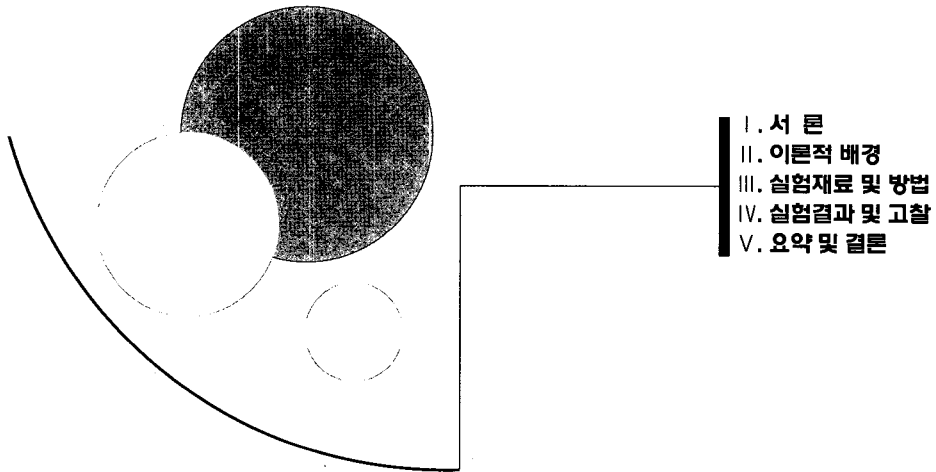


하수 슬러지와 음식물 쓰레기의 통합소화 효율평가



충남대학교 대학원 환경공학과
전문환



I. 서론

1980년대부터 1990년대 초반을 폐기물의 소각과 자원화의 논쟁시대라 하고, 1994~1995년을 쓰레기 종량제의 시대라 한다면 1996년부터는 음식물 쓰레기와의 전쟁시대라고 하여도 무리가 없을만큼 음식물 쓰레기는 사회적인 문제로 대두되고 있다. 음식물 쓰레기는 농·축·수산물의 수송 및 판매과정 중에서 버려지는 쓰레기, 가정 및 음식점 등에서 조리과정중 식품을 다듬고 버리는 식품 쓰레기, 보관했다가 그냥 버려지는 식품 폐기물을 말한다. 현재 우리나라는 경제성장과 함께 식생활 패턴의 변화에 의해 발생되는 음식물 쓰레기의 발생량이 증가하고 있는 추세이다.

1999년 현재 음식물 쓰레기에 의해 연간 8조원이 낭비되고 있으며 이의 처리비용도 연간 4천억원 이상에 이르고 있다. 현재 우리나라는 식량 자급률이 약 30%로써 1년에 약 11조 3천억원의 식량을 수입하고 있는 상황으로 미루어 볼 때 음식물 쓰레기는 한 국가에게는 심각한 경제적 손실이 아닐 수 없다. 또한 음식물 쓰레기가 지니는 발생 특성상의 높은 수분함량과 쉬운 부패성에 의하여 야기되는 환경오염도 경제적인 손실 못지 않게 큰 문제가 되고 있는 실정이다.

현재 음식물 쓰레기 처리의 방법에는 매립, 퇴비화, 소멸화, 소각, 혐기성 소화, 사료화 등이 있으나 대



부분 매립에 의존하고 있다. 매립은 별도의 전처리 과정 없이 처분할 수 있는 장점이 있으나 고농도의 침출수 발생과 그로 인한 지하수와 토양의 오염을 유발시킬 수 있는 단점이 있다. 또한 2005년부터는 음식물 쓰레기의 직매립이 전면 금지될 예정이므로 새로운 처리방법의 모색이 필요한 시점이다. 매립이 자원의 회수가 불가능한 단점이 있다면 앞으로 음식물 쓰레기의 새로운 처리방법은 자원회수 측면을 고려해야 할 것이다.

현재 하수종말 처리장에서 슬러지 처리방법으로써의 혐기성 소화공정은 유용한 메탄가스를 부산물로 획득할 수 있다는 이점 때문에 에너지 값의 변동에도 불구하고 줄곧 인기있는 Biotechnology중의 하나로 인식되어 왔다. 호기성 처리공정은 산소를 불어넣어 주어야 하므로 많은 운전비용이 소모되나, 혐기성 소화공정은 산소공급이 불필요하며 슬러지 생산량도 호기성 처리의 10%에 불과하여 월등히 경제적이라고 할 수 있다.

