

열분석 실험에 의한 화약류 폐기물의 화재원인분석에 관한 연구

Study on the Fire Cause Analysis for Explosives Waste by Thermal Analysis Experiment

Jae-Sun Koh^{a,*}

^a Department of Fire Safety Engineering, University of Howon, 64 Howondaegil, Impi, Gunsan-si, Jeollabuk-do, Republic of Korea

ABSTRACT

when the explosive wastes to be treated as designated wastes are brought into the wastes treatment plant by mistake and lead to an explosion in the wastes disposal process, many people and property damage are involved. Waste should be treated properly. As mentioned in this paper, ignition reaction tests of ignitable re-burning of explosives packing material waste (solid butadiene) confirmed that ignition was easily occurred, and that even small ignition sources were easily ignited and burned quickly and explosively. In particular, when explosives are loaded into incineration wastes in large quantities and mixed with organic compound wastes, such as fire and explosion accidents caused by explosives packing materials at waste disposal sites, flammable and oxidative gases are generated due to mutual oxidation and pyrolysis. It is confirmed that there is a possibility that ignition sources such as spark ignite and instantaneously lead to explosion. It is hoped that this study will be a small reference for on-site detection in the field of fire, and it is expected that the fire-fighting agency will be recognized as a fire investigation agency and will contribute to the improvement of the credibility.

KEYWORDS

Explosives
Waste,
Carbonization,
Thermal
Decomposition,
Mass
Spectrometric,
Ignition,
Resonance
Structure,
Double Bond,
Pressure shock.

지정(특수)폐기물로 처리되어야 할 폭발성 폐기물이 일반폐기물 처리장에 잘못 반입되어 폐기물 처리과정에서 폭발사고로 이어졌을 때 많은 인명과 재산피해가 수반되므로 향후 폐기물 배출업체는 처리에 적합 가능한 처리시설로 폐기물을 처리하여야 한다. 본론에서 언급한 바와 같이 화약류 포장재 폐기물(고체부타디엔)의 착화재연실험에서 모두 발화위험성이 확인되었고, 작은 점화원에도 쉽게 착화되어 급속하고 폭발적으로 연소되는 형태를 나타낼 수 있었다. 특히 폐기물처리장에서의 화약류 포장재에 의한 화재·폭발사고 사례와 같이 화약류 포장재 폐기물이 소각폐기물처리장에 대량으로 반입되어 유기화합물 폐기물과 혼재되어 있을 때는 상호 산화반응과 열분해 등으로 가연성, 산화성 가스가 발생되어 스파크 등 점화원에 의해 착화되며 순간적으로 폭발로 이어지는 개연성이 있음을 확인 할 수 있었다. 본연구가 화재현장에서의 현장 감식에 있어서 작은 참고자료가 되었으면 하는 바람과 과학적인 발화원인 관정으로 소방기관이 화재조사 전문기관으로서 대외적인 공신력을 인정받고 신뢰성 향상에 기여하는 계기가 되기를 기대한다.

화약류폐기물,
탄화,
열분해,
질량분석기,
점화,
공명구조,
이중결합,
가압충격.

© 2018 Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel.+82-063-450-7284. Fax.+82-063-7280
E-Mail. 119kjs@howon.ac.kr

ARTICLE HISTORY

Received Feb, 20, 2018
Revised Feb, 20, 2018
Accepted Mar. 31, 2018

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

급진전하는 도시화와 경제성장되면서 최근 도시의 인구집중으로 가정과 사업장으로부터 배출되는 생활폐기물의 질이 다양화되고 가연성 소각폐기물의 양이 증가하는 추세에 있으며 2005년부터 대형생활폐기물 소각시설에 음식물폐기물 직·매립 금지제도가 시행함에 따라 반입폐기물 가연분 함량은 증가되고, 수분 함량은 감소되면서 폐기물의 발화개연성이 높아졌다. 또한 반입된 가연성 폐기물의 저장 및 소각처리가 원활하지 못하고 작업과정에서 부주의에 의한 폐기물 화재가 종종 발생하고 있고 대부분 피해가 중대한 것으로서, 이에 대한 대책이 절실한 시점에 와 있다. 최근 폐기물처리시설 화재현장을 조사하면서 연소패턴 및 발화원, 피해내역 등 탄화형태가 특이한 사례가 있어 화재원인에 대해 다각적으로 검토하던 중 일반폐기물 소각처리시설에 지정(특수)폐기물로 처리되어야 할 폐기물이 일반 가연성 폐기물로 운송 반입되어 처리되는 과정에서 폭발 및 화재가 발생하였다. 폭발에 따른 급격한 연소진행과 폭발 비산재로 인한 주변으로의 연소확대, 발화지점에서 작업하던 인부들의 심각한 인명피해와 막대한 재산피해가 발생한 화약류 포장재 폐기물(고체부타디엔) 폭발사고를 중심으로 원인분석을 통하여 개선점을 도출하고자 하였다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구에서는 소각대상 폐기물 처리공정과 작업과정에서 일반적으로 발생할 수 있는 화재발생 개연성에 대하여 살펴보고, 화재·폭발사고에 대한 일반적 이해와 “국립과학수사연구원” 과 공동으로 화약류포장재 폐기물의 물질안전보건자료(MSDS)를 기초로 한 물질분석 및 ASTM E 1508을 이용한 물질 표면분석기를 통한 성분분석, Clarus 600 GC/MS를 이용한 질량분석, JCL-22(pyrolyzer)을 이용한 열분해 성분분석을 통해 발화가능성을 분석해 과학적으로 추론 가능한 결과를 도출하고, 화재원인 분석 자료로 제공하고자 한다. Fig 1은 본 연구의 개요도 이다.

