

기 조 발 제

바이오가스화/폐수처리공법 실증플랜트 현지조사 및  
공법사 방문 기술협의

충청남도 정책특별보좌관

최 진 하



**【공무국외여행 보고서】**

---

**바이오가스화 / 폐수처리공법  
실증플랜트 현지조사 및 공법사방문 기술협의**

---

**2012. 06**



**충 청 남 도**

# 목 차

<b>1. 개 요</b>	<b>1</b>
가. 출장목적	1
나. 출장국가 및 기간	1
다. 출장자	1
라. 방문공법사	2
마. 출장일정	2
<b>2. 바이오가스 공법소개</b>	<b>3</b>
<b>3. 폐수처리 공법소개</b>	<b>8</b>
<b>4. 현 장 조 사</b>	<b>11</b>
가. Kens Food 바이오가스 플랜트시설	11
나. Wayland High School 오폐수처리시설	16
다. Gillette Stadium 오폐수처리시설	18
라. United Industries 산업폐수처리시설	20
<b>5. 맺 음 말</b>	<b>21</b>

# 1. 개 요

## 가. 출장목적

- 음식물류폐기물 바이오가스화사업 추진을 위한, 해외 공법사 실증플랜트 운영현황 파악 및 Risk요인 분석
- 해외 혐기성 바이오가스화 및 폐수처리기술의 운영/관리 전반에 대한 자료 및 정보수집
- 음식물류폐기물 바이오가스화 정책 담당공무원, 전문가, 이해관계자들이 참여함으로써 혐기소화 공법에 대한 인식증진 및 의사결정시 올바른 정책 참여 유도

## 나. 출장국가(도시) 및 기간

### ① 출장국가 :

- 캐나다(Fredericton)
- 미국(Boston, Malborough, Portsmouth, Meriden)

### ② 출장기간 : 2012.05.29 ~ 2012.06.05 (6박8일)

## 다. 출장자

- ① 충남도청 최진하 환경정책특보
- ② 충남도청 환경관리과 김선곤 주무관

## 라. 방문 공법사

① 바이오가스화 혐기소화 공법 : ADI Systems

② 고농도 폐수처리공법 : BioprocessH<sub>2</sub>O

## 마. 일정

일자	주요 활동	비고
05.29	인천국제공항 출발	Seoul
05.30	Toronto 도착, Fredericton 이동(비행기)	Toronto
05.31	ADI 본사미팅, 캐나다 → 미국 차량이동	Fredericton
06.01	Kens Food 혐기소화시설 시찰 Wayland high School 폐수처리시설 시찰	Boston
06.02	Gillette Stadium 폐수처리시설 시찰 BioprocessH <sub>2</sub> O 본사미팅	Malborough Portsmouth
06.03	United Industries 시찰	Meriden
06.04	미국 JFK 뉴욕공항 출발	New York
06.05	인천국제공항 도착	Seoul