또한, 현재 운전되고 있는 혐기성 소화공정은 과대 설계되어 있기 때문에 낮은 유기물 부하율로 운전되고 있어 여유처리능력을 보유하고 있다. 이에 기존의 혐기성 소화조에 생분해가 가능한 biosolids를 투입하여 소화효율증가 및 높은 메탄 가스량을 회수할 수 있다. 이를 Co-Digestion이라 하는데 생분해가 가능한 biosolids로써 음식물 쓰레기를 자원화하는 연구가 이루어지고 있는 추세이다.

그러나 우리나라의 경우 본 공정에 대한 연구가 미비할 뿐만 아니라 운전경험이 풍부한 인력이 부족한 상황으로 우리 실정에 맞는 효과적인 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

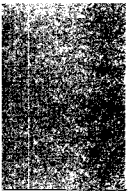
1.1 음식물 쓰레기 특성 및 처리 현황

1.1.1 음식물 쓰레기의 특성

음식물 쓰레기의 특징중 가장 두드러진 것은 수분함량이 높다는 점으로 대략 80~85%로써 기계적으로 물을 분리하는데에도 한계가 있다. 따라서 보관이 어렵고 수분이 많기 때문에 이용할 수 있는 부분이 상대적으로 적으며 퇴비화, 사료화를 할 경우에 감소되는 수분으로 인해 생산수율이 매우 낮다. 또한 소각 처리할 경우에도 음식물 쓰레기 자체의 낮은 열량과 많은 수분으로 인하여 소각효율을 저하시키고 있으며 이에 따른 보조연료 사용량이 증가될 뿐만 아니라 불완전 연소로 인해 각종 유해물질의 배출 가능성을 증가시킨다.

음식물 쓰레기는 쉽게 부패되는 유기성 물질로 구성되어 있어 분리수거 및 처리과정에서 발생하는 수질오염물질은 BOD 기준으로 60,000~100,000ppm 정도의 오염농도를 나타낸다. 특히, 여름철의 경우에는 발생 단계에서 악취 발생으로 인하여 파리, 모기, 쥐 등의 해충번식을 유발시킬 수 있다. 또한, 매립 처리할 경우에는 고농도 침출수 발생에 의하여 처리비용이 증가될 뿐만 아니라 매립지 관리가 소홀한 경우에는 폐기물 문제에 국한된 것이 아니고 대기·수질·토양·지하수 오염문제까지 확대될 수 있다.

음식물 쓰레기는 매립으로 처리할 경우에 별다른 전처리 과정없이 처분하기 때문에 음식물 쓰레기내에 존재하는 이물질이 별다른 문제점이 되지 않는다. 그러나 자원화등의 처리방법을 이용할 경우에는 비닐, 플라스틱, 일반쓰레기 등의 이물질에 의하여 자원화 처리하는데 장애요인이 될 수 있다. 이들을 분



리하기 위해서는 최소한의 수작업이나 기계적 분리 등을 거쳐야 하며 이로 인하여 비용이 증가하게 되고 자원화 퇴비나 사료의 품질저하의 요인이 될 수 있다.

또한, 음식물 쓰레기의 대부분은 채소류이기 때문에 우리나라의 독특한 음식문화에 의하여 염분의 농도가 상당히 높다. 따라서 음식물 쓰레기가 사료화나 퇴비화로 자원화 될 경우에는 그 원료로써 적당치 않으며 완성된 제품도 그 효용가치가 떨어지게 된다. 이에 염분을 세척하는 공정이 필요하게 되며 그로 인하여 발생하는 폐수의 처리가 문제시 되기도 한다. 그러나 Co-Digestion을 이용할 경우에는 소화조내에서 염분의 농도가 낮은 하수 슬러지에 희석되어 염분 농도가 낮은 유출수가 발생하게 된다.