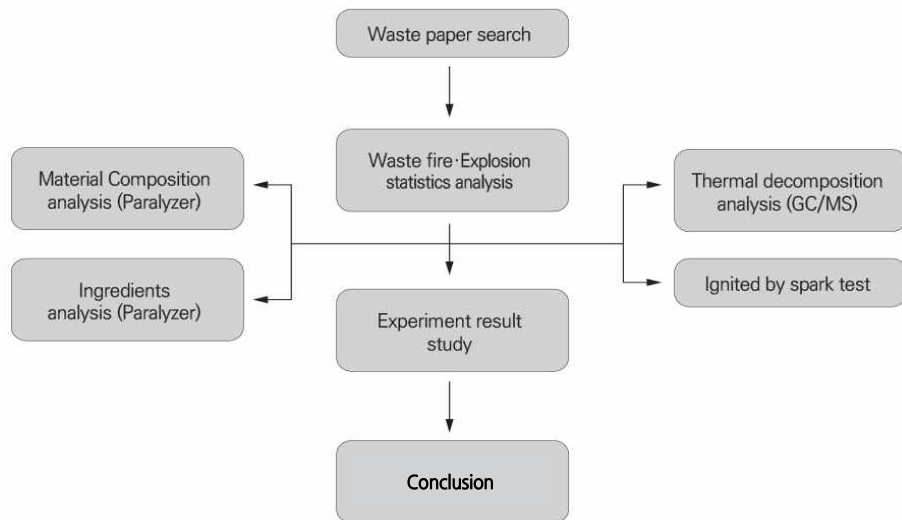


Fig. 1. Research scheme

2. 폐기물 화재·폭발 통계분석^{1,2,3)}

폐기물이라 함은 쓰레기, 연소재, 오니, 폐유, 폐산, 폐 알칼리 및 동물의 사체 등으로서 사람의 생활이나 사업 활동에 필요하지 아니하게 된 물질을 말하고, 폭발성 폐기물이라 함은 일반적인 폐기물에 “위험물안전관리법”에 정의된 위험물(1류~5류)이 포함된 폐기물 또는 충격시험을 통하여 위험성이 큰 것 중 환경청장이 정하는 폐기물을 말한다. Table 1을 살펴보면 통계상으로 최근 3년간 전체 화재건수에서 폐기물처리시설 화재가 차지하는 비율은 낮게 나타나며 현장에서 화재조사관은 발화원 발굴이나 현장 감식에 집중하기 보다는 단순한 쓰레기 화재로 처리하는 경우가 많았다고 볼 수 있다.

Table 1. The last three years damage status due to the waste fire· explosion

(unit : person, million won)

Classification	Fire case			Casualties			Property damage		
	Total	Waste	Rate(%)	Total	Waste	Rate(%)	Total	Waste	Rate(%)
Average	1,586	3	0.2	77	0	0	9,706	12	0.12
2016	1,537	1	0.06	96	0	0	10,271	5	0.05
2015	1,562	3	0.2	63	0	0	8,832	7	0.08
2014	1,660	5	0.3	74	0	0	10,014	24	0.24

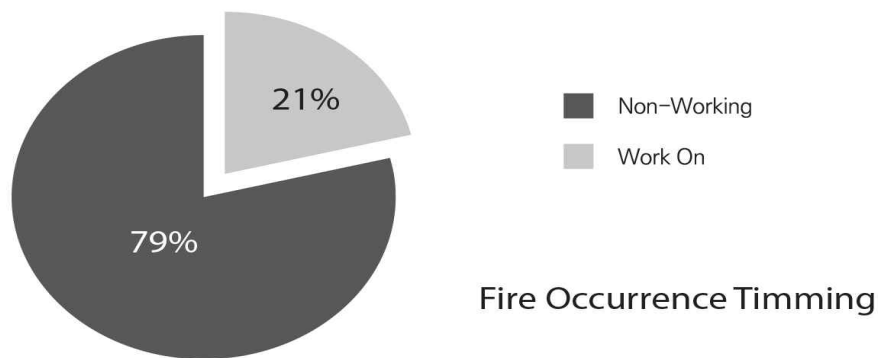


Fig. 2. When fire proportion of waste treatment facilities

Table 2. Jeonbuk waste treatment facilities Fire statistics (2012~2016)

No	Year	Site	Casualties (Person)	Damage (thousand Won)	Work on	Cause
1	2012.010.8	Jeonju	0	3300	working	Electrical Factors
2	2012.01.25	Gunsan	0	12,015	working	Unknown
3	2012.02.08	Gunsan	0	806	working	Chemical factors-Autoignition
4	2012.09.02	Gunsan	0	1,610	non-working	Chemical factors-Autoignition
5	2013.10.23	Iksan	0	9,523	in work	Autoignition
6	2013.11.06	Gunsan	0	112	working	Chemical factors-Autoignition
7	2013.01.01	Iksan	0	0	in work	Mistaken for dispatch
8	2013.01.03	Gunsan	0	948	working	Chemical

						factors-Autoignition
9	2013.02.21	Iksan	0	0	non-working	Mistaken for dispatch
10	2014.06.03	Kimje	0	0	working	Mistaken for dispatch
11	2014.07.07	Kimje	0	3242	working	Mechanical overload
12	2014.01.12	Jeonju	0	0	working	Mistaken for dispatch
13	2014.3.24	Jeonju	0	0	working	Mistaken for dispatch
14	2016.04.24	Jeonju	Death 2 Injured 6	124,956	working	Physical pressure
15	2015.04.12	Gunsan	0	0	working	Unknown
16	2015.09.02	Kimje	0	4555	non-working	Unknown
17	2015.05.03	Gunsan	0	0	working	Unknown
18	2016.04.26	Gunsan	0	12,777	non-working	Chemical factors-Autoignition
19	2016.03.30	Jeonju	0	2337	working	Friction Sparks
Total	(3.8 event / yr)waste fire occurrence		Death 2 Injured 6	176,181	working - 15 non working - 4	Chemical-6 Electric-1 Friction Sparks-1 Shock explosion-1 Mechanical overload-1 Unknown-9
Average				9272/ accident	working-0.79 nonworking-0.21	

또한 Table 2와 Fig 2를 살펴보면 비작업 중 21%의 자연발화보다 보다 작업 중 화재 폭발사고가 79%로 분석되어 많이 발생함을 볼 수 있다. Table 3을 살펴보면 폐기물처리장은 경기도가 175곳으로 가장 많은 처리시설을 가지고 있으며 서울이 7곳으로서 가장 적은 처리시설을 가지고 있음을 볼 수 있다. 또한 폐기물 감경처리시설은 총 93곳으로서 서울이 12곳으로 가장 많이 보유하고 있으며 경기가 7곳, 제주가 1곳 등으로 조사 되었다.

