

도시 고형폐기물 처리시스템

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 박종만
(jmp21c2008@reseat.re.kr)

1. 기술의 배경

- 이 기술은 도시 고형폐기물(MSW : Municipal Solid Waste)의 재활용, 교정, 변환 처리시스템에 관한 것이다. 도시 고형폐기물은 주거용 쓰레기로 유/무기물을 포함하고 있으며, 미국 내에서는 1/3 정도가 재활용되고 있다.
 - MSW는 중앙의 자원 재활용 시설(MRF : Material Recycling Facility), 다수 폐기물 수거센터 및 재생처리기로 주기적으로 분류/수거/운반되어 처리된다. 혼합물의 경우 색깔별 플라스틱 빈에 분류하여 지자체/민간 대행업체에 의해 수거시설로 이동되거나 재생처리기로 처리된다.
 - 그러나 기존의 이러한 MSW 처리방법은 다음과 같은 단점을 갖고 있다.
 - 사전에 분류한 자원도 부가적인 수작업 분류가 필요하며, 가정에서의 분류/수거방식은 종래 단일흐름 수거/운반 이외에 특수트럭을 이용한 수송비(인건비)가 든다.
 - MRF는 단일흐름의 리사이클링에서 재활용에 앞서 수작업 선별이 용이하도록 분쇄되는데, 이는 작업조건이 열악하여 이직률이 높아 관리하기 어렵다.
 - 특히 분쇄기의 경우 재활용 물질의 분류에 장애를 해결하기 위한 전자적 방식은 고비용으로 사용에 제한이 있다.
 - 미국 내 고형폐기물의 15%는 소각되나 종래 소각로의 내화로에 유동적인 처리를 할 수 없다는 단점이 있다.
 - 연소율이 85%~90% 정도로 오염이 발생하며, 입력중량의 25% 정도인 타고남은 재와 불연 고체 잔유물의 50% 이상이 매립되므로 이로 인한 물, 공기 등 주위환경을 파괴할 수 있어 안전하게 설계되어야 하나, 대부분의 소각로는 오염물질에 대해 비합법적인 상태에 있다.
 - 최근 고체 폐기물 처리방법으로 이를 압축 박피하여 10피트 집적 후 표토하여 매립함으로써 침출수 방지/커버/배수/수위조절 등의

오염방지 설계, 가스누출방 등 전기에너지로 변환하려는 시도가 있다.
그러나 가스누출 방지수준이 90% 이하로 매립이 소각보다는 훨씬 해롭다.

- 따라서 환경영향을 최소화하기 위해 고품폐기물 처리에 대한 관리노력과 함께, 고품폐기물 사용에 대한 인센티브를 제공하는 시스템의 개선이 필요하다.

2. 고품폐기물 처리기술 요약

- MSW시스템은 폐기물 집적함거, 선별기, 보호스테이션, 골판재 프로세서, 조합설비, 1/2/3차 자동체인설비, 리미디에이터(remediator) 등으로 구성된다.
- MSW처리는 MSW의 수거운반, 재활용 물질의 자동선별, 전기 생산을 위한 연료추출 단계로 구성된다.
 - 집적함거는 선별기에 결합되어 크기별로 MSW 물질이 보내지면 보호스테이션은 MSW를 받아 1차선별하며 골판프로세서로 보내지면 재활용 가능 물질을 2차선별한다.
 - 조합설비는 2차선별 MSW를 받아 3차선별 하여 1차 자동체인기로 보낸다. 1차 자동체인기는 금속/유리 물질을, 2차 자동체인기는 종이/금속/플라스틱 물질을, 3차 자동체인기는 종이형태를 분리 제거한다.
 - 리미디에이터는 1/2/3차 선별과정에서 재활용 분리되지 않은 MSW를 받아 연료로 변환시킨다. 리미디에이터에서 생산된 연료는 스팀을 생산하고 전기를 생산하는 데 사용된다.