## 2. 바이오가스 공법 소개

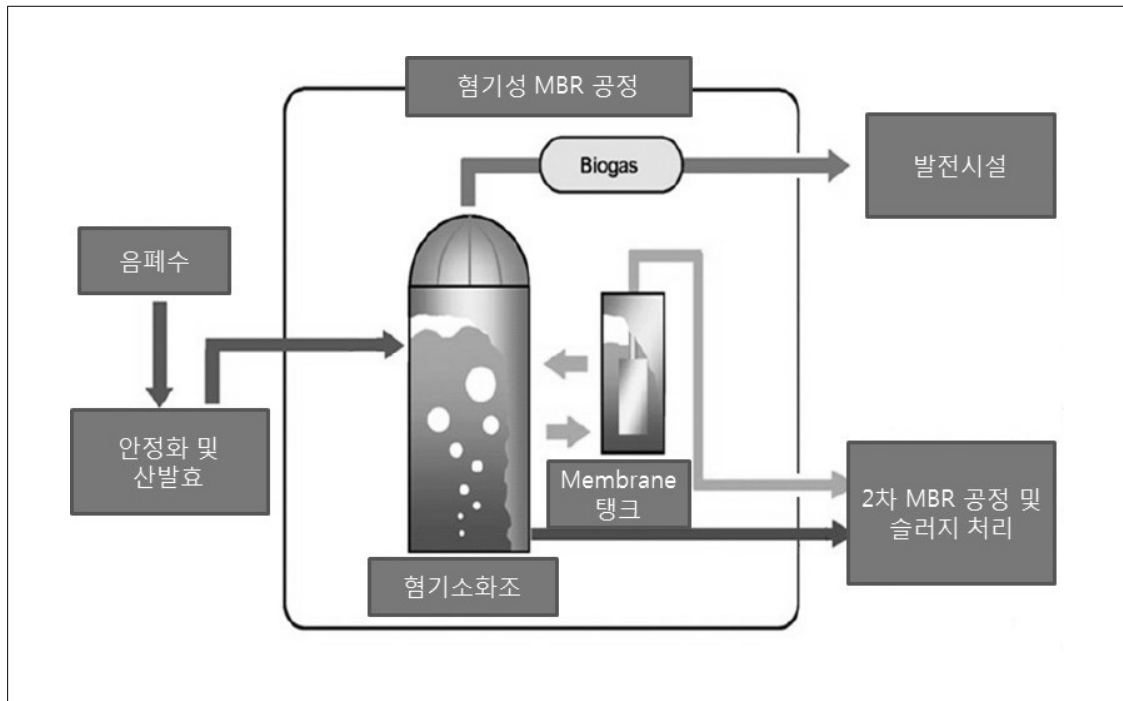
### 가. 회사 개요

- 회사명 : ADI Systems Inc.
- 주 소 : (본사) 370 Wilsey Road Fredericton, NB  
E3B 6E9 Canada
- 홈페이지 : [www.adisystemsinc.com](http://www.adisystemsinc.com)
- 보유기술
  - ▷ Anaerobic : ADI-BVF, ADI-Hybrid, ADI-AnMBR, ECSB, UASB
  - ▷ Aerobic : ADI-SBR, ADF-MBR
- 실적 : 전세계 30개국 200개소 이상 설치

- 캐나다 Fredericton에 본사를 두고 있는 ADI System社는 1970년대 중반 혐기성소화 R&D를 시작으로, 1979년에 첫 번째 플랜트 시설을 계획하였음
- 현재는 전세계 150개소 이상의 혐기성소화시설과 50개소 이상의 호기성소화시설 설치 실적을 보유하고 있음
- 미국에만 65개소 이상의 혐기성 소화시설을 설계/시공하였음
- ADI Systems 사업범위
  - ▶ Environmental
  - ▶ Mechanical
  - ▶ Chemical
  - ▶ Electrical
  - ▶ Instrumentation & Controls
  - ▶ Structural
  - ▶ Laboratory analysis & Testing
  - ▶ Architectural
  - ▶ Design
  - ▶ Geotechnical

## 나. 공법 소개(ADI-AnMBR)

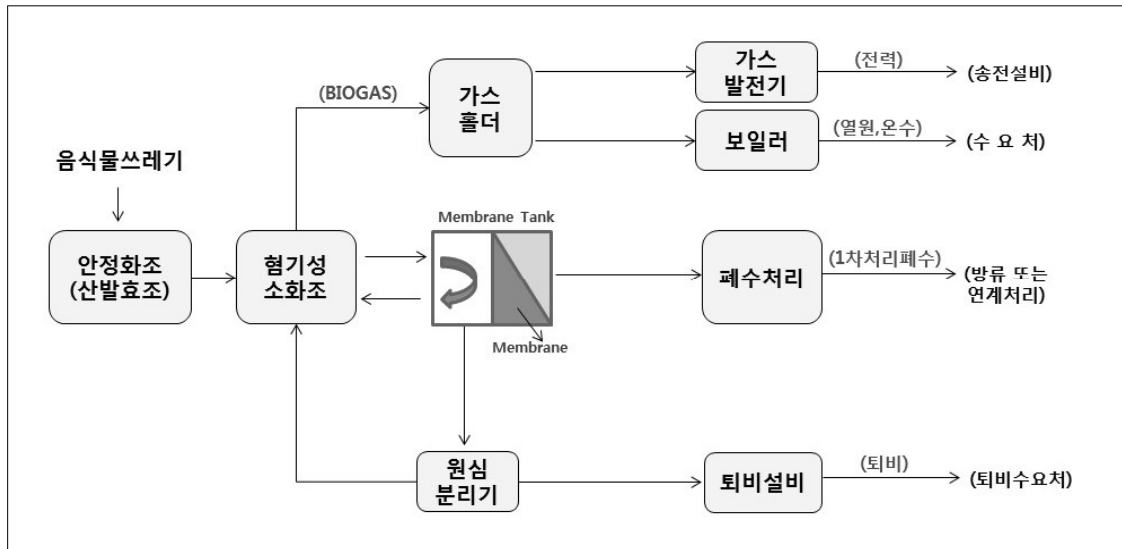
### ① 처리계통도



- 반입된 음폐수 등 유기성폐기물은 안정화조에서 산발효과정을 거치고, 혐기소화조에서 메탄발효과정을 거쳐 최종 바이오가스를 생산하는 2단 중온 혐기소화방식임
- 혐기소화조 측부에 Membrane 탱크를 설치하여 소화액을 내부순환시킴으로써, 유입농도 변화에도 항상 안정적인 MLSS 농도 유지가능(안정적 소화효율 유지)
- Membrane을 통한 소화액 고액분리로, 처리수의 농도가 낮아 후단 수처리시설의 부하 경감
- 소화조 전단에 난분해성 물질을 제거하는 전처리시설을 설치함으로써, 소화조내 안정적 처리 및 균일한 바이오가스 생산 가능



## ② 처리흐름도



- 중온 2상 혐기성소화시설을 거친 소화액은 Membrane 탱크 내에서 고액분리됨
- 고상은 후부숙조에서 퇴비화되고 액상은 후단 폐수처리시설에서 1차 처리후 인근 하수처리장에 연계처리되며, 발생된 바이오가스는 발전터빈이나 보일러를 통해 전력, 열원, 온수 등으로 전환되어 인근 수요처에 공급되어짐