Table 3. The national waste company information (unit : No. of)

Classification	Total	Dispose of waste treatment facilities	Dispose of waste reduction facility
Seoul	19	7	12
Busan	75	68	7
Degu	19	17	2
Incheon	105	87	18
Gwangju	16	14	2
Daejen	21	18	3
Ulsan	50	50	0
Sejong	13	11	2
Gyeonggi	182	175	7
Gangwon	57	53	4
Chungbuk	43	43	0
Chungnam	81	76	5
Jeonbuk	49	48	1
Jeonnam	71	67	4
Gyeongbuk	112	105	7
Gyeongnam	101	83	18
Jeju	14	13	1
Total	1,028	935	93

3. 화약류 폐기를 화재·폭발 사례 분석^{4,5)}

본 논문에서 사용한 화재사례는 2014년 전주시 덕진구 여의동 00환경(주)에서 물리적 가압충격(스파크)폭발로 추정되는 사고로서, 인명 피해는 8명(사망 2, 부상 6), 부동산은 조립식 철골조 칼라강판 1동 (1층 1270.89㎡중 500㎡ 소실), 굴삭기, 집게차, 트럭, 건설 폐기물 처리설비, 기타 자재류가 파손된 사고이다.



Fig. 3. Packaging waste explosives fire explosion accident scene

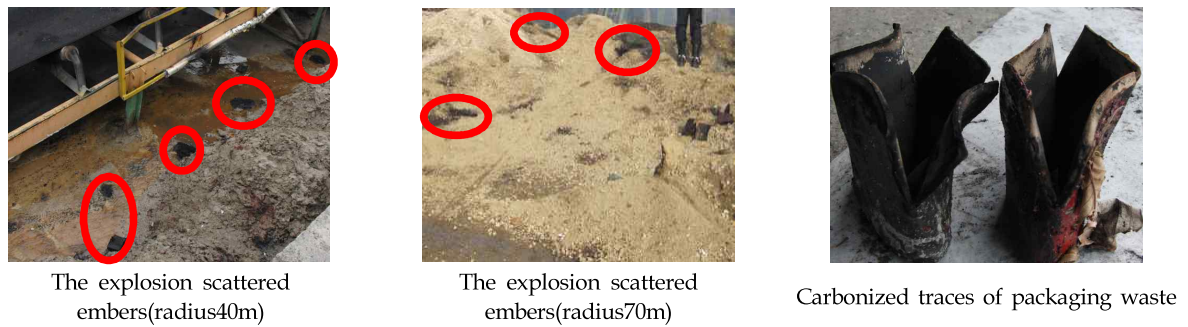


Fig. 4. Packaging waste explosives after the accident evidence

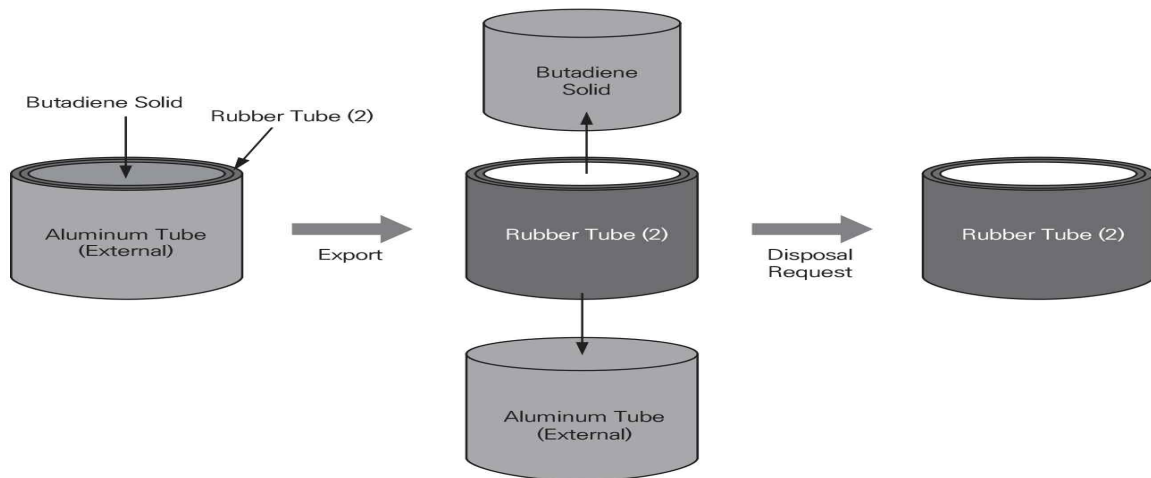


Fig. 5. Butadiene solid distribution channels⁶⁾

이 사고를 자세히 살펴보면 Fig 5에 나타난 바와 같이 사고 전일 폐기물 운반처리업체로부터 반입된 고무튜브(부타디엔 포장재)를 샘플 소각테스트 결과 소각처리가 불가하다고 판단되어 선별 작업한 폐기물을 반송하기 위하여 집게차로 화약류 포장재 폐기물을 운반차량 적재함에 싣는 과정에서 스파크에 의한 가압충격으로 폭발하면서 화재 폭발이 발생한 사고이다. 또한 이 사고는 Fig 3과 Fig 4에 나타난바와 같이 불씨가 70m 반경까지 비산하여 주변 가연물에 동시 다발적 착화 연소된 것으로 추정되는 사고이다. 고체 부타디엔에는 탈수산화부타디엔 약 80%와 과염소산암모늄을 포함한 다른 물질이 20%정도 함유되어 있을 것으로 추정되며, 고체 부타디엔에 과산화암모늄이 포함되어 있다. 또한 고체부타디엔에 함유된 과염소산암모늄 추출물은 특히 출원되어 전량 미국으로 수출하고 있으며, 과염소산암모늄 추출과정은 고체부타디엔을 물에 용해시켜 가열 후 백색의 가루형태인 소금입자 크기로 추출한다. 그러나 과염소산암모늄 추출 후 고무튜브에는 고체부타디엔 등 혼합물이 일부 남아 있어 100% 제거는 불가능한 상태이다. 사고 발생 원인으로는 먼저 가압 충격에 의한 폭발로서 굴삭기 집게 압력에 의해 과염소산암모늄 등이 포함된 부타디엔이 가열폭발 또는 부타디엔 가연성가스에 불꽃 착화되어 폭발된 것으로 추정되며, 두 번째 추정원인으로는 포크레인 집게가 부타디엔과 과염소산암모늄 혼합물이 남아 있는 고무튜브를 집을 때 발생한 압력에 의한 폭발로 추정된다. (압력 → 발열반응 → 폭발), 그리고 고체 부타디엔과 과염소산암모늄 혼합물에서 발생한 가연성 가스가 포크레인 집게로 집을 때 지면 등에 부딪혀 발생한 불꽃에 의해 폭발한 것으로 추정된다.(마찰스파크에 의한 폭발, 부타디엔 혼합물 가연성 가스발생 → 불꽃 점화원 → 폭발)

4. 화약류 포장재 폐기물의 과학적인 분석을 통한 발화가능성 분석^{7,8,9)}

