

생활폐기물 고품연료제품의 화재위험과 안전대책에 관한 연구

-A Study on Fire Risk & Countermeasure of RDF(Refuse Derived Fuel)-

정의수* · 강경식**

Abstract

세계의 모든 나라가 화석연료를 대체하는 태양광, 풍력 등의 그린에너지 기술개발에 주력하고 있으며, 한편으로는 에너지의 효율제고 및 재생을 위하여 폐기물로부터의 자원순환을 이룩하는 폐기에너지 회수에도 많은 노력을 기울이고 있다. 그 하나의 방안이 버려지는 쓰레기에서 에너지를 회수하는 고품재생연료인 RDF(생활폐기물 고품연료 제품, Refuse Derived Fuel) 생산이다. 우리나라에서는 유일하게 강원도 원주시에서 하루 80톤을 생산하고 있으며 아직은 기술도입 초기단계에 있는 가연성폐기물의 연료화 기술이다. RDF의 특성은 불연성 성분이 제거된 일반 가연물을 분쇄하여 압출성형 가공한 펠릿형상의 고품연료로서의 열적 특성이 우수하나 화재안전 측면에서는 제조 및 취급과정에서의 일반적인 가연물 화재위험성을 가지고 있고, 저장과정에서는 축열발열에 의한 자연발화 위험성이 상존하며, 저장형태, 특히 사이로의 경우 구조특성으로 인하여 화재진압도 쉽지않다. 본 논문에서는 일본의 RDF 화재사례를 중심으로 그 화재 위험 특성과 안전대책을 고찰하고자 한다.

1. 서론

우리나라에서는 2006년에 328,952톤/일의 폐기물이 발생(생활폐기물 4.8% 48,843톤/일, 사업장폐기물 30.7% 101,099톤/일, 건설폐기물 51.4% 168,984톤/일, 지정폐기물 3.2% 10,026톤/일)하고 있으며 발생된 폐기물에서 165,763톤/일(52.0%)는 재활용되고, 57,333톤/일은 가연성으로 생활폐기물 18,520톤/일(32.3%), 건설폐기물 2,737톤/일(4.8%), 사업폐기물 36,076톤/일(62.9%)로 구성되어 있다. ASTM에서는 가연성 폐기물을 연료화하는 분류기준으로 배출된 상태 그대로 연료화하는 방법(RDF-1), 과쇄 및

본 논문은 명지대학교 안전경영연구소 협력에 의해 이루어진 논문임.

* (주) 한국소방

** 명지대학교 안전경영연구소

분쇄하여 연료화하는 방법(RDF-2~RDF-4), 분쇄된 폐기물을 성형하여 연료화하는 방법(RDF-5) 및 액상(RDF-6) 또는 기상(RDF-7)으로 가공하여 연료화하는 방법으로 구분하고 있다. 국내에서는 RDF, RPF(폐플라스틱 고품질연료제품, Refuse Plastic Fuel, RPF)는 성형연료로 전환되어 에너지화되며, RDF-5), 생활폐기물은 지방자치단체에서 운영하는 소각시설에서 열병합발전, 지역난방 등으로 여열이 회수되고 있다.

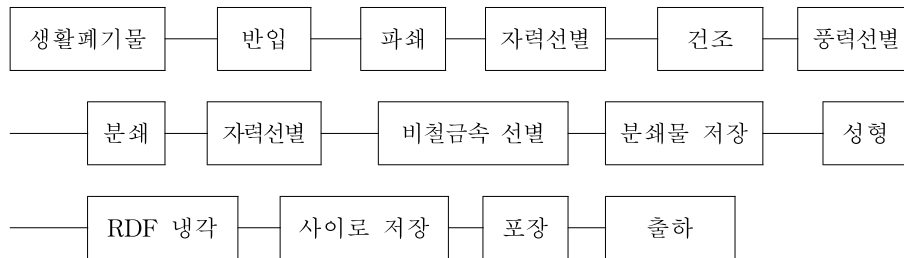
RDF를 생산하는 폐기물 처리업은 한국표준산업분류(통계청 고시 제 2007-53호, 2007. 12. 28, 2008. 2. 1시행)에서 “E 하수·폐기물 처리, 원료재생 및 환경복원업”으로 분류하고 있으므로 RDF 제조는 원료재생업으로 본다.

