

폐기물 소각열이용 제고 방안

폐기물 소각처리시 발생하는 소각열을 활용하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

최경빈

서론

소각로란 일반 가정에서 발생하는 생활폐기물과 산업활동에서 발생하는 사업장폐기물을 소각해 감용화, 감량화, 안정화 및 무해화하기 위한 설비로 1896년 독일 함부르크의 Rohrstrasses의 소각로 여열을 이용한 전기 및 증기생산 프랜트를 시작으로 폐기물 소각로가 가동되기 시작하였으며 파리, 쥐리히 등에서 크게 활용되기 시작하였다. 미국도 1902년경에 뉴욕에 플랜트를 건설한 기록이 있으나 지형 및 여건상의 차이로 유럽은 계속적으로 기술이 개선된 반면 미국은 초기에 더욱 경제적이었던 매립에 주로 의존함으로써 유럽에 비하여 기술적으로 뒤지게 되었다. 따라서 주요 소각로 기술은 유럽에 지배되어 왔으며 일본도 초기에는 독자적인 소각로 개발을 시도하였으나 적극적인 보급기간이었던 1960년대에 이르러 다푸마 등을 제외한 거의 모든 주요업체들이 유럽의 기술과 제휴하게 되었다. 그러나 최근에 이르러 일본은 FBC(fluidized bed combustion) 및 수냉회전로, 용융소각로 등의 독자적인 기술개발이 추진되고 있다.

폐기물을 에너지로 이용하기 위해서는 소각기술 뿐만 아니라 사전 처리기술, 배가스 처리기술, 소각재 처리기술, 소각열 회수기술 및 폐기물을 이용한 재생연료 제조기술 등과 같이 여러 분야의 복합적인 기술이 필요하다. 그러나 폐기물처리는 단지 오염물질의 단순 소각처리의 관점에서 진행되어 왔으나, 최근들어 발전 및 집단에너지 공급을 위한 자원으로 재인식되며 소각열 이용기술의 개발이 크게 늘고 있는 추세이다.

최경빈 한국에너지기술연구원(kbchoi@kier.re.kr)

해외에서는 지역난방 및 발전열원을 쓰레기 소각에 의존하는 경우가 상당히 많다. 그러나 국내의 경우 1985년 의정부시에 50t/d×1기 용량의 소각로가 처음 가동되었으나 시스템의 가동이 원활치 못하였다. 그 후 1987년 목동에 150t/d×1기 용량의 소각로가 가동되면서 생활폐기물의 소각처리가 시작되었다. 목동에 설치된 소각로는 열병합발전시설과 연계하여 고온·고압의 증기를 공급하고 있으며, 이 후에 지자체 주도로 건설되는 소각시설은 모두 열병합발전시설과 연계하여 건설되고 있다. 국내의 생활폐기물 소각처리 비율은 1992년에 1.5%이던 것이 꾸준히 증가하여 2000년도에는 11.7%에 이르고 있다. 그러나 소각처리 비율은 아직도 매우 미미한 수준이다. 소각사전처리기술, 배가스처리기술, 소각재처리기술, 소각열회수기술, 재생연료화를 위한 가스화, 액체연료제조, 고체연료제조기술은 소각기술보다 후에 개발되기 시작하였다.

소각열 이용현황

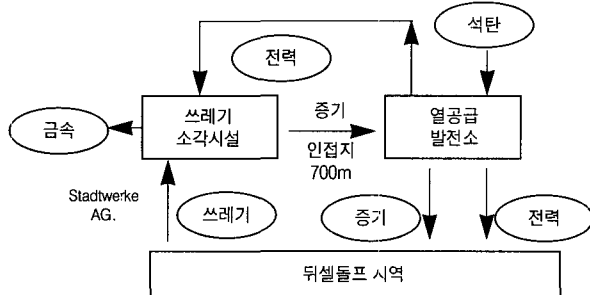
폐기물 소각로에서는 노내에서 발생한 가스온도 800~950℃를 집진장치를 사용할 수 있는 300℃이하까지 감온 시킬 필요가 있다. 이러한 이유에서 일본의 경우 중소형로에서는 반보일러 또는 온수열교환기와 발생가스를 처리하기 위한 집진장치에서 사용 가능한 온도로 감온하기 위한 물분사장치의 조합시스템을 사용하여 왔다. 대형로의 경우 이들 물분사장치에 의하여 대량의 물이 공중에 방산되고 또 배가스량의 증가로 비경제적이었으므로 전보일러를 설치하여 물의 절약과 폐열이용을 하고 있었다. 일본의 경우 최