1.1.2 음식물 쓰레기 발생량

Table 1.1은 1993년부터 1999년까지의 생활 폐기물과 음식물 쓰레기 발생량 변화를 나타낸 것이다. 1993년 이후로 생활 폐기물과 음식물 쓰레기의 발생량은 해마다 꾸준히 감소하였으며 특히, 1995년의 쓰레기 종량제 실시 이후로는 대폭 감소하였음을 알 수 있다. 이는 종량제 실시로 원천적으로 생활 폐기물의 발생량을 줄이고자 하였던 정부의 정책이 주요 하였으며 또한, 이로 인하여 음식물 쓰레기의 발생량도 감소되었다. 생활 폐기물 양은 1993년의 62,940ton/day에서 1999년 45,614ton/day로 발생량이 약 30%가 줄어들었으며 음식물 쓰레기 양은 19,794ton/day에서 11,577ton/day로 약 40%가 줄어들었음을 알 수 있다. 또한, 음식물 쓰레기가 생활 폐기물 중 점유하는 비율도 31.4%에서 25.4%로 줄어들었다.

Table 1.1 Yearly Variation of MSW and Food Wastes Generation Rate²

| 구 분 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 생활 폐기물 발생량(ton/day) | 62,940 | 58,118 | 47,774 | 49,925 | 47,895 | 44,583 | 45,614 |
| 음식물 쓰레기 발생량(ton/day) | 19,794 | 18,055 | 15,075 | 14,532 | 13,063 | 11,798 | 11,577 |
| 점 유 율(%) | 31.4 | 31.1 | 31.6 | 29.1 | 27.3 | 26.5 | 25.4 |

1.1.3 음식물 쓰레기 처리 현황

Table 1.2는 1995년부터 1999년까지의 음식물 쓰레기 처리현황에 대하여 나타냈다. 매립에 의한 처리가 점진적으로 줄어들면서 상대적으로 소각과 자원화 비율이 증가하는 것으로 나타났고 자원화의 경우는 21%에서 33.9%로 대폭 증가한 것을 알 수 있다. 또한, 2005년부터는 음식물 쓰레기의 적매립이 전면 금지될 예정이므로 자원화가 차지하는 비중이 더욱 증가되리라 예상된다.

매립은 음식물 쓰레기를 별도 분리 과정없이 쉽게 처리할 수 있다는 장점으로 보편적으로 사용되고 있지만, 고농도 침출수의 다량 발생으로 지하수 오염과 토양 오염 그리고 지반침하라는 문제점을 유발할 뿐만 아니라 매립후의 안전화 기간이 너무 길어지고 자원회수가 실제적으로 거의 불가능한 단점이 있다.



Table 1.2 Yearly Variation of Food Wastes Generation and Treatment System

| 구분 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
|---------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 음식물 쓰레기 발생량(ton/day) | 15,075 | 14,532 | 13,063 | 11,798 | 11,577 |
| 매립(ton/day) (점유비율, %) | 14,387 (95.4) | 13,486 (92.8) | 10,973 (84.0) | 8,308 (70.4) | 6,803 (58.8) |
| 소각(ton/day) (점유비율, %) | 372 (2.5) | 570 (3.9) | 815 (6.2) | 923 (7.8) | 846 (7.3) |
| 자원화(ton/day) (점유비율, %) | 316 (2.1) | 476 (3.3) | 1,275 (9.8) | 2,566 (21.8) | 3,928 (33.9) |

소각은 폐기물을 연소시켜 폐열을 회수할 수 있으며 높은 감량율을 보여주지만 음식물 쓰레기를 소각 처리할 경우 높은 함수율로 인하여 소각 효율 저하 및 많은 보조 연료를 필요로 한다. 또한 불완전 연소로 인하여 각종 유해 물질의 배출 가능성을 증가시키는 단점이 있다.

음식물 쓰레기의 자원화 현황은 Fig. 1.1과 같다. 현재까지는 사료화가 60% 이상으로 대부분을 차지하고 있으나 광우병 사건 이후로 음식물 쓰레기로 만든 사료의 사용처가 전무한 실정으로 점점 줄어들고 있는 실정이다. 퇴비화의 경우는 부패성 폐기물이 비교적 빠른 시일안에 안정화 되나 부가가치가 높지 않으며 장기간 사용할 경우에는 염분의 축적으로 인하여 토양이 경화될 우려가 있다. 혐기성 소화법(Co-Digestion)은 유용한 메탄가스가 생산되고 소화후 슬러지의 생산량이 적으며, 또한 장기간의 체류시간으로 처리시키기 때문에 슬러지나 폐수내의 병원균을 죽일 수 있는 장점이 있다. 그러나 체류시간이 길기 때문에 시설용량이 크며 미생물이 주어진 조건에 민감하다는 단점이 있다. 현재까지는 하수종말 처리장의 혐기성 소화조에 부족한 유기물로 분뇨를 많이 이용하였으나 음식물 쓰레기를 이용한 공정의 연구가 많이 이루어지면서 점차적으로 증가되리라 예상된다.