국내에서 폐기물처리하여 재활용하는 원료재생업에서의 화재는 흔히 발생하고 있으나, RDF를 제조, 저장 및 소비하는 시설에서의 화재·폭발사고는 보고된 바 없다. 일본의 경우 2003년에 발생한 미에현(三重縣) 고품질연료발전소의 RDF 저장 사이로에서 8월 14일 화재사고(부상 4명)와 8월 19일 화재·폭발사고(2명 사망, 1명 부상)가 연이어 발생하여 사회 문제화되었으며 안전대책이 확보되지 않은 RDF 신기술에 대한 조사·연구가 진행되었다.

2. RDF 제품특성과 사용처

2.1 RDF 제조공정

RDF 생산시설의 주요공정은 다음과 같다.



[그림 1] RDF 생산공정도

2.2 RDF의 품질·등급 및 사용처

원주시의 RDF와 같은 형상의 RDF의 품질과 등급은 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」 시행규칙에 따라 한국환경자원공사에서 동 규칙 별표 7(고품질연료제품의 품질·등급기준)에 의거 인증하고 있다. RDF는 폐기물의 감량, 재활용 및 에너지화에 기여하지만 제조시 반입된 폐기물의 성분이 불균일함에 따라 품질은 다양할 수 있어

다음과 같이 품질·등급기준을 정하고 있다.

- 크기 : 직경 30mm이하(원형기준), 길이 100mm이하
- 저위발열량 : 3,500~4,500kcal/kg(4등급), 4,500~5,500kcal/kg(3등급)
5,500~6,500kcal/kg(2등급), 6,500kcal/kg이상(1등급)
*KS E 3731에서 연탄의 발열량은 4,600Kcal/kg이상임.
- 수분 : 10.0w%이하
- 회분 : 20.0w%이하
- 염소 : 1.5~2.0w%(4등급), 1.0~1.5w%(3등급), 0.5~1.0w%(2등급), 0.5w%미만(1등급)
- 황분 : 0.6w%이하
- 기타 : 수은 카드뮴, 납, 비소, 크롬 등의 규정된 금속성분

RDF는 폐기물의 특성상 연소 후 배출 폐가스의 관리문제가 있어 대기환경보전법, 잔류성 유기오염물질관리법에 따라 배출허용기준을 적용하여 환경부장관이 인정하여 고시하는 시설로서 시멘트 소성로, 고회전연료제품 전용발전시설, 10MW이상인 화력발전시설, 석탄사용량이 시간당 2톤 이상인 지역난방시설, 산업용보일러, 제철소의 로, RDF사용량이 400kg/h이상인 전용보일러 등에서 사용할 수 있다.

2.3 일본의 RDF 생산 및 소비시설

일본은 1987년부터 RDF-제조 및 이를 연료로 하는 보일러시설을 건설하여 산업에 이용하고 있으며(아이치현 타하라쵸 리사이클센터) 1997년부터 본격적으로 발전시설, 여열회수시설, 시멘트 킬른, 제철소 등에서 연료로 사용하였다. 2005년 현재 56개소의 RDF제조시설이 가동되어 연간 40만톤을 생산하고 있으며 폐기물 소각시설(목재나 석탄과 혼소하는 시설 포함)중에서 발전시설을 운영하는 곳은 286개소이고 여열을 이용하는 시설은 904개소이다. 대표적인 대용량 RDF 전용발전소는 카시마 공동재 자원화센터(주)(2001년 가동, RDF 처리량 100톤/일, 인근 2개소의 RDF 제조장), 이시카와 북부 RDF 광역처리조합(2002년 가동, RDF 처리량 160톤/일, 인근 5개소의 RDF 제조장), 미에 폐기물 고회전연료 발전소(2002년 가동, RDF 처리량 240톤/일, 인근 7개소의 RDF 제조장), 오무타 리사이클발전소(2003년 가동, RDF 처리량 315톤/일, 인근 9개소의 RDF 제조장, 저장시설 14,000m³), 후쿠야마 리사이클발전소(2004년 가동, RDF 처리량 314톤/일, 인근 7개소의 RDF 제조장, 저장시설 20,000m³) 등이 있다.