## ③ ADI-MBR 공법 특징

- 수중 설치 방식의 Submerged Membrane
  - ▷ 혐기성 소화공정에 수중 Membrane의 장점을 적용한 방식
  - ▷ 미생물과 고형성분을 완벽하게 차단함으로써 안정적 소화 효율을 유지시키며, 결과적으로 바이오가스 생산량 증대 및 슬러지발생 감소가 가능함
- 에너지 소모가 적은 중온 운전
  - ▷ 소화과정에서 발생하는 열만으로도 적정온도 유지가 가능

한 중온 운전방식 채택

- 가동 중단 없는 Membrane 세척 기능

▷ Membrane tank에서 가동 중단 없이 간편하게 자동 세척  
(바이오가스를 이용한 내부 세척방식 적용)

- 가온 방식 : 새로이 투입되는 물만 EQ Tank에서 열교환기를 통하여 가온함으로써 에너지 소비율 최소화

- 교반 방식 : Mixer를 이용한 측면 교반 또는 가스교반 방식 적용으로 교반효율 증대 및 안정적 유지관리성 확보

#### ④ ADI-MBR 혐기소화 제거효율

항 목	BOD	COD	TS	T-N	T-P
처리효율	99%	95%	99%	25%	—

#### ⑤ ADI-MBR 혐기소화시설 설치실적

발주처	설치국가	처리대상	설치년도
Minute maid/Coca-Cola	USA	Juice/Sports Drink	2005
Masonite Chile	Chile	Door Mftg	2006
Les Aliments Bari	Canada	Potato	2006
Ocean nutritions	Canada	Fish oil	2006
Methanex Chile	Chile	Methanol	2007
FMC Philippines	Philippines	Carrageenan	2007
Hotel Explora	Chile	Resort	2007

발주처	설치국가	처리대상	설치년도
Masonite Chile II	Chile	Door Mftg(Expansion)	2007
EastFork Biodiesel	USA	Biodiesel	2007
Kens Foods	USA	Salad Dressing	2007
Golden Flake	USA	Snack Foods	2008
MillerCoors	USA	Brewery	2008
Hung Roa	Chile	Resort	2009
Kraft Ukraine	Ukraine	Potato	2009
Jose Cuervo Tequila	Mexico	Tequila Distillery	2009
Old Dutch	Canada	Snack	2010
ADM Columbus	USA	Ethanol/Fructose	2011

## ⑥ ADI 본사 방문 사진



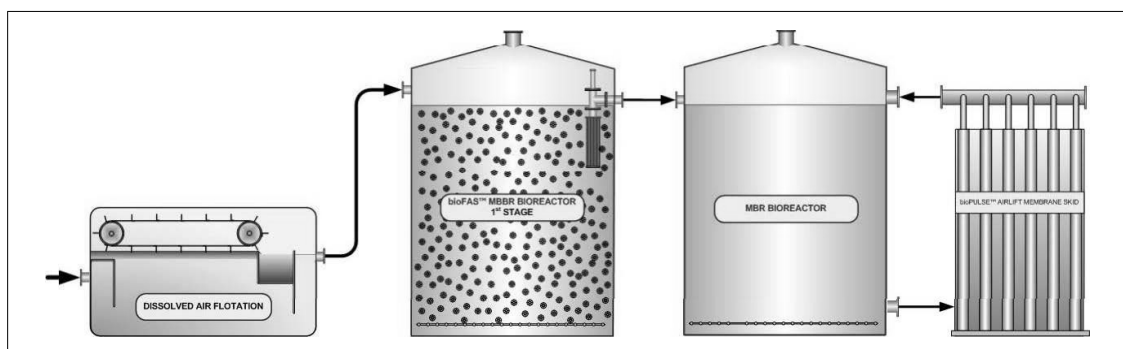
### 3. 폐수처리공법 소개

#### 가. 회사 개요

- 회사명 : BioprocessH<sub>2</sub>O
  - 주 소 : 45 High point Avenue Portsmouth, RI 02871
  - 홈페이지 : [www.bioprocessh2o.com](http://www.bioprocessh2o.com)
  - 보유기술 : BioFAS MBBR, BioFLOW MBR, BioFAS SAGR(Surmerged Attached Growth Reactor)
- USA, Portsmouth에 위치한 BioprocessH<sub>2</sub>O는 연간 수익이 10억달러가 넘는 Clarcor 그룹의 계열사로서, 그룹내 수처리사업을 담당하고 있음
  - 핵심사업으로는 생물학적 폐수처리기술, Membrane 분리기술 및 수자원 재활용 기술 등이 있음
  - PECOfacet, Baldwin Filter, Total Filtration Services, Clark Filtration 등의 계열사를 보유하고 있는 수처리전문 회사임

#### 나. 공법 소개(BioFAS MBBR)

##### ① 처리계통도



- 반입된 폐수는 DAF(가압식 부상법) 전처리 후 생물학적 반응조를 거쳐 용존성 유기물을 제거한 후 후단 Membrane에서 고액 분리되는 처리되는 MBR 시스템임
- 침전조 대신 Membrane 막을 이용하여 고액분리 하므로써 소요부지 면적이 적고 처리효율이 우수함
- 유입폐수의 시간대별 농도변화가 심할 경우, 반응조내 충격부하를 최소화하기 위해서 생물학적 반응조를 2단으로 구성할 수 있음
- 방류수질 기준에 따라, 후단 막을 U/F 또는 R/O 시설을 적용할 수 있으며, 대장균 사멸을 위하여 오존, UV 시설을 추가할 수 있음