초로 수냉식 복수터빈을 설치하여 전량 발전을 한 것은 1965년 오사카시에서 완성한 200t/d의 소각플랜트였다. 그후 약 10년동안은 배압터빈을 사용하여 자가 소비전력만을 발전하는 방식이 보급되었다. 그러나 도시폐기물 발열량 증가에 의한 증기발생량의 증가와 오일쇼크이후 에너지 절약의 필요에 따라 전력회사로 역송전이 인정되었다. 또한 최근에는 리사이클문제가 대두되어 도시폐열의 유효이용, 특히 열가치가 높은 도시폐기물 처리공장에서의 폐열이 인정을 받게 된 것이다.

또한 일본의 경우 전국 도시폐기물 처리공장 약 1,900개소 가운데 폐기물을 이용하여 발전을 하는 곳은 145개 시설이고 그 발전용량은 56만kWh로 이것을 화석연료를 사용할 경우 약 96만t의 이산화탄소가 발생되는 셈이 된다. 이것은 쓰레기발전으로 삭감하는 것이다. 일본의 발전플랜트 가운데 최대발전용량은 25,000kW, 최소용량은 500kW로 그 폭이 매우 넓다. 최신의 600t/d의 소각플랜트의 발전설비 용량은 11,000~15,000kW이므로 단순히 생각할 때 약 250~340만kW의 발전소와 맞먹는다는 계산이 나온다.

폐기물 소각발전형태는 장래 소비전략과 발전형태, 터빈형식에 의한 발전형태로 나누어 생각할 수 있다.

그림 1은 보조연료를 사용하여 필요전력을 발전하는 적극발전방식을 보여주고 있다. 전량발전은 쓰레기 발열량 전량을 발전에 사용하는 것으로 적극적으로 賣電하며, 자체 소비분 발전은 자체 소비분만 발전하고 증기의 과잉분은 응축기로 방열한다. 또한 매진



[그림 1] 독일의 폐열이용 예

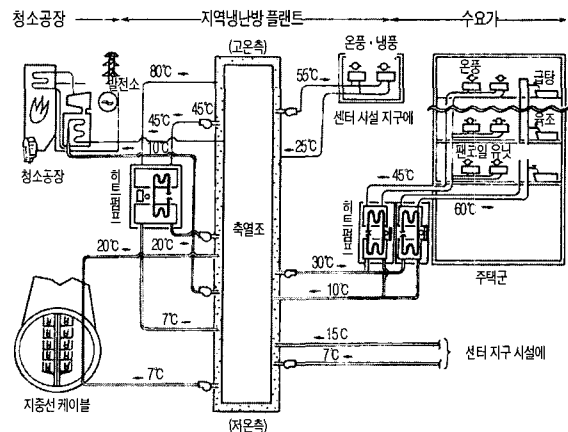
겸용발전은 자체 소비분의 베이스전력만을 발전하고 변동전력은 매전한다.

배압터빈은 발전량이 자체 사용량 정도이고 폐열이용이 많은 경우에 사용된다. 터빈의 배기압은 0.3kg/cm²G에서 폐열 회망압까지이고 배기는 정압이므로 터빈의 구조가 간단하며 열효율적으로는 열병합발전으로 할 경우, 75~80% 정도여서 산업용 자가발전에도 주로 사용되나 쓰레기 발전에도 많이 사용되고 있다.

복수터빈은 발전량을 최대로 할때 사용되고 배기압을 진공영역까지 낮출 수 있다. 배기의 냉각은 수냉식과 공냉식이 있으나 쓰레기의 발전에는 0.3kg/cm²G전후의 공냉식이 많다.

추기복수터빈은 공기에열기와 슈트블로어용 증기이외는 전량 터빈에 송기하여 열공급에 수요가 많은 4~8kg/cm²G의 증기를 필요량 추기하고 나머지는 진공콘덴서를 사용해 꽤 많은 전력을 얻으므로 계절에 따라 열수요 변동이 있을 때 경제적이다.