3. 일본의 RDF 화재·폭발사고의 개요

일본 폐기물처리시설 기술관리자협의회에서 실시한 사고사례조사보고서(1996~2003)에서 화재 205건, 폭발 211건이 조사되었다. 폐기물에 의한 화재·폭발 영향은 인명

및 재산상의 피해, 사업중지 등과 화재시 발생하는 유해가스에 의한 대기오염, 토양오염, 소화수에 의한 하천이나 지하수의 환경오염의 문제가 크게 부각되고 있다. 특히 퇴적폐기물의 양과 발열량 및 연소특성과 밀폐구조의 공정시설로 인하여 소화작업이 용이하지 않으며, 경우에 따라서는 장기간(2002년 사이다마현 화재 19일간 연소, 2004년 나카사키현 화재 : 13개월 연소, 2004년 후쿠오카현 화재 : 12개월 연소 등) 지속되어 주민들은 악취, 천식, 가려움 등 건강상의 위협과 경제적 피해를 받았다.

3.1 RDF 화재 · 폭발 사례

3.1.1 미에(三重) 폐기물 고형연료 발전소 사례

2003년 8월 19일 RDF를 연료로 사용하는 발전소의 RDF저장탱크(H:22.3m, 내경:15.4m, 저장능력 4,000m³)에서 혼소중(최초확인: 7/20 수증기발생, 7/27 발열, 발화확인)이던 탱크의 소화작업을 위해 소방관, 발전소관계자 10 여명이 방수작업을 하던중 폭발(탱크지붕은 날아감)하여 소방관 2명이 사망하고 1명이 부상을 입었다. 이 탱크는 사고일 5일전, 8월 14일에도 폭발사고가 발생하여 4명이 부상을 당했으며, 7월에는 동 탱크용 RDF를 임시 저장하는 스즈카 시내의 창고에서도 자연발화가 발생하였다. 이 발전소는 2002년 12월 가동 후 저장탱크 하부에서 이상발열로 RDF 일부 소손 경험이 있었다. 이 사고를 계기로 전국의 RDF발전소 15개소에 대한 사고조사위킹그룹이 설치되었고 2003.11.22 사고조사 최종보고서가 제출되었다. 이 보고서에서 RDF가 발열, 발화단계에서 열분해에 의한 가연성가스가 발생하고, 일부는 혐기성균에 의한 발효로 발생한 가연성가스가 축적되어 공기의 혼입, 화원의 발생으로 폭발이 용이하게 발생한 것으로 기술하였다.

3.1.2 이바라키현(茨城縣) 고형연료 제조, 이용시설의 사례

미에(三重) 폐기물 고형연료 발전소의 폭발사고 후 이바라키현에서는 2003년 9월 3일까지 RDF를 취급하는 12개소의 시설을 긴급조사를 실시하였고, 그 결과 4개소에서 화재 또는 발열 등의 이상상태를 확인하였다.

3.1.3 이시가와(石川) 북부 RDF센터의 사례

2004년 10월 15일 저녁 무렵 RDF 저장사이로(저장능력 5,000m³중 2,800톤 저장 중) 상부에서 약 40℃의 이상발열(통상은 실온)을 발견하였다. 12월 9일까지 질소를 주입하여 냉각하였다.