## ② BioprocessH<sub>2</sub>O MBR공법 특징

- 2단 생물반응조 적용시, BOD를 99%이상 제거 가능하고 암모니아의 질산화가 가능함
- 전단의 DAF에서는 FOG와 TSS 제거기능을 수행함
- RAS의 순환없이 일회성 처리 방식에 의한 처리시설 단순화
- 독성에 대한 공정의 저항성이 강하며 화학약품 소모량이 적음
- 유입폐수의 성상에 따른 MLE, A<sup>2</sup>O 등 다양한 생물학적 처리공법을 적용한 MBR 시스템 구성이 가능함
- 운전과 정비가 기존 공법에 비해 상대적으로 용이함

### ③ BioprocessH<sub>2</sub>O본사 방문 사진





## 4. 현장조사

### 가. Kens Food 바이오가스 플랜트시설

#### ① 시설개요

- 위 치 : Marlborough, MA, USA
- 처리대상 : Salad dressings and Barbeque sauces
- 시설용량 : 500톤/일 (실제 처리용량 400톤/일)
- 처리공법 : ADI-AnMBR 공법

#### ② 현장시설 사진

	
혐기소화조 전면	혐기소화조 상부
	
Membrane tank 전면	Flare stack

	
<p>Membrane Tank 내부(설치시)</p>	<p>Membrane Tank 내부(운영중)</p>
	
<p>바이오가스 정제시설</p>	<p>탈취시설(바이오필터)</p>
	
<p>운영실 전경</p>	<p>원수/처리수 비교</p>

### ③ 현장시설 특징

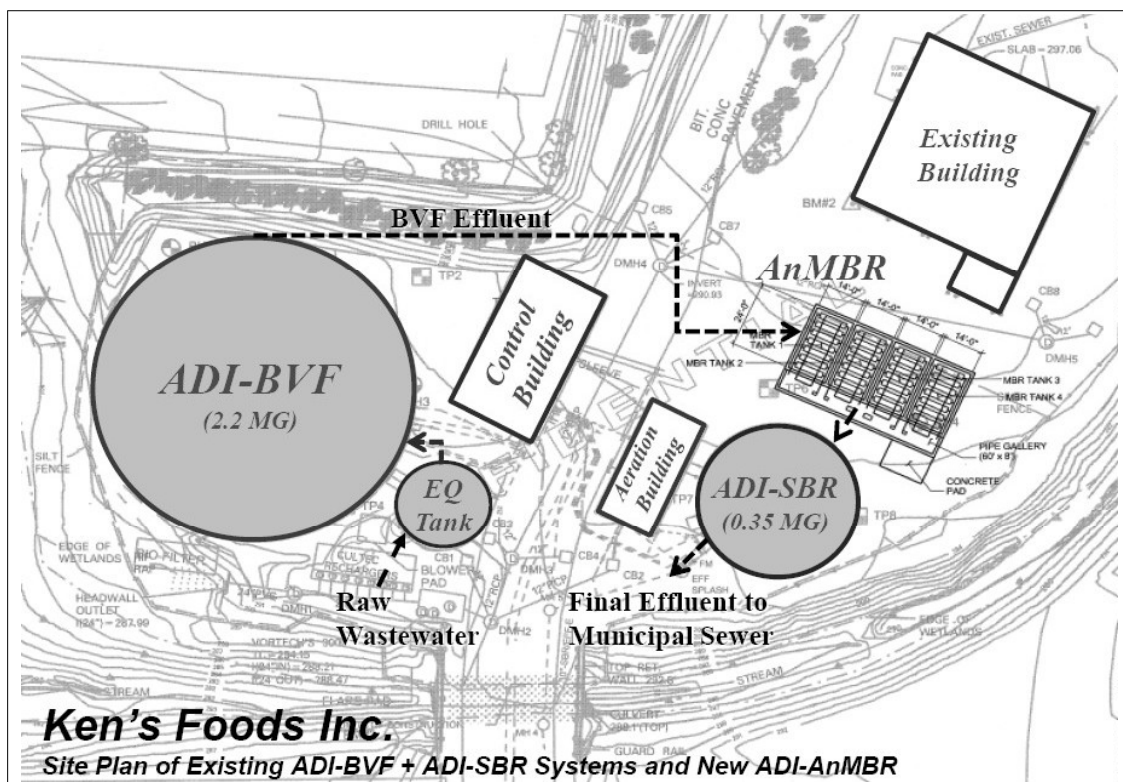
- 본 혐기소화 시설은 Kens Food 식품회사에서 발생되는 고농도



드레싱 및 바비큐 소스를 처리하기 위해 설치한 시설임

- 현재 처리시설은 안정적으로 운영 중에 있으며, 발생된 바이오 가스는 일부 소화조 가온용으로 사용하고 잉여분은 Flare stack 을 통하여 대기 연소하고 있음
- 현지 여건상, 바이오가스를 활용할 수 있는 시설을 추가 설치 하는 것 보다는 대기 연소하는 것이 보다 경제적이므로, 별도 가스 정제시설 및 활용시설을 설치하지 않았음
- 처리된 소화액은 1차 생물학적 호기처리 후 인근 하수처리장 으로 연계처리되고 있음