그림 2는 동경시의 지역냉난방시스템을 보여주고 있다. 300t/d 소각시스템에 있어서 복수터빈에 의하여 4,000kW의 발전을 하고 이 가운데 40~50%를 매전하고 있다. 공냉 응축기 외에 수냉 응축기를 설치하고 이것에 의하여 약 45℃의 온수를 만들어 약 12,000가구에 필요한 열량의 약 66%를 공급하고 있다. 온수온도가 낮으므로 히트펌프를 사용하여 약 60



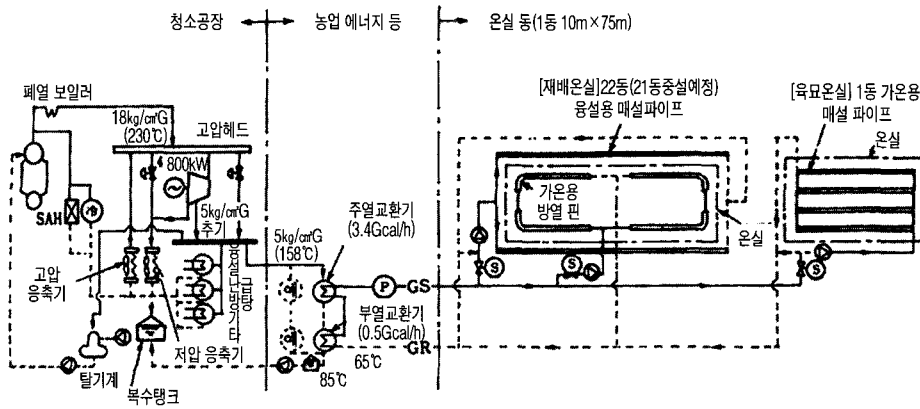
[그림 2] 동경시의 지역냉난방시스템

℃로 승온시킨다. 또 축열조를 사용하여 난방, 냉방, 급탕의 부하변동에 대비하고 있다.

그림 3은 호카이도의 시설원예의 폐열이용시스템을 보여 주고 있다. 600t/d의 소각플랜트의 추기배압터빈에 의하여 4,800kW의 발전을 하고 약 50%를 매전한다. 5kg/cm²G의 추기로 80℃의 온수를 만들고 재배 온실에 보낸다. 이것은 열량회수량의 36%에 해당된다. 농업지대에서는 앞으로 주목할 만한 방식이다.

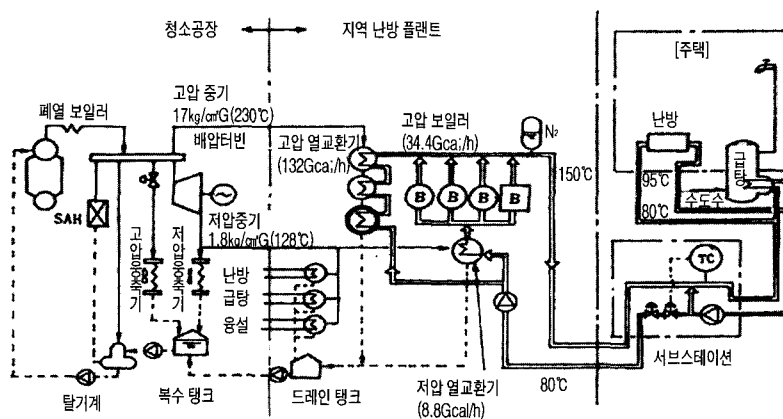
그림 4는 호카이도의 지역난방, 냉방, 급탕의 실시

공정을 보여주고 있다. 600t/d 소각플랜트의 배압터빈에 의하여 1,400kW의 발전을 하고 1.8kg/cm²G의 배압증기와 17kg/cm²G의 고압증기를 지역난방회사에 팔고 있다. 2단 열교환에 의하여 150℃의 고온수를 만들고 공영주택 6,200호, 개인주택 66호, 사택 330호, 공공시설 75,000m², 업무시설 150,000m², 상업시설 130,000m²의 난방 및 급탕을 한다. 공공, 업무, 상업시설에는 냉방도 한다.



주) 발전터빈 추기(5kg/cm²G, 158℃)를 농업에너지동에 보내어 이용하고 있다.

[그림 3] 호카이도 시설원예의 폐열이용시스템



주) 보일러 발생증기는 용도에 따라서 고압계(17kg/cm²G, 230℃)와 저압계(1.8kg/cm²G, 128℃)로 나누어 지는데 저압계는 배압터빈으로 발전(1,400kW)한 다음의 배기를 이용하고 있다.

