

## 유기성 폐기물로부터 메탄 회수 기술 현황 및 전망

배재호 · 이은영

인하대학교 사회기반시스템공학부

### Status and Perspectives of Methane Recovery Technologies from Organic Wastes

Jae-Ho Bae · Eun-Young Lee

영문 소속 누락

#### 1. 서론

고유가 시대를 맞아 세계적으로 신·재생 에너지에 대한 관심이 고조되고 있으며, 우리나라도 예외는 아니다. 2008년 8월에 확정된 국가에너지기본계획은 2030년까지 총 111조원을 투자하여 신·재생에너지 이용을 11%로 확대하기로 하였다.<sup>1)</sup> 이에 따라 태양광은 현재대비 44배인 3,504 MW, 풍력은 37배인 7,301 MW, 바이오 에너지는 19배인 36,487천 Gcal, 지열은 51배인 5,606 Gcal로 확대할 계획이다. 이 목표를 달성하기 위한 추진전략의 일환으로 풍력, 조력·조류, 바이오 등 여건이 좋은 분야의 국내 보급을 확대하여 위하여 에너지사업자의 신·재생에너지 의무 할당제 도입, 공공건물의 신·재생 에너지 의무사용 강화, Green Home 100만호 공급사업 등을 통해 신·재생에너지에 대한 수요를 창출해 나갈 계획이다.

신·재생에너지의 5.3%를 차지하는 바이오에너지는 유기성폐자원, 수송용 바이오연료, 그리고 목질계 바이오에너지로 구분되며, 이중 유기성폐자원으로부터 메탄 회수를 통한 에너지 사용량은 2006년 현재 전체 바이오에너지의 48%를 차지하는 중요한 부분의 하나이다.<sup>2)</sup> 특히, 유기성폐자원으로부터 메탄회수는 이산화탄소 배출량 감소 및 신·재생에너지 개발의 필요성, CDM(Clean Development Mechanism) 사업의 활성화, 2012년으로 예정된 폐기물의 해양배출 금지 등으로 인하여 최근 기술 개발 및 현장 적용이 절실하게 요구되고 있다.

메탄 회수에 적절한 유기성폐자원으로는 음식물폐기물, 슬러지, 그리고 축산분뇨 등이 있으며, 이들은 국내 바이오매스 발생량의 약 74%를 차지하고 있다.<sup>3)</sup> 이들 유기성폐자원의 에너지 보급 잠재량은 Table 1에 나타난 바와 같이 음식물 폐기물(5.1만 toe/년), 축산분뇨(3.0만 toe/년) 그리고 슬러지(1.5만 toe/년)의 순서로 높다.

축산분뇨의 경우 발생량이 75,300천 톤/년으로 전체 유기성폐자원 발생량의 87%를 달하지만, 관리의 주 목적이 수질기준을 만족시키는 처리에 두어져 왔고, 자원회수가 부수적인 목적이었기 때문에 에너지 보급 잠재량이 낮게 추정되었다. 실제로 주 처리대상인 돈분의 경우 원수 BOD가 30,000 mg/L, 전처리를 거쳐 소화조로 유입되는 폐수의 BOD는 약 20,000 mg/L 정도로 유기물 함량이 높지 않다. 이 경우 톤당 최대 메탄 회수량은 대략 10 Nm<sup>3</sup> 정도이며, 이는 폐수를 25℃ 정도 가온시킬 수 있는 열량이다. 따라서 겨울철에 약 20℃ 가온이 필요하다면 발생 메탄의 2/3 이상이 가온에 소모되므로 에너지 회수 효과가 높지 않게 된다. 독일의 경우에도 축분만으로는 경제성 확보가 어려워 경작물의 혼합 소화를 통해 수익을 실현하고 있다.<sup>4)</sup> 독일에서 수익 실현이 가능한 것은 우리나라보다 약 3배 정도 높게 책정된 전기료 때문이다. 따라서 축분의 메탄 자원화는 관리 관점의 변화, 소화액의 액비로서의 이용, 항생제 등 독성물질의 영향 제어, 전기요금 체제 개선 등을 종합적으로 고려하여 추진하여야 하며, 이 같은 이유에서 본 논문에서는 축산폐수는 논외로 하였다.

혐기성 공정은 외부전자 수용체가 없는 상태에서 유기물을 메탄으로 변환시키는 공정으로 산소를 전자수용체로 사용하는 호기성 공정에 비하여 다음과 같은 장점을 지니고 있다.<sup>5,6)</sup>

- 1) 슬러지의 발생량이 90%까지 감소한다.
- 2) 영양분 등의 요구량이 적다.
- 3) 고농도 폐수처리가 용이하다. COD 부하율을 25~30 kg COD/m<sup>3</sup>/day까지 적용할 수 있으므로 반응조 용적이 적다.
- 4) 동력비 및 유지관리비가 적게 든다. 소요되는 전력 및 메탄으로 회수한 에너지를 고려하면 혐기성 처리는 호기성 처리에 비해 처리대상 COD 톤당 88 kW의 에너지 절감 효과가 있으며, 이를 금액으로 환산하면 약 € 200에 해당한다. 또한 CDM사업과 연계하여 CO<sub>2</sub> 배출권을 € 20/ton CO<sub>2</sub>에 판매한다고 가정하면 €

E-mail: jhb@inha.ac.kr  
Tel: 032-860-1425

Fax: 032-865-1425

Table 1. 바이오매스 부존 및 가용자원 현황<sup>2)</sup>

| 자원별                  | 부존자원      |             | 보급잠재량(가용자원) |             | 산출근거                   |
|----------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------|
|                      | 습중량(만톤/년) | 에너지(만toe/년) | 습중량(만톤/년)   | 에너지(만toe/년) |                        |
| 도시폐기바이오매스 I(생활폐기물)   | 900       | 77          | 200         | 33.0        | 부존자원의 30%              |
| 도시폐기바이오매스 II(사업장폐기물) | 239       | 48          | 130         | 4.1         | 상동                     |
| 임산자원                 | 1,200     | 510         | 200         | 85.0        | 부존: 임목 축적<br>가용: 실제 생산 |
| 축산자원 (축분뇨)           | 4,684     | 90          | 156         | 3.0         | 1/30정도                 |
| 농업부산물                | 1,185     | 400         | 300         | 105.0       | 1991년실사결과              |
| 슬러지                  | 169       | 3           | 85          | 1.5         | 부존자원의 50.0%            |
| 합계                   |           | 1,128       |             | 231.6       | 부존자원의 20.5%            |

\*주: 음식물폐기물은 도시폐기물 I, II에 포함 (2003년 기준)

50의 추가 수입을 기대할 수 있다.<sup>6)</sup>

혐기성 소화공정은 유럽을 중심으로 최근 급속도로 보급되고 있다. 1895년 Buswell 등에 의해 부패조가 개발된 이래, 처리효율 향상 및 운영의 안정성을 확보하기 위한 노력이 최근 20여 년간 집중되었으며, 그 결과 UASB(Uplow Anaerobic Sludge Blanket), TPAD(Temperature Phased Anaerobic Digestion), 이상소화 등 여러 공정이 개발되었다. 이중 UASB 및 그 변형(IC 및 EGSB)은 상업적으로 가장 성공을 거둔 공법으로 유럽 및 중남미에 걸쳐 2007년 현재 약 2000기 정도가 운영 중이다.<sup>6)</sup> 그러나 UASB 및 그 변형은 주로 용해성 유기물을 대상으로 하므로 고형물이 다량 함유된 폐기물의 경우 CSTR 형태의 반응조가 적합하다.