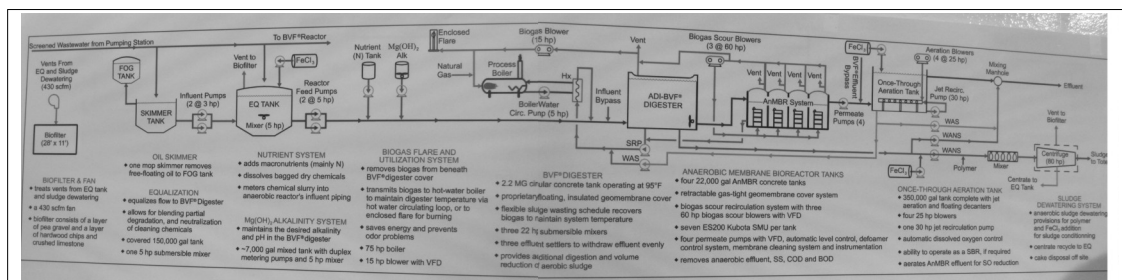
#### ④ 처리시설 평면도(배치도)



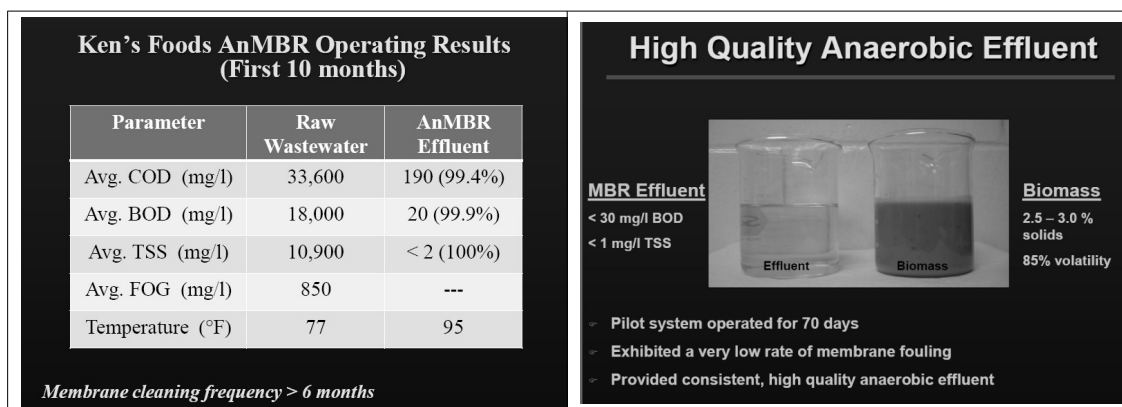
- 본 시설은 2001년 ADI-SBR 호기성공법으로 식품폐기물 처리

를 시작하였으나, 처리용량이 증가되고 유지관리 비용이 높아짐에 따라 2007~2008년도에 ADI-AnMBR 혐기소화공법으로 증설 변경하여 시공되었음. 기존 ADI-SBR조는 폐수처리를 위한 생물학적 반응조로 활용하고 있음

## ⑤ 처리시스템



## • 반입 및 처리수질



## • 바이오가스 생산 :

날짜	유입COD (mg/L)	유출COD (mg/L)	제거 COD (mg/L)	제거 COD (kg/d)	가스발생량 (ft <sup>3</sup> /d)	가스발생량 (m <sup>3</sup> /d)	가스발생율 (m <sup>3</sup> /kg)
5/01	27,763	2,653	25,110	10,044	221,739	6,277	0.62
5/02	54,774	2,775	51,999	20,800	346,694	9,815	0.47
5/03	39,463	2,919	36,544	14,618	390,118	11,044	0.76
5/04	37,388	2,860	34,528	13,811	437,465	12,385	0.90
5/05	33,554	2,937	30,617	12,247	444,227	12,576	1.03