[그림 4] 호카이도의 지역난방, 냉방, 급탕 실시공정

소각열이용의 문제점

폐기물이 보조연료없이 자체 발열량으로 연소 가능한 800kcal/kg이상인 경우는 소각시 발생하는 열량 소모가 거의 없으므로 주로 배가스가 열을 함유하고 배출되는 경우가 대부분이므로 소각열을 어떠한 형태로 회수하여 이용하는가는 적용 시스템에 따라 커다란 차이를 나타내게 된다.

폐기물 소각열을 이용하기 위한 기술로 증기발생에 관한 기술, 온수제조기술, 보일러를 동반하는 연소 장치에 관한 기술이 주로 80년대 전반에 피크현상을 이루고 있었으나 최근에는 고압증기를 이용한 발전, 열병합발전을 통한 집단에너지공급 등이 주를 이루고 있다. 온수제조 및 난방기술은 오래전부터 일반 보일러에서도 개발된 기술이지만 소각로용 폐열보일러는 소각시 발생하는 분진 및 부식성 가스에 대한 내식성이 매우 중요하므로 내식성 재료가 주로 개발되어 왔다. 폐기물 소각열을 직접 이용하여 열병합발전을 통한 집단에너지공급은 아직은 미미한 실정이며 주로 연료를 사용하는 열병합 발전시스템에 고온·고압증기를 제공하는 수준이다. 폐기물 소각열을 회수하여 발전하는 것은 발전 자원의 측면에서도 중요하다. 일본의 경우 쓰레기 발전량은 약 60만kW이지만, 1994년도의 종합 에너지 대책 추진 각료회의에서 2000년에 200만kW, 2010년에 400만kW를 달성하는 것을 목표로 정했다. 현재 일본에서 발전을 하고 있는 소각 시설이 약 150개소이지만 발전 효율이 10~15%로 낮은 것이 문제이다. 발전 효율의 저하는 주로 폐열 보일러의 연소 배기가스에 의한 부식성에 있으며 최근 고효율 발전(25~35%)을 목표로 고내식성의 보일러 수관용 재료의 연구 개발이 왕성하다. 재료는 내염산성이 주로 연구되고 있으며, 고Ni-Cr계 특수강철이 주류를 이룬다.

국내에서 폐기물 소각열회수는 폐열보일러에서 생산되는 고온·고압의 증기를 열병합발전시설에 공급하는 수준이며, 쓰레기 소각을 이용한 직접발전시설은 전무한 상태이다. 일반적으로 처리능력 100t/d 이상 도시 쓰레기 소각로에서는 에너지 회수를 위해 폐

열보일러를 붙여 발전을 하는 것이 보통이지만 쓰레기가 가지는 발열량으로 본 발전 효율은 10~15%에 머물고 있다. 그 이유는 쓰레기의 발열량이 낮고 소각시 발생하는 염화수소에 의한 부식성 때문에 폐열보일러에서 얻어지는 증기의 온도·압력에 제한(300℃, 30기압정도)을 받는다.

그런데, 최근 국내에서도 발전을 위한 자원으로 쓰레기 발전이 인식되고, 쓰레기발전시스템의 개발에 관심을 보이기 시작하고 있다. 그러나 발전효율의 향상책이 관건이라 하겠다. 국내에서도 활발히 진행되고 있는 폐기물의 RDF화는 발열량 향상과 석회분에 의한 산성 가스 억제에 의해 20~25%의 발전 효율이 가능하리라고 여겨지고 있다. 고발열량 쓰레기와 고내식성 재료를 사용한 보일러에 의해 고온·고압증기(400℃, 40기압정도)를 얻거나, 가스터빈발전의 배기가스로에서 증기를 재가열하는 방법 등도 검토되어야 할 것으로 판단되며, 이것과 맞춘 내염산성 보일러 수관용재료의 연구개발도 이루어져야 할 것으로 판단된다.

쓰레기 소각로의 경우 150℃이하에서는 저온부식이 일어나고, 320℃이상의 금속면에서는 고온부식이 일어난다. 320℃이상 480℃까지는 염화철 또는 알칼리철 황산염의 생성에 의한 부식이고, 480℃부터 700℃까지는 염화철 또는 알칼리철 황산염의 분해에 의한 부식으로 650℃에서 피크를 이룬다. 그 이상의 온도에서는 퇴적물이 완전히 분해하여 부식속도가 기상(氣相)에 의한 부식속도와 같은 속도가 된다. 이와 같은 부식은 소각시스템의 여러부위에 나타나고 있으나 소각열 이용을 위한 회수시스템에 일어나는 부식 및 방식대책을 표 1에 제시한다. 이러한 이유때문에 소각열을 회수하여 이용하기 위해서는 소각열 회수시스템의 부식방지대책이 필수적이며 지금도 내식성 재질개발이 꾸준히 연구되고 있다.

