤CO ₂ e)	사업배출량(톤CO ₂ e)	년간배출저감량(톤CO ₂ e)
2006(3월부터)	5,720	2,614	3,106
2007	6,823	3,118	3,705
2008	6,823	3,118	3,705
2009	6,823	3,118	3,705
2010	6,823	3,118	3,705
2011	6,823	3,118	3,705
2012	6,823	3,118	3,705
Total	46,658	321,322	25,336
총 인증기간	7년(21년 까지 갱신가능)		
인증기간동안에 평균년간 배출저감량(톤CO ₂ e)	3,619		

7) 모니터링 계획

- 열병합시스템의 연간 천연가스소비와 열수생산량
- 열병합시스템의 입·출구 물 온도와 온도에 따른 물의 밀도
- 입·출구 물 온도에 따른 엔탈피
- 이 사업에 의한 전기 생산량과 열병합시스템에서의 전기 소비량
- 기존 보일러 연소효율 : 75%

다. 소형 혐기성소화조에서 생산되는 바이오가스를 이용한 열원공급(네팔)

네팔의 사례는 소규모 CDM의 번들화(bundling)의 예로 프로그램 CDM과 유사한 개념을 적용하였다.

1) 사업명

- 바이오가스 지원 프로그램; Nepal Activity-1 (2005년 10월 27일 등록)

2) 사업설명

Alternative Energy Promotion Center의 목적은 당초에 네팔의 농촌지역 가정에 바이오가스 소화장치(바이오가스 공정)를 파는 것이었다. 이를 통해 목재연료나 등유같이 요리를 위해 지금까지 사용해온 연료원을 대체함으로써 온실가스를 줄일 수 있다. 동물 폐기물의 적당한 처리를 제시하고 그 가정에 화학적인 비료의 소비를 대체할 수 있는 바이오슬러리를 생산하게 함으로서 부가적으로 CH₄와 N₂O의 저감을 가져온다 할지라도 이러한 배출감소량은 정확하게 계산이 되지 않는다.

이 사업은 네팔 전역에 총 200,000개의 작은 바이오가스 소화장치를 설치하는 것을 목적으로 하는 포괄적인 BSP-Nepal 바이오가스 프로그램의 소프로그램(9,708개 보급)이다. 이를 포괄적인 BSP-Nepal 바이오가스 프로그램 중의 첫 번째 소프로그램이라 하여 BSP-Nepal Activity-1이라 명명하였다. 포괄적인 BSP-Nepal 바이오가스 프로그램은 네팔정부의 국가적인 단계로 봤을 때 4단계로 볼 수 있다.

포괄적인 BSP-Nepal 바이오가스 프로그램 접근법의 기본요소는 다음과 같다.

- 제도와 조합을 통한 마지막 사용자까지의 재정지원
- 바이오가스 공정의 기술적 설계의 단일화
- 생산율의 모니터링과 질의 제어를 통해 참여바이오가스회사의 설치와 A/S
- 공정의 최적의 운전을 위해 그리고 바이오가스 공정 개선을 위한 지속적인 연구와 발전
- 멀리보고 인식하며 훈련 프로그램을 통한 사회적인 마케팅
- 바이오가스에 의한 생성물인 바이오슬러리의 이점을 최대화시키는 비료확장프로그램의 실행
- 바이오가스 부분에 있어서 재정적, 구조적, 유지보수, 제조, 훈련, 마케팅 등 다양한 부분에서 서비스를 받을 수 있는 제도제공
- 바이오가스 부분에서 CDM적용이 가능한 한 가지 규모의 바이오가스 공정의 설치

바이오가스공정은 요리를 위한 열에너지로서 바이오가스를 생산한다. 설치된 바이오가스 공정 에너지는 1.16~2.32kW에 상당하며 이 사업에 의해 총 설치된 발전용량은 14.73MW로 집계된다.

3) 사업참여자

- Alternative Energy Promotion Center(AEPC) : 네팔(주최국)
- Household Maiya Gautam : 네팔(주최국)
- Household Suk Man Tamang : 네팔(주최국)
- The Community Development Carbon Fund(CDCF) : 네덜란드(참여국)

4) 사업위치

- 바이오가스 장치는 네팔의 75개 지역 중에 55개 지역 내에 가동되고 있다.

5) 베이스라인 방법론

- 소규모 CDM사업 Type IC(재생에너지 사업)
→ AMS-IC(방법론)

가) 베이스라인(연료)

I. 등유에 의한 CO₂배출량

각 공정에 대한 연간 배출량(톤CO₂e/년)

$$= \text{하루등유소비량} \times 365 \times 2.41 \text{kgCO}_2 / \ell / 1000$$

등유의 CO₂배출 계수 : 2.41kgCO₂/ℓ 등유

II. 목재연료에 의한 CO₂배출량

각 공정의 연간 배출량(톤CO₂e/년)

$$= \text{하루목재연료소비량} \times \text{주변의 고갈된 목재연료\%} \times 365 \times 1.83 \text{kgCO}_2 / \text{kg} / 1000$$

목재연료의 CO₂배출 계수 : 1.83kgCO₂/kg 등유

III. 목재연료연소에 의한 CH₄배출량

각 공정의 연간 배출량 (톤CO₂e/년)

$$= 3.0 \text{gC} \times 1.3 \text{gCH}_4 / \text{gC} / 1,000,000 \times 21 \text{톤CO}_2 \text{e} / \text{톤CH}_4 \times \text{하루목재연료사용량} \times 365$$

1kg목재연료 연소에 의한 메탄배출량 : 3.0g

1gC=1.3g메탄

21톤CO₂e/톤CH₄=메탄의 지구온난화지수

나) 사업 활동에 따른 온실가스 배출량

IV. 소화장치에서 바이오가스 누출량에 의한 CH₄배출량

각 공정의 연간 메탄 누출량

$$= \text{바이오가스생산량} \times \text{바이오가스의 메탄농도} \times 0.71 \text{kg} / \text{m}^3 \times 12.5\% \times 21 \text{톤CO}_2 \text{e} / \text{톤CH}_4$$

21톤CO₂e/톤CH₄=메탄의 지구온난화지수

12.5%=소화장치에서의 바이오가스 누출량

0.71kg/m³=메탄의 농도

다) 온실가스 감축량

[ERF(a,b,l)] = 등유(톤CO₂e)로부터의 CO₂배출량 + 목재연료(톤CO₂e)로부터의 CO₂배출량 + 목재연료로부터의 메탄배출량 - 바이오소화장치와 불완전연소로부터의 메탄 누출배출량

ERF(a,b,l)] : b범위에서 a크기의 바이오가스공정에 대한 배출감소 인자

ERF(w,l)=년간 가동된 모든 바이오가스공정의 가중된 평균배출감소 인자

가중된 ER 인자 > 5톤CO₂/바이오소화장치/년인 경우 : 4.99톤CO₂/공정/년

가중된 ER 인자 < 5톤CO₂/바이오소화장치/년인 경우 : 가중된 ER 인자 적용

연간 사업수행으로 인한 저감된 총 배출량 = N×P×ERF(w,l)

N : 이 사업에 의해 가동된 바이오공정의 개수

P : 운전중인 바이오공정의 총 개수/팔린 바이오공정의 총 개수

6) 인증기간 동안 배출저감량 예측

년도	년간 CO ₂ 배출저감량(톤CO ₂ e)
2004.8.1 - 2005.7.31	46,990
2005.8.1 - 2006.7.31	46,990
2006.8.1 - 2007.7.31	46,990
2007.8.1 - 2008.7.31	46,990
2008.8.1 - 2009.7.31	46,990
2009.8.1 - 2010.7.31	46,990
2010.8.1 - 2011.7.31	46,990
Total(톤CO ₂ e)	328,990
총 인증기간	7년
인증기간동안에 평균년간 배출저감량(톤CO ₂ e)	46,990

7) 모니터링 계획

- 보건과 안정화측면의 요소 : 화장실의 구조, 변소슬러리에서 병원균제거를 위해 특별하게 설치된 소화공정의 슬러지의 보건상의 국면, 모기 억제, 가능한 가스누출
- 물의 유용성과 소비
- 어류의 사료(어분)로서 바이오 슬러지 현탁액 사용

라. 혐기성소화를 이용한 발전사업과 호기성소화를 이용한 퇴비화 사업(중국)

1) 사업명

- CDM사업으로 Henan지방의 Muyuan 돈사에서 메탄회수와 활용(2007년 12월 21일 등록)

2) 사업설명

이 사업은 Henan지방에 6개의 돼지 소농장을 가지고 있는 Muyuan 사료회사의 돈사퇴비처리시 발생하는 메탄을 수집하는 것이다. 각 소농장에는 하나씩의 바이오가스장치가 설치될 것이고 퇴비는 한곳에서 처리된다. 제안된 사업은 연간 혐기성소화장치에 의해 188,550마리의 돼지로부터 나오는 퇴비와 폐수를 처리하며 처리공정에서 생성된 바이오가스는 발전에 사용한다. Muyuan은 퇴비를 수집하는데 자동화된 수세식시스템을 사용하며 모든 퇴비는 혐기성 소화조에서 나온다. 혐기성 소화후에 폐수는 호기성 처리를 하며 농업의 관개수로 이용된다. 따라서 돈사에서 얻어진 퇴비는 저감, 자원활용, 무해화, 생태학적 활용을 실현가능하게 한다. 제안된 사업의 총 설치용량은 1.09MW이며 생성된 전기는 모두 돈사에서 사용된다. 여기에서 바이오가스의 주생성물은 중요한 온실가스로 생각되는 메탄이며 따라서 이 사업의 수행으로 온실가스의 배출을 효과적으로 감소시킬 수 있다.

이러한 기술은 생산공정에서의 오염물질의 유입을 직접적으로 제어할 수 있고 동물들의 오염을 막을 수도 있으며 돼지-바이오가스-농작물의 패턴으로 폐수를 방류하지 않는다는 점에 있어서 미래가 밝다.

이 사업은 다음과 같은 장점으로 지역의 친환경적인 개발로서 공헌하고 있다.

