
제주지역 유기성 폐기물 ZERO EMISSION 체계 구축 연구를 위한 해외조사결과

2010. 9.

강진영 책임연구원



I. 조사 개요

1. 목적

- 2010년 제주발전연구원 기본과제인 “제주지역 유기성폐기물 ZERO EMISSION 체계 구축 연구”에서 해외의 유기성폐기물 처리(바이오가스, 소각 등)의 사례 조사
- 일본 유기성 폐기물 등의 처리를 위한 바이오가스 시설, 소각 시설 등에 대한 자료수집, 관련자 면담, 현장조사 등을 통한 벤치마킹
- 제주지역 유기성 폐기물 자원순환체계 구축을 위해 자원순환체계에 있어서 선진국의 벤치마킹을 통한 연구 결과 활용

2. 일정 및 대상

- 조사기간 : 2010년 8월 30(월) ~ 9월 4일(토) (4박 6일)
- 조 사 지 : 일본 센다이, 시로이시
- 조 사 자 : 제주발전연구원 환경지역계획팀 강진영 책임연구원, 신우석 비상임 연구위원

3. 주요 활동

- 일본 센다이 폐기물 처리시설(소각 및 리사이클 시설) 견학 및 관련 담당자 면담 등
 - 센다이 소각시설 담당자 : 七田(NANATA)
- 일본 시로이시 메탄 발효 생산 시설 견학 및 관련 담당자 면담 등
 - 일본 시로이시 생쓰레기 자원화시설 담당자 : 佐藤 国美(Sato Kunimi)

II. 조사 도시 개요

1. 일본국(日本國)

□ 개 요

- 수 도 : 동경(Tokyo)
- 인 구 : 127,288,419 명(2008년 기준)
- 면 적 : 377,835km²(한반도의 약 1.7배)
- 통 화 : 엔(¥)
- 주요언어 : 일본어
- 종 교 : 신도와 불교 (84%)
- 경제현황(2007년 기준)
 - GDP : 4조 3,767억불(World Bank)
 - 1인당 GDP : 3만 4,296불(한국은행)
 - 경제성장률 : 2.4%(한국은행)
 - 무역규모 : 1조 5,316.9억불(JETRO, 08년)
 - 외환보유액 : 9,734억불(한국은행)
- 지리적 여건
 - 일본열도는 홋카이도, 혼슈[本州], 시코쿠[四國], 규슈[九州] 등 4개의 큰 섬과 그 남서쪽으로 이어지는 난세이제도 및 혼슈 중부에서 남쪽의 태평양으로 이어져 내리는 이즈[伊豆]·오가사와라제도로 구성
 - 일본의 행정구역은 43개현, 1개특별도(都), 1개도(道), 2개부(府)로 구성
- 기후 여건
 - 일본은 홋카이도와 혼슈 북부 및 중부 내륙고지(內陸高地)가 아한대다우기후(亞寒帶多雨氣候)에 속할 뿐, 그 밖의 모든 지역이 온대다우기후에 포함
 - 일본열도는 남북으로 길어 홋카이도 북단에서 난세이제도 남단까지는 위도차가 22도나 되고, 연평균기온도 홋카이도의 와카나이[稚内]에서 6.3℃, 오키나와섬[沖縄島]의 나하[那覇]에서 22.3℃를 보여 남북차는 16℃
- 여행 팁
 - 연말연시(12월 27일 ~ 1월 4일), 골든 위크(4월 29일~5월 5일), 오봉(8월 15일) 기간은 여행을 피하는 것이 좋음
 - 시내 변화가를 제외하고 대부분의 상점이 8시에 문을 닫음
- 통화
 - 통화 단위는 엔(¥)으로 1, 5, 10, 50, 100, 500엔 동전이 있으며 1000, 2000, 5000,

10000엔 지폐가 있음

○ 전화

- 일본에서 한국으로 전화를 걸고자 한다면 0041또는 0061또는 0033+82(한국국가번호)+0을 제외한 국가번호+상대방 전화번호를 누르면 됨