최근 국내에서도 다수의 유기성 폐기물의 혐기성 처리 시설이 설치, 운영되고 있으나 메탄회수율이 설계치보다 낮고, 가동이 중단되는 등 운영상의 문제를 겪고 있는 곳이 적지 않다. 이는 혐기성 소화에 대한 이해의 부족, 소화조 운영 경험의 미숙, 공정실패에 대한 불안감 등에 기인한다. 또한 최근에 개발된 다양한 공법에 대한 운영지침과 숙련된 기술자 등의 부재 역시 운영상의 문제를 야기하고 있다.

이같은 운영상의 문제로 인하여 우리나라에서는 유기성 폐자원으로부터 메탄 회수 기술은 아직도 안정적인 기술로 인정받고 있지 못하고 있으며, 가용한 자원에 비하여 활용이 부족한 편이다. 본 논문에서는 혐기성 소화를 통한 신·재생에너지 보급, 확대를 위하여 하수슬러지 및 음식물 폐기물의 발생, 처리 현황 및 특성, 문제점 및 개선 방안, 그리고 향후 전망에 대하여 논의하였다.

## 2. 하수 슬러지의 혐기성 소화

혐기성 소화는 슬러지의 감량화 및 자원화를 위한 일반적인 방법이지만 국내에서는 운영상의 문제로 인하여 2005년 이전까지는 소화조가 기피대상으로 인식되어 왔다. 일

반적으로 하수 1 m<sup>3</sup>로부터 발생하는 슬러지는 약 120 g이고, 이로부터 약 42 L의 소화가스가 발생되며, 이를 열량으로 환산하면 240 kcal/m<sup>3</sup>이다.<sup>7)</sup> 소화조를 운영하면 메탄을 회수할 수 있을 뿐만 아니라 슬러지의 탈수성이 향상되어 슬러지 발생량 및 처리비용이 약 35% 정도 감소한다고 보고되어 있다.<sup>8)</sup> 최근에는 에너지 가격 상승 및 지구 온난화에 따른 이산화탄소 배출 저감 필요성에 대처하고, 슬러지 발생량 저감이라는 목적을 달성하기 위하여 소화조 설치가 긍정적으로 검토되고 있다. 그 결과 2005년부터 소화조 효율 개선사업이 추진되어 2006년에는 체천, 익산, 부천 굴포, 과천, 용인, 2007년에는 강릉, 안동 하수처리장에서 사업이 추진 중이다.<sup>8)</sup> 더불어 소화가스를 이용한 발전을 통한 CDM 사업화 및 전처리를 통한 슬러지 감량화 및 메탄회수율 향상 노력이 진행되고 있다.

### 2.1. 발생 및 처리 현황

하수 슬러지는 1차 슬러지와 2차 슬러지로 구분된다. 1차 슬러지는 주로 침전성 부유물로 유기물 함량이 60~80%이며, 2차 슬러지는 폐활성슬러지와 일부 미분해 유기성 고형물로 유기물 함량은 60~90%이다. 1차 슬러지는 대부분 생분해성 유기물로 소화효율이 60~80%로 높지만 2차 슬러지의 주 구성성분인 폐활성슬러지는 가용성 유기물이 세포벽에 의해 차단되어 소화효율이 30~40%에 불과하다.<sup>9)</sup> 따라서 슬러지의 소화효율을 높이기 위해서는 2차 슬러지의 전처리가 요구되며, 이에 대해서는 다음에 논의하였다.

우리나라 294개 하수처리장에서 발생하는 슬러지 발생량은 2005년 현재 연간 256만 톤이며, Fig. 1에 나타낸 바와 같이 지난 10년간 약 2배로 증가하였다. 슬러지 발생량의 증가는 하수관거정비사업으로 인한 하수의 유기물 농도 증가와 고도처리과정에서 외부 탄소원 사용 등에 기인하므로, 향후에도 슬러지 발생량은 꾸준히 증가할 것으로 예상된다.

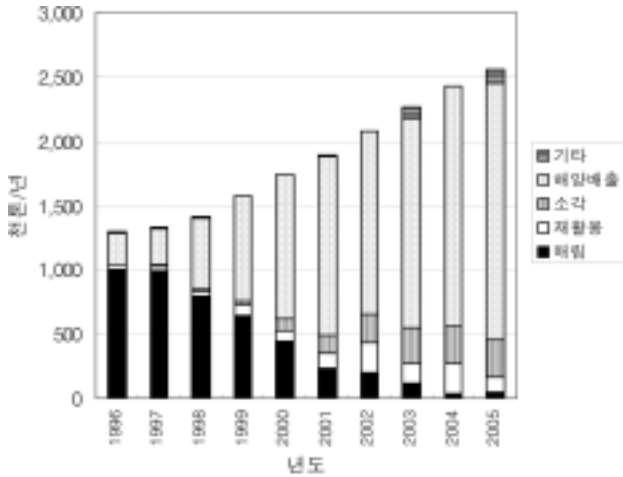


Fig. 1. 년도별 하수 슬러지 발생 및 처리 현황.

발생 슬러지의 78%는 해양투기, 11%는 소각, 5%는 재활용, 그리고 1.7%는 매립에 의해 처리되고 있지만,<sup>10)</sup> 향후 처리방식에 큰 변화가 예상된다. 처리의 대부분을 차지하고 있는 해양배출은 원칙적으로 2012년부터 금지될 예정이다. 또한 소각은 대기오염물질 배출관련 규제 강화 및 전용소각로 설치에 따른 고비용, 고품화, 연료화 등 재활용 방법은 생산제품의 낮은 활용성 등이 문제점으로 지적되고 있다.

2005년 현재 전국 294개 하수처리장 중 소화조가 설치된 곳은 67개소이며, 이중 61개소가 가동 중이다.<sup>11)</sup> 우리나라 총 소화 가스발생량은 2001년 281,000 m<sup>3</sup>/일부터 2005년 382,000 m<sup>3</sup>/일로 증가하였다.<sup>11)</sup> 그러나 이 기간 동안 소화효율은 35% 내외로 큰 변화가 없었으므로 가스발생량 증가는 하수의 유기물 농도 증가 및 고도 처리의 확대에 기인한 것으로 판단된다.

우리나라 하수처리량 당 소화가스 발생량은 22.8 m<sup>3</sup>/천

톤으로 미국 Wisconsin주 하수처리장 평균값의 약 27%에 불과하며, 이는 하수의 유기물 농도 및 운영효율 차이에 기인한다.<sup>12)</sup> 우리나라 하수의 BOD는 미국의 1/2 수준이므로, 하수 톤당 소화가스 발생량이 유기물 양에 비례한다고 가정하면 그 양은 약 1/2 수준일 것이다. 그러나 우리나라 하수처리장 유입 BOD 부하당 가스발생량은 228 m<sup>3</sup> gas/톤 BOD로서 미국 Wisconsin주의 약 55%이며, 이는 소화조의 낮은 운영효율에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 소화조 운영이 정상화되고, 관거정비사업이 완료되어 하수의 BOD가 증가한다면 현재보다 약 4배 정도의 가스발생이 가능할 것으로 추정되었다.