향후 기술개발 방향

소각열 이용기술인 “폐열보일러를 이용한 온수제조 및 난방”, “고압증기를 이용한 발전”에 관한 기술개발

<표 1> 부식의 종류와 대책

부식 위치		부식 상황	방식 대책
고온 부식	보일러의 증기과열기	관벽온도 320℃이상에서 부식되어 구멍이 뚫린다. 현재까지는 재질적으로 해결되지 않고 있다. (관벽온도=증기온도+20℃)	1)과열증기온도를 300℃이하로 억제한다 2)고압·고온이 필요하다 -가스온도 650℃까지의 위치에 배치한다. -해머링에 의한 더스트의 부착을 방지한다. -교환하기 쉬운 구조로 한다. -내식재를 연구개발하던가 고온부 과열기를 독립과열기로 별도설치하고 가스 또는 등유로 추가 열을 가한다.
저온 부식	온수열교환기	관벽온도가 약 150℃이하에서는 부식되어 단기간에 구멍이 뚫린다. 외부내식재 라이닝 정도로는 방지되지 않는다. (관벽온도=수온+5℃)	1)공기에열기로 고온공기를 만들고 공기-물의 열교환을 한다. 2)관의 내벽에 불소수지의 열저항막을 라이닝하여 관벽온도를 올린다. 3)2중관으로 하여 외관과 내관사이에 공기층을 두어 가스에 접촉하는 외관의 온도를 올려준다.

은 온수제조, 증기생산, 고압증기에 의한 발전, 열병합 발전을 통한 집단에너지 공급을 목적으로 소각장치와 보일러가 일체형으로 구성된 소각장치에 대한 것이 대부분이다. 에너지자원 및 환경이 전 세계적으로 공통적인 사회적 문제로 대두되기 시작한 1980년대에 기술개발이 활발하였는데 이는 1979년의 오일쇼크로 인하여 폐열이용에 관한 관심이 고조된 때문이다. 우리나라는 1998년에 특허건수가 상당히 많았으며 현재도 폐기물활용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 아쉬운 것은 개발기술의 대부분이 소규모 소각보일러에 집중되어 있다는 것이다.

폐기물소각열을 이용하기 위하여 일본의 경우 최근에 와서는 일명 “슈퍼 쓰레기 발전”이라는 발전기술이 활발히 연구개발 중에 있으며, 외국의 경우 폐기물 소각시설에서 사업용 발전소에 증기를 보내 고압·고온·고효율 발전에 의한 전력 또는 지역난방 등에 적극적으로 폐열을 이용하고 있다. 고온·고압화에 따른 고압보일러 구조 및 재질에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다.

기술발전을 분석하여 보면 폐기물 소각열을 이용하기 위해 폐열보일러가 부착된 단순형에서, 소각열을 이용하여 발전하기 위한 고압·고온용 보일러, 가스터빈 및 증기터빈 등이 조합된 폐열회수 시스템으로

기술이 발전한 것을 알 수 있다.

이와 같이 폐기물 소각발전이 에너지원으로 각광을 받을 것으로 예상되는 바 폐기물 소각발전시스템에 관한 국내 기술개발이 시급한 실정으로 사료된다.

또한 매립지 발생 가스(LFG : landfill gas)는 국내의 경우 현재 악취제거를 위해 소각열 회수 없이 단순 소각처리되고 있으나 LFG 이용 혹은 소각열 이용 측면에서, 전 세계적으로 약 260여개가 가동되고 있는 LFG를 이용한 발전시스템을 하루 빨리 도입하거나 시스템의 국산화가 절실한 실정이다.

따라서 국내의 소각열 이용을 위한 장기적인 기술개발을 도출한다면 다음과 같은 과제가 바람직 할 것으로 전망된다.

- 소각발전 시스템 개발
 - 고온·고압에 견디며 내식성이 강한 재질 개발
 - 고압보일러 개발
 - 가스터빈 국산화
 - 증기터빈 국산화
- 폐기물 소각발전시스템과 연계한 지역 냉난방 시스템 구축
- 사용처별 공급 증기압 제어 및 온수제조 시스템 개발