4.1 화약류 포장재 폐기물 표면의 주요 성분검토

Table 4의 부타디엔은 탄소원자 4개로 이루어지는 골은 사슬모양의 구조에 이중결합을 2개 가지고 있으며, 부타디엔에는 1,2-부타디엔과 1,3-부타디엔의 두 이성질체가 있다.

Table 4. Butadiene Material Safety Data Sheet(MSDS, CAS No. of : 106-99-0)

Classification	Contents	Classification	Contents
Product	Butadiene	Chemical symbol	H2C=CHCH=CH2
Appearance	A colorless, odorless gas at ambient temperature	Melting/boiling point	-4.4/-136.21℃
Flash point	60℃	Ignition point	450℃
Stability and reactivity	- Applying pressure, and liquefied easily ignited - Dehydration oxidation butadiene is used a lot of solid propellant rockets or missiles		

Table 5. Ammonium perchlorate Material Safety Data Sheet(MSDS, CAS No.of : 7790-98-9)

Classification	Contents	Classification	Contents
Product	Ammonium perchlorate	Chemical symbol	NH ₄ ClO ₄
Appearance	Physical solid crystal, white powder	Melting/boiling point	200/130℃
Ignition point	240℃	-	-
Stability and reactivity	- As a strong oxidizing agent, friction, impact, heat exposure explosion - Contact with combustible materials ignite and explode violently - Explosion by spontaneous chemical reaction		

1,2-부타디엔은 메틸알렌이라고도하며, 흔히 부타디엔이라고 할 때는 1,3-부타디엔을 가리킨다. 천연으로는 존재하지 않고, 1863년에 처음으로 퓨젤유(油)의 열분해에 의하여 생기는 기체 속에서 확인되었다. 구조적으로 보면 가장 간단한 짝 이중 결합을 가지고 있으므로, 두 이중결합의 π 전자가 단일결합을 통하여 서로 작용한다. 따라서 단일결합은 이중결합으로 이중결합은 단일결합을 약간 가진 것으로 되어 공명이론(共鳴理論)으로부터 유도되는 구조와 일치한다. Table 5의 흰색 결정상의 과염소산암모늄(Ammonium Perchlorate, NH_4ClO_4) 물질은 대체로 열에 안정적이지만 유기물질등과 혼합되면 상당한 에너지를 내놓으며 반응하고, 충격과 폭발 성향은 폭약의 재료와 우주왕복선의 고체연료 부스터의 산화제로 사용된다.

4.2 화약류 포장재 폐기물인 고체부타디엔 물질분석

재연실험에 앞서 화약류 포장재 폐기물의 폭발적 연소 가능성을 찾기 위하여 화재당시 현장에서 수거한 탄화되지 않은 포장재 폐기물과 고무류 포장재에 잔존한 고체부타디엔이 탄화된 포장재폐기물 표면에 묻어있는 고체부타디엔의 성분분석을 ASTM E 1508을 이용하여 물질 표면분석기를 통한 성분분석을 실시하여 Fig 6, Fig 7과 같은 실험 결과를 도출하였다.

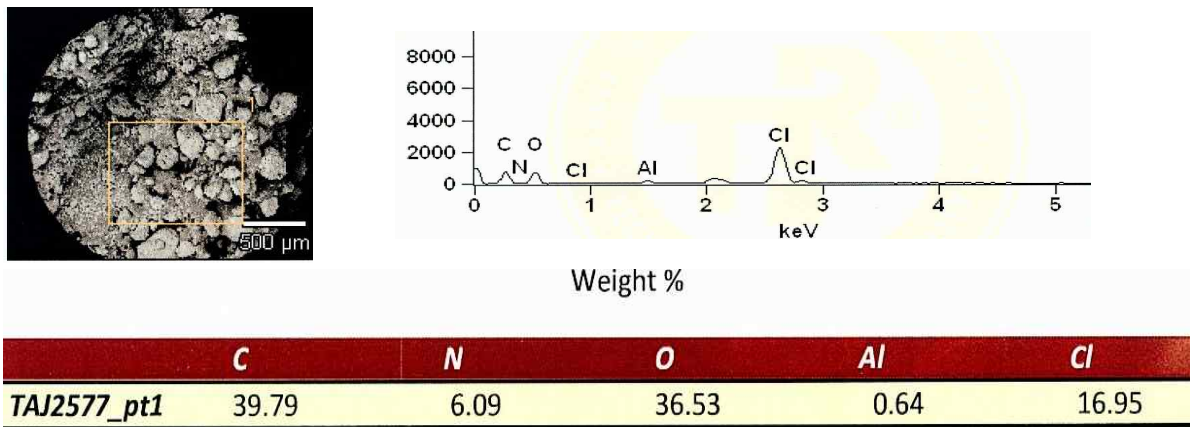


Fig. 6. Not carbonized packaging waste analysis (Sample 1)