3. 고품폐기물 처리기술 구성과 상세원리

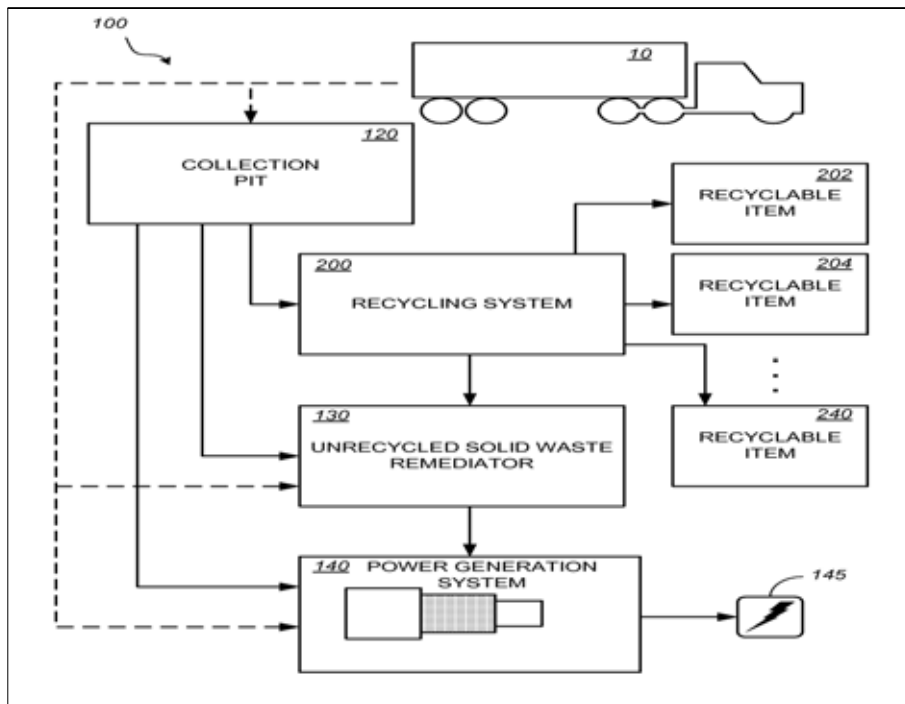
- 이 기술은 자원회복을 위한 최근의 경향인 고품폐기물 처리를 넘어 오염을 감소시키고, 고도로 자동화된 MSW 통합폐기 처리과정을 통해 인력을 최소화시키는 패러다임을 반영한다. 잔여유기물이나 재활용불가 물질은 전기 생산을 위한 연료로 변환된다.

- 이 기술은 종래 MRF처리와 같이 수작업에 의한 재활용을 용이하게 한다기보다는 재활용 물질을 통합관리 하는 것에 초점을 두고 있다.
 - 재활용되지 않는 물질은 리미디에이터를 통해 연료로 변환되어 증기를 생성, 발전시스템에 의해 전기를 생산한다.
 - 리미디에이터는 폐기물 처리과정을 개선시키고 있지만, 여전히 소각로의 개선 여지가 더 많이 남아 있다.
 - 플라스틱류는 분리/저장되며 재활용되지 않는 플라스틱은 분쇄/건조되어 리미디에이터로 보내진다. 금속류는 식별/제거된다. 유리조각이나 색깔별로 식별되고 세라믹류와 분리되며 병은 재활용 세척된다.
 - MSW안의 유기물은 재활용되지 않으며 스팀과 전기로 변환된다.
 - 유기물과 분리된 무기물은 보도/빌딩의 블록 같은 콘크리트제품 생산에 사용된다.
 - 플라스틱 재활용과 증금속류의 분리는 소각과 매립에 의한 오염 및 유해가스 방출을 개선시키며 생산비용 저감 및 환경적 이익 창출에 기여한다.