□ 현지연락처

○ 주 일본 한국대사관

- 주소 : 東京都 新宿區 四谷 4-4-10(우편번호 160-0004)
- 전화번호 : (81-3)3452-7611/9, 긴급전화(휴일) : (81-3)3225-7746

○ 센다이 대한민국총영사관

- 주소 : 일본 미야기현 센다이시
- 전화 : 81-22-221-2751~3



그림 1 일본 주요 도시 위치도

2. 센다이시

□ 개요

- 나나키가 강과 히로세 강 사이에 위치한 도시

- 면적 : 783.54km²(동서 약90km, 남북 약76km)
- 인구 : 102만 5,223명 (2008년 기준)

○ 도시 현황



그림 2. 센다이시 위치도

- 17세기 초 이래 대영주의 성읍으로 발전하여 오늘날 도호쿠[東北] 지방 최대의 도시가 되었으며, 시가지는 히로세강[廣瀨川] 좌안의 넓은 단구(段丘)에 펼쳐짐
- 동부의 충적평야는 비옥한 논농사 지대이고, 남부의 나토리강[名取川] 자연제방에서는 채소재배가 활발하고, 동부해안에는 5만 t급 선박의 입항이 가능한 센다이항이 있으며, 항구 주변에 새로운 공업지구가 조성되고, 그 밖에 남부와 북동부에도 공업지구가 분산하여 정유·화학발전·특수강·토관(土管)제조 등의 공업이 활발
- 도호쿠 지방의 행정·경제·문화의 중심지를 이루어, 중앙관서와 회사·은행의 출장소·지점 등이 고루 입지하였으며, 도호쿠대학을 비롯한 10여 개의 대학 및 박물관·천문대·동물원·야생식물원·종합경기장·도서관 등 문화시설이 많음

3. 시로이시(白石市)

□ 개요

- 미야기현에 있는 도시(총면적 286.47km²)
- 미야기현의 최남단, 자오렌봉[藏王連峰]의 기슭에 위치
- 남서쪽에서 북동쪽으로 시로이시강[白石川]이 흐르며, 남쪽으로 후쿠시마현[福島縣]과 접함



그림 3. 미야기현 시로이시시

□ 지역 특성

- 1954년 4월 1일 시로이시정[白石町], 오다이라촌[大平村], 사이카와촌[齋川村], 코스고촌[越河村], 오타카사와촌[大鷹澤村], 시라카와촌[白川村], 후쿠오카촌[福岡村]이 통합되어 시로이시시[白石市]가 되었고, 1957년 3월 31일 오바라촌[小原村]을 편입
- 주요 산업 : 공업(NEC와 소니 등의 생산 공장)
- 특산물 : 시로이시온면[白石溫麵]과 일본전통종이인 시로이시와시[白石和紙]
- 철도 : JR도호쿠신칸센[東北新幹線], JR도호쿠본선[東北本線]
- 도로 : 고속도로인 도호쿠자동차도로[東北自動車道], 국도 4호, 국도 113호, 국도 457호 등
- 관광지 : 시로이시성[白石城], 카마사키온천[鎌先温泉], 오바라온천[小原温泉] 등이 있으며, 해마다 시로이시시민봄축제[白石市民春まつり] 등이 개최

Ⅲ. 센다이 쿠즈오카 폐기물 처리 시설

1. 센다이 폐기물 처리시설(쿠즈오카 공장 및 부대 시설)

□ 면담자 : 七田(NANATA)