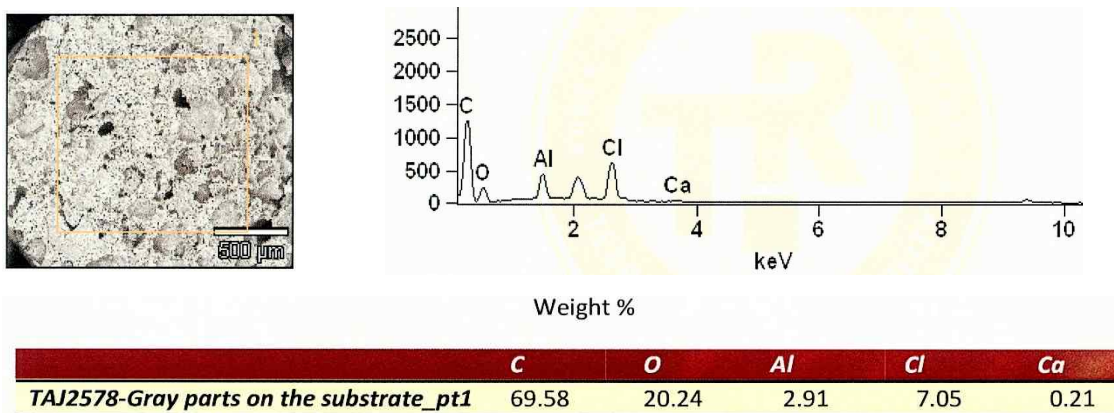


Fig. 7. Carbonized packaging waste analysis (Sample 2)

먼저 Fig 6의 시료1(탄화되지 않은 포장재 폐기물)분석결과로는 탄소 39.79%, 산소 36.53, 염소 16.95%, 질소 6.09%, 알루미늄 0.64%순으로 분석 되었고, 일반적으로 화약류에 폭발물질(질소산화물)로 분류되는 N, Al이 함유되어 있었다.

또한 비닐계 화합물과 관련이 높은 Cl 및 C와 O가 다량 함유되어 있는 점으로 보아 기본적으로 가연성, 연소성, 산화성이 충족되어 있는 물질로 점화원에 의해 착화가능성이 있으며, 연료 등으로 사용되는 유기물질과 혼합된 상태에서는 점화원에 의하여 급격한 연소 및 폭발 위험성이 더 높은 것으로 판단된다.

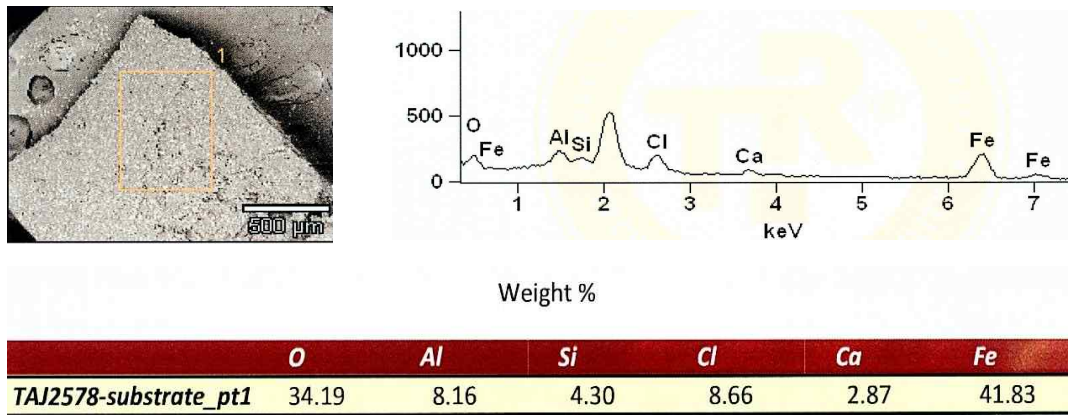


Fig. 8. Carbonized rubber packing explosives analysis (Sample 3)

Fig. 7은 탄화된 포장재 폐기물 표면에 묻어있는 고체부타디엔의 성분분석을 한 결과로서 그 결과 탄소 69.58%, 산소 20.24%, 염소 7.05%, 알루미늄 2.91%, 칼슘 0.21%순으로 분석 되었다. 시료 1과 다른 점은 연소 전 질소성분이 없어지고 연소 후 칼슘으로 대체된 것을 볼 수 있다. Fig 8을 분석한 결과를 살펴보면 철 41.83%, 산소 34.19%, 염소 8.66%, 알루미늄 8.16%, 실리콘 4.30%, 칼슘 2.87%순으로 분석되었고, Fig 8의 시료 3은 적색 고무라이어로 함유량이 많은 것으로 나타났으며 Fe는 포장재에 염색으로 사용한 염료성분의 산화철로 판단된다.