- 이 사업은 수질향상, 악취제어, 노동자의 작업환경개선, 농부들의 생산성과 삶의 질의 향상
- 이 사업은 거주민들의 20가지 종류의 일자리 제공
- 농부들에서 무료로 제공되는 방류수와 슬러리는 질이 좋은 유기질 비료로 양질의 유기농산물을 생산할 수 있으며 이로 인해 농가의 수입 증대
- 바이오가스는 전통적인 에너지를 대체할 수 있는 청정에너지로서 발전에 이용되며 사업을 통해 효과적으로 메탄의 배출을 감소시킬 수 있고 지구적인 기후변화를 경감시키는데 공헌이 가능

3) 사업참여자

- Muyuan 사료 회사 : 중국(주최국)
- Marubeni 회사 : 일본(참여국)

4) 사업위치

- Henan지방 Neixiang촌의 Muyuan사료회사

5) 베이스라인 방법론

- ACM0010(통합CDM방법론; 축분의 혐기성 처리)

가) 베이스라인

$$BE_y = BE_{CH_4,y} + BE_{N_2O,y} + BE_{elec/heat,y}$$

BE_y : 연간 베이스라인 배출량(톤CO₂e/년)

$BE_{CH_4,y}$: 연간 베이스라인 메탄 배출량(톤CO₂e/년)

$BE_{N_2O,y}$: 연간 베이스라인 N₂O배출량(톤CO₂e/년)

$BE_{elec/heat,y}$: 연간 베이스라인에서 전기나 열로부터 CO₂배출량(톤CO₂e/년)

나) 사업 활동에 따른 온실가스 배출량

$$PE_y = PE_{AD,y} + PE_{Aer,y} + PE_{N_2O,y} + PE_{PL,y} + PE_{flared,y} + PE_{elec/heat,y}$$

$PE_{AD,y}$: 저장된 메탄 AWMS시스템으로부터 연간 누출량(톤CO₂e/년)

$PE_{Aer,y}$: 퇴비를 호기적으로 처리하는 AWMS으로부터 메탄 배출량(톤CO₂e/년)

$PE_{N_2O,y}$: 사업의 퇴비폐기물처리시스템으로부터 질소산화물 배출량(톤CO₂e/년)

$PE_{PL,y}$: 저장된 메탄을 공급하거나 열이나 전기발전에 사용하기위해 공급하는 바이오가스 네트워크에 의한 물리적인 누출량 (톤CO₂e/년)

$PE_{flared,y}$: 잔류되어 있는 가스흐름으로부터 사업 배출량(톤CO₂e/년)

$PE_{elec/heat,y}$: 연간 사업활동에 사용되는 열과 전기로부터의 CO₂ 사업 배출량(톤CO₂e/년)

다) 누출량

$$LE_y = (LE_{P,N_2O} - LE_{B,N_2O}) + (LE_{P,CH_4} - LE_{B,CH_4})$$

LE_{P,N_2O} : 처리된 퇴비의 토지사용적용으로부터 사업활동기간 동안의 감소된 N₂O배출량 (톤CO₂e/년)

LE_{B,N_2O} : 처리된 퇴비의 토지사용적용으로부터 베이스라인 행동계획기간동안의 감소된 N₂O배출량 (톤CO₂e/년)

LE_{P,CH_4} : 처리된 퇴비의 토지사용적용으로부터 사업활동기간 동안의 감소된 메탄배출량 (톤CO₂e/년)

LE_{B,CH_4} : 처리된 퇴비의 토지사용적용으로부터 베이스라인 행동계획기간동안의 감소된 메탄배출량 (톤CO₂e/년)

라) 온실가스 감축량

$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y$$

6) 인증기간 동안 배출저감량 예측

년도	베이스라인(톤/CO2e)	사업배출량(톤/CO2e)	년간배출저감량(톤CO2e)
2007.11.1-2007.12.31	24,659	6,249	18,410
2008	147,955	37,494	110,461
2009	147,955	37,494	110,461
2010	147,955	37,494	110,461
2011	147,955	37,494	110,461
2012	147,955	37,494	110,461
2013	147,955	37,494	110,461
2014	147,955	37,494	110,461
2015	147,955	37,494	110,461
2016	147,955	37,494	110,461
2017.1.1-2017.10.31	123,296	31,245	92,051
Total	1,479,550	374,940	1,104,610
총 인증기간	10년		
인증기간동안에 평균년간 배출저감량(톤CO2e)	110,461		

7) 모니터링 계획

- 돼지 사육두수 및 무게
- 바이오가스 발생량, 메탄함량, 전력사용량 등

마. 목재연료대신 이용할 수 있는 열에너지원으로 바이오가스 공급(인도)

1) 사업명

- Bagepalli CDM 바이오가스 프로그램(2005년 10월 10일 등록)

2) 사업설명

이 사업의 실행으로 각 가정에 2m³용량의 5,500개 바이오가스공정(소화장치)을 설치하고 각 가정은 요리와 온수사용을 위한 바이오가스 생산을 위한 소화장치의 공급원으로 소의 배설물을 사용하게 된다. 이 사업의 목적은 일반적으로 진흙으로 만든 화덕에 사용하는 비효율적인 목재연료대신에 깨끗하고 환경적이고 효율적인 바이오가스를 대체하여 사용하도록 하는 것이다.

지금까지 하루에 한 사람당 1.3~2.5kg정도의 목재연료를 사용해 왔다. 이는 많은 에너지를 사용하기 위해서 많은 연료를 사용해야 하는 열효율이 낮은 전통적인 화덕 때문이다.

가족들은 인도의 모든 지역에서 그렇듯이 2~5km정도를 걸어서 목재연료를 수집해야 한다. 목재 연료를 태워서 열원으로 사용하는 방법은 재생에너지를 전혀 고려하지 않은 것이고 온실가스 또한 배출된다. 목재연료가 재생바이오가스로 대체된다면 베이스라인에서의 온실가스 배출을 피할 수 있다. 또한 각 가정에서는 연간 요리를 위해 사용하는 등유 31.2ℓ를 대체할 수 있다.

이 사업은 친환경적인 개발로서 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

- 목재연료가 바이오가스로 바뀌면 온실가스 배출량의 감소
- 목재연료가 바이오가스로 바뀌면 등유로부터 온실가스 배출량의 감소
- 부엌의 연기가 줄어들어 여성들과 아이들의 건강이 향상(인도의 여성들은 말라리아에 의해서 보다 부엌의 연기에 의해 병이 더 많이 걸림)
- 사업지구의 통제되지 않는 삼림벌채를 막아 지역 환경이 개선되며 요리시간이 줄어들어 여성들에게 도움이 됨

3) 사업참여자

- Agricultural Development and Training Society : 인도(주최국)
- Velcan Energy : 프랑스(참여국)

4) 사업위치

- 인도 Kanataka, Kolar District지역

5) 베이스라인 방법론

- 소규모 CDM사업 Type I.C(재생에너지 사업)
→AMS-I.C(방법론)

- 온실가스 감축량

$$CER_y = OS_y \times EM_y$$

CER_y : 연간 증명된 배출저감량

OS_y : 연간 운전된 2m³시스템(공정의 연간 평균 운전시간을 근거로 한해의 중간에 조사된 평균 값으로서 계산된다.)

EM_y : 3.56 톤CO₂e(2m³ 바이오가스 시스템을 가진 각 공정 당 베이스라인 배출량=연간 목재연료 소비시간에 따른 배출계수+연간 등유 소비시간에 따른 배출계수)

6) 인증기간 동안 배출저감량 예측

년 도	년간 CO2 배출저감량(톤CO ₂ e)
2006	19,553
2007	19,553
2008	19,553
2009	19,553
2010	19,553
2011	19,553
2012	19,553
Total(톤CO ₂ e)	136,874
총 인증기간	7년
인증기간동안에 평균년간 배출저감량(톤CO ₂ e)	19,553

7) 모니터링 계획

- 생산된 에너지
- 설치된 2m³시스템의 수와 운전중인 2m³시스템 수 그리고 하루평균 운전시간

바. 돈사농장폐수의 혐기성+호기성처리(칠레)

1) 사업명

- Pocillas와 Ls Estrella에서 돈사 퇴비처리시 메탄포집과 연소(2005년 9월2일 등록)

2) 사업설명

칠레의 가장 큰 돼지고기 생산회사인 Agricola Super Limitada는 대기중의 온실가스를 줄이기 위해서 폐기물 처리 시스템(돈사폐수의 혐기성과 호기성 소화)의 설치를 시작하였다.

이 사업은 현재 온실가스의 배출저감에 있어서 중요한 잠재력이 있는 두 개의 가온혐기성 소화장치와 하나의 호기성공정이 있는 Pocillas와 Ls Estrella의 시스템을 중심으로 기존의 개방형 라군의 돈사폐수 처리공정을 변경하는 것이다.

3) 사업참여자

- Agricola Super Limitada : 칠레(주최국)
- The Tokyo Electric Power Company, Incorporated : 일본(참여국)
- TransAlta Corporation : 캐나다(참여국)
- Alimentos Euroagro SL : 영국(참여국)

4) 사업위치

- San Pedro지역, Pocillas
- Ls Estrella지역, Ls Estrella

5) 베이스라인 방법론

- AM0006(퇴비 처리 시스템에서 온실가스 배출량 감소)

가) 베이스라인과 사업 활동에 따른 온실가스 배출량

EQ1 : 퇴비처리시 첫 단계에서의 메탄발생량(톤CO₂e/년)

$$E_{CH4,mm,1,y} = VS \cdot Bo \cdot D_{CH4} \cdot MCF_1 \cdot GWP_{CH4} \cdot N_y \cdot 365 / 1,000$$

EQ2 : 퇴비처리시 두 번째 단계에서의 메탄발생량(톤CO₂e/년)

$$E_{CH4,mm,2,y} = VS \cdot [1 - R_{VS}] \cdot Bo \cdot D_{CH4} \cdot MCF_2 \cdot GWP_{CH4} \cdot N_y \cdot 365 / 1,000$$

EQ3 : 퇴비처리시 저장라군 단계에서의 메탄발생량(톤CO₂e/년)

$$E_{CH4,mm,S1,y} = 0.25 \cdot BOD_{It,y} \cdot F_y \cdot MCF_{s1} \cdot GWP_{CH4} \cdot N_y / 1,000,000$$

EQ4 : 사용가치가 없는 저장라군 처리단계에서의 N₂O배출량(톤CO₂e/년)

$$E_{N2O,mm,1,y} = GWP_{N2O} \cdot NEX_y \cdot N_y \cdot EF_{N2O,mm,1} \cdot CF_{N2O-N,N} / 1,000$$

EQ5 : 사용가치가 있는 저장라군 처리단계에서의 N₂O배출량(톤CO₂e/년)

$$E_{N2O,mm,2,y} = GWP_{N2O} \cdot Nit_y \cdot EF_{N2O,mm} \cdot F_y$$

GWP_{CH4} : 메탄의 입증된 지구온난화지수

MCF₁ : 첫 단계에서 퇴비처리 메탄전환인자(%)