그림 4 센다이 쿠즈오카 소각시설 담당자

□ 센다이시 소각시설 개요

- 센다이시에서 발생하는 생활폐기물을 처리하기 위한 소각 시설(3개소)
- 쿠즈오카(葛岡)공장, 마쓰모리(松森)공장, 이마이즈미(今泉)공장



그림 5 센다이시 소각시설

2. 센다이시 쿠즈오카(葛岡) 공장 및 관련 시설 개요

□ 센다이시 쿠즈오카(葛岡) 공장 및 관련 시설

- 가연쓰레기를 파쇄하여 소각하는 쿠즈오카 소각시설
- 자원쓰레기를 선별하여 재이용 및 재자원화를 꾀하는 쿠즈오카 자원센터
- 시민들에게 리사이클방법과 활동에 협력을 받기 위해 쓰레기처리의 이해를 높이기 위한 쿠즈오카 리사이클플라자



그림 6 센다이시 쿠즈오카 공장 및 관련시설

□ 쿠즈오카(葛岡) 공장 시설

- 센다이시 소각공장 중에서는 가장 최신의 공장으로 자동운전시스템과 중앙감시시스템, 공해방지시설 설비

○ 쿠즈오카 소각시설 역할

- 센다이시에서 발생하는 생활폐기물은 우선적으로 가연성 쓰레기인지, 비가연성 쓰레기인지 구분
- 자원화 가능여부에 따라 선별
- 불연쓰레기는 매립처분장으로 자원화가 가능한 쓰레기는 자원센터 이송
- 가연성인 자원화가 불가능한 쓰레기는 소각



그림 7 센다이시 쿠즈오카 소각시설 process

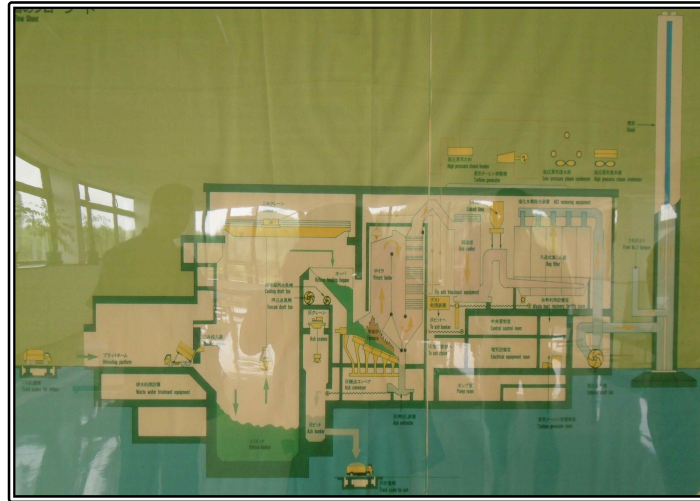


그림 8 센다이시 쿠즈오카 소각시설 흐름도



폐기물 적치 전

폐기물 적치 후

그림 9 폐기물 적치 전·후 모습

- 쿠즈오카 소각시설 소각용량 : 600ton/d(300ton/d시설 × 2기)
- 소각로 형태 : 전연속소각식스토커로
- 자가발전설비 : 9,000KW(4,500KW × 2기)
 - 소각으로 발생하는 여열에 대해서는 95%의 효율을 나타내는 발전설비를 통해서 자체시설 및 부대시설 운영으로 소비되는 전력외에 잉여 전력에 대해서는 전력회사에 판매
- 방지시설 : 여과식집진기(백필터)