3.1.4 오무타(大牟田) 리사이클발전소 사례

2003년 9월 23일 RDF저장 사이로 하부의 불출(拂出) 콘베이어 부근에서 감시온도계의 온도가 상승하여 콘베이어 점검구를 통하여 확인한 결과 흰 연기가 피어오르고 있어 분말소화기 6개를 사용하고 콘베이어에 남아 있던 RDF를 제거하였다. 그 후 질소탱크로리 3대를 이용하여 질소를 봉입하여 냉각 및 산소농도를 18%로 낮추었다.

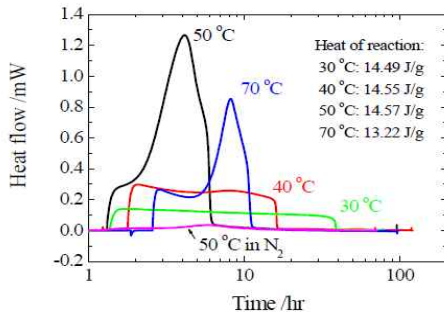
3.2 RDF의 발열·화재·폭발 메커니즘의 검토

3.2.1 유기물의 발효에 의한 발열

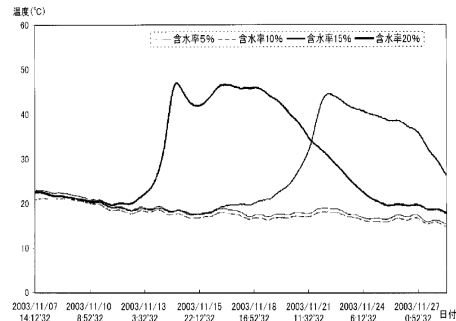
RDF는 일반폐기물로서 생쓰레기와 같은 유기물을 포함하고 있어 일정 조건에서는 발열(34J/g), 발효가 일어나 온도상승의 가능성(약20℃~약24℃)이 있다. RDF 제조공정에서는 부패방지를 위하여 반입된 폐기물을 건조시키고 생석회나 소석회를 첨가하여 PH조정을 하고 있다. 그러나 펠릿 공정 후 냉각조건, 장기간 보관에 따른 습도와 방열조건의 관리방법에 따라 건조의 발열과 같은 발효발열을 일으킬 가능성이 있다. 발효에 영향을 미치는 요소로는 수분, PH, 형상, 보관온도, 미생물의 존재여부, 퇴적상황, 보관기간 등이 있다. 10% 미만의 함수량에서는 발효가 방지되나 10%을 넘으면 곰팡이 발생이 현저해지고 미생물의 발생에 적당한 수분이 된다. 12%에서는 3일만에 발효가 확인되었다. RDF에 수분의 증가에 영향을 미치는 요인으로는

- 저장소 외부로 부터의 가습(우수, 고온다습한 환경 등으로부터 흡습)
- 저장소내 온도구배에 따른 수분의 이동
- 저장소내 상부공간에 공기중의 수분이 저장조 내벽에 결로

함수율에 따라 발생된 발효에 의한 RDF의 온도상승을 보면 다음 그림 2와 같고 고감도등온식열량계(TAM)에 의해 가열온도별 발생열량은 그림 3과 같다.



[그림 2] 발효에 의한 RDF 온도상승



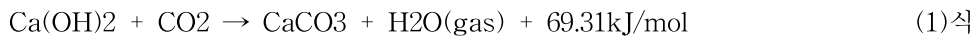
[그림 3] RDF의 발열곡선(TAM-III)

수분을 함유한 RDF펠릿은 팽창하여 그 형상이 무너지고 표면적이 증가되어 발효가 촉진되고 소석회를 첨가한 RDF는 PH가 상승하여 발효를 억제하지만 일단 발효를 개시하면 대사에 의한 탄산가스가 발생하여 PH농도를 낮추어 발효가 진행된다. 퇴비화 과정에서는 호기성 미생물이 활동하여 70℃~80℃까지 온도가 상승하고 발열>방열조건으로 쌓아 올리거나 퇴적시키면 단열조건이 좋아지고 온도는 더욱 상승한다. RDF가 발효하기 위해서는 미생물이 필요하다. RDF가 고온으로 건조 및 압축성형되어도 미생물은 사멸하지 않고 존재하므로 냉각 후 수분 등의 조건이 주어지면 발효는 시작된다.