5/06	40,949	2,992	37,957	15,183	429,731	12,166	0.80
5/07	40,248	2,738	37,510	15,004	456,678	12,929	0.86
5/08	52,331	2,609	49,722	19,889	448,316	12,692	0.64
5/09	41,345	2,981	38,364	15,346	421,410	11,930	0.78
5/10	44,864	2,843	42,021	16,808	468,819	13,272	0.79
5/11	40,949	2,992	37,957	15,183	421,854	11,943	0.79
5/12	32,403	3,074	29,329	11,732	426,955	12,087	1.03
5/13	—	—	—	—	408,702	11,570	
5/14	31,776	2,858	28,918	11,567	344,418	9,750	0.84
5/15	39,918	2,911	37,007	14,803	366,867	10,386	0.70
5/16	45,585	2,461	43,124	17,250	370,736	10,496	0.61
5/17	29,989	2,705	27,284	10,914	360,952	10,219	0.94
5/18	37,992	3,007	34,985	13,994	396,556	11,227	0.80
5/19	—	—	—	—	412,140	11,668	
5/20	—	—	—	—	301,985	8,549	
5/21	23,312	3,003	20,309	8,124	257,524	7,291	0.90
5/22	44,016	3,187	40,829	16,332	426,814	12,083	0.74
5/23	52,660	3,135	49,525	19,810	460,508	13,037	0.66
5/24	49,483	3,252	46,231	18,492	563,049	15,940	0.86
5/25	57,604	3,580	54,024	21,610	581,048	16,449	0.76
5/26	74,299	—	74,299	29,720	302,321	8,559	0.29
5/27	—	—	—	—	238,173	6,743	
5/28	—	—	—	—	227,306	6,435	
5/29	28,322	3,245	25,077	10,031	304,124	8,610	0.86
5/30	50,589	—	50,589	20,236	411,227	11,642	0.58
5/31	51,856	—	51,856	20,742		—	—
평균							0.76

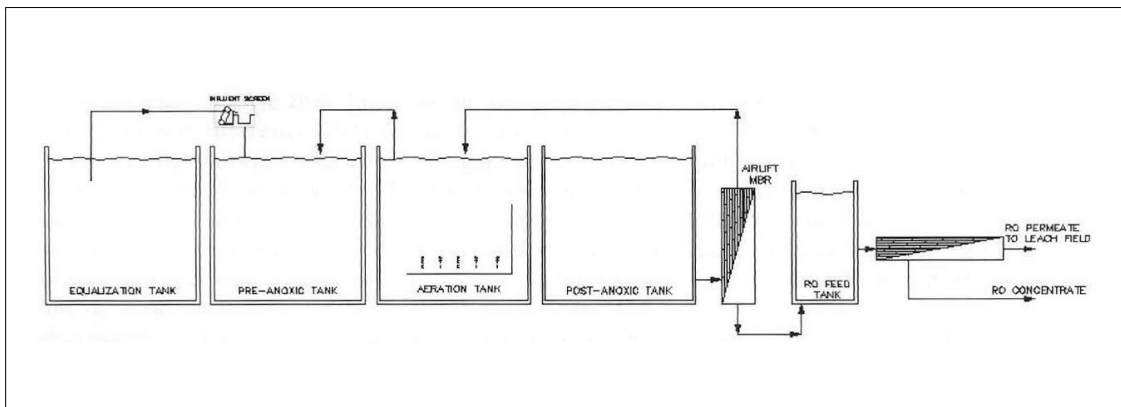
- 5/1~5/31 기간 동안의 COD수질 및 바이오가스 발생량 Data를 검토해 본 결과, 평균 0.76m<sup>3</sup>gas/kgCOD의 바이오가스가 발생 되는 것으로 조사되어 일반적인 발생율인 0.6m<sup>3</sup>gas/kgCOD을 크게 상회하는 우수한 혐기성소화시설인 것으로 판단됨

## 나. Wayland high School 오폐수처리시설

### ① 시설개요

- 위치 : Boston, USA
- 처리대상 : 학교에서 발생하는 생활 오폐수
- 시설용량 : 50m<sup>3</sup>/일 (실제 처리용량 38m<sup>3</sup>/일)
- 처리공법 : MBR + R/O 공법

### ② 처리시스템



- 본 수처리시설이 적용된 고등학교가 세워진 지역은 엄격한 방류수질 기준이 적용되는 곳으로, 처리용량 10,000gallon/일 기준으로 1mg/L 이하의 TOC 농도가 적용되고 있음
- 엄격한 배출기준을 만족하기 위하여, 본 처리시설 후단에는 R/O 시스템을 적용되어 있으며, 방류수질 기준으로 BOD, TSS, TN 5mg/L 이하, TOC 1mg/L 이하를 만족하고 있음

구 분	Zone II within	Zone II outside
총질소(mg/L)	5	10
TSS(mg/L)	5	5
Turbidity(NTU)	2	2
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	10	10
TOC(mg/L)	1	3
Virus	5-log	No standard

### ③ 현장시설 사진



오폐수처리시설 전경



1<sup>st</sup> Anoxic tank + Aerobic tank



2<sup>nd</sup> Anoxic tank



R/O 오폐수 고도처리시설

#### ④ 현장시설 특징

- 본 오폐수 처리시설은 무인관리시스템이 적용된 시설로써, 1주일에 한번 관리인이 방문하여 시스템 점검 및 약품보충 등의 업무를 수행하고 있음
- 유지관리비가 저렴하고 운영이 용이하여, 처리량이 적은 마을 하수도 및 소규모 산업단지 등에 적용성이 우수함
- 후단 방류수질 여부에 따라 U/F막 또는 R/O 시스템을 선택적으로 적용할 수 있음