- MSW 처리시스템은 집적함거, 재활용시스템, 재활용불가 고형쓰레기 리미디에이터, 발전시스템 등으로 구성된다. 트럭은 일 8~12시간 집적함거로 MSW를 운반한다. 재활용시스템은 재활용 물질을 저장하고 재활용되지 않는 물질은 리미디에이터로 보낸다. 재활용시스템에 의해 생산되는 연료와 유기성 쓰레기는 지속적인 발전시스템을 가동시키기에 충분하다.
 - 재활용시스템은 집적함거, 선별기, 보호스테이션, 골판재 프로세서, 조합설비, 1,2,3차 자동체인설비, 리미디에이터 등으로 구성된다.
 - 선별기는 집적함거에서 MSW흐름을 받아 물질크기별로 구분 배출한다. 배출물질들은 보호스테이션과 1,2,3차 자동체인설비에 연결된다.
 - 각 체인은 자동제어 선별장비로 구성되며 작업자에 의해 운영되는 보호스테이션은 대형 혹은 위험 MSW로부터 골판재 프로세서를 보호한다. 보호스테이션 작업자는 미감지 MSW를 제거한다.
 - 1차 자동설비는 금속/유리를 포함한 재활용 물질을 제거하고 2차 자동설비는 2차 선별기와 보호스테이션으로부터 중간규모의 MSW를 받아 처리한다.
 - 3차 자동설비는 2차 자동설비로부터 종이물질과 골판재 프로세서의 배출물질을 받아 분리/제거한다.

- 고품폐기물 리미디에이터는 트럭, 집적함거, 보호스테이션, 1,2,3차 자동체인설비에서 고품폐기물을 받아 연료로 변환시킨다.
- MSW를 처리하기 위한 시스템(100)의 구성은 <그림 1>과 같다. 시스템(100)은 집적함거(120), 재활용 시스템(200), 잔류 고품폐기물 리미디에이터(130), 발전시스템(140)을 포함한다.

<그림 1> MSW 처리시스템



- 집적함거(120)는 종래의 폐기물 수거트럭(10)으로부터 MSW를 받아 집적한다. 생활폐기물, 음식물 쓰레기, 목재부스러기 같은 유기성 물질은 재활용되지 않는 고품폐기물의 리미디에이터(130)에 의해 변환되기 전에 분쇄기로 보내진다.
- 지역 및 연방법규 하에서, 재활용되지 않는 유기성 폐기물은 재활용시스템(200)과 리미디에이터(130)를 거치지 않고 전기 생성을 위해 발전 시스템(140)에서 직접 소모될 수 있다.
- 이러한 유기성 폐기물은 사용식용유, 하수 슬러지 등이며 이를 운반하는 트럭(10)은 재활용시스템(200)을 거치지 않고 리미디에이터(130) 투입 전처리과정이나 발전시스템 버너 부근으로 진입한다.
- 이같이 고품폐기물은 처리메커니즘에 따라 재활용시스템(200), 리미디

- 에이터(130) 및 발전시스템(140) 등의 시스템(100) 요소와 경로가 다양하게 적용될 수 있다.
- 기계 장치는 차량, 슈트, 엘리베이터, 컨베이어, 롤러, 자동식 계단 등을 포함한다.
 - 재활용시스템(200)에 대한 실시예가 <그림 2>에 나타내져 있다. 재활용시스템(200)은 경로(201)를 통해 집적함거(120)로부터 고품폐기물을 받아 재활용되지 않는 비순환 잔여쓰레기가 리미디에이터(130)로 투입되기 전에 재활용 형태별로 분류한다.
 - 재활용시스템(200)은 선별기(210), 1,2,3차 자동체인 설비(260,280,290)와 보호스테이션(220), 봉투 오프너(230), 골판재 프로세서(240), 유리스크린(250), 금속 분류기(270)로 구성된다.
 - 선별기(210)는 집적함거(120)로부터 폐기물 분류를 위해 구성되며 봉투는 선별기에서 해체된다.
 - 경로(211)에서 미해체된 봉투는 보호스테이션(220)에서 작업자가 체크하여 경로(221)를 통해 봉투오프너(230)로 보내 해체시켜 경로(231)를 통해 경로(201)로 되돌려져 선별기(210)로 반환된다.
 - 제거된 쓰레기봉투는 리미디에이터(130)로 수거되고 선별기(210)는 1차 선별보다 큰 물질을 경로(211)를 통해 보호스테이션(220)으로 보낸다.
 - 1차선별보다 작지만 2차선별보다 큰 물질은 경로(215)를 통해 유리스크린으로 보낸다. 2차보다 작은 물질은 경로(213)를 통해 1차 자동체인 설비(260)로 보낸다.
 - 선별기(210)는 다양한 경로로 물질을 선별하기 위해 핑거 데크나 다중스크린을 구성하고 있다.
 - 핑거 데크의 1차 선별거리 제원은 8인치이고 2차는 1인치 정도로서 MSW를 이 크기에 맞춰 이동시킨다.
 - 1차 선별크기보다 큰 물질은 선별기(210)를 거치지 않을 수 있으며, 상대적으로 큰 물질도 별도처리 준비를 위해 경로(203)를 통해 저장(302)될 수 있다.
 - 보호스테이션(220)의 작업자는 자동설비가 보호되도록 대형폐기물을 분리하고 폐기처리 경로에서 봉투 속의 숨겨진 유리나 플라스틱 용기를 제거한다.
 - 제거 폐기물은 경로(227)를 통해 유리재활용 창고(326)/플라스틱재활용 창고(302)로 이동한다. 추가처리 과정이 필요할 수도 있다.