펠릿형상으로 제조가 끝난 RDF가 저장고 반입시에 충분한 냉각이 이루어지지 않고, 저장기간이 길어지면 외기와의 접촉시간이 증가하여 흡습량이 많아지며 소석회도 탄산화가 진행되어 미생물의 발효가 용이해 진다.

3.2.2 무기물의 화학반응에 의한 발열

RDF는 철분과 비철금속이 선별되고 분리되었지만 완전히 제거하기는 불가능하며 여러 가지의 무기물이 파쇄되어 분산되어 있고, 제조과정중에 RDF의 경도를 확보하기 위해 약 2%의 소석회(수산화칼슘)이 첨가되어 다양한 화학반응을 일으킬 수 있는 잠재성이 있다. 예를 들면



여기에서 두 경우 모두 발열반응이 되고 (2식)에서는 수소가스가 발생하는 것에 대하여 유의할 필요가 있다.

3.2.3 유기물의 화학적 산화에 의한 발열

유기물은 공기와 접촉하면 80℃부터 자동산화반응을 일으키고 분해 등의 화학적 반응에 의해 발열한다. 반응속도는 온도와 깊은 관계가 있으며 온도가 10℃ 상승하면 반응속도는 2~3배 증가한다. 이러한 조건은 물성에서 열전도율이 적고, 발열량이 크며, 촉매가 되는 물질이 존재하고, 불순물이 있으면 반응을 일으키기 쉬우며 물리적 상태로는 공기의 유동이 있고, 온도가 높고, 적당한 수분이 있으며, 분해하기 쉬운 물질이 분말이나 섬유에 함침되어 표면적이 넓고, 대량·고밀도로 집적되어 있으면 좋은 반응조건이 된다.

3.2.4 마찰에 의한 발열

RDF가 저장고로부터 연소장치까지 이동하는 과정에서 과부하로 인한 RDF간의 마찰, 기계적 불량에 의한 콘베이어와 RDF사이 마찰 등은 접촉면에 과도한 마찰열을 일으켜 고온에 이르게 된다.

3.2.5 폭발메커니즘

RDF 저장시설 등에서 폭발이 일어나기 위해서는 가연성 가스의 발생, 공기와 가연성 가스의 혼합 및 점화원이 존재하여야 한다. 고온역으로서 RDF를 무산소 상태에서 가열하면 일산화탄소, 수소, 메탄 등의 가연성가스가 열분해가스로 발생하며, 또한 (2식)에서와 같이 수소가스가 발생할 가능성도 있다. 저온역으로는 염기성 발효에 의한 수소가스가 발생하기도 한다. 공기의 공급은 RDF반출에 필요한 개구부로부터의 유입과 화재시 주수에 의한 공기유입 또는 저장소 내부의 냉각에 따른 공기의 유입을 예

상할 수 있다. 점화원으로는 연소중인 RDF화염, 마찰이나 충격불꽃 또는 인근의 화기 등을 화원으로 할 수 있다.

3.3 RDF의 자연발화 위험성

3.3.1 외기 온도와 퇴적층내의 온도변화

RDF를 사이로에 저장하는 경우 퇴적층의 온도가 외기보다 낮은 경우에는 퇴적층이 깊을수록, 사이로의 중심에 가까울수록 퇴적층 온도가 낮으나 반대로 사이로 벽면에 가까울수록 온도가 외기에 근접하고 시간이 경과할수록 온도가 높아지는 온도변화를 보이며 퇴적층의 온도가 외기보다 높은 경우에는 사이로 내부온도가 외부로 발산되는 과정으로서 저장용적의 중심부에서 사이로의 벽면, 기초층, 사이로 지붕을 향해 열의 흐름이 발생된다. 이때 방열속도 보다 발열속도가 큰 경우에는 단열성이 높은 중심부분의 온도상승이 지속되고(축열되고) 발화온도에 이르게 된다. 퇴적에 의한 자연발화는 Frank-Kamenetskii의 열발화이론으로 설명되고 그 관계식은 다음 (3)식과 같으며 정성적 관계식으로 발화온도와 퇴적층의 높이는 반비례한다.