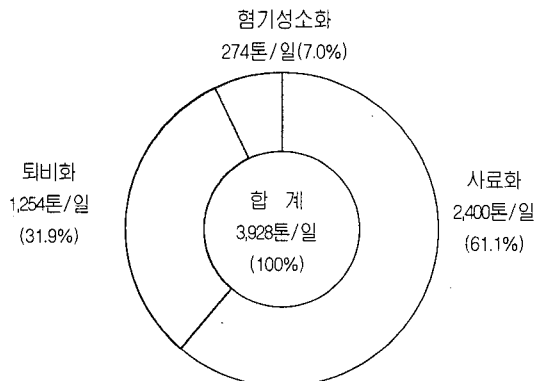


Fig. 1.1 Present Status of Food Wastes Recycle System(1999)

퇴비화는 부패성 유기물질을 환경에 대한 2차 오염이 없는 상태로 안정화 시켜 퇴비나 토지 개량제로 사용할 수 있으나 음식물 쓰레기를 분리 수거하지 않을 경우 각종 유해 물질들로 양질의 퇴비 생산이 어렵고, 높은 수분 함량으로 산소 전달이 느리게 되어 부패시 악취와 병원균 발생을 유발할 수 있는 단점이 있다. 또한, Bulking Agent로써 톱밥 등의 소요가 많을 뿐만 아니라 퇴비의 후숙 처리 장소 및 탈기를 위한 부대 시설이 반드시 필요하며 음식물 쓰레기 자체에 염분의 농도가 높기 때문에 토양이 경화될 우려가 있다.

사료화는 퇴비화와 마찬가지로 분리 수거를 통해 가축에 유해한 물질들을 배제시켜야 하며 영양 성분이 고르지 못하므로 음식물 쓰레기 만으로의 사료화는 효용에 있어 한계를 가진다. 또한 광우병 사건 이후로 음식물 쓰레기로 만든 사료의 수요처가 전무한 실정이다.

혐기성 소화는 하수 종말 처리장에서 하수 슬러지를 처리하고 있는 혐기성 소화조의 경우 설계 기준보다 유기물 부하율이 낮고 체류 기간이 길어 처리능력의 여유가 있는 것으로 확인 되었다. 따라서 부족한 유기물로서 도시고형 폐기물 중 Biosolids 부분이나 기타 가능한 유기물질을 투입하여 유기물 부하율을 높혀 운전 하는 방식이다. 투입 가능한 유기물질로는 흔히 분뇨가 사용되어 왔는데 음식물 쓰레기의 처리가 문제시 되면서 음식물 쓰레기를 투입하여 혐기성 소화하는 방식이 많이 이용되고 있다. 이는 음식물 쓰레기를 혐기성 소화조에 투입시켰을 때 하수 슬러지 내에 부족한 유기물질을 보충해 주고 부족한 영양소는 하수 슬러지가 보충해 줌으로써 상호보완 관계로 혐기성 소화조의 운전 효율을 증대 시키는 것으로 알려져 있다.

1.2 연구의 필요성

1.2.1 기술적 측면

(1) 음식물 쓰레기 처리

음식물 쓰레기는 생활 폐기물의 약 30%까지 점유하고 있으며 이로 인하여 음식물 쓰레기의 처리가 큰 문제점으로 대두되고 있다. 그러므로 폐기물 관리행정의 성공여부는 음식물 쓰레기의 효율적인 처리에 달려있다해도 과언이 아니다. 음식물 쓰레기는 수분 함량이 높아서 쓰레기 압축에 의한 부피감소 효과를 거둘 수 없고 소각 처리시에는 발열량이 낮아 비경제적이다. 또한 대부분이 생분해성이기 때문에 아주 빠른 속도로 분해하여 악취가 발생하므로 보관, 운반 및 취급하기가 용이하지 않다. 현재 음식물 쓰레기의 처리방법은 대부분 매립에 의존하고 있으나 냄새 및 고농도 침출수 발생 등의 2차 공해요인이 되기도 하며 무엇보다도 매립지 확보의 어려움 때문에 음식물 쓰레기의 효과적인 처리방안을 강구해야 할 시점에 놓인 것이다.