MCF₂ : 두 번째 단계에서 퇴비처리 메탄전환인자(%)

MCF_{s1} : 저장라군에서 퇴비처리 메탄전환인자(%)

D_{CH4} : 메탄의 밀도

VS : 하루에 가축 한 마리당 휘발성 고형 배설물량(건조물질임을 근거로)
(kg d-m/animal/day)

R_{VS} : 두 번째 처리단계에서 휘발성 고형물상대인 저감율(%)

Bo : 가축 한 마리당의 퇴비에서 생산되는 최대 메탄량(m³ CH₄/kg-dm)

BOD_{It,y} : 연간 저장 라군 처리단계에서 요구되는 생화학적 산소 요구량(mg/l)

GWP_{N2O} : N₂O 입증된 지구온난화지수

EF_{N2O,mm,1} : 퇴비처리 시스템의 첫 단계에서 N₂O 배출 인자(kg N₂O-N/kg N)

EF_{N2O,mm} : 저장라군 단계에서 N₂O 배출 인자(kg N₂O-N/kg N)

CF_{N2O-N,N} : N₂O대 N의 전환인자(44/28)

NEX_y : 연간 가축 한 마리당 배설물의 평균 질소량(kg N/animal/년)

N_y : 연간 가축 두수

Nit_y : 연간 처리단계i에 흐르는 퇴비의 평균 N₂O함량(kg N/m³)

F_y : 연간 호기성 처리 단계에서의 퇴비 유량(m³/년)

나) 온실가스 감축량

$$\text{온실가스 감축량} = \text{베이스라인 발생량} - \text{사업활동에 따른 배출량}$$

6) 인증기간 동안 배출저감량 예측

년간 배출감소량 (톤CO ₂ e/년)	2003년	2004년	2005년과 계속되는 해
Pocillas	110,059	150,717	190,307
La Estrella	62,451	76,206	76,206
Total Emission Reduction	172,510	226,923	226,513

7) 모니터링 계획

- 가축두수와 가축들의 평균 무게
- 호기성 처리 전·후의 퇴비의 양
- 호기성 처리 후 퇴비의 BOD₅, 퇴비내의 총질소 함량, 퇴비 온도
- 소화장치에서 얻어진 바이오가스 량
- 가스 유량내의 CO₂농도
- 연소효율

사. 유기성폐기물의 매립에서 선별과 퇴비화(콜롬비아)

1) 사업명

- Centro Industrial del Sur의 유기성 폐기물 사업 (2008년 1월19일 등록)

2) 사업설명

Centro Industrial del Sur의 유기성 폐기물 사업의 목적은 현재 고품폐기물을 처리하고 있는 콜롬비아 메들린으로 부터 64km떨어진 La Paadera 매립지에서 일부공정을 퇴비화공정으로 바꾸기 위한 것이다. 이 사업의 활동은 주로 재생가능한 자원을 선별하여 정리하고 유기성폐기물은 호기성 퇴비화기술로 처리하는 것이다. 퇴비화 공정은 La Paadera 매립지의 총 폐기물의 37%에 해당하는 지방자치 폐기물의 시간당 90톤을 처리하는 용량이다

기후변화의 경감 외에도 이사업은 지역환경에 다음과 같은 이점을 제공한다.

- 매립지에서 퇴비화가 되면 대기 중의 매립지 가스가 감소
- 폐기물 분리와 재활용을 통한 고용 창출
- 폐기물 퇴비화를 위한 필요부지 감소

3) 사업참여자

- Evas Enviambientales S.A. E.S.P. : 콜롬비아(주최국)

4) 사업위치

- 콜롬비아, Antioquia주, Heliconia 지방자치구

5) 베이스라인 방법론

- ACM0002(재생가능자원을 이용한 계통연계발전예 대한 통합방법론)
- AM0025(대안공정에 따른 온실가스 배출 감축)

가) 베이스라인

$$BE_y = (MB_y - MD_{reg,y}) \times GWP_{CH_4}$$

BE_y : 연간 베이스라인 배출량(톤CH₄)

MB_y : 이 사업활동이 없을때 연간 매립지에서 생산된 메탄량(톤CH₄)

$MD_{reg,y}$: 이 사업활동이 없을때 연간 매립지에서 파괴된 메탄량(톤CH₄)

GWP_{CH_4} : 메탄의 온난화지수(21 톤CO₂e/톤CH₄)

$$MD_{reg,y} = MB_y \times AF$$

AF : MB_y (%)에 대한 조정 factor

$$\therefore BE_y = (1 - AF) \times MB_y \times GWP_{CH_4}$$

$$MB_y = BE_{CH_4, SWDS,y} \text{ 이므로}$$

$$BE_{CH_4, SWDS,y} = \varphi \cdot (1-f) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1-OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_j \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j \cdot (y-x)} \cdot (1-e^{-k})$$

$BE_{CH_4, SWDS,y}$: 이 사업이 시작으로부터 연말까지 고형폐기물처리장에서 폐기물처리를 하지 못하는 기간동안에 연간 메탄 발생량(톤CH₄)

나) 사업 활동에 따른 온실가스 배출량

$$PE_y = PE_{elec,y} + PE_{fuel,on-site,y} + PE_{c,N_2O,y} + PE_{c,CH_4,y}$$

PE_y : 연간 사업활동에 따른 배출량(톤CO₂e)

$PE_{elec,y}$: 연간 현장에서 전기소비에 따른 배출량(톤CO₂e)

$PE_{fuel,on-site,y}$: 연간 현장에서 연료소비에 따른 배출량(톤CO₂e)

$PE_{c,N_2O,y}$: 연간 퇴비공정으로 부터의 N₂O배출량(톤CO₂e)

$PE_{c,CH_4,y}$: 연간 퇴비공정으로 부터의 CH₄배출량(톤CO₂e)

다) 누출에 의한 배출량

$$L_y = M_{compost,y} \times DT_{i,y} \times VFT_{cons} \times NCV_{fuel} \times EF_{fuel}$$

$M_{compost,y}$: 연간 생산된 퇴비의 총량(톤/년)

$Km_{rt} = 80km$

$VFT_{cons} = 0.2 \text{ litre/톤-km}$

$NCV_{fuel} = 0.0427 \text{ GJ/litre}$

$EF_{fuel} = 0.0741 \text{ 톤 CO}_2/\text{GJ}$

라) 온실가스 감축량

$$ER_y = BE_y - PE_y - L_y$$

6) 인증기간 동안 배출저감량 예측

년도	년간 CO2 배출저감량(톤CO ₂ e)
2008	29,910
2009	50,831
2010	68,748
2011	82,629
2012	93,730
2013	102,897
2014	110,709
Total(톤CO ₂ e)	539,454
총 인증기간	7년
인증기간동안에 평균 연간 배출 저감량(톤CO ₂ e)	77,065

7) 모니터링 계획

- 전기와 연료소비량
- 매립장에 유입되는 고형폐기물의 퇴비와 그 퇴비의 양
- 퇴비가 혼합된 공정내의 산소와 메탄량

2. 바이오에너지를 이용한 CDM사업 방법론

가. 사례정리 및 경향분석

유기성폐기물을 이용한 CDM사업 등록현황은 기존 처리공정 변경 사업이 주를 이루었으며, 그 중 혐기성 소화가스의 에너지화 공정이 가장 많은 것으로 조사되었다. 개발도산국의 경우 개방형 라군으로 처리되는 돈사폐수 처리공정에 소화가스 회수시설을 설치하여 에너지화하는 사업이 활발하였다. <표6.2-1>에 다양한 국가별 사례를 정리하였다.

<표6.2-1> 유기성 폐기물과 CDM사업 사례

개최국가	참여국	등록일자	방법론	내용	감축량 (톤CO ₂ e/년)	사례
필리핀	영국	2007/10/17	AMS-I.D AMS-III.D	돈사폐수 개방형 라군 ⇒ 혐기형 라군발전	5,806	가
멕시코	-	2006/8/19	AMS-I.C	혐기성 소화가스 연소 ⇒ 열병합발전 현장사용	3,619	나
네팔	네덜란드	2005/10/27	AMS-I.C	9,708개의 소형 혐기성소화조 이용 열원공급	46,990	다*
중국	일본	2007/12/21	ACM0010	돈사농장 폐수 혐기성 라군 ⇒ 혐기성소화발전 + 호기성 처리	110,461	라
인도	프랑스	2005/10/5	AMS-I.C	장작대신 바이오가스 이용할 수 있는 열에너지 공급-개발과정	19,553	마
칠레	캐나다,일본, 영국	2005/9/2	AM0006 (통합됨)	돈사농장 폐수 개방형 라군 ⇒ 호기+혐기 처리	247,428	바
콜롬비아	-	2008/1/19	ACM0002 AM0025	유기성 폐기물 매립 ⇒ 선별+퇴비화	77,084	사
칠레	영국	2006/9/9	AM0006 (통합됨)	돈사농장 폐수 개방형 라군 ⇒ 활성슬러지	175,490	-
인도네시아	일본	2006/8/31	AM0006 (통합됨)	돈사농장 폐수 개방형 라군 ⇒ 혐기성 라군	166,000	-
니카라과	네덜란드	2007/3/7	AM0013,	혐기성 소화가스로 보일러공급 전력량 감소	119,847	-
필리핀	일본	2006/10/1	AM0013	고온 혐기성 소화가스로 보일러공급, 전력량 감소	95,896	-
방글라데시	-	2006/5/18	AM0025	유기성 폐기물 매립 ⇒ 퇴비화	89,259	-
칠레	캐나다,일 본, 영국	2005/9/2	AM0006 (통합됨)	돈사농장 폐수 개방형 라군 ⇒ 혐기성 소화	84,083	-
브라질	-	2006/9/29	AM0006 (통합됨)	돈사폐수 개방형 라군 ⇒ 혐기성 라군 발전	69,469	-
아르메니아	덴마크	2006/9/11	AM0016 (통합됨)	기금유 농장 개방형 라군 ⇒ 혐기성 라군 발전	62,832	-
남아프리카 공화국	독일	2006/9/29	AMS-I.D	혐기성 소화가스 연소 ⇒ 발전	29,933	-
인도네시아	스위스, 영국	2006/12/9	AMS-III.D	돈사폐수 개방형 라군 ⇒ 혐기형 라군	18,826	-
에콰도르	-	2006/9/25	AM0006 (통합됨)	돈사농장 폐수 혐기성 라군 ⇒ 자원화	7,432	-

*번들화(Bundling) CDM의 사례

나. 폐기물 관련 방법론 정리

유기성폐기물 처리과정에서 바이오에너지 회수를 통한 CDM사업 수행시 적용가능한 방법론을 정리하면 <표6.2-2>와 <표6.2-3>과 같다. 신규방법론이 필요한 경우 방법론을 신규등록이 가능하므로, 관련 방법론은 추가될 수 있다. 2007년 기준 유기성폐기물 관련 소규모 방법론인 경우 발전부분인 Type 1과 Type 3의 메탄회수 및 회피로 구분할 수 있으며, 유기성폐기물의 혐기성 처리와 동시에 소화가스 발전공정을 적용할 경우 2개의 방법론을 동시에 사용할 수 있다.