발생한 소화가스는 대부분(80%) 소화조 가온에 사용되고 있으며, 슬러지 건조 및 판매에 4.9%, 발전에 7.3%, 처리장 냉난방 등에 0.5%가 이용되고, 나머지 7.3%는 소각 등으로 폐기되고 있다.<sup>11)</sup> 그러나 소화가스를 이용한 가온이 충분하지 않기 때문에 31개(53%) 처리장에서 가온을 위하여 추가연료를 사용하고 있으며, 그 비용은 연평균 약 10억 5천만 원이다.<sup>13)</sup> 그러나 소화조 운영 정상화와 더불어 가스발생량이 증가하면 추가 연료는 필요하지 않을 것이다. 이 경우 잉여가스의 사용용도 선호도는 발전(44%), 인근지역 공급(23%), 그리고 슬러지와 음식물 건조 및 소각시설에 이용(33%) 등의 순으로 나타났다.<sup>14)</sup>

2.2. 문제점 및 개선방안

환경부<sup>15)</sup>가 제시한 하수 슬러지 혐기성 소화조의 문제점은 요약하면 Table 2와 같다. 이를 검토하면 소화조 문제점은 대부분 운영의 기본적인 사항이 지켜지지 않아 발생한 것으로 운영방법 개선을 통해 쉽게 해결될 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어 주기적인 준설, 적정온도 유지, 슬러지 투입량 조절 등은 운영 매뉴얼을 개발하고, 이를 준수하면 쉽게 해결 될 수 있다.

Table 2. 하수 슬러지 소화조의 문제점

| 문제점   | 개선방안  |
|---|---|
| - 소화조 온도 저하 및 상·하부 온도편차 (2℃ 이상)                     | - 가온보일러를 정상가동하여 적정온도유지<br>- 적절한 교반장치 확보   |
| - 소화조 유효용적 감소                                       | - 스크과쇄 작업의 정기화(1~2주에 1회 정도) 및 배관의 막힘여부 점검<br>- Scum층 및 소화조 저부 퇴적침사물 제거를 위한 주기적인 Overhall(정비) 실시                               |
| - 투입 슬러지량의 과다                                       | - 슬러지 농축조 효율개선을 통한 슬러지 투입량 감소<br>- 슬러지 발생량이 급격히 증가되는 시기(4~6월)에는 농축슬러지 일부를 by-Pass하여 직접탈수 실시<br>- 주기적으로 일정량씩 슬러지를 이송하여 충격부하 방지 |
| - 원활한 교반이 어려움                                       | - 교반장치 개선<br>- Scum breaker의 Valve는 평소에 닫은 상태에서 운전  |
| - 1단 소화조에서 슬러지 인발에 따른 수위변화 및 교반을 중단에 따른 고평도 슬러지를 인출 | - 단기대책 : 슬러지를 소량 자주 인출하여 수위변화 폭 감소<br>- 장기대책 : 상부 telescope 밸브를 통해 인출하여 소화슬러지 농축조에서 농축할 수 있도록 보완                              |
| - 낮은 유기물 부하로 인한 가온용 에너지 필요성                         | - 소화조 효율향상을 통해 충분히 해결 가능<br>- 유기물 확보가 어려운 경우, 슬러지 직접 탈수를 고려   |
| - H <sub>2</sub> S 가스에 의한 설비의 부식                    | - 탈황제의 주기적 교체   |

소화조 운영의 문제점을 야기하는 근본적인 원인인 소화조 관련 기계 장치와 관련이 있다. 소화조 유입 슬러지에 포함된 고형물, 특히 모래와 같은 무기물은 교반이 충분하지 않으면 소화조 하부에 퇴적되어 유효 용적을 감소시키고, 그 결과 가장 중요한 운영인자인 적정 체류시간을 확보할 수 없게 된다. 또한 고형물 농도가 높은 경우 교반이 충분하지 않으면 소화조 내부에 온도 구배가 발생하게 된다. 따라서 소화조에서 충분한 교반은 매우 중요하며, 이는 기계 장치의 안정적인 운전을 통해 확보되어야 한다.

문제를 야기하는 또 다른 원인은 슬러지 농축조의 효율이다. 통상적으로 소화조 유입 슬러지의 고형물 농도는 4% 이상이 이상적이지만, 농축조의 부적절한 운영으로 인하여 실제 측정된 값은 약 2.6%에 불과하다(2005년 6개소 평균). 다수의 하수처리장에서 농축조 용량 부족 및 효율 저하 등으로 인하여 고농도의 유기물을 포함한 상등수가 처리장으로 반송되어 수처리 공정에 악영향을 미치며, 이는 소화조 운영을 기피하는 주요 요인의 하나이었다. 또한 낮은 농축효율로 인하여 슬러지 발생량이 증가한 결과 소화조의 적정 체류시간을 유지할 수 없고, 그 결과 소화효율도 낮아지게 된다.

우리나라 대부분 하수처리장에서 채택하고 있는 2단 소화조 시스템은 현재에는 거의 사용되지 않는 방식이므로 적절한 개선이 필요하다. 2단 소화시스템에서 유기물의 감량화는 대부분 1단 소화조에서 일어나며, 2단 소화조는 농축조 또는 저장조의 역할을 담당한다. 일반적으로 2단 소화의 경우 1단 소화조의 체류시간을 20일 정도로 설계하고 있으나, 앞서 지적한 농축조의 효율 저하 등으로 인한 슬러지유량 증가로 인하여 실 체류시간은 15일 이하이며(2005년 전국평균), 10일 이하인 곳도 상당수에 달하고 있다. 슬러지 유량 증가로 인한 짧은 체류시간, 퇴적물 축적, 불완전한 교반 등을 고려할 때 설계 소화효율을 달성하는 것은 기대하기 어렵다. 그러나 앞서 지적한 문제점을 개선하여 1단 소화조의 체류시간을 20일 정도로 유지하고, 소화 슬러지를 원심분리기 등 기계적 장치를 이용하여 탈수한다면 2단 소화조는 굳이 필요하지 않게 된다. 이 경우 2단 소화조는 부족한 소화조 용량을 대체하거나 음식물 또는 축산폐수와 같은 다른 유기성 폐수를 처리하기 위한 용도로 사용할 수 있으므로, 이 같은 변화를 모색하는 것이 바람직하다.

## 2.3. 향후 전망

### 2.3.1. 가스 이용의 다양화

하수 슬러지로부터 회수한 메탄은 다양한 용도로 사용될 수 있다. 소화가스를 발전에 이용할 경우 하수처리장에서 소요되는 에너지의 50% 정도는 충족할 수 있으며, 이를 토대로 궁극적으로는 에너지 자급형 하수처리장 건설도 가능하다. 이를 위해서는 발전기의 효율을 높이고, 슬러지 전처리 방안 등 소화효율을 향상시키기 위한 노력이 필요하다.