$$\ln T_c + a/2T_c = \ln r + (1/2) [\ln (a \cdot \Delta T / \delta c a) - b] \quad (3) \text{식}$$

여기에서 T_c : 한계발화온도 (최저발화온도에 상당),

T : 온도,

r : 퇴적반경

δc : Frank-Kamenetskii의 변수,

c_p : 정압비열,

E : 활성화에너지,

A : 빈도인자,

R : 기체정수,

H : 반응열,

a : 열확산율,

Δ : 차, $a = E/R$, $b = \ln [(\Delta T \cdot c_p) / (\Delta H \cdot A)]$,

c : 물 열용량,

ρ : 물농도 (밀도에 상당) .

清水芳忠 등의 시험연구에서는 단열상태에서 RDF의 온도가 80℃부근까지 상승하면 산화분해에 의한 자기발열로 발화온도까지 온도가 상승할 가능성이 있다고 보았다.

3.3.2 수분과 압밀(壓密)에 의한 RDF의 외형붕괴

RDF는 수분이 10%미만의 건조한 상태로 제조되어 저장하기 때문에 주로 흡습에 의한 수분의 응축으로 응축열을 얻어 온도가 상승할 수 있으나 실제로는 RDF 표층에의 막상응축(膜狀凝縮) 또는 적상응축(滴狀凝縮)은 단열효과를 가져다 주어 흡습에 의한 온도상승은 그

다지 없다. 흡습에 의한 응축된 수분은 중심으로 이동하고, 퇴적 표층에서는 외기와의 평형을 이루는 건조에 의한 증발이 계속된다. 시간의 경과에 따라 중심층으로 수분이 증가하고 RDF의 퇴적자중에 의한 하중으로 압밀이 일어나 RDF의 일부는 외형이 붕괴되고 미립화(微粒化)된다. 이것은 RDF 분말상으로 표면적이 증대되고 압밀에 의한 단열성도 증대되어 발효 또는 산화반응이 일어나기 쉬운 조건으로 변하여 축열발화의 가능성이 있다.

4. RDF의 화재·폭발 방지대책

RDF는 저장조건에 의하여 축열하기 쉬우며, 고온이 되면 가연성가스 발생가능성이 높으며, 미생물에 의한 가연성 발효가스를 발생시킬 가능성이 있다. 또한 사이로에서 발화되면 연소가 지속되고 화재 진압은 환기지배형 화재이기 때문에 더욱 어렵게 된다. 따라서 일반 가연물화재와 같은 점화원의 제거, 고온물체의 접촉방지, 전기적 스파크나 누전방지 등을 물론 다음의 대책에 유의하여야 한다.

(1) 축열방지를 위한 저장소 구조와 설비

적정수준의 습도유지, 결로방지, 구조적 방열조건의 유지관리, 환기설비의 유지 등을 위한 관리대책을 수립한다. 특히 한 장소에 대량저장된 RDF는 방열조건이 불량하여 유기물의 화학적 산화(저온산화)에 의해 자기발열 가능성이 있으므로 축열방지를 위한 저장소 관리기준이 필요하다.

(2) 온도 및 발생가스의 측정

퇴적층 내부의 온도측정 및 이상온도 경보장치, 가스농도 측정장치를 설치하고 축열 위험성을 사전에 파악하기 위하여 고압시차열천칭(高壓示差熱天秤), 자연발화시험장치(自然發火試驗裝置) 등의 시험장치를 활용한다.