<표6.2-2> 소규모 CDM사업

Type	구분	방법론	비고
Type 1	발전	AMS- I.A	수요처에서 재생에너지원으로 자가발전하여 자가소비하는 경우
		AMS- I.D	재생에너지로 발전된 전기를 계통연계시스템을 통해 공급하는 경우
	동력	AMS- I.B	재생에너지가 동력으로 사용되도록 개별적인 가정 및 수요처로 제공하는 경우
Type 3	매탄회수	AMS-III.D	혐기성 처리시설의 분뇨 및 폐기물
		AMS-III.G	매립지의 고형폐기물
		AMS-III.H	폐수처리시설의 유기물이나 슬러지
	매탄회피	AMS-III.E	유기성폐기물의 연소를 통한 매탄회피
		AMS-III.L	유기성폐기물의 열분해를 통한 매탄회피
		AMS-III.F	유기성폐기물의 퇴비화를 통한 매탄회피
		AMS-III.I	혐기성 라군을 호기성처리 시스템으로 대체

자료: 에너지관리공단, 2007년 CDM방법론 맵 작성, 2007

대규모 CDM사업의 경우 폐기물 대상물질별(폐기물, 폐수, 축분)로 구분이 가능하다. 하수슬러지 및 음식물류 폐기물의 경우 폐수로 적용이 가능하고, 축산폐수는 축분으로 적용이 가능하다.

<표6.2-3> 대규모 CDM사업

대상물질	적용기술	방법론	비고
폐기물	매립	ACM0001	-매립가스 포집, 연소 및 발전
		AM0003	-매립가스 포집, 연소 및 발전 -EAF값 이용
		AM0011	-매립가스 포집, 연소 및 발전 -생산에너지의 매립장 내 사용
		AM0002	-연간포집, 소각량 정해진 사업 -매립가스 포집, 소각(발전제외)
		AM0010	-법적 포집규정없는 매립장 -매립가스 포집, 발전(15MW 미만)
	대안공정	AM0025	-대안공정에 따른 온실가스 배출 감축
폐수	혐기성 처리	AM0013	-메탄 포집 및 에너지 생산 -15MW 미만 발전
		AM0022	-기존 라군 처리공정 -메탄 포집 및 에너지 생산
폐기물/폐수	호기성 처리	AM0039	-기존 개방형라군 및 비위생매립지 -메탄 배출 감축
축분	혐기성 처리	ACM0010	-메탄 포집 및 연소

자료: 에너지관리공단, 2007년 CDM방법론 맵 작성, 2007

3. 유기성폐기물과 탄소배출권

전라북도에서 발생하는 유기성폐기물 대상으로 CDM사업을 수행할 경우 확보가능한 최대 탄소배출권량을 산정하였다. 이는 전라북도가 가지고 있는 CDM사업의 잠재량을 산정해보기 위함이며, 실제 사업수행을 위해서는 시군별 특성을 고려한 세부계획의 수립이 필요하다. 또한, 처리방법, 처리공정, 폐기물성상, 적용변수에 따라 실질적인 온실가스 예측저감량은 달라질 수 있다. 본 연구에서는 바이오가스를 회수하여 가스발전기로 발전하여 전력을 공급하는 사업을 가정하여 확보가능한 탄소배출권을 중심으로 검토하였다(추가성 입증 및 소요 사업비용 부분은 고려하지 않음).

가. 하수슬러지

1) 적용방법론

하수슬러지는 해양투기 탈수슬러지(2006년 기준 전라북도 전체 319.4톤/일)를 대상으로 슬러지 처리시설을 도입할 경우의 탄소배출권을 산정하였다. 소규모 CDM사업일 경우 AMS-I.D(재생에너지 전기공급)와 AMS-III.H(폐수처리시설에서의 메탄회수)의 조합적용이 가능하다. AMS-III.H에 따르면 해양투기 베이스라인에 대한 MCF를 0.0~0.2까지 범위로 제시하였다. 또한, 사업주체는 수치모델링이나 실험분석을 통해 유입수계에 미치는 영향을 확인하고 혐기성 조건이나 베이스라인 배출이 발생한다는 것을 증명해야 한다. 본 연구에서는 기존 방법론을 기반으로 다음과 같은 방법으로 탄소배출권을 산정하였다.

$$ER = BE - (PE + Leakage)$$

ER = 당해년도의 예측저감량 (톤CO₂e)

BE = 당해년도의 베이스라인 배출 (톤CO₂e)

PE = 당해년도의 사업배출 (톤CO₂e)

Leakage = 당해년도의 누출 (톤CO₂e)

$$BE = BE_{\text{power}} + BE_{\text{s_final}}$$

BE = 당해년도의 베이스라인 배출 (톤CO₂e)

BE_{power} = 바이오가스에 의한 대체전력량에 따른 베이스라인 (톤CO₂e)

BE_{s_final} = 최종 슬러지의 해양투기와 관련된 배출 (톤CO₂e)

$$BE_{\text{s_final}} = S_{\text{final}} \times DOC_{\text{s}} \times DOC_{\text{F}} \times F \times MCF \times GWP_{\text{CH}_4} \times 16/12$$

BE_{s_final} = 최종 슬러지의 해양투기와 관련된 배출 (톤CO₂e)

S_{final} = 폐수처리 시설에서 생산된 최종 슬러지 발생량 (톤/년)

DOC_s = 슬러지 중 유기탄소 함량

DOC_F = 바이오가스로 분해된 용존유기탄소 비율

F = 바이오가스 중 메탄가스 비율

MCF = 메탄전환인자

GWP_{CH₄} = 지구온난화지수 (톤CO₂e/톤CH₄)

$$PE = PE_{\text{power}} + PE_{\text{s_final}} + PE_{\text{fugitive}}$$

PE = 당해년도의 사업배출 (톤CO₂e)

PE_{power} = 전력이나 디젤 사용과 관련된 온실가스 배출 (톤CO₂e)

PE_{s_final} = 소화조내의 최종슬러지 처리에 의한 배출 (톤CO₂e)

PE_{fugitive} = 포집/연소 장비로부터 연소되지 않고 누출된 메탄 배출 (톤CO₂e)

2) 예측저감량 및 탄소배출권

사업배출은 슬러지 처리기술을 통해 생분해 가능한 유기물의 50%를 메탄으로 회수할 경우에 따랐다. 회수한 바이오가스는 전량 가스발전기를 이용하여 전력을 생산하며, 적용공정에서 추가적인 전기 및 에너지 사용은 없고, 하수처리장 방류수에도 영향이 없는 것으로 계산하였다.

<표6.3-1>의 온실가스 예측저감량을 산정결과에 따르면, 하수슬러지를 통해 최대 연간 약 6,835 톤CO₂e의 온실가스를 감축할 수 있으며, 이때 발생하는 CER은 연간 1.5억원으로 추정되었다. 또한, 국내 온실가스 등록사업시 연간 0.3억원의 KCER을 확보할 수 있을 것으로 산정되었다.

<표6.3-1> 하수슬러지 CDM사업에 따른 온실가스 예측저감량 및 탄소배출권 (전라북도 전체)

구 분		값	비 고
베이스라인	BE _{power}	a. 발전기 용량(kW)	650 발전효율 34%, 발열량 5,000kcal/m ³ , 1kW=860kcal
		b. 전력대체율, CEF (톤CO ₂ e/MMh)	0.5554 대구방천리 매립가스 CDM사업 PDD
		c. 발전에 의한 베이스라인 (톤CO ₂ e/년)	3,162 a/1000*b*24*365
	BE _{s_final}	d. 하수슬러지 해양투기량 (톤/년)	116,574 2006년 기준 전라북도 해양투기량
		e. 슬러지중 유기탄소함량	0.05 가정하수 슬러지 IPCC 기본값
		f. 바이오가스로 분해된 용존유기탄소 비율	0.5 IPCC 기본값
		g. 바이오가스 중 메탄가스 비율	0.5 IPCC 기본값
		h. MCF 메탄전환인자 (톤CH ₄ /톤)	0.2 해양, 하천, 호소로의 방류 고위 MCF 값 (AMS-III.H)
		i. 메탄의 온난화지수 (톤CO ₂ e/톤CH ₄)	21 IPCC기준
		j. 최종 슬러지의 베이스라인 (톤CO ₂ e/년)	8,160 d*e*f*g*h*i*16/12
BE	k. 베이스라인 (톤CO ₂ e/년)	11,323 c+j	
사업배출량	PE _{power}	l. 전력이나 연료사용과 관련된 배출 (톤CO ₂ e/년)	- 전기사용없음
	PE _{s_final}	m. 소화조에서 슬러지 배출 (톤CO ₂ e/년)	4,080 j*0.5 생분해 유기물 50% 제거
	PE _{fugitive}	n. 소화조에서 탈루성 메탄배출 (톤CO ₂ e/년)	408 (j-m)*0.1 (ACM0010 기본값)
	PE	o. 사업배출량 (톤CO ₂ e/년)	4,488 l+m+n
누출	Leakage	p. 총누출량 (톤CO ₂ e/년)	- 없음
예측저감량	ER	q. 예측저감량 (톤CO ₂ e/년)	6,835 k-o-p
탄소배출권	CER	탄소배출권 (억원/년)	1.5 15EUR/톤CO ₂ e, 1,500원/EUR
	KCER	탄소배출권 (억원/년)	0.3 5,000원/톤CO ₂ e

나. 음식물류 폐기물

1) 적용방법론

대부분 퇴비화로 처리되는 전라북도 음식물류 폐기물(2007년 기준 550.4톤/일)과 해양투기 음폐수(2007년 기준 110m³/일)를 혐기성소화 공정으로 변경 또는 처리하였을 경우를 가정하여 탄소배출권을 산정하였다. 음식물류 폐기물 방법론은 기존의 퇴비화 공정에서 혐기성 소화시설로 변경하여 에너지를 회수하는 개념에서 본다면 폐기물 대안공정인 AM0025가 가능할 것으로 사료된다. 그러나, 사업규모로 볼 때 소규모 사업이 적합하며, 소규모 CDM사업일 경우 AMS-I.D(재생에너지 전기공급)와 AMS-III.H(폐수처리시설에서의 메탄회수)의 조합적용이 가능하다. 음폐수의 해양투기에 대한 베이스라인은 하수슬러지와 동일한 방식을 가정하였다. 음식물류 폐기물 및 음폐수에 대해서는 다음의 방법으로 탄소배출권을 산정해보았다.