소화 가스를 이용한 발전 방식은 소용량 마이크로 터빈과 가스엔진을 이용한 열병합발전과 최근 현장 적용이 시작된 연료전지 발전으로 구분할 수 있으며 국내외 적용 사례는 배에 의해 요약되어 있다.<sup>12)</sup> 소화가스를 발전에 이용하고 있는 처리장은 서울특별시 4개소(중랑, 탄천, 서남, 난지), 부산광역시 2개소(수영 및 장림), 그리고 제주하수처리장 등이다. 중랑, 탄천, 서남 및 난지의 연간 발전량은 각각 4457, 2955, 6024, 2578 MWh이었다. 수영하수처리장은 발전용량 194 kW급, 제주하수처리장은 420 kW급 × 2기가 운영 중이다. 발전에 있어 가장 진화된 방식인 연료전지는 탄천물재생센터에 250 KW급, DFC300가 설치되어 있다.<sup>16)</sup>

소화가스를 발전에 이용하기 위해서는 황화수소, 수분, 그리고 siloxane 화합물을 제거하기 위한 전처리가 필요하다.<sup>17)</sup> 특히 삼푸류 등의 화장용품과 건축용 실란트로부터 기인한 siloxane 화합물은 농도가 1~30 ppm으로 높지 않지만 기기의 마모를 촉진하고 윤활유를 오염시키며, 발전기 내부에 부착물을 형성하는 등 악영향을 미친다. Siloxane 제거 방식은 흡착 및 냉각 등의 방법이 있지만 Siloxa Engineering AG 및 Applied Filter Technology 등 소수의 기업에 기술이 독점되어 고가이다.

소화가스 발전은 발전기의 설치 및 운영비, 비교적 낮은 전력단가, 전담인력 필요 등으로 인하여 현장 설치가 부담스러운 것 또한 사실이다. 이 경우 대안으로 인근 산업체에 연료 또는 차량연료 등으로 소화가스를 이용하는 방안은 고려할 수 있다. 수송용 연료로 소화가스 사용은 스웨덴 Göteborg시가 대표적인 예로, 인구 50만 도시에서 하수로부터 매년 14백만 m<sup>3</sup>의 바이오메탄을 생산하여 가스를 개질한 후 자동차 연료로 공급하고 있다. 도시버스 중 27%, 승용차의 50%가 바이오 메탄으로 운행되고 있으며 바이오가스 충전소 인프라 확충에 따라 증가하고 있는 추세이다. Göteborg시의 가스사용량을 적용할 경우 CNG 버스 294(전체 버스의 5%)대를 운영할 수 있다. 울산 용현하수처리장에서는 발생소화가스를 인근 (주)SK케미칼에 4,000 m<sup>3</sup>/일 규모로 공급하는 계약을 체결하여 시행중이다.<sup>8)</sup>

### 2.3.2. 슬러지 전처리 및 그 효과

소화가스 발생량 증가 및 슬러지 감량화를 위한 슬러지 전처리 기술 개발은 1980년대 이후 꾸준히 진행되어 왔으나 현장 적용실적이 많은 방안은 cavitation 이용 방법 및 열적 전처리 방법이다.<sup>12)</sup> SONIX 및 ULTRAWAVE사의 기술은 초음파 발생기(sonotrode)를 이용하여 cavitation을 발생시켜 이용하는 기술이다. 이 전처리 방법은 전 세계 30개소 이상의 현장에서 적용되고 있으며, 설치 및 운전이 간편하고 시설이 콤팩트하며, VS 감량화율은 30~50%, 소화가스 증가량은 50~90%이라고 보고되어 있다.<sup>18)</sup> 우리나라에서는 울산 용현하수처리장에 초음파를 이용한 전처리 공정을 적용할 예정이다. 스칸디나비아 바이오가스사(Scandinavian Bio Gas Fuel AB)는 총 1,800만 달러의 사업비를

들여 음식물 처리시설(180 톤/일, 당초 160 톤/일)과 바이오가스 생산 처리시설(1만3,800 Nm<sup>3</sup>/일)을 설치하여 시내 버스 100대에 사용할 수 있는 분량의 바이오가스를 생산할 예정이다.

Cavitation을 발생시키는 또 다른 기술은 벤츄리 형태의 관에 슬러지를 고속으로 유입시켜 cavitation을 발생시키는 수리동력학적 방법이다. 이 장치는 펌프와 관만으로 구성되어 장치가 매우 간단하고, 운영비용이 저렴하며, scale-up이 비교적 쉽다는 특징이 있다. 원래 독일 Biogest사에서 Crown disintegration system으로 개발되었으나, 국내에서 에너지 효율을 향상시킨 방법이 개발되어<sup>19)</sup> 곧 현장에 적용될 예정이다.

열 전처리는 슬러지를 고온 고압 상태에서 미생물의 세포벽을 파괴시키는 방법으로, 탈수성 및 병원성 미생물을 사멸시키는 데에도 효과적이다. 노르웨이 Cambi사의 열전처리 기술은 165℃로 가온시켜 세포를 분해시키는 기술로, 전처리에 의해 건조고형물함량 15~20%로 탈수하여야 한다. 유럽에 8개소에 적용된 실적이 있으며, 슬러지 감량화율은 65~70%, 소화가스 증가량은 30~50%라고 보고되어 있다. 초음파 또는 열적 전처리 시설과 같은 감량화 시설을 도입할 경우 서울시 4개 하수처리장에서 슬러지 처리비용은 260억 원/년으로 약 40억 원/년 이상 절감 가능한 것으로 추정되었다.<sup>18)</sup>

소화조 운전의 정상화, 슬러지 전처리 도입, 그리고 하수의 유기물 농도 증가 시 하수처리장에서 소화가스를 이용한 발전량은 크게 늘어날 것이다. 전국 61개 하수처리장 소화조의 총 발생 가스(05년 현재) 382,000 m<sup>3</sup>/일을 마이크로 터빈 또는 가스엔진을 이용하여 발전에 사용할 경우 가능용량은 35 MW이고, 이중 6개소는 500~1,000 kW급, 그리고 11개소는 1 MW급 이상이다. 연료전지를 적용하면 발전 가능용량은 58 MW로 증가한다. 소화조 운영이 정상화되어 가스발생량이 설계 값까지 증가하거나, 소화효율이 50%까지 증가할 경우 가스증가량은 각각 123,390 및 144,028 m<sup>3</sup>/일로 05년 현재 발생량보다 각각 32% 및 38% 증가할 것으로 예상된다. 이 경우 총 발전 가능량은 35 MW에서 42 MW로 증가한다. 음식물 폐기물이 분쇄기를 이용하여 하수처리장으로 유입될 경우 BOD 부하는 약 25% 증가하는 효과가 있으며,<sup>20)</sup> 이 경우 발전 가능량은 현재보다 약 17 MW 증가한 52 MW로 예상되었다. 또한 슬러지 전처리기술을 소화조 운영 정상화 및 음식물 분쇄기 도입 이후에 적용하는 경우 발전 가능량은 현재보다 최소 약 38 MW가 증가할 것으로 예상되었다.<sup>21)</sup>

부천시 굴포하수처리장에 대한 소화가스 이용 발전 효과는 배에 의해 보고되어 있다.<sup>21)</sup> 굴포하수처리장은 1단계 표준활성슬러지법(600,000 톤/일)과 2단계 고도처리(4-Stage BNR, 150,000 톤/일)공법을 적용하고 있다. 1단계 공정에서 총 전력 사용량 4.3 MW이며, 이중 송풍기가 전체 전력사용량의 35%, 유입펌프가 29%를 소비한다. 2단계 공정의 총 전력 사용량은 1.87 MW로, 이중 송풍기가 전체 전력사용량