### 다. Gillette Stadium 폐수처리시설

#### ① 시설개요

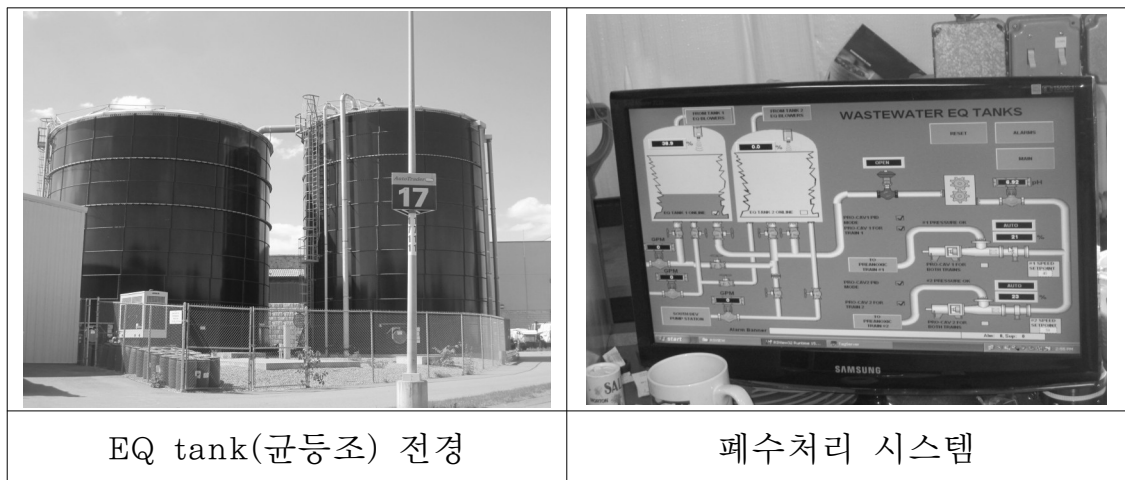
- 위치 : Boston, USA
- 처리대상 : 스타디움 경기장에서 발생하는 생활 오폐수
- 시설용량 : 950m<sup>3</sup>/일
- 처리공법 : MBR 공법

#### ② 처리시스템

**pre-Anoxic + Aerobic + Post-Anoxic + Membrane + 오존/UV**

- 본 오폐수처리시설에서는 스타디움에서 발생하는 오폐수 유입량의 80%를 경기장 화장실용수 등의 용도로 활용하고, 20%만 외부 배출하고 있음
- 폐수고도처리시설인 오존 및 UV를 이용하여 대장균을 사멸함으로써 중수도로써의 수질을 확보함과 동시에 안정적인 수량 확보 및 하천 수질보전 등의 장점이 있음

### ③ 현장시설 사진



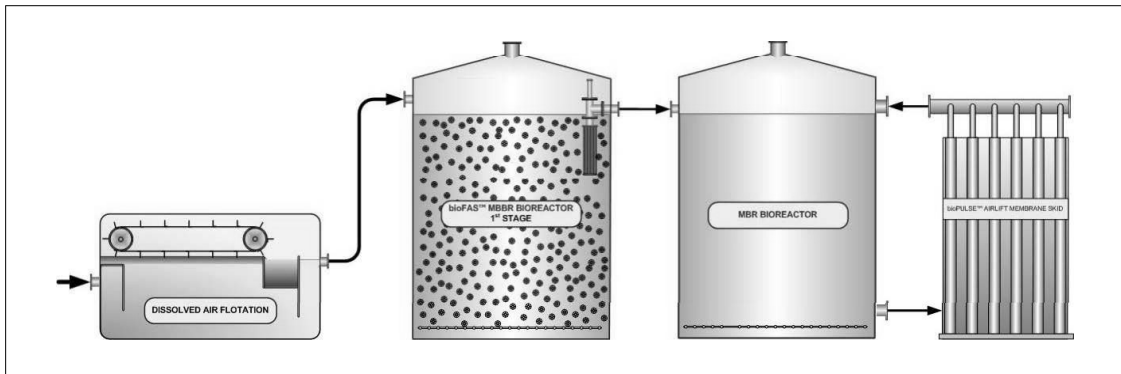
### ④ 현장시설 특징

- 주말 경기장 운영시 발생된 오폐수는 균등조에서 일시저장( $2,000\text{m}^3$ )된 후, 일주일간 균등하여 일정량 오폐수 처리시설에 처리하는 시스템으로 구성되어 있음
- 발생된 오폐수의 대부분을 내부 중수도로 재활용함에 따라, 안정적인 운영관리가 가능함

## 라. United Industries 산업폐수처리시설

### ① 시설개요

- 위치 : Meriden, USA
- 처리대상 : 공장에서 발생하는 오일류 산업폐수
- 시설용량 : 500m<sup>3</sup>/일
- 처리공법 : bioFAS MBBR 공법



- 인근 산업단지에서 발생된 오일류 산업폐수를 처리하는 MBR 시스템
- 고농도의 폐수를 처리하는 시스템으로, 급격한 유입부하량 변동에 대비하여 대용량 균등조를 갖추고 있으며, 오일류 제거를 위하여 전처리시설로 오일스키머 시설을 운영하고 있음



## ② 현장시설 사진



## ③ 현장시설 특징

- 컴팩트한 Membrane 여과 시스템을 적용함으로써, 안정적인 처리수질 확보가 가능함
- 인근하수처리장 연계처리수질까지 폐수처리 한 후 하수처리장으로 연계처리하고 있음