가) 음식물류 폐기물

$$ER = BE - (PE + Leakage)$$

ER = 당해년도의 예측저감량 (톤CO₂e)

BE = 당해년도의 베이스라인 배출 (톤CO₂e)

PE = 당해년도의 사업배출 (톤CO₂e)

Leakage = 당해년도의 누출 (톤CO₂e)

$$BE = BE_{power} + BE_f$$

BE = 당해년도의 베이스라인 배출 (톤CO₂e)

BE_{power} = 바이오가스에 의한 대체전력량에 따른 베이스라인 배출 (톤CO₂e)

BE_f = 음식물류 폐기물의 퇴비화에 따른 온실가스 배출 (톤CO₂e)

$$BE_f = BE_{CH_4} + BE_{N_2O}$$

BE_f = 음식물류 폐기물의 퇴비화에 따른 온실가스 배출 (톤CO₂e)

BE_{CH_4} = 메탄에 의한 온실가스 배출 (톤CO₂e)

BE_{N_2O} = 아산화질소에 의한 온실가스 배출 (톤CO₂e)

$$BE_{CH_4} = F_f \times B_o \times F \times D_{CH_4} \times EF_{CH_4} \times MCF \times GWP_{CH_4}$$

F_f = 음식물류 폐기물 발생량 (톤/년)

B_o = 바이오가스 발생량 (m³/톤)

F = 바이오가스 중 메탄가스 비율 (%)

D_{CH_4} = 메탄농도전환계수 (톤CH₄/m³CH₄)

EF_{CH_4} = 퇴비화 공정에서 메탄 배출계수

MCF = 메탄전환인자

GWP_{CH_4} = 메탄 지구온난화지수 (톤CO₂e/톤CH₄)

$$BE_{N_2O} = M_{compost} \times EF_{N_2O} \times GWP_{N_2O}$$

$M_{compost}$ = 당해연도 퇴비생산량 (톤)

EF_{N_2O} = 퇴비화 공정에서 아산화질소 배출계수 (톤N₂O/톤)

GWP_{N_2O} = 아산화질소 지구온난화지수 (톤CO₂e/톤N₂O)

$$PE = PE_{power} + PE_{s_f} + PE_{fugitive}$$

PE = 당해연도의 사업배출 (톤CO₂e)

PE_{power} = 전력이나 디젤 사용과 관련된 온실가스 배출 (톤CO₂e)

PE_{s_f} = 음식물류 폐기물 소화조 슬러지 처리에 의한 배출 (톤CO₂e)

$PE_{fugitive}$ = 포집/연소 장비로부터 연소되지 않고 누출된 메탄 배출 (톤CO₂e) = $PE_f \times 0.1$

$$PE_f = F_f \times Bo \times F \times D_{CH_4} \times MCF \times GWP_CH_4$$

PE_f = 음식물류 폐기물 혐기성 소화에 의한 메탄가스 발생량 (톤CO₂e)

F_f = 음식물류 폐기물 발생량 (톤/년)

Bo = 바이오가스 발생량 (m³/톤)

F = 바이오가스 중 메탄가스 비율 (%)

D_{CH_4} = 메탄농도전환계수 (톤CH₄/m³CH₄)

MCF = 메탄전환인자

GWP_CH_4 = 메탄 지구온난화지수 (톤CO₂e/톤CH₄)

나) 음폐수

$$ER = BE - (PE + Leakage)$$

ER = 당해년도의 예측저감량 (톤CO₂e)

BE = 당해년도의 베이스라인 배출 (톤CO₂e)

PE = 당해년도의 사업배출 (톤CO₂e)

$Leakage$ = 당해년도의 누출 (톤CO₂e)

$$BE = BE_{power} + BE_{fw}$$

BE = 당해년도의 베이스라인 배출 (톤CO₂e)

BE_{power} = 바이오가스에 의한 대체전력량에 따른 베이스라인 배출 (톤CO₂e)

BE_{fw} = 음폐수 해양배출에 따른 온실가스 배출 (톤CO₂e)

$$BE_{fw} = F_{fw} \times COD_{fw} \times Bo_{CH_4} \times MCF \times GWP_CH_4$$

BE_{fw} = 음폐수 해양배출에 따른 온실가스 발생량 (톤CO₂e)

F_{fw} = 음폐수 발생량 (톤/년)

COD_{fw} = 음폐수중 COD 농도 (톤/m³)

Bo_{CH_4} = 메탄 발생량 (톤CH₄/톤COD)

MCF = 메탄전환인자

GWP_CH_4 = 메탄 지구온난화지수 (톤CO₂e/톤CH₄)

$$PE = PE_{\text{power}} + PE_{\text{s_fw}} + PE_{\text{fugitive}}$$

PE = 당해년도의 사업배출 (톤CO₂e)

PE_{power} : 전력이나 디젤 사용과 관련된 온실가스 배출 (톤CO₂e)

PE_{s_fw} : 음폐수 소화조 슬러지 처리에 의한 배출 (톤CO₂e)

PE_{fugitive} : 포집/연소 장비로부터 연소되지 않고 누출된 메탄 배출 (톤CO₂e)

2) 예측저감량 및 탄소배출권

설정한 방법론에 따라 음식물류 폐기물 및 음폐수의 CDM사업에 따른 온실가스 예측저감량 및 확보가능한 탄소배출권을 산정하였다.

가) 음식물류 폐기물

<표6.3-2>의 온실가스 예측저감량을 산정결과에 따르면, 음식물류 폐기물을 통해 연간 약 4,700 톤CO₂e의 온실가스를 감축할 수 있고, 이때 발생하는 CER은 연간 1.0억원으로 추정되었다. 음식물류 폐기물은 유기물함량이 많아 바이오가스 생산 잠재력이 높으나, 퇴비화 공법에서 혐기성 소화공법으로 전환하는 사업의 경우 예측저감량은 상대적으로 낮은 것으로 추정되었다. 이는 퇴비화의 경우 온실가스 발생량이 타 공정에 비해 적어 베이스라인 자체가 낮기 때문인 것으로 판단된다.

나) 음폐수

해양투기 음폐수를 혐기성 소화로 처리할 경우의 온실가스 예측저감량 산정결과를 <표6.3-3>에 나타내었다. 약 3,400 톤CO₂e/년의 온실가스를 감축할 수 있으며, 이때 발생하는 CER은 연간 0.8억원으로 추정되었다. 또한, 국내 온실가스 등록사업시 연간 0.2억원의 KCER을 확보할 수 있을 것으로 산정되었다.

<표6.3-2> 음식물류 폐기물 CDM사업에 따른 온실가스 예측저감량 및 탄소배출권 (전라북도 전체)

구 분		값	비 고	
베이스 라인	BE _{power}	a. 발전기 용량(kW)	4,800	발전효율 34%, 발열량 5,000kcal/m ³
		b. 전력대체율, CEF (톤CO ₂ e/MWh)	0.5554	대구방천리 매립가스 CDM사업 PDD
		c. 발전에 의한 베이스라인 (톤CO ₂ e/년)	23,353	a/1000*b*24*365
	BE _{CH₄}	d. 음식물류 폐기물 발생량 (톤/년)	200,896	2007년 기준 전라북도 음식물류 폐기물 발생량
		e. 바이오가스발생량(m ³ /톤)	110	S음식물 자원화시설 운영값
		f. 바이오가스중 메탄가스 비율	0.7	S음식물 자원화시설 운영값
		g. 메탄농도전환계수 (톤CH ₄ /m ³ CH ₄)	0.0007168	표준상태
		h. MCF 메탄전환인자 (톤CH ₄ /톤)	1.0	혐기성 폐수처리반응기 고위 MCF 값 (AMS-III.H)
		i. 메탄의 지구온난화지수 (톤CO ₂ e/톤CH ₄)	21	IPCC기준
		j. 퇴비화에 의한 메탄발생비율	0.02	Dhaka 유기성폐기물 퇴비화 CDM사업 PDD
		k. 메탄 베이스라인 (톤CO ₂ e/년)	4,657	d*e*f*g*h*i*j
	BE _{N₂O}	l. 퇴비생산량	32,777	2007년 음식물류 폐기물 처리시설 현황
		m. 퇴비화공정아산화질소배출계수 (톤N ₂ O/톤)	0.000043	Dhaka 유기성폐기물 퇴비화 CDM사업 PDD
		n. 아산화질소의 지구온난화지수 (톤CO ₂ e/톤N ₂ O)	310	IPCC기준
		o. 아산화질소 베이스라인 (톤CO ₂ e/년)	437	l*m*n
BE	p. 베이스라인 (톤CO ₂ e/년)	28,447	c+k+o	
사업 배출량	PE _{power}	q 전력이나 연료사용과 관련된 배출 (톤CO ₂ e/년)	-	전기사용 변동없음
	PE _{s_f}	r. 소화조에서 슬러지 배출 (톤CO ₂ e/년)	510	(k+o)*0.1 (유입의 10% 슬러지배출 -> 퇴비화 처리)
	PE _{negative}	s. 소화조 탈루성 메탄배출 (톤CO ₂ e/년)	23,285	d*e*f*g*h*i*0.1
		t. 탈루성 아산화질소 배출 (톤CO ₂ e/년)	-	혐기성 소화시 배출없음
	PE	u. 사업배출량 (톤CO ₂ e/년)	23,795	q+r+s+t
누출	Leakage	v. 총누출량 (톤CO ₂ e/년)	-	누출없음
예측 저감량	ER	w. 예측저감량 (톤CO ₂ e/년)	4,652	p-u-v
탄소 배출권	CER	탄소배출권 (억원/년)	1.0	15EUR/톤CO ₂ e, 1,500원/EUR
	KCER	탄소배출권 (억원/년)	0.2	5,000원/톤CO ₂ e