- 골판재 용기는 경로(225)를 통해 골판재 프로세서(240)로 지속 처리되며 보호스테이션에서 작업자에게 식별되지 않고 2차 선별크기보다. 큰 유기물질은 경로(222)를 통해 분쇄/건조되어 리미디에이터(130)로 보내진다.
- 골판재 프로세서(240)는 골판재 용기를 받아 분류하여 세 경로 중 한 경로로 골판재 창고로 보내며 원지는 경로(241)를 통해 창고(324)로 보낸다.
- 종이 같은 파이버기반 물질은 경로(245)를 통해 분리되어 경로(297)를 통해 리미디에이터(130)에 의해 변환된다.
- 유리스크린(250)은 경로(215)를 통해 선별기(210)로부터 중간크기 물질을 받고 작은 물질은 경로(251)를 통해 1차 자동체인설비로 보내고 큰 물질은 경로(253)를 통해 2차 자동체인설비로 보낸다.
- 2차 자동체인설비(280)는 경로(223)를 통해 보호스테이션(220)으로부터 1차 선별크기보다 작은 물질을 받는다.
- 1차 자동체인설비(260)는 선별기(210)로부터 가장 작은 물질을 받으며, 금속/색(호박, 그린, 플린트)유리를 분리하여 경로(269/261,263, 265)를 통해 금속분류기/유리 창고(270/304,306,308)로 보낸다.
- 세라믹 및 미확인 물질은 경로(267)를 통해 리미디에이터(130)로 보낸다.
- 2차 자동체인설비(280)는 유리스크린(250)으로부터 1차 선별크기보다 작고 2차 선별크기보다 큰 플라스틱 물질을 받으며, 다양한 물질별로 분리하여 창고로 보낸다.
- 또한 금속물질을 분리하여 경로(281)를 통해 금속분류기(270)로 보낸다. 금속분류기(270)는 철/비철합금을 분리하여 경로(271/273)을 통해 창고(310/312)에 저장한다.
- 3차 자동체인설비(290)는 2차 자동체인설비(280)로부터 종이물질을 받고 골판재 프로세서(240)로부터 경로(245)를 통해 골판재를 받는다.
- 3차 자동체인설비(290)는 MSW로부터 파이버 물질을 식별하고 종이 종류별로 분리하며 경로(291,293,295)를 통해 신문창고(322,320, 318)로 보낸다.

성능 강화와 효과향상을 통해 오염을 최소화하고 자원생산성 최적화에 기여하는 효과가 있다.