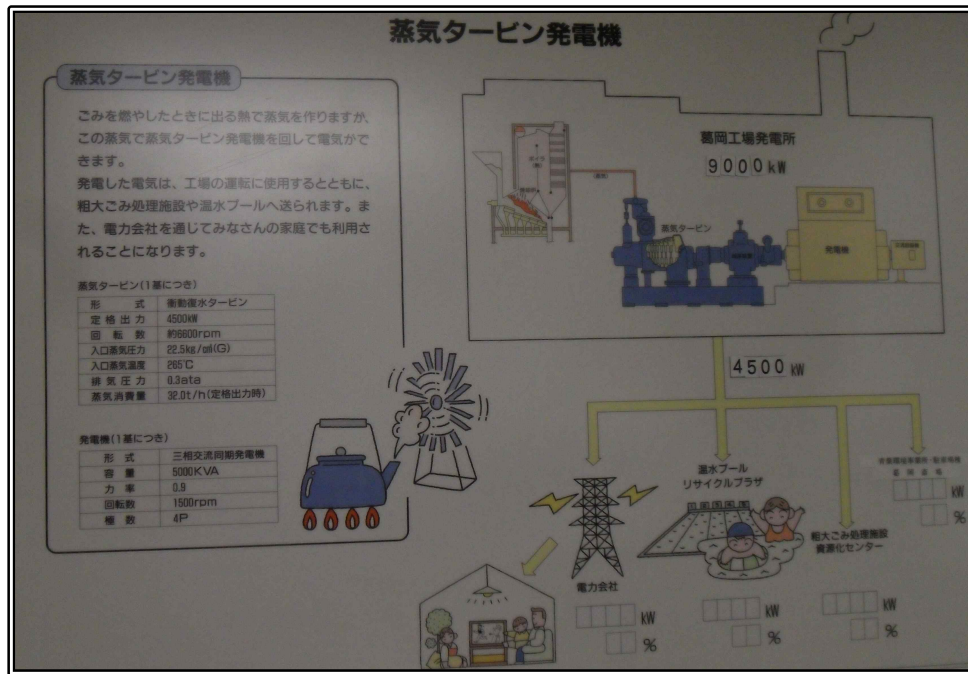


그림 10 소각시설 증기터빈발전기 전력 생산 및 수요처

□ 쿠즈오카(葛岡) 자원센터

- 쿠즈오카 공장에 병설되어 있고 자원쓰레기(빈병, 빈캔) 스틸캔, 알루미늄캔, 카레트를 선별하여 재이용, 재자원화를 꾀함



그림 11 쿠즈오카(葛岡) 자원센터

- 수작업선별과 기계선별작업을 병용

- 운영형태 : 소수의 공무원외에 대부분이 민간위탁 형태로 구성되어 운영

□ 쿠즈오카 리사이클 플라자

- 리사이클플라자는 시민에게 리사이클방법과 활동에 협력을 받기 위해 쓰레기 처리의 이해를 높이는 전시학습실과 리사이클정보코너, 리사이클품 전시코너, 리사이클공방을 겸하여 운영



그림 12 쿠즈오카 리사이클 플라자 입구



그림 13 쿠즈오카리사이클 플라자내 온수풀

- 운영형태 : 소각시설에서 발생하는 전력 및 여열에 의해 부대시설이 운영(온수 풀 또한 소각시설의 여열을 이용하는 대표적인 예)