<표6.3-3> 음폐수 CDM사업에 따른 온실가스 예측저감량 및 탄소배출권 (전라북도 전체)

구 분		값	비 고	
베이스라인	BE _{power}	a. 발전기 용량 (KW)	250	발전효율 34%, 발열량 5,000kcal/m ³
		b. 전력대체율 (톤CO ₂ e/MMh)	0.5554	대구방천리 매립가스 CDM사업 PDD
		c. 발전에 의한 베이스라인 (톤CO ₂ e/년)	1,216	a/1000*b*24*365
	BE _{fw}	d. 음폐수 해양투기량 (m ³ /년)	40,150	2007년 기준 전라북도 음폐수 발생량
		e. 음폐수중 COD 함량 (톤/m ³)	0.07	생분해가능 COD 70,000 mg/L가정
		f. 메탄 발생량 (톤CH ₄ /톤COD)	0.21	IPCC 기본값
		g. 메탄전환인자 MCF (톤CH ₄ /톤)	0.2	해양, 하천, 호소로의 방류 고위 MCF값 (AMS-III.H)
		h. 메탄의 온난화지수 (톤CO ₂ e/톤CH ₄)	21	IPCC기준
		i. 최종 음폐수 베이스라인 (톤CO ₂ e/년)	2,479	d*e*f*g*h
BE	j. 베이스라인	3,695	c+i	
사업 배출량	PE _{power}	k. 전력이나 연료사용과 관련된 배출 (톤CO ₂ e/년)	-	전기사용없음
	PE _{s_fw}	l. 소화조에서 슬러지 배출 (톤CO ₂ e/년)	-	슬러지 배출없음
	PE _{fugitive}	m. 소화조에서 탈루성 메탄배출 (톤CO ₂ e/년)	248	i*0.1
	PE	n. 사업배출량 (톤CO ₂ e/년)	248	k+l+m
누출	Leakage	o. 총누출량 (톤CO ₂ e/년)	-	없음
예측 저감량	ER	p. 예측저감량 (톤CO ₂ e/년)	3,447	j-n-o
탄소 배출권	CER	탄소배출권 (억원/년)	0.8	15EUR/톤CO ₂ e, 1,500원/EUR
	KCER	탄소배출권 (억원/년)	0.2	5,000원/톤CO ₂ e

다. 축산폐수

1) 적용방법론

해양투기 축산폐수(2006년말 기준 전라북도 전체 1,014m³/일 추정)를 대상으로 혐기성 소화시설을 도입할 경우 탄소배출권을 산정하였다. 해양투기 베이스라인은 하수슬러지와 같은 방법을 적용하였다. 소규모 CDM사업의 AMS-I.D(재생에너지 전기공급)와 AMS-III.H(폐수처리시설에서의 메탄회수)을 조합적용하여, 다음의 방법으로 탄소배출권을 산정하였다.

$$ER = BE - (PE + Leakage)$$

ER = 당해년도의 예측저감량 (톤CO₂e)

BE = 당해년도의 베이스라인 배출 (톤CO₂e)

PE = 당해년도의 사업배출 (톤CO₂e)

Leakage = 당해년도의 누출 (톤CO₂e)

$$BE = BE_{power} + BE_{sw}$$

BE = 당해년도의 베이스라인 배출 (톤CO₂e)

BE_{power} = 바이오가스에 의한 대체전력량에 따른 베이스라인 배출 (톤CO₂e)

BE_{sw} = 축산폐수 해양배출에 따른 온실가스 배출 (톤CO₂e)

$$BE_{sw} = S_{sw} \times B_{OCH_4} \times MCF \times GWP_{CH_4}$$

BE_{sw} = 축산폐수 해양배출에 의한 메탄가스 발생량 (톤CO₂e)

S_{sw} = 축산폐수 발생량 (m³/년)

B_{OCH₄} = 메탄 발생량 (톤CH₄/m³)

MCF = 메탄전환인자

GWP_{CH₄} = 메탄 지구온난화지수 (톤CO₂e/톤CH₄)

$$PE = PE_{power} + PE_{s_sw} + PE_{fugitive}$$

PE = 당해년도의 사업배출 (톤CO₂e)

PE_{power} : 전력이나 디젤 사용과 관련된 온실가스 배출 (톤CO₂e)

PE_{s_sw} : 축산폐수 소화조 슬러지 처리에 의한 배출 (톤CO₂e)

PE_{fugitive} : 포집/연소 장비로부터 연소되지 않고 누출된 메탄 배출 (톤CO₂e)

2) 예측저감량 및 탄소배출권

해양투기 축산폐수를 혐기성 소화시설로 처리할 경우 온실가스 예측저감량 산정 결과를 <표6.3-4>에 나타내었다. 약 17,800 톤CO₂e/년의 온실가스를 감축할 수 있으며, 또한, 이때 발생하는 CER은 연간 4.0억원으로 추정되었다. 국내 온실가스 등록사업 추진시 연간 0.9억원의 KCER을 확보할 수 있을 것으로 산정되었다.

<표6.3-4> 축산폐수 CDM사업에 따른 온실가스 예측저감량 및 탄소배출권 (전라북도 전체)

구 분		값	비 고	
베이스라인	BE _{power}	a. 발전기 용량 (kW)	1,600	발전효율 34%, 발열량 5,000kcal/m ³
		b. 전력대체율 (톤CO ₂ e/MWh)	0.5554	대구방천리 매립가스 CDM사업 PDD
		c. 발전에 의한 베이스라인 (톤CO ₂ e/년)	7,784	a/1000*b*24*365
	BE _{sw}	d. 축산폐수 해양투기량 (m ³ /년)	370,110	2006년 기준 전라북도 축산폐수 해양투기량
		e. 메탄 발생량 (m ³ CH ₄ /m ³)	10	축산폐수 메탄 발생량
		f. 메탄전환인자 MCF (톤CH ₄ /톤)	0.2	해양, 하천, 호소로의 방류 고위 MCF값 (AMS-III.H)
		g. 메탄농도전환계수 (톤CH ₄ /m ³ CH ₄)	0.0007168	표준상태
		h. 메탄의 온난화지수 (톤CO ₂ e/톤CH ₄)	21	IPCC기준
		i. 최종 축산폐수 베이스라인 (톤CO ₂ e/년)	11,142	d*e*f*g*h
	BE	j. 베이스라인	18,927	c+i
사업 배출량	PE _{power}	k. 전력이나 연료사용과 관련된 배출 (톤CO ₂ e/년)	-	전기사용없음
	PE _{s-sw}	l. 소화조에서 슬러지 배출 (톤CO ₂ e/년)	-	슬러지 배출없음
	PE _{fugative}	m. 소화조에서 탈루성 메탄배출 (톤CO ₂ e/년)	1,114	i*0.1
	PE	n. 사업배출량 (톤CO ₂ e/년)	1,114	k+l+m
누출	Leakage	o. 총누출량 (톤CO ₂ e/년)	-	없음
예측저감량	ER	p. 예측저감량 (톤CO ₂ e/년)	17,813	j-n-o
탄소배출권	CER	탄소배출권 (억원/년)	4.0	15EUR/톤CO ₂ e, 1,500원/EUR
	KCER	탄소배출권 (억원/년)	0.9	5,000원/톤CO ₂ e

라. 전라북도 탄소배출권 확보 잠재력

전라북도 유기성폐기물을 대상으로 혐기성 소화 및 소화가스 발전 CDM사업 수행 시 확보가능한 탄소배출권 추정결과를 요약하면 <표6.3-5>와 같다. 가정된 조건 및 방법론에 따르면 하수슬러지, 음식물류 폐기물, 음폐수, 축산폐수에서 각각 연간 1.5억, 1억, 0.8억, 4.0억원의 탄소배출권 확보가 가능한 것으로 산정되었다.

음식물류 폐기물의 경우 바이오가스 발생잠재력은 높으나, 기존 공정(퇴비화)에서 혐기성 소화로 변경하여 CDM사업을 수행할 경우 확보가능한 탄소배출권은 상대적으로 크지 않을 것으로 추정되었다. 폐기물 종류별 탄소배출권 전환율(사업비용 고려하지 않음)을 산정한 결과, 음폐수가 톤당 1,993원으로 가장 큰 것으로 나타났으며, 하수슬러지, 축산폐수, 음식물류 폐기물 순으로 잠재력이 높았다.

회수전력을 전량 판매할 때 부가적인 전력수입은 음식물류 폐기물이 연간 24.5억 원이고 전환율은 톤당 12,204원으로 산정되었다. 따라서, 음식물류 폐기물의 경우 바이오에너지 회수시설을 통한 탄소배출권 확보보다 전력판매 수익을 더 기대할 수 있을 것으로 분석된다.

<표6.3-5> 전라북도 대상 유기성폐기물의 탄소배출권 및 전력수입 잠재력

구분	대상 발생량	온실가스배출 저감량 ¹⁾ (톤CO ₂ e)	탄소배출권		전력수입		비고
			CER (억원/년)	전환율 ²⁾ (원/톤)	[72.72/kWh ³⁾ (억원/년)	전환율 ²⁾ (원/톤)	
하수 슬러지	319 톤/일	6,835	1.5	1,288	3.3	2,834	전라북도 하수슬러지 해양투기량 대상(2006년 기준)
음식물류 폐기물	550 톤/일	4,653	1.0	498	24.5	12,204	전라북도 음식물류 폐기물 발생량 대상 (2007년 기준)
음폐수	110 m ³ /일	3,447	0.8	1,993 ⁴⁾	1.3	3,238 ⁴⁾	전라북도 음폐수 해양투기량 대상 (2007년 기준)
축산폐수	1,014 m ³ /일	17,813	4.0	1,081 ⁴⁾	8.2	2,216 ⁴⁾	전라북도 축산폐수 해양투기량 대상 (2006년말 기준 추정)

1)적용공정에 따라 변동가능

2)사업비 고려하지 않음

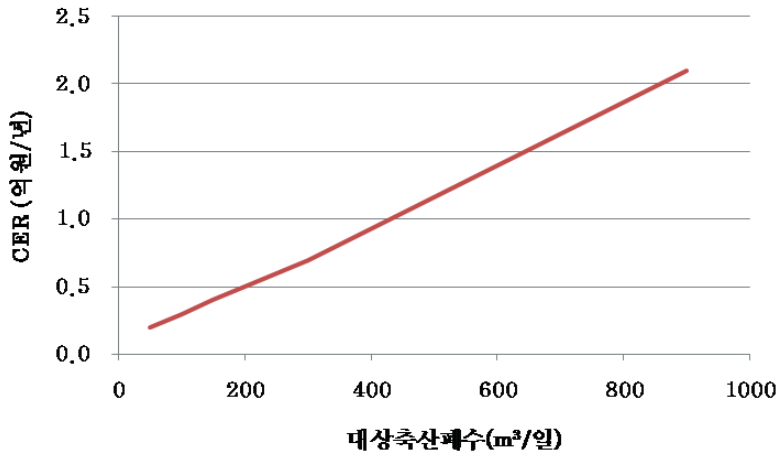
3)발전차액지원제도 바이오가스 발전기준단가 (150kW이상) 72.72원/kWh 적용, 설비 가동율 80% 적용

4)비중 1.0톤/m³으로 가정

축산폐수에 의한 CDM사업은 해양투기량이 많으므로 하수슬러지, 음식물류 폐기물, 음폐수에 비해 탄소배출권 확보량이 연간 4.0억원으로 높게 추정되나, 농가의 분산에 따른 소규모 세부사업을 추진할 경우, 지역특성에 따라 사업규모, 온실가스 예측저감량, 가스발전기 용량은 감소할 것이다.