4.3 화약류 포장재 폐기물(고체부타디엔) 열분해 분석

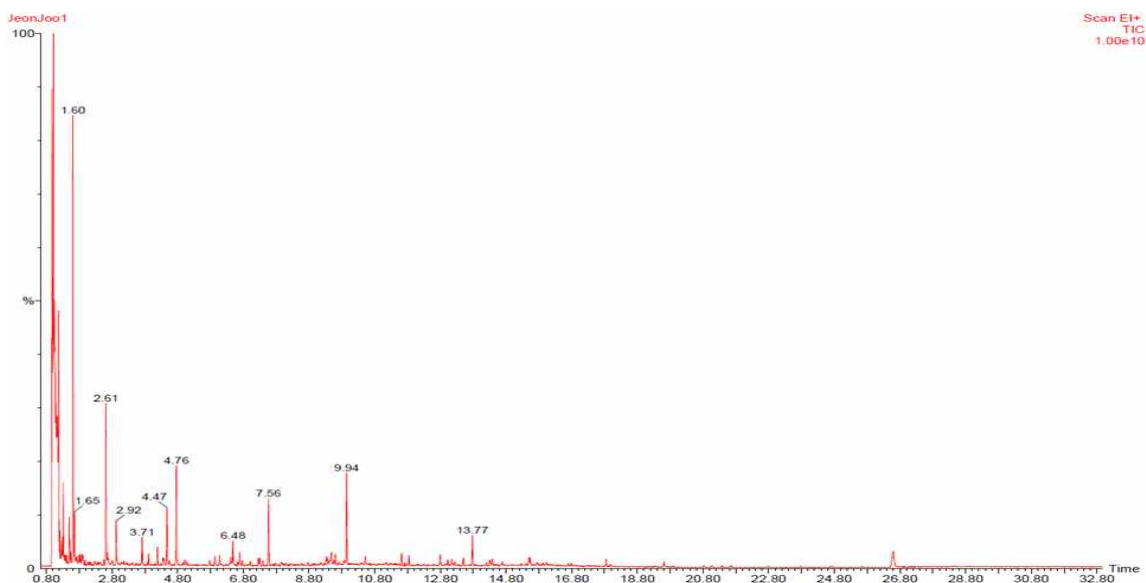


Fig. 9. Total ion chromatogram analysis of the carbonized explosives rubber casing

다음은 시료 2의 화약류 포장재 폐기물의 고체부타디엔에 대한 물질분석 으로서 먼저 Fig 9는 Clarus 600 GC/MS을 이용한 가스크로마토그래프의 질량 분석과 그리고 Table 6은 JCL-22을 이용한 pyrolyzer/열분해로 성분분석을 실시한 결과이다. 분석결과로는 Fig 9와 Table 6에 나타난 바와 같이 폐기물의 회색물질(고체부타디엔)에는 산화성, 가연성 물질과 인화점이 낮은 물질이 다수 함유되어 있는 점으로 보아 자체 산화반응이 촉진되고 유기화합물과 혼합되면 착화, 발화가 쉽고 급격한 연소반응으로 진행되는 것으로 나타났다. 또한 Table 6을 살펴보면 0.97분에 인화점이 28.5℃인 (2-aziridinylenthy)amine이 나타났으며, 1.17분에 인화점이 25℃, 발화점이 640℃인 1,3-cyclopentadiene, 그리고 2.61분에 인화점이 4℃, 발화점이 480℃인 toluene, 26.59분에 인화점이 211℃인 azelaic acid di(2-ethylhexyl)ester이 나타남을 볼 수 있다. 아울러 Fig 10은 성분분석결과 나타난 물질들의 특성을 NSDS에서 찾아 이를 요약한 것이다.

Table 6. Mass spec and ingredients in accordance with the detection time of the sample(590℃ thermal decomposition)

Detection time (unit : min)	Chemical Name	Others (Flash point, Ignition point, unit℃)
0.97	(2-aziridinylenthy)amine	Flash point 28.5℃
1.01	2,5-dihydrothiophene sulfone	Flash point 112℃
1.17	1,3-cyclopentadiene	Flash point 25℃, Ignition point 640℃
1.60	1,5-hexadiyne	-
2.61	toluene	Flash point 4℃, Ignition point 480℃
2.92	3-methylene heptane	Flash point 10.4℃
3.71	4-ethenyl cyclohexene	Flash point 16℃, Ignition point 269℃
4.47	phenylethyne	Flash point 27℃
4.76	styrene	Flash point 31℃, Ignition point 490℃
6.48	benzonitrile	Flash point 75℃, Ignition point 550℃
7.56	1-propynyl benzene	Flash point 62℃
9.94	naphthalene	Flash point 88℃
13.77	acenaphthylene	-
26.59	azelaic acid di(2-ethylhexyl)ester	Flash point 211℃


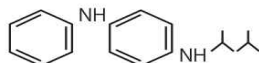




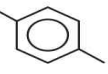


6.86 Min : D-Limonene  F·P : 43℃ I·P : 237℃ Oxidation Potential Storage Caution	22.63 Min : N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-Phenyl-1,4-Benzenediam  F·P : 43℃ I·P : 237℃ Oxidation Potential	
2-Chloro-hexane  Ignition Potential	Cyclopentene  Large Ignition & Oxidation	
1,3-Cyclopentadiene  Large Ignition & Oxidation	1,3-Pentadiene  Large Ignition & Oxidation	
3.89 Min : P-xylene  F·P : 21~27℃ Oxidation Potential	4.35 Min : Cyclohexanone  F·P : 46℃ I·P : 420℃ Oxidation Potential	5.85 Min : Aniline  F·P : 70℃ I·P : 615℃ Oxidation Potential

Fig. 10. Oxidizing substances & structural formulas contained in the packaging waste (solid-butadiene)

Fig. 11은 시료 3의 연소 전 화약류 포장재 폐기물의 고체부타디엔에 대한 현미경 분석 결과이고, Fig 12는 시료 3의 연소 후 화약류 포장재 폐기물 고체부타디엔의 고무라이어에 대한 현미경 분석 결과이다. Fig 13은 시료 3의 연소 후 화약류 포장재 폐기물의 고체부타디엔에 대한 현미경 분석 결과이다.

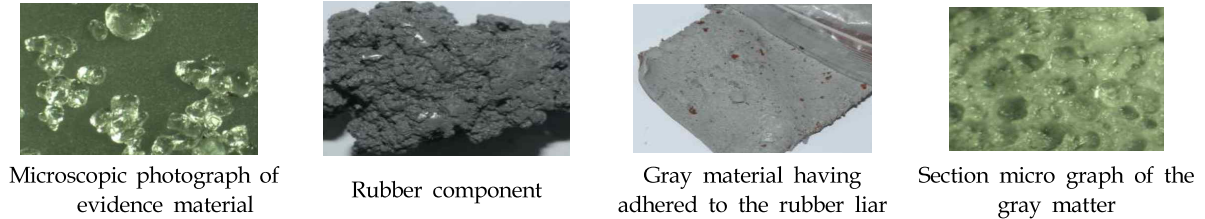


Fig. 11. Rubber packing material component analysis of explosives(Before burning the sample3)