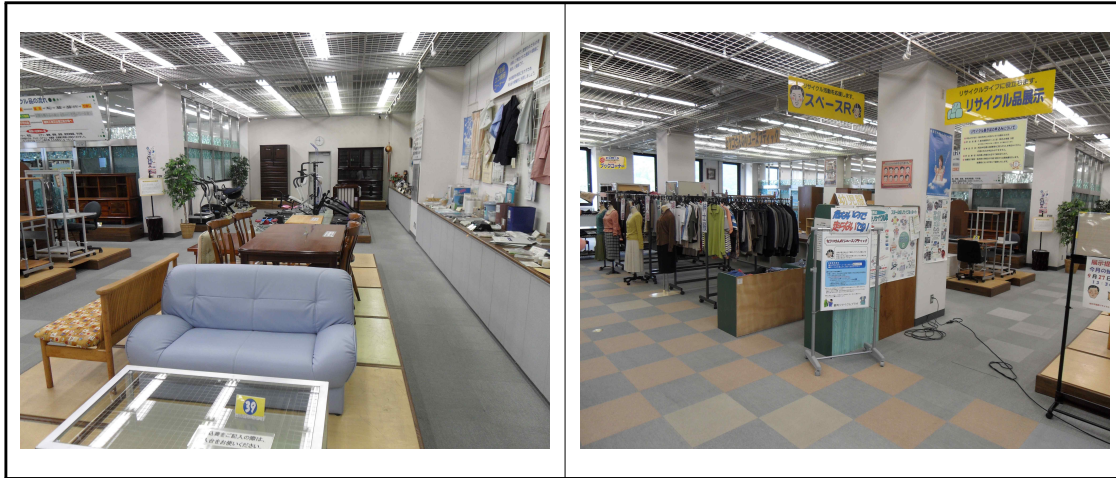


그림 14 쿠즈오카리사이클 플라자내 리사이클정보코너 및 리사이클품 전시코너

- 쿠즈오카에서 발생하는 생활폐기물중 재활용이 가능한 품목에 대해서는 새로 고치고 수선해서 시민들에게 공개하여 신청자에게 공짜로 주거나 판매하는 등 자원화가 활성화 되어 있음(그림 14참조)
- 중고제품을 수선하거나 고치는 사람들은 고령자들로써 자원봉사의 형태임



그림 15 쿠즈오카 리사이클 플라자내 시설된 어린이방 및 전시학습실

- 전시학습실 : 어린이 놀이방을 만들어놓고 그곳에서 놀이할 수 있도록 시설을 갖추어 놓음으로써, 어릴 때부터 폐기물이라는 자체와 더불어 이를 감축시키는 방법, 재활용하는 방법 그리고 재이용하는 방법 등에 대해서 자연적으로 습득할 수 있는 환경을 조성(그림 15참조)



그림 16 쿠즈오카 리사이클 플라자내 3R 교육을 위한 전시학습실

- 세심한 교육 시설 : 폐기물 정책에 있어서 가장 중요하게 생각하는 3R 정책은 발생하는 양을 최대한 줄이기 위한 감축(Reduce)과 감축 정책에도 불구하고 발생하는 폐기물에 대해서는 재이용(Reuse) 또는 재활용(Recycle) 정책이며, 이를 위해서는 무엇보다 교육이 중요한데, 이러한 교육은 이론적인 부분이외에 실제로 느낄 수 있도록 주변 환경을 조성해주는 노력이 필요하며, 쿠즈오카 시설에서도 세심한 교육을 위해서 많은 노력을 함

3. 시사점

□ 센다이 쿠즈오카 소각시설의 세심한 시설

- 일반적으로 소각시설 등과 같은 환경기초시설은 일반 시민들에게 혐오시설로 인식되고 있고, 흔히 NIMBY현상이라고 일컫는 자기 지역에는 이러한 환경기초시설 설치 또는 건립을 못하게 하는데 반해 센다이 쿠즈오카 소각시설에서는 혐오시설이라기 보다는 여가 또는 레저 공간 그리고 생활공간 등으로 여겨지는 시설로 인식됨
- 이러한 시설로 인식되기 위해서는 우선적으로 부정적인 측면, 예를 들어 시설로부터 발생하는 악취 또는 이에 따른 문제점 등에 대해서 발생하지 않도록 하는 노력, 즉 세심한 시설의 건설과 운영으로 이루어짐
- 따라서 현재 제주지역에 위치해 있는 환경기초시설에서 발생하는 지역주민의 민원은 이러한 세심한 시설의 부재로 인해 발생되어지므로 향후 증설 또는 신설되어지는 시설에 대해서는 세심한 부분을 첨가하여 이루어져야 할 것임

□ **센다이 쿠즈오카 소각시설에서의 시민을 위한 세심한 배려**

- 소각시설에서는 소각으로 인해서 발생하는 하는 여열이 있으며, 이러한 여열을 이용한 발전은 우리지역에서도 이루어지지만, 앞에서 언급한 여가 또는 레저와 결부시키기에는 무리가 있음
- 결국 세심한 시설과 더불어 시민들을 위해서 시민들이 과연 무엇을 필요로 하는가에 대한 부분에 있어서 리사이클 플라자를 만들고 리사이클공방을 통해 수선된 또는 수리된 물품에 대해서 시민들에게 공급하고, 또한 그 공간에서 쉴 수 있도록 배려하는 세심함이 우리에게도 필요함