의 49%, 유입펌프가 33% 차지하였다. 소화조의 소화효율은 42%, 가스발생량은 15,789 m<sup>3</sup>/day이며, 발생한 가스는 보일러 및 소각용으로 각각 11,924 m<sup>3</sup>/day 및 3,864 m<sup>3</sup>/d가 사용되고 있다. 가스엔진(발전효율 30%) 설치 시 현재 발생 가스량에 대한 발전 잠재력은 929 kW로 하수처리장 에너지 자급률 15%를 달성할 수 있다. 연료전지(발전효율 50%) 설치 시 에너지 자급률은 25%로 향상될 수 있다. 한편, 유입하수 BOD를 기준으로 산정한 발전 잠재력은 마이크로터빈 사용 시 1,928 kW(에너지 자급률 31%), 연료전지 사용 시 3,123 kW(에너지 자급률 50%)로 향상된다. 또한 발전기 설치로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량 감소 효과는 13,000 톤/년이다.

### 3. 음식물 폐기물의 혐기성 소화

음식물 폐기물은 발생량 면에서는 축산분뇨 및 유기성 슬러지 보다 적지만 분리수거 효율이 높고, 고농도 유기물을 함유하고 있으므로 메탄가스 회수 잠재력이 매우 높지만 최근까지 혐기성 소화에 대한 불신으로 인하여 퇴비화 및 사료화 등의 방안으로 처리되어 왔다. 그러나 자원화 공정에서 발생하는 음폐수의 해양배출에 대한 규제가 강화됨에 따라 혐기성 처리의 필요성이 점차 높아지고 있다.

#### 3.1. 발생, 처리 현황 및 특성

음식물 폐기물 발생 및 재활용 현황은 Table 3에 나타낸 바와 같다. 발생량은 2005년 현재 13,000 톤/일(0.27 kg/일-인)이며, 이중 93%가 재활용되고 있다. 음식물 폐기물의 재활용율이 높은 근본적인 원인은 분리수거율이 2005년 현재 96.6%로 매우 높기 때문이다. 자원화 시설은 97년 46개소에서 256개로 5.6배(민간시설의 비중은 68.6%), 처리용량은 1,076 톤/일에서 13,364 톤/일로 12.4배(민간시설이 46% 담당) 증가하였으며, 가동율은 공공 및 민간시설 각

**Table 3.** 연도별 음식물류 폐기물 발생 및 재활용 현황<sup>23)</sup>  
(단위: 톤/일)

| 연도   | 발생량    | 매립               | 소각              | 재활용               | 재활용              |                  |                  |                  |
|------|--------|------------------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|      |        |                  |                 |                   | 계                | 사료화              | 퇴비화              | 기타               |
| 1999 | 11,577 | 6,803<br>(58.8%) | 846<br>(7.3%)   | 3,928<br>(33.9%)  | 3,928<br>(100%)  | 2,400<br>(61.1%) | 1,457<br>(37.1%) | 71<br>(1.8%)     |
| 2000 | 11,434 | 5,185<br>(45.4%) | 1,088<br>(9.5%) | 5,161<br>(45.1%)  | 5,161<br>(100%)  | 3,169<br>(61.4%) | 1,884<br>(36.5%) | 108<br>(2.1%)    |
| 2001 | 11,237 | 3,856<br>(34.3%) | 1,003<br>(8.9%) | 6,378<br>(56.8%)  | 6,378<br>(100%)  | 3,524<br>(55.3%) | 2,598<br>(40.7%) | 256<br>(4.0%)    |
| 2002 | 11,397 | 3,345<br>(29.3%) | 922<br>(8.1%)   | 7,130<br>(62.6%)  | 7,130<br>(100%)  | 3,526<br>(49.5%) | 3,259<br>(45.7%) | 345<br>(4.8%)    |
| 2003 | 11,398 | 2,836<br>(24.9%) | 844<br>(7.4%)   | 7,718<br>(67.7%)  | 7,718<br>(100%)  | 3,832<br>(49.6%) | 3,391<br>(43.9%) | 495<br>(6.4%)    |
| 2004 | 11,464 | 1,607<br>(14.0%) | 541<br>(4.7%)   | 9,316<br>(81.3%)  | 9,316<br>(100%)  | 4,434<br>(47.6%) | 3,955<br>(42.4%) | 927<br>(10.0%)   |
| 2005 | 13,028 | 333<br>(2.5%)    | 480<br>(3.7%)   | 12,215<br>(93.8%) | 12,215<br>(100%) | 5,349<br>(43.8%) | 5,470<br>(44.8%) | 1,396<br>(11.4%) |

**Table 4.** 국내의 음식물 폐기물 혐기성소화 처리 시설 현황<sup>24)</sup>

| No. | 소재지    | 시설명           | 운전상태 | 시설용량 (톤/일) | 소화방식 | 비고        |
|-----|--------|---------------|------|------------|------|-----------|
| 1   | 경기 광주시 | 광주시퇴비화시설      | 운전 중 | 20         | 습식   | 음식물폐기물 전용 |
| 2   | 경기 의왕시 | 의왕시퇴비화시설      | 운전 중 | 30         | 습식   | "         |
| 3   | 경기 파주시 | 파주시퇴비화시설      | 운전 중 | 30         | 습식   | "         |
| 4   | 경기 김포시 | (주)삼영이엔시      | 운전 중 | 50         | 습식   | "         |
| 5   | 강원 고성군 | 항목리 환경자원사업소   | 운전 중 | 10         | 습식   | "         |
| 6   | 충남 태안군 | 음식쓰레기자원화시설    | 운전 중 | 10         | 습식   | "         |
| 7   | 경북 영덕군 | 영농조합법인        | 운전 중 | 10         | 습식   | "         |
| 8   | 부산 강서구 | 생곡음식물자원화시설    | 운전 중 | 200        | 건식   | "         |
| 9   | 인천 연수구 | 송도자원환경센터      | 운전 중 | 200        | 습식   | "         |
| 10  | 경기 화성시 | 동탄 크린에너지센터    | 공사 중 | 45         | 습식   | "         |
| 11  | 서울 동대문 | -             | 공사 중 | 98         | 건식   | "         |
| 12  | 서울 강서구 | 서남하수병합시설      | 운전 중 | 20         | 습식   | 하수병합      |
| 13  | 부산 수영구 | 수영하수병합시설      | 운전 중 | 120        | 습식   | "         |
| 14  | 대구 북구  | 음식물쓰레기 하수병합시설 | 운전 중 | 200        | 습식   | "         |
| 15  | 울산 남구  | 남구1차하수병합시설    | 운전 중 | 40         | 습식   | "         |
| 16  | 강원 속초시 | 음식물쓰레기자원화시설   | 운전 중 | 20         | 습식   | "         |
| 17  | 경남 밀양시 | 음식물쓰레기처리시설    | 운전 중 | 20         | 습식   | "         |
| 18  | 경남 사천시 | 음식물쓰레기공공처리시설  | 운전 중 | 20         | 습식   | "         |

각 91% 및 민간 66%이었다.<sup>22)</sup> 재활용의 90% 정도는 퇴비화 및 사료화(건식 및 습식)가 담당하고 있으며, 혐기성 소화되는 양은 10% 이하이다. 사료화는 99년 61.1%에서 43.8%로 감소하였고, 메탄화 등은 05년 현재 11.4%로 증가하였다. 혐기성소화에 의한 자원화에 대한 관심이 증가하고 있는 이유는 퇴비화 및 사료화 공정에서 시설의 기준강화, 생산 제품의 안정성 및 수요처 확보 제한 등의 문제가 제기되었기 때문이다.