# 5. 맺음말

## 가. 바이오가스 플랜트시설

- 일반 유기성폐기물 혐기성소화시설의 바이오가스 발생율( $0.6 \text{ m}^3 \text{ 바이오가스/kgCOD}$ )에 비해 현지 시찰한 Kens Foods 식품회사의 혐기성소화시설에서는  $0.76 \text{ m}^3 \text{ 바이오가스/kgCOD}$ 가 발생됨에 따라 가스발생량 차원에서는 우수한 시설이라고 보임

- 이는 음식물 등의 유기성폐기물 전체를 투입하는 건식소화 방식이 아닌, 소화조 전단 전처리를 통하여 생물학적 분해가 가능한 물질만을 투입하는 습식소화방식이기 때문이라 판단됨
- 유기성폐기물을 전처리 후 물과 함께 투입하는 습식소화 방식의 경우, 제거COD 부하량 당 바이오가스 발생량은 높은 반면 희석에 의해 유입농도는 낮아짐

구 분	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	TS(mg/L)	TN(mg/L)	TP(mg/L)
Kens foods(미국)	15,000 ~40,000	28,000 ~74,000	11,000	-	-
한국음식물	130,000	200,000	150,000	4,000	800

- 사업추진 시 사전에 충분한 Pilot Test를 통하여 원료 성상 차이로 인한 문제점을 해소할 필요가 있을 것으로 사료됨
- Kens foods 바이오 가스화 플랜트 시설에서는, 발생된 악취를 토양바이오필터 탈취설비에서 처리 후 대기로 배출하는 시스템을 갖추고 있음. 전체 처리시설이 밀폐화되어 있어 바이오필터 탈취시설 가동만으로도 충분한 악취제거가 가능한 것으로 판단됨
- 국내 음식물쓰레기 특성상 많은 악취가 발생되어 민원유발의 주요원인이 되고 있으므로, 본 공법 도입시 국내 기준에 맞는 탈취시설의 추가 보완이 필요할 것임
- 발생된 바이오가스는 수분제거, 탈황시설 등을 거쳐 일부는 소화조 가온용으로 보일러 원료로 사용되고 있었으며, 나머지 가스는 Flare stack을 통하여 대기중으로 연소하고 있었음
- 국내 도입 시 바이오가스 정제 및 저장설비를 추가하여, 바이오가스(신재생에너지)를 이용한 전력생산, 열원공급 등의

다양한 활용방안을 모색할 필요가 있음

## 나. 폐수처리시설

- 최근의 수처리방식이 생물학적 처리와 물리학적 처리의 복합처리시설인 MBR 시스템 위주로 구성되는 추세에 맞게 본 Bioprocess의 MBR 수처리방식은 음식물류폐기물 혐기소화 방식 후단의 수처리공법으로 적합한 방식임
- 유입수질 변동시에도 안정적인 수질확보가 가능한 MBR 처리방식 특성에 따라, 음식물 혐기소화시설에서 충분한 소화가 이루어지지 않을 경우에도 안정적인 배출수질 농도의 확보가 가능할 것으로 판단됨

## 다. 결론

- 현지 운영 중인 실증플랜트 시찰 결과, 국내 실정에 맞는(예, 염분농도 차이와 수분제거 등 포함) 성상 등에 대한 충분한 Pilot Test 기간을 확보하여 검증단계를 거칠 경우, 기대이상의 바이오가스 발생량 확보 및 안정적인 수처리가 가능하여 안정적인 시설 운영이 가능할 것으로 판단됨
- 국내에서 요구하는 품질을 확보하기 위해서는 유기성폐기물 혐기성소화시설(ADI-AnMBR)과 생물학적 처리와 물리학적 처리의 복합처리시설인 MBR 수처리 방식이 조합이 이루어지면 상당히 바람직한 효과를 가져 올 것으로 사료됨

## 라. 향후 계획

○ 위 처리공법과 관련 관련기관·충발연 전문가 및 관계공무원  
등과 같이 기술검토회를 거쳐 평가논의가 필요함.

〈용어설명〉

- MLSS 농도 : 배수처리에 있어 통기수조내의 부유물질과 오물의 합계 농도를 말한다(SS 입자직경 2mm이하의 부유물질)
- TS(중여 잔여물 TSS+TDS)
- TSS(총현탁고형물) 여과후 105도에서 1시간 건조 후 단위무게
- TDS(총용존고형물) 여과액을 증발접시에 담아 105도에서 1시간 건조 후 단위무게
- MLE(Modified Ludjack-Ettinger) 하수고도처리공법 중 순환식 질산화 탈질법: 1차 전기 분해조에서 난분해성 유기물질을 제거하고 2차로 생물학적 처리로 유기물질과 질소 등을 제거한 후 잔류하는 유기물질, 질소를 2차 전기분해하여 정화시키는 고도처리 공법
- A<sup>2</sup>O공법 생물학적으로 질소와 인을 동시에 제거하기 위하여 혐기-무산소-호기를 조합한 공정으로 혐기무산소호기조합법을 말한다.
- U/F(ultrafiltration) 극대필터
- R/O(Reverse Osmosis Membrane) 역삼투막 장치