<그림6.3-1>은 축산폐수 처리시설 용량에 따라 확보 가능한 탄소배출권을 보여준다. 해양투기 축산폐수를 대상으로 처리용량 50~900 m³/일의 혐기성소화 시설을 계획할 경우를 가정하였다. 산정과정은 <표6.3-4>와 동일하다. 산정결과에 따르면 50m³/일의 시설을 도입할 경우 10년간 2억원의 탄소배출권을 확보할 수 있고, CDM 사업비용은 10년간 1.1억원이 필요한 것으로 계산¹⁾되었다. 연간 2.0억원 이상의 탄소배출권 확보를 위해서는 처리용량 약 850m³/일 이상의 처리시설 도입이 필요할 것으로 분석되었다.

따라서, 축산폐수 처리에 의한 CDM사업 추진시 광역화를 통한 대규모화 또는 소규모 농가의 번들화(bundling) 방식이 효율적일 것이다. 특히, 최근 주목받는 프로그램 CDM사업을 추진할 경우 소규모 처리시설을 이용하여 지역별로 산재된 잠재력을 효율적으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.



<그림6.3-1> 해양투기 축산폐수 혐기성 소화시 확보가능한 탄소배출권

1) 기획단계 : 평균 0.3억원(신규방법론 등록 없는 경우, 최소 0.18~0.42억원의 중간값) 가정
 운영단계 : CER 2%/년 + (최초검증 0.1억원, 이후검증 0.075억원/년) 가정

4. 전라북도 유기성폐기물 바이오에너지 CDM사업

전라북도 유기성폐기물 처리현황과 적용가능한 처리기술을 고려하여 바이오에너지 회수를 통해 추진가능한 CDM사업을 정리하였다. 예측저감량 및 부가수익 예측은 앞서 제시한 조건 및 산정방식에 따랐다.

가. 하수슬러지

1) 익산시 하수슬러지 에너지화시설(2011년 기준)

구분	처리용량 (톤/일)	적용기술	자원화 방안	예측저감량 ¹⁾ (톤CO ₂ e)	부가수익 (억원/년)		비고
					CER ¹⁾ (KCER)	전력수입 ²⁾	
1안	기존설비 용량	슬러지 감량화 +소화조 개선	소화가스 발전	2,547	0.6 (0.1)	1.2	생분해유기물 50%제거
2안	120	슬러지 건조 +고화	시멘트 연료, 건설자재, 매립지 복토재	1,840	0.4 (0.1)	-	PEpower BE의 30%
3안	120	슬러지 탄화	연료제품 재활용	1,840	0.4 (0.1)	-	PEpower BE의 30%

2) 군산시 하수슬러지 에너지화시설(2011년 기준)

구분	처리용량 (톤/일)	적용기술	자원화 방안	예측저감량 ¹⁾ (톤CO ₂ e)	부가수익 (억원/년)		비고
					CER ¹⁾ (KCER)	전력수입 ²⁾	
1안	기존설비 용량	슬러지 감량화 +소화조 개선	소화가스 발전	1,911	0.4 (0.1)	0.9	생분해유기물 50%제거
2안	90	슬러지 건조 +고화	매립지 복토재	1,380	0.3 (0.1)	-	PEpower BE의 30%

3) 정읍시 하수슬러지 에너지화시설(2011년 기준)

구분	처리용량 (톤/일)	적용기술	자원화 방안	예측저감량 ¹⁾ (톤CO ₂ e)	부가수익 (억원/년)		비고
					CER ¹⁾ (KCER)	전력수입 ²⁾	
1안	기존설비 용량	슬러지 감량화 +소화조 개선	소화가스 발전	1,274	0.3 (0.1)	0.6	생분해유기물 50%제거
2안	60	슬러지 건조 +고화	매립지 복토재	920	0.2 (0.0)	-	PEpower BE의 30%

1) <표6.3-1>과정에 따른 추정값임 (사업추진시 적용공정에 따른 재검토 필요)

2) 발전기준단가 72.72원/kWh, 설비 가동율 80% 적용

나. 음식물류 폐기물 및 음폐수

1) 익산시 음폐수 에너지화시설(2007년 기준)

구분	처리용량 (톤/일)	적용기술	자원화 방안	예측저감량 ¹⁾ (톤CO ₂ e)	부가수익 (억원/년)		비고
					CER ¹⁾ (KCER)	전력수입 ²⁾	
익산	40	혐기성 소화	소화가스 발전	1,298	0.3 (0.1)	0.5	슬러지 배출없음

2) 전라북도 광역 음폐수 에너지화시설(2007년 기준)

구분	처리용량 (톤/일)	적용기술	자원화 방안	예측저감량 ¹⁾ (톤CO ₂ e)	부가수익 (억원/년)		비고
					CER ¹⁾ (KCER)	전력수입 ²⁾	
익산 김제	70	혐기성 소화	소화가스 발전	2,150	0.5 (0.1)	0.8	슬러지 배출없음
익산 김제 정읍	90	혐기성 소화	소화가스 발전	2,798	0.6 (0.1)	1.0	

다. 축산폐수

1) 축산폐수 에너지화시설(해양투기 축산폐수 대상)

구분	처리용량 (m ³ /일)	적용기술	자원화 방안	예측저감량 ³⁾ (톤CO ₂ e)	부가수익 (억원/년)		비고
					CER ³⁾ (KCER)	전력수입 ²⁾	
김제	200	혐기성 소화	소화가스 발전	3,535	0.8 (0.2)	1.6	슬러지 배출없음
완주	200	혐기성 소화	소화가스 발전	3,535	0.8 (0.2)	1.6	
정읍	150	혐기성 소화	소화가스 발전	2,700	0.6 (0.1)	1.2	
임실	80	혐기성 소화	소화가스 발전	1,424	0.3 (0.1)	0.7	

1) <표6.3-3>과정에 따른 추정값임 (사업추진시 적용공정에 따른 재검토 필요)

2) 발전기준단가 72.72원/kWh, 설비 가동율 80% 적용

3) <표6.3-4>과정에 따른 추정값임 (사업추진시 적용공정에 따른 재검토 필요)

2) 축산폐수 에너지화제도(가칭) 프로그램 CDM사업(50m³/일 혐기성 소화 가스발전 기준)

구분	처리용량 (m³/일)	적용기술	자원화 방안	예측저감량 ¹⁾ (톤CO ₂ e)	부가수익 (억원/년)		비고
					CHR ¹⁾ (KCHR)	전력수입 ²⁾	
도내 10곳	50×10 (500)	혐기성 소화	소화가스 발전	8,593	1.9 (0.4)	3.8	슬러지 배출없음
시군 별1곳	50×14 (700)	혐기성 소화	소화가스 발전	12,031	2.7 (0.6)	5.4	

※ 프로그램 CDM사업은 정립중인 단계이므로 향후 CDM집행위원회의 결정과정에 따라 등록여부가 달라질 수 있음. 현재 번들화(bundling)를 통한 CDM사업은 수행가능함

라. 혐기성 통합소화

1) 전주시 하수슬러지 + 음식물 통합소화 시설(2011년 기준)

구분	처리용량 (톤/일)	적용기술	자원화 방안	예측저감량 ⁴⁾ (톤CO ₂ e)	부가수익 (억원/년)		비고
					CHR ⁴⁾ (KCHR)	전력수입 ²⁾	
전주	440 (110×4기) 슬러지 140 음식물 300	혐기성 통합소화 ⁵⁾	소화가스 발전 배출슬러지 퇴비화 ³⁾	슬러지 2,972 음식물 2,127	1.1 (0.3)	14.1	슬러지 유기물 50%제거

2) 익산 왕궁 축산폐수 슬러지 + 음식물 통합소화 시설(2011년 기준)

구분	처리용량 (톤/일)	적용기술	자원화 방안	예측저감량 ⁴⁾ (톤CO ₂ e)	부가수익 (억원/년)		비고
					CHR ⁴⁾ (KCHR)	전력수입 ²⁾	
익산	200 (100×2기) 슬러지 140 음식물 60	혐기성 통합소화 ⁵⁾	소화가스 발전 배출슬러지 퇴비화 ³⁾	슬러지 2,972 음식물 572	0.8 (0.2)	4.0	슬러지 유기물 50%제거

1) <표6.3-4>과정에 따른 추정값임 (사업추진시 적용공정에 따른 재검토 필요)

2) 발전기준단가 72.72원/kWh, 설비 가동율 80% 적용

3) 퇴비화에 의한 온실가스 배출량 고려하지 않음

4) 하수슬러지<표6.3-1>,음식물류 폐기물<표6.3-2>에 따른 추정값임 (사업추진시 적용공정에 따른 재검토 필요)

5) 혼합비율 결정 및 기술적 검증 필요

제 7 장

JDI

결론 및 정책적 제언

1. 결론
2. 정책적 제언

제 7 장 결론 및 정책적 제언

1. 결론

유기성폐기물의 바이오에너지화 사업은 해양투기를 근절하고 온실가스를 감축할 수 있을 뿐만 아니라, CDM사업을 통한 탄소배출권 확보 및 에너지회수의 경제적 수익을 기대할 수 있는 효율적인 사업이다. 해양투기 근절을 위한 육상처리시설을 준비하는 상황이라면, 사업 타당성조사시 CDM사업의 가능성을 파악하여 부가적인 수익 및 기후변화협약에 대응하는 것이 필요할 것이다.