□ **센다이 쿠즈오카 소각시설에서의 시민 의식 향상을 위한 세심한 교육**

- 환경과 관련된 부분에 있어서 가장 중요하다고 언급하는 부분이 교육이며, 어릴적부터 몸에 배인 특성은 잘 잊어버리지 않는 것처럼 어린 시절부터의 환경에 대한 교육은 그만큼 중요함
- 쿠즈오카의 소각시설에서의 세심한 시설과 더불어 시민을 배려할 수 있는 세심함, 그리고 그러한 환경에서 어린이들이 쉬거나 놀이를 할 수 있는 공간 배려는 교육을 위한 시설이라기 보다는 자연적으로 몸에 습득할 수 있도록 하는 세심함에서 이루어지는 것임
- 즉, 시설적으로 세심한 측면, 시민들을 위한 배려하는 마음 그리고 그러한 부분에서 이루어지는 자연적인 환경교육은 앞으로 제주지역에서 필요한 사항이라 할 수 있을 것임

IV. 시로이시시 생쓰레기 자원화 시설

1. 시로이시 생쓰레기 자원화 시설

□ 면담자 : 佐藤 國美(Sato Kunimi)



그림 17 시로이시 생쓰레기 자원화시설 담당자

2. 시로이시시(白石市) 생쓰레기자원화 사업소



그림 18 시로이시시(白石市) 생쓰레기자원화 사업소 전경

- 2002년 시로이시시에서는 학교급식센터, 국립병원 그리고 여관 등에서 발생되어지는 생쓰레기가 문제시 되면서 자원화 방안을 강구
- 초기 자원화하는 방안으로 퇴비화(Compost)를 고려하였으나 염분 등의 문제로 인하여 바이오가스화 시설 설치
- 시로이시시 생쓰레기자원화 사업소는 크게 전처리시설, 메탄발효시설, 바이오가스전처리시설, 발전시설, 배수처리시설 그리고 탈취시설로 구성

□ 전처리시설

- 전처리시설로는 유입호퍼(hopper)와 분별기 그리고 슬러리탱크로 나누어지는데, 생쓰레기가 발생하면 우선적으로 용량이 7m³인 유입호퍼에 투입되게 되고 유입호퍼는 생쓰레기를 시간당 최대 약 1m³의 생쓰레기를 분별기로 이송



그림 19 전처리시설에서의 유입호퍼(hopper)

- 다음으로 분별기에서는 생쓰레기에 섞여서 혼입되는 플라스틱 용기 또는 쟁반 및 생쓰레기를 담은 비닐 등을 분별해서 배출
- 이물질의 대부분은 비닐류이며, 생쓰레기 1m³당 약 80~100kg의 비닐류가 배출되어지며, 분별작업과 동시에 반죽 형태로 만들어서 슬러리탱크로 이송



그림 20 전처리시설에서의 분별기

- 전처리시설로서 분별기 다음으로 슬러리 탱크가 있는데 탱크의 용량은 12m^3 으로 슬러리 탱크에서는 물과 반죽을 혼합하고, 보다 더 가늘게 파쇄하여 물성을 슬러리상태로 해서 1일분에 대해서 메탄 발효를 하기 위해 바이오반응기 (bioreactor)로 펌프를 통해서 이송



그림 21 전처리시설에서의 슬러리탱크

□ 메탄발효시설



그림 22 메탄발효시설

- 바이오반응기(bioreactor)의 용량은 60m^3 으로 내부에서는 메탄균을 이용하여 메탄을 만드는데, 슬러리는 약 55°C 를 유지하며, 약 10일간 내부에서 분해시킴
- 생산되어지는 바이오가스량은 생쓰레기 1m^3 당 약 160m^3 이며, 이 시설은 1일당 약 480m^3 의 바이오가스를 생산