음식물 쓰레기의 고형물 함량은 15~20%로써 고체상 혐기성 소화(Solid State Anaerobic Digestion)공정이 유럽에서 성공적으로 운전되고 있다. 그러나 우리나라는 아직까지 음식물 쓰레기에 의한 혐기성 소화공정이 완전치 않으며 아직도 연구가 진행중에 있다. 따라서 우리나라의 실정에 맞는 혐기성 소화공

정을 개발함으로써 음식물 쓰레기의 처리에 기여할 수 있으리라 본다.

(2) 하수 슬러지 처리

1999년말 우리나라에 설치된 하수종말 처리시설은 70여개 지역에 155개소이며 시설용량은 17,332천톤/일 규모이다. OECD 가입국가인 미국(70.8%), 영국(86.0%), 독일(89.0%), 스위스(94.0%) 등 선진국에 비해서 우리나라 하수보급률은 63.6%로 현저하게 낮은 수준이다. 이에 앞으로 정부에서는 2005년까지 하수보급률을 80%까지 향상시키고 전국 195개 하천구간의 수질환경기준 달성비율을 95%에 이르게 할 계획으로 처리시설을 새로이 설치하거나 증설할 계획이다.

생물학적 폐수처리 전·후에 발생하는 슬러지는 유기물 함량이 높고 부패성이 강하므로 이의 적절한 처리가 매우 중요하며 따라서 활성슬러지 처리시설에서 슬러지 제거 및 탈수작업은 전체 수처리 공저의 절반 이상을 차지하는 중요한 공정이다. 1998년말 슬러지 생산량은 연간 1,630천톤에 달하며 이는 하수 4,466톤이 발생하는 것으로 하수 1톤당 발생비율은 0.27%에 달한다. 게다가 하수종말 처리장의 설치 및 증설에 따라 2001년에는 21,729m³/day, 2011년에는 24,329m³/day가 발생할 것으로 예상된다. 이같이 막대한 슬러지의 발생이 예상되는데 지금까지의 슬러지 처리는 주로 매립에 의존해 온 실정이나 다른 산업 폐기물과 마찬가지로 매립지 확보가 점점 어려워지고 있을뿐만 아니라 2003년 7월부터는 하수 슬러지의 직매립이 금지될 예정이다. 이 때문에 보다 효율적인 슬러지 감량화 및 재활용 자원화를 위한 고효율의 슬러지 처리시스템 개발의 필요성이 대두되고 있다.

Fig. 1.2는 하수 슬러지-음식물 쓰레기의 통합소화 시스템의 흐름도를 나타내었다. 아래의 공정은 유럽 지역에서 실용화 된 공정으로써 본 연구의 공정 흐름도와 유사하였으며 여기에서 발생한 Biogas를 이용하여 발전을 시켜 전기 에너지와 열 에너지로 자원 재활용을 이루었다. 또한, 통합소화 슬러지를 탈수한 후에 퇴비화로 다시 재활용하는 기술적인 대안을 보여주고 있다.

특히 음식물 쓰레기 이외에도 지방, 단백질 등 식품산업 폐기물등도 통합소화를 통해 쉽게 처리될 수 있는 전기가 마련될 수 있으리라 본다.

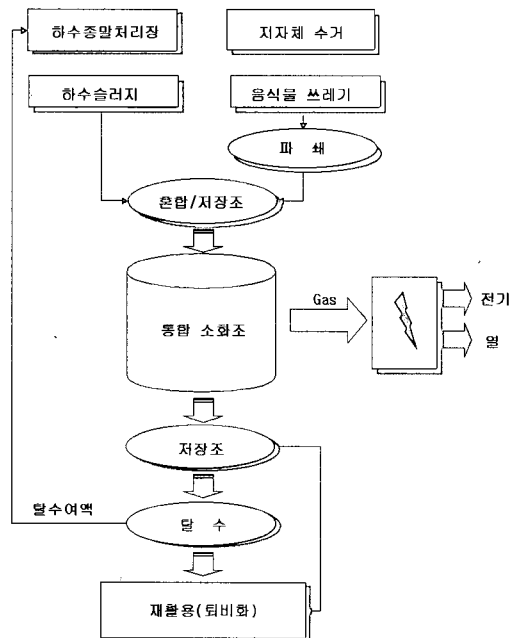


Fig. 1.2 Flow Diagram of Biosolids Co-Digestion Treatment System.

<다음호에 계속>