- 제품과 물질의 전 수명주기평가(TLCA: Total Life Cycle Assessment) 과정상 reverse 원류관리의 과학적 단초를 제공해주며, 생산자 재활용 책임제도(EPR)의 실효성 확보에 기여할 수 있다.
 - 이 기술 목적상, 도시 고형폐기물의 수거 및 운반 인건비의 절감, 단일 스트림 재활용(Single Stream Recycling) 작업조건 개선과 이직률 완화, 분쇄기 분류장애 개선, 소각로 내화로 유연 운영, 에너지 회수율 향상에 효과가 있다.
- 이 기술은 제품의 원료, 소재, 생산, 수송, 사용, 재활용, 폐기 등의 전 과정에 있어 환경부하를 최소화하고 에너지 효율을 향상시키는 소재, 공정, 제품 및 재활용 기술에 응용될 수 있다.
- 이 기술의 응용분야는 주로 포장류, 골판재 및 종이류, 유리병류, 금속 캔류, 플라스틱류의 폐기물 저감 및 재활용 기술 분야와 폐기물 에너지화 기술 분야이다.
 - 재활용 물질의 재질별 분리추출 기술, 저비용 선별기술, 열 교환 발전 기술 개선에 응용될 수 있다 아울러 유해 폐기물 적정처리 관련 바젤 협약, 런던협약 등 국제 환경규제 및 협약강화 이행을 위한 선 처리 기술개발과 전략수립에 응용될 수 있다.
 - 에너지 회수율 증대를 위한 제도 및 다음과 같은 기술의 선 처리 기술 개발에 응용될 수 있다.
 - 폐기물 유해성 제거 기술
 - 가연성 폐기물, 고함수율 유기성 폐기물, 매립가스 등의 대체에너지화 기술
 - 천연가스, 알코올 등의 고급에너지화 기술

출처 : ENVIRONMENTAL EQUIPMENT MANUFACTURING CONSOLIDATED, LLC, " SYSTEMS AND METHODS FOR PROCESSING MUNICIPAL SOLID WASTE ", WO2009006384, pp.1~47

◁ 전문가 제언 ▷

- 미국의 2007 Municipal Solid Waste Characterization 보고서에 따르면 미국인들은 2007년 총 2억5,400만 톤의 고형폐기물을 배출하고 이 중 8,500만 톤을 재활용했다고 한다. 매일 1인당 2.3kg 정도를 재활용한 것이며 증가 추세에 있다. 미국환경보호국(EPA)은 2008년 이후 재활용률 제고를 위해 재활용 경진대회, 음식폐기물의 비료화, 재활용 전문가 인증 교육 등과 같은 일련의 프로그램을 실시하고 있다.
- 재활용사업은 기업의 비용저감으로 경제적 이익과 동시에 일자리 창출 및 실업대책에 기여할 수 있다. 미국의 연간 재활용시장은 2,000억 달러 규모로서 5만 개의 재활용시설과 100만에 달하는 인구를 고용하고 있으며, 매년 재활용산업이 창출하는 수익은 370억 달러에 이른다.
- 정부는 2012까지의 정책목표로 발생 억제/재사용 및 재활용/에너지자원화 측면에서 생활폐기물의 1인당 1일 발생량을 0.9kg, 산업폐기물 발생량을 톤당 50kg 이내, 부담금 대상 플라스틱 재활용률 50%, 용기 재사용률 93%, EPR 대상 생활폐기물 재활용률 60% 및 재활용산업 매출액 6조원 이상 등의 목표를 수립하고 다양한 수단을 강구하고 있다. 이에 일자리 창출 및 환경산업의 해외수출 등에 대한 실천적 대책수립이 필요하다.
- 재활용 정책의 주요 수단으로는 EPR 제도, 재활용산업 육성 지원, 전기 전자제품 및 자동차 재활용, 순환골재 재활용 등이 추진되고 있으며, 에너지 자원화 수단으로는 폐기물 이용 신재생에너지 개발, 매립시설 및 소각시설 에너지 회수 촉진, 에너지화 기술 개발 등이 추진되고 있다. 이에 따라 탄소 마일리지 같은 인센티브 제도를 적극 도입할 필요가 있다.