Table 4에는 국내 음식물 폐기물의 혐기성소화 처리시설 현황을 나타내었다. 음식물 폐기물의 일부는 단독 처리되고 있지만, 자원화 시설에서 발생하는 폐수를 방류수 수질 기준으로 처리하기가 용이하지 않기 때문에 하수 및 침출수 등과 병합처리하는 경우가 많다.

음식물 폐기물 자원화 시설에서는 재활용량의 약 50%가 폐수(음폐수)로 발생한다(Table 5). 음폐수 처리는 음식물 폐기물 자원화에 있어 가장 큰 문제점으로 하수병합, 분뇨폐수병합, 해양투기 등의 방법이 적용되고 있다. 음폐수의 병합처리는 처리장의 과부하 문제 등이 문제점으로 지

**Table 5.** 음식물류 폐기물 폐수처리 현황<sup>26)</sup>

(단위: 톤/일)

| 구분      | 폐수발생량 | 육상처리 (하수처리장 등) | 해양배출량         |
|---------|-------|----------------|---------------|
| 2004    | 4,008 | 2,019 (50.4%)  | 1,989 (49.6%) |
| 2005    | 6,293 | 2,731 (43.4%)  | 3,562 (56.6%) |
| 2006    | 8,225 | 2,805 (34.1%)  | 5,420 (65.9%) |
| 2007.6월 | 8,926 | 3,778 (42.3%)  | 5,148 (57.7%) |

적되어, 최근에는 비용이 저렴한 해양배출로 대부분을 처리하였으나, 해양투기의 규제 강화 등으로 어려움을 겪고 있다.<sup>25)</sup>

음식물 폐기물의 평균 함수율은 80%, TS는 20%, VS는 15% 정도이다.<sup>27)</sup> 일반적으로 음식물 폐기물은 전처리를 거쳐 혐기성 소화조로 유입된다. 또한 퇴비화 및 사료화 시설에서도 음폐수가 발생하며, 이들 역시 혐기성 처리를 통해 자원화 할 수 있다. 음폐수의 성상은 자원화 시설 및 각 시설에서 사용하는 단위공정에 따라 변화가 다양하지만, 이에 대한 분석 자료는 미흡한 편이다. Table 6에 나타낸

**Table 6.** 음폐수의 성상 예<sup>28)</sup>

| 채수 지점 | 일시       | pH (mg/L) | COD <sub>Cr</sub> (mg/L) | BOD (mg/L) | TS (mg/L) | VS (mg/L) | 유기산 (mg/L) | TKN (mg/L) | NaCl (mg/L) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L) | 함수율 (%) | n-Hexane |
|-------|----------|-----------|--------------------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-------------------------------------|---------|----------|
| W.J   | 06.11.8  | 4.3       | 488,064                  | 320,194    | 153,906   | 135,533   | 2,417      | 4,347      | 11,464      | -                                   | 84.6    | 18,000   |
|       | 06.12.13 | 4.8       | 251,904                  | 148,606    | 146,254   | 128,982   | 961        | 3,983      | 12,779      | 87                                  | 85.4    | 16,000   |
| S.N   | 07.1.23  | 5.1       | 503,808                  | 275,682    | 95,799    | 87,171    | 651        | 3,436      | 6,280       | 20                                  | 90.3    | 11,200   |
|       | 07.3.9   | 4.4       | 127,920                  | 43,750     | 88,950    | 75,878    | 715        | 3,681      | 6,731       | 0                                   | 91.1    | 10,272   |
|       | 07.4.5   | 4.1       | 100,762                  | 42,000     | 70,981    | 57,186    | 1,096      | 2,278      | 8,214       | 0                                   | 92.9    | 9,700    |

\*W.J: 스크류데칸터에 의한 탈수

S.N: 스크류프레스에 의한 탈수

탈수 공정에서 발생한 음폐수의 성상을 살펴보면 COD가 100,000 mg/L에서 500,000 mg/L로 처리 방법 및 계절별로 큰 차이를 나타냄을 알 수 있다. 또한 퇴비화 시설 등에서 발생하는 음폐수의 경우 탈수 공정 및 발효조 공정 폐수의 성상은 매우 상이한 것으로 알려져 있다. 따라서 음폐수의 혐기성 소화 공정은 대상 폐수의 성상, 계절별 변화 등을 고려하여 설계할 필요가 있으며, 이를 위해서는 음폐수 성상 자료의 축적이 필요하다.

### 3.2. 문제점 및 개선방안

음식물 폐기물의 혐기성 소화는 크게 건식소화와 습식소화로 구분하여 적용할 수 있다. 건식소화는 수거된 음식물 폐기물을 그대로 소화조에 투입하여 이용하는 방식으로 국내에서는 서희건설이 부산 생곡매립지에 200 톤/일 규모의 시설이 운영 중이다. 이 밖의 시설은 대부분 습식 소화시설로서 전처리를 거친 음식물 폐기물 또는 음폐수를 대상으로 혐기성 처리를 하고 있다.

음식물 폐기물의 효율적인 혐기성 처리를 위해서는 적절한 전처리가 요구되며 이를 통해 다음과 같은 문제점을 해결하여야 한다. 첫째, 고형물 함량이 높은 음식물 폐기물을 직접 소화조에 유입시킬 경우 불완전한 교반이 문제가 될 수 있다. 특히 전처리가 불완전한 경우 조개껍질, 뼈 등 무기물이 소화조 내 축적되어 교반효율 저하뿐만 아니라 유효용적 감소에 따른 체류시간 단축으로 소화효율이 심각하게 저하될 수 있다. 따라서 전처리를 통해 무기물을 제거하고 고형물 함량을 조절하거나 교반기의 용량을 조절하여 충분한 교반을 확보하여야 한다. 둘째, 전처리를 통해 기름 성분(유분)을 충분히 제거하여야 한다. 혐기성 소화과정에서 유분이 분해되기 위한 최소 수리학적 체류시간(HRT)는 15일 이상이다. 따라서 HRT가 15일 정도 또는 그 이하로 유지되는 단상 소화조 또는 2상소화조에서 1단 발효조에서는 유분이 분해되지 못하고 물과 분리되어 입상상 물질을 형성하므로(일종의 스크) 분해가 더욱 힘들어질 뿐만 아니라 관의 막힘 현상 등도 유발한다. 그러나 유분은 바이오디젤 생산 등에 사용할 수 있는 유용한 자원으로 일부 자원화 시설에서는 삼상원심분리기 등을 사용한 전처리 방식으로 회수하여 고가로 판매하고 있다. 그러나 유분 회수를 통한 수익을 경제성 평가에 포함시키기 위해서는 지역별, 계절별 음폐수 성상 변화에 대한 자료 축적이 필요하다.