□ 바이오가스 전처리 시설



그림 23 가스홀더(holder)시설



그림 24 탈황탑 시설

- 바이오가스 전처리시설은 탈황탑과 가스홀더(holder)로 나누어지는데, 탈황탑은 생산되어지진 바이오가스중에 함유되어있는 유황분을 제거하고 안전하게 이용할 수 있는 가스로 만들기 위한 시설임
- 가스홀더는 바이오가스시설에서 생산된 바이오가스에서 정제된 가스를 모아두는 곳으로 용량은 100m³ 임

□ 발전 시설

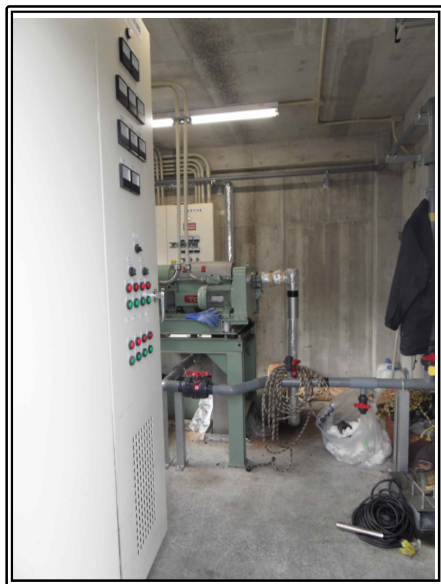


그림 25 발전시설



그림 26 농업용온실



그림 27 급식센터

- 발전시설에서는 마이크로터빈 발전기와 배열보일러시설로 되어 있는데, 우선적으로 전기는 바이오가스를 고속으로 연소해서 마이크로가스터빈을 회전시켜

발생

- 발전능력은 30kW/h이고 연간 평균적으로 23kW/h의 발전을 행하며, 평균적으로 시설전력의 20~30%을 절감할 수 있는 양
- 전기를 생산하면서 발생하는 열을 이용하여, 배열보일러에 열교환시설을 통해 온수를 만들어내고 이러한 온수는 농업용온실과 급식센터에 공급하게 되는데, 이렇게 공급되어지는 온수는 온실에서는 실온을 유지시켜주는 역할을, 급식센터로 공급되어지는 온수는 1일 최대 약 100ℓ의 중류를 절약할 수 있음

□ 배수처리시설

- 배수처리시설은 배수처리조와 탈수기실로 나누어지는데, 배수처리시설은 메탄 발효시설에서 발생되어지는 발효액은 하수처리시설방류수기준에 맞추어 처리하여 배출하여야 하는데, 본 시설에서는 침적막활성오니법으로 처리함



그림 28 배수처리시설에서의 저류조

- 배수처리시설에서 수처리를 위해서 사용되는 침적막활성오니법에서는 슬러지가 발생하게 되고 이러한 슬러지를 처리하기 위해서는 부피와 무게를 줄이기 위해서 탈수기를 사용



그림 29 탈수기

□ 탈취시설

- 시설내에서 발생되어지는 극부적인 취기는 미생물분해로 탈취를 해서 배기하는 것으로 설명하고 있었지만, 현장에서 볼때는 이러한 시설은 사용하지 않는 것으로 판단됨

3. 시사점

- 본 시설은 약 2003년에 건설된 시설로서 현재의 기술보다는 용량도 작고 시설도 현 시점에 비해서는 낙후
- 선진적인 기술을 그 시대에 할 수 있었던 것만으로도 선진 기술 도입에 의의가 있는 것으로 보임
- 아쉬운 사항 : 바이오가스시설에서 발생되어지는 여열을 농업용온실에 사용하지 못하는 점과 배수처리시설에서의 훌륭한 기술을 접목시키지 못함