본 연구에서는 기존의 CDM방법론을 이용하고, 특정 상황을 가정하여 확보가능한 탄소배출권을 산정해보았다. 전라북도 유기성폐기물 중 해양투기로 처리되는 하수슬러지, 음폐수, 축산폐수 에너지화시설을 도입할 경우와 기존의 음식물류 폐기물 처리시설을 에너지 회수공정으로 변경할 경우의 탄소배출권 잠재량을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 전라북도 유기성폐기물 중 해양투기 하수슬러지, 음식물류 폐기물, 음폐수, 축산폐수 전체를 대상으로 CDM사업을 수행할 경우 각각 연간 1.5억, 1.0억, 0.8억, 4.0억원의 탄소배출권 확보가 가능한 것으로 산정됨(사업비 미반영)
- 각 사업의 예측저감량을 고려할 때 소규모 CDM사업(연간 60,000 톤CO₂e이하)이 가능함
- 음식물류 폐기물의 경우 바이오가스 발생 잠재력은 높으나 기존 공정의 온실가스 배출량이 낮아, 탄소배출권 잠재력은 상대적으로 낮고 전력공급을 통한 부가수익이 높음
- 축산폐수는 양적으로 잠재력이 높아 CDM사업 추진시 광역화를 통한 대규모화 또는 소규모 농가의 번들화(bundling) 방식이 타당함

CDM사업은 눈에 보이지 않는 온실가스 감축을 위한 사업으로 적절한 방법론의

검증을 통한 인증과 모니터링을 통한 검증을 필요로 한다. 이러한 과정에서 사업위험성을 줄이기 위해 전문업체의 도움을 필요로하며, 사업에 따라 비용 및 기간이 증가할 수 있다.

이러한 측면에서 위험부담을 줄이면서 여러 소규모 사업을 하나로 엮을 수 있는 프로그램 CDM사업에 대해 주목할 필요가 있다. 또한, 위험 부담이 큰 사업의 경우 상대적으로 위험성이 낮고 비용이 저렴한 국내 온실가스등록소를 활용하는 것도 하나의 방안일 것이다.

전라북도에서 유기성폐기물의 바이오에너지 회수를 통해 추진 가능한 CDM사업은 <표7.1-1>과 같다. 본 연구에서의 탄소 배출권 산정은 다양한 가정에 의해 예측되었으므로, 실제 사업수행시 확보가능한 CER은 사업상황에 따라 달라질 수 있다.

<표7.1-1>전라북도 유기성폐기물 바이오에너지 CDM사업

구분	지역	시설용량 (톤/일, m ³ /일)	탄소배출권(억원/년)	
하수슬러지 에너지화시설	익산	120	0.4~0.6	
	군산	90	0.3~0.4	
	정읍	60	0.2~0.3	
음식물류 폐기물 처리시설 발생폐수(음폐수) 에너지화시설	익산	40	0.3	
	익산, 김제(광역)	70	0.5	
	익산, 김제, 정읍(광역)	90	0.6	
축산폐수	축산폐수 에너지화시설	김제	200	0.8
		완주	200	0.8
		정읍	150	0.6
		임실	80	0.3
		축산폐수 에너지화제도 (프로그램 CDM사업)	도내 10곳	500	1.9
	도내 14곳	700	2.7	
혐기성 통합소화 시설 (슬러지 + 음식물)	전주	440	1.1	
	익산 왕궁	200	0.8	

※ 프로그램 CDM사업은 정립중인 단계이므로 향후 CDM집행위원회의 결정과정에 따라 등록여부가 달라질 수 있음. 현재 번들화(Bundling)를 통한 CDM사업은 수행가능함

2. 정책적 제언

가. 전담조직 구성 및 프로그램 CDM사업 검토 필요

기후변화 대응을 위한 전담조직을 구성하여 CDM사업의 발굴 및 추진업무를 담당할 CDM업무 전담자의 지정이 요구된다. 축산폐수의 경우 잠재력은 높으나 소규모 단위 사업으로 성립될 가능성이 높으므로, CDM업무 전담자는 번들화(bundling) CDM 또는 지자체 차원의 정책을 사업화할 수 있는 프로그램 CDM의 검토가 필요하다. 이러한 CDM사업 추진시 개별 사업에 소요되는 CDM사업비를 절감할 수 있으며, 사업자의 CDM사업 참여가 용이하다.

나. 바이오에너지 회수사업시 CDM사업의 우선 검토 필요

전라북도는 신재생에너지 산업을 성장동력산업으로 육성하고 있으며 도내 신재생에너지 사업의 활성화가 절실히 요구되는 시점이다. 유기성폐기물을 이용한 바이오에너지 회수사업은 환경부의 폐기물 재활용 정책과 신재생에너지 사업의 일환으로 적극 추진되고 있다. 현재 계획중이거나 향후 수행될 유기성폐기물을 이용한 바이오에너지 회수사업시 CDM사업을 우선 검토할 수 있는 제도적 장치가 마련되어야 한다.

다. 국내 탄소시장 활성화에 참여

예측저감량이 충분하지 않거나 추가성 확보가 어려운 CDM사업의 경우 온실가스 등록소를 활용한 국내 탄소시장 참여가 필요하다. 국내 탄소시장 활성화에 참여함으로써 온실가스 감축노력에 대한 탄소배출권 확보 및 기후변화대응 이미지 제고를 기대할 수 있다.

라. 소화가스 정제를 통한 바이오에너지 가치증진 필요

바이오에너지의 부가가치 증진을 위해 회수가스를 정제하여 활용할 필요가 있다. 차후 발전보조금의 변동과 바이오에너지 수요의 증가에 대비하여 자동차(CNG버스) 연료 등으로 연계하는 방안이 필요하다.

마. CDM사업의 교육 및 홍보

도내 공무원, 환경시설 운영자, 폐기물 관련 사업자, 유관기업 등을 대상으로 한 CDM사업 교육 및 홍보가 필요하다. 교육 및 홍보를 통하여 현장에서 또는 관련 업무에서 CDM사업을 발굴할 수 있도록 유도하여 온실가스 감축에 능동적으로 참여할 수 있도록 하여야 한다. 도민홍보를 통해 민원의 대상이었던 유기성폐기물 처리시설에 대한 의식전환의 계기를 마련하여야 한다.

바. 도정의 CDM사업 추진의지 고취

CDM사업은 당장의 경제적 이익을 위해 수행하는 수익성 사업이 아니라 미래의 더 큰 손실을 막기 위한 경제적 투자임을 인식하고 적극적인 추진의지를 고취할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- 계명대학교 (2006), “국가 온실가스 배출통계 D/B구축을 위한 국가전략 로드맵 수립 및 최적 운영방안 연구”
- 국립환경과학원 (2005), “유기성폐기물 종합관리기술 구축 II (유기성폐기물 처리방법별 환경성 및 경제성 평가)”
- 국립환경과학원 (2006), “유기성폐기물 종합관리기술 구축 III (유기성폐기물 통합처리기술과 바이오매스 이용체계 구축)”
- 국무조정실 (2005), “음식문화개선 및 음식물류 폐기물 종합대책(2006~2010)”
- 국무조정실 기후변화대책 기획단 (2007), “기후변화 제4차 종합대책(5개년계획)”
- 국무조정실 기후변화대책 기획단 (2007), “기후변화 제4차 종합대책 관련 참고자료”
- 대구광역시 (2006), “대구광역시 하수슬러지 처리시설 건설사업 타당성 조사 및 기본계획 보고서”
- 무주군 (2003), “무주군 축산폐수공공처리시설 건설사업 기본설계보고서”
- 안산시 (2005), “안산시 음식물쓰레기 자원화시설 건설사업 타당성조사 및 기본계획보고서”
- 임재규 (2006), “기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축연구(제3차년도)”, 에너지경제연구원
- 에너지관리공단 (2007), “2006 기업을 위한 CDM사업 지침서”
- 에너지관리공단 (2007), “2007년 CDM방법론 맵 작성”
- 에너지관리공단 (2008), “국제탄소시장 동향 세미나”-제3차 기후변화대책WEEK 세미나 자료
- 지속가능경영 뉴스레터 102호 (2007)“ Getting with the programme”
- 해양수산부 (2006), “육상폐기물 해양투기 종합대책”
- 환경관리공단 (2005), “하수슬러지 처리 및 자원화 방안”
- 환경부 (2007), “2006 하수도 통계”
- 환경부 (2007), “하수슬러지관리 종합대책”
- 환경부 (2007), “음식물류 폐기물 처리시설 발생폐수 육상처리 및 에너지화 종합대책(2008~2012)”
- 환경부 (2007), “2007환경통계연감”

허남효 (2005), “유기성 폐기물의 바이오 가스화 기술 및 현황”한국태양에너지학회
지 제14권 제1호 pp.9~25

CDM-PDD (2005), “Composting of Organic Waste in Dhaka”

CDM-PDD (2007), “Daegu Bangcheon-Ri Landfill gas CDM Project”

CDM-SSC-PDD (2007), “The Anaerobic Digestion Swine Wastewater Treatment
With On-Site Power Bundled Project (ADSW RP1001)”

CDM-SSC-PDD (2006), “A joint venture project of cogeneration of electricity
and hot water using natural gas and biogas produced from on-site
wastewater biodigesters”

CDM-SSC-PDD (2005), “Biogas Support Program - Nepal (BSP-Nepal)
Activity-1”

CDM-PDD (2007), “Methane Recovery and Utilization CDM Project at Muyuan
Swine Farm in Henan Province”

CDM-SSC-PDD (2005), “Bagepalli CDM Biogas Programme”

CDM-PDD (2005), “Methane capture and combustion from swine manure
treatment for Pocillas and La Estrella”

CDM-PDD (2008), “Centro Industrial del Sur Organic Waste Project”

EcoSecurities & CD4CDM (2007), “Guidebook to Financing CDM Projects”

Euiso Choi (2007), “Piggery Waste Management Towards a Sustainable Future”,
IWA

IPCC (1996), “Climate Change 1995 : The Science of Climate Change”,
Cambridge, UK: Cambridge University Press.

전발연 2008-R-06

**탄소배출권 확보를 위한 전라북도
유기성폐기물 바이오에너지 회수방안**

발행인 | 신기덕

발행일 | 2008년 10월 31일

발행처 | 전북발전연구원

560-014 전북 전주시 완산구 중앙동 4가 1번지

전화:(063)286-9201 팩스:(063)286-9206

ISBN 978-89-92471-39-8 93530

본 출판물의 판권은 전북발전연구원에 속합니다.