(3) 저장기간과 점검주기

RDF의 흡습특성상 최장 저장기간(3주 ~1개월 미만)을 설정하여 선입선출방식으로 연료를 순환시키는 것을 원칙으로 한다. 또한 저장 사이로에 채투입시에는 완전배출하여 내부점검을 하여 장기간 저장된 RDF의 체류를 방지한다. 따라서 저장소의 점검주기도 최장 저장기간을 균등하여 점검주기를 설정한다.

(4) 긴급배출장치

화재시 연소상태에 따라서 RDF가 사이로 내에서 고착, 브릿지를 형성방지를 위해 강제안전 배출시설을 설치한다.

(5) 화재감시 및 소화설비

열, 연기 및 적외선 감시센서를 설치 및 저장소, 이송피트 등에 대량 주수(注水)를 위한 소화전 및 급수시설을 확보하고 질소나 이산화탄소를 봉입(封入)하여 연소공간을

냉각 및 불활성화시킬 수 있도록 하여야 한다. 사이로의 구조특성 및 화재진압완료 확
인까지의 소요시간을 감안하여 충분한 량의 가스를 예비하여야 한다.

(6) 기타분야

RDF를 제조하거나 취급하는 장소 중 특히 공공시설에서는 유관기관과의 연락 및
협조체계를 갖추어 화재사고 등에 대비하여야 한다. 또한 관계자에게는 RDF의 저장,
화재진압등에 관한 사전 교육이 필요하다.

5. 결 언

폐기물은 다양한 물질로 구성되어 있으며, 그 위험성은 가연성, 부식성, 반응성, 독성,
폭발성, 방사성 및 생물학적 위험성 등으로 요약될 수 있다. 생활폐기물을 주원료로 하
는 일반 가연성의 RDF는 일정량 이상의 수분을 함유하면 어느 정도 발열하고 내부의
온도가 상승하고 미소발열이 계속되어 산화반응이 일어나는 50℃정도까지 내부온도가
상승하고 80℃정도에 이르면 산화반응은 촉진되어 자연발화에 이르게 된다. 일본의 경
우에도 불과 7년 전의 축열화재 사고에서 배운 시행착오를 거쳐 안정적인 생산과 소비
가 이루어지고 있다. RDF는 제조시 반입되는 폐기물의 종류에 따라 그 연소특성에 영
향을 주는 만큼 RDF에 관한 지속적인 시험과 연구를 통하여 물리·화학적 성상과 발
화위험 이론을 정립하여야 할 것이다. RDF는 경제성보다는 환경과 자원의 한계를 극복
하는 에너지 문제인 동시에 제조와 소비단계에서의 화재안전의 확보는 필수조건이다.

6. 참 고 문 헌

- [1] 통계청(2007), “한국표준산업분류(통계청 고시 제 2007-53호, 2007. 12. 28)”
- [2] 한국환경자원공사(2008), Waste-to-Energy Report(Vol.1)
- [3] 若倉正英(2006), “廢棄物による火災爆發の特徴と危険性評価について”, 豫防時報, Vol.224, P36~41, 日本損害保險協會
- [4] (獨)産業安全研究所(2004), “ごみ固形化燃料(RDF)の爆發・火災の危険性と安全な
取扱いについて”, 産業安全研究所安全ガイド NIIS-SG-No.3
- [5] 清水芳忠, 内田剛史, 若倉正英, 新井充(2007), “ごみ固形化燃料の熱危険性評価, 2007 研
究報告”, 神奈川県産業技術センター
- [6] 清水芳忠, 内田剛史, 若倉正英, 新井充, “廢棄物の蓄熱發火に關する研究”
<http://www.kanagawa-iri.go.jp/kitri/kouhou/program/H18/pdf181020/3402.pdf>
- [7] 荻原 瑠외 6인(2006), “廢棄物處理施設における事故事例解析及び安全管理システムの
構築”, 神奈川県産學公交流研究發表會, 神奈川県産業技術センター
- [8] 古積 博(2008), “最近の廢棄物、再生資源の物性からみた火災危険”, 第11回 消防防災
研究講演會資料, 消防廳 消防大學校