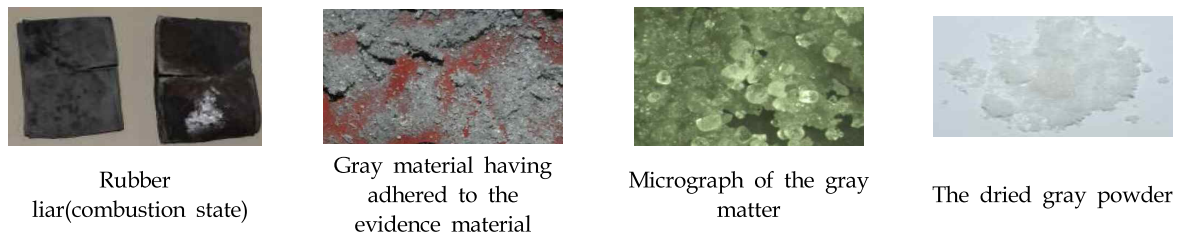


Fig. 12. Rubber packing material component analysis of explosives (samples 3)

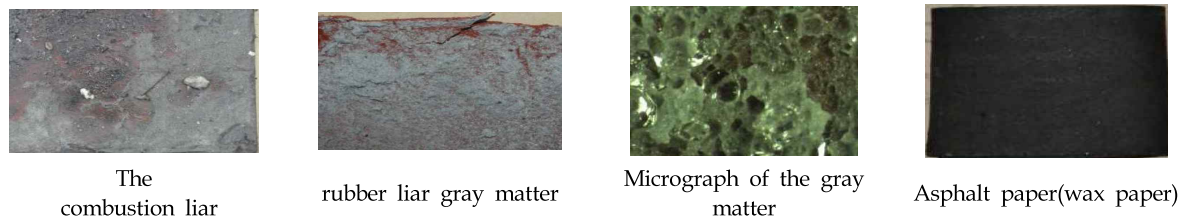


Fig. 13. Rubber packing material component analysis of explosives(sample post-combustion)

4.4 실험 결과 고찰^{10,11,12)}

이제까지 살펴본 결과 폐기물은 다양한 물질로 구성되어 있으며, 그 위험성은 가연성, 부식성, 반응성, 독성, 폭발성, 방사성 및 생물학적 위험성 등으로 요약될 수 있다. 일정량 이상의 수분을 함유하면 어느 정도 발열하고 내부의 온도가 상승하여 미소발열이 계속되고 산화반응이 촉진되어 자연발화에 이르는 결과를 초래할 수 있고, 건조 상태에 따라 위험성이 다르게 나타난다. 특히 지정(특수)폐기물로 처리되어야 할 폭발성 폐기물이 일반폐기물 처리장에 잘못 반입되어 처리과정에서 폭발 사고로 이어졌을 때 많은 인명과 재산피해가 수반되므로 향후 폐기물 배출업체는 처리에 적합 가능한 처리시설에 폐기물을 적법 처리하여야 하며 폐기물 처리업체도 반입되는 폐기물을 철저히 파악하고 이익을 좇아 무리하게 처리한계를 넘지 말아야 할 것이다. Table 7은 “국립과학수사연구원” 과 함께 실험에 의해 도출된 결과로서 종합적으로 판단해 보면 백색 분말상 물질은 검출되는 성분으로 보아 과염소산암모늄이며, 감정물에서 식별되는 회색물질은 과염소산암모늄을 부타디엔 고무로 고체화 한 형태로서 콤포지트 추진제의 일종이다. 또한 폐기물로 처리된 물체의 원형은 2개 층의 페이지색 고무라이너 위에 적색의 우레탄 고무를 부착하고, 그 위에 과염소산암모늄을 부타디엔 고무로 고체화한 회색물질을 부착한 모습으로 판단되며, 과염소산암모늄이 연소한 후 검출될 수 있는 원소성분이 검출되는 것으로 보아, 폐기물은 콤포지트 추진체를 제거한 것

로 보이거나 완전히 제거되지 않고 상당량이 잔존한 상태로 폐기된 것으로 사료된다. 아울러 우레탄 고무, 부타디엔 고무 및 아스콘지 등은 직접 점화에 의해 지속적인 연소가 가능한 가연물이나 마찰, 충격에 의해 점화하지 않았으며, 폭발적인 연소현상은 보이지 않았다. 그러나 과염소산암모늄을 부타디엔 고무로 교체화한 회색물질은 간이 충격시험 및 가연성시험의 결과로 보아 건조된 상태에서는 마찰, 충격, 스파크 불꽃, 직접점화 등 다양한 점화원에 의해 점화가 가능하며, 급격한 연소현상을 보일 것으로 판단된다.

Table 7. Review of packaging waste results

Classification	Contents
Experiment details	1. Components of the proposed evidence, whether flammability and explosive/
	2. Evidence of the proposed whether explosion and fire likely due to friction or impact
	3. Whether identity of the material received from the witnesses and evidence collected from the scene of the fire
Experiment result	1. Evidence No. 3 white powdery substance is being seen as ammonium perchloride detected components
	2. Evidence No. 2, No.2-1, No. 5, No. 7 is identified in the gray matter being some sort of composite propellant as a form of solidified ammonium perchlorate butadiene rubber.
	3. Presented the prototype of a waste processing objects are evidence of the evidence No. 2, a combination of five favors, attach the red urethane rubber on a beige rubber liner and two layers of gray matter,,by solidified ammonium perchlorateas butadiene rubber above it attached to it.
	4. No. 1, No 6 evidence collected from the fire scene, fired at after viewed as being perchloride with ammonium perchlorate and ammoniumis detected, waste look to remove the composite propellant,a significant amountis being considered obsolete in a state where the residual is not completely removed.
	5. Presented evidence of urethane rubber, butadiene rubber and asphalt, etc. are sustainable possible combustibles by directly burned but does not burn on impact, friction, the explosive combustion phenomenon is not
	6. Gray substance solidified perchloride ammonium butadiene rubber is expected to show the rapid combustion phenomena by shock, spark, flame, direct ignition, ignited by a variety of sources of ignition, at in a state dried seen as the result of a simple impact testing and flammability testing