소화조의 pH 조절도 중요한 문제의 하나이다. 통상적으로 음폐수의 pH는 4 또는 그 이하의 산성이다. 반면 음폐

수는 다량의 유기 질소를 포함하고 있고, 이는 분해과정에서 암모니아성 질소로 변환된다. 단백질의 가수분해에 의해 1몰의 암모니아(NH<sub>3</sub>)가 생성되면 수중에서 암모니아성 질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)로 변환되면서 1몰의 중탄산염을 생성하므로, 알칼리도가 50,000 mg/L 증가하게 된다. 이 같은 질소에 의한 알칼리도 공급을 고려할 때 소화조의 형태에 따라 별도의 pH 조절 방안이 필요하다. 비교적 체류시간이 긴 단상 및 2상 소화조의 메탄 발효조에서는 앞서 지적한 알칼리도 생성 기작으로 인하여 pH가 알칼리성으로 유지될 것이므로(8 이상) 유입 음폐수의 pH를 조절할 필요가 없다. 반면 2상 소화조에서 산발효조의 경우는 단백질의 가수분해가 충분하지 않거나 산생성 반응이 우세한 경우 pH가 낮아질 가능성이 있다. 이 경우에는 알칼리성인 메탄발효조 유출수를 일부 산발효조로 반송함으로써 약품 첨가를 하지 않고 반응조의 적정 pH를 유지할 수 있다. 단, 소화조의 pH가 높아지는 것은 암모니아성 질소와 더불어 생성된 알칼리도에 의한 것이며, 암모니아성 질소의 독성은 pH가 높아질수록 커지므로 pH가 8 이상으로 유지되는 경우 암모니아의 독성에 주의를 기울여야 한다.

전처리에 의한 유기물 제거의 정도는 적정 소화효율 유지와 메탄 회수율 향상이라는 두 가지 측면을 고려하여 결정되어야 한다. 이제까지는 소화조 운영의 편의 및 안정성을 위하여 유입 폐수로부터 고형분을 제거시키려는 방향으로 전처리가 이루어져 왔다. 예를 들어 일부 공정에서는 고액분리, 응집 및 탈수, 가압부상 등의 방법을 이용하여 COD 20,000 mg/L 이하 SS 3,000 mg/L 이하로 전처리하고 있다(Table 7). 이 같이 전처리를 하면 소화조 운영상의 문제는 크게 감소하며, UASB와 같은 고율소화조를 이용하여도 원하는 소화효율을 얻을 수 있을 것이다. 반면 유기물로부터 메탄회수라는 관점에서 보면 전처리에 의한 유기물의 과도한 제거는 바람직하지 않다. 통상 음폐수의 경우 COD가 100,000~200,000 mg/L이므로 앞서 제시한 바와 같은 수준의 전처리를 수행할 경우 약 80~90%의 유기물이 메탄회수 대상에서 제외된다. 따라서 음식물 폐기물의 혐기성 소화 목적이 처리가 아닌 메탄 회수를 통한 자원화이라면 전처리를 통한 유기물의 제거를 최소한으로 유지할 필요가 있다. 이 경우에는 완전혼합형 형태의 반응조를 적용하는 것이 바람직하다.

### 3.3. 향후 전망

음식물 폐기물은 분리수거율이 높고, 특성상 대부분이 생분해 물질로 구성되어 있으므로 메탄으로 자원화 가능

Table 7. 음식물 폐기물 전처리 시설에 따른 성상변화<sup>25)</sup>

| No.                    | 분쇄물저장조          | 고액분리          | 응집 및 탈수       | 가압부상          | 혐기성소화조      | 비고  |
|------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-----|
| 구분                     | 분쇄물             | 1차 탈리액        | 2차 탈리액        | 부상분리액         | 배출수         |     |
| pH                     | 3.0 - 3.5       | 4.5 - 5.0     | 5.0 - 5.5     | 6.5 - 7.5     | 6.8 - 7.2   |     |
| COD <sub>c</sub> (ppm) | 110,000~130,000 | 80,000~90,000 | 30,000~40,000 | 15,000~20,000 | 3,000~5,000 | ±5% |
| SS(ppm)                | 100,000~130,000 | 50,000~60,000 | 10,000~15,000 | 2,000~3,000   | 400~600     | ±5% |

성이 매우 높다. 그러나 현재까지 우리나라에서 자원화 성과는 그 잠재력에 비해 미미한 편이고, 이는 혐기성 소화시설 운영의 불안정성이 기인한다고 할 수 있다. 즉 불완전 교반, 기계적 문제, 관 등의 막힘, 그리고 부적절한 전처리로 인한 고형물의 축적 등이 자원화의 걸림돌로 작용하였다.

음식물 폐기물로부터 메탄을 회수하기 위해서는 적절한 전처리가 우선되어야 하며 이는 소화조의 구성에 따라 달리 적용되어야 한다. 전처리를 통한 고형물의 제거 정도는 메탄 회수량과 처리의 용이성과 trade-off 관계가 있다. 즉 메탄회수량을 증가시키기 위해서는 무기물을 제외한 고형물을 제거하는 것은 바람직하지 않다. 그러나 고형물 함량이 높은 경우 충분한 체류시간과 적절한 교반 강도를 유지하여야 한다. 반면 UASB와 같은 고율 혐기성 소화조는 용해성 폐수에 대해서 주로 사용되는 공정으로 생분해성 고형물을 메탄으로 변환시킬 수 없게 된다. 따라서 고형물이 다량 함유된 음식물 폐기물의 자원화를 위한 적절한 공정 개발이 필요하며, 이에 이상소화, 산발효조와 UASB의 결합 등 여러 가지 공정이 고려될 수 있다. 유분의 경우 전처리를 거치거나 소화조에서 충분한 체류시간을 주어 소화조 내에 축적되는 것을 방지하여야 한다. 유분은 전처리를 통해 분리하면 바이오디젤 등의 원료로 고가로 판매가 가능하므로 이를 통해 수익을 창출할 수도 있을 것이다. 또한 음식물 폐기물 자원화 시설 설치의 가장 큰 걸림돌의 하나인 악취를 효과적으로 제어하기 위한 시설의 설치는 반드시 필요하다.

음식물 폐기물 자원화 시설의 시장규모는 그다지 크지 않은 편이다. 현재 발생량 약 만 톤/일을 모두 처리하기 위한 혐기성 시설을 건설한다고 하여도 그 규모는 1조원 정도이고, 현재 가동 중인 퇴비화 및 사료화 시설을 고려하면 그 규모는 천억 대 이하로 축소된다. 따라서 대외 신뢰도가 비교적 높은 기업의 참여가 현실적으로 용이하지 않을 것이다. 그러나 음식물 폐기물 자원화시설의 운영비가 3~5만 원 정도로 비교적 높고, 유분 및 가스 등을 자원으로 판매한다면 운영을 통한 수익창출은 충분히 기대할 수 있다. 또한, 개발된 기술의 수출을 통한 활로 개척도 가능할 것이다.

음식물 폐기물과 하수의 병합처리는 음식물 폐기물 자원화 시설에서 발생한 폐수를 방류수 수질기준까지 처리하기 위한 비용을 고려할 때 바람직한 방향의 하나이다. 이 경우 음식물 폐기물을 하수처리장의 호기성 공정(활성슬러지 등)보다는 혐기성 소화조로 직접 투입하여 메탄을 회수하여야 한다. 또한 하수관거정비사업이 완료된다면 음식물 폐기물의 하수도로의 유입도 긍정적으로 검토할 필요가 있다.

#### 4. 맺음말

혐기성 소화를 통한 하수슬러지 및 음식물 폐기물의 메탄회수는 신·재생에너지 보급 확대에 중요한 역할을 담당할 수 있다. 풍력, 태양광, 조력·조류 등의 에너지원은

기후 및 지형적인 여건으로 인하여 전기 공급의 주요 요건인 연속 공급이 어려운 반면, 메탄을 이용한 전기 공급은 자연적인 조건에 영향을 받지 않으므로 에너지 공급면에서 장점을 가지고 있다.

그러나 이 같은 장점에도 불구하고 아직 우리나라에서는 자원화율이 저조한 실정이며, 이는 교반, 온도, 적량 투입 및 인출, 스크 및 퇴적물 등의 부적절한 관리에 기인한 경우가 많다. 따라서 이들 문제점의 발생을 억제하고, 최적의 운영조건을 유지하기 위해서는 각 시설별로 유지관리 지침을 작성하여 준수하는 것이 바람직하며, 운전 현황을 모니터링 할 수 있는 기술 개발도 요구된다. 또한 혐기성 처리의 특성상 발생하는 관의 막힘 현상 등을 주기적으로 점검하는 등의 노력이 필요하다. 이밖에도 음식물의 경우 계절별, 시설별 성상 변화가 크므로 이에 대한 자료 축적이 필요하며, 악취제어 시설은 반드시 갖추어야 한다.

향후 하수슬러지 및 음식물 폐기물로부터 메탄회수를 통한 자원화를 위한 향후 추진방향은 다음과 같이 고려해 볼 수 있다.

- 하수슬러지 전처리: 전처리를 통하여 메탄회수율을 높이고 슬러지를 감량화할 수 있으므로, 경제성 및 환경성을 확보할 수 있다. 적절한 소화조의 운영 및 전처리 시설의 도입 등으로 하수처리장은 궁극적으로 에너지 자급형 시설로 전환될 수 있다.
- 음식물 폐기물의 전처리: 메탄회수 최대화를 위해서는 전처리시설에서 무기물만을 제거하고 잔류 유기성분을 자원화하기 위한 공정이 필요하다. 시설운영의 수익원이 될 수 있는 유분은 소화조 내부에서 문제를 야기할 수 있으므로 전처리 시설에서 제거하는 것이 바람직하다.
- 가스 이용은 발전 및 보일러용으로 국한하지 말고 정제 후 열원 및 수송용 연료로 판매 등 다변화할 필요가 있다.
- 하수슬러지와 음식물 폐기물의 통합처리는 자원화 시설에서 발생하는 폐수를 방류수수질기준으로 처리할 때의 경제성을 고려할 때 매력적인 대안이 될 수 있다. 특히 하수처리장에서 2단 소화조 운영을 1단 소화조로 변환시킬 경우 발생하는 잉여 처리 용량을 이용하여 음식물 폐기물을 처리할 수도 있다.

#### 사 사

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

#### 참고문헌

1. 지식경제부, 제1차 국가에너지기본계획 2008~2030(2008).
2. 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030(2007).
3. 안종화, 이창수, 정명숙, 오길중, 황석환, “유기성폐기물이 통합처리 및 바이오매스 이용기술,” 유기물자원화, **15**(1),



- 85~94(2007).
4. Muck, O. K., “바이오가스-정책-시장-기술,” *유기물자원화*, **15**(1), 72~77(2007).
  5. 배재호, 조광명, “혐기성처리 I,” *대한상하수도학회지*, **8**(4), 85~98(1994).
  6. van Lier, J. B., “Current Trends in Anaerobic Digestion; Diversifying from waste(water) treatment to re-source oriented conversion techniques,” 11th IWA World Congress on Anaerobic Digestion, Brisbane, Australia(2007).
  7. 환경부, 2005년 전국 폐기물 통계조사(2006).
  8. 환경부, 하수처리장 소화조 효율 개선사업 추진계획, 부생가스를 이용한 에너지 이용 효율 확대 3개년(‘05~’07) 계획(2005).
  9. Haug, R. T., Stuckey, D. C., Gossett, J. M., and McCarty, P. L., “Effect of Thermal Pretreatment on Digestibility and Dewaterability of Organic Sludges,” *J. Water Pollut. Control Fed.*, **50**, 73~85(1978).
  10. 환경부, 2005 하수도통계(2006).
  11. 환경부, 공공하수도시설 에너지 절감대책 수립에 관한 연구 보고서(2006).
  12. 배재호, “감량화 및 메탄회수효율 향상을 위한 슬러지 전처리 기술,” *유기물자원화*, **14**(3), 32~45(2006).
  13. 환경부, 소화조 운영실태 정밀진단 결과 보고(2005).
  14. 환경부, 하수슬러지관리계획수립지침(2006).
  15. 환경부 환경관리공단, 2003년 하수처리시설 기술진단 사례집(2004).
  16. <http://www.seoul.go.kr/seoul/citynews/newsdata>.
  17. 이종규, 전재호, 전중환, 박규호, 박재영, 김태형, “용융탄산염 연료전지(MCFC)용 소화조가스(ADG) 정제기술개발,” RIST 연구논문, **20**(2), 135~140(2006).
  18. 서울특별시, 서울특별시 4개 하수처리장 하수슬러지처리 시설 증설 기본계획보고서(2005).
  19. Kim, H. J., Nguyen, D. X., and Bae, J. H., “The Performances of the Sludge Pretreatment System with Venturi Tube,” *Water. Sci. Technol.*, **57**(1), 131~137(2008).
  20. 김응호, “하수도 자원화 개념의 정책제안 방향,” *대한상하수도학회지*, **17**(5), 549~555(2001).
  21. 배재호, “하수처리장 소화가스 발전,” *월간 설비/공조·냉동·위생*, **24**(10), 75~85(2007).
  22. 오길중, “음식물류폐기물 자원화정책의 추진과정과 효과,” *유기물자원화*, **15**(2), 13~22(2007).
  23. 신충식, “음식물류폐기물처리 및 종합관리정책 방향,” *유기물자원화*, **14**(4), 13~19(2006).
  24. 환경부, ‘05년 음식물자원화시설현황(2006).
  25. 곽무영, 김태종, 윤재문, 윤병재, “음식물류폐기물의 안정적인 혐기성소화를 위한 전처리 기술,” *유기물자원화*, **14**(3), 68~74(2006).
  26. 수도권매립지관리공사, 유기성폐기물을 이용한 바이오가스 개발 타당성 보고서(2008).
  27. 국립환경연구원, 유기성폐기물 종합관리기술 구축(I) : 유기성폐기물 처리실태 및 특성조사(최종보고서)(2004).
  28. 김남천, 박진규, “음식물류 자원화공정에서의 발생폐수 혼합연료 생산기술,” *유기물자원화*, **15**(3), 13~21(2007).