5. 결 론

본 연구는 폐기물사업장에서 발생하는 특수 화재사례를 조사 분석하고, 현장운영을 참조로 한 현실적인 화재위험요소 고찰을 통해 화재예방대책을 제언하고자 하였다. 본 논문의 실험결과를 살펴보면 화약류 포장재 폐기물(고체부타디엔)의 착화제 연실험에서 모두 발화위험성이 확인되었고, 작은 점화원에도 쉽게 착화되어 급속하고 폭발적으로 연소되는 형태가 화약류 유사한 형태를 나타냄을 알 수 있었다. 특히 폐기물처리장에서의 화약류 포장재에 의한 화재·폭발사고 사례와 같이 화약류 포장재 폐기물이 소각폐기물처리장에 대량으로 반입되어 유기화합물 폐기물과 혼재되어 있을 때는 상호 산화반응과 열분해 등으로 가연성, 산화성 가스가 발생되어 스파크 등 점화원에 의해 착화되며 순간적으로 폭발로 이어지는 개연성을 충분히 확인할 수 있었다. 따라서 폐기물처리장에서의 화약류폐기물에 대한 소방상 문제점으로는 첫째 폐기물(구조물) 용접작업의 불꽃으로 인한 화재발생, 둘째 나화 또는 기계적 처리(충격,마찰) 방법으로 인한 발화원 상존, 셋째 각종 폐기물의 혼재 및 무분별한 보관으로 자연발화, 폭발위험성 상존, 넷째 특정소방대상물 분류상 “분뇨 및 쓰레기 처리시설”로 분류되어 대부분 소방시설 면제 또는 적용기준 완화라고 할 수 있다. 이에 대한 개선방향으로서 향후 “위험물관리법”의 주요 법령 제·개

정 의견으로 첫째 소방기본법상 특수가연물로 지정·관리하는 것으로서 폭발성폐기물 100kg 이상과 일반폐기물 1,000kg 이상을 저장·취급시 특수가연물로 지정하고, 특수가연물 용어의 정의를 개정하는 것이다. 둘째 폐기물은 건물규모(면적)보다는 품명 및 저장·보관량에 따른 위험성이 크고, 폐기물의 자연발화 및 폭발위험성이 상존하고 있어서 잦은 화재로 인한 재산·인명피해가 발생하므로 화약류 폐기물을 특수가연물에 포함해 소방시설강화 등을 개선할 필요가 있기 때문이다. 셋째 기존 법령으로는 특수가연물 지정시 소방시설 적용 예로는 500배 이상 저장·취급시에는 자동화재탐지설비, 750배 이상 저장·취급시에는 옥외소화전설비, 1,000배 이상 저장·취급시에는 스프링클러설비를 설치해야하나, 여기에 폐기물처리시설 규모에 따른 소방시설 강화로 옥내소화전 적용으로 연면적 1천5백㎡ 이상이거나 층고가 15m 이상인 폐기물처리시설, 지하층·무창층 또는 4층 이상인 층 중 바닥면적 300㎡ 이상인 층이 있는 것은 모든 층을 적용해야 한다, 또한 스프링클러·물분무 등 소화설비 적용은 연면적 2천㎡ 이상 또는 층고가 20m 이상인 폐기물 처리시설, 상수도소화용수설비적용은 연면적 1천㎡ 이상 또는 층고가 25m 이상인 폐기물처리시설을 포함해야 한다. 넷째 업종에 따른 소방시설 강화부분으로서 현행 특정소방대상물 분류에서 “분뇨 및 쓰레기 처리시설”이 화재위험성이 적은 대상으로 분류되어 대부분 소방시설이 면제되어 있고, 현행법상으로 자동화재탐지설비는 2천㎡이상, 옥내소화전설비는 3천㎡이상으로 규정되어 있지만, 소규모 면적이더라도 높은 층고에 폐기물을 다량 취급이 가능하여 타 특정소방대상물 보다 화재의 위험성과 폭발로 인한 인명피해의 위험성이 많아 소방시설강화 등 개선할 필요성이 있기 때문이다. 향후 이에 따른 기대효과로는 효율적인 예방·소화활동 및 위험물관리법상 특수가연물의 품명, 저장량, 규모, 업종별에 따른 법 제·개정을 통해서 폐기물처리장 화재·폭발사고 발생시 화재피해를 대폭적으로 경감할 수 있는 대안이 될 것이라고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2018년도 호원대학교 교내학술연구비지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- [1] National Fire information System, (2014~2016), “National fire statistics”, NFIS.
- [2] Ministry of Environment,(2015) “The national waste statistics survey, Ministry of Environment.
- [3] S. K. Jeon, (2005), “Study on the effective science investigation methods in case of explosion accident”, Master’s Thesis,, Kyungpook National University Graduate School of Industrial Technology.
- [4] Jeonju deokjin fire station,(2010) “Fire case studies of waste treatment facilities”, The 14th recital case of fire textbooks.
- [5] S. K. Chun,(2008) “Study on the flame propagation speed, Ignition energy Measurement of the hazardous substances used in operations in airtight space”, Central Fire Academy.
- [6] Central Fire Academy,(2009) “The fire investigation practices”, Central Fire Academy textbooks.
- [7] D. H. Kim,(2013) “Fire-explosion risk & safety measures of risk waste discharge process”. Safety Forum.
- [8] Ministry of Science and Technology,(2013) “Chemical Waste polymer material commercialized technology by water droplet explosion”, Ministry of Science and Technology.
- [9] J. H. Cho, B. H. Choi, G, H, Hyun, (2016), “An Experimental Study on the nature of industrial waste combustion”. Korea Association of Fire Investigators.
- [10] S. M. Lee, (2016), “A study on fire hazard and countermeasure of waste incineration plant”, Gachon University,
- [11] J. H. Cho, B. H. Choi, G, H, Hyun, (2016), “An Experimental Study on the nature of industrial waste combustion”. Korea Association of Fire Investigators.
- [12] National Fire Protection Association, "2010, "NFPA Fire Data", NFPA.